昭和47年10月19日第4種学術刊行物許可　2021年9月15日発行（奇数月）　ISSN 1346−7719　フルードパワーシステム

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

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Sep. 2021　Vol. 52　No. 5

## 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」

JFPS　一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会　http://www.jfps.jp

ISSN 1346-7719
第52巻　第５号　2021年９月

日本フルードパワーシステム学会誌

# フルードパワーシステム

## 目　次

### 特集「フルードパワーシステムとIoT・スマートファクトリー」

【巻頭言】
「フルードパワーシステムとIoT・スマートファクトリー」発行にあたって　吉満　俊拓　186

【解説】
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　187
設備とともに人が成長する工場をめざすスマートファクトリーの取組み　都築　俊行　191
ロボットメーカ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　196
建機メーカにおけるICT・IoTソリューション　田中　一博　201
スマートファクトリへのタクトタイムコントローラの活用　高橋　義広　204

【ニュース】
「機能性流体入門－基礎と応用－」書籍紹介　中野　政身　207

【会議報告】
The 10th International Conference on Fluid Power Transmission and Control（ICFP 2021）におけるフルードパワー関連技術の研究動向　吉田　和弘　211

【トピックス】
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 ディン ヒエップ　213
米国サンディエゴ駐在員日記　竹村研治郎　215

【研究室紹介】
関西大学機械工学科生産加工システム研究室　廣岡　大祐　218

【企画行事】
2020年度ウィンターセミナー開催報告　坂間　清子　221

【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 | 210 |
| 2021年度オータムセミナー「機能性流体入門―基礎と応用―」 | 210 |
| 理事会・委員会報告 | 224 |
| 会員移動 | 224 |
| 共催・協賛行事のお知らせ | 225 |
| 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 | 227 |
| 次回予告 | 228 |


■表紙デザイン：浅賀　美希　勝美印刷㈱

一般社団法人　日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園３―５―22 機械振興会館別館102
TEL：03―3433―8441　FAX：03―3433―8442
E-Mail：info@jfps.jp

FLUID POWER SYSTEM

ISSN 1346-7719
Vol. 52, No. 5 September 2021

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# FLUID POWER SYSTEM

## Contents

Special Issue "Fluid Power System and IoT・Smart Factory"

【Preface】

On the Special Issue "Fluid Power System and IoT・Smart Factory" Toshihiro YOSHIMITSU 186

【Review】

Changes in the Times at Manufacturing Sites and the Ideal Way of Fluid Power Equipment -From Energy Saving to IoT- Kenichi KAWATA 187

Actions to Achieve Smart Factory where Human will Grow Together with Machines Toshiyuki TSUZUKI 191

Robot ANSHIN Life Cycle Support by robot manufacturer Itsuki GODA, Hidenori MURAKAMI 196

ICT/IoT Solutions Promoted by Construction Machinery Manufacturer Kazuhiro TANAKA 201

Utilization of Tact Time Controller for Smart Factory Yoshihiro TAKAHASHI 204

【News】

Introduction of an Introductory Book on Functional Fluids -from Basics to Advanced Level- Masami NAKANO 207

【Conference Report】

Research Trends of Fluid Power Technologies in The 10th International Conference on Fluid Power Transmission and Control (ICFP 2021) Kazuhiro YOSHIDA 211

【Topics】

What do you think of Japan? 17th: Please Get a Job in Japan from Vietnam VU DINH HIEP 213

Report from San Diego Stay Kenjiro TAKEMURA 215

【Laboratory Tour】

Manufacturing Systems Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Kansai University Daisuke HIROOKA 218

【JFPS Activities】

Report on the 2020 JFPS Winter Seminar Sayako SAKAMA 221

【JFPS News】

210, 224, 225, 227, 228

The Japan Fluid Power System Society
c/o Kikaishinko Building
3-5-22 Shiba-koen, Minato-ku, Tokyo, 105-0011, Japan

巻頭言

# 「フルードパワーシステムとIoT・スマートファクトリー」発行にあたって

著者紹介

吉満 俊拓（よしみつ としひろ）

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

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

IoTは“Internet of Things”の略で一般にはモノのインターネットと訳される．IoT（モノのインターネット）という言葉ができる以前，インターネットはコンピュータ同士を接続するためのものであり，主にパソコンやサーバーなどのIT関連機器が接続されていた．現在では，スマートフォンやタブレット端末などの小型情報機器が接続されるだけでなく，テレビやデジタルカメラ，デジタルレコーダーや最近話題のスマートスピーカーなどのデジタル情報家電をインターネットに接続する流れが加速している．

製造業では，製造ラインにおける自動化や品質管理などでデータ通信が行われてきたが，工場内や社内など閉じられた内部ネットワーク（イントラネット）での活用が主であった．一方，スマートファクトリーが注目されるきっかけとなったのは，ドイツ政府が主導した産学連携でものづくりのICT化を推進する国家プロジェクト「インダストリー 4.0」と言われている．スマートファクトリーとは，一般的にデジタルデータ活用により業務プロセスの改革，品質・生産性の向上を継続発展的に実現する工場と定義されており，AI（人工知能）やIoT（モノのインターネット）などの先端的な技術を取り入れている．

スマートファクトリーに関する一連の変革は，第４次産業革命とも言われ，AIやIoTなどの最先端技術の進化とともに産業構造の変革が起こると言われている．製造業では，通信・PLCなどの高機能化に加え，シリアル通信など従来の通信方式をLANに対応させる変換機器も各社から販売されるなど，「スマートファクトリー」の基盤となる環境は日々進歩している．フルードパワーシステムが多く利用されている生産設備や機器の分野にIoT・スマートファクトリーを適用することにより，より高付加価値なシステムを構築することが可能となってきている．今後のフルードパワーシステムの発展のために，IoT・スマートファクトリーが重要な技術のひとつとなることが考えられる．

本特集号では，フルードパワー分野にとらわれず，IoT・スマートファクトリーを取り扱う幅広い分野からの話題・トピックを提供する．解説記事では，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や，製造現場におけるスマートファクトリーの取り組み，AIを活用した高度な解析事例，IoT化による生産工場設備のダウンタイムゼロ化やライフサイクルコスト最適化事例，企業単体ではなくオープンイノベーションを活用し，ICT機器を発展させ，起工測量から納品までの工程を，一貫してサポートする事例，スマートファクトリー化の取り組みが進んでいない生産ラインにおける故障予知への取り組みなど，製造業におけるIoT・スマートファクトリーに関する事例を紹介いただいた．

フルードパワーシステム関係者のほかに，各分野の専門家に記事を執筆いただいている．ご多忙にもかかわらずご執筆いただいた皆様に心よりお礼を申し上げる．本特集がフルードパワーの新たな研究・開発の領域を拡大するきっかけとなれば幸いである．

なお本特集号は，著者のほか，編集委員である村岡裕之氏（株式会社コガネイ）からなるワーキンググループにより企画・構成された．

（原稿受付：2021年７月９日）

解説

# 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～

著者紹介

河田 健一（かわた けんいち）

ダイキン工業株式会社油機事業部技術部
〒566-8585 大阪府摂津市西一津屋1－1
E-mail : kenichi.kawata@daikin.co.jp

1985年京都大学大学院工学研究科修士課程修了．同年ダイキン工業株式会社入社．ロボットシステム部，半導体機器部を経て，油機事業部技術部所属．現在に至る．制御ソフトウェア開発，商品企画開発に従事

## 1. はじめに

インターネットやLANなどの有線のネットワークをベースとして，モバイル通信やWi-Fiなどの無線を利用したネットワークも加わり，人と物，物と物を容易につなげることができるようになった．

モノづくりの現場においては，通信，データ蓄積などPLCの高機能化に加え，IoTゲートウェイと称されるシリアル通信など従来の通信方式をLANに対応させる変換機器も各社から販売されるなど，「つながる工場」のベースとなる環境は日々進歩している．

さらに近年高まる持続可能な社会の実現に向けた取り組みは「SDGs（持続可能な開発目標）」として取り組みの方向を定められ，生産性の延長線上にある省資源，省エネに加え，廃棄物低減や誰もが働きやすい職場づくりなども課題と置かれている．

ポンプ，シリンダなどの油圧機器は，人における心臓，筋肉に相当する重要な役割を担っており，油圧機器の持つ物理量を装置の運用において意味のある情報として提供することで，装置全体を正常にまたむだなく稼働させることができる．

さらに，SDGsにおける廃棄物低減，装置の扱いやすさの向上などにも関連しており，これからの時代において重要な役割を担っているといえる．

## 2. 生産性における油圧機器の位置づけ

生産性のひとつの考え方として，インプットを投入資源，アウトプットを生産数量，または，生産活動における付加価値としたとき，インプット，アウトプットの双方のあるべき姿からの差がロス・むだとなり，これをいかに減らすかが生産性向上の改善取り組みとなる．

### 2.1 インプットにおけるロス削減

図1に示すように，いわゆる「ヒト，モノ，カネ」のあるべき投入資源からの差がインプットにおけるロスであり，油圧機器においては，省エネルギー，製品・部品の長寿命化，保守点検の効率化などがロス低減につながる．

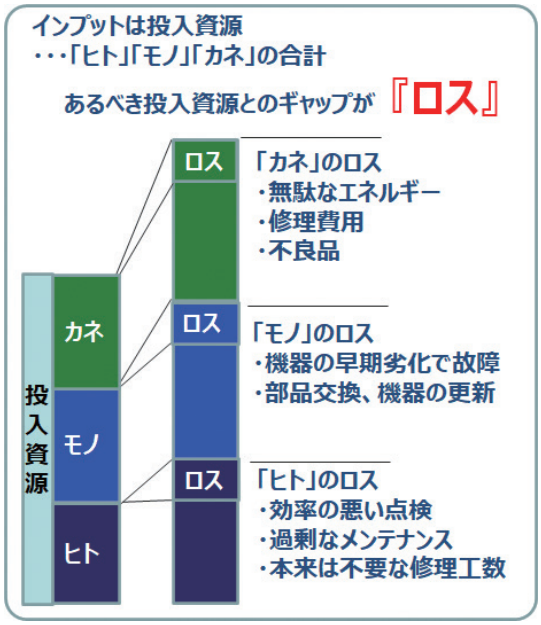



図1　インプットにおけるロス

### 2.2 アウトプットにおけるロス削減

アウトプットのロス削減においては，停止時間ロスの低減が大きな課題であるが，故障頻度の低減に加え，原因調査から復旧にいたる時間を減らすことも必要である．

また，温度依存特性の大きい油圧においては，温度安定までの待機時間を減らすことも課題の一つとなる．さらに，動作速度アップにより移動時間を減らす，製品の品質を維持し不良を減らすことも，油圧システムの改善によってアウトプットを増やす取り組みになる．

