

厚生労働科学研究費補助金（障害者対策総合研究事業）
分担研究報告書

頸髄損傷者での有効性の検証

分担研究者 中山 剛 国立障害者リハビリテーションセンター研究所 主任研究官、室長
研究協力者：尾形邦裕、木下崇史、山口 純

研究要旨

重度肢体不自由者用ロボットアームのコスト・ベネフィット評価の一環として、高位頸髄損傷者を被験者としたロボットアームの有効性に関する検証を行った。平成23年度からの継続として、四肢麻痺のある高位頸髄損傷者2名を被験者とした日常生活におけるロボットアームの活用場面を想定した短期評価実験と高位頸髄損傷者3名を被験者とした自宅環境における電動車いすに搭載したロボットアームの長期評価実験を試みた。「コップに水分を注いで飲み物を飲む」などの動作を対象とした短期評価実験の結果、ロボットアームを用いることによって種々の日常生活における物品操作を主体的に行うことが可能となり、生活の質と自律度を向上させる可能性が示唆された。QUEST2.0の得点がJACO armで 3.25 ± 0.35 点、iARMで 3.13 ± 0.25 点であり、それなりの満足度を得たことが示唆された。一方、PIADSの合計得点はJACO armで 0.31 ± 0.16 点、iARMで 2.09 ± 0.56 点であり、心理的効果が殆どない事例などロボットアームの機種や被験者によって差異が認められた。長期評価実験の被験者3名のうち、体調不良等に起因して1名が終了時評価を未実施、1名が導入時点で留まった。残りの被験者1名によるiARMを対象とした長期評価実験の結果、短期評価終了時と比較して終了時点のPIADS得点は1.19点から0.04点、QUEST2.0得点は3.38点から2.38点と減少した。一方、AMPS運動項目ではロボットアーム使用時に0.78ロジットの増加と、0.5ロジット以上の増加を認め、ADL運動能力としてロボットアーム導入により有意な差が認められた。

A. 研究目的

頸髄損傷（Cervical cord injury）は「頸髄の損傷で四肢麻痺（完全または不全）をきたす。髄節レベルによって残存する機能・能力は著しく異なる」と医学辞典に解説されている¹⁾。ヒトの脊髄は頸髄8髄節、胸髄12髄節、腰髄5髄節、仙髄5髄節、尾髄1髄節の合わせて31髄節からなる。脊髄が何らかの原因により破壊されて神経組織が死んだり切れたりして起こった知覚や運動の障害が麻痺であり、このような状態が脊髄損傷である。特に頸髄8髄節における損傷を頸髄損傷、頸髄損傷を被った人を頸髄損傷者と呼んでいる。脊髄損傷の原因は①けが、交通事故、転落事故などの外傷、②腫瘍が脊椎や脊髄にできた場合、③脊髄にいく血管がつまった場合、④脊髄の炎症、⑤脊髄への圧迫（靭帯の骨化症・椎間板ヘルニア・変形性脊椎症など）、⑥その他の病気（先天異常・脱髄性変性疾患・代謝性疾患など）が挙げられる²⁾。

海外では高位の頸髄損傷者を評価者として、重度肢体不自由者用ロボットアームを在宅で利用した際の有効性の報告が以前よりなされているが³⁾、我が国においてはほとんどなされていない。重度肢体不自由者用ロボットアームの有効性はその利用者の身体状況のみならず、利用者を取り巻く環境、例えば住宅や公共機関の状況にも依存すると

容易に推察される。

以上を背景にして、高位の頸髄損傷者を対象とした適応についての検討を踏まえて、高位頸髄損傷者が日常生活におけるロボットアームの活用する場面を想定した評価実験を実施する。平成24年度においては2名の高位頸髄損傷者を被験者とした短期評価実験、3名の高位頸髄損傷者を被験者とした長期評価実験を実施する。

B. 研究方法

1. 短期評価実験の方法

短期評価実験のプロトコル詳細については資料3の「短期評価プロトコル」を参照する。平成24年度に実施する被験者2名の被験者の身体状況などの概要ならびに評価対象とするロボットアームの機種名や操作方法などの条件を以下に示す。

・平成24年度短期評価実験被験者1

疾患名：頸髄損傷 C4完全麻痺

年齢：40代

肢体不自由の状況：

四肢麻痺（完全）

改良Zancolli分類 C4

使用車いす：電動車いす（インバケア社製）

電動車いす操作：

チンコントロールによる自走

ティルト・リクライニング操作も自立
パソコンの文章入力方法：

自助具（マウススティック）でキーボードを押下

評価対象のロボットアーム：

JACO arm（カナダのKinova Technology社製）

使用コントローラ：

ミニデジタルジョイスティック（プレスジョイスティック）、プッシュスイッチ1（増設：右側頭部）、プッシュスイッチ2（本人使用：左側頭部）

固定位置・方法：

ロボットアーム本体は、取付台に固定したうえで電動車いすの右側方に配置。コントローラはミニデジタルジョイスティック（顎近位）、ワンボタンスイッチ1（右側頭部近位）ともにユニバーサルアームにて電動車いすのフレームに固定。

操作方法：

プッシュスイッチ1にて基本姿勢となるホームポジションの操作、プッシュスイッチ2にてロボットアームの動作モード切替、チンコントロールにて各モード時における実際のロボットアームの動作を操作する。

その他の補足事項：

各コントローラはJACO arm純正のUniversal Interfaceに接続して使用する。

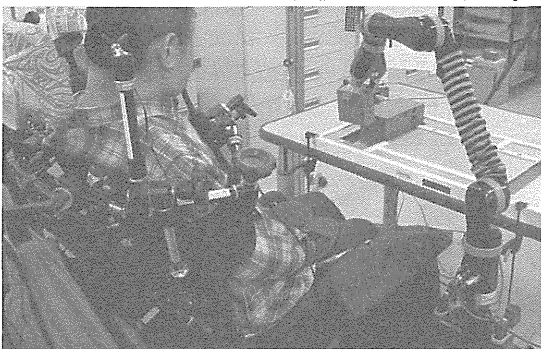


図 II-3-1 平成24年度短期評価実験被験者1のロボットアーム（JACO arm）操作方法

- 平成24年度短期評価実験被験者2
疾患名：頸髄損傷 C6不全麻痺
年齢：60代
利き手／優位手：右手／左手
肢体不自由の状況：
四肢麻痺（不全）
手指および上肢に関節拘縮有
車いす：Nick製 普通型車いす

車いす操作：

足漕ぎでの自走、または介助での走行
評価対象のロボットアーム：

iARM（オランダのExact Dynamics社製）

使用コントローラ：

iARM純正キーパッド（大）

固定位置・方法：

ロボットアーム本体は、純正トライポッドに取付け、車いすの右側方に配置。コントローラは、車いすのアームレスト部にクランプ固定した木製板をカットアウトテーブルの代用として、木製板上に純正キーパッドを固定せずに置く

操作方法：

左手母指にて各キーを押下

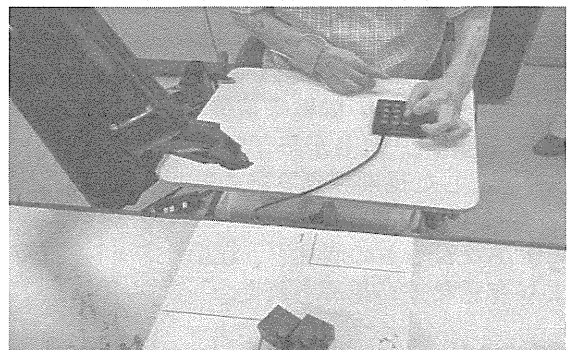


図 II-3-2 平成24年度短期評価実験被験者2のロボットアーム（iARM）操作方法

評価指標として、操作の成否、時間、操作精度を記録し、主観評価として福祉用具満足度評価（QUEST2.0）および福祉機器心理評価スケール（PIADS）、実験項目やロボットアーム本体についての感想などの聞き取り調査などを実施する。

2. 長期評価実験の方法

長期評価実験プロトコル構築については資料4の「長期評価プロトコル」を参照する。平成24年度に実施する被験者3名の被験者の身体状況などの概要ならびに評価対象とするロボットアームの機種名や操作方法などの条件を以下に示す。

