

## Development of Rehabilitation Robot for Upper Limbs of Hemiplegic Patients

○学 足達 大和 (秋田大院) 安保 俊彦 (秋田高専) 高橋 岳弘 (秋田大)  
正 巖見 武裕 (秋田大) 正 木澤 悟 (秋田高専) 水谷 嵩 (秋田大院医)

Yamato ADACHI, Graduate School of Akita University, Tegatagakuencho1-1, Akita-shi, Akita  
Toshihiko ANBO, Satoru KIZAWA, NIT, Akita College  
Takehiro TAKAHASHI, Takehiro IWAMI, Akita University  
Takashi MIZUTANI, Graduate school of Akita University

**Key Words:** Stroke hemiplegia, Rehabilitation Robotics, Upper limb motor function, Reaching-movement

## 1. 緒 言

現在の日本では高齢化が急速に進み、加齢症とも言われる脳卒中の増加が懸念されている。後遺症である片麻痺からの機能回復のためには、リハビリ訓練での運動の再学習が不可欠である。片麻痺患者のリハビリ訓練にはセラピストによる補助が必要となるが、長時間・頻回の訓練を人手だけに頼って行うのは現実には難しい。

以上の背景から、ロボット支援によるリハビリ訓練システムが期待されている。ロボット支援によるリハビリ訓練の特徴は、反復性の運動を高精度で長時間繰り返せること、訓練強度の正確なコントロール、筋力・運動学的変化といった訓練効果について客観的に評価が可能であることなどが挙げられる。このような特徴から、セラピストに対して運動訓練の動作面や記録、評価面においての負荷軽減が期待できる。

上肢のリハビリ訓練の代表例には、リーチング運動が挙げられる。目標地点へ手を伸ばす動作であるリーチング運動は、患者が前もって距離・方向などを計算に入れた動機に基づいている。そのため運動に対する適応能力の評価が可能であり、多くのリハビリ支援システムが訓練内容としている。リーチング運動による訓練を実現するシステムとして、上肢を保持するマニピュレータ (アームやロッド) 先端の駆動によって運動を支援する end-effector 型、外骨格を上肢に装着して運動を支援する exoskeleton 型が報告されている<sup>(1)(2)(3)</sup>。しかし、従来のシステムは特定の医療施設に据え置くことを前提とした大型のものが多く、設置場所やコストの面で利用が困難である。

本研究では、小型でかつ卓上での運動訓練が可能な上肢リハビリ支援装置 (リハビリマウス) を開発して、リーチング訓練の計測を行った。さらに、健常者と片麻痺患者の運動特性を様々な評価指標に基づき、比較・検討を試みた。

## 2. 手 法

## 2.1. 上肢リハビリ支援装置 (リハビリマウス)

リハビリマウスの全体図を Fig. 1 に示す。本装置は卓上の二次元平面上を自由に移動するため、全方向移動が可能な四輪のオムニホイールによる駆動を採用した。

使用者が装置中心の保持部 (グリップ) に加える力を計測するため、6 軸力覚センサを内蔵した。使用者に自己位置情報と目標軌跡を視覚情報としてフィードバックするために、ARToolKit を用いた AR (拡張現実) 技術を利用した。この手法はマウス正面に取り付けた白黒の 2 値マーカ (AR マーカ) を WEB カメラで撮影し、画像からその形状を検出・認識する。形状から計算した AR マーカの位置・座標軸を利用して、始点から終点までの目標軌跡とリハビリマウスの

