

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.2016 Vol.47 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「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

目次

特集「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」

【巻頭言】

「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」発行にあたって 成田 晋 50

【解説】

Internet of Things 時代における変化とその対策 森 大輔 51

フルードパワーの情報センシング技術 眞田 一志 54

マイコンと周辺装置の情報通信基盤技術 赤木 徹也 57

遠隔操作に関わる一般論とバイラテラル・マルチラテラル遠隔制御について 三好 孝典 61

エアパワーメータを活用した空気圧システムの省エネルギー化
加藤 友規, 山本 円朗, 小林 敏也 65

クラウド時代のメンテナンスサービス 細矢 征史 68

衛星通信を利用した建設機械のグローバル遠隔監視システム 関口 和浩 71

荒掘削から仕上げ整地まで自動アシスト制御するICT油圧シヨベル 大岩 憲史 74

【会議報告】

山梨講演会におけるフルードパワー技術研究 吉田 和弘 78

ASME/BATH2015に参加して 眞田 一志 80

【トピックス】

特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…特許文献を見る1 木原 和幸 82

【研究室紹介】

芝浦工業大学 川上研究室 川村 隼人 85

【展 望】

60周年を迎えての抱負・学会への期待 藤原 達也 88

【企画行事】

平成28年度企画行事紹介	眞田 一志, 桜井 康雄 91
平成27年度オートムセミナー開催報告「アクアドライブシステムの産業利用の現状」	川島 正人 93

【会告】

平成28年度春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー 「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」のお知らせ	97
平成28年度 第四回日中国際共同ワークショップのお知らせ The 4th Japan-China Joint Workshop on Fluid Power —Innovative Key Technology on Fluid Power—	97
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28年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ	97
平成28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	97
共催・協賛行事のお知らせ	98
フルードパワー道場11「トライボロジーの基礎知識②」開催のお知らせ	99
その他	96, 99, 100

■表紙デザイン：山本 博勝 株豊島

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-22 機械振興会館別館102

TEL : 03-3433-8441 FAX : 03-3433-8442

E-Mail : info@jfps.jp

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

Special Issue "Latest Technology of IoT and ICT to Change the Fluid Power System"

[Preface]

On the Special Issue "Latest Technology of IoT and ICT to Change the Fluid Power System"	Susumu NARITA	50
--	---------------	----

[Review]

The Internet of Things (IoT) - Impacts and Countermeasures	Daisuke MORI	51
Information Technology for Fluid Power	Kazushi SANADA	54
Fundamental Technology for Information and Communication between Microcomputer and Peripheral Devices	Tetsuya AKAGI	57
General Consideration for Tele-operation and Bilateral/Multilateral Tele-control	Takanori MIYOSHI	61
Energy Saving of Pneumatic Systems using Air Power Meters	Tomonori KATO, Nobuaki YAMAMOTO, Toshiya KOBAYASHI	65
Maintenance Services in Cloud System	Masashi HOSOYA	68
Global Remote Monitoring System of Construction Machinery using Satellite Communication	Kazuhiro SEKIGUCHI	71
ICT Hydraulic Excavator Controlled Semi-Automatically from Rough Digging to Leveling	Kenji OHIWA	74

[Conference Report]

Researches of Fluid Power Technologies in Yamanashi District Conference	Kazuhiro YOSHIDA	78
A Brief Report on ASME/BATH2015	Kazushi SANADA	80

[Topics]

Investigation of the Patent Documents/ Japan Platform for Patent Information -Patent Literature Reference 1	Kazuyuki KIHARA	82
--	-----------------	----

[Laboratory Tour]

Shibaura Institute of Technology Kawakami Laboratory	Hayato KAWAMURA	85
--	-----------------	----

[Prospect]

Ambition of the JFPA-60 anniversary and expectation to JFPS	Tatsuya FUJIWARA	88
---	------------------	----

[JFPS Activities]

Introduction of Events of JFPS in 2016	Kazushi SANADA, Yasuo SAKURAI	91
Report of the Autumn Seminar Held in 2015	Masato KAWASHIMA	93

[JFPS News]

96, 97, 98, 99, 100

「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」 発行にあたって

著者紹介



なり た すすむ
成 田 晋

KYB株式会社 技術本部技術企画部
〒105-6111 東京都港区浜松町2-4-1
E-mail: narita-sus@kyb.co.jp

1983年豊橋技術科学大学大学院修了。同年萱場工業株式会社(現KYB)入社。主に油圧ポンプ・モータの開発に従事した後、現職。日本フルードパワーシステム学会会員。

IoT (Internet of Things : モノのインターネット) という言葉がさまざまなメディアで取り上げられ話題となっているが、その実態は漠然としてなかなか理解しづらい状況ではないかと考える。製造業におけるIoTのトレンドの一つとして、設備や機器に取り付けたセンサから、稼働データをネットワーク経由でクラウドサービスなどに収集し、生産設備や機器の稼働状況を管理・分析し、運用・保守や製品開発に生かすといった取り組みが始まっている。一方、建設機械や農業機械といった分野においては、ICT (Information and Communication Technology) を活用した自動運転、遠隔操作、ロボット化といったさまざまなアプリケーションが構築されてきている。従来からフルードパワーシステムが利用されている生産設備や建設機械、農業機械といった分野に、IoT, ICTを適用することにより、より高付加価値なシステムを構築することが可能となっており、今後、フルードパワーシステムを発展させていくためには、IoT, ICTが重要な基幹技術の一つとなると考えられる。

本特集では、IoT, ICTに対する理解を深め、さらなる活用を図っていくため、IoT, ICTについて解説いただくとともに、その基盤技術となる情報センシング技術、情報通信技術、遠隔制御技術についての解説、さらに生産設備や建設機械におけるアプリケーションを解説いただいた。

はじめに、「Internet of Things時代における変化とその対策」と題して、森大輔氏にIoTの考え方を解説いただき、ドイツのIndustrie4.0を参考にしな

がら産業界で起こっている事象と今後の展望について論じ、日本の製造会社が取り組むべき課題について提言いただいた。

つぎに、眞田一志氏による「フルードパワーの情報センシング技術」、赤木徹也氏による「マイコンと周辺装置の情報通信基盤技術」、三好孝典氏による「遠隔操作に関わる一般論とバイラレラル・マルチラテラル遠隔制御について」という3編の解説記事により、IoT, ICTに関わる情報センシング技術、情報通信技術、遠隔制御技術といった基盤技術について解説いただいた。

続いて、加藤友規氏、山本円朗、小林敏也氏による「エアパワーメータを活用した空気圧システムの省エネルギー化」では、空気圧機器の消費エネルギーを測定するためのエアパワーメータの紹介とその応用可能性について、細谷征史氏による「クラウド時代のメンテナンスサービス」では、ICTを活用した製品のメンテナンスサービスに関する事例をそれぞれ解説していただいた。

さらに、関口和浩氏による「衛星通信を利用した建設機械のグローバル遠隔監視システム」では、建設機械に搭載されているデータ通信端末に衛星通信が採用されるメリットとその技術的理由、衛星端末とアンテナ、衛星通信の仕組みと携帯通信との比較、および、その将来展望について解説いただき、大岩憲史氏による「荒掘削から仕上げ整地まで自動アシスト制御するICT油圧ショベル」では、油圧技術とGNSS (Global Navigation Satellite System) 測量技術を融合させることで、荒掘削から仕上げ整地まで作業機制御を行うことで施工効率を向上させた油圧ショベルの機能と特徴について解説いただいた。

本特集記事が、会員各位の新たなひらめきの一助となれば幸いです。

末筆ながら、ご多忙にもかかわらず、本特集号の各記事をご寄稿いただいた執筆者の皆様へ深く感謝するとともに、厚く御礼申し上げます。

(原稿受付 : 2016年1月14日)

解説

Internet of Things 時代における変化とその対策

著者紹介

もり だい すけ
森 大 輔日本アイビーエム株式会社
〒103-8510 東京都中央区日本橋箱崎町19-21
E-mail: dicekm@jp.ibm.com

2002年名古屋大学大学院工学研究科修了。日本アイビーエム株式会社入社、製造業界の数々のプロジェクトに参画。2012年IBMクラウドマイスター就任。2014年に現職、Technical Leadership部門のBusiness Analyticsリーダー、及び、製造業テクニカルアドバイザー、IoT関連プロジェクトに多数参画。

1. はじめに

センサー、インターネットやクラウド技術などの進展により、家電や車、ビルや工場、社会インフラなど、世界中の“モノ”がインターネットにつながるようになってきた。“ヒト”も、スマートフォンやウェアラブル・デバイスの普及により、常時インターネットにつながる生活をし、“モノ”と“ヒト”がインターネットを介して相互作用するような新しい時代が幕を開けようとしている。国や国際的なコンソーシアムによる取組みも活発化し、ドイツは国家技術戦略であるIndustrie 4.0¹⁾を推進し、IoTで第四次産業革命を狙っている。アメリカでは、Industrial Internet Consortium (IIC)²⁾という世界最大のIoTコンソーシアムが2014年に設立され、200を超える企業・団体がメンバーになっている。日本でも2015年6月にIndustrial Value Chain Initiative (IVI)³⁾が発表となった。本稿では、その中心となるInternet of Things (IoT) の考え方を解説し、産業界で起こっている事象と今後の展望についてドイツのIndustrie 4.0を参考にしながら論じ、日本の製造会社に取り組むべき課題について提言する。

2. Internet of Things

2.1 Internet of Thingsとは

IoTとは、「あらゆるモノをインターネットに接続することで相互認識、遠隔監視や制御する」という考え方である。Internet Protocol v6 (IPv6)の普及により、インターネットに接続されるモノすべてにIPアドレスという個体認識できるアドレスを割り当てられるようになった。機器類のようなモノとネッ

ト上でコミュニケーションがとれるようになれば、遠隔保守や、機器類から送られてくるビッグデータをクラウド上で分析・シミュレーションし、更なる効率化・全体最適化された制御・運用が可能となる。

こうした世界が実現できるようになったのは、情報通信技術 (Information and Communication TechnologyやICTと言う) が発展したことが大きい。なかでも「センサーとアクチュエータ」、「インターネット」、「クラウド」、「ビッグデータと分析」の4つの技術的な発展が大きく寄与していると考えられる。安価で多様なセンサーが機器類から大量のデジタル・データを生み出し、それらをインターネットで収集し、クラウド上に蓄積する。データは、多様で身近で使えるようになったビッグデータ技術で価値ある情報に変換し、それらを分析することで、問題の発見や予測をおこなう。そしてその結果はつぎのアクションにつなげるために、再度インターネットを介して、モノを駆動・制御する。こうした技術発展により実現できることが、モノのインターネット (IoT) である。

またIoTを語る上でもう一つ見逃せない技術として、「モバイル・デバイス」がある。ドイツではIndustrie 4.0を包含する国家イニシアチブにCyber-Physical Systems (CPS)⁴⁾がある。CPSでは、Internet of Services (つながるサービス)、Internet of Things (つながるモノ)、Internet of People (つながる人)、この3つで2020年の世界観を構成している。ヒト自身もモバイル・デバイスやウェアラブル技術を活用することで、サービスの受益者にもなるが、それと同時にIoTの世界の一員としてセンサーの役割も果たすのである。IoTという言葉からモノに焦点を当てがちだが、ヒトの存在も見逃せない。

2.2 IoTが製造業に与える変化

現在こうした技術革新が、製造業に対して大きな変化をもたらしつつある。その中で代表的な変化としてあげられるのが、「マス・カスタマイゼーション (個別大量生産)」と「モノ (ハード) からコト (サービス) へのシフト」であろう。

マス・カスタマイゼーション (個別大量生産)

マス・カスタマイゼーションは、Industrie 4.0の中心的な考え方 (コンセプト) であり、今後10年の大変革が予想される製造業のトレンドである。多様にカスタマイズした製品や個別オーダー品を大量

に生産し、市場で戦略的優位や経済的価値をもたらすことを狙っている。オーダーメイド品と異なる点は、従来の一品大量生産方式と同等以下のコストで、個別製品を大量に造り、短納期でお客様に届けるところにある。これを実現するためにIndustrie 4.0では、工場設備やロボット、部品といった実世界のモノをサイバー空間に再現し、さまざまなシミュレーションによって、生産現場（工場）を効率的に制御することを目指す。個々の生産設備や部品がお互いに情報を発して連携しあい、現場サイドでの自律的かつ柔軟な制御・運用だけでなく、経営サイドではサイバー空間に集めた情報を活用して全体最適視点での制御・運用による生産を実現する。またこのコンセプトは一企業に閉じていない。モノづくりがさまざまなサプライヤーと購買・調達を行われるのと同様、このコンセプトも、最終生産社はもちろんのこと、サプライヤー、工場設備メーカー、物流会社、販売会社などさまざまな企業が高度に連携したシステム基盤が視野に入っている。言わば、企業内の基幹情報システム、生産計画・実行システム、制御系や設備がリアルタイムに接続された“垂直連携システム”とそうした企業間がつながる“水平連携システム基盤”の両輪で実現されるものであるといえよう。現在このようなマス・カスタマイゼーションの実現のため、さまざまな国際標準化団体やコンソーシアムがその規格作りに躍起になっている。製造会社としては、この流れに乗り遅れないためにも、その動向を注視し、自社が取るべき戦略を立て実行に移す必要がある。

「モノ（ハード）」から「コト（サービス）」へ

今後製造業のビジネス・モデルは、「モノをお客様に販売する」ことがお客様と製品や機器類を通じてつながるきっかけとなり、この「つながり」を起点に、「新たな顧客体験（コトやサービス）を提供する」ことで継続的なビジネスを創出していきやりにシフトしていくであろう。このことはスマートフォンを例に挙げるとわかりやすい。スマートフォンの価値は製品本体（ハードウェア）に加えて、音楽再生やダウンロード・アプリケーション（ソフトウェア）、オンラインの音楽やアプリケーション配信（サービス）、ライフ・スタイルに合わせた使い方や楽しみ方の提案（ユースウェア）といった組み合わせでお客様に継続的に顧客体験を提供している。このように今後はモノという製品価値に対して、感性価値や顧客体験というコトの価値に主戦場が移行していく可能性が高い。コトづくりを通じてお客様とのつながりを大切にするためには、お客様がモノの先に感じるであろう価値をサービス提供したり、モノの購入～利用～廃棄や買替までのライフ・サイクル全体を見据えたサービス提供の視点が必要となる。モノだけに注力していると、思いもかけない競合会社が登場して市場を奪われる危険があるかもしれない。

ここで製造会社の代表的なコトづくりのビジネス・モデルとして、「サービス契約化」と「意思決定支援サービス」の二つ⁵⁾を紹介する。「サービス契約化」とはこれまで取引ベースだった契約をサービス契約（従量課金）にすることである。これはIoTを構成する技術により、ユーザが使用している製品の状況を詳細に把握・監視・分析し、最適なタイミングで保守サービスを提供することが可能となったために実現しやすくなったサービスである。サービス契約にすることで、キャッシュフローの安定化や長期リレーションシップの確立など顧客と製造会社の双方にメリットが生まれる。もう一つのビジネス・モデルである「意思決定支援サービス」は、ユーザの資産とその運用を「最適化」支援することにより顧客が受益を得るものであり、メーカー側は成果ベースで報酬を受け取るサービス体系である。有名な例としては、航空機のエンジンなどから収集したデータを活用した航空機の最適な航路提案サービスや、ビルや工場の配電の最適化といったものがあげられる。このサービスを実現するにあたっての鍵は、つながった製品から利用状況を分析し、顧客の“潜在的”な課題にアプローチする点にある。

3. IoT時代を生き抜くために取組むべきこと

IoT時代はさまざまなモノやヒトがインターネットにつながる世界でサービス（コト）を提供することでビジネスが形成されるようになる。これが意味することは、IoT時代ではすべての業界・企業がインターネットという一つの“場”の上でつながり、協創・競争し、これまで長い間かけて築いてきた社会的な基盤や業界という括りが取り外され、進化することである。弊社が2015年に実施した「CEOスタディ」⁶⁾というグローバル調査でも、今後数年間にもっとも注視すべき潮流として、「業界の統合・融合」がトップに挙げられており、最大の関心事となっている。この変革期を生き抜くために、製造会社はどのような戦略を企画すればよいのであろうか。この問いに対して著者は以下の二つの対策の必要性を訴える。

- I. データを中心においた戦略立案
- II. オープン・イノベーションへの取り組み

I. データを中心においた戦略立案

IoT時代ではモノやヒトが発するデータを経営の第四番目のリソースとして捉え、生かしていく戦略を策定していくべきである。そのためには、今後の可能性も含めた自社のデータ資源を洗い出し、自社の競争優位を最大化するための活用方法を検討し、それに即した戦略、製品（モノ）やサービス（コト）を立案する必要がある。このことは同時に、徹底した顧客志向に基づいてデータ資源を見極め、モノやコトを創り出していくことも意味する。弊社ではこれらを実現するためのアプローチの一つとして「デザイン思考」^{7),8)}をあげている。これは、実際のお客

様を観察して課題を共感するところ(“理解”)からスタートし、その課題克服のために何が必要か見極め(“探求”),「短サイクル」で目に見えるかたちで実装(“プロトタイプ”), および、実際のお客様や経営層を交えて“評価”しながら、試行錯誤や改善を繰り返してイノベーションを興すアプローチである。

“理解”・“探求”・“プロトタイプ”・“評価”のどのプロセスにおいてもデータの活用が軸となる。

このようなデータを中心においた戦略を検討する際の考慮点として、代表的な二点について記述する。一つ目は、データ資源の検討範囲を自社が現在所持するデータ資源だけに閉じないことである。現状デジタル化されていないデータや、ユーザ・パートナーが権利を有するデータ、気象情報などのパブリックのデータを含め、あらゆるデータを自社製品・サービスの改善につながらないか識別すべきである。特に他社が保有するデータについては、契約内容を変更、もしくは、コストをかけてでも取得することを検討すべきである。二つ目は、この戦略はある特定部門だけではその企画・実装が難しい点である。この戦略は、“顧客とのつながり”に影響するすべての部門・業務プロセスで検討する全社戦略であり、その実現のためには組織改革も必要かもしれない。

II. オープン・イノベーションへの取り組み

オープン・イノベーション⁹⁾とは、自社だけでなく他社が持つ技術やアイデア、サービスなどを組み合わせ、革新的なビジネス・モデルや製品開発、サービス開発につなげるイノベーションの方法論である。IoT時代にはさまざまな企業のさまざまなプロセスやサービス、製品や部品が組み合わせられて一つの大きなエコ・システムが生み出される。こうした世界では、企業同士やモノ同士の連携方式も標準化が確立され浸透し、さらに柔軟かつ複雑につながっていくであろう。このような企業内外のシステム、もしくは、異なる企業が提供した製品群が、情報を即座に交換する世界において、自社の閉じたサービスや製品、あるいは、自社の閉じた組織、システムや技術のみで戦うには限界がある。こうした世界では、自社のプロセスや製品をどこまで「オープン化」し、どのように他社と共創の関係を築くかを考えるべきである。ここでいう「オープン化」とは自社の製品仕様や自社で保有するデータ資源を外部に公開することである。こうすることで、他社が自社の製品やシステムと連携・組込みやすくなり、他社での自社製品を利用した開発を促したり、他社と自社の間での業務や連携サービスを効率化してコスト削減やサービスの最適化を実現するといった効果などが生まれる。もちろん自社のすべての製品仕様やデータ資源をオープンにする必要はない。自社

の競争優位を築くものについてはクローズし、外部にはそのインターフェイスだけを提供することも可能である。自社の製品やデータ資源のどの部分をオープン化し、どの部分をクローズして、他社との共創関係を築いていくかが肝となる。

4. さいごに

IoTはつぎの産業革命の起爆剤と目されている。本稿では、このIoTの技術的な解説をおこない、そこから想定される社会や産業的な動向や企業に求められる対策について述べた。全体を通して共通して言えることは、IoTを構成する技術の発達により、「自社」からの「顧客」や「パートナー」に対する距離が縮まってきているという点であろう。「顧客」や「パートナー」と共創し、Win-Win-Winの関係を築いていく、これこそが今後、製造会社が目指すIoT時代のビジネス・モデルといえるかもしれない。製造会社として、IoTの世界でこれまでにない新しい価値を創出することは急務である。本稿がその参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) Plattform Industrie 4.0-Startseite : <http://www.plattform-i40.de/>
- 2) Industrial Internet Consortium : <http://www.iiconsortium.org/>
- 3) Industrial Value Chain Initiative : <http://www.iv-i.org/>
- 4) Industrie 4.0 Working Group : Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 (2013) : http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf
- 5) Marco Iansiti, Karim R. Lakhani : “Digital Ubiquity, How Connections, Sensors, and Data Are Revolutionizing Business” Harvard Business Review 92, no. 11, p. 90-99 (2014. 11)
- 6) IBMグローバル経営層スタディ 2015 Redefining Boundaries 境界線の再定義 テクノロジーで切り拓く新たな地平グローバル経営層スタディ (C-Suite Study) 2015 : <http://www-935.ibm.com/services/jp/ja/c-suite/>
- 7) IBM Interactive Experience (日本語サイト) : <http://www-935.ibm.com/services/jp/ja/business-consulting/interactiveexperience/about/>
- 8) 工藤晶 : 企業に新たな創造力をもたらす「IBMデザイン思考」, IBM Provision No. 87, p. 16-19 (2015)
- 9) Chesbrough, Henry William : Open Innovation : The new imperative for creating and profiting from technology. Boston : Harvard Business School Press. (2003)

(原稿受付 : 2016年1月4日)

フルードパワーの情報センシング技術

著者紹介



かなだ かず し
眞田 一 志

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

1986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。1986年4月東京工
業大学助手、1998年横浜国立大学工学部生産工
学科助教授、2001年横浜国立大学大学院助教授、
2004年横浜国立大学大学院教授、現在に至る。

1. はじめに

圧力センサ、流量センサ、温度センサなどさまざま
なセンサが普及し、多数のセンサを組み込んで各
種の情報を取得する試みがなされている。センサを
取り付けることで直接検出できる物理量もあれば、
適切なセンサがなく、あるいはセンサでは測定でき
ない情報を取得したい場合など、IoTの広がりと同
時に、情報センシングに関するニーズはますます高
まっている。センサのデータを処理する装置として、
機械に装備されたECU等の限られた性能のコン
ピュータだけでなく、無線通信で遠隔地に設置され
た十分な処理能力を持ったコンピュータにデータを
送信しデータ処理することもできる。直接検出でき
る物理量から測定していない物理量を求める、いわ
ゆる間接測定に属する手法から、ビッグデータと呼
ばれる統計的な理論を用いて各種情報を抽出する手
法まで、さまざまな理論と手法が開発されつつある。
フルードパワー分野では、対象機器やシステムの数
学モデルを、その程度の違いがあるとはいえ、それ
を利用して必要とされる情報を推定する方法が提案
されている。ここでは、そのような可能性を秘めた
いくつかの理論や手法について紹介する。

2. 相関関係を利用する

はじめに、広く知られている最小二乗法について
の説明から始める。線形関係にある二つの変数 x 、 y
について、

$$y = ax + b \quad (1)$$

という関係式が成り立つ場合を考える。係数 a は線
形の比例関係を表す定数であり、定数 b はオフセッ
トを表している。実験を行い、変数 x 、 y の値を測
定してプロットすればほぼ直線状に並ぶことが期待
される。しかし、測定誤差のため、プロットした点
は式(1)の直線から少しだけ離れたところにばらつ
いて分布する。ばらつきを持った実験データから、式
(1)の a 、 b を求める方法は最小二乗法として広く知
られている。

もし、事前に、式(1)の定数 a 、 b の値を最小二乗
法で求めておけば、以降は変数 x の値を測定するこ
とで、変数 y の値を式(1)を利用して求めることがで
きる。

この例では、右辺の独立変数は x 、一つだけであ
ったが、独立変数が二つ以上ある場合は、重回帰
分析と呼ばれる。すなわち、独立変数が一般に n 個
ある場合、変数 y は次式で表される。

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b \quad (2)$$

このような場合に、定数 $a_1 \sim a_n$ 、 b は重回帰分析
を用いて求めることができる。式(1)と同様に、事前
に定数 $a_1 \sim a_n$ 、 b を求めておけば、変数 $x_1 \sim x_n$ を測
定することで変数 y を求めることができる。

この方法では、右辺の変数 $x_1 \sim x_n$ は、お互いに
無相関であることが仮定されている。式(2)が、検討
対象の数学モデルから理論的に導出される場合は問
題ないが、経験則から右辺の変数を選択する場合、
この仮定には注意が必要である。すなわち、事前に
変数 $x_1 \sim x_n$ の相関係数を求め、それらが1より十
分小さいことを確認する必要がある。相関係数が1
に近ければ、それらの変数は相関が高く、従属関係
にあるため、いずれか一方を右辺の変数から外さな
ければならない。また、相関係数が小さい互いに独
立な変数 $x_1 \sim x_n$ が多数あり、そのいずれを式(2)の
右辺に採用したらよいかわからない場合がある。こ
のような場合には、変数増減法を適用して、右辺の
変数を選択する方法がある。変数増減法は、ある変
数を右辺の変数に採用した場合、推定誤差が減少す
るのであればその変数を採用し、逆に推定誤差が増
加するようであればその変数を外す方法である。重
回帰分析では広く用いられている方法である。

さらに、非線形な関係

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \tag{3}$$

にある場合、その非線形関数を実験データから求めるいくつかの方法がある。その一例として、カーネルリッジ回帰がある。リッジ回帰は、データ点の近傍をできるだけ少ない誤差で近似する線形式を求める、最小二乗法の改良版である。一方、カーネル法は、非線形な関係にあるデータを特徴空間に射影することで、データの特徴を明らかにする手法である。カーネルリッジ回帰は、非線形な関係にあるデータ群を、カーネル関数を用いて特徴空間に射影し、特徴空間において相関関係を求める手法である。これらの計算には、フリーソフトである統計R¹⁾が便利である。

3. 時系列データを近似する

ここでは、アキシャルピストンポンプの吐出脈動圧力²⁾を例にとって、本手法について紹介する。アキシャルピストンポンプの吐出脈動圧力の例を、図1と図2に示す。これらは、文献2)のデータを、MATLABを用いて著者が再描画したものである。新品のポンプの正常な脈動圧力のサンプリングデータを図1に示す。また、摩耗が生じた古いポンプの脈動圧力を図2に示す。図中の丸印が、脈動圧力のサンプリングされた時系列データを示している。一周期で25点のサンプルデータがある。

脈動流量 q から脈動圧力 p までの数学モデルを仮定し、離散化することで、式(4)に示す関係式が導出される。ここで、 k は、サンプリング番号である。

$$p(k) = b_0q(k) + b_1q(k-1) + b_2q(k-2) - a_1p(k-1) - a_2p(k-2) - a_3p(k-3) \tag{4}$$

サンプリングごとのデータの関係式を、次式の行列式のように整理して示す。

$$Y = A\beta \tag{5}$$

$$Y = [p(4), p(5) \dots p(N)]^T \tag{6}$$

$$\beta = [b_0, b_1, b_2, a_1, a_2, a_3]^T \tag{7}$$

また、 A は、 $q(k), q(k-1), q(k-2), p(k-1), p(k-2), p(k-3)$ を行に持つ、係数行列である。

未知係数ベクトル β は、最小二乗法によれば、

$$\beta = (A^T A)^{-1} A^T Y \tag{8}$$

と求まる。また、誤差ベクトルは、

$$e = Y - A\beta \tag{9}$$

であり、分散は次式で表される。

$$\sigma^2 = e^T e / (N - n) \tag{10}$$

ただし、 N はサンプリングデータの点数 ($N = 25$) であり、 n は未知の係数の個数 ($n = 6$) である。これらの計算は、MATLABのmファイルを作成して実行した。脈動流量 q を正弦波と仮定し、脈動圧力の時系列モデルの式(4)の係数を求めた結果を表1に示す。正常な状態の係数と比べて、異常時の係数は符号と絶対値について大きく異なる値を示していることがわかる。正常な場合の値からの変化幅が、異常な状況の進展の程度を反映していると推察される。しかし、異常をおこすさまざまな要因が脈動圧力の波形に影響し、その形を変化させる可能性がある。そのため、この計算だけでは、係数が変化したとしても、それがどのような原因によるものかまで特定することは難しい。

