

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワー

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

システム

July 2024 Vol. 55 No. 4

特集「フルードパワーシステムにおけるMBD活用」

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

【挨拶】

会長就任にあたって	田中 豊	142
副会長のご挨拶	嶋村 英彦, 川上 幸男, 佐藤 恭一	143

特集「フルードパワーシステムにおけるMBD活用」

【巻頭言】

「フルードパワーシステムにおけるMBD活用」の発刊にあたって	吉見 浩司	144
--------------------------------	-------	-----

【解説】

モデルベース開発と想定設計手法の連携による手戻りゼロの実現に向けて	工藤 啓治	145
FEMモデルの機械学習モデルへの縮退化と1DCAEの実装に関する取り組み	萬谷 浩章	151
フルードシステム開発におけるバーチャルプロトタイプMBDの適用	竹下 仁士	156
油圧分野におけるモデルベース開発の事例紹介	眞田 一志	160
モデルベース開発（MBD）プラットフォームによる油圧制御システム開発 —持続可能な産学連携を目指して—	脇谷 伸	163
MBDの活用に向けた軸流ファンのプラントモデルの課題 —電子機器の熱対策・熱設計におけるファンの冷却性能評価を例として—	福江 高志	168
「SURIWASE2.0」によるモビリティ社会の最先端開発コミュニティの実現	村岡 正, 足立 智彦	174
ソフトウェアを使用した温度シミュレーション	小野木華奈子	179

【ニュース】

日中若手研究者交流事業	酒井 悟	182
-------------	------	-----

【会議報告】

FLUCOME2023におけるフルードパワー関連技術の研究動向	香川 利春, 徐 沛民	185
計測自動制御学会 第24回流体計測制御シンポジウムに観るフルードパワー研究動向	藤田 壽憲	187

【トピックス】

学生さんへ、先輩が語る一メーカーの研究所に携わる社会人の日常についてー 北村 佳彬 188

【企画行事】

2023年度ウインターセミナー開催報告「医療福祉技術を支えるフルードパワー」 高岩 昌弘 191

【会告】

公益財団法人油空圧機器技術振興財団 2024年度研究助成募集のお知らせ	155
2024年度オータムセミナー「水圧技術の課題と現状（仮）」	155
理事会・委員会報告	193
2024年度（第43期）通常総会終了	194
2023年度 学会賞表彰	195
共催・協賛行事のお知らせ	196
会員移動	197
次回予告	198

■表紙デザイン：浅賀美希 勝美印刷㈱

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****[Greeting Message]**

Greeting from the President	Yutaka TANAKA	142
Message from Vice Presidents	Hidehiko SHIMAMURA, Yukio KAWAKAMI, Yasukazu SATO	143

Special Issue “MBD Utilization in Fluid Power Systems”**[Preface]**

On the Special Issue “MBD Utilization in Fluid Power Systems”	Koji YOSHIMI	144
---	--------------	-----

[Review]

Toward Achieving Zero Rework by Linking Model-Based Development and Assumed Design Methods	Keiji KUDO	145
Efforts to Reduce FEM Models to Machine Learning Models and Implement 1DCAE	Hiroaki MANTANI	151
Applying Virtual Prototype MBD in Fluid System Development	Hitoshi TAKESHITA	156
Some Trends on Model-based Development of Oil-hydraulics	Kazushi SANADA	160
Advancing Hydraulic Control Systems Development Through Model-Based Design (MBD) Platforms	Shin WAKITANI	163
Study on Plant Modeling of Axial Fans for Application of Model-Based Design	—	
—Evaluation of Cooling Performance of Fans in Thermal Management of Electronic Equipment—	Takashi FUKUE	168
“SURIAWASE2.0”: Cutting-edge Development Community for Mobility Society	Tadashi MURAOKA, Tomohiko ADACHI	174
Hydraulic Oil Temperature Simulation Using Software	Kanako ONOGI	179

[News]

FPM2023, Lanzhou, China	Satoru SAKAI	182
-------------------------	--------------	-----

[Conference Report]

Introduction of FLUCOM and Conference 2023 in Beijing	Toshiharu KAGAWA, Xu PEIMIN	185
Research Trend of 24th SICE Symposium on Fluid Control and Measurement	Toshinori FUJITA	187

[Topics]

Senior talk to students—About the Daily Life of an Office Worker Involved in a Manufacturer's Laboratory	Yoshiaki KITAMURA	188
--	-------------------	-----

[JFPS Activities]

2023 Winter Seminar Report “Fluid power that supports medical welfare technology”	Masahiro TAKAIWA	191
---	------------------	-----

[JFPS News]

155, 193, 194, 195, 196, 197, 198

挨拶

会長就任にあたって

著者紹介



た なか ゆたか
田 中 豊
法政大学デザイン工学部システムデザイン学科
〒102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1
E-mail: y_tanaka@hosei.ac.jp
1985年東京工業大学大学院総合理工学研究科
修了。その後、東工大精密工学研究所助手を経
て、1991年法政大学講師、1992年同助教授、
2002年同教授、現在に至る。工学博士（1991年
東京工業大学）

早川恭弘会長の後任として、先の学会総会において2024、2025年度の会長に指名されました田中豊です。これからの2年間、副会長、理事、監事の皆様とともに学会運営を担ってまいります。何卒よろしくお願い申し上げます。

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会は、日本油空圧協会として1970年（昭和45年）に設立され、その後、1982年（昭和57年）に社団法人日本油空圧学会となり、2001年（平成13年）に社団法人日本フルードパワーシステム学会と名称変更し、2012年（平成24年）に一般社団法人に移行し今日に至っております。

2020年から2023年にかけてのコロナ禍の4年間は、前々任の眞田一志会長と前任の早川恭弘会長の力強いリーダーシップのもと、学会創立50周年の記念式典や記念行事、記念パーティーが執り行われ、本学会も節目となる50周年の行事を滞りなく行うことができました。ご協力いただきました学会会員の皆様や賛助会員企業の方々に厚く御礼申し上げますとともに、今後も引き続き皆様からのご支援をよろしくお願いいたします。

さて当学会の現状を俯瞰（ふかん）すれば、退職等にもなう熟年会員数の減少と若手会員数の伸び悩みが続いています。今後30年間の当学会の持続的な発展のためには若手会員の増強は大きな課題の一つです。新たな試みとして一昨年度より基盤強化委員会が中心となり、大学・大学院・高等専門学校などの学生を対象にキャリア支援セミナー企画をリモートで開催し、多くのフルードパワー関連企業の技術者と学生との交

流を進めました。フルードパワー関連の教育機関の研究室に所属する学生会員が、就職後に若手企業会員として継続して会員となることを期待しております。

また安定的な学会運営のためには、教育研究機関と企業との連携による産学連携は欠かせません。春と秋の定期講演会や各種セミナーの実施、フルードパワー工業会などとの協力を通して、フルードパワーに関する企業サイドからの技術相談体制をより一層強化してまいります。また工業会と協力して実習付きの空気圧基礎講座を大学の学生へ出前授業として行い、若手のフルードパワーのファンを増やすことを計画しております。会員の皆様にもこれらの企画を積極的にご活用いただければ幸いです。

今年度は9月18日～20日にIFPEX2024（フルードパワー国際見本市）が東京・お台場、10月22日～25日にはフルードパワー国際シンポジウムが広島で開催されます。また6月21日の春季講演会では中国から燕山大学教授の艾超（Ai Chao）先生をお招きした特別講演会も実施されました。さらに来年度は国際交流委員会を中心に日中韓フルードパワージョイントワークショップの開催企画も進められています。また今後の発展が大いに期待されるインドのフルードパワー関連団体との交流も始まりました。コロナでここ4年ほど途絶えていた海外との交流がこれらの国際企画を通して再び動き出しつつあります。会員の皆様にはぜひこの機会を活用して国際交流を深めていただければ幸いです。

学会誌の創刊号（1970年10月号）で初代の丹羽会長は「技術力の健全な発展の母体は理論であり、学会の機能は、技術者に答え、助け合う機構であり、学会の本質は、開放された技術と理論の共通の広場である」と述べられておられます。学会の使命は産学に広く開かれた技術と理論を議論しあうフルードパワー技術研究の広場を提供していくことであります。そのような観点から、会員の皆様や事務局の皆様のご支援を頂きながら、当学会の運営に努力していく所存です。今後とも皆様のご理解とより一層のご支援ご協力を賜りますことをお願い申し上げます。

（原稿受付：2024年6月30日）

挨拶

副会長のご挨拶

著者紹介



しまむら ひでひこ
嶋村 英彦

川崎重工業株式会社
E-mail : shimamura_h@global.kawasaki.com

川崎重工株式会社 専務執行役員、
精密機械・ロボットカンパニープレジデント



かわかみ ゆきお
川上 幸男

芝浦工業大学
E-mail : kawakami@shibaura-it.ac.jp

1991年早稲田大学大学院工学研究科博士課程
単位取得満期退学。1992年芝浦工業大学助手、
講師、助教授を経て、2004年同大学システム工
学部教授。空気圧システム制御の研究に従事。
日本フルードパワーシステム学会、日本機械学
会などの会員。博士（工学）。



さとう やすかず
佐藤 恭一

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 : sato-yasukazu-zm@ynu.ac.jp

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

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会の
2024年度通常総会が6月21日に開催され、早川恭弘
会長が任期満了となり、法政大学・田中豊先生が新
たに会長に選出されました。また副会長には、川崎
重工業(株)・嶋村英彦、芝浦工業大学・川上幸男の続
投に加え、横浜国立大学・佐藤恭一が新たに任命さ
れました。副会長3名は田中新会長を補佐し、学会
の運営に尽力して参りたいと考えております。副会
長のご挨拶として、所信を述べさせていただきます。

昨年5月の新型コロナウイルス感染症の5類感染
症移行から、講演会、セミナー等の通常のイベント
行事は、一部はオンライン・ハイブリッド形式だが
多くは対面形式に戻りました。2020年から延期さ
れていた学会創立50周年記念パーティーと特別記
念講演は、昨年9月29日に盛大裡に開催されまし

た。これは単にコロナ前の状態に戻ったのではなく、
イベント行事の目的、趣旨に応じて対面開催、オン
ライン・ハイブリッド開催など多様な活動形式を選
択し得る環境が整ったものと考えております。

Face-to-Faceの交流や懇親ももちろん重要であり
ますが、オンライン・ハイブリッド開催は、遠方の方
、ご多忙の方もイベント行事や各種委員会活動に
参加しやすくし、研究者・技術者のネットワークを
広げる有用なツールとなりました。ネットワークの
拡大は、学会の活性化と基盤強化につながると確信
しています。

基盤強化は学会の永続的課題であり、会員数増加
のみならず、学と産の双方からフルードパワー各分
野の研究者・技術者に分野のバランスよく参加して
いただくことが肝要です。特に学ではフルードパ
ワーに関わった研究を推進されている若手研究者は
潜在的にいるはずで、ネットワークを広げる過程で
学会活動へ参加を促す“人財発掘”を進めていく所存
です。若手研究者・技術者に声をかけるためには、
参加することに魅力を感じる学会を志向することは
言うまでもありません。

10月22日～25日に広島国際会議場にてThe 12th
JFPS International Symposium on Fluid Power
Hiroshimaが対面形式で開催されます。国内外の研
究者、技術者が会場に集い、最新のフルードパワー
の研究を発信する場、活発な情報交換の場となるこ
とを期待するとともに、成功につながるよう協力し
て参ります。

以上、学会の活性化、基盤強化、国際シンポジウ
ムの協力について所信を述べさせていただきました。
田中新会長のもと、会員諸氏、学界、産業界のお役
に立てるよう尽力して参りますので、ご理解ならび
にご支援のほど、よろしくお願い申し上げます。

最後に、今年度は例年より1ヵ月遅い6月の通常
総会開催と本誌の原稿提出期日の兼ね合いから、総
会を前提とした事前の挨拶文となっていること、ご
容赦いただきたい。

(原稿受付：2024年5月22日)

「フルードパワーシステムにおけるMBD活用」 の発刊にあたって

著者紹介



よし み こう じ
吉 見 浩 司

川崎重工工業株式会社
〒651-2239 兵庫県神戸市西区榎谷町松本234
E-mail : yoshimi_k@global.kawasaki.com

2011年川崎重工工業へ入社、建設機械用油圧
モータと減速機の開発に従事し現在に至る。日
本フルードパワーシステム学会の会員。

モデルベース開発 (Model Based Development) は、シミュレーション技術を活用した開発手法であり、この手法ではコンピュータ上の計算式などを含む「モデル」を用いて、複雑なシステムなどの動作をシミュレーションし、妥当性の検証を行うことができる。

MBDを活用することで設計・試作・評価の期間短縮が期待でき、今後も益々必要とされる分野である。

本特集号では、MBDの活用事例を中心に解説いただき、より身近に感じていただくことを目的としている。

はじめに、工藤啓治氏 (シミュレーション・コンサルタント) には「モデルベース開発と想定設計手法の連携による手戻りゼロの実現に向けて」と題して、過去設計モデルや手順を標準化し、設計情報の変動可能性を想定することで設計手戻り回避のためのシミュレーション活用方法を解説いただく。

萬谷浩章氏 (カヤバ株式会社) には「FEMモデルの機械学習モデルへの縮退化と1DCAEの実装に関する取り組み」と題して、ショックアブソーバの減衰力予測のため、3DCAEモデルを機械学習により1DCAEへ低次元化することで計算時間を短くした実装例を解説いただく。

竹下仁士氏 (MathWorks Japan) には「フルードシステム開発におけるバーチャルプロトタイプMBDの適用」と題して、データセンター冷却シス

テムの仮想検証を例に構成要素のスペック検討や影響度の妥当性検証について解説いただく。

眞田一志氏 (横浜国立大学) には「油圧分野におけるモデルベース開発の事例紹介」と題して、2017年発行の類似特集号以降に携わられた油圧分野での適用事例を解説いただく。

脇谷伸氏 (広島大学) には「モデルベース開発 (MBD) プラットフォームによる油圧制御システム開発」と題して、建設機械の油圧制御システムの開発と検証過程について、企業との共同研究による成果例を解説いただく。

福江高志氏 (金沢工業大学) には「MBDの活用に向けた軸流ファンのプラントモデルの課題」と題して、熱設計における軸流ファンのプラントモデルを構築するために抱えているファン性能の課題について解説いただく。

村岡正氏、足立智彦氏 (社)MBD推進センター) には「SURIAWASE2.0」によるモビリティ社会の最先端開発コミュニティの実現」と題して、経済産業省が推奨するSURIAWASE2.0構想を実現するため、自動車業界におけるMBD推進に向けた活動内容を紹介いただく。

小野木華奈子氏 (株式会社伊東商会) には「ソフトウェアを使用した温度シミュレーション」と題して、不具合の事象に対して油圧回路シミュレーションソフトを使用し、油圧システムを見直すことで課題解決に取り組まれた事例を解説いただく。

本特集号が研究・開発におけるシステム構想の一助を担いフルードパワー技術の発展に寄与することを願う。

最後に、発行にあたりご多忙にもかかわらずご寄稿をいただきました執筆者の皆様、ならびに協力いただいた関係者様、副主査を担当くださった信州大学飯尾准教授に心からお礼申し上げる。

(原稿受付：2024年6月12日)

解説

モデルベース開発と想定設計手法の連携による
手戻りゼロの実現に向けて

著者紹介

く どう けい じ
工 藤 啓 治

シミュレーション・コンサルタント

〒243-0031 神奈川県厚木市戸室

E-mail : keiji.kudo@engineous-consulting.com

1984年北海道大学 理学部物理学科 物性理論専攻卒。スーパーコンピュータや最適設計ソフトウェア会社を経て、2024年1月まで、ダッソー・システムズに所属。現在、CAE主導設計業務コンサルティングに従事。日本機械学会、日本計算工学会、CAE懇話会会員。

1. はじめに

長年、シミュレーションを利用しているお客様とお付き合いする中で、シミュレーションの役割は益々大きくなっていることを実感する一方で、どこまで本当に設計に役立っているのだろうかという疑問も大きくなりこそすれ、自信をもってYESと言い切れない体験も多い。その理由は、設計開発において手戻りが一向に減らないという話が多く、シミュレーションの活用の仕方が成熟していないように見えるからである。設計開発プロセスにおいて期間、工数やコストが増える根本要因のほとんどに設計の手戻りが起因していることから鑑みれば、この本丸課題にこそ、シミュレーション屋の立場でチャレンジすべきとも考える。いきなり大層なことを申し上げて恐縮であるが、シミュレーション活用とほぼ同義である、モデルベース開発（MBD）に従事するということは、まさに本丸解決を目指すということに他ならない。

手戻りが発生する原因には、設計が複雑になってきたことで、経験や実績による設計では対応できない複雑な性能間のトレードオフや、データ共有やコミュニケーションに関する不備、経験の少ないエンジニアの増加などさまざまな要因が考えられる。そうした複雑かつ未経験的状況のなかで、結果として事前の想定が甘いか、予測前提に不備があったことによる基本設計の品質に帰着するのが手戻りの要因である。一方、基本設計時には未定・未知の設計情報がたくさん含まれているので、それらのある程度

想定し、性能や制約がどのような振る舞いをするかを把握しておくことがきわめて重要である。本稿では、手戻りを事前に回避する方法論を想定設計と名付け、それを実現する基本概念とモデルベース開発に有用なフレームワークを提示する。

2. 想定設計とその期待成果

製造業の設計開発プロセス工程においては、さまざまな不具合が生じている。たとえば、

- ・検討漏れにより、試作段階で何度も手戻り
- ・後工程での不具合解決のため、基本設計見直し
- ・目標性能が高すぎて、無駄な試行錯誤
- ・トレードオフ性を解決できず、想定外重量付加
- ・市場要求に対応できず競争力のない製品仕様に

このような設計課題は、基本設計の品質が悪いことが原因となって後工程で生じており、開発工程・期間にもコストにも大幅な影響を及ぼす。設計品質が悪いとは、言い換えると、“状況把握と変更に対応できなかった想定失敗”ということができる。特に、裏付けの薄い経験に基づく設計プロセスにおいては、このような不具合が頻繁に生じることは、しばしば報告されている。こうした不具合を生じさせないための素性のよい基本設計のあり方とは、上記と対比させる形で書くと下記の状態になっていることである。

- ・抜け漏れのない要求検証を行う
- ・後工程での変動要因を事前想定しておく
- ・目標性能の割り付け案を幅広く検討しておく
- ・複合性能のトレードオフ性を定量評価しておく
- ・要求変更の可能性を事前想定しておく

これらを実現するための方法論を、以下のように定義し、「想定設計」と名付ける。

さまざまな設計情報の変動可能性を想定しておき、そのための多様な設計案の組み合わせをシミュレーションで事前検討しておくことで、実現可能な設計案を常に変換できる状態

特に本学会で対象とする流体機械は、複合性能間において複雑なトレードオフ性を持つ。例えば、製

品性能や制約条件は、流体的な側面では流速、流量、流体圧、流体音騒音、容量などで表現され、構造的な側面では、応力、変形量、耐久性、振動などを評価する必要があるだろう。これらの指標は、仕様や形状を変えるだけですべてに影響し、相反する関係にあるために、それらの複雑な関係性をシミュレーションにより定量的に把握する手法が必要となる。

一方、流体機械は長い歴史を持つが故に過去ノウハウや設計ルールも多く、それらの前提が古く最新の設計への適用には適していなかったり、根拠が曖昧であったりする場合も多いと聞く。新しい世代の設計者にとって、そうした過去設計ノウハウに依存しながら、性能向上を目指した新規設計を行うためには、過去設計基準がどの程度正しいのか否か、条件を変更ないしは削除することで、設計の自由度がどこまで上がるのか、新たな設計ルールを設けるとしたら、どのような根拠に基づくべきか否か、等々検討すべきことは山ほど出てくるはずである。「想定設計」は、まさにそうした状況に合理的（サイエンティフィックに）に対応するためのデジタル手法であると言える。

3. モデルベース開発の位置づけ

設計開発プロセス全体におけるモデルベース開発（Model Based Development）の位置づけを明確にしておく。MBDの定義は企業により人により広くさまざまではあるが、ここでは図1に示すように、実物試作を実施する前のバーチャルな設計プロセスすべてに適用される、モデルを活用した設計と考える。そういう意味では、CAE（Computer-Aided Engineering）も、計算シートによる設計も経験則も、バーチャルな領域での設計であるからMBDと捉えることができる。

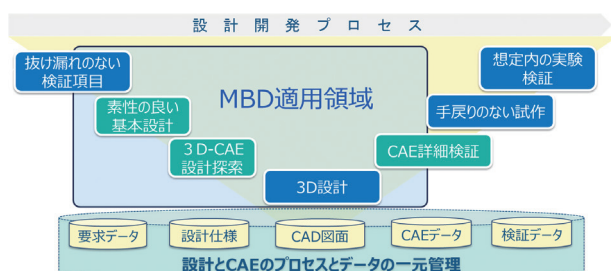


図1 設計開発プロセスにおけるMBD

以下では、広い概念のMBDを具体的な手法に落とし込んで活用するしくみとして、Model Based Parametric Designを紹介する。図2に示すように、4つのステップからなるフレームワークであり、想定設計を実現するためのデータ生成と対話型でのデータ分析を提供する。

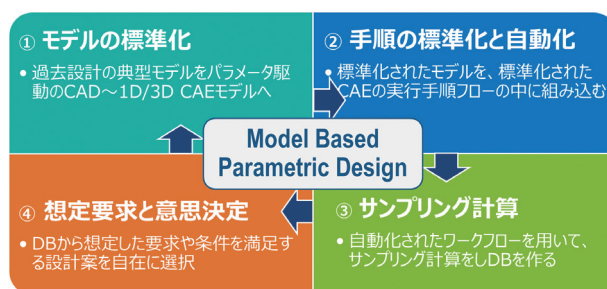


図2 Model Based Parametric Designのしくみ

①モデルの標準化

過去設計の典型モデルを、パラメータ駆動のための初期モデルとして定義することが出発点となる。過去設計のDBから類似性のパターンを調べ、共通しているデータ群をグループ化し、パターンの変化を可変設計パラメータとして数値化することで、パラメータ駆動可能な標準モデルを、CADあるいは、1D/3D CAEモデルの形で定義することができる。

モデルの標準化は言い換えれば、過去設計のノウハウを形式知化し、分析し、未来設計に再利用できる形にした設計情報といえるので、モデル標準化の試み自体が高度な設計行為であることをあらためて強調しておきたい。

②手順の標準化

設計性能解析の手順をワークフロー化し、可変パラメータの組み合わせを自動的に設定し、計算を自動的に実行可能な形にする。このワークフローの中には、CADモデルをはじめ、要求性能や設計準拠ルール、ドキュメントや計算シートに記載されている情報も含め、解析を実行するための関連情報が全て記述されており、後処理まで自動化できることから、「標準化された設計情報が盛り込まれた実行可能な手順書」と称してもよい。図3に、ワークフローのイメージ図を記す。

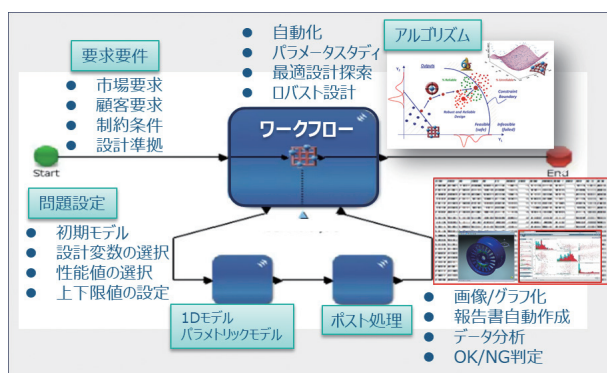


図3 ワークフローのイメージ図

③サンプリング計算

設計変数、制約条件、要求性能に想定可能な上下限値を与えて、実験計画法などを用いたサンプリング計算を実施する。このデータ群は仮想経験DBと言い換えることもできる。計算回数には特に推奨された回数はないものの、設計変数と制約条件や要求数の総数次元を勘案しながら、数百回から数万回程度のサンプリング数を実施することで、可能な限りの組み合わせ数の新たな設計案を生成する。

④想定要求と意思決定

設計方針に沿った要求性能と制約条件を想定して、それらの上下限値を自在に変更しながら、仮想経験DBから設計案を対話的に絞り込む思考と判断の段階である。さまざまな状況を想定してデータ分析をするこの手順こそが、想定設計の本質であり、従来の設計プロセスには見られなかった考え方である。この想定設計が正しく実現できれば、後工程での手戻りを合理的に減らすことが可能な、素性のよい基本設計案を提供できることになる。

4. 1D-CAEと想定設計の相性

1D-CAEの定義にも（-を付ける付けないも含め）さまざまあるが、ここでは3D-CAEと対比する形で、“詳細な形状データ（CAD）を含まずに複合物理計算を実施できるシミュレーション”と定義してみる。商用に出回っている複合物理系の1D-CAEシミュレーションを想定していただけると良い。1D-CAEは以下に挙げる3つの意味で、想定設計との相性が良い。

①複合領域の基本設計に対応

マルチフィジクスと制御連成問題を一つのモデルで扱える、即ち複合領域の基本設計問題が解ける。例えば、機構系、電気系、化学系、制御系からなるモジュールを組み合わせ、システムとしての製品の振る舞い全体をシミュレーションすることができるので、現在急速に進歩している。

②標準モデル化済み

設計因子がすでにパラメータ化されているので、標準化のためのモデル化作業の大半は不要となり、どの設計因子を選択するかという本質的な問題設定に集中できる。モデルの設計パラメータの固定あるいは可変の組み合わせで無数の設計案を検討できる。

③想定設計のための意思決定

前章で説明したModel Based Parametric Design

のフレームワークをそのまま適用できるので、大量のデータを分析して、複雑な基本設計のトレードオフ問題を検討することが可能となる。

5. 想定設計のポイント

従来の最適設計と今回提唱している想定設計と何が異なるのかを議論する。最適設計探索問題においては、設計空間と解空間を考えるが、想定設計においては、これにシナリオ空間というもう一段外回りのパラメータを考える。

・シナリオ空間（ケース数）

想定されうる利用状況をシナリオとしてパラメータで表現

・設計空間（設計案数）

要求や基本仕様を満たすための設計変数の組み合わせ数（数100～数万パターン）

・解空間（目的や条件の数）

モデルから計算できる性能目標や設計制約値の数（数個～数10個）

通常の設計問題は、数ケースほどの条件を設定しておいて、おのおの最適設計を行うことになるが、その数が増えてくれば、最適解を見つけ出すことが難しくなっていく、あれもこれもとケース数を追加した暁には、設計可能解は存在しないという状況になり得る。想定設計においては、制約条件を一切取り払って、実験計画法もしくは、多目的最適手法を駆使して、なるべく広い範囲での設計空間とシナリオ空間において、成立解を絞り込むという点にある。当然条件が厳しくしていくほど、成立解は少なくなるものの、どの条件が成立性に大きく寄与しているのかを、そうした対話型の絞り込み操作を通じて、把握することができる。実際に問題を設定する際には、計算回数の観点からシナリオ空間のパラメータを、設計パラメータの中に含めてしまう場合も多い。

6. ケーススタディ

6.1 熱交換器の基本設計

はじめに簡単な適用事例を示す。図4と表1にラジエーターやクーラーなどの熱交換器の原理を模式した図を示す。本問題の概要は以下に示すような2次元流体解析を用いた2目的の多目的問題である。

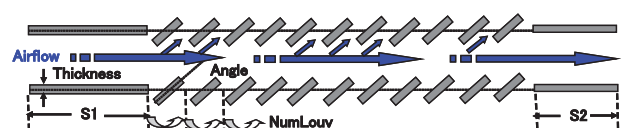


図4 熱交換器の概念設計

表1 設計変数と目的関数

設計変数	目的関数
ルーバ角度: Angle	1. 圧力損失最小化(小さいほどファンのパワーが要らない)
ルーバ枚数: NumLouv	2. 熱伝達率最大化(大きいほど冷却性能が高い)
入口平坦部1の長さ: S1	
出口平坦部2の長さ: S2	
フィン厚さ: Thickness	

本問題に多目的遺伝的アルゴリズムを適用し、600ケースの計算結果を得て表示したのが、図5である。そのうち、パレート解（最適解集合）のフロントが濃い点で示されている。

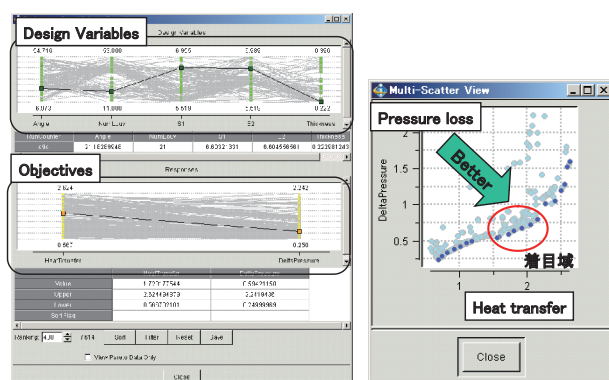


図5 平行軸プロットと散布図

図5の状態から、解空間と設計空間を絞り込んでいく手順は以下の通りである。

- ①パレート解のみを表示する
- ②目的関数間の散布図から、図5に丸で囲まれた中間領域に着目する
- ③Heat TransferあるいはPressure Lossのどちらかの側から表示したい上限値と下限値を入れて、絞り込み表示する

上記の3回の絞り込みはいずれも、解空間からの絞り込みであることがポイントである。ベテラン設計者であれば、すでにノウハウを持っているが故に、設計空間の側から絞り込みたくなるかもしれないが、あくまでも解空間に着目した上で、設計空間の分析を行うのが、想定設計の要点である。

