（様式３）

せき損患者の機能回復支援を中核とする介護現場革新のための機器実用化

平成 26 年度～平成 28 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業

研　究　成　果　報　告　書

平成 29 年 5 月

学校法人名：学校法人　中村産業学園
大　学　名：九　州　産　業　大　学
研究組織名：ヒューマン・ロボティクス研究センター
研究代表者：榊　泰輔
（九州産業大学理工学部教授）

（様式３）

はしがき

ヒューマン・ロボティクス研究センターは、「医学・工学・芸術学・経営学の連携によりリハビリ・介護プロセスを革新するロボット実用化研究拠点」として本学が平成25年に設立し、翌年度に文部科学省「平成26年度私立大学戦略的研究基盤形成事業（平成26～28年度）」により「せき損患者の機能回復支援を中核とする介護現場革新のための機器実用化」として採択され活動を続けています。

本センターは、日本社会の急激な高齢化を背景に設立されました。厚労省の統計では2025年には65歳以上が人口約30％になると予測しています。脳血管疾患は高齢者に多く毎年30万人が発症し総患者数が133万人と推計されています。転倒・転落で脊髄の圧迫・引張が生じ非骨傷性頚髄損傷になり寝たきりになる事例も高齢者に多いです。

医療介護のコスト抑制と効率化は喫緊の課題です。医療介護コストは増加傾向にあり2025年には総計約100兆円と予測されています。また、現場は慢性的な人手不足です。これに対し、国は医療介護の一体的サービスの提供を目指す地域包括ケアシステムを推進し、またリハビリロボット、介護ロボットの実用化も支援しています。

本センターでは、医療介護ロボットの「ロボットの社会実装」を通じてこれらの問題解決を目指しています。とくに地域包括ケアシステムにロボットを実装することを目標としています。このため４つの柱である①現場ニーズに適切な技術シーズをマッチさせる、②現場ユーザの立場に立ったプロダクトデザイン、③事業モデルを加えた総合的ソリューションの考案、④専門を横断する分離融合型教育による若手人材育成に取り組んでいます。これらを通じて、現場の人手不足、負担軽減、コスト低減、また医療介護サービスの効率化、地元企業への支援、アジア市場への展開をねらいます。

運営にも独自性があり、幅広い分野の研究者を集め病院や企業など外部機関とも協力しています。ロボット工学、機械、電気、情報工学、経営、デザインの研究者が従事しています。理工系研究による要素技術開発、芸術系によるデザイン創出、経営系による事業モデル検討を担当し、これらの成果をリハビリロボット、介護ロボットの具体的な応用テーマに反映させています。また開発にあたっては医療・介護機関との定例研究会などを通じ日常的にアドバイスを求めながら企業と連携し試作を進めています。

国際連携についてはアジア市場への展開を意識し引き続き強化していきます。とくに韓国の医療介護ロボットの研究者との共同シンポジウムなど技術交流を進め実用化についても意見交換をしています。

成果の広報については、研究成果の展示会出品や国内外の学会発表を通じて医療介護の専門家からの意見をフィードバックしています。

これからも本報告書が、介護支援ロボットの普及に向けた活動のあり方を考察するにあたって一石を投じるものであることを期待いたします。また、当研究にご支援頂いた文部科学省をはじめとする関係機関、事業を評価頂いた委員方々、様々なご意見を頂いた関係各位に対して、深甚なる謝意を表します。

平成 29 年 5 月

九州産業大学ヒューマン・ロボティクス研究センター
所長　　榊　泰輔

目　　次

研究成果報告書概要 ・・・・・・ 1

平成２６年度

【①訓練・介護支援ロボット】

起立訓練支援ロボット ・・・・・・ 22
立位保持訓練ロボット ・・・・・・ 28
歩行訓練ロボット ・・・・・・ 65
ベッド上生活者用介助ロボット ・・・・・・ 78

【②意匠設計】

プロダクトデザイン ・・・・・・ 82

【③事業モデル】

事業モデル ・・・・・・ 86

活動報告 ・・・・・・ 93
第１回ヒューマン・ロボティクスセミナー ・・・・・・ 94
第２回ヒューマン・ロボティクスセミナー ・・・・・・ 96
九州産業大学　公開講座２０１４ ・・・・・・ 104
平成２６年度　出展 ・・・・・・ 112
平成２６年度　実証試験 ・・・・・・ 117
平成２６年度　教育活動（１） ・・・・・・ 121
平成２６年度　教育活動（２） ・・・・・・ 123

平成２７年度

【①訓練・介護支援ロボット】

起立訓練支援ロボット ・・・・・・ 126
立位保持訓練ロボット ・・・・・・ 136
歩行訓練ロボット ・・・・・・ 152
ベッド上生活者用介助ロボット ・・・・・・ 155

【②意匠設計】

プロダクトデザイン ・・・・・・ 162

【③事業モデル】

事業モデル ・・・・・・ 167

活動報告 ・・・・・・ 188
シンポジウム・市民講座 ・・・・・・ 189
平成２７年度　出展 ・・・・・・ 194
平成２７年度　教育活動 ・・・・・・ 196

平成２８年度

【①訓練・介護支援ロボット】

起立訓練支援ロボット ・・・・・・ 202
立位保持訓練ロボット ・・・・・・ 205
ベッド上生活者用介助ロボット ・・・・・・ 215

【②意匠設計】

プロダクトデザイン ・・・・・・ 227

【③事業モデル】

事業モデル ・・・・・・ 238

活動報告 ・・・・・・ 244
シンポジウム・報告会 ・・・・・・ 245
平成２８年度　出展 ・・・・・・ 258
平成２８年度　教育活動 ・・・・・・ 263

研究成果報告書概要

（様式 2）

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

平成 26 年度～平成 28 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」
研究成果報告書概要

1 学校法人名 学校法人 中村産業学園 2 大学名 九州産業大学

3 研究組織名 九州産業大学ヒューマン・ロボティクス研究センター

4 プロジェクト所在地 福岡市東区松香台２－３－１

5 研究プロジェクト名 せき損患者の機能回復支援を中核とする介護現場革新のための機器実用化

6 研究観点 大学の特色を活かした研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
榊 泰輔	理工学部	教授

8 プロジェクト参加研究者数 １９ 名

9 該当審査区分 （理工・情報） 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
榊 泰輔	工学部・教授	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの機構・動作技術開発 【PJ 統括】
鶴田 和寛	工学部・教授	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの機構・動作技術開発 【分野①】
牛見 宣博	工学部・教授	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの機構・動作技術開発 【分野①】
村上 剛司	工学部・准教授	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの機構・動作技術開発 【分野①】
李 湧権	工学部・教授	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの機構・動作技術開発 【分野①】
一ノ瀬 裕	工学部・教授	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットのインターフェース開発 【分野①】
下川 俊彦	工学部・教授	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットのインターフェース開発 【分野①】
神屋 郁子	工学部・助教	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットのインターフェース開発 【分野①】
青木 幹太	芸術学部・教授	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットのプロダクトデザイン開発 【分野②】
森下 慎也	造形短期大学・講師	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットのプロダクトデザイン開発 【分野②】
聞間 理	経営学部・教授	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの事業プラン開発 【分野③】

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

（共同研究機関） 和田　太	東京女子医科大学 ・准教授	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの臨床現場での検証 【分野①】
藤家　馨	総合せき損センター ・研究員	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの臨床現場での検証 【分野①】
片本　隆二	総合せき損センター ・研究員	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの臨床現場での検証 【分野①②】
須堯　敦史	総合せき損センター ・理学療法士	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの臨床現場での検証 【分野①】
渡邉　恭弘	福岡県工業技術ｾﾝﾀｰ ・主任技師	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの機構・動作技術開発 【分野①】
富崎　秀徳	㈱安川電機 ・企画担当課長	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの機構・動作技術開発 【分野①】
木原　由光	㈱ロボフューチャー ・社長	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの機構・動作技術開発 【分野①】
立石　憲治	アイクォーク㈱・社長	歩行機能訓練支援及び介護支援ロボット	訓練・介護ロボットの機構・動作技術開発 【分野①】

＜研究者の変更状況（研究代表者を含む）＞

旧

ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
変更なし			

（変更の時期：平成　　年　　月　　日）

新

変更前の所属・職名	変更（就任）後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

11　研究の概要（※　項目全体を10枚以内で作成）

（1）研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

・目的・意義

多くのせき損患者が早期に機能回復を果たせる機会を拡大するために、ロボット技術を基盤に、リハビリの質の向上とリハビリ業務の効率化を目指し、臥位から歩行までの回復段階に応じて一括支援できる国内初のリハビリ機器の実用化を図る。

ロボット技術の展開範囲をリハビリ・介護現場に定め、介護士不足のため、せき損患者が十分にリハビリの機会を得られない点に注目し、人による介護を「起立訓練ロボット」「立位保持訓練ロボット」「歩行支援ロボット」に置き換えて人的負担を軽減する。併せて、ロボット関連に職を志す学生を開発に参加させ、人材育成を図る。総合大学の特色を活かし、平成 25 年度に学部を横断する連携体制で「ヒューマンロボティクス研究センター」を設立し、リハビリ現場、要支援者双方のニーズに基づいたロボット開発を開始した。

本プロジェクトにより、ロボット技術を以って寝たきりゼロの社会づくりに貢献するとともに、ロボット産業界の発展に寄与することを意義としてリハビリ機器の実用化を推進する。

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

・計画の概要
主として3分野、①訓練・介護支援ロボット、②意匠設計、③事業モデルの構築を推進する。年次の計画概要は次のとおり。

H26 年度：課題①～③の各プロトタイプを設計する。
また、学部生・院生で研究チームを編成し、課題解決に向けたﾐﾆﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄを実施する。
H27 年度：課題①～③の各プロトタイプを試作・開発する。
リハビリ現場で試用し改善点を抽出、実用化への取組みを始める。ミニプロジェクトは継続して実施する。
H28 年度：課題①～③を事業プランと併せて実用化の目途を立てる。実証試験を繰り返し行う。現場での実践課題を学生チームに与え実施する。

（2）研究組織

・ 研究代表者の役割
研究代表者・榊はプロジェクトの方針・計画・実施・評価を統括した。月例で実施した幹事会では各担当研究者の進捗管理を行い、遂行上の問題点を洗出し、改善方法の提案を研究メンバーに求め、取りまとめて研究代表者の意見としてフィードバックを行った。さらに、学内外有識者による学園独自の中間評価及び最終評価を責任者として受け、評価・意見についてはメンバーへフィードバックしプロジェクト全体の改善を図った。対外的には、同研究センターの顔としてシンポジウムへの登壇、展示会への出展、報道取材等を通じ、同センターの活動を広く公表した。また、ターゲットとなる医療機関、ロボットの販売先となりうる企業へ訪問し、信頼関係の構築を図りながら開発した介護支援ロボット群やコンセプトモデルの普及・啓蒙に努めた。

・ 各研究者の役割分担や責任体制の明確さ
本プロジェクトでは分野を医工分野・文理分野の2つに分け、各分野内のテーマごとに本学教員を幹事として配置し、その指揮・責任のもとで外部研究機関との連携を構成した。また、各幹事の課題の進捗状況と達成度を月次の幹事会にて報告させ、進捗上での問題や改善すべき点が生じた場合は、研究メンバーの意見を集約し、研究代表者により即、指示を与えることとし、効果的な遂行を図った。

・ 研究プロジェクトに参加する研究者の人数
【学内】11名
【学外】8名

・ 大学院生の人数・活用状況
大学院生（プロジェクト期間のべ5名）・学部生で編成される研究チームには研究代表者指導のもと課題を与えて体験型プロジェクトとして関与させた。具体的には、医療現場に学生を向かわせ、現場のニーズを把握、討議の中でニーズに即した仕様を定義しデザインに反映。最終的には、各種介護支援ロボットのハードウェア・ソフトウェア・意匠の製作に従事させた。
また、国際技術教育として、当研究センターと同様の実践教育を実施している韓国慶南大学校の学生と本学の学生で混成チームを組み、介護支援に関する作品を制作、互いの成果について評価・交流を図った。なお、学生の成果発表の場としては毎年度、福岡天神のイムズにて九産大プロデュース展を開催し、一般にも広く公開した。

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

・ 研究チーム間の連携状況

文理分野では、情報科学部が ICT を活用した操作機器の設計を、芸術学部がユニバーサルデザインに基づく意匠設計を、経営学部が事業モデルの構築を担当した。医工・文理の各テーマでの進捗状況や課題を共有するため定期的にヒューマン・ロボティクス研究センター幹事会を開催し、また、外部研究協力機関とは、月次で介護支援ロボット研究会を開催し、内部研究メンバーの進捗状況を報告するとともに、外部研究メンバーからの意見を取り入れる機会とし、プロジェクト全体で闊達に意見交換を行うことで課題解決に取り組んだ。

・ 研究支援体制

九州産業大学学術研究推進機構産学連携支援室を主幹として、シンポジウムの開催等の催事及び外部機関との連携に係る事務的サポートを行うとともに、同室のコーディネート要員により、専門的観点で外部からの技術相談、企業への実用化に向けたアプローチ、福岡県下の公的研究支援機関との交流を図った。

また、同研究センターは内部・外部研究メンバーの実験施設として共有し、実用化が完了した介護支援ロボットについて実証試験を実施するなど、保有する研究装置・研究設備を有効に活用した。なお、実証試験に参加した被験者については、本学と包括連携協定を締結している近隣自治体に協力頂き、学内の倫理審査の承認を受け実施した。

・ 共同研究機関等との連携状況

医工分野では、工学部と安川電機、福岡県工業技術センターが連携し、下肢麻痺患者とくに高齢者せき損患者を対象に臥位から在宅までの訓練・介護支援ロボットの企画・設計・試作を担当、総合せき損センター及び産業医科大学が臨床現場での検証を担当した。

現在は実用化した介護支援ロボット群の社会実装のパイロットケースとして、総合せき損センターと引き続き協力関係を維持し、理学療法士、作業療法士、医工学専門家と実証試験に着手することとしている。



法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

（3）研究施設・設備等

・ 研究施設の面積及び使用者数
ヒューマン・ロボティクス研究センターの面積：149 ㎡
使用者数：学内外研究メンバー19名、大学院生：延べ5名、学部生：延べ50名

・ 主な研究装置、設備の名称及びその利用時間数（研究実施期間の3年間）
1.脳機能計測装置用脳波計測装置：480時間（年間80回、2時間程度／回）
2.動作形状計測装置用筋活動シミュレーション装置：300時間（年間50回、2時間程度／回）
3.歩行解析装置：300時間（年間50回、2時間程度／回）

（4）研究成果の概要　※下記、13及び14に対応する成果には下線及び＊を付すこと。

以下、年度・分野毎に成果を簡潔にまとめる。

平成 26 年度

介護支援ロボットのサービスに必要なリソースとしてリハビリ訓練と介護のバランスに配慮して取り組んだ。*[1,2]実用化が近い立位装置などハードウェアの開発で有用な実績が挙がった。デザイン、事業モデルなどソフト面では、病院等との意見交換・観察によりニーズ調査が本格化していった。

また、韓国の介護ロボット分野の権威をセミナー講師として招聘し、当センターの技術交流について公開の場で披露するなど、国際連携についても大きく進展を図ることができた。

【①訓練・介護支援ロボット】

・起立訓練支援ロボット

年度計画	機構の改良による起立パターンと介助機能の改善
到達目標	起立訓練ロボットの小型軽量化，およびそれに伴う起立パターン生成と介助機能の改善を実施
研究実績	・起立訓練ロボットの小型軽量化について： (1)簡易型起立補助機器の提案 −起立における筋肉の作用について調査 −アシスト力の測定とアシスト方法の検討 −簡易型起立補助機器の開発と基礎実験 −機構の改善と解析が今後の課題 (2)起立訓練ロボットの改良（小型化に向けて） −機構の改良（新型設計：日本ファインテック共同開発） −起立訓練ロボットの設計について問題点などを整理 （スピード，センサ，力のフィードバックなどを検討） −次年度，小型起立訓練ロボットの開発を実施予定 ※簡易型起立補助装置については，機構の改良と解析がうまくいけば特許化を検討.
課題解決	・簡易型起立補助機器は，機構の改善と解析をする．特許化を検討する． ・起立訓練ロボットは，スピード，センサ，力のフィードバックを検討する.

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

・立位保持訓練ロボット

年度計画	病院用はプロトタイプをリハ現場で試用し改良、簡易版の実用化準備（使い勝手、デザイン、コスト見直し）
到達目標	病院用は産業医大かせき損センターで試用し課題抽出、簡易版は前年度試用をもとに実用化課題を整理、使い勝手はパネル改良、デザインはボディカバー試作、コスト試算＝10万台検討
研究実績	・病院用高機能版の改良：マンパワーの関係で在宅用に注力するため期中に判断しペンディングとした。 ・在宅用簡易版の実用化：昨年課題をもとに転倒防止用機構の改良、アシストソフトを改良した。健常高齢者による負荷試験をした。（情報提示・通信機能は別欄）
課題解決	・数台を試作、病院等で試用し意見集める。 ・小型軽量、デザイン、移乗補助器具、耐久性、組立見直す。 ・患者データを数例取りたい。

・歩行訓練ロボット

年度計画	旋回動作など主要機能のソフトを開発
到達目標	旋回機能の追従性UP、大腿介助機能の開発、 次年度に向け小型軽量化など課題整理
研究実績	・旋回機能追従性UPした。 ・大腿介助機能の一部である腰揺動機能についてセンサ取り付け位置を検討し基本機能を実装した。まだ動作が不安定であるためソフトを改良中。揺動タイミングと歩行動作を同期させるのが課題。
課題解決	・腰揺動は手元SWにて歩行周期と同期させる。健常者で検証。 ・大腿あげアシストに着手。 ・小型軽量化メカを検討する。

・ベッド上生活者用介助ロボット

年度計画	モニタリングシステムとロボットハンドの試作
到達目標	物品位置計測モニタリングシステムを試作して，病室内を想定した環境で試用し，課題抽出を行う．ヒト手に装着する把持補助用ロボットハンドを試作して，麻痺患者の利用を想定して試用し，課題抽出を行う．
研究実績	・モニタリングシステムの試作： － 数個程度の物品の認識と位置計測は問題ない － 物品数が多くなると物品認識と位置計測に入れ違いがまま生じるので，プログラムで改善予定 ・ロボットハンドの試作： － 把持補助用ロボットハンドを試作した － 把持力の向上を行った（1.5kg程度を把持可能） － 展示会への出展を通して，静音化，小型化，省配線，バッテリー駆動などの課題が抽出された
課題解決	・ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞｼｽﾃﾑでは5個以上の物品配置を同時計測できるようにする ・ロボットハンドは小型化，省配線としたモデルを試作する

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

【②意匠設計】

・プロダクトデザイン

年度計画	立位保持訓練ロボット製品化のための試作の完了
到達目標	外観デザイン・インターフェイイス仕様・原価試算等の完了
研究実績	・製品イメージをレンダリングやスケールモデルで提示した ・展示会に向けて機能試作機をスタジオにて静止画、映像で記録した ・展示会用のパネルを制作した
課題解決	・対象ユーザー、使用環境、コスト等の開発条件を満たす製品モデルを示す ・デザイン検討のための場やマンパワーの確保

【③事業モデル】

・事業モデル

年度計画	ロボット開発プロセスの調査および特性の分析
到達目標	ロボットの開発プロセスの実態および現場での使用状況を明らかにして、マーケティングおよび事業採算性ツールの構成要素を絞り込む
研究実績	・８月３１日にHRRCとロボット産業の動向を考えるワークショップを開催し、ファシリテートを務めた。 ・６月のリハビリテーション医学会、１０月のロボット工学セミナーなどの異領域の研究会への参加を通じて、事業モデル策定上の問題を再定義する必要を感じるようになった。※以下の＜課題解決＞の項目に詳述。 ・１２月に博多図工室（ファブラボ）を訪問。 ・香椎原病院との合同プロジェクトに参画し、２０１５年より現場の行動観察を開始する。
課題解決	・利用者の現場の実態と開発側の想定との間の乖離を埋めるための方策として「専門領域を越境する」ことが必要である。そのため、単なるヒアリングにとどまらず職場を体験し、現場のコミュニティに関する理解を深める必要あり。今後は香椎原病院プロジェクトを通じて、その考え方の正しさを確認していくことにする。 ・上記の課題に経営学系の研究者がアプローチして事業モデルを組み立てるには工学・リハビリ医学の2つの領域を理解していかねばならない。レゴブロックのMindstorm等を利用して学び、文系学生の教育プログラムへの反映も射程に入れながら研究を進めていきたい。今後は、Mindstormの教育用キットを体験し、ワークショップもしくは講義演習用プログラムをとりまとめていく。

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

平成 27 年度

*[8]起立訓練ロボットのプロトタイプが試作され展示会に出品した。また事業モデルに関しては実用化する際に重視すべきポイントが設定され、これに基づき各テーマの評価と課題抽出を試みた。さらに近隣の病院である香椎原病院との研究会が継続され現場ニーズにもとづいた開発がいくつか成果をあげた。これら成果の実用化・事業化について複数の企業・ベンチャーキャピタルと意見交換した。

【①訓練・介護支援ロボット】

・起立訓練支援ロボット

製品イメージ	下肢麻痺患者、高齢者の起立動作において、上体を振って起立する動的な動きを介助する起立訓練ロボットを開発。
到達目標	・起立訓練ロボット（3号機）の開発と問題点の整理。 ・小型軽量化（重量：60[kg]、利用スペース：1100×1100[mm]）された起立訓練ロボットの開発、およびそれに伴う起立パターン生成と介助機能の改善を実施。
研究実績	・起立訓練ロボット2号機による実験により、問題点を整理。 ・3号機の開発に向けた仕様・設計について検討。
課題解決	・体幹の補助機能（膝、腰）についての検討が課題。 ・現場からの要望として、単純で効果的な機構を希望。 ・2.5号機（改良）の実施。 ・3号機の設計・開発。 ・せき損センター・理学療法士からの意見のフィードバック。 《事業化視点からの考察》 共同開発のパートナーと納品先が先に見えているのは大変心強い。ロボット展でのフィードバック以外にも、頻繁に（特に訓練指導者から）助言をもらう体制を作るべきかと考える。

・立位保持訓練ロボット

製品イメージ	下肢虚弱高齢者用、在宅用・健康教室用の低コスト簡易な装置、足前後スライドの簡単な運動を介助。
到達目標	・在宅用としてさらにブラッシュアップする。 ・耐久性等の安全性、組み立て・メンテ性、移乗性、その他メカの小型軽量化・簡素化、コスト試算＝10万台をねらう。 ・複数台試作により医療介護現場での声を集め改作に反映させる。
研究実績	・在宅用簡易版の実用化：臨床用プロトタイプを2台完成させた。小型軽量化を進めた。 ・病院・介護現場での検証：プロトタイプ試作に手間取り未着手。 ・実用化にむけ企業へ打診した（2件）。
課題解決	・病院・介護現場で試用し意見集める。 ・企業と連携し実用化を加速する。《事業化視点からの考察》 Webでデータが見える通信機能が組み合わさることで、価値が上昇する。データの標準化も鍵になる。POPOのような製品との組み合わせによる水平展開の可能性はどんどん探っていくべきかと思われる。

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

・歩行訓練ロボット

製品イメージ	施設・病院用、退院前の訓練、実際の歩行訓練で転倒防止、省力化。
到達目標	・腰揺動、大腿介助など主要機能を完成させ若年健常者にて使い勝手を検証。 ・次ステップの小型軽量化など実用化にむけ課題を整理。
研究実績	・腰揺動機能についてセンサを足に取付け実験した。左片側のみを実施。 ・腰揺動は両側揺動を開発、健常者で検証。 ・大腿あげアシストに着手。
課題解決	・小型軽量化メカを検討する。具体的には歩行器との組み合わせ、オプション化を検討する。 《事業化視点からの考察》 HALなど歩行訓練ロボットの市場はすでに競争が激しく、差別化ポイントを考え直す必要がありそう。退院前のステージでは、動きの安定化・補助よりも、動きの記録をとり帰宅後の計画に役立てることにニーズがある。

・ベッド上生活者用介助ロボット

製品イメージ	手指の麻痺患者用、日常生活での物品把持の補助。
到達目標	・物品位置計測モニタリングシステムの計測対象個数の増加（10個以上）および、ロボットハンドの小型化（70%）と軽量化(70%)を行う。 ・試作ロボットハンドの機構を利用した医用応用アプリケーションとして把持補助具や人体装着型屈伸サポート器具などの機能設計を行う。
研究実績	・物体位置計測システムで10個の物品位置を計測できた。 ・ロボットハンド部の小型化（70%以下）と軽量化（60%以下）を行い、把持装具としての試用を行った。 ・ロボットハンドの硬度調整機能の応用アプリとして硬度調節可能なサポーターの試作を行った。
課題解決	・小型化したロボットハンドの作動音の低減と把持力の向上が必要。 ・ロボットハンドの基礎技術を用いた応用アプリの可能性調査と選定を、対象分野を広げて行う。 《事業化視点からの考察》 基礎技術が大変面白いので、応用対象を幅広く考えなおす機会が必要かもしれない。手指の麻痺患者よりも切断した義手使用者との組み合わせのほうが相性がよいかもしれない（聞き取りから始める必要がある）。

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

【②意匠設計】
・プロダクトデザイン

製品イメージ	起立・歩行訓練ロボットの実用化に向けた製品イメージ
到達目標	外観デザイン・インターフェイイス仕様・原価試算等の完了
研究実績	・製品イメージをレンダリングやスケールモデルで提示した ・展示会に向けて機能試作機をスタジオにて静止画、映像で記録した ・展示会用のパネルを制作した
課題解決	・対象ユーザー、使用環境、コスト等の開発条件を満たす製品モデルを示す

【③事業モデル】
・事業モデル

製品イメージ	医療福祉介護分野におけるロボメカ技術を利用した事業・サービスの事業評価基準の構築。
到達目標	市場動向をみながら、研究センターの取り組みテーマの事業可能性を評価し助言する。
研究実績	・事業化の視点から、各研究に対してコメントするとともに、HRRCの活動に対して以下の5点を指摘した。 1）数多くのアイディアをぶつけ、専門職からのフィードバックを頻繁にもらいながら、現場に投入する機会を一つでも多くつかむ流れを強化する。 2）病院以外の実装化のルートを開拓していく。 3）データ取得機能および標準化と連結化を進める。 4）既存の機器の改良やオプション開発などの可能性にも目を向ける。 5）レンタルをベースにアフターケアで満足度を高める事業モデルを優先的に検討する。
課題解決	・研究実績に記載した5点の実現に向けてサポートをしながら、各事業の実現可能性を高めていく。

平成 28 年度

＊3,4,5,6,7,9立位保持訓練ロボットの在宅用プロトタイプが試作され、国際学会で海外の医師・療法士に好評であった。＊起立訓練ロボットの簡易版を実用化した。

事業モデルでは病院事務長への意見聴取などを参考に地域包括ケアシステムでの展開として検討した。せき損センターや香椎原病院との定例研究会を継続し現場ニーズに基づいた成果に結実した事案がいくつかあった。

研究センターの次の目的を「ロボットの社会実装」と定め、特に地域包括ケアシステムにリハビリ介護ロボットを実装するよう具体化しつつビジネスモデルと合わせ研究を進めることとした。

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

【①訓練・介護支援ロボット】

・起立訓練支援ロボット

成果物のカタチ		起立訓練支援ロボット のプロトタイプまたはVer.2
ターゲット	誰のために	せき損センターの下肢麻痺の患者，あるいは介護施設で筋力低下の高齢者で起立動作が困難な人
	何のために	単純なスクワット運動による起立訓練，及び筋力の増加 起立動作の基礎的パターン訓練を支援
	どんな役に立つか	起立訓練により立位姿勢が可能になり，立位・歩行動作のリハビリ訓練へと繋がる
研究実績		・起立訓練支援ロボットVer.2を試作 ・実用化に向けて改善を実施
課題解決		・現場でのニーズに合わせて調整 ・実用化に向けた安全性の向上

・立位保持訓練ロボット

成果物のカタチ		立位保持訓練ロボットのYS3
ターゲット	誰のために	介護施設の下肢麻痺、筋力低下の高齢者で立位は可能だが歩行困難な人 在宅で療養中の軽度の介護を要する高齢者で立位は可能だが歩行困難な人
	何のために	立位バランスから歩行開始までの訓練 左右足への重心移動、遊脚、前後スライド動作を介助 歩行の基礎的パターン訓練を支援
	どんな役に立つか	立位がやっとから歩行が可能になり自立歩行へつながる 在宅では歩行機能の維持ができる
研究実績		・在宅用、リハ用の簡易版を完成 ・脳機能活性化との関連を研究開始
課題解決		・評価機能のブラシアップ ・脳活性化のIFの実装

・歩行訓練ロボット

成果物のカタチ		歩行訓練ロボットのプロトタイプ
ターゲッ	誰のために	介護施設の下肢麻痺、筋力低下の高齢者で長距離の歩行が困難で転倒リスクがある人
	何のために	立位での左右重心移動と足の踏みだしを介助する。 廊下などでの歩行に追従する

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

ト		転倒を防止する
	どんな役に立つか	長距離の歩行でも転倒リスクなしに訓練ができる 実践的な歩行訓練が安全安心してできる
研究実績		・転倒防止のための足踏み訓練を検討
課題解決		・故障対応で時間をとられ進展少ない ・HAL等歩行機器との差別化戦略が必要

・ベッド上生活者用介助ロボット

成果物のカタチ		物品位置モニタリングシステム・ロボットハンドの プロトタイプ
ターゲット	誰のために	治療・療養・休養などのために一日の多くの時間をベッド上で過ごす人で，特に物品の把握が困難な人
	何のために	ベッド上において軽量な日用品の取り寄せ補助を行う
	どんな役に立つか	利用者は時間的・心理的負担無しに物品の取り寄せが行える．また，介助者は，簡易ではあるが頻度が高い物品の取り寄せ作業から解放され，人の手が必要な複雑な作業に注力できる．
研究実績		・物体位置計測システムの物品識別機能向上（物体形状情報の利用）を行った． ・ロボットハンド技術の応用による硬度調節可能なサポーターの機能向上（硬度調節範囲の拡張）を行った．
課題解決		・物品位置計測システムにおける物品識別用ICタグの小型化

【②意匠設計】
・プロダクトデザイン

成果物のカタチ		起立・立位・歩行ロボットの実用化に向けた製品イメージ
ターゲット	誰のために	HRRC技術研究・開発シーズを広く一般社会や医療分野等の専門領域の人に対して
	何のために	開発モデルの将来像や使用シーン、使い方などが直感的に理解、認識できるように（モデルの特徴を視覚的に分かる様に）
	どんな役に立つか	研究成果を分かりやすく伝え、社会実装を効率的、効果的に進めることに役立つ
研究実績		・地域包括ケアシステムへの実装イメージ作成
課題解決		・各ロボットの具体的な実装課題をクリアにする ・ビッグデータ活用とAI、コスト計算の課題設定

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

【③事業モデル】
・ビジネスモデルの構築

成果物のカタチ		起立・立位・歩行訓練ロボット等の事業展開案
タ－ゲット	誰のために	HRRCのロボット開発メンバーのため。
	何のために	プロトタイプの作成から製品化への方向をより実現可能性の高いものにするため。
	どんな役に立つか	プロトタイプのブラッシュアップの参考になる。
研究実績		・事業化モデルの観点から。HRRCのプロジェクト運営全体の方針の提言 ・地域包括ケアシステムへの実装イメージ作成
課題解決		・各ロボットの具体的な実装課題をクリアにする ・ビッグデータ活用とAI、コスト計算の課題設定

＜優れた成果が上がった点＞
【①　　訓練・介護支援ロボット】【②意匠設計】
開発するロボット群のうち、＊1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 起立訓練支援ロボット、立位保持訓練ロボット、歩行訓練ロボットを戦略的重点課題と位置づけ、実用化研究を進めた結果、これら全てについてプロダクトデザインによる意匠設計・製作を含む製品化をイメージした実機製作までを完了、実用化を達成できたといえ、所期の目的の研究成果、学生をプロジェクトに参加させたことによる若手技術者の育成を達成できた。これらロボット群は、福岡の中心地にある天神イムズにて展示し、多くの観覧者から好評を得るとともに、同センターの活動及び本学の知名度向上に寄与した。
同センターは、脳機能測定装置のほか、高度な装置類を保有しており、内部・外部研究メンバーが開発した介護支援ロボットのリハビリ効果を客観的に評価できる実験拠点として定着しており、研究基盤としての形成が成立している状況にある。
また、当センターの活動について学会発表、国際シンポジウムの開催、展示会へ出展した結果、特に立位保持訓練ロボットについて具体的な製品化の打診があっている状況である。
【③事業モデル】
＊13,14,15 事業モデルについてはフレームワークからモデルを整理し、製品設計・価格・流通・販売の観点で示した。また、研究センターのあり方について、事業開発・関係構築・将来性・現実性のバランスについて整理した。これまでに、介護支援ロボットの機器開発から事業化までを見据えた観点で実用化研究をモデル化した類例はなく、当センターのみならず、他の研究機関で実践される介護支援ロボット開発において重要な点を提唱する成果となった。

各テーマとも順調に進行し、概ね目標達成度は 80%以上である。

＜課題となった点＞
総合せき損センターがメンバー機関に含まれ、実証試験の実施が可能なことは担保できていたが、介護支援ロボットの実装先を想定した新たな医療機関の試験協力を得るのにハードルが高いことが課題となった。そこで、いくつか打診している医療機関とは、介護支援ロボットの導入を直接的に促すのではなく、当センターの技術力を用いた周辺医療業務をサポートしながら、医療機関の考え方に理解を深めつつ学生を交えて交流を図り、将来的には、介護支援ロボットの実装に際し、ご協力頂くために信頼関係を構築していくこととした。

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

＜自己評価の実施結果と対応状況＞

各分担課題について取りまとめた進捗表を作成し、毎月の進捗を報告させ、研究代表者が毎年度末に成果報告を取りまとめる際、進捗度を当該年度と事業全体で総合評価し、パーセンテージで示すとともに、課題に対する意見を付し、幹事会にて報告した。

ヒューマン・ロボティクスセミナー、国際シンポジウム、展示会への出展を実施し、内部・外部の研究メンバーの参加を得て、毎年度における研究成果の報告・公表に対して、一般・医療従事者・障害がある方など多くの参加者から意見をいただき、研究のため或いは当センターのあり方をモデル化するために、全研究メンバーに対してフィードバックした。

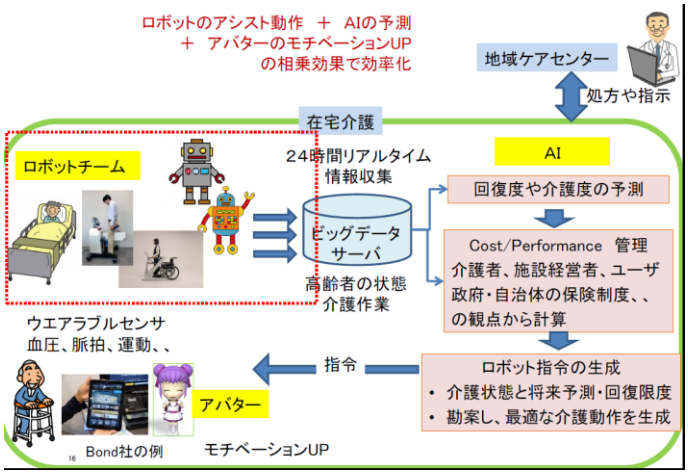
＜外部（第三者）評価の実施結果と対応状況＞

本プロジェクトは九州産業大学の実用化支援研究の枠組みとして実施されており、毎年で実施される中間評価委員会にて各年度の中間研究成果報告書を基に事業の実施状況を報告し、研究進捗状況、経費執行状況及び実施の妥当性について評価を受けた。委員会メンバーは学内については学長、副学長、財務担当理事、及び本プロジェクトの分野に精通する学内研究者2名、学外については、福岡県内の公的研究支援機関3機関から各1名から構成される。

3年間の評価はいづれも B 評価（目標は概ね達成）であったが、平成 27 年度の評価結果では、大学を代表するプロジェクトとして公開に努めるよう意見があったため、本学が主催する九産大プロデュース展に開発品を一同展示し好評を得ることができた。最終年度（平成 28 年度）の評価結果では、起立、立位、歩行訓練装置について、外観に至るまで製品化のイメージが具体化しており、成果を積極的に PR しているとの総評を頂いた。

＜研究期間終了後の展望＞

この3年間のヒューマン・ロボティクス研究センターを中核とする介護支援に関する活動を通じ、開発したロボット群の普及・啓蒙に取り組んだところ、国内外の医療機関及び医療機器販売メーカーからの関心を頂いたが、社会実装を具現化するためには、装置開発のみならず、医療従事者や装置を使用するユーザにとって実使用時における訓練情報の共有や使い勝手、或いは利用者のモチベーションを維持するための仕組みについて、ソフト面でのインフラを整備する必要性を認識するに至った。そこで、当センターでは、この構想を「地域包括ケアシステム」の中で位置付け、本事業で開発したロボットにシステムを実装し、まずは地域の医療機関から実証試験することを計画し、将来的な介護支援ロボットの普及のための基盤となることを期待している。



法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

＜研究成果の副次的効果＞
・研究成果の概要に記載した研究成果から、次の特許出願を行った。
　・歩行訓練装置、歩行訓練評価方法、及びプログラム
　（発明者：榊　泰輔他4名、特願 2016-255668）

・研究成果の概要に記載した研究成果のうち、立位保持訓練ロボットについて、共同研究及び製品化の引き合いがあった。
　・アメリカ1件、スペイン1件の医療従事者（エンドユーザ）から購入の打診
　・韓国ソガン大学校からの共同研究の打診
　・中国ベンチャーキャピタル1件から製品化の打診

12　キーワード（当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。）

（1）介護支援ロボット　（2）リハビリ　（3）脊髄損傷
（4）歩行訓練　（5）介護・福祉機器　（6）病院経営
（7）療法士　（8）プロダクトデザイン

13　研究発表の状況（研究論文等公表状況。印刷中も含む。）
上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには＊を付すこと。

＜雑誌論文＞

・Kazuhiro Tsuruta,Sunao Sawada:Development of Servo Controller using ARM32(ICARCV2016),PhuKet,Nov,2016

・李 湧権:電動モータと油圧システムの競演から協演へ, 電気学会誌 136(6), 368-371, 2016

＊榊 泰輔: リハビリロボットの開発と製品化への課題, 研究開発リーダー Vol.12, No.10 2016

＜図書＞

該当なし

＜学会発表＞

平成26年度

＊1Taisuke Sakaki, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta, Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, Atsushi Sugyo, Yoshimitsu Kihara and Kenji Tateishi:Rehabilitation robot in primary walking pattern training for SCI patient(ICNR2014),Aalborg,June,2014

・神坂 良生,榊 泰輔,青木 幹太,下川 俊彦,櫻木 美穂子:SMA 患者のための電動ストレッチャーの開発（第11報）, 日本機械学会九州学生会

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

・Tetsuya OJIRO,Kazuhiro TSURUTA and Hideki HONDA:Synchronization Error Suppression Control for Twin-drive Table System（MOVIC2014）Sapporo,August, 2014

・Yong-Kwun Lee:Design of Exoskeleton Robotic Hand/Arm System for Upper Limbs Rehabilitation Considering Mobility and Portability（URAI2014）, Kuala Lumpur,Nov,2014

＊2川邉 峰人,榊 泰輔,下川 俊彦,青木 幹太,藤家 馨,須堯 敦,片本 隆二,木原 由光, 立石憲治:下肢患者・障害者のための在宅用歩行訓練ロボットの研究,日本機械学会九州学生会

平成27年度

＊3Taisuke Sakaki,Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami,Yong-Kwun Lee,Kazuhiro Tsuruta, Toshihiko Shimokawa,Kanta Aoki,Kaoru Fujiie,Ryuji Katamoto,Atsushi Sugyo: Rehabilitation robot in primary walking pattern training for SCI patient for home-use based on the experiments of the hospital-use type（NeuroTalk2015）,Hangzhou,May,2015

*4Taisuke Sakaki, Toshihiko Shimokawa, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta amd Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto and Atsushi Sugyo: Medical Engineering Division and Rehabilitation Division ：Rehabilitation robot in primary walking pattern training for SCI patient(ICM2015),Nagoya,March,2015

*5田川 潤,榊 泰輔,青木 幹太,藤家 馨,片本 隆二,須堯 敦史,木原 由光,下川 俊彦,徳島 徹弥:せき損患者用立位保持訓練ロボット（第 7 報：臨床用プロトタイプ）,日本機械学会九州地区学生会

*6徳島 徹弥,榊 泰輔,能田 由紀子,一ノ瀬 裕: せき損患者用立位保持訓練ロボット（第 8 報：NIRS による脳賦活の調査),日本機械学会九州地区学生会

*7松崎 俊樹,光安 健悟,榊 泰輔,青木 幹太,孫 虓,片本 隆二,藤家 馨,木原 由光: せき損患者用歩行訓練支援ロボット（第7報：腰揺動介助機能の実装）,日本機械学会九州地区学生会

・作花 涼一朗,榊 秦輔,牛島 邦晴,青木 幹太,桜木 美穂子: **SMA患者の為の電動ストレッチャーの開発(第12報)**,日本機械学会九州地区学生会

*8牛見 宣博,林 克憲,藤家 馨,片本 隆二,小野 和己,山口 孝二：起立訓練ロボットの開発,リハ工学カンファレンス,沖縄,Nov,2015

・小代 哲也,本田 英己,鶴田 和寛：ツイン駆動リニアモータスライダの同期誤差抑制方法に関する研究,平成27年電気学会産業応用部門大会,大分大学,9月

・鶴田 和寛,澤田 直：ARM マイコンを利用したモータ制御装置の開発,産業応用工学会全国大会講演論文集,9月4日

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

・Kazuhiro Tsuruta,Tetsuya Ojiro and Hideki Honda:Synchronization Control for Twin-axes Table Drive System(IEEE-IECON2015),Yokohama,Nov,2015

*9田代 雄大,青木 幹太,李 湧権,南 幸気：ロボット技術の応用による高齢者の生活支援機器・システムの研究,日本デザイン学会第５支部研究発表会,九州大学,１０月２４日

・金丸 侑賢,神屋 郁子,下川 俊彦,梅崎 浩嗣,榊 泰輔：Wiiバランスボードを用いた立位荷重リハビリ機器の開発,情報処理学会全国大会

平成２８年度

*10Taisuke Sakaki, Toshihiko Shimokawa, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee,Kazuhiro Tsuruta, Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, Atsushi Sugyo : Rehabilitation Robot in Primary Walking Pattern Training Patient at Home for SCI (ICNR2016),Segovia,October

*11Kouji Murakami : Tactile sensing method for estimating the insertion state of a connector(IEEE SENSORS2016),ORLANDO,Oct30-Nov2,2016

*12Kouji Murakami,Tokuo Tsuji,Tsutomu Hasegawa,Ryo Kurazume:Object tracking system by integrating multi-sensored data(IEEE IECON2016)
,ORLANDO,Oct30-Nov2,2016

・牛見 宣博,林 克憲,久我 聡：起立訓練補助器具の開発, 日本リハビリテーション工学協会第31回リハ工学カンファレンス,高知,８月２６日

・三宅 裕之,神屋 郁子,下川 俊彦,榊 泰輔：電動ストレッチャー利用者の為のカメラシステムの開発,情報処理学会研究報告(火の国情報シンポジウム2017),鹿児島大学,３月１～２日

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

＜研究成果の公開状況＞（上記以外）

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等
＜既に実施しているもの＞
【①②③共通】
第１回ヒューマン・ロボティクスセミナー
テーマ：医療現場でのロボットの役割とは何か？
～療法士とロボット研究者によるジョイントレクチャー～
2014 年 10 月 29 日（水）九州産業大学

第２回ヒューマン・ロボティクスセミナー
テーマ：韓国国立リハビリセンターにおけるリハビリロボットの実用化研究
2015 年 2 月 23 日（月）九州産業大学

公開講座：「暮らしを創造する研究と開発」―人や社会のためにできること―
第６回「高齢者のリハビリを助けるロボット」（榊　泰輔）平成２６年７月５日（土）
九州産業大学

2016 韓国共同シンポジウム
NRC-TRPRR Symposium on Translational Rehabilitation Robots
平成 28 年 11 月 5 日　大韓民国ソガン大学

平成 26 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業
「せき損患者の機能回復支援を中核とする介護現場革新のための機器実用化」に関する成果報告会　平成 29 年 2 月 21 日　九州産業大学

ヒューマン・ロボティクス研究センターホームページ公開
http://www.kyusan-u.ac.jp/J/hrrc/index.html

【①訓練･介護支援ロボット】
平成２６年度
・立位保持訓練ロボット　展示
福岡県ロボット産業振興会議定期総会（リーガロイヤルホテル小倉）2014.8.6
第32回日本ロボット学会学術講演会（RSJ2014）（本学）2014.9.4-6
第41回国際福祉機器展H.C.R.2014（東京ビックサイト）2014.10.1-3

・ベッド上生活者用介助ロボット 展示
第41回国際福祉機器展H.C.R.2014（東京ビックサイト）2014.10.1-3
第62回日本職業・災害医学会学術大会(神戸国際会議場) 2014.11.16-17

平成２７年度
・起立訓練支援ロボット　展示
ロボット産業マッチングフェア北九州2015（西日本総合展示場）2015.6.17-19
第15回日本生活支援工学会大会福祉工学シンポジウム2015（本学）2015.9.7-9
2015国際ロボット展(東京ビックサイト) 2015.12.2-5

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

・ベッド上生活者用介助ロボット 展示
第42回国際福祉機器展H.C.R.2015（東京ビックサイト）2015.10.7-9

・軽量・小型EHVを応用したパワースーツの開発　展示
九産大プロデュース展 2015（天神イムズ）2016.2.18-3.6

・高齢者・障害者利用を想定した未来のパーソナルトランスポーテーション　展示
九産大プロデュース展 2015（天神イムズ）2016.2.18-3.6

平成２８年度
・立位保持訓練ロボット　展示
第 43 回国際福祉機器展 H.C.R.2016（東京ビックサイト）2016.10.12-14
九産大プロデュース展 2016（天神イムズ）2017.2.18-3.6

・バランスボードを用いた立位荷重リハビリ機器の開発　展示
JSTイノベーションジャパン大学見本市（東京ビックサイト）2016.8.25-26

・トイレシミュレータ 展示
研究シーズ発表会 In 九州産業大学（本学）2017.2.21

・全身麻痺患者用移動ロボット　展示
九産大プロデュース展 2016（天神イムズ）2017.2.18-3.6

・軽量・小型EHVを応用したパワースーツ 展示
九産大プロデュース展 2016（天神イムズ）2017.2.18-3.6
西日本国際福祉機器展（西日本総合展示場）2016.11.24-26

【②意匠設計】
平成２７年度
・テクノアートプロジェクト　展示
九産大プロデュース展 2015（天神イムズ）2016.2.18-3.6

平成２８年度
・「認知症対策プログラム」ロボメカワークショップ　展示
九産大プロデュース展 2015（天神イムズ）2016.2.18-3.6

【③事業モデル】
平成２８年度
・ビジネスモデルの構築　ポスターセッション参加
研究シーズ発表会 In 九州産業大学（本学）2017.2.21

＜これから実施する予定のもの＞
引き続き、展示会、学会発表で研究成果の公表を継続して行うほか、本事業の研究をもとに展開を予定している新事業での成果についても公表していく。

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

14 その他の研究成果等

【③事業モデル】

平成２６年度

*13<u>聞間 理</u>:病院見学からのインプリケーション
（平成２６年度ヒューマン・ロボティクス研究センター成果報告書）

平成２７年度

*14<u>聞間 理</u>:ﾘﾊﾋﾞﾘﾃｰｼｮﾝに対するロボット工学技術を使った事業を考えるための基本的枠組み（平成２７年度ヒューマン・ロボティクス研究センター成果報告書）

平成２８年度

*15<u>聞間 理</u>:HRRCにおける研究開発から事業展開への戦略と課題
（平成２８年度ヒューマン・ロボティクス研究センター成果報告書）

15 「選定時」及び「中間評価時」に付された留意事項及び対応

＜「選定時」に付された留意事項＞

該当なし

＜「選定時」に付された留意事項への対応＞

該当なし

＜「中間評価時」に付された留意事項＞

該当なし

＜「中間評価時」に付された留意事項への対応＞

該当なし

（様式2）

法人番号	401007
プロジェクト番号	S1412005

16

（千円）

年度・区分		支出額	内訳						
			法人負担	私学助成	共同研究機関負担	受託研究等	寄付金	その他（　　）	備考
平成26年度	施設	0							
	装置	18,460	9,260	9,200					
	設備	17,970	8,443	9,527					
	研究費	14,780	8,780	6,000					
平成27年度	施設	0							
	装置	0							
	設備	0							
	研究費	11,890	6,890	5,000					
平成28年度	施設	0							
	装置	0							
	設備	0							
	研究費	11,529	6,529	5,000					
平成　年度	施設	0							
	装置	0							
	設備	0							
	研究費	0							
平成　年度	施設	0							
	装置	0							
	設備	0							
	研究費	0							
総額	施設	0	0	0	0	0	0	0	
	装置	18,460	9,260	9,200	0	0	0	0	
	設備	17,970	8,443	9,527	0	0	0	0	
	研究費	38,199	22,199	16,000	0	0	0	0	
総　計		74,629	39,902	34,727	0	0	0	0	

（様式2）

法人番号	401007

17

《施　設》（私学助成を受けていないものも含め、使用している施設をすべて記載してください。）　（千円）

施設の名称	整備年度	研究施設面積	研究室等数	使用者数	事業経費	補助金額	補助主体
ﾋｭｰﾏﾝ･ﾛﾎﾞﾃｨｸｽ研究センター	（既存）	149㎡	1	50	0	0	なし

※　私学助成による補助事業として行った新増築により、整備前と比較して増加した面積

0　㎡

《装置・設備》（私学助成を受けていないものは、主なもののみを記載してください。）　（千円）

装置・設備の名称	整備年度	型　番	台　数	稼働時間数	事業経費	補助金額	補助主体
（研究装置）							
脳機能計測装置用脳波計測装置	H26	LABNIRS他	1	480 h	18,460	9,200	私学助成
				h			
				h			
				h			
				h			
（研究設備）							
動作形状計測装置用筋活動シミュレーション装置	H26	VENUSリアルタイム他	1	300 h	8,270	3,604	私学助成
歩行解析装置	H26	フォースプレート他	1	300 h	9,700	5,923	私学助成
				h			
				h			
				h			
（情報処理関係設備）							
				h			
				h			
				h			
				h			
				h			

18 研究費の支出状況　（千円）

年　度	平成　26　年度			
小科目	支出額	積算内訳		
		主な使途	金　額	主な内容
教育研究経費支出				
消耗品費	6,889	消耗品代	6,889	ヒューマン・ロボティクス研究センター運営に係る消耗品
光熱水費	0		0	
通信運搬費	59	郵送料	59	情報通信料、機器備品運搬費、セミナー等案内発送
印刷製本費	189	印刷代	189	センター案内パンフレット印刷、成果報告書印刷
旅費交通費	2,114	旅費	2,114	現地視察、セミナー講演者旅費
報酬・委託料	261	謝金	261	セミナー講師謝金、保守料
（　賃借料　）	0	賃借料	0	現地視察レンタカー代
（　諸手数料　）	31	手数料	31	論文審査料、振込手数料
（　資料費　）	812	研究用資料購入費	812	研究用資料購入費
（諸会費・雑費）	559	参加費	559	研究会参加費、オンラインストレージ
計	10,914		10,914	
アルバイト関係支出				
人件費支出（兼務職員）				
教育研究経費支出				
計	0			
設備関係支出（1個又は1組の価格が500万円未満のもの）				
教育研究用機器備品	3,866	研究用機器備品	3,866	全周囲撮影用カメラ、大型ディスプレイ
図　書				
計	3,866		3,866	
研究スタッフ関係支出				
リサーチ・アシスタント				
ポスト・ドクター				
研究支援推進経費				
計	0			

（様式2）

法人番号	401007
プロジェクト番号	

18 研究費の支出状況 （千円）

年　度	平成　27　年度			
小科目	支出額	積算内訳		
		主な使途	金額	主な内容
教育研究経費支出				
消耗品費	7,512	消耗品代	7,512	ヒューマン・ロボティクス研究センター運営に係る消耗品
光熱水費	0		0	
通信運搬費	78	郵送料	78	情報通信料、成果報告書送付料
印刷製本費	189	印刷代	189	成果報告書印刷
旅費交通費	2,156	旅費	2,156	現地視察、セミナー講演者旅費
報酬・委託料	357	謝金	357	セミナー講師謝金、保守料
（　賃借料　）	50	賃借料	50	展示会出展料
（　諸手数料　）	35	手数料	35	振込手数料
（　資料費　）	942	研究用資料購入費	942	研究用資料購入費
（諸会費・雑費）	571	参加費	571	研究会参加費、オンラインストレージ
計	11,890		11,890	
アルバイト関係支出				
人件費支出（兼務職員）				
教育研究経費支出				
計	0			
設備関係支出（1個又は1組の価格が500万円未満のもの）				
教育研究用機器備品				
図　書				
計	0			
研究スタッフ関係支出				
リサーチ・アシスタント				
ポスト・ドクター				
研究支援推進経費				
計	0			

18 研究費の支出状況 （千円）

年　度	平成　28　年度			
小科目	支出額	積算内訳		
		主な使途	金額	主な内容
教育研究経費支出				
消耗品費	2,955	消耗品代	2,955	ヒューマン・ロボティクス研究センター運営に係る消耗品
光熱水費	0		0	
通信運搬費	77	郵送料	77	情報通信料、成果報告書送付料
印刷製本費	194	印刷代	194	成果報告書印刷
旅費交通費	2,301	旅費	2,301	現地視察、国際シンポジウム旅費
報酬・委託料	398	謝金	398	セミナー講師謝金、保守料
（　賃借料　）	11	賃借料	11	現地視察レンタカー代
（　諸手数料　）	4,848	手数料	4,848	共同研究費、論文超過料、振込手数料
（　資料費　）	456	研究用資料購入費	456	研究用資料購入費
（諸会費・雑費）	289	参加費	289	研究会参加費、オンラインストレージ
計	11,529		11,529	
アルバイト関係支出				
人件費支出（兼務職員）				
教育研究経費支出				
計	0			
設備関係支出（1個又は1組の価格が500万円未満のもの）				
教育研究用機器備品				
図　書				
計	0			
研究スタッフ関係支出				
リサーチ・アシスタント				
ポスト・ドクター				
研究支援推進経費				
計	0			

平成 26 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
起立訓練支援ロボット

立ち上がり動作におけるアシスト機器 *

Assist Machinery for a Chair motion Training

11TB024 福田 勝也（九産大）　【指導教員】牛見 宣博（九産大）

Katsuya Fukuda, Nobuhiro Ushimi (Kyushu Sangyo University)

1. は　じ　め　に

近年，高齢化社会による様々な問題が浮き彫りとなってきている．例えば，医療・看護師の不足，社会保障費・介護負担の増大，あるいは生産年齢人口の減少である．特に，生産年齢人口の減少については将来を見据えた対策が急がれる．総務省統計局（平成 25 年 9 月 15 日現在推計）によると，高齢者（65 歳以上の高齢者）人口は 3,186 万人と過去最多で，総人口に占める割合は 25.0%で過去最高となり，4 人に 1 人が高齢者という状況である [(1)]．このような世帯の多くが団塊世代であることから，今後も新たな増加が懸念されている．

高齢者世帯が増加した要因としては，少子高齢化の他に過疎化や核家族化の進行も上げられる．核家族とは，夫婦と未婚の子供で成り立つ家族のことである．夫婦の仕事の関係と環境の変化などが，核家族化を引き起こしていると考えられる．また，必然的に高齢者世帯が増えたことで，高齢者の 1 人暮らしの増加にもつながり，介護の手助けが必要な世帯が増える結果になっている．介護者の高齢化や人員不足も止められず，65 歳以上の介護者は 44.7%と約半数近くもある．高齢者が高齢者を介護する老老介護が増加傾向にあると言える．厚生労働省がまとめた平成 25 年の国民生活基礎調査の調査結果によれば，介護が必要な 65 歳以上の高齢者がいる世帯のうち，介護する人も 65 歳以上である老老介護の世帯の割合が 51.2%に達し，初めて 5 割を超えた結果がある [(2)]．また，内閣府の平成 26 年度版高齢社会白書（概要版）によれば，1 人暮らしの高齢者も男女ともに増加傾向である [(3)]．

本研究では，1 人暮らしの高齢者などを対象に，簡便に立ち上がり動作のリハビリテーション訓練を支援するため，軽労化技術と川平法の理論に基づいた立ち上がり動作におけるアシスト機器を提案する．特に，アシスト機器の機構部には筋肉の動きを模倣した平行リンクとゴムバンドを利用し，椅子からの立ち上がり動作をアシストする．開発するアシスト機器の有効性は実験により検証する．

2. 立ち上がり動作のアシスト

起立動作のリハビリテーションを支援する機器の研究が様々な形で実用化され始めている．例えば，歩行補助では，ロボットスーツ HAL などがある．また，支援ロボットの開発においては，補助・介護する人間がいなくてもリハビリテーションを可能にする自動化技術，増力化技術が主流であったが，近年は，自然に身体への負担や疲労の軽減を目指した軽労化技術も注目され始めている．増力化技術と軽労化技術は，パワーアシスト技術と同様ではあるが，得られる結果が大きく異なる．増力化技術は，できないことができるようになる技術であり，失われた身体機能を再現するものである．一方，軽労化技術は，できることを楽にできるようにする技術であり，衰えたり不足している身体機能を補うことで，部分代替する場合に効果を発揮する [(4)]．

人間の立ち上がり動作の主働筋は，膝関節の 1 関節伸展筋と大腿部前面の 2 関節筋である大腿直筋の 2 筋である．この大腿直筋の 2 関節筋は平行リンク機構に似た機能を持ち，膝関節の 1 関節伸展筋のみで立ち上がりが可能であることが示されている [(5)]．立ち上がり動作におけるリハビリテーション分野では，片麻痺回復のための新たな運動療法として川平法（促通反復療法）が注目されている [(6)]．この理論では合理的な立ち上がり動作についての介助法を以下のように示している．

1) 膝と腰の支持
2) おじぎによる重心の前方への移動
3) おじぎによる殿部挙上
4) 体幹・下肢の伸展

* 提出日 2015 年 1 月 22 日，改訂版 2 月 5 日

Table 1　A type of rubber bands

	t[mm]	b[mm]	A[mm^2]
①	2.9	29	84.1
②	2.5	18.3	44.8
③	2.7	14.5	39.2
④	2.2	9.3	20.5
⑤	4.8	18.6	88.4
⑥	4.2	30	124.5

この動作のポイントは，おじぎをするように体幹・頸部を屈曲する際に動作を止めず，上半身を前屈する慣性で殿部を上げることである．股関節・膝関節・足関節の屈曲は筋力だけではなく，重力や慣性および相互作用の力や椅子と床に対する力（床反力）が発生するため，協調性のとれた筋活動が必要である [(7)]．

また，この理論はスクワットにおける上下運動でも応用されている．人間が屈む場合，大腿後部面の筋肉であるハムストリングスが収縮し股関節伸展が起きたとき，大腿を下に回して膝関節を屈曲しようとする．このとき，大腿直筋は骨盤の上前部と膝蓋骨を繋いでいるので，上からも下からも伸ばされるため，縮もうとして膝関節を伸展させる．ここで膝関節を跨ぐもう1つの筋，腓腹筋も膝関節を屈曲する筋なので伸ばされる．本研究では，このような筋の伸び・縮みを考慮することで，アシスト機構を提案する．

3. アシスト用ゴムバンドの選定

本研究で提案する立ち上がりのアシスト機器においては，アシスト力をゴムバンドで発生・調整する．提案するアシスト機器で用いるゴムバンドとしては，材質と形状の異なる6種類を用意し，その中からヤング率の高いもの，アシスト効果があるものを実験によって選別する．利用するゴムバンドの長さを L[mm]，厚さを t[mm]，幅を b[mm]，断面積を $A(=t \times b)$ と定義し，ゴムバンドの違いを表1に示す．なお，実験で利用するゴムバンドの長さは690[mm]である．実験では，それぞれのゴムバンドの垂直応力，垂直ひずみ，伸び $(=\Delta L)$，及び，ヤング率を求める．図1に示すように，ゴムバンドの上端を固定した状態で下端に外力 P=10.1[N](質量：1.025[kg]) の重りを吊下げた． ゴムバンドの断面積を A[mm^2]，外力を P[N] とすると，垂直応力は $\sigma=P/A$[MPa] である．また，元の長さ L からの伸びを計測し，垂直ひずみ $\varepsilon=\Delta L/L$[–] を求める．フックの法則より，ヤング率 $E(=\sigma/\varepsilon)$ を求めた．結果は以下の通りである．

①：σ=0.12[N]，ε=0.043，ΔL=30[mm]，E=0.28[Pa]
②：σ=0.22[N]，ε=0.11，ΔL=75[mm]，E=0.21[Pa]

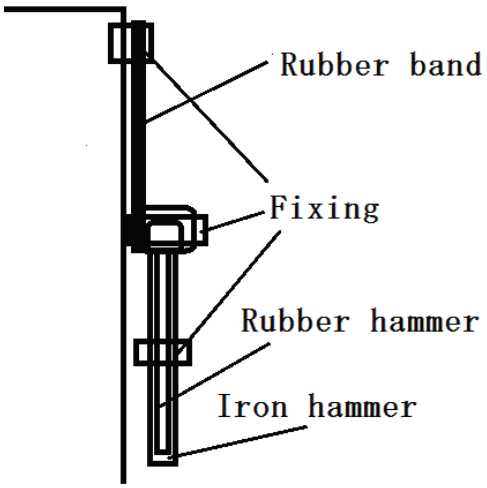


Fig. 1　Measurement of Young's modulus

男性A:①＞⑥＞⑤＞②＞③＞④
男性B:⑥＞①＞⑤＞②＞③＞④
男性C:⑥＞⑤＞④＞②＞③＞①
男性D:⑥＞①＞④＝③＝②＝⑤
男性E:①＞⑥＞④＝③＝②＝⑤

Fig. 2　The experimental result of the effectiveness by using of the rubber band

③：σ=0.26[N]，ε=0.23，ΔL=160[mm]，E=0.12[Pa]
④：σ=0.49[N]，ε=0.27，ΔL=190[mm]，E=0.18[Pa]
⑤：σ=0.11[N]，ε=0.10，ΔL=70[mm]，E=0.12[Pa]
⑥：σ=0.08[N]，ε=0.03，ΔL=20[mm]，E =0.28[Pa]

次に，5人の成人男性 (A～E) に，それぞれの大腿部と頸部に，ゴムバンドがアシスト力を発生するようにベルトを利用して固定し，椅子からの立ち上がり運動を行った．ゴムバンドにアシスト力を発生させることで，どのゴムバンドが最もアシスト力を感じるかを調査した．調査結果を図2に示す．調査の結果，5人の成人男性のうち3人が ⑥ のゴムバンドから最もアシスト力が感じられたと回答した．また，基礎実験で求めた数値からもヤング率の高いゴムバンドであることが解る．本研究では，⑥ のゴムバンドを提案するアシスト機器の弾性材として選定する．

4. 立ち上がり動作アシスト機器の開発

本研究で開発したアシスト機器は，図3に示されるように下肢の2関節筋を模した平行リンク機構で構成される．アシスト機器を身体に装着するための構造としては，図4に示されるように，腰に装着する安全帯，大腿部に装着する平行リンク機構部，平行リンク機構

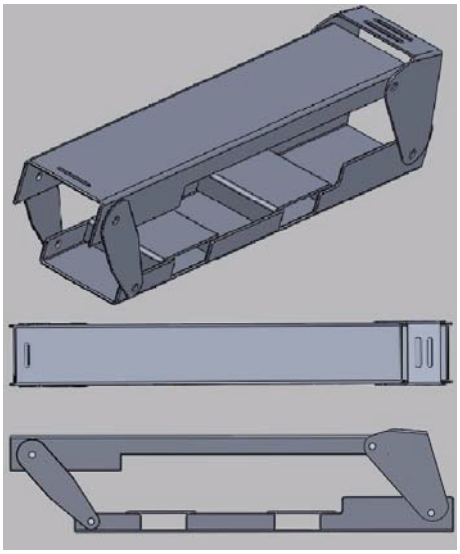


Fig. 3　Overall view of the mechanism by using parallel linkage

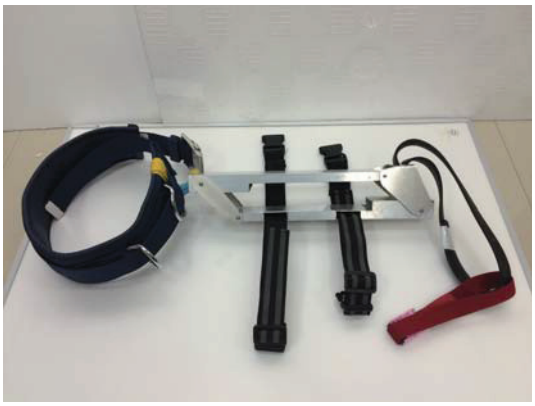


Fig. 4　The developed assist machinery for the chair motion training

を補助するためのゴムバンドの 3 つで構成される．平行リンク機構部には，安全帯とゴムバンドを接続するための部品が，腰側と膝側に付いている．また，平行リンク機構をベルトで大腿部に装着するための穴が 2 つ空いている．

5.　立ち上がり動作アシストによる実験

開発したアシスト機器が人間の下肢の筋肉の動きを模倣し，膝の上方向と下方向への同時にアシストが行われているか有効性を検証する．

5·1　実験　　図 5 に示されるように，3 名の成人男性 (F～H) に腰・大腿部にベルトを装着し，アシスト力を発生させるゴムバンドを膝伸展時に弛まないように調整することでアシスト機器を装着する．図 6 に示すように，川平法の理論に基づいた立ち上がり動作で実験を行った．



Fig. 5　A attachment method of the developed assist machinery

5·2　結果　　成人男性 3 人の実験結果として，次の回答が得られた．成人男性 F は，膝が押さえられる力はあったが，立ち上がり動作においてのアシスト効果はあまりなかった．成人男性 G は，深い前傾姿勢を取らなければ平行リンクがうまく膝を押さえられず腰が支持されていなかった．成人男性 H は，ゴムバンドによって引っ張られた平行リンクに膝を下方向に押さ

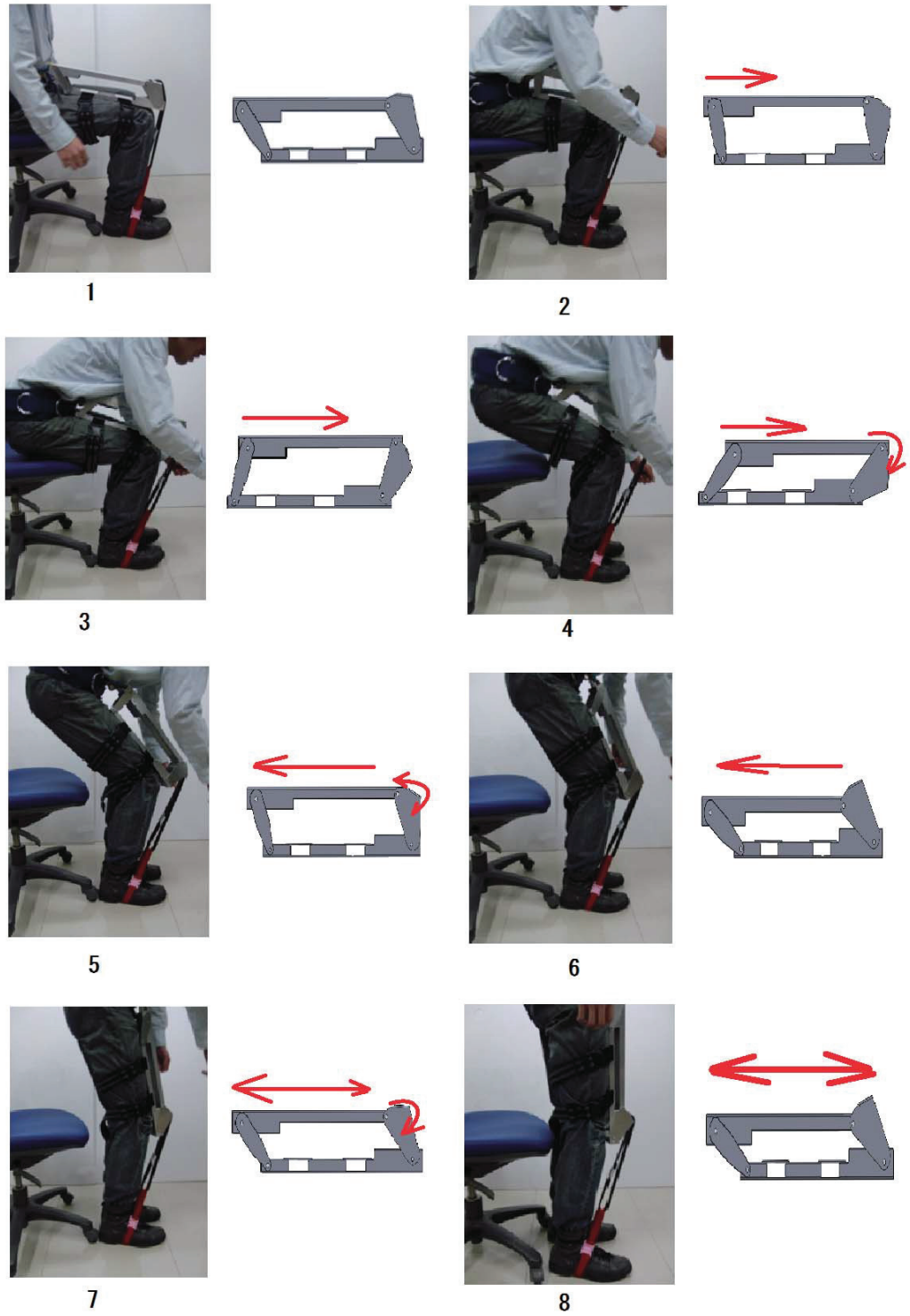


Fig. 6　An action of the developed assist machinery at the chair motion training

れ，それによる多少のアシスト効果はあった．

5·3　考察　　平行リンク機構の長さ調節機能を搭載しなかったため，実験を行う際，機器に合った体格の被験者しか実験を行うことができなかった．立ち上がり動作の際，下肢に対してアシスト機器が大きいため，被験者が動作しづらい感じであった．今後は下肢の長さに関わらず機器を装着できるように小型化を行い，大腿部のサイズに直ぐに長さ調節ができるように機構を改良する必要があることが分かった．

6. おわりに

2 関節筋を模した平行リンク機構を提案し，立ち上がりを補助するアシスト機器を開発した．そのアシスト機器を実際に被験者に装着してもらうことで，立ち上がりに対するアシスト効果を検証した．結果としては，立ち上がり動作において，平行リンクの機構によって膝が支持されるときに膝を下方向に押し付け，同時に腰も支持され前方向に引っ張られるため膝と腰の負担が軽減される効果が得られたが，体格によってアシスト効果が得られなかった．しかし，膝関節を中心に下方向に押し上げることで，腰を支点とし，上肢を作用点とすればてこの原理が働き，小さい力でも膝関節モーメントによって立ちやがりやすい結果が得られた．

今後の研究としては，どのような体格差でも装着できるようにアシスト機器を改良する必要がある．また，脚気（かっけ）の疾患であるかを判断する検査方法のように，膝蓋腱反射という生理的な反射を応用することで，膝蓋腱部を打つと大腿 4 頭筋が収縮して膝関節が伸展する動作を取り入れ，立ち上がり動作と同時に膝蓋腱部を軽く押し上げる機構も検討する．

文　献

(1) 総務省統計局, http://www.stat.go.jp/

(2) 国民基生活礎調査の調査結果, http://www.mhlw.go.jp/

(3) 平成 26 年度版高齢社会白書, http://www.cao.go.jp/

(4) 株式会社スマートサポート, http://smartsupport.co.jp/

(5) 小出卓哉, 万野真伸, 阿部友和, 藤川智彦, 立ち上がり動作における大腿部の二関節筋の活動, LIFE2014, GS4-5, 2014.

(6) 川平和美, 片麻痺回復のための運動療法 –促通反復療法「川平法」の理論と実際–(第 2 版), 医学書院.

(7) 仲川亘, 万野真伸, 小出卓哉, 阿部友和, 藤川智彦, 踵着床における大腿部の拮抗二関節筋ペアの機構的効果, LIFE2014, GS5-2, 2014.

平成 26 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
立位保持訓練ロボット

下肢患者・障害者のための在宅用歩行訓練ロボットの研究
訓練者および医師・療法士への情報提示機能の拡張

Training robot at home for walking disabilities.
Extension of the feedback functions of the state of training to the patients,
and the doctors and therapists.

○学　川邉　峰人（九産大）　正　榊　泰輔（九産大）　下川　俊彦（九産大）
青木　幹太（九産大）　藤家 馨（総合せき損センター）
須堯 敦（総合せき損センター）　片本隆二（総合せき損センター）
木原 由光（ロボフューチャー株式会社）　有薗 央（株式会社有薗製作所）
立石　憲治（アイクォーク株式会社）
Mineto KAWANABE, Kyushu Sangyo University, 3-1 Matsukadai 2-chome, Higashi-ku, Fukuoka.
Taisuke SAKAKI, Kyushu Sangyo University. Toshihiko SHIMOKAWA, Kyushu Sangyo University.
Kanta AOKI, Kyushu Sangyo University.
Kaoru FUJIIE Spinal, Injuries Center. Atsushi SUGYO, Spinal Injuries Center.
Ryuji KATAMOTO, Spinal Injuries Center. Yoshimitsu KIHARA, Robo Future Co.
You Arizono, Arizono Orthopedic Supplies Co. Kenji Tateishi, Iquark Co.