表1 ポンプ脈動圧力の時系列係数

	正常	異常
b_0	14.8156	-24.6149
b_1	-28.3982	50.0032
b_2	14.3149	-25.2428
a_1	1.8338	1.7581
a_2	-1.1234	-1.0027
a_3	0.1399	0.0718
σ^2	0.0141	0.028

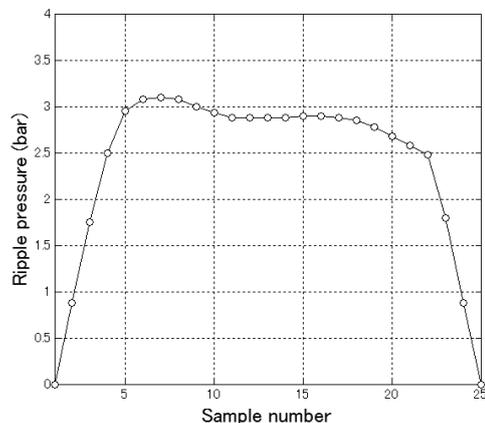


図1 正常なポンプ吐出脈動圧力

4. カルマンフィルタを利用する

カルマンフィルタは、対象の数学モデルと、測定可能な状態変数を用いて、全ての状態変数を推定する手法である。さまざまな分野で応用されているが、ロードセンシング制御されたポンプの状態推定に応用した例が報告されている³⁾。

ロードセンシングポンプの動特性の数学モデルを立てると、モデルは吐出圧力、制御圧力、負荷圧力、

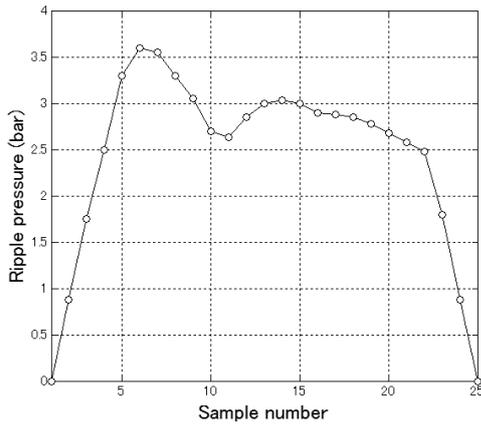


図2 摩耗時のポンプ吐出脈動圧力

バルブ変位，バルブ速度，アクチュエータ変位，アクチュエータ速度，モータ負荷速度を状態変数として持つ。そのうち，測定可能なものは，圧力センサで測定できる吐出圧力，制御圧力，および負荷圧力の3つの状態変数である。この数学モデルに拡張カルマンフィルタを適用することで漏れ流量を推定することができ，容積効率も推定できることが示されている。多くの場合，数学モデルを線形近似した状態方程式を利用してカルマンフィルタを構成する。数学モデルが非線形な場合には，拡張カルマンフィルタを適用する。本研究でも，ロードセンシングポンプの動特性の非線形な数学モデルを，そのまま利用し，拡張カルマンフィルタを適用している。

5. 特性曲線法を利用する

管路内の流体過渡現象の計算法の一つである特性曲線法を，管内非定常流量の推定に利用する例が提案されている⁴⁾。2圧力変換器法のシステム構成を図3に示す。二つの圧力センサで検出した圧力を管路の両端の境界条件として，圧力センサ間の管路における圧力と流量を，特性曲線法を用いてシミュレーションする。その結果，管路の流量を，特性曲線法の計算結果として求めることができる。しかし，二つの圧力センサの間隔が，脈動圧力の半波長に等しいとき，推定精度が劣化するデメリットがある。この問題を解決する方法として，図4に示す3圧力変換器法を考案している。この方法では，左側と中央の圧力センサの間隔と，中央と右側の圧力センサの間隔を異なる長さにするすることで，2圧力変換器法の課題を解決している。このような間隔の調整は，Secondary source法など，他の理論でも見られる。

6. おわりに

センサで直接測定していない物理量の推定や，異常診断に利用する方法などについて，公表されてい

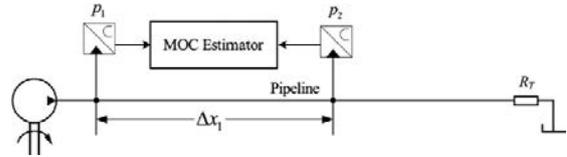


図3 2圧力変換器法のシステム構成⁴⁾

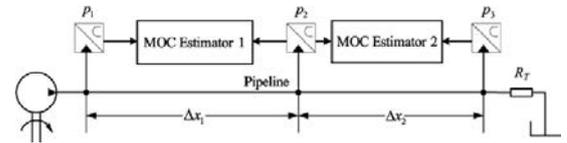


図4 3圧力変換器法⁴⁾

る学術論文・文献をもとに紹介した。線形関係を前提とする最小二乗法から，非線形なデータを特徴空間に射影することで特徴を見いだすカーネル法など，さまざまな統計解析理論がある。また，ポンプの異常診断や状態推定に拡張カルマンフィルタを適用した例，管路の流量推定に特性曲線法を適用した例を紹介した。

機械装置に多数のセンサを搭載することで，さまざまな物理量が検知できるようになり，これまでになく機械装置の状況を把握できるようになった。さらに，それらのセンサ情報から，機械装置の運転状況をモニタし，機械の健康状態を監視することが可能になる。これによって，故障診断や寿命予測の可能性まで期待されるようになった。そのためには，統計解析理論に代表されるデータサイエンスの活用が期待されるが，フルードパワーのように機械装置自体の状態監視には，やはり機械装置の基礎となる機械工学，流体力学などの知見やノウハウにもとづいたデータの活用が重要であり，その効果を最大限に引き出す近道ではないかと考える。

参考文献

- 1) <https://www.r-project.org/>
- 2) John Watton : Fundamentals of Fluid Power Control, Cambridge University Press, p. 306/309
- 3) Tyler Shinn, Richard Carpenter, Roger C. False : State Estimation Techniques for Axial Piston Pump Health Monitoring, Proceedings of the ASME/BATH 2015 Symposium on Fluid Power and Motion Control, FPMC2015, FPMC2015-9621, (2015)
- 4) Nigel Johnstone, Min Pan, Sylwester Kudzma, Pengfei Wang : Use of Pipeline Wave Propagation Model for Measuring Unsteady Flow Rate, Transactions of the ASME, Journal of Fluids Engineering, MARCH 2014, Vol. 136, 031203-1/8, (2014)

(原稿受付：2015年11月28日)

解説

マイコンと周辺装置の情報通信基盤技術

著者紹介



あかぎてつや
赤木徹也

岡山理科大学工学部知能機械工学科
〒700-0005 岡山市北区理大町1-1
E-mail : akagi@are.ous.ac.jp

1998年岡山理科大学大学院工学研究科博士課程修了。津山工業高等専門学校助手を経て、2005年岡山理科大学工学部講師、2010年文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞、2013年同大学教授、現在に至る。ウェアラブル空気圧制御機器の開発に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。

1. はじめに

近年、家電など電化製品に対してマイクロコンピュータを組み込み、高機能化が進んでいる。電化製品ばかりでなく自動車のエンジンにおいても、低燃費の実現のため、バルブの開閉タイミングがこれらのマイクロコンピュータによって制御されている。また、各種車載センサとの高度なCAN通信も行われ、車載カメラや外界センサによる衝突回避システムも標準化が進んでいる。これらの技術は「組込技術」として一般に知られている。本稿では、現在車載用に使用される組込コントローラを用いて、弁や空気圧駆動システムを制御するために必要となる通信技術に関して、著者らが開発した機器を中心に紹介する。なお、本解説はマイクロコンピュータなどに関して不慣れな読者に対して書いたものである。

2. 周辺機器の操作

2.1 I/O・PWMポートによる操作

I/OポートはOn/Off動作の動作に使用されるポートであるが、内部のタイマと併用することによって各種の機能を使用することが可能である。ここでは、On/Off弁とPWMなどの機能の紹介として、著者らの研究室で開発したOn/Off弁を用いた疑似サーボ弁¹⁾を例に挙げて組込みコントローラの機能を紹介する。図1に小型疑似サーボ弁の構造を示す。試作弁は小型On/Off弁（㈱コガネイ製G010HE1）を2個繋ぎ合わせ、供給源側の弁を給排気弁（2位置3

ポート弁）、アクチュエータ側の弁を流量調整のための可変絞りのPWM駆動弁（2位置2ポート弁）として使用する。デューティ比を変えることで開口面積を制御し、圧力や流量をアナログ的に調整することが可能となる。試作弁の質量は38gと軽量である。

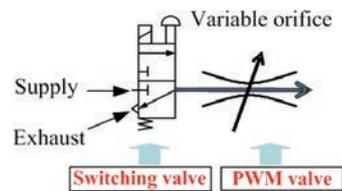


図1 疑似サーボ弁の構造

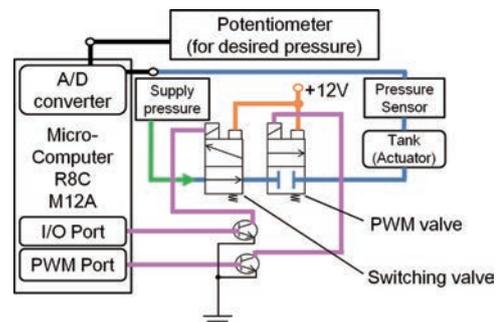


図2 圧力制御型疑似サーボ弁のシステム構成

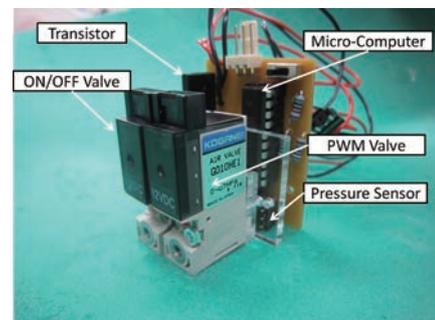


図3 疑似サーボ弁の構造

また、この弁とマイコンを組み込んだ圧力制御システムの構成を図2に、システム全体を図3に示す²⁾。制御システムは、試作弁、マイクロコンピュータ（ルネサス㈱製R8C/M12A）、弁駆動用トランジスタ、圧力センサ（パナソニック㈱製

ADP5160) から構成される。制御の流れは、以下の通りである。目標圧力と現在の圧力を圧力センサとA/D変換器を用いて取り込み、その偏差をもとに、制御則に従って弁を駆動する。マイクロコンピュータなどの弁駆動回路基板を含む全体のサイズは40×35×45mmと小型で質量は49gと軽量である。

この弁のマイコン制御で重要となるのが、PWM (Pulse Width Modulation) 信号の生成である。この信号生成には、通常のタイマと比較によって信号のduty比を変更する。特に、制御のサンプリング周期によらず、常に一定周期での信号生成が可能であり、各ポートの同期も容易に行える。以下にPWM信号の生成原理を述べる。図4に8bitのタイマの生成原理を示す。タイマの機能は一定周期の信号生成であり、それは水晶振動子のクロック信号をマイコンが数えることで実現できる。図4中の三角波は8bitメモリ上のカウンタの値の時間変化を示す。このカウンタ値は、分周されたクロック信号ごとに数えられるため、時間経過に比例してカウンタ値が増える。また、そのカウンタ値と所定のメモリ上の設定値を比較し、一致 (コンペアマッチ) した際に、カウンタ値をクリアにすると同時にマイコン上にあるメモリ (フラグ) を0から1に変更する。このフラグを一定周期ごとに生成することでタイマを形成している。通常、CPUの動作によらずにクロックに従って独立したカウンタが動作するため、制御のサンプリング周期を一定にするなどリアルタイム制御に利用できる³⁾。

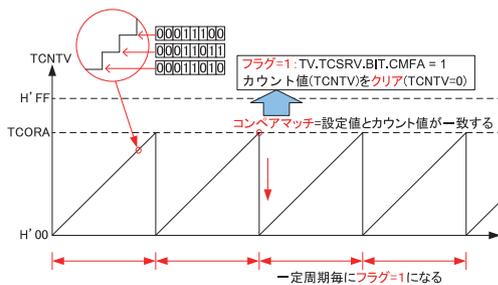


図4 タイマ (一定周期の信号生成) の原理

また、図5にPWM信号の生成原理を示す。PWM信号は、図3に示すタイマ (一定周期信号生成) に加え、別途コンペアマッチを設定することで、信号のduty比 (一定周期中の信号がOnになっている時間の比率) を変えることが可能である。図4に示すように、GRAの値でPWM周期を設定し、カウンタ値がGRBの設定値未満であれば信号出力を1にし、それ以上であれば0にすると、GRB/GRAの比でduty比を変えることができる。このPWM信号もまた、独立したタイマを基準に動作するため、制御の

サンプリング周期によらず、一定周期の信号で、かつ複数のポートを同期して制御することが可能である。事実、著者らの弁 (図2) では、制御のサンプリング周期は3msであるが、PWM信号は5msに設定している。

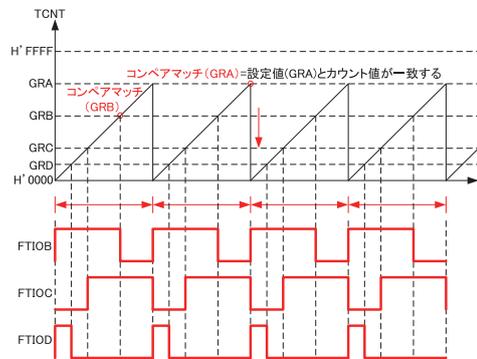


図5 PWM信号の生成原理

また、このPWM信号を使ってラジコン用のサーボモータを容易に制御することが可能である。図6は、著者らが開発したチューブの屈曲を利用した低価格サーボ弁⁴⁾である。試作弁は、空気圧配管用のポリウレタンチューブ (SMC株式会社TUS0425)、RCサーボモータ (GWS株式会社PICO/STD/F)、チューブを保持するためのアクリル製の円板とチューブを保持する治具から構成される。動作原理は、モータにより屈曲チューブの曲げ角を変えることで、チューブ内の開口面積をアナログ的に変えることができる。また、モータを挟んだ両側に屈曲したチューブを2本設置することで、給気、排気の流量調節と保持が可能である。弁のサイズは46×47×28mm、質量は22.5gである。

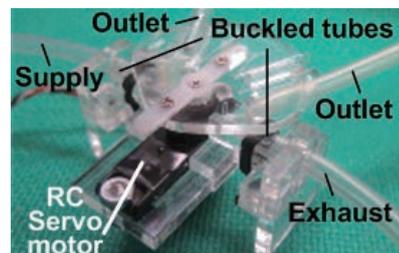


図6 チューブの屈曲を利用した低コストサーボ弁

このRCサーボモータを動かすには、周期20msのPWM信号が必要である。図7にその信号の一例とモータ角度動作の模式図を示す。RCサーボモータはモータ内部のマイコンによりPWMのパルス幅を読み取り、それを目標角度として制御する。例えば、パルス幅1msをモータのニュートラル角度とし、時計回り・反時計回りの最大角度を0.5～1.5msのパルス幅入力で制御する。つまり、20ms毎に目標角

度を更新し、それに合わせてモータ内でローカルなフィードバック制御が行われている。また、このパルス幅はモータ各社により異なるものの、基本的な原理はおおよそ同じである。

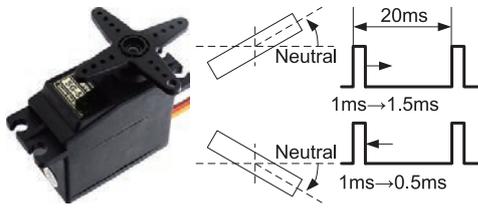


図7 一般的なRCサーボモータの入力PWM信号

2.2 アナログ電圧出力による操作

上述の手法は主に、デジタル信号による周辺機器の制御である。しかし、産業応用の流体制御機器ではしばしばアナログ（電圧）入力によって機器が制御される。例えば、空気圧の比例弁の場合、開口面積が0～10Vのアナログ信号で制御される。そこで、マイコンを使用したアナログ信号生成について以下に述べる。PCなどでこれらのサーボ弁を制御する場合、D/A変換ボードを使用するのが一般的である。しかし、マイコンなどの組込コントローラでは、D/A変換器は1ch程度しか内蔵しておらず、さらにこれらの機能を有していないマイコンも多い。そこで、今回はSPI（Serial Peripheral Interface）通信を用いたオンボードD/A変換器を紹介する。SPIは、オンボードIC間通信の方式の一つで、モトローラ社が提唱したもので、単純で汎用性が高く、比較的速度を要する用途（ADC、DACや通信ICとの接続）で主に採用されている通信方式である。図8にLiner Technology社製の10bitDACs（LTC1660）のシステム構成図を示す⁵⁾。このICの価格は700円程度と非常に安価である。通信用端子は4本で、CS/LD（ハード制御用）、SCK（クロック）、D_{IN}（データ入力）、D_{OUT}（データ出力）である。これらのうち、単に電圧出力であれば、CS/LD、SCK、D_{IN}の3端子のみで、A～Hの8chのD/A変換が可能になる。具体的な信号入力を図9に示す。D/A変換のチャンネル指定と具体的なデータ入力の流れは以下の通りである。まず、CS/LD端子をLowにし、機器を使える環境に設定する。その後、SCKのクロック立ち上がり時にデータを読み取るため、それに合わせて、D_{IN}にデジタルデータを入力する。最初のデータA0～A3はD/A変換器の使用チャンネル指定データで、変換するデジタルデータはD0～D9に設定する。いずれも上位ビットから読み取るようになる。送信データは2bit分のDon'tCare（1でも0でもどちらでも良い）条件のデータを含む16bitのデータであ

る。この入力の終了後CS/LDをHighにしてICを待機状態にする。以上の操作により3本のI/Oポートを使用して8chのアナログ電圧制御が可能である。

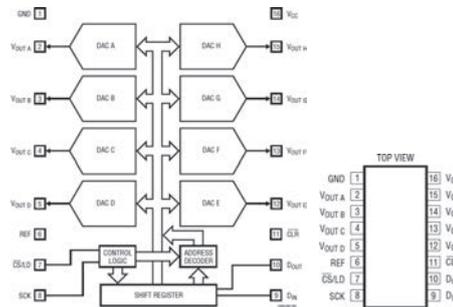


図8 SPI通信を用いたD/A変換器のシステム構成⁵⁾

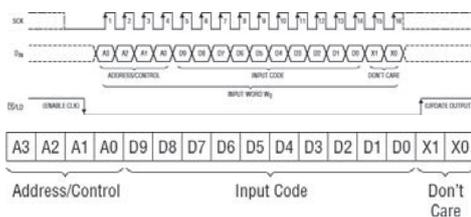


図9 SPI通信を用いたD/A変換器の通信データ⁵⁾

3. 内部データの送信とセンサ値の取り込み

3.1 PCへのデータ送信

制御時にマイコン内部のデータを確認するなどの手段として、パソコンに標準で搭載されているRS232Cシリアル通信がある。このシリアル通信方式はシリアル通信変換ICなどを使用することでマイコンとは簡易的に1本のケーブルの接続のみで、データ送信（1方向）が可能である。図10にその通信プロトコルと実際の信号波形の一例を示す。これは、通信速度：9600bps、データ長：8bit、スタートビット：1bit、ストップビット：1bitの通信プロトコル（通信の約束事）を使った場合に“u”、“a”の文字データを送信した場合のマイコンからの出力データである。各種マイコンにはこれらのRS232Cシリアル通信機能を有したものが多く、使用する際、通信機能の設定を行えば、容易にPCとの通信が可能である。以下の説明はI/Oポートなどを使ってこれらの通信を行う際の信号生成である。まず通信データはスタートビット（データ始め）として0を出力し、ストップビットとして1を出力する。つまり、何らのデータ通信が行われない場合、マイコンからは常に1が出力されたことになる。データ送信時には、スタート・ストップビットデータ間に8bitの文字データが組み込まれる。この文字に関してはJISの文字コードを参照されたい。文字データは下位ビットから送信される。また、通信

速度は、各信号の切り替え時間に相当し、9600bpsの場合インターバルは0.104msとなる。これらの切り替えインターバルは上述のタイマ機能を使えば容易に実現できる。

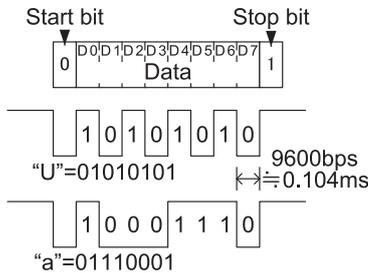


図10 RS232Cシリアル通信の信号例

3.2 センサ値の取り込み

圧力センサなどアナログ電圧出力のセンサ値のマイコン内部への取り込みには、マイコン内蔵のA/D変換器が利用できる。また、A/Dのチャンネル数が不足する場合、前述のSPI通信を用いたD/A変換用ICと同様に、A/D変換用ICも存在する。図11はMicrochip社製のSPI通信制御12bitA/D変換用IC(MCP3208)の操作時の通信データフォーマットである⁶⁾。このA/Dの通信操作の場合、前述のCS(ハード制御用)、CLK(クロック)、D_{IN}(データ入力)以外にD_{OUT}(データ出力)があり、このデータをクロック毎にマイコン内に取り込むことになる。このICは4本のI/Oで、8chのA/D変換が可能である。

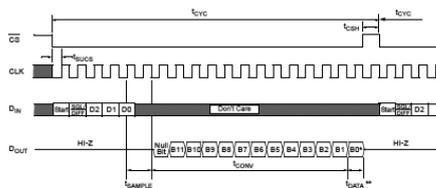


図11 SPI通信を用いたA/D変換器の通信データ⁶⁾

また、エンコーダ出力の取り込みに関して、マイコン内部には位相計測モード(タイマ機能)を有したものがあがるが、この計測チャンネルは少なく、複数のエンコーダ出力を取り込むことは難しい。そこで、図12にエンコーダ出力とプログラムで形成する簡易なUp/Downカウンタのアルゴリズムを示す⁷⁾。変換アルゴリズムは以下の通りである。図12に示すA相、B相の信号パターンから右の表にあるようにA相を上位ビット、B相を下位ビットとしたバイナリーデータを求める(Step1)。その後、順番の組み立てを分かりやすくするため、2を3に、3を2とするデータの置き換えを行う(Step2)。また、このStep2で得られた数値を使い、1つ前の値と現

在の値の差を求める(Step3)ことで、増減(+1, -1)を求めることができる。以上の操作により、2本のI/Oポートとエンコーダを接続するだけで、Up/Downカウンタが可能になる。

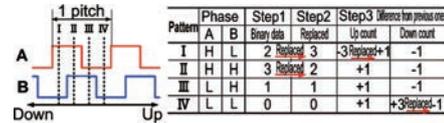


図12 簡易なUp/Downカウンタのアルゴリズム

4. おわりに

マイコンを用いた制御系構成は、PCやA/D、D/A、カウンタなどのPC用専用ボードを用いたシステム構成に比べ数千円程度で同じ機能を実現できるといった魅力を有している。今回、I/Oポートとタイマ機能など、すべてのマイクロコンピュータに装備されている機能を使用した周辺機器との通信について紹介した。現状では、これらの組込技術のフルードパワー分野への応用は、あまり学会等で報告されていない。しかし、既存の製品内に存在している技術であり、多くの会社で特殊情報技術として保有されているものと思われる。マイコン初心者にとって敷居が高いと思われる組込技術であるが、“安くても良いもの”を作るには必要不可欠な技術でもある。本解説が、組込技術を学ぶ動機づけの一つになっていただけることを願うばかりである。

参考文献

- 1) 趙菲菲他：柔軟湾曲アクチュエータ用小型疑似サーボ弁の試作と解析，平成27日本機械学会論文集(C)，Vol. 76, No. 772, p. 3665-3671 (2010)
- 2) Y. Moriwake et. al. : Development of low-cost pressure control type quasi-servo valve using embedded controller, Journal of Procedia Engineering, Vol. 41, p. 493-500 (2012)
- 3) ルネサス16ビットシングルチップマイクロコンピュータハードウェアマニュアルH8/3664グループ, Renesas (2006).
- 4) Abdul Nasir et. al. : Development of Small-sized Servo Valve Controlled by Using Buckled Tube and Its Application, Journals of JSME, Vol. 7, No. 4, p. 516-527 (2013)
- 5) Micropower Octal 8-Bit and 10-Bit DACs LTC1660ハードウェアマニュアル, Linear Technology Corporation.
- 6) 2.7V 4-Channel/8-Channel 12-Bit A/D Converters with SPI Serial Interface MCP3208ハードウェアマニュアル, Microchip Technology Inc.
- 7) T. Akagi et. al. : Development of Flexible Pneumatic Cylinder with Built-in Flexible Linear Encoder and Flexible Bending Sensor, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 6, No. 4, P. 359-372 (2012)

(原稿受付：2015年10月27日)

解説

遠隔操作に関わる一般論と バイラテラル・マルチラテラル遠隔制御について

著者紹介



み よ し た か のり
三 好 孝 典

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: miyoshi@tut.jp

1989年大阪大学工学部電気工学科卒業。ローランド・ディ・ジー(株)入社。2000年豊橋技術科学大学博士後期課程修了。2002年同大学生産システム工学系講師として赴任。同大助教授、准教授を経て現在に至る。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

今や、インターネットを用いてロボットの運動を遠隔操作することは当たり前になりつつある。典型的な例はテレプレゼンスロボット(図1)と呼ばれるもので、(1)カメラ・(2)ディスプレイ・(3)マイク・(4)スピーカ、そして(5)モータなどを備え、遠隔地からロボットを動かしてターゲットの人物に近づき、映像・音声によるコミュニケーションを行うものである。遠くにいる人と目の前にいるかのような会話が可能なことから、この名が付いている。日本語に訳すと遠隔存在・遠隔面前とでも言おうか。良く知られたものはSuitabletech社のbeam¹⁾や、Double Robotics社のDouble²⁾で、前者は\$2000ドル(24万円：\$1=¥120換算)以下で購入可能である。HPではホワイトハウスでアメリカ大統領が使用している写真が掲載されている。

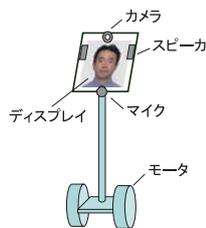


図1 遠隔地との映像・音声でのコミュニケーションが可能なテレプレゼンスロボット(イメージ)

さて、その技術は素晴らしいが、双方向でやり取りを行っているのは映像と音声、すなわち視覚と聴

覚に関する情報だけである。上記デバイスの(1),(2)が視覚に関わるもので、お互いを視認して表示し合い、(3),(4)が聴覚に関わるもので、お互いに会話し合うものである。本誌は「フルードパワーシステム」であるが、文字通りパワーに関するデバイスは(5)のモータだけで、移動のための力を発揮することはできるが、残念ながら相手の力を認識することはできない。すなわち力覚(触覚)に関しては、操作者からロボットへの一方通行となっている。

臨場感あふれる自然な遠隔操作のためには、人間の五感をフルに活用して、例えば握手のようにお互いの力や運動を感じ合って操作することが望ましい。しかしながら、力覚(触覚)をインターネットでやり取りするサービスは極めて実用例が少ない。日本での実用化された例はイヤワ株式会社のロボットフォン³⁾だけではないだろうか。それも現在は販売終了となっている。

では、何ゆえ相手を動かしつつ、かつ相手から動かされる臨場感あふれる遠隔操作が実用化されないのだろうか。理由はいくつか考えられる。たとえば、(1)センサやモータにお金をかけただけのメリットが得られるのか、というコストパフォーマンスの問題。(2)力覚を感じることがかえって操作の邪魔になるのではないか、という操作性の問題。(3)そもそも運動エネルギーを有するロボットを人間と密接な環境で操作して怪我などの危険が生じないのか、という安全性の問題、そして、今回の解説の中心的なトピックである(4)バイラテラル遠隔制御の安定性の問題、などである。次章から、この(4)について詳しく解説をしていく。

