

## 油圧式バイラテラルサーボ型移乗介助支援ロボットの圧力センシングベース制御

## Pressure Sensor-based Control of the Transfer Assistance Robot with Hydraulic Bilateral Servo

○大西謙吾, ジュリアン・モネ, 斎藤之男

Kengo OHNISHI, Julien MONNET, Tokyo Denki University

Yukio SAITO, Shibaura Institute of Technology

**Abstract:** This paper reports on a control method for power assist robot system designed to aid the caregiver of transferring non-ambulatory subject. This robot is designed with total of 12 Hydraulic Bilateral Servo Actuators. A pressure sensor based posture control method is proposed with the aim of eliminating position sensors at the end effectors to reduce the trouble of signal noise and malfunction at actual use. The computational strategy is discussed, and in combination, Digital Differential Analyzer algorithm is proposed for realtime pulse modulation for the servo motor control.

**Key Words:** Transfer Care, Care Assisting Robot, Bilateral Servo, Motion Control

## 1. はじめに

肢体不自由者の介護に要する姿勢変動や移乗介助は介護者の肉体的負担の大きさが問題となっている。対応策として「安全な動作介助のてびき」<sup>1)</sup>など介護者がボディメカニクスについて理解し、実践できるよう指導等が行われているものの、介護環境やタイミングによっては、これらの動作が実行し得ないことが多々あり、問題解決には至っていない。さらに、被介護者の移乗にホイストやリフトなどの機器が開発されているが、吊り具装着の手間、機器と車いすやベッドとの空間内の配置、吊りあげられる側の心理的負担が高いことなどの仕様に伴う問題のため、これも十分な解決策となっていない。この問題に対し、工学的なアプローチとして、ウェアラブルなパワーアシストロボット<sup>2,3)</sup>や、自律型移乗(抱え上げ)ロボット<sup>4)</sup>の開発研究が報告されている。前者のシステムは、新たなインタフェースを用いた制御手法が注目に値するものの、介護者がロボットを装着する手間を要するため、施設などでは多くの被介護者の対応時には有効であると思われるが、家庭での使用においてはさらなる検討が必要といえる。また、後者のシステムは、ロボットで人を持ち上げる多自由度マニピュレーションのハードウェア設計や制御手法を新たに提起した功績は大きいものの、運動・感覚の双方に麻痺がある被験者にロボットがしようできるかは不明である。とりわけ、コミュニケーション障害のある被介護者のインタフェースが課題となる。そこで、本研究では、介護者が腕に装着して操作する、抱え上げ動作の移乗介助支援ロボットの開発を進める。既報の介護用装着型ヒューマン・アシスト装置<sup>5)</sup>に対し、マスター・スレーブシステムである油圧式バイラテラルサーボアクチュエータシステムを用いることで、コンパクトでかつ操作性に優れたシステムの開発を目指す。

## 2. 移乗介助支援ロボット

移乗介助支援ロボットは大きく2つに分けられ、マスターユニットとスレーブユニットから構成される(図1参照)。マスターユニットは、コントローラならびに油圧バイラテラルサーボアクチュエータ(Hydraulic Bilateral Servo Actuator: HBSA)のマスターシリンダとサーボモータからなる据え置きユニットである。スレーブユニットは、移動用従輪を備えたプラットフォームと左右のアームからなる。アームは片側6関節7自由度を有す構造であり、第二関節がユニバーサルジョイントである。スレーブユニットと使用者の関係、ならびにアームの関節の配置を図2に示す。スレー

ブユニットはHBSAのスレーブシリンダにより関節が駆動される。使用者の肩と肘関節に対応するアームの関節は両端に複動型ピストンロッドを備えた二関節筋型HBSAで駆動され、手関節部には揺動回転式のHBSAが用いられている。HBSAのシリンダの各管口につながるチューブにシリンダ内圧測定用の圧力センサが取り付けられている。さらにマスターシリンダのピストンロッドには直動式のポテンシオメータが備えられており変位を測定できる。なお、スレーブユニットのアームは床上からベッドの高さまで対応する可動域を有す。

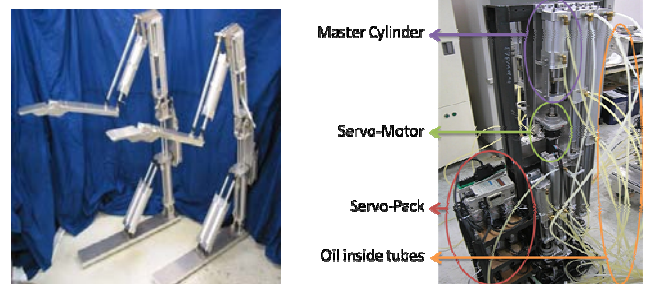


Fig. 1 Slave unit (left) and master unit (right).

