

伸長型アクチュエータを用いたポータブルリハビリテーション機器の開発

工学部 知能機械工学科 赤木徹也, 堂田周治郎, 下岡 綜 (赤木研究室)

- セールスポイント: ① 肩や腕のリハビリテーションが可能
 ② 駆動回路や制御弁を搭載したコンパクトな機器
 ③ アクチュエータの動きを阻害しない変位センサを使用

1. 研究目的

近年の急速な高齢化社会の進行に伴い、介護支援者の労働力不足が深刻な問題になっている。そのため、高齢者が致傷後の機能改善を自宅で行う、つまり、専門知識なしに使用できるホームリハビリテーション機器の開発が望まれる。本研究では、手に保持しながら肩や腕のリハビリができる軽量・コンパクトで可動域の広いリハビリテーション機器の開発をめざす。

2. ポータブルリハビリテーション機器

開発したポータブルリハビリテーション機器の構造と外観をFig.1、Fig.2 に示す。試作機器は、3本の伸長型柔軟アクチュエータとその変位を計測するためのワイヤ式のリニアポテンシオメータ、3つの流量制御型小型疑似サーボ弁、制御用のマイコンから構成される。3本のアクチュエータは軸中心から30mmの位置に120度毎に配置し、その両端は三角形のプレートに固定されている。また、アクチュエータの並列した配置が変わらないように40枚の拘束体が拘束している。試作機器の動作の様子をFig.3に示す。図より、各アクチュエータの変位を制御することで、任意の方向への湾曲や伸長動作が実現でき、患者が機器を両手で保持した状態で使用すれば、上肢のリハビリテーションが可能となる。

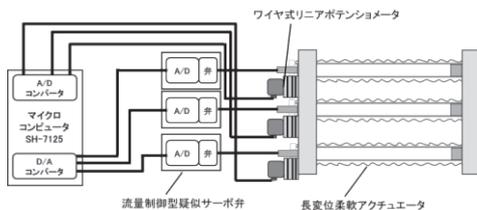


Fig. 1 リハビリテーション機器の構造

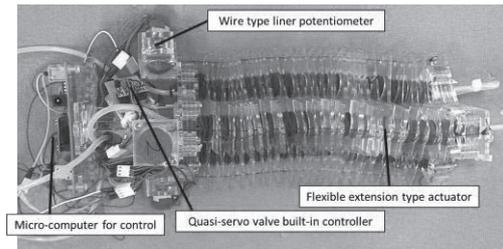


Fig. 2 リハビリテーション機器の外観

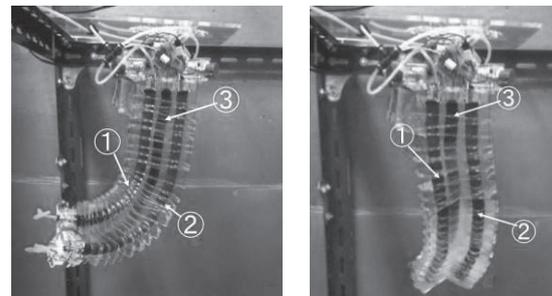
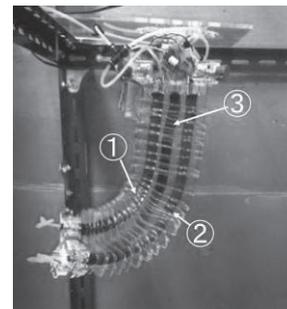


Fig.3 試作リハビリ機器の動作の様子

3. 応用例

試作したポータブルリハビリテーション機器は湾曲や伸長動作が可能で、自然長の2倍以上の変位を生じる可動域の広いリハビリ機器である。また、センサや制御弁、制御用コントローラを搭載したコンパクトな機器で、患者が恐怖を感じればすぐに手放せるなど、専門知識なしに家庭で使用できる利点がある。

柔軟リニアステッピングアクチュエータにおける空気圧チャックの改良

工学部 知能機械工学科 赤木徹也, 堂田周治郎, 小林 亘
江口裕哉, 福川展弘 (赤木研究室)

- セールスポイント: ① 人間親和性が高いソフトアクチュエータ
② サイズ・重量と比較して大きな発生力を有するソフトアクチュエータ
③ バックドライバビリティを有し、安全性が高いソフトアクチュエータ

