

研究の課題名

リハビリ支援用空気圧ロボットアームの制御と その評価に関する研究

東京工業大学精密工学研究所 助教授

報告者 川島 健嗣

報告日 2003年(平成15年)8月8日

1. 本研究の意義、特色

我が国では高齢化社会を迎え、介護者の負担の増加や人材不足が問題となっており、質量対出力比が大きく、柔らかさを有している空気圧を駆動源とする介護ロボットの需要が高まりつつある。しかし、空気圧ロボットは多数試作されているものの、実証実験的立場から有効な制御方法を検証し性能を評価した研究は不十分である。そこで本研究では立ち上がり動作をアシストする空気圧ロボットアームを試作し、実際に被験者に使用してもらい、制御性能およびアシストされている割合を定量的に評価することを目的とする。

2. 実施した研究の具体的内容、結果

研究計画に基づき以下の各項目について検討をおこなった。

(1) 体格差のある多数の被験者に対するアシスト実験および制御方法の比較

空気圧シリンダを高速駆動が可能なサーボ弁で制御することにより被介護者の座位から立位動作をアシストするリハビリ支援用ロボットアーム(図1)を設計製作した。制御方法としてはバネと等価な力を発生できるステイフネス制御を適用した。

本ロボットアームの性能を評価するために、多くの被験者の協力を得て立ち上がり動作をアシストする実験を行い、アシストの割合を定量的に算出した。算出のために図2に示す人体モデルを構築した。実験の際中に被験者の足首、膝、腰および肩にマークをつけ、ビデオカメラで撮影することによって、非接触に膝および腰の動きを計測した。その情報を図2のモデルに代入することによって膝関節で発生しているトルクを算出し、アシストされている割合を求めた。その結果、立ち上がり動作開始直後の0.5秒程度において、膝関節で発生してい

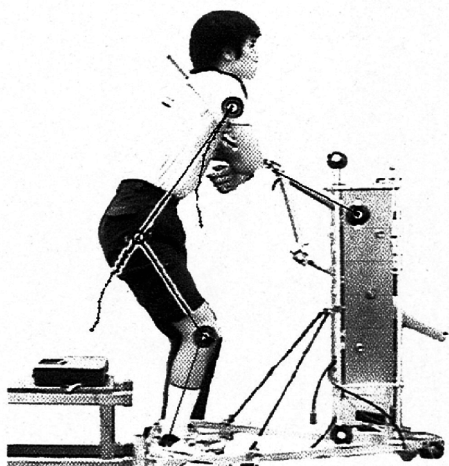


図1 設計製作したリハビリ支援用空気圧
ロボットアーム

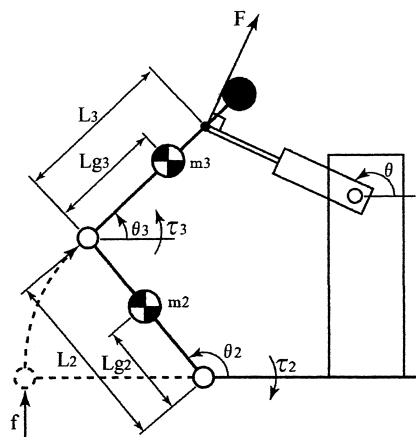


図2 人間のリンクモデル

るトルクが最大となることがわかった。そこで、ロボットアームを使用していないと仮定し求めた最大トルクとアシストを受けた場合に算出した最大トルクの比をアシスト率として、ロボットの性能評価の指標とした。

体重が50kgから93kgまでの複数の被験者に対して、本ロボットアームを使用してもらい、スティッフネス制御におけるバネ力を3種類に変えて実験し、上記の方法でアシスト率を測定した。実験結果をまとめたものを図3に示す。図3の横軸は被験者の体重を縦軸はアシスト率を表している。この実験結果よりバネ定数を大きくした場合、50kgの被験者ではアシスト率100%が実現できるが、93kgの被験者ではアシスト率が50%であることが明らかとなった。つまり、アシスト率が2倍程度異なることがわかった。また、アシスト率を高めるためにバネ定数を大きくすると、アームの動きが速くなることもわかった。また、安定限界となる制御パラメータと被験者の体重との関係を実験によって求めた結果、体重が増加するにつれて、より大きな制御パラメータが使用できることがわかった。さらに、位置と力のハイブリッド制御など他の方法でも同様の実験を行ったが、やはり被験者の体格差の影響を受けることがわかった。バネ力と等価な力を出せるスティッフネス制御は単純かつ有効な制御方法であるといえる。