2. バイラテラル制御とは

遠隔地に存在するロボット(以降スレーブと呼ぶ)を単に操作することは、さほど難しくない。もちろん、何かのタスクを確実に実行するように操作することは後述の記事のように困難が伴うが、ただスレーブを運動させるだけであれば容易である。しかし、安全にスレーブを操作しようとする、操作者の指令を実行した結果による外界の環境変化を操

作者に返送し、操作者がより適切な運動に再指令できなければならない。それができないならば、ロボットはその運動エネルギーによって外部に危害を加えたり、自分自身が損傷する危険に陥る。手術支援ロボット・ダビンチ⁴⁾の例においても、医師が動かしたダビンチのアームが患者の内臓を強く圧迫し、医師がその圧力を感じ取ることができなかったがために死亡に至った例が報告されている⁵⁾。

操作者が望む運動や力などの情報をスレーブに指令すると共に (Feedforward), スレーブからフィードバック (Feedback) される情報を用いて制御を行うことをバイラテラル制御と言う。情報が一方通行ではなく、双方向 (bilateral) 通信によってやり取りされることが語源である。たとえば、医師が把持している操作装置の位置と手術支援ロボットの先端の位置が同じになるように、操作装置の位置をロボットに送信してロボットをその場所に位置決めとする。これだけではFeedforwardのみの一方通行であるが、ロボットの先端が何物かに当たった時の力の情報を医師側に返すならば、それは双方向通信である。さらに、受信した力の情報と同一の力を医師が感じられるように操作装置 (以降マスタと呼ぶ) を制御すれば、それはバイラテラル制御である。もし、このバイラテラル制御の機能がダビンチに搭載されていたならば、医師はロボットが発する強い圧迫力を感じられたであろうから、不幸な事態は避けられたかもしれない。

実際に手術支援ロボットにバイラテラル制御の機能を組み込むことが試みられている。図2は、東京医科歯科大学川嶋研究室で開発が進められているIBIS (アイビス) で⁶⁾、医師がマスタを動かすと、その動きに合わせてロボット先端の鉗子が連動し、思い通りの操作で術部を切開したり吻合することが可能である。一方、鉗子先端が臓器等から受けた力は、マスタによって医師に反力として伝えられ、医師は何かを圧迫していないか、吻合をきつく縛りすぎていないか等、手応えを感じながら手術を進めることができる。IBISは空気圧で駆動するため、軽量でコンパクト、かつバックドライバビリティがよく安全であるという特徴を持つ。

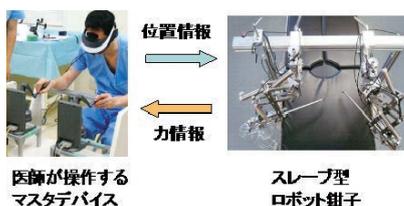


図2 バイラテラル遠隔手術を実現する手術支援ロボット IBIS (提供: 東京医科歯科大学 川嶋研究室)

3. 通信遅延によるバイラテラル遠隔制御の不安定化

バイラテラル制御をインターネット回線を用いて遠隔地間で実現しようとする、必ずマスタとスレーブの間で通信遅延が生じる。インターネット回線は、情報をバケツリレー方式で転送していくことにより目的地に情報を伝達するが、バケツリレーの際に配送処理の遅れが生じたり、情報量が回線の容量を超えると通信を一時保留するためである。2015年現在、日本国内の主な主要都市間の往復通信遅延は50 [ms] 以内であるが、海外との通信ではアメリカとは100 [ms] オーダー、ヨーロッパとは200 [ms] オーダーの遅延となる (著者調べ)。

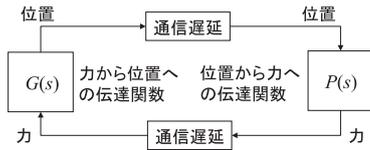
図3 (a)は著者が開発した日本-台湾間の力触覚コミュニケーションを実現する遠隔ハンドシェイクガジェットである⁷⁾。日本側のマスタに装着されたマネキンの手を日本の操作者Jが動かすと、その通りに台湾側のスレーブが運動して、台湾の操作者Tが操作者Jの動きを感じ取ることができる。同時に操作者Tが台湾側のデバイスに与えた力覚が日本側に送られ、操作者Jは操作者Tの力加減を感じ取ることができる。これは2014年4月26-27日開催のニコニコ超会議Ⅲで初公開され、実際に日本の幕張メッセと台湾の会場を接続した握手会に用いられた。この通信にも日本-台湾間の往復遅延約100 [ms] が含まれる。これを簡略化して伝達関数で記述すると、図3 (b)のように表される。G(s)はマスタの、P(s)はスレーブの伝達関数である。ブロック図を見ると閉ループを構成していることがわかるが、このループには往復通信遅延と言う「むだ時間」が含まれているため、むだ時間の大きさによってはループが不安定になり、デバイス同士が激しい振動を引き起こす可能性がある。

この問題は音響におけるハウリングと極めて酷似している。音響においては、スピーカから発生した音が空气中を音波として伝達した後にマイクに入力され、その音が再びスピーカから出力されてマイクに入力されるループ構成によって激しい発振が生じる。バイラテラル遠隔制御の場合は、マスタからの移動指令が通信遅延を経由してスレーブを運動させ、それにより誘起された力 (操作者Tによる力) が再び通信遅延を経由してマスタに伝達され、その力がマスタの運動を変化させるという、やはりループ構成により力学的なハウリングが誘発される。ひとたび力学的なハウリングが発生すると、音響のそれと同様に激しい発振が生じ、装置そのものの破壊・操作者への危害という危険をもたらす。これがバイラ

テラル遠隔制御の実用化を阻む大きな要因の一つである。



(a) 日本・台湾間の力触覚コミュニケーションを実現する遠隔ハンドシェイクガジェット



(b) 伝達関数で表現したブロック図

図3 国際間の力触覚コミュニケーションツール遠隔ハンドシェイクガジェットとそのブロック図

4. 不安定問題の解決方法

市販されているインターネットを用いた会議システムでも、ハウリングキャンセラは用いられている。力学的ハウリングのキャンセラがそれと異なる点は、必要とされる周波数帯域にある。たとえば50ms=20Hz相当の遅延の場合、音響システムでは20Hz以下は可聴帯域外なので、発振の原因となる当該周波数成分以下をすべてフィルタでカットすれば良い。DC成分も不要である。ところが力学的ハウリングの場合は、20Hz以下の周波数に重要な運動情報を含んでいるため、単純なバンドエリミネーションフィルタで振動エネルギーの除去を行うわけにはいかない。したがってループの不安定化を抑える巧みな制御理論的“仕掛け”が必要になるが、ここではあらかしの紹介に留めておく。

図4が我々のシステムで採用している解決方法である。基本構成として信号をたすきがけに加工するところに特徴があり、このたすきがけによって通信遅延の大きさによらずシステムを安定化させることができる。最初のアイデアはSpongらによるケリー変換を応用したスカタリングマトリクスと呼ばれる方法⁸⁾で、Niemeyerらがこれを発展させてウェブバリアブルという手法を開発した⁹⁾。これらはいずれも、マスタが速度を送って力をフィードバックする速度・力帰還型と呼ばれる方法であったが、著者らが位置を送って力をフィードバックする位置・力帰還型のシステムに発展させた¹⁰⁾。これにより、従来法の欠点であった、通信回線上でパケットロスと呼ばれる情報の欠損が生じた場合に、マス

タとスレーブの位置がずれてしまうという問題点を解消した。

他の解決方法としては、大西らの位置と力の情報をマスタとスレーブから集めた上で、コントローラをきめ細かくチューニングする方法¹¹⁾、Hanafordらの受動性オブザーバを用いて、システムが不安定になりそうときにエネルギーを吸収して安定化させる方法などもある¹²⁾。

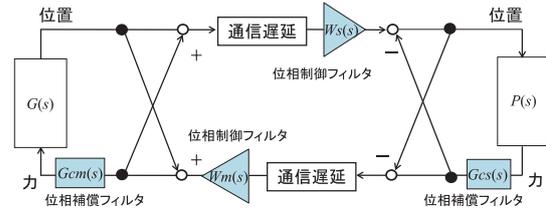


図4 著者らの提案する位置・力帰還型バイラテラル遠隔制御アルゴリズム

5. マルチラテラル遠隔制御への展開

インターネットは網の目のように世界中に広がっている。ならば、マスタとスレーブが1対1で対応するバイラテラル遠隔制御ではなく、多くのマスタやスレーブが多対多でお互いの運動や力をやり取りできれば、もっと素晴らしいコミュニケーションが実現できるのではないか。この多対多の接続を、マルチラテラル（多方向）遠隔制御と呼ぶ。

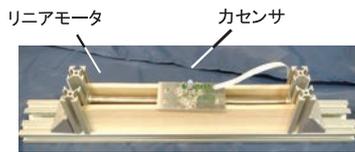
これを実現させる一つの試みが、豊橋技術科学大学と日本各地の高等専門学校（高専）とを接続して行うマルチラテラル遠隔制御理論に基づく仮想網引き実験である（図5）¹³⁾。



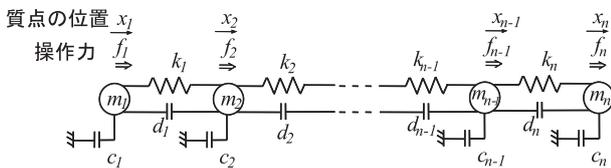
図5 各地の高等専門学校を接続して行われた仮想網引き実験

各地の高専には図6(a)のようなマスタを配備した。各地の操作者がセンサに力を加えると、計測された力覚情報は豊橋技術科学大学内に設置されたサーバに集約される。サーバでは図6(b)に示される網を模

したバネ・マス・ダンパ連成モデルが構築されており、送られた力覚情報に基づいて物理演算が施される。一つのマスタには一つの質点＝スレーブが対応し、それらのスレーブがバネ・ダンパを介して結合している。物理演算の結果得られた質点(スレーブ)の移動の情報はマスタに返送され、マスタのリニアモータはその情報に基づいて自ら位置決め運動し、操作者はその運動により綱の移動を触知覚する。



(a) 操作者が操作するマスタ



(b) 綱を模したバネ・マス・ダンパ連成モデル

図6 仮想綱引き実験に用いられたマスタと物理モデル

原理はこのように極めて簡単であるが、安定化の難度はバイラテラル遠隔制御の比ではない。一つのマスタにおける力の変化は、それに対応したスレーブ(質点)の運動を変え、さらにバネ・ダンパを経由して全てのスレーブの運動を変化させる。全てのスレーブの運動の変化は、すべてのマスタの運動の変化として伝えられ、それはすべての操作者の操作力を再び変化させて……と、全てのマスタとスレーブが地球規模で力学的干渉を起こし合う。音響システムで例えるなら、コンサートホールの至るところにマイクとスピーカを配置して、それらがクロストークしながらハウリングを起こし合っている状態と言えようか。

そのような状況下においても著者らが提案しているマルチラテラル遠隔制御用アルゴリズム¹⁴⁾は、正常に機能し地球規模での仮想綱引きが可能であることを実証した。新しいソーシャルコミュニケーションの誕生である。

6. ま と め

本解説では、まず現在の最先端の遠隔操作について述べ、力・触覚をやり取りすることの重要性を示した。さらに、力と運動を遠隔操作する際の技術的

問題を考察し、インターネットにおける通信遅延が実用化を阻んでいる事実を指摘した。加えて、その問題の解決法を音響システムのハウリングとの対比を交えながら解説し、最後に人類の新しいソーシャルコミュニケーションを実現するマルチラテラル遠隔制御の可能性を示唆した。

参考文献

- 1) <https://www.suitabletech.com/>
- 2) <http://www.doublerobotics.com/>
- 3) ロボットフォン紹介記事
<http://bb.watch.impress.co.jp/cda/items/4299.html>
- 4) <http://www.intuitivesurgical.com/>
- 5) 事故調査報告書, 名古屋大学医学部付属病院医療事故調査委員会 平成23年3月19日
- 6) Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, Kojima Kazuyuki, Tanaka Naofumi: Development of a pneumatic surgical manipulator IBIS IV, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 22, No. 2, pp. 179-187 (2010)
- 7) Takanori Miyoshi, Yuki Ueno, Kouki Kawase, Yusaku Matsuda, Yuya Ogawa, Kento Takemori and Kazuhiko Terashima: Development of Handshake Gadget and Exhibition in Niconico Chokaigi, *Haptic Interaction Perception, Devices and Applications*, Vol. 277, pp. 267-272 (2015)
- 8) R. Anderson; M. Spong, "Bilateral Control of Teleoperators with Time Delay", *IEEE Transaction on Automatic Control*, Vol. 34, No. 5, pp. 494-501 (1989)
- 9) Niemeyer, G., Slotine, J.J.-E., "Telemanipulation with Time Delays", *Int. Journal of Robotics Research*, Vol. 23, No. 9, pp. 873-890 (2004)
- 10) Takanori Miyoshi, Kazuhiro Terasima and Martin Buss, "A Design Method of Wave Filter for Stabilizing Non-passive Operating System", *Proc. IEEE International Conference on Applications*, pp. 1318-1324 (2006)
- 11) Suzuki, A.; Ohnishi, K., Novel Four-Channel Bilateral Control Design for Haptic Communication Under Time Delay Based on Modal Space Analysis, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 21, No. 3 pp. 882-890 (2013)
- 12) B. Hannaford and J. Ryu., "Time domain passivity control of haptic interfaces", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-10 (2002)
- 13) Takanori Miyoshi, Takashi Imamura, Shinya Oyama, Yuzuru Ohba, Tomoyasu Ichimura, Yoshihito Sawaguchi, Hideo Kitagawa, Yusuke Aoki, Akihiro Kaneshige, Satoshi Ueki, Yasunori Kawai, Toru Saitoh, Yuichi Takaku, Yasushi Kami, Masakatsu Kawata, Akihiko Uchibori, Kazuhiko Terashima: Experiment of Virtual Tug-of-war via Internet with Multilateral Telecontrol, *NetGames 2014*, pp. 1-3 (2014)
- 14) Takanori Miyoshi, Takashi Imamura, Kazuhiko Terashima: Stability Analysis via IQC for Multilateral Tele-control and Application to Multi-client/Multi-Coupling Physical Model System, *YF-015504* (2015)

(原稿受付: 2015年12月25日)

解説

エアパワーメータを活用した空気圧システムの省エネルギー化

著者紹介

かとうとも のり
加藤友規

福岡工業大学工学部知能機械工学科
〒811-0295 福岡県福岡市東区和白東3-30-1
E-mail: t-kato@fit.ac.jp

2007年東京工業大学大学院博士課程修了。都立高専助手～助教を経て、2010年福岡工業大学助教、2012年同大学准教授、現在に至る。空気圧制御に関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）、技術士（機械部門）。

やまもと のぶ あき
山本 円朗

リバーフィールド株式会社
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-3-4
アソルティ西新宿ビル5F
E-mail: n-yamamoto.rfc@riverfieldinc.com

2005年東京工業大学大学院博士課程修了。同年東京メータ株式会社入社、2013年東京工業大学精密工学研究所研究員を経て、2015年リバーフィールド株式会社入社、現在に至る。製造部部长、開発部との兼務。空気圧機器に関する研究・開発に従事。日本フルードパワーシステム学会などの会員。博士（工学）。

こばやし とし や
小林 敏也

東京メータ株式会社
〒211-8577 神奈川県川崎市中原区今井南町10-41
E-mail: t_kobayashi@tokyometer.co.jp

1984年神奈川県川崎市川崎区生まれ。1995年東京メータ株式会社入社。同社技術部にて、空気圧機器に関する開発に従事。2006年よりエアパワーメータの開発に携わる。

1. はじめに

「IoT、ICTを活用したフルードパワーシステム」のための技術の一例として、本稿では空気圧機器の消費エネルギーを測定するための機器であるエアパワーメータをご紹介します。その応用可能性について述べる。

2. エアパワーメータ

2.1 開発の背景

温室効果ガスの排出量の削減および省エネルギー化の要求が高まっている中で、製造業の工場・事業所で使用される空気圧機器についても当然に、省エ

ネルギー化が求められている。しかし、空気圧システムでは、エネルギーが空気圧に変換された後のエネルギー使用量を把握することが困難であった。圧縮空気を作る際には一般に圧縮機（コンプレッサ）が使用されるため、空気圧機器のエネルギー消費量を議論・評価する際には圧縮機の電力使用量を測定することが多いが、より有効に省エネルギー化を実現するためには、個別の空気圧機器のエネルギー消費量を評価する必要がある。

このような背景から、1999年頃より、東京工業大学の香川利春教授・蔡茂林教授（現：北京航空航天大学）・藤田壽憲教授（現：東京電機大学）・川嶋健嗣教授（現：東京医科歯科大学）らは、空気圧システムのエネルギー評価に、エクセルギの概念を取り入れ、「エアパワー」による評価方法を提案した^{1)~4)}。

2.2 有効エネルギーとエアパワー

有効エネルギーとエアパワーについては、香川先生・蔡先生の著書⁵⁾に詳しく説明されているので、詳しくはそちらをご参照頂きたい。同書によると、圧縮空気の有効エネルギーとは、大気温度や圧力の状態を基準にとり、それらに対して相対的なエネルギーを定義したもので、圧縮空気から取り出して有効仕事に変換できるエネルギーを表す。有効エネルギーを時間微分することで、管路内を流れている圧縮空気もつエアパワー \dot{E}_i [W] は以下の式で求められる。

$$\dot{E}_i = \frac{dE_i}{dt} = PQ \ln \frac{P}{P_a} \quad (1)$$

ただし、 P ：ラインの絶対圧 [Pa(abs)]、 P_a ：大気圧 [Pa(abs)]、 Q ：体積流量 [m³/s] である。

なお、正確には温度変化による影響を考慮する必要があるが、一般に空気圧機器は室温に近い環境下で使用されるため、厳密な測定を行う場合を除き、エネルギー管理の観点ではさほど影響はないと考えられる⁶⁾。この圧縮空気エネルギー評価のことを、電気回路の場合と比較して、エネルギーのアナロジーとして解説している文献がある⁷⁾。

2.3 エアパワーメータの開発

前述の通り、管路内を流れる圧縮空気の瞬時のエアパワーは、ライン圧と体積流量を計測すれば、算出可能である。

エアパワーを測定するための機器として開発されたのがエアパワーメータ (APM) である (写真1)。APMの構成は、流量計 (ラミナー式, あるいはオリフィス式, 差圧を計測する微差圧計内蔵), 圧力計, 温度計である。APMはもともと流量計をベースに開発されており, ラミナー式は, 流量計として数十Hz程度の応答性能を有する。APMは, エアパワー [W], 圧力 [Pa], 流量 [L/min (ANR)], 温度 [°C], 積算エアパワー [kWh], 積算流量 [m³], CO₂排出量 [kg-CO₂], コスト表示が可能であり, 一台7役のマルチメータである⁸⁾。計測する流量レンジやエアパワーレンジによって, APMにはいくつかのタイプがある。

APMは, 流量計と同じように, 管路内に接続して使用する。たとえば, 管路内のライン圧が $P=0.5\text{MPa(abs)}$, 体積流量が $Q=0.01\text{m}^3/\text{s}$, 温度を通常の大気温度とすると, 圧縮空気のエアパワーは約8kWとなる。

3. APMによるエネルギー消費量の評価

3.1 エアタービンスピンドルの回転数制御

著者らは近年, 超精密加工に用いられる静圧空気軸受式エアタービンスピンドル (ATS, 写真2) の回転数制御に関する研究を進めている^{9), 10)}。空気圧で駆動されるATSには, 高速回転が可能・低振動・低発熱・低摩耗などのメリットがあるが, 起動が遅い・回転数が外乱の影響で変動するというデメリットがある。著者らは, 気体用超精密高速応答圧力レギュレータ (HPQR) を用いて, ATSの回転数を制御する方法を提案した。詳細は参考文献をご参照頂きたいが, この研究では, ATSの回転数を $30,000\text{min}^{-1}$ から $40,000\text{min}^{-1}$ にステップ的に変更



写真1 エアパワーメータ

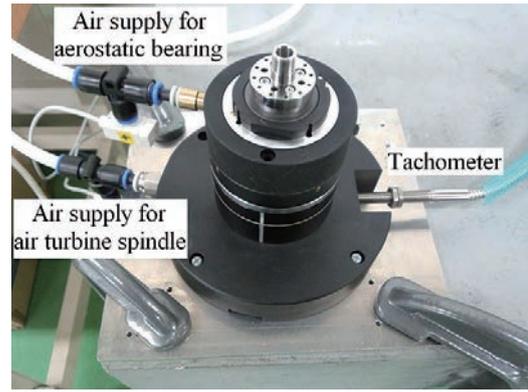


写真2 エアタービンスピンドル

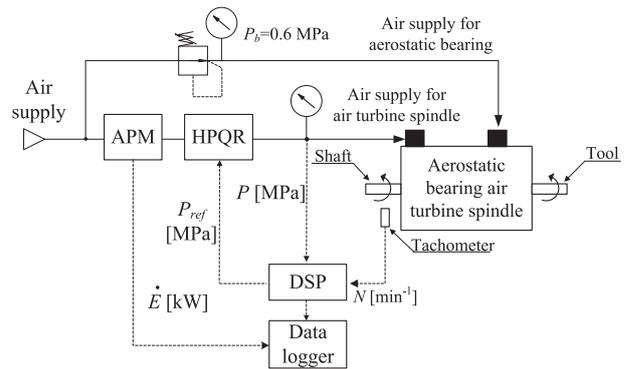


図1 装置構成図 (回転数制御実験)

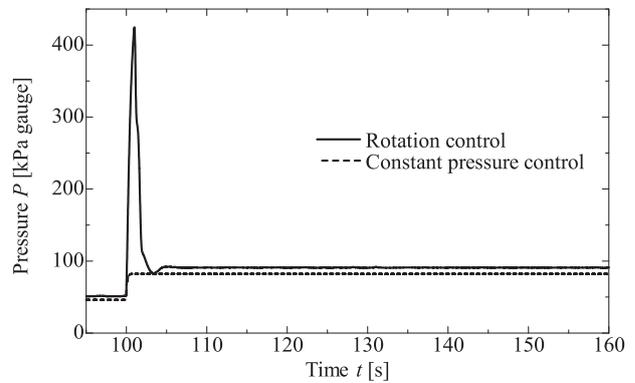


図2 実験結果 (供給圧力)

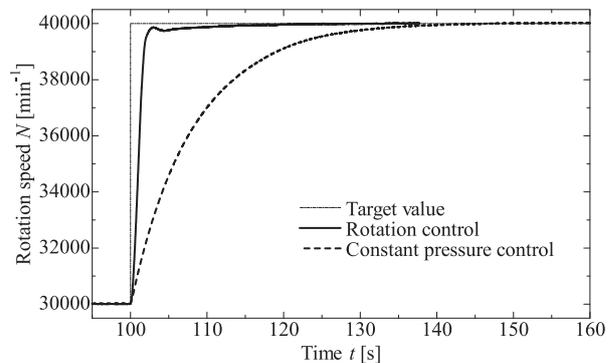


図3 実験結果 (回転数)

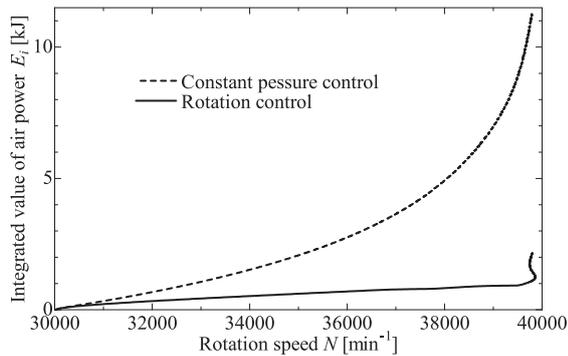


図4 実験結果 (エアパワーの積算値)

表1 実験結果のまとめ

	Time constant [s]	Setting time [s]	Integrated value of air power [kJ]
Rotation control	1.24	5.59	2.16
Constant pressure control	8.25	31.10	11.35

する場合に、ATSのタービン部への供給圧を一定圧で制御し、ゆっくりと回転数を変更した場合、回転数フィードバック機構を用いて供給圧を一気に上げて回転数を変更した場合で、空気圧の消費エネルギーはどう違うか、について議論した。図1に示す実験装置構成で、エアパワーの測定にはAPM（東京メータAPM-L-200）を用いた。

実験装置構成・圧力・回転数・APMにより計測されたエアパワーの積算値・実験結果のまとめ、をそれぞれ図1・図2・図3・図4・表1に示す。

この実験結果より、回転数制御機構を用いて供給圧を一気に上げた場合の方が、回転数の整定が5倍以上早いうちに、空気の消費エネルギー量が約5分の1に削減されているという結果を得た。

3.2 IoT, ICTを活用したエアパワー管理

APMを工場内の配管内の要所に設置することで、電動機器と空圧機器を同時に利用した場合などに、工場全体のエネルギーとして管理することが可能となる（図5）。たとえば、APMを圧縮機の出口付近に設置し、圧縮機の消費電力と比較することで、圧縮機の効率を評価できる。また、各ラインに設置することで管路からの漏れや圧力損失を計測可能である。前述の例のように、個々の空気圧機器の効率や消費エネルギーを計測することも当然可能である。

上記のような各所に設置されたAPMの信号を、IoT・ICT技術を用いて管理することで、事業所内（更には複数の事業所）のエネルギー使用状況を常時監視できるようになり、稼働の最適化や省エネルギー化を検討することが可能となり、また漏れや異

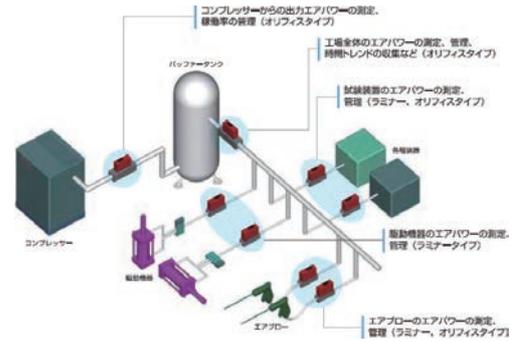


図5 工場内のエアパワー管理 (イメージ)

常使用などに対して早期に対応することが可能となると考えられる。

4. おわりに

本稿では、「IoT, ICTを活用したフルードパワーシステム」のための技術の一例として、エアパワーメータを紹介し、その応用可能性について述べた。

参考文献

- 1) 香川利春：シリンダの省エネルギー圧縮空気エネルギーの定義，油空圧技術，Vol. 38, No. 6, p. 1-4 (1999)
- 2) 蔡茂林，藤田壽憲，香川利春：空気圧エネルギーの評価法に関する一考察，平成12年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 91-93 (2000)
- 3) 蔡茂林，藤田壽憲，香川利春：エアエクセルギによる空気圧エネルギー評価，平成13年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 85-87 (2001)
- 4) Maolin Cai, Kenji Kawashima, Toshiharu Kagawa : Power Assessment of Flowing Compressed Air, Transactions of ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 128, p. 402-405 (2006)
- 5) 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，p. 91-101 (2010)
- 6) 山本円朗：フルードパワーの挑戦エアパワーメーター—圧縮空気のエネギーを「見える化」する新概念の計測器—，フルードパワー（日本フルードパワー工業会），Vol. 23, No. 4, p. 21-23 (2009)
- 7) フルードパワーの世界，日本フルードパワー工業会，p. 46-47 (2009)
- 8) 小林敏也：圧縮空気のエネギー測定装置，油空圧技術（日本工業出版），Vol. 52, No. 11, p. 82-87 (2013)
- 9) 加藤友規，東嶋元気，矢澤孝哲，大坪樹，野崎悠輔，田中克敏：気体用超精密高速応答圧力レギュレータを用いたエアタービンスピンドルの回転数制御，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 45, No. 1, p. 8-14 (2014)
- 10) Tomonori Kato, Genki Higashijima, Takanori Yazawa, Tatsuki Otsubo, Katsutoshi Tanaka : Proposal of Disturbance-Compensating and Energy-Saving Control Method of Air Turbine Spindle and Evaluation of Its Energy Consumption, Precision Engineering, Vol. 43, P. 439-447 (2016)

