

日本フルードパワーシステム学会誌

JOURNAL OF THE JAPAN

FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

フルードパワー システム

Mar.2018 Vol.49 No.2

特集「フルードパワーにおける設計技術のトレンド
—品質向上と最適化を目指して—」

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

目次

特集「フルードパワーにおける設計技術のトレンド —品質向上と最適化を目指して—」

【巻頭言】

「フルードパワーにおける設計技術のトレンド—品質向上と最適化を目指して—」発行にあたって

成田 晋 56

【総論】

タグチメソッド・品質工学・ロバストエンジニアリング

田口 伸 57

【解説】

ロケット用ターボポンプのダイナミック設計手法

川崎 聡 61

CAE解析技術の精度向上に対する取り組み

柴田 康之 65

シリンダクッションの最適形状～AMESimを用いた品質工学的アプローチ～

田崎 佳介, 金丸 健二, 飯谷 英史 68

深層学習を応用した油圧システム設計におけるテスト設計プロセス

横島 靖典, 中沢 俊彦 71

オートマチックトランスミッション開発における流体最適化事例

山口 健 75

外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバーの応答性改善

上野 和生, 松下 雄介 78

品質工学を用いたサスペンション設定の最適化

一野瀬昌則 81

【会議報告】

FLUCOME2017参加記

香川 利春 85

【トピックス】

上海駐在員日記

山本 哲也 87

Youは日本をどう思う？第2回：オーストラリアから日本で仕事をして

田 瞳菲 90

【研究室紹介】

福岡工業大学フルードパワーシステム研究室（加藤研究室）

加藤 友規 93

【企画行事】

平成30年度企画行事紹介

藤田 壽憲, 桜井 康雄 96

【会告】

共催・協賛行事のお知らせ	99
平成29年度ウインターセミナー	
「フルードパワーに利用できるマイコン技術～機器の駆動に関わるマイコン技術～」	100
平成30年春季フルードパワーシステム講演会併設セミナー	
「フルードパワーにおける設計技術のトレンドー品質向上と最適化を目指してー」	100
日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会共催 平成30年春季フルードパワーシステム講演会	100
平成30年春季フルードパワーシステム講演会併設企画「製品・技術紹介セッション」	100
日中若手研究者交流事業 招聘者募集のお知らせ	101
日本フルードパワーシステム学会論文集 49巻 (2018) 1号 発行のお知らせ	101
その他	98, 101, 102

■表紙デザイン：山本 博勝 (株)豊島

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-22 機械振興会館別館102

TEL：03-3433-8441 FAX：03-3433-8442

E-Mail：info@jfps.jp

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

Special Issue “Trend of Design Technology in Fluid Power —Aiming for Quality Improvement and Optimization—”

[Preface]

On the Special Issue “Trend of Design Technology in Fluid Power —Aiming for Quality Improvement and Optimization—”	Susumu NARITA	56
---	---------------	----

[Survey]

Taguchi Method · Quality Engineering · Robust Engineering	Shin TAGUCHI	57
---	--------------	----

[Review]

Dynamics Design Method for Rocket Turbopump	Satoshi KAWASAKI	61
Approaches for Improving Precision of CAE Analysis Technology	Yasuyuki SHIBATA	65
Optimum Shape of Cylinder Cushion	Keisuke TASAKI, Kenji KANEMARU, Hideshi IITANI	68
Applying Deep Learning to Test Design Process in Hydraulic Systems Design	Yasunori YOKOSHIMA, Toshihiko NAKAZAWA	71
Case Study for Fluid Optimization in Automatic Transmission Development	Takeshi YAMAGUCHI	75
Response Improvement of Shock Absorber with Adjustable Damping Force by Externally Mounted Solenoid Valve	Kazuo UENO, Yusuke MATSUSHITA	78
Optimization of Suspension Setting Using Quality Engineering	Masanori ICHINOSE	81

[Conference Report]

Participation Report of FLUCOME2017	Toshiharu KAGAWA	85
-------------------------------------	------------------	----

[Topics]

Shanghai Expatriate Diary	Tetsuya YAMAMOTO	87
What do you think of Japan? 2nd : Work in Japan from Australia	Tongfei TIAN	90

[Laboratory Tour]

Fluid Power Systems Laboratory (Kato Laboratory), Fukuoka Institute of Technology	Tomonori KATO	93
---	---------------	----

[JFPS Activities]

Introduction of Event of JFPS in 2018	Toshinori FUJITA, Yasuo SAKURAI	96
---------------------------------------	---------------------------------	----

[JFPS News]

98, 99, 100, 101, 102

巻頭言

「フルードパワーにおける設計技術のトレンド —品質向上と最適化を目指して—」 発行にあたって

著者紹介

なり た すむ
成 田 晋(一社) 日本フルードパワーシステム学会事務局
〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-22
E-mail: narita@jfps.jp

1983年豊橋技術科学大学大学院修了。同年萱場工業株式会社(現KYB)入社。主に油圧ポンプ・モータの開発に従事。2017年同社退職。現在、日本フルードパワーシステム学会事務局。

製品の高品質化および高機能化は、いつの時代においても技術者に求められ、技術者はその要求を実現するために腐心してきている。このような要求に応えるために、その時代のさまざまなアプローチ方法や、シミュレーションソフトウェアに代表されるさまざまなツールを選択し、使用してきた。しかし、そのアプローチやツールが、目的とする要求仕様を実現するために最適なものであったでしょうか。

本特集では、高品質化および高機能化の要求を実現するために、日々腐心されている技術者の方々に、要求を達成するための最適化手法の事例やツールについてご執筆いただき、フルードパワーシステムに役立つ設計技術のトレンドについて紹介する。

本特集記事が、会員各位の研究・開発の効率化や新たなひらめきの一助となれば幸いである。

はじめに、「タグチメソッド・品質工学・ロバストエンジニアリング」と題して、田口伸氏に、設計の最適化手法として多くの企業に導入され使用されているタグチメソッドとも呼ばれる品質工学の基礎的な解説記事として、機能性評価、パラメータ設計について紹介いただいた。

つぎに、川崎聡氏による「ロケット用ターボポンプのダイナミック設計手法」として、H-IIAロケット第1段エンジンに使用されている液体水素ターボポンプの設計において、設計の上流段階から軸振動のような動的特性を考慮した最適化を図った設計手法について解説いただいた。

柴田康之氏には「CAE解析技術の精度向上に対す

る取り組み」としてCAE解析の活用事例と精度向上の取り組みについて紹介いただいた。

田崎佳祐氏、金丸健二氏、飯谷英史氏による「シリンダクッションの最適形状～AMESimを用いた品質工学的アプローチ～」では、油圧シリンダのクッション作動時の状態を、システム解析ソフトのAMESimによる解析で再現し、品質工学的なアプローチで検討することでクッション性能の最適化と温度に対するロバスト性を向上させた事例を解説いただいた。

続いて、横島靖典氏、中沢俊彦氏による「深層学習を応用した油圧システム設計におけるテスト設計プロセス」では、テスト設計プロセスにおける複雑かつ多数のテストパターンの類似性判定を深層学習によって行い、テスト設計プロセスを改良した事例について解説いただいた。

山口健氏による「オートマチックトランスミッション開発における流体最適化事例」では、CAEによる流体解析を使ってオートマチックトランスミッションのピニオンシャフトとオイルポンプを形状最適化した事例について解説していただいた。

上野和生氏、松下雄介氏による「外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバーの応答性改善」では、自動車用ショックアブソーバーの減衰力調整用比例ソレノイドの応答性を磁場解析と品質工学を使用して最適化した事例を解説いただいた。

一野瀬昌則氏による「品質工学を用いたサスペンション設定の最適化」では、鉦山用ダンプトラックのサスペンション設計にダンプトラックの全体機構解析モデルと品質工学手法を組み合わせることで、少ない探索試行回数で最適設計パラメータを得ることができた事例を解説いただいた。

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

(原稿受付：2018年1月31日)

総論

タグチメソッド・品質工学・ロバストエンジニアリング

著者紹介



た ぐ ち しん
田 口 伸

President, American Supplier Institute, Inc.
アイテックインターナショナル顧問
〒462-0844 名古屋市北区清水3-8-5
E-mail: shin.taguchi@asiusa.com

1979年ミシガン大学工学部(OE)卒、1983年よりFord Motor社からASI Inc. 1995年ASI Inc. 社長就任、2002年ASI Consulting Group CTO兼任、2015年より日本規格協会技術顧問、2016年より光産業創生大学院大学客員教授、Fellow of the Royal Statistical Society in London

1. はじめに

人間はモノやサービスを必要として生きている。著者の父、田口玄一が開発した品質工学(QE)はそれらの設計開発を支援するもので、性能と信頼性を早期に確保するための戦略と戦術である。1980年米国で紹介されて、タグチメソッドやロバストエンジニアリングとも呼ばれている。以下、品質工学の全体像である。

- A. 機能のロバストネスの評価のための機能性評価
- B. ロバストネスの最適化であるパラメータ設計
- C. パターン認識と診断機能のためのMTシステム
- D. 不具合モード発見のためのバリデーション試験
- E. 品質の評価を金額で推定する損失関数
- F. 投資の意思決定に損失関数を使う許容差設計
- G. 工程管理に損失関数を導入したオンラインQE
- H. 直交表と線点図を駆使した実験計画法

現在品質工学を導入している企業で主に応用されているのはA, B, C, Dの4つである。本稿ではAとBの2つを紹介する。Cは診断やパターン認識の最適化を図るもので情報システム, IoT, AIの機能に貢献している。Dは自動運転などの多機能で複雑なシステムのバリデーションの試験に有効である。これらの紹介はまたの機会にする。

2. ノイズとロバストネス

「ノイズ」(または「ノイズ因子」, 「誤差因子」)とは市場における使用環境、使用していくうちに起きる劣化など設計者がコントロールできない要因のことである。ノイズは機能のバラツキや不具合を起こす原因系である。

自動車のブレーキの機能は車を意図どおりに減速させることである。雨雪などの天候や路面状態などの使用環境や、ブレーキパッドの温度や部品の劣化というノイズに関わらずに運転者の意図どおり機能すること、すなわち減速してくれることが理想である。ロバストネスとは機能がノイズに影響されない度合いである。ロバスト設計とはノイズに影響されない設計である。ロバストな設計は基本的に信頼性が良く、さまざまな要求を満たし、市場で問題を起こさない設計である。ロバストネスの評価をして、最適化することで低コストのロバスト設計を目指すのである。

3. ロバストネスの評価

ロバストネスの評価は日本では「機能性評価」と呼ばれ、英語ではRobust Assessmentである。ロバストネスを上手く評価できなければ、最適化ができない。以下はその評価のための手順である。

手順-1: 基本機能とその理想の形である理想機能を定義する

まず考えるのはモノやサービスの本質的な機能である。ハードウェアの場合、その機能は基本的にエネルギー変換である。自動車のブレーキの機能はドライバーがブレーキペダルを踏むことで「制動力」という減速する力を生じることである。つまりペダルの「踏み力」を「制動力」に変換することが基本機能であり、「踏み力」と「制動力」の間には理想的な関係が存在する。理想に近づけたいのであるがノイズ因子らが悪さをする。ノイズのために基本機能のエネルギー変換の効率が悪くなったり、バラツ

いた結果として様々な品質問題や不具合が生じるという考え方をするのである。この場合「踏み力」が入力でMと表記され、「制動力」が出力でyと表記される。そして理想の関係はMがゼロならyがゼロで、比例関係にあることから以下の様になる。

最も典型的な理想機能： $y = \beta M$

サービスの場合の基本的な考え方は「時間」や「マンパワー」を入力Mとして、「達成した仕事量」を出力yとしてその理想の関係を理想機能と定義することができる。表1に基本機能と理想機能の例を示した。

表1 理想機能の例

システム	機能	入力値 M	出力 y	理想機能
風力発電	電気を起こす	風力	電力	$y = \beta M$
空調のファン	風を送る	消費電力	空気流量	$y = \beta M$
体重計	体重を測る	体重の真値	計測値	$y = \beta M$
自動車のブレーキ	減速する	踏み込み力 × 速さ	止まる力・制動力	$y = \beta M$
自動車のブレーキ	減速する	停止距離	初期速度 ²	$y = \beta M$
予測のシステム	予測する	予測対象の真値	予測値	$y = \beta M$
予測のシステム	運転中の歩行者認識	衝突までの時間の真値	衝突までの時間の予測値	$y = \beta M$
自動車の操舵	曲がる	ハンドル角度変位	曲がる力・横加減	$y = \beta M$
照明	明るさを出す	消費電力	照度	$y = \beta M$
自動スライドドア	ドアの開け閉め	消費電力	ドアの移動距離	$y = \beta M$
機械加工	材料を削り取る	消費電力	削った量	$y = \beta M$
スイッチ操作	操作感	変異量	力	理想の曲線
もやしの成長	成長する	時間	重量	指数関数
化学反応	$A + B \rightarrow C + D$	時間	反応したAの率	指数関数
病院の救急室	患者を診る	延べ人時	重み付けた患者の累計	$y = \beta M$
〇×試験	能力の評価	正解	回答	$0-1 \rightarrow 0-1$
エアバッグの展開	診断	展開無し・する	展開無し・する	$0-1 \rightarrow 0-1$
一般的な診断	診断	実際の状態	診断結果	$0-1-2-3 \rightarrow 0-1-2-3$

手順-2：ノイズの戦略を決める

手順-1で定義した基本機能を測るのであるが、ロバストネスの評価なのだからノイズの影響を意図的に入れなければ意味がない。わざとノイズでバラツかせて測るのである。ノイズでイジメてもきちんと機能するのがロバスト設計である。ロバストネスを適切に評価するためにどのノイズをどう振れば効果的か考えて検証していくのである。いわばノイズの戦略を開拓するのである。たとえば、調査誤差因子というのは、

N1＝エネルギー変換が小さくなりがちなノイズ条件
N2＝エネルギー変換が大きくなりがちなノイズ条件

という2つのノイズ条件を定義して、この2条件で機能を測るのである。いずれにしても意図的にノイズを振ったうえで、基本機能を測ったデータを得ることが目的である。そのデータから「SN比」を計算する。SN比はロバストネスのモノサシであり、ロバストネスを数値化したものである。SN比の式はここでは示さないがそう難しいものではない。SN比の概念的な意味合いは以下のようなものである。

$$SN = \frac{\text{エネルギー変換の効率}}{\text{エネルギー変換のバラツキ}} = \frac{\text{果たされた目的の仕事量}}{\text{仕事量のバラツキ}}$$

SN比が大きいほどシステムが目的とした機能を効率的にかつ、バラツキなく果たしていることになる。ここまでがロバストネスの評価、機能性評価である。

4. ロバストネスの最適化（パラメータ設計）

何故ロバストネスを最適化するかというと、前述のエネルギー変換の効率の悪さとエネルギー変換のバラツキが不具合モードや品質問題を起こし、またストレスを溜めていくため寿命も短くなるという戦略的思考があるからである。以下にロバストネスの最適化の方法について説明する。

ノイズは使用時に起きる事象なので設計エンジニアが指定したり制御することができない。しかし、材料・寸法・形状・方式・バネ係数・抵抗値などエンジニアが指定できる設計のパラメータは多数存在する。これらを制御因子という。ロバストネスの最適化であるパラメータ設計は戦略的に低コストで、ロバストな制御因子の組み合わせを探索していく作業である。図1のディスクブレーキのサブシステムのP-ダイアグラムで理想機能、ノイズ因子と制御因子を参照してほしい。ロバストネスの評価は機能が発揮される場であるユーザーのスペースであり、制御因子は設計スペースである。

最適化のやり方を簡単に述べる。複数の制御因子を直交表という表に割り付けることで、たとえば18通りの制御因子の組み合わせのレシピを得る。その18レシピのそれぞれで機能性評価を行い、SN比を計算し、各制御因子のSN比に対する効果を図にして最適な制御因子の組み合わせを選ぶのである。

たとえば制御因子が8個で、それぞれが3つの選択肢があれば、 $3^8 = 6,561$ 通りの組み合わせである。そのすべてをたかだか18通りの組み合わせで評価

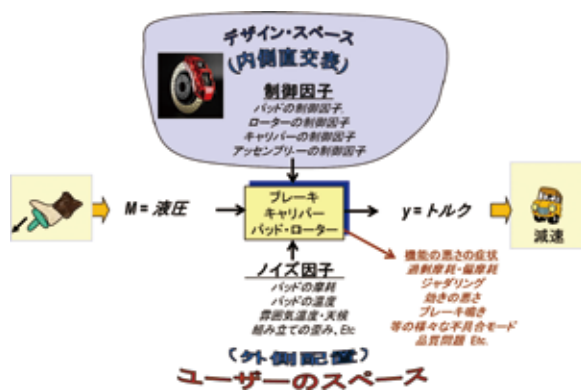


図1 プレーキのサブシステムのP-ダイアグラム

することになる。コンピュータシミュレーションが可能で、データを得るのが低コストの場合は大きい直交表が使えるため、たとえば25個の制御因子のそれぞれが3つ選択肢であれば、 $3^{25} \approx 8470$ 億通りの組み合わせを、ただだか54通りの組み合わせで評価できるのである。なぜこのような面倒なことをするか説明する。

5. ロバストネスの最適化の目的

従来の設計開発のやり方における「良し悪し」の評価は「要求」を満たしているかどうかである。要求は性能・品質・信頼性・コスト・重量・不具合・安全性・寿命など多数である。要求を満たすかどうかを評価指標として試験をする。満たさなければいかに要求を満たすかを考える。そして設計変更し、また試験をする。このサイクルをすべての要求を満たすまで試行錯誤で回していくのが従来のやり方である。パワーと燃費など相反する要求がたくさん存在し、すべてを満たすことは大変なことである。

このような要求を満たすかどうかのチェックはバリデーションである。バリデーションの理想は開発の最終段階で一発で合格することである。その理想を達成するためにバリデーションの前の開発段階でロバストネスを最適化することが大きな意味をもつのである。

ロバストネスの最適化の評価は「要求を満たすかどうか」ではなく「基本機能のロバストネス」であり、そのモノサシであるSN比である。なぜロバストネスで評価するかというと、エネルギー変換の効率が100%で、そのバラツキがゼロであれば「要求を満たすであろう」という戦略的思考があるからである。ところが最適化しても要求を満たさない場合もある。以下、コインの表裏の議論をする。

コインの表 設計の実力が優れている場合：

ももとの設計が優れている場合、最適化すれば要求を満たす以上のいい結果になり得る。そのような結果であればコストダウンが容易である。要求だけを眺めて開発をしていると、単に要求が満たされたレベルで開発終了となりコストダウンは厳しい。

コインの裏 設計の実力が劣っている場合：

いくら最適化しても要求を満たさない場合である。このような設計を早い時期に把握することは開発業務のマネジメントにとって重要なことである。ダメな設計は早く見切りをつけて新しい設計を考えるべきである。日本の品質工学では「失敗するなら早く失敗しろ」という言い方をする。米国では“You

cannot get a robust design by optimizing a lousy design.”という言い方である。「ダメな設計をいくら最適化してもロバスト設計は得られない」という意味である。設計の限界を早い時期に「見える化」して正しい判断をしたいのである。

最適化の目的は「設計の実力と限界を早い時期に把握すること」であり、そのことで一方では「コストダウン」が可能になり、もう一方では「ダメな設計の早期発見」ができるのである。

6. 開発期間短縮のための「ロバスト技術の棚」

企業の技術力の競争力を維持するために重要な3要素を以下に挙げる。

1. 先行性：イノベティブな新しい機能のモノやサービスを他に先駆けて世に出すこと
2. 再現性：市場において問題を起こさずに目的の機能を発揮し続けること
3. 汎用性：同じ機能を持つさまざまな製品や、将来の製品群に広く応用できること

この3要素を目的とした理想的な開発体制である「ロバスト技術の棚」の概念を図2に示す。

イノベーションを起こすことや、よく売れるモノやサービスを開発することの重要性は誰でも理解できることである。このことから潜在的な顧客や社会の声を満足するモノやサービスの開発のためのテーマ選択は重要である。

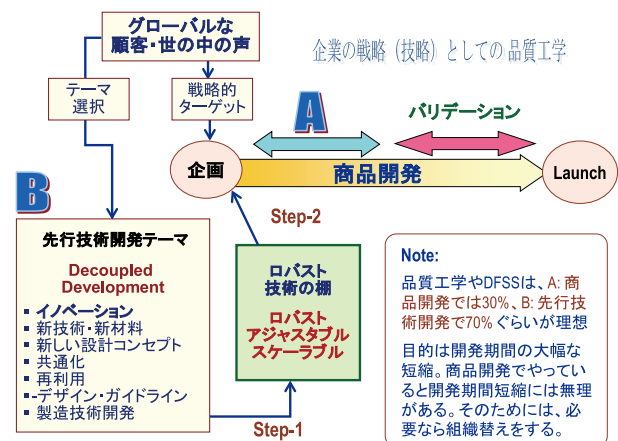


図2 ロバスト技術の棚

DFSSというのはDesign for Six Sigma である。これは品質工学のみでなく、要求の整理、イノベーションなど新しい設計概念のアイデア出しを含む設計開発のテーマの進め方である。「テーマ選択 → 要求の整理 → アイデア出し → 最適化 → バリデーション」という開発の流れをサポートするための仕組みである。これは開発プロジェクトの進め方のマッピングをすることから始まる。

ここまで触れていなかったがロバストネスの最適化の重要な概念に2段階最適化という戦略がある。簡単に紹介すると以下ようになる。

Step-1: ロバストネスの最適化

Step-2: 出力を目標値に合わせこむ(チューニング)

ロバストネスの最適化は機能を測るのだから個々の商品の要求の詳細が無くてもできる。個々の商品の企画を待つことなくStep-1の最適化は先行開発でやってしまう。その最適設計はロバスト技術の棚に置いておく。先行開発であるから個々の商品開発とは独立して先行しているので、米国ではDecoupled Developmentという言い方をされている。個々の商品に対するStep-2の合わせこみのノウハウはStep-1の最適化で得られるのである。図の中の「ロバスト技術の棚」にアジャスタブル・スケラブルとある理由である。

