

201122063A

厚生労働科学研究費補助金
障害者対策総合研究事業

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

平成23年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 井上 剛伸
平成 24 (2012) 年 3 月

厚生労働科学研究費補助金
障害者対策総合研究事業

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

平成23年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 井上 剛伸
平成 24 (2012) 年 3 月

目次

| | |
|--|----|
| I. 総括研究報告 | |
| 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 | 1 |
| 井上剛伸 | |
| II. 分担研究報告 | |
| 1. 有効性評価手法の構築 | 7 |
| 木之瀬隆 | |
| (資料) 5. 重度肢体不自由者用ロボットアーム長期評価プロトコル案 | |
| 2. 神経・筋疾患患者での有効性の検証 | 15 |
| 小林庸子 | |
| (資料) 4. 平成 23 年度版重度肢体不自由者用ロボットアーム短期評価プロトコル | |
| 3. 頸髄損傷者での有効性の検証 | 19 |
| 中山剛 | |
| (資料) 4. 平成 23 年度版重度肢体不自由者用ロボットアーム短期評価プロトコル | |
| 4. 社会コストに関する検証 | 25 |
| 我澤賢之 | |
| III. 研究成果の刊行に関する一覧表 | 31 |
| IV. 研究成果の刊行物・別刷 | 33 |
| V. 資料 | 43 |

I. 総括研究報告

厚生労働科学研究費補助金（障害者対策総合研究事業）
総括研究報告書

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

研究代表者 井上剛伸 国立障害者リハビリテーションセンター研究所 福祉機器開発部長

研究要旨

先端福祉機器の代表例である重度肢体不自由者用のロボットアームのコスト・ベネフィット評価を行うことを目的とし、今年度はロボットアームの短期評価、長期評価プロトコルの構築、コスト・ベネフィット推計に必要となる基礎データの収集を行った。その結果、ロボットアームの短期評価における自立・自律動作に対する有効性が示された。また、長期評価構築のための評価実験から、導入期、初期、中期、後期に分けた評価プロトコルが構築されたとともに、ロボットアームの活用範囲の広さが示された。さらに、導入コストおよび生活の中での活用可能な動作が抽出され、次年度以降の推計に必要なデータを得ることができた。

研究分担者

木之瀬隆・日本医療科学大学保健医療学部リハビリテーション学科作業療法学専攻・専攻長・教授

小林庸子・国立精神・神経センター病院リハビリテーション科・医長

中山剛・国立障害者リハビリテーションセンター研究所障害工学研究部・主任研究官

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

局長勉強会報告書“支援機器が拓く新たな可能性”では、ロボット技術などの先端的な技術を福祉機器に適切に活用することにより、障害者の自立・自律を促進し、生活の質を向上させることの重要性が示されている。厚生労働省としては、技術シーズ主導で考える他省庁とは異なり、利用者の立場から、これらの技術を真に役立つ方向に先導することが求められている。そのためにも、本研究で課題とする効果の実証研究を厚生労働科学研究費で実施することは必要性が高い。

本研究では、重度肢体不自由者用のロボットアームの在宅利用における利用効果および導入による社会コストの増減について、臨床評価を通して明らかにすることを目的とする。

上記の目的を達成するために、以下の達成目標を設定する。

- ①ロボットアームの評価プロトコルの構築
- ②頸髄損傷者による有効性の検証
- ③神経・筋疾患者による有効性の検証
- ④ロボットアーム導入による社会コストの導出
- ⑤補装具費支給制度等への導入に関する提案

昨年度までに、①に関してロボットアームの短期評価プロトコルを構築し、④に関して介助のモデルケースの想定に基づいた予備的コスト試算を行った。本年度は、昨年度構築した短期評価プロトコルに従った有効性の検証(②、③)および、

A. 研究目的

先端福祉機器の利活用には、市場規模の問題や給付制度の問題など、多くの課題が存在する。本研究では、技術的には実用レベルに達したにもかかわらず利活用に至らない先端福祉機器として、肢体不自由者用ロボットアームを取り上げ、その課題解決の方策の一つとして、コスト・ベネフィット評価を行うことで、その糸口を探ることとする。肢体不自由者用ロボットアームは頸髄損傷や神経・筋疾患などによる四肢まひ者においては、介助無しでできることを格段に増加させることが期待されており、ニーズが高い機器である。しかし、社会コストをふまえたトータルでの検討無しには、普及がなかなか進まないのも現実である。

平成 20 年にまとめられた厚生労働省社会援護

長期評価のプロトコルの構築 (①)、コスト・ベネフィット推計に必要な基礎データの収集 (④) を行った。

B. 研究方法

1. 短期評価による有効性の検証

昨年度構築した評価プロトコルに従って、短期評価を実施した。評価のために行った動作は以下の通りである。

- ・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

使用したロボットアームは、オランダの Exact Dynamics 社製 iARM とした。この機種は、国内で唯一市販されているロボットアームである。ロボットアームは、治具 (トライポッド) を用いて床に設置し、テーブルをロボットアームから一定の位置に配置して、実験を行った。

被験者は、高位頸髄損傷者 5 名、デュシャンヌ型筋ジストロフィー患者 6 名である。

被験者は、まず 1 時間程度操作の体験を行い、その後、前述の動作を順に行った。データとしては、動作の可否、動作にかかった時間、操作精度を求めるとともに、主観評価として福祉用具満足度評価 (QUEST2.0 の用具スケール) および福祉機器心理評価スケール (PIADS) を実施した。また、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を実施した。

2. 長期評価プロトコルの構築

先行研究および本年度に実施したプロトコル作成のための実験により、被験者に無理を生じない範囲で、長期評価プロトコル構築のための予備

実験として 3 ヶ月間在宅生活にロボットアームを導入した。尚、評価に先駆けて 1~2 週間導入のための期間を設けていたが、操作用入力装置の製作、調整に予想外の時間がかかり、導入には計 1 ヶ月間を要した。被験者は、シャルコー・マリー・トゥース病による四肢まひ男性 1 名とした。