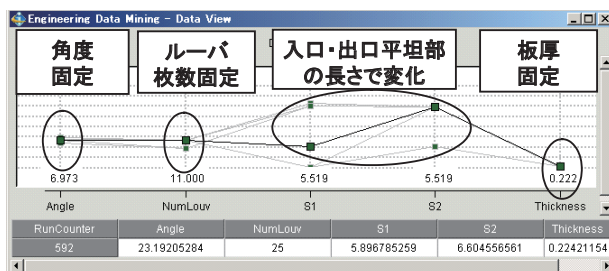


図6 パレート解着目域での設計変数パターン

パレート解の空間領域に絞り込んで、図6の設計空間の平行軸プロットをみると、設計空間に関し以下の重要な情報を得ることができる。

- ①板厚は、パレート解すべてに共通し最小値に固定（当然の帰結）
- ②パレート解中間域においては、角度とルーバ枚数は固定。最適解空間内で固定パラメータが存在するということは、極めて重要な設計ノウハウである。もし、過去の設計履歴がこの結果に従っている場合、この分析結果が設計根拠といえることができる。過去知見に含まれていない場合は、新たな設計知見を導いたということになる。
- ③残りの可変設計変数である、入口平坦部と出口平坦部の長さは、中間域の解集合から欲しい解を選択する場合の調整パラメータとして働くことがわかる。注意深く見ると、任意の組み合わせで選択することはできず、決まった長さでの長一長、短一長、短一短の組み合わせしだいで、熱効率と圧力損失を調整できる。その組み合わせパターンが新たな設計知見である。

本事例では、固定すべき設計変数が明確に示され、残りの変数を調整することにより、着目域でのパレート解上の最適解をどれでも選択することができることがわかった。これにより、性能を担保できる設計パターンの根拠が示されたとともに、仮に後工程で平坦部の長さを変更せざるを得ない事情が生じた場合でも、図6に示された分析により、性能を犠牲にせずに、別の設計解を選択できることがわかった。

6.2 HEV設計

図7に、1D-CAEソフトウェアで構築したHEVのモデルを示す。

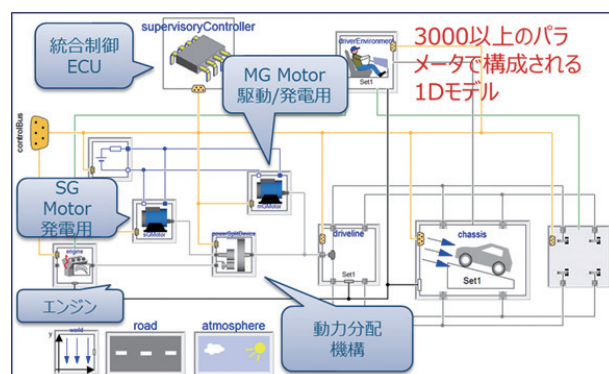


図7 HEVの1D-CAEモデル

モデル自体は非常に多くのパラメータを内在しているが、ここでは、表2のように制御変数5種、仕様変数5種の計10パラメータの設計探索問題を設定する。ここで、設計パラメータに車重が含まれている点に

表2 設計パラメータ・リスト

	パラメータ名		初期値	Min	Max
制御変数	unfilledMGtable (L)	モーター出力割合SoC (下限)	0.4	0.3	0.6
	unfilledMGtable (U)	モーター出力割合SoC (上限)	0.6	0.5	0.8
	tauMGtable	モーターアシスト開始SoC	0.5	0.3	0.8
	frictionBrakeStable	回生/摩擦ブレーキしきい値 [m/s]	1.0	-10%	10%
	fullCEtable	アシスト開始スロットル開度	0.5	0.3	0.8
仕様変数	idealBattery.VCellMin	バッテリーセル電圧 [V]	1.24	-10%	10%
	idealBattery.battery.ns	バッテリーセル数	228	-10%	10%
	mGTauNominal	定格最大トルク [N.m]	350	140	400
	sGTauNominal	定格最大トルク [N.m]	55	-10%	10%
	Vehicle.mass	車重 [kg]	1300	-5%	+5%

注意されたい。車重は通常、設計した結果としてのアウトプットであり、設計変数ではない。しかしここでは、基本設計時において以下の想定設計問題を考える。

後工程で重量が増加した場合に、バッテリー能力とモータ仕様でどこまで燃費目標を担保できるか？

この場合、後工程で変更される可能性のある（まだ未定の）重量を“シナリオ・パラメータ”として想定することで、その影響を事前に検証するシナリオを作成することができる。図8に示すような自動化ワークフローを用いて、サンプリング計算を実施し、仮想経験DBを作成する。

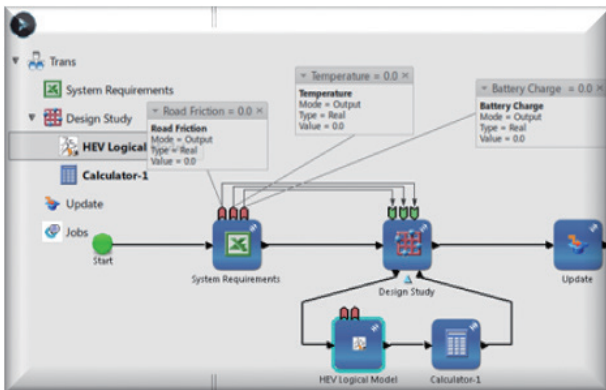


図8 パラメータ・スタディ用ワークフロー

サンプリング計算結果を分析するための可視化や手法はさまざまあるが、ここでは2D散布図を使ったシンプルなデータの見方を紹介する。

図9は、横軸に車重、縦軸に燃費（燃料消費量）を取った散布図である。この図を用いて、想定設計におけるデータの見方の一例を説明する。

まず、重量が増えたとしても燃費を担保できる限界線が存在していることがわかる。重量増加と燃費最少という相反する2目的を満足する最適解集合でもあるので、限界線（パレート解）が存在するのは当然である。この限界線の見方としては、仮に後工

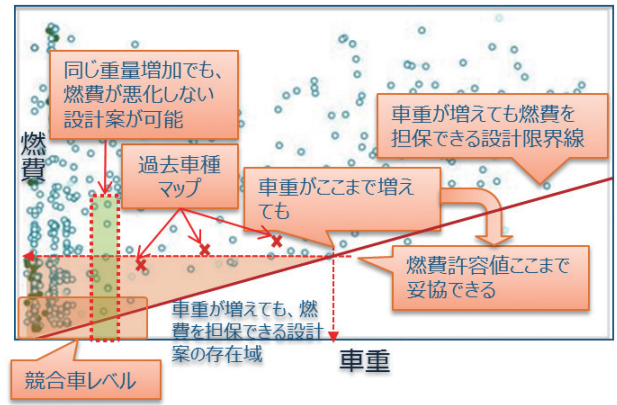


図9 想定設計視点でのデータの見方

程で予期せぬ重量増加があると燃費は悪くなるのは当然として、その中でのベストな燃費を実現する設計を選択できることを意味している。その燃費が目標内にあれば、大きな設計変更を要しないことがわかるし、逆に目標燃費に収めるための、許容可能な重量を見ているので、限界判断が可能になる。

また、重量増加した場合でも燃費が悪化しない設計案も存在することがわかり、それらの設計案を事前に検討しておくことが可能である。実際には燃費だけではなく、他の制約条件の満足性も考慮しなければならないので、選択肢はより少なくなるであろうが、選択肢を事前に検討できるという状態がまさに、想定設計の大きな効果である。

このような想定設計的な分析を行うには、第一にデータ集合のパターンを見るに十分なサンプリング計算のDBが必要で、かつ、データを見る視点を養うことが何よりも重要である。データ群から意味を汲み取るデータサイエンス的な素養を要求するのである。

仮想設計DBは、過去設計ノウハウをベースにした、次世代設計に活用できるノウハウとして、一度使って終わりではなく、新設計情報を付加し、より広範囲に、より多様な設計案の組み合わせを加えて、持続的に構築していくべき設計情報である。

7. Front loadingの実現に向けて

設計の約8割は既存設計の改良やルーチンワークであるといわれる。残りの2割が新規設計であるが、そのうちの大半は従来設計に基づく新たな設計パラメータの組み合わせに基づく革新設計、新しい発想に基づく発想設計そのさらに一部であるから、図10に占めるような構図になる。

商品の魅力を出し、競合と優位に戦うには発想設計が重要ではあるものの、リソースには限りがあるので、リソースの大半を占める改良設計を迅速に正

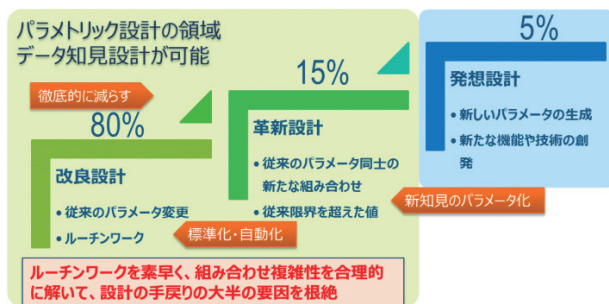


図10 改良設計・革新設計・発想設計

しく実施しないことには、革新設計や発想設計に取り組む余地はなくなってしまう。今回紹介した Model Based Parametric Design のしくみと想定設計の考え方は、図10に示す革新設計を迅速に正しく取り組む方策であり、ひいては手戻りゼロを実現する。しかも、80%を占める改良設計にも応用できる汎用的な手法である。このような考え方に基づく設計プロセスは、従来、CAEのFront loadingあるいはUp-front CAEと呼ばれてきたコンセプトの実現でもあり、世界の先端企業では、名称は個別ながら長期的戦略的な取り組みとしてすでに実現されている。日本においてもぜひ実現されるべき取り組みであることは言うまでもない。

8. ま と め

従来のCAE活用の大半は、下記に示す代替検討/検証を目的としたCAEであるが、設計への効果という点では限定的であることを否めない。

- ・代替検討/検証CAE：詳細設計段階で代替案を検討、実験前に検証
- ・効果：試作/実験の一定の削減効果はあるが、設計の本質には影響は限定的
- ・手法：高精度のモデルにより、現象再現性を高める

一方、Front loadingの視点で力を入れるべきは、設計の品質を上げる企画/構想CAEであることは明らかであろう。

- ・企画/構想CAE：基本設計段階で、設計者の思考を支援
- ・効果：素性の良い基本設計を導き、開発期間の大幅短縮、手戻り削減、コスト削減に大きな効

果を及ぼす

- ・手法：設計目的に則した設計空間と探索アルゴリズムで設計探索を行い、大量のデータの意味を理解し・分析する

本論で紹介した想定設計は、まさに企画/構想CAEとしての活用方法の一つであって、かつ、昨今のトレンドであるデータ・サイエンスのアプローチでもある。大量のデータの集合から、意味のある情報を得るには、設計問題の深い理解とデータ・サイエンス的な素養が必要であり、以下のような人材育成が望まれる。

データ・サイエンス的な見方・思考・スキル

- ・設計目的とシナリオを明確に
- ・設計空間/解空間の意味を理解
- ・探索アルゴリズムの特長と使い方を理解
- ・データの分析方法を理解
- ・データの見方を理解

設計手戻りを限りなくゼロにすることを目標とする、想定設計コンセプトを提示した。過去設計モデルや手順を標準化し、パラメトリックな標準モデルをベースにした仮想経験DBとその分析で構成される Model Based Parametric Design 手法を適用することで、想定設計を実現できることを示した。本稿で紹介した手法がより幅広く適用され、手戻り削減に貢献することを願ってやまない。

9. 謝 辞

本論文の執筆にあたり、前職のダッソー・システムズ株式会社から図や事例の引用を快く許諾いただいた。深く御礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 工藤啓治, シミュレーションを基盤とした設計フロント・ローディング手法の体系化とその実現, スマートプロセス学会誌2018年5月号
- 2) 工藤啓治, 量産・実効・個別品質を検証するIoT時代の統計的シミュレーション・フレームワークについて, 計算工学講演会論文集 Vol. 25 (2020年6月)
- 3) 工藤啓治, 流体機械へのモデルベース開発手法の適用とケーススタディ, フルードパワーシステム 2020年9月号

(原稿受付：2024年4月9日)

解説

FEMモデルの機械学習モデルへの縮退化と1DCAEの実装に関する取り組み

著者紹介



萬谷浩章

カヤバ株式会社

〒509-0298 岐阜県可児市土田2548

2009年カヤバ株式会社入社。現在、技術本部CAE推進部（岐阜分室）にて、主に自動車用緩衝器の性能予測のためのCAEに従事。

1. はじめに

1.1 対象製品

本報で対象とする図1の自動車用緩衝器のショックアブソーバ（以下、SA）について紹介する。SAには車両の振動を減衰させる役割がある。路面の凹凸や車両姿勢の変化によってSAは伸び縮みし、作動速度に応じて容器内で押しのけられた作動油を小さな面積のオリフィスやリーフバルブで絞ることで生じる圧力差として減衰力を発生させる。SAの性能は、減衰力-速度特性で評価する。中でも重要な構成部品であるリーフバルブは、作動中の圧力によって油路面積を変化させるために取り付けられる薄い鋼板で、その積層方法（外径、板厚、枚数）を変えることで車両に合った減衰力にチューニングされる。

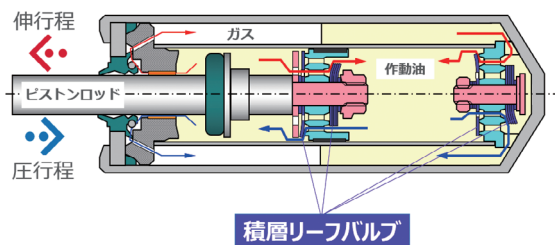


図1 ショックアブソーバの構造

1.2 カヤバのCAEの取り組み

カヤバ（以下、当社）では、1968年にCAEを導入して以来、図2に示すさまざまな予測技術を導入し、製品・技術の開発を支援してきた。CAEには、企画段階で製品の機能を検討する1DCAE（システ

ムシミュレーション）と製品形状を詳細に検討する3DCAE（FEM）があり、その双方の予測技術を培ってきた。

1985年に運用を開始した技術計算を容易に行う当社独自の仕組みであるCAE標準実行システムでは、1DCAE・3DCAEを問わずさまざまなアプリケーションで入力方法・実行方法・出力方法を統一することで、高度な予測技術をどこからでも簡単に利用できる。現在、このシステムには約2000個のプログラムが登録されている。

本報で対象とするSAの減衰力計算は、当社の基礎理論が1981年に確立されて以来、CAE標準実行システム上で計算する数式ベースの1DCAEとして取り組んできた。

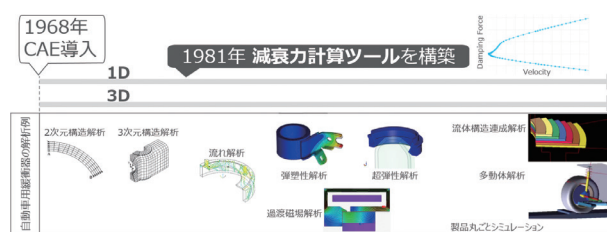


図2 自動車用緩衝器の解析一例

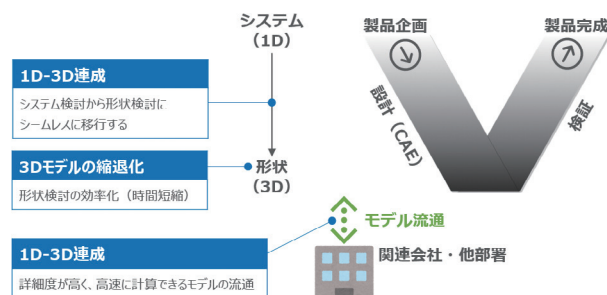
1.3 概要

昨今では、モデルベース開発（以下、MBD）の普及に伴って、製品開発の上流で機能と形状の検討サイクルを回すために、1DCAEと3DCAEを行き来する製品開発を実現する必要がある。また、社内の関係部署や会社間で試作品の代わりにモデルを流通させるニーズが高まっている。MBDに取り組む中で解決すべきと考える技術課題を以下に示す。

- ・シンプルで見通しの良いモデルを扱う1DCAEと実機をより忠実に再現する3DCAEではモデリングに対する考え方や必要なスキルが異なることからCAE専任者の中でも分業化がされており、システム検討と形状検討で連携がうまくとれていない場面がある。
- ・3DCAEによる形状検討では、解析コストが高くなりがちで、形状検討に多大な時間を要している。

・関係会社や他部署とのモデル流通では、製品の代わりをモデルが担うため、詳細度が高くても高速に計算できるモデルが要求される。

これらの技術課題を解決してMBDを円滑に進めるために、詳細な形状を扱える3DCAEを機械学習モデルに縮退化して1DCAEに実装する技術構築に取り組む(図3)。



高精度・高速にSAの減衰力を予測できる技術を構築するために、SAの積層リーフバルブのFEMモデルを縮退化した機械学習モデルを1DCAEのシミュレーションツール(以下、1D-CAE)に実装する技術を構築したので、概要を紹介する(図4)。



2. FEMモデル

技術構築で対象とする積層リーフバルブのFEM解析(図5)の特徴を以下に示す。

- ・リーフバルブの組立時(ねじ締結による軸力負荷)と作動時(オリフィスなどの油圧抵抗による圧力負荷)のリーフバルブの変形量・応力を評価できる
- ・SAの減衰力計算に用いている円板剛性の理論計算では考慮できない締結軸力による初期変形やリーフバルブ間の部分接触を考慮できる
- ・計算時間が長いため、SAの減衰力計算には敬遠され、主に積層リーフバルブの周辺部品の形状検討に利用されてきた
- ・微小変形理論のみならず、大変形理論での構造解析ができる

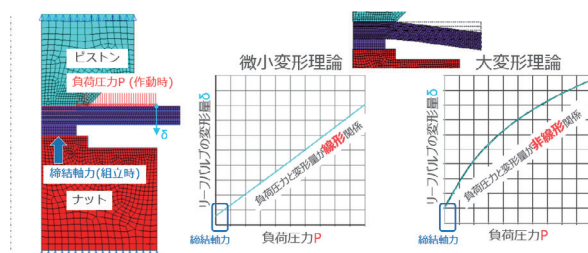


図5 積層リーフバルブのFEM解析

3. データセットの作成

SAの設計ラインナップの一部を対象に、リーフバルブの積層方法(外径、板厚、枚数)、負荷圧力を変えてFEM解析を連続実行することで、機械学習モデルの学習に必要なデータセットを作成した(表1)。このデータセットでは、図6に示す外側に円環形状のリーフバルブを溶接してプリロードを負荷することで高い減衰力を発生させるプリロードバルブと呼ばれる複雑なリーフバルブも計算対象とした。連続計算にあたり、FEMのプログラムコードをPythonで文字列処理をすることで、積層リーフバルブの積層方法(外径、板厚、枚数)をランダムに変更したプログラムを事前に作成し、当社のCAE標準システムを用いて、夜間・休日を問わず連続して自動で計算を実行した。

表1 学習データセット

リーフバルブの外径	5水準以上
リーフバルブの板厚	4水準以上
リーフバルブの枚数	3水準以上
プリロードバルブ	対象
負荷圧力	21条件
変形理論	大変形理論
データ数	1,045,380

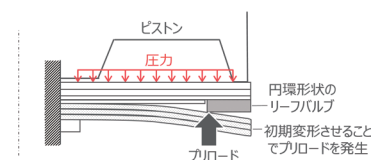


図6 プリロードバルブ

4. 機械学習モデルの構築

さまざまな機械学習のアルゴリズムの実装を試した結果、Microsoft社が近年リリースしたPythonのライブラリFLAMLを用いることで、FEMの解析結

果を高精度に推論できる機械学習のモデルを構築できた。構築した機械学習モデルの未知データに対する推論精度を図7に示す。機械学習の推論結果（縦軸）とFEMの計算結果（横軸）が傾き1（45度）の直線上にプロットされており、機械学習で高精度な推論ができていることが確認できる。

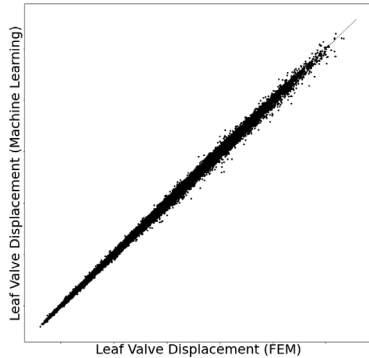


図7 機械学習モデルの推論精度

FLAMLは、決定木の機械学習のアルゴリズムとハイパーパラメータ（モデル作成者がアルゴリズム制御のために学習前に設定するパラメータ）を自動で選択できるAutoMLである。FLAMLを用いた結果、最終的にLightGBMのアルゴリズムを使用することとした。LightGBMは軽くて高速であることが特徴的な決定木のアルゴリズムで、近年、機械学習のコンペなどで広く活用されている。

5. 機械学習モデルの1D-CAEへの実装

Pythonの機械学習モデルを1D-CAEに実装する方法について調査した結果、実装が容易なTCP/IP通信を採用することとした。1D-CAEとPythonのTCP/IP通信を用いた連成解析のデータ授受の流れを図8に示す。リーフバルブの外径・板厚・枚数などの時間によって変化しない変数は計算開始直後に一度だけ1D-CAEからPythonに変数情報を渡し、負荷圧力のような時間によって変化する変数はTCP/IP通信を用いて通信時間ステップごとに変数情報をPythonに渡すこととした。Pythonでは1D-CAEか

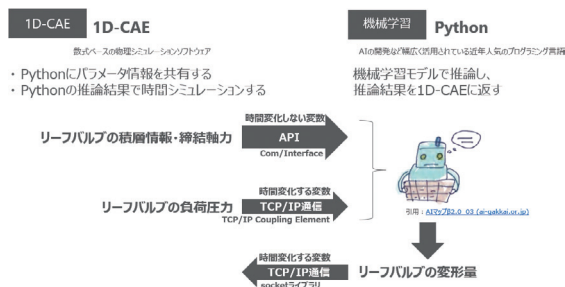


図8 1D-CAEとPythonのデータ授受

ら受け取った変数情報からリーフバルブの変形量を推論し、TCP/IP通信で1D-CAEに返すこととした。

TCP/IP通信を用いて、1D-CAEとPythonの連成解析を計算実行にするには1D-CAEとPythonの2つのツールを起動してそれぞれのツールで計算実行をする必要がある。1D-CAEのみで計算を完結させるために、1D-CAEの計算実行と同期して機械学習モデルのPythonコードを実行する1D-CAEのカスタマイズブロックを自作した（図9）。カスタマイズブロックの作成にはModelica言語を用いた。

カスタマイズブロックの特徴を以下に示す。

- ・機械学習モデルのパラメータの設定ができる
- ・図8の通信で1D-CAEとPythonを連成解析できる
- ・連成解析で動作させるPythonの仮想環境、Pythonコードを設定できる

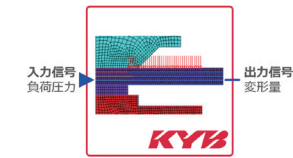


図9 1D-CAEのカスタマイズブロック

6. SAの減衰力計算

4章で構築した機械学習モデルを図9の1D-CAEのカスタマイズブロックに実装することで、構築した機械学習モデルがSAの性能指標である減衰力-速度特性の予測精度におよぼす影響について検証する。検証のために、Modelica言語で作成した当社独自の油圧ライブラリと機械学習モデルを接続して減衰力-速度特性を計算する1D-CAEのモデルを構築した（図10）。このモデルでは、油圧ライブラリで計算したリーフバルブの負荷圧力からリーフバルブの機械学習モデルでリーフバルブの変形量を計算し、油路の開口面積に換算して油圧ライブラリに戻す計算とした。

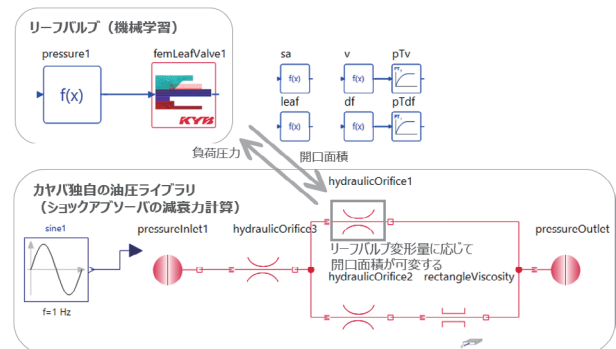


図10 SAの減衰力-速度特性の計算モデル

実験に対する減衰力－速度特性の予測精度検証の一例として、図6のプリロードバルブを対象に予測精度を検証した結果を図11に示す。この結果より、従来手法である理論計算に対して、機械学習モデルを組み込むことで、減衰力－速度特性を高精度に予測できることが確認できた。

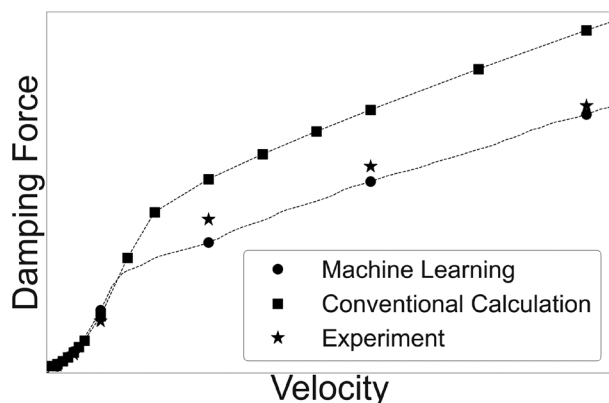


図11 減衰力－速度特性の予測精度

積層リーフバルブのFEMの計算時間93sec（圧力条件23点）に対して、FEMモデルを機械学習モデルに縮退化することで計算時間3sec（圧力条件1000点・SAの減衰力計算処理を含む）にでき、計算時間を大幅に短くできた。

7. 機械学習モデルの運用管理基盤の構築

前章までで技術構築した機械学習モデルを運用管理する上で、以下の新たな課題が顕在化した。

- ・機械学習モデルが個人管理されてしまうと、機械学習モデルの計算品質を保てない
- ・関係会社・他部署との間でモデルを流通する際に機械学習モデル（Python）の計算環境とコードもあわせて共有する必要がある

これらの課題を解決するために、管理された高品質な機械学習モデルを皆で利用できるシステムとして、図12の機械学習モデルの運用管理基盤を自社開発した。

機械学習モデルの運用管理基盤では、機械学習のリソースをAWS（Amazon Web Services）のクラウドに集約して、機械学習モデルの運用管理の一連の処理を自動化するMLOps（Machine Learning Operations）を実現した。このシステムにより、機械学習モデルの利用者と運用管理者の双方の工数を90%軽減できる見込みである。

図9と同様にModelica言語でカスタマイズブロックを自作することで、クラウドにある機械学習モデルと通信シミュレーションができる機能を

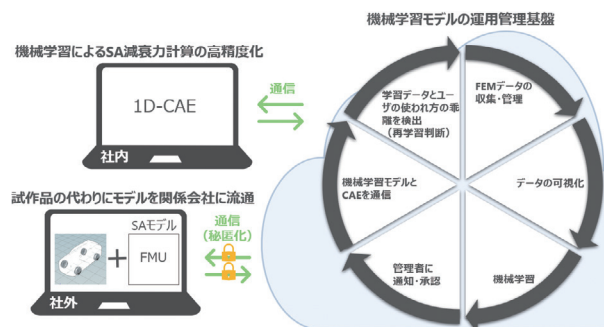


図12 機械学習モデルの運用管理基盤

1 D-CAEに実装した。これにより、クラウドの機械学習モデルと1 D-CAEの油圧回路モデルで通信シミュレーションすることができ、SAの減衰力－速度特性を計算できる（図13）。

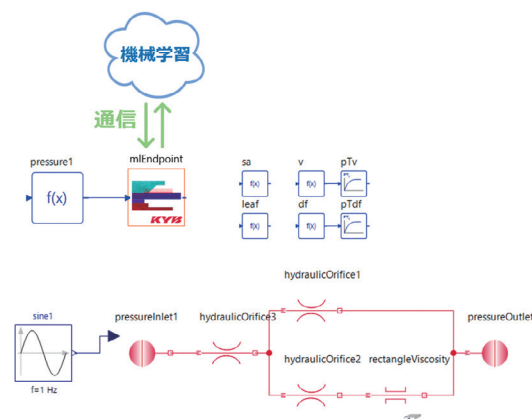


図13 クラウドとの通信シミュレーション

クラウドにある機械学習モデルと1 D-CAEの油圧回路モデルで通信をすることによって計算時間が長くなることを抑制するために、通信回数を減らす独自の通信アルゴリズムを考案した。独自の通信アルゴリズムを適用した結果、図11の減衰力－速度特性の計算時間を従来のアルゴリズムの60secから7secに短くできた。

関係会社（社外）とのモデル流通では、1 D-CAEのモデルをFMU（Functional Mockup Unit）にコンパイルして配布する。FMUは、モデル接続の共通インターフェイスFMI（Functional Mockup Interface）に基づいた実行モジュールで、モデルを秘匿化した上でCAEツールの種類に依存せずに流通して利用できる利点がある。セキュリティを確保しつつ、FMUとクラウドにある機械学習モデルを通信シミュレーションができるようにユーザ認証の機能を機械学習モデルの運用管理基盤に盛り込んだ。当社から認可された正しい認証情報がFMUに入力された場合のみ通信シミュレーションが許可され

る仕組みである。

8. おわりに

モデルの詳細度は高く計算時間が長いFEMモデルを機械学習モデルに縮退化することで、高精度でありながら計算時間を短くして1Dシミュレーションに実装する計算基盤を構築した。さらに、管理された高品質な機械学習モデルを皆で利用するために、機械学習モデルの運用管理基盤も構築した。

これらの構築した技術により、図3で述べたすべてのMBDの技術課題（1Dのシステム検討から3Dへのシームレスな移行、3Dの形状検討の効率化、関係会社・他部署とのモデル流通）に貢献できると