1. 研究目的

医療介護、リハビリテーション分野での福祉機器に使用されるアクチュエータには、高い人間親和性と大きな発生力や変位が求められる。以前の研究で、柔軟なチューブを保持機構で持ち替えながら長変位で動かす空気圧駆動のリニアステッピングアクチュエータを開発した。このアクチュエータの発生力は保持機構の保持力に依存するが、保持機構の滑りによって理論値よりも小さな発生力しか得ることができなかった。そこで、滑りを生じにくい移動式のコアを有するチャック式保持機構を開発した。

ることを確認した。

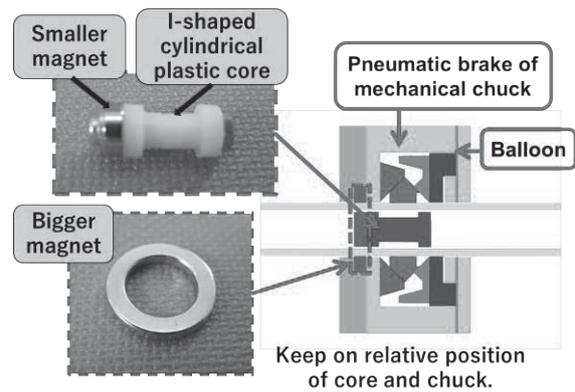


Fig. 1 コアを有する空気圧駆動式保持機構

2. 移動コアを有する空気圧駆動式保持機構

開発した保持機構をFig.1 に示す。この機構は2種類のリング状ネオジム磁石、I型円筒状の樹脂製コアとバルーンを利用した空気圧駆動式チャックで構成される。コアの先端部には円筒形磁石が接続され、チャックのついたステージに固定の円筒形磁石で、コアの磁石を引きつけることで、チューブがスライドした場合でも、コアはチャックとの相対位置を保つことができる。このチャック機構の動作原理をFig.2 に示す。空気圧がバルーンに供給されると、バルーンが膨らみ、チャックが傾斜板に沿ってチューブ中心方向へ押し出される。押し出されたチャックはチューブを変形させながらコアの溝にはまり、チューブの内側と外側の両方から保持する。実験から、無加圧時のコアとチューブ間の摩擦力は最大11.4Nと小さいにもかかわらず、試作保持機構を有するアクチュエータで、理論上の発生力と同じく、約260Nの力が得られ、滑りの生じない保持が可能であ

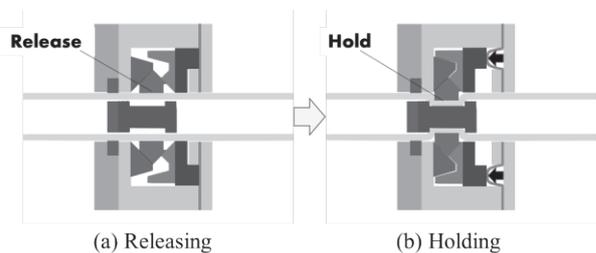


Fig. 2 試作保持機構の動作原理

3. まとめ

アクチュエータの保持機構として、磁石を利用した移動式のコアを有する空気圧駆動式チャックを提案・試作し、滑りの生じない保持が可能であることを確認した。また、この保持機構は無加圧時に、動作端である柔軟チューブを自由に動かせるバックドライバビリティ(逆駆動性)を有することを確認した。この保持機構を用いた柔軟アクチュエータは、大きな発生力や広い可動領域を有しており、リハビリテーション機器や柔軟ロボットアームなど人と接触する環境での使用に期待できる。

ウェアラブル手首リハビリテーション機器の開発と制御 -姿勢制御系の改良-

工学部 知能機械工学科 堂田周治郎, 加藤直熙, 赤木徹也, 小林 亘

- セールスポイント: ① 柔軟で人間親和性の高い柔軟空気圧シリンダの使用。
 ② 腕に機器を装着して, 場所を選ばず手首のリハビリテーションが可能。
 ③ 外乱オブザーバを用いた組込制御器による精度の高い姿勢制御。

1. はじめに

高齢者や身体障害者などの生活の質の向上から医療介護, リハビリテーション分野での福祉機器の重要性が増している. このようなシステムに使用されるアクチュエータは, 高い人間親和性が求められ, 安全で人体に優しいソフトアクチュエータの開発が必要である. 本研究室では, 柔軟なチューブを用いた柔軟空気圧シリンダを開発し, これを用いて手首のリハビリテーション機器を開発した. また, シリンダの摩擦や患者からの外乱の影響を軽減するため, 外乱オブザーバを用いた制御システムを開発し, 位置決め制御誤差が40%ほど改善された. 本報告では, この制御則を手首リハビリテーション機器の姿勢制御に適用した結果を述べる.

