

駆動力を人体の自然な動作から抽出する柔軟メカニズムによる 手指動作支援装置

Compliant mechanism based hand exoskeleton device
that can be actuated by user's natural motion

2031002



研究代表者

九州大学大学院 工学研究院
機械工学部門

准教授

荒田 純平

[研究の目的]

近年、高齢者の増加、また糖尿病、高脂血症などの生活習慣病の増加により、脳卒中患者が増加傾向にある。国内の総患者数は2005年の段階で137万人に及ぶとされる。脳卒中患者の多くは、手足に麻痺による機能障害を発症することが知られている。手指の機能低下に伴う弊害としては、食事・排泄・入浴・更衣・整容などのADL (Activities of Daily Living) に関する支障がある。このように、手指運動に関するADLは、患者のQOL (Quality Of Life) に大きく関与すると考えられる。よって、これまでに本課題実施者らは、手指運動に関するADLを支援するため、3層の連結スライドばね機構を考案し、一つのアクチュエータで拇指を除く、4本の手指それぞれの3関節を同時に屈曲・伸展させることが可能な、小型・軽量のハンドエグゾスケルトン装置プロトタイプを開発した。本課題では、過去に開発した装置をより発展させ、駆動源を有さないことでより軽量とし、かつ時間、場所に捉われずに使用可能なハンドエグゾスケルトン装置を開発した。

[本課題で活用する過去成果]

申請者らがこれまでに開発した3層の連結ス

ライドばね機構について、図1に示す。本機構は、駆動部を押し引きする直動運動のみで指の3関節 (DIP, PIP, MP) それぞれを同時に屈曲・伸展させる運動に変換することにより、ヒトのような指動作を生成する。3層のばねをそれぞれ Si, Sc, So とし、その役割を以下に示す。Si は装着者に対して内側のばねであり、剛体部に固定されている。Sc は中央部のばねであり、直接駆動部に接着され、動力を各関節へ伝達する。So は外側のばねであり、受動的にスライドし、機構関節部の曲がりすぎを抑制するストッパーの役割を担う。駆動部に直動入力を与えると、これらのばねは機構関節部でのみ屈曲することが可能であり、1自由度でヒトの指動作のような屈曲・伸展動作が行える。また、3層の板ばねが柔軟な変形をすることで、屈曲時に扇形の円弧となり、その中心がヒトの指関節の関節中心と一致する。これによりヒトの自然な動きを妨げずに動作できる。また、ばねの

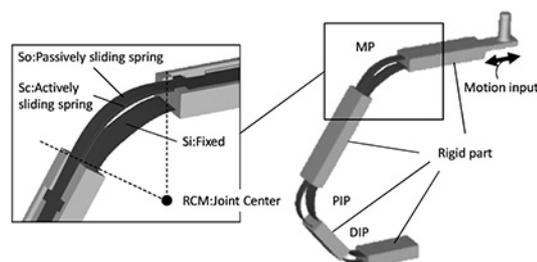


図1 3層の連結スライドばね機構

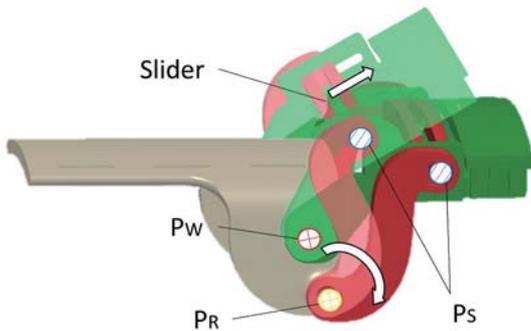


図2 動作変換機構

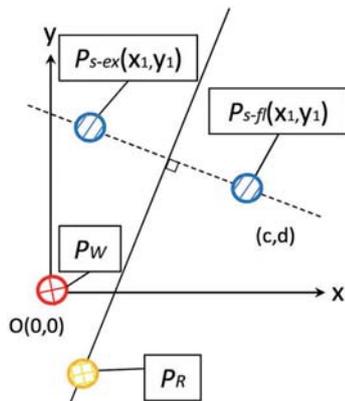


図3 機構代表点の位置関係

柔軟性を有しているため、様々な対象物を把持できる。

[開発した機構概要]

