

日本フルードパワーシステム学会誌

JOURNAL OF THE JAPAN

FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

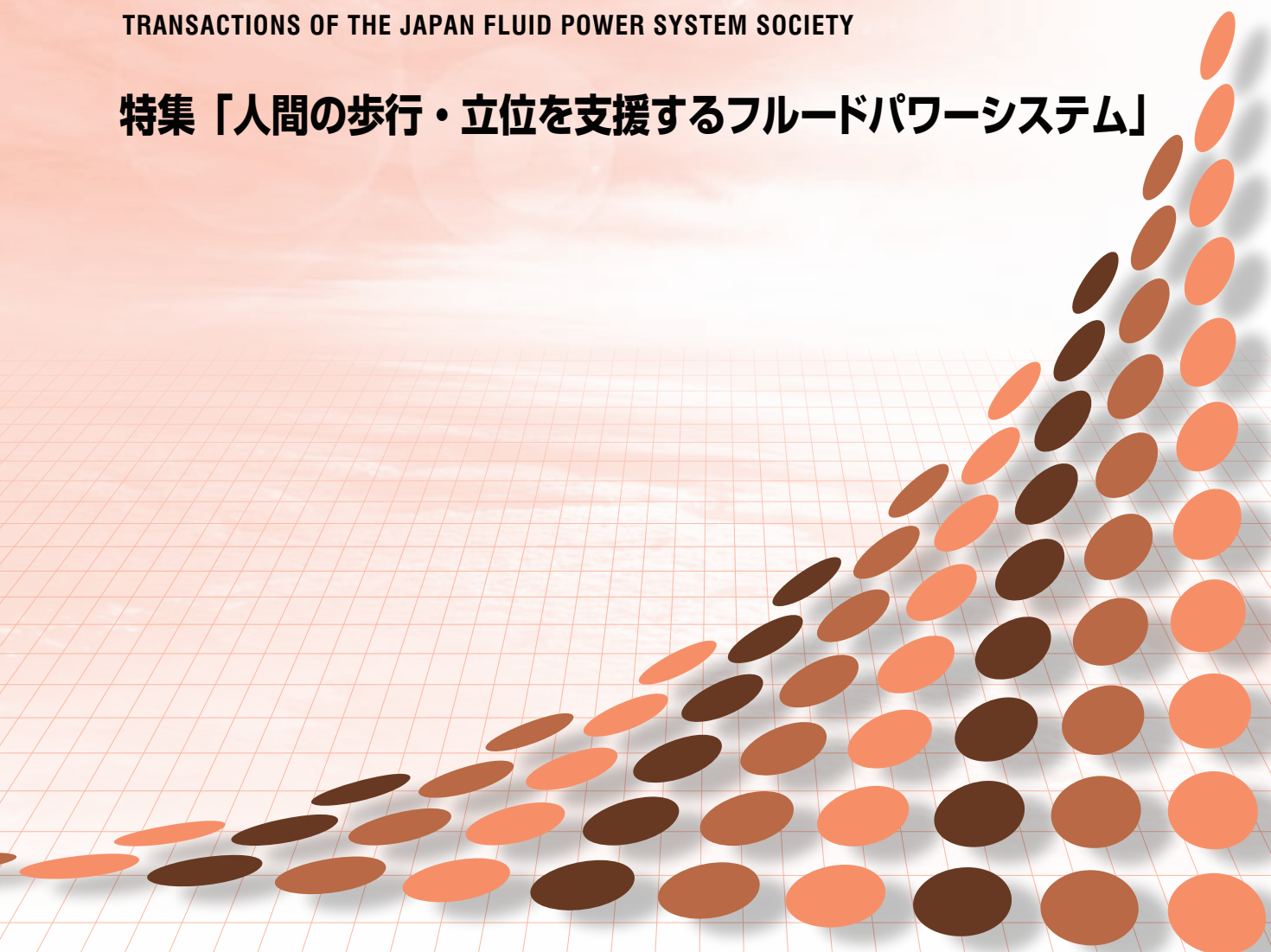
フルードパワー システム

Nov.2013 Vol.44 No.6

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「人間の歩行・立位を支援するフルードパワーシステム」



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「人間の歩行・立位を支援するフルードパワーシステム」

【巻頭言】

「人間の歩行・立位を支援するフルードパワーシステム」発行にあたって	村松 久巳	332
-----------------------------------	-------	-----

【解説】

ヒトの立位姿勢・歩行運動を支える神経システム	河島 則天	333
歩行計測・評価の新技术	持丸 正明	336
水圧人工筋を用いた歩行訓練補助装具の開発	小林 亘, 伊藤 和寿	339
空気圧制御による歩行支援装具	小山 紀	342
小型MR流体ブレーキ膝継手を用いた随意制御大腿義足の開発	引地 雄一, 中野 政身	344
立位保持装置	村松 久巳	347

【会議報告】

SEAD25におけるフルードパワー技術の研究動向	竹村研治郎	350
ICMDT2013におけるフルードパワー技術研究動向	巖 祥仁	353
第13回スカンジナビアフルードパワー国際会議 (SICFP2013) に見る 欧米の研究開発動向	大木 孝利	355

【トピックス】

日本提案の空気圧ショートストロークシリンダ, ISO化で奮闘 一後編一	東川 智信	358
特許文献を調べる・特許電子図書館の活用2…日本の分類	木原 和幸	362
アメリカ駐在日記	常村 憲史	365

【研究室紹介】

東京海洋大学 海洋工学部 海洋電子機械工学科 オートマティクス研究室	伊藤 雅則	368
------------------------------------	-------	-----

【随想】

私の散歩道	赤井 英夫 371
-------	-----------

【企画行事】

平成25年春季フルードパワーシステム講演会報告	内堀 晃彦 374
-------------------------	-----------

【ニュース】

中国における国際交流	香川 利春 376
------------	-----------

【会告】

研究委員会（委員公募）のお知らせ	352, 378
平成25年度 ウインターセミナーのお知らせ「大型機械と油圧技術」	378
第三回フルードパワーに関する日中共同ワークショップ論文募集	379
（一社）日本フルードパワーシステム学会 平成26・27年度役員（理事・監事）推薦の受付け	380
共催・協賛行事のお知らせ	381
資料一覧	382
フルードパワーシステム第44巻総目次	385
その他	370, 377, 388

■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 "Fluid Power System for Walking and Standing Supports"

[Preface]

On the Special Issue "Fluid Power System for Walking and Standing Supports"	Hisami MURAMATSU	332
---	------------------	-----

[Review]

Neural System Underlying Human Bipedal Standing and Locomotion	Noritaka KAWASHIMA	333
Gait Measurement and Evaluation Technologies: State of the Art	Masaaki MOCHIMARU	336
Development of Gait-Training Orthosis with Water Hydraulic McKibben Muscles	Wataru KOBAYASHI, Kazuhisa ITO	339
Walking Assist Equipment Using Pneumatic Control	Osamu OYAMA	342
Development of Transfemoral Prosthesis Controlled by Optional Motions Using	Yuichi HIKICHI, Masami NAKANO	344
Compact MR Fluid Brake Knee Joint	Hisami MURAMATSU	347
Support Equipment for Standing Position		

[Conference Report]

Fluid Power Researches in SEAD25	Kenjiro TAKEMURA	350
Researches on Fluid Power Technologies in ICMDT 2013	EOM Sang In	353
Research and Development Trend of Western Seen from the SICFP2013	Takatoshi OOKI	355

[Topics]

The Pneumatic Fluid Power Short Stroke Cylinder of Japanese Proposal –Part II –	Tomonobu HIGASHIKAWA	358
Investigation of the Patent Documents/ Practical Use of Industrial Property Digital Library.....	Kazuyuki KIHARA	362
The Classification in Japan	Norifumi TSUNEMURA	365
Diary of US life		

[Laboratory Tour]

Automatics Lab., Dept. of Marine Electronics and Mechanical Engineering, Division of Marine Technology, Tokyo Univ. of Marine Science and Technology	Masanori ITO	368
---	--------------	-----

[Essay]

My Private Promenade	Hideo AKAI	371
----------------------	------------	-----

[JFPS Activities]

Report on JFPS Spring Conference 2013	Akihiko UCHIBORI	374
---------------------------------------	------------------	-----

[News]

JFPS International Exchange in China	Toshiharu KAGAWA	376
--------------------------------------	------------------	-----

[JFPS News]

352, 370, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 385, 388

巻頭言

特集「人間の歩行・立位を支援するフルードパワーシステム」
発行にあたって

著者紹介

むら まつ ひさ み
村 松 久 巳沼津工業高等専門学校
〒410-8501 静岡県沼津市大岡3600
E-mail: muramatsu@numazu-ct.ac.jp

1989年東京理科大学大学院工学研究科博士課程修了。現在、沼津高専教授、空気圧工学の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本音響学会、日本機械学会、ターボ機械協会の会員、工学博士。

健常者が歩行を行うこと、立位の姿勢をとることは、日常生活の中で繰り返し行われる基本的な動作と姿勢である。身体の機能が低下するまたは不全になると歩行と立位に支障が生じ、場合によっては生活と健康に問題が生じる。機能を維持する、改善するおよび向上するために、医師、看護師、臨床検査技師、介護福祉士、理学療法士、作業療法士、義肢装具士などが医療・検査・介護・介助・リハビリテーション・義肢や装具の設計製作の面から問題解決にあたっている。一方、異なる分野の研究者がチームを組み対応する方法や学際分野から人材を育成することも注目されている。本学会においては工学的な支援を目的とし、先進的な研究成果が学会論文集や講演論文集に報告されている。

そこで本特集では、人間の歩行と立位に関する研究成果および研究動向を解説いただいている。はじめに、歩行と立位に関する機序、歩行の計測・評価の観点から解説していただいた。国立障害者リハビリテーションセンター研究所 河島則天氏により「ヒトの立位姿勢・歩行運動を支える神経システム」の題目で、立位姿勢や歩行運動に関する脊髄と脳の貢献度、姿勢調節に関与する筋骨格系と神経系の活動を解説していただいた。さらに歩行運動では中枢神経系の各階層が機能的役割を分担することをご紹介いただいた。

産業技術総合研究所 持丸正明氏により「歩行計測・評価の新技术」の題目で、簡易なセンシングによる歩行計測と評価技術の動向と、Structured Light 方式の光学式形状計測を用いた足部4次元形

状計測技術とそのモデリング技術についてご紹介いただいた。

つぎに水圧、空気圧、機能性流体を歩行と立位に活用した研究について解説いただいた。芝浦工業大学 小林 亘氏と伊藤和寿氏により「水圧人工筋を用いた歩行訓練補助装具の開発」の題目で、水道水圧を利用し、水中歩行訓練での使用を想定した水圧人工筋を解説していただいた。さらに水圧人工筋のモデル化、供給流量を用いた人工筋変位の推定法についてご紹介いただいた。

明治大学 小山 紀氏により「空気圧制御による歩行支援装具」の題目で、空気圧アクチュエータの剛性調整機能を利用し、ヒト膝関節の機能を模擬した歩行支援装具をご紹介いただいた。この装具を用いた場合のヒトとの協調動作、歩行時のエネルギー回生、空気圧源の可搬性、さらに改良事項について解説していただいた。

エムサポート 引地雄一氏と東北大学 中野政身氏により「小型MR流体ブレーキ膝継手を用いた随意制御大腿義足の開発」の題目で、MR流体ブレーキを人間の膝継手に用いた大腿義足の構造と仕組み、さらに被験者に装着した状態での歩行と動作解析の結果についてご紹介いただいた。

著者が開発を進めている「立位保持装置」を紹介した。空気圧ゴム人工筋肉を活用した立位姿勢を保持する装置の構造と機能、その効果、さらに身体の重心を横方向に移動する機能を追加した結果について説明した。

新規性の高い研究成果が実用化に向かう場合、承認される前に安全性試験や臨床研究など乗り越えるハードルは高いが、この分野の更なる発展が期待される。

最後に、異常気象による猛暑な中、ご多用にかかわらず解説記事を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。また本特集の企画・立案に際し、ご提案とご助言をいただいた編集委員会委員の皆様にも深く感謝申し上げます。

(原稿受付：2013年9月10日)

解説

ヒトの立位姿勢・歩行運動を支える神経システム

著者紹介

かわしま のり たか
河島 則天

国立障害者リハビリテーションセンター研究所
運動機能系障害研究部・神経筋機能障害研究室
〒359-8555 埼玉県所沢市並木4-1
E-mail: kawashima-noritaka@rehab.go.jp

2000年金沢大学大学院教育学研究科修了後、
国立障害者リハビリテーションセンターを拠点
にヒトの姿勢や歩行の神経制御、新しいリハ
ビリテーション方法の開発に関する研究に従事、
博士（学術）。

1. はじめに

二足での立位姿勢、歩行運動はヒトの生活を支える基本的な行動様式である。円滑な歩行運動を実現するためには数多くの筋の協調的な活動が必要とされ、また単に運動出力を発するだけでなく、外部環境に応じた適切な調節が必要である。その制御の範囲を考えれば、歩行運動を支える神経基盤は多岐にわたり、仮に脳が全ての運動指令を逐次与えるのであれば、その負担は非常に大きい。しかし実際には、歩行運動は他の身体運動と比較して運動出力そのものに対する脳（高位中枢）の関与が少ない。

図1の概念図に示すように、一般に随意性が要求される運動では、脳の貢献度が大きく、立位姿勢や歩行運動など、高度に自動化された運動の場合には脊髄の貢献度が相対的に大きくなる。また、同じ歩

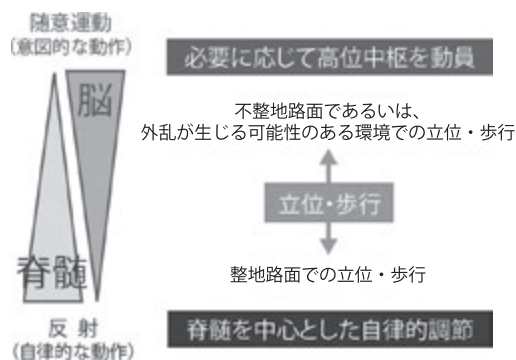


図1 立位・歩行の運動調節における脳と脊髄の関係性

行運動であっても外乱等が生じる環境下では、脳からの補足的な調節が必要となり、反対に整地での歩行の場合には脊髄による自律的な調節の貢献度が大きくなる。これから述べるように、立位姿勢と歩行運動の間には、運動を発現するための神経基盤そのものには違いがあるものの、脳と脊髄の関係性は類似していることをまずは明確にしておきたい。

2. 立位姿勢を支える神経システム

ヒトの立位姿勢は、腰上の高い重心位置を外表面のわずか数%の狭い支持基底面で支える、一見不安定な特性を持つ。立位姿勢時の重心位置は足関節中心よりも前方に位置しており、足関節は常に底屈トルクを発揮している。このトルク発揮は筋や靱帯・腱などの関節周辺組織の粘弾性に起因するpassiveな要素、感覚情報や運動指令に基づく神経調節に起因するactiveな要素に分けられる。Activeなトルク発揮は主に足関節底屈筋である下腿三頭筋の脊髄反射経路の貢献が大きく、持続的に活動するヒラメ筋と重心動揺に呼応して活動する腓腹筋が個々に機能と役割を分かちながら姿勢調節に貢献している。ヒラメ筋および腓腹筋の活動は重心動揺に対して一定の時間関連性を持っており、自然な立位姿勢保持中では、身体重心の微小な位置変化に対して下腿筋活動は200ミリ秒ほど先行して筋活動を開始する特性を持っている。我々が意識的な調節なしに姿勢を維持し、不意な外乱に遭ってもなお、素早く姿勢を立て直すことができる背景には、このような筋骨格系によるpassiveな要素と神経系によるactiveな要素の相互作用が存在する。

つぎに、図1に示した脳と脊髄の関係性に照らして姿勢調節を見ていくことにする。姿勢の調節には、脊髄反射経路を介した自律的な調節系の貢献が大きく、外部環境の変化や状況に応じて視覚情報や前庭器官からの情報、さらには随意的な神経調節を重ねることで実現されている。ここに姿勢調節に重要な要素を付け加えていくと、脊髄反射を中心とした自律的な調節系に加え、前庭系、視覚系、体性感覚系情報の統合が挙げられるだろう（図2）。

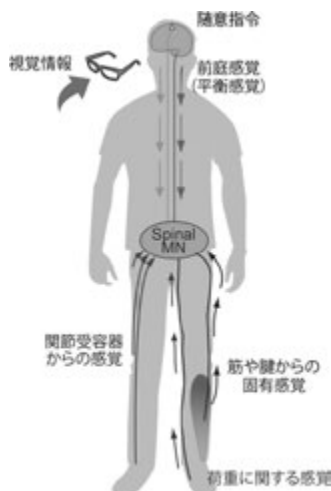


図2 立位姿勢を支える諸要素

身体の形状や質量が異なることはもちろんだが、姿勢の形態的特性にはかなりの個人差がある。さらに加齢に伴う姿勢変化には背骨の弯曲、筋・骨萎縮などの筋骨格系の変化、さらには疼痛の発現などの様々な要因が関連するため、加齢に伴う姿勢変化を明確に説明することには一定の難しさがある。しかし、脳と脊髄の関係性、という観点から高齢者の立位姿勢調節の特性を述べるとすれば、個々の形態的特性に依らず高齢者では「立つこと自体を意識するようになる」、「若年者のような脊髄の自律的調節を基幹とした冗長でしなやかな姿勢調節が失われる」というような説明ができるだろう。

3. 歩行運動を支える神経システム

立位姿勢の「静」に対して、歩行は全身を使った「動」的な運動である。全身の筋の協調的な活動、外部環境に応じた冗長かつ合目的な調節を生み出す神経システムは、図3の左図に示すように中枢神経系の各階層がそれぞれの機能的役割を分担するこ

とで構成されている。

歩行運動における体肢の自律的かつ非対照的な運動出力を可能にしているのは、中枢神経系の中でも下位の階層（脊髄・脳幹）に存在する、歩行の基本的リズムを発現する神経回路の貢献が大きい。高位中枢は歩行運動出力に対する直接的な関与は少ないものの、運動の企画、そして準備と開始に必要な不可欠である。また、歩行運動の実行中に必要に応じて付加的な随意指令を与えることも極めて重要な役割と言えよう。以降、図3右図に沿って概説していくことにする。歩行運動の実行指令は大脳皮質から大脳基底核を介した調節信号とともに脳幹の中脳歩行誘発野（mesencephalic locomotor region: MLR）に伝達され、運動出力が発現、これにより脊髄に神経指令が下行、脊髄介在ニューロン群で構成される中枢パターン発生器（central pattern generator: CPG）による周期的な歩行運動出力が発現する。加えて、脚橋被蓋核（Pedunculopontine tegmental nucleus: PPN）を中心とした脳幹と脊髄の神経ネットワーク群は、歩行運動時の全身性の協調動作や筋緊張の制御に貢献している。CPGは、“求心性神経入力なしに周期的な神経出力を発現させる神経ユニット”として定義されるが、歩行中には運動周期に応じて生じる感覚情報（とりわけ「荷重情報」と「股関節求心系」）との相互作用によって、運動リズムの安定化、立脚―遊脚の位相転換などが実行される（図3右の運動実行から上行する矢印）。求心性感覚情報は、脊髄反射応答の駆動源として、不意な外乱への対応に重要な役割を持つことが良く知られている。感覚情報に基づく脊髄を中心とした自律的な運動出力、修正を実現する機能単位は、歩行運動におけるフィードバック制御のパートとして位置づけられるだろう。

脊髄への求心性感覚入力に加えて、小脳への求心

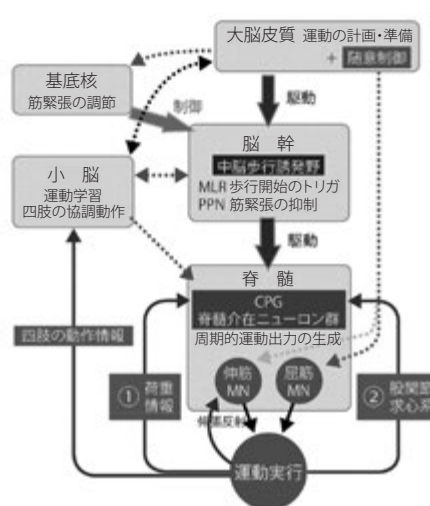
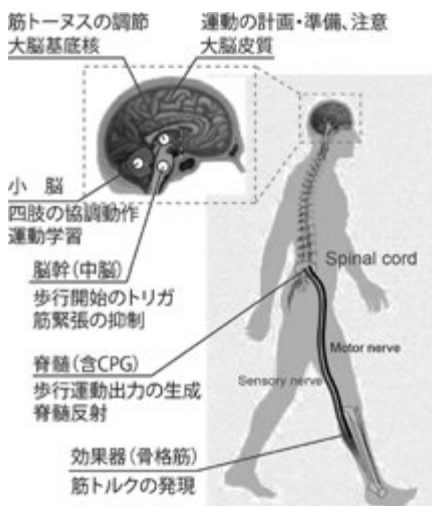


図3 歩行運動を支える神経システム
(左図は中枢神経系の各階層における役割を示し、右図は神経経路と各階層の機能連関を図示している)。

性感覚情報も重要である。小脳は歩行中の四肢の協調動作の調整、さらには運動学習のリソースとして活用されることが既に明らかにされている。このような運動の結果に基づく運動修正、外乱に対する予測制御（フィードフォワード制御）もまた、円滑な歩行運動の実現には極めて重要である。歩行運動を実現する神経システムを考える上で、中枢神経系の階層ごとにその役割と機能を見る視点に加え、適応的なフィードバック制御と学習性のあるフィードフォワード制御という観点から捉える視点を持つことで、より包括的に歩行運動のメカニズムを理解することにつながるのではないだろうか。

立位姿勢、歩行運動のいずれも自律性の高い運動様式であるが、これまで見てきたように、決してステレオタイプの運動ではない。姿勢や歩行を取り巻く環境は多様であり、接地面の状態や姿勢を揺るがす不意の出来事に対応するために、運動出力の発現に関わる神経システムは絶えずその興奮性を適切に調節している。立位姿勢、歩行運動における中枢神経系の階層性制御のメリットは、運動出力そのものを脊髄や脳幹などに担わせることで実現される「高位中枢の負担軽減」が挙げられるだろう。我々の日常生活でごく自然に行っている、歩きながら本を読む、お盆に載せた料理に注意を払いながらテーブルに進む、といった歩行プラスアルファの活動（いわゆるdual task）を可能にしているのは、この階層性制御に依るところが大きい。

4. おわりに

「脳の世紀」さらには「人間と共生するロボットの時代」とも称されるこの21世紀にあって、近年医療現場、リハビリテーション現場での活用を企図したロボット技術の開発が盛んにおこなわれている。身体との親和性の高い、加齢や障害による機能低下を適切にサポート、アシストする機器を開発する上では、ダメージを受けたのが歩行の神経システムのうちのパートにあたるのかを考慮した上で、いかなるアシストが求められるかを見極める必要がある。立位姿勢や歩行運動を実現する神経システムについての正確な理解は、歩行機能の停滞、異常歩行の原因を見極めるために必要不可欠であり、新たな装置開発の仕様立案に有用な情報を提供するものと考えられる。

参考文献

- 1) 河島則天, 小川哲也: 歩行運動を実現する神経システム, 理学療法, Vol. 29, No.7, p. 727-734 (2012)
- 2) Pearson K.G.: Proprioceptive regulation of locomotion, Curr Opin Neurobiol, Vol.5, p. 786-791 (1995)
- 3) 高草木薫: 歩行の神経機構Review, Brain Medical, Vol.19, No.4, p. 307-315 (2007)
- 4) Wickelgren I.: Teaching the spinal cord to walk, Science, Vol.279, p. 319-321 (1998)

(原稿受付: 2013年9月9日)

解説

歩行計測・評価の新技术

著者紹介

もち まる まさ あき
持丸正明(独)産業技術総合研究所
〒135-0064 東京都江東区青海2-3-26
E-mail: m-mochimaru@aist.go.jp

1993年 慶應義塾大学大学院博士課程修了。同年 工業技術院生命工学工業技術研究所入所。改組により、2001年 産業技術総合研究所。現在に至る。人体計測とモデル化、産業応用、サービスデザインの研究に従事。博士(工学)。

1. はじめに

人間の生活にとって移動能力は非常に重要なものであり、その能力を損なうことはさまざまな生活機能を失うことにつながる。そのため、損なわれた歩行能力を支援する機器、あるいは、歩行能力を評価し、それを維持・増進させるシステムが開発され、利用が始まっている。このような歩行支援機器、維持・増進システムの基盤となっているものが、歩行計測技術とその評価技術である。現在、歩行研究において一般的に利用されている計測技術は、歩行運動を計測するモーションキャプチャと歩行時の反力を計測する床反力計からなる歩行計測システムである。得られたデータから、歩行の時間因子(歩速、ケードンスなど)、距離因子(歩幅、歩隔など)だけでなく、生体力学因子(関節角度変化、関節モーメント、関節パワー、エネルギー消費など)を計算できる。歩行計測システムは、障害歩行の評価とリハビリテーション計画の立案、効果検証に活用されている¹⁾。システムは高額で、計測やデータ処理には相応の知識と経験を必要とする。これに対して、より簡便で低価格な計測技術が開発されている。簡便であるがゆえに、店舗や生活場面など、より日常的なシーンでの計測が可能になりつつある。このような計測技術の実現は、センサの小型化・省電力化と情報通信インフラの整備によるところが大きい。ただし、低価格センサ(ジャイロセンサ、加速度センサ、GPS)では限られたデータしか得られないことが多く、従来の歩行計測システムで蓄積されたデー

タベースを活用して補完する技術も必要となっている。本稿2節では、筆者らの研究事例を元に、簡易なセンシングによる歩行計測と評価技術の動向を紹介する。

一方で、従来の歩行計測システムでは得られなかった詳細な情報を計測するための技術開発も進められている。第一は内部の状態を計測する方法で、多方向X線を用いて骨の動きを詳細に測る技術である。関節疾患の分析などに用いられている。第二は外部の変形を計測する方法で、歩行・走行中の足部変形を計測する技術である。シューズ開発に活用できると期待されている。本稿3節では、筆者らが開発した足部4次元形状計測技術とそのモデリング技術について紹介する。

2. 簡易センサによる歩行計測・評価技術

筆者らが開発した簡易歩行計測・評価システムの外観を図1に示す。構成はきわめて単純であり、トレッドミルの下に4つの3軸フォースセンサを備えるだけである。この合成床反力データから、歩行中の関節角度、関節モーメントを精度良く推定できる。推定のために、あらかじめ100人以上の歩行をモーションキャプチャと床反力計からなる歩行計測システムで計測し、関節角度と関節モーメントのデータベースを構築した。多関節×3軸の関節角度とモーメント×時間軸×個人差からなる歩行データベースを主成分分析し、歩き方の個人差特徴を10個程度の主成分に圧縮表現した上で、その主成分得点を実



図1 簡易歩行計測・評価システム

測した合成床反力から推定する²⁾。

図2は主成分空間（歩行の個人差を表す主成分第1成分と第6成分）内で個人の歩行特徴を示したもので、二重円は個人の歩行のばらつきの幅を示している。図2左上のウィンドウは、そのときの推定歩容と推定関節モーメント（左上図中の関節周りの円の大きさ）である。歩行の個人差を表す主成分第1成分（図中の水平軸）は、踵接地後の膝関節屈曲による衝撃吸収の違いを意味しており、図2中左側の方は衝撃吸収が大きく、右側は小さい。衝撃吸収が大きいとは、着地時に太ももや腰の筋を多く使うことであり、同じ歩数の歩行であってもダイエット効果が期待できる。図2の個人の場合、二重円の中心が第1軸右寄りに位置している。やや膝の衝撃吸収が小さい歩き方（スタスタという感じ）である。左上図中の膝関節周りの円（関節モーメントの大きさ）が小さいことから、その歩行特徴が分かる。着地時の膝の使い方に留意し、第1主成分の特徴が左寄りになるような歩き方を心がければ、ダイエットに効果的である。さらに、遊脚期（足が地面を蹴って離れて前方に着地するまでの期間）の地面からつま先までの高さのばらつきから、転倒しやすさを評価できる。実験室の歩行計測システムで蓄積した高齢者の歩行データベースに基づいて、転倒リスクの指標と年齢の関係をモデル化しておくことによ

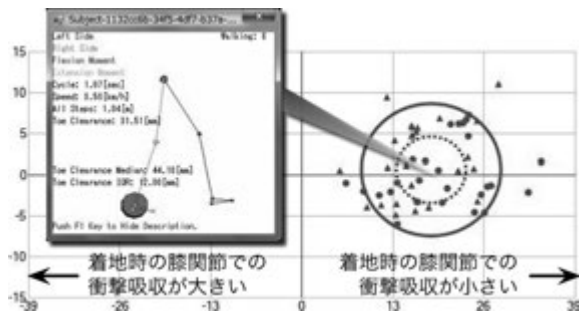


図2 歩行特徴の呈示

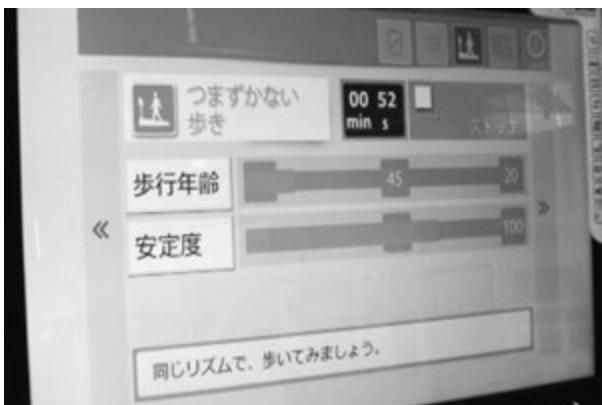


図3 歩行年齢の呈示

り、歩行年齢を表示できるようになっている（図3）。歩行年齢の呈示が、歩容変化による転倒リスク低減に効果があることが確認されている³⁾。

図1ではトレッドミルとフォースセンサでシステムを構成したが、圧力分布を計測するマットや、身体に取り付ける加速度計でも同様のシステムを構成できる。計測項目に応じて歩行主成分の推定式を変更するだけである。このように簡便で低価格なセンサであっても、歩行データベースに基づくモデルを用いて実用的な歩行計測・評価を行うことができる。共同研究を行っている大手日用品メーカは、圧力マット式のシステムを用いてドラッグストアでの顧客の歩行評価サービスを実施中である。

3. 歩行・走行中の足部変形計測技術

モーションキャプチャと床反力による歩行計測システムでは得られないデータとして、歩行・走行中の足部の変形を計測する技術を開発している。足の静的な形状を計測するシステムはすでに実用化されており、足の表面形状を100万点近いデータ点の3次元座標として計測できる⁴⁾。ただし、あくまでも静止立位状態のデータであり、実際に歩行中や走行中に足部がどのように変形しているかが分かるわけではない。モーションキャプチャは数百Hzでの計測が可能だが、データ点数は足部で数十点であり空間解像度が低い。筆者らが開発した足部4次元形状計測技術とは、高い空間解像度と高い時間解像度を同時に満足するStructured Light方式の光学式形状計測である。図4に示すようなカラーコード化した特殊なパターンを投影し、それを別方向の高速度カメラで撮影することでパターンを反射した表面の形状を計算する。1つのカラーセルは2×2の4ピクセルで構成され、RGBの色コードの組み合わせでカラーコードを形成する。このカラーセルを識別することでプロジェクターとカメラの対応付けを行う⁵⁾。1フレームの画像のみから反射面の3次元形状を計算できる。足表面上では、カラーセルが約3mm間隔に投影される。これが空間解像度となる。プロジェクターとカメラのセットを足裏も含め4つ配置することで、死角を低減している（図5）⁶⁾。低価格のモーションキャプチャと認識されているKINECTTMも、Structured Light方式の光学式形状計測であり、同様の変形計測が可能である。筆者らのシステムは、KINECTTMより高速（200Hz）かつ高精度（誤差1mm）の計測を実現している。

図6上段は、走行中の足変形計測結果の例である。同システムを用いて45名の歩行中の足変形を計測した結果から、歩行中に前足部の幅が2.4mm長く、

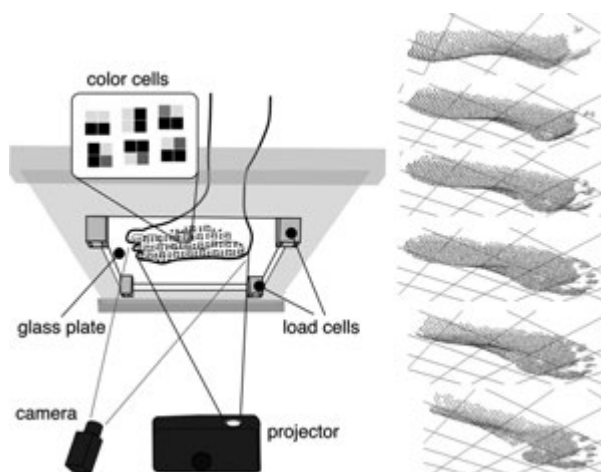


図4 投影したカラーコード・パターンと足裏計測例

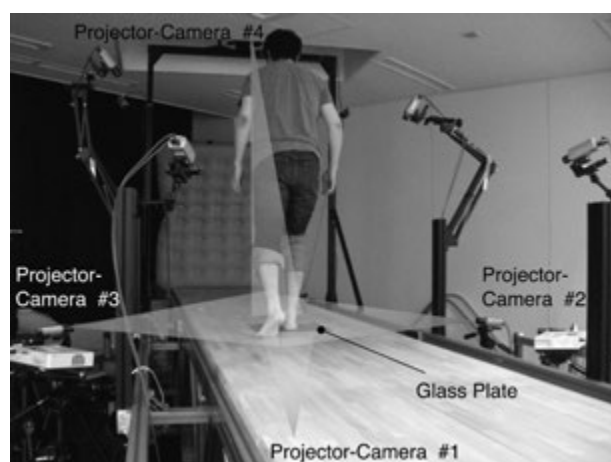


図5 歩行特徴の呈示



図6 走行中の足変形計測結果の例

足部内側の親指のつけ根（第1中足趾節関節）から踵部側面までの長さが3.8mm長くなり、踵幅が5mm狭くなることが明らかになった⁷⁾。このような動的な足の変形に関する知見は、歩いたときの変形に適切に対応するシューズ設計に活用できる。

計測結果にはノイズも含まれており、形状も不完全である。そこで、数千頂点を持つポリゴンとして記述された足形状のテンプレートモデルを計測結果にフィッティングした（図6下段）⁸⁾。これにより計測結果を補完するとともに、すべてのフレームの形状を同一頂点数・同一位相幾何構造で解剖学的に対応付けられたポリゴンモデルで再表現することに

なる。これを相同モデリング（Homologous Shape Modeling）と呼ぶ。相同モデル化により、歩行・走行中の足部寸法変化だけでなく、形状特徴の変化傾向を統計解析できるようになる。

4. おわりに

歩行能力を評価し、それを維持・増進させるシステム開発の基盤となる歩行計測・評価の新技術を紹介した。モーションキャプチャと床反力による一般的な歩行評価システムに加え、生体内状態や体表面変形を精密に計測する新技術が実験室の計測技術として利用可能になってきている。そして、実験室で蓄積される精密なデータを利用することで、簡便で低価格なセンサで日常的に観測したデータを補完し、意味のある歩行評価に繋げることができる。ビッグデータ時代となり、サービスを通じて日常的な歩行データが大量に蓄積されるようになりつつある。そのデータを歩行能力の支援や維持、増進に役立てるための精密な実験室データ（ディープデータ）と補完・評価技術が一層求められるようになるだろう。

参考文献

- 1) 臨床歩行分析研究会：関節モーメントによる歩行分析，医歯薬出版株式会社（1997）
- 2) 青木慶，土井正裕，酒井健作，持丸正明：健康サービス産業における歩行評価システムの開発，第30回バイオメカニズム学術講演会，pp. 53-56（2009）
- 3) 小林吉之，青木慶，渋谷英次郎，持丸正明：歩行中の転倒リスク評価・警告装置の開発 3—つまずきリスク年齢をフィードバックすることによるMTCへの短期的影響，生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 LIFE2012，OS2-5-3（2012）
- 4) Kouchi, M., Mochimaru, M. : Development of a low cost foot-scanner for a custom shoe making system, ISB 5th Footwear Biomechanics Symposium, pp. 58-59（2001）
- 5) Mochimaru, M., Kouchi, M. : 4D measurement and analysis of plantar deformation during walking and running, ISB 10th Footwear Biomechanics Symposium, S109（2011）
- 6) Kimura, M., Mochimaru, M., Kanade, T. : Measurement of 3D Foot Shape Deformation while Running-Simultaneous Measurements by Multiple Projector-Camera Systems-, IEEE International Workshop on Projector Camera Systems PROCAMS 2009（2009）
- 7) Kouchi, M., Kimura, M., Mochimaru M. : Deformation of foot cross-section shapes during walking, Gait and Posture, Vol.30, pp.482-486（2009）.
- 8) Yamazaki, S., Kouchi, M., Mochimaru M. : Homologous Shape Modeling of Deforming Human Foot, ISB 11th Footwear Biomechanics Symposium, S121（2013）.

