

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

Mar.2015 Vol.46 No.2

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「フルードパワーにおける故障予知技術」

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

目 次

特集「フルードパワーにおける故障予知技術」

【巻頭言】

「フルードパワーにおける故障予知技術」発行にあたって	栗林 直樹	54
----------------------------	-------	----

【総論】

予知保全技術など産業オートメーション技術のサービス体系化について	川田 誠一	55
----------------------------------	-------	----

【解説】

色診断による潤滑油状態監視センサ	高橋 勉	58
作動油の清浄度センサ	石塚 雅規	61
電動流量制御システムを利用した空気圧機器の故障予知	齊藤 悠	64
ビッグデータを用いた異常時、正常時の比較による故障予知処理のアルゴリズム	鈴木 英明	67
高度複雑システムの故障予兆検出技術	藤島 泰郎, 中山 俊也	70
油圧システムのリモートモニタリングによる保守方法	岩崎 一実	74

【会議報告】

日本機械学会2014年度年次大会に観るフルードパワー研究動向	藤田 壽憲	77
ICMT2014におけるフルードパワー技術研究動向	田中 豊	80
山梨講演会2014におけるフルードパワーの技術研究動向	大内 英俊	82
計測自動制御学会・流体計測制御シンポジウムにおける研究動向	尹 鍾皓	84

【教室】

入門講座「トライボロジー」第5回：油剤について	風間 俊治	87
-------------------------	-------	----

【トピックス】

特許文献を調べる・特許電子図書館の活用6…類似文献の検索2	木原 和幸	90
「油空圧技術」実習講座「フルードパワー人材育成への産学連携2」	吉満 俊拓	93

【研究室紹介】

豊橋技術科学大学柳田研究室

柳田 秀記 96

【企画行事】

平成27年度企画行事紹介

眞田 一志, 桜井 康雄 99

平成26年オータムセミナー開催報告 医療・福祉・介護分野での
フルードパワーを利用したロボティクス

山下 良介 101

【会告】

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27年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ

104

フルードパワー道場10

「トライボロジーの基礎知識」開催のお知らせ

104

平成27年春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」のお知らせ

104

共催・協賛行事のお知らせ

105

書籍のご案内

107

その他

103, 107, 108

■表紙デザイン：山本 博勝 ㈱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 "Failure Prediction Technology in Fluid Power"

[Preface]

On the Publication of the "Failure Prediction Technology in Fluid Power"	Naoki KURIBAYASHI	54
--	-------------------	----

[Survey]

Industrial Automation Service System and Structure for Predictive Maintenance Technology as Service Business	Seiichi KAWATA	55
--	----------------	----

[Review]

Color Analysis for Lubricant Condition Monitoring Sensor	Tsutomu TAKAHASHI	58
The Cleanliness Sensor of Hydraulic Oil	Masanori ISHIZUKA	61
Failure Prediction of Pneumatic Components by using Electric Flow Control Systems	Yutaka SAITO	64
Anomaly Detection using Machine Learning	Hideaki SUZUKI	67
A Failure Prognostic Method for Advanced Complex Systems	Yasuo FUJISHIMA, Toshiya NAKAYAMA	70
Maintenance Method using Remote Monitoring Service for Hydraulic Systems	Kazumi IWASAKI	74

[Conference Report]

Research Trend of Mechanical Engineering Congress, 2014 Japan	Toshinori FUJITA	77
Research Trend of Fluid Power in ICMT2014	Yutaka TANAKA	80
Research Trends in Yamanashi District Conference 2014	Hidetoshi OHUCHI	82
The Research Trend in the Fluid Measurement Control Symposium of SICE	Chongho YOUN	84

[Lecture]

An Introductory Course of Tribology: 5. On Oils	Toshiharu KAZAMA	87
---	------------------	----

[Topics]

Investigation of the Patent Documents/ Practical use of Industrial Property Digital Library...Search 2 of Similar Patent Documents	Kazuyuki KIHARA	90
Training course "Hydraulic and pneumatic technology"		
Development in Fluid Power by Industry-Academia Collaboration: Part2	Toshihiro YOSHIMITSU	93

[Laboratory Tour]

Yanada Laboratory in Toyohashi University of Technology	Hideki YANADA	96
---	---------------	----

[JFPS Activities]

Introduction of event of JFPS in 2015	Kazushi SANADA, Yasuo SAKURAI	99
Robotics Using Fluid Power in Medical Service, Welfare work, and Nursing Care Field	Yoshisuke YAMASHITA	101

[JFPS News]

103,104,105,107,108

「フルードパワーにおける故障予知技術」 発行にあたって

著者紹介



くりばやし なおき
栗林直樹

川崎重工業株式会社精密機械カンパニー
技術本部機器第三技術部
〒651-2239 兵庫県神戸市西区榎谷町松本234
E-mail: kuribayashi_n@khi.co.jp

1989年川崎重工業株式会社に入社、航空機、船舶搭載型視軸安定ジンバルを始めとする各種電動サーボシステムの開発に従事、現在に至る。計測自動制御学会会員、日本フルードパワーシステム学会会員

フルードパワーの利用は、近代においては18世紀の一次産業革命から、本格的に水圧で発生させた駆動力が紡績に用られたことをきっかけに、その後蒸気機関やタービンによるものに発展し、現在では空圧、油圧、水圧を代表にあらゆる産業分野で必要不可欠な技術となっている。適用されるシステムは、建設機械、航空機、鉄道車両、船舶などの建設や輸送分野から製鉄プラント、プレス、射出成形、半導体製造、食品加工などなどのあらゆる製造装置まで数え上げると限りがない。適用システムが大規模になるほど、些細な部分的故障が深刻な人身事故や環境破壊に発展すると同時に、大きな経済的損失に至る可能性が高いと考えられる。従来は経験や勘に頼った法則に基づいて定期的な部品交換や分解点検調整などで予防保全を行ってきたが、最近になり温度、圧力、流量、応力、歪、力、トルク、回転数、速度などの状態監視を行うためのセンシング技術が発達し、またコンピュータの急速な発達により、それらの膨大なデータを高速で演算処理可能となった背景から、常時装置の状態を監視し、分解することなく自動的に科学的根拠に基づいて、故障や異常の兆候を見極める故障予知技術が確立されつつある。これにより正確な残寿命などを予測し、最適なメンテナンス時期を決定することが可能となり、重大事故の発生リスクおよびランニングコストの低減にも大きく貢献できるため、現在各産業分野から非常に高い注目度にある技術と考えられる。

以上の背景から、「フルードパワーにおける故障

予知技術」と題して本特集を組むにあたり、故障予知に関するセンシング技術ならびにシステム診断技術に取り組まれている大学および企業の研究開発者のみなさまから最新の技術情報をご提供いただくことにした。

川田誠一氏（産業技術大学院大学）には、総論として、幅広い産業オートメーション分野における故障予知を含む保守安全サービスをビジネスとするための体系構築について解説いただいた。

高橋勉氏（ナブテスコ）には、故障予知情報となる潤滑油（作動油、ギア油、軸受油など）の劣化具合を色により診断するセンサについて解説いただいた。

石塚雅規氏（ヤマシンフィルタ）には、建設機械を始めとした油圧装置において、故障予知に対する作動油清浄度センシングの必要性和将来像について解説いただいた。

齊藤悠氏（コガネイ）には、空気圧機器において、電動流量制御システムを応用し、作動時間の変化から空気圧シリンダの故障モードを推定する予知技術について解説いただいた。

鈴木英明氏（日立製作所）には、ビッグデータを活用し、前者に同じく機械学習により導出した正常データパターンとの比較により故障予知を行う手法について建設機械の実稼働試験結果を例に解説いただいた。

藤島泰郎氏ら（三菱重工業）には、高度複雑システムにおける故障予兆に、複数センサ計測データの機械学習によるパターン認識から診断する手法を、航空機油圧システムも例にとりながら解説いただいた。

岩崎一実氏（エムティエスジャパン）には、故障予知のための状態監視を、インターネット回線により接続されたサーバー解析により遠隔で行う方法について解説いただいた。

末筆ながら、ご多忙のなかご寄稿いただいた執筆者のみなさまに深く感謝するとともに厚く御礼申し上げます。

（原稿受付：2014年12月22日）

総論

予知保全技術など産業オートメーション技術の
サービス体系化について

著者紹介

かわ た せい いち
川 田 誠 一公立大学法人首都大学東京 産業技術大学院大学
〒140-0011 東京都品川区東大井 1-10-40
E-mail: kawata-seiichi@aist.ac.jp

1982年大阪大学大学院工学研究科博士後期課程単位取得退学。1983年工学博士。1982年大阪大学工学部助手。1990年東京都立大学助教授。2000年同大学教授。2005年首都大学東京教授。2006年産業技術大学院大学研究科長・教授。現在に至る。制御工学、機械学習、生産システム最適化、サービス工学などの研究に従事

1. はじめに

人に寿命があるように、あらゆる人工物にも寿命がある。人が病気になった時には、病院で治療を受け健康を取り戻そうとするが、人工物も同様に故障などに対応し修理することで機能を回復させようとする。人との対比でいえば、病気が顕在化し手遅れになる前に早期に発見することが健康を回復させるために重要であり、健康診断や人間ドックはそのためにある。人工物が順調に機能しているように見えても、たとえば配管の肉厚が減少し、破壊の一手手前にあるかもしれない。脳梗塞が発症するまでは血管に問題があることがわからず普通に生活しているのと同様な状況が人工物が稼働している現場にも見られるのであり、予測が求められビジネスになる。

安心安全が保障されてこそ社会が健全に発展することや、不安や不信が蔓延するような社会で生きていくことが人にとって不幸であり、予知保全技術の進展は急務である。ただ、予知保全技術分野をビジネスとして考えると、技術提供者側の論理とそれが必要と考えられる顧客企業との認識にかい離があり、健全なビジネスとして発展しづらいのが実情である。特に、プラントエンジニアリングなどの現場では、顧客となる企業は、その製造におけるプロフェッショナルであり、日常の点検業務などを自前で実施できる能力を持った企業も多くあり、新たなコストとして予知ビジネスをとらえられがちである。しかし、適正な対価を要求できるだけの根拠を持って予

知保全技術分野のビジネスが展開できないと、この分野の発展は困難である。顧客が得た価値に対して正当な対価を得るという基本を確立する必要がある。

このような問題意識で活動してきたJEITA（一般社団法人電子情報技術産業協会）の情報・産業システム部会、産業システム事業委員会に設置された制御・エネルギー管理専門委員会のWG3（産業オートメーションシステムのサービスビジネスに関する調査・検討）の活動¹⁾を支援した経緯で得た知見を基に、予知保全技術をはじめ広く産業オートメーション分野のサービスビジネス化に関して述べる。

2. 産業オートメーションにおけるサービスとは

サービスに関係する研究分野が発展しつつあり、活発な活動が見られるようになってきた。このところの経緯をまとめると、まず情報分野における情報技術サービスの価値をどう決定するかという問題を解決する目的からIBMを中心にサービスサイエンスという分野が提唱され、研究が遂行されてきた。情報分野のサービスの価値が、開発などに関わったプログラマーが従事した人月計算で決定される構造に対する疑問が新分野を創出させたのである。これと並行して日本ではサービス工学が提唱され、機械設計と同様な手法でサービスを設計する方法論が研究されてきた。このような経緯から2012年10月1日に国際学会としてのサービス学会（Serviceology）が日本で設立され、すでに2回の国内会議と2回の国際会議が開催された。

このような状況で、JEITA情報・産業システム部会、産業システム事業委員会に設置された制御・エネルギー管理専門委員会のWG3では、広く産業オートメーション分野における保守保全サービスビジネスを深化させるために検討を進めてきた。

その問題意識は、本WG3に参加する企業メンバーが、予知保全技術がサービスとして正当な対価を要求するだけの理論的根拠を示すことの困難さを熟知していたことにある。産業オートメーションサービスにおいてもITビジネスと同様、その価値を示す価格は工数（派遣される技術員数×日数）と、部品な

どのコストの積算で決定され、提供する価値、顧客が得た利益に見合った価値体系が確立されてこなかった。そして、予知保全技術だけではなく総合的な産業オートメーションにおけるソリューションビジネスの重要性を認識するに至った。

すなわち、産業オートメーションのサービスとして、システム/機器の保守から、システムの最適運用を提案したり、省エネや操業改善をサポートしたりするなど、ソリューションビジネスの視点でビジネスを展開するにあたり、サービス価値の視点で、ユーザーとサービスプロバイダーとの間で提供されるサービスと、それに対する正当な対価について適切な決定がなされる仕組みを構築することが重要になってきたのである。

このことについて広く調査したところ、欧州において産業オートメーション分野のサービスについて体系化がなされてきたことがわかった。たとえば、英国ではGAMBICA²⁾(The national organisation representing the interests of companies in the instrumentation, control, automation and laboratory technology industry in the UK, GAMBICAはさまざまな業界団体を統合して設立されているので、この名称は略称ではない。)が、ドイツではZVEI³⁾(Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie)が、そしてフランスではGimelec⁴⁾が業界団体として、オートメーションサービスクラス体系を考案し、業界団体に属する企業が提供するサービスを階層的にクラス0からクラス6までの7階層に体系化し、それぞれのサービスレベルに応じて提供されるサービスの内容が明示的にわかるようになっている⁵⁾。

この体系の概略は以下のようなものである。

クラス0 基本サービス

単体製品についての法的要求事項への対応、およびベンダーが当然対応すべきと考えられるサービス

クラス1 製品・標準サービス

標準の単体製品に対する標準(定型)サービス

クラス2 カスタムサービス

標準の単体製品を「顧客環境に合わせて調整・設置するサービス(その環境における適切な機能発揮の責任は顧客にある)」

クラス3 アプリ応用サービス

ユーザーによる制御システムの構築に際して、製品選定(フィージビリティの検討を含め)、アプリケーション構築のサポートを提供するサービスであり、ベンダーは製品単体レベルでの、適切な選定および性能発揮に関する責任を

負う(システム性能に関する責任は顧客側にある)

クラス4 システム一括サービス

ユーザーの要求仕様に基づいたオートメーションシステムの設計/実装/試運転/メンテナンスを提供するサービスであり、ベンダーは顧客と合意したシステム性能の達成に対する責任を負う

クラス5 プラント関連サービス

顧客の製造プロセス、もしくは製造情報システムにオートメーションを組み込むためのサービスであり、ベンダーはプロセス性能達成に向けたシステム設計に関する責任を負う

クラス6 プラント包括サービス

顧客のプラントにおいて、製造プロセスの能力を達成または改善するために提供されるサービスであり、ベンダーはプロセスのパフォーマンス達成に責任を負う

3. 日本の産業オートメーションサービス体系

このようにオートメーションサービスをクラス化し体系化することを通して、ベンダー企業が顧客と契約するサービス商品のクラスを事前に明示できることになる。このことから、発注スコープが明確になり、ベンダーと顧客との相互の誤解を軽減できることや、顧客からすると複数のサービス提供者の能力(ケーパビリティ)を比較して発注することができるようになる。また、さまざまな市場ニーズから共通する顧客の要求を抽出し、それを明示的に定義することで、わかりやすい分類が可能になり、ユーザー企業が自社では実施できない業務を外部業者に委託する際の参照モデルになることも利点である。さらに、このような業務に携わるスタッフの教育にこの体系を活用することも可能になる。

以上の調査結果を踏まえて、JEITAのWGでは日本版の産業サービスクラスを構築し体系化した⁶⁾。以下にその概要を示す。

クラス0 基本サービス

製品を購入した際に追加指定やオプションで購入せずに自動的に付加されるサービス。無償トレーニング、製品不具合に関する無償情報公開、法令で義務化されている購入直後の不具合品の交換などが含まれる。

(製品購入に無条件で付属する)

クラス1 製品・標準サービス

サービス提供者であるメーカーが標準的に定めるメニュー化されたサービス。顧客は一定の料

金を支払うことで定型的な修理、調整、点検サービスなどを受けることができる。また追加発注による保証期間の延長なども含まれる。

(開示されたメニューからの選択)

クラス2 カスタムサービス

顧客毎の個別の要求に応じて標準サービスにはないカスタマイズ(変更、追加)されたサービス。遠隔地への技術者派遣なども含まれ、価格は要求と交渉に応じて決定される。

(目的はあくまで、納入機器が正しく動作すること)

クラス3 アプリ応用サービス

顧客が購入した製品を利用し、実施する業務目的に応じたサービス。たとえば、購入した製品を顧客現場の配管サイズや周囲の環境条件に応じて設置したり、正常に動作するよう調整するサービス。

(目的は、動作対象となるプロセス動作や業務の遂行)

クラス4 システム一括サービス

顧客が生産活動を実施するために必要な制御コンピュータや計測機器、操作端(バルブ)などの複数の製品を統合して正常に稼働させるためのサービス。

(オートメーションシステムがサービス対象(プラントの装置は対象外))

クラス5 プラント関連サービス

クラス4が、生産のためのシステム稼働を対象とすることに対し、クラス5ではシステムが制御する対象である生産装置やユニットを期待通りに稼働させるためのサービス。

(目的は納入機器でなく、制御対象となる装置の正常動作や性能)

クラス6 プラント包括サービス

クラス6は、複数の生産設備や装置がプラント全体として効率よく、安全に稼働するための問題解決、提案型サービス。

(顧客経営目線でプラント全体の導入効果が明示される)

日本版のサービス体系の特徴は、実施責任(内容、判断)の所在を明確にしたこと、サービスの対象が設備機器に関連する業務であるか否か、あるいはより広く生産設備全体にかかる問題解決であるか否かなどを明確にして分類したことなどにある。また、提供されるサービスが定型的なサービスであるのか、あるいはひとつひとつの問題についてカスタマイズ

されたサービスであるか否かなどの点もサービスクラスを構築する上で重要な視点であると考えた。今後は、構築した体系についてフィージビリティ・スタディを重ねるなど、その普及に向けた活動を実施することが重要であると考ええる。

4. おわりに

本稿で述べたかったことは、産業オートメーション分野で予知保全サービスに従事してきた技術者が社内においても社外においても価値ある業務を遂行していることを明確にすることが重要であるとの動機から始めた活動が、それを実現するには産業オートメーションサービス全体を包括的にサービス価値体系として再構築することが必要であるとの認識に至り、ヨーロッパなどの事例調査から日本版の産業オートメーションサービス体系を構築するに至った理由を示すことであった。

技術価値に対して正当な対価を求めることの難しさは、今後も業界の課題であるが、技術者が自ら自身の価値を定義し明示的に表現することで、この分野の発展に寄与し、結果として安心安全な社会が実現できるという考え方を強調したい。

最後に、JEITA(一般社団法人電子情報技術産業協会)の情報・産業システム部会、産業システム事業委員会に設置された制御・エネルギー管理専門委員会のWG3のメンバーに感謝する。

参考文献

- 1) JEITA産業オートメーションシステムのサービスビジネスに関する調査・検討(WG3), <http://home.jeita.or.jp/cgi-bin/page/detail.cgi?n=464&ca=1>
- 2) ZVEI, "Services in Automation", 2004, (http://cache.automation.siemens.com/dnl/zA/zA0Mjk1NwAA_19852206_TxtObj/BRO_Services_E_31-01-05.pdf)
- 3) The GAMBICA GUIDE, "ASSESSMENT AND SELECTION OF AUTOMATION AND CONTROL SERVICES", 2006, (http://www.serviceclasses.co.uk/web_images/documents/GAMBICA_Service_Classes_Scheme.pdf)
- 4) Gimelec, "Classes de Services", 2005 (<http://www.slideshare.net/Gimelec/classes-de-serviceschargeursfr120100078101e>)
- 5) 岩淵直：独・仏電機工業会との情報交換会報告，電機No696，p. 15-21，(2006)
- 6) 結城義敬，油谷訓男，木幡真望，角口開道，秋定征世，川田誠一：産業オートメーション業界におけるサービスクラスの標準化－JEITA制御・エネルギー管理専門委員会WG3の活動から－，2014年度サービス学会第2回国内大会講演論文集，p. 369-374，(2014)

(原稿受付：2014年12月7日)

解説

色診断による潤滑油状態監視センサ

著者紹介



たか はし つとむ
高 橋 勉

ナブテスコ株式会社技術本部電子技術部
〒210-0804 神奈川県川崎市川崎区藤崎3-5-1
E-mail: Tsutomu_Takahashi@nabtesco.com

1980年東京理科大学理工学部卒、1992年帝人製機株式会社（現在、ナブテスコ株式会社）に入社、光センサ、圧力センサ、MEMSデバイスなどの開発に従事。現在に至る。電気学会、日本磁気学会、レーザー学会、集積化MEMS技術研究会などの会員。

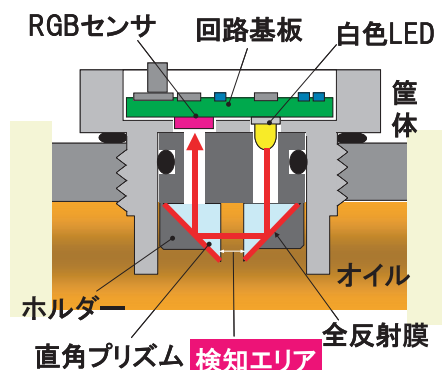


図1 潤滑油状態監視センサ概略図

1. はじめに

近年、産業機械・設備において故障による機会損失の防止、故障保全によるメンテナンス時期の予測をするために、機械・設備の状態を常時監視してできるだけ機械要素の寿命を最大限にする計画保全と故障予知技術が注目されている¹⁾。

本稿では、特に潤滑油（作動油、ギア油、軸受油など）の診断に着目し、劣化原因となる酸化生成物や固形異物（コンタミ）などの混入による色の変化を測定することにより、機械・設備の状態をリアルタイムで測定できるセンサを紹介する。

2. 潤滑油の状態監視センサと色情報診断

2.1 センサの構造

図1に潤滑油状態監視センサの概観図を示す。潤滑油の色情報は、白色LEDから発光した白色光を多層反射膜がコーティングされたプリズムで反射させ、測定する潤滑油中を光が透過し、もう一方の反射膜付きプリズムを介して、RGBフォトダイオードで検出することにより得られる。

なお、プリズム間隔の距離（通常は2mm）を測定対象となる潤滑油に合わせることで光検出感度の調整が可能で、たとえば作動中の数 μm のコンタミ量をいち早くキャッチするためにプリズム間隔をより狭めることにより感度アップが可能な構造を持つ。

またさらに、潤滑油の温度変化によって生じるLEDやフォトダイオードの光感度補正用と、かつ潤滑油の温度変化を相対的に監視できる温度センサも内蔵している。

2.2 センサの原理

色情報の解析方法は、基本的には共同開発している福井大学の本田氏らが考案した²⁾、潤滑油中の劣化汚染を色で判別する方法を用いている。

表1に示したように、フォトダイオードで検出される透過光 R（赤）、G（緑）、B（青）三原色の値を用いて、

- ・光の明るさ（明度） ΔE_{RGB}
- ・最大色差（色の偏り） Maximum color difference (R, G, B 各色の二色間の絶対値の最大差)

をパラメータにしている。

表1 センサの判別パラメータ

2つのパラメータを使用

$$\Delta E_{\text{RGB}} = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \text{ (Brightness of color)}$$

(明度)

Maximum Color Difference : Max. of |R-G| or |G-B| or |B-R|

(最大色差)

2.3 色情報の診断分析

実際の潤滑油の診断は、図2に示したように、事前に測定する潤滑油の新油、劣化油、実際に故障したときの劣化油の ΔE_{RGB} と最大色差のデータベースが必要で、その情報に基づきあらかじめカラーマップを作成する。つぎに測定時の状態（二つのパラメータから算出されたデータ ΔE_{RGB} と最大色差）がカラーマップのどこに位置するかを瞬時に算出し、リアルタイムで潤滑油の状態を監視する診断となる。

測定データからは、故障時の閾値を予測、または故障する前の安全領域を確保する予知が可能となる。

さらに、色診断によって得られる ΔE_{RGB} と最大色差は、潤滑油のそのときの状態、すなわち油自体の酸化劣化が支配的なのか、又は磨耗や固形異物（コンタミ）が多く存在するのかの判断分析もある程度可能である。

たとえば、油の酸化劣化が支配的な場合は最大色

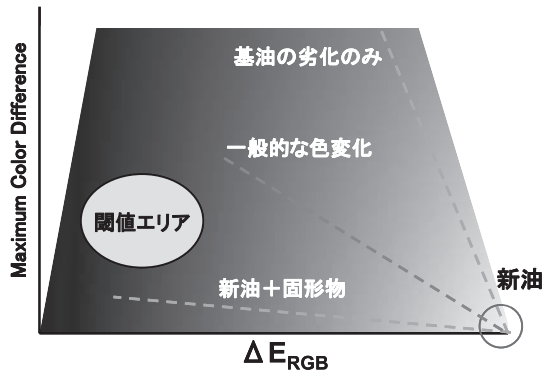


図2 潤滑油の色変化と劣化の関係

差の変化が著しい。これは新油に比べて酸化度合いが進むにつれて、茶色系の色合いが強くなるため、RとB値の差が広がるためである。一方、酸化劣化が進んでなくとも磨耗粉の増加、スラッジの生成、チッピング、粉塵等や水分の混入が生じると、 ΔE_{RGB} の変化が支配的に進むことになり、何らかの故障の前兆として捕らえられることができる。以上をまとめて予知診断する場合のアルゴリズムの一例を図3に示した。

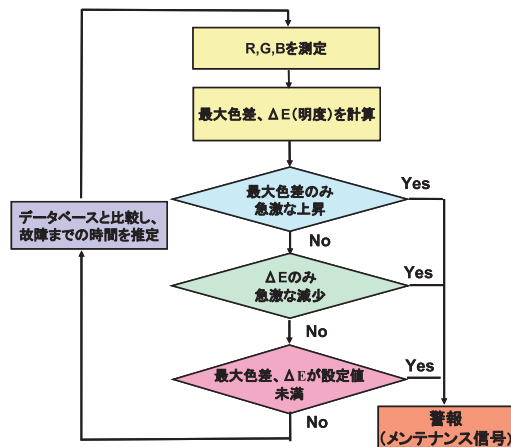


図3 診断アルゴリズム

3. 試験機での分析と色診断の特徴

3.1 試験機データの紹介

図4にはギア油を用いて試験したギアボックスのデータを示す。試験は機械が壊れるまでの加速試験を行い、約1ヶ月間リアルタイムで測定した ΔE_{RGB} と最大色差を示している。時間軸に関係なく、故障時には全て ΔE_{RGB} 、最大色差がほぼ同じ値で破損が生じており、このデータベースを基にアルゴリズムのパラメータを設定して各機械・設備の故障予知設定が可能である。

3.2 固形異物（コンタミ）検出

特に作動油系の場合、コンタミによる機械の故障が問題になっているが、それらの不安定動作の原因のほとんどは $5\mu\text{m}$ 以下のコンタミによることが多い、と報告されている³⁾。

一般にコンタミ用粒子係数法としての計測には

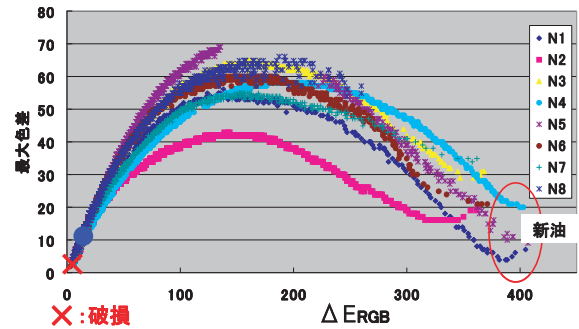


図4 ギアボックスの実測データ（ギア油使用）

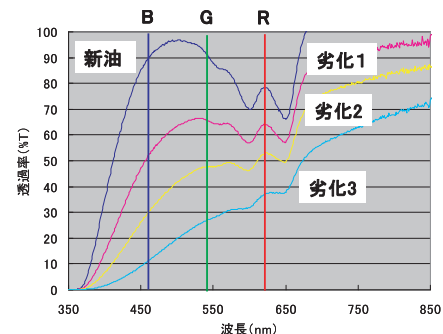
NAS1638によるパーティクルカウンターが多く使用されているが、多くはレーザーなどのビームウエストが 0.2mm 以下のため、 $5\mu\text{m}$ 以下の粒子をすべて捉えることが難しい。

しかし本稿で紹介したセンサの場合、LED発光の白色光の照射エリアが 2mm 以上あるため、極わずかなコンタミに対しても反応する感度を持つ。

具体的には、B（青）の波長域では光の散乱・吸収による透過率の変化がG（緑）やR（赤）に比べて大きく変化するため、最大色差の変化率で解析することができる。図5には、光の検出エリアと磨耗粉のSEM写真を示し、図6にはR、G、B、の分光器による透過率の変化を調べた結果を示した。



図5 固形異物に対する光検出エリアの比較



注）RO150油耐久試験後（定格換算）劣化順に1000、3000、10000時間

図6 作動油中の分光透過率

4. 状態監視センサの今後の課題と展望

4.1 今後の課題

色診断による潤滑油をリアルタイム、すなわちオ

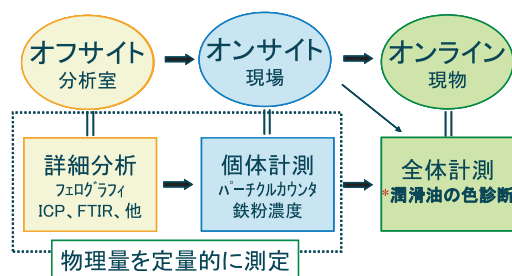


図7 センサの監視方法

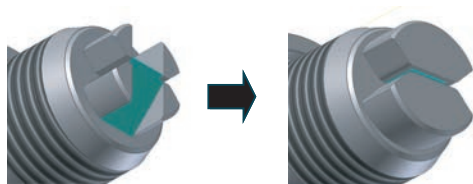


図8 センサ検出部のロバスト化構造

オンラインで監視する方法を紹介しているが、図7に示した従来までのラボレベルで詳細に定量分析する方法（オフサイト）や、その場（オンサイト）で油を抜き取り分析するパーティクルカウンターや鉄粉濃度計と比較し、使用する潤滑油の劣化過程（新油～故障時まで）の色のデータベースが必要となる。したがって前者の定量法に対して相対法によるセンサである。

今後、数ある潤滑油のデータベースをいかに蓄積できるかが鍵となると思われる。

4.2 ロバスト化に向けて

図8には潤滑油状態監視センサの検出部分を示す。オンラインで使用する場合、長期使用のため油やスラッジなどの汚れにより光学面となるプリズムが汚れ、光出力の低減が生ずる場合がある。また油圧系の高圧化（20MPa以上）のために高圧仕様が必要であり、かつ油中に泡の存在があると、センサは泡を異物として検出する。そのため、光学面への撥油膜のコーティング、高圧対用シール、さらに泡対策としてセンサの取り付け位置の調整や、CAE解析を使用して泡の影響を最も受けにくい構造を採用している。

4.3 今後の展望

これまで色による診断法として、色相（ASTM色）：JIS K2580等が主な試験方法として規格化されてきているが、我々が目視で車のエンジンオイルを点検できるレベルとは別に、一見色の変化が無い。たとえば、フェノール系の酸化防止剤が使用されている油などは、劣化してもあまり色変化が無いことが知られておりどこまで診断可能か、今後検討して行く必要がある。

また、色センサ応用に関しても「色の三属性⁴⁾ HVC」、色相、明度、彩度、をさらに応用した解析ソフトを組み込むことによって、表2に示したような機械の状態分析項目⁵⁾について、従来にない別の目で評価ができないか検討を進めている。

表2 潤滑油分析に用いる分析項目

	潤滑油／機械の状態									
	粒子汚染	磨耗粉	異常粘度	水分汚染	添加剤消耗	酸化安定度	すす	熱	腐食	色センサ（+温度）
										色相 明度 彩度
粒子数	○	○								* * *
粘土			○	○		○	○	○		
酸価／塩基価			○		○	○			○	
FTIR分光			○	○	○	○		○		* *
鉄粉濃度		○								* *
フェログラフィ	○	○								* *
RPVOT						○				* *
水分テスター	○	○		○	○				○	
元素分光			○					○		

4.4 遠隔監視による状態監視

センサからデータを集めて遠隔で監視する仕組みの一つとしてEH（エナジーハーベスティング）技術⁶⁾を用いたバッテリーレスのセンサ試作を進めている。本稿で紹介したセンサに熱温度差発電素子と通信モジュールを搭載したセンサをネットワークに繋ぎ、図9のような遠隔での状態監視がリアルタイムで可能である。

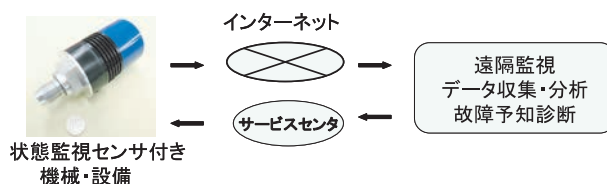


図9 監視センサネットワーク

5. おわりに

産業機械・設備の保全や故障予知技術の向上に向けて、潤滑油に関する色診断技術が広く認められ、世界的にも標準化され普及していくことを切望している。

参考文献

- 1) 本田知己：潤滑油の劣化診断・検査技術，精密工学会誌，75,3 (2009) 359.
- 2) T. Yamagichi, S. Kawaura, T. Honda, M. Ueda, Y. Iwai and A. Sasaki : Investigation of Oil Contamination by Colorimetric Analysis, Jan. 2002 Lubrication Engineering
- 3) 四阿佳昭：潤滑剤診断による設備の状態監視とメンテナンス，潤滑経済，p. 8-15 11月号 (2014)
- 4) 川上元郎，小松原仁：新版 色の常識，日本規格協会
- 5) J. Fitch and D. Troyer : Oil Analysis Basics, Second Edition Revised & Updated 2010, p. 117, Noria Co.
- 6) R. McCarty : Thermal energy harvesting from solid or liquid sources, optimizing for maximum power, size, or form factor at low ΔT , EH & STORAGE USA, 2011, marlow industries, inc.

