

---

---

THE FLUID POWER SYSTEM INTELLIGENCE CENTRE

---

---

# ***FPIC QUARTERLY***

---

J F P S

Vol.13, No.4

2005.12



---

---

THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

---

---

# FPIC Quarterly Vol.13, No.4

## 目 次

巻頭言	吉田和弘	1
JFPS 国際シンポジウム 2005 つくば 見て歩き	伊藤和寿	2
第 23 回日本ロボット学会学術講演会における フルードパワー技術の動向	高岩昌弘	4
第 6 回流体計測制御シンポジウム報告	小山 紀	7
9th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT2005)におけるフルードパワー 技術研究動向	吉田和弘	9
The 1st International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005) におけるフルードパワー技術研究動向	吉田和弘	12

## 巻頭言 JFPS フルードパワー 国際シンポジウムについて

東京工業大学 精密工学研究所 吉田 和弘

第6回JFPSフルードパワー国際シンポジウムは、2005年11月につくば国際会議場において開催された。今回は、特別講演2件、基調講演2件、国際交流プログラムによる招待講演2件、および世界15カ国の研究者・技術者による一般講演135件、合計141件の発表が行われ、最新の研究成果について活発に情報交換が行われた。私も本シンポジウムに出席、発表して、ディスカッションを通じて貴重な情報を得るとともに、海外の研究者・技術者と交流を深めることができた。

JFPSフルードパワー国際シンポジウムの発表件数は、第3回(1996年、パシフィコ横浜)では15カ国、121件、第4回(1999年、東京ファッションタウン)では13カ国、111件、第5回(2002年、奈良県新公会堂)では16カ国、151件と推移している。今回は、人気が高まっている奈良で行われた前回と比較すると発表件数は若干少ないが、本シンポジウムの国際的な評価は定着していると考えられる。

ただし企業主体の研究発表は全体の8%に当たる11件程度に限定されている。この傾向は、本シンポジウムだけでなく、国内学術講演会においても同様である。もちろん、企業が開発した技術は、他社との競争において公開しにくい面があり、また、技術的に優れていても国際シンポジウムで発表するにはそぐわない技術もあると思われるが、工学系の国際シンポジウムとしては、産業の担い手である企業の発表がより多く行われることが望ましいと思われる。なお、もう一つの企業の技術の発表の場として製品の展示が行われていたが、これは好評であったようである。

一方、PTMC(英国University of Bath)、IFK(ドイツRWTH Aachen University)、FLUCOME、SICFP(フィンランドTampere University of Technology/スウェーデンLinköping University)、FPNI、ASME(米国)、ICFP(中国浙江大学)、ISFP(中国)など、本シンポジウムと競争する国際会議が世界各地で開催されている。今後、本シンポジウムをさらに発展させるためには、他の国際会議との差別化を図っていく必要があると思われる。今回のシンポジウムでは新たに、国際交流プログラムによる招待講演2件およびオーガナイズドセッション5件が企画されたが、有効に機能したようである。今後も特徴的な企画に期待している。

なお、本シンポジウムについては、学会誌2006年1月号において特集が企画されている。本シンポジウムの開催から会誌発行まで時間的余裕の少ない挑戦的な試みであるが、今回のシンポジウムの概要、本シンポジウムの歴史、特別講演、海外の著名な出席者のコメント、各オーガナイズドセッションにおける研究動向、油圧および空気圧技術の分野別研究動向など多くの内容が盛り込まれている。また、本FPICクオータリにも技術動向のレポートが掲載される予定である。ぜひご参照いただきたい。

次回のJFPSフルードパワー国際シンポジウムは、2008年9月16日～18日に富山国際会議場で開催される予定である。私も世話役の一人としてその企画および実施に協力したいと考えている。多数の皆様、とくに企業関係の方々にも積極的にご出席、ご発表いただくようお願いする次第である。

# JFPS 国際シンポジウム 2005 つくば 見て歩き

上智大学 伊藤和寿

2005年11月7日から10日までの4日間、つくば国際会議場においてThe Sixth JFPS International Symposium on Fluid Power Tsukuba 2005が開催された。このレポートでは、本国際学会で行われた制御理論応用および水圧システム関連セッションで行われた合計25件の研究報告をレビューする。これらのセッションでは、アクチュエータあるいはシステムが有する好ましくない非線形要素を、適応制御、Fuzzy制御、Sliding Mode制御、フィードバック厳密線形化等の非線形制御手法でロバストに補償する手法のほかに、線形制御の限界を探る研究も報告された。また水圧システムの研究動向では、引き続き機器設計開発、機器解析、システム制御の3本柱の研究が精力的に続けられていることが分かる。

## Applications of Control Theory-1

Virvalo(Tampere Univ. of Tech.)らは、機雷撤去を目的とする水中音響器の試作機を油圧機器により設計・構成し、実験およびシミュレーションの両面からその実用性を確認した。水の振動を2階の簡略モデルと仮定し、50~70Hzの振動数帯域におけるシリンダ速度の閉ループ特性を明らかにしている。

Makela(Tampere Univ. of Tech.)らは、シリンダの位置および力制御に対し、流量サーボ弁および圧力サーボ弁による応答の違いを実験的に検証した。インナーループに圧力センサを用いない場合に比べ両者の応答性は良いが、圧力サーボ弁を用いる場合の方が優れた過渡、定常応答ともに向上し、またパラメータ調整も簡便であることが明らかとなった。

Ito(Sophia Univ.)は、サーボ弁の持つ未知の不感帯に対してそれらを直接的に推定する適応制御系を構成し、厳密な安定性の証明を与えた。さらに水圧系に対する圧力制御実験においてその有効性を確認し、不感帯幅に対応する大きさよりも小さな目標圧力値に対する制御あるいは擬似的に大きな不感帯を与えた場合の制御が可能であることを明らかにした。

Andersen(Aalborg Univ.)らは、油圧駆動2自由度リンクシステムの数学モデルに対して状態フィードバックによる厳密線形化を行い、さらに負荷等のパラメータ不確かさが存在しても適応アルゴリズムによりこれを補償する制御則を提案した。得られた実験結果は正弦波状目標値に対して非常に良好な追従特性を示している。