ヒトの自然な把持動作に着目した際に、僅かながらに手首は対象物に近づくように屈曲しながら動作している様子が観察される。そのため、本研究では手首の屈曲動作を把持動作のアシストに変換するメカニズムを考案した。提案機構を装着した際においても、手首の動作域は、可動域に対して、無理のない範囲で屈曲伸展動作を行う必要がある。そこで、ヒトの手首の可動域（屈曲方向に 90° 、伸展方向に 70° ）をもとに設計を行った。自然な把持動作を行う姿勢として、手首と腕が水平となる時に把持姿勢をとるように、また、無理なく手指が伸展できる動作域として、背屈の限界値 70° の半分の大きさである 35° の時に掌が開くように設計した。た

だし、目標の出力は、ADLに必要な力の大きさである 10 N 程度とし、各種寸法は、AIST 人体寸法・形状データベース記載の手指寸法をもとに作成した。なお、ここでは人体の標準的なデータをもとに設計を施したが、各患者の状態などに合わせて、設計パラメータを変更して実装することも可能である。

本研究で提案する動作変換機構を図2に示す。本装置の特徴は、手首の屈曲伸展動作を、まずは直動動作へ変換することである。これにより、前述した3層の連結スライドばね機構によって、さらにこの直動動作を手指の把持動作へ変換する。つまり、3層の連結スライドばね機構を駆動するために必要な直動動作を、手首の屈曲伸展動作によって生成することで、駆動源無しに装置を構成することができる。なお、本機構は、図中緑色で示した部品を手の甲に、乳白色で示した部分を腕に固定するように装着する。

図3に、本研究で提案する動作変換機構の機構代表点の位置関係を示す。本機構は、点 P_W を装着者手首の屈曲伸展関節へ一致するように装着する。この時、手首の屈曲伸展に合わせて図中青色で示した部品が、手の甲に合わせるように回転する。

P_W の下方向に配置した P_R を支点として回転するリンクは、点 P_W と共に回転するスライダ部に接続される。よって、手首の回転はスライダでの直動運動に変換される。図2(b)は、最大屈曲・伸展それぞれの時の提案機構の状態図を重ね合わせた際の回転軸の位置関係を示したものである。 P_{S-fl} 、 P_{S-ex} は、それぞれ最大屈曲・伸展時のスライダの回転軸位置である。 P_R は、スライダを駆動させるための回転軸であり、最大屈曲・伸展時のスライダの回転軸 P_{S-fl} 、 P_{S-ex} から等距離な位置となるように設計する。ゆえに、 P_R は、 P_W を原点とする x - y 座標系を考えると、 $P_{S-fl}(a, b)$ 、 $P_{S-ex}(c, d)$ として、次式のように、その二点を繋いだ線分の垂直二等分線上に位置すればよい。

$$y = \frac{a-c}{d-b} \left(x - \frac{a+c}{2} \right) + \frac{b+d}{2}$$

軽量化のため、本研究では試作機のリンク等をABS樹脂により製作した。回転軸については、摩擦力軽減のためベアリングを挿入した。

上式により得られる P_R の位置は、装置の小型化も合わせて考慮し、 P_W から20 mm下方に設定した。

力の入出力の関係を図4に示す。手首の力と、スライダの移動方向への力の関係に必要なパラメータを手首の力： F_1 、荷重点と軸間距離 L 、手首のトルク T 、スライダの移動方向の力 F_2 、回転軸間距離 d 、角度 θ とすると、図4中の(a)に示すように、手首のトルク T と手首の力 F_1 は次式の関係にある。

