

空気圧人工筋と電動モータによるハイブリッド歩行訓練装具の開発

Development of Hybrid Type Gait Training Orthosis using Pneumatic McKibben Actuators and Electric Motors

○ 柴田芳幸（都立産技高専） 瀬山夏彦（都立産技高専） 矢吹康浩（都立産技高専）

Yoshiyuki SHIBATA, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology
Natsuhiko SEYAMA, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology
Yasuhiro YABUKI, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology

Abstract: Previous studies suggested that body weight support treadmill training was good locomotor training method for incomplete spinal cord injury patients. In our previous studies, we have developed gait training orthosis powered by pneumatic McKibben actuators. Pneumatic actuator has high power weight ratio compared to electric motor, but precise position control of joint angle of orthosis was difficult controlled by pneumatic equipment. Our developed orthosis could not to represent natural gait during human walking. Therefore, we try to develop a new gait training orthosis which is driven by both electric motors and pneumatic McKibben actuators. It might be possible to achieve precise position control and strong joint moment.

Key Words: Gait Training, McKibben Actuator, Powered Orthosis

1. 研究背景と目的

1.1 先行研究

不完全脊髄損傷者の歩行機能再獲得のためのニューロリハビリテーション機器として、代表的なものにスイス・hocoma社のLokomatが挙げられる⁽¹⁾。しかし、薬事法によりLokomatは日本国内のリハビリ施設に導入されていないのが現状である。これまで筆者らは、日本版Lokomatの製作を目指し、マッキベン型空気圧人工筋を動力に用いた免荷式歩行訓練装置を開発してきた⁽²⁾。マッキベン型空気圧人工筋は、電気モータに比べ出力重量比が高く、軽量、省スペースな装置を実現することができる。しかし、圧力の応答性は優れているものの、関節角度など位置制御を行うことが電気モータに比べて難しい。そこで本研究では、電気モータとマッキベン型空気圧人工筋を併用することで、電気モータによる精密な角度制御とマッキベン型空気圧人工筋による大きな関節モーメントの確保を実現できないか、試験機を製作し検討する。

1.2 教育的視点にて

当高専では、全国の高専に先駆けて、医療福祉工学、ロボット工学を専門に扱うコースが設置されており、数学や物理学などの基礎科目はもとより、機械工学、電気・電子工学、制御工学、計測工学、リハビリテーション工学など比較的広い分野を学習カリキュラムに採用している。本研究を通じて、電気モータと歯車による減速機構や流体の制御と使用方法、電気回路の基礎工作、歩行動作のシミュレーションや計測と解析の数学的センスなどを、座学だけではなく、実機を見て、触ることにより学生に実際に体験してもらおうことも研究の意義として考えている。

2. 装具の基本設計

2.1 装具の外観

装具の可動部である関節軸とリンク、歯車などは材料に炭素鋼を用いた。ハウジングはジュラルミンを使用し、骨格は直径19[mm]のステンレスパイプを利用した。ヒトが装着するカフの上下左右奥行き的位置や、股関節から膝関節までの距離は調整が可能となっている。駆動部は、股関節と膝関節とした。Fig.1に製作した装具の外観を示す。

2.2 モータと減速歯車機構

モータにはACスピードコントロールモーターK II (5RK40RAW-5J, オリエンタルモーター)を用い、さらに2段2列、減速比約1/10の歯車減速機構を設計した。歯車はモジュール1.0の標準歯形(GEAKBBシリーズ, ミスミ)を使用した。これにより、出力軸の回転数は最大28[rpm], 14[Nm]を発揮する。出力軸先端にはポテンショメータ(RDC501011A, ALPS)を取り付けた。本来ならば関節の駆動にはサーボモータを使用する所だが、圧倒的に低価格なためACスピードコントロールモータを採用した。