Key words :　Robot　Rehabilitation　Medical welfare　Walking

1. 緒言
本報告では，在宅用歩行訓練ロボットについての特に情報提示機能について述べる．近年，脊髄損傷(Spinal Cord Injury)のひとつである非骨傷性頸髄損傷と呼ばれる障害が増加している[1]．その中でも，中心性頚髄損傷者における麻痺は下肢に比べて上肢で強く，一方下肢はリハビリテーションにより独歩が可能になる可能性がある．しかしながら場合によっては 3 年もの長期のリハビリ訓練が必要となり，退院後の通院リハビリや在宅リハビリが必要となる．通院では療法士の指導を受ける時間は限られ，在宅では専門的リハビリ訓練は制限される．こうしたことから，ロボットで療法士を代行し訓練をすることで，歩行機能の再教育をはかり独歩の可能性を高めることや療法士の負担軽減が期待できる．

これまでに，九州産業大学工学部ではリハビリロボットの開発をしてきた[2-6]．形状の見直しにより小型軽量化することで，在宅でのリハビリや通院でのリハビリの実用化を図った[7-8]．しかしながら，この在宅用歩行訓練ロボットには 2 つの問題がある．1 つ目は，訓練中の情報提示が LED による重心移動のみであること．2 つ目は，訓練時の情報を蓄積する機能がなく、医療スタッフが在宅でのリハビリ訓練の実態を把握できないという点である．

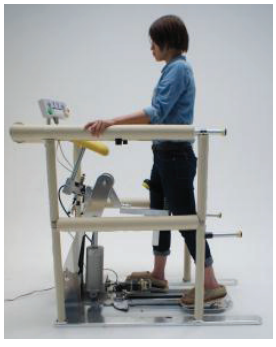


Fig.1 Training robot at home for walking disabilities

2. 研究の目的
本研究では，在宅で歩行機能の再教育を支援する在宅用歩行訓練ロボットの 2 つの機能を拡張する．そのために，Android タブレットと Web の仕組みを用いて解決することにした．Android を使う理由は，情報提示する際に広い画面を用いることができ，データを蓄積する際に必要な通信機能を備えているからである．1 つ目に，重心移動のみの情報提示機能に，タブレットを用いてロボットのステップ台の位置と訓練の残り時間の情報提示を加える．この機能により，感覚障害で足の位置が分からない訓練者の場合，足元を見ずに正しい姿勢で訓練ができる．また，訓練の残り時間については秒刻みで訓練の残り時間を知ることができる．2 つ目に，タブレットに送られてくる情報データを利用し，そのデータをインターネット上のサーバに蓄積する機能である．蓄積された訓練データは，パソコンやスマートフォンでいつでも確認できる．この機能により，医療スタッフが在宅でのリハビリ訓練の実態を把握することができる．

3. 装置の概要
3.1 在宅用歩行訓練装置　起立から自立歩行における在宅訓練をスムーズにつなぐ．特に左右への重心移動，遊脚の基礎的な歩行パターンの再学習を支援する．

3.2 センサー　爪先下と踵下に圧力センサーを計 3 つ配置し，遊脚や重心移動を検知する．

3.3 訓練コース　訓練コースを 4 種類設け，患者に機能回復レベルを意識させる．

1) 初心者コース　前進させるスライダの踵圧が閾値を下回ると重心移動を行ったと判定し，動作を介助する．

2) 初級コース　前進させるスライダの踵圧が閾値を下回ると重心移動を行ったと判定し，動作を介助する．

3) 中級コース　後退させるスライダの爪先圧と踵圧が閾値を超えている状態で，前進させるスライダの踵圧が閾値を下回ると重心移動を行ったと判定し，動作を介助する．

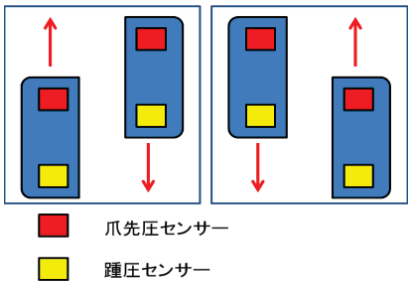


Fig.2 Operating cycle


Fig.3 Mechanism of the sliding step

3.4 操作パネル　訓練時に開始操作をする他，4 枚の圧力センサーを使った重心の変化をリアルタイムで表示する．一定の閾値を上回ると LED が点灯する．更に、センサーのデータを蓄積し，どの程度当該コースの条件をクリアしたかによって訓練終了時に判定結果を示す．（図 4）



Fig.4 Operation panel

4. 訓練中の情報提示機能の開発

4.1 機能概要　操作パネルで表示できていないロボットのステップ台の位置と訓練の残り時間の情報を提示する．

4.2 機能構成　在宅用歩行訓練装置の操作パネル内にある Arduino とタブレットを Bluetooth で接続し，訓練データを Arduino からタブレットに送る．（図 5）

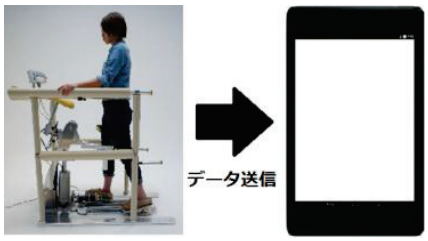


Fig.5 Screen configuration diagram

4.3 画面設計　情報提示画面と設定画面を設計した．各画面上部にはタブを設置する．このタブをタップすることで各画面に遷移できる．表示画面では，訓練中に装置のステップ台の位置の表示と訓練の残り時間を配置した．また，設定画面では識別のための患者 ID 入力欄と Bluetooth 接続をするボタンを配置した．

4.4 機能実装　設計画面を基に，表示画面と設定画面を実装した．（図 6）


Fig.6 Display screen image

5. 訓練データ蓄積機能の開発

5.1 機能概要　在宅用歩行訓練装置からタブレットに送られてきた訓練データをサーバに蓄積する．その訓練データを，医療スタッフがインターネット上でいつでも確認できる．また患者においても，医療スタッフに監視されていることを意識して訓練に励むことが出来る．

5.2 機能構成　タブレットからサーバに訓練データを送信する．また，サーバに蓄積された訓練データをパソコンやタブレットで確認できる．（図 7）

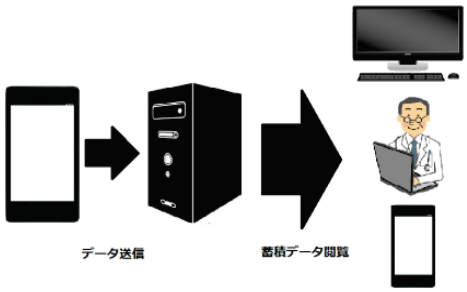


Fig.7 Screen configuration diagram

5.3 機能実装　本研究では，機能設計，画面設計，データベース設計を終えている．しかし，実装は出来ていない．そのため，今後，実装を行う予定である．

6. 評価

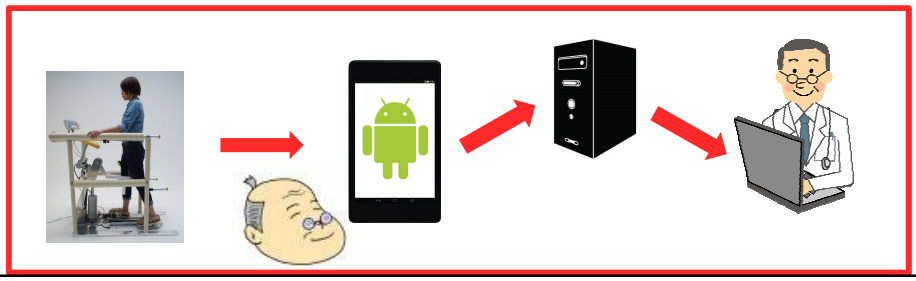
近々，大学近隣の病院の理学療法士に意見を求める予定である．

参考文献

[1]武田功：“脊髄損傷の理学療法”，1993
[2]片本隆二ほか：“立位移動運動装置の設計研究”，　2009 年　研究報告書　身体障害者のための生活環境系の設計研究　，pp.17-28，2009
[3]船﨑翔太ほか：”せき損患者用立位保持訓練ロボットの研究”，日本機械学会九州支部講演論文集　，pp. 137-138，2010
[4]中澤公孝：“歩行のニューロリハビリテーション”，2010
[5]延末浩織ほか：”せき損患者用立位保持訓練ロボットの研究”，日本機械学会九州支部講演論文集　，pp. 183-184，2012
[6]松熊荘太ほか：”せき損患者用立位保持訓練ロボットの研究”，日本機械学会九州学生会第 43 回卒業研究講演発表会論文集　，pp. 359-360，2012
[7]吉丸裕也ほか：”せき損患者用立位保持訓練ロボットの研究”，日本機械学会九州学生会第 44 回卒業研究講演発表会論文集　，pp. 41-42，2013
[8] 田川潤ほか：”下肢患者・障害者のための在宅用歩行訓練ロボットの研究”，日本機械学会九州学生会第 45 回卒業研究講演発表会論文集，2014

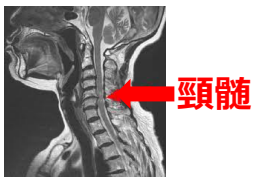
タブレットを利用した在宅用歩行訓練ロボットの機能拡張

九州産業大学　情報科学部　情報科学科
下川研究室
11JK042　川邉峰人



背景

- 在宅向けの介護や訓練ロボットへの期待
  - 要介護者の自立
  - 介護者不足の緩和
  - 新産業の育成
- 非骨傷性頸髄損傷者の増加
  - 高齢者に多く発生
  - 上肢の力は微弱だが、下肢はある程度の力
  - リハビリを行うことにより、自立歩行が可能



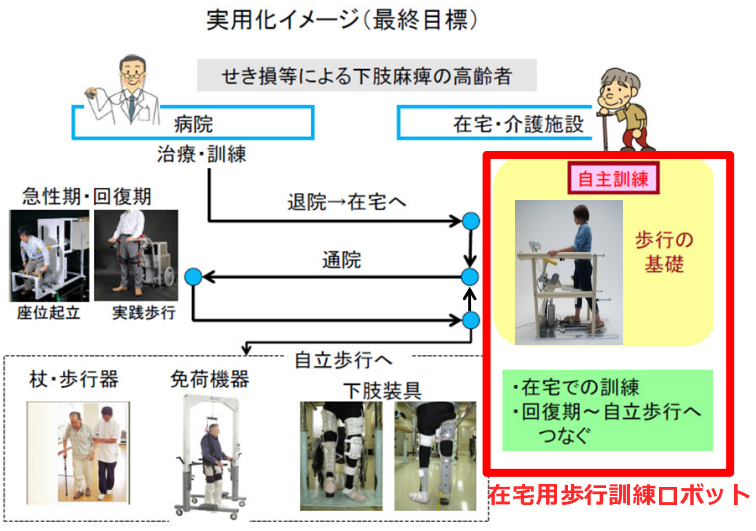
2

共同研究プロジェクト

- 九州産業大学 情報科学部
- 九州産業大学 工学部
- 九州産業大学　芸術学部
- 総合せき損センター　医療工学研究部
- ロボフーチャー株式会社
- アイクォーク株式会社

3

本研究で扱うロボット

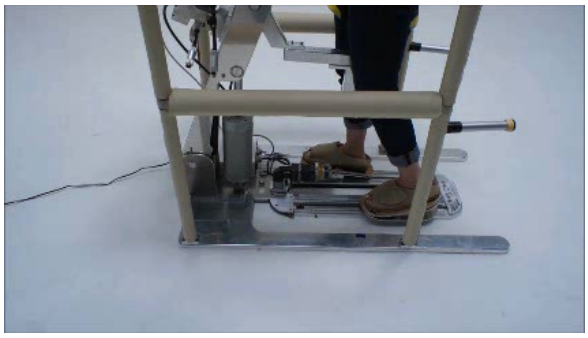


4

在宅用歩行訓練ロボット

- 在宅リハビリ訓練を想定した歩行訓練ロボット
  - 自立歩行へつなぐ訓練を行う





5

訓練パターン

- 訓練コース
  - 初心者、初級、中級、上級
- 訓練時間
  - ５分、10分、15分、20分



[操作パネル]



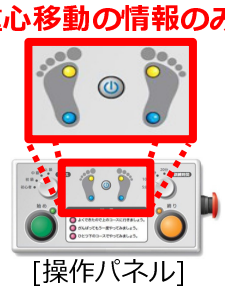
6

動作の流れ

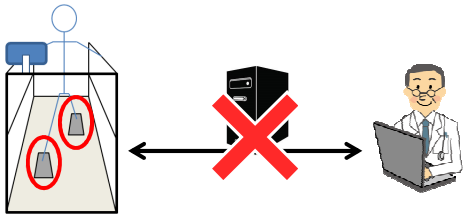


7

既存の機能の問題点



- 感覚障害で足の位置が分からない
  - 足元を見ながらの訓練になってしまう
  - 正しい姿勢で訓練ができない
- 医療スタッフが、在宅でのリハビリ訓練の実態を把握できない



訓練データを見ることができない

8

本研究の目的

① 訓練中に足の位置を分からせる

② 医療スタッフが在宅患者の訓練データを確認できる



9

解決策とシステム構成

① 訓練中に足の位置を分からせる

- タブレットを使用
  - 大きい画面が使用可能
  - 足の位置を画面に表示

② 医療スタッフが訓練データを確認

- タブレットから、訓練データ蓄積サーバに訓練データを送る
- 医療スタッフが、サーバ内のデータを確認

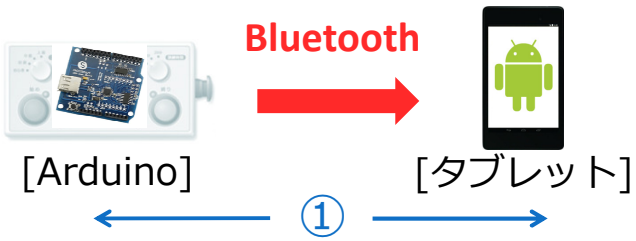


10

①

Arduino-タブレット間の通信手段

- Bluetoothを使用
- メリット
  - 無線なので、タブレットの配置場所の自由度が高い
  - タブレットに内蔵

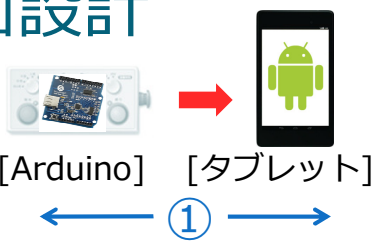


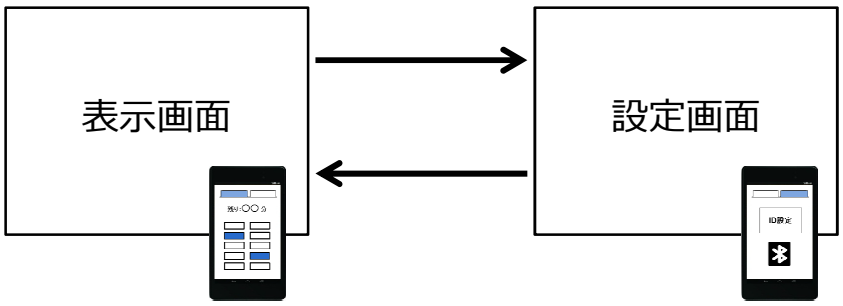
11

①

タブレットの画面設計

- 2種類の画面を設計
  - 表示画面
  - 設定画面



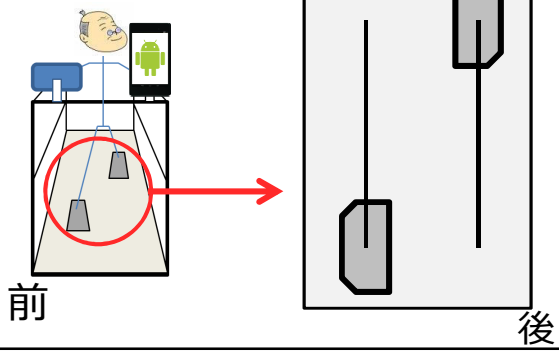


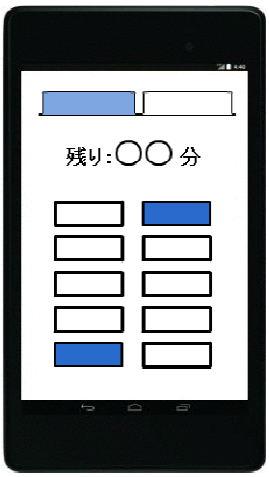
12

①

表示画面

- 訓練中に表示
- 足元を見ずに訓練が可能



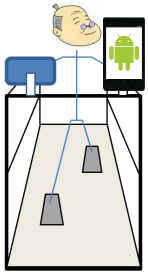


13

①

実装環境

- タブレット
  - Nexus7(2012)
  - OS：Android 4.4.4
  - 画面サイズ：7インチ
- 開発言語
  - Java



メリット

⬇

比較的安価である
タッチ操作可能
Bluetooth 内蔵
インターネット接続可能

14

②

訓練データ蓄積機能

- Webの仕組みを使い、タブレットと訓練データ蓄積サーバの通信をし、訓練データを送る



[タブレット]　　[訓練データ蓄積サーバ]

- Webページで、訓練データを見ることが可能



[訓練データ蓄積サーバ]

15

訓練パターン

- 訓練コース
  - 初心者、初級、中級、上級
- 訓練時間
  - 5分、10分、15分、20分
- 訓練評価
  - 3段階評価
  - 上のコース、そのままのコース、下のコース



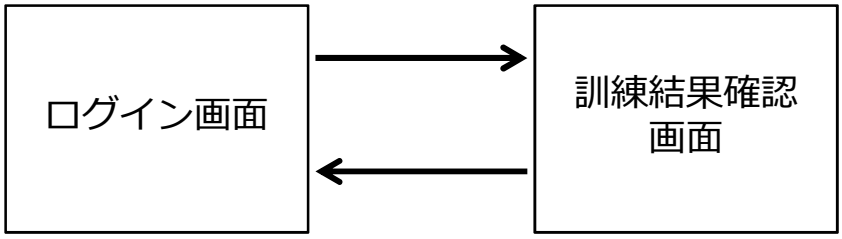
16

訓練データ蓄積機能の設計

②

- 2種類の画面を設計
  - ログイン画面
  - 訓練結果確認画面



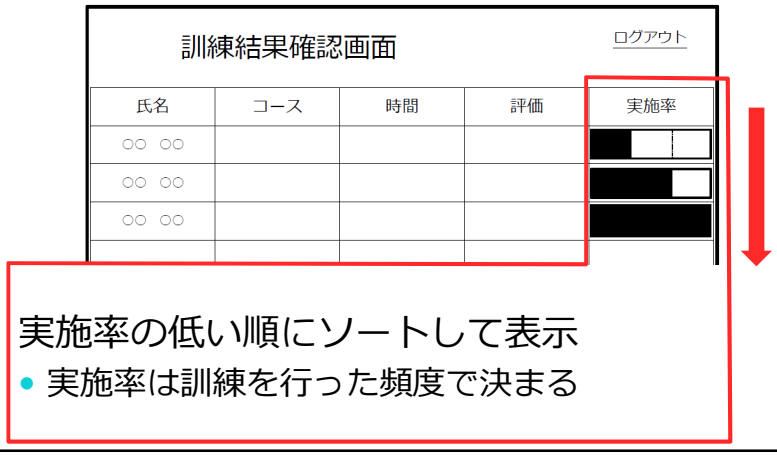


17

訓練結果確認画面

②

- 在宅患者のリハビリ訓練の実態を把握



実施率の低い順にソートして表示

- 実施率は訓練を行った頻度で決まる

18

実装環境

②

- 実行環境
  - Ubuntu 14.04
- Webサーバ
  - Apache
- データベース
  - MySQL 5.5.32
- 開発言語
  - PHP 5.3.10

LAMP

⬇

L:Linux
A:Apache
M:MySQL
P:PHP

19

進捗状況

- 在宅用歩行訓練ロボットの性能、操作確認
- Arduino-タブレット間の通信方法の選択
- Webサーバの構築
- PHP-MySQL間の連携
- タブレット-サーバ間の連携

20

今後の課題

- Androidアプリの機能を実装
- 訓練データ蓄積機能の実装
- 検証／評価

21

まとめ

- 目的
  - 訓練中の足の位置を見せる
  - 医療スタッフが在宅患者の訓練データを確認できる
- 解決策
  - タブレットを使用
  - Arduino-タブレット間の通信はBluetoothを使用
  - 訓練データ蓄積サーバを使用
- 今後の課題
  - 機能の完成
  - 検証／評価

22

23

非骨傷性頸髄損傷について

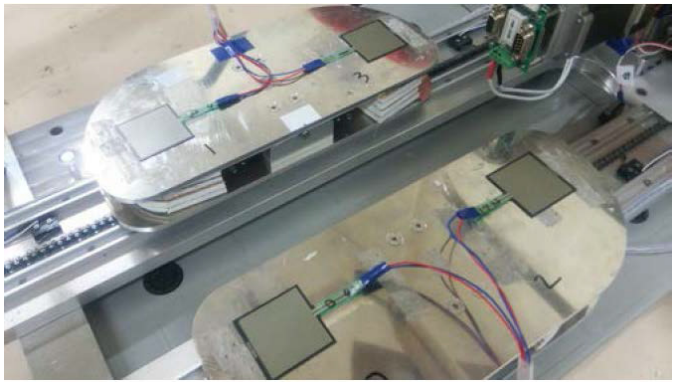
- 近年、非骨傷性頸髄損傷者が増加
  - 頸髄損傷の一種
  - 高齢者に多く発生している
  - 転倒や転落が主要因
- 特徴
  - 上肢の力が微弱で、下肢はある程度力がある
  - 起立はできるが、正しい歩行動作が難しい
  - リハビリを行うことにより、自立歩行が可能になる



24

搭載センサー

- 足部圧力センサー×４



25

対象者

- 患者
  - 転倒などにより頸髄を損傷した高齢者
  - 脳卒中片麻痺の患者（歩行機能の低下、麻痺）
  - 通院する人で、在宅でも訓練を希望する患者
- 医療スタッフ

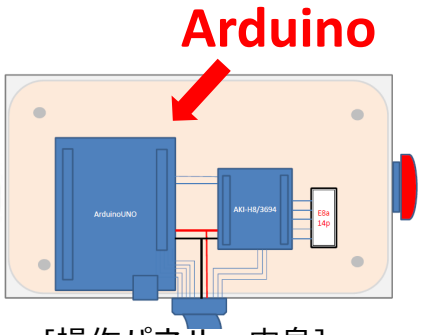
26

操作パネル

- フィードバック機能が少ない
  - 足部の圧センサからの信号
  - 3段階での評価判定



[操作パネル：外観]



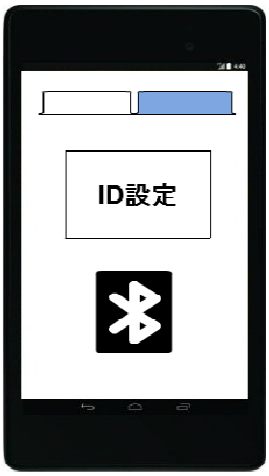
[操作パネル：中身]

27

設定画面

①

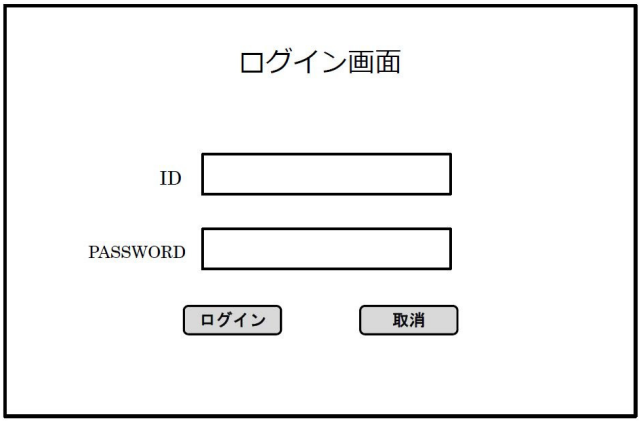
- Arduinoと接続を行う
- 患者のIDを設定する
  - 前もって、各患者にIDを発行



28

ログイン画面

- 医療スタッフがログインを行うための画面



29

Rehabilitation robot in primary walking pattern training for SCI patient

Taisuke Sakaki, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta,

Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, Atsushi Sugyo, Yoshimitsu Kihara and Kenji Tateishi

Abstract— **Recently, attention has been focused on incomplete-type spinal cord injury to the central spine caused by pressure on parts of the white matter conducting pathway such as the pyramidal tract. In this paper, we focus on a training robot designed to assist with primary walking pattern training. The target patient of this training robot is one who is relearning the basic functions of the usual walking pattern, especially for patients with the incomplete type SCI to the central spine, who are capable of standing by themselves but are not capable of performing walking motions. From the perspective of human engineering, we monitored the operator's actions to the robot and investigated the movement of joints of the lower extremities, the circumference of the lower extremities and the exercise intensity with the machine. The concept of the device is to provide mild training without any sudden changes in heart rate or blood pressure, which will be particularly useful for the elderly and disabled.**

I. INTRODUCTION

According to a fact-finding survey of disabled people conducted by the Ministry of Health, Labor and Welfare, there are 1.76 million physically disabled persons, including 54 thousand with spinal cord injuries (SCI) in Japan. Slightly more than 5 thousand peoples suffer the disease every year as a result of traffic accidents, falling, and sports accidents. Physical therapy is designed to prevent orthostatic hypotension, disuse born atrophy, contracture, and mental disorders.

Recently, attention has been focused on incomplete-type SCI to the central spine caused by pressure on parts of the white matter conducting pathway such as the pyramidal tract. The middle-aged and elderly patients may endure quadriplegia as a result of injury to this area from overextension of the spinal cord, which is caused by falling in most cases. According to epidemiological data from new patients in 2005 and 2006 in Fukuoka Prefecture in Japan collected by the Spinal Injuries Center, the incidence rate of it has shown a decreasing trend, 33.7 and 27.6 among million people on average, in 2005 and 2006 respectively. However, the age of onset of it shows an increasing trend. Forty-five percent of these patients are incomplete-type to the central spine cases. Most of them have a defective one, in which the spinal cord is not completely severed, and the muscle power and sensation in the extremities are poor. In this type, the paralysis may be present in the upper extremities more strongly than in the lower ones. The muscle power of the lower extremities will build gradually to a level sufficient for standing up and walking. The muscle power of the hands and fingers, however, may not recover to a level where the patient can grasp or pinch sufficiently in typical activities of daily living.

The rehabilitation process for SCI comprises several steps, including 1) basic training for extending the range of motion of joints and muscle strengthening, 2) training to maintain a seating posture, 3) training in standing up and sitting down, 4) training for re-learning the primary walking pattern, and 5) training in practical walking.



Figure 1: The training robot for the basic walking pattern (apparatus, upper figure and structure of sliding mechanism, lower figure).

Over the last decade, a variety of rehabilitation robots and physically assisting robots have been developed [1]-[4]. In particular, applying the BCI (brain computer interface technology), neuro-rehabilitation techniques and wearable robot technologies, and neuro-rehabilitation robotics have recently been actively studied [5]. Recent gait rehabilitation robots, such as the Lokomat , the Lopes, the PamPogo, the

*A part of this research supported by The Robotics Industry Development Council, Fukuoka, Japan.

Taisuke Sakaki, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta and Kanta Aoki are with Kyushu Sangyo University, Fukuoka, 813-8503 Japan (Tel: +81-92-673-5461; e-mail: sakaki@ip.kyusan-u.ac.jp). Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto and Atsushi Sugyo are with Spinal Injuries Center, Iizuka, 820-8508 Japan (e-mail: fujiie@sekisonh.rofuku.go.jp). Yoshimitsu Kihara is with Kihara Iron Works co., Iizuka, 820-1111 Japan, (e-mail: kihara-t.k05@luck.ocn.ne.jp). Kenji Tateishi is with I-Quark Corporartion, Fukuoka, 811-2207, Japan (e-mail: tateishi@iquark.co.jp).

ALEX, and the GaitTrainer have been studied and used in locomotion training for SCI or CNS (central nervous system) patients [6][7][13]-[15]. These therapies are based on the neuroplasticity on a spinal and supraspinal level, and achieved by physiological multisensory input to reshape the locomotor pattern of the spinal circuitry. The physical constraints of the conventional manual assisting training can be overcome by using robotic training to activate the CPG (central pattern generator) [17] with the BWSTT (body weight supported treadmill training) mechanism of the robot [8].

We have been developing a series of robots to apply to every step of training for patients with incomplete SCI to the central spine. In this paper, we focus on the training robot assisting the primary walking pattern training.

A. Conventional methods for walking pattern training

Circular walkers, canes, and parallel bars are the most popular tools used in rehabilitation. The problems with these tools are the high risk of falling and the difficulty in maintaining a normal body trunk posture, leading to a need for extensive monitoring, care, and advice by a therapist. Also, the patient usually cannot exercise for a long period of time with these rehabilitation aids, as it is very tiring.

Several training machines for lifting the body trunk have been developed for SCI and other types of patients. The Lokomat and the KineAssist provide partial body weight support and postural torque on the torso [7, 10]. Its features are a lifting mechanism for the body trunk to decrease the weight a patient must lift, a mechanism that drives the lower extremities, and a treadmill. However, these machines cannot train for practical walking in a real environment achieved by voluntary motions such as body weight transfer and swing phase motion. There is also a wearable training machine mounted on the lower extremities developed at Tsukuba University [5]. The features of this device include a driving mechanism to actuate the hip, knee, and ankle joints with motors, the commands for which are calculated with sensors responding to inputs such as EMG or leg motions. The machine, however, is not able to support a patient's weight. The risk of falling with this machine is greater than with other types of training machines, since a mechanism for supporting the trunk posture is not provided.

Circular wheel type training machines with electric motor wheels have been developed by Hitachi Co. The features of this type of machine are a maneuvering mechanism mounted to a circular wheel, automatic control of a maneuvering system that leads the patient to walk, and a supporting mechanism for the waist, trunk, and upper extremities. Most of these machines do not provide a mechanism to directly drive the legs. The problem with the machines is that there is a risk of falling. It is difficult to learn the right posture and walking pattern again, and there is no mechanism for taking advantage of voluntary movements of the patient.

In summary, the conventional machines and tools have the following problems: 1) risk of falling, 2) difficulty in achieving the right posture of the body trunk and practical walking in real environment, 3) lack of a mechanism for taking advantage of voluntary movement of the patient, 4) fewer degrees of freedom (d.o.f.) of movement because the patient's body is fastened to the machine, and 5) very large size and heavy weight.

II. TRAINING ROBOT FOR PRIMARY WALKING PATTERN

The target patient for this training robot is one who is relearning the basic functions of the usual walking pattern, especially for patients with the incomplete-type to the central spine who are capable of standing by him/herself but not capable of performing walking motions. The primary walking pattern with voluntary motion for body weight transfer and swing phase leg motion will be a preparation to the recovery of practical walking in the real environment.

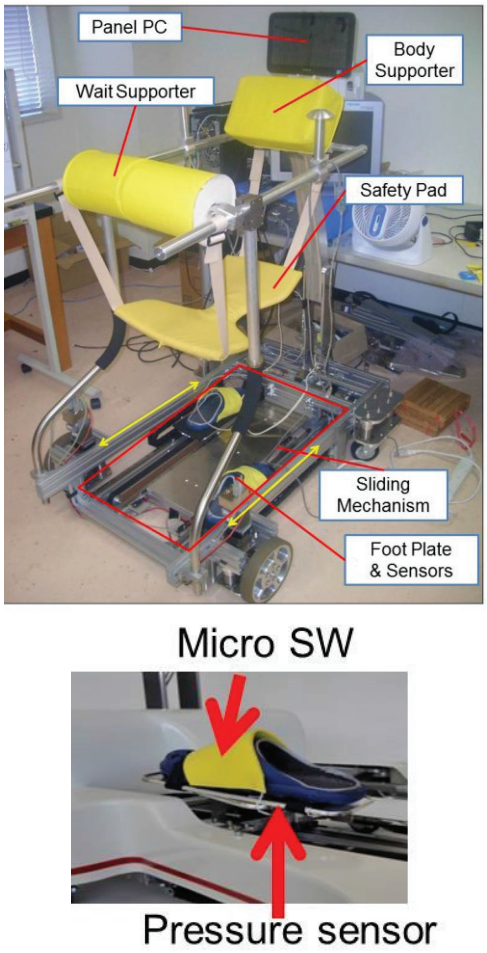


Figure 2: The mechanical structure of the training robot for the basic walking pattern (upper figure). The foot plate and foot cover contain a switch on the instep cover to detect the leg lift motion and the pressure sensor the load of the foot (lower figure).

We propose a new type of training machine that assists patients in learning the walking pattern and executing preliminary dynamic walking, as shown in Figure 1 [11, 18]. Specifically, the robot provides three kinds of assistive motions with a sliding mechanism according to the recovery level of the patient's lower extremities. The passive reciprocal motions of the feet are provided in the case of poor muscle power of the lower extremities. In addition, other assistive motions are provided while sensing the reciprocal movement of foot pressure or when sensing the

foot pressure movement and lifting motions of the foot during the swing phase, which are slightly allowed in the foot plate. The whole mechanism of the robot can travel forward coincident with the sliding mechanism motion, which provides quasi-walking actions. The sliding motion does not simulate a complete natural gait in the swing phase. The patient, however, can be trained by the quasi-walking motions with voluntary body weight transfer and lifting of the leg in the swing phase monitored by the machine.

This robot has both a slide mechanism and a maneuver mechanism, as shown in Figure 2. The sliding mechanism provides the reciprocal sliding motions forward and backward of the patient's feet to achieve a quasi-walking pattern. Each foot is fixed on the foot plate mounted on the belt actuated by the servo motion of the stepping motor servo system (Cool Muscle CM1-C-23L20A, 30W, 2000rpm, Muscle Corporation), which includes a stepping motor, an angular sensor, a servo amplifier, and a CPU for network use. The maneuver mechanism drives the robot's whole body forward and/or in turn coincident with the motion of the sliding mechanism. Due to the action of these mechanisms, the patient who is riding on the robot can feel as if he/she is able to walk by him/herself.

The pressure sensor mounted on the foot plate measures the pressure by the foot. The micro switch on the top cover of the foot plate detects the swing phase motion of the foot. According to the sensor information, the microcomputer, Arduino, delivers the motion command to the motor. Four actuator systems of Cool Muscle, which are connected to each other and controlled by the Arduino, are used in the two sliding mechanisms and the two drive mechanisms for maneuvering.

The waist pad and the belt support the patient's body to prevent falling. The body supporter, the waist supporter and the supporting belt allow the patient to move freely and safely in the small space surrounded by those supporters, and side bars prevent falling without harnesses. To compensate for the poor muscle power of the upper extremities, the hands can be fixed with a belt to the hand sticks if necessary.

The robot can provide three-step training functions according to patient's walking ability, as follows:

- 'Passive walking pattern training' is the primary level. The robot will allow for complete passive motion for the patient with severely reduced ability, who can stand by him/herself but cannot perform any body weight transfer motions. The foot plates move reciprocally as automatic motions.
- 'Static walking pattern training' is the middle level. It will be utilized for patients who still have a poor ability to transfer their body weight. Sensing the transfer of the load by the pressure sensor on the foot plate, the foot plate moves reciprocally according to the load amount. The sliding motion will stop when there is no change of the foot pressure by transferring body weight. This function will provide feedback to the patient, thus facilitating the voluntary body weight transfer.
- 'Semi-dynamic walking pattern training' is the highest level. It will be utilized for patients with poor swing phase motion but with sufficient ability to transfer body weight. Sensing the foot pressure and the motion of the leg lifting in the swing phase detected by the micro switch on the top of the foot plate, the foot plate moves reciprocally. The sliding motion will stop when there is no change of these two motions. This function will provide feedback to the patient, facilitating voluntary body weight transfer and swing phase motion.

III. PRELIMINARY EXPERIMENTS

From the perspective of human engineering, we monitored the operator's actions to the robot and investigated the movement of joints of the lower extremities, the circumference of the lower extremities and the exercise intensity with the machine. The time history of the process of the operation of the machine and assistance to patients was observed by recording the picture on a video. Figure 3 shows the operation and assistance process. Five normal subjects joined as care-givers (3 20 yrs of age, on 40 yrs of age, and one 50) joined the experiment. They were instructed before the experiment to operate and assist according to the procedure. One normal subject (22 yr., 168 cm, 60 kg) participated as a patient. Wearing a T-shirt, short pants for measurements, a cap to make clear the shape of head, and optical markers on the acromial part and parietal area, the subject was instructed to maintain a seating position on the wheelchair and to entrust his body movements to the care-giver by relaxing his extremities.

By monitoring the assistance process, the patient subject took his posture, inclining forward as his waist was pushed by the back-supporting pad. This position may involve some risk of the knee bending and the patient falling. The position of the pad should be modified to the backward position. At the time of operating the supporting pad, the user is not supported for knee bending or falling (shown as process with a box in Fig.3). Operating the pad should occur just

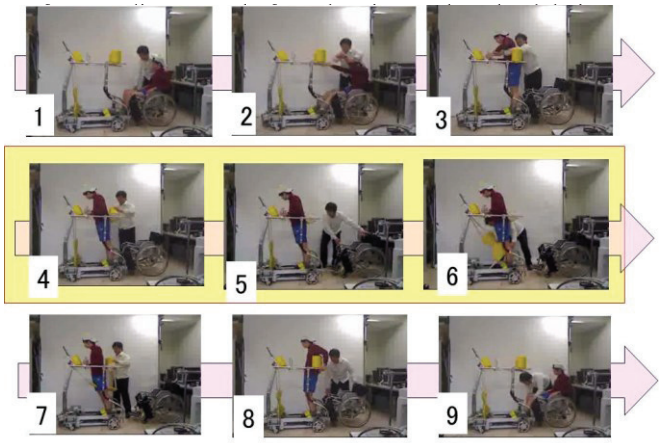


Figure 3: The operation and assistance process with the training robot. At the time of operating the supporting pad, the user is not supported for knee bending or falling (shown as process with a box).

The motion, the activity of muscles and the exercise intensity of the lower extremities were measured. Using Multichannel Telemeter System WEB1000 (Nihonkoden Inc.), the joint angles of the lower extremities were

observed. In order to measure the range of motion of the femur, the Joint Angle Telemeter Picker ZB-154H (Nihonkoden Inc.) as a sensor probe was mounted on the trochanter major. The angles of plantar flexion and dorsiflexion of ankle joint were monitored with the probe on the ankle point. The knee joint, which may be kept straight, was not observed. The calf circumference was measured with the Plethysmograph EC6 (D.E.Hokanson,Inc.) as the Plethysmography device. Using that index of the muscle spindle and tendon spindle, the activity of muscles of the calf was evaluated. The exercise intensity was observed by measuring blood pressure and heart rate with the Bedside Monitor BSM2353 (Nihonkoden Inc.). Figure 4 shows the three kinds of data for five minutes of exercise. The hip joint angle vibrates at 17 degrees as a center point. The angle extended by approximately 5 degrees and flexed by approximately 8 degrees, which constitutes 1/3 of the walk pattern of a healthy person. The ankle joint changes repeatedly with approximately 15 degrees of planar flexion and approximately 8 degrees of dorsiflexion, which is almost the same pattern as that of a healthy person. In addition, the calf circumference changes repeatedly during the same period as the joint angle motions. The changes in blood pressure and heart rate during exercise are small.

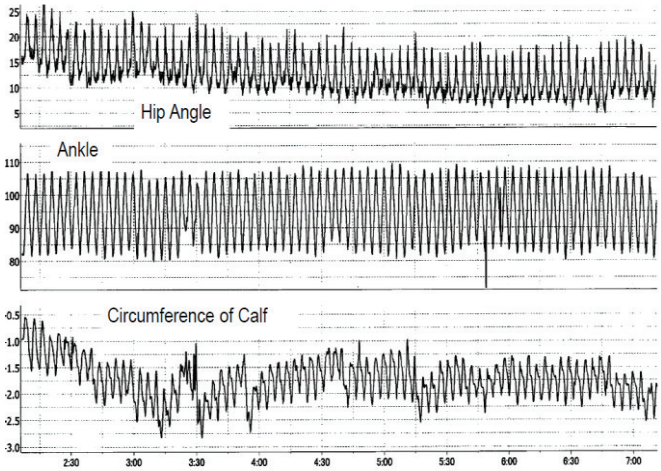


Figure 4: The three kinds of data for five minutes of exercise with the robot as the time history of hip angle, ankle angle and calf circumference.

IV. CONCLUSIONS

The concept of the device is to provide mild training without any sudden changes in heart rate or blood pressure, which will be particularly useful for the elderly and disabled. The characteristics of this device are 1) the load by the standing position depends on the foot bottom without supporting the load, 2) the reciprocal stepping motion of both legs is available, 3) assistance is provided when detecting the center of gravity movement to the right and left, 4) the swing phase motion of the leg is partially realized, 5) the range of motion of the hip is 1/3 that of a healthy person and that of the ankle is the same as that of a healthy person, 6) the flexion and extension of the muscle spindle and tendon spindle of the calf is expected to affect the afferent deep reflex.

The development target is a device with simple functions and low cost that is small and light weight for home-use exercise to make possible the recovery of walking functions. Considering these experimental results, the comments of staff such as physical therapists, and medical science papers, some of the current technical problems are being addressed as follows: 1) a swing phase leg motion that is closer to the movement of a healthy person should be implemented, in particular the pulling-up motion of the toes, as emphasized by the therapists, 2) the transfer process should be modified to make it easier and more certain, 3) the feedback system to provide information regarding the results of training to the user should be improved, 4) The operation panel should be easy for the elderly to utilize.

REFERENCES

[1] A. Hanafusa, J. Sasaki, T. Fuwa and T. Ikeda, “Self-Aided Manipulator System for Bed-Ridden Patients -Evaluation of Psychological Influence for the Generated Approach Motion-,” in Proc. of 2009 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2009, USB memory.

[2] S. Peng, F. Lian and L. Fu, “Development of Multi-Functional Robotic Test-Bed for Post-Surgical Healthcare Room,” in Proc. of 2009 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2009, USB memory.

[3] T. Rofer, C. Mandel and T. Laue, “Controlling an Automated Wheelchair via Joystick/Head-Joystick supported by Smart Driving Assistance,” in Proc. of 2009 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2009, USB memory.

[4] T. Sakaki, T. Iribe, T. Kurogi, T. Koga, K. Ushijima, M. Sakuragi and K. Miyanaga, “Robotic Stretcher for SMA Patient: Preliminary Tests on Controllability and Safety,” in Proc. of IFAC World Congress 2011, 2011, CD-ROM.

[5] Y. Sankai et al. ” Study on Hybrid Power Assist HAL-1 for Walking Aid using EMG,” in Proc. of the JME on Ibaraki Symp., 2000, pp. 269-272.

[6] Y. Stauffler, Y. Allemand, M. Bouri, J. Fournier, R. Clavel, ” Pelvic Motion Measurement During Over Ground Walking, Analysis and Implementation on the WalkTrainer Reeducation Device,” in Proc. IEEE Int. Conf. Intel. Rob. Syst. (IROS), 2008, pp. 2362-2367.

[7] A. Konig,” Design principles to transfer basic neuroscience into gait rehabililation rehabilitation robots,” in Proc. 2011 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2011, CD-ROM.

[8] R. Rupp, ” Engineering robots for an effective locomotion therapy – There’s more than joint angles!,” in Proc. 2011 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2011, CD-ROM.

[9] S. Hesse, D. Uhlenbrock, Sarkodie-Gyan ” Gait pattern of severely disabled hemiparetic subjects on a new controlled gait trainer as compared to assisted treadmill walking with partial body weight support,” in Clin Rehabil May 1999, 1999, vol.13, no.5, pp. 401-410.

[10] M. Peshkin et. al,” KineAssist: A robotic overground gait and balance training device,” in Proc. 2005 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2005, CD-ROM.

[11] T. Sakaki, N. Ushimi, K. Aoki, K. Fujiie, R. Katamoto, A. Sugyo, Y. Kihara, “Rehabilitation robots assisting in walking training for SCI patient,” in IFAC BMS2012, 2012, CD-ROM.

[12] K. Hachisuka et. al, “A prototype walking assist robot and its clinical application for stroke patients with severe gait disturbance,” Advances in Physical and Rehabilitation Medicine, 2003, pp. 23-26.

[13] B. H. Dobkin, “Strategies for stroke rehabilitation,” Lancet Neul., 2004, No.3, pp. 528-536.

[14] P. Langhone et. al., “Motor recovery after stroke: a systematic review,” Lancet Neurol., 2009, No.8, pp. 741-754.

[15] J. Hidler et. al., “Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke,” Neurorehabil. Neural Repair, 2009, No.23, pp. 5-13.

[16] G. Colombo, J. Matthias, S. Reinhard, and D. Volker, “Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis,” J. Rehabil. Res. Dev., Vol. 37, No. 6, pp. 693-700, 2000.

[17] M. R. Dimitrijevic, Y. Gerasimenko, and M. M. Pinter, “Evidence for a spinal central pattern generator in humans,” Ann. NY Acad. Sci., No. 860, pp.360-376, 1998.

[18] T. Sakaki, N. Ushimi, K. Aoki, K. Fujiie, R. Katamoto, A. Sugyo and Y. Kihara, “Rehabilitation robots assisting in walking training for SCI patient,” in Proc. of Ro-Man 2013, 2013, USB memory.

Rehabilitation robot in primary walking pattern training for SCI patient

Training robot for home-use based on the experiments of the hospital-use type

Taisuke Sakaki, Toshihiko Shimokawa, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta amd Kanta Aoki,
Faculty of Engineering, Informatics and Fine Art
Kyushu Sangyo University
Fukuoka, Japan
sakaki@ip.kyusan-u.ac.jp

Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto and Atsushi Sugyo
Medical Engineering Division and Rehabilitation Division
Spinal Injuries Center
Iizuka, Japan

***Abstract*— Recently, attention has been focused on incomplete-type spinal cord injury (SCI) to the central spine caused by pressure on parts of the white matter conducting pathway such as the pyramidal tract. In this paper, we focus on a training robot designed to assist with primary walking pattern training. The target patient of this training robot is one who is relearning the basic functions of the usual walking pattern, especially for patients with the incomplete type SCI to the central spine, who are capable of standing by themselves but are not capable of performing walking motions. We investigated the movement of joints of the lower extremities, the circumference of the lower extremities and the exercise intensity with the machine. From the experimental results the training robot for home-use based on the experiments on the hospital-use type is proposed. The operating panel, accessibility from wheel chair to the robot and the mechanism were modified for the home-use.**

Keywords—rehabilitation robot, welfare robot

I. INTRODUCTION

A. Background

Figure 1 shows the changes of the population in Japan. The society is the super aging one, where the over 65 year old people become almost 25 % of the population in near future. In the society, many elderly people suffer non-bony type cervical cord injury, caused by falling. Therefore, the expectation for robots is high to accelerate the recovery, reduce the load of therapists, and save the medical and welfare costs.

According to a fact-finding survey of disabled people conducted by the Ministry of Health, Labor and Welfare, there are 1.76 million physically disabled persons, including 54 thousand with spinal cord injuries (SCI) in Japan. Slightly more than 5 thousand peoples suffer the disease every year as a result of traffic accidents, falling, and sports accidents. Physical therapy is designed to prevent orthostatic hypotension, disuse born atrophy, contracture, and mental disorders.

Recently, attention has been focused on incomplete-type SCI to the central spine caused by pressure on parts of the white matter conducting pathway such as the pyramidal tract. The middle-aged and elderly patients may endure quadriplegia as a result of injury to this area from overextension of the spinal cord at neck, which is caused by falling in most cases. According to epidemiological data from new patients in 2005 and 2006 in Fukuoka Prefecture in Japan collected by the Spinal Injuries Center, the incidence rate of it has shown a decreasing trend, 33.7 and 27.6 among million people on average, in 2005 and 2006 respectively.

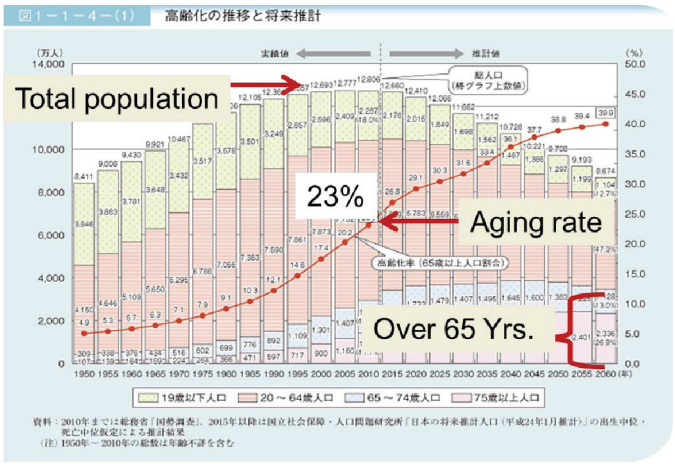


Fig. 1. The changes of the population in Japan.

However, the age of onset of it shows an increasing trend. Forty-five percent of these patients are incomplete-type to the central spine cases. Most of them have a defective one, in which the spinal cord is not completely severed, and the muscle power and sensation in the extremities are poor. In this type, the paralysis may be present in the upper extremities more strongly than in the lower ones. The muscle power of the lower extremities will build gradually to a level sufficient for standing up and walking. The muscle power of the hands and fingers, however, may not recover to a level where the patient can grasp or pinch sufficiently in typical activities of daily living. However, 3 years long training at home and outpatient may be necessary to recover those walking functions. Those repetitive and long period trainings are therapist's heavy load.

Also, there are some risks of losing the walking function again, because of the risk of falling at home.

The rehabilitation process for SCI comprises several steps, including 1) basic training for extending the range of motion of joints and muscle strengthening, 2) training to maintain a seating posture, 3) training in standing up and sitting down, 4) training for re-learning the primary walking pattern, and 5) training in practical walking.

Over the last decade, a variety of rehabilitation robots and physically assisting robots have been developed [1]-[4]. In particular, applying the BCI (brain computer interface technology), neuro-rehabilitation techniques and wearable robot technologies, and neuro-rehabilitation robotics have recently been actively studied [5]. Recent gait rehabilitation robots, such as the Lokomat , the Lopes, the PamPogo, the ALEX, and the GaitTrainer have been studied and used in locomotion training for SCI or CNS (central nervous system) patients [6][7][13]-[15]. These therapies are based on the neuroplasticity on a spinal and supraspinal level, and achieved by physiological multisensory input to reshape the locomotor pattern of the spinal circuitry. The physical constraints of the conventional manual assisting training can be overcome by using robotic training to activate the CPG (central pattern generator) [17] with the BWSTT (body weight supported treadmill training) mechanism of the robot [8].

We have been developing a series of robots to apply to every step of training for patients with incomplete SCI to the central spine. In this paper, we focus on the training robot assisting the primary walking pattern training.

B. Conventional methods for walking pattern training

Circular walkers, canes, and parallel bars are the most popular tools used in rehabilitation. The problems with these tools are the high risk of falling and the difficulty in maintaining a normal body trunk posture, leading to a need for extensive monitoring, care, and advice by a therapist. Also, the patient usually cannot exercise for a long period of time with these rehabilitation aids, as it is very tiring.

Several training machines for lifting the body trunk have been developed for SCI and other types of patients. The Lokomat and the KineAssist provide partial body weight support and postural torque on the torso [7, 10]. Its features are a lifting mechanism for the body trunk to decrease the weight a patient must lift, a mechanism that drives the lower extremities, and a treadmill. However, these machines cannot train for practical walking in a real environment achieved by voluntary motions such as body weight transfer and swing phase motion. There is also a wearable training machine mounted on the lower extremities developed at Tsukuba University [5]. The features of this device include a driving mechanism to actuate the hip, knee, and ankle joints with motors, the commands for which are calculated with sensors responding to inputs such as EMG or leg motions. The machine, however, is not able to support a patient's weight. The risk of falling with this machine is greater than with other types of training machines, since a mechanism for supporting the trunk posture is not provided.

Circular wheel type training machines with electric motor wheels have been developed by Hitachi Co. The features of this type of machine are a maneuvering mechanism mounted to a circular wheel, automatic control of a maneuvering system that leads the patient to walk, and a supporting mechanism for the waist, trunk, and upper extremities. Most of these machines do not provide a mechanism to directly drive the legs. The problem with the machines is that there is a risk of falling. It is difficult to learn the right posture and walking pattern again, and there is no mechanism for taking advantage of voluntary movements of the patient.

In summary, the conventional machines and tools have the following problems: 1) risk of falling, 2) difficulty in achieving the right posture of the body trunk and practical walking in real environment, 3) lack of a mechanism for taking advantage of voluntary movement of the patient, 4) fewer degrees of freedom (d.o.f.) of movement because the patient's body is fastened to the machine, and 5) very large size and heavy weight.



Fig. 2. The apparatus of the training robot for the basic walking pattern for hospital-use.

II. TRAINING ROBOT FOR PRIMARY WALKING PATTERN

The target patient for this training robot is one who is relearning the basic functions of the usual walking pattern, especially for patients with the incomplete-type to the central spine who are capable of standing by him/herself but not capable of performing walking motions. The primary walking pattern with voluntary motion for body weight transfer and swing phase leg motion will be a preparation to the recovery of practical walking in the real environment.

We have proposed a new type of training machine that assists patients in learning the walking pattern and executing preliminary dynamic walking used in hospital and/or rehabilitation center, as shown in Figure 2 [11, 18, 19]. Specifically, the robot provides three kinds of assistive motions with a sliding mechanism according to the recovery level of the patient's lower extremities. The passive reciprocal motions of the feet are provided in the case of poor muscle power of the lower extremities. In addition, other assistive motions are

A part of this research supported by The Robotics Industry Development Council, Fukuoka, Japan.

provided while sensing the reciprocal movement of foot pressure or when sensing the foot pressure movement and lifting motions of the foot during the swing phase, which are slightly allowed in the foot plate. The whole mechanism of the robot can travel forward coincident with the sliding mechanism motion, which provides quasi-walking actions. The sliding motion does not simulate a complete natural gait in the swing phase. The patient, however, can be trained by the quasi-walking motions with voluntary body weight transfer and lifting of the leg in the swing phase monitored by the machine.

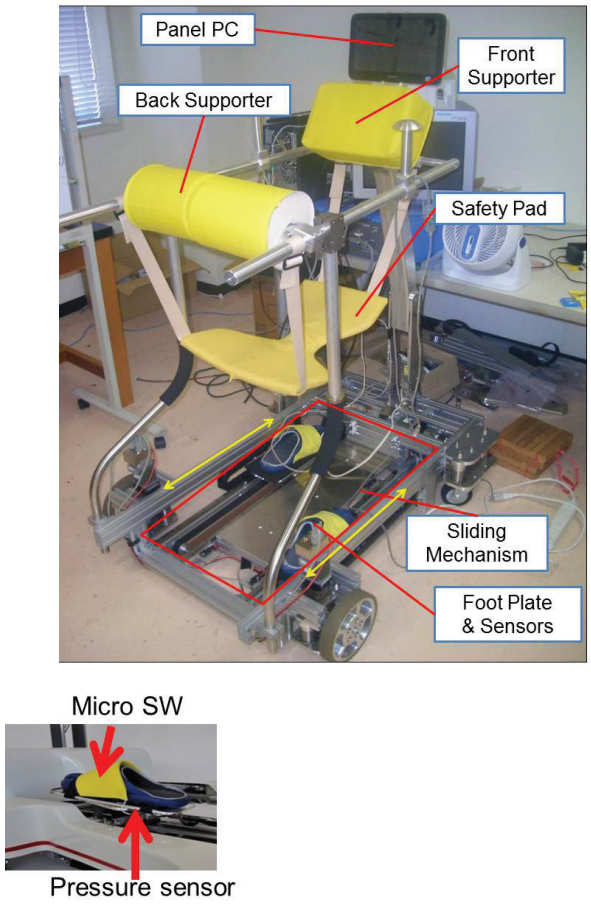


Fig.3 The mechanical structure of the training robot for the basic walking pattern (upper figure). The foot plate and foot cover contain a switch on the instep cover to detect the leg lift motion and the pressure sensor the load of the foot (lower figure).

This robot has both a slide mechanism and a maneuver mechanism, as shown in Figure 3. The sliding mechanism provides the reciprocal sliding motions forward and backward of the patient's feet to achieve a quasi-walking pattern. Each foot is fixed on the foot plate mounted on the belt actuated by the servo motion of the stepping motor servo system (Cool Muscle CM1-C-23L20A, 30W, 2000rpm, Muscle Corporation), which includes a stepping motor, an angular sensor, a servo amplifier, and a CPU for network use. The maneuver mechanism drives the robot's whole body forward and/or in turn coincident with the motion of the sliding mechanism. Due to the action of these mechanisms, the patient who is riding on the robot can feel as if he/she is able to walk by him/herself.

The pressure sensor mounted on the foot plate measures the pressure by the foot. The micro switch on the top cover of the foot plate detects the swing phase motion of the foot. According to the sensor information, the microcomputer, Arduino, delivers the motion command to the motor. Four actuator systems of Cool Muscle, which are connected to each other and controlled by the Arduino, are used in the two sliding mechanisms and the two drive mechanisms for maneuvering. The servo system drives the sliding mechanisms along the typical trapezoid curve.

The waist pad and the belt support the patient's body to prevent falling. The front supporter, the back supporter and the supporting belt allow the patient to move freely and safely in the small space surrounded by those supporters, and side bars prevent falling without harnesses. To compensate for the poor muscle power of the upper extremities, the hands can be fixed with a belt to the hand sticks if necessary.

The robot can provide three-step training functions according to patient's walking ability, as follows:

- 'Passive walking pattern training' is the primary level. The robot will allow for complete passive motion for the patient with severely reduced ability, who can stand by him/herself but cannot perform any body weight transfer motions. The foot plates move reciprocally as automatic motions.
- 'Static walking pattern training' is the middle level. It will be utilized for patients who still have a poor ability to transfer their body weight. Sensing the transfer of the load by the pressure sensor on the foot plate, the foot plate moves reciprocally according to the load amount. The sliding motion will stop when there is no change of the foot pressure by transferring body weight. This function will provide feedback to the patient, thus facilitating the voluntary body weight transfer.
- 'Semi-dynamic walking pattern training' is the highest level. It will be utilized for patients with poor swing phase motion but with sufficient ability to transfer body weight. Sensing the foot pressure and the motion of the leg lifting in the swing phase detected by the micro switch on the top of the foot plate, the foot plate moves reciprocally. The sliding motion will stop when there is no change of these two motions. This function will provide feedback to the patient, facilitating voluntary body weight transfer and swing phase motion.

III. Preliminary Experiments

The motion, the activity of muscles and the exercise intensity of the lower extremities were measured [19]. Using Multichannel Telemeter System WEB1000 (Nihonkoden Inc.), the joint angles of the lower extremities were observed. In order to measure the range of motion of the femur, the Joint Angle Telemeter Picker ZB-154H (Nihonkoden Inc.) as a sensor probe was mounted on the trochanter major. The angles of plantar flexion and dorsiflexion of ankle joint were monitored with the probe on the ankle point. The knee joint, which may be kept straight, was not observed. The calf circumference was measured with the Plethysmograph EC6

(D.E.Hokanson,Inc.) as the Plethysmography device. Using that index of the muscle spindle and tendon spindle, the activity of muscles of the calf was evaluated. The exercise intensity was observed by measuring blood pressure and heart rate with the Bedside Monitor BSM2353 (Nihonkoden Inc.). Figure 4 shows the three kinds of data for seven minutes of exercise and the one cycle data of hip and foot joint angles. The hip joint angle vibrates at 17 degrees as a center point. The angle extended by approximately 5 degrees and flexed by approximately 8 degrees, which constitutes 1/3 of the walk pattern of a healthy person. The ankle joint changes repeatedly with approximately 15 degrees of planar flexion and approximately 8 degrees of dorsiflexion, which is almost the same pattern as that of a healthy person. In addition, the calf circumference changes repeatedly during the same period as the joint angle motions.

IV. Discussions

The training robot may solve the problems shown in Chapter I such as 1) no risk of falling by the several supporting mechanism, 2) achieving the right posture of the body trunk and practical walking in real environment by the robot mechanism supporting the body trunk from its back, 3) mechanism for sensing the voluntary movement of the patient, 4) wider degrees of freedom of movement because the only the patient's waist is fastened to the machine. However the whole robot mechanism still has a large size and heavy weight.

The new development target is a device with simple functions and low cost that is small and light weight for home-use exercise to make possible the recovery of walking functions. Considering these experimental results, the comments of staff such as physical therapists, and medical science papers, some of the current technical problems are being addressed as follows: 1) a swing phase leg motion that is closer to the movement of a healthy person should be implemented, in particular the pulling-up motion of the toes, as emphasized by the therapists, 2) the transfer process should be modified to make it easier and more certain, 3) the feedback system to provide information regarding the results of training to the user should be improved, 4) The operation panel should be easy for the elderly to utilize.

According to the experimental results, we have also developed the next step robot for the rehabilitation at home shown in Fig.5. The former robot has the high level functions, expensive mechanisms such as many sensors and actuators. The robot has the functions and mechanism simplified, easy and robust user interface. The light weight, low cost and safety are important for the home use. The robot for hospital use comprises two motors to actuate slide mechanisms with two kinds of sensors and tablet type computer in order to measure data among training on the robot for the evaluation of the recovery level of the patient. The system is complicated for users to operate, and the flame mechanism is large. On the other hand, the robot for rehabilitation at home should be small and light-weight. The system is simple for user to operate it. The robot comprises only one motor to actuate slide mechanism with a chain mechanism for the reciprocal motion of foot- steps on the chain. The steps are not available to move independently, but the limitation of motion is sufficient for home rehabilitation. The four pressure sensors are mounted on the steps. The simple operating panel controlled by micro-computers is installed with dials and buttons, which are easy for elderly to understand the operation. The mechanical flames are simplified. The size and weight of the machine becomes 2/3 and 1/2 to the former one, respectively. In addition, the operating panel was simplified with using several dials and push switches instead of touch PC. The position of the foot-steps was lowered to access the machine from wheel chair.

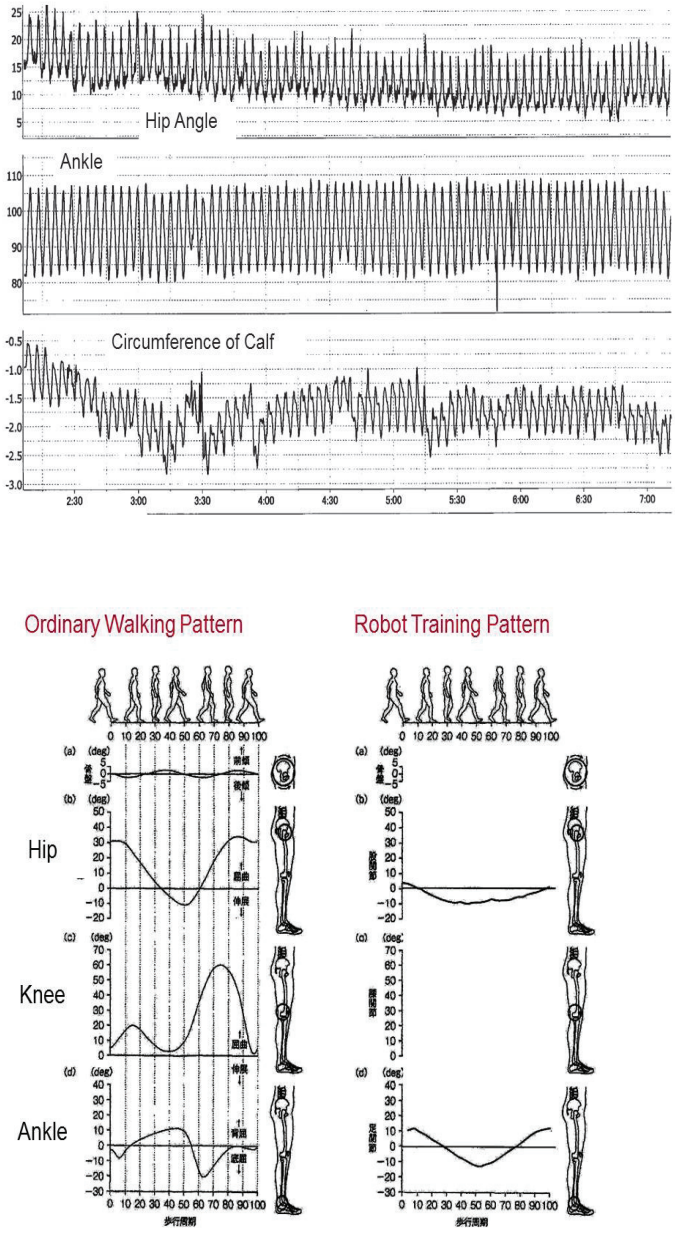


Fig.4 The three kinds of data for five minutes of exercise with the robot as the time history of hip angle, ankle angle and calf circumference (upper figure) [19] and the one cycle motion of hip and foot joint angles of ordinary walking pattern (lower left) [20] and motion pattern with the robot (lowe right).

Also, in the previous study, we monitored the operator's actions to the robot and investigated the movement of joints of the lower extremities, the circumference of the lower extremities and the exercise intensity with the machine [19]. By monitoring the assistance process, the patient subject took his posture, inclining forward as his waist was pushed by the back-supporting pad. This position may involve some risk of the knee bending and the patient falling. The position of the pad should be modified to the backward position. At the time of operating the supporting pad, the user is not supported for knee bending or falling.

V. CONCLUSIONS

The concept of the device is to provide mild training without any sudden changes in heart rate which will be particularly useful for the elderly and disabled. The characteristics of this device are 1) the load by the standing position depends on the foot bottom without supporting the load, 2) the reciprocal stepping motion of both legs is available, 3) assistance is provided when detecting the center of gravity movement to the right and left, 4) the swing phase motion of the leg is partially realized, 5) the range of motion of the hip is 1/3 that of a healthy person and that of the ankle is the same as that of a healthy person, 6) the flexion and extension of the muscle spindle and tendon spindle of the calf is expected to affect the afferent deep reflex.

The training robot for home-use based on the experiments on the hospital-use type was proposed. The operating panel, accessibility from wheel chair to the robot and the mechanism were modified for the home-use.



Fig.5 The next step training robot for the walkling rehabilitation at home.. The robot has the functions and mechanism simplified, easy and robust user interface. The light weight, low cost and safety are important for the home use.

REFERENCES

[1] A. Hanafusa, J. Sasaki, T. Fuwa and T. Ikeda, "Self-Aided Manipulator System for Bed-Ridden Patients -Evaluation of Psychological Influence for the Generated Approach Motion-," in Proc. of 2009 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2009, USB memory.

[2] S. Peng, F. Lian and L. Fu, "Development of Multi-Functional Robotic Test-Bed for Post-Surgical Healthcare Room," in Proc. of 2009 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2009, USB memory.

[3] T. Rofer, C. Mandel and T. Laue, "Controlling an Automated Wheelchair via Joystick/Head-Joystick supported by Smart Driving Assistance," in Proc. of 2009 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2009, USB memory.

[4] T. Sakaki, T. Iribe, T. Kurogi, T. Koga, K. Ushijima, M. Sakuragi and K. Miyanaga, "Robotic Stretcher for SMA Patient: Preliminary Tests on Controllability and Safety," in Proc. of IFAC World Congress 2011, 2011, CD-ROM.

[5] Y. Sankai et al. " Study on Hybrid Power Assist HAL-1 for Walking Aid using EMG," in Proc. of the JME on Ibaraki Symp., 2000, pp. 269-272.

[6] Y. Stauffler, Y. Allemand, M. Bouri, J. Fournier, R. Clavel, " Pelvic Motion Measurement During Over Ground Walking, Analysis and Implementation on the WalkTrainer Reeducation Device," in Proc. IEEE Int. Conf. Intel. Rob. Syst. (IROS), 2008, pp. 2362-2367.

[7] A. Konig," Design principles to transfer basic neuroscience into gait rehabililation rehabilitation robots," in Proc. 2011 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2011, CD-ROM.

[8] R. Rupp, " Engineering robots for an effective locomotion therapy – There's more than joint angles!," in Proc. 2011 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2011, CD-ROM.

[9] S. Hesse, D. Uhlenbrock, Sarkodie-Gyan " Gait pattern of severely disabled hemiparetic subjects on a new controlled gait trainer as compared to assisted treadmill walking with partial body weight support," in Clin Rehabil May 1999, 1999, vol.13, no.5, pp. 401-410.

[10] M. Peshkin et. al," KineAssist: A robotic overground gait and balance training device," in Proc. 2005 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2005, CD-ROM.

[11] T. Sakaki, N. Ushimi, K. Aoki, K. Fujiie, R. Katamoto, A. Sugyo, Y. Kihara, "Rehabilitation robots assisting in walking training for SCI patient," in IFAC BMS2012, 2012, CD-ROM.

[12] K. Hachisuka et. al, "A prototype walking assist robot and its clinical application for stroke patients with severe gait disturbance," Advances in Physical and Rehabilitation Medicine, 2003, pp. 23-26.

[13] B. H. Dobkin, "Strategies for stroke rehabilitation," Lancet Neul., 2004, No.3, pp. 528-536.

[14] P. Langhone et. al., "Motor recovery after stroke: a systematic review," Lancet Neurol., 2009, No.8, pp. 741-754.

[15] J. Hidler et. al., "Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke," Neurorehabil. Neural Repair, 2009, No.23, pp. 5-13.

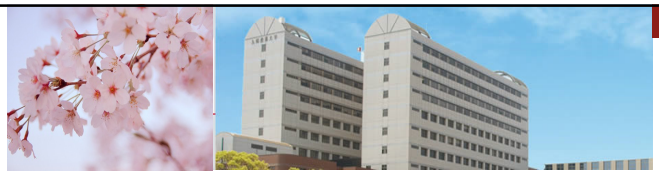
[16] G. Colombo, J. Matthias, S. Reinhard, and D. Volker, "Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis," J. Rehabil. Res. Dev., Vol. 37, No. 6, pp. 693-700, 2000.

[17] M. R. Dimitrijevic, Y. Gerasimenko, and M. M. Pinter, "Evidence for a spinal central pattern generator in humans," Ann. NY Acad. Sci., No. 860, pp.360-376, 1998.

[18] T. Sakaki, N. Ushimi, K. Aoki, K. Fujiie, R. Katamoto, A. Sugyo and Y. Kihara, "Rehabilitation robots assisting in walking training for SCI patient," in Proc. of Ro-Man 2013, 2013, USB memory.

[19] Taisuke Sakaki, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta, Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, Atsushi Sugyo, Yoshimitsu Kihara and Kenji Tateishi, "Rehabilitation robot in primary walking pattern training for SCI patient," in Proc. of ICNR 2014, 2013, USB memory.

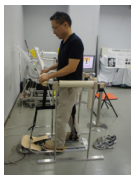
[20] D. A. Neuman, "Kinesiology of the Musculoskeltal System; Foundations Physical Rehalitation. Mosby, 2002.



ICNR 2014 24-26 June Aalborg

Rehabilitation robot in primary walking pattern training for SCI patient

T. Sakaki, N. Ushimi, K. Murakami, Y. Lee, K. Tsuruta,K. Aoki — Kyushu Sangyo Univ.
K. Fujiie, R. Katamoto, A. Sugyo — Spinal Injuries Center
Y. Kihara — Robofuture Co.
K. Tateishi — I Quark Co.





九州産業大学

独立行政法人労働者健康福祉機構 総合せき損センター

Background for Walking Training Robots 1/2

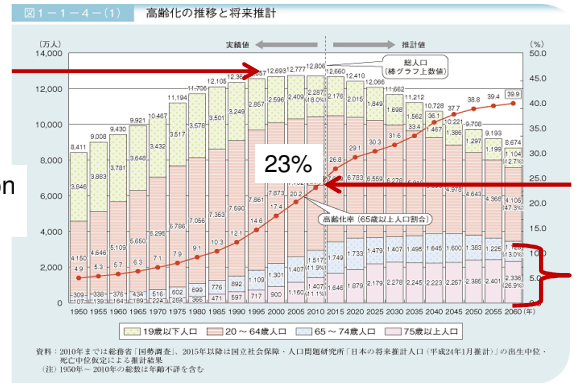
●Super Aging Society: Over 65 Yrs. = almost 25% of population

Stroke: 300,000 people suffer every year, Total patients = 1,330,000

Non-bony type cervical cord injury caused by falling

Total population

Changes of population in Japan



Aging rate

Over 65 Yrs.

●Expectation for robots is high to accelerate recovery, reduce load of therapists, and save medical/welfare costs.

(c) KyushuSangyoUniversity

Background for Walking Training Robots 2/2

- Target: Incomplete SCI
  - In Japan,1.76 million physically disabled, including 54,000 with SCI
  - 5000 people suffered every year traffic accidents, falling, and sports accidents
  - 60% = no-bony type cervical cord injury
    - central spine caused by pressure on parts of white matter
  - Muscle power of L. Ex. will build gradually
    - for standing up and walking



- Needs for training robot
  - 3 yr. long training at home or outpatient
    - repetitive & long training = Therapist's heavy load
  - Risk of losing walking function again
    - because of risk of falling at home



独立行政法人労働者健康福祉機構 総合せき損センター

九州産業大学

Training Process of SCI with Robots

1) Training in range of motion and muscle strengthening,

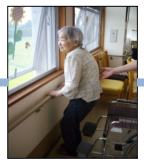


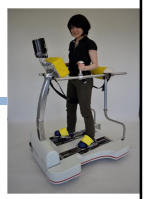
2) Training to maintain a seated position,





3) Training in standing up and sitting down,

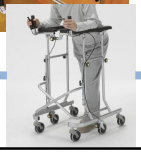




4) Training in **basic walking pattern**,



5) Training in practical walking.





Conventional Technologies for Walking Training



Circular Walker



Robotic Walker



Wearable type



BWSTT (Lokomat)

Problems of conventional machines:

- risk of falling
- no assistance according to voluntary motions;
  body weight transfer and swing phase motion
- bad posture of body trunk
- fixation of body to machine by body weight supporting
- size and weight

独立行政法人労働者健康福祉機構 総合せき損センター　　KSU 九州産業大学

Training Robot of Basic Walking Pattern

●Target:

- No-bony type incomplete SCI who can stand but cannot walk
- Prepare for practical walking in real environments
- Small, light weight, easy and safe for elderly and/or patient

●Main functions:

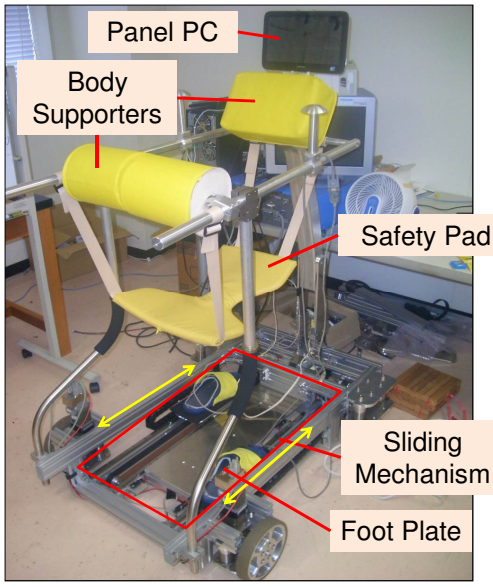
- Reciprocal sliding motion
  forward & backward of foot steps
- Sensing transfer of foot pressure
  and swing phase motion
- Assistive motions according to
  recovery level of leg motion

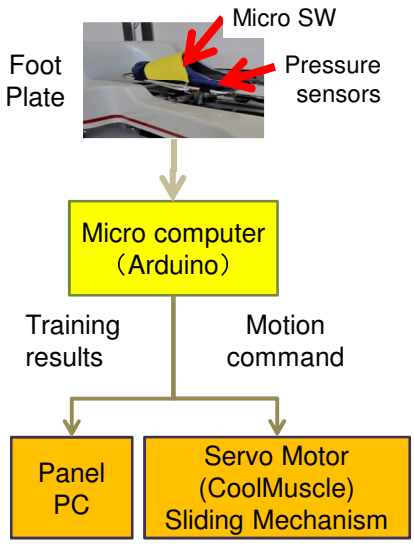


独立行政法人労働者健康福祉機構 総合せき損センター　　KSU 九州産業大学

Training Robot of Basic Walking Pattern

Mechanism and System Structure





No unloading mechanism (100% body weight)

Training Robot of Basic Walking Pattern

3-Step Training Programs according to Recovery Level

1) Training in range of motion and muscle strengthening

2) Training to maintain a seated position,

3) Training in standing up and sitting down,

4) Training in **basic walking pattern**,

- Passive Walking Pattern Training (primary)
- Static Walking Pattern Training (middle)
- Semi-dynamic Walking Training (advanced)



5) Training in practical walking.

Training Robot of Basic Walking Pattern

3-Step Training Programs according to Recovery Level



Passive Walking Pattern Training (primary)

- Patient who can stand by him/herself
  but cannot perform body weight transfer
- Complete passive motion

Static Walking Pattern Training (middle)

- Some ability to transfer body weight
  but cannot perform swing phase motion
- Sensing load transfer, foot plates moves reciprocally



Body weight transfer

Semi-dynamic Walking Training (advanced)

- Sufficient body weight transfer
  but poor swing phase motion
- Sensing both motions, …

Training Robot of Basic Walking Pattern

Evaluation of Training Load and Walking Pattern

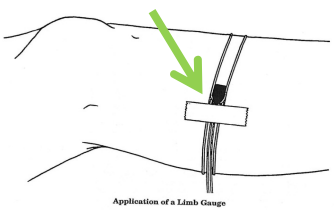
Measurement Devices:

- Hip Joint & Ankle Joint Motions
  Nihonkoden Goniometer



Passive training with NL

- Length at Circumference of Calf
  Plethysmography
  Measuring Contraction of Leg Muscle
  Activity Index Muscle Spindle and Tendon Spin



- Blood Pressure and Heart Rate
  Nihonkoden Bedside Monitor BSM2353

独立行政法人労働者健康福祉機構
総合せき損センター

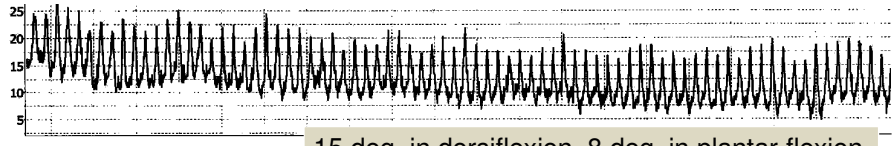
KIU 九州産業大学

Training Robot of Basic Walking Pattern

Evaluation of Training Load and Walking Pattern for 5 min.

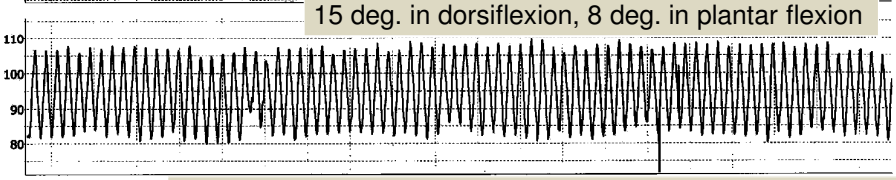
8 deg. in flexion, 5 deg. in extension at 17 deg. as neutral position

Hip

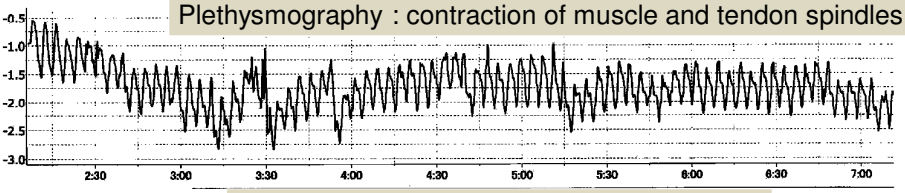


15 deg. in dorsiflexion, 8 deg. in plantar flexion

Ankle



Plethysmography : contraction of muscle and tendon spindles



blood pressure and heart rate rose very little

Training Robot of Basic Walking Pattern

Hip and Ankle motions of one cycle motion

Ordinary Walking Pattern

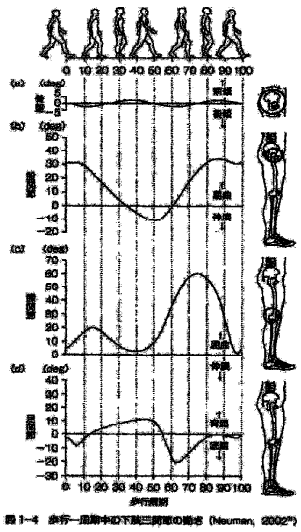
Robot Training Pattern

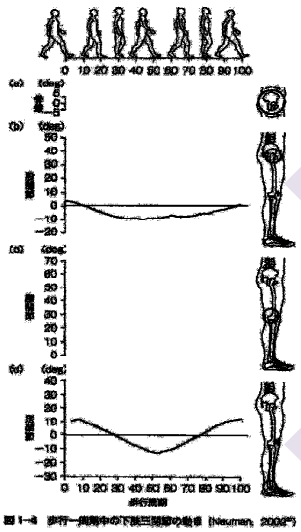


Hip

Knee

Ankle





1/3 range of ordinary motion

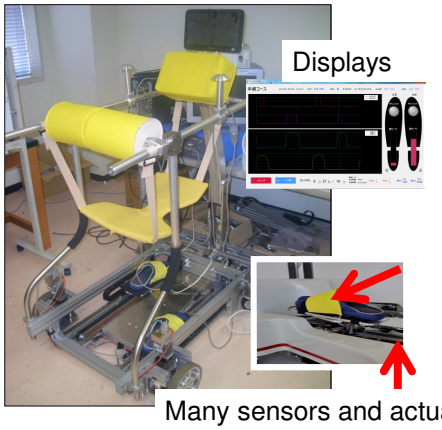
almost similar ROM

Training Robot of Basic Walking Pattern

Nest step, Rehabilitation at home

Simple Functions
Easy and robust user interface
Light Weight, low cost, safe

High level functions, Expensive



Simple motion
& mechanism
No display

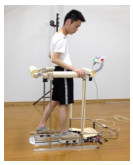
Low cost, home use



Training Robot of Basic Walking Pattern

Low cost, home use type Tests by NL

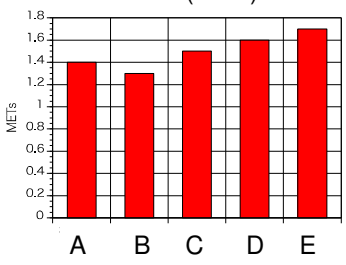
- 5NL (male, age:20-23),
- 2min. Rest -> 10min. training
- Measurement Items: Oxygen Intake, Heart Rate, Blood Pressure, Joint Angles



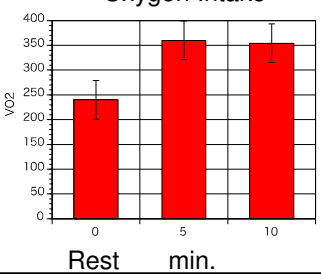
- Metabolic equivalents of Machine Training = 1.5±0.2 METs
  1.5 * METs = METs of office work in sitting
- Blood Pressure, Oxygen Intake, Heart Rate: No rapid changes

- Small load to Cardiopulmonary function even in long period training
- Suitable to Elderly

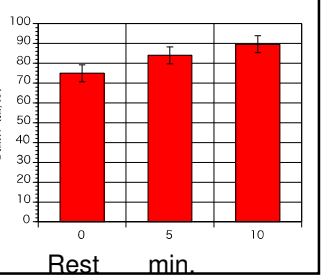
METs (Load)



Oxygen Intake



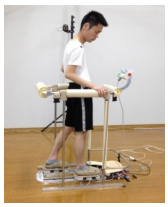
Heart Rate

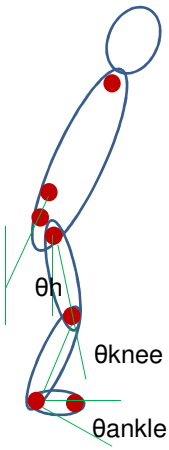


Training Robot of Basic Walking Pattern

Low cost, home use type Tests by NL

- To check the similarity of the motions of Machine training / Walking
- By motion capture system





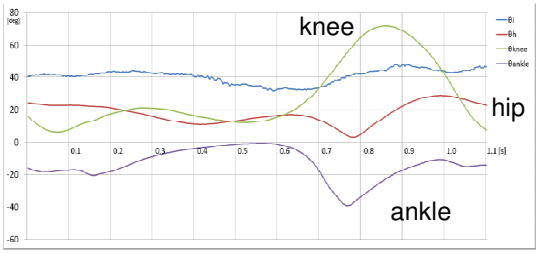
- 5NL (male, age:20-23),
- 2min. Rest -> 10min. training
- Measurement Items:
  - Hip joint angle θh
  - Knee joint angle θknee
  - Ankle joint angle θankle
- Motion Patterns:
  - normal walking
  - machine training
    - passive motion, step fixed and free
    - active assistive motion, step fixed and free

Training Robot of Basic Walking Pattern

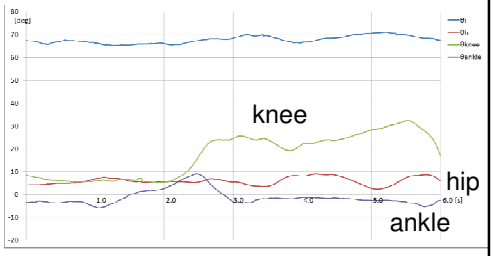
Low cost, home use type Tests by NL

- Overall trend of motion patterns show similar change in time history.
- Knee angle makes small change in fixed step, large change in free step.
  (Almost half of angles in normal walking pattern)
- Active assistive motion shows larger knee angles than passive case.

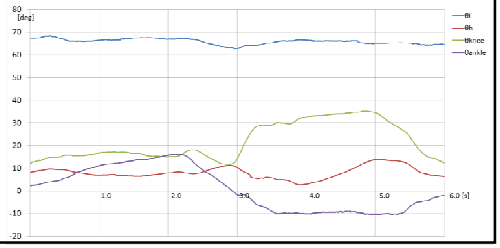
Normal walking



Machine training;
active assistive,
step free



Machine training;
passive motion,
step free



Discussions

Differences of the presented training robot and BWSTT machines 1/2

BWSTT(Body Weight Supported Treadmill Training)

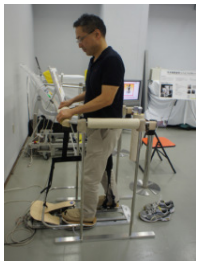
- Advantages
  - supporting body posture without risk of falling
  - wide range of target patients can be applied (FIM1 -)
- Disadvantages
  - unloading body weight decreases peripheral nerve stimulation
  - training using trunk muscles to keep body posture is difficult
  - increase size of machine by unloading mechanism



Discussions

Differences of the presented training robot and BWSTT machines 2/2

Presented Training Robot

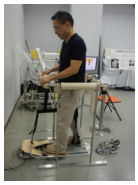


- Advantages
  - 100% body weight loading to legs
    - sufficient peripheral nerve stimulation
  - training for body weight transfer and swing phase motion
    - training using trunk muscle
  - small size without unloading mechanism
- Disadvantages
  - narrow range of target patients who can stand by oneself (FIM4-)
  - countermeasure for risk of falling, supporting mechanism, belt,…

Conclusions

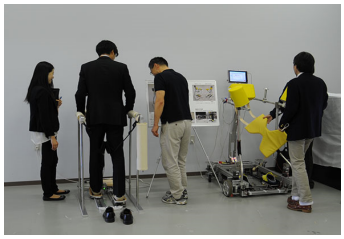
Training Robot of Basic Walking Pattern





- Mild training without raising heart rate and blood pressure, suitable for elderly and disabled
- 100% body weight in standing to legs is loaded
- Facilitates body weight transfer and swing phase motion with information and motion feedback
- Low cost version machine provides ….





