

日本フルードパワーシステム学会誌

JOURNAL OF THE JAPAN

FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

フルードパワー システム

Sep.2017 Vol.48 No.5

日本フルードパワーシステム学会論文集

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

特集「人に優しいフルードパワーの
最新技術」

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

目次

特集「人に優しいフルードパワーの最新技術」

【巻頭言】

「人に優しいフルードパワーの最新技術」発行にあたって 上野 朝嗣 242

【解説】

バイオメカニクスの観点からの快適な枕 木村 仁, 倉元 昭季, 伊能 教夫 243

空気圧を利用した柔軟な線形状システムとその医療応用 西川 敦, 岩本 憲泰 247

空気圧アクチュエータを用いた力覚呈示装置の開発

～負圧を用いた受動型力覚呈示の提案～ 高岩 昌弘 251

レスキュー用アシストスーツ 吉満 俊拓 255

パワーアシストスーツ 山本圭治郎 258

空気圧アシストレッグ 小山 紀 262

人に優しい機械としての油圧手術台 津森 摂 265

空気圧要素を用いた鬱血褥瘡防止マットの開発 早川 恭弘 269

低圧駆動型空気圧人工筋を用いたアンブラグド・パワード・スーツ 栗田 雄一, 小川 和徳 274

【会議報告】

IFPE2017出展報告 高橋 誠 277

ICFP2017におけるフルードパワー技術研究動向 田中 豊 279

【トピックス】

特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…改良構想から分類を考える1 木原 和幸 281

フルードパワー設計者のためのグローバルスタンダード 第5回 環境負荷物質対応と主要な化学物質規制 北村 剛 285

【研究室紹介】

横浜国立大学佐藤研究室の紹介 佐藤 恭一 288

【企画行事】

平成29年春季講演会併設セミナー「フルードパワーに役立つセンシング技術」 桜井 康雄 291

【会告】

日本フルードパワーシステム学会平成29年度受賞候補者募集	295
一般社団法人日本フルードパワーシステム学会（JFPS）フェロー認定者推薦のお願い	296
平成29年度オータムセミナー	
「ロボティクス分野におけるフルードパワー活用の現状と今後について」	296
共催・協賛行事のお知らせ	297
その他	294, 298, 299, 300

■表紙デザイン：山本 博勝 株豊島

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-22 機械振興会館別館102

TEL：03-3433-8441 FAX：03-3433-8442

E-Mail：info@jfps.jp

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

Special Issue "The Newest Technology of the Fluid Power which is kind to a person"

[Preface]

On the Special Issue "The Newest Technology of the Fluid Power which is kind to a person"	Tomotsugu UENO	242
---	----------------	-----

[Review]

Biomechanical Study of Comfortable Pillow	Hitoshi KIMURA, Akisue KURAMOTO, Norio INOU	243
Flexible Line-shape System using Pneumatic Pressure and its Medical Application	Atsushi NISHIKAWA, Noriyasu IWAMOTO	247
Development of Force Display Device using Pneumatic Actuator		
~Aproposal of Passive Force Display using Negative Pressure~	Masahiro TAKAIWA	251
Assist Suit for Rescue crew	Toshihiro YOSHIMITSU	255
Power Assist Suit	Keijirou YAMAMOTO	258
Pneumatically Actuated Assist Leg	Osamu OYAMA	262
Hydraulic Surgical Table as a Friendly Machine for a Person	Osamu TSUMORI	265
Development of a Congestion Prevention Mat using Pneumatic Elements	Yasuhiro HAYAKAWA	269
Unplugged Powered Suits with Pneumatic Gel Actuators	Yuichi KURITA, Kazunori OGAWA	274

[Conference Report]

IFPE 2017 Exhibition Report	Makoto TAKAHASHI	277
Research Trend of Fluid Power in ICFP2017	Yutaka TANAKA	279

[Topics]

Investigation of the Patent Documents/Japan Platform for Patent Information		
...Consideration of Classification from Improvement Plan-Part 1	Kazuyuki KIHARA	281
Global standards for fluid power designers Part 5. Support for Environmentally Hazardous Substances and Chemical Substances Regulations		
	Takeshi KITAMURA	285

[Laboratory Tour]

Introduction to Sato Laboratory, Yokohama National University	Yasukazu SATO	288
---	---------------	-----

[JFPS Activities]

Report on JFPS Spring Seminar "Sensing Technology Useful for Fluid Power"	Yasuo SAKURAI	291
---	---------------	-----

[JFPS News]

294, 295, 296, 297, 298, 299, 300

巻頭言

「人に優しいフルードパワーの最新技術」発行にあたって

著者紹介



うえ の とも つぐ
上 野 朝 嗣

CKD株式会社
〒480-0102 愛知県丹羽郡扶桑町大字高雄字南郷356
E-mail: t-ueno@ckd.co.jp

2002年CKD株式会社に入社。空気圧シリンダの設計、開発に従事。日本フルードパワーシステム学会の会員。

高齢化率世界第一位である日本において、生産年齢人口の減少による人手不足は近い将来必ずやってくる不可避な現象である。労働者の高齢化も進むため、職場環境においては今まで以上に省人化や、人をサポートする環境を整備する必要が生じていくと考えられる。さらに介護、医療現場の人手不足はより一層深刻で、どの様に解消していくかは社会の大きな関心事のひとつとなっている。

大学や企業では多くの介護・福祉機器や助力装置等の研究開発が行われているが、その動力源としてフルードパワーが選択されているケースは少なくない。空気圧であればその柔軟性が人体に直接作用する際に有利であり、また万が一流体が漏れた場合でも危険や汚染もないことから、安全面、衛生面でも有利である。油圧であれば高推力をコンパクトな装置で実現できる等、これらのフルードパワー特有の特徴が、介護・福祉機器や助力装置の研究開発に活用される所以であろう。

そこで本特集号では、「人に優しいフルードパワーの最新技術」と題し、フルードパワーの特徴を活用した最新の「人に接して使用される器具や、機器」を紹介することとした。

医療・福祉関連の記事として、西川敦氏ら（信州大学）には、医療応用を念頭においた「線形状」の柔軟な空気圧システムの開発事例について解説いただいた。

伊能教夫氏ら（東京工業大学）には、空気圧制御で自動的に快適形状に変形する枕について解説いただいた。

高岩昌弘氏（徳島大学）には、リハビリテーション等への応用が期待できる負圧による摩擦力制御を利用した力覚呈示装置について解説いただいた。

津森摂氏（ミズホ株式会社）には、油圧システムを用いた電動油圧手術台について、患者や術者に対する様々な利点を、実例を交えて解説いただいた。

早川恭弘氏（奈良工業高等専門学校）には、寝たきりの高齢者及び介護者の負担も軽減する介護用アクティブセンシングマットの開発について解説いただいた。

スーツ型助力装置関連の記事として、吉満俊拓氏（神奈川工科大学）には救助作業の身体的負荷の軽減、怪我の防止を目的とした下肢部のアシストスーツについて解説いただいた。

山本圭治郎氏（神奈川工科大学）には、ベローズを内蔵したエアシリンダアクチュエータを用いることで実用性を高めたパワーアシストスーツについて解説いただいた。

小山紀氏（明治大学）には、ゴム人工筋を用いたニュートラル機構を持たせることで、違和感の少ない歩行支援装置について解説いただいた。

栗田雄一氏ら（広島大学）には、低圧駆動型空気圧人工筋を用いることで、電源やエアタンクを使用せずにアシストが可能となる歩行支援スーツについて解説いただいた。

末筆ながら、ご多忙のなかご寄稿いただいた執筆者の皆様に厚く御礼申し上げます。本特集号を通じて読者の皆様にフルードパワーが身近でも活用されるものであることを知っていただくのと同時に、フルードパワーのその可能性も感じて頂ければ幸いです。

（原稿受付：2017年7月27日）

解説

バイオメカニクスの観点からの快適な枕

著者紹介



木村 ひとし

東京工業大学工学院
〒152-8552 目黒区大岡山2-12-1 I3-14
E-mail: kimura@mech.titech.ac.jp

2004年東京工業大学大学院工学研究科機械宇宙システム専攻博士課程修了。同大学助手、助教。現在に至る。水力学的骨格を利用した流体駆動の柔軟袋状構造による機械システムの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。



倉元 あき

東京工業大学大学院工学研究科
〒152-8552 目黒区大岡山2-12-1 I3-14
E-mail: kuramoto.a.aa@m.titech.ac.jp

2012年東京工業大学大学院工学研究科機械制御システム専攻修士課程修了。2013年同専攻博士課程進学。現在に至る。バイオメカニクスの観点からの睡眠に関する研究に従事。日本機械学会などの会員。



伊能 のりお

東京工業大学工学院
〒152-8552 目黒区大岡山2-12-1 I3-14
E-mail: inoue@mech.titech.ac.jp

2004年東京工業大学大学院工学研究科機械宇宙システム専攻博士課程修了。同大学助手、助教。現在に至る。水力学的骨格を利用した流体駆動の柔軟袋状構造による機械システムの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。

1. はじめに

睡眠は生活を送る上で必要不可欠な行為である。これまで睡眠に関する研究は主に医学、薬学的見地から行われてきたが、力学的要素を考慮したバイオメカニクスの観点からの研究例は少ないと言える。このため寝具が人体に対してどのような力学的支持状態を実現することが寝心地の向上につながるかという定量的基準についての見解はほとんど未知である。この理由から、既存のベッドや枕は個人ごとの体型などの差異に常に適切に対応できているとは言えず、ある寝具がある人にとっては快適だが他の人には快適でないという例も珍しくない。

このような背景から、本研究ではバイオメカニク

スの観点から人体の適切な支持状態に関しての知見を得て、個々人に応じた寝具の形状や物性を導出する定量的基準を確立することを目的としている。この一環として、本報告では寝心地に関して重要な影響を与える寝具である枕に注目する。複数の対象について頭部の形状を調査し、官能評価によって各人が快適あるいは不快と感じる枕形状との関係について議論する。

2. 後頭部形状測定

2.1 後頭部形状測定装置

人間は睡眠中の時間のほとんどを仰臥位で過ごすと言われている¹⁾。そこで今回は仰臥位における快適な枕について議論する。仰臥位では後頭部が枕と接触するため、後頭部の形状を測定する必要がある。しかし一般に後頭部は髪の毛があるため光学的な方法でその形状を直接測定することは容易ではない。寝具メーカーが利用している既存の後頭部形状装置は、複数の樹脂製の棒を対象者の後頭部に押し当てその形状を目視で確認するものである。しかし、この方式では後頭部形状の定量的データを得ることができない。そこで著者らはこの装置をベースとした、独自の測定装置を開発した（図1）。

本測定装置では測定用の棒が後頭部に接触した後移動することは望ましくない。しかし、通常の機構では本装置の様な非常に多数の棒にブレーキをかけて位置を保持することは容易ではない。この問題に対応するため、棒と棒との間に柔軟な袋状構造を配置し、これを加圧することでブレーキとする新機構を設計した。本機構では棒と棒との間隔が厳密に一定でなくても袋状構造が内圧に応じて変形するため、多少のガタを有する穴を棒がスライドするような構造でもすべての棒にブレーキ力をかけることが可能である。また、図1に示される棒の端部にある赤青緑の点群は光学マーカであり、画像処理によってすべての棒の位置を測定可能となっている。この方式ならば多数の棒すべてに位置センサを配置するような、製作、維持両面でコストのかかる方式を採用する必要がない。

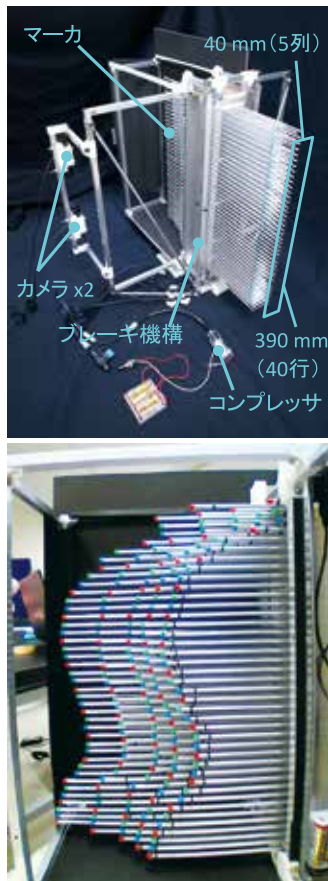


図1 後頭部形状測定装置の試作機

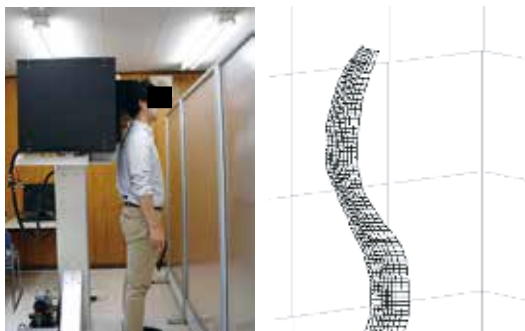


図2 後頭部形状測定の様子と測定結果

図2は試作した装置を自動化した自動測定器具の概観である。測定棒群を押し付ける装置は紙面上の2つの並進自由度と、紙面内の回転自由度の計3自由度を有している。本機構によって立位における被験者の首の角度、個体差に対応した姿勢で滑らかに棒を押し当てる事が可能となっている。また、専用開発の制御ソフトウェアによって、棒群の位置情報から自動的に後頭部の稜線が計算される仕様であり、測定者に特別な知識がなくても利用可能なシステムとなっている。

2.2 仰臥位における後頭部形状および姿勢測定

仰臥位のように枕と後頭部が物理的に接触している場合、枕によって隠れている後頭部の形状を直接測定することは容易ではない。そこで本研究では立位において被験者の頭部の角度を変えて複数の後頭部形状を測定し、それら複数の後頭部形状を補間することで頭部と胸部の相対角度だけから後頭部形状を推定する手法を提案した。この補間された後頭部形状モデルを利用すれば、頭部と胸部の相対位置のみから枕使用時における後頭部の稜線形状を推定可能だと考えられる(図3)。本研究では頭部と胸部の相対位置は立位、仰臥位ともに被験者の頭部と胸部に光学マーカを取り付けることで測定している。

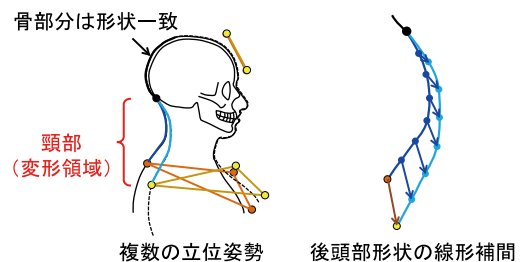
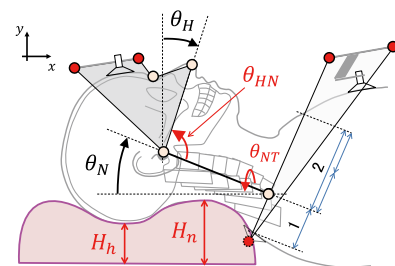


図3 複数の立位から得たデータから後頭部形状を線形補間



(a) 実際の仰臥位での測定の様子



(b) マーカ位置と姿勢角度の定義

図4 仰臥位におけるマーカによる頭部-胸部相対位置測定

上述したように仰臥位では直接後頭部形状を測定することは難しいが、図4に示すように頭部と胸部に取り付けたマーカによって両者の相対位置は測定が可能である。線形補間した後頭部形状モデルにこの相対位置を入力すれば、仰臥位、つまり枕使用時の後頭部形状を推定可能である。

3. 快適な枕形状の調査

自然体立位時と快適な枕利用時での後頭部形状データを集めることで、両者の関係性を見出すことができれば、将来的には自然体立位における後頭部形状だけから快適な枕の形状を推定することが可能になると考えられる。本研究では10名強の被験者で、複数の立位および被験者の主観で決定した快適な枕利用時の仰臥位での推定後頭部形状を求めた。

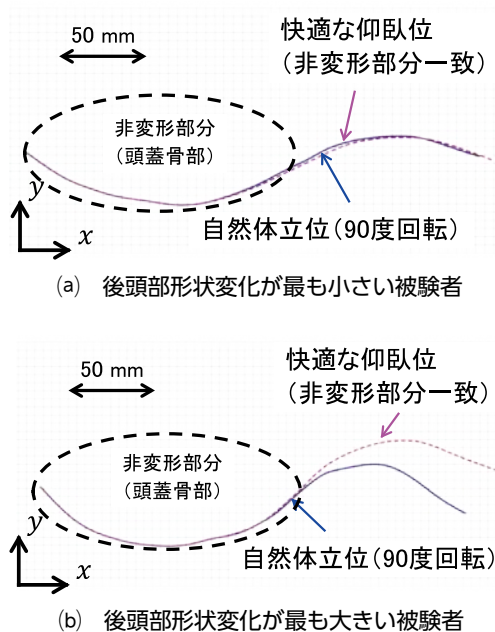


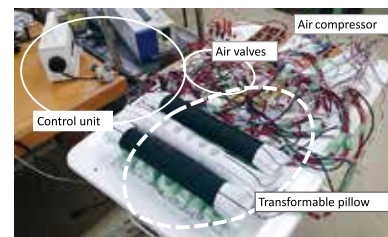
図5 自然体立位と快適な仰臥位での後頭部形状の差異

図5に特徴的な二人の被験者の後頭部形状測定結果を示す。図5(a)のように自然体立位と快適な仰臥位とで後頭部形状にほとんど差異がない被験者がいる一方、図5(b)のように立位と仰臥位とで大きく異なる被験者もいる。この結果は快適な仰臥位の後頭部形状は自然体立位のものを90°回転させたものであるという、これまでの通説とは異なるものである^{2),3)}。この傾向は他の複数の被験者でも見られており、快適な仰臥位と自然体立位とで後頭部形状が異なる結果は珍しくない。このことから快適な枕形状の推定のためには、個人ごとに後頭部形状情報に含まれる何らかの特徴量を抽出し、その特徴量と快適な枕形状との関連性を見出す必要があると考えられる。

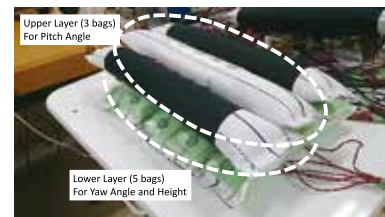
本研究では現在この特徴量として自然体立位における後頭部形状の稜線の凹凸深さを示すパラメータ d を導入し、 d から快適な枕形状を推定する手法の確立を試みている。

4. 空気圧を利用したフィードバック式能動変形枕

既存の枕は形状を調整する際に内部の詰め物を入れ替える作業に時間と手間がかかる他、形状を調整すること自体が不可能なものも少なくない。本研究では圧力センサ情報を利用し、空気圧制御で自動的に変形する能動変形枕の開発も行っている。この枕は自動変形する快適な枕として一般に利用できるだけでなく、個人の快適な枕の形状を調べるために多数の枕を用意する必要がなくなるため、研究や販売者のカウンセリングにおける利用価値もある。



(a) 能動変形枕システム概観



(b) 複数の袋状構造からなる2層構造

図6 試作したフィードバック式能動変形枕

図6(a)はその試作機の概観である。本機構は内圧を調整可能な袋状構造を複数利用しているため、枕の迅速な能動変形を実現している。この枕は図6(b)に示される様に2層構造となっており、上層は枕の横幅を長さとする3本の袋状構造、下層は枕の縦幅を長さとする5本の袋状構造から構成される。図7は能動変形による人体頭部姿勢の変化の様子を示している。図7(a)に示すように、下層をすべて同時に加減圧すると枕の全体の高さが上下する。また、同図(b)に示すように、上層の各袋状構造を個別に加減圧することで、首の矢状面内の回転方向（ピッチ軸）の角度を変更することができる。同図(c)は下層の各袋状構造を個別に加減圧することで首の横断面内の回転方向（ヨー軸）の角度を変更の様子を示している。この構造によって、本機構は枕全体の高さ、首の上下左右方向の姿勢を所定の範囲内で自由に調整可能となっている。また、各袋状構造には内圧センサおよび複数の感圧センサが配置されており、頭頸部の接触圧中心をフィードバック制御可能と

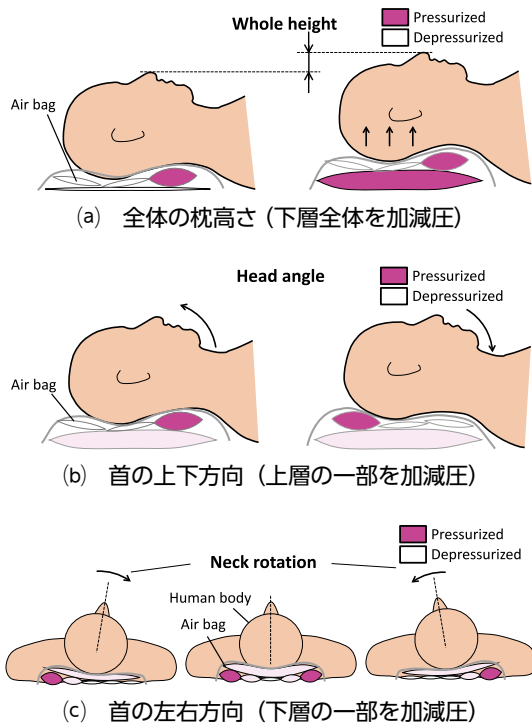
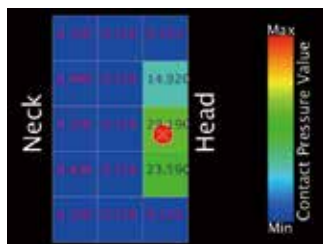


図7 枕の上層と下層の袋状構造の加減圧による頭部姿勢変化



(a) 被験者による能動変形枕使用時の様子



(b) 制御コンソール画面（接触圧中心と指令値の画面表示）

図8 提案機構での接触圧中心位置フィードバック制御実験

なっている。

図8はフィードバック制御によって接触圧中心箇所を頭部（一般に快適に感じる）や頸部（一般に不快に感じる）に移動させた時の実験の様子である。

この実験の際の圧力分布変化を、柔軟なシート状センサ（X-Sensor）で測定した際の圧力分布の変化を図9に示す。この図からも接触圧中心が頭部や頸部に指令通りに移動しており、フィードバック制御が正しく行われている事が伺える。この実験ではフィードバック系には能動変形枕のセンサのみを用いており、柔軟シート状センサのデータは用いてい

ない。枕のようなデバイスではセンサの値の変動にあまり敏感に反応すると利用者に電磁弁の作動音がうるさく聞こえるため、弁の切り替えは現在値と指令値とに一定範囲以上の偏差が生じたときのみに行い、偏差が許容範囲内に収まっているときは弁の制御を行わないなどの工夫をしている。現在この能動枕のシステムを拡張して、ベッドも含めた能動変形寝具システムを構築することを試みている。具体的には枕およびベッドにおける圧力分布の状態から自動的に人体の姿勢を把握し、その姿勢近傍での快適な姿勢を算出して快適な寝姿勢を実現するインテリジェント寝具システムの実現を目指している⁴⁾。

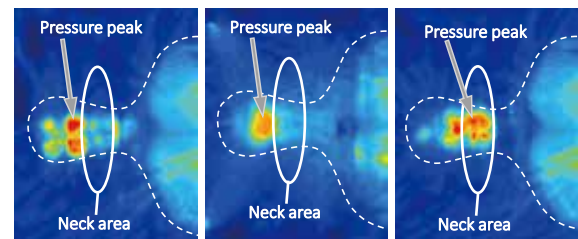


図9 柔軟シート状感圧センサで測定した接触圧中心制御の様子

5. ま と め

立位における後頭部形状の測定および快適な枕利用時の仰臥位（快適な仰臥位）での後頭部形状推定手法について紹介した。また、空気圧によって駆動する袋状構造を複数利用して、内圧および感圧センサの値から接触圧中心位置をフィードバックする能動変形枕についても紹介した。本研究では今後ベッドも含めた総合的なインテリジェント寝具の開発を目指す。

参考文献

- 1) Sahlin, C., Franklin, K.A., Stenlund, H., Lindberg, E., Sleep in women : normal values for sleep stages and position and the effect of age, obesity, sleep apnea, smoking, alcohol and hypertension. Sleep Med., 10, p. 1025-1030 (2009)
- 2) Caia, D., Chen, H.L. : Ergonomic approach for pillow concept design, Applied Ergonomics, 52, p. 142-150 (2016)
- 3) B. Haex : Back and bed : Ergonomic aspects of sleeping, CRC Press (2004)
- 4) Kuramoto, A. Inoue, W., Otake, Y. Kimura, H. Inou, N. Ichikawa, T. Ono, H. Sekiyama, N. : Development of intelligent integrated bedding system —Transformable pillow and mattress with multiple flexible actuators—, The 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2016 7793832) (2016)

（原稿受付：2017年6月13日）

解説

空気圧を利用した柔軟な線形状システムとその医療応用

著者紹介

にし かわ あつし
西川 敦信州大学繊維学部機械・ロボット学科
〒386-8567 長野県上田市常田3-15-1
E-mail: nishikawa@shinshu-u.ac.jp

1995年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻機械工学分野博士後期課程修了。同年米国南カリフォルニア大学客員研究員。1996年大阪大学基礎工学部助手。1997年大阪大学大学院基礎工学研究科助手。2005年同助教授。2007年同准教授を経て、2010年信州大学繊維学部教授。現在に至る。医療ロボットの研究に従事。日本ロボット学会、日本コンピュータ外科学会、日本生体医工学会の会員、博士（工学）。

いわ もと のり やす
岩本 憲 泰信州大学繊維学部機械・ロボット学科
〒386-8567 長野県上田市常田3-15-1
E-mail: iwamoto@shinshu-u.ac.jp

2016年九州大学大学院工学府機械工学専攻博士後期課程修了。九州大学工学研究院学術研究員を経て、2017年信州大学繊維学部助教。現在に至る。柔軟体を含むロボットの研究に従事。日本機械学会、日本ロボット学会の会員、博士（工学）。

1. はじめに

人と共存する環境で動作するロボットは人との接触を考慮することが重要となる。アクチュエータの制御が完全でなければ接触に対応できない剛体のロボットとは異なり、シリコンのようなゴムで構成された柔らかなロボットは接触に対して機構的に安全性を保証している。また、フルードパワーの中でも特に空気圧システムを用いた柔らかなロボットは、材料の選定や形状の工夫ならびにロボット内部の圧力室の設計次第で大変形を可能にする。本稿では、ヒトに優しいフルードパワー技術として、大腸内視鏡検査や腹腔鏡手術などへの医療応用を念頭に筆者らが取り組んでいる「線形状」の柔軟な空気圧システムの最近の開発事例について、代表的な従来研究と比較引用しながら概説する。

2. 繊維強化した線形状保持型アクチュエータ

ソフトフルードアクチュエータは、圧力室を有す

る構造体に流体圧（空気圧・油圧・水圧）を印加した際の構造体の弾性変形を出力として利用するアクチュエータの総称であり、柔軟・軽量・安価・非電気駆動（安全性）といった特長を有する¹⁾。とくに、構造体が細長い線形状であり、弾性変形時にも繊維拘束などを利用することで線形状をそのまま保持できるアクチュエータは、消化管などの細くて狭い通路を通過する医療用途に有利である。このようなアクチュエータの草分けは、四半世紀以上に鈴森²⁾により提案された空気圧印加で駆動する3つの圧力室から構成されるフレキシブルマイクロアクチュエータ（Flexible Micro Actuator, FMA）であり、2つの陰茎海綿体と1つの尿道海綿体から構成されるヒト男性器の陰茎とほぼ同構造であることが知られている³⁾。筆者らのグループは、FCRA（Fiber reinforced Cylindrical Rubber Actuator）と名付けた線形状保持型アクチュエータを考案した⁴⁾⁵⁾。図1のように、FCRAは、シリコンチューブ（Silicone rubber）の外壁（外周）に沿って長軸方向に対し直角になるように釣糸（Fiber）を巻きつけ、圧力室密閉用のキャップ（Cap）と送気チューブ（Air supply tube）を取り付けただけのシンプルな構造である。

送気チューブを介して圧力室に空気を注入すると

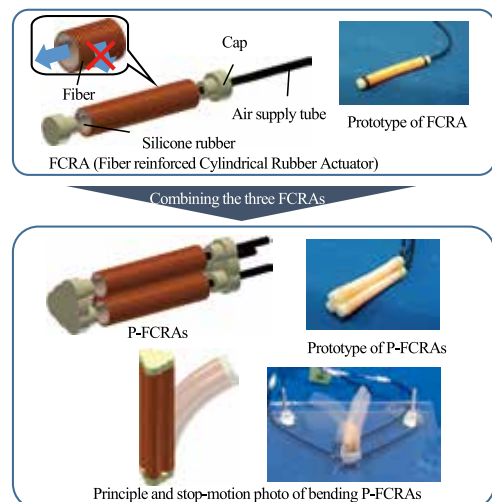


図1 空気圧ソフトアクチュエータFCRAとP-FCRAs

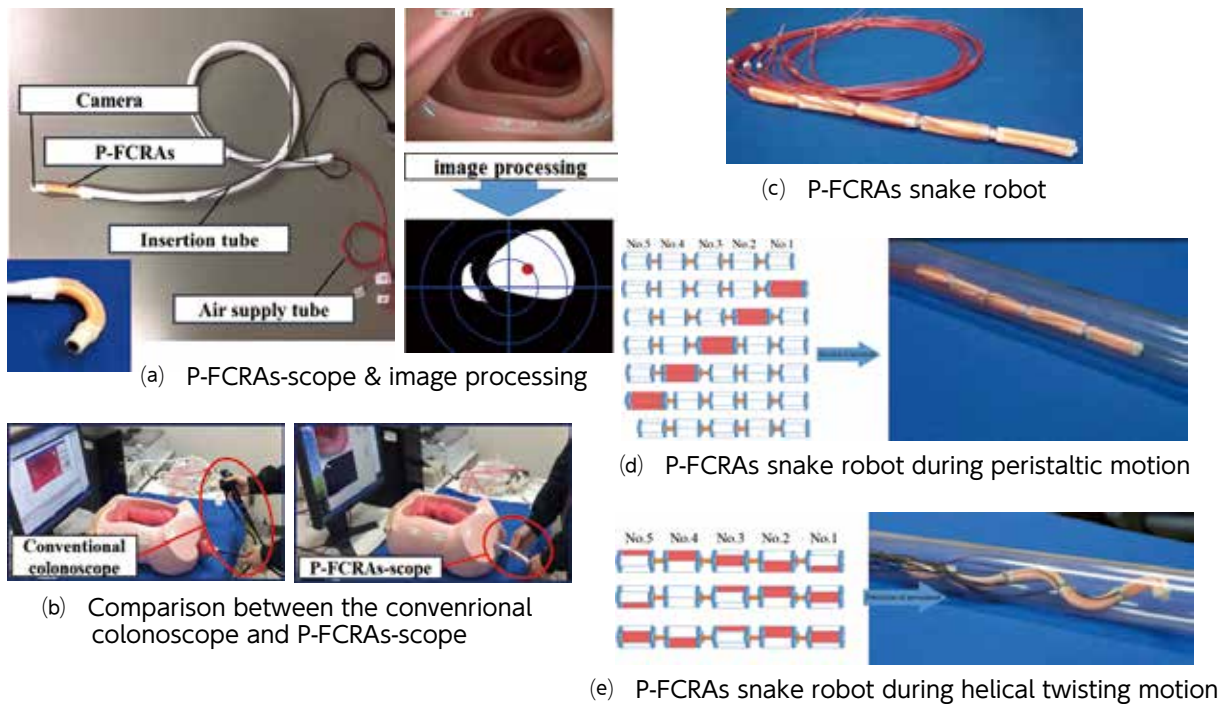


図2 空気圧ソフトアクチュエータP-FCRAsの医療応用(大腸内視鏡検査支援)

内圧が上がり、釣糸で構成される被覆体が半径方向の膨張を抑制するため、線形状を保持したまま、軸方向に伸長するというのがFCRAの基本動作原理である。さらに、鈴森のFMAの構造をヒントに、このFCRAを俵状に3本組み合わせ、糊付けによって一体化した3自由度アクチュエータP-FCRAs (Pile of three FCRA) を作製した。P-FCRAsでは、3つのFCRAの圧力室への空気圧を協調制御することで、一体化したアクチュエータ全体として360度任意方向への湾曲動作と伸長動作が可能になる(図1参照)。機能的には、鈴森のFMAと同じであるが、本アクチュエータはさらに構造がシンプルでモデル化が容易なため、静特性(内圧による発生力と変形量の関係)を精度良く求めることができ、高精度位置決め制御が可能になっている⁵⁾⁶⁾。

本アクチュエータの医療応用に向けて、P-FCRAsを動作部とする大腸内視鏡P-FCRAs-scope⁶⁾を試作した(図2(a))。本システムはP-FCRAs先端に装着した小型カメラからの画像を用いたビジュアルフィードバック制御により、大腸内の自由空間の方向へP-FCRAsが自動湾曲する機能を備えている。既存の大腸内視鏡の場合、図2(b)左写真のように、片手でスコープ先端の湾曲方向をマニュアル操作し、同時に、もう一方の手で内視鏡チューブの推進操作を行う必要があり、操作に慣れるまでに多くの訓練を必要とするが、P-FCRAs-scopeでは、先端が自動湾曲するため、図2(b)右写真のように操作者は両手でチューブを送り出すだけで良い。大腸内視鏡検査