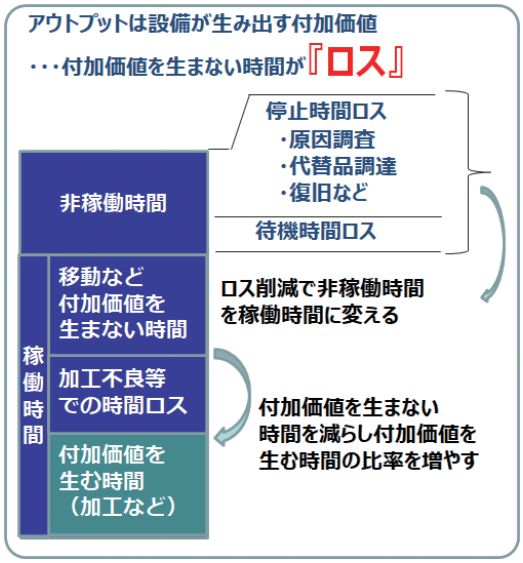



図２　アウトプットにおけるロス

## 3. 省エネ油圧ポンプの構造と原理

油圧システムにおけるエネルギーロスには，大きく次の３つがある．

①ポンプにおける損失

摩擦やポンプ内の液体のかきまぜ抵抗などの機械的損失とポンプ内部ドレーンによる流量損失がある．

②モータにおける損失

コイルの電気的抵抗，および，磁気抵抗・磁束漏れなどによるエネルギー損失に加え，モータの回転抵抗や冷却のためのエネルギー損失も存在する．

③油圧回路内における損失

回路内にあるバルブの減圧特性により圧力を制限するものと，ポンプから吐出した油の一部をバルブによりタンクに戻すことで流量を制限するものなどがあり，大きなエネルギー損失を発生させている．

写真１　回転数制御方式の省エネ油圧ポンプ

写真１の回転数制御方式の油圧ポンプは，①～③のすべての損失を低減することで理想的な運転が可能としたものである．

固定容積型ポンプを使用し，圧力センサで検知した吐出圧をコントローラで読み取り，設定圧力を超えないように，ポンプの回転速度を制御する（図３）．具体的には，圧力・流量を設定し，設定圧力以下では，回転数，すなわち，流量を一定にする制御を行い，圧力が設定値に達すると負荷に合わせて回転数を調整することで一定の圧力を維持するように制御される（図４）．

必要に応じて速度を上下させているため，固定速度の可変容積ポンプに比べて「①ポンプによる損失」を低減している．「②モータにおける損失」は，モータそのもののエネルギーロスだけでなく，損失により発生した熱の冷却にかかるエネルギーの増加につながり，さらにコスト，サイズ面でも問題となる．一般の電動機は，低速になるほど効率が悪くなり，発熱が問題になることが多いが，低速時に効率の悪化の少ないモータを選定することで，これらの課題を解決している．

モータは，速度フィードバックにより応答性・制御精度ともに優れており，ともに１％の制御精度を有し，また，油圧システムに要求される0.1秒未満の高応答の加減速，圧力応答も達成している．このことにより多くの用途において制御バルブが不要となるため，「③油圧回路内における損失」の大部分を０にすることができ，「ポンプ動力≒動作に必要な動力」を実現している．

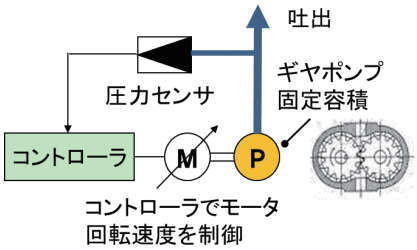



図３　回転数制御方式の油圧ポンプの構成

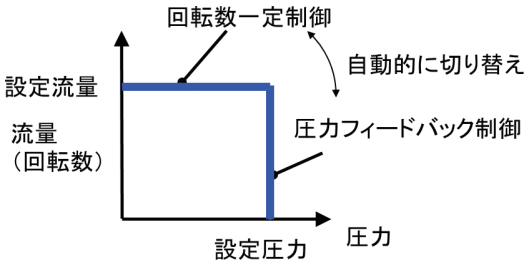



図４　回転数制御方式の油圧ポンプの制御方式

## 4. 油圧ポンプの圧力・流量センサとしての活用

### 4.1　動作原理と特長

油圧システムの状態変化を観測するためには，圧力センサや流量センサを用いることが一般的であるが，油圧は応答性の良さが特長であり，その動作時

の状態を詳細に観測するためには，10ms以下の応答性が必要となる．

比較的設置が容易な圧力センサに対し，高圧となる油圧系統内に応答性および精度の良い流量センサを設置するには，大きな費用や改造の手間などが問題となる．

回転数制御ポンプでは，ポンプの吐出位置の圧力・流量が動作時のアクチュエータに生じる圧力・流量とほぼ一致するため，圧力センサと流量センサとして，アクチュエータの状態変化を把握することができる．加えて，各センサとデータ収集機器間の配線工事の費用も大きな負担であるが，双方の情報を一括で有することは，追加費用の抑制につながり，予知保全などのデータを活用した改善活動をなるべく費用をかけずに実証試験を行いたいというスモールスタートのニーズに合致している．

### 4.2　シリンダの故障検知の事例

ある工場の事例では，５本のシリンダを持つ油圧装置が100台存在しており，１本のシリンダの故障頻度が例えば５年に１回であっても，単純計算では，３日に１回シリンダが故障していることになり，保全作業者は，その対処に多くの時間を費やしている．さらに，シリンダの動作不良が気づかれない間に多数の不良品を生産していたという経験から，故障予知に大きな期待を寄せている．

この事例の場合，低速加工中や保圧中は，微少な流量を必要とするのみであり，圧力－流量特性において圧力一定の線上のごく低流量の点で動作する（図５）．ここで，たとえば，正常時は発生しないシリンダ内部のシールに漏れが発生すると，コントローラは，圧力フィードバックにより所定の圧力を維持するようにポンプの回転速度を増加させる．すなわち図５に示すように動作点が一定圧力線上を上に移動することになる．また，シリンダを移動させる際など，必要な圧力が低い場合は，流量一定の直線上で動作するが，このときシリンダのシールが劣化し摩擦抵抗が増えると動作点の圧力が上昇する（図６）．

正常時の一連の動作サイクルにおける圧力，流量に対し，どのタイミングで違いが生じているかがわかれば，原因を特定することも可能となる（図７）．

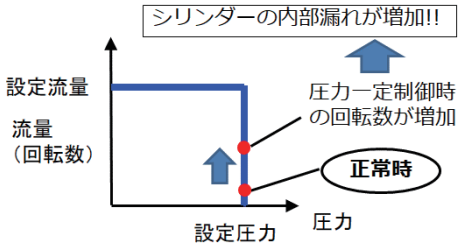



図５　加圧工程での状態変化

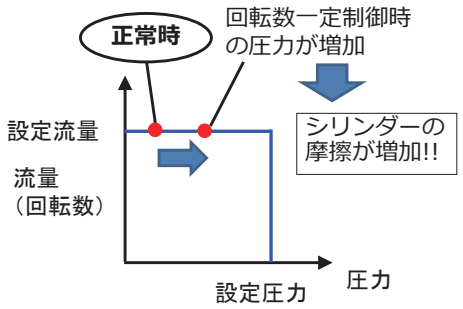



図６　シリンダ異常時の状態変化

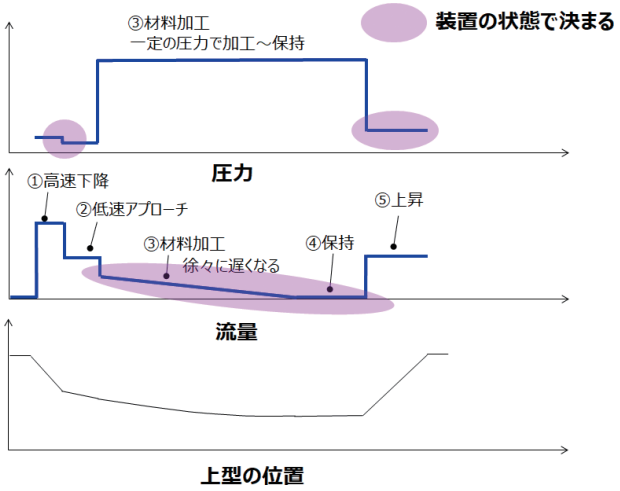



図７　プレス動作サイクルにおけるの状態変化

### 4.3　過渡的な圧力・流量データの活用事例

圧力サージや流量のオーバーシュートなど油圧制御の過渡的な状態が製品の品質を大きく左右する設備においては，製品と加工時のデータを紐づけ保存しておくトレーサビリティー向上の取り組みが進んでいる．

このような過渡的な制御状態を評価するためには数ms のサンプリングが必要となる場合がある（図８）．このような場合，高速なフィールドバスを使用することも考えられるが，投資の抑制や短期での評価のため，従来からあるPLCなどの汎用機器を使用したシステムでの対応のため，情報を電圧などのアナログ情報として提供することが望ましい場合もある．

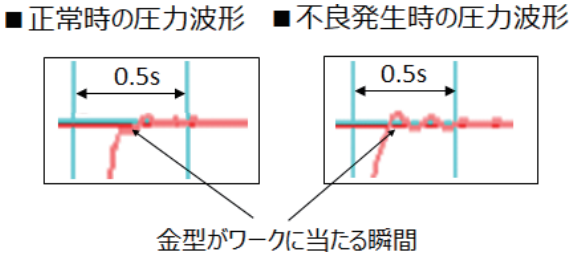



図８　カシメ機における圧力波形の例

## 5. その他の取り組み事例

### 5.1 作動油の管理

油圧システムにおいては，作動油の管理不足によるトラブルが多く，通信を用いた一元管理に加えて，人によるばらつきのない管理手法の確立が期待されているが，各油圧ユニットに搭載するためには，安価なセンサの提供が望まれている．