考える。社内外のモデルベース開発に積極的に本技術を適用し、モデルベース開発の効果を最大化できるよう努めたい。

最後に本取組に際しご協力をいただきました関連ソフトウェアベンダー様、ならびに社内関係部門の皆様にはこの場をお借りして厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 島田実, 満嶋弘二, 渡辺博仁: カヤバ工業におけるCAEの導入と定着, カヤバ術報, 第24号 (2002)
- 2) 宮内悠樹, 井指諒亮, 瀧野慎介: デジタル人財育成の取組み, カヤバ技報, 第66号 (2023年)

(原稿受付: 2024年4月5日)

会 告

公益財団法人油空圧機器技術振興財団 2024年度研究助成募集のお知らせ

公益財団法人油空圧機器技術振興財団では、毎年、油圧・空気圧機器およびこれらに関連した研究に対して研究助成金を交付しており、今年度も、以下のとおり助成金を交付する研究者を募集いたします。

詳細は、学会ホームページ (<http://www.jfps.jp/>) の「公募情報」、または、油空圧機器技術振興財団ホームページの「研究実施者募集要綱」をご覧ください。 <http://zaidan.taiyo-ltd.co.jp/outline.html>

会 告

2024年度オースタムセミナー 「水圧技術の課題と現状 (仮)」 開催日時: 11月~12月中旬を予定

地球環境負荷低減への取り組みが国際社会で進む中、対環境性や鉱物油の利用削減という観点で、水圧技術の普及が期待されています。本セミナーでは、水圧技術に関する課題を整理し、近年の研究や取り組みについて取り上げます。

本セミナーはオンラインでの開催を予定しております。(※会場での開催はございません) 詳細は学会ホームページに随時掲載いたします。皆様のご参加を心よりお待ちしております。

解説

フルードシステム開発における
バーチャルプロトタイプMBDの適用

著者紹介

たけ した ひと し
竹 下 仁 士MathWorks Japan
〒107-0052 東京都港区赤坂4-15-1-7
E-mail: htakeshi@mathworks.com

プリンシパル・エンジニア。修士課程修了後ゼネコンにて機電系業務担当。その後ソフトウェアディストリビューション会社を経てMathWorks入社。現在に至る。20年近くMATLAB/Simulinkを用いたMBD関連業務に従事。

1. はじめに

筆者にとって、フルードシステムではまず油圧を思い浮かべ、それと同時に油圧回路図も思い起こす。油圧回路図は規格化されており、油圧開発において必須となる。また、油圧回路図をベースとするCAD/CAM/CAEも一般化しているが、これは油圧回路図をモデルとしたMBD (Model-Based Design) と言うことができる¹⁾²⁾。

MATLAB®/Simulink®を基盤とするMBDは、制御開発を中心に広がった。概ねフルードシステム制御開発においても同じような状況である。

ここ最近の開発状況に着目すると、高機能、環境、社会貢献、持続可能性、法令などを広く考慮した開発が求められている。同様に、迅速開発、コスト削減、性能向上なども求められる。

このような状況を手助けするのがMBDである。特に、MATLAB/Simulinkを基盤とするMBDは図面ベースのフルードシステム開発を内包し、解析とシミュレーションを用いて開発を推進することができる。

本稿では、MATLAB/Simulinkを使用し、フルードシステムの上流開発にバーチャルプロトタイプを適用する効果について説明する。

2. MATLAB/Simulinkを用いた
MBDの有効性

MATLAB/Simulinkを用いたバーチャルプロトタイプMBDの大きな利点は、抽象化表現を用いた解析とシミュレーションによる原理証明を可能にする

ことである³⁾⁴⁾。

また、モノ作りにおいては、状況に応じて試作と修正が必要になる。これは特にコスト面でネガティブな要素となる。このバーチャルプロトタイプによる仮想実験環境を用いたMBDは、開発期間短縮、コスト削減において有効である。

さらに、近年は技術領域を広く跨いだ開発が求められており、この状況では抽象表現を用いた開発がキモになる。抽象化はシステム全体を俯瞰（ふかん）し、また、システム変更の影響範囲を明確にする。

これらを踏まえ、MATLAB/Simulinkを基盤とするMBDの有効性を以下に示す。

- ・原理証明支援
- ・バーチャルプロトによるコスト削減
- ・抽象化によるシステム理解の促進

3. MBDプロセス

概念的なMBDプロセスを図1に示す。

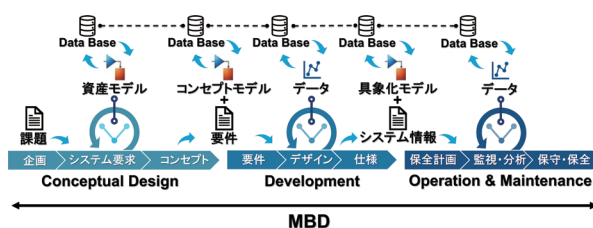


図1 MBDプロセス

MBDプロセスは複数のイタレーションループに分けて運用されることが多い。ここでは図のようにMBDプロセスを3つのループに分けた。以下にそれぞれを説明する。

i) コンセプト・デザイン

コンセプトフェーズのMBDは、コンセプトの検討や企画検討に大きな効果をもたらす。このMBDフェーズでは、的を絞ったモデルをバーチャルプロトタイプとして用いることで、システム全体の要件が明確化する。その結果、現実的な目標と方向性を示すことができる。

ii) 開発

開発フェーズのMBDは、すでに浸透している制御設計を含むアルゴリズム開発を加速する。開発状況に応じて対象をモデル化し活用することで、実現可能性を検証し、要件や仕様を練り上げることができる。

iii) 運用・保守

モデルから得られるシステム情報、シミュレーション結果や運用データの活用は、予知保全や保全計画策定を助ける。また、モデルやデータの利活用は、開発期間短縮やコスト削減だけでなく、今後のAI応用においてますます重要になる。

ここで示すような上流プロセスからのMBD適用は、企画と実設計の間を埋め、運用・保守に至るプロセスの円滑な完遂に貢献する。

4. 事例紹介

前章までの内容をデータセンター冷却システムの事例⁵⁾を用いて補足する。

モデル概要を図2に示す。このモデルは、コンセプトフェーズMBDの例となり、構成装置、スペック、関連要件、実現可能性などの検証を支援するものである。

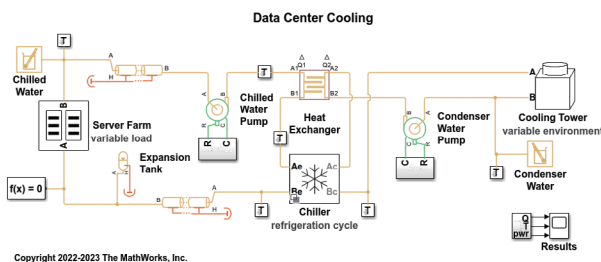


図2 データセンター冷却システム

なお、このモデルは物理モデリングツール Simscape™を用いて表現している。Simscapeは Simulinkを基盤とするマルチドメイン物理システムモデリング・シミュレーション環境である。方向性のない接続線を用いて、回路図のようにモデル化する非因果系モデリング環境である⁶⁾。

4.1 モデル構成

冷却系は一次側と二次側の系統で構成される。

一次側はサーバー・ファームを含む系統になり、冷媒はエチレングリコールと水の混合液を設定している。二次側は冷却塔を含む系統になり冷媒は水を設定している。

一次側と二次側の熱交換は主にヒート・エクスチェンジャーを介して行われる。また、ヒート・エクスチェンジャーだけでは十分な冷却効果を得られないため、冷却補強装置としてチラーを設定してい

る。このチラーは一次側冷媒の冷却が主となるため、一次側と二次側の熱交換への寄与は間接的となる。また、二次側に伝達された熱はクーリング・タワーによって冷却される。

一次側と二次側の冷媒は、2つのポンプで循環する。

また、環境の影響を考慮し、昼夜の外気温度と湿度変化を一週間のデータとして与えている。

補足として、このモデルは熱流体と一部ではあるが二層流体をドメインとするライブラリから部品(ブロック)を選択し、モデル化している。

4.2 サブシステム

サーバー・ファーム、チラー、クーリング・タワーの各要素は、サブシステム(カプセル化表現)となっている。以下に各サブシステムについて説明する。

4.2.1 サーバー・ファーム

サーバー・ファームの熱量は一次系統配管に伝達される。この熱量は一定または可変を選択できる。可変の場合、実測データを読み込ませることができ、現実に近いシナリオで検討できる。

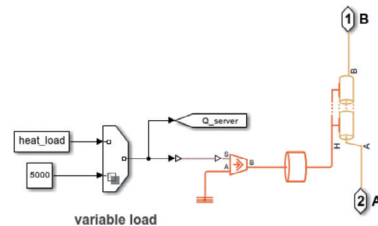


図3 サーバー・ファーム

4.2.2 チラー

チラーモデルは目的別に詳細度を変えた2つのバリエーションを用意している。

通常、チラーは複数の装置で構成されるが、図4-1のモデルはチラーを単純化して捉え、そのダイナミクスを配管の熱伝達のみで表現している。

図4-2で示すチラーは、R-134aを冷媒とする蒸発器と凝縮器からなるモデルである。このモデルは、Simscapeの二相流体ライブラリで提供するブロックを利用している。

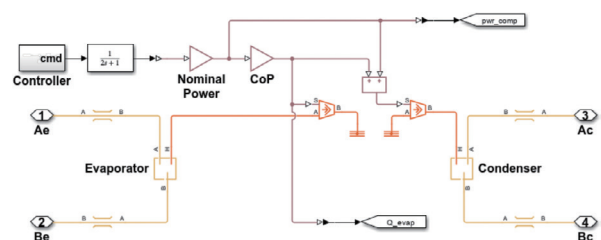


図4-1 チラー (シンプル)

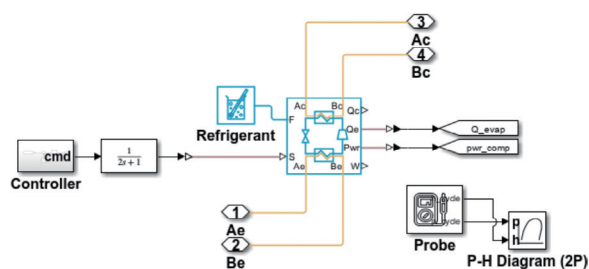


図4-2 チラー（二相流体）

4.2.3 クーリング・タワー

図5で示すクーリング・タワーもSimscapeの二相流体ライブラリを用いている。外気の温度と湿度変化をクーリング・タワーに設定している。

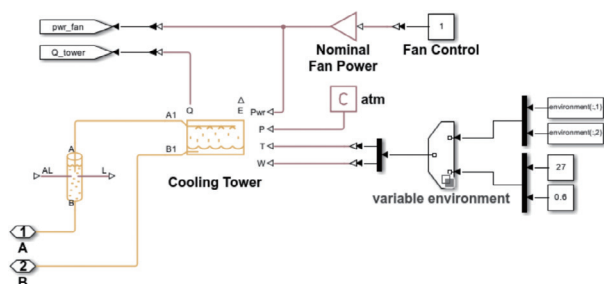


図5 クーリング・タワー

これらのサブシステムで示したような絞った簡潔な表現は、システムの理解を容易にする。また、チラーで示したように、用途に応じた詳細度の切り替えは、検討範囲を変えることに役立つ。また、モデルの詳細度はシミュレーション実行時間にも影響する。異なる詳細度のモデルを用途に応じて適切に切り替えることは、開発効率の改善につながる。

4.3 シミュレーション結果

図6に一次／二次系統の装置排出温度およびポンプ質量流量に関するシミュレーション結果を示す。

シミュレーション設定時間は一週間のため、横軸は一週間を秒で表している。

一次系統装置排出温度のグラフから、サーバー・ファームの冷媒排出温度と比較し、ヒート・エクスチェンジャーの排出温度は低くなっている。これは、ヒート・エクスチェンジャーから二次系統に温度伝搬されていることを示し、設定したヒート・エクスチェンジャーのスペックによる効果が期待できる。また、チラーから冷媒排出温度は18（℃）に維持され、チラーの効果も伺える。また、詳細は省略するが、一次側ポンプはサーバー・ファームからの排出温度に応じて流量を荒く制御をしている。このポンプの流量制御により、サーバー・ファーム排出温度が凡そ28（℃）に保持されている。

二次系統では、クーリング・タワーが環境条件に

応じて冷媒を可能な限り冷却している。チラーは、一次側のヒート・エクスチェンジャーの熱を吸収していることが分かる。また、二次側ポンプも、クーリング・タワー排出温度と冷媒温差が約6（℃）以内なるよう流量を制御しており、設定スペックの効果が確認できる。

参考までに、シミュレーション時間を一週間に設定したこのモデルの実演算時間は、約30秒～120秒の範囲となった。この演算時間の幅は、選択したチラーバリエーションの影響である。

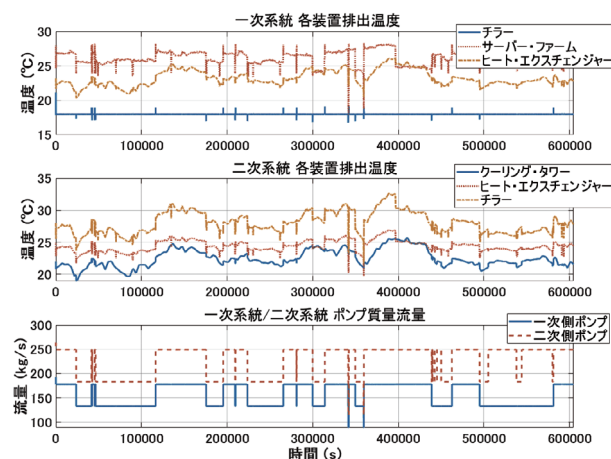


図6 シミュレーション結果

4.4 バーチャルプロトタイプの効果

データセンター冷却システムモデルを利用したバーチャルプロトタイプによる効果をまとめる。

まず、サーバー・ファームの想定熱量に対してヒート・エクスチェンジャーの容量などのスペックを現実的な視点で見積ることができる。さらに、ヒート・エクスチェンジャーのスペックも現実的な値に落とし込みながら、同時に、チラーの効果検証や作動範囲の確認を検討することができる。

つぎに、クーリング・タワーは二次側冷媒に期待される定格温度および設置場所外気状況を考慮しスペックを検討できる。

さらに、一次側二次側冷媒を循環させるポンプ容量も熱伝達効率を鑑みながら検討可能である。

また、各装置スペックは、装置サイズや台数に影響するため、設置場所の条件も明確にできる。

加えて、このモデルを編集し、つぎに示すような内容を検討することができる。

1. 構成装置の故障モード影響解析
2. 季節毎の外気変動も含めたサーバー・ファーム冷却システム構成装置の検討
3. 各装置の稼働切り替え方式とエネルギー消費に基づいた運用コスト概算見積り

5. ま と め

このデータセンター冷却システムの例の通り、バーチャルプロトタイプによる、シミュレーションと解析を用いた仮想実験環境をコンセプトフェーズに用いることで、システム構成要素（ヒート・エクスチェンジャー、チラー、クーリング・タワー、ポンプの各装置）のスペック検討や、各装置を組み合わせた全体システムの影響度合を立証できる。さらに、この結果をシステムの妥当性や方向性の裏付けに用いることができる。

6. 最 後 に

筆者の経験として、ベテランの油圧システム開発エンジニアは、紙ベースの油圧回路図を見るだけで、その良し悪しを見極めていた。これは長年の経験をもとにバーチャルプロトタイプを頭の中で実行していると推察するが、私にとっては今もなお尊敬の念しかない。一方、ここで紹介した、MATLAB/SimulinkによるバーチャルプロトタイプMBDは、ベテランのエンジニアと同じような思考を促す環境とも言える。

本稿では主にコンセプトフェーズにおけるMBDの効果について触れたが、ここで示した内容以外に

もMBDの効果はさまざまに挙げることができる。しかしながら、筆者の考えるMBDの根幹にある価値は、開発者に新たな気づきや発見を促すことであると思う。

本稿で示した内容がフルードシステム開発における価値創造の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本フルードパワーシステム学会：<http://www.jfps.jp/>
- 2) 油圧技術便覧編集委員会 編：油圧技術便覧 改訂新版，日刊工業新聞社（1976）
- 3) 竹下仁士，新井正敏：モデル低次元化による生産効率改善に向けて—HVACを例題としたAI活用とMBD/MBSE ワークフロー紹介—，自動車技術，Vol. 77，No. 2，p. 42-48（2023）
- 4) MathWorks：バッテリーシステムの開発ワークフロー，White Paper，<https://jp.mathworks.com/campaigns/offers/next/battery-systems-white-paper.html>（参照 2024.04.19）
- 5) MathWorks：Data Center Cooling，Help Center，<https://jp.mathworks.com/help/hydro/ug/data-center-cooling.html>（参照 2024.04.19）
- 6) MathWorks：Simscape マルチドメイン物理システムのモデル化およびシミュレーション，Product Page，<https://jp.mathworks.com/products/simscape.html>（参照 2024.04.19）

（原稿受付：2024年4月19日）

解説

油圧分野におけるモデルベース開発の事例紹介

著者紹介



さなだ かず し
眞田 一 志

横浜国立大学大学院工学研究院
〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
E-mail: sanada-kazushi-sn@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

モデルベース開発については多くの解説記事があり、当学会誌でも2017年に特集号「モデルベース開発とその活用事例」¹⁾が組まれている。そこではモデルベース開発に関して多様な視点からの解説記事が掲載されており、現時点でも今一度読み直しておきたい特集号である。モデルベース開発は油圧技術を利用する各種機械装置（建設機械など）でも活用されており、国内外を問わず頻繁に取り上げられている。モデルベース開発で用いられるプラントモデルはいくつかの種類に分類され、前述の特集号の記事²⁾によればプラントモデルはホワイトボックスモデリング、ブラックボックスモデリングおよびグレーボックスモデリングに分類される。

物理原則・法則にもとづいて数式をたて、運動方程式などを用いて機械の運動を数値シミュレーションするモデリングに関する研究は欠くことができない研究分野であり、多くの研究課題が新たに研究されている。前述の特集号では著者も記事³⁾を執筆したが、それから7年が経過した。その間の主として油圧分野における研究事例を紹介する。

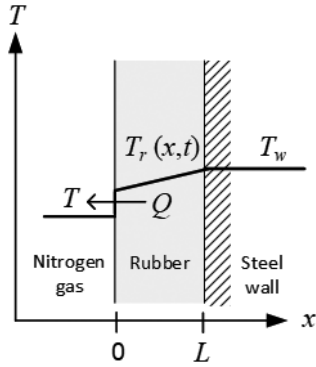
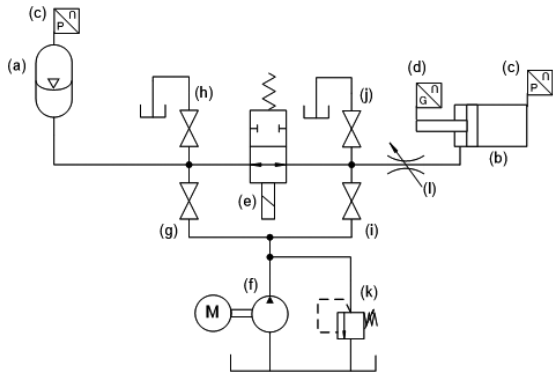
2. アクチュレータ

アクチュレータはエネルギーを貯蔵する機器であり、エネルギーの回生・再生に利用されるハイブリッドシステムにおける重要な油圧機器である。アクチュレータでは、油圧作動油が流入して封入された窒素ガスが圧縮されることで圧力が増加すると同

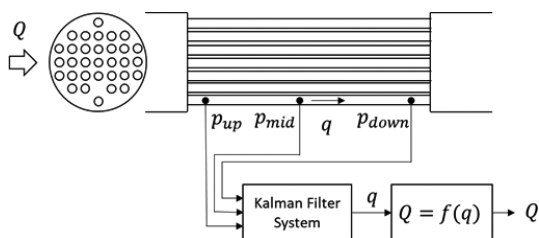
時に温度も上昇する。アクチュレータから油圧作動油が流出するときは窒素ガスが膨張することで圧力が減少し、同時にガスの温度は低下する。窒素ガスの圧縮・膨張にともなうエネルギーの収支について、多くの研究が行われてきた。代表的な研究論文⁴⁾⁵⁾では「熱時定数」が定義され、さまざまな条件における熱時定数の同定実験が行われている。このようにアクチュレータに関する研究には長い歴史があるが、最近では欧州において風力発電への応用を目指したアクチュレータに関する基礎研究⁶⁾が発表された。アクチュレータの挙動を説明するためには、実在気体としての窒素ガスの膨張・圧縮過程、容器内での窒素ガスの流れの様子、および窒素ガスとその周囲との間の熱伝導などの複雑な物理現象を定量的に把握する必要がある。まだ十分に説明しきれていないことが背景にあると推察される。宮下ら⁷⁾は、ブラダ形アクチュレータにおけるブラダ・容器壁面の熱伝導モデル（図1）と窒素ガスの実在気体モデルとを組み合わせたモデルを提案し、実験結果と比較してモデルの有効性を検証した。その際に利用した実験装置（図2）は、ブラダ形アクチュレータとピストン形アクチュレータを接続した回路であり、同時に2つのタイプのアクチュレータの実験が行えるように工夫されている。はじめにブラダ形アクチュレータに高圧を充填したのち、中間の切換弁を操作することでブラダ形アクチュレータの高圧を放出して反対側のピストン形アクチュレータに充填する。この際の圧力等を計測することで実験データを得ることができる。はじめにブラダ形アクチュレータに高圧を充填すると窒素ガスの温度が上昇する。そのあと、実験装置の各部の温度がほぼ等しくなるまで待つてから、切換弁を操作した。窓にブラインドを設置し、空調で実験室の温度を管理するなど、熱的環境の管理のために多くの工数が必要であった。

3. カルマンフィルタによる流量計測

管路の非定常流量を計測する一つの方法として、管路動特性モデルを利用したカルマンフィルタの研究⁸⁾を実施した（図3）。管路動特性は本来分布定数

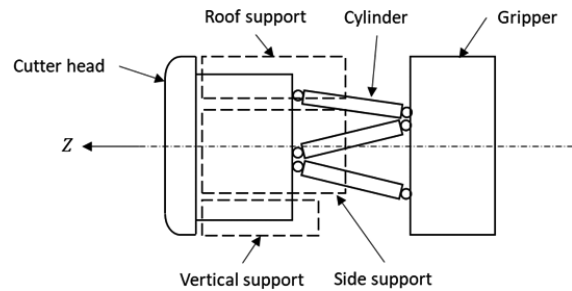

 図1 ブラダ形アキュムレータの1次元熱伝導モデル⁷⁾

 図2 ブラダ形とピストン形アキュムレータの実験装置⁷⁾

系であり、非圧縮性流体の管路内の1次元の流れの運動方程式と連続の式は偏微分方程式で表される。考慮する周波数帯域を限定することで集中定数系モデルや有限要素モデルで近似することができ、管路動特性の数学モデルを常微分方程式で表すことができる。これらの式から伝達関数や状態方程式など制御理論で利用可能な数学モデルが得られる。管路動特性の状態方程式にカルマンフィルタを適用すると、管路に沿った3点の圧力の計測データから管路の任意の点における非定常流量を推定することができる^{8)~10)}。油圧分野では回路内の希望の場所の非定常流量が計測できれば、動特性の解明に近づくことができ、同時に数学モデルの精度向上にも貢献することから、今後も非定常流量の計測に関する研究が期待される。


 図3 カルマンフィルタを利用した層流流量計⁸⁾

4. トンネルボーリングマシン

トンネルを掘進する機械のひとつにトンネルボーリングマシンがあり、その一例を図4に示す。前胴に組み込まれたモータにより、カッタヘッド(cutter head)が回転する。グリッパ(gripper)に装備されている油圧ジャッキで後胴がトンネルの坑壁に固定される。後胴と前胴の間には6本の油圧シリンダが組み込まれており、油圧の大きな力でカッタヘッドを岩盤に押し当てることでトンネルを掘進する。加えて6本の油圧シリンダがパラレルリンク機構を構成することで、掘進方向を変えることができる。油圧分野としての特徴は、油圧シリンダごとに油圧ポンプ・電気モータが設置されている、いわゆるワンポンプ・ワンアクチュエータの駆動方法が採用されていることにある。山本¹¹⁾は、運動方程式などの基礎式をもとにシミュレーションモデルを作成し、掘進の状況などを調べている。


 図4 トンネルボーリングマシン¹²⁾

5. 油圧インピーダンス計測

実機の動特性を計測するとオーバーシュートや振動などシミュレーションでは予測できなかった現象を計測することがある。モデルの精度不足かあるいは計測方法の問題か、判然としないことも少なくない。実機の動特性を計測する方法やツールがあれば、実機の動特性の理解に役立ち、数学モデルの精度向上にもつながることになる。このような動機のもとに、橋本¹³⁾は自動車用自動変速機のパルプボックス内の油圧回路の動特性を計測する方法として、油圧インピーダンス計測法の研究を行った。油圧インピーダンスは流量脈動に対する圧力脈動の比として定義され、脈動周波数の関数としてゲインと位相がボード線図として表示される。計測に用いた実験装置を図5に示す。脈動流量はACサーボモータの回転数制御で駆動される固定容量形油圧ポンプから供給される。計測する周波数帯域を最高30Hzと設定し、円筒形絞りの動特性を利用した瞬時流量計¹⁴⁾を製作して脈動流量を計測した。計測対象の油圧回路

の圧力は、半導体圧力センサで計測してデータを得た。計測データから油圧回路の油圧インピーダンスを求め、その周波数特性をボード線図として表示した。油圧インピーダンスの周波数特性の近似伝達関数を予測誤差法によって求め、物理パラメータの同定を実施した。この計測・同定手法を利用することで、実機動特性のより深い理解と、数学モデルの精度向上に貢献することが期待される。

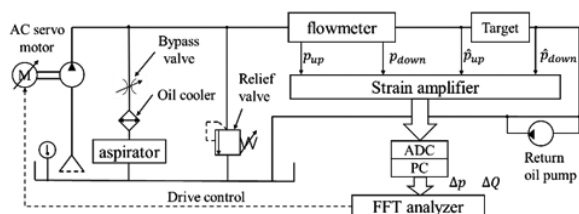


図5 油圧インピーダンス計測装置¹³⁾

6. おわりに

油圧分野のモデルベース開発の事例として、4つの研究事例を紹介した。第2章から第4章までの事例はいずれも対象の基礎式をもとにしてモデリングを行っており、第1章で紹介した分類によればホワイトモデリングに近い。一方で、第5章で紹介した事例は、入力と出力の計測データをもとにした統計的手法にもとづく同定理論の応用であり、ブラックボックスモデリングに近い。物理原理・法則にもとづいたモデリングと統計的手法によるモデリングは、お互いの特徴や利点を活かしつつ、さらに活用されることが期待される。

本稿が、読者の皆様の参考になるのであれば、著者の望外の喜びである。最後に、本記事を執筆する機会を与えてくださった編集委員の皆様に、誌上をお借りして謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本フルードパワーシステム学会編：特集「モデルベース開発とその活用事例」，フルードパワーシステム，Vol. 48，No. 3 (2017)

- 2) 秋葉博幸：自動車業界でのモデルベースデザイン適用事例，フルードパワーシステム，Vol. 48，No. 3，p. 124-129 (2017)
- 3) 眞田一志：フルードパワーシステムとモデルベース開発，フルードパワーシステム，第48巻，第3号，p. 119-123 (2017)
- 4) Otis, D.R. : New Developments in Predicting and Modifying Performance of Hydraulic Accumulators, National Conference on Fluid Power, p. 473-489 (1974)
- 5) 田中豊，中野和夫：油圧用ブラダ形アキュムレータのエネルギー収支（第1報 熱時定数の実験的検討），油圧と空気圧，Vol. 22，No. 6，p. 666-672 (1991)
- 6) Henrik Brun Hansen, Peter Windfeld Rasmussen : Modeling Hydraulic Accumulators for Use in Wind Turbines, The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, p. 327-334 (2013)
- 7) 宮下修人，眞田一志：熱伝導を考慮したブラダ形アキュムレータの数学モデル，日本フルードパワーシステム学会論文集，49巻2号，p. 49-55 (2018)
- 8) Kazushi Sanada : Measurement of Step Responses of Flowrate in a Pipe Using a Kalman-filtering Laminar Flowmeter, Proceedings of the ASME/BATH 2021 Symposium on Fluid Power and Motion Control, FPMC2021, October 19-21, 2021, Virtual, Online (2021)
- 9) Kazushi Sanada : Real-time Implementation of Kalman Filter for Unsteady Flow Measurement in a Pipe, International Journal of Hydromechanics, Vol. 1, No. 1, p. 3-15 (2018)
- 10) Kazushi Sanada : Flowrate Measurement in a Pipe Using Kalman-filtering Laminar Flowmeter, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 32, No. 5, pp. 994-999 (2020)
- 11) 山本凌，眞田一志，足利重明，トンネルボーリングマシンの掘進挙動，2022年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，2022年11月10日，p. 38-40 (2022)
- 12) Ryo Yamamoto, Kazushi Sanada, and Shigeaki Ashikaga : Frequency Response Analysis of Parallel Link Mechanism Using Oil-hydraulic Cylinders of Tunnel Boring Machines, The 11th JFPS International Symposium on Fluid Power 2020, GS6-02 (2021)
- 13) 橋本大樹，藤田昌孝，眞田一志：油圧インピーダンス計測技術に関する研究（自動変速機バルブボックス油圧回路の動特性計測），日本フルードパワーシステム学会論文集，第54巻，第2号，p. 19-26 (2023)
- 14) 中野和夫，横田眞一：円筒形絞りの動特性を利用した瞬時流量計，油圧と空気圧，Vol. 17，No. 4，pp. 311-317 (1986)