Demonstrations at hospitals

平成 26 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
歩行訓練ロボット

リハビリロボットの開発と製品化への課題

榊 泰輔　九州産業大学 工学部 バイオロボティクス学科　教授
〒　Tel：　Fax：
E-mail：

《PROFILE》
略歴：
1900 年 00 月 ○○○○
1900 年 00 月 ○○○○

1　はじめに

昨年は日本のロボット技術の実力が問われる事象が起きた。福島原発事故において，欧米のロボットが素早く現場に投入されたのに対し，日本のロボットは投入が遅れ，活躍を期待していた国民の間に失望感が広がった。2012 年版科学技術白書でも国産ロボットは「事故時に役に立たなかった」と書かれている。実際には 5 つの学会が連携し大学で開発されたものを中心に各種のレスキューロボットが徐々に投入され成果を上げた[1,2]。しかし，ボランティアでの参加であり活動範囲や実績は限定的であった。日本はヒューマノイドロボットをはじめ基礎研究では世界トップクラスにあるものの，ロボットを実用化する技術力および現場に配備・訓練・運用する体制・設備・予算に課題があることが顕在化した。このような苦い経験の上に立ち，関連する学会でも実用化を重視する声が高まりつつある。

医療福祉分野では以前からロボットに大きな期待が寄せられている。ロボットに関するセッションがリハ関係の学術講演会でも盛んに催されている。こうした期待を受けて国内の大学や企業で多数の医療福祉ロボットが研究されてきた。しかし事業にまで育てた例は少ない。そこでリハビリロボット実用化の課題や方策について論じてみたい。

2　リハビリロボット実用化の壁

ロボットの実用化を足踏みする原因は様々である。よく聞く話は，ロボットの開発が終わってから，病院や介護施設に実用化の可能性を打診したり事業化プランについて考え始めたりすることである。これは医療機関としては，企画段階にもどすこともできず持ち込まれたものを評価するだけでいかんとも改良しがたく，失敗する可能性が高い。

また，現状のロボット技術は患者の状態変化に対する適応能力が限定的である。人のように臨機応変というわけにはいかない。いきおい現場の単純労働の代替をねらうことになる。しかし，ロボットの導入・ランニングコストと単純労働の人件費とを比較すると不利である。さらに人は種々の雑多な仕事をこなせる。

実用化に失敗する原因は，医療サービス（顧客＝患者が受ける価値）の一部だけをロボットで置き換えること，サービスの内容（ソフト，コンテンツ）よりロボット（ハード）を主に考えたことにある[3]。医療福祉業界の事情を十分把握せずに，将来有望な市場だからと安易に考え開発に着手すると，このような壁にぶつかる。以上は私自身が医療福祉ロボット開発に携わった際に味わった失敗である。

3　リハビリロボット実用化の方策

国産のリハビリロボットを育てるにはどうすればよいか。まず,ロボット（ハード）を医療サービス（ソフト）の変革のツールと位置付ける。そして，リハのあり方をどのように変革するかという観点から，必要なロボットの仕様を導き出す。以下，リハビリロボット実用化の方策を３つのキーワードで考える。

3.1　リハビリプロセスの再設計

ロボットはあくまでサービスを実現するツールの一つである[3)]。ロボット導入により，医療福祉サービスを提供する仕組み（リハビリプロセス）のあり方を変える，つまり新たな価値を創造する契機になるべきだ。現場にはたくさんの問題がある。これに対し，現場のスタッフは，現状の条件の下で懸命にカバーしようとする。前提条件を見直しプロセスの改革に到るのは，物理的・心理的にそう容易ではない。ここに変革のツール＝ロボットを導入する潜在的ニーズがある（図 1）。

ただ，はじめからプロセス改革のポイントや変革後のイメージを明確に示すことは，実際には難しい。豊富な開発経験と現場の事情に明るいことが求められる。少なくともロボット開発と平行して，改革のポイントや変革後のイメージを現場に投げかける。例えば省力化（手間をはぶく，負荷を軽減）した後，療法士は何をするのか，療法士の仕事の価値はどう高くなるか，さらに，前後のプロセスとのつながり・関係も考慮し関連して変化しそうな点を煮詰め，それに応じてロボットの仕様も修正していく。

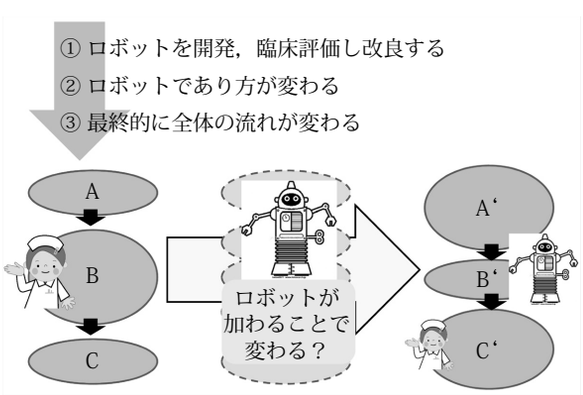


図１　リハビリプロセスの再設計

3.2　事業領域

従来，リハビリロボット開発のターゲットは，主として病院やリハビリセンターを想定してきた。これは実用化する際にその効果検証が必須であるため自然な考えではある。しかし，この領域はロボットにとって挑戦的ではあるもののかなり不利である。すなわち，保険点数がつかないと時間，コスト，リスクなどの問題が重くのしかかる。また，効果の点で療法士の手技と同等かそれ以上の効果がないとロボット導入の意義が薄く，その効果検証も簡単ではない。そもそもこの領域では，時々刻々と変化する患者の状態に対し，医師・療法士をはじめとする医療スタッフが，知識・経験・技能とともに大域的判断や創意工夫をしながら対応している。これは定型的な動作を長時間精度良く繰り返すことが得意なロボットには不得意である。

ここでロボット開発がしばしば間違うのが，それでは人を凌駕する機能を開発しようとやっきになることである。確かに人（医療スタッフ）を上回る能力があればロボット導入はかなり有利になる。そしてそれはロボット開発者の夢でもある。しかし気が付いたら現場のニーズから離れていたということも多い。あくまで目的は現場ニーズに応えることであり，その手段と取り違えてはならない。何を目的に何を手段とするか，医工間での冷静な議論が求められる。

以上を踏まえ，ロボットの有用性を存分に生かせる領域を見直してはどうだろうか（図 2）。すなわち，医療現場向けから家庭用のリハビリ機器へシフトすることである。医療制度は，長期の入院を避け地域や家庭で介護を受けるように誘導している。一方，患者は地域や家庭で引き続き訓練を希望することが多い。そこではある程度症状が安定することが見込まれ，定型的でマイルドな運動を長期間繰り返すことが求められる。これを少ないマンパワーでカバーすることは現状の医療福祉制度の下では難しい。ここに家庭内での訓練を介助するロボットのニーズがある。

家庭用機器をひとことで表現すると「家電ライク」である。現場で医療スタッフが使う専門家向け装置とは，安全性や使い勝手について仕様が異なる。安全・安心して使え，ボタンを押すと後は自動運転で，誰でも使え，小型軽量，安価である。リハ現場の専門家向け機器とは異なる技術が求められる。

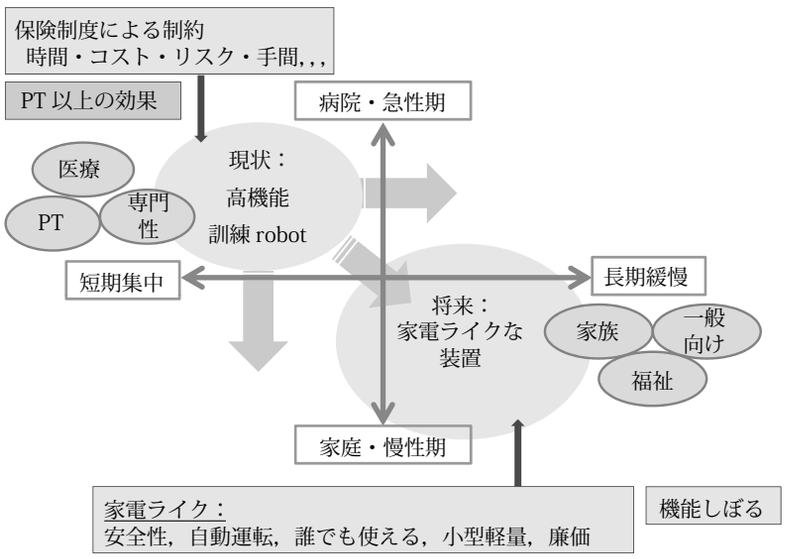


図 2　今後，ロボット実用化をねらいたい領域

ただし，医療現場の専門家向け機器と家庭用機器とに開発投資するバランスが重要だ。いずれかに偏ると技術開発または事業でそのうち先細りするだろう。家庭向けの大きな市場からの利益を次の新しい技術を医療現場に投入し高精度のロボットを研究する。その技術を家庭用機器へ応用展開する。いずれにせよ，狙うべき事業領域と展開の道筋を企画段階から医工間で議論することが肝要である。

3.3　システム思考

リハビリロボットを支える技術のとらえ方として「システム思考」を提案したい。NEDO 身体機能リハビリ支援システムプロジェクトに従事したときに検討した考え方を展開したものである [4]。

まず，脳卒中をシステムの観点で理解する。健常者では中枢神経系での判断・制御と指令，これを受けた筋骨格系の運動，その結果得られる感覚器での情報を脳へ送るというループがある。実際にはさらに複雑に入り組んでいるが，おおづかみに脳・筋骨格・感覚器のループとして理解する。脳卒中は，脳の損傷によりループにおける前後の信号が入出力できない状態と捉えられる。脳で運動指令が作れない，届かない，混乱した状態，また感覚器への刺激情報が脳へ伝わらない，脳で受け取れない状態である。こうした状態に対し，どの問題にアプローチするかで様々な手法に分かれる（図 3）。

例えば，パワーアシストシステムの事例であるサイバーダイン社のロボットスーツ HAL では，運動指令と感覚認識がある程度残存していることを前提に運動を介助する [5]（図 4）。すなわち筋電の計測をもとにメカを動かし運動を介助する。安川電機・産業医大が NEDO プロジェクトで開発した歩行訓練ロボット BRM では，運動結果を計測しこれをもとにメカを動かし介助するとともに，センサ情報を提示し感覚代行する [6]（図 5）。これらは運動意図と指令の整合性，目的とする運動に近づく介助法が課題となる。一方，慶応大学をはじめとする BMI システムでは脳機能を計測し運動指令を推定することで運動を介助する [7]（図 6）。また，川平法などの促通手技では微弱な運動指令をもとにこれを促通しつつ運動を介助する [8]（図 7）。声かけにより患者に運動意図を意識させ，同時に感覚器に反射を促す刺激を与え，徒手にて運動を介助する。藤田保健衛生大の歩行補助ロボット WPAL[9] やバイオフィードバック，FES も同様に表現できる。

これらの事例はある統合したシステムの部分として表現できる（図 8）。脳機能計測と運動指令推定，筋活動計測と運動指令増幅，メカによる運動介助，感覚の計測と刺激・反射促進・感覚代行を統合したものである。脳・筋骨格・感覚器の各背景に配置し，脳卒中が原因でまわらなくなったループを代替する。ただし，この統合システムは機能と適用範囲を汎用化したもので高機能・複雑過ぎて，このままの形で実用化することは現実的でない。実用化開発には症状や回復レベルを限定し機能を取捨選択すべきである。

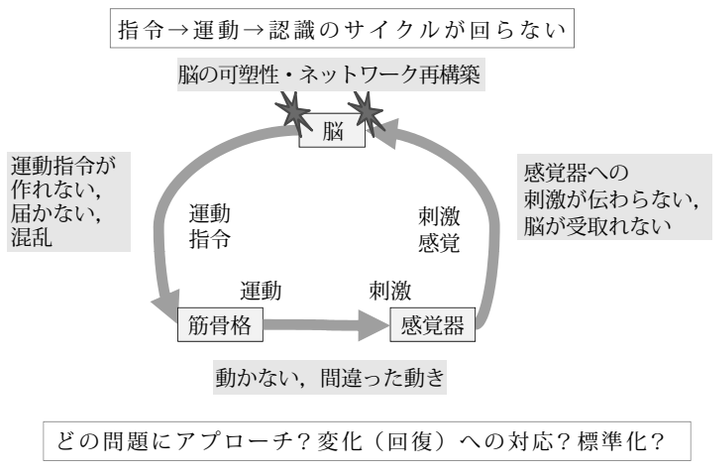


図3　実用化する開発ターゲットを考えるため，脳卒中の症状をシステムの観点から考える

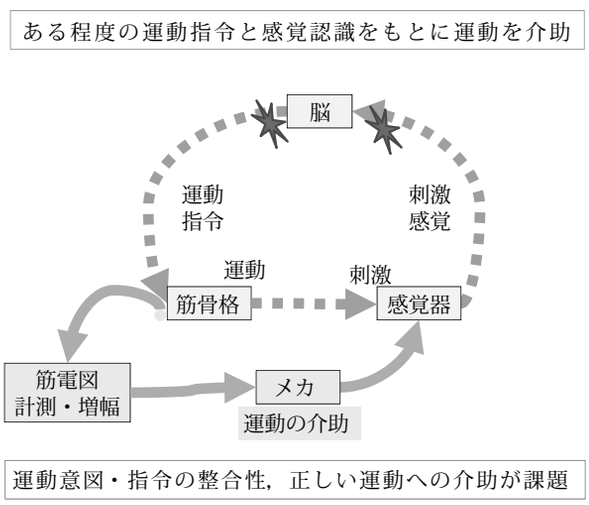


図4　人力増幅器（パワーアシスト）1　HAL など

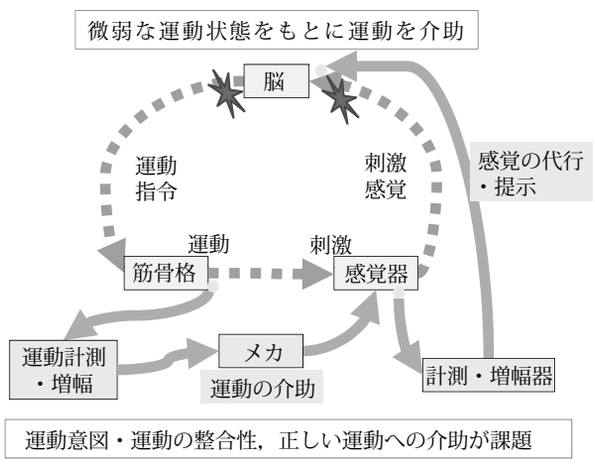


図5　人力増幅器（パワーアシスト）2
TEM・BRM の自動介助機能，Honda 歩行アシストなど

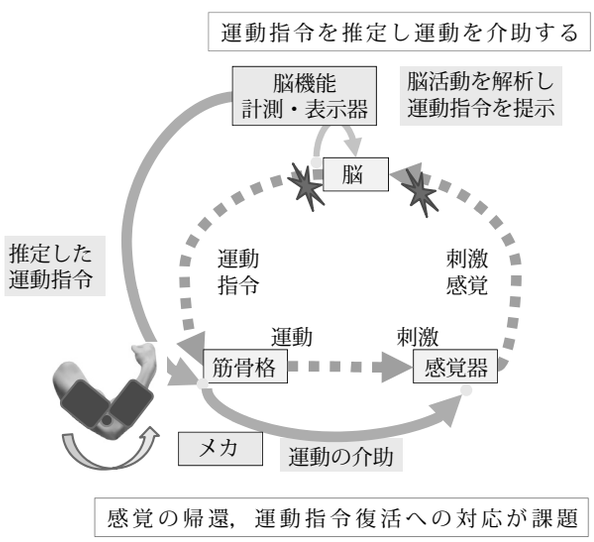


図6　BMI　慶応大など

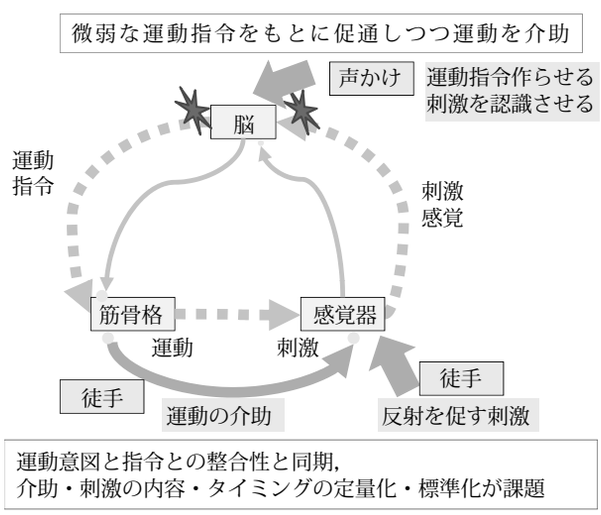


図7　促通する方法　川平法

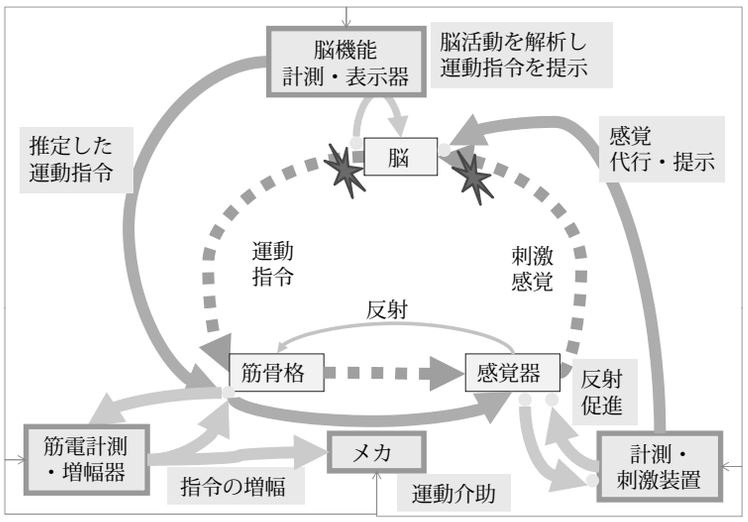


図 8　統合システム：介助レベル・タイミング自動調整・同期（標準化）

4　せき損患者の訓練支援用リハビリロボットプロジェクト

本学の工学部バイオロボティクス学科と芸術学部デザイン学科は，総合せき損センター医用工学研究部と共同で脊髄損傷の訓練プロセスの各場面に対応したロボット群を開発中である[10,11]。現在３種を開発している。起立介助ロボットは，腋と腰を支持し健常者が行うような動的な起立動作を再学習させる。立位保持訓練ロボットは，立位はできるが下肢の動きが良くない患者に歩行パターンを再学習させるため，重心移動と足持ち上げの動作等を検知し下肢の前後運動を介助する。歩行訓練ロボットは，腰まわりを保持・駆動し患者の移動に追従することで，転倒を防止しつつ実践的な歩行を支援する。こうしたロボット群を活用しリハの現場をどのように変革するか，現場との議論はまだ不十分ではあるものの，各ロボットを効果的で効率的な訓練支援手段に仕上げつつ訓練プロセスの再設計へとつなげたい（図 9）。

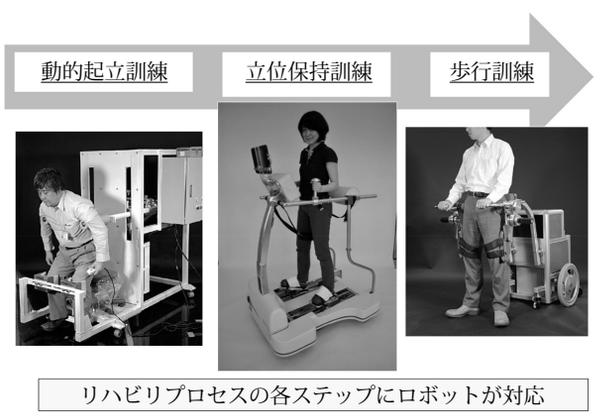


図 9　せき損用リハビリロボット開発プロジェクト（2008 ～）
総合せき損センター，九州産業大学等

4.1　歩行支援ロボット

（1）装置概要

本装置は脊髄損傷の中の不全麻痺，特にその中で非骨傷性頚髄損傷を対象とする。開発目標は，①高い安全性，特に転倒防止を防ぐ，②静的，動的歩行パターンの介助を行う，③残存する随意性を生かす，④疲労が少なく長時間の訓練が出来る，⑤小型軽量化である。具体的には患者が転倒しないように後側から腰部を支え歩行訓練を介助する。転倒の虞がないときは両方の下肢を交互に駆動して前進・後退・左右旋回を介助，転倒の虞があるときは動作を停止する[**)]。

全体図を図 10 に表す。体幹支持部で介助し，移動部（YAMAHA X0D1）で移動を追従する。3軸力センサ（ニッタ（株）PD3-32-10-080）が搭載された体幹支持部で両側面から腰を挟み込む。大腿部介助用サーボモータ（YASKAWA SGMAS-A5A2A2E）をオプションで備える。追従機能，転倒防止機能，腰揺動介助機能，股屈伸介助機能の搭載を目標とする。追従機能では，直進歩行，蛇行歩行，左右旋回，後進歩行を追従する。センサからの入力信号を処理し，対象者の動作意図（停止，歩行，旋回）を判定する。転倒防止機能は，訓練中に圧センサに一定以上の負荷が加わると転倒していると判断し緊急停止するものである。

（2）実験

追従機能を評価した。実験内容は，平坦な道を直線歩行し追従性についてアンケート調査した。発進，加速，等速速度，減速，停止時に引っ張り，押されなどがあったかを3段階で評価し，その他違和感や改善点を挙げた。また，蛇行，後進についても同様に評価した。対象者には事前に実験目的，実験方法を十分に説明した。評価の結果は図 11 である。直進歩行においては全体的に良い評価となった。しかし，減速歩行，停止する際に，押され感が残る結果となり，特に停止の際に多かった。蛇行歩行では，問題なく追従できている。後進歩行では，押され，引っ張られ感があるという結果となった。なお，装置が振動するなどの意見もあった。以下実験結果を考察する。押され感は，前進時に腰装具センサ部の結合箇所にズレが生じ，腰センサにかかる力が変動することが原因と考えられる。現在，結合箇所の固定方法を検討中である。また，センサ値にかけるローパスフィルタによる遅れも押され感の原因となる。振動の原因は，腰センサの不感帯を小さめに設定したことが原因と考えられ，今後調整する。

転倒防止機能を評価した。成人男性5人に協力を得た。装置を調整・装着し，直立する。前方に倒れるように体を倒すように指示した。その際，実験担当者が体を支えられるよう待機した。直立位置から転倒防止機能により装置が停止する位置までの距離を測った。直立位置から停止位置までの距離は 50 ～ 100mm であった。これは使用者が倒れすぎない距離である。しかし，停止後も前方に倒れこみ続けると，装置が引きずられる場合もあった。停止後に使用者を直立姿勢に戻す機能を検討中である。

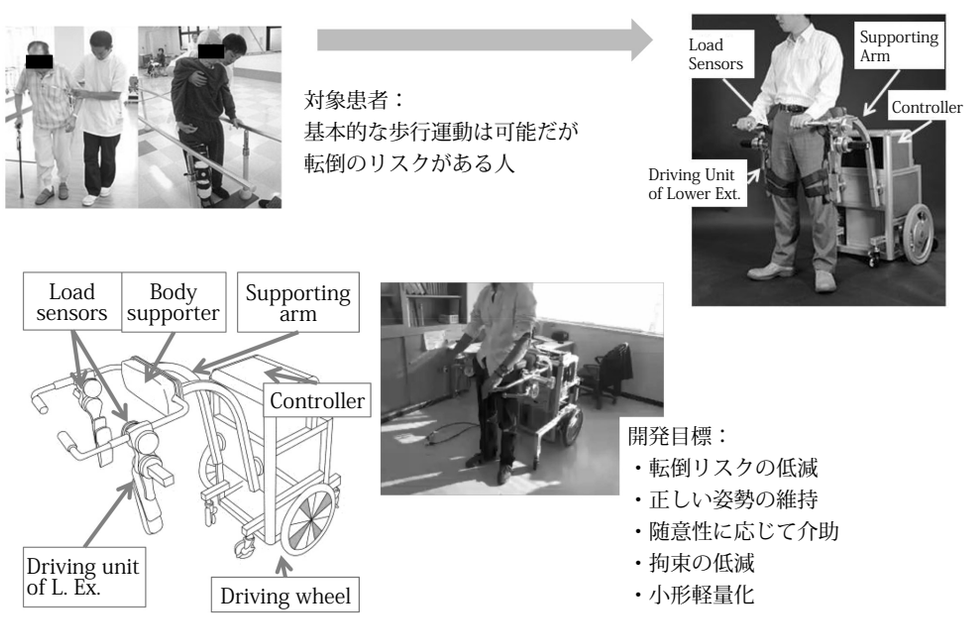


図 10　実践的な歩行訓練を支援するロボット

・8 名の健常者が 5m の平面を
様々な速度で歩行する
・実験後に質問，3 段階で回答（不快感無，弱，強）
（開始，一定速度，加速，減速，停止時）



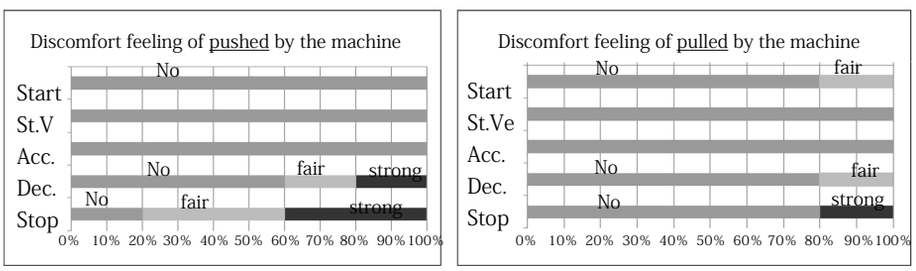


図 11　歩行支援ロボットの機能検証（患者のへの追従性）

4.2　立位保持訓練ロボット

（1）装置概要

歩行機能の基礎的な訓練を目的に，機能検証・臨床データ蓄積用の病院用装置（以後 YS-0）と，機能簡素化・小型軽量化・低価格の在宅用装置（YS-1）の開発を目標とする[**)]。尚，本研究はロボット産業振興会議平成 24 年度ロボット技術実用化事業（テーマ名：下肢患者・障害者のための在宅用歩行訓練ロボット）により実施した（図 12）。

主な機能として患者の左右重心移動等の随意的動作に応じて左右のステップが前後に往復運動することで歩行様動作を介助する。ステップ底面の圧センサで患者の重心移動を計測する。計測値はマイコン Arduino で判定し，ステップを動かすスライダ機構のモータ（マッスル社 CoolMuscle）を駆動する。回復に応じた介助レベルを調整する機能も開発した。介助レベルは 4 種類の訓練メニューを用意した。初心者コースでは立位が可能であるが下肢運動が困難な患者を対象に他動運動を施す。初級コースでは重心移動を訓練することを目的とし，左右への重心移動を検知したタイミングで前後運動を介助する。中級コースでは重心移動と遊脚を訓練し，この両者を検知し前後運動を介助する。操作画面はタッチ PC 上にメニュー選択画面，動作画面，評価画面，取得データ保存画面の 4 種類の画面で構成している。動作中は画面左側に踵の圧と足の甲の上下運動のデータをリアルタイムでグラフ表示する。画面右側に患者にも分かりやすいよう計測値をレベルメータやマークの点灯・消灯で表示する（図 13）。

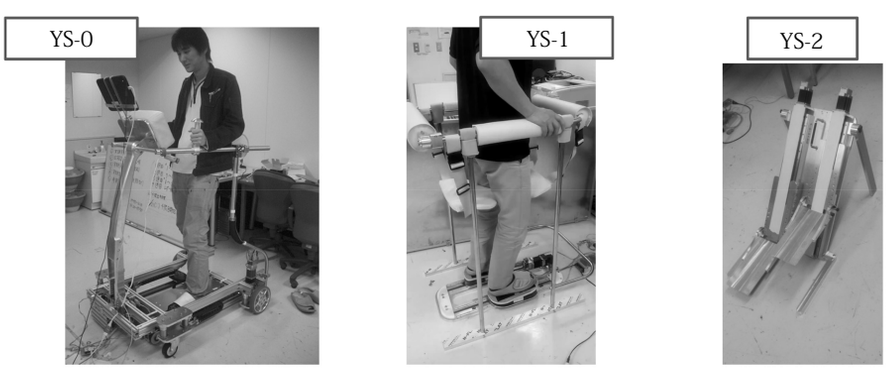


図 12　平成 24 年度ロボット産業振興会議ロボット技術実用化事業
「下肢患者・障害者のための在宅用歩行訓練ロボット」
（九州産業大学，ロボフューチャー（株），（独）総合せき損センター，
（株）有薗製作所，（公財）北九州産業学術推進機構による）

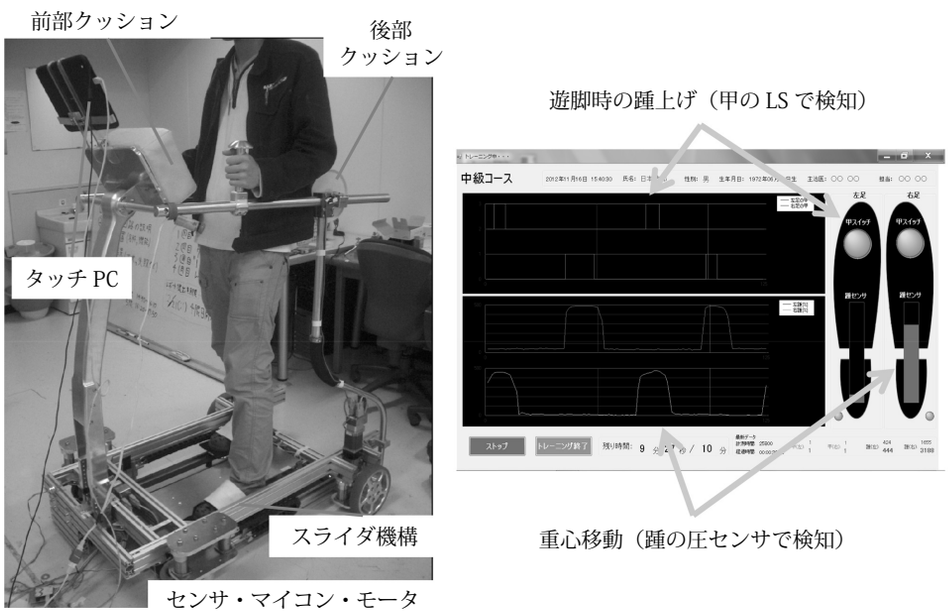


図 13　病院用高機能装置 YS-0

（2）理学療法士への聞き取り調査

両装置 YS-0 と YS-1 によるデモを行い療法士から意見を聴取した。せき損センターの理学療法士 1 名で、各種介助ロボットの開発に携わった経験がある。

全体については，①体重移動を検知し歩くという随意的意志によって動作する点が Lokomat など他動運動ロボットと異なるのがメリットであり需要はある，②現在の訓練で使っている免荷リフトでは足の振出を介助する機能がないため開発装置と組み合わせると省力化でき魅力的である，③病院用は 50 万円，家庭用は 30 万円程度の価格で訴求性のある印象等があった。

病院用装置 YS-0 については，①摺り足では下肢関節の動きが小さく対象者は麻痺の強い人に限定されるため上下や斜めに置くなど動作方向を変えることができるなら対象の幅が広がる，②病院では立脚はできるがひきずることが片麻痺に多いため，つま先を上げた状態を認識しながら振り出しの練習がしたい，③体重移動と振り出しのタイミングが不自然であり，通常股関節に一番力がかかる位置即ち足の裏全体に圧力かかり腰が完全に足の上に乗った状態で振り出しが容易になる，本装置では腰の位置より足が前後に出た状態で左右の重心移動を検知・介助動作の停止・開始をしているため，これを左右の足が股直下にそろったところで重心移動を検知・介助動作の停止・開始をすることで動作がより自然になる，④左右両足の幅を狭くするとバランスが取りにくいものの体重移動がしやすい，歩けない人は振出しを小さくして訓練するため振出し幅を調整できるとよい，また腰が曲がっている人は前かがみで足が振り出しにくく体重移動できずうまく遊脚期が作れないため腰を入れ姿勢をまっすぐにするよう指導している，⑤病院用では移乗や乗り降りは人の手で行うため装置をできるだけシンプルにしたい等があった。

在宅用装置 YS-1 については，①摺り足では下肢関節の動きが小さい，②在宅用は腿上げ運動やその場足踏み補助するだけで良い練習になる，歩行できる患者は次のレベルとして階段訓練をしており階段の高さくらい足あげる装置も考えられる，③あくまで対象は車椅子に乗っている方で杖付いている方ではない，肘置きで体重を支えられるように等があった。

（3）健常者による実験

人間工学的視点から，操作と介助動作の観察，下肢関節運動と下肢周径および運動強度について調査した。

YS-0 の操作と介助に関してビデオで記録し，時間経過による推移を検証した。実験条件，操作手順全体の時間経過を図 14 に示す。装置操作と介助動作を観察するため，ビデオカメラで記録し時間経過を検証した。被験者（介助者）は健常男性 5 名（20 代 3 名　40 代 1 名　50 代 1 名）である。事前に操作方法を説明し，学習した手順に従い操作・介助するよう指示した。被介助者は健常男性 1 名（22 歳　身長 168 cm　体重 60 kg）で

■ビデオカメラで記録，時間経過を検証
・被験者（介助者）健常男性 5 名（20 代 3 名　40 代 1 名　50 代 1 名）
・事前に操作説明，学習した手順に従い操作・介助
・被介助者　22 歳　健常男性　身長 168 cm　体重 60 kg
　・肩峰部及び頭頂部にマーカー，車いすに椅坐位で待機
　・シュートパンツに半袖 T シャツ，頭部形状がわかる帽子を着用
　・できるだけ四肢に力いれず，介助者に動きゆだねるよう指示



■背もたれとホームポジション
被介助者は前傾姿勢
膝折れの危険性

→ 背もたれ位置を後退

■膝折れ防止パッドの操作時期
立位直後及び着座直前が望ましい
前傾姿勢でサポートがないのは危険

→操作手順の見直し

図 14　YS-0 の評価　装置操作と介助動作の観察

ある。肩峰部及び頭頂部にマーカーを貼り，車いすに椅坐位で待機させた。シュートパンツに半袖 T シャツ，頭部形状がわかる帽子を着用した。介助される際には，できるだけ四肢に力いれず介助者に動きをゆだねるよう指示した。観察の結果，装置上で立位を取る際に姿勢を支持する背もたれに着目すると，被介助者がパッドにやや押され前傾姿勢となっていた。患者の場合では膝折れの危険性がある。背もたれ位置を後退したほうがよいと思われる。また，膝折れ防止パッドの操作時期に着目すると，移乗時の前傾姿勢でサポートがないのは危険性が高いと思われる。パッドの操作時期は立位直後及び着座直前が望ましい。操作手順の見直しが必要である。その結果，以下の 2 つの問題があることがわかった。ひとつには，車いすから装置へ，また装置から車いすへの移乗の際，足を乗せるプレートが後方のホームポジションに移動すると，足位置に対して背もたれがやや前方に位置するため，被験者が前傾姿勢となり膝折れの危険性があることである。この対策として背もたれ位置を後ろに移すこととした。もうひとつは，車椅子から移乗する際，膝折れ防止パッドを取り付けるとき，被験者姿勢がやや前傾姿勢であり膝折れに対するサポートがなく危険性があることである。パッド取り付け・取り外しは立位直後と着座直前が望ましく，危険を回避するように操作手順を見直す（図 15）。

YS-0 の下肢関節運動と下肢周径および運動強度を計測した。関節運動は以下の方法にて計測した。まず関節角度から脚の運動状況を観察した。日本光電社製多用途テレメータ角度ユニットを用いた。大転子点を中心に装着し，大腿骨の可動角度を計測した。また，踝点を中心に装着し，足関節の底屈・背屈角度を計測した。ひざはほぼ伸展を維持すると考え計測しなかった。下肢（フクラハギ部）周径をプレスチモグラフにて計測した。下肢筋の収縮を筋紡錘・腱紡錘の活動指標で評価した。訓練による運動負荷を血圧・心拍数により評価した。これらは日本光電社製ベッドサイドモニタ BSM2353 を用いて計測した。股・足の関節角度を計測し下肢の運動状況を確認した。下肢（フクラハギ部）周径を計測し下肢筋の収縮を推定，筋紡錘・腱紡錘の活動を観察した。また血圧・心拍数を計測し運動強度を観察した。運動時 5 分間の時間経過を観察した。股関節は 17 度を中心に前に約 8 度，後ろに約 5 度振れている。足関節は背屈約 15 度，底屈約 8 度を繰り返した。股は健常者歩行時の約 1/3 程度，足はほぼ同じ程度の振幅を生じた。また下肢周径は上記運動と同じ周期で振動した。運動による心拍・血圧の変化は小さかった（図 16, 17）。

■関節角度　→　脚の運動状況
　日本光電社製　多用途テレメータ　角度ユニット
　　大転子点を中心に装着　　大腿骨の可動角度を計測
　　踝点を中心に装着　　足関節の底屈・背屈角度を計測

■下肢（フクラハギ部）周径
　プレスチモグラフ
　下肢筋の収縮　→　筋紡錘・腱紡錘の活動指標

■血圧・心拍数　日本光電社製　ベッドサイドモニタ BSM2353



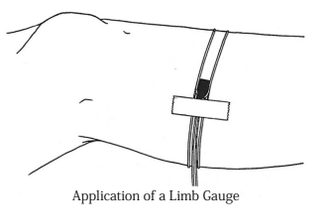


図 15　YS-0 の評価　関節運動と下肢周径の計測

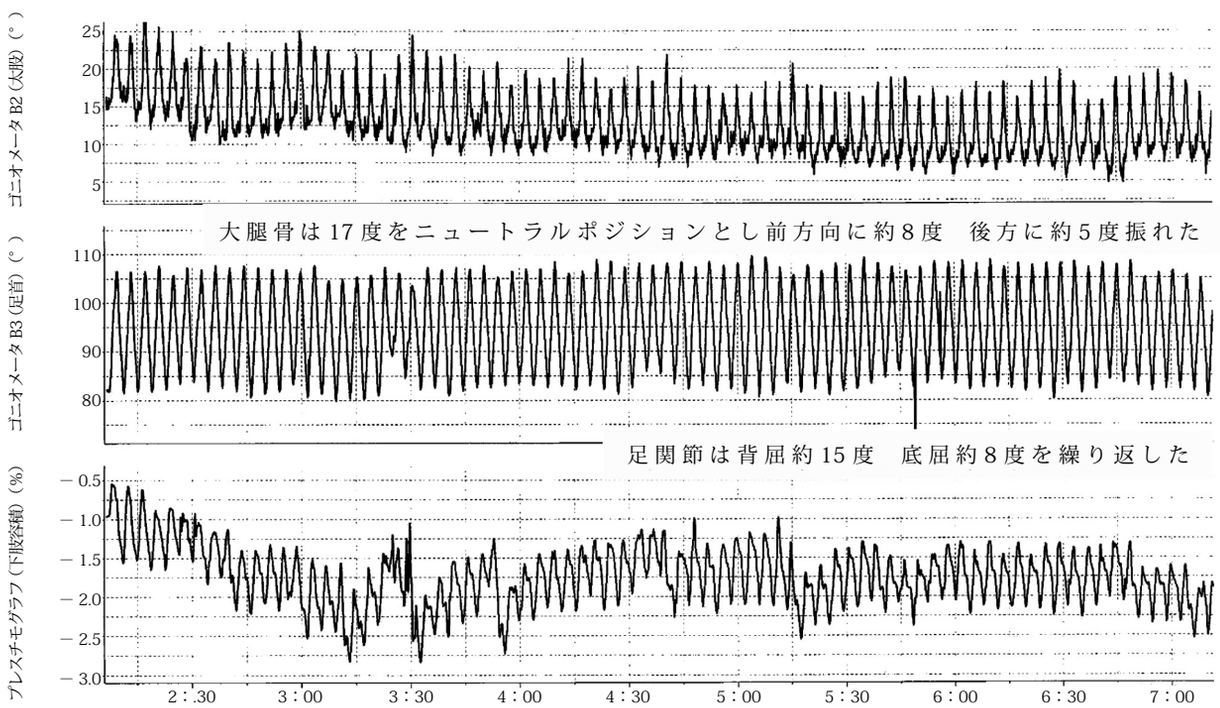
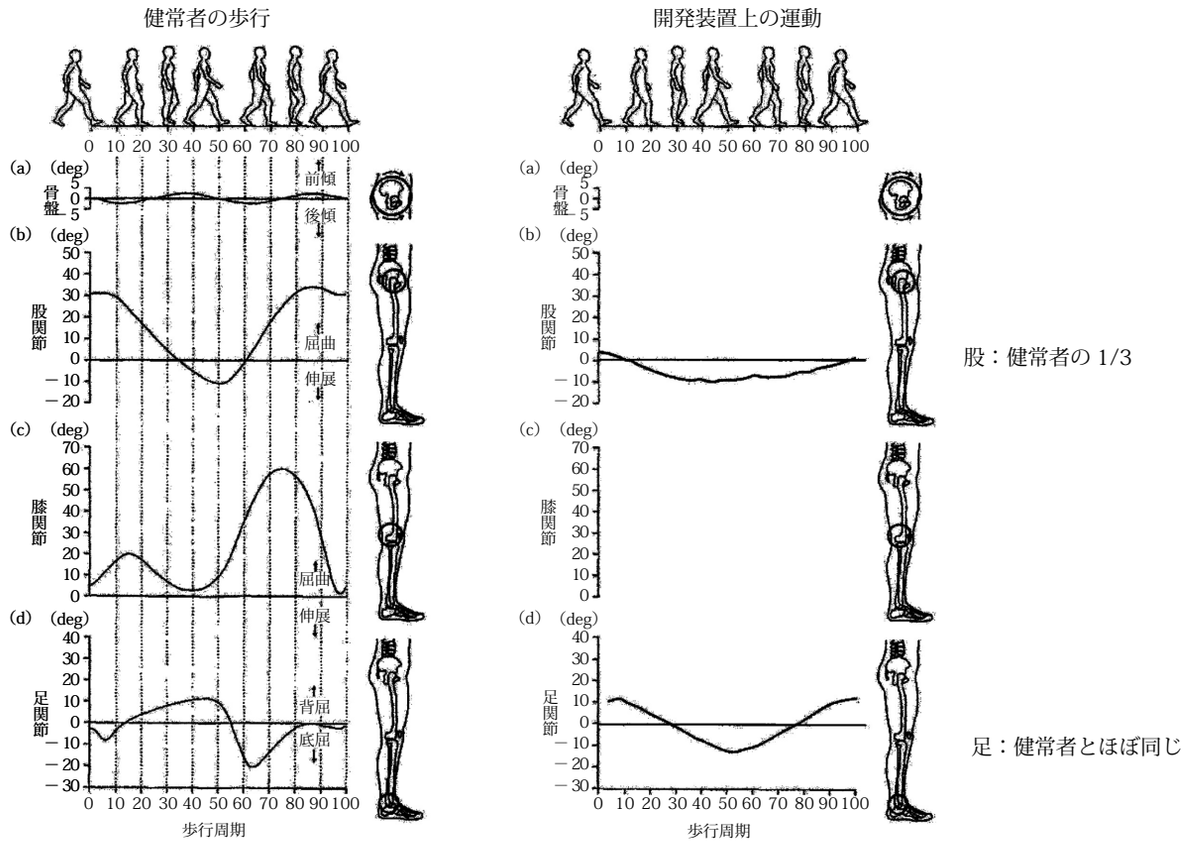


図 16　YS-0 の評価　関節運動と下肢周径の計測結果
　　運動時 5 分間の関節角度･フクラハギ部周径の変化



歩行－周期中の下肢三関節の動き（Neuman, 2002）

図 17　YS-0 の評価　関節運動と下肢周径の計測結果
歩行周期における関節角度の推移の比較

これらの検証実験と療法士・施設関係者等現場からの意見，また医学論文の情報を勘案し，本装置の位置づけ，特徴，実用化への課題についてまとめた。本装置の位置づけについては，心拍数・血圧の急激な変化を伴わない穏やかな運動が可能な装置である。これは特に高齢者や障害者にとってメリットがある。また，運動に伴い末梢感覚系への入力が残存する中枢神経系への良い刺激となり，中枢神経系の再組織化に寄与することが期待される。本装置の特徴については，①立位による荷重が免荷なしに足底にかかること，②交互の両脚のステッピング運動が可能であること，③左右への重心移動を検知し介助していること，④遊脚期の下肢動作，⑤下肢運動域が股は健常者の 1/3 程度，膝は健常者と同程度，⑥ふくらはぎの筋紡錘・腱紡錘の伸縮により求心性信号の深部反射発現に寄与が期待されることがある。このうち，③はやや不十分な点があり，④は踵を上げる運動が可能であるものの一部にとどまり不十分である。

これより実用化への課題を整理する。①遊脚期の下肢動作を可能とし健常者に近い運動にすることである。とくに療法士や施設関係者からの指摘が多い，つま先を上げる運動は重視したい。②運動結果を視覚･聴覚へフィードバックする仕組みを改良する。既に画面等で一部実装済であるが，より効果的な方法を模索する。なお，以上の機能改良の際に，在宅訓練用簡易装置ではコストとの兼ね合いがあり必要最低限の機能に絞り込む。他の課題として移乗をより簡単・確実にすることがある。

以上の評価をもとに，機能を絞った簡易装置を開発中である。在宅用の低コスト，小型軽量の装置とし実用化をねらいたい。前後スライド動作により歩行動作を介助する駆動機構，および転倒を防止するとともに過度な拘束がなく随意性を生かせる支持具を設計・試作する。介助調整機能，操作性などは前年度までの研究成果をもとに，在宅用として機能を絞り込み低コスト化をはかる。また表示，操作性も高齢者が理解し使いやすいように簡素化する。また，安心感があり親しみのある外装を検討，また移乗等を実地に検証する。

5　終わりに

医療福祉現場からの期待を背景に，国産のリハビリロボットを実用化していくことが強く求められている。その方策として３点を挙げた。①ロボットはリハビリプロセス全体の見直しのツールである，②今後の事業領域は家電ライクな家庭用機器である，③実用化する手段はシステム思考で展開する。医療福祉側と工学側とで議論を重ね，国産のリハビリロボット実用化を推進していきたい。本文がそのための参考になれば幸いである。なお，本文で紹介した研究成果は，九州産業大学工学部牛見宣弘，芸術学部青木幹太，総合せき損センター医用工学研究部藤家馨，同片本隆二，同リハビリテーション科須堯敦，ロボフューチャー株式会社木原由光，アイクォーク株式会社立石憲治の各先生方のご指導ご協力による，ここに深謝する。

参考文献

1）大隅久，WG3，被災地で利用されたロボット技術とその課題，日本機械学会誌，115，No. 1123，352-353（2012）

2）井上猛雄，災害とロボット，オーム社（2012）

3）日刊工業新聞社ロボナブル，http,//www.robonable.jp/

4）榊泰輔，岡島康友，内田成男，富田豊，ロボット技術を応用した下肢機能回復支援システム，リハビリテーション医学，40，No. 3，190-195（2003）

5）Shindo K, Kawashima K, Ushiba J, Ota N, Ito M, Ota T, Kimura A, Liu M., Effects of Neurofeedback training with an electroencep halogram-based brain-computer interface for hand paralysis in patients with chronic stroke, a case series study. J Rehabil Med., 43, 951-7(2011)

6）Sankai, Y. et al., Study on Hybrid Power Assist HAL-1 for Walking Aid using EMG. Proc. of the JME on Ibaraki Symp., 269-272 (2000)

7）和田太，蜂須賀研二，歩行訓練ロボット，総合リハ，37，No. 9，813-819（2009）

8）川平和美，片麻痺回復のための運動療法，医学書院

9）村岡慶裕，才藤栄一，歩行補助ロボットの開発，日本ロボット学会誌，26，No. 8，878-880（2008）

10）Taisuke Sakaki, Nobuhiro Ushimi, Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, Atsushi Sugyo and Yoshimitsu Kihara, Rehabilitation Robots Assisting in Walking Training for SCI patient, 8th IFAC Symposium on Biological and Medical Systems, CD-ROM (2012)

11）Taisuke Sakaki, Nobuhiro Ushimi, Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, Atsushi Sugyo and Yoshimitsu Kihara,Rehabilitation robots assisting in walking training for SCI patient, 2013 IEEE RO-MAN, USB (6 pages) (2013)

平成 26 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
ベッド上生活者用介助ロボット

ジャミング転移による持ち替え可能な万能カフ

Universal Switchable Cuff by Jamming Transition

○　総合せき損センター　医用工学研究部・片本隆二
同　中央リハビリテーション部・小宮雅美・岩橋謙次・片渕美並
九州産業大学工学部　バイオロボティクス学科・村上剛司

キーワード：手指麻痺、食事、万能カフ

1.　はじめに

先行研究より対象物に押し当てると輪郭に沿った形に変形し、その状態で内部を吸引すると硬度が変化し固定するジャミング転移を用いたハンドがある。我々は把持装具としてジャミング転移を用いたポータブルグリッパー（図 1）を報告したが、活用方法の明確化と把持力強化の面で課題を残した。

本研究は手指に不自由のある方の生活に有用な道具の開発を目的に、活用方法の明確化と把持力強化に関する考え方を多職種や患者との連携・協力によりまとめたものである。



図１　ポータブルクリッパー

2.　活用方法の明確化

研究を推進するにあたり硬度の変化により把持することで○○ができるという対象物を絞り込み、現物の解決案をエンジニアとデザイナー(著者/医用工学研究員）が制作し、ユーザーや医療スタッフと共に考えることが必要と考えた。そこで興味があり協力できるという総合せき損センターの作業療法士 3 名を加え、総合せき損センターと九州産業大学の共同研究契約に基づき研究を実施した。作業療法士との会合の度に議事録を作成しリハ部長と情報を共有した。

2.1.　作業療法士の評価

作業療法士にポータブルグリッパーの現物や動画を提示し意見や感想を聞き取った結果､「病院内の自動販売機に設置して落したコインを拾えるようにしてはどうか」｢グローブ型でフォーク等での食事に使えるか見てみたい」の 2 点を得た。次に付加価値を加えたスケッチを複数描いたが、患者の意見を聞かないと現実に何が掴みたいか分からないという点で全て共通していた。

2.2.　入院患者の評価

作業療法士と協力してポータブルグリッパーのデモンストレーションを当センターの病室にて行い、任意に「掴むこと」に関する困った体験談を聞き取った。その結果は 3 つに分類できた。●ハサミを持てないので置いたままでハサミを使いたいなど、既存のユニバーサルデザイン製品で実現可能なこと。●脱衣所で下着やモノを落しやすく自分で拾いたいがコルセットが邪魔など、検討する意義はあるが硬度変化の特性を用いる必要の無いこと。●コンタクトレンズを装着できないので自動で装着するなど、技術的に解決困難なこと。

2.3.　評価のまとめ

聞き取りから対象物をひとつに絞ることができなかった。対象物を絞るほど硬度変化の特性を用いる必然性が無くなり、他のよりシンプルな解決策が妥当となる(例えば対象物をコップに絞った結果､フックやストローを付けるなどで即解決)。

そこで対象物を 3 個程度に絞った使用シーンを考えた。硬度の変化により把持するという他には無い汎用性は、掴むことを一連の流れとして実施する際に活用できる｡つまり持ち替えることが可能である。作業療法士の評価に食事が挙げられており、持ち替える点に着目してフォークからスプーン、調味料を自在に持つことができればより食事を楽しむことができるだろう。使用頻度の面からも食事であれば毎日利用される可能性があり、開発の意義はある。

3. 機能面の考え方

ポータブルグリッパーの機能的課題として「把持の成功率が低い」「吸引用シリンジが硬く引くことが困難」「風船の膨らみの管理が困難」がある。対象物の上から風船を押し当てるとその形に変形するが、対象物の裏面に回り込む力はないか少ない。「把持の成功率が低い」点の対策を検討し、「内部素材の検討」「吸引力強化」「風船の回り込み強化」「風船の粘着力強化」4 つを掲げた。ここでは「吸引力強化」と「吸引用シリンジが硬く引くことが困難」の対策として実施した電動化を中心に示す。

対象物に押し当てると圧力センサーが感知し、12V の真空ポンプ（真空範囲 0-1600mmHg、1730 円）で内部空気を吸い上げる仕様とした。離す際はボタンスイッチを入力する。試作した結果より圧力センサーによって動作する点は直感的であったが把持力は不足している。また吸引し続けることで形を保持しているため常時動作音があり改善を検討している。

動力により吸引だけでなく注入も実現できれば、「風船の膨らみの管理が困難」である点は解決できる。加えて押しつける前に少し風船に空気を注入することで「風船の回り込み強化」に繋がる可能性がある。しかし回り込んだ状態で吸引を開始すると、体積変化に応じて回り込んだ部分から離れることが予想される。そこで「風船の粘着力強化」によって対策した風船サンプルを制作中である。

4. ニュースリリース

食事のための新しい万能カフというコンセプトで右利き左利きどちらも使えるように配慮してスケッチを描き、作業療法士とバイオロボティクス専門家に確認後その実現へと移った。それら成果を一枚にまとめたニュースリリースを作成した（図２）。開発途上品の協力者や支持者を集めるための試みである。

5. おわりに

現時点での使用シーンは食事に絞り込み、改善を繰り返しながら他の活用方法を検討することとした。聞き取り調査の際に「掴むこと」に関してではなく、「持ち替えること」で困った体験談を調査していれば興味深い結果が得られたかもしれない。


撮影・複製禁止 秘密

総合せき損センター

自在に道具を持ち替えられる
把持装具(α版)

新しい万能カフ「JAM CUFF」のサポーター募集

ジャミング転移を用いて自分で持ち替えることのできる万能カフを追求しました。例えばフォークからスプーン、調味料を自在に持ち替えられれば食事の楽しみ方が広がります。

ひとつでいろんな物が持てる。
拾うなど想定外のモノに対応できる可能性がある。
自分でできるので外れてもチャレンジできる。
持ち方や角度を押し当て方によって選べる

■ 使い方
・直感的。ふくらみを対象物に押し当てると圧センサーが感知して、自動把持します。
・道具におまかせ。対象物に併せてグリッパーの形が変形します。
・ボタンスイッチ（付け替え可能）を押すと離します。
・電池で動くので持ち運びもできます。

■ 使えるかどうかの判断材料
・掴む
把持力弱く押し当て方にコツがあり、上肢の操作性が必要

■ コメント
・把持力弱く落ちることも多く、これがつかめるぞ、という売りが無いのがやはり欠点です。
・掴めるか試したいなど、興味があり協力できる方を募集しています。

■ お問い合わせ
総合せき損センター 医用工学研究部 片本隆二 内線 3601
中央リハビリテーション部 小宮雅美 / 岩橋謙次 / 片渕美並 内線 3504

図２　成果をまとめたニュースリリース

本研究は毎月１回を目安に医用工学研究員と作業療法士がスケッチやモデルから要望や可能性を話し合い、必要に応じて当センター入院中の患者に聞き取り調査を行い、その結果から医用工学研究員とバイオロボティクス専門家が改良案の実現を反復したものである。成果をまとめたニュースリリースは院内に掲示しサポーター募集をしている。

参考文献

1) Eric Brown etc ; Universal robotic gripper based on the jamming of granular material, Proc Natl Acad Sci U S A. 2010

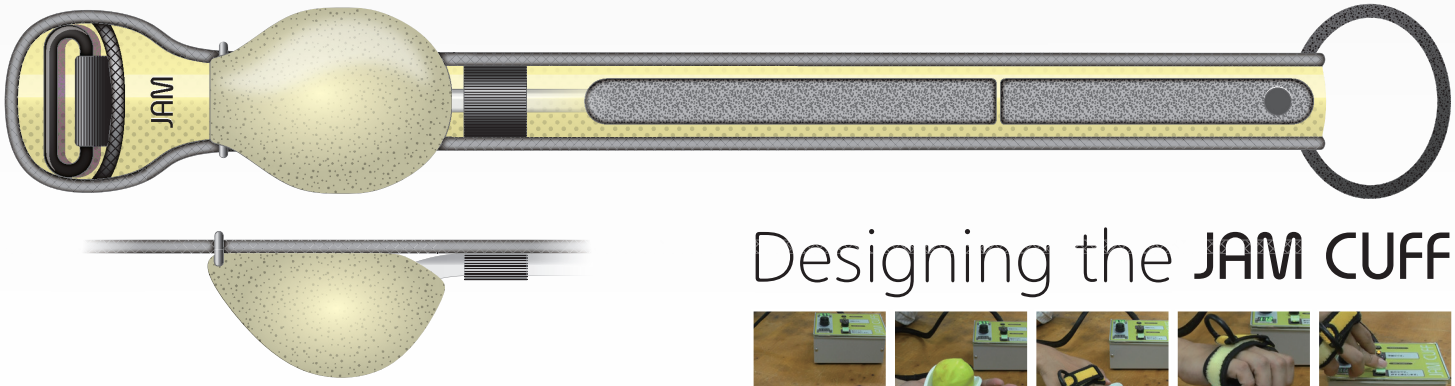
2)片本隆二; 装具-把持装具、ポータブルクリッパー-, リハビリテーション・エンジニアリング Vol. 29 No. 1, p12-14, 2014

3) 片本隆二他; 粉流体を用いたポータブルグリッパー～紙バンドを使った用具の提案～, 第 28 回リハ工学カンファレンス, p289-290, 2013

ジャミング転移による持ち替え可能な万能カフ

Universal Switchable Cuff by Jamming Transition

総合せき損センター 医用工学研究部・片本隆二
同 中央リハビリテーション部・小宮雅美・岩橋謙次・片渕美並　九州産業大学工学部 バイオロボティクス学科・村上剛司



Designing the JAM CUFF

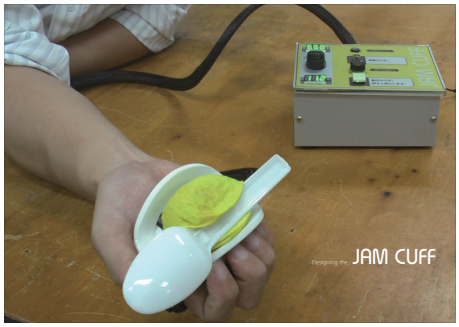
① はじめに

旧体制　新体制



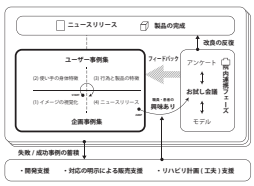
● 把持装具としての課題は、「活用方法の明確化」と「把持力強化」である。
● 多職種や患者との新体制によりポータブルグリッパーを再検討した。

※ 先行研究より対象物に押し当てると瞬間に引っ張った形に変形し、その状態での把持を保持すると硬度が変化し固定するジャミング転移を用いたハンドがある。



ニュースリリース

食事のための新しい万能カフというコンセプトで右利き左利きどちらも使えるように配慮してスケッチを描き、作業療法士とバイオロボティクス専門家に複図後その実現へと移った。それら成果を一枚にまとめたニュースリリースを作成した。開発途上品の協力者や支持者を集めるための試みである。



② 活用方法の明確化

硬度の変化により
把持することで、○○ができる。
↓
あれを掴むことができる？
↓

できてる
必要か？

☞ 聞き取りから対象物をひとつに絞ることができなかった。対象物を絞るほど硬度変化の特性を用いる必然性が無くなり、他のよりシンプルな解決策が妥当となる(例えば対象物をコップに絞った結果、フックやストローを付けるなどで即解決)。

③ 電動による把持力強化

吸引用シリンジが硬く引くことが困難 → 把持力強化
↓
真空ポンプによる自動吸引



● 圧力センサーを使った動作は直感的。
● **予想に反して、把持力は不足。**
● 常時動作音がある。

※ 対象物に押し当てると圧力センサーが感知し、1つの真空ポンプ(固定範囲0-160mmHg)での設定値を越えたときに電子的にオンスイッチを入力する。



② 活用方法の明確化

硬度の変化により
把持することで、○○ができる。
↓
持ち替えることができる!!
↓

フォーク
スプーン
調味料

☞ 作業療法士の評価に食事が挙げられており、持ち替える点に着目してフォークからスプーン、調味料を自在に持つことができればより食事を楽しむことができるだろう。使用頻度の面からも食事であれば毎日利用される可能性があり、開発の意義はある。

④ 結論

例えばフォークからスプーン、調味料を
自在に持ち替えられれば食事の楽しみ方が広がる。

現時点での使用シーンは食事に絞り込む

● 聞き取り調査の際に「掴むこと」に関してではなく、「持ち替えること」で困った体験談を調査していれば、興味深い結果が得られたかもしれない。

平成 26 年度
【②意匠設計】
プロダクトデザイン

歩行バランス訓練ロボットの設計研究(その 2)

～在宅向けの機能試作と運動強度～

片本隆二[*1] 藤家馨[*1] 榊 泰輔[*2] 青木 幹太[*2] 木原 由光[*3] 有薗 央[*4] 立石 憲治[*5]

*1 総合せき損センター 医用工学研究部

*2 九州産業大学

*3 ロボフューチャー株式会社

*4 株式会社有薗製作所

*5 アイクォーク株式会社

要約 : 近年、在宅向けの介護や訓練ロボットは要介護者の自立と介護者不足の緩和、新産業育成という面で期待を集めている。これまでに我々は非骨傷性頚髄損傷者の特に左右への重心移動、遊脚の基礎的な歩行パターンの再学習の支援を目的に「歩行バランス訓練ロボット」を開発した。それを在宅向けのロボットとして展開すべく、機能簡素化・小型軽量化・低コスト化・省電力化、操作性向上を検討し、機能試作を実施したので報告する。「歩行バランス訓練ロボット」は高齢者の利用が想定され、その場合の運動強度は軽い方が望ましい。そこで試作機による 10 分間の運動強度を評価した結果、運動時の METs(Metabolic equivalents) は安静時のおよそ 1.5 倍の強度で心肺機能に負担を及ぼす運動ではなかった。また動画とステップ回数より動作を繰り返すと小さな重心移動になる可能性があり今後の検討課題とした。

1 はじめに

福岡県脊髄損傷発生疫学調査によると新規脊損発生率は 30 人/100 万人で、高齢者(60～80 歳)の骨傷のない(60%) 不全損傷(70%)が占める割合が高い[1)]。特に中心型損傷(非骨傷性頚髄損傷)が多く、上肢の力は弱く下肢はある程度の力がある。発生の原因は転倒など比較的軽微な外力であり飲酒合併を 1/3 の例で見られ、手をつくなどの防御が不十分であり高齢者に多いが若年者例もある[2)]。非骨傷性頚髄損傷の回復は受傷後 1～3 カ月間の改善が目覚ましいが、その後も 6 カ月程度までは改善が見られる[1)]。60%が歩行を獲得し 3 カ月以内に自宅に退院し外来治療することが可能である[3)]。40%に重篤麻痺が残り 12 カ月のリハビリを実施する(車いすでの自立、又は何とか屋内平地であれば歩ける)。下肢の訓練は関節可動域訓練から始め、徐々に訓練メニューを筋力増強訓練、座位保持訓練、立位保持訓練、起立・着座訓練、歩行訓練の順で追加する。

本研究はこのような非骨傷性頚髄損傷者の特に左右への重心移動、遊脚の基礎的な歩行パターンの再学習の支援を目的に、2010 年に報告した図 1 に示す「歩行バランス訓練ロボット」の機能を在宅向けに移植し、さらに運動強度に関する評価を実施したものである。以下では 2010 年バージョンを 1 号機とし、図 2 の在宅向け機能試作を 2 号機とする。



図 1　歩行バランス訓練ロボット（1 号機）

在宅訓練のロボット化の意義は自宅に退院しても治療を推進できる点にある。例えば脳卒中患者ではリハ後歩行できるようになった患者にかえって転倒による大腿骨頸部骨折が多い[4]。自宅周辺での歩行は転倒のリスクがあり、一方で在宅で動かなければ廃用症候群のリスクがある。少子高齢化により家族など在宅での人手は不足しており、近年では介護や訓練ロボットは要介護者の自立と介護者不足の緩和、新産業育成という面で期待を集めている。

2　研究の流れ

a)　在宅向けの機能試作

在宅向けに機能簡素化・小型軽量化・低コスト化・省電力化、操作性向上を検討し、機能試作を実施した。

b)　運動強度に関する評価

2 号機の 10 分間の運動強度の指標を得ることを主要な課題として、その際の習熟による動きの違いも併せて検討した。

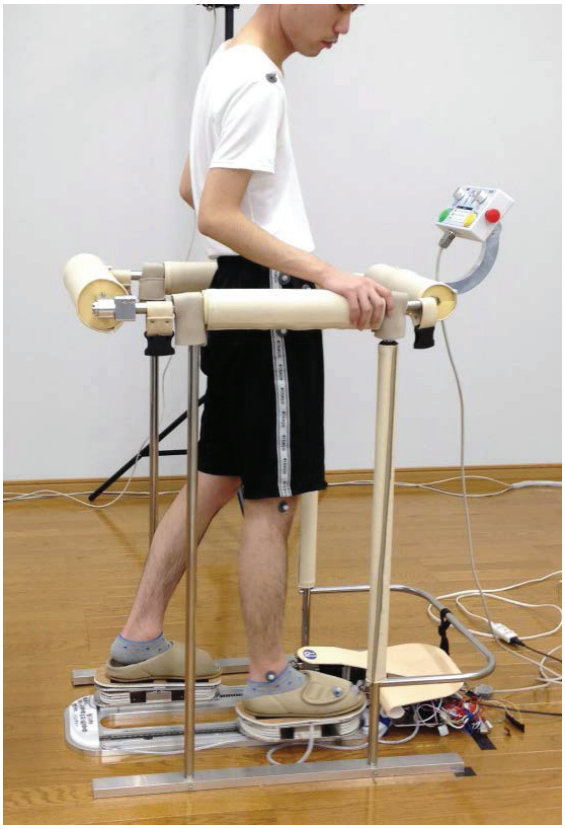


図 2　在宅向け機能試作（2 号機）

3　在宅向けの機能試作

在宅向けの本機能試作では操作性などはこれまでの研究成果をもとに、在宅用として機能を絞り込み低コスト化を図るものである。また回路・ソフト（スリープモードなど）の改良により 20%省電力化を図る。操作性についても 1 号機をベースに簡素化を図る。1 号機はＰＣタブレットを使用し柔軟に研究対応できるように高機能性を持たせ、かつ詳細なデータを取れるように開発した。これをもとに 2 号機は、在宅向けに機能を簡素化し操作性を考慮した専用の操作パネルを開発する。在宅向けに機能簡素化・小型軽量化・低コスト化・省電力化を実現し、簡素な操作で訓練を開始できることで高齢者障害者にも操作しやすいものを検討した。

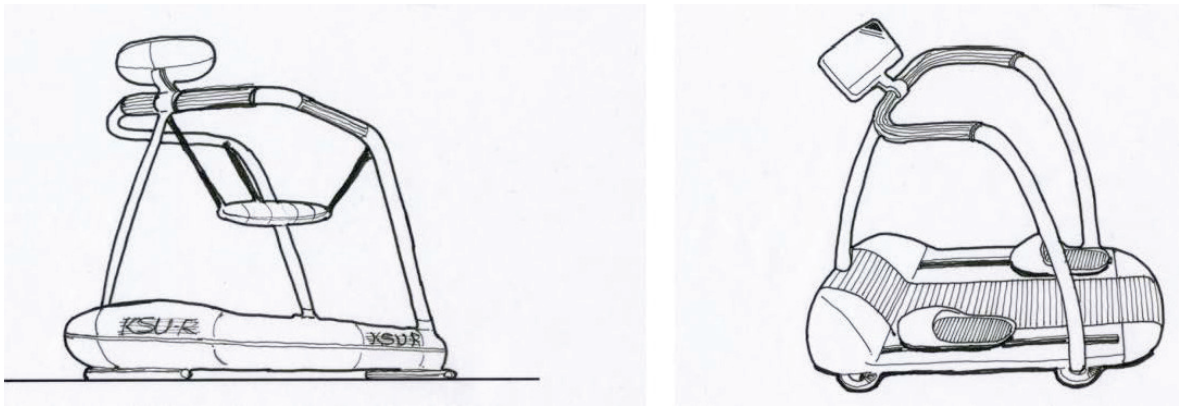


図３　外観の検討図



図４　操作パネルの検討図

２号機の検討図に関して外観イメージを図３に、操作パネルを図４に、動作部を図５に示す。

操作パネルに足圧の状態を表示している点が重要である。これは視覚により状態をフィードバックするためであり、直接的に足を見ることで腰が曲がることを防ぐ。非骨傷性頚髄損傷を含む不全麻痺者の運動機能の回復において、中枢神経の代償的活性化が関与している可能性が指摘されている。視覚などのフィードバックなど中枢に働きかけることも重要であるとされており[5]、本仕様はその要求に合致する。左右のつま先と踵部の合計４つのシート状圧力センサー（図６）により重心移動を検知する。

操作パネル（図４）に示すように患者に機能回復レベルを意識させるための訓練コースを設けた。現状は自動的なスライドの反復と、足圧変化をトリガーにした踵を軽く浮かせると他動的にスライドする２パターンの動きを実装している。

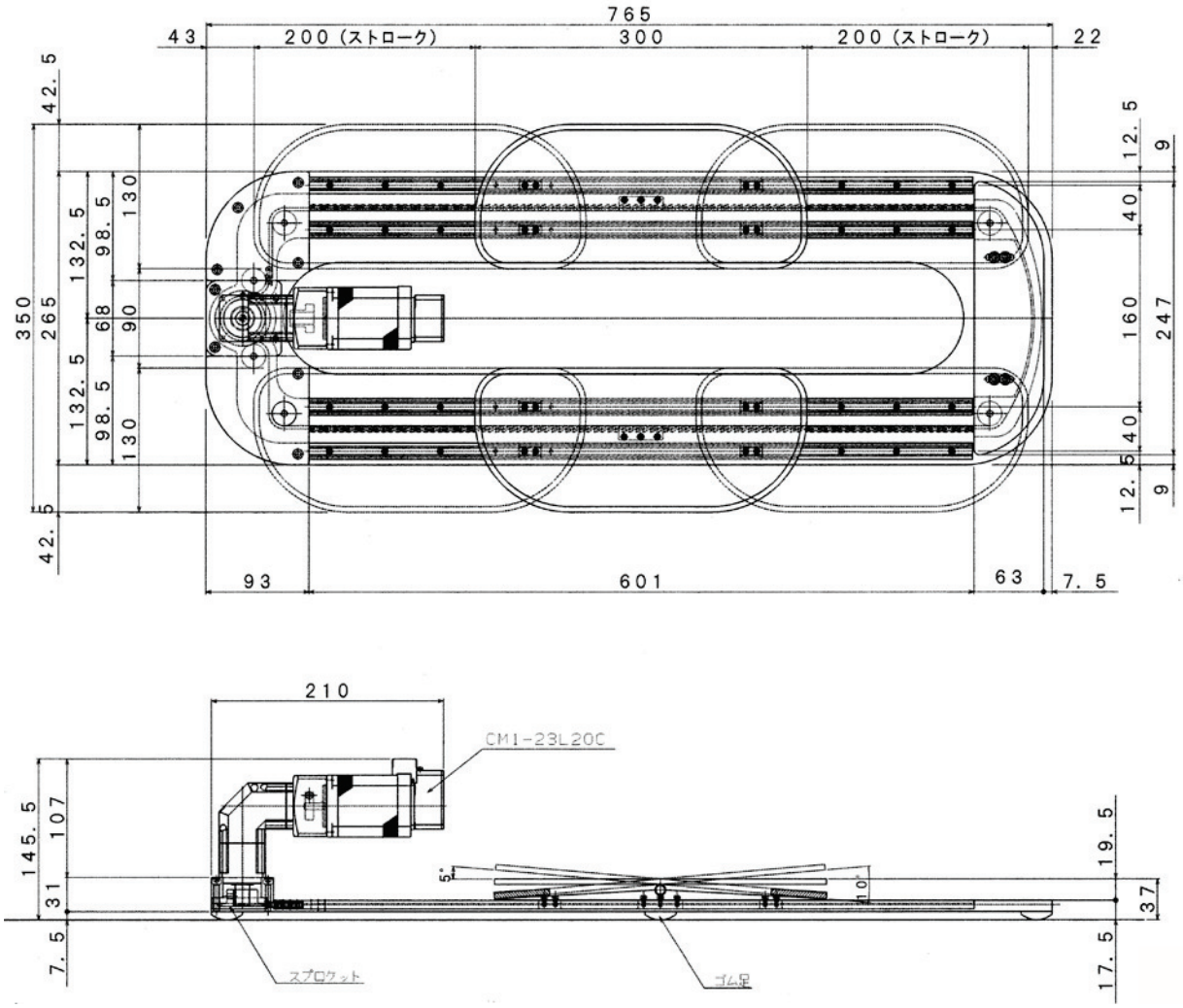


図5　動作部の検討図

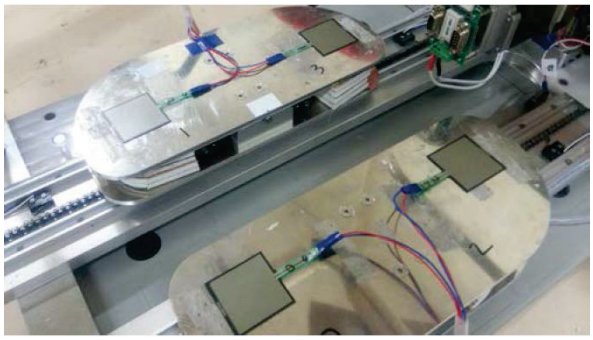


図6　センサー部

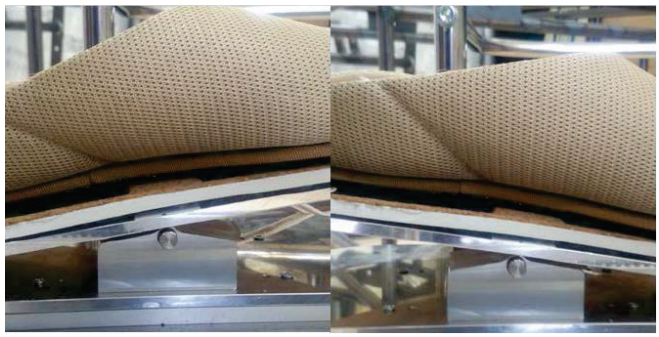


図7　足載せ部

表１ １号機と２号機の比較

	１号機	２号機
機能簡素化	高機能汎用機（PC タブレット）	在宅用簡易装置用操作パネル
小型軽量化	875g	400g
低コスト化	６万円程	３万円程(開発ベース)
省電力化	18w(充電時)	0.8w(動作時の操作パネルのみ)
操作性向上	PC タブレットの画面操作は慣れない高齢者等には難しい。病院での研究を目的とし、専門知識をもつ医師、療法士向け。	家電を意識し直感的な操作性を考慮、大きいボタンを配置し押し易くした。操作を間違えても簡単に復帰できる。

足載せ台は中央を支点にシーソーのように傾く簡易で低床化したものとした(図5･7)。尚、医師にデモした際ステップの傾きが完全にフリーの状態では膝過伸展になる可能性を指摘され、その原因について力学的に検討した。まず踵接地の後の立脚期では、背屈のまま後方に足が動く。このとき膝過伸展につながるモーメントがかかる可能性が大きい。この現象の要因としては、足首回転軸に対し足を乗せるステップの回転軸は水平方向に500mmほど前方にずれている。このため足が股の直下に近づいても背屈モーメントがかかり、これが膝に伝わると膝過伸展のモーメントになると考えられる。上記現象が起きないように、かつ遊脚に近い動きとして踵の浮きはできるようにするが求められる。これを簡単な機構で実現するか、コストとのバランスから機能を絞ることが今後の課題である。分析中の参考値としてスライド動作は約 3 秒/1 ステップ、股関節角度域は 5～15 度、膝関節角度域は5～35 度である。歩行時の角度変化量との比較より股関節は40%・膝関節は46%・足関節は62%である。

１号機と 2 号機の操作パネルを比較した表を示す（表 1)。操作パネル部分における消費電力は十分の一以下である。また、2 号機ではモーター駆動部について2個を1個に減らして低コスト化を図った(現在 1 号機は安全面から自走移動しない据え置き型に仕様変更しており、2 号機も据え置き型である)。モーターの消費電力は 1 個あたり定格 30Wであり、この部分でも省電力の効果があった。

4 運動強度に関する評価

歩行バランス訓練ロボットは非骨傷性頚髄損傷者を対象に「起立運動装置」の研究知見にメカトロニクス技術を導入したものである（図 8）[6]。非骨傷性頚髄損傷者は上肢の麻痺が強く下肢の麻痺は軽い。基盤とした「起立運動装置」の特徴のひとつは上肢を用いた比較的活発な身体活動であり若年層の利用を想定している。「歩行バランス訓練ロボット」では安静に近い状態で(矛盾)、下肢に全体重をかけた(一致)、下肢の随意的な運動の(変更点)、繰り返し(一致)で高齢者を含めた利用を特徴している。



図 8　起立運動装置

4.1　方法

被験者は若年健常者の男性 5 名とし 2 号機を利用した経験のある経験者群 2 名と初めて利用する初利用群 3 名に分けた。2 号機は足圧変化をトリガーにしており踵を軽く浮かせる(入力する)と他動的にスライドするように設定した。

酸素摂取量を VO2000 にて心拍と血圧を tango+にて測定した。併せて訓練動作をビデオカメラにて主に側方から撮影した。2 号機を用いた試験風景を図 9 に示す。

初利用群には使い方を口頭で説明した。1～2 分間の坐位安静後、2 号機上で 1 分間の静止立位保持後、2 号機を用いた 10 分間の能動的な訓練を課した。被験者別に 1 分間あたりの酸素摂取量、心拍数、血圧の区間平均を算出した。

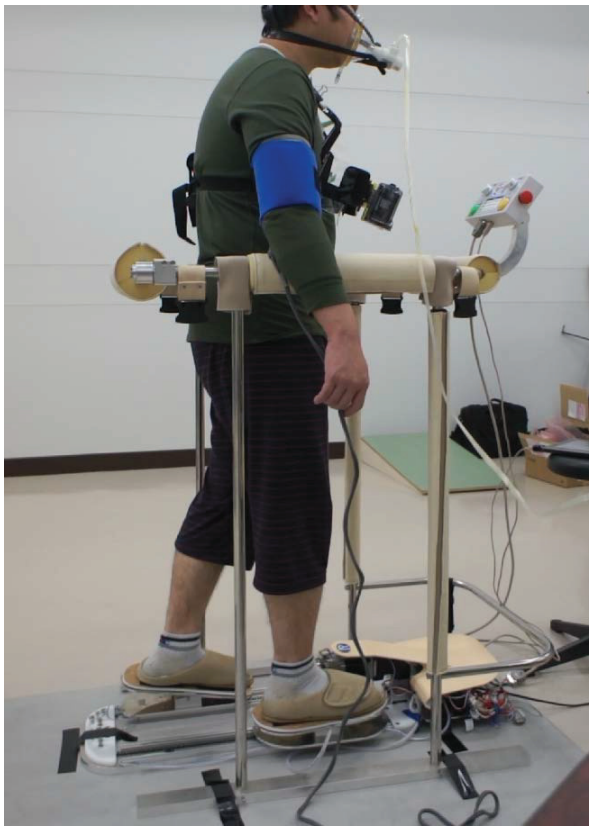


図 9　試験風景

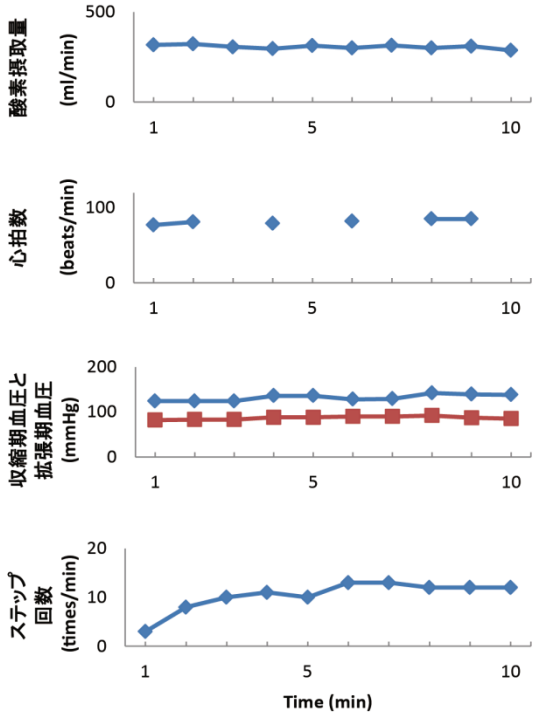


図 10　初利用 c の経時的変化

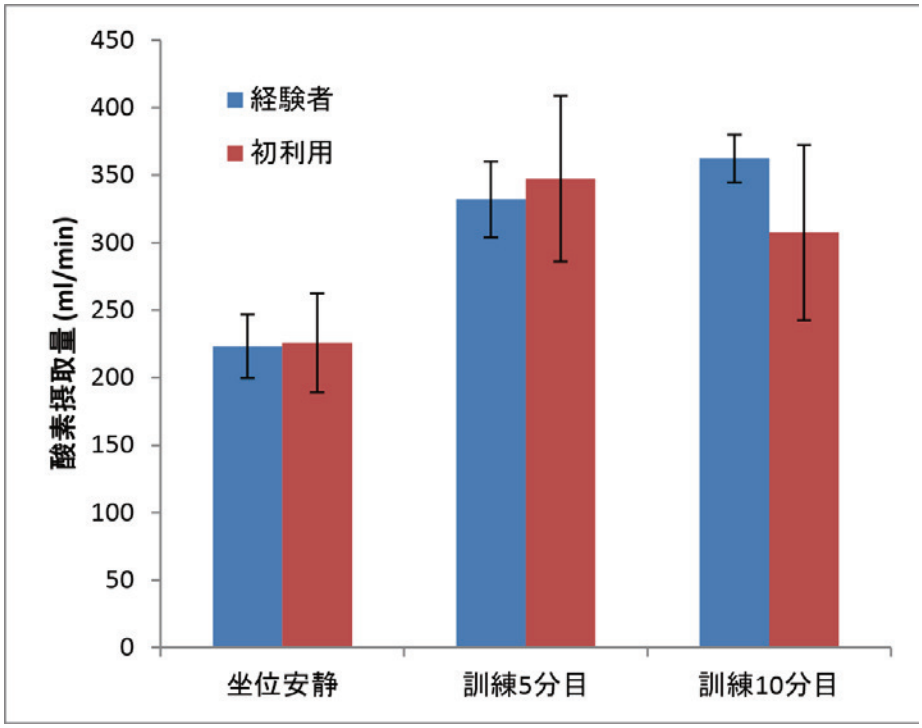


図 11　酸素摂取量

4.2　結果

初利用 c の 10 分間訓練の酸素摂取量・心拍数・血圧・ステップ回数の経時的変化をデータの処理結果として示す(図 10)。

経験者群(経験者 n=2)と初利用群(初利用 n=3)の合わせて 2 群について坐位安静時(安静)と訓練 5 分目と訓練 10 分目の酸素摂取量を比較した。経験者と初利用について身体的特徴を表 2 に示す。

1)　酸素摂取量 と METs

安静時の酸素摂取量は経験者と初利用について、それぞれ 223.3ml/min±16.7(平均値±標準偏差)と 225.9ml/min±29.9 であった(図 11)。訓練 5 分目の酸素摂取量は経験者と初利用について、それぞれ 332.0ml/min ± 20.0 と 347.4ml/min±50.1 であり 2 群とも安静時と比較して上昇した。訓練 10 分目の酸素摂取量は経験者と初利用について、それぞれ 362.3ml/min±12.5 と 307.4ml/min±53.1 であり 2 群とも安静時と比較して上昇した。

安静時の酸素摂取量を 1 として運動強度を算出した。訓練 5 分目の METs(Metabolic equivalents)は経験者と初利用について、それぞれ 1.5±0.3 と 1.5±0.1 であった。訓練 10 分目の METs は経験者と初利用について、それぞれ 1.6±0.3 と 1.4±0.1 であった。

2)　ステップ回数と動画観察

2 号機の仕様から 1 分間あたりの最大ステップ回数は 20 回である。経験者 a と経験者 b と初利用 e は主に 17 回以上を推移した(図 12)。動画の観察より上述の経験者 a と経験者 b と初利用 e は動作中に踵を軽く上げており連続的に次のステップが実行される傾向があった。

表 2　身体的特徴

	被験者 (n=5)	
	経験者 (n=2)	初利用 (n=3)
年齢 (years)	22.0 ±0.0	20.7 ±0.9
身長 (cm)	171.5 ±2.5	174.7 ±5.9
体重 (kg)	72.5 ±12.5	63.0 ±7.3
性別	男	男

±標準偏差

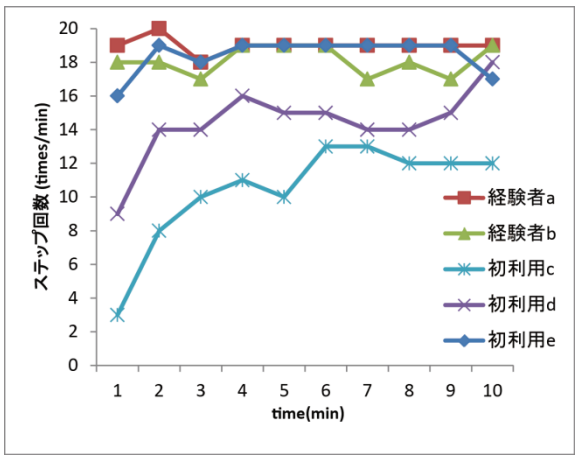


図 12　ステップ回数

初利用は共通して 1 分目から 2 分目にかけて大きくステップ回数は増加した(初利用 c と初利用 d は 5 回、初利用 e は 3 回増加)。動画の観察より初利用 c と初利用 d はスライド停止後に入力動作を行う傾向があった。ただし初利用 d の終盤は経験者同様に動作中に次の入力動作を行う傾向があった。初利用 d の最大のステップ回数は 10 分目の 18 回であった。初利用 c の最大のステップ回数は 6 分目と 7 分目の 13 回であった。後方から撮影した 3 分目の経験者 a と初利用 d の動画観察より経験者 a は入力時の体幹の揺れはほとんど無かった(図 13)。初利用 d は入力時の体幹の揺れは大きく、左右に傾けていた(図 14)。

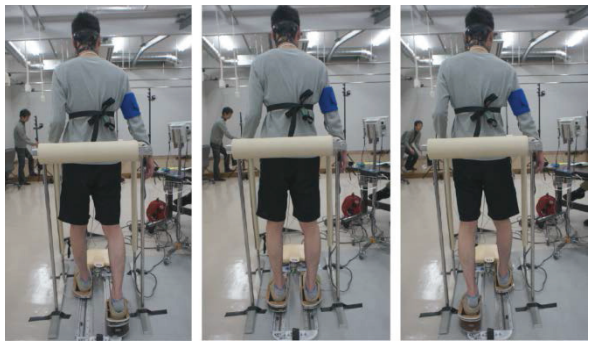


図 13　経験者 a の動作

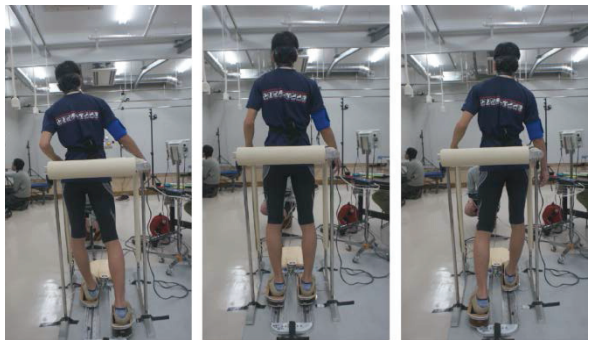


図 14　初利用 d の動作

4.3　結果のまとめ

運動時の METs(Metabolic equivalents) は安静時のおよそ 1.5 倍の強度で、坐位でのオフィスワーク程度である(ゆっくりとした歩行は 2～2.5METs)[7]。心肺機能に負担を及ぼす運動ではない。ただし動画とステップ回数より繰り返すと小さな重心移動になる可能性が示唆され、ステップ回数を増加するために動作中に入力する傾向が明らかとなった。重心計や足圧分布計を用いて 2 号機上で一側下肢に全体重のどの程度をどのようなタイミングで移動しているか今後調査する。



図 15　総合せき損センターでの試乗風景



図 16　産業医科大学での試乗風景

5　おわりに

本報告は非骨傷性頚髄損傷者や高齢者を被験者とした追加実験が必要だが、運動強度のひとつの指標として考えられる。本報告では非骨傷性頚髄損傷者を対象とした考え方を示したが、在宅用に低コスト化するにはマーケットを拡大する考え方が求められ、訪問看護や高齢者施設での高齢者の使用を含めた臨床現場の声が必要である。

多分野・多数の医師や療法士および看護師の意見を収集するために、総合せき損センター（飯塚市）で開催された第 48 回日本脊髄障害医学会ポスト・コングレスセミナー（2013 年 11 月 16 日開催）で体験展示を行い（図 15）、また産業医科大学リハビリテーション科（北九州市）の医師・療法士に１週間試用いただき（図 16）、さらに香椎原病院（福岡市）の理学療法士にも試乗いただいた。抽出したニーズより「東北・北海道（雪国の冬季）に家庭での歩行訓練にニーズがある」「足圧の視覚的フィードバックが良好」「下肢の随意的な動きで動作する点はよい」に着目して改善を検討している。加えて現在、転倒防止対策などさらなる安全面の向上を実施している。

本開発はロボット産業振興会議の平成 24 年度ロボット技術実用化事業ならびに同会議の平成 25 年度環境配慮型ロボット製品等開発支援事業として、九州産業大学と総合せき損センターとロボフューチャー株式会社と株式会社有薗製作所、アイクォーク株式会社と北九州産業学術推進機構との共同研究協定に基づき実施したものである。

引用・参考文献

1) 河野修；非骨傷性頚髄不全損傷の治療方針と問題点－総合せき損センターの立場から，クリニカルリハビリテーション Vol.20 No.5，418-423，2011

2) 芝啓一郎 編集；脊椎脊髄損傷アドバンス，14-17，南江堂，2006

3) 植田尊善；非骨傷性頚髄損傷－急性期の病態，治療－，日獨医報 第 45 号第 2 号，69-83，2000

4) 上田敏；目でみるリハビリテーション医学，東京大学出版会，13，1994

5) 和田太；不全脊髄損傷のロボット補助歩行訓練，リハビリテーション医学 vol.49 No.8，508-511，2012

6) 片本隆二他;立位保持訓練のための下肢他動的運動機能の実装とその妥当性, デザイン学研究 Vol.56 No.5, 73-78, 2010

7)厚生労働省;健康づくりのための運動指針 2006

8)片本隆二他; 起立運動装置の評価実験 ～健常利用者による筋ポンプに関する実験と潜在的ニーズの考察～, 総合せき損センター 医用工学研究部 2008 年研究報告書, 5-14, 2009

9)青木幹太他; 歩行バランス訓練ロボットの設計研究, 総合せき損センター 医用工学研究部 2010 年研究報告書, 11-17, 2011

平成 26 年度
【③事業モデル】

病院見学からのインプリケーション　調査資料

九州産業大学経営学部　産業経営学科　聞間　理

1. 事業モデル構築のための作業手順について

昨年度は、ロボット産業の市場特性と動向について分析を行った。平成２６年度は、下記の①②の項目について、事業モデル構築のための作業・分析を進めた。

①　医療介護福祉分野におけるロボメカ技術製品の開発・事業モデルの成功事例を収集・分析

↓

・医療と工学、医療と福祉、福祉と工学などさまざまな領域間の理解の壁が開発を妨げており、その壁をクリアーできたものが成功事例になりやすいとの知見を得る

↓

・Ｋ病院との連携プロジェクトにおいて医院内の行動観察とインタビューから、事業構造解析を実施

②　ロボット産業の市場特性と動向を引き続き注視・分析

↓

・Ｈ２７介護報酬改定により、介護施設やリハビリ医院の経営および雇用の悪化が見込まれる。

↓

・製品レベルのソリューションではなく、システムレベルのソリューションへのニーズが高まることが見込まれる

2. 調査結果について

リハビリテーション科のある、地域の医療機関をモデルとして、現場でのヒアリングおよび情報収集、文献調査をこれまで行ってきた。その調査記録について、下記に記す。

＜病院の１日の流れ＞

8:30　朝礼（各部によって定刻はずれている　全体朝礼のあと各ユニットなどに分かれて患者の情報については細かく情報交換をしている）
9:00　開始
12:00　お昼休み・入院会議など
17:00 終了（残業あり）～清掃
18:00～　記録整理・院内研修など

＜病院内の仕事役割＞
・病院内では、以下のような役割分担が見える。
－理学療法士（PT）
－作業療法士（OT）
－言語聴覚士（ST）
－運動療法士
－医師
－看護師
－医療ソーシャルワーカー
－介護福祉士（ケアワーカー）
－栄養管理士
－医療事務（クラーク）
－ケアマネージャー
－放射線技師
・これらの役割はバラバラではなく、**チームを組んで患者の治療**にあたっている。役割ごとに医療行為の_可否など、法律で決められた権限・活動制限はあるものの、コミュニケーションにおいてはかなりフラットな関係で行われている印象を受ける。

＜リハビリテーション科の組織＞
・いくつかの病棟の区分があり、それぞれの病棟に大きく分けて動いている。
（１）回復期リハビリ病棟
－Ｈ１６年度に開設
－４４床
－２４時間３６５日体制で患者をみる（リハビリも行う）＞３交代制で人が必要
－２９名のスタッフがつく
－３つのユニット（あさがお　さくら　ひまわり）にわかれている
－各ユニットは１０名ほどの複数名の理学療法士、作業療法士、言語療法士からなる。
－各ユニットごとに受け持つ患者はほぼ決まっている（何かあった場合には柔軟に助け合う）。
－他にも専任医師、医療ソーシャルワーカー、看護師、クラーク（事務員）などもいて、フロア全体を見て仕事を回している
－特に医療保険の点数が高く、病院の収入に寄与
－トイレやお風呂などの数が充実しており、退院後の生活へとスムーズに移行できるように工夫されている
－**単にリハビリをするにとどまらず、スタッフが企画立案したアクティブレジャー（おかし作り、カラオケ、ゴルフ）などにも取り組んでいる。**デイケアセンターのような活動をしている
－回復期リハビリ病棟でありつづけるにはいくつかの条件（病床８０％以上常に埋まっている、８０％以上の患者は自宅に戻す、指標で４点以上回復）があり、それを満たすことも重要なポイントとなっている。

（２）リハビリ専用病棟
－Ｈ１７年度に開設
－４２ 床
－週休２日（土日はリハビリ休み）
－リハビリ科スタッフは１４名ほど（PT８　OT４　ST２）。時間帯によって他のところから応援が入ることも。
－フロア全体をみているのは、専任医師１名、看護師１９名、ケアワーカー（介護福祉士　医療行為できないお世話係）８名、医療ソーシャルワーカー（他の病院からの受け入れや入退院をスムーズに移行させたり、医療介護保険関係の相談などにのるための仕事）２名、管理栄養士

１名などで、それにリハビリ科スタッフが入り込んでいる感じ。
－回復期が満室のときなどは一時的に受け入れたりもしている
－幅広い患者層（寝たきりから、まだリハビリに入ることができない急性期の人もいる）
－ほとんどの患者は医者の処方で**１日６単位（２時間）**のﾘﾊﾋﾞﾘを受けられているが、人手不足
－病棟からリハビリスペースまで離れているため、移動時間のロスを考え、ベッドサイドや共用スペースで行う場合もある。
－お風呂やトイレの数が少ない。交代でお風呂にいれるために時間の制約がでるほか、ご飯を食べさせる（手がかかる）ためにかなりの時間をとられている。
－寝たきりになってしまうと、昼夜のコントロールがうまくいかなくなることもあり、無理やり起こして車椅子に乗せて共有フロアに出すことも。しかし、そこで寝ている場合も少なくない。
－ケアワーカーや看護師は、ベッドメイクや最低限の世話でいっぱいいっぱいで、患者とのコミュニケーションなどに十分に時間をとることができていない印象。

（３）療養病棟
－患者１５０名を抱える
－土日休み
－全員がリハビリをするのではなく、長期入院になると月に１３単位しか指導できない（変動もあるが、患者の６割ぐらいだそう）
－リハビリ科のスタッフは７名出ていって他の病棟スタッフと回している
－動けない患者も多く、動ける患者もものしずか。目の離せない患者はベッドごと廊下に出されていることも。
－監視のための起き上がりセンサーなどは看護師の判断で使用している
－人手が不足していて、リスク管理をより強化せざるをえず、できる以上の動きをさせることができていない感じが強い（聞間主観）
－昼・夜の食事の時間が２時間半ずつとかなりの時間がかかっている。お風呂も数が少ないのでローテーションが優先事項となりやすい。

（４）訪問・通院総合介護センター
－通所リハ、訪問リハ、外来リハなどの業務を束ねた組織
－ケアマネージャーが属し、患者の受け入れや退院後の計画づくりなどの中心となっている
－介護は要介護度（７段階）のによって与えられる消費型の点数制になっており、これもケアマネージャーが中心となって介護計画などが立てられる

(A) 通所リハビリ
－リハビリ科からは３人（PT２　0T1）
－院外から巡回バスなどによってくる
－基本は各利用者が自ら目標を立てて行動する。そこに２０分のリハビリが付いている感じ。
－おしゃべりが多く、活発で明るい雰囲気
(B) 訪問リハ
特記事項なし
(C) 外来リハ
特記事項なし

