

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

Nov. 2021 Vol. 52 No. 6

特集「AI技術とフルードパワー」

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「AI技術とフルードパワー」

【巻頭言】

「AI技術とフルードパワー」発行にあたって	窪田 友夫	232
-----------------------	-------	-----

【解説】

人工筋肉中のゴムのダイナミクスとAIの組み合わせによるセンサーエミュレーション	西田 三博, 櫻井 良, 中嶋 浩平	233
乱流の機械学習と制御	深淵 康二	237
AIを用いたハンディ油漏れ検出	大津 良司	242
物理モデリングを活用したAIによる予知保全	王 暁星	246
AIと制御系設計—モデルベース開発を利用した強化学習—	村山 栄治	252

【会議報告】

ROBOMECH2021におけるフルードパワー関連技術の研究動向	塚越 秀行	258
----------------------------------	-------	-----

【ニュース】

学会創立50周年 記念特別セミナーおよび記念式典報告	藤田 壽憲	260
----------------------------	-------	-----

【トピックス】

学生さんへ、先輩が語る—油圧機器メーカーで働いて思うこと—	小松 利光	263
笑顔で活躍—お仕事フルードパワー—便—理系への歩みを振り返って—	糸魚川祐香	266
Youは日本をどう思う？第18回：中国から日本に留学して	程 明昭	268

【研究室紹介】

長崎総合科学大学 松川研究室	松川 豊	270
----------------	------	-----

【企画行事】

2021年春季フルードパワーシステム講演会開催報告	酒井 悟 273
---------------------------	----------

【会告】

2022～2023年度役員（理事・監事）候補者推薦のお願い	241
会員移動	262
理事会・委員会報告	276
日本フルードパワーシステム学会2021年度受賞候補者募集のお知らせ	277
日本フルードパワーシステム学会2021年度フェロー認定者推薦のお願い	277
共催・協賛行事のお知らせ	278
資料一覧表	279
フルードパワーシステム総目次（第52巻）	284
次回予告	286

■表紙デザイン：浅賀 美希 勝美印刷(株)

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 “Fluid Power applying Artificial Intelligence Technology”

[Preface]

On the Special Issue “Fluid Power applying Artificial Intelligence Technology”	Tomoo KUBOTA	232
--	--------------	-----

[Review]

Sensor Emulation using AI and the Dynamics of Rubber in Artificial Muscles	Mitsuhiro NISHIDA, Ryo SAKURAI, Kohei NAKAJIMA	233
Machine Learning and Control of Turbulence	Koji FUKAGATA	237
Oil Leak Detection Technology from Equipment using AI	Ryoji OTSU	242
AI for Predictive Maintenance with Physical Modeling	Wang XIAOXING	246
AI and Control System Design		
-Reinforcement Learning using a Model-Based Development Environment-	Eiji MURAYAMA	252

[Conference Report]

Research Trend of Fluid Power System on the Robotics and Mechatronics Conference 2021 (ROBMECH2021)	Hideyuki TSUKAGOSHI	258
---	---------------------	-----

[News]

Report on Special Seminar and Ceremony on 50th Anniversary Events of JFPS Society	Toshinori FUJITA	260
---	------------------	-----

[Topics]

Senior talks to students -Working at a Hydraulic Equipment Manufacturer-	Toshimitsu KOMATSU	263
Active with a smile ! - Report on Fluid Power's work		
-Looking Back on My Journey to Science-	Yuka ITOIGAWA	266
What do you think of Japan? 18th : Coming to from China	Mingzhao CHENG	268

[Laboratory Tour]

Matsukawa Laboratory at Nagasaki Institute of Applied Science	Yutaka MATSUKAWA	270
---	------------------	-----

[JFPS Activities]

Report of Spring Conference of Japan Fluid Power System Society 2021	Satoru SAKAI	273
--	--------------	-----

[JFPS News]

241, 262, 276, 277, 278, 279, 284, 286

「AI技術とフルードパワー」発行にあたって

著者紹介



くば た とも お
窪 田 友 夫

KYB株式会社

〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1-12-1

E-mail: kubota-tom@kyb.co.jp

1993年カヤバ工業株式会社（現：KYB株式会社）入社。振動制御システムの研究開発に従事。日本フルードパワーシステム学会会員。

フルードパワーは、産業革命（第1次産業革命）以降、長きにわたり発展を続けてきた。一方、電機産業は、第2次産業革命で電気が大きく発展、第3次産業革命ではデジタル技術として、パーソナルコンピュータに始まり、インターネット、情報通信技術などが大きく発展した。さらに人工知能（AI）のブレークスルーがおき、日常生活用品へもAI技術が適用されるようになってきたとともに、第4次産業革命の姿が見え始めてきたともいわれている。

フルードパワーの技術が現在もお発展し続けている理由のひとつとして、このように著しい進化を遂げている電機産業との融合があるといえる。そこで本特集では、AI技術がフルードパワーの分野でどのように活用・研究されているのかについて大学や企業の皆様から事例を紹介いただいた。

西田三博氏（ブリヂストン）、櫻井良氏（ブリヂストン）、および中嶋浩平氏（東京大学）には、「人工筋肉中のゴムのダイナミクスとAIの組み合わせによるセンサーエミュレーション」と題して解説をいただいた。ソフトアクチュエータの中でも大駆動力を得られるMcKibben型人工筋肉を対象として、その内圧と電気抵抗値から人工筋肉の長さを精密推定する手法を構築したとのこと、その方法や実験結果について説明していただいている。

深瀬康二氏（慶應義塾大学）には、「乱流の機械

学習と制御」と題して解説をいただいた。本解説では、科研費基盤A「機械学習による乱流ビックデータの特徴抽出手法の構築」および、後継課題である科研費基盤S「機械学習を活用した革新的流れ制御パラダイムの創出と実践」の補助を受け、円柱回り流れやチャネル乱流といったカノニカルな流れやその制御に対する機械学習の応用可能性に関する調査を行った中から、乱流の機械学習と制御に向けた研究をいくつか紹介いただいた。

大津良司氏（知能技術）には、「AIを用いたハンディ油漏れ検出」と題して解説をいただいた。油漏れを直接設備に触れることなく離れた場所から始業点検時、巡回や気になった時など昼夜問わず、人が携帯するかドローンに搭載してさまざまな対象物にセンサを向けるだけで簡易に検出できるAIを用いた検出技術を開発したとのこと、そのセンシング手法やセンシング結果について紹介いただいた。

王曉星氏（MathWorks Japan）には、「物理モデリングを活用したAIによる予知保全」と題して解説をいただいた。故障データがない場合の一アプローチとして、物理モデリングを活用したデータ生成を例に、予知保全システムの開発ワークフローの各ステップについて説明いただいた。

そして、村山栄治氏（芝浦工業大学）に「AIと制御系設計—モデルベース開発を利用した強化学習—」と題して解説をいただいた。本解説では、AI技術を用いた制御系設計について、強化学習による学習方法を制御系設計のエンジニアの視点で説明いただくとともに、質量—バネ—ダンパシステムを制御対象としたシミュレーション事例を紹介いただいた。

最後に、ご多忙の中、ご寄稿いただいた執筆者の皆様へ深く感謝するとともに、厚く御礼申し上げる。

（原稿受付：2021年9月2日）

解説

人工筋肉中のゴムのダイナミクスとAIの組み合わせによる
センサーエミュレーション

著者紹介

にし だ みつ ひろ
西田 三博(株)ブリヂストン ソフトロボティクス事業開発推進部
〒187-8531 東京都小平市小川東町3-1-1
E-mail: mitsuhiro.nishida@bridgestone.comさくら い りょう
櫻井 良株式会社ブリヂストン
〒187-8531 小平市小川東町3丁目1番1号
E-mail: ryo.sakurai1@bridgestone.co.jp

1999年東京工業大学有機材料工学科博士後期課程修了。現在、株式会社ブリヂストンソフトロボティクス事業開発推進部にソフトロボティクス要素技術の開発に従事

なか じま こう へい
中嶋 浩平東京大学大学院情報理工学系研究科
東京都文京区本郷7-3-1

E-mail: k_nakajima@mech.t.u-tokyo.ac.jp

2009年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。博士(学術)。東京大学大学院情報理工学系研究科にて准教授。東京大学連携研究機構次世代知能科学研究センター准教授(兼務)、北海道大学人間知×脳×AI研究教育センター客員研究員(兼務)、株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)客員研究員(兼務)。専門は物理リザーバ計算、ソフトロボティクスなど

1. 緒言

従来のロボットは、高剛性のパーツを使い、省人化や生産性の向上を目的とし、大駆動力で高速に、かつ正確に繰り返し作業などができる物が主流だった。近年、AI技術の進歩などで、ソフトロボットの制御が一部可能になってきており、今までのように工場内だけではなく、人とロボットの協調が可能になりつつある。

筆者らは、ソフトアクチュエータの中でも、大駆動力を得られるMcKibben型人工筋肉(以下RA)に着目し、このアクチュエータの精密制御を試みている。

McKibben型RAは、ゴムチューブと繊維からなるシンプルな構造であり(図1-A)、RA内が大気圧の時は形状が変化しない(図1-B)が、RA内部を加圧すると、軸方向に収縮するアクチュエータである(図1-C)。人体に優しいソフト材料でありながら、軽量で駆動力も高い。

精密制御のためには、RAの長さ情報取得が必須¹⁻³⁾、であり、RAの長さを知るために、いくつかの式が提案されている。収縮力Fは、式(1)として記述できる。

$$F = \frac{\pi D_0^2 P}{4} \frac{1}{\sin^2 \theta_0} [3(1-\varepsilon)^2 \cos^2 \theta_0 - 1], \quad (1)$$

ここで、PはRAの内部圧力、 ε は収縮率、 D_0 はチューブの初期直径、 θ_0 は初期の編組角度である。しかし、ゴム自身がヒステリシスを持つ材料であり、同じ内部圧力であっても伸びる際と縮む際に長さが異なるため、式1からRAの長さを推定することが困難である。また、運用時にはレーザー変位計などの長さ測定センサーは、つけることができない。

そこで、筆者らは、まずは荷重一定下で、RAの長さを精密に予測することを試みた。ゴムの内部ダイナミクスを測定するためにRAのゴムに特殊な導電カーボンを用い、抵抗を測定できるようにした。そして、RAの内部圧力および抵抗値を入力パラメータとし、AIとして、リザーバコンピューティングの

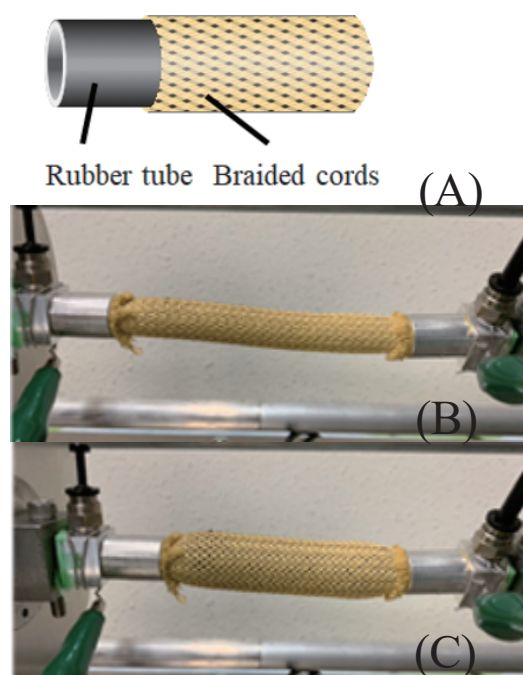


図1 RAの構造および形状
(A: 構造, B: 減圧時, C: 加圧時)

1種であるEcho State Networkを用いる（以下ESN. ESNは入力ノード，リザーバー内部にある計算ノードおよび出力ノードで構成される.）ことで，RA長さを精密に予測することに成功した⁴⁾.

2. 本研究の目的

しかし，実際のRA運用時は，荷重が常に変化し，かつ，荷重はRA長さに影響を及ぼす．残念ながら，運用時には荷重センサーを取り付けることができないため，荷重を測定することができない．

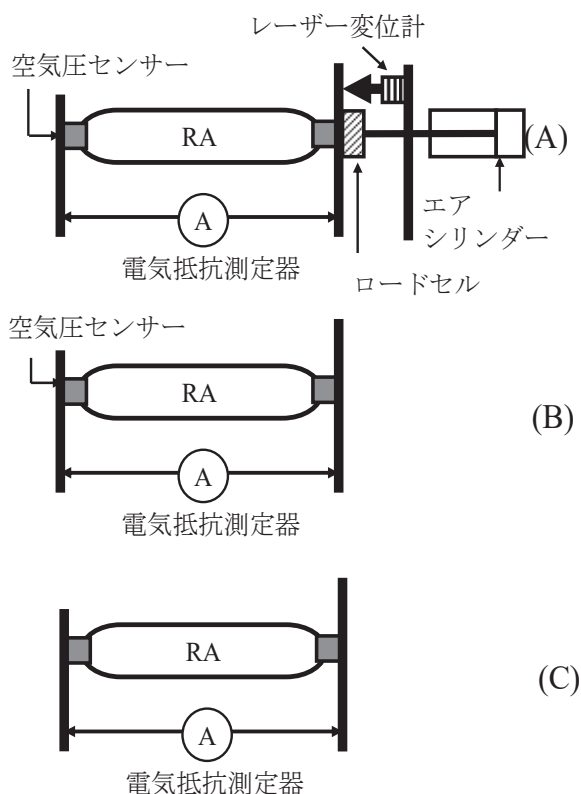


図2 装置模式図 (A) 学習時，(B)～(C) 運用時につけるセンサー

つまりRAの長さ学習時には図2-(A)のように，センサーを4つ（内圧計，電気抵抗計，荷重検知センサー，長さ測定用センサー）つけられるが，実際の運用時には図2-(B)のように，内圧計と電気抵抗測定しかできないため，この2つの入力のみからRA長さを予測しなければならない．もし，図2-(B)のように2つのセンサーのみから，RA長さを精密推定できた場合，将来的には図2-(C)のような電気抵抗だけからRA長さを推定できる可能性もあるが，本検討では，図2-(B)にとどめる．つまり，本検討ではRA長さに大きな影響を及ぼす「荷重」が測定できない条件下で，RA内圧と電気抵抗のみからRA長さを精密推定する手法を構築する．

3. ESNの事前学習による荷重推定

そこで筆者らは，これらを達成するための手段を考案した．まず，RAの長さを求める手法は，荷重一定下の際に，長さ予測に使ったESNを用い，入力パラメータとしては，同様に抵抗と，内圧を用いる．この入力から最初に荷重を予測し，予測された荷重をESNのリザーバーへフィードバックし，この荷重のフィードバック値も用いて長さ予測することを考えた．このアプローチは，リザーバー内のウェイトを事前にトレーニングする方法と似ている⁵⁻⁸⁾.

図3に内圧と電気抵抗から荷重を予測し，その荷重値を入力にフィードバックする概念図を示す．荷重を予測してリザーバー内にフィードバックすることは，ESNのリザーバー内の重みを学習させたことと等価と考えられる．この事前学習で，内部の重みを事実上変更することを以降，内在化と定義する．したがって，学習時に荷重センサーから荷重を測定し，電気抵抗と内圧から荷重を予測できるようにしておけば，運用時に荷重がランダムに変化したとしても，電気抵抗と内圧からその時点での荷重を予測でき，この荷重予測値を用いてRAの長さを精密推定できる可能性がある．

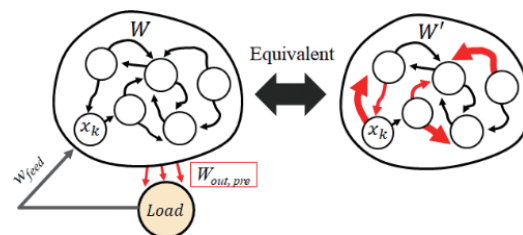


図3 負荷を予測し，入力にフィードバックする意義 (ESNのリザーバーの外部でトレーニングされた荷重のフィードバックグループは，内部の重みの学習を行ったことと等価です．これを「内在化」と定義する．

4. 実験方法とESNのセッティング

本稿では2つの実験を行った．

■実験1：荷重一定にして，RAの内部圧力とRA電気抵抗値からRA長さを予測した．つぎに，荷重をランダムに変化させながら，内部圧力と電気抵抗のみからRA長さを予測した．また，設定荷重をランダムに変化させながら内部圧力と電気抵抗と荷重実測値からRA長さを予測した．ここで注意してほしいのは，荷重実測も入力に加えて長さを予測するのはあくまでも，目標を設定するためであり，運用時には荷重実測値は測定できない．

■実験2：今回のESNの内在化による実験を行っ

た. RAの内圧と電気抵抗値から荷重を予測し, その荷重を入力にフィードバックしてRAの長さの予測を行った.

実験条件を示す. 実験1の1番目だけ, RA内圧をランダムに, それ以降は, RA内圧と荷重両方をランダムにし, 抵抗と長さを測定した. 内圧は0~0.5MPa, 荷重は100~300Nの間でランダムに選択された. この検知ループを「タイムステップ」と呼び, 0.1秒おきに行った. 内部計算ノードMを300に固定した. 図4に, 実験1と実験2の概略を示す. 各タイムステップごとの内圧, 内圧の入力重み, 電気抵抗, 電気抵抗の入力重み, リザーバー内の内部ノード, 内部重み, および出力をそれぞれ, u_k^{pres} , $w_{in,pres}$, u_k^{res} , $w_{in,res}$, x_k , W , y_k とする. 内部ネットワークの重み W は各ノードを接続するが, 範囲 $[-1.0 \sim 1.0]$ からランダムに決定する.

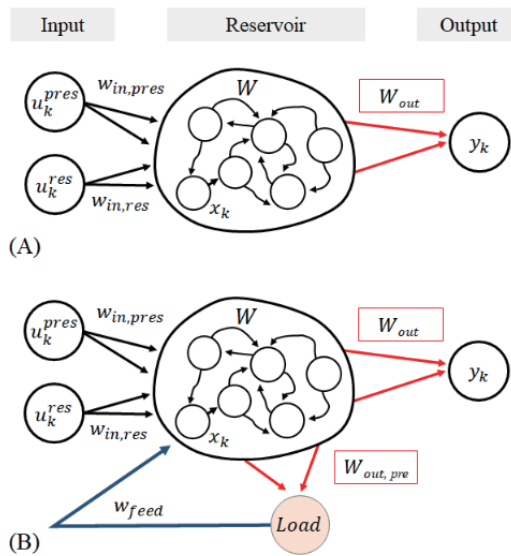


図4

- (A) 一般的なESNを用いてRA長を推測する手法. PAMの長さは内圧と抵抗から推察する.
 (B) 負荷を1回予測し, 予測値をフィードバックしてPAMの長さを推定する.

入力重み $w_{in,pres}$ と $w_{in,res}$ は, 入力ノードを内部ノード

に接続し, 範囲 $[-1.0 \sim 1.0]$ からランダムに決定する. 活性化関数は $f(x) = \tanh(x)$ を使用する. 実験1では荷重予測のフィードバックを使わないため, ウォッシュアウトフェーズ (リザーバー内部のノードが安定化するまで廃棄するデータ数) は最初の5,000タイムステップに設定され, 学習フェーズおよび評価フェーズはそれぞれ次の10,000タイムステップごとであった. また, 実験2では荷重予測を用いるため, 最初の5,000タイムステップはウォッシュアウト, つぎの10,000タイムステップでは, 荷重を使った内在化フェーズ, つぎの10,000タイムステップでは, closed loopで1タイムステップずつ, 荷重を予測しながら, つぎに10,000タイムステップで, 予測された荷重を用いてRA長さを推測した. 長さ予測の学習は, リッジ回帰を使用して線形読み出し重み W_{out} を調整した. 図4 (A)は, 従来から使用されているRA長さ推定計算方法を示している. 入力パラメータには, u_k^{pres} と u_k^{res} の2種類があり, これら2つの入力から y_k (RA長さ) が推定される. システムの時間発展はつぎのように表される.

$$x_k = f(\sum W x_{k-1} + W_{in,pres} u_k^{pres} + W_{in,res} u_k^{res}),$$

$$y_k = \sum W_{out} x_k.$$

図4 (B) は, 荷重が一度予測され, 内部ダイナミクスが変更されたESN設定を示している. 入力パラメータは図4 (A)と同じ, 圧力と抵抗だけだが, 荷重が予測されると, 内部ダイナミクスが変更される. システムの時間変化はつぎのように表される.

$$x_k = f(\sum W x_{k-1} + W_{feed} Load_{k-1} + W_{in,pres} u_k^{pres} + W_{in,res} u_k^{res}),$$

ここで,

$$Load_{k-1} = W_{out,pre} x_{k-1}.$$

なので, x_k は, 以下の式であらわされる

表 実験1および実験2の結果

		Input			Length NMSE
		Pressure	Resistance	Load	
Load	Constant	Measured	Measured		0.0523
	random	Measured	Measured		0.201
		Measured	Measured	Measured	0.0138
		Measured	Measured	Estimated	0.0335

$$x_k = f(\sum (W + W_{feed} W_{out, pre}) x_{k-1} + W_{in, pres} u_k^{press} + W_{in, res} u_k^{res}).$$

式を見るとわかるように、図4(A)と図4(B)では、入力パラメータは、まったく同じだが内部重みが変わっている。図4(A)の内部重みは W だが、図4(B)の内部重みは $W + W_{feed} W_{out, pre}$ と変化していることに注意のこと。

5. 結果と考察

表に、実験1と2の長さ予測の予測精度(NMSE)を示す。なお、NMSEとはMSEを規格化したものである。評価用データ数を K 、実測長さを $\hat{y}_i$ 、予測長さを y_i 、標準偏差を σ とするとNMSEは以下の式で表され、小さいほど予測精度が高いことを示す。

$$NMSE = \frac{\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sigma^2(\hat{y})}$$

実験1

荷重一定で、内圧と抵抗からRA長さを推測した場合の予測NMSEは0.0523と予測と実測が良好な一致を見せた。一方、荷重をランダムにすると長さの予測精度が大幅に落ち、0.201となる。

なお、荷重が実測できた場合は長さ予測のNMSE=0.0138と極端に良くなる。なお、荷重が実測できた場合の長さ予測の精度NMSE=0.0138を目標値とする。

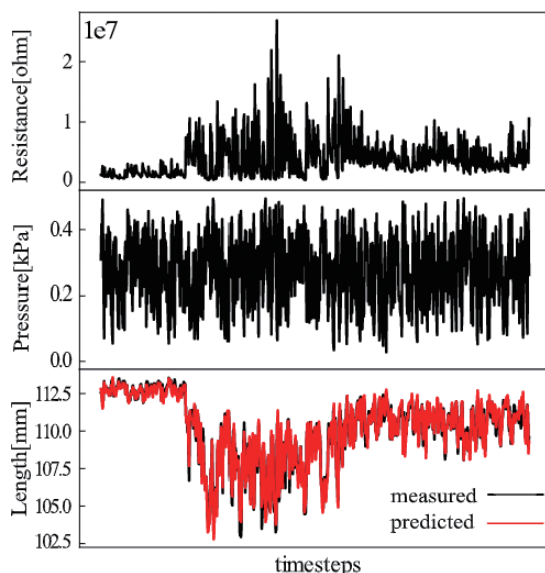


図5 抵抗と内圧からの長さ予測の時系列データ
上から、抵抗値、圧力値、長さ値(黒が実測、グレーが予測)。

実験2

荷重をランダムにして、最初に内部重みを学習させ、内圧と抵抗から長さを予測した際の、抵抗、内圧、長さ(実測/予測)を図5に示す。

実験2でのNMSEは2入力にもかかわらず、0.0335となり、同じ抵抗、圧力から長さを予測したものと比較すると大幅に予測精度が向上したことがわかる。事前学習効果で内部重みの学習(内在化)により予測精度が大幅に上がった。

6. 結 言

筆者らは、センサーエミュレーション(長さ予測)を行う際、事前学習をさせることで、同じ入力パラメータを使っても予測精度を向上させることに成功した。今後は、さらなる応用として、センサーをひとつだけ取りつけ、すべてを外し、事前学習によってどこまで長さ予測を精度よくできるか調査していく予定である。

参考文献

- 1) T. Abe, S. Koizumi, H. Nabae, G. Endo, K. Suzumori, N. Sato, M. Adachi, F. Takamizawa, Fabrication of '18 Weave' Muscles and their Application to Soft Power Support Suit for Upper Limbs Using Thin McKibben Muscle, IEEE Robotics and Automation Letters, 4(3), 2532-2538, 2019.
- 2) S. Koizumi, S. Kurumaya, H. Nabae, G. Endo, K. Suzumori, Braiding Thin McKibben Muscles to Enhance their Contracting Abilities, IEEE Robotics and Automation Letters, 3(4), 3240-3246, 2018.
- 3) T. Kanno, D. Morisaki, R. Miyazaki, G. Endo, A Walking Assistive Device with Intention Detection using Back-driven Pneumatic Artificial Muscles, Proc. of the 2015 IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics, pp. 565-570, 2015.
- 4) R. Sakurai, M. Nishida, H. Sakurai, Y. Wakao, N. Akashi, Y. Ku-niyoshi, Y. Minami, K. Nakajima, Emulating a sensor using soft material dynamics: A reservoir computing approach to pneumatic artificial muscle, Proc. of 2020 3rd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft), pp. 710-717, 2020.
- 5) D. Sussillo, L.F. Abbott, Generating coherent patterns of activity from chaotic neural networks. Neuron 63(4): 544-557, 2009.
- 6) D. Sussillo, L.F. Abbott, Transferring learning from external to internal weights in echo-state networks with sparse connectivity. PLoS ONE 7: e37372, 2012.
- 7) R. Laje, D.V. Buonomano, Robust timing and motor patterns by taming chaos in recurrent neural networks, Nature neuroscience, 925-933, 2013.
- 8) B. DePasquale, C.J. Cueva, K. Rajan, G.S. Escola, L.F. Abbott, A target-based method for training recurrent networks. PLoS ONE 13(2): e0191527, 2018.