(原稿受付：2024年3月4日)

解説

モデルベース開発（MBD）プラットフォームによる
油圧制御システム開発

—持続可能な産学連携を目指して—

著者紹介

わき たに しん
脇 谷 伸広島大学大学院先進理工系科学研究科
〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1
E-mail : wakitani@hiroshima-u.ac.jp

2013年11月広島大学大学院工学研究科博士課程後期修了。東京農工大学助手、広島大学講師などを経て、現在、同大学先進理工系科学研究科准教授。博士（工学）。データ駆動型制御システム設計やモデルベース開発（MBD）に関わる教育研究に従事。機械学会、計測自動制御学会などの会員。

1. はじめに

消費者ニーズの多様化や複雑化に伴い、製品開発の現場では、これまで以上に高性能、高品質でかつ安全な製品を迅速に設計、生産することが求められている。同時に、製品設計やその検証工程に要する時間も爆発的に増大している。このような背景において、モデルベース開発（MBD：Model-Based Development）¹⁾はこれらの問題を解決する有効な設計手段として注目されている。建設業界では、国土交通省が提唱するi-Construction²⁾によって、自動施工やリモート施工をはじめとする建機のICT化が加速し、自動制御技術による高度な制御システム設計を実現する必要性に迫られている。そのため、建設機械の開発現場においてもシステムの効率的な開発のためにMBDを積極的に導入する取組が進められている^{3), 4)}。

MBDに基づく制御システム設計では、システムを構成するプラントやコントローラを適切な粒度で機能モデルに分解し、ブロック線図として組み合わせることでシステム全体の大規模なシミュレーションが可能となる。また、開発されたコントローラモデルを、自動コード生成ツールを通じて専用のコントローラに実装する、いわゆるRCP（Rapid Control Prototyping）を適用することにより制御理論の検証から制御システム開発・実装までの一連の流れを、モデルを通じてシームレスに行えるようになった。このような開発環境は製品開発の効率化だけではなく、

産学連携においても重要な開発プラットフォームとなっている。本解説では、このようなMBDプラットフォームによる産学連携の事例として、広島大学とコベルコ建機による取り組みを紹介する。本取組では、MBDプラットフォームを通じた人材育成と共同研究を両輪で回すことにより、両者の関係が持続的に発展可能な産学連携モデルの構築を目指している。

本稿の構成を述べる。2章ではMBDにおけるV字開発プロセスについて概説する。3章では、MBDに基づく油圧制御システム開発のためのMBD教育プラットフォームによる人材育成の事例を紹介する。4章では、先端研究としてのスマートMBDアプローチの概略と、MBDプラットフォームを通じた実証検証について紹介する。5章では、本稿のまとめを述べる。

2. モデルベース開発（MBD）

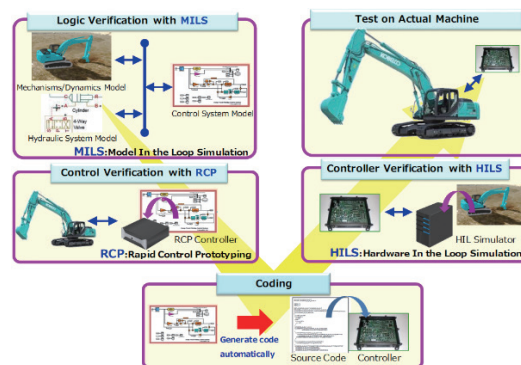


図1 V字開発プロセス

MBDに基づく制御システム開発は、通常、図1に示すようなV字開発プロセスと呼ばれるプロセスに沿って実行される。MILS（Mode In the Loop Simulation）では、システムを構成するコンポーネントの各機能をモデル化し、これらのモデルを結合することで、シミュレーションを通じてシステムの挙動解析や制御システム設計等を行う。HILS（Hardware In the Loop Simulation）では、MILSで設計されたモデルの一部を実際のハードウェアに置き換え、モデルで記述しきれなかった特性、ノイズおよび信号の伝送遅延などのハードウェアの特性を

含めたシステムの動作検証をリアルタイムで行う。また、現行システムの改良などにおいて、コントローラ設計の過程で実システムが利用できる場合には、RCP (Rapid Control Prototyping) と呼ばれる手法を用いて、コントローラ設計を行う場合がある。RCPでは、量産化する前の制御アルゴリズムを、RCP専用コントローラに実装することで、CPUクロックやメモリ容量などのハードウェアの制約を最小限に抑えたうえで、制御アルゴリズムの性能を素早く検証することが可能となる。

MBDを導入することで、開発者は製品開発における人的ミスを含むエラーを開発の初期段階で対処できるため、試作機による検証段階での大幅な手戻りを抑制・防止する効果が期待できる。これにより、試作機を用いた検証工数が減少し、開発にかかる時間やコストの大幅な削減が期待できる。

3. MBDプラットフォームによる人材育成

広島大学とコベルコ建機株式会社は、2017年より、油圧制御システムの設計を対象とした独自のMBD教育プログラムを共同で開発し、同社のエンジニアに対して実践している⁵⁾。具体的には、図2に示す油圧モータ制御実験装置を開発するとともに、MBDに基づき制御システム設計を行うための教育カリキュラムを策定した。本装置は、図3に示すような構成となっており、コントローラからサーボポンプに回転数指示信号 N_{Pref} を与えることにより、ポ

ンプが N_p で回転し、回転数と押しのけ容積に対応する流量 Q_p の作動油が吐出される。また、油圧モータの両端には圧力差 P_m が生じ、慣性モーメント I の負荷に接続された油圧モータが回転数 N_m で回転する。教育カリキュラムの受講者は、図3の概要図に基づいてプラントモデルの構築および油圧モータの回転数制御を行うコントローラモデルの設計をMathWorks社製の1DCAEツールであるMATLAB and Simulinkを用いて実施する。

プラントモデルおよびコントローラモデルは、図4に示すHILシミュレータとRCPコントローラ（どちらもSpeedgoat社製Baselineを使用）にMATLAB and Simulinkの自動コード生成機能を用いて実装され、リアルタイムで制御性能の検証が可能となっている。受講生は大学のセミナー室でMILSとHILSを用いた検討を十分に行ったうえで（図5）、大学内の別の建屋にある実験室に移動し、図2の実験装置へコントローラモデルを実装する。なお、実験装置には図4で用いたものと同型のRCP専用コントローラが設置されているため、HILSで検討を行ったコントローラモデルを編集することなく実装することができる。

図6および図7にMILS、HILSによる制御シミュレーション結果と実験装置による制御結果を示す。なお、各測定値はMILSモデルの結果を基準として正規化されていることに注意されたい。結果より、シミュレーション結果と実験結果が、過渡特性も含めておおむね一致していることがわかる。このように、教育プログラムを通じて、MBDに基づく一連の開発手順を体験的に学習することが可能となった。なお、参考文献5)では、モデリングの詳細や受

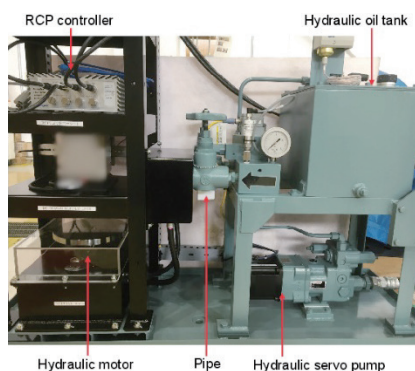


図2 油圧制御実験装置

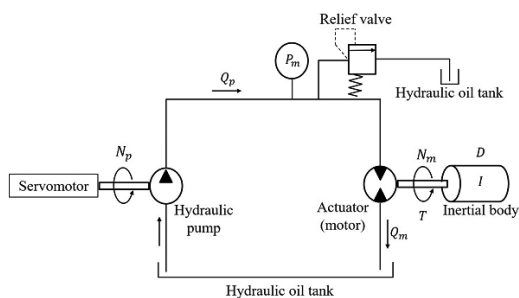


図3 油圧制御実験装置の概要図



図4 HILシミュレーション環境



図5 実習風景

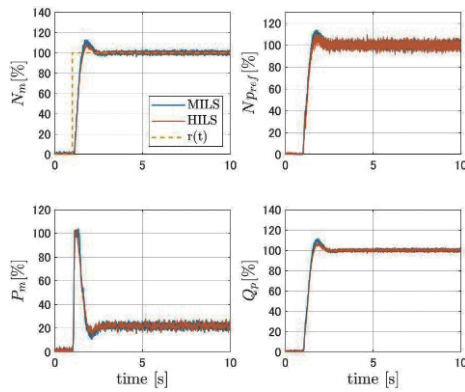


図6 MILSおよびHILSによるシミュレーション結果

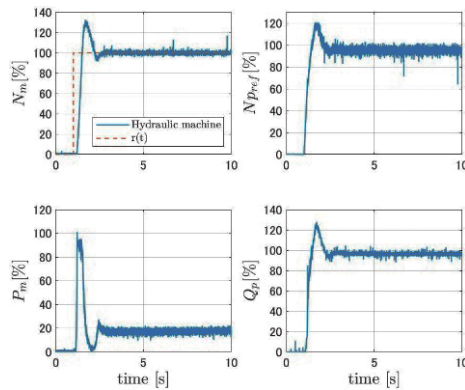


図7 実機実験の結果

講生のアンケート結果の分析等を行っているため、興味のある読者は参照されたい。

4. MBDプラットフォームによる共同研究

本章ではMBDプラットフォームを用いた共同研究について紹介する。共同研究では、RCPコントローラが搭載された実験用の20t油圧ショベル（図8）を用いて、大学が開発した制御アルゴリズムを実装・評価することが可能である。このように、共同研究においてもMBDプラットフォームを活用することによって、産学連携による研究成果の社会実装が促進される。

本章では、著者が提唱するスマートMBDアプローチに基づく階層型制御システム設計⁶⁾の概要と、提案アルゴリズムに基づく実機検証を行った結果について紹介する。

4.1 スマートMBDアプローチに基づく階層型制御システム設計

MBDはモデルを前提とした開発手法であり、モデルの精度が製品の品質に直結する。モデリングツールの発達によりあらゆる物理モデリングが高精度に行えるようになった一方で、複雑なダイナミクスを伴う詳細なシミュレーションを実行するためには膨大な計算リソースと計算時間を要する。したがって、モデルの高精度化を追い求めるあまり、製

品周りの環境条件や各コンポーネントのばらつき、経年劣化等の特性変化のすべてを設計段階でモデル化しようとする、かえって設計コストが増大してしまい、開発効率の低下が懸念される。そのため、MBDによるシステムの基本設計に加えて、運用中に取得されるデータに基づいて柔軟にシステム変更を行う仕組みを導入することを考える。このようにモデルとデータの双方を活用しシステム設計を行う考え方をスマートMBDアプローチと呼ぶ。著者は、このアプローチに基づき図9のような階層型制御システムを提案している。

提案する階層構造型制御システムでは上流制御器（統合制御器やシリンダ用コントローラ）が、事前に設計あるいは同定された各シリンダモデル（これを理想プラントモデルと呼ぶ）に基づき設計される。これらの制御器は総称してモデルベース制御器（MBC：Model-Based Controller）と呼ばれ、制御対象となる油圧シリンダの特性が理想プラントモデルと同等の特性を有していれば、複雑なタスクに対しても高い制御パフォーマンスの実現が期待される。ところが、実際のシステムの運用においては負荷条件や周辺環境条件の変化に伴う油温の変化などにより、シリンダの動特性が変動することが予想される。そのため、実シリンダの挙動が常に理想プラントモ



図8 実機検証用油圧ショベル

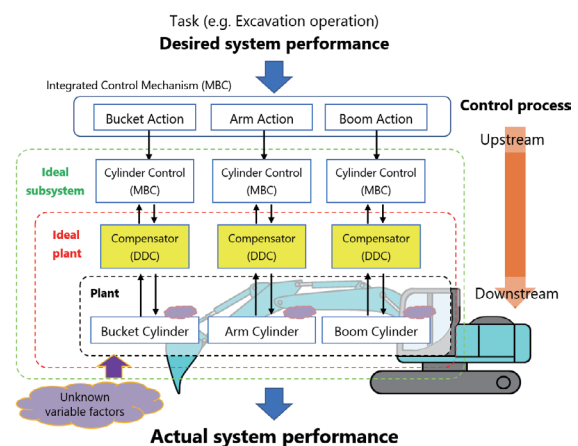


図9 階層型制御システム設計アプローチ

デルの挙動と一致するとは限らず、結果として上流の制御器を含めたシステム全体の性能が低下する恐れがある。しかしながら、実プラントの変動要因はシステムを運用するユーザや周辺環境条件に強く依存するため、設計段階で全てをモデル化することが難しく、結果的としてMBCのみの設計では設計が複雑化したり、システムが十分な制御性能を発揮できなかったりする恐れがある。そこで、このような不確かさの影響を抑制するために、実プラントに別途フィードバック補償を施すことで拡大系を構成し、上流から見た拡大系の特性を理想プラントモデルの特性と一致させるアプローチが考えられる。特に、建設機械の場合には作業タスクや作業環境が多岐にわたり、不確かさの要因を正確に見積もることが困難であることから、現在の操業データに基づいて補償器の設計を行うデータ駆動型補償器（DDC：Data-Driven Compensator）を導入する。このように、スマートMBDアプローチに基づく階層型制御システム設計では、MBCとDDCの相互作用によってシステム全体が常に望ましい制御性能を維持することが可能となる。なお、文献7）では、図9の破線で囲まれたシリンダ制御システムの具体的な構造として図10のような構造を提案している。ここで、図10は1つの油圧シリンダのみを対象とした構成となっていることに注意されたい。この制御システムでは、シリンダの出力速度が、上流の統合制御器から与えられた目標速度 $r(k)$ （ k は離散時間のステップ数）と一致するように、PID制御器がバルブ開度信号 $u_c(k)$ を調整する。なお、このPID制御器は閉ループ系の参照モデル G_m と理想シリンダモデル G_p に基づいてMBCアプローチに基づき設計されている。ここで、 $u_c(k)$ を理想プラントモデル G_p に通過させることで得られるバルブの速度 $y^*(k)$ と実際のシリンダ速度 $y(k)$ の誤差 $\varepsilon(k)$ を計算し、適応パラメータ $f_0(k)$ 、 $f_1(k)$ 、 $f_2(k)$ と適応パラメータ調整機構によって構成される適応DDCを用いて、この誤差が最小化されるようにバルブ開度信号 $u_p(k)$ を算出する。このような構造によって、実シリンダの動特性

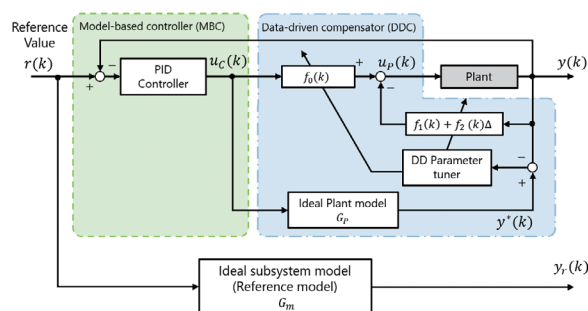


図10 実機検証用油圧ショベル

性が変化した場合においても，PID制御器から見た拡大系の特性が常に G_p と一致することで，閉ループ系の特性が G_m と一致することが期待される．なお，本アプローチの詳細な設計論については参考文献7)を参考にされたい．

4.2 実機検証結果

提案システムの制御モデルを図8の実験機に実装し検証を行った。ここでの制御目的は、作業内容に応じてシリンダの加速度を変更する場面において、所望のブーム上げ動作を常に実現することである。ブーム上げ動作を複数回行った際のシリンダの速度出力の変遷を図11に示す。目標シリンダ速度 $r(t)$ はステップ信号として与えている。また、異なる3つの応答特性を持つ参照モデル G_m を設計し制御を行った結果を重ねて描画している。図中の $\sigma=0.3, 0.5, 0.8$ は、応答性能の設定値を示し、 σ が小さいほど、目標値信号に対して高速な応答性能を要求している。また、図中の2回目(0sから15s)までのブーム上げ動作ではDDCを用いずにPID制御器のみを適用しており、3回目(20s)のブーム上げ動作からDDCを併用している。シリンダ速度を示す y 軸はすべて目標速度を1として正規化されていることに注意されたい。

図11の結果から、PID制御のみのブーム上げ動作では σ の設定値においてオーバーシュートが発生している。したがって、プラントの特性が事前に獲得された理想モデル G_p の特性と一致していないと考えられる。一方で、DDC適用時点では、適応機構の影響により速度応答が振動的となっているが、以降のブーム上げ動作ではオーバーシュートが抑制されている。より詳細な議論を行うため、1回目のブーム上げ動作に関するグラフを図12に、5回目のブーム上げ動作に関するグラフを図13に示す。また、図13に対応するDDCの補償ゲインの推移を図14に示す。図12および図13には、参照モデル出力 y_r 、理想モデル出力 y^* 、実プラント出力 y 、理想モデル出力と実プラント出力の誤差 ε を示している。図12では、すべての実出力にオーバーシュートが見られるほか、 $\sigma=0.5$ および $\sigma=0.8$ の出力がほぼ一致しており、参照モデル出力の特性が得られていないことが分かる。一方で、図13、図14の結果から

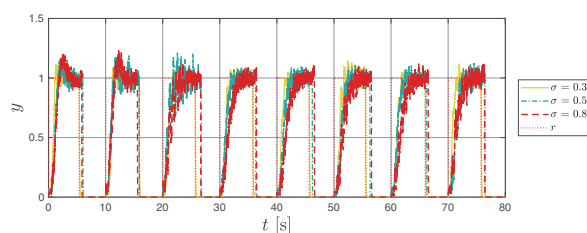


図11 実機検証結果

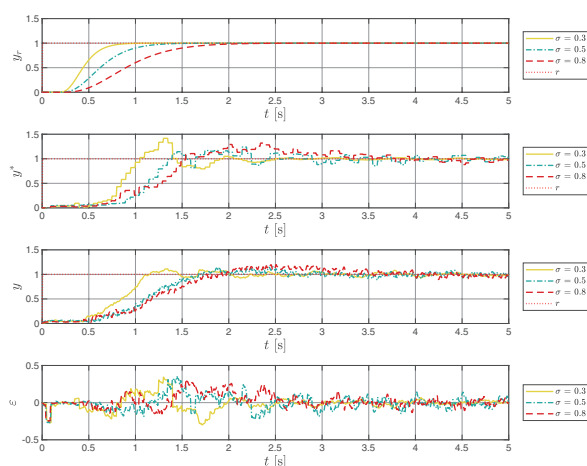


図12 提案手法適用前の制御結果

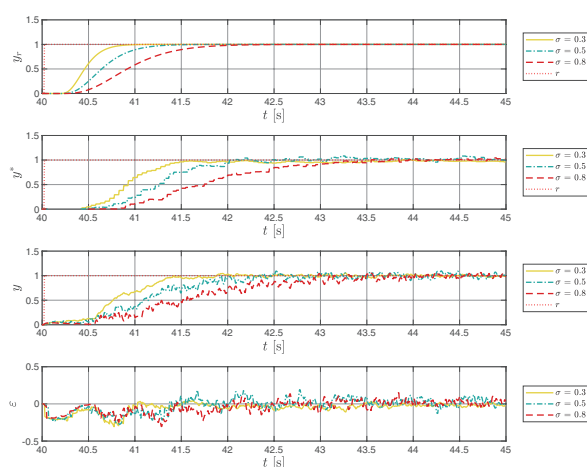


図13 提案手法適用後の制御結果

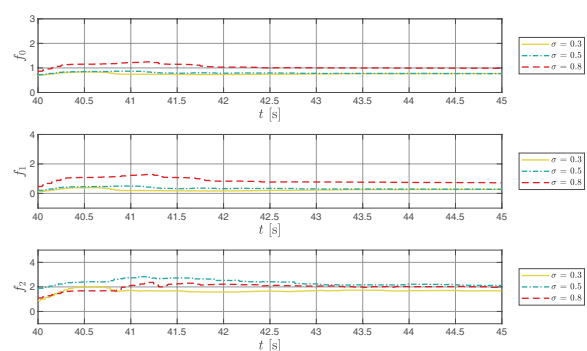


図14 図13に対応するDDCのパラメータの変遷

DDCの適応ゲインが適切に調整されることにより、特に過渡応答における ε の値が図12よりも抑制されている。結果として、目標値速度がオーバーシュートなく達成されているだけでなく、 σ を変更した際の実出力が参照モデル出力の傾向と一致していることが分かる。

このようにMBDプラットフォームが整備されることで、大学のシーズ技術が容易に実機へと搭載できるようになり、産学官連携による技術革新が大い

に促進されることが期待される。

5. おわりに

本解説記事では、MBDプラットフォームを活用した人材育成および共同研究の事例について広島大学とコベルコ建機の取り組みを中心に紹介した。MBDプラットフォームを活用することにより、大学のシーズ技術や革新的な技術がスムーズに社会実装され、産学連携による技術革新が加速することが期待される。

一般的にMBDの実施にあたってはソフトウェアやハードウェアの導入に目が奪われがちである。しかし、MBDの本質は、異なる領域にまたがる専門家同士が「モデル」という共通言語を通じて相互理解を深めながら研究開発を実施することにあると著者は考えている。産学連携の実施においては、企業と大学が適切なプラットフォームの下で人材育成や共同研究を通じて相互理解を深めることで両者の関係が持続的に発展することが最も重要である。この関係を実現する一手段としてMBDプラットフォームの活用が有効であることが、本活動を通じて示唆されたものであると考えている。

最後に、コベルコ建機株式会社には日頃の支援に加えて、本解説記事の執筆にあたっても多大なるご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 山本（編），脇谷，原田，香川，足立，沖，原田：改訂実習で学ぶモデルベース開発：「モデル」を共通言語とするV字開発プロセス，コロナ社（2023）
- 2) i-Construction委員会：i-Construction～建設現場の生産性革命～（2016）<https://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>
- 3) 新谷，齋藤，桐谷，大澤，大林：1DCAEを用いた油圧シヨベルの性能開発へのモデルベース開発の適用，コマツテクニカルレポート，Vol. 67，No. 174，p. 2-9（2021）
- 4) 武石，土井，野田：自動運転油圧シヨベルの現場実証，令和2年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，p. 179-182（2020）
- 5) M. Sako, S. Wakitani, M. Kozui, T. Yamamoto, K. Yamashita, K. Koiwai, and Y. Yamazaki: "Design and Practice of a Model-Based Development Education in Hydraulic Systems", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 32, No. 3, p. 662-671（2020）
- 6) 脇谷伸：スマートMBDアプローチに基づく制御システム設計—モデルとデータを融合した新しいデジタルものづくりを目指して—，システム/制御/情報，Vol. 67，No. 8，p. 343-348（2023）
- 7) 柚本，大野，小岩，山下，脇谷，山本：スマートMBDアプローチに基づく油圧シヨベルへの階層型制御構造の適用，2022年電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集，MC4-5，p. 844-847（2022）

（原稿受付：2024年4月25日）

解説

MBDの活用に向けた軸流ファンのプラントモデルの課題 —電子機器の熱対策・熱設計における ファンの冷却性能評価を例として—

著者紹介



ふく え たか し
福江 高志

金沢工業大学 工学部 機械工学科
〒924-0838 石川県白山市八東穂3-1
E-mail: fukue@neptune.kanazawa-it.ac.jp

2012年富山県立大学大学院博士後期課程修了、岩手大学助教を経て、2022年金沢工業大学准教授。専門は熱流体工学で、熱設計やバイオメティクスの研究に従事。日本伝熱学会、日本機械学会などの会員、博士（工学）。

1. はじめに

電子機器に実装された電子部品のすべてが、正常に動作する動作保証温度を維持できるよう温度管理を行うための「伝熱経路」を設計することが、電子機器の熱設計や熱対策（以下、熱設計）といわれるものである（図1）。熱設計は、それ自体は製品の最終的な機能や魅力に直結するわけではないが、製品の安定動作を決定づける設計項目（Must設計）であり、そのことから個々の部品の相互作用も含む、対象のシステム全体を包括的に検討する必要がある。したがって、モデルベース開発（MBD）の応用が期待される領域である。ところで熱設計は、従来から熱回路網法^{1)~5)}や流体回路網法^{6)~8)}といった、システム全体を熱や流体の集中定数系、MBD的にいえば、プラントモデルの集合体で表現して最適設計を行う考え方が広く取り入れられていた分野でもある。これには、電気回路と、伝熱や流体のアナロジーに基づき、電気回路と相似の設計ツールを伝熱や流体にも適用できたことも背景になるとと思われる。そこまでいかなくとも、熱設計に必要な伝熱や流体のデータベースやノウハウは、古くから技術資料として展開されており^{9), 10)}、これらの知見を統合的に応用しながらの熱設計が運用されてきている。

このような背景のもとに、本稿の主役である、電子機器冷却用の軸流ファンの問題がクローズアップされる。ファンは言わずもがな、空気に仕事を加えて流れを起こすターボ機械であり、さまざまな電子機器における熱対策として用いられている。最近で

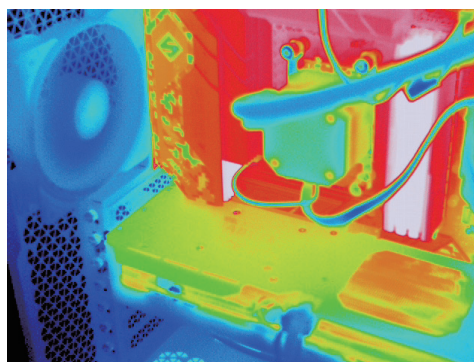


図1 デスクトップパソコンの温度分布の赤外線サーモグラフィによる可視化例（軸流ファンが実装される）

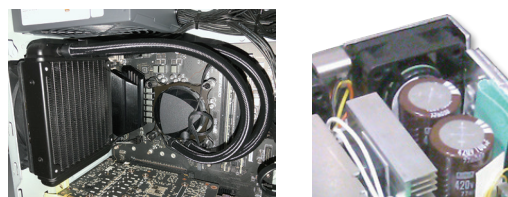


図2 電子機器実装における軸流ファンの動作環境例：左）水冷ユニットのラジエータ用、右）高密度実装電子機器

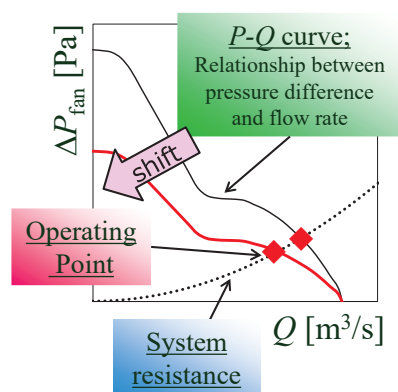


図3 軸流ファンの動作点と性能低下の発生

は演算素子の発熱密度の増加から、水冷ユニットによる冷却能力の向上が実施されているが、水冷ユニットで回収した熱はラジエータで熱拡散する必要があり、これを担うのはセットになっているファンである。このことから、電子機器の冷却においてファンは今後も重要な役割を担う。ところで、ター

ボ機械の一般論としては、圧力損失がそこまで高くなく、高い風量を期待したいケースでは軸流ファンを、狭かったり通風路が限られたりして高い圧力を必要とするようなケースでは遠心ファンを使う。しかしながら、熱設計においてはそうとは限らず、製品への実装上の制約や、冷却対象のコンポーネントとの実装上の相性から、高い圧力損失を補填しなければならないケースでも軸流ファンを用いなければならないケースが出てくる(図2)。

このような場合には図3に示すような問題が生ずる。ファンの性能は、静圧の増加とそれに対応する風量の関係(P - Q 曲線)で示され、実装されたファンが供給できる風量は、 P - Q 曲線と系の圧力損失曲線の交点で見積もることができる。この見積もり方は、MBDにおいて、ファンをプラントモデルで再現する上でも同様である(図4)。軸流ファンにおいては、一般的にサージング点より高い風量で用い、この領域に最高効率点が見られることもよく知られる。ところが、ファンの近傍に、図2に示すような流れの分布を変えるような障害物になり得るものが実装された場合に(図4)、特にサージング点より低風量側で P - Q 曲線が低下することになる¹¹⁾。この問題は、2004年あたりから、電子機器の高密度実装が進展するなかでいわれるようになり¹²⁾、熱設計において、ファンの送風性能の予測に失敗する大きな要因としてクローズアップされることになった。それから(改めて明言すると恐ろしいが)20年近く経ようとしている中で、いまだにこの問題に対する明確な回答は示されていない。Society 5.0 with Carbon Neutral が標ぼうされる¹³⁾なかで、たとえばデータセンタも省エネ取り組みの促進を目的としたベンチマーク制度の対象になった。ただ冷却し要求性能や機能を確保する時代は終わり、電子機器の冷却においても環境性能との両立を考える必要性が発生する。以上を鑑み、MBDにおけるシステム全体の統合的設計を実現する上で、熱設計におけるファンのプラントモデルを、実装環境に基づいた物理モデルとして再整備することは解決すべき重要な課題である。この「環境が変わったことにより発生するプラントモデルおよび、そのもとになる物理モデルの再整備」は、熱設計に限らず、ものづくりが変わる中で分野や領域を問わず考えるべき課題であると考えられる。

そこで本稿では、熱設計におけるファンの送風量の予測、という目標を実現する上で、MBDにおいてファンの性能を再現するプラントモデルを構築する上で重要な課題について概要を説明し、著者らの取り組み内容を紹介する。MBDのためのプラント