(原稿受付：2015年12月7日)

解説

クラウド時代のメンテナンスサービス

著者紹介



ほそ や まさ し
細 矢 征 史
 (株)IHI 高度情報マネジメント統括本部 企画開発部
 〒135-8710 東京都江東区豊洲3-1-1
 E-mail: masashi_hosoya@ihi.co.jp

1997年石川島播磨重工業(株)入社、技術開発本部を経て、2013年高度情報マネジメント統括本部所属。現在に至る。制御・ICT関係のシステム開発分野に従事。

1. はじめに

近年では、通信インフラが一定の品質で世界中の広範囲をカバーするようになり、さらに、持ち運びが容易なスマートフォンやタブレット端末が普及し、私たちの生活は以前とは様変わりした。人々はSNS (Social Networking Service) を通して、常に誰かと会話を楽しみ、子供達が改札を通ると、自動で保護者にメールが送信される。まるで、人々がインターネットにつながっているかのようである。

この現象は人の世界に限らず、モノの世界にも現れている。身近なところでは、外出先からスマートフォンを介して、自宅のエアコンを操作したり、ペットの様子を確認したりできるようになっている。これまで、自宅の中だけで活躍していた家電製品が、それぞれインターネットにつながり、外に飛び出して来た。一般には、IoT (Internet of Things) と呼ばれており、多種多様なモノがインターネットにつながることで、巨大市場が生まれると期待されている (図1)。



図1 IoTの概念図

同じように、工場や現場で活躍する加工機械や工場設備、建設機械もインターネットにつながり、お互いに情報を交換して、われわれに新たな便利さを提供してくれるようになった。筆者らは、ICT (情報通信技術) を活用して、IHIグループの製品をご利用いただいているお客さまに、より高度なサービスを提供するために、日々活動している。

2. リモートメンテナンス共通プラットフォームILIPS



図2 リモートメンテナンス共通プラットフォーム概念図

IHIグループにはさまざまな事業部門があり、それぞれ異なる製品群を持ち、異なるお客さまの要望に応えている。個々の事業部門が、それぞれ個別に監視システムを構築すると、重複した設備投資が必要な上、システムを運営・維持するための担当者をそれぞれ置くことになる。筆者らは、このような重複を避け、グループで共通して活用できる監視システムを整備した。これをILIPS, IHI group Lifecycle Partner Systemと呼んでいる (図2)。

その実現のために、まず、筆者らはIHIグループの製品をインターネット上のコンピュータに接続して、装置の稼働状況を常に監視するところから始めた。世界中に張り巡らされた携帯電話の通信網を利用することで、大部分の国に設置された装置の状況を把握することができる (図3)。

共通化を図る際に、装置ごとに特色を持つ制御部分をそのまま活用するために、インターネットと装置の間を仲介するデータ収集装置によって、装置の



図3 ILIPS状態監視画面

データをインターネットに送信する際に、装置ごとに固有の信号を解釈して、ILIPS共通の信号に書き換えている。必要に応じて、インターネット上のコンピュータでは間に合わない処理をこのデータ収集装置で行い、結果のみを送信することができる。一般的には、インターネットのような世界に張り巡らされたクラウドコンピューティングに対して、より末端の情報に近い情報を処理するフォグコンピューティングと呼ばれている。

このILIPSの機能を使って、筆者らが行っているサービスを概念的に表すと図4のようになる。



図4 ILIPSの機能

装置のデータを収集し、メンテナンス履歴などのその他の情報と併せてビッグデータを構成し、それを解析して、解析結果をモバイルを介して提供する。解析結果を基に行ったメンテナンス情報は、また新たなビッグデータの一部となる。

3. 異常診断・故障予測

装置が異常や警告を発した際に、インターネットを経由し、電子メールを通じて、お客さまやカスタマーエンジニアに情報をいち早く知らせる機能は、すでに普及が進んでいる。筆者らはこれに、故障予

測や寿命診断の機能を追加して、装置が故障等で停止する前にメンテナンスに訪問し、不慮の停止を未然に防ぐための開発を進めている。過去の故障データから、電流、温度、圧力などの装置の稼働状況と実際に起こった故障との相関関係をひもといて、現在の稼働状況を元にして将来の故障を予測する。故障予測には、多次元データ分析手法のひとつであるMT法（マハラノビス・タグチ法）を主に利用しているが、装置に搭載されたセンサが限られているので、エンジニアのノウハウを活用して、限定された情報から正確な予測を行うことに注力している。

また、単純な機械動作のみを行う装置の場合には、モータなどの駆動装置のオン・オフ情報が大半を占めるが、この場合には、単純にMT法を適用するだけでは故障診断が難しいため、カスタマーエンジニアの作成する過去のメンテナンス記録も利用した、他の統計学的手法を用いた手法を開発している。

4. メンテナンス業務支援

異常診断のみならず、日々のメンテナンス業務を効率的に実施するためにいくつかのメニューを準備している。



図5 メンテナンス部品画面

メンテナンス時に必要となる補用部品の管理は、現場では重要な業務の一つであるが、さまざまな設備を管理されている現場にしてみれば、それぞれに寿命が異なる部品を管理するのは、大変手間のかかる作業である。これをシステム上で管理でき、部品交換時期がきたらメールによって自動的に注意喚起してくれる仕組みは、重宝していただけると考える(図5)。

同様に、日報や月報の提出が求められる場合に、自動的に情報を集めて、所定の様式で日報・月報を作成する機能を搭載している。

5. さらなる深化に向けて

ILIPSを活用することによって、筆者らはこれま

で、クラウドサービスを活用してIHIグループ製品を自動監視できる環境を整え、徐々にお客さまのご要望に応えられるようになってきた(図6)。

提供価値	お客様のご要望	実現手段
高稼働率	トラブルが発生しても短時間で復旧したい。	自動検知により迅速にメンテナンスを実施
	トラブルを未然に防ぎたい。	異常を自動検知 センサデータから故障診断 専門家のノウハウをソフト化 AI/ディープラーニング/データ分析による診断手法を開発
装置寿命の延長	設備投資を抑えたい。	装置の状況に応じて、タイムリーかつ適切にメンテナンス 長期の視点からメンテナンスを提案
	メンテナンス回数を減らしたい。	時間基準から状態基準へ 定期メンテナンスの無駄をなく
ライフサイクルコストの削減	機種ごとに担当を置きたくない。	メンテナンスマニュアルの電子化 AI/ディープラーニングによるメンテナンス
	メンテナンス作業を遠隔支援	メンテナンス作業を遠隔支援 専門家が画像を見ながらアドバイス
運転ノウハウ	最適な運転条件を知りたい。	データを見ながら運転支援 お客様と共にデータを共有
	お客様に運転ノウハウの提供がない。	

図6 お客様のメリット

さまざまな製品群に対応して、グループ内部でもメンテナンス事業にはそれぞれ特徴があるが、お客さまのご要望に大きな違いはなく、ILIPSの機能は共通に利用可能であることを確認できた。翻ると、一部の事業においてお客さまの評価を得ているサービスは、他の事業にも適用可能なことが多く、各々

の事業の経験をつなぐことに取り組んでいきたい。将来は、現場で働く方から財務をつかさどる方まで、それぞれの立場の人々がいつでもどこでも、IHIグループ製品の現在の稼働状況や将来のメンテナンス計画を確認いただけるような仕組みを提供できることを目指す(図7)。

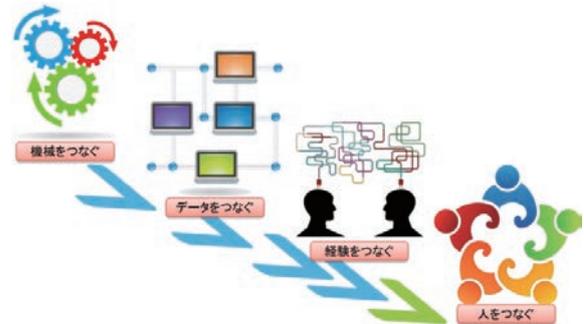


図7 さらなる深化に向けて

参考文献

- 1) 中山隆幸：クラウド時代のメンテナンスサービス, IHI 技報, 第54巻第2号, IHI (2014)

(原稿受付：2015年12月3日)

解説

衛星通信を利用した建設機械の グローバル遠隔監視システム

著者紹介

せき ぐち かず ひろ
関口和浩

IRIDIUM Communications Regional Director
〒105-0005 東京都千代田区1-8-3
丸の内トラストタワー本館20階
E-mail: kazuhiro.sekiguchi@iridium.com

1995年成蹊大学経済学部卒、国内大手情報通信機器メーカー、オープンコムジャパン社、米加州のM2M通信機器メーカーを経て、2015年1月現在に至る。2000年以降、衛星通信分野に携わり、国内・韓国建機メーカーの遠隔監視システム開発サポートを経験する。現職はイリジウム社において、M2Mだけでなく、衛星電話サービスや海上・航空の通信サービスの市場開拓に従事。

M2M (Machine to Machine) というビジネス用語が浸透して10年程経過したが、建設機械は、機械同士が人を介さずデータ通信を行う事がテレマティクスと呼ばれていた時代から、いち早く車体の遠隔監視としてM2Mの導入が世界的に進んだ分野であると言える。M2Mの導入が早期に広がった要因として下記があげられる。

1. 生産財として単価が高く、トラックや自動車に比べてコスト吸収力があつた。
2. ユーザにより車体がフィールド（作業現場）に置かれたままの状態が普通にあり、GPSによる位置情報機能のニーズがあつた。
3. フィールド（作業現場）でのアフターメンテナンスのニーズが高く、事前に車体の状況を把握する事は作業の利便性に繋がった。

M2Mでのデータの伝送手段としては、携帯電話網（携帯通信）、衛星通信、Wi-Fi、特定小電力無線等があげられる。各々の伝送手段にはメリットとデメリットがあり（詳細は別途説明）、アプリケーション用途によって何の伝送手段が最適か選ばれている。一般的にM2Mでの伝送手段のマジョリティーは携帯通信であり、衛星回線はニッチなマーケットとして考えられているが、建設機械は携帯通信と衛星通信を併用して利用している珍しい分野であると言える。

1. 通信メディアの選択

日本と米国の大手建設機械メーカーは、2000年

に建設機械への遠隔監視機能として通信端末の搭載を開始したが、導入開始期は伝送手段として携帯通信ではなく、衛星通信が選ばれた。各建設機械メーカーの基礎研究は1990年代前半から開始され、衛星通信のネットワークが整った90年代後半に開発が開始された。当時、携帯通信は通話が主で、データ通信はiモードが世の中に出る前の状況であり、日本国内の通信規格は2G/PDC、海外の通信規格はGSMやCDMAが混在している状況であった。建設機械の販売は、日本国内から海外マーケットに軸足が移り始めており、海外への比重が将来的に高まる事は明白であった。携帯通信に対し、衛星通信ではデータ通信に特化したネットワークまたはデータ通信のみを提供する会社により、グローバルで共通の通信規格を利用できるメリットがあり、建設機械メーカー側のニーズと合致したと考えられる。また、幹線道路や住宅地、経済活動域を中心として基地局を設置する携帯通信と比べ（図1）、衛星通信のカバーレッジは圧倒的に広く、山間部や僻地、森林や鉱山で稼働する場面が想定される建設機械向きの伝送手段と言える。



図1 携帯通信のカバーレッジ

衛星通信の種類

- LEO 低軌道周回衛星
- MEO 中軌道周回衛星
- GEO 静止衛星

上記の内、建設機械M2Mにおいて、伝送手段として実績があるのは、低軌道周回衛星である（図2）。

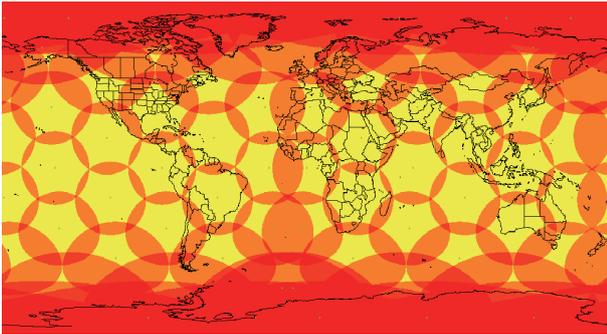
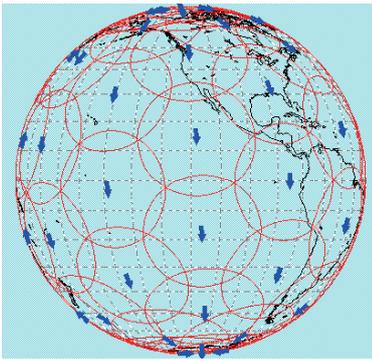


図2 低軌道周回衛星

MEOはデータの伝送手段に使用されるような通信ネットワークは未だ存在しないが、GPSやGLONASSといったGNSS（グローバル衛星即位システム）はMEOのカテゴリーに入る。GEOではPassiveアンテナ及び指向性アンテナを使用するため、南向きにアンテナを設置できる固定点でのM2Mには適するが、動態管理では不向きと一般的には考えられている。また、高緯度地域やマイニングサイトにおける、すり鉢状の地形での利用にも厳しい通信手段である。

2. 衛星端末とアンテナ

衛星通信の伝送には基幹部品として通信モデムが必要とされるが、近年では衛星通信においても低価格が進み\$100程度で販売されている機種もある。また、通信モデムの小型化だけでなく、モジュール型製品も実用化されている。価格面では、携帯通信の3Gモジュールや4G/LTEモジュールとの価格差は狭まってきていると言える。通信モデム単体では車体に搭載することはできないため、各社が独自に設計/開発を行い、組み込み用の通信端末として車体に搭載しているケースが一般的である。通信端末の機器構成として、通信モデム（または通信モジュール）、GPSチップセット、CPU搭載のマザーボード、DC/DCコンバータが一般的で、内蔵リチウムバッテリーを搭載している例もある。一方で、最近では汎用性を持った最終製品として購入できる機種を見

つけることもできる。プログラミング可能で、ユーザアプリケーションをインストールし、車体のメインコントローラーと接続して使用することが可能である。また、CANのインターフェースが付いた機種もあり、車体コントローラーとのCAN通信も利用できる。汎用端末は、開発工数の大幅な削減、FCCやCEといった主要な無線機器認証を利用者が取得する手間を省く等のメリットがあると言える。また、汎用端末にはセミカスタマイズが可能なモデルもあり、利用者側の選択肢も広がってきている。

通信端末について、現状では下記の二通りのアプローチがあり、各社で将来の方向性を模索しているようだ。小型かつ低価格、シンプルな機能の通信端末を利用し、インテリジェンスな部分は外部に置くという考え方と、通信端末自体にインテリジェンスな部分を兼務させる考え方がある。

衛星通信用アンテナについては、通信端末に内蔵可能な携帯電話網と違い、車体の外部に設置する必要がある。衛星通信であるので、アンテナ設置条件として、空ができるだけ開けて見える場所が要求される。外部に設置するため、アンテナ選定は非常に重要な要素だと言える。アンテナの形状や大きさは、衛星通信各社の利用する周波数によって決まってくる。

150MHzの衛星通信では、50cmの針金状のホイップタイプが高利得アンテナとなるが、車体の高さ制限やビジュアル的に目立つため、アンテナ長20cm程度のヘリカルタイプが広く使用されている。しかし、ヘリカルアンテナは低利得となり通信性能レベルが落ちる、また設置面のグラウンドとのチューニングがシビアになり据付けには注意が必要である。バンド1.6GHzの衛星通信では、薄型のパッチタイプのアンテナでも高利得を確保でき、安定した通信性能が獲得できる。また、グラウンドとのチューニングは必要なく、設置条件の制約が無いというメリットがある。通信レベルは落ちるので、推奨できないが、車体内部の窓際にアンテナを設置しても通信は可能である。静止衛星で使用されるKaバンドでは、高利得のアンテナは大型となり設置場所を必要とする、また静止衛星であるがパッシブタイプのアンテナが実用化されており、M2Mにおける比較的小容量のデータ通信では、一昔前のアクティブアンテナは必須ではなくなった。とはいえ、静止衛星の場合、指向性アンテナとなるので、建設機械のような動態アプリに向いているとは言えない。

3. 衛星通信の仕組み

衛星通信では片方向サービスのための通信ネットワークもあるが、端末発信と端末着信の双方向サー

ビスを提供している通信ネットワークが建設機械のM2Mでは採用されている(図3)。衛星通信は携帯通信と比較してLatency(待ち時間)が長い通信ネットワークもあるが、Lバンドの衛星通信では、Latencyは短く、90%以上は10秒以内にサーバーに到達、最大のLatencyは1分30秒程度というテストデータが出ている。また、双方向通信で安定した通信パフォーマンスが期待でき、携帯電話網のSMSと比較しても同等以上のストレスの無い通信手段である。Kaバンドの衛星通信でもLatencyは短く、アンテナと衛星の位置関係が良ければ安定した双方向通信が期待できる。

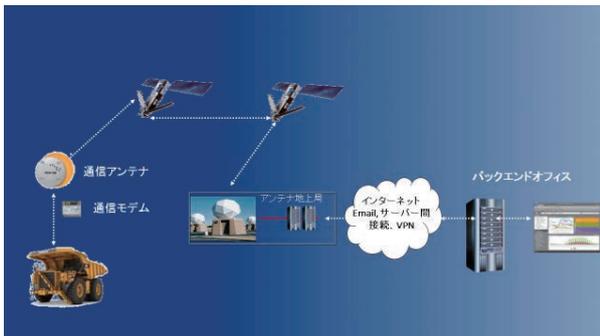


図3 データの流れ

4. 携帯通信と衛星通信の比較

携帯通信は国際ローミングのスキームやM2Mプラットフォームが整備されてきており、現在の建設機械のM2Mでの伝送手段として支持され始めている。一方、建設機械の耐用年数(車体の種類によって異なるが)を考えると、携帯通信ネットワークの各世代のサービス期間は問題を引き起こす場合がある。少し古い話になるが、日本国内の第2世代PDCサービスの停波により、フィールドにある建設機械車両の通信端末の置き換えが必要となり、莫大な対策コストを発生させた。最近では、第2世代GSM

が欧州の複数国において、短い告知期間後にサービスが停波となり、対策に迫られる建設機械メーカーが出てきている。国内携帯通信では、M2M向け3Gサービスを2020年までに停波する意向を示した会社もあり、いま3G通信端末を新車に搭載すると、4年程度で通信端末を置き換える必要性が出ることになる。技術革新のスピードが速く、通信規格を変えながら、コンシューマー向けに通信スピードを上げていくことが必須な携帯通信は、周波数の有効活用のためには仕方がない対処かと思われる。通信衛星自体の耐用年数は10年以上で設計されており、携帯通信のような短いサイクルで通信ネットワークが停波することはなく、新しい世代の衛星は、旧世代時の衛星端末と互換性を保つ場合が多く、フィールドの通信端末を置き換える必要が無いことは衛星通信のアドバンテージだと言える。

5. 将来の展望

アフリカは建設機械のマーケットとして最後のフロンティアであるが、携帯通信のインフラ整備が進んでいない国も多く、衛星通信は重要な伝送手段となる。将来的に通信インフラが整備された後も、建設機械の稼働エリアを考えると、衛星通信は必須となり、携帯通信と共存していくと考えられる。最近では、携帯通信と衛星通信のデュアルモードを採用したメーカーもある。デュアルモードはコスト面から実現していなかったが、近年の通信端末や通信料金のコストの低下から選択肢の一つとなるであろう。インドやタイ等、国の政策で衛星通信の認可が下りていない国もあるが、今後はM2Mのデータ通信については、規制が緩和される可能性もあり、携帯通信と同じく、世界中の国で衛星通信が使えるようになることを期待したい。

(原稿受付：2016年1月13日)

解説

荒掘削から仕上げ整地まで 自動アシスト制御するICT油圧ショベル

著者紹介



おお いわ けん じ
大岩 憲史
株式会社小松製作所開発本部建機第一開発センタ
情報化建機開発グループ
〒573-1011 大阪府枚方市上野3-1-1
E-mail : kenji_ohiwa@komatsu.co.jp

2008年株式会社小松製作所に入社。油圧ショベル開発グループを経て、2014年情報化建機開発グループに配属、現在に至る。ICT油圧ショベルの車体開発に従事。

1. はじめに

全地球測位システム（以下GNSS：Global Navigation Satellite System）の測量技術を活用したICT建設機械は、丁張りや測量回数の削減によって工数低減に大きく貢献している。また、ブルドーザやモータグレーダといった仕上げ整地を行なう建設機械には、作業機を自動で設計面に沿うように制御を行なうシステムが商品化されており、マシンコントロール（以下MC）と呼ばれている。しかし、油圧ショベルはオペレータが車載モニタに表示される作業機位置、設計面位置、それら相対距離等のガイダンス情報を見ながら手動操作で施工するマシンガイダンス（以下MG）のみであった。したがって、特に最終の仕上げ施工の精度については、オペレータの技量に依存する部分が多いという課題があった。本稿では、従来のMG油圧ショベル（図1）に対し、弊社独自のコンポーネントによる油圧制御技術とGNSS測量技術を融合させることで、荒掘削から仕上げ整地まで作業機制御を行ない、施工効率をさらに向上させた革新的な20tクラスのMC油圧ショベルである（図2）について、その機能と特徴を紹介する。

2. 車体システム

2.1 GNSS測量機器

従来のMG油圧ショベルでは、GNSSアンテナはカウンターウェイト上に専用ポールを立てて搭載していた。MC油圧ショベルではオペレータキャブ後方



図1 MG油圧ショベル



図2 MC油圧ショベル

のハンドレールに搭載したことで、作業中に樹木等に接触して破損するリスクを低減し、さらに、着脱時の安全性を向上させた（図3）。



(左) MG油圧ショベル

(右) MC油圧ショベル

図3 GNSSアンテナ

2.2 ストロークセンシングシリンダ

作業機を精度良く制御するには、作業機位置および速度などを正確に検出する必要がある。

MC油圧ショベルは、作業機の油圧シリンダ（ブームシリンダ、アームシリンダ、バケットシリンダ）に弊社製ストロークセンサを装着している（図4）。ストロークセンサは、シリンダロッドの伸縮によりローラが回転し、その回転でストロークを検出する機構となっている。また、ローラの滑りなどによる検出誤差を補正するリセットセンサも装着されている（図5）。これにより、各シリンダのストローク（長さ）、速度を正確に検出し、作業機位置計算および作業機制御を行っている。従来のMG油圧ショベルで利用していた傾斜計と比べ、動的な応答性が良くモニタ上のバケット刃先の揺れが無いので、作業効率が向上する。



図4 作業機の油圧シリンダ

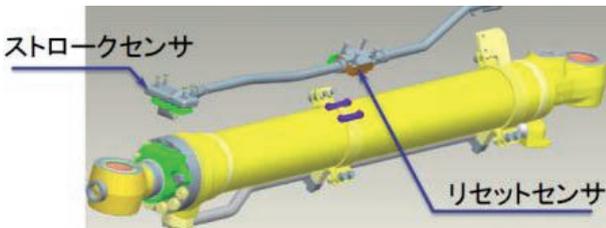


図5 ストロークセンシングシリンダ

2.3 IMU（慣性センサユニット）

正確な作業機位置を検出するには、車体の姿勢角を精度良く検出する必要がある。

車体フレーム上に高精度で車体姿勢を検出できるInertial Measurement Unit（以下IMU）（図8-①）を搭載し、傾斜地作業でも正確に作業機位置および速度を検出することができる。

2.4 電子制御作業機バルブ

各シリンダの動作は、オペレータのレバー操作から油圧式パイロットバルブを通じて、油圧式コントロールバルブを作動させることによってコントロールしている。MC油圧ショベルは、標準の車両と同じ油圧システムを搭載しているが、パイロットバル

ブとコントロールバルブの間にElectric Pressure Control（以下EPC）バルブ（図8-②）を搭載し、パイロット圧を電子制御することで作業機制御を行っている。また、コントロールバルブには、油の流量を決めるスプール位置を正確に検出できるセンサが内蔵されており、制御性能を向上させている。

2.5 電子制御コントローラ

前項で紹介した各コンポーネントの電気信号は、作業機制御時に指令を出力するコントローラ（図8-③）に接続されている。このコントローラが他のコントローラと通信網でつながり、必要な情報を得ることができるようになっている。

2.6 大画面コントロールボックス

施工に必要な設計図面情報、刃先位置、距離や車両状態を表示するディスプレイは、6～7インチが主流だが、MC油圧ショベルでは視認性、使いやすさから12.1インチのものを搭載した（図6）。タッチパネル式となっており、操作も容易となっている。また、3D鳥瞰図表示や表示文字の位置などを工夫し、シンプルな画面構成で必要な情報をわかりやすく表示している。さらに、ライトバーやサウンドガイダンス機能により、レバー操作しながらでも刃先位置を容易に確認できる。インターフェイスの機能向上として、ファンクションキー化および、各種カスタマイズ機能を織り込んでいる。また、車両キーオン/オフでディスプレイも起動/終了し、夜間の作業灯使用時は、ディスプレイの液晶画面が自然減光する機能も備えている。このコントロールボックスはボールジョイントでマウントされているので、オペレータの着座位置に関わらず、視界性を確保できる位置に調整することが可能である（図7）。

2.7 その他

作業機寸法、各種センサの較正および、精度検査は製造工場で行っている。現場では、使用するバケットの寸法をコントロールボックスに入力し、そ



（左）従来のMGディスプレイ

（右）大画面コントロールボックス

図6 コントロールボックス



図7 MC油圧ショベルのオペレータ席

れをファイル形式で登録するのみで使用可能である。

さらにインターネットモデムを接続した場合は、電子基準点の利用や、施工管理システムに接続することで出来形情報や、設計面データの送受信も可能となり、施工進捗の管理もできる。また、設計面データやバケットファイルなどはUSBメモリを用いて、簡単にインストール・ダウンロードができる。

3. 作業機制御

MC油圧ショベルの最大の特徴は、作業機制御によって設計面の掘り過ぎを気にせず、簡単に掘削作業ができることである。

従来のMG油圧ショベルは、コントロールボックス画面に映し出されたガイダンス表示によって、設計面とバケット刃先の位置関係を確認しながら、設計面より掘り込まないように気を付けながら、マニュアル操作していた。

MC油圧ショベルは、従来のMG油圧ショベルと操作自体は変わらずに、作業機制御によってバケッ

ト刃先が設計面に達すると作業機が自動的に停止する。また、微操作をしなくても、アシスト機能でバケット刃先が設計面に沿って動くため、オペレータは設計面の掘り過ぎを気にせず簡単に掘削作業ができる。以下に作業機制御機能の特徴を紹介する。

3.1 自動停止制御

ブーム下げ・バケット掘削／ダンプの操作に対して、バケット刃先が設計面に到達すると自動的に作業機を停止させる。これが自動停止制御である。

コントローラは設計面とバケット刃先の距離、速度や向きを常に計算している。オペレータのレバー操作から検出したパイロット圧を基にバケット刃先速度を計算し、設計面との距離に応じて許容できる速度も計算している。両者の比較によって制御介入が必要と判断した場合には、バケット刃先が許容できる速度になるように、EPCバルブでパイロット圧を減圧して作業機速度にブレーキをかける。最終的に設計面にバケット刃先が到達したときには作業機を停止させる(図9)。

3.2 自動整地アシスト制御

アーム操作時に、バケット刃先が設計面より下に掘り込みそうな場合、自動的にブームが上がり、バケット刃先が設計面に沿うように制御される。これが自動整地アシスト制御である。