このロバスト技術の棚の開発体制を導入することで大幅な開発期間短縮が可能になる。なぜ大幅な開

発期間の短縮が必要かという、開発コストの低減もあるが、一番はタイムリーにVOCを満たすことである。人や世の中のニーズは時を経て変わっていくのだから、開発に1年かかる企業と、半年でできる企業では大きな差が出てくることは間違いのないところである。

7. 最 後 に

品質工学で日本企業の競争力を再構築したいものである。また直交実験は中学生・高校生でもできることなので学生のカリキュラムに取り入れていくことも重要と考えている。たとえば玩具の風力発電機の最適化などは米国の高校などでやられている。日本には品質工学会があり、その品質工学会が日本全国に展開されているのでぜひ覗いていただきたい。

(原稿受付: 2017年12月5日)

解説

ロケット用ターボポンプのダイナミック設計手法

著者紹介



かわ さき さとし
川 崎 聡

(国研) 宇宙航空研究開発機構
〒981-1525 宮城県角田市君萱字小金沢 1
E-mail: kawasaki.satoshi@jaxa.jp

1993年同志社大学大学院工学研究科博士前期課程修了。1993年石川島播磨重工業（現IHI）に入社。2014年宇宙航空研究開発機構（JAXA）に入社。現在に至る。ロケットエンジン用ターボポンプの研究・開発に従事。日本機械学会、ターボ機械協会などの会員。

1. はじめに

ロケットエンジン用ターボポンプは、タンクから推進剤を高圧状態にしてエンジン燃焼室に送り込む回転機械である。現在運用中のH-IIAロケット第1段エンジンの液体水素ターボポンプは、回転数42,000rpm、吐出圧28MPaであり、きわめてエネルギー密度の高い回転機械である。そのため、開発時には軸振動に関連する不具合を多く経験してきた¹⁾。軸振動は致命的な故障に直結する技術課題であるが、従来設計では効率のような静的性能が優先され、軸振動のような動的特性は後回しにされる傾向にあった。高い信頼性が要求されるロケットにおいてターボポンプのさらなる信頼性向上を目指すためには、従来の設計概念から脱却し、上流設計から動的特性を考慮して最適化を図る新たな設計手法が必要である。

JAXAでは2010年より大学・企業と連携して「ターボポンプのダイナミック設計」共同研究を開始し、新たな設計手法の構築と確立を進めてきた²⁾³⁾。本設計手法はロケット用ターボポンプという特殊な機械を対象にしているが、振動問題やシステム安定性に関する設計技術は油空圧機器にも通じる点があると考えられる。本稿ではダイナミック設計の概念と設計手法の要点について解説する。

2. ターボポンプの設計課題

図1に液体水素用ターボポンプの断面を示す。

ターボポンプは、タンクから推進剤を吸込み昇圧してエンジン燃焼室に送り込むポンプ（インデューサ、インペラ）、ポンプの駆動力を発生するタービン、ターボポンプ内部でタービン駆動ガスと推進剤の漏洩を封じるシールシステム、回転軸とそれを支持する軸受などの複数要素（サブシステム）から構成されるシステム機械である。図2にターボポンプロータにかかる力を模式的に図示する。ターボポンプの軸振動特性は、羽根車やシールに生じるロータダイナミック流体力、不釣り合いやミスアライメントによる機械的加振力、軸受反力、さらに各要素の配置配列が大きく影響するため、ターボポンプシステム全体（以下、メインシステムと呼ぶ。）として検討すべき設計項目である。

図3(a)に従来のターボポンプ設計イメージを示す。上位（エンジンシステム）の要求を各要素に展開し、

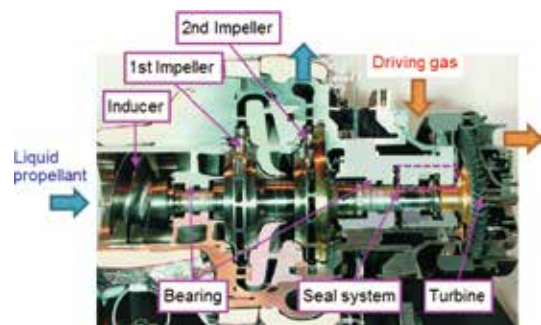


図1 液体水素用ターボポンプ

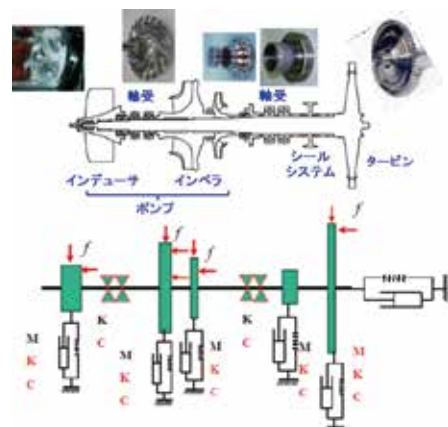


図2 ターボポンプロータにかかる力

各要素の最適設計が行われた後にターボポンプのメインシステムに統合される。そのため軸振動特性のようなメインシステムの特徴は、要素設計終了後の限られた設計変数による最適化にならざるを得ない。また、要素の配置配列についても各要素設計前の段階では定量的な評価ができないため、過去の開発経験や定性的な傾向から決定されてきた。しかし、世界のターボポンプを眺めるとさまざまな形態のターボポンプが存在し⁴⁾、上位要求に対応した最適な形態を見落としてきた可能性もある。

3. ターボポンプのダイナミック設計

3.1 ダイナミック設計の概念

図3(b)は従来の設計課題を解決するための新たな設計概念のイメージであり、これを具現化した設計方法をダイナミック設計と称している。ダイナミック設計は、つぎの3つの設計概念から成り立つ⁵⁾。

(1) ダイナミック設計

定常な性能や特性を対象とした静的設計に対し、時間領域や周波数領域の現象に着目し、非定常・変動・安定性など動きや応答を考慮する設計方法

(2) 形態設計

羽根車の翼形状のような個々の要素形状を追求せず、ターボポンプを構成する要素の配置配列などシステム形態を第一義に設計する方法

(3) 多領域最適化

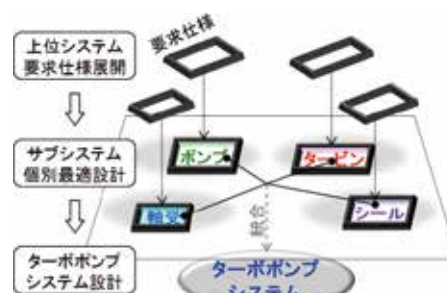
各要素を1領域とし、各領域の概略形状を設計しつつ、それらを包含する上位階層であるターボポンプシステムの最適形態を探索する方法

3.2 形態設計

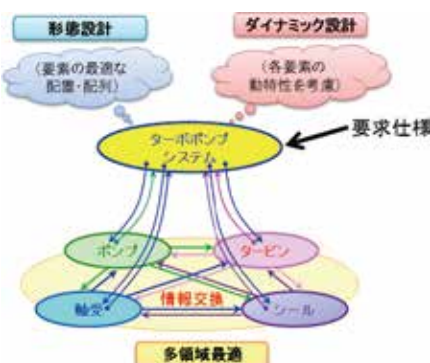
図4にターボポンプの形態設計フローを示す。形態設計プロセスは、ロータの概略体格と要素の配置

配列の最適化を行うステップ(STEP1)とロータ詳細体格の最適化を行うステップ(STEP2)の2段階で実施される。詳細については参考文献6)、7)を参照されたいが、ここではSTEP1について要点を絞って説明する。

メインシステムの設計変数である回転速度や軸径に水準を与えて各要素の概略設計を行い、概略形状、ロータダイナミック流体力、材料物性などの設計情報が各要素よりメインシステムに対して出力される。つぎに軸振動解析によって回転安定性に優れた配置



(a) 従来の設計イメージ



(b) ダイナミック設計イメージ

図3 ロケット用ターボポンプの設計イメージ

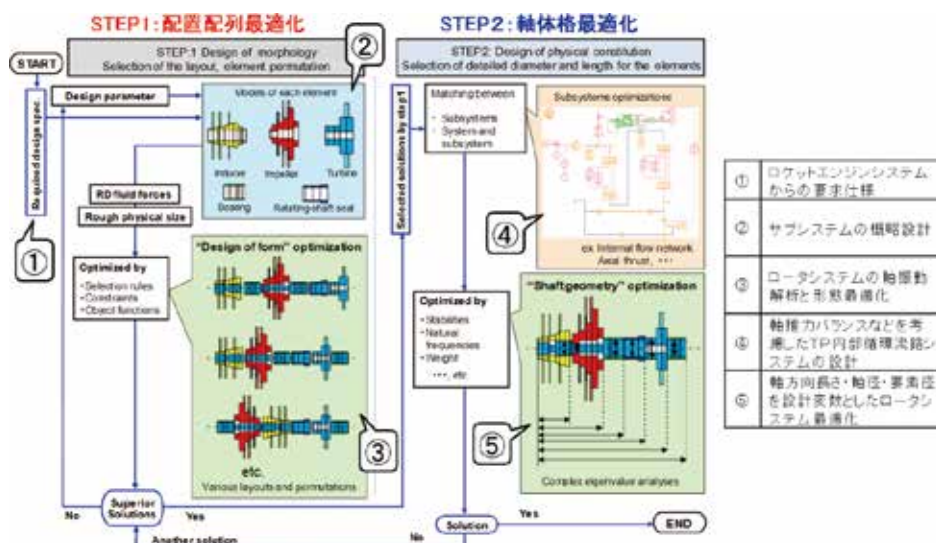


図4 ターボポンプの形態設計フロー

配列の最適解探索を行うが、たとえば2段インペラターボポンプ（要素数7）の場合、要素の向きも考慮すると配置配列の組み合わせ総数は645,120（ $=7! \times 2^7$ ）通り存在する。これをすべて解析するのは非現実的なため、ターボポンプ機能が成立しない配置配列に関するルールを整理し、そのルールに基づいて配置配列の絞り込みを行う。本ケースでは84通りまで絞り込むことができた。

回転安定性を評価する設計指標としては、重量、回転速度と危険速度との離れ度合（離調率）、通過振動モード数、システム減衰比、不釣り合い振動応答振幅がある。複数の目的関数を設計的な妥当性に基づいて評価するために、目的関数の正規化処理を行う。さらに、重み付き線形和によって多目的の設計問題を単目的に変換し、比較評価を容易にした。以上の方法により、要素の配置配列を設計変数として扱い、ターボポンプ形態を定量的な指標に基づいて比較検討することが可能となる。

図5に、ロータのオーバハング量を基準にして優秀な配置配列をプロットした図とそれぞれの目的関数の分布を示す。優秀な設計解は比較的オーバハング量が小さい配置配列である。オーバハング量の増加が回転安定性を損ねることは経験的にもわかっており、妥当な結果と言える。しかし、軸受を両端に設置したオーバハングがまったく無い配置配列（図中のnoneの位置）の評価は余り高くなく、優秀な配置配列として選ばれていない。これは軸受間距離の増加による軸振動特性への悪影響が、オーバハン

グ量低減による改善効果より上回ったためと考えられる。解析結果を整理すると、重量やロータダイナミック流体力が大きいインペラやタービンの近くに軸受を配置し、オーバハング量の低減を図ることが回転安定性の向上に効果的であるが、軸受間距離が増大し過ぎないように注意する必要があると言える。配置配列を設計変数として扱うことにより、このような設計指針を明確にすることが可能となった。

なお、本設計手法は産業用立軸ポンプにも適用され、有用性が確認されている⁸⁾。適用例では、立軸ポンプ床下静止部分の設計変数の軸振動特性に対する感度が高いことから、ロータの形態最適化の前に床下静止部分の最適設計を行うSTEP0のプロセスを追加している。その結果、STEP1とSTEP2のみで得られた最適解より改善効果の高い設計解を得ることに成功している。基本的な形態設計概念を押さえつつも、回転機械の種類や特徴によって最適化プロセスを変更することも必要であると考えられる。

3.3 多領域最適設計

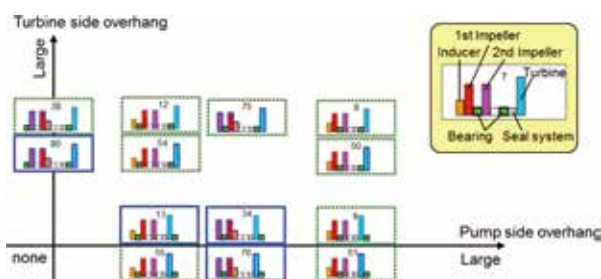
多領域に跨がるシステム機械では、メインシステムや各要素の設計変数と特性値の関係が複雑になり、適切な設計プロセスの構築が非常に難しくなる。このような複雑な関係性を整理して可視化するツールとしてQFD（品質機能展開）は非常に有効である。またQFDはロバスト設計などとの相性も良く、設計プロセスに取り入れることも可能である。

ダイナミック設計では、多領域の複雑な関係性の可視化とともに、大量の設計変数からメインシステムの動的特性に強く影響する重要設計変数を抽出するツールとしてQFDを利用している⁹⁾。また、最近の研究では、公理的設計と呼ばれる設計工学的手法とQFDを組み合わせ、メインシステムと要素間の干渉関係を整理して設計変数の取り扱い方法を定める方法も試行している¹⁰⁾。まだ研究途中ではあるが、多領域最適設計プロセスをロジカルに構築するための有効な手法と考えられる。

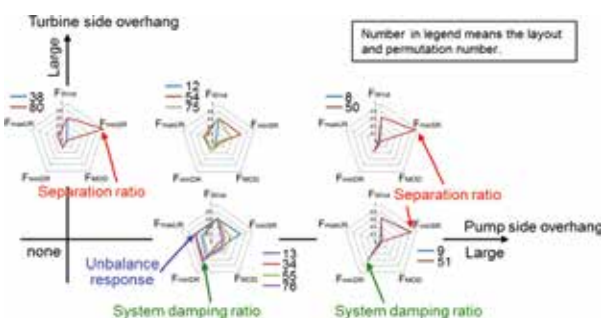
3.4 1D CAEによるモデリング

近年、1D CAEは計算リソースの観点だけで無く、複雑なシステムをシンプルに表現して本質を的確に捉えるツールとして利用価値が高まっている¹¹⁾。ダイナミック設計においても同様であり、1D CAEは多く取り入れられている。その適用例として、ターボポンプの軸方向動特性解析について以下に示す。

高圧のターボポンプロータにはきわめて大きな軸方向推力がかかるため、バランスピストンと呼ばれる推力の自律調整機構を有するものが多い。図6(a)にインペラ背面のバランスピストン機構を示す。ロータの軸方向移動に伴いオリフィス隙間が増減し



(a) 回転安定性に優れた配置配列



(b) 優秀な配置配列における目的関数の分布

図5 オーバハング基準で整理した優秀な配置配列の特徴⁷⁾

てインペラ背面の圧力調整が行われ、軸方向推力をバランスさせる仕組みであるが、条件によっては軸方向の自励振動が発生する場合がある。インペラ背面部の複雑な流れを正確に把握するためには3D CFD解析が必要であるが、図6(b)に示す単純な1Dモデルでも自励振動現象を捉えることが可能である。1Dモデルによる解析の結果、液体水素のような圧縮性が強い流体の場合、液体酸素のような非圧縮性流体と比べてバランスピストン機構の応答特性が大きく変化し、不安定化しやすくなることがわかった¹²⁾¹³⁾。

バランスピストンはターボポンプの内部循環流路の一部をなしているため、要素の配置配列による影響も受ける。したがって、3.2章で示した形態設計プロセスの中で評価する必要があるが、構築した1Dモデルにより径方向振動問題と並行してバランスピストン機構の安定性評価を行うことが可能になった¹⁴⁾。

その他にも、軸振動の一要因であるキャビテーション不安定現象を1Dモデルにより模擬して安定性を評価する方法¹⁵⁾なども構築しており、上流設計における動的特性の評価ツールとしての活用が期待される。

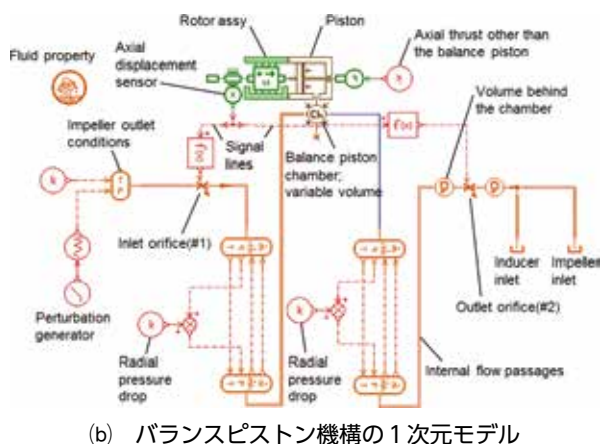
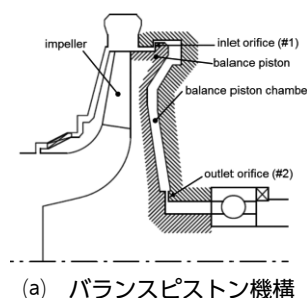


図6 バランスピストンの1次元動特性解析モデル¹³⁾

入したロケットの開発事例はまだ無いが、開発中のターボポンプに対する解析や評価にはすでに使用されている。また、3.4節で示した解析手法の一部は現行ターボポンプの改良にも利用されており、部分的ではあるが実設計に対する有用性が確認されている。

本設計の考え方自体は、複数要素から構成されるシステム機械に対して幅広く応用できるものと考えられ、油空圧機器の最適設計や信頼性向上に少しでも役立てば幸いである。

参考文献

- 1) 岡安彰, 太田豊彦, 尾池守, 藤田敏彦: LE-7用液体水ターボポンプ軸系振動問題と対策, ターボ機械, Vol. 26, No. 8, p. 456-462 (1998)
- 2) ターボ機械協会: 特集: ターボポンプのダイナミック設計, ターボ機械, Vol. 40, No. 6-7 (2012)
- 3) ターボ機械協会: 特集: ターボポンプのダイナミック設計③, ターボ機械, Vol. 41, No. 10 (2013)
- 4) Sutton, G.P.: Turbopumps, a historical perspective, Proc. 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA 2006-5033 (2006)
- 5) 内海政春, 吉田義樹: ターボポンプのダイナミック設計 軸振動の抑制をめざしたロータシステムの最適化, ターボ機械, Vol. 40, No. 6, p. 324-330 (2012)
- 6) 内海政春, 島垣満, 川崎聡: ターボポンプのダイナミック設計 (その2), ターボ機械, Vol. 41, No. 10, p. 324-330 (2013)
- 7) 川崎聡, 島垣満, 内海政春, 安達和彦: 要素の配置配列をパラメータとしたロケット用ターボポンプの形態設計, 日本機械学会論文集, Vol. 82, No. 842, 16-00134 (2016)
- 8) 香川修作, 渡邊裕輔, 渡邊啓悦, 後藤彰, 内海政春, 島垣満, 川崎聡: 産業用立軸ポンプの形態最適化設計適用に関する研究, ターボ機械, Vol. 45, No. 3, p. 165-173 (2017)
- 9) 川崎聡, 内海政春, 島垣満, 黒木康洋, 中村智也, 平木博道, 矢田和之, 國枝磨: 品質機能展開を利用したターボポンプの多領域設計支援, 宇宙航空研究開発機構研究開発資料, JAXA-RM-15-009 (2016)
- 10) 黒木康洋, 川崎聡, 矢田和之: 品質機能展開を援用したターボポンプの多領域最適設計プロセスの構築, ターボ機械, Vol. 45, No. 3, p. 148-156 (2017)
- 11) 大富浩一, 羽藤武宏: 1DCAEによるものづくりの改革, 東芝レビュー, Vol. 67, No. 7, p. 7-10 (2012)
- 12) 林光昭, 都丸裕司, 川崎聡, 志村隆, 内海政春: バランスピストン機構による軸方向振動の安定性に関する検討, ターボ機械, Vol. 41, No. 10, p. 625-632 (2013)
- 13) Shimura, T., Kawasaki, S., Uchiumi, M., Kimura, T., Hayashi, M. and Matsui, J.: Stability of an Axial Thrust Self-Balancing System, ASME J. Fluids Eng., Vol. 135, No. 1, 011105 (2013)
- 14) 平木博道, 内海政春, 川崎聡: 動特性を考慮したターボポンプのバランスピストン設計についての考察, ターボ機械, Vol. 44, No. 4, p. 231-241 (2017)
- 15) 川崎聡, 志村隆: 1D CAEによるターボ機械のモデリング, ターボ機械, Vol. 45, No. 3, p. 157-164 (2017)

(原稿受付: 2017年12月12日)

4. おわりに

本稿で紹介したダイナミック設計手法を完全に導

解説

CAE解析技術の精度向上に対する取り組み

著者紹介



しば た やす ゆき
柴田 康之

CKD株式会社
〒485-8551 愛知県小牧市応時2-250
E-mail: yas-shibata@ckd.co.jp

1989年CKD株式会社入社。入社以来CAE業務に携わり、現在に至る。

1. はじめに

最近のモノづくりでは、コンピュータのめざましい進歩により、従来から行われてきた実機評価に代わり、コンピュータ上で性能を作り込むCAE解析がさまざまな産業分野で広く行われている。

CAEは、Computer Aided Engineering（コンピュータ支援エンジニアリング）の略称であり、当社においても、高度化する技術的課題や多様化するお客様のニーズに応えるため、新製品開発や製品の改良などにCAE解析を積極的に活用している。本稿では、当社で行っているCAE解析の活用事例とともに、CAE解析の精度向上の取り組みについて紹介する。

2. CAE解析の用途

CAE解析を活用する利点は、設計時に創出したアイデアを仮想試作し、その妥当性を評価できることである（図1）。そのため、CAE解析は①開発期間の短縮、②開発コストの低減、③品質改善・性能向上に大きな効果が期待できる。