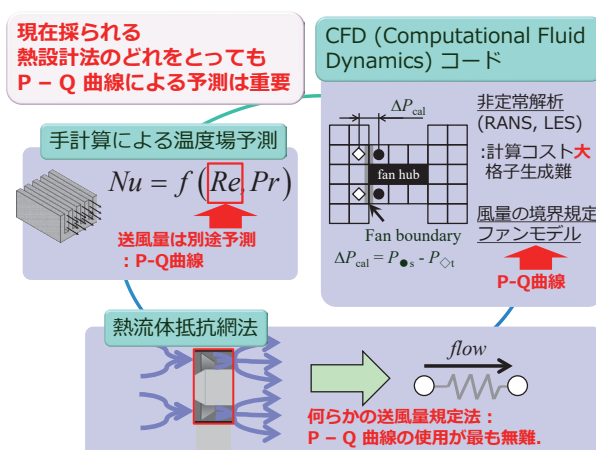


図4 さまざまな熱設計ツールにおけるファン送風量の予測

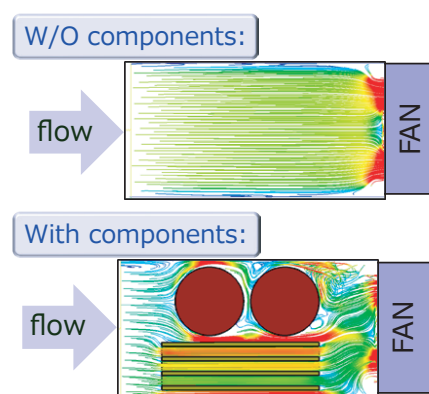


図5 障害物設置によるファン近傍の流れの変化

モデル構築を進めるために必要な物理モデリングをどのように取り組んでいくか、それぞれの対象で考えるためのヒントや布石になれば幸いである。

2. 問題の発端

前述したように、熱設計におけるファン性能の予測が困難になった課題については、2005年頃からいわれるようになった。この問題は、実はもともとはモデルベース的な設計手法に端を発したのではなく、むしろ3Dの解析が熱設計に導入され始めたことによって顕在化したものである。

当時、設計に実装され始めた熱設計向け3D-CFDコードにおいて「ファンカーブモデル」が使われ始めた(図6)。これは、解析領域にファンの機能を擬似的に再現する境界を挿入し、この前後で発生する圧力損失と P - Q 曲線を照らし合わせることで、擬似的な圧力の増加を流れ場に対して与えるというものである。スライディングメッシュやオーバーセット法、MRF (Multiple Reference Frame) 法など、ファンの形状を数値モデル内で再現して解析する手法はもちろん応用可能である。しかし熱設計の最終目的は「システム全体の実装部品の温度管理に向け

た伝熱設計」であり、他にも解像度を確保しなければならない部品が多数実装される。したがって、ファンにのみ解析コストを割くわけにはいかないことから、ファンは送風のための機能部品として最低限の計算負荷で簡易に再現されることが期待される。これが、ファンカーブモデルが現在でも熱設計において重要視されている背景である。しかしファンカーブモデルの運用を通じ、熱設計におけるファンの運用や、動作点の予測において、3つの「特殊性」が整理されてきた¹⁴⁾。

- (1) 性能曲線の評価規格とのずれ：ファンの P - Q 曲線は、実測できなければ通常はカタログから得るが、この評価規格は「周囲に部品がない理想環境」で計測することが規定されている。
- (2) 高密度実装電子機器でのファンの動作条件：効率の面からは一般的には使用が推奨されない、軸流ファンのサージング点から低風量側の動作点が使用されるケースが発生する。
- (3) 熱設計用ツールにおける動作点の取り扱い方：計算対象が千差万別であることから、ツールの汎用性を獲得するために、ファンの直前直後でないで圧力差がピックアップできない。

以上は、熱設計におけるファン性能のプラントモデルを構築する上での特殊な課題であるが、それゆえに頭を悩ませる種となっている。

3. 特異性が生むプラントモデル構築の問題

3.1 ファン性能の低下¹⁵⁾

ファン性能は一般的にチャンバ法（図7）やダブルチャンバ法と呼称される評価手法により計測される。これらはJIS¹⁶⁾やAMCA¹⁷⁾、JBMS¹⁸⁾にそれぞれ規定がなされており、カタログに掲載のファン性能曲線はこれに準じて計測がなされる。ところが、これらの前提条件はファンの前後に何も実装されない理想的な状態である。ダクトへの実装や、デスクトップパソコンのようなファン前後に十分な空間があれば良いのだが、図5に示したようにファン正面に部品が実装された場合には、ファン前方の流れ場が変わり、チャンバ法やダブルチャンバ法の前提が崩れる（図8）。さらに、電子機器で散見される、サージング点より低風量側でファンを使おうとした場合、下流側の圧力が高くなることで、ファンインペラとケーシングの間の隙間を伝って予旋回（逆流）が生じて上流側の流れと干渉する（図9）。この差異が、場合により、風量と静圧の関係について、カタログの P - Q 曲線からの差異を生む。

それは、ファンへの流入流れが変化することで発生する、特にサージング点より低風量側における

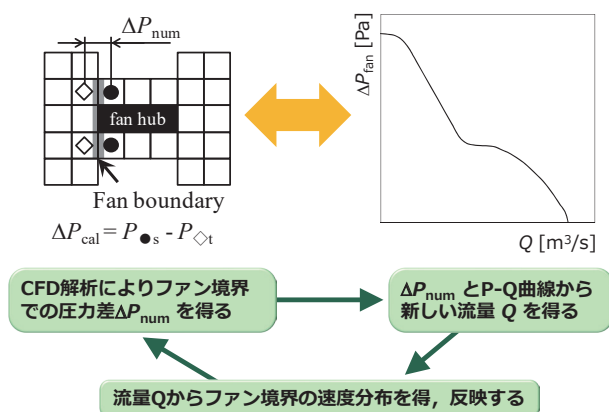


図6 3D-CFDツールにおけるファンカーブモデルの考え方

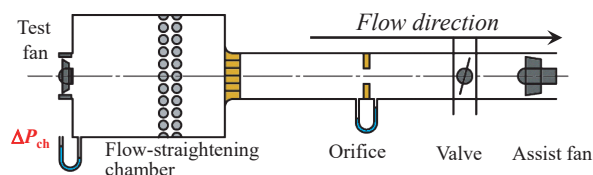


図7 チャンバ法によるファン性能計測システムの例

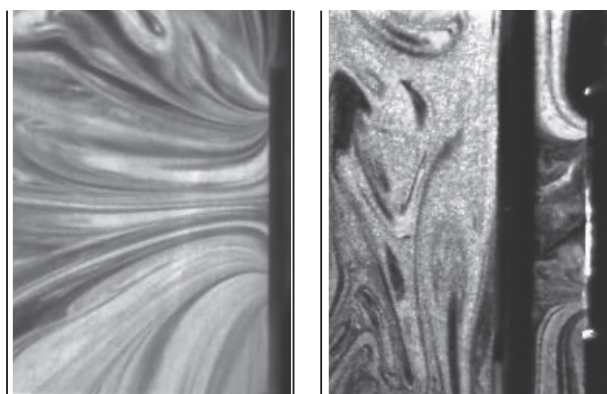


図8 サージング点より高風量側でみられるファン前方の流れ場：左）何も無い状態、右）ファン正面に板がある場合

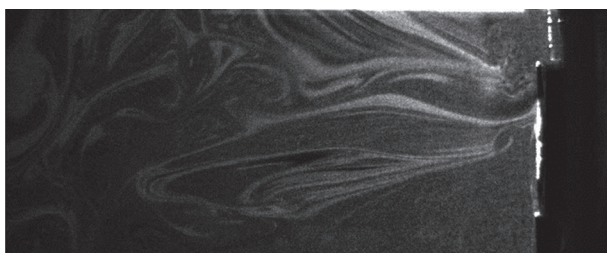


図9 サージング点より低風量側でみられる逆流の発生

P - Q 曲線の低下である。これは、概算される圧力損失以上に圧力の増加量が低下する。ファンの性能低下とも表現できるものである。図10には、ファン正面に図8右図のような障害物が設置された場合にみられる P - Q 曲線の低下を、実験とLES（Large-Eddy Simulation）による数値解析で評価したものを示す。サージング点から低風量側において、風量に対して

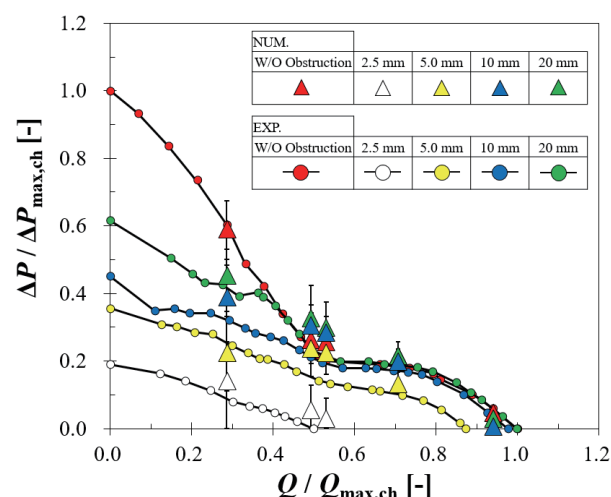


図10 障害物設置時にみられるファン性能の低下（障害物がない場合の最大風量と締切圧力で規格化している）¹⁵⁾

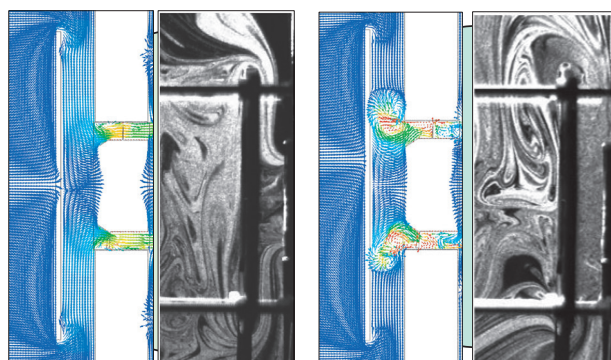


図11 ファン正面の流れの干渉：左）高風量側（流れは乱されない）、右）低風量側（流れが乱される）

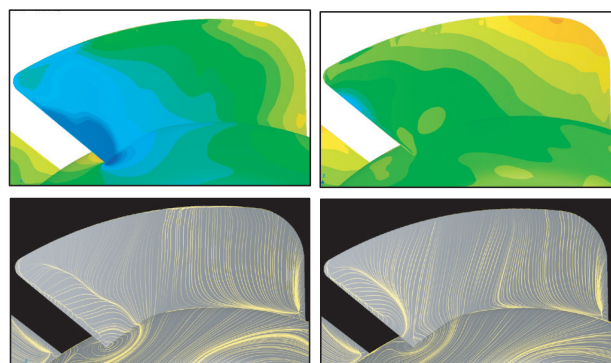


図12 障害物が実装されることでみられる低風量側での流れ場の変化（数値解析結果）。上は圧力分布、下は流線分布を示す。左は障害物なし、右は障害物をファン正面に設置した場合。

付与できる静圧の増加量が極端に抑えられており、これがファンと障害物の間の距離（クリアランス）が狭くなればなるほど顕著になっていることがわかる。これは、図11に示すように、低風量側において発生する逆流が障害物と干渉し、ファンへ流入す

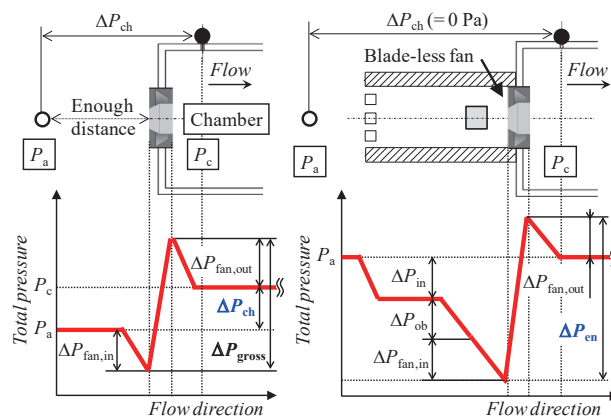
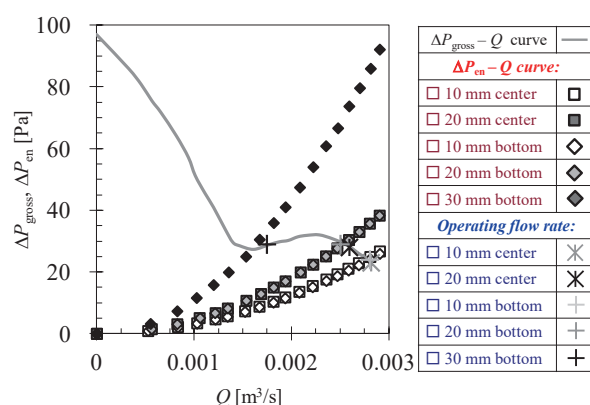


図13 ファン周囲で発生している圧力差のイメージ図：左）チャンバ法、右）筐体を実装した場合¹⁹⁾



Test fan
: SanAce40, 109P0412H702
(Sanyo Denki Co., Ltd.)

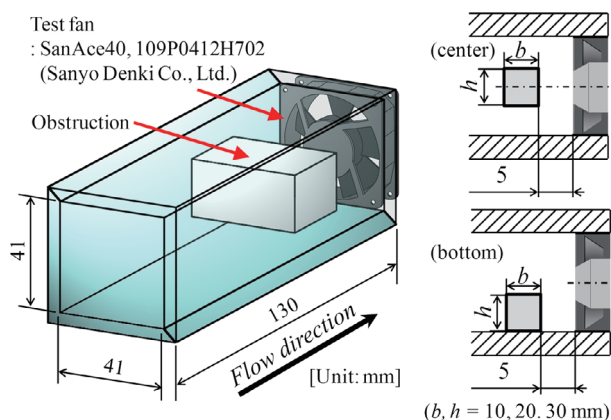


図14 ΔP_gross-Q曲線を用いた動作点の予測結果¹⁹⁾

る流れが乱され、その結果、図12に示すように、インペラ表面のはく離の限界流線がインペラ先端に寄り、はく離が促進されてしまうことで圧力が上がらなくなることによる。詳細は参考文献15)を参照いただきたい。この課題は、実装環境により低風量側でファンを使わざるを得ない電子機器特有の問題であり、その影響を外挿的に反映させながらプラントモデルを構築する必要がある。

3.2 圧力差を定義するポイントのずれ¹⁹⁾

図13に、チャンバ法において計測される圧力特性の考え方を示す。チャンバ法やダブルチャンバ法

では、ファンから十分離れた位置における圧力差を用いてファンによる圧力の上昇を評価する。これは、ファンから十分離れた位置であれば、動圧が静圧に変換されることから、この圧力差（図の ΔP_{ch} ）を計測することで全圧差に置き換えられることに基づく。ところが、前述したように、熱設計において欲しいのはファンの直前直後の圧力差であるため、この差がギャップを生じる。このギャップを埋めるためには熱設計ツール（ファンカーブモデルにおけるファン性能の表現方法）ごとに補正が必要であり、ファンで発生している動圧を補填する²⁰⁾など、対策が提示されている。

著者らは、つぎの考え方に基づき、ファンを模擬した二重円筒（正確には、ファンからインペラを取り除いた通風部）の圧力損失を見積もり、補填することを提案している。チャンバ法では、開放された空間からファンを通過し、また開放された空間へ空気を吐き出す想定で P - Q 曲線が計測される。このとき、ファン入口と出口においては流入損失（ $\Delta P_{fan,in}$ ）や流出損失（ $\Delta P_{fan,out}$ ）が発生するため、ファンが空気に加える総全圧は図13左図の ΔP_{gross} となるはずである。 ΔP_{gross} はいいかえれば、ファン直前直後の全圧差といえ、ファンの性能そのものが変化しない限りは、 ΔP_{gross} と Q の関係（ ΔP_{gross} - Q 曲線）は変わらないと考えられる。このとき、図13右図のようにファンの前に電子機器が実装された場合の圧力損失曲線は、図の ΔP_{en} が相当するはずであり、これをあらかじめ評価しておけば、 ΔP_{gross} - Q 曲線との交点を求めることで、圧力差の定義がずれることなく送風量を見積もることができる。図14には本手法で予測した動作点を示す。ファン正面に実装する障害物の寸法や位置を変えながら評価したが、高風量側であれば十分な予測精度で動作点を見積もることができる。一方、低風量側では P - Q 曲線の低下が発生し、この影響を考慮した形であれば、同様に動作点を予測できる²¹⁾。

4. 逆流の強さをどう評価するか²²⁾

これまでの議論で、熱設計におけるウィークポイントの発生要因のひとつに、高圧の動作点において発生するファンからの逆流の影響がある。これについても定量的に評価できないか、検証を進めている。しかしながら逆流のもつ乱れの強度そのものを実験や解析で定量的に追うのは、その現象そのものが高速でかつ複雑であることから、解像度を確保することが困難である。そこで、逆流が上流側にどの程度伝はんするかをもって評価してみることにした。

図15に示すように、ファン正面に、ファンのケー

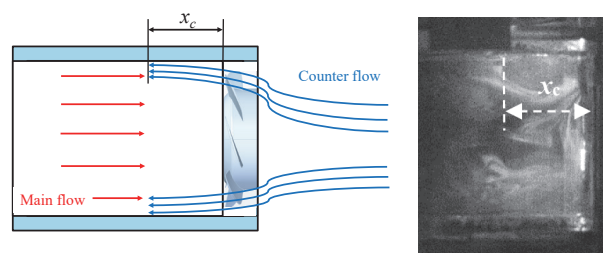


図15 逆流影響距離の評価

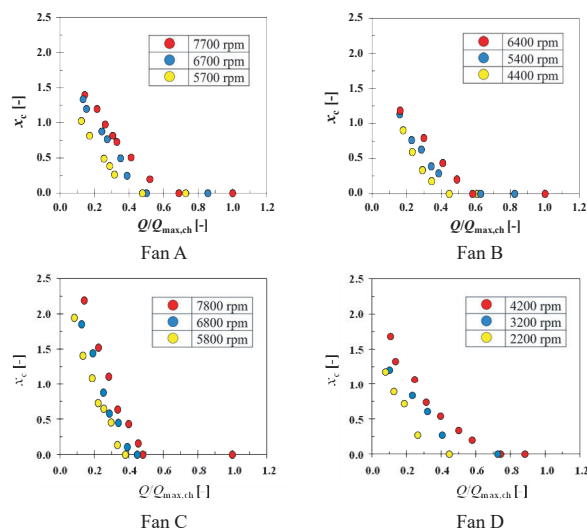


図16 4種類のファンの逆流影響距離（ x_c はファンチップ直径で規格化して表記）

シングと同等の寸法のきょう体を取り付け、きょう体の壁に沿って上流側にどの程度逆流が伝はんするか、その距離を「逆流影響距離 x_c 」と定義し評価を試みた。結果、図16に示すように、どのファンにも共通して、 $Q/Q_{max, ch}=0.5$ 付近（サージング点近傍）から逆流が発生し始め、逆流影響距離が風量に反比例して増加する傾向が明らかになった。これはファン上流とファン下流の差圧が増えることで逆流の影響が増すことによる。一方、回転数が大きいほど逆流影響距離が大きくなることも確認できた。ファンの回転数が速くなるほど、逆流がファンチップとケーシングの間を通過する際に付与される遠心力が強くなり、運動エネルギーが増すことで逆流の成長を促進していることが理由であると考えられる。

5. 現状でのまとめ

以上、熱設計を事例として、昨今のファンの動作環境の変化に伴い発生しているファン性能の評価に関する問題を事例に、プラントモデル構築に繋げるための基礎事象の研究について紹介した。これらをプラントモデルに導入することで、MBDによる予測精度の向上に繋がることは確認できている²¹⁾ものの、現状ではケースごとにすりあわせを行いな

ら実情に即したアレンジを行っている段階であり、一般論としてのテーブルは確立できていない。ファンの冷却能力の正確な評価は、Society 5.0の屋台骨を支える電子情報機器の安定動作を実現するために必要不可欠であり、より横断的な議論が期待される。著者らは2016年から（一社）電子情報技術産業協会（JEITA）の実装技術標準化専門委員会において、サーマルマネジメント標準化グループを立ち上げ、変化した熱設計に対応するためのインフラストラクチャーを整備することを目的に活動を進めている^{23)~26)}。また、日本機械学会RC301「日本の電子実装産業の復活を目指す、電子実装の信頼性と熱制御に関する研究分科会」²⁷⁾にも参加し、電子機器に実装したファンの性能評価に関する取り組みも進めている。ファンも含む、熱設計の体系的なプラットフォームの整備は火急の課題であり、業界や分野を横断した議論が必要であると考えている。ぜひフルードパワーシステムの専門家のみなさまからも、忌たんのないご指導を賜ればと考えている。

参考文献

- 1) Ishizuka, M.: Application of the thermal network method to the thermal analysis of thermal printer heads used in high speed thermal printers, Proceedings. Japan IEMT Symposium, Sixth IEEE/CHMT International Electronic Manufacturing Technology Symposium (1989)
- 2) 加賀邦彦, 山田賢一, 古藤悟, 大串哲朗: 熱回路網法による空気調和用熱交換器性能の予測: 有効比熱モデルを用いた凝縮器性能の予測, 日本機械学会論文集B編, Vol. 66, No. 647, p. 1826-1832 (2000)
- 3) 富村寿夫, 石塚勝: 電子機器の熱解析へのEXCEL表計算機能の適用: 日射を受ける筐体のビジュアルな熱回路網法解析例, 日本機械学会論文集A編, Vol. 75, No. 755, p. 792-798 (2009).
- 4) 高乗貞一, 藤井則之, 石塚勝, 中川慎二, 高木寛二: 相変化現象を伴う電子機器の熱解析への熱回路網法の応用, Thermal Science and Engineering, Vol. 17, No. 3, p. 105-112 (2009)
- 5) Fukue, T., Terao, H., Hirose, K., Wauke, T., Hoshino, H., Ito, R. and Nakagawa, F., Investigation of Transient Temperature Response of Papers in a Thermal Transfer Printer, Proceedings of the IS&T NIP29 (2013)
- 6) 木村健一: 建築設備基礎, 国際人間環境研究所 (2009)
- 7) 板東修: Excelで解く配管とポンプの流れ, 工業調査会 (2009)
- 8) Fukue, T., Hatakeyama, T., Ishizuka, M., Hirose, K., Obata, K. and Koizumi, K.: Flow Resistance Network Analysis in Fan-Cooled High-Density Packaging Electronic Equipment, Proceedings of the ASME InterPACK2015, IPACK2015-48600 (2015)
- 9) 国峰尚樹: 電子機器の熱流体解析第2版, 日刊工業新聞社 (2015)
- 10) 石塚勝: 熱設計技術解析ハンドブック, 三松 (2008)
- 11) 福江高志, 畠山友行, 石塚勝, 小泉雄大: ファン前方のフローパターンと性能低下の関連性の検討, 可視化情報学会誌, Vol. 31, No. 2, p. 167-168 (2011)
- 12) 池川昌弘, 高橋大我: コンパクトPC用空冷ファンの性能評価〜障害物がファン特性に及ぼす影響〜, 日本機械学会TC202研究分科会研究報告書, p. 721-726 (2004)
- 13) 一般社団法人日本経済団体連合会, 2050年カーボンニュートラル (Society 5.0 with Carbon Neutral) 実現に向けて一経済界の決意とアクションー, <https://www.keidanren.or.jp/policy/2020/123.html>
- 14) 福江高志: 高密度実装条件で運用する小型軸流ファンの動作に関する諸問題の検証, 日本機械学会RC294研究分科会 第9回資料 (2022)
- 15) 福田哲士, 増田幸男, 福江高志, 畠山友行, 石塚勝, 小泉雄大: 小型軸流空冷ファン近傍の実装部品がP-Q曲線に与える影響の数値解析による可視化, Thermal Science and Engineering, Vol. 30, No. 1, p. 1-12 (2022)
- 16) JIS B 8330 送風機検査及び試験方法, 日本規格協会 (2000)
- 17) ANSI/AMCA210-99 Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating, Air Movement and Control Association International, Inc. and American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (1999)
- 18) JBMS-72-1-2010 音響—スモールファンの空気伝搬騒音及び固体伝搬振動の測定—第1部: 空気伝搬騒音の測定, ビジネス機械・情報システム産業協会 (2010)
- 19) 福江高志, 畠山友行, 石塚勝, 廣瀬宏一, 小泉雄大: 高密度実装下におけるファンの動作点と圧力損失の関連性, 第50回日本伝熱シンポジウム講演論文集 (2013)
- 20) 中村元: PQ 曲線を用いたファンモデルに関する検討, 日本機械学会 RC227 研究分科会研究報告書, p. 845-858 (2009)
- 21) 福江高志, 畠山友行, 石塚勝, 廣瀬宏一, 小泉雄大: 熱流体抵抗網法を用いた小型軸流ファンの冷却性能予測, 電子情報通信学会論文誌C, Vol. J96-C, No. 11, p. 427-435 (2013)
- 22) 岩井猛, 福田哲士, 福江高志, 増田幸男: 小型軸流ファンの低風量動作で発生する逆流の生成に回転数が与える影響, 日本機械学会1 DCAE・MBDシンポジウム2022 (2022)
- 23) 福江高志, 平沢浩一, 内田昌宏, 岡田裕司, 平岩哲也: 実装と放熱経路の変遷に対応したサーマルマネジメントの標準化動向, エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 21, No. 2, p. 130-136 (2018)
- 24) JEITA ETR-7032 電気・電子部品の使用温度に関する現状の温度規定及び課題に対するガイドライン, 電子情報技術産業協会 (2020)
- 25) JEITA ETR-7033 電気・電子部品の温度測定方法に関するガイダンス, 電子情報技術産業協会 (2020)
- 26) JEITA ETR-7034 基板放熱型部品を実装したプリント基板の熱設計ガイドライン, 電子情報技術産業協会 (2020)
- 27) 一般社団法人 日本機械学会 RC301 日本の電子実装産業の復活を目指す, 電子実装の信頼性と熱制御に関する研究分科会, <http://rc-epack.org/>

(原稿受付: 2024年5月20日)

解説

「SURIAWASE2.0」による モビリティ社会の最先端開発コミュニティの実現

著者紹介



むら おか ただし
村 岡 正

一般社団法人 MBD推進センター
〒101-0045 東京都千代田区神田鍛冶町3-4
E-mail: muraoka.t@jambe.or.jp

1984年3月広島大学大学院工学研究科システム工学専攻前期課程修了。同年4月マツダ(株)に入社し現在に至る。その間3D CAD開発、プロセス革新、MBD地域展開を担当。現在、以下に従事。R&D戦略企画本部 シニアエキスパート
(一社) MBD推進センター事務局長



あ だち と も ひ こ
足 立 智 彦

マツダ株式会社
〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1
E-mail: adachi.t@mazda.co.jp

1990年3月神戸大学大学院工学研究科システム工学専攻前期課程修了。同年4月マツダ(株)に入社し現在に至る。その間先進安全車両研究、MBD戦略立案/推進や、EV C.A.Spirit社MBDアドバイザーを担当。現在、以下に従事。R&D戦略企画本部 兼MDI&IT本部 技監 広島大学客員教授
(一社) MBD推進センター 企画統括委員会 委員長 (ドイツ) ProSTEPip ボードメンバー

1. はじめに

自動車産業に突き付けられた100年に一度の大変革時代、いかにスリムかつイノベティブな開発が出来るようになるかが求められており、その処方箋としてMBD*が期待されている。MBDを裾野の広い国内の自動車産業全体に展開するためには、個社の努力だけでは不十分であり全国規模での取り組みが必要である。そのような中、経産省が提唱するSURIAWASE2.0構想の実現を目指して2021年度に立ち上がったMBD推進センターの活動についてご紹介し、自動車産業全体へのMBD普及に向けた最新の動向を概説する。

*本稿では制御開発での計算解析だけでなく機械・電気・電子開発での熱流体・構造解析や成型解析なども含めたモデルを軸にした開発手法全般をMBD (Model Based Development) と呼ぶ。

2. MBD推進センターの取り組み

2.1 SURIAWASE2.0とは

MBDの全国普及を狙いとして、MBD推進センター(以下JAMBE**)が2021年7月にコンソーシアム形式の任意団体として発足した。

** Japan Automotive Model-Based Engineering center

JAMBEの基本理念は「モデルベース開発技術を広く普及展開しモデルを用いた高度なすり合わせ開発(SURIAWASE2.0)を実現することにより日本の自動車産業の国際競争力向上に貢献する」とされている。

SURIAWASE2.0とは、2017年に経産省により提示された概念であり、日本のものづくりの強みである「すり合わせ」をMBDによって一段進化させようという考え方である。

JAMBEではSURIAWASE2.0を以下のように再定義している。「学の研究～中小部品メーカーの部品開発～大手部品メーカーやOEMのシステム開発や車両開発までがモデルでつながり、実機のすり合わせ時期を待たずして、初期段階からデジタルですり合わせ可能にする。これにより、全体最適で高度なモノづくりを、手戻りなく最高効率で行うことができるモビリティ社会の最先端の開発コミュニティとなる」(図1)。