（原稿受付：2013年8月26日）

解説

水圧人工筋を用いた歩行訓練補助装具の開発

著者紹介



こばやし わたる
小林 亘

芝浦工業大学大学院
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307
E-mail: nb12102@shibaura-it.ac.jp

2012年芝浦工業大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程修了。現在、芝浦工業大学大学院理工学研究科機能制御システム専攻博士後期課程2年。日本フルードパワーシステム学会の学生会員。



いとう かず ひさ
伊藤 和寿

芝浦工業大学
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307
E-mail: kazu-ito@shibaura-it.ac.jp

1995年上智大学大学院博士前期課程修了。株式会社小松製作所、上智大学助手、鳥取大学准教授を経て、2011年芝浦工業大学教授。日本フルードパワーシステム学会、日本生物環境工学会、計測自動制御学会、電気学会などの会員。博士（工学）。

1. はじめに

近年の医療分野において、工学的支援は必要不可欠なものとなってきており、理学療法士の不足が問題となっているリハビリテーション（以下、リハビリ）分野では、フルードパワーを応用したパワーアシスト装置やリハビリ支援機器の開発が盛んに行われている。ヒトに直接装着するこのような機器には、軽量かつ柔軟であるだけでなく、その動力源やアクチュエータにもヒトとの融和性が高く、十分な冗長性を有しているものが要求される。本研究で対象とするマッキベン型人工筋は、上記の観点から十分にその要求を満たすアクチュエータの1つであり、主に空気圧駆動のものが広く研究・開発されている。

一方で、空気圧を利用するためには圧縮空気を生成するコンプレッサが必要となるが、コンプレッサを駆動することで発生する音や振動はリハビリ支援装置を利用する患者に不必要な不快感や恐怖心を与えてしまうことが指摘されている。本研究ではこの問題に対し、空気圧とほぼ同等な圧力域で使用可能な水道水圧を利用し、近年再び注目されつつある水

中歩行訓練での使用を想定した人工筋の新しい可能性について検討を行なっている。本稿では、水圧人工筋のモデル化および供給流量を用いた人工筋変位の推定法について紹介する。

2. 提案型補助装具

前述したように水道水圧を利用することにより、動力源となるコンプレッサや電動機を用いることなく人工筋を駆動することが可能で、さらに完全オイルフリーであるため装置の丸洗いが可能となる水圧技術の特長も十分に活かすことができる。水中では装置自体のクリーン性が高い水準で求められるため、万が一作動流体が漏洩した際にも水道水を利用する提案型装具のアドバンテージは大きい。また、水中歩行訓練では水の浮力を利用することが可能となるため、多くの装置で採用されているカウンターウェイトを用いた免荷機構を自然な浮力で代替することで、大型複雑化が進む歩行訓練支援装置の小型化および低コスト化が期待される。

提案型装具の概略図を図1に示す。装着部はコルセットやラバーベルトを用いる簡易な構造とし、装具の自由度、冗長性を保つ設計となっている。さらに、金属フレームを一切用いないため、アクチュエータである人工筋の柔軟性を損なうことなく訓練を補助することが可能である。

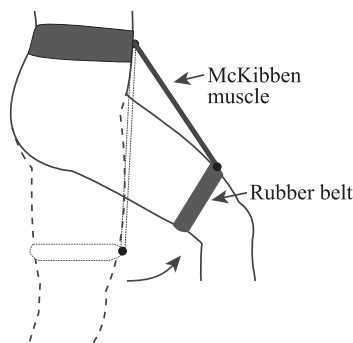


図1 提案型補助装具

3. 水圧人工筋のモデル化

従来の空気圧人工筋の特性に関する研究は数多く、人工筋のモデル化については静的なモデルと動的なモデルがそれぞれ提案されている^{1), 2)}。一般に、人工筋は静的モデルを用いて制御を行うことが多いため、ここでは提案されている静的モデルを水圧人工筋に適用し、その妥当性について検証する。

3.1 人工筋静的モデル

マッキベン型人工筋の形状を円柱形と仮定すると、その幾何学的構造から次式が成り立つ。ただし、 L は人工筋長、 D は人工筋径、 b は人工筋のスレッド長、 n はスレッドの巻き数、 γ はスレッドの人工筋軸方向とのなす角である。

$$L = b \sin \gamma, D = \frac{b \cos \gamma}{\pi n} \quad (1)$$

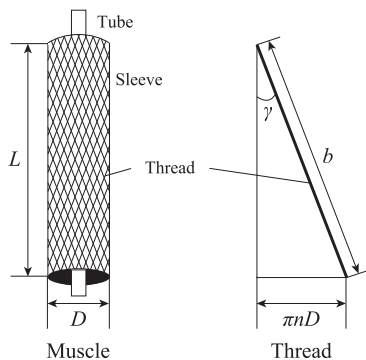


図2 人工筋の幾何学的構造

このとき、スレッドの弾性変形を無視し、流入流量による仕事と人工筋の収縮により行われる仕事とのつり合いに基づくと、人工筋が受ける力 F と供給圧力 p との間に次の関係が成り立つ。

$$F = \frac{\pi p}{4} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 (3 \cos^2 \gamma - 1) \quad (2)$$

さらに人工筋の厚さ t_k を考慮した次の評価式も導出されている。

$$F = \left[\frac{\pi p}{4} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 (3 \cos^2 \gamma - 1) \right] + \pi p t_k \left[\frac{b}{n\pi} \left(2 \sin \gamma - \frac{1}{\sin \gamma} \right) - t_k \right] \quad (3)$$

3.2 人工筋静的モデルの評価

前節の人工筋静的モデルを評価するため、図3に示す実験装置を用いて測定された実験結果との比較検討を行った。実験装置は、水圧切替弁、圧力センサ、流量計、ポテンシオメータから構成されている。以下に結果を示す。

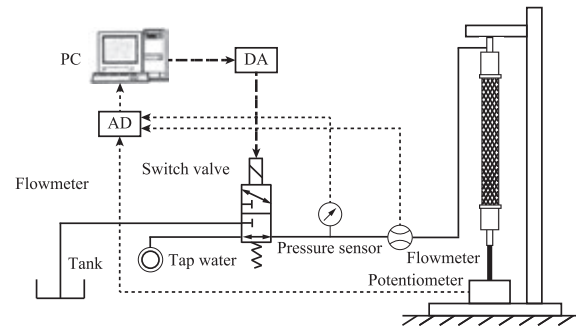


図3 実験装置

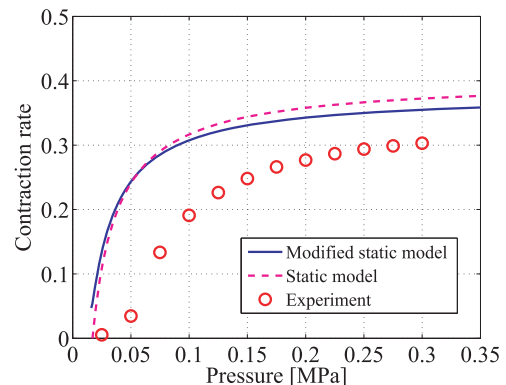


図4 筋収縮率特性

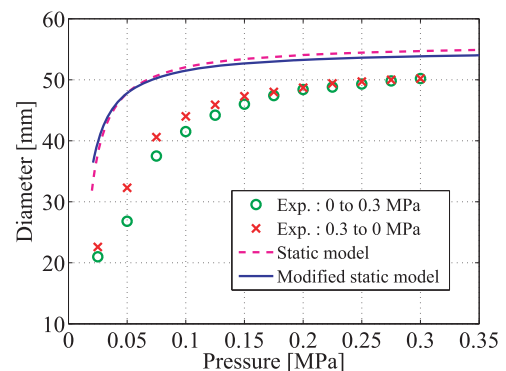


図5 人工筋径特性

実験結果からわかるように、人工筋の静的モデルは実験結果を十分に再現できておらず、筋収縮特性において最大で20%程度の誤差を生じることが明らかになった。これは2本のスレッド間およびインナーチューブとスレッド間の摩擦、スレッドの曲げモーメントを考慮していないことが原因と考えられる。これらの摩擦や曲げモーメントを陽に考慮することは可能だが、モデルが非常に複雑になることに加えて、必要となる物理パラメータが増えるため実用的ではない。さらに、静的モデルは人工筋の変位制御を行う際に過渡応答を制御することができないといった問題点も有するため、これに代わる新しい手法が必要となる。

4. 供給流量による筋変位推定法

水圧人工筋の特長の1つに、作動流体に非圧縮性の流体を用いていることが挙げられる。加えて、水は温度変化による物性値の変化が小さい。つまり、供給流量から容易に筋変位量を推定することができる。なお、供給流量による筋変位量の推定は、空気圧駆動型人工筋で検討され、その有用性が示されている³⁾。

4.1 筋変位推定法

人工筋の容積変化と人工筋への供給流量の関係は次式で与えられる。

$$\Delta V = \int q dt \quad (4)$$

ただし、 V は人工筋の容積、 q は人工筋への供給流量である。式(1)、(4)より、 $0 < \gamma < 1/2\pi$ において次式が成り立つ。

$$\Delta V = \int q dt = \frac{L(b^2 - L^2)}{4\pi n^2} - \frac{\pi D_0^2 L_0}{4} \quad (5)$$

ただし、 L_0 は人工筋自然長、 D_0 は人工筋のインナーチューブ径である。式(5)の関係を用いて、計測された供給流量 q より、人工筋長 L を推定する。

4.2 筋変位推定法の評価

ここでは、前節の推定法の有用性について実験により検証する。図3に示した実験装置を用い、ポテンショメータにより計測された人工筋の筋変位量と流量計により計測された供給流量から推定された筋変位量を比較検討し、その有用性について検証する。なお、人工筋および実験回路内は水で満たされており、空気を含んでいない状態を初期条件としている。以下の図6および図7にこのときの筋変位量および供給流量の計測結果を示す。

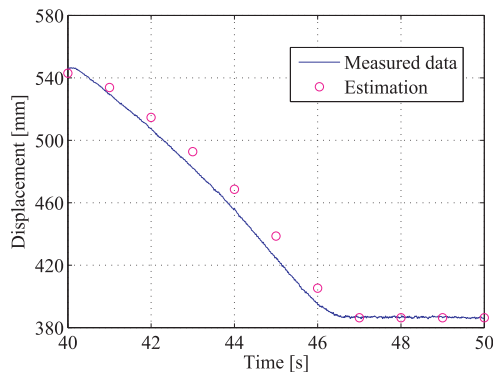


図6 人工筋変位量推定実験結果

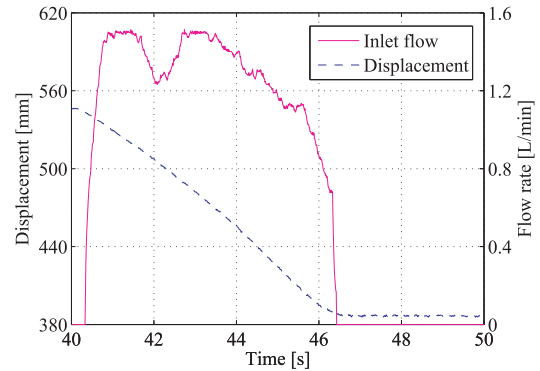


図7 供給流量および人工筋変位量

実験結果より、供給流量から筋変位量を十分に推定できることが示された。しかし、同時刻で比較すると推定値は実測値より若干大きくなっていることがわかる。これは実験に用いた流量計の応答時間が影響している。実験に用いた流量計は、カタログ値より応答時間が0.5sとなっており、この遅れが前述の推定誤差の原因であると考えられる。加えて、推定には流量の積算を用いているため、流量計の性能に強く依存することが懸念される。

5. おわりに

本稿では、水圧人工筋を用いた歩行訓練補助装具を紹介し、水道水を用いた人工筋のモデル化と供給流量による筋変位推定法について述べた。水道水を用いた人工筋の特性は空気圧とほぼ同等であり、空気圧人工筋が使用できる環境では水圧人工筋を同様に使用することが可能である。また、クリーン性が求められる環境では水圧技術の特長を活かすことのできるアクチュエータであり、その適用範囲はリハビリ分野に限らず広い。今後、水圧人工筋が様々な分野で使用されることが期待される。

参考文献

- 1) C. P. Chou and B. Hannaford: Measurement and modeling of McKibben pneumatic artificial muscles, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 12, No. 1, p. 90-102 (1996)
- 2) G. K. Klute and B. Hannaford: Accounting for elastic energy storage in McKibben artificial muscle actuators, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 122, No. 2, p. 386-388 (2000)
- 3) 門田・齋藤・川嶋・香川：等温化した空気圧ゴム人工筋の体積からの収縮率推定, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 40, No. 2, p.17-21 (2009)

(原稿受付：2013年8月23日)

解説

空気圧制御による歩行支援装具

著者紹介



おやま 紀
小 山

明治大学理工学部
〒214-8571 川崎市多摩区東三田 1-1-1

1978年より年明治大学工学部（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員

1. はじめに

フルードパワーを利用してヒト動作の支援をおこなうとき、ヒトを増力して動きの機能を拡大するものや¹⁾、ヒトの動きに合わせて負荷力を発生し機能回復を狙う²⁾ものがある。さらに機能が弱ったり失われた動きを支えるため、動きに合わせ選択的なインピーダンス整合を図るものがある³⁾⁴⁾。このような研究の俯瞰は本特集の趣旨そのものだろうから、これ以上関連研究の紹介は省略する。

2. 空気圧歩行支援装具

著者らが開発している歩行支援装具を図1に示す。様々な場所での支援ができるよう独立式を目指しており、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。装具には空気圧シリンダが取り付けられ、着用者の膝伸展を補助する。このような空気圧アクチュエータ制御は柔軟な動作ができるが、柔軟性は逆に見れば動作剛性のことであり、空気圧アクチュエータの動作剛性は内圧操作により広い範囲で変えられる。

ヒトの脚は歩行時に接地（立脚）と進行方向への送り移動（遊脚）を繰り返す。この周期のうち半分以上が立脚期で、この間、脚の筋肉は膝関節をしっかり支えている。遊脚期には膝関節は柔らかくなり、速やかな重心移動を妨げない。図の歩行支援装具は空気圧アクチュエータの剛性調整機能を利用し、ヒト膝関節の機能を模擬させたものである。階段登りでは、体全体を持ち上げる補助もする。著者らはこの装具を使って以下で示すような空気圧利用の有効



図1 歩行支援装具

性の検証をおこなっている。着用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。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。

2.1 ヒトとの協調動作

空気圧制御システムの概要を図2に示す。着用者の様子を筋電位センサを使って観測する例もあるが、筋電位センサはその都度皮膚に直接張り付けるため面倒である。誰でも使える装具にするためには、全てのセンサを装具に設置するのが望ましい。現在、装具には靴底に感圧センサ、膝関節に角度センサ、大腿部に加速度センサなどを配置している。空気圧シリンダには電磁弁でオンオフ式に空気を供給、排気している。空気圧の柔軟性の効果でオンオフ制御でも違和感は全くない。

立脚期と遊脚期で膝関節の剛性を変えるとすれば、着用者の歩行姿勢を認識する必要がある。さらに平地や階段など歩行環境も推定しておく必要がある。それぞれの場合でシリンダの供給、排気タイミングが異なるからである。

センサから送られてくる時系列信号のデータの扱い方について現在のところ次の方針をとっている。

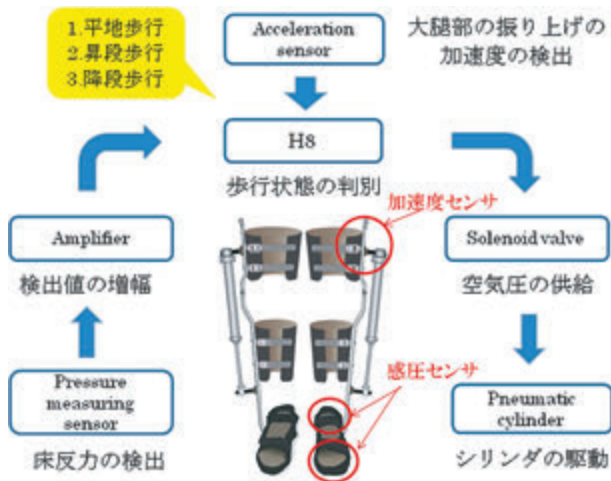


図2 歩行支援装具の空気圧制御システム

すなわち着用者は当然自己のいる環境や、姿勢を理解しているわけだから、着用者が発する特徴的な情報のみを利用する。極端な場合着用者が適当なタイミングで、姿勢変化や重心移動などで装具に指示を送ってもよい。単純な信号、たとえば信号レベルの急激な変化だけを利用した協調動作においては、システムの負荷や誤動作を抑えられるからである。

具体的には、足底の前後に置かれた感圧センサを主として使い、足が床に着いた時の前後感圧センサの信号変化の順序、および脚を上げた瞬間に立脚と遊脚の感圧センサが発生する急激な信号変化をそれぞれ使って歩行環境と姿勢を判断している。

装具に固定されたセンサを使うため、当然、体の動きの情報は装具にフィルタリングされて劣化する。事実、平地と階段登り環境の弁別精度は9割程度で完全ではない。しかし誤弁別による歩行の危険性が高い階段下りの精度はほぼ100パーセントとなっている。これらのどの環境でも被験者は良好な「アシスト感」を提示しており、着用者を必要以上に拘束しない空気圧の柔軟性が協調動作に生きていると考えている。

2.2 歩行時のエネルギー回生

支援装具により着用者が発生するエネルギーを回生し、省エネルギー化ができるかもしれない。高岩らは歩行時の体重移動エネルギーを回生するシューズを提案している⁵⁾。

平地歩行時に膝はあまり伸展しないため、装具の空気圧シリンダはほとんど収縮しない。しかしシリンダ加圧と排気が交互におこなわれるため空気は消費される。大気に開放する直前の高圧排気空気の一部を、図2には示されていないが別途設けた電磁弁を介してタンクに蓄え、次の加圧時にこの電磁弁を通じてシリンダを予圧する方式を試みている。現状では排気空気の回生タイミングが遊脚期の膝曲げ

動作時に相当するため、実際にやってみると膝が固くなり違和感がある。体重移動と組み合わせた効果的な回生方式を検討中である。

2.3 空気圧（ガス圧）源の可搬性

最近可搬小型コンプレッサが市場に供給されるようになっている。著者らが最近購入したエアーツール用小型空気圧コンプレッサは、充電電池を含めて3kgの重量ながら最高圧力0.6MPa、最大流量30 l/minである。動作時間は満充電で約10分間と十分ではないが、背中のザックに楽に収まる。

北川らの提案する二酸化炭素の三重点を利用したDry-Ice Power Cell⁶⁾をこの歩行支援装具のガス供給源として使った場合0.5 lの容積のタンクに420gのドライアイスを入れた場合、約1200歩の歩行が可能であった⁷⁾。日本人1日の平均歩行数は約6000歩といわれている。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ればかなり現実的な歩行数といえる。ただし、現状では連続歩行するとドライアイスが固体相に移行し、二酸化炭素の放出が間に合わなくなる。固体相になりかけたときだけ加熱する熱源を組み込むなどの改良をしたい。

3. おわりに

図2を見ていただければわかると思うが、現在の装具の構造では使用頻度の最も高い立脚時のシリンダ容積が最大となる。従って、加圧、排気の際空気消費の面で好ましくない。今後さらに改良を加える。

参考文献

- 1) 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, pp. 857-864 (2006)
- 2) 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, pp. 78-84 (2006)
- 3) 川上ほか：ERデバイスを搭載した歩行支援機構の開発，フルードパワーシステム学会誌，Vol. 37 No. 5, pp. 295-297 (2006)
- 4) 中野ほか：小型MR流体ブレーキを随意制御大腿義足の開発，平成24年度秋季JFPS講演会論文集，pp. 40-42 (2012)
- 5) 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，pp. 85-87 (2011)
- 6) 北川ほか：三重点における相変化を利用した携帯空気源の開発，日本フルードパワー学会論文集，Vol. 36 No. 6号, pp. 158-164, (2005)
- 7) 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，pp. 40-42 (2010)

（原稿受付：2013年9月10日）

解説

小型MR流体ブレーキ膝継手を用いた 随意制御大腿義足の開発

著者紹介



ひき ち ゆう いち
引地 雄一

有限会社エムサポート
〒990-2212 山形県山形市上柳110
E-mail: hikichi@seagreen.ocn.ne.jp

2012年東北大学大学院工学研究科バイオロボティクス専攻博士後期課程修了。有限会社エムサポート代表取締役。日本フルードパワーシステム学会、日本義肢装具学会などの会員。博士(工学)。



なか の まさ み
中野 政身

東北大学流体科学研究所
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
E-mail: m-nakano@fmail.ifs.tohoku.ac.jp

1982年早稲田大学大学院博士後期課程修了。同年山形大学助手。助教授を経て、1997年同教授。2008年東北大学教授。機能性流体とその応用、流体関連振動・騒音などの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会(理事)、日本機械学会(フェロー)などの会員。工学博士。

1. はじめに

大腿義足とは、事故や疾病などにより膝より上部(大腿部)で下肢の切断術を行った患者さんが使用する義足であるが、切断によって膝の伸展・屈曲筋力を失い、また、膝が屈曲しているかどうかの感覚も失ってしまうため、日常生活の中で膝折れによる転倒の危険性を常に持ち合わせることとなる¹⁾。現在、大腿義足使用者の階段の昇りにおける交互ステップによる歩行は特殊なロック機構を使用することで実現できることが報告されている²⁾。また、歩行条件がそろった際のモード切り替えによるロックやアクチュエータの補助を利用するものが研究・開発され一部製品化されている³⁾。しかしながら、使用者が随意に膝継手の屈曲伸展抵抗をコントロールし、特に任意の角度で膝を屈曲させたまま随意にLockして体重をかける機能を持つ製品は存在しない。

本解説では、印加磁場によって粘性(厳密には、降伏せん断応力)が変化する機能性流体であるMR(Magneto-Rheological)流体を用いた小型のMR流

体ブレーキを膝継手に活用して開発した随意に制御可能な大腿義足の構造と仕組みについて、また実際に被験者に装着し歩行・動作解析を行った結果について紹介する。

2. 開発した随意制御大腿義足

開発した膝・足継手連動型のMR-SPCOM大腿義足(MR fluid brake-Stance Phase Controlled by Optional Motion knee)⁴⁾の構造を図1に示す。使用者の随意制御(Controlled by Optional Motion)の情報を取り出してMR流体を用いた可変制動力ブレーキによって膝の抵抗をコントロールし、義足使用者が随意に膝継手のLock・Yielding・Freeを切り替えて階段や坂道の昇降を交互のステップでスムーズに歩行することを可能としている。その構成は、膝関節軸に制動力を与えるMR流体ブレーキと増速ギア(4.81倍)からなる制動トルク発生機構、膝関節と足関節とを連動して動かすためのリンク機構からなる連動機構、膝軸とソケットとの間に設置した随意制御力を検出するロードセル・MR流体ブレーキ軸上に取り付けた膝角度センサ・脛部に取り付けた接地センサなどのセンサ群、制御系、および

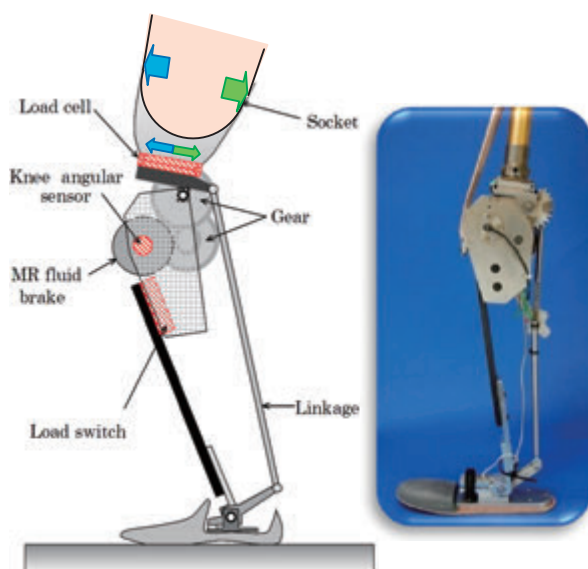


図1 開発したMR-SPCOM大腿義足の構造

足部・脛部材・ソケットなどの構造部材からなる。

2.1 随意制御 (Controlled by Optional Motion)

図1の膝上部において、切断端側の股関節伸展筋により断端を後方へ蹴ってソケットの後壁を押した場合、ソケット側が膝軸に対して後方へのせん断力を発生する。また、断端を前方に蹴った場合はその逆の力が発生する。そのせん断力を膝軸とソケットとの間に設置したロードセルによって検出し、その信号によって膝継手の伸展屈曲の抵抗力を変化させようというのが本開発における随意制御である。ロードセルは、それ自体にかかる前後方向への蹴り力によるモーメントや体重による垂直荷重を補正することによって、前後方向へのせん断力のみを検出できるようにしてある。

2.2 小型MR流体ブレーキの開発

膝継手の抵抗源として、軽量で単位重量当たりの制動トルクが大きく印加電流の少ないブレーキが必要であるが、条件を満たすものは市販されていないため、新たに小型のMR流体ブレーキの開発を行った。その基本的な構造を図2に示す。ブレーキプレート部を外側に配置し、コイル・ヨークをその内部に配置した。ブレーキプレートはSPCC板0.3mmを使用し、軸側37枚ケース側36枚、プレート間の間隙は0.1mmとしている。電磁界解析ソフト「JMAG」による磁界解析の結果(図2)からMR流体を充填するブレーキプレート部では約0.7 Tの磁束密度が得られ、MR流体のMR効果より印加電流 $I=0.3A$ で約21.15Nmの制動トルクが得られることが算出できた⁵⁾。

しかしながら、実際にトルク特性の試験を行った

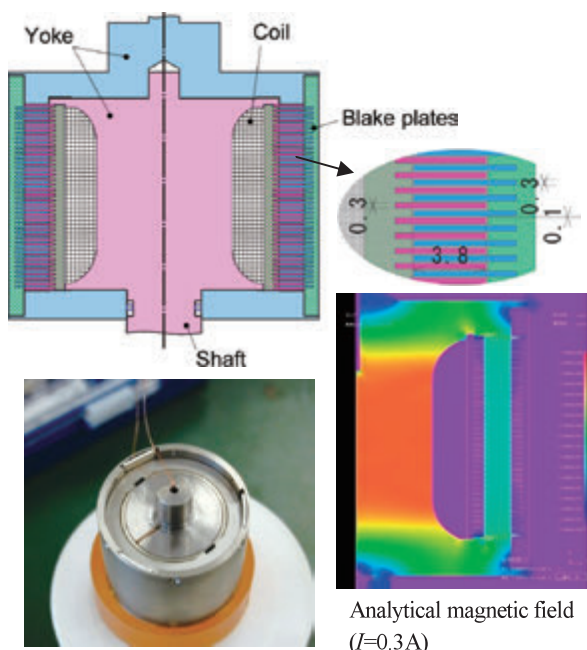


図2 MR流体ブレーキ

結果、得られたトルクは $I=0.3A$ で約13.2Nmと理論値よりもかなり低い値となったが、印加電流にほぼ比例して制動トルクが上昇することが確認できた⁴⁾。

2.3 計測制御系の概要

図3には、MR-SPCOM大腿義足の計測制御系も含めた概略の全体構成を示す。膝軸上のロードセルとその他のセンサ(膝角度センサ、接地センサなど)からの情報をインターフェースを通してパソコンに取り込み、制御ソフトウェアにて即座に処理を行い、その演算結果の信号は電流増幅器を介してMR流体ブレーキに電流として印加される。MR流体ブレーキは、伝達・増速機構で膝継手と連動しているため、状況に応じて膝継手の屈曲伸展抵抗を自由に变化させることを可能とする。

制御方法に関しては、まず接地センサによって義足が遊脚か立脚かを判定し、遊脚期では膝継手をFreeとし、立脚期では膝軸上のロードセルで検出される随意制御力に応じて、あるしきい値を越えた時にLockとしMR流体ブレーキにLock可能な電流を印加する。しきい値以下の場合には、予め定めた膝角度および随意制御力の強さによって決まる制御信号レベル(電流)をMRブレーキに印加してYieldingを実現する。

2.4 リンクによる膝・足継手連動機構

通常の大腿義足に使用される足関節は、背屈方向には固定であるため、膝を屈曲してロックさせた状態で立位をとった際につま先立ちになってしまう。そのため立脚期にバランスがとりにくく、階段や坂道の特に昇りの歩行の際に義足側での安定した立位の獲得が困難である。そこで、膝を屈曲して立位を

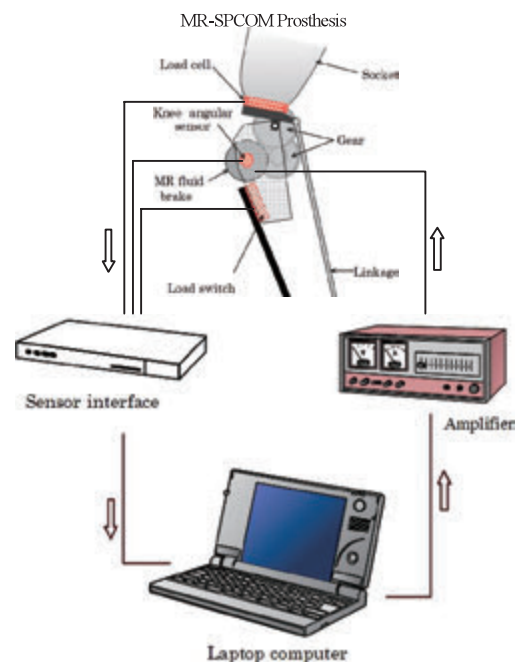


図3 MR-SPCOM大腿義足の計測制御系

とった際に足底面全面が床に接触して荷重を受けることができるように膝関節と足関節の連動機能を取り入れた。

3. 歩行・動作試験

3.1 歩行・動作試験および解析

MR-SPCOM大腿義足を使用した被検者1名を対象に、椅子に座る動作試験と、階段および坂道の昇降の試歩行を行なった。その際に、被検者の身体の一部に取り付けたマーカーの位置情報をライブラリー社 Move-tr/ 3D（モーションキャプチャ）に採取して動作解析を行うとともに、Zebris FDM-TDLおよびNITTA F-SCAN IIを用いて足底圧を計測した。これらのデータに基づいて歩行・動作解析を行った。

3.2 歩行・動作試験の結果

本義足を使用した結果、使用者が自分の意思で随意に任意の膝角度において確実に膝をLockし体重を支えることができることと、その状態からLockの解除を行うことができる事が確認できた。その結果、図4に示す椅子に座る動作試験においては、図5に示すように全体重のほぼ半分の荷重を義足にかけながら、動作の途中で2度膝をLockし動作を止めた後、随意にLockを解除することができた。



図4 椅子に座る動作の試験

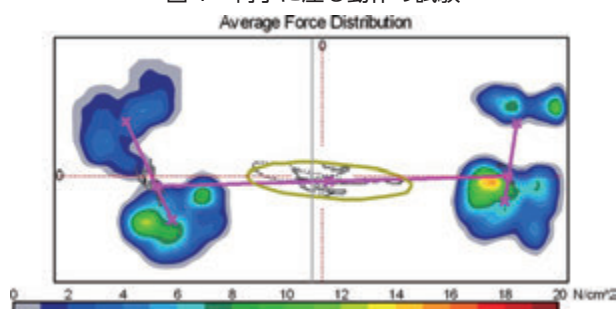


図5 椅子に座る動作における足底圧力と重心位置の移動



図6 急な坂道の交互ステップによる歩行

また、階段の昇降においては、1段の段差が15cmの階段において、昇りも降りも非常に安定した交互ステップによる歩行が可能であった。

さらに、坂道においても、図6に示すように、25度という比較的急な坂の昇りと降りの両方で交互ステップでの歩行が可能であった。

4. ま と め

歩行・動作解析の結果、本開発のMR流体ブレーキによる膝関節抵抗力可変機構と随意制御、そして膝・足継手連動機構の組み合わせによる大腿義足は、これまで大腿義足使用者が苦手としてきた椅子に座る動作や、平地以外の階段やスロープなどの路面状況において革新的な能力を発揮することと、同時に日常動作時に健足にかかる負担を軽減できることを検証できた。

以上の結果から、本義足は義足使用者の行動範囲を飛躍的に広げると共に、大腿切断者のQOLを大きく向上させることが期待できる。

参考文献

- 1) 引地雄一：随意制御大腿義足油圧膝HYSCOM膝の開発，日本義肢装具学会誌，Vol. 22，No. 3，p. 147-153（2006）
- 2) 二宮 誠，他：階段や坂を歩ける大腿義足膝継手 NAL-Knee の開発，日本義肢装具学会誌，Vol. 24，No. 4，p. 228-236（2008）
- 3) 藤本浩志，有田道生，加藤一郎：歩調適応機能を有する階段昇降可能な大腿義足の開発（4部 補装具・ロボット），バイオメカニズム学会「バイオメカニズム（10）」，p. 247-257（1990）
- 4) 引地雄一，中野政身，鈴木貴詞：小型MR流体ブレーキ膝継手を用いた随意制御大腿義足の開発，平成24年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，12，p. 46-48（2012）
- 5) 山本英樹，中野政身：MR 流体の圧力流れモードにおけるレオロジー特性とその動的機械モデル，日本レオロジー学会誌，Vol. 30，No. 2，p. 83-88（2002）

（原稿受付：2012年8月26日）

解説

立位保持装置

著者紹介



むら まつ ひさ み
村 松 久 巳

沼津工業高等専門学校
〒410-8501 静岡県沼津市大岡3600
E-mail: muramatsu@numazu-ct.ac.jp

1989年東京理科大学大学院工学研究科博士課程修了。現在 沼津高専 教授、空気圧工学の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本音響学会、日本機械学会、ターボ機械協会の会員、工学博士。

1. はじめに

人間の立位の姿勢を観察すると、個々の姿勢の形態に差異が認められる。理想的な立位姿勢とはどのように定義されるのであろうか。多様な解釈がされているが、理学療法の観点から、正中矢状面内において重心線が床面に向かって垂直に、耳介、肩峰のやや前方、大転子、膝関節軸のやや前方、足関節の前方を通過すること¹⁾と説明されている。力学的に安定し、心身ともに緊張していない直立の状態を維持する姿勢といえる。

