

ロボットアームによる上肢に障害を持つ方の自立支援

Daily Life Support for Persons with Upper-limb Disabilities by Robotic Arm

山野辺 夏樹*1
Natsuki Yamanobe

尹 祐根*1
Woo-Keun YooN

脇田 優仁*1
Yujin Wakita

永田 和之*1
Kazuyuki Nagata

木之瀬 隆*2
Takashi Kinose

小野 栄一*3
Eiichi Ono

*1 産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

*2 日本医療科学大学

Nihon Institute of Medical Science

*3 厚生労働省

Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW)

Robotic arms are expected to assist persons with disabled upper limbs in their daily life activities. We have developed RAPUDA (Robotic Arm for Persons with Upper-limb DisAbilities), which can be controlled by disabled users with various control interfaces. In order to popularize such assistive robotic arm, RAPUDA is developed focusing on its safety and price especially and a training system to familiarize users with robotic arm operation is also constructed. In this paper, we present the developed whole RAPUDA system.

1. はじめに

我々は、筋ジストロフィー症者、頸髄損傷者、片まひ患者等の上肢に機能障害を持つ方々の生活を支援するロボットアーム「RAPUDA (Robotic Arm for Persons with Upper-limb DisAbilities)」の開発を進めてきた [尹 09]。ユーザが自分の腕のようにロボットアームを自由に操作して様々な日常生活動作を行うことが可能となれば、生活の自立度を高めることができ、QOL (Quality of Life) の大きな向上が期待される。

現在、ユーザ操作型の生活支援ロボットアームについては、様々な研究開発が進められており [Ivlev 02, Hillman 02, Edwards 06, 千原 06, 石井 08], Exact Dynamics 社の iARM [Römer 05] のように市販されるものも出てきている。しかしながら、価格、大きさ・重量、安全性の確保、ユーザごとの適応等の問題が残されており、まだ普及には至っていないのが現状である。

そこで我々は、これらの問題点を解決すべく、開発当初から対象とするユーザにご協力をいただき、意見をくみいれながら開発を進めてきた。今後の国際安全規格も考慮した小型軽量ロボットアームを開発し、幅広いユーザに対応するための多様な操作インターフェースや操作習熟のためのトレーニングシステムも開発し、対象ユーザによる評価実験を行ってきた。本稿では、ロボットアームによる自立支援を実現するための、これらの取り組みについて紹介する。

2. 上肢に障害を持つ方の生活を支援するロボットアーム RAPUDA

対象ユーザに広く利用していただけることを目指して、事前のヒアリング調査を基にロボットアームに要求される作業や機能を選定した上で、RAPUDA の仕様を定めた。要求される作業としては、物を手元に持ってくる、落ちたものを拾う、スイッチ等を押す、リモコン・携帯等を操作する、飲み物を飲む、痒いところをかく、顔を拭く等が挙げられた。そこで、口



installed on a table



installed on a wheelchair

図 1: RAPUDA (Robotic Arm for Persons with Upper-limb DisAbilities)

ロボットアームの可動範囲を床の上やベッドテーブル上の物を取ることのできる範囲とし、可搬重量としては 500ml のペットボトルまでを持てることとした。国際規格 (ISO14121 等) を参考にリスクアセスメントを行い、ロボットアームの肘関節による服や物等の挟み込み、環境との予期せぬ接触、ユーザの視野妨害の危険性を排除するため、ロボットアームの機構としては直動関節機構を採用した。

図 1 に開発した RAPUDA を示す。6 自由度のロボットアームに 1 自由度のハンドという計 7 自由度を持ち、高さ 75cm、全長 40cm (収納時)、全体重量 6kg と小型軽量を実現した。また、腕が伸びた状態では最長 100cm、可搬重量も 0.5kg と要求仕様を満たしている。合わせて開発したワンタッチ取り付け部品により、ベッドサイドや電動車いす等への付け替えを簡単に行うことができ、ユーザの生活状況に合わせて様々な場面で利用することが可能である。直動関節では樹脂ブロックを結合する独自の直動伸縮機構を採用し、高剛性と軽量化を実現した。安全面に関しては、非常停止機能の付加や各種センサ、論理装置、通信線路の 2 重化、安全認証取得済みの通信モジュールの採用等により、制御系においても「カテゴリ 3」相当の安全水準を満たしている。