（５）体力向上支援センター
－センター専属で、健康運動指導士が５名ついている
－保険外であるが月８０００円の会費でトレーニング器具を使って指導を受けながら運動できる
－スポーツジムとほぼ同様の運動器具がある

＜入院から退院まで＞

・医療ソーシャルワーカーが病院への受け入れのための基本情報を集め、管理する。
・医療相談室などがあり、そこで医療ソーシャルワーカーが医療介護の費用の相談・支援の申請などをサポートする。
・問題のある患者なども存在しており、その見極めや受け入れ方針を考えることも最初の大きなステップである。
・受け入れが決まったら、どのような治療をするか、どのユニットに担当させるか（リーダーはドクター）が決められる。
・細かい方針・治療計画などが立てられたら、本人と患者に説明を行い、同意の上、治療がはじまる。
・急性期の場合は入院は平均１０日ほど
・回復期の場合には入院は最大６ヶ月（介護保険の制度で決まっている）
・1 日の 1 患者あたりのリハビリ時間は３時間が上限。
・退院がある程度見えてきたら、自宅訪問などを行う。自宅訪問は、医療ソーシャルワーカーのほか、ケアマネージャー、リハスタッフ、福祉機器業者などが同行する。
・自宅訪問では、家に関するかなり詳細な情報を収集する（写真なども）。退院後の生活を想定してリハビリの計画なども立てられていく。
・**退院直前の自宅訪問では、福祉機器業者の役割が大きくなり、ベットやトイレ、てすりなどの設置についての打ち合わせがバタバタと行われる。あまりゆっくりと判断しているひまはない。**

＜１回の治療の流れ＞

・1 日のスケジュールは、PC（エクセル）の予定表に表示されるか、もしくはホワイトボードのマグネットに張り出される。ホワイトボードを利用する場合には、時間があるときにスタッフが自分の分の 1 日の行動計画を張り出す。
・事前にカルテ・申し送りシートなどを見ておく（慣れるとすでに頭に入っている）。変化があれば朝礼などで患者さんについての情報が入ってくる。
・予定時間になったら、患者を迎えに行く
・あいさつ、声かけなどをしながら、その日の体調や変化を掘り起こしていく
・**リハビリの場所まで移動させる。車椅子などの場合には、体起こしや移乗作業がある。このときの転倒防止にはかなりの気を使い、二人掛かりで行うこともすくなくない。**
・車いすに寝かせる時、ベッドに寝かせる時に、患者の容態によって楽な体勢は異なる。そのやり方を共有するために壁には写真が貼られていた。
・移動中も、コミュニケーションを絶やさない。
・リハビリの際には、患者の体を触っている時間がながい。これは、筋肉や筋などの回復具合を触ることによって確認できるメリットが大きいからだと思われる。
・リハビリ治療の時間は２０分単位。その２０分のなかでも、筋肉マッサージからストレッチ、歩行訓練など複数のプログラムが組み合わさっている。道具の取り出しや片付けも手軽で最小限になっていないといけない。
・回復の計測は月に１回など定期的に行っているとのこと（今回の見学ではその計測には当たらなかった）。**エビデンスの採取は患者さんや家族への説明に重要であるほか、リハビリ治療の研究発表においても重要**となる。
・治療は、日常の動作をかなり意識したものとなっている。
・**患者によっては思うように体が動かないことに対する苛立ちを示したり、スタッフにその怒りをぶつける場面もかいまみられた。**
・移動時間も治療時間に含まれるため、その短縮を狙ってか、ベッドサイドでの治療もよく行われていた。また、時間帯によって込み合う時間もあるので、それを避けるという理由もあると思われる。
・治療中にも、動き方のコツを教えたり、以前よりうまく動けているかどうかなどの細かいフィードバックを患者に返していた。

・**それぞれのリハビリスタッフには、週に治療に携われる時間に上限（日に最大２４単位、週に最大１０８単位）**がある。
・言語療法士に関しては、患者に書き取りなどの宿題を出していた。
・治療時間が終わった後には、患者を元のベッドなどに送り届ける。
・直ぐにではないが、後ほど、記録をつけている。報告書のための数字はメモなどに、より細かくとっている。
・毎月ドクター向けの報告書を取りまとめており、それはカルテにとじられる。
・毎月患者ごとにカンファレンスを行っており、そこでも振り返り、情報交換がされる（ただし、長期入院（１３単位）になると３ヶ月に１回)。

＜福祉用具などの購入機会について（T 社のベテラン営業マン）＞
・病院からの退院時に患者によって介護用品などはリースもしくは購入が検討される。
・どの事業者を選別するかはケアマネージャーに託されている。ケアマネージャーからみるといくつか事業者候補があり、一つに偏らないようにそのうちから選ぶ。
・事業者からみると、ほとんどがケアマネージャーからの紹介の仕事。ネット・電話などでも問い合わせがあるが全体の１割ぐらいしかない。
・病状によるが、**交換できることからリースが多い**。
・リースの場合には、事業所はリース会社から手配する。リース会社は購入するので慎重に選ぶ。
・買った器具に不満などが出ると次から勧めないようになる。
・選択の基準としては、**材質・大きさ・機能性**。カタログには無数の商品があるがおすすめするのはそのごく一部。
・患者の状況によって選ぶ道具の幅がでる。**疾患別の道具のカタログを作ろうと思った**ぐらい。
・大きさは家屋の状況が関わってくる。
・たくさんの用具を選ぶので、説明はシンプルにわかりやすくできなければならない。差別化されていても患者さんおよび家族に理解されないと意味がない。
・これはいいと思ったものをケアマネージャーに紹介することもある。その説明も１分以内で既存商品とどう違うかがはっきりといえるもの。ケアマネージャーが興味をもってくれればそのときに実物を取り寄せてもっていく。
・**患者さんにとってはケアマネージャーの発言力は大きい。**ほとんどケアマネージャーに頼りっぱなしといっていいぐらい。なのでアイディア商品にはなかなか飛びつきにくいのではないか。
・靴や杖などは、カタログではわかりにくいこともあり、定番モノをつくって勧めにくい（売店等で買う方が多い？)。
・事業者にはメーカー側から本社の企画部・商品担当部に訪問営業が来る。
・それ以外にも国際福祉機器展やバリアフリー展なども見に行く。これからの機器トレンドなどについて調査する目的。
・住宅改修のニーズも同時に生まれる。
・病院で使っていたベッドや車椅子などが一つの基準となる。ただし、ベッドに関しては病院のベッドはなぜか小さく感じられるらしい（よく布団は入るのかとの問い合わせがある)。
・福祉用具専門相談員の資格がある。**その資格がないと介護保険対象商品の相談・納品ができない。資格を取るのは難しくなく、５０時間の座学講習でとれる。**福祉用具サービス計画書などの作成ができるようになる。
・福祉用具専門相談員になったのち５年のキャリアと２０時間の講習＋試験で福祉用具選定士になれる。
・日本福祉用具供給協会による認定制度はあるが、must ではない。介護保険法に示す分類のどれかに合致すれば特に届け出がなくとも介護保険対象商品となる。
・**給付費は抑制傾向にあるので、介護保険対象商品が、介護保険法の見直しによって、広がる傾向はおさえられるのではないだろうか。**

＜人材育成＞

・まず働き始めの際には１週間ほどのオリエンテーションがある。
・プリセプターシップ制度というものがある。これは２～３年経験者と新人を組ませて、新人は先輩からいろいろと学び、先輩は後輩に教えることによって学ぶというものである。
・５年以上の経験者はスーパーバイザーとして指導に当たらせることもある。
・チャレンジ研修（ラダー教育）というものがある。５段階にわけ、ある程度経験を経た人間を研修に送り込ませ技術をつけさせるというものである。病院によってはどの研修を受け技術をアップさせることと給与の上昇をリンクさせているところがあるが、A 病院では採用していない。
・人事異動は年に２回ぐらい。４月に新人の受け入れがあるので、２～３月に経験者の移動が行われる。９月にも調整的な異動が行われる。

＜その他＞

・病院では生活医療（高齢者の生活の一部とする）とはたらきがいのある職場の２つを掲げている
・管理者同士は綿密に連絡をとっている
・トイレを中心に消毒を徹底している（感染症対策に腐心）
・病院の理念、科の目標（看護師は看護師の目標）などが作られ、毎日斉唱されている
・**介護保健制度、医療保険制度は数年に一度改正され、その影響がかなり大きい**
・厚生労働省が定めた基準通りに治療をほどこしたつもりでも、保険料を申請すると１００％帰ってこないことがある（役所が不適合と判定）。これが経営に大きなダメージを与えることがある
・患者には男女差がある。女性同士の患者は比較的仲良くなりやすいのに対し、男性の患者は比較的関係づくりが苦手。
・地域との連携活動も比較的多い。公民館への出前講座、病院祭の開催、広報誌の作成などもしている。
・病院内の雰囲気作りのために、スタッフ宴会、スタッフ旅行などもしている。
・インターンシップの受け入れなども盛んにおこなっている。採用募集などにもつながる効果があると考えている。

３．次年度の計画

次年度も調査を継続ながら、次の研究について遂行する

・領域間理解の壁をなくすべく、各テーマへ情報発信・助言
・専門領域横断型の人材のあり方

以上

平成２６年度　活動報告

平成２６年度　セミナー：

第１回ヒューマン・ロボティクスセミナー

テーマ：医療現場でのロボットの役割とは何か？

～療法士とロボット研究者によるジョイントレクチャー～

第１回ヒューマン・ロボティクスセミナーの概要

介護支援の現状とロボティクスの活用について話題提供し、実践で活躍する講演者と参加者との討議を交えることで、学生、地域内外の方に介護支援ロボットの社会的役割と今後の展開に理解を深めてもらい、且つヒューマン・ロボティクス研究センターの認知度の向上を図る目的で開催しました。また、学生に対しては、専門教育への就学意欲向上を期待して参加を募りました。



【プログラム】

□ 実施日：2014 年 10 月 29 日（水）

□ 場 所：九州産業大学　８号館
　　８２１３教室

□ 主 催：九州産業大学
　　ヒューマン・ロボティクス研究センター

□ 司会、コメンテータ：榊　泰輔

16：30～16：35 開催挨拶（榊 泰輔）

16：35～17：20 講演（話題提供）

テーマ：医療現場でのロボットの役割とは何か？
～療法士とロボット研究者によるジョイントレクチャー～

・「中枢神経疾患の回復の可能性と工学への期待」
自衛隊中央病院リハビリテーション技術課　　作業療法士　田邉浩文 氏

・「医工連携によるリハビリ支援ロボットの開発　～脳卒中片麻痺患者の運動機能回復を目指して～」　名古屋工業大学大学院情報工学専攻　教授　森田良文 氏

・「手袋型能動把持装具の実用化研究 ～手指麻痺者の ADL 改善と就労機会拡大を目指して～」　中央大学理工学部　准教授　諸麥俊司 氏

17：20～17：30 コメンテータと講演者との意見交換

17：30～17：45 参加者と講演者との質疑応答

平成２６年度　セミナー

第２回ヒューマン･ロボティクスセミナー

テーマ：研究センター年次報告と韓国リハビリロボット開発動向

第２回ヒューマン・ロボティクスセミナーの概要

当研究センターの年次成果報告として、特に、主なターゲットである脊損患者のリハビリ・介護を支援するロボット開発の中から、２題をトピックとして選定し、その成果を発表しました。

また、韓国より研究者を招聘し、同国内における介護支援ロボットの現状と動向をテーマに基調講演を行い、参加者に介護支援ロボット分野での国際的展開について視野を広げて頂き、且つヒューマン・ロボティクス研究センターの活動について理解と認知度の向上を図る目的で開催しました。



【プログラム】
・実施日：2015 年 2 月 23 日（月）
・場　所：九州産業大学　８号館
　　８２１３教室
・主　催：九州産業大学
　　ﾋｭｰﾏﾝ･ﾛﾎﾞﾃｨｸｽ研究センター
・司会、コメンテータ：榊所長

13：30～13：33 学長挨拶（山本学長）
13：33～13：40 趣旨・概要説明（榊所長）
13：40～15：10 基調講演


ソン・ウォンキョン氏


ジョン・ドヨン氏

・講演１「韓国国立リハビリセンターにおけるリハビリロボットの実用化研究」
　韓国国立リハビリセンター・リハビリ研究所 主任研究員 ソン・ウォンキョン氏

・講演２「下肢外骨格統合支援システムの設計と制御」
　ソガン大学校　教授　ジョン・ドヨン氏

15：20～16：00 成果報告
・報告１「ポータブルグリッパーの開発」
　九州産業大学 バイオロボティクス学科　准教授　村上剛司

・報告２「軽量・小型 EHA の開発」
　九州産業大学 バイオロボティクス学科　准教授　李 湧権
16：00～16：05 おわりの挨拶（榊所長）

2nd Human Robotics Seminar：

HRRC Annual Report and Development Trend of Rehabilitation Robot in Korea

第２回ヒューマンロボティクスセミナー：
―　研究センター年次報告と韓国リハビリロボット開発動向　―

February 2, 2015, 13:30 - 16:00
At Kyushu Sangyo University
8 Building No.8213

2015 年 2 月 23 日（月）　13:30 － 16:00
九州産業大学　8 号館　8213 番教室

主催：九州産業大学　ヒューマン・ロボティクス研究センター
Human Robotics Research Center, Kyushu Sangyo University

◇ Objectives of the seminar

HRRC was established as a practical research center of the care support robot in 2013. The research activities were selected as a Private University strategic research support project in Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology from 2014.

This seminar presents the annual report of the research topics of HRRC. Especially two research topics of the development of the care robots for SCI patient are presented.

Also the seminar promotes the exchanges of robot technologies with Korea. Korea has laid emphasis on the development of the medical care robot. We have special guests who have researched those kinds of robots very actively in Korea.

We hope the seminar will be useful to promote the local industries.

当センターは介護支援ロボットの実用研究拠点として平成 25 年に開所され、平成 26 年にはその研究活動が私立大学戦略研究基盤形成支援事業（文部科学省）として採択されました。

今回のセミナーでは、研究センターの年次成果報告をいたします。特に、主なターゲットである脊損患者のリハビリ・介護を支援するロボット開発のなかから、二つのテーマを選び報告します。

また、韓国の研究者との技術交流を企画しています。韓国はいま医療介護ロボットの開発に非常に力を入れています。そのロボット開発の先頭に立っている先生方をお招きし、開発の現状についてお話いただきます。これらの企画を通じて地域産業振興のお役にたてれば幸いです。

ヒューマン・ロボティクス研究センター 所長　榊　泰輔

HRRC members



Director
Taisuke Sakaki

◇ Overview

Overview of research project of HRRC　／研究プロジェクトの概要

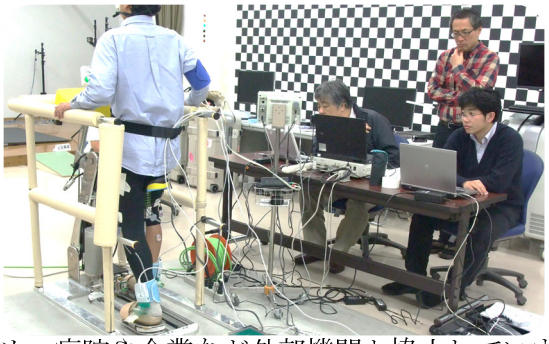
Taisuke Sakaki, Director of HRRC　ヒューマン･ロボティクス研究センター所長　榊 泰輔

In the background of the research, the aged society in Japan has suddenly advanced. Because of the labor shortage in rehabilitation center and/or care house with the medical and care budgets' reduction, the introduction of the robots has been expected in those facilities.

In order to promote the realization of those robots, 1) the technical seeds matched to the necessities in practice, 2) the product design, 3) the business model, 4) the education for the management of those robots are important. Varieties of researchers according to the research and development fields work in the center with cooperating to hospitals and private companies.

The application research groups have developed the three types of rehabilitation robots for walking function trainings, the mobile robot assisting for whole body palsy patient, and the daily life assisting robot on bed. Some of those robots were presented and exhibited in the international conferences and exhibitions.

The core technology groups have researched the small high power actuator, the human motion detecting sensor system, the motion control, the business model, and the product design of the robots. The research groups of the product design and the business model of those robots have searched the practical needs with the hospital stuff and monitoring the rehabilitation fields. Also we also have carried out three kinds of education projects.



当センターの研究背景として、日本における急激な超高齢社会の到来があります。リハビリや介護の現場は人手不足で、また医療費節減のためにもロボットの導入が期待されています。

訓練・介護支援ロボットの実用化には、現場ニーズに適切な技術シーズ、プロダクトデザイン、事業モデル、人材育成の４点が重要です。これに対応する幅広い研究者を集め、病院や企業など外部機関と協力しています。

研究テーマのうち、応用分野では、高齢者せき損患者のリハビリ支援ロボット３種、全身性麻痺患者用移動支援ロボット、ベッド上生活介助ロボットを開発しています。基礎分野では、小型高出力アクチュエータ、センサによる人の動き検出、モーション制御、リハビリロボットの事業モデル、製品デザインを開発しています。人材育成分野では３種のプロジェクトを実施しています。

平成 26 年度は、昨年度の課題抽出を受けて各研究が本格化しています。リハビリ訓練と介護分野をバランスさせ取り組んでいます。実用化が近い立位装置で有用な実績が出ています。デザイン・事業モデルでは、病院等との意見交換・観察がはじまっています。基盤技術も順次成果をアプリケーションへ展開していきます。研究成果である実機の展示や学会発表を通じて医療介護の専門家からの意見をフィードバックしています。

◇ Lectures

Lecture 1- Translational Research for Rehabilitation Robots in Korea National Rehabilitation Center

Won-Kyung Song, PhD Senior Research Officer, Department of Rehabilitative and Assistive Technology

講演 1-韓国国立リハビリセンターにおけるリハビリロボットの実用化研究

国立リハビリセンター・リハビリ研究所　ソン・ウォンキョン 主任研究員

National Rehabilitation Center is a representative rehabilitation hospital in Korea with a rehabilitation research institute. As a new research direction, NRC is constructing rehabilitation robot translation research infrastructure in order to help rehabilitation robots for the elderly and people with disabilities enter the market. The entering the market contributes improving the quality of life as well. NRC would like to push the robotic technology to clinical domain via translational research for rehabilitation robots.

We focus on the translational research for rehabilitation robots that links between existing technology-driven R&D findings and clinical research.

The plan consists of (1) translational research projects of rehabilitation robots and (2) a testbed construction of rehabilitation robots, called rehabilitation robotic gym.

This presentation introduces current intramural translational research activities for rehabilitation robots in KNRC: forward translational research, reverse translational research, and clinical research. Specifically, the interaction technology for the rehabilitation robots will be presented. Active-assisted/active exercise with 2D/3D feedback for the reaching tasks will be presented. In addition, a NRC upper-extremity exoskeleton robot, NREX, will be shown. NREX has a lightweight simple but practical robotic arm with shoulder/elbow/wrist and hand movements. Some other activities of translational research will be quickly introduced.

We will make a synergy between the intramural and extramural translational research on the basis of NRC resources, such as clinicians, engineers, patients, and people with disabilities.

国立リハビリテーションセンター（NRC）は、リハビリテーション研究機関を持つ、韓国の代表的なリハビリテーション医院です。新しい研究の方向性として、NRC は、高齢者や障がい者用リハビリロボットの市場参入を支援するため、リハビリロボットの実用化研究基盤として設置されました。

市場参入することは、生活の質を改善することにも通じます。NRC は、リハビリロボットの実用化研究を通じて、臨床領域にロボット技術を導入したいと考えています。

私たちは、従来の技術主導型研究開発による知見と臨床研究とを連携（橋渡し）するリハビリロボットの実用化研究に注力しています。

計画としては、(1)リハビリロボットの実用化研究プロジェクト(2)リハビリテーション・ロボット・ジムと呼ばれるリハビリロボットの運用を想定した試験環境を構築することを掲げています。

このプレゼンテーションでは、NRC におけるリハビリテーションロボットの実用化研究の現状として、「順方向からの橋渡し」、「逆方向からの橋渡し」、「臨床研究」について紹介します。特にリハビリロボットと人との相互作用についてお示しします。また、２次元、３次元空間でのフィードバックすることによる能動的な介助、運動について紹介します。加えて、NRC の上肢外骨格ロボットである NREX を紹介します。NREX は軽量・シンプルでありながら肩/肘/手首/手の動きを持つ実用的なロボットアームです。これら実用化研究のいくつかを簡単に紹介します。

NRC の環境基盤を基に、臨床医、エンジニア、患者、障がい者の方々により、NRC 内外で行われている実用化研究で相乗効果が出ることをねらっています。

Lecture 2- Design and Control of Lower Limb Exoskeleton-Integrated Assistive System

Do-Young Jeon, Professor , Sogang University
講演 2-下肢外骨格統合支援システムの設計と制御　ソガン大学校 ジョン・ドヨン 教授

People with disability caused by SCI or stroke suffer from the weakness or loss of mobility and have many difficulties in their daily living.

For the sake of improving mobility and maintaining healthy condition, the powered wheelchair combined with exoskeleton was developed and may be used not only as a regular electric wheelchair but also as a device for the exercise and rehabilitation of lower limb. The exoskeleton was designed in consideration of ergonomics and has the ability of varying the assistive power from low to high level depending on the user's status of health. It can be used as a rehabilitation device since the torque of the knee and hip joint of user can be monitored. For the use of rehabilitation, an algorithm to effectively strengthen certain group of muscles in lower limb was developed by the optimization of muscle energy consumption.

Another lower limb assistive device named as SUBAR is introduced. It has an exoskeleton and caster walker for the assistance of walking, sitting and standing up of weak or disabled people. The heavy peripherals such as battery, controller and motor drivers are in the caster walker which is helpful to keep the balance of user during motions. The user may adjust the speed of walk, height of knee during walk, stride of walk by touch screen. The other motions may be commanded by a joystick. In the talk, the ideas on the design and control of the developed devices will be addressed.



SCI または脳卒中に起因した障がいを持った方々は、力が入らないことや運動機能の喪失に苦しみ、日常生活で多くの困難を抱えています。

そこで、運動機能を改善し健康状態を維持するため、外骨格を有する電動車いすを開発しました。通常の電動車いすとしてでなく、下肢の運動とリハビリのための機器として使用することができます。外骨格は人間工学を考慮して設計され、ユーザの健康状態に応じてローレベルからハイレベルにアシスト力を変化させる機能を有しています。ユーザの膝及び股関節のトルクをモニターすることができるので、リハビリ機器としての使用に有用です。リハビリでの使用のために、筋肉のエネルギー消費を効果的に最適化するアルゴリズムによって、下肢筋肉の特定部位を強化するように開発しました。

SUBAR という名前の下肢支援機器についても紹介します。この装置は、起立と着座が難しい障がい者の歩行を支援するキャスター付きの歩行器です。バッテリー、コントローラ、モータドライバなどの重い周辺機器は、キャスター付き歩行器内に納め、動作中にユーザのバランスを保つのに活用しました。ユーザは、タッチスクリーンによって歩行速度、歩行中の膝の高さ、歩行の歩幅を調整することができます。他の運動については、ジョイスティックによって指令することもできます。講演では、開発したデバイスの設計と制御に関するアイデアについて紹介いたします。

◇ Reports

Report 1-Development of portable gripper／報告 1-ポータブルグリッパーの開発

Kouji Murakami, Associate Professor , Kyushu Sangyo University 九州産業大学 村上剛司 准教授

Daily life support work in a care house for persons confined to bed is a promising application of a service robot. Most work includes a go-and-fetch task of everyday objects. If a robot can perform the go-and-fetch task of everyday objects specified by a person confined to bed at the care house, the burden on health care workers is reduced.

In this report, I present an object tracking system and a robot hand. They are basic components for a go-and-fetch task. The object tracking system tracks and recognizes everyday objects. Passive RFID (Radio Frequency IDentification) tags are attached to the objects for the object recognition. The robot hand grasps everyday objects with various shapes. The object tracking and the object grasping are successfully demonstrated.

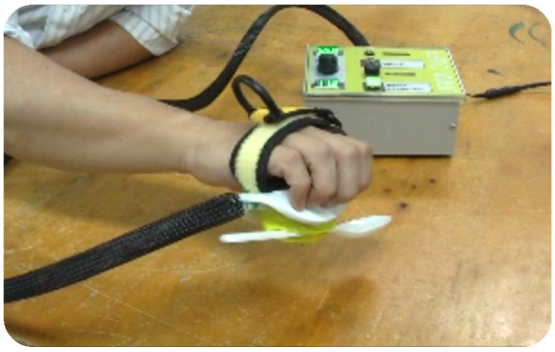
1. はじめに

高齢化社会の到来に伴い、治療・療養・休養などのために一日の多くの時間をベッド上で過ごすベッド上生活者の増加が予想されます。ベッド上生活者は、食事・整容などの生活活動，服薬・検温などの健康管理活動、読書・通話などの余暇活動といった各種活動のために介助・介護を必要とすることが多々あります。しかし、介助・介護従事者の不足、早朝深夜など時間帯から来る制限、および、繰り返し依頼することに対する心理的負担などにより、必要十分な介助・介護を常に受けることは難しいのが現状です。これに対し、介護作業をロボットで代替しようとの試みが始まっています。ロボットは時間帯に関係なくサービスの提供が可能であり、作業依頼に伴う利用者の心理的負担も生じません。しかしながら、多岐にわたる介護作業の全てにロボットが対応することは技術的、コスト的に未だ課題が多くあります。そこで頻度が高い介助作業のうちから、介助・介護従事者の負担軽減に効果的と考えられる作業を選定し、ロボットで代替することを目指します。

2. ロボットによる代替：物品取り寄せ作業

ベッド上生活者が必要とする主な介助作業の１つとして物品の取り寄せがあります。この作業は頻度が高いため、ロボットで代替することで、介助・介護従事者の負担が軽減され人の手が必要な複雑な作業に注力できるようになることが期待できます。本研究では、ベッド上生活者の必要に応じて物品の取り寄せを行うロボットシステムの開発を進めています。主な開発項目は（１）物品のモニタリング（認識と位置計測）システムの開発と、（２）物品の持ち上げ用ロボットハンドの開発の２つです。

3. ロボットシステムの開発状況



物品の取り寄せを行うには、対象物品がどこにあるかという情報が必要になります。そこで、家具にセンサを装着し、物品情報をリアルタイムに計測・表示するモニタリングシステムの開発を進めています。このシステムでは台上や収納庫内にある複数個の物品の名前と位置を表示できます。また、多種多様な形状を持つ日常生活物品に対応して持ち上げ作業を実現できるロボットハンドの開発を進めています。このロボットハンドでは 10 円玉など薄く小さい物品や、ペットボトルなど重い物品などの持ち上げを行うことが出来ます。これらの成果を統合し、物品取り寄せ作業の実現を目指して研究を進めています。

Report 2-Development of lightweight, compact EHA／報告２-軽量・小型 EHA の開発

Yongkwun Lee, Associate Professor, Kyushu Sangyo University 九州産業大学 李 湧権 准教授

This research is for developing of a compact-size EHA (Electro Hydraulic Actuator). The EHA has high power density and it is small enough to be installed inside of a small robot, such as a wearable type rehabilitation robot.

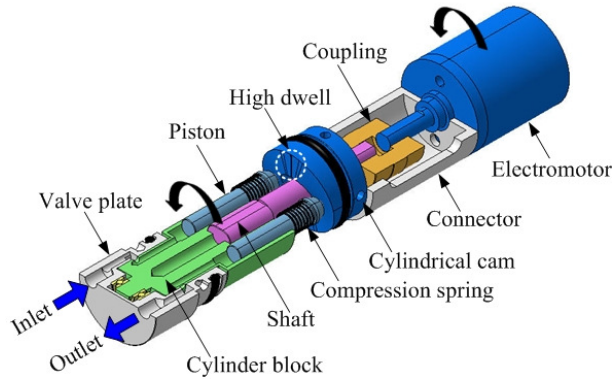
The EHA consists of a cylindrical cam mechanism, pistons having ball joints, and combination of a valve plate and a cylinder block. The cylindrical cam has a Modified Sine (MS) curve and dwells at the trapping region of the cylinder ports on the cylinder block. The valve plate has slot ports in a circumferential direction on the inside and it induces high-precision contact with the cylinder block.

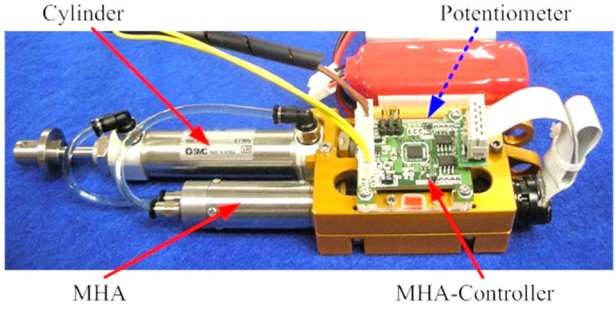
1. はじめに

EHA とは電気モータのパワーを油圧のパワーに変換する装置のことです。本研究では世界一の小型・軽量化を目指し、親指サイズの HEA の設計・製作を行いました。その結果、既存の減速機を組み合わせたモータ駆動装置よりもコンパクトで、数百万倍まで力を増幅することが可能になりました。また、パワーの変換効率が高く、コストの面でも減速機の数分の一です。更に、油圧であるため、動力伝達が容易であり、耐久性の面で非常に優れています。このような小型 EHA は着用型リハビリロボットや大きい力を必要とする各種装置などのアクチュエータとして、その応用が期待されます。

2. 小型 EHA の開発及び応用

左下の図のように、小型 EHA の設計及び製作を行いました。製作された EHA は重さ 60 g、径 16 mm、長さ 45 mm の小型・軽量のもので、12V の電池で 4 MPa 以上の圧力を発生させることができます。半径 2 cm の小型シリンダーを使う場合、500 Kg 以上の力が出せます。本装置はヨーロッパ、米国などの国際特許を獲得済みで、ロボットアームや医療ロボット、着用型リハビリロボットなどのアクチュエータとして応用及びテストを行っています。右下の写真は肘リハビリロボットに適用した例です。







九州産業大学　公開講座２０１４

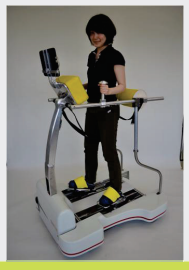
「暮らしを創造する研究と開発」
―人や社会のためにできること―

公開講座：「暮らしを創造する研究と開発」―人や社会のためにできること―　の概要

地域社会の一般来場者を対象に、ヒューマン・ロボティクス研究センターにおける各種ロボット開発、とくに高齢者や障がい者をサポートするロボットのうち、歩行リハビリを支援するロボットなど開発の様子をわかりやすく紹介しました。

第６回　平成２６年７月５日（土）「高齢者のリハビリを助けるロボット」（榊　泰輔）

※全７回

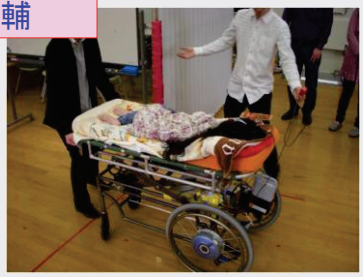




2014年7月5日 「暮らしを創造する研究と開発―人や社会のためにできること―」

高齢者のリハビリを助けるロボット

九州産業大学 工学部
バイオロボティクス学科　榊　泰輔





© Kyushu Sangyo University

この講義で考えてほしいこと

①ロボットを導入すると、医療福祉の現場はどうかわるでしょうか？
（例：リハビリの訓練、介護の現場）

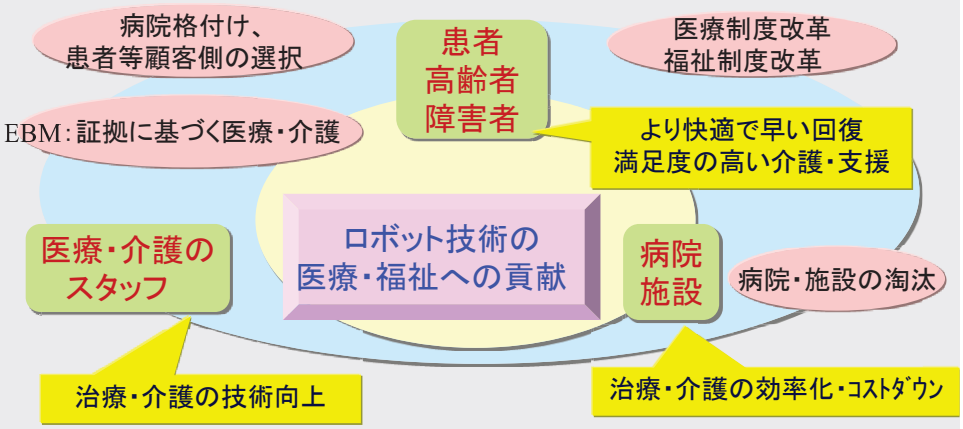
②ロボットをうまく使うことができれば、
どんな効果を期待しますか？

・省力化・効率化
（同じ人数と時間で、今までよりたくさんの患者をみたり、介護できる？）
・コスト低減になる？
・療法士など医療スタッフのスキルUP？




© Kyushu Sangyo University

医療福祉にロボット技術の貢献を期待（アベノミクス第3の矢）

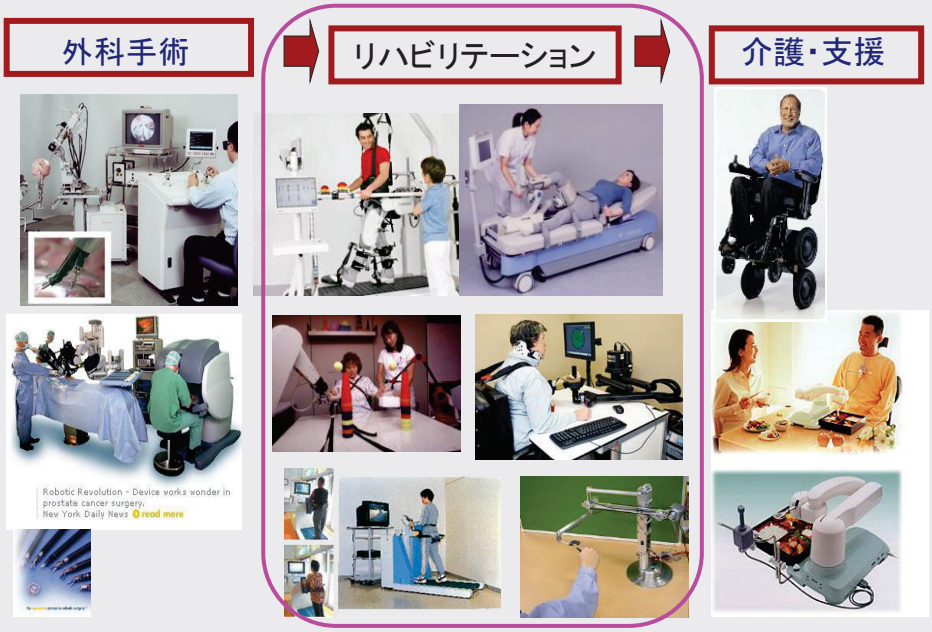


医療予算の制約　→コスト下げる効果はあるか？
従来技術への優位性　→ロボットでしかできないことか？

© Kyushu Sangyo University

脳卒中患者へのロボット応用

外科手術　リハビリテーション　介護・支援



© Kyushu Sangyo University

1993-2003年の仕事
安川電機　脳卒中リハビリロボット



下肢用運動療法装置
TEM　LX1



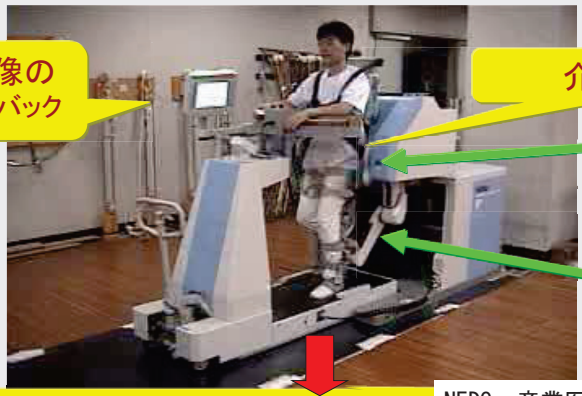
歩行訓練支援ロボット

© Kyushu Sangyo University

歩行訓練を支援するロボット

Target
Training

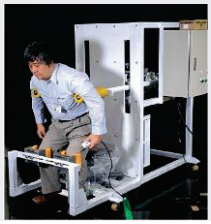
歩行障害のある片麻痺などの患者
歩行状態を提示しながら、下肢の動きを介助し訓練



NEDO・産業医大・安川電機

Hachisuka et.al. (U.O.E.H.): Japanese Society of Rehabilitation Medicine 2004

2004-2013年の仕事
九産大　福祉・リハ・支援ロボット



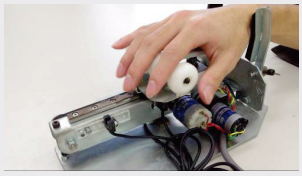
起立支援ロボット



立位保持訓練ロボット



歩行支援ロボット



ハンドマッサージロボット

全身麻痺障害者
移動支援ロボット



© Kyushu Sangyo University

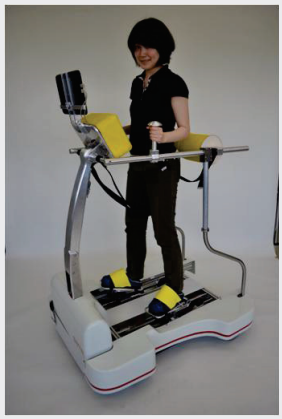
せき損患者用リハビリロボット

2008年～　総合せき損センター・九産大の共同

動的起立訓練



立位保持訓練



歩行訓練



独立行政法人労働者健康福祉機構
総合せき損センター

九州産業大学

© Kyushu Sangyo University

せき損の訓練課程と開発中の装置位置づけ







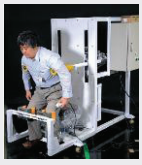
訓練の流れ

① 関節可動域訓練

② 座位保持訓練

③ 起立訓練　起立訓練補助ロボット（牛見研究室）

④ 歩行訓練





- 歩行パターン訓練
- 動的な歩行訓練
- 器具などを用いた自立歩行訓練

立位保持訓練ロボット



歩行支援ロボット



SMA患者用ロボットストレッチャー







九産大　工学部　バイオロボティクス学科　榊研究室
工学部　機械工学科　牛島研究室
芸術学部　デザイン学科　青木研究室
福祉用具プラザ北九州　櫻木 美穂子

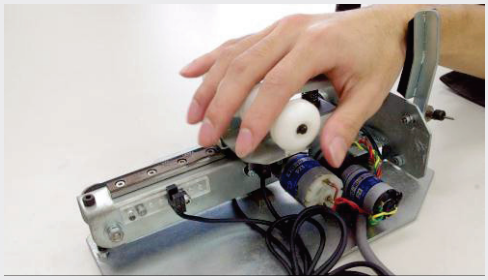
ハンドマッサージ機“MIIMO”



2008年～
福岡ビジネス創造センターと共同

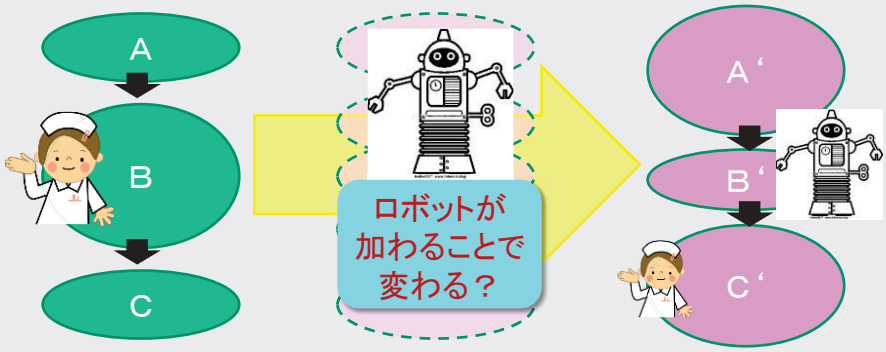
羽田 幸司、荻野　将大、柴田　謙吾

榊 泰輔



将来の課題　リハビリプロセスの再設計

①ロボットを開発、臨床評価、使いやすく
②ロボットが少しずつ現場に、あり方が変わる
③最終的に全体の流れが変わる



© Kyushu Sangyo University

平成２６年度　出展

・ロボット産業振興会議平成 26 年度定期総会

・第３２回日本ロボット学会学術講演会

・第４１回国際福祉機器展Ｈ．Ｃ．Ｒ．２０１４

・エコ・ベンチャー・メッセ２０１４

ロボット産業振興会議平成 26 年度定期総会 実演展示 出展結果

会期　平成 26 年 8 月 6 日（水）

会場　リーガロイヤルホテル小倉（福岡県北九州市小倉北区浅野）

出展数　企業・大学等 11 社

来場者数

会場全体	当ブース
126 人	53 人

出展内容　工学部・教授・榊 泰輔

在宅用歩行訓練ロボットの実演展示

（ロボット産業振興会議「平成２５年度環境配慮型ロボット製品等開発支援事業」成果品）

所見　本学ブースでは、在宅用歩行訓練ロボットの実演を交えながら展示しました。

企業、大学、官公庁、ロボット産業振興会議の会員の方々からブース訪問を受け、装置のリハビリ効果などについて熱心に質問を頂きました。小川福岡県知事からも装置の改善点について、直接ご意見を伺うことが出来ました。



展示ブースの様子

第３２回日本ロボット学会学術講演会 出展結果

会期	平成 26 年 9 月 4 日（木）～9 月 6 日（土）
会場	九州産業大学
出展数	企業・大学等 25 社
出展内容	工学部・教授・榊 泰輔 在宅用歩行訓練ロボットの実演展示 （ロボット産業振興会議「平成２５年度環境配慮型ロボット製品等開発支援事業」成果品）

所見

本学が開発する在宅用歩行訓練ロボットについて、ロボット産業振興会議合同ブースに出展しました。

学会に参加された教員、学生の方々から訪問を受け、装置のリハビリ効果や機構など学術的な側面で熱心に質問を頂きました。また、同じく合同出展されたロボット産業振興会議の会員様とも闊達な意見交換をさせて頂きました。



第 41 回 国際福祉機器展 H.C.R.2014　出展結果

会期　　平成 26 年 10 月 1 日（水）～3 日（金）

会場　　東京ビッグサイト東展示ホール（東京都江東区）

出展数　　企業・大学・研究機関等 585 社（国内 530 社、海外 55 社）

来場者数

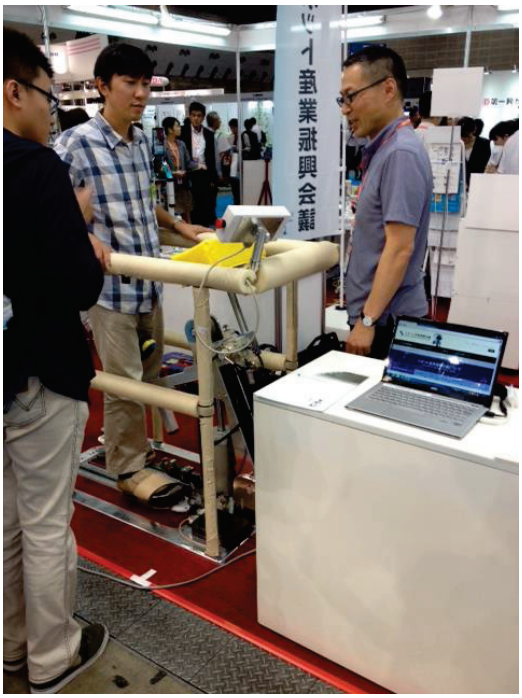
日付	会場全体	本学
10/1	40,678 人	48 人
10/2	44,998 人	51 人
10/3	41,975 人	45 人
計	127,651 人	144 人

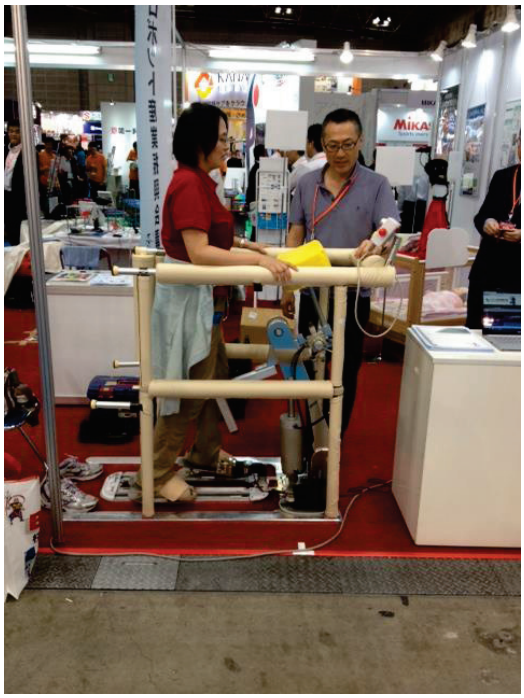
出展内容　　工学部バイオロボティクス学科・教授・榊 泰輔

在宅用歩行訓練ロボットの展示

所見　　本学ブースでは、榊研究室の「在宅用歩行訓練ロボット」を展示しました。

行政、研究機関、病院・リハビリセンター、製造業の方が多く来場され、展示物の実演に興味を持って頂きました。また、研究内容について説明を行い、装置に関するご意見を頂くことが出来ました。





本学ブースの様子

エコ・ベンチャー・メッセ 2014 出展結果

会期　平成 26 年 10 月 8 日（水）～10 日（金）

会場　西日本総合展示場新館（北九州市小倉北区浅野）

出展数　企業・大学・研究機関等 36 社

来場者数

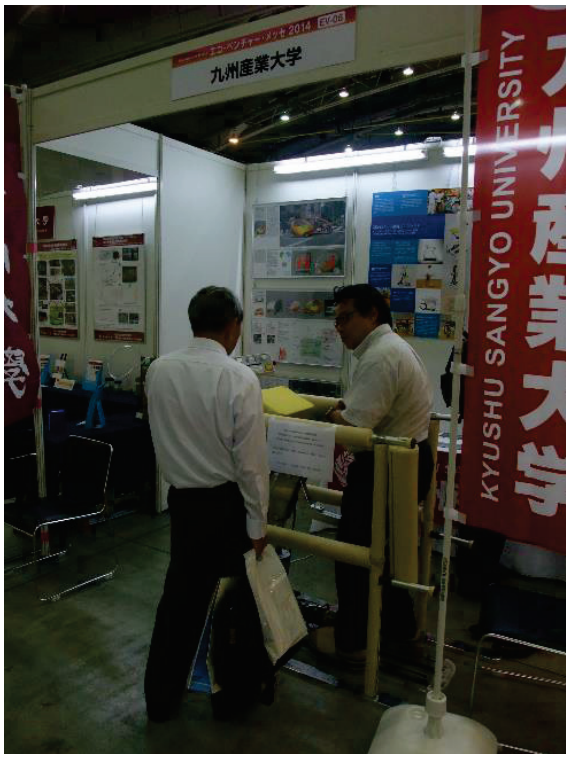
日付	会場全体	本学
10/8	11,600 人	27 人
10/9	10,657 人	34 人
10/10	11,163 人	34 人
計	33,420 人	95 人

出展内容

1. 芸術学部・教授・北島己佐吉
   超小型モビリティのデザイン研究（電気自動車）に関するパネル展示
2. 芸術学部・教授・青木幹太
   介護支援ロボットのプロダクトデザインに関するパネルおよび実機展示

所見

本学ブースでは、北島研究室の「超小型モビリティのデザイン」、青木研究室の「介護支援ロボット」を展示しました。
幅広い年齢層の訪問があり、高齢者のニーズを捉えて早く実用化して欲しいとのご要望が多く聞かれました。
また、見学で訪れた大学生や留学生からも、展示物の実演に興味を持って頂きました。

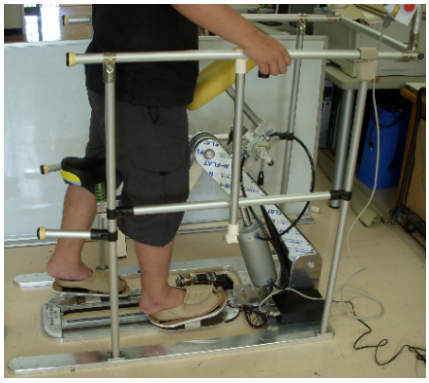


展示ブースの様子

九州産業大学 学術研究推進機構 産学連携支援室

平成２６年度　実証試験

立位訓練ロボット実証試験の概要



研究テーマのうち、「在宅用歩行訓練ロボット」について、健常高齢者に被験者になって頂き、装置訓練の負荷レベル等を検証して、高齢者に好適かどうか基礎データを取得する目的で、下記の要領で実施しましたた。

なお、被験者の募集にあたっては、本学と包括的連携協定を締結している古賀市のご協力のもと、被験者４名の方にご参加頂きました。

■　立位訓練ロボット実証試験

日　　程：平成２６年１２月５日（金）
場　　所：九州産業大学　７号館５階　ﾋｭｰﾏﾝ・ﾛﾎﾞﾃｨｸｽ研究ｾﾝﾀｰ内
対　　象：６０歳以上で健常な方。
所用時間：１時間程度／人
時　　間：

	来所時間	実施時間（1 時間）
被験者 A 殿	9：15	9：30～10：30
被験者 B 殿	10：45	11：00～12：00
被験者 C 殿	12：45	13：00～14：00
被験者 D 殿	14：15	14：30～15：30



実施内容：

１５分	試験内容説明（インフォームドコンセント）、試験前の検診・問診、着替え
３０分	試験　①立位訓練ロボットに乗り各種測定。 測定項目（血圧、心拍、酸素摂取量、関節角度） ②床面で自然な歩行。 測定項目（関節角度、足圧分布、重心動揺、筋電、骨密度）
１５分	試験後の検診

実施の様子：





実験プロトコールついては次ページ以降に記す。

実験プロトコール

①事前　身体計測　・氏名・性別・生年月日・身長・体重　各パソコンに登録　　■被験者一覧表

②重心計（竹井機器）

開眼立位・閉眼立位・右片足立・左片足立　各20秒（又は1分）

ロンベルグ立位　20sec 両足を接して立つ

体重（足圧測定用）

③電極等装着

0　スポーツウエアに着替え

1　血圧計用心電図電極　3カ所　　立位のみ

2　血圧計　カフ　　立位のみ

3　心電図　テレメータ　　立位のみ

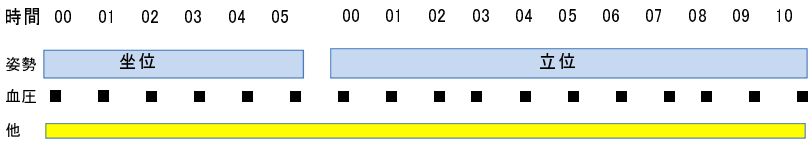
4　筋電図　前頸骨筋　ヒラメ筋　　立位・歩行

5　股関節角度計　　立位・歩行

6　ガスマスク　　立位のみ

7　マーカー（3D動作計測）　　立位・歩行

④立位訓練装置上で運動



血圧（Tango自動血圧計）設定　1分毎

心拍数（日本光電　テレメータ）連続記録

筋電図　（日本光電　テレメータ）連続測定

酸素摂取量（M&S　VO2000）1　坐位　安静　5分　2　立位　運動　10分

股関節角度　（日本光電　テレメータ）連続測定

足圧分布測定（NITTA　F-スキャンⅡ）運動時連続

⑤電極等取る

1	血圧計用心電図電極　3カ所	取る
2	血圧計　カフ	取る
3	心電図　テレメータ	取る
4	筋電図　前頸骨筋　ヒラメ筋	そのまま
5	股関節角度計	そのまま
6	ガスマスク	取る
7	マーカー（3D動作計測）	そのまま

⑥通常の歩行運動

6歩くらい床面を歩行、以下を計測

4	筋電図　前頸骨筋　ヒラメ筋	そのまま
5	股関節角度計	そのまま
7	マーカー（3D動作計測）	そのまま

平成２６年度　教育活動（１）

・病院で困っていることの解決策を一緒に考える

・テクノアートプロジェクト

・ロボメカ・デザインコンペ

・希望のあかりプロジェクト３

平成２６年度教育活動について

本学の学際的な教育活動である「KSU プロジェクト型教育」に当センターの研究メンバーが参加し、各プロジェクトが進行しています。当センターでは、この教育活動を若手技術者の人材育成と位置づけています。

これらプロジェクトの総括として、毎年「九州産業大学 プロジェクト展」が開催されています。(次頁)

「病院で困っていることの解決策を一緒に考える」

平成 26 年からスタートしたプロジェクトで、地域の病院である香椎原病院リハビリテーション部との共同企画で、リハビリの現場や病室など今実際に困っていることについて、解決策を考えるもの。半期に一度程度、病院側とミーティングを行い、アドバイスを受けながら進める。

ヒューマン・ロボティクス研究センター研究メンバーが所属する芸術学部×工学部×経営学部×情報科学部および、香椎原病院による教育活動。

「テクノアートプロジェクト」

デザイン関係の照明コンペに出品する装置を開発。ロボット・メカトロ技術を応用し、新しい生活スタイルを提案する照明器具を目指す。センサ・マイコン・LED・モータ・ソフトウェア等のロボット技術をうまく組み合わせ、デザイン学科が構想したおもしろ雑貨の機能部分を試作する。最終的には市民向けの展示を行う。

ヒューマン・ロボティクス研究センター研究メンバーが所属する工学部×情報科学部×芸術学部のコラボレートによる教育活動。

「ロボメカ・デザインコンペ」

（社）日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門主催の競 技会「ロボメカ・デザインコンペ」ではロボット・メカトロ製品 の企画を競う。 これまで優秀賞等受賞の実績がある。 JAXA（宇宙航空研究開発機構）の協力により、本学からは 4 チーム約 30 名が参加した。

ヒューマン・ロボティクス研究センター研究メンバーが所属する工学部×芸術学部×経営学部のコラボレートによる教育活動。

「希望のあかりプロジェクト 3」

東日本大震災で大きな被害を受けた陸前高田市の子どもやお年寄りに、青森県の重要無形文化財「ねぶた」を福岡で製作して、現地に持ち込み「希望のあかり」を届ける活動。平成 23 年から毎年継続。仮設住宅で夏祭りをお手伝い、冬は幼稚園と介護施設を訪問した。「九産大は震災、そして現地の人々を忘れない」という思いを胸に、毎年準備を進めている。

ヒューマン・ロボティクス研究センター研究メンバーが所属する芸術学部×工学部×経営学部および、ねぶた人形師とのコラボレートによる教育活動。

平成２６年度　教育活動（２）

九州産業大学 プロジェクト展
九産大プロデュース展

「プロジェクト展」

九州産業大学のプロジェクトベースの取り組みを紹介する展示会「プロジェクト展」が毎年開催されています。

右のフライヤーは、平成２６年３月２０日（水）から２４日（日）まで、福岡市中央区天神のアクロス福岡で開催された「プロジェクト展 2013」ものになります。

このプロジェクト展では、芸術学部の博多織や博多人形、半纏（はんてん）など企業とのコラボ商品、工学部と芸術学部の「未来のあかり」をテーマにした作品、経営学部の農業プロジェクトなど、11 プロジェクトの成果を披露しました。











「九産大プロデュース展」

平成２６年度は、平成２７年２月１９日から３月４日まで福岡市中央区天神のイムズプラザにて開催しました。

この展示会は、芸術学部を中心に「地域産業プロモーション展」として規模を拡大してき、平成２６年はさらに工学部、ヒューマン・ロボティクス研究センターとの連携の成果を加え、「九産大プロデュース展」として開催されました。







平成 27 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
起立訓練支援ロボット

起立訓練ロボットの開発

Development of a Standing Motion Training Robot

○九州産業大学工学部　牛見　宣博、林　克憲
総合せき損センター医用工学研究部　藤家　馨、片本　隆二
日本ファインテック株式会社　小野　和己、山口　孝二

キーワード：リハビリテーション、起立動作、不全麻痺

1.　はじめに

起立訓練は、病院などにおいて下肢筋力の強化へ非常に有効なリハビリテーションとして実施されている。特に、個別の筋の障害ではなく、下肢筋力の低下による全ての疾患に対して、起立運動のみでも下肢筋力の強化が期待できる。また、筋力の強化だけではなく、座位から立位への体位変換による立位の獲得は、その後の日常の生活活動（Activities of Daily Living : ADL）、健康の維持・管理にも影響する重要な動作の１つである[1)]。

この起立訓練は、従来、セラピストによって行われているが、起立動作自体が下肢筋力の不足のために実施できない患者の方々がいる。その場合、臥位や座位でしか筋力トレーニングが出来ないため、単関節の運動となり、作用する筋が少なくなる。その部分を補う訓練ロボットとして、様々な起立訓練ロボットに関する研究が実施されているが、安全で継続して使える機器は限られている。

本報告では、ふくおか医療福祉関連機器開発・実証ネットワーク（福岡県）の協力により、産学連携による福祉器機の開発として、脊髄損傷不全麻痺者を主な対象に、単純な構造と運動機構によって起立運動を繰り返し行う訓練を代行し、将来的には、病室・介護施設内や、一般家庭で利用可能な起立訓練ロボットの開発を行う。特に、体幹の前方への重心位置の移動に伴う起立動作を訓練することが可能な機構を提案する。また、各患者に合わせた理想的な起立動作を繰り返すことが可能なソフトウェアを導入し、アシストする軌道、起立速度なども任意に設定できるようになっている。

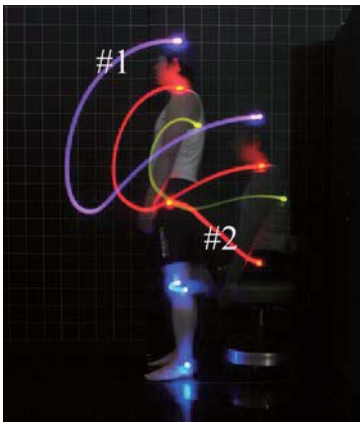


図１　起立動作における身体各部位の動き

2.　起立訓練ロボットの開発

2.1　起立動作の測定

起立訓練ロボットの機構を検討し、ロボットに起立訓練で必要とする動作を生成させるため、被験者による起立動作の測定実験を行い、結果に基づきロボットの設計を行う。ここで被験者は、身体に障害の無い健常者である。この起立動作の測定実験では、身体各部位の位置関係と起立動作における軌道を測定するために、被験者に計測用マーカーを取り付け、起立動作における身体各部位の軌道を測定した。実験結果を図１に示す。図１の#1 は頭部の動きを示している。体幹の前方への重心移動によって起立動作が行われていることがわかる。従って、起立訓練ロボットでは、体幹の前方への重心移動がロボットを動作させるスイッチとなるようにソフトウェアの設計をおこなう。また、患者の訓練における保持部としては、椅子による臀部の保持とし、図１の#2 に示される臀部軌道のアシストを行う。



図 2　起立訓練ロボットの外観

2.2　起立訓練ロボットの仕様

開発した起立訓練ロボットは、セラピストが行っている患者の不足する筋肉をアシストしながら、起立訓練を繰り返し行う訓練を代行する装置である。起立訓練ロボット（起立の達人：STANDING MASTER 01）の外観を図 2 に示す。将来的には一般家庭での利用を考慮して、電源には AC100V、また、リビングなどでも利用可能な大きさとして約 W1010×D1050×H1070 [mm]の寸法となっている。臀部を保持する椅子の移動機構は、上下・前後の 2 自由度で、この椅子は垂直平面上を任意の位置に動かすことができる。起立における軌道生成の方法としては、図 1 に示されるように各患者に合わせた理想的な起立動作の軌道を、図 3 に示されるようなタッチパネルによって簡単に生成することが可能である。各患者に合わせた立ち上がり動作となるように、訓練ロボットのアシストする軌道、及び、起立速度は任意に設定できるようになっている。

3.　起立動作の実験

3.1　実験条件と実験結果

開発した起立訓練ロボットの動作確認、及び、利用時における問題点を検討するために、身体に障害の無い健常者によって、基礎動作実験を行った。

動作実験の結果の一例を図 4 に示す。体幹の前方への重心移動による起立のきっかけを与えることで、図 4 に示されるように、ロボットが起立動作を補助し、訓練を繰り返し実施することができることを確認した。



図 3　タッチパネルによる軌道生成



図 4　起立訓練ロボットによる実験結果

3.2　問題点の検討

ハードウェアの問題点としては、安全面を考慮したカバーの追加が必要である。また、ソフトウェアとしては、滑らかな軌道追従制御や、効果的なアシストを行うためのセンサの追加について課題があることが分かった。特に、起立訓練が必要な全ての患者に対応することは難しいため、対象となる患者の筋力レベルを明確にすることで、開発が効果的に推進されると考えられる。

4.　おわりに

本報告では、脊髄損傷不全麻痺者を主な対象に起立訓練ロボットを提案し、開発した訓練ロボットを利用した起立動作の基礎実験を行った。今後はリハビリテーション機能を向上させるために、圧力センサなどを利用したフィードバック制御による起立動作訓練の実現を目指す予定である。

謝辞

本研究の実施においては、ふくおか医療福祉関連機器開発・実証ネットワーク（福岡県）、ならびに、九州産業大学ヒューマン・ロボティクス研究センターから多大な協力をいただいている。ここに記し感謝の意を表す。

1) 岩崎洋(編)：脊髄損傷理学療法マニュアル、2 版、222-224、文光堂、2014

立ち上がり訓練アシスト機器の開発

Development of Standing Training assist equipment

12TB034　林　克憲　　【指導教員】　牛見　宣博

1. はじめに

近年，高齢化社会による様々な問題が浮き彫りとなってきている．たとえば，医療・看護師不足，社会保障費・介護負担の増大，生産年齢人口の減少などである．特に，生産年齢人口の減少については将来を見据えた対策が急がれる．

総務省統計局(平成 25 年 9 月 15 日現在推計)によると，高齢者（65 歳以上の高齢者）人口は 3384 万人と過去最多で，総人口に占める割合は 25%で過去最高となり，4 人に 1 人が高齢者という状況である[(1)]．このような世帯の多くが団塊世代であることから今後も新たな増加が見込まれている．高齢者世帯が増加した要因として少子高齢化のほかに過疎化や核家族化の進行も上げられる．「核家族」とは，夫婦と未婚の子供で成り立つ家族のことである．夫婦の仕事の関係と環境の変化などがこれらを引き起こしていると考えられる．また，必然的に高齢者世帯が増えたことで高齢者の一人暮らしの増加にもつながり介護の手助けが必要な世帯が増える結果となった．しかし，介護者も高齢化に伴って人員不足がとめられず，65 歳以上の介護者は 44.7 %と約半数近くである(図 1)．つまり，高齢者が高齢者を介護する“ 老老介護”が増加傾向にある．

厚生労働省がまとめた 2013 年の国民基礎調査の調査結果によれば，介護が必要な 65 歳以上の高齢者がいる世帯のうち，介護する人も 65 歳以上である「老老介護」の世帯の割合が 51.2 %に達し，初めて 5 割を超えた[(2)]．また，内閣府の平成 26 年度版高齢社会白書(概要版)によれば，一人暮らしの高齢者も男女ともに増加傾向である[(3)]．一人暮らしの高齢者が快適な自立生活を維持できるためには，必要不可欠である起立動作を支援する

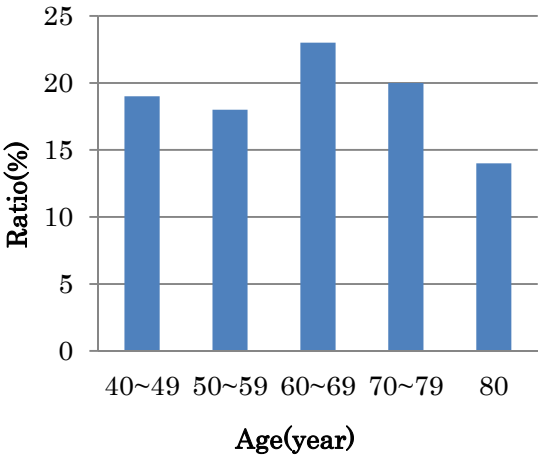


Fig.1　Senior citizen of living alone

機器の研究開発やロボットが様々な形で実用化されている．近年, 歩行ではロボットスーツ HAL や電動車いすのパワーアシスト，生活では AIBO やルンバ, などがある. しかしリハビリテーション関係のロボットはまだ少ない.

本研究では, 不全麻痺者が病院でリハビリテーションにより症状が回復している傾向にある患者に対して自宅などで 1 人でもリハビリが行うことができるようなアシスト機器の提案する.

2. アシスト機器の意義

以前は, 人間がいなくてもできるようにする“自動化”技術やできないことをできるようにする“増力化”技術が主流であった．しかし，近年，より自然に身体への負担や疲労の軽減を目指し，できることを楽にできるようにする“軽労化”技術が注目されてきている.

なぜならば, この軽労化技術は増力化技術と同様でパワーアシスト技術である. しかし, 得られる結果が大きく異なるからである. 増力化技術とは, できないことができるようになる技術であり，失われた身体機能を再生・再現するものである．一

提出日　2016 年　1 月　21 日

方，軽労化技術とは，できることを楽にできるようにする技術であり，衰えたり，不足している身体機能を補うことで，部分代替する場合に効果を発揮する[4]．高齢化社会である現在では，まさに必要不可欠な技術である．

また，人間の立ち上がり動作の主働筋は，「膝関節の一関節伸展筋と大腿部前面の二関節筋である」大腿直筋の 2 筋である．リハビリテーション分野では片麻痺回復のための新たな運動療法として「川平法(促通反復療法)」が注目されている．この理論では合理的な立ち上がり動作についての介助法を以下のように示している．

1) 膝と腰の支持
2) 「おじぎ」による重心の前方への移動
3) 「おじぎ」による殿部挙上
4) 体幹・下肢の伸展

この動作のポイントは，「おじぎ」をするように体幹・頸部を屈曲する際に動作を止めず，上半身を前屈する慣性で殿部を上げることである[6]．つまり，股関節・膝関節・足関節の屈曲は筋力だけではなく，重力や慣性および相互作用の力や椅子と床に対する力(床反力) が発生するため，協調性のとれた筋活動が必要であるといえる[6]．

この理論はスクワットの上下運動でも応用されている．人間がかがむ際に，大腿後部面の筋肉であるハムストリングスが収縮し，股関節伸展が起きたとき大腿を下に回して，膝関節を屈曲しようとする．このとき，大腿直筋は，骨盤の上前部と膝蓋骨を繋いでいるので，上からも下からも伸ばされるため，縮もうとして膝関節を伸展させる．ここで膝関節を跨ぐもう一つの筋，腓腹筋も膝関節を屈曲する筋なので伸ばされる（図2）．その膝関節の筋肉が伸展する時に前方向から抑えることで立ち上がり動作がスムーズに行うことができる．

本研究では，この「軽労化技術」と「川平法」の理論に基づいたアクチュエータなどの駆動機構を持たず，筋肉の動きを模倣した立ち上がりを支援するアシスト機器について提案する．

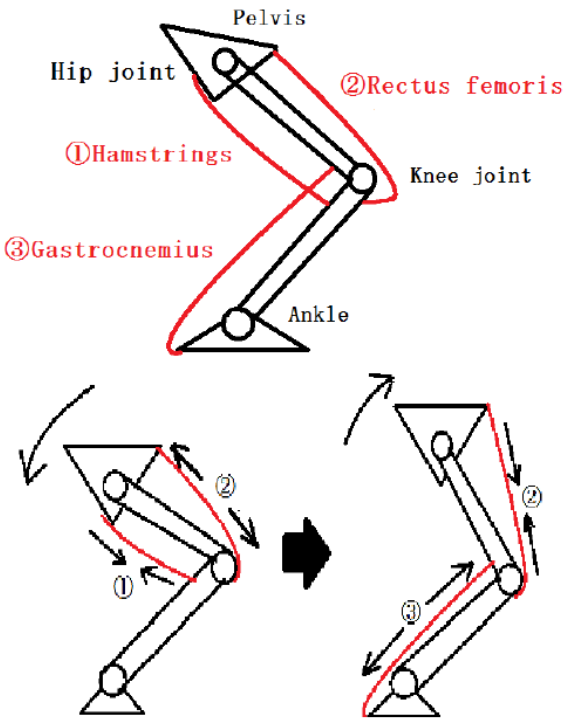


Fig.2 The vertical distortion

Table1 Kind of rubber band

	t [mm]	b [mm]	A[mm²]
①	1.5	20	30
②	3	20	60
③	5	20	100
④	6.5	20	130
⑤	8	20	160

3. 基礎実験

3.1 ゴムの引っ張り試験　様々な材質・形状のゴムから適切なものを選別する．提案する機構の補助具として，種類が同じで断面積の異なるゴムバンドを 5 種類用意し，その中からヤング率が一番高いもの，アシスト効果があるのかを選別する．長さを L[mm]，厚さを t[mm]，幅を b[mm]，断面積をA（ ＝ t × b）と定義して，以下にゴムバンドの違いを表 1 に示す．ゴムバンドの長さはすべて 100[mm] とする．

まず，垂直ひずみでそれぞれのゴムバンドの応

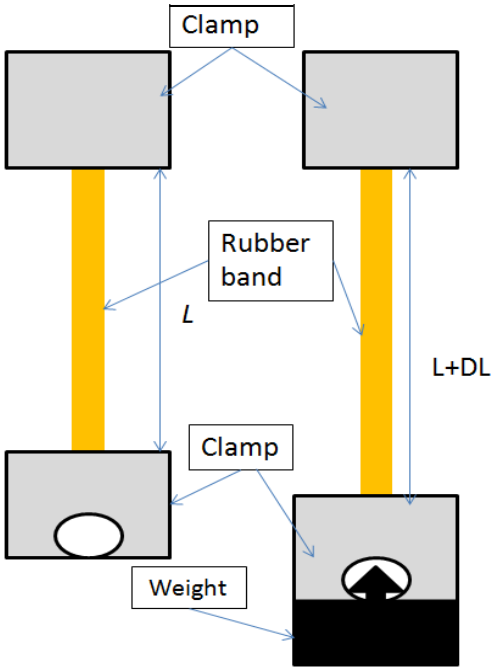


Fig.3 The vertical distortion

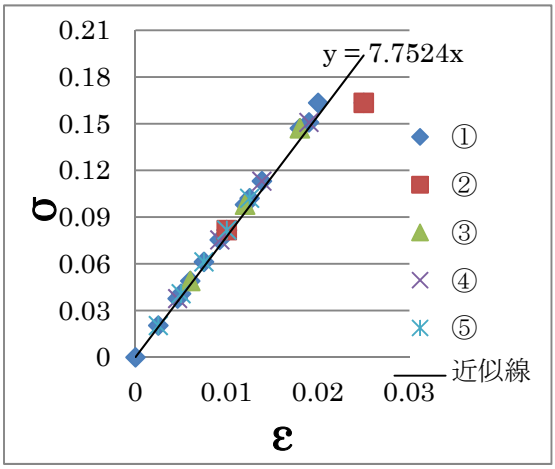


Fig.4 Modulus of longitudinal elasticity

力・ひずみ・変化量 DL・ヤング率を求めた．ゴムバンドにそれぞれ番号付与し，上端を固定した状態で下端に 5 種類の重りを吊下げた（図 2）．ゴムバンドの断面積を A（mm^2），外力を P（N：ニュートン）とすると，図 2 により垂直応力の公式は $\sigma = P/A$（MPa あるいは N/mm^2）となる．

伸び DL が元の長さ L に比べてどのくらい伸びたかを計測するために，によりひずみの公式を用いて e ＝ DL（伸び量）／ L（元の長さ）となる．

この応力とひずみの比例関係とフックの法則より $\sigma = E \cdot \varepsilon$　または　$\sigma / \varepsilon = E$ としてヤング率も導いてそれぞれを求めた．さらに，それぞれの質に対するゴムの伸び順番にグラフにまとめた（図 4）．

グラフの結果より，ゴムバンドの厚さ（t）を増加させ断面積（A）を大きくしいくことで，応力（σ）とひずみ（ε）は比例関係にあることが分かった．なお，求めた値は実際の装置で利用する範囲のみの値である．

3. アシスト機器の開発

開発するアシスト機器は，下肢の二関節筋の動き模した機構とする（図 5）．この機構は自分の足の長さを参考に開発を行った．このアシスト機器は腰，大腿部，膝の部分を側面から装着するようになっている．また，この機構部の内部に腰から膝にかけてゴムバンドが内蔵されている（図 6）．なお，図 6 に示している赤い矢印は，ゴムの伸びのことを指しており，下肢の大腿直近の筋肉の動きを模倣している．

4. アシスト実験・考察

4.1　実験　　成人男性 10 人（A～J）に表 1 で示したゴムバンド①～⑤をそれぞれ装着したアシスト機器を腰・大腿部・脛にベルトで装着し，ゴムバンドをそれぞれ弛まないように調整した（図 6）．そして，図 8 に示すように，立ち上がり操作の実験を行ってもらった．

4.2　結果　　表 2 に，被験者 10 人（A～J）に表 1 に示す①～⑤のゴムバンドを変えていき立ち上がりの動作を行った．その中から一番立ち上がりやすかったゴムを選んでもらい，その結果 5 段階の評価で次にまとめた（5 をもっと良い評価とする）．また，表 3 立ち上がる際の足の位置を 3 パターン試してもらった（図 7）．その結果を良い方から順番をつけてもらった（1 が最も良い評価とする）．

4.3　考察　　表 2，3 の結果より今回の実験結果から，アシスト機器を装着し，足の位置が 90° で④，⑤のゴムバンドでの立ち上がりの動作を行うときが最も効果的であった．また，約 80～149「N」以上

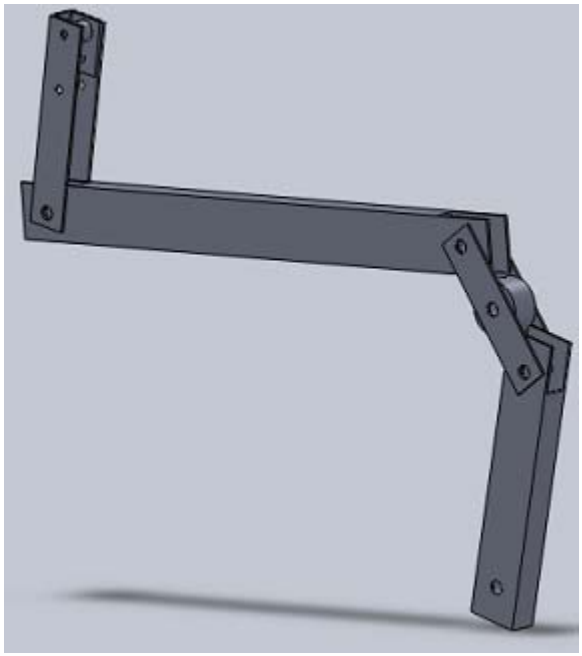
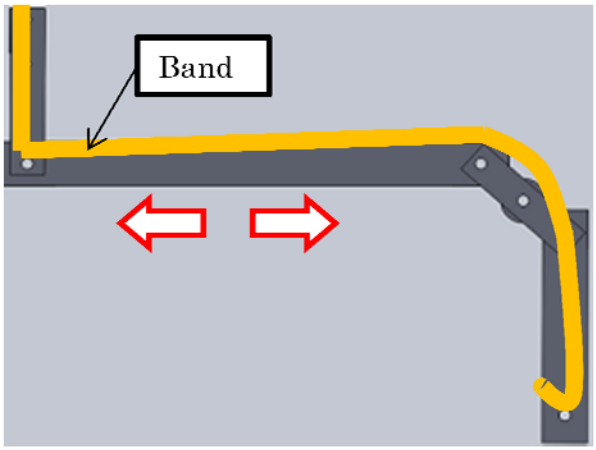


Fig.5 Assist Machinery



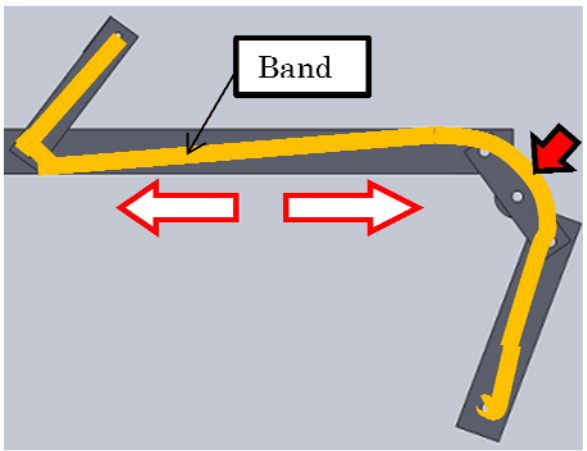


Fig.6 The movement of the band

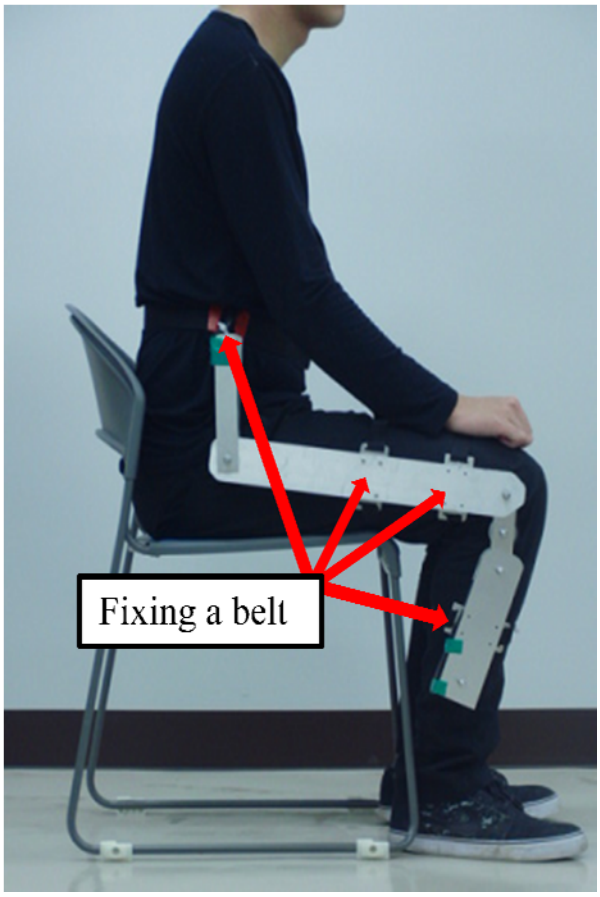


Fig.6 Assist Machinery wearing



a b c

Fig.7 The position of the foot

の力がかかることでアシストされることが分かった. このように, 立ち上がりの動作の際に必要なゴムの力を結果として得ることができた. しかし今回の実験は機器のにあった体格の被験者しか行うことができなかった. 今回得た結果からアシスト機器の長さの調節が今後の課題である.

5. おわりに

提案したアシスト機器は. 二関節筋を模した腰の動きとゴムの力で膝に力を加える機構であり, 立

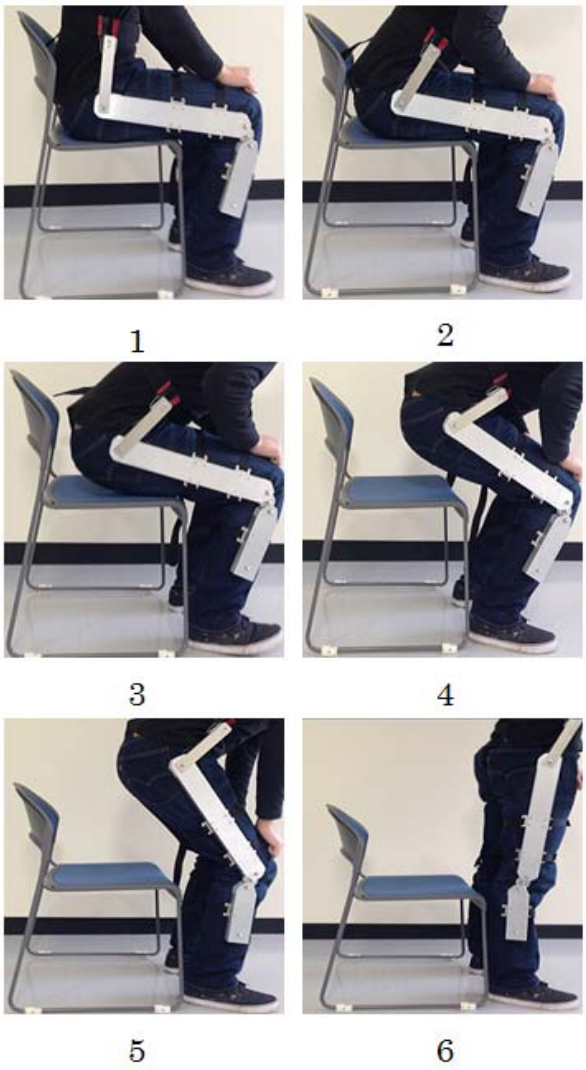


Fig.8 Attachment image figure

Table2 The degree of force list

	①	②	③	④	⑤
A	1	2	3	4	4
B	1	2	4	5	4
C	1	2	3	4	5
D	1	2	3	4	4
E	2	2	2	3	3
F	1	2	4	4	4
G	1	2	3	5	5
H	1	1	3	4	5
I	1	1	3	4	4
J	1	1	1	3	3
Ave	1.1	1.7	2.9	4.1	4.1

Table3 The case of standing comfortability

	a	b	c
A	1	3	2
B	1	3	2
C	2	3	1
D	1	2	3
E	1	3	2
F	1	3	2
G	1	2	3
H	1	3	2
I	2	3	1
J	2	3	1

ち上がりがしやすいアシスト機器を提案し開発することができた. また, そのアシスト機器を実際に被験者に装着してもらうことで, 本当にその機器で立ち上がりやすいかを検証した.

今回は, 装着時にアシスト機器がずれてしまいしっかりアシストされないことがあった. アシスト機器の装着方法を改良し, コンパクト化していくことでさらなる研究評価を行っていきたい.

6. 文 献

(1) 総務省統計局ＨＰ
(2) 国民基礎調査−調査結果−
(3) 平成２６年度版高齢社会白書（概要版）, (2013)
(4) 株式会社スマートサポートＨＰ
(5) 小出卓哉, 万野真伸, 阿部友和, 藤川智彦, 立ち上がり動作における大腿部の二関節筋の活動
(6) 川平和美, 片麻痺回復のための運動療法(第２版)
(7) 仲川亘, 万野真伸, 小出卓哉, 阿部友和, 藤川智彦, 踵着床における大腿部の拮抗二関節筋ペアの機構的効果
(8) 南後淳, 佐藤慶和, 床からの立ち上がり動作を補助する装置の開発, LIFE2014, (2014)

(9) 鈴木里江, 加藤智久, 武田宏二, 佐藤稔, 立座りをサポートする新形状トイレ手すりの提案～新形状手すりが高齢者の立ち上がりに及ぼす影響～,LIFE2014,(2014)
(10) 山本圭次郎, 石井峰雄, 兵頭和人, 吉満俊拓, 松尾崇, パワーアシストスーツの開発―パワー系統の小型化―, “CD-ROM 論文集”, 日本機械学会, 2 巻,9 号, (2002)
(11) 伊藤浩治, 山田陽滋, 大西惟史, 原進, 岡本正吾, 下肢用人間装着型ロボットの安全性評価試験方法に関する研究（第1報）-膝ジョイント連動並進機構を有するダミーの提案-,“ ロボット・メカトロニクス講演会”, 日本機械学会, 11 巻,5 号, (2011)
(12) 吉成哲, 前田大輔, 中島康博, 桑野晃希, 農作業軽労化支援アシストスーツの開発, “ 日本ロボット学会誌”, 27 巻,9 号, (2009), pp.1037-1045
(13) 後藤謙治, 香川高弘, 宇野洋二, 阪口豊, 床反力情報に基づく装着型ロボットによる起立補助, “ 信学技報”, 社団法人電子情報通信学会,(2012)
(14) 丁明, 上田淳, 小笠原司, パワーアシスト装具を用いたピンポイント筋力制御, “ ロボット・メカトロニクス講演会”, 日本機械学会,(2010)
(15) 廣川俊二, 福永道彦, 尹涛, 河野谷仁ひざまずきからの立ち上がり動作を対象とした下肢の力学モデル分析, “ ロボット・メカトロニクス講演会”, 日本機械学会, 76 巻,770 号,(2010), pp.09-0777
(16)奈良　勲,熊本水頼,内山　靖,畠　直輝“二関節筋”　運動制御とリハビリテーション

STANDING MASTER 01

起立の達人

自然な起立を訓練！



機器の説明

本起立支援ロボットは、従来、療法士が行っている、脊髄損傷などにより下肢に不全麻痺のある患者の不足する筋力をアシストしながら、起立運動を繰り返し行う訓練を代行する装置である。
本起立支援ロボットでは、図 1 に示されるように理想的な軌道を、図 2 に示されるようなタッチパネルによって生成する。各患者に合わせた理想的な立ち上がり動作軌道となるように、アシストする軌道、起立速度などは任意に設定できるようになっている。
起立のきっかけを与えることで、図 3 に示されるように、ロボットが起立動作を補助し、リハビリ訓練を実施する。

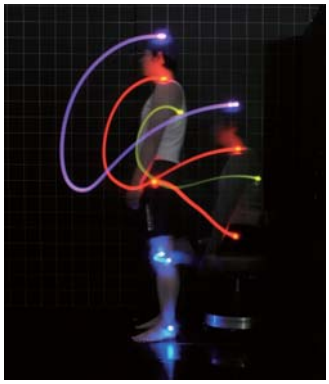


図 1

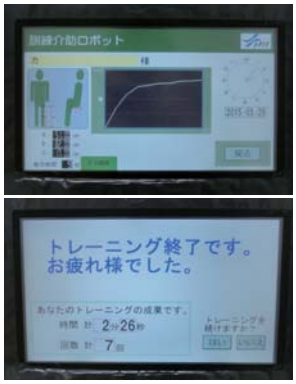


図 2

仕様

電　源：AC100V
サイズ：約 W1010×D1050×H1070 (mm)

※写真の機器は開発中のため、仕様、操作画面など、実機と一部異なる場合があります。



図 3

【お問い合わせ先】
九州産業大学 産学連携支援室
福岡市東区松香台 2 丁目 3 番 1 号
TEL: 092-673-5501 / FAX: 092-673-5490
e-mail: sangaku@ip.kyusan-u.ac.jp

総合せき損センター 医用工学研究部 SPINAL INJURIES CENTER

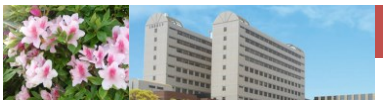
KSU 九州産業大学 KYUSHU SANGYO UNIVERSITY

J-FiT 日本ファインテック株式会社

ふくおか 医療福祉関連機器開発・実証ネットワーク

平成 27 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
立位保持訓練ロボット





NT-2015
Hangzhou

Rehabilitation robot in primary walking pattern training for SCI patient for home-use based on the experiments of the hospital-use type

T. Sakaki, N. Ushimi, K. Murakami, Y. Lee, K. Tsuruta,K. Aoki
K. Fujiie, R. Katamoto, A. Sugyo

Kyushu Sangyo Univ.
Spinal Injuries Center



九州産業大学 KSU Human Robotics Research Center 総合リハビリテーションセンター

Background for Walking Training Robots 1/2

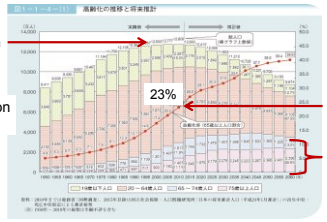
●Super Aging Society: Over 65 Yrs. = almost 25% of population

Stroke: 300,000 people suffer every year, Total patients = 1,330,000

Non-bony type cervical cord injury caused by falling

Total population

Changes of population in Japan



●Expectation for robots is high to accelerate recovery, reduce load of therapists, and save medical/welfare costs.