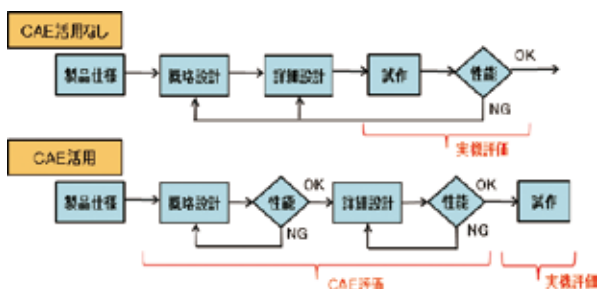


図1 CAE活用フロー

3. 当社で実施しているCAE解析

当社では以下に示す分野のCAE解析を実施している。

3.1 構造解析

製品の機械的強度や熱の影響（熱応力・熱伝導）の評価が行われており、取り扱われる材質も金属、樹脂、ゴムなど多岐に渡る。解析ソフトは、単一部品や簡単な組み合わせ構造物を対象とした操作性重視の「設計者向け構造解析ソフト」と機能性を重視した専任者向けの「汎用構造解析ソフト」を内容に応じて使い分けている。

3.2 流体解析

設計した流路形状内での流れの効率や流量などの性能確認を目的とした解析が主に行われ、部品間・部品内に存在する気体・液体を伝熱媒体とした熱流体解析の活用ニーズも増えてきている。

3.3 樹脂流動解析

射出成形を行なう樹脂部品に対し、樹脂流れのバランス、ショートショット、エアトラップ、ソリやひけによる変形などの問題発生の可能性を事前評価するために樹脂流動解析を活用している。生産技術的な活用が大部分を占めており、エアトラップやウェルドの発生位置に大きな影響をおよぼすゲート位置を最適化することで、多大な費用と時間がかかる金型の修正回数低減に貢献している。

3.4 磁場解析

空圧バルブや流体制御バルブのソレノイドや工場内の省人化装置として使用されるDDモータ、磁気センサーなど電磁機器製品の設計に活用されており、当社製品の小型化、高能力化、高応答化、省電力化に貢献している。

4. CAE解析の精度向上

CAE解析で使用する物性値が実物とかけ離れている場合、実測との誤差が発生する。CAE解析を行なう際入力する物性値には、カタログ記載の定値を入力し計算できる内容もあれば、物性値が定値として表現できない非線形性を有するデータもある。前者

の物性値としては弾性構造解析を行なう場合に必要となる金属材料のヤング率やポアソン比、流体解析で使用する粘度などが挙げられ、解析ソフトのデータベースに標準登録されていたりインターネット検索により比較的容易に入手できる場合が多い。

後者の物性値としては、磁場解析における磁性材料の初磁化曲線やゴムの構造解析で必要となる応力ひずみカーブなどが挙げられ、使用したい材料物性値が解析ソフトに登録されておらず、インターネット上からも情報を入手できない。当社ではこのような非線形性材料物性値を測定、データベース化し、解析ユーザーが社内ネットワーク上から使用したい材料データを選択し活用できる状態にしている。

ここでゴム部品の構造解析に使用する材料データの測定方法と解析事例について紹介する。

4.1 構造解析

構造解析では金属、樹脂、ゴムなどの材料による解析を行っている。ここで、当社で構造解析に使用する物性値を測定しているゴムの構造解析について紹介する。

4.1.1 応力-ひずみカーブによる解析

構造解析に使用するゴム材料の物性値として、専用試験片を社内の引張・圧縮試験機で変形させて得られた応力-ひずみカーブ（SSカーブ）を使用している（図2）。このSSカーブは一般に1（mm/min）程度の低速で変形させて、一定の変位量毎に十分緩和させて得られた静的な特性である。

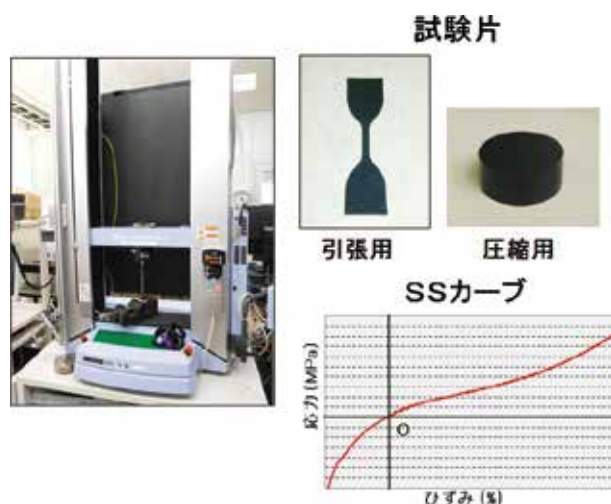


図2 引張・圧縮試験機

このため、変形速度が非常に遅い静的な状態を対象とする解析では、実測値と良く一致する。例として、上記測定で得られた静的なSSカーブを物性値として与え、専用試験片での引張・圧縮変形を解析し、応力とひずみの関係を求めると、実測値と一致することが確認できる（図3）。

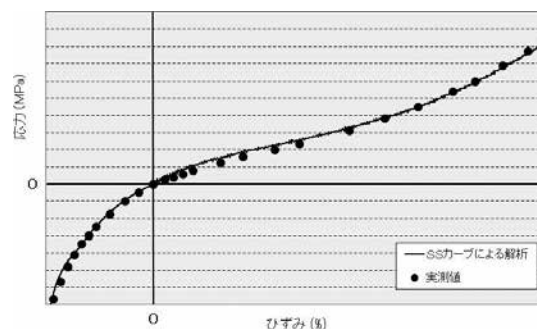


図3 試験値と解析値の比較

4.1.2 ひずみ速度依存性の影響

しかし、ゴムや樹脂などの高分子材料では材料の変形挙動が動作速度により変化するひずみ速度依存性という特性がある。図4に示すように、ひずみが同じ条件でも速度が高くなると応力が高くなる現象である。

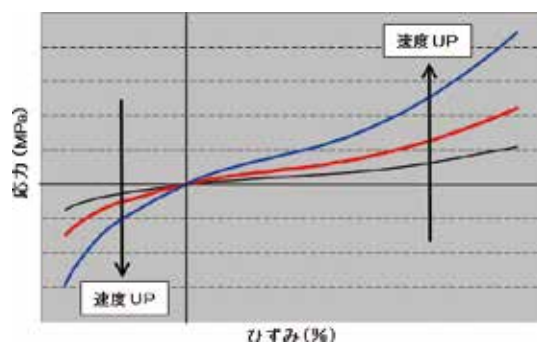


図4 変形速度によるSSカーブの変化

そのため、変形速度が高くなるにつれ、静的なSSカーブで計算された解析結果と実物の変形挙動が一致しなくなる。

また、ひずみ速度依存性の代表的な挙動として一定応力下でのクリープ変形や一定ひずみ下での応力緩和があり、静的なSSカーブを使用した解析ではこれらの挙動を求めることができない。

例として、バルブの弁の開閉に使用されるゴムダイヤフラムを図5に示す矢印方向へ低速と高速の条件で同じ変位量だけ変形させて放置した時の反力解析を静的なSSカーブで実施した結果を図6に示す。

図6より、動作速度が非常に低い静的なSSカー

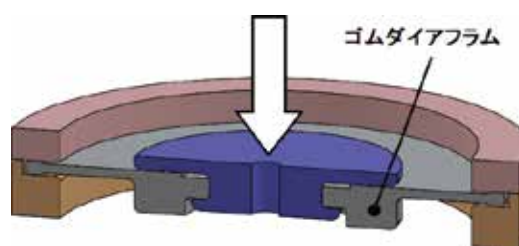


図5 ゴムダイヤフラムの変形

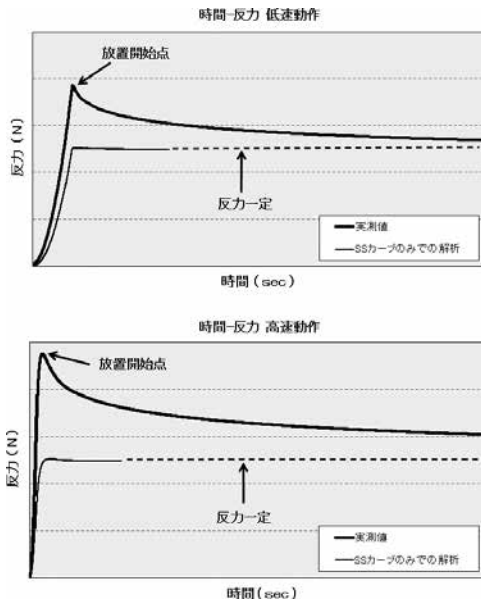


図6 実測値と解析結果（SSカーブ）比較

ブでの解析結果は、ひずみ速度依存性が考慮されていないため、放置後の反力は低下せず一定値となる。また、同じ変位量で変形させているため、異なる速度で解析しても反力は同じ値となる。一方、実測値ではひずみ速度依存性の影響により低速動作よりも高速動作の反力ピークが高くなる。

このように静的なSSカーブによる解析では、実測との差異が現れる。

4.1.3 粘弾性特性の測定と解析データ化

ひずみ速度依存性を解析するためには、粘性と弾性の特性を組み合わせた粘弾性特性を考慮する必要がある。

粘弾性特性の測定は、動的粘弾性試験装置を使用して試験片に正弦波振動となるひずみを与え弾性率を求める。粘弾性特性は速度依存性ととも温度依存性も持つため、時間-温度換算則により各温度での時間と弾性率の関係を求める。この温度ごとの測定結果をシフト関数により水平移動させて一本の線にすることで、解析に使用するマスターカーブが作成される。このマスターカーブをprony級数でカーブフィットし（図7）、得られた係数が物性値となる。

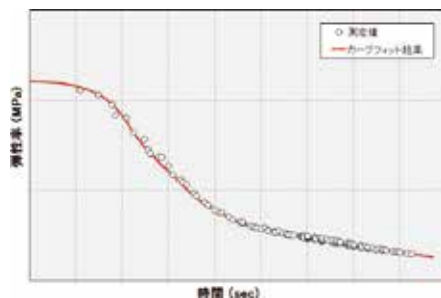


図7 マスターカーブの作成とカーブフィット

4.1.4 測定した物性値での解析

図6で示した静的なSSカーブで行ったダイアフラムの変形解析に対し、粘弾性特性を考慮し解析した結果を図8に示す。

動作速度を変更しても解析値が実測値に追従しており、反力のピーク値も実測値にほぼ一致する。また、動作停止後の緩和域における反力の低下も実測値に近い。

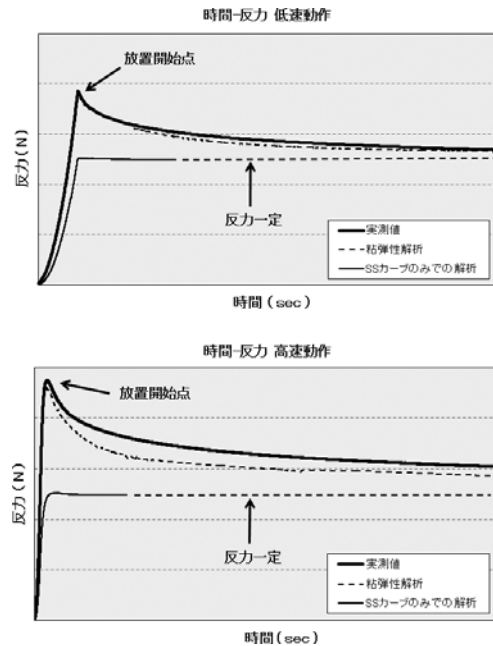


図8 実測値と解析結果（粘弾性解析）比較

このように、粘弾性特性を考慮した解析の有効性が確認できたため、今後は樹脂材料へも展開していく。

5. おわりに

以上当社で実施しているCAE解析の紹介を行ったが、最近では塑性加工や流体+構造、樹脂流動+構造といった連成解析のニーズも増えており、更なる解析のレベルアップが必要である。

また、設計部門においても磁場解析や流体解析で計算時間を要する過渡解析に取り組む機会が増えているため、計算時間短縮化を図り、複数のCPUを使用した並列計算処理が可能なソフトへの移行により開発リードタイムの短縮を目指す。

（原稿受付：2017年12月5日）

解説

シリンダクッションの最適形状 ～ AMESimを用いた品質工学的アプローチ～

著者紹介



た さき けい すけ
田 崎 佳 介
株式会社小松製作所
〒963-0215 福島県郡山市待池台1-1

2007年に株式会社小松製作所入社。油圧シリンダ、アキュムレータ、ギヤポンプの開発等に従事。近年はICT建設機械に使用されるストロークセンサ付き油圧シリンダの機能向上を担当。



かね まる けん じ
金 丸 健 二
株式会社小松製作所
〒963-0215 福島県郡山市待池台1-1

1982年小松ゼノア(株)入社。現在株式会社小松製作所開発本部、油機開発センタシリンダ開発Gr. 建設機械向け油圧機器の開発、量産保守に従事。



い い た に ひ で し
飯 谷 英 史
株式会社小松製作所
〒963-0215 福島県郡山市待池台1-1

1994年に株式会社小松製作所入社。ギヤポンプ、油圧シリンダの開発等に従事。近年は、ギヤポンプ、油圧シリンダの商品力向上と将来技術の開発を担当。

1. はじめに

建設機械の筋肉として使用されている油圧シリンダは、伸びストロークエンドや縮みストロークエンドでの衝撃を緩和するために、クッションという機能が搭載されている装置がある。例えば、油圧ショベルのアームシリンダやブームシリンダの伸び側がこれに該当する。この機能は、ストロークエンド付近で作動油の排出側の開口面積を徐々に小さくすることにより摺動速度を減速させるものである。この減速範囲内ではシリンダ本来の推力が得られないことや、コストの観点から減速範囲は可能な限り短くする事が望まれる。一方、短いストロークの間に急減速をさせては、オペレータへのショックや荷崩れの悪影響があるため、現状ではある程度の長さの減速範囲が必要となっている。

本稿では、システム解析ソフトのAMESimを用い

てロッドクッション作動時の状態を再現し、その上で、各部品の寸法がどの程度減速性能へ寄与しているかを確認することで、減速範囲を短くすることが可能な品質工学的なアプローチで検討すると共に、温度に対するロバスト性も向上可能な検討する。

2. ロッドクッションの構造

ロッドクッションの構造を図1に示す。ロッドが伸びストロークエンド付近になると、ロッド部に設けられたプランジャがシリンダチューブ側に固定されているカラーの内側へ進入することで、ロッド側作動油の流れは次の3経路に制限される。

- ① プランジャとカラーの環状隙間
- ② プランジャ外側のスリット部
- ③ カラーに設けられたキリ穴

①は、開口面積が絞られロッド側の圧力が上昇するとプランジャが内径側から油圧で押されることで径が大きくなり、カラーとの隙間はほぼ0になる。②はスリットが徐々に浅くなっており、伸びストロークエンド最接近付近になると作動油の通り道は③だけになる。このように、段階的に作動油の流路を制限することで車体でのショックを緩和している。

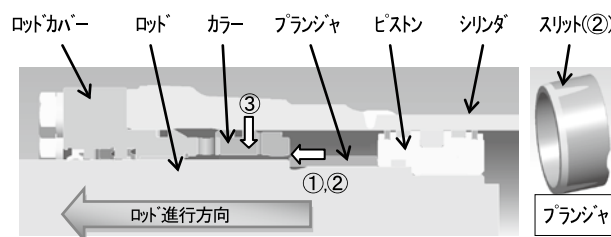


図1 ロッドクッションの構造

3. 解 析

3.1 因子の割付

各因子と水準を表1と図2に示す。

現行に対し形状を変更して縦キリ穴深さも因子に含めた。これはチョーク絞りからオリフィス絞りにすることで温度に対するロバスト性を上げる効果を狙ったものである。また、横キリ穴も因子に追加したが、これは伸びストロークエンドになる瞬間にピストンで塞がれることによる開口面積の減少を狙ったものである。今回の解析上は横キリ穴と表現した

表1 制御因子

制御因子	第一水準	第二水準	第三水準
A: プランジャ外径 環状スキマ	現行	現行1.5倍	—
B: 横キリ穴径	無 (0.01)	中	大
C: 横キリ穴長さ	大	中	小
D: 縦キリ穴径	現行-0.5	現行	現行+0.5
E: 縦キリ穴長さ	現行	現行-5	現行-10
F: 車体側バルブ絞り面積	+10%	現行	-10%
G: スリット面積線図	サインカーブ	現行 (ほぼストレート)	逆サインカーブ
H: スリット長さ (プランジャ長さ)	現行-30	現行	現行+40

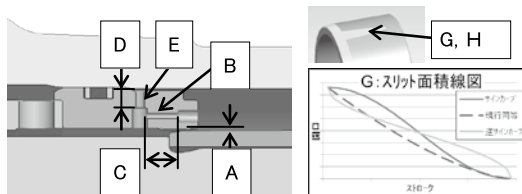


図2 制御因子の割付

- (入力因子) ボトム圧
 (出力因子) ロッド側油圧 (クッション圧)
 (誤差因子) 油温 (低温/高温)

が、同様な開口面積を再現できれば他の手段でも良い。直行表はL18を使用した¹⁾。

出力因子は、ストロークエンド時の衝突速度やオペ加速度等も考えられるが、強度上の観点から本解析ではロッド側油圧とした。

3.2 解析方法

解析モデルは20tクラス油圧ショベルのアームシリンダを採用した。各因子は、図3に示す通り、それぞれの部位の開口をストロークやロッド圧に依存した可変絞り等を組み合わせることで表現した。

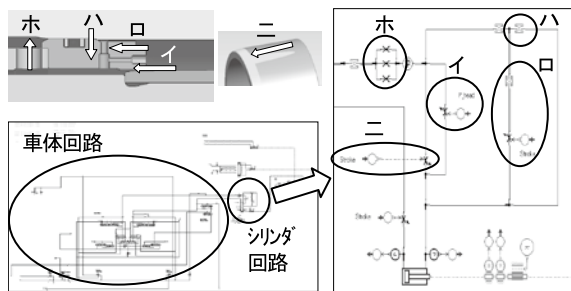


図3 AMESim上での再現

作業機の姿勢は、図4に示す通り、アーム垂直から最大掘削まで操作レバー最大（最大流量）で動かした状態を再現した。

3.3 解析結果

解析結果から計算したSN比と感度を図5に示す¹⁾。

図5より最適水準は表2の通りとなるが、表3に示す通りSN比の利得が推定値と確認値で大きくずれており、再現性（信頼性）が低いことが分かった。

この原因を確認したところ、出力因子にロッド側圧力のピークを採用していたが、図6に示す通り、ひげ状のピークを読み取っているため、結果のバラ

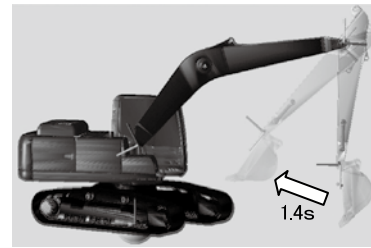


図4 AMESim上での作業姿勢

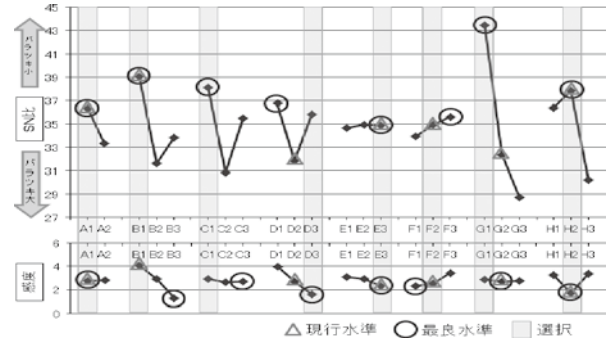


図5 SN比と感度（出力因子：ロッド圧）

表2 最適水準（出力因子：ロッド圧）

制御因子	第一水準	第二水準	第三水準
A: プランジャ外径 環状スキマ	現行	現行1.5倍	—
B: 横キリ穴径	無 (0.01)	中	大
C: 横キリ穴長さ	大	中	小
D: 縦キリ穴径	現行-0.5	現行	現行+0.5
E: 縦キリ穴長さ	現行	現行-5	現行-10
F: 車体側バルブ絞り面積	+10%	現行	-10%
G: スリット面積線図	サインカーブ	現行 (ほぼストレート)	逆サインカーブ
H: スリット長さ (プランジャ長さ)	現行-30	現行	現行+40

表3 最適水準の利得確認結果（出力因子：ロッド圧）

	SN比 (db)		感度 (db)	
	推定値	確認値	推定値	確認値
最適水準	56.72	37.37	1.40	1.14
現行水準	41.32	36.63	3.13	2.91
利得	15.40	0.74	-1.73	-1.76

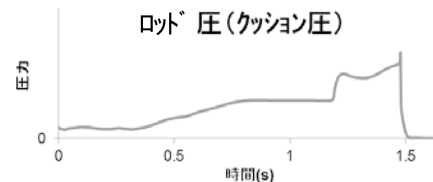


図6 ロッド圧の解析結果

つきが大きくなってしまっていると考えられた。

そこで、より再現性の高いと考えられる作業機が持つエネルギーの変化率を代用出力因子として採用することとした。結果を図7に示す。

図7より、最適水準は表4の通りとなり、最適水準で得られるSN比と感度の利得は表5の通りとなる。ロッド圧を出力因子とした時と比べるとSN比

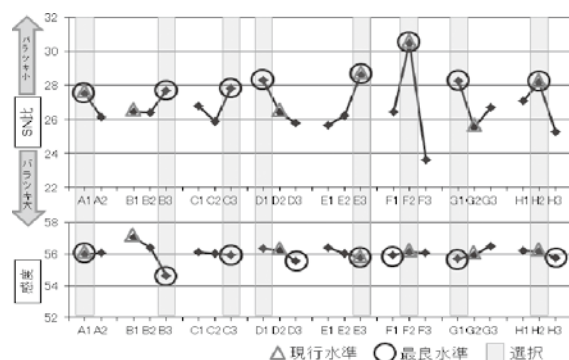


図7 SN比と感度（出力因子：エネルギー変化量）

表4 最適水準（出力因子：エネルギー変化率）

制御因子	第一水準	第二水準	第三水準
A: プランジャ外径環状スキマ	現行	現行1.5倍	—
B: 横キリ穴径	無 (0.01)	中	大
C: 横キリ穴長さ	大	中	小
D: 縦キリ穴径	現行-0.5	現行	現行+0.5
E: 縦キリ穴長さ	現行	現行-5	現行-10
F: 車体側バルブ絞り面積	+10%	現行	-10%
G: スリット面積線図	サインカーブ	現行 (ほぼストレート)	逆サインカーブ
H: スリット長さ (プランジャ長さ)	現行-30	現行	現行+40