対象ユーザの症状は非常に多様なため、ロボットアームには、ユーザに合わせた様々な操作インターフェースやオプション機器等を簡単に取り付けられることが必要である。そこで、モジュールベースのシステム開発手法である RT ミドルウェア [Ando 05, OpenRTM-aist] を基に、システム全体を構築した。RT ミドルウェアでは、モジュール化されたロボットの機

連絡先: 山野辺夏樹, 産業技術総合研究所 知能システム研究部門, 〒 305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1, 029-861-5768, 029-862-6570, n-yamanobe@aist.go.jp

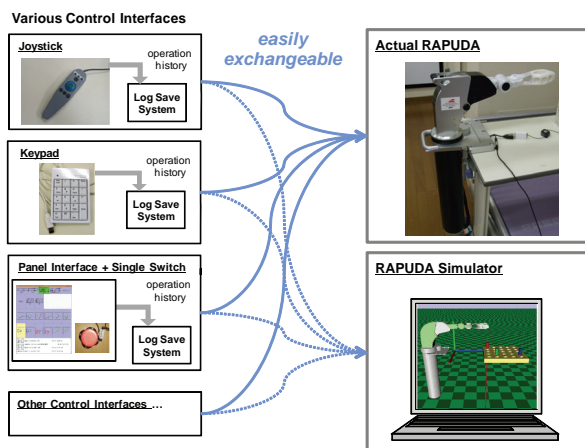


図 2: RAPUDA のシステム構成

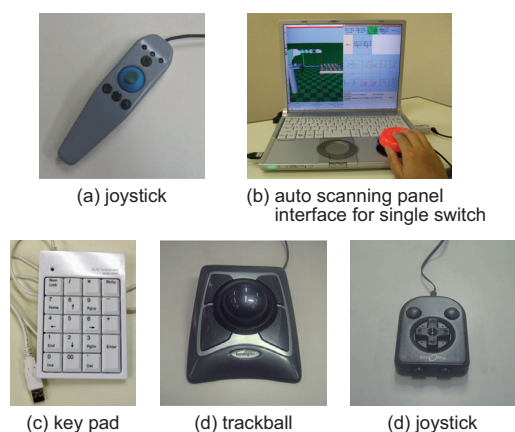


図 3: 操作ユーザインタフェース

能要素 (RT コンポーネントと呼ぶ) を複数個の接続していくだけで簡単にシステムを構築することができ、RT コンポーネント間の通信データの内容さえ一致していれば、プログラム等の変更は必要なく様々なコンポーネントと接続することが可能である。そこで、ロボットアームと操作ユーザインタフェースの通信データを共通化し [永田 10]、それぞれを RT コンポーネントとして開発することで、簡単に多様な操作ユーザインタフェースを利用することが可能となる (図 2)。図 3 に、RT コンポーネント化した操作ユーザインタフェースの例を示す。

3. 操作習熟のためのトレーニングシステム

ロボットアーム安全にかつ上手く使用するためには、事前にある程度のトレーニングが必要である。また、対象ユーザの症状に合わせた操作ユーザインタフェースのカスタマイズや適合、ロボットアームが使用可能かどうかの判断を、実際にロボットアームを使用する前に個別に行う必要がある。ロボットアームが広く普及していくためには、これらの

- 操作ユーザインタフェースのカスタマイズ・適合
- 操作トレーニング
- 使用判断

の過程を、作業療法士等の専門家によって一貫してスムーズに行うことができる仕組みが必要不可欠であり、我々は、上記の全過程に利用するための操作トレーニングシステムについても開発を行った。

実際のロボットアームを用いて「操作ユーザインタフェースのカスタマイズ・適合 操作トレーニング 使用判断」の全過程を行うことは、安全面やコスト面で大きな問題があり、非常に手間もかかる。そこで、シミュレーションベースのトレーニングシステムとし、ノート PC 一台と操作ユーザインタフェースのみで模擬的にロボットアームの操作を行えるようにした。トレーニングシミュレータも RAPUDA の実機と同様の通信データを持つ RT コンポーネントとして開発し、ユーザは自分に合わせた操作ユーザインタフェースを実機にもトレーニングシステムにも共通して使用することができるようにした。