(c) KyushuSangyoUniversity

Background for Walking Training Robots 2/2

● Target: Incomplete SCI
- ・In Japan,1.76 million physically disabled, including 54,000 with SCI
- ・5000 people suffer every year traffic accidents, falling, and sports accidents
- ・60% = no-bony type cervical cord injury
  central spine caused by pressure on parts of white matter
- ・Muscle power of L. Ex. will build gradually
  for standing up and walking



● Needs for training robot
- ・3 yr. long training at home or outpatient
  repetitive & long training = Therapist's heavy load
- ・Risk of losing walking function again
  because of risk of falling at home



総合リハビリテーションセンター 九州産業大学

Training Process of SCI with Robots

1) T… of range of motion and muscle strengthening,

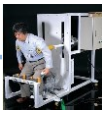
2) Tr… maintain seated position,

3) Tr… standing up and sitting down,

4) Tr… basic walking pattern,

5) Tr… practical walking.










Conventional Technologies for Walking Training


Circular Walker


Robotic Walker


Wearable type


BWSTT (Lokomat)

Problems of conventional machines:
- risk of falling
- no assistance according to voluntary motions;
  body weight transfer and swing phase motion
- bad posture of body trunk
- fixation of body to machine by body weight supporting
- size and weight

総合リハビリテーションセンター 九州産業大学

Training Robot of Basic Walking Pattern for Hospital-use

●Target:
- No-bony type incomplete SCI who can stand but cannot walk
- Prepare for practical walking in real environments
- Small, light weight, easy and safe for elderly and/or patient

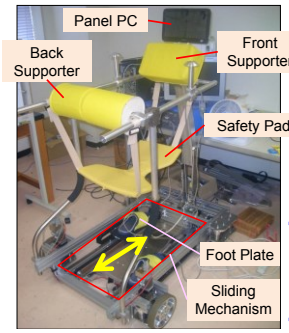
●Main functions:
- Reciprocal sliding motion
  forward & backward of foot steps
- Sensing transfer of foot pressure
  and swing phase motion
- Assistive motions according to
  recovery level of leg motion




総合リハビリテーションセンター 九州産業大学

Training Robot of Basic Walking Pattern for Hospital-use

Mechanism and System Structure





Micro computer (Arduino)

Training Results

Motion Command

Panel PC

Servo Motor (CoolMuscle) Sliding Mechanism

No B.W. unloading mechanism (100% body weight)

Training Robot of Basic Walking Pattern for Hospital-use

3-Step Training Programs according to Recovery Level

1) Training in range of motion and muscle strengthening

2) Training to maintain a seated position,

3) Training in standing up and sitting down,



4) Training in **basic walking pattern**,

- Passive Walking Pattern Training (primary)
- Static Walking Pattern Training (middle)
- Semi-dynamic Walking Training (advanced)

according to recovery level

5) Training in practical walking.

Training Robot of Basic Walking Pattern for Hospital-use

3-Step Training Programs according to Recovery Level

Passive Walking Pattern Training (primary)

- Patient who can stand by him/herself but cannot perform body weight transfer
- Complete passive motion

Static Walking Pattern Training (middle)

- Some ability to transfer body weight but cannot perform swing phase motion
- Sensing load transfer, foot plates moves reciprocally

Semi-dynamic Walking Training (advanced)

- Sufficient body weight transfer but poor swing phase motion
- Sensing both motions, …



Body weight transfer

Training Robot of Basic Walking Pattern for Hospital-use

Evaluation of Training Load and Walking Pattern

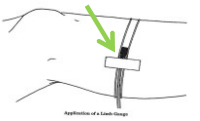
Measurement Devices:

- Hip Joint & Ankle Joint Motions
  Nihonkoden Goniometer



Passive training with NL

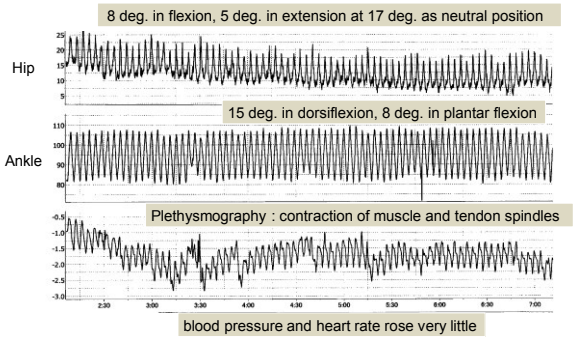
- Length at Circumference of Calf
  Plethysmography
  Measuring Contraction of Leg Muscle
  Muscle Spindle and Tendon Spindle Activity



- Blood Pressure and Heart Rate
  Nihonkoden Bedside Monitor BSM2353

Training Robot of Basic Walking Pattern for Hospital-use

Evaluation of Training Load and Walking Pattern for 7 min.



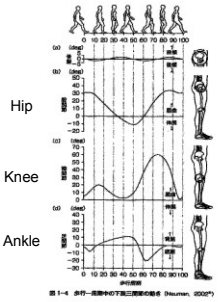
Training Robot of Basic Walking Pattern for Hospital-use

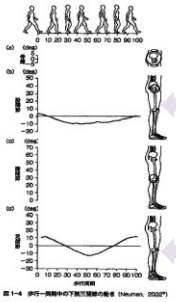
Hip and Ankle motions of one cycle motion

Ordinary Walking Pattern

Robot Training Pattern







1/3 range of ordinary motion

almost similar ROM

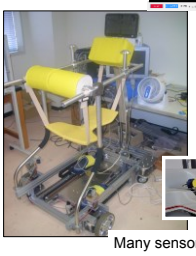
Training Robot of Basic Walking Pattern

Next step, Rehabilitation at Home

Hospital-use High level functions, expensive

Displays





Simple functions & mechanism
Easy and robust user interface
Light weight, low cost, safe

Low cost, Home-use



Many sensors and actuators

Training Robot of Basic Walking Pattern for Home-use

Tests by Normal Subject 1

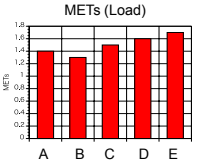
- 5NL (male, age:20-23),
- 2min. Rest -> 10min. training
- Measurement Items: Oxygen Intake, Heart Rate, Blood Pressure, Joint Angles



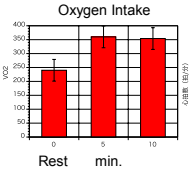
- Metabolic equivalents of Machine Training = 1.5±0.2 METs
  1.5 * METs = METs of office work in sitting
- Blood Pressure, Oxygen Intake, Heart Rate: No rapid changes

- Small load to Cardiopulmonary function even in long period training
- Suitable to Elderly

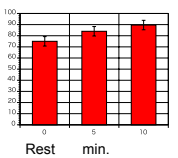
METs (Load)



Oxygen Intake



Heart Rate



Training Robot of Basic Walking Pattern for Home-use

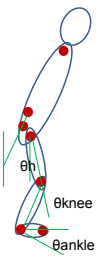
Tests by Normal Subject 2

- To check the similarity of the motions of Machine training / Walking
- By motion capture system

- 5NL (male, age:20-23),
- 2min. Rest -> 10min. training
- Measurement Items:
  - Hip joint angle θh
  - Knee joint angle θknee
  - Ankle joint angle θankle



- Motion Patterns:
  - normal walking
  - machine training
    - passive motion, step fixed and free
    - active assistive motion, step fixed and free



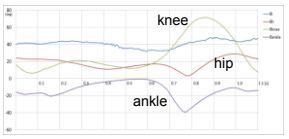
Training Robot of Basic Walking Pattern for Home-use

Tests by Normal Subject 2

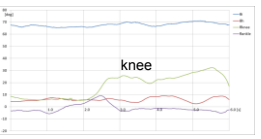
- Overall trend of motion patterns show similar change in time history.
- Knee angle: in Fixed Step v.s. in Free Step.
- Knee angle: in Active-Assistive Motion v.s. in Passive Motion.



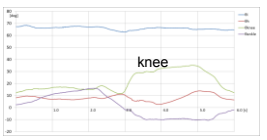
Normal walking



Machine training;
Active-Assistive,
Free Step



Machine training;
Passive,
Free Step



Conclusions

Training Robots of Basic Walking Pattern for Hospital-use and Home-use

- Mild training without raising heart rate and blood pressure,
  suitable for elderly and disabled
- 100% body weight in standing to legs is loaded
- Facilitates body weight transfer and swing phase motion
  with information and motion feedback
- Next step; tests by elderly (normal subjects) to prepare the tests with patients









Transfer-assisting mechanism from wheel chair (option)

Discussions

Differences of the presented training robot and BWSTT machines 1/2

BWSTT(Body Weight Supported Treadmill Training)

- Advantages
  supporting body posture without risk of falling
  wide range of target patients can be applied (FIM1 -)

- Disadvantages
  unloading body weight decreases peripheral nerve stimulation
  training using trunk muscles to keep body posture is difficult
  increase size of machine by unloading mechanism



Discussions

Differences of the presented training robot and BWSTT machines 2/2

Presented Training Robot



- Advantages
  - 100% body weight loading to legs
    - sufficient peripheral nerve stimulation
  - training for body weight transfer and swing phase motion
    - training using trunk muscle
  - small size without unloading mechanism
- Disadvantages
  - narrow range of target patients who can stand by oneself (FIM4-)
  - countermeasure for risk of falling, supporting mechanism, belt,…

せき損患者用立位保持訓練ロボット　(第７報：臨床用プロトタイプ)

Rehabilitation Robot in Primary Walking Pattern Training for SCI Patient

学　○田川　潤（九産大）正　榊　泰輔（九産大）非　青木　幹太（九産大）
非　藤家　馨（せき損センター）　非　片本　隆二（せき損センター）
非　須堯　敦史（せき損センター）非　木原　由光（ロボフューチャー）
非　下川　俊彦（九産大）　　学　徳島　徹弥（九産大）

Jun TAGAWA, Kyushu Sangyo University, 3-1 Matsukadai 2-chome, Higashi-ku, Fukuoka
Taisuke SAKAKI, Kyushu Sangyo University
Kanta AOKI, Kyushu Sangyo University
Kaoru FUJIIE Spinal, Injuries Center
Ryuji KATAMOTO, Spinal Injuries Center
Atsushi SUGYO, Spinal Injuries Center
Yoshimitsu KIHARA, Robo Future Co
Toshihiko SHIMOKAWA, Kyushu Sangyo University
Tetsuya Tokushima, Kyushu Sangyo University.

Key words :　Robot，Rehabilitation，Medical welfare，Walking

１．緒言

本報告は，今年度に改良した在宅用立位保持訓練ロボットの機構，操作パネル内の配線案とその制御プログラム，また訓練評価機能の開発状況について報告する．

脊髄損傷(Spinal Cord Injury)とはおもに脊柱に強い外力が加えられることで脊髄に損傷を受ける病態である．近年，非骨傷性頚髄損傷と呼ばれる障害が増加している．これは転倒や転落が主要因による障害で高齢者に多発している．現在の脊髄損傷患者の数は国内で 10 万人程度である．2006 年に福岡県下の 2，3 次救急指定病院を対象に行われた調査によると，155 人の新規脊髄損傷損患者が発生し，患者発生頻度の予測が，100 万人につき 33.77 人となった．また，155 人の内 139 名が頚髄損傷者である．このうち 90 名が非骨傷性頚髄損傷で，さらに半数以上が中心性頚髄損傷と言われる障害である．中心性頚髄損傷者における麻痺は下肢に比べて上肢で強く，一方下肢はリハビリテーションにより独歩が可能になる可能性がある．

独歩に至るまでには，座位保持・起立・起立保持・歩行の各訓練を繰り返し行う必要がある．入院治療期間内だけでリハビリ訓練は完結せず，場合によっては 3 年もの長期の訓練が必要となり，退院後の通院リハビリや在宅リハビリが必要となる．しかし、通院では療法士の指導を受ける時間は限られ，在宅では専門的リハビリ訓練は制限される．

そこで，ロボットが療法士を代行することで負担を軽減し，ロボットによる在宅での繰り返し訓練を行うことで，在宅リハビリの効率化を図り，患者の独歩への可能性を高めることが本研究の目的である．

２．本研究の目標

本研究では，在宅用立位保持訓練装置(以後 YS1 と呼称)を開発する．YS1 は以前開発した病院用機能検証用歩行訓練装置(YS0)を元に機構を簡素化し，低価格な訓練装置とする．

今年度の目標は，来年度に予定している病院での臨床試験に向け，病院や展示会で得た意見を元に問題点を整理し改良する．

３．装置概要.

①メカ　YS1(図 1)は本体，フレーム，転倒防止装置の計 3 つのパーツで構成されている．本体は輪状のチェーンを内蔵し，チェーンに連結されたステップ台はモーターの正転，逆転により前後にスライドする．ステップ台つま先立地と，かかと接地時の足首の動きを再現するために前後に 30 度ずつ傾く機構がある．フレームは本体と連結し，患者の転倒を防ぐ．転倒防止装置のサドルは空気圧シリンダーにより上下し，患者の膝折れによる転倒を防ぐ．



Fig.1　Rehabilitation Robot in Primary Walking Pattern Training for SCI Patient

②電気ハード　重心移動を計測する圧センサを４つ，ステップ台の上に設置した．小型軽量化するためにモーターはマッスル社の CoolMuscle を使用している．操作パネルは，LED の明滅で足裏の荷重を患者にリアルタイムで知らせる．2 つのダイアルで 4 種の難易度と訓練時間を選択できる．患者がバランスを崩した際などの緊急時のために非常停止ボタンが取り付けてある．操作パネルのイメージを図 2 に示す．

③ソフト　圧センサの数値によってマイコンが患者の重心移動と遊脚を判断しモーターへ信号を送り，モーターが正転，逆転，停止する．モーターの動作条件はコースによって異なり，かかと上げ時に計測する圧センサの数を変更することで難易度を４つに差別化する．患者の左右重心移動に合わせて左右のステップが前後にスライドし歩行様運動を実現する．YS1 には訓練評価機能があり，評価基準は患者がステップ台を前後させた回数で訓練の到達度を評価する．

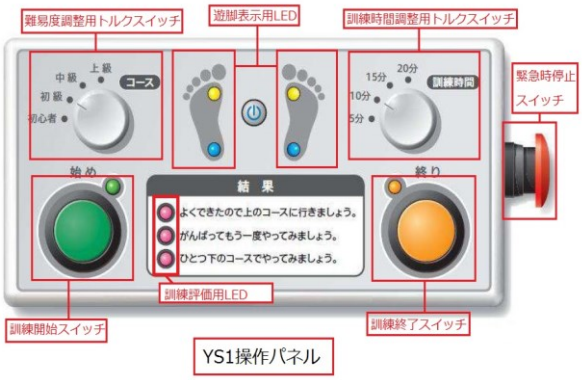


Fig.2　Control panel of YS1

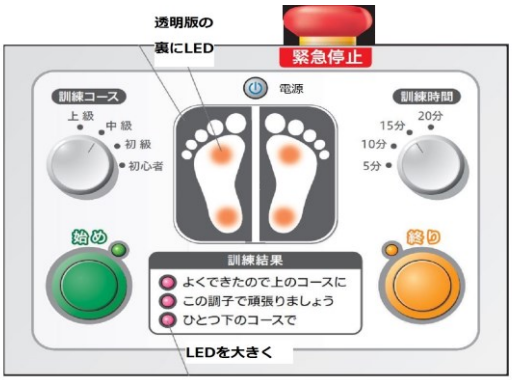


Fig.4　Improved Control panel of YS1

４．昨年度の課題

YS1 を展示会などに持ち込み，医療関係者から意見を得たところ，以下の問題点が浮かび上がった．

①メカ　ステップ台の傾く機構が遊脚動作を困難にしている．また外部フレームが重く大きいため，在宅用に適さない．

②電気ハード　横にある緊急停止ボタンが押しにくい．LED の表示がわかりにくい．患者は上肢の力が弱いため，ダイアルが操作し難い．　操作パネルの文字が読み難い．

③ソフト　電源投入時にステップ台の位置が前後にずれている為，患者が乗り降りし難い．訓練難易度によって動作条件が異なるため，足をどう動かせばいいか分かり難い．

５．今年度の改良点

前章にて記載した問題に基づき今年度実施した改良について説明する．

①メカの改良点　外部フレームの強度と安全性を保ったまま軽量化した．本体は遊脚機構を除くことで，遊脚運動を容易にした．（図 3）



Fig3　Improved Outer frame and body mechanism

②電気ハードの改良点　来年度の臨床試験に向け操作パネルを高齢者にも使い易いよう，緊急停止ボタンを押しやすく，コース変更のダイアルを握りやすく，文章を短く，文字を大きく，足裏の表示を透明版の裏に LED を仕込むことで見やすく変更した．改良型の操作パネルを図 4 に示す．

③ソフトの改良点　電源投入時と訓練終了時にステップ台をそろえることで，患者の乗り降りをしやすくした．訓練難易度ごとに設けたモーターの動作条件を統一し，かかと上げを行うことで介助動作を行うようにした．また，評価基準を変更し，難易度ごとに到達度を設け，患者が訓練中に遊脚した時間で評価することで，訓練難易度を差別化した．

６．　動作検証

改良したソフトと電気ハードの動作を確認するため，動作を検証した．電源投入時と訓練終了時にステップ位置をそろうか，訓練コースによって条件分けした到達度の達成，非達成時に明滅する LED が変更されか，検証した．複数回実験した結果，モーターの動作，訓練評価機能は想定どおりに動作し，問題がないことを実証した．実験の詳細と結果については講演当日に発表する．

７．今後の課題

今後の課題として，臨床試験へ向け長時間の動作試験を行い，動作検証で発生しなかった問題がないか実験する．同時にリスクアセスメントし，更なる安全性の向上に努めることが必要である．また臨床試験に際し，現在までは健常者を対象として動作実験を行ってきたため，今までと異なる問題が発生する可能性や，訓練難易度の調整などが必要になる可能性がある．これらの点を踏まえた改良が必要である．

８．謝辞

本論文をまとめるにあたり，複数の展示会などで意見をいただきました多くの方々と，親切なるご教授ならびにご指導を賜りました皆様，そして，操作パネルの製作して頂いたアイクォーク株式会社の皆様に心からの感謝の意を表します．

参考文献

(1)　片本隆二ほか：“起立運動装置の評価実験（その 2）　研究報告書”，身体障害者のための生活環境系の設計研究　，pp.9-16, 2009

(2)　片本隆二ほか：“立位移動運動装置の設計研究”，2009 年　研究報告書　身体障害者のための生活環境系の設計研究　，pp.17-28，2009

(3)　坂井宏旭ほか：福岡県脊髄損傷ネットワーク構想，～福岡県における脊髄損傷患者の統括的データベースの構築を中心に～，第 45 回日本リハビリテーション医学会学術集会　S377　3-4-1

(4)　吉丸裕也:せき損患者用立位保持訓練ロボット（第 4 報），日本機械学会九州支部九州学生会第 44 回学生員卒業研究発表講演会，2013

(5)　川邉峰人：下肢患者・障害者のための在宅用歩行訓練ロボットの研究 訓練者および医師・療法士への情報提示機能の拡張，日本機械学会九州支部九州学生会第 46 回学生員卒業研究発表講演会，2015

(6)　Taisuke Sakaki : Rehabilitation Robot in Primary Walking Pattern Training for SCI Patient for Home-use Based on the Experiments of Hospital-use Type，BIT's 6th Annual World Congress of Neurotalk-2015, Abstract Book，p.131

せき損患者用立位保持訓練ロボット　（第 8 報：NIRS による脳賦活の調査）

Rehabilitation robot of primary walking pattern training for SCI patient

Investigation of the brain activation using NIRS

学　○徳島　徹弥　（九産大）　　正　榊　泰輔　（九産大）
非　　能田　由紀子（ATR）　　非　一ノ瀬　裕（九産大）

Tetsuya TOKUSHIMA, Kyushu Sangyo University, Matsukadai 2-3-1 Higashi-ku Fukuoka
Taisuke SAKAKI, Kyushu Sangyo University
Yukiko NOTA, ATR-promotions.Inc
Yutaka ICHINOSE, Kyushu Sangyo University

Key words: Rehabilitation, Training robot, NIRS

1．緒言

本研究では，脊髄損傷者の下肢のリハビリにロボットを活用した場合の脳賦活を調べる．トレッドミルと，開発中の立位保持訓練ロボットを用いる歩行様運動の 2 種を，(株)島津製作所の LABNIRS を用い脳内ヘモグロビン量を測定する．ロボットによる運動時に脳がどの程度賦活するか検証する．

2. 立位保持訓練ロボット

立位保持訓練ロボットは，脊髄を損傷した患者のうち下肢の回復が見込まれる患者のリハビリに使用する．ロボットのステップ台両側のつま先と踵の圧力センサ 4 個を使用し，センサの入力値に応じ左右の重心移動と遊脚を判定する．ステップ台を前後往復動作させることにより，歩行様状態の足の動きを再現する．難易度は，初心者，初級，中級，上級の 4 種がある．今回の実験では，初心者を使用する．判定条件は，「後方の足の踵を浮かせる」である．その他，圧力センサの値に応じて操作パネルの LED が点滅し，ステップ台を踏んでいる状態か否か目視できる機能，センサの入力値に応じ訓練の評価を行う機能を搭載している．

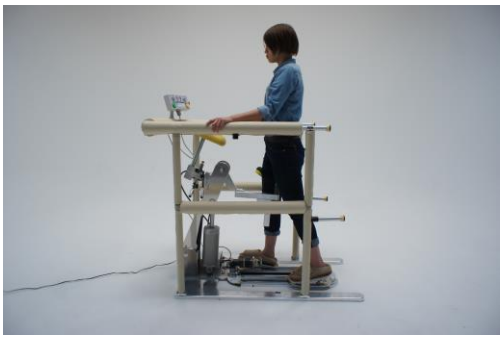


Fig.1 Rehabilitation robot of primary walking pattern training for SCI patient

3. NIRS 装置

NIRS（Near-infrared spectro-scopy）装置は，頭部に装着したプローブ（光ファイバー）から発せられる近赤外線光を用い，脳内のヘモグロビン変化量を測定する．近赤外線の波長は 780nm，805nm，830nm の 3 種を用いる．NIRS は変化する脳機能を高い時間分解能でリアルタイムに捉えることが可能である． fMRI や PET と比較すると装置がコンパクトで移動しやすいため測定場所の制限がない．また測定時の被験者の拘束が少ないため，脳機能研究に適している．

4. 実験

4.1 実験方法　実験は健常者の 20 代男性 1 名で行う．頭頂部を中心とし，Fig.2 左に黄色で示す運動野を測定する．NIRS 装置のプローブを Fig.2 右のように取り付ける．トレッドミル（Fig.3 左）と，ロボット（Fig.3 右）において脳内ヘモグロビンの変化量を測定する．タイムプロトコルを静止 30 秒間，運動を 30 秒間，静止 30 秒間とし 10 回繰り返す．プローブは送光・受光各 14 組，測定チャンネル数は 45 と設定する．測定結果は， 1 セット目の運動開始時から 1 秒間と，10 セット目の運動開始から 1 秒間の 2 区間を範囲選択しベースライン補正を施し加算平均を行う．

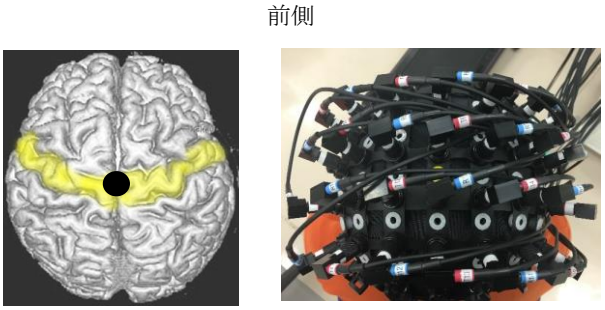


Fig.2 MRI brain image(L) and Probes mounted on the head (R)

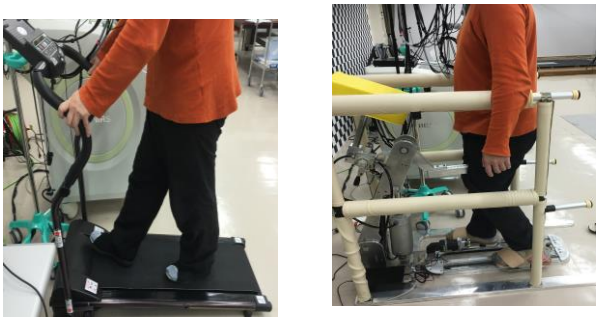


Fig.3 With tredmill(L) and with Rehabilitation robot(R)

4.2 トレッドミルによる運動時の脳の賦活状態　時速 2km と設定し，すり足にならないように足を上げて歩行を行うよう被験者へ指示した． Fig.4 に頭頂部付近に設定される ch23（Fig.3 左●印参照）の測定データを示す．ヘモグロビン変化量のグラフは，赤が「Oxy ヘモグロビン」青が「Deoxy ヘモグロビン」緑が「TOTAL ヘモグロビン」である．Fig.5 に示す脳の MRI 画像は，測定箇所全体の測定データである．

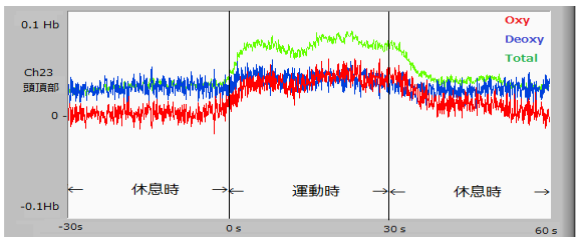


Fig.4 The concentration change of hemoglobin at Cz during training with tredmill.

Fig.5 に示す測定結果の脳 MRI 画像は，全ての測定チャンネルのヘモグロビン量を測定開始時（-30s）に 0 とし，その後の変化量を±0.050 の範囲で運動開始時（0s），運動終了時（30s），休息の中間（60s）の 3 点で示す．

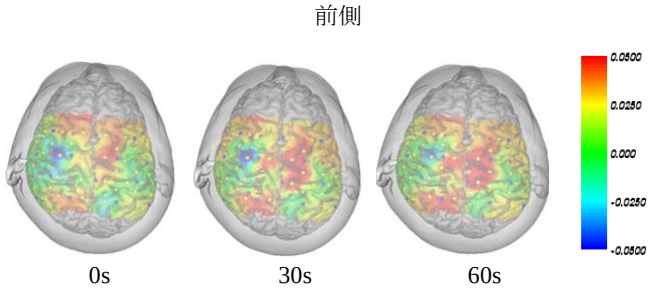


Fig.5 The concentration change of total hemoglobin of all probes during training with tredmill.

0s の運動開始時より，Oxy ヘモグロビンの量が徐々に増加していることが確認できる．この時，脚の運動野付近が活発に活動し酸素供給量が多くなることで Oxy ヘモグロビンの値が上昇したと考えられる．運動を進めていくにつれ値が大きくなり，上昇のピークは 20-25s であった．30s にて運動が終了し休息に入る．Oxy ヘモグロビンは徐々に減少する．60s 頃に値が安定し 0s まで安定した状態となる

4.3 ロボットによる運動時の脳の賦活状態　踵を上げることを意識し運動を行うように被験者へ指示した．ヘモグロビン変化量を Fig.6，脳 MRI 画像を Fig.7 に示す．

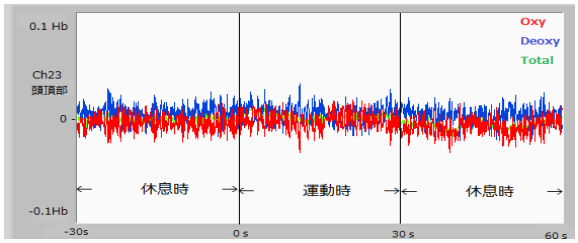


Fig.6 The concentration change of hemoglobin at Cz during training with rehabilitation robot.

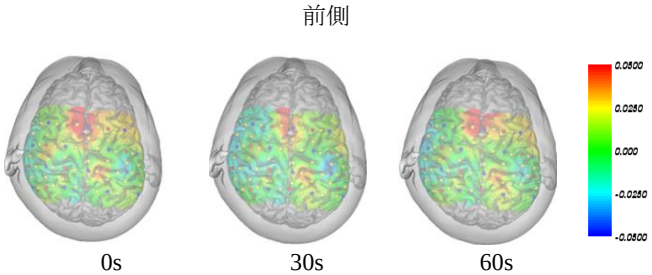


Fig.7 The concentration change of total hemoglobin of all probes during training with rehabilitation robot.

0s の運動開始時より，Oxy ヘモグロビンの量がわずかに増加している．運動を進めていくにつれ値の変化を比較すると，変化が小さかった．30s にて運動が終了し休息に入る．休息時も Oxy ヘモグロビンの量の変化が小さかった．以上の結果より，トレッドミルを用いた運動と比較すると，Oxy ヘモグロビンの変化が小さいことが読み取れる．

5. 考察

トレッドミルとロボットの運動中の脳活動を計測し，双方共に脳内の脚運動野において Oxy ヘモグロビン量の変化が観察された．しかし，トレッドミルでの運動は変化が鮮明に表れたのに対し，ロボットでの運動は変化が大きく表れなかった．もし，ロボットの運動で脳を賦活させるのであれば，トレッドミルでの歩行に類似させることが有効かもしれない．具体的に以下の改善を行う．

① 問題　運動時に踵を上げたにも関わらず，ロボット側が認識できていない時がありステップ台が停止することがあった．
　改善　ステップ台が踵を上げずに動くプログラムへ変更する．

② 問題　ステップ台に運動時の足首の動きを再現する為前後に 30 度ずつ傾く機構が取り付けられており，遊脚を困難にしていた
　改善　この機構を搭載しないステップ台を製作し測定を行う．

③ 問題　休息時に両足を揃えることができなかった為，被験者に負担をかけた．
　改善　休息時，両足を揃えるようにステップ台を配置するプログラムへ変更し被験者の負担を軽減．

改善を行うことで，運動時と静止時の Oxy ヘモグロビン量の変化が鮮明に表れることを期待したい．

6. 来年度の目標

来年度は，今年度のロボットの問題となった点を改善し実験を行う．今年度の結果と比較し，ステップ台の改良により脳賦活が可能になるか否か．また，被験者を複数名にすることで脳賦活に個人差がどのくらいの影響を及ぼすか．検証を行いたい．

7. リスクアセスメント

本実験を行うにあたり被験者様に説明を行い，NIRS 装置での測定により心身に負担を掛けないことを最優先とし同意を頂き実験を行った．ロボットのステップ台の動作時の安全性に関して，異常時に即座に緊急停止ボタンを操作可能な位置に操作者を配置し実験を行った．

8. 謝辞

本実験を行うためにご協力頂きました．九州産業大学　産学連携室，(株)島津製作所をはじめ，関係者皆様へ感謝の意を表します．

参考文献

(1)　中澤公孝 歩行のニューリハビリテーション 杏林書院
(2)　吉峰俊樹 他 BMI の現状と展望 医歯薬出版株式会社
(3)　酒谷薫 他 NIRS－基礎と臨床　新興医学出版社

Rehabilitation Robot in Primary Walking Pattern Training for SCI Patient at Home

Taisuke Sakaki, Toshihiko Shimokawa, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta, Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, Atsushi Sugyo

***Abstract*—**Recently attention has been focused on incomplete spinal cord injuries (SCI) to the central spine caused by pressure on parts of the white matter conduction pathway, such as the pyramidal tract. In this paper, we focus on a training robot designed to assist with primary walking-pattern training. The target patient for this training robot is relearning the basic functions of the usual walking pattern; it is meant especially for those with incomplete-type SCI to the central spine, who are capable of standing by themselves but not of performing walking motions. From the perspective of human engineering, we monitored the operator's actions to the robot and investigated the movement of joints of the lower extremities, the circumference of the lower extremities, and exercise intensity with the machine. The concept of the device was to provide mild training without any sudden changes in heart rate or blood pressure, which will be particularly useful for the elderly and disabled. The mechanism of the robot is modified to be simple and lightweight with the expectation that it will be used at home.

***Keywords*—**Training, rehabilitation, SCI patient, welfare, robot.

I. Introduction

FIG. 1 shows current changes in the Japanese population. The society is aging at an alarming rate. In the near future, almost 25% of the population will be over 65. In such a society, stroke is a serious problem. About 300,000 people suffer strokes every year. The total number of stroke patients in Japan is estimated to be 1,330,000. In addition, many elderly people suffer non-bony type cervical cord injuries as a result of falls. Therefore, expectations are high for robots to accelerate recovery for these individuals, reduce the load of therapists, and save medical and welfare costs.

According to a fact-finding survey of disabled people conducted by the Ministry of Health, Labor and Welfare, there are 1.76 million physically disabled persons, including 54 thousand with spinal cord injuries (SCI) in Japan. Slightly more than 5 thousand peoples suffer this disease every year as a result of traffic accidents, falls, and sports accidents. Physical therapy is designed to prevent orthostatic hypotension, muscle atrophy and contracture, and mental disorders.

Recently, attention has been focused on incomplete-type SCI to the central spine caused by pressure on parts of the white matter conduction pathway, such as the pyramidal tract. Middle-aged and elderly patients may suffer quadriplegia as a result of injury to this area from overextension of the spinal cord, in most cases caused by a fall. According to epidemiological data from new patients in 2005 and 2006 in the Fukuoka Prefecture in Japan collected by the Spinal Injuries Center, the incidence rate of incomplete SCI has shown a decreasing trend, from 33.7 to 27.6 per million on average in 2005 and 2006, respectively.

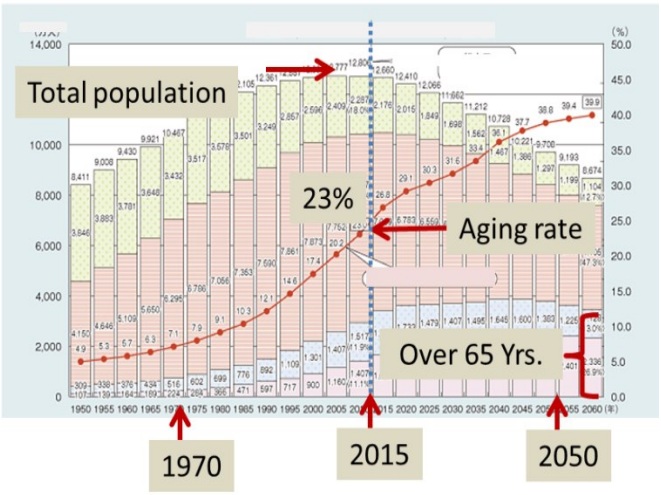


Fig. 1. Demographic changes in the Japanese population.

However, the age of onset has been increasing. Forty-five percent of these patients are incomplete-type SCI to the central spine cases. In most of them the spinal cord is not completely severed, but muscle power and sensation in the extremities are poor. In such cases, paralysis may be present more strongly in the upper extremities than in the lower. The muscle power of the lower extremities will build gradually to a level sufficient for standing and walking. The muscle power of the hands and fingers, however, may not recover to a level where the patient can grasp or pinch sufficiently to manage the typical activities of daily living. Even so, three years of home training and outpatient services may be necessary for patients to recover walking functions. These repetitive and long-duration trainings create a heavy load for therapists. In addition, there is risk of losing the walking function again because of the danger of falling at home.

The rehabilitation process for SCI comprises several steps, including: 1) basic training for extending the range of motion of

*A part of this research is supported by The Robotics Industry Development Council, Fukuoka, Japan.

Taisuke Sakaki, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta, and Kanta Aoki are with Kyushu Sangyo University, Fukuoka, 813-8503 Japan (Tel: +81-92-673-5461; e-mail: sakaki@ip.kyusan-u.ac.jp).

Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, and Atsushi Sugyo are with Spinal Injuries Center, Iizuka, 820-8508 Japan (e-mail: fujiie@sekisonh.rofuku.go.jp).

joints and muscle strengthening; 2) training to maintain a seated posture; 3) training in standing up and sitting down; 4) training to relearn the primary walking pattern; and 5) training in practical walking.

Over the last decade, a variety of rehabilitation robots and robotic assist devices for physical therapy have been developed [1]-[4]. In particular, BCI (brain computer interface technology), neuro-rehabilitation techniques, wearable robot technologies, and neuro-rehabilitation robotics have been actively studied [5]. Recent gait rehabilitation robots, such as the Lokomat, the Lopes, the PamPogo, the ALEX, and the GaitTrainer have been studied and used in locomotion training for SCI or CNS (central nervous system) patients [6][7][13]-[15]. These therapies are based on neuroplasticity at the spinal and supraspinal level, and achieved by physiological multisensory input to reshape the locomotor pattern of the spinal circuitry. The physical constraints of conventional manual-assist training can be overcome using robotic training to activate the CPG (central pattern generator) with the BWSTT (body weight supported treadmill training) mechanism of a robot [8][9][12][16][17].

We have been developing a series of robots to apply to every step of training for patients with incomplete SCI to the central spine. In this paper, we focus on a robot that assists with primary walking-pattern training.

A. Conventional Methods for Walking Pattern Training

Circular walkers, canes, and parallel bars are the most popular tools used in rehabilitation. The problems with these tools are the high risk of falling, and the difficulty of maintaining a normal trunk posture, leading to the need for extensive monitoring, care, and advice by a therapist. Also, the patient usually cannot exercise for a long period of time with these rehabilitation aids, as it is very tiring to do so.

Several training machines for lifting the trunk have been developed for SCI and other types of patients. The Lokomat and the KineAssist provide partial body weight support and postural torque on the torso [7], [10]. Their features include a lifting mechanism for the trunk to decrease the weight a patient must lift, a mechanism that drives the lower extremities, and a treadmill. However, these machines cannot train a patient for practical walking in a real environment, achieved by voluntary motions such as body weight transfer and swing-phase motion. A wearable training machine that is mounted on the lower extremities has been developed at Tsukuba University [5]. The features of this device include a driving mechanism to actuate the hip, knee, and ankle joints with motors; commands for the device are calculated with sensors responding to inputs such as EMG or leg motions. The machine, however, is not able to support a patient's weight. The risk of falling with this machine is therefore greater than with other types of training machines, since a mechanism for supporting the trunk is not provided.

Circular-wheel-type training machines with electric motor wheels have been developed by the Hitachi Co. The features of this type of machine are a maneuvering mechanism mounted to a circular wheel, automatic control of the maneuvering system that leads the patient to walk, and a supporting mechanism for the waist, trunk, and upper extremities. Most of these machines do not provide a mechanism to directly drive the legs. The problem with the machines is that there is, again, a risk of falling. It is difficult trying to learn the correct posture and walking pattern again, and there is no mechanism for taking advantage of the voluntary movements of the patient.

In summary, the conventional machines and tools have the following problems: 1) risk of falling; 2) difficulty in achieving the right posture of the body and obtaining practice in practical walking in a real environment; 3) lack of a mechanism for taking advantage of the patient's voluntary movements; 4) fewer degrees of freedom (d.o.f.) of movement because the patient's body is fastened to the machine; and 5) very large size and heavy weight.

II. Training Robot for Primary Walking Pattern

The target patient for this training robot is one who is relearning the basic functions of the ordinary walking pattern, especially those who have suffered an incomplete-type injury to the central spine who are capable of standing by themselves but not capable of performing walking motions. The primary walking pattern with voluntary motion for body weight transfer and swing phase leg motion will be a preparation to the recovery of practical walking in the real environment.

A. Training Robot for Rehabilitation Center and Its Experimental Results

We have proposed a training machine that assists patients in relearning the walking pattern and executing preliminary dynamic walking, as shown in Fig. 2 [11][18][19]. Specifically, this robot provides three kinds of assistive motions with a sliding mechanism according to the recovery level of the patient's lower extremities. The passive reciprocal motions of the feet are provided in the case of poor muscle power of the lower extremities. In addition, other assistive motions are provided while sensing the reciprocal movement of foot pressure, or when sensing foot pressure movement and lifting motions of the foot during the swing phase. The whole mechanism of the robot can travel forward coincident with the sliding mechanism motion, which provides quasi-walking actions. The sliding motion does not simulate a completely natural gait in the swing phase. The patient, however, could be trained by quasi-walking motions with voluntary body weight transfer and lifting of the leg in the swing phase monitored by the machine.

This robot has both a slide mechanism and a maneuver mechanism. The sliding mechanism provides reciprocal forward and backward sliding motions of the patient's feet to achieve a quasi-walking pattern. Each foot is fixed on the foot plate mounted on the chain actuated by the servo motion of one stepping motor servo system (Cool Muscle CM1-C-23L20A, 30W, 2000rpm, Muscle Corporation), which includes a stepping motor, angular sensor, and servo amplifier.

The pressure sensor mounted on the footplate measures foot pressure. According to the sensor information, the microcomputer, Arduino, delivers the motion command to the motor. The actuators of the Cool Muscle system, which are

connected to each other and controlled by the Arduino, are used in the sliding mechanism.

The waist pad and the belt support the patient's body to prevent falling. The body supporter, waist supporter and supporting belt allow the patient to move freely and safely within the small confines surrounded by those supporters; sidebars prevent falling without harnesses. To compensate for the poor muscle power of the upper extremities, the hands can be fixed with a belt to the hand sticks if necessary.

The robot can provide three-step training functions according to a patient's walking ability, as follows:

1) 'Passive walking-pattern training' is the primary level. The robot allows completely passive motion for the patient with severely reduced ability that can stand by him/herself but cannot perform any body weight transfer motions. Here, the footplates move reciprocally as automatic motions.
2) 'Static walking-pattern training' is the middle level. It can be used with patients who still have a poor ability to transfer their body weight. Sensing the transfer of the load by the pressure sensor on the foot plate, the foot plate moves reciprocally according to the load amount. The sliding motion stops when there is no change in foot pressure by transferred body weight. This function provides feedback to the patient, thus facilitating voluntary body weight transfer.
3) 'Semi-dynamic walking pattern training' is the highest level. It will be utilized for patients with poor swing phase motion but with sufficient ability to transfer body weight. Sensing the foot pressure and the motion of the leg lifting in the swing phase detected by the micro switch on the top of the foot plate, the foot plate moves reciprocally. The sliding motion will stop when there is no change of these two motions. This function will provide feedback to the patient, facilitating voluntary body weight transfer and swing phase motion.

The motion, activity of muscles, and exercise intensity of the lower extremities were measured using the proposed robot [19]. The hip joint angle vibrated at 17 degrees as a center point. The angle extended by approximately 5 degrees, and flexed by approximately 8 degrees, which constituted 1/3 of the walk pattern of a healthy person. The ankle joint changed repeatedly, with approximately 15 degrees of plantar flexion and approximately 8 degrees of dorsiflexion, almost the same pattern as that of a healthy person. In addition, calf circumference changed repeatedly during the same period as the joint angle motions. The change in blood pressure and heart rate during exercise were small. Thus, the particular characteristics of this device are: 1) the load by the standing position depends on the foot bottom that does not support the load; 2) reciprocal stepping motion of both legs is available; 3) assistance is provided when the center of gravity movement to the right and left is detected; 4) the swing phase motion of the leg is partially realized; 5) the range of motion of the hip is 1/3 that of a healthy person, and that of the ankle is the same as that of a healthy person; 6) flexion and extension of the muscle spindle and tendon spindle of the calf is expected to affect the afferent deep reflex.

Considering these experimental results, comments of staff such as physical therapists, and medical science papers, some of the current technical problems are being addressed as follows: 1) implementation of a swing phase leg motion that is closer to the movement of a healthy person, in particular the pulling-up motion of the toes (emphasized by the therapists); 2) modification of the transfer process to make it easier and more certain; 3) improvement of the feedback system to provide information regarding the results of training to the user; 4) redesign of the operation panel so as to make it easier for the elderly to utilize [19].

B. Training Robot for Home-Use

According to the experimental results and the comments from the physical therapists, we have also developed the next-step robot for rehabilitation at home, as shown in Fig. 3. The new development target is a device with simple functions and low cost that is small and lightweight for home-use exercise to make possible the recovery of walking functions.

The former robot had high-level functions, and expensive mechanisms such as sensors and actuators. In the revised robot, the functions and mechanisms have been simplified, and the user interface is robust and easy to use. Light weight, low cost and safety are important for home use. The robot for hospital use is comprised of two motors to actuate the slide mechanisms with two kinds of sensors and a tablet-type computer to measure training data on the robot in order to evaluate the recovery level of the patient. The system is complicated to operate, and the flame mechanism is large.



Fig. 2 Rehabilitation center training robot for basic walking-pattern training. The robot has two motors for the two sliding mechanisms, two motors for maneuvering on the floor, and two kinds of pressure sensors on the steps, and touch switches on the step covers

On the other hand, the robot for rehabilitation at home should be small and lightweight. The system is simple for the user to operate. The robot comprises only one motor to actuate the

slide mechanism, with a chain mechanism for the reciprocal motion of footsteps on the chain. The steps are not available to move independently, but the limited motion is sufficient for home rehabilitation. The four pressure sensors are mounted on the steps. The simple operating panel controlled by microcomputers is installed with dials and buttons, which are easy for the elderly to understand and operate. The mechanical flames are simplified, making the size and weight of the machine 2/3 and 1/2 that of the former one, respectively.

III. Preliminary Experiments for Training Robot for Home-Use

We tested the low-cost, home-use machine with normal subjects. Five 5 normal subjects (male, age: 20-23) joined the experiments. Subjects included two people with experience in robot training and three without.

The robot actuates the sliding mechanism driving the footsteps triggered by the change in foot pressure on the step. The state of the foot pressure is displayed on the front panel in real time. The display was intended to facilitate patient's recognition of foot motion, as well as to prevent lower back bending. The sliding mechanism moves about three seconds per step. Among the motions, the hip moves 5–15 degrees, while the knee moves 5–35 degrees.

Measurements include oxygen intake, heart rate, blood pressure and joint angles. Oxygen intake is measured by VO2000, and blood pressure is measured by tango+. Whole-body motion during training is monitored by video camera.

The subjects without experience in robot training were given guidance on how to use the device. They were given 1-2 min rests, were kept standing without moving for 1 min, and performed training on the robot for 10-min intervals. One-minute section averages were monitored and recorded for each subject on oxygen intake, heart rate, blood pressure and joint angles.

The time histories of oxygen intake and heart rate are shown in Fig. 4 and Fig. 5, respectively. Increase in those measurement values was moderate. The averages for oxygen intake and heart rate were higher in the training mode, but the increases were not significantly different from the values of the subjects at rest.

The experimental results for oxygen intake were compared to resting in a chair. Intake values in the training mode were taken for the 5th and 10th min for subjects with (W, n = 2) and without (WO, n = 3) experience in robot training. Oxygen intake at the rest was 223.3ml/min±16.7 for W and 225.9ml/min±29.9 for WO. Intake during the 5th min of practice was 332.0ml/min±20.0 for W and 347.4ml/min±50.1 for WO. Both groups thus showed an increase compared to at rest. Oxygen intake in the 10th min of practice was 362.3ml/min±12.5 for W and 307.4ml/min±53.1 for WO, again higher compared to the other measurements.

The METs (metabolic equivalents) in the 5th min of practice were 1.5±0.3 for W and 1.5±0.1 for WO. In the 10th min of practice, METs scores were 1.6±03 and 1.4±0.1, respectively, as shown in Figure 6. The total METs of machine training was 1.5±0.2. The total of 1.5* METs is about equivalent to the METs of seated office work. Blood pressure, oxygen intake, and heart rate showed no rapid changes. Thus, the machine imposed only a small load on cardiopulmonary function even with long-duration training. This means the machine training is suitable for the elderly.

Energy consumption for each subject training on the device for 10 min was 0.26±0.03Kcal/kg. The amount of energy consumption by weight for subjects 1 and 2 was comparatively low. This suggests that individuals with robot training show better energy efficiency.

In order to check the similarity of the motions of machine training / walking, the joint angles of the lower extremities were measured by a motion-capture system. Again, five subjects normal subjects (male, age: 20-23) participated in the experiments. They had a 2-min rest interval before 10-min of training on the machine. The measurements included pelvic posture, hip joint angle, and knee joint angle. The motion patterns were arranged as normal walking across the floor, machine training with passive motion with the steps free, and active assistive motion with the steps free.

The overall trend of motion patterns showed similar changes in the time history. The knee angle made smaller changes in fixed step, larger changes in free step. Almost half of the angles were in a normal walking pattern. The active assistive motion showed larger knee angles than the passive case.



Fig. 3 The training robot for the basic walking pattern for home use. The robot has simplified functions and mechanisms, and a robust and easy to use user interface. The light weight, low cost and safety are important for the home use

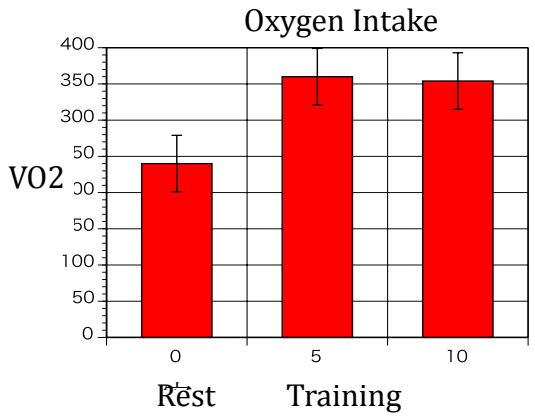


Fig. 4 Time histories of oxygen intake. The rise in the measurement values are moderate. The averages of the oxygen intake in the training mode were increased, but not significantly different than at rest

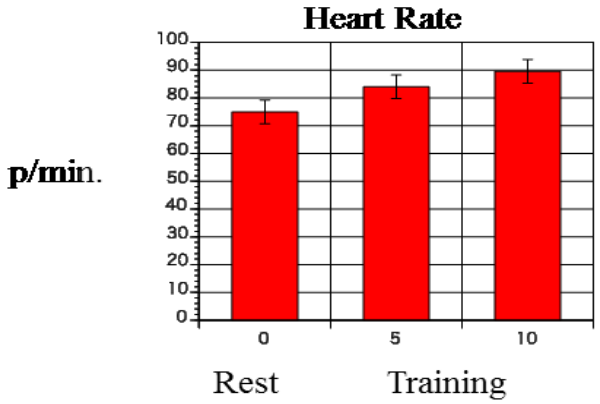


Fig. 5 Time histories of heart rate. The increase in the measurement values are moderate. The averages of the heart rate in the training mode were higher but not significantly different than at rest

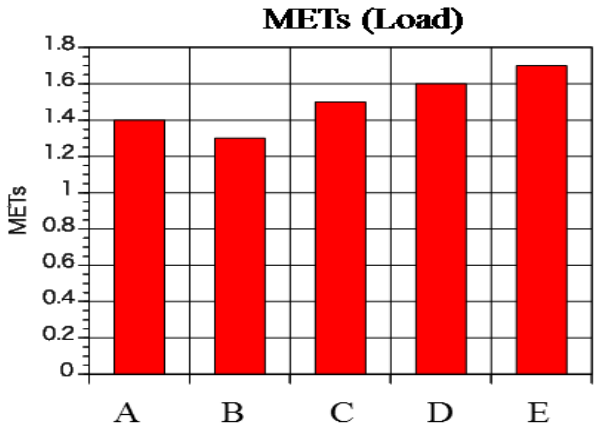


Fig. 6 The METs (metabolic equivalents) in the 5th min of practice for the five subjects on the training robot for home use

IV. Conclusions

We have developed two types of training robot, one for rehabilitation centers and the other for home use. The concept of these devices is to provide mild training without sudden increases in heart rate or blood pressure, which will be particularly useful for the elderly and disabled. Those functions were verified by experimental results with normal subjects. The machine imposes only a small load on cardiopulmonary function even during long-duration training. This means the machine training is suitable for the elderly. We next plan to test the training load for elderly subjects on the robots.

References

[1] A. Hanafusa, J. Sasaki, T. Fuwa and T. Ikeda, "Self-Aided Manipulator System for Bed-Ridden Patients -Evaluation of Psychological Influence for the Generated Approach Motion-," in Proc. of 2009 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2009, USB memory.

[2] S. Peng, F. Lian and L. Fu, "Development of Multi-Functional Robotic Test-Bed for Post-Surgical Healthcare Room," in Proc. of 2009 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2009, USB memory.

[3] T. Rofer, C. Mandel and T. Laue, "Controlling an Automated Wheelchair via Joystick/Head-Joystick supported by Smart Driving Assistance," in Proc. of 2009 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2009, USB memory.

[4] T. Sakaki, T. Iribe, T. Kurogi, T. Koga, K. Ushijima, M. Sakuragi and K. Miyanaga, "Robotic Stretcher for SMA Patient: Preliminary Tests on Controllability and Safety," in Proc. of IFAC World Congress 2011, 2011, CD-ROM.

[5] Y. Sankai et al. " Study on Hybrid Power Assist HAL-1 for Walking Aid using EMG," in Proc. of the JME on Ibaraki Symp., 2000, pp. 269-272.

[6] Y. 3Stauffler, Y. Allemand, M. Bouri, J. Fournier, R. Clavel, "Pelvic Motion Measurement During Over Ground Walking, Analysis and Implementation on the WalkTrainer Reeducation Device," in Proc. IEEE Int. Conf. Intel. Rob. Syst. (IROS), 2008, pp. 2362-2367.

[7] A. Konig, "Design principles to transfer basic neuroscience into gait rehabililation rehabilitation robots," in Proc. 2011 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2011, CD-ROM.

[8] R. Rupp, "Engineering robots for an effective locomotion therapy – There's more than joint angles!," in Proc. 2011 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2011, CD-ROM.

[9] S. Hesse, D. Uhlenbrock, Sarkodie-Gyan "Gait pattern of severely disabled hemiparetic subjects on a new controlled gait trainer as compared to assisted treadmill walking with partial body weight support," in Clin Rehabil May 1999, 1999, vol.13, no.5, pp. 401-410.

[10] M. Peshkin et. al, "KineAssist: A robotic overground gait and balance training device," in Proc. 2005 IEEE 11th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, 2005, CD-ROM.

[11] T. Sakaki, N. Ushimi, K. Aoki, K. Fujiie, R. Katamoto, A. Sugyo, Y. Kihara, "Rehabilitation robots assisting in walking training for SCI patient," in IFAC BMS2012, 2012, CD-ROM.

[12] K. Hachisuka et. al., "A prototype walking assist robot and its clinical application for stroke patients with severe gait disturbance," Advances in Physical and Rehabilitation Medicine, 2003, pp. 23-26.

[13] B. H. Dobkin, "Strategies for stroke rehabilitation," Lancet Neul., 2004, No.3, pp. 528-536.

[14] P. Langhone et. al., "Motor recovery after stroke: a systematic review," Lancet Neurol., 2009, No.8, pp. 741-754.

[15] J. Hidler et. al., "Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke," Neurorehabil. Neural Repair, 2009, No.23, pp. 5-13.

[16] G. Colombo, J. Matthias, S. Reinhard, and D. Volker, "Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis," J. Rehabil. Res. Dev., Vol. 37, No. 6, pp. 693-700, 2000.

[17] M. R. Dimitrijevic, Y. Gerasimenko, and M. M. Pinter, "Evidence for a spinal central pattern generator in humans," Ann. NY Acad. Sci., No. 860, pp.360-376, 1998.

[18] T. Sakaki, N. Ushimi, K. Aoki, K. Fujiie, R. Katamoto, A. Sugyo and Y. Kihara, "Rehabilitation robots assisting in walking training for SCI patient," in Proc. of Ro-Man 2013, 2013, USB memory.

[19] Taisuke Sakaki, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta, Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, Atsushi Sugyo, Yoshimitsu Kihara and Kenji Tateishi, "Rehabilitation robot in primary walking pattern training for SCI patient," in Proc. of ICNR 2014, 2014, USB memory.

60 歳代前半層の歩行バランス訓練ロボット実証実験

Proving Tests on Gait Balance Training Robot in Healthy Subjects from 61-63 Year-olds

片本隆二[1)] 藤家馨[1)] 榊泰輔[2)] 青木幹太[2)]
KATAMOTO RYUJI[1)] FUJIIE KAORU[1)] SAKAKI TAISUKE[2)] AOKI KANTA[2)]
1) 総合せき損センター医用工学研究部 2) 九州産業大学

Abstract: We have developed a Gait, Balance Training Robot to do the rehabilitation for themselves at home. This study is the proving tests in early stage. We researched into the effectiveness and safeness in six healthy subjects from 61-63 year-olds on this robot. To the result, we revealed the center of gravity of the movement to be 0.8 times the distance before the training, and the exercise intensity to be about 1.7 times the intensity of the resting. And we decided to judge on the basis of the guideline of rehabilitation medical care as a standard for calling off the training from the following test.

Key Word : Adults from 61-63 Year-olds , Gait Rehabilitation Robot, Center of Gravity of Movement

1. はじめに

例えば新薬の治験では、(動物実験後に) 少数の健康成人の志願者を対象に安全性のテストを行う。そこで次の段階へ進めることが適当と判断されると、少数の志願患者を対象にテストを行う。リハビリテーション訓練機器のデザインにおいても、試作後は健康成人を対象とした確認の段階は必要であろう。その目的は、確認によって対象者や有効性、安全性の見通しをつけることである [1]。

患者にとって、はやく自宅に退院することは経済的である。しかし歩行に不安のある退院後に、自宅周辺で歩行することは転倒のリスクがある。一方で動かなければ廃用症候群のリスクがある。そこで我々は、図 1 に示す「歩行バランス訓練ロボット」を試作した。本装置の利用者は、退院後の非骨傷性頚髄損傷者や高齢者を想定している。試作後に若年健常者 5 名を対象として、装置を 10 分間用いた運動強度等を調べ「運動時の METs(Metabolic equivalents) は安静時のおよそ 1.5 倍の強度で、坐位でのオフィスワーク程度である。[2]」と報告した。

そこで今回は 60 歳代前半層を対象として実証実験を行った。その目的は、部分的ではあるが有効性（有効性として何を示すべきか）や安全性 (改良点や訓練を中断すべき判断基準など) の見通しをつけることである。

2. 対象と方法

対象は、歩行や運動可能な 60 歳代前半層 6 名とした。男 5 名、女 1 名、平均年齢 62.2 歳± 0.8(範囲 61 ～ 63 歳)、平均身長 167.0cm ± 4.7、平均体重 69.4kg ± 10.8 であった。

装置は足圧変化をトリガーにしている。送り出す側の踵が接地面から浮いていたら前後にスライドする。スライド動作は約 3 秒 /1 ステップである。装置の足乗せ台は角度変化を水平位置で固定する（若年健常者の実験条件のシーソ式では、膝過伸展のリスクが判明したため）。

被験者には使い方を口頭で説明する。身体計測後、重心軌跡測定器 (竹井機器工業製 T.H.K.5810) の上に 8 つの測定条件 (開眼 / 閉眼、ロンベルク立位 / 片足立ち左・右) ごとに 20 秒間乗ってもらう。

その後、坐位でマスクやセンサー類を取り付ける。呼吸代謝測定装置（米国 Medical Graphics Corporation 製 VO2000)、多チャネルテレメータシステム（日本光電製 WEB-1000）による筋電図（腓腹筋と前脛骨筋）・心電図・角度（股関節)、自動血圧測定監視装置（米国 サンテック社製 tango+）を用いる。併せて測定中の動作をビデオカメラにて撮影する。

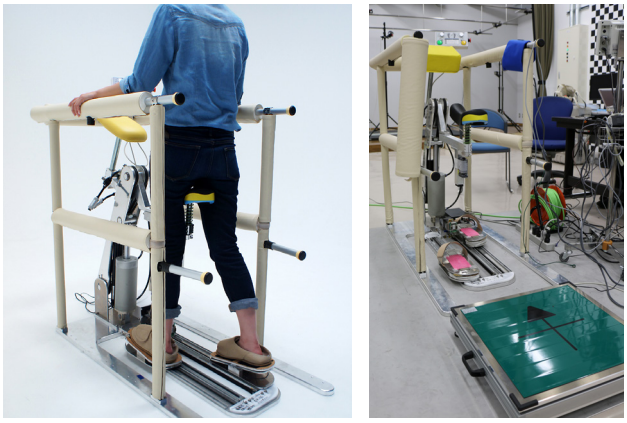


図 1 歩行バランス訓練ロボット（右 実験時）

取付完了後、坐位安静を 5 分行う。その後、足圧分布測定システム（ニッタ製 F －スキャンⅡ）を装着し、装置を用いた 10 分間の訓練を課す。訓練後マスクと血圧計を外し、その場足踏み 10 歩、自然歩行 10 歩を行ってもらう。坐位で残りのセンサー類を外した後、重心軌跡測定器に訓練前同様に乗ってもらう。

看護師が訓練前に問診を、訓練中に症状、兆候、血圧、心電図を確認した。分析にあたり被験者別に 1 分間あたりの METs(Metabolic equivalents) の区間平均を算出した。被験者 105 は訓練を 4 分間で中断した。

3. 結果

3.1. 重心総軌跡長

重心総軌跡長（条件はロンベルク立位かつ開眼）は訓練前を基準量とすると訓練後は 0.8 倍であった。訓練前の重心総軌跡長 80.2mm ± 19.9(平均値±標準偏差) と比較して、訓練後は 65.2mm ± 14.1 と小さくなった（図２）。

3.2. 運動強度・脈拍・血圧

訓練 10 分目の運動強度は安静時の 1.7 倍± 0.7、訓練 4 分目は 1.6 倍± 0.4 であった（図３）。

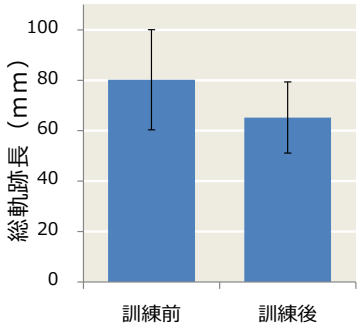


図２ 訓練前後の重心総軌跡長

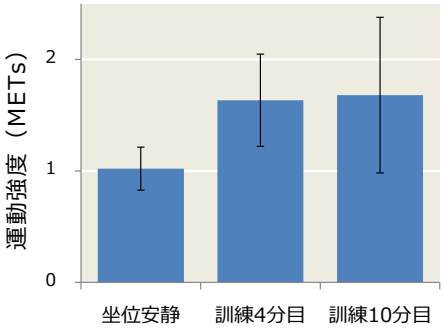


図３ 運動強度の変化

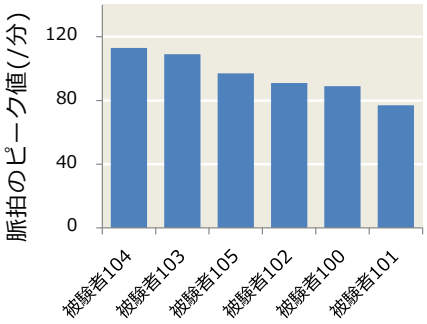


図４ 脈拍のピーク値

訓練時の脈拍のピーク値は被験者 104 が最も高く、113/ 分であった（図 4 ）。各被験者の脈拍のピーク値の平均は 96.0/ 分 ± 13.4 であった。

訓練時の 1 分ごとの収縮期血圧の上昇は被験者 104 が最も高く 39mmHg であった。拡張期血圧では被験者 105 が最も高く 21mmHg であった。各被験者の最もの上昇した値の平均は、収縮期血圧で 19.7mmHg ± 15.6、拡張期血圧で 10.3mmHg ± 7.6 であった。

3.3. 動画観察

動画の観察より、訓練中は両下肢が足乗せ台に接地していた。加えて全ての被験者で連続的に次のステップが実行される傾向、スライド動作中に後方の下肢の踵は浮いている傾向があった。

4. 結果のまとめと見通し

高齢者の立位バランスに関して「男女とも加齢に伴い揺動量は大きくなり、バランス機能が低下しているとみなしうるデータ [3]」が報告されている。今回の結果より、重心総軌跡長は本装置検証のためのパラメーターとして測定可能であることが示された (本結果は訓練前の 0.8 倍であるが、歩行可能な 60 歳代前半層 6 名に限られ、このまま有効性に関するエビデンスにはできない)。

安全に運動するために、現状の足乗せ台の前後スライド運動と運動強度を維持する見通しである。動画観察より、常に体重は両下肢に分散されているか、あるいは直ぐに着地できる（ほぼ接地している）状態であり、歩行と比較して転倒のリスクは低下すると考える。運動強度は安静時のおよそ 1.7 倍の強度で、坐位での柔軟体操と同等の低強度の運動である [4]。

足乗せ台の前後スライド運動は安全な一方で、ダイナミックな歩行と比較して摺り足の練習と捉えられる傾向がある。摺り足は段差によるつまづきのイメージがある。対策として、上下のスライド運動できる装置や、体重移動に着目し遊脚を取り入れた装置などシリーズ展開することが考えられる。

訓練や実証実験を途中で中断するための判断基準として、以下の「リハビリテーション医療おける安全管理・推進のためのガイドライン」に従う。被験者 105 は訓練 4 分目に拡張期血圧は 21mmHg 上昇しており、中断が必要であった。

①．中等度以上の呼吸困難，めまい，嘔気，狭心痛，頭痛，強い疲労感などが出現した場合
②．脈拍が 140/ 分を超えた場合
③．運動時収縮期血圧が 40mmHg 以上，または拡張期血圧が 20mmHg 以上上昇した場合
④．頻呼吸（30 回 / 分以上），息切れが出現した場合
⑤．運動により不整脈が増加した場合
⑥．徐脈が出現した場合
⑦．意識状態の悪化 [5]

本装置の今後について、歩行よりも安全であることが前提である。その一方で気軽に使えることも重要である。本開発以前より各種の転倒防止対策を検討している [6] が、安全性（リスク対策）と気軽さは矛盾する傾向がある。

よりダイナミックな動きと転倒防止対策に関しては、開発初期か成熟段階か、利用者の回復状況や販売価格、家庭用か施設用かなどシーンに対して許容できるリスクの見極めが必要だろう。

[1] 日本生活支援工学会倫理審査企画調査委員会 ; 支援機器の実証実験 倫理審査申請の手引き , 2014
[2] 片本隆二他 ; 歩行バランス訓練ロボットの運動強度 , 日本デザイン学会 第 61 回研究発表大会概要集 , 2014
[3] 産業技術研究所人間福祉医工学研究部門編 ; 人間計測ハンドブック , 朝倉書店 , p.793, 2003
[4] 野原隆司他 ; 心血管疾患におけるリハビリテーションに関するガイドライン（2012 年改訂版）, p.125, 2013
[5] 前田真治 ; リハビリテーション医療における安全管理・推進のためのガイドライン , 日本リハビリテーション医学会誌 44(7), p.388, 2007
[6] 片本隆二他 ; 立位保持訓練のための下肢他動的運動機能の実装とその妥当性 , デザイン学研究 Vol.56 No.5, 73-78, 2010

平成 27 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
歩行訓練ロボット

せき損患者用歩行訓練支援ロボット（第 7 報：腰揺動介助機能の実装）

Walking Assistance Robot for SCI Patient (Implementation of Swinging of patient's waist)

学　○松崎　俊樹（九産大）　　学　光安　健悟（九産大）
正　　榊　泰輔（九産大）　　非　青木　幹太（九産大）
非　　孫　虓（九産大）　　非　片本　隆二（せき損センター）
非　　藤家　馨（せき損センター）　　非　木原　由光（ロボフューチャー（株））

Toshiki MATSUZAKI, Kengo MITSUYASU, Kyushu Sangyo University,　Matsukadai 2-3-1 Higasi-ku Fukuoka
Taisuke SAKAKI, Kanta AOKI, Kou SON, Kyushu Sangyo University
Ryuji KATAMOTO, Kaoru FUJIIE, Spinal Injuries Center
Yoshimitsu KIHARA, Robo Future Co

Key words :　Rehabilitation, Spinal Cord Injury, Training robot

---

１．背景と目的

脊髄損傷（Spinal Cord Injury）とは主に脊柱に強い外力が加えられることにより脊椎を損壊し，脊髄に損傷を受ける病態である．また，脊髄腫瘍やヘルニアなどの内的要因によっても類似の障害が発生する．脊髄を含む中枢神経系は末梢神経と異なり，一度損傷すると修復・再生されることは無いとされる．

リハビリは通常，関節可動域訓練，筋力増強訓練，座位保持訓練，起立訓練，立位保持訓練，歩行訓練の順で行う．現在開発中のロボットは，この中の歩行訓練をサポートする．従来の歩行訓練装置には，転倒の恐れ，正しい姿勢・運動パターンの確保の難しさ，装置が大掛かりなどの問題点がある．これらを解決すべく，総合せき損センター，九州産業大学，ロボフューチャー株式会社で共同開発をしている．

２．装置概要

非骨傷性頚椎損傷患者を対象者とし，転倒の防止，随意性の促し，動的歩行パターン獲得の介助を目的とする．このため，追従機能，転倒防止機能，腰揺動介助機能，膝屈伸介助機能の実現を目標とする．全体図を図 1 に示す．対象者を体幹支持部で支え，移動部（YAMAHA X0D1）で対象者の移動を追従する．対象者の側面から，3 軸力覚センサ（ニッタ（株）PD3-32-10-080）を備えた体幹支持部で腰を挟み込む．腰揺動用に（YASKAWA SGMAS-A5A2A2E）を備える．対象者の後方から腰部を前進，後進，左右旋回へ追従できる．腰の 3 軸力覚センサの値をキャリブレーションし，ローパスフィルタかけた値が設定した閾値で条件分岐し，圧力値にあった速度指令を 5 段階設定する．

また，転倒しそうになると腰部力覚センサの値の変化で判定し動作を停止する転倒防止機能を有する．

３．腰揺動介助機能の開発

3.1 目的　同機能の目的は，歩行時の足の踏み出しを介助することである．患者によっては，腰の動作による体幹の重心の移動が不十分であるため，足を踏み出すことが困難なことがある．これに対する訓練として，セラピストが患者の腰をつかみ，荷重すべき部位と方向へ的確に誘導し，十分に荷重させながら動作練習を行う．（図 2 参照）(2) これを参考に，腰揺動介助機能を実装する．

前回の実験では，健常者 8 名に対し，腰揺動介助機能に違和感があるかどうかを評価した．結果は自分で歩き出すよりも楽に感じたなど，評価は高かった．しかし，足を踏み出すタイミングが分かりにくいという指摘もあった．

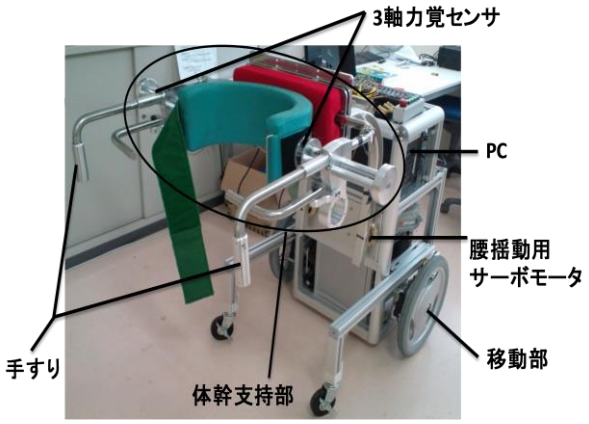


Fig.1 Overall view of walking assistance robot



Fig.2 Swinging function by the therapist((2)より引用)

4.2 腰揺動介助の機能　スイッチ，腰揺動用のサーボモータ，装置を制御する PC から成る．

歩行動作に合わせ，腰揺動介助機能を動作させるタイミングを判定できるようにした．足を踏み出す際にかかとが持ち上がることに注目し，かかとにスイッチを取り付けた．足が地面に接している状態ではスイッチが押されているため腰揺動介助機能は働かない．かかとが上がると押されていたスイッチが離れることで腰揺動介助機能が動作する．（図 3 参照）

腰揺動介助機能の使用例として，体幹支持部と腰を固定する．右足を踏み出す場合，指令により体幹支持部が左に動く．それに伴って体幹支持部に固定された腰も左に動き，体重が左足に移ることにより，右足が浮かせやすくなる．この動作が足を前に踏み出す動作を促す．この動きを左右に繰り返し行う．

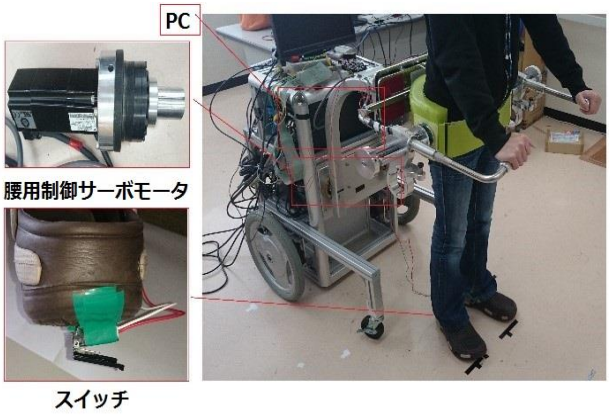


Fig.3 Overall view of waist swing assistance mechanism

５．腰揺動介助機能の評価実験

5.3 実験方法　歩行支援ロボットを被験者若年男性健常者１名に装着してもらう．腰揺動介助機能を使用した場合としない場合の２種類で追従機能を使用せずにその場で右足のみで足踏みをし，３軸力覚センサにて腰の左右方向にかかる圧力を計測する．腰揺動介助機能を使用した実験方法は，2.5 秒刻みで右足の上げ下げを交互に行う．計測した結果が以下のグラフのようになった．（図４，５参照）

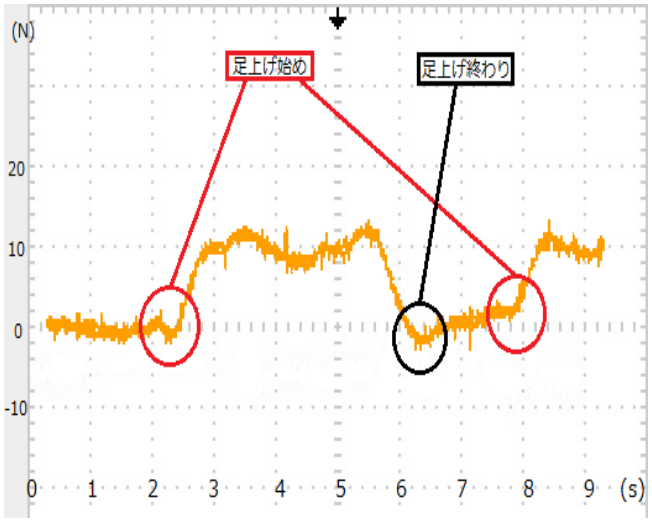


Fig.4 Pressure data without Swinging function

図４が腰揺動介助機能を使用しない場合，図５が使用した場合である．

図４では足上げ始めの直後，装置に腰が固定されており，腰の移動による重心の移動ができず，右足を上げることで体幹が右に傾き，右のセンサに大きな圧力がかかる．

図５では重心の移動が可能となり，大きな圧力はかからない．ただし，図５の青い丸で囲んである波は腰揺動介助機能の動作の終わりと腰が元の位置に戻る慣性によって３軸力覚センサに反動として大きな力がかかっていると考えられる．

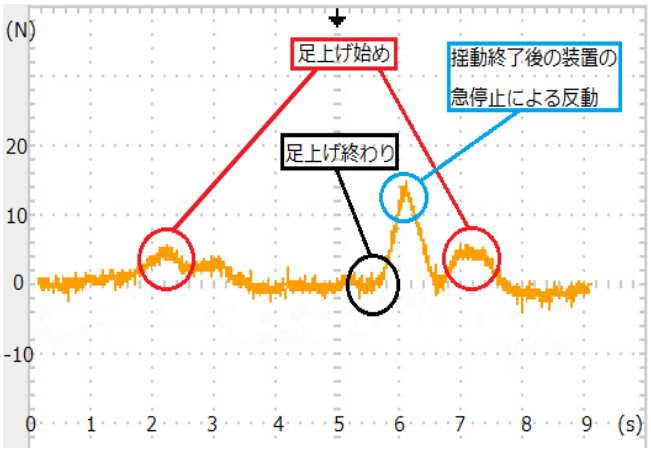


Fig.5 Pressure data by with Swinging function

今回の実験データを比較し，腰揺動介助機能を使用した実験のほうが３軸力覚センサにかかる圧力が少ないことが分かった．実験の被験者に腰揺動介助機能を利用した足上げタイミングの意識調査をしたところ，足を上げるタイミングを自身で始めることができるため，違和感はなかったという評価だった．

５．考察

実験結果から，腰揺動介助機能を利用した足上げ動作のタイミングが分かりにくいという問題は解決した．しかし，今回の実験では実際に歩行をしていないため，実際に歩行を行った場合に歩行動作がしやすいかどうかが分からないという問題が残った．

６．まとめ

- 去年度までに追従機能と転倒防止機能が完成した．
- 今年度は腰揺動介助機能の改良である．
- スイッチを専用の靴のかかと部分に取り付け，腰揺動機能を装着者の歩行動作に合わせ装着者の任意でコントロールできるようにした．
- 今後の問題点として，腰揺動介助機能を利用した歩行動作がスムーズに行えるかどうかが分からないという問題と腰揺動介助機能の終わりが急停止し，反動が発生するという問題が残った．

参考文献

(1) 榊泰輔　他，歩行介助ロボット，
特願 2009-274643
(2) 奈良勲　他，歩行を診る　観察から始める理学療法実践，p152，
(3) 熊丸烈　他，日本機械学会九州支部第 64 期総会論文集，No118-1，pp143，144，（2011）
(4) 江口清孝　他，日本機械学会九州支部第 45 回卒業研究発表講演会論文集，No，pp，（2014）

平成 27 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
ベッド上生活者用介助ロボット

硬度の変化により把持するグリッパーに関する設計研究(その４)

～把持力の強化～

村上剛司[*1]　片本隆二[*2]　橘秀樹[*3]

*1 九州産業大学　工学部

*2　総合せき損センター　医用工学研究部

*3　合同会社ガムタック

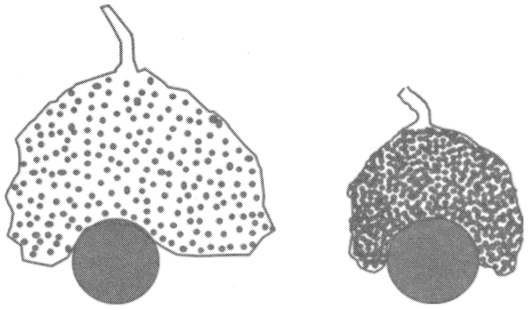
要約：我々は廉価で持ち運び可能な把持装具としてポータブルグリッパーの開発を進めている。本研究では実用化へ向けて把持力の強化を行った。グリッパーの設計パラメータのうち内容物と被覆の２つについて比較実験を通して高い把持力を得ることができる条件を調査した。今後はグリッパーを把持装具として利用するために、グリッパー部分の軽量化を図りつつ、把持力を強化する方法を検討する。

1　はじめに

我々は廉価で持ち運び可能な把持装具としてポータブルグリッパーの開発を進めている。これは日用品の把持・持ち上げを装具で補助することで、手指に不自由のある方の生活に役立てることを目標としている。これまでに、グリッパーを試作すると共に、その機能向上を進めてきた。試作したグリッパーを用いて活用シーンや求められる機能について調査を行った結果、実用化のためには把持力の向上が欠かせないことが明らかになった[1)]。これを受けてポータブルグリッパーの把持力の向上に関する研究を行ったので本稿で報告する。

2　グリッパーの動作原理

本研究では、ジャミング効果を利用したグリッパーを開発する。ジャミング効果とは、粉体の密度が低い状態では粉体が流体に似た性質を持つのに対し、密度が高くなると粉体が固体に似た性質を持つ現象のことである（図１）。



(a) 密度：低　　(b) 密度：高

図１　ジャミング効果

このジャミング効果を利用したグリッパーは複雑な制御を行うことなく多様な形状の物体の把持が可能であり、その応用が期待されている[2)3)4)]。しかし、設計パラメータと発揮できる把持力の関係については明確化できていない点も多い。本研究では、把持力と設計パラメータの関係を調査する。

開発したグリッパーの構造を図２に示す。このグリッパーでは、粉体を内容物として外皮で包み、外皮と真空ポンプとつないである。

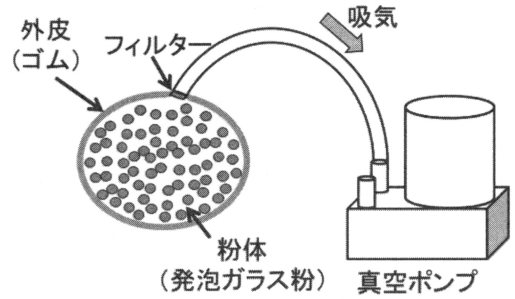


図 2　開発したグリッパーの構造

グリッパーによる物体把持の手順を図 3 に示す。 物体把持では、まず把持対象を覆うようにして外皮を上から押しつける。押しつけ力により、外皮内の粉体が流動的に移動し、把持対象の外形に沿って覆うように変形する。被覆内の空気を真空ポンプで吸引すると、粉体にジャミング効果が生じて把持対象を覆った形態で固形化する。この固形化により把持対象を形態的に把持できる。また、外皮と物体間において発生する摩擦力も把持の安定化に役立つ。

3　グリッパーの設計パラメータ

開発したグリッパーの外観を図 4 に示す。内容物には粉状物質を、外皮には風船を使用し、真空ポンプには、12W の D2028 を使用した。

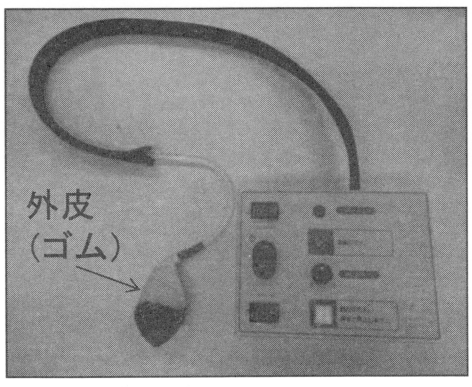


図 4　開発したポータブルグリッパー

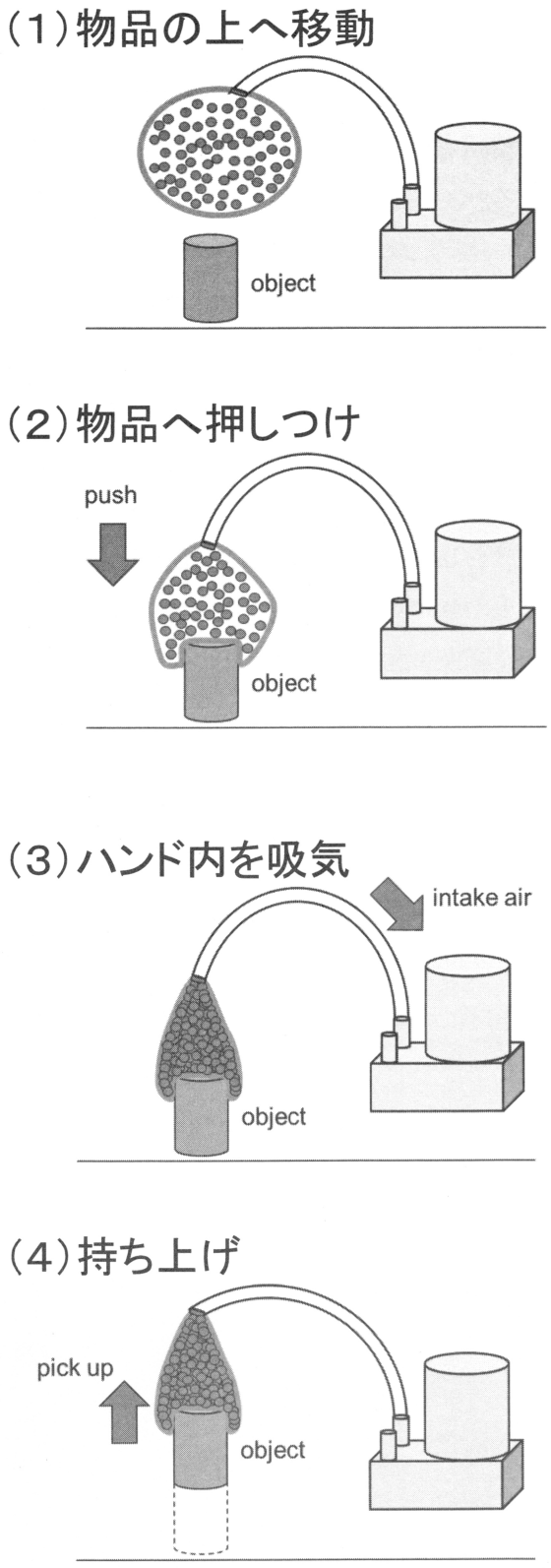


図 3　グリッパーの把持手順

ジャミング効果を用いたグリッパーについて(1)内容物と(2)外皮の2つのパラメータについて比較実験を行い、その中で最も高い把持力を得ることができる設計パラメータを調査する。

3.1　グリッパーの内容物のサイズ

内容物にはジャミング効果が生じるよう粉体の発泡ガラス粉を使用した。このガラス粉はブラウン管などのガラスを粉砕パウダー化して作成されたものであり粉砕の度合いにより粒の大きさが異なる。そこでふるいを使ってサイズを0.8mm以下、0.9～1.9mmおよび2mm以上の3つに分け、サイズが把持力に与える影響を調査した。使用したガラス粉の外観を図5に示す。

グリッパーによる物品持ち上げ操作を通して把持性能の調査を行った。持ち上げる物品としてボールペン、十円玉、縦に置いたカードの三種類を使用した。使用した物品の外観を図6に、結果を表1に示す。表中の○×は、○が持ち上げに成功した場合を、×が持ち上げに失敗した場合を示し、△は対象物を持ち上げることができたが数秒後に落下した場合を示している。