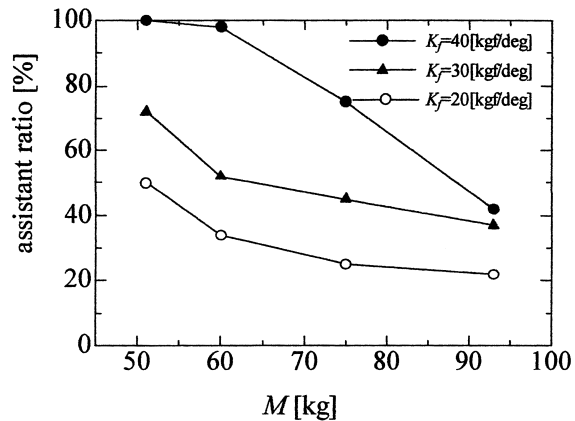


図3 アシスト率の測定結果

(2) 体格差を検知するシステムの構築

上記の結果を踏まえ被験者の体格を検知するシステムが必要であると考えた。力センサを使用するあるいはあらかじめ被験者の体重を知らせておけば、容易にアシストの割合に応じた制御パラメータの導出が可能である。しかし、より構成を単純化し、汎用性を高め、コストダウンをはかることを目指し、被験者がロボットアームにもたれかかった時点での空気圧シリンダの圧力差から、体重を推定することを考えた。そのために、差圧と体重の相関を実験によって求めた。平行な角度で比例位置制御により静止させたロボットアームに、脱力した被験者をもたれかからせた時の差圧と体重の関係を測定した。結果を図4に示す。

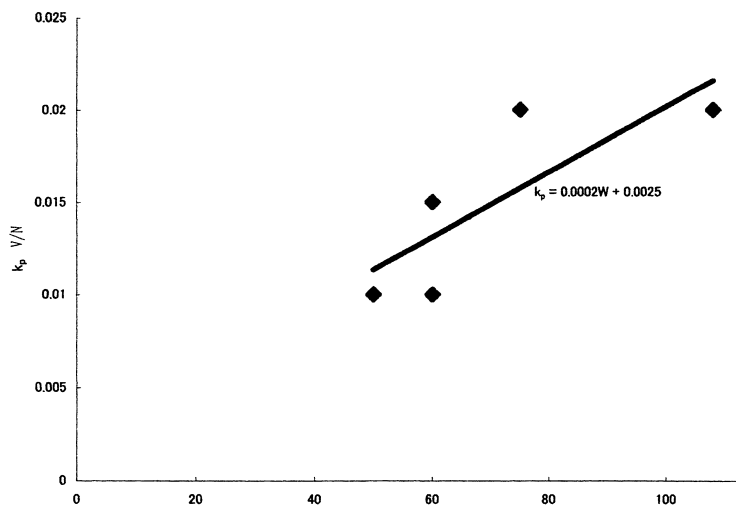


図4 差圧と体重の関係

この結果より50kgから110kgにおいて、両者にはほぼ直線関係があることが明らかとなった。これにより力センサを用いなくても、空気圧シリンダの位置決め制御に使用している圧力計から体格を検知できることが可能となり、アシスト率を調整可能なシステムの構築が容易となる。

(3) 繊維一体型ゴム人工筋の適用の検討

設計製作したロボットアームは座位から立位動作をアシストする他に、キャスターを取り付けることで、歩行訓練にも適用できるようにした。しかし、アクチュエータとして、500N以上の力を出せるようにするために、内径が63mmの空気圧シリンダを用いたために、ロボット全体の体重が重くなってしまい、軽量化の必要がある。そこで、アクチュエータとして、非常に軽量でなおかつ大きな力が発揮できる空気圧ゴム人工筋を用いることを考えた。ゴム人工筋に圧縮空気を充填すると、ゴムが縮むことで直動駆動を実験するものである。従来のゴム人工筋は繊維とゴムが分離しているマッキベン型とよばれるものが主流であるが、本研究では、繊維とゴムが一体となっているゴム人工筋を採用することにした。その理由は両者の特性を比較した実験を行ったところ、繊維一体型の方が、圧力範囲を広く取れることがわかったためである。