2. ウェアラブル手首リハビリテーション機器

開発したウェアラブル手首リハビリテーション機器の外観をFig.1に示す. 機器は3本の柔軟空気圧シリンダと2つの三角形のステージから構成され, 1つは下側のφ100mmの穴の開いたベースステージともう1つはハンドルのついた把持側のエンドステージである. エンドステージには中心からφ175mm, 120deg.の位置に柔軟空気圧シリンダのスライドステージを取り付け, 腕に固定するベースステージには3組のシリンダ端を接続している. ベースステージから患者の手を通しエンドステージのハンドルに手を固定し機器を動作させることで, 患者の手首に他動運動を加えることができる.

提案する制御方法のブロック線図をFig.2に示す. 図中の $r(t)$, $u(t)$, $d(t)$, $y(t)$, $e(t)$ はそれぞれ目標値, 制御入力, 外乱, 出力および偏差であり, $P(s)$, $P_n(s)$, $Q(s)$ はそれぞれシステム, シ

ステムのノミナルモデル, フィルタの伝達関数を示す. なお, L はむだ時間である. 本制御系は, 外乱を補償するための外乱オブザーバと目標値追従性のためのPID制御の2自由度制御系で構成される. また, 提案制御システムのむだ時間0.5sを試行錯誤的に求め, このむだ時間を補償するため外乱オブザーバにむだ時間補償器, PID制御にスミス補償器を付け加えている.

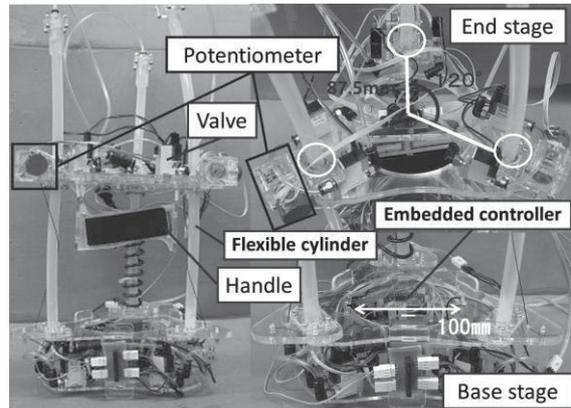


Fig. 1 手首リハビリテーション機器の外観

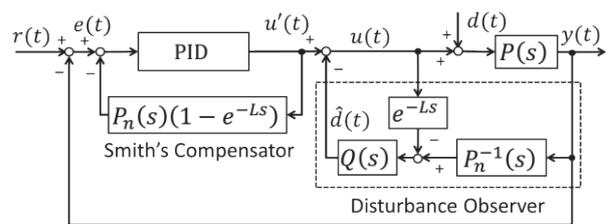


Fig. 2 提案する制御方法のブロック線図

3. おわりに

上記の制御系を安価な組込みコントローラ上で構成し, 提案する制御方法による姿勢制御実験を行った. その結果, 周波数0.1Hzの正弦波状の目標値に対して各シリンダが追従できることを確認し, 比較的良好な姿勢制御が可能な手首リハビリテーション機器が構成できた.

