

空気圧人工筋肉による体重免荷方法の検討

Consideration of how to reduce weight bearing of a pedestrian by using a pneumatic artificial muscle

○ 齋藤直樹（秋田県大） 山平勇貴（秋田県大） 佐藤俊之（秋田県大）

Naoki SAITO, Akita Prefectural University  
Yuki YAMADAIRA, Akita Prefectural University  
Toshiyuki SATOH, Akita Prefectural University

**Abstract:** This paper describes how to reduce a weight bearing of a pedestrian by using a pneumatic artificial muscle. This is one of the functions of a weight bearing reducing system using pneumatic artificial muscles developing by us. In this paper, we apply an admittance control as a method to reduce a weight bearing. The admittance control is a position control based impedance control. By applying this control method, it is expected to reduce weight bearing with a soft locomotion for a pedestrian. In this paper, we confirmed the control performance of the admittance control using a rubberless artificial muscle (RLAM) which is one of pneumatic artificial muscles through experiment. And we imply a possibility to reduce a weight bearing of a pedestrian.

**Key Words:** Pneumatic artificial muscle, Weight bearing, Reducing weight bearing, Admittance control

1. 緒言

近年，人との共存を目的としたり，リハビリ動作を支援するような機械への空気圧アクチュエータの適用が盛んに検討されている<sup>(1)(2)</sup>。この中でも，空気圧人工筋肉は軽量で大きな力を発揮できることから，様々な機械への適用が検討されている<sup>(3)(4)</sup>。

本研究では，空気圧人工筋肉の発揮する大きな力に着目し，高齢者や歩行が難しい人の歩行支援として，体重を免荷するシステムを検討している<sup>(5)</sup>。この中でも体幹懸垂動作は基本的な機能であり，歩行支援の効果に直接影響を及ぼす動作である。この体幹懸垂動作を歩行に合わせて行うための方法の確立が必要であるが，歩行に合わせた動作についてはこれまで検討がなされてこなかった。

そこで本研究では，空気圧人工筋肉の一つであるラバーレス人工筋肉(以下ではRLAMとする)<sup>(6)</sup>にアドミッタンス制御を適用し，体幹懸垂動作の実現の可能性について検討する。

2. RLAM 体重免荷システム

本研究では，RLAM をアクチュエータとした体重免荷システムを検討している。RLAM を図1に，システムの概要を図2に示す。

RLAM は，McKibben 型空気圧ゴム人工筋肉と構造がほぼ同じで，外側を覆っている網状のスリーブの内側に内挿されているゴムチューブを，非伸縮素材のエアバッグに変更したものである。エアバッグを膨らますことでこの網状スリーブを内側から押し広げ，収縮方向に力を発揮する。ゴム人工筋肉に比べて低圧で大きな力を発揮することができるという特徴がある。



Fig. 1 Rubberless artificial muscle (RLAM)

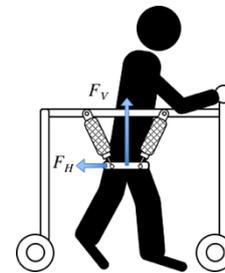


Fig. 2 Concept of weight bearing reducing system

開発中のRLAM 体重免荷システムは，簡易的な歩行補助器などに複数本のRLAM を取り付け，歩行者の腰付近を上側に吊り上げる体幹懸垂動作を行うことで，体重が下肢に与える負荷を軽減することを目指している。また，歩行の方向を検出する機能を持たせることで，装置全体の移動を行ったり，下肢への負荷軽減方法を調節するなどの機能を追加できる拡張性を持たせてある。本研究ではこの中でも，歩行者の腰付近を上側に吊り上げる，体幹懸垂機能について検討する。

それぞれのRLAM は電空レギュレータにより内圧の調節が可能で，内圧，収縮変位量および収縮力はセンサにより計測が可能であるものとする。

3. 体幹懸垂モデル

RLAM 体重免荷システムで用いる体幹懸垂方法について説明する。本研究では，RLAM に加えられる外力に対して望ましい機械インピーダンス特性を実現するように収縮変位量を制御する，アドミッタンス制御を適用する。アドミッタンス制御は，外力に対する運動特性を表現するインピーダンス制御において，即応性がやや劣るような位置制御システムにおいても操作性が比較的良好で，実用的であるという特徴を持つ<sup>(7)</sup>。RLAM のような空気圧システムは一般的に収縮量の変化に伴う制御において即応性は良くないが，アドミッタンス制御によりシステムの柔らかさを機械インピーダンスで表現できると，空気の圧縮性によるパッシブな弾性特性により，体幹懸垂動作において目標とする動作に準じた柔らかい動作の実現が期待できる。

