

第24回フルードパワー国際見本市



## 空気圧セミナー

(一社) 日本フルードパワーシステム学会  
セミナー配布資料



2014年9月18日(木)

13:00~15:50

お台場・東京ビッグサイト

IFPEX 会場内特設会場

## 目次とプログラム

13 : 00-13 : 50

演題 : 空気圧の特徴とスポーツ器具への利用

1 頁

講師 : 小山 紀

所属 : 明治大学 理工学部機械情報工学科 専任教授

概要 : 空気は絶えずヒトと接する流体として、特別な意味を持つ。従って空気媒体は血圧計測など、ヒトの生活で必然的に使われており今後も利用分野は増す。本講では空気圧の特徴を示し、その利用例としてスポーツ機器を取上げ、ボールを浮遊静止させるバッティングマシンを紹介する。

14 : 00-14 : 50

演題 : 空気圧の医用への利用

3 頁

講師 : 川嶋 健嗣

所属 : 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 教授

概要 : 空気圧の医療機器への応用事例として、研究開発を進めている低侵襲外科手術を支援する内視鏡操作システムと力覚提示機能を有するマスタスレーブ型の手術支援ロボットシステムを紹介する。

15 : 00-15 : 50

演題 : 空気圧の介護への利用

4 頁

講師 : 吉満 俊拓

所属 : 神奈川工科大学 創造工学部ロボットメカトロニクス学科 准教授

概要 : 介護・福祉目的ロボット動向・事例の紹介を行う。あわせて、介護ロボットの特徴である、構造自体の柔らかさ・冗長機構・動作の柔軟性を実現するための機構、システム、センシング技術について紹介する。

<http://www.jfps.jp/ifpex2014/seminar.html>



ティーバッティングという野球練習法がある。一般にはゴムパイプを軸が鉛直方向になるように立てて、上に乗せたボールを打撃する。静止したボールを打つのが打撃練習の基本なのだそう。打撃の際ゴムパイプが気になるのか、あるスポーツ器具メーカーから空中でボールを浮遊静止させるべく私に共同研究の依頼があった。先のマグナス効果を使った浮遊ではボールが勢よく回転してしまう。ティーバッティングは回転しない静止ボールを打撃するのが基本だ。真下からジェットを吹いて浮遊させられないか。この場合ボールは抗力だけで支えるので力の三角形はできない。抗力と重力の中心が少しでもずれると、ボールはジェットから外れそうである。

口にくわえた煙草のパイプのような器具から、上向きに息を吹いて玉を浮かせる玩具「吹上げパイプ（以後吹上げ）」がある。図4は吹上げのノズルから文字通り吹上られて玉が浮遊している。どのようにして玉の浮遊位置を安定化しているのか。ジェットの吹き出しノズルを上から見たのが図4である。小さな穴が円環状に配置されていて、穴から吹上げられるジェットも環状に並ぶ。それぞれの穴からのジェットは軸方向に対し広がりながら上がるから、環状内部にある玉の位置がずれるとずれた側のジェットに押し戻され、環状内側に拘束され安定する。ただしこの方式ではジェットの大半は玉を素通りするので、玩具用の軽い玉はともかく、重い野球ボールを浮上させるには効率が悪すぎる。硬式野球用ボールの重さは規定では140gから150gもあるが、玩具の玉はわずか2gしかない。

一本のノズルでは不安定になるか。前述のように抗力だけでボールの重さを支えるので力の三角形はできない。しかし力のつり合いは存在し、ボールはこの位置に安定して浮遊する。力のつり合いを鉛直方向と水平方向に分けて説明する。ジェットは周囲の空気と摩擦するため、勢いを失い拡散しながら鉛直方向に進む。したがってジェットから受ける抗力はボールが上にあるほど小さく、逆に下にあるほど大きいため、ボールは重さと同じ位置に静止する。

水平方向については、ボールがジェットの中心からずれたとき、例えば左側にずれたらボールの右側を流れるジェットの方が強くなり、ボールの後ろ側ではジェットが左回転してボールを回り込むようになる。すなわちボールがずれたときだけマグナス効果が働き、元の方向に引き寄せる力が発生する。