現在位置をモニタに表示する。



Fig.1 Rehabilitation Robot for Upper Limbs

## 2.2. 動的環境下でのリーチング訓練

外乱を加える動的環境下でのリーチング訓練は、知覚した情報と状況に適した身体運動を関係づける運動学習が行われるため、環境変化への適応能力が低下している麻痺患者への運動療法として特に有用であると考えられる。そのため、外乱として、リーチング運動に直行する方向 (X 軸) に力が加わる区間を設ける。Fig. 2 に本研究の動的環境下でのリーチング訓練の概略図を示す。始点から終点までのリーチング距離は 300 [mm] で、始点から 100~150 [mm] の区間で外乱を加える。印加する外乱の値は 100~150 [mm] の区間で移動距離に比例して増加、125~150 [mm] の区間で移動距離に比例して減少する。中央部の最大となる外乱の値は 5 [N] に設定した。

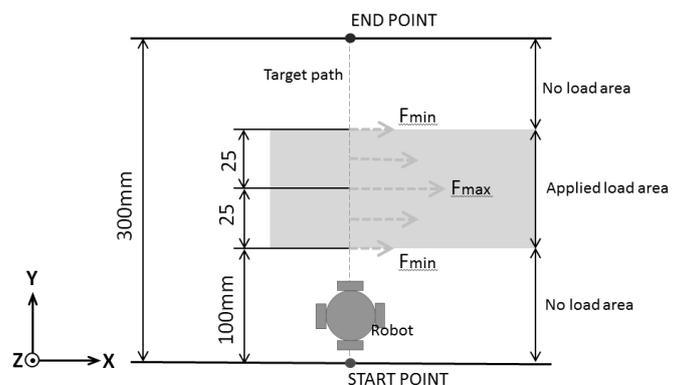


Fig.2 Reaching-movement applied load

## 2.3. 評価指標

本研究ではリーチング運動時の上肢運動特性を解析するために、手先の運動軌跡から評価指標を算出した。次に各評価指標について説明する。

### 2.3.1 最大振れ幅(Largest swing distance)

最大振れ幅は外乱の影響に関する指標であり、リーチング運動時の軌跡と目標軌跡との外乱方向(X軸方向)での最大誤差を示す(Fig.3参照)。最大振れ幅が小さいほど、外乱が加わった時の影響が小さいと判断できる。

### 2.3.2 平均振れ幅(Average swing distance)

平均振れ幅は最大振れ幅と同様に外乱の影響に関する指標であり、リーチング運動時の軌跡と目標軌跡との外乱方向での相対(平均)誤差を示す。平均振れ幅が小さいほど各外乱の影響が平均的に小さいものと判断できる。

### 2.3.3 荷重偏差面積(Load deviation area)

荷重偏差面積は環境変化の適応性に関する指標であり、時間とX軸方向への偏差X(t)から積分値(偏差面積)を求めて、時間の重みを加えたものである。

$$I = \int_0^{\infty} t|X(t)|dt \quad (1)$$

荷重偏差面積が小さいほど環境変化への対応が早いと判断できる。

### 2.3.4 Jerk cost

Jerk cost は動作円滑性の指標であり、加速度の時間変化である躍度Jの二乗値を積分することで求まる。

$$\text{Jerk cost} = \int J^2 dt \quad (2)$$

Jerk cost が小さいほど動作が円滑であると評価できる。X軸に対してはJerk cost X, Y軸に対してはJerk cost Yとした。

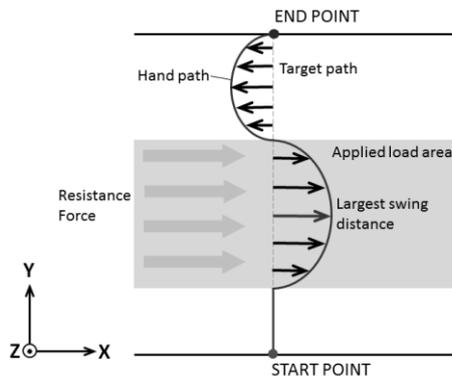


Fig.3 Swing distance

## 3. 実験

### 3.1. 上肢運動特性検証実験

片麻痺患者と健常者の上肢運動特性を解析するため、計測実験を行った。被験者は健常者4名と片麻痺患者8名で、実験条件は外乱なしと外乱あり(左→右, 右→左)の3種類とした。各被験者には事前に実験条件と外乱の発生について説明した上で、練習を各2回ずつ行った後、計測を開始した。外乱の最大強さ5[N]とし、実験本番の計測ではランダムに外乱が発生し、各条件で3回ずつ計測したものを1セットとする。