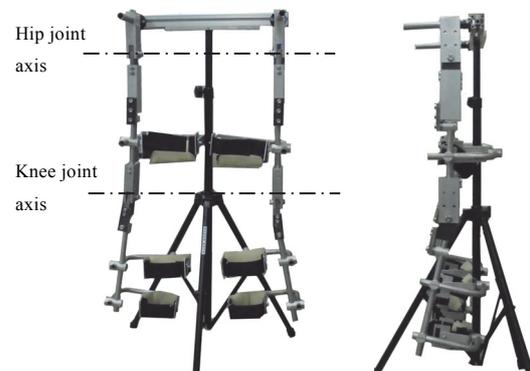


Fig. 1 Orthosis frame

3. 制御システムの概要

本装具の制御システムは、MATLAB/Simulinkを用い開発した。制御弁やセンサ、コントローラなどの機器との接続・通信は、Simulink Real-Timeを使用した。Fig.2に制御システム図を示す。これは、ひとつの関節ぶんの駆動システムを示しており、モータはスピードコントローラ(MSC-1, オリエンタルモーター)によって回転速度と回転方向を任意に設定することができる。モータの回転方向を切り替えるために、ダイオード(2SC1815, 東芝)を用いたスイッチングドライブ回路を作成した。マッキベン型空気圧人工筋は、直径1インチ、収縮部自然長400mmのもの(日立メディコ)を使用した。動力源である空気は、比例方向制御弁(MPYE-5-1/8-HF-010-B-, FESTO)によって制御さ

れる．この制御弁は，ひとつの入力ポートに対しふたつの出力ポートを持つ．よって，ひとつの制御弁でふたつのマッキベン型空気圧人工筋を制御することができる．各マッキベン型空気圧人工筋の空気導入口付近には，圧力センサ（PSE540, SMC）が取り付けられている．供給圧力は，レギュレータによって減圧し，0.3[MPa]に設定した．よって，マッキベン型空気圧人工筋に供給される圧力は，最大で0.3[MPa]となる．Fig.3 に空圧制御のブロック線図を示す．マッキベン型空気圧人工筋は関節をまたぐように拮抗配置しており，このふたつのマッキベン型空気圧人工筋の圧力の差 (ΔP) を制御変数とした単純なフィードバック制御系を構築した．Offset は比例方向制御弁のスプール弁の基準位置を設定するためのものであり，およそ 5[V]である．

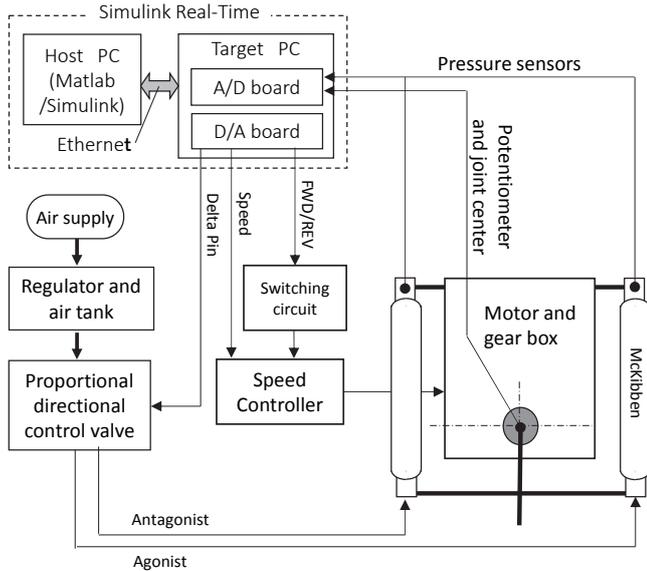


Fig.2 System diagram

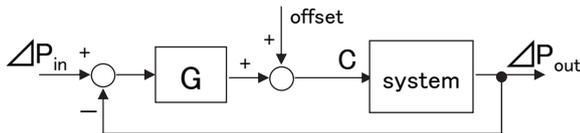


Fig.3 Control block diagram

4. 駆動実験

製作したモーターと歯車減速機構およびマッキベン型空気圧人工筋による駆動部の，ひとつの関節において駆動実験を行った．装置の外観を Fig.4 に示す．マッキベン型空気圧人工筋は，関節軸中心から左右にそれぞれ 100mm の位置に取り付けた．モーターおよび，マッキベン型空気圧人工筋による関節軸の駆動周期は 1 秒 (1Hz) とし，振幅（関節角度）はそれぞれ実験的に導出し，駆動時に装置各部に無理がかからない範囲にて設定した．