人間の身体の姿勢調節は、感覚器官、神経系・脳、筋骨格が統合して機能することにより達成されている。静止立位の姿勢調節を簡便に判断するひとつの方法として、重心動揺計を用いるものがある。両足が置かれた床面に投影した重心の位置すなわち圧中心と基底面との位置関係を見る。基底面内に圧中心があると、姿勢は保持されているが、この範囲を出ると身体は静止立位の姿勢を保持できなくなる。

加齢により身体機能が低下するまたは損なわれると、姿勢調節は困難となる。このため機能の維持、支援および回復を目的として装具や機器の開発が進められている。

そこで本稿では、著者らが開発を進めている、立位の姿勢を保持する装置の構造と機能を説明し、その効果を重心動揺から明らかにする。さらに身体の横方向に重心を移動する機能を追加した結果について紹介する。

2. 立位保持装置の構造とその効果

図1に立位保持装置とこれを装着した被験者を示す。この装置は室内で使用し、壁等に設けられている手すりやリハビリ訓練用の平行棒を利用するものである。日常生活においてひとりで安全に立位の姿勢調節をとることが困難であるために、介護者の援助が必要な高齢者を本装置の使用者と考えている。

立位保持装置は、サスペンダ、グリップ、ハーネス、ベルト、ストッパから構成されており、被験者と室内に設けられている手すりをつないでいる。サスペンダとグリップに空気圧ゴム人工筋が使用されている。サスペンダには左右に各1本の空気圧ゴム人工筋があり、サスペンダのフレームとベルトの間につながれている。空気圧ゴム人工筋肉を加圧すると、被験者をサスペンダのフレームに固定する。手すりに通されているグリップには4本の空気圧ゴム人工筋肉がグリップ内壁と手すりとの間に挿入されている。空気圧ゴム人工筋肉の長手方向をグリップの中心軸方向と平行に設置している。圧縮空気が供給されると、空気圧ゴム人工筋肉は収縮するとともに半径方向に膨張する。この半径方向の変形と弾性力を利用して、空気圧ゴム人工筋肉は手すりの側面を押し、グリップが把持する。

図2に示すように、市販されているひとつの立位保持装置と比較すると、本装置は小型かつ軽量であり、要介護者と介護者に受け入れやすいと思われる。

被験者は健常者の成人であり、サポータを肘と膝の関節につけ、重りを足首と手首に装着し、左右で異なる重りが入っているスリッパを履いている。関節の動きを少なくし、負荷をつけることにより筋力が衰えて運動機能が低下した状態を模擬する。エプロンを着けて前方に傾斜した状態、すなわち円背になっている。さらに、ゴーグルをつけて視野が黄色くなるとともにぼけてかすんだ状態にしている。これらにより被験者は疑似的に身体機能が低下した高齢者となる。被験者は開眼し、重心動揺計の測定面にRomberg姿勢で立ち、この姿勢の状態を20秒間維持する。

図3は被験者が立位の姿勢を20秒間とったときの圧中心点の移動軌跡すなわち重心動揺を示す。重心動揺計の測定面上の中心に座標原点Oを置き、 $\pm x$ 方向が被験者自身の左右方向、 $\pm y$ 方向が被験者の前後方向と定めた。図3(a)は立位保持装置を装着しない場合であり、図3(b)は立位保持装置を装着した場合である。ただし、立位保持装置のグリップの空気圧ゴム人工筋肉は手すりを強く把持していない。立位保持装置を装着しない場合、被験者の圧中心は基底面内を大きく振れまわることが、立位保持装置を装着すると、その振れまわりは減少する。この結果はほかの被験者においても確認できる。

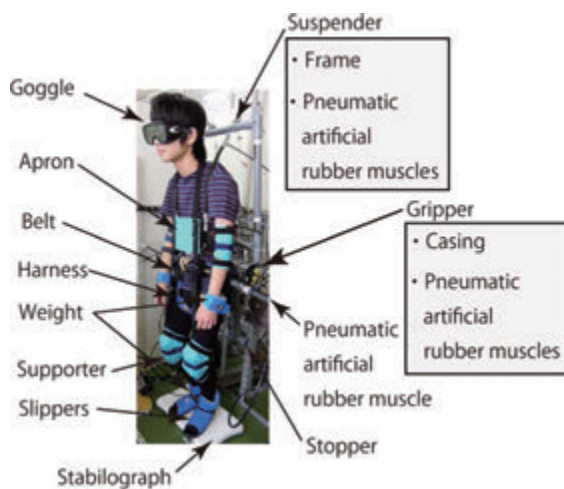


図1 立位保持装置を装着した疑似高齢者

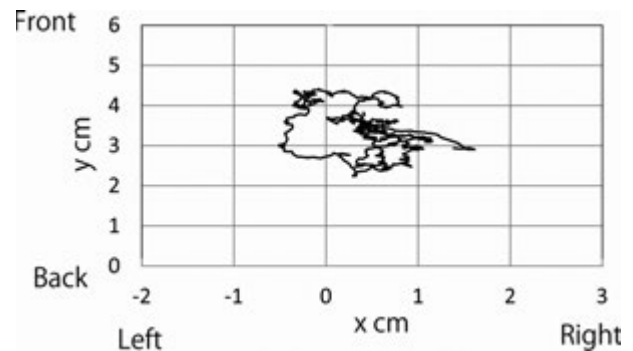
・質量 38 kg ・高さ 730～1120 mm ・幅 800mm ・奥行き 1020mm	・質量 5.2 kg ・高さ 1090～1290 mm ・幅 460 mm ・奥行き 310 mm
A社の立位保持装置	本研究の立位保持装置

図2 立位保持装置の比較

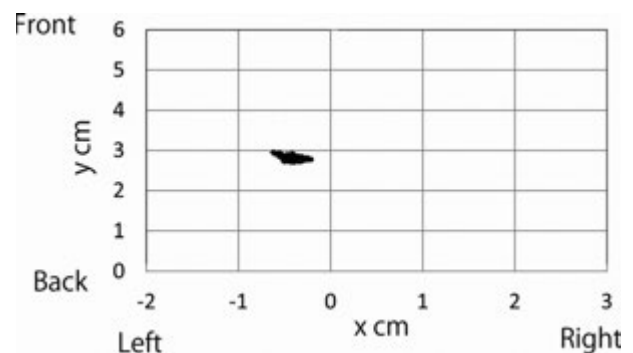
3. 立位保持装置の機能追加

運動療法で立位を保持する訓練を行い姿勢調節ができたのちに、歩行能力の回復のために重心を左右に移動する訓練が大切である²⁾といわれている。そこで立位保持装置に新たな機能を追加した。被験者の腰に取り付けたベルトと固定端に同一の空気圧ゴム人工筋肉を左右に各1本つないでいる。左右の空気圧ゴム人工筋肉に接続した比例弁に入力した2つの制御信号 V_{in} を図4に示す。図中に空気圧ゴム人工筋肉の伸縮の状態を加えてある。時間を(i)から(iv)に等分割し、ひとつの時間は5秒である。時間(i)と(iii)では2本の空気圧ゴム人工筋肉は互いに異なる変形をし、収縮または弛緩の状態が進行している。時

間(ii)と(iv)では片側の空気圧ゴム人工筋肉は最も収縮し最大の張力で被験者を水平に引いている。反対側の空気圧ゴム人工筋肉は圧縮空気が供給されないで自然長になっている。空気圧ゴム人工筋肉に被験者をつながないときすなわち無負荷のとき、供給圧力0.5MPa (gauge)で空気圧ゴム人工筋肉は全長の14.8%の縮み、空気圧ゴム人工筋肉の中心軸方向に110Nの引張力が生じる。



(a) 立位保持装置なし



(b) 立位保持装置あり

図3 重心動揺

図4に示した時間(ii)における被験者の身体の状態を図5に示す。横方向からの引張力を被験者が受けると、重心動揺計の上で足がずれ動くことなく、中心線から実線の方に身体が振れる。時間(iv)において被験者の身体は図5と逆の方向(反時計方向)に傾く。

つぎに図4に示した制御信号を用い、空気圧ゴム人工筋肉を駆動して、左右からの引張力を被験者が受けた場合の基底面における圧中心の軌跡を図6に示す。被験者は立位保持装置を装着している。立位保持装置を装着した被験者の静止立位の場合である図3(b)に比べて、図6の被験者が引張力を受けた場合、圧中心の描く軌跡の形状が異なり、 x 方向に長い形状となる。この x 方向の変位は引張力を発生する空気圧ゴム人工筋肉の収縮量より小さく、左右の重心移動の訓練のためにはさらに改良が必要である。

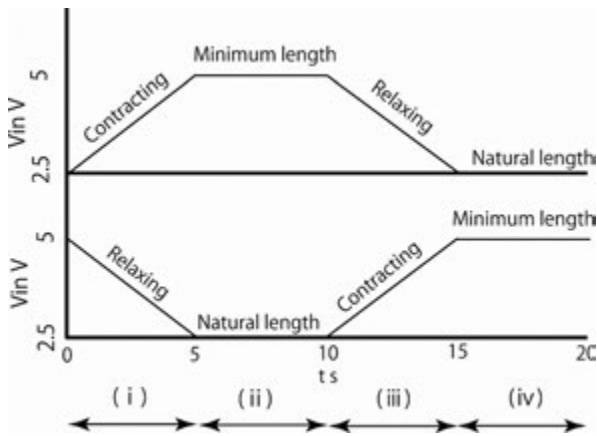


図4 比例弁の制御信号と空気圧ゴム人工筋肉の動き



図5 引張力を受けた疑似高齢者の身体

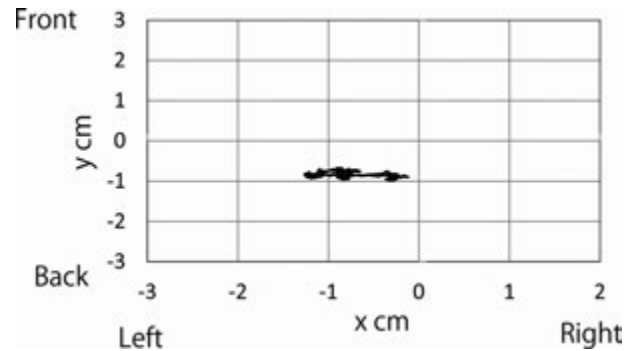


図6 引張力が作用した場合の重心動揺

4. おわりに

本稿では立位保持装置の構成とその効果、追加機能について説明した。今後、本装置の長所と機能を活用して、姿勢調節のために必要なバランスの訓練や立位から一歩踏み出しの動作に役立つようにさらに改良を加えていく予定である。最後に、実験に協力いただいた沼津高専学生 山本繁樹君と千葉玲央君に感謝を表する。

参考文献

- 1) 山崎 敦, 佐藤俊輔, 白星伸一, 藤川孝満: オーチスのキネシオロジー, ラウンドフラット, p.892-893 (2012)
- 2) 奈良 勲, 内山 靖: 姿勢調節障害の理学療法, 医歯薬出版株式会社, p.220-221 (2012)

(原稿受付: 2013年 8 月30日)

会議報告

SEAD25におけるフルードパワー技術の研究動向

著者紹介



たけ むら けん じろう
竹 村 研治郎

慶應義塾大学

〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1

E-mail: takemura@mech.keio.ac.jp

2002年慶大院後期博士課程修了、2002年慶大機械工学科助手（有期）、2003～2008年東工大精密工学研究所助手、助教、2008～2012年慶大機械工学科専任講師をへて、2012年より准教授、現在に至る。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員、博士（工学）。

1. はじめに

2013年5月15～17日に箱根ホテル小涌園にて、第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム（The 25th Symposium on Electromagnetics and Dynamics, SEAD25）が開催された。本シンポジウムは日本機械学会機械力学・計測制御部門、電気学会産業応用部門、および日本AEM学会が共催し、毎年、各学会が持ち回りで主催している。本年、25回目の節目を迎えた本シンポジウムは日本機械学会機械力学・計測制御部門が主催し（実行委員長 東海大学 押野谷康雄先生）、138件の一般講演に加えて、これまでのシンポジウムの歴史にゆかりの深い先生方の特別講演、基調講演も企画された。

2. SEADの開催意義とフルードパワーとの関係

「電磁力関連のダイナミクス」と表す本シンポジウムは「電磁力」と「ダイナミクス」に関連する異分野の研究者が一堂に会し、討論することによって関連分野の研究を総合的に発展させる場として開催されている。特に、日本機械学会、電気学会、日本AEM学会に所属する研究者がそれぞれのバックグラウンドを生かした研究を持ちよることにより、機械と電気を有機的に結合してダイナミックで機能的なシステムを構築する機会を提供している。関連分野は機械、電気、原子力、材料、化学、生物、制御など多岐にわたり、当然フルードパワーも上記の

ような高度に機能的でダイナミックなシステムを実現するために重要な研究分野のひとつである。元々のバックグラウンドを異にする3つ学会が一堂に会する本シンポジウムは、異分野・異業種交流の場として重要であり、フルードパワー関係の読者にも今後の研究開発のヒントが得られる場であろう。

3. 特別講演および基調講演

本シンポジウムでは1件の特別講演と2件の基調講演が企画された。

特別講演は東海大学の木村英樹先生による「世界最速ソーラーカーの技術と性能」であった。日程の関係上、残念ながら著者は本講演には参加できなかったが、電気自動車が本格的に実用段階にある現在、ソーラーカーは今後の興味深い技術であろう。

1件目の基調講演は茨城大学の岡田養二先生による「過去25年のシンポジウムを振り返って」と題したものであった。25回の節目の開催にふさわしく、本シンポジウムの発足からご尽力された岡田先生による回想は当該分野の発展の歴史であった。

2件目の基調講演は大分大学の榎園正人先生による「スーパープレミアム高効率モータの開発に向けて」である。ベクトル理論に基づく電磁モータの高効率化の取り組みは大変興味深く、フルードパワーと電磁モータを比較する上でも多くの示唆に富んでいる。また、電磁モータにおける世界の標準化や規格化における日本の立場に関して警笛を鳴らす内容も刺激的で、世界を見据えた研究開発戦略の重要性を改めて考えさせられた。

4. オーガナイズドセッション

4.1 全体構成の俯瞰

先に述べたように、本シンポジウムは日本機械学会、電気学会、日本AEM学会が共催するため、セッションは多岐の分野にわたる。以下にオーガナイズドセッションの一覧を記載する。

(1) 電磁力関連材料

1-1 機能性材料・電磁材料

- 1-2 磁性流体、液晶・電気粘性流体
- (2) アクチュエータ
 - 2-1 電磁アクチュエータ
 - 2-2 圧電・静電アクチュエータ
 - 2-3 超磁歪アクチュエータ
 - 2-4 マイクロ・ナノメカニズム
 - 2-5 多自由度モータ・新アクチュエータ
- (3) 電磁力関連応用技術
 - 3-1 磁気浮上技術
 - 3-2 リニアドライブ技術
 - 3-3 磁気軸受けとその関連技術
 - 3-4 回転機技術
 - 3-5 バイオメカニクス
 - 3-6 静電力・プラズマ応用
 - 3-7 超伝導とその応用
 - 3-8 電磁誘導技術とその応用
- (4) 電磁力関連の力学と機能性の制御
 - 4-1 振動と制御
 - 4-2 材料の電磁特性と応用
- (5) 計測とセンシング・信号処理
 - 5-1 電磁非破壊評価
 - 5-2 信号処理・分析
 - 5-3 センサ・計測技術
- (6) 電磁界解析、シミュレーション技術
- (7) ロボット・医療福祉応用
- (8) 電気自動車、環境調和型応用技術

以上のようなオーガナイズドセッションを見ると、電磁力関連材料として磁性流体や液晶・電気粘性流体が話題にのぼり、アクチュエータ全般やプラズマ応用もフルードパワーに関連の深い話題であることがわかる。また、振動制御や信号処理、電磁界解析、さらにロボット・医療福祉応用などもフルードパワーシステムに関連する可能性が高い。以下に、いくつかのセッションに見るフルードパワーの研究動向をまとめる。

4.2 磁性流体、液晶・電気粘性流体における研究動向

磁性流体、液晶・電気粘性流体のセッションでは全10件の講演が行われた^{1)~10)}。このうち、磁性流体 (Magnetic Fluid, MF) に関するものが5件^{1~3), 7), 8)}、磁気混合流体 (Magnetic Compound Fluid, MCF) に関するものが2件^{4), 6)}、磁気粘弾性体 (Magnetorheological Elastomer, MRE) に関するものが2件^{5), 10)}、磁気粘性流体 (Magnetorheological Fluid, MRF) に関するものが1件⁹⁾であった。

参考文献リストに挙げたように、磁性流体 (MF) に関する研究は基礎的な流体挙動に関する研究から磁気駆動型熱輸送に関する研究におよんでいる。ま

た、10nm程度の強磁性粒子と μm オーダーの強磁性粒子を液中に混合した磁気混合流体 (MCF) は液体導線や研磨などへの利用が試みられている。一方、液体ではないものの粘弾性体に機能性を付加した磁気粘弾性体 (MRE) の研究も見られ、マイクロ発電やダンパーに利用されている。磁気粘性流体 (MRF) に関しては液体中での超音波の伝播特性について検討され、クラスタ形成による伝播特性の変化が報告された。

本シンポジウムでは全般的に磁場に応答する機能性流体あるいは粘弾性体の発表であり、電場応答性の機能性流体に関する発表は見られなかった。

4.3 多自由度モータ・新アクチュエータにおけるフルードパワーの研究動向

多自由度モータ・新アクチュエータのセッションにおいては、ECF液圧源を内蔵したバルーン型マイクロアクチュエータ¹¹⁾に関する発表があった。医療やバイオ分野などへの応用が期待されるソフトアクチュエーションシステムの小型化に対して、電界共役流体 (Electro-conjugate Fluid, ECF) とMEMSプロセスを導入することによってポンピングシステムも含めた小型化が実現できることを示した。

4.4 マイクロ・ナノメカニズムにおけるフルードパワーの研究動向

マイクロ・ナノメカニズムのセッションにおいてもフルードパワー関連の研究が発表された。神田らはナノエマルジョン生成用高周波振動マイクロ流路デバイス¹²⁾を発表した。液中にnmオーダーの微小な油滴を均一に分散させるエマルジョンは食品、医薬品、電子材料などの分野への応用が期待されており、フルードパワー技術の新たな応用先となろう。また、門脇らはマイクロバルブによるスラグ流分離プロセスへの適用実験¹³⁾について報告した。2種類の液体を流路内に微量ずつ交互に導入し、両者の界面を増加させ反応を促進するスラグ流の生成技術は μTAS などの微小流体システムにおいて有効な技術である。本講演ではデッドボリウムゼロのスライディングバルブを開発し、スラグ流の生成と分離を実現した。また、筆者も空気圧人工筋アクチュエータの変位-力特性の改善¹⁴⁾と題して研究成果を発表した。一般的に空気圧人工筋は変位の増加に対して発生力が減少するが、人工筋にトグル機構を直列に接続することによって変位-発生力特性を改善できることを示した。

5. おわりに

本稿では第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウムにおける研究動向を紹介した。日本機

械学会，電気学会，日本AEM学会共催の本シンポジウムの性格上，油圧，空圧，水圧システムに直接的に関係する講演は決して多くはないが，電磁場に応答する機能性流体は講演数全体の1割程度を占め，本シンポジウムにおいても重要なキーワードとなっている．また，シンポジウム全体を通してはアクチュエータや電磁力関連の講演が多く，油圧，空圧，水圧機器における要素技術との関連は深い．本シンポジウムの開催趣旨である「異分野・異業種交流」という点に鑑みても，フルードパワーシステムに関連する皆様にとっても意義深いシンポジウムではないかと思う．

参考文献

- 1) 岩本ら，非共沸混合磁性流体を用いた小型化磁気駆動熱輸送装置，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，164-165，(2013)
- 2) 須藤ら，針状永久磁石によって形成された磁性流体液橋の外部磁場に対する挙動，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，166-167，(2013)
- 3) 梅田ら，電磁誘導計測法を用いたミリチューブ内固液二相流の固相体積割合計測，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，168-169，(2013)
- 4) 島田ら，MCFを利用した液体導線の試み，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，170-171，(2013)
- 5) 山崎ら，磁気粘弾性体を用いたマイクロ発電，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，172-173，(2013)
- 6) 井門ら，管軸方向流れがある場合の微細管内面MCF研磨過程における微粒子挙動，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，174-175，(2013)
- 7) 西田ら，磁気機能性流体を用いた円管内面加工における圧力分布特性，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，176-177，(2013)
- 8) 藤田ら，二次元ダクト内の磁性流体流動に及ぼす交流磁場の影響，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，178-179，(2013)
- 9) 谷本ら，交流磁場下におけるMR流体中の超音波伝播特性，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，180-181，(2013)
- 10) 中条ら，磁性エラストマーを用いた粒状体ダンパーの減衰特性，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，182-183，(2013)
- 11) 金ら，ECF液圧源を内蔵したバルーン型マイクロアクチュエータ，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，188-189，(2013)
- 12) 神田ら，ナノエマルション生成用高周波振動マイクロ流路デバイス，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，250-251，(2013)
- 13) 門脇ら，マイクロバルブによるスラグ流分離プロセスへの適用実験，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，252-253，(2013)
- 14) 若松ら，空気圧人工筋アクチュエータの変位-力特性の改善，第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，258-259，(2013)

(原稿受付：2013年8月19日)

会 告

研究委員会（委員公募）のお知らせ

委員会：フルードパワーシステムにおける流体现象研究委員会

委員長：香川利春（東京工業大学）

研究期間：平成25年7月～平成27年3月

フルードパワーシステムでは流体を介してエネルギーを伝達して，アクチュエータやセンサなどの動作をさせています．このとき圧力変化に伴いさまざまな非線形現象が発生しますが，油・水が作動流体の場合，力が大きく低下する場合にはキャビテーションが発生します．また空気圧では露点の関係で作動空気内部に含まれる蒸気部分が凝縮し，

機器システムの信頼性に問題が発生します．そこで本研究委員会ではキャビテーションと凝縮現象についての調査・研究を行います．また近年になって発展してきたCFD技術についての調査・研究を併せて実施します．これらの結果を用いてより優れたフルードパワーシステムの設計を提案することを目的とします．奮ってご参加くださるようお願いいたします．

申し込み・問い合わせ：

香川利春（東京工業大学） kagawa@pi.titech.ac.jp

会議報告

ICMDT2013におけるフルードパワー技術研究動向

著者紹介

おむ さん いん
嚴 祥 仁
 精密工学研究所
 〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259-R2-41
 E-mail : sieom@pi.titech.ac.jp

2009年大阪大学大学院工学研究科博士課程修了。同年東北大学助教、2010年東京工業大学助教、流体マイクロマシン、機能性流体の研究に従事。JFPS、JSMEなどの会員。博士（工学）。

1. はじめに

ICMDT (International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology) は日本機械学会機素潤滑設計部門と大韓機械学会生産設計部門共催の国際会議であり、今回は2013年5月22日から5月26日まで4日間、韓国釜山のBEXCO (BUSAN EXHIBITON & CONVENTION CENTER) で開催された(図1)。チェアマンはHaedo Jeong (図2) で、日本と韓国の参加者が中心となり、基調講演3件、口頭講演92件、ポスター講演154件で合わせて249件の講演が行われた(図3)。

また5月23日の夜には釜山の海岸にあるホテルでバンケット(図4)が開催され、会議参加者の親睦を深めるよい機会になった。



図2 チェアマンのHaedo Jeong



図3 会議の様子(ポスター講演)



図1 会場である韓国釜山のBEXCO



図4 バンケットの様子

2. フルードパワー関連の発表

ICMDTは日本と韓国の機械学会がメインになる国際会議本であり、フルードパワー関連はメインの分野ではないが、今回は8件のフルードパワー技術関連の発表が行われたのでその内容を紹介する。

Yoshidaらは交流圧力源を用いた多自由度ERマイクロアクチュエータを提案し、提案したアクチュエータのラージモデルとして交流圧力源とバイモルフ形マイクロアクチュエータを試作し検証を行っている。

Yunらは比例電磁弁とスプールアクチュエータを用いる電気油圧式比例方向流量制御弁の静特性向上のため試行錯誤手法で新しい電気油圧式比例方向流量制御弁を開発している。

Iseらは回転軸用自成絞リ静圧ジャーナル気体軸受の大負荷化のため非対称給気方法を研究している。非対称空気ベアリングの特性を数値計算により評価している。

Yoshidaらは内視鏡検査時の患者の負担を軽減するため、検査する管状器官と内視鏡との接触力を低減させる方法として、内視鏡を管状器官の形状に適應して屈曲させる多自由度ERアクチュエータを研究している。

Dinhらはベーンポンプの性能推定のため、数値モデルを立て数値計算を行い、その結果と実験結果との差をパワーロス項目として用いる方法でより高い精度の数値モデルを構築している。これにより高い精度の性能推定が可能になっている。

Yoshidaらは四角形ポール電極対とスリット電極対に交流電圧を印加することで、交流電気浸透マイクロポンプを開発している。数値シミュレーションによりパラメータを最適化し、MEMS技術によりデバイスを試作、特性評価を行っている。

Kimらはマイクロポンプを搭載したバルーン形マイクロアクチュエータに関する研究をしている。三角柱スリット形電極対を直列に配置することで高い圧力を生成するECFマイクロポンプを、圧力印加

により屈曲動作を行うバルーン形アクチュエータに搭載し、圧力源として用いる。

Hashimotoらは超精密位置決め用空気圧サーボ軸受アクチュエータを研究している。複数の軸受パッドを設置することによりストローク拡張し、フィードバック制御により位置決め制度の向上している。

3. おわりに

本稿では国際会議ICMDT2013におけるフルードパワー技術関連の発表、および基調講演の各概要を紹介した。

参考文献

- Yoshida, K., Miyoshi, T., Eom, S.I. and Yokota, S.: Development of a Multi-DOF ER Microactuator System with Alternating-pressure Source, Proc. ICMDT2013. p. 78 (2013)
- Yun, S.-N., Ham, Y.-B., Park, J.-H. and Lee, S.-S.: Static Characteristics Improvement Strategy of a Proportional Directional-Flow Control Valve using a Proportional Solenoid and a Spool Actuator, Proc. ICMDT2013. p. 79 (2013)
- Ise, T., Itoga, T. and Asami, T.: Characteristics of Externally Pressurized Gas Journal Bearings with Asymmetrically Arranged Inherent Orifices for Large Load Rotors, Proc. ICMDT2013. p. 84 (2013)
- Yoshida, K., Hakoda, S., Eom, S.I. and Yokota, S.: Development of Multi-DOF Electro-Rheological Actuator with Shape Adaptation Capability-Fundamental Experiments of Basic Unit Large Model-, Proc. ICMDT2013. p. 85 (2013)
- Dinh, Q.-T., Ahn, K.-K. and Lee, J.-S.: Dynamic Modeling of A Variable Displacement Lubrication Vane Pump, Proc. ICMDT2013. p. 134 (2013)
- Yoshida, K., Sato, T., Eom, S.I., Kim, J.-W. and Yokota, S.: An AC Electroosmotic Micropump Using Square Pole-Slit Electrodes, Proc. ICMDT2013. p. 141 (2013)
- Kim, J.-W., Yamashita, S., Yokota, S. and Edamura, K.: Micropump-Integrated Balloon Type Microactuators, Proc. ICMDT2013. p. 143 (2013)
- Hashimoto, Y., Tsujimura, S., Matsuoka, T., Hirayama, T. and Sasaki, K.: Modelling of Pneumatic Servo Bearing Actuator with Multiple Bearing Pads for Ultraprecise Positioning, Proc. ICMDT2013. p. 225 (2013)

(原稿受付：2013年9月17日)

会議報告

第13回スカンジナビアフルードパワー国際会議
(SICFP2013) に見る欧米の研究開発動向

著者紹介

おおき たかし
大木 孝利日立建機株式会社
〒300-0013 茨城県土浦市神立町650番地
E-mail: t.ooki.jp@hitachi-kenki.com1994年東北大学工学部機械工学第二学科卒業。
1994年日立建機株式会社に入社。技術研究所、
技術開発センタを経て、2011年同センタ主任研
究員。現在に至る。建設機械の油圧システム、
油圧制御、電動建機、ハイブリッド建機などの
研究開発に従事。

1. はじめに

2013年6月3～5日、スウェーデンの首都ストックホルムから南西に200kmあまり、スウェーデン南部の小都市リンシェーピン市（Linköping）にあるリンシェーピン大学構内において、第13回スカンジナビアフルードパワー国際会議（SICFP2013：The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power）が開催された（図1）。

SICFPはリンシェーピン大とフィンランドのタンペレ工科大の2校で交互に1年おきに開催されるフルードパワーの国際会議である。2013年はリンシェーピン大での開催であり、リンシェーピン大の流体・機械システム部門（Flumes）、スウェーデンフルードパワー協会（IFS）およびヨーロッパフルードパワーネットワーク（FPCE）が主催している。

本稿ではSICFP2013の概要、およびオプショナルツアーとして6日に実施された林業見本市Elmia Wood Trade Fair見学会について報告する。

2. 基調講演

各開催日の午前中に、計4件の基調講演が行われた。各講演のタイトルおよび発表者は以下の通り。

- (1) デジタル可変容量油圧ハイブリッド：Win Rampen (Artemis Intelligent Power)（図2）
- (2) 重機の省エネルギー性能に関する将来予測：Rickard Mäki (Volvo)
- (3) 中国のフルードパワー研究開発：Huayong

Yang（浙江大学）

- (4) 米国のフルードパワー研究開発：Kim Stelsson (University of Minnesota)

英文のタイトルを直訳しているため内容を正確に表現できておらず恐縮だが、(1)は英国ARTEMIS社のデジタルポンプ／モータおよびトランスフォーマの技術的紹介であった。このポンプ／モータはラジアルポンプ（モータ）のサクションポートを電磁弁により高速にON-OFF制御することで全圧力・全回転数領域で90%以上の効率を達成した、まさに“新世代の”油圧機器であり、特に欧州の研究者の関心は高いようである。



図1 開会の挨拶をする議長のKrus教授



図2 基調講演を行うRampen博士

(2)は建設機械向けのアプリケーションに限定された内容ではあったが、フルードパワー技術の受け皿である完成機メーカーが今後、求める技術の方向性が把握できる内容となっていた。

(3)(4)を通して米国、中国といった欧州以外の主要な地域の研究開発状況を把握でき、学術講演と合わせて全世界的なトレンドが把握できるよう配慮されていたと思われる。具体的には省エネ、信頼性、自動化の3点が共通のキーワードだと思われた。

3. 学術講演

本会議の参加登録者は158名、図3に示す通り主な国別の内訳はスウェーデン72名、ドイツ16名、フィンランド12名、アメリカ9名、以下、中国、ノルウェー、日本と続き、日本からの参加者はベトナム人留学生1名を含めて6名であった。また登録者の所属でみると、図4に示す通り大学関係者と企業からの参加者が拮抗している点が特徴的である。これは、スウェーデン国内に航空機、自動車、建設機械などのフルードパワー技術を応用したメーカーがあること、欧米では企業と大学との結びつきが強いことが理由ではないかと推察される。

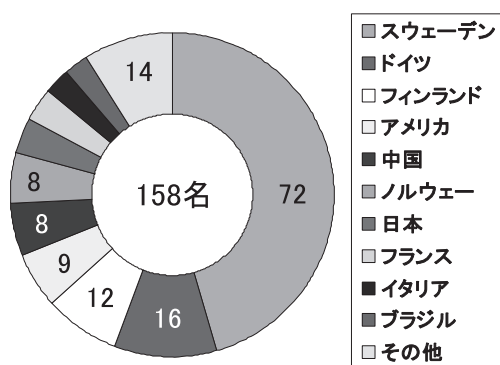


図3 国別参加者

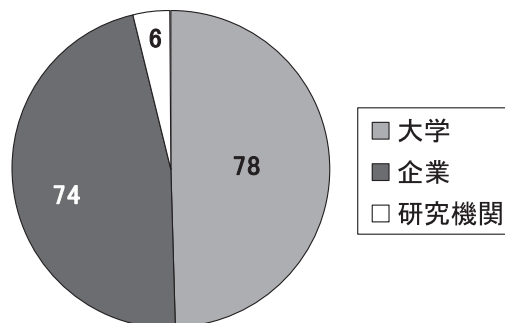


図4 所属別参加者

講演は13種類で計15のセッションが行われた。各セッションについて以下、セッション名、講演件数および講演の簡単な説明を記す。

・Industry (3件)

企業からの講演者が、製品とそこに用いられたフルードパワー技術について解説。

・Mobile Systems (8件)

建設車両などの移動体向け油圧システムの効率分析や新システムの提案など。

・Industry Applications (8件)

加工機などの産業用機械向けフルードパワーシステムの分析や提案。林業機械や建設車両などについての講演も一部含む。

・Pumps and Motors (4件)

ポンプやモータといった容積機械の挙動に対する分析と考察。

・Aerospace Applications (4件)

航空機向けフルードパワーシステムの分析およびシステム提案。

・Valve Technology (7件)

バルブの機械的特性に関する報告とバルブ制御に関する研究。

・Innovative Studies (3件)

油圧回路の帯電、機械オペレータの作業負荷に対する心理学的分析など独創的な研究報告。

・Effective Use (3件)

建設車両を中心に、効率的な使い方の分析と提案。

・Diagnostics (4件)

建設車両の運転状態検知や油圧機器の故障診断に関する報告。

・Low Viscosity (4件)

水圧技術および燃料噴射ポンプの研究。日本から発表の2件、芝浦工大のPha氏(図5)およびKYBの吉田氏はこのセッションで講演を行った。

・Pneumatics (4件)

空気圧システムの省エネ性検討やスイッチング弁の流量特性分析など。

・Digital Hydraulics (3件)

高速電磁オンオフ弁を用いたアクチュエータ制御およびデジタルトランスフォーマを用いたシステム。

・Control (3件)

油圧システム制御やバイワイヤ制御に関する報告。

セッションとセッションの間には長いコーヒープレーク(軽食が供される休憩時間)が設けられており、参加者同士の良い交流・議論の場となっていた。

SICFP2013のテーマは「Controlling the Future (未来をコントロールする)」であるが、Abstractsの序文で『フルードパワーは効率や環境適合の要求を受けて変革の時期を迎えている』とKrus教授が述べている通り、セッション全体を通して効率分析や

省エネシステムの提案、シミュレーションを用いたシステムの省エネ設計といった『省エネルギー』関連の発表が非常に多かった。

基調講演でStelsson教授も米国の研究動向として“効率”をキーワードの一つに挙げており、『省エネルギー』は世界的にフルードパワー研究における最重要課題の一つと認識されていると考えてよいと思われる。



図5 講演を行う芝浦工大のPha氏

4. Elmia Wood Trade Fairツアー

Elmia Wood Trade Fair（以下、Elmia Wood）はリンシェーピング市から南西に150kmほど離れたヨンショーピング（Jönköping）の森林を会場として4年ごとに開催される世界最大の林業見本市である。2013年の出展社は503社、入場者数は4日間で54215人である。

リンシェーピング市内からバスで片道2時間ほどかかるため見学はごく短時間であったが、展示の規模、人出の多さともに想像を超えたものがあり、林業王国スウェーデンの面目躍如といった感があった。

展示は大型の林業機械から大小さまざまな林業用ツールなどに加え、多数の油圧機器メーカーが出展しているのが印象的であった。欧州では機械のディーラが顧客要求に応じて機械の改造を行うことが多いと聞くので、油機メーカーがディーラ、エンドユーザに対して認知度向上を図る必要があるためだと思われる。

ツアーではメーカーのご厚意で、数件の林業機械メーカー、油機メーカーのブースにて特別に展示品の説明をしていただいた。図6は油機メーカーのブースで説明を受けているところであるが、展示台上にはコントロールバルブやポンプといった油圧機器が並んでいる。