柔軟油圧シリンダを用いた可搬型リハビリテーション機器の試作

工学部 知能機械工学科 堂田周治郎, 玉木博章, 赤木徹也, 小林 亘, 松井保子

- セールスポイント: ① 電源のみで駆動可能な家庭で使用しやすいリハビリテーション機器
 ② 湾曲する柔軟なシリンダの位置を特別なセンサなしで制御可能
 ③ 使用者が危険を感じてもすぐに体から機器を離すことが可能

1. 研究目的

現在, 高齢化社会の進行に伴い, リハビリテーション機器の開発が盛んに行われている. このような機器に使用されるアクチュエータには, 高い人間親和性が求められる. 本研究室では, 安全で, 人体に優しいソフトアクチュエータとして柔軟な空気圧シリンダを開発し, リハビリテーション機器などに応用してきた. しかし, 空気圧アクチュエータはコンプレッサなどの空気源を必要とし, 家庭で用いる場合, 付帯設備を必要とする. そこで, 本報告では, 小型動力源を有した柔軟な油圧シリンダを提案し, 腕や肩などのリハビリテーションを行う可搬型リハビリテーション機器の開発について述べる.

2. 柔軟油圧シリンダ

可搬型リハビリテーション機器の基本となる柔軟油圧シリンダの構造をFig. 1に示す. 柔軟油圧シリンダは, シリンダに相当する柔軟チューブとシリンダヘッドに相当する1つの鋼球($\phi 9\text{mm}$), チューブに沿ってスライドできるスライドステージで構成される. チューブ内の鋼球($\phi 9\text{mm}$)は, 円周上に配置した12個の鋼球($\phi 3\text{mm}$)により両サイドから挟まれている. 動作原理は, まずポンプの駆動によりスライドステージを介した両圧力室の油が移動し, 圧力差が生じる. その圧力差によりチューブ内の鋼球が押され, それに伴い外側の12個の鋼球($\phi 3\text{mm}$)が押されてスライドステージが移動するというものである. スライドステージの移動量は油漏れがなければポンプの排出量すなわちポンプの回転角に比例する. そのためポンプの回転角を計測できれば, チューブが湾曲した状態

でもスライドステージの移動量がわかり, 制御可能である.

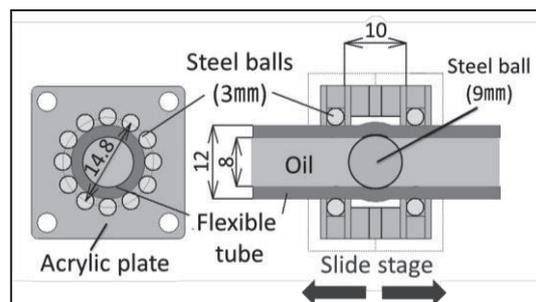


Fig. 1 柔軟油圧シリンダの構造

3. 可搬型リハビリテーション機器

試作シリンダを用いた可搬型リハビリテーション機器をFig.2に示す. アクチュエータはリング状に曲げた2本の柔軟油圧シリンダを直角に交差させてハンドル部に固定している. また, ハンドル部は各シリンダに接続された小型ギヤポンプを駆動させることでチューブ外壁を移動する. この機器は, ハンドル部を患者が両手で保持しながら動かすことにより, 腕や肩などを含む広範囲の他動動作を与えるリハビリテーションが可能である. また, 家庭用電源のみで駆動可能で, 患者が危険を感じた場合にすぐに手放せることから本質的な安全性を有している. つまり, 患者自身が自宅で使用できるホームリハビリテーション機器として有効である.

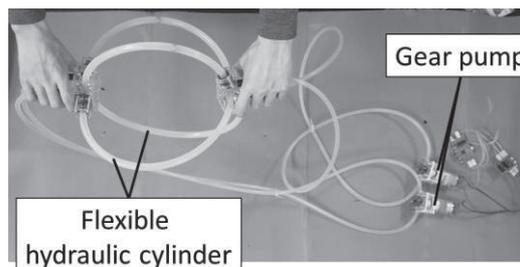


Fig. 2 可搬型リハビリテーション機器

McKibben 型ゴム人工筋の位置制御と外力推定法

工学部 知能機械工学科 藤本真作, 赤木徹也, 小林 亘, 矢野琢也 (藤本研究室)

- セールスポイント: ① McKibben 型人工筋の種類に関係なく制御できる
 ② McKibben 型人工筋の柔軟性へ与える影響が少ない
 ③ センサが安価である