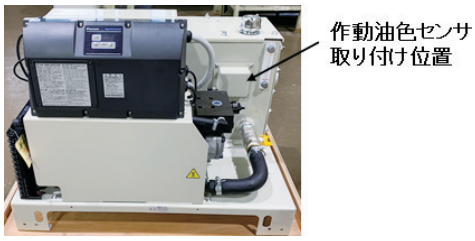



写真２　作動油色センサ搭載の油圧ユニット

写真２は，色センサにより作動油の状態変化を監視できる機能を追加した油圧ユニットであり，さらに，油温センサも搭載し，ポンプの動作状態と合わせて日常点検に必要な項目をひとつの通信系統で読み出すことができる．

作動油の交換の判断は，油圧システムごとに必要な清浄度が異なり，また作動油劣化の要因が工場ごと，機器ごとに異なる，さらに，作動油の添加物によって色変化の特性が異なるなどもあり，しきい値を一意に決めることができない．したがって，可能な限りプリミティブな情報を提供することが望ましい．この油圧ユニットでは，石油製品の色指標であるASTM値に変換した値として読み出すこともできるが，色のRGB各要素の値も読み出すことが可能であり，柔軟な劣化の判断アルゴリズムを構築できる．

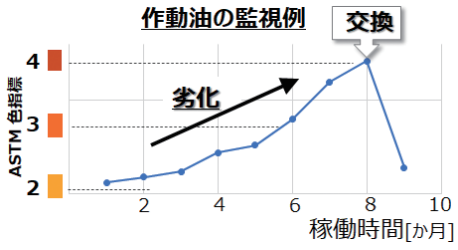



図９　作動油の劣化とASTM色指標

持続可能な社会の観点から廃棄物低減の取り組みも今後広がると予想され，たとえば，作動油の劣化診断のしきい値を浄油によって作動油として再利用することができるレベルに設定することで作動油の廃棄量削減につながる可能性がある．

また，作動油劣化の進行速度が数値化さると，特に劣化の速いものについて，優先的に根本対策を講じることができ，改善活動を効率化することができる．

モノづくり現場におけるIoTへの期待のひとつは，予知保全など情報を用いた設備停止の回避と保全作業の効率化であるが，現状を容認したまま劣化や故障の再現を待つよりも，データを根本対策に利用することが，より本質的な現場の改善につながると考える．

### 5.2 油冷却装置の保全性向上の事例

油圧システムの周辺機器のひとつである油冷却装置（写真３左）の保全面での課題は，熱交換機の前面にあるフィルタの目詰まりである．目詰まりにより，熱交換効率が悪化すると必要な冷却能力が発揮できず作動油温度を一定に保てなくなる．

目詰まりの進行はオイルミスト濃度などの使用環境により大きく異なるため，保全工数を削減するために目詰まり具合の数値化を進めてきたが，ユーザニーズとして根本的に目詰まりしないフィルタの製品化が強く望まれてきた．

写真３右の油冷却機は，マイクロ繊維のろ材を幾重にも折りたたんだ構造のエアーフィルタを搭載しており，従来に比べてメンテナンス間隔が大幅に改善されている．この事例は，データ活用による保全性向上からスタートし，製品自体の改善につながった例のひとつである．

写真３　油冷却装置

## 6. おわりに

油圧システムにおけるデータの活用は，生産性向上につながるさまざまな可能性があり，今後も活用範囲が増えることが期待される．

一方で，生産性と持続可能な社会との両立も重要視されつつあり，設備の運用面における改善にとどまらず，データを活用した新たな製品の開発という目的においても利用価値が広がっていくことを期待する．

（原稿受付日：2021年６月11日）

解説

# 設備とともに人が成長する工場をめざす スマートファクトリーの取組み

著者紹介

都築（つづき）俊行（としゆき）
株式会社ジェイテクト
〒448-8652 愛知県刈谷市朝日町１－１
E-mail : toshiyuki_tsuzuki@jtekt.co.jp

1990年豊田工機株式会社（現ジェイテクト）へ入社．工作機械制御，システム制御に従事．インダストリアル・バリューチェーン・イニシアティブ（IVI）の会員．

## 1. はじめに

当社は1921年創業のベアリングメーカーの光洋精工と，1941年トヨタ自動車工業から分離独立した工作機械メーカーの豊田工機が2006年に合併し生まれた会社で，今年で16年目を迎えた．日本に本社を置き，現在27ケ国，１地域で活動し，従業員は日本に約12,000人，グローバルで約50,000人が活躍している．事業内容はステアリングシステム，軸受，駆動部品，工作機械，電子制御機器などの製造・販売を行っている．

## 2. 目指すスマートファクトリー

当社はお客様から信頼される真の総合生産ラインビルダーをめざし，そのための使命は，生産財のタイムリーな供給や，トヨタ生産システム（TPS[*1]）に根付いたラインの構築，そしてお客様価値の創出と捉えている．

お客様価値を高める品質や機能の向上，さらにコスト低減に対し，IoT技術やAI技術を活用し，自動化・知能化した自律型設備，作り方や働き方改革に向けたスマート化技術を開発・提供している．

モノづくりの中心は“人”という考えのもとに，2016年４月よりIoE（Internet of Everything）を提唱し，自社工場だけでなくお客様の工場に対し，さまざまな設備や機器，そこで働く人々の情報などあらゆるものをデジタル化・見える化・解析し，設備や人へフィードバックすることにより変革を行ってきた．いわゆるデジタルトランスフォーメーション（DX）である．

モノがつながり人もつながることによって弱点が見えてくる．それを人が改善することによって設備生産性が向上すると同時に，人の改善力，現場力が向上し，人や組織も成長する．

当社がめざすスマートファクトリーのコンセプトは「人と設備が協調し，人の知恵が働く工場であり，人が主役の工場，そして設備と共に人が成長する工場」と定義している．

## 3. スマートファクトリー実施事例

先述したように2016年よりスマートファクトリーに向けさまざまな取り組みをしている．少ない投資で簡単に始めた事例から，ステップアップして機能追加した事例，そしてAIを活用し高度な解析まで行った事例をいくつか紹介する．

### 3.1 簡単に始める

工場には新旧さまざまな設備が存在する．最新の設備であれば，設備を制御しているPLC[*2]がさまざまなネットワークに対応し，より多くの情報を取り出し改善につなげることが可能である．しかし，改善したい設備が必ずしも最新の設備とは限らない．そこで担当者がメーカーに改造を依頼しても機器が古く改造できない，改造しても高額になる，改造費用を上司に申請しても投資対効果はどうなっているのかと聞かれ困っているという声をよく耳にする．先ずはどこから手を付けたら良いかをすばやく判断することが優先されるのに，これではいつまで経ってもスタートラインに立てない．

そこで当社は，すばやくスタートできるように，担当者が自分で取付け～設定～運用までを低コストで実現可能な製品を開発・提供している．

### 3.2 多品種少量生産現場での事例

多品種少量生産の現場では，設備が実際に稼働している時間よりも，作業者による前段取や後段取の

[1] Toyota Production Systemの略

[2] Programmable Logic Controllerの略

時間の方が多い場合が多々ある．その場合，出来高を上げるためには設備なのか，作業なのかどちらを改善するのか悩む場合が多い．

ここでは当社の設備稼働と人作業を見える化するシステム[1)]（以下稼働アプリと呼称）を使用して改善を実施した事例を紹介する．

図１　稼働アプリ使用例

図１に示すように，設備の信号をタワーライトに取り付けた送信機から，人作業の信号を腕に取り付けたスマートフォンから収集し，収集した結果を設備と作業者ごとに分け集計し時系列に並べた．

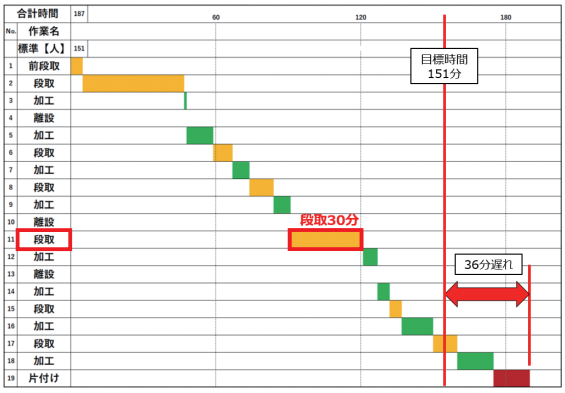



図２　稼働アプリにて収集した改善前データ

目標時間の151分に対し36分遅れていることがわかるが，設備が加工している時間よりも段取作業している時間が圧倒的に多いことがわかる．つまり優先して改善すべきは人作業である．

本事例では，加工と加工の間で行っている段取作業の30分（グラフ中段の枠）に着目し，段取作業を行わなくても良いように，ワークを固定するジグを改良した．改良後の集計グラフ（図３）を見ると，段取作業の30分が削減されただけでなく目標の151分に対し25分短縮することができた．これは連続して加工することが可能になったため，工具がワークにアプローチする時間などのエアーカット時間が大幅に削減できたおかげである．

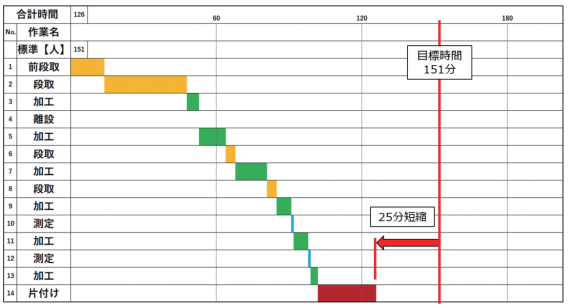



図３　改善後の実績データ

### 3.3　量産ラインでの事例

ロボットや自動搬送装置などで自動化されている量産ラインでは，作業者は複数の設備を担当し，部品の補給，設備メンテナンスに従事している．生産性を向上するには如何に設備を止めずに稼働させるかが鍵になり，このようなラインでは，設備にタワーライトなど表示灯を取り付けて状態を見える化しているが，設備が高くすべての表示灯が見えない，ネック工程の設備が異常になり直ぐに復旧しないといけないが，他設備の作業中で気付かないなど実際の現場では効率よく稼働できていない場合がある．