図6 油機メーカーブースの様子

5. おわりに

北欧各国は「白夜の国」と称されることがあるが、スウェーデンでも南部に位置するリンシェーピング市では白夜は見られないようである。それでも夏至に近い季節だったこともあり、日の出は朝の3時半、日の入りは夜9時、起きている時間帯は常に昼間という状態であった。

会議二日目の夜はスウェーデン空軍博物館内でのカンファレンスディナー（図7）という希有な体験をさせていただいたが、ディナーが終わって外に出るとまだ昼間の明るさで、何とも不思議な感覚であった。



図7 カンファレンスディナーの様子

なお本報告では紙面の都合上、各講演の詳細については省略させていただいた。内容については予稿集¹⁾を参照していただきたい。

参考文献

- 1) Proceedings of the 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, IFS, FPCE, (2013)

（原稿受付：2013年8月28日）

トピックス

日本提案の空気圧ショートストロークシリンダ、 ISO化で奮闘 ー後編ー

著者紹介



ひがし かわ とも のぶ
東 川 智 信

株式会社TAIYO
〒533-0002 大阪市東淀川区北江口1-1-1
E-mail: thigashikawa@parker.com

1982年中央大学理工学部卒、同年太陽鉄工株式会社入社、現在株式会社TAIYO戦略事業開発本部技術管理部
日本フルードパワーシステム学会会員、日本フルードパワー工業会規格部会長、ISO/TC131/SC3/WG1プロジェクトリーダー

1. はじめに

前回までに空気圧ショートストロークシリンダの規格を日本がISOに最初に提案してから審議されるまでの長い経緯を記載した。

今回はようやく審議の土俵に乗ってからどのようにしてISO規格として発行されたのかを紹介する。

2. 経 緯

2.1 ISOの政策・原則声明文

現状を打破するために2004年1月、当時のJSA [社団法人（現在、一般社団法人）日本規格協会] 国際標準室を訪れ、現在に至る経緯を説明し、対応について指導を受けた。

指導は資料「政策・原則声明文 ISOの技術業務と規格の国際市場性」の紹介およびこの資料を基に反論すること。これが不可能な場合は、ISO/TMB (Technical Management Board) に提訴してはとの助言をもらった。また、溶接方法の規格で2方法を併記したISO規格が承認された事例の紹介を受けた。

さらに、欧州諸国の団結に対して、アジア圏でも協調してISO対策を考える必要があるのではとのお話しもあった。

2月には、経済産業省産業技術環境局標準課 産業基盤標準化推進室へJFPA [社団法人（現在、一般社団法人）日本フルードパワー工業会] 事務局に同行を願い訪問し、アジア圏のISO参加国に日本提案への協力依頼するに当たっての助言、援助のお願い

を行った。

この年の8月に日本は再びISO/TC131/SC3 チェアマンとSC3/WG2コンビーナ宛にショートストロークシリンダ案を送った。SC3チェアマンのアドバイスである【提案理由とその妥当性】の要点は次のようにまとめた。

- 1) ショートストロークシリンダは日本で1985年に発売されてから、アジアで販売され1996年には50万台以上、2000年には100万台以上、そして2002年には120万台以上と増加傾向にあること。
- 2) 自動車や半導体産業がグローバルに広がっており、これらのカスタマーはショートストロークシリンダをISO標準としてグローバル入手し、使用することを強く望んでいる。

そして、「政策・原則声明文 ISOの技術業務と規格の国際市場性」の3.4項にある「正当な市場の相違がある場合には、将来唯一の規格になることを目的としながら、相違する規格文書を取り扱うことができる」ことを示し、これについて検討要求するANNEXを添付した。

この年の7月にコンパクトシリンダはISO 21287として発行された。

2.2 ショートストロークシリンダの審議開始

2005年10月に開催された京都会議で、10月22日に締め切った投票結果の報告があった。投票の結果は賛成が中国、ウクライナ、USAそして日本の4カ国であったが、会議の席上でイギリスとイタリアから賛成の表明があり、賛成6カ国、反対4カ国、保留1カ国となり、WG2コンビーナは正式様式に記載するため再投票とした。

会議の席上で賛成の表明があったのは、以前から各エキスパートと手紙、メールにより意見交換を行い信頼を築いてきたからかもしれない。

2.3 ドイツからのコメント

2006年6月16日に締め切った投票結果は、賛成6カ国、反対4カ国、保留2カ国で、審議出席者は5名、評価点が有効な投票メンバー平均は14.5点であった。

しかし、この投票でドイツは取付寸法をコンパクトシリンダISO 21287に合わせるようコメントしてきた。

日本はショートストロークシリンダを販売してから10年以上経ち、販売本数も相当数あることからこの取付寸法をコンパクトシリンダに合わせることは到底不可能であるので、この規格化の経緯と販売実績を説明する資料を用意して、2006年10月に開催されたストックホルム会議に臨んだ。

会議で再投票結果の説明の後、WG2コンビーナは提案に対する各国の要求について日本の意見を求めたので、日本は過去の経緯を説明、要求の取付寸法をドイツ提案のコンパクトシリンダに合わせることは不可能と説明した。

WG2コンビーナは日本の意見を聞き、各国意見を再確認した結果、日本提案に賛成はアメリカ、イギリス、日本の3カ国、ドイツ提案に賛成はドイツ、フランス、イタリア、スウェーデンの4カ国であった。この年のイタリアのエキスパートは替わっていた。

各国意見交換の後、ドイツから審議のためのWorking Draftを日本が作成してはどうかとの提案があり、WG2コンビーナは『審議で出された各国のコメントも勘案し、日本は年内にTemplateによるWorking Draftを作成、次回の審議とする。』との結論とした。

2.4 2タイプの寸法を1規格に入れた日本提案

2007年11月にサンディエゴ会議が開催された。日本は先のストックホルム会議の結論を受け、JSAで受けた指導を参考に一つの規格に二つのタイプのシリンダ寸法をまとめた提案を提出した。二つのタイプの内、一つは日本提案をA Typeとし、もう一つはドイツ提案のものをB Typeとして一つの規格にした。

この会議で日本は提案内容を説明したが、ドイツはつぎの理由で反対した。

- ・規格は一つである。二つの規格は認められない。
- ・日本提案はストックホルム会議の議事録どおりでない。

日本はつぎのように反論をした。

- ・日本提案はストックホルム会議で出された各国の意見（具体的にはドイツの要求した各取付寸法をISO 21287に合わせる。）を受け入れている。
- ・ショートストロークシリンダをISOに提案してから10年以上経過し、日本、アジアの市場がすでに大きくなっており、顧客は寸法変更を受け入れない。
- ・今回の日本提案はISO/TMBの国際市場性の考

えに基づいている。

- ・ヨーロッパだけが市場ではない、アジア、アメリカ市場もあるのでグローバルな考えを取り入れた規格であるべき。

しかし、ドイツは、日本の主張は技術的な議論ではない、WGは技術的な合意をつくるところであると反論したので、日本はISO/TMBの国際市場性の考え方を規格に取り入れ、将来は市場に任せることを主張した。

両者平行線であり、日本とドイツの意見は妥協点が見出せず、WG2コンビーナはドイツ意見を入れてWG2案をまとめようとしたため、日本はそれを拒否した。

WG2コンビーナは、「日本がヨーロッパ意見の通り、一つの規格でB Typeを規格にすることを受け入れないのなら、このプロジェクトをストップするしかないが、日本はそれで良いのか？」と尋ねたので、日本は「やむを得ない」と答えた後につぎのように述べた。

「日本は、ストックホルム会議のコメントを受け入れ、ISO/TMB声明文の国際市場性の考え方を取り入れたこの日本提案をヨーロッパに受け入れてもらえると思っていた。しかし、WG2がこのような形になり、日本は非常に残念に思っている。日本に帰ってISO事務局と相談したいと思っている。」

この会議でWG2コンビーナが頭を抱えていたのが印象的であった。

ところが、翌年、しかも1年後に送られてきたサンディエゴ会議のWG2議事録には、前記のようなやりとりは一切記載されていなかった。

2.5 日本の反撃

2008年早々に日本からTC131のチェアマンとTC131/SC3のチェアマンにサンディエゴ会議の事実反するレポートに対する苦情を申し入れた。

これと平行して、TC131/SC3事務局からメールが来た。メールの内容は、ショートストロークシリンダのDIS (Draft International Standard) 審議期限の2008年1月21日は既に過ぎており、審議を延長するならば7月21日までに投票しなければならないというものであった。

我々はISOのルールを熟知しておらず、うかつであったが、直ぐに審議延長を希望する旨を返信し、同時にTC131のチェアマンと事務局、TC131/SC3のチェアマン、TC131/SC3/WG2のコンビーナと事務局にも審議延長の意志を伝えた。

するとTC131のチェアマンがショートストロークシリンダの審議延長投票に今までの審議経緯を記載

し、ISO 21287の存在を根拠に同様なシリンダ規格はヨーロッパの何カ国かが同意しないこと、しかし日本は今まで我々が気付かなかった「政策・原則声明文ISOの技術業務と規格の国際市場性」に当てはめて、国際規格が2つのオプションで公表されることを指摘したが、これについて検討する機会を今まで持たなかったのでTC131/SC3のチェアマンと事務局、そしてTC131の事務局に審議延長を提案したところ、全員が同意したことを審議延長の投票に添えた。

結果、審議期間が2年延長され、プロジェクトリーダーの私には次回の会議で各国が理解できるような説明を行い、レポートを1枚程度にまとめて提出することを求められた。

2.6 審議が軌道に乗る

2008年11月にロンドン会議が開催された。審議開始時にTC131のチェアマンからISO/TMB政策・原則声明文と適用指針の説明がなされ、特にオプションを持つことを許容しているところの説明がなされた。さらに、日本はこの会議で否決されると上部へ提訴することもできるのだということも説明された。

その後、私からISO/WD15524はISO/TMB政策・原則声明文と適用指針の条件、状況に適合しておりEU諸国は唯一の規格化を急ぐべきではなく選択肢を持つ規格を認めるべきであるとの説明を行った。

この説明後にアメリカよりType A（日本寸法案）支持の表明と、選択肢はなくすべきだとの提案があり、コンビーナが出席国にType AとType Bとどちらを選択するのかを問うたところ、ドイツは、実際に使われていないとの理由でType Bを取り下げ、かつType Aに反対もしないと表明し、スウェーデンも同じ考えであると発言した。

イギリスもType Aに賛成で、結果フランスは反対の意を表したがType A（日本案）のみの規格案で審議することに決定した。

この日の審議結果によりISO/WD15524をType Aのみ（Type Bを削除）の選択肢のない規格に変更したCD（Committee Draft）案を、プロジェクトリーダーが年内中に事務局に送り、CDの投票に進めることになった。

2.7 規格発行

2009年はリーマンショックの影響でISO会議は開催されなかった。しかし2009年5月6日に投票締切のCD投票結果は、承認12カ国、反対2カ国、棄権1カ国、コメント1カ国という結果で承認され、

DISの審議段階に移った。

そして、2010年10月に東京会議が開催された。審議はフランス、イタリアそしてドイツからのコメントについてであったが、フランスとイタリアのコメントは前回会議で結論が出ていることの繰り返しであり、ドイツのコメントはISO/DIS 15524が引用している規格の改訂に関するものでありショートストロークシリンダの議論ではないとWG2コンビーナが退けたため、問題なくFDIS（Final Draft International Standard）への審議段階に移ることとなった。

さらに2011年11月にスコッツデール会議が開催された。この時の審議はあくまでFDIS投票に対するコメント審議で、議事録に残すことが目的であった。

FDIS案は先の投票で承認されており、11月1日付けで日本提案のショートストロークシリンダ寸法規格はISO 15524として発行された。

3. むすびに

私がISO規格国際会議に参加したのは2004年からである。当時から日本にとって重要案件であった空気圧ショートストロークシリンダのISO規格化は、永くISO規格審議に携わっていた前々任者からの課題であった。

準備段階から数えると規格発行まで18年にも及ぶ奮闘の歴史であったが、長引いた最大の理由はEU諸国の結束による多数決制度によるものであろう。

それぞれの国のエキスパートは理解を示してくれてもEU内部（今回はCETOP）で決定したことによりEUに属する国は原則従わなければならない、会議参加者の過半数がEU諸国であるならば多数決では日本やアメリカは不利である。それでも、空気圧ショートストロークシリンダが規格化できたのは前々任者から各国のエキスパート、チェアマンそして事務局に理解を得るために努力を惜しまず、信頼関係を築いてきたからであろう。

勿論、ISO/TMB政策・原則声明文と適用指針の条件、状況に適合していることを訴えて認められたことのきっかけも規格化の要因として大きかった。

今回、空気圧ショートストロークシリンダの規格化の経緯を記載することにより、日本提案のISO規格化作業に携わる方々への参考になれば幸いである。

最後にWG2で審議対象の空気圧シリンダ関連規格の一覧を掲げる。

規格名
ISO 6430 : 1992 [JIS B 8368-1 : 2012 (MOD)] Pneumatic fluid power — Single rod cylinders, 1,000kPa (10bar) series, with integral mountings, bores from 32mm to 250mm — Mounting dimensions
ISO 6432 : 1985 [JIS B 8368-3 : 2012 (MOD)] Pneumatic fluid power — Single rod cylinders — 10 bar (1,000kPa) series — Bores from 8 to 25mm — Mounting dimensions
ISO 6537 : 1982 Pneumatic fluid power systems — Cylinder barrels — Requirements for non-ferrous metallic tubes
ISO 8139 : 2009 [JIS B 8403-1 : 2005 (MOD)*1] Pneumatic fluid power — Cylinders, 1,000 kPa (10bar) series — Mounting dimensions of rod-end spherical eyes
ISO 8140 : 2009 [JIS B 8403-2 : 2005 (MOD)*1] Pneumatic fluid power — Cylinders, 1,000kPa (10bar) series — Mounting dimensions of rod-end clevises
ISO 10099 : 2001 [JIS B 8377-1 : 2002 (MOD)] Pneumatic fluid power — Cylinders — Final examination and acceptance criteria
ISO 15524 : 2011 [JIS B 8368-4 : 2012 (MOD)] Pneumatic fluid power — Cylinders — Single rod short-stroke cylinders, 1,000 kPa (10bar) series, bores from 20mm to 100mm
ISO 15552 : 2004 [JIS B 8368-2 : 2012 (MOD)] Pneumatic fluid power — Cylinders with detachable mountings, 1,000kPa (10bar) series, bores from 32mm to 320mm — Basic, mounting and accessories dimensions
ISO 21287 : 2004 Pneumatic fluid power — Cylinders — Compact cylinders, 1,000kPa (10bar) series, bores from 20mm to 100mm
ISO/TR 16806 : 2003 Pneumatic fluid power — Cylinders — Load capacity of pneumatic slides and their presentation method
IDT : identical (一致) JISの技術的内容がISOと一致.
MOD : modified (修正) JISの技術的内容がISOから修正.
*1 JIS B 8403-1, -2は改訂作業中.

(原稿受付：2013年 5 月29日)

トピックス

特許文献を調べる・特許電子図書館の活用2…日本の分類

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

前稿では国際特許分類（IPC）についての大まかな概要について述べたが、明治以降発行された特許・実用新案・意匠・商標の公報類約8,400万件から参照となる文献を見つけることができるだろうか。これを数百件あるいは数十件というレベルまで絞り込むことができれば、各研究者・技術者も自身の携わっている研究・技術分野の特許文献を自分自身で確認することも可能である。そのために国際特許分類をよりわかりやすく分類した日本における特許の分類を知る必要がある。フルードパワーシステムに関するものを例示して紹介する。IPCはInternational Patent Classificationの略であり、以下、国際特許分類はIPCと表記する。

2. 特許分類・FIとIPC

IPCは図1の左上部に表示されているように日本で発行された特許文献全てに記載されている。このIPCをさらに細かく展開したものがFI（ファイル・インデックス）である。IPCの末尾に分冊識別記号（アルファベット1文字）や展開記号（3桁の数字）を追加したものである。図1にはFIとして、下記が表示されている。

F15B 15/14 380Z

F15B 1/04

展開記号は、IPCの最小単位であるグループを更に細かく展開、原則として、101から始まる3桁の

数字で構成される。分冊識別記号とは、IPCまたは展開記号を更に細かく展開するために用いられるものであり、A～Z（IとOを除く）のアルファベット大文字一字で構成される。なお、Zは他の分冊識別記号に属さないものに使用する。

下段のFIはIPCの表示と同一であるが、上段は展開記号、分冊識別記号も表示されている。上段のFIについて各段階までの表示とその内容を示す。

セクションF: 機械工学, 照明, 加熱, 武器, 爆破

サブセクションF15: 工学一般

クラスF15B: 流体圧アクチュエータ・水力学または空気力学一般

メイングループF15B15/00: 部材をある位置から他の位置へ移すための流体作動装置それと組み合わせた伝動装置

サブグループF15B15/14: 直動シリンダ形

展開記号F15B15/14 380: 作動流体通路に特徴のあるもの

F15B15/14 380Z: その他のもの

注) 表3のFI表ではF15B15/14,380@Zの表示。

下段のFIについても内容を示す。

F15B 1/00 圧力流体を供給する設備・排液槽

F15B 1/04 アキュムレータ



図1 公開特許公報への分類例

下段のFIには展開記号と分冊識別記号の記載はない。これは特許文献の数を合理的な件数まで絞り込むためであるので、技術分野により異なることになる。

ところで、図1の特許文献は前述のFIから、直動シリンダ形で作動流体通路に特徴のあるものであり、かつ、F15B15/14,380@A～@D(表3を参照)に相当するものではなく、その他のものとなる。これから技術分野がかなり限定されていることがわかる。さらに、下段のFIからアキュムレータの技術分野であることもわかる。

ここまでは比較的わかりやすいと考える。さらに、別の観点からの分類がある。以下に示す。

3. 特許分類・FとFI

特許に多観点の技術コードを付与したものがFタームである。Fタームはなく、FIだけの技術分野もある。Fタームは1774テーマにおいて約34万項目(2007年)である。多観点がどのようなものかはFターム表の一例を表1に示して紹介する。なお、各Fターム表にはテーマコードがある。各テーマは5桁のテーマコードで識別される。図1では3H081(アクチュエータ)、3H086(供給装置、増圧器、変換器、テレモータ)である。3H081の範囲のFIはF15B15/00～F15B15/28@Z、3H086の範囲のFIはF15B1/00～F15B7/10@Zである。このように技術的に近い分野をまとめてテーマコードが設定されている。約20万項目のFIに対して、テーマコードは約2600、さらにFタームのあるテーマコードは約1900である。

表1に3H081のFターム表を示すが、多観点はどのようなものだろうか。表の左側のアルファベット2文字が観点を示す記号である。Fタームは特許の請求の範囲に関係なく、全体が何に関するものであるかを示している。

AA：型式

アクチュエータの種類、形式等についての観点。

BB：駆動手段

主として作動流体に関する観点。空気でも油でも記載されているもの。

CC：目的または効果

発明の目的、効果についての観点。目的、または効果として記載されているもの。

DD：各部材の形状または構造

特徴のある形状、または構造に関する観点。本観 pointsのタームは、請求の範囲を通して詳細な説明、目的効果などから特徴を絞り込んでいる。

EE：各部材間の構造

表1 3H081のFターム表

観点	AA	BB	CC	DD	EE	FF				
AA	AA01 ・駆動形	AA02 ・駆動形	AA03 ・ピストン有するもの	AA04 ・両ロッド形	AA05 ・ピストン2個以上有するもの	AA06 ・対向形	AA07 ・シリンダ形	AA08 ・増力形	AA09 ・機能ピストン有するもの	AA10 ・多室シリンダ形
BB	BB01 ・多段伸縮形	BB02 ・スリット・ラム形	BB03 ・ラム形	BB04 ・主駆動部材	BB05 ・ダイヤフラム形	BB06 ・ローリング形	BB07 ・ローリング形	BB08 ・増力形	BB09 ・増力形	BB10 ・増力形
CC	CC01 ・駆動形	CC02 ・駆動形	CC03 ・駆動形	CC04 ・駆動形	CC05 ・駆動形	CC06 ・駆動形	CC07 ・駆動形	CC08 ・駆動形	CC09 ・駆動形	CC10 ・駆動形
DD	DD01 ・駆動形	DD02 ・駆動形	DD03 ・駆動形	DD04 ・駆動形	DD05 ・駆動形	DD06 ・駆動形	DD07 ・駆動形	DD08 ・駆動形	DD09 ・駆動形	DD10 ・駆動形
EE	EE01 ・駆動形	EE02 ・駆動形	EE03 ・駆動形	EE04 ・駆動形	EE05 ・駆動形	EE06 ・駆動形	EE07 ・駆動形	EE08 ・駆動形	EE09 ・駆動形	EE10 ・駆動形
FF	FF01 ・駆動形	FF02 ・駆動形	FF03 ・駆動形	FF04 ・駆動形	FF05 ・駆動形	FF06 ・駆動形	FF07 ・駆動形	FF08 ・駆動形	FF09 ・駆動形	FF10 ・駆動形

FF：制御(調整)

アクチュエータの制御のうち、アクチュエータ単体に従属するもの、およびアクチュエータの調整に関する観点。システムに関するもの、制御回路に関するものは原則として範囲外であるが、本観点にあるタームで付与できるものは付与している。

GG：検出または表示

制御、または表示するための検出機構、および表示の方法に関する観点。

図1にはテーマコードの表示はあるが、Fタームは表示されていない。Fタームは特許電子図書館¹⁾の文献検索において確認できる。

CC12：・漏曲(グリース等含む)対策

CC28：・効率向上(省エネルギー等)

DD24：・・ロッドカバー、ヘッドカバー等*

DD31：・作動流体が作動するための流路*

DD35：・結合ユニット

HH03：・物流機械

表2 3H086の部分Fターム表

観点	AA01	AA02	AA03	AA04	AA05	AA07	AA08	AA09	AA10
AA 目的 または 効果 AA00	・振動騒音防 止	・温度対策	・高温対策	・冷却	・加熱	・高圧対策	・実験対策	・水分管理	・空気分離 (空気流入防 止、流出も防 止)
	AA11	AA12	AA14	AA15	AA16	AA18	AA19	AA20	
	・空気抜き	・ごみ除去	・漏油対策 (シール性向 上)	・ガス(空気) の逆流対策	・ガス(空 気)の透過防 止	・ガスチャ ージ(空気補 給)	・安全対策	・故障待 対策	
	AA21	AA22	AA24	AA25	AA26	AA27	AA28	AA29	AA30
	・硬質対策	・アキュム レータの分離 部材の接続	・耐振に耐す るもの	・コンパ ク化	・保守古 庫に 関するもの	・置き、確立 方法	・寿命向上	・省立本	・その他*
	AD01	AD02	AD03	AD04	AD05	AD06	AD07		
	・インライン形	・高圧手段	・重力	・ばね	・弾性のば ね	・ガス(空 気)			
	AD11	AD12	AD13	AD14	AD15	AD16	AD17		
	・分離手段	・分離手段 のないもの	・ブラダ	・ダイヤフ ラム	・ベローズ	・ピストン が複数			
	AD21	AD22	AD23	AD24	AD25				
AD アキュム レータ AD00	・分離手段の 構造	・複数の分 離手段を有 するもの	・2重構造 のもの	・材質に特 徴のあるもの					
	AD31	AD32	AD33	AD34	AD35	AD36	AD37	AD38	AD39
	・取付位置 数	・取付位置 の構造	・バッキング の取付位置 の構造	・バッキング の取付位置 の構造	・取付方法	・分離手段 の取付位置 の構造	・バッキング の取付位置 の構造	・支持手段 の有するもの	・支持手段 が複数
	AD41	AD42	AD43	AD44	AD45	AD46	AD47		
	・バッキング の取付位置 の構造	・内部形状 に特徴のある もの	・複数の部 材の組合せ に特徴のある もの	・ねじによ る一体化	・材質に特 徴のあるもの	・透明			
	AD51	AD52	AD53	AD54	AD55	AD56	AD57	AD58	AD59
	・シール手段	・温度フュー ズ	・ガス正入口 に特徴のある もの	・ガス正入口 に特徴のある もの	・流体入口部	・多孔体を 設置	・弁を設 置	・弁体に ダッシュポ ット	
	AD61								AD70
	・調整手段を 有するもの								・その他に特 徴を有するも の*

なお、3H086のFターム表は3H081のFターム表とは構成が異なっている。図1の特許文献に付与されている観点のみの部分表を示す。

AA(目的効果)の観点は

AA03:・・・高温対策

AA14:・・・漏油対策(シール性向上)

AD(アキュムレータ)の観点は

AD06:・・・弾性部材(ゴムボール含む)

AD12:・・・分離手段のないもの

ここで、各内容の前に・がいくつかある。これは・の多いものは直前の・が少ないものに包含されていることを示す。たとえば表2において、AA03(・・・高温対策)はAA02(・・・高温対策)に包含され、AA04(・・・冷却)を包含することを示す。すなわちAA03を検索するとAA04も含んでいる。また、AA02を検索するとAA03、AA04、AA05(・・・加熱)も含むことになる。なお、AA01(・・・振動騒音防止)はAA02と・の数が同一のため、AA03以下を包含しない。これは検索時、上位の階層を検索キーとすると、下位の階層まで含めて検索することを意味する。特許分類では、階層は「・」(ドット)の数で表され、数が多いほど下位の階層となる。

FI表でも同様である。ただし、FIの分冊識別記号については、この階層検索を行わない。F15B15/14,380@Aを検索してもF15B15/14,380@Bを含まない。すなわち、F15B15/14,380@AとF15B15/14,380@Bを調べたいときは双方を検索する必要がある。

表3でF15B15/14,380@Zを検討すると、

- ・F15B15/14 直線シリンダ形
 - ・・・F15B15/14,335 細部
 - ・・・・F15B15/14,380 作動流体通路に特徴。
- その下位がF15B15/14,380@Zとなる。

表3 3H081の部分FI表

FI	ドット	内容
F15B15/14	2	直線シリンダ形
F15B15/14@A	0	多段シリンダ形
F15B15/14@Z	0	その他のもの
F15B15/14,305	3	片ロッド形
F15B15/14,310	4	複動ピストン形
F15B15/14,315	5	複動ダブル形
F15B15/14,320	3	両ロッド形
F15B15/14,325	3	ラム形
F15B15/14,330	3	ロッドレス形
F15B15/14,335	3	細部(F15B15/14・340～375においてはF15B15/14・380が優先)
F15B15/14,335@A	0	エア抜き手段、構造
F15B15/14,335@B	0	ロッドの回転止め手段、構造
F15B15/14,335@C	0	ロッドの防塵手段、[例、ロッドカバーを有するもの]
F15B15/14,335@D	0	アンロードのための構造
F15B15/14,335@Z	0	その他のもの
F15B15/14,340	4	シリンダそれ自体に特徴のあるもの
F15B15/14,340@A	0	シリンダと外部部材との固定部に特徴のあるもの
F15B15/14,340@Z	0	その他のもの
F15B15/14,345	4	ピストンそれ自体に特徴のあるもの
F15B15/14,345@A	0	ピストンのシリンダ摺動部に特徴のあるもの
F15B15/14,345@Z	0	その他のもの
F15B15/14,350	4	ロッドそれ自体に特徴のあるもの
F15B15/14,355	4	ロッドカバーそれ自体に特徴のあるもの
F15B15/14,355@A	0	ロッドカバーのロッド貫通部に特徴のあるもの
F15B15/14,355@Z	0	その他のもの
F15B15/14,360	4	ヘッドカバーそれ自体に特徴のあるもの
F15B15/14,365	4	部材の組み合わせに特徴のあるもの
F15B15/14,370	5	ロッドカバーまたはヘッドカバーとシリンダとの結合部に特徴のあるもの
F15B15/14,375	5	ロッドとピストンの結合部に特徴のあるもの
F15B15/14,380	4	作動流体通路に特徴のあるもの
F15B15/14,380@A	0	シリンダ又はタイロッド内に流路を形成しているもの
F15B15/14,380@B	0	ロッド内に流路を形成しているもの[Aが優先]
F15B15/14,380@C	0	給排ポートそれ自体又は給排ポートのとり付け位置[A、Bが優先]
F15B15/14,380@D	0	配管部
F15B15/14,380@Z	0	その他のもの

4. おわりに

特許文献を検索するために最低限知っておきたいことを示した。特許分類についての概要も示した。しかし、まだ全体が見えるレベルではない。たとえばフルードパワーシステムの分野においてどのようなテーマコードがあるかを次回は紹介する。たとえば、電磁駆動の弁は3H106である。電気駆動の弁であれば3H062である。電磁駆動はソレノイド駆動、電気駆動はモータ駆動を示す。わかりやすい逆止弁3H058もあれば、なじみのない名称もある、たとえば、リフト弁3H052、スライド弁3H053という名称もフルードパワーシステムの分野ではあまり使われていないと考える。どのようなものがそのテーマコードあるいはFIに含まれるかを認識する必要がある。ただし、深いレベルの認識をえることは大変である。それだけの労力を費やすのは研究者・技術者にとって貴重な時間の無駄使いである。ゆえに、特許電子図書館を上手に活用することにより、ある程度の認識で満足できる参考となる特許文献を見出すことを本連載の課題として進める。なお、本稿をより良く理解するために、前稿の特許文献を調べる・特許電子図書館の活用^{1,2)}を参照されたい。

参考文献

- 1) 特許電子図書館 <http://www.ipdl.inpit.go.jp/homepg.ipdl>
- 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、Vol44, No. 4, P241-243 (2013)

(原稿受付：2013年7月16日)

トピックス

アメリカ駐在日記

著者紹介

つね むら のり ふみ
常村 憲史株式会社TAIYO
〒533-0002 大阪府大阪市東淀川区北江口1-1-1
E-mail: ntsunemura@parker.com

1993年、福岡県、西日本工業大学卒業。同年、株式会社TAIYOに入社し国内営業を経て2007年TAIYO AMERICA, INCへ赴任、2012年海外部へ昇任

1. はじめに

私は、2007年10月より2012年7月末までの約5年間、アメリカにある子会社に駐在員として赴任した。最初の3年間はオハイオ州のコロンバス（Columbus）近郊、そして最後の2年間は同州のセントメアリース（St. Marys：オハイオ州西部：本社）で過ごし、家族も含め日本では経験できない貴重な体験をさせてもらった。赴任当時は英語ができず大変ではあったが会社の仲間や家族に支えられ、何とか5年間を過ごしてきた。簡単ではあるがこの5年間を紹介したいと思う。

2. 英語

最初は英語が分からず、挫折の連続だった。今回の駐在が海外初めての私は、心のみを踊らせコロンバス空港に降り立った。そこで先輩駐在員から一言、「それじゃ、レンタカーは予約してないけど、自分で借りて俺の後ろからついて来て」と言われた。英語もままならず、アメリカのレンタカーシステムも知らない私はカウンターでタジタジになってしまい、見かねた先輩がフォローに入ってくれたが、先輩からは、「これからは誰も助けてくれない、英語を覚えることは基本中の基本、知らない単語は聞かえない」と言われた。この言葉が私の5年間を良い意味で大きく変えたと今でも感じている。

約10日間の引き継ぎも終わり、新住居、ガス、テレビ、リースカーなどの契約、自動車免許の取得など、色々あったが何とかこなすことができた。しかし、これは言葉の壁の問題の始まりにすぎな

かったことはいうまでも無い。

3. 駐在地

最初の3年間はオハイオ州コロンバスの北西部に位置する町、ダブリン（Dublin）で暮らした。タウンハウス型と呼ばれる数件の家が一つの建物でできている家で、大阪で暮らしていた私達家族にとっては、すごく広く心地よく住めた。ダブリンの人口は約31,000人と大きな町ではないが、まわりには日系企業も多く、日本人が多く住んでいる。近郊には日本食材店や日本のレストランなどもあり、不自由なく日本の食文化も楽しめる。ショッピングも多様で、すぐ近くにコロンバスの大型ショッピングモールの一つタトルクロッシングモールがあり、子供から大人まで楽しめる。特に同モールにアバクロンビー & フィッチ（写真1）のお店があったので、日本からきた友人がスーツケース一杯に買い込んでいたのが今でも思い出される。



写真1 アバクロンビー & フィッチ

気候は内陸性といわれており、夏は比較的湿気が多く暑く、冬は乾燥して寒いといわれているが、夏の湿気に関しては日本から来た我々にとっては、まったく気にならない湿度である。

ただし夏の温度は40度近く上がることもあり、また冬はマイナス20度になったこともある。当然、



写真2 雪

雪も降ることが多く、生まれて初めて雪かきの大変さを知った。(写真2)

最後の2年間は、本社のある同州のセントメアリースで2年間を過ごした。この町は人口約8,300人の小さな町で、ダブリンと同じ家賃で、裏庭でゴルフのアプローチの練習ができるほどの一軒家(写真3)に住むことができた。近郊の町も含め日系企業が5社あり、定期的にゴルフや食事会をし、交流を深めた。



写真3 家

4. 生活

4.1 常識

赴任して3か月後の12月24日家族(妻、娘1人)と共に再渡米、飛行機が遅れ空港に到着したのは夜の11時を過ぎていた。この日は疲れていたもので、そのまま家に帰り25日の昼近くまで寝て、25日に外に出てみると、いつもより車通りが少なく、お店に行くと、24時間営業の店が閉まっていた。日本的に考えるとクリスマスに営業しないサービス業は

無いが、ここアメリカは違っていた。どのお店も閉まっており結局、冷蔵庫に残っていた少しの食べ物でクリスマスを過ごすことになった。私の思っている常識はあくまで日本のものであり、日本の常識にとらわれて行動してはいけないと痛感させられた第1回目の出来事だった。情報は生活にとってとても大事だと感じ、その後、私たち家族は、妻の友人、家庭教師、インターネットを主な情報源とし、新しいお店や、動物園のイベント、花火大会など各種フェスティバルに参加した。

4.2 出産

赴任して2年後息子が誕生した。この時期は英語にも慣れてきており、娘を病院や歯医者などにも連れて行っていたが、出産となると不安になってくる。もちろんアメリカでの出産に関する流れは知らなかったが、産婦人科に行くと、本当に親切にわかりやすく説明してくれた。

アメリカの場合一般的に、ファミリードクターを決め、このドクターが生活における健康管理を行ってくれる。妊娠したら、このドクターに相談し産婦人科を紹介してもらい、妊娠中の経過管理を行い、出産時は設備のある大きな病院で出産となる。また、出産時は希望すれば、日本語通訳をつけることができた。

驚かされたのは、入院の日数と食事だ。日本では出産後約1週間は新生児と母親の経過を見るが、アメリカではわずか1日か2日間、食事もお産当日から、かなりボリュームがあった(写真4)。



写真4 病院の食事

後になって思うと、見事に一つ一つのプロセスがわかりやすく構成されていたと感じた。また、我々日本人に対しても不安がらせまいと、終始笑顔だった、看護師の皆さんに感謝したい。

4.3 バケーション

アメリカは日本のような国民皆が休む大型連休というのが無く（企業によっては有る）自分で計画し約1週間の休日をとる。私はこのバケーションを利用し、家族とカナダ、ニューヨーク、フロリダなどに旅行に行った。中でもお勧めはフロリダのディズニーワールドとフロリダの港から出向するディズニークルーズ（写真5）、私自身、本当はまったく興味のない場所ではあったが行ってみると、本当に素晴らしい場所だった。一つ一つのスケールの大きさはいうまでもないし、なんともいえない解放感があった。ディズニーの島の砂浜で泳いでいると、エイがいたのにもびっくりさせられた。日本でも色々な場所に行ったが、本当に時間が止まったような解放感を感じたのは、この時が初めてであった。