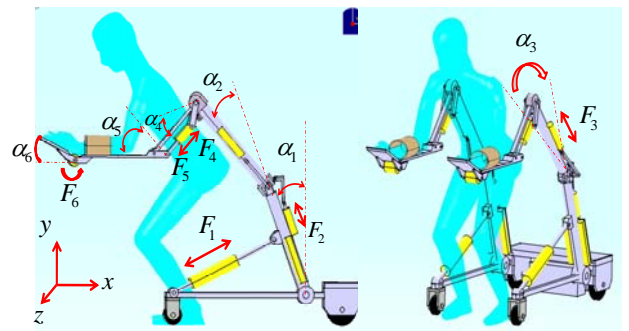


Fig. 2 Structure and actuator layout of the robot's slave unit

## 3. 制御システム

HBSAはスレーブシリンダのピストンロッドにポテンシオメータと圧力センサが取り付けられているため、これまでのHBSAを有するロボットアームの姿勢制御は、関節角度からピストンロッドの目標変位を算出し、測定したセンサ値の差から、セミクローズドループのフィードバック制御にて、手先の位置制御を行うことができた。しかしながら、

実際スレーブユニットの関節駆動はマスタシリンダで発生させたシリンダ内の圧力差により生じる関節駆動力であるため、本ロボットのようにチューブ長を長くすると、十分な応答性が得られなくなった。特に従来、HBSAはオープンループ制御系にても位置制御における再現性も高い特徴を示していたが、問題が見られるようになった。さらに、本研究では、アームの先端を被介護者と寝具の間に差し込むことから、スレーブユニットのアーム先端をセンサフリーにすることで、ノイズや故障の原因を抑制できると考えられる。本研究ではまず、無負荷状態のアームの姿勢制御を圧力センサ信号にて行う方法を提案する。アームを基本初期姿勢から、手先を床面の高さに合わせず場合や、繰り返し取る既知である姿勢まで、アームを低速で自動で動かす場合に用いることができる。

まず、各リンクの質量、重心位置は測定、同定できるものと仮定する。アームは冗長自由度を含むものの、基関節の関節変位を基本初期姿勢からの差を最小化するなどの制約条件を設けることで、手先位置・姿勢に応じた関節角度は一意に求まる。この姿勢角度に対し、肘、肩の関節を駆動するスレーブシリンダのピストンロッドにかかる力は各関節駆動機構と駆動用シリンダとの静力学の式を解くことで一意に定まる。なお、第一関節と第二関節については、関節角度に対応する力が二つある領域が関節可動範囲中にあるため、この2関節については、ポテンショメータもしくはスイッチにてピストンロッド変位を計測する必要がある。シリンダのロッド側とボトム側の内圧を圧力センサで測定し、次式(1)によりスレーブシリンダの出力が求まる。(図3参照)

$$F' = A_1 P_1 - A_2 P_2 \quad (1)$$

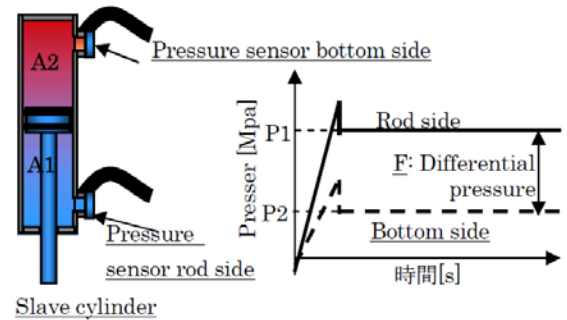
ロッド側とボトム側の差圧値  $F'$  と目標出力を逐次比較し、目標値に出力が達したらモータを停止することでアーム姿勢のフィードバック制御は達せられる。なお、シリンダ内圧は、マスタシリンダロッドの変位により定まり、これはさらにサーボモータの回転角、ならびに回転速度の制御により定まる。このことから、コントローラでは、演算を行いつつ、リアルタイムでサーボモータを操作するパルス信号の周波数等を算出し、調整するため Digital Differential Analyzer(DDA, 図4参照) のアルゴリズムを用いる。