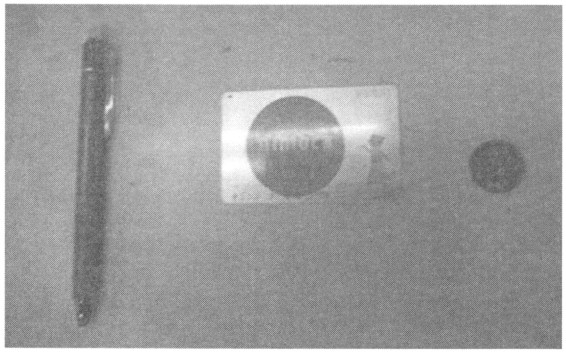
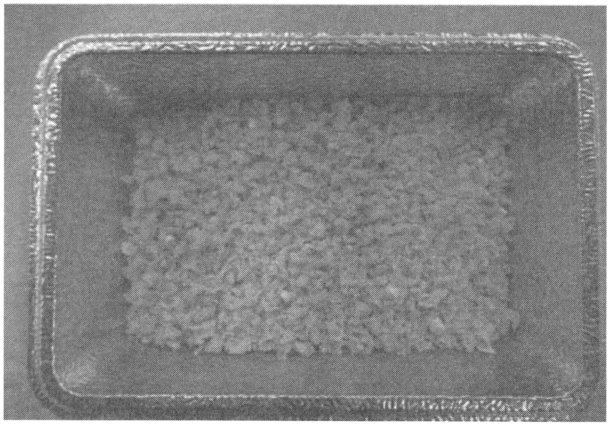
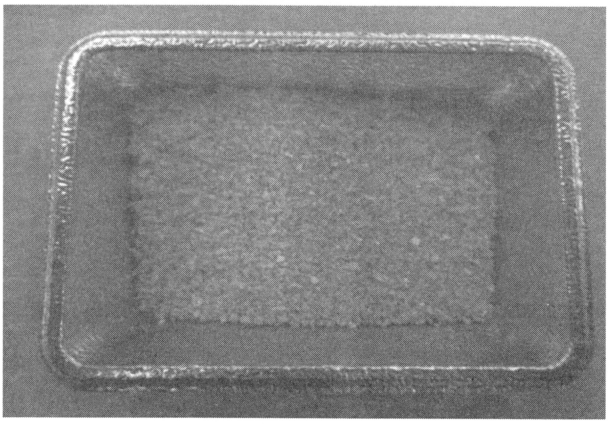


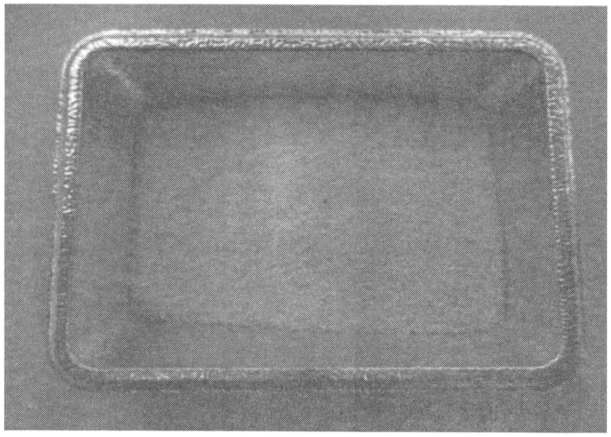
図6　把持対象物の外観



①　2mm以上のガラス粉



②　0.9mm～1.9mmのガラス粉



③　0.8mm以下のガラス粉

図5　ガラス粉の外観

表1　持ち上げ操作実験の結果

粉体のサイズ / 把持対象	2mm以上	0.9mm～1.9mm	0.8mm以下
ボールペン	○	○	○
十円玉	△	△	○
カード(縦置)	×	△	○

実験結果より 0.8mm 以下のガラス粉を使用した場合が最もよい把持性能を示した。以降の実験は0.8mm 以下のガラス粉を使用する。

3.2　グリッパーの外皮の材質

グリッパーの把持力を向上させるために、外皮の摩擦力の増加を図った。摩擦力は、摩擦係数と垂直効力に影響を受ける。摩擦係数を増加させるために、表面に液体ゴムをコーティングした。また、垂直効力を増加させるために、部分的に帯状の厚みを加え、把持の際の締め付ける力を強くした (図7)。

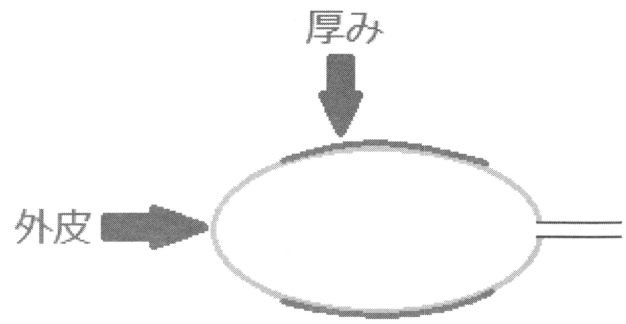
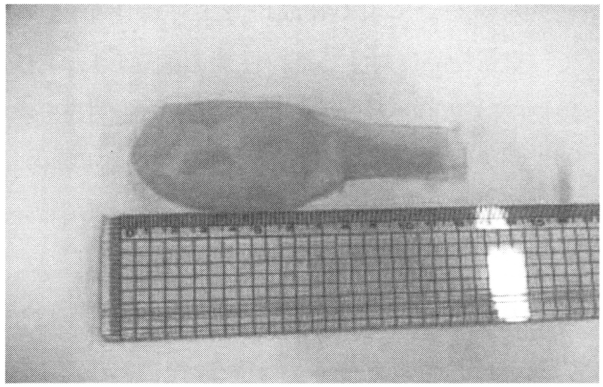
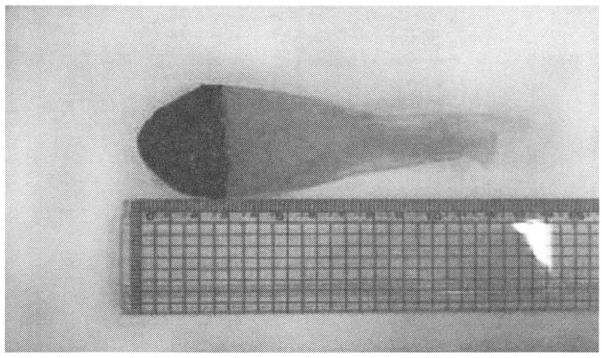


図7　帯状の厚みを加えた外皮

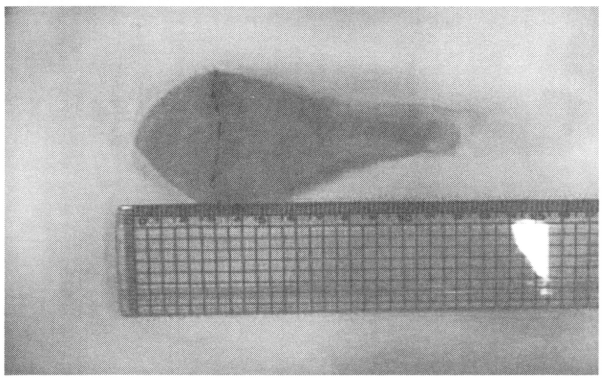
グリッパーの外皮には厚さ0.5mm の風船(図8(a))を用いた。また風船の表面に液体ゴムをコーティングしたもの(図8(b))と、表面に帯状の厚みを加えたもの(図8 (c))、その両方の処理を施したもの(図8(d))を製作し、その違いが把持に影響を与えるかを調査した。



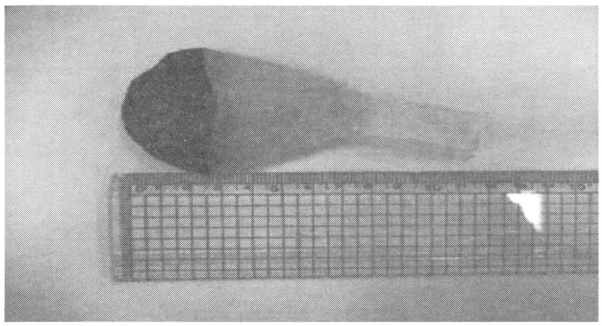
(a)風船 (厚み0. 5mm)



(b)液体ゴムでコーティング



(c)部分的に帯状の厚みを付加



(d)両方の処理を実施

図8　グリッパーの外皮

グリッパーによる物品持ち上げ操作を通して、重量物品に対する把持性能を調査した。対象物には 200g の分銅および、500g と 1500g の水を入れたペットボトルを使用した。実験の様子を図９に、実験結果を表２に示す。表中の○×は、○が持ち上げに成功した場合を、×が持ち上げに失敗した場合を示し、△は対象物を持ち上げることができたが数秒後に落下した場合を示している。

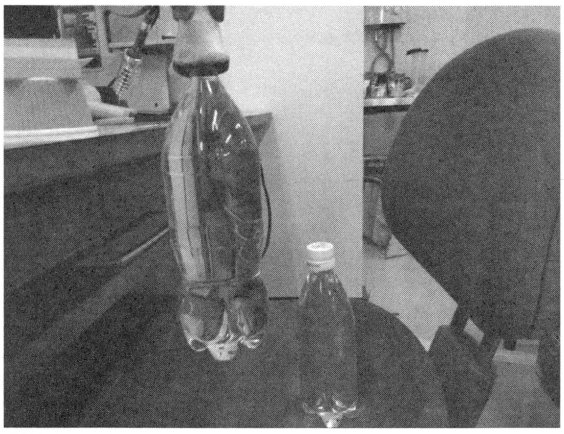


図９　重量物品の把持

表２　重量物品の把持実験の結果

グリッパーの外皮処理 / 把持物品	無	帯状の厚み	ゴム	両方の処理
分銅 (200g)	○	○	○	○
ペットボトル (500g)	○	○	○	○
ペットボトル (1500g)	×	×	△	○

実験結果より両方の処理を施したものが最もよい把持性能を示した。次章の日用品を用いた応用実験では、両方の処理を施したものを使用する。

4　応用実験

開発したグリッパーの実用性を調査するための実験を行った。実験では十円玉、傘、鍵、ボールペンなどの日用品を対象とし、実生活で発生する状況を想定した操作を行った。

まず、グリッパーの把持性能を調査するため十円玉と傘の持ち上げ実験を行った。十円玉は小さく平らな日用品の典型例として、傘は曲面を持つ物品の典型例としてそれぞれ選定した。実験の結果、十円玉と傘をそれぞれ持ち上げることができた。実験時の様子を図 10 と図 11 に示す。次に、把持した物品を別の物品に接触させて作業が行えるかを調査した。対象物品として鍵とボールペンを用いた。グリッパーで鍵を把持した状態で鍵の開け閉めを試みたところ、やや不安定ながら扉の開閉を行うことができた。また、ボールペンを把持した状態で筆記を試みたところ安定して図形を書くことができた。 実験時の様子を図 12 と図 13 に示す。

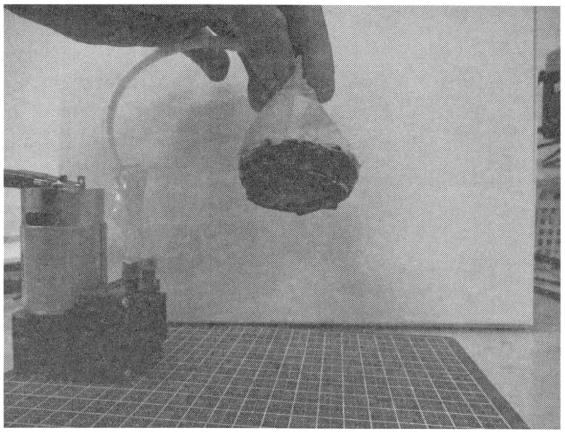


図 10　十円玉の把持

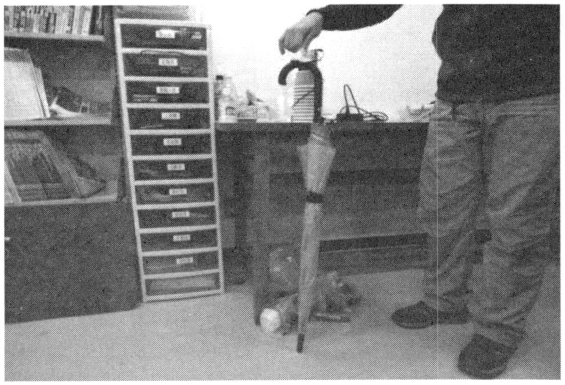


図 11　傘の把持

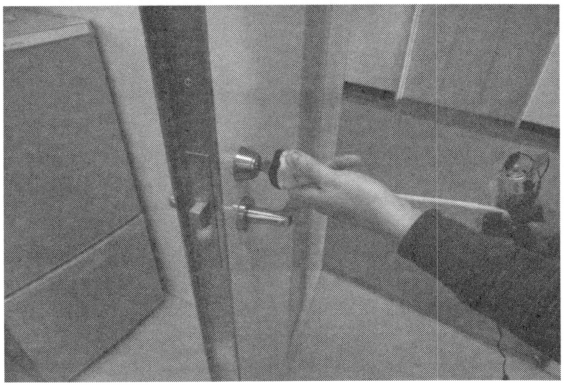


図 12　鍵の把持と解錠

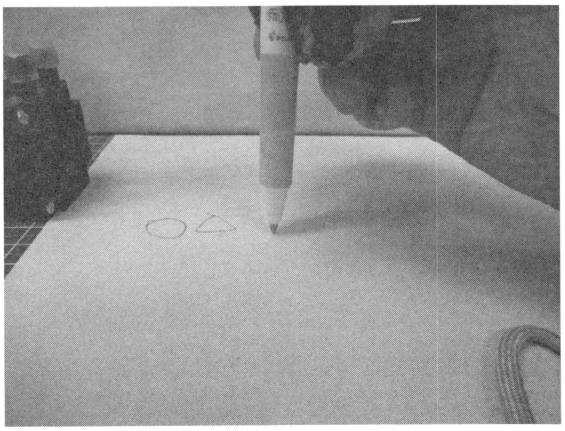


図 13　ボールペンの把持と筆記

5　まとめ

本研究ではポータブルグリッパーの実用化へ向けて把持力の強化を行った。グリッパーの設計パラメータのうち内容物と被覆の２つについて物品の持ち上げ操作実験を通して高い把持力を得ることができる条件を調査した。その結果、内容物とする粉体の大きさは細かく砕いたもの、外皮は表面を液体ゴムでコーティングするなどをして摩擦力を上げる処理をした方が把持に適しているとの結果を得た。今後はグリッパーを把持装具として利用するために、グリッパー部分の軽量化を図りつつ、把持力を強化する方法を検討する計画である。

引用・参考文献

1) 片本隆二他；硬度の変化により把持するグリッパーに関する設計研究～紙バンドを用いた簡易ジャミンググリッパー～，総合せき損センター　医用工学研究部　2012 年研究報告書，9-17，2013

2) E. Brown , et al. ; Universal robotic gripper based on the jamming of granular material, Proc. Natl Acad Sci USA, 2010.

3) J. Kapadia and M. Yim; Design and Performance of Nubbed Fluidizing Jamming Grippers, Proc. ICRA, pp. 5301-5306, 2012.

4) 帝人エンジニアリング株式会社；てるぷよハンド，http://www. teijin-eng. co. jp/telpyohand/

平成 27 年度
【②意匠設計】
プロダクトデザイン

HRRC2015 研究テーマの実施内容

担当：青木幹太

1. 軽量・小型EVAを応用したパワースーツの開発

〇研究内容：パワースーツの商品化のための利活用の開発と操作性及び外観デザイン
〇研究方法：①商品イメージの創出（図1・2）
②機構モデルによる入浴介助への適応
・医療法人原三信病院 香椎原病院の協力
〇HRRC全体の位置づけ
①病院、高齢者施設等の入浴介助を対象とし、介護負担の軽減を目指す
②実用化と並行して小型EVAの他研究・開発への応用を探る

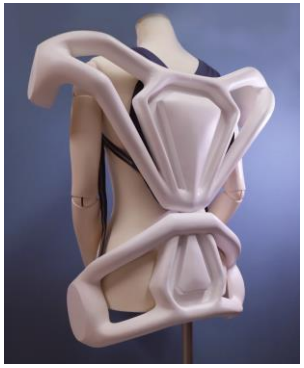


図1 商品イメージ



図2 単関節用パワースーツ

2. 高齢者・障害者利用を想定した未来のパーソナルトランスポーテーション

〇研究内容：オムニホイール等、既存の技術を応用して、電動車イス、電動カートの先を行く実用的かつスタイリッシュな乗り物を開発する（図3・4）
〇研究方法：①未来のトランスポーテーションの可視化（3次元モデル）
②産学連携によるイメージの具体化
〇HRRC全体の位置づけ
①起立訓練支援ロボット、立位保持訓練ロボット等による起立・歩行訓練を必要とする高齢者・障害者の屋内・屋外の自立移動に使用する
②歩行機能が低下した高齢者等の住宅周辺の移動



図3 使用イメージ



図4 外観

3. 地域の伝統産業と連携した研究センター機能を活用した商品開発

〇研究内容：地域の伝統産業では、従来の商品開発の在り方をブレークスルーするためにロボット技術などを活用した商品開発への期待がある。本研究はその第一歩として高齢者用の椅子を企業と連携して開発する（図5・6）。
〇研究方法：①産学連携による開発のスピードアップ
②医療法人原三信病院 香椎原病院の協力
〇HRRC全体の位置づけ
①HRRC全体の中では地域産業との連携を目指す実験的な取組み



図6 実験機



図7 イメージモデル

4. テクノアートプロジェクト

〇研究内容：ロボット開発導入のための学部横断型教育プログラムであり、実際の授業に取り込み教育的効果を検証している（図8）
〇研究方法：①芸術学部、工学部、情報科学部の学生による開発チームの編成
②ロボット開発に繋がる基礎的な開発テーマによる実際に稼動するものの製作
〇HRRC全体の位置づけ
①HRRCが提供する教育プログラム



図8 中間発表
（2015年10月28日）

HRRC

ヒューマンロボティクス
研究センター



KSU Produce
Exhibition in IMS 2016

●身近な移動をサポートするトランスポート

研究背景

我が国は、 世界に例のないスピードで高齢化が進行しています。 総人口に対する 65 歳以上の高齢者比率は、 平成 27（2015）年に 26%となり、 平成 72（2060）年には 39.9%に達し、国民の 2.5 人に 1 人が高齢者となると予測されています。 同時に高齢者の自動車運転事故件数も増えており、運転支援システムやパーソナルトランスポーテーションなど、 全世代が安全に暮らせる交通移動システムが求められています。
本研究は、 2015 年 4 月から本学大学院芸術研究科、 本学芸術学部の学生が取り組んでいます。 オムニホイール技術を応用したパーソナルトランストーテーション開発の現状について紹介します。



図 1 オムニホイール

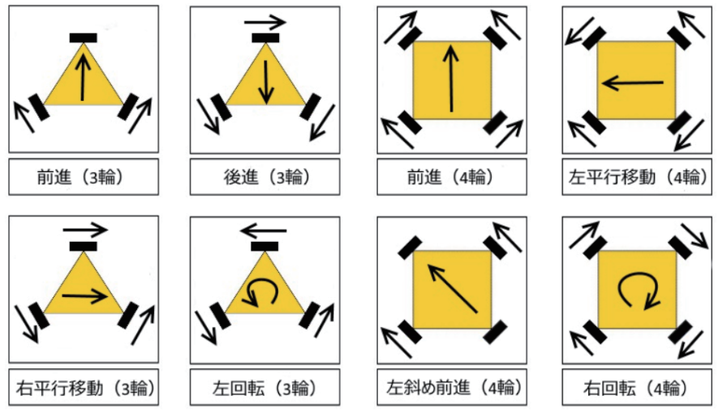


図 2 オムニホイールの配置と制御パターン

オムニホイールについて

オムニホイールとは、 車輪の円周方向にフリーで回転するローラと呼ばれる樽型の小輪が複数ついており、 前後だけではなく左右にも自由に動くことができるようになっている車輪です（図 1）。 オムニホイールを複数使用することにより、車軸を変動させることなく全方向へ物体を可動させることが可能です（図 2）。 現在は主にコンテナ等の搬送手段、及び電動台車やロボットの駆動輪として利用されています。 また、 車両のコントロール方法も単純にすることが可能です。 現在の自動車はアクセル、 ブレーキ、 ハンドルなど複数の制御装置を使用し車両をコントロールしています。 オムニホイールは複数の車輪をコンピュータ制御するため、コントロール装置を一つに集約することが可能になります。例えば、 ジョイスティックのコントロール装置を進みたい方向へ傾けるだけで車両をコントロールすることが出来るのです。
これまでは、 オムニホイールは制御の難しさ、 屋内での限られた空間でしか利用できない、 コストパフォーマンスの悪さなどから、 パーソナルトランスポーテーションには採用されていませんでした。 しかし、 近年技術の発展でオムニホイールを採用したパーソナルトランスポーテーションが発表されはじめています。





図 3 座り乗りと立ち乗り姿勢

これまでの研究成果

2015 年度は、 現状調査、 製品企画、 アイデア展開、 スケールモデルの制作まで行う事ができました。 本研究のパーソナルトランスポーテーションは座り乗りと立ち乗りが出来る 2WAY 仕様を想定しています（図 3）。 これはオムニホイールを使用することで、 車両の構造に前後関係が無くなる為、 可能になると考えています。 また、 オムニホイールの技術を保有する企業様へスケールモデルを使用したプレゼンテーションを行い実車制作の協力依頼を行っています。
今後の活動として 2016 年度中にオムニホイールを実装した試作車、 フルスケールによるモックアップ制作の完成を目指しています。
本研究を進める過程で、 現行の自動車や既存規制に囚われるのではなく、 新たな乗り物やそれを運用するシステムを提案していくことが、 これから重要になることが分かりました。 デザイナーを目指す学生が乗り物に興味を持ち、 本研究で取り上げたパーソナルトランスポーテーションなどの開発に積極的に取り組むための方法論やアプローチ方法を示して行きたいです。

●上肢麻痺高齢者が日常で装着できるパワードスーツ

研究背景

我が国は、世界に例のないスピードで高齢化が進行しています。総人口に対する65歳以上の高齢者比率は、平成27（2015）年に26%となり、平成72（2060）年には39.9%に達し、国民の2.5人に1人が高齢者となると予測されています。同時に要介護高齢者も増えており、介護が必要となった原因について注目すると、「脳血管疾患」が17.2%と最も多くなっています。「脳血管疾患」が原因で半身麻痺となった高齢者が日常動作をもう一度できるように戻し、生活を整えられるようにリハビリの充実に向けた取り組みが求められています。

本研究は、2015年4月から本学大学院芸術研究科、芸術学部デザイン学科の学生が取り組んでいます。上肢麻痺高齢者が日常生活で装着できるリハビリと、上肢の補助を目的としたパワードスーツのスタイリング提案について紹介します。

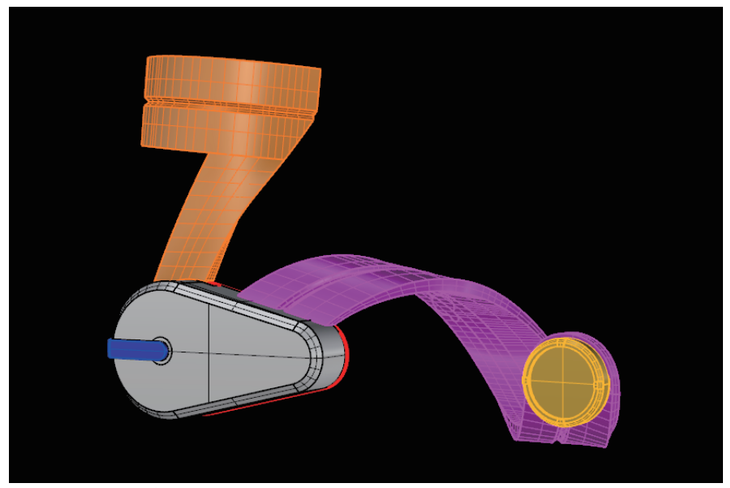


図1 3D CADデータ



図2 3Dプリンターによる試作検証

3Dプリンターについて

本研究では、近年注目されている3Dプリンターを使用して、モックアップ制作を行いました。3Dプリンターとは、3D CAD、3D CGデータをもとに樹脂などを加工して造形する装置のひとつです（図1）。旧来のプリンターは、デジタルデータに基づいて紙などの平面上にインクを吐出して文字や図形を印刷します。これに対して3Dプリンターは、空間に樹脂などを何層にも積み重ね、3D CAD、3D CGデータを立体造形物として実体化・可視化できるようにするための装置です（図2）。また、3Dスキャナーと併用する事で、個人に合わせた製品の制作が可能となります。例えば、右腕を失った方の義手を製作するにあたって、左腕を3Dスキャナーでスキャンし、3D CADデータで左右対称のデータを作成すれば、簡単に個人に合わせた義手を製作する事も可能になるのです。

現在は初期コストの高騰、材料が限定的、強度面の不安から、生産現場において普及しているわけではありません。しかし、経産省が3Dプリンターの市場は2020年に一兆円になると、試算しています。広がりが予想される市場も工業製品、医療、一般ユーザーと多種多様です。近い将来、身近な工業製品から人工臓器までが、3Dプリンターで生産される時代が予測されています。



図3 ウエアラブル端末を操作する様子



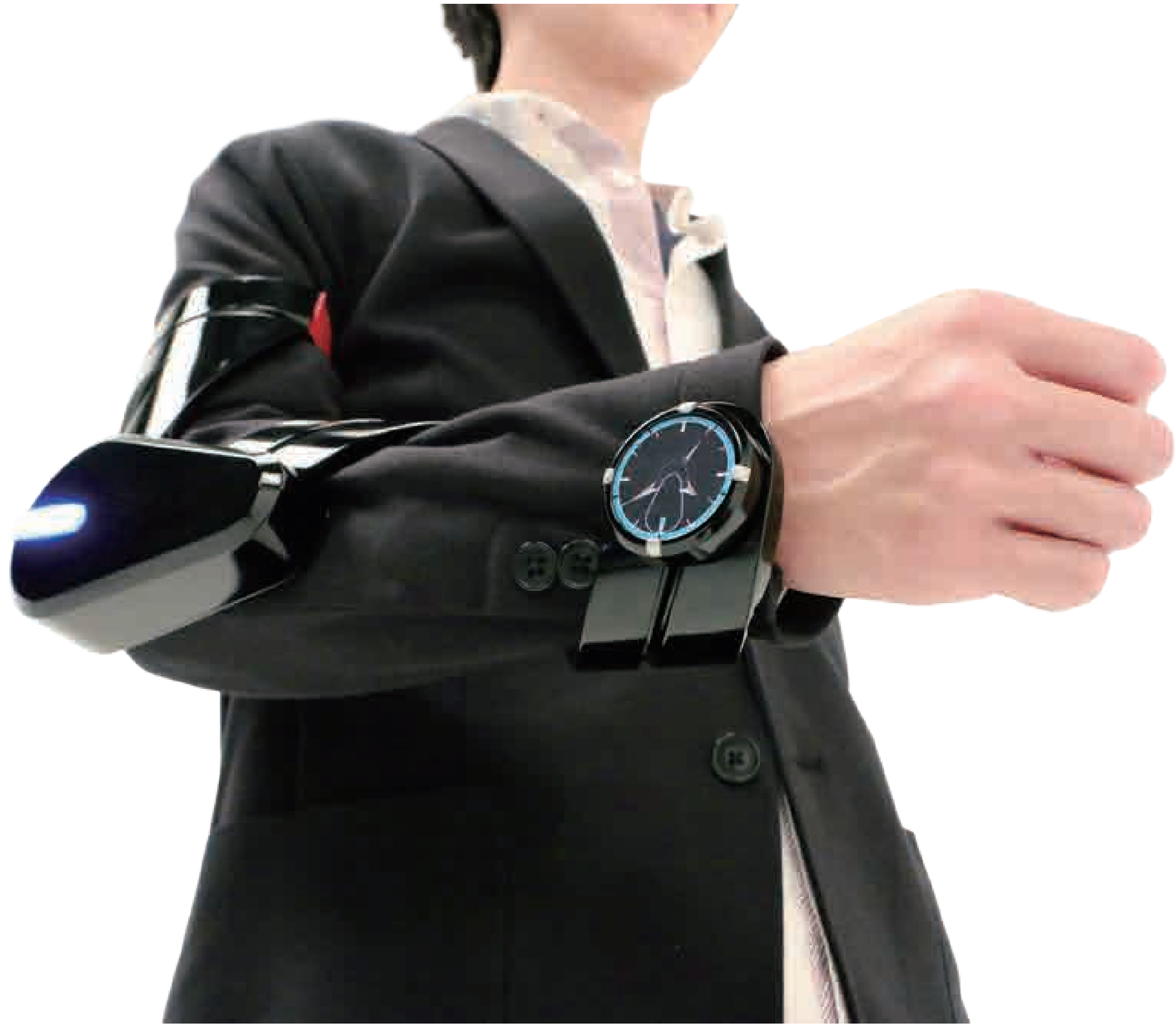
図4 ウエアラブル端末を操作する様子

これまでの研究成果

本研究では、現状調査、製品企画、アイデア展開、3D CADデータ､モックアップの制作まで行う事ができました。モックアップは、デザインを担当した学生を装着者とし、上肢の計測を行いました。計測した数値を基に3D CADで上肢の簡易データを作成し、それにフィットするようパワードスーツのモデリングを行いました。完成したモックアップは装着者にフィットし、ウエアラブル端末型のコントロールユニット、関節軸を中心に駆動する動力ユニット、電源の発光など細かなディテールが再現できました（図3、図4）。本研究を進める過程で、従来の工業製品開発のアプローチ方法とは異なる3Dプリンターを使用した新たなアプローチ方法が体現できました。今後は他の研究で3Dプリンターを活かし、研究開発のスピード、提案する製品の具体性をより向上できるよう示して行きたいです。

HRRC

ヒューマンロボティクス
研究センター



●入浴介助の負担軽減を目的としたパワードスーツ

研究背景

我が国は、世界に例のないスピードで高齢化が進行しています。総人口に対する65歳以上の高齢者比率は、平成27（2015）年に26%となり、平成72（2060）年には39.9%に達し、国民の2.5人に1人が高齢者となると予測されています。同時に要介護高齢者も増えており、介護現場では、人手不足など様々な課題が指摘されており、良質な介護サービスの充実に向けた取り組みが求められています。

本研究は、2015年4月から本学大学院芸術研究科、本学工学部と医学面でのアドバイザーとして高齢者病院の連携プロジェクトとして取り組んでいます。工学部が研究・開発した超小型油圧アクチュエータを使用して、介護者が装着・駆動するパワードスーツ開発の現状について紹介します。

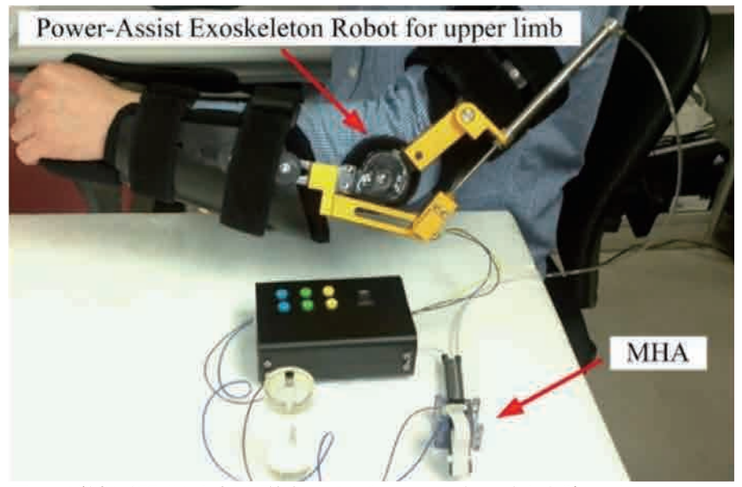


図1 工学部が開発した超小型油圧アクチュエータ（MHA）と上肢のパワードスーツ

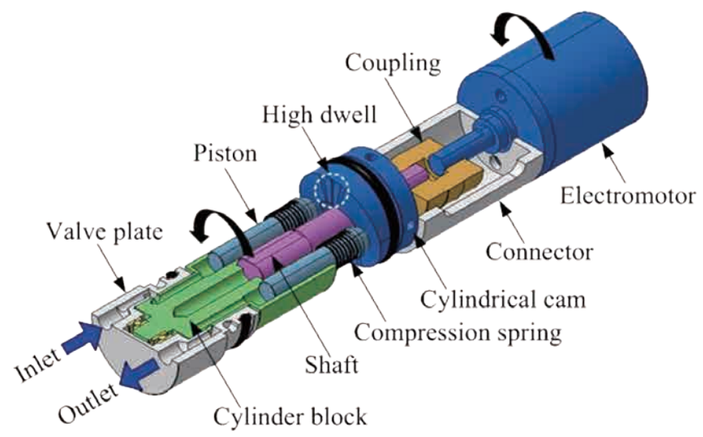


図2 超小型油圧アクチュエータ（MHA）の構造

超小型油圧アクチュエータ（MHA）について

我が国は国策としてロボット開発が重視されており、人の作業を支援するパワードスーツもその一つです。パワードスーツの大きさ、重量、構造は人間が装着し作業等を行うことを考慮すれば最小化されるべきで、アクチュエータを配置する為のスペースは非常に狭くなっています。

現行のパワードスーツの駆動方式は電動モーターが主流であり、装置を小型化するために電動モーターの容量を小さくすると出力されるパワーは弱くなります。油圧アクチュエータは人の力ではとうてい動かすことの出来ない重量物を移動させたり、押しつぶしたりするなど大きな力を必要とする場合に有効な駆動方式です。しかし、油圧アクチュエータはコンパクトなサイズにする事が難しく、アクチュエータを配置するスペースが狭いパワードスーツで使用することは困難でした。

これに対し、本学工学部が開発した超小型油圧アクチュエータ（MHA）は形状が小さく、シンプルな構造であり、重量物を移動させたり、押しつぶしたりするなど高出力は確保されています（図1、図2）。そのためMHAは微小電気アクチュエータシステムを確立し、ロボット内部の各機構を作動させることが出来るコアデバイスです。



図3 フルスケールモデルによる実験の様子①



図4 フルスケールモデルによる実験の様子②

これまでの研究成果

2015年度は、現状調査、製品企画、アイデア展開、フルスケールモデルの制作まで行う事ができました。フルスケールモデルの制作・実験から様々な課題が浮き彫りとなりました（図3、図4）。現在は、課題解決に向けてデザインを再検討し、可動モデルの制作に取り組んでいます。

今後の活動として介護現場の取材、可動モデルの実装実験を行った後にデザインを検討し、2016年度中に製品化を視野に入れた試作機の完成を目指しています。

高齢化が進む中で様々な問題が出現しています。その解決策としてロボット技術が注目を集めています。本研究を進める過程で、現行のパワードスーツは機械的な物が多く、デザイン性を重視した物が少ないことが分かりました。デザイナーを目指す学生がロボット製品に興味を持ち、本研究で取り上げたパワードスーツなどの開発に積極的に取り組むための方法論やアプローチ方法を示して行きたいです。



平成 27 年度
【③事業モデル】

リハビリテーションに対するロボット工学技術等を使った事業モデルを考えるための基本的枠組み

九州産業大学経営学部　教授
聞間　理

＜目次＞

はじめに
１．リハビリテーションの定義と概念
２．リハビリテーション支援ロボット・機器事業を考えるときの戦略的要因
３．ロボット工学技術と戦略的要因との接点
４．ヒューマンロボティクス研究センター（HRRC）の活動への事業モデルという観点からの提言
おわりに

はじめに

あるロボット工学の研究成果を活用してリハビリテーション活動に貢献する事業を考えるとき、どのようにその事業コンセプトを作っていけばよいのだろうか。経済産業省は、ロボット市場の成長可能性を予測し、介護ロボット市場も大きく拡大していくと予測している（図１）。しかしながら、平成２６年度より筆者が進めてきたリハビリテーション医院での聞き取り調査、行動観察および成功事例収集や各種文献をもとにした考察していくと、参入すれば簡単に市場成長の波に乗れる（作れる）わけでもないということが見えてきた。実際、たびたび引用される「2035 年に向けたロボット産業の将来市場予測」において、介護・福祉が「自立支援」と「介護・介助支援」の２つで 2015 年には 167 億円となるとしているのに対し、矢野経済研究所が 2014 年 1 月に発表した「介護ロボット市場に関する調査結果」によれば、2012 年度の介護ロボット市場規模は前年度比 137.1%とはなったものの 1 億 7,000 万円となっている。のこり 3 年で 100 倍の市場規模に成長すると見ることは、少々楽観的すぎる感じも受けられる。改めて、慎重に事業モデル開発の基本的枠組みを考える必要があると思われる。

そのために、まずリハビリテーションの概念およびそこから見えてくる事業領域を見てみる。つぎに、リハビリテーションという活動において考慮すべき要因を取り上げ、事業モデルを考えるにあたってどのような点に配慮すべきかについて考察する。その後、ロボット工学とリハビリテーションの接点について考え、事業の開発プロセスにおいて重視すべき点について考える。それらを踏まえたうえでヒューマンロボティクス研究センターの活動および個別の取り組みについて考察していきたい。

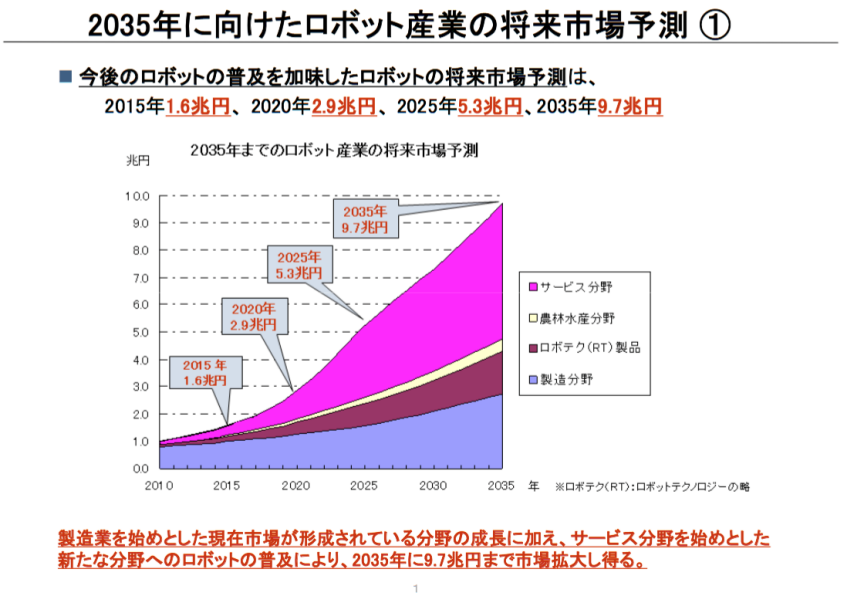


図１　2035 年に向けたロボット産業の将来市場予測
（出典：http://www.nedo.go.jp/content/100080673.pdf）

１．リハビリテーションの定義と概念

奥野英子（1996）によれば、リハビリテーションの代表的な定義として、1982 年の国際障害者世界行動計画による定義がある。それは「リハビリテーションとは、身体的、精神的、かつまた社会的に最も適した機能水準の達成を可能とすることによって、各個人がみずからの人生を変革していくための手段を提供していくことをめざし、かつ時間を限定したプロセスである。」というものである。

この定義からは、リハビリテーションは医療という側面だけでなく、何らかの原因で身体・精神機能が低下している者としての障害者の日常生活および社会とのかかわりという側面なども含む、かなり幅広い概念となっていることがうかがえる。これら概念の相互関係を奥野は次のようにもまとめている。

図２からリバビリテーションについてのより深く理解することができる。まず、リハビリテーションは、それを必要とする状態を可能な限り避けるための「予防」や、障害が残った者も含めてあらゆる人が社会に関わる状態を目指す「機会均等」とともに、障害者に対する福祉の体系を構成している。言い換えれば、リハビリテーションは障害者（そうなる可能性を持った人も含める）に対する、広義の福祉（welfare）の一部として捉えることができ、あらゆる人々に対して最低限の豊かさをもたらすことを目指している。

また、リハビリテーションは、医療リハビリテーション、教育リハビリテーション、職業リハビリテーション、社会リハビリテーションなどに分類される。人々によりよい福祉を提供するためには、「医療」だけでなく、「教育」「職業」「社会」などの側面におけ

るリハビリテーションにも目を向けることが重要になるのである。また、リハビリテーションによって全てのひとびとが障害者になる以前の状態へと回復できるわけではない。そのため、「リハビリテーションによって障害者の身体的、精神的、職業的、社会的な能力が最大限に高められるが、それでもなお残された能力低下と社会的不利をカバーするための、社会福祉の一分野としてのアプローチ」（奥野, 1996）としての「障害者福祉」が必要となる。障害者を対象とした保険の整備や所得補償などや補装具などの開発支援などがこれにあたる。さらに、広義の福祉の達成ということを考えれば、「障害者福祉」では対応できない「建築物・住宅・交通機関へのアクセス、コミュニケーション・情報へのアクセス、雇用の促進、就労の確保、教育の保障等、全省庁による取り組み」（奥野, 1996）としての「障害者施策」もまた必要とされるのである。

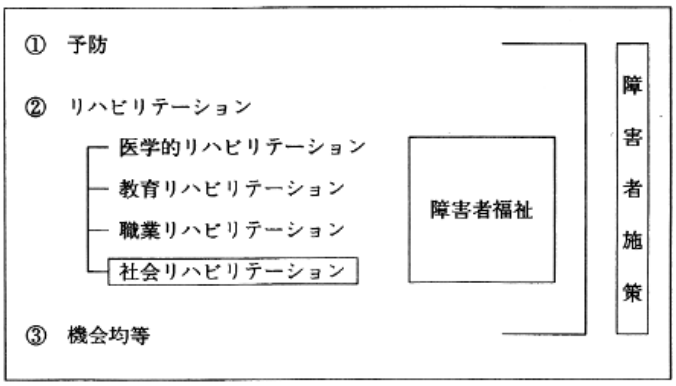


図２　社会リハビリテーションと関連諸概念
（出典：http://www.dinf.ne.jp/doc/japanese/prdl/jsrd/rehab/r089/r089_002.html）

こうしたリハビリテーション概念の広がりを考えるとき、それに対して、ロボット工学分野の諸研究とその成果が貢献する事業の範囲も、かなり広がりのあるものとして考える必要があるだろう。

２．リハビリテーション支援ロボット・機器事業を考えるときの戦略的要因

ここでは、前項で考察したリハビリテーションの定義と概念を踏まえ、リハビリテーションを中心とした支援ロボット事業を理解するために考慮すべき戦略的要素として有力であると思われるものを以下のとおり抽出し、それぞれの持つ意味を考察する。

（１）法律・制度・政策

国民健康保険法、健康保険法、介護保険法などの法律および、それらを根拠として運営される諸制度は、リハビリテーションの内容と病院経営に大きな影響を与えている。医療

保険の診療報酬は2年ごと、介護報酬の改定は3年ごとに行なわれることになっている。これらの改定の動きについては後述する。

また、特に重要なこととして、保険の対象になる機器に関しても対象でカテゴリーが決められており、審査を通じて認定を受けなければならないということがある。加えて、機器認定までの時間がかかることも考慮しておかねばならない。ロボット工学技術の進化の程度を考えると、認定を待っている間に様々な要因が変化し、認定がなされたときにはニーズが弱まっているという可能性も十分に考えられる。また開発期間の長期化は、事業として考えるときに、期間に応じたコストの積み重ねを意味しており、必然的に大きな収益を想定しておかなければ踏み込めない。そこで、保険の対象となるような製品を開発する場合には、事業主体としては、かなり高い価格を設定するとともに、販売数を伸ばすために強力な営業部隊を配置することになる。この傾向は製薬業界において特に顕著である。もしくは、審査を意識することはもちろん、その審査の変化傾向や見通しを素早くキャッチし、可能性を高めることのできる体制のなかでの開発が必要である。サイバーダインのロボットスーツ「HAL」などは、開発が1991年からスタートしているが、基礎技術が確立してサイバーダイン株式会社を2004年に設立したのちは、愛知万博への出展（2005年）、グローバルＣＯＥ（Global Center Of Excellence）プログラム（2008年）や、最先端研究開発支援プログラム（2009年）などへの採択、新エネルギー・産業技術総合開発支援機構（NEDO）による支援などを得てきている。そのような環境におかれてきたことが、開発の方向性を定め、推進力を高める一助になっていると推定される。

つぎに、より具体的な政策面での動きも踏まえつつ、医療報酬と介護報酬の動きを見ていきたい。

医療報酬の改定は、平成２８年度に予定されている。それらの方針は、診療報酬は引き上げ、薬価や材料に対する報酬は引き下げというものであった（厚生労働省「診療報酬改定について」平成２７年１２月２１日）。また、「平成28年度診療報酬改定に係るこれまでの議論の整理（現時点の骨子）」（厚生労働省　平成２８年1月１３日）では、各分野において改定のポイントがまとめられている。

ーーーーーー（以下抜粋）

Ⅱ－３ 質の高いリハビリテーションの評価等、患者の早期の機能回復の推進 について

(1)　リハビリテーションの質に応じた評価を推進するため、回復期リハビリテーション病棟においてアウトカムの評価を行い、一定の水準に達しない医療機関については、疾患別リハビリテーション料の評価を見直す。

(2)　地域包括ケアシステムの中でリハビリテーションを推進する観点から、 回復期リハビリテーション病棟入院料の体制強化加算を届け出る医療機関において、入院時と退院後

の医療についてつながりを保って提供できるよう、回復期リハビリテーション病棟の専従の常勤医師が入院外の診療にも一定程度従事できるよう施設基準を見直す。

(3)　急性期における早期からのリハビリテーションの実施を促進するため、現行のＡＤＬ維持向上等体制加算の評価及び施設基準を一部見直すとともに、質や密度の高い介入を行っていると認められる病棟の評価を充実させる。

(4)　早期からのリハビリテーションを推進するため、疾患別リハビリテーション料の初期加算及び早期リハビリテーション加算の評価を適正化する。

① 慢性疾患については、原則として、初期加算及び早期リハビリテーション加算の対象としないこととする。

② 疾患別リハビリテーション料における初期加算及び早期リハビリテ ーション加算の算定起算日を見直す。

③ 疾患別リハビリテーション料について、標準的算定日数等に係る起算日を見直す。

(5)　廃用症候群の特性に応じたリハビリテーションを実施するため、廃用症候群に対するリハビリテーションに対する評価を新たな疾患別リハビリテーション料として設ける。

(6)　医療と介護の役割分担の観点から、

①要介護被保険者に対する維持期リハビリテーションの介護保険への移行を図る。

移行を円滑に行う観点等から、

②要介護被保険者等に対するリハビリテーションについて、その目標設定支援等に係る評価を新設し、

③医療保険と介護保険のリハビリテーションに係る併給を拡大する。

(7)　心大血管疾患リハビリテーション料の施設基準を緩和し、心大血管疾患リハビリテーションの普及を図る。

(8)　社会復帰等を指向したリハビリテーションを促進するため、IADL（手段 的日常生活活動）及び社会生活における活動能力の獲得のために、入院患者に対し実際の状況における訓練を行うことが必要な場合に限り、医療機関外におけるリハビリテーションを疾患別リハビリテーションの対象に含める。

(9) 施設基準に応じて疾患別リハビリテーション料の評価を見直す。

(10)　リハビリテーション専門職が効率的に勤務できるよう、難病患者リハビリテーション料等における専従規定を緩和する。

(11)　リンパ浮腫の患者に対する治療を充実する観点から、リンパ浮腫に対する複合的治療に係る項目の新設等を行う。

(12)　摂食機能療法を推進する観点から、①対象となる患者の範囲を拡大し、 ②経口摂取回復促進加算について、要件を緩和した新たな区分を設ける。

ーーーーーー

これらの項目のそれぞれが重要ではあるが、リハビリテーション支援ロボット・機器事業の開発が中長期的に関わるとなる場合に考慮しておくべきものとしては、（A）治療のアウトカム水準の見直しによる入院日数の短縮、（B）地域包括ケアシステム構築の推進、（C）社会復帰を念頭におき実際の状況に応じたリハビリテーションの強化、がある。より具体的にいえば（A）に関しては、現場でのアウトカム測定を支援するもの、およびより大きなアウトカムが期待される機器の開発が求められる。（B）に関しては、地域包括ケアシステムが、２０２５年に向けて、地域や自治体が主体となって、住まい・医療・介護・予防・生活支援が一体的に提供される仕組みをつくるものである。さまざまな場所で行われている活動を連携させることによってより効率的で効果の高いケアを提供するというものであるので、機器もデータの連結や互換性に寄与するものが求められるであろう。ただし、それらの開発にあたっては一手に担う体制がつくれない限り、自治体や地域をはじめとする様々な関係者の動きを追ったり連携していったりせねばならないので、その点において開発には大きな負荷がかかることが予想される。（C）に関しては、社会復帰をより早めることにつながるような機器開発の取り組みは、医療現場から歓迎されるであろう。また、機器開発にあたって、患者個別ごとの生活事情を反映できるような要素があれば、評価されやすいと想定される。そのためには、患者の生活状況、とくに家の立て付けや家具などについてよく理解しておかねばならないだろう。

次に、介護報酬の改定に目を向けていきたい。まず、平成２７年度の介護報酬の改定では、報酬率が全体で２．７％引き下げられた。これについては、社会保障費の増大と消費税見送りなどの政治的判断なども重なり、病院経営側にとっては収入増およびコスト削減へのプレッシャーは高まることになる。すなわち、収入増につながるという点においては基本的に医療報酬・介護報酬の対象となるような機器であれば利用の動機付けになる。ただし、現在収入増につながっても 3 年後の改定によって点数が下がる可能性が残されている。その点も含めて開発を進めなければならないし、平均的な開発期間を考えると、医療・介護ともに病院の収入増につながるリハビリテーション支援機器を開発することは大変難しい。一方、コスト削減につながる機器ということになると、導入後即効果が認められるかどうかをアピールできれば導入のハードルは低くなるであろう。

厚生労働省による「平成 27 年度介護報酬改定の骨子」をみると、ここでも地域包括ケアシステムを強化していくことと、在宅リハビリテーションや訪問リハビリテーション、通所リハビリテーションなど、入院以外の状況でのリハビリテーションを推進していく方針が占めされている。リハビリテーションの場所やあり方を生活全体に広げていく傾向がみられるため、リハビリテーション・マネジメントの策定などにも点数が付き始めるなど、連携・総合的視点が強まっているといえる。

最後に行政全体のロボット事業に対する期待は大きく、政策における重みも年々大きくなってきている。その動きの代表的なものが、「ロボット革命イニシアティブ協議会」で

ある。2014 年５月の OECD 閣僚理事会で安倍総理が、ロボットによる新たな産業革命を起こすことを表明したのを皮切りに、「ロボット革命実現会議」が首相官邸で開催されることなどを通じて、2015 年 5 月に団体・企業・個人計 226 会員で発足した。その事業計画を見る限りでは、情報交換および国際シンポジウム等の開催など、アメリカでの IIC（Industrial Internet Consortium）やドイツの「インダストリー4.0」などの国際的な動きを情報として捉える程度の試みに今は止まっているが、今後の日本政府と産業界との連携の動きを把握するという意味で、その動きに注目する価値はある。

（２）リハビリテーションおよび介護の技術体系

法律・制度・政策の影響を受けるとはいえ、リハビリテーションや介護は独自の技術体系をもっており、それらに基づいてリハビリテーションは展開する。

『リハビリテーション　ビジュアルブック』（落合慈之監修　学研　2011 年）によれば、まずリハビリテーションが必要となる状況が生まれるには、さまざまな要因があり、その要因からもたらされる障害の程度の差異が存在する。そして、それらの要因や障害の程度に応じてリハビリテーションの内容は変化することになる。主な要因だけでも、脳血管障害、神経筋疾患、運動器疾患、呼吸器疾患、心疾患、糖尿病、がん、廃用症候群、脊髄損傷、切断、乳幼児に起こりやすい疾患などがある。また、それらから生まれる主な障害として、関節可動域障害、筋力低下、筋緊張異常、感覚障害、協調性障害、運動麻痺、平行機能障害、痛み、全身持久力低下、基本動作障害、歩行障害、高次脳機能障害、構音障害、音声障害、嚥下障害、精神・心理面の障害、ADL 障害などがある。これらそれぞれに患者の性別、年齢、体格、他の疾患などの要因によって対処方法が変わる。要因や障害の程度は分類可能であるものの、千差万別であることから、ロボット・機器事業の開発においては、どのような要因や障害を対象とするのかについてしっかりと想定しながら進める必要がある。また、患者ごとの差異についてもロボット・機器によっては、どのように対応するかも考えておかねばならない。さらに、これだけの疾患や障害、患者の多様性があることから、リハビリテーションの現場では、「ロボット・機器よりも人による応対が重要で有効である」という考え方が根強く存在するとともに、現実に、人による判断やその場での柔軟な対応をしながら進めている。

こうしたリハビリテーションの現場のやり方からは、「人をロボットに置き換える」という発想では通用しないどころか、必要以上に大きな反発を招いてしまう。そうではなくて、現場でリハビリに携わる人々が使いやすい、もしくは動きを支援するという観点にたって開発することが必要である。

また障害発生から安定までのプロセスにおける分類としては「急性期」「回復期」「生活（維持）期」「終末期」などの段階があり（図３）、それぞれの段階において疾患の特徴やリハビリテーションの効果などが変化する。

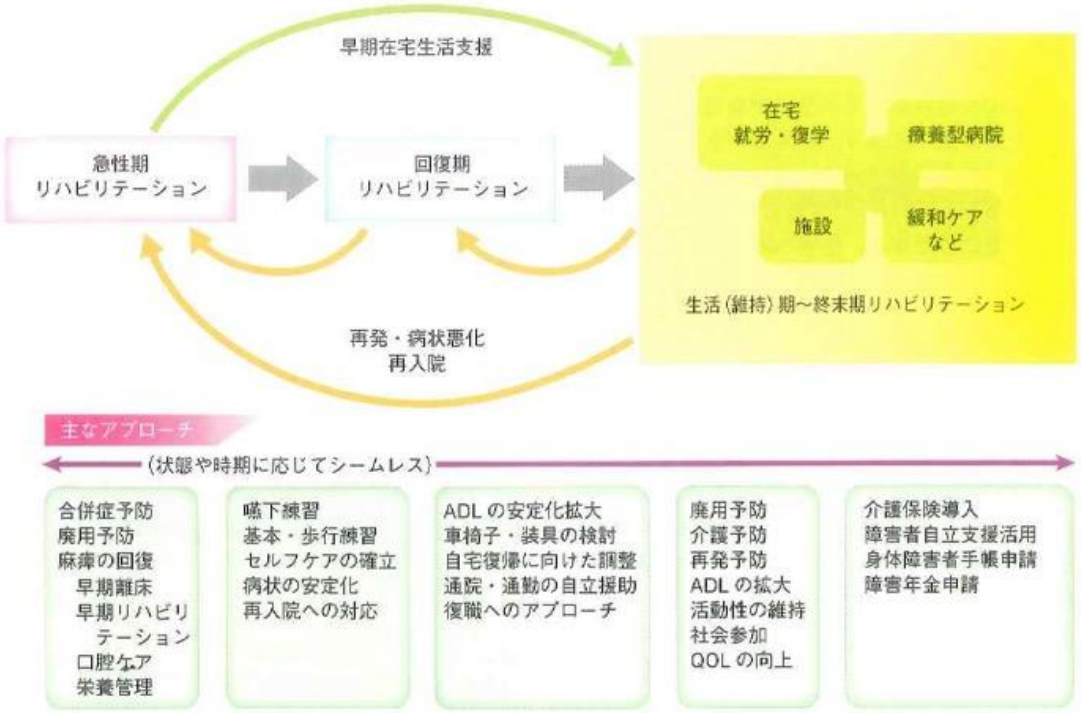


図３　リハビリテーションの環（出典：『リハビリテーション　ビジュアルブック』）

特に「急性期」や「回復期」では、早期のアプローチが必要で、障害の最大限の回復が目的になるのにたいし、「生活期」では、障害の存在を前提として、「そこに生じるあらゆる問題に配慮し、その人の人生を支える努力が必要。その人が望む人らしい、豊かな生活」（『リハビリテーション　ビジュアルブック』）の実現が目的となる。これにおいては、それぞれのプロセスごとの対応するのはもちろん、それぞれのリハビリの結果や実績は前後につながっているので、それらを連結して管理する発想が必要になり、それはリハビリテーション支援ロボット・機器事業の開発においても重要な点となることは間違いない。

（３）専門職集団特性

さらに、リハビリテーションは高度な技術体系であることから、専門職の連携で進められる（図４、図５）。リハビリテーションに関わる主な専門職としては、医師、看護師、理学療法士（PT）、作業療法士（OT）、言語聴覚士（ST）、医療ソーシャルワーカー（MSW）がある。そして「各専門分野からのアプローチは、互いにオーバーラップしながら、患者や家族の生活再建、社会参加に向けて総合的・包括的に行われる」（『リハビリテーション　ビジュアルブック』２ページ）。

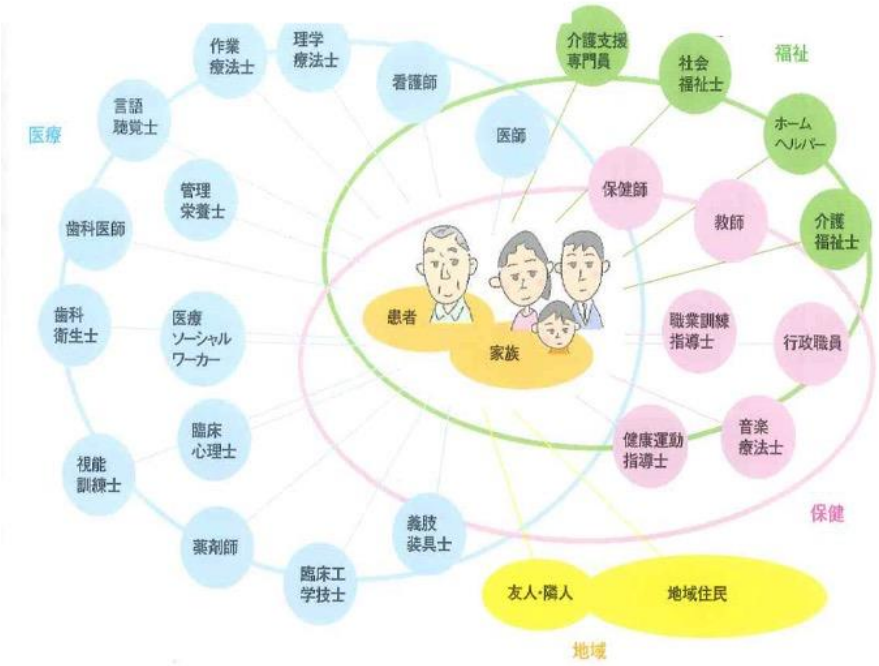


図４　リハビリテーションに関わる専門職

（出典：『リハビリテーション　ビジュアルブック』）

■主な専門職とその役割

スタッフ	主な役割
医師(脳神経外科，神経内科，リハビリテーション科ほか)	1. 疾患の治療，再発予防，合併症の治療・予防，障害診断，リスク管理 2. リハビリ実施処方，カンファレンスでの方針決定・修正 3. クリティカルパスの作成，家族への説明と同意 4. 長期的なフォロー，全身管理，生活支援 5. 各種診断書・指示書・意見書作成(介護保険，身体障害者手帳，障害年金など)
看護師(脳神経外科，神経内科，リハビリテーション科，整形外科ほか)	1. 全身管理，ケア，異常の早期発見 2. 患者の状況把握(生活歴，生活状況，家族背景，地域背景，家族の希望など) 3. ADLの評価・援助，生活行為の実行(リハビリ看護)，家族指導 4. 退院に向けた援助・家族調整 5. 各職種間の連携調整
理学療法士(PT)	1. 全身状態の把握(麻痺の程度，関節拘縮の有無，下肢体幹機能)と機能改善 2. 起居・坐位・移乗・歩行などの基本動作の獲得，ADLの改善・拡大 3. 下肢装具・車椅子・杖の処方 4. 病棟でのADL指導，看護師との連携 5. 自宅復帰に向けた生活指導，家屋評価と改造指導，社会参加への援助
作業療法士(OT)	1. 上肢・体幹機能の評価・改善 2. ADL(整容，更衣，家事動作など)の評価・改善・生活援助 3. 精神機能・高次脳機能障害の評価・改善 4. 職場復帰に向けた評価と援助
言語聴覚士(ST)	1. 言語機能の評価・改善 2. コミュニケーション能力の評価・治療・援助 3. 高次脳機能障害の評価・改善 4. 復学・復職に向けた評価・治療・援助 5. 摂食嚥下機能の評価・改善，口腔ケアの実践・指導
医療ソーシャルワーカー(MSW)	1. 情報収集 ・病前の生活状況，家族状況，家屋および地域環境 ・介護者の有無，介護状態，介護サービスの有無 ・患者の性格，患者と家族・親族の関係，職業・地位・経済状態 2. 患者および家族の心理的・経済的・社会的支援 3. 退院調整(転院先の検討，退院後の生活支援) 4. 地域連携(病院や診療所との連携，施設との連携，行政との連携) 5. 各種制度の利用，社会資源の活用

図５　主な専門職とその役割

（出典：『リハビリテーション　ビジュアルブック』）

したがって、まず専門職としてリハビリに関わる以上、彼らは専門的な知識や手続きをまず第一に遵守するということを理解しておかねばならない。さらに、何らかの事業を開発する場合には、これらの専門職が持っている知識や技術について傾聴し、理解に努め、それらの論理に則って製品を開発しなければならない。その意味で、リハビリテーション開発は意見交換を密にする「共同開発」が最も望ましい。

もう一つ、専門職には単なる決められた範囲だけの業務遂行だけでなく、自らの専門能力を高めていくための研修を受けたり、専門職集団の技術・知識向上に寄与する研究・学会発表などをおこなうなど、それぞれの専門職集団の中での地位向上を目指している人も少なくないことにも注意を払っておくべきである。異なる専門職集団への評価や相互の関係などもリハビリテーション活動のなかで暗に影響を及ぼしてくる場合があるので、それらの関係もよく理解しながら事業の開発を進めていく必要がある。工学系の開発者が、その分野の領域を学ぶためにその学系統の大学院で学んで製品開発をしたという事例も存在する。事業の開発においては、専門領域横断的に関係する専門職の特性を理解をしていく必要がある。

（4）病院経営の論理

リハビリテーションは専門職が中心となって患者に当たることによって進められるが、彼ら専門職の意見のみで製品やサービスの購入・利用が決まるわけではない。同時にそこには、病院経営の論理が流れている。多くの場合、病院経営者がサービスの購入や利用の決定に関わっているのであり、彼らの意向に沿うことも重要である。

株式会社日本能率協会総合研究所「第９回　病院の経営課題等に関する調査 結果報告 」（2013 年 2 月）などによれば、多くの病院が抱えている問題の中心には医師・看護師などの不足により、医師・看護師の過剰労働が起きていること、それに付随するモチベーションの問題がある。病院の収入は、医療保険や介護保険等によって統制されており、病床数以上の患者を受け入れることはできないため、収入を大きく増加させることは難しい。多くの民間企業では、収入増に限界がある場合には、人件費の削減をもって利益を増やそうとするが、医師・看護師不足という状況を考えるとそれは難しい。「第９回　病院の経営課題等に関する調査 結果報告」においても、人件費の削減は課題として認識されている一方でその実施率は他の項目に比べて相対的に低い。

同調査におけるリハビリテーション支援ロボット・機器事業にとって最も重要な項目は「施設，設備の刷新」であろう。それに対する重要性の認識は相対的に高く、実施率も他の項目に比べれば高い。どのような観点から施設や設備が刷新されやすいかということについては、他の項目との関係から考察するしかない。課題の優先度を考えると、病院の収入増に寄与する、医師・看護師の人手不足の解消につながる、もしくはスタッフのモチベーションの向上につながる、といったものが特に好まれると思われる。開発するロボット

や機器が、経営者側の関心を引き寄せるためには、それらの項目との関連性を明確に示すことが必要であるだろう。

（5）患者の心理と生活状況

リハビリテーションの目的は、ひとびとの福祉を最大化することにある。そのひとびととは疾患および障害を持つ患者であり、その意味で彼らの意向を無視するわけにはいかない。医師や療法士などの専門職からの薦めに従い患者がその意向を決める場合もあるが、全てにおいてそうではない。例えば、患者の深夜徘徊などを防ぐことを考えるとき、患者の服に発信機をつける方法が考えられるが、そうした手段はあまりうまくいかないという。患者の多くは自らの身体にタグなどを付けられることを嫌がり、看護師や介護士が見ていないところで引きはがしてしまうからだそうである。また、在宅からの通所リハビリテーションの段階などに進んだ場合には、患者の生活状況に応じてロボットや機器を開発していかないと使われることはないであろう。

開発にあたって考慮しなければならない患者の生活状況には、彼らが生活している家の広さや間取りなどから、服や道具の好みまでさまざまなものが含まれる。とはいうものの、ロボットや機器の利用に関しては、患者の好みばかりが優先されるわけではない。リハビリテーション医療の特徴として、退院時であっても障害が残っている場合が多いので、退院後の生活がスムーズにいくようにベッドの買い替えやトイレや階段などのバリアフリー化を進める場合が多いということもある。通常の買い物のように、ゆっくりと比較して決めることができない場合が多いので、その場面では、医療ソーシャルワーカーやリフォーム業者などの進言をかなり受け入れざると得ないことが多いようである。このような場合においては、患者に対してというよりも、彼らの退院時に相談にのる医療ソーシャルワーカーやリフォーム業者にまずロボットや機器の魅力について理解してもらう必要があるだろう。

3．ロボット工学技術と戦略的要因との接点

前項では、リハビリテーション支援ロボット・機器事業の開発を進めるうえで考慮すべき点を挙げてみたが、これをロボット工学側に開発の求められることに置き換えた場合どのように整理することができるのだろうか。

まず、ロボット・機器の利用状況の分類が可能である。これについては、2つの軸をもって整理することを提案する。

一つには、病院生活ー日常生活の軸である。これは使用状況の差もあるが、ロボット・機器の使用に対する対価を誰が払う人に対する分類でもある。これによって、ロボット・機器の使用価値をどのように理解してもらうかに差が出る。病院生活の軸に寄るときには、

専門職もしくは経営者が対象となる。日常生活においては使用者本人もしくは家族が対象となる。

もう一つの軸は、補助使用ー自力使用の軸である。補助使用の場合、使用者の他に操作する、もしくは動きをサポートする人が付く。二人の利用者像をそれぞれ想定し、開発を進めなければならない。自力使用の場合、使用者のみを想定した作りとなる。

この２つの軸をもとに４つのマスをもったマトリクスを組むことができる（図６）。同じ象限に入る製品群は、開発の進め方において同じようなポイントをおさえる必要があると思われる。改めて各マスにおける要点をみてみよう。

	補助使用	独力使用
病院内	A	B
日常生活	C	D

図６　リハビリテーションに関わる製品群マトリクス（筆者作成）

（A）「病院内ー補助使用」

これは、リハビリに関わる専門職を助けるものになるであろう。使い方等は専門職が指示することになるので、開発では専門職の声を拾い、どこまで活かすことができるかが重要となる。大型の機器に関わらず、仕事を助けるちょっとした便利グッズなども入ることになるため、リハビリテーションの教科書に関わる部分以外にも、かなり広範囲にわたって開発のシーズは転がっていると思われる。開発初期段階では、専門職の邪魔をしない範囲での聞き取りと行動観察が重要であり、アイディアが出てきたらプロトタイプを早急に作成し、綿密にフィードバックをもらえる関係を保ち続ける必要がある。

（B）「病院内ー独力使用」

これは、患者が病院内で独自に訓練したり、移動するときなどに使用されるであろう。夜中の徘徊見守りやベッドの転落防止などはこのカテゴリーにはまる。その場合においては、専門職が最も恐れるのが「転倒」を筆頭とする事故のリスクである。患者の行動予測とそれを踏まえた安全性が第一となる。第２には病院の通常業務を妨げないことである。大きなものであれば、病院内に設置するスペースがあるかどうかと、誤動作によるその対応の手間や手続きも重視されるであろう。シンプルな操作方法で、病院の通常業務を妨げず、むしろ減らすことに貢献するのであれば大いに歓迎されるであろう。開発の初期段階においては、専門職や患者の抱える問題の把握とともに通常業務への影響を想定しておく

ことが重要になるであろう。その後は、導入に向けてリスク対策を強く意識することが重要であると思われる。

(C)「日常生活ー補助使用」

これは、在宅での介護や専門職による調査補助、もしくは補助者がつくリハビリ訓練機器になるであろう。補助者に家族が想定される場合には、専門知識は期待できない。それだけに操作などは極力シンプルにしていくことが求められるであろう。また、購入すべきかどうかの判断は、専門知識がないこともあって、ほとんど患者や家族はできないと思われるので、専門職とくに医療ソーシャルワーカーなどの支持や推薦を得ていく必要がある。さらに、家の中のスペースは強力な制約となるので、大きさを可能なかぎり抑える努力ももとめられるであろう。

(D)「日常生活ー独力使用」

ここには、在宅での訓練機器や義手義足などの装身具、家具や小物など幅広いものが想定される。日常生活で障害者自身が独力で使うことが前提なので、フォローアップが簡単ではなく、操作の簡易さや動作の安定性や耐久性が求められることになる。購入すべきかどうかの判断については、(C)と同じく専門職の助言が重要になるのでそれを確保する必要がある。開発にあたっては、すでに在宅で障害と付き合っている人たちへの聞き取りや行動観察などをしていく必要がある。また、日常生活に密着している分、開発はしやすいと思われるが、あるアイディアを思いついたとしても、日常生活品のなかに代用品や類似品が存在している可能性もあり、アイディアの新規性に関する検証は初期段階でしっかりと行っておく必要がある。

ロボット・機器の利用状況の分類とは別に、これまでロボットに関しては製造現場が主なフィールドであったこともあって、医療サービスの分野へとロボットが入っていくときに生じる考慮すべきポイントがあるように思われる。これらのすべての項目を満たす必要が必ずしもあるわけではないが、

（1）専門職の仕事を支援する

リハビリテーションの分野においては、患者一人ひとりの障害の原因や症状が異なることから標準化が難しく、医師をはじめとする各種専門職のもつ技術や行為のほうがロボットよりも信頼できるという主張が基本的に存在する。そしてその主張は、当然のことながら専門職自身が強く持っているとともに現場へのロボットの導入の判断はかなりの程度、専門職にゆだねられている可能性が高い（ここは重要な論点であるので付記しておくと、これについて統計的な裏付けはとれておらず、筆者の聞き取り調査からもたらされた仮説に留まっているという意味での「可能性」である）。AI 進化の論争においては、人間の知的労働をロボットが代替する可能性が論じられ、肉体労働においてはすでに代替可能となっている部分も多いと思われるが、その部分がいくら進歩しても導入の裁量が現場の専門

職にある以上、「専門職の仕事を代わる」ことを感じさせるロボットは受け入れられないであろう。そうではなくて「専門職の仕事を支援する」ことに徹した開発視点を持ち続け、デザインやアピールなども含め、その態度が一貫していくことが重要である。

（2）データ収集機能と連携機能をもっている

「地域包括ケアシステム」の発想の根底にあるのは、一か所で集中して問題を解決するのではなく分散させることと、それらをデータでつなぎ効果を高めることである。また、医療・介護報酬においてもトータルなリハビリテーション・マネジメントに対する点数が付与される方針が示されている。経営上のコスト削減という側面においても、専門職によるリハビリ効果の研究という側面においてもデータを収集し、蓄積して、かつ他の場所でのデータと連結できることは歓迎されるであろう。技術的にも計測機器やデータ送受信機器が小型化し、しかも安価になっている。IOT（Internet of things）ともいわれるこの機運は、リハビリテーションの現場にも浸透する可能性を十分にもっている。いきなり医療保険・介護保険の対象となるロボット・機器の開発を狙わなくとも、ゆくゆくはそれらに結びついていくような設計思想をもって開発を進めていくことが重要であるといえる。

（3）親近感の高いロボット

リハビリテーションの現場だけでなく、日常生活においてもロボットにわれわれはなじみをもっていない。リハビリテーションを受ける患者の世代が高齢者であることが多いことを考えると、どれだけ優れていても「ロボット？難しそう」という偏見ともいえる一方的な理由で利用を避けられる可能性がある。そこで親近感を高めるように、デザイン面での工夫をする価値は大いにある。

（4）安全性が十分に確保されている

リハビリテーションが身体機能の回復を目的として、人間と密着するサービスであるだけに、安全性はより重視されることになる。ここ数年の産業ロボット開発においては、人とロボットとが接近して働くことのできる環境づくりが一つのテーマとなっている。

（5）導入コストが低い

病院経営が人手不足と収入不足に悩まされている現状からみると、医療保険や介護保険の対象となっていない場合もしくは明確なコスト削減効果が示せない限りにおいては、価格帯の高い製品はなかなか導入しにくいであろう。これについては、次項も含めて買い取り式よりも、レンタル方式の事業モデルを開発していくほうがよいであろう。また、すでに普及している既存の製品のオプションとして開発することも単価を下げ、導入コストを引き下げる一つの有力な考え方である。

（6）アップデートが用意されている

これまで介護現場で採用されるレベルのロボットの開発は 10 年以上かかる事例が多い。この傾向でそのまま事業で進めようとなるとかなりの人件費と開発費が積みあがってしまう。開発のなかで同時にいくつもの特許を取得できたり、その後の多方面にわたる製品展開が見通せるようなテーマにすることで、長期間にわたる開発の意味は出てくると思われるが、そうであったとしても、資金的体力のある企業と強く提携することや政府の支援のもと実用化のための補助金などを受ける必要がある。長期間にわたる開発を可能にするだけの十分な資金がない状況であれば、機能が低くともまずは安価な値段設定にして現場に受け入れてもらうことを優先したほうがよい。その場合、安価な値段設定は買い取り方式であると実現しにくいため、レンタル方式にして導入のハードルを下げ、アップデートができるような設計にしておくことも有力な考え方といえる。もちろん、アップデートのサービスを続けていくだけの体制を構築できるかどうかという問題は生じることになる。

４．ヒューマンロボティクス研究センター（HRRC）の活動への事業モデルという観点からの提言

ここまでの事業モデルという観点からの議論を通じて、以下にヒューマンロボティクス研究センターへの提言を以下のようにまとめたい。各取り組みに共通する提言を出した後に、各事業の可能性を考えてみたい。

１）数多くのアイディアをぶつけ、専門職からのフィードバックを頻繁にもらいながら、現場に投入する機会を一つでも多くつかむ流れを強化する。

これはすでに行われているが、現在以上にもっと頻繁かつ多様なテーマにわたってアイディアを投入してよいと思われる。アイディアの数をもっと増やすために、リハビリテーション専門学校などとの連携関係をつくって、そこからアイディアを投入してもらってもよいかもしれない。アイディア出しのためのワークショップなどは経営学部・商学部・経済学部などの学生を巻き込んで実施することもできるであろう。

２）病院以外の実装化のルートを開拓していく。

認識しなければならないのは、すぐれた技術があったとしても、さまざまな要因によって専門職から支持を得られない可能性があるということである。必ずしも病院というルートにこだわる必要はないと考えられる。実際に、イノベーションの商品化事例をみると当初想定していた対象以外に向けて成功した例はたいへん多い。障害者施設や、高齢者向け住宅や、教育現場など、さまざまな応用対象を考えておくことで実装化への確率は上げられるであろう。HRRC でも多様性のある現場とのつながりを構築していくことには価値がある。「３．ロボット工学技術と戦略的要因との接点」で述べた「日常生活」のフィールド

と潜在的な市場はかなりのものがあり、連携相手の多様性をもつにつれ、さらに大きくできるであろう。

３）データ取得機能および標準化と連結化を進める。

リハビリテーションの対象になる症状にはいくつかの段階があり、それに対して、それぞれいくつかの治療段階がある。立ち上がり訓練、歩行訓練などそれぞれに対して機器を開発するだけでなく、それらをつなげてデータを蓄積することで新たな価値を生み出せる可能性がある。専門職のキャリアアップのための研究などを支援する機器・機能は大いに歓迎されると思われる。

４）既存の機器の改良やオプション開発などの可能性にも目を向ける。

機器全体を設計することを中心にしつつも、そこで培われた技術の一部を切り分けてオプション品などにすることは値段のハードルを下げるほか、導入の障壁も下げる可能性がある。例えば、ベッドの手すりのみを変える、車椅子のクッション部分につける部品を設計するなどである。提言１のアイディアの場合にもいきなり大きなものを考えるのではなく、小さな改良も視野に入れることで実装化へとたどり着く可能性は高くなるであろう。

５）レンタルをベースにアフターケアで満足度を高める事業モデルを優先的に検討する。

医療保険や介護保険の制度およびリハビリテーションという活動の性格と、HRRC の活動規模などを勘案したとき、ベースとなる事業モデルとしては、買い取りモデルではなくレンタルをベースにして、アフターケアやアップデートサービスで収入を得る方式が良いと思われる。

つぎに、以下において、個別の事業モデルごとにこれまでの議論から見てどのようなことがいえるのかについてまとめてみた。前項における図６の製品領域の議論と重ね合わせていくと、それぞれのテーマを追求するにあたって注意すべき点が見えてくる。

テーマ	製品イメージ	主な製品領域（図６参照）	事業化モデル視点からのコメント
立位保持訓練ロボットおよび通信機能	下肢虚弱高齢者用　在宅用・健康教室用の低コスト簡易な装置　足前後スライドの簡単な運動を介助	A or C	Web でデータが見える通信機能が組み合わさることで、価値が上昇する。データの標準化も鍵になる。 POPO のような製品との組み合わせによる水平展開の可能性はどんどん探っていくべきかと思われる。

歩行訓練ロボット	施設・病院用　退院前の訓練　実際の歩行訓練で転倒防止、省力化	A	HAL など歩行訓練ロボットの市場はすでに競争が激しく、差別化ポイントを考え直す必要がありそう。 退院前のステージでは、動きの安定化・補助よりも、動きの記録をとり帰宅後の計画に役立てることにニーズがある。
全身麻痺患者用移動ロボット	全身性麻痺患者用　周囲の認識、残存機能を利用、自律移動を介助	B or D	利用者も明確で開発に対するフィードバックももらえる状況にあるのが強みで開発に安定感がある。 わずかな指の動きによる操作プログラムは、「ベッド上生活者用介助ロボット：にも応用できそうである。
起立訓練支援ロボット	下肢麻痺患者，高齢者の起立動作において，上体を振って起立する動的な動きを介助する起立訓練ロボットを開発	A	共同開発のパートナーと納品先が先に見えているのは大変心強い。 ロボット展でのフィードバック以外にも、頻繁に（特に訓練指導者から）助言をもらう体制を作るべきかと考える。
	高齢者の起立動作において，起立動作をサポートする簡易型起立補助機器の実用化	D	先行する既存商品がかなり存在するため、それらの問題点を明確にする必要がある。 購入に影響力を持つカタログメーカーや医療ソーシャルワーカーからの助言をもらうべきだと考える。
ベッド上生活者用介助ロボット	手指の麻痺患者用　日常生活での物品把持の補助	D	基礎技術が大変面白いので、応用対象を幅広く考えなおす機会が必要かもしれない。 手指の麻痺患者よりも切断した義手使用者との組み合わせのほうが相性がよいかもしれない（聞き取りから始める必要があるけれども）。
脳錯覚リハビリ装置	脳錯覚機能のためのモーション制御装置の開発・リハビリ効果の向上	A	ハプティクス技術の応用先についてのアイディアはたくさん出しておいてよいかもしれない。 脳錯覚についてのアドバイザーもしくは連携先を探す必要があるように思われる。
軽量・小型 EHA（電動式油圧アクチュエータ）	超小型水圧アクチュエータ(EHA)で駆動される介護用	A	水を扱う現場で利用出来るという強みを最大限生かしたい。入浴支援は介護の中でも比較的大きな市場である。

の改良とパワードスーツへの 応用および軽量・小型 EHV を応用したパワースーツの開発	パワードスーツ		本格開発に向けて入浴介護の手順や実際の現場について多くの情報を集めておく必要がある。
人体の姿勢・動きの検出技術	リハビリテーションに必要な人体各部の関節の可動域測定などによりリハビリテーションの効果を数字で表せる機能を実現する。	A	確実かつ強いニーズが存在している領域であり、適切なフィードバックをもらって開発すれば広範な普及も期待出来る。 撮りたいデータを１項目でよいので絞り込んだプロトタイプを可能なかぎり急いで開発するべきである。
立位荷重リハビリ機器	患肢に体重をかけて歩行できなくなった患者の歩行訓練における部分荷重の訓練を補助するリハビリ機器を開発する。	A	現場発のニーズに乗って密にフィードバックが進んだ分、開発がスピーディーに進んだ。普及も期待出来る。 他の類似商品の価格と比べて、安価な価格を設定することで普及を図りたい。
高齢者・障害者利用を想定した未来のパーソナルトランスポーテーション	障害者や高齢者が近隣の移動に利用する近未来のトランスポーテーションのコンセプトモデルをつくる （デザインオリエンティッドによる研究・開発であり構想モデル完了後、技術面からのサポートを受ける）	D	HRRC の未来性を象徴する取り組みとして価値は高いと感じる。 関連技術の進展も想定してアイディアを盛り込みたい。
地域の伝統産業と連携した研究センター機能を活用した商品開発	大川家具メーカーと連携した商品開発　木製椅子・食器	D	大川家具メーカーとの連携実績もあり、実用化の確率は最も高い取り組みであると考える。 HRRC の会議室用､接客用などで購入してはどうだろうか。外部からの来賓が多い本館などにも働きかける。
「認知症対策プログラム」ロボメカワークショッププロジェクト	自発的活動を促す療育玩具の開発と認知症対策プログラムの構築	－	HRRC の取り組みアイディアを発掘する機会としても大変価値が高いと考えられる。 優秀な作品には、外部専門職からのフィードバックをもらえる環境を構築できるかどうかが鍵になると思われる。
VBA を用いたロボッ	VBA を用いたロボット制御	－	HRRC の各取り組みに連動させられたら､学生たち

ト制御プログラミング	プログラミング		の動機付けになるかもしれない。 成績優秀な学生を、HRRC のいずれかの取り組みに参加させてみてはどうだろうか。
［教育プログラム］テクノアートプロジェクト	後期に開講するロボット開発導入のための学部横断型教育プログラムで、技術とデザインの双方を理解できる人材を育成する。	D	優秀な作品については、さらにブラッシュアップさせる機会を与えてもいいかもしれない。 HRRC に優秀作品を常設展示しておくのもよいかもしれない。

表１　個別取り組みテーマに対するコメント

おわりに

ここまで、リハビリテーションの特徴および事業開発のための戦略的要因、ロボット工学との接点などについて論じ、提言をとりまとめてきた。本論考で、リハビリテーションという問題に対してロボット工学を使ってアプローチした場合にどのような問題が生じるかについては、おおよそ掴むことができたように思われる。しかしながら、それらは厳密にいえば、仮説の体系にとどまっており、それらの検証はしていない。それらが正しいかどうかは実際に研究開発を進めていくなかで確認するしかないわけであるが、そのような限界をもちながらもなお、研究開発の現場にいるメンバーに何らかの示唆を与えることができていれば幸いである。また、さまざまな国内外の他のロボット研究開発の実態や、プロジェクトを上手く回すための仕組みについては十分に調査できていない。今後はそれらについて可能な限り調査を進め、ヒューマンロボティクス研究センターの運営によりよい提言をしていくことを目指していきたい。

＜参考文献・ウェブサイト＞

落合慈之監修　稲川利光編集『リハビリテーション　ビジュアルブック』学研　2011 年

奥野英子　「社会リハビリテーションの概念と方法」（財）日本障害者リハビリテーション協会発行
『リハビリテーション研究』（第 89 号）２頁～７頁　1996 年 11 月

厚生労働省「地域包括ケアシステム（アクセス日　平成 28 年 2 月 15 日）
http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi_kaigo/kaigo_koureisha/chiiki-houkatsu/

厚生労働省「平成 27 年度介護報酬改定の骨子」（アクセス日　平成 28 年 2 月 15 日）

http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12300000.../0000081007.pdf

ロボット革命イニシアティブ協議会（アクセス日　2016 年 2 月 15 日）
https://www.jmfrri.gr.jp/outline/establishment.html

株式会社日本能率協会総合研究所「第９回　病院の経営課題等に関する調査 結果報告」（アクセス日　2016 年 2 月 15 日）
jmar-im.com/healthcare/report/hospital-keieikadairep9th.pdf

NEDO（国立研究開発法人　新エネルギー・産業技術総合開発機構）「2035 年に向けたロボット産業の将来市場予測の概要」（アクセス日　2016 年 2 月 15 日）
http://www.nedo.go.jp/content/100080673.pdf

矢野経済研究所「介護ロボット市場に関する調査結果 2013」（アクセス日　2016 年 2 月 15 日）
http://www.yano.co.jp/press/pdf/1196.pdf

平成２７年度　活動報告

平成２７年度　シンポジウム・市民講座



シンポジウム・市民講座のご案内



ＬＩＦＥ２０１５

LIFE 2015

高齢化・福祉社会に向け産・学・福祉現場を繋ぐ
生活支援・医療・福祉工学系の３学会の連合大会

期　　間：　2015 年 9 月 8 日（火）～9 日（水）

場　　所：　九州産業大学（福岡市）

主　　催：　日本生活支援工学会・日本機械学会・ライフサポート学会、
九州経済産業局・福岡県・九州ヘルスケア産業推進協議会

開催主旨：　本大会は、人の生命・生活を維持・向上させるための、生命、リハビリ・生活支援などの研究発表をおこなう学術講演会です。 学術成果を社会還元するため以下の企画を準備しています。いずれも一般公開しており入場無料で事前登録不要です。どうぞおいでください。

特別講演　（入場無料）

日　時：　9 月 8 日(火) 13：00～15：00
会　場：　1 号館 2 階　S201 室
講演１　「Design, Control and Application of Lower Limb Exoskeleton Integrated System」(英語)
Sogang 大学　機械工学科　教授　Doyoung Jeon　先生
講演２　「リハビリテーション訓練支援ロボットの臨床応用－課題と展望」
産業医科大学　医学部　准教授　和田　太　先生
（東京女子医科大学　リハビリテーション科）