トレーニングモデルを用いた目標点に到達させる操作実験を被験者10名に対して実施した結果、本システムは現行の大腸内視鏡よりも、目標点到達時間が有意に短く、平均移動速度が有意に速く、先端移動積算距離が同等であることが確認された⁷⁾。本結果に加え、P-FCRAs-scopeは現行の大腸内視鏡よりも腸壁を圧迫しない(現行の約4割の発生力で動作可能である)ことも確認されている。さらに、現在、P-FCRAsを5つ直列に接続した15個のFCRAから構成される自走式大腸内視鏡ロボットP-FCRAs snake robotの研究も進めている(図2(c))。図2(d)は蠕動運動(体幹に沿って伸縮波を一定方向に進行させることにより移動する運動)、図2(e)は螺旋捻転運動(体幹を螺旋状に捻転させることで移動する運動)の実装により、P-FCRAs snake robotがアクリル管内で自走している様子を撮影したスナップショットである。15自由度を利用すると様々な伸長・湾曲動作の組み合わせが可能であり、場面に応じて自走モードを切り替える仕組みも提供可能である⁸⁾。現在、大腸内視鏡検査トレーニングモデルでの自律走行実験も繰り返し実施している。

3. ジャミング転移現象を使用した可変剛性機構

前節で紹介したような柔らかな大変形可能なロボットは外界に力を与えるタスクを要求された場合には自身に変形してしまうためタスクの実行が困難であり、自身の変形を抑制することを目的とした硬

さを調整する機能がさらに必要となる。硬さを調整することが可能な機能は可変剛性と呼ばれている。本節では空気圧システムを用いた機構としてジャミング転移現象⁹⁾を利用した可変剛性機構について紹介する。

流動性の高い粒子とそれを包む袋状部材で構成される機構を考える。袋状部材内部が大気圧の状態では粒子の流動性が高いため、機構は非常に柔らかい。ここで袋状部材の内圧を負圧側へ高くしていくと、粒子は圧縮され粒子間もしくは粒子と袋間で摩擦が発生し、粒子の流動が少なくなる。これがジャミング転移現象である。この現象は温度に依存せず、少ない体積変化で生じる。この機構を把持対象物に押し当てジャミング転移現象を引き起こすことで対象物を把持するBrownらのUniversal Robotic Gripper¹⁰⁾がロボットハンドへの応用例として非常に有名である。ハンドの剛性が低い状態では袋の変形限界に達するまで対象物の形状に沿うことが可能なため、複雑な計算なしに様々な形状を把持することができる。ハンドの接触領域内における対象物の凹凸の有無によってハンドから対象物への作用する方式が適応的に変化するという特徴を持つ。

単一孔や自然孔から挿入し目的の手術箇所で作業を行う低侵襲性手術や消化管内の検査を目的として、複雑な経路に追従可能な形状を有する器具の開発が行われている。この器具には柔軟に変形するだけでなく、器具の手先部や特定区間で生体組織や組織片に力を加えることも求められるため、可変剛性機構を取り入れる試み¹¹⁾が数多く行われている。Ranzaniら¹²⁾は線形状の柔軟マニピュレータの中心部にジャミング転移現象を利用した可変剛性機構を搭載し、マニピュレータの剛性を補助している。また柳田ら¹³⁾は大腸内視鏡の挿入を補助するチューブ状のジャミング転移現象を利用した可変剛性デバイスを開発している。

上記のように粒子を用いたジャミング転移現象はGranular Jammingと呼ばれている。一方で粒子の代わりにシートを複数重ね、シート間の摩擦を利用したジャミング転移現象はLayer Jammingと呼ばれている。Kimら¹⁴⁾はシートを円筒状に重ねて配置しそれを袋で覆うことで負圧時には厚さが4 mm以下の可変剛性機構を開発した。

最後に筆者らのグループ（岩本と山本）が開発したジャミング転移現象を利用した可変剛性機構を有する線形状システム¹⁵⁾について紹介する（図3）。本システムは中心に位置している柔軟な線状部材（Ni-Ti合金）の運動中に可変剛性機構を利用してその瞬間の形状を保持することを目的としている。線

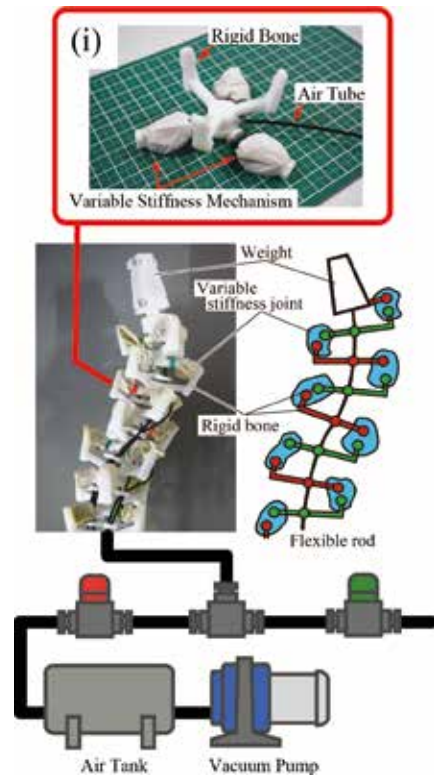


図3 岩本と山本によって開発されたジャミング転移現象を用いた可変剛性機構システム

状部材の長手方向には骨と呼ばれる剛体が等間隔に位置している。一つの剛体骨は3方向（120度間隔）に可変剛性機構を搭載し、一本のエアチューブが接続されモジュール化されている（図3の(i)）。本システムの可変剛性機構では袋状部材として天然ゴム（厚さ：約0.1mm）を、粒子として砂¹⁶⁾を用いている。3Dプリンタ（材料：ABS樹脂）で製作された剛体骨には内部に空気の管路が設けてあり、各可変剛性機構の取り付け部に開いている穴とエアチューブの接続口が内部の管路で接続されている。エアチューブから空気を吸い出すことで、モジュールの3つの可変剛性機構は硬くなる。このモジュールの可変剛性機構はその下のモジュールの剛体骨と連結しており、可変剛性機構の剛性が高くなることで、その時の2つの剛体骨の角度が維持され、2つの剛体骨間の柔軟な線状部材の曲率が保持される。ソフトフルードアクチュエータを利用した柔らかいロボットは圧力室の変形も含めて全体をモデル化しなければならないため、たとえ可変剛性機構を有していたとしても剛性が低い状態ではロボットの挙動を予測することは難しい。剛性が低い状態で金属の振舞いが中心となるように機構を設計することで、ロボットの挙動の推測が容易となる。

4. おわりに

本稿では、ヒトに優しいフルードパワーシステム

の構成要素として「空気圧を利用した柔軟な線形状システム」に焦点をあて、筆者らの研究を中心に紹介した。紙面の都合上、本稿では触れることができなかったが、安全・清潔・低コストの観点から言えば、空気圧と同様に水圧も医療用途に優れており、筆者らは、約10年前より、水圧駆動式医用リニア（線形状）アクチュエータ¹⁷⁾とそれらを複数組み合わせたパラレルメカニズム型の内視鏡手術支援ロボットの研究を内外に先駆けて精力的に進めている¹⁸⁾。これらの最新の成果については、また次の機会に報告したい。また、最近、ナイロン繊維をコイル状にツイストさせた熱駆動型のSuper Coiled Polymer (SCP) アクチュエータが次世代ロボットの要素技術として世界的に注目されている¹⁹⁾。SCPはいわば究極の線形状（糸状）素材であり、筆者らのグループでも2016年より研究開発に着手している²⁰⁾。SCPアクチュエータ自体は熱駆動であり、原理的にフルードアクチュエータではないが、迅速な加熱・冷却処理が必須課題であり、フルードパワーとの併用が有望である。今後の研究開発に期待したい。

謝辞

大腸内視鏡検査支援ロボットの研究を進めるにあたり、東京工業大学・鈴森康一教授より、FMAに関する多数の資料提供とアドバイスを頂いた。FCRAの初期の研究成果は倉又泰彦氏（2014年3月大阪大学基礎工学部卒業）の着想による。第2節の主たる成果、特にP-FCRAs-scopeは木村祐太氏（2017年3月信州大学大学院理工学系研究科修士課程修了）、P-FCRAs snake robotは丸山偉也氏（2017年3月信州大学大学院理工学系研究科修士課程修了）の研究により得られたものである。これら一連の研究は、公益財団法人 御器谷科学技術財団研究開発助成の支援を受けた。

参考文献

- 1) 脇本修一ほか：岡山大学におけるソフトフルードアクチュエータの研究，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011講演論文集，pp. 1P1-A04 (1)-(3) (2011)
- 2) 鈴森康一：フレキシブルマイクロアクチュエータに関する研究（第1報），3自由度アクチュエータの静特性，日本機械学会論文集C編，Vol. 55, No. 518, pp. 2547-2552 (1989)
- 3) 鈴森康一：ロボットはなぜ生き物に似てしまうのか，ブルーバックスB-1768（講談社），p. 112 (2012)
- 4) 丸山偉也，西川敦：空気圧ソフトアクチュエータを用いた伸長型3自由度湾曲モデルの研究—繊維強化型円筒ラバーアクチュエータの製作と伸長及び湾曲の性能評価—，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，pp. 1P1-T06 (1)-(4) (2015)

- 5) 木村祐太，西川敦：空気圧ソフトアクチュエータを用いた伸長型3自由度湾曲モデルの研究—繊維強化型円筒ラバーアクチュエータの理論式の構築と静特性の評価—，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，pp. 1P1-T01 (1)-(4) (2015)
- 6) 木村祐太，西川敦：空気圧ソフトアクチュエータを用いた伸長型3自由度湾曲モデルの研究—大腸内視鏡検査のためのアシスト内視鏡システムの開発—，第36回日本生体医工学会甲信越支部大会講演論文集，pp. 19-20 (2016)
- 7) Kimura Y. et al. : A pneumatically driven flexible endoscope (P-FCRAs-scope) as a platform for increasing levels of autonomy in robot-assisted colonoscopy, 生体医工学シンポジウム2017講演予稿・抄録集，(2017)
- 8) Kuramata Y. et al. : Development of a colonoscope robot with multiple propulsion modes using pneumatic soft actuators, 日本生体医工学会専門別研究会 生体医用画像研究会 第1回若手研究会プログラム・抄録集，JSMBE-BMI2013-11, p. 14 (2014)
- 9) Liu, A.J. and Nagel, S.R. : Jamming is not just cool any More, Nature, Vol. 396, pp. 21-22 (1998)
- 10) Brown, E. et al. : Universal robotic gripper based on the jamming of granular material, Proc. of Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 107, No. 44, pp. 18809-18814 (2010)
- 11) Loeve, A., Breedveld, P. and Dankelman, J. : Scopes too flexible. . .and too stiff, IEEE Pulse, Vol. 1, No. 3, pp. 26-41 (2010)
- 12) Ranzani, T. et al. : A soft modular manipulator for minimally invasive surgery : design and characterization of a single module, IEEE Transactions on Robotics, Vol. 32, Issue 1, pp. 187-200 (2016)
- 13) 柳田隆一，鎌形徹平，中村太郎：可変剛性繰り出しチューブを用いた大腸内視鏡挿入支援デバイス—摘出した豚の大腸への応用—，計測自動制御学会論文集，Vol. 51, No. 5, pp. 290-296 (2015)
- 14) Kim, Y.-J. et al. : A novel jamming mechanism with tunable stiffness capability for minimally invasive surgery, IEEE Transaction on Robotics, Vol. 29, Issue 4, pp. 1031-1042 (2013)
- 15) Iwamoto, N. and Yamamoto, M. : Jumping motion control planning for 4-wheeled robot with a tail, Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 871-876 (2015)
- 16) SANKO, バスサンド（ハムスター用）http://www.sanko-wild.com/animal/a_ham_07.htm
- 17) 谷口和弘ほか：医用水圧駆動型リニアアクチュエータの開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2007講演論文集，pp. 1P1-G06 (1)-(4) (2007)
- 18) Sekimoto M. et al. : Development of a compact laparoscope manipulator (P-arm), Surgical Endoscopy, Vol. 23, No. 11, pp. 2596-2604 (2009)
- 19) Haines C.S. et al. : Artificial Muscles from Fishing Line and Sewing Thread, Science, Vol. 343, Issue 6173, pp. 868-872 (2014)
- 20) 井出翔一郎，西川敦：ナイロン繊維アクチュエータのための角度増幅型関節機構の提案，第22回ロボティクスシンポジウム講演論文集，pp. 1B1 (1)-(2) (2017)

（原稿受付：2017年6月25日）

解説

空気圧アクチュエータを用いた力覚呈示装置の開発 ～負圧を用いた受動型力覚呈示の提案～

著者紹介

たか いわ まさ ひろ
高 岩 昌 弘徳島大学大学院社会産業理工学研究部
〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2丁目1番地
E-mail: takaiwa@tokushima-u.ac.jp

1992年岡山大学大学院工学研究科修了。同年岡山大学機械工学科助手。2002年同システム工学科講師。2007年同准教授。2015年徳島大学教授。現在に至る。空気圧サーボを中心とした人間支援型ロボットシステムの研究開発に従事。日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会・日本ロボット学会等の会員。博士（工学）。

1. はじめに

空気圧アクチュエータは、圧縮された空気を大気に放出する際に得られるエネルギーを用いて機械的な仕事を行うのが一般的な使用方法であるが、負圧により得られる面からの吸引力を調整することで摩擦力をコントロールすることができ、デバイスの運動に対する抵抗力を調整することが可能となる。このような応用形態は動作媒体を大気に開放できる空気圧システムならではのものである。

一般に、平面上の運動における力覚呈示装置としては、多関節型マニピュレータを用いたものが多く提案されている¹⁾²⁾が、先端部における発生力特性の異方性³⁾や、装置自体の大型化などが問題となる。本装置は、マウスのような感覚で使用できコンパクトであるとともに、受動的な力覚呈示であるため本質的な安全性を有する。

まず、呈示装置のモデルを導出し、これに基づいた抵抗力制御系を構成する。カメラで計測したデバイス位置情報に基づいて目標抵抗力を設定することで、計算機内に構築した仮想壁の認識のようなVR指向のアプリケーションや、機械インピーダンス特性の呈示によるリハビリテーション等が可能であることを示す。また、装置を指先に装着できるほど小型化することで、指の運動に基づいた種々のアプリケーションに対応できることを示す。

2. 力覚呈示装置

2.1 力覚呈示装置の構成

力覚呈示装置の概要をFig. 1に示す。操作者はFig. 2に示すようにデバイス上部に力センサーを介して取り付けられた球殻形状部を把持し、水平面上を滑らせながら動作を行う。Fig. 1(a)は装置を上方から見た図である。マーカーを空間に固定したWEBカメラ（画素数320万画素、30fps）で撮影し、



(a) 上面



(b) 側面



(c) 接触面

Fig. 1 力覚呈示デバイス

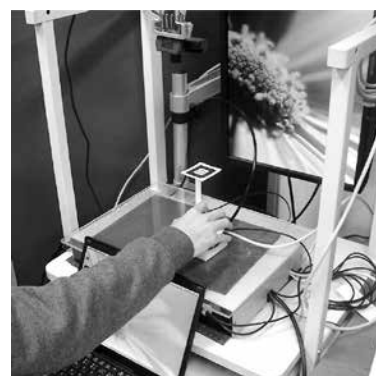


Fig. 2 動作の様子

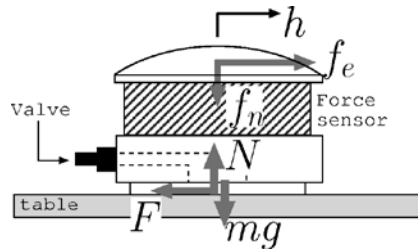


Fig. 3 動作原理

ARToolkit⁴⁾を用いてデバイスの位置情報を取得する。

デバイス内には空気室が設けられており、真空ポンプを介して5ポート流量サーボ弁に接続されている。空気室の接触面側は大気に開放されているため、空気室内の圧力（負圧）をコントロールすることで接触面への吸着度合い、即ち、接触面に対する垂直抗力を変化させる。これにより、摩擦力を調整することで水平運動に対する抵抗力をコントロールする。カメラで取得した水平面内におけるデバイスの位置（速度）に応じて所望の抵抗力を生成するような制御システムを構築することで、VR指向のアプリケーションや機械インピーダンス制御の適用によるリハビリ訓練等への応用をはかる。

Fig. 2は使用時の様子を示す。デバイスは摩擦の少ないテフロンで製作しており、水平面は机上に固定されたアルミ製の箱（縦250mm、横400mm、高さ50mm）の上面を用いる。操作面の奥にディスプレイが設置され、その上部にWEBカメラが固定されている。ディスプレイにはOpenGLを用いて構築したVR空間とデバイスと連動して動作するアバターが表示される。これより操作者は視覚と力覚に基づき対象物とのインタラクションを行う。力覚呈示アルゴリズムの実装ならびにVR空間の構築はLinuxの実時間拡張（RTAI）が実装されたノートPCにより行う。

2.2 力覚呈示装置の構造と動作原理

力覚呈示デバイスの構造をFig. 3に示す。デバイス内に円筒状の空気室を有しており、操作面と接触する側は大気に開放されている。本装置の運動方程式は次式となる。

$$f_e = m\ddot{h} + b\dot{h} + \text{sgn}(\dot{h})\mu\{mg + f_n + A(p_0 - p_1)\} \quad (1)$$

ここで $f_e = [f_{ex}, f_{ey}]^T$ [N] は水平方向に加える力、 f_n は鉛直下向きに加える力、 $h = [x, y]^T$ [m] はカメラで取得したデバイスの水平方向変位を示す。また、空気室内の圧力を p_1 [Pa]、大気圧を p_0 [Pa] とする。同定により慣性質量 $m = 0.5$ [kg]、粘性抵抗係数 $b = 1.9$ [Ns/m]、摩擦係数 $\mu = 0.17$ 、空気孔の開口部面積を $A = 2.0 \times 10^{-3}$ [m²] とした。

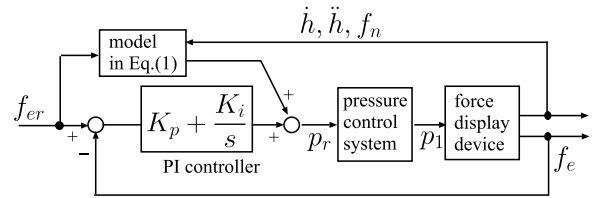


Fig. 4 制御系

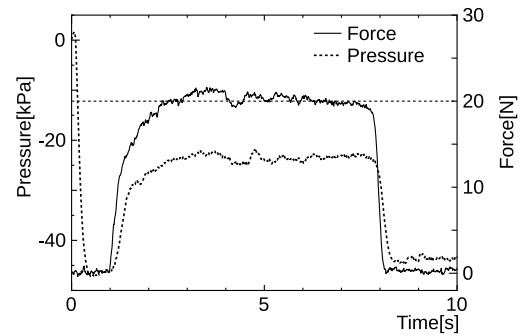


Fig. 5 目標抵抗力の呈示

2.3 抵抗力制御系と応用例

Fig. 4に目標抵抗力を呈示するための制御系を示す。目標抵抗力 f_{er} を与え、現在の速度 $\dot{h}$ 、加速度 $\ddot{h}$ 、下向きの押し付け力 f_n から式(1)に基づき空気室内圧力を求め、これに力偏差にPIコントローラをかけて得られた補償入力を加えることで目標圧力 p_r を算出する。これを実現するために外乱オブザーバを用いた圧力制御系を構成する⁵⁾。

デバイスを一定の速度（約16mm/s）で移動させている状態で、目標抵抗力を $f_e = 20$ [N] としたときの応答結果を図Fig. 5に示す。設定した目標抵抗力がほぼ実現できていることがわかる。

一方、インパルス的に負圧状態にすると運動が一瞬拘束され、操作者は撃力として感じることができる。Fig. 6は一定の速度で平面上を運動している際に、図中の実線で示すようにパルス的に吸引した状態を示す。図中の点線は水平方向の変位を示しており、パルス的に吸引した際に一瞬運動が拘束され操作者はエアホッケーのように何かの対象物と衝突したような感覚が得られる。運動量の変化から求まる目標撃力を実現するまでにはまだ至っておらず、今後の課題である。

これまで上腕全体の運動を想定し、掌で把持するタイプのデバイスについて説明したが、小型化して指にはめ込むことで把持動作等の指の運動に対して同様の抵抗力制御を行うことができる⁶⁾。

Fig. 7に指用の呈示デバイスを示す。デバイス上部に人差し指の腹部を当てて動作させる。基本的な動作原理はFig. 1と同じである。

Fig. 8に示すように計算機内に構築した仮想壁へ

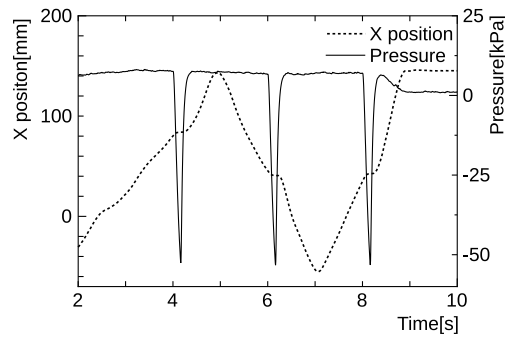
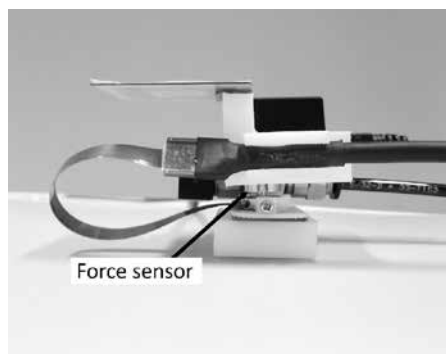
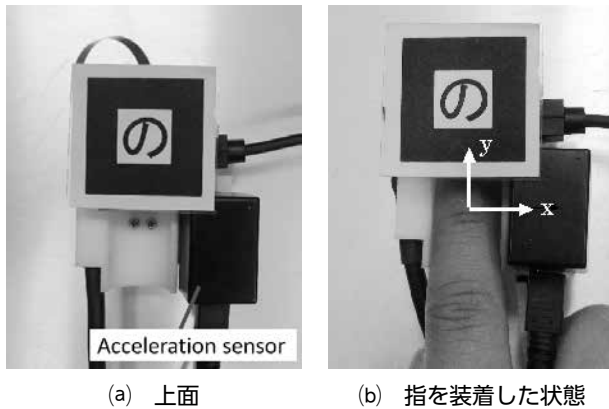


Fig. 6 パルスの吸引による撃力の呈示



(c) 側面



(d) 面との接触側

Fig. 7 指先用力覚呈示デバイス

の衝突実験を行った結果をFig. 9に示す。図中の点Aにおいて仮想壁に衝突後若干めり込んで拘束され

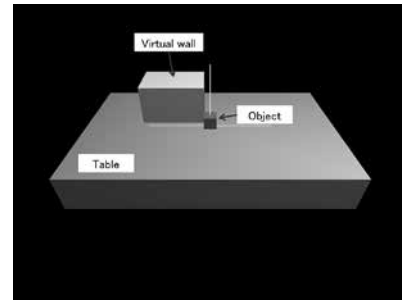


Fig. 8 VR空間に構築した仮想壁

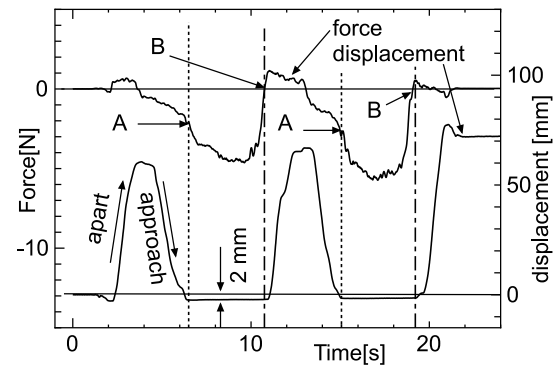


Fig. 9 仮想壁との連続接触

ている。接触力が壁とは逆向きの方向に転じる点Bにおいて壁から離れ無拘束な運動となる。このようなVR環境と連動させることでリハビリテーション等への応用が期待できる。

Fig. 10は本デバイスを回転運動時の抵抗呈示に用いたものである。同図(a)に示すように薬指の背をデバイスに装着し、同図(b)に示すように単なるベアリングのみで自由回転する回転体を把持する。回転動作時にデバイスは接線方向の抵抗を呈示するので結果として同図(c)に示すように回転運動に対する抵抗トルクを呈示することができる。

Fig. 11はボトルのキャップを締める時のように回転角度に比例して抵抗トルクが大きくなるように制御した結果を示す。このような作業療法的な動作にも適用可能である。

3. 結 言

本研究では、負圧を用いた吸引作用により水平面との摩擦特性を調整することで運動に対する抵抗を呈示するパッシブ型力覚呈示装置を提案した。

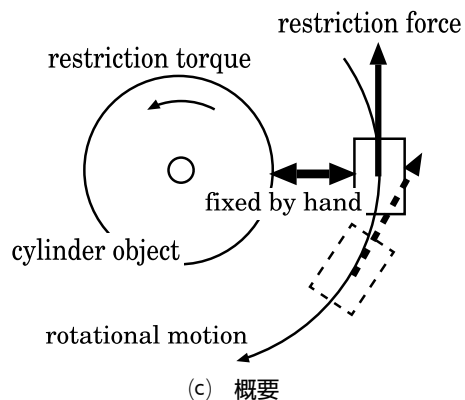
デバイスの運動学モデルを導出し、これに基づいた抵抗制御系を構成した。機械インピーダンス特性の実現、ならびにVR指向のアプリケーションへの応用、さらにはインパルス的な吸引による撃力呈示の可能性について示した。また、指先装着型にすることで把持動作等の種々の指の運動に基づいたアプリケーションへの応用が可能であることを示した。



(a) 指の背を装着



(b) 回転体を把持



(c) 概要

Fig. 10 回転動作時の抵抗力実現

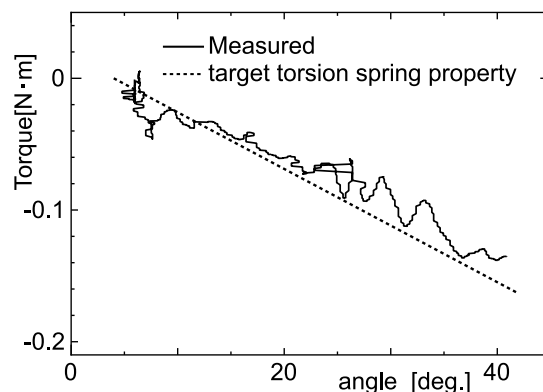


Fig. 11 ねじり剛性特性

参考文献

- 1) Abhished Gupta, Marcia K. O'Malley, Volkan Patoglu and Charles Bugar: "Design, Control and Performance of RiceWrist", The International Journal of Robotics Research, Vol. 27, No. 2, February 2008, pp. 233-251.
- 2) S. Hesse, G.S. Tigges, M. Konrad, A. Bardeleben and C. Werner, Robot-assisted arm trainer for the passive and active practice of bilateral forearm and wrist movements in hemiparetic subjects, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2003, 84-6, pp. 915-920.
- 3) 古莊純次, 小柳健一, 片岡次郎, 笠潮, 井上昭夫, 竹中重和: "三次元上肢リハビリ訓練システムの開発 (第1報: ERアクチュエータを用いた機構およびシステム全体の開発)", 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 5, pp. 123-130, 2005
- 4) 谷尻豊寿: "拡張現実感を実現するARToolkitプログラミングテクニック", 株式会社カットシステム, 2008
- 5) 則次, 高岩: "圧力制御ループに外乱オブザーバを用いた空気圧駆動系の位置決め制御" 計測自動制御学会論文集, 31-12, pp. 1971-1977, 1995
- 6) M. Takaiwa, T. Noritsugu, D. Sasaki, and T. Nogami, Fingertip Force Displaying Device Using Pneumatic Negative Pressure, International Journal of Automation Technology, Vol. 8, No. 2, pp. 208-215, 2014

(原稿受付: 2017年7月25日)

解説

レスキュー用アシストスーツ

著者紹介



よし みつ とし ひろ
吉 満 俊 拓

神奈川工科大学
〒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。現在は准教授。空気圧制御システムの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、計測自動制御学会などの会員。博士（工学）。

1. はじめに

山岳救助や土砂災害の災害現場での救助作業は、傾斜地や足場の不安定な場所で瓦礫などが多く移動が困難である。このような状況では、大型重機や救出機器での救出活動が困難で人力による救助にならざるを得ない。

狭く不安定な場所での救助活動は、足場が悪いため、下半身への負荷が高く、疲労による捻挫・怪我を誘発する。そのため、作業者の負担が大きく長時間の救助作業が困難である。

また山岳遭難の発生件数は高齢者登山やツアー登山客の増加に伴い増加の一途をたどっている。山岳遭難の発生原因として最も多いのは「道迷い」であるが、「転倒」「病気」「疲労」原因はそれぞれ占有割合が小さいものの決して無視できない数の原因として挙げられる。

登山活動や救助活動も含め一般に傾斜地の登降坂歩行において怪我や筋疲労を起こしやすいのは下り坂を歩行しているときであると言われており、これは膝関節に自重の数倍となる負荷が加わることによるものであると考えられる。このことから降坂時における脚部の負荷を軽減する装備や訓練などの対策が考えられるが、この中で特に装備としての候補にアシストスーツがあり、その補助によって怪我や疲労の発生を抑える効果が期待されている。

国内外におけるアシストスーツの開発に関しては脚部のリハビリテーションに用いる福祉・介護用や重量物把持の補助など作業用に開発されたものが主

流で、その多くがアクチュエータにモータを使用している。モータは制御が容易であり、能動的に装着者の力を補助・増幅することが可能である。一方でモータは消費電力が大きいことから長時間の活動を電源から切り離した状態で行うには大容量のバッテリーが必須となり重量が増加する。

また、現在のアシストスーツ¹⁾²⁾で採用されている機構は「自由度が少なくアシストが必要な方向を支える機能がある」か「関節に自由度はあるが、関節を支える機能はない」のどちらかに分類される。不整地・傾斜地では活動を妨げない自由な動きと、怪我・捻挫が起きないように関節の動きを補助する、という相反する効果を実装させなければならない。

2. 研究目的

山岳救助や土砂災害時など、不整地・傾斜地で継続的に作業を行わなければならない状況において、身体的負荷の軽減・活動時間の延長と救助者自身の怪我防止を目的とした下肢パワーアシストスーツを開発する。求められる機能として

・軽量化

アシストスーツ本体や運用する装備が重いと現場での運用・運搬に余分なエネルギーがかかる。また、いざとなった場合の持ち運び時にも、他の救助機材や重機を運搬もする必要があるため、スーツ本体や周辺機器の軽量化が求められる。

・斜面での下肢の負担軽減・怪我の防止

災害現場や山岳救助などの不整地や傾斜地で長時間活動する場合、平地よりも大きい下肢への負担を軽減することにより、怪我の防止や現場での活動時間が増え、作業の効率が上がり救助者の早期発見・救助につながるものと考えられる。

・長時間の活動

山岳救助などは数時間山中で活動することになる。その場合に活動時間が短いと補助が十分にできないばかりか、救助の重荷になるばかりである。が挙げられる。

本研究室では、山岳救助や土砂災害時など、不整地・傾斜地で継続的に作業を行わなければならない

い状況において、身体的負荷の軽減・活動時間の延長と救助者自身の怪我防止を目的とした下肢パワーアシストスーツを開発している。

3. レスキュー用アシストスーツ

3.1 アシストスーツ概要

当研究室では、下記2種の屋外活動用アシストスーツを開発しその有意性の検討を行っている。

屋外活動用アシストスーツ概要図および諸元を以下の表1、図1, 2に示す。

表1 諸元表

Elements	TYPE I	TYPE II
Size [mm]	816×368×252	973×475×266
Weight	3.6kg	7.1kg
Power Source	Pneumatic Cylinder(φ16)	Pneumatic Cylinder(φ32)
	Gas Spring(98N)	
Knee range of motion	90Degrees	120Degrees

TYPE I では軽量化に重点を置いた設計を行った。受動要素（ガススプリング）の導入により空気圧シリンダ径を小さくすることでアシスト部の重量を減らすことができると考えられる。

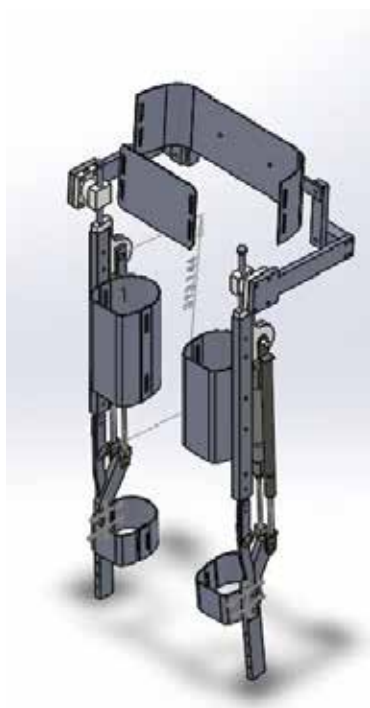


図1 レスキュー用アシストスーツ (TYPE I)