空中に浮遊させる原理は以上の通りであるが、なにせ重い硬式野球ボールである。メーカーは実用化に苦労したようである。やがて図5のように空気圧浮遊式ティーバッティングマシンは完成した<sup>1)</sup>。図の下側に見える丸い穴がジェットノズルで、硬式野球ボールが浮遊している様子がわかる。もちろん軟式ボールも使える。

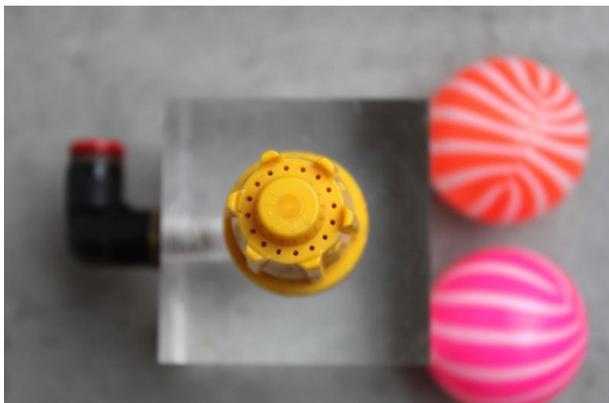


図4 玩具「吹上げ」のノズル部（周辺の円環状穴列）

ボールはノズルから15cm以上離れているので、ノズルを気にせず打撃できる。もっともノズルおよびノズル支持部分はゴム製なので間違えて打撃しても（手も機械も）大丈夫である。ボールは機械上部のフィーダにストックされており、左下のスイッチを足かバットで触れば、上側に見えるアームが次のボールをジェットの上に乗せていく。前のボールがジェットの上で浮遊したまま残っているとき、次のボールが運ばれてきたらどうなるか、早速試したらアームが来たとき前のボールの下でジェットを遮るため、次のボールが浮上すると同時に前のボールは下に落ちた。図6は実際にティーバッティングをしているところである。器具の高さは脚部のアングルにより調整できる。



図5 完成した器具でボールを浮上  
（株）エム・アール・コーポレーション提供



図6 ティーバッティングをしているところ  
（株）エム・アール・コーポレーション提供

#### 4. おわりに

空気は人（この場合ボールも）の周りに絶えず存在する唯一の媒体である。この媒体を使って操作できる対象は無数存在する。生活空間での空気圧の利用は、今後益々盛んになることを確信している。

#### 参考文献

- 1) 小山 紀: 空中浮遊するボールを打つティーバッティングマシン, 油空圧技術, Vol.51, No.6, p.21-24(2012)



## 空気圧の医用への利用



川嶋 健嗣

東京医科歯科大学 生体材料工学研究所  
〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台 2-3-10  
E-mail: kkawa.bmc@tmd.ac.jp

1997年東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。その後、東京都立工業高等専門学校校助手を経て、2000年東京工業大学精密工学研究所助教授、2013年東京医科歯科大学生体材料工学研究所教授、現在に至る。博士(工学)



図1 空気圧駆動を用いた手術支援ロボットシステム

### 1. はじめに

空気圧アクチュエータは、柔らかさを有している、質量対出力比が高い、磁場の影響を受けないなどの利点を有している。特に空気圧駆動が比較的大きな力を出せることから減速機が不要である。つまり直接駆動が可能であり、これによって出力側に作用する力が入力側に伝わるバックドライバビリティを有している。この特徴に着目して、著者らは外科手術を支援するロボットに空気圧駆動を用いた研究開発を実施している。

### 2. 空気圧駆動を用いた外科手術支援ロボット

マスタ・スレーブ型の手術支援ロボットのスレーブ側鉗子マニピュレータに空気圧駆動を採用した図1に示す力覚提示機能を有するコンパクトな遠隔手術支援ロボットシステムを東工大只野研と開発し、その評価を実施している<sup>1)</sup>。任意の位置、姿勢に鉗子先端を操作可能とするため、マスタ、スレーブ両側とも6つの独立した関節(6自由度)を有している。操作者が両手で左右のマスタデバイスを操作すると、それに同期してスレーブ側の左右の鉗子が動くシステムとなっている。スレーブ側両鉗子の間から3D内視鏡(市販品)を挿入し、術者は3Dモニターあるいはヘッドマウントディスプレイで3Dの体内映像を見ながら操作する。自分の手があたかも体内にあるような直感的な操作感が得られる。また、マスタ・スレーブ間の操作量の比率は任意に設定できる。