自動停止制御と同様に、コントローラは設計面とバケット刃先の距離、速度や向きを常に計算している。オペレータのアーム操作により、バケット刃先が設計面に掘り込むとコントローラが判断した場合、ブーム上げのEPCバルブを作動させてパイロット圧を昇圧させ、設計面にバケット刃先が沿うように自動的にブームを上げる。また、必要に応じてアーム

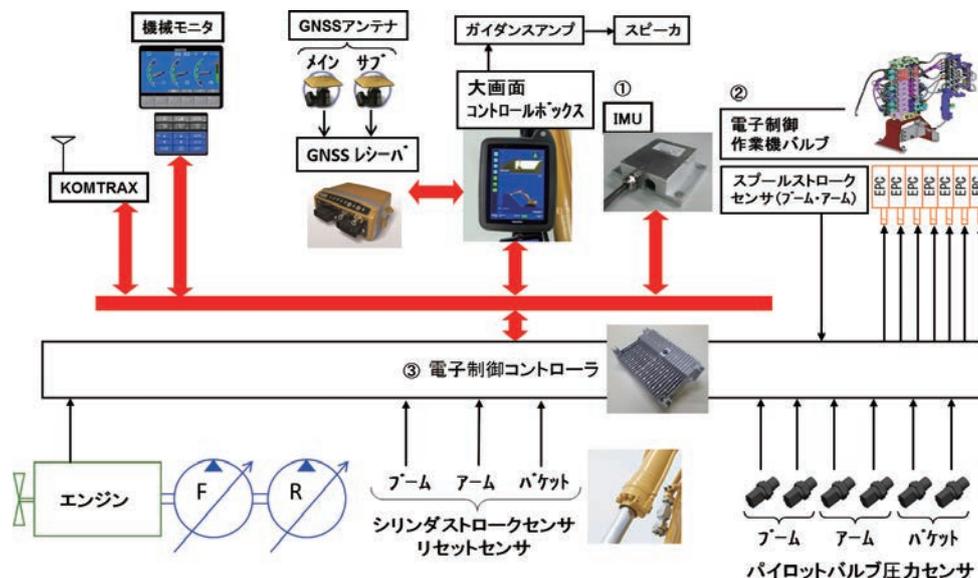


図8 MC油圧ショベルのシステム図



自動停止制御(一例)

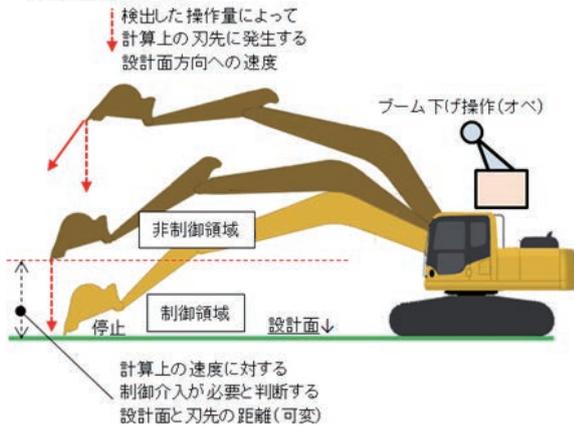


図9 自動停止制御

のEPCバルブを作動させてパイロット圧を減圧し、アーム速度を減速させる。自動整地アシスト制御では、オペレータのアーム操作量に応じて最適な制御を実施するため、荒掘削のような施工精度をあまり気にしない作業から、仕上げ整地のような精度が要求される微操作の作業まで対応している(図10)。

3.3 最短距離制御

バケットの幅・輪郭点の中で設計面にもっとも近い点を自動検出して刃先制御をする。そのため、設



自動整地アシスト(一例)

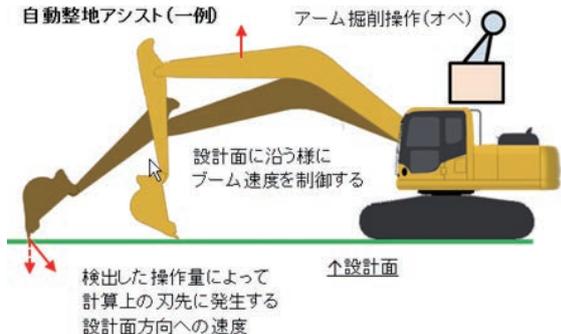


図10 自動整地アシスト制御

計面に正対していなくても掘り込みを気にせずに作業が可能となる。バケット刃先の制御介入位置は、バケット中央と左端、右端に加えて最短距離を選択できる。最短距離を選択した場合は、設計面に最も近い部位で制御介入が実施される。またバケット刃先だけでなく、バケット底面・バケット輪郭に対して制御介入が入るので、刃先仕上げだけでなく底面仕上げ作業も可能である(図11)。



図11 最短距離制御

4. マシンコントロールによる効果

上記の作業機制御と大画面コントロールボックスによるガイダンス表示により、従来の丁張り施工およびMG油圧ショベルと比較して、社内定型モデル作業において作業時間が20～63%短縮され、大幅な施工効率向上が実現できた(図12)。

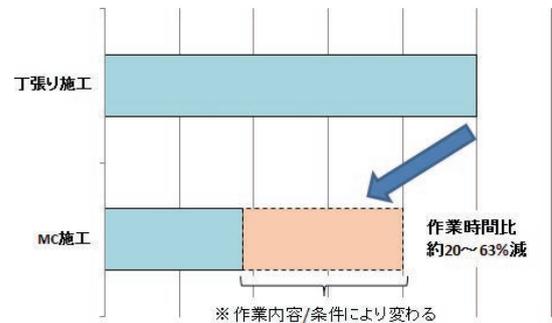


図12 丁張り施工とMC施工の作業時間比

5. おわりに

他社に先駆けて開発したMC油圧ショベルの機能を紹介した。油圧ショベルのマシンコントロールという機能/技術は、オペレータの疲労軽減につながり、ベテランのオペレータはより効率的な作業ができる。経験年数の浅いオペレータもベテランオペレータとのスキルの差を縮めることが期待できる。また、施工効率が向上することで、施工コストの削減や工期短縮など、オーナーにもメリットがある。

(原稿受付：2015年11月24日)

山梨講演会におけるフルードパワー技術研究

著者紹介



よし だ かず ひろ
吉田 和 弘

東京工業大学精密工学研究所
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-R2-42
E-mail : yoshida@pi.titech.ac.jp

1989年東京工業大学大学院博士課程修了，同大学助手，准教授を経て2015年同大学教授，2008年10月～2009年3月米国UCSB客員研究員，2015年7月～9月米国MIT客員研究員，流体マイクロマシン，機能性流体の研究に従事，JFPS，JSME，IEEEなどの会員，工学博士。

1. まえがき

2015年10月17日(土)に，山梨大学工学部において，山梨講演会が行われた．本講演会は，(一社)日本機械学会関東支部および(公社)精密工学会の共催，日本実験力学学会人体損傷評価分科会の協賛である．本講演会の発表は，材料力学15件，表面の科学5件，振動工学3件，応用熱工学20件，加工9件，計測・設計・生産5件，フランジガスケット締結体の力学と密封性能評価16件，ロボット・制御5件，人体損傷評価4件，流体パワーによる駆動と制御9件，合計91件に加え，特別講演1件，中小企業向けセミナー2件である．

本稿では，オーガナイズドセッション「流体パワーによる駆動と制御」(オーガナイザ：法政大学，田中豊教授および著者)における発表の技術的内容について作動流体ごとに報告する．図1に参加者の集合写真を示す．

2. フルードパワー技術の発表内容

オーガナイズドセッション「流体パワーによる駆動と制御」における発表は，油圧関連2件，空気圧関連3件，機能性流体関連，その他4件，合計9件であった．以降，各発表の内容の概要について紹介する．

2.1 油圧関連の発表

眞田および嘉藤は，船舶用ディーゼルエンジンの排ガス特性を改善するため，DDVC (Direct Drive

Volume Control) 方式燃料噴射装置を用いたエンジン回転数制御の特性をシミュレーションにより検討している¹⁾．まず，ACサーボモータで固定容量形ポンプを駆動し燃料噴射を行う本燃料噴射装置について説明している．つぎに，燃料噴射量のPI制御系と船体運動を考慮したシミュレーションモデルを構築している．最後に，シミュレーションを実施し，良好なエンジン回転数制御の特性を明らかにしている．

五嶋らは，油中気泡量とキャビテーションの関係について，気泡除去装置を用いた実験により評価を行っている²⁾．まず，キャビテーションに大きく影響する溶解空気量を気泡除去装置により変化させ，キャビテーション噴流の可視化とコリオリ式流量計によるキャビテーション気泡の流量測定を行う実験装置を構築している．つぎに，実験を行い，気泡除去装置を作動させ溶解空気量が少なくなるときにキャビテーション気泡の量が少なくなること，測定精度に課題があることなどを示している．

2.2 空気圧関連の発表

畠山および藤田は，空気圧サーボ弁の動特性を考慮したエアステージの目標軌道生成手法を提案し，シミュレーションにより検証している³⁾．まず，対象とするエアステージおよびその制御系の数学モデルを構築している．つぎに，空気圧サーボ弁の動特性を考慮した目標値生成手法を提案している．最後に，提案する目標軌道に対するシミュレーションを行い，空気圧サーボ弁のスプール変位の偏差を大きく低減できること，エアステージの変位の偏差への影響は小さいことなどを示している．

高田らは，空気圧シリンダを用いた2足歩行ロ



図1 山梨講演会参加者

ボットを開発し、各足の動作についてシミュレーションおよび実験を行っている⁴⁾。まず、腰および足首に2自由度を有し、ひざ部分を二重関節とした2足歩行ロボットを開発し、2台のPCを用いた制御系を構築している。つぎに、歩行シミュレータを構築し、シミュレーションを行っている。最後に、宙吊りの状態において両足同時駆動実験を行い、その動作を確認するとともに、スティックスリップによる角度誤差の問題点を明らかにしている。

小林らは、マッキベン形人工筋の高精度制御を実現するため、Bouc-Wenモデルを用いた数学モデルのパラメータをニューラルネットワークにより同定する手法を提案、開発している⁵⁾。まず、ヒステリシスを有する人工筋の特性をBouc-Wenモデルを用いてモデル化している。つぎに、そのパラメータを陽に考慮したニューラルネットワークを構築している。最後に、構築したモデルについて学習を行うシミュレーションを行い、若干の誤差はあるものの実現現象を十分に再現できることを明らかにしている。

2.3 機能性流体関連、その他の発表

中川らは、不均一電界印加で活発な流動が生じる電界共役流体ECF (Electro-Conjugate Fluid) を用いた薄形、小形の変焦点形液体レンズを提案し、その主要構成要素であるECFマイクロポンププロトタイプの試作および特性実験を行っている⁶⁾。まず、提案する変焦点形液体レンズの動作原理について説明している。つぎに、ECFマイクロポンププロトタイプを試作している。最後に、試作ポンプの特性を実験的に明らかにし、変焦点形液体レンズ駆動に必要なポンプ構造を示している。

松原らは、ラボオンチップシステムのため、ディフューザ形状の非対称流路とECFマイクロポンプを統合した水溶液ポンピングシステムを提案、開発している⁷⁾。まず、2個の三角柱電極をスリット電極の前後に対向配置し双方向流れを発生するECFマイクロポンプと、チェック弁となるノズル、ディフューザを有する水溶液ポンプ室を接続したシステムを提案している。つぎに、提案するシステムをMEMS技術により試作している。最後に、ECFによるポンピング実験を行い、基本動作を確認している。

吉田らは、作業を行うマイクロマシンの駆動系のため、周波数可変交流圧力源の交流圧力を流体共振回路により選択的に用いた複数アクチュエータシステムのマイクロ化の検討を行っている⁸⁾。まず、提案するシステムの動作原理について説明し、交流圧力源の高周波数化によるマイクロ化を提案している。つぎに、トランスフォーマーにより小形化を図ったマ

イクロ流体共振回路を設計している。最後に、提案するシステムのシミュレーションを行い、その妥当性を明らかにしている。

岡本および浮田は、流体により供給タイミングが異なる化学分析プロセスを行うため、サイホンを用いた遠心マイクロ流体デバイスの提案、試作を行っている⁹⁾。まず、ディスク上の内側と外側のチャンバを流路とサイホンで接続した構造で、遠心力を加えたとき、流路の抵抗の違いで外側チャンバへの供給タイミングが異なるデバイスを提案している。つぎに、流路抵抗の異なる複数のデバイスを配置したディスクを試作している。最後に、特性実験を行い、提案するデバイスの妥当性を確認している。

3. あとがき

本稿では、2015年の山梨講演会におけるフルードパワー技術研究について簡単に紹介した。山梨講演会は毎年10月に開催される。フルードパワー技術研究の発表がますます増えることに期待したい。

参考文献

- 1) 眞田一志, 嘉藤真英: DDVC方式燃料噴射装置を用いた船舶用エンジンの回転数制御, 山梨講演会講演論文集 (CD-ROM), 講演番号306 (2015)
- 2) 五嶋裕之, 坂間清子, 舟知亮祐, 田中豊: 油中気泡量の測定によるキャビテーションの評価, 山梨講演会講演論文集 (CD-ROM), 講演番号307 (2015)
- 3) 畠山径, 藤田壽憲: 空気圧サーボ弁の動特性を考慮したエアステージの軌道制御, 山梨講演会講演論文集 (CD-ROM), 講演番号308 (2015)
- 4) 高田大空, 村山栄治, 川上幸男: 空気圧シリンダを用いた二足歩行ロボットの開発と制御, 山梨講演会講演論文集 (CD-ROM), 講演番号309 (2015)
- 5) 小林亘, 伊藤和寿, 池尾茂, 高橋浩爾: Bouc-Wenモデルに基づいたニューラルネットワークによる人工筋モデルの同定, 山梨講演会講演論文集 (CD-ROM), 講演番号351 (2015)
- 6) 中川卓也, 金俊完, 横田眞一, 枝村一弥: 変焦点形液体レンズを駆動するECFマイクロポンプの検討, 山梨講演会講演論文集 (CD-ROM), 講演番号352 (2015)
- 7) 松原竜也, 金俊完, 横田眞一, 枝村一弥: ディフューザ形状の非対称流路とECFマイクロポンプを統合した水溶液ポンピングシステムの開発, 山梨講演会講演論文集 (CD-ROM), 講演番号353 (2015)
- 8) 吉田和弘, 笹山裕貴, 嚴祥仁, 横田眞一: 流体共振回路を用いた複数アクチュエータシステムのマイクロ化に関する研究, 山梨講演会講演論文集 (CD-ROM), 講演番号354 (2015)
- 9) 岡本俊哉, 浮田芳昭: サイフォンを用いる自己制御型遠心マイクロ流体デバイスの検討, 山梨講演会講演論文集 (CD-ROM), 講演番号355 (2015)

(原稿受付: 2015年12月13日)

会議報告

ASME/BATH 2015に参加して

著者紹介



さなだ かず し
眞田 一 志

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

1986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。1986年4月東京工
業大学助手、1998年横浜国立大学工学部生産工
学科助教授、2001年横浜国立大学大学院助教授、
2004年横浜国立大学大学院教授、現在に至る。

1. はじめに

2015年10月12日(月)から14日(水)の間、米国シカゴで開催された、ASME/BATH 2015 Symposium on Fluid Power & Motion Controlに参加したので、本稿ではその開催概要と発表にみる研究動向について報告する。

このシンポジウムは、バース大学と米国機械学会がそれぞれ別々に開催していた国際会議を、両者の共催として2009年から始められた国際会議で、バース大学と米国内を交互に会場として開催されている。2015年は、米国シカゴでの開催となった。今回の国際会議は、講演申し込み件数が114件、プログラムに登録された論文数は、米国開催としては過去最高の68件であった。会議は、実行委員長長のAndrea Vacca教授の挨拶(写真1)で始められた。



写真1 開式の挨拶 Prof. Andrea Vacca

講演発表の形式は、バース大学でそれまで行われてきた形式を継承している。4~6件の講演発表を続けて行った後、壇上に講演者を集め、まとめて質疑応答を行うものである。会期は3日間であったが、このような講演会の形式をとるため、講演発表は、朝の7時30分から夕方の5時半までプログラムされていた。途中、休憩20分、昼食が1時間とられた。講演論文のpdf版が、参加登録者にWEB配信された。当日、配布された印刷物は、最終プログラムのみであった。会議終了後、講演発表が行われた論文のみプロシーディングとして発行される。

2. 講演発表の概要

講演発表は、全部で12のセッションから構成されていた。Associate Editor制を採用し、査読者の割り当てから採択・不採択の責任と権限が、Associate Editorに付与された。また、講演発表の座長も、担当したAssociate Editorが基本的には担当した。12のセッションテーマは下記の通りである。油圧に関するセッションが多く、油圧シヨベル、ハイブリッド、デジタル油圧に関する内容が多く取り上げられていた。空気圧に関するセッションはひとつのみであり、水圧システムに関する発表は見られなかった。質疑応答の様子を写真2に示す。

1. Hydrostatic pumps and motors
2. Fluid power drives, transmissions and, hybrids
3. Control design methodologies and techniques for fluid power systems
4. Tribology in fluid power components
5. Hydraulic control valves
6. Digital and switched fluid power systems
7. Safety, reliability and testing techniques for fluid power systems
8. Noise and vibrations
9. Novel fluid power components and systems
10. Energy efficiency and consumption of fluid power system
11. Modeling of fluid power systems
12. Pneumatics



写真2 質疑応答の様子

本国際会議では、フルードパワーの学術的發展に顕著な貢献をした個人を表彰してKoski Medalを授与してきた。今回、Monika Ivantysynova教授にKoski Medalが授与された。教授は、米国CCCFPで中心的な活躍をされ、日本で開催される国際シンポジウムにも数多く参加されている。Monika教授による受賞記念講演が行われた。教授は、長年、油圧ポンプ・モータの研究をされ、数多くの論文を発表されている。記念講演では、教授が特に最近研究されているDisplacement Controlによる油圧ショベルの油圧回路についてプレゼンテーションされた。残念ながら、講演概要が配布されなかったため図を示すことはできないが、油圧ショベルのブーム、アーム、バケット、ならびに旋回のシリンダやモータごとに油圧ポンプを配置し、それらに共通する駆動軸をエンジンで駆動する油圧回路である。アクチュエータごとに油圧ポンプが設置されるため、制御しやすく、エネルギーロスを低く抑えられる可能性があり、注目されている。記念講演は予定時間を延長し、油圧技術にかける教授の熱い思いが伝わってきた。ちなみに、表彰の名前にあるKoski氏は、長年、米国、欧州における油圧技術・学術の發展に寄与された起業家であり、本賞は氏の功績をたたえて設けられたとお伺いした。

3. おわりに

今回の国際会議の会場は、写真3のホテルであった。ご覧の通り、デザイン性の高い建築として有名であり、ガイドブックにも取り上げられている。その他、シカゴには有名な高層建築物が多く、目を見



写真3 講演会場 Raddison Blu Aqua Chicago



写真4 シカゴの街路風景

張るような景色（写真4）が展開されている。

今回、著者は、2017年に福岡で開催を計画している本学会主催の国際シンポジウムの実行委員長を勤めていることから、会議のパンフレット（Preliminary Announcement）を持参し、参加者に直接お渡しして、参加を呼びかけた。前回の松江をはじめとした国際シンポジウムに多数参加された方々と直接お会いしてお話しできたことは、大変貴重な機会であった。

来年は、イギリスのバース大学が開催地となる順番で、会期は2016年9月7日～9日を予定していることがアナウンスされた。

（原稿受付：2015年11月7日）

トピックス

特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム …特許文献を見る1

著者紹介



き はら かず ゆき
木原和幸

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

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

1. はじめに

前稿までに国際特許分類（IPC）および日本における特許の分類の大きな概要を紹介し、具体的な事例として、低騒音、高圧化、耐コンタミ性に関する特許文献を検索する方法を示した。さらに、アクチュエータと流体回路に関連して、わかりにくい点を示した。本稿では実際の特許文献にどのようなFI、Fタームが付与されているかを以下で紹介する。

2. 特許文献の選び方

特許文献は特許情報プラットフォーム¹⁾のテキスト検索画面からキーワード検索を行うか、特許・実用新案分類検索画面からFI、Fターム検索を行うことで見出すことをこれまで紹介してきた。テキスト検索のキーワードを入力する検索項目を選択するが、検索項目は表1に示す多くの項目がある。前稿までは類似文献を見出すために、1の要約+請求項を主に選択していた。たとえば、特定の発明者の特許文献を見出したい場合は12の発明者を選択して、キーワードに氏名を入力すればよい。ただし、同姓同名者がいる場合は異なる特許文献も混在することになる。その場合は10の出願人も選択すると特許文献の混在を防ぐことができる。出願人は一般的には企業名、大学名である。表2に一例を示すが、具体的な発明者、出願人は示していない。

このように目的に合わせて検索するのがよい。検索し、選んだ文献の例を以下で紹介する。

表1 検索項目

1	要約+請求の範囲	19	公告番号
2	要約	20	公告日
3	請求の範囲	21	登録番号
4	発明の名称	22	登録日
5	公報全文	23	登録公報発行日
6	IPC	24	公表番号
7	FI	25	公表日
8	Fターム	26	再公表発表日
9	ファセット	27	公報発行日
10	出願人/権利者	28	審判番号
11	申請人識別番号	29	国際出願番号
12	発明者	30	国際出願日
13	代理人	31	国際公開番号
14	審査官	32	国際公開日
15	出願番号	33	優先権主張国・番号
16	出願日	34	指定国
17	公開番号	35	公開/国際公開日
18	公開日		

表2 キーワードによる検索

発明者	AB
出願人/権利者	CDEFG

3. 特許文献1

最初に実用新案文献を示すが、現在は特許と実用新案はかなり違うが、かなり前は権利の期間が少し変わる程度であったので、特許と実用新案も同等であった。ここに紹介するのは実公平6-42148アンブ付比例電磁弁であり、実用新案登録請求の範囲は下記である。

【実用新案登録請求の範囲】

【請求項1】弁本体と、その側部に係止されるソレノイドと、弁本体の上部に取付けられ、指令信号に基づいて該ソレノイドへの比例制御信号を供給する駆動アンブ回路が搭載されるプリント基板を収納するアンブ部とよりなるアンブ付比例電磁弁において、該アンブ部を弁本体の上部からソレノイドの上部にわたりソレノイドの端部近傍まで延長した構造

にすると共に、該プリント基板を単一構成にし、該アンプ部の底板に垂直に保持させたことを特徴とするアンプ付比例電磁弁。

図1に代表図を示す。

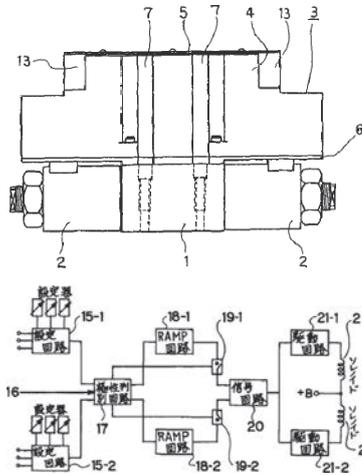


図1 外観と電子回路ブロック

付与されているFIは下記3つである。

- ①F16K31/06, 305@B
- ②F16K31/06, 310@Z
- ③H01F7/18@V

パテントマップガイダンス (PMGS) を参照すると、①と②はテーマコード3H106の磁気駆動弁である。

F16K31/06 磁石使用

F16K31/06,305 部品, 細部

その下位がF16K31/06, 305@Bである。末尾のアルファベットは分冊識別記号であり、表3に示す。

…F16K31/06, 310 駆動回路

末尾のアルファベットは表4に示す。

③のテーマコードは5E065の電磁石の駆動回路である。

H01F7/18 所望の動作特性を得るための回路装置

表3

A	ソレノイドハウジング	M	弁座〔スリーブ〕
B	リード線取付け部分	N	シール
C	ソレノイド部分	P	バイパス通路
D	ソレノイドコイル受け〔ヨーク〕・ボビン	Q	消音部分
E	固定鉄心〔コア部分〕	R	ロック機構
F	固定鉄心取付けナット	S	中立位置復帰機構
G	チューブ〔パイプ〕	T	ハイドロロック防止機構
H	緩衝部分	U	冷却手段
J	可動鉄心	V	バランス機構
K	弁ハウジング	W	ロータリー形機構
L	弁	Z	その他

表4

A	自動車用	E	水系装置用
B	油空圧装置用	F	ガス装置用
C	・油圧装置用	Z	その他
D	・空気圧装置用		

例. 緩動作用, 巻線の順序励磁用, 巻線の高速度励磁用

補足説明としてアーマチュアを持つ電磁石への駆動回路と記載されている。

H01F7/18@V 用途に特徴があるもの

末尾のアルファベットは、他に18種類あるがここには示さない。

請求項の内容から付与されているFIはほぼ適切と判断できるが、たとえばF16K31/06, 310@Zは末尾はZでなく、Cなどでもよいと考えられる。ただし、請求項から何を選ぶかは難しいであろう。

4. 特許文献2

もう一つの特許文献として特許第3175060号パイロット操作形の電磁式圧力制御弁を紹介する。なお、請求項1のみを示す。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力電流に対応した推力を発生してアマチュアを駆動するソレノイドと、バネによりポペットをシートに接触させてパイロット流路を開閉するパイロット弁と、該パイロット弁のバネに接触しパイロット流体の圧力の変化により摺動孔内を摺動するプランジャと、該プランジャに連結され一定圧のパイロット流体が供給されるノズルおよび該ノズルに対向し前記アマチュアに連結されたフラップとよりなるノズル・フラップ機構とを備え、該ノズル・フラップ機構のノズル背圧をプランジャに帰還して前記ソレノイドで変位するフラップに追従させて前記パイロット弁を介して主弁を開閉して主回路流体を制御することを特徴とするパイロット操作形の電磁式圧力制御弁。

図2に代表図を示す。

付与されているFIは下記である。

- ①F15B13/043@N

テーマコードは3H002のサーボモータ(2)である。

F15B13/043 電氣的に制御されるパイロット弁をもつもの

その下位がF15B13/043@Nである。

末尾のアルファベットは分冊識別記号であり、表5に示す。

名称のみではイメージできないものが多いと考えられるが、補助説明として、C, D, F, G, H, J, K, L,

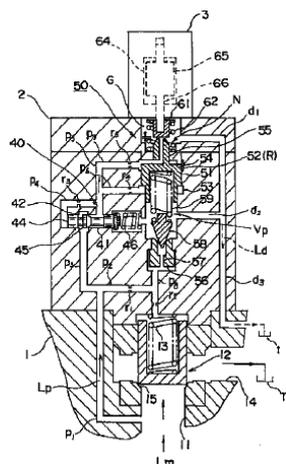


図2 代表図

表5

A	サーボ弁	H	追従方式
B	増幅段に特徴のあるもの	J	バネ平衡方式
C	噴射管に特徴のあるもの	K	油圧平衡方式
D	ノズル・フラップに特徴のあるもの	L	負荷流量フィードバック方式
E	流量制御サーボ弁	M	負荷圧力フィードバック方式
F	カフィードバック方式	N	圧力制御サーボ弁
G	位置フィードバック方式	Z	その他のもの

M, Nは概略図が記載されているので参照することができる。

付与されているFタームは下記である。FIは表示した文献の【FI】の項目をみることにより確認できるが、Fタームは表示した文献より、上部右側の文献単位PDF表示、経過情報、審査書類情報の中から経過情報を選択する。その表示画面の上段左側に基本項目、出願情報、登録情報があるので、出願情報を選択する。その表示画面にFタームの記載がある。

BA02, BB06, BC01, BD01, BE01が付与されている。表6にFターム表を示す。

本特許文献を【発明の詳細な説明】から判断するとパイロット駆動部に特徴がある比例電磁式リリーフ弁と判断できる。請求項の内容もパイロット駆動部が主なポイントのためテーマコード3H002のサーボモータ(2)へ付与されたと判断する。ただし、テーマコード3H059安全弁1(リリーフ弁)にも付与されてもよいと考える。