(原稿受付: 2021年8月27日)

乱流の機械学習と制御

著者紹介



ふか がた こう じ
深 淵 康 二

慶應義塾大学理工学部
〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1
E-mail: fukagata@mech.keio.ac.jp

2000年スウェーデン王立工科大学院博士課程
および東京大学大学院博士課程修了。東京大学
助手、慶應義塾大学専任講師、准教授を経て、
2015年同大学理工学部教授。流れの制御の研究
に従事。日本機械学会、日本流体力学会などの
会員。TeknDおよび博士（工学）。

1. はじめに

近代的な乱流研究はすでに100年以上の歴史を有し、20世紀末から現在にかけて、実験室レベルでの乱流現象の数値予測は著しい発展を遂げたが、乱流現象の本質の理解や低次元モデリング、あるいはエネルギー機器や気象にあらわれる大規模スケールの乱流の予測と制御は、その強い非線形性とマルチスケール性のために、依然として困難な研究課題である¹⁾。

一方、20世紀後半に一度ブームが到来したニューラルネットワーク（NN）は、近年ビッグデータへの注目とともに再び注目され、さまざまな分野においてNNを用いた機械学習の活用が期待されている。乱流現象は本来、巨大自由度を有する非線形ダイナミカルシステムであるため、乱流の大規模シミュレーションや高精細計測で得られる乱流ビッグデータは機械学習を用いた解析に適しているはずである。また、古典的なNNでは時系列の変化を予測することや大規模データを扱うことが困難であったが、近年では、画像解析分野で著しく発達してきた畳み込みニューラルネットワーク（CNN）に加え、先進的な機械学習ライブラリ群や、巨大自由度を扱うために機械学習に特化した計算機も開発されてきており、今まさに乱流ビッグデータを、機械学習を用いて扱うための準備ができつつある。特にここ数年では流体力学の諸問題に対する機械学習の応用に関する研究が世界中で爆発的な勢いでなされており、プ

レプリントサーバのarXivにはこの分野の論文がほぼ毎日のように投稿されてくる状況となっている。

筆者のグループにおいても、科研費基盤A「機械学習による乱流ビッグデータの特徴抽出手法の構築」（2018～2020年度、課題番号18H03758）および、後継課題である科研費基盤S「機械学習を活用した革新的流れ制御パラダイムの創出と実践」（2021～2025年度、課題番号21H05007）の補助を受け、円柱周り流れやチャネル乱流といったカノニカルな流れやその制御に対する機械学習の応用可能性に関する調査を行っている^{1)~4)}。本稿ではこのうち、乱流の機械学習と制御に向けた研究をいくつか紹介する。

2. 畳み込みニューラルネットワークにもとづくオートエンコーダ（CNN-AE）を用いた流れ場の低次元化

本研究の目的は、機械学習技術を乱流ビッグデータに適用することにより、線形理論だけでは抽出できない乱流の自己生成維持機構の本質である非線形モードを抽出すること、さらにはその時間発展方程式を導出することによって新たな非線形特徴抽出手法を構築し、制御理論と組み合わせることにより新たな乱流制御手法を構築することにある。

本研究で主に用いる機械学習モデルは、CNNを用いたオートエンコーダ（CNN-AE）である。CNNの構造はもとより動物の視覚野をモデル化したものであり、局所の画像に複数枚のフィルタを畳み込むことでその特徴を抽出するものである。各フィルタを構成する重み係数は、あらかじめ定められた損失関数を最小化すべく数多くのデータを用いて「学習」を行うことによって最適化される。重み係数の更新にはいわゆる普通の深層ニューラルネットワークである全結合型の多層パーセプトロン（MLP）と同様、誤差関数の値をネットワーク内で逆伝播させる「バックプロパゲーション」によって行われるが、MLPと異なり、CNNでは結合が局所に限定されていること、およびフィルタの重みが各層で共有されていることにより、同じ入力次元のMLPと比

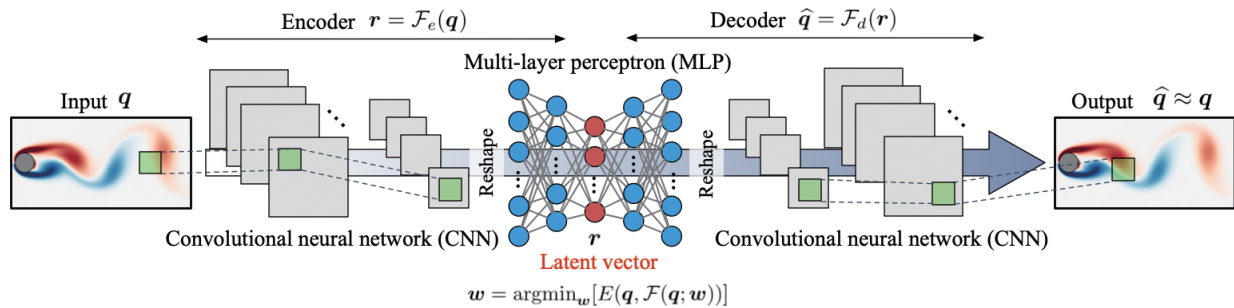


図1 畳み込みニューラルネットワークを用いたオートエンコーダ (CNN-AE) の概念図⁵⁾. (K. Fukami, K. Hasegawa, T. Nakamura, M. Morimoto, and Koji Fukagata, "Model order reduction with neural networks: Application to laminar and turbulent flows," *SN Comput. Sci.* 2, 467 (2021). Copyright© The author(s), 2021. Published by Springer Nature.)

べて非常に少ない計算量で学習が行えることが利点であり、高次元データが頻繁にあらわれる流体場データにも適したネットワーク構造である。また、上流側の層から下流側の層にかけて次元を削減していくことにより、入力データの特徴を抽象化でき、ノイズなどに対してもロバストになることもCNNを用いたネットワークの長所である。

図1に一連の研究で主に用いているCNN-AEの基本構造⁵⁾を示す。入力データ q は流れ場のデータ（速度場、圧力場、渦度場など）であり、われわれの扱っている問題では10万～1,000万程度の次元を持つベクトルである。入力データ q はCNN-AEのうち入力側の半分であるエンコーダ部によって次元圧縮され、中間部のMLPを通り、CNNデコーダ部で次元拡大され、出力ベクトルが得られる。CNN-AEではこの出力ベクトルが入力ベクトルと一致するよう重み係数の最適化、すなわち学習が行われるが、学習済みのネットワークではその一番圧縮された部分の潜在変数ベクトル r が入力ベクトルの情報を抽象化した形で十分に含んでいることになる。

3. 乱流の機械学習と制御に向けた取り組み

乱流への機械学習の適用可能性の調査として上述のCNN-AEと同様の構造を用いて最初に取り組んだ研究が、流入・流出境界を持つチャンネル乱流の直接数値シミュレーション (DNS) に用いることのできる入口乱流生成器 (MLTG) の提案⁶⁾である。ここでは平行平板間の乱流 (チャンネル乱流) のDNSで得られた、ある1断面における二次元断面速度場データ q_{DNS}^n を入力とし、つぎの離散時刻における断面速度場 q^{n+1} が得られるよう、ネットワークを学習させた。なお、この場合の入力ベクトルの次元は約10万、潜在変数ベクトルの次元は約3,000であるが、これよりも潜在変数ベクトルの次元を圧縮した場合には、この種の乱流での運動量輸送に大きな役割を果たす壁面近傍の細かな渦構造がとらえられなくなってし

まうことも、数値実験により明らかになっている。学習済みのMLTGに対しては、まずMLTG単体で乱流構造の時間発展が定性的・定量的に再現できるかを調査した。この場合、初期値 q^0 にはDNSデータを用いる必要があるが、その後はMLTGから出力 q^{n+1}_{ML} を次の時刻における入力 q^n として再帰的に用いることにより、さまざまな空間スケールの構造をもった断面乱流場の時間発展が再現できる。また、MLTGを用いて計算された乱流統計量を用いた定量的な評価によってもDNSの乱流統計量（すなわち、正解）と良い一致が得られることが確認できた。さらに、学習済みのMLTGを実際に流入・流出境界DNSの流入境界条件として計算を行ったところ、得られた乱流統計量はドライバDNS（流入・流出境界DNSで従来用いられている流入境界条件を計算するための周期境界DNS）を用いた場合と見分けがつかない程度に一致し、また時間発展する流入速度場の計算に要する時間も、われわれの計算環境ではドライバDNSを用いる場合の約580分の1であった。

上記の例では乱流の低次元化は行えるものの、中間層のMLPの情報を用いて3,000もある潜在変数の支配方程式を導出することは困難である。そこで、簡単な非定常流である低レイノルズ数の円柱周り流れの問題に立ち返り、次元の圧縮と、時間発展方程式の導出を分けて考えることにした⁷⁾。ここではまずCNN-AEを用いて2つまでに圧縮された流れの特徴（潜在変数 $r=(r_1, r_2)$ ）を抽出し、その時間変化 dr/dt を数値微分によって算出し、これら両者の関係を記述する非線形の最尤関係 $dr/dt=\theta(r)\zeta$ をSparse Identification of Nonlinear Dynamics (SINDy)⁸⁾という非線形回帰手法を用いて求める。ここに $\theta(r)$ はライブラリ関数と呼ばれるもので、 r に関して考え得る非線形項が含まれており、 ζ は回帰によって求めるべき係数行列である。なお、非線形項の数が膨大にならないよう、 L_1 正則化と呼ばれる手法を用いて回帰を行っている。その結果（図

$$\alpha = 1.2 \times 10^{-8}$$

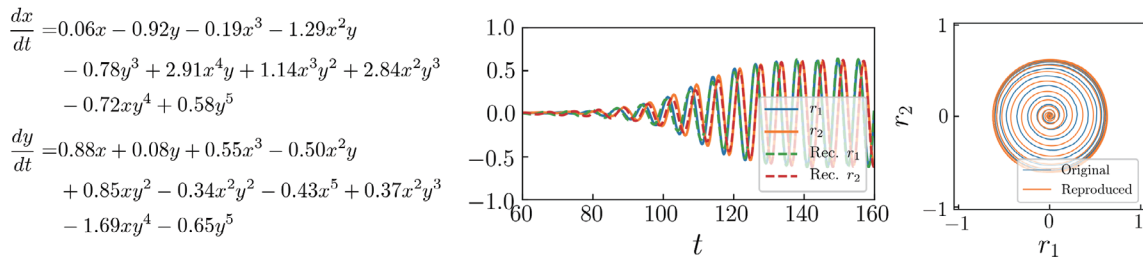


図2 渦放出を始めつつある円柱周り流れに対してCNN-AEとSINDyを用いて得られた潜在変数 $r=(r_1, r_2)$ （方程式中では x, y と表記）の支配方程式、およびそれを数値積分して得られた潜在変数の時間変化および位相空間での軌跡⁷⁾。左図では実線が正解、破線が導出された支配方程式を数値積分した結果。（K. Fukami, T. Murata, K. Zhang, and K. Fukagata, "Sparse identification of nonlinear dynamics with low-dimensionalized flow representations," *J. Fluid Mech.* 826, A10 (2021). Copyright© The Author(s), 2021. Published by Cambridge University Press.)

2), 潜在変数を支配する非線形な常微分方程式が得られ, さらにこれらを数値的に時間積分したものの挙動も, 元のDNSの挙動と多少の位相差はあれど, その挙動をよく再現できることがわかり, 流れ場の非線形低次元化とその支配方程式の導出が行えることが示された⁷⁾。

乱流の場合には後述するように流れ場の低次元化に関して一層の改善が必要であるため, すでに別の手法で低次元化された乱流のモデルである9方程式せん断流モデル⁹⁾を用いてSINDyを用いた常微分方程式の導出の可能性を調査した。その結果, 乱流においても9つの変数($a_1 \sim a_9$)に対するモデル方程式を数値積分することによって得られる計算データからSINDyを用いて元のモデル方程式とほぼ同等の支配方程式が復元できることがわかり, またそれらのカオス的な挙動も良く再現できることがわかった⁷⁾。

潜在変数の時間発展挙動の記述に関しては, 上述の常微分方程式の導出に加え, 時間発展データを扱うことのできる機械学習ネットワークであるLong Short Term Memory (LSTM) の使用も検討した。さまざまなレイノルズ数の円柱周りの流れ¹⁰⁾, およびさまざまな形状の物体周りの流れ¹¹⁾に対して, CNN-AEとLSTMを用いた低次元モデル (ML-ROM) を開発し, 流れの時間変化のみならず, 学習に用いていない形状の物体にはたらく抵抗係数や揚力係数といったマクロな量の定量的な予測も可能であることを示した。一方で, レイノルズ数 $Re=40$ の円柱周り流れなど, 流れの形態が学習に用いた場と大きく変わるような場合の予測が難しいこともわかった。

また, 同様の手法を用いてチャネル乱流に対するML-ROMの構築も行った¹²⁾。ML-ROMでは, まずDNSデータを用いて3次元CNN-AEの学習を行い, 得られた潜在変数ベクトルの時間発展に対して,

LSTMを用いてその時間発展挙動を学習させ, 学習済みの3次元CNN-AEとLSTMを用いることにより3次元速度場の時間発展を再現した。再現された場の統計量はDNSの統計量と比較し, 定量的に良好な一致を得た。また, ダイナミクスの観点からもDNSと定性的には良好な一致を確認したが, ダイナミクスの詳細に関しては改善の余地が大きく残されており, 今後の課題である。

CNN-AEを用いて抽出された非線形低次元モードの物理的解釈は元の流れ場の理解や制御に向けて重要である。そこでまず, 円柱周りの2次元非定常流に対し, 非線形低次元モードを可視化できるネットワーク構造 (MD-ANN-AE) を提案し, 各非線形モードから復元された場にどのような流れの構造が含まれているかを調査した¹³⁾。まず, MD-CNN-AEに含まれる活性化関数をすべて線形なものとした機械学習モデルの結果からは, CNNオートエンコーダは基本的には固有直交分解 (POD) と同様の分解を行っていることが示された。さらに, 非線形の活性化関数を含むMD-CNN-AEはPODよりも低い再構成誤差を示し, 活性化関数に含まれる非線形性がモデル性能を向上させていることがわかった。その上で, 非線形のMD-CNN-AEによって得られる非線形モードから復元した場のそれぞれにPODを適用したところ, ひとつの非線形MD-CNN-AEモードには複数のPODモードが順序良く内包されていることがわかった。この結果は, 従来のPODモードとの解釈可能な関係を維持しながら, 非線形MD-CNN-AEがPODよりも低次元の流れ場の特徴抽出に使用できる可能性を示唆している。

機械学習を用いて乱流を低次元化し, その支配方程式を導出するために残されている一番の大きな課題は低次元化手法の大幅な改善であり, そのひとつとして行ったのが階層型CNN-AEの提案である¹⁴⁾。

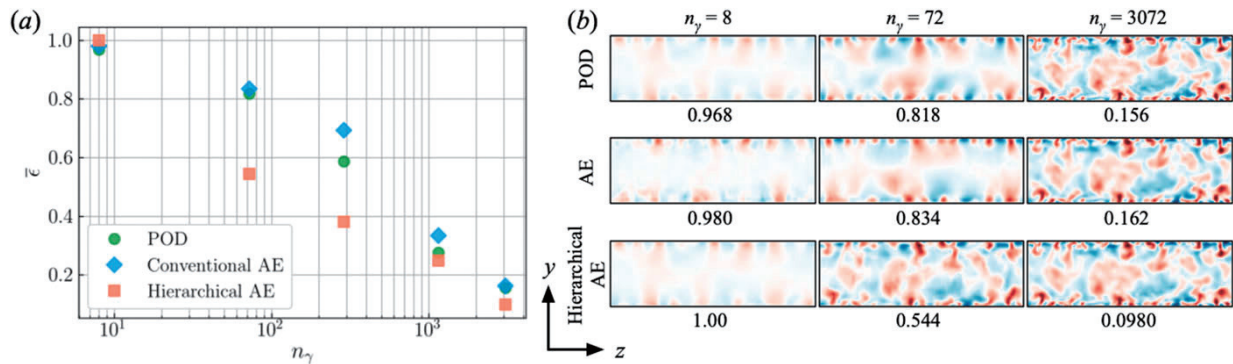


図3 階層型CNN-AE (Hierarchical AE) を用いたチャネル乱流の断面流速分布の再構築¹⁴⁾: (a) 再構築に用いたモード数 n_γ と再構築誤差 ϵ との関係, (b) 288モードを用いて再構築された瞬時の速度場. PODは固有直交分解, Conventional AEは従来型のCNN-AE. (K. Fukami, T. Nakamura, and K. Fukagata, "Convolutional neural network based hierarchical autoencoder for nonlinear mode decomposition of fluid field data," *Phys. Fluids* 32, 095110 (2020). Copyright© 2020 by the American Institute of Physics. With Permission.)

階層型CNN-AEでは、まず1番目のCNN-AEで場の低次元化を行い、そこで得られた潜在変数を固定し、2番目のCNN-AEにスタックして2番目のCNN-AEの学習を行う。これにより、1番目のCNN-AEではとらえきれなかった特徴が2番目のCNN-AEでとらえられることになる。これを複数段階繰り返して学習を行うことにより、効率的な低次元化を目指した。この階層型CNN-AEを用いてチャネル乱流の断面流速分布を低次元化し、既存の手法との比較を行った(図3)。再構築誤差として約40%を許す場合には、既存の手法であるPODや従来型のCNN-AEでは約800個の潜在変数が必要となるのに対し、階層型CNN-AEでは約300個で済むことが示唆されており、効率的な低次元化が行われていることが確認できる。しかし、低次元ダイナミクスの常微分方程式を導出するにあたって許容できる誤差はせいぜい10%程度であり、その程度の誤差に収めようとする、階層型CNN-AEでも既存の手法と同様、約3,000個の潜在変数が必要となることが示唆されている。乱流に対するさらなる低次元化手法の改良は今後の課題である。

4. おわりに

本稿で紹介した以外にも、機械学習の流体力学への応用に関する研究として、乱流の超解像、実験データへの応用、非構造格子に対するCNNの応用、機械学習による予測の不確かさの推定などの研究を行っている。詳細に関してはそれぞれの文献¹⁵⁾を参照されたい。

謝辞

本稿で紹介した一連の研究は、科研費基盤A「機械学習による乱流ビッグデータの特徴抽出手法の構築」(2018～2020年度、課題番号18H03758)お

よび、科研費基盤S「機械学習を活用した革新的流れ制御パラダイムの創出と実践」(2021～2025年度、課題番号21H05007)の補助を受けたものです。加えて、研究分担者・研究協力者の先生方、および研究室学生・卒業生に深く感謝します。

参考文献

- 1) 深淵康二, 山本誠, 岩本薫, 長谷川洋介, 塚原隆裕, 福島直哉, 守裕也, 青木義満: 機械学習を用いた乱流の特徴抽出手法の構築に向けて, *ながれ*, Vol. 37, p. 524-527 (2018)
- 2) 深淵康二, 深見開: 機械学習を用いた乱流ビッグデータ解析に向けて, *計測と制御*, Vol. 59, p. 571-576 (2020)
- 3) 深淵康二, 機械学習の乱流への応用, *日本機械学会誌*, Vol. 124, No. 1232, pp. 10-13 (2021)
- 4) 深淵康二, 深見開, 機械学習縮小モデルを用いた革新的流れ制御に向けて, *伝熱*, Vol. 60, No. 253, p. 12-15 (2021)
- 5) Fukami, K., Hasegawa, K., Nakamura, T., Morimoto, M., Fukagata, K., Model order reduction with neural networks: Application to laminar and turbulent flows, *SN Computer Science*, vol. 2, 467 (2021).
- 6) Fukami, K., Nabae, Y., Kawai, K., Fukagata, K.: Synthetic turbulent inflow generator using machine learning, *Physical Review Fluids*, Vol. 4, No. 6, 064603 (2019)
- 7) Fukami, K., Murata, T., Zhang, K., Fukagata, K.: Sparse identification of nonlinear dynamics with low-dimensionalized flow representations, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 926, A10 (2021)
- 8) Brunton, S.L., Proctor, J.L., Kutz, J.N.: Discovering governing equations from data by sparse identification of nonlinear dynamical systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences* Vol. 113, No. 15, p. 3932-3937 (2016)
- 9) Moehlis, J., Faisst, H., Eckhardt, B.: A low-dimensional model for turbulent shear flows, *New Journal of Physics*, Vol. 6, No. 56, p. 1-17 (2004)
- 10) Hasegawa, K., Fukami, K., Murata, T., Fukagata, K.: CNN-LSTM based reduced order modeling of two-dimensional unsteady flows around a circular cylinder

- at different Reynolds numbers, Fluid Dynamics Research, Vol. 52, No. 6, 065501 (2020)
- 11) Hasegawa, K., Fukami, K., Murata, T., Fukagata, K. : Machine-learning-based reduced order modeling for unsteady flows around bluff bodies of various shapes, Theoretical and Computational Fluid Dynamics, Vol. 34, p. 367-383 (2020)
- 12) Nakamura, T., Fukami, K., Hasegawa, K., Nabaie, Y., Fukagata, K. : Convolutional neural network and long short-term memory based reduced order surrogate for minimal turbulent channel flow, Physics of Fluids, Vol. 33, No. 2, 025116 (2021)
- 13) Murata, T., Fukami, K., Fukagata, K. : Nonlinear mode decomposition with convolutional neural networks for fluid dynamics, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 882, A13 (2020)
- 14) Fukami, K., Nakamura, T., Fukagata, K. : Convolutional neural network based hierarchical autoencoder for nonlinear mode decomposition of fluid field data, Physics of Fluids, Vol. 32, 095110 (2020)
- 15) 機械学習のページ, 慶應義塾大学理工学部・深淵研究室, <https://kflab.jp/ja/index.php?21H05007>
- (原稿受付：2021年8月5日)

会 告

2022～2023年度役員（理事・監事）候補者推薦のお願い

選挙管理委員会委員長 眞田 一志

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会では、一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会 細則 第5章第25条および第29条にもとづき、2022～2023年度役員（理事・監事）候補者の推薦を受け付けます。

- ・定数：理事 20, 監事 3
- ・任期：2022年5月28日～2024年5月31日

つきましては、細則 第5章第27条により役員候補者の推薦をお願いします。
なお、役員候補者は、正会員3名以上連記の推薦を受けた正会員となります。

推薦にあたりましては、正会員3名以上連記の推薦書（形式自由）を下記のように提出ください。

提出期限：2022年1月20日（木）
提出先：学会事務局（info@jfps.jp）
〒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

解説

AIを用いたハンディ油漏れ検出

著者紹介



おお っ りょう じ
大 津 良 司

知能技術株式会社
〒530-0047 大阪市北区西天満2-6-8
堂島ビルディング414
e-mail: otsu@chinou.co.jp

博士（生命医科学）大阪大学大学院医学系研究科修了，早稲田大学招聘研究員，2007年知能技術株式会社設立 代表取締役就任，2008年横浜国立大学発ベンチャー 株式会社マシンインテリジェンス設立 代表取締役

1. はじめに

油漏れを直接設備に触れることなく離れた場所から始業点検時，巡回や気になった時など昼夜を問わず，人が携帯するかドローンに搭載してさまざまな対象物にセンサを向けるだけで簡易に検出できるAIを用いた検出技術を開発した。

センサは小型軽量でAIコンピュータやバッテリーを入れても懐中電灯サイズであり，さまざまな用途に使用できる。

油が水と混ざっていても識別ができ，必要に応じて油種の判別もできる。

2. 油漏れ検出の課題

2.1 早期の油漏れ検出の課題

油が装置などから漏れている場合，大量に漏れた場合は床に油が溜まっているのを発見するもしくは油量センサがアラートを出すなどで検出が可能であろう。

しかし，少量油が漏れた段階で設備の異常の予兆をとらえたい場合は，これらの発見手法では検出できない。また，装置に油量センサが付いてない場合も油漏れの検出が難しい。

2.2 漏れている物質の識別の課題

現場では，漏れている状況を発見した場合でも，指で触ってその粘度や臭いから油らしいと定性的な判断を行うことも多く，科学的な判定になっていない。

さらに，埃や泥が固着している場合，油漏れによ

る固着なのか，なにか水分による固着なのかをすぐに判断するのが難しい。

3. 科学的な非接触センサの開発

3.1 センシング手法の検討

離れた場所から油が漏れていることを科学的に検出できる可能性がある4つのセンシング手法について検討を行った。

油の臭いを検出，可視光カメラでの観察，近赤外カメラでの観察，テープや光ファイバーなどに油が付着したことを検出の4つである。

①臭いの検出

臭いの検出は，揮発性の高い油が閉空間で大量に漏れているか，少量の漏れの場合は近接すればセンシングできる。しかしながら，検出条件が限定的であり汎用的には使えない，装置が大型で特定場所では使えないため候補から外した。

②可視光カメラでの観察

潤滑油，軽油，灯油，ベンジン，水を使った実験を行った。透明な液体が何であるか色による判別ができなかった。

また，試験室内の外光の影響を遮断した安定した環境で，かつ白い背景や逆に黒い背景であれば，画像処理によって識別できる場合もあるが，金属面や屋外の光ノイズ，逆に暗い場所など実運用では可視光カメラでは検出が難しい。

③近赤外カメラでの観察

②項同様に潤滑油，軽油，灯油，ベンジン，水を使った実験を行った。

結果，何らかの物体があることは確認できたが，油と水を識別することはできなかった。

④テープや光ファイバーを使ったセンシング

前もって決まった場所の漏れを検出する手法としては有効と考える。しかも，常時監視ができるのは優れた点と考える。しかし，可動部には使えないことやきめ細かく設置するのは難しいため，限定的な用途になるため本研究からは除外した。

⑤結果

上記のいずれの手法も点検や検査時に簡易で精度

の高い油漏れを検出することができないことがわかった。

3.2 紫外光照射による蛍光によるセンシングの可能性

既存の手法では実現できないため、新たにセンシング技術を開発した。

油の有無を検出する先行研究として潤滑油については、T. Mu et al. (2014) が355nmの紫外線パルスレーザーを照射した際の蛍光スペクトルを報告している¹⁾ (図1)。

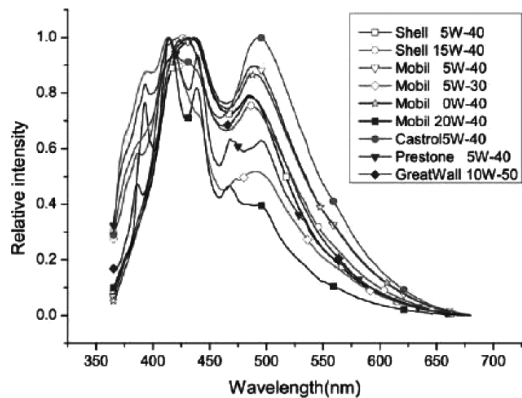


図1 潤滑油の蛍光

紫外光を油に照射すれば油種によるが、蛍光が発光されると考えた。

なお、蛍光とは、ある分子中に存在する電子が励起状態から基底状態に戻る際に発生する光のことをいう。中でも紫外光などの光が原子と相互作用することで電子を励起状態にすることを光励起という。

使用したセンサを表1に示す。

表1 使用センサー一覧

センサー種別	メーカー・型番	レンズ情報
可視光カメラ	SONY・DSC-W170	組込
サーモグラフィ	Optris・PI640 LW	O33 Standard lens (専用品)
近赤外線カメラ	BITRAN・BU-56EM	LM 8 HC-SW (Kowa製)
紫外線カメラ	BITRAN・BU-54DUV	B2528-UV (PENTAX製)

4. 油の蛍光実験

4.1 油へ紫外光照射による蛍光の確認

周囲を暗くした環境で試験管に水、ベンジン、灯油、潤滑油、軽油を入れブラックライトで照射すると蛍光するか確認を行った。結果写真1に示すように各種油は蛍光することがわかった。