(原稿受付：2014年12月5日)

解説

作動油の清浄度センサ

著者紹介

いし づか まさ のり
石塚 雅 規ヤマシンフィルタ株式会社
〒235-0033 神奈川県横浜市磯子区杉田5-32-84
E-mail: masanori_ishizuka@yamashin-filter.co.jp

1996年山信工業（現ヤマシンフィルタ）株式会社入社。2010年東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了。フィルタエレメント・ろ材の研究開発。センシング技術開発に従事。現在に至る。43歳。主幹技師。博士（農学）。

1. はじめに

これまで油圧システムは、高出力化・コンパクト化・省エネ化・多機能化など顧客満足の向上を目的として進化してきた。昨今ではこれらに加えて、環境対応技術の導入やアフターサービスの向上による他社との差別化が精力的に行われている。また、ICT（Information and Communication Technology）の活用も活発に行われており、部品レベルでの遠隔管理や油圧システムの無人化に利用されている。これら新技術を支えるのは「壊れない高い信頼性」であることは、今も昔も変わりはない。

そこで本稿では、清浄度センサを採り上げ、ICT化が進む現代における油圧システムの故障予知手法としての可能性と将来像について解説する。

2. 作動油の清浄度

2.1 清浄度検査の必要性

油圧システムは、各種油圧機器とそれらを繋ぐ配管類および圧力を伝達する役割を担う作動油から構成されている。これを人間の身体に例えると、それぞれ臓器や筋肉、血管や神経、そして血液に例えることができる。人間の場合、定期的な健康診断を受診することで自己の健康状態を把握することができる。その中でも血液の検査項目は非常に多く、身体全体の調子を判断する指標であるとともに、大病に繋がる危険信号を検知することができる重要な検査である。同様の検査は、油圧システムにおいても実施されており、定期メンテナンスやサービスに依る

現場対応を行うことによって、維持・管理されている。

2.2 汚染物質の侵入および発生

作動油自体の改良・劣化対策は日々続けられている¹⁾が、故障予知の観点から観ると、人間の体にウィルスが侵入すると異常をきたすように、油圧回路系内への汚染物質の侵入および発生の防止が重要である（図1）。建設機械の場合、一般的には、製造時に混入・発生した異物を取り除くためのフラッシングを工場出荷前に行い、作動油の清浄度を十分に保った状態で出荷される。しかしながら、運用が開始されると、油圧機器の摩耗や劣化に起因する汚染物質の発生、異種油の誤った追い足しによる作動油物性の変化、および屋外や地下などの劣悪な環境で稼働することが多い場合には、外部から汚染物質が油圧回路系内へ侵入するなど、工場出荷後の作動油の清浄度を保つことは重要なことでありながらも、非常に難しい問題であることがわかる（表1）²⁾。

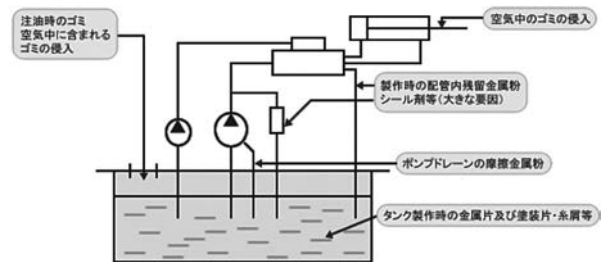


図1 油圧回路系内への汚染物質の侵入および発生

表1 汚染物質の種類

固形粒子

酸化スケール	溶接スラッジ・鍛造スケール・パイプスケール
金属粉	機械加工のバリ・カエリ 機器作動による摩擦粉・溶接時のスパッタ
ケイ砂	鋳物砂・研削粉・大気塵埃
化学物質	パッキンシール材の破片・塗料の剥離等
繊維屑	ウエス・手袋などの剥離屑

液体および気体

水分	大気中の水分（結露など）
異種油	グリース・切削油・防錆油・異種作動油
空気	オイルに混入している空気
その他	油脂劣化による発生スラッジ

3. 作動油の清浄度管理

3.1 清浄度規格

作動油の清浄度を数値評価する規格がある³⁾。油圧システムで常用されるのは、作動油中の粒子数に関するNAS1638とISO4406である。等級のスケールや表記方法が異なるため単純には比較できない。またISO4406では粒子径を3レンジに分けて清浄度を表記するのに対し、NAS1638では原則として1つの数値で表記するため、粒子径分布に関する情報を得にくいなどの特徴がある。ほかに作動油中のきょう雑物質量を測定するJIS B9931も多用される。

3.2 検査機器としての清浄度センサ

NAS1638やISO4406に則り、測定を行う機器として粒子カウンタがある。測定原理は、粒子を含む液体に光を照射することにより発生する光の散乱や陰影を電気信号に変換し、粒子径と個数に換算する方法が主流である。据え置きタイプが主流であり、サンプリングした作動油を分析することにより、油圧システムの状態をある程度把握することができる。また、移動できるようにしたポータブル機やオンラインで測定できるようさらに小型化を図ったタイプもあるが、一般的に高価である。

3.3 故障予知としての清浄度センサ

故障予知を目的として清浄度センサを活用することを念頭に置くと、測定の正確性のほかにいくつか考慮しなければならないことがある。

第1にコストが挙げられる。先述のように、仮に十分な作動油の清浄度を保った状態で工場出荷されたとしても、その後の管理は、定期メンテナンスやサービスに依る現場対応に委ねざるを得ない。これを打開する方策としては、十分な清浄度を得ることが可能な高精度なフィルタ類を多数設置することが挙げられるが、故障した際に作動油中に摩耗粉や切粉が流入してもダストとして捕捉するだけで、故障予知どころか故障を検知することさえできない。したがって、故障予知するためには、個々の油圧機器に清浄度センサを搭載し、常時モニタリングすることが有効である。しかし、清浄度センサは一般的に高価であり、コスト競争が激しい業界においては容易には導入できない事情がある。

第2にリアルタイム性が必要であることが挙げられる。ここで言うリアルタイム性とは、間欠性を持たない常時モニタリングという意味である。つまり、定期メンテナンスやサービスによる現場対応は間欠的であって、サービスを受けた直後は完璧であっても、つぎのサービスまでの間を保障・監視する科学的根拠に乏しい状態となる。この間はオペレータに

よる感覚（動作が不安定、異音がするなど）と、搭載されている異常を感知するセンサ類に頼らざるを得ない（図2）。このような場合に、清浄度センサを搭載し、数か月～数年という中長期的かつ連続的な作動油の清浄度のモニタリング結果を統計処理することができれば、故障に至る前兆を、これまでと異なる清浄度の悪化の傾向として把握することが可能となり、致命的な故障に至る前にメンテナンスを行えるようになると考えられる。また、作動油の清浄度は、環境や動作の内容によって上下動するため判別は難しいが、短時間に想定以上の急激な清浄度の悪化が観られた場合には、即座に油圧システムを停止させるなどの対処が可能となり、損害の拡散を防止することにも役立つと考えられる。

第3に、たとえば昨今の建設機械のICT化による無人化が挙げられる。鉱山などでは、建設機械のICT化が進み、GPSやPCを活用したシステム運用がなされている（図3）。徹底したメンテナンスサービスが実施されていることが多いが、故障予知を目的として清浄度センサを搭載することにより、個々の機体の状態をリアルタイムに把握でき、メンテナンスの頻度やタイミングを管理・運営する際の判断材料としての活用が期待できる。

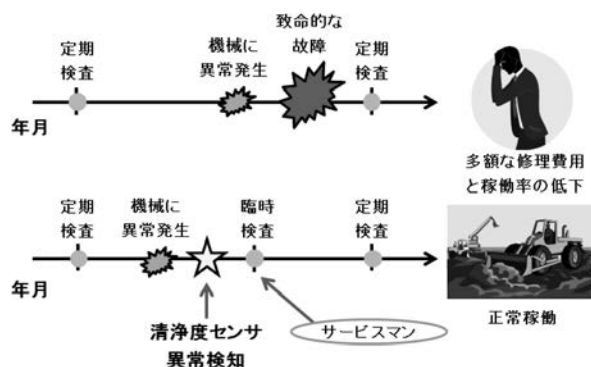


図2 故障予知による重大な故障の回避



図3 モロッコのリン鉱山

4. 油圧システムの清浄度の現状

一例として、実際に稼働している建設機械からサ

ンプリングした作動油のNAS等級分析結果を示す(図4)。主にパワーショベルについて調査したもので、機種や稼働時間等の条件はさまざまである。

これによると、機体数がもっとも多いのはNAS9級であり、次いでNAS8級、10級が多かった。NAS11級を超える機体数は激減するものの、NAS13級を超える機体も存在していた。この清浄度になると建設機械の何処かになんらかの問題を抱えていることが推察される。筆者の測定では新油の清浄度はNAS7級程度であったことも鑑みると、一般的にはNAS7級～10級程度の清浄度であることが伺われる。

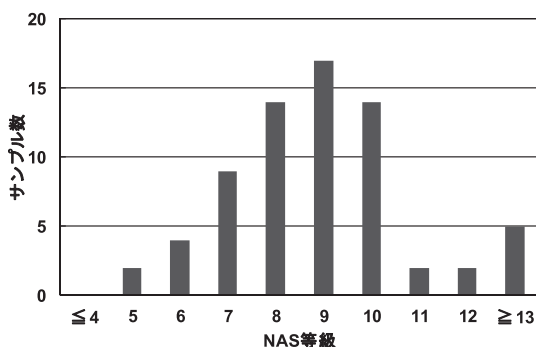


図4 実機サンプリング作動油の清浄度 (NAS等級)

5. 課題

油圧システムに清浄度センサを搭載することを考えた場合、3.3項に挙げたコストの問題に加え、解決しなければならない問題がある。まず、油圧の高い圧力や圧力変動に耐えなければならず、必然的に筐体には強靱性が求められる。つぎに、建設機械のような屋外で稼働する油圧システムの場合、雨風対策や環境温度および作動油から清浄度センサへ伝わる熱などに配慮が必要であるが、一般的な清浄度センサの動作温度範囲は比較的狭いことが多い。また、作動油のキャビテーションやエア吸い込みにより発生する油圧回路系内の気泡もセンシングに影響を与えるため、何らかの対応が必要である(図5)。

加速度10Gを超える振動を伴う場合も多く、この

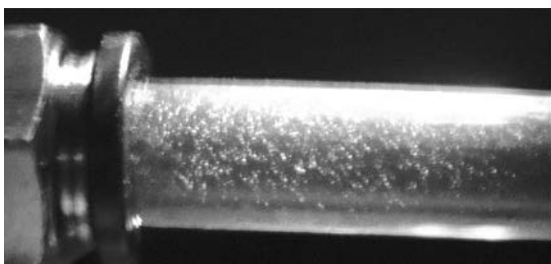


図5 油圧回路系内に発生した気泡

ような振動をしている中でも正確なセンシングを行えるだけの安定性が求められる。さらに、清浄度センサに流れ込む流量が規定され、その流量範囲も狭く限定されていることが多く、流量が大きく変動する油圧回路に清浄度センサを適用する際の障害となる。このような場合には別途、流量制御機器を追加することが一般的であるが、ユーザの立場で言えば、清浄度センサへの流入油量を気にせずに済むようなセンサが切望されるであろう。

6. 清浄度センサの将来像

このような現状を踏まえると、故障予知としての清浄度センサに求められる将来像が見えてくる。いかに正確に清浄度を測定しようとも、故障を治すことはできないことを鑑みると、清浄度を測定することに固執するのではなく、故障の危険があることを早期に察知し、大きな故障に発展する前に対処できるようにすることが重要である。

たとえば、図4を例にすると、NAS11級を超える清浄度に達した場合や短期間での急激な清浄度の変化を察知した場合に、建設機械に何かしらの異常があると考え、メンテナンスを即時に行うなどの処置を行えるようにすることである。

これを実現するためにはオペレータに異常を知らせるインジケータの搭載や中長期の清浄度データを統計的に処理して異常を察知し、メーカー側からの積極的なサービスを展開できるシステムの構築が必要となるであろう。

7. おわりに

本稿では作動油の清浄度センサとして、主に粒子数計測に関することについて述べた。しかし、より作動油の清浄度についての知見を得るためには、動粘度、酸化度、比重、水分量、きょう雑物量、粒子の種類(鉄/非鉄)などの情報を総合して判断すべきであることは言うまでもない。これら作動油の清浄度および故障予知に役立つ指標についてのセンシング技術が発展し、社会の役に立っていくことを期待する。

参考文献

- 1) 三本信一：フルードパワーシステムを支える油圧作動油の最新技術，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol.38，No. 2，p. 78-82 (2007)
- 2) http://www.yamashin-filter.co.jp/products/oil_filter/index.html
- 3) 実用油圧ポケットブック，日本フルードパワー工業会，p. 242-243 (2008)

(原稿受付：2014年12月5日)

解説

電動流量制御システムを利用した空気圧機器の故障予知

著者紹介



さいとう ゆたか
齊藤 悠

株式会社コガネイ
〒184-8533 東京都小金井市緑町 3-11-28
E-mail: saitoh-yk@koganei.co.jp

2003年秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科卒。同年株式会社コガネイに入社。現在に至る。空気圧アクチュエータ、電動制御機器開発に従事。

1. はじめに

製造装置や工場生産ラインに搭載される空気圧機器のメンテナンス交換の多くは、過去の経験測や製品公称寿命を基に、周辺機器に影響のないよう十分余裕をもって行う定期交換（予防保全）と、機器が劣化するまで使用し続け、異常が認められた時点で行う交換（事後保全）に分けられる。前者は、計画的なメンテナンスを実施できるが、対象機器の性能が正常であっても交換や廃却することになり、コスト面・環境面で問題が残る。後者は、予期せぬ工程異常による生産停止により、生産ロスや想定外の工数が生じる可能性がある。また、これらの事態に備え、あらかじめ在庫を持たなければならない。

このような問題の解決には、機器の劣化レベルを検出できる空気圧システム構築が必要である。劣化レベルをモニタリングし、異常が生じる直前まで機器を効率よく使用することで生産性向上と計画的メンテナンスが可能となる。

本稿では、図1の実用化されている電動流量制御



図1 電動流量制御弁（左）と
タクトタイムコントローラ（右）

弁（以下、制御弁と呼ぶ）とこれを制御するタクトタイムコントローラ（以下、TTCと呼ぶ）による電動流量制御システムを利用した空気圧シリンダの故障予知について解説する。

2. 電動流量制御システム

2.1 概要

図2はシリンダ作動における一般的構成に、制御弁・TTCを組み込んだ電動流量制御システムの一例である。

制御弁はモータを搭載し電氣的に制御を行う速度制御弁（チェック弁付き可変絞リ弁）で、従来の手動型速度制御弁ともっとも異なる点である。流量は開度（弁の開き量、単位：%）を数値入力することで制御される。また、高減速比の減速器を内蔵しており、出力軸側からは動かない構造となっている。すなわち、設定した開度は機械的に保持され、モータは作動時のみ励磁すればよい。

TTCはシリンダに取り付けられた磁気近接スイッチなどのセンサ信号を取り込み、シリンダ作動時間のモニタリングを常時行う。そして、この時間を設定した時間に保つように制御弁を適宜作動させ、シリンダの作動時間補正（流量調整）を行う制御機器である。TTCの設定・作動時間確認はパソコンまたはタッチパネルなどの外部機器で行う。

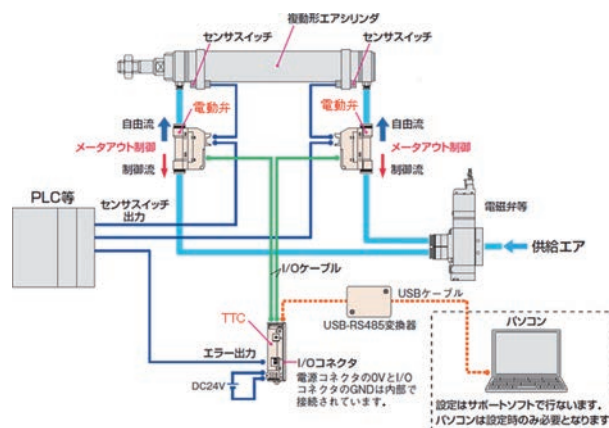


図2 電動流量制御システム

2.2 自動補正機能

制御弁とTTCによるシリンダの作動時間補正機能を「自動補正」と呼ぶ。実際にTTCがどのように自動補正を行っているか、図3を用いて説明する。

自動補正を実行する際に設定する項目は、「設定時間」「補正点」「エラー点」の3つのパラメータである。

設定時間とはシリンダが動き出し、ストロークエンドに到達するまでの作動時間を決めるパラメータである。

補正点とは自動補正を実行する時間の範囲を決定するパラメータである。補正点間は補正待機ゾーンと称し、自動補正を実行しない範囲である。仮に設定時間を1s、補正点を±0.05sに設定すると、シリンダ作動時間が0.95sから1.05sの範囲では自動補正は行わない。しかし、この範囲から外れると、補正待機ゾーン内に入るよう補正を実行する。このようにしてシリンダ作動時間を設定時間に近づけようとする。実行した補正の回数はTTCでカウントしており、パソコンなどで確認することができる。

エラー点とはエラー出力信号を出力する時間の範囲を決定するパラメータである。エラー点間から外れると、TTCは外部に信号を出力する。仮に設定時間を1s、エラー点を±0.1sに設定すると、シリンダ作動時間が0.9s以下もしくは1.1s以上になると信号を出力する。エラー出力はエア漏れによるシリンダの暴走や異物噛み込みによる急激な速度低下等の異常時に緊急停止信号として使用できる。

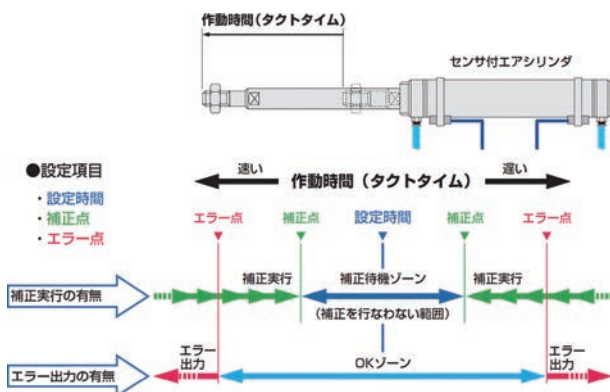


図3 自動補正イメージ

3. 故障予知への応用

3.1 シリンダの故障モード

シリンダの故障モードは多々考えられるが、長期作動において発生する故障は、以下2要因の占める割合が非常に高い。

第一は、パッキン損傷による作動不良である。た

とえば、ピストンロッド摺動部をシールするロッドパッキンは摩耗などによりシール機能が低下する。これによりエア漏れが発生し背圧制御が困難な状態になり、シリンダのピストンロッド押出時の作動時間は短くなる。

第二は、潤滑剤減少による作動不良である。潤滑剤が減少してくると摺動部の摩擦抵抗が増加し、作動時間は長くなる。潤滑剤が枯渇すると、作動しないもしくはパッキン摩耗が促進しエア漏れに至る。

3.2 自動補正回数による劣化検知

前述の故障は一定の作動回数に到達して急激に悪化するものではなく、微少な変化（劣化）を積み重ねていき、ある時点で使用上の許容範囲を逸脱したときに故障と判断される。したがって、この段階的変化を把握すれば劣化レベルが検知可能と考える。そこで利用するのが、制御弁とTTCによる自動補正機能である。シリンダ作動時間は劣化とともに変化していくが、自動補正により設定時間へと補正される。劣化していく程補正回数は増えていくので、補正回数やその増加量を把握することで劣化レベルを判断できる。

3.3 シリンダ劣化検知試験結果

図2の構成で、複動形シリンダをロッドパッキンが破損し制御不能になるまで作動させたときの作動時間と補正回数およびシリンダ劣化状態を示したグラフを図4に示す。

図4より、作動回数の少ない状態では補正回数は少なく、作動時間の変化も少ない。しかし、作動回数が増えていくと補正回数も増加し、 9×10^6 回付近から顕著に増加する。 $10 \times 10^6 \sim 12 \times 10^6$ 回では、シリンダは正常に作動しているが、小規模なエア漏れが発生し、補正回数はより増加する傾向にある。したがって、作動時間は頻繁に変化していたと判断できる。 12.5×10^6 回では、多量のエア漏れが発生し制御不能となった。

本結果では、自動補正増加量を基準に4つの劣化レベルに分類することで故障予知が実現する。これらをまとめたものを表1に示す。まず、シリンダが正常で補正回数も少なく安定した状態である。これは「正常レベル」の領域である。つぎに、作動回数が公称寿命を超え、シリンダから少量のエア漏れが発生し、補正回数が徐々に増してくる領域である。これは「注意レベル」の領域である。この領域では使用上支障はないが、劣化の進行が認められる領域であり、シリンダのメンテナンスを検討する段階である。そして、補正回数が著しく増加し、シリンダ作動が不安定となりつつある「警戒レベル」である。この領域では、性能維持の限界が近づいており、メ

メンテナンスを実施する段階であるといえる。最後に、制御不能となる「故障（機器寿命）」である。

このように、自動補正回数から劣化レベルを見定めることで、故障予知が実現できる。

3.4 外乱の影響と留意点

図4に示した試験は、外乱の影響を受けない環境下で実施した。実際には、初期トラブルやほかの機器の不具合がシリンダ作動に影響を与え、シリンダ自体は正常でも自動補正回数が増加する可能性も考えられる。このような場合、補正回数だけでは判断は難しく、補正回数とシリンダ作動回数の両方の情報から判断することを推奨する。

また、シリンダ劣化速度と補正回数は、作動条件やTTCのパラメータ設定により異なってくるのでご留意いただきたい。

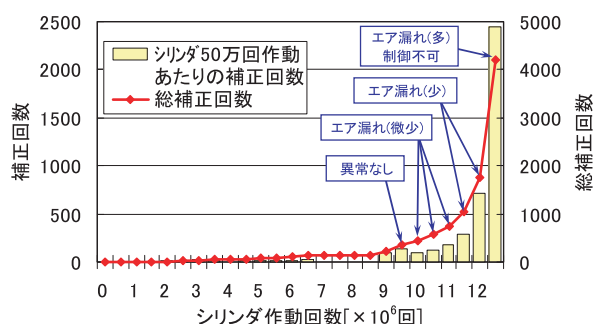


図4 シリンダ劣化状態と補正回数

表1 自動補正から判断するシリンダ劣化レベル

シリンダ 作動回数 [$\times 10^6$]	シリンダ状態	自動補正 回数	シリンダ 劣化レベル
0	正常	微少	正常レベル
5.0 (公称寿命)			
8.5			
9.0			
9.5	エア漏れ：微少	少ない	注意レベル
10.0			
10.5			
11.0			
11.5	エア漏れ：少ない	多い	警戒レベル
12.0			
12.5	エア漏れ：多い 制御不可	非常に 多い	故障（寿命）

4. おわりに

本稿では電動流量制御システムによる空気圧シリンダの故障予知について説明した。本内容がさらなる故障予知技術向上に活用できれば幸いである。また、電磁弁や調質機器などの空気圧機器においても今後故障予知の研究が進み、空気圧システム全体で故障予知が実現可能になることを望む。

(原稿受付：2014年12月9日)

ビッグデータを用いた異常時、 正常時の比較による故障予知処理のアルゴリズム

著者紹介



すず 木 ひで あき
鈴 木 英 明

(株)日立製作所日立研究所
〒312-0034 茨城県ひたちなか市堀口832-2
E-mail : hideaki.suzuki.qr@hitachi.com

1994年東北大学大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻修士課程了。同年(株)日立製作所入社。監視システム、保全技術などの研究・開発に従事。現在同社日立研究所スマートシステム研究部主任研究員。人工知能学会会員。

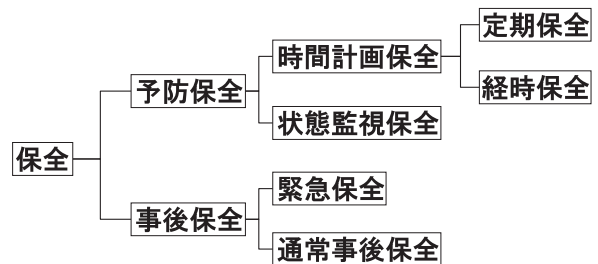


図1 JISによる保全方式の分類

1. はじめに

新興国における社会インフラ需要の高まりに従い、製造業における新興国の売上高比率は2012年35%から更に増加が期待される¹⁾。社会インフラ事業では、設備機器の販売だけでなく、運用や保守といった製品ライフサイクル全体での対応が重要となり、インフラ事業者の海外展開における課題となっている。運用や保守では人的リソースに頼ることが多く、事業を拡大するためには優秀な人材を確保することが必要となる。しかし、人材の確保や育成には費用と時間がかかるため、ICT (Information & Communication Technology) を活用したシステム化や自動化による運用、保守作業の高度化や省力化が注目を浴びている。そのような動向の中、IoT (Internet of Things)、すなわちモノを繋いでデータ通信を行い、集めたデータを活用してインフラ機器の運用保守サービスを効率化する動きがでてきている。本稿では、設備機器の保守サービスを支えるビッグデータ活用について、適用事例を紹介する。次章では保守と監視について述べ、3章でデータを用いた適用例を説明し、最後にまとめとする。

2. 保守と設備機器の監視

2.1 保守の方式

保守の方法は大きく分けて、事後保守と予防保守の2つがある。JISでは保守（保全）の方式をJIS Z 8115-2000で図1のように定めている²⁾。

設備機器の保守においては一般的に予防保守が適

用されるが、現在の主流は時間を基準とするものである。時間基準の方式は、カレンダーに従った定期保守と設備機器の稼働時間の従った保守がある。

一方、何らかの方法で設備機器の状態を監視し、状態の劣化に応じて保守をするCBM (Condition Based Maintenance) が注目されるようになってきた。米国NASAを中心として実施した調査によると、航空機の保守において時間が劣化の支配的な要素となっている故障は全体の11%に過ぎず、保守を行うことで返って初期故障を誘発するケースは68%にも及ぶ。したがって、設備機器の状態を監視することで保守を最適化することが望ましい。