この対策として設備の稼働状況や作業指示が一目でわかる電光表示盤「アンドン」が利用されている．

図４　従来アンドン

図４は従来型のアンドンで，作業者から見える位置に設置され，どの設備が異常や材料不足などで呼び出しているかを把握できるが，何の異常なのか，補給する材料は何なのかなどの情報が乏しく，設備に行かないと詳細がわかならい．また，工場内の設備の位置をしっかり把握していないと，最短距離で向かうことができないという課題がある．そこで最近では図５のように電光表示盤ではなく大型モニタを設置し，工場の設備レイアウトに合わせランプを配置し，アイコンを表示させることで，呼出している設備の位置や内容を作業者に直観的にわかるように工夫している．これにより従来は設備に行かないと呼び出している内容がわかならいといった歩行のムダがなくなり，作業効率が向上した．

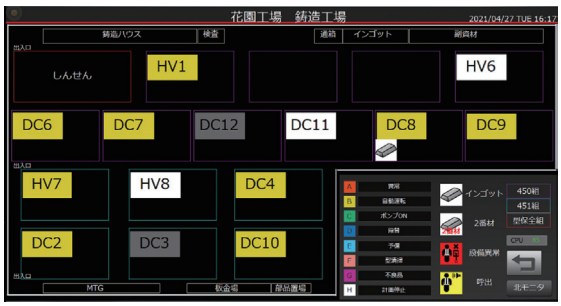



図５　レイアウトアンドン

これを設備の大幅な改造をせずに，簡単に実現可能にしたのが先述の稼働アプリである．稼働アプリはタワーライトの信号（光センサー）だけでなくさまざまなセンサーを接続できるようになっているため，補給部品の有無を光電センサーやリミットスイッチなどで検知し，作業者へより多くの情報を通知することが可能になる．また，レイアウトアンドンの画面もユーザー自身で編集が可能である．

この工場では，大型モニタだけでなく，図６のように作業者が携帯するスマートフォンやスマートウォッチを使い，呼び出している設備番号とその呼出し内容を作業者に直接通知した．大型設備がある工場や作業者の担当範囲の広い工場での採用が多く，作業者は通知された内容から優先順序の判断が可能になり，効率の良い作業が行えている．

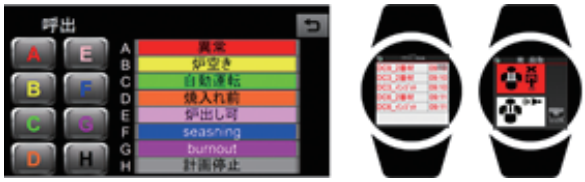



図６　作業者通知例__携帯端末

## 4. 範囲や機能をステップアップする

設備の状態が簡単に見えるようになると，より多くの設備の状態が見たい，さらに隣の工場もあわせて見たい，生産性を阻害している要因を見つけ出したい，生産計画との進捗を管理したい，リモートワークが増え，自宅や出先でも監視したいなどとさまざまなニーズをいただく．

当社はトヨタグループの一員としてトヨタ生産方式にもとづき，部品や機械，機器の生産を行っているが，同時にグループ会社の各工場へアンドンを納入している実績がある．この長年培ってきたノウハウをもとに，稼働の見える化や分析が容易に実現できる稼働アプリを活用し，多岐にわたるお客様のニーズに対応してきた．

### 4.1　範囲の拡大

設備の稼働状態はユーザーによって見たい範囲が異なる．先述の事例は設備やラインなど比較的小規模で実際の作業に携わるユーザーが使用した例であるが，工場責任者，経営者は全体を把握する必要がある．稼働アプリは企業内すべての設備と接続し，情報の一元化を図り可視化することができる．もちろんWeb配信機能により，いつでもどこでも閲覧することが可能である．

また，実績だけを見るのでなく，計画と照らし合わすことで，遅れへの対策だけでなく基準時間の見直しや再計画立案なども重要である．そのため稼働アプリは，収集・分析したデータを上位システムへシームレスに連携できるので，データの活用範囲が拡大する．

### 4.2　機能の拡大

#### 4.2.1　作業者への通知事例①

作業者が複数台の設備を担当し，ワークの脱着作業を行うような自動化されていない量産ラインでも，設備を効率よく稼働させるためにさまざまな工夫を行っている．

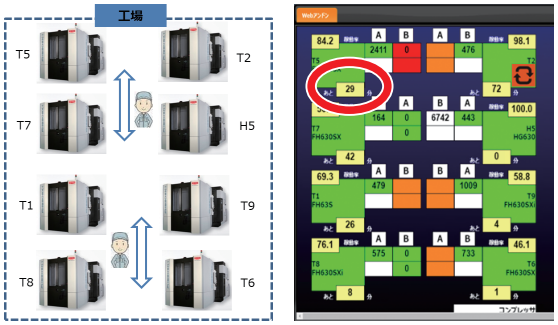



図７　ラインイメージおよびレイアウトアンドン

図７のレイアウトアンドンは設備から加工中の品番情報を収集し，あらかじめ設定された品番ごとの加工完了までの時間を「あと○○分」と表示している（図中丸のか所）．多品種を生産しているラインでは，品番ごとに設備が完了する時間が異なるため，作業者の動線は必ずしも一定ではない．本アンドンでは設備の完了する順序が事前にわかるため，作業者は前段取りが可能になり設備稼働率が上がった事例である．

#### 4.2.2　作業者への通知事例②

自動化された設備で複数作業者が分担して作業するラインでは，配置する作業者の人数も考慮する必要がある．いくら設備からの呼出しがリアルタイムに把握できても，対応する作業者がいなければ設備は停止してしまう．だからといって多くの人数を投入するわけにもいかないため，最適な人数を把握す

ることが重要だ．

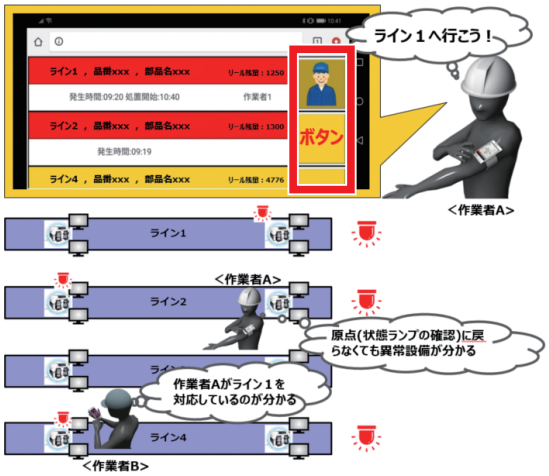



図８　作業者通知例__携帯端末②

図８は携帯端末を活用し，設備からの呼出し情報に加え，誰がどの設備の作業をしているかの情報が共有できるようになっている．具体的には，枠の部分がボタンになっており，設備からの呼出しに対応可能な作業者が，該当作業のか所のボタンを押してから作業に入るため，他の作業者はすでに対応中を認識でき他の作業に向かうことができる．これにより，呼出しのあった設備に同時に向かう作業者がいなくなるだけでなく，仕事量が把握できるようになっている．上図のように，未着手の作業が残っているような場合は，人員が不足している可能性があるが，作業者がすべての業務に対応できるとは限らないため，作業者の能力を事前に把握することが必要だ．

## 5. AI活用事例

工作機械の工具寿命は，使用時間や回数をカウンタで管理し，不良品を発生させないように定期交換やメンテナンスをしている．しかし，マシニングの工具では再研磨したり，研削盤のといしではツルーイングやドレッシングを行うが，加工不良にならないように交換タイミングを計るカウンタ値はある程度のマージンが考慮され，作業者の判断で設定されている場合が多い．当社の工具寿命予測アプリ[1)]はここに着目した．ぎりぎりまで工具を使い切りムダをなくすことでツールコストの削減を可能とした．

研削盤を例にとり説明する．といしのツルーイングは製品の品質（ビビリ，焼け，粗さ不良など）と直結するため，タイミングが非常に重要である．

工具寿命予測アプリは，設備から収集される各種信号から特徴量を抽出し，機械学習を用いてモデルを生成し，設備に最も近いエッジでリアルタイムに判定し，最適なタイミングでツルーイングを行う（図９参照）．またこの機能は後付けが可能となっており，長年使用している設備にも適用できる．

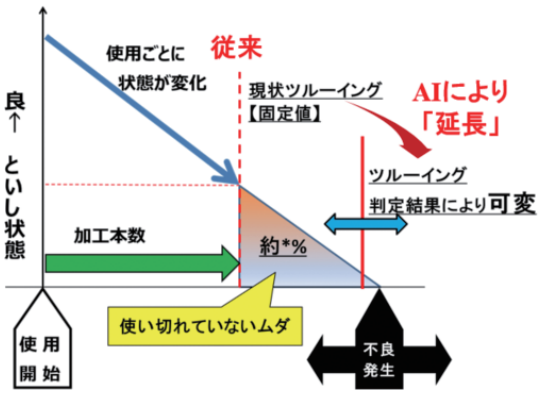



図９　研削盤　導入後イメージ

## 6. データ活用における人や組織の成長

デジタル技術が発達し，単純な作業はロボットに変わり，属人化していた技術はAIが代行するようになっても，人手に頼る熟練技能はすぐには置き換わらないため，ICT[*3]などのデジタル技術の活用が求められている．下図は2020年度ものづくり白書に記載されている主力製品の製造にあたって重要となる作業と５年後の見通しだが，過半が「今まで通り熟練技能が必要である」とされている．