Xu(Tulane Univ.)らは、外力を受ける空気圧シリンダの力制御に対してsliding mode fuzzy制御を適用した。Fuzzy理論を用いているためにシステムの厳密なモデル化は不要であり、また直感的な制御ロジックが制御則に反映される。無負荷および負荷がある場合についてともに正弦波に対する高い追従性が示されている。

## Applications of Control Theory-2

Chiang(National Taiwan Univ. of Sci. and Tech.)らは、射出整形機を模擬した油圧シリンダシステムに対し、fuzzy sliding mode制御手法による速度および力制御系を提案した。油圧ポンプのロードセンシングを行う場合、定圧力源制御を行う場合、これらを全く行わない場合を実験的に比較し、ロードセンシングを行った場合が制御性能を保持したまま最も省エネルギーなシステムとなることを示した。

Wang(Beijing Univ.)らは、比例積分構造を有するオブザーバ(PIO)を構成し、油圧システムの

故障診断を行う手法を提案した。Luenberger オブザーバと比較を行った。さらに2つの閾値を導入することにより、対象とするシステム内のセンサの故障診断が判定が正しく行われることを示した。

Perry(Israel Aircraft Industry) は、安価な油圧ベーンポンプにおける粘性係数とバネ定数の比が性能に大きく影響することを安定性解析理論により示した。さらにこの結果をもとに、ポンプリングの再設計により新しいベーンポンプの製作を行い、応答性を大きく改善する結果を得た。

Yanada(Toyohashi Univ. of Technology) らは、オンライン同定により油圧シリンダ制御系の固有振動数を推定し、その結果に基づきASPR条件を満たすように適応並列フィードフォワード補償を行ってロバスト性の向上を実現するシステムを提案した。得られた実験結果は矩形波上の目標値に対して良好な追従特性を有しており、提案手法の有効性を示している。

Ueno(Sophia Univ.) らは、定圧力源と油圧トランスフォーマを組合せたシリンダシステムに対し、2自由度制御による位置制御系および内部モデル原理により力制御系を提案した。コントローラは力の閾値により切替えており、油圧プレス機を想定して与えた駆動パターンに対して良好な追従特性を示している。

### **Water Hydraulics-1 with Keynote Lecture : Control Theory and Application**

Conrad(Technical Univ. of Denmark) は、現在に至るまでの水圧制御および水圧機器の開発のトレンドについて、各応用分野についての最新結果を取混ぜながら解説を行った。油圧に比した際の水圧機器開発のポイントは、耐腐食性、潤滑性、表面処理、内/外漏れ等を軸に行われてきており、設計を行う際の材料の選定についてもこれまでの経験に基づくエピソード等がコメントされた。水圧機器応用例については、廃棄物収集車、食品製造器、プレス機、消火装置、船舶洗浄器等について解説が行われたが、最近は特に高圧水圧ミストを用いたジェットの開発も行われていることが特筆すべき点であった。また北欧を中心に林業への応用も以前活発である。

最後に新しく開発が行われた水圧ベーンポンプによる2自由度マニピュレータの制御結果についても報告が行われた(該当内容は、2005年9月のBath PTMCにて報告された研究結果の続報である)。

Takahashi(Sophia Univ.) らは、水圧サーボシリンダシステムに対して離散時間適応制御系を構成し、負荷変動、供給圧力変動に対してもロバストに追従特性が確保されることを実験により示した。同時に、パラメータ更新則に固定トレースアルゴリズムを採用し、一旦補償器パラメータが収束した後に誤差が増大した場合であっても、良好に制御が行われることを明らかにした。

Muhammad(Tampere Univ. of Technology) らは、1軸水圧シリンダのマスタ・スレーブ装置において、position-position, force-position, 4 channels control の3つの手法について、電気駆動の場合の遠隔操作装置において適用される評価を用いた実験的な比較を行った。全ての手法で位置および力伝達は良好であることが示されたが、特にposition-position control については最も大きな伝達インピーダンスが実現されることが明らかとなった。

Mattila(Tampere Univ. of Technology) らは、多重閉ループ補償器により3自由度を有する水圧制御マニピュレータの制御を行い、高応答性がメリットのロードセルフィードバックを用いた手法と比較的安価で済む圧力センサフィードバックを用いた場合の結果を比較した。前者は後者よりもほぼ1decade分即応性に優れていることが明らかとなったが、これらは信号の性質と関節部の摩擦によるものと推定される。

Andersen(Aalborg Univ.) らは、PIDおよびフィードフォワード制御に代表される線形構造のみを有する補償器を油圧シリンダ制御系に適用し、どの程度有効であるかについての比較実験を行った。圧力フィードバックの導入により性能は大きく改善されること、さらに(位置の推定信号を併用した)フィードフォワード制御により一段と制御性能が向上することが定量的に示された。

### **Water Hydraulics-2 : Valves and Systems**

Virvalo(Tampere Univ. of Technology) は、プロセス制御弁の駆動アクチュエータとして空気圧および低水圧シリンダを用いた場合の性能比較を行った。開度86%および全開での整定時間を評価項目と設定して実験を行い、両者とも極めて高性能な応答性が得られること、最も性能に影響を及ぼす要素はヒステリシスとセンサ分解能であることが明らかにされた。

Suzuki(Kanagawa Univ.)らは、4つの静圧軸受けを有するパイロット圧力直接検出型水圧リリーフ弁を設計し、その動特性に関するシミュレーションを行った。安定性を左右する要素を求めめるために弁の設計パラメータの感度解析の結果、主弁-パイロット弁間に設計されたダンピングオリフィスの直径、パイロット弁のバネ定数およびパイロット室体積が大きく影響することが示された。

Oshima(Numazu National College of Technology)らは、ピストン内部に小型のself reciprocating機構を持つスプールを有する低水圧シリンダの設計・試作を行い、その動特性を明らかにした。動作時のシリンダ速度、力、供給流量、圧力等の特性が報告され、基本的性能が高いことが述べられた。