2.2 状態監視のための故障予知技術の導入

従来、設備機器の監視には個々のセンサからの出力に基づいたアラームが一般的に用いられてきた。アラームの発報条件は、設計段階で組み込まれており、安全や機器保護の観点からその基準が設定されている。一方、現場の保守員の声を聞くと、誤報の対応に悩まされているケースが多く、独自の判断基準を設定してアクションを決めていることが多い。

近年、計算機のパワーが飛躍的に向上したことで機械学習と呼ばれるデータ分析技術が注目されている。ここでいう機械は人間に対する計算機の知能のことを指し、人工知能とも呼ばれるものである。80年代にもエキスパートシステムとして人工知能が注目された時期があるが、現在のものは高度な数学を活用したものが中心である。

機械学習は、図2に示すように、センサの個別の閾値判定ではなく、センサ群を多数の数値の時系列データと捉え、データの分布からの距離に応じて判

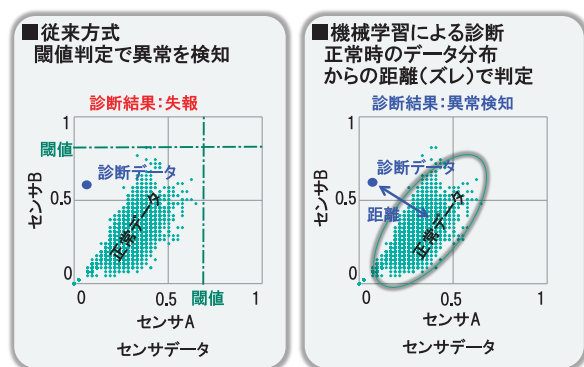


図2 閾値判定と機械学習による判定

定する。

機械学習を活用することのメリットは、①対象を問わない②精度がよい③監視に専門家が必要ない、などの点があげられる。課題は、必要なデータを収集できるかという点である。ICTの発達で現在は大量の設備機器データを収集できる環境が整ってきている。

3. 機械学習による故障予知

3.1 正常状態の学習と異常検知

機械学習による故障予知のうち、対象の状態を正常と異常に分けて判定する技術は、異常検知と呼ばれ、機器のセンサが取得した観測値を活用する。対象により取得できるセンサ数、サンプリング間隔などは異なるが、時系列の連続したデータであることが前提となる。

図3に示すように、機械学習は、訓練データとなる正常動作時の稼働データを学習させる学習段階と、判定データとなる異常動作時の稼働データを診断させる検知段階に分かれる。時系列のセンシングデータは各時刻におけるセンシングデータの値を1組のベクトルとして扱う。機械学習では、この各時刻のデータを多次元空間上の1点として扱い、学習アルゴリズムによって、その空間上での分布を学習する³⁾。

シンプルな利用方法としては、設備が正常に動作している期間の稼働データを機械学習させ、あとは日々の稼働データを入力すれば、異常が検知できる。図4に示すように機械学習による異常検知の本質は、

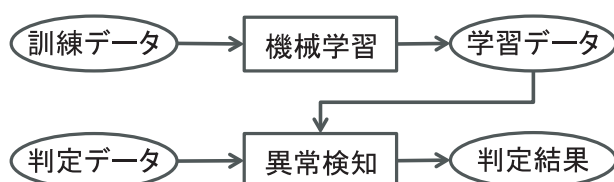


図3 機械学習による異常検知

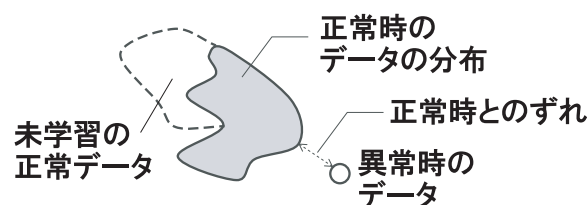


図4 正常データと異常データのずれ

学習させる正常データと診断させるデータとがどれだけ“似ているか”あるいは“似ていないか”を適切に数値化できるかという点にある。データが似ていなければ、その「ずれ」が異常として検知されたことになる。

3.2 異常検知の実験例

図5は建設機械の実稼働データに基づいて、模擬異常データを生成し、機械学習による学習と異常検知の実験を行ったものである。前述の訓練データと判定データの「ずれ」を以下異常度と呼ぶ。訓練データに含まれていない正常データの範囲では異常度は大きくならず、模擬異常データの部分で大きく振れている。ここで注目すべきは運転モードの切り替わりにも追従している点である。この方法では面倒なセンサごとの閾値設定や機器の制御モードごとの切り分け判定は必要がない。

しかし、機械学習アルゴリズムに与える訓練データが不適切であると、正しくない判定結果が出力されるようになる。図6では訓練データが不十分なため、正常であるにも関わらず異常と検知される誤検知の例を示している。訓練データに該当するセンサデータが存在せず、未学習であったことを示している。また、図7に示す例は、与えた訓練データの中に、本来検知すべき異常データが含まれてしまい、異常な状態も学習に含めたため、異常を正しく検知できていない例である。このように、訓練データの適切

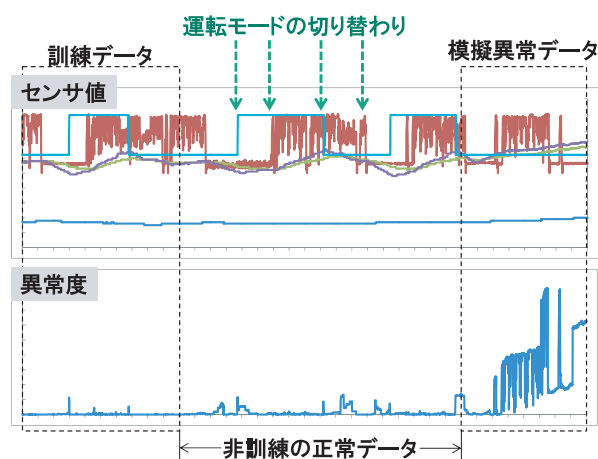


図5 模擬異常データとその検知

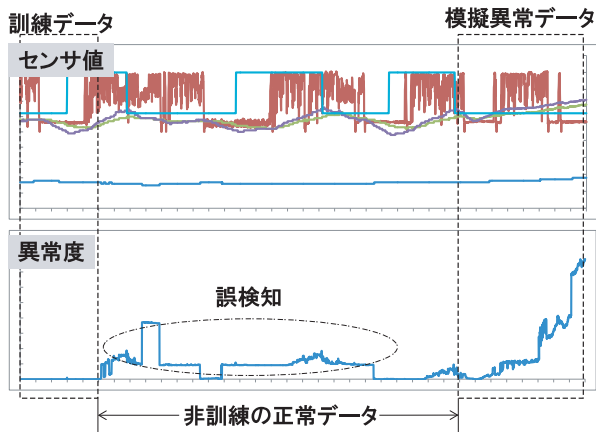


図6 誤検知

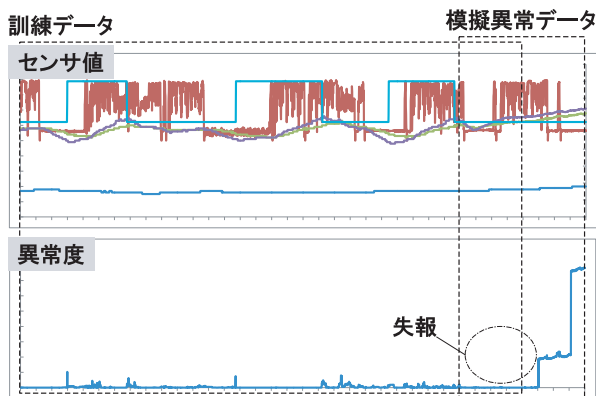


図7 失報

な選定は、検知性能を左右する重要なポイントである。設備機器の異常検知においては、必ずしも異常データが初めから準備できるわけではない。正常データのみでも運用を始められるようにする必要がある。

3.3 故障予知のシステム化

機械学習による故障予知のシステム構成例を図8に示す。この例では建設機械の車体上に故障予知アルゴリズムを実装したコントローラを搭載している。ICTが発達しても、発生するセンサデータの量と比

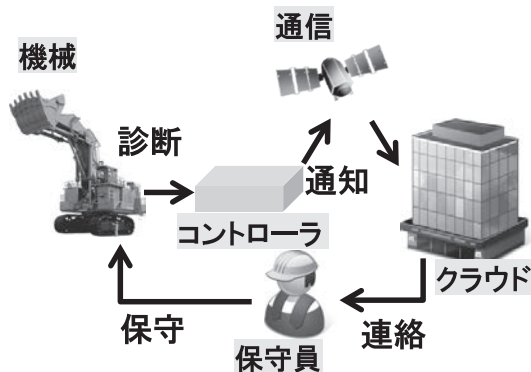


図8 システム構成例

較すると、現実には通信や記憶装置が性能面でもコスト面でもボトルネックになっている。したがって、このような構成はより広い対象に適用するのに有効である。

機械学習では、学習段階は大量の実データを処理する必要があるため、事前に作成した学習データをコントローラに搭載している。コントローラは入力される判定データと学習データとを比較してリアルタイムで異常検知を実行する。

故障予知の判定結果は、予知情報として従来のアラームと同様の枠組みで記録、通知することができる。保守員は予知情報に基づいて事前に立てた保守計画に従って保守を実施することができる。また、保守を実施する際に、建設機械に蓄積したデータを回収し、新たな訓練データとして活用することにより、故障予知の精度向上に繋げることができる。

4. 今後の展開

従来のアラームによる監視では、組み込んだ判定ロジックは基本的に変更されることはなかった。しかし、実際には設備機器は稼働環境によってさまざまな挙動をするため、機械学習を活用した故障予知は保守効率化の観点から非常に有用である。一方で、データを基準に判定が行われるため、故障予知の精度確保のためには、学習データの検証が何より重要である。また、経年とともに設備機器の状態も変化するため、その状態に最適な判定を行う必要がある。そのためには、随時データを収集するとともに、収集したデータに基づいた学習データの更新が重要である。場合によっては、新しい判定ロジックを導入することも考慮すべきである。

今後は、あらゆる環境で稼働している設備機器のデータを比較することにより、故障のうちの環境要因と設計要因、個別の要因と共通の要因を切り分ける技術の開発に展開していきたい。

参考文献

- 1) 国際協力銀行, 「わが国製造業企業の海外事業展開に関する調査報告」
https://www.jbic.go.jp/wp-content/uploads/press_ja/2013/11/15775/2013_survey.pdf, 2013
- 2) 日本規格協会, http://www.jsa.or.jp/stdz/edu/pdf/b2/2_11.pdf, 2007
- 3) C. M. Bishop: パターン認識と機械学習, 2007, シュプリンガー・ジャパン

(原稿受付: 2014年12月10日)

高度複雑システムの故障予兆検出技術

著者紹介



ふじしま やすお
藤島 泰郎

三菱重工業㈱
〒676-8686 兵庫県高砂市荒井町新浜2-1-1
E-mail: yasuo_fujishima@mhi.co.jp

2010年京都大学大学院情報学研究科修士課程修了。同年三菱重工業高砂研究所に入社。現在に至る。信号処理、パターン認識の研究に従事。IEEE、電子情報通信学会、システム制御情報学会の会員。修士（情報学）。



なかやま としや
中山 俊也

三菱航空機株式会社
〒455-8555 愛知県名古屋港区大江町2番地の15
E-mail: toshiya_nakayama@mitsubishi-aircraft.com

2000年名古屋大学大学院工学研究科電子機械工学専攻修士課程修了。同年三菱重工業名古屋航空宇宙システム製作所に入社。2008年に三菱航空機株式会社に転職派遣。現在に至る。航空宇宙機の電装システム設計開発に従事。修士（工学）。

1. はじめに

近年、輸送機械や産業機械など機械システムの複雑化が進んでいる。このような複雑システムにおいては、構成要素単独の性質からは予測できない事態が発生して微細な変化が系全体に大きな影響を及ぼし得るため、故障もしくはその予兆を検出する技術への期待が高まっている¹⁾。

故障予兆を検出するための手法は大きくつぎの2種類に分類することができる。一つは対象の物理現象と確率的なゆらぎを反映した数式モデルを構築して状態推定を行うタイプであり、もう一つは複数のセンサを用いて計測したデータの“パターン（分布）”から対象の状態を診断するタイプである。

前者の例としては、蒸発器に投入する冷却材の漏れを状態とみなし粒子フィルタ²⁾を用いて状態推定を行うことによりその漏れを検出するアルゴリズムが提案されている³⁾。粒子フィルタは状態方程式が非線形・入力や雑音が非ガウスの場合でも適用可能な状態推定手法であり、このような特定の故障を検出したい場合には有効な手法である。しかし、粒子フィルタで用いる状態方程式には対象とするシステム特性（機械の効率など）を反映するが、それら

のパラメータは年月の経過や機械システムのメンテナンスにより変化する。よって状態推定に基づく故障予兆検出では、並行してシステム同定も実施しなければならないという煩わしさがある。さらに、機械システムにおいて検出すべき故障予兆が種類のみというケースは稀であり、要因が異なるさまざまな故障予兆一つ一つに対して状態方程式を定義し、それら複数の状態方程式の状態推定とシステム同定を同時に実施するのは困難である。

そこで本解説では、高度複雑システムにおいて発生するさまざまな故障予兆をまとめて検出することに焦点を当て、後者の計測データ群全体の“パターン”から対象の状態を診断する技術である“パターン認識（Pattern Recognition）”⁴⁾について述べる。

2. パターン認識による故障予兆検出

2.1 システムの構成例

図1に、パターン認識による故障予兆検出システムの構成例を示す。まず、対象とするシステムに取り付けたセンサの数を M 個とし、それらの計測値（生データ）をコンピュータに取り込む。この時点で M 次元ベクトルが得られる。

これら生データそのものをパターン認識への入力として用いるよりもむしろ、物理現象（あるいは対象のシステムに関する事前知識）を利用した“特徴量”を生データから抽出し、それをパターン認識に対する入力として用いることが多い。たとえば圧力の変動が故障と関連しているというシステムに対する事前知識があれば、圧力の生値をパターン認識の入力とするよりもその変化量を入力とした方が、故障予兆の検出精度が向上するものと期待できる。このような事前知識を活用し、図1に示すように N 個の特徴量を抽出する。また、特定の物理事象にのみ着目して特徴量抽出することはすなわちそれら以外の物理事象を無視していることに注意されたい。つぎに、抽出した特徴量からなる N 次元ベクトル x が、パターン認識（正常か異常かの判定）を行う関数に対する入力となる。この関数のことを識別器とよび、ここでは $f(x)$ と表現する。識別器 $f(x)$ の出力は主に識別結果そのものであり、故障予兆検出においては正常／異常の2値の結果を返すことが多い。

ここで、識別器 $f(x)$ を構築するためにはあらかじめ“学習”を行う必要がある。故障予兆検出の場

合、正常・異常データのサンプル（トレーニングデータ）を所定の学習アルゴリズムに与えて学習を行い、 $f(x)$ を構築する。これは“機械学習”とよばれ、さまざまなアルゴリズムが提案されている⁴⁾。また、故障予兆の検出対象とするシステムの特性が時間とともに変化する場合には、追加学習が必要となる場合もあり、効率的なアルゴリズムの研究も行われている⁵⁾。

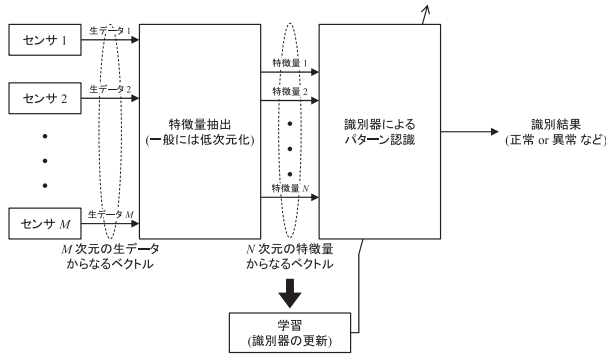


図1 パターン認識による故障予兆検出のシステム構成例

2.2 機械学習によるパターン認識

機械学習はパターン認識を行う識別器 $f(x)$ を構築するために実施される。学習則に応じて得られる識別器が決まるため、いかにしてトレーニングデータを識別器に学習させるかは重要な問題である。本節では、パターン認識／機械学習の分野において基本的かつ重要な、線形識別器とその学習則について述べる。線形識別器は

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b \quad (1)$$

の形で表現でき、図2のような分離線を引く（ $N=2$ の場合・一般には分離超平面）。ここで $\langle \cdot, \cdot \rangle$ はベクトルの内積演算子を表す。また、 w, b はそれぞれ識別器のパラメータであり、トレーニングデータの“ラベル”（故障予兆検出の場合であれば正常/異常）を正しく識別・分類できるようなパラメータを獲得することが学習の目的である。識別器への入力 x が分離線上に位置する場合には、 $f(x) = 0$ となる。 $f(x)$ の値はこの分離線からどの程度離れているかを表し、特にその符号（+/-）を見ることにより識別器への入力データ x が属するラベルを推定できる。

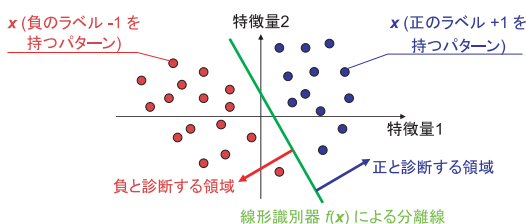


図2 線形識別器によるパターン認識

ここからは、線形識別器のパラメータ w, b を決める学習則について述べる。識別器への入力データとそれらが属するラベルの両方を与える学習則を教師あり学習、入力データは与えるがラベルは与えない学習則を教師なし学習とよぶ。ここでは教師あり学習の例として、Support Vector Machine (SVM)⁶⁾を紹介する。図3にSVMによるパターン認識の概念図を示す。SVMでは、学習時に識別器へ与えた多数のトレーニングデータの中で、分離線の形成に寄与しない不要なデータを棄却する。SVMでは2次形式の制約条件付き最適化問題を導入し、棄却されずに残った分離線にもっとも近いトレーニングデータ（サポートベクトル）のみを用いてパラメータ w, b を得る。このようにSVMでは、トレーニングデータを正しく識別できさえすればどんな分離線でも良いのではなく、各データからもっとも遠い場所にある分離線が得られるよう工夫されている。パラメータ w, b はいずれも学習の結果得られるのだから、これらはトレーニングデータセットの関数であることがわかる。しかしSVMでは一定数のトレーニングデータを棄却するため少ないデータ点数でパラメータを表現可能であり、識別の計算時間がパーセプトロン⁶⁾など他の識別器より少なく済む。SVMの学習方法としてはSMO (Sequential Minimal Optimization) などが存在する⁶⁾。

ところで図2および図3に示したように、SVMのような線形識別器は決して“当たるも八卦”なブラックボックスの技術ではなく、単に空間上で線や平面を引くことにより、データが二つのラベルのうちどちらに属するかを推定するものである。しかし容易に想像できるように、特徴量の分布が複雑な形となれば単純な直線では二つのラベルのデータを分離できない。特に複雑な機械システムの大半はさまざまな運転モードを持ち時々刻々とそれが遷移するため、そのようなシステムの故障予兆を検出するには線形識別器では力不足と思われるかもしれない。ところがカーネル法とよばれる方法論を線形識別器に導入することにより、この問題を解決できることがよく知られている⁶⁾。線形識別器(1)のパラメータ w は

$$w = \sum_{k=1}^K \alpha_k y_k x_k$$

のように K 個のトレーニングデータとそのラベル

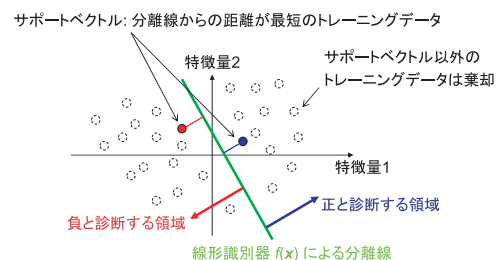


図3 SVMによるパターン認識

(x_k, y_k) を用いて書き直せる⁶⁾ため、識別器(1)は

$$f(x) = \sum_{k=1}^K a_k y_k \langle x_k, x \rangle + b \quad (2)$$

としてトレーニングデータと入力データ x （属するラベルが不明なテストデータ）の内積のみで表現できることがわかる。(1)を主形式とよぶのに対して(2)は双対形式とよばれる。元の空間において特徴量の分布が複雑な形状となるのであればそれらを直線で識別可能な空間へ写像すれば良いが、写像 $\phi(\cdot)$ の決め方が不明である。そこで写像を陽に決めるのではなく、写像先の特徴空間における内積（カーネル） $\kappa(x_k, x)$ を直接定義することを考える（ただし定義した内積に対する写像は一般には不明）。この内積を定義できれば、双対形式(2)の内積演算子を

$$f(x) = \sum_{k=1}^K a_k y_k \kappa(x_k, x) + b \quad (3)$$

のように写像先の空間での内積に置き換えるだけで、特徴空間における線形識別が可能となる（図4）。このカーネルトリックを用いれば、線形識別器を用いて元の空間で非線形識別を行える。重要なのは元の線形識別器（SVMなど）が持っている性質はカーネル法適用後も変わらないという点である。次章ではこのカーネルSVMを用いた航空機油圧システムの故障予兆検出を紹介する。

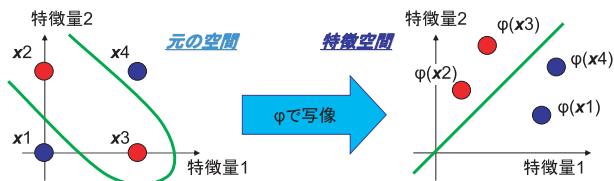


図4 特徴空間における線形識別と元の空間における非線形識別

3. 航空機油圧システムの故障予兆検出

本章では、著者が過去に実施した航空機油圧システムの故障予兆検出¹⁾について紹介する。前章ではSVMについて紹介したが、故障予兆検出では正常データに対して異常データのサンプル数が少ないことがままある。そこで本研究ではそのような状況を想定し、1種類（対象とするシステムが正常稼働しているとき）のデータだけで学習が可能な、1クラスSVM（OCSVM）⁷⁾を用いた。OCSVMもやはり線形識別器であるが、前章で紹介したカーネル法を導入することにより非線形識別が可能となる。図5に、2次元人工データに対するカーネル法とOCSVMの適用例を示す。塗りつぶした丸印で表現しているのはトレーニングに用いたデータ（クラス1に属する）である。特に、大きな丸で囲んだデータはサポートベクトルであり、分離線の形成に影響しているデータである。ここではガウスカーネル

$$\kappa(x, y) = \exp\left(-\frac{\|x-y\|^2}{\sigma^2}\right)$$

を用いており、図5に示した通り非線形識別を実現できていることがわかる。ここで σ^2 はパラメータであり、この値を変えることで“正のラベルを持つとみなす領域”の広さが変わる。たとえば極端に小さな値を設定するとこの領域が狭くなり、トレーニングデータ以外に対して正しい診断ができなくなる。カーネルの選択とそのパラメータの設定は故障予兆検出を行う上できわめて重要である。

また、本研究では図2における特徴量として、計測値の瞬時値だけでなく過去のデータもあわせて一つのベクトルとしている。これは、各計測値の時間的な変動も捉えるためである。

トレーニング/テストデータ取得のために、本研究では航空機油圧システムのスケールモデルを図6に示したようなHILS（Hardware In the Loop System）として構築した。航空機の翼の一部（エルロンやグランドスポイラなど）は油圧により駆動しており、図6のシステムはそれら周辺のシステムを模擬している。エルロンは機体の左右の傾きを制御するために使用される。グランドスポイラは着陸後の減速に使用される。したがって油圧システムの故障は機体の姿勢制御の不具合や着陸時の滑走路オーバーランなど深刻な問

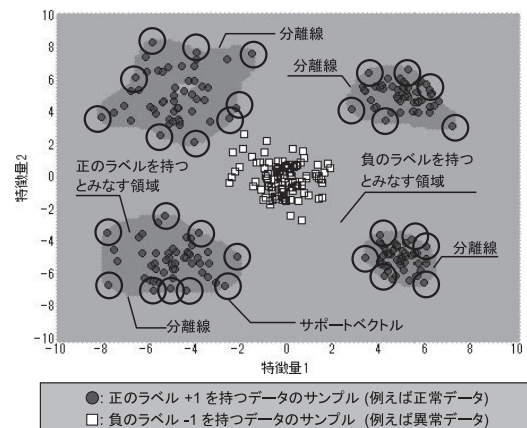


図5 カーネル法とOCSVMによる非線形識別の例（丸で囲んだ点はサポートベクトル）

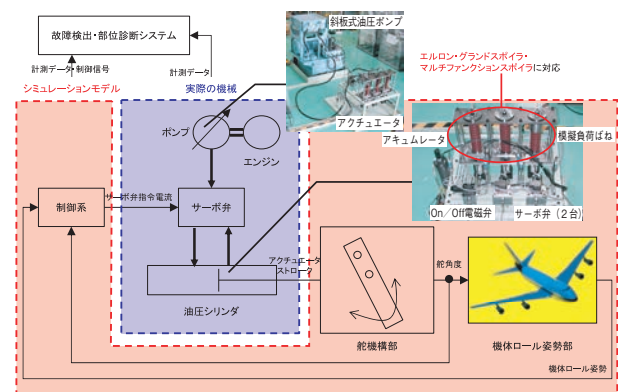


図6 油圧システムスケールモデルの構成（HILS）と外観

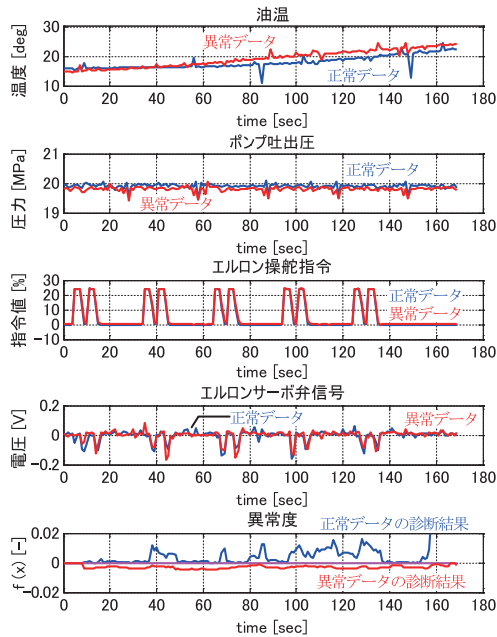


図7 診断結果の例（正常／ポンプ容積効率低下）

題を引き起こす。よって油圧システムの故障予兆を早期に検出することは非常に重要であるため、航空機油圧システムを本研究における対象システムとした。図6のHILSにより模擬する故障事象としては、エンジンポンプの容積効率低下と制御バルブ（エルロン・マルチファンクションスポイラ）の内部漏れを選定した。いずれの故障もリークを発生させる機構を設けてバルブを開くことにより模擬している。

図6に示したHILSを用いて指令値を含むデータ（ポンプ吐出圧・油温・エルロン操舵指令とサーボ弁信号など）を取得し、OCSVMを用いて学習を行った。その結果得られた識別器による正常／異常診断結果の例を図7に示す。一番下のグラフが診断結果であり、(3)式の出力をプロットしている。この結果が正であれば正常、負であれば異常と診断している。この例では精度良く正常と異常（ポンプ容積効率低下）を識別できていることがわかる。

4. おわりに

機械学習によるパターン認識の技術を用いた故障予兆検出について解説した。今回は線形識別器とカーネル法で非線形識別を実現する（データの複雑な分布を学習する）方法を紹介し、特に1クラスSVMを用いた航空機油圧システムの故障予兆検出の事例を示した。SVMはこれまでさまざまな分野において用いられてきたが、近年はディープラーニング

（深層学習）とよばれる新しい学習則がブレークスルーを起こして注目を集めている⁸⁾⁹⁾。従来はソフトウェアの設計者が決めた特徴量を入力として用いることが多かったが、本解説記事でも述べたように、特徴量抽出の操作によりそれら以外の情報を捨てていることになる。それに対してディープラーニングではこのような特徴量抽出をほとんど行わず、計測値そのものを識別器への入力として用いて識別を行う。これにより、設計者が抽出しきれなかった、あるいは想定できなかった特徴量をも見出せる可能性があり、パターン認識の精度向上が期待できる。ディープラーニングを用いた故障予兆検出に関する今後の研究報告が待たれる。

謝辞

本研究の一部は経済産業省 産業技術研究開発補助金「航空機用先進システム基盤技術開発（高度複雑システム故障予知検出技術開発）」を受託して実施した。

参考文献

- 1) 藤島泰郎, 二橋謙介, 佐藤恵一, 平野竜也, 木内裕介, 見持圭一: 高度複雑システムの故障予兆検出技術, 三菱重工技報, Vol. 49, No. 4, p. 119-125 (2012)
- 2) Doucet, A., Wang, X.: Monte Carlo Methods for Signal Processing: A Review in The Statistical Signal Processing Context, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, Issue 6, p. 152-170 (2005)
- 3) Raptis, A.I., Vachtsevanos, G.: An Adaptive Particle Filtering-based Framework for Real-time Fault Diagnosis and Failure Prognosis of Environmental Control Systems, Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society 2011, Vol. 2, No. 19 (2011)
- 4) Bishop, M., C.: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer (2006)
- 5) Ikeda, K., Yamasaki, T.: Incremental Support Vector Machines and Their Geometrical Analyses, Neurocomputing, Vol. 70, No. 13-15, p. 2528-2533 (2007)
- 6) Cristianini, N., Shawe-Taylor, J., 大北剛訳: サポートベクターマシン入門, 共立出版 (2010)
- 7) Schölkopf, B., Platt, C.J., Shawe-Taylor, J., Smola, J.A., Williamson, C.R.: Estimating the Support of a High-Dimensional Distribution, Neural Computation, Vol. 13, No. 7, p. 1443-1471 (2001)
- 8) 久保: ディープラーニングによるパターン認識, 情報処理, Vol. 54, No. 5, p. 500-508 (2013)
- 9) 岡谷, 齋藤: ディープラーニング, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-CVIM-185, No. 19 (2013)

(原稿受付: 2014年12月17日)