写真5 ディズニークルーズ

5. 仕事

5.1 アメリカの企業

私がアメリカに来て、驚かされたのは、アメリカ人のプレゼンテーション能力とアメリカ企業の仕事の進め方である。

今となっては、会議でプレゼンテーションを使用することは当たり前のようになってるが、私が赴任した頃、日本ではあまり会議で使用することがなかった。しかし、アメリカではすでに当たり前のようになっており、会議中は常に使用し、言葉、絵柄、表情を巧みに使い解りやすい見事な説明をしていた。ネイティブ同士でも、言葉だけでは伝えたい内容に誤解を生じる可能性がある、ましてや多国籍民族と呼ばれるアメリカの場合、その可能性は上がるだろう。それらを回避するために、これらの能力を学生の頃から学んできているのだらうと、私ながらに勝手に想像していたが、本当に見習うべきことのひとつ

だと思った。

つぎに企業の仕事の進め方だが、日本人はどちらかというと自己啓発を行い、個人の中にスキルがたまっていく。それゆえにその人が会社を辞めてしまうと、仕事の手法そのものが変わってしまう傾向にある。

しかし、アメリカは、そのような状態を嫌ってか、いつ誰が辞めても、その仕事を他の人間ができるように、何をすべきか、どのようにするのがマニュアル化されている。責任においても明確だ。もちろん良い点、悪い点はあるとは思いますが、これから将来の企業体のあるべき姿として、これら手法と、日本のモノづくりの精神を掛け合わせることができれば素晴らしい会社ができると感じた。

5.2 金融危機、円高

私生活においては、旅行やショッピングなど楽しく過ごしていたが、仕事は思ったよりハードな毎日を経験した。油圧機器販売の営業として主に日系企業のサポートを行うことが主な仕事であったが、記憶に新しい、2008年9月15日のリーマン・ブラザーズが破綻したことによる金融危機、また急激な円高。これらの影響により2009年の業績は下がり、緊急対応に迫られ、結果として、各営業所2名体制（日本人と米人）を止め、各拠点1名体制となった。これにより日本人駐在員の営業は私一人となり、対日本との調整などがすべて回ってくるようになった。

しかし、このことがきっかけとなり、他拠点の米人との接点が多くなり、より深くコミュニケーションが取れるようになったことは、本当にプラスであったと思う。いつの日だったか、私の家庭教師が、英語が上手くなるための最短手法はどっぷりつかることと言っていたことを思い出した。お客様の理解や同僚の助けをもらい、2010年以降は業績が回復した。

6. おわりに

家族を含め、5年間を大きな問題もなく過ごしてきたのは、お世話になったお客様、友人、そして会社の仲間のお陰だと思う。

この経験はこれからの人生で、必ず役に立つと思うし立たせてみようと思う。この読者の皆様の中に北米駐在に手を挙げる機会をお持ちの方がおられれば、ぜひ、手を挙げてください。人生のひとコマを飾る良い経験になることを保証します。

（原稿受付：2013年8月19日）

研究室紹介

東京海洋大学 海洋工学部 海洋電子機械工学科 オートマティクス研究室

著者紹介



いとう まさのり
伊藤 雅 則

東京海洋大学名誉教授
〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6
E-mail: itom@kaiyodai.ac.jp

1970年名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程修了。日本鋼管(株)船舶本部、技術開発本部を経て、1998年東京商船大学教授、2011年東京海洋大学名誉教授。現在に至る。船舶における制御システム、ロボットシステム、制御理論等の研究に従事。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

小職は、東京海洋大学を定年退職し、現在、名誉教授として大学とかかわる立場であるが、在職時から流体制御に関する研究を共同して進め、現在もプロジェクトを継続している表記研究室について紹介させていただく。

この研究室は、海洋工学部・海洋電子機械工学科・海洋サイバネティクス講座に属し、章菲菲（ふえいふえい）教授の下、ロバスト制御や適応制御などの現代制御理論を船用機器や産業ロボット、水中ロボットなどの実システムに適用する研究を行っており、スカラロボットの多自由度H_∞制御や、GIFU Handの適応運動制御、水中ロボットのLMIによる運動制御など、これまで数々の成果を挙げている。

本稿では、特に、流体制御に関する研究とそのための研究環境について取り上げる。

2. 主な研究課題

2.1 DDVC油圧システムの応用

特徴的な研究課題として、DDVC（Direct Drive Volume Control）油圧システムの船舶への応用を挙げることができる。周知の通り、船舶は油圧技術の塊と言ってもよく、DDVC技術により、省エネルギー・小型化・信頼性向上等が可能となる。具体的な事例として、①操舵装置の開発では、図1に示すように、従来型の1/3の容積で1/20の省エネルギーおよび、システム油の長寿命化を実現し、商品化に至っ

ている¹⁾。②エンジンガバナーの開発では、図2のように、実機に装備し、W/Wガバナーとの比較試験により、信頼性で勝ること、コンピュータ制御との組み合わせにより、省エネルギーや外乱制御など制御性についても勝ることを示した²⁾。③ディーゼルエンジン電子式燃料噴射システムの開発では、図3の実験装置により、コモンレールや電油サーボ弁方式のような、特別な燃料噴射弁ではなく、従来の噴射弁により、上記と同等の燃料噴射制御が可能であることを示した³⁾、また、④フィンスタビライザーの開発では、装置の小型化、高速応答化により、従来装備が難しかった漁船などの小型船舶にも適用が可能であることを示した。

さらに、ロボット分野では、図4のように、スチュアート型パラレルマニピュレータをこれにより構成し、耐荷重の大きなモーションベースとして、衛星追尾アンテナの台座に使うことで、船上でのブロードバンド通信を可能にした。さらに、このパラレルマニピュレータを用いて、居住区や貨物室に装備して船体動揺の影響を受けない空間を作ることについても検討した。

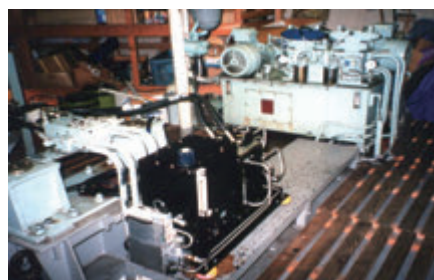


図1 DDVC操舵装置（黒色）と従来型操舵装置（後方）

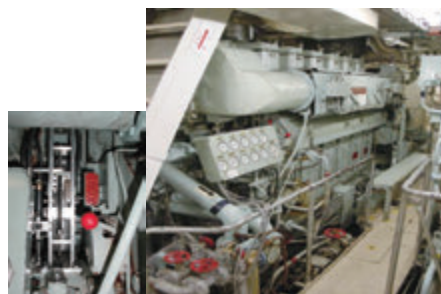


図2 DDVCガバナーと汐路丸ディーゼルエンジン



図3 汐路丸用DDVC燃料噴射システム



図4 DDVCパラレルマニピュレータ

2.2 他の流体制御

DDVC以外の課題として、サスペンションの研究がある。磁性流体を用いたセミアクティブサスペンション⁴⁾や、図5に示す油圧式セミアクティブサスペンションのインテリジェント制御⁵⁾等がある。

また、プロセス制御に関して、図6の統合型水力発電プラントでは、加圧タンクへの給水ポンプの流量制御をインバータにより行うことで流量制御弁を無くした、いわゆるバルブレス配管系の実現につなげた。これも船舶やプラントの改善に先鞭をつけたものである。

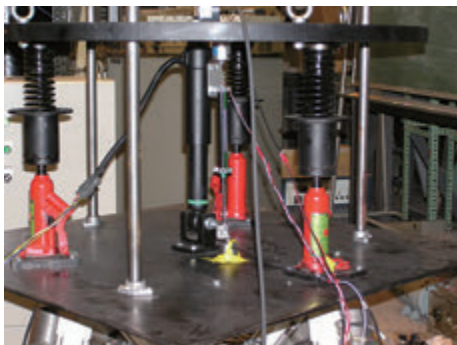


図5 セミアクティブダンピング制御

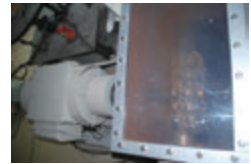


図6 統合型水力発電プラント（バルブレス配管制御実験装置）

3. 本学の主要研究施設

本学の研究の特徴として、研究の成果について、実機或いは実機に近いレベルでの確認試験が実施できることである。船舶の運動に関する研究のため設置された運航性能実験水槽（図7）や回流水槽は、学内の誰もが利用できる。また、研究船として位置づけられた「やよい」（図8）や「汐路丸」（図9）は、実際に、開発機器を装備しての航海実験も可能である。さらに、海洋科学部所属の「海鷹丸」（図10）、連携大学院を構成する（独）海洋研究開発機構での実船実験等、研究成果を一気に実機レベルに高める環境が整備されている。

図7 船舶運航性能実験水槽
(L: 50m, B: 10m, D: 2m)

図8 実験船「やよい」(23トン)



図9 実験船「汐路丸」(450トン)



図10 練習船「海鷹丸」(6000トン)

参考文献

- 1) 伊藤雅則, 大津皓平, 広瀬典樹, 佐藤寛他: DDVCシステムによる小型省エネルギー型船用操舵装置, 計測自動制御学会, 流体計測・制御合同シンポジウム論文集 (1999)
- 2) 廣瀬典樹, 大津皓平, 伊藤雅則他, Direct Drive Volume Control Engine Governor による燃費節減, マリンエンジニアリング学会誌Ser472, Vol. 44, No.1, p. 133-138 (2009)
- 3) 章ふえいふえい, 生川杏子, 廣瀬典樹, 佐藤寛, 伊藤雅則: DDVC油圧システムによる船用ディーゼルエンジンの燃料噴射システム, マリンエンジニアリング学会誌, Ser472, Vol. 44, No.1, p. 127-132 (2009)
- 4) Tong Li, 章菲菲, 伊藤雅則: Semi-active Suspension System with Electro-Rheological Damper, Proc. of the 6th WSEAS International Multi-conference, p. 6971-6974 (2004)
- 5) 山本潤, 章菲菲, 三島潔, 伊藤雅則, 自動車用セミアクティブサスペンションシステムのインテリジェントコントロール, 日本機械学会「第9回運動と振動の制御シンポジウム」論文集, p. 135-139 (2005)

(原稿受付: 2013年5月9日)

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 (10月10日現在)	943	16	127	130
差 引 増 減	0	0	+ 2	+ 5

(注1) 正会員の内訳 名誉員14名・シニア員32名・ジュニア員159名

賛助会員

ジャトコ(株)

(株)日立建機カミーノ

日本クエーカー・ケミカル(株)

日立住友重機械建機クレーン(株)

東京計器パワーシステム(株)

正会員

谷澤 正一 (株)本田技術研究所)

住野 亘 (コマツ)

学生会員

橋本 太祐 (早稲田大学)

中野紗百合 (兵庫県立大学)

堀口 大輔 (明治大学)

岩田 和大 (岡山大学)

金崎 和馬 (奈良工業高等専門学校)

私の散歩道

著 者 紹 介



あか い ひで お
赤 井 英 夫

(元)株式会社TAIYO

〒633-0074 奈良県桜井市芝435-53

1964年姫路工業大学機械工学科卒業後日本冶金工業(株)入社。1967年太陽鉄工(株)入社、主に、油空圧機器設計・開発・標準化業務に従事。技術開発部長、日本フルードパワー工業会シリンダ分科会主査、2009年退職。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

1. はじめに

本トピックスでは退職後の私の日課の一つになった散歩について感想を述べたい。定年に近づいた時、定年後は晴耕雨読の生活になるかもしれないなどと、少しは定年後の生活を想像することはあった。しかし、幸いなことに定年後も継続して従来の業務に従事することができ、日常の業務の忙しさに埋没した。2009年に完全に職を退き、家庭中心の生活になって初めて退職後の生活を現実のこととして考えることになった。定年後の勤務は、通常勤務から徐々に週4日勤務、週3日勤務などと変わってきたので、通常勤務から突然勤務がなくなるということではなく、退職後の生活に軟着陸できたことは幸いであった。しかし、退職後の生活環境の変化は大きい。会社中心の生活をしてきた者にとっても、家庭中心に生活している者にとっても環境が変化する。健康で快適な生活をするための新たな役割分担などの工夫が必要になる。会社に勤めている間はまったくと言ってよいほど家事のことを考えず、仕事のことで頭がいっぱいという状態であった。そのため家事については基本から学ばねばならなかった。妻から特訓を受け、私の日課に家事の手伝いが加わった。妻がぎっくり腰で動けなくなった時、その特訓が役に立った。また、健康維持のために散歩を日課の一つにした。

このトピックスでは私の散歩道を紹介しながら、最近感じるところを思いつくままに述べる。

2. 散歩道について

2.1 現在の散歩道

私は奈良盆地の東南地区に住んでいる。この地に引っ越してきてから30年以上になる。この地域には古墳がたくさんある。前方後円墳発祥の地であるといわれている。もっとも有名な前方後円墳は3世紀中頃に造られたとされる箸墓古墳である。邪馬台国大和説の立場の人々の説によれば、卑弥呼の墓ではないかと言われているが、“やまとととひももそひめ命”の墓として宮内庁が管理している。そのために発掘調査ができないらしく、古墳の内容はわからないことが多いらしい。私がここに引っ越してから初めてこの付近に古墳などの史跡が多いことを知った。市が主催する夏期観光大学などでこの地方の歴史や文化などを学ぶ機会があり、日本の古代史に興味を持つようになった。私の家の近くから三輪山が良く見える。出勤する時は毎朝この三輪山を眺めて、四季の移り変わりを感じていた(図1)。



図1 右端は箸墓古墳の後円墳部、その向こうに三輪山(三諸山)、巻向山(弓月が嶽)、穴師山の山並み

三輪山の麓に沿って山の辺の道があり、大神(おおみわ)神社や元伊勢の伝承地である松原神社がある。松原神社付近からは大和平野が一望できる。箸墓古墳、耳成山、畝傍山、香具山、金剛山、葛城山、二上山、生駒山などが一望できる。大気が澄んでいると北は京都の愛宕山を、南は大峰山系の山並みを見ることができる。また、彼岸のころには二上山に沈む夕日を撮影する人々が松原神社付近に集まる。

この場所に川端康成筆による倭建尊の歌「大和は国のまほろば たたなづく青垣 山ごもれる大和し美し」の石碑がある（図2）。



図2 川端康成筆の歌碑がある付近

山の辺の道をはじめ市内にはたくさんの万葉歌の石碑がある。著名な方々の筆による歌碑である。これらの歌碑は、1970年前後に多く作られたそうだ。当時は林業がまだ元気であり、林業で栄えた市には歌碑を作るだけの経済力があつたそうだ。1970年代前半は木材加工機械用のシリンダの需要も多かった。裁断機に使用されている空気圧シリンダのクッションの設計に苦労したことを覚えている。しかし、木材の自由化により輸入木材が急増し、国内の林業は大打撃を受け、林業は衰退し続けたと聞いている。日本国土の約7割を森林が占めているそうだが、豊かな森林が手入れされずに荒廃していくのは、非常に残念なことである。森林の荒廃を防ぐため最近では県内産の木材を住宅に使用した場合に住宅建設費に補助を出すような制度があると聞くと、林業再生のための根本的な対策は難しそうだ。また、2、3年前に木造の大型建物が建築できるようになり、公共の大型建物を木造建築にすることが促進されているそうだ。また、バイオマスによる発電や熱利用の開発も進んでいるように聞く。循環型社会や省エネルギーの観点からも木造建築が見直されていると聞く。このような動きが持続的になり林業再生につながっていくことを期待したい。いずれにしろ林業が元気なところに作られたたくさんの歌碑は貴重な遺産として観光に活用されている。

3年ほど前であつたと思うが、箸墓古墳の近くにある纏向遺跡から3世紀中頃の大きな建物跡が発掘されたということが新聞やテレビで大きく報道された。この館に卑弥呼が住んでいたのではないかということが建物の想像図とともに報道され話題になったことがある。纏向遺跡は東西約2km、南北約2kmの広さがあるといわれており、水路跡、祭祀跡、高床式建物跡、工房跡などが発掘されている。農作業に関す

る遺物は少なく、土木工事や祭祀に関わるものが多いそうだ。また、東海、北陸、近江、河内、吉備、山陰などの土器が出土していることから、巻向遺跡は都市型遺跡であるといわれている。館跡が発掘された場所は自然農実践者の畑である。自然農法の指導を受けるために全国から自然農を志す人々が集まるそうだ。指導を受けた人々が全国で自然農を実践し、その地で自然農に関心を持つ若者を指導しているそうだ。少し昔の話であるが、同窓生の医者から単身赴任をして3ヶ月ぐらいで体調を崩す者が多いということを知ったことがある。食物が人の血や肉となり3ヶ月ぐらいで細胞が入れ替わるので、単身赴任をするときは日々の食事内容に気を付けないといけないと忠告されたことがある。「身土不二」と言われる。植物は土によって生かされている。その植物を食べる動物も土によって生かされている。植物や動物は土にかえる。土に微生物がたくさんいる。自然農はその営みを大切にして農作業をするそうだ。世界中で自然農に関心を持つ若い人々がたくさんいると聞く。農業の将来は決して暗いものではないと感じた。

山の辺の道では、近くの農家の方々が季節の野菜や果実を無人の売り場で販売している。一袋百円である。私もミカン、ハッサク、イチジク、柿、筍や茄子など採りたての果物や野菜を買うのを楽しみながら散歩をしている。やはり日常必需品は「地産地消」が基本であるのが良いと思う。

このような場所を楽しみながら家と三輪山の麓の間を往復するのが、現在の私の散歩道である。

2.2 過去の散歩道

散歩道は年齢や住む場所によって変わってくる。私が小学生低学年のころは、しばしば父の散歩について行った。住居が武庫川の近くであり、散歩道は家から武庫川までの往復であつた。武庫川の付近に旧甲子園ホテルがある。子供の頃、そこは進駐軍の将校宿舎として使用されていた。いつも門前にMPが立っていたので、散歩でその前を通るのが怖かった。子どもの頃、家の前で遊んでいると通りがかった軍人からチューインガムをもらったこともある。しかし、兄に連れられて近くの学校に野球の試合を見に行った時、その学校の校舎の一部を進駐軍が使用していて、正門を通る時にMPに銃口を向けられて非常に怖い思いをしたことを覚えている。甲子園ホテルの周辺はそのような緊迫した状況ではなかったようだが、当時は進駐軍がいたところにいたように記憶している。敗戦により世界の多くの人々と価値観を共有できる「民主主義」「立憲主義」を得ることができた。過去の反省から生まれたこの価値観を大切に次世代に継ぎたいものだ。人は極端な考

えに同調する傾向があるように思える。約2,500年前の偉人の言葉に、「中庸の徳たるや、それ至れるかな。民すくなきこと久し。」「過ぎたるはなお及ばざるがごとし。」がある。今こそ傾聴しなければならない言葉であると思う。

旧甲子園ホテル（図3）は、帝国ホテルのマネージャーであった林愛作が計画したとのこと。また、設計はフランク・ロイド・ライトの愛弟子の遠藤新で、昭和5年に竣工とのこと。日本に残る数少ないライト式建築で、現在は地元私立大学の建築学部が使用し、国登録有形文化財として保存されている。この建物のロビーはある有名な映画のロケに使われたそうだ。



図3 旧甲子園ホテル外観

中学生、高校生頃の散歩道は決まっていなかったが、しばしば武庫川の川原で遊んだ。大学生の頃は姫路城周辺が散歩道であった。

大学4年生の時、景気はあまり良くなかった。自分自身にはっきりした希望の職業もなかったのも、就職希望する会社をなかなか決められなかった。金属材料に少し興味を持っていたので、材料に関連する会社への入社試験を受け、幸運にも合格した。学生時代はクラブ活動などに多くの時間を費やしており、機械工学の勉強を充分したとは言えなかった。また、仕事とはどのようなものかをあまり良く理解せずに会社に勤めることになった。会社に入り正式に配属されると、先輩たちが私を一人前の機械技術者として扱ってくれるのに驚いた。そして、機械技術者らしく勉強しなければならないと思ったことを覚えている。先輩の仕事のやり方を学ぶため、遅くまで一緒に仕事をしたこともある。また、現場の方と一緒に夜間の勤務も行い、仕事をするとはどんなことを学んだ。そして先輩の方々から現場を知らなければ良い仕事ができないことを教えられた。その後、縁があって油圧空気圧機器関連の会社に入り、シリンダの開発設計に携わった。ここでも先輩の方々は、設計経験のない私を一人前の設計者として受け入れ、私に新しい課題を与えた。振り返って当時の状況を

考えれば、当時の先輩の方々は、後輩を同じ課題に取り組む一人前の技術者と考え、上下関係の意識ではなくフラットな意識を持っておられたようだ。ピラミッド的な意識ではなく、フラットな意識が良いチームワークを育てたのではなかろうか。一つの組織体は、組織を維持するために統制を強化しようとする力が働くようだ。そのためピラミッド的な組織体制にしようとする。しかし、そのことがかえって組織の活力を無くしていくように思う。ともすれば組織はその組織を支配する者にとって都合な事実を隠し、組織にとって有利なことを期待し、その方向に誘導するような力が働くようだ。組織は環境変化に合わせて常に変化できなければならない。また、組織内で組織活動の見直しと改革ができなければならない。その時に必要なことは現状肯定ではなく、現状否定である。活力ある組織とは、個人個人が専門的な技量を持ち、互いに相手を信頼するフラットな意識を持った少人数のグループが複数存在し、各グループ間で共通の目的を作り上げ、その目的に向かって役割を分かち合うネットワーク型組織のようなものではなかろうか。

私の散歩道から少し外れてしまったようなので、ここで散歩を終わりにしたい。

3. おわりに

同じ散歩道を歩いていても、歩く時間や季節によっていつもは気付かなかったものを見付けることがある。同様に、会社を離れてから気付くことがある。在職中は常に売上や利益を中心に行動していたように思う。大量生産大量消費の経済活動を見直し、持続可能な成長を謳いながら、エネルギー消費を増やさなければ景気が回復しない。そしてエネルギー消費の少ない代替手段があるにも関わらず、大量消費をするシステムを開発しようとする。こんな仕組みで良いのであろうか。企業活動を維持するには大きな努力が必要であるが、経済効率ばかりを重視した結果、子や孫の世代に格差社会、貧困問題やフクシマ事故を残したのではなかろうか。会社業務以外の情報はテレビや新聞から得られるわずかな情報でしかない。会社業務に埋没しているうちに、私たちが生活している社会のありようが悪い方向に変わる恐れが十分にある。技術者は一組織に所属した技術者であると同時に、どの組織にも所属しない一市民の立場で社会のあるべき姿を考えなければならない。退職後では遅いのであるが、これが現在の私の反省点である。

（原稿受付：2013年5月29日）

企画行事

平成25年春季フルードパワーシステム講演会報告

著者紹介



うち ぼり あき ひこ
内 堀 晃 彦

宇部工業高等専門学校 機械工学科
〒755-8555 山口県宇部市常盤台2-14-1
E-mail: uchibori@ube-k.ac.jp

1998年信州大学大学院工学系研究科博士課程単位取得退学、山口大学助手、宇部工業高等専門学校講師、同校准教授、現在に至る。ロボット工学、空気圧システムの開発に従事、日本フルードパワーシステム学会・電気学会等の会員、博士（工学）。

ている要素機器のシミュレーション事例あるいはモデリングのノウハウに関する事例、および、シミュレーションを実現するためのソフトウェアの現状についての研究発表を目的とし、企画された。オーガナイザーは中田毅先生（東京電機大学）、田中和博先生（九州工業大学）、幸田武久先生（京都大学）、桜井康雄先生（足利工業大学）である。OHC-Simをはじめとした多種多様なシミュレーションやモデリングに関する10件の講演発表が行われた（写真2）。

1. はじめに

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会共催、平成25年春季フルードパワーシステム講演会（以下、講演会）が、平成25年5月30日（木）、31日（金）に、機械振興会館本館（東京都港区芝公園3-5-8）において開催された。今回の講演会では、オーガナイズドセッション（以下、OS）23件、一般セッション25件、特別講演1件の合計49件の講演が行われた。ここでは、この講演会の概要を報告する。

2. オーガナイズドセッション

2.1 ヒューマンサポート・フルードパワー

本OSは、レスキューや医療・福祉ならびに生活支援など、ヒューマンサポートという観点からフルードパワーの可能性を探るべく基礎から応用に至る研究発表を目的とし、高岩昌弘先生（岡山大学）、赤木徹也先生（岡山理科大学）をオーガナイザーとして企画された。アシストスーツ、外骨格ロボット、ウェアラブル制御弁、歩行訓練、手首リハビリテーション等の装置開発や研究に関する7件の講演発表が行われた（写真1）。

2.2 フルードパワーシステム・要素機器のシミュレーションとモデリング

本OSは、「OHC-Sim特別研究委員会」と「機械系技術者と制御技術者のシステムモデリングの接合研究委員会」が合同で企画したOSであり、油圧、水圧、空気圧システムおよびそれらのシステムに利用され



写真1 オーガナイズドセッション
（ヒューマンサポート・フルードパワー）



写真2 オーガナイズドセッション（フルードパワーシステム・要素機器のシミュレーションとモデリング）

2.3 製品技術紹介

本OSは、企業の製品に用いられている技術を紹介することも目的とし、山下良介様（SMC株式会社）をオーガナイザーとして企画された。株式会社コガネイ、SMC株式会社、KYB株式会社、株式会社IHI、株式会社ジェイテクト、油研工業株式会社〔発表順〕の、6件の講演発表が行われた。

3. 一般セッション

3.1 空気圧・水圧

空気圧・水圧をテーマとするセッションでは、11件の講演発表があった。圧力源に関する研究から各種アクチュエータの開発や特性試験、それらの制御やロボットや各種装置への応用に関する研究と多岐に渡る研究成果が報告された（写真3）。



写真3 空気圧・水圧セッション

3.2 油 圧

油圧をテーマとするセッションでは、11件の講演発表があった。ここでは、マニホールドブロックの管路損失、気泡除去装置の性能評価、キャビテーション壊食、純油圧ハイブリッドサーボ、作動油の省エネルギー効果の評価方法といった油圧素子に関連する研究成果が報告された。また、油圧システムの騒音・振動解析、マイクロバブルの洗浄効果、アキュムレータを利用したアイドリングストップ方式の油圧ユニットの省エネルギー、軽量2足歩行ロボットの開発に関する研究についての講演も行われた（写真4）。



写真4 油圧セッション

3.3 機能性流体

機能性流体をテーマとするセッションでは、3件の講演発表があった。ここでは、ECFマイクロポンプ、ERアクチュエータ、磁気クラスタの特性に関する研究について講演が行われた。

4. 特別講演

明治大学の向殿政男先生による「ものづくり安全の技術と思想 ～安全の確立から安心へ～」と題した特別講演が講演会2日目に開催された。ここでは、「安全」とは何かという話題から始まり、フェールセーフ、フールプルーフ、フォールトトレランスといった安全設計の考え方や、リスクアセスメント、国際安全規格と行った話題を踏まえ、「安全と安心は異なる」という、今日の科学技術と社会の抱える問題に踏み込む講演がなされた。現代の安全・安心に対する要求の高さや、発電所の事故等で社会的関心の高い話題であったこともあり、多くの聴講者を得て、活発な質疑応答がなされた。

5. おわりに

本稿では、平成25年春季フルードパワーシステム講演会の概要について報告した。講演会は124名という多くの参加者を得て盛会のうちに終了した。本講演会が成功裏に終了したのは、何よりご発表、聴講ならびに活発な討論を行っていただいた参加者各位のおかげである。心よりお礼申し上げる。本講演会が、参加者各位の研究、開発、教育等の一助となることができれば、望外の喜びである。

（原稿受付：2013年10月25日）

ニュース

中国における国際交流

著者紹介



か がわ とし はる
香 川 利 春

東京工業大学
〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259
E-mail : kagawa@pi.titech.ac.jp

1974年東京工業大学制御工学科卒業。精密工学研究所およびメカノマイクロ工学専攻教授として自動制御・流体計測制御・生体計測の研究に従事。また本学会会長、計測自動制御学会理事、(社)日本機械学会フェロー。

8月6日から8月18日までの13日間日本フルードパワーシステム学会の国際交流の一環として中国の大学関係者と面談交流を行った。下記に交流内容を紹介する。

2013年8月6日、7日：ハルビン工業大学流体動力伝達研究室訪問。2011年に交流教授として来日したことのある李松晶先生の案内で見学を行った。宇宙船のシミュレータがコックピット付きで動作する油圧6軸運動制御装置など、大きな実験装置の見学を行った。昼には劉慶和名誉教授、夕方には許耀銘名誉教授との会食を行った。ハルビン工業大学動力伝達研究所の前での写真1と会食風景（写真2）



写真1 ハルビン工業大学動力伝達研究所前

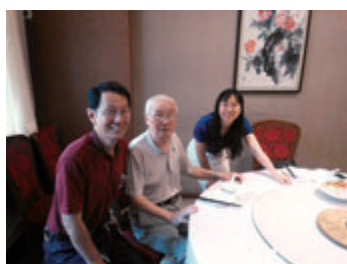


写真2 許名誉教授との会食風景

を示す。

8月9日、中国高速鉄道によりハルピン西から長春に移動した。長春ではかねてより日本フルードパワーシステム学会と交流のある趙丁教授が出迎えてくれた。中国建設機械学会の国際会議が吉林大学で開催され、特別講演を行った。また日本フルードパワーシステム学会と国際シンポジウム松江会議の紹介も行った。写真3に学会の様子と趙教授との会食風景を示す。

8月12日、13日 北京航空航天大学、北京大学訪問

北京大学の魏慶鼎名誉教授に現在のフルードパワーシステムの状況の報告を行い、可視化技術の進展に付いて議論した。

8月14日-16日 南京理工大学訪問

フルードパワー、空気圧の研究を行っている李小任教授、郭鐘華講師の研究室を訪問し、技術打ち合わせと日本フルードパワーシステム学会国際シンポジウム松江への協力依頼を行った（写真4）。



写真3 吉林大学 趙教授との懇談



写真4 南京理工大学 李教授会食

（原稿受付：2013年9月5日）

会 告

〈理事会・委員会日程〉

10月17日	理事会
11月25日	基盤強化委員会
11月25日	委員長会議
11月29日	企画委員会
12月5日	編集委員会
1月23日	情報システム委員会

〈委員会報告〉

第2回基盤強化委員会

9月12日 15:30～17:00 機械振興会館B3—3
(出席者10名)

- 1) 会員サービス・会員数増加について
- 2) 外部への情報発信について
- 3) 若手フルードパワー育成道場について
- 4) フルードパワー・バーチャルミュージアム
- 5) その他

第3回編集委員会

10月4日 14:00～17:00
東工大 大岡山キャンパス 石川台3号館3F 304号室
(出席者15名)

- 1) 学会誌発行報告
- 2) 学会誌編集計画
 - ・Vol.44 No.6「人間の立位・歩行を支援するフルードパワーシステム」
 - ・Vol.45 No.1「フルードパワーを活用した移動ロボットの最前線」
 - ・Vol.45 No.2「フルードパワーに貢献する加工，材料，表面処理技術（仮題）」
 - ・Vol.45 No.3「空気圧縮機および供給システムの最新技術」
- 3) その他
 - ・トピックスについて
 - ・会誌出版経費の削減について
 - ・ロゴ問題について

第2回企画委員会

9月24日 15:00～17:00 機械振興会館
地下3階3B—3号室 (出席者22名)

- 1) 平成25年度実施事業に関する報告・審議事項
 - ・公益事業について（終了報告）
 - ・オータムセミナーについて
 - ・平成25年秋季講演会について

- ・ウインターセミナーについて
- ・その他

2) 平成26年度実施の事業に関する報告・審議事項

- ・平成26年春季講演会併設セミナーについて
- ・平成26年春季講演会について
- ・オータムセミナーについて
- ・ウインターセミナーについて
- ・公益事業について
- ・その他

3) その他審議・確認事項

- ・会誌11月号の掲載予定会告記事について
- ・会誌記事の予定表（企画行事一覧）について
- ・研究委員会規程，内規について
- ・WGの構成について
- ・その他

第2回委員長会議会

9月12日 14:30～15:30 機械振興会館B3—3
(出席者9名)

- 1) 研究者リストについて
- 2) 平成25年度春季講演会最優秀講演賞受賞者の推薦について
- 3) 公開技術フォーラム「これがフルードパワーの魅力だ！」開催について
- 4) HPの更新に関するお願いとHP等更新費用について
- 5) 学会の財務基盤の強化の進捗状況について
- 6) その他

第2回情報システム委員会

9月20日 15:00～17:00
東京電機大学・北千住キャンパス1号館8階・10816B
(出席者8名)

- 1) 会議報告担当者について
- 2) 会員管理システムについて
- 3) Jfps.or.jpの管理状況について
- 4) HPのリニューアルについて
- 5) 情報システム委員会のHPへの関与について
- 6) 旧会誌，旧講演会論文集の電子化について
- 7) その他

会 告

平成25年度 ウインターセミナーのお知らせ

「大型機械と油圧技術」

開催趣旨：

昨今の省エネ化／クリーン化／環境重視といったニーズを背景として、パワーエレクトロニクスを始めとした電動機の技術革新に伴い、各種機械装置においては、電動シリンダやリニアモータに代表される電動アクチュエータが普及していますが、それら電動アクチュエータでは実現が困難な、油圧駆動システムが必須とされる分野は、顕然と存在しています。

本セミナーでは、大型のプレス装置／車輛／船舶といったような、代表的な大型機械で利用される油圧装置／システムを取り上げて、高出力／大容量をはじめとした、油圧ならではの特長を活かした装置／システムの紹介を通じて、油圧技術の現状と今後の展開について展望したいと考えて

います。具体的な講演内容については、詳細が決定次第、学会ホームページ（<http://www.jfps.jp/>）でお知らせしますので、皆様の参加をお待ちしています。

開催日時：2014年2月21日（金）13：00～17：30頃

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

問合せ先：

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

研究委員会（委員公募）のお知らせ

委員会：自動車の動力伝達、制御に関わるフルードパワー技術研究委員会

委員長：佐藤恭一（横浜国立大学）

研究期間：平成25年8月～平成27年3月

自動車では、変速制御、クラッチ制御、ポンプ、潤滑、ブレーキ、ステアリング、サスペンションなど、動力伝達や制御を担う多くの部分にフルードパワー技術が活用されています。そのなかで、従来からの成熟した技術の洗練と、さらなる高効率化、高性能化に向けての新技術開発が進められています。また、フルードパワーと電動との融合、電動技術とのすみ分け、電動化への移行など、フルードパワー以外の技術にも広く目を向けて知見を集約し、今後の

自動車におけるフルードパワー技術の展望を検討する必要があります。そこで、当研究委員会では、自動車におけるフルードパワー技術の現状および業界共通の技術課題を整理し、将来のフルードパワー技術の展望を明確化することを目的に、調査と技術議論を進めていきます。奮ってご参加くださるようお願いいたします。

申し込み・問い合わせ：学会事務局 <http://www.jfps.jp/>

会 告

研究委員会（委員公募）のお知らせ

第三回フルードパワーに関する 日中共同ワークショップ論文募集

国際交流委員会
企画委員会

日本フルードパワーシステム学会では、国際交流事業の一環として、中国機械工程学会流体伝動及制御分会と共同で、日本と中国のフルードパワーに関する国際共同ワークショップを開催しています。このワークショップは、若手研究者の人材交流事業を拡大発展させ、日中の産官学の研究者・技術者がフルードパワーに関する最新の研究および技術や市場動向を互いに紹介し、情報交換と交流を行うことを趣旨としています。第一回講演会は2010年に蘭州理工大学で、第二回目は2012年に機械振興会館にてそれぞれ開催され、毎回日中双方から5編ずつの研究発表が行われました。

