13-82-3 バイラテラルサーボによる移乗用ロボットに関する研究 Study of Transfer Assisting Robot with Bilateral Servo

○前田和敏、斎藤之男、音琴浩*、田島孝光**
東京電機大学 理工学研究科 知能機械工学専攻
*株式会社本田技術研究所

Kazutoshi MAEDA, Dept. of Intelligence Mechanical Engineering, Tokyo Denki University
Yukio SAITO, Dept. of Intelligence Mechanical Engineering, Tokyo Denki University
*Hiroshi NEGOTO, Frontier Research and Development Center, Tokyo Denki University
**Takamitsu TAJIMA, Honda R&D Co., Ltd. Tochigi R&D Center

1. はじめに

高齢化率の上昇によって介護者が不足しており、介護者への負担は増える一方であり、遂には介護する側がされる側になってしまうケースも考えられる。そのため、介護者に掛かる肉体的負担を軽減させるために、介護現場へロボットの導入が求められている。介護ロボットに求められているのは、①まず、直接患者を保持するために安全なシステムでなければならない。②小型・軽量で在宅設置が可能。③操作が簡易で誰にでも扱える。④患者に不快感・警戒心を与えない。⑤体幹保持のためには、少なくとも 60kgf の可搬重量が必要である。等が挙げられる。停電などの非常時の際、安全姿勢を保持出来ないと、患者だけではなく介護者にも危険を及ぼしかねない。また、在宅の寝たきり者がいる場合、その介護にあたるのは家族である。そのため専門的な知識が無くても操作ができるようでなくてはならない。さらには、無機質なロボットだけに介護を任せると、不快感や警戒心を持つ患者が出てくる可能性もある。患者に優しい介護支援ロボットとは、介護者に装着して患者には機械部分に触れないようにし、コンパクトかつシンプルな設計にする必要がある。また、パワーアシストを可能にして介護者の負担を軽減出来るのが望ましいと考えられる。そこで本研究では、介護者をパワーアシストすることで少しでも肉体的負担を少なくするために、バイラテラルサーボアクチュエータを用いて、パワーアシストの出来る移乗用ロボットの設計・試作を行うものである。

2 移乗用ロボットのメカニズム

2.1 全体の概要

介護動作を行う際、ロボットは介護者及び患者の邪魔にならないよう、Figure 1 のように左右二対のロボットとし、介護者の両側に配置した構造である。両側のロボットは基部フレームで連結しており、そこには走行部メカニズムが搭載されている。患者には介護者のみの接触とするため、ロボットの前腕部のカバーに腕を通し、患者を機械部分には触れさせないようにする。アクチュエータにはマスタとスレーブから成るバイラテラルサーボシステムを使用するので、ロボット本体にはスレーブのみの搭載となり、小型化できる。また、介護者の力をマスタにフィードバックさせることで、パワーアシストが可能になる。すなわち、介護者が直接ロボットの前腕部に加える力によって動作する方式なので、スイッチを必要としない。そのために、老人が老人を介護する「老々介護」が可能である。

Figure 1 Transfer Assisting Robot

片側での動作は、下から下半身部シリンダによる屈曲・伸展、及び上下伸縮、腰部シリンダによる左右の屈伸、前後の屈曲・伸展、人の上腕部に当たる二関節筋相当のシリンダによる肩部上下動作（前方挙上）及び肘部の屈曲・伸展、さらには手首部のロータリアクチュエータによる屈曲・伸展の計 7 自由度であり、そのすべてにパワーアシスト機能を有している。これにより、高さ 700 mm の介護用ベッドや高さ 400 mm の車椅子からの抱き上げが可能になる。また、設計上片側で 30kgf のパワーアシストを可能とするので、体重 60kgf までなら、介護者は微小な力（例えば、設定を 1kgf の力）のみで操作することが出来る。

ロボットの大きさは、身長約 170 [cm] の介護者が装着するように設計してある。

2.2 腕部

人間の上肢に見られるように二関節筋を模倣することにより、Figure 2 に示すように二つの可動部を一つのアクチュエータで動作させることが出来る。また手首部には Figure 3 に示すようにロータリアクチュエータ Ro-6 を取り付け、手の屈曲・伸展をアシストさせることで、抱きかかえた時に保持し易くしている。

Figure 2 Upper Arms with Bi-articular Bilateral Servo

Figure 3 Wrist with Rotary Actuator

2.3 腰部

普段介護者がベッドからの移乗動作を行う際、腰を曲げ前傾姿勢になる。この時が最も腰に負荷がかかる。そのため腰部の屈曲・伸展のアシストは重要である。Figure 4 に示すように、シリンダ Li-3 により屈曲・伸展、シリンダ Li-4 により側屈をさせる機構である。

