

片麻痺者を対象とした卓上型リハビリロボットの開発

Development of the tabletop Rehabilitation Robot for Hemiplegic Patients

○学 安保 俊彦（秋田大） 正 巖見 武裕（秋田大） 正 木澤 悟（秋田高専）
水谷 嵩（秋田大医） 島田 洋一（秋田大医）

Toshihiko ANBO and Takehiro IWAMI, Akita University
Satoru KIZAWA, Akita National College of Technology
Takashi MIZUTANI and Yoichi SHIMADA, Akita University Faculty of Medicine

The hemiplegic patients are expected to improve their exercise function through rehabilitation. Recently, the rehabilitation robot has received significant attention for upper limb therapy due to its low effort training repeatability and the possibility to measure movements. Robot systems for the upper limb function exist, but large ones they are not so common. Therefore, in this study, we have developed a rehabilitation robot which can be easily used on a table. In addition to that, the newly developed rehabilitation robot has a simple ARToolkit measurement device on board. Furthermore, to determine the practicality of the developed rehabilitation robot, we have identified the difference of motor skill in the upper limb between able-bodied people who differ in physical ability.

Keywords: Hemiplegic patients, Rehabilitation robot, Upper limb, ARToolkit

1. 緒言

脳卒中の後遺症による片麻痺は運動療法により、ある程度の改善が期待できる。しかしながら、脳卒中発症者は年々増加傾向にあるため[1]、これに伴い療法士の負担も増加することが考えられる。また、運動機能障害のなかでも上肢機能障害は回復が難しく、ADL（Activities of Daily Living）の改善には長時間の運動療法が必要となる[2]。このような問題を対処するために、リハビリロボットの導入が期待されている。リハビリロボットとは使用者の運動療法を支援するロボットのことを示す。リハビリロボットの利点として、長時間の安定した反復動作や上肢機能の定量的な評価が可能であることが挙げられる。このことから、療法士の負担が軽減されることが考えられる。

実際に上肢訓練用のリハビリロボットは数多く存在するが、そのほとんどは据え置きが前提の大掛かりなものが多い。そこで本研究では持ち運びができ、卓上で手軽に運動療法が行えるリハビリロボットを開発した。また、使用者の動作を手軽に計測するために、ARToolkitを利用した簡易な計測装置も開発し、ロボットへ導入した。これにより、開発したリハビリロボットは療法中の上肢動作の運動を手軽に解析することもできる。しかしながら、現段階では、開発したリハビリロボットを用いて上肢機能の回復状況を定量的に評価する基準が明確化されていない。

上肢機能の回復状況を定量的に評価することは片麻痺患者の運動療法の選択や訓練強度の調整あるいは患者自身のリハビリ効果に対するモチベーションを維持するうえで、極めて重要である。このことから、本研究では健常者の上肢動作の特性を標準として、上肢機能の回復状況を定量的に評価する方法を考案した。しかしながら、上肢動作は上肢筋力が異なるとその特性にも違いが現れることが考えられる。そこで、今回は握力と上肢筋力が相関関係であることを前提として[3]、異なる握力の健常者に上肢動作の計測実験を行い、上肢動作の特性と握力が相関関係にあることを確認した。

2. 卓上型リハビリロボットの設計と概要

2.1 リハビリロボットの構造および制御システム

本研究ではコンパクトで持ち運びが容易で、卓上で手軽に運動療法ができることをコンセプトとしてリハビリロボット

の開発を行っている。卓上での動作を実現するために、車輪駆動による移動ロボットを作製した。しかしながら、上肢の作用領域は広く多様であるため、これに対応するには二次元平面上での全方位の移動が求められる。そこで、車輪にはオムニホイールを採用し、四輪駆動方式による全方向移動を実現した。また、保持部（グリップ）の下に6軸力覚センサが埋め込むことで、使用者の随意的な動作の支援を可能にしている[4]。使用者がグリップを握って上肢を動かしたときに発生した力の向きや大きさの情報を力覚センサから取得し、この力の情報を元に各車輪を駆動させることでインピーダンス