被験者本人の電動車いす (ペルモビール社製) にロボットアームを装着し、在宅生活で障害当事者にロボットアームを操作してもらい、実際の生活上での操作の成否、時間、主観評価として福祉用具満足度評価 (QUEST2.0 の用具スケール) および福祉機器心理評価スケール (PIADS) を実施した。また、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を実施した。重度肢体不自由者用ロボットアームの長期間の実験は当研究の研究代表者、分担研究者が把握している限り、国内では初めての試みであり、随時、長期評価研究班のメンバーが在宅訪問を行い、ロボットアームの使用方法や環境調整などのフォローアップを行った。

使用したロボットアームは、日本国内で市販されており入手が比較的容易であるオランダの Exact Dynamics 社製 iARM (intelligent Assistant Robot Manipulator) を用いた。

以上の実験結果をふまえて、長期評価プロトコルを決定した。

3. コスト・ベネフィット推計のための基礎データの収集

コスト・ベネフィットを推計する上で必要となる基礎データのうち、本年度はロボットアームの導入及びメンテナンスに要する販売店経費と、ベネフィット評価のための利用者の生活行動調査を実施した。

販売店経費については、現在日本国内での販売・サポートに携わる窓口が設置され、利用者宅訪問を含むサポートが実施されている iARM の代理店事業所を対象として、販売店の直面する費用についてまとめることとした。

ベネフィットの評価を行うための基礎データとして、ロボットアーム不使用時と使用時との間

で、利用者の生活行動ならびに介助などのサービスの利用状況がどのように変わるのかについて把握する必要がある。そこで、前述の長期評価プロトコル構築のための実験結果を基に、ロボットアームでできた動作、できなかった動作、今後試してみたい動作を抽出し、まとめることとした。

(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および国立精神・神経医療研究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. 短期評価による有効性の検証

頸髄損傷者を対象とした評価では、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、5分～20分程度の範囲で完了することが確認できた。また、満足度については QUEST 2.0 の結果より、平均得点 3.3 ± 0.7 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、総合得点（-3～3点）は 1.1 ± 0.8 点、効力感 1.3 ± 0.8 点、積極的適応性 1.2 ± 0.9 点、自尊心 0.8 ± 0.7 点であった。

自由意見としては特に床に落ちたものを拾えることを長所とする意見が多く得られ、その他にも使い心地は良い、相当実用性がある事を実感した、一人になる時間が多い方には非常に有効などポジティブな意見が得られた。その一方で、ロボットアームのサイズが大きい、や動作が遅くてまどろっこしい、ちょっと操作が難しいなど幾つかネガティブな意見も得られた。

デュシャンヌ型筋ジストロフィー患者を対象とした評価では、いずれの動作も可能であることが確認でき、その所領時間は平均して2分半～14分程度の範囲であった。また、満足度については QUEST 2.0 の結果より、平均得点 3.9 ± 0.6 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、総合得点（-3～3点）は 1.8 ± 0.9 点、効力感 1.8 ± 0.9 点、積極的適応性 1.8 ± 0.8 点、自尊心 1.8 ± 0.9 点であった。

自由意見としては、「机上に物が多数あっても自分で扱える」「一人ではできないことができる」「介助者に手間をかける気遣いがいい」というポジティブな意見が得られた。一方、動作範囲の問題や動作速度の遅さを指摘するネガティブな意見も得られた。

2. 長期評価プロトコルの構築

評価実験の経過を以下に示す。

- 1) 導入期：屋内での練習時のみロボットアームを車いすへ取り付け
 - 11月16日 電動車いすへ iARM 取り付け
 - 11月21日 純性入力装置およびオリジナル入力スイッチによる基本操作確認
 - 11月23日 オリジナル入力スイッチによる基本操作確認
 - 11月25日 オリジナル入力スイッチ利用の確定、基本操作練習、ロボットアーム着脱手順教示
 - 11月28日 基本操作練習
 - 11月30日 基本操作練習、日常生活動作訓練
 - 12月5日 自主練習
 - 12月9日 日常生活動作訓練、ハーモニカ等趣味活動練習
- 2) 評価実験前期：ロボットアームを車いすへ常設、日常生活で使用を始める
 - 12月17日 実験実施者同伴で外出、外食（以降外出時もロボットアームを使用）
 - 12月23日 日常生活動作フォローアップ、外出に適した操作の教示
 - 12月28日 フォローアップ
 - 12月30日 環境調整：PC デスクにトラックボール追加など

- 12月31日 忘年会、ビールを飲む、食事、吹き矢をする
- 1月1日 初詣、紙コップで甘酒を飲む等
- 1月7日 研究会参加、国立障害者リハビリテーションセンターまで電車で移動
- 1月9日 環境調整：外出時の入力装置収納袋を車いすに装着
- 1月16日 ロボットアーム配線コネクタ部の破損（ヘルパーによる着脱時）
- 1月16日～旅行、ロボットアーム無しで生活
- 3) 評価実験後期：各種調査、評価、計測等を行う
- 1月25日 ロボットアーム修理完了、再度使用開始
- 1月下旬 環境調整：マウススティック購入
- 2月2日 生活調査インタビュー
- 2月17日 ロボットアーム使用時1日ビデオ撮影
- 2月20日 QUEST、PIADS 聴取
- 2月23日 AMPS 説明、課題選定
- 2月27日 AMPS 課題練習
- 2月28日 AMPS 課題練習
- 3月14日 AMPS 測定実施
- 3月22日 ロボットアーム引き上げ