解説

油圧システムのリモートモニタリングによる保守方法

著者紹介



いわ さき かず み
岩 崎 一 実

エムティエスジャパン株式会社
〒130-0013 東京都墨田区錦糸1-2-1
アルカセントラル8階
E-mail: mtsj-info@mts.com

1999年豊田工業高等専門学校 電気工学科卒業、同年エムティエスジャパン株式会社入社、フィールドサービスエンジニア、およびサービスセールスエンジニアとして現在に至る。

1. はじめに

油圧試験装置において、使用する作動油や試験装置の状態を適切に維持・管理することは、予期せぬ故障を防ぎ、メンテナンスコストの削減、試験スケジュールの管理に大きく寄与するものである。本稿では、作動油や試験装置の状態を遠隔（リモート）でモニターし、問題の兆候を早期に検出することによって予期せぬダウンタイムの可能性を回避するためのリモートモニタリング技術について記述する。

2. 装置保守点検の現状と課題点

2.1 試験装置本体

現在、一般的な油圧試験装置本体における保守状況は、大きく分けて2つの保守管理方法に分けられる。図1に装置における保守体系図を示す。一つは、装置が故障するまで使用し、故障したらその都度修理をする「事後保全」(Breakdown Maintenance)という方法である。この方法では、故障の度に装置が停止し、また故障箇所によっては停止期間が長期に及ぶことがある。また、事後保全では一つの故障がほかの部品の故障につながることもあり、結果として修理費用の肥大化につながる恐れがある。

もう一つの方法としては、部品寿命や経験則、稼働時間に基づいて各部品を管理・交換していく「時間基準保全」(Time Based Maintenance)がある。こちらの方がより予防保全としてのメリットが大きく、経済的である場合が多い。しかしながら、いかに注意深く点検を実施していても、避けられない見

落とし、あるいは予想できない部品の急速な劣化などにより（装置の故障頻度を下げることができても）完全に故障をなくすことはできない。また稼働状況に応じて部品の交換をする場合においても、稼働率が高ければ高いほど、交換部品点数も増加し、結果として費用の肥大化、停止期間の長期化につながってしまう。さらに、図2に示すように各部品の使用時間と故障率にはいわゆる「バスタブ曲線」と言われる相関関係が存在し、初期の段階では初期不良による故障が多い傾向となるため、故障の未然防止策として時間基準保全による部品交換を行っても初期不良による再発リスクが存在する¹⁾。また客観的な数値などで部品の劣化を示すことは非常に困難であることが多く、オーバーメンテナンスになりやすく、ユーザー側に理解されにくい側面もあり、こちらも運用に課題が残る。

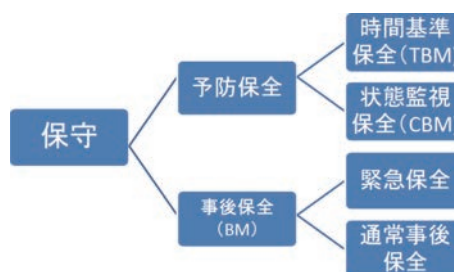


図1 保全方式の分類（JIS Z 8115より）

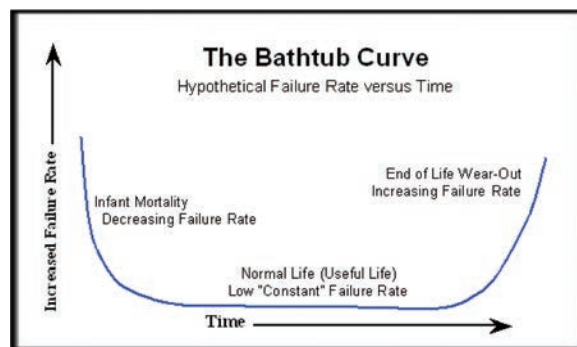


図2 時間と故障率の関係を示す「バスタブ曲線」
出典) MTS Systems FSE Training Material "Failure prognosis on fluid power generation and distribution systems"

2.2 作動油管理

油圧試験装置においてもっとも重大な故障要因のひとつとなるのが、不適切な作動油の管理である。作動油を適切に管理していないと、作動油の劣化によりサーボバルブや油圧ポンプの破損を招き、その修復には相当な日数と費用が必要となる。また、熱交換器の故障によって作動油と冷却水の混入が発生してしまった場合には、水分量を適切なレベルにまで低下させるために作動油交換が複数回必要になる。また、作動油温度が適切な範囲を上回ったり、油圧計路上のフィルターが目詰まり状態になったりして非常停止回路が動作した場合には、アクチュエータの挙動により稀に試験体を破損するような場合もある。これらの例から、作動油を適切に管理することは、装置の寿命やランニングコストに大きく影響を及ぼすことが認められる。作動油の管理方法として、すべての作動油を一定時間経過後に全交換する方法もあるが、試験装置によっては数千リットルの作動油が必要となり、作動油費用だけでも相当な金額となる。

そこで近年は、一定時間ごとに作動油のサンプルを取得・分析し、その結果をもとに交換時期を推測する方法が最も効果的であると考えられている²⁾。この方法では、サンプル取得に際し採取方法や条件などを細かく定め、不確定要素を排除し、サンプルのばらつきを最小にするための手法を確立することが重要になる。

図3は一定周期における作動油分析結果について、ISO清浄度の結果と作動油中の金属成分を示している。図に示す例では90日経過後に熱交換器の劣化による銅成分³⁾が増加していることは確認できるが、ISO清浄度の結果ではばらつきが見られることがわ

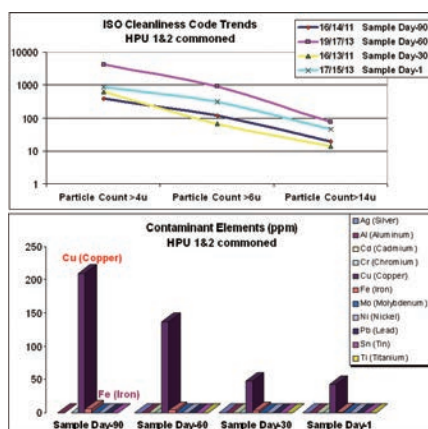


図3 作動油分析結果の例

出典) MTS Systems FSE Training Material “Failure prognosis on fluid power generation and distribution systems”

かる。

3. リモートモニタリングによる故障予知

3.1 リモートモニタリングサービスの特徴

客観的なデータをもとに問題の早期発見とその対処を可能にするために、現在推奨されている保守方法として、「状態監視保全」(Condition Based Maintenance: CBM) という方法がある。これは、装置の運転中の状態(コンディション)を監視(モニター)し、その結果から異常の兆候をいち早く発見し、計画的に処置していくものである。

この方法は、異常の兆候を捉えることで装置の信頼性を向上させることはできるが、一方、いつどのように運転中の状態を監視するかという問題がある。

この問題を解決するために、装置の運転状態を遠隔(リモート)で監視し、その結果をユーザーにフィードバックさせるための方法がリモートモニタリングサービスである。図4に概念図を示す。

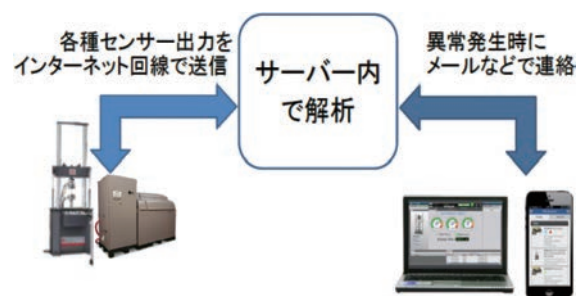


図4 リモートモニタリング概念図

リモートモニタリングサービスは、油圧試験装置に各種センサーを取り付け、信頼性を担保した専用インターネット回線を通じて24時間モニターし、センサーから得られる数値データをもとに、装置の劣化状態を予測し、予期せぬ故障が発生する前に予防保全実施を可能にするためのツールであり、以下の特徴を備える。

- ・作動油の状態をモニターし、その傾向を予測、問題がある場合はメールで注意情報を発信する。
- ・装置使用時にモニター信号に異常値が見いだされた場合は、その異常状態を解析し、レポートする。
- ・各パラメータは特殊なインターネットデータ転送メソッドを使用して集められており、安全なデータのやり取りが可能である⁴⁾。
- ・稼働中の装置の健康状態、使用状況やパフォーマンスのトレンド情報を定期的に分析し、その結果をウェブ上で確認することが可能。また、装置稼働状況をリアルタイムでPC上、もしくはスマートフォン専用アプリでモニターすることも可能に

なる。図5はリアルタイムモニターの画面表示例である。



図5 リアルタイムモニターの画面表示例

3.2 リモートモニタリングでモニター可能な項目

現在、このリモートモニタリングサービスでは、使用する装置について以下の項目をモニターすることが可能である⁵⁾。

- ・ 作動油の健全性
 - －ISO清浄度コードトレンド
 - －％表示による水分含有量
 - －通常運転時の温度トレンド
 - －フィルター負荷率とろ過効果
- ・ 油圧供給装置の健全性
 - －脈動、振動の検出
 - －ポンプ・モーターの振動検出
 - －吐出流量
 - －熱交換器のモニタリング
- ・ 試験装置本体の健全性
 - －アキュムレータ窒素ガス圧
 - －ボールバルブの故障検出
 - －制御装置の温度
 - －油圧供給装置の稼働率と試験装置本体のプログラム実行率を比較し、そのステータスをモニター
 - －作動油漏洩検出
- ・ エネルギー効率
 - －冷却水消費量の最適化・最小化
 - －モーター効率（使用電流量とモーター出力による効率計算）
 - －電力使用量管理分析

リモートモニタリングサービスでは、上記のように多数のパラメータを常時監視することにより、作動油の健全性のみならず、油圧供給装置や試験装置

本体においてもその劣化のトレンドを数値データで示すことができるため、従来の経験則に基づく推測では予想できない不具合なども早期に発見することが可能になる。そして、不具合が予見される時、あるいは不具合が発見された時には速やかにユーザー側、メンテナンス会社側の双方にメールによる通知が行われ、早期の修理修繕作業が可能となる。

さらに、従来の時間基準保全とリモートモニタリングサービスを組み合わせることで、さらなる予防保全の精度を向上させることができ、最小限の保全投資で最大の保守効果を得ることができ、試験装置の稼働率維持に貢献することが可能となる。

また、各種パラメータの送受信にはVPN（Virtual Private Network）メソッドを使用してインターネット回線に接続している。VPNは、インターネットのようなパブリックネットワーク上であたかも直接接続されたプライベートネットワーク（専用回線）につながっているかのように、プライベートネットワークの機能性、セキュリティ性を担保し、管理上のポリシーの恩恵を受けつつデータを送受信できる方式である。パブリックネットワークを使用しているため、回線コストがかからず、安価で安全なネットワークを構築することができる。

4. ま と め

試験装置オペレータ、またはラボマネージャーに対する試験要求は日々複雑になり、それに伴い装置の稼働率向上が要求されつつある今日において、いかに試験スケジュールを管理しつつ、また限られた保守予算を適切に使用するかは重要な課題の一つであるといえる。そのためには、可能な限り突発的な不具合をなくし、装置のダウンタイムを少なくすることが装置の稼働率維持には欠かせないものとなる。リモートモニタリングサービスは、この要求に応えるもっとも適切な保守ツールであるといえる。

参考文献

- 1) MTS Systems FSE Training Material “Failure prognosis on fluid power generation and distribution systems”
- 2) MTS Systems カタログ “100-222-957 Fluid Analysis”
- 3) MTS System Manual “Hydraulic Fluid Care” P 43
- 4) MTS Systems “MTS Echo Security White Paper”
- 5) MTS Systems カタログ “100-274-593 Hydraulic Fluid Care”

（原稿受付：2014年12月5日）

会議報告

日本機械学会2014年度年次大会に観る フルードパワー研究動向

著者紹介



ふじ た とし のり
藤 田 壽 憲

東京電機大学
〒120-8551 東京都足立区千住旭町5番
E-mail: tfujita@mail.dendai.ac.jp

1992年東京工業大学助手を経て、2002年東京電機大学助教授、2004年同大学教授、現在に至る。流体計測・制御、主として空気圧システムの解析、制御の教育・研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、計測自動制御学会などの会員、博士（工学）。

1. はじめに

2014年9月7日から10日まで、写真1のように東京電機大学千住キャンパスにて日本機械学会年次大会が開催された。この大会は国内最大規模の一つであり、「持続可能な日本の技術を支える産官学の連携—今、求められている、産学人材交流と人材育成とは？—」のテーマのもと、招待者を含め2,570名の参加があった。

大会は7日の市民フォーラムで始まり、同日には8日から10日までOS（オーガナイズセッション）と一般からなる講演会とワークショップや先端技術フォーラムからなる特別行事が実施された。本稿では年次大会の中でフルードパワーに関連した研究動向について報告する。



写真1 会場入口と年次大会看板

2. 年次大会に観る研究動向

著者は会場係であることもあって、担当の機素潤滑設計部門が企画したセッションに参加した。機素潤滑設計部門には東京工大・吉田和弘先生や法政大学の田中豊先生などフルードパワーシステム学会のご関係の先生方が多数ご出席されていた。

8日にはOS「卒業研究コンテスト」が開催され、その中での空気圧に関する研究発表があった。文献1)では先に提案した音響により空気圧管路を利用して通信し省配線化する空気圧システムにおいて、PCなどシステムの駆動に必要な電源も、管路から得られる空気圧によりエアモータを回転させDCモータを使って、その場で発電させる装置を開発している。文献2)では空気圧ソフトアクチュエータを用いて、これまで1自由度しか実現されてこなかったリハビリ装置を、3自由度に拡張する方法を提案し、その評価を行っている。

なお卒業研究コンテストでは26件の発表が行われたが、OS採択時に一定の審査があるため、写真2のようにすべての学生が最優秀または優秀発表賞を受賞できるそうである。全員とわかっていても学生は嬉しい様子で、より多数の学生を当学会の講演会でも表彰することにより、学生の研究へのモチベーションが向上させ、講演会も活性化できるのではと感じた。



写真2 卒業コンテストの表彰式

翌日9日にはOS「次世代アクチュエータ」が開催された。文献11)では静電気力で駆動する電力交流電気浸透マイクロポンプの電極を、平板一円筒型に変更することによって高出力化できるかを検討し、ポンプを試作している。文献3)では空気圧ベローズを用いて3自由度微動ステージを構築し、これに超精密位置決め制御を行った結果、ナノメートルの位置決め精度が可能であることを示している。

また10日には先端技術フォーラム「フルード(流体)を用いたアクチュエータ技術の最前線」が開催され、下記のタイトルで、新しい流体や駆動原理を用いたアクチュエータや空気圧や、機能性流体に関する先端的な研究が発表されていた。

- (1)ハイドロゲルの溶媒透過と医用材料への応用
鈴木淳史(横国大)
- (2)水素吸蔵合金を利用したアクチュエータ
香川明男(長崎大)
- (3)磁性ソフトマテリアルの可変粘弾性とアクチュエータ
三俣 哲(新潟大)
- (4)ベローズとシリンダから成る粗微動空気圧アクチュエータによるナノ位置決め
藤田壽憲(東京電機大)
- (5)機能性流体がもたらすアクチュエータ技術のブレークスルー
竹村研治郎(慶應大)
- (6)医療応用を目指した空気圧ソフトアクチュエータ
脇元修一(岡山大)

他部門については講演論文集からピックアップすると、技術と社会部門、交通・物流部門では「空気圧鉄道・空気輸送システム」というテーマでワークショップが開催されていた。はじめに長いチューブを敷設しそのチューブにピストンを入れることによって車輛を駆動する鉄道方式が紹介されていた。現在もインドネシアやブラジルで数キロの距離で運行されていることに驚かされた。このワークショップでは空気圧による長距離搬送も取り上げられており、紙幣のエア搬送方式やソフトチューブの変形を利用するユニークな搬送方式も紹介されていた。

また産業・化学機械と安全部門では「安全の基礎を考える」というワークショップの中で、「油・空圧制御システムにおける安全確保」と題する講演が行われていた。講演論文では油・空圧制御システムの危険性や、油空圧の安全に関するISO規格および2002年に発行された欧州規格の考え方とそれらの違いについて説明がなされている。

一般講演やOSについては、「空気圧」、「油圧」、「水圧」をキーワードとしてタイトルを検索した結果、以下のフルードパワーに関する研究があった。

「空気圧」に関して、文献4)では筋電位の信号

を利用して空気圧アクチュエータにより肘のパワーアシストを行う装置において、筋電位信号のうち筋肉を動かす準備段階の信号である初期発火に着目し、これを検出するアルゴリズムを開発することによって、空気圧アクチュエータの応答遅れを補償することを目指していた。文献5)では津波からの歩行が困難な介護者の非難には「リヤカー」がよいとし、避難の登坂時の負荷軽減するために、空気圧シリンダを用いたリヤカーのパワーアシスト装置を提案している。文献6)では提案している空気圧駆動システムのフェールセーフ・インターロックシステムが、監視と調整および制御によって安全を確保する欧州規格に整合しているかを検証している。

「油圧」に関して、文献7)では地震波形を模擬する油圧駆動サーボテーブルにおいて、圧力と流量の非線形特性を圧力の平方根関数のまま取り扱った非線形フィードフォワード制御器を加えることにより、加速度波形のひずみ成分が低減できることを示している。文献8)ではねじ締結部分に油圧シリンダを組み込み、この一端のピストンをスプリングワッシャで押し込んだときに、他端で飛び出るピストン変位量から簡便にねじの緩みを検出する方法を開発している。文献9)では家庭で風力により熱エネルギーを得る設備において、風車により油圧モータを駆動し、油圧エネルギーをオリフィスで損失させ発熱させる変換器について研究を行っている。文献10)では自動車のステアバイワイヤ故障時に操舵機能を維持するためのバックアップ装置を、油圧シリンダによるマスタースレーブ機構により実現することを提案している。

「水圧」に関して、文献12)では先に開発した超精密加工用水静圧スピンドルにおいて、水圧のためスピンドルのスラスト流体軸受が変形し、軸剛性が低下する問題点があったものを、FEM解析により変形量を予測し軸受すきまを調整することにより、所定の剛性を得る設計法を提案している。なお機能性流体に関しては「ER」「MR」などで検索したが、フルードパワーに関連した講演は見当たらなかった。

3. おわりに

機械学会は分野が広いため日頃、目にしないフルードパワーに関するさまざまな講演・研究に触れることができた。同時にフルードパワーの応用分野はまだまだあるということを感じた。

2015年度年次大会は9月13日(日)～16日(水)に北海道大学で開催されることが決まっている。機素潤滑設計部門ではフルードパワーシステムに関連するOSも企画されるとのことである。

参考文献

[空気圧]

- 1) 三隅, ほか 4 名関：音響通信を利用した多重空圧駆動系用自立電源
- 2) 筒井, 谷口, 脇元：空気圧アクチュエータを用いて 3 自由度の動作を実現する足首関節用リハビリ装置の開発
- 3) 水野, ほか 4 名：空気圧ベローズを用いた 3 自由度微動ステージの超精密位置決め
- 4) 北居, ほか 4 名：筋電位に基づく動作予測を用いた空気圧式腕用パワーアシスト装置の開発
- 5) 中川, 北山：空気圧を利用した要介護者の避難用リヤカーの提案
- 6) 中村, ほか 3 名：空気圧制御システムに適用されるインタロックシステムの安全システム (EN764-7) としての妥当性確認

[油 圧]

- 7) 水野, 関, 岩崎：油圧サーボ系に内在する非線形要素

に対する補償方式の実験検証

- 8) 千葉, 杉本：油圧による変位拡大機構を用いた安全確認型ねじの緩み検出機構に関する研究
 - 9) 野田, 松村：風力利用を想定した油圧式発熱システムの開発
 - 10) 須田, 大西：ステアバイワイヤの並列型油圧式バックアップシステムの非常時バルブ制御
- [水 圧]
- 11) 吉田, ほか 4 名：平板—円筒電極を用いた交流電気浸透マイクロポンプの提案
 - 12) 長坂, ほか 4 名：水静圧スピンドルのスラスト軸受剛性に及ぼす水圧によるスピンドル変形の影響

注) 全て日本機械学会2014年度年次大会講演論文集 (2014) に収録
USBメモリで配布されページ番号は付けられていない

(原稿受付：2015年1月29日)

会議報告

ICMT2014におけるフルードパワー技術研究動向

著者紹介



た な か ゆたか
田 中 豊

法政大学デザイン工学部
〒102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1
E-mail: y_tanaka@hosei.ac.jp

1985年東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程修了，その後，東工大精密工学研究所助手を経て，1991年法政大学講師，1992年同助教授，2002年同教授，現在に至る，工学博士（1991年東京工業大学）。

1. はじめに

第18回メカトロニクス技術に関する国際会議（The 18th International Conference of Mechatronics Technology ; ICMT2014）は2014年10月21日～24日まで，台湾の台北市にある国立台湾科学技術大学（Taiwan Tech.）の国際会議場で開催された．この会議は，1996年に米国で開催された第1回から，毎年世界各地で開催されているメカトロニクスに関する最も由緒ある国際会議で，最近では2011年にオーストラリア・メルボルン，2012年に中国・天津，2013年韓国・済州島などで開催され，著者はほぼ毎年，参加している．会議を主催した国立台湾科学技術大学は，隣接する総合大学の国立台湾大学と並んで有名な理工系大学である．写真1に示す実行委員長のFan-Jung SHIOU教授（国立台湾科学技術大学・機械工学科）は，もう一人の長老の実行委員長のKuang-Chao FAN教授の後継者として，たいへん優秀で有望な若手研究者で，今回の会議を円滑に取り仕切っていた．

3日間の会期は，4件（米国，日本，中国，台湾）の基調講演と，表1に示す10のカテゴリーの技術セッションに分けられた97件（9か国）の技術論文および企業展示会（写真2）などで構成されたが，例年の会議に比べて発表論文数は若干少なめであった．

2. 研究発表の動向

ここではいくつかの技術論文について紹介する．



写真1 実行委員長のFan-Jung SHIOU教授

表1 技術セッションのテーマ一覧

Topics
Advanced Mechatronics Devices
Mechatronics Sensing and Control
Smart Actuators and Materials
MEMS/NEMS and Micro Nano-Manufacturing
Precision Measurement Technology
Production Systems
Renewable Energy and Energy Saving Technologies
Bioengineering and Mechatronics Applications in Life Sciences
3D Printing Technologies
Human Resource Development and Education on Mechatronics Technology

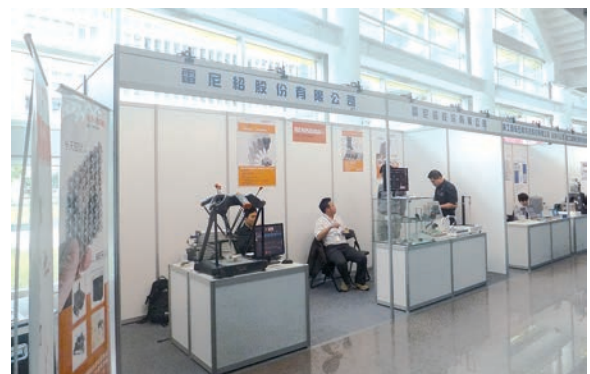


写真2 会場内の企業展示の様子

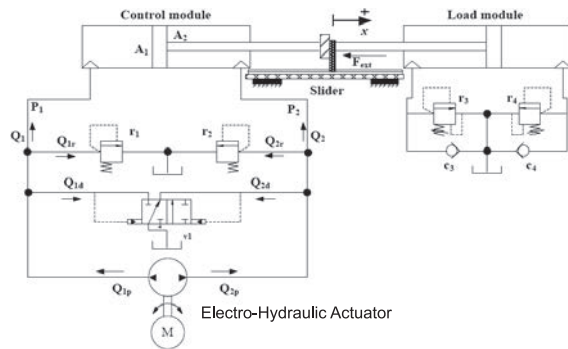


図1 電気油圧アクチュエータシステム

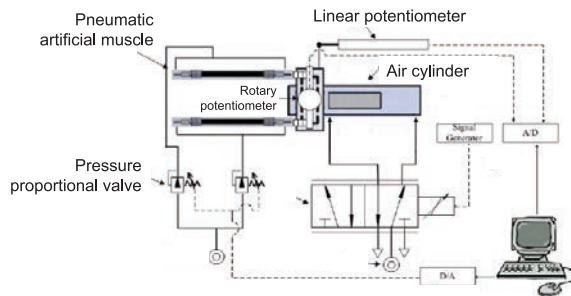


図2 空気圧人工筋アクチュエータシステム

Ulson大学のBA Dang Xuanら¹⁾は、図1に示す双方向回転の電気サーボモータと油圧ポンプ／モータおよび油圧シリンダからなる電気油圧アクチュエータ（EHA）に対して、適応非線形制御器を設計して適用し、さまざまな負荷条件に対する制御器設計の妥当性を検証している。またUlson大学のDAO Thanh Liemら²⁾は、同じEHAに対して、スライディングモード制御をPID制御器のパラメータ調整に適用し、制御器設計の妥当性を実験的に明らかにしている。さらにUlson大学のNguyen Minh Triら³⁾は同じくEHAに対して、従来の後退ステップ制御に反復学習による制御手法を適用し、繰り返し位置決めシステムの制御性を実験的に検討している。簡単な手法でロバスト性が実現されていることを示している。

St. John's大学のMing-Kun Changら⁴⁾は、非線形性の強い空気圧人工筋アクチュエータを拮抗させて用いた図2に示す角度制御系に、適応型スライディングモード制御を適用し、角度位置決め追従特性が改善されたことを実験的に示している。

国立台湾科学技術大学のM. J. Tsaiら⁵⁾は、熱線式空気流速計の自動校正システムの線形校正法について報告している。校正実験によれば、流速20m/s

の空気流で計測誤差2%以下、流速60m/sでは3%以下の計測精度が確認されたとのことである。

Ulson大学のVan Phu Doら⁶⁾は、極めてヒステリシスの大きい形状記憶合金を用いた回転形アクチュエータの駆動に、時分割制御方式によるPID制御を導入し、従来のPID制御に比べ定常偏差の振動が残るものの、立ち上がりの応答性や誤差が大幅に改善されたことを報告している。

3. おわりに

2014年の10月に台湾の台北で開催されたICMT2014の会議の様子と研究動向の一部について紹介した。台北の街は東京と同じように地下鉄網が整備されており、システムは日本製とのことで、乗車や乗換なども大変便利で有効に活用できた。また食事でも小籠包などの点心や中華料理をはじめ、多くの日本食もあり、親しみやすい印象を持った。なお2015年の同会議は日本で開催される予定である。

参考文献

- 1) BA Dang Xuan, AHN Kyoung Kwan, YUM Young Jin and THO Hoang Van, Advanced Adaptive Nonlinear Control for an Electro-Hydraulic System, Proc. ICMT2014 CD-ROM, ID19, 2014.
- 2) DAO Thanh Liem, DINH Quang Truong and Kyoung Kwan AHN, Tuning PID Sliding Mode Control for Electro-Hydraulic Actuator System, Proc. ICMT2014 CD-ROM, ID39, 2014.
- 3) Nguyen Minh Tri, Doan Ngoc Chi Nam, Hyung Gyu Park, Se Young Lee and Kyoung Kwan AHN, Development of position generator Using Electro Hydraulic Actuator (EHA) and an Iterative back stepping control, Proc. ICMT2014 CD-ROM, ID47, 2014.
- 4) Ming-Kun Chang, Chu-Lian, XU, Chan-Ying Chin, Angle Control of an One-Dimensional Manipulator Actuated by Pneumatic Artificial Muscles Using an Adaptive Sliding-Mode Controller, Proc. ICMT2014 CD-ROM, ID98, 2014.
- 5) M.J. Tsai, R.C. Chiu, Z.T. Wu, W.L. Hung, R.C. Chu, H.Y. Chu, Implementation of automated linear calibration system for a hot-wire air flow sensor, Proc. ICMT2014 CD-ROM, ID74, 2014.
- 6) Van Phu Do and Byung Ryong Lee, Time-Slicing Control Method for Rotary SMA Actuators, Proc. ICMT2014 CD-ROM, ID52, 2014.