第三回のワークショップは下記の日程と内容で、中国の太原理工大学で開催されることが決まりました。

開催日時：

2014年8月13日(水)～15日(金)のいずれか1日

開催場所：太原理工大学（中華人民共和国、山西省）

会議名称：

The 3rd China-Japan Joint Workshop on Fluid Power

実行委員長：Prof. Quan Long（太原理工大学）

テーマ：‘Green, Digital and Intelligent in Fluid Power’

会議形態：日中双方からそれぞれ5件程度の論文を募集

使用言語：英語

つきましては下記の日程で、発表講演論文を募集致します。積極的な論文発表の応募をお待ちしております。

2014年1月15日 Extended Abstract締切（A4 2枚、英文1000word程度、図2つ以内）

2014年1月31日 Extended Abstract査読による論文採択結果の通知

2014年3月28日 フルペーパー原稿締切り

2014年4月31日 フルペーパー査読コメント送付

2014年5月15日 フルペーパーカメラレディ原稿締切り

2014年6月15日 最終論文確認

申込みは完全オーガナイズド制です。論文の提出および本件に関する申し込み問い合わせは、全て下記のオーガナイザーへ直接お願い致します。また今後の本会議の詳細は、順次HP等でお知らせします。

オーガナイザー連絡先

伊藤（芝浦工大） kazu-ito@shibaura-it.ac.jp

田中（法政大） y_tanaka@hosei.ac.jp

高岩（岡山大） takaiwa@sys.okayama-u.ac.jp

落合（協立機電工業株式会社）

ochiai-mkse@hotmail.co.jp

会 告

(一社)日本フルードパワーシステム学会 平成26・27年度役員（理事・監事）推薦の受付け

下記により本学会平成26・27年度役員（理事・監事）の推薦を受付けます。

被推薦者は、平成26年度通常総会に理事会が提案する

平成26・27年度役員案の立案に際し、参考にさせていただきます。

（一社）日本フルードパワーシステム学会理事会

記

推薦は以下の事項を記して緘封のうえ、平成26年1月20日までに郵送してください。

1. 被推薦者（本学会正会員に限る）

役 員 名 理事・監事（いずれか一方不要な方を消して下さい）

氏 名

勤 務 先

年齢・生年月日

2. 推薦者（3名、本学会正会員に限る）

氏 名	所 属 先	電話番号	E-mail

推薦者代表者署名：

印

3. 推薦に関する特記事項

4. 送付先

〒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内 役員推薦受付け係

5. 問合せ先

Tel：03-3433-8441（担当 藤谷） E-mail：fujitani@jfps.jp

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

第56回自動制御連合講演会

- 主 催：日本機械学会（幹事学会）、計測自動制御学会、システム制御情報学会、化学工学会、精密工学会、日本航空宇宙学会、電気学会
 開 催：2013年11月16日(土)、17日(日)
 会 場：新潟大学工学部（新潟市）

講習会とことんわかる自動車のモデリングと制御2013

- 主 催：日本機械学会交通・物流部門
 開 催：11月25日(月)
 会 場：日本機械学会（東京都新宿区信濃町35番地 信濃町煉瓦館5F）

SICEセミナー「制御系設計の基礎・実践」2013

- 主 催：公益社団法人計測自動制御学会
 期 日：2013年11月25日(月)～26日(火)
 会 場：首都大学東京 秋葉原サテライトキャンパス会議室D・E

The Thirteenth International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2013)

- 主 催：東北大学流体科学研究所
 開 催：2013年11月25日～27日
 会 場：仙台国際センター（仙台市青葉区青葉山無番地）

No. 13-130講習会「フルード（流体）を用いたアクチュエーター技術の最前線」

- 主 催：日本機械学会（機素潤滑設計部門 企画）
 開 催：2013年12月2日(月)
 会 場：東京工業大学田町キャンパスイノベーションセンター多目的室2
 〒108-0023 東京都港区芝3-3-6（JR山手線・京浜東北線田町下車徒歩2分）

一般社団法人日本機械学会関西支部 第329回講演会

「機械加工・計測の基礎とものづくり最前線」—データの流れとモノの流れ—

- 主 催：一般社団法人日本機械学会関西支部
 日 時：2013年12月3日(火)～4日(水)
 会 場：大阪科学技術センター8階中ホール（大阪市西区鞆本町1-8-1 / TEL：06-6443-5324）

第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会

- 主 催：公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門
 開 催：2013年12月18日(水)～20日(金)
 会 場：神戸国際会議場 神戸市中央区港島中町6-9-1

COMPSAFE2014（第1回安全・安心のための計算理工学国際会議）

- 共 催：日本計算力学連合・日本計算工学会・東北大学災害科学国際研究所
 開 催：2014年4月13～16日
 会 場：仙台国際センター

The 12th international Conference on Motion and Vibration Control (MoViC2014)

第12回「運動と振動の制御（国際会議）」

- 主 催：一般社団法人日本機械学会
 開 催：2014年8月4日(月)～6日(水)
 会 場：札幌コンベンションセンター

会 告

資料一覧表

価格は、(社)日本フルードパワーシステム学会事務局までお問い合わせください。

資 料 名	発行年月
平成元年春季油空圧講演会講演論文集	元年 5月
平成元年秋季油空圧講演会講演論文集	元年11月
平成2年秋季油空圧講演会講演論文集	2年11月
平成3年秋季油空圧講演会講演論文集	3年11月
平成4年春季油空圧講演会講演論文集	4年 5月
平成4年秋季油空圧講演会講演論文集	4年10月
平成5年春季油空圧講演会講演論文集	5年 5月
平成5年秋季油空圧講演会講演論文集	5年11月
平成6年秋季油空圧講演会講演論文集	6年10月
平成7年秋季油空圧講演会講演論文集	7年11月
平成8年春季油空圧講演会講演論文集	8年 5月
平成8年秋季油空圧講演会講演論文集	8年10月
平成9年春季油空圧講演会講演論文集	9年 5月
平成10年春季油空圧講演会講演論文集	10年 5月
平成10年秋季油空圧講演会講演論文集	10年11月
平成12年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	12年10月
平成13年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	13年 5月
平成13年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	13年11月
平成14年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	14年 5月
平成15年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	15年 5月
平成16年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	16年 5月
平成16年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	16年11月
平成17年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	17年 5月
平成18年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	18年 5月
平成18年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	18年11月
平成19年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	19年 5月
平成19年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	19年11月
平成20年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	20年 5月
平成21年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	21年 6月
平成21年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	21年11月
平成22年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	22年 5月
平成22年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	22年12月
平成23年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	23年 5月
平成24年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	24年 5月
平成11年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	11年10月
平成14年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	14年 6月

平成17年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	17年 8月
平成20年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	17年 4月
平成23年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ国際見本市論文集	23年 7月
フォーラム'91「賢い電子油圧制御をいかに実現するか」	3年 7月
フォーラム'92「ここまできた電子油空圧制御システム」	4年 7月
フォーラム'94「油空圧駆動と電動駆動の現状と課題 その1」	6年 7月
フォーラム'95「油空圧駆動と電動駆動の現状と課題 その2」	7年 7月
フォーラム'96「油空圧技術を支えるトライボロジー」	8年 7月
フォーラム'97「21世紀を見つめた新技術開発」	9年 7月
フォーラム'98「オフロードビーグル用走行装置の動向」	10年 7月
フォーラム'99「技術開発におけるトラブル事例」	11年 7月
フォーラム2000「油空圧機器の省エネルギー化はこれだ！」	12年 7月
フォーラム2001「自動車における最新油空圧技術の動向」	13年 7月
フォーラム2002「電動かフルードか」	14年 8月
フォーラム2003「電動かフルードかⅡ」	15年 5月
フォーラム2003「最近の緩衝・制振・免振技術」	16年 5月
オータムセミナー「油空圧のセンシング技術」	元年10月
オータムセミナー「メカトロニクス関連センサ」	2年10月
オータムセミナー「油空圧を支える解析技術」	4年10月
オータムセミナー「油圧機器・システムにおける振動をいかに克服するか」	5年10月
オータムセミナー「油空圧制御と高速インターフェース技術の融合」	6年11月
オータムセミナー「油空圧におけるシミュレーション技術の現状と課題」	7年10月
オータムセミナー「最新制御理論の超活用法（油空圧システムとロバスト制御の融合）」	8年 9月
オータムセミナー 2000「環境適合技術の動向」	12年 9月
オータムセミナー 2001「フルイドパワーシステムに用いられる制御技術の動向」	13年 9月
オータムセミナー 2003「フルードパワーと環境・リサイクル」	15年10月
オータムセミナー 2004「食品機械におけるフルードパワーの利用と課題」	16年10月
オータムセミナー 2005「レスキューにおけるフルードパワーシステム」	17年10月
オータムセミナー 2006「生活に密着したフルードパワー」	18年10月
オータムセミナー 2007「鉄道におけるフルードパワー技術」 資料は『油空圧技術』Vol. 49 No. 4	
オータムセミナー 2008「フルードパワーシステムと環境・省エネルギー」	20年10月
オータムセミナー 2009「フルードパワーシステムのためのlinux開催環境」	21年10月
オータムセミナー 2010「BOPビジネスの可能性～CSRとビジネスの両立～」	22年11月
オータムセミナー 2011「パワートレインにおけるフルードパワー技術」	23年11月
ウインターセミナー「油空圧システムの低騒音化のために」	2年 2月
ウインターセミナー「知っておきたい新しいアクチュエータ」	3年 2月
ウインターセミナー「200X年における電子油空圧はどうあるべきか Part2」	4年 2月
ウインターセミナー「新素材の油空圧への応用」	5年 2月
ウインターセミナー「空気圧の新たな可能性を求めて」	6年 2月
ウインターセミナー「人と環境に優しい油空圧—油空圧機器・システムの低騒音化技術—」	7年 2月
ウインターセミナー「油圧システムの高圧化に関する現状と将来」	8年 2月
ウインターセミナー「フルイドパワーにおける流体の役割」	9年 2月
ウインターセミナー「ER流体の可能性とその油空圧技術への応用」	10年 1月
ウインターセミナー「ユーザは語る・自動化機器における駆動方式の現状と将来像」	11年 1月
ウインターセミナー「省エネ、環境のためのセンシング」	13年 1月
ウインターセミナー「油空圧機器・システムにおける省エネルギー化の方法」	14年 1月
ウインターセミナー「油空圧機器に係わる加工技術～共存する油空圧機器と加工技術～」	15年 1月
ウインターセミナー「メンテナンスエンジニアリング—ランニングコストを安く—」	16年 1月

ウインターセミナー「医療・福祉におけるフルードパワーシステムの応用動向」	17年 1月
ウインターセミナー「機械システムの安全性」	18年 2月
ウインターセミナー「家庭の中のフルードパワー」	19年 2月
ウインターセミナー「航空機とロケットへの応用」	20年 2月
ウインターセミナー「海と船のフルードパワー」 資料は『学会誌』 Vol. 39 No. 5	21年 2月
ウインターセミナー「フルードパワー機器・システムの小型化」 資料は『学会誌』 Vol. 39 No. 5	22年 2月
ウインターセミナー「福祉・医療環境における空気圧応用の現状と問題」	23年 2月
ウインターセミナー「圧縮空気エネルギーの有効利用技術」	24年 2月
教育講座「マイコン制御講座」(大学上級コース)	元年 8月
教育講座「現代制御理論講座」(大学上級コース)	元年10月
教育講座「マイコン制御講座」(大学上級コース)	2年 8月
教育講座「トライボロジー講座」(大学上級コース)	3年 8月
教育講座「油空圧における鑄造技術講座」	5年10月
教育講座「空気圧システム入門」	10年 9月
教育講座「空気圧システム入門」	11年 6月
教育講座「空気圧システム入門」	13年 6月
教育講座「トライボロジー講座」	14年 9月
教育講座「空気圧システム入門」	15年 5月
教育講座「空気圧システムの基礎」	15年 5月
第1回油空圧国際シンポジウム論文集	2年 1月
第2回油空圧国際シンポジウム論文集	5年 9月
第3回油空圧国際シンポジウム論文集	8年11月
第4回油空圧国際シンポジウム論文集	11年11月
第5回油空圧国際シンポジウム論文集	14年11月
第6回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集 (CD-ROM)	17年11月
第7回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集 (冊子, CD-ROM)	20年 9月
第8回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集 (冊子, CD-ROM)	23年 9月
学会創立20周年記念出版「油空圧の進歩100人の証言」	2年 5月
学会創立30周年記念出版「アドバンスドフルードパワー技術の基礎と応用」	15年 4月
分冊販売 油圧駆動の世界—油圧ならこうする—	
空気圧システム入門	
水圧駆動テキストブック	
日本フルードパワーシステム学会創立40周年出版	23年 4月
分冊販売 油圧システムのモデリングと解析手法	
Webシミュレーション解説	
アクアドライブ技術の進展	

フルードパワーシステム 総目次 (第44巻)

	号	通し頁		号	通し頁
【挨拶】			特集「ADS—新水圧技術の今！」		
年頭にあたり	…香川 利春	1 4	ADS—新水圧技術の今！発刊に あたって	…宮川 新平	4 204
年頭にあたって	… { 築地 徹浩 肥田 一雄 北畠 多門	1 5	ADSの技術開発と製品化への道	…宮川 新平	4 205
			中圧域における高速水圧ポンプ の特性	…大林 義博 { 石川 竜乃介	4 209
【解説】			水圧シリンダとその応用—1	…村上 康裕	4 212
特集「ものづくり教育 (大学編)」			水圧シリンダとその応用—2	…宇根 利典	4 215
「ものづくり教育 (大学編)」発行 にあたって	…吉田 和弘	1 7	水圧電磁比例制御弁/水圧サーボ 弁の開発とその応用	…吉田 太志	4 218
ものづくり教育に活かすコミュニ ケーションスキル—エンジニアリ ング・ファシリテーション	…大石加奈子	1 8	水用高压汎用バルブ	…井口 務	4 223
エンジニアリングデザイン教育… —ものづくり工学実習—	…加藤 友規 { 溝田 武人	1 11	水圧機器用シール	…村田 秀紀	4 227
JABEEとエンジニアリング教育	…岸本喜久雄	1 14	特集「流体に関連して発生する騒音・振動」		
カーネギーメロン大学におけるも のづくり教育	…塚越 秀行	1 18	特集「流体に関連して発生する騒 音・振動」発行にあたって	…中野 政身	5 264
国際デザインコンテスト (IDCロ ボコン) 2012	…山北 昌毅	1 21	CFDによる流体騒音の予測	…加藤 千幸	5 265
PBLを志向した設計製図教育	…佐藤 恭一	1 25	Space-Time法による流体構造… 連成解析	…滝沢 研二 { Tayfun E. Tezduyar	5 270
「EV-Mileage」			空力自励音とその数値解析	…中野 政身 { 松浦 一雄	5 275
東北大学機械系大学院教育改革プ ログラム「機械工学フロンティア 創成」	…吉田 和哉	1 28	超音速ジェット騒音とその低減化…	…渡辺 紀徳	5 278
岐阜大学金型創成技術研究セン ターにおけるものづくり教育	…王 志剛	1 31	水しぶき形成と音の発生	…望月 修	5 281
			音響構造連成解析による音響場… の直接計算	…清水 文雄 { 田中 和博	5 284
特集「自動車技術とフルードパワー」			逆止弁自励振動の流体構造連成… 解析	…渡部 尚 { 中野 政身	5 287
「自動車技術とフルードパワー」… 発行にあたって	…五嶋 裕之	2 72	水撃作用の固液連成力学	…因幡 和晃	5 290
自動車と流体制御	…田中 裕久	2 73	特集「人間の歩行・立位を支援するフルードパワーシステム」		
自動車用トルクコンバータ内の油 圧解析技術	…山口 健	2 75	「人間の歩行・立位を支援するフ ルードパワーシステム」発行にあ たって	…村松 久巳	6 332
New V6 エンジン用 VTEC・VCM… システムの紹介	…林 泰宇 { 手塚 英至 橋場 一雄	2 78	ヒトの立位姿勢・歩行運動を支え る神経システム	…河島 則天	6 333
フルードパワーとサスペンション 技術	…坂井 静	2 82	歩行計測・評価の新技術	…持丸 正明	6 336
回生協調ブレーキ	…上野健太郎 { 大谷 行雄 佐伯 秀之	2 85	水圧人工筋を用いた歩行訓練補 助装具の開発	…小林 亘 { 伊藤 和寿	6 339
電動油圧式電子制御パワーステア リング用オイルポンプの開発	…倉田 昌和	2 88	空気圧制御による歩行支援装具	…小山 紀	6 342
商用車向けACサーボモータ駆 動ポンプ制御電動油圧パワース テアリング	…佐藤 恭一 { 平野 謙一 田中 裕久	2 91	小型MR流体ブレーキ継手を… 用いた随意制御大腿義足の開発	…引地 雄一 { 中野 政身	6 344
特集「ものづくり教育 (企業編)」			立位保持装置	…村松 久巳	6 347
「ものづくり教育 (企業編)」発行 にあたって	…吉田 和弘	3 142	【ニュース】		
企業における「ものづくり」教育 の重要性	…藤原 清志	3 143	2012年度日中若手研究者交流	…佐藤 恭一	3 167
大きな動く機械を作っている会社 が、若い技術者に託す未来への希 望	…高田 龍二	3 146	次世代油圧電力伝達システムワー クショップ	…坂間 清子	4 252
産学連携出前授業：空気圧シス テム卓上実験	…香川 利春 { 黎 しん	3 150	空気圧講演会「空気圧サーボシス テムはここまで来た」	…香川 利春	5 314
ポリテクセンター関西におけるも のづくり教育	…正木 克典	3 153	中国における国際交流	…香川 利春	6 376
重工業におけるものづくり教育			【FPIC会議報告】		
油圧機械部門における人材育成の 取り組み	…内山 智行	3 156	2012年度日本機械学会年次大会にお けるフルードパワー研究の動向	…田中 豊	1 34
機械・自動車部品メーカーにおける モノづくり教育	…熊谷 利美	3 159	Mechatronics2012におけるフル ードパワー技術研究	…吉田 和弘	2 94
大田区次世代モノづくり人材育成 事業の構想	…小針 保明	3 163	FPMC2012におけるフルードパワー 技術研究動向	…尹 鍾皓	2 96
			日本ロボット学会第30回記念学術講 演会におけるフルードパワー技術研 究	…佐々木大輔	2 98
			ICMT2012におけるフルードパワー 技術関連研究	…嚴 祥仁	2 100
			山梨講演会2012におけるフルードパ ワー技術研究動向	…鈴木 勝正	2 102

計測自動制御学会 Annual Conference OS「FULCOME.J」と流体計測制... 御シンポジウムに観るフルードパ ワー研究動向	藤田 壽憲 加藤 友規	2	104	東京海洋大学 海洋工学部 海洋電 子機械工学科 オートマティクス研...伊藤 雅則	6	368
【会議報告】 2013年度精密工学会春季大会学術講 演会におけるフルードパワー技術研...吉田 和弘		4	231	【随想】 小生, 古希を過ぎて候ふ...伊藤 三郎 私の散歩道...赤井 英夫	5 6	307 371
ICFP2013におけるフルードパワー 技術研究の動向...田中 豊		5	293	【企画行事】 ステルソン教授の特別講演会...田中 豊	1	58
ROBOMEC2013におけるフルード パワー技術研究動向...上野 将平		5	296	平成25年度企画行事紹介...大内 英俊 桜井 康雄	2	124
SEAD25におけるフルードパワー技 術研究動向...竹村研治郎		6	350	平成24年度オートムセミナー開催報 告「フルードパワー技術を活かす油...兵藤 訓一	2	126
ICMDT2013におけるフルードパ ワー技術研究動向...嚴 祥仁		6	353	平成24年秋季フルードパワーシステ ム講演会...加藤 友規	3	189
第13回スカンジナビアフルードパ ワー国際会議(SICFP2013)に見る...大木 孝利		6	355	平成24年度ウインターセミナー開催 報告「アクアドライブシステム(新...大内 英俊	4	250
欧米の研究開発動向				水圧駆動技術)の現状と将来」 平成25年春季講演会併設セミナー開 催報告「自動車技術とフルードパ...和田 重伸	5	311
【教室(連載)】 おもしろ油圧機構 第10回 メカト ロ油圧機器...大橋 彰		1	37	平成25年春季フルードパワーシステ ム講演会報告...内堀 晃彦	6	374
おもしろ油圧機構 第11回 油圧を 扱う量と計測機器...大橋 彰		2	106	【会告】 学会誌「フルードパワーシステム」 フォーマット変更のお知らせ	1	24
おもしろ油圧機構 第12回 代表的 油圧回路...大橋 彰		3	170	平成25年春季講演会併設セミナー 「自動車技術とフルードパワー」	1	57
おもしろ空気圧「イオナイザ」...小辻 一雄		1	40	平成25年秋季フルードパワーシステ ム講演会併設企画「製品・技術紹介 セッション」の講演募集案内	1	60
入門講座「流体力学」第3回: 噴水 はどこまで上がる?...高橋 勉		1	43	平成24年度 ウインターセミナーの お知らせ「アクアドライブシステム (新水圧駆動技術)の現状と将来」	1	62
入門講座「流体力学」第4回:『噴 水はどこまで上がる?』のウソ...高橋 勉		2	109	日本フルードパワーシステム学会・ 日本機械学会共催 平成25年春季フ ルードパワーシステム講演会のお知 らせ	1	64
入門講座「流体力学」第5回: 速く 泳ぐ秘訣はシェイプアップ...高橋 勉		3	174	共催・協賛行事のお知らせ	1	67
入門講座「流体力学」第6回: 相似 な流れとソウジャない流...高橋 勉		4	233	その他	1	61, 63, 65, 66, 68
【トピックス(連載)】 油空圧に関するISO活動の現状...千葉 誠		1	48	平成25年度春季講演会併設セミナー 「自動車技術とフルードパワー」	2	129
ISO/TC131/WG4空気圧機器の信頼 性評価...小根山尚武		2	114	日本フルードパワーシステム学会・ 日本機械学会共催 平成25年度春季 フルードパワーシステム講演会のお 知らせ	2	130
ISO/TC131/SC5/WG空気圧機器の 流量特性試験方法...小根山尚武		3	179	平成25年春季フルードパワーシステ ム講演会オーガナイズドセッション 講演募集のご案内	2	132
シール技術に関するISO企画の動向...小畑 博美		4	238	触れて学べる! 入門者向き実習講座 「油空圧技術」	2	133
日本提案の空気圧ショートストロー クシリング, ISO化で奮闘一前編...東川 智信		5	298	フルードパワー道場8「フルードパ ワーに生かせる電子回路技術(2)開催 のお知らせ	2	134
日本提案の空気圧ショートストロー クシリング, ISO化で奮闘一後編...東川 智信		6	358	学会誌バックナンバーの学会ホーム ページ内の会員ページでの公開のお 知らせ	2	135
特許文献を調べる・特許電子図書館 の活用1...特許の基本...木原 和幸		4	241	その他	2	128, 136, 137, 138
特許文献を調べる・特許電子図書館 の活用2...日本の分類...木原 和幸		6	362	情報センター廃止のお知らせ	3	149
韓国駐在員日記...三宮 俊之		1	51	平成25年春季フルードパワーシステ ム講演会のお知らせ	3	192
アメリカ駐在員日記...田村 和也		2	118	平成25年春季講演会併設セミナー 「自動車技術とフルードパワー」	3	193
中国駐在員日記...笹沼誠一郎		3	184	平成25年度 特別教室講座 油圧シ ステムにおけるモデリングのエッセ ンスをつかむーモデリングの基礎か ら位置決めシステムのモデリングー	3	194
ベトナム駐在員日記...武田 和正		4	244			
駐在員日記...後藤 絢生		5	301			
アメリカ駐在員日記...常村 憲史		6	365			
【研究室紹介】 東京工業大学横田・吉田研究室...横田 眞一 吉田 和弘		1	54			
岡山大学大学院自然科学研究科知能 機械制御学研究室...則次 俊郎		2	121			
明治大学理工学部メカトロニクス...小山 紀 石田 智也		3	187			
岡山理科大学工学部知能機械工学科...堂田周治郎		4	247			
メカトロニクス研究室						
福岡工業大学工学部知能機械工学科...溝田 武人		5	304			
流体工学研究室						

触れて学べる！入門者向き実習講座 「油空圧技術」	3	195	公開技術フォーラム「これがフルー ドパワーの魅力だ！」～油圧・水 圧・空気圧・機能性流体のスペシャ リストを迎えて～	5	322
研究委員会〈委員公募〉のお知らせ	3	197	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	5	323
共催・協賛行事のお知らせ	3	198	共催・協賛行事のお知らせ	5	325
その他	3	191, 196, 199, 200	その他	5	317, 324, 326, 327, 328
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	4	222	研究委員会 (委員公募) のお知らせ	6	352, 378
平成25年度 オータムセミナーのお 知らせ「鉄道車両とフルードパワー 技術」	4	237	平成25年度 ウィンターセミナーの お知らせ「大型機械と油圧技術」	6	378
第32期 通常総会終了	4	255	第三回フルードパワーに関する日中 共同ワークショップ論文募集	6	379
平成25年秋季フルードパワーシス テム講演会のお知らせ	4	256	(一社)日本フルードパワーシステム 学会 平成26・27年度役員 (理事・ 監事) 推薦の受付け	6	380
第9回 JFPS国際シンポジウム開催 のお知らせ	4	257	共催・協賛行事のお知らせ	6	381
共催・協賛行事のお知らせ	4	259	資料一覧	6	382
その他	4	254, 257, 260	フルードパワーシステム第44巻総目 次	6	385
平成25年度受賞候補者募集	5	318	その他	6	370, 377, 388
平成25年度オータムセミナーのお知 らせ「鉄道車両とフルードパワー技 術」	5	319			
平成25年秋季フルードパワーシス テム講演会のお知らせ	5	321			

編集室

次号予告

—特集「フルードパワーを活用した移動ロボット」—

〔挨拶〕 年頭にあたって	香川 利春
年頭にあたって	築地 徹浩, 肥田 一雄, 北畠 多門
〔巻頭言〕「フルードパワーを活用した移動ロボット」発行にあたって	塚越 秀行
〔解説〕 空圧駆動によるヒューマノイド	細田 耕
高速かつ柔軟な油圧式2足歩行ロボット	玄相 昊
パプラアクチュエータの開発と内視鏡誘導への応用	鈴木 康一, 脇元 修一
電界共役流体を用いた小型壁面移動ロボット	竹村 研治郎
袋状構造を利用した柔軟な流体駆動型クローラ機構	木村 仁, 片岡 木太郎, 伊能 教夫
先端成長動作による狭隘地形内の無摺動移動探索ロボット	塚越 秀行
〔会議報告〕 日本機械学会 2013年度年次大会におけるフルードパワー技術研究	脇元 修一
第13回「運動と振動の制御」シンポジウム (MOVIC2013) 報告	村山 栄治
〔トピックス〕 ISO/TC131/SC9/WG1 ISO4413の改正	渋谷 文昭
タイ駐在員日記	栗田 敏行
〔随想〕 若い技術者に送る老いた電気屋フルードパワーファンの妄言	野見山 紘一

平成25年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 吉田和弘 (東京工業大学)	委員 成田 晋 (KYB株)
副委員長 塚越秀行 (東京工業大学)	西海 孝夫 (防衛大学校)
委員 伊藤雅則 (東京海洋大学)	藤田 壽憲 (東京電機大学)
堀 晃彦 (宇部工業高等専門学校)	丸田 和弘 (株コマツ)
小倉 弘 (日立建機株)	村松 久巳 (沼津工業高等専門学校)
加藤 友規 (福岡工業大学)	柳田 秀記 (豊橋技術科学大学)
北村 剛 (油研工業株)	山田 真の介 (株TAIYO)
木原 和幸 (財工業所有権協力センター)	山田 敏夫 (株コガネイ)
金 俊完 (東京工業大学)	吉満 俊拓 (神奈川工科大学)
栗林 直樹 (川崎重工業)	担当理事 宮川 新平 (KYB株)
五嶋 裕之 (機械振興協会)	山田 宏尚 (岐阜大学)
佐藤 恭一 (横浜国立大学)	
妹尾 満 (SMC株)	編集事務局 藤谷 秀次 (学会事務局)
多田 昌弘 (CKD株)	竹内 留美 (勝美印刷株)
中野 政身 (東北大学)	(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(株)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。(社外頒布用の複写は許諾が必要です。)

権利委託先: (中法) 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ませんので、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44巻, 第6号 (2013)

平成25年11月

目 次

研究論文

1. 空気圧管路内定常流シミュレーション (断熱管路モデル)
村山 栄治, 白石 剛士, 川上 幸男, 中野 和夫 111
2. 柔軟関節を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発
(関節構造および理論モデルの改善による性能向上)
原口 大輔, 只野耕太郎, 川嶋 健嗣 118

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.44, No.6

November 2013

Contents

Paper

1. Simulation on Steady Pneumatic Flow in Tube (Adiabatic tube model)
Eiji MURAYAMA, Takeshi SHIRAISHI, Yukio KAWAKAMI, Kazuo NAKANO 111
2. Development of a Pneumatically-Driven Forceps Manipulator Using a Flexible Joint
(Improvement of Joint Mechanism and Theoretical Models)
Daisuke HARAGUCHI, Kotaro TADANO, Kenji KAWASHIMA 118

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

空気圧管路内定常流シミュレーション*

(断熱管路モデル)

村山 栄治**, 白石 剛士**, 川上 幸男***, 中野 和夫****

Simulation on Steady Pneumatic Flow in Tube

(Adiabatic tube model)

Eiji MURAYAMA, Takeshi SHIRAISHI, Yukio KAWAKAMI, Kazuo NAKANO

Fanno flow has been considered as an example of a model for pneumatic internal flows. In this paper we present simple methods for calculating approximate characteristics for the Fanno flow in consideration of the dependency of the friction factor on the Reynolds number. We also proposed a simulation method for obtaining a conductance related to a ratio of total pressures at both ends of tubes. The usefulness of the simulation is shown by comparing the simulated results with the experimental results. It was confirmed that the flow characteristics could be estimated from the physical constants of a fluid, geometrical values of tubes and boundary conditions.

Key words : Pneumatic pipe line, Compressible internal flow, Fanno flow, Simulation

1. 緒 言

管路中の空気定常流れの特性については古くから多くの研究がなされてきた。Frössel¹⁾は真直、断熱、円管内空気定常流の圧力・流量特性を実測し、非圧縮流体に対する管摩擦係数に関するKármán-Nikuradseの式^{4), 17)}が空気流れに対しても成り立つことを示した。Humbleら²⁾あるいはDeisslerら³⁾はニッケル超合金やプラチナの管路を平均壁温297K～1,700Kの範囲で電熱的に加熱し、空気あるいは諸ガスの亜音速域管内定常流について全温度、全圧等を実測し、レイノルズ数、プラントル数、ヌッセルト数等、諸無次元量間の関係を実験的に求めている。管路を加熱しないときの実験結果による摩擦係数とレイノルズ数の関係はKármán-Nikuradseの式によく一致することを示している。このような場合は管壁温度と管内空気バルク温度は近い値となり、管路での熱伝達の影響は二義的と考えられよう。管路外部からの熱伝達が無視出来るほど小さく、管壁を断熱と考えられる場合で、流体による摩擦を考慮した圧縮性流体の定常流れはFanno流れとして知られ、Shapiro⁴⁾、Benedict⁵⁾などで解説されている。

しかし基本式が解析的に解けないことからその諸特性はグラフや数値表によって表現されざるを得ない。

Wartelle⁶⁾はFanno流れの静圧力差・質量流量特性を楕円曲線で近似することを提案している。竹内正顕ら⁷⁾はマッハ数が1に近い状態を除き空気の温度変化を無視した従来の圧縮空気流量チャートで圧力損失を計算する根拠を示している。香川利春ら⁸⁾は管壁温度を一定とした管路と絞り、タンクなどを組み合わせたシステムの熱伝達を考慮した解析モデルを提案し、管内マッハ数が0.3以下の領域での実験結果と比較検討している。周蘭ら⁹⁾は空気圧配管の流量特性の拡張特性表示方法を提案し、実験結果よりパラメータを求めている。

空気圧システムに利用されているナイロン各種樹脂チューブは金属製配管に比べ熱伝導率が低く、室温に近い温度の空気が樹脂チューブに流入する場合、そのチューブ内外の温度差がおおきくないことから管壁を通しての熱伝達を無視できるとすれば、解析が簡単化される。そこで我々は管路を断熱と仮定して摩擦損失だけを考慮した前述のFanno流れが空気圧管路内流れに対する実用的なモデルと見なせるか否かを検討してきた。すなわち文献¹⁰⁾及びその内容に直列接続管路についての実験結果を加えて英文化した文献¹¹⁾で、空気圧管路流れをFanno流れと仮定し、計算ソフトMatlab/Simulink^{12), 19)}によるモデル化を提案し、摩擦係数 f の推定値を適切に選べば、シミュレーション計算結果が実測値と合うことを示した。また文献¹⁶⁾では管路形状、空気物性値、与えられた境界条件から摩擦係数 f を算出するプログラムを組み込んだSimulink modelにより、設定された静圧比に対してコンダクタンスが求められること

*平成24年5月30日 原稿受付

**芝浦工業大学大学院理工学研究科

(所在地：埼玉県さいたま市見沼区深作307)

***芝浦工業大学システム理工学部

(所在地：埼玉県さいたま市見沼区深作307)

(E-mail: kawakami@se.shibaura-it.ac.jp)

****東京工業大学

(所在地：東京都目黒区大岡山2-12-1)

を示した。Gaitier¹³⁾らは空気圧管路の流動特性をISOに準拠した測定法により求めている。ISO^{14), 15)}では空気圧管路の全圧力差とコンダクタンスに基づく定常特性測定法を提案し、静圧比に基づくWartelle⁶⁾の近似計算式を参考に示している。

本研究の目的は空気圧管路の定常流れをFanno流れでモデル化し、その圧力流量特性をシミュレーション計算により求める手法を開発することにある。本研究は我々のこれまでの研究結果をまとめると共に、さらにISO対応の全圧力比ベースのシミュレーション計算法を提案するものである。

2. 主な記号

C : 音速コンダクタンス ($M_2 = 1$)	
C_e : コンダクタンス ($M_2 < 1$)	
c : 音速	c_p : 定圧比熱
D : 内径	f : 摩擦係数
K : 損失係数	L : 管路長
M : マッハ数	p : 静圧力
q_m : 質量流量	R : ガス定数
Re : レイノルズ数	T : 静温度
u : 平均流速	κ : 比熱比
μ : 粘度	ν : 動粘度
ρ : 密度	
添字	
0 : よどみ点状態, 1 : 上流端, 2 : 下流端, a : 近似値	
c : 臨界又はチョーク状態, * : $M = 1$ となる箇所の状態	

3. 解 析

3.1 基礎式

均一内径 D の円形断熱管路内圧縮性流体定常一次元流れで摩擦損失を考慮したFanno流れの基礎式は以下のように与えられる^{4), 18)}。

連続の式

$$\frac{dp}{\rho} + \frac{du}{u} = 0 \quad (1)$$

運動方程式

$$u du = -\frac{dp}{\rho} - \frac{4f}{D} dx \frac{u^2}{2} \quad (2)$$

エネルギー方程式

$$u du + c_p dT = 0 \quad (3)$$

状態方程式

$$p = \rho RT \quad (4)$$

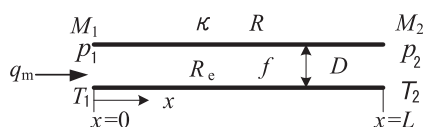


Fig. 1 Parameters and variables of Fanno flow

Fig. 1に各変数、パラメータを示す。

3.2 諸関係式

マッハ数は

$$M = u/c = u/\sqrt{\kappa RT} = u/\sqrt{c_p(\kappa-1)T} \quad (5)$$

エネルギー方程式より

$$T + u^2/(2c_p) = \text{const.} = T_0 \quad (6)$$

全温度 T_0 は流れに沿って一定となる。亜音速領域 $0 < M < 1$ で静温度 T は全温度 T_0 の $1 \sim 2/(\kappa+1)$ 倍の範囲に留まる。