Haugen(Bergen Univ. College)らは、周囲の水を作動流体として利用できることを特長とする初めての水中遠隔作業機(ROV)を設計し、試作機を製作した。提案された実機は、左右移動に2つ、上下移動に1つのスラスト用水圧モータを搭載している。水圧モータの最低回転時および最大供給流量時の移動速度についての基本的な性能がシミュレーションにより検討された。

Riipinen(Tampere Univ. of Technology)らは、水圧システムの水質低下を防止するために用いられるフィルタについて、様々な大きさの水タンクとの組合せの影響を調査した。タンクの大きさは結果に大きな影響を与えない一方、流れが停滞する場所には微生物が増殖しやすいため、不必要に大きなタンクの選定は避けるべきこと、また水道水を用いる場合には前置フィルタは不要であるが、微生物に汚染された作動水の場合には効果が大きいことが報告された。

### Water Hydraulics-3 : Actuators/Pumps and Tribology

Makela(Tampere Univ. of Technology)らは、2本の水圧シリンダとチェーンの組合せにより270度以上の回転駆動を実現する機構を設計・製作し、ベーンモータとの性能比較を行った。応答性、回転の滑らかさ、剛性および角度保持時の背圧についても実験を行っており、ベーンモータと比較してほとんど遜色のない性能が得られている。

Nakao(Kanagawa Univ.)らは、クリーンな環境で高い回転数を要求されるダイヤモンド旋盤のスピンドルを水圧駆動により設計した。スピンドルはジャーナル、スラストともに静圧軸受けを応用しており、理論と実験の両面からこれらが良好に機能することを示したが、両者の回転数あるいは圧力には差異が生じており、これらの解析が今後の課題となる。

Ham(Korea Institute of Machinery and Materials)らは、水圧ピストンポンプのピストン部内部漏れおよび摩擦を低減するために、birfieldジョイントを用いたロッド型ピストン構造を提案し、試作機によっても実験的にこの効果を確認した。なおピストンにPEEK材を用いた場合には摩擦は大きくは低減されないことも明らかとなった。

Conrad(Technical Univ. of Denmark)らは、新しく開発された水圧ベーンポンプによる2自由度マニピュレータの制御結果について報告している。数学モデルには線形モデルおよび摩擦モデル等を導入した非線形モデルの両方を用い、速度および角度フィードバックにより目標軌道に追従させる制御入力を構成し、実験により有効性を確認した。

Kazama(Muroran Institute of Technology)は、水圧アキシアルピストンポンプ・モータの斜板上のスリッパにおける摩擦現象のシミュレーションを行った。偏心加重は、局所的な粗接触圧力を増大させ、供給圧の時間的遅れおよび負荷変動は、pad部の大きな変動を誘起すること、一方pad部の回転半径変化はベアリング性能に影響を及ぼすこと、等が明らかにされた。

# 第23回日本ロボット学会学術講演会における フルードパワー技術の動向

岡山大学大学院自然科学研究科 高岩昌弘

## 1. 学術講演会概要

第23回日本ロボット学会学術講演会が平成17年9月15日から17日まで慶應義塾大学日吉キャンパスにおいて開催された。

本学術講演会は日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門主催の"Robomec 講演会とともに国内におけるロボット研究の学術講演会として毎年盛況な学術交流の場を提供している。その規模は毎年拡大されており、今回は約1,200名の参加者を集め、504件の講演発表が79のセッション(内オーガナイズドセッションは12)において発表された。最終日には21世紀COEプロジェクトで実施されているロボット研究プロジェクトを紹介する「ロボット研究プロジェクト大集合」が文部科学省科学研究費補助金研究成果公開発表事業として開催され、先端的なロボット開発の状況が紹介された。また、機器展示も28件あり、ロボット開発における要素技術から応用まで広く紹介されていた。最近改築された生協で開催された懇親会では、大学および企業の研究者同士懇親を深め、活気に満ちた応援部のパフォーマンスを楽しんだ。

## 2. フルードパワー関連の講演紹介

講演発表の中からフルードパワー関連の内容を幾つか紹介したい。これは筆者が直接拝聴したものと講演論文集(CD-ROM)の中から独断的に抜粋したものであることをお断りしておく。

### ロボットアクチュエータとしてのフルードパワー

奥野ら[1]は遠隔油圧駆動系を用いたロボットハンドを開発した。マイクロメータの精密送りネジを用いた容積型ポンプにより駆動され、種々の剛性値を有する対象物の把持特性が議論された。佐々木ら[2]は湾曲型の空気圧ゴム人工筋を用いた肘部リハビリテーション支援システムを開発した。高い出力/重量比を特徴とする装着型システムであり実用に向けた臨床試験が期待される。竹村[3]らは電解共役流体を用いたマイクロジャイロスコープを開発した。マイクロという特性を活かして微小ロボット(例えば飛行体)等の姿勢制御への応用が期待される。吉田ら[4]は液晶を用いたマイクロERバルブを開発した。動特性を表現する数学モデルが示され、その妥当性が実験とシミュレーションにより示された。マイクロアクチュエータのパワー源としても流体システムは期待されているが、不可欠なバルブの開発に貢献するものと期待される。小川ら[5]は変位センサを内含した空気圧シリンダを多数連結した20面体を構成し、位置決め特性や力制御特性を議論した。コンピュータとのヒューマンインターフェースとして例えば3D-CADの入力装置などへの応用が期待できる。

### 医療・福祉およびレスキュー分野への応用

高岩ら[6]は空気式パラレルマニピュレータを用いた手首リハビリ支援装置を開発し、種々のリハビリ動作の実現性能について紹介した。中山ら[7]はERアクチュエータを用いた6自由度上肢リハビリ支援装置を開発した。基本的なりハビリ動作の検証結果について報告した。白井ら[8]は低圧駆動型の空気圧アクチュエータを用いた義手を開発し、EMG信号に基づく駆動特性について議論した。飯田ら[9]は空気噴流を眼球に照射し、眼球の変形を高速度カメラで捉えることで眼球のインピーダンスを測定する手法を提案した。緑内障の診断方である眼圧測