図 221-8　主力製品の製造に当たって重要となる作業と５年後の見通し

| 主力製品の製造にあたって重要な作業内容 | 主力製品の製造にあたって重要な作業計 | 5年後の見通し | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 今までどおり熟練技能が必要 | 技能習得期間が短くなる | 機械に代替される | 工程自体がなくなる | 外注化される | 海外調達に変わる | 無回答 |
| 製罐・溶接・板金 | **29.8** | 69.8 | 14.3 | 10.5 | 0.1 | 3.2 | 0.9 | 1.2 |
| プレス加工 | **21.6** | 53.1 | 23.2 | 15.0 | 0.4 | 4.3 | 2.0 | 2.2 |
| 鋳造・ダイキャスト | **6.0** | 63.4 | 12.3 | 7.9 | 1.3 | 7.0 | 6.2 | 1.8 |
| 鍛造 | **4.7** | 64.6 | 19.7 | 6.7 | 1.1 | 3.9 | 2.8 | 1.1 |
| 圧延・伸線・引き抜き | **2.7** | 69.9 | 9.7 | 12.6 | 1.0 | 4.9 | 1.0 | 1.0 |
| 切削 | **35.2** | 53.3 | 22.3 | 18.2 | 0.1 | 2.9 | 1.8 | 1.4 |
| 研磨 | **21.8** | 63.7 | 16.3 | 15.0 | - | 2.2 | 0.6 | 2.2 |
| 熱処理 | **8.6** | 59.6 | 16.7 | 10.8 | 1.2 | 7.7 | 0.9 | 3.1 |
| メッキ | **5.3** | 51.5 | 18.0 | 10.0 | 1.0 | 15.5 | 2.5 | 1.5 |
| 表面処理 | **8.4** | 54.4 | 18.9 | 15.1 | 0.3 | 7.5 | 1.6 | 2.2 |
| 塗装 | **15.3** | 62.0 | 16.5 | 11.1 | 0.3 | 7.8 | 0.7 | 1.6 |
| 射出成型・圧縮成型・押出成型 | **13.5** | 56.1 | 24.9 | 12.4 | 1.2 | 2.0 | 2.7 | 0.8 |
| 半田付け | **9.1** | 62.4 | 14.9 | 15.7 | 0.9 | 3.8 | 0.6 | 1.7 |
| 機械組立・仕上げ | **33.1** | 65.4 | 21.8 | 5.8 | 0.7 | 3.1 | 1.1 | 2.0 |
| 電気・電子組立 | **25.2** | 57.2 | 24.1 | 9.9 | 0.8 | 4.1 | 1.7 | 2.2 |
| 測定・検査 | **37.6** | 51.3 | 23.8 | 17.1 | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 6.3 |

資料：JILPT「デジタル技術の進展に対応したものづくり人材の確保・育成に関する調査」

出展：経済産業省，厚生労働省，文部科学省発表「2020年度ものづくり白書」

### 6.1　作業遂行能力

さまざまな業務への対応能力を，単に経験年数だけで判断することは難しい．そこで作業者ごとに作業の得意不得意をデジタル化し，作業者へフィード

[3] Information and Communication Technologyの略

バックすることで，個人の成長だけでなく組織も成長すると考える．

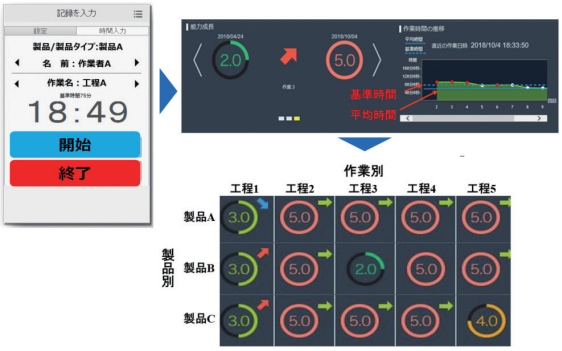



図10　作業遂行アプリ　個人画面

図10は作業遂行能力を分析するアプリケーション[1)]（以下作業遂行アプリと呼称）を工作機械の組み立て作業で活用した事例である．作業時間をスマホやタブレットなどを用いて製品種類，作業内容に分けて収集し，基準時間との差やバラツキから作業の習熟度を５段階評価し，マップにしたものである．作業者は自身の作業の強み・弱みを数値で把握でき，日々の上達状況を矢印で確認できるので，作業へのモチベーション向上につながっている．

図11　作業遂行アプリ　組織画面

図11は管理監督者用の画面で，組織全体の能力を製品種類ごと，作業内容ごとに把握できるため，能力に応じた教育ポイント，改善すべき作業内容が明確になり，組織全体の成長を促進する．また，他部署からの応援や人員配置を検討する材料となる．

### 6.2　ノウハウの蓄積および共有

製造業は，「安全第一，品質第二，生産第三」といわれ続け，それらを維持するためにさまざまな活動を行っている．この活動の情報を企業内で共有することにより組織の成長につながると考える．

図12　情報共有アプリ

図12は課題解決のための情報共有アプリケーション[1)]で，業務の課題を共有し，全員参加で改善し，改善した結果を全員で共有することが可能になっている．具体的には，個人では解決できない課題を発見した場合，スマホなどで写真を撮って簡単なメッセージを添えて登録を行う.するとメンバー全員に課題が共有され，過去の知見や類似案件などメンバーのノウハウをもとにさまざまなアドバイスが集まってくる．改善を担当する者は，その中から最適と思われる対策を実施し記録に残す．もちろん失敗した場合も記録に残しておく．この情報はメンバー全員で共有されるため，属人化していた改善ノウハウや事例が組織の財産となって蓄積され，人材育成につながっている．今では製造現場だけでなく，設計や営業など間接部門でもコミュニケーションツールとして使用している．

## 7. 最　後　に

昨今IoT，AI，スマートファクトリー，デジタルトランスフォーメーションなど表現はさまざまながら製造業のデジタル化は進んでいる．しかし，それらの技術を活用するのはあくまでも「人」であり，設備とともに人も成長しなければ，日本のものづくりに未来はない．ものづくりを通じて価値づくりへ変革できるようこれからもチャレンジしていくと同時に，お客様のものづくりへも貢献していく所存である．

**文献**

1）https://jtekt-ioe.jp/products/

（原稿受付：2021年６月15日）

解説

# ロボットメーカによるロボット安心ライフサイクルサポート

著者紹介

合田一喜（ごうだいつき）
カワサキロボットサービス株式会社
〒135-0091 東京都港区台場2-3-1
E-mail : gouda-krs@corp.khi.co.jp

2016年カワサキロボットサービス株式会社入社.
販売部　インバウンド推進課　課長

村上英範（むらかみひでのり）
カワサキロボットサービス株式会社
〒673-8666 兵庫県明石市川崎町1-1
（川崎重工業 明石工場 #86）
E-mail : murakami_h-krs@corp.khi.co.jp

2020年カワサキロボットサービス株式会社入社.
販売部　販売企画課　課長

## 1. はじめに

昨今，世界的に産業用ロボットの需要は高まり続けており，出荷台数は飛躍的に増加している．これにともないロボットの修理，保全に対するユーザの要望，意識も高まっている．このような中，従来のような点検・修理・整備を中心とするアフターサービスだけでは，十分な顧客満足度を得られなくなっている．従来のサービスモデルから脱却して顧客満足度をより高めるために，さらに一歩進んだ新しい提案型サービスと，それをサポートするロボット点検・検査のためのツール，遠隔監視，故障予知を可能にするシステムの実用化が求められている．

一方，世界中で猛威を振っている新型コロナウィルス（COVID-19）は，感染収束の見通しがいまだ不透明な状況が続いている．そんな中，当社グループ企業はロボットを活用した自動PCR検査システムを昨年10月に発表した．当社グループ企業の50年以上にわたる産業用ロボットのノウハウを用いることで，世界的に認知された方法のままでPCR検査のロボットシステム化を実現した．これにより検査時間を大幅に短縮，自動化・無人化による医師・医療従事者の負担軽減，二次感染を防止，運用の簡素化，量産，省スペース化を実現し，すでにサービスを開始している．

その自動PCR検査システムでは10台以上のロボットアームが検体の搬送，開栓，分注，試薬投入などの作業を行っている．検査システム内は気圧，温度が調整されており，コンタミネーション（汚染）を防ぐため基本的に作業員が立ち入ることはできない．そこで当社が開発した「ロボット安心ライフサイクルサポート」[1)]により，遠隔での状態監視および遠隔サポートを行っている．

## 2. 先進的メンテナンスサービス「ロボット安心ライフサイクルサポート」のコンセプト

「ロボット安心ライフサイクルサポート」は，ユーザとロボットの一生・ライフサイクルに寄り添うことで「ダウンタイムゼロ」の実現化をめざし，「ライフサイクルコスト最適化」およびユーザとの「情報共有化」をコンセプトとしている．

### 2.1　ダウンタイムゼロ

工場設備には，点検や保守にともなう部品交換の時間が必要である．しかし，突発的な故障は工場稼働率の低下という大きな損失をともなう．故障時期を予知して予知保全を行うことにより突発故障を回避し，ロボット設備のダウンタイムゼロをめざす．

### 2.2　ライフサイクルコスト最適化

従来は時間基準保全（TBM：Time Based Maintenance）の観点から，ユーザに年次の点検を推奨してきた．しかし，ロボット動作速度，稼働時間，気温，周囲環境によるロボット負荷が，ユーザごとに多種多様である．そこで，稼働しているロボットごとにロボット設備状態を傾向管理して状態基準保全（CBM：Condition Based Maintenance）の観点から最適化する．

### 2.3　ユーザとの情報共有強化

現在，ユーザに何か問題が起こってから対応するサービスから，問題が起こる前に動く提案型のサービスを展開している．提案型のサービスを実践する

ためにはユーザと密接に情報共有し，ユーザが直面している課題やニーズをタイミングよく察知することが必須である．そこで，従来の電話やメールによるコミュニケーションに替わる新しい情報共有の在り方を実現する．

図１　ロボット安心ライフサイクルサポート

## 3. ロボット安心ライフサイクルサポートの概要

「ロボット安心ライフサイクルサポート」は３つの機能を有した先進的メンテナンスサービスである．常時監視と遠隔監視により故障予知を行う「ロボット予知保全支援システム」[1)]．正確な設備診断を行う「傾向管理定量点検」．ユーザとのコミュニケーションツールである「お客様専用ホームページ」[1)]．これら３本の柱から成り立つ（図１）．

M2M（Machine-to-Machine）やIoT技術を活用し，生産現場で稼働するロボットと当社のサービスセンターをリモート接続し，常時監視と遠隔監視によるメンテナンスを可能にしている．

### 3.1 「ロボット予知保全支援システム」

ロボット設備の常時監視と遠隔監視を行うことで，設備状態の把握と稼働データの取得および分析により故障を予知するソフトウェアである．メール自動送信機能を有しており，故障予知結果やロボットエラー監視情報を自動的に配信することができる．また，ネットワークを介しての遠隔サポートでユーザの機会損失を低減する．