ゴム人工筋の写真を図5に示す。また、ゴム人工筋の静特性の実験結果を図6に示す。図6において縦軸は人工筋の収縮率を横軸は人工筋の内圧を示している。両方ともヒステリシスが存在するが、繊維一体型の方が圧力範囲を広く広く取れることが明らかである。

図7に設計製作したロボットアームの写真を示す。ゴム人工筋を拮抗させることによって、回転運動を実現する機構となっており、2自由度を有している。実験装置の概略図を図8を示す。ロータリ

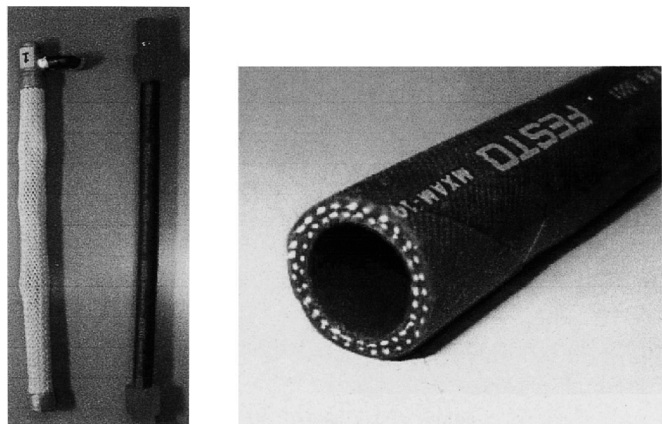


図5 繊維一体型ゴム人工筋

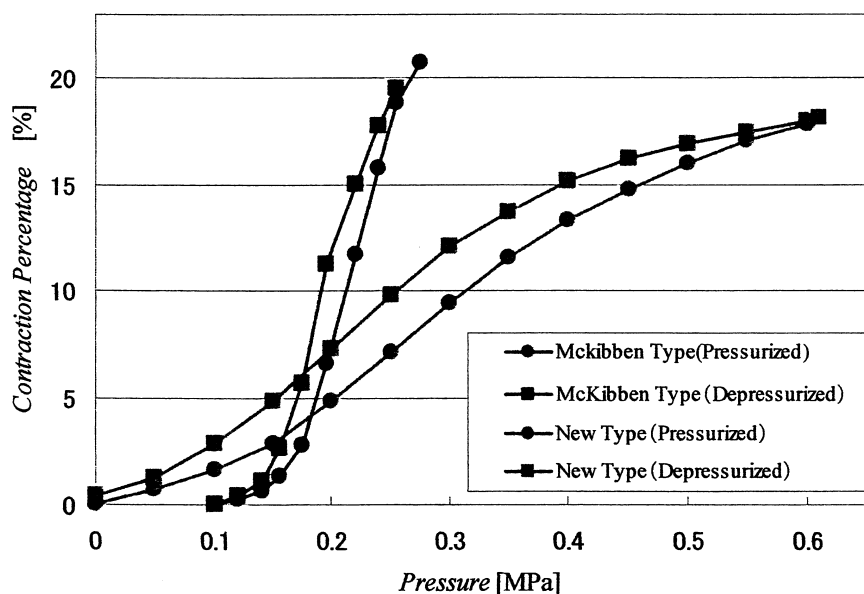


図6 ゴム人工筋の特性実験結果

エンコーダで角度を検出し、空気圧サーボ弁で角度制御を行う。その時、圧力計も取り付け、圧力の値をマイナーフィードバックすることで、位置制御の性能向上を図った。現在、ゴム人工筋のモデル化を行い、本ロボットの制御方法の検討およびロボットの改良を進めている。