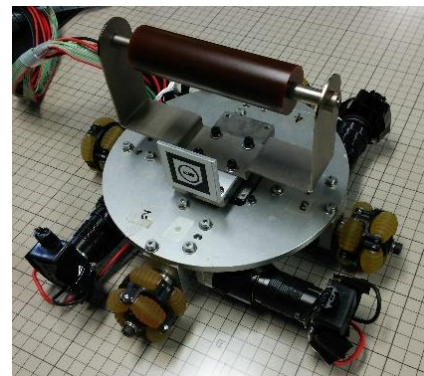


Fig.1 The rehabilitation robot for upper limbs

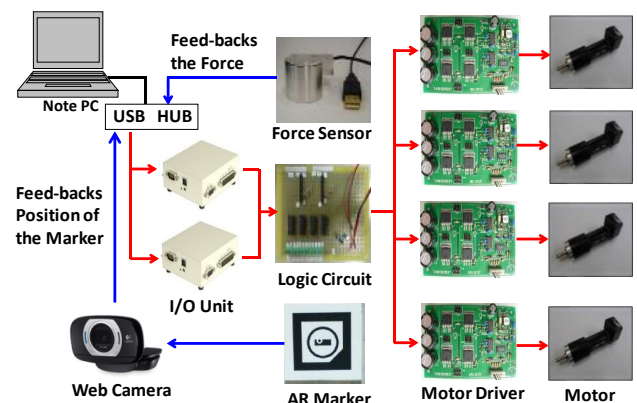


Fig.2 Control system of the rehabilitation robot

制御を行っている。インピーダンス制御の粘性抵抗を変更することで訓練強度を調整することもできる。さらに、ARToolkit を利用した自己位置認識を可能にするためにロボットの中心に AR マーカを設置した。AR マーカを Web カメラで認識することにより位置情報を取得することができる。全てのセンサから得られた情報は USB ケーブルでの通信により、ノートパソコンへ送られる。これにより、ノートパソコン 1 台でロボットの制御と上肢動作の解析を行うことができる。開発したリハビリロボットを図 1, リハビリロボットの制御システム図 2 に示す。

2.2 ARToolkit の利用

ARToolkit とは AR (拡張現実感) 技術によるアプリケーションの開発を手助けする C 言語用のライブラリを示す[5]。AR アプリケーションを開発することは画像処理や位置姿勢計測などの専門的な知識や技術が必要とするため困難なものであるが、ARToolkit を利用することで容易に対象物を発見し、位置姿勢計測を行うことができる。ARToolkit の主な機能は、Web カメラから AR マーカを読み取ることで AR マーカの位置姿勢計測を行うものである。

本研究ではリハビリロボットの正面に設置している AR マーカを Web カメラから読み取ることでロボットの自己位置認識を可能にしている。また、得られたロボットの位置情報を使用者の手先の動作とみなすことで上肢動作の解析を行っている。さらに、ロボットの運動軌道を視覚的に明示するために、モニター上にロボットの現在位置を描画させるシステムを構築した。これにより使用者の体感的なフィードバックが可能になることやリハビリに対するモチベーションが高められると考えられる[6]。システムの全体図を図 3 に示す。

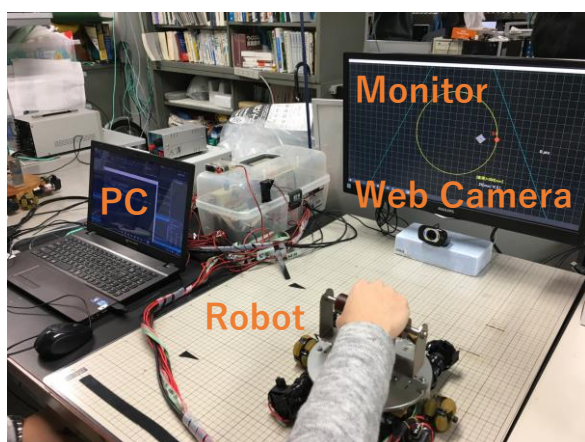


Fig.3 Rehabilitation robot system

3. 上肢動作の計測

本研究で開発したリハビリロボットは上肢動作の一つであるリーチ動作の訓練を対象としている。リーチ動作とは目標地点に向かって腕を伸ばす動作を示す。今回は様々な方向のリーチ動作を計測することで、使用者のリーチ動作の特性を検討した。

計測内容は、スタートポイントから 150[mm]先のゴールポイントへリーチ動作を行うものとし、ゴールポイントは 8 方向にランダムで出現するように設定した (図 4)。また、アミューズメント性を向上するためにゴールポイントへ到達するまでの制限時間を設定した。制限時間内にゴールポイントに到達したら 1 得点とし、制限時間に間に合わなかった場合は 0 得点とした。獲得した得点数から上肢機能の回復状況の評価することもできる。計測の手順を図 5 に示す。