- 平成24年度長期評価実験被験者1

疾患名：頸髄損傷 C5不全麻痺

年齢：40代

利き手／優位手： 右手／右手

肢体不自由の状況：

四肢麻痺（不全）

改良Zancolli分類に照らすと、右上肢C5 Bレベル、左上肢C4レベルに近似

ADLはFIM57点、運動項目はほぼ全介助であるが、食事は切り分け当の準備以外

は自助具を使用して自力で摂取。歯磨きも自助具を使用して実施している。

使用車いす：電動車いす（イマセン製）

電動車いす操作：

走行はジョイスティック（Y字）を右上肢にて操作。ティルト・リクライニング操作もスイッチを操作してほぼ自立。

パソコンの文章入力方法：

右手中指甲（第三中手骨頭付近）でキーボード押下、必要に応じて自助具（マウススティック）を併用

評価対象のロボットアーム：

iARM

使用コントローラ：

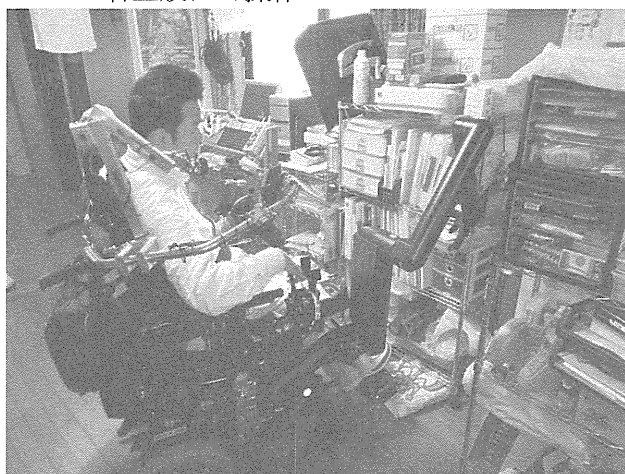
ミニデジタルジョイスティック
（プレスジョイスティック）

固定位置・方法：

電動車いすジョイスティック脇に併設

操作方法：

右上肢にて操作



図Ⅱ-3-3 平成24年度長期評価実験被験者1のロボットアーム（iARM）操作方法

・ 平成24年度長期評価実験被験者2

疾患名：頸髄損傷 C4完全麻痺

年齢：40代

肢体不自由の状況：

四肢麻痺（完全）

改良Zancolli分類 C4

ADLはFIM53点、運動項目は全介助

使用車いす：

電動車いす（サンライズメディカル製）

電動車いす操作：

チンコントロールによる自走

ティルト・リクライニング操作も側頭部でのエッグスイッチ操作を併用して自立。

パソコンの文章入力方法：

自助具（マウススティック）でキーボードを押下

評価対象のロボットアーム：

iARM

使用コントローラ：

チンコントロールジョイスティック（電動車いす操作用の物をスイッチ操作にて切り替えて使用）、プッシュスイッチ（iARM用電源スイッチ用）、ジェリービーンスイッチ（増設、iARMモード切替用）、エッグスイッチ（既設、車いすモード切替用）

固定位置・方法：

iARMの電源操作用プッシュスイッチは舌先端での操作が可能な位置で、シングアームに固定。iARMモード切替用ジェリービーンスイッチはフレキシブルアームを用いて左側頭部近位に位置するようにヘッドサポート支柱へ固定。

操作方法：

舌先端でiARM電源操作用プッシュスイッチを操作して、iARMの電源を操作。エッグスイッチにて車いす走行モードから外部機器操作モードへ切り替える。ジェリービーンスイッチにてiARMのモードを切り替え、チンコントロールジョイスティックにてiARMを操作。

その他の補足事項：

既存の電動車いす制御系にAuxiliary Control Module（ACM）を増設しiARM制御系に接続している。



図Ⅱ-3-4 平成24年度長期評価実験被験者2のロボットアーム（iARM）操作方法

- 平成24年度長期評価実験被験者3
前述の平成24年度短期評価実験被験者1と同一人物である。

評価対象のロボットアーム：

JACO arm

使用コントローラ：

チンコントロールジョイスティック（電動車いす操作用を併用）、プッシュスイッチ1（ホームボタン用）、プッシュスイッチ2（モード切替用）

固定位置・方法：

ロボットアーム本体は、電動車いす右側に専用フレームを介して取付。プッシュスイッチ1はベルクロにてスイングアームに固定し、プッシュスイッチ2は小型のスイングアームにて電動車いすのフレームに固定。

操作方法：

プッシュスイッチ1にて基本姿勢となるホームポジションの操作、プッシュスイッチ2にてロボットアームの動作モード切替、チンコントロールにて各モード時における実際のロボットアームの動作を操作する。車いす走行モードとロボットアーム操作モードは、既存のスイッチ類にて操作して変更する。

その他の補足事項：

電動車いすには車いすジョイスティックによるPC用マウス操作システムであるInvacare社製Wireless Mouse Only Module (RFMシステム:Radio Frequency Mouse) を接続し、この装置からの出力と各スイッチをJACO arm純正のUniversal Interfaceに接続して使用する。

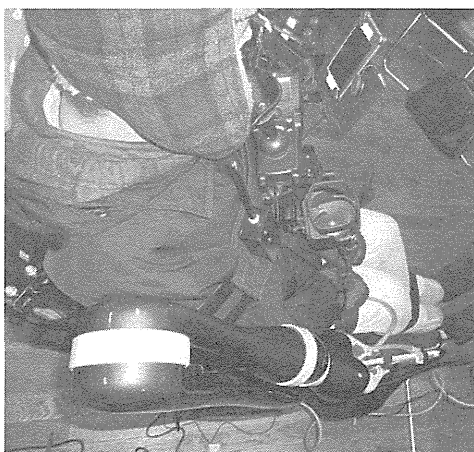


図 II-3-5 平成24年度長期評価実験被験者3のロボットアーム (JACO arm) 操作方法

なお、評価指標として、評価期間中に行った活動内容およびその成否、使用上の問題点、Assessment of Motor and Process Skills (AMPS)、Functional Independence Measure (FIM)などを記録し、また主観評価として福祉用具満足度評価 (QUEST2.0) および福祉機器心理評価スケール (PIADS)、実験項目やロボットアーム本体についての感想などの聞き取り調査などを実施する。

(倫理面への配慮)

本研究は国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を得て実施した。研究におけるプライバシーの保護およびインフォームドコンセントには十分配慮して行った。想定される不利益・危険性については、事前に排除を行うべく対処するとともに、上記倫理委員会での審査を経る。人権擁護に関する事項、想定される不利益や危険を含めた研究協力に関する説明は文書を作成しそれをもとに行う。被験者の同意については、書面によりその意思を確認する。なお、これらの倫理に関する項目は、同委員会の指示に従うものとする。

C. 研究結果

1. 短期評価実験の結果

資料3の「短期評価プロトコル」に従い、「基本操作課題」「水分摂取課題」「書類操作課題」等の課題動作を行った。ロボットアーム操作の習熟度により、操作にかかる所要時間に変化がみられるが、いずれの操作についても、JACO armでおおよそ4分～21分、iARMでおおよそ3～23分程度の範囲で完了することができている。満足度についてはQUEST 2.0の結果より、平成24年度の被験者2名に関しては、JACO armで3.25±0.35点、iARMで3.13±0.25であった。心理的効果においては、PIADSの結果よりJACO armで0.31±0.16点、iARMで2.09±0.56点であった。

表. II-3-1 短期評価 PIADS得点
被験者1 (JACO arm)

	1回目	2回目	Mean±Std.
合計得点	0.42	0.19	0.31±0.16
効力感 サブスケール得点	0.58	0.17	0.38±0.29
積極的適応性 サブスケール得点	0.33	0.33	0.33±0.00
自尊心 サブスケール得点	0.25	0.13	0.19±0.09

表. II-3-2 短期評価 PIADS得点
被験者2 (iARM)

	1回目	2回目	3回目	Mean±Std.
合計得点	2.38	1.92	1.96	2.09±0.56
効力感 サブスケール得点	2.58	2.08	1.92	2.19±0.35
積極的適応性 サブスケール得点	3.00	2.00	2.00	2.33±0.58
自尊心 サブスケール得点	1.63	1.63	2.00	1.75±0.22

表. II-3-3 短期評価 QUEST2.0得点
被験者1 (JACO arm)