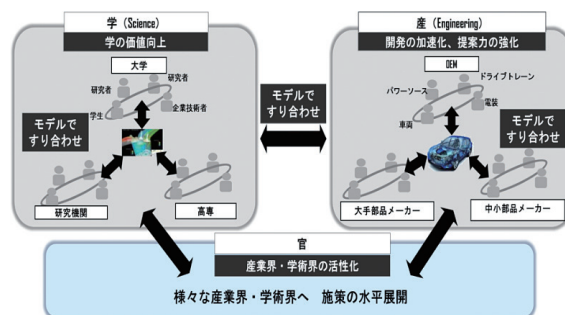


図1 SURIAWASE2.0の概念図

SURIAWASE2.0の目指す姿を開発プロセスの視点で表すと、図2のようになる。

産業界では従来のバトンタッチ方式から、開発上

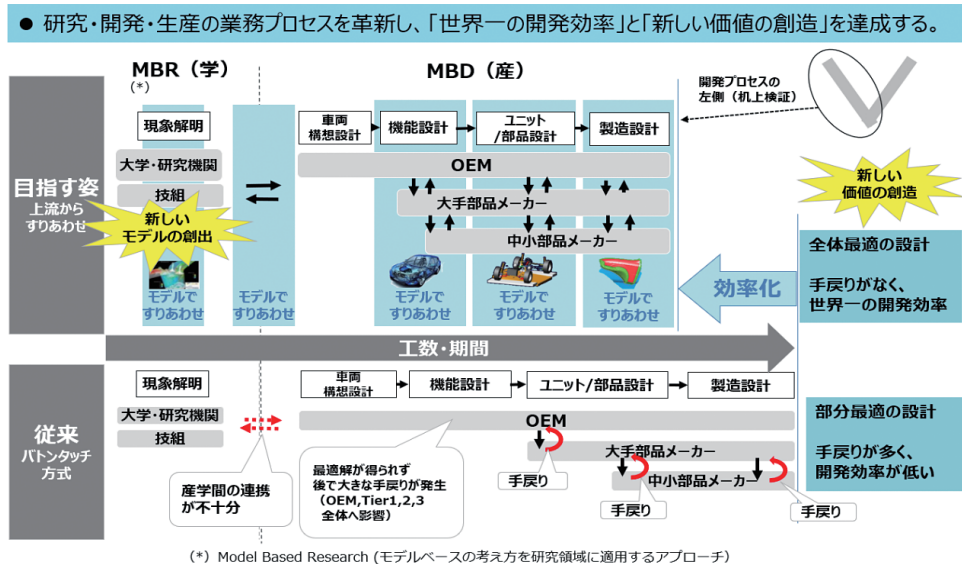


図2 SURIAWASE2.0の目指す開発プロセス*

流から社内外とモデルを用いたすり合わせを行うやり方に転換することで手戻りを無くし車の開発工数・期間を大幅に削減・短縮する。さらに産学連携においてMBR（Model Based Research）により新しいモデルを創出し産業界に円滑に橋渡しすることで新しい商品価値の創造に繋げる。

また、JAMBEでは下記ビジョンを掲げている。

- ・カーボンニュートラル対応やCASE等の車両技術革新をMBDで推進しSDGsに貢献する。
- ・すべてのプレイヤーが規模の大小を問わずモデルでつながり高効率な研究開発を推進している。

このように、大企業だけでなく中小企業も含めた国内自動車産業全体へのMBD普及を目指している。

2.2 MBD推進センターの会員構成

2021年に任意団体として発足後、JAMBEは自動車業界での認知度が徐々に高まり、会員数も発足当初の43企業/団体から約1年半で130を超えるなど急増した。そこでさらなる活動拡大に向け、法的な組織基盤を強化するため、2023年4月より任意団体から一般社団法人に移行した¹⁾²⁾（図3）。

一般社団法人への移行後も会員数は増え続けており、2024年4月時点で171の企業・団体がJAMBEに参加している。

このうち、JAMBEの組織運営を支える運営会員は国内自動車OEM・サプライヤ10社¹⁾からなる。

また、運営会員を含めた全会員の業種別の構成は自動車OEM12社、自動車サプライヤ57社、ツールベンダー50社、エンジニアリングサービスプロバイダ27社、商社・人材派遣会社6社、大学・研究機関8団体、技術組合2団体、地方行政・地域振興団体8団体などとなっている。このようにMBDを



図3 一般社団法人 MBD推進センター 第一回理事会

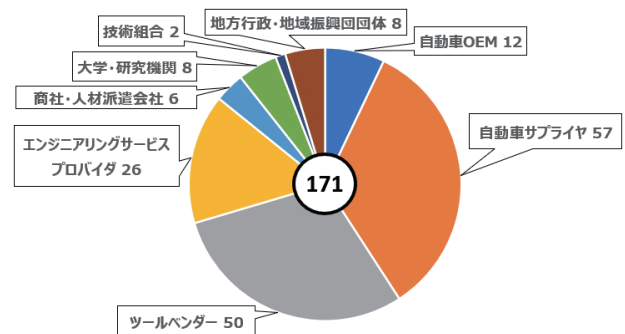


図4 業種別の会員構成（2024年4月末時点）

適用する側の企業だけでなく、MBDを支える側の企業・団体も幅広く参加しているのがJAMBEの大きな特徴である（図4）。

2.3 MBD推進センターの活動内容

JAMBEでは、SURIAWASE2.0の実現に向けて、「MBD普及推進」、「モデル流通推進」、「共通課題の解決」、の役割を果たすべく活動している（図5）。

以下、いくつか具体的な活動を紹介する。

2.3.1 モデル流通に関するガイドライン整備

企業間のモデル流通を円滑に行えるようにするた

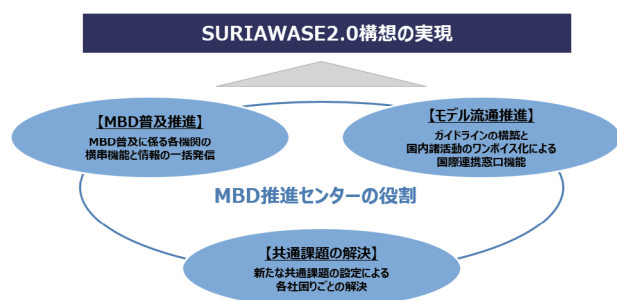


図5 MBD推進センターの役割の役割

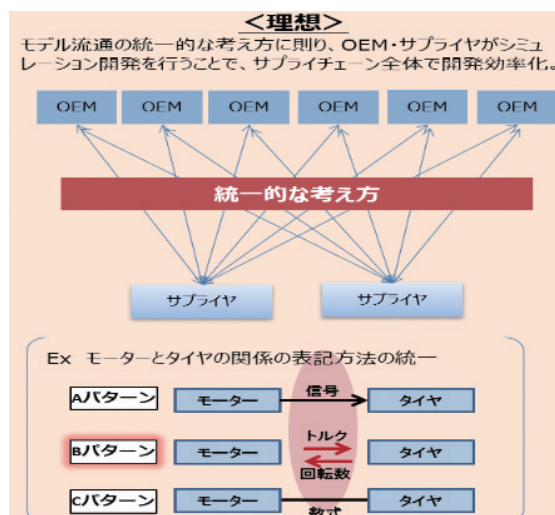
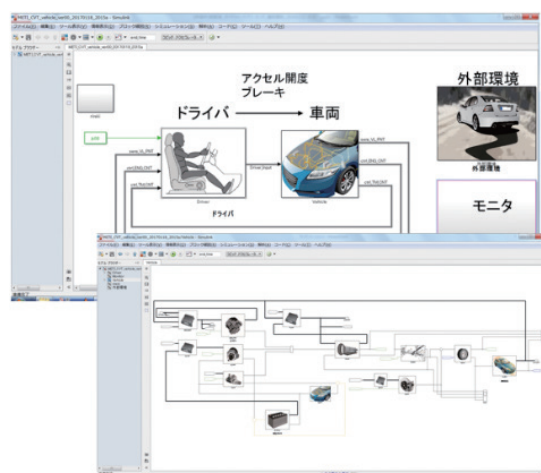


図6 モデル流通での統一的な考え方の必要性

め、各種のガイドライン整備を進めている。たとえば、従来OEMが車両モデルを使って燃費などのシミュレーションを行う際には、会社により異なる考え方でモデルを作成していたため、サプライヤーが自社部品モデルをOEMに納入する時にはOEMごとに異なる仕様のモデルを作成する非効率な状況になっていた。そこで、JAMBEではモデルとモデルを接続する際のインターフェース部分に着目し、エネルギーの流れ等の観点から基本原則を定めて「モデル接続I/Fガイドライン」として公開している。このような統一的な考え方に沿ってモデルを作成すれば、サプライヤーはOEMごとの個別対応を省力化でき、OEMもサプライヤーのモデルを効率的に入手し車両モデルに組込むことが可能となる（図6）。

これまでに、燃費、電費（EV）、運動性能、車両振動、自動運転に関する車両モデル作成時のモデル接続I/Fガイドライン（機械、電気、熱流体）と、企業間でのモデル流通時の業務プロセスに関するガイドラインを整備し公開している。このうちモデル接続I/Fガイドラインについては、ガイドラインに準拠した、実際に動く車両モデルを参考事例として作成しガイドラインと共に公開している³⁾（図7）。

これらモデルはOEM・サプライヤーや大学がMBDのトライアルや研究を行う際に作成する車両モデルのひな形としても活用され始めており、ガイドラインの普及に大いに役立っている。

図7⁴⁾ ガイドラインに準拠した車両モデル

2.3.2 国際連携

各国の標準化団体と連携し、モデル流通の世界共通ルール作りも進めている。これまでに独の国際標準化準備推進団体ProSTEPivip（180企業・団体が参加）および仏のデジタル化推進国家イニシアティブSystem-X（70企業・団体が参加）と協業を始めており、たとえば上記のモデル接続I/Fガイドラインの内容を3者共同で精査しブラッシュアップした上で、日本発の国際共通ルールとしてProSTEPivipが世界に公表している（図8）。

また、セミナーやワークショップの相互開催も行なうなど関係を深化させており、世界中のOEMとサプライヤーが共通ルールで最高効率のビジネスができる環境づくりを目指している。



図8 ProSTEPivip, System-Xとの連携

2.3.3 モデル流通プラットフォーム整備

モデル流通を試行したい企業を支援すると共にモデル流通における技術的な課題解決を促進するため、クラウド上でモデルの共有が行えるプラットフォーム

ム（システム環境）を整備しJAMBE会員に提供している（図9）。この環境下では、複数企業のモデルを結合した上で、相手側企業に開示したくないモデル内部情報を秘匿したままで結合モデルのシミュレーションを行うことができる。本システムを使って会員企業間でモデル流通の実証実験を行い、具体的な課題を抽出してその解決を図る活動も進めている。

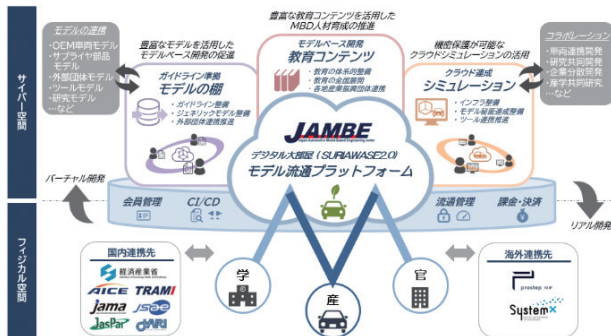


図9 モデル流通プラットフォーム

2.3.4 人材育成

全国の企業でのMBD人材育成を支援するため、会員のツールベンダーやエンジニアリングサービスプロバイダが保有している多数のMBD教育研修カリキュラムをJAMBEのポータルサイトで一般公開し、各企業が自社ニーズに合ったカリキュラムを自由に探索できる仕組みを整備している（図10）。

また、JAMBE会員各社に対しては、社内のMBD技術者の裾野拡大に向けて、愛知や広島など先行している地域で実施中の優れたMBD研修に遠隔地からリモート参加できる仕組みも提供している。



図10⁵⁾ MBD教育研修の検索画面

2.3.5 市販車ベンチマークモデル作成

これまで各社が個別対応していた市販車のベンチマークを複数企業で効率的に行うため、希望する会員が集まり、市販のEV車両を使って熱マネシミュ

レーションモデルを共同で構築する活動を行っている。参加企業からは、「他社との技術交流によりEVのモデル化に関する技術力向上につながった」、「OEMとサプライヤ相互のニーズ理解につながった」と、効率化以上の成果が得られている（図11）。



図11 市販EVベンチマーク車両のモデル化に関する集中討議

2.3.6 MBD活用実践事例報告会

会員企業でのMBD推進上のロードブロック（障害）の解決を促進するため、各社持ち回りで実践事例の報告会を開催している。報告内容には取り組みの成果だけでなく、成果に至る過程で直面した、技術・人材・ツール・マネジメント・業務プロセス・組織体制などのロードブロックと、それらをどんな工夫で乗り越えたか生々しい経験も含めていただき、同様の課題を持つ企業がロードブロック解消のヒントを得て前進することを期待している。

本報告会は毎月一回開催されている。領域はパワートレイン系、車両系、先進制御系など幅広く、内容も燃費解析、車両運動性能解析、熱流体解析、企業内のモデル流通、企業間のモデル流通、設計者用CAE普及の取り組み、MBSEなど多様である。参加者は毎回50社以上、200名～300名となっており、アンケート結果でも、「MBDの効能の理解が深まった」、「自社のMBD推進上のロードブロック解消のヒントを得ることができた」との声が多数寄せられるなど、狙い通りの成果が出ている。

2.3.7 中小企業支援

MBD適用の遅れている全国の中小企業への展開を加速するため、2022年度より活動を開始した。活動方針は、業種毎にMBDの成功事例を作り、その効能を全国の同業者へ紹介して挑戦意欲を喚起し同様の取り組みの広がりにつなげることにしている。中小企業の多くは部品の設計を行わず製造のみを行う業態のため、まずは生産CAEなどの成功事例を作り展開することを目指す。活動を進めていく上では、従来から全国各地で中小企業の支援を行っている地方行政や地域振興団体の皆様と協力しながら、各地

の中小企業の業務種別やMBD適用の状況に合わせて寄り添う形で進めつつある。2024年4月時点で、宮城県、群馬県、栃木県、埼玉県、長野県、静岡県、広島県、大分県の行政や関係団体にJAMBEの会員になっていただいております。今後も更に連携の輪を広げていく予定である(図12)。

また、会員のベンダー、エンジニアリングサービスプロバイダが既に保有している中小企業の成功事例の情報を整理してJAMBEのポータルサイトで一般公開し、全国の中小企業が参考にできるようにしている(図13)。

以上のようにJAMBEではSURIWASE2.0実現に向けて、企業規模の大小を問わず、実際の商品開発・生産や研究の現場でMBDを高度に実践できるようになることを目指して、実務的で実効性のある施策を重視して取り組んでいる。

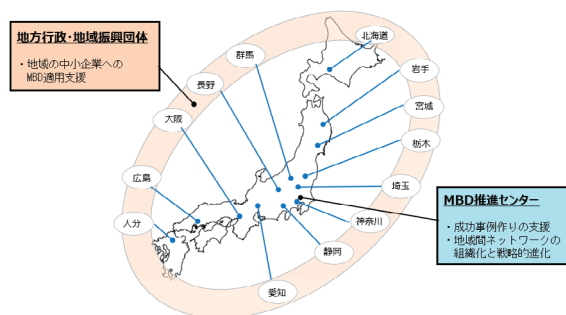


図12 中小企業支援の全国ネットワークの形成

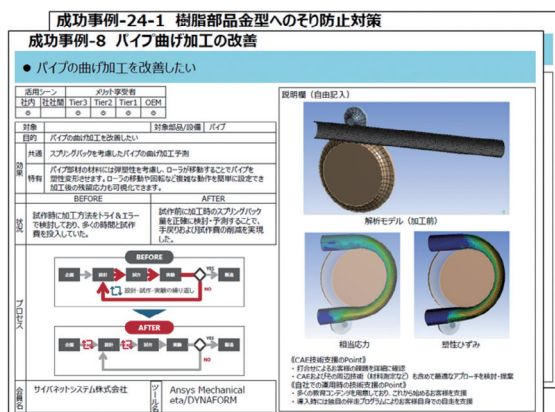


図13⁶⁾ 中小企業での成功事例集

3. おわりに

自動車産業のMBD普及に向けたJAMBEの取り組み状況を紹介した。一方、MBDは自動車だけでなく、建機、造船、電機など多くの製造業に広がりつつある。アカデミアの世界でも日本船舶海洋工学会⁷⁾、日本機械学会⁸⁾などでMBDに関する議論が行われるなど多方面から関心が集まっている。

今後、フィジカルとサイバーが融合するSociety5.0の世界になると、あらゆるシステムが繋がり複雑性が指数関数的に増大すると言われている。そのような世界では、製造業のみならず、どの業界でも新しい商品やサービスを効率的に開発することが極めて困難となり、その解決策の一つとしてMBDの活用が広がるものと予想される。

したがって、日本全体の国際競争力向上のためには、自動車のMBDを世界トップレベルに進化させると共に、MBDを他業界へ展開する仕組み作りも重要であり、今後JAMBEはそのような役割も果たしていくべきと思われる。

参考文献

- 1) 一般社団法人MBD推進センター website, <https://www.jambe.jp/>
- 2) 一般社団法人MBD推進センター プレスリリース <https://www.jambe.jp/news/20230519-766>
- 3) <https://www.prostep.org/en/>
- 4) <https://www.jambe.jp/system/download>
- 5) <https://www.jambe.jp/system/educationp/system/education>
- 6) <https://jambe.jp/system/case--studystudy>
- 7) 日本船舶海洋工学会 西部支部シンポジウムwebsite, 「海事産業におけるデジタルツインとモデルベース開発」 <https://www.jasnaoe.or.jp/lecture/symp/221219.html>
- 8) 日本機械学会 2022年度 年次大会 website, 「製品開発を大きく変えるMBDの新潮流」 <https://confit.atlas.jp/guide/event/jsme2022/session/3R101-04/advanced>

(原稿受付：2024年5月7日)

解説

ソフトウェアを使用した温度シミュレーション

著者紹介

おのぎ かなこ
小野木 華奈子株式会社伊東商会 ソリューション推進室
〒104-0031 東京都中央区京橋3-1-1
東京スクエアガーデン
E-mail: k-onogi@itnet.co.jp

1997年カルソニックカンセイ（現マレリ）に入社し自動車部品の熱交換器設計・開発を担当。2018年より油研工業株式会社に入社しバルブの研究開発業務に従事。2024年株式会社伊東商会に入社し現在、プリセールスエンジニアとして油圧回路設計シミュレーションソフトの技術サポートを担当。

1. はじめに

近年、機械の開発をする場合に設計、試作時間の短縮、試作回数の削減などを目的にシミュレーションを用いることが一般的になって来ている。

各油圧機器の設計だけでなく、各機器の特性情報（仕様・効率等）を組み込んだ油圧回路システム全体のシミュレーションを行うことができれば、実機で検証する前に油圧回路上の不具合を確認しシステムのエネルギー効率の見直しをすることができる。これにより、実機での検証前に油圧回路や機器の仕様の見直しができ、実機での検証回数の削減が期待できる。

本文では、ある機械の試作機で発生した不具合の事象に対して油圧回路設計シミュレーションソフトウェアAutomation Studio™を活用して事象をシミュレーションし、油圧システムの見直しを行った事例を紹介する。

2. 背景と課題

機械の試作機を運転すると作動油温度が上昇し続けてしまうため、機械を止めて作動油温度を下げる必要があった。

作動油温度を下げて連続運転を実現するために、温度シミュレーションを実施し、原因特定と油圧回路の見直しを実施した。作動油温度が上昇しないことをシミュレーションで確認し、実機での検証を

行った。

3. 使用するソフトウェアの概要

油圧回路設計シミュレーションソフトウェアAutomation Studio™は、ライブラリ中にあるISOの油圧・電気記号等を用いて油圧回路を作成できる。また、油圧回路上のポンプやアクチュエータなど油圧機器の特性（仕様、効率等）や負荷条件を入力して各種シミュレーションが可能である。

4. 実機とシミュレーション結果

4.1 試作機の問題点

試作機に於いて、作動油クーラーが効かず、作動油温度が上昇し続けた（図1）。

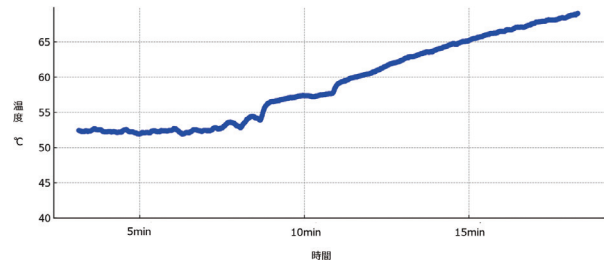


図1 試作機の作動油温度

4.2 試作機のシミュレーション

Automation Studio™で油圧回路を作成し、各コンポーネントの仕様等を入力してシミュレーションを実施（図2）、各コンポーネントの作業パターンによる消費エネルギー（図3）、その時の作動油温度を自動計算（図4）、1時間経過しても温度が安定しないことを再現した。また、実機と同様に油圧ピストンポンプの吐出流量が多く、余分な流量が出ているため対策が必要だった。

4.3 改造機のシミュレーション

試作機のシミュレーション結果をもとに、油圧モータとポンプの圧力を見直し、再選定を行った。また、油圧ポンプと配管システムも1系統から2系統に変更した。

Automation Studio™で変更後の油圧回路を作成

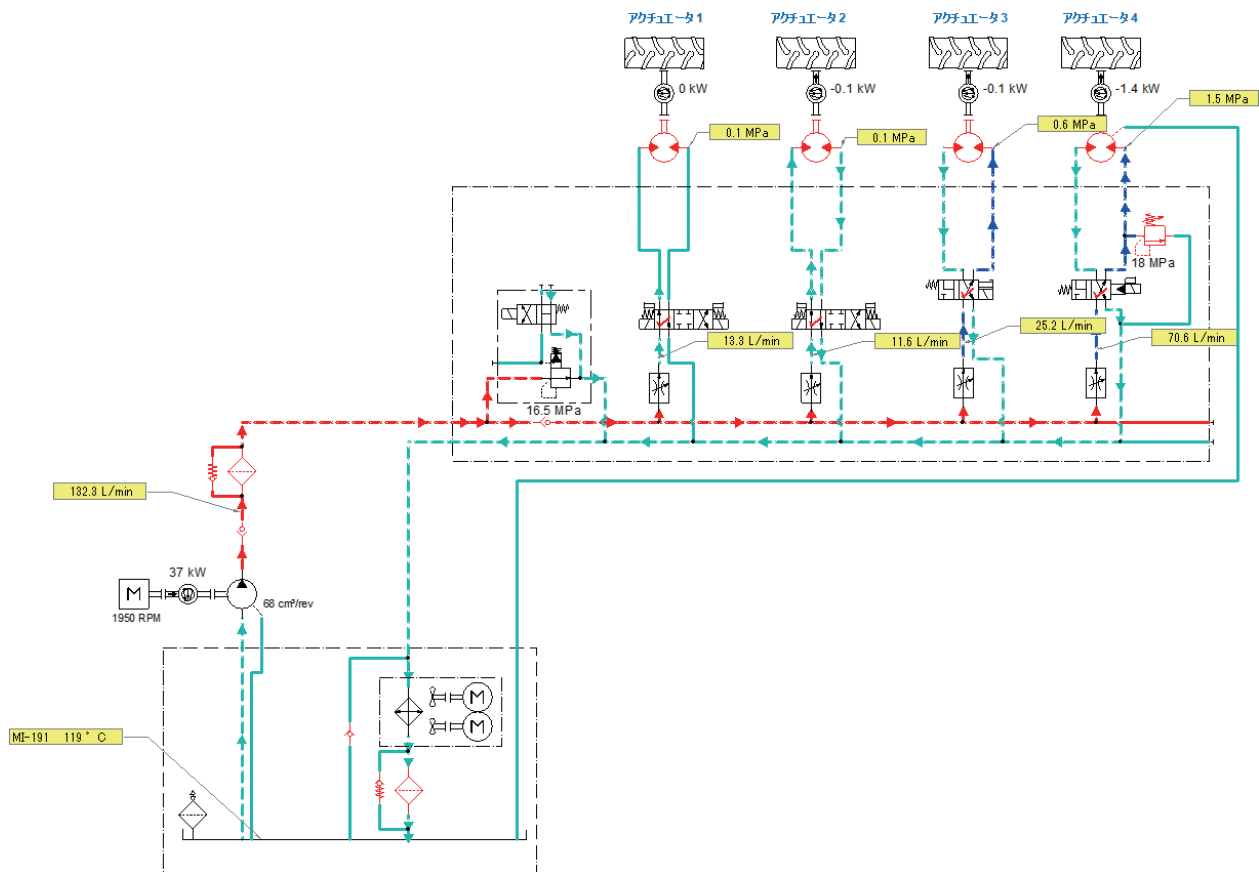


図2 試作機の油圧回路

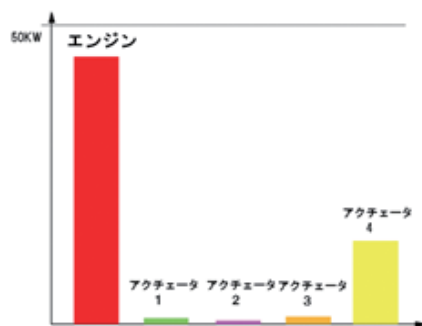


図3 試作機の消費エネルギーのシミュレーション

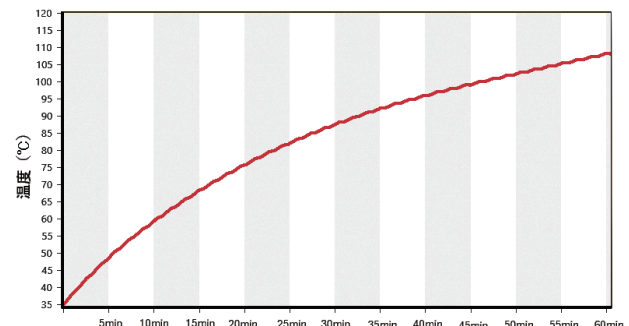


図4 試作機の作動油温度シミュレーション

(図5), 消費エネルギー (図6), 温度シミュレーションを実施し (図7), 作動油温度が目標値の60℃前後になっていることを確認した。また余分なポンプ吐出量の削減についてもシミュレーションで確認した。

4.4 回路変更後の試作機の作動油温度

図8のようにシミュレーション結果に近い結果を得られた。

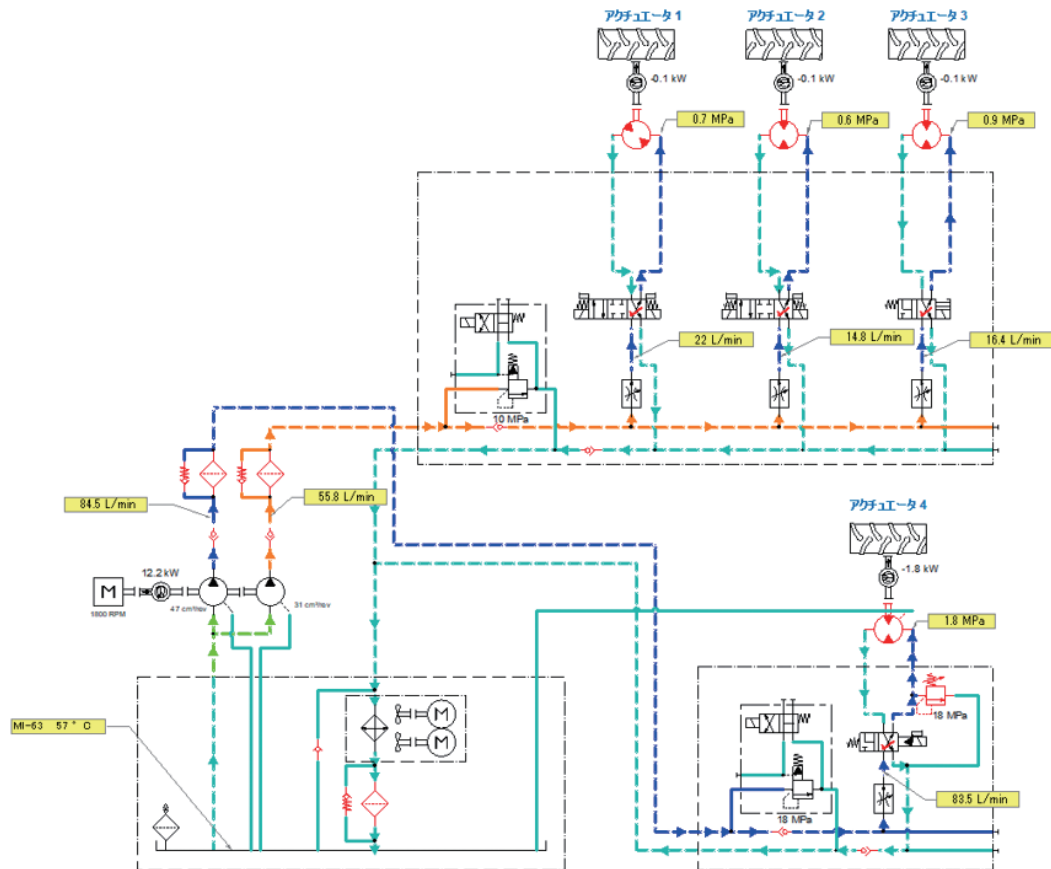


図5 変更後の試作機の油圧回路

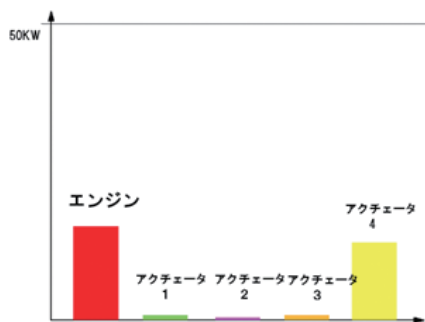


図6 回路変更後 消費エネルギーのシミュレーション

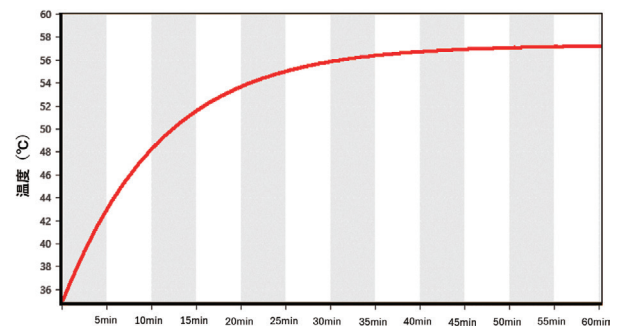


図7 回路変更後の試作機の作動油温度シミュレーション

5. ま と め

シミュレーションを実施することで、回路変更後の効果を事前に確認することができ、試作回数の削減、回路設計精度向上に有効であった。

6. 今後の取り組み

配管や継手の圧力損失、タンクサイズや放熱計算等も簡単に計算可能で、更なる省エネ、最適設計に今後も活用する予定である。

(原稿受付：2024年 5 月10日)