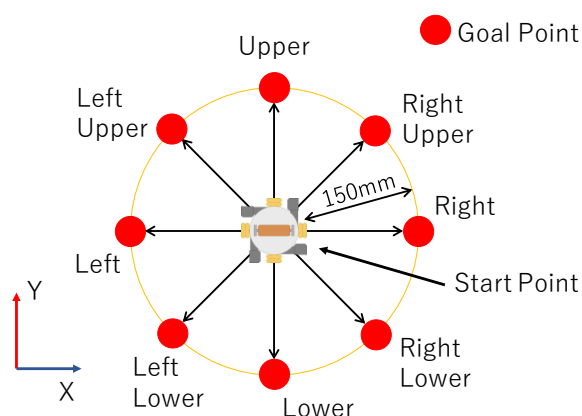


Fig.4 Direction of the goal point

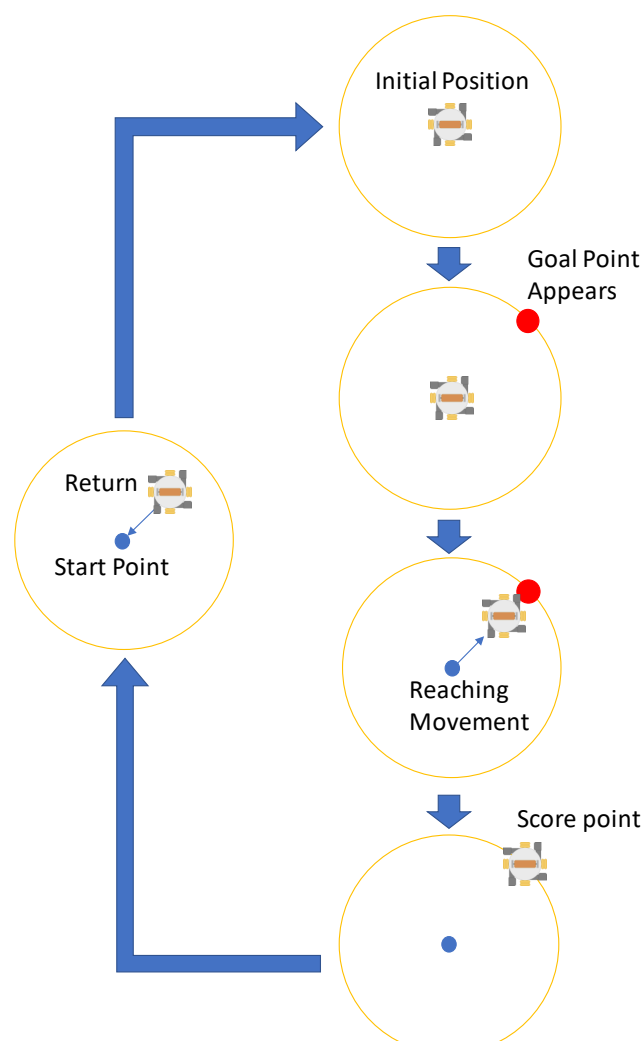


Fig.5 Measurement procedure

4. リーチ動作の解析

使用者のリーチ動作の特性を検討するために方向ごとの得点率と平均速さを算出した。得点率は計測内で得られた得点にリーチ動作の回数分を除することで求める。全方向に対してこの評価を行うことで使用者がリーチ動作を苦手とする方向などを可視化することができる。平均速さはスタートポイントからゴールポイントまでの速さを平均することで求める。平均速さが大きいほど俊敏性のあるリーチ動作であると言える。

5. 上肢機能の評価実験

開発したリハビリロボットを使用して、握力が異なる健常者の上肢機能の特性を比較検討した。被験者は健常者2名とした。握力は実験の直前に握力計を使って計測した。被験者のデータを表1に示す。ゴールポイントは各方向にランダムで各3回ずつ出現するように設定した。また、制限時間は1.2[s]とする。なお、リーチ動作は利き手でを行った。

Table.1 Subject data

	握力[kg]		利き手	所属運動部の有無
	右	左		
被験者A	33	30	右	無
被験者B	54	54	右	アメリカンフットボール

6. 実験結果

健常者Aと健常者Bのリーチ動作の特性について比較検討を行った。実験結果は図6と図7に示す。計測結果を方向別に分割し、健常者Aと健常者Bの平均速度と得点率の平均値を算出し、比較した。

図6は健常者Aと健常者Bの得点率を比較したグラフである。健常者Aは全体的に得点率が低く方向別に偏りがあることが確認できる。対して被験者Bは全体的に得点率が高く方向別に偏りが少ないことが確認できる。このことから、被験者Aはリーチ動作に得手不得手の方向があり、被験者Bはリーチ動作に苦手とする方向があまり無いことが確認できた。

図7は健常者Aと健常者Bの平均速度を比較したグラフである。健常者Aはリーチ動作の速さが全体的に小さいことが確認できた。対して被験者Bは速さが全体的に大きいことが確認できた。このことから、被験者Aはリーチ動作の敏捷性に欠け、被験者Bはリーチ動作の敏捷性に優れていることが確認できた。