	1回目	2回目	Mean±Std.
問1	4	3	3.50±0.71
問2	4	3	3.50±0.71
問3	3	2	2.50±0.71
問4	2	3	2.50±0.71
問5	3	3	3.00±0.00
問6	4	3	3.50±0.71
問7	4	3	3.50±0.71
問8	4	4	4.00±0.00
得点	3.50	3.00	3.25±0.35
重要項目	1. 大きさ 3. 調節しやすさ 6. 使いやすさ	1. 大きさ 3. 調節しやすさ 7. 使い心地	

表. II-3-4 短期評価 QUEST2.0得点
被験者2 (iARM)

	1回目	2回目	3回目	Mean±Std.
問1	3	2	2	2.33±0.58
問2	1	3	2	2.00±1.00
問3	3	3	3	3.00±0.00
問4	3	3	3	3.00±0.00
問5	4	3	3	3.33±0.58
問6	3	4	3	3.33±0.58
問7	4	4	3	3.67±0.58
問8	4	5	4	4.33±0.58
得点	3.13	3.38	2.88	3.13±0.25
重要項目	1. 大きさ 6. 使いやすさ 7. 使い心地	1. 大きさ 6. 使いやすさ 7. 使い心地	1. 大きさ 6. 使いやすさ 7. 使い心地	

表. II-3-5 短期評価 QUEST2.0コメント
被験者1 (JACO arm) 1回目

設問番号	コメント内容
設問1	思ったよりも小さくて良い
設問2	大分軽い
設問3	iARMに比べて簡単
設問4	なんともいえないが少し不安 (特に指先)
設問5	—
設問6	まあまあ良い動き
設問7	3と4の間。使いやすかった、分かり易い。チンコントロールのできるので楽で良い
設問8	最終的にスイッチ一つで車いすのコントローラと切り替えられるのが良い。かっこいいし。

表. II-3-6 短期評価 QUEST2.0コメント
被験者1 (JACO arm) 2回目

設問番号	コメント内容
設問1	小さい、コンパクトでデザイン的にも良い
設問2	もう少し軽いに越したことは無い
設問3	位置の調節や3本指の使いにくさなど弱点がある
設問4	分からないが、こんな物か
設問5	今はわからないが、車いすに載せたときに振動がどうか
設問6	難しい場面もあるが、前回よりも分かってきた
設問7	思ったよりも水のみはスムーズにできた (?)
設問8	(時間が) 結構かかっている様でいて、実際にかかっていた時間はiARMより短いので良いかな。2回やってこれなら

表. II-3-7 短期評価 QUEST2.0コメント
被験者2 (iARM) 2回目

設問番号	コメント内容
設問1	丸みをもっと、人間の手のような見た目に。工業用ロボットみたい。
設問2	持ってないからわからない。
設問3	ワンタッチだとい
設問4	エラー、アラートが音声で具体的にしてくれると良い。
設問5	わからない。
設問6	覚えてしまえば簡単。
設問7	自由に動く。自分の思うように動くが良い。
設問8	物を拾えるのがよい。便利。手元操作のできるのが良い。

表. II-3-8 短期評価 QUEST2.0コメント
被験者2 (iARM) 3回目

設問番号	
設問1	ちょっと大きい。縦（前後）が大きい。
設問2	－
設問3	本体がワンタッチだから
設問4	音で知らせてくれると良い。指に接触センサーがあると良い。
設問5	わからない。
設問6	－
設問7	－
設問8	－

なお、操作実施者つまり被験者に対しても、ロボットアームの元々の駆動速度が低速であり、更に駆動速度を任意で変更できるため、身体近辺で操作する際にも侵襲的な接触は認められなかった。

2. 長期評価実験の結果

(1) 平成24年度長期評価実験被験者1

被験者1はiARMを使用対象として、平成24年9月から平成24年12月までの4か月間の実験期間を設けて日常生活環境でのロボットアーム使用評価を行った。実験プロトコル上3か月が実験期間であるが、被験者の腰痛等の体調不良に起因して1か月間はロボットアームを使用しない期間が生じたため、実験期間を延長した。表. II-3-9から表. II-3-12にそれぞれ結果を示す。被験者1はお酒が趣味で、晩酌の際に多用していたが、自分のペースで飲めるという事に喜びを感じていた。また、

表. II-3-9 iARM使用履歴 長期評価被験者1

使用内容	継続性
ウォーターサーバーを使用する (コップの移動、レバー操作など)	全期間中 (暑い時期は毎日)
御猪口でお酒を飲む	全期間中ほぼ毎日
グラスでビールを飲む	全期間中ほぼ毎日
濡れタオルで目を搔く	初期～中期
パソコン起動	初期～中期
iPadの使用 (電子書籍を読む、映画・音楽鑑賞、 インターネットで情報を調べるなど)	中期～後期
外出先の飲食店で飲食	期間中複数回
髭剃り	期間中数回
事務作業	期間中数回
煎餅を食べる	初期のみ
コーヒーを淹れて飲む	初期のみ

お酒を飲みながらの操作であるので、ほろ酔いで操作ミスをしてお酒を溢してしまうというエピソードも記録されている。

中期以降に使用を開始したiPadの試用は、ロボットアームでiPadを顔の前に保持し、操作はマウススティックで行った。被験者1は起立性低血圧の為、日中も頻回にティルト・リクライニングを使用して休憩しなければならず、ロボットアーム導入前はその間に何もすることが無かったが、iArm+iPadの導入により映画鑑賞や読書といった余暇活動に有効活用できる様に生活が変化した。

表. II-3-10 長期評価被験者1 PIADS得点

	短期評価 終了時	長期評価 終了時
合計得点	1.19	0.04
効力感サブスケール得点	1.33	0.00
積極的適応性サブスケール得点	1.00	0.33
自尊感サブスケール得点	1.13	-0.13

表. II-3-11 長期評価被験者1 QUEST2.0得点

	短期評価終了時	長期評価終了時
問1	3	2
問2	2	1
問3	3	3
問4	3	2
問5	4	4
問6	4	2
問7	4	3
問8	4	2
得点	3.38	2.38
	満足している	あまり満足していない
重要項目	1. 大きさ 4. 安全性 6. 有効性	1. 大きさ 8. 有効性 6. 使いやすさ

表. II-3-12 長期評価被験者1 FIM・AMPS得点

	ロボットアーム 未使用時	ロボットアーム 使用時	変化量
FIM	57点	57点	0
AMPS運動項目	-1.90 ロジット	-1.17 ロジット	+0.73
AMPS認知項目	0.63 ロジット	0.68 ロジット	+0.05

被験者1は期間の経過とともにiARMの使用頻度が低下しPIADS、QUEST 2.0の得点も大きく減少しているが、終了時の聞き取り調査にて、
・自分の生活はiARMが無ければ成り立たないという訳ではない (iARM導入前に既に生活スタイルができて上がる)。

- ・iARMに興味はあるが、どうしても必要という訳では無い。
 - ・日々の生活でやりたい事、仕事などが増えてくると、手間が掛かったり、時間が掛かるものは淘汰されている。
 - ・やる事によってはiARMでやる方がセッティングが大変で、介助の負担が増えるものもある。
 - ・起立性低血圧がある為、iARMでの食事など疲労感が強く出るものはやらなくなっていく。
- しかし、聞き取り調査の中では、
- ・iPadが使えたのは良かった。現在一番有効なのはiARMでiPadを使う事。
 - ・水分を好きな時に飲めるのは良かった。
 - ・お酒やビールを自分のペースで飲めるのは良い。
- という発言も認められた。

ADL、iADL面に着目すると、FIMの評価項目に関する活動にはロボットアームが殆ど使用されなかったため、FIM点数の変化は認められないが、AMPS運動項目ではロボットアーム使用時に0.78ロジットの増加と、0.5ロジット以上の増加を認め、ADL運動能力としてロボットアーム導入により有意な差が認められる。

(2) 平成24年度長期評価実験被験者2

被験者2はiARMを使用対象として、平成25年1月から平成25年3月までの3か月間の実験期間を設けて日常生活環境でのロボットアーム使用評価を行った。終了時評価を3月中旬に実施する予定であったが、体調不良の為延期となり、本報告書作成時点では終了時評価を実施できていない。ここでは、長期評価中の使用履歴を示すこととする。