### 3.2 「傾向管理定量点検」

豊富な点検結果や整備実績データベースにもとづき選定した点検項目について，点検結果をすべて数値化し，ロボットの状態傾向を正確に診断する点検手法である．減速機ガタ量を定期的に計測・管理する減速機ロストモーション点検や，減速機内部摩耗の大粒子・小粒子に分けて計測するフェログラフィー分析，FT-IR分析を応用したグリス消費率という考え方をベースにグリス交換のタイミングの最適化など全16種類の点検を有する．

### 3.3 「お客様専用ホームページ」

従来は，保全のためにユーザ側の担当者と当社サービス員が個対個の直接コミュニケーションを行っていた．コミュニケーションツールである「お客様専用ホームページ」は，セキュリティが担保されており，これを用いることでユーザとサービスセンターが情報共有を行って組織的にコミュニケーションできるようになる．それとともにロボット設備保全履歴やメンテナンス提案をwebブラウザ上で管理し，操作マニュアルや技術資料などもwebブラウザ上で閲覧可能にした．

次章以降で，「ロボット予知保全支援システム」のIoT適用について説明する．

## 4. 「ロボット予知保全支援システム」の機能詳細

「ロボット予知保全支援システム」は，当社グループ企業の高セキュリティなネットワーク環境であるアフターサービス支援情報基盤を活用している．

### 4.1 ロボット設備の常時監視機能

図２に示すように，ユーザの工場で稼働するロボット複数台を常時監視することができる．また，動作や負荷状態を推測するためのデータを取得して，データベース化する．取得・蓄積した傾向管理データを分析して正確な故障予知を行うことで，最適な予知保全を可能にした．

図２　ロボット予知保全支援システムの構成

⑴故障予知の例（電流値分析）

たとえば，サーボモータの電流値の変化とその傾向を統計分析することで故障発生日を予測してワーニングを発信する．ユーザは故障発生予測日までにメンテナンスを計画することで予知保全ができるようになるため，突発故障による機会損失を避けることができる．図３に示すトレンドグラフから，日数の経過にともなう電流値の変化とその傾向を把握できる．

⑵故障診断機能の高度化

ユーザからのさらなる要望に応えるために「ロボット予知保全支援システム」の機能高度化を進めている．モータ電流の変化周波数分析（FFT）をすることで，ダウンタイムに大きく影響する減速機の故障部位を特定するとともに，ユーザのメンテナンス計画にあう早期診断に活用するため，予知精度の向上に取り組んでいる．

今後，AI技術を取り入れてさらなる機能向上を図るとともに，取得している傾向管理データをデジタルツインに連携することで，リアルタイムでの問題解決をめざす．

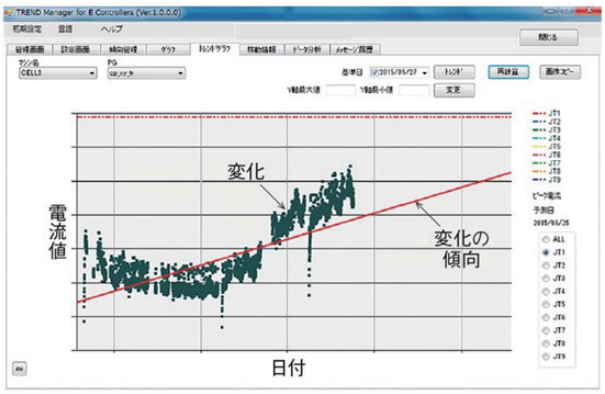



図３　ロボット予知保全支援システムのトレンドグラフ画面

⑶故障診断項目（部品）充実

フィールドには稼働15年をこえるような古いタイプのロボットが現役でまだ活躍している．このタイプのロボットコントローラは故障診断に必要なデータ取得に対応できないことがあるが，ユーザからは「ロボット予知保全支援システム」による傾向管理を望む声が高い．これを実現するためにブレーキ摩耗計測センサーユニットを開発した．モータ電流，振動，騒音などのデータを取り込むことができればロボットの機種に関係なく「ロボット予知保全支援システム」での傾向管理が可能となる．今後はさまざまなロボットメーカのロボットあるいはロボット以外の設備常時監視システムへの展開も視野に入れている．

### 4.2　システム適用への拡張性

「ロボット予知保全支援システム」はロボットだけでなく，ロボット周辺装置のデータを取得して，ロボットを含めたシステム全体としての傾向管理をめざしている．パレタイズの適用では，ロボット周辺装置を制御するPLC（Programmable Logic Controller）から空圧機器であるシリンダーの動作時間などのデータを「ロボット予知保全支援システム」に取り込み傾向管理する．また，塗装の適用では回転霧化型静電塗装器のエアモータ速度やシェービングエアの圧力・流量などのデータを取得し傾向管理する．

### 4.3　メール通知機能

異常時にはあらかじめ設定されたメールアカウントに「ロボット予知保全支援システム」からワーニングやアラームが通知される．また，軸ごとのモータ電流値など解析に使用する詳細なデータが配信される．

### 4.4　トレーサビリティ機能

ロボットごとの現在と過去のデータ比較機能に加え，各軸稼働量・動作時間・アラーム出現回数を可視化でき，ロボットの過去の状態を追跡することができる．

### 4.5　リモート監視・メンテナンス機能

前述したすべての機能を，ネットワーク経由でサービスセンターからの遠隔操作により使用することができる．また，ネットワークカメラを設置すると，ユーザの生産現場で稼働しているロボット設備の状況を可視化できる．ロボット設備が停止した場合，部品交換をのぞくトラブルに対して遠隔操作でネットワークカメラの画像からトラブルシューティングができる．その結果，ユーザ訪問せずともロボット設備の復旧が可能となり，ユーザにとって復旧時間の大幅な短縮を価値提供できる．

## 5.「傾向管理定量点検」

### 5.1　定量フェログラフィー分析

定量フェログラフィー分析は，潤滑油や作動油中の摩耗粒子の大小別の量的変化を図４の分析装置を用いて把握する分析手法である．この手法を応用し，減速機内グリスを当社独自の方法で希釈して分析することで，グリス内の大粒子と小粒子の比率を把握し，減速機の故障傾向を従来の鉄粉濃度測定よりも正確に診断することができる．これまでの蓄積データからしきい値を求め，大粒子と小粒子の比率から算出した数値がしきい値を超えた場合に故障と判断する．

図４　定量フェログラフィー分析装置

### 5.2　鉄粉濃度測定における課題

従来は，減速機の摩耗状態を，グリス内鉄粉濃度を計測することで，「正常値」「注意値」「異常値」と判定していた．減速機内グリスの鉄粉濃度は減速機異常摩耗の発生により急激に上昇するが，鉄粉濃度測定はグリス内鉄粉の総量を計測する方法であるので，正常摩耗状態でも鉄粉濃度にある程度の上昇が見られた．　また，異常摩耗状態の減速機であっても，一度でもグリス交換が行われると一時的に鉄粉濃度値が下がってしまい，異常として判定できないことが課題となっていた．

### 5.3　定量フェログラフィー分析による課題解決

上述の課題を解決するために，定量フェログラフィー分析手法を応用した．ロボットを使い始めてしばらくは，減速機内グリスには径が５μmより小さい粒子（小粒子）が多い状態が続く．しかし減速機に異常摩耗が始まると，５μm以上の粒子（大粒子）が増加する．この現象に基づき，定量フェログラフィー分析装置で大粒子量と小粒子量を把握することでIS値（危険摩耗指数），LWPC（大摩耗粒子量）を算出し，これを減速機の摩耗診断指標として採用した．このように定量フェログラフィー分析を用いて，グリス内摩耗粒子を評価することで，減速機の摩耗状態を以前より正確に診断できるようになった．採取したグリスサンプルの鉄粉濃度とIS値の分布を図５に示す．星印が実際の減速機の異常が認められたサンプルで，鉄粉濃度測定では見逃されていた領域①が定量フェログラフィー分析では異常としてとらえられるようになった．

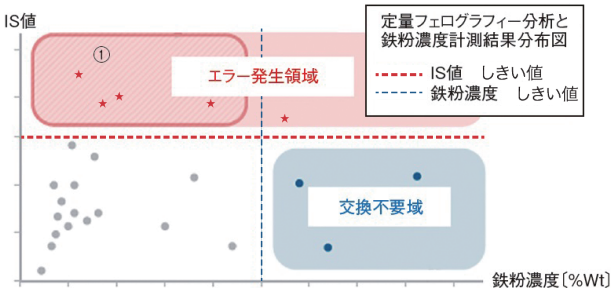



図５　定量フェログラフィー分析で検知できる領域

## 6.　PCR検査への適用

### 6.1　PCR検査

新型コロナウイルスの感染リスクから医療従事者を守ることを目的に，ロボットを用いた自動PCR検査システムによる検査サービスを開始した（図６）．感染リスクがともなう工程をロボットで無人化／自動化し，医療従事者の安全を守り，負担を軽減する．それとともに，検体受付から病院との連携による検査結果通知までを短時間（80分以内）で実施することを可能とした．PCR検査システムを40フィートコンテナにパッケージ化（１コンテナ当たりの処理能力：2,000検体／ 16時間）できるため，病院や空港など多くの人が集まる場所に簡単に移動できる．また，コンテナ台数を増減することにより，検査所要数に応じた柔軟な対応が可能となる．さらに本システムは，汎用ロボットを利用しているため工程変更が容易となり，インフルエンザなどの各種の感染症にも応用することができる．

自動PCR検査システム内の環境は，気圧，温度が調整されており，コンタミネーション（汚染）を防ぐため基本的に作業員が立ち入ることはできない．人に代わり10台以上のロボットシステムで検体の搬送，開栓，分注，試薬投入などの作業を行っている．このロボットに「ロボット安心ライフサイクルサポート」を適用し，遠隔での状態監視および遠隔サポートを行っている．