(原稿受付：2014年12月17日)

会議報告

山梨講演会2014におけるフルードパワーの技術研究動向

著者紹介



おお うち ひで とし
大内 英 俊

山梨大学大学院
〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11
E-mail: ohuchi@yamanashi.ac.jp

1978年東京工業大学大学院博士課程修了。同大学精密工学研究所助手を経て、1984年山梨大学工学部助教授、2004年同教授。油圧制御、空気圧制御、圧電アクチュエータに関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。工学博士。

1. はじめに

日本機械学会関東支部・精密工学会共催による山梨講演会が、2014年10月18日（土）に、山梨大学甲府キャンパスにて開催された。甲府盆地は紅葉にはまだ早かったが、好天に恵まれ爽やかな1日であった。オーガナイズドセッション（OS）5分野と一般セッションを含め全体で92件の講演と、国立国際医療研究センターの望月修一氏による特別講演「教育・研究・実用化からみた医療機器開発における産官学医工連携について」が行われた¹⁾。ここで紹介するのはOS「フルードパワーによる駆動と制御」における12件の講演内容の概略である。なお、オーガナイザは大内英俊（山梨大学）、田中豊（法政大学）、吉田和弘（東京工業大学）が務めた。写真1は、全講演終了後の参加者の記念写真である。



写真1 講演会OSを終わって

2. OS「フルードパワーによる駆動と制御」

青木ら²⁾は、海洋環境調査用の観測機に使用する油圧式の浮力調整装置の開発を進め、将来は6,000mまで調査できるものを目指している。その際、潜行時に船外ブラダから油を引き込むための、ポンプ駆動用モータを利用した油引き込み部を試作し、その動作や引き込み流量について報告している。

ZUBERら³⁾は、普及品のみで構成された空気圧シリンダシステムにおいて、緩制動と急制動を組合せた二段階制動で繰返し位置決めの精度を維持する手法を提案しており、その駆動条件として供給圧力や積載負荷の大きさが変更となった場合のスイッチの配置法について実験的に検討している。

渡辺ら⁴⁾は、作動油中の気泡は見かけの剛性を低下させシステムの動特性に影響をおよぼすため、気泡を含む作動油の体積弾性係数を求めるいくつかの数学モデルの計算結果を比較し、気泡の有無が油の剛性に与える影響を実験的に検討し、測定結果と比較して数学モデルの妥当性を検証している。

服部ら⁵⁾は、油圧システムで発生するさまざまな問題の原因となる油中気泡の除去装置の性能向上を目的とし、装置に関わる各パラメータが装置の性能におよぼす影響を分析している。作動油に含まれる気泡の混入率を種々変更して数値解析を実施し、混入率と装置の性能の関係を明らかにしている。

神戸ら⁶⁾は、マイクロマウス競技において疾走するロボットが、急角度でコーナーを曲がれるような十分な制動力を得るため、これまでのモータによる制動法に代わるものとして、ER流体の可変粘性特性を利用したロボット搭載用の小形制動装置を提案し、その構造や動作特性について検討している。

近藤ら⁷⁾は、点字表示器の出力部品である表示セルへの応用のため、ECFから得られるジェット流を利用した高出力のマイクロアクチュエータを開発している。その微小電極対をMEMS製作技術を用いて製作し、得られたジェット流について流量、発生圧力を測定し、出力パワー密度について考察している。

田邊ら⁸⁾は、ECFジェットの発生メカニズム解明

を目的として、オンサガー効果によるECFジェットのシミュレーションを提案し、さらにECFジェットの可視化実験結果と、シミュレーション結果を比較したところおおむね一致し、オンサガー効果によるシミュレーションが可能であることを示している。

古木ら⁹⁾は、電界共役流体ECFの流動による発生圧力を利用した、ロボットハンドに使用できる駆動源一体形ソフトアクチュエータのさらなる小形化と高圧化のため、MEMS技術を用いて電極対を直列に集積化し、これまでよりも集積度の高いECFマイクロポンプを提案・試作し、その特性を報告している。

三栗野ら¹⁰⁾は、ECFを駆動源とするマイクロポンプの高出力化のために、三角柱-スリット形電極対によるポンプを開発している。MEMS技術による五角柱電極アレイ形を用いた陽極→陰極→陽極と連続的にECFジェットが発生する電極構成を提案し、パワー密度の向上を実験的に検証している。

吉田ら¹¹⁾は、平板-円筒電極を用いることで高性能化が期待できる新たな交流電気浸透マイクロポンプを提案し、有限要素法シミュレーションによりその妥当性を検討している。またMEMSプロセスを用いた電極製作方法を提案してラージモデルを試作し、提案したポンプの特性を実験的に評価している。

鈴木(勝)ら¹²⁾は、ガソリンエンジン駆動の油圧源において間欠運転を行い、省エネ性能が優れていることを示している。再起動のために油圧ポンプモータの吸い込み口にアキムレータから高圧作動油を供給してアシストする方式について、安定した再起動に必要な圧力やタイミングを明らかにしている。

鈴木(智)ら¹³⁾は、円形断面以外の管路の流量特性は不明確な部分が多いため、CFDを活用し、空気の流れを解析結果から可視化することを提案している。今回の報告では、円管路を流路解析モデルとして構築し、実験値と解析結果を比較しながら流動状況を可視化した結果について報告している。

また、岡本ら¹⁴⁾の、水圧シリンダの速度が直接計測できない場合に管路伝達マトリックス法を適用して速度を推定し制御に利用する手法についての研究も掲載されている。

3. おわりに

本OSの登壇者は大学院生がほとんどであったが、中には学部4年生も頑張っており、それぞれ立派にプレゼンテーションを行っていた。各講演に対して活発な質疑応答があり、有意義な講演会であった。

今回から論文集はCD-ROMによる配布となったの

でPC持参でない方は戸惑っていたようだった。講演会実行委員会によれば、参加者は約160名、また、講演者のやむを得ない事情により、全体で3件の講演取り下げがあったのは残念であった。

ところで、本OSは、1994年に「油圧空気圧による駆動と制御」として始まり、途中ほかの国際会議と重なったため1回見送ったが、今回は記念すべき20回目となった。これまでも度々参加していただいた本学会の歴代会長である、中野和夫、高橋浩爾、池尾茂、中田毅、横田眞一の各先生方も駆けつけて討論に参加してくださった。この場を借りて感謝申し上げる。

講演会終了後は、初めての企画として、会場から車で20分ほどの石和温泉に移動して懇談会を開催し、フルードパワー談義に花を咲かせた。

今後も多くの皆様のOS「フルードパワーによる駆動と制御」へのご参加を期待している。

参考文献

- 1) 望月：教育研究実用化からみた医療機器開発における産官学医工連携，山梨講演会（CD版講演論文集），No. 140-3（以下同じ），p. 1-2（2014）
- 2) 青木，長野，大内，浅川：海洋観測機用油圧浮力調整装置における油引き込み部の試作，p. 3-4（2014）
- 3) ZUBER, MUSTAFFA, 大内：近接スイッチを利用した空気圧シリンダの位置決め制御（駆動条件の変更とスイッチの配置），p. 5-6（2014）
- 4) 渡辺，坂間，五嶋，田中：気泡を含む油の体積弾性係数モデルの比較，p. 7-8（2014）
- 5) 服部，坂間，田中，鈴木（隆）：気泡除去装置の流れ解析（気泡混入量の違いによる比較），p. 9-10（2014）
- 6) 神戸，坂間，外川，田中：ER流体を用いたマイクロロボット用制動装置の設計，p. 11-12（2014）
- 7) 近藤，金，横田，枝村：点字表示セル用ECFマイクロアクチュエータ，p. 13-14（2014）
- 8) 金，横田，田邊，枝村：オンサガー効果によるECFジェットのシミュレーション，p. 15-16（2014）
- 9) 古木，金，横田，枝村：MEMS技術を用いた集積化によるECFマイクロポンプの高圧化，p. 17-18（2014）
- 10) 三栗野，金，横田，枝村：MEMS技術による五角柱電極アレイ形高出力ECFマイクロポンプ，p. 19-20（2014）
- 11) 吉田，渡邊，金，嚴，横田：平板-円筒電極対を用いた交流電気浸透マイクロポンプの特性評価，p. 21-22（2014）
- 12) 糟谷，野中，鈴木（勝）：エンジン駆動油圧源の間欠運転における油圧アシストによる再起動，p. 23-24（2014）
- 13) 鈴木（智），村山，川上，中野：CFDを用いた空気圧管路系の流量特性の検討，p. 27-28（2014）
- 14) 岡本，伊藤，池尾，高橋：長管路を有する水圧システムにおけるシリンダのセンサレス速度制御，p. 25-26（2014）

（原稿受付：2014年12月5日）

会議報告

計測自動制御学会・流体計測制御シンポジウムにおける研究動向

著者紹介



ゆん 尹 ぞん 鍾 ほ 皓

東京工業大学
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259 R2-45
E-mail: youn.c.aa@m.titech.ac.jp

2005年東京工業大学大学院精密機械システム専攻博士課程修了。同年ポッシュ(株)入社。07年東京工業大学精密工学研究所高機能化システム助教。現在に至る。圧縮性流体の計測と制御の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会会員。博士(工学)。

1. はじめに

計測自動制御学会(SICE)の産業応用部門は、「実践が理論を越える、技術を生み、技術を役立て、技術を評価する産業応用部門」をキャッチフレーズに、計装技術交流部会、流体計測制御部会、計測・制御ネットワーク部会の3部会と計測制御エンジニア会を中心として、シンポジウム・講習会等の開催、部門表彰、各大会への協力等の活動を行っている。

2014年度大会は、計測自動制御学会産業応用部門が主催し、日本フルードパワーシステム学会、計測自動制御学会制御部門、国際委員会が共催して、11月12日に東京工業大学蔵前会館で開催された。大会プログラムは一般講演、制御部門との合同企画OSと、部会企画の流体計測制御シンポジウム、計測制御ネットワークシンポジウム、産業システムシンポジウムからなっている¹⁾。

流体計測制御シンポジウムは計測制御・ロボット、流体機器・システム、福祉・医用・パワーアシストの3つのセッションで14件の講演発表が行われた。以下では、14件の講演発表についてご紹介させていただく²⁾。

2. 講演会の紹介

2.1 セッション1「計測制御・ロボット」

はじめの「計測制御・ロボット」のセッションでは4件の講演が行われた。

横浜国立大学の眞田一志による講演「DDVCを用

いた燃料噴射率制御のロバスト性について」では、ACサーボモータで回転数制御された固定容量形油圧ポンプと油圧シリンダを用いた船用ディーゼルエンジンの燃料噴射システムにおいて、エンジン回転数に対する燃料噴射率制御系のロバスト性をシミュレーションにより示している(図1)。

早稲田大学の廣瀬優による講演「コリオリ質量流量計におけるセンサコイル電圧を用いた気泡混入診断と流量補正」では、コリオリ質量流量計において、気泡混入の有無を診断できる従来手法に追加して、センサコイル電圧の実効値から流量を補正する手法を提案している(図2)。

続いて私、東京工業大学の尹鍾皓による講演「空気圧を用いた隙間高さ計測に関する研究」では、空気圧を用いて隙間出口部分の噴流の流速を計測し、動圧に変換することで隙間高さを測定する手法を提案している(図3)。

東京工業大学の長田勇一による講演「水空両用式羽ばたき型探査機の開発—第2報：羽ばたき機構の設計—」では、2点ヒンジの羽ばたき動作とフェザリング動作を生成する構造を報告し、試作機を用い

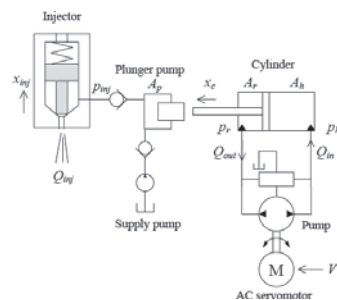


図1 DDVCを用いた燃料噴射システム

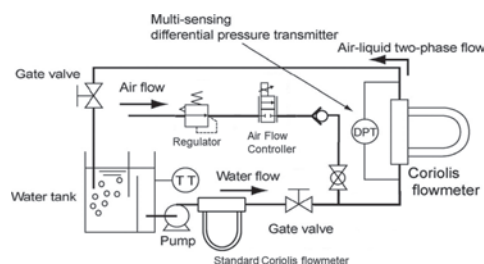


図2 実験装置の概略図

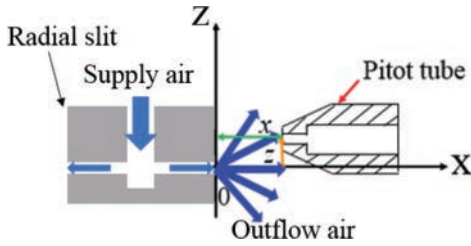


図3 空気圧を用いた隙間高さ計測の概略図

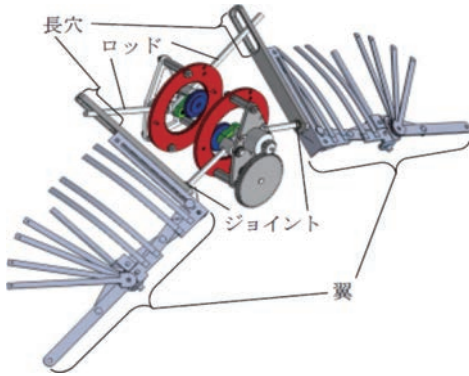


図4 翼と羽ばたき駆動部の接続方法

た実験により上記手法の有効性を確認している（図4）。

2.2 セッション2「流体機器・システム」

本セッションでは、5件の講演が行われた。慶應義塾大学の石塚裕己による講演「液滴とポリマーによる薄膜作製応用としての硬さ呈示触覚ディスプレイの開発」では、液滴を用いた薄膜半球の作製方法の提案とその評価を行い、液滴の体積や加熱時間を制御することによって、半球の形状を制御することができることを確認している（図5）。

防衛大学の栗林哲也による講演「容量部が扁平形状のヘルムホルツ型油圧サイレンサの減衰特性（容量部カバーの弾性変形の影響）」では、扁平な容量部をもつヘルムホルツ型油圧サイレンサにおいて、既報の分布定数系モデルに、容量部カバーへの弾性変形の影響を加えた数学モデルを新たに構築している（図6）。

東京工業大学の彭杰宏による講演「直動形減圧弁の供給圧変動に対する出力流量特性の変化」では、直動形減圧弁の供給圧の変動による弁不平衡力が弁システムに作用する方向性の違いに注目した減圧弁の数学モデルを提案している（図7）。

芝浦工業大学の川邊大志郎による講演「サイクロン型ドレンセパレータ内旋回流発生翼の検討」では、シミュレーションにより凹凸の度合いや、案内羽と案内羽の間隔などの組み合わせによっては、凹凸をつけた形状が旋回流の発生に優れる可能性があることを明らかにしている（図8）。

東京電機大学の二坂総一郎による講演「圧縮性流体における二次元スプール弁のCFD解析」では、非粘性・圧縮流れを仮定した2次元スプール弁内のCFD解析を行い、流体力に関する噴流角と流量係数を求めるとともに、非粘性・非圧縮性流体の場合との結果を比較している（図9）。

2.3 セッション3「福祉・医用・パワーアシスト」

本セッションでは、5件の講演が行われた。明治大学の石田智也による講演「介護補助ロボットアームへの導入に向けた重心動揺計の開発および評価実験」では、被介護者の姿勢情報として身体の重心移動に着目し、介護動作の重心動揺計を製作することによって、立位状態や人間による立ち上がり支援を受けた場合の姿勢体勢情報を入手することを可能

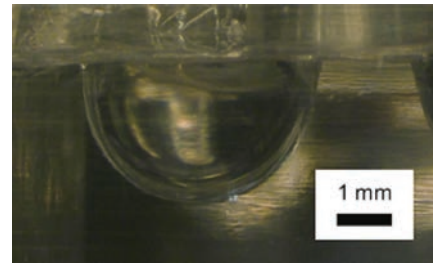


図5 半球薄膜の写真

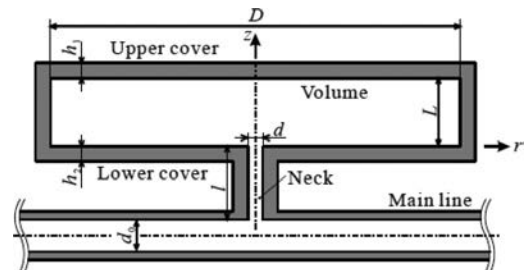


図6 扁平な容量部をもつヘルムホルツ型油圧サイレンサ

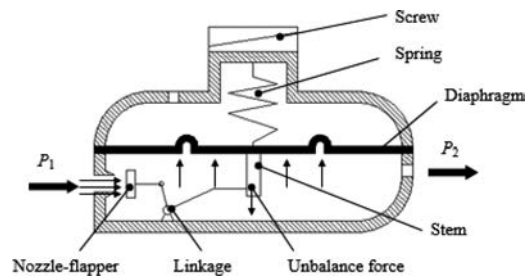


図7 リンク機構を持つ減圧弁

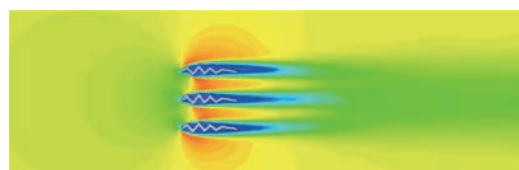


図8 凹凸案内羽のシミュレーション結果（流速）

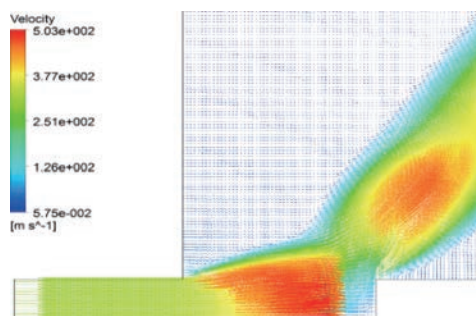


図9 圧縮性流体の場合におけるスプール弁での流速分布

としている(図10)。

神奈川工科大学の庄司輝秋による講演「レスキュー用アシストスーツの開発」では、屋外で継続的に作業を行なうため、空気圧アクチュエータに可変絞り機構を加えたレスキュー用下肢パワーアシストスーツを開発している(図11)。

東京工業大学の岩佐壽紘による講演「空気圧アクチュエータを用いた先端可動式腹腔鏡操作システム」では、先端可動式腹腔鏡と4自由度スコープホルダを用いた6自由度腹腔鏡操作システムを提案し、空気圧シリンダを用いた4節リンク機構の駆動装置によって腹腔鏡の先端関節の6自由度の位置決めを実現している(図12)。

東京電機大学の滝川恭平による講演「空気圧駆動を用いた多自由度鉗子マニピュレータの開発」では、腹腔鏡手術を技術的に支援するため、直感的な操作と先端屈曲2自由度が可能な空気圧駆動の手術用鉗子マニピュレータを提案試作し、その有効性を示している(図13)。

東京電機大学の森崎大介による講演「空気圧ゴム人

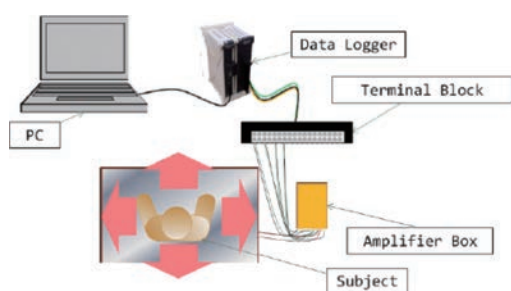


図10 重心動揺計の概略図

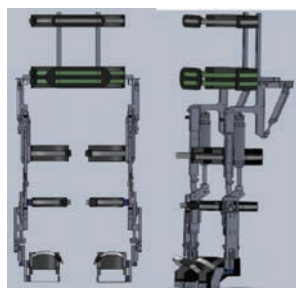


図11 レスキュー用アシストスーツ基本骨格図

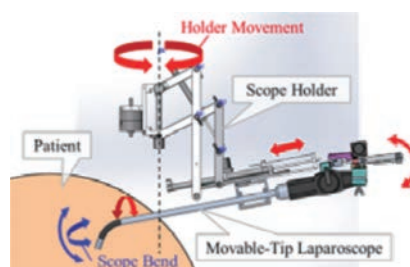


図12 腹腔鏡操作システムの概略図

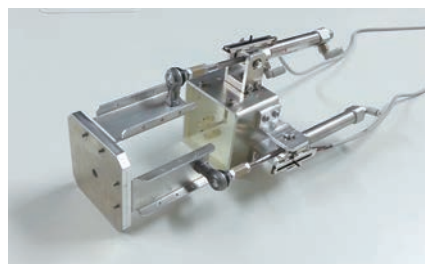


図13 空気圧駆動を用いた多自由度鉗子マニピュレータ

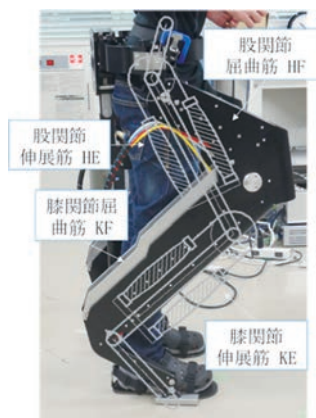


図14 歩行アシスト装置

工筋のバックドライバビリティを用いた歩行アシスト装置の制御」では、歩行アシスト装置の耐環境性の向上のため、センサを用いない空気圧ゴム人工筋で駆動するアシスト装置を提案し、歩行アシスト装置としての機能を満たせることを確認している(図14)。

3. おわりに

本稿では計測自動制御学会・流体計測制御シンポジウムにおける研究動向についてご紹介させていただいた。技術動向としては、新たな流体機器の開発やCFD解析による高機能化と、ライフイノベーションに関する研究が多く占めていた。

参考文献

- 1) <http://www.sice.or.jp/~ia-div/> : SICE産業応用部門HP
- 2) 産業応用部門2014年度大会講演論文集(2014)

(原稿受付: 2014年11月18日)

教 室

入門講座「トライボロジー」

第5回：油剤について

著 者 紹 介



かざ ま とし はる
風 間 俊 治

室蘭工業大学大学院
〒050-8585 北海道室蘭市水元町27-1
E-mail: kazama@mmm.muroran-it.ac.jp

1988年横浜国立大学大学院修了。2005年室蘭工業大学教授、現在に至る。主に、トライボロジー、キャビテーション、設計工学などの教育研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本トライボロジー学会、日本機械学会等の会員。博士（工学）。

1. はじめに

「トライボロジー」について、「表面」、「摩擦」、「摩耗」、「潤滑」に関する話を進めてきた。最後は、潤滑油や作動油に関する内容で本講座を締め括る。

2. 作動油・潤滑油について

作動油¹⁾は、しばしば油圧システムの血液に喩えられる。主な機能として、エネルギーの伝達媒体であるとともに、しゅう動部の潤滑剤の両者を担うことが求められる。具体的には、i) 環境保全や安全維持の点から、毒性がなく、難燃性が高く、廃油処理が容易なこと、ii) 潤滑の視点から、適度な粘度があり、せん断流れ場においても安定であり、摩耗耐性を有すること、iii) 高压で用いられることから、体積弾性係数大きいこと、iv) 幅広い温度環境の仕様条件から、粘度変化が小さくて低温においても流動性があり、熱や酸化に対する劣化が少ないこと、v) 高速運転に伴うしゅう動部や機器の冷却効果の点から、比熱や熱伝導率が大きく、キャビテーションの発生や壊食が生じ難いこと、vi) シール材や塗料と適合することや金属部材の防錆性があること、vii) 入手しやすく、価格が抑えられていることなどが望まれる。なお、使用とともに汚染や劣化は避けられない。よって、システムを円滑に動作させるためには、適切な選定と定期的な保守が不可欠である。

作動油は一般産業機械や船舶ならびに自動車や航空機などの油圧関連システムに広く用いられており、その種類は多い。工業用の用途を主として、便宜的に分類した一例¹⁾を表1にまとめる。

石油系作動油（鉱物油）にはR&O（Rust and

Oxidation）形や耐摩耗形などがあり、もっとも広く用いられている。R&O形作動油とは、防錆剤と酸化防止剤を主な添加剤とする、高級タービン油である。しゅう動面の摩耗低減を図った耐摩耗性作動油は、高压化、高速化に対応し、多く使用されている。高粘度指数低流動点作動油は、氷点下数十度においても流動性を保つ。また、温度に対する粘度変化が小さいことから、省エネルギー性も示す。油圧しゅう動面兼用油は、油圧式工作機械の油種統一を図るために開発され、潤滑油と作動油の両機能を有し、マルチパーパスオイルとも称される。NC（Numerical Control）作動油は工作機械用として、高粘度指数と耐摩耗性を併せ持つ。そのほか、軸受油（スピンドル油）、軸受油（タービン油）、マシン油、冷凍機油、コンプレッサ油、内燃機関用潤滑油（モータ油）などがある。

水成系作動油は、いずれも高い難燃性を有する。O/W（Oil in Water）乳化形作動液は、界面活性剤で水中に油滴を安定的に分散させており、水と同程度の粘度を示す。乳液形あるいは溶液形の高含水作動液（HWBF/HWCF, High Water Based/Content Fluid）もこれに含まれる。W/O（Water in Oil）乳化形作動液は、その逆乳化形である。水-グリコール系作動液は、水成系の中で特に潤滑性や防錆性に優れる。

合成油系作動油として例示したりん酸エステル系作動液は、低い粘度指数ながら良好な潤滑性を示す。

表1 作動油の分類例

石油系	R&O形作動油 耐摩耗性作動油 高粘度指数低流動点作動油 油圧しゅう動面兼用油 NC作動油
水成系	O/W乳化形作動液 W/O乳化形作動液 水-グリコール系作動液
合成系	りん酸エステル系作動液 合成炭化水素系作動液 有機エステル系作動液

3. 「添加剤」について

作動油の各種性能を向上させるために、さまざまな添加剤が配合される。代表的な添加剤¹⁾を表2にまとめる。

耐荷重添加剤は、高荷重・高速度の運転条件下におけるしゅう動面の摩耗や焼付きを防止する。なお、環境負荷低減の観点から、近年は非ZnDTP（ジアルキルジチオリン酸亜鉛）系に移行している。酸化防止剤は、長期に亘り空気と触れながら高温に曝される作動油の酸化劣化（スラッジの発生や粘度の上昇を招く）を防ぐ。防錆剤は、混入水分や空気との接触環境下で金属表面に吸着膜を形成させて発錆を防ぐ。消泡材は、泡沫（作動油表面に浮かぶ気泡）を不安定化し、破壊・消滅させ、回路内での巻き込み空気による作動油圧縮性の低下、気泡圧縮による局所加熱、キャビテーションの発生などを防ぐ。抗乳化剤は、作動油に混入する水を分離する。流動点降下剤は、石油系基油に含まれる数%のろうが低温時に析出することによる網目構造化を防止する。粘度指数向上剤は、作動油粘度の温度変化を抑える。

なお、水成系作動油には、乳化形作動液に水と油のエマルジョンを安定化させる乳化剤、微生物の繁殖を停止・防止させるかび防止剤、水-グリコール形作動液の基液の粘度を向上させる増粘剤などが配合される。

表2 作動油に配合される主な添加剤と成分

耐荷重添加剤	ZnDTP系、無灰系（硫黄系、りん系）
酸化防止剤	ハイドロパーオキサイド分解剤、金属不活性剤
防錆剤	アルケニルこはく酸誘導体
消泡材	シリコーン
抗乳化剤	界面活性剤
流動点降下剤	ポリアルキルメタクリレート、ポリアクリレート
粘度指数向上剤	ポリアルキルメタクリレート

4. 作動油の物性・性状について

作動油や潤滑油²⁾の代表的な物理的・化学的な特性や物性値ならびに性状や分析項目には、密度、粘度、動粘度、比熱、熱伝導率、熱膨張率、体積弾性係数、表面張力、酸価、塩基価、引火点、流動点、酸化安定度、誘電率、色相、水分、不溶解分、汚染度などの多数を挙げることができる。

物性値や性状は温度と圧力に強く依存する。たとえば、温度が上昇すると、作動油の粘度は大幅に減

少するとともに酸化が促進される。ここでは、密度、体積弾性係数、粘度、表面張力、比熱、熱伝導率について手短かに記す³⁾。

4.1 密度

単位体積当たりの質量を密度 ρ という。同体積の水の質量との比で比重 γ が定義される。水はほぼ $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ であり、石油系作動油は $\rho=870\sim 890 \text{ kg/m}^3$ 程度である。つまり、 $\gamma<1$ であり、油は水に浮く。ただし、水-グリコール系作動油やりん酸エステル系の作動油では、比重は1を超える。

4.2 体積弾性係数

空気のみならず、作動油にも圧縮性がある。特に高圧条件で使用する場合には、効率や応答性に影響を及ぼす。流体に圧力を加えて p_1 から p_2 とすると、体積が V_1 から V_2 に減少する。その割合を体積弾性係数 K （その逆数を圧縮率）と呼び、式(1)で定義される。作動油で $K=1.2\sim 1.4 \text{ GPa}$ 程度である。ただし、実際のシステムでは、空気の混入や部材の弾性変形などにより K は減少する。

$$K = - \frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1} = - \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (1)$$

4.3 粘度・動粘度

壁面に沿って流体が流れるとき、壁面における速度勾配に比例するせん断応力がその壁面に作用する。ここで定義される比例定数が、粘度 μ と称される。その定数がせん断応力や速度勾配に依存せずに一定となる流体をニュートン流体と呼ぶ。また、粘度を密度で除したパラメータが動粘度 $\nu (= \mu/\rho)$ である。温度変化に対する動粘度の推算には、指数関数近似による式(2)あるいはWaltherによる式(3)が、圧力変化に対する粘度の推算にはBarusによる式(4)が、しばしば用いられる。

$$\mu = \mu_0 e^{-\beta(t-t_0)} \quad (2)$$

$$\log_{10} [\log_{10}(\nu^* + c)] = m - n \log_{10} T \quad (3)$$

$$\mu = \mu_0 e^{\alpha(p-p_0)} \quad (4)$$

ここに、式(3)において、 ν^* は単位を $\text{mm}^2/\text{s} (= \text{cSt})$ とする動粘度、 T は絶対温度 [K]、 c は定数 ($=0.7$)、 α は粘度-圧力指数、 β は粘度-温度指数、 μ_0 は圧力 p_0 、温度 t_0 における粘度である。なお、 m 、 n は測定値 (40°C と 100°C における動粘度) より求める。また、石油系作動油で、式(4)の $\alpha=0.015\sim 0.036 \text{ MPa}^{-1}$ 、式(2)の $\beta=0.018\sim 0.036 \text{ K}^{-1}$ 程度である。

動粘度の温度変化の度合いを表すための指標として、粘度指数 (VI) も用いられる。値の大きい方が温度に対する動粘度の変化が小さいことを表す。石油系作動油の場合、大よそ $100\sim 150$ である。

4.4 比熱

単位質量の物質を1 K上昇させるために要する熱量を比熱と呼ぶ。石油系作動油で約 $1.9 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ である。

4.5 熱伝導率

微小面積を伝導により流れる熱量は、その面積と時間と面に垂直方向の温度勾配に比例する。その比

例定数が熱伝導率と定義される．石油系作動油で約 $0.13 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ である．

5. ク イ ズ

最後に，以下の問題を考えてみていただきたい．

5.1 入門レベル【粘度】

40°C と 100°C の動粘度が，それぞれ $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ と $5.5 \text{ mm}^2/\text{s}$ の作動油がある． 60°C の粘度はいくらか．ただし，密度は $870 \text{ kg}/\text{m}^3$ 一定とする．

5.2 基礎レベル【体積弾性係数】

気泡を1%含む作動油の体積弾性係数は，大気圧下でどの程度であろうか．

5.3 応用レベル【物性値変化】

温度と圧力の変化に対して，作動油の密度，粘度，定圧比熱，熱伝導率，熱膨張率の変化はどうか．

6. む す び

最後まで本講座をお読み下さり，ありがとうございました．フルードパワー関連の機器やシステムあるいは作動油や要素部品などに携わる若手技術者を念頭に置きつつ，導入的な内容の解説ならびに入門から応用レベルの問題と略解を紹介させていただきました．今後も，油圧工学やトライボロジーに興味を持ち続けていただければ幸いです．その際，本連載が何かの役に立てば，著者としてこの上ない喜びです．