一方、水は蛍光しないことがわかる。これから油に紫外光を照射することで油の存在を検出する可能

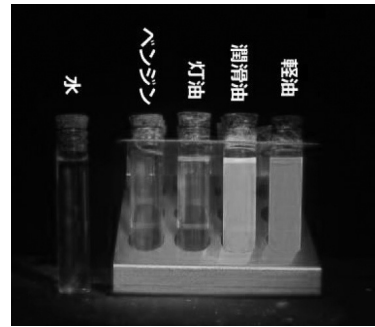


写真1 試験管内の油が紫外光で蛍光するかの確認試験

性があることがわかった。

4.2 油に水が混入している状況の観察

現場においては油だけ漏れているだけでなく、雨水や洗浄・冷却などで油に水が混入している状況も考えられる。

そこで、潤滑油と水を混ぜた混合液を作って観察を行った。

写真2のように目で見ただけでは、水なのか油なのか、あるいは混合しているのかは区別がつかない。



写真2 潤滑油と水を混合した状態

これを紫外光で蛍光させると油があることが検出できることがわかった。

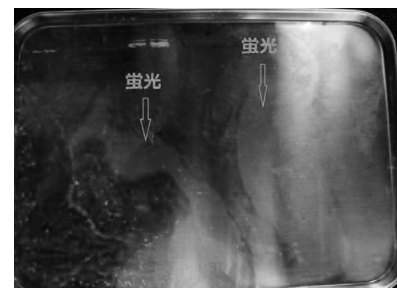


写真3 油と水の混合液に紫外光を照射し油分が蛍光している状況

4.3 屋外での蛍光の観察

屋内の試験環境では外光を制限するなど環境が整っている。この環境では油が紫外光で蛍光することはわかった。つぎに、実環境で目視で確認ができ

るか屋外で蛍光状況を確認した。

実験用の紫外光照射および蛍光状況撮像装置は写真4に示す。



写真4 紫外光照射および蛍光状況撮像装置

実験のイメージは図2示す。



図2 屋外での装置設置概要

潤滑油、軽油、ベンジン、灯油と対照となる水が蛍光するか観察をした。

写真5に示すように昼光の強い光で肉眼では傾向を確認することはできなかった。



水の紫外光照射及び蛍光状況



潤滑油の紫外光照射及び蛍光状況

写真5 屋外で水と潤滑油を蛍光させ観察した結果

5. AIを使った画像解析

5.1 AI蛍光検出ソフトの開発

屋外では目視で微弱的な蛍光を見つけ出すことがで

きなかった。そこで、AIを使い画像分析をすることにした。画像データの解析には、物体の大きさを測定するImageJ画像解析ツールと、蛍光部を抽出するOpenCVライブラリを利用して新たに開発した専用プログラムを使用した。

結果、周囲の画像情報を消去し、蛍光だけを抽出することができた（写真6）。



写真6 画像処理後の蛍光抽出

5.2 屋外でAIを使った画像認識実験

完成したAI画像認識ソフトを屋外で検証をした。まず、写真7に示すように水の蛍光を昼光の下でも認識しないことを確認した。計測距離は1.8mである。



写真7 水が蛍光しないことをAIが認識

つぎに写真1に示した4種の油で確認をした。ここでは潤滑油について写真8で示す。可視光カメラで撮影した画像は写真7の水と変わらないが、紫外線を照射し、AIで画像認識をすると蛍光していることが判別できた。

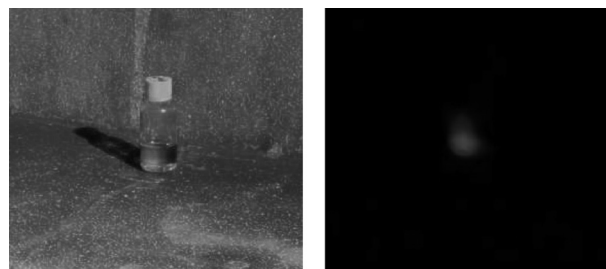


写真8 潤滑油の蛍光をAIが検出

6. AIを使った油漏れ検出の実用化

6.1 ハンディ油漏れ検査装置

AIは開発時点では高速のコンピュータを使う必要がある。しかし、ソフトウェアが完成するとダウンサイジングをして小さなコンピュータで検査をすることができるようになる。このような、現場でハンディに使える小型軽量のコンピュータをエッジコンピュータと呼ぶ。

本開発においても、手のひらに収まる小さなコンピュータで油漏れの有無を検出できるようにした。加えて、紫外線照射装置、蛍光を検出する可視光カメラ、手に持って検査ができるようにバッテリーをひとつのケースに納め、どこでも誰でも簡易に油漏れを検出できるようにした。

装置は、写真9に示す。



写真9 ハンディ油漏れセンサ

点検や検査時にこの装置を対象機器に向けると、油漏れをしている場合はブザー音で通知する。周囲の明るさは関係しないため、屋内や装置の影になっている部分でも油漏れを検出することができる。

また、昼夜間、屋外装置の油漏れ検出を行うことができる。

6.2 ドローンに搭載して上空から測定

小型軽量のため、ドローンに搭載して上空から油漏れを検出することができる。

ドローンを飛ばし、10m上空、20m上空、30m上空から写真1の4種の油と水を計測した。

カメラは可視光カメラを使い、その撮像データをAIで解析した。観察してみると、使用したカメラが露光の自動補正機能が付いていたため全体に明るすぎて画像処理を行うことができなかった。

今後、カメラを画像処理にふさわしい機種に変更して再度計測する必要がある。

なお、ドローンは国産機をオペレータとともにレンタルをした。

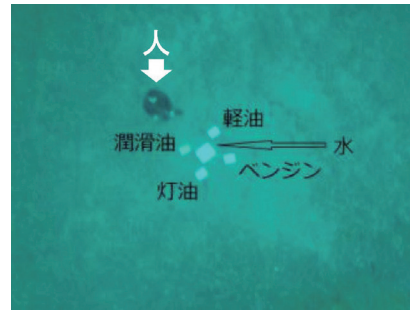


写真10 10m上空からの計測



写真11 20m上空からの計測



写真12 30m上空からの計測

7. 結 論

油漏れを直接設備に触れることなく離れた場所から始業点検時、巡回や気になった時など昼夜を問わず、人が携帯するかドローンに搭載してさまざまな対象物にセンサを向けるだけで簡易に検出できるようになった。

油により蛍光する波長が異なるため、波長を変化させることとAIの認識技術を高めていく。

参考文献

- 1) T Mu, S Chan, Y Zhang, P Guo, H Chan, and F Mang, PLOS ONE. Vol. 19 p. e 100555 (2014)
- 2) W. Schande and J Bublitz. Environ. Sci. Technol., Vol 30, No. 5 p 1451 (1996)
- 3) 一般社団法人日本海事検定協会ノ標準物質等のスペクトルのデータベースの提供報告書, 赤外吸収スペクトルのデータ, 公4-07,

(原稿受付：2021年8月5日)

解説

物理モデリングを活用したAIによる予知保全

著者紹介



おう 王 ぎょう せい 星 (WANG XIAOXING)

MathWorks Japan
〒107-0052 東京都港区赤坂4-15-1-7
E-mail: xwang@mathworks.com

シニア・アプリケーションエンジニア。2007年上海交通大学電子工学科卒業。シュルンベルジェ(株)物理エンジニアを経て、2019年MathWorks Japan入社。現在に至る。AI関連の予知保全業務に従事。日本保全学会、日本物理学会、日本応用物理学会会員。博士(理学)。

1. はじめに

近年、製造業をはじめとするさまざまな業界においてメンテナンス費用の高騰化や機器の老朽化、保守・安全管理の熟練技術者の不足などの背景から「予知保全」への取り組みが注目を浴びている。予知保全では、機器が現在正常に機能しているかどうかを判断する「異常検知」から、機器の故障時期を予測し適切なタイミングでメンテナンスの実施を目指す「故障予測」(図1)までの広範囲かつ段階的な付加価値を有する機能的側面がある¹⁾⁻²⁾。本稿では、異常検知と故障予測をまとめて広義な意味での予知保全と定義し、油空圧機器を題材にAIによる予知保全の考え方に関して説明する。

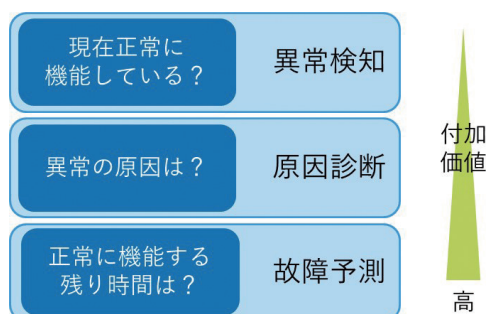


図1 3つの「目的・機能レベル」別予知保全

2. 予知保全のワークフロー

AIを使用した予知保全を実現するために必要なス

テップを一般化してみると下記の4項目に大別される(図2)。

1. データへのアクセスおよび収集
2. 欠損値処理や次元削減などのデータの preprocessing
3. AIの適用と評価によるモデルの構築
4. システムへの統合とアプリケーション化

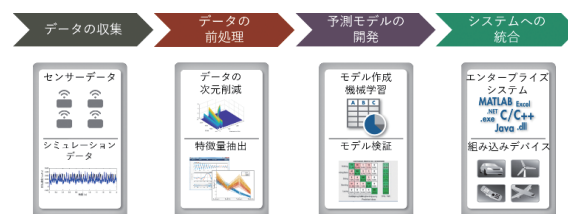


図2 予知保全のための解析ワークフロー

図2の一連の流れを俯瞰すると、AIによる予測モデルの構築は全ステップの一部分であることがわかる。モデルの構築は大量のデータさえあれば、機械学習や深層学習といったAIの技術が自動的に結果を算出してくれるといった印象があるが、残念ながらさまざまな対象や用途に対して汎用的なソリューションは存在しない。一方で、AI関連の技術はここ数年で急速に発展し、最近ではAutoML³⁾と呼ばれるデータの探索、前処理、特徴抽出から予測モデルの作成までに必要な手順を自動化する技術も提供されるなど、AI利用に対するハードルは下がってきている。他方、予測モデルの開発を円滑に行う上では、データの前処理において、データの性質を効果的に抽出した良い特徴量を見つけ出すことが成功の鍵を握る最重要なステップとなる。そこで本稿では、物理モデリングを活用したデータ生成を例に、予知保全ワークフローの各ステップのポイントを解説する。その際、収集されるデータは時系列信号と仮定し、3.3節ではそれらの信号から異常を見つける際に有効な特徴抽出を紹介する。

3. 物理モデリングと予知保全システムの開発事例

3.1 データの収集

予知保全システムの開発において、故障が発生し

ないよう頻繁にメンテナンスを行っている場合や、セーフティクリティカルなシステムのために故障を発生させるわけにはいかないケースでは故障データが不足している場合が多い。故障データがない場合に試行できるひとつの方法に物理モデリングの活用がある。これは各専門領域の物理法則にもとづき機器をモデル化し、故障データをシミュレーションで再現する方法である。その際、さまざまな故障シナリオを想定して物理モデル内にそれらの故障の原因となる劣化のモードを組み込むことで擬似的に故障データを生成する。図3はSimulink®, Simscape™の油圧機能要素ブロックなどを使用して構築したピストンポンプの物理モデルを示している⁴⁾。

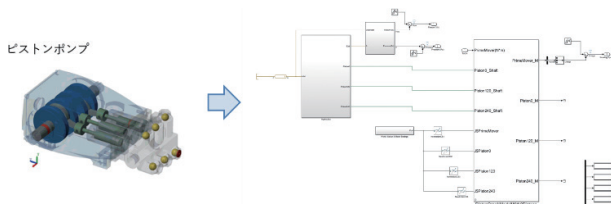


図3 Simulink, Simscapeを使用した物理モデリング

この物理モデルでは故障の要因として、モーターの劣化やベアリングの劣化、またパイプラインからの液体の漏れやパイプラインの目づまりなどの4つの劣化モードを仮定している。各劣化モードは、あらかじめ提供されている機能要素ブロックのパラメーターを調整することで故障を模擬している。たとえば、トルクのパラメーター値を正常値よりも小さくすることでモーターが劣化した状態をあらわし、パイプラインと外部大気が接する断面積の値を大きくすることで液体が外に漏れている状態を現象論的に再現している。図4に正常時（黒色）と2つの劣化モードが組み合わさったピストンポンプ故障時（灰色）の回転速度を示す。図から故障時のデータは正常時の周期とは異なることはわかるが、生データから故障形態を判別することは難しい。そこで、試しにスペクトル解析を行うと、特定の周波数帯でのおのの故障形態を区別できる特徴的なピークが求まる。すなわち、周波数域という特徴空間で故障形態を分別できる良い特徴量を見つけたことになる。なお特徴量とは個々のデータが持つ何らかの特徴を数値化したものであり⁵⁾、3.3節でより詳しく説明する。求められたピーク値とピーク周波数（図5）に対して、後述の機械学習を利用することで故障形態を判別する原因診断のアルゴリズム構築が可能となる（図11）。

3.2 データの前処理

2章でも触れたが、AIはノイズと意味ある重要な

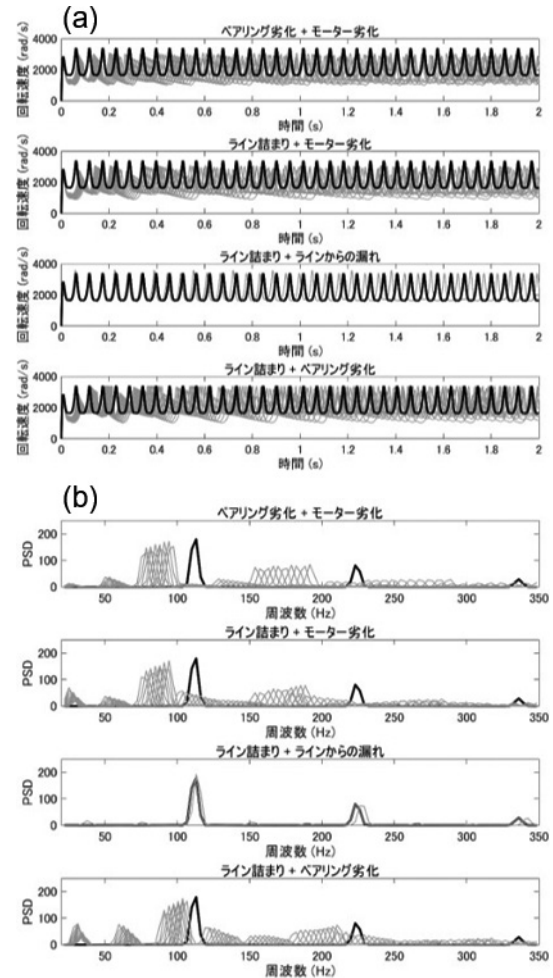


図4 (a)擬似的に生成された正常（黒色）と故障データ（灰色）、(b)周波数域における正常（黒色）と故障データ（灰色）

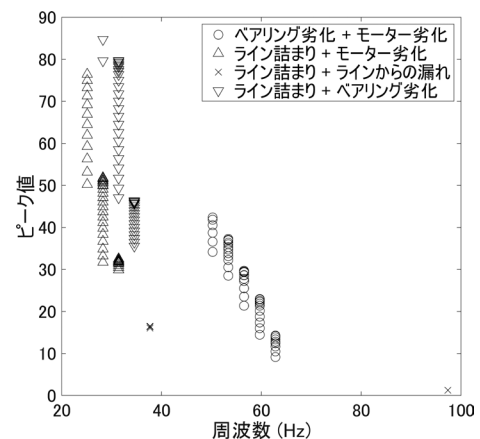


図5 図4(b)の故障データのピーク値とその周波数

情報を自動で区別できるほど万能ではない。異常値は無視してよいのか、それともモデルが考慮すべき機器の異常現象を表しているのかは、機器に詳しい技術者の知見や経験が求められ、データの前処理の大事な作業となる。以下に代表的な前処理作業の例を記す⁶⁾。

・リサンプリング：計測周期が異なるデータは、

同じタイムスタンプに同期する必要がある。

- ・欠損値や異常値処理：計器の異常もしくはシステムの停止等の通常運転時以外のデータを処理する。
- ・ノイズ除去：たとえば流量計では気泡の混入などで大きく測定値が振れる場合がある。これらのノイズはフィルタなどで除去する。

実際、大手油田開発サービス会社のBaker Hughes社は掘削現場で使用する容積式ポンプを搭載したトラックの予知保全⁷⁾を行うために、現場から収集した約1 TBのデータに対して、フィルタリング処理を施すことでポンプ部品のバルブやバルブシートに発生する小さな振動の検出精度を高めた。前処理にはフーリエ変換やスペクトル解析も適用し、最終的には圧力、振動、およびタイミングセンサーから取得したデータが、機械の故障を予測する上で最も重要であることを特定した。前処理が故障予測システムを実現するうえでの良い事例といえる。その他、たとえばデータ同化なども前処理として考えられる。3.1節で紹介した物理モデルから生成されたシミュレーションデータは実測値と比較することで、モデル・パラメータの最適化が行われる。一例としてドイツの充填および包装技術メーカーのKrones社では、三足ロボットを使った飲料パッケージングシステムのパフォーマンス向上にSimulink[®]、Simscape[™]を用いたデジタルツイン（図6）を活用している⁸⁾。構築したデジタルツインから生成されるシミュレーションデータは、実機から取得されるテストデータとの差分を解析することで、モデル・パラメータ

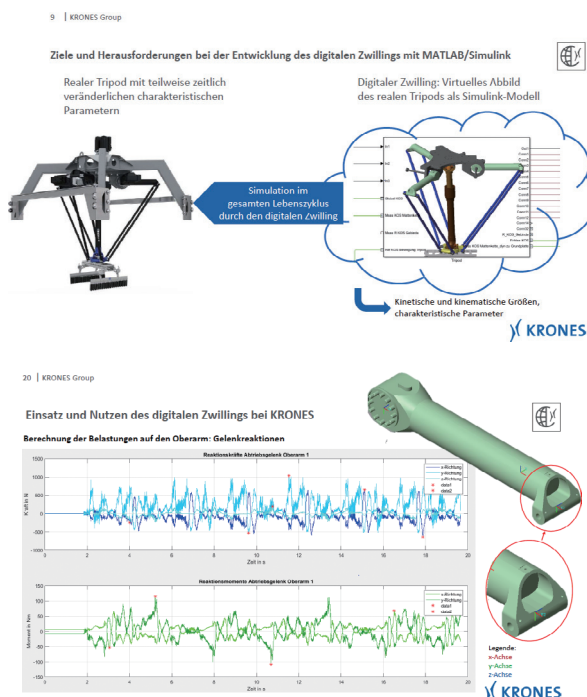


図6 Krones社の三足ロボットのデジタルツインとその適用⁹⁾

の最適化が行われ、モデルの精度を向上させた。結果、故障データの再現が可能となり、機械学習を応用したリアルタイムな予知保全が実現され、パッケージングシステム的大幅なパフォーマンスの改善につながった。なお解析対象が時系列信号の場合は、データの本質を見分ける「特徴量」を抽出することが最も肝心となる。図5では、ピーク値とピーク周波数が特徴量にあたり、次節の機械学習を応用することで故障形態をほぼ100%の精度で分類できる。予知保全システムを開発する上では、AIを活用したモデルの構築に注目が集まりがちだが、実際はデータから良い特徴量を見つけ出すことが非常に大事なステップとなる。

3.3 AIによる予測モデルの構築

3.3.1 特徴抽出と予知保全モデルの開発

前節では、特徴量の重要性に関して言及した。一般的に抽出される特徴量として、時間域、周波数域、時間周波数域、ドメイン固有のものが存在する。図7の上段では、空圧機器のコンプレッサーが正常に稼働している際の音データと故障した際の異音データ¹⁰⁾をMATLAB[®]*を用いて可視化しており、現場技術者はこれらの正常音と異常音を耳で聞き分けられている。この現場技術者の経験は良い特徴量を探索するうえでの重要なヒントとなり、たとえばここでは、人の可聴域を適切に評価できるメル周波数ケプストラム係数およびその時間変動の情報を持つデルタパラメータなどを抽出することで正常音と異常音を区別する異常検知ができることを示唆している。

図8では上記2つの特徴量（各13次元）に対して、標準化後にLSTM（隠れ層ユニット数=100、各クラ

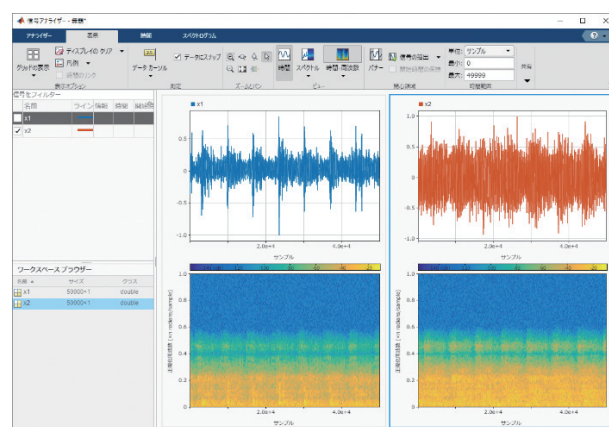


図7 コンプレッサーの正常音と異音のスペクトログラム例

* 本稿ではMATLAB及びそのアドオン製品として、主にSignal Processing Toolbox[™]、Audio Toolbox[™]、Predictive Maintenance Toolbox[™]、Statistics and Machine Learning Toolbox[™]、Deep Learning Toolbox[™]を用いている。

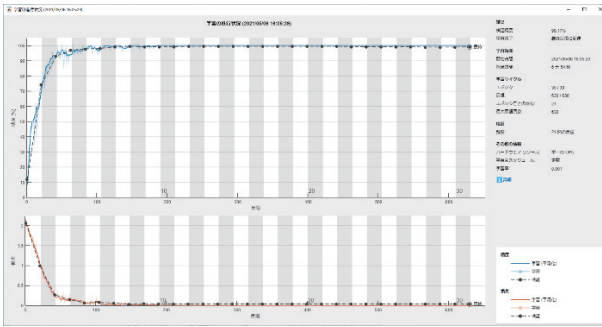


図8 LSTMを活用した学習曲線（上）と損失関数（下）

ス225個のデータを7：2：1でランダムに学習用、検証用、テスト用に分割）を用いた深層学習の結果を示している。生成されたモデルはテスト用データで検証を行い、特に過学習が起きていないことを確認している¹¹⁾。

一方で、特徴量を見つける際は、データのヒストグラムや平均、分散といった基本的な統計量のヒストグラムを描くことから始めてみるのもよい^{12)~13)}。図9では正常と異常の時系列信号から複数の特徴量を算出している。具体的には、標準偏差・尖度・波高率などの時間域の特徴量やピーク振幅・ピーク周波数・帯域パワーなどの周波数域の特徴量を求め、正常と異常の特徴量のヒストグラムを描いている。その際、正常と異常のヒストグラムが重なっている場合は、その特徴量は両者を識別できないことを示唆し、一方で、正常と異常のヒストグラムが分かれば、その特徴量は両者を識別できる良い特徴量となる。さらに、これら複数の特徴量から正常と異常の2クラスに有意差があるかを見つけるために、2標本統計量を特徴量の良し悪しを決めるひとつのスコアとして計算する（図10）。これにより重要度が高い特徴量を選択でき、それらを機械学習に手渡すことで異常検知モデルの作成が可能となる。図11では9つの機械学習モデルの構築を行っているが、分類木が一番良い精度（100%）を出している。上述のアプローチは、図4のピストンポンプから生成された正常と異常の時系列信号にも応用すること

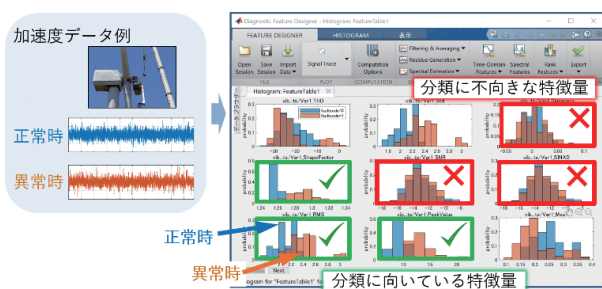


図9 時系列信号から算出した良い特徴量と悪い特徴量の一例

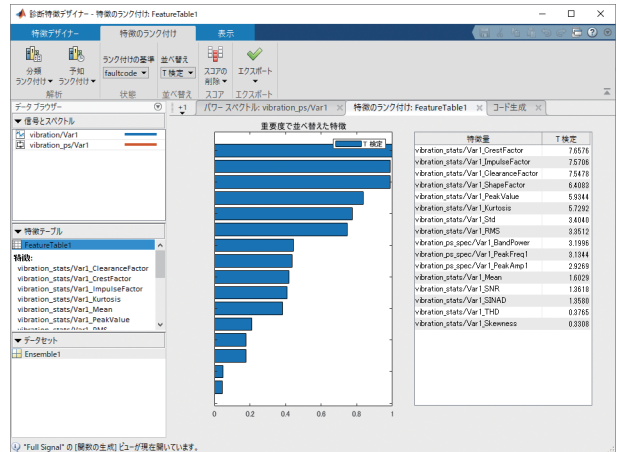


図10 抽出された特徴量の重要度ランキングの一例

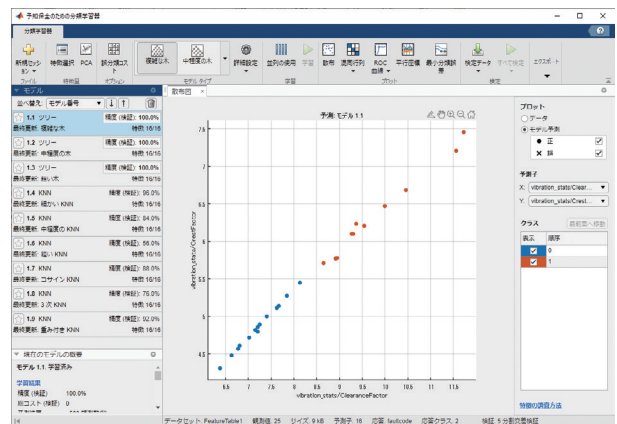


図11 機械学習による正常と異常の時系列信号の分類。横軸と縦軸は異なる特徴量を示している。

が可能であり、周波数域の特徴量が図10における上位の特徴量となることが予想される。なお図10の特徴量のランキングは時間軸上でも重要な意味をなす。とりわけ、対象機器が故障してしまう時期を未然に予測する故障予測（寿命予測）では、対象機器の健康状態を示す健康指標の作成が重要となる。図10の特徴量の重要度は、正常と異常を有意に区別することから健康指標の役割にもなっている。一般的に機器は時間とともに劣化すると仮定できるため、ランキングの上位に占める特徴量の中でも、時間に対して（単調に）増加または減少するものを選択し、さらには選択した複数の特徴量を主成分分析などを用いて次元削減することにより健康指標を構築する。構築した健康指標はパラメトリックモデルなどを適用することで機械の残寿命を回帰的に求めることが可能となる¹⁴⁾。図12では、前述のピストンポンプから生成されたデータをもとに作成した予知保全のイメージが描かれている。逐次観測されるデータから特徴抽出（図9参照）を行い健康指標を構築する。構築された健康指標はモデルに従い将来の健康度合

いを予測する。故障のしきい値はアプリケーションによって定まるため、現在から故障までの残寿命（横軸）を推定することができる。なお、ここでは故障が偶発的に起こるものではなく、「疲労や損傷の蓄積により対象機器の内部状態が少しずつ劣化し、あるしきい値を超えると故障が発生する」というメカニズムを数式的に模擬する指数劣化モデルを導入している。その際、モデルのパラメータ値は観測値とのベイズ推定にもとづきながら更新され、対象機器の残寿命の信頼区間を計算している^{15)~17)}。

