

肢体不自由者用ロボットアームの操作習熟に関する研究

A Study of Proficiency in the Operation of Assistive Robotic Arms

○中山剛, 井上剛伸, 我澤賢之, 木下崇史(国リハ研) 山口純(ラクイラ大) 前野崇(国リハ病院)

小林庸子(国立精神・神経研究センター病院) 樋口智和(介護老人保健施設ステップハウス宝塚)

木之瀬隆((株)シーティング研究所) 荻山泰地(日本医療科学大)

Tsuyoshi NAKAYAMA, Takenobu INOUE, Kenji GASAWA, Takafumi KINOSHITA and Takashi MAENO, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Jun YAMAGUCHI, University of L'Aquila

Yoko KOBAYASHI, National Center of Neurology and Psychiatry

Tomokazu HIGUCHI, Long-Term Care Health Facility "Suteppuhausu Takarazuka"

Takashi KINOSE, Seating Laboratory Corporation

Taichi OGIYAMA, Nihon Institute of Medical Science

Abstract: Assistive robotic arms are expected to improve autonomy and independence of persons with severe physical disability. From a viewpoint of installation of assistive robotic arms, duration times required for daily tasks by using them may become an essential factor. The proficiency in the operation of assistive robotic arms is also important. Seventeen participants with quadriplegia tried to complete three tasks such as, moving or pick-and-place objects by using an assistive robotic arm. It took more time for participants with cerebral palsy and spinal cord injury to complete the tasks, while some participants with muscular dystrophy could perform the operation quickly. Proficiency in the operation of an assistive robotic arm was also examined. The result implied that the examined assistive robotic arm is relatively easy to master.

Key Words: Clinical evaluations, Quadriplegia, Assistive technology, Learning curve, Experience curve, Learning effect

1. はじめに

肢体不自由者用ロボットアームを利活用することにより、頸髄損傷や神経・筋疾患等による四肢まひ者が介助無しでできることは格段に増加することが期待されている。その一方、社会コストを踏まえたトータルでの検討なしにはロボットアームの普及は困難であり、実際はあまり利用されていないのが現状である。以上を背景にして、本研究グループでは肢体不自由者用ロボットアームのコスト・ベネフィットを明らかにすることで上記の二律背反の問題を解決するための根拠を提供することを目的としたプロジェクトを実施し⁽¹⁾、成果の一部を ABML 2011 で報告した⁽²⁾。本研究では 2 時間程度で課題を実施する短期評価実験と肢体不自由者の自宅等の生活環境において 3 カ月程度で実用する長期評価実験を行っている。短期評価実験では、簡易上肢機能検査⁽³⁾(STEF: Simple Test for Evaluating Hand Function, 以降 STEF と記す)の大球課題と大立方課題、更に携帯電話を拾い上げる課題等を対象として、ロボットアームの操作に要する時間や操作ミスの回数等を記録する。

本稿では、その短期評価の課題に関する基礎評価として、重度肢体不自由者と健常者がロボットアームで当該課題を遂行する際の所要時間を計測した。また、健常者がロボットアームで当該課題を遂行する際の操作の習熟に関する調査を行ったので報告する。

2. 方法

2-1 重度肢体不自由者と健常者によるロボットアーム操作の所要時間に関する実験

(1) 対象ロボットアームと対象課題

対象のロボットアームをオランダ Exact Dynamics 社製の

iARM とする。図 1 に大立方課題をセットしている STEF と iARM の外観を示す。



Fig. 1 Assistive robotic arm (iARM, Exact Dynamics) and STEF (SAKAI Medical Co., Ltd.)

STEF の課題のうち大球と大立方の 2 課題ならびに携帯電話を床から拾い上げて机の上のトレーに置く課題の合計 3 課題をロボットアームで遂行する。実験協力者とロボットアームならびに STEF 盤等のレイアウトを図 2, 携帯電話を拾い上げる課題におけるレイアウトを図 3 にそれぞれ示す。STEF の大球課題、大立方課題、携帯電話を拾い上げる課題の順番で実施し、それぞれの所要時間を計測した。なお、実験に先立って、机の上に並べた STEF の中立方 3 つをロボットアームで移動させる課題、ペットボトルから水をコップに移して飲む課題、床からテレビリモコンを拾い上げる課題の 3 つの練習課題を実施した。