表. II-3-13 iARM使用履歴 長期評価被験者2

使用内容	継続性
水分摂取 (コップ、タンブラーからストローを使って)	全期間中ほぼ毎日
猫と遊ぶ	全期間中ほぼ毎日
ヘチマたわしでかゆいところを搔く	全期間中ほぼ毎日
床のごみを拾う	期間中数回
パソコン起動	期間中数回
ティッシュを取る	期間中数回
マウススティックの拾い上げ	期間中数回
事務作業 (印鑑を押す)	期間中数回
おやつ (軽食) を食べる	期間中数回
近隣小学校の特別授業に参加 (iARMを使う所を見せる)	期間中1回

被験者2は家族と同居しており、日中の介助等にはヘルパーを利用しているが、1日のうち数時

間は自宅内などで独りで過ごす時間が生じる。そのような時間には、マウススティックを使用してパソコン操作をいていたそうであるが、一度マウススティックを落としてしまうと、拾い上げることはできず、外界との連絡手段も絶たれてしまい、家族の帰りやヘルパーの訪問を、何もすることが無い中でひたすら待ち続けなければならなかった。今回ロボットアームを導入したことで、日中一人となる時間帯にマウススティックを落としても自分で拾い上げる事が可能であり、独りでは何もできないという状況から脱することができた。また、一番の行動変容としては、自宅で飼っているペットと、被験者2本人の意思で、直接的に遊ぶことができるようになったことである。今回の長期評価実験を通して、ロボットアームを導入することで、人のみでなく、他の生物ともコミュニケーションや触れ合いができる事が示唆された。

(3) 平成24年度長期評価実験被験者3

被験者3については、JACO armを本人の電動車いすに取付けて長期評価実験を実施する計画であったが、JACO armの他の被験者の実験期間が延長したことにより、報告書作成時点では、長期評価プロトコルの過程のうち導入前調査の段階のみ終了している。

D. 考察

本年度実施した短期評価実験の結果より、高位の頸髄損傷者において、iARM、JACO armともに、日常生活における物品操作を主体的に行う事が可能になり、生活の質と自律度を向上させる可能性が示唆された。しかしながら、ロボットアームの重量や大きさ、取付け、取外しなどの容易性など、種々の点に対する不満も見られた。また、短期評価の課題実施においては、被験者の身体状況などの違いはあるものの、iARM、JACO armの操作所要時間に大きな差異は認められなかった。満足度について、QUEST 2.0ではいずれのロボットアームについても、「やや満足している」という結果を得た。心理効果についてはPIADSにおいて被験者2 (iARM) では高い心理的効果を示しているが、被験者1 (JACO arm) では現状とほぼ変化しないという結果となっている。これは、被験者1では現状で在宅生活が安定して行えており、JACO arm導入に対する必要性や期待感が低いためではないかと考えられる。被験者数が十分ではなく、また長期評価の結果を待たなければ仮説の域を出ず、結論を出すことはできないが、昨年度までの結果も含め、短期評価におけるQUEST 2.0による満足度およびPIADSによる心理的効果の得点が、ロボットアーム導入の一つの

指標となる可能性が示唆された。

長期評価実験においては、現時点で長期評価実験が終了した長期評価被験者1の結果では、PIADS、QUEST 2.0ともに得点は低いが、ADL、iADL面については、AMPS運動項目においてロボットアーム導入により、有意に能力の向上を認めることができた。また、満足度、心理的効果ともに得点は低いながらも、3か月間の実験期間中に種々の活動に使用しており、特に長期評価被験者1の趣味活動である飲酒や、生命維持にかかわる水分摂取においては日常生活において恒常的に使用するに至っている。満足度、心理的効果共に低い点数となった理由としては、長期評価被験者1の在宅生活は、ロボットアーム導入前に既にほぼ完成された状況にあり、使用場面はあるもののロボットアーム導入による恩恵やメリットよりも運用の負担や疲労感などデメリットの方が大きかったのではないかと考えられる。一方長期評価被験者2については、すべての実験項目は終了していないものの、ほぼ満期の使用を終了しており、ロボットアームの使用項目も多岐にわたっている。今後実験項目の全てを終了して、長期評価被験者1の結果との比較検討が待たれる。

今回の長期評価プロトコルでは実験期間を3か月間としていたが、iARM、JACO armともに、実際の生活環境の中で実用的に使用できるレベルに至るまでに約2か月間の期間を要しており、より実際の生活場面に即したロボットアームの利用評価を行うためには、約半年から1年程度の評価期間が必要であることが示唆された。

重度肢体不自由者用ロボットアームの利用効果の検証をより詳細に行うためには、被験者数を増加させるとともに、より長期にわたる日常生活場面での評価が必要である。

E. 健康危険情報

(総括研究報告書にまとめて記入)

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 山口純, 井上剛伸, 我澤賢之, 木下崇史, 木之瀬隆, 中山剛, 小林庸子, 樋口智和, 前野崇: 肢体不自由者用ロボットアームの臨床評価—心理的評価スケールを用いた有効性評価, 日本デザイン学会第59回春季研究発表大会概要集, 2012-06-24, 札幌市, 2012, p.300-301(CD-ROM)
- 2) 木下崇史: 肢体不自由者用のロボットア

ームのコスト・ベネフィット評価, 第3回サービス・イノベーション研究会, 2012-12-06, 東京, 2012 (招待講演)

- 3) 井上剛伸, 木之瀬隆, 荻山泰地, 小林庸子, 前野崇, 中山剛, 我澤賢之: 肢体不自由者用のロボットアームのコスト・ベネフィット評価, 平成24年度厚生労働科学研究障害者対策総合研究成果発表会 (研究者向け) (身体・知的等障害分野) 抄録集, 2013-02-04, 東京, 2013, p.7-8
- 4) 高見和幸, 我澤賢之, 中山剛: ロボットアームのコスト・ベネフィット評価について, 福祉機器の臨床評価を考えるシンポジウム配布資料, 2013-02-09, 所沢, 2013, p.7-9
- 5) 中山剛: ロボットアームの適合と環境調整, 重度肢体不自由者用ロボットアームのコスト・ベネフィット評価第3回公開研究会配付資料, 2013-03-20, 所沢, 2013, p.3-4

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

実験補助ならびに実験データの分析に協力頂いた藤野真理子氏、茅野志穂氏、田澤聖氏に感謝する。

<参考文献>

- 1) 上田敏, 大川弥生編: リハビリテーション医学大辞典、医歯薬出版株式会社、1996.
- 2) 徳弘昭博: 脊髄損傷—日常生活における自己管理のすすめ、医学書院、1992.
- 3) H Efttring, K Boschian: Technical results from MANUS user trials. International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), 136-141, 1999.

厚生労働科学研究費補助金（障害者対策総合研究事業）
分担研究報告書

脳性まひ者等での有効性の検証

分担研究者 木之瀬 隆 国立障害者リハビリテーションセンター研究所 客員研究員
研究協力者：木下崇史、丸岡稔典、山口 純

研究要旨

重度肢体不自由者用ロボットアームのコスト・ベネフィット評価の一環として、重度肢体不自由者用ロボットアームの利用者となりうる、脳性まひ者ならびに頭部外傷後遺症者を対象として適応基準に関する検証を行った。

脳性まひ者および頭部外傷後遺症者計5名に対して日常生活におけるロボットアームの活用場面を想定した評価実験を実施した。「コップに水分を注いで飲み物を飲む」「トレイ上の海綿または濡れたタオルから任意の用具を選び、頬を搔く」「床に落ちている携帯電話を拾い上げ、机の上のトレイに置く」「プリンタから印刷物を取り、内容を確認してレタートレイに収納する」などの動作を対象とした短期評価実験の結果、脳性まひ者4名のうち2名および頭部外傷後遺症者1名はロボットアームを用いることによって種々の日常生活における物品操作を主体的に行うことが可能となり、生活の質と自律度を向上させる可能性が示唆された。

また、実施可能であった被験者のQUESTの得点が 3.38 ± 0.98 、PIADSの合計得点が 1.51 ± 0.63 点であることから被験者がロボットアームに対してそれなりに高い満足度を得たことが示唆された。

一方今回評価対象とした脳性まひのうち2名はロボットアームの操作が困難であり、課題の実施に至らなかった。原因としては、短時間の評価では入力装置の選定・適合が十分に行えなかったこと、ロボットアームの操作に時間がかかり疲労が蓄積してしまう事などが考えられ、入力装置の選定・適合がロボットアーム導入に大きな影響を及ぼすことが示唆された。