5. おわりに

本稿で紹介した特許文献は比例電磁式制御弁であ

表6 3H002のFターム

BA00	BA01	BA02	BA03	BA04	BA05	BA06			
制御弁の種類(その他)	測量方向制御弁(流量制御サーボ弁)	圧力方向制御弁(圧力制御サーボ弁)	分流集流弁	優先型	等量型	分流比可変			
BB00	BB01	BB02	BB03	BB04	BB05	BB06	BB07	BB08	BB09
主弁操作手段(その他)	電気・磁気駆動(トルクモータ)	流体圧駆動	ノズル・フラップ	噴射管	流量制御弁(絞弁)	圧力制御弁	多方弁	ON・OFF弁	機械式駆動(手動)
BC00	BC01	BC02	BC03	BC04	BC05	BC06	BC07		
主弁平衡手段(その他)	バネ平衡	油圧平衡	追従	カフィードバック	位置フィードバック	負荷流量フィードバック	負荷圧力フィードバック		
BD00	OD01	BD02	BD03	BD04	BD05	BD06	BD07		
主弁の構造(その他)	シート弁(ポペット)	すべり弁	ロータリー型	スプール型	油圧モータで構成	ノズルフラップ(フラップ)	噴射管		
BE00	BE01	BE02	BE03	BE04	BE05	BE06	BE07	BE08	
特徴部分(その他)	主弁操作手段の構造	主弁構造	エロージョン防止(キャッチャー防止)	駆動信号	パルス幅変調	ディザ信号	中立点調整	ゴミ対策・故障対策	

るが、特許文献1は実用新案であるので、Fタームは付与されていない。次稿以降、フルードパワーにおける異なる分野の特許文献を紹介する予定である。

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¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾参照されたい。

参考文献

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

(原稿受付：2015年11月29日)

研究室紹介

芝浦工業大学 川上研究室

著者紹介



かわ むら はや と
川村隼人

芝浦工業大学大学院理工学研究科
機械工学専攻（修士課程1年）
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区大字深作307番地
E-mail : md15025@shibaura-it.ac.jp

2015年、芝浦工業大学システム理工学部機械制御システム学科を卒業し、同校専攻科に入学。川上研究室では、高速電磁弁を用いた制御性能に関する研究に従事。

1. 芝浦工業大学の紹介

1927年に有元四郎によって本学の前身である東京高等工商学校が設立され、1949年に芝浦工業大学が設置された。2014年には私立理工系大学で唯一、文部科学省が創設したスーパーグローバル大学に選定された。

現在、芝浦工業大学には工学部、システム理工学部、デザイン工学部の3学部が存在し、1, 2年の全学部は大宮キャンパスで講義を受けている。3, 4年になると、システム理工学部の学生は引き続き大宮キャンパスで過ごす、工学部の学生は豊洲キャンパス、デザイン工学部の学生は芝浦キャンパスに移ることになる。

システム理工学部は、機械制御システム学科、電子情報システム学科、環境システム学科、生命科学科、数理科学科の5つの学科で構成されており、私達の研究室は機械制御システム学科に所属している。

機械制御システムでは、社会の根幹をなす高機能ロボット、次世代自動車、クリーンエネルギーシステムなど、人や環境に係わり、多数の要素や複雑な動作を伴う機械システムの開発・設計・製作のための機械工学の基礎を、その設計・動作全体を最適化する原理や思考（システム工学）とともに学ぶことができる。それにより、人間・社会・地球に優しい技術を開発する技術者の育成を目指している。

2. 研究室の紹介

川上研究室では主に空気圧・油圧・機能性流体を

用いた研究を行っており、現在は空気圧シリンダを用いたハンドマニピュレータの開発や制御性能の検討、空気圧管路内の流動解析、MR流体を用いたダンパの開発などさまざまな研究を行っている。

図1に平成27年度の研究室メンバーを示す。教授の川上先生のもとに研究協力者1名、修士課程10名、学部生10名が在籍する。

本研究室には、学部生、院生が所属している部屋の他に実験室があり、一人一人が研究テーマを持ち、研究を行っている。



図1 平成27年度の川上研究室メンバー

3. 研究テーマの紹介（空気圧を中心として）

3.1 空気圧マニピュレータによる制御性能に関する研究

空気圧アクチュエータの中で代表的な要素である空気圧シリンダを用いて、さまざまなデバイスの開発を行っている。人や対象物を傷つけない高い構造的柔軟性を有するハンド型多関節マニピュレータの開発もその一つである。開発したハンドマニピュレータを図2に示す。

本研究では、ロボット工学に基づき順運動学と逆運動学をベースにマニピュレータ指先の軌道と各関節角度の関係を定式化し、また、マニピュレータの各関節に搭載された空気圧シリンダに対して周波数応答実験をおこない制御系設計用のノミナルモデルを導出し、PIDコントローラを設計して指先軌道の制御を行った。モデルベースでコントローラを設計

し、マニピュレータ指先の位置制御の可能性を検証していたのだが、シリンダが低速で駆動するときに発生するスティックスリップ現象による追従特性の劣化の問題が生じてしまった。

現在、スティックスリップ現象の主な原因となる非線形摩擦をLuGre摩擦モデルを用いて同定し、そのモデルをシミュレーションに組み込むことで制御系設計の信頼性向上を狙う。また、単純適応制御を適用し位置制御の性能向上の検討を行っている。

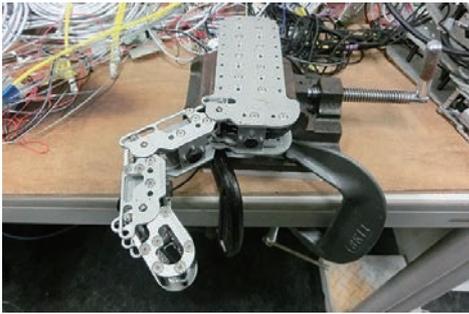


図2 開発したハンドマニピュレータ

3.2 空気圧シリンダを用いた二足歩行ロボットの開発と制御

現在、二足歩行ロボットは企業の宣伝や一般向けのホビー用品として開発されているが、その中でも二足歩行ロボットの研究は盛んに行われている。特に歩行という分野ではZMPなどの理論を用いることで簡単にプログラミングが行えるようになった。またこのような歩行理論に加え、空気圧式アクチュエータを併用することで、空気の圧縮性を利用したダイビング効果や瞬発的な動作を応用した歩行の研究も行われている。

たとえば、渡邊、藤本らは空気圧人工筋を用いた二足歩行ロボットを開発し、弁のON/OFFで人工筋を伸縮させ準受動歩行を可能にした¹⁾。

我々は、関節に空気圧シリンダを組み込み、リンク機構と組み合わせることでシリンダの出力をダイレクトに伝達するロボットの開発を行っている。最終的には空気の圧縮性を利用し、人間らしい瞬発的で柔らかな動きを実現することを目的とする。

本研究では、我々が開発した二足歩行ロボットにおいて、歩行シミュレータにより検討した各関節の目標軌道を用いてシミュレーションと実験により歩行の制御機能を検討している。

3.3 CFDを用いた空気圧管路系の流量特性に関する研究

空気圧管路は空気圧システムを構成する重要な要素の1つである。最近では、空気圧機器の小型化、内部構造の集積化、製造加工コストの削減を目的と

して、平面に溝を加工し上部板で密閉することで、流路を形成するため、断面形状が円形でない事例が多く見受けられる。この場合、空気圧機器に組み込まれた状況下での空気圧管路の流量特性を把握することが必要であるが、実際には実験的にこれらの特性試験を行い、流量特性を導出することは難しい状況となっている。

本研究は、空気圧管路の流路として広く使用されている円形断面流路や、前述したような円形断面以外の断面形状の流路に対して、3DCADを使用して流路モデルを構築し、それらの流路断面形状に対して、数値流体力学(Computational Fluid Dynamics)を活用した流体解析を行い、管路内部での現象や流動状況を3次的に明らかにすることを目的としている。

3.4 パルスエア発生機構の開発検討

現在、多くの分野において、微粒子の付着による表面汚染を原因とする品質の低下が問題となっている。有効な微粒子除去方法として、エアを断続的に噴射するパルスエアを用いた方法が挙げられる。パルスエアは、連続エアブローと比較すると空気消費量低減、省エネルギーといった点で優れている。そのため、製品に付着したゴミの除去や洗浄後の水切りなど、工場のブロー行程での使用が期待されている技術である。また、粒子除去率を向上できると報告されている^{2),3)}。しかし、パルスエアの除塵メカニズムは明確にされておらず、設計手法の確立が期待されている。

本研究では、除塵メカニズムに影響を与える要因について明確化する。さらに、効率よく連続パルスエアを発生する機構について検討し、新しい除塵ノズルの開発を目指している。

3.5 サイクロン型ドレンセパレータの案内羽形状の検討

現在、多くの場所で使われている空気圧機器では、管路内で湿分を持った常温の空気の圧縮、圧送が行われ、それが配管内で冷却されることにより生じるドレン(水滴)が問題となっている。このドレン発生により、錆の発生などによる機器の効率低下や作動トラブルが多く報告されている⁴⁾。空気供給ラインには水分除去が不可欠であり、その中の一つとして気体液体を分離する機器であるドレンセパレータを設置することが対策として挙げられる。

本研究では、数あるドレン分離方法の中からサイズが小さくフィルタ不使用によりメンテナンスフリーであることなどの利点があるサイクロン型ドレンセパレータの性能向上を目的とし、主要部品である案内羽形状にバイオメティクスの観点から検討を加えている。

3.6 高速電磁弁を用いた制御性能に関する研究

私は大学2年生のときに工場などの製造現場に空気圧システムが用いられていることを知り、興味を持った。そして、空気圧を取り扱っている本研究室に配属を希望し、このテーマの研究を行っている。

現在、工場などの製造現場で用いられる空気圧システムにおいて、比例制御弁やサーボ弁は制御性の良い点からシリンダの位置制御を行う際に使用されていて、シリンダの速度制御を行う際はスピードコントローラが使用されている。しかし、比例制御弁やサーボ弁は高価な点や空気漏れが生じるという欠点が存在し、スピードコントローラはマニュアル操作であるという欠点が存在している。

本研究では、切換え制御に適し、安価に運用することができる高速電磁弁に着目した。そして、ポート数の違う高速電磁弁を同時に用いて、制御方式を工夫することでシリンダの位置制御およびシリンダの速度制御を行うことを目的としている。

具体的な研究内容としては、まず、4ポートの高速電磁弁と2ポートの高速電磁弁を用いて空気圧回路を構成した。4ポートの高速電磁弁は、シリンダのヘッド側とロッド側への空気の供給を切り替える役割であり、2ポートの高速電磁弁は、シリンダのヘッド側とロッド側からの空気の排気を行う役割である。制御方法としては、4ポートの高速電磁弁は、単純なON/OFF制御を行い、2ポートの高速電磁弁は、PIDコントローラからの出力をパルス波に変換し、PWM制御を行っている。それにより、シリンダの位置制御および速度制御が可能になると考えている。今後は他のコントローラを用いることで制御系を改善して制御性能の向上を検討していきたいと考えている。

4. 研究室の行事および川上先生について

4.1 行 事

川上研究室では毎年多数の行事が開催されている。

年間の行事の中で大きな行事としては、夏に行うゼミ合宿と冬に行うスキー合宿がある。夏のゼミ合宿では、共同研究先の企業の工場見学や観光などを行う。今年度は2泊3日で河口湖に行き、魚釣りをし、富岳風穴・鳴沢氷穴を観光した。また、宿泊先のコテージにてBBQを行った。先生方と親睦を深めることができ、気分転換にもなった。図3に今年度のゼミ合宿の写真を示す。冬のスキー合宿は、来年度から入る新しいメンバーも参加し、一緒にスキーを行い、親睦を深めている。

ほかの行事としては、春に花見、年末に忘年会、

ゴールデンウィークには過去に川上研究室に所属していたOB・OGの方々との懇親会がある。また、定期的に研究室での料理企画などがある。



図3 ゼミ合宿

4.2 川上先生のこと

川上先生は、とても温厚な性格で優しい先生である。先生は講義や会議などで忙しいのにもかかわらず、私達との時間を確保し、私達一人一人に対して研究内容に関する過去の文献の提供など状況に応じたサポートをしてくれている。また、研究活動に対しては、学生の自主性を尊重し、質問などをすると広い知見でアドバイスし、大学内だけではなく大学外での研究などさまざまな可能性を示してくれる。ほかにも、ゼミ合宿では、学生よりも朝早く起き、朝ごはんを用意してくれたりして、多くの学生達から親しまれている。

5. おわりに

川上研究室は各研究テーマが魅力的であり、本研究室に配属できたことを心から嬉しく思っている。今後も充実した研究ができるように日々精進したいと思っている。

参考文献

- 1) 渡邊裕之, 藤本真作: 扁平足を有する2足歩行ロボットによる3D準受動歩行, ICAMEchS2012, p. 1, (2012)
- 2) 岡崎峰也, 吉田幹生, 押谷潤, 後藤邦彰: 高速気流による表面付着微粒子の除去に対するパルスエアの効果, 粉体工学会誌Vol. 45 No. 5, pp. 297-304, (2008)
- 3) 並木則和, 大谷吉生, 江見準: パルスエアジェットによる各種表面からの微粒子の除去—除塵パラメータによる粒子除去率予測—, 化学工学論文集, pp. 86-91, (1997)
- 4) 仙田良二: 生産技術者のための電気・油・空気圧知識講座No. 4—空気圧を使いこなそう—, 株式会社工学研究社, p. 106, (2000)

(原稿受付: 2015年12月7日)

展 望

60周年を迎えての抱負・学会への期待

著者紹介



ふじ わら たつ や
藤 原 達 也

(一社)日本フルードパワー工業会専務理事
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8
機械振興会館311号

E-mail : fujiwara-tatsuya@jfpa.biz

1954年東京理科大学工学部物理学科卒、日本国有鉄道、経済産業省勤務を経て、2013年から現職、日本フルードパワーシステム学会会員

1. はじめに

(一社)日本フルードパワー工業会(以下工業会)は、今年創立60周年を迎える。工業会は、「もはや戦後ではない」と言われた昭和31年の2月に油圧機器メーカー13社によって設立された「油圧機器工業会」、また同年4月に自動制御機器メーカー9社によって設立された「日本自動機器工業会」を母体とする。その後、日本自動機器工業会の空気圧機器メーカーが「日本空気圧機器工業会」として分離独立し、昭和61年両者が合併して、(社)日本油空圧工業会となり、平成11年にそれまでの油圧、空気圧分野に加えて、水圧分野を活動範囲に加え、(社)日本フルードパワー工業会に改称し、文字通り油圧、空気圧、水圧機器メーカーの集まる国内唯一の工業会として、現在に至る。

フルードパワー産業は、高度成長期には「暁の産業」と言われ、年率約30%成長した時代から、ドルショックや石油危機、そしてリーマンショックなどの洗礼を受けながらも、新技術の開発や海外展開などの施策を打ち、現在約7千億円の売上規模の産業となっているところではあるが、世界経済の一層のグローバル化の進展によって、さまざまな国、地域のリスクなどに大きく影響される業界となっている。今後とも成長、発展していくためには、このようなグローバル化した社会・経済のさまざまな動きに対応していく必要があり、新技術への挑戦、一層の生産効率の向上、新規市場開拓などの持続的活動が求められている。そのためには、産学連携の研究

開発の推進、工場の革新、女性やシニアの方々の働きやすい環境づくりなどが課題となっている。

(一社)日本フルードパワーシステム学会(以下学会)とは、主に技術委員会の産学連携事業として、さまざまな面から協力をいただいている。今回創立60周年を迎えることから、これまでの工業会活動を振り返りながら、学会活動への期待等を述べる。

2. 工業会の活動

2.1 事業紹介

当工業会には、需要対策、国際交流、標準化、技術調査、広報・PR、中小企業、振興・PL対策、その他事業の8つの事業があり、それぞれ委員会等で活動を行っている。この中で学会と特に関係の深い事業は、標準化および技術調査事業である。

標準化事業では、学会の先生方と企業がISO/TC131にてフルードパワーの標準化作業を行っている。また、技術調査事業の中では、産学連携懇談会を開催しており、産学連携で行うと良いこれからの技術開発テーマやその体制・方法などを議論している。また、次世代の人材を育成していくことも、産学連携事業の重要な柱と位置づけており、フルードパワーの技術やアプリケーションなどを知ってもらうために、工業高等専門学校や大学に「出張講義」と称して、企業の技術者を派遣し授業を行っている。また、フルードパワーの母機産業がどのような考えで製品を作ろうとしているのかを知ることは、工業会メンバーだけでなく、大学の先生方にも有意義でないかとの考えから、学会と協力して「技術講演会」を年2回程度行っている(表1)。

2.2 最近の産学連携事業事例

2.2.1 水圧技術(ADS: Aqua Drive System)の国際標準化事業

ADSは、作動流体として水を使ってエネルギーを伝えるシステムであり、油漏れがないなど衛生的な状態を維持することが可能なため、食品、医療、介護分野への導入が期待される。しかし標準化がされていないために、システムを構成する部品ごとの接続・互換性等の確保や、機能の規格整備が進まず、

表1 JFPA主催 技術講演会講演一覧

回	テーマ	講師
第1回 (平25年7月)	半導体およびディスプレイ製造装置の技術動向	東京エレクトロン九州㈱ 技術開発センター室長 木村義雄様
第2回 (平25年11月)	鉄道車両におけるフルードパワー	(公財) 鉄道総合技術研究所 車両構造技術研究部 鴨下庄吾様
第3回 (平26年7月)	農業機械における最新技術動向	㈱クボタ油機・制御部 部長 中谷安伸様
第4回 (平27年2月)	トヨタにおける少, 省エネ活動	トヨタ自動車㈱ 原動力技術室 主査 竹田吉徳様
第5回 (平27年8月)	油圧と電動を組み合わせた双腕型ロボットの開発	㈱東芝 生産技術センター メカトロソリューション推進部 研究主幹 寺井藤雄様

その普及が阻害されている。

工業会では、平成27年度から、国の委託を受けて、大学（足利工業大学、神奈川大学、信州大学、豊橋技術科学大学、横浜国立大学）の先生と連携して、ADSの基礎データを取得する実験と規格案の作成を開始した。これらの成果は平成29年度の学会主催の国際シンポジウムで発表する予定である。

なお、水圧技術に関連する工業会活動は、平成10年（1998年）の水圧研究委員会（産学連携方式）を皮切りに、平成11年には水圧部会を設定して、各種受託研究、海外の水圧動向調査、技術資料の発刊、各種展示会への出展などを勢力的に行っている。国際標準化事業は、長期に亘るこれらの活動の延長線上で事業化が始まったものである。

2.2.2 出張講義

技術委員会では、若手技術者向けフルードパワー技術の手引書として「フルードパワーの世界」を企画・発刊し、全国の高等専門学校や工業高校、フルードパワー技術の研究室に配布している。アンケート調査を行ったところ、いくつかの学校から詳細説明をして欲しいとの依頼があり、その中から平成27年9月日本航空大学校に7名の講師を派遣して、油圧、空気圧併せて8テーマで講義を実施した。参加学生数は、航空工学科、航空整備技術科約160名で、多くの質問も出て、フルードパワー技術の面白さに気づいてくれた様子でもっと勉強したいとの声も多かった（図1）。

この詳細は、工業会機関誌「フルードパワー」2016年1月号に掲載されている。今後とも、他の学校を対象に進めていきたい。

3. 60周年を迎えて、記念事業の実施

フルードパワー産業が、今後とも成長、発展してい



図1 日本航空大学校における出張講義（質問風景）

くためには、グローバル化した社会・経済のさまざまな動きに対応していく必要があり、新技術への挑戦、一層の生産効率の向上、新規市場開拓などの持続的活動が求められていることは前述した。

工業会が今年創立60周年を迎えることから、これまでの活動を検証し今後の活動に資する目的で、今年5月19日に、60周年記念事業を以下3本の柱で行う予定である。

①記念誌の発行：この10年間の工業会の活動やフルードパワー技術の変遷などをまとめるとともに、「グローバル化が進むフルードパワー業界の一層の発展のために何をすべきか」という観点で、産学官の有識者にお話をいただき掲載する。

②講演会の実施：最近話題となっているIoTを、フルードパワー産業がどのように活用していくべきか、また、産業を変革していくかという題目で専門家からお話を聞く。

③「デジタルブック」の制作：これまで工業会が学生や新規採用者向けの教材として作成した「フルードパワーの世界」に、動画などを埋め込んで理解しやすくした「デジタルブック」を制作し、出張授業等を通じて将来の人材育成を目指す。

その他、業界の活動に功績のあった方々への感謝を込めた表彰などを検討している。

4. 工業会の目指すべき方向と学会への期待

4.1 工業会の目指すべき方向

フルードパワー産業には、これから大きな変化の波が押し寄せると思われる。グローバル化は、世界の動向がさまざまな産業に大きな影響を、それも急激に与える可能性が高い。IoTやインダストリー 4.0 の話題は事欠かない。また、我が国は、ロボットや航空宇宙分野のような、すそ野が広く高付加価値産業への転換を進めている。このようにニーズが変われば、製品もそれに対応していくことが生き残るための条件である。工業会としては、会員が、このような変化変革への対応への努力やADSのような新しい分野の開拓の手伝いをしていくことが、今後の大きな業務となると考えている。

4.2 学会への期待

学会と工業会は、いわゆる「車の両輪」である。変化に対応していくには、技術力を磨いていかないといけない。依然として、小形化、省エネ化、高機能化の要求とそれに反する形ではあるが、コスト低減技術も求められている。ハイブリット化の要求もある。

これらに対応していくには、材料、トライボロジー技術など基礎的な物性分野、母体となる機構、構造などの機械設計分野、高度なIT技術を活用した制御技術などが求められ、ぜひ、この基盤基礎技術を研究されて、産業界に転嫁させていただきたい。もちろん、産業界も努力することを前提として、である。

5. おわりに

フルードパワーは、アクチュエータを有する機械の基幹技術であるが、電動を使う割合が増えてきているのは事実である。我が国の機械産業をより発展させていくためには、フルードパワー、電動のそれぞれの長所、短所を理解し、最適にシステム化していくことが肝要であろう。そのためには、フルードパワー、電動の両方がわかる技術者が必要となる。

工業会としては、学会はもとより各分野のセッションと協調しつつ、このフルードパワー業界をより発展させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) JFPAホームページ：<http://www.jfpa.biz/>
- 2) ADSブログ：<http://aquadrive1999.blog129.fc2.com/>

(原稿受付：2016年1月22日)

企画行事

平成28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

1986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。1986年4月東京工業大学助手、1998年横浜国立大学工学部生産工学科助教授、2001年横浜国立大学大学院助教授、2004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

1986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2000年足利工業大学講師、2001年同大学助教授、2007年同大准教授、2009年同大教授、現在に至る。

1. はじめに

企画委員会は、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18名、企業側委員15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等の学会の集會事業の企画立案および実施を担当する。

本稿では、平成27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28年度実施予定の企画行事の内容を紹介する。

2. 平成27年度行事まとめ

平成27年の春季フルードパワーシステム講演会は、主査を赤木委員（岡山理科大）、副査を高岩委員（徳島大）、製品・技術紹介セッションの主査を加藤（猛）委員（(株)コガネイ）としたワーキンググループ（以後、WG）で平成27年5月28日(木)、29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、47件の講演（製品・技術紹介セッション8件を含む）が行われた。参加者は128名であった。なお、この内13名は後述する春季講演会併設セ

ナーと併せた登録であったであった。

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。当該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した。本セミナーは主査を内堀委員（宇部高専）、副査を加藤（友）委員（福岡工大）としたWGで春季講演会の前日である27日(木)に機械振興会館を会場として「フルードパワーにおける故障予知技術」というテーマで実施し、参加者は34名であった。

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3日(月)～7日(金)、会場：足利工業大学）への協賛を実施した。本学会とフルードパワー技術の紹介は、8月4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：小学校3年生～6年生の生徒約60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ーブロック線図とパワーフローー」が8月25日(火)に機械振興会館で19名の参加者を得て実施された。

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11月6日(金)に機械振興会館を会場として実施された。「アクアドライブシステムの産業利用の現状」というテーマでアクアドライブシステムが具体的に利用されている産業分野の現状と課題を理解するとともにさらなる応用を考える機会を提供することを目的として5件の講演が行われた。参加者は38名であった。

平成27年秋季フルードパワーシステム講演会は、主査を中尾委員（鹿児島大）、副査を加藤（友）委員（福岡工大）、メンバーを和田委員（CKD(株)）としたWGで11月26日(木)、27日(金)にジェイドガーデンパレス（鹿児島市）を会場として行われた。参加者は85名であった。国際特別講演1件（徐兵先生（浙江 大学 教授）、Research on the Motion Control System for Mobile Machinery with Single Pump and Multiple Actuators）、特別講演1件（鮫島吉廣 先生

(鹿児島大学客員教授), 知ってほしい! 本格焼酎の話 ~歴史・文化・飲み方~)と38件の講演が行われた。

平成27年度のウインターセミナーは平成28年3月18日(金)に主査を兵藤委員(東京計器(株)), メンバーを高後委員(日本電産トーソク(株))および加藤(猛)委員(株)コガネイ)としたWGで「フルードパワーを支える要素技術」というテーマで油圧と空気圧に関連する技術をバランスさせた内容で実施する予定である。講演は4件, 会場は機械振興会館を予定している。

3. 平成28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28年の春季講演会は, 主査を金委員(東京工大), 副査を内堀委員(宇部高専), メンバーを大内委員(山梨大)としたWGで具体案を検討している。5月26日(木), 27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, 27日(金)の午後は製品・技術紹介セッション(主査: 曾谷委員, 川崎重工業(株))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を企画することも検討中である。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。特別講演は東亜建設工業株式会社による「6軸減揺棧橋(E-Motion)の開発(仮題)」を予定している。

3.2 春季講演会併設セミナー

平成28年度の本セミナーは, 企画委員会が主導で特集号の原案策定とセミナーの実施を担当する。セミナーは春季フルードパワーシステム講演会の前日の5月25日(木)に機械振興会館での開催を予定している。主査は成田副委員長(KYB(株)), メンバーは加藤(猛)委員(株)コガネイ), 高後委員(日本電産トーソク(株)), 曾谷委員(川崎重工業(株)), 和田委員(CKD(株))としたWGにより準備を進めている。平成28年3月号(Vol.47, No.2)の特集号のテーマを「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」とし, 8件の原稿執筆の内諾を得ている。

3.3 第4回日中国際共同ワークショップ

主査を伊藤委員(芝浦工大, 国際交流担当理事), メンバーを落合委員(協立機電工業(株))としたWGにより本ワークショップの準備が進められている。本ワークショップの開催日は春季フルードパワーシステム講演会の前日である5月25日(木), 会場は機械振興会館として準備を進めている。

3.4 秋季フルードパワーシステム講演会

平成28年の秋季講演会は, 主査を田中豊委員(法政大), 副査を只野委員(東工大)としたWGで会場をJR青森駅から徒歩1分の青森のねぶたの家「ワ・ラッセ」としてその開催準備を進めている。開催日は10月19日(木), 20日(木)を予定している。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。

3.5 オータムセミナー

平成28年度のオータムセミナーは主査を和田委員(CKD(株)), 副査を張委員(SMC(株))としたWGで準備を進めている。開催時期は11月中下旬, 開催地は名古屋を予定している。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。

3.6 ウィンターセミナー

平成28年度のウインターセミナーは平成28年2月下旬から3月中旬の間に実施を予定している。主査を高後委員(日本電産トーソク(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。

3.7 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28年度の本事業に対する協賛の継続は平成28年1月の理事会に諮る予定である。

3.8 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28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27年度に実施した企画事業のまとめと, 平成28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27年11月下旬であったことをご容赦願いたい。企画委員会は今後も会員の方々に満足いただける企画事業を実施するよう努めたいと考えている。会員の方々には学会ホームページで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: 2015年12月7日)