これまでは，ロボットが停止した場合に以下のような問題があった．

⑴当社サービス員に連絡が入ると，軽微な故障であってもサービス員がシステム内に入室し，停止の原因究明と復旧作業を行っていた．

⑵原因究明で部品の故障だと判明した場合は，交換部品を持ってくるために一度サービスセンターに戻る必要があった．

上記⑴⑵により，復旧までにかなりの時間を要することがある．

### 6.2 「ロボット安心ライフサイクルサポート」導入による問題解決

「ロボット安心ライフサイクルサポート」とネットワークカメラによる状態監視，リモート接続による遠隔操作を組み合わせることで，正確なトラブルシューティングがサービスセンターで可能となった．ロボットデータの監視，およびトラブル時には復旧に必要な交換部品を特定するための詳細情報がメールにてサービスセンターに配信される．メールにはワーニング，エラー内容，そのトラブルシューティングだけでなく，必要に応じて詳細な解析ができるデータも添付されるため，トラブルからの早期復旧が可能となった．

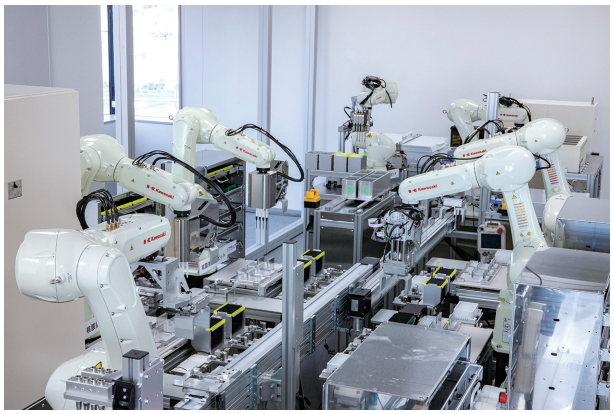


図６　自動PCR検査ロボットシステム

「ロボット安心ライフサイクルサポート」を自動PCR検査システムに適用することで，24時間連続稼働，計画的な検体処理が可能になった．

## 7. あとがき

「ロボット安心ライフサイクルサポート」を用いたIoT化により，これまで生産工場設備管理者の課題であったダウンタイムゼロ化やライフサイクルコスト最適化が実現可能となった．

今後も，ユーザのロボット設備に最適にカスタマイズしたロボット安心ライフサイクルサポートを提供する．さらには，ロボットだけでなくその周辺システムも含めたユーザの生産環境全体のライフサイクルをサポートできる「生産管理機能」を有した「ロボット安心ライフサイクルサポート」に進化させていく．ロボットがハブとなりユーザの生産活動そのものをトータルサポートしていく．

**参考文献**

1）https://www.khi.co.jp/corp/krs/service/production.html

（原稿受付：2021年６月14日）

解説

# 建機メーカにおけるICT・IoTソリューション

著者紹介

田中一博（たなか かずひろ）
日立建機株式会社
〒340-0004 埼玉県草加市弁天5－33－25
E-mail : k.tanaka.to@hitachi-kenki.com

2018年日立建機株式会社入社．顧客ソリューション本部にて，Solution Linkageシリーズのマーケティングなどを担当．日本建設機械施工協会情報化施工委員会i-Construction普及WG員

## 1. はじめに

当社は2016年に，情報化施工ソリューションの中核となるICT中型油圧ショベルを開発，同年10月３日には，茨城県ひたちなか市にICTデモサイトを開設してICT施工に関する本格的な取り組みを始めた．ICTデモサイトは，国土交通省が推進するi-Constructionへの理解と情報化施工の実感を目的に，当社常陸那珂工場敷地内に新設した．

2017年には，当社のICT・IoTソリューションに名称を付けていっそう推進している．この当社ICT施工ソリューション[1)]は，顧客の課題である「安全性向上」，「生産性向上」，「ライフサイクルコスト低減」を顧客とともに解決するソリューションとして位置付けている．

顧客の課題解決にあたっては，当社を中心に，当社グループ事業部門の垣根を越えた幅広い先進技術の開発や，ビジネスパートナーとのエキスパート技術を融合する〝オープンイノベーション〟を活用している．また，提供するICT施工ソリューションは，ICT活用工事における起工測量から納品までの工程を，一貫してサポートする．顧客ニーズに合わせて，各工程別のソリューション提案，関連機械・機器やソフトウェアの販売・レンタルにも対応する．

## 2. マシンコントロール・ガイダンス機能（ICT建機）

当社では，独自のマシンコントロール機能[2)]を開発，市場投入している（図１）．この機能は，GNSS受信機から得た機械の位置情報やバケット爪先の3D（三次元）情報をもとに，設計値に従って機械のフロント（ブーム，アーム，バケット）をリアルタイムで半自動制御し，施工目標面を掘り過ぎることなく効率的な作業が可能となる．

図１　マシンコントロール機能搭載の20tクラス油圧ショベル

この機能により，従来の建設現場で行われていた丁張りや検測作業などの作業工程を大幅に削減，工期の大幅な短縮を図ることができるとともに，現場の安全性や生産性の向上に寄与する．現在この機能を搭載しているのは，当社中・小型油圧ショベル３機種で，次世代機の油圧ショベルにも搭載が予定されている．

また，国土交通省が推進するi-Constructionをはじめとした，ICT施工に最適なソリューションを提供することを可能とする当社クラウドソリューションサービス[3)]と連携し，ICT施工に役立つさまざまなアプリケーションにアクセスでき，生産性向上に寄与する．

## 3. クラウドソリューションサービス（ポータルサイト）

当社ではICT施工に携わる顧客や当社のビジネスパートナーが，スマートフォンやタブレット端末などで必要な情報を「いつでも，どこでも」取り出し，活用することができるクラウドソリューションを

2017年から提供している．

このシステムは，海外測量機器メーカ（本社：米国カリフォルニア州）と連携して開発した．また，クラウドソリューションサービスの入口である当社のポータルサイトは，当社グループの情報ソリューション会社（本社：東京都品川区）とともに開発した．

ポータルサイトには，ICT建機に搭載する設計データ作成アプリケーションのダウンロードや，ファイル共有サービス，同海外測量機器メーカのウェブサービスへのリンクのほか，各種ICT施工ソリューションシリーズへのリンクが収められている．

## 4. 位置情報関連アプリケーション（トラックなどの運行管理サービス）

図２　位置情報連携アプリケーション

2018年からは，施工現場の見える化，進捗管理，機械と人との接近検知の機能を持つ位置情報関連アプリケーション[4]の提供を始めた（図２）．

このアプリケーションは，施工現場の見える化，施工現場の進捗管理，接近検知の機能を持っている．

施工現場の見える化の面では，油圧ショベルなどの建設機械，ダンプトラックおよび現場作業員が，スマートフォンなど位置情報を取得できるモバイル端末を持ち，アプリケーションを通じてその位置情報をクラウドにアップロードすることで，それぞれの位置が地図上に表示される．これまで，現場管理者は，電話や現地で状況を確認したのちに，段取りを検討していたが，機械や人の配置をリアルタイムに把握できるようになり，段取りの検討における効率化が図れる．

進捗管理の面では，モバイル端末を通じてクラウドにアップロードされたダンプトラックの位置情報を活用し，運搬回数や土量など，現場の進捗状況をリアルタイムに確認できる．従来，現場管理者は，機械のオペレータや現場作業員との対話を通じて，進捗を定性的に把握していたが，アプリケーションにより進捗をリアルタイムかつ定量的に把握することが可能になる．これにより，ダンプトラックの台数増減など，次の一手をより迅速に検討することができ，施工における生産性向上に貢献する．

接近検知機能では，クラウドに収集された位置情報を活用し，建設機械，ダンプトラックと現場作業員の接近を検出し，モバイル端末を通じて建設機械やダンプトラックのオペレータ，現場作業員に通知する．これにより，作業中も安全に対する意識を保ち続けることができるので，施工現場における安全性向上に寄与する．

## 5. ICT土量計測アプリケーション（スマホで土量計測）

図３　ICT土量計測の様子

図４　ICT土量計測Advanced版セット

当社開発のICT土量計測アプリケーション[5]は，土木施工現場の生産性を向上するためのスマートフォンの専用アプリケーション．計測対象を動画撮影するだけで，土木工事の作業により発生する土量を簡便かつ定量的に把握することができるサービスとして2019年から提供を始めた（図３）．

このサービスは，Advanced版とStandard版のラインアップがあり，Advanced版では，土工現場の出来高算出に対応，Standard版では計測対象の盛土成形作業などが不要で，手軽に土量を算出できる．UAV（ドローン）やレーザースキャナを活用した測量など，ICT施工の普及により，土木業をはじめとする顧客から，安価で手軽に土量を計測する手法を

求める声を受け提供を行っている．

スタンダード版は，国土交通省が運用している契約が不要な無償の測位補強サービス（SBAS）を利用し，手軽に土量を計測できる．アドバンス版は，スタンダード版の機能に加えて，国土交通省の出来高算出要領に準拠し，動画撮影による地上写真測量にもとづいて，施工現場の出来高算出に対応できる（図４）．

## 6. 施工現場へのICT環境構築ソリューション（現場にインターネット環境を提供）

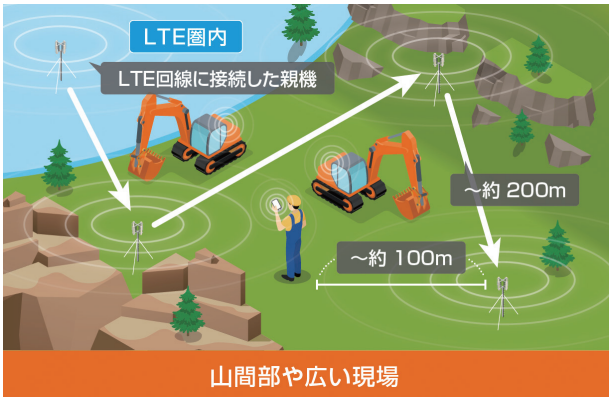



図５　ICT環境構築ソリューションのイメージ図

当社が提供する施工現場へのICT環境構築ソリューション[6]は，モバイル通信環境を改善・拡張するソリューション．山間部などインターネット通信が困難な現場でも，携帯電話のLTE回線に接続した当社のICT施工現場用Wi-Fiアンテナで，現場にWi-Fiネットワークを構築する（図５）．広い面積の現場で電波が届かないような場合にも，複数のアンテナで中継することでWi-Fiを拡張し，現場すべてのエリアをカバーできる．