TYPE II では稼働域の拡大と各関節の疲労軽減に重点を置いた設計を行った。アシスト用に大径の空気圧シリンダを用いストロークを伸ばし取り付け位

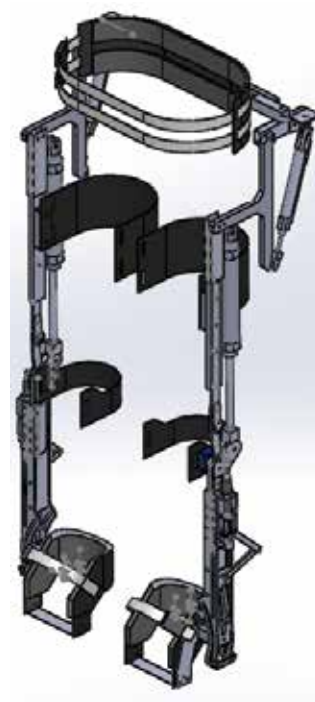


図2 レスキュー用アシストスーツ (TYPE II)

置を変更することで関節稼働域を拡大し、傾斜地での活動が容易なと考えられる。

3.2 アクチュエータ

降坂時に膝関節へ加わる衝撃を空気圧シリンダ等のアシスト部で吸収することを目標とし、シリンダのロッド速度をスピードコントローラで調整することで衝撃吸収を行っている。TYPE II では空気圧シリンダのみが取り付けられている。

受動要素として、金属バネ・ガススプリングなどがあるが、板ばねやねじりバネでは取り付け位置によって変位が制限されてしまう。一方、ガススプリングは空気圧シリンダとほぼ同じ形状をしており、取り付けも容易なためTYPE I にて採用した。

直径32mmの空気圧シリンダを用いているTYPE II と発揮力を同等かそれ以上とするため、直径16mmの空気圧シリンダとストローク100mm、ガス反力98Nのガススプリングを使用している。

3.3 制御システム

降坂時における膝関節の衝撃吸収をするにあたってアシストスーツ本体がセンシングシステムによって下り坂を認識し、適切な減衰力を発生できるよう自己で調整できることが好ましい。

アシストスーツにおけるセンシング方法としては筋電位測定³⁾や関節部に取り付けられたモータの回転角を計測する方法⁴⁾などが挙げられる。

制御システムはセンサのデータから現在歩行している斜面の角度を割り出し、そこから適切な減衰力をアクチュエータに発揮させるための調整を行うこ

とを目的として開発する必要がある。処理自体は大きく複雑なことは行わないものの、屋外活動を目的としたアシストスーツであるため制御回路の稼働時間や電源確保能力に着目しなければならない。また、アシストスーツに搭載する以上制御回路基板は小型である方が好ましい。

そこで本研究の制御システムではワンボードマイコンを使用し、小型電池で駆動することにする。制御システムの内容としては図3に示す通りセンサ、制御ボード、モータドライバ、ステッピングモータおよび空気圧回路部品によって構成され、非常にシンプルな構成となっている。

屋外活動時においては、空気圧源（0.7MPa）から切り離し空気圧タンクに封入した圧縮空気でアクチュエータを動作させることになる。

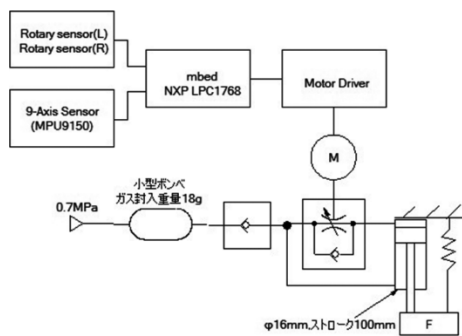


図3 アシストシステム概要

本研究においては、屋外活動時に外部環境や身体状況（発汗等）に左右されることなくセンシングが可能であることが求められる。そこで、アシストスーツの股関節可動部に屈曲・伸展角度を計測するポテンシオメータ、腰部に装着者の姿勢・移動速度等を計測する9軸センサを取り付け、制御に必要な身体情報の計測を行う。

ポテンシオメータのデータから最大屈曲角と最大伸展角に着目し股関節の角度を近似した後、9軸センサより得られたクォータニオンによって補正し傾斜角を求める。傾斜角や股関節角度等組み込みマイ

コンを基に構成されたシステムによってスピードコントローラを制御する。

傾斜角0度から15度まで5度刻みでスピードコントローラを全閉から段階的な開度変化を持たせる。なお、平地から上り坂にかけてはスピードコントローラの開度を全開とし、ダンパ機能を持たせていない。

このように段階的な変化とした理由として人に対してアシスト力の変化を明示することを目的としている。またこのような制御を行うことで外乱に対してロバスト性が得られる。

4. おわりに

当研究室ではレスキュー活動など屋外での活動の補助を目的としたアシストスーツの開発を行っている。

本研究では空気圧アクチュエータに可変絞機構を加えたレスキュー用下肢パワーアシストスーツを提案している。可変絞機構により、状況に応じて下肢関節に補助を与え、災害救助時における救助者の身体的負荷や疲労が軽減され

- ・活動時間の延長
- ・救助者自身の怪我防止

が期待できる。

参考文献

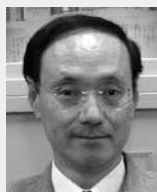
- 1) 山本圭治郎, 兵頭和人, 石井峰雄, 松尾崇, 介護用パワーアシストスーツの開発, 日本機械学会, 日本機械学会論文集C編, p 1499-1506, (2001)
- 2) 遠山茂樹, 農業用パワーアシストスーツの開発, 日本機械学会, 日本機械学会誌, p 109-113, (2010)
- 3) 山海嘉之, 川村祐一郎, 岡村純平, 李秀雄: 筋電位を用いた歩行支援のための外骨格パワーアシストHAL-1に関する研究, 日本機械学会 茨城講演会講演論文集 p 269-270 (2000)
- 4) 佐野和男, 八木栄一: 上向き収穫・傾斜地での歩行支援のためのパワーアシストシステムの研究 計測自動制御学会 第54回自動制御連合講演会論文集 p 827-829 (2011)

(原稿受付: 2017年6月5日)

解説

パワーアシストスーツ

著者紹介


 やまもと けい じろう
山本圭治郎

神奈川工科大学スマートロボット研究開発センター
 〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野1030
 E-mail : yamakei@kanagawa-it.ac.jp

1968年中大院精密工学専攻修士修了。東工大、阪大、農工大を経て、1994年神奈川工科大学工学部教授、2013年同大学先進技術研究所所長、現在に至る。パワーアシストスーツ・ハンド・レッグの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。工学博士。

1. はじめに

我々は介護者が体に装着することによって簡便に肉体的負担を大幅に軽減できるパワーアシストスーツを1991年に提案し、ウェアラブルなアシストスーツを開発した¹⁾。その後パイプレス化・ワイヤレス化を進め、小型エアポンプと排気バルブ、Ni-MH電池、および組み込みマイクロコンピュータを採用することにより、完全ウェアラブル化を実現した²⁾。これまでアクチュエータとしてエアバッグあるいはエアシリンダを利用してきたが実用化には至っていない³⁾⁴⁾。前者においては低圧・軽量で安全かつ静粛であるが嵩張り邪魔である、後者においてはスリムであるが高圧・重量で騒音が耳障りである、という課題が残っているためである。

これらを解決するために、アクチュエータとしてベローズを用い、ベローズ内を負圧にした時の吸引力を回転力に変換して、腰関節および股関節の伸展力をそれぞれにアシストする新方式のものを開発した⁵⁾⁶⁾。さらにベローズをシリンダに内蔵したエアシリンダアクチュエータを新たに開発し脚ユニットに挿入しさらに臀部を支えるサドルに鉛直に設置することにより、脚を伸展させ臀部を押し上げる方式の強力なパワーアシストスーツを開発している⁷⁾。

2. パワーアシストスーツ

基本理念として以下の3点を掲げている。

- 1) 安全なシステム：動きやすさと安全性を実現す

るために、マスターである使用者がスレーブである機械を着用する、マスター・スレーブ一体システム。

- 2) スキンシップを妨げない：機械を使用者と被介護者の間に設置せず、背面に集約。
- 3) 自然な身体動作を妨げない：腰関節と股関節とを独立に設け、柔軟な空気圧ベローズをアクチュエータとして用い、柔らかさを維持しながら強力にアシスト。

アクチュエータとしてベローズを用い、ベローズ内を負圧にした時の吸引力を回転力に変換して、腰関節および股関節の伸展力をそれぞれにアシストする新方式のものは、腰ユニットが腰関節と股関節からなり、それぞれにベローズアクチュエータを備え、着用者の腰関節の伸展運動および股関節の伸展運動をそれぞれ独立にアシストできる。加えて、ベッドに近接し腰を下ろして患者を抱き上げる動作、両脚を開いてしゃがむ動作、を可能とするために、股関節の外転および外旋、足関節の外転をも可能にする構造となっている。

足ユニットの膝関節にコイルバネを組み込み復元力を利用して膝関節の伸展運動をアシストする簡便な方式のものを図1に示す。低床ベッドの患者さんを抱き上げるためには、十分にしゃがみこんだ体勢から患者を抱き上げることが必要となるが、そのためには広範囲な脚の動きを強力にアシストする必要がある。これを実現するためにベローズをスライド式多段伸縮シリンダに内蔵した伸縮比の大きなエアシリンダアクチュエータを開発した。これらを左右の脚ユニットに挿入し、さらにこれを臀部を支えるサドルに設置することにより、脚を伸展させ臀部を押し上げる方式の強力なパワーアシストスーツを開発した。図2に示すように、左右両脚ユニットの大腿部材の股関節側端部と下腿部材の足関節側端部との間に挿入したベローズ内蔵アクチュエータの伸展力により、膝を伸ばし直立する動作をアシストする機構と、臀部を支えるサドル部と直下の床面との間に挿入したベローズ内蔵アクチュエータの伸展力により臀部を持ち上げる機構を併設している。

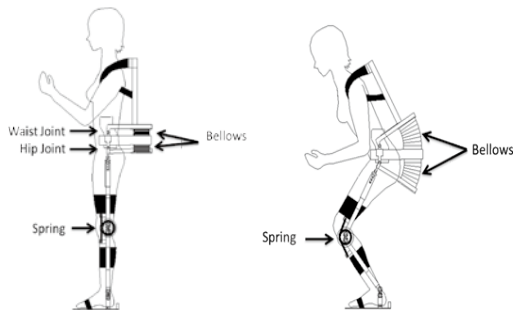


図1 ベローズアクチュエータによるパワーアシストスーツ、膝ユニットにスプリングを仕込んだタイプ

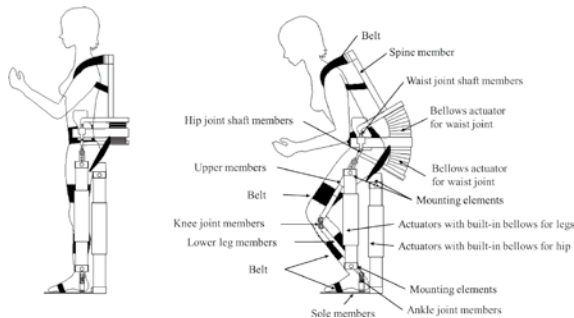


図2 ベローズアクチュエータによるパワーアシストスーツ、脚ユニットと尾骨ユニットにベローズ内蔵型アクチュエータを設置したタイプ

介護動作においてはまず、着用者が直立状態から膝を折り腰を曲げしゃがみ込むと腰関節と股関節が屈曲しそれぞれのベローズアクチュエータが受動的に伸展し空気が吸い込まれ、両脚ユニットと臀部のサドルに備えたベローズ内蔵型エアシリンダアクチュエータから空気が排出されて行き収縮して十分にしゃがみ込むことができ、低いベッド上の患者でも抱きかかえられる姿勢がとれる。つぎに、患者を持ち上げる動作においては、腰関節用ベローズアクチュエータと股関節用のベローズアクチュエータから同時に空気を排出しベローズを収縮させ回転力を発生させて腰関節を伸ばし股関節を伸ばす運動をアシストする。同時に両脚および臀部のベローズ内蔵型エアシリンダアクチュエータに空気を供給することによりエアシリンダが伸展力を発生して膝関節を伸ばし臀部を持ち上げ立ち上がる運動をアシストする。

3. 着用者の骨盤とスーツの腰ベルトとの固定

腰装着部にはロッククライミング用の腰ベルトとハーネスを利用することによって着用時にはしっかりと固定できる。抱き上げ動作時には過大な荷重がスーツにかかるために装着部全体が腰関節周りに回転し、あるいは骨盤に対して上下動する現象が見られる。そこで、装着部の後部を延長し仙骨にフィットさせ回転を防ぎ、先端にサドル部を構成し臀部を支えることにより、装着部の骨盤に対する上下動を

阻止する腰装着部構造を開発した。図3に開発した仙骨およびサドルの機能を持たせた尾骨からなるアルミ板による装着部を示す。肌に接する部分にはスポンジ板を張り付けている。



図3 仙骨およびサドルの機能を持たせたアルミ製尾骨部材を備えた腰装着部

4. 腰、股関節用ベローズアクチュエータ

図3に見える腰、股関節用の黄色のベローズアクチュエータは救命ボート用CRシートにより作製し用いた。腰関節用は直径80mm股関節用は120mmで、いずれも、収縮時最小長さ80mm、伸展時最大長さ350mmのものを使用した。ベローズが歪むことなく収縮できる範囲内における、開き角度一定の下での出力トルク・供給圧力特性は正比例特性を示し、最大トルクは腰関節用の場合60N・mであり股関節用の場合は80N・mであり、いずれも供給圧力が-65kPaの時に得られる。

5. コイルばねによる膝関節のアシスト

図3の右図に示したように、足ユニットの膝関節にコイルバネを組み込むことにより、着用者と患者の自重を預けることにより膝関節が屈曲回転しコイルバネが巻かれ、抱き上げ動作に伴い膝関節が伸展回転するときにコイルバネの復元力によりアシストする働きが生じ、膝を伸ばし直立する動作がアシストされる。用いたコイルは直径6mmの鋼線を直径は75mmに3巻したものであり、得られる最大トルクは膝関節の屈曲角度115°で57N・mである。

膝関節にコイルばねを組み込んだパワーアシストスーツを着用し、立ち上がった状態からしゃがみ込み、ベッドに近接する動作を行い、各関節の可動範囲を確認した様子を図4に示す。腰に対する上半身のねじり角度範囲は左右方向にいずれも25°であり、図4に示すように片膝を床につけた体勢をとることが可能であり、しゃがみこんだ姿勢での腰関節ユニットの屈曲角度は90°、股関節ユニットの屈曲角度は40°である。また股関節ユニットの外旋角度は

90°, 外転角度は45°, 膝関節の屈曲角度は120°, 踝の屈曲角度および外転角度は共に30°であり, 低床ベッドにおける介護動作にも対応可能な可動範囲である。



図4 膝関節にコイルばねを組み込んだパワーアシストスーツの着用実験, 可動範囲

介護動作の代表的な例としてベッドから車いすへの患者の移乗作業について動作実験を行った。図5に示すように体重45kgの女性がパワーアシストスーツを着用することにより, ポンプ出力圧-0.07MPaにおいて体重55kgの男性を抱え上げ歩行して椅子に降ろす動作が可能であることが実証された。



図5 膝関節にコイルばねを組み込んだパワーアシストスーツの着用実験, 移乗作業

6. ベローズ内臓型アクチュエータの開発

シリンダ内に挿入されているピストンが往復するエアシリンダにおいては, 収縮時長さとし伸縮時長さの比率が2を超えることができない。そのため, 関節などをアシストできる動作範囲が狭く歯車による拡大機構が必要となり, 構造が複雑になり軽量化が困難であり, 加えてピストン摺動面にOリングなどシールが必要であるため摩擦が大きく動きが硬くなる。この問題を解決するために, 伸縮する多段シリンダ内にベローズを挿入し給排気することによるベローズの伸縮に伴い, 多段シリンダが伸縮して出力する新方式のエアアクチュエータを開発した。

図6に示すものは3段シリンダの例であり, 櫛状

の嵌挿片を持つ一対の円筒が中央の円筒の中を互いにスライドして移動する構造で伸縮比3弱を実現している。この外テレスコープ式にスライドする複数の円筒を用いることにより, 3段あるいは4段とすることにより伸縮比3弱あるいは4弱のアクチュエータが可能となる。試作したベローズ内蔵エアシリンダアクチュエータは直径80mmの2段のテレスコープ式スライドアクチュエータであり, ストローク一定の下でアクチュエータへの供給圧力を増大すると出力が比例的に増大し, アクチュエータの高さ(ストローク)が小さい場合に大きな出力が発生する傾向を示した。最大出力は供給圧力150kPaの時に500Nである。負荷一定の下でアクチュエータへの供給圧力を増大すると, ストロークが比例的に増大し, 供給圧を減少させるとストロークはヒステリシス現象を示して減少する。ヒステリシス幅は負荷が大きいくほど大きい傾向を示し, 最大ストロークは供給圧力150kPaの時に300mmである。

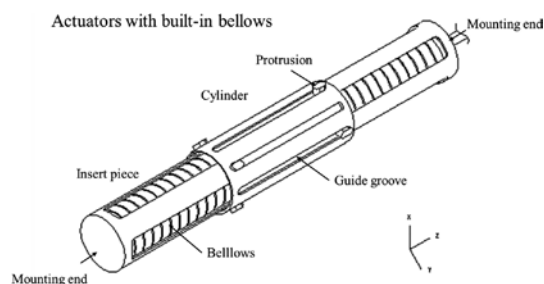


図6 嵌挿シリンダ式ベローズ内臓アクチュエータ

7. ベローズ内臓アクチュエータによる両脚および臀部のアシスト

ベローズ内臓アクチュエータを両脚および臀部に組み込んだパワーアシストスーツの動作実験の様子を図7に示す。患者の抱き上げ, 下ろしの一連の移乗動作を行った。直径80mmのベローズ内臓アクチュエータを両脚と臀部に用いたパワーアシストスーツ



図7 ローズ内臓アクチュエータにより両脚および臀部をアシストするパワーアシストスーツによる移乗作業

を体重40kgの女性が着用することによって、体重55kgの女性を抱え上げ歩行して椅子に降ろす動作が可能であることが実証された。ベローズアクチュエータへのポンプ出力圧を -0.07MPa に設定し、ベローズ内蔵アクチュエータへのポンプ出力圧を $+0.15\text{MPa}$ に設定して行った。しゃがんで人を抱いた状態でベローズ内蔵アクチュエータに給気すると、内圧が上昇しアクチュエータが伸展し始め、約11secかけて高さ（ストローク）が250mm上昇して、着用者は直立姿勢をとり、その後ベローズ内蔵アクチュエータから排気するとアクチュエータが収縮し腰が下りることが確認された。

両脚のアシストなしで、臀部のアシストのみで済ませたタイプのパワーアシストスーツによる動作実



図8 ベローズ内蔵アクチュエータにより臀部のみアシストするパワーアシストスーツによる移乗作業



図9 臀部のみアシストするスーツによる脱着作業

験の様子を図8に示す。用いたベローズ内蔵アクチュエータの直径は100mmである。一連の動作において、より深くしゃがみ込み、バランスが取りやすいことが確認された。また、歩行時にはベローズを収縮させることにより歩行の妨げにならないことが確認され、実用可能性が実証された。加えて、この方式では臀部をアシストするアクチュエータとフリーとなった両脚とでバランスがとりやすいので、スーツの脱着を着用者が一人でできるようになり、大型のリフトに吊るす必要がなくなるという利便性が生じた。図9に脱着作業の様子を示す。

8. おわりに

多段のシリンダにベローズを内包させるタイプの新しいエアシリンダを開発し、脚の伸展動作と臀部の持ち上げ動作をアシストする新しいタイプのパワーアシストスーツは膝ユニットの動作領域が広くなり、深くしゃがんで人を抱き立ち上がることが可能となった。特に、臀部のアシストのみとしたパワーアシストスーツは脱着が一人ででき実用性がある。

参考文献

- 1) 山本圭治郎, 兵頭和人, 石井峰雄, 松尾崇, 介護用パワーアシストスーツの開発, 日本機械学会論文集 (C編), 67巻657号, pp. 1499-1506, 2001
- 2) 石井峰雄, 山本圭治郎, 兵頭和人, 完全独立型パワーアシストスーツの開発—機構の改良と実用可能性—, 日本機械学会論文集 (C編), 72巻715号, pp. 857-864, 2006
- 3) 山本圭治郎, 石井峰雄, 横内亮太, 兵頭和人, 高橋勝美, 松尾崇パワーアシストスーツの開発 (腰・脚ユニットの改善), Dynamics and Design Conference 2012講演論文集 (日本機械学会), CD-ROM, Paper No. 436, 2013
- 4) 山本圭治郎, 石井峰雄, 兵頭和人, 高橋勝美, 松尾崇, エアシリンダ式パワーアシストスーツの開発, Dynamics and Design Conference 2012講演論文集 (日本機械学会), CD-ROM, Paper No. 610, 2012
- 5) 山本圭治郎 特願, PCT/JP2014/050309, 2014, 特許第6105091号, 2016 山本圭治郎, 佐藤武, 石井峰雄, 茂垣知江, 高橋真紀子, ベローズアクチュエータによるパワーアシストスーツの開発, Dynamics and Design Conference 2016講演論文集 (日本機械学会), CD-ROM, Paper No. 516, 2016. 8
- 6) 山本圭治郎, 特願2016-237367, 2016
- 7) 山本圭治郎, 佐藤武, 石井峰雄, 茂垣知江, 高橋真紀子, 高橋勝美, 空気圧ベローズアクチュエータによるパワーアシストスーツの開発, Dynamics and Design Conference 2017講演論文集 (日本機械学会), CD-ROM, Paper No. D601, 2017. 8

(原稿受付: 2017年7月8日)

解説

空気圧アシストレッグ

著者紹介



おやま おさむ
小山 紀

明治大学理工学部
〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1
E-mail: oyama@meiji.ac.jp

1978年より明治大学工学部（現・理工学部）助手を経て2000年同大学理工学部教授，現在に至る。日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，計測自動制御学会，日本設計工学会などの会員，工学博士。

1. はじめに

1991年から5年間にわたり両下肢麻痺者の歩行を可能とする荷重式歩行補助装置の開発プロジェクトが，国立リハビリテーションセンター・矢野英雄先生（当時）を中心に実施された。脊椎損傷により両下肢が動かせなくても，外殻により膝部および腰をしっかりと固定し立位状態を保てるようにしておけば，着用者は上半身の体重移動により片方の下肢全体を遊脚させ前方に送り出しながら歩くことができる¹⁾。矢野先生は下肢が不自由な人が車椅子を利用するのではなく歩行することの意味について，「他人と同じ視線レベルで対話可能となることで本人の尊厳が守られる」と話されたことに感動し，1998年から空気圧を使った歩行支援装置の研究を始めた。

2. 空気圧シリンダ駆動歩行装具

まず始めた研究では下肢を支える装具のフレーム部に医療用のシリコン袋（点滴用）を取り付け着用者の膝関節の伸展・固定を補助するアクチュエータとして使っていた。その後信頼性の高い空気圧シリンダに代えた。空気圧アクチュエータは内圧操作により剛性が広い範囲で変えられるので，立脚期には膝関節をしっかり支え，遊脚期には柔らかくなり速やかな重心移動を妨げない。ヒトの膝関節機能を空気圧シリンダの剛性調整機能を利用して模擬させたものであるとも言える。

装置全体は図1のように外殻式装具と，動力源を含む必要な機材をすべて入れたザックとで構成され

る。装具製作には義足・装具メーカーの協力を得た。フレームはジュラルミン製である。北川らの提案する二酸化炭素の三重点を利用したガス圧供給源²⁾を背中のザックに入れている。500ccの容積のタンクに420gのドライアイスをつまみ入れた場合，約1,200歩の歩行が可能であった³⁾。ドライアイスはスーパーストアなどで購入できるので，ときどき立ち寄って充填することを前提とすればかなり現実的な歩行数といえる。



図1 空気圧歩行支援装具を使っているところ

人工腕などを含めた支援装具で重要な課題となるのは，着用者の意思を検出する手法である。着用者の脳波や筋電位を利用してアクチュエータの動作制御をする方法が知られている。筋肉の張りを知る応力センサや空気圧アクチュエータの内圧を検出して腕や脚の状態を判断する手法も提案されている⁴⁾⁵⁾。特にアクチュエータの内圧利用は空気圧の優位性を示す望ましい方式だと思う。著者らは感圧センサ，角度センサ，加速度センサ，筋電位センサなどを足

裏部や膝関節などを使って歩行支援装具着用者の体位や脚位置を検出し、適当な条件やタイミングでアクチュエータへ動作信号を送る方式を試みてきた。評価基準は被験者が提示した「アシスト感」と筋電位センサで計測した筋力負担の軽減である。装具の使用感の評価は健常者がおこなうが、体の動きを制限する高齢者体験キットを身に付けている。試行の結果、着用者が装具動作の応答にある程度慣れ、体を積極的に使って歩行装具に支援タイミングの指示を与えても良いのではないかなと思うようになった。前述の荷重式歩行補助装置では、着用者が杖に取り付けられたスイッチで足底の上下アクチュエータを手動操作していた。我々は支援タイミングについて、センサ信号に閾値を設け着用者が加える体重や膝角度などがある値を超えたら、直ちに空気圧アクチュエータにオンオフ式に給気する単純な方式を採用している。

3. ニュートラル機構の導入

遊脚期初期、すなわち立脚を反対側に移し膝を前に送り出す瞬間には膝関節のアシストは不要で、むしろ体重移動に合わせ膝が自由に進むようにしたほうが自然な歩行ができる。膝の動きを制限しないようシリンダ内部の空気を抜いて開放しても、膝の動きに合わせて摺動するため歩行者の膝は摩擦による抵抗力が加わる。悪く言えば絶えず拘束された感じを持つ。空気圧シリンダは信頼性が高く、歩行支援アクチュエータとして十分な性能を持つが、動作しないときに駆動軸がニュートラルになる機構とするのは困難である。そこで収縮型ゴム人工筋を使った図2の駆動方法を開発した。ゴム人工筋を使ったアシストは既に多くの方式が提案されている⁵⁾⁶⁾⁷⁾が、我々はニュートラル機構を持たせる目的で用いた。

駆動部は同図のように2つの収縮型人工筋を対抗させて構成している。駆動軸はタイミングベルトとプーリにより人工筋と結合されるが、人工筋が加圧されていないとき、すなわち自然長ではベルトはプーリと噛み合わず軸はフリーな状態になる。立位状態では両側の人工筋を加圧し、対抗して動作させベルトをプーリに噛み合わせて膝関節を固定しているが、図3の左に示すように着用者が遊脚のため反対側の脚に体重を移動させた瞬間に人工筋を減圧し、膝関節をニュートラルな状態にする。遊脚期後半の適当な時期に（膝は曲がった状態となっている）人工筋を加圧し膝を固くして着地に備え、さらに着地して後ろ側に蹴るときの補助をする（同図右）。膝関節の最大移動角度は健常者よりやや小さめの40°⁸⁾程度を目標としている。

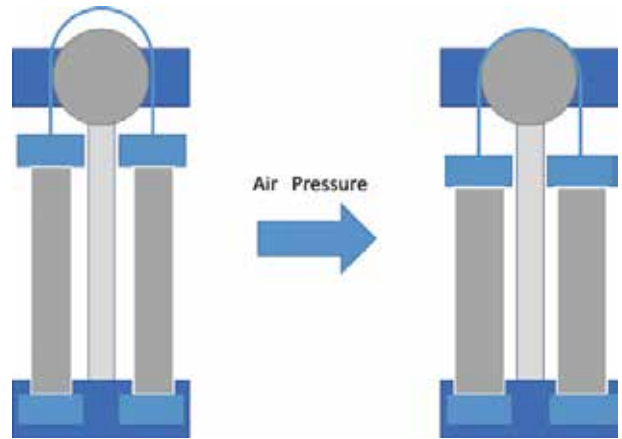


図2 ゴム人工筋と組み合わせたニュートラル機構

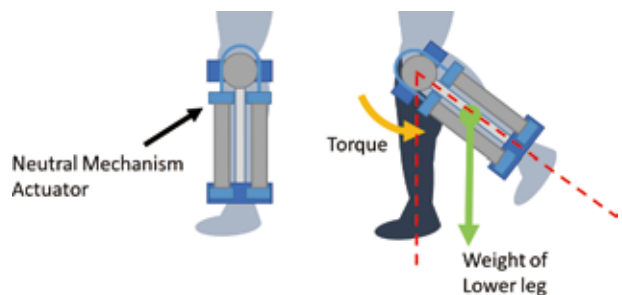


図3 ニュートラル機構を使った歩行支援

ニュートラル機構は歩行支援装具に対し以下のメリットを与えると思われる。

1. 部分的アシストによる自由で柔軟な歩行の実現
2. アクチュエータの非動作時において膝関節は常時ニュートラルになっており、転倒など予期せぬ場合での動きの自由や安全確保
3. それぞれの人工筋がプーリに噛み合う初期位置を変更できることによるトルク調整

試作したニュートラル機構を持つ人工筋駆動アクチュエータを図4に示す。人工筋は自然長時には内径25mm、長さ150mmで、プーリ径は45mmである。構造部のほとんどは研究室の3Dプリンタで作成した。人工筋の内圧と発生張力の関係を図5に示す。0.5MPaを加えた段階で人工筋肉の異常な変形が見られたためこれ未満の圧力で試験した。図より人工筋の最大引張力は540Nと求められるので、膝関節軸の最大トルクは約12Nmになる。このトルクは遊脚を支えるには十分だが、一般的なすべての脚動作を考慮するとより大きなトルクが必要である。

装具を吊るした状態で駆動可能な最大膝関節角度を計測したら、膝を鉛直方向に伸ばした状態（0°）から60°までは動かすことができたが、50°まで動かしたとき既に人工筋表面の繊維にずれが生じることがあった。しかし目標の40°までは安定で繰り返し使用できた。



図4 試作したニュートラル機構の付いたゴム人工筋

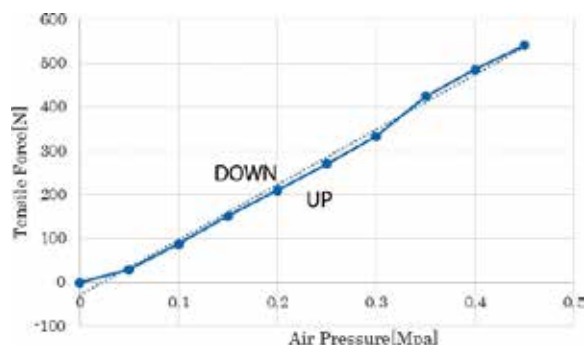


図5 人工筋の内圧と発生張力の関係

人間が認識できる応答遅れは約0.2secと言われている。ニュートラル状態から信号が送られて必要なトルクが発生するまでの応答時間は、今回は軸トルクを直接測定できないため計測していない。軸角度の変化は人工筋の収縮の動きを伴うので、所定の軸固定位置でのトルク発生に比べ応答は遅くなると思われるが、ここでは鉛直方向でニュートラルな初期位置から、最大角度である60°まで到達する時間を求めた。5回の実験の平均値では0.432secとなった。歩行速度が遅い高齢者などに対しては十分に満足できる値ではあるが、健常者と同様の速度で歩行したい場合はより応答を速くする必要があると考えられる。

4. おわりに

今回開発したニュートラル機構を持つアクチュエータは十分な有用性が認められるが、性能面に関して満足というわけではない。階段の上り下りや椅子からの立ち上がりなどのアシストではもっと大きな動作角度やトルクが必要となる。本研究のニュートラル機構はプーリとベルトが噛み合うまでの段階で、人工筋の収縮の一部を使用するので膝移動角度がまだ小さい。プーリ径やベルトとのギャップの最適化を考えている。

参考文献

- 1) 藤谷ほか：両下肢麻痺用歩行補助装具，平成8年度春季油空圧講演会論文集，p. 121-124 (1996)
- 2) 北川ほか：三重点における相変化を利用した携帯空圧源の開発，日本フルードパワー学会論文集，Vol. 36, No. 6, p. 158-164 (2005)
- 3) 石塚ほか：Dry-Ice Power Cellの空気圧歩行支援システムへの導入，平成22年度秋季JFPS講演会論文集，p. 40-42 (2010)
- 4) 山本ほか：完全独立型パワーアシストスーツの開発，日本機械学会論文集（C編），Vol. 72, No. 715, p. 857-864 (2006)
- 5) 川嶋：空気圧駆動を用いたパワーアシスト装具の開発，東京医科歯科大学ホームページ
- 6) 則次ほか：空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストグローブの開発，日本ロボット学会誌，Vol. 24, No. 5, p. 78-84 (2006)
- 7) 高岩ほか：装着者の体重を利用した空気式歩行支援シューズの開発，平成23年度春季JFPS講演会論文集，p. 85-87 (2011)
- 8) 原著Donald A. Neumann, 訳平田総一郎，嶋田智明：「筋骨格系のキネシオロジー」，医歯薬出版，p. 561 (2005)