7. 考察

今回の実験では被験者Bは被験者Aに比べて握力が強いことから、被験者Bは被験者Aよりも上肢筋力が発達していることを前提に実験結果を考察する[4]。実験の結果から被験者Bは得点率と平均速さが被験者Aよりもほぼ全ての方向で高い結果となった。このような結果となった原因の一つとして、被験者Bは被験者Aよりも上肢筋力が発達していたことが挙げられる。被験者Bは高い上肢筋力を維持するために日常生活ではあまり使用しない上肢筋力も発達していたことが予想される。このため、被験者Bは多様な方向に敏捷性のあるリーチ動作ができ、得点率と平均速さが高い結果になったことが考えられる。このことから、上肢筋力の発達度合いが異なれば、リーチ動作の特性も異なることが推察できる。以上のことから上肢筋力と上肢動作の特性が相関関係にあることが確認できた。

8. 結論

卓上で運動療法を行えるリハビリロボットを開発した。また、開発したリハビリロボットを使用して、異なる上肢筋力を有する健常者でリーチ動作の計測実験を行った。実験の結果、上肢筋力と上肢動作の特性に相関関係が見られた。

今回の実験では、握力と上肢筋力が相関関係であることを前提としていたため、押す力や引く力などの上肢操作能力を考慮していない。また、被験者も2人と少なかったため、統計的な評価を行うことができなかった。このため、今後は握力の他に、上肢操作力も計測し、上肢筋力の発達度合いを細

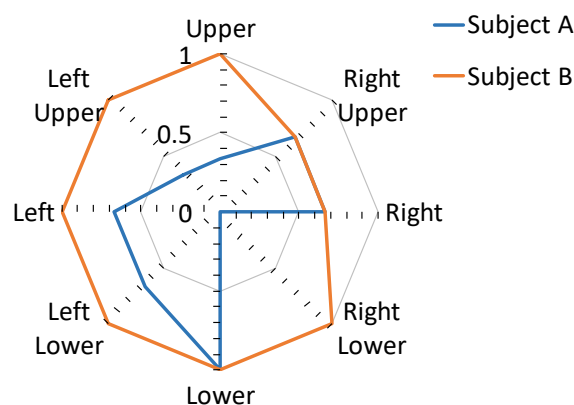


Fig.6 Point rate

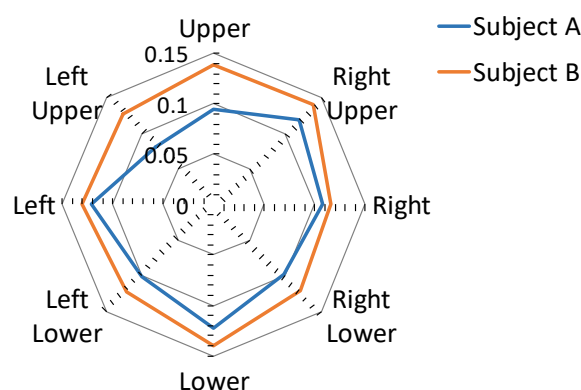


Fig.7 Average speed[m/s]

かく分類する必要がある。そして、健常者の計測データを増やし、発達度合いのカテゴリごとでの上肢特性の基準を設けることを目標とする。さらに、その基準を参考に片麻痺者の上肢機能の回復状況を定量的に評価する予定である。

参考文献

- [1] 厚生労働省大臣官房統計情報部, "患者調査(傷病分別編)", 2014
- [2] Chida, S., Matsunaga, T., Sato, M., Hatakeyama, K., Iwami, T., Kosaka, T. and Shimada, Y., "Analysis of reaching movements with the addition of resistance forces in the horizontal and vertical planes using a robot arm in non-disabled individuals." Akita J Med 37: 143-152, 2010
- [3] Amy A. Blank, James A. French, Ali Utku Pehlivan, Marcia K. O'Malley, "Current Trends in Robot-Assisted Upper-Limb Stroke Rehabilitation: Promoting Patient Engagement in Therapy" Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports, Vol. 2, (3), pp. 184-195, 2014
- [4] 高橋順平, 西山徹, "脳卒中片麻痺者の非麻痺側握力は他の麻痺側筋力を反映するか", 第50回日本理学療法学会大会, P3-C-1014, 2015
- [5] 谷尻豊寿, "拡張現実感を実現する ARTToolKit プログラミング", 株式会社 カットシステム 2008.
- [6] 古荘純次, 小嶋寛之, 田原真, "水平・垂直ディスプレイを用いた上肢リハビリ支援システム" ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2013