今回の被験者はいずれも長時間の介護を必要としており、重度肢体不自由者用ロボットアームの利活用の余地は十分にあると考える。

A. 研究目的

脳性まひ者、頭部外傷後遺症者において適応についての検討を踏まえて、日常生活におけるロボットアームを活用する場面を想定した評価実験を実施する。

平成24年度においては4名の脳性まひ者と1名の脳外傷後遺症者を対象とした短期評価実験を実施する。

以下、脳性まひ、頭部外傷後遺症の疾患、障害特性を紹介する。

脳性まひ (cerebral palsy : CP) は、「受胎から新生児期（生後4週以内）までの間に生じた脳の非進行性病変に基づく永続的な、しかし病像としては変化しうる運動および姿勢の異常。進行性疾患や一過性の運動障害、または将来正常化するであろうと思われる運動発達遅滞は除外する。」と医学辞典に解説されている¹⁾。

脳形成早期の病変は、運動のみならず、知能障害、てんかんなどの中枢性障害を合併し、重複の障害像をもつ。また発症が人生の初期からのものであるため、移動運動をはじめとして、日常生活動作の習得、社会的成熟、学校教育など、広範な

学習面で発達のチャンスを与えられにくい。脳性まひは小児期における運動障害の最大要因の一つであるため、その療育支援には大きな社会的リソースを必要とする²⁾。

脳性まひは小児期における最も普通の運動障害であるが、対象1,000例あたり2～3の発生率である²⁾。

頭部外傷後遺症 (posttraumatic cerebral symptom) は、「頭部外傷後それに基づくと考えられる症状が長く残る場合の総称である。受傷時の病態によっても当然起こりうると考えられる頭部外傷の合併症と、受傷後相当期間を経過してから起こる後遺症があるが、後者の場合でも受傷後早期の適切な処置を行わなかったためのものと、そうでないものがある。」と医学辞典に解説されている³⁾。頭部外傷後遺症には肉眼的病変の明らかなものと、そうではなく肉眼的には明らかな病変はなく、各種愁訴のみ多い狭義の頭部外傷後遺症がある。前者において受傷時の損傷が高度であった場合で各種の脳損傷や脳神経の損傷が高度の場合には、それらの症状が後遺症として残りうる。四肢の運動知覚麻痺や視力・聴力、顔面神経

麻痺などが完全には治癒せず、更には性格の変化や認知機能の低下、情緒障害などを残して受傷前の生活を送り得ないこともある。最も著しいものは、意識障害が続く植物状態である³⁾。後遺症の原因となる頭部外傷は、脳を保護するための機構（毛髪・皮膚・皮下組織・筋・骨・髄液など）に対してそれを超える強い外力が加わった場合に、直下にある脳に損傷を受けることで生じる。脳が受ける損傷には、外力が加わった場所の受ける直撃損傷、外力と反対側の部位が受ける反衝損傷、直撃損傷と反衝損傷を結ぶ直線を軸に働く剪断力や捻転力による損傷などがあり、剪断力や捻転力による損傷はびまん性に神経軸索の伸張や断裂を引き起こす⁴⁾。

脳性まひ者、頭部外傷後遺症者ともに重度の場合には多くの日常生活動作において介助が必要であり、重度肢体不自由者用ロボットアームの有力な利用者の候補であるといえる。

B. 研究方法

1. 短期評価実験の方法

短期評価実験のプロトコル詳細については資料3の「短期評価プロトコル」を参照する。

平成24年度においては脳性まひ者4名、頭部外傷後遺症者1名の計5名にてロボットアームの操作実験を計画した。

しかし、このうち脳性まひ者2名においては、短期評価初回実施前の入力装置の選定段階において、入力装置として準備していたワンボタンスイッチなどを使用してもロボットアームの操作に時間を要してしまい、身体的負担が大きくなることが予測され、被験者本人からも辞退したい旨の申し出があり、実験対象者から除外することとした。

平成24年度に実験を実施できた3名の被験者の身体状況などの概要を以下に示す。

・平成24年度被験者1

疾患名：CP アテトーゼ

年齢：20代

利き手／優位手：ジョイスティック操作は左手
スイッチ操作は右手

肢体不自由の状況：

四肢・体幹に著しい運動障害を有する。
睡眠中は脱力しており、大きな関節拘縮は認めない。

座位保持能力：Hoffer 2

使用車いす：：自宅及び外出時－簡易電動車いす
(YAMAHA製)

施設利用時－電動車いす (イマセン製)

電動車いす操作：

ジョイスティックを左上肢にて操作
パソコンの文章入力方法：

キーガードを使用して左手指で入力
トーキングエイドも使用している

・平成24年度被験者2

疾患名：CP アテトーゼ

年齢：20代

利き手／優位手：左手／左手

肢体不自由の状況：

四肢まひ、四肢体幹に重度の運動障害
痙直あり

関節拘縮は無く安静位では筋緊張も低下
移乗時など、つかまり立ちと近位見守り
にて短距離の歩行が可能。

座位保持能力：Hoffer2

使用車いす：電動車いす 簡易電動車いす (Y
AMAHA製)

電動車いす操作：

ジョイスティックを左上肢にて操作
パソコンの文章入力方法：

キーガードを使用して左手指で入力

・平成24年度被験者3

疾患名：頭部外傷

年齢：40代

利き手／優位手 右手／右手

肢体不自由の状況：

四肢まひ、短下肢装具使用 (両側)

座位保持能力：両側共にラテラルサポートを使用
使用車いす：

6輪型電動車いす

(Sunrise Medical製Quickie)

電動車いす操作：

QTRONIXのジョイスティックにL字型の
柄を取付け右手にて操作

パソコンの文章入力方法：

ヘッドスティックでPCのキーボード操作
トーキングエイドfor iPadを利用

また平成24年度に評価を実施した被験者3名の
ロボットアーム操作方法などの条件を以下に示す。

・平成24年度被験者1

使用コントローラ：

汎用ジョイスティック+tashのプッシュ
スイッチ (中)

固定位置・方法：

本人使用のカットアウトテーブル上にジ
ョイスティック及びプッシュスイッチを
設置。ジョイスティックの固定には滑り
止めを使用し、プッシュスイッチの固定
にはユニバーサルアームを使用。

操作方法：

左手でジョイスティックを操作し、右手でモード切替用のプッシュスイッチ操作

その他の補足事項：

精神的緊張の影響による不随意運動が強いが、左上肢肘部などをクッションなどを用いて高さを補償する事により、左上肢の動作は比較的安定して可能である。モード切替用のスイッチは右上肢で容易に操作が可能な位置に配置し、適宜使用しやすいうように本人が位置の微調整を行った。

・平成24年度被験者2

使用コントローラ：キーパッド（大）

固定位置・方法：

車いす左側前方に昇降テーブルを配置しカットアウトテーブルの代用とし、左手手指で容易に操作可能な位置にマジックテープで固定。

操作方法：

左人差し指でキーパッドを押す

その他の補足事項：

精神的緊張の影響により不随意運動が強まるが、カットアウトテーブル上に左上肢前腕を保持するためのクッションを配して安定を補償することで前腕から手指の動作が安定し、キーパッドの安定した操作が可能であった。

・平成24年度被験者3

使用コントローラ：デジタルジョイスティック

（セコム製マウスプーンに使用されているジョイスティックをご本人がカスタマイズされたもの）

固定位置・方法：

ご本人使用のカットアウトテーブルにて車いす操作用のジョイスティックの為に切りかけ部位に収まる位置に、ジョイスティックをユニバーサルアームに挟んで固定。またはクランプで直接カットアウトテーブルに固定

操作方法：

右手手指尺側、手指屈曲位の手掌部、手指軽度進展位の手掌部などで、ジョイスティック先端を操作

その他の補足事項：

左前方への視線保持の困難さがある為、正中より左方前方の対象物を確認する際に、ジョイスティック操作の困難さが増大する。



図 II-4-1 平成24年度被験者1のロボットアーム操作方法

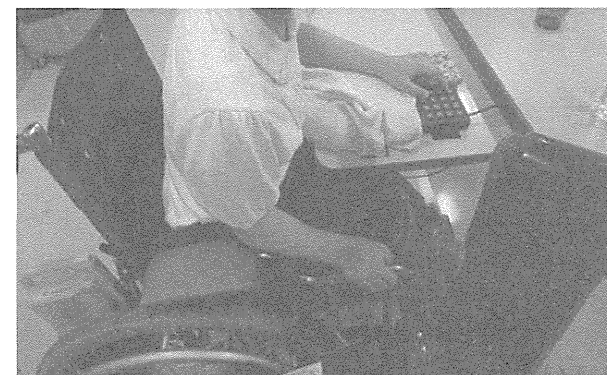


図 II-4-2 平成24年度被験者2のロボットアーム操作方法



図 II-4-3 平成24年度被験者3のロボットアーム操作方法

評価指標として、操作の成否、時間を記録し、主観評価として福祉用具満足度評価（QUEST2.0）および福祉機器心理評価スケール（PIADS）、実験項目やロボットアーム本体についての感想などの聞き取り調査などを実施する。