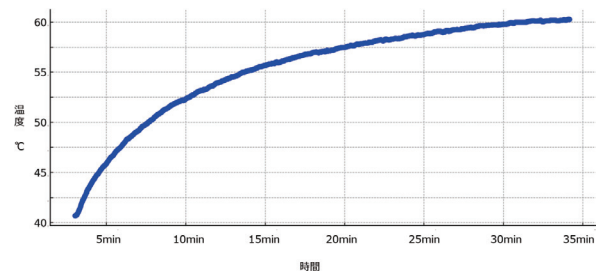


図8 回路変更後の試作機の作動油温度

ニュース

日中若手研究者交流事業

著者紹介



さか い さとる
酒 井 悟

〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1
E-mail: satorus@shinshu-u.ac.jp

1998年京都大学工学部卒業，2003年京都大学農学研究科博士後期課程修了，京都大学情報学研究科JSPS 特別研究員（PD），Twent大学客員研究員，千葉大学助教を経て，2010年信州大学工学部准教授，2023年同教授，現在に至る。油圧システム制御の研究に従事，日本フルードパワーシステム学会正会員。

1. はじめに

2003年から始まった日中若手研究者交流事業では，中国機械工程学会（CMES）における流体伝動および制御分会（FPTCI）との若手研究者交流を促進している。

2023年度は，JFPSから中国へ派遣する年度であり，日本人研究者1名（筆者）が招へいいただいた。2020年度から派遣を中断させていたコロナ禍の余波が残る例外的情勢であったため，中国人学生（Ph.D.進学予定，指導学生）1名を帯同させていただいた。

今回の派遣時期は4年ごとに開催される国際会議FPMと同期しており，13件のKeynote Speech（30分/件）など総合的に聴講する機会をいただいた。多岐にわたる研究拠点を訪問させていただき，多くの研究者・技術者・学生と交流する機会をいただいた。以下，本交流事業の成果について報告する。

2. 滞在の概要

2023年8月17日から24日までの8日間にわたり上海，杭州，蘭州，北京，ハルビンに滞在した。8月18日から20日まで黄河上流の蘭州（写真1）にあるRosy Huaxi Hotelにて開催された国際会議FPM2023（The 9th International Conference on Fluid Power and Mechatronics）における聴講と講演（Keynote Speech），上海交通大学・浙江大学・北京航空航天大学・ハルビン工業大学などにおける拠点訪問・研究者交流をさせていただいた。

8月17日に上海の空港から入国した直後，上海交通大学の陶建峰先生とPh.D.学生魏齐さんにお出迎えいただいた。高速道路で杭州の宿泊施設まで移動して，徐兵先生，陶建峰先生，黎鑫先生，王峰先生，徐凱臣先生，張超先生（Zhejiang Univ.）とも交流・懇親させていただいた（写真2）。

翌18日に浙江大学に入構して，State Key Laboratory of Fluid Power and Mechatronic Systemsとして再編成（乱暴に言えば，機械工学全体の3分の1を，油圧・制御・メカトロニクスを含むフルードパワー分野として集約）されたばかりの構内を親切にご案内いただき，実験棟・多数の油圧装置を見学させていただいた。浙江大学の歴史などの講義もいただきながら，徐兵先生，王峰先生，陶建峰先生と交流させていただいた。

その後，杭州から航空機で蘭州に向かい，Invitation Letterを賜った焦宗夏先生，冀宏先生，魏列江先生，王少萍先生，尚耀星先生，彭国义先生，闵为先生および技術者・企業関係者とも御礼・御挨拶・懇親をさせていただいた。

翌19日と20日はKeynote Speechを聴講12件・講演1件（写真3）をさせていただいた。

Huayong Yang（杨华勇）先生による講演「Development of inspection and replacement robots for excavation tools of Tunnel Boring Machine (TBM)」の概要は，高温・高湿・高圧（高水圧）におけるトンネル掘削機の効率・安全性を高めるための，カッター交換・調査のためのケーブル



写真1 黄河第一橋付近の蘭州（会議公式ページ抜粋）

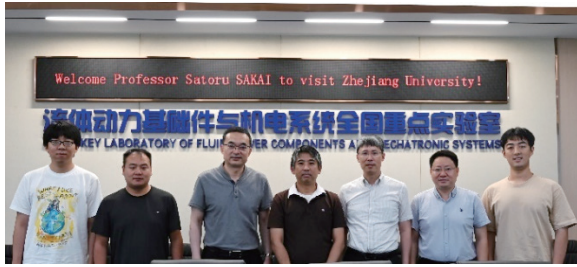


写真2 浙江大学にて（秘書さん撮影）

駆動ヘビ型ロボットの開発と実応用（例：地下鉄用掘削）などであった。

Dingxuan Zhao (赵丁选) 先生による講演「Research progress of hydraulic active suspension technology」の概要は、車両の油圧アクティブサスペンション性能向上のための、制御器設計・実装・実験（例：消防梯子車の不整地走行）などであった。

Andrew Plummer先生による講演「Energy-efficient hydraulic actuation through mechatronic integration」の概要は、既存油圧システムの効率を高めるための、ポンプ駆動用モータ制御・EHA方式と（二値的に挙動する切替弁などを多数配置する）デジタル方式に関する技術、AM（アディティブマニファクチャリング）の応用などであった。

Bing Xu (徐兵) 先生による講演「Stability and safety control technology for heavy duty hydraulic manipulator」の概要は、作業領域・対物安全性向上のための、多自由度油圧アームのリスクアセスメント・安全基準・安全制御・回路最適化・実応用（例：コンクリートポンプ車）などであった。

Guoyi Peng (彭国义) 先生による講演「Property of cavitation cloud shedding in an orifice nozzle」の概要は、実験的にも数値的にも可視化困難であったオリフィスの噴流・キャビテーションを理解するための、高速カメラとPIVを用いた新たな可視化実験と数値シミュレーションの比較、特に2個の環状Cloudの周期的な挙動計測技術などであった。

Katharina Schmitz先生による講演「Electrification and digital transformation-chances and challenges for fluid power technology」の概要は、油圧システム効率向上のための、電動化技術とデジタル化技術などであった（オンライン講演であった）。

Andrea Vacca先生による講演「Research and applications of multiple pressure rail hydraulic control technology for off-road vehicles」の概要は、油圧システム効率向上のための、供給圧の異なる多数の油圧源を配置する方式に関する技術と応用（例：農機・建機）などであった。

Shaoping Wang (王少萍) 先生による講演「Failure

mechanism and life prediction of fluid dynamic seals」の概要は、航空機を含む油圧システムの信頼性・寿命を高めるための、オイルシールの故障メカニズムおよびマルコフ過程を用いた寿命予測などであった。

Hong Ji (冀宏) 先生による講演「Wide-speed characteristic of hydraulic electric motor-pump」の概要は、油圧システムの効率向上のための、油圧ポンプと電動モータの一体化方式、速度レンジ拡大技術などであった。

Victor Sverbilov先生による講演「Dynamics of pressure regulators in gas transportation systems: Stability and noise」の概要は、航空機を含む配管内ノイズ低減のための、（ノイズ低減とトレードオフの）安定性・他の動特性の改善技術などであった。

Feng Zhou (周峰) 先生による講演「Synthetic lubricants: mechanisms from molecular level to macroscale」の概要は、フルードパワーシステムの効率・運動の滑らかさ・耐磨耗性能を高めるための、潤滑剤分子の設計・分子構造最適化・新しい機能性グリースの設計などであった。

Yinshui Liu (刘银水) 先生による講演「Fluid power drive in deep-sea present and future」の概要は、大深度海中においてマニピュレータを動作させるための、フルードパワーシステムと電動システムの比較、（“フルードパワーシステムの電動化”の逆である）“電動システムのフルードパワー化”（hydraulized）に関する技術などであった。

Satoru Sakai (筆者) による講演「New understanding of hydraulic cylinder dynamics and its application to control」の概要は、対人安全性向上のための、多くの論文で見かける油圧シリンダモデルの新しい等価表現の理解、油圧協働ロボット制御・パラメータ同定応用（例：農機・建機）であった。

2024年に広島開催のJFPS国際シンポジウムCFPについては上記講演の最後で映写したが、持参した紙媒体を陶建峰先生のご配慮から全室配布させてい



写真3 FPM2023大会場にて（会議公式ページ抜粋）



写真4 王少萍先生（“Cheung Kong Scholar” Chair Professor, Beihang University）から講演証書を拝受（張雁斌（Zhang YANBIN）さん撮影）

ただき、投稿検討のお話を多くいただいた。

陶建峰先生には渡航前から非常にご丁寧なご対応を賜った。改めて感謝と敬意を表させていただきたい。

国際会議FPM2023ではさらに招待講演14件（パラレル）・発表100件（6室）余があった。集合写真の椅子はパノラマ撮影のため大きな180度の弧に達しており、国を挙げて油圧の様相であった。空気圧関連は少ないものの増加傾向とのことであった。

21日は開催側としても御多忙な陳乾鵬先生に、蘭州理工大学を親切にご案内いただき、制御弁・ポンプ等に関する実験室の見学、大変興味深い講演を聴講させていただいた。その後、市内散策のガイドを含めて最後まで懇親いただいた。

22日早朝に蘭州から航空機で北京に移動して、午前8時は于天先生と交流、その後、王少萍先生と再会（写真4）させていただき、于天先生・張超先生（Beihang Univ.）を交えて研究文化などの話題で交流・懇親させていただいた。

23日に高速鉄道CRHに乗車して、彭敬輝先生からハルビン工業大学へ親切にご案内いただいた。李松晶先生と再会させていただき、Deanとしても御多忙にも関わらず中国のフルードパワー分野の歴史を講義いただき、フルードパワー関連・ロボティクス関連の実験室を親切にご案内いただいた。また



写真5 ハルビン工業大学にて（魏齊（Wei Qi）さん撮影）

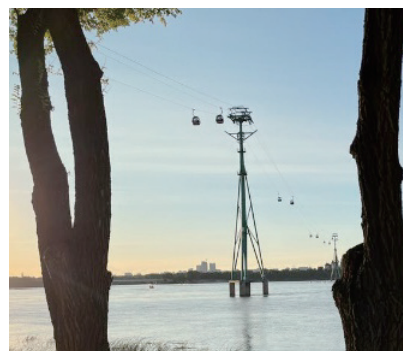


写真6 対岸の索道と高層ビルがかすむ松花江にて

FPMでの筆者の講演について多くの質問をいただいた。

最終日24日はPh.D.学生数名を前にFPMとは別テーマの講演（写真5）もさせていただき、李松晶先生・彭敬輝先生を交えてぎりぎりまで懇親させていただいた。その後、最大限のサポートを終始いただいたPh.D.学生魏齊さんに出国ゲートまで親切に見送っていただき無事に帰国させていただいた。

休憩・休息時間は天候に恵まれ、散策（蘭州白塔山、松花江（写真6）やEV乗車の機会をいただいた。移動中は機窓・車窓から歴史・地理・技術・技能の一端を垣間見つつ、油圧の力学・制御・数学の論文や書籍を紹介したり一緒に検索したりするなど有意義に過ごさせていただいた。

滞全体を通して、狭義の研究課題だけではなく、研究組織・研究文化の現況・トレンドを見聞させていただいた。背後で研究組織を管轄する人材のSuper Vision・文理融合の高さ・計画性を意識せざるを得ず、国の体制を超えて、人材の教育における長期的視点・思考の重要性を目の当たりにした。

3. おわりに

渡航の数か月前に手指10本の指紋採取・家族全員の個人情報提出が査証申請に必要であり、学会中も日本への緊急電話対応が発生するなど、コロナ禍の余波が色濃く残る情勢であったが、滞在によって育まれた中国の研究者・技術者・学生さんに対する敬意・懇意は得難い財産となった。

貴重な当該交流事業を築かれてこられた双方の歴代の先達、今回数多くのお世話を賜った先生方、企業・学会関係者様にこの場を借りて深謝を申し上げます。中国の素晴らしい研究者・技術者・学生皆様の益々のご活躍を祈念して結びとさせていただきます。

（原稿受付：2024年5月22日）

会議報告

FLUCOME2023におけるフルードパワー
関連技術の研究動向

著者紹介

か がわ とし はる
香 川 利 春株式会社空気圧工学研究所
〒213-0013 神奈川県川崎市高津区末長1-49
- 1 - 3042
E-mail: tkagawa0256@gmail.com

1974年東京工業大学制御工学科卒。北辰電機製作所技術部門、1976年東京工業大学、助手、講師、助教授を経て1996年精密工学研究所教授、生体計測、プロセス制御、空気圧工学を研究。本学会会長、現在名誉員、東京工業大学名誉教授。

じょ はい みん
徐 沛 民東京工業大学 因幡研究室
〒152-8550 東京都目黒区大岡山2丁目12-1
E-mail: xu.p.aa@m.titech.ac.jp

2020年北京理工大学機械与車輛学院学部卒、2022年に東京工業大学エンジニアリングデザインコース修士修了、同年東京工業大学の博士に入学。空気工学および流体シミュレーションを研究。現在博士二年生。

1. はじめに

「Flucome」とは造語であり、流体制御、計測、および可視化に関する国際会議で、1985年に東海大学の中山泰喜教授によって東京の国立教育会館で第一回の国際会議が行われた。この学会は、世界のその時点での最先端の流体技術に関する知識の交換と共有に尽力してきた。日本機械学会、日本油空圧協会（現日本フルードパワーシステム学会）、計測自動制御学会が委員会を構成し支援した。約40年前の流体計測、フルードパワー技術は今日の技術に比較して大きな相違がある。当時は半導体技術が未発達であり、信号の増幅および論理判断も流体の作用によって行っていた。当時フルイディックスと呼ばれる研究領域をけん引してきた国際会議がFLUCOMEであり、前述の中山先生の新幹線の自動散水器は有名で可動部を持たず適切に散水して積雪地域での新幹線の運用に貢献した。半導体技術の進展によって計算機が一般に多用され、第二の産業革命と言われるが、FLUCOMEにも影響を大きく及ぼした。計算機を用いて粒子の軌跡を明らかにする

PIV技術が開花した。一般社団法人の可視化情報学会が活動し流れの可視化のみならず事象を明らかにするとの可視化に関するワードが流行した。

2. FLUCOME国際会議の開催実績

FLUCOMEが開催されてから38年が経過しているが、その歴史を回顧する。第一回は前述のように東京の国立教育会館で行われたが、会館は既に取り壊され、史跡とされている。第2回FLUCOMEは英国シェフィールド大学でブーシャ教授により開催された。当時著者はドイツアーヘン工科大学の研究員でドイツに家族と共に滞在し、自車でドーバー海峡を渡り英国での会議に参加した。ドイツで中古のボルボを購入し、英国に乗り入れたのは良かったが、左ハンドルで左側通行の英国でパトカーに接触しそうになり慌てたのを記憶している。研究発表ではフルイディックスの原子力プラントへの応用などをブーシャ研究室の研究員が発表していたのが印象的であった。フルイディックスで有名な明治大学の原田先生が旅行先で盲腸で入院されて小山紀先生が急遽渡英したくもパスポートが切れていて慌てていた。第3回のFLUCOMEは1991年に米国サンフランシスコのエンバケイロと10階分もの吹き抜けを持ったホテルでウッズ教授によって開催された。当時の日本のホテルと比較して米国はさすがにすごいと感じた。大きな米国車をレンタカーで借りて、片側6車線の道路を走行した。その時、別グループで行動していた宮田教授が自動車事故で亡くなった。宮田教授は現在の日本フルードパワーシステム学会会長の早川教授（奈良高専名誉教授）の恩師である。

第5回は葉山国際会議場で1997年に早稲田大学の土屋喜一教授によって行われ、第6回はカナダサスカチューンでランネビル教授によって開催された。第7回はイタリアのナポリで、航空工学で著名なカルマーニョ教授、第8回は2005年に中国成都で魏先生（北京大学）によって行われた。この年はサーズが流行し、急遽北京から成都に開催場所が変更された。基調講演で当方が等温化压力容器を発表したが、あまり反響はなかった。第9回はフロリダで

2007年にチェン教授，第10回は2009年にモスクワ大学レオノフ教授によって，第11回は台湾の基路で2011年に行われた．第12回は2013年に東工大香川によって奈良で開催された．インドのラザザクリスナン教授が基調講演を行った．会場に草履で来られて，これはと思ったが，国によっては草履が正装となっているようだ．第13回は中東カタール大学で2015年，第14回は2017年に米国シカゴでレオノフ教授，第15回はイタリアのナポリで2019年に開催された．

3. 2023FLUCOME

このようにFLUCOMEはイギリス，アメリカ，カナダ，イタリア，中国，ロシアなど，合計15回の会議を成功裏に開催しており，歴史と文化に裏打ちされ，学術的な雰囲気が濃厚で，国際的な交流と緊密な流体分野の先進的な学会となっている．

今回2023.10.26～30，北京航空航天大学が主催者となり，中国の北京で「Flucome」の第16回国際会議が開催された．これには18か国からの210人の学者が参加し，9つの特別講演，12の基調講演，および132の口頭発表が含まれる幅広い学術内容が共有された．学術講演は流体制御と流体測定・可視化の2つのテーマに分かれ，射流，多相流，層流と乱流などの伝統的な流体領域に関する議論だけでなく，もっとも注目されている人工知能と既存の流体技術との相互作用に焦点を当てていた．時代に即した研究手法は，現代の流体領域の学者たちの精密な専門知識，勃興する創造力，そして革新性を示している．過去16回のFLUCOMEには直近の2回以外すべて参加した．2019年のFLUCOMEでは脊椎管狭窄症の手術中で，つぎはとは思っていたものの，北京航空航天大学は貿易管理令に指定されており，東工大香川としての参加はかなわなかった．先日には日刊工業新聞社が中国大学での軍需研究として私と弟子の北京航空航天大学の教授の関係に自宅まで取

材に来た．空気圧は民生技術であり軍需技術ではないと説明した．今回のFLUCOMEは日本人として工学院大学の伊藤教授がただ一人として参加した．伊藤教授はJFPSの会員ではないが，参加者が一人で基調講演のときの王教授との写真を示す（写真1）．



写真1 受賞する伊藤慎一郎教授

4. ま と め

このようにFLUCOMEは流体の計測，制御と可視化とのテーマにもとづいて多くの学会の垣根を越えて，また世界の大学研究機関との交流に多くの貢献をはたした．

ロシアの大学研究機関とも交流したが，欧米諸国の研究者とは根本的に相違するもののアイデア着想が素晴らしいと感じた．日本フルードパワーシステム学会においても国際学会を企画しているが，FLUCOMEの人脈にも広げ，学会がさらに発展することを期待する．

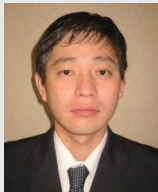
最後に2025年のFlucome第17回国際会議はヨーロッパで開催される予定である．

（原稿受付：2024年3月29日）

会議報告

計測自動制御学会 第24回流体計測制御シンポジウムに
観るフルードパワー研究動向

著者紹介

ふじ た とし のり
藤 田 壽 憲東京電機大学
〒120-8551 東京都足立区千住旭町5番
E-mail: tfujita@mail.dendai.ac.jp

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

1. はじめに

計測自動制御学会では研究領域ごとに部会を作り活動を行っている。各部会は研究分野ごととまり、制御部門やSI部門など6部門を構成している。フルードパワーに関係する部会としては流体計測制御部会があり、産業応用部門に属している。流体計測制御部会の研究発表の場として、流体計測制御シンポジウムがある。このシンポジウムが2023年度も産業応用部門大会と併設される形で11月16日（木）に産業技術総合研究所・臨海副都心センターに於いて開催された。2019年以来4年振りに対面のシンポジウムでありオンライン開催時よりも参加者が増加した。しかし残念ながら発表件数は4件と流体計測制御シンポジウムと比べて少なかった。その研究発表の内容について次章で紹介する。

2. シンポジウムに観る研究動向

油圧システムの保全のためには自動的に異常を検知する手法の開発が重要になる。児玉らは初めに油圧ピストンの理論吐出流量を入力、吐出圧力を出力とする伝達関数を同定し、この係数変化からk近傍法という手法によりセンサを用いずに異常を検出するモデルを作成し、有効性について検証している¹⁾。

通信技術の発達に伴いロボットの遠隔操作の開発が進められている。安全な遠隔操作のためにはサーバー攻撃に対するセキュリティの確保が課題となっている。古謝らは通信を暗号化しても残る脆弱性により攻撃され得ることを示すとともに、そのときに備えた攻撃の検知法を提案している²⁾。

歯科医療従事者は座って治療を行うものの長時間

の治療行為により腰に慢性的な痛みを訴えることも少なくないという。この負担軽減のために佐藤らは歯科医療従事者が座るスツールに油圧シリンダを組み込み、体重移動だけで左右に5°揺動する機構を実現している³⁾。

フルードパワーには管路は必要不可欠な要素ではあるが、管路が長くなると管路共振により制御性を悪化させる。宮寺らは管路共振を引き起こす反射波の逆位相成分を加えて共振を抑制する制御方法を提案し、空気圧容器の圧力制御系に適用してその効果を検証している⁴⁾。

3. おわりに

シンポジウムの講演者はすべて大学院生であり、発表者に対し芝浦工大・川上教授、東京大・宮寄講師、産総研・舩木氏などから活発な質疑が行われた。発表した大学院生を対象としたベストプレゼンテーション賞は宮寺航輝氏（東京電機大）が受賞した。部門大会・シンポジウムの閉会後には技術交流会が開かれた。開会中や技術交流会では久しぶりにお会いした方々と、時間の関係で質疑し切れなかった内容や研究活動に関わるさまざまな情報を交換することができ、対面の良さを実感できたシンポジウムであった。

2024年度は国際シンポジウムのためJFPS秋季フルードパワーシステム講演会は開催されないが、流体計測制御シンポジウムは、11月20日（水）に法政大学・小金井キャンパスで開催予定である。フルードパワーシステム学会の共催ともなっているのでご参加を検討いただければ幸いです。

参考文献

- 1) 児玉和哉, 眞田一志: 入出力データを用いた油圧ピストンポンプの異常検知に関する研究, p. 36-38
- 2) 古謝勝将, 宮寄哲郎, 寺西郁, 曾我部舞奈, 小木曾公尚, 川嶋健嗣: 空気圧駆動バイラテラル暗号化制御系へのFDI攻撃の検知, p. 39-42
- 3) 佐藤淳希, 湯浅日和, 小笠原萌, 田中みなみ, 川上幸男: 流体アクチュエータを有する歯科医用スツール座面傾斜機構の開発, p. 43-46
- 4) 宮寺航輝, 藤田壽憲, 管路モデルに基づいた管路を有する空気圧容器の圧力制御の補償法—外乱補償器によるスミス法の改善—, p. 47-50

注) 全て2023年産業応用部門大会 講演論文集 (2023) に収録

(原稿受付: 2024年4月13日)

トピックス

学生さんへ、先輩が語る —メーカの研究所に携わる社会人の日常について—

著者紹介



きたむらよしあき
北村佳彬

〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1-12-1

E-mail : kitamura-yosh@kyb.co.jp

2013年横浜国立大学生産工学科→同大学院工学府システム統合工学専攻修了，同年カヤバ株式会社に入社。主にパワーステアリングや油圧ポンプの研究開発に従事。

1. はじめに

1.1 自己紹介

私は神奈川県に生まれ、大学院までを同県内で過ごした。幼い頃から創作することが好きだったことから、モノづくりの道を探求すべく工学系の道を進んだ。卒業後はカヤバ株式会社に入社し、自動車向け製品を主として製品全般を支える技術の研究業務に従事している。

1.2 企業紹介

カヤバ株式会社は油圧を核として振動制御・パワー制御の2つのコア技術に、システムや電子制御といった要素を掛け合わせることで幅広い製品を提供するメーカである。手掛けている事業分野としても自動車・二輪車・鉄道・建設機械・特装車両など多岐にわたる。各製品は機器の見えにくい部分にある場合が多く目に触れることは少ないと思うが、人々が快適な生活を送るための縁の下の力持ちとして活躍している。

1.3 職場紹介

私の所属する研究所は神奈川県北部にある相模工場内（写真1右側）にある。弊社の国内事務所としては他に埼玉・岐阜等にもあるが、研究拠点としては岐阜および神奈川にある。そのうちの1拠点の研究員として日々実験や解析を実施している。なお、研究所建屋には一般の方も見学可能なカヤバ史料館も併設されている。当館は弊社技術の生い立ちを紹介しており、各種製品カットサンプルのほか、油圧の原理や技術が普段見られる機器にどう関わって

るかを学べる体験コーナー等もある。なお、近年大きくリニューアルされ、内装が洗練されより見やすい展示内容となっている。



写真1 弊社相模工場

2. 学生時代を振り返って

2.1 学生時代の研究内容

学生時代はトライボロジー（モノの接触や摩擦を科学する学問）に関する研究を取扱う研究室に所属し、固体接触の摩擦特性に関する解析的研究に携わった。研究対象とする物理現象は、モノ同士が擦れる際に生じる固着—滑り遷移（いわゆるスティックスリップ現象）である。この現象の際には接触表面がわずかに弾塑性変形しており、精密機器の位置決め性能低下やフレットング疲労等を引き起こす。研究においては、この現象の詳細把握のため実部品の摩擦試験とともに、表面の凹凸を模した微小突起モデルによるFEM接触解析との比較や、摩擦モデル数値計算との比較を行ってきた。

物体の接触問題は、機械製品を扱う上では切っても切れない現象であり、現在メーカに勤める上でも知見を活かせる貴重な経験ができた。また研究を通じ、実現象の把握からモデル落とし込みまでの一連の研究プロセスを学び、現在の業務にも大いに活かしている。

2.2 学生時代にやってほしいこと

上記研究に携わる際においても、解析や実試験がうまくいかず、試行錯誤を繰り返す苦労があった。

こうした際には、大学での座学で学んできた基礎知識を組み合わせ問題解決する場面が随所にあった。

こうした技術的課題に直面する場面は企業に勤める現在でも多々あり、大学で蓄えた知識や経験が閃きとなり成果につながる。逆に言えば知識・記憶が欠落していて「あの時しっかり学んでいれば……」と後悔する場面も少なくない。講義で学んでいる内容が実際にどう活きるか見えず気乗りしない場面もあるだろうが、将来思いがけず役立つ場面もあるため、頑張っただけ知見を蓄えてほしい。

また、企業で働く上では、1人ではなくチームで目標達成に立ち向かうこととなることが大半である。そのため学生のうちに、学内カリキュラムでもサークル活動でも構わないので、何かプロジェクトに参加すると良いと思う。私としては、大学内におけるEVカー製作プロジェクトに参加していた。この企画は、チームでコンセプト企画から設計・手配・構築まで全ての工程を学生主体で実施するというものであった。慣れない活動の中からチームで戦うことの楽しさと共に、企画を進める際のポイントやチームでの「報連相」の大切さ等を学んだ。このようなプロジェクト進行は企業において日常的にあり、事前に体験できたことが多いに役立っている。

3. 社会人の仕事紹介

3.1 仕事紹介

私はカヤバ株式会社の研究部門の中でも、設計解析技術・振動騒音分析・AI活用分析等をコアとする研究室に所属している。当部署に入社してからは自動車部品（図1）の開発研究に携わっており、配属後からしばらくは自動車用パワーステアリングを対象としたシステムモデル開発に注力してきた。当業務においては実験装置製作から解析モデル構築、それら結果の分析や考察・改善という一通りのプロセスを若いうちから実施させてもらった。このような業務の過程は、大学の研究室で経験してきたことを地盤とすることで遂行することができた。

しかしながら担当対象製品がすべて電動式であったこともあり、油圧機器メーカーの社員でありながら長らく業務として油圧技術に携わっていなかった。

こうした中、産学連携業務として油圧システム制御技術の研究開発に縁あって携わらせていただいた。油圧製品の開発において作動油中の気泡の量をコントロールした環境下での評価を実現するため、旋回流を利用した気泡分離装置（図2）を用いて制御するという研究開発¹⁾であった。当初私は机上の基礎的な知識しか持ち合わせておらず、油圧機器を取り扱う実務的な知識が無かった。このため気泡量がど

の程度製品性能に影響あるのかはおろか、油圧システムをどのように組むべきかも詳しく分かっていなかった。しかし実験部署の先輩や共同研究頂いた先生方に多くの助力をいただきながら、実験やディベートを幾度となく繰り返していく中で、実践的な知識・経験を身に着けることができた。