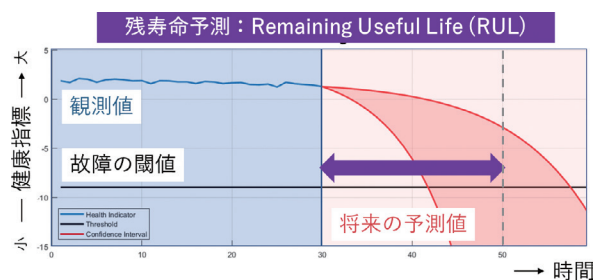


図12 時系列信号から機器の残寿命を予測する例

3.3.2 データの「画像化」による深層学習の活用例

時系列信号の場合、どのような特徴量を抽出すればよいか判断に苦むことも多々ある。そのような場合は、ひとまずデータを「画像化」することをおすすめする。画像化においては、時間周波数表現が有効となるケースが多く、例えば時系列信号に対して、短時間フーリエ変換を施すことで時間周波数表現のスペクトログラムが求まる。図7の下段は、正常音と異常音のスペクトログラムを示している。一部の周波数帯で両者の強度に差があることが確認できる。このような時間周波数表現は、ほかにもウェーブレット解析にもとづくスカログラムや定Q変換、さらにはHilbert-Huang変換などがある¹⁸⁾。求められたスペクトログラムは画像として保存できるため、深層学習への再利用が簡単となる点も「画像化」のメリットのひとつである。図13では、正常音と異常音のスペクトログラムを画像パターンとして、音データの判別を目的とした事前学習済みネットワークYAMNet^{19)~20)}を用いた転移学習の学

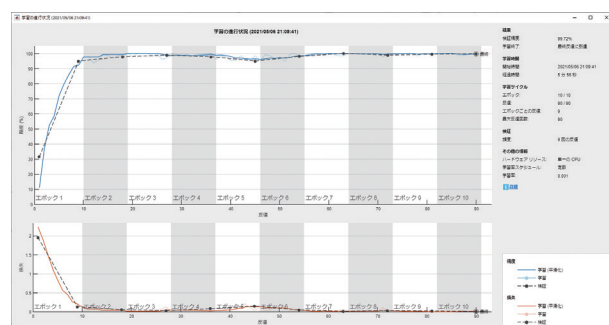


図13 スペクトログラムの転移学習曲線（上）と損失関数（下）

習曲線を示している。転移学習したモデルに対してテスト用データで検証したところ、高い分類精度を有しており、特に過学習が起きていないことを確認した¹¹⁾。

事実、前述のBaker Hughes社の例では、解析したデータに対して時間周波数表現を用いた深層学習を行ったところ、ニューラルネットワークが、彼らのデータに対して、最も正確な結果をもたらすことを発見した（図14）。開発したモデルは、現場テストにおいて、容積式ポンプの故障を予測できることが実証され、将来的には約10億円のコスト削減が見込まれている。

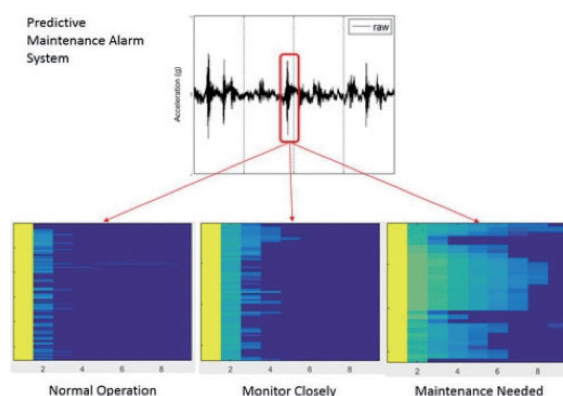


図14 Baker Hughes社の予知保全アラームシステム⁷⁾

3.4 システムへの展開

最後にシステムへの統合について簡単に触れる。構築した予測アルゴリズムの実装先はデータの転送量や計算量、また実装先の運用方法によっても対象機器上かエッジデバイス上、またはクラウド上とさまざまな選択肢が存在する。データの転送量を極力抑えたい場合は、対象機器で必要な前処理を施し、エッジデバイスの予測に必要なデータだけを転送し、解析させる。結果はクラウドに転送され、エンドユーザーと共有される。また、算出された予測結果の表示は固定PC上で動くアプリがよいのか、それともポータブルタブレット上で動くものがよいのか、結果を確認する担当者は整備スタッフなのか、それとも機器のオペレーターなのか、などといった予測結果をどう運用に反映させるかについての議論を深める必要もある。たとえば、3.3節で紹介した異音判定のアルゴリズムを廉価なエッジデバイスとして活用できるRaspberry PiTMに実装した例¹¹⁾を図15に示す。Raspberry Pi上では入力された任意の音データに対してスペクトログラムを求め、畳み込みニューラルネットワークにより正常・異常の判別を実施している。正常音の場合は青色、異常音の場合は赤色のLEDを点灯させている。その際、MATLABで構築したスペクトログラムの計算と深層学習への適用のアルゴリズムはMATLAB CoderTMによ

て、実装先のRaspberry Piに展開可能なC/C++コードとして生成される。またMATLABではRaspberry Piとの通信や各センサーへのアクセスを容易にするサポートパッケージが提供されているため複雑な設定を必要としない点を最後に明記しておく。

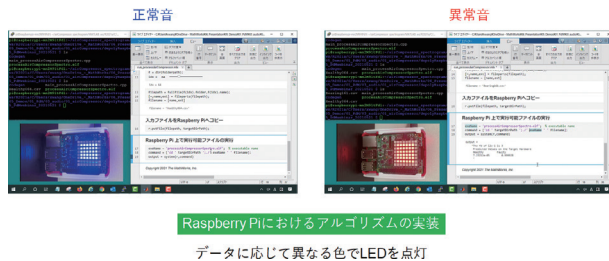


図15 Raspberry Piにおける異常判定アルゴリズムの実装例。LEDが正常音に対して青色（左），異常音に対して赤色に点灯（右）。

4. ま と め

本稿では、故障データがない場合の1アプローチとして、物理モデリングを活用したデータ生成を例に、予知保全システムの開発ワークフローの各ステップに関して説明した。物理モデリングでは、マルチドメインの物理法則（電気、機械、油圧等）にもとづき機器のモデル化を行う。その際、異常の原因となる要素をモデル内に取り入れることで、故障データを再現することができる。生成された故障データは、実機から取得されるデータとの比較を含む適切な前処理を施すことで、AIを用いた予知保全システムの開発に応用されるが、そこではやはり特徴抽出が重要となる。なかでも時系列信号から抽出できる時間域、周波数域、時間周波数域やドメイン固有の特徴量を取捨選択し、適切に機械学習・深層学習へ適用することで、精度の高い予知保全システムを構築することが可能となる。抽出された特徴量をもとにシステムのアルゴリズムを構築する際には、入力データはどこからきて、最終的にどうシステムへと実装するのかという全体像を踏まえた開発が重要となる。これに対してMATLABはデータの前処理からアルゴリズムの開発、そしてシステムへの展開までの全体のワークフローをカバーするプラットフォームとして活用できる。結果、開発効率の向上や設計資産の共有および再利用が望まれ、メンテナンスコストの削減が期待できる。

参考文献

- 1) MATLAB EXPO 2019：故障予測×IoT～予知保全システムの構築～ <https://www.matlabexpo.com/jp/2019/proceedings.html#section3>
- 2) 井上道雄，王晓星：AIによる故障予測～物理モデルに

- よる異常データ生成～，保全学，Vol. 19，No. 4，p. 22-26（2021）
- 3) <https://jp.mathworks.com/discovery/automl.html>
- 4) 王晓星：故障データがなくてもできる異常検知～物理モデルとセンサーデータの活用～，油空圧技術，Vol. 60，No. 6，p. 49-55（2021）
- 5) 足立悠：機械学習のための「前処理」入門，レクテレコム，p. 30（2019）
- 6) 井上道雄：AIによる故障予測・予知保全～実現へのヒントと事例～，フルードパワー，Vol. 33，No. 4，p. 18-23（2019）
- 7) MathWorks: Baker Hughes, データアナリティクスと機械学習を活用してガス/石油掘削装置用に予知保全ソフトウェアを開発（ユーザー事例） https://jp.mathworks.com/company/user_stories/baker-hughes-develops-predictive-maintenance-software-for-gas-and-oil-extraction-equipment-using-data-analytics-and-machine-learning.html
- 8) MathWorks: Krone Develops Package-Handling Robot Digital Twin（ユーザー事例） https://jp.mathworks.com/company/user_stories/krone-develops-package-handling-robot-digital-twin.html
- 9) MATLAB EXPO 2018: Digitaler Zwilling eines Tripod-Roboters in der Verpackungstechnik <https://www.mathworks.com/content/dam/mathworks/mathworks-dot-com/images/events/matlabexpo/de/2018/digital-twin-of-a-tripod-robot-in-packaging-technology.pdf>
- 10) Verma, N. K., Sevakula, R. K., Dixit, S., Salour, A.: Intelligent Condition Based Monitoring Using Acoustic Signals for Air Compressors, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 65, No. 1, p. 291-309（2016）
- 11) 王晓星，井上道雄，竹本佳充：特徴抽出と物理モデルの適用で進化する異常検知，日本保全学会第17回学術講演会要旨集，p. 308-314（2021）
- 12) White Paper: 予知保全・異常検知を可能にする特徴量～AIの実践的活用例に向けて～ <https://jp.mathworks.com/campaigns/offers/predictive-maintenance-feature-engineering.html>
- 13) 王晓星：故障データがなくてもできる異常検知～物理モデルとセンサーデータの活用～，計測技術，Vol. 48，No. 7，p. 20-26（2020）
- 14) 今村誠：予知保全のための機械学習，システム／制御／情報，Vol. 65，No. 4，p. 119-125（2021）
- 15) Gebraeel, N.: Sensory-Updated Residual Life Distributions for Components with Exponential Degradation Patterns, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 3, No. 4, p. 382-393（2006）.
- 16) Gebraeel, N.: Residual-life distributions from component degradation signals: A Bayesian approach, IIE Transactions, Vol. 37, p. 543-557（2005）.
- 17) <https://jp.mathworks.com/help/predmaint/ref/exponentialdegradationmodel.html>
- 18) <https://jp.mathworks.com/help/signal/ug/time-frequency-gallery.html>
- 19) <https://jp.mathworks.com/help/audio/ref/yamnet.html>
- 20) Plakal, M., Ellis, D.: YAMNet, Oct. 2020. <https://github.com/tensorflow/models/tree/master/research/audioset/yamnet>

（原稿受付：2021年8月5日）

解説

AIと制御系設計—モデルベース開発を利用した強化学習—

著者紹介



むら やま えい じ
村山 栄治

芝浦工業大学システム理工学部
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307
E-mail: nb12107@shibaura-it.ac.jp

2005年ネオリウム・テクノロジー(株)に入社、
2015年芝浦工業大学非常勤講師、現在に至る。空
気圧システムのモデリング、システム同定、制御
系設計、ロボティクスなどの研究開発に従事。計
測自動制御学会、日本フルードパワーシステム学
会などの会員、博士(工学)

1. はじめに

AIなど機械学習を利用した制御系設計のトレンドは、Deep Learningを応用した強化学習により最適制御問題の解を探索する方法と見なすことができる。本稿では、AIや統計の専門家というよりは、制御系設計を専門としている技術者の視点で、難しい数式はできるだけ用いず、強化学習を使用した制御系設計について紹介したい。

2. 強化学習と制御系設計

2.1 AI／機械学習／深層学習

AI (Artificial Intelligence: 人工知能) の研究は1950年代から続いており、その過程ではブームと冬の時代が交互に訪れてきたとされ、現在は第3次のブームとして脚光を浴びている。

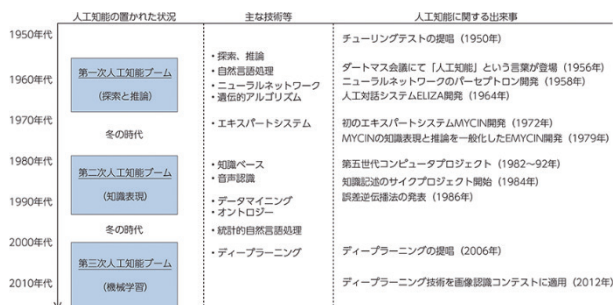


図1 人工知能 (AI) 研究の歴史¹⁾

この第3次のブームは、「ビッグデータ」と呼ば

れているような大量のデータを用いることで人工知能 (AI) 自身が知識を獲得する「機械学習」が実用化されたことと、Deep Learning (深層学習) が登場したことが、ブームの背景にあると推測される。また、AIは、機械学習やDeep Learningを包括する概念となり、機械学習はその中核をなす。

機械学習とは、真実のデータや人間による判別から得られた正解に相当する「教師データ」の与えられ方によって「教師あり学習」、「教師なし学習」、「強化学習」の3種類に分類することができる。

「教師あり学習」は、結果や正解にあたる「教師データ」が与えられるタイプの機械学習で、教師データを既知の情報として学習に利用し、未知の情報に対応することができる回帰モデルや分類モデルを構築する。たとえば、「猫」というラベル (教師データ) が付けられた大量の写真をコンピュータが学習することで、ラベルのない写真が与えられても、その中から「猫」を検出できるようになる。適用事例としては、「スパムメールの判別」や「明日の天気予報」などに使用されている。

「教師なし学習」は、正解に相当する「教師データ」が与えられないタイプの機械学習で、データのグループ分けや情報の要約などに活用される。教師データに相当するラベルがない場合であっても、大量の画像をコンピュータに学習させれば、画像の特徴 (例: 大きさ、色、形状) からグループ分けや情報の要約が可能となる。適用事例としては、ネットショッピングにおけるレコメンド機能などに使用されている。

「強化学習」は、試行錯誤を通じて、報酬 (評価) が得られる行動や選択を学習する。たとえば、ロボットの歩行に関して、「歩行距離」を報酬 (評価) として設定し、報酬が高くなるように手足の動かし方を試行錯誤して歩行距離を伸ばすことが、強化学習に相当する。囲碁のチャンピオンに勝利したAlpha Goで一躍有名になった²⁾。

これらの機械学習に組み合わせて使用されるのが、ニューラルネットワークを拡張したDeep Learningとなる。Deep Learningは、ヒントン博士らが2006

年の論文で発表した機械学習手法の一種で、一般的に、従来の3層（入力層・中間層・出力層）で表現されていたニューラルネットワークの中間層を増やした（深くした）ものを指す。Deep Learningの登場により、大量のデータを与えることで、コンピュータ自ら学習することが可能となった。

前述の「教師あり学習」、「教師なし学習」、「強化学習」といった機械学習とDeep Learningを用いてフィードバック制御系の設計、具体的にはPIDコントローラと代替となるような制御器を設計する場合、最も相性が良い学習手法は強化学習となり、この考え方は最適制御理論と大きく関わりを持つ。

2.2 強化学習と制御系設計

強化学習の定義をシンプルにまとめると「報酬の和を最大化するような方策を学習すること」となる。強化学習の「強化」の語源は、行動心理学におけるオペラント条件付けを説明する数理モデルの中にあり、たとえば、ボタンを押すと餌が与えられるような環境下にマスを置いたとき、自然とマウスがボタンを押す回数が増え、このように行動に対する報酬の多寡によって、その行動が増加することを「強化」といい、逆に何らかの罰などのペナルティを与え、減少することを「弱化」と呼んでいる。

制御の言葉だと「評価関数を最大化するような制御器を学習すること」と言い換えることができる。つまり、現代制御理論における最適レギュレータのように評価関数の大小により制御性能が評価できる設計問題に適用可能となる。もう少し具体的に制御と強化学習の比較・整理を行う。

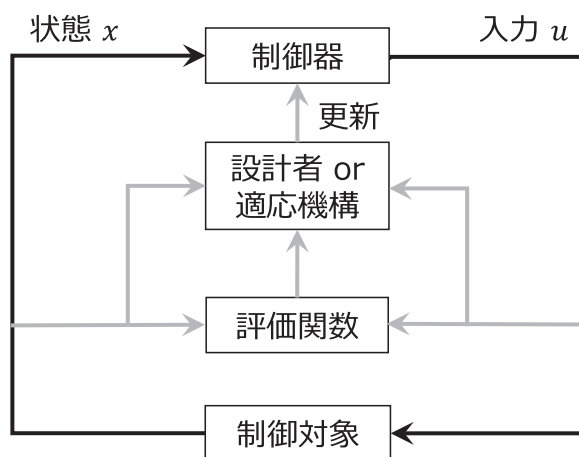


図2 適応機構を持つフィードバック制御システム

図2に制御の代表例として、制御対象の状態 x を用いて操作量、つまり制御対象への入力 u を決定するような状態フィードバックシステムに、制御器のパラメータを状態 x 、入力 u 、評価関数によりオンラ

インで更新するようなシステムを考える。状態フィードバックに間接形の適応制御を併用したシステムのイメージとなる。

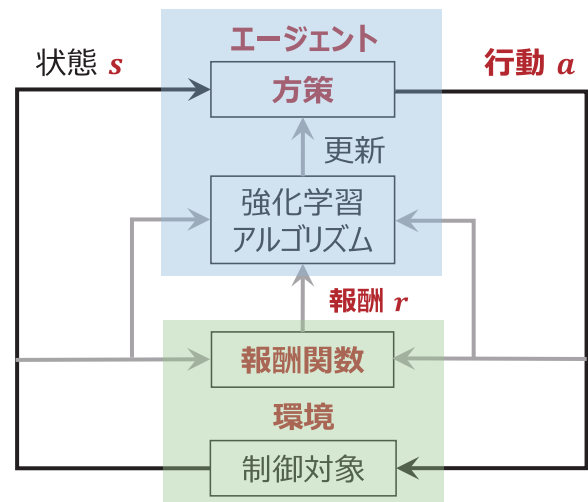


図3 強化学習のイメージ図

図2のブロック線図に対して、強化学習の枠組みをブロック線図化したものが図3となる。強化学習では、たとえば、制御器は「方策」、入力「行動」、評価関数は「報酬関数」などと呼ばれ、方策と強化学習アルゴリズムを合わせたものを「エージェント」、報酬関数と制御対象を合わせたものを「環境」と呼び、未知な環境とエージェントとの相互作用として定式化される。ここで、状態や報酬関数は、図2のような制御システムでは、既知な入力で一意的な出力が得られるため「決定論的」に定義されるが、図3のような強化学習では、たとえば、株値のチャートのようなものを取り扱うため、「未知かつ確率論的」に決定されると考えられる。

また、強化学習は、最適制御や動的計画法（DP：Dynamic Programming）との関係が深く、これらの分野では、「Bellman方程式をオンラインで解くアルゴリズム」として位置付けられている³⁾。

2.3 強化学習アルゴリズム

Bellman方程式とは、動的計画法で取り扱う最適化問題において最適性の必要条件をあらわす方程式である。この方程式を満たせば、その解は最適であるといわれている重要な関係式となり、最適性の原理（Bellman, 1957）を式であらわしたものに相当する。このBellman方程式は、状態 x において行動 u を取ったときの報酬 $r(x, u)$ に対し、 x を起点として、ある方策を取り続けたときの将来にわたる累積報酬としてあらわされ、状態価値関数 $V(x)$ などとも呼ばれている。このBellman方程式は、身近なところでは、特殊な条件下でLQR問題となることが知られ

ている。LQR問題などの最適制御問題では、制御対象が状態方程式と出力方程式による状態空間実現であらわされる、つまり制御対象のモデルがわかっている前提で、解となる状態フィードバックゲインを求めているのが現状である。しかし、現実問題では、制御対象が厳密にわからなかったり、また、評価関数が本当にやろうとしている制御にとって適当かどうかわからないといった状況が多々あり、現代制御理論では、これらの問題を解決することが難しく、ロバスト制御や適応制御といった制御理論に発展していったと考えられる。このような場合に、強化学習は「制御対象に対して事前知識を有さない場合の最適制御則を決定する方法を与える」と考えることができ、その際、ポイントとなるのが行動価値関数 $Q(x, u)$ である。 $Q(x, u)$ は、 $V(x)$ に行動 u の条件を加えて、「状態 x にあるときに、行動 u を取った後、方策に従ったときの価値」と定義したものとなる。ここで、 $Q(x, u)$ の行動 u は方策に従ったものではないことに注意しなければならない。つまり、状態 x のとき、最初の一回だけ、自分で勝手に行動 u を決め、それ以外を共通化することで、別の行動を取ったときと比較することが可能となる。強化学習では、いろいろな行動を試しながら $Q(x, u)$ を推定し、最も価値が高い行動を選択する。

このような強化学習アルゴリズムには、さまざまな手法が提案されており、ここでは、「Q-Learning」、「DQN」、「DDPG」といった代表的なアルゴリズムについて紹介する。

Q-Learning⁴⁾ (Watkins, 1989) は、 $Q(x, u)$ を現在の報酬の価値とBellman方程式にもとづく推定値の和で定義し、その際に推定された価値の最大値を用いるのが特徴となる。更新された $Q(x, u)$ を次の推定値として活用することで、徐々に信頼性が向上していく。また、方策には ϵ -greedy法が用いられる。

DQN⁵⁾ (Deep Q-Network, Minh et al., 2015) は、Q-LearningにDeep Learningを組み合わせ、 $Q(x, u)$ を推定する手法で、Alpha Goにも採用されたアルゴリズムである。DQNでは学習精度を高めるためにExperience ReplayやFixed Target Networkなどの工夫を凝らしているのも特徴となる。

これらのアルゴリズムは、価値反復にもとづくアルゴリズムとなり、また、一般的に離散行動しか取り扱うことができないため、たとえば、目標値と制御量の偏差が小さくなるようにサーボバルブの入力電圧やDCモータのDUTY比を制御するといった操作量が連続値となるような制御系設計問題に適用することは難しい。

DDPG⁶⁾ (Deep Deterministic Policy Gradient,

Lillicrap et al., 2015) は、Q-LearningやDQNとは異なり、方策勾配にもとづくアルゴリズムとなる。Q-learningやDQNは、 $V(x)$ や $Q(x, u)$ にもとづいて方策を記述して推定を行うが、DDPGは価値関数とは独立に方策を表現する構造を持つアルゴリズムで、方策(制御器)を「Actor」、価値関数を「Critic」と定義して、Actorをパラメータでモデル化し、直接最適化する。その際、最終的な成果物はニューラルネットワークで表現された方策、つまり制御器として得られること、連続的な行動を取り扱うことが可能なことから、最も制御系設計に適用するのに相性の良い強化学習アルゴリズムといえる。

2.4 強化学習による制御系設計の現状と課題

強化学習により制御系設計を行う際の課題や注意点について整理すると、以下のような項目が考えられる。

1. 学習環境の構築
2. 制御仕様を満足させるための学習条件の選定
3. ブラックボックスとして得られる学習結果の評価

まず、学習環境の構築に関しては、強化学習では、学習中に制御対象を動作させ、状態を観測し、報酬関数にもとづき強化学習アルゴリズムを実行して、得られた学習結果をオンラインで更新する必要がある。これらの処理を制御用のマイコンの中でリアルタイムに実施することは、性能的に困難となる。また、実機で学習を行う場合、学習過程において報酬が低い状況では、制御系が不安定な挙動を示すこともあり、そのような場合には、アクチュエータが暴走して装置が破損してしまうなど注意が必要となる。フェール・セーフ機能により、不安定な挙動を示す前に制御を停止するという考えもあるが、経験上、「報酬が悪い」学習結果を陽に含めた方が、学習の収束が早くなるため、単純にこういったケースを除外することができず、悩ましい問題となる。そこで、有効となるのがシミュレータを用いた学習となる。昔から、物理シミュレータ⁷⁾やビデオゲーム⁸⁾などシミュレータを用いて、学習アルゴリズムの検証が行われてきたが、現在では、制御系設計をテーマにシミュレータを使用した学習の事例も多く提案されている^{9)~12)}。私が所属する研究室¹³⁾では、モデルベース開発¹⁴⁾にて、MILS (Model In the Loop Simulation) 検証で使用するためのシミュレータの構築、モデルパラメータの同定を多く手掛けており¹⁵⁾、これらのシミュレータを制御対象とし、制御用マイコンに比べCPUやメモリなどハード的にパフォーマンスが良いPC上での学習を試みている。しかし、シミュレー

シミュレーション環境では、摩擦やノイズなどモデル化しきれない特性により実機の動作と乖離してしまうため、このような環境下で学習を行い、得られた制御器を実装して実機を制御したとしても性能要求が満たさないケースが発生してしまうことがある。そこで、必要となってくるのが転移学習¹⁶⁾である。転移学習とは、一言であらわすと、ある条件下で学習させたモデルを別の条件下に適応させる技術である。この転移学習により、シミュレーション環境で学習させたモデルを実機に適用することが可能となる。

続いて、制御仕様を満足させるための学習条件の選定に関しては、目標値の設定、観測量の選び方、報酬関数の構成などが考えられる。毎回、同じ目標値で学習させてしまうと、オーバーフィッティングにより、他の目標値に追従しないなど性能低下のおそれがあるため、学習に使用する目標値は、ランダムでさまざまな特性を持つ方が望ましい。また、同様に制御対象の初期値もランダム化させることで学習の品質向上が見込める。観測量に関しては、統計学的には、ニューラルネットワークの構築に使用する入出力データは、生の観測データよりもスケールリングや標準化したデータの方が好ましいとされ、また、制御工学的には、偏差や偏差の積分を観測量とし、ニューラルネットワークの構築に使用することで、目標値に追従させるサーボ問題化が可能となる。オーバーシュート抑制のためのダンピングに関しては、偏差や制御量の微分値の利用が有効となるが、微分演算した状態を使用するのではなく、これらの状態の現在値と前回値を観測量とし、入力とすることで、ニューラルネットワーク内部で微分的な特性を持つネットワークを学習により構築させるという方法も有効である。また、報酬関数に関しては、瞬間的にアクチュエータの動作上下限に達してしまう発散的なケースや目標値に対してオーバーシュートするケースなど、特定の条件を満たした場合に評価関数を操作する離散的な報酬やLQR問題のように状態量や制御入力（強化学習では行動）の2乗和を評価関数とする連続的な報酬が考えられるが、これらを組み合わせ、評価値が高くなることで制御性能が良くなるような報酬関数を構築することができれば、効率よく学習を進めることが可能となる。

最後にブラックボックスとして得られる学習結果の評価に関しては、強化学習に基づくAIは、学習結果が複雑であり、予測結果がニューラルネットワークのようなブラックボックスとなってしまうため、どのようにしてそのような行動を判断したのか（どのように制御モデルが操作量を算出したか）を確認することが大変困難となり、問題となっている。こ

の問題に関しては、XAI（Explainable AI、説明可能なAI）という分野で研究が行われている¹⁷⁾。XAIとは、機械学習アルゴリズムによって作成された学習結果とそのアウトプットを人間が理解できるようにするための手法やプロセスの総称をあらわす。米国のDARPA（Defense Advanced Research Projects Agency：国防高等研究計画局）が主導する研究プロジェクトにて初めて用いられ、さまざまな分野で広がり始めている。学習結果がホワイトボックス化されれば、強化学習により設計した制御モデルを組み込んだシステムの安定性解析や評価などへの応用が期待できる。そのため、学習結果の透明化やホワイトボックス化の研究が進展し、学習済みの制御則が説明可能になるまでは、PIDコントローラなど固定ゲイン（固定パラメータ）の制御モデルに対し、システムの状態に応じて適切なゲインを強化学習によりスケジューリングするといった説明可能な制御モデルと学習を併用した制御システムを構築することが実用上有効だと考える。