今回の体幹懸垂においては，一般的なおもりとワイヤを使った部分免荷と同様の動作を目指す．つまり人が負荷を変動させても，設定した免荷を行い続ける．このことを考慮して，目標とする免荷荷重  $F_0$  を設定し，それ以上に人が負荷を加えた場合に，望ましい機械インピーダンス特性となるように変位を調節する．ここで，人が発揮する力はその時に RLAM が発揮する力  $F_V$  と同じであり，これらの差  $\Delta F$  とすると，次の式が得られる．

$$\Delta F = F_V - F_0 \quad (1)$$

また，この力の差  $\Delta F$  とそのときの変位  $x$  について，図3に示すような機械インピーダンス特性で表現することとすると，以下の式が得られる．

$$\Delta F = m_d \ddot{x} + c_d \dot{x} \quad (2)$$

よって，これらをまとめると以下となる．

$$F_V - F_0 = m_d \ddot{x} + c_d \dot{x} \quad (3)$$

したがって，アドミッタンス制御における力と変位の関係式は以下となる．

$$X(S) = \frac{1}{m_d s^2 + c_d s} \{F_V(S) - F_0(S)\} \quad (4)$$

この式に基づき，人が加える力に対して位置制御を行って体幹懸垂動作を実現する．

#### 4. 体幹懸垂実験

アドミッタンス制御による体幹懸垂の実現の可能性を実験的に確認する．ここでは制御方法の妥当性を検証するため，実際の人間の体重に比べて小さな負荷の範囲で実験を行った．実験システムを図4に示す．垂直方向に吊り下げた RLAM にロードセルと収縮量を計測するための変位計を取り付け，電空レギュレータで内圧を調節した．目標免荷量を 50N とし，RLAM に 50N のおもりを吊るして釣り合う状態を作り，そのおもりに手で負荷を加えたり減らしたりして負荷変動を与え，アドミッタンス制御による挙動を計測した．

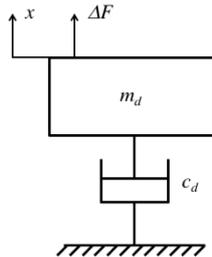


Fig. 3 Mechanical impedance model

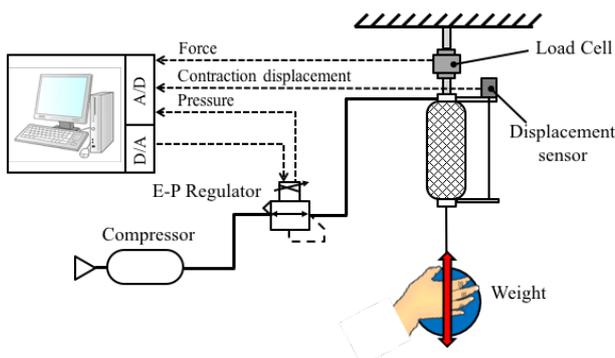
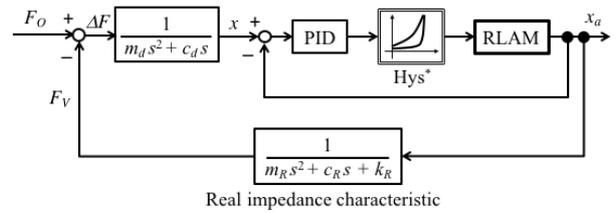


Fig. 4 Experimental setup



Hys\* : Hysteresis compensator

Fig. 5 Block diagram of admittance control of RLAM

次に，本実験で適用したアドミッタンス制御のブロック線図を図5に示す．RLAM は圧力収縮量特性においてヒステリシス特性があることが知られており，制御性能の向上を妨げている．ここでは，実際の応答から得られた近似関数を用いてヒステリシス補償を行い，位置制御性能を向上させた状態で，アドミッタンス制御を式(4)に基づいて行った．インピーダンスパラメータは，今回は試行的に  $m_d=0.05$ ， $c_d=1.0$  および  $m_d=0.02$ ， $c_d=1.0$  とした．おもりで加えた定常負荷の 50N と，手動で加えた負荷変動の値の和とその時の RLAM の収縮変位量をエンコーダ式変位計で計測し，負荷変動に対する応答を計測した．

#### 5. 結果と考察

実験結果を図6と図7に示す．それぞれ，インピーダンスパラメータが異なる．負荷変動については手動で行ったため，それぞれの図で統一はされていない．それぞれの図に，計測された力とそれに基づいて式(4)から得られた目標変位，および変位制御応答の結果が含まれている．