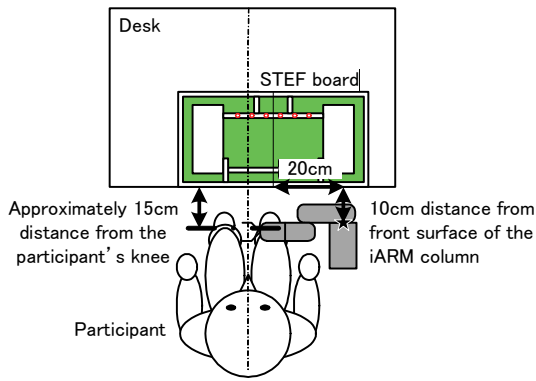


Fig. 2 Layout of an assistive robotic arm and a participant during the STEF tasks

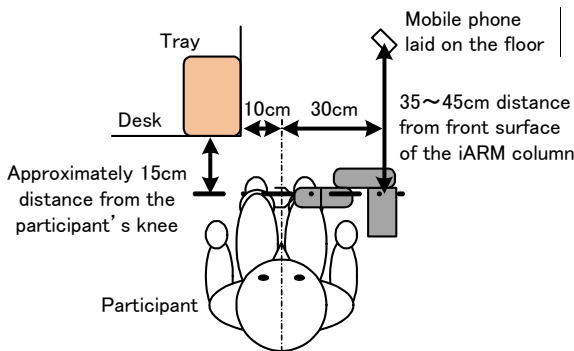


Fig. 3 Layout of an assistive robotic arm and a participant during the task of pick-and-place a mobile phone

(2) 実験協力者とロボットアームの操作方式

重度肢体不自由の実験協力者は17名（頸髄損傷者6名，デュシャンヌ型筋ジストロフィー6名，遠位型ミオパチー1名，脳性まひ3名，シャルコー・マリー・トゥース病1名）であった。また，障害のない実験協力者は9名であった。表1に重度肢体不自由の実験協力者のロボットアームの操作方式を記す。なお，障害のない実験協力者はキーパッドで操作した。

Table 1 Participants with severe physical disability and their control elements of the assistive robotic arm

Participant	Disease	Input device
A	SCI, C4	Keypad, operated by a mouth stick
B	SCI, C4	Joystick (chin-controlled)
C	SCI, C5	Keypad, operated by fingers
D	SCI, C5	Keypad, operated by a pointing device
E	SCI, C5	Joystick (hand-controlled)
F	SCI, C6	Keypad, operated by a finger
G	DMD	Keypad, operated by a finger
H	DMD	Keypad, operated by a finger
I	DMD	Keypad, operated by a finger
J	DMD	Keypad, operated by a finger
K	DMD	Keypad, operated by a finger
L	DMD	Keypad, operated by a finger
M	CP	Joystick (hand-controlled) and a push switch
N	CP	Joystick (hand-controlled)
O	CP	Keypad, operated by a finger
P	DM	Keypad, operated by a finger
Q	CMT	Keypad, operated by a finger

SCI: Spinal Cord Injury, DMD: Duchenne Muscular Dystrophy, CP: Cerebral Palsy, DM: Distal Myopathy, CMT: Charcot-Marie-Tooth disease

2-2 ロボットアームの操作習熟に関する実験

2-1節と同じロボットアームを対象とし，2-1節の障害のない実験協力者9名とした。STEFの大球課題，大立方課題，携帯電話を拾い上げる課題の順番でそれぞれ50回ずつ実施し，それぞれ課題遂行における所要時間を計測した。

3. 結果と考察

3-1 重度肢体不自由者と健常者によるロボットアーム操作の所要時間に関する実験結果

STEFの大球課題，大立方課題，携帯電話を拾い上げる課題の所要時間をそれぞれ図4，5，6に示す。

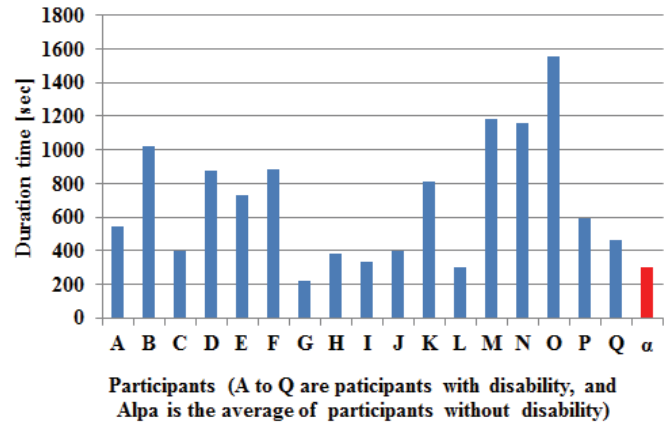


Fig. 4 Duration time required for the moving big ball task of STEF by using the assistive robotic arm