(原稿受付：2017年6月14日)

解説

人に優しい機械としての油圧手術台

著者紹介



つ もり おさむ
津 森 撰

ミズホ株式会社第一技術部機械設計課
〒285-0808 千葉県佐倉市太田2173-13
E-mail: o.tsumori@mizuho.co.jp

2003年 瑞穂医科工業株式会社（現ミズホ株式会社）入社、手術台の設計・開発に携わる。

1. はじめに

本稿では動力として油圧システムを用いている手術台、特に電動油圧手術台の利点について、人との関係性の観点で実例を交えながら述べる。

2. 手術台の変遷：手回しから油圧へ

2.1 最初の手術台

手術台の歴史は現代外科手術が確立された19世紀中ごろ～20世紀初頭に始まった。世界最初の手術台はドイツで1840年に製作された木製平板のものである。20世紀初頭には容易に手術を行うために、各部の作動を手動ハンドルで動かすことのできる手術台が開発された（ハーン手術台：1910）この後、時を置かず、昇降部に脚踏み油圧ポンプを用いた手術台が製作された（図1）。

昇降作動は術者の姿勢により細かく高さを変えるなど、多用する動きであるにも関わらず、患者および

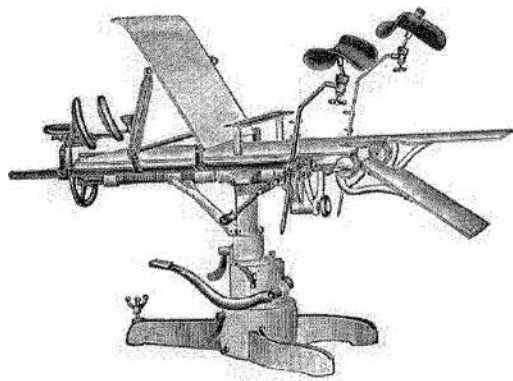


図1 ハーン改良手術台¹⁾

手術台テーブル部の全荷重を支える作動であり、人力でハンドルを回し続けて操作することは重労働である。使用者の負担軽減や省力化に効果が大きいことが昇降作動を最初に油圧化した理由と考えられる。

2.2 全油圧駆動手術台

手動ハンドル手回しの手術台でもそうであるが、手術台の作動は患者の頭側で麻酔医によって行われることが多く、操作部を頭側に集めることは操作性の向上の観点から重要であった。

そのため、すべての作動を手術台ベース頭側部の脚踏みの作動だけで行えるように油圧バルブを用いて油の通り道を変更させることで、ほぼすべての作動を油圧にて行うことが考えられ、1959年全駆動油圧手術台が日本で開発された（図2）。

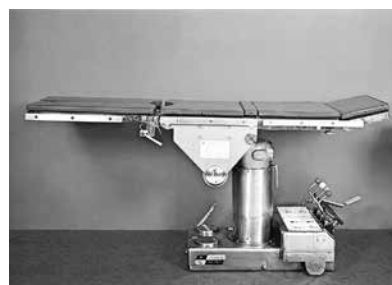


図2 全油圧駆動手術台¹⁾

本手術台は手回しのギア式の手術台の欠点であったバックラッシュに拠るガタツキを抑えるとともに操作部の機構がコンパクト化されたことにより、テーブル下に広い空間を確保できたため、X線受像装置をもぐりこませることが容易で、X線撮影に対応することを可能にした。

現在はさらに省力化を図るため、脚踏みポンプの部分を電動ポンプに置き換えた電動油圧手術台の他、上部テーブル部を分離するために全作動を電気モーターで行う分離型手術台、足回りを広く取るためにベース部を床に埋め込んだ手術台などがある。¹⁾²⁾

3. 手術台の特性

3.1 手術台の安全性

手術台は患者さんを載せて医療関係者の方々が操

作する機械である。そうした機械でまず考えるべきは、麻酔によって無意識状態で載っている患者さんの安全、つぎに操作する方々の利便性になる。

本質的に人を扱う性質を持つ機械であるので、手術台の動きは可能な限り丁寧なものであることが望ましい。

そのため、載っている患者さんの体格や関節の動きに合わせる目的や手術の術式に合わせる目的で手術台は、人体の関節構造と似たような動きを多く持ち、安全な手術を遂行できるように作られている。

3.2 力と速度

麻酔により意識を失っている患者さんが載る機械である手術台は比較的低速の作動をさせることが多い。(凡そ2.5～25mm/sec | 0.5～5°/secの範囲)

また、患者さんの人体を扱うので比較的大きな力が必要とする。肥満や過体重の定義によりその割合には振れ幅もあるが世界的に肥満患者が増加している傾向にあるため³⁾⁴⁾、特に米国などで手術台の許容荷重の要求が1,000lbs (450kg) 以上と増加している。

油圧システムの場合、適切な流量のポンプとシリンダ径の選定によって希望の速度と出力を比較的容易に実現できる。

3.3 電動油圧手術台の構造

図3に電動油圧手術台の模式図を示す。(実際の手術の際にはマットや体位固定用の器具が取り付け)



図3 電動油圧手術台模式図

一般的な電動油圧手術台の多くはベース部にバッテリーなどの電源やコントロールユニットなどの電気部品を含んだ駆動ユニットを配置している。電動ポンプで発生させた油圧力は油圧調整弁で圧力を調整された後、バルブによって油路を切り替えられ、ホースを通して各関節のシリンダに力を送っている。

手術台の作動としては、手術台の移動と固定、テーブルの上昇下降の他、頭脚方向に傾ける縦転、左右方向に傾ける横転、背板角度の調整、脚板角度の調整、上部テーブルの平行スライド移動、腰部を押し上げる挙上機能などがある。

4. 電動油圧手術台の利点

4.1 手術台の駆動方式

手術台の駆動方式としては、動かしたい部位を直接持って動かす手動、油圧シリンダによる油圧駆動、電動アクチュエータによる電動駆動、がある。手動にはガススプリングなどの補助を用いることも多く、油圧駆動には足踏みポンプなどの人力によるものと電動ポンプによって駆動する電動油圧がある。

また一つの手術台の中でも駆動場所によって手動と電動を分けている場合もあり、また、緊急時の対応のため、主に使う方式と別系統の駆動方式を並列に持っている手術台の機種もある。

4.2 各方式の比較点一人に優しい機械として

先に述べたように油圧手術台は使用者の省力化を背景として生まれた歴史がある。

手術の際に患者さんの移送や体位決めを行うことや、時に数時間以上となる長時間の手術などは重労働であり、それらによる疲労を軽減し利便性を高めることが手術台の役割の一つである。これは患者さんの安全性の向上にもつながり、使用者の利便性と合わせて、本稿のタイトルでもある人に優しい機械としての存在理由になると思う。

4.3 電動油圧手術台の利点

電動油圧手術台の利点の第一は電動であることである。手回しより足踏みポンプの方が格段に利便性は高いが、電動化をすることにより、手術台の駆動は人力による重労働から開放されている。

油圧手術台の利点の別の面は、動力源とアクチュエータを分離できることにある。

手術台は人が載る部分(テーブル部)が明確である。油圧駆動の場合、ポンプやモータ、動力源およびバルブなどの動力切替え装置は別に配置することができるため、特に動力源をテーブル部から離れたベース部にしまい込むことができる。

そのため、油圧システムを用いると、人体に近いテーブル部ではアクチュエータのスペースのみを確保すれば駆動が可能であり、生まれたスペースによって多くの利点が生まれる。

次項から、それぞれ具体的な利点について述べる。

4.4 X線透視範囲

手術台上では外科手術の途中や術後にX線による透視撮影を行うことが頻繁にある。特に整形外科の手術で状態を逐次把握し、整復手術を容易に進めることに用いる他、体内の異物の確認や除去などの場合にも有用であるとされている⁵⁾。また、カテーテルを血管に通して手術をするインターベンションの術式では体のほぼ全身を透視する必要があるなど、

できるだけ広い透視範囲を要求されている。

透視を可能にするため、テーブル部の中でも患者さんが直接載る部分は透視可能な材質を用い、主に樹脂もしくはカーボンファイバー素材で作られている。

しかしアクチュエータやそれを支えるフレームは大きな荷重に耐える必要があり、概ね金属部品で作られる。透視範囲を広げるためには、この透視ができない金属部分を減らすことが要求される。

油圧駆動では動力源をテーブル部に持つ必要がないため、特に単純な構造で大きな力が出せる油圧シリンダなどはスペース的に有利である。

1回の手術における被曝は少量と考えられているが、晩発的影響の可能性は否定できないので、術中の放射線被曝は必要最小限に抑える必要がある⁶⁾。X線透視の容易さは患者さんや使用者の被曝時間とも関係が予想されるため、透視範囲を広く取りやすい電動油圧手術台には人体への影響の面でも利点がある。

4.5 非磁性

磁化された水素原子の共鳴を検知して画像化する機械であるMRIを術中に用いることが主に脳外科の分野で行われている。

MRIはその性質上、強磁場が発生するので、磁性体を接近させると大きな力で引き込まれる。注意喚起は行われているが、実際吸着事故は多く発生し⁷⁾⁸⁾特にポンベなど大きな質量の吸着事故では死亡事故も起きており⁹⁾、俗にミサイル効果 (missile effect) などと呼ばれることもある¹⁰⁾。

また、固定され吸着のおそれのない部分でも画像への影響は磁性の強い材料ほど大きく現れる¹¹⁾。そのため、MRIの近辺で使用される機器、特に画像を撮影するガントリ内では、非磁性体および画像への影響の出ない材料であることが求められる。

上記の理由から術中MRIで用いられる手術台はテーブル部を非磁性体材料で作られており、ガントリ内に入る部分は特に画像に影響の少ない材料のみで構成されている。

手術台を動かすための動力源は現状、磁性体を用いる方法に頼るしかないが、油圧手術台ではベース部に格納して画像撮影する箇所から離して配置できている。これも動力源をテーブル部に持つ必要が無いことから得られる利点である。

4.6 静粛性

医療機器としての騒音の規制は厳しいものではないが (JIS T0601-1:2012 9.6 等)、手術台は手術室内で使用される機械であるため、手術に関係の無い音の発生については嫌われる傾向にある。

病院によってはリラクセス効果を狙って手術室内

に音楽を流しているところもあり、術中に流す音楽の影響についても研究が行われている¹²⁾。

油圧機器の騒音の発生源は動力源である電動ポンプや油路の切り替えに用いる電磁弁、流れに伴うキャビテーションであることが多い¹³⁾¹⁴⁾。電動油圧手術台の場合、速度が遅いため流量も比較的少なくキャビテーション発生もまれである。また電動ポンプや電磁弁はベース部に配置されるため、遮音カバーで覆う等の対策を施すことも比較的容易である。

これ以外の実用上問題になる術者や患者さんに近いテーブル部での騒音は、軸の摩擦等、他の駆動方式でも同様に内在している要因が大きい。

手術台の騒音の軽減の対策としては他に、作動時のみのポンプ駆動、機種によっては作動時に軽快な作動音を鳴らす、という工夫が行われている。

4.7 電氣的な安全性

手術台は電撃に対する保護のため、漏れ電流については厳しい規制がある。実際、電気メスや、電氣的除細動などの大きな電流を流す機械を用いる。

油圧手術台の場合、テーブル部には電気を必要としないアクチュエータのみを配置することが可能である。そのため、接地を確実に行うなどの対策でノイズなどの影響を最小限にすることができる。

漏れ電流は万が一発生すると、患者さんの安全に直結するため、正しく対応した機器を使用することで防止しなければならない。

4.8 油圧回路による複合的な動き

油圧手術台では、油圧回路の工夫により、特徴的な動きを簡単に作ることができる。

特に体全体を前後方向に縦転すると同時に背板を逆方向に作動させて、体の伸張や屈曲を促し、リラクセスできる体位を形作るフレックス・リフレックス作動 (図4) は多くの手術台で導入されている。

手術台には脚板を左右計2枚持つ機種があるが、左右の脚板を同時に作動させたり、片側のみを作動させたりという作動もバルブ切り替えにより行うことができる。このとき片側のシリンダから戻ってくる油を逆側に流入させることで、片方の脚板に荷重が掛かった状態でも、左右の脚板を同期させて作動させることが油圧回路の工夫で可能である。

特殊な使い方として、図5のように、術中の作動

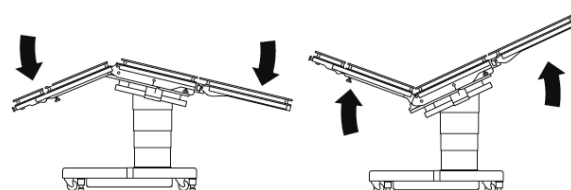


図4 フレックス (左) とリフレックス (右)

時に患部の移動を抑える目的で、横転を作動させるシリンダからの戻り油を横方向スライドに流入して同時に作動させ、横転の傾斜によって発生する患者の横ずれを軽減する機構も発案されている¹⁵⁾。

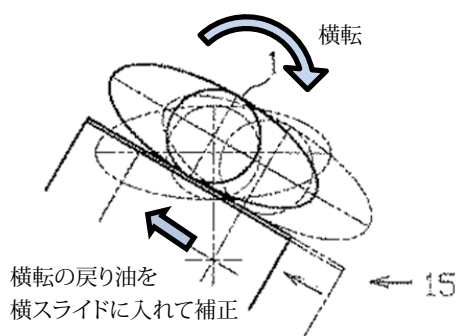


図5 横ずれ軽減機構概要

5. 電動油圧手術台の課題

手術台として有利な点が多くある電動油圧手術台であるが、ほかの駆動方式に劣る点もいくつか課題として挙げられる。

最初に挙げられるのが油漏れである。手術室では油などによる汚れは非常に嫌われる。そのため油圧手術台にとって潜在的に危険をはらんでいる油漏れは欠点として挙げられる。油漏れが発生し、進行するとがたつきや自然降下などが発生する可能性があるため、万が一の時のための自己保持機能も課題として挙げられる。

つぎに切り離しの不便さである。分離型手術台と呼ばれる手術台は、テーブル部を切り離し、移動・交換して運用することで経済性を高めようとしている。

油圧手術台で切り離しを自動化しようとする大掛かりな機構を採用せざるを得ず、この点では電動手術台に軍配が上がる。

最後に電源配線の問題である。多くの電動油圧手術台ではバッテリーを内蔵しており、充電しておけば、手術中の電源の供給は不要であるように設計されている。ただし、電動の医療機器は電気的な接地が義務付けられ、接地配線が必要とされる。

一方、手術室内の配線は足元の不安定さから嫌われている。患者さんの生命維持や状態確保のために多くの管や配線を繋いでいて混乱している状態を俗にスパゲティ症候群 (spaghetti syndrome) とも呼ば¹⁶⁾管理方法に工夫がなされるが、手術室内の配線についても同様の表現をすることがある。

手動手術台では配線の必要が無く、手術台のわずかな配線ではあるが、この面での比較としては手動手術台の方が電動油圧手術台よりも有利と言える。

各項目での有利不利を表1にまとめる。

表1 各駆動方式の手術台の対比

項目	手動 手術台	油圧駆動手術台		電動 駆動手術台
		脚踏 ポンプ	電動 ポンプ	
労力	×	○	◎	◎
X線透視	△	○	◎	○
非磁性	○	○	○	×
静粛性	◎	◎	○	△
電気的安全	◎	◎	○	△
複合作動	△	△	○	○
油漏・汚れ	○	△	△	○
分離	△	×	×	◎
配線	◎	◎	△	△

参考文献

- 1) 根本達：手術台の変遷，医科学Vol. 71, No. 9, p. 443-450 (2001)
- 2) 櫛山三蔵，森岡亨：手術台と関連システム，BME Vol. 1, No. 12, p. 932-936 (1987)
- 3) NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC) : Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014 : a pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19.2 million participants, Lancet Vol. 387, p. 1377-1396 (2016)
- 4) Katherine M. Flegal, PhD; Deanna Kruszon-Moran, MS; Margaret D. Carroll, MSPH; et al Cheryl D. Fryar, MSPH; Cynthia L. Ogden, PhD : Trends in Obesity Among Adults in the United States, 2005 to 2014, JAMA Vol. 315, No. 21, p. 2284-2291 (2016)
- 5) 井上貴博，川崎篤，富田俊樹，原田竜彦，大平達郎，菅家稔：生き埋めによる砂利気管支異物の1例，耳鼻咽喉科展望Vol. 37, No. 6, p. 644-648 (1994)
- 6) 大倉俊之，塩月康弘，坂田勝美：当院での大腿骨転子部骨折に対する術中透視時間の検討，整形外科と災害外科 54 (1), p. 97-100 (2005)
- 7) 宮地利明：MRIの安全性，日放技学誌Vol. 59, No. 12, p. 1508-1516 (2003)
- 8) 土井司，山谷裕哉，上山毅他：MR装置の安全管理に関する実態調査の報告—思った以上に事故は起きている—，日放技学誌Vol. 67, No. 8, p. 895-904 (2011)
- 9) <http://www.sozogaku.com/fkd/cf/CA0000257.html>
- 10) <http://www.mrisafety.com/SafetyInfo.asp?SafetyInfoID=185>
- 11) 山城光明：MRIにおけるメタルアーティファクトの検討—撮像条件による評価—，日大口腔科学Vol. 25, p. 129-141 (1999)
- 12) 手術医療の実践ガイドライン，手術医学Vol. 34, No. Suppl., p. S41 (2013)
- 13) 辻茂：油圧機器の騒音，騒音制御Vol. 2, No. 4, p. 9-14 (1978)
- 14) 佐藤俊雄：機械工学全書1053油圧装置設計の実際改訂9版，大河出版，p. 246-247 (1977)
- 15) 特開2016-54858
- 16) Jay Haynes, MD, Kelly Bowers, MPH, Richard Young, MD, Trudy Sanders, PhD, Karen E. Schultz, MPH : Managing Spaghetti Syndrome in Critical Care With a Novel Device : A Nursing Perspective, Crit Care Nurse Vol. 35, No. 6, p. 38-45 (2015)

(原稿受付：2017年5月17日)

解説

空気圧要素を用いた鬱血褥瘡防止マットの開発

著者紹介



はや かわ やす ひろ
早川 恭弘

奈良工業高等専門学校
〒639-1080 大和郡山市矢田町22
E-mail : hayakawa@ctrl.nara-K.ac.jp

2006年奈良工業高等専門学校電子制御工学科教授、現在に至る。空気圧を用いた福祉介護機器開発の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、IEEEなどの会員。博士（工学）。

1. はじめに

近年、日本では少子高齢化社会が問題となっている¹⁾。これにより、体の不自由な高齢者が増加しており、寝たきり高齢者の床ずれが問題になっている²⁾。この場合、介護者は長時間つききりで介護を行わなければならない、精神的に負担が大きくなる。また、定期的な患者の体位変換が必要であり、腰痛などが発生することから身体的にも負担が大きくなっている。そこで、市販されている一般的な介護支援機器では、マットの圧力分布が計測可能であり患者が離床時に検知する機能を有するマット、圧力の切替えにより患者の鬱血や褥瘡を軽減することができるマットがある。しかし、双方の機能を有する介護支援機器はないことから、患者の状態に合わせたマット制御を可能とする介護支援機器の開発が求められている。特に、床ずれ問題は、寝たきりの高齢者が長時間同じ姿勢の状態である場合において、圧迫された部位の血流が阻害されることにより発生する。床ずれの主な発生要因は、もっとも防止すべき体圧の集中による血流の停滞の他に摩擦、湿潤、擦れ等がある³⁾。よって、症状の悪化を防ぐために、定期的な体位変換が必要である。

そこで、本解説では、エネルギーの蓄積が容易であり緩衝効果を有する空気圧システムに重点をおきながら、寝たきりの高齢者および介護者の負担を軽減する介護用アクティブセンシングマットの開発について説明する。ここで、アクティブセンシングマットとは、患者の状況に応じてマット制御を行い、体位変換を促がすことにより鬱血や褥瘡を抑制する。また、遠い場所からでも患者の状況を把握できるモニタリング機能を有することや介護者により患者の状況に合わせて各マット要素を動作させることがで

きるマットシステムである。

2. アクティブセンシングマットシステム

開発したマットシステムを図1に示す。本システムは、マット部、負圧ポンプ、加圧ポンプ、バルブ、回路部、およびPC部から構成されている。

本研究で開発したアクティブセンシング用マット要素を図2に示す。マット要素は、柔らかく体圧分散効果が高い低反発スポンジと弾力性があり復元力の高い高弾性スポンジの2種類から構成されている。また、加減圧制御には低反発スポンジを利用し、圧力感知用セルには高反発スポンジを用いている。これらのスポンジをフィルムと布でコーティング加工することにより密閉効果を有する。また、布の生地には、吸汗性と速乾性を兼ねもつジャージ素材のものを使用することで、褥瘡の原因の1つである蒸れを抑制している。更に、圧力センサおよび、切替え弁を使用することにより、加減圧制御を行う。これにより、マット要素の剛性変化や形状変化が可能である。すなわち、過荷重時にマット要素を加減圧することで体位変換を促がし、床ずれを防止する。ここで、加減圧制御の調整は、制御回路からの命令によってバルブのON/OFF制御を行うことにより実現

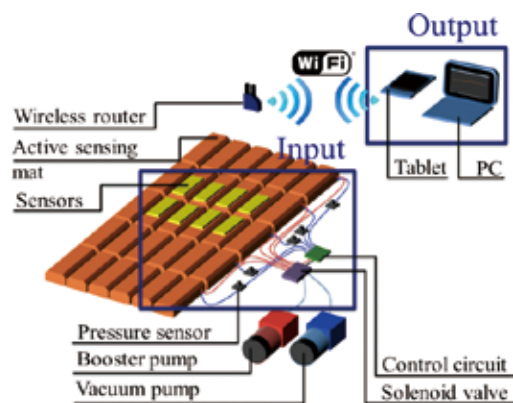


図1 マットシステム外観図

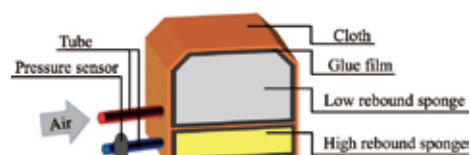


図2 マット要素の構造

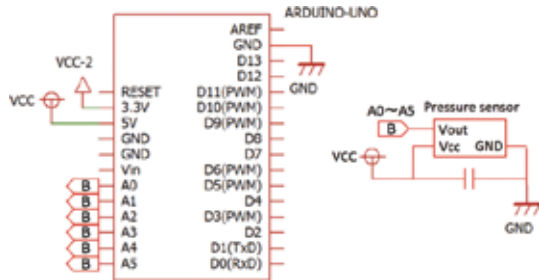


図3 併用シールド回路

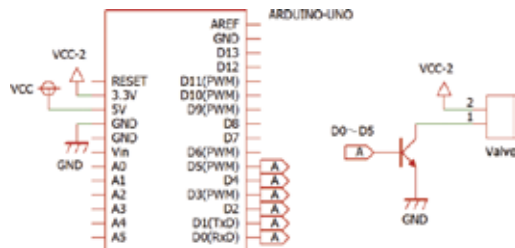
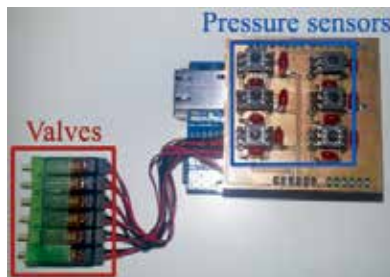
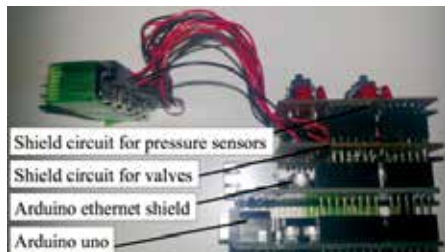


図4 圧力センサ用シールド回路



(a) 上面図



(b) 側面図

図5 回路外観図

する。更に、無加圧状態においても、スポンジ自体に形状保持能力があることや、2層構造になっていることから、身体の底付き防止効果を有する。

本システムの通信は、入力装置と出力装置との間で行われる。通信システムの構築には、マイコンボード「Arduino Uno」との連携を可能にするプログラミングソフト「Arduino」と「Processing」を使用している。つまり、アクティブセンシングマットを入力装置および出力装置として使用することにより視覚的、定量的に患者の状態を把握することができる⁴⁾。遠隔操作としては、シールド回路「Arduino Ethernet shield」を用いることで、ローカルエリア内でのネットワークを利用した無線通信

が可能である。

つぎに、アクティブセンシングマットシステムの構成に関して説明する。マットを加減圧制御するための弁として、小型・省電力な3ポート電磁弁を使用している。

回路部は、マイコンボード「Arduino Uno」、シールド回路「Arduino Ethernet shield」、バルブ制御用自作シールド回路、圧力データ取得用の自作シールド回路から構成されている。そして、各回路をマイコンボード上に積層に取り付けることで回路部を小型化している。ここで、製作したバルブ制御用シールド回路の回路図および圧力データ取得用シールド回路を図3および図4に示す。また、各回路を搭載した弁制御装置を図5に示す。

3. アクティブセンシング検証実験

3.1 圧力変化の色相表示

アクティブセンシングマットの開発として、入力装置と出力装置における通信システムの構築を行っている。具体的には、PC、タブレット、入力装置等から得られる圧力変化を出力装置に色相や波形として表示する。本研究の目的の1つとして、介護者の精神的負担の軽減がある。精神負担は、介護者が患者の状態を視覚的、定量的に監視することで軽減が期待できる。そこで、本研究では、患者が離床時、就床時の判別を視覚的に行うモニタリング画面を開発している。具体的には、入力として圧力センサから得られるマット要素の内圧値をHSV数値に変換し、色相としてモニタリング画面に出力する。本研究では、圧力変化の色相レベルを図6のように定めている。また、測定箇所は、体圧が集中しやすい頭（頭骨部）、背中（肩甲骨部）、臀部（仙骨部）であり、被験者は皮下脂肪の少ない成人男性（168cm / 57kg）とし、計測はマット上で静止した状態から開始している。

図7(a)に離床時のマットの状態、図7(b)に離床時の色相を示す。また、図8(a)~(c)に離床時における被験図者の動作の一例を、色相表示を図9(a)~(c)に示す。ここで、図7および図9におけるマット要素1番、2番は頭、マット要素3番、4番は背中、マット要素5番、6番は臀部に対応するものとする。

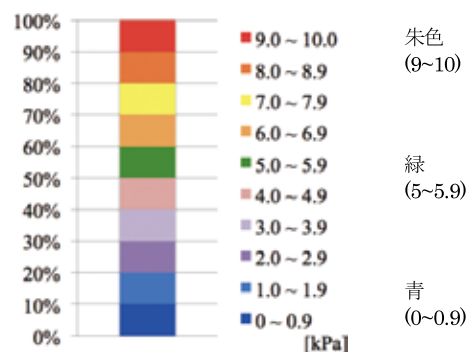
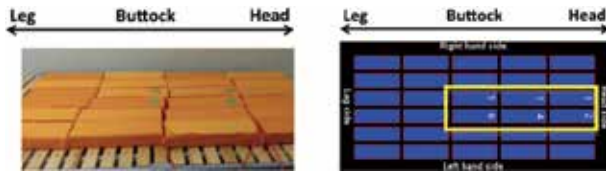


図6 色相レベル



(a) マット外観図

(b) 色相表示

マット番号	5	3	1
	6	4	2

図7 アクティブセンシングマット

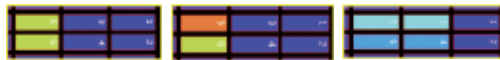


(a) 動作1

(b) 動作2

(c) 動作3

図8 動作例 (ベッド上)



(a) 動作1

(b) 動作2

(c) 動作3

マット番号	5	3	1
	6	4	2

図9 色相表示例 (ベッド要素)

実験結果から、離床時および就床時の体位に合わせて色相を表示できていることがわかる。この結果より、頭、背中、臀部では臀部に体圧が集中しやすいことが明らかである。特に、図8(b)で顕著に色相変

化が見られることから、図8(a)~(c)の体位の差異に大きな体圧が作用することが示されている。すなわち、小型端末上に開発したモニタリング画面を利用することにより、介護者は、患者の離床時、就床時を視覚的に判断できることがわかる。

3.2 圧力変化の波形表示

圧力変化の色相表示では、患者が離床時、就床時の判別を視覚的に行うモニタリングを開発し、色相変化から患者の状態判別を行える。しかし、測定箇所によっては身体との接触面積が少ないことから微量の変化しか得られず、十分な色相表示が見込めない。そこで、本研究では、患者の状態判別を視覚的、且つ定量的に行えるようなモニタリング画面を開発している。具体的には、圧力センサから連続で得られるマット要素の内圧値を、時系列の波形データとしてモニタリング画面に出力している。測定箇所は、体圧が集中しやすい頭(頭骨部)、背中部(肩甲骨部)、臀部(仙骨部)について計測し、被験者は皮下脂肪の少ない成人男性(168cm/57kg)、計測はマットの上で十分静止した状態から開始した。

図10に動作の一例を、図11にPCに出力したモニタリング画面の一例を示す。ここで、図10(a)~(e)は、図11(a)~(e)に対応する。また、図11に見られるマット要素1番・2番は頭、3番・4番は背中、マット要素5番・6番は臀部に対応するものとする。



(a) 動作1 (b) 動作2 (c) 動作3 (d) 動作4 (e) 動作5

図10 動作例

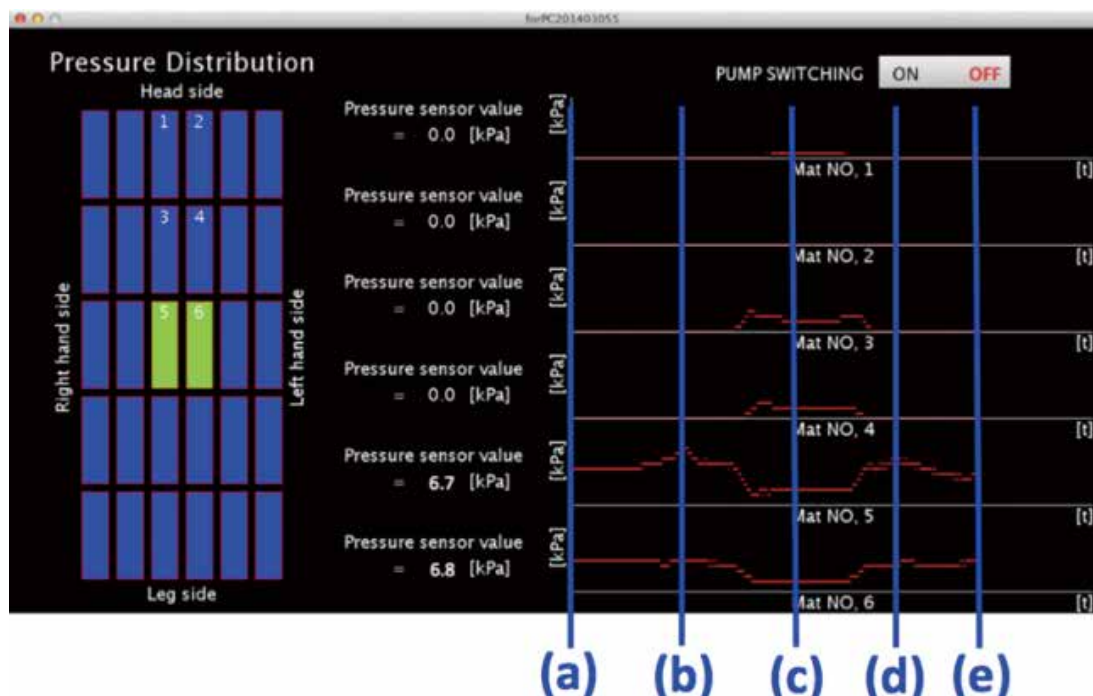


図11 表示例

また、図10(a)~(e)の体位の際に、図11(a)~(e)のように圧力値を示すことから、色相表示の実験と同じ特性を持つことがわかる。また、頭（頭骨部）、背中（肩甲骨部）、臀部（仙骨部）の3か所に体圧が集中しやすいことも明らかである。

そして、PCおよびタブレット上で開発したモニタリングシステムを利用することにより、介護者は、患者の状態を視覚的、定量的に判断することができる。

4. 手動制御システムの構築

提案するアクティブセンシングマットシステムでは、ある一定以上の圧力が掛かった場合、または、一定時間以上圧力が継続して加わった場合に、対応するマット要素を自動で加減圧制御している。さらに、圧力分布をHSV数値に変換し、色相としてマット要素ごとにモニタリング画面に自動出力している。