### 3.2. リハビリ効果検証実験

麻痺上肢へのリハビリ訓練による上肢運動特性の改善効果を検証するため、訓練前後のリーチング運動時の各評価指標の計測実験を行った。3.1.の実験後、片麻痺患者8名の麻痺上肢に、TES(治療的電気刺激)を15分間、もしくは

セラピストによるリハビリ治療(OT)を20分間行った(TES:4名, OT:4名)。訓練後、各片麻痺患者のリーチング訓練を再度1セット計測した。リーチング訓練の条件は3.1.の実験と同様である。

## 4. 結果

一例として、各検証実験より得られたリーチング運動時のJerk cost Xの計測結果をFig.4~Fig.5に示す。Fig.4は健常者と片麻痺患者の比較結果、Fig.5はリハビリ前後の比較結果である。健肢と麻痺肢の有意な差と、リハビリ治療による改善効果が確認できる。

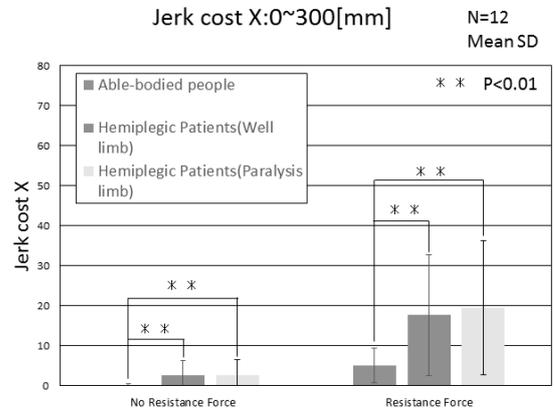


Fig.3 Jerk cost X (Able-bodied people and Hemiplegic people)

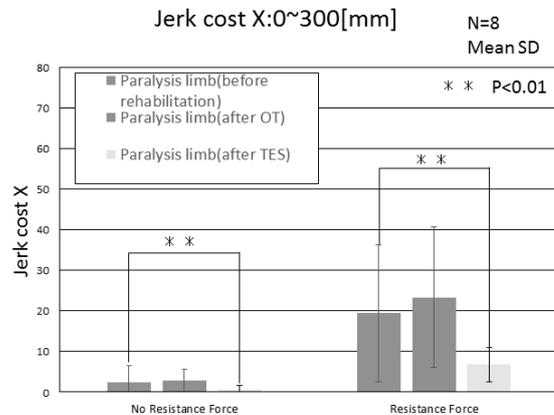


Fig.4 Jerk cost X before and after rehabilitation

## 5. 結論

本研究では、小型でかつ卓上での運動訓練が可能な上肢リハビリ支援装置(リハビリマウス)を用いて、健常者および片麻痺患者の上肢運動能力を示す評価指標の計測・比較を試みた。健常者と片麻痺患者(麻痺肢)の評価指標で有意な差が見られた。また、麻痺上肢へのリハビリ訓練による各評価指標の改善を確認できた。今後はリハビリマウスでの訓練の継続による治療効果の検証を行っていく予定である。

## 文献

- 小柳 健一: 3次元上肢リハビリ訓練システムの開発 日本ロボット学会誌 vol.23 No.8 pp.1011~1018(2005)
- 酒井 昌夫: リハビリ支援ロボットの研究開発 愛知県産業技術研究所 研究報告 2010
- 宮越 浩一: 脳卒中片麻痺患者に対する上肢機能訓練装置の使用経験 リハビリテーション医学 2006;43:347-352