3. 強化学習による制御系設計事例

本節では、図4に示す質量—バネ—ダンパシステムの位置決め制御において、図のPIDコントローラを強化学習によるAIコントローラに置き換えた数値例を紹介する。

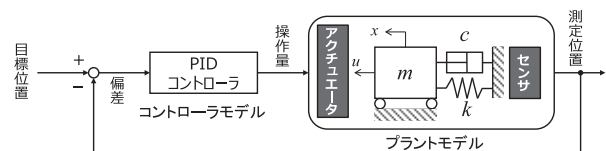


図4 PIDコントローラによる質量—バネ—ダンパシステムの位置決め制御

質量—バネ—ダンパシステムは次の運動方程式で表され、

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = u \quad (1)$$

もし、質量 m [kg]、粘性摩擦係数 c [N/(m/s)]、バネ剛性 k [N/m]などのモデルパラメータが、システム同定などでわかっている場合には、内部モデル制御にもとづくPIDゲイン調整方法¹⁸⁾で閉ループ系の特性を時定数 λ [s]の1次遅れ系にマッチングするなどモデルベース的な設計が可能となる。今回は、制御対象のモデルパラメータはわからないことを前提に、学習には、制御器の出力となる操作量とセンサで観測可能な状態量のみを使用することとする。

学習の設定については、観測量は、目標値 r 、位置 x 、速度 $\dot{x}$ とし、さらに、これらの1サンプル前の状態を加えることで学習によりネットワークの中に

微分的な性能を加えている。報酬関数 J に関しては、最大化されたときに制御性能が向上するように

$$J = -\sum \{w_1(r-x)^2 + w_2\dot{x}^2 + w_3u^2\} \quad (2)$$

偏差 $r-x$ 、速度 $\dot{x}$ 、制御入力 u の二乗和に重み係数 w_1 、 w_2 、 w_3 を乗算し、符号を反転させたものを採用した。今回、観測量に偏差を採用していない理由は、制御対象が定位系の伝達関数となるため、 r 、 u 、 x の相関が強く、 r が含まれていれば、目標値付近に収束させることができると考えたからである。制御対象の入力から出力までの伝達関数に積分特性が含まれるような場合には、無定位系となり、 u と x に相関がないため、この場合は、 r を除外し、偏差とその積分値を観測量に加えたほうが目標値追従性は向上することが多い。強化学習アルゴリズムには、DDPGを採用し、制御器となるActorと行動価値関数となるCriticのネットワーク構造は、中間層が1層となるように設定した。また、これらの学習環境は、MATLAB®のReinforcement Learning Toolbox™を使用して構築し、報酬関数の重み係数は $w_1=1000$ 、 $w_2=1$ 、 $w_3=0$ 、モデルパラメータは、 $m=1$ 、 $c=0.1$ 、 $k=1$ と設定して学習を行った。このようなモデルパラメータを採用した場合、制御対象の極や位相平面を確認すると振動的で非常に遅いモードのシステムとなるため、制御対象の特性を把握していないとヒューリスティックにPIDコントローラのゲイン調整を行うことは難しい。制御対象の特性、つまりモデルパラメータがわからない前提で、観測できる入出力データのみを使用し、性能を満足する制御器を設計できるかどうか、強化学習を用いたAIコントローラの評価のポイントとなる。

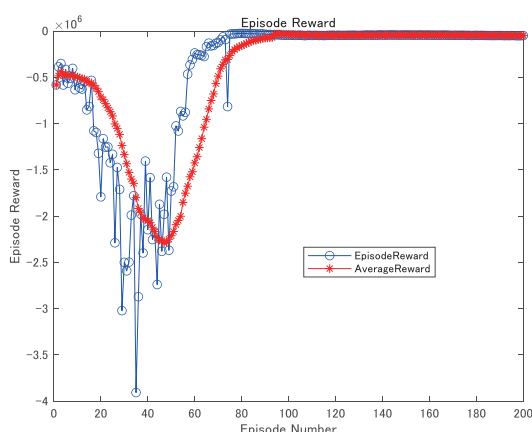


図5 報酬の履歴

図5に200エピソード学習した際の報酬の履歴を示す。今回の設定では、学習の周期を0.1[s]とし、1エピソードあたり1,000回の学習を実施した。この図から100エピソード付近で報酬関数が一定値に

収束していることが確認できる。

また、学習した結果を用い、位置決め制御シミュレーションを実施した結果を図6に示す。図の上段のグラフは、比較のために実施した図4のフィードバック制御系に対し、PIDコントローラのゲイン調整をE-FRIT法^{19~21)}で行った際のシミュレーション結果をあらわす。E-FRIT法は、強化学習と同様にモデルの情報を必要とせず、一回の実験結果からステップ状の目標値に対し、ユーザが指定した到達時間でオーバーシュートなく目標値に収束するようなPIDゲインを最適化手法で算出するゲイン調整方法となる。ただし、今回の制御対象では、オーバーシュートなく目標値に収束するものの、目標値付近で振動する結果となった。また、下段のグラフは、強化学習により算出したコントローラの制御結果となり、破線のグラフは、1エピソード目の学習が終わった際の制御結果、実線のグラフは、報酬関数が最も高かった80エピソード目の制御結果をあらわす。エピソードが進み、学習回数をこなすにつれ、目標値に追従していく様子が確認できた。多少、オーバーシュート気味の応答となるが、これは、離散的な報酬で制約を設けることである程度、改善できると考える。

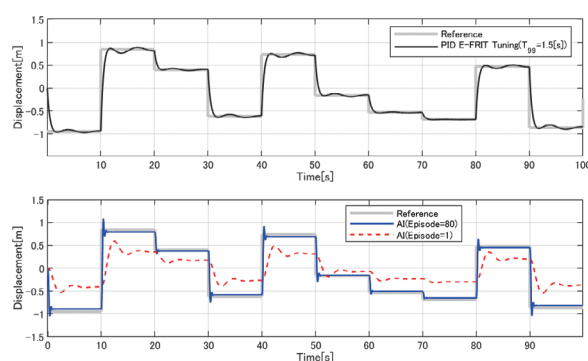


図6 位置決め制御シミュレーション結果

4. おわりに

本稿では、AI技術を用いた制御系設計について、強化学習による学習方法を制御系設計のエンジニアの視点で解説したのち、質量-バネ-ダンパシステムを制御対象としたシミュレーション事例を紹介させていただいた。

研究室では、空気圧シリンダとサーボバルブで構成された空気圧サーボ位置決めシステムや空気圧シリンダを実装したハンド型マニピュレータなど、フルードパワーを使用したデバイスの設計・製作・制御をモデルベース開発で行っており、現在、MILS検証用のシミュレータを制御対象とし、強化学習に

よる制御モデルの設計・評価をひとつのテーマとして研究している。研究活動を通じて得られた知見は、講演会や研究委員会などで報告できればと考える。

参考文献

- 1) <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nc142120.html>
- 2) <https://deepmind.com/research/case-studies/alphago-the-story-so-far>
- 3) 村山：強化学習と制御系設計，2019年度深層学習を活用したフルードパワーのモデル化と制御に関する研究委員会 第2回
- 4) Christopher JCH Watkins and Peter Dayan：Q-learning, Machine learning, Vol. 8, No. 3-4, p. 279-292 (1992)
- 5) Volodymyr Mnih et al.：Human-level control through deep reinforcement learning, Nature, 518 (7540), p. 529-533 (2015)
- 6) Timothy, P.L. et al.：Continuous control with deep reinforcement learning, arXiv preprint arXiv：1509.02971, p. 1-14 (2015)
- 7) OpenAI Gym, <https://github.com/openai/gym>
- 8) Atari 2600, <https://gym.openai.com/envs/#atari>
- 9) Mark, K. et al.：Coordination of Hydraulic Manipulators by Reinforcement Learning, Proceedings of the 2006 American Control Conference, p. 3221-3226 (2006)
- 10) Runsheng, Y. et al.：Deep Reinforcement Learning Based Optimal Trajectory Tracking Control of Autonomous Underwater Vehicle, Proceedings of the 36th Chinese Control Conference, p. 4958-4965 (2017)
- 11) Eduardo, B., Antonio, M.：Deep Reinforcement Learning Based Neuro-Control for a Two-Dimensional Magnetic Positioning System, Proceedings of the 4th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), p. 268-273 (2018)
- 12) Seong, J.K. et al.：Vibration Control of a Vehicle Active Suspension System Using a DDPG Algorithm, Proceedings of the 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), p. 1654-1656 (2018)
- 13) 川上, 村山：研究室紹介 芝浦工業大学 システム理工学部 川上研究室, 油空圧技術, Vol. 55, No. 8, p. 60-64 (2016)
- 14) 村山, 川上：モデルベース開発による制御系設計手法, ターボ機械, Vol. 48, No. 5, p. 282-289 (2020)
- 15) 村山：空気圧の1Dから3Dシミュレーション技術まで, 日本フルードパワーシステム学会主催平成30年度オートムセミナー資料
- 16) 牛田他：転移学習によりシミュレーションと実環境の差異を軽減するオムニホイールロボットの自律行動制御, 人工知能学会 第34回全国大会論文集, セッションID 1Q4-GS-11-04, p. 1Q4GS1104 (2020)
- 17) <https://www.darpa.mil/program/explainable-artificial-intelligence>
- 18) 村山, 川上：制御系シミュレーション, 油空圧技術 2017年6月号, Vol. 56, No. 6, p. 29-33 (2017)
- 19) 村山, 黒澤, 川上：E-FRITを用いた空気圧サーボ系の力制御PIDコントローラ設計, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 49, No. 2, p. 42-48 (2018)
- 20) 横山, 村山, 川上：空気圧ロッドレスシリンダ位置決め制御におけるE-FRITによるPIDゲイン調整法, 日本機械学会 山梨講演会講演会論文集, セッションID：YC2018-086 (2018)
- 21) 横山, 村山, 川上：空気圧ロッドレスシリンダ位置決め制御におけるE-FRITによるPIDゲイン調整法—ディザ併用による弛緩振動の抑制—, 2018年度産業応用部門大会講演論文集, p. 39-42 (2018)

(原稿受付：2021年8月13日)

会議報告

ROBOMECH2021における フルードパワー関連技術の研究動向

著者紹介



つか ぐし ひで ゆき
塚 越 秀 行

東京工業大学 工学院
〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 S5-19
E-mail : htsuka@cm.ctrl.titech.ac.jp

1998年東京工業大学大学院工学研究科博士課程修了。同大学助手を経て、2004年同大学工学部助教授、准教授を経て、2021年同大学工学院教授。流体ソフトアクチュエータ、バイオミメティクス、レスキューロボット、医療用アクチュエータの研究に従事。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)。

1. はじめに

2021年6月6日(日)から8日(火)まで、大阪にて日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門主催のROBOMECH2021がオンラインで開催された。

本講演会は、ロボティクス関連では国内最大規模の講演会のひとつであり、例年1,000件を超える最新の研究成果が発表される。学生の参加率も高く非常に活気に満ちている。また、ポスター形式のため、発表者と聴講者が至近距離からインタラクティブに意見を交換できる。そのため、論文や登壇形式の発表だけでは入手しづらい情報を発表者から直接提供してもらえる機会に恵まれる。さらに、通常であれば、開発したロボットを各ブースに持参して静展示やデモを行う発表者も多い。

今回は、発表件数1,132件、有料参加人数1,658名とほぼ例年並みの規模で行われた。ただし、例年と異なる点は、発表者が事前にポスター用の説明動画を投稿したうえで、ポータルサイト・YouTube・Slackを組み合わせてオンラインで発表やデモを行ったことである。開発されたメカの動きを直視できなかった点は、やや物足りなさを感じた。

本報では、本講演会で発表されたフルードパワー関連の研究動向を報告する。

2. フルードパワー関連の研究動向

本講演会では、13のセッションカテゴリに大別され、その中に77のオーガナイズド・セッションが企画される形でプログラムが組まれた。講演予稿集をもとに著者が独自に分析した結果、油圧・水圧・空気圧・機能性流体に関する研究が63件ほど発表されていた。その内訳は表1に示すとおりである。

フルードパワーを中核として組まれたOSを除くと、ソフトロボットやナノ・マイクロシステムのツールとして、フルードパワー技術が多く利用されていることがうかがえる。また、建設ロボットなどのメガスケールから医療ロボットやインセクトロボットなどのマイクロ・ナノスケールまで、幅広いスケールにわたってフルードパワーが活用されていることも特筆すべきことである。この背景には、多様なスケールの流体デバイスが要素技術として整いつつあるためと考えられる。

表1 フルードパワー関連のOS

オーガナイズド・セッション名	件数
フルードパワーロボティクス	10
ソフトロボット学/フレキシブルロボット学	11
リハビリテーションロボティクス・メカトロニクス	2
アクチュエータの機構と制御	5
ナノ・マイクロ流体システム	8
マイクロロボット・インセクトスケールロボット	1
医療ロボティクス・メカトロニクス	3
リハビリテーションロボティクス・メカトロニクス	2
バイオロボティクス	3
ロボットハンドの機構と把持戦略	4
建設&インフラ用ロボット・メカトロニクス	3
ウェアラブルロボティクス	3
その他のセッション	8

3. フルードパワーの研究紹介

本講演会で企画されたオーガナイズド・セッションのうち、フルードパワー技術に焦点をあてて組まれたOS「フルードパワーロボティクス」において発表された研究成果について紹介する。なお、本OSは徳島大学の高岩先生と著者との共同で担当しており、ロボットへの応用を目指したフルードパワー技術について、本年も10件程度の最新成果が報告された。

中村ら¹⁾は、ジメチルエーテルの燃焼により液相-気相の相変化が生じる現象を利用して、空気圧人工筋を駆動する方法を提案した。ポンプを使わない新しい圧力源として期待される。

鈴森ら²⁾は、油圧駆動の4脚ロボットの開発事例とその歩行実験に関して発表を行った。屋外実験の様子も踏まえて、4脚ロボットの歩行に必要な油圧シリンダの特性と設計について検討していた。

多田隈ら³⁾は、任意の形状保持と可変剛性を実現する空圧式弾性線状体を提案した。圧力の調整により剛性を可変にする機能と形状を保持する機能を切り換える手法は、さまざまなロボットに応用できると期待される。

大須賀ら⁴⁾は、空圧筋駆動脚型ロボットの跳躍高度を向上する手法を報告した。脚型ロボットの跳躍高度を高めるための空圧筋の設計方法と加圧方法について、示唆に富む検討を行っていた。

塚越ら⁵⁾は、法面点検作業の自動化支援を目指した流体ロープウェイについて報告した。偏平チューブに空気圧を印加して生成されるスライド動作を利用し、斜面の上下・左右の方向に位置制御を行う手法を検討していた。

笹田ら⁶⁾は、空気圧で配管内を移動する柔軟チューブ型ロボットを報告した。幅広く変化する異形管を内部で支持するための柔軟構造の空圧アクチュエータを提案した。

田所ら⁷⁾は、複数の水噴射ノズルを用いた受動回転制御により消火ホースロボットを搬送する方法を提案した。水噴射の反力を利用して長尺構造の柔軟体の姿勢制御も検討しており、難度の高い流体制御に挑戦していた。

杉本ら⁸⁾は、二関節筋を有する脚モデルの拮抗筋間協調制御について検討していた。空気圧駆動の人工筋を拮抗配置させて力制御する方法について、数式モデルを用いて報告していた。

高岩ら⁹⁾は、制御系の0形化による空気圧サーボの位置決め制御方法を報告した。空気圧サーボ手法

の新たな手法として期待される。

横田ら¹⁰⁾は、免荷型空気式パワーアシスト装置を用いた持ち上げ支援時の筋負担評価について報告した。空気圧駆動のパワーアシストとして、新たな観点から装着型装置の設計方針を提案していた。

4. おわりに

本講演会では、予稿集の原稿が例年3月に提出される。したがって、各大学研究室の卒論・修論などの最新の研究成果が報告されるケースが多い。ここ1, 2年はコロナ禍のため思うように研究しづらい状況が続いていたため、本年の講演会の成果発表にどの程度の影響が生じるかが懸念されていた。しかし、実際には、魅力に富んだ成果が数多く発表されていた。研究の遂行上、さまざまな障害がありながらも、根気強く地道に研究され続けてきた各研究室のスタッフおよび学生諸子の皆様にたくましさを感じた。来年は社会状況も改善され、より多くの成果が本講演会で報告されることを願ってやまない。

参考文献

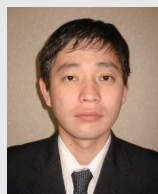
- 1) 圓城竜斗, 奥井学, 中村太郎: ジメチルエーテルの燃焼を利用した空気圧人工筋肉, ROBOMECH2021, 2P1-H01 (2021)
- 2) 谷晃輔, 木口皓介, 難波江裕之, 山本明菜, 廣田善晴, 井手徹, 遠藤玄, 鈴森康一: 油圧駆動4脚ロボットの開発と歩行実験, ROBOMECH2021, 2P1-H02 (2021)
- 3) 渡辺将広, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭: 任意の形状保持と可変剛性を実現する空圧式弾性線状体, ROBOMECH2021, 2P1-H03 (2021)
- 4) 奥村太一, 中西大輔, 浪花啓右, 杉本靖博, 大須賀公一: 空圧筋駆動脚型ロボットの跳躍高度追求, ROBOMECH2021, 2P1-H04 (2021)
- 5) 辻健太郎, 塚越秀行, 法面点検作業の自動化支援を目指した流体ロープウェイの開発—全方向移動の生成: 第2報—, ROBOMECH2021, 2P1-H05 (2021)
- 6) 笹田和希, 占部智之, 塚越秀行: Long-mover: 配管内移動を目指した柔軟チューブ型ロボット—第5報—異径管への適応機能, ROBOMECH2021, 2P1-H06 (2021)
- 7) 山内悠, 前澤侑大, 安部祐一, 昆陽雅司, 多田隈建二郎, 田所諭: 複数の水噴射ノズルを用いた受動回転制御による合力の実現範囲を拡大した消火ホースロボットの実現, ROBOMECH2021, 2P1-H07 (2021)
- 8) 中西大輔, 門脇唯菜, 浪花啓右, 杉本靖博: 二関節筋を有する脚モデルの拮抗筋間協調制御に関する研究, ROBOMECH2021, 2P1-H08 (2021)
- 9) 高岩昌弘, 實生雅之: 制御系の0形化による空気圧サーボの位置決め制御, ROBOMECH2021, 2P1-H09 (2021)
- 10) 横田雅司, 高岩昌弘: 免荷型空気式パワーアシスト装置を用いた持ち上げ支援時の筋負担評価, ROBOMECH2021, 2P1-H10 (2021)

(原稿受付: 2021年10月20日)

ニュース

学会創立50周年 記念特別セミナーおよび記念式典報告

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、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

本学会は2020年に創立50年を迎えた。この記念行事である記念特別セミナーおよび記念式典は、当初、2020年5月の春季講演会時に機械振興会館において開催する予定で準備を進めてきたが、コロナ禍により延期となった。結局、コロナ禍は収束せず2021年の春季講演会時にZOOMを用いたオンライン開催となった。著者は創立50周年記念事業 実行委員会において記念式典企画分科会主査を務めさせていただいていることから、6月24日(木)13:30~16:00に行われた記念特別セミナーと6月25日(金)15:00~16:00に行われた記念式典について本稿で報告させていただく。

2. 記念特別セミナー

記念特別セミナーは創立50周年を記念して、「50年間の製品から観るフルードパワー技術史」として油圧、建機、空気圧において、50年間の製品に盛り込まれたフルードパワーの技術を紹介し、開発にいたった経緯などを振り返ることを通して、今後のフルードパワーに必要な技術を考えていくうえでの一助としていただくことを目的として企画・開催した。過去、周年事業で開催されたセミナーにならって本セミナーも無料で一般にも開放した。セミナーの企画に興味を持っただけのためか、セミナー中の参加者は常時100名前後で、ZOOMに記録された合計の参加者は138名と春季講演会参加者の約

2.5倍と盛況であった。著者も聴講していたが、これまで知らなかった技術面の歴史を知ることができ大変、興味深かった。オンラインのため聴講者の様子はわからないが、参加者も興味を持って聴講いただけたものと推察している。

セミナーの司会は芝浦工大・伊藤和寿先生と東京大・川嶋健嗣先生が務められた。具体的な講演タイトルと講演者(敬称略)は以下のとおりであった。

【油圧機器から観るフルードパワーの技術史】

「油圧ポンプ・モータ」 川崎重工 西田 信
「制御弁」 油研工業 本木正美
「油圧システム/シリンダ」 KYB 吉田説与

【建設機械に使われる油圧技術から観る

フルードパワー技術史】

「建設機械と油圧(油圧ショベルの電子化への取り組み)」 小松製作所 堀 秀司
「50年間の製品から観るフルードパワー技術史(建設機械)」 日立建機 釣賀靖貴

【空気圧機器から観るフルードパワー技術史】

「空気圧シリンダの技術史 ~ 50年間の製品から観る足跡と展望~」 SMC 本間伸一
「空気圧バルブの技術史と最新の動向について」 CKD 伊藤新治

油圧機器の技術史の「油圧ポンプ・モータ」ではVE/VR設計、レーザ焼き入れにより高圧・高効率・高出力密度化が達成できたことが紹介された。「制御弁」では電磁切換弁においてウェットソレノイド・5チャンバー構造技術により高圧・大流量化を、比例弁・サーボ弁においてはコントローラなどの搭載により油圧メカトロ化を実現してきたことが紹介された。「油圧システム/シリンダ」では、油圧システムにおいては高圧化・省エネへの要求にともなう変遷が、シリンダにおいては高圧化によるパッキン構造や、シリンダ内配管など付加価値をともなう構造の変遷が紹介された。

建設機械の技術史では小松製作所からは現在のクローズドセンターロードセンシングシステムにいたる油圧システムの変遷、ICT建機にいたる油圧の電

子化対応技術が紹介された。日立建機からは過去・現在・将来に分け、燃費向上、自動化などの技術が紹介された。

空気圧機器の技術史の「空気圧シリンダの技術史」ではタイロッド形のシリンダから現在の多種多様なシリンダ形状が生まれてきた背景を中心に紹介された。「空気圧バルブの技術史と最新の動向について」では70年代のバルブの国産化からはじまり80~90年代の省エネ・省スペース、長寿命化、2000年以降の省配線、通信技術の導入などが解説された。

なお使用した記念特別セミナーのパワーポイントの資料を、当日、参加できなかった会員のために学会HPに公開予定である。

3. 記念式典

記念式典は機械振興会館から中継する形で行われた(図1)。記念式典の式次第はつぎの通りである。ZOOMの記録による参加者は46名であった。

【記念式典の式次第】

1. 開会挨拶
2. 祝辞
3. 講演「学会の歩み」
4. 表彰式……田中豊副会長より表彰の趣旨のご説明と代表してSMC殿に授与
5. 閉会挨拶……早川副会長よりご挨拶

まず眞田一志会長から記念式典の開会宣言とご挨拶があり、続いてフルードパワー工業会・安藤毅会長から動画でご祝辞を頂戴した(図2)。ご祝辞ではこれまでの学会の取り組みを称えていただくとともに、学会の協力により国際標準化を成し遂げられたことへの謝意が述べられた。またアフターコロナで必要とされるであろうDX(デジタルトランスフォーメーション)の社会実装の実現、2030年までにSDGs達成するためには、これまでに経験したことのない課題も多くある。その解決のためには工業会と学会との新たな産学連携が必要不可欠であり、今後の学会活動に期待していることが伝えられた。

そののちには眞田一志会長より「学会の歩み」と題して約20分の講演がパワーポイントを用いて行われた。まず最初に学会創立から現在までの経緯を学会誌の周年特集号を引用しながら紹介された。つぎに、これまで開催された国際シンポジウムについて、つづいて現在の学会の概要について述べられた。最後に学会創立50周年の記念事業を行うにあたり特別会費のご協力をお願いしたところ、51社の賛助会員企業と142名の正会員の皆様から総額954

万5千円のご支援をいただいたことに対する謝意が伝えられるとともに、50周年事業として「学会50年のあゆみ」「機能性流体入門」の出版、学会誌の表紙デザイン刷新、創刊号から現在までの学会誌の電子データが会員HPに公開がなされたことが報告された。

表彰式では田中豊副会長より、特別会費にご協力いただいた賛助会員様に感謝状を贈呈することが告げられ、贈呈する賛助会員企業を代表してSMC殿に眞田一志会長から感謝状と記念品が授与された(図3)。

最後に早川恭弘副会長より記念式典への参加と成功裏に終えることができたことに対する御礼が述べられ、つぎの50年、100年に向けて学会が研究開



図1 記念式典の様子



図2 動画で祝辞を述べる工業会の安藤会長

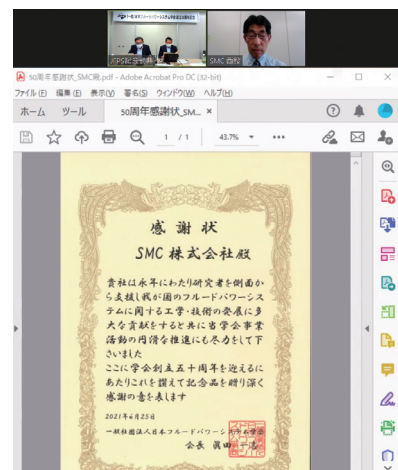


図3 表彰式における感謝状授与の様子

発および人材育成に尽力していく決意表明がされ、記念式典は終了した。

4. おわりに

記念特別セミナーおよび記念式典は記念式典企画分科会の伊藤和寿委員、川嶋健嗣委員、曾谷康史委員、釣賀靖貴委員、名倉忍、西股健一委員、和田重伸委員のご協力のもとに企画した。各委員、ご参加いただいた皆様のお陰を持って、無事、特別記念セ

ミナーおよび記念式典を実施することができた。この誌面をお借りして御礼申し上げる。

なお現時点で、当初企画していた特別講演「超電導リニアと中央新幹線」は中止、記念祝賀パーティーはコロナ収束後の適当な時期に実施予定であることをお伝えしておく。

(原稿受付：2021年7月19日)

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 (10月10日現在)	857	10	103	126
差引き増減	+1	±0	+8	±0