摩擦係数 f とレイノルズ数との関係は非圧縮性流体に対する諸式がそのまま空気定常流でも成り立つことが示されている^{1), 2), 4)}。Kármán-Nikuradseの式は扱いにくいことから、次式のFilonenkoの式¹³⁾あるいは同等の自然対数表示のPetkhofの式¹⁷⁾を用いる。

$$1 \times 10^4 \leq Re \leq 5 \times 10^6$$

$$f = \lambda/4 = 0.25 \times [1.82 \log_{10}(Re) - 1.64]^{-2} \quad (7)$$

ここでレイノルズ数は管路内径 D についての値で、

$$Re = \frac{uD}{\nu} = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{4q_m}{\pi D \mu} \quad (8)$$

空気の粘度はSutherlandの式により次式で与える。

$$\mu = \mu_r \frac{T_r + S}{T + S} \left(\frac{T}{T_r} \right)^{3/2} \quad (9)$$

ここで、 $T_r = 291.2\text{K}$, $\mu_r = 18.27 \times 10^{-6} \text{Pa}\cdot\text{s}$, $S = 120\text{K}$ 。

管入り口の全温度 T_0 が 293K の場合、よどみ点に於ける粘度 μ_0 に対する粘度比 μ/μ_0 は $1 \sim 0.86$ 倍の範囲に留まる。

管路内では質量流量一定であることから、上述粘度変化比率に対するレイノルズ数の変化比率は $1 \sim 1.16$ 倍の範囲内に留まる。この程度のレイノルズ数の変化に対して摩擦係数 f の変化は数%程度以下にとどまる。

以上の試算より、本研究では管路に沿って一定値となる全温度 T_0 を代表温度に選び、それに対する空気粘度によるレイノルズ数を管路全体に対する平均値と考える。従って管路に沿って摩擦係数 f は一定値と見なす。

(2)式の損失項の係数 $(4f/D)dx$ を管路に沿って積分した結果を損失係数 K とする。

$$K = \int_0^L \frac{4f}{D} dx = \frac{4fL}{D} \quad (10)$$

以上の関係式より次の2式を得る^{4), 18)}。

$$f = \frac{D}{4L} \left\{ \frac{1 - (M_1/M_2)^2}{\kappa M_1^2} + \frac{\kappa+1}{2\kappa} \ln \left[\left(\frac{M_1}{M_2} \right)^4 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 \right] \right\} \quad (11)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \sqrt{\frac{2 + (\kappa-1)M_1^2}{2 + (\kappa-1)M_2^2}} = \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \sqrt{\frac{2 + (\kappa-1)M_1^2}{2 \frac{M_1^2}{M_2^2} + (\kappa-1)M_1^2}} \quad (12)$$

上式よりマッハ数比 M_1/M_2 を求めると

$$\frac{M_1}{M_2} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (2 + (\kappa-1)M_1^2)(P_1/P_2)^2(\kappa-1)M_1^2}}{(2 + (\kappa-1)M_1^2)(P_1/P_2)^2} \right]^{0.5} \quad (13)$$

(11)式、(13)式より、与えられた静圧力比 p_2/p_1 に対して摩擦係数 f が入り口マッハ数の関数 f_{p21} として表せる。

$$f = f_{p21}(M_1) \quad (14)$$

一方、管入り口における静圧 p_1 、全温度 T_0 、マッハ数 M_1 により通過質量流量 q_m は次式で表せる。

$$q_m = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{\kappa}{RT_0}} M_1 \sqrt{\frac{2 + (\kappa - 1) M_1^2}{2}} p_1 \quad (15)$$

(7), (8), (9), (15) 式よりレイノルズ数 R_c を仲介にして求まる摩擦係数 f がマッハ数 M_1 の関数 f_{Rc} として表される。

$$f = f_{Rc}(M_1) \quad (16)$$

(14), (16) 式の連立方程式の数値解として入り口端マッハ数 M_1 が求まる。(12) 式より得られる出口マッハ数 M_2 に関する 2 次式を解くと、 M_2 は次式のように求まる。

$$M_2 = \sqrt{\frac{-1 + \sqrt{1 + \frac{(\kappa - 1) M_1^2 (2 + (\kappa - 1) M_1^2)}{(p_2/p_1)^2}}}{\kappa - 1}} \quad (17)$$

3.3 臨界静圧比

与えられた静圧比 p_2/p_1 が 1 のとき、 M_2 は M_1 に等しく、静圧比 p_2/p_1 の減少と共に出口マッハ数 M_2 は増加し遂に臨界値 1 に達し、流れは臨界状態になる。

出口の臨界状態に於ける諸変数は、与えられた全温度 T_0 、出口マッハ数 $M_2 = 1$ 、管路内出口管端に於ける静圧 p_2^* によって下記のようにそれぞれ決まる。

$$T_2^* = \frac{2}{2 + (\kappa - 1) M_2^2} T_0 \Big|_{M_2=1} = \frac{2}{\kappa + 1} T_0 \quad (18a)$$

$$c_2^* = \sqrt{\kappa R T_2^*} = \sqrt{\frac{2\kappa R}{\kappa + 1}} T_0 \quad (18b)$$

$$\rho_2^* = \frac{p_2^*}{R T_2^*} = \frac{(\kappa + 1) p_2^*}{2 R T_0} \quad (18c)$$

$$q_{mc} = \frac{\pi D^2}{4} \rho_2^* c_2^* = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{\kappa(\kappa + 1)}{2 R T_0}} p_2^* \quad (18d)$$

$$R_{cc} = \frac{4 q_{mc}}{\pi D \mu_0} \quad (18e)$$

$$f_c = \lambda/4 = 0.25 \times [1.82 \log_{10}(R_{cc}) - 1.64]^{-2} \quad (18f)$$

(11), (12) 式に $M_2 = 1$ を代入すれば、臨界時の入り口マッハ数 M_{1c} と損失係数 K_c との関係が得られる。

$$K_c = \frac{4 f_c L}{D} = \frac{1 - M_{1c}^2}{\kappa M_{1c}^2} + \frac{\kappa + 1}{2\kappa} \ln \left\{ \frac{(\kappa + 1) M_{1c}^2}{2 + (\kappa - 1) M_{1c}^2} \right\} \quad (19)$$

上式を M_{1c} について解析的に解くことはできない。そこで、本研究では臨界時入り口マッハ数 M_{1c} の近似値 M_{1ca} を次式で損失係数 K_c の関数として表すことを提案する。

$$M_{1ca} = a_1 \times \exp(-a_2 K_c^{a_3}) + a_4 \quad (20)$$

係数 a_i ($i = 1 \cdots 4$) を損失係数 K_c の領域別に Table 1 に示す。

Table 1 Parameters in Eq. (20)

K_c	a_1	a_2	a_3	a_4
$0.1 < K_c \leq 1$	0.95	0.728	0.415	0.05
$1 < K_c \leq 25$	0.9	0.787	0.386	0.1
$25 < K_c \leq 110$	0.4	0.29	0.475	0.052
$110 < K_c \leq 200$	0.405	0.349	0.39	0.0333
$200 < K_c \leq 700$	0.33	0.28	0.38	0.0223

(19), (20) 式を同一グラフ上に表したのが Fig. 2 で、両者の差は殆ど無く、近似値 M_{1ca} の近似度は実用上十分であるといえよう。

以上の結果から臨界静圧比 b_{21} は次式で表される。

$$b_{21} = \frac{p_2^*}{p_{1c}} = M_{1ca} \sqrt{\frac{2 + (\kappa - 1) M_{1ca}^2}{\kappa + 1}} \quad (21)$$

臨界時の管路両端における全圧力の比を b_{021} とすると、同比は (22) 式で表される。

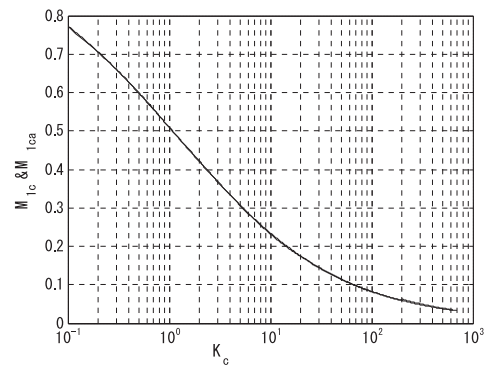


Fig. 2 Comparison of Eq. (19) and Eq. (20)

$$b_{021} = \frac{p_{02}^*}{p_{01c}} = \left[\frac{\kappa + 1}{2 + (\kappa - 1) M_{1ca}^2} \right]^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \frac{p_2^*}{p_{1c}} = M_{1ca} \left[\frac{\kappa + 1}{2 + (\kappa - 1) M_{1ca}^2} \right]^{\frac{\kappa + 1}{2(\kappa - 1)}} \quad (22)$$

4. シミュレーション

4.1 静圧力設定の亜音速領域

計算手順を以下に示す。

- L , D , T_0 を与え、 p_1 , p_2 を臨界静圧比 b_{21} 以上になる範囲で設定する。
- (14) 式の $f_{p21}(M_1)$ を M_1 の関数として表す。
- (16) 式の $f_{Rc}(M_1)$ を M_1 の関数として表す。
- M_1 に対するグラフ $f_{p21}(M_1)$ と $f_{Rc}(M_1)$ の交点を求める。
- 交点 M_1 を (15) 式に適用して質量流量 q_m を算出する。

以上の手順を MATLAB の関数 M ファイル¹⁹⁾: Fanno_model としてまとめた Simulink ブロック図を Fig. 3 に示す。

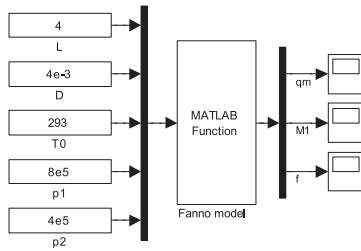


Fig. 3 Simulink block of 'Fanno_model'

4.2 全圧力設定の亜音速領域

全圧力を設定し、それに対する流量、コンダクタンス等との関係を求めるためには、前節の計算手順を拡張、発展させる必要がある。

亜音速領域 $M_2 < 1$ におけるコンダクタンス $C_e^{(14)}$ 及び管路両端の全圧力 p_{01} , p_{02} を求める Tube model を Fig. 4 に示す。

$$C_e = \frac{q_m}{\rho_{sra} p_{01}} \sqrt{\frac{T_0}{T_{sra}}} \quad [(\text{m}^3/\text{s})/\text{Pa}] \text{ ANR} \quad (23)$$

Fig. 5 は Fanno_Subsystem の Simulink ブロックである。図中一般関数ブロックでは、比熱比 $\kappa = 1.4$ 、標準大気の温度を $T_{sra} = 293\text{K}$ 、密度を $\rho_{sra} = 1.185\text{kg/m}^3$ とした。図下半に示した M_1 , p_1 , p_2 より M_2 を求める一連のブロックは (17) 式の演算を表している。管路両端の全圧力 p_{01} , p_{02} を自由に設定するためには、静圧力 p_1 , p_2 の値を操作・変更しなければならない。そこで Fig. 4 に示した Tube model を 1 つのプラントと見立て、管路両端の全圧力 p_{01} , p_{02} が設定値に追従するように管路両端の静圧を操作する Fig. 6 のようなフィードバック系を用いる。

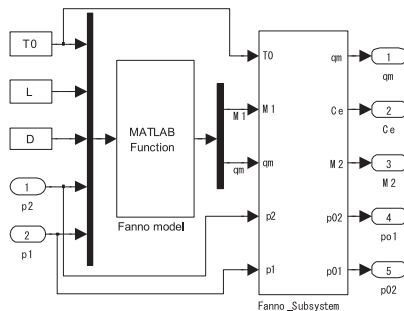


Fig. 4 Tube model

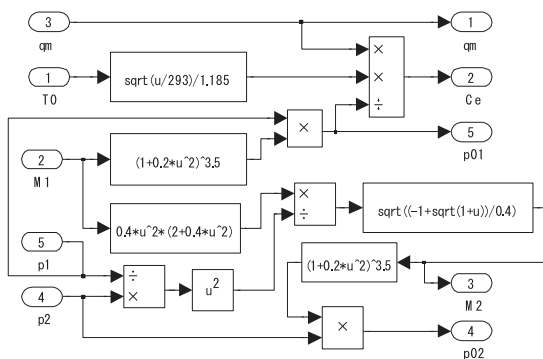


Fig. 5 Fanno_Subsystem

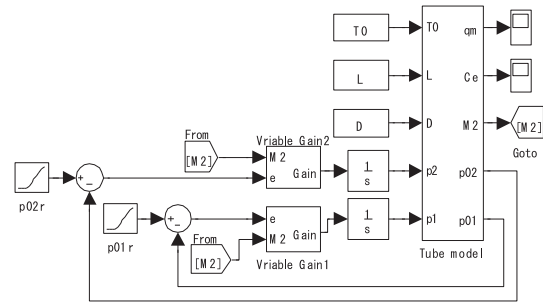


Fig. 6 Feedback system to adjust total pressures at tube ends

ランプ入力ブロック p_{01r} , p_{02r} で入り口端、出口端の全圧力を設定する。定常偏差 e が 0 になるように積分制御を用い、各積分ゲインを出口端マッハ数が $M_2 < 1$ の時各 400 (適当に作動する値) にとり、 $M_2 = 1$ で 0 になるよう Variable Gain ブロックで切り替える。

4.3 臨界時

全圧力比を 1 から減じてゆき、臨界全圧力比 b_{021} に達した時点での質量流量 q_{mc} は、

$$q_{mc} = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{\kappa(\kappa+1)}{2RT_0}} p_2^* = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{\kappa}{RT_0}} \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa+1}{2(\kappa-1)}} p_{02}^* \quad (24)$$

臨界時のコンダクタンス (音速コンダクタンス) は

$$C = \frac{q_{mc}}{\rho_{sra} p_{01c}} \sqrt{\frac{T_0}{T_{sra}}} = \frac{\pi D^2}{4 \rho_{sra}} \sqrt{\frac{\kappa}{RT_{sra}}} \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa+1}{2(\kappa-1)}} b_{021} \quad (25)$$

4.4 全圧比が臨界全圧比以下の場合

ISO に準拠した定常管内空気流測定法⁽¹⁴⁾ では供試管路の入り口、出口に等エントロピー遷移を意図したテーバー状の遷移接続管 (Transition connector) を Fig. 7 のように設け、全回路両端での静圧力を測定し、それらを供試管路両端における全圧力の近似値としている。その近似度は断面②のマッハ数 M_2 が 1 の場合、面積比を 1 : 9 とすると等エントロピー遷移の仮定により 0.997 となりほぼ 1 に等しい。当然のことながら M_2 が 1 以下の場合にはその近似度は更に 1 に近づく。

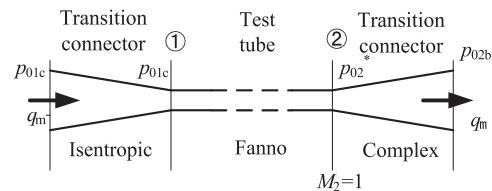


Fig. 7 Test circuit for choking condition

全圧力比が臨界全圧比 b_{021} より小さくなった場合、流れの詳細は不明な点が多く、本研究では以下のように取り扱う。

4.4.1 上流端全圧力一定の場合

断面①の全圧 p_{01} を一定に設定し、下流遷移接続管出口に連結される圧力測定管 (背圧室) の全圧力 p_{02b} を下げてゆくと、断面②の M_2 が 1 に達する。このとき断面②の臨界値 p_{02}^* は全圧力 p_{02b} に等しいとする。さらに全圧力 p_{02b} を下げて

も断面②より上流側の流れは不変で質量流量は一定値を保つ。全圧力 p_{02}^* と p_{02b} は無関係となる。測定結果と比較する時の全圧比としては p_{02b}/p_{01c} を採用する。

4.4.2 下流端全圧力一定の場合

背圧室全圧力 p_{02b} を一定にし、上流端全圧力 p_{01} を上昇させ、全圧力比が臨界値 b_{021} に達した後、更に p_{01c} を上昇させた場合、断面②の全圧力 p_{02}^* は、背圧室全圧力 p_{02b} とは無関係に、断面②より上流側の流れ条件に従って上昇すると仮定する。その時の全圧力比とチョーク時コンダクタンス C_c を求めるSimulinkブロックをFig. 8に示す。

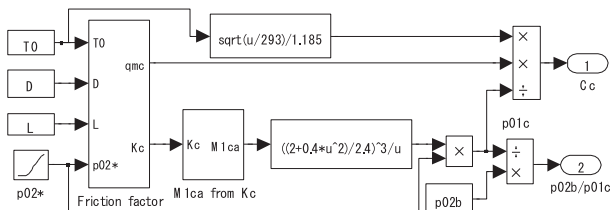


Fig. 8 Simulation block for the choking condition

断面②の全圧力 p_{02}^* を臨界時の値から増加させたとき、(24)式により質量流量 q_{mc} を求め、(18e)式、(18f)式から摩擦係数 f_c を求め、損失係数 $K_c = 4f_c L/D$ を得るブロックが図中のFriction factorである。次のM1ca from Kcのブロックで(20)式の演算を実行する。得られた M_{1ca} と p_{02}^* より(22)式で上流端 p_{01c} を求める。測定結果と比較する時の全圧比としては p_{02b}/p_{01c} を採用する

5. 実験結果との比較・検討

圧力測定についてISO¹⁴⁾では供試管路内径 $D=2.5\text{mm}$ に対する下流側テーパ状の遷移接続管出口内径を6mmに指定している。手持ちの実験設備の関係上テーパ状の接続管路の代替管として内径7.5mm (D の3倍に設定)の直管を用い、継ぎ手を介して内径 $D=2.5\text{mm}$ の供試管路に接続した。測定装置の写真と回路構成をFig. 9に示す。内径7.5mmの圧力測定管路側面に設けた圧力測定孔で静圧を測定し、その値を供試管路両端における全圧の近似値と見なした。それによる全圧推定誤差は供試管路に於ける全圧変化に比べて小さく無視出来るとした。

流量センサーにはSMC社製PF2A521を、圧力センサーにはSMC社製PSE540Aを、上流端タンク内全温度センサーにはCHINO社製極細熱電対1HKF515を使用した。

測定中タンク内全温度 T_{01} 変化は1K～2K程度であった。

Fig. 10は下流側圧力測定管の全圧力 $p_{02b}=0.1\text{MPa}$ 一定として、上流端全圧力 p_{01} を変化させた時のコンダクタンスと全圧力比のシミュレーション結果(曲線)と実験結果(各マーク：各測定時間1.5min～2minの連続測定値からのサンプル値)を供試管路長別に対応させて示したものである。ISOの提案にならない特性表現を、全圧力 p_{02}/p_{01} に対するコン

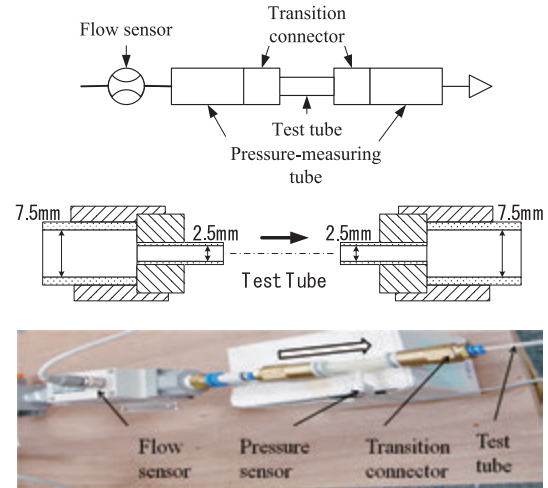


Fig. 9 Test Circuit (Kawakami Lab. at S.I.T.)

ダクタンスで示した。図中右上がりの臨界線は(25)式による臨界時の関係を示す。臨界線の右側の亜音速領域では、 $p_{02}=p_{02b}$ としてシミュレーションをFig. 6によって行った。臨界線の左側領域のシミュレーションはFig. 8によって行い、実測値と対比させるために全圧比 p_{02b}/p_{01} をそのままFig. 10の横軸 p_{02}/p_{01} の値としてプロットした。全圧比 p_{02b}/p_{01} が大きい領域の実験結果がないのは、手持ちの実験装置では測定が困難で出来なかったためである。チョーク領域での計算結果は実測結果に近い値を示していた。一方、 $L=1\text{m}$, 2m , 3m の亜音速領域の実験結果に見られる上に凸状の並びの原因については不明で、今後の検討を要する。

Fig. 11は種々の供試管路長に対して上流端全圧力 p_{01} を一定値に保ち、下流端全圧力 p_{02} を変化させたときのシミュレーションと実験結果(各マーク：各測定時間3min～4minの連続測定値からのサンプル値)を示したものである。臨界線の左側領域では流れがチョーク状態となり、音速コンダクタンスは一定値となる。本実験とは別途にSMC(株)で実施された実験結果に対し我々のシミュレーション結果を比較したのがFig. 12～Fig. 14である。各図の点線は全圧力 $p_{02}=0.1\text{MPa}$ 一定に保ち、全圧力 p_{01} を変化させた場合のシミュレーション結果で、それに対応する実験結果を・印で示してある。実曲線は全圧力 p_{01} を一定値に保って、全圧 p_{02} を可変にした場合のシミュレーション結果で、対応する実験結果を○印、□印で示してある。

Fig. 10～Fig. 14に共通して云えることは、 L/D が大きい場合、計算結果と実験結果の差は実用上無視出来る程度にわずかであるが、 L/D が100のように小さくなると両者の乖離が目立つことである。それには L/D とほぼ比例関係にある損失係数 K が大きく関わっていると考えられる。

Fig. 10～Fig. 14の各シミュレーション結果に対応した管路入り口端、出口端マッハ数 M_1 , M_2 の関係を纏めたのがFig. 15である。

マッハ数 M_2 が0から1まで変化した場合のマッハ数 M_1

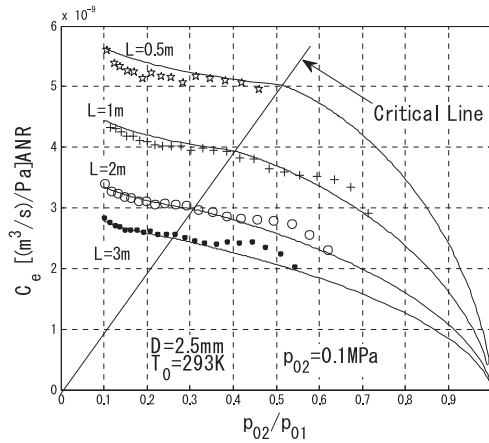


Fig. 10 Variable upstream pressure test (S.I.T.)

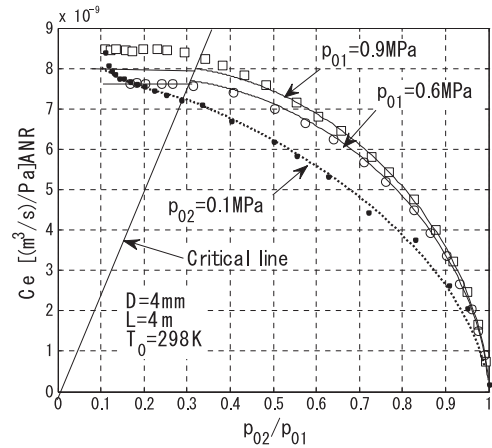


Fig. 13 Simulations (S.I.T.) and experiments (SMC)

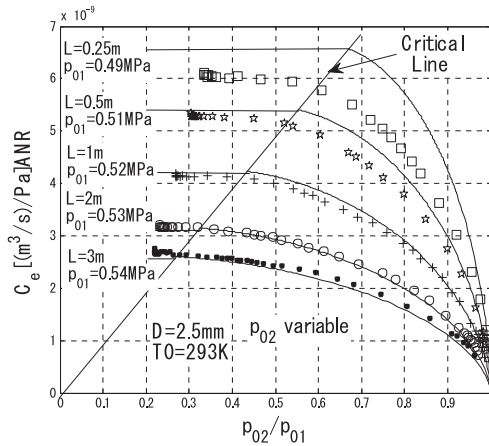


Fig. 11 Constant upstream pressure test (S.I.T.)

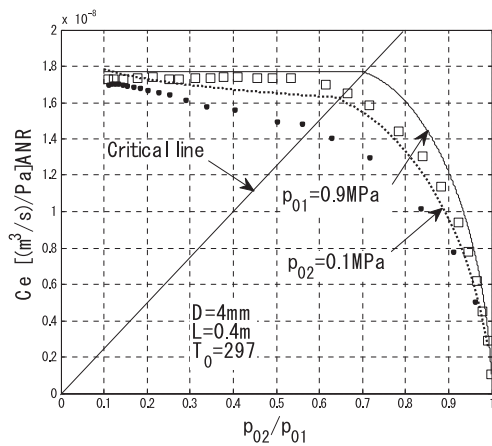


Fig. 14 Simulations (S.I.T.) and experiments (SMC)

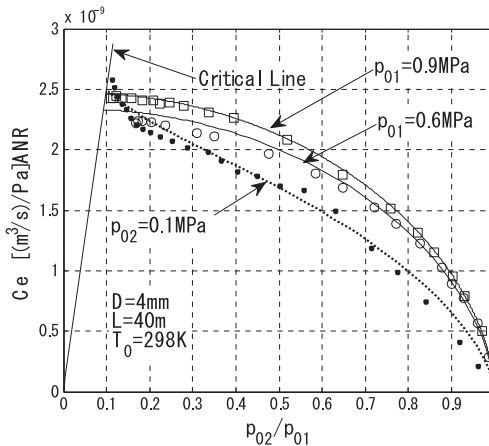


Fig. 12 Simulations (S.I.T.) and experiments (SMC)

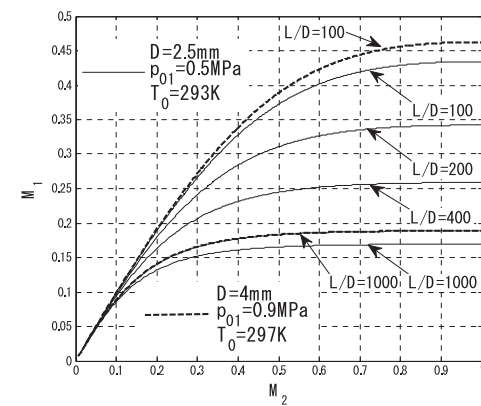


Fig. 15 Effect of L/D on Mach ratio

の変化の様子は、 L/D の値によって大きく分けられている。 L/D が200, 100と小さくなるにつれて入り口マッハ数 M_1 が大きくなる。

Fig. 10 ~ Fig. 14に見られた L/D による影響は $M_2 = 0 \sim 1$ 全域にわたって M_1 の増大に起因する影響が強く表れていると考えられる。管路が短くなり、入り口マッハ数 M_1 が増大した場合の実験管路では管路での摩擦損失に加え、入り口での絞りによる損失等が無視出来なくなり、そのため実験

によって求めたコンダクタンスが計算値より低くなったと考えられる。

6. 結 言

本研究では、流入空気全温度と管壁温度が室温に近い場合の空気圧管路内定常流れを圧縮性、管摩擦を考慮した断熱管内の流れと仮定してFanno流れでモデル化し、シミュレーション計算と実験による比較検討をした結果、同モデ

ルによる流動特性が実験範囲の条件下で実際の流れそれに近いことを確かめた。そして以下のような新しい知見を得た。

- i) 管摩擦によるチョーク時の管路入り口マッハ数 M_1 を摩擦損失係数 K_c の関数として与える近似式を得た。
- ii) 同近似式を利用することにより、チョーク時の管両端における臨界静圧比、臨界全圧比を与えられた諸定数から直接算出できることを示した。
- iii) 亜音速領域のFanno流れで、管路両端の静圧を設定して管路コンダクタンスを求める計算をSimulinkを利用して簡単にできることを示した。
- iv) 特にISO提案による全圧力設定による流動特性測定法に対応するシミュレーション手法を提案し、実験結果と比較検討し、同シミュレーション手法の実用上の有有用性を示した。

以上の諸点とは別に、 L/D が小さくなる場合に計算値と実測値の差が拡大することから、単純なFanno流れのみで流路全体の流動特性を予測するには無理があると言える。又本研究では管路内空気静温度、全温度などに言及せず断熱一次元モデルの取り扱いに留まったが、更に流動特性の詳細を明らかにするためには管壁を通しての熱伝達等を考慮しなければならず、それらについての検討は今後の課題としたい。

最後に当たり、本研究の実施に当たり資料提供その他いろいろご援助を下されたSMC株小根山尚武氏、妹尾満氏に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Frössel, W. : Strömung in glatten, geraden Rohren mit Über- und Unterschallgeschwindigkeit, Forsch. Ing-Wes. 7. Jung p. 75-84 (1936), 同英訳NACA Tech. Memo. No. 844 (1938)
- 2) Humble, L.V., Lowdermilk, W.H. and Desmon, L.C. : Measurements of average heat-transfer and friction coefficients for subsonic flow of air in smooth tubes at high surface and fluid temperatures, NACA Report 1020, p. 343-357 (1951)
- 3) Deissler, R.G. and Eian, C.S. : Analytical and experimental investigation of fully developed turbulent flow of air in a smooth tube with heat transfer with variable fluid properties, NACA Technical note 2629, p. 1-43 (1952)
- 4) Shapiro, A.H. : The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow, Vol. 1, 2, Ronald Press (1954)
- 5) Benedict, R.P. and Steltz, W.P. : A Generalized Approach to One-Dimensional Gas Dynamics, Trans. ASME, J.E. Power, January, p. 49-68 (1962)
- 6) Wartelle, C. : Caractéristiques de débit des appareils à fluides compressibles, Les Mémoires Techniques du CETIM, No. 13, September, p. 1-54 (1972)
- 7) 竹内正顕, 香川利春 : 摩擦と熱移動を考慮した空気圧管内定常流の考察, 油圧と空気圧, 24巻, 7号, p. 815-820 (1992)
- 8) 香川利春, 他 : 圧縮性流体の管路容量系における非定常流れに関する研究, 計測自動制御学会論文集, Vol. 28, No. 6, p. 655-663 (1992)
- 9) 周蘭 他 : 空気圧配管の流量特性に関する研究, 平成15年春季フルードパワーシステム講演論文集, p. 98-100, (2003)
- 10) 川上幸男, 中野和夫 : 摩擦のある管内空気定常流のシミュレーション, 平成19年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文, p. 58-60 (2007)
- 11) Kawakami, Y., Sato, K. and Nakano, K. : Estimation of a critical pressure ratio of a pneumatic pipe-line and its simulation, Proc. 7th JFPS Int. Sym. On Fluid Power, P 1-29, p. 413-416 (2008)
- 12) MATLAB/Simlink : The Msth Works, Incの登録商標
- 13) D. Gaitier, S. Chabane, S. Sesmat and D. Hubert : Long Pneumatic Tubes, Experimental Approach, ISO French Delegation Report 14 June, ISO/TC 131/SC 5/WG 3 N 613, p. 1-11 (2010)
- 14) Advance ISO/FDIS 6358-1, -Part 1 : General rules and test methods for steady-state flow. 6358-2, -Part 2 : Alternative test methods (2010)
- 15) ISO/CD 6358-3.2, Annex D, Pipes expressed by their geometric dimensions, (2011)
- 16) Shiraishi, T. et al. : Approximate simulation of pneumatic steady flow characteristics in tubes with friction, Proc. 8th JFPS Int. Sym. On Fluid Power, 1C3-1, p. 242-247 (2011)
- 17) Kays, W.M., Crawford, M. and Weigand, B. : Convective Heat and Mass Transfer, McGraw-Hill, 4th ed. (2005)
- 18) 松尾一泰 : 圧縮性流体力学, 理工学社, (1994)
- 19) 青山貴伸, 蔵本一峰, 森口肇 : 最新 | 使える! MATLAB®, 講談社サイエンティフィク (2007)

研究論文

柔軟関節を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発* (関節構造および理論モデルの改善による性能向上)

原 口 大 輔**, 只 野 耕太郎***, 川 嶋 健 嗣***

Development of a Pneumatically-Driven Forceps Manipulator Using a Flexible Joint (Improvement of Joint Mechanism and Theoretical Models)

Daisuke HARAGUCHI, Kotaro TADANO, Kenji KAWASHIMA

This paper presents an advanced prototype of a pneumatically-driven forceps manipulator with force sensing capability using a simple flexure joint. Structural design of the integral-machined spring employed for the joint has been improved to prevent harmful buckling of the central backbone. This improvement successfully leads to performance enhancement of the joint position control and the external force estimation. In addition, theoretical models of the joint have also been improved: kinematic model considering backlash of wire-actuation and dynamic model considering non-linearity of frictional and elastic forces. Finally, an external force estimator based on a strict continuum model is designed, and its effectiveness is experimentally verified for one-DOF and combined two-DOF motion.