定への有用性を示した。青木ら[10]はエアシリンダにより駆動されるワイヤを用いた屈曲機構を開発し、瓦礫内探査用プローブへの応用について紹介した。

### 3. おわりに

本稿では第23回日本ロボット学会学術講演会の概要と講演発表されたフルードパワーシステム関連の研究内容を幾つか紹介した。次回は平成18年9月14日から16日まで、岡山大学津島キャンパスにおいて則次俊郎教授を実行委員長として開催される

(<http://rsj2006.sys.okayama-u.ac.jp>を参照)。どうぞ皆様多数のご参加をお待ちしております。

#### 参考文献 (出典は学術講演会講演論文集)

[1] 奥野、宮本、岩本、渋谷：ロボットハンドのための高精度遠隔油圧駆動システム、講演番号 1A11

[2] 佐々木、則次、高岩、川上 真司：空気圧ゴム人工筋を用いた肘関節リハビリテーション支援装置の開発、講演番号 1A12

[3] 横田、西澤、竹村、枝村：電界共役流体(ECF)を応用したマイクロジャイロスコープ、講演番号 1A13

[4] 吉田、DE VOLDER MICHAEL、横田：液晶を作動流体としたマイクロERバルブの数学モデル、講演番号 1A14

[5] 小川、小坂、田中、鈴森、神田：フィジカルマンマシンインタラクション用アクティブ多面体の研究、講演番号 1H26

[6] 高岩、則次、正子：空気式パラレルマニピュレータを用いた手首部リハビリテーション支援装置の開発、講演番号 1J22

[7] 中山、山口、李、葛城、河本、胡、志智、鈴木、笠：手首3自由度を含む6自由度上肢リハビリ支援ロボットの研究開発、講演番号 1J24

[8] 辻内、小泉、白井、橋本、北村、久田原、清水：空気圧アクチュエータを用いた義手の開発、講演番号 2J14

[9] 飯田、栗田、KEMPF ROLAND、金子、三嶋、塚本、杉本：眼の非接触ダイナミックセンシング、講演番号 3J22

[10] 青木、広瀬：瓦礫内探索用プローブのための空圧屈曲機構の開発、講演番号 2I21



特別講演会の様子



懇親会での応援部によるパフォーマンス

## 第6回流体計測制御シンポジウム報告

明治大学理工学部 小山 紀

計測自動制御学会第6回流体計測制御シンポジウムは、今年も同学会・産業応用部門大会の併設行事として開催された。日時は2005年10月18日で、場所は例年通り目黒区大岡山の東京工業大学大岡山キャンパスの百年記念館である。部門大会の他行事と同時進行にて行われた。午前2セッション(流体計測1、流体計測2)、午後1セッション(流体制御)が設けられた。簡単に内容を報告する。

貝吹ら1)は現在までに提案されている数種の圧力測定系の数式モデルについて、それぞれの適用範囲を測定孔の内径と長さについて整理して報告した。栄野ら2)はデジタル差圧電送器の導圧管の目詰まりを、測定された圧力変動の階差2乗和平方根で判定できるとした。清水ら3)はLPAフィードバック発信流量センサの流路や噴流偏向部の形状が発信周波数に及ぼす効果を調べ報告した。井上4)らは流れ場にオブザーバを構成すると、粗い計算格子で良好な解析結果を得られるため、計測結果とシミュレーションを組合せた計測融合シミュレーション手法を提案し、シミュレーションの高速化をおこなっている。

山本5)らは電磁流量計の誤差原因と見られていた磁場の変化により発生する起電力を、逆に積極的に利用して、管内の液面高さが変わっても計測できる非満水流量計測手法を明らかにした。本多ら6)は電磁流量計に2組のコイルを用い、非対称高周波励磁により流量計の流路情報を検出し、流量計の校正を行うことが可能であるとしている。森岡7)らは排気ガスの非定常流量測定の校正装置として、ロータリーバルブを通過した流れとバイパス流れを混合して高温脈動流れを発生する装置の開発について示した。石橋8)らは超精密加工したノズルは流量検定に際し事実上同一な特性を持つことを示し、さらにノズル境界層の回復温度分布の急激な変化はノズルが形成する衝撃波との関係を示唆している。

澤本ら9)は容器に流入出する空気量から、容器外の微小な圧力変化を検出する装置を開発し、これを圧力微分計として空気ばね除振台の制御を行った。塚越10)らは親機から空気圧により打ち出される子機と、この回収機構を備えた人命探査機を提案している。井戸ら11)は巻いたウレタンチューブを空気圧により収縮させるアクチュエータを用いた人手首の動作支援装置のマスタースレイブ制御を試みている。宮本12)らは実時間シミュレーションの一種であるHILSを使って、油圧伝動回路用コントローラを設計する手法を紹介した。

なお、前述のように同日に開催された部門大会の一般講演にもフルードパワー関連があったので紹介しておく。

丸山ら13)はフルイディスクを使った光流体変換素子の光入力に対する流体出力応答が、光吸収体の表面形状により変化することを明らかにした。岡崎ら14)はフルイディスクの噴流を直接圧電素子により偏向制御させる方式を提案し、その噴流流れ場の解析結果を示した。黎ら

15)は中心から螺旋状に旋回して流出する流れが、平板との間で一部負圧になる性質を利用した浮遊式非接触搬送に利用することを提案している。

部門大会ではさらに部門賞表彰と当該特別講演、計測・制御ネットワーク部会セミナー、産業システム部会・計装技術交流部会合同シンポジウムなどが行われ、「てんこ盛り」企画であったが、参加者は最も多い時間帯で50名程度であっただろうか。産業応用部門はその名のとおり、産業分野と研究・教育分野のまさに接点であり、学会としても重要な機能を持つはずであるだけに少し残念である。多くの方の参加を期待したい。