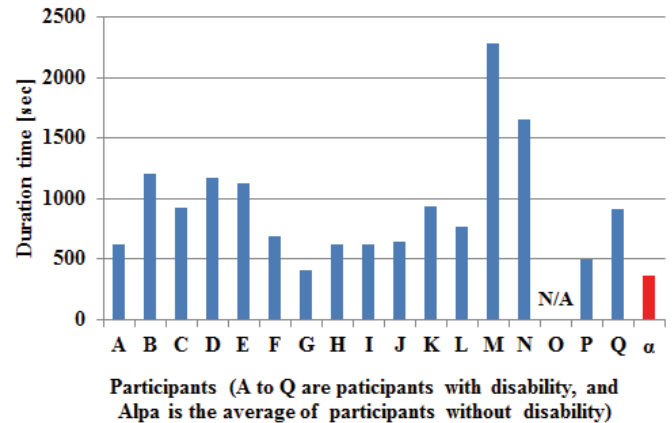


Fig. 5 Duration time required for the moving rectangular box task of STEF by using the assistive robotic arm

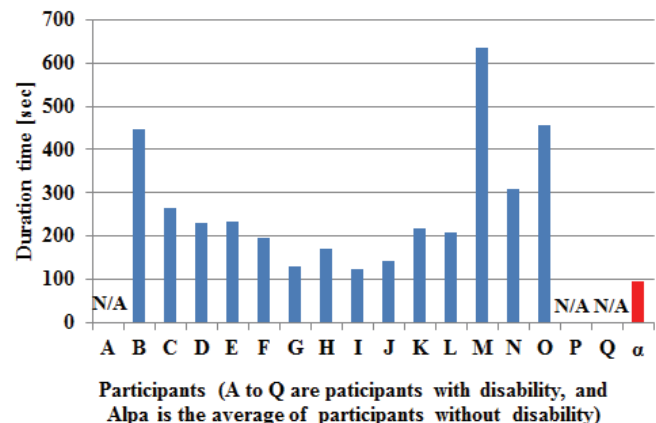


Fig. 6 Duration time required for the task of pick-and-place a mobile phone by using the assistive robotic arm

概して、携帯電話を拾い上げる課題、STEFの大球課題、大立方課題の順に所要時間が長くなっており、この順に難しい課題であると考えられる。脳性まひの実験協力者の中には障害のない実験協力者の平均に比べて5倍以上の時間を要しているケースもあるなど、課題遂行により長い時間を要していた。アテトーゼによる不随意運動により、かなりロボットアームの操作性が低下すると推測できる。また、概してジョイスティックで操作した実験協力者は課題遂行により長い時間を要していた。他方、筋ジストロフィーの実験協力者は、障害のない実験協力者の平均と同じくらい、課題によってはより早く課題遂行した協力者もいた。

3-2 ロボットアームの操作習熟に関する実験結果

障害のない実験協力者1名のSTEFの大球課題における各試行の所要時間と試行回数との関係を図7、累計平均所要時間と試行回数との関係を図8にそれぞれ示す⁽⁴⁾。

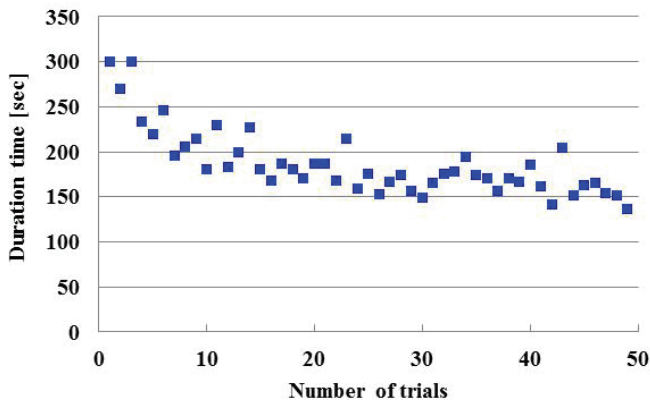


Fig. 7 Duration time for the moving big ball task by using the assistive robotic arm (a single participant without disability)