スレーブ側は大きく、グリップを含む3自由度を有する鉗子マニピュレータとそれを保持する4自由度保持マニピュレータから構成される。鉗子マニピュレータは体内に挿入することから、外径12mm以下であること、また鉗子先端に把持機構と2つの独立した関節を有することが求められる。そこで、弾性体や連続体を主構造とする柔軟関節は、剛体リンク機構に比べはるかに構造が単純であることに注目し、鉗子先端の2自由度に弾性体を用いている(図2)<sup>2)</sup>。この弾性体に4本のワイヤを通し、根元に配置した4本の空気圧シリンダと連結し、これを空気圧サーボ弁で制御することで、拮抗駆動によって2自由度の屈曲を実現している。

保持マニピュレータは基準姿勢で250mm×200mm×80mmの直方体に収まる程度の大きさとなっており、アーム本体の重量は0.98kgとコンパクト化と軽量化を実現している。挿入ポートの位置を中心とする回転3自由度および鉗子マニピュレータの挿入方向の並進1自由度の計4自由度を有している。

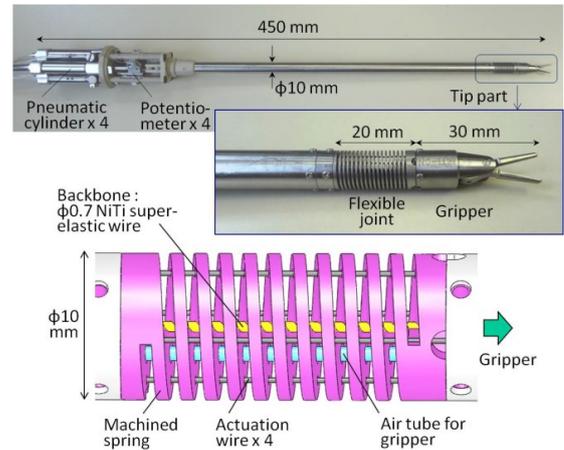


図2 空気圧駆動鉗子マニピュレータ

挿入ポート周りの回転には平行リンクを用いたRCM (Remote Center of Motion) 機構を採用している。左右および鉗子の回転は、空気圧ベーンモータの回転をタイミングベルトで伝達することにより実現している。上下の回転の回転はスライダクランク機構によって空気圧シリンダの直動を回転に変換している。前後の動作は空気圧シリンダの直動をそのまま利用している。いずれの軸も空気圧サーボ弁で制御されている。現在、東京医科歯科大学低侵襲医学研究センター他の協力を得て、定期的な動物実験を実施し、実用化に向けてシステムの改良を行っている。

### 3. おわりに

空気圧の医療分野の展開事例として、外科手術を支援するロボットシステムを紹介した。空気圧駆動の利点を活かすことで、今後さらに医療分野に貢献できると考えている。

### 参考文献

- 1) K. Tadano, K. Kawashima, Development of a Master Slave System with Force-Sensing Abilities Using Pneumatic Actuators for Laparoscopic Surgery, Advanced Robotics, Vol.24, No.12, p.1763-1783 (2010)
- 2) 原口大輔, 只野耕太郎, 川嶋健嗣: 柔軟関節を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発(関節構造および理論モデルの改善による性能向上), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.44, No.6, p.8-15 (2013)



# 空気圧の介護への利用



**吉満 俊拓**

神奈川工科大学創造工学部  
〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030  
E-mail: yosimitu@rm.kanagawa-it.ac.jp

2000年明治大学大学院博士後期課程修了 同年神奈川工科大学工学部助手。現在は創造工学部准教授。空気圧制御システム・空気圧を用いた福祉・防災機器の研究に従事。博士(工学)