表5 最適水準の利得確認結果（出力因子：エネルギー変化率）

	SN比 (db)		感度 (db)	
	推定値	確認値	推定値	確認値
最適水準	39.04	38.06	54.38	54.25
現行水準	29.13	26.55	57.77	57.39
利得	9.91	11.50	-3.39	-3.14

の利得が大幅に改善している事が分かる。この最適水準でのロッド圧とストロークエンド衝突時速度を図8に示す。

図8の通り、最適水準ではロッド圧が約23%低減でき、温度による誤差も約1/4に低減できている。また、ストロークエンド衝突速度も約39%低減できている。これは横キリ穴による効果が得られているためと考えられる。

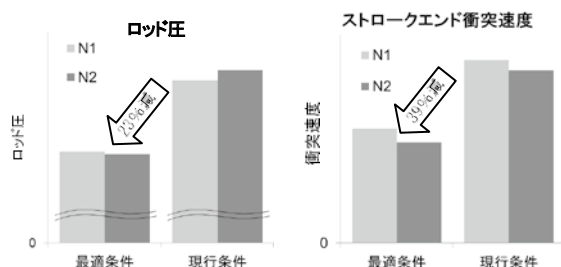


図8 最適水準でのロッド圧とストロークエンド衝突速度

2.4 減速範囲低減の考察

形状の最適化によりロッド圧（≡摺動中加速度）やストロークエンド衝突速度を低減できたため、どこまで減速範囲を短くできるか検討する。最適形状

のまま減速範囲（＝プランジャの長さ）を短くして行き、ロッド圧とストロークエンド衝突速度にどのような影響があるのかを解析にて確認した。結果を図9、図10に示す。図10には横キリ穴の効果が全く得られなかった時と1/2の効果が得られた時の値も追記しておく。

図9、図10に示す通り、ロッド圧、ストロークエンド衝突速度共に減速範囲が-35mmでも現行以下となる。しかしながら、横キリ穴の効果は実際には部品のガタ等により必ずしもシミュレーション通りの効果が得られない可能性がある。ここで、ストロークエンド衝突速度にて横キリ穴の効果が1/2だったと仮定すれば、減速範囲の長さが-20mmで現行と同等となることから、ここまでであれば短くすることができることになる。

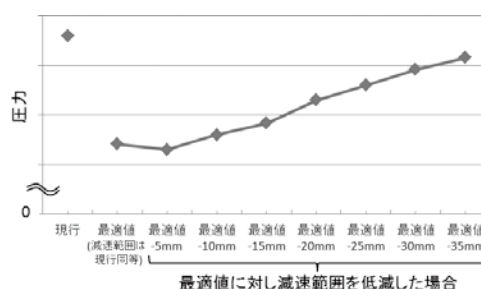


図9 最適形状に対し減速範囲を変化させた場合のロッド圧の変化

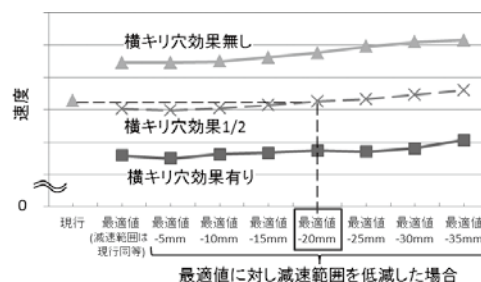


図10 最適形状に対し減速範囲を変化させた場合のストロークエンド衝突速度の変化

4. 結論と今後

AMESimを用いてクッションの最適形状の検討を実施した。出力因子にエネルギー変化率を用いることで最適水準の信頼性を向上させることができた。解析の結果、減速範囲（＝プランジャの長さ）を短くできる可能性があることがわかった。今後は空荷と積荷を誤差因子として解析を実施するとともに、横キリ穴と同等の効果が得られる構造（プランジャのスリットの形状で最適開口面積を実現する等）を検討した上で、実機にて確認していくこととする。

参考文献

- 1) 立林和夫：入門タグチメソッド，日科技連出版社，p.81-87（2004）

（原稿受付：2018年1月22日）

解説

深層学習を応用した油圧システム設計における テスト設計プロセス

著者紹介



よこ しま やす のり
横島 靖典

シーメンス株式会社
〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内3-7-13
いちご丸の内ビル8階
E-mail : yasunori.yokojima@siemens.com

2003年京都工芸繊維大学より博士（学術）を取得、2010年より現職。



なか ざわ とし ひこ
中沢 俊彦

シーメンス株式会社
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜3-1-9
アリーナタワー 14階
E-mail : toshihiko.nakazawa@siemens.com

2008年東京大学より博士（工学）を取得、2008年より現職。

1. 背景

油圧システムは、多様な動作条件で長期にわたり安定して稼動する必要がある。予期せぬ挙動や不具合の発生を防ぐために、開発段階において多くの試験を実施することが求められる。

シミュレーションを利用することで、設計段階において仮想的に製品を試作し、多数のテストを再現性をもって実施することができる。この多数のテスト結果の統計的な性質に基づき、テストシナリオの類似性と網羅性を検証することで、テスト設計プロ

セスの改良が可能であると考える。

2. テスト設計のコンセプト

本稿では開発の初期段階において、システムの仕様や過去の知見、実験計画法などによって多数のテストが用意されているものと仮定する。またシステム構想の表現として数値計算モデルが存在し、多数のテストが実施できることを想定する。ここで以下を実施し、テスト設計プロセスの改良を試みる。

- I. テストシナリオに対するシステム挙動を学習器に学習させ、その挙動パターンを低次元の潜在空間における点としてエンコーディングする
- II. テストの類似性を潜在空間における点間の距離として数値化し、類似性が高いものを間引く
- III. 新たなテストを考案した際、そのテストシナリオがもたらすシステム挙動と、学習済みの挙動パターン分布の距離に着目し、テストシナリオの新規性を評価する

3. 対象システムと学習データ

油圧、機械、および制御からなる油圧駆動アームの開発を想定する（図1）。各アーム動作パターンとモデル内部パラメータを変えたテストシナリオのバリエーションを用意した（表1）。数値計算中、図に示した3点の圧力を一定時間間隔で保存し（図2）、正規化の上、学習器に入力した。

表1 テストのバリエーション：周期、上げ、下げの3アーム動作について、パラメーターが異なるテストを合計13,600ケース作成

Arm behavior	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4	# of tests
Periodic	Frequency 10	Initial phase 10	Pump speed 20	Valve sliding resistance 2	4,000
Up	Up command speed 3	Command delay parameter 5	Pump speed 20	Valve sliding resistance 16	4,800
Down	Down command speed 3	Command delay parameter 5	Pump speed 20	Valve sliding resistance 16	4,800
					13,600

ンコーディング、入力の特徴が学習されていると見ることができる。

エンコーディングによって入力データの特徴が捉えられ、その特徴に応じて潜在空間の点が割り当てられる。したがって入力データの特徴が類似している場合には、潜在空間の点間距離が近くなる(図5)。

II. システム状態に着目したテスト削減

潜在空間での点間距離に着目し、同様の状態変化をもたらすテストを間引くことで、テストの冗

長性を取り除くことを考える。

以下の三次元散布図は、潜在変数分布の三次元断面である(図6)。一つの状態点を間引くとともに、その状態をもたらしたテストを削除する。状態点を間引いたことで分布の濃度は低下するが、全体の分布形状は維持される。これは、3点の圧力点への影響という視点において、距離の閾値を調節することで、油圧システムのユニークな状態変化をもたらすテストを抽出できることを意味する。たとえば閾値を0.5とした場合には、92%の

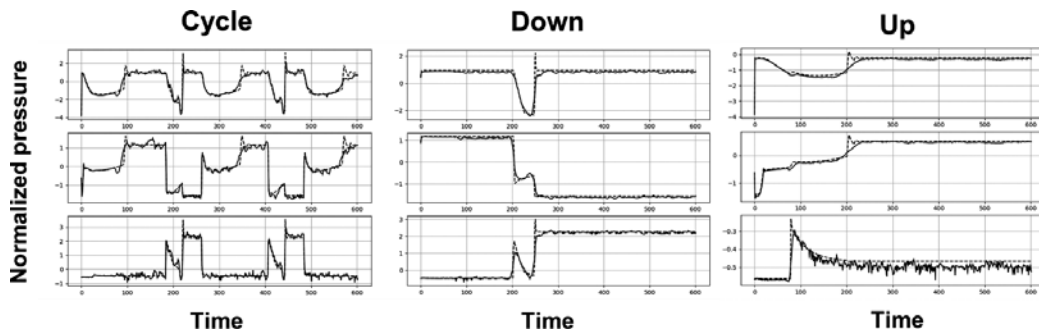


図4 入力信号の再構築：点線は入力データ，実線は再構築されたデータを示す。図はそれぞれ、左：周期，中央：下げ，右：上げに対応する。入力したデータはトレーニング時には使用していない

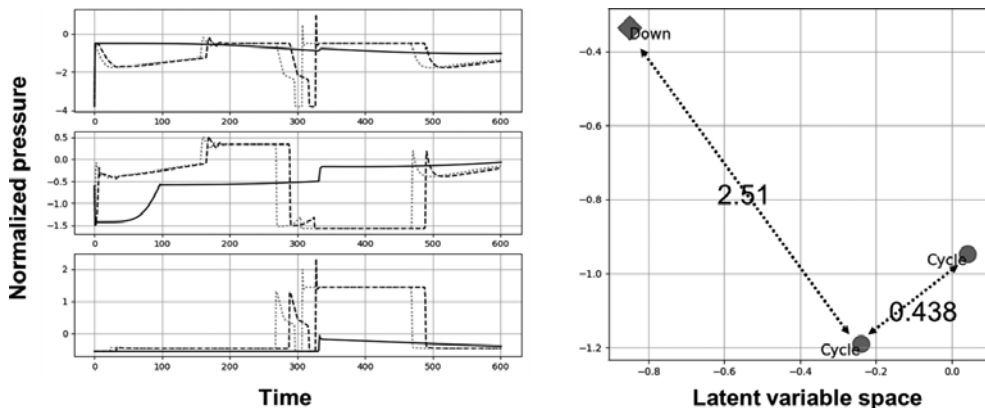


図5 潜在空間の点間距離：左図の点線（二種類）は周期、実線は下げのときの圧力時系列データを表す。右図はこれらをエンコーディングした4次元空間の点について、2成分を取り出してプロットしたものである。入力パターンが類似している場合には潜在点間の距離が近くなる。

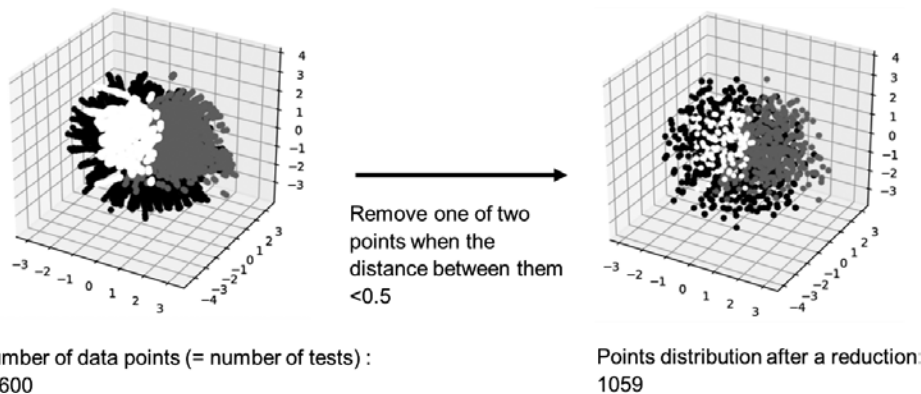


図6 潜在空間の3次元断面：各点は色が濃い順にそれぞれ周期、上げ、下げのテスト結果に対応する。左図はすべての圧力サンプルデータをエンコーディングした結果、右図は類似した点を間引いた結果を示す。

テストは類似性があると判断でき、テストセットを元の8%まで削減することができる。

III. テストの新規性評価

学習済みのパターンと異なる入力に対して、コスト関数VLBは大きな値を出力する(表2)。新しいテストを考えたとき、圧力変化からVLBの値を見積もることで、学習済みの状態変化分布と、新しいテストによる状態変化がどの程度乖離しているか、つまりテストの新規性を測ることができる。新規性の高いテストを探索することにより、システムの新しい変化をもたらす試験パターンを作ることが考えられる。

表2 入力に対するVLBの値：上の3行は既知のパターンに類似した入力、下の3行は未知のパターンを表す。

x	$L(x)$
Periodic (new data not exposed in training)	3.96
Down (new data not exposed in training)	-0.630
Up (new data not exposed in training)	-1.19
Constant 0	10.4
Constant 0.85	18.6
Random noise (Gaussian)	19.0

6. 本コンセプトの展開と応用

設計対象システムのユニークな状態をもたらすテストを設計することで、システムを網羅的に刺激し、

設計品質を向上することが期待される。上に述べた手法によって得られたテストシナリオとVLBは、システムの仕様を規定するものと見ることができる。開発が進み試作が完成すれば、同じテストパターンを試作に対して実施し、圧力を計測することにより、設計時と異なる状態変化をVLBによって検出し、対策を講じることができる。

システムを網羅的に刺激するテストを開発することにより、設計の抜け漏れや想定外のシステム異常を防ぐ設計を行うことが期待される。

参考文献

- 1) Diederik P Kingma and Max Welling, Auto-encoding Variational Bayes, ICLR, 2014.
- 2) Carl Doersch, Tutorial on Variational Autoencoders, arXiv preprint arXiv:1606.05908, 2016
- 3) TensorFlow, <https://www.tensorflow.org>
Keras, <https://keras.io>
- 4) Junwon An and Sungzoon Cho, Variational Autoencoder based Anomaly Detection using Reconstruction Probability, Technical report, 2015.
- 5) M. Solch, J. Bayer, M. Ludersdorfer, and P. van der Smagt, Variational inference for on-line anomaly detection in high-dimensional time series, arXiv preprint arXiv: 1602.07109, 2016.
- 6) Hiroki Kurotaki, Kotaro Nakayama, Masatoshi Uehara, Ryohei Yamaguchi, Yoshimasa Kawazoe, Kazuhiko Ohe, and Yutaka Matsuo, Diagnosis support from Chest X-ray pictures with Deep Network深層学習による胸部X線写真からの診断補助, JSAI, 2017.

(原稿受付：2018年1月9日)

解説

オートマチックトランスミッション開発における 流体最適化事例

著者紹介



やま ぐち たけし
山口 健

アイシン・エイ・ダブリュ株式会社
〒444-1192 愛知県安城市藤井町高根10
E-mail: i23962_yamaguchi@aisin-aw.co.jp

1995年アイシン・エイ・ダブリュ株式会社入社。入社後トルクコンバータ設計・開発、CFD技術の導入などに従事。現在はCFDの応用研究が主なテーマ。博士（工学）。

1. はじめに

図1は、弊社の主力製品であるオートマチックトランスミッション（以下、A/T）の断面図である。一見、機械の塊のように見えるが、実はフルードパワーの力無しでは制御できない、立派な流体機械である。筆者は入社以来、数値流体力学（Computational Fluid Dynamics, 以下CFD）技術をA/T設計に応用する研究を続けてきた¹⁾。CFDの認知度が上がり、設計現場でも利用が進むと、より良い設計を目指してCAE（Computer Aided Engineering）を利用した最適化設計という新たなチャレンジが始まった。本稿では、過去に筆者が行った流体最適化について2例紹介する。

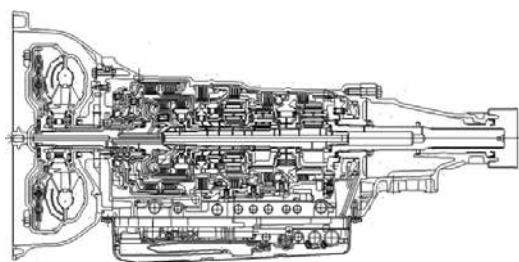


図1 A/T断面図

2. 形状最適化その1

構造物を最適化する場合、最適化には次の3つの方法がある。寸法最適化、形状最適化、トポロジー最適化である。今回は、形状最適化についての具体例を示す。筆者が初めて流体解析に最適化計算を応

用したのは、2006年である。当時は、最適化問題とは何か？から勉強を始めたのを記憶している。

図2は、A/T内部品の1つであるピニオンシャフトの流体解析モデルである。回転するシャフト軸心からオイルが流入し、2つの出口から流出する。

シャフトの回転軸は、オフセットされており、シャフトは、回転軸に対して公転運動する。ピニオンシャフトの大きな役割の1つがシャフト内部を通して、潤滑用オイルを供給する事にあり、これら2つの出口流量バランスが焼け防止に重要となる。最適化を利用して適正な流量バランスを得るための出口角度、出口の位置を求める事が本計算の主旨である²⁾。

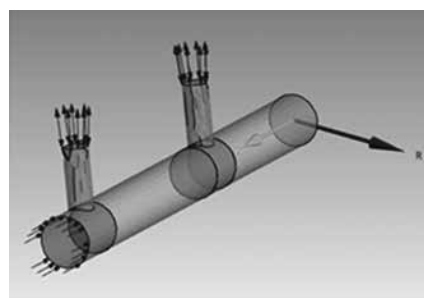


図2 ピニオンシャフト解析モデル

流体解析にはCFX11.0³⁾を用い、定常計算を行った。その結果を最適化ソフトVisual DOC 6.0⁴⁾と組合せた。シャフト本体と2つの出口は、それぞれ独立したドメインとして作成し、全長60mmのシャフトに対して、図3に示すように軸方向に最大15mm、図4で示すように52.2mmオフセットされて回転するシャフトの回転方向に360度移動できるようCFXのGGI機能を使い定義し、これらの移動量を拘束条件とした。流量バランスと2つの出口角度、位置の関係がどのように変化するかを調査するため、数々のパラメータを変化させて最適化計算を行った。以下に最適化計算結果の1例を示す。

シャフトの入口流量を固定し、上流出口と下流出口の流量バランスが51:49になることを目的関数として計算を行った。更に、最適化解法による違いを調査するため、様々な手法を試した。表1に最適

化解法と解析結果を示す。なお、それぞれの最適化計算において解が変化しない状態を最適解とみなし、CFDの実行回数をカウントした。一般的な勾配法や応答曲面法では、CFD実行回数は20~40回程度であったが、目標値（上流出口の流量バランスが51）に関しては、誤差が0.5%程度出た。一方、大規模探索手法のPSO（Particle Swarm Optimization）は、誤差が0.003%とほぼ正解を導き出した。しかしながら、CFDの実行回数が3,700回近くと他の手法と比べて2ケタも計算回数が多く、あまり実用的とは言えなかった。図5に最適化後の出口の構造的変化を示す。出口角度、入口からの距離が図2の最適化前の状態と比較して、かなり移動していることがわかる。

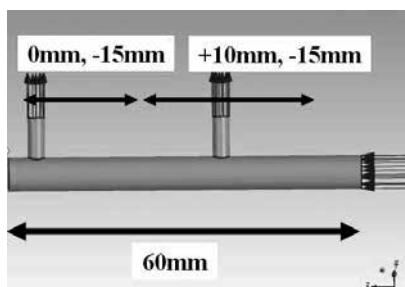


図3 軸方向移動距離

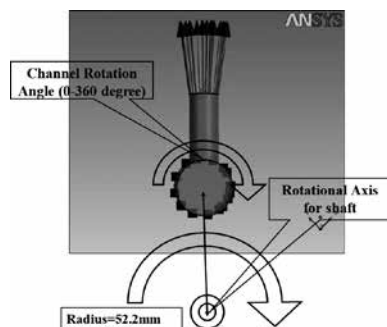


図4 回転方向移動距離

図5で示した最適化後の構造もシャフトの回転数、入口流量が変われば大きく変化する。すべての運転点において最適形状を求めるのが、いかに難しいかを考えさせられる結果となった。現在の最適化技術の進化を考えれば、かなり稚拙な解析だが、CFDと最適化について非常によく学ぶことができた事例であった。

表1 最適化解法の精度比較

解法	CFD 実行回数	目標値 (51)	誤差 (%)
Gradient Base (default)	34回	50.561	-0.439
Gradient Base (勾配計算法: 中心差分)	46回	51.038	+0.038
RSM (default)	23回	50.499	-0.501
RSM (サンプリング手法: ラテン超方格法)	23回	50.499	-0.501
RSM (近似手法: テイラー級数近似)	13回	50.453	-0.547
RSM (近似手法: 実験計画1次)	18回	50.541	-0.459
PSO (Particle Swarm Optimization)	3,688回	51.003	+0.003

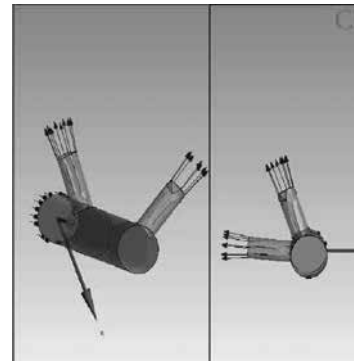


図5 最適化後の解析モデル

3. 形状最適化その2

次にオイルポンプ（以下、O/P）の形状最適化について述べる⁵⁾。現在のA/Tに搭載されているO/Pは内接ギヤ方式が主流である。O/P効率はA/T効率と直結しており、A/T効率悪化の一番の要因となるのがO/P効率低下である。そこで最適化を用い、O/Pの効率向上を試みた。しかしながら、O/P詳細モデルでの最適化計算は、時間的制約から現実的でないと考え、メッシュ数を抑え、解析対象を簡易化した計算モデルを用意した。本計算で行うモデルは、O/Pのボディクリアランスをゼロとし、サイドクリアランスは、片側のみに集中させた。また、実際のサイドクリアランスの10倍の厚みを設け、計算が不安定になるのを防止した。図6に解析モデルの全体図を示す。