操作トレーニング作業としては、作業療法において上肢機能の訓練で行うペグ挿入作業や上肢機能検査機器 STEF での作業を準備した。またロボットアームの例として、RAPUDA 以外に、PA10, iARM についてもトレーニングシミュレータを構築した。トレーニング状況を把握するため、シミュレータおよび操作ユーザインタフェースでは、作業時間、作業中に入力した/された操作コマンド、コマンドを入力した/された時間、対象物を把持した時間・対象物を放した時間 (シミュレータのみ) の測定・保存を行う。作業時間からは対象としたロボットアーム・操作ユーザインタフェースに対しての「習熟・慣れ」、操作コマンド系列と対象物を把持・開放した時間からは作業状況と操作コマンドとの対応が取れ、システム操作の「確実性」を評価することができる。

操作トレーニングシステムを評価するために、筋ジストロフィーや頸髄損傷等によって上肢に障害を持つ方 4 名に、この操作トレーニングシステムを使用していただいた。被験者 4 名のうち 3 名 (A, B, C 氏) は、座位姿勢が保持でき、日常生活では車いすの操作等にジョイスティックを使用しており、1 名 (D 氏) は、座位姿勢をとることが困難であり、PC の操作入力等にはシングルスイッチを利用している。評価実験を行った際には RAPUDA が開発中であつたため、iARM について操作トレーニングを行った。操作ユーザインタフェースは全員が同じものを使用していただけるように、シングルスイッチ用オートスキャン型パネルユーザインタフェース (図 3-(b)) [Wakita 09] を用いることとし、作業としてはペグの挿入作業を選択した。このユーザインタフェースでは、PC モニタ上で操作ボタンが自動的にスキャンされていくので、ユーザは希望の操作ボタンが選択された時にクリックするだけでロボットアームを操作することができる。図 4 にトレーニング中の様子を示す。

まずは自由にシミュレータを動かしてオートスキャン型パネルユーザインタフェースに慣れた上で、トレーニング作業を行った。最初から全ての操作を自由に行う場合に比べ、最初は操作項目を限定し (例えば、手先の並進操作のみ)、その後操作項目を増やしていく方が少ないトレーニング回数で作業時間の短縮が見られ、システムを素早く習得できることが健常者の実験から知られている。そこで、トレーニング効果を向上させるために、以下のように作業の難易度を上げる順番でペグの挿入作業を行った。

1. ペグポートは水平に設置 (手先の姿勢変化を必要としないペグ挿入作業)
2. ペグポートを傾けて設置・手先の初期姿勢はペグボードに垂直または並行 (姿勢変化は必要としないが、ロボットの手先移動の軸方向に対してペグの挿入軸が傾いているため、それに対処する操作が必要)
3. ペグポートを傾けて設置・手先の初期姿勢は傾きにかかわらず固定 (姿勢変化およびペグボードの傾きに対処する操作が必要)

図 5 に、A 氏の操作トレーニングの結果を示す。横軸は作業内容であり、ペグボードの角度と手先の初期姿勢を示してい

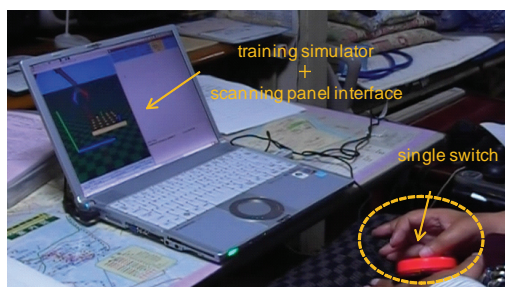


図 4: 操作トレーニングの様子

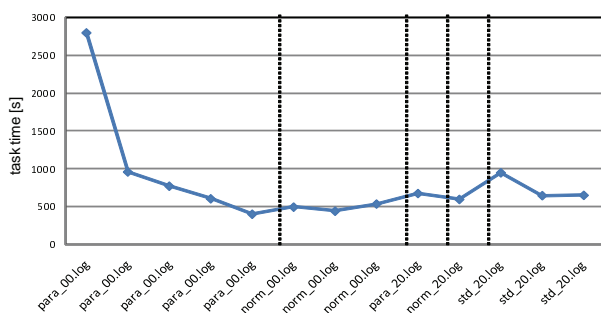


図 5: 操作トレーニングの結果 (A 氏)