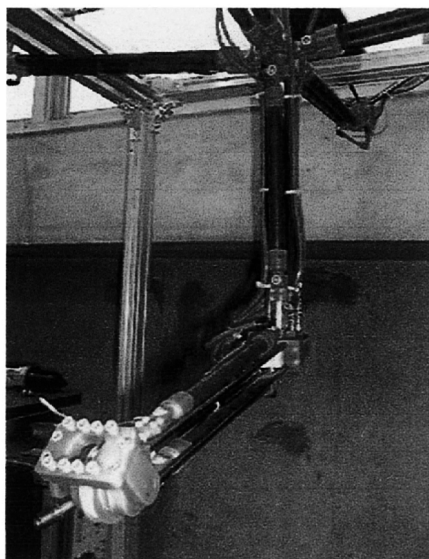


図7 試作したゴム人工筋を用いたロボットアーム

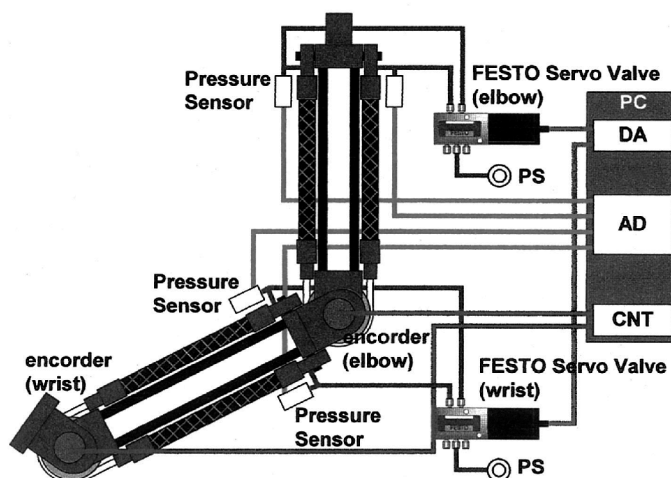


図8 実験装置の構成

以上、結果をまとめると、当初の目標の大部分は達成することができ、設計製作したロボットアームの有効性が示された。リハビリ支援ロボットの性能を定量的に評価した本研究は、ロボットの介護への実用化に向けて大変意義のあるものであると考える。同時に次のステップへ向けての課題もいくつか明らかになった。大きな課題の一つがロボットの軽量化である。その解決に向けて、ロボットの軽量化を進めるべくアクチュエータに繊維一体型ゴム人工筋を用いたロボットアームを試作した。現在、そのロボットの改良および制御方法の検討を進めている。

3. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

香川利春 東京工業大学 教授
 船木達也 東京工業大学 助手

4. 研究実施時期

平成13年3月から15年7月まで

5. 本研究に関連して発表した主な論文等

- (1) リハビリ支援用空気圧ロボットアームの力制御の評価、日本フルードパワーシステム学会論文集、Vol.34. No.1、14/18 (2003) ※
- (2) Developing a Robot Arm using Oneumatic Rubber Muscles, Power Transmission and Motion Control, 365/375 (2002)
- (3) Development of Robot Arm using Fiber Knitted Type Pneumatic Artificial Rubber Muscles, The 18th International Conference on Hydraulics and Pneumatics, Prague, (2003)

- (4) 空気圧ゴム人工筋を用いたロボットアームの開発、フルードパワーシステムワークショップ講演会講演論文集、76/28 (2001)
- (5) 空気圧サーボ弁のデジタル化による制御性向上に関する研究、平成13年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集、76/78 (2001)
- (6) 空気圧シリンダシステムのシミュレーションに関する研究、第20回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス発表論文集、183/186 (2001)

6. 内外における関連研究の状況

空気圧を応用した介護用のロボットの研究は、アクチュエータにベローズを応用したものなど活発に行われている。しかし、ロボットの設計・製作やその機能に主眼をおいた研究が大部分であり、そのロボットの介護機器としての有効性を定量的に評価した研究は不十分である。よって、それらの空気圧ロボットが実際に普及するところまで達していない。本研究は、空気圧ロボットの有効性を定量的に評価したものであり、その意義は大きいものとする。

7. 今後の発展に対する希望

本研究で得られた結果を基に、現在、繊維一体型ゴム人工筋を用いた軽量の介護用ロボットアームの設計・製作および制御方法の検討を行っている。空気圧のもつ柔らかさは人間親和性が高いことから、介護機器の駆動源として広く適用されることが期待される。