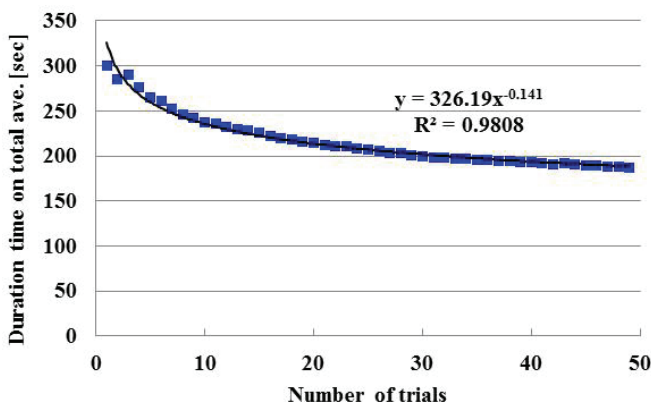


Fig. 8 Learning curve for the moving big ball task by using the assistive robotic arm (a single participant without disability)

図7からも作業の累計試行回数とともに作業の所要時間は減少しており、試行10回を越えるとかなりプラトーな状態となっていることが分かる。図8の累計平均所要時間における習熟指数は0.141、習熟率は90.7%であった。STEFの大立方課題ならびに携帯電話を拾い上げる課題でも同様の傾向が得られ、習熟指数はそれぞれ0.166ならびに0.079、習熟率はそれぞれ89.1%ならびに94.7%であった。なお、他の実験協力者でも同様の傾向が得られ、例えばSTEFの大球課題では習熟指数は0.116から0.265の間、習熟率は83.2%から92.3%の間の値となり、実験協力者9名の平均習熟率は88.5±2.6%であった。

作業の習熟に及ぼす要因には、作業内容、訓練環境、お

よび中断期間の長さなどが指摘されている⁽⁵⁾。本稿の場合、主に作業課題の内容、すなわち難易度とロボットアームの操作の習熟のしやすさに関係している。実験協力者数ならびに試行回数が少ないので断定には至らないが、ロボットアームは比較的習熟が早い装置であると考えられる。

4. まとめ

肢体不自由者用ロボットアームのコスト・ベネフィットに関する研究の一環として、ロボットアームを利用して短期評価実験のSTEFの大球課題と大立方課題、更に携帯電話を拾い上げる課題を遂行する実験を実施した。頸髄損傷者、デュシャンヌ型筋ジストロフィー、脳性まひ等の重度肢体不自由の実験協力者17名ならびに障害のない実験協力者9名のそれぞれの課題遂行時の所要時間を計測した。その結果、脳性まひの実験協力者の中には障害のない実験協力者の平均に比べて5倍以上の時間を要しているケースもあるなど、課題遂行により長い時間を要することが分かった。他方、筋ジストロフィーの実験協力者は、障害のない実験協力者の平均と同じくらい、課題によってはより早く課題遂行した協力者もいることも明らかとなった。

また、9名の障害のない実験協力者がそれぞれの課題を50回試行するロボットアームの操作習熟に関する実験を実施した。その結果、課題遂行の所要時間は概して減少しており、試行10回を越えるとかなりプラトーな状態となること、STEFの大球課題の平均習熟率は88.5±2.6%であることが分かった。ロボットアームは比較的習熟が早い装置であることが示唆されたと考えられる。

今後、重度肢体不自由者がロボットアームを操作する際の習熟についての調査や長期評価実験との関連性の調査などが課題となる。

謝辞

本研究は著者の所属機関の倫理審査委員会と利益相反委員会の承認のもと、実験協力者に十分な説明を行った後、同意を得て行った。本研究にご協力頂いた実験協力者ならびに基礎的な検証実験を実施して頂いたお茶の水女子大学の松脇みちる氏と太田裕治氏に感謝する。本研究の一部は厚生労働省科学技術研究費(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」(H22-身体・知的-一般-009)によって行われた。

参考文献

- (1) 井上剛伸, 他. 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. 厚生労働科学研究費補助金障害者対策総合研究事業, 所沢市, 2013-03, 平成22-24年度総合報告書, 2013.
- (2) 中山剛, 他. 肢体不自由者用ロボットアーム導入に向けた基礎評価. ABML 2011 論文集, 2011, p.10-4-1, p.10-4-2, CD-ROM.
- (3) 酒井医療株式会社. 簡易上肢機能検査ステフ, available from <http://www.sakaimed.co.jp/service/medical/product01_ex02.html#07> (accessed 2015-06-24).
- (4) 千住鎮雄, 他. 作業研究, 経営工学シリーズ14, 日本規格協会, 1980.
- (5) 大矢雅之, 他. セル生産における作業者の習熟特性に関する研究, 人間工学, 45 (5), p. 278-285, 2009.