正会員の内訳 名誉員16名・シニア員63名・ジュニア員101名・その他正会員677名

〈新入会員〉

正会員

森村 章一（オークマ株式会社）

学生会員

金 時也（芝浦工業大学）

金指 凌（芝浦工業大学）

高橋雄一郎（芝浦工業大学）

永田 柊（芝浦工業大学）

濱田 貴至（芝浦工業大学）

松田 健志（芝浦工業大学）

松田 隆志（芝浦工業大学）

吉原 一博（東京工業大学）

トピックス

学生さんへ、先輩が語る —油圧機器メーカーで働いて思うこと—

著者紹介



こまつとしみつ
小松利光

日本アキュムレータ株式会社
〒424-0038 静岡県静岡市清水区西久保415番地
E-mail: t.komatsu@nacol.co.jp

2020年 静岡理工科大学理工学部機械工学科卒業、同年日本アキュムレータ株式会社へ入社、現在は技術部に所属してアキュムレータ等の設計開発業務に従事。

1. はじめに

1.1 自己紹介

私は幼いころから電気関係の仕事をしている父の影響で機械に触れることに強い関心があった。将来は機械に携わる仕事がしたいという思いを持つようになり、工業系大学の機械工学科に入学した。大学では、工業力学、熱力学、流体力学、材料力学などのいわゆる4大力学、製図やさまざまな機械装置の知識、基本的な電気回路などを学んだ。4年次の研究では流体力学を専門的に学んだ。日本アキュムレータに入社を希望した理由は、大学時代の指導教授の紹介があったことと、大学時代に最も興味を持った流体力学の知識を大いに活かせると思ったからである。

1.2 企業の紹介

当社は日本初のアキュムレータ専門メーカーであり、製品の約半数は海外のさまざまな地域で多種多様な使われ方をしている。図1にブラダ形アキュムレータや周辺機器を示す。

たとえばダイキャストマシンや射出成型機などで



図1 アキュムレータ (左), SGバルブ (右)

は、事前にアキュムレータ内に蓄えられたエネルギーを一気に開放することで、短時間ではあるが極めて高い油圧パワーをアクチュエータに供給することができる。また油圧ポンプの脈動やサージ圧の吸収、非常時のエネルギー供給源、ポンプのアイドリングをなくす省エネルギー化にも頻繁に使われる。今後の環境保全や持続可能な社会作りを形成するうえで重大な役割を持つと考えられる。

アキュムレータは一般的な油圧機器とは違い、危険性の高い高圧ガスを扱う製品であるので、何よりも強度や安全性が重要視されている。各国や設置場所の法的な要求事項も非常に多い。そういった安全性や細かな要求事項を満足する厳しい品質管理基準を設け、またそれに対応する生産技術とノウハウを長年にわたり構築している。

ユーザの視点では、大流量化、高圧化、大型化といったアキュムレータの性能面に関するニーズが多い。性能面を改善する研究開発では、有限要素法構造解析 (FEM)、熱流体解析 (CFD)、システムシミュレーションなど、いわゆるCAEを活用している。また同時に実機による実証試験も繰り返し行っている。

1.3 職場

図2の写真に示すのが当社の本社工場でありアキュムレータの製造拠点である。製造している容積は0.03Lから200L以上と非常に幅がある。アキュムレータ以外では、高圧ガス用アクセサリ、安全弁、継手なども生産されている。本社工場を取り囲むようにして周囲に複数の工場がある。これらの中で材料の切断、鍛造、熱処理、ショットブラスト、機械加工、表面処理、組立てやさまざまな品質試験を行っている。研究開発を行う実験棟も近隣にある。部品類の大半は上海にある子会社で製造している。アキュムレータに使用されるブラダは、本社工場から約2km離れた場所にある最新工場生産している。

2. 学生時代を振り返って

2.1 学生時代の研究

学生時代は、主に流体力学に関する研究を行っている研究室に所属してCFDを利用した流体機械の性



図2 本社工場

能向上に関する調査を行った。指導教授から2つの民間企業との共同研究をテーマとして与えられた。ひとつ目が小型軸流ダクトファンの吐出風量に関するテーマであり、企業側が設計したファンモデルの風量や流れの性能予測を解析した。最終的には風量測定装置による性能評価実験をした。2つ目は油圧用バルブの流量と圧力分布の解析であった。当時の解析結果から、いくつかの改良点が見いだされ製品への採用が検討された。

CFDの難しさは機械的ダイナミクスとの相互連成と、静的な解析においても解析と実験結果が思うように一致しないことである。ひどい場合には予想とまったく異なる特性になることもある。計算格子や計算頻度の設定が不適切で、微小な渦領域などによる流れの変化をとらえきれていないことが差を生じさせる主原因と考えられる。今になって振り返ると、学生時代の解析は課題が残る結果が多かったと自責の念を感じる。そのような経験から、複数のデータから傾向や物理的な現象を客観的に読み取る力、得られた結果を力学的な観点から考察する力の大切さが理解できた。CAEソフトウェアを使いこなせたとしても、扱う現象の物理的な解釈が不十分であれば役に立たないに等しいと考えている。このような学生時代の多くの経験によって、社会に出てからの課題に対する取り組み方や忍耐力を学ぶことができたと感じる。

2.2 就職活動のアドバイス

就職活動の際に、自分の関わりたい分野は流体関係と決まっていたので、関連する企業に的を絞って、合同企業説明会やインターンシップなどで話を聞きに行っていた。最終的には業務内容の理解度がもっとも深かった日本アキュムレータを選択した。しかし自分の興味がある分野以外の見聞を広めるために、さまざまな業種の説明会に積極的に参加することも大切なことだと感じる。

今から就職活動を行う学生さんには、本当に自分が大切にしたい価値観や自分に合った職種をじっくりと吟味して欲しいと思う。

3. ライフワークバランス

3.1 仕事内容

入社後の約半年間は社内研修として本社工場で現場作業に従事した。たとえば、工作機械を使った機械加工、アキュムレータの組立てや出荷前試験、品質管理のためのさまざまな調査や測定を行った。実際のモノづくりの現場を体感することができた。

その後、技術部に配属されアキュムレータの設計に関する業務と実験室での試験などを担当している。製品の設計に関しては、まだ経験が浅いことから既存製品の部分的な改良や図面修正など比較的容易な作業が多い。新しい製品の開発が計画されている場合にはCFDによる解析を担当することがある。ここでCFDを使った業務について少しだけ具体的に触れる。図3は単純なオリフィス絞りのCFD解析モデルである。図4はCFDと実験値をグラフにプロットした物である。両者はよく一致していることがわかる。しかしながらアキュムレータの吐出時の現象は、レイノルズ数が非常に高い乱流域での流れであり、また弁流路の形状も複雑に変化していることから、解析の難易度と計算量はオリフィスの例とは比べものにならない。特に吐出時のパワーが数メガワットに達するアキュムレータの解析には多くの試行錯誤を要した。それに応じて長い時間がかかったが、結果として実機による実証試験との差が少なく、解析結果が設計に反映された。

アキュムレータの設計業務に携わっていると、製品の大きさという制限の中で安全性と性能を両立させることの難しさを日々感じるが、終わってしまえば逆におもしろかったとも感じる。

3.2 職場で大切な事

職務遂行をするうえで確認を行うことを大切にしている。経験が浅い間は、先輩や上司から作業の指示を受けることが多い。指示を受ける時に要点の確認を欠かさず行っている。指示内容を間違えて解釈

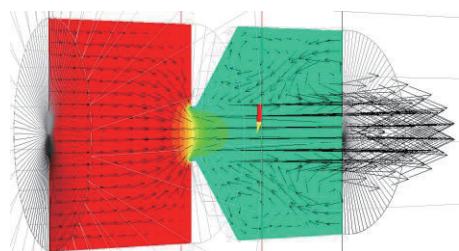


図3 CFD解析モデル例

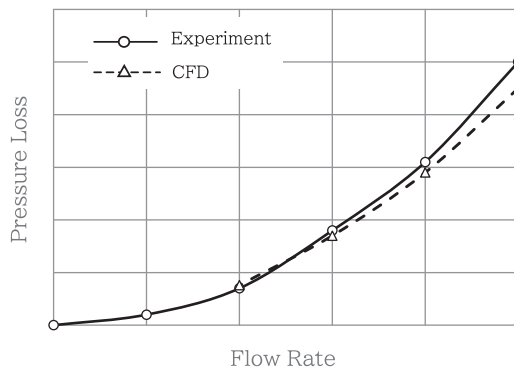


図4 実機試験結果との比較

して作業を行ってしまうと、事故につながる危険性や不必要な作業を行ってしまう可能性がある。疑問や不安な点をなくしてから作業を始めるのがよい。これは業務上のコミュニケーション能力のひとつである。

また受けた指示の忘れ防止やさまざまな必要な情報を書き留めるための小さなメモ帳を常に携帯することをお勧めする。メモを取る際は5W1H、時系列、箇条書きにして、なるべく簡潔に書くのがよいと思う。メモ帳の記載情報が増えてくると、後で読み返すのが大変になってくるので、タイトルと日付も記載することや多少スペースをむだにしても新しいページを使うことも効果的だと思う。また必要なくなった情報の消し込みもわかりやすさにつながる。従来からある付箋やPCアプリの活用も有効である。

3.3 リフレッシュ

自分が思っていたほど仕事が進まないことは時折起こることである。また会社ではさまざまな世代や性別、場合によっては国籍が異なる人が一緒に働いている。それぞれ考え方や価値観に差があり、うまくコミュニケーションが取れないこともある。そういったことが原因でストレスを溜め込んでしまう経験がある人は多いだろうと考えられる。場合によってはプライベートの時間まで引きずってしまい、それが長期間続くと身体面と精神面の両方に悪影響をもたらすといわれている。そこで上手にストレスを解消することが良好なライフワークバランスを保つ秘訣であると思う。私自身は終業後や休日の趣味を大切にすることによって、私生活と仕事のオンオフがうまく切り替えることができるようになったと感じている。学生時代からゲームや映画鑑賞などのインドアな趣味が多く、外に出かけることは少なかった。

た。しかし最近は長めの休暇を使ったキャンプを楽しむことを楽しみにしている。今年は富士山の麓で2泊3日の長いキャンプに行ってきた(図5, 6)。市街地との生活とは違いいろいろな不自由さがあるが、大自然の中でゆったりとした時間を経験することによって心身ともにリフレッシュすることができた。ひとつの趣味に没頭するのも、私のようにジャンルの異なる複数の趣味を持つのもよいと思う。



図5 キャンプ場入り口



図6 キャンプ風景

4. 最後 に

学生時代は積極的に行動して、研究でもサークル活動でもよいので悔いが残ることがないようにして欲しいと思う。いったん就職すると時間的な制約が多くなってしまい、何かを長期間に渡ってやるのが非常に難しくなってしまう。今手元にある貴重な時間をなるべく有意義に使っていただきたい。本稿がこれから社会に出て働くということに関しての助言や参考になれば幸いである。

(原稿受付：2021年7月21日)

トピックス

笑顔で活躍—お仕事フルードパワー便 —理系への歩みを振り返って—

著者紹介



いとう がわ ゆう か
糸魚川 祐 香

岐阜大学大学院
〒501-1112 岐阜県岐阜市柳戸1-1
E-mail: a4525008@edu.gifu-u.ac.jp

2021年岐阜大学工学部機械工学科知能機械コース卒業。同年同大学大学院自然科学技術研究科知能理工学専攻知能機械領域入学。研究室ではグローブ型パワーアシスト装置に関する研究に従事。

1. はじめに

自己紹介：

私は高校を卒業するまで大阪府で育った。府立高校を卒業後、地元を離れて岐阜大学工学部機械工学科へ進学し、今年の3月に卒業した。その後同大学の大学院へ進学、現在は修士課程で知能理工学を専攻し、グローブ型パワーアシスト装置に関する研究を行なっている。

研究内容：

工場での移載作業時に使用されるパワーアシスト装置の研究を行っている。操作者の負担がより軽減されるシステムの開発を目標として、負担を客観的に数値であらわす評価システムの最適化と装置本体の改良に取り組んでいる。

現在の評価システムは、RGB-Dカメラを用いて計測した操作者の11個の関節位置と、装置から出力されるアシスト力、グローブの高さから関節トルクを計算し、その値を装置未使用時と比較している。しかし現在の評価システムでは関節位置の取得精度が不十分であることや、計測情報が多く負担評価までに時間がかかるという課題がある。そこで、少ない計測情報から関節位置を推定することで、関節位置の精度向上と評価時間の短縮に取り組んでいる。

また、研究で使用している装置は把持部がグローブ型で、グローブ内部の右手人差し指の位置に把持力センサが取り付けられており、このセンサの入力に応じてアシスト力を出力している。現在は移載物を降ろす下降動作時の操作性が低いことと操作者の負

担が大きいことが課題となっている。そこで装置の下降動作特性に着目し、下降時のみ自動的にアシスト力が減少していくシステムの導入に取り組んでいる。



図1 実験の様子

2. 理系進学 of 動機と学生生活

2.1 理系進学 of 動機

私は中学のころから、暗記をすることや、国語などのように答えが人によって異なること、文を書くことが苦手だった。逆に、理解さえしていれば式や答えを導出できる数学や物理がとても好きだった。

私の通っていた府立高校の普通科では、1年生の終わりに文理選択をすることになっている。私は将来こういう仕事をしたいから、というようなことはまったく考えず、理系科目、文系科目どちらが好きかということと、自分の置かれた環境で物理選択の理系を選択した。大多数の友達も、科目の好き嫌い、得手不得手で選択していたように記憶している。私の場合は、家族全員が理系出身であったことも理系選択の理由のひとつとなった。周りに理系の人間しかなかったため、自分も当たり前のように理系に

進学すると考えていたことと、理系科目であればわからないことがあった際にすぐ誰かが教えてくれる環境だったのだ。

高校2年生からは物理選択の理系を集めたクラスに入った。理系選択の中でも生物選択、化学選択のクラスは男女の比率は半々であったが、物理選択ではクラスの人数の3/4が男子であった。もともと趣味でフットサルをしており、周りに女子がひとりもないという環境に慣れていたため、女子が少ないことで不便に思うことは特になかった。むしろ少ないからこそ全員と仲良くなることができ、わからないことは協力して教え合うようにしていたため勉強に対しての理解が早かったように思う。

2.2 大学選び

大学進学先の選択にはとても時間がかかった。数学や物理が好きで得意だったという理由だけで理系選択をしたため、将来自分が何をしたいのかがわからなかったからだ。北海道地方から九州地方までいろいろな大学のオープンキャンパスに参加し、さまざまな条件で絞っていった。最終的には自分が最も興味を持つことができた、岐阜大学工学部機械工学科知能機械コースに進学した。

現在でもまだまだ知らないことが多いが、いろいろな人に話を聞き、自分で行動して情報収集してさまざまな選択肢を持つことが大切だと考える。



図2 学科同期女子（2列目の右から3人目が筆者）

2.3 学生生活

学業はもちろんのこと、2つのサークルに学祭の実行委員など、機会があればいろいろなことに挑戦するようにしている。大学進学で初めて岐阜に出てきたということもあり、入学当初は人脈を広げることには力を入れていた。そのお陰もあり現在も学科を問わず多くの友に恵まれている。

大学では女子の人数が学科全体の1割ほどと、高

校よりさらに少なくなった。その分、より女子同士の団結力は強かったように思う。勉強を教えあったり、情報を共有したり、遊びに行ったりととても充実した学生生活を送っている。学内に女性優先休憩室があったり、同じ学科の女性の先輩との交流の場を設けていただいたこともあり、とても過ごしやすい。女子が少ないことで不便だと思ったことは一度もない。

学部生の頃は、学科全体の人数が多いことや普段から女子で行動していることから、同じ学科の男子と接する機会はほぼなかった。講義の際も、女子がいつも座っている席の周辺だけばかりと空席になる。それでもグループワークなどを通して少しずつ男子とも打ち解けていき、学部を卒業するまでには勉強や進路のことを相談しあえる関係になった。

3. 会社選び

私は大学の講義や現在取り組んでいるパワーアシスト装置の研究を通して、制御やプログラミングに興味を持ち、将来は自ら設計・開発した技術で社会に貢献したいと考えるようになった。まだ就職活動を始めたばかりで、インターンシップにもいまだ参加していない。しかし、合同企業説明会でばりばりと働く多くの女性に出会い、男社会の中で自分の意見をはっきりと主張し、新しい技術を生み出していく姿を見て、カッコいいな、こんな女性になりたいなと思い、強い尊敬の念を抱いた。

昔はよく結婚や出産を理由に会社を辞める女性の話を耳にしたが、現在ではそれらに縛られることなく女性が活躍し続けられる社会になってきているように感じる。このように女性の働く環境が整えられてきていることや、働いている女性の先輩方が増えつつある今、社会に出られるということはとても幸せだと思う。大学で学んだことを活かし働いている自分の姿を見て、カッコいいな、こんな人になりたいなと感じて理系分野に進もうと思う女性が出てくることを目指して、精進しようと思う。

4. おわりに

何か特別なことを報告しているわけでもなく、拙い文章で恐縮であるが、最後まで読んでいただきありがたと思う。先輩方が女性の働きやすい社会に変えていって下さっているように、自分も性別に関係なく活躍していける社会を目指してどんどん意見を主張し、この世の中を変えていきたい。残り2年弱の学生生活を有意義に過ごし、社会で活躍できる人材となるようにこれからも努力していきたいと思う。

（原稿受付：2021年8月5日）

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

第18回 中国から日本に留学して



著者紹介



てい めいしょう
程 明昭 (Mingzhao Cheng)
KYB株式会社
技術本部 基盤技術研究所 電子技術研究室
〒252-0328
神奈川県相模原市南区麻溝台1-12-1
E-mail: tei-mei@kyb.co.jp

1. はじめに

自己紹介：

私は中国の山東省威海市で生まれ育った。趣味はアニメ鑑賞と旅行である。大学三年生から日本語の勉強を始めて、大学を卒業してから日本の大学院に留学した（写真1）。現在神奈川県に在住している。来日の理由：

子供のころは日本のアニメが好きで、ストーリーの舞台となった風景を自分の目で見たいという夢があった。一方、大学の専攻は機械工学であり、中国より技術力の高い日本で工学知識を深めて、技術の専門家として成長し、将来はグローバルに活躍したいという希望を持って日本に来た。

現在の所属機関とその研究/仕事内容：

現在、私はKYB株式会社の基盤技術研究所に勤めている。担当業務は自動車向けの電動モータの研究・開発である。シミュレーションを活用してモータの磁気回路を設計し、試作評価で明らかになった問題を解決して、より良いモータを開発する仕事である。

軸を回すだけなのに、電磁気学、制御工学、熱力学、振動工学などさまざまな知識を理解する必要がある。ハードルが高い仕事だと思うが、とてもおもしろく感じている。



写真1 大学院の指導教官と学会発表したとき（右が筆者）

2. 日本の印象

2.1 来日直後の第一印象

日本は非常に静かであり、きれいな国だということが第一印象であった。電車や地下鉄の車内では話し声が聞こえず、街ではほぼゴミを見ないというすばらしい生活環境に驚いた。この環境を好むと同時に、自然と自分の行動も環境に配慮するようになった。しかし、電車内で電話に出られない、街でゴミ捨てができない、ゴミを出すのに分類しないといけなことは少し不便だと感じた。かなり生活の質が高いが、それなりのコストもかかっていると感じた。

2.2 研究室／職場に関して

日本人の考え方や働き方で驚いたこと：

日本人はルールの遵守意識が高いことに驚いた。横断歩道を渡ろうとする歩行者の進行を防げないよう、一時停止する車が多いと感じた。母国でも、交通ルールとして車よりも歩行者が優先されるが、歩行者は自身の安全のために車を避けるのは常識である。その常識に慣れた私が日本に来たばかりのころ、横断歩道で車と譲り合いになり、しばらく待ってから自分が先に行くべきだと気づいたことがよくあった。

日本で生活していると、周りの人たちは日常生活のルールを良く守っていると感じる。全部のルール

に従うことは、固苦しいイメージにとらえられるかもしれないが、ルールを守めることは社会生活において非常に重要であると思う。

日本に滞在中に自分が最も変わった点：

日本に来てから、チームメンバーの一員として協調することの考え方が理解できるようになった。中国は個人の能力が重視される競争社会であるため、学生時代から周囲と比較されてきたが、社会人になってからは、チームワーク意識が希薄で、やり方がわからず、仕事の時によくひとりで抱え込む状況になった。それで報告会で失敗したことを同僚と共有した結果、困り事はみんなで悩み、苦手なことは専門家に協力してもらい解決することを経験したことで、仕事はひとりの作業ではなくみんなで助け合うものであることを理解した。「報連相」という言葉を初めて見たのは日本語の教科書である。当たり前のことだと思ったが、最近ようやくこの言葉の本質を理解し、少しできるようになった。

2.3 生活に関して

日本の生活で困ったこと：

日本の祝日は中国の祝日と異なることが少し困っている。私は毎年の年末年始に帰国し、家族や友人に会う。しかしその時期の中国は元日のみが休みであり、それ以外は仕事の忙しい時期のため、久しぶりの人に会えずじまいで日本に帰ることもある。その後しばらくして中国の春節になるが、日本では仕事が始まってしまう。家族に電話して新年の挨拶をするたびに、異国にいることに気付いて、寂しいと感じた。しかし、この気持ちを味わうことで、より強い心を持てるようになった。

日本の生活でよかったこと：

私は日本が安全、安心、便利だと思い、今の生活に満足している。特に留学生、外国人社員のサポートが充実していると感じる。

日本の大学院に進学した時は、まだ言葉がよく通じなくて、大学の学生課が開催した異文化交流会で日本の文化を理解しつつ（写真2）、日本語の勉強を進めた。就職活動においては、求人情報だけではなく、ビジネス日本語など留学生向けの指導もして



写真2 和白東校区夏祭りのとき（左が筆者）

いただいた。就職してからも、会社からビザの取得などさまざまな支援を受けた。そのおかげで、今まで問題なく日本で暮らすことができています。

最も興味ある日本の文化：

私は日本のお土産文化に最も興味を持っている。それはお土産を買うことだけではなく、日本の各地方には独特の魅力があり、その違いを発見する楽しみでもある。休日に友人と日本のさまざまなところに行って（写真3）、地元の料理を食べたり、景色を見たり、お祭りに参加したりして過ごす。わずかな距離でも、言葉や生活習慣の違いがあり、何か特別なお土産がないかといつも期待している。また、職場に戻って、この楽しみをお土産とともに同僚に伝える。



写真3 友人と宮城県蔵王町に観光したとき（右から2番目が筆者）

3. 抱負と日本の方々へのメッセージ

今後の予定、出身国に戻る予定：

今後モータの開発に関して、専門知識を深めつつ、量産の技術を身につけ、初期段階の仕様検討から、詳細設計、量産立ち上げまでを一貫して担当できるように、会社および自動車業界に貢献したい。

現在は帰国する予定はなく、日本の会社で勤め続けようと考えている。

日本人へのメッセージ：

日本は魅力があふれる国であり、来日してから今まで、いろいろ良い思い出を作った。しかし、言葉が通じないと思い、海外を恐れて、ずっと日本にいたいと考えている日本人が少なくないと感じる。職場でも「よくひとりで、日本で生活をできているね」と言われたが、私も日本語の会話をまったくできない状態から日本の生活が始まった。失敗や辛いと感じた時期もあったが、それも貴重な経験だと思う。恐れず海外に行き、異なる風景を見ることを強くお勧めしたいと思っている。

（原稿受付：2021年7月26日）

研究室紹介

長崎総合科学大学 松川研究室

著者紹介



まつ かわ ゆたか
松 川 豊

長崎総合科学大学
〒851-0193 長崎県長崎市網場町536
E-mail : matsukawa_yutaka@nias.ac.jp

2004年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。宇宙航空研究開発機構宇宙航空プロジェクト研究員、法政大学講師を経て、2011年長崎総合科学大学准教授。流体工学の研究に従事。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）。



図1 キャンパスからの眺め

1. はじめに

長崎総合科学大学は長崎県長崎市にある私立大学である。メインキャンパスであるグリーンヒルキャンパスは長崎半島と島原半島に囲まれた橘湾に面した丘の上にあり、最寄りのバス停から歩いて登校するにはひたすら坂を上がって登山（？）することになる。しかしその分キャンパスからの眺めは良く、景色を楽しめる（図1）。空気が澄んでいる日には雲仙岳も望める。

大学の前身は1943年に開校された造船の高等学校であり、造船が盛んな長崎ならではの由来である。その後規模を拡大させながら、長崎造船大学を経て、現在にいたっている。地元での略称は「総科大（そうかだい）」であるが、年配の方はいまだに「造船大」と呼ぶことが多い。2014年に改組して、現在は2学部（工学部と総合情報学部）2学科8コース体制である。さらに、2020年度より複数のコースを縦断する教育プログラムを実施している。県内の私立大学では本学が唯一の理工系大学である。在学生数は約800人である。その大多数は県内からの進学であるが、本学の前身を引き継ぐ船舶工学コースには県外からの進学が多い。また、長崎の土地柄もあって、中国やベトナムなどからの留学生も少なくない。

筆者が主催している流体工学研究室は工学部工学科機械工学コースに所属している。改組前は工学部機械工学科の所属であった。現在の機械工学コースには5名の専任教員が所属しており、各教員がひと

つの研究室を主宰している。

2. 研究室の概要

筆者は2011年に本学に着任したが、当時は流体工学研究室の所属ではなかった。当時の流体工学研究室は2名の専任教員が主宰しており、主に流体機械の研究テーマを実施していた。筆者は専門性から熱流体工学研究室を開設して主宰していたが、その後、改組や教員の異動等の流れで2016年から流体工学研究室を引き継いで現在にいたっている。研究室名も、「熱流体工学研究室」よりも一般的でわかりやすい「流体工学研究室」のほうを選んでいる。研究室の職員は筆者1名のみである。

研究室には毎年2名から4名程度の卒研究生が配属されている（今年は少し多くて6名）。これに大学院生が時折加わり、今年は1名の修士学生が所属している。全学的に院生の数は少なく、筆者の研究室に所属した院生はこれまで修士学生3名だけである。もともと本学の学生数自体が少なく、また、国公立大学に比べると進学率が低い状況である。

卒業研究の実施体制として、実験的テーマについては学生2名を一組として取り組ませている。修士論文研究については1名で取り組ませている。

研究室の主な活動としては、研究活動についての打合せを毎週または隔週で学生居室（図2）にて実施している。研究活動の進捗を報告させ（配布資料

と口頭説明にて)、それについて指導する。学生はその場で出た宿題にその後取り組むことになり、次の打合せでその結果を報告する。このような打合せを研究テーマごとに実施している。

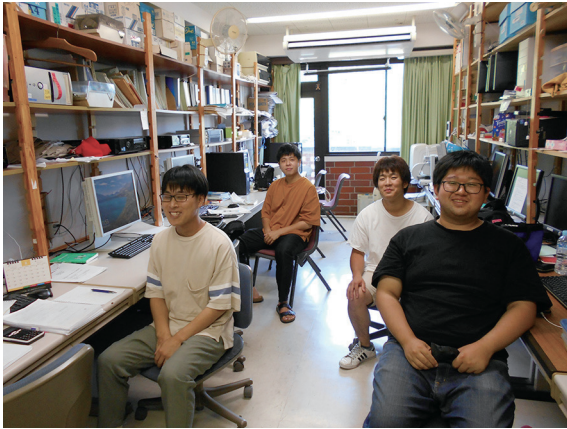


図2 学生居室 (学生は一部のみ)

3. 研究テーマ

3.1 電気流体力学

電気流体力学 (EHD) 現象を利用したマイクロポンプを研究している。

EHD現象とは絶縁性液体に高電圧を印加すると流動が発生する現象である (図3)。EHD現象を利用すると、液体中に電極を配置して電圧を印加するだけで流動が発生することから、従来式の機械的可動部を使用しないポンプを作れる。