1. 研究目的

現在、空気圧システムは安全でクリーンなエネルギー媒体としてロボット工学分野だけでなく、医療・福祉分野などで幅広くその利用価値が認められつつある。一般に、空気圧（駆動）システムは電気式モータに比べ柔軟で人間親和性に優れており、出力対重量比にも富んだアクチュエータの実現に寄与している。その一方で、位置や力の高精度な制御が難しいという大きな問題を抱えている。そこで、空気圧で駆動するMcKibben型ゴム人工筋とHall効果（磁気）センサを一体化した変位センサ内蔵型空気圧人工筋の開発と制御を行っている。

2. 変位センサを内蔵したゴム人工筋と制御

開発した変位センサの構造をFig.1(a)に示す。これは、シリコンチューブに磁気シートを貼り付け、Hall効果センサで人工筋の外径を計測することで、その変位を推定するものである。

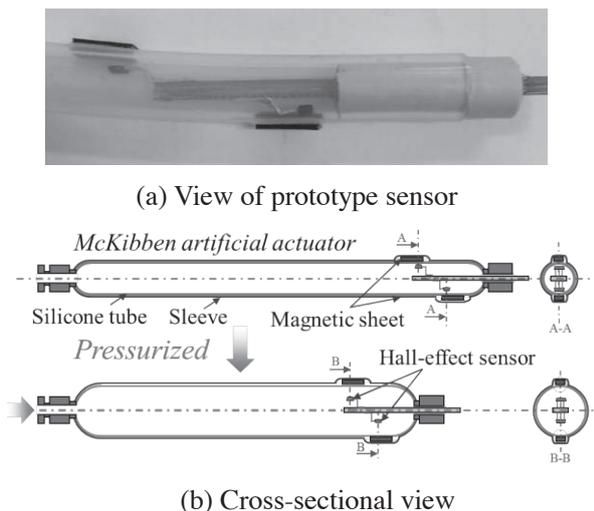


Fig.1 Artificial muscle with displacement sensor

動作原理はMcKibben型ゴム人工筋を加圧するとその直径が膨張し、スリーブによる物理的な（パンタグラフ式の）拘束で軸方向に収縮

するというものである。この原理に基づいて人工筋の直径を計測すれば、その変位が推定できる（Fig.1(b)参照）。このセンサの利点は、人工筋自体の柔軟性を損なわない、物理拘束による計測法であるため荷重に依存しにくい、ヒステリシスが生じにくい、などが挙げられる。

本センサの有効性を確認するために実験装置を用いて、リニアポテンシオメータの値と比較を行った。その結果、推定精度（標準偏差）はおよそ1.0mmであった。この値は決して良い計測精度とは言えず、更なる高精度化が望まれるものの、人を対象としたデバイスには使用可能なケースがあると考えている。

最後にそのセンサを用いたMcKibben型ゴム人工筋の位置制御を行った。その制御結果をFig.2に示す。約2.0kgの負荷を人工筋に加えているにも関わらず0.5Hzの応答に追従していることが確認できた。

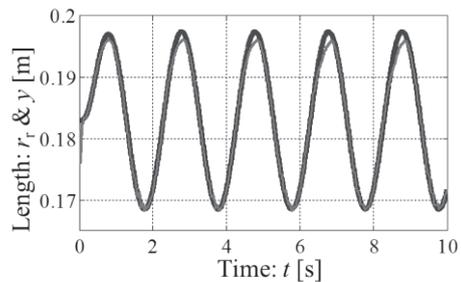


Fig.2 Experimental result (Weight: 19.6 N)

3. 応用先

開発した変位センサ内蔵型空気圧人工筋は、それに加えられた負荷を推定することが可能であり、パワーアシストやリハビリテーション機器などに応用できると考えられる。またセンサ自体も、構造が簡単で、小型軽量なうえ人工筋の柔軟性を損なうこともない。安価、速応性に優れ、福祉支援機器などの分野に限らず広い分野での利用が期待できる。

空気圧柔軟アクチュエータによるアクティブ補装具の開発

工学部 知能機械工学科 藤本真作, 赤木徹也, 小林 亘, 宇野加余子 (藤本研究室)