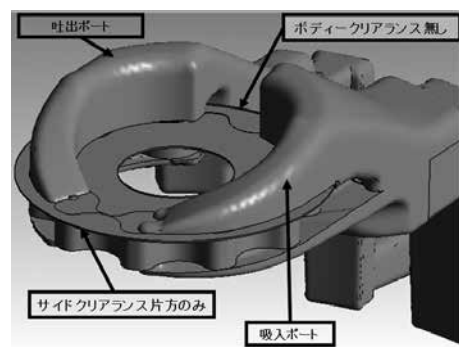


図6 オイルポンプ解析モデル

O/P内には、構造上それぞれのクリアランスを通じてオイルが高圧側から低圧側へ漏れていく。この漏れがO/P効率低下の1つの要因であり、この漏れ量を減少させれば、吐出量増加に繋がると考えた。漏れ量自体の評価が困難なことから、最適化の目的関数を吐出量最大と定義した。設計変数は、解析メッシュ形状を直接変形させるモーフィング技術を利用して吸入・吐出ポートの形状変化を定義している。流体解析に用いた計算ソフトは、CFX11.0、計

算モデルのメッシュ総数は40万要素、乱流モデルにはSSTを用いて非定常計算を行った。また、最適化ソフトには、Visual Doc 6.0を使用し、最適化の解法には応答曲面法を選んだ。境界条件としては、ギヤの回転数2,000rpm一定、吸入、吐出圧力は共に0 kPaとした。

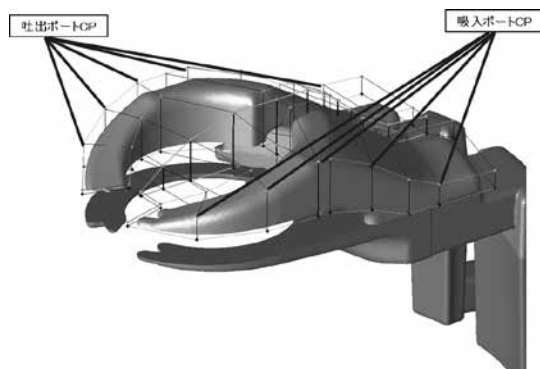


図7 モーフィング用コントロールポイント

図7にモーフィング用のコントロールポイントを示す。このコントロールポイントを上下、左右に動かすことで、リメッシュを行うことなくスムーズに形状変更を行うことが可能となった。移動距離には、1 mmという制約を設けた。このモーフィングにはSculptor⁶⁾というモーフィングソフトを用いた。吸入ポート側と吐出ポート側に20個配置されたコントロールポイントからそれぞれ5個を選び、最適化計算を実行した。従来の吐出量計算は、経験上ドライブギヤの3周期分を計算し、最後の2周期分データを平均し吐出量を求めていた。しかしながら、本最適化計算では、メッシュ数をかなり抑えたものの、3周期分のCFD計算時間が45時間を超えることが判明した。そこで、吐出流量が安定して流出されると判断できるポイントを規定し（結果的には、ギヤ半周期分）その位置での吐出量を最大化することを目的関数とした。これらの工夫により、1回のCFD解析時間を7時間に抑えることができた。結果として最適化デザインサイクルは5回で収束し、CFD計算は、26回実行された。最適化計算で得られた形状を従来方法で3周期分計算したところ、5%もの吐出量の増加がみられた。図8に最適化前の形状、最適化後の形状を示した。吐出ポートの中間部、吸入ポートの中間部のそれぞれ黒線で囲まれている部分の形状が最適化後では、よりスムーズな形状になっていることがわかる。この形状変化により、O/P内部の漏れが減り、吐出量が増加したと考えられる。

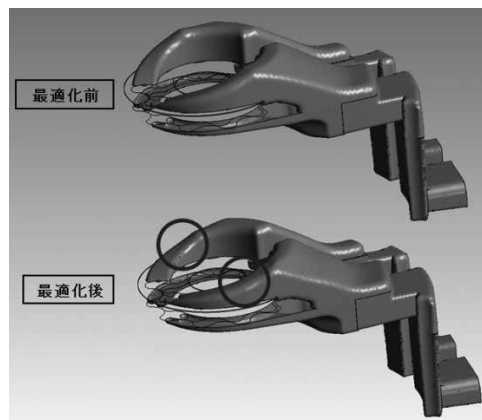


図8 最適化前後 形状比較

4. おわりに

弊社で行った流体最適化の一部を紹介した。流体最適化を始めて10年近く経つ。しかしながら、現在でもCFDの計算時間がボトルネックとなっているのが実情である。特に、オイルポンプの事例のように非定常性を伴う部品であると設計への応用は計算時間的にかなり厳しい。ここ数年でのCFD計算速度の向上、最適化アルゴリズムの高速化により流体最適化の進化は実感できるが、弊社では、未だに設計プロセスに組込まれるまでには至っていない。今回紹介した事例2つは、いずれも入力条件として一定の入力値を与えているが、現実のA/T運転範囲というものは非常に幅広く、その時々に対応した入力条件が必要となってくる。多目的最適化の適用も考えられるが、扱える目的関数には限界があり、更に計算負荷も増加するため、なかなか手を出せずにいる。今回は、紙面の都合上紹介しなかったが、CFD計算が1回程度で済むAdjoint法を使ったトポロジー最適化も近年盛んに行われてきている。まだまだ課題もあるようだが、計算負荷という点では魅力的な最適化手法である。より良い設計手法について試行錯誤が続く毎日である。

参考文献

- 1) 山口：フルードパワーシステム2013年3月
- 2) 山口：DAIZO Seminar 2007「設計最適化セミナー」
- 3) <http://www.ansys.com/>
- 4) <http://www.vrand.com/>
- 5) 山口：Vinas User Conference 2007
- 6) <http://gosculptor.com/>

(原稿受付：2017年11月28日)

解説

外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバーの 応答性改善

著者紹介



うえのかずお
上野 和生

KYB株式会社
技術本部CAE推進部岐阜分室
〒509-0298 岐阜県可児市土田2548
E-mail: ueno-kazu@kyb.co.jp

1993年福井大学大学院工学研究科産業機械課程修了。1993年KYB株式会社入社、生産技術研究所を経て、2010年CAE推進部に異動。現在に至る。流体、構造、伝熱、電磁場、振動等の解析業務に従事。



まつしたゆうすけ
松下 雄介

KYB株式会社
オートモーティブコンポーネンツ事業本部
サスペンション事業部技術部第二設計室
〒509-0298 岐阜県可児市土田2548
E-mail: matsushita-yuu@kyb.co.jp

2007年成蹊大学工学部機械工学科修了。2007年KYB株式会社入社、製品企画開発部に配属後、2010年サスペンション技術部（現サスペンション事業部技術部）に異動、国内自動車各社向け設計業務に従事。

1. はじめに

近年、自動車において、操縦安定性と乗り心地を両立するため、減衰力調整ショックアブソーバーを（以下減調SA）搭載した車両が増加しつつある。

今回対象としたのは、無段階に減衰力調整できる比例ソレノイドバルブを製品外側に搭載した減調SA（以下外付け式SOL減調SA）である。

製品の初期開発品は、減衰力切替応答性が要求品質に達していなかったため、電磁場解析を活用した改善活動を行うこととなった。

2. 製品構造

ショックアブソーバーの外側に設置したソレノイド制御弁（以下SOL弁）に油を導くためにシリンダ・中間パイプ・アウターシェルで構成される3重管の構造となっている。伸工程と圧工程を1つのSOL弁で減衰力を調整するために、作動油の流れをユニフロー（一方向流れ）とした。

ピストン・ベースバルブはチェック弁になってお

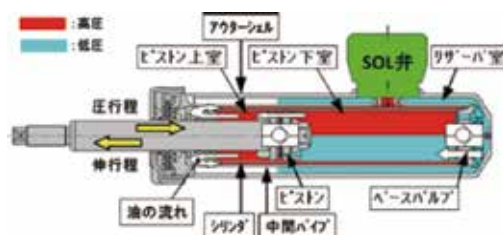


図1 3重管ユニフロー構造

り、減衰力は主にSOL弁で発生させる。

3. 減衰力切り替え応答性への寄与率

応答性に関する試験結果を分析することによりSA本体（図1におけるSOL弁以外）は、応答性への寄与率は低く、SOL弁の寄与率が高いこと、中でもソレノイドの寄与率が高いことがわかった（図2）。

そこで、ソレノイドの磁場解析により応答性を改善する方法を検討することとした。

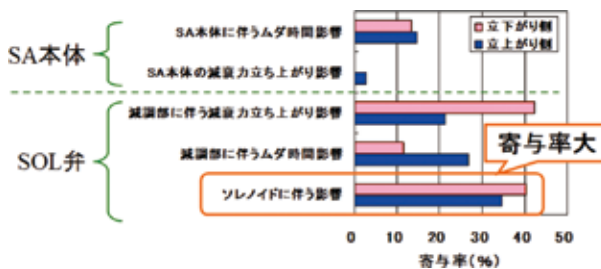


図2 減衰力切り替え応答性の寄与率

4. 解析モデル

ソレノイドの過度磁場解析モデルと電流制御のためのPWM制御のプログラムを汎用有限要素法解析プログラムのスクリプト言語を用いて作成した。

解析モデルは、パラメトリックに寸法を変更できるよう簡略化したモデルとした。

対象のソレノイドはPWM制御のデューティ比を決めるためにPI制御を用いており、この点も解析で再現した。

さらに、渦電流、及び、磁気飽和も考慮した。

5. 解析モデルの検証

解析プログラムの妥当性を確認するために、PWM制御有りの場合と無しの場合における、時間と電流の関係の比較を行った。

図3に、解析結果の一例を示す。

図4は、実験結果の出力図の上に、スケールを合わせて解析結果のグラフを重ね書きしたものである。

PWM制御有無にかかわらず、解析結果は実験結果の応答性の傾向を良く再現できており、今回作成したモデルが実用上問題無いことが確認できた。

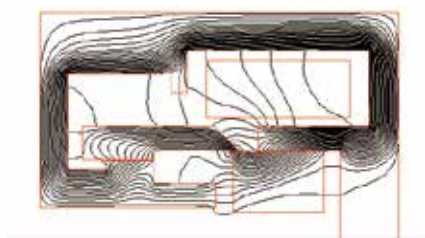


図3 解析結果の例（磁束線図）

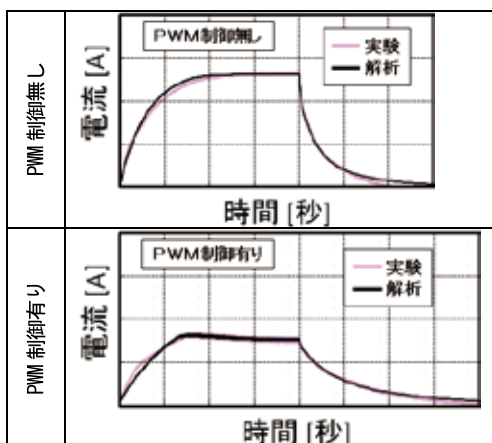


図4 実験と解析の比較

6. 実験計画法による事前評価

図5は同一条件における吸引力と電流値の解析結果である。立ち上がりは吸引力の方が応答性が悪く、立下りは電流の方が応答性が悪い。

各因子の傾向を把握し、よりの確に品質工学を適用するために、事前に実験計画法（L16）による評価を実施した。その結果を図6に示す。

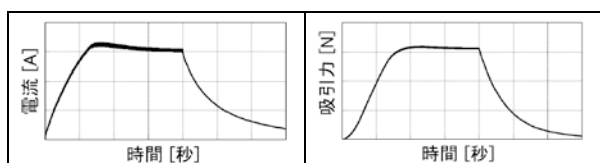


図5 同一条件における電流と吸引力の解析例

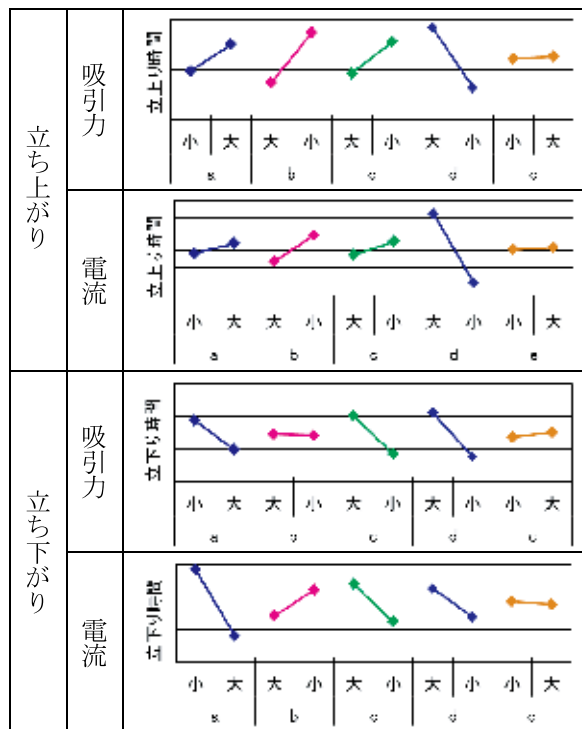


図6 応答性の要因効果図比較

電流と吸引力の応答性の要因効果図は近い傾向にあり、電流の応答性を改善すれば、吸引力の応答性も改善できる可能性が高いことが分った。

7. 品質工学の適用

7.1 基本機能

ソレノイドの応答性の理想は、波形の立ち上りおよび立下りが瞬時に行われることである。図7に示したように、矩形波を目標曲線とし、それに近づく条件を標準SN比で求めることとした。

解析には、設定した吸引力となるように電流設定値を自動調整するプログラムを用いたため、ロバスト性が低い場合は、電流波形が誤差因子間で大きくばらつくことになる。

今回は、目標曲線を標準状態N0とし、ノイズ条件であるN1～N8における電流波形を標準状態N0に近づけることで、ロバスト性向上と応答性向上を同

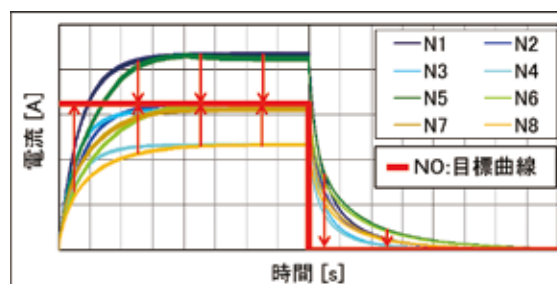


図7 基本機能の概念

時に達成できると考えた。

7.2 誤差因子（ノイズ）

バラツキが影響すると考えられる3因子について直交配列（2水準）して得られた8水準（N1～N8）を誤差因子とした。

7.3 制御因子

製品において調整可能な8因子を制御因子とした。これをL18直交表に割り振った。

7.4 解析結果

図8に、L18直交表の全条件（18×8条件）の解析結果を示す。条件によって、電流値の大きさや、立ち上がり、立ち下がりへの応答性が大きく異なっていることがわかる。

図9に要因効果図を示す。要因効果図より、因子Hが応答性への影響が特に大きく、因子Bおよび因子Gも影響していることが分かった。

図10に参照条件と最適条件の解析結果を示す。最適条件は、立ち上がり、立ち下がり共に応答性が向上している。なお、吸引力の設定値に合うように電流値を自動調節するプログラムを用いているため、両図の電流の絶対値は異なる。

表1にSN比の再現性確認結果を示す。推定値と確認結果の利得差は0.26dbと小さく、利得の再現性は高いことから、解析結果は信頼できると考える。

これらの結果から、応答性を向上し、ノイズに対してロバスト性を向上させるための知見を得ることができた。

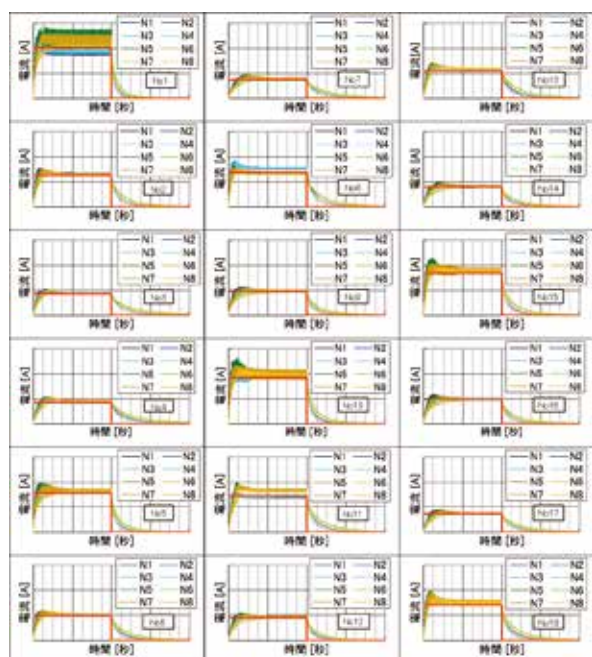


図8 解析結果一覧

なお、図10の最適条件は波形が振動しているが、これは応答性が高い条件において見られた現象であり、PI制御のパラメータを調整することで改善できることを解析上で確認済みである。



図9 解要因効果図

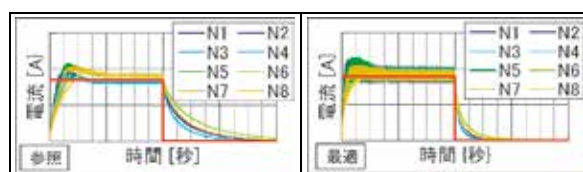


図10 参照条件と最適条件の解析結果（電流値）

表1 再現性確認 [db]

条件	推定値	確認結果
最適条件	61.47	61.78
参照条件	56.26	56.31
利得	5.21	5.47

8. おわりに

本開発で得られた知見によるソレノイドバルブの応答性改善策が盛り込まれた外付け式SOL減調SA（図11）は、2016年より量産が開始され、今後も採用車種・生産数ともに拡大が期待される¹⁾。



図11 外付け式減調SA外観

参考文献

- 1) 鎌倉亮介, 古田雄介, 森俊廣, 冨田浩平: 外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバーの開発, KYB技報 第55号 (2017年, 10月)

(原稿受付: 2017年12月15日)

解説

品質工学を用いたサスペンション設定の最適化

著者紹介

いちのせ まさのり
一野瀬 昌 則(株)日立製作所研究開発グループ
〒312-0034 茨城県ひたちなか市堀口832-2
E-mail: masanori.ichinose.wj@hitachi.com1992年筑波大学大学院理工学研究科修士課程
修了。同年(株)日立製作所入社。現在に至る。メ
カトロニクス制御、車両運動力学の研究に従事。
日本機械学会などの会員。

1. はじめに

近年の計算機性能の目覚ましい向上により製品開発においてもIT化がキーワードとなり、パーソナルコンピュータを活用した開発設計工数の低減やCAE技術の導入によるデジタル試作化など、解析主導設計の手法を取り入れた設計技法の改革が広く浸透してきている。本研究では、近年その適用が加速されている解析主導設計を鉱山用ダンプトラックのサスペンション設計に適用し、ダンプトラック車両全体の詳細な機構解析モデル化を図って机上での車体挙動の検討を実現する。また、前述の機構解析モデルと品質工学手法を組み合わせることで少ない探索試行回数で最適設計パラメータの探索を実現し、膨大な計算時間を掛けることなく最適な設計パラメータを得ることができる。

本研究では機構解析ツールを用いてダンプトラック車両全体のモデル化を行ない、車両挙動の再現と検証を行った。この機構解析モデルを用い適正化したい部分のモデル定数を変更して解析を繰り返すことで設計パラメータの決定を行なうことができるため、機構解析モデルの活用により実機なしで製品のチューニングを行なうことが可能となる。本研究ではこのモデル定数の変更配分の実験計画法やタグチメソッドなど品質工学の考え方を適用することにより少ない探索空間の中から適切なパラメータの組合せを抽出し、最適化を実施することができた。本解説記事では、鉱山用ダンプトラックの機構解析モデル化と最適化手法について述べる。

2. 鉱山用ダンプトラック概要

本研究で対象とする鉱山用ダンプトラックについて簡単に紹介する。鉱山用ダンプトラックは鉱山で掘削した鉱石を含む大量の土砂を運搬するための超大型のダンプトラックであり、保守費用低減や制御性向上および高効率化のためにディーゼルエンジンで発電した電力による電気駆動方式を採用している。本研究の対象機種は日立建機(株)製で、車両全高が約7mという超大型の車両である。本ダンプトラックは通常の自動車用サスペンションとは異なり作動油とガスを封入したサスペンションストラットを各輪に装着しており、作動油の圧縮とオリフィス流れにより所望のばね剛性およびダンピング特性を得る構造になっている。この作動油とガスの量や配分、オリフィスの径などを適切に設定することにより積載時および空荷時両方の操縦性や乗り心地を確保することが求められるが、油の圧縮特性など非線形性を含むことから乗り心地性能を支配するサスペンションの動特性を事前に検討することは困難である。

3. 車両の機構解析モデル化

前述したようにサスペンション動特性の検討は困難であるが、本車両のような大型機械では実機試験に多額の費用と長い試作期間を要するため、車両をマルチボディ機構解析モデル化してシミュレーションを行なうことで、実機試作なしで事前にサスペンション性能の検討を行なえるようにした。本研究における車両の解析モデル外観を図1に示す。

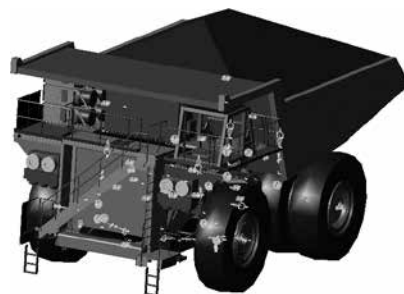


図1 車両のマルチボディ機構解析モデル

3.1 サスペンション機構モデル

本モデルではサスペンション部分を特に詳細に再現することで、乗り心地性能の評価を行なえるようにした。前輪のサスペンション部分のモデル化の様子を図2に示す。図のようにサスペンションの詳細形状をCADデータから取り込み、各部の拘束条件や重量、ストラット特性を定義することで実際の動きに即した機構解析モデルを構成した。