しかし、「予防」という観点から考えると、自動制御だけでなく、介護者自身が患者の状態に応じて、手動でシステムを制御する機能が必要である。そこで、本研究では、自動制御に加えて、手動制御における通信システムを構築している。図12に手動制御におけるシステム構成図を示す。具体的には、モニタリング画面上にスイッチを制作し、スイッチ操作によりバルブのON/OFF制御を可能にする。介護者は端末の出力データをもとに、端末操作により「Arduino Uno」に信号を送り手動で制御する。そして、図12中の(c)より「Arduino Uno」からバルブ制御用の自作シールド回路に送られたバルブのON/OFF信号により、対応するマット要素が加減圧制御される。制作したバルブ制御用スイッチを図13に示す。ここで、図13(a)は処理前、図13(b), (c)は処理後のスイッチの一例である。本スイッチは、座標によるカーソル位置の判別によりON/OFF判別を行う。具体的には、図13(b)の状態ではバルブが作動し図13(c)の状態ではバルブが停止する仕組みである。

スイッチ操作によるバルブの動作結果を図14に示す。ここで、図14(a), (b)はそれぞれ、図13(b), (c)に対応したバルブの動作結果である。この結果、モニタリング画面上のスイッチ操作に対してバルブが作動していることが確認できる。

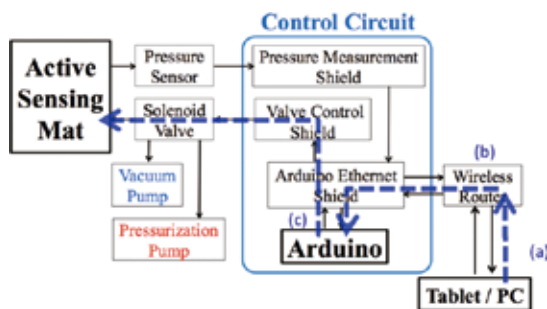


図12 手動制御用回路

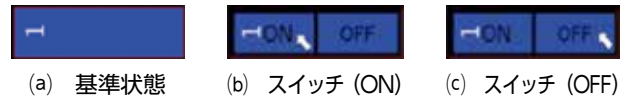


図13 弁用制御スイッチ

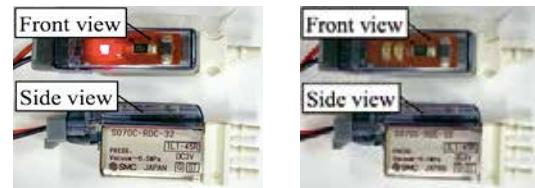
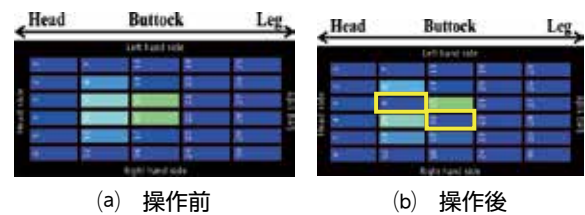


図14 弁の応答結果



図15 臥位状態の被験者例



(a) 操作前

(b) 操作後

マット番号

1	7	13	19	25
2	8	14	20	26
3	9	15	21	27
4	10	16	22	28
5	11	17	23	29
6	12	18	24	30

図16 モニター表示例

5. 手動制御システムを用いた基礎実験

本研究のもう一つの目的として、介護者の身体的な負担の軽減がある。すなわち、介護者が患者に合わせてマットを遠隔操作し、体圧を分散させることで介護者の身体的負担の軽減が期待できる。そこで、本研究では、手動制御システムを用いた基礎実験として、圧力分布の色相表示、およびマットの手動制御を行っている。

具体的には、試作のモニタリング画面を構築し、圧力分布を色相として出力することで精神的負担の軽減を目指す。また、モニタリング画面上のスイッチ操作により、荷重が集中している人体部位の一部において体圧分散を行うことで、身体的負担の軽減

を目指す。ここで、圧力分布の色相レベルは図6のように定める。

圧力分布は、頭骨部、肩甲肩部、仙骨部、大腿部、踵部の全身5箇所について計測している。また、被験者は寝たきり患者を想定し、皮下脂肪の少ない成人男性（168cm/57kg）である。

図15に臥位状態の一例、図16に試作モニタリング画面の一例を示す。ここで、図中に見られる長方形の枠はマット要素単体を示す。これを等間隔で配置することにより、アクティブセンシングマットとしている。また、マット要素は計測箇所に応じて番号が割り当てられており、1～6番、7～12番、13～18番、19～24番、25～30番はそれぞれ、頭骨部、肩甲肩部、仙骨部、大腿部、踵部に対応するものとする。図16(a)の結果より、肩甲骨部と仙骨部に体圧が集中していることが、色相変化より明らかである。また、図16(b)において、9番、16番のマット要素（図中白枠線）を、スイッチ操作により遠隔で減圧した。この結果、スイッチ処理前（図

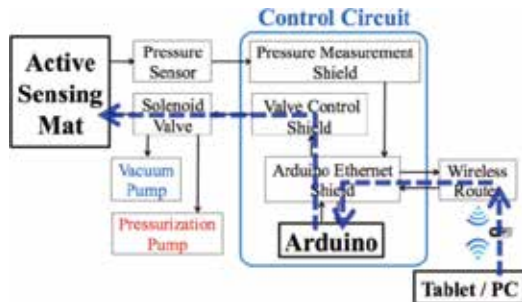


図17 無線化したマットシステム構成図



図18 色表示（無線型）

16(a)と処理後（図16(b)）で除圧、および体圧分散が行えていることが、色相変化から示されている。

6. システムの無線化

本システムでは、マット内部に一定以上の圧力が掛かった場合バルブを動作させ、マット要素を加減圧する。その結果、鬱血、褥瘡を抑制する。従来のシステムでは、有線を通してPC上で圧力の検知を行っていたが、介護者が遠距離にいても患者の状態

を知るため、患者の状態に合わせて無線化によるマットシステムの手動制御を行う。具体的には、遠隔地にあるタブレット・PC等の端末に患者の状態を表示し、端末側からの操作によってバルブをON/OFFすることでマットを加減圧制御する。無線化したマットシステム構成図を図17に示す。本システムでは、マット要素内の圧力変化を圧力センサによって測定する。そして、その結果を「Arduino Ethernet Shield」によって無線ルーターを通して端末側に送信する。端末側は受信した圧力データを色相変化として出力し、介護者は示されたデータを元に回路部にバルブの切替え命令を行うことが出来る。これにより、マット要素の加減圧制御を行うことができる。具体的には、端末側から「0」という信号を回路部に送るとバルブがOFF、「1」という信号を送るとバルブがONになる。

圧力センサによって受信した端末の色相表示の一例を図18に示す。図18(a)では無加圧状態での色相、図18(b)では5kPaの圧力を印加させた場合の色相、図18(c)では10kPaの圧力を印加させた場合の色相を示している。このことより、回路部の圧力センサに印加する圧力に応じて、端末上で色相表示が行われていることがわかる。

7. おわりに

本解説では、アクティブセンシング用マット要素に関して、マットシステムの基盤となる通信システム、被験者の状態を示すモニタリング画面、および加減圧制御システムの構築について説明した。また、マットシステムの検証実験として、停止型マットおよび動作型マットとしての基礎実験結果を示すことにより、試作したマットシステムの有用性を明らかにしている。さらに、介護者が遠隔地で患者の状態を把握し、遠隔操作できるようにするため、システムの無線化についても説明した。

参考文献

- 1) 総務省、国立社会保障・人口問題研究所、“将来推計人口のデータ”，2014
- 2) 長谷川浩，山口隆美，“コンピュータネットワークを利用した在宅見守りシステムの基礎実験”，Dynamics and Design Conference，機械力学・計測制御公演論文集，pp 319，2001
- 3) Landis EM：“Microinjection studies of capillary blood pressure in human skin. Heart.” pp. 209-228，1930
- 4) 木暮祐一，松岡央樹，芥川正武，木内陽介，“携帯電話を利用した遠隔患者モニタリングシステムの開発”「電子情報通信学会技術研究報告書。MBE，MEとバイオサイバネティクス」，Vol. 105，No. 222，pp. 65-68，2005

（原稿受付：2017年5月11日）

解説

低圧駆動型空気圧人工筋を用いた アンプラグド・パワード・スーツ

著者紹介



くり た ゆう いち
栗田 雄一

広島大学大学院工学研究科
〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1
E-mail: ykurita@hiroshima-u.ac.jp

2004年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。広島大学特任教員、奈良先端科学技術大学院大学助教を経て、2011年より広島大学工学研究科准教授。運動アシスト、人間機能拡張の研究に従事。IEEE、日本ロボット学会、計測自動制御学会などの会員。博士(工学)。



お がわ かず のり
小川 和徳

ダイヤ工業(株)／広島大学大学院
〒701-0205 岡山県岡山市南区古新田1125
E-mail: ogawa@daiyak.co.jp

2005年岡山理科大学工学部福祉システム工学科卒。ダイヤ工業株式会社入社。医療用品の研究開発に従事。2015年広島大学大学院工学研究科博士課程後期に社会人枠で入学。現在に至る。空気圧人工筋を利用した動作支援装置の研究開発に従事。

1. はじめに

健康が損なわれると、生活の質が落ち本人にとって不利になるだけでなく、支える家族の負担も大きくなり、国としては介護・医療費の増加に繋がる。日本では男女ともに平均寿命も健康寿命も延びているが、健康寿命は平均寿命の延びに追いついておらず、要介護の期間が延びているというのが現状である。このような事態を抑制するためには、いつまでも自分の足で歩き続けていくことが、運動器を長持ちさせるという点からも重要であるが、老化の影響により運動器の機能が低下すると、怪我・事故が発生する可能性が大きくなる。一度怪我をすると、運動や外出が億劫になり、さらなる運動器の機能低下を招く、という悪循環が発生する。そこで我々は、運動機能が低下した人でももう一度すすんで運動がしたくなるような、手軽で楽しい動作支援スーツの開発に取り組んでいる。本稿では、あらたに開発した低圧で駆動する空気圧人工筋の概要と、これを電力供給が不要でありながら装着者の動きに合わせて



図1 アンプラグド・パワード・スーツ

アクティブに支援を行うことが可能な動作支援装置(アンプラグド・パワード・スーツ：図1)に応用した例について紹介する。

2. 低圧駆動型空気圧人工筋の特性

2.1 空気圧人工筋

空気圧人工筋は、空気圧をエネルギー源として駆動する軽量かつ柔軟なアクチュエータである。中でも、人の筋肉のように収縮運動を行うMcKibben型人工筋は、図2のように、空気圧受容部であるゴムチューブと、非伸縮繊維を直交させながら筒状に編製したパンタグラフ構造の被覆部で構成されている。空気圧受容部に圧力が供給され膨張した際に、外側の被覆部のパンタグラフ構造が径方向に広げられることによって、長手方向の収縮運動が発生する。軽量・柔軟であり収縮運動を行うという特徴が人の筋肉に類似していることから、人の身体動作支援に適したアクチュエータであり、盛んに開発が行われている¹⁻³⁾。しかし、従来のMcKibben型人工筋は、空気圧受容部に剛性の高いゴム材料を用いていたため、十分な出力を得るためにエアコンプレッサやエアタンク等の大型、大重量の空圧源が必要となり、アクチュエータ自体の軽量・柔軟というメリットが失われてしまう問題があった。そこで我々は、空気圧受容部の素材と被覆部の構成を見直すことで、従来品よりも低圧での駆動性能がよい空気圧人工筋を開発した。

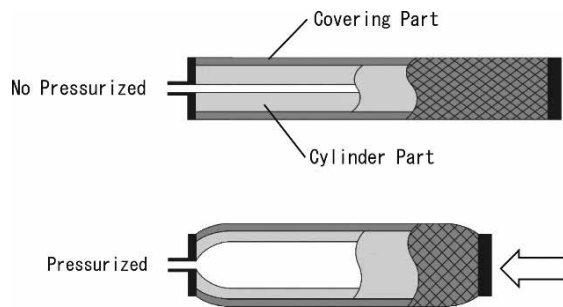


図2 McKibben型空気圧人工筋の基本構造

2.2 低圧駆動型空気圧人工筋の構造と特性

我々が開発した低圧駆動型空気圧人工筋 Pneumatic Gel Muscle（以下、PGM）の構成は、従来のMcKibben型人工筋と同様である。すなわち、圧力を供給すると膨張する空気圧受容部と、非伸縮繊維を直交させながら筒状に編製したパンタグラフ構造の被覆部とで構成される。空気圧受容部は、低圧で膨張しやすく被覆部接触面での抵抗を少なくするために、柔軟なゲルを発泡させた素材を用いた。これにより柔軟性が増し、低圧でも膨張しやすい特性を実現している。また発泡により空気圧受容部の表面が歪みやすくなり、被覆部のパンタグラフ構造の稼働を干渉しにくい特徴をもつ。従来のMcKibben型人工筋は、通常、同じサイズの自然長の空気圧受容部と被覆部を組み合わせる構成しているため、空気圧受容部は径方向だけではなく長手方向にも膨張しようとし、被覆部の長手方向の収縮運動を相殺する力が発生していた上、無加圧時には伸縮性を有さなかった。PGMは、被覆部に対して自然長の短い空気圧受容部を組み合わせることで、無加圧時でも伸縮性を有する。また、最伸張状態をアクチュエータの初期状態とすることで、加圧した際には空気圧受容部が径方向にのみ膨張し、被覆部の長手方向の収縮運動を妨げにくい構造を実現した。

人工筋の一端を固定し他端に錘で負荷を加えた状態で、人工筋への供給圧力 [MPa] と人工筋の発生力 [N] と収縮率 [%] を測定し関係性について調べた。0～49Nの負荷を4.9N刻みで、0～0.3MPaの供給圧力を0.05MPa刻みで変化させた実験の結果を図3に示す。従来品との性能比較として、低圧駆動型の空気圧人工筋として実用化、一般販売されているスキューズ株式会社製の人工筋「PM-10RF」と比較すると、PM-10RFは0.2MPa加圧時に自然長に対して32%収縮するが、10N発生させるためには20%、20N発生させるためには29%、そこから人工筋を伸ばさなくてはならない。一方、PGMは、同条件で無負荷時に36%収縮し、10N発生のためには7%、20N発生のためには13%の伸張率で良

い。このことから、開発したPGMは低圧域でより大きい力と高い収縮率を発生できるといえる。

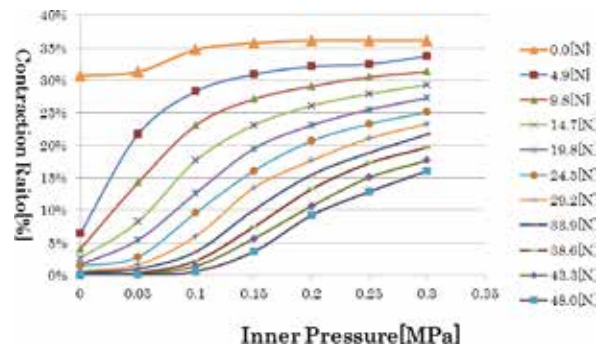


図3 開発した空気圧人工筋の特性

3. アンプラグド・パワード・スーツの開発

3.1 構成

開発したPGMを応用し、電力供給を一切必要とせず、かつ装着者の動きに合わせてアクティブに支援を行うことが可能な歩行支援スーツの試作を行った。ここでPGMが支援力を発生させるためには、圧縮気体を人工筋内に供給する必要がある。圧力を供給する方法として、エアコンプレッサやエアを充填したタンクを利用するという方法も考えられるが、エアコンプレッサはかさばる上に駆動に電力が必要であり、動作音も大きく、またエアタンクは頻繁な交換が必要になり手間がかかる。そこで我々は、低圧駆動特性の良いPGMの特徴を最大限活用し、電源もエアタンクも使用しない構成で歩行支援スーツの開発を試みた。

試作した支援スーツの外観は図1に示したとおりである。本装置は、駆動部である人工筋、空圧源であるポンプ、伝達部である配管の3部から構成されている。1本のPGMに対して、PGMを伸ばしきった状態で0.2MPa程度の圧力供給をすると、約5kgfの支援力が発生する。試作スーツでは、2本のPGMを支援脚の股関節前面を縦断するように人工筋を配置することで、0.2MPaの圧力供給で約10kgfの支援力を発生できる。0.2MPa=約2.04kg/cm²であることを考えると、31cm²の有効断面積を持つポンプを足底に配置すれば、体重63.3kgの人が自重でポンプを踏んだ時、0.2MPaの圧力を生成できる。そこで図4に示すように、市販の有効断面積が8cm²のジャバラポンプ4つを足底部に配置し、合計の有効断面積が32cm²相当の踏み込み式ポンプを構成した。これにより、図5に示すように、股関節屈曲動作に追従して遊脚期の股関節屈曲支援が可能な機構を実現した。またこれをアンプラグド・パワード・スーツ（Unplugged Powered Suit, 以下UPS）と名



図4 足底部の踏み込み式ジャバラポンプ

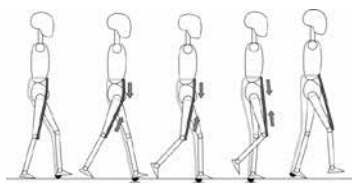


図5 歩行時のPGMIによる支援力発生

付けた。

3.2 評価と応用

開発したUPSを被験者に装着し、ピッチ0.5sec、歩幅500mmに統一して歩行した際の大腿直筋の筋電信号を測定した例を図6に示す。UPS着用時は、非着用時と比較して表面筋電位が減少しており、着用に大腿直筋の負担を下げられることが示唆された。被験者9名による実験を行ったところ、3歩分の筋電位の平均値に対してt検定により統計的に有意な差を検出した ($t=1.05$, $DOF=8$, $p=0.037$)。また拮抗筋である大腿二頭筋の筋電も同時計測したところ、こちらには統計的に有意な差は検出されなかつ

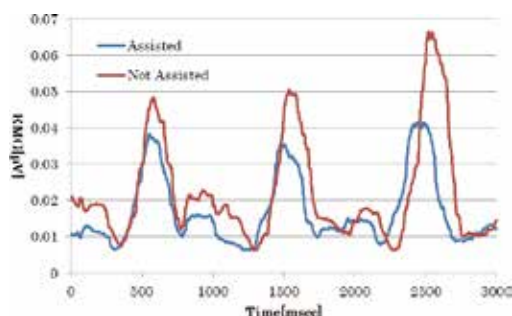
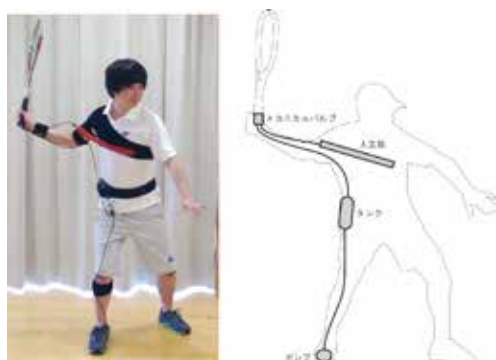


図6 UPS着用／非着用における歩行時の大腿直筋の表面筋電

図7 テニスを拡張するUPS⁴⁾

た。このことから、提案する歩行支援スーツにより、無電力供給でありながら、歩行時の股関節屈曲動作における大腿直筋の負荷を減少させつつ、股関節伸展動作における大腿二頭筋の活動への影響が少なくなるような、必要な時だけ支援力を発生させることができる構成を実現できていることを確認した。

UPSは、その構成を一部変更することで、歩行以外の動作支援にも比較的容易に応用可能である。たとえば、図7に示すようなテニスラケットのスイング速度を向上させる支援スーツの開発⁴⁾も行っており、テニスのプレイを邪魔することなく、支援時に約5 km/hのスイング速度の向上が得られることも確認している。

4. おわりに

本稿では、新たに開発した低圧駆動人工筋PGMを用いて、歩行の動作に合わせて必要な時のみ支援が可能な歩行支援スーツ、アンプラグド・パワード・スーツを紹介した。

遠くない未来に訪れるであろう日常的に人が機械を纏う世界においては、多数の人間機械システムが社会に共存することになるだろう。空気圧人工筋は、軽量、柔軟というウェアブル機器に非常に適した特性を有している一方で、制御性の悪さが欠点として残っている。本稿で紹介したUPSはセンサを搭載していないが、将来的にはセンサを搭載することで制御性を高める拡張も検討している。多数のセンサやアクチュエータを搭載した運動アシスト機器は、一種のサイバーフィジカルデバイスと考えることができる。機器から得た情報を収集して活用することは、人(々)とロボットの協調作業のパフォーマンスを劇的に向上させられる可能性を秘める。ソフトなアクチュエータ、センサ、回路に、AIやロボット技術を組み合わせた構成で、個性と調和する人間機械システムの構築に挑んでいきたい。

参考文献

- 1) 佐々木大輔, 則次俊郎, 山本裕司, 高岩昌弘: 空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストグローブの開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 5, pp. 640-646 (2006)
- 2) 藤本真作, 小野敏郎, 逢坂一正, 趙子磊: 空気圧ゴム人工筋のモデリングと拮抗駆動型システムの制御系設計, 日本機械学会論文集C編, Vol. 73, No. 730, pp. 1777-1785 (2007)
- 3) 小林宏: ウェアラブルロボットの福祉機器への応用, 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 8, pp. 805-808 (2002)
- 4) 小川和徳, 池田智浩, 栗田雄一, 低圧駆動型人工筋を用いたテニス用アンプラグド・パワード・スーツの開発, 超人スポーツ学術研究会 (2016)

(原稿受付: 2017年6月7日)

会議報告

IFPE 2017 出展報告

著者紹介



たか はし まこと
高 橋 誠

油研工業株式会社
〒252-1113 神奈川県綾瀬市上上棚中4-4-34
E-mail: mak.takahashi@yuken.co.jp

2004年油研工業株式会社 国際部 入社。欧州、アジア地域の海外関連業務を経て2014年より北米販売代理店 ALA Industries Ltd社に転出。リエゾンオフィサーとして日米間における営業・技術・問い合わせ全般を円滑に進むようにコーディネート。現在に至る。



写真2 技術講習会の様子

1. はじめに

2017年3月7日～11日、米国ネバダ州のラスベガス国際展示場にてIFPE2017 International Fluid Power Expositionが開催された。

この展示会(写真1)はCONEXPO-Con/AGG 2017(建設機械展示会)に併設して3年に1回開催されている北米最大のフルードパワー展示会である。主催者側の発表ではIFPE2017の展示企業数は494社、来訪者数は約128,000人であった(CONEXPOとの合計来訪者数)参考文献1)。展示会場内では教育プログラム・セミナー(写真2)も充実しており、建設機械プログラム数は142件、IFPEプログラム数は27件であった。全米以外の世界各国から展示・講演・来訪があり非常に国際色の強い展示会であった。



写真1 展示会場

2. 展示会の特色

建設機械展示会に併設されているため、車両・建設機械向け製品の展示が多く見られた。車両搭載向けのボデーに亜鉛・ニッケル加工処理をした電磁切換弁や鉱山機械向けにATEX規格防爆対応の電磁切換弁などの展示が見られた。IFPE展示会場の野外展示場では多くの建設機械のデモンストレーション(写真3)が行われており、展示会に来訪した購買・技術担当者にとっては、IFPE会場内での展示製品が実際の建設機械でどのように使用され、どのようなメリットがあるのかについてイメージが沸きやすくなっていた。米国はトランプ大統領による大規模なインフラ投資および雇用拡大政策により建設機械関連向け製品の需要拡大・景気回復が見込まれており、非常に活気のある展示会であった。展示会場や教育プログラムにおいては“Energy Efficiency”という単語が多くみられ省エネを意識した製品の展示があり前回のIFPE2014に引き続き、フルードパワー業界での主要テーマの一つになっていた。また、米国以外の世界各国から多種多様な製品の展示があり、グローバル競争時代を象徴する展示会であった。



写真3 建設機械デモンストレーション

3. 出展内容

3.1 当社ブース

当社油研工業は、前回のIFPE2014と同様にアメリカ販売代理店のALA Industries Ltd社と共同で出展した。ブース場所は人通りの多い会場入り口付近を確保することができず、中央付近の壁際となってしまったが、バッチスキャン数は204名と前回の2倍の数字であった。入場者バッチには小型チップが貼り付けられており当社ブースを通った人数とブース内に入った人数を計測することができたが、延べ人数は5,052名であった。前回よりも多くの来訪者を受け当社の主力製品である高機能比例制御弁、

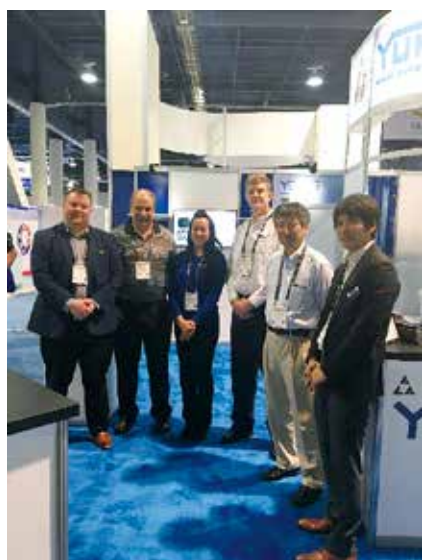


写真4 ブースメンバー

サーボ弁、回転数制御ポンプなどを北米顧客に大きくアピールすることができた。

3.2 他社ブース全般

会場入り口に米国市場の3大油圧機器メーカー、Parker社、Rexroth社、Eaton社が大きなブースを構えており、存在感が際立っていた。日系企業では前回と同様に川崎重工業(株)、KYB(株)、(株)不二越が大きなスペースに省エネ小型ユニットや訪問者の目を引くロボットシステムの展示など日本が誇る精密でコンパクトな技術力が存分にアピールされていた。欧米以外ではアジア地域からも多くの出展が見られ、中国パビリオン、台湾パビリオン、韓国パビリオンと大きくセクションが取られていた。今回新設されていた韓国パビリオンは、当社グループ会社の韓国油研も代理店を同行し視察に訪れており遠く離れたアジアにおいても北米市場およびIFPE見本市の関心度が非常に高いことがうかがえた。アジア以外にもチリやブラジルなど南米からの出展、訪問者も多く見られ非常に見ごたえのあるグローバルな展示ブースであった。

4. おわりに

今回はスケジュールの都合上、セミナーに参加することができなかったが、セミナーの数も種類も豊富で講師も世界各国より来訪しており世界の最先端の知識・技術が結集しているという印象を受けた。展示も上述のように広大なスペースに小型から大型機器まで幅広く展示されておりアメリカならではのスケールの大きさ、市場の大きさを肌で感じとれた。技術は日々革新し、競争も激しく、スピード化・効率化を求められる時代ではあるが、IFPE見本市に参加したことで最先端の技術を見知ることができ、今後の激しい競争に勝ち抜くための活動へのモチベーションを高めることができた。IFPE見本市が開催されるアメリカは日本から遠くにあるが、数多くの日本の方に本見本市への訪問を推奨したい。

参考文献

1) IFPE公式サイト IFPE2017 Recap (<http://www.ifpe.com/>)

(原稿受付：2017年5月28日)

会議報告

ICFP2017におけるフルードパワー技術研究動向

著者紹介



た な か ゆたか
田 中 豊

法政大学デザイン工学部
〒162-0843 東京都新宿区市谷田町2-33
E-mail: y_tanaka@hosei.ac.jp

1985年東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程修了、その後、東工大精密工学研究所助手を経て、1991年法政大学講師、1992年同助教授、2002年同教授、現在に至る。2014年より法政大学情報メディア教育研究センター所長を兼務。工学博士（1991年東京工業大学）。

1. はじめに

第9回流体動力伝動と制御に関する国際会議(The 9th International Conference on Fluid Power Transmission and Control)は2017年4月11日～13日まで、中華人民共和国・杭州の黄龍飯店(Dragon Hotel)コンベンションセンターで開催された。この国際会議は、4年に1度、浙江大学(Zhejiang University)の主催で行われる国際会議で、フルードパワーに関するアジア地域でもっとも古い歴史をもつ会議である。

会議は日本と欧米、ロシアおよび中国からの10件の基調講演、海外からの20件を含む6セッション・72件の口頭発表技術講演などで構成された。ここでは一日目の午前中と二日目の午前中に5件ずつ行われた基調講演の内容を中心に紹介する。

2. 基調講演にみる研究動向

中国のZhejiang UniversityのProf. Yangは、「トンネル掘削機の電気油圧駆動システムの開発」¹⁾と題して、全長300m、口径7.93m、総重量650tonの大形トンネル掘削機について、掘削カッターヘッド駆動用油圧システム、軸方向の力支持システム、操作制御システムの3つの観点から紹介した。カッター駆動には油圧モータと電気モータ、クラッチ付フライホイールからなるハイブリッドシステムが、軸方向の適応力制御には4本の油圧シリンダによるパラレルメカニズムが、操作システムには軌跡計画によ

る追従制御が、それぞれ採用され、1か月あたり最大1.137kmの掘削作業を実現したことが報告された。

フィンランドのTampere University of TechnologyのProf. Huhtalaは、「エネルギー効率の高い自律形ホイールロードの動向」²⁾と題し、建設機械の自動運転について、最新の計測制御技術やパワーマネジメント技術、各モジュール間の通信技術、最適制御、AI技術などを駆使することで、フィールド試験において消費燃料を36%削減したことを報告した。また港湾のコンテナ自動搬送システムにおける複数のコンテナの衝突回避作業や障害物回避など、オペレータを安全に支援する事例を紹介した。

横浜国大の眞田教授は、「フルードパワーシステムのモデル化と制御」³⁾と題し、ディーゼルエンジンのコモンレールシステムを例にした管路系のモデル化や特性曲線法によるシミュレーション結果、船舶用ディーゼルエンジンにDDVC(Direct Drive Volume Control)を適用した制御事例を紹介した。

中国のBeihang UniversityのProf. Jiaoは、「航空機用の新しいエネルギー源内蔵形制動装置と滑り止め制御手法」⁴⁾と題し、航空機の離着陸時に使用する車輪をカムとピストンを内蔵した油圧ポンプの一部として構成し、ポンプにより制動エネルギーを回収するとともに、滑走路の状態に応じて摩擦特性をカルマンフィルタで予測しながら車輪の滑り止め適応制御を行う油圧制動装置を報告した。

ロシアのBauman Moscow State Technical UniversityのProf. Alexeyは、「油圧駆動と油圧機械の工学的課題に対する数値流体力学手法の応用」⁵⁾と題し、スプール弁の流体力の予測、キャビテーションモデルと混相流解析、弁の振動、ポンプの内部流れ、ボール弁の最適デザインなどの数値解析事例を紹介した。解析は主に、Star CC++やANSYSにより行われた。

ドイツのAachen UniversityのProf. Murrenhoffは、「油圧ショベルのハイブリッド化の動向」⁶⁾と題し、油圧ショベルの省エネには、エネルギー供給側からの視点として、原動機のアイドリング損失の低減と低回転化による効率の良い領域での運転頻度を上げる事、油圧側からの視点として、制御弁の損失を低

減するためアキュムレータ等により油圧エネルギーを回生する事が重要であると指摘した。日本、ドイツ、韓国などのショベルのエネルギー回生システムが紹介された。また図1に示すSTEAMと呼ばれるアーヘン工大で開発された高圧と中圧、低圧ラインと回生用アキュムレータを持つハイブリッドシステム¹¹⁾では、原動機エンジンの回転数を1800rpmから1200rpmに低減し、ロードセンシング回路に比べ37%の省エネルギーを達成したことが報告された。

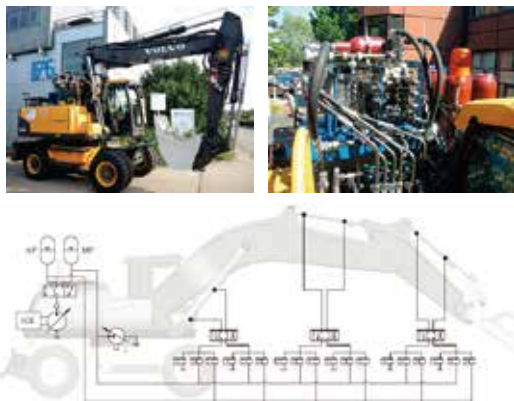


図1 STEAMを用いたハイブリッド油圧ショベルの構成¹¹⁾

英国のUniversity of BathのProf. Plummerは、「油圧要素の積層造形技術」⁷⁾と題し、2段階型サーボ弁筐体の製作に粉末焼結積層造形法（SLM方式）による3Dプリンタを適用し、複雑な油路を一体造形した結果を紹介した。1段階目のパイロットスプールをリニアフォースモータ駆動による縦置き、2段階目を従来同様横置きとした。回路設計上、従来のドリル穴加工による鋭角なコーナーを回避し、曲線による丸みをもつ構造とすることで、流路損失とデッドボリウムを低減できることなどの特長が紹介された。寸法精度やシャープエッジ形状加工、表面粗さ、熱によるクラックなど課題は多いが、今後の油圧要素設計のパラダイムシフトになりそうである。

米国のUniversity of MinnesotaのProf. Stelsonは、「風力発電の油圧動力伝動」⁸⁾と題し、従来の風車（ブレード）と増速歯車列＋発電機の組合せでは歯車の維持管理に18%のコストがかかり、ブレードと固定油圧ポンプ＋可変油圧モータの組合せによるHSTではこれらの課題を解決できることを指摘し、105kWのプラットフォームによる実験結果を紹介した。

中国のZhejiang UniversityのProf. Xuは、「高速回転アキシアルピストンポンプの設計と試験」⁹⁾と題し、高回転EHA用ポンプを28MPa、10000rpmから35MPa、16000rpmへと高圧・高速回転へ対応

させるための技術的課題について紹介した。ポンプ設計に新たな高速域乱流数学モデルを導入し、ピストン表面にナノコーティングを施すことで損失を13%低減できることが紹介された。またピストン斜板に渦電流センサを埋め込んで斜板の歳差運動を計測し、新たなスピン数学モデルと比較することでその妥当性を検証した。さらにシリンダ形状を工夫することで高圧・高速化へ対応したことが報告された。

日本の菊池製作所の一柳博士は、「私のロボット革命の試み」¹⁰⁾と題し、60年におよぶ研究者のロボット開発の歴史とさまざまな油圧ロボットの開発事例が熱っぽく語られた。一柳博士といえば、企業から大学、大学から企業へ、研究者として産学を行き来し、数々の創造的な油圧駆動ロボットを開発・実用化している。御年八十歳になろうとする一柳博士のロボット革命の旅はまだまだ続きそうである。

3. おわりに

ICFP2017における研究動向のうち、基調講演の10件を紹介した。口頭発表も含め、油圧に関する発表が多く、空気圧関連は非常に少なかった。

参考文献

- 1) Huayong Yang, Development of Electro-Hydraulic Driving Systems for the Hard Rock Tunnel Boring Machine, Proc. 9th Int. Conf. on Fluid Power Transmission and Control (誌名は以下全て同じ), p. 2, 2017.
- 2) Kalevi Huhtala, Towards Energy Efficient Autonomous Wheel Loader, p. 4, 2017.
- 3) Kazushi Sanada, Modelling and Control of Fluid Power Systems, p. 6, 2017.
- 4) Zongxia Jiao, A Novel Self-powered Brake System and Anti-skid Control Method, p. 7, 2017.
- 5) Semenov Stanislav E., Petrov Alexey Igorevich, Application of Computational Fluid Dynamics Methods for Engineering and Theoretical Problems in the Field of Hydraulic Drive and Hydraulic Machines, p. 8, 2017.
- 6) Hubertus Murrenhoff, Trends for Hybrid Systems in Excavators, p. 1, 2017.
- 7) Andrew Plummer, Additive Manufacture of Hydraulic Components, p. 3, 2017.
- 8) Kim A. Stelson, Hydrostatic Transmission for Wind Power, p. 5, 2017.
- 9) Bing Xu, Design and Test Rig for High Rotation Speed Axial Piston Pumps, p. 9, 2017.
- 10) Ken Ichiryu, My Attempt to the Robot Revolution, p. 10, 2017.
- 11) STEAM— a hydraulic hybrid architecture for excavators, Proc. 10th Int. Fluid Power Conference, Paper 10-1, pp. 151-162, 2016.