最後に，このような貴重な機会を設けて下さった，日本フルードパワーシステム学会 編集委員会ならびに関係各位に深く感謝の意を表します．

附録

略解 1

Walther式(3)を適用すると

$$n = \frac{\log[\log(v_{40}^* + c)/\log(v_{100}^* + c)]}{\log(T_{100}/T_{40})} \\ = \frac{\log[\log(32 + 0.7)/\log(5.5 + 0.7)]}{\log(373/313)} \quad (5) \\ = 3.70$$

$$m = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \log[\log(v_{40} + c)] \log(T_{100}) \\ - \log[\log(v_{100} + c)] \log(T_{40}) \end{array} \right\}}{\log(T_{100}/T_{40})} \\ = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \log[\log(32 + 0.7)] \log 373 \\ - \log[\log(5.5 + 0.7)] \log 313 \end{array} \right\}}{\log(373/313)} \quad (6) \\ = 9.40$$

$$v^* = 10^{10m/T^n} - c = 10^{10^{9.40}/(273+60)^{3.70}} - 0.7 \\ = 15.3 [\text{mm}^2/\text{s}] \quad (7)$$

$$\mu = \rho v = 870 \times (15.3 \times 10^{-6}) = 0.0133 \\ = 13.3 [\text{mPa}\cdot\text{s}] \quad (8)$$

別解 Barus式(2)を用いれば，

$$\beta = 0.0293 \text{ K}^{-1}, \quad \mu = 15.5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

略解 2

大気圧下における空気の体積弾性係数は，完全ガスとして， $K_a = 0.12 \text{ MPa}$ であるから，作動油のみの体積弾性係数を $K_o = 1.4 \text{ GPa}$ とすれば

$$K = \frac{K_a K_o}{K_a + x(K_o - K_a)} \\ = \frac{(0.12 \times 10^6) \times (1.4 \times 10^9)}{0.12 \times 10^6 + 0.01 \times (1.4 \times 10^9 - 0.12 \times 10^6)} \quad (9) \\ = 12 \times 10^6 = 12 [\text{MPa}]$$

略解 3

温度の上昇に伴い，密度，粘度，熱伝導率は減少し，定圧比熱，熱膨張率は増加する．圧力の上昇に伴い，密度，粘度，熱伝導率は増加し，定圧比熱，熱膨張率は減少する．一般的な油圧作動油に関するそれらの変化の度合いは， $40 \sim 120^\circ\text{C}$ ，大気圧～ 50 MPa の範囲に対して，粘度は1～2桁程度の，ほかの物性値は，1～2割程度の変化を示す．

参考文献

- 1) 岡部平八郎，山口惇：作動油ハンドブック，潤滑通信社（1985）
- 2) 村木正芳：図解トライボロジー—摩擦の科学と潤滑技術，日刊工業新聞社（2007）
- 3) 山口惇，田中裕久：油空圧工学，コロナ社（1986）

附表 入門講座「トライボロジー」の総目次

掲載回	題 目	掲載巻号
第1回	表面について	第45巻4号
第2回	摩擦について	第45巻5号
第3回	摩耗について	第45巻6号
第4回	潤滑について	第46巻1号
第5回	油剤について	第46巻2号

（原稿受付：2014年11月3日）

トピックス

特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 6 …類似文献の検索 2

著者紹介



き はら かず ゆき
木原和幸

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

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

1. はじめに

前稿までに国際特許分類（IPC）および日本における特許の分類の大まかな概要を紹介し、さらに、具体的な事例として、低騒音に関する特許文献を検索する方法を示した。本稿は高圧化に関する特許文献を検索する方法を示す。高圧化には流体供給源である各種ポンプ、アクチュエータであるシリンダ、モータ、安全弁であるリリーフ弁などの機器およびシステムとしては増圧システムなどがある。

2. 検索画面

特許電子図書館¹⁾に示されている冒頭の表示画面の一部に、表1に示す検索メニューがある。

表1 検索メニュー

初心者向け検索	商票検索
特許・実用新案の検索	意匠検索
経過情報検索	審判検索

特許・実用新案の検索を選択する。下記、12の項目が表示される。

- ①特許・実用新案公報DB
- ②特許・実用新案文献番号索引照会
- ③公報テキスト検索
- ④公開特許公報フロントページ検索
- ⑤特許分類検索
- ⑥パテントマップガイダンス（PMGS）
- ⑦パテントマップガイダンス（旧）
- ⑧PAJ検索（英語表示）
- ⑨FI/Fターム検索（英語表示）
- ⑩外国公報DB
- ⑪審査書類情報照会
- ⑫コンピュータソフトウェアデータベース（CSDB）

⑨FI/Fターム検索（英語表示）

⑩外国公報DB

⑪審査書類情報照会

⑫コンピュータソフトウェアデータベース（CSDB）

③公報テキスト検索を選択する。初期画面の検索項目選択には下記がある。

表2 検索画面の初期画面の一部

要約+請求の範囲	
公報全文（書誌を除く）	
IPC	
出願人/権利者	
公報発行日	

表2の右欄にキーワードを入れ、検索する。

なお、公報テキスト検索では、すべての特許文献を検索できるものではない。古い文献は検索できない。検索可能範囲は表3に示す。

表3 テキスト検索可能範囲

文献種別	検索可能範囲	文献数
特許公開	平成5年以降	7,155,067件
特許公表	平成8年以降	603,130件
特許再公表	1992年以降	137,894件
実用公開	昭和61年以降	1,336,675件
登録実用	登録番号3000001以降	194,438件
実用公表	平成08年～平成10年	7件
特許公告	昭和61年～平成8年	822,584件
特許登録	登録番号2500001以降	3,129,508件
実用公告	昭和61年～平成8年	509,982件
実用登録	登録番号2500001～2607899	107,893件

多くの文献種別があるが、特許文献であれば、

- ・特許公開…出願後、公開された文献
- ・特許公告…権利を確定させる予定の文献
- ・特許公報…特許確定後の内容の文献
- ・特許公表…外国から国際出願の翻訳文献
- ・特許再公表…日本から国際出願の文献

である。公告制度は平成8年8月1日に廃止されて

いるので、公告文献はそれ以前のものとなる。また、年号は和暦、西暦が混在しているが、2000年以降は西暦表記になっている。ゆえに、最近の20年間程度の特許を調べたいのであれば、テキスト検索のみで求める分野の技術動向を見出すことも可能である。しかしながら、適切なテキストを使用しても、人により用語の使い方は異なる。また、古い文献は無視される。より、漏れがないようにするためには、FI、Fタームを用いた検索を活用する方が良い。

3. 事例 1

前稿では低騒音に関する特許の検索例を示したが、本稿では高圧化のキーワードに関連して検索例を示す。結果は下記となる。

①要約+請求の範囲に高圧化 899件

②公報全文（書誌を除く）に高圧化 9,330件

①は発明自体が高圧化に関するものであり、②は高圧化に関連する発明であると解釈できる。上記は対象の機器を限定していない。また、左欄の項目は選択可能となっている。なお、高圧化でなく、高圧のみとすると①は87,003件、②は559,988件となる。漏れが多くであるが、絞り込むために高圧化のキーワードを選択している。表4に示すように、ピストンポンプの高圧化を検索する。

表4 キーワードによる検索

要約+請求の範囲	高圧化
要約+請求の範囲	ピストンポンプ

この結果は表5の7件である。なお、ピストンポンプを公報全文とすると17件、高圧化とピストンポンプの双方を公報全文とすると123件となる。さらに、高圧化を高圧にすると、それぞれ、281件、887件、2,998件となる。

表5の文献1を表示すると、課題は下記である。
【課題】高圧化での高速回転を要する場合であっても良好なポンプ効率を得ることができ、構造が簡単

表5 表4の検索結果一覧

公報番号	発明の名称
1 特開2014-199045	ピストンポンプ
2 特開2008-050613	油圧作動油
3 特開2006-183503	ラジアルピストンポンプ
4 特開平11-324856	コモンレール式燃料噴射装置用燃料ポンプ
5 特開平11-323365	油圧作動油
6 特開平10-238457	斜軸式アキシャルピストンポンプ・モータ
7 特開平10-077956	斜板形アキシャルピストンポンプ

で、製作も容易で、低コスト化が可能なピストンポンプを提供する。

本文献のテーマコードは3H070往復動ポンプ(1)、FIはF04B1/22であり、2組以上のシリンダまたはピストンを有するものである。このFIは構造の限定であるので、たとえば、ピストン・シリンダブロックが1組のピストンポンプの構造とは異なる。このFIのみで、高圧化の文献を見出すのは難しい。そのために、Fタームを確認する。Fタームはテーマコードの中のFタームを確認すると、表6に示すように、CC25・吐出圧力の高圧化がある。

表6 3H070の抜粋、目的・効果の欄

CC01 ・騒音、 振動防止	CC02 ・機械 的な原因 に基づく もの	CC03 ・流体 力学的な 原因に基 づくもの	CC04 ・キャピ テーショ ン防止	CC05 ・推力調整	CC06 ・摺動面 圧力の低 減	CC07 ・耐久性 向上	CC08 ・分離、排 出、除去 (例、異物 対策、ガス 抜き)	
CC11 ・制御	CC12 ・容量 制御	CC13 ・P -Q特性 制御	CC14 ・特性の変 更	CC15 ・定馬力制 御	CC16 ・カットオ フ制御	CC17 ・多圧制御	CC18 ・コンピ ネーション 制御	CC19 ・圧 力制御
CC21 ・ポンプ 能力、効 率向上	CC22 ・容積 効率向上	CC23 ・デッドボ リューム の低減	CC24 ・ピスト ン運動の 高速化	CC25 ・吐出 圧力の高 圧化		CC27 ・潤滑	CC28 ・冷却、 熱対策	CC29 ・密封
CC31 ・製造、 加工	CC32 ・組立性	CC33 ・保守、点 検、試験	CC34 ・小型化、 軽量化	CC35 ・単純化		CC37 ・その他		

表1に示す特許・実用新案の検索を選択し、⑤特許分類検索を選択するとFI、Fターム検索ができる。テーマコードに3H070を入力し、検索式の欄をCC25とし、(検索実行)を選択するとそのヒット件数が表示される。

CC25 ヒット件数221

この文献をすべて確認するのを推奨するが、より絞り込みたい場合にはBB**の型式、DD**の構成から合致するものを(リスト)を選択するのが良い。たとえば、BB04・アキシャル型(例、斜板)である。CC25*BB04 ヒット件数94

このように件数が多い場合は、ほかの特徴も加味して、ヒット件数を絞り込む。

4. 事例 2

高圧化に関連し、表7に示すようにアクチュエータであるシリンダにおける適用を検索する。シリンダという用語はアクチュエータのみに使用されているわけではないため、絞り込みを的確に行うことはできないが、検索結果から判断できる。

表7 キーワード検索

要約+請求の範囲	高圧化
要約+請求の範囲	シリンダ

ヒット件数は148件である。表8に抜粋する。

表8 抜 粋

	公報番号	発明の名称
1	特開2014-202189	液化ガス燃料供給装置
2	特開2014-199045	ピストンポンプ
3	特開2014-196705	密閉型回転圧縮機
29	特開2009-287714	流体圧シリンダ

29の特開2009-287714流体圧シリンダを選択する。この文献の課題は下記である。

【課題】クッション圧力の高压化に伴ってシリンダヘッドが大型化することを抑えられる流体圧シリンダを提供する。

テーマコードは3H081アクチュエータである。FIはF15B15/14,355@Aロッドカバーのロッド貫通部に特徴のあるもの、F15B15/14,380@Z作動流体通路に特徴のあるもののほかとF15B15/22@Fクッション弁、逆止め弁またはシールリングに特徴のあるものである。これらから高压化のみを絞り込むのは困難である。表9に示すようにFタームにも高压化はない。ただし、高压化のために、漏れを対策するのであればF15B15/22@Fは適切であり、FタームにもCC12・漏油対策、CC13・シールに関するもの、CC14・シール性向上がある。高压化に対して座屈対策をするのであれば、CC02・座屈防止がある。高压化に対して安全対策を行っているのであれば、CC18・安全対策がある。上記Fタームの・は全体集合であり、・・が・の部分集合を示す。検索式の\$はそのFタームを付与されている文献を示す。検索式とヒット件数を参照すると、\$CC13とCC14を加算するとCC13より5件多い。これはCC13とCC14の双方のFタームを有す

表9 3H081の抜粋、目的・効果の欄

CC01	CC02	CC03	CC04	CC05	CC06	CC07	CC08	CC09	CC10
・誤動作防止、信頼性向上等	・座屈防止	・自動調心	・偏荷重に関するもの	・ピストンの回り止め	・伝熱対策	・防塵対策	・異物対策	・不純物の除去	・空気の抜き
CC11	CC12	CC13	CC14	CC15	CC16	CC17	CC18	CC19	CC20
・摺動抵抗低減に関するもの	・漏曲（グリース等含む）対策	・シールに関するもの	・シール性向上	・緩衝	・アンロード	・防食対策	・安全対策*	・圧力供給停止に処するもの	・製造、組立方法等に関するもの*
CC21	CC22	CC23	CC24	CC25	CC26	CC27	CC28	CC29	
・保守、調整等の容易化*	・行程調整、位置調整等	・シール性向上	・耐久性向上（長寿命化）*	・精度向上（位置決め等）*	・動作の迅速化、応答性の向上等	・振動、脈動等の防止策	・効率向上（省エネルギー等）	・その他*	

る文献が5件あることを示す。

検索式とヒット件数は下記となる。

F15B15/22@F	185件
CC02	104件
CC12	209件
CC13	1138件
\$CC13	340件
CC14	803件
CC18	808件

ヒット件数の多いものであれば、さらに絞り込む必要がある。たとえば、シリンダチューブに特徴があるのであれば、FタームのDD22が該当する。その結果は、CC13*DD22として133件となる。

5. おわりに

本稿ではピストンポンプあるいはアクチュエータであるシリンダにおいて、高压化に関するアイデアを有する人が、特許電子図書館のデータベースから類似案件を見出す方法を示した。事例1では適切なFタームがあり、容易に検索式を設定できたが、事例2では単純に高压化ではなく、より具体化して検索式を設定する方法を示した。

具体的に文献を見出す方法は、最初にテキスト検索により、類似文献を文献名称、課題と見出し、どのようなFI、テーマコード、Fタームが付与されているか判断して、参考となる文献を検索する方法である。なお、本稿をより良く理解するために、前稿までの特許文献を調べる・特許電子図書館の活用¹⁾、²⁾、³⁾、⁴⁾および⁵⁾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、Vol. 44, No. 4, p. 241-243 (2013)
- 3) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用2…特許の基本、フルードパワーシステム、Vol. 44, No. 6, p. 362-364 (2013)
- 4) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用3…日本の分類・テーマコード1、フルードパワーシステム、Vol. 45, No. 2, p. 81-83 (2014)
- 5) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用4…日本の分類・テーマコード2、フルードパワーシステム、Vol. 45, No. 4, p. 184-186 (2014)
- 6) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用5…類似文献の検索1、フルードパワーシステム、Vol. 45, No. 6, p. 285-287 (2014)

(原稿受付：2014年11月27日)

トピックス

「油空圧技術」実習講座 「フルードパワー人材育成への産学連携2」

著者紹介



よし みつ とし ひろ
吉 満 俊 拓

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

2000年明治大学大学院博士後期課程修了，同年神奈川工科大学工学部助手，現在は准教授，空気圧制御システムの研究に従事，日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，計測自動制御学会などの会員，博士（工学）

1. はじめに

フルードパワーに関わる産業界と学会との連携の取り組みの一環として，入門者向き実習講座「油空圧技術」を年1回関西地区にて開催している。

基盤強化委員会にて賛助会員勧誘および賛助会員へのサービスの拡充活動の中で，京阪神地区の油空圧関連企業より，「関西地区で学会主催の実習講座を開設できないか」との要望が出された。

企業の技術者を主な対象とした教育講座であるが，入社までにフルードパワーに関する体系的な教育を受ける機会が少ない，あるいは機械工学系以外の専攻に在学していた技術者も多いことから流体機械に関する入門講座として，油圧・空気圧両分野について講義・実習を合わせて行う企画とした。

実施に当たって，京阪神地区の基盤強化委員の尽力により，関西職業能力開発促進センターにて講座開催の協力を得られた。

「油空圧技術」実習講座は平成18年度6月から開催され，平成27年度6月で10回目の開催となる。参加を希望される場合は学会事務局にご相談いただきたい。

2. 関西職業能力開発促進センター（ポリテクセンター関西）¹⁾

関西職業能力開発促進センター（以下，ポリテクセンター関西）は大阪府摂津市の大阪モノレール摂津駅で下車，徒歩10分のところにあり，地域にお

ける職業能力開発の総合的センターとしての役割を果たしている。

ポリテクセンター関西は雇用のセーフティネットとして，求職者の早期再就職に向けた6カ月の職業訓練や，在職者の知識・技能・技術の向上を図るための2～5日の職業訓練，求職者支援訓練を実施する民間教育訓練機関に対して訓練実施に必要な指導助言など，幅広い人材育成業務を担っている（図1，2）。

油圧・空気圧技術に関して，5日間の「油圧システム回路講座」，3日間の「空気圧回路設計講座」



図1 ポリテクセンター関西 外観



図2 ポリテクセンター関西 内観

などさまざまなレベルの実習講座が設けられている。さらに、実習用の油圧用テストスタンドと空気圧用テストスタンドが多数整備されており、2, 3人で1台の割合で実習することができる環境が整っている。参考まで、ポリテクセンター関西で開催されている油圧・空気圧講座を表1に示す。回路設計・メンテナンス・機器選定・制御・省エネと目的に応じた各種の講座が用意されている。実習用テキストも準備されており、実習講座に関する優れた実績をあげられている。

表1 油圧・空気圧講座一覧

分野	コース名	日程
油圧	油圧システム回路	5日間年4回
	油圧機器メンテナンス	5日間年4回
	油圧回路の最適設計	4日間年1回
空気圧	空気圧システム制御の実務	3日間年3回
	空気圧機器の保全	3日間年3回
	空気圧回路設計	3日間年2回
	空気圧機器の選定技術	2日間年2回
	空気圧設備の保全と省エネ対策	2日間年2回
	空気圧制御とPLC	3日間年1回

3. 「油空圧技術」実習講座

実習講座は流体機械に関して体系的な学習を受けていない方々を想定し、油空圧の基礎から流体機器・作動流体・基本回路について講義・実習を行う。

テキストは、実績のあるポリテクセンター関西で実習講座に使われているものを使用することとした。

座学は学会から講師を派遣し、実習はポリテクセンター関西の先生方に担当していただいている。

平成26年度は、6月11日（水）に座学を、12日（木）に油圧実習、13日（金）に空気圧実習を行った。座学の油圧分野（午前の部）については横浜国立大学の眞田先生が、空気圧分野（午後の部）については著者が担当した。実習は、油圧ならびに空気圧とも、ポリテクセンター関西の正木先生・中西先生が担当された。

26年度の参加者は9名であった。ポリテクセンター関西での実習講座の平均参加数が10名前後であり、ほぼ他の講座と同じ規模であり、京阪神地区の油空圧関連企業・ユーザー企業からの参加者がほとんどである。

入社数年の若手技術者の参加が多く、中にはシニアの方や、営業の方が参加されることもある。

冒頭にも述べた様に、在学中油圧・空気圧に関す

る体系的な学習の機会が少なく、入社後は自ら担当する機器については詳しくとも、他の油空圧機器に関しては、この講座にて初めて触れられる方が多い。

入門講座と題し油圧・空圧両分野を合わせて、初心者向けの基礎知識から始まり、理解度を確認しながら講義を進めていくこととなる。

過去の参加者数を表2に示す。

表2 入門講座 参加者数

開催年	参加者数
18	25
19	16
20	18
21	11
22	11
23	9
24	9
25	7
26	9

座学は図3, 4のようにパワーポイントを使って行い、テキストは受講生全員に配布される。「油圧技術」テキストの目次を表3に、「空気圧技術」テキストの目次を表4に示す。油圧のテキストは69頁、空気圧のテキストは41頁である。これらは、センターで定常的に行われている講座で使用されるテキストであり、図解を駆使したわかりやすい説明が特徴である。本実習講座では、油圧と空気圧を1日で講義するので、要領よくポイントを整理して説明することが求められる。

実習は、シリンダを駆動する回路の設計、配管、

表3 「油圧技術」テキスト

第1章	油圧の基礎	なぜ油圧が使われるか、JIS記号、公式
第2章	油圧機器	ポンプ、圧力制御弁、流量制御弁、方向制御弁、アクチュエータ
第3章	作動油	種類、粘度、粘度指数、適正使用温度範囲、圧縮性、混入空気、水分混入、汚染、消防法
第4章	基本回路	アンロード回路、圧力制御回路、大負荷制御回路、増圧回路、高低速回路、増速回路、同期回路、順序作動回路、位置保持回路、重力荷重の下降速度制御回路、ブレーキ回路、ろ過回路
第5章	油圧装置	パワーユニット、バルブユニット、配管材料

表4 「空気圧技術」テキスト

第1章	基礎	空気圧の利用, 基本的性質 (成分, 圧力, 基礎公式, 法則)
第2章	空気圧機器	基本構成, 基本システム, 圧縮機, 調整ユニット, 制御弁 (圧力, 流量, 方向), アクチュエータ



図3 講義の様子 (空気圧)



図4 講義の様子 (油圧)

実験があり, 座学で学んだ知識を実験して確認することで理解を深める. 実習の講師は正木先生・中西先生が担当された. センターにおける講座運営を基にした油圧技術に関する深い造詣から優れた入門

書²⁾を著しており, センター主催で開催される他の実習講座では座学と実習の両者とも正木先生が担当されている.

油空圧機器では, その断面図をみて機器の動作を理解できるようになることが重要である. ポリテクセンター関西には, ポンプをはじめ, 制御弁やシリンダ・駆動制御器・補器など各種油空圧機器のカットモデルも完備されており, 受講生は自由にカットモデルを見ることができる. 技術者からは普段の業務では自らの担当機器以外に触れる機会が少ない為「カットモデルを見て, 実際に手でふれることにより, 理解できた」との感想が例年多く寄せられる. 最後に, 修了者には学会から修了証書が授与される.

4. おわりに

「油空圧技術」実習講座は, 関西地区の企業に多くの賛同をいただき, 今回で7回目の開催となった. 開設当時の基盤強化委員であった赤井氏, 横浜国立大学眞田先生, ならびにポリテクセンター関西の正木先生, 中西先生は, 開設当初から本講座の運営のためにご尽力くださり, あらためて誌面をお借りして感謝の意を表します.

フルードパワー人材育成への産学連携, フルードパワーの広報・啓蒙活動のため, 本講座は貴重な活動であり, 今後も継続して実施することが必要である.

参考文献

- 1) ポリテクセンター関西: <http://www3.jeed.or.jp/osaka/poly/>
- 2) 熊谷英樹, 正木克典: はじめての油圧システム, 技術評論社 (2009)

(原稿受付: 2015年1月18日)

研究室紹介

豊橋技術科学大学柳田研究室

著者紹介



やな だ ひで き
柳 田 秀 記

豊橋技術科学大学
〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
E-mail: yanada@me.tut.ac.jp

1982年豊橋技術科学大学大学院工学研究科修士課程修了。同年同大学教務職員、1992年同助教授、2012年同教授。現在に至る。電気力を利用した絶縁性液体の浄化と流動、摩擦のモデリング等の研究に従事。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。



図1 H26年度研究室メンバー

1. はじめに

豊橋技術科学大学は、高等専門学校卒業生の学部3年次編入学に広く扉を開くために、長岡技術科学大学とともに創設された大学であり、学生の約8割は全国の高専からの編入生である。学部3、4年の2年間と大学院修士課程までの一貫した体系の下に技術科学についての教育研究を行う大学院に重点を置いた新構想大学として1976年10月に開学し、1978年4月より学生を受け入れている。6課程・6専攻でスタートし、その後8課程・8専攻へと学科を増設した。2010年4月に学内再編を行い、5課程・5専攻の構成となっている。筆者の所属する機械工学課程・専攻は本学内では一番大きな課程・専攻であり、4コース16研究室から構成されている。

これまでの経緯から研究室の正式名称は「省エネルギー工学研究室」であるが、本研究室で実施している研究は、研究室名称とは必ずしも整合性が取れていない。研究室構成員は、教授1名、博士前期課程2年生5名、同1年生5名、学部4年生8名である。ただし、平成26年度は高専との交流人事により、豊田高専の若澤靖記准教授が当研究室に加わっている。図1は、H26年度の研究室構成員の集合写真である。

2. 研究内容

筆者が若い頃は、故市川常男先生（本会元会長）と日比昭先生（本学名誉教授）がおられ、油圧機

器・要素を中心に研究を行っていたが、現在では「油圧」の割合は非常に小さい。

2.1 摩擦挙動のモデリング

当研究室でフルードパワー機器を対象とする数少ない研究テーマである。約25年前に油圧モータの速度変動時の動的摩擦特性を実験により調べ、データを公表した。近年遅ればせながら、動的な摩擦挙動を表す数学モデルの存在を知ったが、それらモデルが油圧モータの動的摩擦挙動を再現できないことがわかり、この研究を始めるきっかけとなった。

しゅう動面間の潤滑膜のダイナミクスを考慮した摩擦モデル（“修正LuGreモデル”と呼称）を提案し、油圧アクチュエータの動的摩擦挙動が良好に表現できること、および、修正LuGreモデルを用いることで、油圧アクチュエータの動作がシミュレーションで良好に再現できることを明らかにしている。

ただし、既存モデルよりも微分方程式が一つ多く、含まれているパラメータの数が多いのが難点であり、実際に使えるモデルにすべく、モデルの簡易化について検討している。また、空気圧アクチュエータの動的摩擦特性の実験的解明と摩擦モデルに関する研究、他のアクチュエータへの展開、および、滑り前（pre-sliding）領域における摩擦挙動とその数学モデルを研究課題として取り組んでいる。

なお、空気圧アクチュエータの動的摩擦特性に関しては、豊田高専の若澤准教授およびハノイ科学技術大学（Hanoi University of Science and Technology）講師のBo博士（当研究室OB）との共

同研究として行っている。また、滑り前領域の摩擦挙動に関してはBo博士と共同で実施している。

図2はフルードパワーアクチュエータの摩擦特性などを測定するための実験装置で、定盤上の右手前側にあるのが油圧シリンダ用実験装置、定盤上の左奥に小さく見えているのが空気圧シリンダ用実験装置である。隠れていて見えないが、空気圧ピストンを外部から油圧サーボシリンダで駆動し、速度制御する方式をとっている。

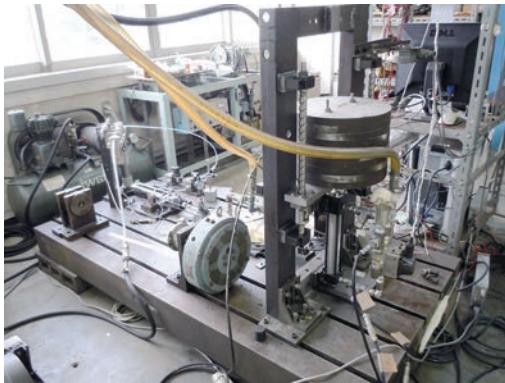


図2 フルードパワーアクチュエータ実験装置

2.2 電気流体力学（EHD）現象の基礎と応用

近年機能性流体の研究が盛んであるが、その領域に分類できる研究テーマである。工学的に利用される多くの電気流体力学（electrohydrodynamics, EHD）現象は電荷注入現象を利用している。これは、絶縁性液体中に挿入した電極対の一方（もしくは両方）の電極を電界集中が生じやすい形状とすることで、電極の高電界部と液体分子の間で電子の移動が起これ、電極と同極性のイオンが生成される現象である。イオンに作用するクーロン力により液体の流動が引き起こされ、古くからポンプや伝熱促進などへの応用が行われている。

当研究室では、EHD現象を利用する機器の性能予測を可能とすることを目的に、EHD現象の数値シミュレーションに関する基礎的研究と、ポンプや静電フィルタ（後述）への応用研究を行っている。

EHD現象には流体中のイオン移動度の値が強く影響するが、その値がよくわかっていない。文献値を用いると実験結果が数値シミュレーションでまったく再現できず、文献値よりも非常に大きな値を与えると測定電流値と矛盾することなくEHD現象が再現できることがわかったが、作動流体が限定されている。また、注入電荷密度を与える理論式や経験式は存在せず、実験データの利用なしではEHD現象の数値シミュレーションはできない。基礎的研究として、実効的なイオン移動度の値の決定方法や注入電荷密

度を与える式などについて検討している。また、気体を対象としたEHD流動に関する研究も行っている。

図3は、EHD流れ場の測定を行う実験装置である。学生諸君の発案・工夫のおかげで、計測体系や実験環境が改善されてきている。



図3 EHD流れ場の測定装置

2.3 絶縁性液体用高性能浄化システムの開発

油圧システムをはじめとする各種機械の故障の大半は作動油や潤滑油の汚染であり、サブミクロンサイズの汚染物が故障に強く関与することが知られている。また、油の清浄化により油の繰り返し使用が可能とし、油コストの低減や環境負荷の低減に寄与することができる。

静電フィルタはサブミクロンサイズの汚染物も除去できるという特長を有するが、浄化速度が遅いというのが短所である。当研究室では、浄化速度を向上させるために、電荷注入現象を利用して汚染物粒子の帯電量を増加させる電荷注入式静電フィルタを提案し、電荷注入により油に害を与えることなく、油の浄化速度が向上できることを示している。

図4は電荷注入式静電フィルタの実験用モデルの概要で、電荷を注入する電極（emitter）、粒子を捕捉する電極（collector）、および粒子を捕捉するフィルタエレメントから構成される。これらをフィルタ内に挿入し直流高電圧（10kV程度）をエミッタとコレクタ間に印加することで、汚染物粒子がコレクタの両面およびフィルタエレメントのエミッタ側表面に捕捉される。通常のメカニカルフィルタとは全く異なり、汚染物を遮るような流路構成になっていないのが静電フィルタの特徴である。