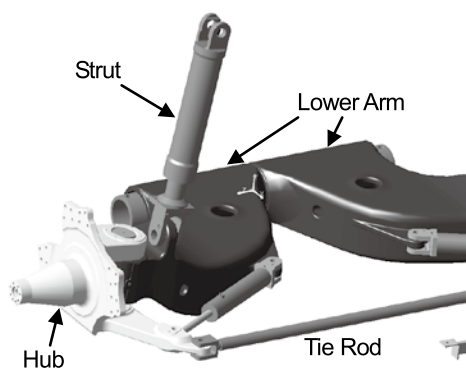


図2 サスペンション機構モデル

3.2 ストラット特性モデル

前述したように鉱山用ダンプトラックのサスペンションストラットは作動油の圧縮とオリフィス流れにより所望のばね剛性およびダンピング特性を得ているが、このストラットの特性がサスペンション特性を決定付けているため、この部分のモデル化は特に重要である。図3にサスペンションストラットの構造を示す。サスペンションストラットはシリンダ中にガスと作動油が充填されており、ピストンロッドの伸縮によりシリンダ体積が変化してガスと作動油の圧力が変化する。また、ピストンロッドの伸縮と共にロッドに開けられたオリフィスを通して作動油が移動し、その際に減衰力が発生する。

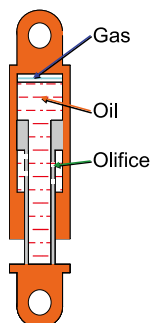


図3 サスペンションストラットの構造

機構モデル中ではストラット特性を非線形ばねと非線形減衰要素で表現しており、これらの非線形特性を表す関数を求めることでモデル化を実現する。前述のようにばね特性はガスと作動油の圧縮により

生じるが、ストラットの中立位置はゆっくりとした変化による等温圧縮によるので、初期セット位置からのストローク変化 Δl は

$$\Delta l = \frac{\Delta V_{gas} + \Delta V_{oil}}{S_{rod}} \quad (1)$$

となる。ただし、

$$\Delta V_{gas} = V_{g0} \left(1 - \frac{P_0}{P_n} \right) \cdots \text{等温圧縮の体積変化} \quad (2)$$

$$\Delta V_{oil} = \frac{P_n - P_0}{k} V_{o0} \cdots \text{液体圧縮の体積変化} \quad (3)$$

ここで V_{g0} 、 V_{o0} は初期圧力 P_0 のガス体積とオイル体積、 k は体積弾性係数、 S_{rod} はロッド面積（＝シリンダ面積－ピストン面積）である。また中立時圧力 P_n は

$$P_n = \frac{F_n}{S_{rod}} \quad (4)$$

であるから、所望の静荷重 F_n に対するストローク変化 Δl を求め、車両静止時のストラット中立位置を求める。一方走行中のストラットのストローク変化 Δl も同様に式1～4で求められるが、ストラットの変化は速い動きによる断熱圧縮によるので中立位置でのガス体積を V_{gn} とおけば

$$\Delta V_{gas} = V_{gn} - \left\{ (V_{gn})^\gamma \frac{P_n}{P} \right\}^{\frac{1}{\gamma}} \quad (2')$$

のガス体積変化部分が異なる。このガスの断熱圧縮を伴うストラットの荷重変化とストロークの関係（ばね特性）を無次元化したものを図4に示す。

一方減衰力はピストンロッド移動による作動油の流れに伴う圧力変化により生じ、減衰力 F_{damp} は

$$F_{damp} = \Delta P \cdot S_{piston} \quad (5)$$

で表される。ここで ΔP はピストン上下の圧力差である。圧力差はピストンが速度 v でストロークした時の体積変化 $v \cdot S_{piston}$ によりオリフィス部に生じる流れの圧力損失に相当する。管路長 d 、管路長 L 、オリフィス流量を q とすると、オイル絞り抵抗は

$$q = C_d \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (6)$$

オイル管路摩擦は

$$q = \frac{\pi d^4 \Delta P}{128 \mu L} \quad (7)$$

であるので、これらの式からストラットのオリフィス構成に合わせて ΔP を算出し、式5に基づき減衰力を求める。結果を図5に示す。

これらの式によって求められるばね力および減衰力を図4、5のようにあらかじめ計算しておき、これを非線形特性カーブとして機構解析モデルに入力する。

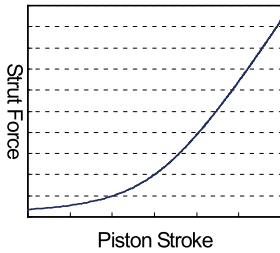


図4 ストラットのばね特性

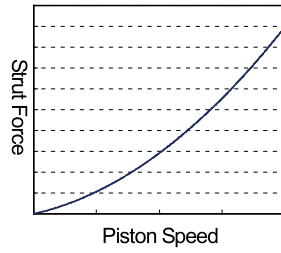


図5 ストラットの減衰特性

4. 品質工学手法を用いた最適化

4.1 最適化手法

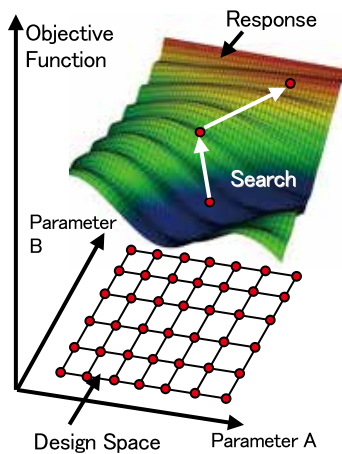


図6 最適化プロセス

最適化とは図6のように複数の制御因子（設計値）による設計空間の中から、設計の評価値である目的関数（縦軸）を最適化する制御因子の組合せを抽出することである。すべての因子において設計可能な範囲を満足しながら目的関数の大域的な最適化を図る必要がある。最適化のフェーズは大きく分けてサンプリングと探索の2つがあり、前者は設計空間の中から実際に試してみる因子の組合せを抽出するフェーズ、後者は得られた目的関数の応答曲面から最適値を探すフェーズである。本研究では前章で説明したサスペンションの最適化を目的としており、設計空間の因子はガスと作動油の量など、目的関数は乗り心地の指標である。ここではサンプリングの考え方として実験計画法で用いられる直交表を用いたサンプリングを行ない、これに従って得られた応答曲面からタグチメソッドを用いて最適値を探索した。

4.2 サンプリング手法

前節で説明したように、サンプリングは設計空間の中から試行する因子の組合せを抽出することを行なう。サスペンションの最適化を行なうための設計パラメータのうち、剛性に関連する因子としてはス

トラット内に充填したガスの圧力、および作動油の量が、減衰に関連する因子としてはオリフィス径（ストラット伸び／縮み側それぞれ存在）がある。さらに前輪、後輪それぞれにストラットがあるため計8種の因子がある。これらの因子の値についてそれぞれ初期設計値を中心に前後に振った値を割り振って3水準とし、制御因子の組み合わせを決定した。しかしこのように8種類の設計値を3か所ずつ振った場合、すべての組み合わせを試行しようとすると1つの走行条件に対して4,374回のシミュレーション計算が必要になる。これを走行パターン、積載状態を変えて試行すると膨大な計算量が必要になってしまう。今回の探索では次節で説明する計6種の走行条件を評価するので計26,244回のシミュレーション計算となる。そこで本研究では実験計画法の考え方を適用し¹⁾、直交表を利用することで少数の試行にもかかわらずすべての制御因子の水準の組合せがまんべんなく登場するような試行パターンを生成する。ここでは図7に示すようなL18直交表を用い、18通りの組合せによって代表させることにした。すなわち6種×18通り計108回のシミュレーション計算に削減される。これにより、試行回数を大幅に減少させることが可能になる。

Factor				Level			
Factor	Level	Factor	Level	Factor	Level	Factor	Level
1	1	2	1	3	1	4	1
1	2	2	2	3	2	4	2
1	3	2	3	3	3	4	3
2	1	1	1	4	1	5	1
2	2	1	2	4	2	5	2
2	3	1	3	4	3	5	3
3	1	1	1	5	1	6	1
3	2	1	2	5	2	6	2
3	3	1	3	5	3	6	3
4	1	2	1	6	1	7	1
4	2	2	2	6	2	7	2
4	3	2	3	6	3	7	3
5	1	3	1	7	1	8	1
5	2	3	2	7	2	8	2
5	3	3	3	7	3	8	3
6	1	4	1	8	1	9	1
6	2	4	2	8	2	9	2
6	3	4	3	8	3	9	3

図7 L18直交表による制御因子組み合わせ設定例

近年の一般的なWindows PCによる1回のシミュレーション計算で約10分程度はかかっているのに、総当たりで182日間掛かる計算が18時間に短縮されたことになる。

4.3 探索手法

前節で説明した方法により生成した試行パターンに従い設計パラメータを設定してシミュレーションを行ない、その結果得られた目的関数の応答曲面から最適値を探索する。以下に目的関数と最適値の決定方法について説明する。

(1) 目的関数

目的関数とは得られたシミュレーション結果から評価したい事項を数値化するための関数である。本研究では官能的な指標である乗り心地を数値化する

ため、つぎのような関数を定義してストラット特性の良し悪しを量的に判定し、目的関数が小さいほど乗り心地が良いとした。

乗り心地の評価点として、上下振動が少ないことはもとより、旋回中のロール運動など安定性および積載状態による変化の少なさなどという複数の評価点に対する両立も求められる。そこで、サスペンションの上下振動加速度・上下変位のRMS値を空車時・定格積載時の両方についてすべて合計した値を評価関数とした。さらに、加算する際に重み係数をかけることで各項目の重要度を調整できるようにした。

(2) タグチメソッドの適用

前述の評価関数を最小化することで乗り心地と安定性を両立した最適設計パラメータを決定する。本研究では最適値の探索方法としてタグチメソッドを適用した²⁾。タグチメソッドとは、最適かつ特性ばらつきの少ない設計パラメータを決定する統計的手法である。ある条件での走行シミュレーション結果から最適解を求めると、走行条件が変わった時に対処できず製品として最適な設計パラメータとはならない。タグチメソッドでは走行条件の違いを誤差要因として扱い、条件による結果のばらつきを統計的に取り扱うことで、走行条件が変わっても結果に影響しにくいパラメータを導出することができる。本研究では

- 1) 一定速度からの急停止（振動乗心地）
- 2) 一定速度での路面上の突起乗越え（振動乗心地）
- 3) 定常円旋回（ロール安定性）

の3つの走行パターンおよび

- A) 空車
- B) 定格積載

の2つの積載状態による計6種の走行条件を誤差要因として評価関数のS/N比を図8のように求めた。

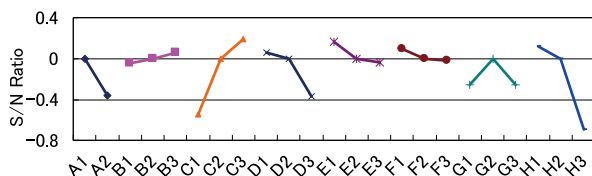


図8 S/N比の算出

これにより走行条件に影響を受けやすい因子C, D, Hを固定し、かつ評価関数が高くなるように他の因子を調整して最適化を図った。これにより、積載状態によらず乗り心地と安定性を両立した設計パラメータを導出することができた。

5. 実機を用いた検証

前章で導出した最適な設計パラメータにより実機

ストラットを試作し、最適化前のパラメータによるストラットと交換して実機走行試験とデータ比較を行ない、効果を検証した。図9は速度12km/hからの急停止時におけるサスペンションストラットの変位グラフである。初期パラメータによるストラット（Old Strut）に比較して最適設計パラメータのストラット（New Strut）は振幅の最大値において約50%の低減を実現できていることが確認できた。

また、オペレータの官能評価によると、乗り心地を大きく損なうことなく安定性が向上できているという感想が得られた。

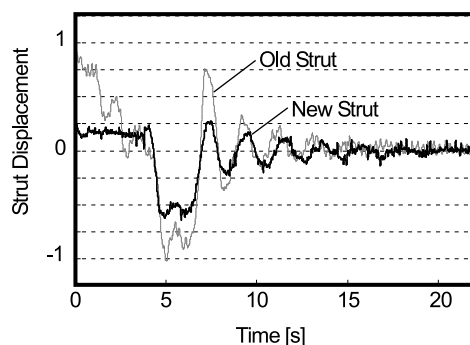


図9 ストラットの減衰特性

6. 結 論

本研究では解析主導設計を多数の実機試験が困難な鉱山用ダンプトラックのサスペンション設計に適用し、ダンプトラック車両全体の詳細な機構解析モデル化を図って机上での車体挙動の検討を実現した。また、前述の機構解析モデルと品質工学手法を組み合わせることで少ない探索試行回数で最適設計パラメータの探索を実現し、膨大な計算時間をかけることなく最適な設計パラメータを得ることができた。その結果、実機での急停止時のサスペンション振動を約50%低減することができた。結論として、機構解析モデルを活用することで、実機なしで製品のチューニングが可能となる見通しを得た。

課題として、新規の派生機種に適用する場合、モデルの修正や同定が難しいことなどが挙げられ、今後人手によらないモデル変更手法などについて検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 山田秀：実験計画法—方法編一，日科技連（2004）
- 2) 菅民郎：Excelで学ぶ実験計画法—シックスシグマと重回帰分析一，オーム社（2002）

（原稿受付：2017年12月25日）

会議報告

FLUCOM2017参加記

著者紹介



か がわ とし はる
香 川 利 春

東京工業大学精密工学研究所
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259 R2-45
E-mail : kagawa.t.aa@m.titech.ac.jp

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

FLUCOME 2017はシカゴ近傍にある小さな町サウナベンドのノートルダム大学で10月9日～12日の4日間の日程で行われた。米国の大学で5本の中に入るといふ綺麗なキャンパスで、平均的日本の大学の2-3倍の広さがある。すべての建物の色が統一しており、校舎はすべてレンガ作りとなっている。米国ではノーティダ임大学と発音するようである。

FLUCOME は1985年に東海大学の故中山先生がチェアーとなり日本で始まった流体計測制御および可視化に関する国際学会である。今回は第14回となった。開始当時はフルイディックス（流体論理素子）が全盛の頃で、多くのフルイディックスに関する発表がなされた。日本機械学会、計測自動制御学会、日本油空圧学会（現 フルードパワーシステム学会）と可視化情報学会の4つの学会が母体となって運営・組織が構成された。計測自動制御学会ではフルイディックス部会のメンバーが多く参加した。

図1にオープニングセレモニーの様子を示す。今回はすっかりテーマは様変わりして、特別講演では物理学のダークエネルギーについて、講演ではプラズマ物理のテーマが見られた。とてもレベルの高い講演が多く、発表はインバイトスピーチ、キーノートスピーチを含めて70件、論文数は60件と公表された。フルードパワーシステムに関連した講演者とタイトルを下記に示す。

S. Dohta : Improvement of a Pneumatic Control Valve with Self-holding Function

J. Peng : Pressure Response of Various Gases in

Pneumatic Resistance Capacitance System and Pipe.

F. Cho : Improvement of Wearable Power Assist Wear for Low Back Support using Pneumatic Actuator

Y. Matsui : Development of Flexible Spherical Actuator Driven by Low-Cost Servo Valve Using Buckled Tubes.

今回のチェアーはファカルティプロフェッサーのコーク（T.Cork）先生とリサーチプロフェッサーのレオノフ（S.Leonov）先生が取り仕切った。コーク先生は生え抜きの米国人の様であるが、レオノフ先生は5年前にロシア・ロマノフ記念国際大学から移って来たばかりである。モスクワ・ロマノフ記念大学はロシアのトップの大学であるが、色々な事情により研究者は米国などに移って教授職を得ているようである。米国はあらゆる意味で懐が深いと言える。



図1 オープニングセレモニーの様子

日本からの参加は、東大、東工大、岡山理科大、東海大学や豊田工大、海洋研究所などからの20人程度であった。メイン会場は70人規模の大きさで丁度良い感じであった。3日目からはメイン会場にほかのイベントを入れるなど、会場の有効活用が上手であった。バンケットは会議2日目の夕方、サウスベンドのスタッドベイカー国立博物館の見学の後、

そこを会場として行われた。列をつくって料理を自分の皿に盛るというセルフ形式で非常にシンプルであるが、心温まるバンケットであった。

スタッドバイカー博物館はスタッドバイカー社時代の製品を展示した博物館である。特に印象に残ったのは、この会社は19世紀に幌馬車や農耕器具のメーカーとして設立され、内燃機関の発明と共に車の製造に転進したものの、1966年に国内での競争や日本車との戦いに破れて、1966年に廃業となったと知ったことである。歴史のうねりを感じさせられた。またサウスベンドにはミシンメーカーのシンガーもある。私の96才の母親が70年前に嫁入り道具として持って来た足踏み式ミシンはシンガーで自慢していたので記憶しており、このような田舎町に繋がっていることに大変に驚いた。

オナラブルメンバーとして日本からの参加は著者のみで、最終日にはインターナショナルコミティ代表として、コーク先生とレオノブ先生に図2の中山先生の似顔絵が入った功労賞のメダル贈呈を行った。このメダルはレオノブ先生と工学院大学の伊藤先生の発案で、今回のFLUCOMEから贈呈が開始された。2日目の午後には香川と工学院大学の伊藤先生の司会で、2016年2月にご逝去されたFLUCOMEの創始者である中山先生の追悼記念セッションが執り行なわれて、FLUCOME に対する中山先生の人となり歴史並びに功績を振り返った。



図2 中山先生の似顔絵が入ったメダル

次回2年後のFULCOME は2019年の5、6月（未定）にイタリアのナポリ大学で、カルドーネ（H. Card one）教授のチェアーで行われることが告げられ、閉会となった。今回のFLUCOME は前回のカタールでの寂しい国際学会以降にどうなるかと心配していたが、新しい分野をさらに付け加えて、再生したFLUCOME が行われ、大成功したと言える。

（原稿受付：2017年12月1日）

トピックス

上海駐在員日記

著者紹介



やまもとてつや
山本哲也

川崎精密機械商貿（上海）有限公司
〒200001 上海市黄浦区西藏中路168号
都市総部大楼17楼1701室
E-mail : yamamoto_tetsuya@khi.co.jp

1996年東京大学法学部卒業、同年川崎重工業株式会社入社、本社及び精密機械部門において人事業務に従事、2012年川崎精密機械商貿（上海）有限公司に出向、現在に至る。

1. はじめに

上海市は北緯31度、東経121度に位置し、緯度は鹿児島市とほぼ同じで、日本との時差は－1時間である。気候は日本とほぼ変わらず、四季があり、過ごしやすい都市である。また、常住人口2,400万人を超える巨大な国際商業都市でもあり、約44,000人の日本人が上海に在留している¹⁾。また、上海市に拠点を置く日系企業数は10,000社以上あり、世界の他の地域・都市に比べて圧倒的に日系企業が多い都市でもある¹⁾。

私は2012年12月よりこの上海市に赴任している。上海に赴任する以前は、海外勤務経験はなく、日常業務でも海外との接点はあまり多くはなかった。初めての海外赴任でかつ中国語を学ぶのも初めてであったが、幸いなことに妻も赴任に賛成してくれて、現在、家族とともに上海での生活を満喫している。今回、貴重な機会をいただいたので、僭越ながらその駐在生活の一部を紹介させていただく。

2. 業務紹介

私が勤務する川崎精密機械商貿（上海）有限公司は、川崎精密機械（蘇州）有限公司、川崎春暉精密機械（浙江）有限公司の2つの生産拠点で生産される建設機械用油圧ポンプ、油圧モータ並びに船用油圧ユニットを、中国国内のお客様へ販売している。また、日本からの輸入製品についても契約、入金、納期フォローなど販売サポートを行っており、中国向け油圧機械製品に関しては、ほぼすべて当社が窓

口となっている。さらに、アフターサービスのニーズに応えるため、浙江省にCSセンターを設置し、ASパーツの販売およびお客様からの修理・改造注文に対応するとともに、社内には営業部の他、技術部、品質保証部を有し、お客様の製品開発の段階から、製品納入後のアフターサービスまで、中国において一貫したサポート体制を構築している。当社は1990年代初頭より中国市場に参入し、中国ショベル市場の発展とともに事業を拡大してきたことにより、現在では外資系メーカのみならず、中国系メーカにも広く当社製品を採用いただいている。

私は管理部長として、中国人スタッフ7名とともに、会社の経理、人事、総務、情報システムなど管理業務全般を担当している。毎月の経営実績の他、年2回の経営計画の策定など、日本への経営報告に加え、総経理指示の下、社内の労務管理、福利厚生活動、採用、教育研修の実施など、サポート部門として社内各部門が円滑に業務を推進できるよう支援していくのが任務である。仕事柄、他の駐在員と比べると、圧倒的に出張の機会は少なく、もっぱら事務所で業務に従事しているが、当社の中国人スタッフはほぼ全員日本語が話せるため、私のような中国語未経験者でも業務を進める事ができる。一方で、なかなか中国語が上達しない事が悩みの種でもある。

3. ビジネス環境

中国のGDP成長率はかつての10%を超える水準には及ばないものの、現在でも6%を超える高い経済成長率を誇り、何よりも国内に人口約14億人の巨大な市場を有することが中国の強みである。そして、その市場は非常に速いスピードで変化していく。スマートフォンを利用したオンライン決済サービス、タクシー配車アプリ、自転車シェアリングサービスなど、新しいサービスがすさまじい勢いで普及していく（図1）。自転車シェアリングサービスは日本でも報道されているように、普及当初はいくつかの問題があったが、政府の規制と企業の努力により徐々に改善が図られており、このような“走りながら考える”スタイルが中国式ビジネスの1つの特徴

であると考える。

成長初期にある市場においては、まずシェアを押さえて先行者利益を追求することが優先されるとともに、市場の高い成長率は多少の戦略的失敗もリカバリーを可能とさせるため、中国企業の経営戦略は一般的に強気であり、かつ決断が速い。こうした強気で決断が速い中国企業と取引していくためには、今の日本企業のやり方、発想ではついていけない場合もあり、我々は置かれている経済環境の違いを正しく認識して、ビジネスを進めて行かなければならないと感じる。さらに中国市場は、政府が決定する5ヵ年計画の影響を受けやすく、かつ政治的な背景によって調整が行われるため、変化が激しく、また市場規模が大きいと、その振れ幅も大きい。こうした変化の激しい市場に対応していくためには、我々も現地での対応力を高め、レスポンスを早くしていく事が課題のひとつである。