(原稿受付：2017年6月5日)

トピックス

特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム …改良構想から分類を考える 1

著者紹介



き はら かず ゆき
木原和幸

工業所有権協力センター
〒135-0042 東京都江東区木場 1-2-15
E-mail: k-kihara@sctv.jp

1974年神戸大学工学部計測工学科卒。東京計器入社、パワーコントロール研究室長、油空圧技術部長等を経て、現在に至る。比例弁、サーボ弁、ピストンポンプ等の油圧機器とそれらを制御するコントロールシステム等の開発に従事。日本フルードパワーシステム学会会員。

1. はじめに

前稿までに国際特許分類（IPC）および日本における特許の分類の大まかな概要を紹介し、具体的な事例として、低騒音、高圧化、耐コンタミ性に関する特許文献をキーワードから検索する方法を示した。また、アクチュエータと流体回路に関連して、わかりにくい点も示した。さらに、前稿までは特許文献を見るという形で、実際の特許文献にどのようなFI、Fタームが付与されてるかを示した。

本稿では、標準的な流体機器を改良すれば、どのようなFI、Fタームが付与されるかについて検討する。

2. 逆止め弁

最初に検討する流体機器は図1に示す逆止め弁である。改良するポイントは現状の問題点をあげることから始まる。たとえば、逆止弁が作動した時の音が響く、長期に渡る使用でボディとプラグの螺子部の近傍にダメージが発生、具体的には微小な亀裂から油にじみが発生などが考えられる。高圧、大流量などの使用環境が厳しい場合にはありえる。その解決策として、図1の改良案を考案したとする。この改良案が特許になることが望ましいが、もっと問題なのは既存の特許に抵触するか否かではないだろうか。抵触する場合は別の構想が必要になる。そのためには既存の特許文献を調査する必要がある。

図1の改良案からテーマコード3H058逆止め弁、3H066弁の細部（Ⅱ）が考えられる。

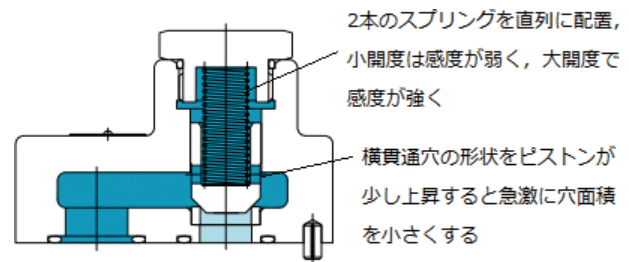


図1 逆止め弁の改良構想

本構想に対して、表1～4の分類が考えられる。表1、3は関連するFIの抜粋、表2、4は関連するFタームの抜粋を示す。表1から、F16K15/06またはF16K15/02が考えられる。・の符号は多いほどより下位となる。F16K15/06は逆止弁で案内性弁部材をもち、案内杆をもつものである。表の最右列は特許情報プラットフォーム¹⁾の特許・実用新案分類検索による特許文献数を示す。なお、実用新案を含めていない文献数を検索した。

表1 3H058逆止め弁のFI抜粋

F16K15/00	逆止弁	4507
F16K15/02	・案内式剛性弁部材をもつ	2427
F16K15/06	・案内杆をもつ	688

表2 3H058逆止め弁のFターム抜粋

弁の型式	AA01	・リフト型	3142
	AA02	・直線型	2465
目的・効果	BB21	・弁の構造に関する	2588
	BB27	・耐衝撃性向上	217
	BB35	・騒音防止	409
弁体の形状・構造	CA01	・弁体の形状	1935
	CA03	・孔・流路を形成	502
上記以外の弁の細部	CD01	・弁体付勢手段を有する	2242
	CD02	・機械的手段	2008
	CD03	・スプリング	1887
	CD04	・コイル型	1613

CD05	・ ・ ・ ・ 円筒型	1320
CD28	・ 緩衝手段を有する	288

表1と表2を参照して、テーマコード3H058逆止め弁で類似文献を絞り込む一例の検索式と文献数を下記に示す。

F16K15/02*AA02*[BB27+BB35]*CD03*CD28は28件。

表3 3H066弁の細部(Ⅱ)のFI抜粋

F16K47/00	流体エネルギーを吸収するための弁における手段	1931
F16K47/02	・ 水撃または騒音防止用	1508
F16K47/02@C	騒音を防止〔キヤビテーション防止, 振動防止を含む〕	131
F16K47/02@D	・ 弁がリフト弁であるもの〔H, J, Kが優先〕	439
F16K47/02@H	・ 弁が逆止弁であるもの	95

表4 3H066弁の細部(Ⅱ)のFターム抜粋

弁の型式	AA01	・ リフト型	3596
目的・効果	BA11	・ 弁の構造に関する	1274
	BA16	・ ・ 耐衝撃性向上	83
	BA32	・ 騒音防止	865
流体エネルギーの吸収手段	EA01	・ 弁の緩慢な閉止	300
	EA02	・ ・ ダッシュポット	79

表3と表4を参照して、テーマコード3H066弁の細部で類似文献を絞り込む一例の検索式と文献数を下記に示す。

F16K47/02*\$AA01*[BA16+BA32]*[\$EA01+EA02]は56件。

F16K47/02@H*\$AA01*[BA16+BA32]*[\$EA01+EA02]は13件。

上式で\$AA01の\$はAA01が付与されているものを示す。式でAA01にする場合は下位のAA02・ ・ ちょう形弁も含む。\$AA01の文献数は3119である。

一般的な逆止め弁のもう一つの方式として、一方方向に流すだけでなく、外部からのパイロット圧力により逆方向に流すことのできるパイロット操作逆止め弁がある。図2に構造と図記号を示す。同様な改

良をする場合にテーマコード3H058のFIが異なることになる。関連するFIを表5に示す。

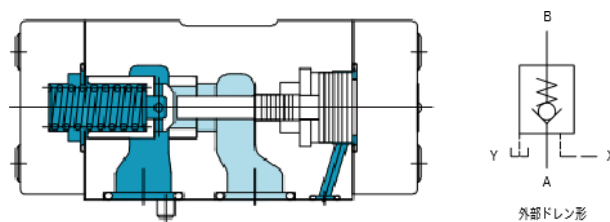


図2 パイロット操作逆止め弁

表5 テーマコード3H058逆止め弁のFI抜粋

F16K15/18	・ 作動機構をもつもの；逆止弁と作動弁の組み合わせ	552
F16K15/18@A	弁体を外部力により強制的に開または全閉操作できるもの〔流量制御は含まない〕	126
F16K15/18@B	・ 全閉のみ可能なもの	48
F16K15/18@C	・ ・ 外部操作として流体を使用するもの	21
F16K15/18@D	・ 開操作のみ可能なもの	130
F16K15/18@E	・ ・ 外部操作として流体を使用するもの	89
F16K15/18@F	作動弁を有するもの	88
F16K15/18@G	・ ポンプ内部の流体の過熱を阻止する為のもの	5
F16K15/18@Z	その他のもの	59

表2と表5を参照して、テーマコード3H058逆止め弁で類似文献を絞り込む一例の検索式と文献数を下記に示す。

F16K15/18*AA02*[BB27+BB35]*CD03*CD28は5件。

F16K15/18*AA02*[BB27+BB35]*CD03は18件。

検索式を工夫することにより、改良構想に近似の文献を参照することができる。

3. 電磁切換弁

ソレノイドで直接スプールを駆動する電磁切換弁は切り換え可能な最大流量に制限がある。図3に一般的な構造図を示す。

ボディ構造、スプール形状により、改良した場合はどのような分類が考えられるだろうか。テーマコードでみると、3H106磁気駆動弁、3H051ハウ

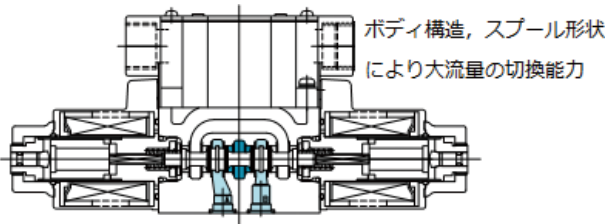


図3 電磁切換弁

ジング, 3H067多方弁が考えられる。表6～11に関連するFI, Fタームの抜粋を示す。

表6 3H106磁気駆動弁のFI抜粋

F16K31/06	・磁石使用	12235
F16K31/06,305	・部品, 細部	9715
F16K31/06,305@K	弁ハウジング	796
F16K31/06,305@L	弁	1789

305@Kは305は展開記号, Kは分冊識別記号

表7 3H106磁気駆動弁のFターム抜粋

弁の全体構造, 型式	DA01	・弁の作動形式による	10591
	DA08	・方向切換弁型	1726
弁本体部分の型式	DC01	・弁体の型式	9655
	DC08	・スライド型弁体	2543
	DC09	・スプール型弁体	1882
目的・効果	EE29	・弁の構造に関する	5485
	EE36	・流体の流れに関する	472
	EE38	・流体力（フローフォース）対策	138

表6と表7を参照して、テーマコード3H106磁気駆動弁で類似文献を絞り込む一例の検索式と文献数を下記に示す。

[F16K31/06,305@K+F16K31/06,305@L]

*DA08*DC09*EE36は13件。

表8 3H051弁ハウジングのFI抜粋

F16K27/00	ハウジングの構造	4441
F16K27/00@D	多方弁用	576
F16K27/04	・すべり弁のハウジングに関するもの	399

表9 3H051弁ハウジングのFターム抜粋

弁の型式	AA08	・多方弁	876
	AA10	・スプール弁	379
目的・効果	BB10	・その他	2209

弁ハウジングの細部	CC11	・弁箱	2070
-----------	------	-----	------

表8と表9を参照して、テーマコード3H051弁ハウジングで類似文献を絞り込む一例の検索式と文献数を下記に示す。

F16K27/04*AA10*BB10*CC11は51件。

表10 3H067多方弁のFI抜粋

F16K11/00	多方弁	16207
F16K11/02	・1つのユニットとして動く可動接合面をもつ	12153
F16K11/06	・すべり弁のみにより構成	6409
F16K11/065	・直線的にすべる閉鎖部材をもつ	3861
F16K11/07	・円筒形のすべり面をもつ。主としてスプール弁	3329
F16K11/07@C	スプールに特徴のあるもの	638
F16K11/07@K	4ポート弁	98
F16K11/07@M	流体圧装置用	249

表11 3H067多方弁のFターム抜粋

弁の型式	AA11	・スライド弁	7560
	AA14	・直線動型スライド弁	4588
	AA16	・摺動面が円筒形の直線動型	3913
	AA17	・スプール弁	3043
目的・効果	CC11	・液体の流れに関する	1762
	CC16	・フローフォースの軽減	149
弁体の形状, 構造	EA01	・弁体の形状	8226
	EA12	・外面に流路を形成	3323
	EA13	・流路の形状	3101
ハウジングの形状, 構造, 取付	EC01	・流路の形状, 構造	797

表10と表11を参照して、テーマコード3H067多方弁で類似文献を絞り込む一例の検索式と文献数を下記に示す。

AA17*CC11*EA01*EC01は13件。

スプールに着目すれば

F16K11/07@C*CC11*EA12は96件。

フローフォースに限定すると、
16K11/07@C*CC16*EA12は58件。
上式で検出した文献の一部を表12に示す。

表12 類似特許文献の一例

文献番号	発明の名称
実開昭53-096240	フローフォース補償プランジャ
特開昭56-156563	スプール弁の流体力を軽減する ノッチの形状
特表平01-502603	バルブスプールのためのメータ リングスロット構造

表12に示した特許文献の名称からは、発明の内容が類推できるが、単に電磁弁とかスプール弁という名称も多い。

4. おわりに

本稿では標準的な流体機器を改良すると、どのような分類が付与されるかを紹介した。改良内容がほぼ決まっている場合は、既存の特許文献を参照することからその内容が特許になるか否かの判断の目安になる。あるいは具体的な構想がない場合は既存の特許文献が参考になる。古い文献であれば、その技術内容は自由に使用してよい。それに改良を追加すれば、特許になる可能性もある。また、新しい文献であっても特許になっていないものであれば、自由に使ってよい。ただし、その文献が他の文献により、特許になることを拒絶されている場合にはその拒絶文献も確認する必要がある。どうしても既存の特許に抵触しそうな場合は新たな構想を考えるのは研究者、技術者の職務である。

本稿をより良く理解するために、参考文献^{(2)~(13)}に示す特許文献を調べるを参照されたい。

参考文献

- 1) 特許情報プラットフォーム <http://www.j-platpat.inpit.go.jp/web/all/top/BTmTopPage>
- 2) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 1…特許の基本，フルードパワーシステム，Vol. 44，No. 4，p. 241-243 (2013)
- 3) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 2…特許の基本，フルードパワーシステム，Vol. 44，No. 6，p. 362-364 (2013)
- 4) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 3…日本の分類・テーマコード 1，フルードパワーシステム，Vol. 45，No. 2，p. 81-83 (2014)
- 5) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 4…日本の分類・テーマコード 2，フルードパワーシステム，Vol. 45，No. 4，p. 184-186 (2014)
- 6) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 5…類似文献の検索 1，フルードパワーシステム，Vol. 45，No. 6，p. 285-287 (2014)
- 7) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 6…類似文献の検索 2，フルードパワーシステム，Vol. 46，No. 2，p. 90-92 (2015)
- 8) 木原和幸：特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…特許電子図書館のサービス終了，フルードパワーシステム，Vol. 46，No. 4，p. 179-181 (2015)
- 9) 木原和幸：特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…アクチュエータと流体回路，フルードパワーシステム，Vol. 46，No. 6，p. 270-272 (2015)
- 10) 木原和幸：特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…特許文献を見る 1，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 2，p. 82-84 (2016)
- 11) 木原和幸：特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…特許文献を見る 2，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 4，p. 187-190 (2016)
- 12) 木原和幸：特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…特許文献を見る 3，フルードパワーシステム，Vol. 48，No. 1，p. 47-49 (2017)
- 13) 木原和幸：特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…特許文献を見る 4，フルードパワーシステム，Vol. 48，No. 3，p. 52-55 (2017)

(原稿受付：2017年6月10日)

トピックス

フルードパワー設計者のためのグローバルスタンダード

第5回 環境負荷物質対応と主要な化学物質規制

著者紹介



きた むら たけし
北 村 剛
油研工業株式会社戦略製品開発プロジェクトチーム
〒251-0013 神奈川県綾瀬市上土棚中4-4-34
E-mail: ta.kitamura@yuken.co.jp

1989年油研工業株式会社に入社、研究開発部・販売促進部を経て、2014年戦略製品開発プロジェクトチームに配属、現在に至る。主に、油圧ポンプの開発に従事。

1. はじめに

私たちが住んでいる地球は文明の進化と引き換えにさまざまな環境問題に直面している。この環境問題を放置しておく、いずれ地球上には住めなくなる可能性がある。現在の私たちの問題だけではなく、未来の子供たちや子孫のために世界的なレベルで環境問題に取り組んでいかなければならない。

環境問題とは「人間の行動が自然界に与えた影響により発生した問題で、それによってもたらされる人への生命や健康への被害、地球の生態系への破壊が発生する危険性の大きいもの」と定義される。

産業分野で見ると、近年は、技術の急速な発達に伴い、次々と新製品が開発される。これと同時に新しい化学物質も生まれており、私たちの身のまわりで利用され、豊かで便利な生活につながっている。しかし、これらの製品にどのような化学物質が含まれているのか、使用され、廃棄されているか十分には認識されていない。このように製品・部品に含まれる化学物質が認知されず、適切に管理されないと、人への健康・安全や生活環境への脅威となる。

これらの脅威に対し、世界レベルで製品・部品に含有する化学物質に対する法規制の導入が進んでいる。今や環境対応がされていない製品開発はあり得ないのである。

その中でも特に先行しているのが欧州連合（EU）である。使用済み自動車から発生する有害物質を規制したELV指令（End of Life Vehicles）、電機電子部品における特定有害物質の使用禁止を定める

RoHS指令（Restriction of Hazardous Substances）、全ての化学物質を対象とした包括的な規制であるREACH規則（Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals）が制定されている。これらの法規制にならって、世界各国の化学物質規制が構成されているといっても過言ではない。

2. 各国の主な化学物質規制

世界各国で、製品に含有している化学物質に対する法規制の導入や強化が進んでいる。世界的な化学物質管理政策については1992年に開催された地球サミット（リオデジャネイロ）と2002年に開催されたヨハネスブルグ実施計画で化学物質のリスク評価手順や人体・環境にもたらす著しい悪影響を最小化する方法を用いて、化学物質を含有する製品が生産されることを2020年までに達成する目標としている。

化学物質に関する法規制の内容は、「化学物質の届出・審査」「含有禁止」「濃度規制」「情報開示」などに分類することができる。日本における化学物質の法規制は、新規化学物質の審査や管理を目的とした化審法や情報開示の義務が生じる家電製品を対象としたJ-MOSSなどがある。

一方で政治的側面に関係する法規制もあり、タイでは武器（爆弾）の原料となる物質の法規制、アメリカでは紛争鉱物（コンフリクトミネラル）と呼ばれるテロリストなど武装勢力などへの資金源の供給を絶つことを目的とする特殊な法規制も存在する。

その中でも欧州連合（EU）は今世紀初頭より環境保全や消費者保護の観点から製品に対する含有化学物質に関わる法規制を強化している。EUが先鞭をつけて実施してきた化学物質規制の強化は世界各国に拡大し、比較的今まで浸透していなかった、アジア地域にも化学物質規制が急速に導入されつつある。一方でこれらの法律・規制は企業にとって大きな関税障壁となり、アジア地域だけでなく今やグローバル化が進む円滑なサプライチェーン構成に支障をきたす可能性が出てきている（図1）。

欧州	中国
WEEE指令 RoHS指令 2002/95/EC 改正RoHS指令 2011/65/EU REACH規則 EuP指令 包装廃棄物指令 ELV指令 (自動車用リサイクル有害物質)	電子情報性品汚染予防管理方法 廃旧家電及び電子製品回収 処理管理条例 廃棄電子電気設備汚染防止技術製作 中国版RoHS指令
日本	韓国
資源有効利用促進法改正 (J-MOSS) 家電リサイクル法 化審法 化管法改正	韓国版 RoHS 有害化学物質管理法
その他	米国
PoHS (ノルウェー) NCP2012 (インド) 有害物質及び有害及び核廃棄物管理法 (フィリピン) 化学品法 (06/2007/QH12) (ベトナム)	SB50 (カリフォルニア州) プロポジション65 TOSCA

図1 各国の主要な化学物質規制

3. RoHS指令の動向と対応

ここでは我社が取扱う油圧製品において環境負荷物質規制の中でもっとも関連が深いRoHS指令について説明する。

RoHS指令は2006年7月に規制が開始された電気電子機器を対象とした指令である。この指令は製品設計および生産の際に特定化学物質（現在は鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、および臭素系難燃剤であるPBB、PBDEの6物質）の混入を原則的に禁止し、それらを含まない製品の提供を求めている規制である。なぜ、電子・電気の指令が油圧機器メーカーに関係があるかというと、油圧機器は工作機械やプレス機械などに組み込まれるため、これらの化学物質の含有量を把握する必要がある。また、油圧機器自身も電子制御機器を搭載する場合があります、機器全体の含有量管理が必要となる。

このRoHS指令（2002/95/EC）は適用範囲や適合評価・監視方法などの運用上の問題点が顕在化したことを背景に2011年7月1日に改正RoHS指令（2011/65/EU）として新たに施行されている。改正されたRoHS指令は対象製品の拡大、規制対象物質の追加、見直し、CEマーキングの貼付けが追加されている（図2）。

改正前までは家庭用電気・電子機器が中心に適用されていたが、この改正で適用範囲が厳密化され、2017年7月からは工業用を含む監視・制御機器（センサー等）に、2019年7月からは産業機械に使用されているすべての電気・電子機器が対象となる。

また、この改正では4物質が追加され、カテゴリにより2019年7月から順次、運用が開始される。

特に追加されるDEHPは電線の被覆やプラスチック類などの可塑剤として使用されており、材料の代替が問題になることが予想される（図3）。

カテゴリ	2002/95/EC	2011/65/EU	適用開始日
Cat.1	大型家電用電気製品		
Cat.2	小型家電用電気製品		
Cat.3	IT及び遠隔通信機器		
Cat.4	民生用機器		
Cat.5	照明装置		
Cat.6	電動工具		
Cat.7	玩具	玩具・レジャー・スポーツ用品	
Cat.8	医療機器	医療機器・対外診断用含む	
Cat.9	監視、制御機器	監視、制御機器工業用含む	2017年7月22日～
Cat.10	自動販売機		
Cat.11	その他、電気、電子機器		2019年7月22日～

図2 旧RoHS、改正RoHSのカテゴリと運用開始日

禁止物質	規制濃度
鉛	0.1wt% (1,000ppm)
水銀	0.1wt% (1,000ppm)
六価クロム	0.1wt% (1,000ppm)
PBB	0.1wt% (1,000ppm)
PBDE	0.1wt% (1,000ppm)
カドミウム	0.01wt% (100ppm)
DEHP (フタル酸ジ-2-エチルヘキシル)	0.1wt% (1,000ppm) 新規追加物質
BBP (フタル酸ブチルベンジル)	0.1wt% (1,000ppm) 新規追加物質
DBP (フタル酸ジ-n-ブチル)	0.1wt% (1,000ppm) 新規追加物質
DIBP (フタル酸ジイソブチル)	0.1wt% (1,000ppm) 新規追加物質

図3 禁止化学物質と規制濃度（改正RoHS）

4. 環境配慮と設計のためのグリーン調達

4.1 環境負荷物質を考慮した製品設計

こうして上述するような法規制が施行されると、製品を生産する各企業は対応策を講じなければならない。世界中で製品含有に関する有害物質規制の導入が進むと製品を直接規制国に輸出する企業だけでなく、直接は関係がない企業にとっても、企業間取引の関わりにおいて製品含有化学物質の管理は企業を運営する上で大きな課題となる。

そのため各企業がグリーン調達に対するガイドラインを作成し、設計・開発時から管理体制を見直し、開発・生産に着手しなければならない。設計開発段階では顧客要求を把握し、対応する法律・規制に準拠しなければならない。その上で品質の確保、安全性、環境への配慮を反映する。

企業によっては環境・品質に関する専門委員会を設置することにより討議され安全性評価が実施される。計画する使用材料に有害物質の含有が確認された場合には、相当する機能・性能を持つ代替材料を模索しなければならない。機能を兼ね備えた異なる化学物質で考えた場合、同等材料を見つけるのは至難の業である。鉛フリー化や改正RoHS指令で追加になるDEHPなどは企業努力により代替材料の現実化が進んでいる。

4.2 グリーン調達対応

最終製品の出荷段階で含有化学物質を分析・検査することはできない。直接ユーザーに製品を供給する機械メーカーの取り組みだけではどうにもならず、部品・材料すべての構成要素に対して、サプライチェーン全体で取り組まなければならない。

こうした問題に対応するため、日本国内でも政府主導の下、各企業団体でグリーン調達協議会を発足している。サプライチェーンの調査対象となる化学物質に対し、調査フォーマットを統一化し、データベースとして情報を共用化するものである。

ただし、ガイドラインに則った統一フォーマットの使用やデータベースの情報管理方法を企業間で確立すること、新規に開発される化学物質や対象となる含有化学物質が今後増えていくため、各企業でのメンテナンス方法など課題は山積みである（図4）。

—グリーン調達確立への課題—¹⁾

- ・サプライヤーが、資金・人材不足からグリーン調達に取り組むことが難しい。
- ・サプライヤーが、納入企業ごとにさまざまな要求があるため、対応ができない。
- ・環境ガイドラインが確立されていない。

企業として、グリーン調達を推進することで、事業機会の獲得とリスク回避につながるということを理解し、中長期的に対応することが必要である。

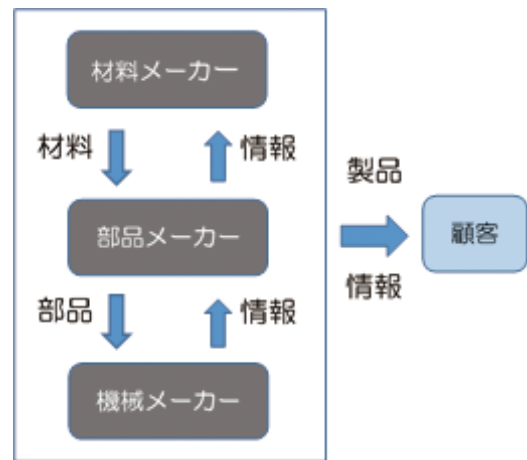


図4 企業間の取り組み（サプライチェーン）²⁾

5. おわりに

日本をはじめとした先進国では、技術レベルが飛躍的に向上し、生活は自動化が進み、暮らしやすい時代になっている。しかし、技術が進歩する一方で、現在の地球は温暖化、生物多様性の喪失、多量廃棄など深刻な環境危機に直面しているのも現実である。環境問題の原因となる環境負荷の発生は企業の運営から生じている部分も多くを占める。企業として環境活動を推進し、化学物質規制を考慮した環境配慮製品を開発することは、地球が抱えている環境問題の解決に大きく貢献できる。

これらの環境問題は企業にとって業務負担になると考えられる場合が多い。企業において環境問題を中長期的視野で捉え、新たな企業機会や罰則へのリスク回避につながる内容との認識で戦略的に対応することが企業の安定化・成長にとって重要となる。

グリーン調達や化学物質データのシステム化などは官民が一体となって推進を続けている。

企業は目先の利益だけでなく、将来的なビジョンとしての取り組みが必要であることは勿論、設計者が個々で環境意識を持つことが最も重要である。

参考文献

- 1) グリーン調達ガイドライン「バリューチェーンマネジメントの促進に向けて」環境省 参考資料（2012）
- 2) 小笠原康治、垣生学：「WEEE/RoHS指令」対応の現状、財日本品質保証機構、（2005）
- 3) <http://www.env.go.jp/chemi/kagaku/> 化学物質審査規制法環境省

（原稿受付：2017年6月29日）

研究室紹介

横浜国立大学佐藤研究室の紹介

著者紹介



さとう やすかず
佐藤 恭一

横浜国立大学大学院
〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
E-mail:sato-yasukazu-zm@ynu.ac.jp

1992年横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期修了。同大学講師、准教授を経て、2012年同大学院工学研究院教授、現在に至る。油圧動力の伝達、制御、メカトロニクスに関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。



図1 横浜国立大学

1. はじめに

横浜国立大学は、すべての学部、大学院が横浜市保土ヶ谷区常盤台の一つのキャンパス（常盤台キャンパス）にあり、理工学部を含む5学部と大学院の5研究科・学府が設置されていて、約9,800人の学部生、大学院生が勉学、研究に励んでいる。図1に示す常盤台キャンパスはかつての某有名ゴルフ場の跡地で、昭和50年代初頭に横浜市内に学部ごとに分散していたキャンパスがここに統合された。首都圏にある大学としては、有数の広大なキャンパスである。横浜駅、新横浜駅や、地下鉄、私鉄の最寄り駅とも、“適度”に距離をおいているので、初めて来られる方は交通の不便を感じられるかもしれないが、多様なアクセス方法の中から最適なルートを選択すれば、どちらからもアクセスしやすい位置にあるといえる。ただし、広大なキャンパスゆえに、入構する門や下車するバス停等を誤ると、ゴルフ場跡地である起伏に富んだ緑多いキャンパス内を延々と歩くことになる。たとえば、大学の正門までは、横浜駅から車で約10分（バスで約15分）であるが、正門で下車してしまうと、今回紹介する研究室までは、さらに十数分の徒歩移動を要する。もちろん、研究室から徒歩数分のところにもバス停があるので、ご来学の際は、正門までではなく、キャンパス内の研究室への最適なアクセス方法をご確認いただきたい。

常盤台キャンパスの理工系エリアにある「名教自然碑」（図2）は、本学工学部の前身の横浜高等工



図2 名教自然碑

業学校初代校長鈴木達治先生の功績を顕彰した碑で、文化庁の登録有形文化財に指定されている。「名教自然」は、すぐれた教育研究は自然を尊ぶ、すなわち、学問は強制されるものでなく、自らの意志で自発的に自由に学ぶべきものであり、自学自発がすぐれた人材を育成するという意味で、本学理工系の教育理念ともいえる。

筆者は大学院工学研究院に所属し、当研究室の大学院生は大学院工学府システム統合工学専攻に、学部学生は理工学部機械・材料・海洋系学科機械工学教育プログラムに所属している。これは、学内の組織のことで本学関係者以外にはわかりにくいと思うが、簡単に言えば、教員と学生は所属する組織が別であり、教員は大学院工学研究院という教員組織に所属し、大学院工学府や理工学部という学生が所属

する組織に出向いて講義や研究指導を行うというものである。

2. 研究室の活動と特徴

当研究室¹⁾の2017年度の構成は、教員1名（教授：佐藤恭一）と学生13名である。学生の内訳は、学部4年生4名、大学院生博士課程前期（修士）7名、大学院博士課程後期（博士）2名である。例年、卒業研究の指導を行う学部4年生は、1研究室あたり3、4名が配属されてくる。その4年生がほぼ全員大学院に進学し、これに他大学からの大学院入学者、留学生、学内他研究室から移動進学者を合わせて大学院博士課程前期（修士）一学年は1研究室当たり5名程度である。以上のような学生の配属、卒業・修了のサイクルにより、年度により数名の変動はあるが、筆者の研究室では、手・足・頭を動かし研究を実際に進めてくれる学生は毎年十数名で、学生は一人1研究テーマを担当する。研究テーマは企業との産学共同研究も多く、学生にも大学側の研究担当者として企業の方々との打ち合わせなどにもできる限り参加し、積極的に研究議論に加わってもらうようにしている。

研究室では、毎週、研究室の学生全員が集まるミーティングを開催し、各研究テーマの進捗を確認している。学生全員に、これまでの1週間で行ったことや進展したこと、これからの1週間で何をするのかといった計画を報告してもらい、個々の研究遂行上の直近の課題について、教員からの研究指導だけでなく、学生全員で議論するようにしている。これとは別に、必要に応じて学生との個別の打ち合わせを行い、研究テーマについての深掘りした議論を行うようにしている。