シンポジウム

日　時：　9 月 8 日(火) 15：10～17：45
会　場：　1 号館 2 階　S201 室
プログラム：

15:10　開会挨拶：LIFE2015 大会長　榊泰輔
15:15～16:05　基調講演：公益財団法人 医療機器センター　理事長　菊地 眞 氏
「医療機器産業振興を目指した産学官臨の最近の取組み」
16:10～16:40　講　　演：国立研究開発法人 日本医療研究開発機構
産学連携部医療機器研究課長　三代川 洋一郎 氏
「日本医療研究開発機構における医療機器開発及びロボット介護機器開発の取組みについて」
16:45～17:05　医工（産学）連携の事例紹介
九州産業大学ヒューマン・ロボティクス研究センター　榊 泰輔 所長
九州工業大学大学院生命体工学研究科　准教授　和田 親宗　氏
17:05～17:45　先進事例紹介
安川電機（株）技術開発本部 ロボティクスヒューマンアシスト事業推進室
ＨＡ事業推進第２チーム　課長　山中 太 氏
「ヒューマンアシスト装置開発の取り組み～移乗アシスト装置開発の産官連携事例～」
リーフ（株）副社長・経営企画　竹本 良美　氏
「行政との連携を通じた医療・介護機器開発の取組み」
17:45　閉会

市民講座　（入場無料）

日　時：　　9月9日(水) 10：00～15：00
会　場：　　8号館 2階　B室

プログラム：

＜午前の部/ 「食について」＞

10:00　　開会挨拶：LIFE2015 大会長　榊泰輔

10:05～10:55　講演１：「アンチエイジング『ＡＧＥを抑え，老化を防ぐ方法』」
久留米大学医学部　教授　山岸 昌一 氏

11:00～11:50　講演２：「知っていますか？和漢食」
(株)麻生 飯塚病院　栄養部　栄養士　西島 理沙 氏，江上 千恵 氏

11:55　閉会

12:00　休憩

＜午後の部/ 「脳トレ・健康運動」＞

13:00　開会挨拶：LIFE2015 大会長　榊泰輔

13:05～13:55　講演３：「高齢者の意欲が高まる新しいケア」
(株)おとなの学校　エヴァンジェリスト

14:00～14:50　講演４：「にこにこステップ運動&スロージョギング®の効能と実践」
福岡安全センター(株) 健康運動指導士　佐藤紀子 氏
／福岡大学スポーツ科学部 田中教授監修

14:55　閉会

＜LIFE2015　開催の共催学会について＞

【日本生活支援工学会】 高齢者と障害者のための技術開発は、多くの学会で熱心に活動が行なわれているが、学会同士の連携は必ずしも充分ではありません。また、学会と福祉実務者のつながりも充分ではありません。これらの課題を解決して連携活動による成果を高めるための団体です。

【日本機械学会】 技術社会の基幹である機械関連技術に関わる技術者、研究者、学生、法人の会員から構成されています。講演発表会、講習会、研究分科会などの企画実施、市民フォーラムによる社会の啓蒙活動、国際会議による世界への貢献を活発に行い、会員相互の学術の向上と社会への技術成果の還元をしています。

【ライフサポート学会】 福祉工学、生活・生命支援工学分野の研究および情報交換を行うため、昭和60年に設立されました。 年次大会の開催も25回を超え、当該分野におけるフロンティア的役割を果たしてきました。医用・福祉工学の分野において、介護機器、機能補助・ 代行機器、治療機器、検査機器、計測機器などをコンピュータ技術、情報処理技術、 制御技術、微細加工技術などにより、インテリジェント化と機能の高度化を目指します。

＜お問い合わせ＞　LIFE2015 実行委員会　　九州産業大学工学部バイオロボティクス学科内
E-mail: life2015inquiry@ip.kyusan-u.ac.jp
URL: http://www.kyusan-u.ac.jp/J/kougaku/tb/ushimi/life2015/

LIFE2015 報告（日本生活支援工学会誌 Vol.15, No.2 より抜粋）

大会長榊泰輔、実行委員長牛見宣博、PC 委員長和田親宗

本大会 LIFE2015 は、日本生活支援工学会、日本機械学会、ライフサポート学会が協力する、合同の学術講演会として開催されてきた。LIFE は、研究側とユーザ側が交流し分野横断の技術融合を促す場であり、学術・研究機関だけでなく、医療機関・福祉施設、企業にも参加いただき、社会に根付く医工学機器の研究開発を目指している。今回は特に、医用工学・福祉機器の実用化・産業化を産学官一体となった地方創生の一つと位置付けること、また開催地福岡市の位置からアジア市場を見据えた国際化を強く意識することととらえ、これらを促進する機会とした。具体的には特別講演とシンポジウムで議論することとした。

大会二日目には特別講演として二人の先生をお招きした。ソガン大学のドヨン・ジョン先生からは最先端のロボット開発についてお話いただいた。お二人目は東京女子医科大学の和田太先生でロボットの臨床現場への適用事例についてお話いただいた。ドヨン・ジョン先生は、韓国ソガン大学機械工学科教授で、韓国大統領・科学技術アドバイザ等を歴任しておられる。研究領域は外骨格型のリハビリロボット、電磁流体の応用、多数の論文・特許をだしている。ご講演のタイトルは「Design、 Control and Application of Lower Limb Exoskeleton Integrated System」で、これまで先生が開発された各種のリハビリ訓練ロボット、とくに歩行支援ロボットの経緯と技術課題について詳しく説明があった。つづいて講演された東京女子医大学の和田太先生は、産業医科大学を経て東京女子医科大学リハビリテーション科准教授をお勤めで、ご専門は、脊髄損傷、義肢装具、脳卒中、とくに障害生理学、脳賦活、ロボットを応用したリハビリテーション工学である。ご講演のタイトルは「リハビリテーション訓練支援ロボットの臨床応用－課題と展望」で、先生が臨床研究された事例を紐解きながら訓練支援ロボットの課題についてお話があった。このように工学側と医学側の両方から実用化への情熱と今後の展望について語っていただいたことは大きな意義があったと考える。



韓国ソガン大学機械工学科教授　ドヨン・ジョン先生の特別講演

■シンポジウム

二日目後半のシンポジウムでは、医療機器センター理事長の菊地 眞先生から産学官臨の医療機器開発の取り組み、日本医療機器開発機構の三代川 洋一郎先生からは医療機器、ロボット介護機器開発の取り組みについてお話しいただいた。さらに榊大会長と九州工業大学和田親宗先生、（株）安川電機山中 太氏、リーフ（株）竹本 良美氏からは、それぞれリハビリロボットなどの先進事例をご紹介いただいた。200 名ほどの参加を得た。

このシンポジウムは九州経済局、福岡県、九州ヘルスケア産業推進協議会に協力していただき共同で主催した。これはいずれも医療工学・健康機器の実用化・産業化を、学術・研究機関だけでなく、自治体、医療機関・福祉施設、企業にも参加いただき、社会に根付く機器の研究開発を加速したいとの思いからである。これらの企画を通じて、皆様が取り組まれている医療福祉機器開発が、さらに推進されることを期待している。医用工学機器の実用化に向けて熱い思いを官・学・民からそれぞれ披露いただき、聴衆からも高く評価いただいた。ここに改めて共催いただいた各団体に御礼申し上げたい。



医療機器センター理事長　菊地 眞先生のご講演

以上

平成２７年度　出展

・第１８回国際福祉健康産業展ウェルフェア２０１５

・ロボット産業マッチングフェア北九州２０１５

・２０１５国際ロボット展

第１８回国際福祉健康産業展　ウェルフェア２０１５ 出展結果

会期　　平成 27 年 5 月 21 日（木）～23 日（土）

会場　　ポートメッセなごや（名古屋市国際展示場）（愛知県名古屋市港区金城ふ頭）

出展数　　企業・大学・研究機関等１４４ 社

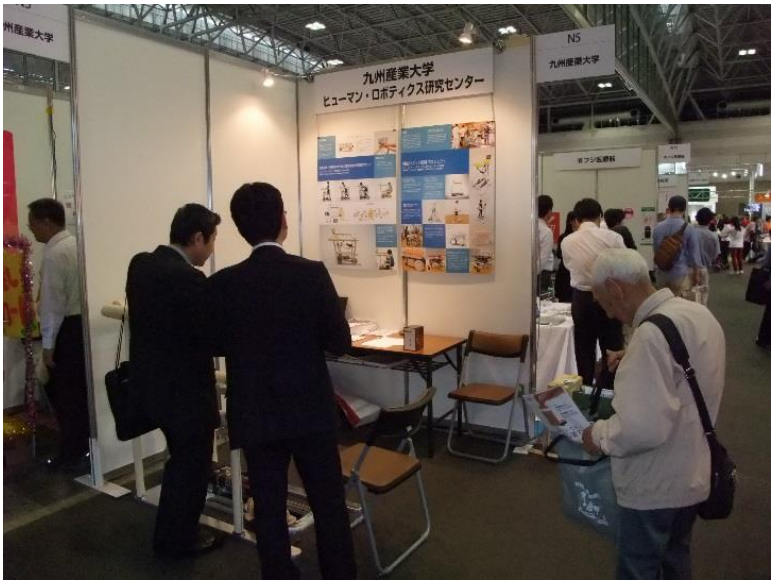
来場者数

日付	会場全体	本学
5/21	23,870 人	31 人
5/22	24,713 人	35 人
5/23	25,796 人	28 人
計	74,379 人	94 人

出展内容　　在宅用歩行訓練ロボット

所見　　本学から、ヒューマン・ロボティクス研究センター（榊泰輔所長）の「在宅用歩行訓練ロボット」について出展しました。

本学ブースへは、医療従事者、一般、学生の方に来場頂き、歩行支援ロボットの仕組みや研究センターの活動内容について闊達に意見交換をさせて頂きました。また、研究センターの活動内容と併せ、主として開発中のロボット３体について講演を行い、参加の方々より、多くの関心を頂きました。





展 示 ブ ー ス の 様 子

西日本製造技術イノベーション 2015
ロボット産業マッチングフェア北九州 2015　出展結果

会期　平成 27 年 6 月 17 日（水）～19 日（金）

会場　西日本総合展示場新館（北九州市小倉北区浅野）

出展数　企業・大学・研究機関等 115 社

来場者数

日付	会場全体	合志研究室	古賀研究室	村田研究室	ﾋｭｰﾏﾝ・ﾛﾎﾞﾃｨｸｽ
6/17	4,641 人	33 人	39 人	5 人	18 人
6/18	5,185 人	25 人	49 人	20 人	17 人
6/19	5,270 人	52 人	45 人	5 人	45 人
計	15,096 人	110 人	133 人	30 人	80 人

出展内容

1. 西日本製造技術イノベーション 2015
   - ・情報科学部・合志和晃教授「足型計測器」
   - ・総合機器センター・古賀啓子・佐野洋一助教「粉体用プラズマ処理装置」
   - ・工学部・村田光昭講師「工具寿命検出法」
2. ロボット産業マッチングフェア北九州 2015
   - ・ヒューマン・ロボティクス研究センター　工学部・牛見宣博教授「起立支援ロボット」

所見　製造業の方が多く来場され、装置の構造などについて熱心に質問・ご意見を頂くことが出来ました。また、見学で展示会を訪れた学生の方からも、足型測定など実演に興味を持って頂きました。



展示ブースの様子（合志研究室）



展示ブースの様子（古賀・佐野研究室）



ブースの様子（ヒューマン・ロボティクス研究センター）

２０１５国際ロボット展への出展について　出展結果

会期　　平成 27 年 12 月 2 日（水）～5 日（土）

会場　　東京ビッグサイト（東京国際展示場）東ホール

出展数　　企業・団体：446 社、1,882 小間

来場者数

日付	会場全体	本学
12/2	26,283 人	16 人
12/3	32,062 人	18 人
12/4	39,634 人	17 人
12/5	23,443 人	43 人
計	121,422 人	94 人

出展内容　　工学部・牛見宣博　教授「起立支援ロボット Standing Master01」

所見　　国内外のロボット関連企業、大学等よりご来訪いただきました。リハビリ用ロボットとしての効果やビジネス展開について、意見交換をさせて頂きました。頂いたご意見やご提案は、今後の装置開発に活かしてまいりたいと思います。





当ブース（牛見教授）

平成２７年度　教育活動

・病院で困っていることの解決策を一緒に考える

・テクノアートプロジェクト

・希望のあかりプロジェクト５

平成２７年度教育活動について

本学の学際的な教育活動である「KSU プロジェクト型教育」に当センターの研究メンバーが参加し、各プロジェクトが進行しています。当センターでは、この教育活動を若手技術者の人材育成と位置づけています。

これらプロジェクトの総括として、毎年「九州産業大学 プロデュース展」が開催されています。(24 頁)

「病院で困っていることの解決策を一緒に考える」

平成２６年からスタートしたプロジェクトです。地域の病院である香椎原病院リハビリテーション部との共同企画で、リハビリの現場や病室など今実際に困っていることについて、半期に一度程度、病院側とミーティングを行い、アドバイスを受けながら解決策を考えています。

ヒューマン・ロボティクス研究センター研究メンバーが所属する芸術学部×工学部×経営学部×情報科学部および、香椎原病院による教育活動です。

「テクノアートプロジェクト」

ロボット・メカトロ技術を応用し、新しい生活スタイルを提案する照明器具を目指して開発を行うプロジェクトです。センサ・マイコン・LED・モータ・ソフトウェア等のロボット技術をうまく組み合わせ、デザイン学科が構想したおもしろ雑貨の機能部分を試作し、最終的には「九州産業大学 プロデュース展」において展示を行っています。(25 頁)

ヒューマン・ロボティクス研究センター研究メンバーが所属する工学部×情報科学部×芸術学部のコラボレートによる教育活動です。

「希望のあかりプロジェクト５」

東日本大震災で大きな被害を受けた陸前高田市の子どもやお年寄りに、青森県の重要無形文化財「ねぶた」を福岡で製作して、現地に持ち込み「希望のあかり」を届けるプロジェクトです。平成 23 年から毎年継続して、仮設住宅で夏祭りのお手伝い、冬は幼稚園と介護施設を訪問しました。「九産大は震災、そして現地の人々を忘れない」という思いを胸に、毎年準備を進めています。

ヒューマン・ロボティクス研究センター研究メンバーが所属する芸術学部×工学部×経営学部および、ねぶた人形師とのコラボレートによる教育活動です。

「九産大プロデュース展」

平成２７年度は、２月 18 日（木）から３月６日（日）に、福岡市中央区天神のイムズプラザにて開催しました。

この展示会は、芸術学部・工学部の学生約 100 人が、地域産業振興のため、約 40 の企業や自治体、研究機関などと連携して取り組んださまざまなプロジェクト成果を紹介するもので、平成 21 年から毎年開催しています。

会場では、大川家具、博多織、博多人形、宗像の特産品を使った新商品、介護ロボットや３輪バギーなど 120 点を展示するとともに、プロジェクションマッピングを駆使したプロモーション作品を上映しました。なお、展示商品の一部は地下１階の特設売場「KSU ショップ」で販売し、土・日には小学生を対象にワークショップを行っています。





「2015 テクノアートプロジェクト」

平成 27 年度は、２月 18 日（木）～３月６日（日）に、天神イムズのイムズプラザで開催される「九産大プロデュース展」において、「2015 テクノアートプロジェクト」の成果作品を展示しました。

平成 22 年に始まったこのプロジェクトは、理工系学部と芸術学部の学生が共同でテクノロジー（技術）とアート（芸術）が融合した新しい生活雑貨を企画し試作品として作り上げる、本学ならではの実践的な取り組みです。

今年のテーマは「テクノロジーを駆使したおもちゃ」。学内審査で最優秀賞と優秀賞に選ばれた作品を中心に、６作品を展示しました。

最優秀賞の、音に反応して動き、お話をしたり、お絵描きをする擬似ペットロボット「リトルモンスター」をはじめ、手を叩いた音でスマートフォンの画面に動物やアイテムが現れるアプリ「たんとん」や、さまざまな色のライトを内蔵した「光の万華鏡」など、学生のユニークで多彩なハイテクおもちゃを体験できます。



平成 28 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
起立訓練支援ロボット

起立訓練補助器具の開発

Development of a Standing Motion Training Aid

○九州産業大学工学部　牛見 宣博
九州産業大学工学部　林 克憲、久我 聡

キーワード：リハビリテーション、起立訓練、補助器具、試作

1.　はじめに

起立訓練は、病院などにおいて下肢筋力の強化へ非常に有効なリハビリテーションとして実施されている。特に、個別の筋の障害ではなく、下肢筋力の低下による全ての疾患に対して、起立運動のみでも下肢筋力の強化が期待できる。また、筋力の強化だけではなく、座位から立位への体位変換による立位の獲得は、その後の日常の生活活動（Activities of Daily Living : ADL）、健康の維持・管理にも影響する重要な動作の 1 つである [1)]。

この起立訓練は、従来、セラピストによって行われているが、起立動作自体が下肢筋力の不足のために実施できない患者の方々がいる。その場合、臥位や座位でしか筋力トレーニングが出来ないため、単関節の運動となり、作用する筋が少なくなる。その部分を補う訓練器具として、様々な起立訓練ロボットに関する研究が実施されているが、安全で継続して使える機器は限られている。一方で、高齢者や回復傾向にある患者の方が、この起立訓練を一般家庭において実施するためには、安価で簡易的に利用可能な補助器具の開発が望まれている。

本報告では、一般家庭でのリハビリテーションを必要とする高齢者や患者の方々を主な対象に、モータなどの電動アクチュエータを使用しないコードレスで、単純な運動機構によって起立動作の訓練を繰り返し行うことを可能にする起立訓練補助器具を開発する。特に、体幹の前方への重心位置の移動に伴う起立動作を訓練することが可能な補助器具の機構を提案し、その試作を行う。健常者により試作した補助器具による基礎実験を実施し、その有効性を検証する。

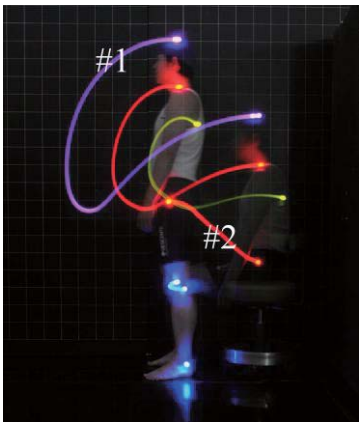


図 1　起立動作における身体各部位の動き

2.　起立訓練補助器具の機構設計と試作

起立訓練補助器具の機構を検討し、その補助器具によって起立訓練で必要とするアシスト力を生成させるため、被験者による起立動作の測定実験を行い、結果に基づき補助器具の設計を行う。ここで被験者は身体に障害の無い健常者である。この起立動作の測定実験では、身体各部位の位置関係と起立動作における軌道を測定するために、被験者に計測用マーカーを取り付け、起立動作における身体各部位の軌道を測定した。実験結果を図 1 に示す [2)]。図 1(#1)は頭部の軌道を、また、図 1(#2)は臀部の軌道を示している。実験結果より、体幹の前方への重心移動によって起立動作が行われていることがわかる。ここで、起立動作に関与する、大腿四頭筋、大臀筋、背筋など、大きな筋群を用いた起立動作は、下肢筋力の増強に適している [3)]。

従って、開発する起立訓練補助器具では、下肢筋力だけではなく、重心移動による協調性のとれた筋の活動を考慮し、体幹の前方への重心移動が補助器



図 2　起立訓練補助器具の装着

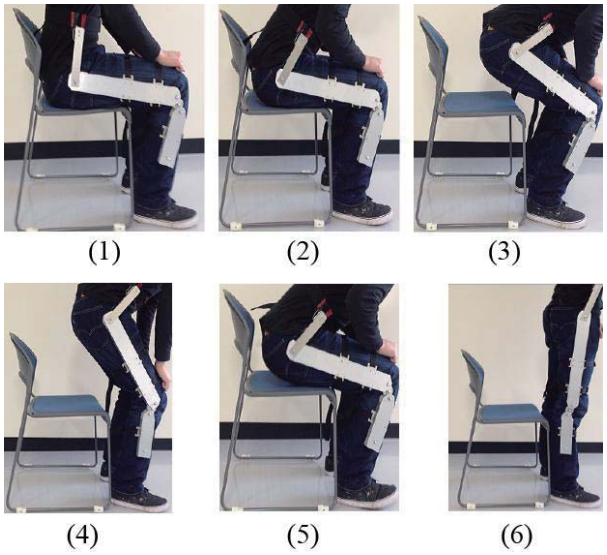


図 3　起立訓練補助器具による動作実験

具を動作させるスイッチとなるように機構設計を行う。近年、アシスト技術においては、より自然に身体への負担や疲労の軽減を目指した「軽労化」技術が注目されている。この軽労化は、自動化や増力化ではなく、不足している身体機能を補うことを目的とした技術である。本報告では、この軽労化技術に注目し、モータなどの電動アクチュエータを使用しないコードレスを実現するために、ゴムの伸縮を利用した起立訓練補助器具を提案する。

試作した起立訓練補助器具の外観を図 2 に示す。補助器具は、腰、大腿部、及び、下腿部を側面から保持する構造となっている。補助器具内部で膝関節の回転部分にはプーリーが内蔵され、腰から下腿部に掛けてこのプーリーを介してゴムバンドが装着されている。このゴムバンドの交換により、アシスト力の調整が可能な機構となっている。なお、膝関節は 2 軸で回転する。補助器具は、図 2(#1)のように体幹の前方への重心移動により、器具内部のゴムが図 2(#2)の方向に伸展する。下肢の大腿直筋の動きを模倣し、図 2(#3)の矢印の方向に膝関節を押し込むアシスト力を生成することで起立訓練を補助する。

3.　起立動作の実験

起立訓練補助器具の動作確認、及び、利用時における問題点を検討するために、身体に障害の無い健常者によって起立動作の基礎実験を行った。実験結果の一例を図 3 に示す。

体幹の前方への重心移動による起立のきっかけを与えることで、図 3 に示されるように、起立訓練補助器具が起立動作を補助し、訓練を繰り返し実施できることを確認した。また、被験者 10 名に対してアンケートを実施することで、装置の問題点などを考察した。

被験者へのアンケート結果より、ゴムの断面積を変えることで、アシスト力が変わることが体感できるとの結果が得られた。しかしながら、構造的に関節間の長さが調整できないため、下肢への装着に対して課題が残った。また、起立動作を繰り返すことによって器具の固定にずれが生じる問題点が発生した。

4.　おわりに

本報告では、起立訓練補助器具を提案し、その補助器具を試作することで、起立動作の基礎実験を行った。今後はリハビリテーション機能を向上させるために、取り付けやすさ、調整のしやすさを考え、現場での実用化を目指す予定である。

1)岩崎洋(編):脊髄損傷理学療法マニュアル、2 版、222-224、文光堂、2014
2)牛見宣博・他:起立訓練ロボットの開発、第 30 回リハ工学カンファレンス論文集、141-142、2015
3)川平和美:片麻痺回復のための運動療法、第 2 版、医学書院、2010

平成 28 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
立位保持訓練ロボット

せき損患者用立位保持訓練ロボット（第 10 報：NIRS による脳賦活の調査 2）

Rehabilitation robot of primary walking pattern training for SCI patient Investigation of the brain activation using NIRS No.2

○学　松崎　俊樹（九産大）　正　榊　泰輔（九産大）
非　能田　由紀子（ATR）　非　一ノ瀬　裕（九産大）
非　中山　翔太（九産大）　学　阿部　大樹（九産大）

Toshiki MATSUZAKI, Kyusyu Sangyo University, Matsukadai 2-3-1 Higashi-ku Fukuoka
Taisuke SAKAKI, Kyusyu Sangyo University
Yukiko NOTA, ATR-promotions.Inc
Yutaka ICHINOSE, Kyusyu Sangyo University
Shouta NAKAYAMA, Kyusyu Sangyo University
Hiroki ABE, Kyusyu Sangyo University

Key Words: Rehabilitation, Training, NIRS

1. 緒言

本研究では，脊髄損傷者の下肢のリハビリにロボットを活用した場合の脳賦活を調べる．トレッドミルと，開発中の立位保持訓練ロボットを用いる歩行様運動の 2 種を，(株)島津製作所の LABNIRS を用い脳内ヘモグロビン量を測定する．ロボットによる運動時に脳がどの程度賦活するか検証する．

2. 立位保持訓練ロボット

立位保持訓練ロボットは，脊髄を損傷した患者のうち下肢の回復が見込まれる患者のリハビリに使用する．ロボットのステップ台両側のつま先と踵の圧力センサ 4 個を使用し，センサの入力値に応じ左右の重心移動と遊脚を判定する．ステップ台を前後往復動作させることにより，歩行状態の足の動きを再現する．難易度は，初心者，初級，中級，上級の 4 種がある．今回の実験では，初心者を使用する．判定条件は，「後方の足の踵を浮かせる」である．その他，圧力センサの値に応じて操作パネルの LED が点滅し，ステップ台を踏んでいる状態か否か目視できる機能，センサの入力値に応じ訓練の評価を行う機能を搭載している．

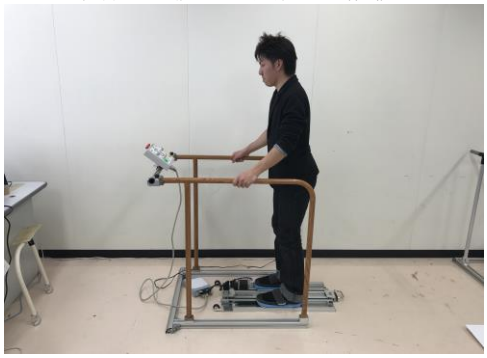


Fig.1 Rehabilitation robot of primary walking pattern training for SCI patient

今年度は，昨年度の実験で問題点となったステップ台が前後に 30 度傾くことによる遊脚の困難をなくすため，ステップ台は傾かないように変更した．

3. NIRS 装置

NIRS（Near-infrared spectro-scopy）装置は，頭部に装着したプローブ（光ファイバー）から発せられる近赤外線光を用い，脳内のヘモグロビン変化量を測定する．近赤外線の波長は 780nm，805nm，830nm の 3 種を用いる．NIRS は変化する脳機能を高い時間分解能でリアルタイムに捉えることが可能である． fMRI や PET と比較すると装置がコンパクトで移動しやすいため測定場所の制限がない．また測定時の被験者の拘束が少ないため，脳機能研究に適している．

4. 実験

4.1 実験方法　実験は健常者の 20 代男性 1 名で行い，運動野を測定する．NIRS 装置のプローブをチャンネル配置図（Fig.2 左）に従いホルダ（Fig.2 右）に取り付け，被験者の頭に被せる．トレッドミル（Fig.3 左）と，ロボット（Fig.3 右）において脳内ヘモグロビンの変化量を測定する．タイムプロトコルを静止 30 秒間，運動を 30 秒間，静止 30 秒間とし 4 回繰り返す．プローブは送光・受光各 16 組，測定チャンネル数は 52 と設定する．測定結果は， 1 セット目の運動開始時から 1 秒間と，4 セット目の運動開始から 1 秒間の 2 区間を範囲選択しベースライン補正を施し加算平均を行う．

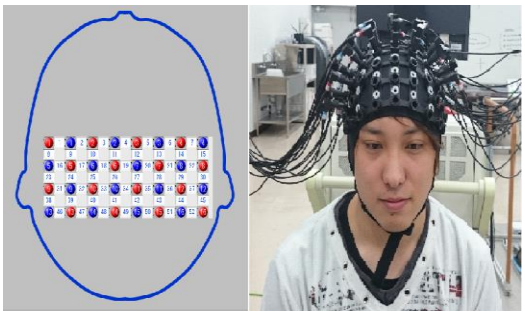


Fig.2 Image of probe arrangement(L) and Holder(R)

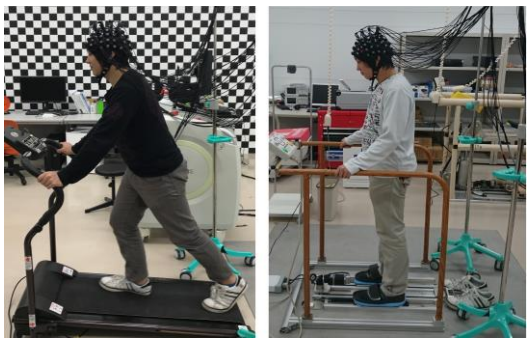


Fig.3 With tredmill(L) and with Rehabilitation robot(R)

4.2 トレッドミルによる運動時の脳の賦活状態　時速 2km と設定し，すり足にならないように足を上げて歩行を行うよう被験者へ指示した．　Fig.2(左)の 17ch の測定データを示す（fig.4）．ヘモグロビン変化量のグラフは，赤線で示している線が「Oxy ヘモグロビン」の変化量である．Fig.5 に示す脳の MRI 画像は，測定箇所全体の測定データである．

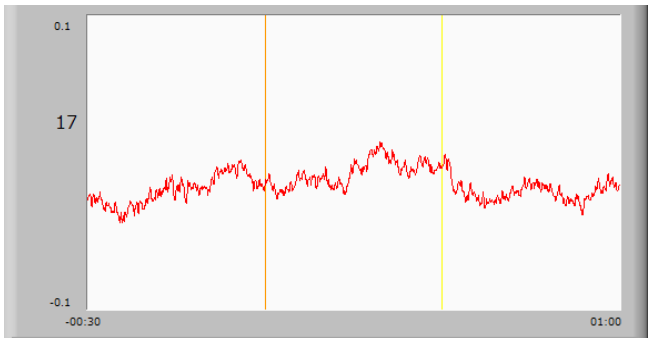


Fig.4 The concentration change of hemoglobin at ch17 during training with tredmill.

Fig.5 に示す測定結果の脳 MRI 画像は，全ての測定チャンネルのヘモグロビン量を測定開始時（-30s）に 0 とし，その後の変化量を±0.050 の範囲で運動開始時（0s），運動終了時（30s），休息の中間（60s）の 3 点で示す．

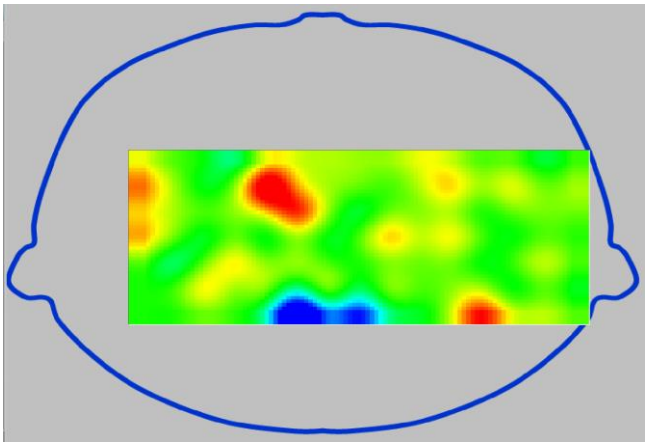


Fig.5 The concentration change of total hemoglobin of all probes during training with tredmill.

0s の運動開始時より，Oxy ヘモグロビンの量が徐々に増加していることが確認できる．この時，脚の運動野付近が活発に活動し酸素供給量が多くなることで Oxy ヘモグロビンの値が上昇したと考えられる．運動を進めていくにつれ値が大きくなり，上昇のピークは 15-20s であった．30s にて運動が終了し休息に入る．Oxy ヘモグロビンは徐々に減少する．60s 頃に値が安定し 0s まで安定した状態となる．

4.3 ロボットによる運動時の脳の賦活状態　踵を上げることを意識し運動を行うように被験者へ指示した．Oxy ヘモグロビン変化量を Fig.6，脳 MRI 画像を Fig.7 に示す．

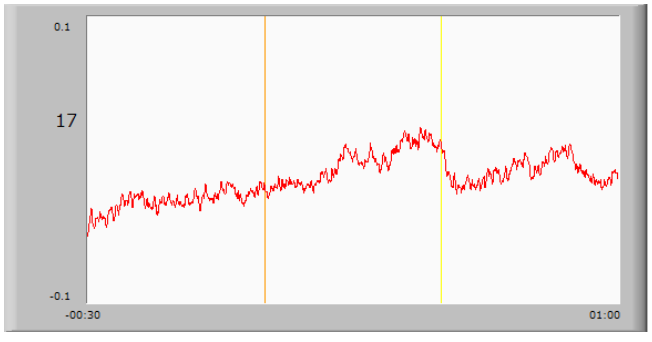


Fig.6 The concentration change of hemoglobin at ch17 during training with rehabilitation robot.

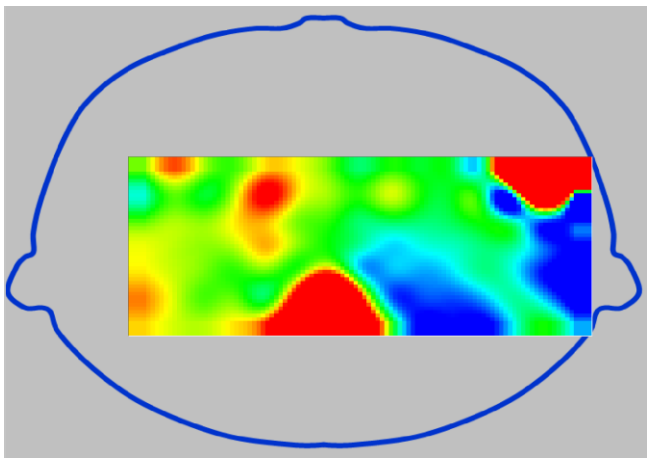


Fig.7 The concentration change of total hemoglobin of all probes during training with rehabilitation robot.

0s の運動開始 10 秒後から，Oxy ヘモグロビンの量が増加している．運動を進めていくにつれ値の変化を比較すると，変化の開始が遅れたが，変化量は大きかった．開始が遅れた原因としては，立位ロボットの開始後に予備動作を行った後に本動作に入るからだと考えられる．30s にて運動が終了し休息に入る．休息時も Oxy ヘモグロビンの量の変化が大きかった．以上の結果より，トレッドミルを用いた運動と比較すると，Oxy ヘモグロビンの変化が大きいことが読み取れる．

5. 考察

トレッドミルと立位ロボットでの運動中の脳活動を計測し，前年度の実験に比べて立位ロボットでの訓練がトレッドミルでの訓練よりも Oxy ヘモグロビンの変化量が大きいことが分かった．これは立位ロボットの改良と被験者に出した指示が大きく関わっているのではないかと考えられる．

今年度の実験で考えられる課題を来年度の目標に記す．

6. 来年度の目標

ロボットの開始後すぐに動作をしないため，Fig.6 ではグラフの Oxy ヘモグロビンの変化が遅れた．来年度は開始後すぐに動くように改良し，実験を行いたい．

今年度の実験では被験者を複数人での実験を行うことができなかった．そのため，Oxy ヘモグロビンの変化量が立位ロボットとトレッドミルではどのくらい差が出るのか平均化することができなかった．来年度は被験者を増やすことで個人差がどのくらい出るのかの検証を行いたい．

7. インフォームドコンセント

本実験を行うにあたり被験者に説明を行い，NIRS 装置での測定により心身に負担を掛けないことを最優先とし同意を頂き実験を行った．ロボットのステップ台の動作時の安全性に関して，異常時に即座に緊急停止ボタンを操作可能な位置に操作者を配置し実験を行った．

8. 謝辞

本実験を行うためにご協力頂きました．九州産業大学産学連携室，(株)島津製作所をはじめ，関係者皆様へ感謝の意を表します．

参考文献

(1)　中澤公孝　歩行のニューロリハビリテーション　杏林書院
(2)　吉峰俊樹　他　BMI の現状と展望　医歯薬出版株式会社
(3)　酒谷薫　他　NIRS－基礎と臨床　新興医学出版社
(4)　徳島徹弥　他　日本機械学会九州学生会　第 47 回卒業研究発表講演会，No.168-2, (2016)

せき損患者用立位保持訓練ロボット　(第９報：臨床用プロトタイプの改良)

Rehabilitation Robot in Primary Walking Pattern Training for SCI Patient

学　○阿部　大樹（九産大）正　榊　泰輔（九産大）非　青木　幹太（九産大）
非　藤家　馨（せき損センター）　非　片本　隆二（せき損センター）
非　須堯　敦史（せき損センター）非　木原　由光（ロボフューチャー）
学　松崎　俊樹　（九産大）　　非　中山　翔太（九産大）
非　田代　雄大（九産大）

Hiroki ABE, Kyushu Sangyo University, 3-1 Matsukadai 2-chome, Higashi-ku, Fukuoka
Taisuke SAKAKI, Kyushu Sangyo University
Kanta AOKI, Kyushu Sangyo University
Kaoru FUJIIE, Spinal, Injuries Center
Ryuji KATAMOTO, Spinal Injuries Center
Atsushi SUGYO, Spinal Injuries Center
Yoshimitsu KIHARA, Robo Future Co
Toshiki MATSUZAKI, Kyushu Sangyo University
Syota NAKAYAMA, Kyushu Sangyo University.
Yudai TASHIRO, Kyushu Sangyo University.

Key words :　Robot, Rehabilitation, Medical welfare, Walking

１．緒言

本報告は，今年度に改良した在宅用立位保持訓練ロボットの機構，また訓練評価機能の開発状況について報告する．

脊髄損傷(Spinal Cord Injury)とはおもに脊柱に強い外力が加えられることで脊髄に損傷を受ける病態である．近年，非骨傷性頚髄損傷と呼ばれる障害が増加している．これは転倒や転落が主要因による障害で高齢者に多発している．現在の脊髄損傷患者の数は国内で 10 万人程度である．2006 年に福岡県下の 2，3 次救急指定病院を対象に行われた調査によると，155 人の新規脊髄損傷損患者が発生し，患者発生頻度の予測が，100 万人につき 33.77 人となった．また，155 人の内 139 名が頚髄損傷者である．このうち 90 名が非骨傷性頚髄損傷で，さらに半数以上が中心性頚髄損傷と言われる障害である．中心性頚髄損傷者における麻痺は下肢に比べて上肢で強く，一方下肢はリハビリテーションにより独歩が可能になる可能性がある．

独歩に至るまでには，座位保持・起立・起立保持・歩行の各訓練を繰り返し行う必要がある．入院治療期間内だけでリハビリ訓練は完結せず，場合によっては 3 年もの長期の訓練が必要となり，退院後の通院リハビリや在宅リハビリが必要となる．しかし、通院では療法士の指導を受ける時間は限られ，在宅では専門的リハビリ訓練は制限される．

そこで，ロボットが療法士を代行することで負担を軽減し，ロボットによる在宅での繰り返し訓練を行うことで，在宅リハビリの効率化を図り，患者の独歩への可能性を高めることが本研究の目的である．

２．本研究の目標

本研究では，在宅用立位保持訓練装置(以後 YS2 と呼称)を開発する．YS2 は以前開発した歩行訓練装置(YS1)を元に機構をさらに小型軽量化し，低価格な訓練装置とする．

今年度の目標は，メカでは，在宅用のフレームの変更，ステップ台の改良，クールマッスルによる速度調整，ソフトでは，評価機能プログラムの改善．

３．装置概要.

①メカ　YS2（図 1）は本体，フレーム，転倒防止装置の計 3 つのパーツで構成されている．本体は輪状のチェーンを内蔵し，チェーンに連結されたステップ台はモーターの正転，逆転により前後にスライドする．

②ソフト　圧センサーの数値によってマイコンが患者の重心移動と遊脚を判断しモーターへ信号を送り，モーターが正転，逆転，停止する．モーターの動作条件はコースによって異なり，かかと上げ時に計測する圧のパターンに応じて難易度を 4 つに設定する．患者の左右重心移動に合わせて左右のステップが前後にスライドし歩行様運動を実現する．YS2 には訓練評価機能があり，評価基準は患者がステップ台を前後させた回数で訓練の到達度を評価する．

４．昨年度の課題

① **メカ**　外部フレームの強度と安全性を保ったまま軽量化させたが，一度訓練した際，安定せずに体制を崩してしまいそうになった．また，速度も遅くバランスも崩しやすかった．在宅用と病院用の両方にはサドルが付いていたが，車いすで進入する際にどうしても装置にあたり、サドルへの移動が困難になっていた．

② **ソフト**　動作プログラムの初心者，初級，中級，上級の 4 コースで,使用者にと求められる足の運び方がわかりにくいという問題があった．

５．今年度の改良点

前章にて記載した問題に基づき今年度実施した改良について説明する．

① **メカの改良点**　在宅用のフレームの変更，ステップ台の改良を行った．在宅用では主に軽量化と耐久性を重視し，形を大きく変更し，真ん中のサドルを外して車いすがステップ台まで進入しやすいようにした．（図 2）ステップ台は，メンテナンスがしやすいように着目し，ステップ台に圧センサーを配置した．（図 3）速度は，以前の 2 ㎞/h に再調整した．

② **ソフトの改良点**　速度は，以前の 2 ㎞/h に再調整した．評価機能プログラムは，使用者に求める圧のパターンがわかりやすいように圧のパターン自体も工夫した．

６．今後の課題

今後の課題として，せき損センターにて行ったデモからの問題を参考にし，改良と実験を続ける．更に，圧センサーの耐久性をしらべる．

７．謝辞

本論文をまとめるにあたり，カバー及びステップ台にのせる靴の製作にご協力いただきました有薗製作所の松岡様と職員の方々，そして，カバーの製作に全精力を注いでくださった芸術学部の皆様に心からの感謝の意を表します．

参考文献

⑴ 片本隆二ほか：“起立運動装置の評価実験（その 2） 研究報告書”，身体障害者のための生活環境系の設計研究 ，pp.9-16, 2009

⑵ 片本隆二ほか：“立位移動運動装置の設計研究”， 2009 年 研究報告書 身体障害者のための生活環境系の設計研究 ，pp.17-28，2009

⑶ 坂井宏旭ほか：福岡県脊髄損傷ネットワーク構想，～福岡県における脊髄損傷患者の統括的データベースの構築を中心に～，第 45 回日本リハビリテーション医学会学術集会 S377 3-4-1

⑷ Taisuke Sakaki：Rehabilitation Robot in Primary Walking Pattern Training for SCI Patient for Home-use Based on the Experiments of Hospital-use Type，BIT's 6th Annual World Congress of Neurotalk-2015, Abstract Book，p.131

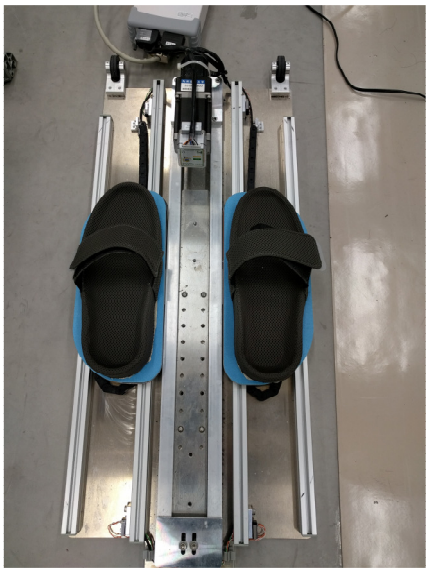


Fig.1 Rehabilitation Robot in Primary Walking Pattern Training for SCI Patient of YS2

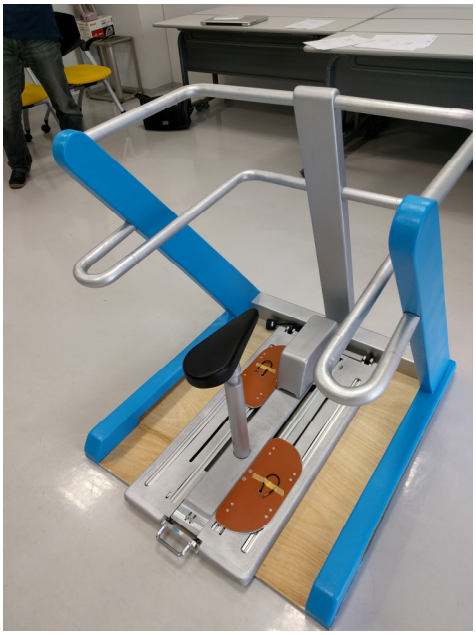


Fig.2 Improved Outer frame



Fig.3 Step board on which the pressure sensor is affixed

Rehabilitation Robot in Primary Walking Pattern Training for SCI Patient at Home

Taisuke Sakaki, Toshihiko Shimokawa, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta, Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, Atsushi Sugyo

***Abstract*— Attention has recently been focused on incomplete spinal cord injuries (SCI) caused by pressure on portions of the white matter conduction pathway, such as the pyramidal tract. In this paper, we focus on a training robot designed to assist with primary walking-pattern training, helping patients relearn the basic functions of the usual walking pattern. The mechanism of the robot was modified to be simple and lightweight with the expectation of home use.**

I. Introduction

The rehabilitation process for SCI comprises several steps, including: 1) basic training for extending the range of motion of joints and muscle strengthening; 2) training to maintain a seated posture; 3) training in standing up and sitting down; 4) training to relearn the primary walking pattern; and 5) training in practical walking.

II. Training Robot for Primary Walking Pattern

The target patient for this training robot is one who is relearning the basic functions of the ordinary walking pattern, especially those who have suffered an incomplete-type injury to the central spine and are capable of standing by themselves, but not of performing walking motions.

We have proposed a training machine that assists patients in relearning the walking pattern and executing preliminary dynamic walking [1]. The robot provides three kinds of assistive motions with a sliding mechanism, according to the recovery level of the patient's lower extremities: passive reciprocal motions of the feet with poor muscle power of the lower extremities and assistive motions in lifting motions of the foot when the robot senses a foot pressure change during the swing phase at the edge of the sliding motion. (Fig.1)

III. Preliminary Experiments of Training Robot for Home Use

Six senior subjects in their early sixties participated in the experiments. It is the pre-test to verify the exercise strength which is suitable to the elderly or patient and the stability of standing position which is important for walking with preventing falling before the test with SCI patients. Five were male and one was female. The average age was 62.2 ± 0.8 years (range: 61 – 63). Average body weight was 69.4 ± 10.8 kg. The subjects were taken through the informed consent, and given guidance on how to use the training machine.

Exercise strength 10 min after training was 1.7 ± 0.7 times of that of resting. The subject with the highest pulse peak value during exercise reached a measure of 113/min. The average pulse peak of the six subjects was 96.0 ± 13.4 /min. The subject with the highest change in systolic blood pressure had a measurement of 39.0 mmHg/min. Total length of body weight tracking under the standing condition with open eyes and both legs measured by TKK5810 was increased 0.8 times compared to before training, as shown in Fig. 2.



Fig.1 The robot that assists patients in relearning the walking pattern and executing preliminary dynamic walking.

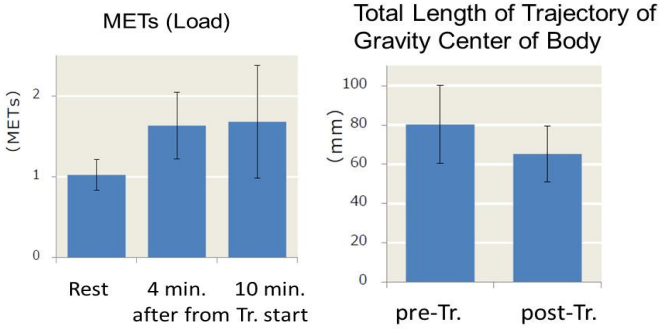


Fig. 2 Exercise strength 10 min after training by VO2000 (left). Total length of body weight tracking under the standing condition with open eyes and both legs by TKK581 (right).

*A part of this research is supported by Human Robotics Research Center of Kyushu Sangyo University and JST as Kakenhi 15K01490, Japan.

Taisuke Sakaki, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta, and Kanta Aoki are with Kyushu Sangyo University, Fukuoka, Japan (Tel: +81-92-673-5461; e-mail: sakaki@ip.kyusan-u.ac.jp).

Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, and Atsushi Sugyo are with Spinal Injuries Center, Iizuka, 820-8508 Japan (e-mail: fujiie@sekisonh.rofuku.go.jp).

References

[1] Taisuke Sakaki, Nobuhiro Ushimi, Koji Murakami, Yong-Kwun Lee, Kazuhiro Tsuruta, Kanta Aoki, Kaoru Fujiie, Ryuji Katamoto, Atsushi Sugyo, Yoshimitsu Kihara and Kenji Tateishi, "Rehabilitation robot in primary walking pattern training for SCI patient," in Proc. of ICNR 2014, 2014, USB memory.

ICNR 2016 | International Conference on Neurorehabilitation | Segovia, Spain 18-21 October

Rehabilitation Robot in Primary Walking Pattern Training for SCI Patient at Home

T. Sakaki, N. Ushimi, K. Murakami, Y. Lee, K. Fujiie, R. Katamoto, A. Sugyo
K. Tsuruta,K. Aoki
Kyushu Sangyo Univ.
Spinal Injuries Center

KSU 九州産業大学
KSU Human Robotics Research Center

Background for Walking Training Robots

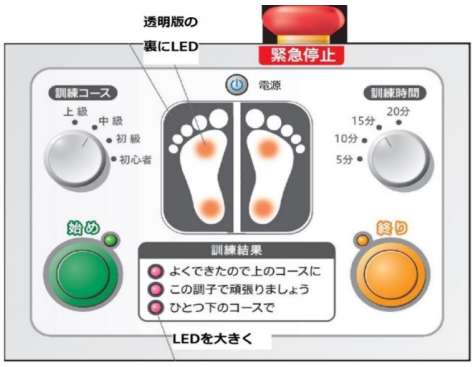
- Incomplete SCI
  - ・In Japan,1.76 million physically disabled, including 54,000 with SCI
  - ・5000 people suffer every year traffic accidents, falling, and sports accidents
  - ・60% = no-bony type cervical cord injury
    central spine with pressure on parts of white matter
  - ・Muscle power of L. Ex. will build gradually
    for standing up and walking



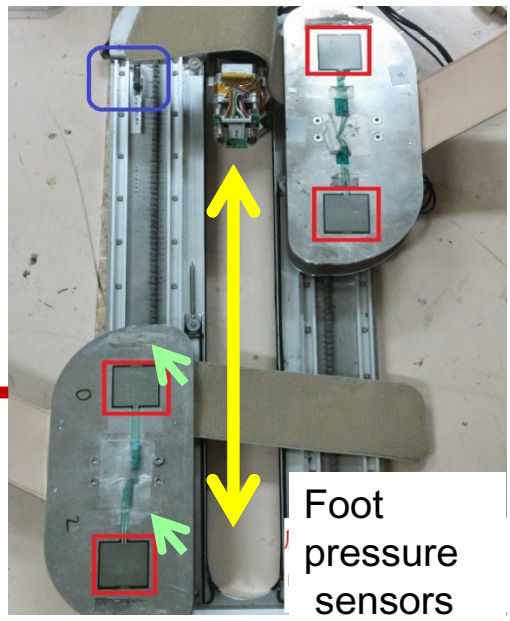
- Needs for training robot
  - ・3 yr. long training at home or outpatient
    repetitive & long training = Therapist's heavy load
  - ・Risk of losing walking function again
    because of risk of falling at home

- Target : no-bony incomplete type SCI patients who can stand but cannot walk

Simple Mechanism and User Interface for Home use







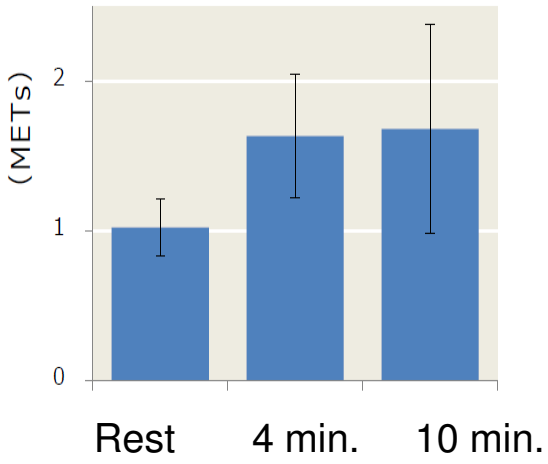
- Provides reciprocal sliding motion forward & backward of foot steps
- Assists motion by sensing transfer of foot pressure
- Evaluates recovery level of leg motion after training

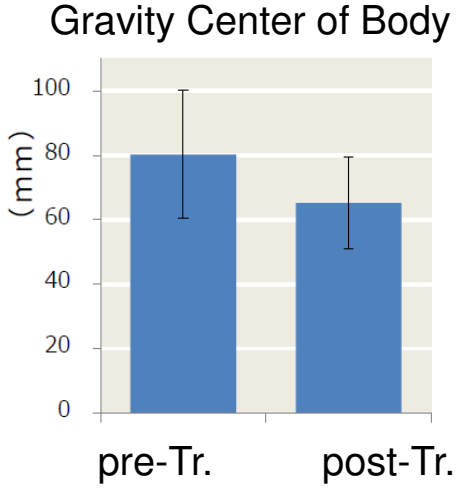
BWSTT(Body Weight Supported Treadmill Training) machines and presented training robot

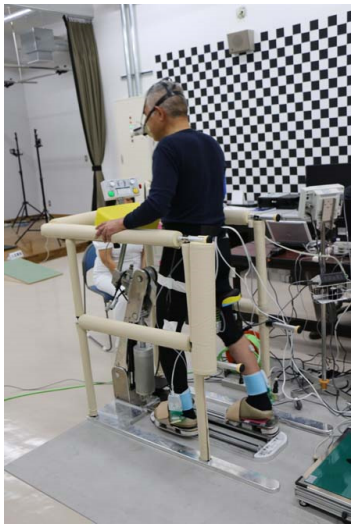
	Advantages	Disadvantages
BWSTT 	• Supported without risk of falling • Passive motion evokes CPG • Precise walking pattern • Wide range of target patients (FIM1 -)	• Peripheral nerve stimulation ↓ • Active-assistive motion ↓ • Trunk muscles coordinating lower extremities ↓ • Large, heavy, complex, expensive, long time to prepare
Training Robot 	• Peripheral nerve stimulation ↑ (100% body weight) • Active-assistive with sensor information feedback • Body weight transfer and swing phase motion coordinated with trunk muscle • Small, light, simple, low cost, short time to prepare	• Risk of falling, prevented by option  • Narrow range of target patients, standing by oneself (FIM4-) • Imprecise walking pattern

Experiment 1: Load of Robot Training

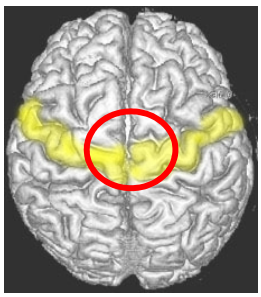
- 6 NL 5M,1F 62.2 ± 0.8 yrs. 69.4 ± 10.8 kg
- 5min. Rest -- 10min. Training
- Oxygen intake, heart rate, blood pressure, trajectory of GCB
- Metabolic equivalents = 1.7±0.7 METs
  1.5 * METs ≒ load of office work in sitting

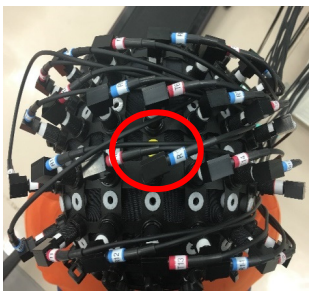




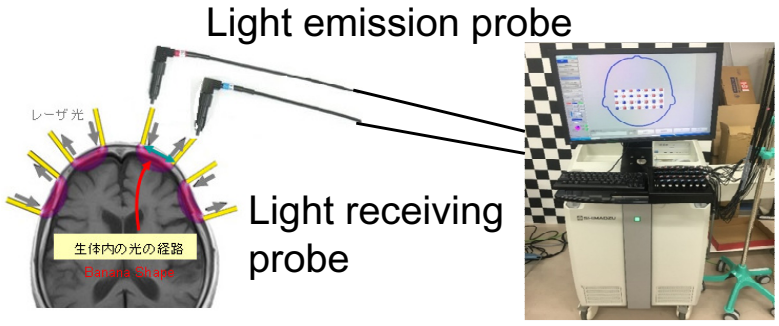


Experiment 2: Brain Activation during Robot Training





Motor area of locomotion



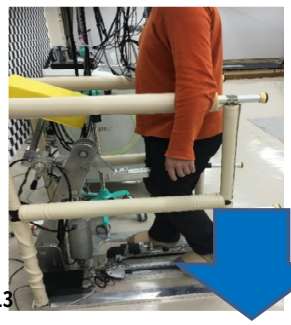
Near-infrared Spectroscopy detects hemoglobin w/wo O_2 (Shimazu Co.)

- 1NL (M) 22 yrs.
- rest 30sec. - motion 30sec. - rest 30sec. 10 sets



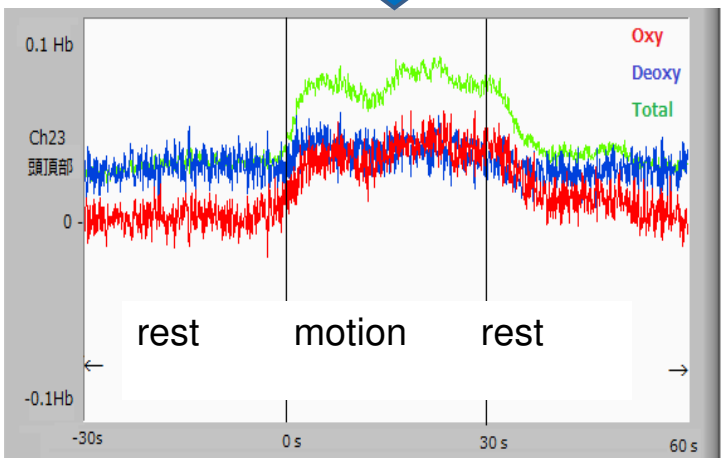
Treadmill

- 2km / h
- Quasi-walking

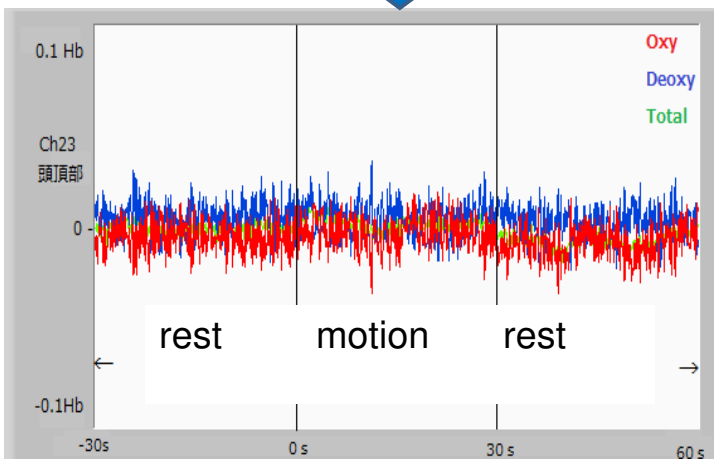


Robot Training

- Slide motion conditions;
  Heel up at edge of sliding
  (almost passive)



NN activated in Treadmill (Quasi-walking)



Not activated in Robot Training (almost passive)

- NN activated by active walking with body weight transfer and swing phase motion. (now under experiments)
- Also, information feedbacks may …
- NN activation & peripheral stimulation may be important factors to facilitate re-organization of CPG-NN connections.

平成 28 年度
【①訓練・介護支援ロボット】
ベッド上生活者用介助ロボット

Object tracking system by integrating multi-sensored data

Kouji Murakami
Faculty of Engineering,
Kyushu Sangyo University,
Fukuoka, Japan

Tokuo Tsuji
Institute of Science and Engineering,
Kanazawa University,
Ishikawa, Japan

Tsutomu Hasegawa
National Institute of Technology,
Kumamoto College,
Kumamoto, Japan

Ryo Kurazume
Faculty of Information Science and Electrical Engineering,
Kyushu University,
Fukuoka, Japan

***Abstract*—We propose an object tracking system which recognizes everyday objects and estimates their positions by using distributed sensors in a room and mobile robots. The placement of objects is frequently changed according to human activities. Although a passive RFID tag is attached to each object for the object's recognition, the placement is often not uniquely determined due to the deficiency of measured data. We have already proposed a method for estimating the placement of objects by using the moving trajectories of objects. This estimation result is expressed as the probability distribution of the object placement. However intersections of trajectories cause the decrease of the estimation accuracy. So we propose a new method based on Bayesian inference to improve the estimation accuracy by using the size and the shape of an object measured by laser range finder. Then a mobile robot settles the placement with small workload by using the mounted sensor. The system successfully recognized and localized 10 objects in the experiment.**

I. Introduction

It is expected that a service robot supports the daily needs of elderly people in a home. An object fetching task is one of prospective applications for a service robot. If a service robot can bring a requested everyday object, it will make people's life comfortable. A service robot needs the placement of objects in a room to perform this task. Many position tracking or estimation methods have been presented. However, most of them use vision sensors and focus on the human tracking. The sizes of most everyday objects are small. Everyday objects are frequently held, carried and housed by a resident. In addition, everyday objects may be put into hidden spaces such as a pocket or a box. So, a conventional vision system for the position tracking will not be straightly applicable to this object tracking.

Some object tracking systems have been reported. A RFID(Radio Frequency IDentifier) tag [1] is often used for the position estimation of objects. A container with a RFID reader can detect whether or not an object with a RFID tag is in it [2]. However, the position of an object with a RFID tag is not measurable when the object is out of the container. The signal strength of an active tag is used for the position estimation [3]. The presented method estimates 3-dimensional position of an object with an UHF(Ultra High Frequency) RFID tag. However, an active tag is box-type and needs a battery. An ultrasonic tag is used for the position estimation [4]. The position of an ultrasonic tag is estimated by using ultrasonic receivers installed on the ceiling. An ultrasonic tag is attached to a target object. However, an usual ultrasonic tag is box-type, and is larger than an usual thin RFID tag. The positions of residents walking in a room have been measured by using pressure sensors distributed on the floor [5]. However, the weights of everyday objects are sometimes too light to detect it. Multiple vision sensors are used for the object tracking [6]. However, a resident will feel invasion of privacy under constant surveillance by vision sensors installed in a personal space.

We have already proposed a object tracking system that recognizes everyday objects and estimates their positions in a room by using distributed sensors and mobile robots [7]. The system integrates information measured by distributed sensors for the object's recognition and position estimation. However, the deficiency of measured data causes the decrease of the estimation accuracy. In this paper, we improve the system by using the size and the shape of an object as additional information in the data integration process.

II. Object Tracking

We propose an object tracking system which recognizes everyday objects and estimates their positions by using distributed sensors. Assumptions for this system are as follows:

1) A passive RFID tag is attached to each object. An object is uniquely identified by its tag ID.
2) Sensor systems installed in an environment measure either both the position of an object and its tag ID or only the position of an object.

Each measured position by a sensor system is labeled to track it continuously. We call this label *tracking-label*. The result of the object's recognition and position estimation is obtained as a combination of the tag ID of an object and its position. We call a set of this combination "object placement". Fig.1 shows the object placement of five object. This object placement has five combinations of a tag ID and a "tracking-label" as the position of an object. If a sensor system can measure both the position of an object and its tag ID, a combination of the tag ID and the position of an object is obtained as a measurement result. On the other hand, a sensor system can measure only the position of an object, a combination of the tag ID and the position of an object is not obtained as a measurement result. The proposed system estimates the tag ID related to the measured position by using the SIR particle filter [8]. The SIR(sampling importance resampling) particle filter integrates sensored information for this estimation.

978-1-5090-3474-1/16/$31.00 ©2016 IEEE

The object placement changes according to human activities. In the estimation process of the object placement, the system needs the transition model of the object placement to reflect the change of the object placement caused by human activities in the estimation process.

Our previous system [7] uses only the moving trajectories of objects for this transition model. However intersections of trajectories cause the decrease of the estimation accuracy. In this paper, we improve the transition model by adding the size and shape of an object in order to raise the estimation accuracy.



Fig. 1. Object placement: a combination of tag ID and *tracking-label*.

The estimation accuracy of the object placement is correlated with the number of objects whose tag IDs are unmeasurable by sensors distributed in an environment. A mobile robot with a RFID reader can move to the position of each unmeasurable object and measure its tag ID. The result of this active sensing for one unmeasurable tag ID is integrated in the estimation process and improves the estimation accuracy of the object placement. We propose a method for choosing a prospective position of unmeasurable object to improve the estimation accuracy.

III. Object Tracking System

A. System components

Several types of sensors are installed to a cabinet, the floor, and a mobile robot. The proposed system collects three types of measured information from each sensored component. These information is integrated to estimate the object placement.

1) Measured information from a sensored cabinet: We installed a RFID reader and load cells to a cabinet. This sensored cabinet performs the object's recognition and position estimation. Fig.2 shows the measurement result for three bottles. A sensored cabinet outputs combinations of the tag IDs and the positions of the objects stored in it. Each position is related to *tracking-label*. Each *tracking-label* is uniquely generated when an object get put into a sensored cabinet. A sensored cabinet i outputs information Z^i as a measurement result.

$$Z^i = \{obj_1,\ obj_2,\ \dots,\ obj_S\} \tag{1}$$

$$obj = \{tracking-label,\ tagID\} \tag{2}$$

The set of output information of all sensored cabinets at the time t is expressed as $Z_t = \{Z_t^i\}$.

2) Measured information from a sensored floor: We installed a laser range finder (LRF) and a mirror to the floor (Fig.3). This sensored floor performs the position estimation of objects and walkers on the floor [9]. A LRF can measure the distances between the LRF and objects on the floor. The positions of objects and walkers are continuously measured by using the background subtraction.



(a) three bottles (b) top view

Fig. 2. Position estimation and recognition of three bottles in a sensored cabinet.

The contour of an object on the floor is measured as a point cloud (Fig.4). A strip of mirror placed on a wall reflects the scanning beam of a LRF. These reflected scanning beams increase the number of scanable points on the surface of an object. The measurement result for four objects on the floor is shown in Fig.5.

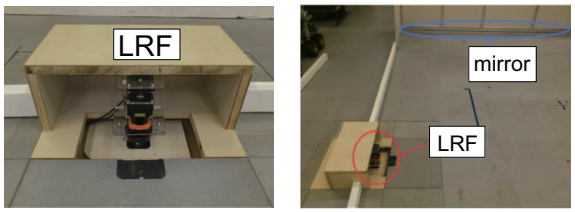


Fig. 3. The sensored floor.

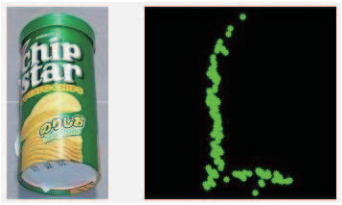


Fig. 4. A point cloud of an object measured by the sensored floor.

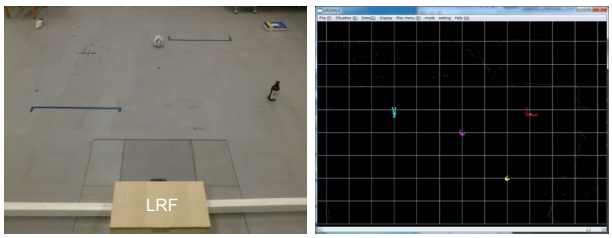


Fig. 5. Position measurement of four objects by using the sensored floor.

A sensored floor outputs combinations of the positions and $article$s of the objects on the floor. Each position is related to *tracking-label*. Each *tracking-label* is uniquely generated when an object get placed onto the floor. The sensored floor outputs information Y as a measurement result.

$$Y = \{y_1,\ y_2,\ \dots,\ y_M\} \tag{3}$$

$$y = \{tracking-label,\ article\} \tag{4}$$

$$article = \{person\ or\ object\} \tag{5}$$

Output information of the sensored floor at the time t is expressed as $Y_t = \{Y_t\}$.

3) Measured information from a mobile robot with RFID readers: A robot with a RFID reader performs the object's recognition and position estimation. This robot outputs combinations of the tag IDs and the positions of objects within the sensing are of the robot. Each position is related to *tracking-label*. A robot i outputs information A^i as a measurement result.

$$A^i = \{obj_1,\ obj_2,\ \ldots,\ obj_N\} \tag{6}$$

$$obj = \{tracking-label,\ tagID\} \tag{7}$$

The set of output information of all robots at the time t is expressed as $A_t = \{A_t^i\}$.

B. Estimation of object placement using SIR particle filter

We use the SIR particle filter to estimate the object placement by integrating sensored information. Each particle has the hypothesis of the object placement and its likelihood. The event X_t means the object placement is x_t at time t. The posterior probability $p(X_t|Z,\ Y,\ A)$ after the observation Z_t, Y_t, and A_t is recursively estimated using particles. Here, Z, Y, and A means events in which information Z_t, Y_t and A_t are obtained from sensored cabinets, the sensored floor, and mobile robots, respectively.

The procedure for using the SIR particle filter is:

1) Generation of initial particles:
R particles $r_0^{(r)} = \{x_0^{(r)},\ w_0^{(r)}\}$ are generated at time 0. Here, $w_t^{(r)}$ is the weight at time t. Vector $x_t^{(r)} \in \Re^N$ represents the hypothesis of the object placement at time t (Fig. 6). In this initial step, vector $x_0^{(r)}$ is randomly generated.

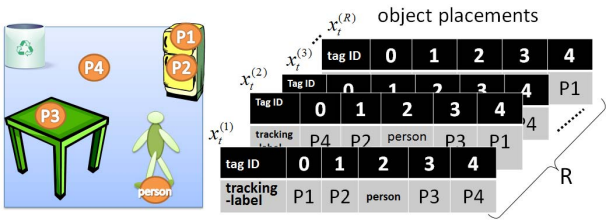


Fig. 6. Object placements of particles

2) State transition:
The object placement changes according to human activities. We modelize the change of the object placement caused by human activities. By applying this transition model to particles $r_{t-1}^{(r)}$, they shift to the next state $r_{t|t-1}^{(r)} = \{x_{t|t-1}^{(r)},\ w_t^{(r)}\}$.

Transition model of object placement:
We assume the change of the object placement is caused only by the following two actions:

(i) a person(or a mobile robot) puts a held object onto furniture or the floor,

(ii) a person(or a mobile robot) takes up an object.

The occurrence of the transition can be observed as the change in the total number of *tracking-labels* measured by the sensor systems.

Transition operation(I): When the total number of *tracking-labels* increases, the operator replaces the *tracking-label* of a person with the newly appeared *tracking-label* in vector $x_{t-1}^{(r)}$ of each particle. This operation indicates the action (i) mentioned above.
Transition operation(II): When the total number of *tracking-labels* decreases, the operator replaces the disappered *tracking-label* with the *tracking-label* of a person in vector $x_{t-1}^{(r)}$ of each particle. This operation indicates the action (ii) mentioned above.
Apply these transition operations to $R(1-K)$ particles $r_{t-1}^{(r)}$ chosen from the R particles. The constant value K $(0 < K < 1)$ depends on the reliability of each sensor system installed in an environment.

In the transition operations (I) and (II), if several persons are in a room, an operator needs to determine who has caused the action (i) or (ii). An operator chooses one of them by considering the probability which depends on the distance between the position of each person and the position of the *tracking-label* newly generated or removed.

In the transition operation (I), if a person carries some objects, their tag IDs are related to the *tracking-label* of the person in the object placement. The operator needs to determine which object has been put on the floor. However, the sensored floor can not measure its tag ID of the object. In the previous system, the operator chooses one of them with even probability. On the other hand, in the proposed method, the operator selects one of them with the selection probability of each object in order to improve the estimation accuracy. The selection probability is derived by using the contour of an object on the floor. The contour of an object is measured as a point cloud by the sensored floor (Fig.4). The detail of this transition operation is described in the next section.

3) Likelihood calculation:
The likelihood $p(Z,\ Y,\ A \mid X_{t|t-1}^{(r)})$ of each particle is calculated as
$p(Z,\ Y,\ A \mid X_{t|t-1}^{(r)}) =$

$$p(Z|X_{t|t-1}^{(r)})\ p(Y|X_{t|t-1}^{(r)})\ p(A|X_{t|t-1}^{(r)}) \tag{8}$$

where

$$p(Z|X_{t|t-1}^{(r)}) = C\prod_{s=1}^{S} g_s(x_t^{(r)}). \tag{9}$$

$g_s(x_t^{(r)})$ is a function that returns 1.0 if the *tracking-label* related to $the\ object\ s$ in $x_t^{(r)}$ corresponds to the *tracking-label* related to $the\ object\ s$ in Z_t, and returns the numerical constant $\alpha(0 < \alpha < 1)$ if it does not. The numeric constant C $(0 < C < 1)$ depends on the reliability of the sensored cabinet. $p(A|X_{t|t-1}^{(r)})$ is also calculated from Eq.(9). $p(Y|X_{t|t-1}^{(r)})$ is the constant value.

We define the weight $w_t^{(r)}$ of a particle as

$$w_t^{(r)} = p(Z,\ Y,\ A|\ X_{t|t-1}^{(r)}). \tag{10}$$

The total weight of all particles is calculated as

$$w_t^{(all)} = \sum_{r=1}^{R} w_t^{(r)}. \tag{11}$$

4) Resampling:
RD $(0 \leq D \leq 1)$ particles $r_t^{(r)}$ are chosen from R particles. New RD particles $r_{t+1}^{(r)}$ are generated depending to the probability $w_t^{(r)}/w_t^{(all)}$. New $R(1-D)$ particles $r_{t+1}^{(r)}$ are randomly generated.

5) Estimation of object placement:
The object placement is estimated based on the distribution of R particles. The probability p_{ij} that $the\ object\ i$ is related to $the\ tracking-label\ j$ is obtained as

$$p_{ij} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^{R} b_{ij}(r_t^{(r)}). \tag{12}$$

$b_{ij}(r_t^{(r)})$ is a function that returns the numerical constant 1.0 if the *tracking-label* related to $the\ object\ i$ in $x_t^{(r)}$ of a particle $r_t^{(r)}$ corresponds to $the\ tracking-label\ j$, and returns 0 if it is not.

C. Active sensing for the tag ID of an object

The estimation accuracy of the object placement is correlated with the number of objects whose tag ID is unmeasurable by sensors installed in an environment. In order to improve the estimation accuracy, a mobile robot with a RFID reader moves to the position of this unmeasurable object and measures its tag ID. When there are several unmeasurable objects, a robot chooses one of them. For this active sensing, we propose a method for choosing the most prospective *tracking-label* to improve the estimation accuracy. This method is based on the entropy $H(E)$ of the probability distribution of the object placement. The entropy $H(E)$ is the index of insufficiently of sensored information. The entropy increases when sensored information is not enough to estimate the object placement. The proposed method chooses the most prospective *tracking-label* to reduce the entropy. The entropy $H(E)$ is calculated as

$$H(E) = \sum_{i}^{M} H(L_i) = -\sum_{i}^{M}\sum_{j}^{N} P(L_i = l_j) \cdot \log P(L_i = l_j). \tag{13}$$

Here, M indicates the total number of *tracking-labels*. The probability $P(L_i = l_j)$ that $the\ object\ l_j$ is related to $the\ tracking-label\ L_i$ is calculated in the same as Eq.(12).

We defines the evaluation function $F(L_i)$ as the expectation value of mutual information after the tag ID of the object of the *tracking-label* L_i is measured. The *tracking-label* L_{max} which maximizes the evaluation function is chosen for the active sensing.

$$F(L_i) = \sum_{j}^{N} P(L_i = l_j) \cdot I(E; L_i = l_j) \tag{14}$$

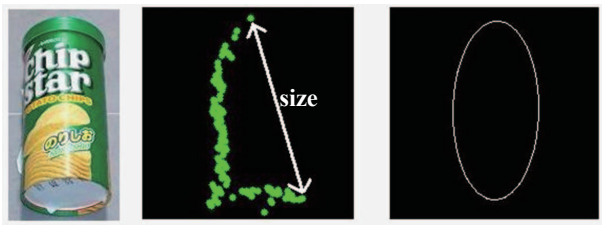
$$I(E; L_i = l_j) = H(E) - H(E|L_i = l_j) \tag{15}$$

Here, $H(E|L_i = l_j)$ is the entropy under the assumption that the object l_j is related to the *tracking-label* L_i .

IV. Selection probability of an object placed on the floor

In the transition operation (I) of the proposed method, if a person holds several objects, the operator needs to determine which object of the held objects is placed on the floor. In the previous method, the operator chooses one of them with even probability. In the proposed method, the operator chooses one of them with the selection probability of each object in order to improve the estimation accuracy.

The selection probability is obtained by using the contour of an object on the floor. The contour of an object is measured as a point cloud by the sensored floor (Fig.7). We define *the object size* as the maximum distance between two points in a point cloud (Fig.7(b)). We also define *the contour image* as the elliptical approximation of this point cloud (Fig.7(c)). *The object size* and *the contour image* indicate a scale factor and an approximate shape of an object, respectively.



(a) (b) (c)

Fig. 7. A point cloud measured by the sensored floor ((a) appearance of the object, (b) *the object size*, (c) *the contour image*).

The object size and *the contour image* of each object include measurement errors. We determine the probability density function of measurement errors through the preliminary measurements. We derive the selection probability by using the probability density function, *the object size*, and *the contour image*. This procedure is divided into two parts

A) calculation of the probability density function of measurement errors, and
B) calculation of the selection probability of each object.

The contour of an object on the floor depends on its orientation (Fig.8). At the part A), we derive 1) the probability density function with respect to *the object size* and 2) the probability density function with respect to *the contour image* at each orientation of each object.



Fig. 8. *The contour images* of an object with different orientations.

At the part B), we derive the selection probability p_i^{select} by using Bayesian inference. p_i^{select} indicates the selection probability that the object i is selected from the objects held by a person. The detail of the procedure is as follows.

A. Probability density function for the measurement error

The contour of an object on the floor depends on its orientation. At the orientation j of the object i, we derive (1) the probability density function f_{ij}^{size} for the measurement error of *the object size*, and (2) the probability density function $f_{ij}^{contour}$ for the measurement error of *the contour image*. We prepare f_{ij}^{size} and $f_{ij}^{contour}$ at each orientation j of the object i through the preliminary measurements. At each orientation j of the object i, a point cloud of the object is obtained fifty times through the measurements of the sensored floor. Each data set D_{ij} has fifty point clouds for the object i with its orientation j.

1) Probability density function for the measurement error of the object size: The object size is calculated from each point cloud of the data set D_{ij}. The average $\overline{\mu}_{ij}$ and the standard deviation ${}^{size}\sigma_{ij}^2$ of *the object size* are calculated at each D_{ij}. The probability density function f_{ij}^{size} for the measurement error of *the object size* is expressed as the Gaussian distribution $\mathcal{N}(0, {}^{size}\sigma_{ij}^2)$.

2) Probability density function for the measurement error of the contour image: We generate the ideal contour image I_{ij}^{ideal} based on the actual shape of the object i with its orientation j. This ideal contour image is compared with *the contour image* measured by the sensored floor. The image similarity is calculated through this comparison. We use seven Hu invariant moments for this comparison [10]. These seven Hu invariant moments are well known and independent parameters for the translation, the rotation, and the scale change. Hu invariant moments are expressed as following equations.

$$hu_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \tag{16}$$

$$hu_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \tag{17}$$

$$hu_3 = (\eta_{30} - 3\eta)_{12}^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \tag{18}$$

$$hu_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \tag{19}$$

$$\begin{aligned} hu_5 = {} & (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ & + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \tag{20}$$

$$\begin{aligned} hu_6 = {} & (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ & + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned} hu7 = {} & (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ & - (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \tag{22}$$

The image similarity $G(A, B)$ between the image A and the image B is expressed as

$$G(A, B) = \sum_{i=1}^{7} \mid \frac{1}{m_i^A} - \frac{1}{m_i^B} \mid \tag{23}$$

where

$$m_i^A = sign(h_i^A) \cdot log(h_i^A) \ , \ m_i^B = sign(h_i^B) \cdot log(h_i^B).$$

h_i^A and h_i^B indicates Hu invariant moments of the image A and the image B respectively.

The image similarity $G(A, B)$ is zero if the image A and the image B are same image. The calculation result of the image similarity is shown in Fig.9. The numerical values on the center and the middle image indicate the image similarity between the left image and each image.



Fig. 9. The calculation results of the image similarity between the left image and the middle or the right image.

The contour image $I_{ijk}^{contour}$ $(1 \leq k \leq 50)$ is obtained from each point cloud k of the data set D_{ij}. The standard deviation ${}^{contour}\sigma_{ij}^2$ of the image similarity $G_{ijk}(I_{ij}^{ideal}, I_{ijk}^{contour})$ are calculated at each D_{ij}. The probability density function $f_{ij}^{contour}$ for the measurement error of *the contour image* is expressed as the Gaussian distribution $\mathcal{N}(0, {}^{contour}\sigma_{ij}^2)$.

B. The selection probability

We derive the selection probability p_i^{select} of the object i from a point cloud d_t of an object through the following procedure.

1) Likelihood with respect to the object size: The object size S_t is calculated from a point cloud d_t measured by the sensored floor at the time t. At each orientation j of the object i, the measurement error e_{ij}^{size} of *the object size* S_t is expressed as

$$e_{ij}^{size} = S_t - \overline{\mu}_{ij}. \tag{24}$$

The probability p_{ij}^{size} is obtained by substituting e_{ij}^{size} into f_{ij}^{size} (Fig.10). We determine p_i^{size} as

$$p_i^{size} = \max_j(p_{ij}^{size}). \tag{25}$$

p_i^{size} indicates the likelihood that the object i is selected from the objects held by a person, which is based on the measurement error of *the object size*.

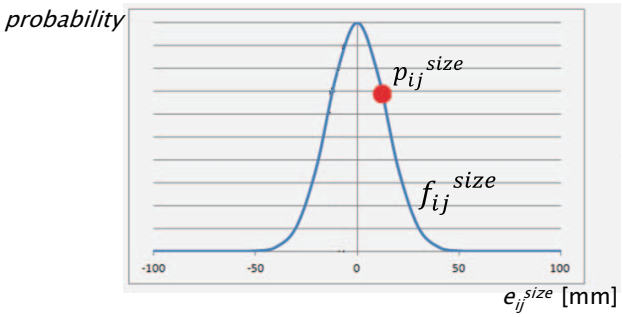


Fig. 10. Probability density function for the measurement error of *the object size*.

2) Likelihood with respect to the contour image: The *contour image* C_t is calculated from a point cloud d_t measured by the sensored floor at the time t. At each orientation j of the object i, the measurement error $e_{ij}^{contour}$ of *the contour image* C_t is expressed as

$$e_{ij}^{contour} = G(\ I_{ij}^{ideal},\ C_t\ ). \tag{26}$$

The probability $p_{ij}^{contour}$ is obtained by substituting $e_{ij}^{contour}$ into $f_{ij}^{contour}$ (Fig.11). We determine $p_i^{contour}$ as

$$p_i^{contour} = \max_j(p_{ij}^{contour}). \tag{27}$$

$p_i^{contour}$ indicates the likelihood that the object i is selected from the objects held by a person, which is based on the measurement error of *the contour image*.

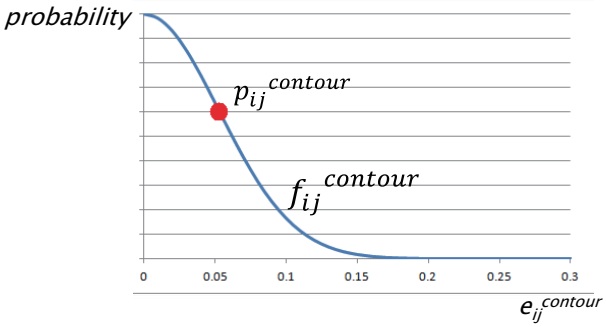


Fig. 11. Probability density function for the measurement error of *the contour image*.

3) Selection probability of each object: The selection probability p_i^{select} indicates the probability that the object i is selected from the objects held by a person. p_i^{select} is obtained by applying Bayes' theorem to p_i^{size} and $p_i^{contour}$. Bayes' theorem is expressed as

$$P(H_i|E) = \frac{P(E|H_i)P(H_i)}{P(E|H_1)P(H_1) + \ldots + P(E|H_n)P(H_n)}. \tag{28}$$

H_i is an event that the object i is selected. $P(H_i)$ is the probability of observing H_i. E is an event that the measurement error e is measured. $P(H_i|E)$ is the probability of observing H_i given that E has occurred. $P(H_i)$ is the prior probability. $P(H_i|E)$ is the posterior probability. $P(E|H_i)$ is the likelihood.

The number of the objects held by a person is n. p_i^{select} is the probability that the object $i(1 \leq i \leq n)$ is selected. We derive p_i^{select} through the following procedures (i) and (ii).

(i) Bayesian inference by using *the object size*: E^{size} indicates observing the measurement error with respect to *the object size*. We determine $P(E^{size}|H_i)$ as

$$P(E^{size}|H_i) = p_i^{size}. \tag{29}$$

We determine $P(H_i)$ with even probability under the principle of insufficient reason. $P(H_i)$ is obtained as

$$P(H_i) = \frac{1}{n}. \tag{30}$$

$P(H_i|E^{size})$ is obtained by applying Eq.(29) and Eq.(30) to Eq.(28).

(ii) Bayesian inference by using *the contour image*: $E^{contour}$ indicates observing the measurement error with respect to *the contour image*. We determine $P(E^{contour}|H_i)$ as

$$P(E^{contour}|H_i) = p_i^{contour}. \tag{31}$$

We determine $P(H_i)$ as

$$P(H_i) = P(H_i|E^{size}). \tag{32}$$

$P(H_i|E^{contour})$ is obtained by applying Eq.(31) and Eq.(32) to Eq.(28).

We determine the selection probability p_i^{select} as

$$p_i^{select} = P(H_i|E^{contour})\ ,\ (1 \leq i \leq n). \tag{33}$$

The estimation accuracy is improved by applying p_i^{select} to the transition operation (I) in the proposed method.

V. Experiment

The proposed system recognized ten objects and estimated their positions in the experiment. The experimental setup is shown in Fig.12. We installed two sensored cabinets and the sensored floor as mentioned in section III. In this experiment, we used ten everyday objects with RFID tags as shown in Fig.13. One person walked around in a room, and he moved several objects from sensored cabinets to the floor. The proposed system estimated the object placement which was frequently changed with human activity.

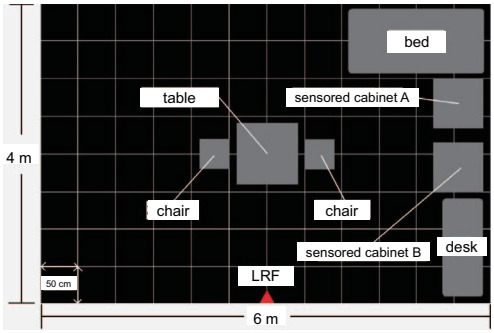


Fig. 12. Experimental setup.