図1 急激に普及した自転車シェアリングサービス

4. 生活環境

続いて上海での生活について紹介させていただく。私が上海へ赴任した2012年末当時は、日本のメディアでもPM2.5による中国の大気汚染問題が大きく報じられていた。上海でも白くかすんだような空が連日続き、澄んだ青空が見えることは滅多になかったと記憶している。子供たちの学校や幼稚園も、その日のPM2.5汚染指数によって活動が制限される事が多かった。しかしながら、最近では政府の環境規制が強化された影響か、以前ほど空が真っ白に曇るような日は少なくなってきており、青空が広がる日が多くなっている(図2)。環境改善は着実に進んでいる。

その一方で、上海市内の環境規制も同様に厳しくなっており、当社のCSセンターも環境規制強化の影響により上海市内から浙江省への移転を余儀なくされた。上海市内での工場運営は難しくなっているようである。



図2 人民広場から望む上海の青空

また、住環境については、近年、日本人向けマンションの閉鎖が相次いでいる。マンションを所有する不動産開発業者が所有物件を売却し、新しいオーナーが物件の転用を図るため、賃貸契約を打ち切り、全入居者に退去を要請する事例が発生している。私が入居していたマンションもその事例の1つであり、2016年に転居を余儀なくされた。こうした大規模な物件の閉鎖が通知されると、入居者は一斉に転居先の探索に動くため、周辺の賃貸物件の家賃相場が一時的に高騰する。また、苦勞して転居したマンションさえも売却されて、再び転居を余儀なくされるケースも見られるため、マンション選びは慎重に行う必要がある。上海に在留する日本人の数は近年減少傾向にあり、フロントに管理スタッフが常駐するようなサービス付の日本人向けマンションは引き続き減少していくものと推測される。

続いて買物環境である。上海ではデリバリーサービスが非常に発達していて、生活に必要な物のほとんどが家に居ながら購入できる。特に出前代行サービスは、代行業者に料理を注文すると、指定した店の料理を家や事務所まで配達してくれるので、非常に便利である。また、インターネット販売も非常に便利で、日用品や食料品なども、サイトから注文すれば自宅まで届けてくれるので、水やお米など重い物を購入する際には大変助かっている。また、変わったところでは、行列代行サービスというものもある。これは長蛇の列が出来る人気店に、本人に代わって列に並び、商品を受取り、配達までしてくれるというサービスである。また、代金決済もオンライン決済アプリを使えば、簡単に決済することが出来るので、現金を用意する必要がない。このオンライン決済アプリは、中国では非常に普及しており、お店やコンビニでの支払いにも携帯電話をかざすだけで精算可能であり、公共料金や電話代の支払い、さらには友人とのお金の受渡しさえも携帯電話で簡単にできる。

また、上海では日本人向けのフリーペーパーが多数発行されており、飲食店やいろいろな生活に役立つ情報が発信されている。上海には日系のデパート、スーパーも進出しており、日本食も多く物が手に入る。しかし、やはり日本からの輸入品は値段が高く（日本の価格の2～3倍することも珍しくない）、なかなか気軽には買えないので、帰国時には日本で食料品や衣料品を爆買いすることになる。ただし、日系ブランドによる現地生産品は日本より安い物があり、某日系有名ブランドの缶ビール（330ml缶）が1本約4元（約70円）で買えるのが嬉しい。（2017年12月現在）

文化の面では、中国の暦は農曆（旧暦）を基本としており、春節（旧正月）を始めとするいくつかの祝日は旧暦にもとづいて決まるため、毎年、西暦の上での日が変わる。そして、これに合わせて政府が裁量により祝日前後の土曜日、日曜日の休日を振り替えて連休を設定するため、毎年、会社カレンダーの設定に頭を悩ませる。通常、12月上旬に国務院より翌年の祝日・休日に関する通知が発表されるため、12月上旬になるまで翌年の会社カレンダーが確定しないところが悩ましい。

また、西暦による元旦（1月1日）は中国では通常の休日であり、あまり新年を祝う雰囲気はないが、元旦を過ぎると街の中には赤い正月飾りが増え始め、ようやく正月を迎える雰囲気になる（図3）。春節は故郷に帰り、家族、親戚と共に新年を迎えるのが中国の一般的な習慣であり、春節が近づくにつれて上海市内からは徐々に人が減っていく。また、春節前にはボーナスを支給する企業も多く、また新しいことは新年に始めるのが縁起が良いとされることから、春節明けは転職希望者が多く、1年でもっとも活発に採用・就職活動が行われる時期でもある。

最後に教育環境について紹介させていただく。

上海には日本人学校が2校（虹橋校、浦東校）あり、虹橋校は小学部のみであるが、児童数1,100名を超えるマンモス校である（図4）。特徴的なのは、1年生の9クラスに対して6年生は5クラスと、高学年になるにつれてクラスが少なくなるピラミッド型の学年構成になっている点である。やはり子供が高学年になるほど、単身で赴任される方が多いためだと思われる。しかしながら、浦東校には小学部の他に、中学部、高等部も併設されており、日本人学校内部での進学も可能である。通学は基本的に学校が用意する通学バスを利用し、指定のバス停までは保護者が子供の送迎を行う。教科書は領事館から学校を通じて配布される指定教科書を使用するが、中国語の授業や現地校との交流行事など、中国ならで



図3 春節を迎える豫園

はの特色のある教育が行われている。また、日系の学習塾や幼稚園などもあり、さらにインターナショナルスクールもあるため、上海市は教育の面でも比較的、選択肢が豊富である。



図4 運動会風景

5. 最後 に

上海に駐在しているため、中国に関するニュースが非常に気になるようになり、時間があればインターネットなどで中国関係のニュースを閲覧している。しかしながら、日本のメディアが発信する中国関係のニュースは、ややネガティブに偏った記事が多いように思われる。それは、両国間の政治・経済の状況や読者の嗜好を反映しているせいなのかも知れないが、いろいろな問題を抱えつつも間違いなく改善に向けて中国は前進している。そして多くの中国の人たちは、今後もさらに良くなると考えており、その前向きで積極的なエネルギーに溢れる上海の街で暮らすことはとても刺激的である。

参考文献

- 1) 外務省領事局政策課 海外在留邦人数調査統計（平成29年版）

（原稿受付：2017年12月22日）

Youは日本をどう思う？

第2回 オーストラリアから日本に留学して

What do you think of Japan? (Youは日本をどう思う?)

第2回 オーストラリアから日本で仕事をして



ていあん とんふえい

田 瞳菲 (Tian Tongfei)

東北大学流体科学研究所

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

E-mail: tongfei@ifc.ifs.tohoku.ac.jp

2014年オーストラリア・ウロンゴン大学でPhD取得。2015年1月～2015年9月ウロンゴン大学ポスドク研究員を経て、2015年10月東北大学助教。スマート材料とその応用に関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会の会員。

著者紹介

1. はじめに

自己紹介：

私は2014年の年末にウロンゴン大学（オーストラリア）からPhDの学位を取得し、その後、同大学のポスドク研究員に採用され10カ月間研究活動をしました。2015年10月に仙台市にある東北大学に採用され、流体科学研究所の中野研究室で助教として働いている。

来日の理由：

私が日本に働きに来た主な理由は、スマート材料の研究分野で世界的に有名で先導的な科学者である中野政身教授の下で研究ができることである。実際に、中野教授と一緒に働くことができ、彼から種々学ぶことを期待しました。彼の研究グループに助教のポストの募集があるのを知った際、直ぐにこのポストへ応募しました。運よく、この助教のポストに採用され、彼の研究室に来ることができました。

他の理由は、日本の文化への興味と楽しみである。日本には、数多くの魅力的なものがある。例えば、何処にでもハイテク製品があり、伝統とモダンイズムとのすばらしい融合や調和のとれた澄みわたった環境などがある。

現在の所属機関とその研究／仕事内容：

現在、私は東北大学流体科学研究所の知能流体制御システム研究分野の助教として働いており、中野

政身教授の指導の下で、高性能のMagneto-rheological elastomers (MREs) とShear-thickening流体 (STFs) を含めた機能性をもつスマート材料とそれらの応用に関する研究を行なっている。MREsの剛性が印加磁場によって制御でき、STFsの粘度はその流動速度に依存して高せん断速度域で急激に高くなる特性を呈する。これらのMREsとSTFsのユニークな特性を活用して、建築構造物の免震装置や回転ブレーキなどへの応用を試みている。韓国仁川で開催されたER/MR流体に関する国際会議およびロンドンで開催されたゴムに関する国際会議でMREに関する研究成果を発表しました（写真1）。



写真1 中野教授とロンドンのバッキンガム宮殿の前で

2. 日本の印象

2.1 来日直後の第一印象

来日直後の日本の第一印象は？：

日本に着いた際に、どこも非常に清潔できれいであるということに気が付きました。空気は新鮮で、人々はフレンドリーである。日本は非常に安全で、すばらしい食べ物が数多くある。オーストラリアと比較して、道路や家、そして自動車がより小さいけれども、それらはすべて均整がとれており良くデザインされている。

2.2 研究室に関して

日本人の考え方や働き方で驚いたこと：

まず、日本人の世界中で他に類をみないほどより良い協同精神を高く評価したい。研究室のすべてのメンバーが個人の成果よりもチーム全体が成功するように努力している。また、日本人の革新的な考えや詳細な注意深い姿勢には驚かされました。それらが、日本が科学、工学、技術の分野で非常に強い理由だと思う。

日本に滞在中に自分が最も変わった点は？：

日本に滞在中に多くのことを周囲の方々から学びました。まず第一に、教授の研究の細部にわたって注意を喚起する指導のおかげで、私は自分の研究において以前よりより詳細で注意深く慎重になりました。それは、将来の私の生涯に大きな恩恵をもたらすと信じている。第二に、日本の調和のとれた社会のために、私生活を楽しむことができました。以前に増して、週末はリラックスすることができ、より自分の仕事に集中することができるようになりました。最後であるが特に、今は、環境に対して明らかに良いことであるゴミの分別によって地球を守ることにより注意を払うようになりました。

2.3 生活に関して

日本の生活で困ったことは？：

日本に来てから、私は日常に使うために自動車を購入しました。その後、日本の道路は所々かなり狭いところがあり、道路によっては狭いにもかかわらず一方通行になっていないということに気が付きしました。最初の数か月間は狭い道路での運転は私にとって大きな挑戦となりました。しかし、今では慣れました。

私は冬に雪が降る仙台に住んでいる。日本に来る以前には、オーストラリアで6年間の運転経験がありましたが、雪道での運転の経験はありませんでしたので、最初の冬に雪で滑り易い道路での運転経験をし、その運転方法を学びました。

他の日本で経験した困ったことは、日本のリサイクルシステムにおけるシステム化された詳細なゴミ分別処理である。私が大学の職員宿舎に住み始めた際に、プラスチック、ビン、キャップ、紙などの異なった種類のゴミの分別方法が書かれた冊子を受け取りました。最初の数週間は、このゴミの分別に多少の注意を払わなければなりませんでした。今では、ゴミ分別処理の完全な支持者になってしまいました。

日本の生活でよかったことは？：

すべてのコンビニが24時間営業なので、私の生活が非常に便利になっている。また、いくつかの

スーパーマーケットも24時間営業をしているので、私はいつでも食料雑貨品を購入できる。しかしながら、買い物をする際にスタッフに何かを尋ねるのに向きあう必要がある時に、多少神経質になることが時々ありました。他のいかなる国においても経験したことのないサービスですが、店のスタッフはいつも私の注文を非常に良く聞き入れて応えてくれるので、このような素晴らしいショッピング環境と経験のおかげで、今は買い物が楽しくなりました。

日本の社会は非常に安全で調和がとれている。私は毎日いつも身体の運動のために散歩をしているが、日本では、夕食後に外を散歩することはいつも安全で、心配することは何もありません。このことは私にとってかなり印象的でした。

また、日本には子供のための公園、児童館、動物園、そして幾つかのショッピングセンター内の子供遊技場など多くの遊び場があり、私の家族にとっても幸せである。週末には私の娘と遊ぶ場所を容易に見つけることができる(写真2)。



写真2 妻と娘と仙台八木山動物公園の前で

最も興味ある日本の文化：

日本には、多くの伝統的なお祭りがあり、私にとっては大いに魅力的である。仙台では、どんと祭、七夕祭り、青葉祭り、みちのくよさこい祭り、仙台光のページェントなどがある。これらのお祭りは日本の伝統文化と現代技術の完全な融合である。

また、仙台の青葉城、多賀城、松島、蔵王のお釜、福岡県の太宰府天満宮(写真3)など、日本の歴史的で自然な景観を大いに楽しみました。これらの良く整備され維持されている場所で、日本文化を感じ触れることができ、そして日本の長い歴史を感じ取ることができました。

3. 抱負と日本の方々へのメッセージ

今後はどんな予定？ 出身国に戻るのはいつ？

中野教授の多大な支援によって、オーストラリ



写真3 JFPSフルードパワー国際シンポジウム福岡の際に訪ねた太宰府天満宮

ア・クイーンズランド州にあるサンシャインコースト大学（University of the Sunshine Coast）での講師としての仕事を得ることができました。2018年

1月から新しい仕事に就く予定である。今後とも、中野教授や他の日本人研究者との良い関係での共同研究を維持して行くつもりであり、更なる研究成果を期待している。

日本人へのメッセージ

2015年来日して以来、より多くの日本人が英語をより流暢に話せるということを感じ取りました。そして、日本の社会がすべての人々に英語を話す能力を向上するように仕向けている。このことは、日本がより国際化の方向に向かう非常に良いサインだと思う。そしてまた、このことは2020年の東京オリンピックを輝かしい成功へ導くためになると信じている。

（原稿受付：2017年12月11日）

研究室紹介

福岡工業大学フルードパワーシステム研究室（加藤研究室）

著者紹介



かとうとも のり
加藤友規

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

2007年東京工業大学大学院博士課程修了。2004年都立高専助手～助教を経て、2010年福岡工業大学助教、2012年同大学准教授。現在に至る。空気圧の計測・制御に関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）、技術士（機械部門）。

1. はじめに

福岡工業大学（福岡県福岡市東区和白東3-30-1、理事長：鶴木洋二、学長：下村輝夫）の歴史は、昭和29年の福岡高等無線電信学校の創設に始まる。その後、昭和33年に学校法人福岡電波学園福岡電波高等学校が開設、昭和35年には福岡電子工業短期大学が開設され、昭和38年に福岡電波学園電子工業大学工学部が開設された。そして昭和41年に大学の名称が福岡工業大学に変更され、昭和48年には学校法人の名称も福岡工業大学に変更された。その後、大学院の開設などを経て現在に至っている。平成9年に情報工学部が開設され、さらに平成13年には社会環境学部（文系）が開設された。大学の学士課程としては、3学部9学科に約4,000名の学生が学んでいる。そのほか、短期大学部、大学院、附属城東高等学校が大学と同一敷地内に設置されており、大学と併せると、約7,000名の生徒・学生が同じキャンパス内で学んでいる。

福岡工業大学の全景を図1に示す。福岡工業大学は「最先端の設備と自然が共存した美しいエコキャンパス」であることを自負しており、平成17年には福岡市都市景観賞を受賞している。また、キャンパスは博多駅から快速で13分のJR九州鹿児島本線の福工大前駅と直結しており、九州・福岡地区における、交通の便の大変良い大学のひとつである。

平成24年11月には本学会主催の平成24年秋季フルードパワーシステム講演会が本学を会場に開催さ

れ、平成29年10月には、本学会の国際シンポジウムJFPS2017 Fukuokaが、アクロス福岡と福岡工業大学を会場に開催された。そのため、本学にお越しになったことがある読者の方も多いと思う。

2. 研究室の概要

当研究室は、福岡工業大学工学部知能機械工学科（知能計測制御分野）に所属している。そのほか、修士課程として大学院工学研究科知能機械システム工学専攻（計測制御工学区分）、博士後期課程として同研究科物質生産システム工学専攻（設計生産システム工学専攻区分）に所属している。当研究室は主に空気圧の計測と制御を専門とするが、今のところ、学内に他にフルードパワーを主な専門分野とする研究室が見当たらないことから、展示会等においては「福岡工業大学フルードパワーシステム研究室」の通称を使用している。

著者は修士課程修了後に、平成16年4月から都立高専に6年勤務した後、約8年前の平成22年4月に福岡工業大学に着任し、当研究室の運営を開始した。

なお、福岡工業大学は教授・准教授・助教（本学においては旧専任講師）の職位に関係なく、独立して研究室を運営する方式である。平成29年度の研究室の構成メンバーは、指導教員1名のほかに、大学院修士課程2年生：2名、大学院修士課程1年生：1名、学部4年生：7名の計11名である（図2）。日本人の学生が多いが、中国やタイからの留学生も年度によっては在籍している。



図1 福岡工業大学



図2 研究室のメンバー（2017年度）

3. 研究テーマについて

当研究室では、気体の計測と制御技術をベースに、以下のような各研究テーマを展開している。

3.1 エアタービンスピンドルの制御と切削加工

超精密非球面加工機などの超精密工作機械において、高精度・高速対応・低摩擦・低振動などの優れた特性を有する静圧空気軸受エアタービンスピンドルが広く使用されている。当研究室では、エアタービンスピンドルの回転数及び軸受剛性の制御と、切削加工における工具損耗推定への応用について、研究を実施している（図3）^{1)~5)}。

3.2 電空ハイブリッド方式の超精密鉛直位置決めステージ

非球面加工機などに用いられる電空ハイブリッド方式の超精密鉛直位置決めステージ（図4）のバランスシリンダの内圧制御について、研究を実施している⁶⁾⁷⁾。

3.3 気液相変化駆動の人工筋アクチュエータとロボットアーム

空気圧ゴム人工筋は、軽量でやわらかく、さまざまな優れた特性を有しているが、コンプレッサなど周辺装置等を組み合わせると装置全体の小型化が困難であるという問題点がある。そこで当研究室では、気液相変化により駆動される駆動源内臓の小型アクチュエータ（図5）の開発と、それをを用いたロボットアーム（図6）に関する研究を進めている⁸⁾⁹⁾。なお先行研究では、空気圧ゴム人工筋を用いてロボットアームを製作した。このロボットアームはインターネット回線を通じて遠隔操縦をすることが可能であるが、最近では研究よりも、オープンキャンパスや国際交流関連のイベントで活躍していることが多い（図7）。

3.4 管楽器の自動吹奏ロボット

非定常流量の計測制御技術を管楽器に応用することで、人間の奏者のような味わいのある音色をもつ楽器吹奏ロボットに関する研究を進めている¹⁰⁾¹¹⁾。特に近年は、タイの伝統的な縦笛であるクルイの自



図3 エアタービンスピンドルの制御と切削加工



図4 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージ

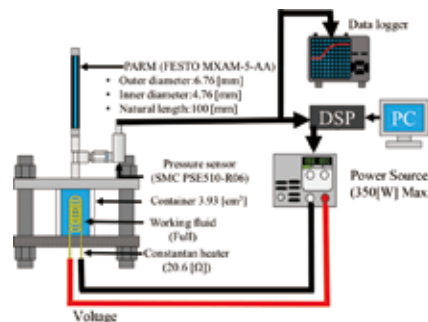


図5 気液相変化駆動の人工筋アクチュエータの装置構成図

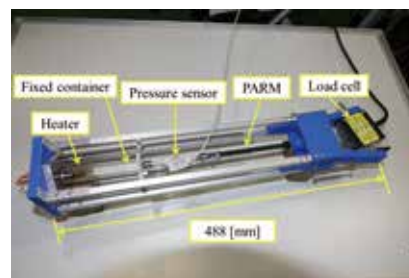


図6 気液相変化駆動の人工筋を用いたロボットアーム

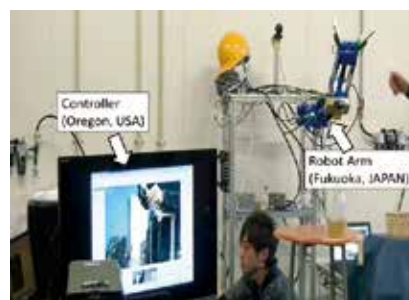


図7 空気圧ゴム人工筋を用いたロボットアームの遠隔操縦

動吹奏に関する研究に取り組んでいる（図8）。平成27年度には研究室の学生らと共に、本ロボット



図8 管楽器の自動吹奏ロボット



図9 自動吹奏ロボットをリードとするバンド「FIT-KRJ」



図10 Engineering Expo 2017 (タイ：KMITL主催)

をリードとするバンド「FIT-KRJ」（福岡工業大学（FIT）-Khlui Robot Japanの略）を結成（図9）し、同年7月にタイのバンコクにて行なわれた、キングモンクット工科大学ラカバン校（KMITL）主催の展示会、Engineering Expo 2015にて、招待演奏を実施した¹²⁾。ここ数年、KMITLとはさまざまな交流を続けており、平成29年11月に開催されたEngineering Expo 2017には、当研究室としてブースを出展した（図10）。

なお、自動吹奏ロボットの実演や演奏会に関するご相談は、随時受け付けているので、ご興味があればぜひご連絡いただきたい。

4. おわりに

本稿では、福岡工業大学フルードパワーシステム研究室（加藤研究室）をご紹介させていただいた。今後とも、ご指導ご鞭撻のほど、何卒よろしくお願い申し上げます。

参考文献

1) 加藤友規，東嶋元気，矢澤孝哲，大坪樹，野崎悠輔，

田中克敏：気体用超精密高速応答圧力レギュレータを用いたエアタービンスピンドルの回転数制御，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 45, No. 1, p. 8-14 (2014)