上記結果で示した通り、導入期、評価実験前期、評価実験後期に分けて予備実験を実施し、長期評価プロトコル構築に向けての知見が得られた。また、ロボットアームの活用範囲が想定以上に広くあることが示された。

3. コスト・ベネフィット推計のための基礎データの収集

販売店経費については、販売に向けたフィッティング作業時点から販売後6年の間に要する費用（メーカーへの搬送を要する修理を除く）は41万円となった。また、メーカー搬送（オランダまで機器を送付）を要する修理1回あたりの費用は11万5千円となった。

一方、ベネフィット評価のための生活記録調査の結果、ロボットアームの動作に関して表1のような動作が抽出された。

表1 生活場面でのロボットアームによる動作

ロボットアームでの動作について

A. 動作をやってみたところ、できた動作について

| |
|----------------------|
| A-1 習慣的におこなうようになった動作 |
| レンゲを持って食事を摂る |
| お茶、コーヒーなどの飲み物 |
| 資料読み |
| A-2 できはしたが習慣化しなかった動作 |
| 電話に出る |
| インターホンに出る |
| (習慣化しなかった理由) |
| 俊敏に反応しないので、間に合わない |

B. やってみたが、今のところできていない動作について

| |
|----------------------------------|
| B-1 うまいくいかなかったが、上手くいく方法を検討している動作 |
| レンジで温めることや冷凍庫のものを解凍する |
| (うまいくいかなかった理由) |
| アームの操作やアームのみに頼ったのでうまいくいかなかった |
| B-2 うまいくいせず、ひとまず断念した動作 |
| 玄関のドアの開閉 |
| 受話器を取る |
| (うまいくいかなかった理由) |
| ドアの重さや狭い角での操作が難しい |

C. まだ試していないが、機会があれば試してみたい動作について

| |
|----------------|
| C-1 今後試してみたい動作 |
| 急須からお茶を注ぐ |
| カーテンを閉める |

D. 考察

1. 短期評価による有効性の検証

頸髄損傷者および筋ジストロフィー患者による評価結果から、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、生活の質と自立度を向上させる可能性が示唆された。また、QUEST2.0およびPIADSの結果から、ある程度の満足度が得られていることと、正の心理的効果が得られることが示された。

頸髄損傷者と筋ジストロフィー患者の結果を比較すると、被験者数は少ないものの、筋ジストロフィー患者の方が高い満足度と心理的効果を示す傾向が見られた。これは、頸髄損傷者に自立生活者が多いのに対し、筋ジストロフィー患者に家族同居者、特に親による介助を受けているものが多かったことが原因と考えられる。動作の自立もさることながら、自分の意思で活動する自律に対する効果が高く見られることを示す結果ともいえる。

2. 長期評価プロトコルの構築

予備実験の結果を受けて、長期プロトコルには、6つの段階を設け、最低2ヶ月半、通常3ヶ月程度の期間で行うよう構築した。各段階の概要、所要日数は以下のように設定した。

① 導入前調査：2日～数日
長期評価開始の為の事前準備段階であり、必要な情報の収集や用具の準備を行う。

② ロボットアーム導入：約2週間
導入前調査が完了し、ロボットアームと操作スイッチを被験者の車いすに取り付ける準備が整った状態でこの段階を開始する。実験従事者が立ち会った状態でのみ車いすにロボットアームを取り付け、被験者に操作やエラー対応の教示、練習を行い、被験者自身が日常生活において単独でロボットアームを扱えるように準備・訓練を行う。被験者の習熟度が不十分な場合は期間を延長する。

③ 長期評価前期：約1ヶ月間
導入段階において、被験者がロボットアームの操作に十分習熟し、エラー・トラブル等にも自身で対応可能と判断された後にこの段階に移行する。被験者には日常生活の中でロボットアームを自由に使用して貰い、トラブルが無い限り実験従事者は被験者宅を訪問しない。

④ 中間調査：2日～数日
被験者にロボットアームを1ヶ月使用して貰った段階での生活の変化や習熟度を取得する。また、ロボットアームを実際に1ヶ月間日常生活で使用することで新たに判明した問題点や改善点を調査し、長期評価後期に向けて対応する。調査終了後、長期評価後期に移行する。

⑤ 長期評価後期：約1ヶ月間
中間調査で必要な調査、フォローアップが終了した後にこの段階へ移行する。被験者がロボットアーム操作に慣れ、環境調整も十分に行われた状態で、ロボットアームを自由に使用して貰う。基本的に長期評価前期と同様にトラブルが無い限り実験従事者は被験者宅を訪問しない。

⑥ 終了時調査：3日～数日
被験者にロボットアームを約2ヶ月間使用して貰った段階での生活の変化や習熟度を取得する。ロボットアーム未使用時、中間調査時点との生活実態や心理評価を比較する。調査終了後ロボットアームの引き上げを行い、住宅環境をロボットアーム導入以前の状態に復帰させる。

長期評価プロトコルの詳細な内容は、資料5「重度肢体不自由者用ロボットアーム長期評価プロトコル案」に記載する。

3. コスト・ベネフィット推計のための基礎データの収集

今後ロボットアームを公的制度に載せることを検討する際、同機器を安定的に供給できるようにしていくためには、販売店が現在直面している費用をどのようにまかなっていくのかについての検討が必要である。なかでも、義肢などの補装具についてもしばしば指摘される（例えば、第7回補装具評価検討会。平成20年8月8日）ところであるが、販売店事業所からの遠方の利用者へ供給・サポート実施する際の交通費の負担をどのように扱うのかについて考える必要がある。