この特徴はマイクロマシンに適用できる。マイクロマシンの動力源としてポンプを使用する場合、従来式のポンプを小型化してマイクロポンプとして使おうとすると、部品の加工精度が課題となる。一方、EHD現象を利用したポンプであれば基本的にこの課題はあらわれないため、小型化に向いている。

このような観点からEHD現象を利用したマイクロポンプの研究開発は進められているが、その設計は基本的に試行錯誤的に行われている。それは、現象のモデル化が十分進んでいないためである。そこで、現象のモデル化と数値シミュレーション手法の開発を進めている (図4)。

この研究テーマは筆者が以前法政大学に勤務していた時に、同大学高機能メカトロデザイン研究室の田中豊先生から紹介いただいたものである。研究を進めるうえで田中先生には今でもいろいろとお世話になっている。そのような縁もあり、こちらで数値シミュレーション手法を開発し、田中研究室で進めている開発を支援する共同研究に展開して役立てたい思いであるが、なかなか歩みは遅い。

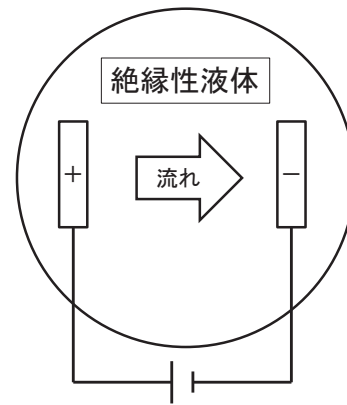


図3 電気流体力学 (EHD) 現象

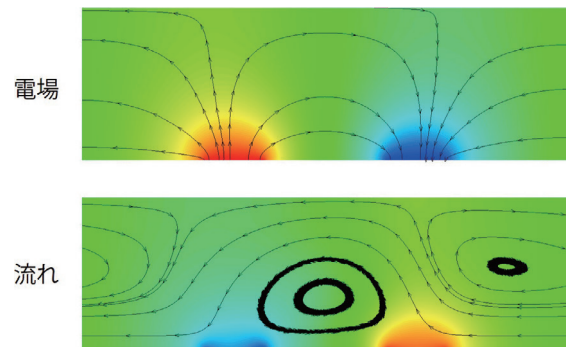


図4 EHDマイクロポンプ内流れの数値シミュレーション¹⁾

3.2 超音速流れ

小型超音速風洞の作製を進めている。

この活動は卒業研究テーマとして継続的に実施しており、今のところ研究目的というよりももっぱら教育目的で実施している。実験的テーマであり、実際に手を動かしながら、また、実際の現象を経験しながら進める活動となるため、卒業研究テーマに向いていると考えている。

筆者はもともと航空宇宙工学分野の出身であり、超音速流れは筆者の研究分野のひとつである。以前はJAXAの大型風洞を使った実験を行っていたが、その後は数値シミュレーションが主となっていたため、超音速流れの実験には興味があつた。たまたま手元に小型のタンク付きコンプレッサーがあつたため、これを使って超音速流れを作れそうだなと思い立ったしだいである。

2013年に着手した時には断面寸法が約5mm四方の流路に音速流れを実現できた程度であつたが、歩みは遅いものの、その後も継続した結果、現在は10mm四方の流路にマッハ数1.5の超音速流れを実現できるようになった。実験装置を作製するという活動ではあるが、とにかく少しの予算で手が出せる範囲で実施してきた。運よく手元に卓上CNCフライス盤があり、ノズルなどの部品はアクリルをこれで加工して

作製できたため外注せずに済んでいる(図5)。また、流れの光学的可視化も実施しているが、市販のLED光源や家庭用ビデオカメラを使っているものである。ただ、その程度の機材で撮影した場合でも、流れを調べるのに役立つ画像は撮影できている(図6)。

このように、歩みは遅いものの、小型の超音速流れを作って調べる環境は整いつつある。この装置を使っていずれ実施したい研究テーマはいくつか念頭にあるが、まずはそれができる環境作りを目的に実施している。

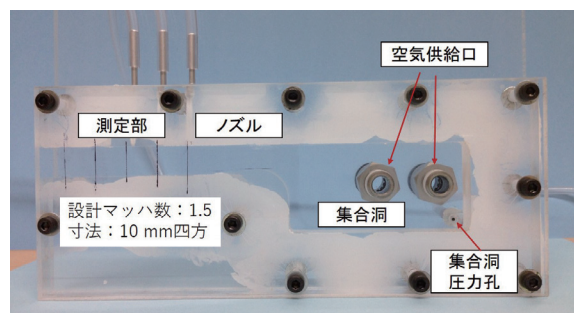


図5 作製した超音速風洞の流路(白色は液状ガスケット)

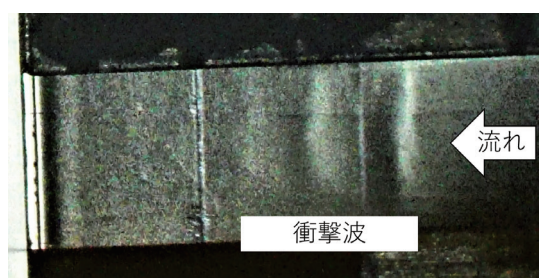


図6 超音速流れの可視化

3.3 高温気体流れ

宇宙機の空力加熱に関連した高温気体流れを研究している。

高温気体流れも筆者の以前からの研究分野のひとつであり、院生時代から継続して実施している研究テーマである。

惑星大気に宇宙機が突入すると機体まわりの流れは数万度の高温になるため、機体は大きな加熱を受ける。この現象を空力加熱と言う(図7)。このときの高温気体流れにあらわれる熱化学的過程の多くは、特に定量的にはまだよくわかっていない。そのため、現象の解明とモデル化を進めている(図8)。

今後は、高温気体流れの対象として燃焼工学分野にも拡大できればと考えている。

4. おわりに

卒業研究では実験的テーマを与えることが多いが、最初からあれこれと調べたり考えたりせずに、手元

にある素材を使ってまずはやってみようという方針で指導している。学生はネット世代のためか、課題があるとまず調べて何とかしようとするが、遅々として進まない。調べなくても、実際にやってみて起こったことがすべてである。すぐに試せることであれば、まずやってみよう。このような姿勢が少しでも育てばと考えている。

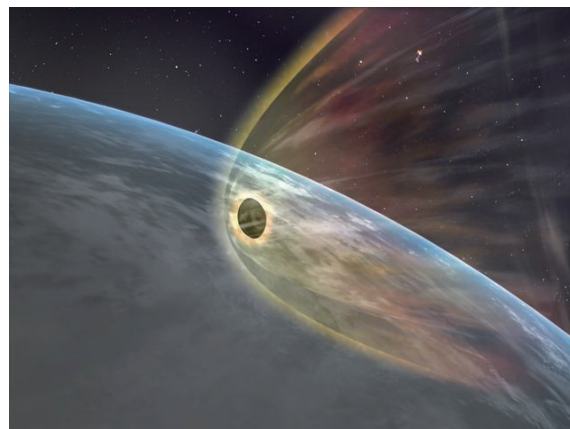


図7 空力加熱²⁾

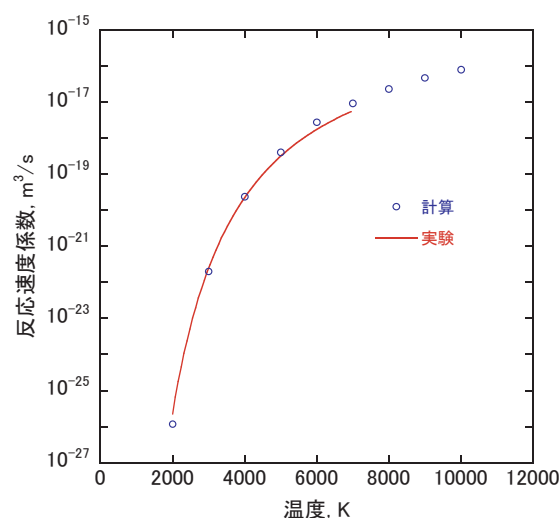


図8 酸素分子の解離速度係数³⁾

参考文献

- 1) 松川豊: イオンドラッグ型EHDマイクロポンプ内流れの数値シミュレーション, 第34回数値流体力学シンポジウム講演論文集, A11-2 (2020)
- 2) JAXAホームページ: <http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=2f0960a6d8447b60a9dd816a138b6db9> (2021.8.5 確認)
- 3) Matsukawa, Y.: Dissociation Rate Coefficient of Oxygen for $O_2 + O$ Reaction, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 59, No. 6, p. 371-373 (2016)

(原稿受付: 2021年8月6日)

企画行事

2021年春季フルードパワーシステム講演会開催報告

著者紹介



さか い 悟
酒 井 悟

信州大学
〒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年同大学農学研究科博士後期課程修了，同大学情報学研究科JSPS特別研究員（PD），Twente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，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

2021年春季フルードパワーシステム講演会は，2021年6月24日（木），25日（金）の2日間にわたってオンライン形式のみ（以下，完全オンライン形式）として開催された（図1）。本講演会では，オーガナイズドセッション（OS）2組と一般セッション3組が企画され，計29件の講演発表が行われた。

OS「シミュレーションとモデリング」：5件

OS「フルードパワーと次世代農業・建設」：5件

一般セッション「油圧・水圧」：8件

一般セッション「空気圧」：7件

一般セッション「機能性流体」：4件

本稿では本講演会の開催概要を報告する。

2. 各セッションの概要

2.1 OS「シミュレーションとモデリング」

本OSは桜井康雄先生（足利大学）と清水文雄先生（九州工業大学）がオーガナイザーであり，以下の趣旨のもと企画された。

「コンピュータの高性能化と商用ソフトウェアの進歩にともないフルードパワー分野における機器・システムの設計・開発に1次元および3次元のシミュレーションが積極的に取り入れられるようになっております。本OSでは，フルードパワーにおけるシミュレーション技術の一層の発展を目指して，1次元および3次元のシミュレーション事例および

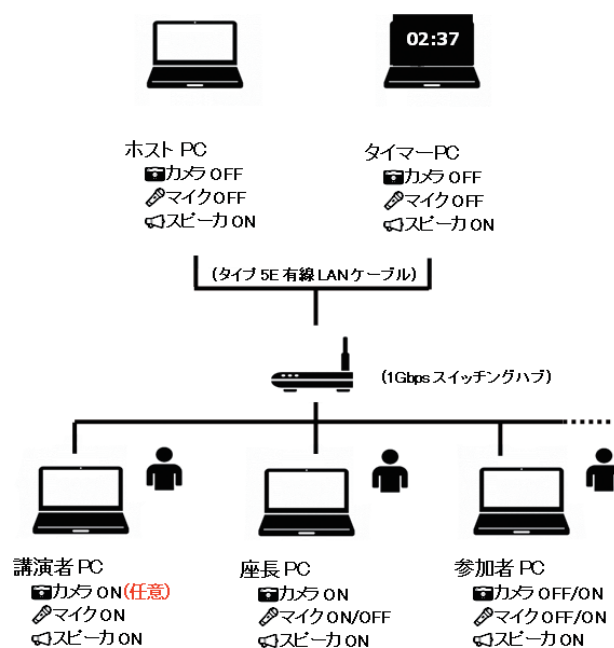


図1 完全オンライン形式の概要（本講演会マニュアルより抜粋）

モデル化技術に関する講演を広く募集します。」

計5件の講演が行われ¹⁻⁵⁾，ポペット弁型圧力制御弁のヒステリシスの再現，油圧アームのための同定入力の修正法についてなどエンジニア・学生を含む報告があった。

2.2 OS「フルードパワーと次世代農業・建設」

本OSは村上則幸先生（北海道農業研究センター，農研機構），酒井悟（信州大学）がオーガナイザーであり，以下の趣旨のもと企画された。

「電動化の流れは，自動車分野を中心に国内外を問わず，加速の度合いを限りなく強めています。一方，パワー密度の高いフルードパワーシステムは，電動化と競合するどころか，相互に補完しあいながら新しい姿に進化しつつあります。本OSでは，特にパワー密度の高いフルードパワーシステムが不可欠となる次世代の農業・建設分野などを視野に，油圧・空気圧・水圧・機能性流体等のフルードパワーシステムの最先端の研究開発成果を広く募集して，新しい可能性を具体的に議論します。」

計5件の講演が行われ⁶⁻¹⁰⁾，油圧システムに生起

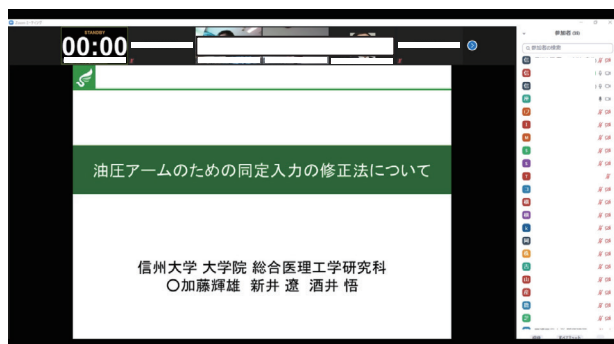


図2 オンライン形式の発表の様子（筆者撮影）

する圧力脈動の予測技術，ウリ科野菜用全自動接ぎ木装置などエンジニア・学生を含む報告があった。

2.3 一般セッション「油圧・水圧」

本セッションでは油圧関連6件・水圧関連2件が報告された。油圧関連¹¹⁻¹⁶⁾では，ポペット弁のフローパターンと流体力特性，回転弁を用いたデジタル油圧回路の基本特性のシミュレーション解析，単関節アームの位置軌道追従，水圧関連¹⁷⁻¹⁸⁾では，非対称Bouc-Wenモデルによる水道水圧駆動人工筋の制御，水道水圧駆動人工筋のモデルフリー適応変位制御，などエンジニア・学生を含む報告があった。

2.4 一般セッション「空気圧」

本セッションでは空気圧関連7件が報告された¹⁹⁻²⁵⁾。四面体型柔軟アクチュエータを用いた移動ロボットの試作，エア断震住宅の直下型地震に対する応答，厳密な線形化を用いた圧力制御系の応答改善，3センサ法による管内流の状態推定に関する一考察など学生を含む報告があった。

2.5 一般セッション「機能性流体」

本セッションでは機能性流体関連4件が報告された²⁶⁻²⁹⁾。MRダンパを用いた超精密加工用エアタービンスピンドルの回転数制御に関する検討，小形自律移動ロボットに搭載する機能性流体を用いた制動装置の開発，など学生を含む報告があった。

3. 完全オンライン形式

講演会としては初の完全オンライン形式であった

表1 アルバイトの人数と時間（ホスト2名+タイマ2名）

アルバイト	A氏	B氏	C氏	D氏
リハーサル前日	4 h	4 h	4 h	4 h
リハーサル当日	3 h	3 h	3 h	3 h
講演会 前日	1 h	1 h	1 h	1 h
講演会 1日目	5 h	5 h	5 h	5 h
講演会 2日目	5 h	3 h	5 h	3 h

ため，念のため，講演会の環境（図2）についても報告させていただく。2020年秋季講演会（ハイブリッド形式）でも採用されたZoom（アカウント2個），スイッチングハブ（1Gbps・FX-08EP3/プラネックスコミュニケーションズ），有線LANケーブル（Type5E），ノートPC（ProBook450G6/HPとLatitude5280/DELL）を用いて講演会の環境は構築された。

発表時間は20分間（講演時間15分+質疑応答・討論5分間）であって従来と同一であった。接続トラブルを想定して休憩時間をやや長く設定したものの，深刻な大規模のトラブルはなかった。

個人的主観に過ぎないが，大学教員—学生間のディスカッションに加えて，エンジニア—学生間のディスカッションが目立つなど，プレコロナ時代と変わらない本学会の魅力的な場面が強く印象に残った。

完全オンライン形式では出張費用が少なくなったため，参加・講演にお誘いしやすい側面があった。実際，非会員や初参加の会員による講演があった。本講演会では（テレビ会議室において複数のエンジニアが参加できる）団体参加枠が設定された。実際，5団体の参加があった。Zoomにおける質疑応答では個人名ではなく団体名のみが表示され，（賛否はともかく）国際展示会などとは対照的な形式となった。

完全オンライン形式では会場費用は少なくなるものの，講演会の環境を構築するにはアルバイトのサポート・事前練習は必要であり，一定のアルバイト費用（表1）が重要であった。タイマーとZoomの設定では，PCとOSに依存する作業には時間を要した。今後，開催のノウハウが蓄積していけば，効率も自然に高まっていくと考えられる。

4. おわりに

当日運営・事前準備において多くの方々の強力なサポートをたまわった。この場をお借りして本講演会にご協力いただきました皆様（参加者，座長審査関係者，企画委員会関係者，学会事務局の皆様，研究室学生・秘書）に心より深く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 桜井康雄，前原護喬，兵藤訓一：シミュレーションによる油圧システム用圧力脈動低減素子の性能の検討，2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 11-13（2021）
- 2) 清水文雄，田中和博：スプール弁に働く流体力の発生メカニズム，2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 14-16（2021）
- 3) 佐藤恭一：小型車サスペンション用減衰力可変オイルダンパーの非線形減衰力特性のモデル化，2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 17-19

- (2021)
- 4) 増田精鋭, 廣瀬直紀, 清水文雄, 瀧脇正樹, 田中和博: ポベット弁型圧力制御弁のヒステリシスの再現, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 20-22 (2021)
 - 5) 加藤輝雄, 新井遼, 酒井悟: 油圧アームのための同定入力の修正法について, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 23-25 (2021)
 - 6) 村上則幸, 長南友也, 横地泰宏: 車両通信制御ネットワークを利用したトラクタ装着型均平機の制御技術の開発, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 39-41 (2021)
 - 7) 岡崎琢朗, 斧田康佑, 大内田剛史: 油圧システムに生起する圧力脈動の予測技術, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 42-44 (2021)
 - 8) 中山夏希: ウリ科野菜用全自動接ぎ木装置, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 45-47 (2021)
 - 9) 宇佐美太一, 酒井悟: 非線形油圧アームの力制御のロバスト性について, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 48-50 (2021)
 - 10) 笹倉涼也, 酒井悟: 油圧アームの非定常流量要素の拡張, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 51-53 (2021)
 - 11) 田中豊, 坂間清子, 小寺康大, 北村佳彬: 旋回流を用いた油中気泡量の調整に関する研究, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 67-69 (2021)
 - 12) 安藤大我, 眞田一志, 名倉忍: 回転弁を用いたデジタル油圧回路の基本特性のシミュレーション解析, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 70-72 (2021)
 - 13) 風間俊治: 斜板式アキシアルピストンポンプ・モータ要素の数値シミュレーション (スリップ特性に及ぼすポケット位置の影響), 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 73-75 (2021)
 - 14) 廣瀬直紀, 増田精鋭, 清水文雄, 瀧脇正樹, 田中和博: ポベット弁のフローパターンと流体力特性, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 76-78 (2021)
 - 15) 坂間清子, 神村明哉: 低圧領域で利用する油圧システムの設計に関する研究 一低圧用油圧機器の有用性の検討一, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 79-81 (2021)
 - 16) 甲斐友朗, 玄相昊: 新油圧回路 H2SB+による単関節アームの位置軌道追従, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 82-84 (2021)
 - 17) 森山開, 伊藤和寿: IIR構造を用いた非対称Bouc-Wenモデルによる水道水圧駆動人工筋のセンサレス変位制御, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 85-87 (2021)
 - 18) 鶴原理司, 伊藤和寿: 水道水圧駆動人工筋のモデルフリー適応変位制御系の設計, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 88-90 (2021)
 - 19) 下岡綜, 片山航希, 赤木徹也, 堂田周治郎, 篠原隆, 小林卓巳: 伸長型柔軟空気圧アクチュエータを用いたはしご自動昇降ロボットの開発, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 1-3 (2021)
 - 20) 下岡綜, 椿建己, 赤木徹也, 堂田周治郎, 篠原隆: 寝たきり患者のための足首用リハビリテーション機器の開発, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 4-6 (2021)
 - 21) 長谷建汰, 赤木徹也, 堂田周治郎, 小林亘, 篠原隆: 四面体型柔軟空気圧アクチュエータを用いた移動ロボットの試作, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 7-9 (2021)
 - 22) 肥後寛, 清水文雄, 田中和博: 空気圧・電動・電空ハイブリッドマニピュレータの消費エネルギーの比較, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 55-57 (2021)
 - 23) 武石桐生, 香川利春, 肖鋒, 三輪富成: エア断震住宅の直下型地震に対する応答, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 58-60 (2021)
 - 24) 小柳駿, 石井達也, 藤田壽憲: 厳密な線形化を用いた圧力制御系の応答改善, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 61-63 (2021)
 - 25) 岸浩太郎, 中尾光博: 3 センサ法による管内流の状態推定に関する一考察, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 64-66 (2021)
 - 26) 吉田和弘, 小林賢人, 金俊完: 積層形ERマイクロバルブに関する研究, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 27-29 (2021)
 - 27) 桜井康雄, 枝村一弥: 異径管を用いたECFポンプに関する研究, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 30-32 (2021)
 - 28) 川久保一希, 加藤友規, ケオナムチャイ ヴァニサラ, 山下和将: MRダンバを用いた超精密加工用エアタービンスピンドルの回転数制御に関する検討, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 33-35 (2021)
 - 29) 佐藤悠太, 外川貴規, 田中豊: 小形自律移動ロボットに搭載する機能性流体を用いた制動装置の開発一搭載用電源の設計と動作シミュレーション一, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 36-38 (2021)

(原稿受付: 2021年9月10日)

会 告

〈理事会・委員会日程〉

9月10日	理事会
9月21日	情報システム委員会
9月22日	論文集委員会
9月29日	編集委員会
9月30日	企画委員会

〈理事会報告〉

2021年度第2回理事会

9月10日 15:00～17:00

Web開催（参加者21名）

- (1) 国際シンポジウム函館2020開催準備状況
- (2) 創立50周年記念事業（記念出版）
- (3) 第6回日中韓共同ワークショップ参加報告
- (4) 会員の推移
- (5) IFPEX2021カレッジ研究発表コーナー
- (6) 次期会長・役員選挙実施手順
- (7) 各委員会からの報告
- (8) その他

〈委員会報告〉

2021年度第2回情報システム委員会

9月21日 15:00～17:00

Web開催（参加者8名）

- (1) 学会HP更新状況報告
- (2) 学会HPに掲載する情報について
- (3) 学会HPについて
- (4) 会議報告
- (5) 会員管理システムの今後について

- (6) アクセス数のカウントについて
- (7) その他

2021年度第3回論文集委員会

9月22日 10:00～12:00

Web開催（参加者8名）

- (1) 英文誌のテンプレート
- (2) 論文投稿規程
- (3) 論文執筆要綱
- (4) その他

2021年度第3回編集委員会

9月29日 15:30～16:50

Web開催（参加者18名）

- (1) 会誌特集号の現状と企画
 - 1) Vol.52 No.6「AI技術とフルードパワー」
 - 2) Vol.53 No.1「IFPEX2021」
 - 3) Vol.53 No.2「JFPS国際シンポジウム函館2020」
 - 4) Vol.53 No.3「進化を続ける空気圧機器（案）」
 - 5) Vol.53 No.4「フルードパワーと音（案）」
- (2) その他
 - 1) 会議報告
 - 2) 今後の特集について

2021年度第1回企画委員会

9月30日 15:00～18:00

Web開催（参加者22名）

- (1) 2021年度オータムセミナー準備状況
- (2) 2021年度ウィンターセミナー準備状況
- (3) 2022年春季講演会併設セミナーについて
- (4) 2022年秋季フルードパワーシステム講演会
- (5) フェローの推薦について
- (6) 最優秀講演賞内規について
- (7) その他

会 告

日本フルードパワーシステム学会
2021年度受賞候補者募集のお知らせ

当学会は、我が国の油圧・空気圧・水圧工学の振興と発展の奨励を目的として毎年優れた研究・技術を表彰しております。本年も当学会の「表彰規程」にもとづき、日本フルードパワーシステム学会2021年度受賞候補者を募集いたします。

つきましては、独創的な研究、画期的な新技術、累積効果抜群な研究者、技術者などについて、適格な受賞候補者をご推薦ください。

募集要項など詳しくは学会ホームページをご覧ください。

日本フルードパワーシステム学会
2021年度フェロー認定者推薦のお願い

日本フルードパワーシステム学会フェローは、フルードパワー技術の進展に貢献した正会員、本学会の諸活動に貢献した正会員に贈られる名誉ある称号です。認定された本人には本学会より認定証を交付します。

本年も当学会の「フェローに関する規程」にもとづき、日本フルードパワーシステム学会フェロー認定者の推薦をお願いいたします。

推薦の方法など詳しくは学会ホームページをご覧ください。

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

後援・協賛行事

計測自動制御学会 産業応用部門2021年度大会

主 催：公益社団法人 計測自動制御学会 産業応用部門

開 催 日：2021年11月19日(金)

会 場：オンライン開催

U R L：https://www.sice.or.jp/ia-div/2021_taikai.html

シンポジウム「動力伝達系の最新技術 2021」

主 催：公益社団法人 自動車技術会 動力伝達系部門委員会、CVT・ハイブリッド部門委員会

開 催 日：2021年11月19日(金)

会 場：オンライン開催

U R L：https://www.jsae.or.jp/sympo/2021/no11.php

エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム2021

主 催：エコデザイン学会連合（幹事団体：特定非営利活動法人 エコデザイン推進機構）

開 催 日：2021年12月1日(水)～12月3日(金)

会 場：奈良県コンベンションセンター（奈良県奈良市三条大路1-691-1）

U R L：http://www.ecodenet.com/ed2021/index.html

日本機械学会 第20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

開 催 日：2021年12月6日(月)～12月7日(火)

会 場：オンライン開催

U R L：https://www.jsme.or.jp/conference/mdtconf21/

キャビテーションに関するシンポジウム（第20回）

主 催：日本学術会議 第三部

第20回キャビテーションに関するシンポジウム実行委員会

開 催 日：2021年12月9日(木)～10日(金)

会 場：オンライン開催

U R L：http://www.ifs.tohoku.ac.jp/cfs/cav20/index.html

2021年度 計算力学技術者（CAE技術者）資格認定事業

（固体力学分野の有限要素法解析技術者・熱流体力学分野の解析技術者・振動分野の有限要素法解析技術者）

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：2021年12月9日(木) 1・2級認定試験（熱流体力学分野・振動分野）

2021年12月10日(金) 2級認定試験（個体力学分野）

2021年12月16日(木) 1級認定試験（各分野）

会 場：下記HPを確認ください

U R L：https://www.jsme.or.jp/cee/

第22回SICEシステムインテグレーション部門講演会

主 催：公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門

開 催 日：2021年12月15日(水)～12月17日(金)

会 場：オンライン開催

U R L：https://www.sice-si.org/conf/si2021/

SICEセミナー「モデル予測制御～最適制御の基礎から応用事例・ソフトウェアツールまで」2021

主 催：公益社団法人 計測自動制御学会 制御部門

開 催 日：2021年12月22日(水)