企画行事

平成27年度オートムセミナー開催報告 「アクアドライブシステムの産業利用の現状」

著者紹介



かわしままさ と
川島正人

東北特殊鋼(株) 大阪営業所
〒541-0043 大阪市中央区高麗橋4-1-1
E-mail: kawashima@tohokusteel.com

1986年東北特殊鋼(株)入社。特殊鋼材料、計測機器の研究開発および水圧駆動電磁弁の開発に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本物理学会、日本応用物理学会などの会員。

1. はじめに

平成27年度オートムセミナー「アクアドライブシステムの産業利用の現状」が平成27年11月6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

水道水を作動流体とするアクアドライブシステム(ADS: Aqua Drive System; 新水圧駆動技術)が関心を持たれてきているなかで、平成24年度に実施したウィンターセミナー「アクアドライブシステム(新水圧駆動技術)の現状と将来」を受けて企画した。

今回は、その後のアクアドライブシステムが具体的に利用されている産業分野の紹介およびその課題について理解することで、さらなる応用を考える機会とすることを目的とした。

テーマを「アクアドライブシステムの産業利用の現状」とし、アクアドライブシステムや構成機器を実際に製造および販売している企業の方々から5件の講演をいただいた。

3. セミナーの概要

3.1 参加者

登録者数は38名で、それに講師6名および事務局2名の参加で開催された。登録者の所属別では大学係者が16名、企業が22名であった。

3.2 開会

企画委員会副委員長の成田晋氏(KYB株式会社)

からの本セミナーの趣旨説明と今後の企画運営の参考のための終了後のアンケートのお願いの挨拶で始められた(写真1)。



写真1 挨拶される成田氏

3.3 市場ニーズから見た水圧機器の動向

タイヨーインターナショナル株式会社の柿木宗久氏より、「市場ニーズから見た水圧機器の動向」と題し、これまでに取り扱ってきた水圧機器の種類と特徴を過去25年の歩みとともに解説いただいた。

続いて、国内における市場の概況解説と環境汚染防止観点での海中、水中ならびに食品業関連機器での具体的な利用状況について紹介された。

ADSに関連した低水圧機器の需要と課題については、医療・健康機器、福祉機器、ユニバーサル住宅設備機器、防潮・防水ゲート、水処理装置等やさらには新たな分野での利用が開けることへの期待が持てることと、実用できる製品の種類がまだ少ないことの事例を、具体的にその仕様とともに説明された。

さらに今後の普及のためには、性能の向上とともにコストを含めた種類の充実をはかり、システムとしての応用事例を増やすことが必要ではないかという展望が語られた(写真2)。

3.4 ADSを搭載した食品加工機械の製品化

ADSの具体的な適用事例として、「ADSを搭載した食品加工機械の製品化」と題してワタナベファーマック株式会社の佐藤郁也氏より、講演いただいた。



写真2 講演される柿木氏

食肉はさまざまな流通ならびに加工工程を経て消費者に届けられるが、その食肉業界と食肉加工機械についての概要と、近年の「食の安全、安心」を確保するためには国内外の各種の衛生規格への対応が必要であることが説明された。続いて加工機械の駆動源としてのADSの優位性について、「電動」での漏電、「油圧」での油漏れ、「空圧」でのエネルギー効率の観点から説明された。

具体的なADS化した加工機械であるスライサや冷凍肉用プレス機については、その機構や解決した課題等を具体的にまた動画を交えて詳細に紹介され、食品業界はADS市場として有望であることと、普及のためには関係各社ならびに関係機関の協力が必要であるということ締めくくられた(写真3)。



写真3 講演される佐藤氏

3.5 ADS用の制御弁の紹介と適用事例

KYB株式会社の吉田太志氏より「ADS用の制御弁の紹介と適用事例」と題して、水圧電磁比例制御弁ならびに水圧サーボ弁の特徴とその応用について講演いただいた。

まず水圧電磁比例制御弁は、低粘性の水での良好なしゅう動特性を得るために工夫された静圧軸受け

構造であることが説明され、応答性向上のための伝達関数を用いた解析的検討結果から、従来機以上の性能を有する食肉スライサを構築できたことが紹介された。

つぎに水圧サーボ弁でもその構造と基本特性について示され、各種システムへ十分適用できることが説明された。

具体的な適用事例としては、圧力発生装置へ応用する場合に良好な圧力制御特性を有していることと、冷凍肉プレス付スライサへの応用では水圧シリンダの繰り返し位置決め精度に関する評価結果が紹介された(写真4)。



写真4 講演される吉田氏

3.6 ADSの具体的な適用例—福祉・介護施設向け入浴装置、防災関連向け水圧シリンダー

身近で利用でき得る「ADSの具体的な適用例」として、「福祉・介護向け入浴装置、防災関連向け水圧シリンダ」という副題で、株式会社ADSムラカミの村上康裕氏に講演いただいた。

日常生活環境にある水道配管網圧力(約0.5MPa以下)から低圧力領域(1.5MPa程度)までをエネルギー源として使用する領域がADSとして適していることが説明され、水圧シリンダと水圧ポンプユニットでオイルフリー化した特殊入浴装置がすでに実績があること、また水道水を作動流体とすることで、油と違い使用場所や交換・排出の手軽さというメリットがあることが紹介された。

防災関連向けでは、異常気象によるゲリラ豪雨や台風、高潮や津波による建物や地下駐車場への浸水防止のために電源フリーで水道配管網圧力で作動できる防水ゲート用の水圧シリンダが紹介され、合わせて今後は低圧力領域までに増圧する機器のニーズがあることが説明された(写真5)。

3.7 ADS用高圧汎用弁の開発と事例

最後は、ADSを支える要素機器である汎用弁であ



写真5 講演される村上氏

る。「ADS用高圧汎用弁の開発と事例」と題して、廣瀬バルブ工業株式会社の井口務氏と石田祐史氏より講演いただいた。井口氏より、水用高圧汎用弁の事例紹介と、ADS用高圧汎用弁の種類と構造の説明ならびに各種試験設備について紹介された（写真6）。



写真6 講演される井口氏

続いて、石田氏より直動形リリーフバルブについて、作動流体が水の場合での解析モデルと理論計算の説明と実測データとの比較結果について解説され

た（写真7）。



写真7 質問に応じる井口氏と石田氏

4. おわりに

今回多くの参加者を得、それぞれの講演後の質疑では内容に対する具体的に踏み込んだ事柄が多く、件数も多かったことは、ADSの市場と技術動向に関心を持っている方々が多いことを示していると考ええる。

またセミナー終了後のアンケート結果では、現役の担当者からの具体的な適用事例、技術的な課題および市場の動向が聞けて良かった、などの感想があった。

しかしながら、参加者の多くは水圧だけに関連した分野の方々はまだ少ない状況である。今回のセミナーがアクアドライブシステムのさらなる応用の一助となれば幸いである。

最後に、お忙しい中貴重な講演をいただいた講師の方々、ならびにご協力いただいた関係各位に謝意を表し、報告としたい。

（原稿受付：2015年12月8日）

会 告

〈理事会・委員会日程〉

3月10日	委員長会議
3月25日	情報システム委員会
3月29日	理事会
3月31日	企画委員会
4月1日	編集委員会

〈理事会報告〉

1月26日 15:00～17:00 機械振興会館
地下3階B3-9号室（出席者17名）

- 1) 次期会長の人選について
- 2) 第10回国際シンポジウム福岡の進捗報告
- 3) 平成27年度学会賞候補者選考について
- 4) フェロー認定推薦状況について
- 5) マイナンバー制度について
- 6) 会員の推移と入退会者について
- 7) 学会財務基盤の強化の進捗状況
- 8) 各委員会からの報告
- 9) その他

〈委員会報告〉

平成27年度第3回情報システム委員会

1月14日 16:00～17:30
機械振興会館 学会事務局（出席者9名）

- 1) 会議報告担当者について
- 2) HP更新作業状況報告
- 3) 学会事務局の会員管理システムの更新について
- 4) 情報システム関連の作業について
- 5) 英語版ホームページについて
- 6) 今後のHP更新作業
- 7) その他

平成27年度第3回基盤強化委員会

1月22日 13:30～15:00
機械振興会館 地下5階5S-3号室（出席者12名）

報告事項

- 1) 第3回委員長会議について
- 2) その他

審議事項

- 1) フェロー推薦について
- 2) 会員サービス、会員数対策について
- 3) 外部への情報発信について
- 4) フルードパワー道場について

- 5) フルードパワー・バーチャルミュージアムについて
- 6) 研究委員会について
- 7) その他

平成27年度第5回編集委員会

2月4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) 学会誌発行報告
- 2) 学会誌編集計画
 - ・Vol.47 No.2「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」
 - ・Vol.47 No.3「海洋開発・港湾建設に活用されるフルードパワー」
 - ・Vol.47 No.4「フルードパワーを支える油圧作動油の劣化と対策」
 - ・Vol.47 E1「緑陰特集」
 - ・Vol.47 No.5「フルードパワーを活用した大規模研究開発」
- 3) その他
 - ・トピックスについて
 - ・執筆依頼時に送る評価基準について（修正版の確認）
 - ・今後の特集について

平成27年度第4回企画委員会

2月5日 15:00～17:00 機械振興会館
地下3階B3-9号室（出席者19名）

- 1) 平成27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28年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - ・平成28年春季講演会併設セミナーについて
 - ・平成28年春季講演会について
 - ・第4回日中国際共同ワークショップについて
 - ・平成28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
 - ・その他
- 3) その他審議・確認事項
 - ・研究委員会新規設置、継続申請の審議について
 - ・予告会告、会告について
 - 平成27年度ウインターセミナー
 - 平成28年度春季講演会併設セミナー
 - 平成28年春季講演会
 - 第4回日中国際共同ワークショップ
 - ・WGの構成について
 - ・その他

会 告

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

平成28年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー
「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」のお知らせ
開催日時：平成28年5月25日（水）13：00～16：45

開催趣旨：

平成28年春季フルードパワーシステム講演会併設セミナーを、平成28年5月25日（水）に機械振興会館（東京都港区）で開催いたします。本併設セミナーでは、今後、フルードパワーシステムを発展させていくための重要な基幹技術の一つとなるIoT, ICTについて解説いただくとともに、その基盤技術となる情報センシング技術、情報通信技術、遠隔制御技術についての解説、さらに

生産設備や建設機械における具体的な事例について解説していただきます。詳細は学会ホームページにて、ご確認をお願いいたします。

なお、日本フルードパワーシステム学会誌47巻2号（2016年3月号）が当日の講演資料となりますので、各自ご持参いただきますようお願いいたします。

皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

平成28年度 第四回日中国際共同ワークショップのお知らせ
The 4th Japan-China Joint Workshop on Fluid Power
—Innovative Key Technology on Fluid Power—
開催日時：平成28年5月25日（水）13：00～17：00（時間は予定）

開催趣旨：

日本フルードパワーシステム学会では、中国機械工程学会流体伝動及制御分会と共同で、日本と中国のフルードパワーに関する国際共同ワークショップ（The Japan-China Joint Workshop on Fluid Power）を開催しています。第4回の今回は日本での開催です。ワークショップのテーマは「Innovative Key Technology on Fluid Power」で、日中の研究者・技術者が集い、フルードパワーに関する最新の研

究や技術および市場動向の紹介を通して、情報交換と相互交流を図る学術講演会です。参加費および参加申し込み要領については、学会ホームページ上でご案内いたします。どうぞ奮ってご参加いただけますよう、お願い申し上げます。特に学生会員の方の参加は無料です。

お問合せ：国際交流委員・企画委員

伊藤和寿（芝浦工業大学 システム理工学部）

E-mail：kazu-ito@shibaura-it.ac.jp

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28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28年5月26日（木）・27日（金）

開催趣旨：

平成28年春季フルードパワーシステム講演会は平成28年5月26日（木）・27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・オーガナイズドセッション・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、ご確認いただけますようお願いいたします。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

平成28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28年5月27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

<p>第16回機素潤滑設計部門講演会 開催日：2016年4月18日(月)～19日(火) 会場：グランディア芳泉（福井県あわら市船津43-16, URL：http://www.g-housen.co.jp/） 企画：機素潤滑設計部門 問合せ先：第16回機素潤滑設計部門講演会 実行委員会 E-mail：mdtconf16@jsme.or.jp</p>
<p>TECHNO-FRONTIER 2016 会期：2016年4月20日(水)～22日(金) 〈展示会〉10：00～17：00 〈技術シンポジウム〉10：00～17：00 会場：幕張メッセ（国際展示場）展示ホール4-8；展示会，国際会議場；技術シンポジウム 主催：一般社団法人日本能率協会</p>
<p>トライボロジー会議2016春 東京 開催日：2016年5月23日(月)～25日(水) 会場：国立オリンピック記念青少年総合センター（〒151-0052 東京渋谷区代々木神園町3-1 センター棟） 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3-5-8 機械振興会館407-2号室） TEL03-3434-1926 FAX03-3434-3556 E-mail jast@tribology.jp 申込はホームページ http://jast@tribology.jp から可能です。</p>
<p>ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 ROBOMECH2016 in Yokohama 未来社会を創造するロボティクス・メカトロニクス 会期：2016年6月8日(水)～11日(土) 8日(水)：ワークショップ，チュートリアル（横浜市開港記念会館） 部門登録者総会，ウェルカムパーティ（赤レンガ倉庫） 9日(木)：ポスターセッション，企業展示（パシフィコ横浜） 特別講演，懇親会（大さん橋ホール） 10日(金)：ポスター講演，企業展（パシフィコ横浜） 11日(土)：公開講座（横浜開港記念会館） 主会場：パシフィコ横浜（ポスター講演）</p>
<p>第44回可視化情報シンポジウム 開催日：平成28年7月19日(火)～20日(水) 開催場所：工学院大学 新宿キャンパス 東京都新宿区西新宿1-24-2 ホームページ：http://www.visualization.jp/event/detail/symp2016.html</p>
<p>日本混相流学会混相流シンポジウム2016 主催：日本混相流学会 開催日：2016年8月8日(月)，9日(火)，10日(水) 会場：同志社大学 今井出川キャンパス（京都市上京区） ホームページ http://www.jsmf.gr.jp/mfsymp2016/</p>
<p>Dynamics and Design Conference 2016 ～交わりは解を導く～ 開催日：2016年8月23日(火)～26日(金) 会場：山口大学常盤キャンパス（山口県宇部市） WEBページ：http://www.jsme.or.jp/conference/dmcoconf16/ 講演申込締切：2016年2月22日 申込方法・募集分野：上記ホームページにてご確認ください。 発表採択通知：2016年3月中旬（予定） 論文提出締切：2016年6月中旬（予定） 問合せ先：D&D2016実行委員会 dd2016@jsme.or.jp 実行委員長 渡辺 亨（日本大学） 幹事 高崎 正也（埼玉大学）</p>

第34回日本ロボット学会学術講演会

主催：一般社団法人日本ロボット学会
 会期：2016年9月7日(水), 8日(木), 9日(金)
 場所：山形大学 小白川キャンパス (〒990-8560 山形市小白川町一丁目4-12)
 ホームページ <http://rsj2016.rsj-web.org/>

エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム (EcoDePS) 2016

開催日時：2016年12月7日(水)
 開催場所：東京理科大学森戸記念館 (東京都新宿区神楽坂1-3)
 主催：エコデザイン学会連合
 後援：エコプロダクツ大賞推進協議会 (予定)
 幹事団体：特定非営利法人エコデザイン推進機構
 組織委員長：細田奈麻絵 物質・材料研究機構グループリーダー/東京大学教授
 実行委員長：木下 裕介 産業技術総合研究所研究員
 事務局：エコデザイン推進機構/エコデザイン学会連合事務局 (イートレイ株式会社)

会 告

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

フルードパワー道場11 「トライボロジーの基礎知識(2)」開催のお知らせ

開催主旨：

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。2015年度のフルードパワー道場では「トライボロジーの基礎」としてこれらの話題を取り上げたところ大変好評であったため、本年度の道場11は「トライボロジーの基礎知識

(2)」として実施します。

開催時期：2016年5月, 8月, 11月, 2017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)

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)	952	16	145	133
差 引 増 減	+2	0	0	0

正会員の内訳 名誉員12名・シニア員37名・ジュニア員159名・その他正会員744名

正会員

森田 淳一 (住友重機械工業株式会社)

前田 篤志 (沼津工業高等専門学校)

編集室

次号予告

—特集「海洋開発・港湾建築に活用されるフルードパワー」—

〔巻頭言〕「海洋開発・港湾建築に活用されるフルードパワー」発行にあたって	五嶋 裕之
〔総論〕港湾における水中建設作業機械の現状と展望	平林 丈嗣
〔解説〕空気を地盤に注入する新しい液状化対策工法 —Air-des工法— シールドマシンと油圧システム	山根 信幸
循環泥水駆動によるコア採取装置	酒井 義雄
海洋掘削における噴出防止装置について	眞本 悠一
〔解説〕乗用管理機搭載式ブームスプレーヤのブーム乗直変位低減装置の開発	宮崎 英剛
〔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	水上 智道
FULCOME2015におけるフルードパワー技術研究動向	中尾 光博
ICMT2015におけるフルードパワー技術研究動向	藤田 壽憲
〔トピックス〕駐在員日記 無錫奮闘記	巖 祥仁
〔研究室紹介〕足利工業大学 桜井研究室の紹介	眞野 茂
〔企画行事〕平成27年秋季フルードパワーシステム講演会開催報告	岡本 拓也
	中尾 光博

平成27年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 吉田 和弘 (東京工業大学)	委員 中野 政身 (東北大学)
副委員長 塚越 秀行 (東京工業大学)	成田 晋 (KYB株)
委員 伊藤 雅則 (東京海洋大学)	藤田 壽憲 (東京電機大学)
内堀 晃彦 (宇部工業高等専門学校)	丸田 和弘 (株コマツ)
小倉 弘 (日立建機株)	村松 久巳 (沼津工業高等専門学校)
加藤 猛美 (株コガネイ)	柳田 秀記 (豊橋技術科学大学)
加藤 友規 (福岡工業大学)	山田 真の介 (株TAIYO)
北村 剛 (油研工業株)	吉満 俊拓 (神奈川工科大学)
木原 和幸 (財工業所有権協力センター)	担当理事 伊藤 和巳 (KYB株)
栗林 直樹 (株川崎重工業)	山田 宏尚 (岐阜大学)
五嶋 裕之 (機械振興協会)	編集事務局 藤谷 秀次 (学会事務局)
佐藤 公哉 (CKD株)	竹内 留美 (勝美印刷株)
佐藤 恭一 (横浜国立大学)	
妹尾 満 (SMC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ませんので、直接本会へご連絡ください。

日本フルードパワーシステム学会論文集

第47巻, 第2号 (2016)

平成28年3月

目次

研究論文

1. 樹脂部品を用いた高圧対応ギヤポンプ

伊藤貴廣, 小泉俊裕, 御簾納雅記 7

TRANSACTIONS OF
THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.47, No.2

March 2016

Contents

Paper

1 . High Pressure Gear Pump using Resin Parts

Takahiro ITO, Toshihiro KOIZUMI, Masaki MISUNO 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

樹脂部品を用いた高圧対応ギヤポンプ

伊藤 貴廣**, 小泉 俊裕***, 御簾納 雅記***

High Pressure Gear Pump using Resin Parts

Takahiro ITO, Toshihiro KOIZUMI, Masaki MISUNO

A small gear pump, which can compress low viscosity fluid up to high pressure, is necessary for some systems such as an electric braking system. However, designing a high-efficiency small gear pump is difficult because leakage due to clearance is relatively larger than that in a normal-sized gear pump. Therefore, to design a high-efficiency small gear pump for high pressure, we are developing an external gear pump having an L-shaped block made of resin. This L-shaped block is the biggest difference from other gear pumps. First, we show the structure and characteristics of this gear pump with an L-shaped block, and we explain its advantages. Second, we explain a method to predict the clearances that are needed for designing high-efficiency gear pumps. Clearances in a gear pump are made by deformations of the inner parts during high-pressure operation. Thus, we applied structural analysis to design the high-efficiency gear pumps. Using this analysis, we can understand the deformation of each part during the pump operation. Moreover, we can design parts taking deformations into consideration. The analysis examples, such as the deformation in the vertical direction to the gear rotational axis and the deformation of the sliding surface with the side of the gears, are shown in this paper. As a result of these analyses, we could design the structure and shape of the inner pump parts to achieve high sealing performance. Finally, the results of an experimental evaluation for the developed gear pump are described in this paper. We measured the volumetric efficiency of a prototyped pump and evaluated the performance using experimental equipment. The results of the evaluation show that the developed gear pump has high volumetric efficiency under high temperature and low viscosity fluid.

Key words : Hydraulic Power Source, Gear pump, Leakage, Finite Element Method, Analysis

1. 緒 言

外接ギヤポンプは構造が単純で低コストであり、耐久性が高いことなどから自動車や産業機械などで広く利用されている¹⁾。しかし、一般的な構造の外接ギヤポンプは、ピストンポンプ等と比べて低粘度の流体を高圧で吐出することが難しいとされる。そこで、低粘度の流体を高圧で吐出できるギヤポンプ構造としてFig. 1に示すシールブロック式ギヤポンプが開発されている²⁾。

一方、自動車のブレーキシステムなどでは比較的小量の作動液を高圧（15MPa以上）に昇圧することが可能な小型ポンプが必要とされる。ポンプは構成部品の隙間からの漏れにより効率が低下するが³⁾、ギヤポンプを小型化した場

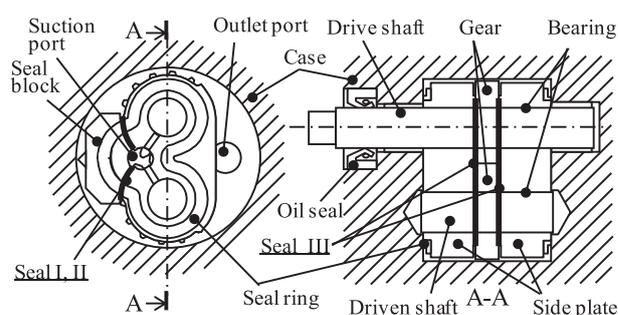


Fig. 1 Schematics of a gear pump with seal block

合、構成部品の接触面に生じる隙間からの内部漏れによる効率低下が大きくなる可能性がある。

そこで、シールブロック式ギヤポンプを改良し、高い効率で高圧吐出可能な小型ギヤポンプとして樹脂部品を用いたL型ブロック式ギヤポンプを開発した。本報ではL型ブロック式ギヤポンプの構造の概要を紹介し、構造解析に基づいた構成部品の形状の検討結果について説明する。また、この結果を基に試作したギヤポンプ性能評価について説明する。

*平成27年7月27日 原稿受付

**株式会社日立製作所 研究開発グループ

(所在地：茨城県ひたちなか市堀口832-2)

(E-mail: takahiro.ito.sq@hitachi.com)

***日立オートモティブシステムズ(株)

(所在地：神奈川県厚木市恩名4-7-1)

2. 樹脂部品を用いたギヤポンプ

2.1 シール部の課題

従来のシールブロック式ギヤポンプはFig. 1に示すようにポンプケース内に外接ギヤとその両端面に配置される軸方向に移動可能な側板と、ギヤ歯先の一部を覆う形状で側板と接触して配置されるシールブロックから構成される。

これらの部品はポンプ動作時に発生する圧力によって、内部の部品同士が接触してシール性を維持する。Fig. 2にポンプ内部の主要部品を一部分解した状態で示す。

シールブロック式ギヤポンプの内部漏れの要因となり得る部品同士の接触部としてSeal I: ギヤ歯先-シールブロック歯先シール部, Seal II: シールブロック円筒面-側板円筒面, Seal III: ギヤ側面-側板摺動面がある。Seal I, Seal II, Seal IIIに示す各接触面からの漏れの発生を抑制するためには側板の軸受とシャフト径, 軸受と歯先シール円弧, 側板摺動面とギヤ側面等に高い加工精度が要求される。また、一般的にギヤポンプはならし運転中にギヤ歯先でシールブロックの歯先シール部を削って、この部分の隙間をほぼゼロにする。しかし、シールブロック構成材料の選択によっては、ギヤ歯先で削り難く、ならし運転に時間を要するためポンプの生産性が低下する可能性がある。

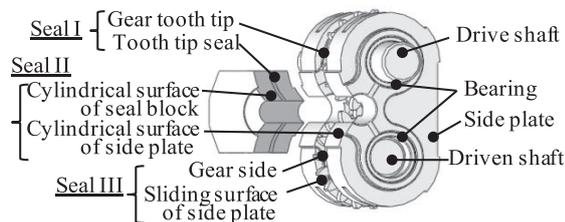


Fig. 2 Exploded view of internal parts

2.2 基本構成

これらの課題を解決し、従来のシールブロック式ポンプよりも内部漏れをさらに減少させ、効率を向上できるギヤポンプの構造として新たにFig. 3に示すL型ブロック式ギヤポンプを開発した。L型ブロック式ギヤポンプはポンプ室になる円筒状の凹部を有するケースとその内側に收容される複数の部品で構成される。Fig. 3(a)はケースの上部を取り外してポンプ室を上から見た図を示し、Fig. 3(b), (c), (e)は各切断平面における断面図を示す。Fig. 3(d)はFig. 3(c)に示す部品の一つである「L型ブロック」を横から見た図を示す。またFig. 3(f)はポンプ室の中の主要部品を斜め上から見た図を示す。L型ブロック式ギヤポンプは、動作時に各部品のシール面を密着させることで高効率化を狙った構成である。L型ブロック式ギヤポンプと従来のシールブロック式ギヤポンプの違いを以下に示す。

- (1) 歯先をシールするシールブロックと側板の1枚を一体として成形したL型ブロック (Fig. 3(d)) を採用

- (2) 側板とL型ブロックから軸受を分離し、ケースに軸受を設置

- (3) ケースに固定された部材でL型ブロックを位置決め

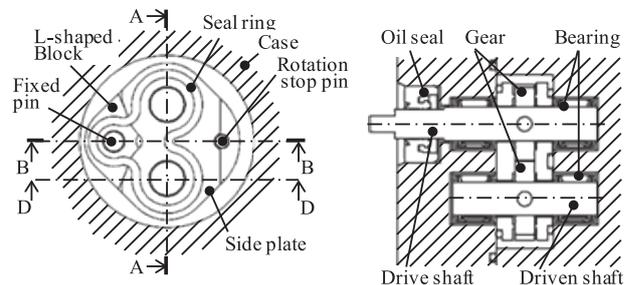
- (4) 側板とL型ブロックに樹脂材料を使用

(1)に記載したようにL型ブロックを用いることで従来のシールブロック式ギヤポンプからシールブロック-側板の接触部を削減できるため漏れの要因となる接触部を減らすことができる。

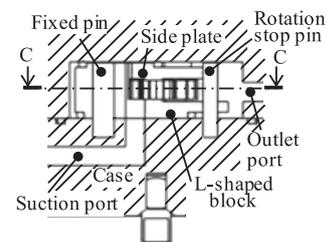
また、(2), (3)に記載したように軸受を側板から分離し、L型ブロックをケースに固定された部材 (Fig. 3では固定ピンと回転止めピン) で位置決めする構成とした。これによりシールブロック-側板接触部のシール性は軸や軸受の加工精度に依存しないため漏れを低減できる。

また、(4)に記載したように側板とL型ブロックは樹脂材料で成形した。これは高圧動作時に樹脂部品を弾性変形させて部品同士の接触面におけるシール性を維持し、漏れを最小に抑えることを目的としている。また、摺動性に優れた樹脂材料を用いることでギヤ側面との摺動で発生する摩擦力を低減し、高圧吐出時の効率を高める。

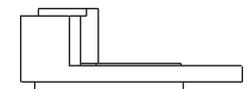
歯先シール部が樹脂のため、ギヤの回転で歯先シール部を削りやすく、歯先との隙間を減らすためのならし運転に要する時間が短縮される。さらに樹脂部品を射出成型で製