$$T = F_1 \times L$$

また、図4中の(b)より、手首のトルク T とスライダの移動方向への力 F_2 の関係は、次式のように得られる。

$$T = F_2 \cos\theta \times L$$

よって、手首の力 F_1 とスライダの移動方向への力 F_2 は次のように与えられる。

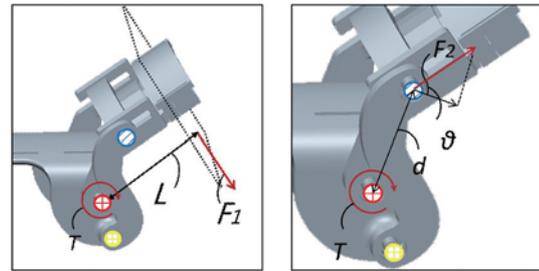
$$F_1 = \frac{F_2 \cos\theta}{L}$$

[評価実験]

図5に試作機を示す。装置全体の質量は130 gであり、軽量に製作可能であった。開発機構の有用性を評価するため、手首トルクと把持力の関係を調べる実験を行った。実験方法として、健常者(21歳、男性、右利き)の右手に装置を装着し、把持動作を行った。この時、試作機のリンク部にひずみゲージ(共和電業社製、FP-2-120-C1-65)を貼り付け、手首のトルクを測定した。把持対象物として、直径60 mmの球状の物体を用いた。材質はABS樹脂であ

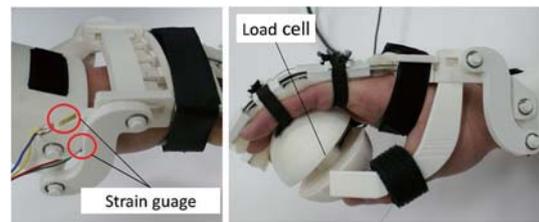
り、内部にロードセル(共和電業社製、LMA-A-20N)を有し、把持力を測定可能である(図5(b))。被験者には、快適に感じる範囲で手首を屈曲・伸展運動し、対象物を把持するよう指示した。

実験結果を図6に示す。装置に内在する摩擦の影響により、多少のばらつきは見られるものの、ほぼ手首トルクと把持力には直線的な関係があることが明らかになった。結果にヒステリシスは見られず、試作機は良好に動作することが分かった。一方で、最大屈曲時の静止状態での把持力を測定したところ、7.0 N程度



(a) 支点と把持位置 (b) トルクと出力

図4 力の入出力関係



(a) 手首トルクの算出 (b) 把持力測定器

図5 実験装置外観

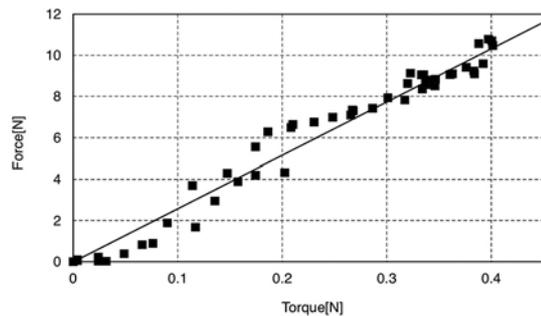


図6 実験結果

であった。

過去の研究から、ADLに必要な把持力は10N程度であることが示されており、本試作機では、健常者が快適に動作させられる範囲では、ADLに必要な7割程度の出力は支援可能であることが分かった (Smaby, 2004)。

[今後の研究の方向, 課題]

これらのことから本課題で提案する機構が、電源を必要とせずに小型・軽量の装置で日常生活動作のアシストが可能であり、対象物の形状、質量、大きさによっては安定した把持動作を行

えることが実証された。

今後は、様々な物体把持による試験によって、その有用性を検証する必要がある。

[成果の発表, 論文等]

- [1] 荒田純平, 三矢 駿, 坂口正道, 和田郁雄: 手首の屈曲伸展動作を把持動作へ変換する駆動源を有さないハンドエグゾスケルトン装置, 1A1-D03, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会予稿集, 1A1-D03, 2013.
- [2] 荒田純平, 三矢 駿, 坂口正道: 3層の連結スライドばね機構を用いた手首の回転動作を手指の屈伸動作に変換する機構を有する装置の開発, 第31回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3C3-04, 2013.