平成24年度の本実験は、被験者1、2については国立障害者リハビリテーションセンター研究所

内に用意した模擬環境内にて実施した。被験者3については、ご本人の自宅内に模擬環境を設置し実施した。

(倫理面への配慮)

本研究は国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を得て実施した。研究におけるプライバシーの保護およびインフォームドコンセントには十分配慮して行った。想定される不利益・危険性については、事前に排除を行うべく対処するとともに、上記倫理委員会での審査を経る。人権擁護に関する事項、想定される不利益や危険を含めた研究協力に関する説明は文書を作成しそれをもとに行う。被験者の同意については、書面によりその意思を確認する。なお、これらの倫理に関する項目は、同委員会の指示に従うものとする。

C. 研究結果

1. 短期評価実験の結果

オランダ製ロボットアームiARMを用いて

- ・ 簡易上肢機能検査 (STEF) の大球を左枠から右枠へ移動 (5つ)
- ・ 同じく大直方を左枠から右枠へ移動 (5つ)
- ・ コップの把持と設置
- ・ コップに水分を注ぐ
- ・ コップにストローを挿して飲み物を飲む
- ・ トレイ上の海綿、濡れタオルから任意の用具を選び、頬を搔く
- ・ 床に落ちている携帯電話を拾い上げ、机上のトレイに置く
- ・ プリンタから印刷物を取り、内容を確認してレタートレイに収納する

等の課題動作を行った。

ロボットアーム操作の習熟度および課題の難易度により、操作にかかる所要時間に変化がみられるが、すべての課題についての実施が可能であり、いずれの操作についても、およそ5分～40分程度の範囲で完了することが出来ている。

また、満足度についてはQUEST 2.0の結果より、平成24年度の被験者3名に関しては平均得点 3.38 ± 0.98 、と「やや満足している」から「満足している」の間という結果を得た。PIADSでは平成24年度に実施した被験者3名に関しての合計得点 (得点範囲-3～3点) は 1.51 ± 0.63 点、効力感サブスケール得点 (得点範囲-3～3点) は 1.56 ± 0.54 点、積極的適応性サブスケール得点 (得点範囲-3～3点) は 1.78 ± 0.82 点、自尊心サブスケール得点 (得点範囲-3～3点) は 1.25 ± 0.66 点と、特に積極的適応性サブスケール得点では高い得点を示した。

なお、上記得点は各被験者の短期評価実験の最後の実験が終了した後のデータを元に算出した。

自由意見としては、施設での食事の際の介助者の介助速度の違いを気にしなくて良くなり食事の満足度が上がる可能性がある、介護負担の軽減に繋がる、自宅内で介護者のいない時間帯に一人で過ごす際に水分補給や口を拭くなど身の回りのことを自分で出来るようになるかもしれない、自宅内で食器棚から食器を取り出したりコップにお茶を注いだりしてみたい、操作自体は複雑だが使っていて楽しいなどといった意見が聞かれた。

脳性まひ者の場合、介助者が家族であることが多いこともあり、介助者の負担軽減に繋がる可能性を長所とする意見が多く、頭部外傷後遺症の被験者においても、介助者のいない日中独居となる時間帯に出来る事が増えるかもしれない、と一人で出来る事が増える可能性を長所とする意見が多く得られた。その一方で、ロボットアームのサイズが大きい、重量が重く女性介助者には取外しの負担が大きい、入力装置に微調整が必要、コントローラが使い難い、操作が複雑で疲れる、細かいものの取り扱いがどこまでできるのかが疑問、などといったネガティブな意見も得られた。

なお、操作実施者つまり被験者に対しても、ロボットアームの最大駆動速度も比較的低速であり、更にロボットアームの駆動速度を任意で変更できるため、身体近辺で操作する際にも侵襲的な接触は認められなかった。

表 II-4-1 脳性まひ者等による実験結果 (QUEST2.0 得点)

問番号	被験者1	被験者2	被験者3	Mean±Std.
問1	4	3	2	3.00±1.00
問2	5	2	1	2.67±2.08
問3	4	2	3	3.00±1.00
問4	4	3	2	3.00±1.00
問5	5	4	4	4.33±0.58
問6	5	3	2	3.33±1.53
問7	5	3	4	4.00±1.00
問8	4	3	4	3.67±0.58
有効回答数	8	8	8	
得点	4.50	2.88	2.75	3.38±0.98
重要項目	4. 安全性 5 耐久性 6. 使いやすさ	1. 大きさ 3. 調整しやすさ 6. 使いやすさ	1. 大きさ 2重さ 3調整しやすさ	

表 II-4-2 脳性まひ者等による実験結果
(QUEST2.0 コメント 被験者2)

問番号	コメント内容
設問1	家の中で使う分はいいと思うけど、どこかに持って行くにはちょっと大きい。
設問2	介助者に女性が多いので、ちょっと
設問3	テーブルの上で、広さもあれば良いですが。ふだんまわりにも車椅子の人もいて、ごちゃごちゃしているの。
設問4	顔の近くに来るとドキドキする。
設問5	
設問6	操作方法とかに馴れれば、もうちょっとスムーズにいくのかな、と思う。
設問7	操作方法がちょっと難しいけど、使っていく内に慣れればもうちょっと使いやすくなるのかな、ということも考えた。
設問8	食器棚の物が取りにくいので、そういう物を取る時とかにはいいのかなと思う。細かい事がどこまでできるのかちょっとわからない。

表 II-4-3 脳性まひ者等による実験結果
(QUEST2.0 コメント 被験者3)

問番号	コメント内容
設問1	家の家具やスペースに大きさが合っていない。
設問2	まだヘルパーに取り付けができないから。
設問3	慣れてもらえればできなくはないかな。
設問4	物に当たりそう。そういう時に自動で停止しない。音や光で、近付いている事を知らせたい。身体に近づいてほしいこともあるけど、音がした方がいいのでは。
設問5	頑丈そうですぐに不調にならなく見える。
設問6	複雑だった。もう少しわかりやすい説明ビデオか音声誘導とかあれば。学習が必要。今は置き場所が決まってないから。
設問7	コントローラーはやはり微調整が必要な人は皆してもらえるのか。使う人は知らなかったら無理と思ってしまうのでは。あなたに合うコントローラーを作りますってあればわかりやすい。いろいろ出来そうだから。
設問8	あるにこしたことはない。猫の手も借りたいくらいだから。 キーボード台が動かせたから良い。 まだスピードや操作にかかる時間が多いので、ヘルパーに頼むのとどっちが早いかな…

表 II-4-4 脳性まひ者等による実験結果
(PIADS)

	被験者1	被験者2	被験者3	Mean±Std.
合計得点	2.04	0.81	1.69	1.51±0.63
効力感				
サブスケール得点	2.08	1.00	1.58	1.56±0.54
積極的適応性				
サブスケール得点	2.33	0.83	2.17	1.78±0.82
自尊心				
サブスケール得点	1.75	0.50	1.50	1.25±0.66

D. 考察

短期評価実験の結果より、脳性まひ者や頭部外傷後遺症者などの多くがロボットアームを用いることによって種々の日常生活における物品操作を主体的に行う事が可能となり、生活の質と自律度を向上させる可能性が示唆された。一方で、更に重度の脳性まひ者においては、入力装置の特注などの対応が必要であり、ロボットアームの選定・適合の際により慎重な対応を必要とされることが示された。本年度当初対象者として想定した脳性まひ者4名のうち、ロボットアームを操作可能であった2名と操作不可能であった2名の違いの一つとして、電動車いす操作能力の違いが認められた。実施可能であった2名においては、電動車いす標準の入力装置を用いて自立した電動車いす操作が可能であったが、実施不可能であった2名においては、特殊な入力装置を必要としかつ介助者の見守りの下での電動車いす操作が必要であった。