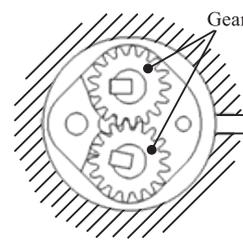
(a) Top view of case inside (b) Sectional view in A-A



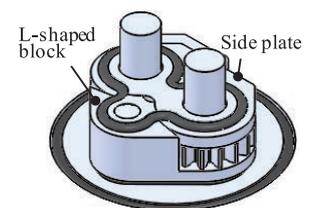
(c) Sectional view in B-B



(d) Side view of L-shaped block



(e) Sectional view in C-C



(f) Perspective view without rear case

Fig. 3 Basic structure of L-shaped block type gear pump

作することで生産性を向上できる。

2.3 荷重バランス

Fig. 4はギヤポンプを従動軸の中心を通る断面で切断した断面図 (Fig. 3(a)のD-D断面に相当) の模式図を示し、Fig. 4右側の拡大図には矢印で圧力による荷重とL型ブロック又は側板とケース間でつぶされたシールリングの反発力を示す。L型ブロック式ギヤポンプでは、内部の部品全体に作用する荷重がFig. 4下側に示したケース内壁面方向に作用するように各部品形状を設計する。これによってポンプ動作中にL型ブロックと側板はケース内で移動しなくなり、移動に伴う部品同士の微小な隙間の発生を抑制できる。

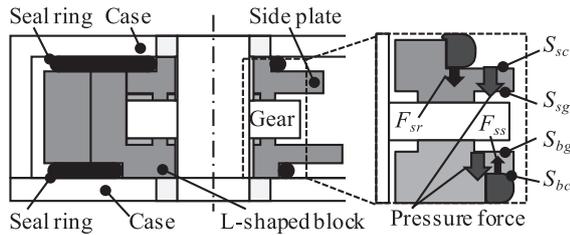


Fig. 4 Cross-sectional view (Fig. 3(a) D-D) of gear pump and schematic of load to each part

このような構成を実現するためには、L型ブロックと側板の回転軸方向端面の高圧液と接する部分の面積を式(1)、(2)、(3)、(4)で示す不等式を満たすように設計する。

$$(S_{bg} + S_{sc} - S_{bc} - S_{sg}) \Delta P + F_{sr} - F_{ss} > 0 \quad (1)$$

$$S_{bg} > S_{bc} \quad (2)$$

$$S_{sc} > S_{sg} \quad (3)$$

$$F_{sr} > F_{ss} \quad (4)$$

ここで ΔP は高圧領域の圧力と低圧領域の圧力の差圧を示し、 S_{bg} はL型ブロックのギヤと対向する面の高圧領域面積、 S_{bc} はL型ブロックのケースと対向する面の高圧領域面積、 S_{sg} は側板のギヤと対向する面の高圧領域面積、 S_{sc} は側板のケースと対向する面の高圧領域面積を示す。また、 F_{sr} はFig. 4の上側に設置されるシールリングの反発力、 F_{ss} は下側に設置されるシールリングの反発力を示す。式(1)~(4)の関係を満足するように圧力境界となるシール位置を設計することでギヤポンプを構成する部品の表面を接触させて容積効率の低下を防ぐ。

ところで、ギヤポンプのギヤ側面と接触する面は高低圧の液を隔離するシールの役割と同時にギヤの軸方向の軸受けの役割を果たす。軸受けとしては低い摺動抵抗であることが求められるため、ポンプ動作中に作動液がギヤと側板或いはL型ブロックの間に入り込み⁴⁾、作動液によって潤滑された状態となることが望ましい。しかし、高い容積効率を実現する場合、隙間を可能な限り小さくすることが求められるため、固体接触を含む純すべり状態で摺動することが想定される⁵⁾。この状態で隙間の発生を抑制するために大きな荷重が部品に作用すると摺動抵抗が大きくなる。そこ

で、ポンプ効率を高めるためには部品同士の接触状態を保ちながら荷重を小さくすることができる構造と部品形状の設計が必要である。

部品に作用する高圧と低圧液の境界を設計したL型ブロックと側板をFig. 5に示す。Fig. 5(a)はL型ブロックを示し、図を上下に分ける一点鎖線よりも上にギヤ側の表面を、下にケース側の表面を示す。また、Fig. 5(b)は側板を示し、図を上下に分ける一点鎖線よりも上にギヤ側の表面を、下にケース側の表面を示す。Fig. 5の斜線または格子でハッチングした部分はポンプ駆動時に高圧の作動液に接触する領域を示す。各領域は式(1)~(3)に示した記号と対応しており、L型ブロックのギヤ側表面に斜線でハッチングした部分は高圧領域面積 S_{bg} 、L型ブロックのケース側表面に格子でハッチングした部分は高圧領域面積 S_{bc} 、側板のギヤ側表面に斜線でハッチングした部分は高圧領域面積 S_{sg} 、側板のケース側表面に格子でハッチングした部分は高圧領域面積 S_{sc} に相当する。

このような圧力分布を設計した際の部品の動きは各部品に作用する荷重の方向からおおよそ予測することができるが、高低圧境界が複雑に入り組むため各部の変形を詳細に予測することは難しい。また、摺動抵抗による損失を低減するためにギヤの軸方向に作用する荷重を減らすとギヤの側面の一部が接触しない部分が生じ、漏れの増加が予想される。そこで、解析を用いて各部の接触状態に関する詳細な検討を行った。

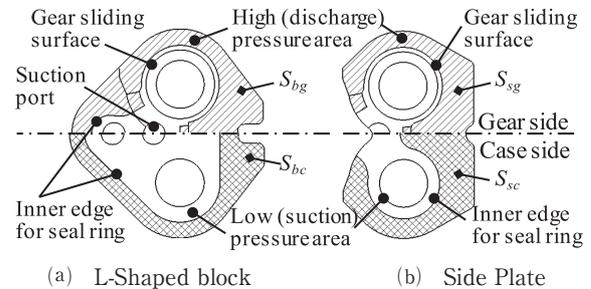


Fig. 5 Pressure distribution of surface of L-shaped block and side plate

3. 解析に基づく構成部品の設計

3.1 ポンプ解析モデル

ポンプ室内部に配置される樹脂部品がポンプ高圧動作時に圧力による荷重で変形することで各接触部に生じる隙間を把握し、部品の詳細な形状を検討するために構造解析を用いた。接触状態を詳細に解析するために用いた解析モデルをFig. 6に示す。この図では各部品関係の理解を容易とするため、接触部を離して配置している。解析モデルではギヤ、固定ピン、ケースの固定ピン挿入部、駆動軸に鉄の材料特性を用い、L型ブロックと側板に樹脂の材料特性 (PEEKなど) を用いた。また、ケース内壁のL型ブロック

と接触する部分は他の部分と比べて変形量が小さいため剛体でモデル化して計算コストを低減した。

Fig. 6に解析モデルで各部品に接触による拘束を設定した箇所を点線で示す。固定ピンとL型ブロックの挿入穴、固定ピンとケースの挿入穴、L型ブロックの円筒面と側板の円筒面、側板の摺動面とギヤ側面、L型ブロックの摺動面とギヤ側面、駆動軸外表面とギヤ内筒、L型ブロックのケースとの対向面と剛体で作成したケース内表面は接触で拘束した。また、駆動軸の軸受接触部、ケース、ケース内壁はモデルの位置を拘束した。

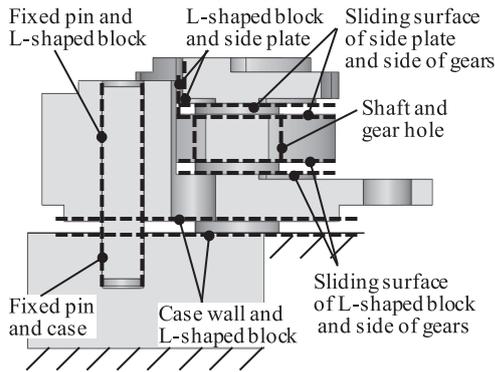


Fig. 6 Cross section of model for structural analysis.
(Dashed lines show contact boundary conditions)

また、Fig. 5に示した高圧領域にポンプ動作時の吐出圧力が作用するように圧力の境界条件を設定した。L型ブロックおよび側板とケース対向面の間に拘束を設定しないが、各部品に設定した荷重でケース内壁側やギヤ側に押し付けられるようにした。

Fig. 5で示した高圧領域は理想状態だが、ポンプの動作状態や部品の変形を想定して高圧領域を変更した解析を実施することもできる。また、この解析は各部の圧力や部品位置の動的な変化を考慮しない静的な状態を想定した。静的な圧力条件で解析した結果を分析することで複数ある接触部の中で密着しない可能性がある部位を抽出することができる。

解析によって得られたポンプが高圧で吐出しているときの部品の変形状態の例をFig. 7に示す。Fig. 7はFig. 3(c)と同じ断面の変形状態で変形量を50倍にして表示している。この例が示すように解析を分析することで部品に作用する荷重による各部品の変形状態と変形に伴う部品同士の接触状態を把握できる。そこでL型ブロック式ギヤポンプの開発ではこの解析による結果を接触部からの漏れを抑制可能な部品形状を検討するための指針として用いた。

L型ブロック式ギヤポンプで高い容積効率を実現するためには、ギヤの歯先シール部やギヤ側面と摺動面の接触状態が重要である。特にギヤ側面と摺動面に関して、最小の荷重で接触状態を保ち、漏れの増加を抑制することができる部品形状の設計が求められる。

次節以降で、歯先シール部とギヤ側面摺動面に適用した本解析手法による構造検討結果を示す。

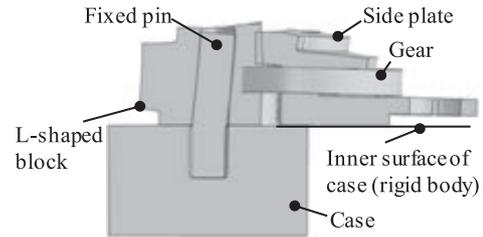


Fig. 7 Example results of deformation analysis (enlarged 50 times)

3.2 歯先シール部の変形抑制

最初に回転軸に対して垂直な方向の変形による影響が大きい歯先シール部とギヤ歯先との隙間に関する検討結果について説明する。Fig. 8に20MPaで吐出するポンプの内部に配置されたL型ブロックの歯先シール部がギヤ歯先方向へ変形する量を示すデータをFig. 7の変形図と位置関係を対応させて表示する。実線と点線のデータはL型ブロックの固定方法が異なる。実線は側板をケースに固定して、側板にL型ブロック（固定ピンなし）を圧力で押し当てる構成の場合、点線はL型ブロックを鉄相当の強度を持つ固定ピンで固定した構成の場合を示す。ここで、L型ブロックの解析モデルはPEEK樹脂の材料特性を用いた。Fig. 8の縦軸はL型ブロックのギヤ側面摺動面から回転軸方向の位置を示し、下端はL型ブロックのギヤ側面摺動面の位置、上端は側板のギヤ側端面の位置に相当する。また、横軸は歯先シール部の変形量を示し、正の値でギヤ歯先方向に変形（突出）することを示す。つまり、ギヤ歯先が横軸の0 mm位置にあると仮定した場合、歯先シール部の変形により突出した部分はならし運転時に削られる。歯先シール部の変形に伴って削られた部分はならし運転後、低圧動作時に変形が戻ってギヤ歯先の隙間になるため歯先シール部の変形量は小さい方がよい。

Fig. 8に示す結果から歯先シール部は固定ピンがない場合に大きく変形して歯先に隙間ができることが分かる。そこで、L型ブロックの歯先シール部の変形を抑制するため

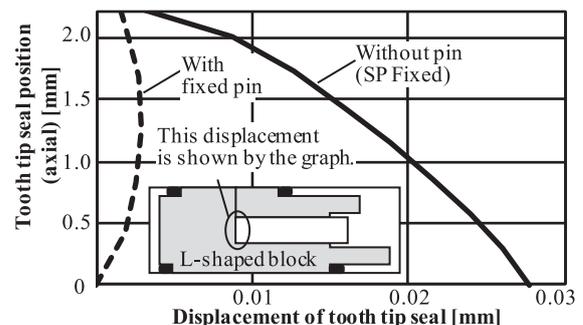


Fig. 8 Example results of tooth tip seal displacement of gear pump with L-shaped block

に歯先シール部にケースに固定された金属の固定ピンを挿入して補強する構成とした。

また、L型ブロックの補強方法としてFig. 9(a)に示す固定ピンの片側のみをケースに固定する構成とFig. 9(b)に示す固定ピンの両側をケースに固定する構成を比較した。

固定ピンの径 D を固定ピンの長さ L で無次元化した値をパラメータとして、解析によって求められた各構成におけるL型ブロックの変形量最大値をFig. 10に示す。この図は固定ピンの両端をケースに固定する構成のほうが、固定ピンの片側をケースに固定した構成よりも変形が抑えられ、より細い固定ピンを使用可能であることを示す。細い固定ピンを用いるとL型ブロック式ギヤポンプの直径が小さくなり、装置全体も小型化することができる。

また、固定ピンの両端をケースに固定することで固定ピンを基準にしてL型ブロック、ギヤ、側板、ケースなど主要な部品を位置決めされるため高い位置精度でL型ブロックの歯先シール部とギヤ歯先を配置することができる。これらの検討結果から、固定ピンの両端を固定する方法を採用した。

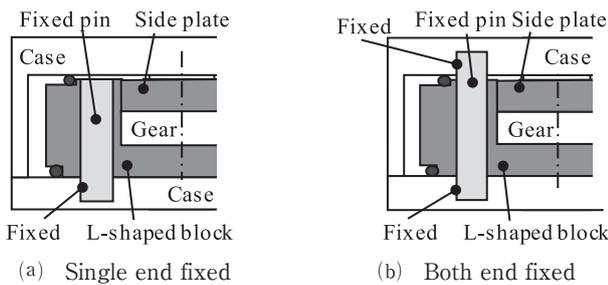


Fig. 9 Schematic of method of supporting L-shaped block

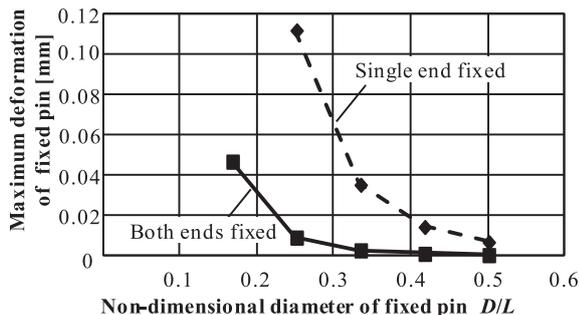


Fig. 10 Deformation comparison of method to support L-shaped block

3.3 ギヤ側面摺動面の変形抑制

次に回転軸方向の変形に関する検討結果を説明する。回転軸方向の変形によって隙間が発生する箇所としてギヤ側面と側板またはL型ブロックの摺動面が挙げられる。この部分は、回転するギヤの軸方向軸受けの機能と高低圧を仕切るシールの機能の2つ機能を果たす。そこで、摺動抵抗を低減するために荷重をできるだけ小さくしたいが、部品形状やFig. 5に示す高圧領域の設計が適切でないといふFig. 11の

接触解析の結果に示すようにギヤ側面とL型ブロックの摺動面に部品変形による隙間ができる。この部分の接触状態は漏れへの影響が大きい。

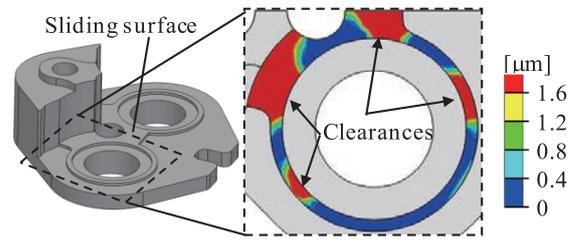


Fig. 11 Example results of clearances between gear side and sliding surface of L-shaped block

L型ブロックの摺動面とギヤ側面の間にできる隙間と部品の変形の関係进行分析することで得られた隙間を抑制可能な部品形状の検討結果の一例を説明する。

Fig. 7に示すように、ポンプ動作時にL型ブロックと側板は圧力によって変形した状態でギヤ側面に押し付けられる。Fig. 12(a)に示すようにL型ブロックのケース側の面が平面の場合、摺動抵抗を低減するためにギヤ側面に押しつける方向の荷重を小さく設計すると、Fig. 12(b)の解析結果に示すように摺動面のギヤ歯先付近に隙間ができることが判明した。解析結果の分析をするとFig. 12(c)のポンプ変形時の横断面の模式図に示すように図の上と左右方向から圧力によってL型ブロックは低圧側に変形することが分かる。しかし、下方向にはケースの壁面があるためこの方向に変形できず、隙間がある側板の上部方向(図中上)にL型ブロックの中央付近が変形する。この方向への変形によってギヤが持ち上げられてギヤ側面の歯先付近に隙間ができる。隙間は2箇所あり、一般的な平行平板隙間流れの式¹⁾(5)を用いて漏れを予測した。

$$\Delta Q = 2 \times \frac{bh^3}{12\mu l} \Delta P \quad (5)$$

ここで ΔQ は漏れ流量、 ΔP は吸入と吐出の差圧、 b は隙間の幅、 h は隙間の高さ、 μ は粘性係数、 l は隙間の長さを示す。計算から120℃、1,000min⁻¹で動作するポンプの理論流量を考慮した場合、変形による隙間からの漏れは理論流量の10%程度と見込まれ、高圧動作時の高効率化には隙間を抑制することが必要と考えられる。

そこで、漏れを低減するためにFig. 13(a)に示すようにL型ブロックのケース側の面に空間を設けた。この空間を設けることでFig. 13(b)に示すようにギヤ側面とL型ブロックとの間に隙間がなくなる。Fig. 13(c)の部品変形時の横断面の模式図に示すように、底面が平面のときにギヤ方向に変形していたL型ブロックの摺動面が空間のあるケース方向(図中下)に変形するためである。また、式(1)~(4)に示すように、側板にはギヤ方向に押し付ける力が加わるため、対策

により図中のギヤ方向の変形がなくなるとギヤ側面とL型ブロックと隙間が抑制される。

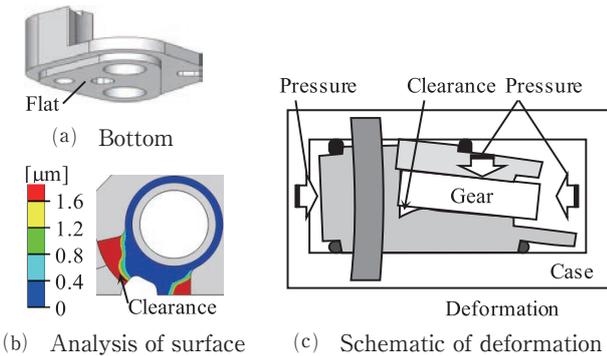


Fig. 12 Deformation of L-shaped block with flat bottom face

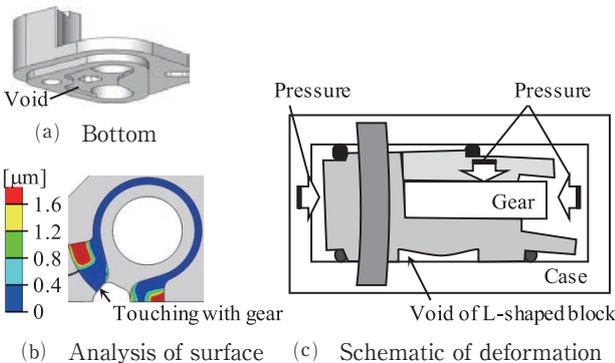


Fig. 13 Deformation of L-shaped block with void at bottom face

摺動抵抗を低減するため、部品表面の圧力分布やシールリング形状などを調整してギヤ側面に作用する荷重を小さくする必要があり、この例のように解析を用いて接触状態を分析してシール性を維持できる部品構成、形状を決定した。また、ここに示した解析において部品表面は完全な平面としたが、実際設計では部品の加工精度、表面粗さなどを加味した解析も実施し、形状を決定した。

本論文で対象とするような小型ポンプは内部の挙動を計測により把握することが難しい。そのため解析で得られる動作時の圧力下における変形を考慮した部品形状とすることで高効率ポンプを実現できる。

4. ポンプの性能評価

解析結果を基に構成、部品形状を決定したL型ブロック式ギヤポンプ試作品の性能評価結果を説明する。

ギヤポンプ試作品の理論押しのけ容積は $0.35\text{cm}^3/\text{rev}$ （ギヤ基礎円径 $\phi 15.3\text{mm}$ ）とし、ポンプケースの内径は $\phi 36\text{mm}$ とした。L型ブロックと側板にPEEK系の樹脂を用い、ギヤ、固定ピン、ケースなどの金属部分に鉄を用いている。Fig. 14に示すように試験装置はギヤポンプ試作品の駆動軸をサーボモータに接続し、回転数を制御して駆動できる構

成とした。また、ギヤポンプ試作品の吐出口に接続した管路の先にリリーフ弁を設けて圧力を調整する。トルクはギヤポンプ試作品の入力軸に取り付けたトルク検出器（定格 $10\text{N}\cdot\text{m}$ ）を用いて測定した。ギヤポンプ試作品の吐出圧力は吐出口の下流に取り付けたひずみゲージ式圧力変換機（定格 50MPa ）により検出し、吐出流量はリリーフ弁の下流配管に設置したギヤ式容積形流量計（標準測定範囲 $0.01\sim 7\text{L}/\text{min}$ ）を用いて測定した。

また、実験時にギヤポンプ試作品と作動流体の温度は恒温槽で管理し、作動流体として 25°C で動粘度 $12.5\text{mm}^2/\text{s}$ 、 120°C で動粘度 $1.8\text{mm}^2/\text{s}$ のブレーキフルードを用いた。

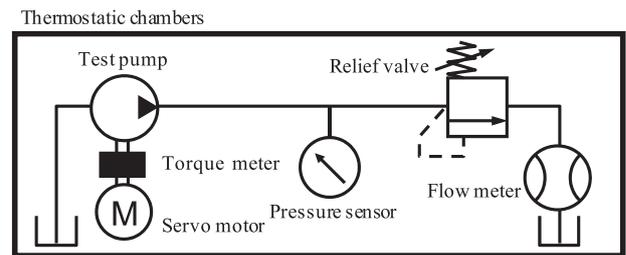


Fig. 14 Schematic block diagram of test equipment

Fig. 15, 16は一定速度（ 2000min^{-1} ）でギヤポンプ試作品を動作させた場合の圧力—容積効率と圧力—全効率を示すグラフである。これらのグラフのプロットはリリーフ弁を調整し圧力を一定に保った状態で圧力、流量、トルクを測定して平均した結果を示す。

Fig. 15に示すように、ギヤポンプ試作品は 15MPa の高圧吐出時に90%程度の容積効率を維持できることが分かる。また、温度上昇で作動流体の動粘度が低下しても、容積効率の低下が小さく抑えられている。このことから、解析を用いて得られた部品形状により、各部品接触部のシール性が維持できていると予測される。また、 1MPa 付近で効率の下がる部分があるが、部品の製造誤差などによる接触部の隙間からの漏れが原因と予測され、圧力の上昇と共に部品が密着して隙間が減り、漏れが小さくなっていると考えられる。さらにFig. 16に示すように 120°C の高温環境下で動作した場合も効率低下が小さいことを確認できる。これは摺動面に摺動性に優れた樹脂材料を用いたことと、漏れが大きくならないような最小の値になるようにギヤ側面に作用する荷重を調整したことが理由と考えられる。尚、ギヤポンプ試作品は3台製作して 25°C 、 15MPa 、 2000min^{-1} における全効率は69.2～75.4%になった。

また、従来構造のシールブロック式ギヤポンプとの性能比較をFig. 17に示す。ここでポンプの回転数は 3000min^{-1} 、動作環境を 50°C とした場合のデータと比較している。この図に示すようにL型ブロック式ギヤポンプは従来のシールブロック式ギヤポンプよりも高い効率を有することが確認できる。

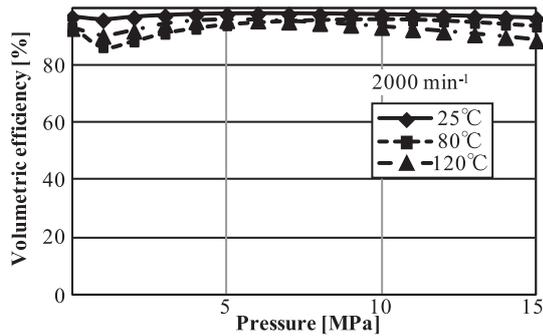


Fig. 15 Volumetric efficiency of test pump

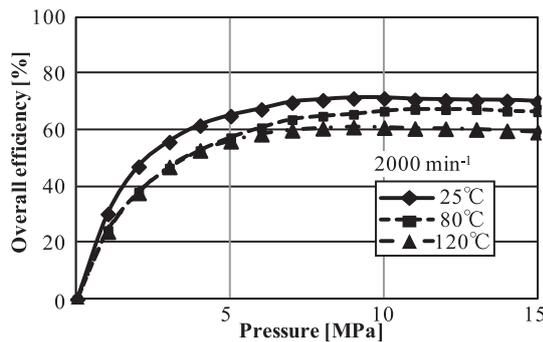


Fig. 16 Overall efficiency of test pump

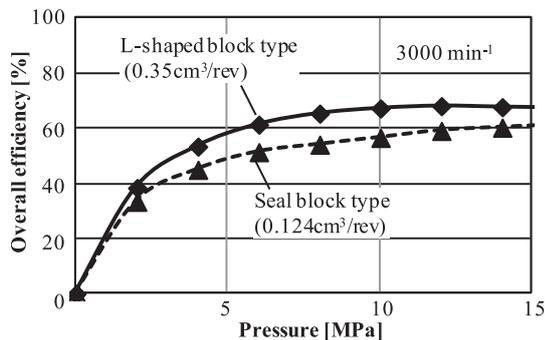


Fig. 17 Performance comparison between seal block type gear pump and L-shaped block type gear pump

5. 結 言

ブレーキシステムなどに適用する低粘度流体を高圧で吐出可能なギヤポンプの実現へ向けた検討を行い、得られた結論を以下に示す。

- (1)高効率で高圧吐出可能な構成として樹脂部品を用いたL型ブロック式ギヤポンプの構成を提案した。
- (2)解析を用いて各部の接触状態を分析し、ポンプ動作中の内部の部品変形を把握した。
- (3)L型ブロックのギヤ歯先シール部に金属ピンを通して歯先シール部の変形を抑制し、漏れを低減した。
- (4)L型ブロックのケース側の面に空間を設ける形状とすることでL型ブロックとギヤ側面が接触し、漏れを低減した。
- (5)試作したポンプを用いて性能評価実験を行った。ポンプが15MPaで動作した場合に容積効率90%程度を維持し、120℃の高温環境下で動作した場合も効率低下が小さい。このことから本構成により小型で高効率なポンプを実現できることを確認した。

参 考 文 献

- 1) (社)日本油空圧学会：油空圧便覧，オーム社，(1989)
- 2) 平工賢二，貞森博之，野上忠彦，亀谷裕敬，粟田昌幸，喜多康雄：低粘性流体用高効率シールブロック式ギヤポンプ，日本油空圧学会論文集，32-6, 157/162 (2001)
- 3) 市川常雄：歯車ポンプ，日刊工業新聞社，(1962)
- 4) E. Koc, C.J. Hooke：An Experimental Investigation into the Design and Performance of Hydrostatically Loaded Floating Wear Plates in Gear Pumps, *Wear*, 209, 1-2, 184/192 (1997)
- 5) 風間俊治，小熊尚太，黄鋭：外接歯車ポンプに用いられる側板のトライボロジー（温度と振動の測定および形状の設計），*設計工学*，44-5, 309/314 (2009)

〒105
|
0011 東京都港区芝公園三丁目五―三二 電話(〇三)三四三―八四四一 FAX(〇三)三四三―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

印刷所 東京都文京区白山一―三―七 アクア白山ビル五階
勝美印刷株式会社