る。para はハンドが常にペグボードに平行、nor は常に垂直な初期姿勢であり、これらは作業中の姿勢変化を特に必要としない。一方、std はペグボードの傾きに関係なくハンドの初期姿勢がテーブルに対して水平に固定されている状態であり、作業中の姿勢変化が必要である。縦軸は、3 本ペグを挿入した時の作業時間であり、破線で区切られているところでトレーニング作業の内容を変更している。図 5 からわかるように、トレーニングが進むにつれて作業時間が徐々に短縮されており、操作に習熟していることが確認できる。また、作業内容が変更され難易度が上昇しても、最初は若干作業時間が長くなるが、数回トレーニングですぐに作業時間が短縮し、新しい作業に習熟していることも確認できる。他の被験者についても、同様のトレーニングの成果が見られた。また、トレーニングシミュレータによる操作トレーニング後に実際の iARM を使用して同様のペグ挿入作業を行ったところ、すぐに実機を使用することが可能であり、操作トレーニングの有効性が示された。被験者からは、操作用インタフェースやロボットアームの操作には十分慣れていたため、実機を使用する際に特に問題を感じなかった、という感想であった。

今後は、より詳細な操作性の評価やロボットアームの使用可能レベルの判断を行うため、多くの対象ユーザによる操作トレーニングデータを蓄積・解析し、作業療法士等の方々と協力して判断基準の構築に取り組む予定である。

4. おわりに

本稿では、我々が開発してきた上肢機能支援のための小型軽量ロボットアーム RAPUDA や多様な操作インタフェース、操作習熟のためのトレーニングシステムについて紹介した。RAPUDA 実機に関して、対象ユーザによる評価実験を行い、概ね好意的な評価をいただいている [山野辺 09]。自立支援ロボットアームのような新たな機器を普及させていくためには、機器自体が十分な機能を持つことはもちろんのこと、各ユーザが簡単に試すことができるような、導入の仕組みも整

えていく必要がある。今後も、ユーザや介助者の方々、医療関係者と協力をして、評価実験や RAPUDA システムの改良等、実用化に向けた取り組みをさらに進めていく予定である。

謝辞

ご協力いただいた被験者の方々、国立病院機構下志津病院の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- [Römer 05] Römer, G.R.B.E, Stuyt, H.J.A., and Peters, A.: Cost-Savings and Economic Benefits due to the Assistive Robotic Manipulator (ARM), Proc. of the 9th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics, pp. 201-204 (2005)
- [Ivlev 02] Ivlev, O., Martens, C., and Graser, A.: Rehabilitation Robots FRIEND-I and FRIEND-II with the dexterous lightweight manipulator, Restoration of Wheeled Mobility in SCI Rehabilitation 17 (2005)
- [Hillman 02] Hillman, M. et al.: The Weston Wheelchair Mounted Assistive Robot - The Design Story, Robotics, Vol. 20, pp. 125-132 (2002)
- [Edwards 06] Edwards, K., Alqasemi, R., and Dubey, R.: Design, Construction and Testing of a Wheelchair-Mounted Robotic Arm, Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 3165-3170 (2006)
- [千原 06] 千原, 藤井, 稲葉, 西嶋: 身体障害者の QOL (生活の質) を大幅に向上させる高機能電動車いすの研究開発 - 操作検証用マニピュレータの設計製作 -, 岐阜県生産情報研究所研究報告書, Vol. 8, pp. 51-56 (2006)
- [石井 08] 石井, 篠田: 上肢機能支援ロボットの開発, 日本生活支援工学会誌, Vol. 8, No. 2, pp. 27-29 (2008)
- [伊 09] 伊 他: 対人サービスロボットの開発 - 上肢に障害のある人用ロボットアーム RAPUD の全体設計 -, 第 10 回 SICE システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp. 1090-1092 (2009)
- [Ando 05] Ando, N. et al.: RT-Middleware: Distributed Component Middleware for RT (Robot Technology), Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 3555-3560 (2005)
- [OpenRTM-aist] OpenRTM-aist Official Web Site, <http://www.is.aist.go.jp/rt/OpenRTM-aist/>
- [永田 10] 永田, 脇田, 山野辺, 安藤: OpenRTM-aist による生活支援ロボットのためのロボットアームおよびマンマシンインタフェースの RT コンポーネント開発, 日本機械学会論文集 C 編 (2010) (in press)
- [Wakita 09] Wakita, Y. et al.: Customize Function of Single Switch User Interface for Robot Arm to Help a Daily Life, IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp. 294-299 (2009)
- [山野辺 09] 山野辺 他: 上肢に障害のある人用ロボットアーム RAPUD の操作性評価, 第 10 回 SICE システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp. 1112-1114 (2009)