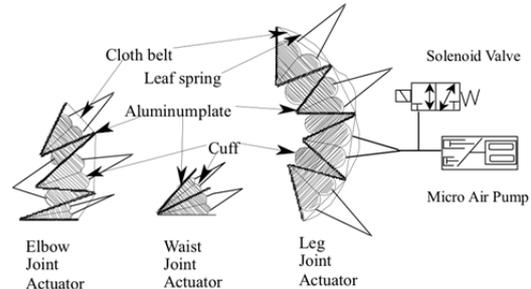


図1 ダイレクトドライブ・エアアクチュエータ

## 1. はじめに

介護や福祉の分野ではニーズに合った福祉機器の開発が重要な課題となっている。介護・福祉機器に用いる最適な動力源を選択する条件として

- ・人体に直接作用するので、排気や汚染の危険性がないもの
- ・人間特有の動作に対応できる、柔軟な動作が可能なもの
- ・コンパクトな機構で、保守作業が容易に行なえるものが挙げられる。

そうした特徴を有する流体を媒体とするアクチュエータ、特に空気アクチュエータの持つ柔軟性に注目した研究が積極的に進められている。

空気圧アクチュエータは

- ・圧縮空気を作動流体としているため、外部への漏れが人体に対して危険性はない
- ・圧縮性を積極的に利用することで人間の動作に対応して柔軟な動きが可能である
- ・小型、軽量化しやすい

といったように、人に接する福祉機器に適する利点を有する。

従ってエネルギー効率とパワー源の問題を除けば、福祉機器においては空気圧制御機器の持つ特徴である高い出力-重量比、システムの単純さ、メンテナンスの容易さ、廉価性が十分に生かされる場面が多いものと予測される。

福祉機器のアクチュエータとして空気圧アクチュエータを利用することが最適と考えられる。

以下に介護ロボットの特徴である、構造自体の柔らかさ・冗長機構・動作の柔軟性を実現するための機構、システムについて紹介する。

## 2. 介護・福祉機器における空気圧システム

### 2.1 ダイレクトドライブ・エアアクチュエータ<sup>1)</sup>

介護者が直接身に付けるパワーアシストスーツの完全ウェアラブル化を実現するために、マイクロエアポンプにより直接駆動される圧力カフを薄板に挟み込んだアクチュエータが開発されている。図1に示す様に複数枚の薄板をジグザグに接続し、薄板の間に圧力カフを挟み込んだ構造・複数の薄板の片端のみを平ベルトにより継ぎ、薄板の間に挟み込んだ構造など、介護者のアシストが必要な部位に合わせた形状・可動範囲を有する構造である。

### 2.2 空気圧アシストレッグ<sup>2)</sup>

足底に設置した圧力センサ信号により、歩行状態を把握しアクチュエータとして利用しているロッドレスシリンダに空気圧を供給し伸縮させる。シリンダは膝関節装具の側部に取り付けられており、シリンダの伸縮に伴い膝の屈曲・伸展を支援するシステムである。

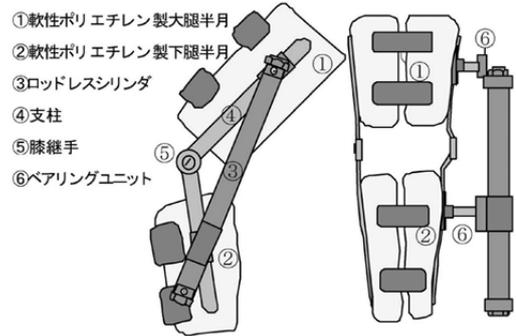


図2 空気圧歩行支援装具

## 3. おわりに

介護・福祉機器に求められる安全性と耐環境性および使用環境への安全性を保障する技術として、空気圧を用いた介護・福祉システムは優れた特性を有するものと考えられる。制御性では空気圧シリンダが最も優れているが、高出力のためには大きな断面積を必要とするため、組み込んだ機構が重くなってしまう。この問題を解決するために、用途に最適な動きを実現するロータリー型、湾曲・屈曲型、浮上・移動型などの柔軟なアクチュエータを開発する必要がある。

介護・福祉機器が使用される場所や条件を考慮すれば、高い出力/重量比、出力/体積比を生かすための高いエネルギー効率を持つ空気圧源の開発が求められる。

### 参考文献

- 1) 山本圭治郎, 石井峰雄, 兵頭和人: パワーアシストスーツの開発, D&D2010, 649-1-4, (2010)
- 2) 峯尾 昌希, 小山 紀, 吉満 俊拓: 空気圧歩行支援システムの開発, 福祉工学シンポジウム講演論文集, 147-150, (2005)