## 参考文献

### 【流体計測制御シンポジウム】

- 1)貝吹和秀，田川正人：圧力測定系周波数応答の数式モデルと相互比較
- 2)栄野隼一，涌井徹也（大阪府立大学），橋詰匠，宮地宣夫，斉藤洋二，西島剛志，桑山秀樹：デジタル式差圧伝送器による導圧管の詰まり検出
- 3)清水久記，廣木富士男，山本圭治郎：LPA フィードバック発振流量センサの発振周波数について
- 4)井上慎太郎，船木達也，川嶋健嗣，香川利春：計測融合シミュレーションを用いた非定常流れ場のモニタリング
- 5)山本友繁，山崎吉夫，森川誠：新方式の電磁流量計 - 非満水における流量計測と水位計測への応用 -
- 6)本多 敏，山本 友繁：自己校正機能をもつ非対称高周波励磁電磁流量計の動作解析
- 7)森岡敏博，中尾農一，高本正樹：排気脈動シミュレータの特性試験
- 8)石橋雅裕，森岡敏博：臨界した超精密加工ノズルHPNに関する測定
- 9)澤本晃一，加藤友規，川嶋健嗣，香川利春：圧力微分計を用いた空気ばね式除振台の制御
- 10)塚越秀行，木村大地，渡 永利，北川 能：投擲・回収型人命探査機における探査用子機の開発
- 11)塚越秀行，井戸聞多，白土賢一，北川 能：Tail-wrist: 手首の装着型ストレッチ動作支援機器の開発
- 12)宮本祐介，眞田一志：F S T用コントローラのHILSを利用した開発に関する研究

### 【一般講演】

- 13)丸山淳一，小山紀，山本圭治郎，吉満俊拓：光 - 流体変換素子の動特性解析に関する研究
- 14)岡崎大介，小山紀，吉満俊拓：圧電素子を利用した噴流制御に関する研究
- 15)黎k煤C徳永英幸，船木達也，蔡茂林，川嶋健嗣，香川利春：旋回流を用いた非接触搬送系に関する研究

# 9th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT2005) におけるフルードパワー技術研究動向

東京工業大学 精密工学研究所 吉田 和弘

## 1. はじめに

2005年12月5～8日に、マレーシア、クアラルンプールの Mines Beach Resort & Spa において、9th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT2005)が開催された。本国際会議は、アジアを中心に毎年開催されているメカトロニクス技術に関する国際会議である。今回は投稿された250件から採択された約200件の口頭発表があり、世界21ヶ国から約200名の参加者があった。口頭発表のうちフルードパワー技術にとくに関係するものは8件あった。以下では、それぞれの発表を簡単に紹介する。

## 2. フルードパワー技術関連の発表内容

本国際会議における講演は、機能性流体関係4件、空気圧関係2件、液圧関係2件であった。以下、順番に説明する。

### 2.1 機能性流体関係の発表

Yokota ら<sup>1)</sup>は、ECF(電界共役流体)に直流高電圧を印加したとき生じるジェット流(ECFジェット)により円板形ロータを浮揚回転させ、その傾斜角から角速度を得るECFマイクロジャイロスコープを提案している。ロータ径3mmおよび1.5mmの試作ECFマイクロジャイロモータに対し、ロータ厚さ、ステータ内径、内部高さ、ロータ材料およびECFを変え特性実験を行い、得られた設計指針に基づき図1に示すECFマイクロジャイロスコープを試作している。

Abe ら<sup>2)</sup>は、隣接する3個の液圧室を有する柔軟チューブを持ち、各液圧室に針状電極とリング状電極から成るジェット発生部からのECFジェットを導入し液圧室間でECFを移動させ内圧を変化させることで差動的に柔軟チューブの屈曲運動を得るECFマイクロフィンガを提案している。ECFジェットにより生じる圧力が高くなる電極各部の寸法を実験的に求めるとともに、図2に示すラージモデルを試作し、その静特性を実験的に明らかにしている。

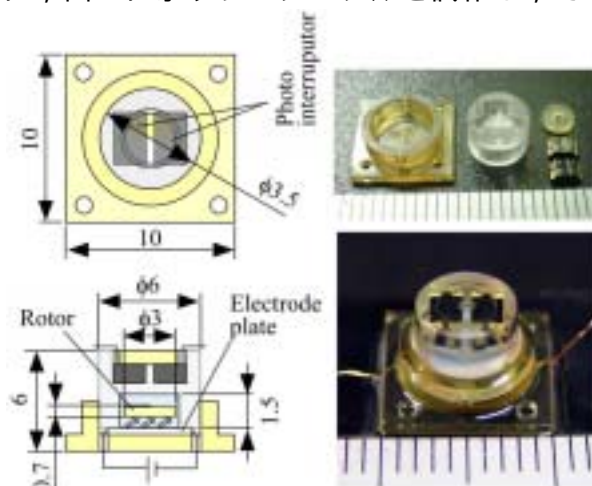


図1 試作された ECF マイクロジャイロスコープ<sup>1)</sup>

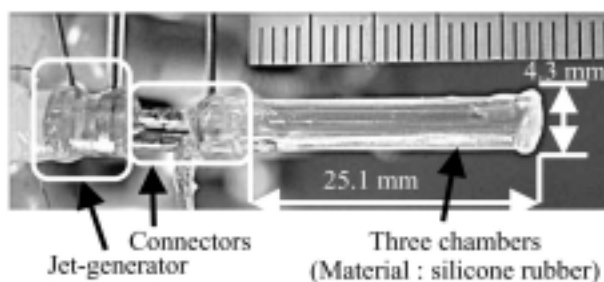


図2 試作された ECF マイクロフィンガラージモデル<sup>2)</sup>

Yoshida ら<sup>3)</sup>は、曲管を通過できる流体駆動形管内作業マイクロマシンなどのため、印加電界で粘度を制御できるER流体を作動流体とした柔軟なマイクロアクチュエータ FERMA(Flexible ER MicroActuator)を提案している。FERMAは、図3のように、流路壁を形成する柔軟な絶縁体スペーサを薄板電極2枚ではさんだ構造の FERV(Flexible ER Valve)を柔軟な可動チューブに内蔵したものであり、実験により試作アクチュエータの特性の一部を明らかにしている。