本ロボットを用いて被介護者を抱え上げ移乗介助を行うにあたっては、アームの細かい位置調整、ならびに被介護者を抱き上げた状態での力制御などが必要となり、多様な制御系の遷移の制御も必要となる。なお、位置調整については、アームのフレームリンクを押した際にピストンロッドに生じる力をシリンダ内圧の変動として圧力センサで捉え、変動値が閾値を超えた場合、シリンダ内圧を減少させる方向にマスタシリンダのピストンロッドを変位するアルゴリズムを導入することで、アームのダイレクトドライブによる調整は可能であることが先行研究で確認できている。

#### 4. まとめ

抱え上げ動作による移乗介助支援を行うロボットとして油圧バイラテラルサーボアクチュエータを用いたシステムを提案した。生体との接触を伴うロボットゆえ、耐ノイズ性、耐故障性を上げることを目的としてアーム先端から関節変位センサを廃した構成にてアームの姿勢制御を行う方法として圧力センサ信号をベースにした制御戦略の構想について述べた。また、制御におけるリアルタイム性を担保し、計算精度を保つことを目的に、DDAアルゴリズムを用いたモータ制御と組み合わせ、油圧バイラテラルサーボ

クチュエータをより滑らかに動かし、よりユーザ・フレンドリーなシステムの構築を目指す。今後は、提案した手法の検証として動作評価実験を進めたい。



A1 : Rod side cross section[mm<sup>2</sup>]      pressure[N/mm<sup>2</sup>]  
A2 : Bottom cross section[mm<sup>2</sup>]      F: Drive force [N]  
P1 : Rod side pressure[N/mm<sup>2</sup>] P2 : Bottomside

Fig. 3 Computation of the driving force from the pressure sensor on the HBSA

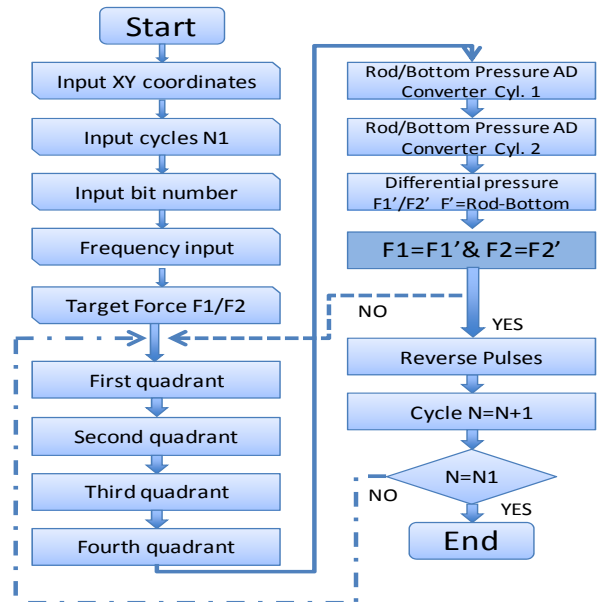


Fig. 4 DDA Algorithm for pressure sensor based control

#### 参考文献

- (1) 木村哲彦 編, 川井伸夫, 他2名 著, 新イラストによる安全な動作介助のてびき 第2版, 医歯薬出版, 2004
- (2) 山本圭治郎, 他3名, 介護用パワーアシストスーツの開発, 日本機械学会論文集(C編), Vol.67, No.657, pp.1499-1506, 2001
- (3) 佐藤帆紡, 他3名, ロボットスーツHALによる移乗介助動作の支援, 日本機械学会論文集(C編), Vol.76, No.762, pp.227- 235, 2010
- (4) 小田島正, 他6名, 抱え上げ動作による移乗作業を目的とした介護支援ロボット研究用プラットフォーム“RIMAN”の開発と評価, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No. 4, pp.554-565, 2007
- (5) 小山猛, 山藤和男, 田中孝之, 介護用装着型ヒューマン・アシスト装置に関する研究, 日本機械学会論文集(C編), Vol.66, No.651, pp.3679- 3684, 2000
- (6) 川村克彦, DDA の数値制御への応用, 計測自動制御学会, Vol. 4, No.9, pp590-598, 1965