なお今回の研究期間中にiARMの安全機構により、ロボットアームを利用することによる危険の可能性は認められなかった。

満足度について、QUEST 2.0では「やや満足している」から「満足している」の間という結果であるプラスの満足度と心理的效果を得た。

詳細は省略するが、昨年度までに本研究で行われてきた頸髄損傷者における短期評価結果と比較すると、QUEST、PIADSともにより高い得点を示している。被験者数が少ないため仮説の域を出ないが、脳性まひ者などによる重度肢体不自由者において、ロボットアームを導入した際の有効性がより高い可能性が示唆された。今回の被験者は、家族や保健福祉サービスなどの介護者による長時間の介護を必要としており、ロボットアームの利

活用の余地が十分にあると考える。

E. 健康危険情報

(総括研究報告書にまとめて記入)

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 山口純, 井上剛伸, 我澤賢之, 木下崇史, 木之瀬隆, 中山剛, 小林庸子, 樋口智和, 前野崇: 肢体不自由者用ロボットアームの臨床評価—心理的評価スケールを用いた有効性評価, 日本デザイン学会第59回春季研究発表大会概要集, 2012-06-24, 札幌市, 2012, p.300-301(CD-ROM)
- 2) 井上剛伸, 木之瀬隆, 荻山泰地, 小林庸子, 前野崇, 中山剛, 我澤賢之: 肢体不自由者用のロボットアームのコスト・ベネフィット評価, 平成24年度厚生労働科学研究障害者対策総合研究成果発表会(研究者向け)(身体・知的等障害分野)抄録集, 2013-02-04, 東京, 2013, p.7-8

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

実験補助ならびに実験データの分析に協力頂いた藤野真理子氏、茅野志穂氏、田澤聖氏に感謝する。

<参考文献>

- 1) 上田 敏, 大川弥生編: リハビリテーション医学大辞典, 医歯薬出版株式会社, 1996.
- 2) 梶山富太郎, 川口幸義: 脳性麻痺ハンドブック—療育に携わる人の為に—, 医歯薬出版株式会社, 2002.
- 3) 南山堂 医学大辞典, 株式会社 南山堂, 1978.
- 4) 石川 齊, 古川 宏 編: 図解 作業療法技術ガイド 第2版, 株式会社 文光堂, 2003.

厚生労働科学研究費補助金（障害者対策総合研究事業）
分担研究報告書

重度肢体不自由者用ロボットアーム導入にともなうコスト・ベネフィットの評価

研究分担者 我澤 賢之 国立障害者リハビリテーションセンター研究所
障害福祉研究部研究員

研究協力者 丸岡 稔典 国立障害者リハビリテーションセンター研究所
障害福祉研究部技術補助員

研究要旨

有用な先端機器の活用により重度障害者の生活は格段に向上する可能性がある。こうした機器の普及に向けて公的制度等に組み込んでいくためには、機器の有用性とあわせて機器の供給に要する社会コストとベネフィットの比較検討が重要であると考えられる。本研究では、汎用動作の可能な重度肢体不自由者自立支援用ロボットアームを題材に、高価格・高機能の先端福祉機器のコストベネフィット評価の方法を開発する。本稿では、開発した評価方法に従って、ロボットアームの導入にともない生じるコストとベネフィットの評価を行い、その結果についてまとめる。評価方法として、コストについては、ロボットアーム導入およびメンテナンスに要する費用について販売代理店への調査と研究メンバーの作業療法士による調整費用額から推定を行った。ベネフィットについては被験者による主観的評価の調査ならびにタイムスタディデータに基づいたロボットアーム非導入時と導入時との間の介助時間の差異を比較検討した。

主な成果はつぎのとおりである。現時点でまだデータ集積中であり評価件数が少ないものの、介助時間を尺度とした対象機器に対するユーザーの主観評価結果からは、機器の価値が機器導入価格に見合うとするユーザーがいる可能性が示された。ただしその一方で、ロボットアームの導入により、現在の介助サービスの利用時間を減らすことができるかについては、否定的な意見を示した被験者・障害者もいた。金額を尺度とした主観評価結果ではロボットアームの推定導入費用以上の評価をした被験者はいなかった。このことは、ロボットアームの入手手段が現在の市場価格のもとでの私費購入に限られる場合、普及が進まないことを示唆している。また、タイムスタディの結果から、ロボットアーム導入によりその導入費用に見合う介助に要する実時間が短縮するかどうかについて検討したところ、一概に介助時間が短縮するとは言えない結果が得られた。明確な結論を得るためには、今後データの蓄積を進める必要がある。

A. 研究目的

有用な先端機器の活用により重度障害者の生活は格段に向上する可能性がある。こうした機器の普及に向けて公的制度等に組み込んでいくためには、機器の有用

性とあわせて機器の供給に要する社会コストとベネフィットの比較検討が重要であると考えられる。本研究プロジェクトでは、最終的に汎用動作の可能な重度肢体不自由者自立支援用ロボットアーム（以下、単に「ロボットアーム」）使用にともない生じるコストならびにベネフィットの大きさを実際に評価することにより、こうした機器の費用・便益評価法を確立し障害福祉制度等への新規機器種目を組み込む際の手順を確立することを目指している。

本稿では、(1) ロボットアームの導入・使用に伴うコストの評価ならびに (2) ベネフィットの評価について述べる。

B. 研究方法

1. コストの評価

本稿執筆時点で、日本において障害者が実際に使用する目的で購入されたことがあり、販売店がそうしたユーザーのためのサポート・メンテナンスについての経験がある、唯一の重度肢体不自由者自立支援用ロボットアームと考えられる Exact Dynamics 社（オランダ）製のロボットアーム iARM を対象として、ロボットアーム導入時の所要費用として下記の項目の合算値を算出する。

- a) ロボットアームの購入金額（本体ならびに操作デバイス、車いす等への取付に要する費用）
- b) 上記金額に含まれていない、メンテナンス費用
- c) 導入に伴う、作業療法士による調整費用

a)については、本研究での iARM 購入価格ならびに被験者の使用車いすへの取付・デ

バイス作成に要した費用を合算した。b)については、日本における iARM 販売代理店を対象に調査を行った（iARM に関しては、日本においても重度肢体不自由者による実用目的での販売事例が 1 件ある。この事例を元に回答いただいた）。c)については、本研究での長期評価に際して、作業療法士資格を持つ研究メンバーによるサポート量（回数、時間）を元に算出した。

ただし、ここで算出されるコストには、利用者環境の調整費用は含まれていない。

2. ベネフィットの評価

長期評価実験によりロボットアームを生活環境で試用した被験者を対象に調査を行い、

a) 機器の主観的評価額

b) 介助時間への影響

の 2 つの面から評価を行った。

a)については、下記の点による被験者の評価を聞いた。

金銭を尺度とした主観的評価

ロボットアームに何円までなら払っていいか、について金額を回答してもらった。

介助時間を尺度とした主観的評価

ロボットアームにより得られる満足度の価値は 1 日あたりどのくらいの介助時間と見合うかについて回答してもらった。回答された時間相当分の費用金額を算出することで、介助時間を尺度とした評価値を金額ベースの値に換算した。

b)については、ロボットアーム非導入時と導入時における「1 週間」及び「半日」の被験者と介助者の行為を記録化した。前者では併せて定着したロボットアームの利

用行為を尋ねた。後者では原則、非導入時、導入時のある1日の10時から22時をビデオで撮影し、導入時にロボットアームを用いた行為についてロボットアームの利用時間、介助利用時間について非導入時と比較した。ただし、被験者の状況を踏まえて必要に応じ時間の変更、記録方法の変更を行った。なお、記録中被験者等により行われた個々の行為は、その行為を簡単に文字化して書き留めると共に、表1にしたがってコード化した。

なお評価機器は前述の導入コストとの比較を行う関係もあり iARM を中心(3件)とし、これと併せてより重さが軽い等の特徴を持つ Kinova 社(カナダ)製ロボットアーム JACO arm での評価も行った(1件)。

3. コスト・ベネフィット算出における想定事項について

コストやベネフィットを算出するうえで、前提とした条件について述べる。

評価対象期間： ロボットアームの耐用年数として次の2つのケースを想定する。

(a) 5年間

オランダでの iARM 評価での想定年数(de Witte P, et al.[1]によれば、先行機種である MANUS についての、Exact Dynamics 社の設定する経済的耐用年数である。なお同機種の技術的耐用年数は10年であるとしている)

(b) 6年間

補装具費支給制度での電動車いすの耐用年数

社会的割引率： 4% (費用便益分析でしばしば用いられる値)