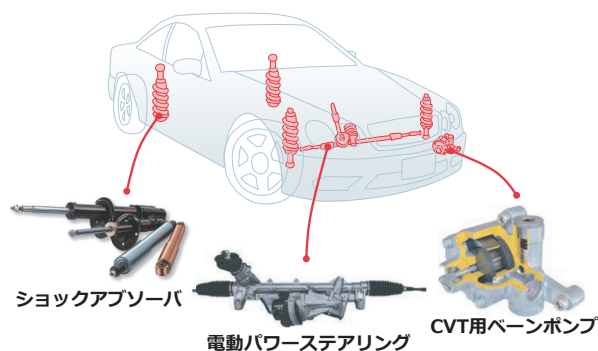


図1 弊社の自動車向け製品一例

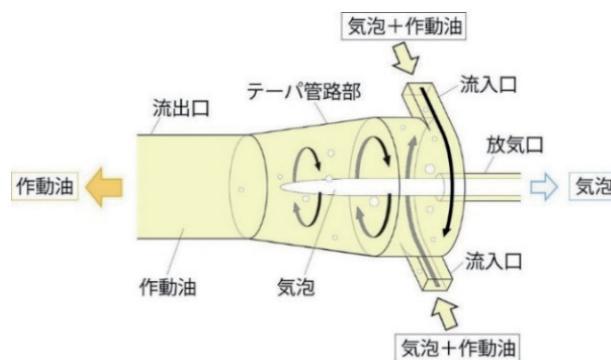


図2 気泡除去装置の構造・原理

3.2 入社後に感じた必要能力

前章でも挙げた通り、会社での研究活動では少人数で研究を進めるというのは少なく、チームやプロジェクトとして取り組むことが求められる。このため研究部署内だけではなく、基礎研究においては主に大学等と、応用研究においては主に設計開発部門等との連携が必要となってくる。こうしたチームプレイで大事なことはやはり報連相を怠らないことである。中でも特に気に留めていることを2点挙げる。1点目は「できるだけ早期に伝える」こと。課題点を粘り強く自分で解決していく力ももちろん必要であるが、1人ではどうしても経験や発想力に限界があり、思うように進捗が進まない場合もある。効率的に作業を進めるためにも早めに声を上げることが大事である。2点目は「伝わりやすいよう話し方を工夫する」こと。身近な先輩に対しては実施してきた事を淡々と述べても大まかな全容を知っているため特に問題ないが、外部の人といった自らの業務の

全容を把握している訳ではない人へ同じように連絡しても、要点が捉えられず自らの意図がうまく伝わらない場合がある。こうした行き詰まりを生じさせないためにも「完了したこと・把握したこと」と、「自分が困っていること・課題と感じていること」を端的に明示できるようにすると良い。

こうした能力を身に着ける場として、技術コンペの参加が挙げられる。私自身、異分野知識としてIT分野の知識を習得する機会があり短期間での技術コンペ（よくハッカソンと称される）にいくつか参加した。年代や業種が異なる人がチームとなり短期間で課題達成することが求められるため、技術習得以上にそのようなコミュニケーション力のポイントを学ぶ良い機会であったと感じている。

また、他部署等との意見・提案する際には、可能な限り相手のことを考慮できると尚良い。自分の考えを一方的に提案しても、業務の取り組み方の違い等によりすぐに受け入れて貰えない事が多い。相手のバックグラウンドを想定し、伝えるべき情報の優先順位を整理すると、勘違いを生みにくくなり納得してもらいやすい。とは言っても、相手の情報を知らないうちは考慮するにも限界があるだろう。このためまずは気軽に情報を聞ける間柄の人を作っておくと思う。私としても、入社時の研修で親しくなった同期を通じて業務連携がスムーズに行えた事が多々あり、こうしたつながりが困ったときに大切であると感じている。

この他、当然な事かもしれないが「自社の製品に興味をもつこと」が大事と思う。特に自動車に関する製品を扱うメーカーで働く上では、やはり車が好きであると強みがある。前節の通り私は自動車部品関連に携わっているが、実は大学時代までは車にあまり関心が無かった。製品に関わっている中で段々と好きになっていったのだが、元々造詣が深い人とはやはり知識量に差がある。こうした車への知見が業務に活かされることも多々あり、今も毎日が勉強の日々となっている。まさに好きこそ物の上手なれである。

3.3 休日の過ごし方

業務上うまく課題解決できなかつたり、価値観が異なる人とうまくコミュニケーションができなかつたりと、歯がゆい気持ちになるときも時折起こる。特に一筋縄では解決できない困難に直面している際等、溜まってしまうストレスとのつきあい方が大切となってくる。その上では仕事と休みでオンオフを

切り替え、休み中は仕事のことを持ち込まずしっかり休むことが大事と思う。

私は元々インドア趣向なため動画配信サイトで映画鑑賞する等していたが、最近は休日を利用してキャンプに行くことが多い（写真2）。キャンプ飯を作る・読もうと思って積んでいた本を読む・同行者と談笑する・日が落ちて焚火に薪をくべながら揺らめく炎をぼんやり眺めるといった、日ごろの喧騒から離れて自然の中に身を置いてゆったりとした時間を過ごすことでメンタルをリフレッシュしている。また旅先の施設に立ち寄ることも楽しみの一つであり、日帰り温泉で疲れを癒したり、動物園や花鳥園に行つてアニマルセラピー効果をもらったりしている。



写真2 朝霧高原でのキャンプ

4. ま と め

企業に勤めている中で、今だからこそ感じる大事であった経験やこうしておく点と良かった点を紹介させていただいた。私自身社会人となった今でもいまだ知識・経験で至らない点も多く勉強の日々である。これからの学生さんにはぜひ、発想力やバイタリティを発揮できるポテンシャルを社会に活かして欲しい。本稿がこれから社会に出て働く際の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) Sakama, S., Tanaka, Y., Koderu, Y., Kitamura, Y.: Control of Air Bubble Content in Working Oil by Swirling Flow, Proc. Of the 11th International Symposium on Fluid Power, GS 6-04 (2021)

（原稿受付：2024年4月8日）

企画行事

2023年度ウインターセミナー開催報告
「医療福祉技術を支えるフルードパワー」

著者紹介

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

1992年岡山大学大学院工学研究科生産機械工学専攻修了。同年同大学助手、准教授を経て、2015年徳島大学教授。空気圧駆動システムの高機能化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、日本ロボット学会などの会員。博士（工学）。

1. はじめに

2023年度ウインターセミナー「医療福祉技術を支えるフルードパワーシステム」を2024年3月5日に完全オンライン方式で開催した。本稿では全体6件の講演内容を中心に、本セミナーの概要について紹介する。

2. セミナーの概要

超高齢社会である我が国において高齢者のQ.O.L.の維持・向上に、医療福祉技術の進展は必要不可欠であり、人間親和性の高いフルードパワーシステムの貢献が期待されている。本セミナーは、2023年度5月号の会誌において企画された、標記タイトルの特集号に執筆いただいた著者を講師陣に迎え、より深く記事の内容をご紹介いただく趣旨で実施された。油圧、空気圧、機能性流体を対象に、ロボティクス、運動支援、流体数値解析まで幅広くフォーカスされた内容になっており、席上活発な議論がなされ、有意義なセミナーとなった。以下に各講演の概要を述べ開催報告とする。

3. 講演内容

3.1 補助人工心臓の開発における数値流体解析の利用（弘前大学 矢野哲也先生）

本来の心臓を置き換える置換型ではなく、補助型の人工心臓用連続流血液ポンプ（CF-VAD）の開発における数値流体解析（CFD）の役割について紹介いただいた。CFD解析の結果から、見積もられるポンプ特性、インペラに作用する流体力、さらには溶血

量推定や血栓形成予測シミュレーションを通してポンプ形状の最適化が行われている。脱血管配置が左室内血流に及ぼす影響やCF-VAD用流体動圧軸受けの性能評価により、CF-VAD埋め込み法の最適化にもCFD解析の利用が今後期待されている。近年問題になっている心房細動のような動きを模擬できるかとの質問があったが、振幅を小さくかつ早く壁面を振動させることで、その結果血流がどのように淀んで、それがどのように血栓に繋がっていくかというようなシミュレーションも再現できるとのことであった。

3.2 マイクロ流体システムを用いた細胞融合（九州大学 鳥取直友先生）

融合細胞を作製する手法として、近年、マイクロ流路内の構造を用いた手法が提案されている。従来のバッチプロセスによる細胞融合よりも細胞のペアリング・融合効率が高いのが特徴であるが、ペアリング数の制限や回収が困難であるなどの課題があった。本講演では微小液滴を用いた新たな細胞融合システムとして、仮想粒子バルブが提案された。これは、渦の原理を用いてまず、液滴内に細胞をトラップし、これが押し出される前に次の細胞が到達し、その結果、液滴内に2つの細胞をトラップした状態で下流に押し出すことができる。このように細胞を渦の中にトラップすることで、細胞数を制御できる手法が紹介された。これにより液滴内に2細胞を封入する効率が大幅に上昇することが実験から確認されている。席上、マイクロ流路の高さ方向のサイズについて質問があった、縦方向に細胞が重ならないように細胞の大きさと同程度の25 μm 程度とのことであった。また、2つの異なる細胞をトラップすることの危険性はないのかとの質問に対し、マウスのES細胞と人の血球細胞を融合すると血球細胞側に初期化を誘導することができることが知られている。その初期化を誘導した直後の動態を解析したいという需要があるため、そのような応用に今後用いていきたいとのことであった。

3.3 空気圧を利用した手術支援システム（東京大学 川嶋健嗣先生）

開発された手術支援ロボットは術者への力覚提示を大きな特徴とする。これには鉗子をワイヤー駆動する空気圧シリンダの内圧変化を利用しており、ダ

イレクト駆動である空気圧アクチュエータのバックドライブ特性を巧みに活用したものである。

また、通常の内視鏡手術では内視鏡を操作し、術者が意図する映像をモニターに映すスコピストが別途必要であるが、術者の頭部運動を計測することで内視鏡ロボットを操作する内視鏡ホルダロボットの開発についても説明いただいた。

講演ではこれまでの開発過程における種々の取り組みについて紹介いただくとともに、術者とロボットが協調して縫合タスクを遂行する人間協調型自律制御に向けた最新情報について説明いただいた。これは操作側の鉗子が行う針の非貫通、貫通、引き抜きの状態を画像情報から深層学習を用いて推定し、自律動作側の鉗子がそれに合わせて自律的に動作するものである。術者の疲労軽減効果が期待できるとのことであった。

3.4 空気圧人工筋を用いた身体運動支援システム (東京大学 宮崎哲郎先生)

空気圧アクチュエータは出力/重量比が高いため、直接身体に装着するウェアラブルデバイスとしても有用である。このようなソフトアクチュエータの代名詞的存在とも言える空気圧ゴム人工筋を用いた種々の身体運動支援システムについて紹介いただいた。下肢の運動支援による歩容アシストスーツにおいては人工筋内の圧力変化から歩容の状態推定を行う手法が提案されている。水中での歩行訓練にも使用できるところが隠れた空圧の特徴かと思う。

また近年の研究内容として空気圧リザーバコンピューティングによる状態推定と制御法について紹介された。本来のリザーバは計算機内に構築されたニューラルネットワークを指すが、ニューロンの箇所を複数の空気室に、ニューロン同士を結ぶ信号を空気配管に置き換えた物理リザーバで置き換えるところに特徴がある。各空気室の圧力情報から運動の状態を推定可能で、歩容アシストスーツでは大腿部と膝部の関節角度・角速度ならびに歩行/走行の歩容モードが推定可能とのことであった。

3.5 油圧を用いた短下肢装具の開発 (国際医療福祉大 山本澄子先生)

脳卒中後遺症による片麻痺患者は歩行時に尖足と言って爪先が下に垂れてしまうため、遊脚時にすり足になりやすく地面からのクリアランスの確保が難しい。そのため、下肢装具(AFO)を使用することが多いが従来のAFOは足関節の動きを制限するため、歩行しづらい欠点があった。多くの片麻痺者の歩行分析からかかとが接地してから足裏全体が接地するまで、即ち足関節で見ると底屈動作(爪先を下に向ける動作)に対して制動力を与えることが重要であることが分かり、これを油圧ダンパにより実現したものが、大手義肢装具メーカーから市販されている。

また、講演においては歩行のバイオメカニズムについても詳細に説明いただいた。重心点は歩行時に上下運動を繰り返すが、上昇時には進行方向速度は遅く、下降時には早いことから人は重力を上手に利用しながら歩いている。また、立脚時におけるふくらはぎの底屈筋の動作では、蹴り出しの時だけ求心性収縮(筋が縮みながら収縮力を発揮)しており、それ以外の大部分の立脚期間は遠心性収縮(筋は伸ばされながら収縮力を発揮)をしている。求心性収縮は大きなエネルギーを必要とすることから、この点においても省エネな動作を行っているということが分かり大変興味深かった。

3.6 MR流体を用いた繊細ハプティックデバイスの開発と医療ロボットへの挑戦 (大分大学 菊池武士先生)

遠隔操作型手術支援ロボットに応用可能な繊細ハプティックデバイスを目指し、MR流体を用いた高精度なトルク出力が可能なアクチュエータを開発している。MR流体は磁場を印加するとその粘性抵抗がほぼ瞬時に変化する流体である。そのためモータのロータ部分に構成することで一般的にはシャフトの回転に対してブレーキを作用させるものであるが、本アクチュエータは動力源となるモータ出力から互いに反転する2軸の回転軸を生成し、各々にMRブレーキを独立して作用させることで、出力軸側において差分トルクを生成するものである。差分であるため摩擦トルクの影響が相殺されており、微細なトルク制御を可能としている。提案するアクチュエータを力逆走型バイラテラル制御に適用することで、手術支援ロボットに応用している。硬さが微妙に違う対象物を遠隔ロボットで触れた際に、その差を感じるようにデルタ型のハプティックデバイスも開発しており、機能的な可能性を大いに感じることができた。

4. おわりに

今回のセミナーを通して、あらためて流体駆動システムの応用範囲の広さを認識するとともに、医療福祉分野における貢献は今後ますます期待できることを確信した。参加者に実施したアンケートのコメント欄にもこの分野は発展が比較的早いので、今回紹介された講演の数年後の状況を見たいという意見があり、筆者も強く同感した次第である。

最後に、ご多忙の中、本講演を快諾いただいた講師の皆様へ御礼申し上げます。ならびに本セミナーの開催にあたりご協力いただいた関係各位に感謝いたします。

(原稿受付：2024年4月10日)

会 告

〈理事会・委員会日程〉

5月21日	論文集委員会
5月31日	情報システム委員会
6月4日	編集委員会
6月4日～12日	企画委員会
6月21日	理事会

〈理事会報告〉

2023年度第6回理事会

6月21日 11:50～13:00

機械振興会館 6階6-65 (参加者18名)

- (1) 総会の準備状況について
- (2) 2023年度評議員会開催報告
- (3) 2023年度の理事会みなし決議について
- (4) 国際シンポジウム広島2024開催準備状況について
- (5) 会員の推移
- (6) 各委員会からの報告
- (7) その他

〈委員会報告〉

2023年度第6回論文集委員会

5月21日 15:00～17:30

機械振興会館 地下3階 B3-3 (参加者9名)

- (1) 2020～2023年度活動総括報告
- (2) 評議員会指摘事項等について
- (3) 論文集委員会の課題等について
- (4) 次期論文集委員会の運営について
- (5) その他

2023年度第6回編集委員会

6月4日 15:30～17:30

機械振興会館6-65, ハイブリッド開催 (参加者18名)

- (1) 会誌特集号の現状と企画
 - 1) Vol.55 No.4「フルードパワーシステムにおけるMBD活用」
 - 2) Vol.55 No.E 1「緑陰特集」
 - 3) Vol.55 No.5「電動フルードパワー技術」
 - 4) Vol.55 No.6「機械工学を学ぶ皆さんへーフルードパワーのすゝめー」
 - 5) Vol.56 No.1「IFPEX2024」
 - 6) Vol.56 No.2「JFPS国際シンポジウム広島2024」
 - 7) Vol.56 No.3 企画・編集合同企画
- (2) その他
 - 1) 会議報告
 - 2) 一般投稿について
 - 3) 今後の特集について

2023年度第6回企画委員会

6月4日～12日

書面審議 (参加者34名)

- (1) 2024年春季講演会役割分担

会 告

2024年度（第43期）通常総会終了

1. 日 時 2024年6月21日（金）
15時30分～16時50分
2. 場 所 東京都港区芝公園3丁目5番地22号 機械振
興会館 地下3階 研修1会議室
3. 議事の経過および結果

15:30 開会、事務局より、出席者数、HPからの議案承認者数、およびはがきによる委任状の数を報告し、その総数が定款の定め（総正会員の過半数）を上回り、本総会および本総会の審議結果（2023年度決算、役員選任）は成立することが報告された。ついで早川恭弘会長からあいさつが行われたのち、定款第16条「総会の議長は、会長がこれにあたる」にもとづき議長となり、議事録署名人として、株式会社日立製作所 清水自由理殿、東京計器株式会社 兵藤訓一殿を指名したのち、議事に入った。

（報告事項）

- 報告1 2023年度事業報告（2023年度事業報告書）の件
報告2 2024年度事業計画（2024年度事業計画書）の件
報告3 2024年度収支予算（2024年度収支予算書）の件
報告1～3に対し、川上副会長、および田中副会長から説明

および報告があった。

（議案）

第1号議案 2023年度決算（貸借対照表、正味財産増減計算書、財産目録（財務諸表に対する注記、附属明細書を含む）、監査報告）の件

第1号議案に対し、田中副会長から説明および報告があり、全会一致で可決承認された。

第2号議案 役員選任の件（2024、2025年度理事および監事候補）

第2号議案に対し、早川会長から説明および報告があり、全会一致で可決承認された。

以上で総会を終了し、10分間の休憩の後、2024、2025年度会長の田中新会長による就任のあいさつが行われ、その後、日本フルードパワーシステム学会賞などの受賞式が行われた。

2024年度（第43期）通常総会は、多数の出席者を得て盛会裡に終わり、17時00分より技術懇談会が開かれ、なごやかな雰囲気の中にすべての行事が終了した。

会 告

2023年度 学会賞表彰

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会2023年度の学会賞の受賞者が決まりました。

2024年6月21日(金)に開催された2024年度(第43期)通常総会の議案審議終了後に授賞式が行われ、受賞者に表彰状、盾、副賞などが贈られた。

名誉員推挙

・ 芝浦工業大学 西海 孝夫 殿

フェロー称号授与

・ 油研工業株式会社 北村 剛 殿

・ 川崎重工業株式会社 嶋村 英彦 殿

学会賞表彰

学術論文賞

「Development of Silicone Outer Shell Type Pneumatic Soft Actuator」

・ 奈良工業高等専門学校 早川 恭弘 殿、

木田 圭祐 殿、

中西 優真 殿、

櫛 弘明 殿

技術開発賞

「湾曲型ラバーアクチュエータを用いたソフトロボットハンド」

・ 株式会社ブリヂストン 大野 信吾 殿

技術功労賞

・ 株式会社小松製作所 丸田 和弘 殿

学術貢献賞

・ 沼津工業高等専門学校 村松 久巳 殿

SMC高田賞

「Flow Patterns and Hysteresis Characteristic of a Poppet Valve」

・ 廣瀬 直紀 殿

公益財団法人 油空圧機器技術振興財団顕彰

「Multi-Cylinder Wind-Powered Air Compressor Using Hypocycloid Motion」

・ 東京電機大学 藤田 壽憲 殿、

田上 亮太 殿

最優秀講演賞

2023年11月30日、12月1日に開催された2023年秋季フルードパワーシステム講演会において、特に優秀な講演発表をされた受賞者

・ 社会人部門

・ 徳島大学 Lim Wen Chiang 殿

「Improvements on the Transient Response for General-purpose Rotary Type Pneumatic Actuators with Precise Position Control」

・ 学生部門

・ 室蘭工業大学 佐々木優真 殿

「弁体をもたないバルブの開発(第2報:実験)」

・ 徳島大学 角宮 大輝 殿

「流体アクチュエータを用いた建造物の安全な解体手法の構築」

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

共催・協賛行事

日本機械学会講習会「製品開発を大きく変えるMBDの新潮流」

主 催：一般社団法人 日本機械学会 交通・物流部門

開 催 日：2024年7月30日(火)

会 場：ハイブリッド開催（東京・飯田橋およびZOOM）

U R L：<https://www.jsme.or.jp/event/24-53/>

第42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

開 催 日：2024年9月3日(火)～9月6日(金)

会 場：大阪工業大学梅田キャンパス（大阪府大阪市北区茶屋町1-45）

U R L：<https://ac.rsj-web.org/2024/>

日本混相流学会 混相流シンポジウム2024

主 催：日本混相流学会

開 催 日：2024年9月4日(水)～9月6日(金)

会 場：富山大学五福キャンパス（富山県富山市五福3190）

U R L：<http://www.jsmf.gr.jp/mfsymp2024/>

IFPEX2024 第27回油圧・空気圧・水圧国際見本市

主 催：一般社団法人 日本フルードパワー工業会、産経新聞社

開 催 日：2024年9月18日(水)～9月20日(金)

会 場：東京ビッグサイト 東2, 3ホール（東京都江東区有明3-11-1）

U R L：<https://www.ifpex.jp/2024/>

計測自動制御学会 産業応用部門2024年度大会

主 催：公益財団法人 計測自動制御学会 産業応用部門

開 催 日：2024年11月20日(木)

会 場：法政大学小金井キャンパス（富山県富山市五福3190）

U R L：https://www.sice.or.jp/ia-div/2024_taikai.html

第67回自動制御連合講演会

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

開 催 日：2024年11月23日(土)～11月24日(日)

会 場：姫路商工会議所（兵庫県姫路市下寺町43）

U R L：<https://rengo67.iscie.or.jp/>

2024年度計算力学技術者（CAE技術者）資格認定事業（固体力学分野・熱流体力学分野・振動分野）

主 催：一般社団法人 日本機械学会 計算力学技術者資格認定事業委員会

試験日程：2024年11月29日(金) 1級認定試験（固体力学分野・熱流体力学分野・振動分野）

2024年12月5日(木) 2級認定試験（熱流体力学分野・振動分野）

2023年12月6日(金) 2級認定試験（固体力学分野）

会 場：下記HPを確認ください

U R L：<https://www.jsme.or.jp/cee/>

Grinding Technology Japan 2025 / SiC, GaN加工技術展

企 画：日本工業出版株式会社、株式会社産経新聞社

開 催 日：2025年3月5日(水)～3月7日(金)

会 場：幕張メッセ（千葉県千葉市美浜区中瀬2-1）

U R L：<https://gtj-expo.jp/2025/jp/>

第4回安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議（COMPSAFE2025）

主 催：日本計算工学会，日本計算力学連合
開 催 日：2025年7月1日(火)～7月4日(金)
会 場：神戸国際会議場（神戸市中央区港島中町6-9-1）
U R L：https://www.compsafe2025.org

各行事の最新情報は、主催者のホームページまたは各行事のURLからご確認ください。

会 告

会 員 移 動

会員の種類	正会員	海外会員	学生会員	賛助会員
会員数 (6月10日現在)	771	8	105	122
差引き増減	+5	±0	+21	±0

正会員の内訳 名誉員17名・シニア員68名・ジュニア員82名・その他正会員604名

〈新入会員〉

正会員

入口 雅大（SMC株式会社）	白田 翔（SMC株式会社）
萱間 啓輔（SMC株式会社）	國田 明寿（SMC株式会社）
篠原 僚太（SMC株式会社）	白瀬 左京（SMC株式会社）
瀬宮 亮馬（SMC株式会社）	田中 智貴（SMC株式会社）
錦織 龍介（SMC株式会社）	安原 駿（SMC株式会社）
吉野 啓太（SMC株式会社）	和田 竜馬（SMC株式会社）
武井 裕輔（東京電機大学）	伊藤 文臣（中央大学）
山田 亮太（協和エンジニアリング株式会社）	

学生会員

河野 慶弥（芝浦工業大学）	湖海 敬悟（芝浦工業大学）
高橋 和彦（東京電機大学）	松島 利宣（東京電機大学）
荒井 礼貴（東京電機大学）	岡本 麻言（東京電機大学）
石橋 卓実（岡山理科大学）	中村 海玖（岡山理科大学）
渡邊 悠希（東京大学）	KIM YOUHYUN（東京大学）
足立 凌輔（中央大学）	長嶋 洋渡（中央大学）
武田 侑佳（中央大学）	早見 夏樹（中央大学）
爾 英慈（立命館大学）	西山 和樹（福岡工業大学）
小野上貴也（横浜国立大学）	森 俊敦（横浜国立大学）
坂本 瑞季（横浜国立大学）	張 瑞範（横浜国立大学）
安 盛柱（横浜国立大学）	森 莊介（横浜国立大学）
松原 達哉（東京工業大学）	中西 凌大（芝浦工業大学）
岩崎 怜央（芝浦工業大学）	大岩 旺生（芝浦工業大学）
三田村雄彦（横浜国立大学）	小星 光（横浜国立大学）
勝野 湧一（横浜国立大学）	

編集室

次号予告

—特集「電動フルードパワー技術」—

【巻頭言】「電動フルードパワー技術」発行にあたって

中山 晃

【解 説】

電動駆動空気圧手術支援ロボットアーム

只野耕太郎

MR流体を用いたロータリーアクチュエータ

亀崎 允啓

融合型ハイブリッドリニアアクチュエータ

仲田 佳弘, 野田 智之

電動油圧アクチュエータ

宮城 光

ロボット向け電油アクチュエータの開発

依田 聡

バッテリー駆動式ミニショベルの開発

高橋 究

【会議報告】

IFK2024におけるフルードパワー関連技術の研究動向

小林 亘

【トピックス】

学生さんへ、先輩が語る—失敗を恐れずチャレンジを—

小島 一輝

【企画行事】

2024年春季講演会併設セミナー「触覚技術と応用技術」

兵藤 訓一

2024年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 村 松 久 巳（沼津工業高等専門学校）

委 員 中 山 晃（日立建機㈱）

副委員長 藤 田 壽 憲（東京電機大学）

丸 田 和 弘（㈱都築製作所）

委 員 飯 尾 昭一郎（信州大学）

水 上 和 哉（CKD㈱）

遠 藤 勝 久（SMC㈱）

溝 口 周 秀（コマツ）

加 藤 友 規（法政大学）

村 岡 裕 之（㈱コガネイ）

北 村 剛（油研工業㈱）

山 田 宏 尚（岐阜大学）

窪 田 友 夫（カヤバ㈱）

山 本 久 嗣（富山高等専門学校）

五 嶋 裕 之（㈱工苑）

吉 見 浩 司（川崎重工業㈱）

齋 藤 直 樹（秋田県立大学）

吉 満 俊 拓（神奈川工科大学）

佐々木 大 輔（香川大学）

担当理事 伊 藤 隆（カヤバ㈱）

佐 藤 恭 一（横浜国立大学）

学会事務局 成 田 晋

谷 口 浩 成（大阪工業大学）

編集事務局 竹 内 留 美（勝美印刷㈱）

中 野 政 身（㈱SmartTECH Lab.）

（あいうえお 順）

会 告

複写される方へ

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

権利委託先：（一社）学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

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

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

個人会員各位

2024年 7月15日

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

2024年度会費納入のお願い

拝啓 時下益々ご清祥のこととお慶び申し上げます。

さて、2024年度（2024年4月1日～2025年3月31日）の会費を、下記の通りご納入賜わりたくお願い申し上げます。なお、すでにご納入くださいました場合は、なにとぞご容赦ください。

敬 具

記

2024年度 正会員会費 8,000円
(40歳未満で入会された方は、入会から5年間にかぎり4,000円となります.)
学生会員会費 2,000円

お 願 い

- ・2023年度以前の会費を未納の方は、新年度分（2024年度）とあわせてお振り込みくださいますようお願い申し上げます。
- ・会員名を必ずご記入ください。
- ・便利な自動振り込みは手数料が不要です。ご希望によりお申し込み書をお送りいたしますので、FAXまたはE-mailにてご一報いただきたく、よろしくお願い申し上げます。

以上

00東京

口座番号 (右詰めにご記入ください)

001103133690

金 額

千 百 十 万 千 百 十 円

※

加入者名

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

料 金

特殊 取扱

該当するものに○をつけ、お振込の内容をご記入ください。

1. () 年度 () 会費

企 業 名・[]

会 員 名・[]

2. () の代金

払込人住所氏名

(郵便番号)

(電話番号 - -)

裏面の注意事項をお読みください。(郵政事業庁)(私製承認第23957号)

各票の※印欄は、払込において記載してください。

払 込 取 扱 票

切 取 ら な い で 郵 便 局 に お 出 し く だ さ い。

記 載 事 項 を 訂 正 し た 場 合 は、そ の 箇 所 に 訂 正 印 を 押 し て く だ さ い。

払込票兼受領証

口座番号

001103

右詰めにご記入ください

133690

加入者名

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

金 額

千 百 十 万 千 百 十 円

※

払込人住所氏名

(消費税込み)

受 付 局 日 附 印

料 金

円

特殊取扱

お振り込み先金融機関一覧

1. 郵便振替貯金 00110-3-133690

*下の振替用紙をご利用いただけます。

(なお、この振替用紙は会費納入・資料購入・セミナー等受講料など総てにご利用いただけます。)

2. 三井住友銀行 日比谷支店 (普) 7611417

(注) *口座名はいずれも「シャ) ニホンフルードパワーシステムガッカイ」です。

*誠に恐れ入りますが、振り込み手数料はご負担くださいますようお願い申しあげます。

*上記2をご利用の方で、会社名・大学名にてご送金の方は、個人名・内容・振込金融機関名を、FAXまたはE-mailで学会宛にご連絡くださいますよう、お願い申しあげます。

FAX : 03-3433-8442

E-mail : info@jfps.jp

この受領証は、郵便局で機械処理をした場合は郵便振替の払込みの証拠となるものですから大切に保存してください。

ご注意

この払込書は、機械で処理しますので、口座番号及び金額を記入する際は、枠内に丁寧に記入してください。

また、下部の欄(表面及び裏面)を汚したり、本票を折り曲げたりしないでください。

(日本郵政公社)

〒105
|
0011 東京都港区芝公園三丁目五十二機械振興会館別館一〇二 電話(〇三)三四三三―八四四一 FAX(〇三)三四三三―八四四二
編集兼発行人 一般社団法人日本フルードパワーシステム学会 振替口座 東京〇〇―一〇―三―二三六九〇

東京都文京区白山一―三―七 アクア白山ビル五階
印刷所 勝美印刷株式会社