浄化性能にはフィルタ内の電場や流れ場が影響するため、より良いフィルタ構造や運転条件を見出すために、実験だけでなく数値シミュレーションも行っている。数値シミュレーションでは、電場や流れ場を解析することに加え、粒子の運動軌跡の解析を行い、フィルタ性能の向上や予測に利用しようと

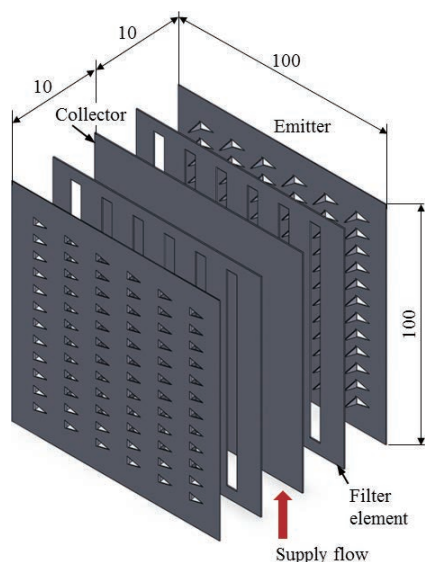


図4 電荷注入式静電フィルタの構成要素

試みている。

また、静電フィルタの浄化速度は液体の種類に強く依存し、液体導電率との間に弱いながら相関があることが認められている。その原因を調べるための基礎的研究も試みている。

この研究や前節のEHD現象に関する研究では、当研究室OBでハノイ科学技術大学講師のDuong博士と数年ぶりに共同して研究することを計画しており、彼の助力を期待している。

静電フィルタ以外の研究としては、比較的粘度の高い液体中の粗粒子除去に適した液体サイクロンの形状と運転条件を見出す研究（図5）、および、逆

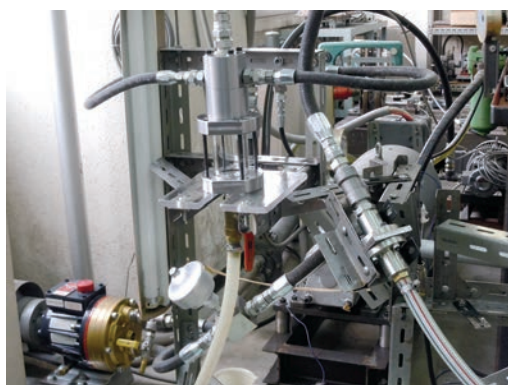


図5 液体サイクロン実験装置

洗式フィルタの改良研究を行っている。液体サイクロンは、静電フィルタへの負荷を軽減するために、静電フィルタと組み合わせて使用する浄化システムの有力な候補として考えているもので、実験と数値シミュレーションにより研究を行っている。逆洗式フィルタについては技術相談を受けて始めたもので、現状では数値シミュレーションのみにより研究を行っている。

2.4 ガス圧を利用した水門開閉システム

水門の開閉作業は主に人力で行われているため危険を伴うことがあり、人力に頼らない水門の設置が求められている。この問題を解決する方法として、高圧窒素ガスを利用した水門開閉システムを愛知県内の某企業殿が試作しているが、その企業殿と共同して、最適な構造・寸法や運転条件を求める研究を行っている。

3. 研究室内の行事

研究室行事については多くの研究室とそれほど変わりがないであろう。毎週の行事として研究グループごとに打合せを行い、研究の進捗状況を把握するようにしている。また、月に一度全員集まって研究報告会を開催している。相互の研究内容の理解を目的の一つとしており、学生たちがあれこれと質問をしてくれることを期待しているのだが、早く終わりたいのか、ほかのグループの研究にあまり質問をしてくれないことがやや不満である。

また、ゼミでは、個々の学生の研究テーマに関連する英語論文の紹介を順番で実施している。学年の進行とともに内容の理解や纏め方が進歩しており、学生の成長を感じることができる。なお、コンパが重要行事であることは言うまでもない。

4. おわりに

平成27年4月より新任の助教が当研究室に着任することとなっている。若い新しいメンバーの加入により、当研究室の活動の幅が広がり、活性化されていくものと期待している。

（原稿受付：2014年12月18日）

企画行事

平成27年度企画行事紹介

著者紹介



さな だ かず し
眞 田 一 志

横浜国立大学大学院
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
E-mail: ksanada@ynu.ac.jp

昭和61年3月東京工業大学大学院理工学研究科修士課程制御工学専攻修了。昭和61年4月東京工業大学助手、平成10年横浜国立大学工学部生産工学科助教授、平成13年横浜国立大学大学院助教授、平成16年横浜国立大学大学院教授、現在に至る。



さくら い やす お
桜 井 康 雄

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

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

1. はじめに

企画委員会は、平成26年6月より新体制になり、委員長眞田一志（横浜国立大、学会理事）、副委員長成田晋（KYB(株)）、幹事桜井康雄（足利工大）を含め、学校側委員13名、企業側委員16名および学会事務局で構成されている。本委員会は、講演会およびセミナーなどの学会の集会事業の企画立案および実施を担当する。

本稿では、平成26年度の事業についてまとめるとともに、未確定な部分もあるが、平成27年度実施予定の企画行事の内容を紹介する。

2. 平成26年度行事まとめ

平成26年の春季フルードパワーシステム講演会は、主査を加藤委員（福岡工大）、副査を中尾委員（鹿児島大）、製品・技術紹介セッションの主査を成田委員（KYB(株)）としたワーキンググループ（以後、WG）で平成26年5月29日（木）、30日（金）に機械振興会館において実施された。1件の特別講演、49件の講演（技術紹介セッション6件を含む）が

行われた。参加者数は108名であった。なお、この内20名は後述する春季講演会併設セミナーとのセットでの登録であった。

春季講演会併設セミナーは、学会の企画事業を担当する企画委員会と学会誌の作成を担当する編集委員会との合同企画である。平成26年度の本セミナーは企画委員会が主導して実施した。企画委員会でテーマ案および原稿執筆者候補を選出し、編集委員会に諮り学会誌を制作していただく。この学会誌をテキストとして同じテーマのセミナーを実施する。平成26年度の本セミナーは春季講演会の前日である28日（水）に機械振興会館を会場として「材料、加工、表面処理技術」というテーマで開催し、参加者数は28名であった。本セミナーは主査を武田委員（㈱ジェイテクト）、副査を川島委員（東北特殊鋼(株)）としたWGで実施した。

フルードパワー技術に関する啓蒙活動の一つとして、また、学会協賛の公益事業として、本年度も足利ユネスコ学校（開催期間：8月4日（月）～8日（金））を協賛した。本学会とフルードパワー技術の紹介は、8月5日（火）のモノ作り実習の前に映像を中心に約15分間行った（参加者数：約50名）。

企画委員会が実施のサポートをしている特別教育講座「油圧システムのモデリングの基礎をつかむ」が8月26日（火）に機械振興会館で26名の参加者を得て実施された。

平成26年度はIFPEXが開催された。ここでは、油圧分野を田中委員（法政大）、空気圧分野は小山委員（明治大）をそれぞれ主査として、油圧分野4件、空気圧分野3件の学会主催セミナーを実施した。

平成26年度のオータムセミナーは山下委員（SMC(株)）を主査としたWGで11月14日（金）に機械振興会館を会場として実施した。「医療・福祉・介護分野でのフルードパワーを利用したロボティクス」というテーマで最新の研究開発動向に関する3件の講演が行われた。参加者は23名であった。

平成26年は本学会主催の国際シンポジウム（開催地：島根県松江市、開催日：平成26年10月28日（火）～31日（金））が開かれた年であったため秋

季フルードパワーシステム講演会は実施しなかった。

平成26年度のウインターセミナーは平成27年3月2日(月)に主査を名倉委員(コマツ)としたWGで「大型機械・施設で活躍するフルードパワー」というテーマで実施する。講演は4件、会場は機械振興会館を予定している。

3. 平成27年度行事予定

3.1 春季フルードパワーシステム講演会

平成27年の春季講演会は、主査を赤木委員(岡山理科大)、副査を高岩委員(岡山大)としたWGで具体案を検討している。5月28日(木)、29日(金)に機械振興会館において開催することが確定している。なお、29日(金)の午後は製品・技術紹介セッション(主査:加藤委員、(株)コガネイ)を行い、その後、本学会の総会を予定している。また、2セッションのオーガナイズドセッションも企画している。これらのオーガナイズドセッションは本学会で現在活動中の研究委員会にも企画をお願いする予定である。特別講演も実施する方向で準備を進めている。

3.2 春季講演会併設セミナー

平成27年度の本セミナーは、編集委員会が主導で特集号を作成し、セミナーの実施のみを企画委員会が担当する。企画委員会ではセミナー実施にあたり主査を内堀委員(宇部高専)、副査を加藤委員(福岡工大)としたWGで準備を進めているところである。春季講演会の前日である27日(水)に機械振興会館を会場とし実施する予定である。平成27年3月号(Vol. 46 No. 2)の特集号のテーマは「フルードパワーにおける故障予知技術」であり、現在、4~6件の講演を予定している。テキストを学会誌とすることで、この学会誌に特集された解説記事の内容を深く理解する機会を設けている。

3.3 秋季フルードパワーシステム講演会

平成27年の秋季講演会は、11月に鹿児島での開催を予定している。主査を中尾委員(鹿児島大)、副査を加藤委員(福岡工大)としたWGで会場を鹿児島中央駅近くのジェイドガーデンパレスとしてその開催準備を進めている。本講演会についてのアナウンスは学会誌7月号の会告から開始する予定である。

3.4 オータムセミナー

平成27年度のオータムセミナーは川島委員(東北特殊鋼(株))を主査としたWGで準備を進めている。開催時期は10月中旬を予定している。本セミナーについては学会誌7月号の会告から案内を開始する予定である。

3.5 ウインターセミナー

平成27年度のウインターセミナーは平成28年2月末から3月上旬の間に実施を予定している。主査を兵藤委員(東京計器(株))としたWGで実施する予定である。本セミナーについては、学会誌11月号の会告から案内を開始する予定である。

3.6 学会協賛公益事業

日常生活を送っている方々の目にとまることが少ないフルードパワー技術を多くの方々に認識してもらうことを目的として、足利市には限定されるものの、足利ユネスコ協会主催の足利ユネスコ学校への協賛(10万円の資金援助)を行っている。平成27年度の本事業に対する後援については平成27年1月の理事会に諮る予定である。

3.7 特別教育講座

OHC-Sim特別研究委員会が主催する特別教育講座を企画委員会はサポートしている。平成27年度も油圧システムにおけるモデリングに関係する内容の講座を8月末あるいは9月初旬に実施する方向で準備を進めている。本講座の案内は学会誌7月号で行う予定である。

4. おわりに

本稿では平成26年度に実施した企画事業のまとめと、平成27年度に予定している企画事業について述べた。不確定な部分も多々あるが本稿を執筆した時期が平成26年11月下旬であったことでご容赦願いたい。企画委員会では今後も会員の方々に満足いただけるような企画事業を実施するよう努めたいと考えている。

実施する企画事業については、学会ホームページ、学会誌会告で速やかにアナウンスするよう努めている。会員の方々には学会ホームページに1ヶ月に1度はアクセスしていただき、新しい情報をご確認いただくようお願いし、本稿の結びとする。

(原稿受付:2014年11月27日)

企画行事

平成26年オータムセミナー開催報告 医療・福祉・介護分野での フルードパワーを利用したロボティクス

著者紹介

やま した よし すけ
山下 良介

SMC株式会社

〒300-2493 茨城県つくばみらい市絹の台4-2-2

E-mail : yamashita.yoshisuke@smcjp.co.jp

1983年上智大学大学院博士後期課程修了。同年、東京大学助手。1984年焼結金属工業(株)〔現、SMC(株)〕入社、製品開発設計業務を経て、現在システム関連業務に従事。JFPA：分科会委員、水圧部会委員、空気圧部会長などを歴任/JFPS：企画委員/JAVADA：中央技能検定委員、工学博士

1. はじめに

平成26年度オータムセミナー「医療・福祉・介護分野でのフルードパワーを利用したロボティクス」が平成26年11月14日（金）に機械振興会館において開催された。本稿では、本セミナーの趣旨および各講演内容の概要を報告する。

2. 開催趣旨

昨今、医療・福祉・介護分野でフルードパワーの利用に関する文献や技術紹介が散見される機会が増えたように感じる。そこで今回、現状を把握し、将来に向けてフルードパワー適用の方向性を模索するきっかけといたしたく当セミナーを企画した。

国の施策にも示されているように、ロボティクスによる産業発展は必須である。この機会を利用して、フルードパワー関連の方のみならず、ロボット関連あるいは、医療・福祉・介護などの分野に携わっている方々にも、参考にしていただきたい。

3. 講演の概要

本セミナーでは、「医療・福祉・介護分野でのフルードパワーを利用したロボティクス」というテーマに基づいて、以下3件のご講演をいただいた。

3.1 「空気圧サーボを用いた外科手術支援システムの開発」(東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 川嶋健嗣先生) (写真1)。

空気圧サーボシステムの特徴（クリーン性/磁場

の影響を受けない/発熱ほとんどなし/バックドライバビリティを有する/柔らかさを有する) についての説明があり、医療分野での応用に適していることが示唆された。さらに電動駆動システムと空気圧サーボシステムの制御形態の差異についても触れられた。特に空気圧利用の場合でのバックドライバビリティの重要性について強調された。開発中の遠隔手術対応型マスタ・スレーブロボットシステムについての説明もあり、医師への力覚提示の必要性を視野に入れ、力センサなしで、空気圧シリンダを駆動系に用いた力覚提示機能を有する多自由度紺子マスタースレーブシステムの開発についての紹介があった。



写真1 講演される川嶋先生

3.2 「ヒトに優しいロボットを支えるフルードアクチュエータ」-水圧リニアアクチュエータから空気圧ソフトアクチュエータまで- (信州大学 機械・ロボット学系 西川敦先生) (写真2)。

水圧リニアアクチュエータを用いた内視鏡手術支援ロボット/空気圧ソフトアクチュエータを用いた大腸内視鏡検査支援ロボット/空気圧駆動5指ロボットハンドなどに関して説明された。研究の位置づけとして、一般的な内視鏡が使用できる/小型で占有空間も小さい/滅菌洗浄できるなどの3項目を上げている。シリンダ室の一方にエア、他方に水を

作動流体として用い、シリンダを複数本組み合わせて、パラレルメカニズムを実現し、そこに内視鏡を組込むことにより、内視鏡の動きを制御している。さらに空気圧を用いた自走式内視鏡ロボットのご提案があり、ジョイスティックを用いて比較的簡単に操作でき、自由度も大きい。



写真2 講演される西川先生

3.3 「空気電動ハイブリッド駆動によるバランスアシストロボット」(立命館大学／ATR脳情報研究所 玄相昊先生)(写真3)。

福祉・介護分野でのアシストロボットにおけるバランスの重要性を強調された。関節制御を対象とした力制御と全体的なバランスをともに実現することを主眼においた。ハード(駆動)面では空気電動ハイブリッドを用い、自律バランスの基本的な性能を確認している。油圧を応用した例についても言及された。また、油圧サーボによる力制御を利用した高度なバランスを保つヒューマノイドロボットについても説明があった。

講演終了後、企画委員長の眞田一志先生(横浜国



写真3 講演される玄先生



写真4 閉会の挨拶(眞田企画委員長)

立大学)より閉会のご挨拶をいただいた。その中で、本セミナーの意義ならびに講師の先生方や聴講をしてくださった方々への謝辞が述べられた(写真4)。

4. おわりに

講師の先生方には、カラフルなパワーポイントにて説明していただき、随所に動画を活用され、内容的にも非常に有意義なセミナーであったと思われる(写真5)。

また、セミナー終了後に実施したアンケート結果によると、他分野におけるロボティクスの応用も知りたいというご意見が散見された。これはまさに今後、種々の分野においてロボットが活躍することを予見していることの表れと考えられる。今後フルードパワーが果たす役割や、制御系との調和のもとに、すばらしいパフォーマンスを実現できる可能性を認識することが、あらゆる産業の発展の礎となろう。



写真5 集合写真

(原稿受付：2014年12月4日)

会 告

〈理事会・委員会日程〉

3月4日	委員長会議
3月11日	情報システム委員会
3月24日	理事会
3月30日	編集委員会
4月21日	基盤強化委員会

〈第5回理事会〉

1月27日 15:00～17:00 機械振興会館
地下3階B3—9号室（出席者20名）

- 1) フェロー認定推薦状況について
- 2) 研究委員会新設申請について
- 3) 第9回国際シンポジウム松江の開催報告
- 4) 第10回国際シンポジウム福岡の進捗報告
- 5) 平成27年度学会賞候補者選考について
- 6) 日中若手研究者交流について
- 7) 公益事業『足利ユネスコ学校』について
- 8) 会員の推移と入退会者について
- 9) 学会財務基盤の強化の進捗状況
- 10) 各委員会からの報告
- 11) その他

〈委員会報告〉

第4回委員長会議開催要領

12月25日 10:00～11:30 機械振興会館
地下3階B3—8号室（出席者8名）

- 1) 平成26年度フェロー認定者推薦状況について
- 2) 国際シンポジウム福岡2017について
- 3) 学会の財務基盤の強化の進捗状況について
- 4) 各委員会からの報告
- 5) 今後の予定

第4回基盤強化委員会

1月28日 15:00～17:00 機械振興会館
1階1—3号室（出席者12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) 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について
- 5) 研究委員会について
- 6) その他

第4回企画委員会

1月30日 15:00～17:00 機械振興会館
地下5階5S—1号室（出席者16名）

- 1) 平成26年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - ・ウインターセミナーについて
 - ・その他
- 2) 平成27年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - ・平成27年春季講演会及び併設セミナーについて
 - ・平成27年秋季講演会について
 - ・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
 - ・研究委員会の新規設置・継続について
 - ・その他
- 3) その他審議・確認事項
 - ・平成26年度ウインターセミナー会告について
 - ・平成27年度春季講演会予告会告
 - ・その他

第5回編集委員会

2月3日 14:00～17:00 東京工業大学田町CIC
5階リエゾンコーナー501（出席者17名）

- 1) 学会誌特集号の現状と企画について
 - ・Vol.46 No.2「フルードパワーにおける故障予知技術」
 - ・Vol.46 No.3「国際シンポジウム21014」
 - ・Vol.46 No.4「食品加工に活用されるフルードパワー技術（仮）」
 - ・Vol.46 No.E1「緑陰特集号」
 - ・Vol.46 No.5「フルードパワー歴史探訪～温故知新（仮）」
- 2) その他
 - ・会議報告
 - ・トピックスについて
 - ・学会誌掲載希望記事について

会 告

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

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27年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ 開催日：平成27年5月28日（木）・29日（金）

開催趣旨：

平成27年春季フルードパワーシステム講演会は平成27年5月28日（木）・29日（金）に機械振興会館（東京都港区）で開催されます。本講演会では、一般講演に加えて、特別講演「自律型電動マルチロータヘリ・ミニサーベイヤーの現状と展望」・オーガナイズドセッション「機能性流体テクノロジー

の新展開」,「フルードパワーで支える医療、福祉の発展」・製品技術紹介セッションや技術懇談会などを企画する予定です。詳細は学会ホームページに随時掲載いたしますので、ご確認ください。皆さまの積極的なご参加をお待ちしております。

フルードパワー道場10 「トライボロジーの基礎知識」開催のお知らせ

開催趣旨：

本学会は技術者に軸足を置いた横断的な交流を目指し「フルードパワー道場」を2006年度より開催しております。フルードパワーではシールや滑り軸受けなどが重要な構成要素です。しかしながらこれらの特性、すなわちトライボロジーに関わる知識の習得は、ノウハウにより阻まれることも多く困難を伴います。このような観点から2015年度のフルードパワー

道場10は「トライボロジーの基礎知識」と題した企画内容とします。

開催時期：2015年5月、8月、11月、2016年2月（予定）

参加費：5万円（4回分一括）（賛助会員企業の方なら、会員、非会員を問わず参加できます。）、1万8千円（1回参加のみ）

参加者定員：20名（定員になり次第締め切ります）

平成27年春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」のお知らせ 開催日：平成27年5月29日（金）

開催趣旨：

本講演会では、企業関係の方々に製品・技術の紹介をしていただくオーガナイズドセッション（「製品・技術紹介セッション」）を企画しました。本企画は、企業関係の方々に、現在、企業がお持ちの製品・技術あるいは検討課題などを、学会主要行事の1つである講演会で発表していただき、会員間で問題意

識を共有し、会員相互の研究・技術の交流の促進を図ろうとするものです。また、本セッションの講演は、平成15年より表彰事業の1つとして設立された「最優秀講演賞」社会人部門の審査対象となります。企業関係の会員みなさまの参加を心よりお待ちしております。

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

No.15-204 「第6回機素潤滑設計生産国際会議 (ICMDT2015)」

主 催：一般社団法人日本機械学会（機素潤滑設計部門企画）
 開 催：2015年4月22日(水)～25日(土)
 会 場：沖縄コンベンションセンター（沖縄県）
 問合せ先：〒160-0016 東京都新宿区信濃町35番地 信濃町煉瓦会館5階
 一般社団法人日本機械学会 機素潤滑設計部門担当 高橋 綾
 電話 (03) 5360-3504 FAX (03) 5360-3507 E-mail : a.takahashi@jsme.or.jp

文化フォーラム 可視化情報とフルードパワー技術

主 催：一般社団法人可視化情報学会
 開 催 日：2015年5月14日(木)
 開催場所：蔵前工業会くらまえホール 大岡山駅前TTF 東京都目黒区大岡山2-12-1
 ホームページ：http://www.visualization.jp/event/detail/vsjsymp2014top.html

ロボテックス・メカトロニクス講演会 2015

ROBOMECH2015 in Kyoto 未来と出会うロボディクス・メカトロニクス

主 催：一般社団法人日本機械学会ロボディクス・メカトロニクス部門
 会 期：2015年5月17日(日)～19日(火) 17日(日)：ワークショップ、チュートリアル、産学連携企画部門登録者総会、ウエルカムレセプション
 18日(月)：ポスター講演、企業展示、懇親会
 19日(火)：ポスター講演、企業展示
 会 場：京都市勤業館「みやこめっせ」 大会Webページ：http://robomech.org/2015/

TECHNO-FRONTIER 2015

主 催：一般社団法人日本能率協会
 会 期：2015年5月20日(水)～22日(金)
 会 場：幕張メッセ（国際展示場） 展示ホール4：技術シンポジウム 展示ホール5-8：展示会
 問合せ先：TECHNO-FRONTIER 事務局 産業振興センター内 〒105-8552 東京都港区芝公園3-1-22
 TEL：03-3434-0587（直通） FAX：03-3434-8076
 Email：tf@convention.jma.or.jp URL：http://www.jma.jp/tf

日本機械学会関西支部第337回講習会「構造・強度設計における数値シミュレーションの基礎と応用」

日 時：2015年5月26日(火)10:00～16:30, 27日(水)9:30～16:30
 会 場：大阪科学技術センター8階中ホール
 [大阪市西区靱本1-8-4 / 06-6443-5324 (代) / 地下鉄四つ橋線「本町」駅下車, 28号出口北へ400m]

トライボロジー会議2015春 姫路

主 催：一般社団法人日本トライボロジー学会
 開 催 日：2015年5月27日(水)～30日(土)
 会 場：姫路商工会議所 〒670-8505 兵庫県姫路市下寺町43
 申込み・問合せ：一般社団法人日本トライボロジー学会事務局
 〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-22 機械振興会館別館102
 TEL：03-343-1926 FAX：03-3434-3556 E-mail：jast@tribology.jp
 URL：http://www.tribology.jp

No.15-205 2015年情報精密機器のメカトロニクスに関する日本・米国機械学会合同会議 2015 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Precision Equipment (MIPE2015) 主 催：日本機械学会情報・知能・精密機器部門（幹事団体） 米国機械学会情報ストレージ・処理システム部門 開 催 日：2015年6月14日(日)～17日(水)(受付登録6月14日(日)夕方より予定) 会 場：神戸国際会議場（神戸市） 問合せ先：Conference chair 多川則男／関西大学／E-mail:tagawa@kansai-u.ac.jp Conference secretary 谷 弘詞／関西大学／E-mail:hrstani@kansai-u.ac.jp 小金沢新治／関西大学／E-mail:skoga@kansai-u.ac.jp URL：http://www.jsme.or.jp/conference/mipe15/
No.15-11 第14回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2015) 主 催：一般社団法人日本機械学会（機械力学・計測制御部門 企画） 開 催 日：2015年6月22日(月)～24日(水) 会 場：栃木県総合文化センター（宇都宮市本町1-8） 講演会ホームページ：http://www.jsme.or.jp/conference/movic2015/
日本混相流学会混相流シンポジウム2015 主 催：日本混相流学会 開 催 日：2015年8月4日(火)，5日(水)，6日(木) 会 場：高知工科大学（高知県香美市土佐山田町） URL：http://www.jsmf.gr.jp/mfsymp2015/
No.15-7 Dynamics and Design Conference 2015 総合テーマ：「結束を新たに，未来を拓く」 主 催：一般社団法人機械学会 機械力学・計測制御部門 開 催 日：2015年8月25日(火)～28日(金) 会 場：弘前大学（青森県弘前市文京町1番地） URL：http://www.jsme.or.jp/conference/dmccconf15/
第33回日本ロボット学会学術講演会開催案内 主 催：一般社団法人日本ロボット学会 会 期：2015年9月3日(木)，4日(金)，5日(土) 場 所：東京電機大学 東京千住キャンパス（〒120-8551 東京都足立区千住旭町5番） URL：http://rsj2015.rsj-web.org/
EcoDesign 2015第9回環境調和型設計とインバースマニュファクチャリングに関する国際シンポジウム 主 催：エコデザイン学会連合，産業技術総合研究所 会 期：2015年12月2日～12月4日 開催場所：東京国際フォーラム（東京都千代田区丸の内3丁目5-1） 事 務 局：東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻梅田研究室EcoDesign2015事務局

会 告

書籍のご案内

油圧基幹技術～伝承と活用～

編 集：一般社団法人日本フルードパワーシステム学会

出 版：日本工業出版株式会社

定 価：本体5,000円＋税

ISBN978-4-8190-2613-0

体 裁：A4判368頁 ハードカバー上製本



本書は、当学会の「油圧基幹技術—その伝承と活用—」研究委員会の編集により、過去数十年間に培われた有益な油圧基幹技術を整理・記録して次世代に伝承し、これを礎に油圧産業のさらなる発展を目的に企画・出版いたしました。第1編（油圧システム）、第2編（油圧の基礎）及び付録（機器の機構や図記号など）から構成され、既刊の書籍には類を見ない内容として編集しています。第1編では各種産業分野における代表的な油圧駆動システムを対象に、高性能なシステムを構築するに当たってどのような技術的問題が生じ、これらをどのような技術で克服してきたかを、“油圧技術の伝承”という観点から具体的に詳しく解説しています。第2編は、第1編に記されている各種油圧技術の物理的解釈を容易にする目的で、理論計算や実験結果も交えて油圧の基礎理論をわかりやすく解説しています。なお、全編にわたり、カラーページを多く用い、ビジュアル面でもわかりやすい編集を心がけております。油圧駆動を用いる装置・プラントメーカーまたはそのユーザ、および油圧メカの開発・設計、製造、品質管理、保全、サービス、営業技術など、油圧関連技術者必携の書として、是非ご購読下さい。

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 (2月10日現在)	944	15	124	136
差 引 増 減	+ 4	0	0	0

(注1) 正会員の内訳 名誉員12名・シニア員38名・ジュニア員162名

正会員

大古 潤 (油研工業株)

河野 正春

吉川 博志 (川崎重工業株)

坂田賢一郎 (株神崎高級工機製作所)

郡 憲司 (川崎重工業株)

編集室

次号予告

—特集「国際シンポジウム2014」—

〔巻頭言〕 実行委員長からのメッセージ

—第9回フルードパワー国際シンポジウム JFPS 2014 松江を開催して—

〔解説〕 第9回フルードパワー国際シンポジウムの全体概要

第9回フルードパワー国際シンポジウムに見るフルードパワー研究の動向

特別招待講演の概要

展示セッションの概要

最優秀論文賞および最優秀学生論文賞の贈賞

第9回フルードパワー国際シンポジウム参加記

〔トピックス〕 フルードパワー人材育成への産学連携3

米国駐在日記

〔研究室紹介〕 豊田工業高等専門学校 近藤研究室

香川 利春

佐藤 恭一

藤田 壽憲

佐藤 恭一

川嶋 健嗣

吉田 和弘

只野耕太郎

香川 利春

澤西 利幸

倉田 祐貴

平成26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)
 副委員長 塚越 秀行 (東京工業大学)
 委員 伊藤 雅則 (東京海洋大学)
 内堀 晃彦 (宇部工業高等専門学校)
 小倉 弘 (日立建機株)
 加藤 猛美 (株コガネイ)
 加藤 友規 (福岡工業大学)
 北村 剛 (油研工業株)
 木原 和幸 (財工業所有権協力センター)
 栗林 直樹 (川崎重工業)
 五嶋 裕之 (機械振興協会)
 佐藤 恭一 (横浜国立大学)
 妹尾 満 (SMC株)
 多田 昌弘 (CKD株)

委員 中野 政身 (東北大学)
 成田 晋 (KYB株)
 藤田 壽憲 (東京電機大学)
 丸田 和弘 (株コマツ)
 村松 久巳 (沼津工業高等専門学校)
 柳田 秀記 (豊橋技術科学大学)
 山田 真の介 (株TAIYO)
 吉満 俊拓 (神奈川工科大学)
 担当理事 伊藤 和巳 (KYB株)
 山田 宏尚 (岐阜大学)

編集事務局 藤谷 秀次 (学会事務局)
 竹内 留美 (勝美印刷株)

(あいうえお 順)

会告

複写される方へ

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

権利委託先：(一社) 学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

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

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

日本フルードパワーシステム学会論文集

第46巻, 第2号 (2015)

平成27年3月

目次

研究論文

1. 微粒子励振型流量制御弁を用いた空気圧シリンダの速度制御
廣岡 大祐, 山口 智実, 古城 直道,
鈴森 康一, 神田 岳文 7

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.46, No.2

March 2015

Contents

Paper

1. Speed Control of Pneumatic Cylinder using Particle-Excitation Flow Control Valve

Daisuke HIROOKA, Tomomi YAMAGUCHI, Naomichi FURUSHIRO,

Koichi SUZUMORI, Takefumi KANDA

7

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

微粒子励振型流量制御弁を用いた空気圧シリンダの速度制御*

廣岡大祐**, 山口智実**, 古城直道**,
鈴森康一***, 神田岳文****

Speed Control of Pneumatic Cylinder using Particle-Excitation Flow Control Valve

Daisuke HIROOKA, Tomomi YAMAGUCHI, Naomichi FURUSHIRO
Koichi SUZUMORI, Takefumi KANDA

We have developed particle-excitation flow control valve. The valve uses a piezoelectric oscillator which is driven in the resonance and the valve's features are simple structure, lightweight and high flow rate / weight. The valve can control flow rate by controlling the voltage amplitude. In this report, we used the valve to control the speed of pneumatic cylinder. We measured response time of the valve that is important parameter for servo system. And we evaluated characteristics of the meter-out circuit using the valve and we compared with using a general speed controller. Additionally, we performed experiments to switch cylinder speed when the cylinder piston comes near the stopping end. Through this study, we show that this control valve has advantage for pneumatic cylinder control system.