また、表1の結果によると、実際に行うことのできた動作のうち、習慣化したものとそうならなかったものを分けたひとつの目安として、所要時間の及ぼす影響が考えられる。A-2に挙げた、習慣化しなかった動作としては、電話・インターホン対応と、相手の呼びかけに対して速やかな反応が求められる動作が列挙されている。これに対し、A-1で挙げた習慣化した事項については、食事、飲料摂取、資料読みといった、どちらかといえば多少時間がかかっても利用者自身のペースで行うことのデメリットが比較的小さい動作が並んでいると考えられる。特に飲料摂取、資料読みについては介助者を介することなく利用者が自身で行うことができるようになることで、別の依頼用務を遂行中の介助者の作業を途中で中断させる機会が減り介助者利用の効率化ならびに介助負担の軽減の効果を期待することができる可能性がある。

E. 結論

本研究では、重度肢体不自由者用のロボットアームにコスト・ベネフィットの評価を行うことを目的とし、今年度は、ロボットアームの短期評価、長期評価プロトコルの構築、コスト・ベネフィット推計に必要な基礎データの収集を行った。その結果、ロボットアームの短期評価における自立・自律動作に対する有効性が示された。また、長期評価構築のための評価実験から、導入期、初期、中期、後期に分けた評価プロトコルが構築されたとともに、ロボットアームの活用範囲の広さが示された。さらに、導入コストおよび生活の中での活用可能な動作が抽出され、次年度以降の推計に必要なデータを得ることができた。

次年度は、長期評価の実施とその結果に基づくコスト・ベネフィットの推計、さらには普及に向けた提案を作成する予定である。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 井上剛伸, 木之瀬隆, 小林庸子, 中山剛, 我澤賢之. ロボットアームのコスト・ベネフィット評価. 第26回リハ工学カンファレンス講演論文集, 2011-07-25, 大阪, 2011, p.117-118.
- 2) INOUE Takenobu, KINOSE Takashi, KOBAYASHI Yoko, NAKAYAMA Tsuyoshi, GASAWA Kenji. Cost-Benefit Evaluation of Assistive Robotic Arms. 第26回リハ工学カンファレンス講演論文集, 2011-07-24, 大阪, 2011, p.59-60.
- 3) 木之瀬隆, 井上剛伸, 木下崇史, 山口純. ロボットアームのコスト・ベネフィット評価に関する検討(シャルコー・マリー・トゥース病のケース). 日本義肢装具学会誌, 27, 2011-10-05, 2011, p.108.
- 4) 中山剛, 井上剛伸, 木之瀬隆, 小林庸子, 樋口智和, 我澤賢之, 木下崇史, 山口純, 藤野真理子, 兼森祥子. 肢体不自由者用ロボットアーム導入に向けた基礎評価. 生活生命

支援医療福祉工学系学会連合大会 2011 論文集, 2011-11-03, 東京, 2011, p.10-4-1, p.10-4-2, CD-ROM.

- 5) 木下崇史, 井上剛伸, 中山剛, 我澤賢之, 山口純, 藤野真理子, 兼森祥子, 小林庸子, 樋口智和, 木之瀬隆. 肢体不自由者用ロボットアームの利用効果に関する基礎評価. 第7回日本シーティング・シンポジウム, 2011-11-20, 東京, 2011, p.54-55.

H. 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

II. 分担研究報告

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

有効性評価手法の構築

分担研究者 木之瀬 隆

日本医療科学大学 保健医療学部 リハビリテーション学科 作業療法学専攻 専攻長 教授

研究協力者：木下 崇史、山口 純

研究要旨

コスト・ベネフィット評価の一環として、昨年度短期評価を行ったモデルケースを対象に長期評価のプロトコル作成のためパイロット・スタディとして在宅生活での長期評価予備実験を行った。本研究ではシャルコー・マリー・トゥース病の障害者1名に対し、在宅での日常生活におけるロボットアームの活用における長期評価予備実験を実施した。実験は短期評価プロトコル案より、想定される課題や在宅生活環境での問題点を抽出することと、その問題解決法、生活時間でのコスト・ベネフィット調査、長期にわたる電動車いすにロボットアームを装着状態での検証を行った。結果として長期評価プロトコル案を作成した。プロトコルとして、タイムテーブルでは、①導入前調査、②ロボットアーム導入期、③長期評価前期、④中間調査、⑤長期評価後期、⑥終了時調査、の必要性が明らかになった。また、今回のケースは、実験期間において、一定の満足感や高い心理的効果を得ており、ロボットアーム利用者候補として、適当であると考えられる。実験上の課題として、電動車いすへのロボットアームの装着には、装着用の個々のアタッチメントの必要性やモデルケースとして長期評価実験の数カ月（今回約3カ月）に対応できる時間的なゆとりの必要性も重要であった。

A. 研究目的

長期評価研究班での打ち合わせ会議、昨年度の短期評価プロトコルの結果を受け、長期評価プロトコル試作を目的に、パイロット・スタディとして、1名の被験者において在宅環境でのロボットアームの動作検証、日常生活活動での使用、屋外環境での使用状況評価において、長期評価プロトコル案の構築を行った。

本研究では、上記の実験を基に末梢神経疾患者へのロボットアームの在宅生活での適応について考察した。

B. 研究方法

先行研究および本年度に実施したプロトコル作成のための実験により、被験者に無理を生じない範囲で、2～3カ月間の予定で長期評価プロトコル構築のための予備実験として、在宅生活にロボットアームを導入した。被験者本人の電動車いす（ペルモビール社）にロボットアームを装着し、

在宅生活で障害当事者にロボットアームを操作して貰い、実際の生活上での操作の成否、時間、主観評価として福祉用具満足度評価（Quebec User Evaluation of Satisfaction with assistive Technology version 2.0: QUEST2.0）および福祉機器心理評価スケール（Psychosocial Impact of Assistive Devices Scale: PIADS）を実施した。また、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を実施した。重度肢体不自由者用ロボットアームの長期評価は当研究の研究代表者、分担研究者が把握している限り、国内では初めての実験であり、随時、長期評価研究班のメンバーが在宅訪問を行い、ロボットアームの使用方法や環境調整などのフォローアップを行った。