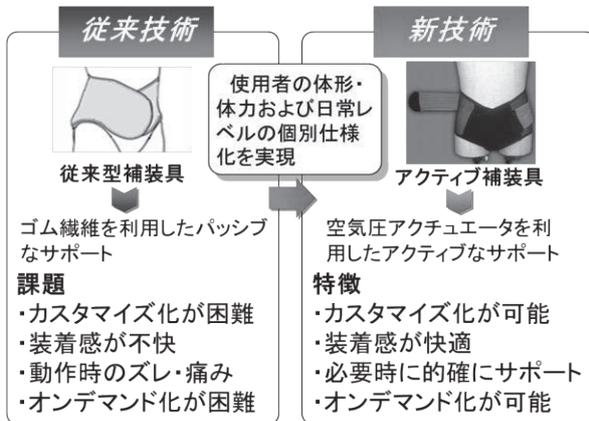
- セールスポイント: ① 人間親和性が高い
 ② 空気圧柔軟アクチュエータの応用範囲が広い
 ③ コストパフォーマンスが良い

1. 研究目的

高齢者などの身体的・精神的負担を軽減化するために、使用者の個別仕様化を実現した腰部アクティブ補装具の制御アルゴリズムの開発を目指す。その主な目的は、装具に必要なセンサやアクチュエータを開発し、アクチュエータ群によって制御されるアクティブ補装具の群制御方法のソフト面での基礎を確立することである。そして、この方法を空気圧アクチュエータの群管理技術への適用を試み、空気圧アクチュエータ群のカスタマイズやオンデマンド知的制御技術の基盤を形成したいと考えている。

2. 試作する腰部アクティブ補装具

2.1 従来技術との相違



2.2 アクティブ補装具の構造

アクティブ補装具の構造は、腰部の適切な締め付けを実現するための繊維拘束アクチュエータ (PRA: Pneumatic Rubber-fiber constricted Actuator) の本体と、前屈・側方動揺の制限やズレ落ち・ズレ上がりを防ぐ X ベルト (繊維状アクチュエータ) による 2 重締めの構造を有している (Fig.1 参照)。これまでにアクティブ補装具のプロトタイプ V を試作し、体圧を検出するための腹部用体圧センサがサポート本体と身体間に装備されている。

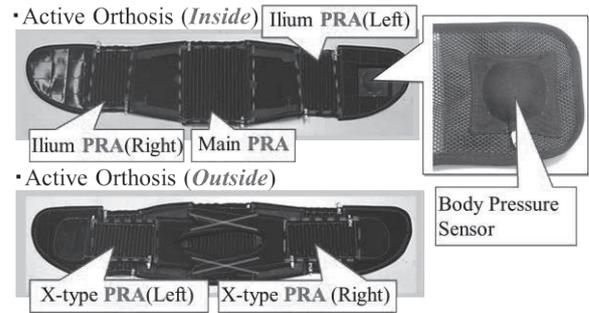
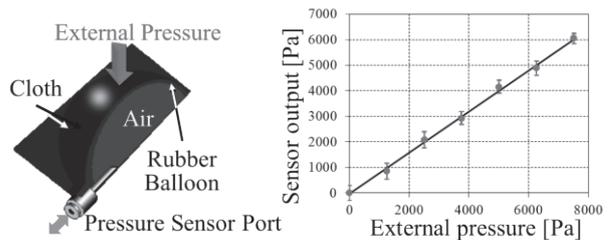


Fig.1 Prototype of Active Orthosis

2.3 腹圧用体圧センサについて

試作した腹圧用体圧センサの構造を Fig.2(a) に示す。その内部構造は、円形に縫われた 2 枚の布に、ゴム製のバルーンを挿入した簡単なものである。計測原理はバルーン内に初期圧力 7kPa の空気を注入し、センサに加えられた外部 (腹部) の圧力を圧力センサで計測する。その計測結果の一例を Fig.2(b) に示す。ただし、縦軸は初期圧力を差し引いた値となっており、外部圧力を線形的に計測できることがわかった。



(a) Structure of Sensor (b) Sensor Characteristics

Fig.2 Body Pressure sensor

3. 応用先

試作したアクティブ補装具は、腰部以外のパワーアシスト用アクチュエータとして使用可能であり、開発した繊維拘束アクチュエータ (PRA) は、多くの分野に応用可能な要素技術になると考えられる。

なお、本研究は科研費・基盤研究 (C) (17K01598) の助成を受けたものである。

股関節機構を用いた 2 足歩行ロボットの 3 D 準受動平地歩行

工学部 知能機械工学科 藤本真作、衣笠哲也、村井秀伍、末光智晴 (藤本研究室)