Key words : Control valve, Pneumatic, Actuator, Cylinder, Flow control

1. 緒 言

空気圧シリンダはアクチュエータの中でも、安価・軽量であり、産業機器の駆動源として広く使用されているが、高速で駆動させると行程端での衝撃が問題となる。空気圧シリンダでの行程端での衝撃緩和を目的とした、エアクッション機能を内蔵したシリンダなどが利用されているが、ストローク方向に大きなスペースが必要であるため、体積や質量が問題になることがある。空気圧シリンダを、動作端点付近で、適切な速度まで減速出来れば、衝撃緩和のための機構を用いずに、高速駆動が可能となる。一般的に、空気圧シリンダは必要な速度を得るため手動のスピードコントローラを用いたメータイン/アウト回路により、一定速度で駆動されることが多い。手動のスピードコントローラは、弁の開度を変化させることで、容易にシリンダの速度を調整することが可能であり、小型軽量で制御対象のシリンダに取り付けて使用できるというメリットもある。しかし、一般的なスピードコントローラは、流量が固定で

あり駆動中にシリンダの速度を変更することが出来ない。現在、一般的なスピードコントローラにかわる流量可変の制御機器として、小型のON/OFF弁が開発されている^{1), 2), 3), 4), 5)}。これらの制御弁を複数組み合わせる⁶⁾、制御システムを開発することにより連続的な流量変化の実現を目指した研究⁷⁾も行われている。著者らは、一般的な手動のスピードコントローラと同等のサイズで、電気信号により流量を連続的に調整できる流量制御弁を開発している^{8), 9), 10)}。この制御弁は微粒子を圧電振動子により励振することで、弁開度を変化させる構造で、小型で、大流量の連続的な制御が可能となる⁹⁾。また、作製した流量制御弁の印加電圧に対する流量特性の、非線形性を考慮して電圧パターンを最適化することにより線形的な流量の制御を実現した¹⁰⁾。現在、開発している微粒子励振型流量制御弁を用いることで、一般的なスピードコントローラにはできない空気圧シリンダの駆動途中の速度変化が可能となる。

本論文では、まず微粒子励振型流量制御弁の印加電圧に対する応答性を測定し、動特性を評価した。さらに、流量制御弁を用いて空気圧シリンダのメータアウト回路を作成し、駆動特性を測定し、一般的な手動のスピードコントローラと比較した。最後にシリンダ駆動時に、電気信号により、動作端点付近で速度を変化させた際の挙動と動作端点での衝撃を測定した。以上の結果より、開発している微粒子励振型流量制御弁を用いることで、駆動中のシリンダの速度を変化させ、動作端点での衝撃を抑えた高速駆動が可能となり、空気圧シリンダの駆動効率を高めることが可能であることを示す。

*平成26年2月24日 原稿受付

**関西大学

(所在地：大阪府吹田市山手町3-3-35)

(E-mail：hirooka@kansai-u.ac.jp)

***東京工業大学

(所在地：東京都目黒区大岡山2-12-1)

****岡山大学

(所在地：岡山市北区津島中3-1-1)

2. 主な記号

Q : 体積流量	[L/min]
u : シリンダ速度	[m/s]
P : 圧力	[Pa]
θ : 温度	[K]
R : 気体定数	[J/ (kgK)]
S : 受圧面積	[m ²]
S_e : 絞りの有効断面積	[m ²]
κ : 比熱比	[-]
添字	
u : 給気側	
d : 排気側	
θ : 平衡値	
a : 大気中の値	

3. 流量制御弁の応答性評価

3.1 流量制御弁概要¹⁰⁾

本研究で用いる微粒子励振型制御弁の特性を以下に示す。図1に制御弁の駆動原理を示す。この流量制御弁はオリフィス板、微粒子、圧電素子から構成されている。オリフィス板には複数のオリフィスが設置されており、管路内部に空気が供給されると、図1(a)のように、微粒子がオリフィス開口部に押し付けられ空気の流れを塞ぐように設計されている。弁が閉じている状態で、図1(b)のように、圧電素子による共振を用いて、オリフィス板を振動させ、微粒子に外力を加えることで、オリフィスが開き流量が変化する。この制御弁では、振動条件を制御することで、連続的な流量変化を実現する⁹⁾。図2に実際に作製した流量制御弁を示す。流量制御弁の寸法は外径10mm、高さ9mm、質量は2.5gである。この流量制御弁では、印加電圧を制御することにより、目標とする流量が得られることが確認されている(図3)。

3.2 流量制御弁の応答性

空気圧シリンダの速度制御への応用を目指し、微粒子励振型流量制御弁の応答性を評価した。応答性の測定に用いた実験システムの概略を図4に示す。図4に示すように、制御弁に空気圧を印加した状態で駆動電圧を印加した際の

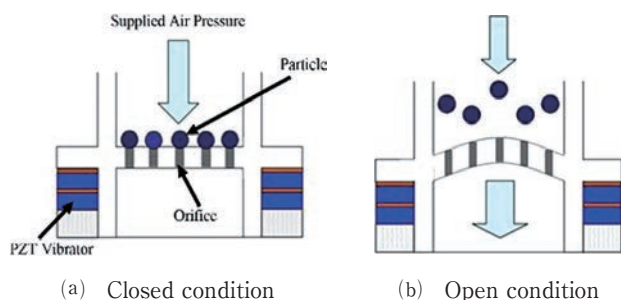


Fig. 1 Structure of particle-excitation variable

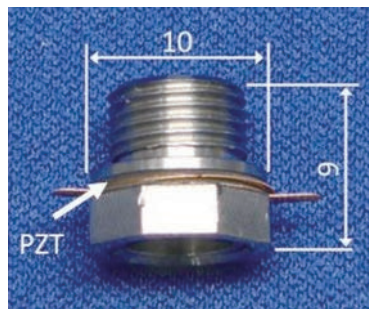


Fig. 2 Flow control valve assembly figure

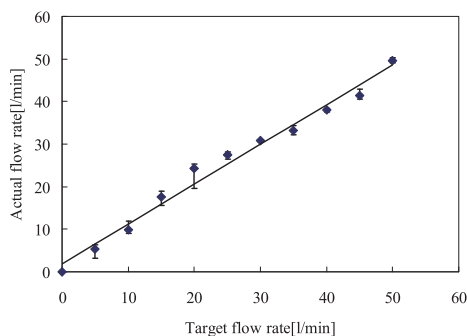


Fig. 3 Compare target flow rate and actual flow rate

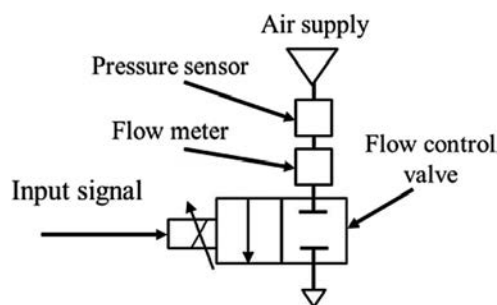


Fig. 4 Experimental system for evaluating flow rate

制御弁上流部の圧力と流量変化を測定した。圧力測定には圧力計 (KEYENCE社AP-30A) を流量測定には熱式流量計 (CKD社FSM-2) を用いた。駆動電圧印加にはファンクションジェネレータと電圧アンプを用い、周波数は共振周波数である192kHzとし、電圧は流量制御弁が全開状態となる100V_{pp}とした。印加空気圧は0.7MPaとし、弁下流部は大気解放とした。印加電圧をステップ状に変化させた際の、圧力と流量の変化を図5に示す。

図5に示すように、電圧波形が流量と圧力の変化によく一致していることがわかる。ここで、電圧切り替え直後の流量制御弁の特性に着目し、詳細な応答時間を評価した。流量計の応答時間は50ms、圧力計の応答時間は2.5msであるため、応答性の評価には、フィルタによりノイズを除去した圧力計のデータのみを用いる。図6(a)に印加電圧立ち上がり時の結果、図6(b)に電圧立ち下り時の結果を示す。図6(a)より、電圧立ち上がりにあわせ、圧力の低下が確認できる。応答時間は約10msであった。これは一般的な比例制

御弁と比較して、高い応答性である。流量制御弁の応答時間の速さは、制御弁の駆動源として、応答性の高い圧電素子を用いて、192kHzと高周波で共振駆動しているためである。図6(b)の測定結果より立下り時の応答時間は約30msであった。

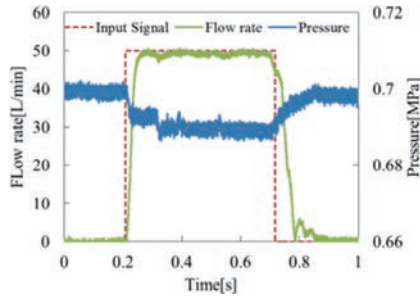
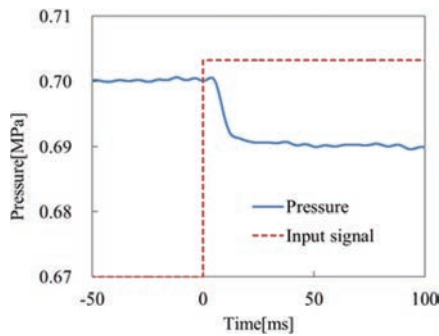
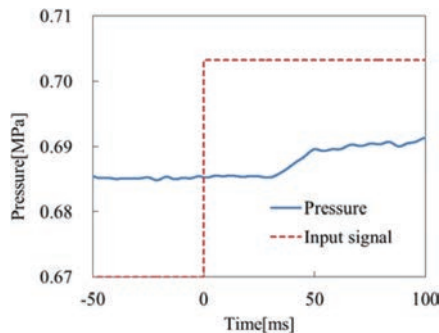


Fig. 5 Relationship between input signal, flow rate and air pressure



(a) Turn on



(b) Turn off

Fig. 6 Response of the flow control valve on 0.7MPa

4. シリンダ速度制御実験

4.1 速度特性評価実験

シリンダ速度制御の実現を目指し、流量制御弁を用いてメータアウト回路でシリンダを駆動した際の特性を評価した。シリンダのメータアウト回路は多くの研究がなされており^{11), 12), 13)}、シリンダが負荷に依存せず、平衡速度に収束することが広く知られている。排出側と吸気側の圧力比が $P_d/P_u < 0.528$ を満たしている際には、シリンダの平衡速度は式1)となる¹³⁾。式1)より、シリンダの平衡速度は排出

部の有効断面積 S_{ed} で決まる。

$$u_0 = \frac{S_{ed}}{S_d} \sqrt{\left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}} R \theta_a} \quad (1)$$

本実験では、排出部の有効断面積は平衡状態での体積流量と圧力との関係より求めた。流量計の特性より、293K、1気圧での流量が出力されるため、標準状態での体積流量と圧力、有効断面積の関係を求めると、 $P_d/P_u < 0.528$ を満たしている際、以下のような計算式¹⁴⁾となる。

$$Q_d = 120 S_{ed} P_d \sqrt{\frac{293}{\theta_a}} \quad (2)$$

次にシリンダの速度測定に用いたシステムを図7に示す。システムの構成要素は、シリンダ、シリンダ駆動用バルブ (Valve1, Valve2)、圧力計、流量計である。シリンダには、光学式の直行エンコーダが搭載されており、シリンダの位置情報、速度情報を取得することが可能である。シリンダの駆動は2つのON/OFF弁で行う。ピストンは Valve1が開、Valve2が閉の状態を図中左側に、Valve1が閉、Valve2が開の状態を図中右側に動く。このシステムではValve2の排出側に流量制御弁や一般的なスピードコントローラを取り付け、ピストンが図中右側に動く際に、メータアウト回路としシリンダを駆動した際のピストンの位置情報、速度情報を取得した。排出側の有効断面積を求めるために、Valve2側に圧力計と流量計を設置している。実験システムに使用したシリンダの仕様を表1に示す。

図7に示した、実験システムにより、流量制御弁を用いて、有効断面積を変化させた際のシリンダ速度を測定し、

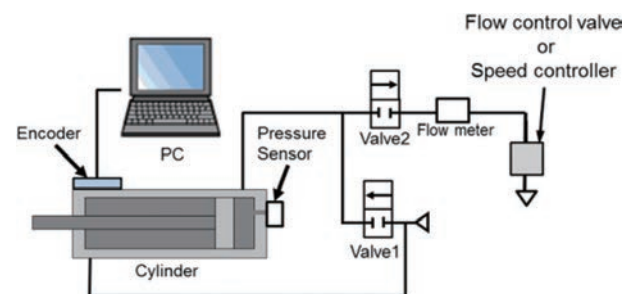


Fig. 7 Experimental setup for measured cylinder speed driven by meter-out circuit

Table 1 Characteristics of the cylinder

Stroke	200mm
Diameter	40mm
Mass	1.14kg
Static friction	10.8N
Viscous friction coefficient	335Ns/m
Encoder resolution	5 μ m

一般的なスピードコントローラ (CKD SCL 2) と挙動を比較した。流量制御弁の駆動にはファンクションジェネレータと電圧アンプを用い、駆動周波数を192kHzとし、供給空気圧は0.5MPaとした。駆動条件をそろえるために、流量制御弁を用いた実験では、駆動電圧を印加しバルブの有効断面積を指定の値に保った状態でValve1を閉、Valve2を開としシリンダを駆動した。本実験では大気温度293Kの際、式2)より有効断面積を求めた。有効断面積と平衡時のシリンダ速度の関係を図8に示す。

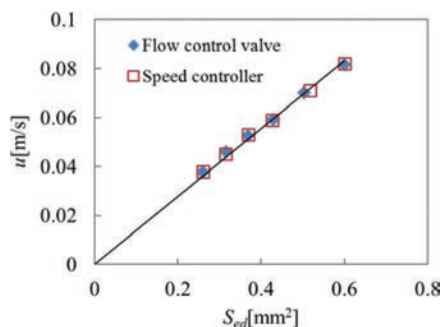
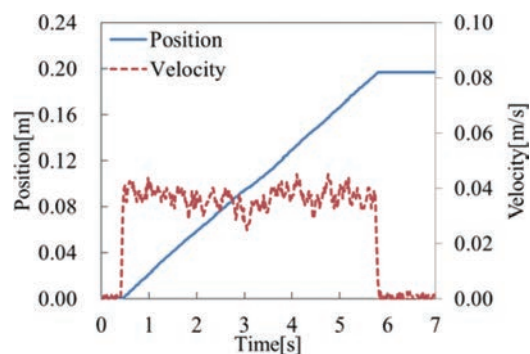


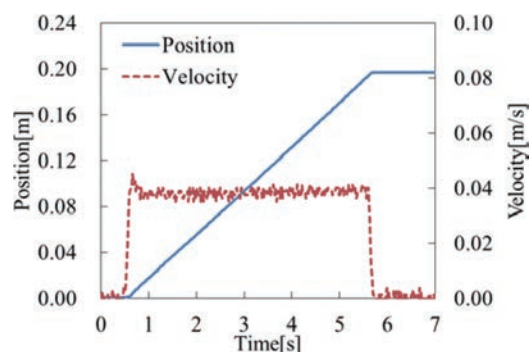
Fig. 8 Relation between effective sectional area and cylinder speed

図8に示すように、スピードコントローラ、流量制御弁の平衡時のシリンダ速度はともに、有効断面積に比例していることがわかる。有効断面積の最小値はスティクスリップ現象の影響が見られない0.26mm²とし、最大値は流量制御で制御できる有効断面積の最大値0.60mm²とした。ここで図8に示した、最大速度と最小速度でシリンダを駆動した際の位置情報の時間的変化とシリンダ速度を測定し、流量制御弁を用いた際の挙動とスピードコントローラを用いた際の比較を行った。図9に有効断面積0.26mm²の結果を、図10に0.60mm²の結果を示す。なお、図9(a)、図10(a)には流量制御弁を用いた際のシリンダの挙動を、図9(b)、図10(b)にはスピードコントローラを用いた際の結果をそれぞれ示す。

図9(a)、(b)の結果を比較すると、図9(a)では、駆動時に速度にばらつきがある。これは、本研究で使用した微粒子励振型流量制御弁では、有効断面積が0.26mm²の際はオリフィスが3個開口状態と4個開口状態の間となり、断続的に4個目のオリフィス上の微粒子が開閉を繰り返すためである。一方で、図10より0.60mm²の際には流量制御弁を用いた際にもシリンダ速度は安定している。これはオリフィスが完全に開いた状態となるため、流量のばらつきが小さいためである。それぞれの結果において、シリンダの位置の変化を比較すると、有効断面積が等しい際には、シリンダ駆動にかかる時間は一致している。以上の結果より、流量制御弁を用いて、駆動電圧を印加し有効断面積を制御すると、スピードコントローラと同様の駆動が可能であることが確認された。

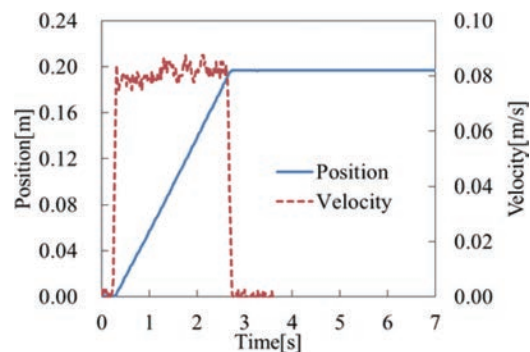


(a) Flow control valve

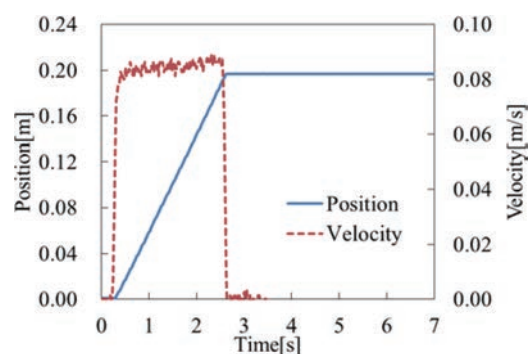


(b) Speed controller

Fig. 9 Cylinder speed at S_{ed} : 0.26mm²



(a) Flow control valve



(b) Speed controller

Fig. 10 Cylinder speed at S_{ed} : 0.60mm²

4.2 シリンダ速度変化実験

最後に、シリンダ駆動中に流量制御弁の有効断面積を変化させた際のシリンダの変位の測定を行った。今回の実験では動作端点での衝撃緩和を想定し、高速状態から低速状態に切り替える際の特性を評価した。実験システムは図7と同様である。シリンダの高速駆動時の有効断面積を0.60 mm²とし、低速駆動時の有効断面積を0.26 mm²とした。印加電圧を切り替えた時間は、シリンダ動作開始後、1.0s後、1.5s後、2.0s後とし、低速駆動時、高速駆動時と比較を行った。表2に実験条件を、実験の結果を図11に示す。

Table 2 Speed switching condition

①	Low speed
②	1.0s
③	1.5s
④	2.0s
⑤	No change

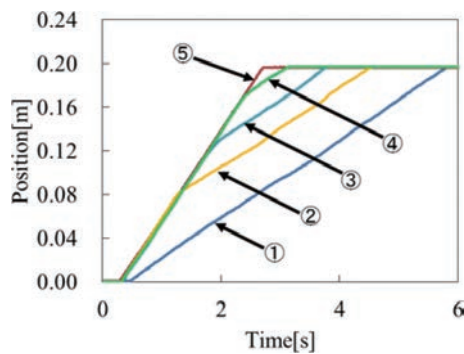


Fig. 11 Experimental result of cylinder speed change

実験の結果より、有効断面積を変化させた際、位置情報の変化量が減少しており、シリンダ速度が低速に変化していることが確認できる。また、高速駆動時間を延ばすことで、シリンダ駆動時間を短縮出来ることが示された。実際に、2.0s後に有効断面積を切り替えた際には、シリンダ駆動時間が3.1sとなり、低速で固定した際と行程端での速度は同じ状態で、駆動時間を2.8s短縮することが出来た。

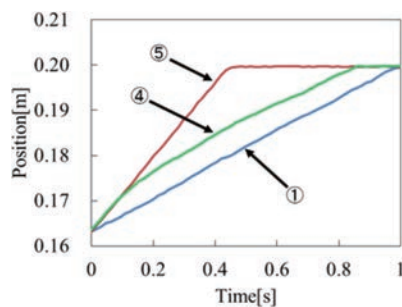


Fig. 12 Response of cylinder speed change

ここで、有効断面積を切り替えた際のシリンダの挙動に注目する。図12は、有効断面積を切り替えた時間を基準として低速固定時、2.0s後速度切り替え時、高速固定時のシリンダの位置情報を示したグラフである。低速固定時のデータに関しては、その他の実験条件と一致するように開始位置を調節している。図12より、高速駆動時から有効断面積を切り替えて速度を調整した結果、約0.2s程度で低速に収束していることが確認された。

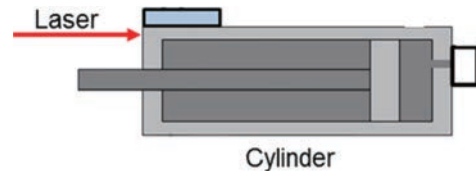
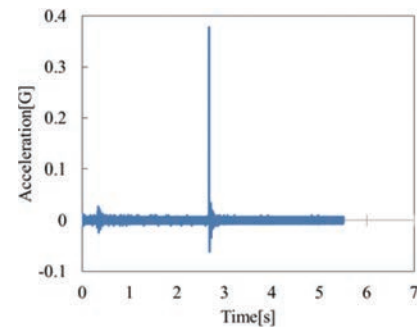
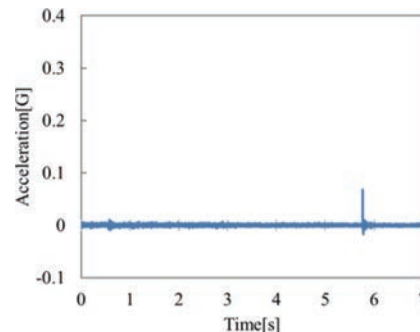


Fig. 13 Measurement point and deformation



(a) S_{eq} : 0.60 mm²



(b) S_{eq} : 0.23 mm²

Fig. 14 Vibrational acceleration on cylinder

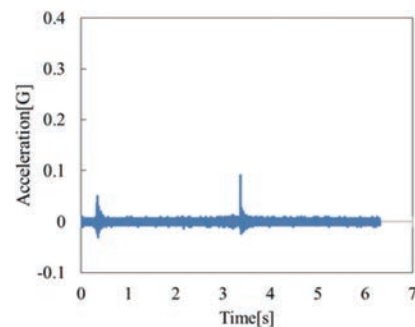


Fig. 15 Vibrational acceleration at cylinder speed change

ここで、動作端点での衝撃をシリンダに発生する振動の加速度を測定することで比較した。振動加速度の測定にはレーザードップラ振動計 (Polytec NLV-2500) を用いた。振動を測定した箇所と測定した振動の向きを図13に示す。図13に示すように、シリンダ駆動中に、シリンダロットカバー表面のロッド移動方向の振動の加速度を測定した。スピードコントローラを用いて、有効断面積を0.60mm²で駆動した際の測定結果を図14(a)に、0.26mm²で駆動した際の結果を図14(b)に示す。さらに、流量制御弁により、有効断面積を0.60mm²から0.26mm²に切り替えた際の測定結果を図15に示す。図14(a)より、有効断面積を0.60mm²に固定した状態では、0.3s付近でピストンが動き出す際に振動が発生していることが確認できる。また、シリンダ停止時には非常に大きな振動加速度が測定されている。

図14(b)より有効断面積0.26mm²では、ピストンが動き出す際の振動は非常に小さく、今回の測定条件では、ほとんど確認出来ない。シリンダ停止時の振動加速度も、0.60mm²と比較して約1/4となった。図15より有効断面積を切り替えた結果では、ピストンが動き出す際に、図14(a)と同様に振動発生していることが確認できる。一方で、動作端点発生する振動は0.26mm²と同様に、0.60mm²の際の約1/4である。以上の結果より、微粒子励振型流量制御弁によりシリンダ駆動中にシリンダ速度を低速に切り替えることで、動作端点での衝撃を低減できることを示した。

5. 結 言

本研究では、開発している微粒子励振型流量制御弁を用いて以下の実験を行った。まず、微粒子励振型流量制御弁の応答特性の測定を行った。その結果、この流量制御弁は入力信号に対して、良好な追従性を示した。応答性は立ち上がり時10ms、立下り時30msであった。

また、一般的なスピードコントローラと比較するため微粒子励振型流量制御弁を用いたメータアウト回路を作成し、シリンダを駆動した際の速度特性の測定を行った。その結果、有効断面積が同じ状態では、局所的に速度が変化することはあるが、シリンダの運動自体はほぼ等しく、スピードコントローラと同等にシリンダ速度を調整できることを示した。

さらに、シリンダ駆動中に流量制御弁の有効断面積を0.60mm²から0.26mm²に変更した結果、シリンダ速度が切り替わることを確認した。この際、シリンダ速度が安定するまでの時間は0.2sであった。また、レーザードップラ振動計により、シリンダ本体の振動の評価を行い、シリンダ速度を切り替えることで動作端点での衝撃が低減されることを示した。

以上の結果より、本研究で開発している流量制御弁を使用することで、一般的なスピードコントローラと同様の

メータアウト回路が作成できることが確認された。さらに、高速でシリンダを駆動し、動作端点付近で低速に切り替えることにより、動作端点での衝撃を低減できることを示した。この方法を用いることで、シリンダの駆動時間を短縮し、駆動の効率を高めることが可能である。最適な駆動条件の決定、制御システムの構築は今後の課題としたい。

謝 辞

流量制御弁の試作機製作に関し、株式会社コガネイ様にご協力いただきました。

参 考 文 献

- 1) S. Jien, S. Hirai, and K. Honda : Miniaturization Design of Piezoelectric Vibration-Driven Pneumatic Unconstrained Valves, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 22, No. 1, p.91-99 (2010)
- 2) T. Akagi, S. Dohta and S. Katayama : Development of Small-sized Flexible Control Valve Using Vibration Motor, Proc.7th JFPS International Symposium on Fluid Power, TOYMA, p.2-25 (2008)
- 3) S. Yun, K. Lee, H. Kimb, H. Sob : Development of the pneumatic valve with bimorph type PZT actuator, Materials Chemistry and Physics 97, p.1-4 (2006)
- 4) K.P. Fritz, V. Mayer, T. Steffens, H. Kuck : Switching Valve with Isolated Impact Actuator, Actuator 2010 12th International Conference on New Actuator, B1.3, p.242-245 (2010)
- 5) T. Akagi, S. Dohta, H. Ueda: Development of Small-sized Fluid Control valve with Self-holding Function Using Permanent Magnet, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 4, No. 4, p. 552-563 (2010)
- 6) T. Akagi, S. Dohta, H. Ueda: Improvement of Fluid Control Valve with Self-Holding Function Using Permanent Magnet, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 5, No. 6 p. 1251-1263 (2011)
- 7) 泉沢和宏, 平井慎一: 16.0x7.0x17.5mmのサイズで0.5MPaを制御できる三方向無拘束ボベット弁の開発, 日本ロボット学会第30回記念講演会論文集, RSJ2012AC2I2-2 (2012)
- 8) D. Hirooka, K. Suzumori, T. Kanda : Flow control valve for pneumatic actuators using particle excitation by PZT vibrator, Sensors and Actuators A155, p. 285-289 (2009)
- 9) D. Hirooka, K. Suzumori, T. Kanda : Design and Evaluation of Orifice Arrangement for Particle-Excitation Flow Control Valve, Sensors and Actuators A171 p.283-291 (2011)
- 10) 廣岡大祐, 鈴森康一, 神田岳文: 微粒子励振型空気流量制御弁の非線形性保障による流量制御, 日本フルー

-
- ドパワーシステム学会論文集, Vol. 43, No. 5, p. 117-121 (2012)
- 11) 宮田慶一郎, 早川恭弘, 花房秀郎: 空気圧シリンダの定速駆動に関する研究, 油圧と空気圧, Vol. 20, No. 3, p. 240-246 (1989)
- 12) 藤田壽憲, 渡嘉敷ルイス, 池上毅, 香川利春: メータアウトで駆動される空気圧シリンダの速度制御機構, 計測自動制御学会論文集, Vol. 34, No. 11, p. 1625-1631 (1998)
- 13) 藤田壽憲, 渡嘉敷ルイス, 石井良和, 香川利春: メータアウト駆動時における空気圧シリンダの応答解析, 日本油空圧学会論文集, Vol. 29, No. 4, p. 87-94 (1998)
- 14) 香川利春, 蔡茂林: 圧縮性流体の計測と制御—空気圧解析入門—, 日本工業出版株式会社, p. 58 (2010)

〒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