本年度の研究でのロボットアームは、日本国内で市販されており入手が比較的容易であるオランダの Exact Dynamics 社製 iARM (intelligent Assistant Robot Manipulator) を用いた。

1. 被験者基本情報

疾患名：

シャルコー・マリー・トゥース病

障害状況：

身障手帳 1 種 1 級（四肢・体幹障害）

上肢を自分では持ち上げることができない。三角筋、上腕二頭筋、筋力ゼロ。手指筋力 1-2 レベル。体幹は左側弯。

電動車いすのジョイスティックはアームサポートに前腕を乗せて操作可能。

テーブル上に上肢を載せればミニキーボードによりパソコン操作可能。

座位能力：

簡易車いす座位能力分類Ⅲ

Hoffer 座位能力分類Ⅲ

（座位が取れない状態）

ペルモビール社（スウェーデン）製の電動車いすでは、座面に空気量調節式クッションを使用し、ティルト・リクライニング機構を使用し、側弯による左への傾きは体幹をゆすることで姿勢の修正を行う状態である。

生活状況：

24 時間の内、電動車いすに乗っている時間が 12-14 時間程度。生活では移乗、食事など全介助を受けているが、時間や内容については、本人が障害者自立支援法による支援費を利用しマネジメントしている。電動車いすについては、2010 年に外国製の高性能な電動車いすを手帳により給付を受けて使用している。唯一、電動車いすに座ると自分での移動が可能であり、ティルト・リクライニング機能を利用して、長時間の車いす上生活を送っている。

2. 電動車いすへのロボットアーム装着状況

電動車いすへの iARM 装着を販売代理店に依頼した。電動車いすとロボットアームの装着部分は、事前にアタッチメントの製作を依頼していた。

また、今回電源バッテリーは、電動車いす本体のバッテリーではなく、別バッテリーとして電動アシスト自転車のものを利用した（図 1）。



図 1 ロボットアーム装着状況

3. 在宅生活環境

被験者は市区町村の障害者住宅に入居しており、1 階の 2LDK のバリアフリー住宅である。ヘルパーが 8 : 00 ~ 19 : 00 までと 21 : 00 ~ 23 : 30 まで入る。19 : 00 ~ 21 : 00、23 : 30 ~ 翌朝 8 : 00 までの就寝時は一人である。



図 2 室内

4. 実験内容

4. 1. ロボットアームの入力スイッチの決定

昨年度の短期評価実験の際は iARM 純正のキーパッドを用いて操作していたが、電動車いす用のジョイスティック部とキーパッド部が干渉して電動車いす用ジョイスティックの操作性を低下させてしまう事や、実験後に頸部や上肢帯および体幹などの疲労感が認められ、変更の要があった（図 3）。そこで、心身機能を考慮し、タクトスイッチを用いたオリジナル入力スイッチの試作を事前に販売代理店に依頼した。

ロボットアーム導入期において、純正キーパッド、純正ジョイスティックおよび、試作オリジナル入力スイッチを試用比較した結果、試作オリジナル入力スイッチによる操作効率の優位性、低疲労性が認められ、オリジナル入力スイッチおよび車いすへの取り付けアタッチメントの制作を販売代理店に依頼した(図4)。



図3 車いすジョイスティックと純正キーパッド



図4 オリジナル入力スイッチ

4. 2. 在宅生活でのロボットアームの初期使用設定

ロボットアーム導入期では、安全性を配慮し、自宅内操作練習を目的として、屋外使用は行わないこととした。また、拡大表示した操作マニュアルを室内の見やすい場所に配置し、練習しやすい環境を整えた上で、基本的操作課題を実施した。

4. 3. 屋外使用の決定

屋外使用は評価者が同行し、一般歩道での走行時の確認、自宅外建物でのドア開閉などの確認を

した上での許可とした。

4. 4. ロボットアームの種々の操作モード使用

iARMには基本操作以外の機能がいくつかあるため、基本操作の習熟後、各関節を個々に動かすモードや、一定の位置を記憶・再生可能なマクロモードなどの使用方法の紹介を行った。

C. 結果(使用経過)

重度肢体不自由者用ロボットアームの在宅生活での長期間の評価実験は、当研究の研究代表者、分担研究者が把握している限り、国内では初めての試みであり、今回の研究では当初、実験期間を2ヶ月程度と予定して長期評価予備実験を開始した。また、想定できないトラブルの発生も考慮し、実験に支障が生じた際には、速やかに撤収することも、被験者に了解を得て実施した。今回の予備実験期間中にロボットアーム配線コネクタ部の破損があり、10日ほど実験が中断した。その後、順調に使用を継続でき、長期評価プロトコルの策定にあたり情報収集を行うことができた。

1. 導入期

導入期としては、ロボットアームの入力スイッチをどこに取り付けるかが課題となった。短期評価で使用した純正キーパッドは電動車いすのジョイスティック部分近くの設定では被験者の上肢・指の機能が十分に使えず、誤操作が多く実際的な使用が難しいことがわかった(図3)。また、縦4×横4の16個のキー間を、上肢および体幹の代償機能を用いながら指先を移動させて操作する方法では、短時間の利用で疲労感が高まることも確認されていた。導入期にiARM純正のジョイスティックも試用したが、純正キーパッドと同様に取り付け位置の難しさや頻回な前後左右方向への入力が必要となるため、操作の困難さや疲労性の解消には至らないことがわかった。そのため、販売代理店に依頼して、キーパッドより小さく、タクトスイッチを用いたオリジナル入力スイッチを試作・試用し、操作練習を行った。