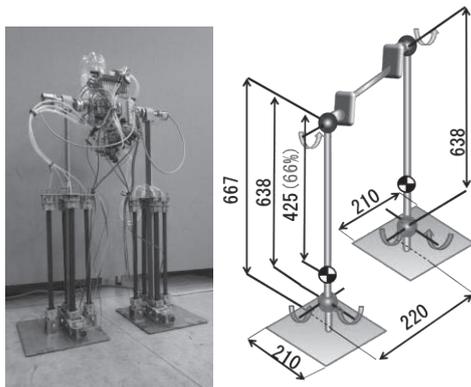
- セールスポイント： ① 扁平足によって平地歩行できる 2 足歩行ロボット
 ② 単純な股関節機構である
 ③ 1つのモータで両足を駆動している

1. 研究目的

現在の 2 足歩行ロボットには、よりエネルギー効率の高い歩行の実現が求められている。その要求を満たすため、ロボットの動特性を利用した歩行すなわち、制御入力が必要としない受動歩行が注目されている。一般に、受動歩行機の足には円弧足が多く適用され、斜面上での歩行を想定している。そこで、本フォーラムでは、扁平足を有する足関節部に拮抗駆動型ゴム人工筋を配置し、関節剛性が一定になるようにパンプに制御を行う。また腰部（股関節部）は DC モータを用いてアクティブに駆動させ、2 次元的な股関節軌道を生成することによって、平地での 3 D 準受動歩行を目指している。

2. 試作した 2 足歩行ロボットと歩行実験

Fig.1 は試作歩行ロボット「転歩」伍号機の全体構造と寸法を示したものである。体高 667mm、総重量 6.0kg(片脚 1.45kg)である。



(a) TENBU (Prototype 5) (b) Structure and size
 Fig.1 Quasi-passive dynamic walker(Prototype 5)

「転歩」伍号機は 2 つの脚と股関節軸から構成されており、McKibben 型ゴム人工筋が足関節部の矢状面と前額面にそれぞれ拮抗に配置されている。本ロボットは空気源と電源を装備しているうえ無線通信 (ZigBee 規格) が可能なためロボット単体で歩行実験が可能である。

2. 1 腰関節駆動システム

本研究で試作されたロボットは 2 つの脚と股関節軸から構成されている。ヒトは腰関節の 2 つの動きによって 3 次元的な股関節の運動を実現している。しかしながら、Fig.2 のように主軸と股関節部を 10mm ずらした構造とすることにより、股関節部を上下と前後方向に移動させることができる。

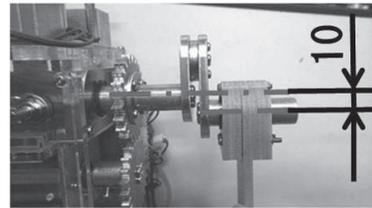


Fig.2 Prototype of waist joint shaft

2. 2 腰関節駆動による平地歩行

股関節の運動の有効性を確認するため、人工筋の内圧は矢状面、前額面ともに一定に制御するのみである。股関節軸の回転速度は、片脚の固有振動周期に合わせて決定した。Fig.3 に実験の様子を示す。

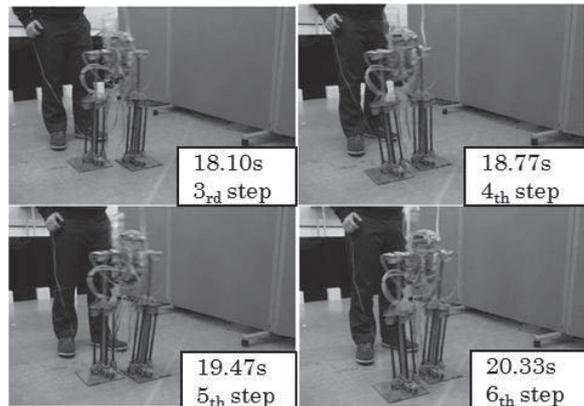


Fig.3 Experimental results of walker with waist

3. 応用先

開発した 2 足歩行ロボットは、扁平足を有しており、単純な入力によって歩行が実現されているため、ヒューマノイドロボットへの適用や人の歩容解析に応用できるものと期待される。