筆者の研究室では、機械システムにおける、電気、機械、流体などの動力の高効率伝達・変換・制御を中心に、各種稼動エネルギーを機械的な出力に変換する役割をもつアクチュエータの開発、アクチュエータの制御に関する研究、電子・機械制御、電子・流体制御分野におけるインターフェースとなる各種機器に関する研究・開発を行っている。このイメージを図3に示す。「フルードパワーシステム」、「電磁アクチュエータ」、「動力伝達」の3分野は互いに密接に関連しており、それらの融合領域の研究にも力を入れている。これまでは、フルードパワーシステムの分野では、油圧技術に関する研究が多かったが、現在は、油圧、空気圧、機能性流体といった流体での区別はつけず、流体を動力伝達や運動制御の手段・媒体としてとらえ、広くフルードパワー分野の研究展開を目指しているところである。

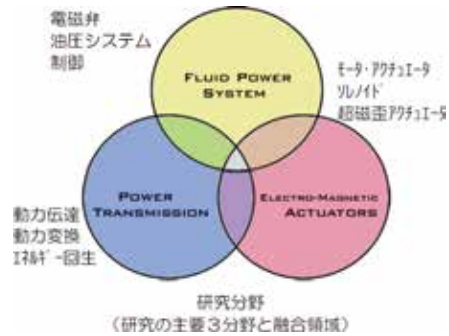


図3 研究分野

主な研究テーマは、電磁アクチュエータ（電磁リニアアクチュエータおよびリラクタンスマータ）の開発と駆動システムやモーションコントロールに関する研究、電子・油圧制御に関する研究、磁気粘性流体などの機能性流体の基礎および応用研究である。電子・油圧制御では、主として油圧システムのモーションコントロールと省エネフルードパワーシステムに関する研究を行っている。以降、当研究室の最近のフルードパワーシステム分野の研究活動のいくつかを紹介する。

3. フルードパワーシステム分野の研究活動

3.1 油圧システムの研究

最近の産業用油圧機械では、サーボモータと油圧ポンプが一体化したサーボモータ駆動ポンプの速度制御による容量制御が採用される事例が多くなったが、サーボモータの速度制御、トルク制御にも一長一短があり、油圧ポンプも固定容量とするのか可変容量とするのかでシステムの特長も変わってくる。サーボモータと可変容量油圧ポンプのどちらを主体に油圧動力を制御するのがよいのかも使用状況によって異なる。当研究室では、サーボモータと油圧ポンプの一体化したシステムをどのように駆動し制御するのがよいのか、電気-油圧系の高効率動力変換と制御性向上の観点から研究しており、システムのモデル化、机上でのシミュレーションのほか、研究室で所有する実験機（図4）の複数の油圧シリンダの駆動に適用した場合の評価などを行っている。



図4 油圧システム研究用実験機

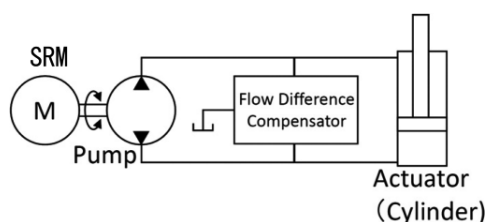


図5 SRM駆動閉回路用油圧ポンプの流量制御

さらに、油圧ポンプの駆動源に、永久磁石・レアアースを用いないSRモータ（Switched Reluctance Motor）を適用し、従来のサーボモータに代わって正逆両方向の回転速度制御、トルク制御、回生を行うことを検討している（図5、図6）²⁾。

3.2 電子油圧制御の研究

電磁アクチュエータの研究の一環で、リニアモータの研究開発を行っている。電磁比例ソレノイドは、油圧制御弁の弁体駆動デバイスとして多用されており、比例ソレノイドの特性が、最終段の油圧出力に現れるため、電磁比例ソレノイドの静特性、動特性の向上が求められている。図7は、電磁比例ソレノイドと作動原理を異にする、誘導型リニアモータの試作機である。駆動交流電流の位相制御で推力の方向が、交流電流の振幅制御または周波数制御で推力の大きさが制御でき、単体で押し引きの推力を発生できるので、従来二つの電磁比例ソレノイドを用いていた電磁比例流量方向制御弁の駆動デバイスの一つにすることができ、さらには、スプールそのものを可動子として直接駆動することが期待される。ただし、現状は電磁比例ソレノイドと同じ体格では十分な推力を発生することができず、小型化と推力向上が課題である³⁾。

3.3 耐圧ベローズと密封不活性気体システムの研究

気体圧力を利用して変位出力を得る機器のシールとしては、一般に、ゴムや円環状シールなどが使用される。これらは気体の漏れを少なくしようとする、しゅう動抵抗が増加し滑らかな作動を妨げる。また、しゅう動抵抗を低下させようとする、気体の漏れが大きくなる問題があった。気体の漏れを無くするためには、金属ベローズが有用であるが、大変位を得るためには薄肉にする必要があり、耐圧性が低くなる問題があった。当研究室では、図8に示すように、薄肉金属ベローズと低压流体側に挿入した粘弾性リングとの組み合わせにより、圧力流体の完全密封、大変位と低しゅう動抵抗、高耐圧、高耐久を確保することを検討している。具体的な応用分野としては、小型車用サスペンション装置の空気ばねがあり、サスペンションの減衰力も制御できる機構のものも開発している⁴⁾。

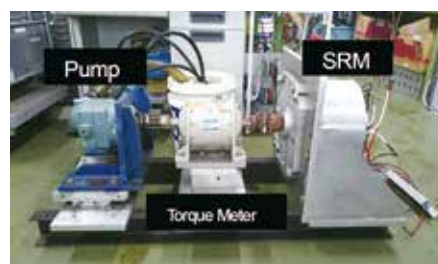


図6 SRM駆動油圧ポンプ



図7 誘導型リニアモータ試作機

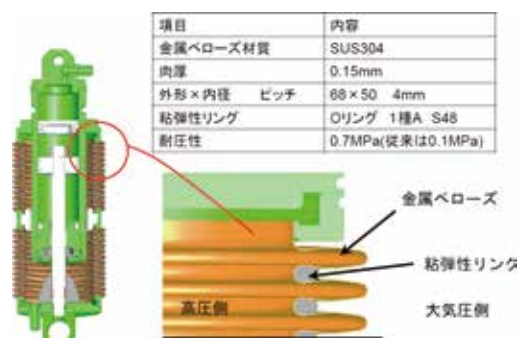


図8 耐圧薄肉金属ベローズ空気ばねサスペンション

4. おわりに

当研究室は、動力の伝達・変換・制御というまとまりで、機械、電気、流体の各分野に関わってきているが、今後も学内外および多様な分野と交流しながら、活力のある当研究室の学生たちと研究を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) <http://www.mech-satolab.ynu.ac.jp>
- 2) 佐藤、角谷、鄭、油圧ポンプ駆動用SRモータのサーボ機能付加による油圧閉回路流量制御、平成28年秋季フルードパワーシステム講演会論文集、p. 25-27 (2016)
- 3) Y. Sato, T. Torii, Electromagnetic Push-Pull Bidirectional Actuator for Hydraulic Control Valve Operation, Proceedings of the 3rd China-Japan Joint Workshop on Fluid Power, Taiyuan, China, pp. 41-46 (2014)
- 4) 佐藤、金属ベローズ空気ばね式アクティブサスペンションによる小型車両の姿勢制御、設計工学、50-4, pp. 7-12 (2015)

(原稿受付：2017年7月6日)

企画行事

平成29年春季講演会併設セミナー 「フルードパワーに役立つセンシング技術」

著者紹介



さくら い やす お
桜井 康雄

足利工業大学工学部
〒326-8558 足利市大前町268-1
E-mail: ysakurai@ashitech.ac.jp

昭和61年上智大学大学院理工学研究科博士前期課程機械工学専攻修了、富士重工業(株)、上智大学助手等を経て平成12年足利工業大学講師、平成13年同大学助教授、平成19年同大准教授、平成21年同大教授、現在に至る。博士(工学)



写真1 中川氏の講演

1. はじめに

平成29年春季講演会併設セミナー「フルードパワーに役立つセンシング技術」が機械振興会館において平成29年5月24日(水)に22名の参加者を得て開催された。

春季講演会併設セミナーは、学会の企画事業を担当する企画委員会と学会誌の作成を担当する編集委員会との合同企画事業である。本年度は編集委員会が主導で特集号を作成し、セミナーの実施のみを企画委員会が担当した。先に学会誌で同じテーマで特集を組み、執筆された方々の中から数名の講師をお招きし、この学会誌をテキストとして、本セミナーでご講演いただき、解説記事を深く理解する機会を設ける。これが、本セミナーが他のセミナー(オートムセミナー、ウインターセミナー)と異なる点である。

ここでは、本セミナーの趣旨および当日の講演の概要について報告する。

2. 開催趣旨

フルードパワーシステムのさらなる高性能化・高機能化を図るために、さまざまな物理量のセンシング技術が必要とされ始めている。計測すべき情報の種類や役割も多様化し、それに伴うセンシング技術も近年飛躍的に進化しているのが現状である。さらに、フルードパワーシステムの安定的な利用のために、その動作等を監視するセンサも要求される性能が変わりつつあるのが現状である。

そこで、本セミナーではフルードパワーに活用され始めた、もしくはこれから活用される可能性の高い、センシング技術の最新情報を4名の講師に解説していただいた。

3. セミナーの概要

3.1 開 会

編集委員会委員長の東京工業大学塚越秀行先生から本セミナーの開催趣旨説明が行われた後、講演が開始された。

3.2 磁歪式リニアセンサの技術紹介¹⁾

はじめに、サンテスト(株)の中川晋一郎氏により「磁歪式リニアセンサの技術紹介」について講演をいただいた(写真1)。

中川氏からは磁歪式リニアセンサについて、それに利用されている磁歪現象から始まりその適用事例まで詳細に解説していただいた。

産業用として利用されている磁歪式リニアセンサでは、センサの心臓部である磁歪線は外界からの振動・衝撃・電界等の影響を防ぐため耐圧ロッド内に振動衝撃吸収機構および絶縁保護チューブとともに納められており、油空圧機器との組み合わせにおいて使用しやすいようにデザインされていることが説明された。油圧シリンダに磁歪式リニアセンサを内蔵した例、代表的性能、使用方法と使用環境および使用上の注意点について詳細に解説していただいた。さらに、シールドマシン、海中浚渫ロボット等で利用されていることが紹介された。最後に、さらなる可能性を追求した事例として、長ストロークの磁歪



写真2 赤木先生の講演

式リニアセンサで生じる誤差をセンサ内部のマイクロプロセッサにルックアップテーブルを組込むことで補正した事例および信号ピックアップ部に圧電デバイスを使用することにより小型化し湾曲部の変位計測を可能とした試作品の説明が行われた。

3.3 柔軟空気圧シリンダ用変位センサの開発²⁾

つぎに、岡山理科大学の赤木徹也先生に「柔軟空気圧シリンダ用変位センサの開発」と題した講演をいただいた(写真2)。

赤木先生の研究室では柔軟空気圧シリンダを開発し、さらにそれを利用した上肢リハビリテーション機器の開発を行っている。この機器に使用されている柔軟空気圧シリンダの変位計測用として開発したセンサが柔軟リニアエンコーダとワイヤ式リニアポテンショメータである。ここでは、これらのセンサの構造と原理およびこれらのセンサを用いてシリンダの変位制御実験を行った結果について解説いただいた。

柔軟リニアエンコーダは深さおよび幅が1mmのスリットが入った柔軟チューブと4個のフォトリフレクタが入ったセンサユニットで構成されていることが説明された。マイコンでこれらのフォトリフレクタからの電圧を取り込み、変位を割り出している。この試作した柔軟リニアエンコーダとポテンショメータの変位を比較し、試作したリニアエンコーダの有効性を確認したことが示された。さらに、このリニアエンコーダと柔軟空気圧シリンダとを一体化したセンサ一体型柔軟空気圧シリンダの構造およびそのシリンダの位置決め制御実験結果について説明が行われた。試作した柔軟リニアエンコーダの変位フィードバックにより位置決め制御が実現できていることが示された。

前述した柔軟リニアエンコーダは柔軟シリンダにスリットを加工する必要があるため長い変位の計測が困難なため、より安価で大きな変位の計測が可能なワイヤ式リニアポテンショメータの開発を行ったことが説明された。このセンサは10回転分を計測できるヘリカルポテンショメータと板バネを利用したワイヤ巻き取り機構から構成されていること、こ



写真3 内一先生の講演



写真4 中野先生の講演

のセンサを内蔵した柔軟空気圧シリンダを試作し、シリンダの多点位置決め制御実験を行った結果が紹介された。その実験結果から、試作したセンサの有効性が確認できたことが示された。

3.4 電磁超音波共鳴法による高温配管の減肉モニタリング³⁾

東北大学の内一哲哉先生からは「電磁超音波共鳴法による高温配管の減肉モニタリング」についての講演をいただいた(写真3)。

電磁超音波探触子(EMAT)と共鳴法を用いた電磁超音波共鳴法は、火力・原子力発電所などのプラントの運転期間増加に伴う新しい減肉管理方法の構築とその高度化のため提案された手法であること、特に原子力発電設備の高温となる配管減肉の定点監視を目標としていることが説明された。この目標を達成するため、EMAT用のプローブの構成部材と構造を見直し、配管温度300℃まで対応可能としたことが説明された。次いで、配管減肉モニタリングを行うために数 μm /日以下の減肉変化の評価が必要なこと、およびこれを実現するために用いた共鳴法について説明が行われた。この手法の妥当性を検討するための大規模減肉試験装置を用いた配管減肉モニタリング試験の実施方法とその結果が示された。その結果、ここで提案した手法を用いれば数 μm 単位での配管の肉厚変化を安定して評価可能であることが示された。これにより、シミュレーションに基づく配管減肉評価法の検証にもこの手法が活用可能となり、減肉のオンラインモニタリングとシミュレーションの併用による配管減肉管理の高度化が期待できることが示された。

3.5 磁場印加型レオメータの開発とMR流体の磁気レオロジー計測⁴⁾

東北大学の中野政身先生からは「磁場印加型レオメータの開発とMR流体の磁気レオロジー計測」についての講演をいただいた（写真4）。

MR流体の基礎から応用まで幅広くご講演をいただいた。MR流体の応用事例として、超小型EV向けのMRブレーキを開発し、それを搭載した小型EVの走行試験の結果が紹介された。

中野先生の研究室で開発した磁場印加型レオメータの設計に際しては、磁束密度1.0Tの比較的高い磁場を回転平行2円盤で構成される測定部に垂直に均一に印加することを可能とする磁場印加装置の開発が必要であること、また、この開発は磁場解析を援用して行われたことが説明された。磁場印加装置は、電磁石部とその発生した磁界を効果的に測定部に導くためのふた部から構成されていること、測定部は平行に配置された回転円盤と固定円盤で構成されていることが説明された。なお、この測定部には上部回転円盤とその軸の連結部を一部磁性体とすることにより、測定部に効果的に磁界を導入し平行2円盤間のMR流体に垂直に様な磁場が印加されるように設計されていること、また、このことを磁場解析の結果から確認したことが解説された。ここで開発した磁場印加装置および測定部を市販されている高精度レオメータに装着しMR流体の定常的および動的な磁気レオロジー特性が測定可能なことが説明された。

4. おわりに

本稿では平成29年春季講演会併設セミナー「フルードパワーに役立つセンシング技術」の概要について報告した。

講演は油圧、空気圧、機能性流体の各分野に関連する多岐にわたる興味深い内容であり、活発な質疑応答の様子から、参加者された方々の関心の高さがうかがわれた。また、自分の関連する分野とは異なる分野の話を伺うことができ、広い知識を得る機会を提供できたものと思う。

最後に、本セミナーで貴重な講演をいただいた講師の皆様、学会誌の特集記事をまとめられた塚越委員長をはじめとする編集委員の皆様およびセミナーの準備、運営にご尽力いただいた企画委員および事務局の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 中川晋一郎：磁歪式リニアセンサの技術紹介，フルードパワーシステム，Vol. 48，No. 2，p. 64-66（2017）
- 2) 赤木徹也：柔軟式空気圧シリンダ用変位センサの開発，フルードパワーシステム，Vol. 48，No. 2，p. 67-70（2017）
- 3) 内一哲哉，高木敏行，浦山良一：電磁超音波共鳴法による高温配管の減肉モニタリング，フルードパワーシステム，Vol. 48，No. 2，p. 71-74（2017）
- 4) 中野政身：磁場印加型レオメータの開発とMR流体の磁気レオロジー計測，フルードパワーシステム，Vol. 48，No. 2，p. 78-81（2017）

（原稿受付：2017年7月11日）

会 告

〈理事会・委員会日程〉

8月28日	基盤強化委員会
9月 7日	企画委員会
9月20日	理事会
9月21日	情報システム委員会
10月 5日	編集委員会

〈理事会報告〉

7月18日 15:00～17:00

機械振興会館 地下3階 B3-9号室 (出席者17名)

- 1) 国際シンポジウムの準備状況について
- 2) 50周年記念事業状況について
- 3) 平成29年フェロー募集について
- 4) 平成29年度各賞選考について
- 5) 会員の推移について
- 6) その他

〈委員会報告〉

平成29年度第2回基盤強化委員会

6月21日 15:00～17:00

機械振興会館 B3-9 (出席者11名)

- 1) 会員サービス、会員数増加
- 2) 外部情報発信
- 3) フルードパワー道場
- 4) フルードパワー・バーチャルミュージアム
- 5) IFPEX2017
- 5) 研究委員会について
- 6) その他

平成29年度第1回情報システム委員会

7月20日 15:00～17:00 法政大学市ヶ谷キャンパス

新見附校舎9F (出席者6名)

- 1) 会議報告の担当について
- 2) HP更新作業について
- 3) IFPEX2017カレッジコーナー対応について
- 4) ファイルサーバーについて
- 5) その他

平成29年度第1回企画委員会

6月29日 15:00～17:00

機械振興会館 地下3階 B3-9号室 (出席者17名)

- 1) 平成29年度実施事業について
 - ・平成29年春季講演会併設セミナー
 - ・平成29年春季講演会
 - ・平成29年春季講演会「製品・技術紹介セッション」
 - ・平成29年度オータムセミナー
 - ・平成29年度ウインターセミナー
 - ・その他
- 2) 平成30年度実施事業について
 - ・平成30年春季講演会併設セミナー
 - ・平成30年春季講演会・総会日程
- 3) その他審議・確認事項
 - ①講演会・セミナー等のキャンセル時の扱いについて
 - ②研究委員会の報告書提出について
 - ③講演会・セミナー等のCD-R添付について
 - ④予告会告・会告について
 - ⑤その他

平成29年度第2回編集委員会

8月7日 14:00～17:00 東京工業大学田町CIC

5階リエゾンコーナー501 (出席者11名)

- 1) 会誌特集号の現状と企画
 - ・Vol. 48 E1 (電子出版号)「緑陰特集」
 - ・Vol. 48 No. 5 「人に優しいフルードパワーの最新技術」
 - ・Vol. 48 No. 6 「災害現場で活用されるフルードパワー技術」
 - ・Vol. 49 No. 1 「IFPEX2017」
 - ・Vol. 49 No. 2 企画委員会との合同企画
 - ・Vol. 49 No. 3 「国際シンポジウム2017福岡」
- 2) その他
 - ・新トピックスについて
 - ・今後の特集について
 - ・執筆依頼の文言について

会 告

日本フルードパワーシステム学会 平成29年度受賞候補者募集

当学会は、我が国の油圧・空気圧・水圧工学の振興と発展の奨励を目的として毎年優れた研究・技術を表彰しております。本年も当学会の「表彰規程」に基づき、日本フルードパワーシステム学会平成29年度受賞候補者を募集いたします。

つきましては、独創的な研究、画期的な新技術、累積効果抜群な研究者、技術者などについて、下記募集要項をご覧ください。適格な受賞候補者をご推薦ください。

募集要項

1. **受賞候補者の資格** 受賞候補者の資格は本学会の正会員および法人である賛助会員に属する者とする。ただし、共同研究者、共同開発者のある場合はその者の資格については、その限りでない。
2. **募集方法** 公募によるものとし、当学会の賛助会員、正会員、あるいはフルードパワー工業団体、フルードパワー関係学協会の推薦、または本人の申請によるほか、本学会内の委員会の推薦による。
3. **応募対象**
 - (1) **学術論文賞** 過去数年以内に発行された日本フルードパワーシステム学会誌、論文集、あるいは本学会主催の国際シンポジウムのプロシーディングスに掲載された研究論文の著者（連名可）。
 - (2) **学術貢献賞** 多年フルードパワー工学・技術に携わり、その間数多くの論文を発表して、当該工学・技術分野に多大の貢献をし、その累積効果が抜群であって、しかも学会に対する貢献大なる研究者。
 - (3) **技術開発賞** 過去数年以内に完成を遂げた油圧・空気圧・水圧・その他の流体圧に関する新技術の開発者とする。ただし、当該製品は市場で6ヶ月以上使用実績があることが望ましく、選考の際は特許（もしくは新案）の申請も参考とする。応募者が連名の場合は、筆頭者を含めて5名以内とする。
 - (4) **技術功労賞** 多年フルードパワー技術に携わり、この間数々の技術改良を行うなどして当該技術の向上に貢献しその累積効果が抜群の技術者（長年にわたる技術的な功績を重視し、候補者の年齢は原則として50歳以上とし、現在の事業所における役職についてはこだわらないが、

業績があまり世に知られていない技術者を積極的に推薦する）。

4. **提出書類** 推薦者又は申請者は必ず当学会所定の「推薦書・申請書」用紙を使用し、1件につき4通提出するものとする（推薦書・申請書用紙は学会事務局info@jfps.jp Tel: 03-3433-8441までご請求ください。各賞《下記のSMC賞も含む》ごとの用紙をお送りします）。
5. **提出締切日** 平成29年12月5日までに着信のこと。
6. **提出先及び問合せ先** 〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番22号 機械振興会館 別館102
一般社団法人日本フルードパワーシステム学会事務局
TEL: 03-3433-8441 E-mail: info@jfps.jp
7. **表 彰** 表彰は選考された受賞者に対して賞状と副賞を贈与する。共同研究および共同開発の場合は賞状を共同研究者および共同開発者にも贈る。表彰は原則として学術論文賞2件以内・学術貢献賞1件・技術開発賞2件以内および技術功労賞若干件とする。
8. **表彰の時期** 表彰は平成30年5月開催の第37期通常総会後におこなう。

「SMC高田賞」

SMC株式会社殿のご寄付を基金として、標記の如く「SMC高田賞」が設けられており、新進気鋭の研究者・技術者が対象です。多数の応募をお待ちしています。

1. **応募資格** 学会の正会員、学生会員および法人である賛助会員に所属する者のうち、原則として年齢満40才未満の研究者・技術者とする。ただし、大学院生の場合は年齢に制限を設けない。また一度受賞した者は、重ねて受賞することができない。
2. **応募対象となるもの** 過去数年以内に発行された日本フルードパワーシステム学会誌「フルードパワーシステム学会論文集」または講演論文集に掲載された研究論文の著者とする。
3. **表 彰** 表彰は、選考された受賞者に対して、賞状と副賞の贈与をもって行う。副賞は論文1篇に対し10万円とする。表彰は原則として2件以内とする。

会 告

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会 (JFPS) フェロー認定者推薦のお願い

本学会は下記の選考基準によりJFPSフェローの認定を行います。

1. JFPSフェローの趣旨と要件

JFPSフェローはフルードパワー技術の進展に貢献した正会員、本学会の諸活動に貢献した正会員に贈られる名誉ある称号です。認定された本人には本学会より認定証を交付します。認定要件は上記に適合する人物で、かつ15年以上継続して本学会の正会員であることです。

2. JFPSフェロー推薦の方法

下記要項が記載された推薦書によりJFPSフェローの推薦を受け付けます。

- 1) 3名の推薦者の名前。その内1名が推薦代表者となり、代表者には代表者であることの記載、連絡先住所、電話番号、E-mailアドレスを記してください。全ての推薦者が同じ機関（企業・大学）の所属であることはできません。推薦者は正会員であることが望まれますが、必ずしも全ての者が正会員でなくてもかまいません。
- 2) 推薦される者（被推薦者）の名前とふりがな、英字による名前、連絡先住所、電話番号、E-mailアドレス。被推薦者は前記JFPSフェローの要件を満たさなければなりません。ただし、企業からの被推薦者の正会員継続年数につ

いては15年を満たさない場合でも、推薦を受けてフェローを選考する段階で学会長が特別に認めることがあります。

- 3) 推薦理由。JFPSフェローの趣旨に合致する必要があります。選考の重要な資料となります。可能な限り具体的にお伝えください。

推薦代表者は任意のA4用紙に上記1) から3) を記入して、本学会・学会長宛てにお送りください。手元にコピーを残すようお願いします。

平成29年度フェローの推薦受付締め切りは平成29年11月末日（消印有効）とします。

3. 推薦書送付先

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

会長 小山 紀

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-22

機械振興会館 別館102

4. 選考結果の伝達

フェロー選考結果は会告と学会ホームページにて公知します。選考の途中経過や、選考の内容についての問い合わせについては、一切回答しませんので承ください。

会 告

詳細は学会ホームページ (<http://www.jfps.jp/>) をご覧ください

平成29年度オースタムセミナー

「ロボティクス分野におけるフルードパワー活用の現状と今後について」

開催日時：平成29年11月27日(月) 13:15～16:40

開催趣旨：

ロボティクス分野でのアクチュエータは、電動モータが主流を占めてきましたが、最近ではその特性を活かしフルードパワーアクチュエータを用いたロボットの研究・開発が活発となっております。そこで本セミナーでは、ロボティクス分野でのフルードパワーの活用事例について、第一線で活躍されてい

る方々にご講演いただきます。

開催場所：機械振興会館本館地下3階B3-2

(東京都港区芝公園3-5-8)

詳細は学会ホームページに随時掲載いたします。

皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

No. 17-4 第30回計算力学講演会 The 30th Computational Mechanics Conference (計算力学部門 企画)

開催日: 2017年9月16日(土)~18日(月・祝)

会場: 近畿大学東大阪キャンパス (東大阪市小若江3-4-1)

最寄りの駅からのアクセス

(http://www.kindai.ac.jp/about-kindai/campus-guide/higashi-osaka.html)

近鉄大阪線・長瀬駅からの経路 (徒歩15分)

近鉄奈良線・八戸ノ里駅からの経路 (徒歩約20分, バス約6分)

スケジュール等の詳細は講演会ホームページでご確認下さい。

http://www.jsme.or.jp/cmd/conference/cmdconf17/index.html

可視化情報全国講演会 (室蘭2017)

開催日: 2017年11月3日(金・祝), 4日(土)

http://www3.muroran-it.ac.jp/vsj2017/index.html

開催場所: 室蘭工業大学 (北海道室蘭市水元町27-1, http://www.muroran-it.ac.jp/)

問合せ先: 実行委員長 河合 秀樹 (室蘭工業大学 機械航空創造系学科)

〒050-8585 北海道室蘭市水元町27-1 TEL: 0143-46-5304

E-mail: hdkawai0@mmm.muroran-it.ac.jp

委員会幹事 大石 義彦 (室蘭工業大学 機械航空創造系学科)

〒050-8585 北海道室蘭市水元町27-1 TEL: 0143-46-5374

E-mail: oishi0@mmm.muroran-it.ac.jp

第60回自動制御連合講演会

主催: 計測自動制御学会 (幹事学会), 化学工学会, システム制御情報学会, 精密工学会, 電気学会, 日本機械学会, 日本航空宇宙学会

開催日: 2017年11月10日(金)~12日(日)

会場: 電気通信大学 (東京都調布市)

HP: http://www.sice.or.jp/rengo60/

問合せ先: E-mail: rengo60@dice.or.jp

トライボロジー会議2017秋 高松

開催日: 2017年11月15日(水)~18日(土)

会場: サンポートホール高松 (〒760-0019 香川県高松市サンポート2-1)

申込み・問合せ: 一般社団法人日本トライボロジー学会事務局

(東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館407-2号室)

TEL: 03-3434-1926 FAX: 03-3434-3556

E-mail: jast@tribology.jp

ホームページ http://www.tribology.jp/からお申込みいただけます。

2017年度計算力学技術者 (CAE技術者) 資格認定事業 (固体力学分野の有限要素法解析技術者・熱流体力学分野の解析技術者・振動分野の有限要素法解析技術者)

「1・2級」認定試験 固体力学分野/熱流体力学分野/振動分野

【実施日】認定試験 2017年12月9日(土)

【申込】申込期間は, 2017年8月1日(火)~8月17日(木)17時です。申込方法や申請書類などの詳細は, 本会HP (http://www.jsme.or.jp/cee/connintei.htm) 上にてご確認ください。

【受験料・受験会場】詳細はHP (http://www.jsme.or.jp/cee/connintei.htm) をご確認ください。

付帯講習 (技能編) ※固体力学分野のみ

【実施日】付帯講習 2017年11月24日(金)

【申込】申込期間は, 2017年8月1日(火)~8月17日(木)17時です。申込方法や申請書類などの詳細は, 本会HP (http://www.jsme.or.jp/cee/connintei.htm) 上にてご確認ください。

【受験会場】慶應大学会場 慶應義塾大学理工学部 (矢上キャンパス) (横浜市北区日吉3-14-1)

【受験料】詳細はHP (http://www.jsme.or.jp/cee/connintei.htm) をご確認ください。

会 告

(一社)日本フルードパワーシステム学会 賛助会員一覧表

アイシン・エイ・ダブリュ(株)
 (株)明石合銅
 (株)曙ブレーキ中央技術研究所
 アズビル(株)藤沢テクノセンター
 アズビルTACO(株)
 (株)アドヴィックス
 アネスト岩田(株)
 イートン(株)
 (株)IHI
 出光興産(株)
 イナバゴム(株)
 イハラサイエンス(株)
 (株)インターナショナル・
 サーボ・データー
 (株)打江精機
 SMC(株)
 SMC(株)中国
 (株)荏原製作所
 (株)大阪ジャッキ製作所
 大瀧ジャッキ(株)
 鹿島通商(株)
 KYB(株)
 KYBエンジニアリング
 アンドサービス(株)
 KYB-YS(株)
 (株)桂精機製作所
 神威産業(株)
 川崎重工業(株)精密機械カンパニー
 川崎油工(株)
 川重商事(株)
 (株)神崎高級工機製作所
 キャタピラー・ジャパン(株)
 旭東ダイカスト(株)
 協和シール工業(株)
 極東開発工業(株)
 (株)クボタ
 (株)クレアクト・インターナショナル
 クロダニューマティクス(株)
 (株)ケンチク舎成増
 (株)古河製作所
 (株)工苑
 甲南電機(株)
 (株)コガネイ
 コスモ石油ルブリカンツ(株)
 (株)小松製作所
 (株)小松製作所試験センタ

(株)小松製作所開発本部
 (株)小松製作所油機開発センタ
 (株)阪上製作所
 (株)鷺宮製作所
 佐藤金属(株)
 三和テッキ(株)
 三輪精機(株)
 CKD(株)
 (株)島津製作所
 (株)ジェイテクト奈良
 (株)ジェイテクト刈谷
 勝美印刷(株)
 JXエネルギー(株)
 ジヤトコ(株)
 新日鐵住金(株)交通産機品カンパニー
 住友建機(株)
 住友重機械工業(株)
 住友精密工業(株)
 制御機材(株)
 千住金属工業(株)
 第一電気(株)
 (株)TAIYO
 タイヨーインタナショナル(株)
 (株)タカコ
 (株)タダノ
 ダイキン・ザウアーダンフォス(株)
 ダイキン工業(株)
 ダイワ(株)
 大生工業(株)
 調和工業(株)
 (株)都筑製作所
 TMCシステム(株)
 (株)TNK
 天竜丸澤(株)
 東京メータ(株)
 TOHTO(株)
 東北特殊鋼(株)
 東明工業(株)
 同和発條(株)
 東京計器(株)
 東京計器パワーシステム(株)
 特許機器(株)
 特許庁
 豊興工業(株)
 (株)豊田自動織機
 中西商事(株)

中村工機(株)
 長津工業(株)
 長野計器(株)
 ナブテスコ(株)
 ニッタ(株)
 日新濾器工業(株)
 日本アキュムレータ(株)
 日本機材(株)
 日本クエーカー・ケミカル(株)
 日本工業出版(株)
 日本精器(株)
 日本電産トーソク(株)
 (一社)日本フルードパワー工業会
 日本ムーグ(株)
 (株)野村商店
 (株)ハイダック
 日立建機(株)
 (株)日立建機ティエラ
 (株)日立建機カミーノ
 (株)日立製作所
 日立住友重機械建機クレーン(株)
 廣瀬バルブ工業(株)
 フジサンケイビジネスアイ
 フェスト(株)
 (株)フクダ
 (株)不二越
 二見屋工業(株)
 ボッシュ・レックスロス(株)
 昌富工業(株)
 マサモト(株)
 (株)増田製作所
 マックス(株)
 松巳鉄工(株)
 三菱電線工業(株)
 ヤマシンフィルタ(株)
 ヤマハモーターハイドロリック
 システム(株)
 油研工業(株)
 理研精機(株)
 リバーフィールド(株)
 (株)レンタルのニッケン
 ワールドインシュアランス
 ブローカーズ(株)