この時期にロボットアームの基本操作方法、ペグなどの自動操作、本人が希望する日常生活活動

の机上操作練習を研究チーム員の立会のもと行った。特に、ペットボトルやコップでの水分摂取は本人の希望が強かった。

また、被験者は、週数回、パソコン教室などの仕事もしており、身障法対応のヘルパーに対してもロボットアームの着脱方法の説明を、本人が直接説明できるよう、取り付け方法やエラー対応などのマニュアル作成も行った。

ロボットアームを用いることで、アクティビティとしては、基本操作からハーモニカや趣味活動といったところまで範囲が広がった。

2. 実験前期

導入期において入力装置の確定、操作練習等を行い、基本的操作が安全に可能でかつ基本的なエラー対策も実施可能なことを確認した。

被験者の要望もあり屋外使用も併せて検討した。実験実施者の立ち会いの下、介助者同伴で屋外移動、商店などの建物へ出入り、食堂での食事などを経験した。

これらにより、在宅以外の場所での使用が可能なることも確認し、評価実験の開始とした。

初期のアクティビティとしては、本人の開始期の目標として、知人が集まるとの忘年会において、食事に用いる、ビールを飲む、吹き矢などのゲームを行う、他者にお酌をするなどといった目標を立て、実施している。

実験開始から2週間程でヘルパー6名がロボットアームの装着や入力スイッチの固定方法に慣れ、運用方法が安定し始めた。この頃のアクティビティとしては初詣で甘酒を飲んだり、研究会に参加してロボットアームでマイクを持って発表したり、研究会中に自身で任意にお茶を飲んだりという動作をしている。

1月中旬に、被験者は破損への警戒からロボットアームを取り外した状態で旅行に行ったが、その際の感想として、「ロボットアームを持っていくべきだった」、「ロボットアームを持っていかないのでヘルパーさんの負担が増大した」などと述べている。この時のロボットアーム本体の着脱に伴い、ロボットアーム配線コネクタ部の破損が生じ、修理を要した。

3. 実験後期

被験者は、ロボットアームの操作に習熟し、普通の生活としてロボットアームの操作を行っていた時期である。今まで、水分補給やテレビ等のリモコン操作、食事動作の一部など、以前は介助者に依頼していた支援のいくつかは、ロボットアームで可能になった。また、マウススティックを購入し、ロボットアームと併用することで、自治体の会議等に参加した際に、ヘルパーに頼まなくても、自己で任意に資料のページをめくり、会議に以前より主体的に参加することが可能となった。さらに、電子レンジの使用や冷蔵庫扉の開閉なども、ロボットアームで把持しやすいうようにフックや輪を取り付けるなどの環境調整によりチャレンジを行った。

この期間には、合わせて評価として生活インタビュー、心理評価、APDLの評価などを実施した。

3.1. 心理評価

約2か月間の実験期間が経過したのちに、心理評価として福祉用具満足度評価(QUEST 2.0:12項目中8項目)および福祉機器心理評価スケール(PIADS)を実施した。また、併せてロボットアームを用いた生活についての聞き取り調査を実施した。QUEST2.0(0~5点)では2.9点「やや満足している」という結果を得た。重要項目については、「大きさ」「使いやすさ」「使い心地」を選択した。また、サービスの項目について今回の実験期間中にも実施された「修理とメンテナンス」「専門家の指導・助言」の2項目を加えた10項目中の重要項目の選択では、「使いやすさ」「修理とメンテナンス」「専門家の指導・助言」が選択された。コメントとしては大きさ、重さに対する不満が聞かれ、そのほかの項目については概ね肯定的な内容であった。PIADS(-3~+3点)の結果は合計得点1.4点(効力感サブスケール得点1.3点、積極的適応性サブスケール得点1.5点、自尊心サブスケール得点1.4点)であった。発言としては、『ロボットアームですべてができるようになるわけではないが、多くの場面で使えたこと、特に飲む、食べるという事に使えたことが大きく、友人やヘルパーと同じ時間で一緒に食事を

したり、宴会をできたことが何よりである。』『自分のペースで飲食出来て何よりもよいのは、誤嚥して咽る回数が格段に減ったことである。』『(実験期間を通して) 実際の生活場面での活用方法や操作方法の教示アドバイスを適時受けられることが有用であった』という趣旨の発言が得られた。

3.2. 日常生活活動、日常生活関連活動

食事、更衣、排泄、コミュニケーションなどの日常生活活動 (ADL: Activities of Daily Living)、および日常生活関連活動 (APDL: Activities Parallel to Daily Living) について、ロボットアーム使用、非使用状態での FIM (Functional Independence Measure) および AMPS (Assessment of Motor and Process Skills) を用いての評価を行った。

表 1 ADL・APDL 評価結果

| 評価法 | | 非使用 | 使用 | 差 |
|------|---------|-------|-------|------|
| FIM | | 65 点 | 67 点 | 2 点 |
| AMPS | Motor | -2.40 | -0.75 | 1.65 |
| | Process | 1.20 | 1.03 | 0.17 |

FIM の得点差は運動項目の食事において、ロボットアーム非使用時は全介助であるが、使用時にはスプーンを持ち、食べ物を口まで運び、食事を摂ることが可能となっていることに由来する。AMPS では運動技能においていずれもマイナス値であり、自立した ADL 課題の遂行は困難であるが、ロボットアーム使用時・非使用時の差が 1.65 を示しており、ロボットアーム導入により有意に運動技能の向上が認められる。プロセス技能においてはいずれも標準値の範囲内であり、同世代の健常者と同等の技能を有しているといえる。