Figure 4 Waist with Universal Joint

2.4 下半身部

Figure 5は、前傾姿勢をとったときのリンク機構を示している。シリンダ Li-1を基部と下半身部の3節リンクに組み込むことで、屈曲・伸展させている。また、シリンダ Li-2を直接本体に取り付けることで、上下伸縮を行わせ、高さ調節をさせている。

Figure 5 Lower Part Mechanism

3.3 二関節筋型バイラテラルサーボシステム^[1]

二関節筋型バイラテラルサーボはスレーブシリンダにピストンロッドを二つ配置し、区画を三つに分けたものであり、電磁弁にて作動油の流れを制御する。電磁弁の切り替えによって、スレーブシリンダのピストンロッドを一本もしくは二本同時駆動が可能である。これを二関節にまたがって配置することで、一関節動作と二関節動作を一本のシリンダで行うことができる。

Figure 6 Bi-articular type Hydraulic Bilateral Servo Mechanisms

二関節筋型 HBSS の位置フィードバック実験を行なった。2本のロッドにそれぞれ目標値を定め、負荷:5kgfで実験を行なった結果を Figure 7に示す。3つ目標値を与えているが、どれも目標値に収束し安定している。これにより、二関節筋型 HBSS は負荷をかけても、安定した動作が得られることがわかった。よって、この二関節筋型 HBSS は、負荷がかかる移乗用ロボットのアクチュエータとして使用できると考えられる。

Figure 7 Transient Response for Positioning (5kgf Load)

4 走行部^[2]

一連の移乗動作を行う際、患者を抱きかかえてから他の場所に抱き下ろすまで、移動したりその場で旋回しなくてはならない。通常、各タイヤに独立したモータ機構では、同期を取るのが難しくなり、直進時に蛇行してしまう可能性がある。そこで本走行部では Figure 8に示すように、差動歯車列を使用した走行機構を採用することにより、同期を取ることにした。この機構は、直進用モータと旋回用モータの2つのモータの回転を差動歯車列によって合成し、左右の駆動輪に伝達するものである。直進用モータの回転は左右の差動歯車列に同一の回転を与え、旋回用モータは左右逆回転を与える。よって、直進走行は直進用モータのみを使用すれば良いこの機構により蛇行の少ない安定した走行が可能となる。

Figure 8 Running Mechanism of Transfer Assisting Robot

5 ベッドからの移乗動作シミュレーション

- この移乗用ロボットは、Figure 1に示した姿勢が装着した基本姿勢である。前腕部と手が入る手袋に被験者は手を挿入する。
 - バイラテラルサーボにより、各部アクチュエータ中、腰部(Li-3)を力帰還型に切り替え、その他は、予め決められた角度に位置制御系によって動作する。
 - 被験者はベッドサイドに腰を曲げながら障害者の肩部と第10-11脊椎部に手を差し込むように近づく。
 - 走行部は、足の動作に合わせて追従し、前方へ進むようにモータの並進動作が行われる。
 - 腰の曲げ力に合わせて、腰部(Li-3)は、バイラテラルサーボにより変化し、腰の姿勢に適応した角度に保つ。そして、力制御から位置制御へと切り替わる。
 - さらに、患者保持までのアプローチには、Ro-6・Li-5が力制御を形成し、手の動きに適応した角度を保つ。
 - 少しづつ腰を伸ばすと同時に、Ro-6・Li-5を除く間接部は力制御系に切り替わり、その姿勢に適応していく。
- 以上が移乗動作のシーケンシャルモジュールである。

6 まとめ

- 介護者に装着させ、パワーアシストを行わせる移乗用ロボットのシミュレーション及び設計を行った。
- バイラテラルサーボは、安全及び荷重に対し十分出力が得られ、ロボットへ有用性を確認した。
- 一連の移乗動作には、体の前後の動き、旋回の動きが必要であり、ロボットの走行部のメカニズムとして設計・試作した。
- 上肢部の二関節筋用アクチュエータは、介護者の上肢動作に近い動きである。

参考文献

- [1]今井忍, 斎藤之男:バイラテラル油圧力伝達機構を用いたリハビリテーションアームの研究, 東京 電機大学修士論文, (2001), pp40-60
- [2]石沢寿, 斎藤之男:車椅子搭載型介助用ロボットの研究, 東京 電機大学修士論文, (1993), pp36-40