会 場：オンライン開催

U R L：https://www.sice-ctrl.jp/jp/wiki/wiki.cgi/c/semi?page=mpc2021

新型コロナウイルスの影響で協賛行事の開催予定が変更になっている場合があります。
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

資料一覧表

価格は、(一社)日本フルードパワーシステム学会事務局までお問い合わせください。

資 料 名	発行年月
〈講演論文集〉	
平成元年春季油空圧講演会講演論文集	平成元年 5 月
平成元年秋季油空圧講演会講演論文集	平成元年11月
平成2年秋季油空圧講演会講演論文集	平成2年11月
平成3年秋季油空圧講演会講演論文集	平成3年11月
平成4年春季油空圧講演会講演論文集	平成4年 5 月
平成4年秋季油空圧講演会講演論文集	平成4年10月
平成5年春季油空圧講演会講演論文集	平成5年 5 月
平成5年秋季油空圧講演会講演論文集	平成5年11月
平成6年秋季油空圧講演会講演論文集	平成6年10月
平成7年秋季油空圧講演会講演論文集	平成7年11月
平成8年春季油空圧講演会講演論文集	平成8年 5 月
平成8年秋季油空圧講演会講演論文集	平成8年10月
平成9年春季油空圧講演会講演論文集	平成9年 5 月
平成9年秋季油空圧講演会講演論文集	平成9年10月
平成10年春季油空圧講演会講演論文集	平成10年 5 月
平成10年秋季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	平成10年11月
平成11年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	平成11年 5 月
平成12年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	平成12年 5 月
平成12年秋季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	平成12年10月
平成13年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	平成13年 5 月
平成13年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成13年11月
平成14年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成14年 5 月
平成15年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成15年 5 月
平成16年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成16年 5 月
平成16年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成16年11月
平成17年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成17年 5 月
平成18年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成18年 5 月
平成18年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成18年11月
平成19年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成19年 5 月
平成19年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成19年11月
平成20年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成20年 5 月
平成21年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成21年 6 月
平成21年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成21年11月
平成22年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成22年 5 月
平成22年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成22年12月
平成23年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成23年 5 月
平成24年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成24年 5 月

平成24年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成24年11月
平成25年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成25年5月
平成25年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成25年11月
平成26年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成26年5月
平成27年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成27年5月
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	平成27年11月
平成28年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成28年5月
平成28年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成28年10月
平成29年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成29年5月
平成30年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成30年5月
平成30年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成30年10月
2019年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	2019年5月
2019年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	2019年11月
2020年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	2020年12月
2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集 (CD)	2021年6月
〈IFPEX〉	
平成9年IFPEX第18回油圧・空気圧国際見本市大学・研究室展出展内容説明書	平成9年10月
平成11年IFPEXフルードパワーシステムワークショップ講演会講演論文集	平成11年10月
平成14年IFPEXフルードパワーシステムワークショップ講演会講演論文集	平成14年6月
平成17年IFPEXフルードパワーシステムワークショップ講演会講演論文集	平成17年8月
平成20年IFPEXフルードパワーシステムワークショップ講演会講演論文集	平成17年4月
平成23年IFPEXフルードパワーシステムワークショップ国際見本市論文集	平成23年7月
平成26年第24回IFPEXカレッジ研究発表展示コーナー論文集	平成26年9月
平成29年第25回IFPEXカレッジ研究発表展示コーナー論文集	平成29年9月
2021年第26回IFPEXカレッジ研究発表展示コーナー論文集 (CD)	2021年10月
〈フォーラム〉	
フォーラム'91「賢い電子油圧制御をいかに実現するか」	平成3年7月
フォーラム'92「ここまできた電子油空圧制御システム」	平成4年7月
フォーラム'93「水圧システムの現状と課題ー作動流体として水はどこまで使えるか」	平成5年7月
フォーラム'94「油空圧駆動と電動駆動の現状と課題その1」	平成6年7月
フォーラム'95「油空圧駆動と電動駆動の現状と課題その2」	平成7年7月
フォーラム'96「油空圧技術を支えるトライボロジー」	平成8年7月
フォーラム'97「21世紀を見つめた新技術開発」	平成9年7月
フォーラム'98「オフロードビーグル用走行装置の動向」	平成10年7月
フォーラム'99「技術開発におけるトラブル事例」	平成11年7月
フォーラム2000「油空圧機器の省エネルギー化はこれだ！」	平成12年7月
フォーラム2001「自動車における最新油空圧技術の動向」	平成13年7月
フォーラム2002「電動かフルードか」	平成14年8月
フォーラム2003「電動かフルードかⅡ」	平成15年5月
フォーラム2004「最近の緩衝・制振・免振技術」	平成16年5月
〈セミナー〉	
オートムセミナー「最近の油空圧」	昭和61年10月
オートムセミナー「表面改質」	昭和62年10月
オートムセミナー「油空圧技術の将来のために」	昭和63年10月
オートムセミナー「油空圧のためのセンシング技術」	平成元年10月
オートムセミナー「メカトロニクス関連センサ」	平成2年10月
オートムセミナー「200X年における電子油空圧はどうあるべきか Part1」	平成3年10月
オートムセミナー「油空圧を支える解析技術」	平成4年10月

オートムセミナー「油圧機器・システムにおける振動をいかに克服するか」	平成5年10月
オートムセミナー「油空圧制御と高速インターフェース技術の融合」	平成6年11月
オートムセミナー「油空圧におけるシミュレーション技術の現状と課題」	平成7年10月
オートムセミナー「最新制御理論の超活用法（油空圧システムとロバスト制御の融合）」	平成8年9月
オートムセミナー「油空圧システムに於ける最新制御理論の超活用法 （油空圧システムとロバスト制御の融合）」	平成9年9月
オートムセミナー油圧機器応用「パワーパッケージの現状と動向」	平成10年9月
オートムセミナー「フルイドパワーシステムへの最新制御手法の適用」	平成11年10月
オートムセミナー「環境適合技術の動向」	平成12年9月
オートムセミナー「フルイドパワーシステムに用いられる制御技術の動向」	平成13年9月
オートムセミナー「ハイブリッドカーの現状と将来」	平成14年10月
オートムセミナー「フルードパワーと環境・リサイクル」	平成15年10月
オートムセミナー「食品機械におけるフルードパワーの利用と課題」	平成16年10月
オートムセミナー「レスキューにおけるフルードパワーシステム」	平成17年10月
オートムセミナー「生活に密着したフルードパワー」	平成18年10月
オートムセミナー「鉄道におけるフルードパワー技術」資料は『油空圧技術』Vol.46 No.4	平成19年4月
オートムセミナー「フルードパワーシステムと環境・省エネルギー」	平成20年10月
オートムセミナー「フルードパワーシステムのためのlinux開催環境」	平成21年10月
オートムセミナー「BOPビジネスの可能性～CSRとビジネスの両立～」	平成22年11月
オートムセミナー「パワートレインにおけるフルードパワー技術」	平成23年11月
オートムセミナー「フルードパワー技術を生かす油圧作動油の最新動向」	平成24年11月
オートムセミナー「鉄道車両とフルードパワー技術」	平成25年10月
オートムセミナー「医療・福祉・介護分野でのフルードパワーを利用したロボティクス」	平成26年11月
オートムセミナー「アクアドライブシステムの産業利用の現状」	平成27年11月
オートムセミナー「生産技術に貢献するフルードパワー in トヨタ産業技術記念館」	平成28年11月
オートムセミナー「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」	平成29年11月
オートムセミナー「知っておきたい空気圧システム設計技術の新常識」	平成30年11月
オートムセミナー「アディティブ・マニファクチャリングの最新技術と適用事例 ーフルードパワー分野への活用を考えるー」	2019年12月
オートムセミナー「自動車におけるフルードパワー技術」	2020年11月
オートムセミナー「機能性流体入門ー基礎と応用ー」	2021年11月
ウインターセミナー「油空圧システムの低騒音化のために」	平成2年2月
ウインターセミナー「知っておきたい新しいアクチュエータ」	平成3年2月
ウインターセミナー「200X年における電子油空圧はどうあるべきか Part2」	平成4年2月
ウインターセミナー「新素材の油空圧への応用」	平成5年2月
ウインターセミナー「空気圧の新たな可能性を求めて」	平成6年2月
ウインターセミナー「人と環境に優しい油空圧ー油空圧機器・システムの低騒音化技術ー」	平成7年2月
ウインターセミナー「油圧システムの高圧化に関する現状と将来」	平成8年2月
ウインターセミナー「フルイドパワーにおける流体の役割」	平成9年2月
ウインターセミナー「ER流体の可能性とその油空圧技術への応用」	平成10年1月
ウインターセミナー「ユーザは語る・自動化機器における駆動方式の現状と将来像」	平成11年1月
ウインターセミナー「水圧システムの現状と応用事例・展望」	平成12年1月
ウインターセミナー「省エネ、環境のためのセンシング」	平成13年1月
ウインターセミナー「油空圧機器・システムにおける省エネルギー化の方法」	平成14年1月
ウインターセミナー「油空圧機器に係わる加工技術～共存する油空圧機器と加工技術～」	平成15年1月
ウインターセミナー「メンテナンスエンジニアリングーランニングコストを安くー」	平成16年1月
ウインターセミナー「医療・福祉におけるフルードパワーシステムの応用動向」	平成17年1月
ウインターセミナー「機械システムの安全性」	平成18年2月

ウインターセミナー「家庭の中のフルードパワー」	平成19年2月
ウインターセミナー「航空機とロケットへの応用」	平成20年2月
ウインターセミナー「海と船のフルードパワー」資料は『学会誌』Vol.39 No.5	平成21年2月
ウインターセミナー「フルードパワー機器・システムの小型化」資料は『学会誌』Vol.39 No.5	平成22年2月
ウインターセミナー「福祉・医療環境における空気圧応用の現状と問題」	平成23年2月
ウインターセミナー「圧縮空気エネルギーの有効利用技術」	平成24年2月
ウインターセミナー「アクアドライブシステム（新水駆動圧技術）の現状と将来」	平成25年2月
ウインターセミナー「大型機械と油圧技術」	平成26年2月
ウインターセミナー「大型機械・大型施設で活躍するフルードパワー」	平成27年2月
ウインターセミナー「フルードパワー技術を支える要素技術」	平成28年3月
ウインターセミナー「自動車の動力伝達機能を支える油圧技術」	平成29年2月
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～」	平成30年3月
ウインターセミナー「フルードパワーシステムと1 DCAE」	平成31年2月
ウインターセミナー「フルードパワーシステムにおける解析技術」	2020年3月
〈教育講座〉	
教育講座「マイコン制御講座」（大学上級コース）	平成元年8月
教育講座「現代制御理論講座」（大学上級コース）	平成元年10月
教育講座「マイコン制御講座」（大学上級コース）	平成2年8月
教育講座「トライボロジー講座」（大学上級コース）	平成3年8月
教育講座「油空圧における鋳造技術講座」	平成5年10月
教育講座「油空圧における最新の制御技術の理論と実際」	平成6年10月
教育講座「トライボロジー講座」	平成9年9月
教育講座「空気圧システム入門」	平成10年6月
教育講座「空気圧システム入門」	平成11年6月
教育講座「フルードパワーシステムへの最新制御手法の適用と コンピュータソフトウェアツールの体験実習」	平成12年8月
教育講座「トライボロジー講座」	平成14年9月
教育講座「空気圧システム入門」	平成15年5月
教育講座「空気圧システムの基礎」	平成15年5月
〈国際シンポジウム論文集〉	
第1回油空圧国際シンポジウム論文集	平成2年1月
第2回油空圧国際シンポジウム論文集	平成5年9月
第3回油空圧国際シンポジウム論文集	平成8年11月
第4回油空圧国際シンポジウム論文集	平成11年11月
第5回油空圧国際シンポジウム論文集	平成14年11月
第6回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（CD-ROM）	平成17年11月
第7回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（冊子、CD-ROM）	平成20年9月
第8回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（冊子、CD-ROM）	平成23年10月
第9回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（冊子、CD-ROM）	平成26年10月
第10回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（HP公開のみ）	平成29年10月
第11回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（HP公開のみ）	2021年10月
〈書籍〉	
日本フルードパワーシステム学会創立30周年記念出版 3冊セット（分冊頒布可） 「油圧駆動の世界—油圧ならこうする—」 「空気圧システム入門」 「水圧駆動テキストブック」	平成15年4月
日本フルードパワーシステム学会創立40周年出版 3冊セット（分冊頒布可）	平成23年4月

「油圧システムのモデリングと解析手法」	
「Webシミュレーション解説」	
「アクアドライブ技術の進展」	
新版「油空圧便覧」	平成元年2月
初歩と実用シリーズ「圧縮性流体の計測と制御—空気圧解析入門—」	平成22年7月
「油圧機関技術—伝承と応用—」	平成26年9月
初歩と実用シリーズ「機能性流体入門—基礎と応用—」	2021年7月
〈研究成果報告書〉	
フルードパワーのトライボロジー研究委員会研究成果報告書	平成19年6月
フルードパワーのトライボロジー研究委員会研究成果報告書II	平成22年5月
フルードパワーのトライボロジー研究委員会研究成果報告書III	平成25年5月
水圧駆動システム研究委員会成果報告書	平成16年6月
水圧駆動システムの有効利用に関する研究委員会	平成25年5月
空気圧システム省エネルギー研究委員会報告書	平成15年3月
空気圧機器の流量特性評価法に関する研究委員会成果報告書	平成15年9月
空気圧のシミュレーション研究委員会報告書	平成16年2月
空気圧システム及び機器の信頼性に関わる研究委員会成果報告書	平成19年3月
空気圧シリンダ系動特性研究委員会研究成果報告書	平成16年2月
油空圧駆動システムにおける制御手法の適用と評価に関する研究委員会報告書	平成14年2月
油空圧制御系の研究開発力推進に関する研究委員会報告書	平成24年11月
機能性流体の油空圧機器への応用に関する研究委員会報告書	平成14年3月
機能性流体を用いたスマートフルードパワーシステムに関する研究委員会成果報告書	平成18年1月
機能性流体を活用した次世代型フルードパワーシステムに関する研究委員会成果報告書	平成22年6月
機能性流体を核としたフルードパワーシステムの融合化に関する研究委員会成果報告書	平成24年9月

フルードパワーシステム 総目次 (第52巻)

	号	通し頁		号	通し頁
【挨拶】					
新年のご挨拶	…真田 一志	1 4	2020年度の水圧分野の研究活動の動向	…柳田 秀記	E1 E10
年頭にあたって	…早川 恭弘	1 5	2020年度の機能性流体分野の研究活動の動向	…三井 和幸	E1 E14
特集「自然災害に関わる流体現象とフルードパワーによる防災技術」			小特集「日本フルードパワーシステム学会賞受賞者および研究委員会の紹介」	…柳田 秀記	E1 E17
「自然災害に関わる流体現象とフルードパワーによる防災技術」発行にあたって	…山田真の介	1 6	学術論文賞受賞について	…脇元 修一	E1 E18
風速を測ることと風災害への対処	…船木 達也	1 7	技術開発賞受賞について	…青木 淳	E1 E21
海象現象の予測	…竹下 彰	1 12	SMC高田賞受賞について	…下岡 綜	E1 E26
令和元年東日本台風にもなう曲川水害について	…豊田 政史	1 17	学術貢献賞受賞と名誉員を拝命して—お礼のついでに—	…小山 紀	E1 E31
地震による液状化現象	…飛田 哲男	1 21	技術功労賞を受賞して	…肥田 一雄	E1 E34
最近の高波・高潮による港湾施設の被害状況	…鈴木高二朗	1 26	油空圧機器技術振興財団論文顕彰について	…廣岡 大祐	E1 E41
			名誉員を拝命して	…築地 徹浩	E1 E43
特集「持続可能社会とフルードパワー」			深層学習を活用したフルードパワーシステムのモデル化と制御に	…小林 亘	E1 E47
「持続可能社会とフルードパワー」発行にあたって	…佐々木大輔	2 52	油圧機器のトライボロジーなど基盤技術に関する特別研究委員会	…西海 孝夫	E1 E48
風力が望むフルードパワー	…中村 雅英	2 53	機能性流体フルードパワーシステムに関する研究委員会	…中野 政身	E1 E51
波力発電を支えるフルードパワー技術	…栗林 直樹	2 56	特集「フルードパワーシステムとIoT・スマートファクトリー」		
五島の奈留瀬戸における浮沈式潮流発電システムの研究開発	…経塚 雄策	2 60	「フルードパワーシステムとIoT・スマートファクトリー」発行にあ	…吉満 俊拓	5 186
上水道施設を利用した水力発電	…大池 真悟	2 66	たって		
超臨界水を利用した地熱発電技術	…浅沼 宏	2 71	モノづくり現場における時代の変化と油圧機器のあり方～省エネからIoTへ～	…河田 健一	5 187
			設備とともに人が成長する工場を目指すスマートファクトリーの取り組み	…都築 俊行	5 191
特集「超大型機械を支える油圧技術」			ロボットメーカーによるロボット安心ライフサイクルサポート	…合田 一喜 …村上 英範	5 196
「超大型機械を支える油圧技術」発行にあたって	…中山 晃	3 94	建機メーカーにおけるICT・IoTソリューション	…田中 一博	5 201
超大型油圧ショベルの油圧システム	…石井 伸弘	3 95	スマートファクトリーへのタクトタイムコントローラの活用	…高橋 義広	5 204
オフロードダンプトラックのブレーキシステム紹介	…星野 佑太	3 99	特集「AI技術とフルードパワー」		
鍛圧機械用高圧大流量機器の紹介	…服部 智秀	3 103	「AI技術とフルードパワー」発行にあ	…窪田 友夫	6 232
実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)	…久家 誠	3 107	人工筋肉中のゴムのダイナミクスとAIの組み合わせによるセンサーエミュレーション	…西田 三博 …櫻井 良 …中嶋 浩平	6 233
コンクリートミキサ車の油圧システムとICT	…木本 恵介	3 109	乱流の機械学習と制御	…深淵 康二	6 237
ダム・水門用油圧装置の設計指針と高付加価値の採用	…大塚 宏行	3 113	AIを用いたハンディ油漏れ検出	…大津 良司	6 242
			物理モデリングを活用したAIによる予知保全	…王 曉星	6 246
特集「スポーツ分野における流体工学」			AIと制御系設計—モデルベース開発を利用した強化学習—	…村山 栄治	6 252
「スポーツ分野における流体工学」発行にあたって	…栗林 直樹	4 138	【ニュース】		
サッカーボールの高性能化を支えるCFD技術	…浅井 武	4 139	「機能性流体入門—基礎と応用—」書籍紹介	…中野 政身	5 207
水泳の流体力学～抵抗力を減らし推進力を増やす	…中島 求	4 143	学会創立50周年 記念特別セミナーおよび記念式典報告	…藤田 壽憲	6 260
自転車用エアロヘルメットの空力検証技術	…大田 浩嗣	4 147	【会議報告】		
スポーツボールの飛翔軌道の不思議と流体力学	…溝田 武人	4 149	コロナ禍でのROBOMECH2020とフルードパワー技術研究の動向	…山田 泰之	1 30
スキージャンプと流体解析技術	…山本 敬三 …坪倉 誠	4 157	FPMC2020におけるフルードパワー関連技術の研究動向	…伊藤 和寿	2 75
エアタービンを用いた空圧式ボール発射装置の研究事例	…加藤 友規	4 162			
「緑陰特集」					
2020年度学会誌のレビュー	…柳田 秀記	E1 E1			
2020年度の油圧分野の研究活動の動向	…桜井 康雄	E1 E4			
2020年度の空気圧分野の研究活動の動向	…加藤 友規	E1 E7			

日本機械学会2020年度年次大会に おけるフルードパワー技術研究	吉田 和弘	2	77	2020年度ウインターセミナー「フ ルードパワーシステムにおける解析 技術」	1	41
IFK2020におけるフルードパワー関 連技術の研究動向	清水自由理	2	79	「名誉会員 高橋浩爾氏の逝去を悼む」	1	42
計測自動制御学会 第21回流体計測 制御シンポジウムにおけるフルードパ...	藤田 壽憲	3	116	共催・協賛行事のお知らせ	1	43
ワー研究動向				一般社団法人 日本フルードパワ ーシステム学会賛助会員一覧表	1	44
山梨講演会2020におけるフルード パワー技術研究	吉田 和弘	3	117	日本フルードパワーシステム学会論 文集51巻(2020) 抄録	1	45
The 10th International Conference on Fluid Power Transmission and...	吉田 和弘	5	211	会員移動	1	47
フルードパワー関連技術の研究動向				次回予告	1	48
ROBOMECH2021におけるフルード パワー関連技術の研究動向	塚越 秀行	6	258	理事会・委員会報告	2	86
				学会誌電子版 学会HP(会員ペ ージ)への毎号掲載のお知らせ	2	87
				第40期通常総会 学会創立50周年 記念式典・記念特別セミナー開催の お知らせ	2	87
【トピックス】				共催・協賛行事のお知らせ	2	88
学生さんへ、先輩が語る一油空圧機 器メーカーの工場より	亀田 尚人	1	32	会員移動	2	89
学生さんへ、先輩が語る一技術の探 求と欧州生活について	春山 朋彦	3	122	お詫びと訂正	2	89
学生さんへ、先輩が語る一機器メー カで働く魅力について	賀集顕太郎	4	166	次回予告	2	90
学生さんへ、先輩が語る一油圧機器 メーカーで働いて思うこと	小松 利光	6	263	お詫びと訂正	3	112
				日本フルードパワーシステム学会主 催 国際シンポジウム The 11th JFPS International Symposium on Fluid Power HAKODATE 2020	3	112
Youは日本をどう思う?第16回:ベ トナムから日本に留学して	ダオ・ミンフォン	2	81	理事会・委員会報告	3	130
Youは日本をどう思う?第17回:ベ トナムから日本に就職して	ヴァディンヒエップ	5	213	共催・協賛行事のお知らせ	3	131
Youは日本をどう思う?第18回:中 国から日本に留学して	程 明昭	6	268	会員移動	3	132
				一般社団法人日本フルードパワ ーシステム学会 賛助会員一覧表	3	133
アメリカでの在外研究生活	西川原理仁	1	35	次回予告	3	134
ベンガルル駐在員日記	松本 敏士	3	119	理事会・委員会報告	4	176
米国サンディエゴ駐在員日記	竹村研治郎	5	215	2020年度 学会賞表彰	4	177
				2021年度(第40期)通常総会終了 日本フルードパワーシステム学会論 文集52巻(2021) 1号 発行のお 知らせ	4	178
笑顔で活躍一お仕事フルードパワー 便一理系進路選択の動機と学生生活	高橋 奏美	4	169	共催・協賛行事のお知らせ	4	179
を振り返って一				会員移動	4	181
笑顔で活躍一お仕事フルードパワー 便一理系への歩みを振り返って一	糸魚川祐香	6	266	次回予告	4	182
				日本フルードパワーシステム学会 2021年度受賞候補者募集のお知らせ	5	210
【研究室紹介】				2021年度オータムセミナー「機能 性流体入門一基礎と応用一」	5	210
宮城教育大学 門田研究室	門田 和雄	1	38	理事会・委員会報告	5	224
津山工業高等専門学校 趙研究室 (介護・福祉ロボットシステム...	趙 菲菲 加藤 圭成	2	83	会員移動	5	224
奈良工業高等専門学校 樺研究室	神 孝典 樺 弘明	3	125	共催・協賛行事のお知らせ	5	225
長岡技術科学大学 レスキュー工学 研究室	木村 哲也	4	171	一般社団法人 日本フルードパワ ーシステム学会 賛助会員一覧表	5	227
関西大学機械工学科生産加工シス テム研究室	廣岡 大祐	5	218	次回予告	5	228
長崎総合科学大学 松川研究室	松川 豊	6	270	2022~2023年度役員(理事・監 事)候補者推薦のお願い	6	241
				会員移動	6	262
				理事会・委員会報告	6	276
				日本フルードパワーシステム学会 2021年度受賞候補者募集のお知らせ	6	277
				日本フルードパワーシステム学会 2021年度フェロー認定者推薦のお願い	6	277
				共催・協賛行事のお知らせ	6	278
				資料一覧表	6	279
				フルードパワーシステム第52巻総 目次	6	284
				次回予告	6	286
【企画行事】						
2021年度企画行事紹介	藤田 壽憲 小林 亘	3	128			
2020年度オータムセミナー開催報 告「自動車におけるフルードパワ ー技術」	亀田 幸則	4	172			
2020年秋季フルードパワーシステ ム講演会報告	高岩 昌弘	4	174			
2020年度ウインターセミナー開催 報告	坂間 清子	5	221			
2021年春季フルードパワーシステ ム講演会開催報告	酒井 悟	6	273			
【会告】						
理事会・委員会報告		1	41			

編集室

次号予告

—特集「IFPEX2021」—

【挨拶】年頭のご挨拶

年頭にあって

【巻頭言】「IFPEX2021」発行にあたって

【解説】

IFPEX 58年のあゆみを振り返る

IFPEX2021における油圧分野の技術動向

IFPEX2021における水圧分野の技術動向

IFPEX2021における空気圧分野の技術動向

IFPEX2021カレッジ研究発表コーナー

IFPEX2021 ロボット・空気圧バイク紹介コーナー

IFPEX出展社ワークショップ CO₂削減と省エネ／BCPへの取り組み

IFPEX出展社ワークショップ 持続可能な社会に向けた空圧機器の有効活用

【トピックス】

Youは日本をどう思う？第19回：留学生の日本での生活

グローバルドリームの実現を目指した海外（北米・欧州）駐在員生活

学生さんへ、先輩が語る

【研究室紹介】

東京工業大学工学院 高山研究室

眞田 一志

嶋村 英彦

寺澤 達士

荒井 一則

一柳 隆義

鈴木 健児

佐々木大輔

五嶋 裕之

香川 利春

妹尾 満

北川 泰章

Tran Thi Le

安藤 淳二

溝上 太裕

高山 俊男

2021年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 柳 田 秀 記（豊橋技術科学大学）

副委員長 山 田 宏 尚（岐阜大学）

委員 飯 尾 昭一郎（信州大学）

飯 田 武 郎（株式会社小松製作所）

伊 藤 雅 則（東京海洋大学）

猪 飼 暢 崇（CKD株式会社）

加 藤 友 規（福岡工業大学）

窪 田 友 夫（KYB株式会社）

栗 林 直 樹（川崎重工株式会社）

五 嶋 裕 之（株式会社工苑）

齋 藤 直 樹（秋田県立大学）

佐々木 大 輔（香川大学）

佐 藤 恭 一（横浜国立大学）

委員 妹 尾 満（SMC株式会社）

谷 口 浩 成（大阪工業大学）

寺 澤 達 士（油研工業株式会社）

中 野 政 身（東北大学）

中 山 晃（日立建機株式会社）

藤 田 壽 憲（東京電機大学）

丸 田 和 弘（株式会社小松製作所）

村 岡 裕 之（株式会社コガネイ）

山 田 真の介（株式会社TAIYO）

吉 満 俊 拓（神奈川工科大学）

担当理事 伊 藤 和 巳（KYBエンジニアリングアンドサービス株式会社）

学会事務局 成 田 晋

編集事務局 竹 内 留 美（勝美印刷株式会社）

（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―二―機械振興会館別館一〇二 電話(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 FAX(〇三)三四三三―八四四二

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