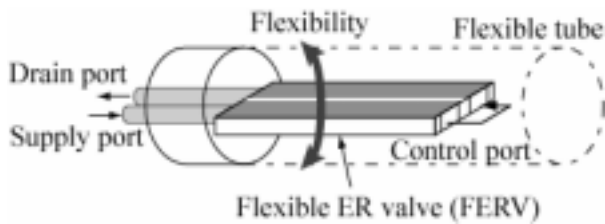


図 3 FERMA の基本構造<sup>3)</sup>

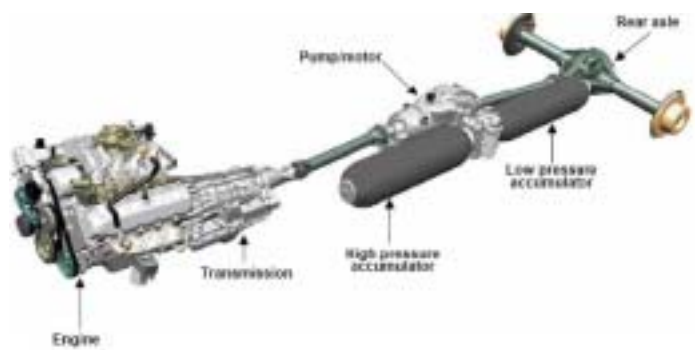


図 4 油圧式並列形ハイブリッドカー駆動系<sup>4)</sup>

Nguyen ら<sup>4)</sup>は、減速時の運動エネルギーをアキュムレータに圧力として回生する油圧式並列形ハイブリッドカー（図 4）におけるポンプ/モータの振動，騒音の低減のため，印加磁界で粘度制御できる MR 流体を応用した MR ダンパを用いた振動分離システムを提案している．ポンプ/モータをピストン形 MR ダンパ 4 本で支持された 6 自由度の振動系としてモデル化し，シミュレーション解析を行い，本システムの有効性を確認している．

## 2.2 空気圧関係の発表

Uehara ら<sup>5)</sup>は，ウェアラブルロボットに応用するため，浮揚動作を行うポペットを圧電素子で振動させる小形，軽量の空気圧オンオフ弁を提案している．提案弁は図 5 に示すような構造で，圧電素子停止時にはポペットが供給圧力により弁座に押し付けられ閉じ，圧電素子でポペットを加振すると開く．提案弁の特性を理論的に解析するとともに，3 種類の弁を試作しそれぞれの特性を実験的に検討し，大流量を安定に制御できる弁構造を明らかにしている．

Elgasim ら<sup>6)</sup>は，空気圧シリンダおよび真空チャックを用いた 2 軸ピックアンドプレース機構を用いチップの移動および欠陥検査を行うため，言語 C++を用いた制御ソフトウェアを開発している（図 6 参照）．

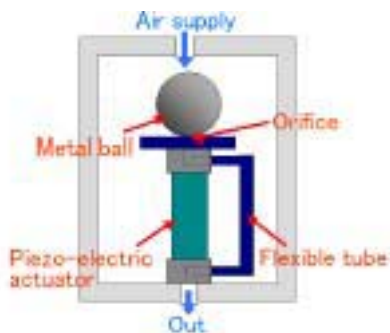


図 5 振動形空気圧オンオフ弁<sup>5)</sup>

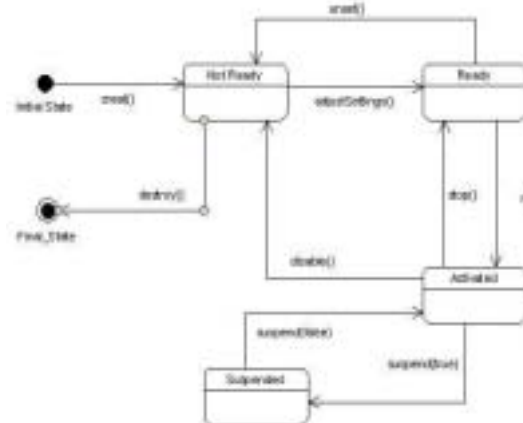


図 6 空気圧ピックアンドプレース機構の制御系<sup>6)</sup>

## 2.3 液圧関係の発表

Angeli<sup>7)</sup>は，油圧システムのオンライン故障検出の AI を応用した手法について検討している．AI 手法としてニューラルネットワーク，数学モデルシミュレーションおよびエキスパートシステムの特質について検討するとともに，油圧システムの故障診断問題を解析し，言語情報に翻訳した定量的情報を蓄積した知識情報と比較し図 7 に示すようにオンライン故障推定を行うエキスパートシステムを構築し，その有効性を例示している．

Chua ら<sup>8)</sup>は，水圧駆動システムで発生する水撃に対するアキュムレータの効果について実験的に検討している．図 8 に示す水圧システムの電磁弁を急激に閉じたとき発生する水撃による管路内 4 点の圧力およびその応答時間を実験的に明らかにするとともに，アキュムレータ有無



# The 1st International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)におけるフルードパワー技術研究動向

東京工業大学 精密工学研究所 吉田 和弘

## 1. はじめに

2005年6月23,24日に,韓国,ソウルの中央大学校において,The 1st International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)が開催された. 本国際会議は,日本機械学会機素潤滑設計部門と韓国機械学会の共催による生産機素潤滑設計に関する国際会議の第1回目である. 合計208件の発表があり,そのうちフルードパワー技術に関するものは10件であった. 以下では,それぞれの発表を簡単に紹介する.

## 2. フルードパワー技術関連の発表内容

本国際会議における講演は,ポンプ関係3件,ニューアクチュエータ関係5件,その他2件であった. 以下,順番に説明する.

### 2.1 ポンプ関係の発表

Hamらは,従来のプランジャ形ピストンの代わりに低摩擦,低摩耗の球面軸受を両端に有するロッド形ピストンを用いた図1に示す水圧アキシアルピストンポンプを提案し,その有効性を理論解析および摩擦特性実験により検証している<sup>1)</sup>. 従来のプランジャ形および提案するロッド形ピストンの摩擦力を理論的に解析し,試作した3種類の鋼製またはエンジニアリングプラスチック製ピストンの摩擦特性の実験結果と一致することを示している.