会 告

会 員 移 動

会員の種類	正 会 員	海 外 会 員	学 生 会 員	賛 助 会 員
会 員 数 (8月10日現在)	954	16	126	131
差引き増減	+11	± 0	± 0	± 0

正会員の内訳 名誉員15名・シニア員42名・ジュニア員190名・その他正会員707名

正会員

川村 隼人 (SMC株式会社)	長瀬 広明 (SMC株式会社)
富田 翔 (SMC株式会社)	藤野 充基 (SMC株式会社)
古賀圭一郎 (SMC株式会社)	水野 裕貴 (SMC株式会社)
大谷 篤志 (SMC株式会社)	佐々木雄佑 (SMC株式会社)
前川 亮介 (SMC株式会社)	木元 圭介 (SMC株式会社)
坂 洋明 (SMC株式会社)	渡部 建人 (SMC株式会社)
清水 柁宏 (SMC株式会社)	大森 龍一 (SMC株式会社)
中村 友尚 (SMC株式会社)	川原 章祿 (日立建機株式会社)
三浦 純 (長田電機工業株式会社)	阿部 秀城 (富士通研究所)
高辻 和正 (株式会社タカコ)	南 暢 (日本バルカー工業株式会社)

学生会員

富成 雄大 (横浜国立大学)	岩下 拡 (横浜国立大学)
大塚 怜汰 (横浜国立大学)	小林 研太 (横浜国立大学)
武井 智也 (横浜国立大学)	平野 翔太 (横浜国立大学)
島崎 皓平 (福岡工業大学)	

編集室

次号予告

—特集「災害現場で活用されるフルードパワー技術」—

〔巻頭言〕「災害現場で活用されるフルードパワー技術」発行にあたって

中山 晃

〔解説〕災害時に強いフルードパワー

塚越 秀行

原子力災害対応の小型双腕重機型ロボットASTACO-SoRa

江川 栄治

しなやかでタフな油圧ハイブリッドロボット

玄相 昊

バックホウ用遠隔操縦装置の開発

平野 高嗣

救助用エアージャッキ

横井 亮

フラップゲート式可動防潮堤の開発・実用化

谷尾 大地

油圧駆動の人工筋肉

森田 隆介, 鈴森 康一

〔会議報告〕ROBOMECH 2017におけるフルードパワー技術開発動向

高岩 昌弘

第15回スカンディナビア国際会議参加記

眞田 一志

〔トピックス〕中国駐在員日誌

田島 正之

フルードパワー設計者のためのグローバルスタンダード

第6回 フルードパワー設計者のために必要な国際規格の紹介

大古 潤

〔研究室紹介〕東京医科歯科大学生体材料工学研究所バイオメカニクス分野川嶋研究室

川嶋 健嗣

〔企画行事〕平成29年春季フルードパワーシステム講演会報告

只野耕太郎

平成29年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 塚越 秀行 (東京工業大学)
 副委員長 村松 久巳 (沼津工業高等専門学校)
 委員 伊藤 雅則 (東京海洋大学)
 上野 朝嗣 (CKD(株))
 内堀 晃彦 (宇部工業高等専門学校)
 加藤 友規 (福岡工業大学)
 北村 剛 (油研工業(株))
 木原 和幸 (財工業所有権協力センター)
 栗林 直樹 (川崎重工業)
 五嶋 裕之 (株工苑)
 佐藤 恭一 (横浜国立大学)
 妹尾 満 (SMC(株))
 中野 政身 (東北大学)

委員 中山 晃 (日立建機(株))
 成田 晋 (KYB(株))
 藤田 壽憲 (東京電機大学)
 丸田 和弘 (株コマツ)
 矢島 丈夫 (株コガネイ)
 柳田 秀記 (豊橋技術科学大学)
 山田 真の介 (株TAIYO)
 山田 宏尚 (岐阜大学)
 吉満 俊拓 (神奈川工科大学)
 担当理事 伊藤 和巳 (KYB(株))

編集事務局 藤谷 秀次 (学会事務局)
 竹内 留美 (勝美印刷(株))

(あいうえお 順)

会 告

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写してください。ただし(公社)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。したがって、社外頒布用の複写は許諾が必要です。

権利委託先：(一社)学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

TEL: 03-3475-5618 FAX: 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていないので、直接本会へご連絡ください。

日本フルードパワーシステム学会論文集

第48巻, 第5号 (2017)

平成29年9月

目次

研究論文

1. 空気圧ベローズにより駆動する微動ステージの制御方法とナノ位置決め

藤田壽憲, 榊 和敏, 宮崎里美, 宮崎敬一 33

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.48, No.5

September 2017

Contents

Paper

1. Nano-meter Accuracy Positioning and its Control Method of Micro Motion Stage Driven by Pneumatic Bellows

Toshinori FUJITA, Kazutoshi SAKAKI, Satomi MIYAZAKI, Keiichi MIYAZAKI 33

Published by
The Japan Fluid Power System Society
c/o Kikaishinko Building
3-5-22 Shiba-koen, Minato-ku, Tokyo, 105-0011, Japan

研究論文

空気圧ベローズにより駆動する微動ステージの制御方法とナノ位置決め*

藤田 壽 憲**, 榊 和 敏***, 宮崎 里 美****, 宮崎 敬 一****

Nano-meter Accuracy Positioning and its Control Method of Micro Motion Stage Driven by Pneumatic Bellows

Toshinori FUJITA, Kazutoshi SAKAKI, Satomi MIYAZAKI, Keiichi MIYAZAKI

The semiconductor industry requires accurate stage positioning with nanometer-order, for many fabrication processes. In addition, the demand for precision positioning of nanometer-order is increasing with the progress of nanotechnology. Currently, such precise positioning is realized using a stage driven by a piezoelectric element. However, the piezo-electric element has disadvantages of low durability and short stroke. These disadvantages can be removed by the use of a pneumatic bellow actuator instead of a piezoelectric element. Previously we developed the new micro motion stage with elastic hinges driven by pneumatic bellows. The developed stage has precise positioning accuracy with 10nm or more. The accuracy is decided by the resolution of the capacitance sensor which is the position detector. In this study, the capacitance sensor changes to the laser interferometer with resolution of 38 pm for a position detector and the positioning control technique to realize the higher accuracy has been examined. The vibration caused by the fluid noise reduced by estimating velocity and acceleration of stage using observer and velocity and acceleration feedback. As a result, the positioning accuracy is $e \pm 3\sigma = 0.7 \pm 10\text{nm}$, where e is a deviation and σ is a dispersion at center position of the stage. The resolution improved to less than 1 nm. We confirmed that pneumatic bellows drive can achieve ultra-precise positioning of nanometer-order which is the research goal.

Key words : Pneumatics, Precise Positioning, Servo Mechanism, Micro Motion Stage, Bellows

1. 緒 論

ナノ・マイクロテクノロジーの進展に伴い、半導体産業や情報機器産業を中心に数ナノオーダーを中心とする超精密位置決めに対する需要が高まっており¹⁾、様々なアクチュエータで研究が行われている²⁾。一般に超精密位置決めは、ひとつのアクチュエータで実現することは困難であり、粗動と微動用とを分け、それぞれの要求にあったアクチュエータが選択されてきた³⁾。その中で圧電（ピエゾ）素子アクチュエータは、応答が速くナノオーダーの微小変位が容易に得られることから、微動用アクチュエータとして多用されている。しかしながら、その変位はアクチュエータ長の0.1%であり、積層形としても高々 40[μm]程度と小さく⁴⁾、積層する際に使用される接着剤の耐久性も問題となっている。

このような背景から著者らは圧電素子に代わり空気圧ベローズにより駆動する微動ステージを提案した。このステージ位置をフィードバック制御することにより、位置決め精度は10[nm]以下と圧電素子とほぼ同等でありながら、ストロークは200[μm]となり、約5倍の長ストロークを実現することができた⁵⁾。現在のところ、この精度は位置センサである静電容量センサの分解能により決まっている。また制御方法は単純なフィードフォワードとPI制御であり、このままでは、ナノ精度の位置決めは困難であることが予想される。

そこで本研究では、微動ステージの位置検出にレーザ干渉計を使用し位置分解能の向上を図るとともに、より高精度を実現するための制御手法を検討することによって、ナノオーダーの位置決め精度を実現することを目的とする。

2. 空気圧ベローズにより駆動する微動ステージ

2.1 微動ステージの構造

本研究で使用した空気圧ベローズで駆動する微動ステージをFig. 1に示す。ジュラルミン製であり可動部はコ字

*平成28年11月25日 原稿受付

**東京電機大学

(所在地：東京都足立区千住旭町5番)

***住友重機械工業株式会社

(所在地：大阪市港区海岸4-5-6)

****東京電機大学大学院

(所在地：東京都足立区千住旭町5番)

型の弾性ヒンジによって4点で案内され、左右に取り付けられた空気圧ベローズ内の差圧によって1軸方向に駆動する。ステージ可動部のサイズは $100 \times 50 \times 24$ [mm]である。可動部の質量は 330 [g]である。ベローズはステンレス製、山数4の成型ベローズである。ベローズの有効径は約 12 [mm]、長さは約 18 [mm]である。ステージの圧力-変位特性は先の論文⁵⁾で示した通り差圧 400 [kPa]に対し、 300 [μ m]の変位が得られている。このとき可動部質量とヒンジのばね定数が成す固有周波数は約 60 [Hz]である。

2.2 ステージの駆動方法

Fig. 2はステージの駆動方法の概略図である。ステージの駆動には先の論文⁵⁾と同じノズルフラップ型の3方向サーボ弁2台（ピー・エス・シー製AS110-116）を使用した。供給圧力は安定した圧力が得られるよう約 300 [kPa]とし設計値より低い圧力に設定した。後述するようにサーボ弁からの流体ノイズによりステージ可動部が加振される。この影響を低減させるためにサーボ弁とベローズの間に容積約 4 [cm³]のサブチャンバを設けた。この容積はベローズ単体の2倍程度である。

可動部の位置検出にはレーザ干渉計（レニショー製RLU10）を使用した。このエンコーダは位置を 34 [bit]のデジタル信号で出力する。その分解能である 1 [bit]は 38 [μ m]である。計測に必要な反射鏡をステージ可動部に、

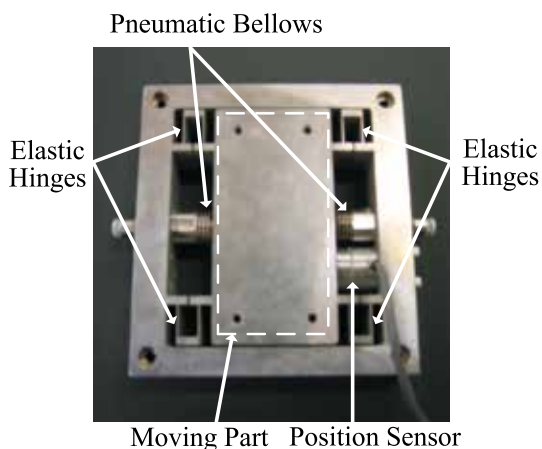


Fig. 1 Photograph of micro motion stage

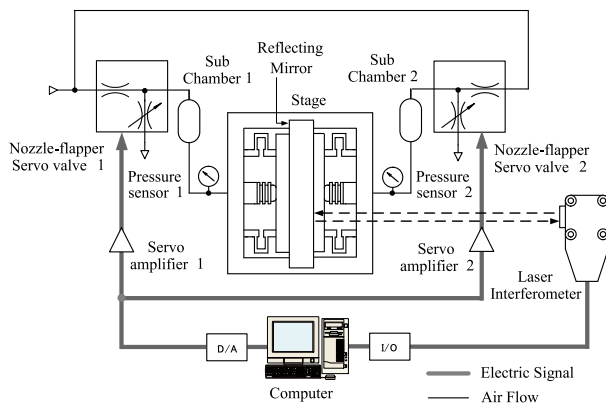


Fig. 2 Schematic diagram of stage drive system

レーザヘッドはステージ外部に設置した。レーザ干渉計はレーザヘッドと反射鏡の間にある空気揺らぎでノイズが発生する。これができるだけ少なくなるよう、ステージ全体をアクリルケースで囲った。これらの装置は空気ばねを用いたパッシブな除振台に設置した。

コントローラには一般的なパーソナルコンピュータを使用し、計測制御ソフトウェアMATLAB Simulink xPC Targetにより制御プログラムを構築した。制御周期は 0.1 [ms]とし、コンピュータへはレーザ干渉計からの位置信号はIOボードを介して入力し、操作量は 16 [bit]のD/A変換器を介してサーボアンプに出力を行った。

3. 微動ステージの制御方法

3.1 微動ステージのシステム方程式

微動ステージの制御を考えるに当たり、次の状態方程式と出力方程式を導出した。

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu \quad (1)$$

$$y = Cx \quad (2)$$

先の論文⁵⁾で示した微動ステージの数学モデルは下記3式から成る。

- ・圧力と流量ゲインによるサーボ弁の流量特性式
- ・ベローズ内空気に成り立つ気体の状態方程式（状態変化は等温変化を仮定）
- ・ステージ可動部の運動方程式

状態変数ベクトルを次式の位置、速度、加速度に取る。

$$x = [x_s \quad v \quad a] \quad (3)$$

すると数学モデルから状態、入力、出力の各行列は次式で与えられる。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{\omega_k^2}{T_p} - \left(\frac{2\zeta_k \omega_k}{T_p} + \omega_k^2 + \omega_a^2 \right) & -\left(\frac{1}{T_p} + 2\zeta_k \omega_k \right) & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2K_i k \frac{\omega_k^2}{T_p} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$C = [1 \quad 0 \quad 0] \quad (6)$$

なお、これらの式で用いた記号の定義は以下の通りである。

- | | |
|---------------------------------------|----------------------|
| a : ステージ加速度 | k : ステージばね定数 |
| K_i : サーボ弁圧力ゲイン | T_p : 圧力時定数 |
| u : サーボ弁入力電圧 | v : ステージ速度 |
| x_s : ステージ位置 | ζ_k : ステージの減衰率 |
| ω_k : ヒンジばねとステージ可動部質量で決まる固有振動数 | |
| ω_a : ベローズ空気ばねと可動部質量で決まる固有振動数 | |

3.2 制御アルゴリズム

状態方程式から3次系のシステムであることがわかる。これに基づき本ステージの制御方法を検討し、Fig. 3のブロック線図に示すような制御方法を採用した。

システムが3次系であることから適切な減衰を得るためには速度・加速度成分をフィードバックすればよいことが知られている。そこでサーボ弁への入力電圧とセンサからの位置出力から速度・加速度成分をオブザーバにより推定し、位置に加え、それらの推定値をフィードバックすることとした。オブザーバの設計には極配置法を適用し、オブザーバ極が1[kHz]の三重極を持つようにオブザーバゲイン K を決定した。

また制御対象のステージは積分性を有する一般的な空気圧サーボと異なり、ペローズの力をバネで受けるため定位性を有する。したがって、比例および速度・加速度だけではオフセットが生じる。オフセット量は先の数学モデルより推定できる。そこでオフセット量だけ目標値に加えるフィードフォワード要素による補償を行った。フィードフォワード要素だけではサーボ弁やステージのヒステリシスによるオフセットまでも補償できないため、外乱オブザーバによりヒステリシスを推定し、オフセットを除去することとした。

従来はこのフィードフォワードと単純なPI制御を用いていた。それと比べ新たに速度・加速度フィードバックを取り入れ、I動作の代わりに外乱オブザーバを用いたことが従来からの改善点となっている。

フィードフォワードゲインは無制御時の入力電圧とステージ変位との関係から決定し、比例ゲインと積分時間は位置決め精度を重視しながら試行錯誤により決定した。また速度・加速度フィードバックゲインおよび外乱オブザーバのフィルタ特性についても、後述する3.2節にあるように振動が小さくなるように試行錯誤で調整した。

4. 微動ステージの振動特性

超精密位置決めは除振台などから受ける振動の影響も大きい。そこでステージの定常的な振動について調べた。Fig. 4は様々な状態においてのステージの定常 f_s 振動を3秒間計測した結果を示す。Fig. 4(a)はステージの代わりに同じ寸法の鉄板を設置した場合である。図としては表れていないが、測定値は ± 0.5 [nm]ほど絶えず振動していた。これはステージを搭載している除振台の振動による計測系の振動と、空氣の揺らぎによるノイズと考えられる。よって現状の除振台と計測系では1[nm]以下の位置決めは困難であることがわかった。

Fig. 4(b)はサーボ弁に空氣圧を供給しない状態でステージ位置を測定した結果である。振幅の大小はあるが、ステージはゼロ位置を中心に平均して約15[nm]で振動している。この振動はある周波数を持っており、調べたところステージの可動部と弾性ヒンジのバネがなす固有周波数と一致した。したがって、この振動は除振台からの振動伝達によるステージ可動部と弾性ヒンジによる質量バネ系の共振現象であることがわかった。

さらに、空氣を供給して計測した結果をFig. 4(c)に示す。サーボ弁にステージ位置が中立位置となる、すなわち変位がゼロとなる電圧を与えた。固有周波数は先と同じであったが、振幅は最大80[nm]まで増幅された。さらに固有周波数より低い周波数で大きくふらついた。Fig. 4(b)との比較から、このことはサーボ弁の流量変動つまり流体ノイズが原因だと考えられる。以上の結果から、ナノ位置決め制御のためには外乱である除振台からの振動伝達と流体ノイズを低減する必要があることがわかる。流体ノイズについては、圧力制御する容積を増加させることにより、同じ流量変動があっても圧力変動は小さく、結果としてステージの振動を低減できる。そこで2章で述べたようにペローズ以外にサブチャンバを設置した。このときの振動特性がFig. 4(d)である。サブチャンバがないFig. 4(c)に比べ、振動

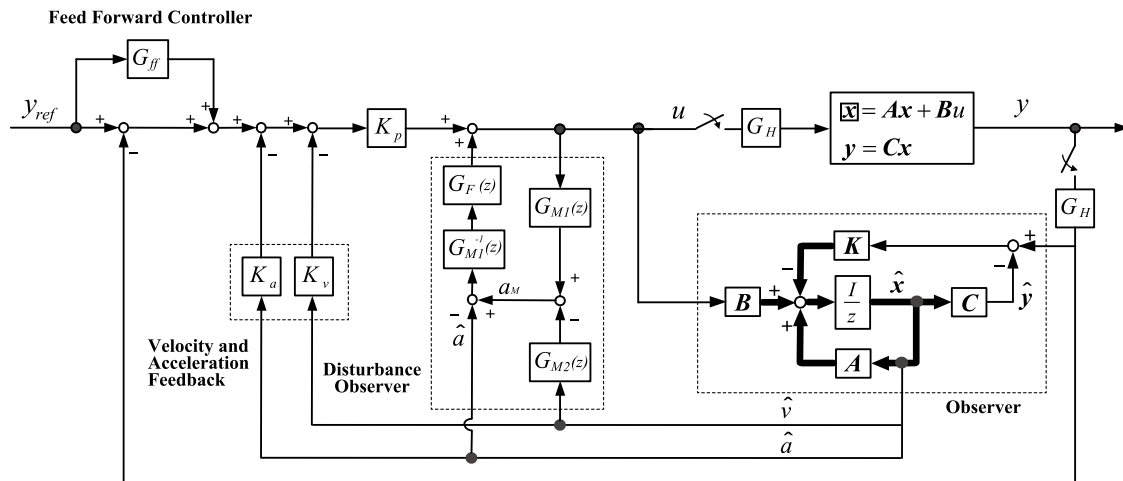


Fig. 3 Block diagram of control algorithm for stage drive

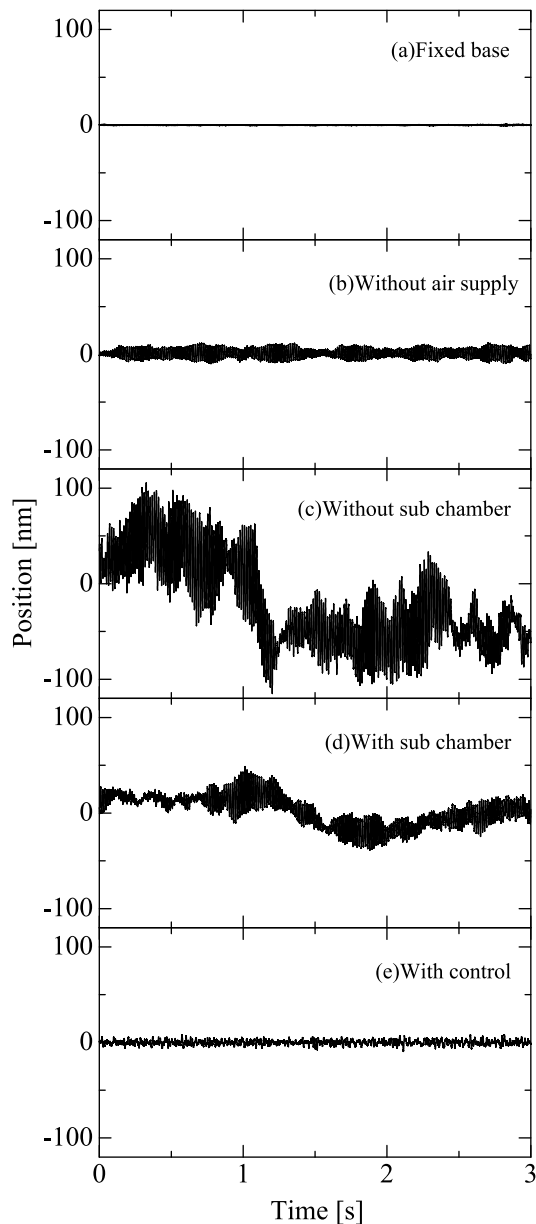


Fig. 4 Steady vibration of Stage

とふらつきが低減されていることがわかる。

この状態で目標位置をゼロとして制御した結果をFig. 4(e)に示す。固有周波数の振動成分は速度・加速度フィードバックにより、ふらつきは外乱オブザーバにより低減できることがわかった。そこで振動特性が最も良好となるよう試行錯誤により、各ゲインと外乱オブザーバのフィルタ特性を調整した。その結果、振動はFig. 4(e)のように5～10 [nm]程度となった。Fig. 7(a)の振動レベルまでは低減できなかったが、3章で示した制御手法により、除振台からの振動伝達と流体ノイズの影響をナノ位置決めが可能なレベルまで改善することができた。

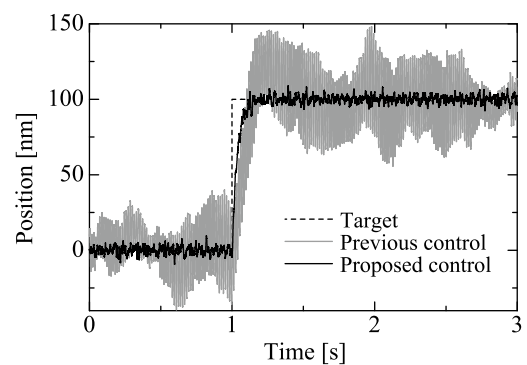
5. 位置決め制御結果

5.1 ステップ応答

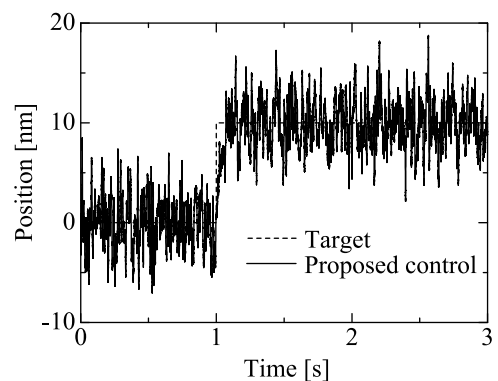
Fig. 5は制御方法とゲイン等はFig. 4(e)の場合と同じとし

て、ステージの中立位置からステップの大きさを変えて応答を調べた結果を示す。レーザ干渉計は機械的な原点を持たないことから、原点は制御を開始する前の中立位置、すなわちサーボ弁に等しい平衡電圧を掛けた時に静止する位置に取った。この位置はサーボ弁およびベローズのヒステリシスのため毎回ずれるが、Fig. 5の応答への影響は全く見られなかった。

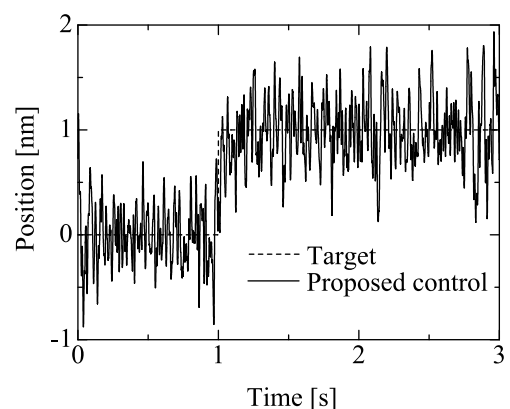
ステップ幅100[nm]のFig. 5(a)には従来の制御手法による結果も示してある。この図を見ると、従来の制御法では一定時間が経過してもステージの応答は整定してない。ナノ位置決めのためには従来の制御法では不十分であることがわかる。これに比べ、今回用いた制御手法では、立ち上がりの減衰が多少大きいものの応答は整定し、速度・加速度



(a) Step amplitude 100 [nm]



(b) Step amplitude 10 [nm]



(c) Step amplitude 1 [nm]

Fig. 5 Step responses of Stage

フィードバックと外乱オブザーバの有効性がわかる。結果としては示さないが、速度・加速度フィードバックを行っても、従来の制御手法である単純なI動作ではふらつきが残ることもわかった。

Fig. 5(b), (c)に目標位置をそれぞれ10[nm], 1[nm]とした時のステップ応答を示す。Fig. 5(c)のステップ幅が1[nm]では振動が大きく、そのままでは移動が確認できなかった。そこで得られたデータに300点の移動平均を施して結果を表示した。Fig. 5(b)では、整定時も応答は振動しているが、ステージは10[nm]を移動していることがわかる。このことよりステージの分解能は10[nm]以下であると言える。Fig. 5(c)より1[nm]の目標位置に対して変位していることが確認できる。したがって、目標値に対する感度は1[nm]以上であると結論できる。

5.2 駆動方向と位置の影響

ステージの駆動方向を変えたときのステップ応答についても調べた。Fig. 6にステージの中立位置からステップ幅-10[nm]を加えたときの応答を示す。Fig. 5(b)の応答結果と比較すると立ち上がり速度や整定の挙動などが同じであることがわかる。位置精度とばらつきも同じである。ステップ幅の大きさを変えても実験を行ったが、同じ応答であると判断できた。これからステージの特性は対称であり駆動方向による応答の影響はないことが確認できた。

制御結果はサーボ弁の非線形性やステージの特性により位置が変わると異なる可能性がある。この点についても調べた。ステージ位置を50[μm]の地点まで移動させ、その後10[nm]のステップを入れた結果がFig. 7である。制御方法とゲイン等は先と同様とした。図より立ち上がり速度はFig. 5(b)に近いがオフセットが残る、目標位置に達するまでに時間を要している。このことはサーボ弁の特性、特にこの場合は圧力流量特性が非線形であることが要因と考えられる。位置が変わるとサーボ弁のベローズ内の圧力が供給圧力または大気圧近づき流量ゲインが下がり応答性が悪くなるためと考えられる。今後は位置に応じて比例ゲインや積分時間を変更する制御アルゴリズムを組み込むなど、この非線形性を考慮した制御とする必要があることがわかった。しかしながら整定後は目標値と一致しており、ばらつきも中立点付近と変わらないことが確認できた。データとしては示さないが、50[μm]以外の場所でも実験を行った結果、応答の様相はFig. 5(c)やFig. 7と同じであったが、原点から場所が遠くなるほど立ち上がり時間が遅くなり、目標位置までに達する時間が長くなる傾向があった。このことも流量ゲインに起因していると考えられる。

5.3 位置決め精度

目標位置を25[μm]づつ変化させ、整定時の位置を計測した。その結果をFig. 8に示す。ステップ応答からわかるようにステージ位置は変動している、このような場合、精度はかたより e とばらつき σ で評価される。かたより e は目標

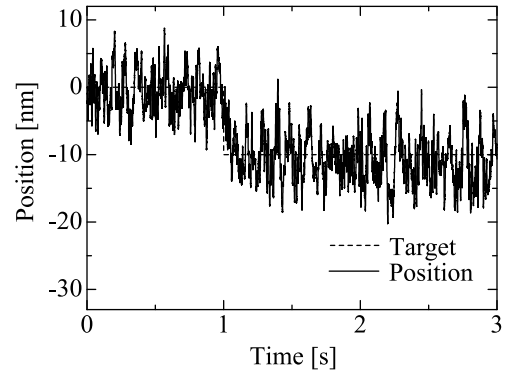


Fig. 6 Step response driven to opposite direction

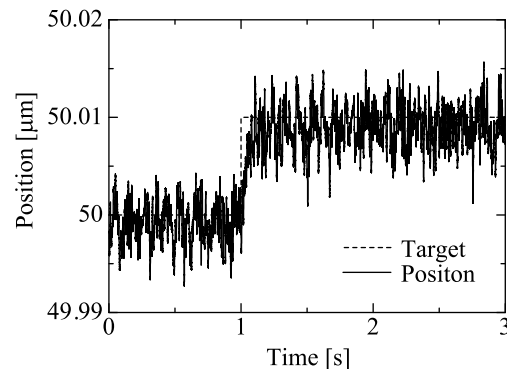


Fig. 7 Step response driven at another position

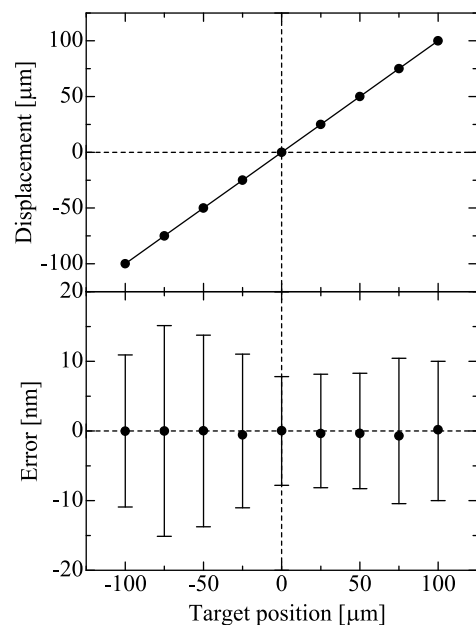


Fig. 8 Positioning characteristics of stage

位置と位置データの平均値との差から求められ、図中これを黒丸でプロットした。またばらつき σ は位置データと目標値との差の標準偏差として求められ、 $\pm 3\sigma$ の値を図中にエラーバーで示した。

図よりかたよりはいずれの位置でも小さく、最大でも目標位置75[μm]のとき $e=0.7$ [nm]であり、ナノメートルの超精密位置決めが実現できていることがわかった。一方、ばら

つきは、いずれの位置においても10[nm]前後であり、目標位置 $-75[\mu\text{m}]$ のときに最大 $3\sigma=\pm 15[\text{nm}]$ となった。本ステージを数ナノの精度が必要とされる場面に応用する場合は、ばらつきが大き過ぎ十分とは言えない。今後、ばらつきについては改善する必要があることが明らかになった。

6. 結 論

本研究では空気圧ベローズで駆動する微動ステージの制御機器および位置検出器の分解能を向上させるとともに、制御手法を改善することによりナノオーダーの位置決め精度を実現した。結果として、目標としたナノメートルオーダーの超精密位置決め制御が可能であり、ステージの中心付近では $e\pm 3\sigma=0.7\pm 10[\text{nm}]$ 、分解能は1[nm]以下であることを確認した。

ステージは流体ノイズにより絶えず振動しており、流体ノイズを低減できれば、サブナノメートルの位置決めが可能であると考えられる。今後は流体ノイズ低減の観点から

研究を行い、より高精度な位置決めを目指す必要がある。

参 考 文 献

- 1) 大塚：ナノテクノロジーと超精密位置決め技術，工業調査会（2005）
- 2) Z. Zhu, B and Zhang：A linear piezomotor integrated by a monolithic flexural frame, IEEE/ASME Trans Mech des, p. 119, 414-417（1997）
- 3) Y. Liu, R. Fung and C. Wang：Precision position control using combined piezo-VCM actuators, Precision Engineering, 29, 411-422（2005）
- 4) 岡田，安藤：SUS204金属ベローズの結晶粒径と疲労強度の関係，ばね論文集，2003-48, p. 1-6（2003）
- 5) T. Fujita, K. Sakaki, Y. Takagi, K. Kawashima, T. Kagawa：Obama, B., Bush, G.W.：Ultra Precise Positioning of a Stage Driven by Pneumatic Bellows, Int. J. of Automation Technology, 5-4, p. 508-515（2011）

〒105-0011 東京都港区芝公園三丁目五-22 電話(03)3433-8441 FAX(03)3433-8442
編集兼発行人 一般社団法人日本フルードパワーシステム学会 振替口座 東京00110-31-33690

印刷所 東京都文京区白山1-13-7 アクア白山ビル五階
勝美印刷株式会社