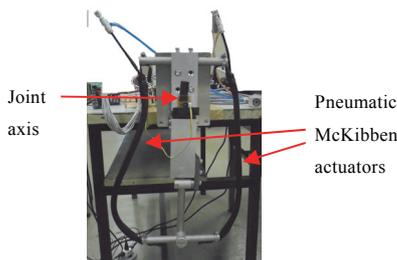


Fig.4 Drive block (mono articular)

5. 実験結果

Fig.5 に駆動実験の結果を示す．上から 1 段目，2 段目はモーターの正転 (FWD)，逆転 (REV) を切り替えるための信号であり，矩形波を用いた．5V に達すると入力 ON になる．3 段目はモーターの速度設定値で，2Hz の Sin 波を入力した．4 段目は拮抗配置したマッキベン型空気圧人工筋の圧力差の値で，入力値と出力値を示している．こちらはモーターと違い，歩行周期と同じ周期の波形を入力に使用する．入力に対し，出力が追従していない結果となった．5 段目は比例方向制御弁の駆動電圧波形である．基準位置の 5[V] 付近を中心に上下していることがわかる．一番下の段は，関節軸に取り付けたポテンシオメータの出力波形で，関節角度を示す．モーター単体で駆動したとき (motor) と，モーターとマッキベン型空気圧人工筋両方で駆動したとき (Air) を比べて，後者の方が関節駆動域が若干大きくなった．また，両方で駆動周期はほぼ一致した．

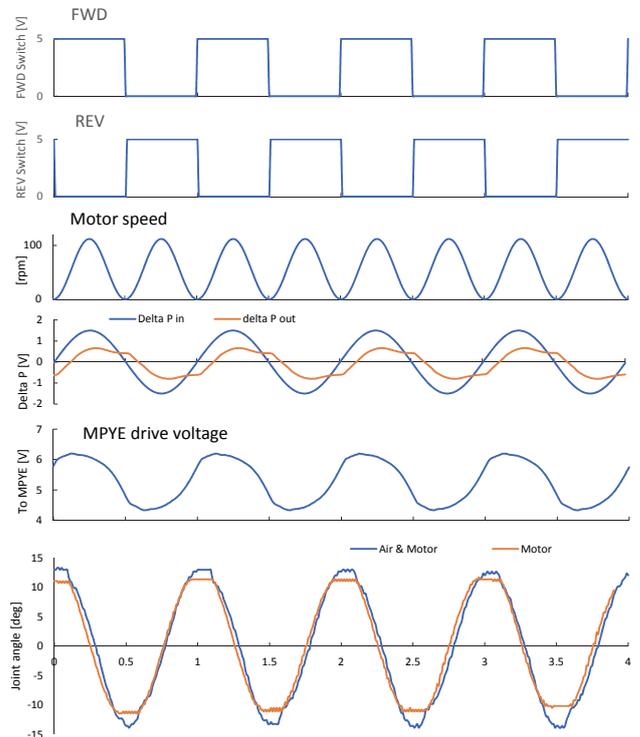


Fig.5 Result of drive experiment

6. 考察と今後の課題

マッキベン型空気圧人工筋と電気モーター両方による装置動作は初めての試みであったが，Fig.5 が示すように，入力波形の周期を両方で合わせれば協調して駆動させることが可能であることがわかった．今後は，モーターの回転速度と関節角度の較正および，位置フィードバック系の開発を行い，精密な角度制御ができるシステムを構築していく．

参考文献

- (1) Colombo G, Joerg M. et al. Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. Journal of Rehabilitation Research and Development Vol.37, No.6, pp693-700, 2000.
- (2) 柴田芳幸, 三好扶, 山本紳一郎, 空気圧人工筋を用いた免荷歩行訓練装置の開発～拮抗二関節筋と拮抗単関節筋のフィードバック制御～, 生体医工学, Vol.48, No.2, pp175-180, 2010.