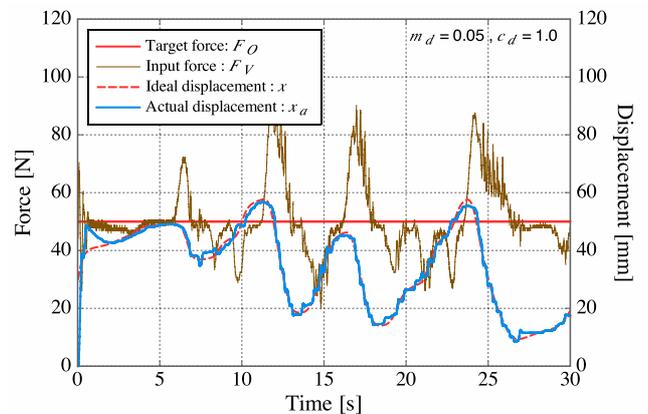


Fig. 6 Experimental result of admittance control

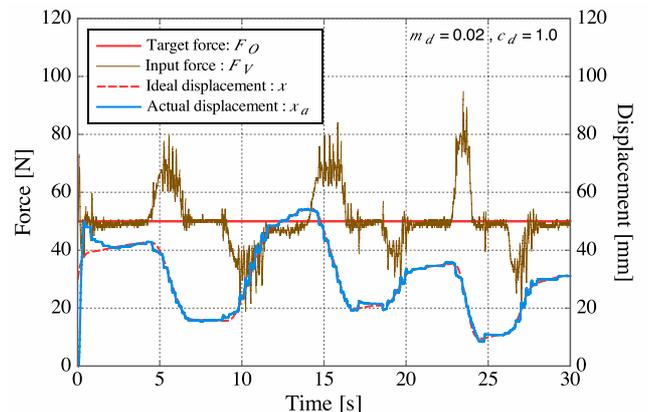


Fig. 7 Experimental result of admittance control

はじめに図6および図7より，目標免荷量からの増減に対して，変位目標値が変化していることがわかる．また，接触力は急激に変化しているのに対して，目標変位は若干緩やかに，かつやや遅れて変化していることもわかる．特に，図6のほうが変化が遅い傾向がある．この特性は設定した機械インピーダンス特性によるものである．

次に，収縮変位の制御応答結果をみると，ほぼ目標通りの応答が得られており，それぞれの実験において，設定したアドミッタンス特性をおおむね実現できていると考える．

またそれぞれの図より，負荷を変動させると力 $F_V$ が目標免荷量 $F_0$ から離れていることが分かる．特に図6の方が，目標とする免荷量 $F_0$ から離れているといえる．これは外力の与え方にもよるが，この挙動は設定した機械インピーダンス特性によるものであり，収縮変位が素早く変化することで比較的負荷変動は小さくなるといえ，その傾向が出ていると考えられる．人が歩行により体幹懸垂部を一定周期で上下させることを考えると，RLAMには強制変位が一定周期で与えられることになるので，人に対する反力をこのパラメータで調整できるといえる．

懸垂方向に負荷が増加することで，歩行者に対してサポート感などの安心感を与える可能性があると考えられるが，これら効果や評価について今後，調査を進めていく．

## 6. 結言

本研究では，RLAM 体重免荷システムにおける体幹懸垂機能について，アドミッタンス制御によりその実現の可能性を実験的に確認することができた．

また，パラメータの調整により，体幹懸垂の力パターンを調節できる可能性を有していることも確認できた．

今後，これらの機能を用いて実際に体幹懸垂動作を行い，パラメータと人の感覚に与える影響や効果について調査を行う予定である．

## 参考文献

- (1) B. Tondu, S. Ippolito, and J. Guiochet, A seven-degrees-of-freedom robot-arm driven by pneumatic artificial muscles for humanoid robots, *The International Journal of Robotics Research*, Vol.24, No.4, pp. 257-274, 2005.
- (2) 高岩昌弘, 則次俊郎, 正子洋二, 佐々木大輔, 空気式パラレルマニピュレータを用いた手首部リハビリ支援装置の開発, *日本ロボット学会誌*, Vol. 25, No. 8, pp. 1251-1258, 2007.
- (3) T. Noritsugu, M. Takaiwa, and D. Sasaki, Development of power assist wear using pneumatic rubber artificial muscles, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.21, No.5, pp. 605-612, 2009.
- (4) H. Kobayashi, T. Shiiba, and Y. Ishida, Realization of All 7 Motions for the Upper Limb by a Muscle Suit, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.16, No.5, pp. 504-512, 2004.
- (5) 山平勇貴, 齋藤直樹, 佐藤俊之, ラバーレス人工筋肉を用いた体重免荷システムの開発, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2015講演論文集*, 1A1-C05(1)-(4), 2015.
- (6) 齋藤直樹, 佐藤隆智, 小笠原隆倫, 佐藤俊之, 空気圧ラバーレス人工筋の開発, *日本フルードパワーシステム学会論文集*, Vol. 43, No. 4, pp. 102-108, 2012.
- (7) 武居直行, 野畑茂広, 藤本英雄, 安定した接触を実現するアドミッタンス制御手法, *日本ロボット学会誌*, Vol. 26, No. 6, pp. 635-642, 2008.