実験結果

1. 導入期：屋内での練習時のみロボットアームを車いすへ取り付け

| | |
|--------|---------------------------------------|
| 11月16日 | 車いすへ iARM 取り付け |
| 11月21日 | 純性入力装置およびオリジナル入力スイッチによる基本操作確認 |
| 11月23日 | オリジナル入力スイッチによる基本操作確認 |
| 11月25日 | オリジナル入力スイッチ利用の確定、基本操作練習、ロボットアーム着脱手順教示 |
| 11月28日 | 基本操作練習 |
| 11月30日 | 基本操作練習、日常生活動作訓練 |
| 12月5日 | 自主練習 |
| 12月9日 | 日常生活動作訓練、ハーモニカ等趣味活動練習 |

2. 実験前期：ロボットアームを車いすへ常設、日常生活で使用を始める

| | |
|--------|----------------------------------|
| 12月17日 | 実験実施者同伴で外出、外食 (以降外出時もロボットアームを使用) |
| 12月23日 | 日常生活動作フォローアップ、外出に適した操作の教示 |
| 12月28日 | フォローアップ |
| 12月30日 | 環境調整：PC デスクにトラックボール台追加など |
| 12月31日 | 忘年会、ビールを飲む、食事、吹き矢をする |
| 1月1日 | 初詣、紙コップで甘酒を飲む等 |
| 1月7日 | 研究会参加、国立障害者リハビリテーションセンターまで電車で移動 |
| 1月9日 | 環境調整：外出時の入力装置収納袋を車いすに装着 |
| 1月16日 | ロボットアーム配線コネクタ部の破損 (ヘルパーによる着脱時) |
| 1月16日～ | 旅行、ロボットアーム無しで生活 |

3. 実験後期：各種調査、評価、計測等を行う

| | |
|-------|--------------------|
| 1月25日 | ロボットアーム修理完了、再度使用開始 |
| 1月下旬 | 環境調整：マウススティック購入 |
| 2月2日 | 生活調査インタビュー |
| 2月17日 | ロボットアーム使用时1日ビデオ撮影 |
| 2月20日 | QUEST、PIADS聴取 |
| 2月23日 | AMPS説明、課題選定 |
| 2月28日 | AMPS課題練習 |
| 3月14日 | AMPS測定実施 |
| 3月22日 | ロボットアーム引き上げ |

D. 考察

1. 入力スイッチについて

本実験は iARM を電動車いすに装着した状態での実験であり、ペルモビール社製の電動車いすは iARM の装着もある程度想定されているタイプであった。iARM の新しいバージョンでは、電動車いすのジョイスティックとロボットアームの操作が切り替えスイッチにより同期できる可能性があった。実際は、被験者の上肢、手指などの機能により、iARM 純正品では操作が難しく、販売代理店のオリジナル入力スイッチを試用して、操作が可能となった。短期評価プロトコルにおいて、被験者が使用する電動車いす上でのロボットアームの操作スイッチが決定されると長期評価の日数が1~2週間短縮されることが予測された。

2. 環境との調整評価

被験者は、現在の障害者用住宅に入ってから、約15年経過しており、同時に全介助の生活を行ってきた。自分で操作可能な動作は、電動車いす操作、携帯電話操作、パソコンの入力装置の位置設定や電源操作の介助によりパソコン作業が可能であった。このような環境で、ロボットアームを生活環境に入れることは、ロボットアームで何を行い、ヘルパーに何をして貰うかなど、生活の再構築を行う必要があった。被験者は、今までも福祉用具活用において積極的に活用するタイプであり、本人のアイデアも含め、長期評価研究班が想定した以上の活用がみられたと考えられる。具体的に、住環境、人的介助のヘルパー、屋外環境での使用について、検討した。

2.1. 住環境と福祉用具

被験者は障害者住宅の中で、電動車いす、リフト、介護用ベッドを使用し、また、その操作方法を複数のヘルパーに指導して、自立的生活を営んでいる。また、重度な障害であり、上肢・手指機能も低いのが、携帯電話や、パソコンのキーボードやトラックボールも身体機能に合ったものに変更して積極的に活用していた。今回の評価実験期間中もロボットアームを電動車いすに装着したことで、パソコンデスクに近づくことが難しくなりパソコン入力作業に支障をきたした。対応として、長期評価研究班のメンバーと共にトラックボール操作のための取り付けマウントを工夫することで、入力作業は以前と同等に可能となった。玄関や居間の出入り口においては、電動車いすに取り付けたロボットアーム本体の幅が邪魔になり、通路移動に慣れるまで時間を要した。電動車いすにロボットアームを取り付けることで、住環境との適合性を見直す必要があった。

2.2. 人的介助のヘルパー

ヘルパーの介入は、6名が時間調整の上、介入している。ロボットアーム導入時は、本体の取り付け取り外し作業にヘルパーが慣れるために時間を要した。男性ヘルパーは取り付け方法の理解が速かったが、女性ヘルパーでは取り付け取外しに戸惑う場面もあった。ロボットアーム本体の着脱は一般的には日中行うことの少ない動作であるが、今回の実験期間中では導入期、実験前期で、頻繁に行う動作であった。

ロボットアーム導入後の変化では、水分摂取や

食事動作の一部が自立したことで、介助への介入部分が一部軽減した。ロボットアームによる自立動作は、より操作の習熟度が上がることで改善の余地があった。

2.3. 屋外環境

屋外での使用については、安全性の配慮で実験開始時に長期評価研究班のメンバーが同行して開始した。歩道などの移動については、大きな問題は生じなかったが、電動車いすの右前部にアーム本体の荷重がかかり、電動車いすのショックアブソーバーの沈み込みを被験者は多少気にしていた。電動車いすの性能と合わせて事前チェックの必要性があった。自宅以外の施設使用では、一般エレベーターが狭く、ロボットアームの本体部分が以前の未装着の場合と比べ張り出しており、出入りに注意を要した。また、都電での移動においても、出入り口が狭くロボットアームのアーム部分を膝上に置くなどしての使用になった。都電内では狭い場所を人が移動するために、被験者は非常に神経を使ったと感想を述べた。