- 2) Tomonori Kato, Genki Higashijima, Takanori Yazawa, Tatsuki Otsubo, Katsutoshi Tanaka : Proposal of Disturbance-Compensating and Energy-Saving Control Method of Air Turbine Spindle and Evaluation of Its Energy Consumption, Precision Engineering, Vol. 43, p. 439-447 (2016)
- 3) Yusuke Okamoto, Takanori Yazawa, Tomonori Kato, Kazuya Nishida, Shinya Moriyama, Yukio Maeda, Tatsuki Otsubo : Study on Tool Wear In-process Estimation for Ball End Mill using Rotation Control Air Turbine Spindle, Key Engineering Materials, Vol. 749, p. 94-100 (2017)
- 4) 西田一矢，加藤友規，石本航大：静圧空気軸受式エアタービンスピンドルの軸剛性の可変性，2016年度精密工学会九州支部北九州地方講演会講演論文集，p. 27-28 (2016)
- 5) Yusuke Okamoto, Takanori Yazawa, Tomonori Kato, Kazuya Nishida, Shinya Moriyama, Yukio Maeda, Tatsuki Otsubo : STUDY ON SMALL-DIAMETER BALL END MILL MILLING OF AIR TURBINE SPINDLE BY ROTATIONAL SPEED CONTROL, The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power 2017, 2D39 (2017)
- 6) 加藤友規，平川鉄磨：HPRとNF弁を用いた電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの制御，平成27年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，pp. 4-6 (2015)
- 7) Yoshinobu Tsukiyama, Tomonori Kato, keita Matsuo : EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION OF HYBRID ELECTRIC-PNEUMATIC ULTRA-PRECISION VERTICAL POSITIONING DEVICE, The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power 2017, 2D42 (2017)
- 8) 加藤友規，本多駿太，程明昭，櫻木一樹，大野学：気液相変化により駆動されるゴム人工筋アクチュエータの製作，Vol. 47, No. 1, pp 1-6 (2016)
- 9) Kenya Higashijima, Tomonori Kato, Kazuki Sakuragi, Takahiro Sato, Manabu Ono : DEVELOPMENT OF MANIPULATOR USING A GAS-LIQUID PHASE-CHANGE ACTUATOR, The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power 2017, 2B04 (2017)
- 10) 加藤友規，益田大海，河村良行，船木達也，川嶋健嗣，香川利春：層流型高速応答流量計を用いたソプラノリコーダー吹奏ロボットの呼吸制御，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 43, No. 6, pp143-148 (2012)
- 11) Kazuki Sakuragi, Mingzhao Cheng, Tomonori Kato : Recorder-playing robot that uses versatile vibrato to mimic a human player, Proceedings of The 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2015, Yokohama), pp. 002584-002588 (2015)
- 12) 加藤友規，木宮正貴，櫻木一樹，西田一矢，程明昭：クルイ（タイの伝統的な縦笛）を自動吹奏するロボットの開発，平成27年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，pp. 92-94 (2015)

（原稿受付：2017年11月28日）

企画行事

平成30年度企画行事紹介

著者紹介



ふじ た とし のり
藤 田 壽 憲

東京電機大学工学部
〒120-8551 足立区千住旭町 5
E-mail: tfujita@cck.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）。



さくら い やす お
桜 井 康 雄

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

1986年上智大学大学院理工学研究科博士前期課程機械工学専攻修了。富士重工業(株)、上智大学助手等を経て2000年足利工業大学講師、2001年同大学助教授、2007年同大准教授、2009年同大教授、現在に至る。博士（工学）。

1. はじめに

企画委員会は、委員長 藤田壽憲（東京電機大、学会理事）、副委員長 和田重伸（CKD(株)）、幹事 桜井康雄（足利工大、学会理事）を含め、学校側委員19名、企業側委員17名および学会事務局で構成されている。本委員会は、講演会およびセミナー等の学会の集会事業の企画立案および実施を担当する。

本稿では、平成29年度の事業についてまとめるとともに、未確定な部分もあるが、平成30年度実施予定の企画行事の内容を紹介する。

2. 平成29年度行事まとめ

平成29年の春季フルードパワーシステム講演会では、主査を只野委員（東京工大）、製品・技術紹介セッションの主査を落合委員（協立機電工業(株)）としたワーキンググループ（以後、WG）で平成29年5月25日（木）、26日（金）に機械振興会館において実施された。1件の特別講演、35件の講演（技術紹介セッション6件を含む）が行われた。参加者は108名であった。なお、この内11名は後述する

春季講演会併設セミナーと併せての登録であった。

春季講演会併設セミナーは、学会の企画事業を担当する企画委員会と学会誌の作成を担当する編集委員会との合同企画である。当該年度の本セミナーは編集委員会が主導で特集号を作成し、セミナーの実施のみを企画委員会が担当した。本セミナーは主査を成田委員（KYB(株)）、副査を桜井委員（足利工大）としたWGで春季講演会の前日である24日（水）に機械振興会館を会場として「フルードパワーに役立つセンシング技術」というテーマで実施した。4件の講演が行われ、参加者は22名であった。

フルードパワー技術に関する啓蒙活動の一つとして、また、学会協賛の公益事業として、本年度も足利ユネスコ学校（開催期間：7月31日（月）～8月4日（金））、会場：足利工業大学総合研究センター、足利学校等）への協賛を実施した。本学会とフルードパワー技術の紹介は、8月3日（木）のモノ作り実習の前に映像を中心に約15分間行った。参加者は小学校3年生～6年生の生徒57名、小学校教諭および足利教育委員会関係者16名の計73名であった。

企画委員会が実施のサポートをしている特別教育講座「1DCAEに基づくモデルベース開発の基礎－油圧システムのモデリングの基礎と演習－」が8月24日（木）に機械振興会館で13名の参加者を得て実施された。

平成29年は本学会主催の国際シンポジウム（開催地：福岡県福岡市、開催日：平成29年10月24日（火）～27日（金））が開かれた年であったため秋季フルードパワーシステム講演会は開催されなかった。

平成29年度のオータムセミナーは主査を名倉委員（コマツ）、副査を高岩委員（徳島大学）としたWGで11月27日（月）に機械振興会館を会場として実施された。テーマは「ロボティクス分野におけるフルードパワー活用の現状と今後について」というテーマで実施した。4件の講演が行われ、参加者は18名であった。

平成29年度のウインターセミナーは平成30年3月23日（金）に高度ポリテクセンター（千葉県千葉市、海浜幕張駅北口から徒歩約10分）を会場と

して開催予定である。テーマは「フルードパワーに利用できるマイコン技術 ～機器の駆動に関わるマイコン技術～」，主査を赤木委員（岡山理大），副査を小林委員（岡山理大）としたWGで準備を進めている。マイコンを使ったことのない受講者に対して，マイコン（組込み）技術の概略を理解していただく講座であり，より一層理解を深めるため実際に機器を動かす実習も行う予定である。

3. 平成30年度行事予定

3.1 春季フルードパワーシステム講演会

平成30年の春季講演会は，主査を桜井幹事としたWGで具体案を検討している。5月23日（水）～25日（金）に機械振興会館において開催することを予定している。25日（金）には東北大学の中野政身教授による特別講演を予定している。25日（金）の午後は，製品・技術紹介セッション（主査：和田副委員長）および本学会の総会を予定している。

3.2 春季講演会併設セミナー

平成30年度の本セミナーは，企画委員会が主導で特集号の原案策定とセミナーの実施を担当する。機械振興会館で5月24日（木）に開催を予定している。主査は桜井幹事，WGメンバーは藤田委員長，和田副委員長，斎藤委員（KYB㈱），清水委員（㈱日立製作所）としたWGにより準備を進めている。平成30年3月号（Vol.49，No.2）の特集号のテーマを「フルードパワーにおける設計技術のトレンド―品質向上と最適化を目指して―」とし，8件の原稿執筆の内諾を得ている。セミナーはこの学会誌をテキストとして実施し，4件の講演を予定している。

3.3 秋季フルードパワーシステム講演会

平成30年の秋季講演会は，主査を早川委員（奈良高専）としたWGでその具体案を検討中である。開催場所は京都市を，開催時期は10月24日（木），25日（金）を予定しているとのことである。本講演会についてのアナウンスは学会誌7月号の会告から開始する予定である。

3.4 オータムセミナー

平成30年度のオータムセミナーは主査を林委員（㈱IHI）とし準備を進めている。開催時期は11月中下旬を予定している。学会誌7月号の会告から本セミナーの案内を開始する予定である。

3.5 ウィンターセミナー

平成30年度のウィンターセミナーは平成31年2月中旬から3月中旬の間に実施を予定している。学会誌11月号の会告から本セミナーの案内を開始する予定である。

3.6 学会協賛公益事業

本学会ならびにフルードパワー技術を多くの方々に知ってもらうことを目的として，足利市には限定されるものの，足利ユネスコ協会主催の足利ユネスコ学校への協賛（10万円の資金援助）を行っている。平成30年度の本事業に対する協賛の継続は平成30年3月の理事会に諮る予定である。

3.7 特別教育講座

本学会に設置されているOHC-Sim特別研究委員会が主催する特別教育講座の運営を企画委員会はサポートしている。平成30年度も油圧システムにおけるモデリングに関する内容の講座を実施する方向で検討しているとのことである。実施時期は8月後半から9月初旬を予定しているとのことである。本講座の案内は学会誌7月号で行う予定である。

4. おわりに

本稿では平成29年度に実施した企画事業のまとめと，平成30年度に予定している企画事業について述べた。本稿を執筆した時期が平成29年12月上旬であったため，不確定な部分が多々あることはご容赦願いたい。企画委員会は今後も会員の方々に満足いただける企画事業を実施するよう努力していきたいと考えている。会員の方々には学会ホームページで新しい情報をご確認いただくようお願いし本稿の結びとする。

（原稿受付：2017年12月9日）

会 告

〈理事会・委員会日程〉

12月20日	情報システム委員会
1月23日	理事会
1月30日	基盤強化委員会
2月 2日	編集委員会
2月13日	企画委員会

〈理事会報告〉

1月23日 15:00～17:00

機械振興会館 地下3階 B3-9号室（出席者14名）

- 1) 国際シンポジウム福岡の開催状況について
- 2) 国際シンポジウム函館の準備状況について
- 3) 50周年記念事業状況について
- 4) 学会賞受賞者推薦について
- 5) フェロー受賞者推薦について
- 6) 国際交流事業について
- 7) フルードパワー工業会との連携について
- 8) 会員の推移について
- 9) その他

〈委員会報告〉

平成29年度第4回情報システム委員会

12月20日 16:00～17:00

法政大学市ヶ谷見附校舎9階（出席者4名）

- 1) 会議報告の担当について
- 2) HP更新作業について
- 3) JFPS国際会議について
- 4) 研究委員会の頁について
- 5) その他

平成29年度第4回基盤強化委員会

1月30日 15:00～17:00

機械振興会館 B3-7（出席者10名）

- 1) 委員長会議、理事会報告
- 2) 会員サービス、会員数について
- 3) 外部への情報発信
- 4) フルードパワー道場
- 5) フルードパワー・バーチャルミュージアム
- 6) その他

平成29年度第5回編集委員会

2月2日 14:00～17:00

東京工業大学田町CIC5階（出席者12名）

- 1) 会誌特集号の現状と企画
 - ・Vol. 49 No. 2「フルードパワーにおける設計技術のトレンドー品質向上と最適化を目指してー」（企画委員会との合同企画）
 - ・Vol. 49 No. 3「JFPS国際シンポジウム2017」
 - ・Vol. 49 No. 4「モータサイクルにみるフルードパワーの最新技術」
- 2) その他
 - ・会議報告
 - ・トピックスについて
 - ・今後の特集について

平成29年度第3回企画委員会

2月13日 15:00～17:00

機械振興会館 地下3階 B3-3号室（出席者20名）

- 1) 平成29年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - (1)平成29年度オースタムセミナー
 - (2)平成29年度ウインターセミナー
 - (3)その他
- 2) 平成30年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - (1)平成30年春季講演会併設セミナー
 - (2)平成30年春季フルードパワーシステム講演会・総会日程
 - (3)製品・技術紹介セッション
 - (4)平成30年度秋季フルードパワーシステム講演会
- 3) その他審議・確認事項
 - (1)研究委員会の承認
 - (2)学会50周年記念行事
 - (3)その他

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

IIP2018 情報・知能・精密機器部門 (IIP部門) 講演会

企 画: 情報・知能・精密機器部門

開 催 日: 2018年3月14日(水), 15日(木)

会 場: 東洋大学 川越キャンパス (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

U R L: <http://www.jsme.or.jp/iip/Japanese/Events/Data/2018/IIP2018-annai.html>

一般社団法人日本機械学会 機素潤滑設計部門 主催「第18回機素潤滑設計部門講演会」

主 催: 一般社団法人日本機械学会 機素潤滑設計部門

開 催 日: 2018年4月23日(月) ~ 24日(火)

会 場: かみのやま温泉月岡ホテル (山形県上山市新湯1-33)

U R L: <https://www.jsme.or.jp/conference/mdtconf18/>

一般社団法人日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018

ROBOMECH2018 in Kitakyushu 地域から創生するロボティクス・メカトロニクス

主 催: 一般社団法人日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門

会 期: 2018年6月2日(土) ~ 5日(火)

会 場: 北九州国際コンベンションゾーン (北九州市小倉北区浅野地区)

U R L: <http://robomech.org/2018/>

日本混相流学会 混相流シンポジウム2018

主 催: 日本混相流学会

開 催 日: 2018年8月8日(水) ~ 10日(金)

会 場: 東北大学 青葉山東キャンパス (宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6)

U R L: <http://www.jsmf.gr.jp/mfsymp2018/>

一般社団法人 日本機械学会 機械力学・計測制御部門 企画 Dynamics in and Design Conference 2018

総合テーマ: 「伝統と多様性, 新たなる創造へ」

企 画: 一般社団法人日本機械学会 機械力学・計測制御部門

開 催 日: 2018年8月28日(火) ~ 31日(金)

会 場: 東京農工大学 小金井キャンパス (東京都小金井市中町2-24-16)

U R L: <https://www.jsme.or.jp/conference/dmccconf18/>

第36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: 2018年9月5日(水) ~ 8日(土)

会 場: 中部大学 春日井キャンパス (愛知県春日井市松本町1200)

U R L: <http://rsj2018.rsj-web.org/>

エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム (EcoDePS) 2018

主 催: エコデザイン学会連合

開 催 日: 2018年12月5日(水)

会 場: 早稲田大学 西早稲田キャンパス63号館 (東京都新宿区大久保3-4-1)

会 告

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

平成29年度ウインターセミナー
**「フルードパワーに利用できるマイコン技術
 ～機器の駆動に関わるマイコン技術～」**
 開催日時：平成30年3月23日(金) 10:00～16:30

開催趣旨：

マイコンなどについて興味はあるが、具体的に何に使えるかわからない。また、業務に直接関係ないが概略は知りたいなど、これからマイコン（組み込み技術）を始める方、もしくは一般的な知識として知りたいなど、マイコンを使ったことのない受講者に対してマイコン（組み込み）技術の概略のわかる講座を開催します。また、実際の油空圧機器に用いられるマイコンの基本

的な動作・機能を紹介するため、実際に機器を動かす実習も実施します。この機会にマイコン（組み込み）技術に触れてみようという方のご参加をお待ちしています。

開催場所：高度ポリテクセンター

（千葉県千葉市美浜区若葉3-1-2）

皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

詳細は学会ホームページに随時掲載いたします。

平成30年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー
**「フルードパワーにおける設計技術のトレンド
 —品質向上と最適化を目指して—」**
 開催日：平成30年5月24日(木) ※今年度より木曜日の開催とします

開催趣旨：

平成30年春季フルードパワーシステム講演会併設セミナーを、平成30年5月24日（木）に機械振興会館（東京都港区）で開催いたします。

製品の品質向上および高機能化はいつの時代においても技術者に求められ、技術者はその要求を実現するために腐心しております。本併設セミナーでは、このような要求を実現した技術

者の方々にそれぞれの事例について紹介していただき、フルードパワー技術者に役立つ設計技術の現状を知る機会を設けます。

詳細は学会ホームページに随時掲載いたします。

なお、日本フルードパワーシステム学会誌49巻2号（2018年3月号）が当日の講演資料となりますので、各自ご持参いただきますようお願いいたします。

皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催
平成30年春季フルードパワーシステム講演会
 開催日：平成30年5月23日(水)～25日(金)

開催趣旨：

平成30年春季フルードパワーシステム講演会は平成30年5月23日（水）～25日（金）に機械振興会館（東京都港区）で開催されます。本講演会では、一般講演に加えて、東北大学中野政身教授による特別講演「MR流体とその先進フルードパワーテクノロジー」、オーガナイズドセッション「機能性流体

によるフルードパワーシステムの高機能化・高性能化」、フルードパワーのシミュレーション」を企画しております。その他、製品技術紹介セッションや技術懇談会などを予定しております。詳細は学会ホームページに随時掲載いたしますので、ご確認いただきますようお願いいたします。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

平成30年春季フルードパワーシステム講演会併設企画
「製品・技術紹介セッション」
 開催日：平成30年5月25日(金)

開催趣旨：

春季フルードパワーシステム講演会の中で、企業関係の方々に製品・技術の紹介をしていただくオーガナイズドセッション「製品・技術紹介セッション」を企画しました。本企画は、製品に係る技術や検討課題などを学会主要行事の1つである講演

会で発表していただき、会員間で問題意識を共有し会員相互の研究・技術の促進を図ろうとするものです。また、本セッションの講演は平成15年より表彰事業の1つとして設立された「最優秀講演賞」社会人部門の審査対象となります。企業関係の会員の皆様の積極的なご参加を心よりお待ちしております。

会 告

日中若手研究者交流事業 招聘者募集のお知らせ

日本フルードパワーシステム学会では、国際交流事業の一環として毎年中国のフルードパワー学会との間で交互に1名の研究者を派遣しています。2018年は7月22～29日の予定で日中共同ワークショップ、中国機械工程学会流体伝動及制御分会の主催する同国内学会での講演、中国の研究者・技術者らとの情報交換、相互交流などを予定しています。招聘を希望される方は、3月30日（金）までに以下宛にメールにてお申し出ください。なお、複数名の申し出がありました場合には、委員会の判断での決定とさせていただきます。どうぞ奮ってご応募いただきますよう、よろしくお願い申し上げます。

takemura@mech.keio.ac.jp 国際交流委員長 竹村研治郎（慶應義塾大学）

日本フルードパワーシステム学会論文集 49巻（2018）1号 発行のお知らせ （公開日：2018/01/24）

【研究論文】

- (1) 磁気混合流体を用いたホーニング加工特性と加工中の磁気クラスタの挙動
山本久嗣, 西田均, 百生登, 島田邦雄, 井門康司
 - (2) 油圧ショベルにおけるモデル予測追従制御の基礎実験
戸松匠, 野中謙一郎, 関口和真, 鈴木勝正
 - (3) 円筒形2段磁極式電磁比例アクチュエータの研究
近藤尚生, 菱田智博, 若澤靖記
 - (4) 流路に直交方向の加振を利用した油圧微粒子励振型制御弁の試作と評価
浮田貴宏, 鈴木康一, 難波江裕之, 神田岳文
- (URL) https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jfps/49/0/_contents/-char/ja

会 員 移 動

会員の種類	正 会 員	海 外 会 員	学 生 会 員	賛 助 会 員
会 員 数 (2月10日現在)	959	16	132	131
差引き増減	+2	±0	+3	±0

正会員の内訳 名誉員14名・シニア員44名・ジュニア員192名・その他正会員709名

正会員

金澤 亮（株式会社日立製作所）

富山 俊作（株式会社日本工業新聞社）

学生会員

橋本 岬（足利工業大学）

湊 優介（芝浦工業大学）

對馬 朗（芝浦工業大学）

編集室

次号予告

——特集「JFPS国際シンポジウム2017」——

〔巻頭言〕第10回JFPSフルードパワー国際シンポジウムの実施報告

〔解説〕JFPS2017福岡における第10回記念講演会

JFPS2017福岡における油圧分野の研究動向

JFPS2017福岡における空気圧分野の研究動向

JFPS2017福岡における機能性流体分野の研究動向

JFPS2017福岡における水圧分野の研究動向

JFPS2017福岡におけるロボティクス分野の研究動向

JFPS2017福岡におけるポスターセッションの研究動向

JFPS2017福岡における展示の概要

最優秀論文賞・最優秀学生論文賞とGFPSアワードの贈呈

JFPS2017福岡 GFPS Best Paper Award を受賞して

JFPS2017福岡参加記

〔会議報告〕山梨講演会2017におけるフルードパワー技術研究

ICMT2017会議報告

〔トピックス〕特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…まとめと国際分類の動向

Youは日本をどう思う？ 第3回：フランスから来日して

〔研究室紹介〕

〔企画行事〕平成29年度オースタムセミナー開催報告「ロボティクス分野における

フルードパワー活用の現状と今後について」

眞田 一志

加藤 友規

風間 俊治

早川 恭弘

竹村 研治郎

鈴木 健児

吉瀬 裕

田中 豊

桜井 康雄

吉満 俊拓

宮木 悠二

古田 優悟

吉田 和弘

巖 祥仁

木原 和幸

レア・ルコント

玄 相昊

名倉 忍

平成29年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 塚村 伊上内加北木栗上五佐妹
 副委員長 越松 藤野堀藤村原林妻嶋藤尾
 委員 秀久 雅朝晃友規剛幸樹英之恭
 行 (東京工業大学) 巳 (沼津工業高等専門学校) 則 (東京海洋大学) 嗣 (CKD(株)) 彦 (宇部工業高等専門学校) 規 (福岡工業大学) 剛 (油研工業(株)) 幸 (財工業所有権協力センター) 樹 (川崎重工業) 英 (KYB(株)) 之 (株工苑) 一 (横浜国立大学) 満 (SMC(株))

委員 中野政身 (東北大学) 晃 (日立建機(株)) 憲 (東京電機大学) 和弘 (株コマツ) 丈夫 (株コガネイ) 秀記 (豊橋技術科学大学) 真の介 (株TAIYO) 宏尚 (岐阜大学) 俊拓 (神奈川工科大学) 和巳 (KYB(株)) 晋 次美 (勝美印刷(株))
 担当理事 伊藤 和巳 (KYB(株))
 学会事務局 成田 晋
 編集事務局 藤谷 秀次
 竹内 留美 (勝美印刷(株))

(あいうえお 順)

会告

複写される方へ

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

権利委託先：(一社) 学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

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

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

〒105
|
0011 東京都港区芝公園三丁目五十二番電話(〇三)三四三三―八四四一
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―三三六九〇 FAX (〇三)三四三三―八四四二

印刷所 勝美印刷株式会社 東京都文京区白山一―一三―七 アクア白山ビル五階