4. 被験者について

ここでは4名の被験者に在宅環境で、それぞれの電動車いすに取り付けたロボットアームを試用してもらったうえで、調査を行った。

・ロボットアーム iARM での評価実験

Aさん 60代男性
神経疾患患者 独居
介助サービス利用(527時間/月)

Bさん 40代男性
頸髄損傷者 独居
介助サービス利用(450時間/月)

Cさん 40代男性
頸髄損傷者 家族同居
介助サービス利用(682時間/月)
家族介助あり

・ロボットアーム JACO arm での評価実験

Dさん 20代男性
筋疾患患者 家族同居
介助サービス利用(16.5時間/週)
家族介助あり

調査時期は平成23~24年度である。

・ロボットアームの主観的評価

・介助時間への影響を見るためのタイムスタディ調査(ロボットアーム導入時)

に関しては、機器の被験者生活環境への導入後、概ね2ヶ月程度以上経過し機器に慣れたところで評価を行った。

・介助時間への影響を見るためのタイムスタディ調査(ロボットアーム非導入時)

については、原則生活環境へのロボットアームの導入前に実施したが、日程の都合等によりロボットアームを引き上げた後に評価を行ったケースもある。

表 1 行為区分一覧表

大項目	区分	内容(例)
身体の管理	A.姿勢の変換	体の向きの変更(体位交換) 体の位置の変更 車いすチルトの調整 リフトを用いた車いす上での体の位置の変更
	B.健康管理	検温 血圧・脈拍の測定 褥瘡の確認と手入れ 肌の手入れ 投薬
情報やコミュニケーション	C.筆記・読み (電話機・パソコン操作を除く)	書類への筆記／代筆 メモの筆記／代筆 資料・本読み／代読
	D.家電操作	テレビリモコン操作 エアコンリモコン操作 照明機器操作
	E.電話機操作	一般電話機操作(送話・受話) 携帯電話機通話操作(送話・受話) 携帯電話機メール操作(送信・受信・読み上げ)
	F.パソコン操作	パソコン起動 パソコンメールソフト操作 パソコンウェブブラウザ操作
ADL	G.着替え	下着の着替え 上着の着替え 寝間着の着替え 眼鏡を拭く 眼鏡の着脱
	H.排泄	排便 尿パック交換
	I.洗面・入浴	洗顔 耳かき 頭にブラシをかける 体を拭く 髭剃り 歯磨き 入浴とその準備
	J.移乗・屋内移動	ベッドから車いすへ移乗
	K.食事	食事準備 食事 お菓子を食べる 食事片付け 飲料摂取
	L.掃除洗濯	部屋の掃除 トイレ掃除 風呂掃除 書類の片付け シーツ交換 選択 工作用具の片付け 裁縫
M.外出	外出用具の準備 外出付き添い 外出用具の後片付け	
睡眠	N.睡眠	睡眠 睡眠時の見守り
ロボットアーム関係	O.ロボ	ロボットアームの取り外し ロボットアームの車いすへの取付 コントロール部の取り外し コントロール部の取付
その他	P.その他	書類の郵送作業 郵送物開封 外の天気の確認 湿度計の確認 ドアの開閉 窓の開閉 工作作業 鞆・机などからのもの出し入れ 通帳のお金の出し入れ 布団や毛布の着脱 寝具を外す 買い物代行
依頼	Q.依頼・質問	指示 依頼 質問

●介助との比較に関して

利用回数： 年 365 回（「社会福祉施設等調査」による平成 23 年 9 月の利用者 1 人当たり利用回数 30.6 回／月の値を参考に設定）

時間あたり利用料

基本値： 利用介助サービスを障害者自立支援法におけると仮定し、1600 円／時（最も時間当たり単位数の小さい、「所要時間 20 時間以上 24 時間未満の場合」を元に算出）

加算： 区分 6 による加算（+7.5%）1720 円／時

地域加算： 地域区分による加算、または離島・過疎地・特別豪雪地域等による加算。平成 24 年度で+0.5%～15%

※今回の収集データのケースでは+8.1% 1720 円／時

上記加算項目の重複+16.2% 1859 円／時

C. 研究結果

1. コストの評価

コストの評価結果を表 2 にまとめる。

ロボットアーム導入に伴う費用は、6 年間で 5 年評価の場合で約 230 万円、6 年評価の場合で約 240 万円であった（iARM の場合。）

数字には、販売店の介在する費用項目としては、本体、デバイス、取付費用のほか訪問指導、メンテナンス費用のうち販売店負担分が含まれており、5 年分で約 220 万円、6 年分で約 230 万円と推定される。また、作業療法士によるフォローなど 9 回・33 時間分かかっており、これに相当する費

用は 8.2 万円となる（長期評価実験 1 事例での作業療法士による対応実績より算定）。

表 2 ロボットアームの導入コスト

	(a) 5 年評価の場合	(b) 6 年評価の場合
本体費用 操作デバイス、ブラケット、取付・納品費用含む	約 200 万円 (約 200 万円) ※デバイスの種別等により、幅が生じうる。	
販売店が販売価格で賄えていないと考えている費用		
・初期フィッティング費用	2.5 万円 (2.5 万円)	2.5 万円 (2.5 万円)
・訪問費用 (1 年目 1 回分)	2.5 万円 (2.5 万円)	2.5 万円 (2.5 万円)
・訪問費用 (2 年目以降。各年 2 回分)	18.1 万円 (20 万円)	22.3 万円 (25 万円)
機器導入当初、作業療法士にかかる費用 訪問によるフォローなど 9 回分(33 時間分)	8.2 万円 (8.2 万円)	
計	約 230 万円 (約 230 万円)	約 240 万円 (約 240 万円)

括弧内は、社会的割引率を考慮しない単純合算額。

2. ベネフィットの評価

2-1 機器の主観的評価額

金銭を尺度とした主観的評価

機器の主観的評価額について、まず金銭による評価結果について、表 3 にまとめる。

表3 機器の主観的評価額： 金銭による主観的評価 (iARMの結果のみ)

	買い取りの場合	使用料支払いの場合の月額
回答	5～60万円 (評価者2名)	2万円/月 (評価者1名)
5年分相当額	5～60万円 推定導入費用230万円の2～26%に相当 (5～60万円)	111万円 推定導入費用230万円の48%に相当 (120万円)
6年分相当額	5～60万円 推定導入費用240万円の2～25%に相当 (5～60万円)	131万円 推定導入費用240万円の55%に相当 (144万円)

括弧内は、社会的割引率を考慮しない単純合算額。

金銭による主観的評価では、買い取りの場合5万円～60万円の回答が得られた。この金額は、ロボットアームの導入費用の2～25% (5年評価の場合) に相当する。導入費用以上の評価金額をした人はいなかった。一方、使用料支払いの場合、月額2万円という回答が得られた (評価者1名)。この金額を5年分に換算すると111万円 (社会的割引率を考慮しなければ120万円) となる。この金額は推定導入費用の48%に相当する。

なお、重度肢体不自由者用ロボットアームの別機種であるJACO arm (価格約400万円) での被験者Dさんから同様の評価をしてもらったところ、買い取りの場合で50万円、使用料支払いの場合で月額1万円 (5年分換算で56万円。社会的割引率を考慮しなければ60万円) との結果であった。

介助時間を尺度とした主観的評価

介助時間による主観的評価について、iARMの評価結果は下記の通りだった。

Aさん 1.5時間分

(iARMを使った経験を踏まえて「良いロボットアームの場合ならば」として回答)

Bさん 0.5時間分

Cさん

1) 現在実際に使用している介助サービス利用時間の何時間分に相当するか?

→ 1.5時間分

2) ロボットアーム使用により得られている満足度を、ロボットアームがない状況で介助利用時間の追加によって得ようとすれば

→ 2.0時間分

ここでは、3名の評価結果を0.5時間～1.5時間として、その時間数の介助サービス利用に要する費用額への換算を行った。介助費用換算を行ううえで、利用者の自己負担額による方法と、総費用 (=自己負担額+国・地方自治体負担額) により評価する方法とが考えられるが、ここでは後者の方法に依ることとする。

結果は、5年間で157万円～628万円となった (6年間でなら185万円～740万円)。

なおJACO armを使用したDさんの評価結果は下記の通りであった。

Dさん

1) 現在実際に使用している介助サービス利用時間の何時間分に相当するか?

→ 0時間分