Key words : Medical Equipment, Pneumatics, Forceps Manipulator, Flexible Joint, Force Estimation

1. 緒 言

近年、低侵襲ロボット手術のための小型・多自由度マニピュレータが盛んに研究・開発されている^{1),2)}。これらの多くは、鉗子などの器具先端に剛体リンクを用いた屈曲関節を採用しているが、一般に構造が複雑で部品点数も多く、整備性の悪化や製造コストの増大といった問題を生じる。このため、関節機構の簡略化が実用上の重要な課題である。

上記に対して、弾性体や連続体を用いた柔軟関節は、シャフト、ベアリング、プーリといった部品が必要なく簡易な構造のため、小型化・多自由度化に本来適した構造である。この特長を活かした柔軟屈曲機構について、特に能動内視鏡を対象とした研究・開発が多くなされている^{3),4)}。しかし先端に外力のかかるマニピュレータに適用するためには、機構の剛性不足を解消する必要がある。Simaanら⁵⁾は、複数の超弾性合金ワイヤとディスクの組み合わせによる柔軟屈曲機構を用いて、細径・多自由度マニピュレータを開発した。しかしこの機構においては構成部品がやや多くなってしまうほか、ねじり剛性が不足する等の問題点がある。

ある。手術用マニピュレータとしての実用性・汎用性を高めるためには、これらの問題点を有しない関節機構が期待されている。

一方、ロボット手術においては、操作者への力覚提示が重要な技術である⁶⁾。このため、力センサを先端に組み込んだマニピュレータが開発されている⁷⁾が、システムのコンパクト化や滅菌・洗浄の観点から望ましくない。そこで筆者らは、空気圧駆動による高いバックドライバビリティを利用し、マニピュレータに力センサを搭載することなく外力を推定する手法を提案している⁸⁾。

以上に述べた背景により、筆者らは前報⁹⁾において、切削加工型の精密スプリングと超弾性合金の背骨構造を用いた柔軟屈曲機構を提案し、先端に屈曲2自由度を持つ鉗子マニピュレータを開発した。空気圧駆動システムによってマニピュレータの制御系を構築するとともに、リンク近似モデルを用いた1自由度の外力推定実験を行い、その有効性を確認した。しかし駆動ワイヤの張力によって関節内の背骨が座屈し、位置制御性が大きく悪化してしまう問題があった。

本報では、第1に鉗子マニピュレータの設計改良を行い、背骨の座屈が起こりにくい関節構造とすることでマニピュレータの総合的な性能向上を図る。第2に、駆動ワイヤの経路誤差を考慮した運動学モデルにより、位置制御の正確性を向上させる。第3に、拮抗駆動の動力学変数として屈曲トルクを導入し、機構の摩擦力・弾性力の非線形性を考慮したより正確な動力学モデルを構築する。第4に、厳密

*平成24年6月5日 原稿受付

**東京工業大学大学院メカノマイクロ工学専攻
(所在地 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)
(E-mail: haraguchi.daa@mtitech.ac.jp)

***東京工業大学精密工学研究所
(所在地 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

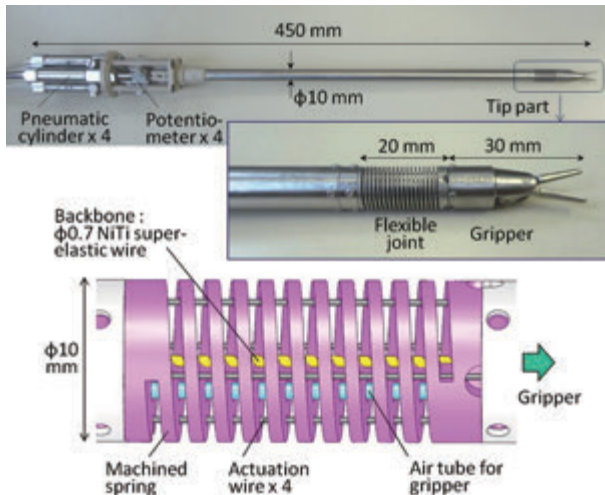


Fig. 1 Overview and joint mechanism of the forceps manipulator

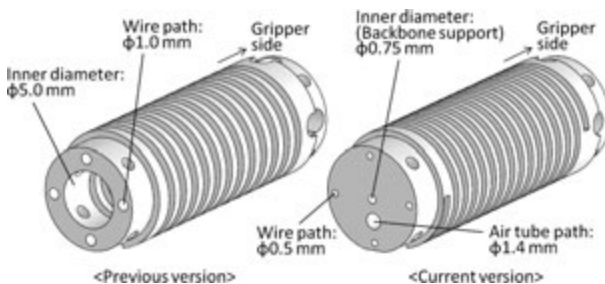


Fig. 2 Shape of the machined springs in previous and current version

な連続体モデルに基づく外力推定器を設計し、柔軟関節の屈曲1自由度および2自由度を用いた運動における外力推定の有効性を実験により検証する。

2. 鉗子マニピュレータの設計

2.1 設計概要および柔軟関節の特長

今回試作を行った鉗子マニピュレータの外観および関節構造の詳細をFig. 1に示す。各部の基本的な構成は前試作機と同様である。駆動部は4本の空気圧シリンダおよび位置計測のためのポテンシオメータで構成され、先端部の柔軟関節をワイヤを介して駆動する。柔軟関節は、切削スプリング部材に4本の駆動ワイヤを通し、中心に超弾性合金ワイヤの背骨を補強した構造である。本機構にて2自由度の拮抗駆動を行い、関節を任意の方向に屈曲させることができる。また把持部は空気圧開閉式⁸⁾となっており、空気供給のためのチューブ（外径φ1mm）を関節内部に通している。

2.2 関節構造の改善

前試作機からの改良点は、関節の主構造となる切削スプリングの形状であり、その違いをFig. 2に示す。前試作機においてはスプリングの内径がφ5.0mmと大きく、内部を通る超弾性合金の背骨が屈曲時に座屈変形を起こし、位置制御

Table 1 Properties of the machined springs in previous and current version

	Previous	Current
Material	SUS303	
Outer diameter	10mm	
Spring length	22mm	20mm
Bending range	±60deg	±90deg
Bending stiffness	$3.8 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$	$2.9 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$



Fig. 3 The flexible joint bent by 90 deg.

性や外力推定精度を悪化させる要因となった。

そこで今試作機では、スプリングの内径をφ0.75mmまで狭め、中心を通る背骨を周囲から密に支持できる形状とした。これにより、駆動ワイヤの張力がもたらす圧縮応力を関節全体に分散させ、スプリングと背骨が一体となった滑らかな屈曲動作を実現できる。また駆動ワイヤのガイド穴径をφ0.5mmに縮小することで、屈曲時に発生するワイヤ経路長誤差の低減を図っている。

その他の主な特性の違いについてTable 1に示す。今試作機では、スプリングの長さ（自然長）を2mm短縮して屈曲半径を小さくするとともに、螺旋部の切削幅とピッチを調整することで屈曲可動域を±90°まで拡大している。Fig. 3のように、関節は90°まで滑らかに屈曲することができる。

3. 柔軟関節の拮抗駆動則

空気圧駆動システムの構成は、前報と同様である。本節では、柔軟関節の拮抗駆動の動力学として2自由度トルク変数を導入し、4自由度のシリンダ駆動系との関係を記述する。

Fig. 4は1自由度の拮抗駆動系の模式図である。本システムでは、サーボ弁の各出力ポートで計測した圧力 P およびシリンダの受圧面積 A を用いて、シリンダの駆動力 $F = [F_1, F_2, F_3, F_4]^T$ を次式により算出する。

$$F_i = A_i P_{i\ell} - A_{iu} P_{iu} \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

F_i の符号は、Fig. 4において下向き（ワイヤを引っ張る向き）を負にとっている。ここで求めたシリンダ駆動力から、柔軟関節を屈曲させるトルク $\tau = [\tau_1, \tau_2]^T$ を考え、次式で得られるものとする。

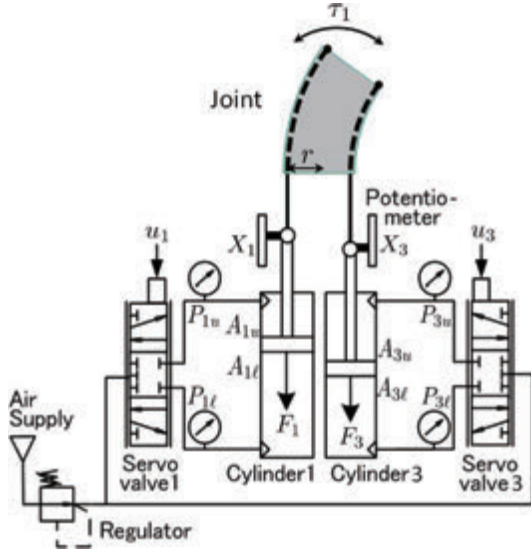


Fig. 4 Schematic of one-DOF tendon drive system

$$\begin{aligned}\tau_1 &= -r(F_1 - F_3) \\ \tau_2 &= -r(F_2 - F_4)\end{aligned}\quad (2)$$

r は、駆動ワイヤの配置円半径 (Fig. 5参照) を表わす。上式をヤコビ行列を用いた形で書きなおすと、

$$\tau = J_a^T F, \quad J_a = -r \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

となる。本報においては、この2自由度トルク τ をもって拮抗駆動の動力学を表わすこととする。

次に拮抗駆動の制御則について述べる。関節の位置制御系 (5.1参照) においてトルク目標値 τ_{ref} が計算されると、これを次式のように分配を行い各シリンダの駆動力目標値を決定する。

$$\begin{aligned}F_{jref} &= -T_0 - \frac{|\tau_{ref}| + \tau_{jref}}{2r} \\ F_{j+2ref} &= -T_0 - \frac{|\tau_{ref}| - \tau_{jref}}{2r}\end{aligned}\quad (j=1, 2) \quad (4)$$

式中の添え字 ref は制御目標値であることを示す。上式によれば、各シリンダの駆動力目標値は常に $-T_0$ 以下となる。したがって T_0 の値をワイヤの最低張力として任意に設定することができ、拮抗駆動におけるワイヤの弛みを陽に排除することができる。これにより位置制御の剛性を高めると同時に、外力推定に不可欠な機構のバックドライバビリティを高く維持することができる。なお本報では、全ての実験において $T_0 = 2.0\text{N}$ と設定している。

4. 柔軟関節のモデル化

4.1 運動学モデル

柔軟関節の運動学の記述には、連続体モデル⁵⁾を用いる。Fig. 5に示すように、関節の根元部中心にマニピュレータの

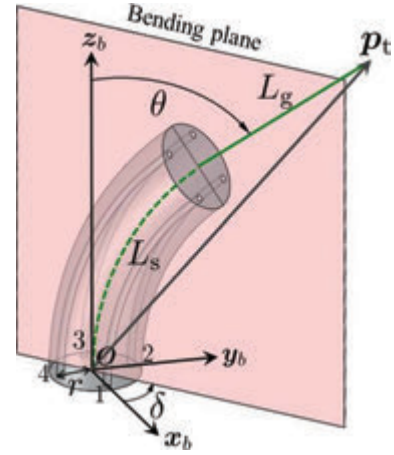


Fig. 5 Nomenclature and coordinates of a continuum model

座標系 $O-x_b y_b z_b$ をとる。その上で、関節の屈曲方向を表わす角度 δ およびその方向への屈曲角度 θ を図のように定義し、これを関節位置の一般化座標 $q = [\delta, \theta]^T$ とする。また本モデルにおいては、関節は常に理想的な円弧に屈曲するものとする。図中の記号 r は駆動ワイヤの配置円半径、 L_s は柔軟関節の中心長さ、 L_g は把持部の長さ、 p_t は鉗子先端の位置を表わしており、本試作機においては $r = 3.6\text{mm}$ 、 $L_s = 20\text{mm}$ 、 $L_g = 30\text{mm}$ となっている。図中の数字1～4は駆動ワイヤの経路番号であり、シリンダ変位 X および駆動力 F の要素番号に対応するものである。

これより、関節位置とアクチュエータ (シリンダ) 変位の関係を求める。まず関節を通る各駆動ワイヤの経路長を L_i とすると、次のように表わせる。

$$L_i = L_s + \ell_i \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (5)$$

ℓ_i は屈曲に寄与する経路長の変化分で、関節位置との関係は

$$\ell = \begin{bmatrix} \ell_1 \\ \ell_2 \\ \ell_3 \\ \ell_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r\theta \cos \delta \\ -r\theta \sin \delta \\ r\theta \cos \delta \\ r\theta \sin \delta \end{bmatrix} \quad (0 \leq \delta < 2\pi, \theta \leq 0) \quad (6)$$

となる。この経路長変化 ℓ は、空気圧シリンダの変位 X によって生じるものであり、本報では次のような関係を考える。

$$X = b\ell \quad (b \geq 1) \quad (7)$$

b は、駆動ワイヤとガイド穴のクリアランスおよびワイヤ自身の伸びに起因する経路誤差 (バックラッシュ) を補正する係数であり、その有効性については次項に示す。式 (6)および(7)より、シリンダ変位と関節位置の関係は

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -br\theta \cos \delta \\ -br\theta \sin \delta \\ br\theta \cos \delta \\ br\theta \sin \delta \end{bmatrix} \quad (8)$$

となる。ここで、関節位置を拮抗駆動系の各自由度に対応させて記述するため、角度パラメータ $\phi = [\phi_1, \phi_2]^T$ を q の

関数として以下のように定義する.

$$\phi(q) = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta \cos \delta \\ \theta \sin \delta \end{bmatrix} \quad (9)$$

これを式(8)に代入し ϕ について解くと、拮抗駆動の対称性よりシリンダ変位 X との関係が得られる.

$$\phi(X) = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{bmatrix} = -\frac{1}{2br} \begin{bmatrix} X_1 - X_3 \\ X_2 - X_4 \end{bmatrix} \quad (10)$$

また式(9)を q について解けば,

$$q(\phi) = \begin{bmatrix} \delta \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tan^{-1}(\phi_2/\phi_1) \\ \sqrt{\phi_1^2 + \phi_2^2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

となり、一般化座標における関節位置が求まる. ただし関節が直線状態 ($\phi_1 = \phi_2 = 0$) のときは、形式的に $\delta = \delta_{\text{ref}}$ (制御目標値) とすることにより値を一意に決定する.

次に鉗子先端の位置 $p_t = [p_x, p_y, p_z]^T$ について、先行研究⁵⁾に基づき導出すると次式となる.

$$p_t = \begin{bmatrix} C_\delta \left(\frac{L_s}{\theta} (1 - C_\theta) + L_g S_\theta \right) \\ S_\delta \left(\frac{L_s}{\theta} (1 - C_\theta) + L_g S_\theta \right) \\ \frac{L_s}{\theta} S_\delta + L_g C_\theta \end{bmatrix} \quad (12)$$

ただし $C_\delta = \cos \delta$, $S_\delta = \sin \delta$, $C_\theta = \cos \theta$, $S_\theta = \sin \theta$ である. 上式は6.1項で述べる外力推定器の設計において、ヤコビ行列の導出のために用いる.

4.2 バックラッシュ補正係数の有効性

式(7)で導入した、駆動ワイヤのバックラッシュ補正係数 b の有効性を検証するため、屈曲角度の計測実験を行った. 実験は、5.1項に示す制御系を用いて屈曲角度 ϕ_2 を制御し、各測定点において分度器で実際の角度を計測した. Fig. 6は、本実験で得られたバックラッシュ補正前 ($b=1$) および補正後 ($b=1.2$) における屈曲角度の計測結果である. これによるとワイヤのバックラッシュを含む駆動系であっても、屈曲角度はおおよそ線形に変化しており、ヒステリシスはほとんど見られない. 補正後の計測角度は制御系の計算値と良く一致しており、この補正により外力推定の正確性向上や、マスタースレーブ操作時の直観性向上が期待できる. ただしワイヤの張力や材質、太さ、ガイド穴径などの違いによりバックラッシュの特性も変化するため、補正係数 b の適用可能範囲および最適な決定方法については今後さらに検証が必要である.

4.3 動力学モデル

本報では柔軟関節の動力学を、拮抗駆動系の機械的インピーダンス $Z = [Z_1, Z_2]^T$ として次式でモデル化を行う.

$$\begin{aligned} Z_i &= \tau_i \\ &= C_i \dot{\phi}_i + D_i \text{sgn}(\dot{\phi}_i) e^{\mu \theta} + (1 - \alpha \theta^n) K_i \phi_i \end{aligned} \quad (13)$$

($i = 1, 2$)

式中の各項について以下に述べる. 第1項は粘性摩擦力で、これは空気圧シリンダの粘性に起因するものである.

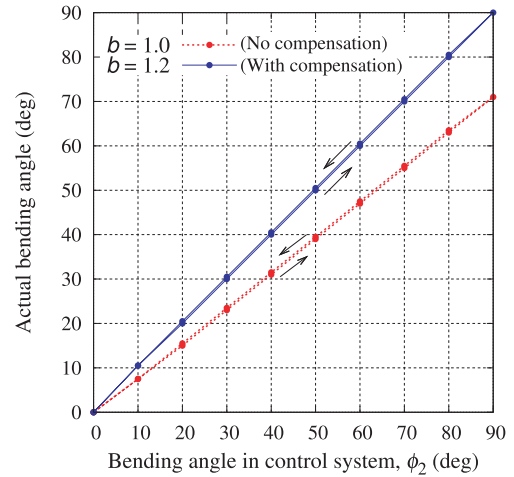


Fig. 6 Bending angle with/without backlash compensation of wire actuation

次に第2項は、機構のクーロン摩擦力である. シリンダロッドの摺動摩擦は0.1~0.3N程度と小さく、ここで支配的なものは柔軟関節と駆動ワイヤとの摺動摩擦である. さらに関節の屈曲角度が大きくなるにつれて、関節とワイヤの間に作用する抗力が大きくなり、機構の摩擦力が増大すると考えられる. このことは先行研究¹⁰⁾における駆動力の測定結果からも確認できる. そこで本報では、この特性に対してオイラーの摩擦伝導理論を適用し、クーロン摩擦係数に $e^{\mu \theta}$ を掛けることで屈曲角度 θ の関数とした. 次に第3項は、柔軟関節の弾性力である. Fig. 7は、関節の静力学計測実験の結果を示している. グラフの縦軸 τ_i は式(2)により求めたものである. 静止摩擦力の影響を最小限に抑えるため、各点での計測は全て 0° の位置から駆動して行った. 結果を見ると、屈曲角度が大きくなるにつれて駆動トルクの勾配が徐々に小さくなっていくことが分かる. この結果を踏まえ、弾性力の非線形性を屈曲角度 θ の関数としてモデル化している.

式(13)における各パラメータは実験により試行錯誤的に同定を行い、本鉗子マニピュレータにおいてはTable 2に示す値を用いている.

5. 柔軟関節の位置制御

5.1 位置制御系の概要

Fig. 8は、柔軟関節の位置制御系ブロック線図である. 位置制御を行うメインループの内側に、空気圧駆動力の制御ループを組み込んだカスケード制御系となっている. 位置制御則は、拮抗駆動系の関節角度 ϕ のPD制御および関節の動力学モデルに基づくフォードフォワード補償 Z_{ff} から成る. 位置制御系で計算された拮抗駆動のトルク目標値 τ_{ref} は、式(4)に従って各シリンダの駆動力目標値 F_{ref} に変換され、駆動力制御ループに渡される. 駆動力制御系の構成は前報と同様であり、PI制御により各シリンダ駆動力を制御する⁹⁾. 図中の各パラメータの計算方法については、前節ま

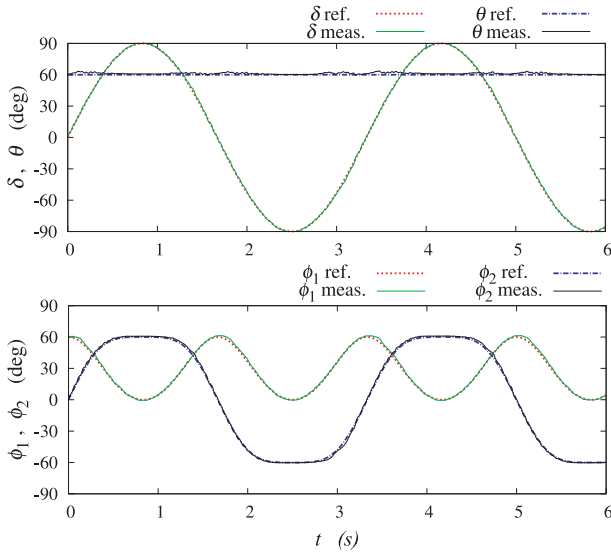


Fig. 10 Experimental result of joint position control during the rolling motion: joint position (upper) and bending angles in tendon drive system (lower)

幅90°, 周期0.3Hzで変化させるものである。このような運動は、関節が屈曲した状態で鉗子先端を回転させる時に必要となるため、本報では特に回転動作と呼ぶことにする。制御結果をFig. 10に示す。この動作においても、背骨構造の座屈に起因する制御応答の悪化は見られず、関節角度の良好な目標追従性が確認できる。

6. 外力の推定

6.1 外力推定器の設計

ここでは、マニピュレータの外力推定法について述べる。前報においては、柔軟関節をリンク機構に近似した簡易な運動学モデルを用いたが、今回はより厳密な連続体モデルを用いることで、外力推定の正確性向上を図る。

まず関節の運動方程式を、拮抗駆動系で以下のように記述する。

$$\tau + \tau_{\text{ext}} = Z \quad (16)$$

式中の τ_{ext} は、柔軟関節にかかるトルクの外力成分を表す。 τ を式(3)により求め、 Z を式(13)により $\hat{Z}$ として計算すれば、外力トルクの推定値 $\hat{\tau}_{\text{ext}}$ が次式で得られる。

$$\hat{\tau}_{\text{ext}} = \hat{Z} - J_a^T F \quad (17)$$

$\hat{\tau}_{\text{ext}}$ は拮抗駆動系における外力トルクであるから、鉗子端での推定外力 $\hat{f}_{\text{ext}} = [f_x, f_y, f_z]^T$ を求めるため次式のように変換を行う。

$$\hat{f}_{\text{ext}} = (J^T)^+ (J_q^T \hat{\tau}_{\text{ext}}) \quad (18)$$

ここで $(J^T)^+$ は J^T の一般化逆行列を意味する。式中の J_q は、関節の一般化速度 $\dot{q}$ から拮抗駆動系の屈曲角速度 $\dot{\phi}$ へのヤコビ行列であり、また J は、 $\dot{q}$ から先端速度 $\dot{p}_t$ へのヤコビ行列である。これらは式(9)および(12)を時間微分することで得られる。すなわち、

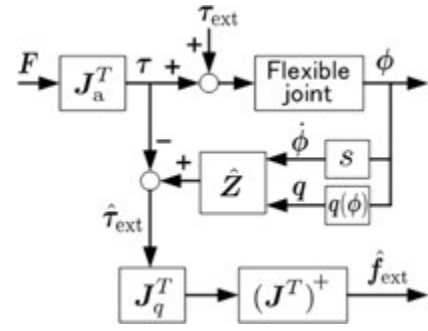


Fig. 11 Block diagram of external force estimator

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= J_q \dot{q}, \\ J_q &= \begin{bmatrix} -\theta \sin \delta & \cos \delta \\ \theta \cos \delta & \sin \delta \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (19)$$

および

$$\begin{aligned} \dot{p} &= J \dot{q}, \\ J_{11} &= -S_\delta \left(\frac{L_s}{\theta} (1 - C_\theta) + L_g S_\theta \right) \\ J_{12} &= C_\delta \left(-\frac{L_s}{\theta^2} (1 - C_\theta) + \frac{L_s}{\theta} S_\theta + L_g C_\theta \right) \\ J_{21} &= C_\delta \left(\frac{L_s}{\theta} (1 - C_\theta) + L_g S_\theta \right) \\ J_{22} &= S_\delta \left(-\frac{L_s}{\theta^2} (1 - C_\theta) + \frac{L_s}{\theta} S_\theta + L_g C_\theta \right) \\ J_{31} &= 0 \\ J_{32} &= -\frac{L_s}{\theta^2} S_\theta + \frac{L_s}{\theta} C_\theta - L_g S_\theta \end{aligned} \quad (20)$$

となる。以上により構築した外力推定器のブロック線図をFig. 11に示す。

次に、式(20)において $\theta = 0$ のときを考える。このときロピタルの定理により J の極限值を求めると次のようになる。

$$J = \begin{bmatrix} 0 & \cos \delta (L_s/2 + L_g) \\ 0 & \sin \delta (L_s/2 + L_g) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

上式は特異行列であり、式(18)において擬似逆行列の数値計算精度が極端に悪化してしまう。そこで特異点である $\theta = 0$ の近傍（本報では0.05°以下と設定）においては、リンク近似モデルを用いる方法⁹⁾に切り替えて計算を行う。連続体モデルによる方法との切り替わり点において、外力推定値が不連続とならないことを実験により確認している。

6.2 外力推定実験

a 自由運動時の推定値

Fig. 12は、式(14)および(15)に示す屈曲動作および回転動作を行ったときの推定外力を表す。自由運動のため所望の推定値は0Nである。したがって屈曲動作においては約0.15N、回転動作においては約0.25N程度の推定誤差が生じることが分かる。

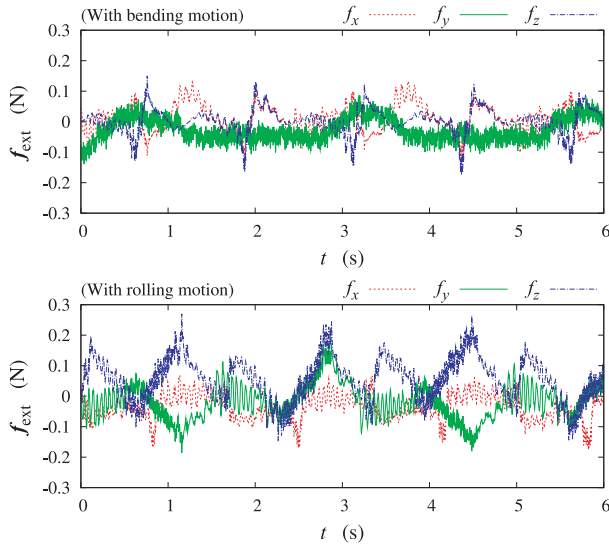


Fig. 12 External forces estimated during the free motions in Section 5.2: the bending motion (upper) and the rolling motion (lower)

b 力センサを用いた推定値の評価

次に鉗子マニピュレータと歪みゲージ式力センサ（ビー・エル・オートテック社製，NANO センサ）をFig. 13のように配置し，把持部と力センサ受感部をワイヤで連結した．この実験装置を用いて外力推定値の評価を行う．使用する力センサの分解能は0.032N (f_x , f_z) および0.098N (f_y) である．

まず1自由度の外力推定を行うため，次式に示す位置目標を与えて実験を行った．

$$\begin{aligned} \delta_{\text{ref}} &= 90 \quad [\text{deg}] \\ \theta_{\text{ref}} &= 25 \sin 0.8\pi t + 25 \quad [\text{deg}] \end{aligned} \quad (22)$$

これはFig. 13において矢印①で示す屈曲動作のための位置入力であり，図中 f_y 方向の力について評価を行うものである．この位置入力において鉗子先端は，力センサとの拘束のためほとんど動かない．実験結果をFig. 14に示す．本試作機では駆動ワイヤの強い張力に対しても関節構造が座屈しないため，3Nを超える力を安定して出力可能であることが分かる．図中 $t=3.2\text{s}$ および $t=5.7\text{s}$ において推定値と計測値との間に最大0.35Nの差が生じているが，これは駆動ワイヤの伸び，および鉗子固定部のわずかな緩みに起因する誤差と考える．

次に関節2自由度を用いた外力推定の検証として，次式に示す位置目標を与えた．

$$\begin{aligned} \delta_{\text{ref}} &= 90 \sin 0.6\pi t \quad [\text{deg}] \\ \theta_{\text{ref}} &= 40 \quad [\text{deg}] \end{aligned} \quad (23)$$

これはFig. 13において矢印②で示す回転動作のための位置入力であり，鉗子先端は力センサとの連結ワイヤの拘束を受けながら動くことができる．実験結果をFig. 15に示す．本実験においては前述した誤差要因に加えて，鉗子に対するねじりモーメントや鉗子と力センサの配置角度のずれな

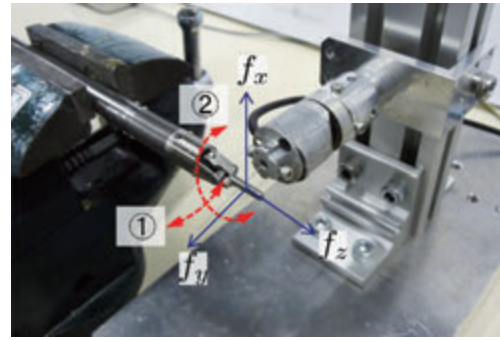


Fig. 13 Experimental setup for force measurement

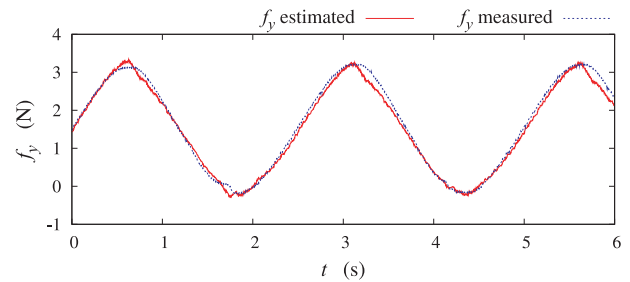


Fig. 14 Experimental result of the one-DOF force estimation

ど様々な誤差要因を含んでいるものの，推定値と計測値の傾向は良く一致しており，設計した外力推定器の有効性が確認できる．

7. 結 言

本研究では小型化に適した簡易な構造の柔軟屈曲関節を用いて，空気圧駆動による鉗子マニピュレータを開発した．本報における成果を以下にまとめる．

- 1) 関節の主構造である切削スプリングの形状を改善することにより，超弾性合金の背骨が駆動ワイヤの張力によって座屈する致命的な問題点を解消した．その結果，ワイヤ張力を20N以上に維持しつつ良好な位置制御性を実現した．
- 2) 運動学モデルにバックラッシュ補正係数を導入し，制御系における関節位置の正確性を向上させた．また関節構造の改善に伴い，摩擦力および弾性力の非線形性を考慮した動力学モデルを構築した．
- 3) 連続体モデルを用いて外力推定器を設計し，柔軟関節の1自由度屈曲動作および2自由度回転動作における外力推定の有効性を実験により明らかにした．

今後は，本試作機を4自由度保持マニピュレータ⁸⁾に搭載してマスタースレーブ操作実験を行い，具体的な手術手技について操作性の検証を行う．また開発した柔軟関節を用いて，鉗子マニピュレータのさらなる細径化に取り組む．

謝 辞

本研究に際し，東京工業大学・香川利春教授に多くのご

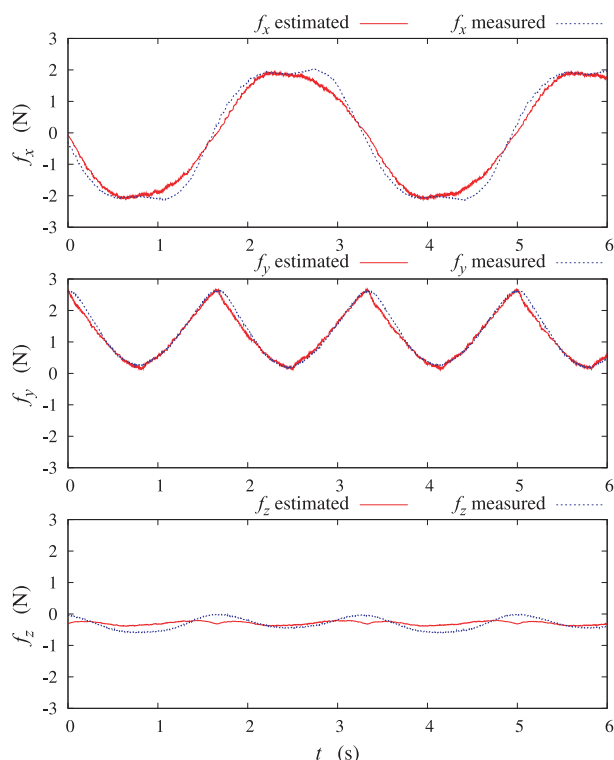


Fig. 15 Experimental result of the two-DOF force estimation

助言をいただいた。ここに記し感謝の意を表する。また本研究は、科学研究補助金基盤研究B（課題番号：21360114）およびJST CREST（研究課題名：「知覚中心ヒューマンインターフェースの開発」）の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- 1) Thielmann, S., Seibold, U., Haslinger, R., Passig, G., Bahls, T., Jörg, S., Nickl, M., Nothhelfer, A., Hagn, U., Hirzinger, G. : MICA-A new generation of versatile instruments in robotic surgery, Intelligent Robots and Systems (IROS) , 2010 IEEE/RSJ International Conference on, p. 871-878 (2010)
- 2) Bok, H.M., Ho, J.Y. : Prototype Design of Robotic Surgical Instrument for Minimally Invasive Robot Surgery, Computer Aided Surgery, Vol. 3 of Proceedings in Information and Communications Technology, p. 20-28 (2012)
- 3) Arata, J., Saito, Y., Fujimoto, H. : Outer shell type 2 DOF bending manipulator using spring-link mechanism for medical applications, Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on, p. 1041-1046 (2010)
- 4) Yoon, H.S., Oh, S.M., Jeong, J.H., Lee, S.H., Tae, K., Koh, K.C., Yi, B.J. : Active bending endoscope robot system for navigation through sinus area, Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011 IEEE/RSJ International Conference on, p. 967-972 (2011)
- 5) Xu, K., Goldman, R., Ding, J., Allen, P., Fowler, D., Simaan, N. : System design of an Insertable Robotic Effector Platform for Single Port Access (SPA) Surgery, Intelligent Robots and Systems, 2009. IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on, p. 5546-5552 (2009)
- 6) Tholey, G., Desai, J.P., Castellanos, A.E. : Force Feedback Plays a Significant Role in Minimally Invasive Surgery : Results and Analysis, Annals of Surgery, Vol. 241, No. 1, p. 102-109 (2005)
- 7) Song, H., Kim, K., Lee, J. : Development of the dexterous manipulator and the force sensor for Minimally Invasive Surgery, Autonomous Robots and Agents, 2009. ICARA 2009. 4th International Conference on, p. 524-528 (2009)
- 8) Tadano, K., Kawashima, K., Kojima, K., Tanaka, N. : Development of a Pneumatic Surgical Manipulator IBIS IV, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 22, No. 2, p. 179-188 (2010)
- 9) 原口大輔, 只野耕太郎, 川嶋健嗣 : 柔軟関節を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発 (先端屈曲機構の簡略化と外力推定), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 43, No. 3, p. 62-69 (2012)
- 10) Peirs, J., Reynaerts, D., Van Brussel, H., De Gersem, G., Tang, H.W. : Design of an advanced tool guiding system for robotic surgery, Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA '03. IEEE International Conference on, Vol. 2, p. 2651-2656 (2003)

日本フルードパワーシステム学会論文集 総目次 (第44巻)

【研究論文】

号 通し頁

可動翼型吸込み・送風エアポン プにおけるブレード摺動トルク… 特性	{ 植木 忠博 稲葉 一雄	1	1	パッシブ形電子油圧模擬負荷装 置を用いたACサーボモータ駆 動バルブレス油圧パワーステア リングの性能試験	{ 佐藤 恭一 平野 謙一 田中 裕久	4	75
カルマンフィルタを用いた管内… 非定常流量・圧力の推定	{ 小澤 明 眞田 一志	1	8	大型バイラテラルマニピュレー タの研究 (第2報 プロトタイ… プモデルの試作と作業性評価)	{ 古瀬 裕 武田 周 横田 眞一	4	81
鉄道車両用真空式トイレにおけ る真空特性と消費エネルギーに… 関する研究	{ 藤野 謙司 山本 円朗 谷口 宏次 山本 寛 伊藤 正彦 黎 しん 尹 鍾皓 香川 利春	1	16	流量フィードバックを備えた空 気圧減圧弁	{ テチャカシム チレマツト 尹 鍾皓 香川 利春	4	87
油圧L字配管チェックボール挙動… の実験的解析	{ 梶原 伸治 田中 達也	1	23	N圧ハイブリッド油圧源とそれ を用いた高応答高効率油圧サー ボシステムに関する研究 (第2報… システムの応答に関する実験と 消費電力)	{ 芦 金石 留 滄海 齊藤 理人 大坂 一人 大場 孝一 北川 能	5	95
アキュムレータを用いたアイド リングストップ方式による油圧… 源の省エネルギー (第2報 負 荷流量一定時の省エネルギー)	{ 杉村 健 大田 真平 鈴木 勝正 野中謙一郎	2	29	正規化終端インピーダンスの複素 パラメータと油圧管路内圧力脈動 の定在波の関連性 (数値計算による共振モードの遷移 の解析)	{ 一柳 隆義 栗林 哲也 西海 孝夫	5	102
保存系支配方程式の高解像度ス キームによる非定常層流圧力損… 失の高速高精度計算法	{ 中尾 光博 川嶋 健嗣 香川 利春	2	35	空気圧管路内定常流シミュレー ション (断熱管路モデル)	{ 村山 栄治 白石 剛士 川上 幸男 中野 和夫	6	111
気泡除去装置の設計と評価に関 する研究 (第1報 放気口径の選… 定)	{ 坂間 清子 鈴木 隆司 田中 豊	2	43	柔軟関節を用いた空気圧駆動鉗子 マニピュレータの開発 (関節構造および理論モデルの改善 による性能向上)	{ 原口 大輔 只野耕太郎 川嶋 健嗣	6	118
AEセンサを用いた液体流量計測… 法 (定常流量の計測)	{ 中田 毅 鄭 以勤 桜井 康雄	3	49				
大型バイラテラルマニピュレータ の研究 (第1報 コンセプトの立… 案と単軸モデル実験)	{ 吉瀬 裕 武田 周 横田 眞一	3	55				
A Close-up View of a Load Sensing "Hybrid" Proportional Directional… Control Valve	{ Gabriele ALTARE Damiano PADOVANI Nicola NERVEGNA	3	64				

〒105
|
0011 東京都港区芝公園三丁目五―三二 電話(〇三)三四三三―八四四一 FAX(〇三)三四三三―八四四二
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 東京〇〇―一〇―三一―三三六九〇

東京都文京区小石川一―三―七
印刷所 勝美印刷株式会社