3. 心理評価および ADL・APDL 評価について

心理評価については QUEST2.0、PIADS および聞き取り調査により重度肢体不自由者用ロボットアームに対する満足度、日常生活での使用における心理的効果などを確認することができた。

日常生活でのロボットアーム使用による変化や有用性の確認の指標として、ADL の評価指標である FIM を用いたが、FIM のみでは APDL などの変化が反映され難く、AMPS を用いることで、重度肢体不自由者用ロボットアームの導入による日常生活の変化を作業遂行状態の変化を含めて、より明確にすることができると考える。

4. 長期評価プロトコル案について

予備実験の結果を受けて、長期評価プロトコルには、6 つの段階を設け、最低 2 ヶ月半、通常 3 ヶ月程度の期間で行うよう構築した。各段階の概要、所要日数は以下のように設定した。

- ① 導入前調査：2 日～数日
長期評価開始の為の事前準備段階であり、必要な情報の収集や用具の準備を行う。
- ② ロボットアーム導入：約 2 週間
導入前調査が完了し、ロボットアームと操作スイッチを被験者の車いすに取り付ける準備が整った状態でこの段階を開始する。実験従事者が立ち会った状態でのみ車いすにロボットアームを取り付け、被験者に操作やエラー対応の教示、練習を行い、被験者自身が日常生活において単独でロボットアームを扱えるように準備・訓練を行う。被験者の習熟度が不十分な場合は期間を延長する。
- ③ 長期評価前期：約 1 ヶ月間
導入段階において、被験者がロボットアームの操作に十分習熟し、エラー・トラブル等にも自身で対応可能と判断された後にこの段階に移行する。被験者には日常生活の中でロボットアームを自由に使用して貰い、トラブルが無い限り実験従事者は被験者宅を訪問しない。
- ④ 中間調査：2 日～数日
被験者にロボットアームを 1 ヶ月使用して貰った段階での生活の変化や習熟度を取得する。また、ロボットアームを実際に 1 ヶ月間日常生活で使用することで新たに判明した問題点や改善点を調査し、長期評価後期に向けて対応する。調査終了後、長期評価後期に移行する。
- ⑤ 長期評価後期：約 1 ヶ月間
中間調査で必要な調査、フォローアップが終了した後にこの段階へ移行する。被験者がロボットアーム操作に慣れ、環境調整も十分に行われた状態で、ロボットアームを自由に使用して貰う。基本的に長期評価前期と同様にトラブルが無い限り実験従事者は被験者宅を訪問しない。

- ⑥ 終了時調査：3日～数日
- 被験者にロボットアームを約2ヶ月間使用して貰った段階での生活の変化や習熟度を取得する。ロボットアーム未使用時、中間調査時点との生活実態や心理評価を比較する。調査終了後ロボットアームの引き上げを行い、住宅環境をロボットアーム導入以前の状態に復帰させる。
- なし
3.その他
なし
<参考文献>
なし

長期評価プロトコルのより詳細な内容は、資料5「重度肢体不自由者用ロボットアーム長期評価プロトコル案」に記載する。

E. 健康危険情報

(総括研究報告書にまとめて記入)

(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。

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 木之瀬隆, 井上剛伸, 木下崇史, 山口純. ロボットアームのコスト・ベネフィット評価に関する検討(シャルコー・マリー・トゥース病のケース). 日本義肢装具学会誌, 27, 2011-10-05, 2011, p.108.

H. 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

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

神経・筋疾患患者での有効性の検証

分担研究者 小林 庸子 国立精神・神経医療研究センター病院 リハビリテーション科 医長
研究協力者：前野崇、樋口智和

研究要旨

筋疾患患者は四肢体幹の運動障害により外界へのアプローチ、上肢による操作に多大な障害を持つことが多く、重度肢体不自由型ロボットアームの適応が大きいと考えられる。コスト・ベネフィット評価の一環として、筋疾患患者 6 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短期評価実験を実施した。患者 6 名全員において、約 3 時間を 2 回の評価実験中に十分にロボットアーム操作を習得することができた。QUEST、PIADS の得点でも満足からやや満足という QOL への効果が認められた。今回の短期評価で筋疾患患者への導入は適応があると確認し、長期評価への留意事項を考察した。

A. 研究目的

昨年度作成した短期評価プロトコルに基づき、6 名の被験者において、日常生活の一場面を想定した模擬環境において、障害当事者におけるロボットアーム活用の評価実験を行う。この評価実験の結果をもとに、筋疾患患者におけるロボットアーム適応、利便性について検討する。

B. 研究方法

先行研究および昨年度に実施したプロトコル作成のための実験により考案した実験環境およびプロトコルに基づき、障害当事者の方にロボットアームを操作していただき、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）を実施する。また、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を実施する。

ロボットアームは、日本国内で市販されており入手が容易であるオランダの Exact Dynamics 社製 iARM を用いる。

1. 被験者基本情報

被験者：10~20 代 男性 6 人 平均 21 歳
疾患名：デュシャンヌ型筋ジストロフィー
身体状況：

6 人全員において、四肢近位筋・体幹・頸部の筋萎縮および筋力低下により徒手筋力がおよそ MMT0~2-、手指筋力のみが MMT3~4 程度に保たれていた。

ADL：起居、移乗、食事、整容、更衣、トイレ、入浴など全介助。机上での手指による書字、ボタン操作、ジョイスティック操作など手もとでの操作のみ自力で可能であった。

iADL(APDL)能力：電動車いすを用いて屋外移動可能、介助にて電車など公共交通機関利用可能
授業・会議などに出席可能

職歴

未成年 3 名は中学校～大学に在籍
成年 3 名は在宅で行える勤務、アルバイトなど

iARM の使用履歴：

被験者は本実験以前に約 1 時間程度 iARM の操作を見学または経験していた。