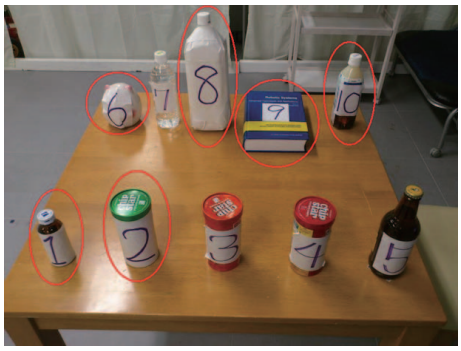


Fig. 13. Tracking target objects.

The scenario of the experiment is explained as following three steps. At the step 1, all objects are in two sensored cabinets. The estimation result of the object placement at the step 1 is shown in Fig.14. The measured positions by sensored cabinets are shown as colored circles. The numbers from 1 to 10 mean the tag IDs of objects. The position of each object is estimated as the probability of the relationship between each object and each measured position. This probability is obtained from Eq.(12). The length of each color in a bar graph indicates the value of its probability. Each color indicates a measured position. The sum of the probabilities in each bar graph is 1.0. Each bar graph is composed of mono color in Fig.14. This means that the position of each object is uniquely estimated. In addition, the object placement is correctly estimated. Because sensored cabinets can measure both the tag IDs and the positions of the objects in them.

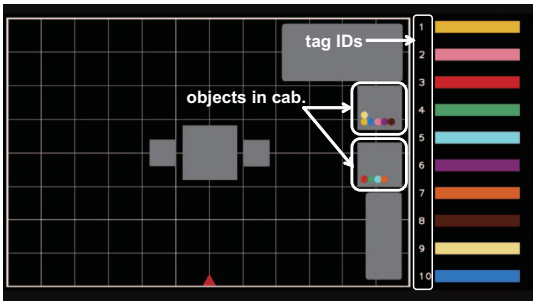


Fig. 14. Tracking result after the step 1 (Six objects are in the cabinet A, and four objects are in the cabinet B).

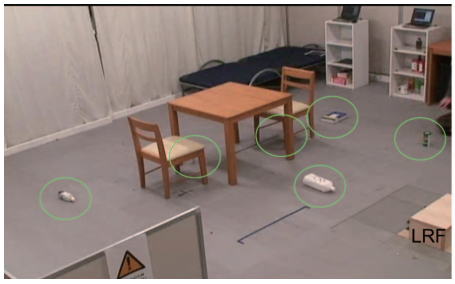


Fig. 15. Experimental process at the step 2 (Six objects are on the floor and four objects are stored in the cabinet B).

At the step 2, a person takes six objects from the sensored cabinet A. The tag IDs of these objects are 1, 2, 6, 8, 9, and 10. The person puts them one-by-one onto the floor as shown in Fig.15. At the step 2, the estimation results of the object placement are shown in Figs.16 and 17. The measured positions by the sensored floor are shown as colored squares with alphabets which indicate tracking-labels. The white color in a bar graph indicates the position of the person. So, the white color means that object is held by a person. When a bar graph is composed of several colors, the position of its object is not uniquely estimated. Because the sensored floor cannot measure tag IDs of objects on the floor. A bar graph in each lower image in Fig.17 also indicates the probability of the relationship between each object and each tracking-label. The vertical axis indicates the probability in each lower image. The horizontal axis indicates the tag IDs. From Fig.17, the accuracy rate of the position estimation of each object is ranging from 70 % to 100 % after the step 2.

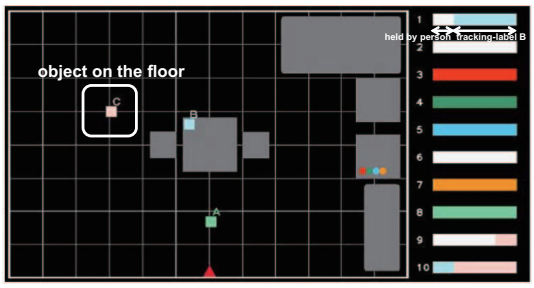


Fig. 16. Tracking result at the step 2 (Three objects are on the floor. Three objects are held by the subject. Four objects are in the cabinet B).

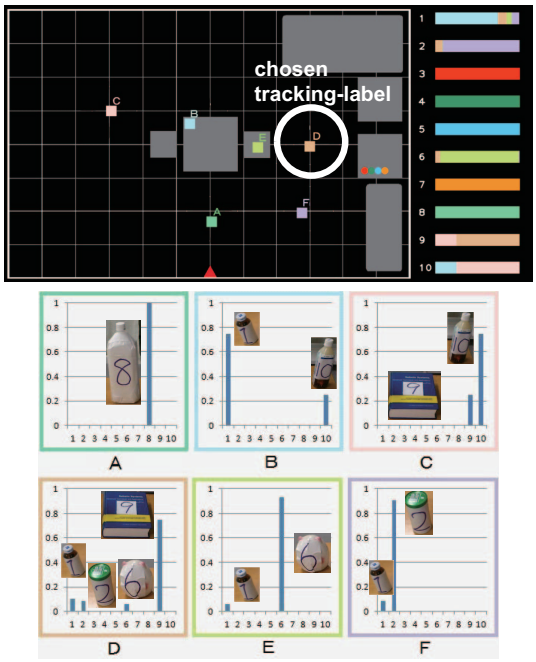


Fig. 17. Tracking result after the step 2 (Six objects are on the floor. Four objects are in the cabinet B.).

The proposed system tracks ten objects by using both the moving trajectories of objects and the size and the shape of an object placed on the floor. On the other hand, the previous system uses only the moving trajectories of objects. The estimation result of the previous system after the step 2 is shown in Fig.18. The accuracy rate of the position estimation of each object on the floor is under 20 %. This means that the moving trajectory information is not enough to determine which object is placed on the floor. So the previous system chooses one of them with even probability. This simple choice causes the decrease of the estimation accuracy.

At the step 3, the active sensing is performed to improve the accuracy rate of the position estimation. The entropy of the probability distribution of the object placement is calculated from Eq.(13). The calculation result of the entropy in the experiment is shown in Fig.19. The entropy increases when sensored information is not enough to estimate the object placement. When the entropy increases, the accuracy rate of the position estimation decreases. The entropy increases due to the handling of objects by the person in the step 2. For this active sensing, the most prospective tracking-label D is chosen by applying Eq.(14). The tag ID of an object

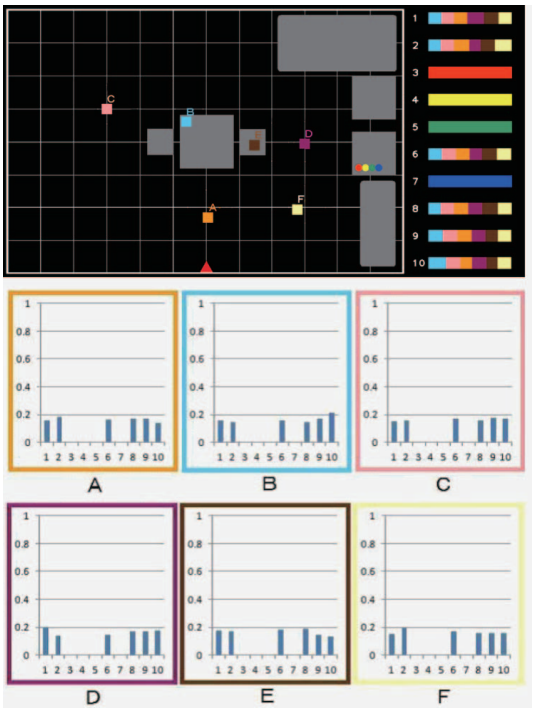


Fig. 18. Tracking result by using the previous system after the step 2 (Six objects are on the floor. Four objects are in the cabinet B.).

at the position with tracking-label D was measured through the active sensing. The estimation result after the step 3 is shown in Fig.20. The accuracy rate of the position estimation of each object is nearly 100 %. The accuracy rate is clearly improved through the active sensing. The entropy in the case using additional information such as the size and the shape of an object is smaller than the entropy in the case not using it. The proposed system conducted the active sensing once at the step 3. On the other hand, the previous system required to conduct the active sensing four times in order to reduce the entropy enoughly.

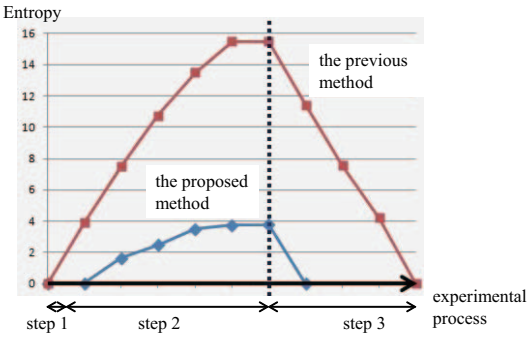


Fig. 19. The calculation result of the entropy.

VI. Conclusion

We propose an object tracking system which recognizes everyday objects and estimates their positions by using distributed sensors in a room and mobile robots. Our previous system estimates the object placement by using only the moving trajectories of objects. This estimation result is expressed

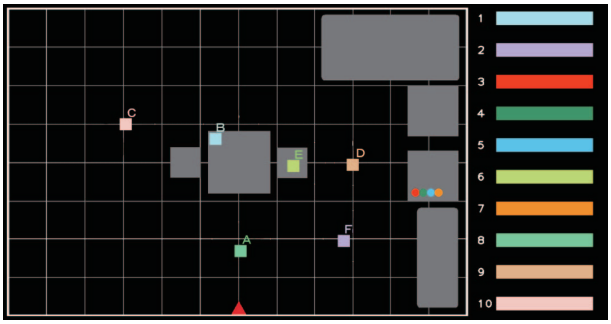


Fig. 20. Tracking result after the step 3.

as the probability distribution of the object placement. The object placement is frequently changed according to human activities. Intersections of trajectories cause the decrease of the estimation accuracy. The object placement is often not uniquely determined due to the deficiency of measured data. So we proposed a new method that improves the estimation accuracy by using the size and the shape of an object as additional information in the data integration process based on Bayesian inference. The size and the shape of an object are approximately calculated from a point cloud measured by laser range finder. Although the tag IDs of the objects on the floor are not measurable by sensors distributed in the environment, the system successfully estimated the object placement in the experiment.

References

[1] K. Finkenzeller, *RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification*, Wiley, 2003.

[2] R. Fukui, et al., "Development of a Home-use Automated Container Storage/Retrieval System", *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp.2875-2882, 2008.

[3] T. Deyle, et al., "RFID-Guided Robots for Pervasive Automation", *IEEE Pervasive Computing*, Vol.9, No.2, pp.37-45, 2010.

[4] Y. Nishida, et al., "3D Ultrasonic Tagging System for Observing Human Activity", *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp.785-791, 2003.

[5] R. Fukui, et al., "Expression Method of Human Locomotion Records for Path Planning and Control of Human-symbiotic Robot System based on Spacial Existence Probability Model of Humans," *IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp.4178-4184, 2003.

[6] S. Odashima, et al., "Household Object Management via Integration of Object Movement Detection from Multiple Cameras", *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp.3187-3194, 2010

[7] Murakami et al. , "Position Tracking and Recognition of Everyday Objects by using Sensors Embedded in an Environment and Mounted on Mobile Robots ", *Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.2210-2216, 2012.

[8] S. Arulampalam, et al., "A tutorial on particle filters for on-line non-linear/non-gaussian bayesian tracking", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.50, no.2, pp.174-188, 2002.

[9] Y. Nohara, et al., "Floor Sensing System Using Laser Range Finder and Mirror for Localizing Daily Life Commodities," *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp.1030-1035, 2010

[10] H. Ming-Kuei, "Visual pattern recognition by momentinvariants", Information Theory, IRE Transactions, vol.8, pp.179-187, 1962.

Tactile sensing method for estimating the insertion state of a connector

Kouji Murakami
Kyushu Sangyo University
Fukuoka, Japan

***Abstract*—Robot hand/arm systems attempt to insert pins into the sockets to form connectors, such as those in circuit boards. A tactile sensing method using a pin header and a pin socket as a connector is proposed for estimating the insertion state of the connector. The change of the amount of empty space of a pin socket due to the insertion of a pin header is measured by a vibration wave. The vibration wave is transmitted from one fingertip to another opposite fingertip through the grasped pin socket. The spectral intensity of this vibration wave is related to the change of the amount of empty space of the pin socket in the mating process. The insertion state is estimated by the spectral intensity. The frequency of the vibration wave is also calculated for this measurement. To realize this method, robotic fingertips were developed for transmitting the vibration wave. The fingertips perform both the tactile sensing and grasping function, so no additional sensing motion of the robot hand is needed. The measurement of the insertion state was successfully demonstrated in an experiment.**

Keywords—robot hand; tactile sensor; connector insertion

I. INTRODUCTION

The assembly tasks in factories have been automated by using robot hand/arm systems. This automation improves the productivity of manufacturing. For the further improvement, robot hand/arm systems attempt to insert pins into the sockets of circuit boards. The pin header and socket together are known as connectors. However, the mating process of the connector is not sufficiently automated, because no sensor can directly measure the insertion state. Vision sensing is not sufficient, because the robot hand occludes the grasped object. In addition, the lighting condition is not constant through the manipulation process, and the background scene of an object may be visually complicated. All if these can lead to failed measurement of the insertion state.

The available sensors for a robot hand are restricted by the hand size, weight, and so on [1]. In related work, a force sensor was applied for the measurement of the insertion state in related work. Huang et al. [2] [3] proposed a method for estimating the insertion state by using a six-axis force sensor equipped on the wrist of a robot arm (Fig. 1). Before the mating process, the motion of the grasped connector has six degrees of freedom, which are three translational freedoms and three rotational freedoms. When the grasped connector is fixed to a circuit board in the mating process, the degrees of freedom of its motion is decreased. This decrease is detected from the outputs of the six-axis force sensor. However, this scheme requires additional sensing motion of the robot hand to exert force and moment in several directions. Moreover, in the mating process, a connector has to be fixed to a base board such as a circuit board. If a connector is movable after the mating process, the DOFs of the connector may not decrease. Few reports investigate the insertion of a connector that is not fixed to a base board. Therefore, this paper proposes a tactile sensing method using a pin header and a pin socket as a connector for estimating the insertion state.

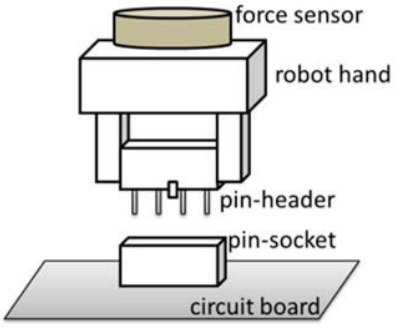


Fig. 1. Insertion of a connector grasped with a pinching grasp.

II. THE PROPOSED METHOD

This study investigates a pin header and a pin socket as a connector. In the mating process, a pin header is inserted into a pin socket. The amount of empty space of the pin socket is thus filled with the pin header (Fig. 2). The focus is on this change of the amount of empty space of the pin socket. A method is proposed for estimating the insertion state by detecting the change of the amount of empty space of the pin socket. A vibration wave enables the detection.

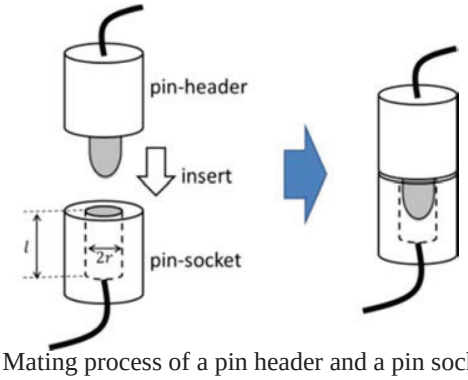


Fig. 2. Mating process of a pin header and a pin socket.

A connector is grasped by a robot hand with a pinching grasp in the connector mating process (Fig. 1). When a vibration wave is transmitted from one fingertip to another opposite fingertip through the grasped object, the spectral intensity of

978-1-4799-8287-5/16/$31.00 ©2016 IEEE

the vibration wave is measured. The spectral intensity depends on the material of the grasped object, the inner structure of the pin socket, and so on. The change of the spectral intensity is related to the change of the inner structure of the pin socket caused by insertion of the pin header. Therefore, the insertion state is estimated by the spectral intensity. The frequency of the vibration wave is calculated for this measurement. To realize the measurement, robotic fingertips were developed for transmitting a vibration wave. The vibration wave and the robotic fingertips are explained in the next sections.

A) Frequency of vibration wave for measurement

A vibration wave is transmitted from one fingertip to another opposite fingertip through a grasped pin socket. When the pin header is not inserted into the pin socket, the pin socket is regarded as a tube closed on one end. When a vibration wave is transmitted to the pin socket, the tube resonance with frequency f_c occurs. When the mating process has finished, the pin socket is closed on both ends, and the resonance frequency of the tube is changed. The spectral intensity of frequency f_c decreases distinctly after the end of the mating process. This study uses the resonance frequency f_c of a tube closed on one end. The resonance frequency f_c is calculated from equation (1). In (1), v the speed of sound. Also, l and r are the length of the pin socket and the radius of the rim of the pin socket, respectively (Fig. 2).

$$f_c = \frac{v}{4(l+0.6r)} \quad (1)$$

B) Robotic fingertips for transmitting a vibration wave

Two robotic fingertips were developed for generating and receiving the vibration wave. The structures of the fingers are shown in Fig. 3. The actual appearance of the fingertip is shown in Fig. 4. The function of one fingertip is to generate the vibration wave. A small speaker (Unison, U238S4WC) is embedded in the fingertip. The function of the other fingertip is to receive the vibration wave. A polyvinylidene difluoride (PVDF) film (Tokyo Sensor Co., Ltd. LDT1-028K/L) is embedded in the fingertip. The vibration wave is transmitted from the speaker of the generating fingertip, through the grasped object (connector), and then to the PVDF film of the receiving fingertip. Due to the piezoelectric effect, the PVDF film generates an electric charge in response to the received vibration wave. The spectral intensity is calculated by applying FFT to the time-series data of the output voltage of the PVDF film. The spectral intensity depends on not only the frequency of the vibration wave but also the size of the contact area between the grasped object and the PVDF film. A robotic fingertip with soft skin is useful for increasing the contact area. In this study, a gel sheet (Exseal Co., Ltd. HYPER GEL SHEET 3030) is used as the soft skin. The hardness of the sheet is Asker C30, and the thickness is 3 mm. A load cell (Measurement Specialties FC22) is used for measuring the grasping force.

The small speaker and the PVDF film are embedded in the fingertips. So, the design of the surface of each fingertip is not restricted. The developed fingertips perform both the sensing function and the grasping function. The features of the design for supporting the proposed method are as follows.

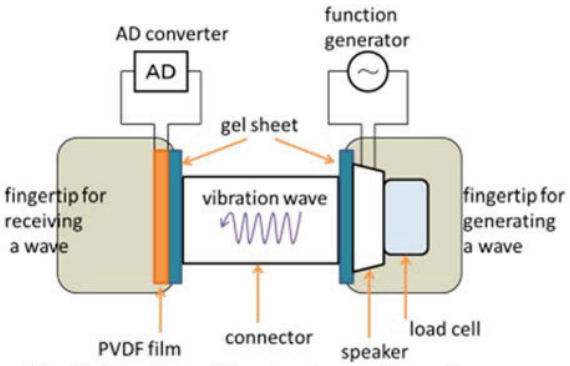


Fig. 3. Structure of the developed fingertips.


Fig. 4. Developed fingertip for generating a vibration wave.

- The design of the surface of a fingertip is not restricted because the sensing elements are embedded in the fingertip.
- The tactile sensing motion is implemented as the grasping motion of the robot hand. So, no additional sensing motion is required for the measurement.
- The proposed method does not require force information of the fingertip. In the mating process, a connector does not to be fixed to the environment, such as a circuit board.

III. EXPERIMENT

A) Transmission of the vibration wave between fingertips

The frequency characteristics of the transmitted vibration wave through the pin socket grasped by the fingertips were investigated. A sweep wave was applied for determining the frequency characteristics. The frequency of the sweep wave ranged from 0.5 kHz to 10.0 kHz. A function generator (Agilent Technologies, 33522A) for generating this sweep wave and an AD converter with 16-bit resolution (Interface, PEX-321216) were used. The spectral intensity was calculated by applying FFT to the time-series data of the output signal of the PVDF film.

A pen and a pen cap are similar to an RCA pin jack, which is one type of connector. This experiment employed a pen and a pen cap as a pin header and a pin socket. The pen cap as a pin socket is grasped by the developed fingertips with a pinch grasp. The grasping force is 4 N. Figure 5 shows the measurement result of the spectral intensity in the case that the sweep wave is not transmitted from a fingertip. The horizontal axis shows the frequency of the transmitted wave. The vertical axis shows the magnitude of the spectral intensity. The spectral intensity is nearly zero when the sweep wave is not transmitted.

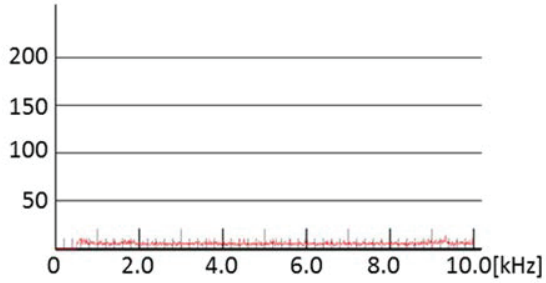


Fig. 5. Measured spectral intensity (no wave).

Figure 6 shows the measurement result of the spectral intensity in the case that the sweep wave is transmitted from a fingertip. The magnitude of the spectral intensity increases in the range from 0.5 kHz to 3.0 kHz. This result indicates that the fingertips are able to transmit a vibration wave through the pen cap grasped with the fingertips. The magnitude of the spectral intensity depends on not only the characteristics of the speaker, the PVDF film, and the gel sheet, but also the inner structure of the pen cap.

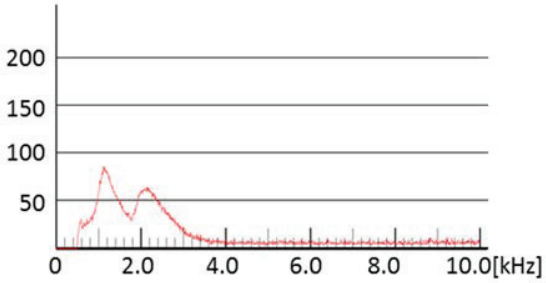


Fig. 6. Measured spectral intensity (sweep wave).

B) Measurement of the insertion state

The insertion state of the pen is estimated by measuring the spectral intensity of the vibration wave. The experimental setup is shown in Fig. 7. The developed fingertips are mounted to an XY slider. The fingertips are opposed to each other, like a parallel jaw gripper. Grasping is accomplished by moving the XY slider. In the experiment, the fingertips grasp a pen cap with a pinch grasp. The grasping force is 4 N. The robot arm system grasps the pen and inserts it into the pen cap. The insertion motion is implemented with position control. The spectral intensity is measured at several millimeter intervals of insertion. The length of the pen cap is 45 mm and the radius is 5 mm. The frequency of the vibration wave is obtained from equation (1). The calculated resonance frequency f_c is 1.8 kHz. The amplitude of the wave is 2.0 V. The experimental result is shown in Fig. 8. The horizontal axis shows the length of the insertion. The vertical axis shows the spectral intensity. In the mating process, the pen contacts the circular rim of the pen cap at an insertion length of 22 mm. The insertion is finished at an insertion length of 43 mm. The pen is fixed to the pen cap when the insertion is accomplished.

The magnitude of the spectral intensity decreases distinctively at the end of the insertion in Fig. 8. The transition of the insertion state is detected by applying the thresholding method to the magnitude of the spectral intensity.

IV. CONCLUSION

This study proposes a method for estimating the insertion state of a pin header and a pin socket. The focus is on the change of the amount of empty space of the pin socket due to the insertion of the pin header. This change is measured by a vibration wave. The vibration wave is transmitted from one fingertip to another opposite fingertip through the grasped pin socket. The spectral intensity of this vibration wave is related to the change of the amount of empty space of the pin socket during the mating process. Therefore, the insertion state is estimated by measuring the spectral intensity of the vibration wave. The frequency of the vibration wave for this measurement is calculated. To realize this method, robotic fingertips for transmitting a vibration wave were developed. The fingertips perform both the sensing function and the grasping function; that is, no additional sensing motion of the robot hand for the measurement is required. Moreover, in the mating process, the connector does not to be fixed to the environment, such a circuit board. The measurement of the insertion state is successfully demonstrated in the experiment.

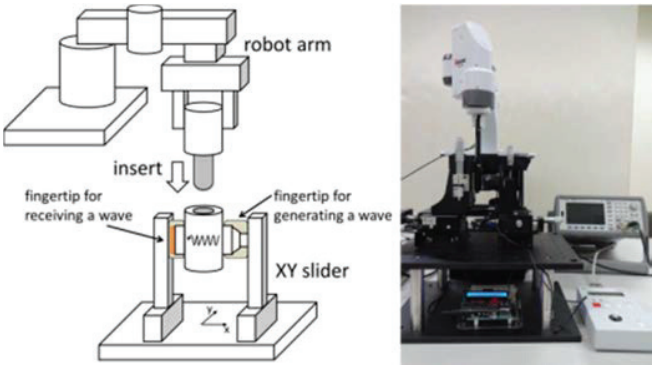


Fig. 7. Experimental setup.

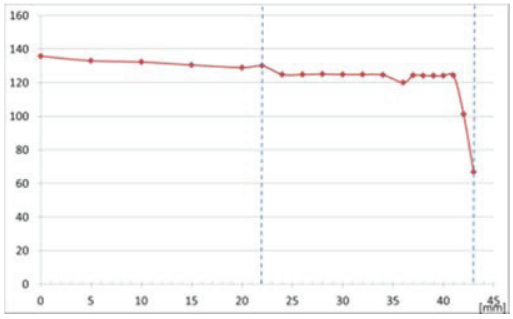


Fig. 8. Spectral intensity of the resonance frequency.

REFERENCES

[1] A. Bicchi, “Hands for Dexterous Manipulation and Robust Grasping: A Difficult Road Toward Simplicity,” IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 16, No. 6, pp. 652-662, 2000.

[2] J. Huang, T. Fukuda, T. Matsuo, “Modeling for Mating Process of Electric Connectors in Robotic Writing Harness Assembly System,” IEEE IECON, pp.2829-2834, 2007.

[3] J. Huang, P. Di, T. Fukuda, T. Matsuo,”Robust Model-Based Online Fault Detection for Mating Process of Electric Connections in Robotic Wiring Harness Assembly Systems,” IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2009.

平成 28 年度
【②意匠設計】
プロダクトデザイン

HRRC／2016年度　研究活動報告

分担研究テーマ

1. 全身麻痺患者用移動ロボット（デザイン担当）

2. 軽量・小型EHVを応用したパワースーツの開発（デザイン担当）

3. 高齢者・障害者利用を想定した未来のパーソナルトランスポーテーション（デザイン提案）

4. 歩行訓練ロボット（デザイン提案）

5. 地域の伝統産業と連携した研究センター機能を活用した商品開発

6.[教育プログラム]テクノアートプロジェクト

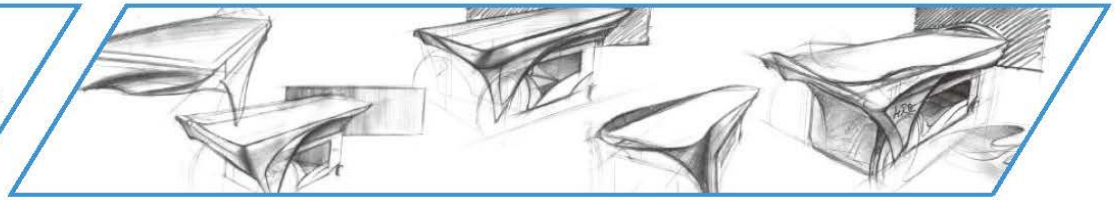
担当　青木幹太（芸術学部）

1. 全身麻痺患者用移動ロボット（デザイン担当）



Concept

全身麻痺患者が自立移動できる
電動モビリティーの開発









Overview

脊髄性筋萎縮症の方から依頼があり、開発しているモビリティーである。全身に麻痺があり、横臥位で介助者にベッドを押してもらって移動している。自身で自立移動したいとの希望を実現するため、指先のわずかな動きを感知するコントロールユニットと周囲をカメラ映像で確認しながら前進後進・左右旋回ができるモビリティを工学部、情報科学部が開発し、芸術学部はスタイリングデザインと製作を担当している。
北九州市障害福祉センターとの共同研究プロジェクトとして取り組んでいる。



Spec

自立移動するために四方に６個のカメラを設置し、使用者の目の前に取り付けられているモニターで６ビューを同時に確認することが可能である。
指先の弱い力でも反応するコントロールユニットを搭載し、全方向への移動が可能である。
利用者の必要な荷物や、外出先のショッピングを楽しむために、収納スペースを広く確保している。

2. 軽量・小型EHVを応用したパワースーツの開発（デザイン担当）











Overview

本研究は、超小型油圧アクチュエータ（MHA：Micro Hydraulic Actuator）を上肢の肘関節の屈伸運動をサポートするパワードスーツとして利用し、高齢者や身体に障害がある人の介護作業の負担軽減を図ることを目的とする。身体に障害がある人の介護では、前傾動作、ひねり動作、持ち上げ動作などで筋活動が頻繁に出現し、これらの動作は介護者にとって身体負担が重く、パワードスーツなど負担軽減を目的とした装置の適用が期待できる。

Spec

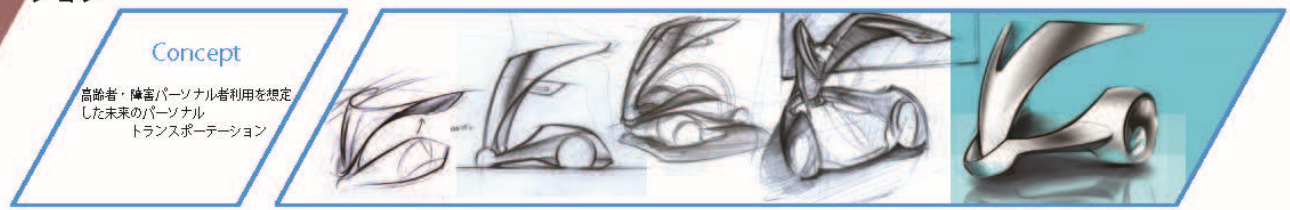
介助者が中腰の状態から下肢の屈伸運動に合わせて背面方向に力をかけることで、要介護者の体重がフレームを通して両肩と背中に分散し、介助者の負担が軽減される。要介護者は介助者の肩幅に腕を広げてバーを掴むため、介助者は要介護者の脇に腕を通しやすく、抱え上げ動作がスムーズに行える。



3. 高齢者・障害者利用を想定した未来のパーソナルトランスポーテーション

（デザイン提案）











Overview

架空の利用者を想定して開発を行うペルソナ手法を用いてデザインを行った。
利用者は 62 歳男性、交通事故に遭い車椅子での生活を余儀なくされた方を想定している。

persona

片山弘樹は自転車メーカー〇社を定年退職後、長年住んだ愛知県を離れ故郷の福岡へ帰服。
娘は二人は結婚し老後は故郷の福岡でゆっくりと海外でサイクリングやアジアの玄関口である福岡からアジア圏への旅行を楽しんでいた。しかし、海岸でサイクリング中に交通事故に遭い大腿骨を骨折。車椅子での生活を余儀なくされた。このことが原因で外出する機会も減り、気も滅入っていた所であった。それを見かねた嫁の佳代子がパーソナルトランスポーテーションの購入を提案するが自転車のデザイナ ー経験から弘樹自身が気に入る安全に乗れて、屋内外移動も出来るスタイリッシュなパーソナルモビリティーが見つからないでいた。

Spec

自立移動するために四方に６個のカメラを設置し、使用者の目の前に取り付けられているモニターで６ビューを同時に確認することが可能である。
指先の弱い力でも反応するコントロールユニットを搭載し、全方位への移動が可能である。
利用者の必要な荷物や、外出先のショッピングを楽しむために、収納スペースを広く確保している。

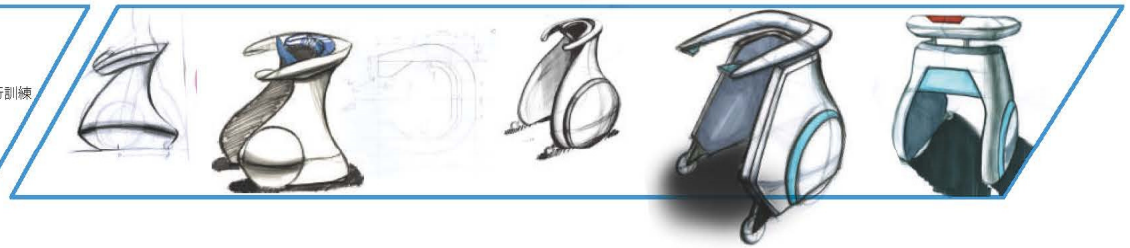


4. 歩行訓練ロボット（デザイン提案）



Concept

下肢麻痺患者の自立した歩行訓練を支援するためのロボット





Overview

歩行訓練ロボットとは、療法士の介助を再現して動的歩行パターンの獲得を促す歩行の訓練を支援する装置である。上部ユニットを腰部に装着し、体幹を支持する。上部ユニットに取り付けられた３軸力センサで前進意図を検知し、歩行スピードに合わせて装置が追従し、残存する随意性を生かした歩行運動を促す。特に、転倒防止による高い安全性の確保や、疲労軽減による長時間訓練が可能である。
主な利用者は、介助があれば歩行が可能な比較的症状の軽い下肢麻痺患者である。

Spec

今回提示するのは、工学部で研究・開発を行っている実験機の将来像を見据えたデザインコンセプトモデルである。主に病院・リハビリ施設での利用を想定し、屋内でのスムーズな旋回ができるようにサイズを車椅子の JIS 規格内で収めている。脚の踏み出し位置を正しく導くガイドになるよう、内幅を肩幅大 (420mm) で設定している。



高齢者利用を想定した木製椅子



DESIGN POINTS . 1

立ち上がり動作の補助

Stand up support

加齢による下半身の筋力低下によって踏み込む力は弱まり、椅子からの立ち上がりに必要な推進力をつけることができないため、高齢者の椅子からの立ち上がり動作のにおける身体的負担は大きい。また下半身や体幹筋力の減少から動的バランス能力は低下しており、転倒リスクが高くなる。

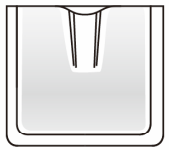
椅子の後脚が中央に寄ったデザインは、介護者が椅子後方に回り腰部を支えることで立ち上がりの補助を行うためのカタチであり、手すりは補助によって生み出された推進力の調整に使用し、安全な立ち上がり動作を行うために設けた。



DESIGN POINTS . 2

座位姿勢の保持

Support for keeping posture



高齢者に多くみられる背中が丸まった姿勢を円背姿勢という。円背姿勢の高齢者は椅子に座ると骨盤が後ろに傾き、座面とお尻の骨との接点がずれ、お尻が座面の前方向に滑り、身体が椅子から滑り落ちることがある。高齢者の場合、椅子からの転落で骨折などのけがに繋がることもあるため、椅子からの滑り落ちを防ぐために座位姿勢の保持をする必要があった。

この問題に対しては座面形状と手すりで対応した。座面形状は前部が浅く、後部はやや浅めの傾斜をつけて、後傾した椅座位をとることができ、椅座位中に手すりを握って座ることで椅子からの滑り落ちを防止している。

2016年度プロジェクトテーマ

「ロボティック・トイ」

Robotic-Toy

ロボット技術を応用した玩具のデザイン

例えば

面白いカタチをしたものが、面白い動きをする。美しい物体が光や音を発する。人の動きに反応する。可愛いオブジェのようなものなど・・・・・。

6.[教育プログラム]テクノアートプロジェクト(最終報告会:2017年1月18日(水))



製作したロボットの展示



最終報告会のアジェンダ



最終報告を聴く学生達



表彰式

6.[教育プログラム]テクノアートプロジェクト(作品紹介)



Orio　turtle



幼児向けの回転するプラネタリウム

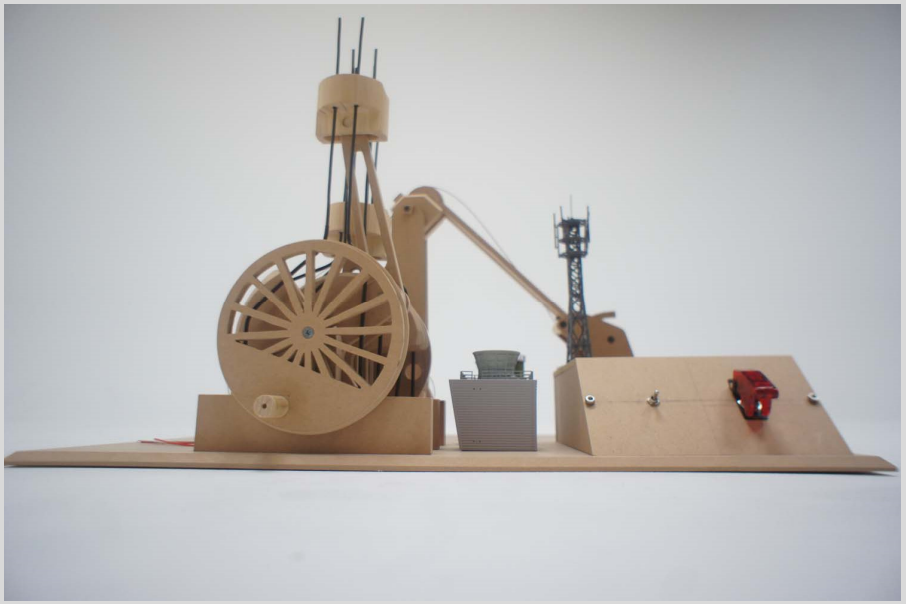


Dance



CORE

6.[教育プログラム]テクノアートプロジェクト(作品紹介)



ジオラマとからくりを合わせた「からくり工場」



癒しを与えてくれる動く光のオブジェ



光る　チャンバラ



仕掛け絵本

平成 28 年度
【③事業モデル】

HRRC※における研究開発から事業展開への戦略と課題

※ヒューマン・ロボティクス・研究センター：九州産業大学内に設置された人間生活を向上させる機器開発を目的とした研究実用化拠点

九州産業大学 経営学部教授　聞間　理（ききま　おさむ）
【専門：組織学習理論　組織開発論　プロジェクトマネジメント論】

戦略策定の支援活動

- 事業開発と組織開発の理論研究
- プロジェクトマネジメント思考の浸透後押し
- レゴブロックを活用創造的思考法の研究開発



→ ワークショップの実施

情報収集・分析活動

- 医療関係者へのヒアリング
- 開発関係者へのヒアリング
- 市場・技術動向の把握
- 開発事例の収集

→ 分析報告書の作成

事業展開を見据えた開発のポイントと課題の抽出

事業展開における留意点	開発プロセスでのポイント	今後解決していくべき課題
介護機器・医療機器として認定されるには時間がかかる。	機器認定を受けることを前提としない市場を想定して開発を進める。	認定を受けていなくとも信頼性を確保するために有効な方策とはどのようなものか。
介護報酬（３年に一度）・医療報酬（２年に一度）の改定が政府主導で行われる。	介護報酬・医療報酬に依存しない機器として開発をする。および、開発スピードを上げる。	現場で働く医療関係者との密接なやりとりのできる開発体制をいかに構築していくか。
患者の症状および人間の体型の多様性が極めて高い。	完全自動化ではなく、介護士・患者が主体の作業を支援することを狙いとした製品を開発する。	現場の活動について、より深く理解していくこと。
今後、医療・介護に対する政府支出が減り、病院もしくは患者の負担が増える。	買い切りではなく、レンタルなどの方式なども模索する。	メーカーだけでなく、レンタルに対応してもらえる病院・代理店等パートナーを開拓する。

HRRCの中長期的な発展に向けて（今後の支援活動計画）

- 2030年に向けたHuman Robotics Development Vision（仮称）の策定
- HRRC内で進む同時並行的に進んでいる開発プロジェクトのシナジー設計
- 創造的な事業開発の引き金となる互恵的外部パートナーの開拓

文科省戦略事業と本学実用化事業との関係

★HRRC戦略事業チェック表

戦略重点課題

			H25.10～	H26	H27	H28	H29
実用化支援研究費事業	戦略重点課題	スキーム	設計要件の定義	プロトタイプ設計	プロトタイプ製作	実用化モデル確定	社会実装
		①訓練・介護支援ロボットの開発 起立訓練支援ロボット	機構設計を確定	起立パターンを確定	プロトタイプを完成	臨床試用・改良中 20%	モデル策定 → 医療・介護現場へ実装
		①訓練・介護支援ロボットの開発 立位保持訓練ロボット＋通信機能の実装	機構と重心移動機能を実現	プロトタイプを完成	小型機を試作	臨床での検証・改良中 20%	
		①訓練・介護支援ロボットの開発 歩行訓練ロボット	機能設計の見直し完了	主要機能のソフト開発完了	プロトタイプを完成	臨床での検証・改良中 20%	
		①訓練・介護支援ロボットの開発 ベッド上生活者用介助ロボット	概念設計を完了	試作を完了	プロトタイプを完成	臨床での検証・改良中 20%	
		②ビジネスモデルの構築	予備調査実施	事業プラン調査実施「インプリケーション」	事業プラン素案を作成「基本的枠組み」	事業プラン・モデル構築中 20%	
		③プロダクトデザイン	予備調査実施	意匠設計の調査実施	意匠設計の素案作成「HRRC'15実施内容」	効果検証中 20%	
		④若手人材育成 [教育プログラム]テクノアートプロジェクト	H25年度プロジェクト完了	H26年度プロジェクト完了	H27年度プロジェクト完了	H28年度プロジェクト実施予定	人材育成を継続実施
		④若手人材育成 高齢者・障害者利用を想定した未来のパーソナルトランスポーテーション		モデリング＆公開・展示	模型を製作・展示	機構モデルを開発中	
		④若手人材育成 地域の伝統産業と連携した研究センター機能を活用した商品開発			実験用椅子を製作	展示へ向け準備中	
		④若手人材育成 [教育プログラム]VBAを用いたロボット制御プログラミング	授業実施	授業実施	授業実施	授業実施予定	
		⑤要素技術開発	確立した技術から機器へ組込み、または単体で実用化				

(c) KyushuSangyoUniversity

HRRC

戦略重点課題　事業モデルの開発

前年度は事業化・開発の調査、キーワード抽出した

これをうけ、大学の研究センターの役割を検討、 4つの面を認識しバランス良く展開、

事業モデルの観点から整理する

重視項目	事業開発 （大学外への成果の定着）	関係構築 （アイディアの芽が生まれる）
将来性 （大学ならでは）	コンセプトモデル カスタマイズモデル（一点物）	プロジェクト教育 学部・企業・大学間の交流
現実性 （社会貢献）	普及モデル開発 （在宅・自主訓練向け）	病院・介護業務の支援 （現場での個別の困りごと解決）

HRRC

戦略重点課題 事業モデルの開発

4P分析・戦略フレームワークからモデルを整理する



戦略要素	コンセプトモデル カスタマイズモデル	普及モデル
PRODUCT （製品設計）	・最新技術 ・未来性や思想を感じさせるデザイン ・対応が難しい問題を扱う	• 操作が簡単 • 丈夫で壊れにくい • 情報を可視化、フィードバックする
PRICE （価格）	・原価（人件費含）に利益のせる	• 規格化または レンタルで低価格化
PLACE （流通経路）	・個別の企業や病院、個人と直接取引	• メーカー・代理店が カタログやチラシを通じ 注文販売、レンタル
PROMOTION （販売促進）	・必要なし （展示会等でのアピールは価値ある）	• 医師・療法士、ソーシャルワーカーからの推薦 • 効果エビデンス

8

HRRC

戦略重点課題 事業モデルの開発

例

普及モデルの事例を考える

調査結果をふまえコンセプトを整理した



在宅・時間外の自主訓練でつかうリハビリロボット

- どんなロボットか？

十分な訓練量をつくる → 従来訓練と同効果の検証、適用方法

診療報酬をつかわない（自己負担） → 患者・要介護者にとって妥当な金額

高齢者が簡単につかえるなど → 実用上の課題

- 普及するためには

JST研究開発成果実装支援プログラム（RISTEX） を想定

9

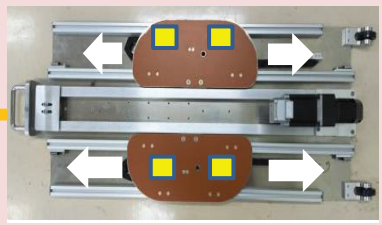
HRRC

戦略重点課題　事業モデルの開発

例　ロボットの実装コンセプト

- 効果がみえる
- 安い
- 使いやすい





基本ユニット　＋　臨床研究オプション
機能しぼり　低価格
高齢者にやさしい　I/F

展示で医療関係者の意見を聞く

海外からも引き合い（米・豪）
技術移転を検討する
（DH社、HM社、KM社など）

リハセンター



在宅



HRRC

戦略重点課題　事業モデルの開発

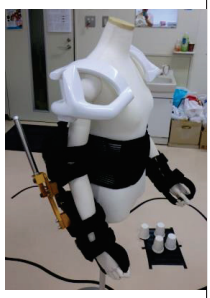
KSU KYUSHU SANGYO UNIVERSITY 九州産業大学

●調査　1　事業化のキーワード

- TARGET　認証ハードル低、安価、医療業務サポートに徹する
  - ・医療・介護の認証ハードル高
  - ・高額は経営側が　作業代替は現場が　抵抗
- COST　レンタルで導入コスト抑制、長期継続で費用回収ねらう
  - ・故障や使い方の習得への不安
  - ・アップグレード、メンテナンスサービス
- DATA　形式の統合で、治療記録を総合的管理
  - ・発症から回復までカバー
- RESEARCH　研究用データの記録機能
  - ・スタッフのキャリア形成　治療だけでなく研究も奨励
- FRIENDLY　親近感、ロボット活用教育
  - ・ロボット代替に抵抗強い
  - ・一般の人がロボットとの距離を縮めるように
  - ・ロボットとの付き合い方を学ぶ教育プログラム



●調査　２　開発のキーワード



- 頻繁かつ多様なアイディア　専門職からフィードバック
  - ・まずアイディアふやす　リハビリ専門学校などと連携
  - ・文系学部の学生もはいるワークショップ
- 病院以外の実装ルートをさがす
  - ・専門職から支持を得られないことも
  - ・病院ルートにこだわらず、　障害者施設、高齢者住宅、教育現場とも
  - ・日常生活フィールド＝潜在市場　　連携相手の多様性でさらに大きく
- データの標準化と連結化で新たな価値
  - ・治療の各ステップでつかう機器をつなげデータ蓄積
  - ・キャリアアップの研究支援につながる
- 既存の機器改良、オプション開発でコスト下げる
  - ・技術を切り分けオプション　コスト、導入障壁さげる
  - ・小さな改良の積み重ねで実装化へ
- レンタルをベース、アフターケアで満足度と収入

HRRCのロボットをどう実装するか？

◆ めざすこと

・コスパの高い医療・介護サービス実現

◆ しかし、現実は

お金を使わず、高い効果をだし、やる気もだしてもらう、、、

ソンナコトデキルノカ　？？



◆ HRRCはどう貢献するか？

・シーズを　新しいコンセプトで　くみあわせる

・認証ハードルが低い

・安い　（個人負担できる）

・データもとれる　（効果検証用）

・簡単にあつかえる

普及モデルの例で

平成２８年度　活動報告

平成２８年度　シンポジウム・報告会

2016 韓国共同セミナー

NRC-TRPRR Symposium on Translational Rehabilitation Robots

平成 28 年 11 月 5 日　大韓民国ソガン大学にて



韓国ソガン大学のご協力のもと、シンポジウムを開催しました。韓国、日本双方の研究者より、応用研究、実用例について発表がありました。

研究者同士の意見交換では、技術的な内容の他、介護支援ロボットの普及・展開においてどのような障壁が想定されるか、互いの国の認可制度、ロボットの受入を患者が許容できるかどうか文化的な側面でも議論されました。特に実用面での日本側の見解について韓国研究者の関心の高さが伺えました。

한국 서강대의 협력하에 심포지엄을 개최했습니다. 한국, 일본 쌍방의 연구자보다 응용연구 실용 예제 발표가있었습니다.

연구자끼리의 의견 교환은 기술적 인 내용 외에 개호 지원 로봇의 보급 · 배포시 어떤 장벽이 예상되거나 서로 국가 승인 제도 로봇의 수입을 환자가 허용 할 수 있는지 여부 문화적인 측면에서도 논의되었습니다. 특히 실용면에서 일본 측의 견해에 대해 한국 연구자의 관심의 높이가 방문했습니다.

HRRC





九州産業大学

Human Robotics Research Center

(2013. 11 -)
Prof. Taisuke Sakaki
Director of HRRC, Kyushu Sangyo University

Selected as a Private University Strategic Research Support Project
in Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology from 2014 in Japan



(c) KyushuSangyoUniversity

HRRC

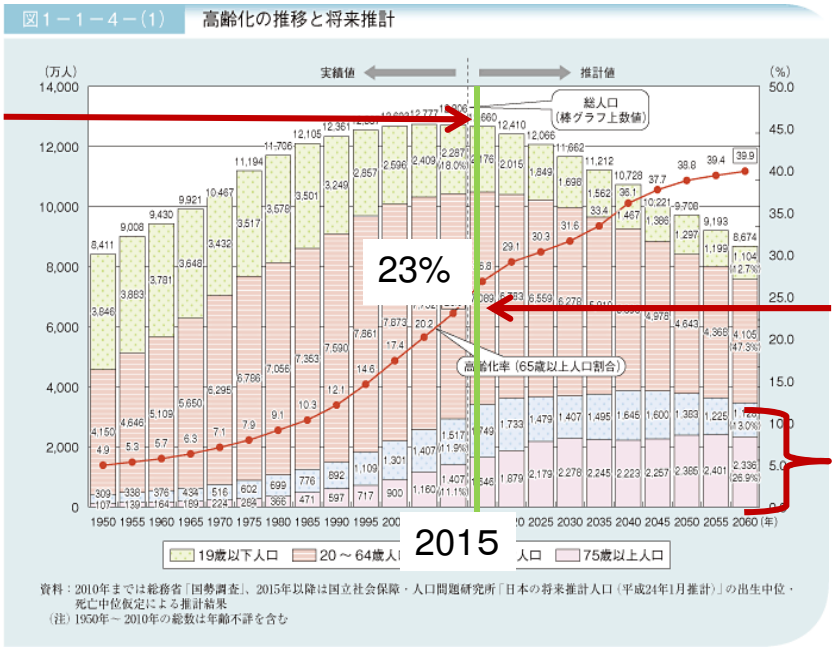
九州産業大学

Background of HRRC

- Super Aging Society: Over 65 Yrs. = almost 25% of population

Total population
120 MM

Changes of
population
in Japan



Aging rate

Over 65 Yrs.

Stroke: 300,000 people suffer every year, Total patients = 1,330,000

Non-bony type cervical cord injury caused by falling

- Expectation for robots is high to accelerate recovery, reduce load of therapists, and save medical/welfare costs.

(c) KyushuSangyoUniversity

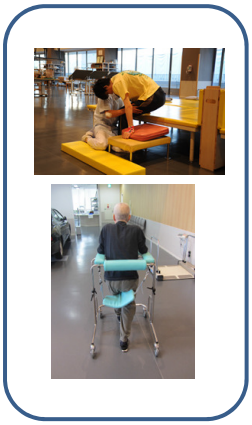
HRRC

Target of HRRC

九州産業大学

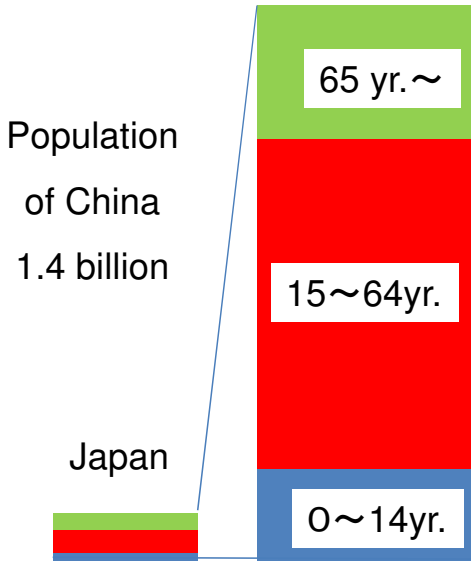
Problems of Med. & Care fields → application of robots to medical & care fields →

- Load, manpower and cost
- Efficiency of service work
- New market of Asia





Solutions with applying robotics



10 times as large as Japan

(c) KyushuSangyoUniversity

HRRC

Strategies of HRRC

九州産業大学

- Appropriate technologies combined to necessities in practices
- Product design for user-friendly interface
- Business model for application of robots

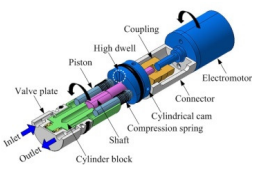


Hospital
Care House

Company
Local Gov.

Combination & application of Specialties

Component Tech.



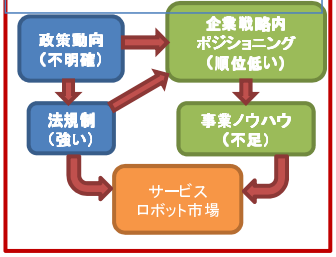
F. of Eng. & IT

Product design



F. of Art

Marketing, business model



F. of Management

Education Human resource



Target of Application: L.E. Training with Robots

① Training in range of motion and muscle strengthening

② Training to maintain a seated position

③ Training in standing up and sitting down

④ Training in basic walking pattern

⑤ Training in practical walking

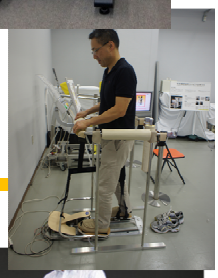
under development

under development













HRRC

Training Robot for Assisting with Standing Up and Sitting Motions

九州産業大学

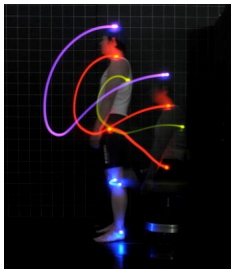
For use at rehabilitation center and/or care house

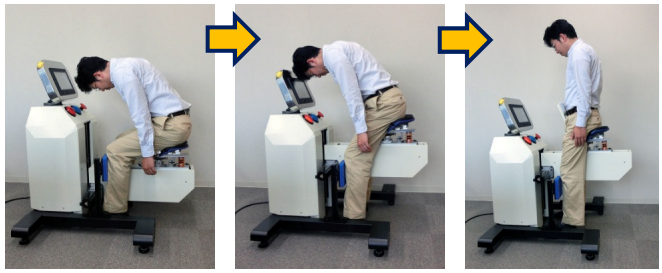
Cooperated with Japan Finetech co. and SCI center

- Sophisticated natural assisting standing motion
- Fitting harness to support body trunk and hip
- Automatic speed and force controls and evaluation functions







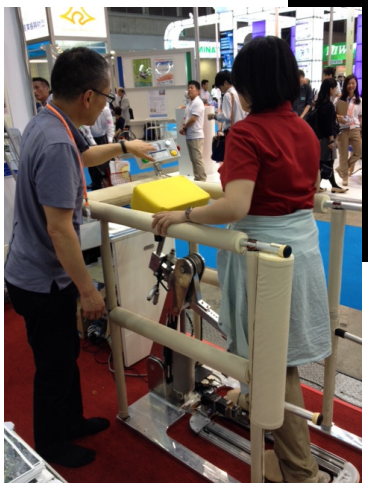


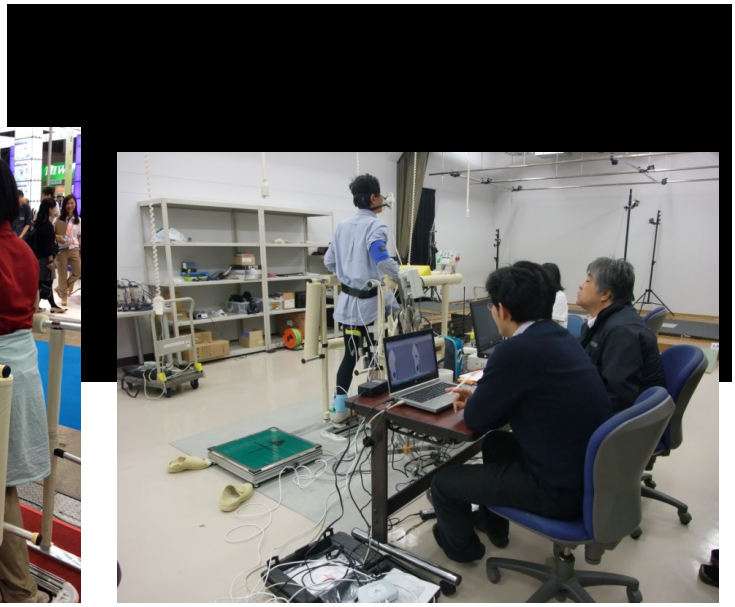
© Kyushu Sangyo University

Training robot of basic walking pattern

- Training at home or care house
- Assists training of body weight transfer and swing phase motion with sliding mechanism
- Evaluates recovery levels of locomotive functions



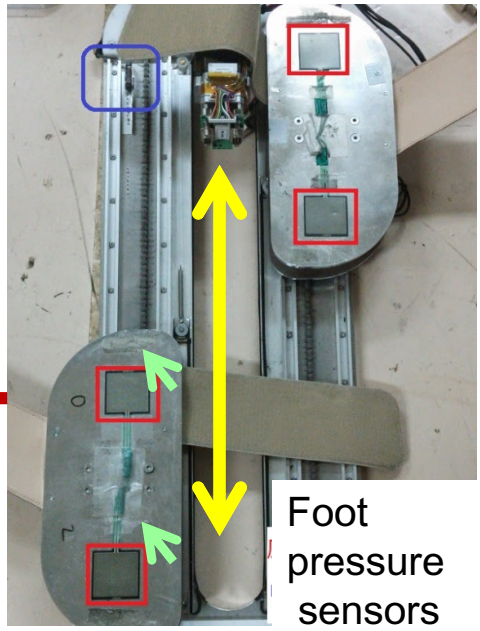




Simple Mechanism and User Interface for Home use







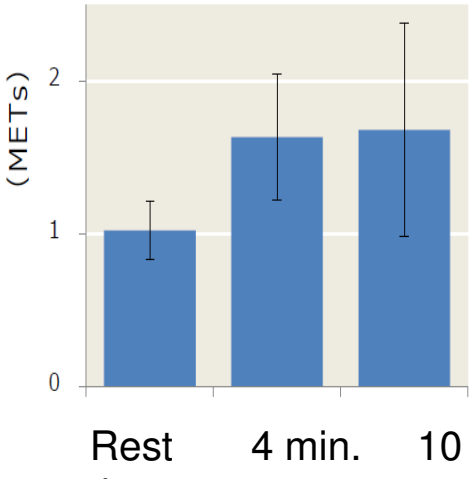
Foot pressure sensors

- Provides reciprocal sliding motion forward & backward of foot steps
- Assists motion by sensing transfer of foot pressure
- Evaluates recovery level of leg motion after training

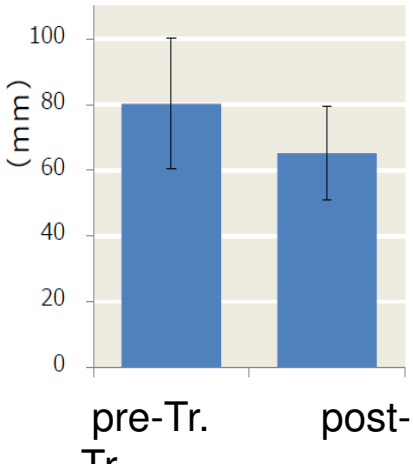
Experiment 1: Load of Robot Training

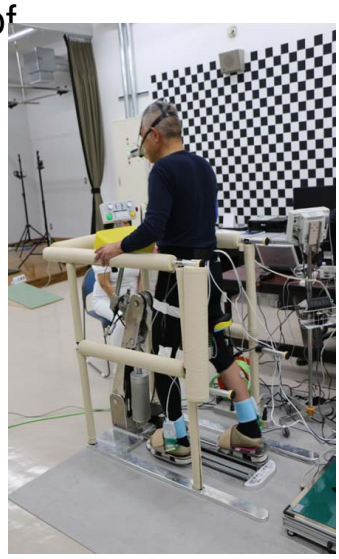
- 6 NL 5M,1F 62.2 ± 0.8 yrs. 69.4 ± 10.8 kg
- 5min. Rest -> 10min. training
- Trajectory of Gravity Center of Body, Oxygen Intake, Heart Rate, Blood Pressure, Foot pressure
- Metabolic equivalents of Machine Training = 1.7±0.7 METs
  1.5 * METs = load of office work in sitting
- Mild load for elderly and/or physically disabled ?
- Total Length of Trajectory of Gravity Center of Body decreasing ?

METs (Load)

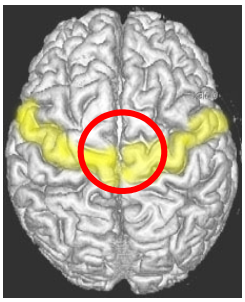


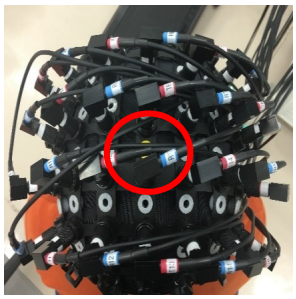
Total Length of Trajectory of Gravity Center of Body



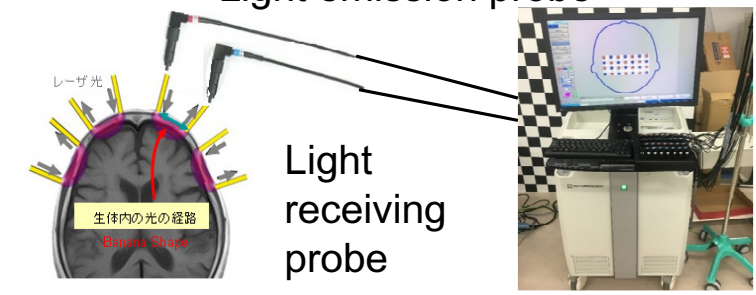


Experiment 2: Brain Activation during Robot Training





Light emission probe

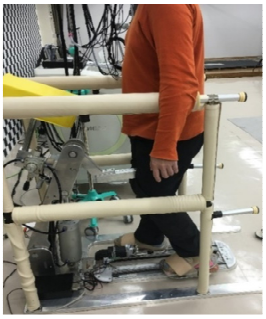


- 1NL (M) 22 yrs.
- rest 30sec.-motion 30sec.-rest 30sec. 10 sets
- Near-infrared Spectroscopy (NIRS) detects amount of hemoglobin in brain w/wo oxygen
- Motor area of leg motion



Control
On Treadmill

- 2km / h
- Quasi-walking (active motion)



Robot Training

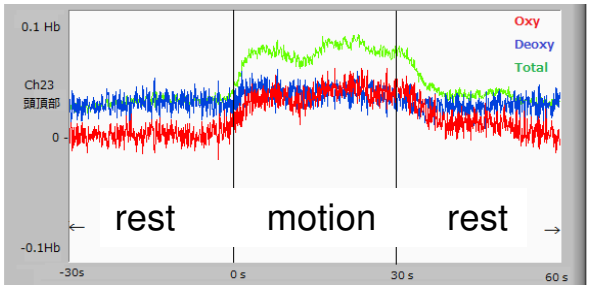
- Slide motion conditions;

Heel up at edge of sliding (almost passive)

Experiment 2: Brain Activation during Robot Training

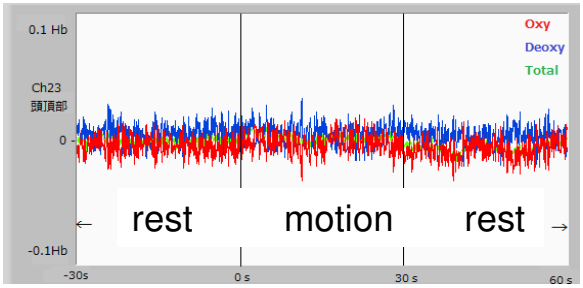
Compare brain activities at quasi-walking motions
on treadmill and presented robot

- NN activated in treadmill training
- Not activated in robot training
  (almost passive)



On Treadmill

- Functions facilitating body weight transfer and swing phase motion with information and motion feedbacks maybe activates NN.
  (under study)



Robot Training



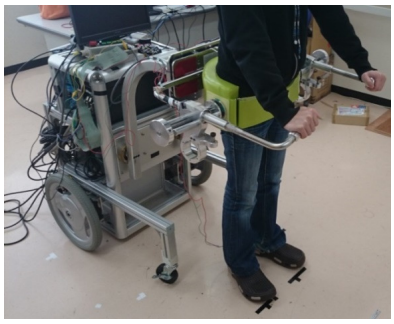


HRRC

Training robot for practical walking

九州産業大学









- Preventing risk of falling (halt in case of falling)
- Easy to operate by following function of trunk motion
- Assisting leg and waist motions
- Maintaining right posture of body trunk
- Minimum fixation of patient's body to machine

© Kyushu Sangyo University

HRRC

Robot system assisting for grasping and monitoring object

九州産業大学

（1） Robot hand for grasping object

- Assisting to grasp object like spoon and cup
- Soft device to fit complex shape of object
- Small and light weight ; easy to use on bet





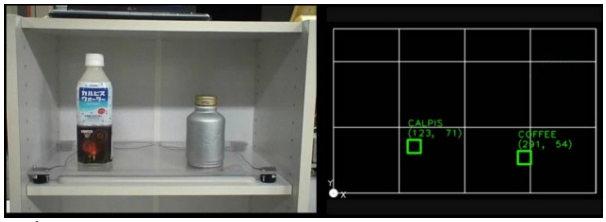
Grasping a cup



Grasping a spoon

（2） Robotic monitoring system

- Display name and position of object
- 5 and more objects' information is available



© Kyushu Sangyo University

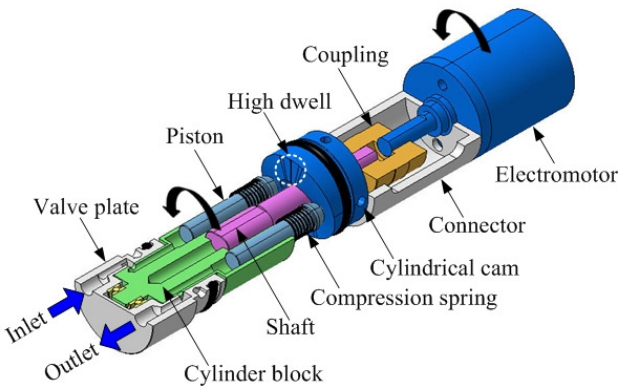
HRRC

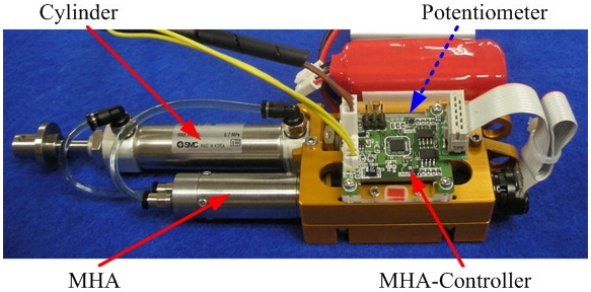
Small and lightweight actuator for med. and welfare fields

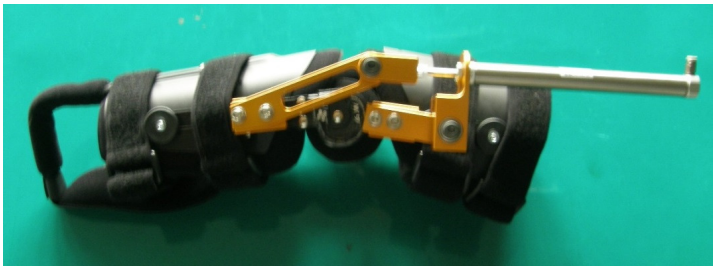
九州産業大学

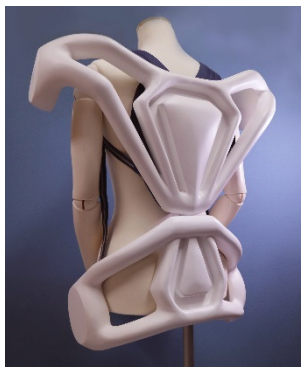
Electric Hydro Actuator

- Small and light weight in a world （weight 60gf, finger size）
- Pressure 4 MPa and more, force 500 kgf, 20mm φ











Application to power suit for rehabilitation

© Kyushu Sangyo University

HRRC

Robotic Stretcher for Spinal Muscular Atrophy Patient

九州産業大学 北九州市 CITY OF KITAKYUSHU



User's Ability

- Only right index finger can move
- Limited range of view by body posture
- Proper body support required



Spinal Muscular Atrophy User

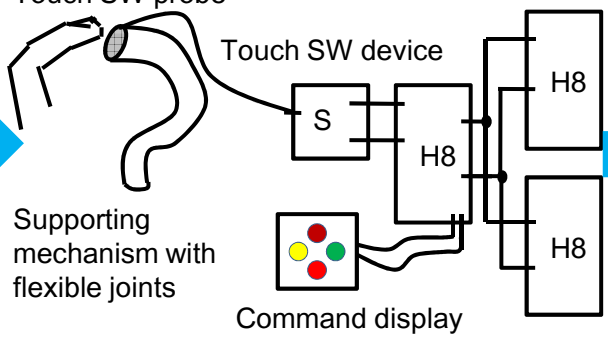
Web cameras mounted on robot flames

User's finger



Touch SW probe

Touch SW device



Supporting mechanism with flexible joints

Command display



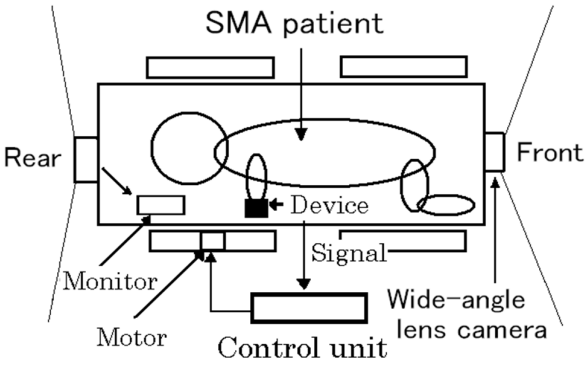
Capacitance touch SW

Micro computers

E. Wheel chair motor unites

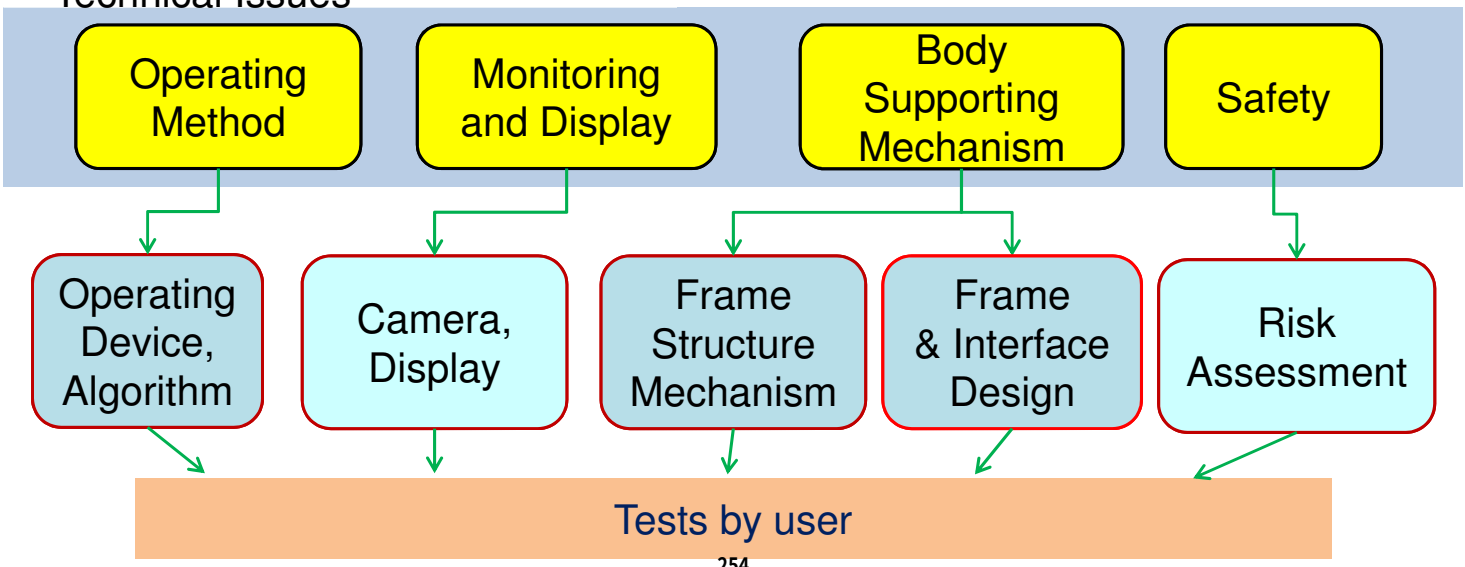
© Kyushu Sangyo University

Concept: Robotic Stretcher





Technical Issues



© Kyushu Sangyo University

HRRC

Business Model



Commercialization

- TARGET low hurdle to regulation, supporting staff's job
- COST easily purchased by rental system with long period cost collection
- DATA overall management of treatment record by unification of data form
- RESEARCH recording function of research data for medical staff
- FRIENDLY education for potential robot user

Development

- Frequent talk of variety of ideas with comment of med. and care staff
- Realization except for hospital-use
- New value by standardization and totalization of data
- Modification of conventional product with optional functions, easy and low cost
- User satisfaction by aftercare

© Kyushu Sangyo University

Education projects

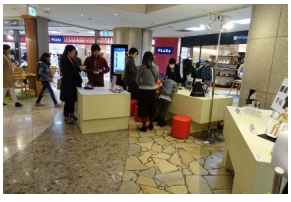
- **Personal transportation for elderly and handicapped**
  - Advanced wheel-chair and E-cart
  - 3D, practical and stylish design



- **Product design cooperated with local traditional industries**
  - Training of breakthrough in product development
  - Comfort chair for elderly



- **Techno-Art project**
  - Student teams by inter-department of university
  - Planning, design, presentation by team work





© Kyushu Sangyo University

HRRC

Future topics : Application to integrated community care system

Target : Efficiency, real-time process, optimization
Hardware : mechanism, sensor, ICT infrastructure
Software : prediction, cost , care adjustment



Local care center

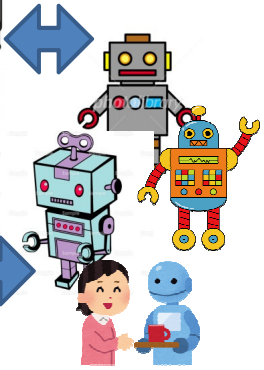
Prescription and guidance
By monitoring home care/reha.

Home care

Robot team
Care motion



24 hrs Net-login
common protocol, IoT



Big-Data Server

Prediction of change
of recovery/care state

Cost/Performance management
- on Care receiver
- on Care giver
- on Management
- on Production
- on Government budget

C/P to robot motion planning
- care level adjustment
- prediction of care situation and limitation

User state,
Care/training contents



Wearable sensors
Blood pressure, heart beat,
training period, brain activity,,,

© Kyushu Sangyo University

HRRC





KSU KYUSHU SANGYO UNIVERSITY 九州産業大学

Human Robotics Research Center

Thank you very much.

Director of HRRC, Kyushu Sangyo University

Selected as a Private University Strategic Research Support Project
in Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology from 2014 in Japan



(c) KyushuSangyoUniversity

平成 26 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業
「せき損患者の機能回復支援を中核とする介護現場革新のための機器実用化」に関する成果報告

平成 29 年 2 月 21 日　九州産業大学にて



平成 29 年 2 月 21 日九州産業大学内で開催された「研究シーズ発表会」にて、大学を代表する研究として基調講演に登壇しました。これまで平成 26 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の締めくくりとして、3 年間の事業成果とその成果を社会に還元する仕組み「包括ケアシステム」について発表しました。

また、講演後の展示会では実機群を展示し、訪れた方々幅広いニーズ層から活動への支持をたくさん頂きました。

これからも、作るだけでは終わないロボット開発と社会実装へ向けて、ネットワークを広げていきたいと考えております。



平成２８年度　出展

・ロボット産業マチングフェア北九州　２０１６

・イノベーション　・ジャパン２０１６大学見本市

・第 43 回国際福祉機器展 H.C.R.2016

・P.P.C.2016 第 18 回西日本国際福祉機器展

ロボット産業マッチングフェア北九州 2016 出展結果

会期　　平成 28 年 6 月 15 日（水）～17 日（金）

会場　　西日本総合展示場新館（北九州市小倉北区浅野）

出展数　　企業・大学・研究機関等 87 社

来場者数

日付	会場全体	本学
6/15	4,638 人	15 人
6/16	4,660 人	29 人
6/17	5,390 人	26 人
計	14,688 人	70 人

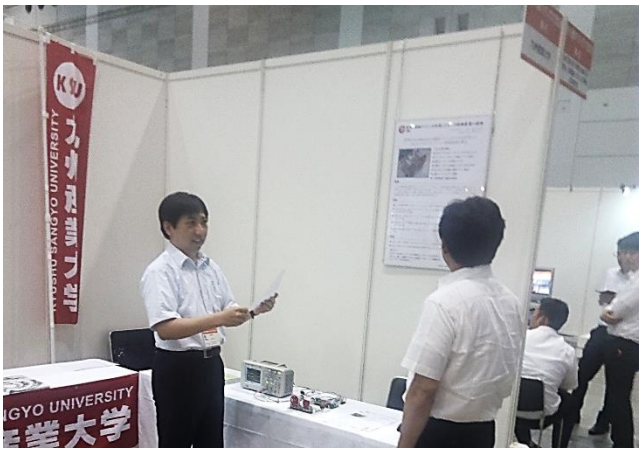
出展内容　　工学部 鶴田研究室・情報科学部 澤田研究室

ARM マイコンを利用したモータ制御装置の開発

福岡システム LSI カレッジ教材の展示

所見　　本学ブースでは、工学部 鶴田研究室・情報科学部 澤田研究室が開発した「ARM マイコンを利用したモータ制御装置」を展示しました。

この装置は、福岡県の外郭機関である福岡システム LSI カレッジの教材として活用されており、大学・高専など、技術者育成に関わる教育関係者から関心を頂きました。また、見学で展示会を訪れた高校生からも、展示物の実演や本学の実践型教育について興味を持って頂きました。



研究室　展示ブースの様子

イノベーション・ジャパン 2016 大学見本市　出展結果

会期　　平成 28 年 8 月 25 日（木）～26 日（金）

会場　　東京ビッグサイト（東京国際展示場）西展示棟　西 1 ホール

出展数　　大学等 500 ブース

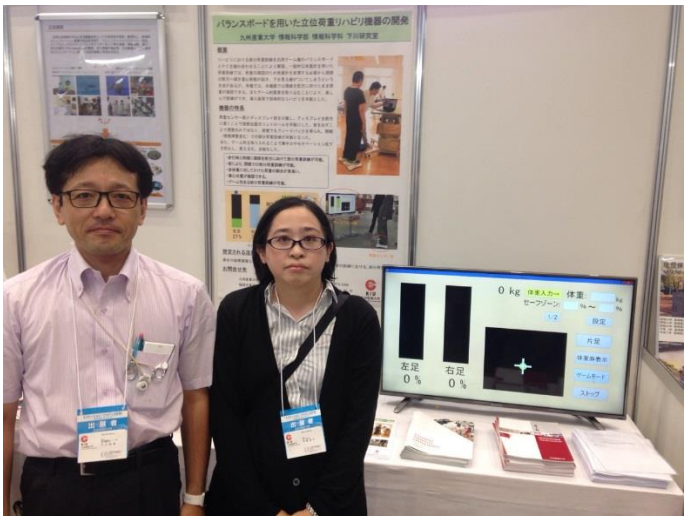
来場者数

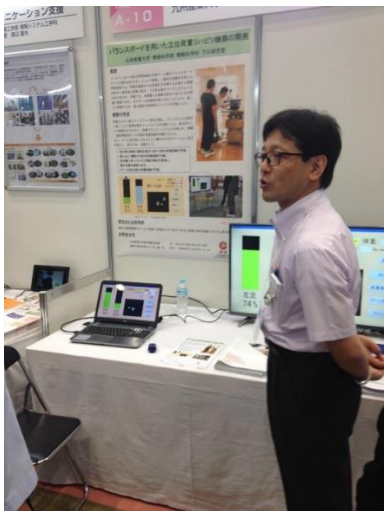
日付	会場全体	本学
8/25	11,284 人	53 人
8/26	9,292 人	43 人
計	20,576 人	96 人

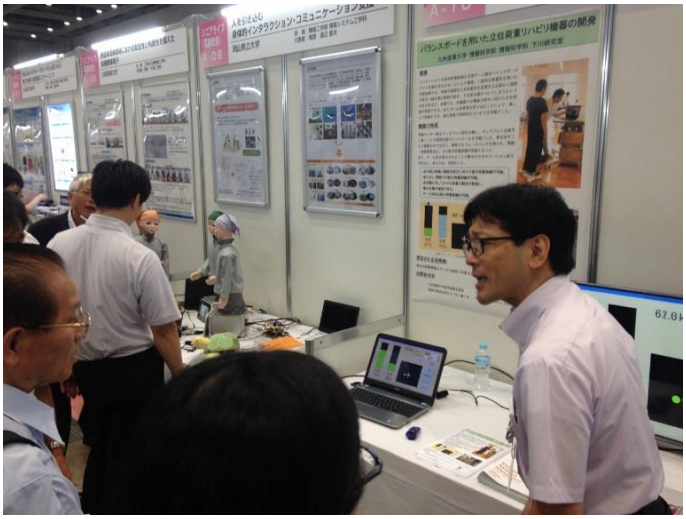
出展内容　　情報科学部　下川俊彦　教授「バランスボードを用いた立位荷重リハビリ機器の開発」

所見　　製造業、大学、医療機関等より多くの来訪をいただきました。本学が展示した「バランスボードを用いた立位荷重リハビリ機器」は、すでに市内のリハビリ施設で実証試験を行っているため、社会貢献の具体的な事例として好評を得ました。

展示ブースの様子









第 43 回 国際福祉機器展 H.C.R.2016　出展結果

会期　　平成 28 年 10 月 12 日（水）～14 日（金）

会場　　東京ビッグサイト東展示ホール（東京都江東区)

出展数　　企業・大学・研究機関等 530 社

来場者数

日付	会場全体	本学
10/12	37,453 人	84 人
10/13	36,741 人	123 人
10/14	38,558 人	112 人
計	112,752 人	319 人

出展内容　　工学部バイオロボティクス学科・教授・榊 泰輔

免荷式立位保持訓練ロボットの展示

所見　　本学ブースでは、榊研究室の「免荷式立位保持訓練ロボット」を展示しました。

行政、研究機関、病院・リハビリセンター、製造業の方が多く来場され、展示物の実演に興味を持って頂きました。また、研究内容について説明を行い、装置に関するご意見を頂くことが出来ました。





本学ブースの様子

P.P.C.2016 第 18 回西日本国際福祉機器展　出展結果

会期　2016 年 11 月 24 日（木）～26 日（土）

会場　西日本総合展示場　新館展示場

出展数　企業・大学・研究機関等 144 社

来場者数

日付	会場全体	本学
11/24	6,264 人	30 人
11/25	6,644 人	91 人
11/26	6,995 人	110 人
計	19,903 人	231 人

出展内容　工学部バイオロボティクス学科・教授・李　湧権
パワードスーツの展示

所見　本学ブースでは、李研究室の「パワードスーツ」を展示しました。
行政、研究機関、病院・リハビリセンターの方が多く来場され、展示物の実演に興味を持って頂きました。また、研究内容について説明を行い、装置に関するご意見を頂くことが出来ました。



本学ブースの様子

平成２８年度　教育活動

・九産大プロデュース展

・テクノアートプロジェクト

平成 28 年度教育活動について

「九産大プロデュース展」

九産大は、２月 23 日（木）から３月５日（日）まで、天神イムズの地下２階イムズプラザで、「九産大プロデュース展 2017」を開催しました。

この展示会は、九産大芸術学部・工学部・情報科学部・経営学部の学生約 100 人が、地域産業振興のため、約 40 の地元企業との協働の成果を紹介するもので、平成 21 年から毎年開催しています。

会場では、ヒューマン・ロボティクス研究センターの介護・福祉ロボットの他、大川家具のほか久留米織、博多人形、博多織などの伝統工芸品を若者の視点から新しく開発したものなど、100 点以上を展示しました。また、宗像・赤間宿や久留米・石橋文化センターを中心とした地域振興策などの成果発表も併せて行いました。

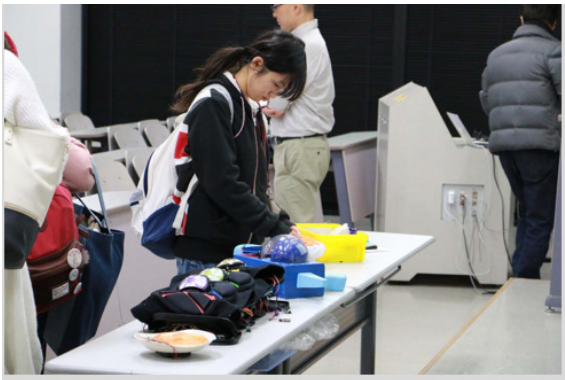






「テクノアートプロジェクト」

2016 年度プロジェクトテーマ「ロボティック・トイ」Robotic-Toy を学生の課題として与え、ロボット技術を応用した玩具のデザイン、例えば面白いカタチをしたものが、面白い動きをする。美しい物体が光や音を発する。人の動きに反応する。可愛いオブジェのようなものなどをテーマの志向として、チームを組んでロボットの製作に取り組みました。当該年度は、新たに韓国慶南大学の学生チームが加わり、国際的なコンペが繰り広げられました。



製作したロボットの展示



最終報告会のアジェンダ



最終報告を聴く学生達



表彰式

学生たちの作品