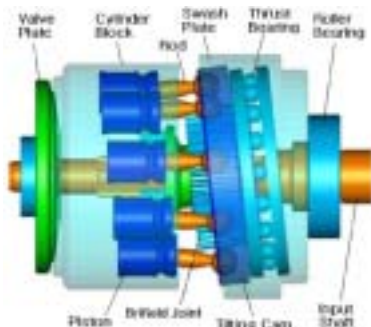


図1 水圧ピストンポンプ<sup>1)</sup>

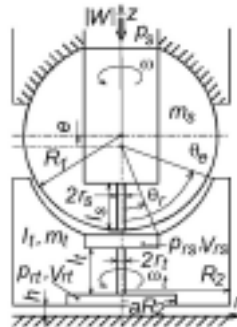


図2 静圧軸受モデル<sup>2)</sup>

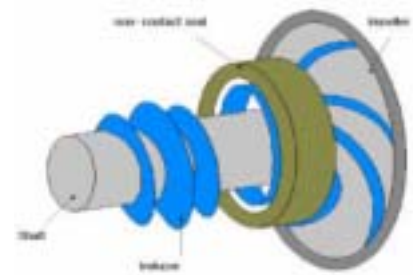


図3 浮動環状シール<sup>3)</sup>

Kazamaは,斜板式アキシアルピストンポンプ/モータのピストン/スリッパの図2のような静圧軸受モデルを提案し,負荷の時間遅れ,絞りの流量特性および凹部の液体の体積弾性を考慮した理論解析を行っている<sup>2)</sup>. その結果,供給圧力に対する負荷の時間遅れ,体積弾性係数の減少および凹部体積の増加がクリアランスの変化に大きく影響すること,供給圧力が増加するとクリアランスの変化および角速度が増加しパワー損失が増加することなどを示している.

Leeらは,液体燃料ロケットエンジン用ターボポンプの主要要素の図3に示す浮動環状シール設計のため,シール性能のデータベースを構築し,比較を行っている<sup>3)</sup>. 数値解析の条件は幾何学的形状および動作条件が異なる168通りである. 比較の結果,軸径,クリアランスおよび差圧の減少およびシール長さの増加により漏れ流量が低減すること,軸径,シール長さおよび差圧の増加およびクリアランスの減少により粘性減衰係数が増大することなどを示している.

### 2.2 ニューアクチュエータ関係の発表

Wakimotoらは,マッキベン形人工筋アクチュエータに柔軟な変位センサを内蔵した図3に示すインテリジェントゴムアクチュエータ IMA を提案,試作し,特性実験を行っている<sup>4)</sup>. 提案する柔軟変位センサはゴム基板に導電性薄膜を添付したもので,電気抵抗変化から変位を求め

る．試作 IMA 単体の特性を実験的に明らかにするとともに，2 個の IMA の拮抗動作を用いたロボットアーム駆動サーボ系を試作し，その特性を実験的に明らかにしている．

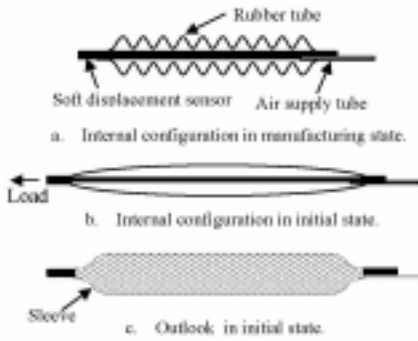


図 5 大腸鏡用アクチュエータ<sup>5)</sup>

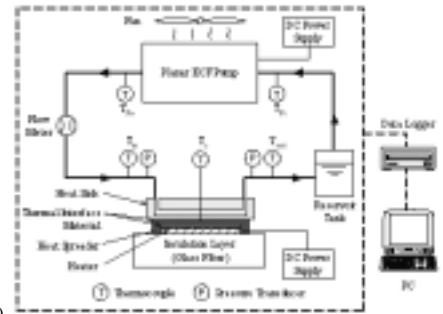


図 4 IMA ( Intelligent McKibben Actuator )<sup>4)</sup> 図 6 平面薄形 ECF ポンプ冷却特性実験装置<sup>6)</sup>

Suzumori らは，高い技術を要する大腸鏡の挿入をサポートする図 5 に示す空気圧アクチュエータを提案，試作し，特性実験を行っている<sup>5)</sup>．提案するアクチュエータは，大腸鏡の周囲に薄いゴムチューブを取り付けた構造で，パルス状の圧力を印加したときチューブ表面に生じる進行波を用いたソフトアクチュエータである．大腸を模擬したモデルで挿入実験を行い，挿入に要する力および操作時間を低減できることなどを示している．

Seo らは，ノート形 PC の CPU などの冷却のため，電界印加でジェット流を生じる機能性流体 ECF を応用した平面薄形ポンプを用いた図 6 に示す強制液冷システムを提案，試作し，その特性を実験的に検討している<sup>6)</sup>．電極寸法を変えたポンプの出力特性を測定し最適な電極構造を明らかにするとともに，ヒータによる模擬 CPU および市販の液冷ヒートシンクを用いた液冷システムを構築し，加熱電力 80W まで模擬 CPU 温度を 70°C 以下とできることを示している．

Abe らは，針状電極およびリング状電極により発生する ECF ジェットを柔軟な屈曲チューブに導入し，ブルドン管と同様の原理で真っ直ぐに伸びる変位を取り出す図 7 のようなマイクロアクチュエータを試作し，その特性を実験的に検討している<sup>7)</sup>．ECF ジェットによる発生圧力を測定し最適な電極構造を明らかにするとともにマイクロアクチュエータを試作し，静的変位 1.2mm が得られることを実験的に示している．

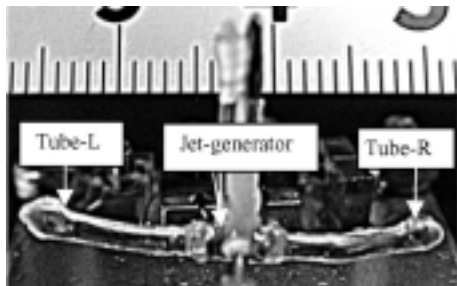


図 7 ECF マイクロアクチュエータ<sup>7)</sup>

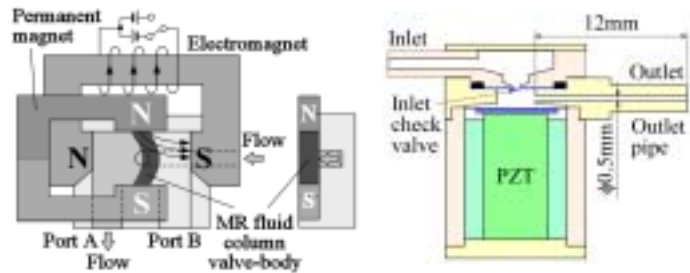


図 8 MR 流体弁体マイクロバルブと管路内流体慣性圧電マイクロポンプ<sup>8)</sup>

Yoshida らは，流体駆動形マイクロマシンを実現するため，図 8 に示す磁界により保持された柱状 MR 流体を弁体としたマイクロバルブと，吐出側チェック弁の代わりに管路要素を取り付けその流体慣性を応用し高出力化を図った圧電マイクロポンプを用い，小形ペローズの変位を制御する位置制御マイクロシステムを試作し，その特性を実験的に検討している<sup>8)</sup>．PI 制御系を構成し静特性および動特性を実験的に解明し，その妥当性を示している．

### 2.3 その他

Lee は 韓国 KAIST における LIGA やフォトレジスト SU-8 を用いた高アスペクト比の MEMS プロセスおよびそれを応用したマイクロフルイディクスおよびバイオ MEMS の開発状況を紹介している<sup>9)</sup>．マイクロアクチュエータ，マイクロレンズ，マイクロ針などの MEMS プ

ロセスが紹介されるとともに，マイクロミクサ，図9に示す酸素マイクロポンプ，細胞カウンタ，DNA 操作デバイスなどが紹介されている．

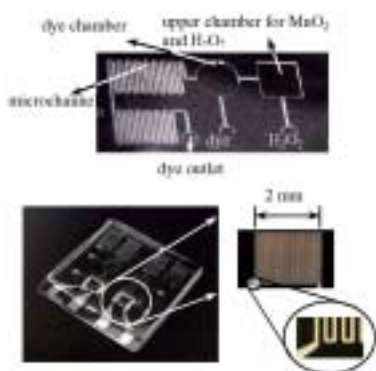


図9 酸素マイクロポンプ<sup>9)</sup>

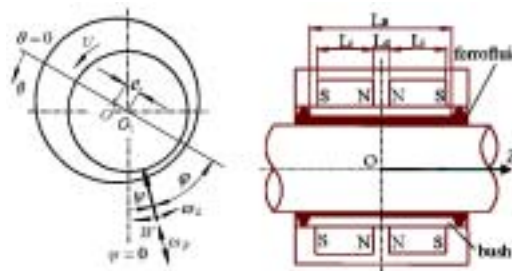


図10 磁性流体潤滑軸受<sup>10)</sup>

Yang らは，図10に示す磁性流体で潤滑されるジャーナル軸受における磁界分布の影響についてシミュレーションにより検討している<sup>10)</sup>．その結果，圧力分布，負荷容量，キャビテーション領域などが磁界分布に強く依存することを示している．さらに，磁界分布が軸方向および周方向に不均一である場合，従来無視されていた磁性流体中の粒子の角運動量の影響が磁気力と同程度と大きく，無視できないことを見出している．

### 3. おわりに

本国際会議は，日本機械学会機素潤滑設計部門で毎年開催されている部門講演会を，韓国機械学会の講演会と共同で開催したものである．2006年度は国内の部門講演会を行うが，その後，再び共同で国際会議を行うことが検討されている．次回には，フルードパワー技術に関する発表がますます増えることに期待している．

### 参考文献

- 1) Ham, Y.-B., Yun, S., Park, J.-H., Kim, S.-D., A Study on Low Friction Pumping Mechanism for Water Hydraulic Axial Piston Pump, Proc. Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)(CD-ROM), EFE-202, 2005
- 2) Kazama, T., Analysis of a Hydrostatic Bearing System Combined with Spherical and Thrust Bearings: Modeling of a Piston/Slipper Assembly in Hydraulic Piston Pumps/Motors, Proc. Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)(CD-ROM), THB-102, 2005
- 3) Lee, Y. B., Ahn, K. M., Kim, K. W., Kim, C. H., Ha, T. W., The Construction of Database about the Performance for Floating Ring Seal Used in the Turbopump, Proc. Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)(CD-ROM), THB-103, 2005
- 4) Wakimoto, S., Suzumori, K., Kanda, T., Development of Intelligent Rubber Actuator and Its Application to Soft Servo Mechanism, Proc. Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)(CD-ROM), MAA-301, 2005
- 5) Suzumori, K., Hama, T., Kanda, T., Thin Rubber-Tube Pneumatic Actuator to Assist Colonoscope Insertion, Proc. Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)(CD-ROM), MAA-103, 2005
- 6) Seo, W.-S., Yokota, S., Yoshida, K., Edamura, K., A Thin-Planar Pump for Liquid Cooling System Using ECF-Jet, Proc. Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)(CD-ROM), MAA-204, 2005
- 7) Abe, R., Yokota, S., Takemura, K., Edamura, K., A Microactuator Driven by Pressure due to ECF-Jet, Proc. Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)(CD-ROM), MAA-401, 2005
- 8) Yoshida, K., Jung, Y.-O., Yokota, S., A Micro Fluid Power System Using Magneto-Rheological Fluid Valve-Body, Proc. Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)(CD-ROM), MAA-101, 2005
- 9) Lee, S. S., Development of New HAR-MEMS Process and Applications in Micro-Fluidics and Bio-MEMS, Proc. Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)(CD-ROM), MMN-101, 2005
- 10) Yang, W., Harada, M., Watanuki, K., Characteristics of Journal Bearings Lubricated with Ferrofluid in Different Magnetic Fields, Proc. Int. Conf. on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2005)(CD-ROM), THB-104, 2005