設置は，通信の専門家でなくても簡単に扱え，多様な現場での利便性を両立した．また防塵・防水性に優れ，単管ポールまたは三脚で設置可能で，屋内外や地形などの状況を問わず，柔軟に運用できる．

## 7. 三次元点群データ生成クラウド（UAV写真を点群化）

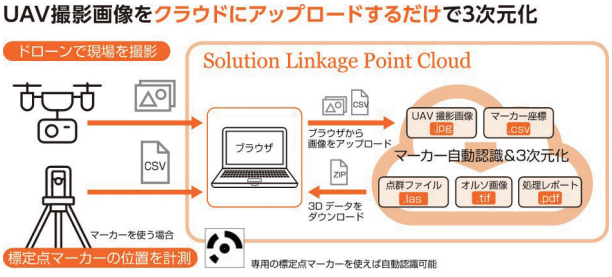



図６　三次元点群データ生成クラウドの構成

三次元点群データ生成クラウド[7]は，顧客が自らUAV（ドローン）で撮影した空中写真をクラウドにアップロードするだけで，専用のパソコンや点群生成ソフトを購入せず手軽に３次元点群を生成できるサービスとなっている．一般的なUAVを使った空中写真測量は，写真撮影後に高性能なパソコンや，高価な点群生成ソフトを使って解析する必要があり，初期費用が高額になるが，このサービスを利用すれば手軽に現場の３次元点群を生成して，工事現場の現況や進捗状況を把握できる（図６）．

建設現場では，盛土や切土をして工事を進めるが，現場の中でどのように土が動いているかを把握することが重要となる．協力会社との運搬契約や発注者との出来高数量報告などが必要だが，現状ではメジャーで盛土の高さや長さを計測して土量を計算している．

３次元の点群で手軽に土量を把握できれば，現場の計測作業負担が削減できる．

利用者はクラウドで３次元点群を作成し，点群処理ソフトで加工して体積計測や距離計測が可能になる．

## 8. 終わりに

当社は，油圧ショベルなどの「モノ」を販売するだけではなく，ソリューションやサービスと組み合わせた「モノ+コト」を売る企業へと変革を続けている．進化するICT，IoTとともに，引き続き顧客の満足度を高める製品やソリューションの開発に努めていく．

**参考文献**

1）https://www.hitachicm.com/global/jp/solution-linkage/about-ict/
2）https://japan.hitachi-kenki.co.jp/6series/zx200x/
3）https://www.hitachicm.com/global/jp/solution-linkage/about-ict/solution-linkage-cloud/
4）https://www.hitachicm.com/global/jp/solution-linkage/solution-linkage-mobile/
5）https://www.hitachicm.com/global/jp/solution-linkage/about-ict/solution-linkage-survey/
6）https://www.hitachicm.com/global/jp/solution-linkage/about-ict/solution-linkage-wifi/
7）https://www.hitachicm.com/global/jp/solution-linkage/about-ict/solution-linkage-PointCloud/

（原稿受付：2021年６月10日）

解説

# スマートファクトリへのタクトタイムコントローラの活用

著者紹介

高橋義広（たかはし よしひろ）

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

2005年芝浦工業大学工学研究科機械工学専攻卒業．同年株式会社コガネイ入社．現在，制御開発部電装グループに所属．空気圧機器関連のセンサおよびコントローラなどの開発に従事．

## 1. はじめに

スマートファクトリとは，工場の製造装置や生産ラインなどの各種設備を，ネットワークなどで接続してデータを収集・蓄積し，最適化や効率化をはかる工場のことで，IoTやAIといった技術により，製造装置や生産ラインなどの自動化や自律化といった流れは年々強まっており，工場の生産ラインで使用されることの多い空気圧機器においてもスマートファクトリへの対応ニーズは年々高まってきている．

スマートファクトリ化の取り組みが進んでいない生産ラインにおける空気圧機器のメンテナンスでは，動作に異常が発生した段階で異常か所を見つけ出し都度交換などを行うといったことが行われている．上記のような運用では突然発生する故障や異常により生産ラインが停止し，想定外の工数負担や納期遅延等の発生原因となる．

図1　タクトタイムコントローラ

図2　電動流量制御弁

このような問題の解決には，空気圧システムを構成する機器の情報を収集・蓄積し，収集したデータをもとに故障予知を行い，故障や異常の発生前にメンテナンスを実行するといった方法が有効である．

本稿では，図1のタクトタイムコントローラと図2の電動流量制御弁を用いた空気圧シリンダの駆動システムのスマートファクトリへの活用について解説する．

## 2. タクトタイムコントローラについて

### 2.1　概要

図3は空気圧シリンダの駆動システムにおいてタクトタイムコントローラと電動流量制御弁を用いた場合の機器構成の例である．

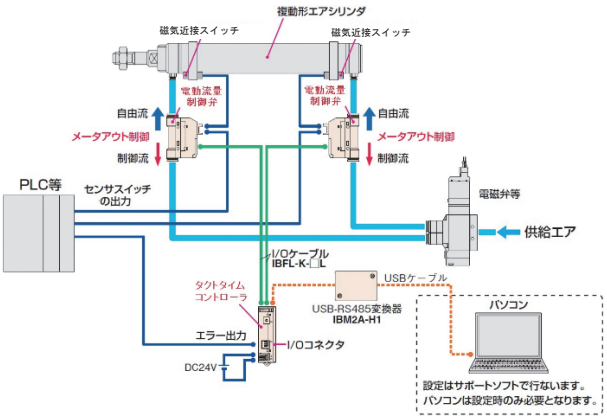



図3　タクトタイムコントローラ機器構成例

一般的なメーターアウト制御のシリンダ駆動システムとの主な違いは速度制御弁（チェック弁付き絞り弁）が手動タイプではなく，外部からのパルス信号にて制御可能な電動流量制御弁を用いていることである．電動流量制御弁には小型のステッピングモータと遊星ギアが内蔵されており，タクトタイムコントローラより送られるパルス信号により，流路の開き具合い（開度）の調整が可能となっている．

タクトタイムコントローラはシリンダの両端に取り付けられた磁気近接スイッチなどのセンサ信号にてシリンダの始端と終端の状態を取り込み，シリンダが始端から終端に到達するまでの時間（タクト）を内蔵のタイマにて計測し常時監視する．タクトタイムコントローラにはあらかじめ作動時間の設定を行っておくことで，設定した作動時間に保たれるように電動流量制御弁の調整を行う自動補正機能が搭載されている．

### 2.2　自動補正機能について

タクトタイムコントローラには電動流量制御弁の開度を調整し，シリンダの作動時間を設定時間に保つための機能が搭載されており自動補正機能と呼ぶ．実際にタクトタイムコントローラが行っている補正内容を図４に示す．

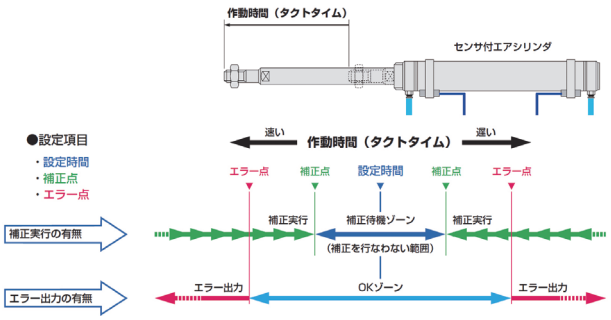



図４　タクトタイムコントローラによる自動補正

自動補正機能の使用には，設定時間，補正点，エラー点の３つのパラメータを設定する．タクトタイムコントローラの各種設定については，図５の設定用サポートソフトを用いて行う．

設定時間はシリンダが動作開始からストロークエンドに到達するまでの時間のことである．補正点は，補正動作を実行するかどうかの境界点であり，補正待機ゾーンから外れると電動流量制御弁が動作し補正待機ゾーンに再度入るように調整される．エラー点は，エラー信号を出力するかどうかの境界点で，エア漏れや異物の挟み込みなどによる大幅な速度低下での異常を知らせるための設定である．

たとえば，設定時間を1.0s，補正点を±0.05sとした場合，シリンダの作動時間が0.95sから1.05sのとき補正動作は行われない．シリンダ作動時間が1.0±0.05sから外れた場合，たとえば0.9sなど速かった場合は電動流量制御弁に絞る指令を送る．逆に1.1sなど遅い場合は電動流量制御弁を開く指令を送り，作動時間が1.0±0.05sに入るように制御する．

また，タクトタイムコントローラには自動補正機能によって補正が実行された回数をカウントして記憶する機能が搭載されている．

図５　設定用サポートソフト

## 3.　スマートファクトリへの活用

### 3.1　シリンダの劣化予測への活用

空気圧シリンダの劣化・故障の原因は各種考えられるが，長期間使用においては内部パッキンの損傷や潤滑剤の減少による動作不良があげられる．これらの劣化・故障は急激に悪化するわけではなく，長期間の使用によって徐々に劣化していく．

手動方式の速度制御弁を用いている場合は，シリンダの作動時間の変化が許容できなくなった際にはメンテナンスにて速度制御弁の再調整などを行うことにより使用を続けることができるが，劣化が進み調整する頻度が上がり，調整自体が困難になってくるとシリンダの故障と判断して交換となる．

タクトタイムコントローラと電動流量制御弁を使用の場合は，シリンダの作動時間のズレについては自動補正機能により都度調整されるため，手動の速度制御弁を使用した場合のような再調整は必要なく使用し続けることが可能である．

しかし，シリンダの劣化自体は手動方式の場合と同様に進むため調整頻度は徐々に上がり，単位作動回数あたりの自動補正回数が次第に増加していくことが予想される．

### 3.2　通信機能によるデータ収集

タクトタイムコントローラを用いたシリンダの劣

化予測をスマートファクトリで活用するためには，自動補正回数などのデータをプログラマブルコントローラ（PLC）やパソコンなどにて収集し蓄積できるシステムが必要である．タクトタイムコントローラは，RS485によるシリアル通信機能を有しており自動補正回数などの情報をPLCなどのRS485通信ユニットを用いて収集することが可能となっている．

タクトタイムコントローラにはアドレス設定機能があり，図６の複数台使用時の構成例のようにデージーチェーンにて接続することにより，最大16台までの情報を一括管理可能となっている．

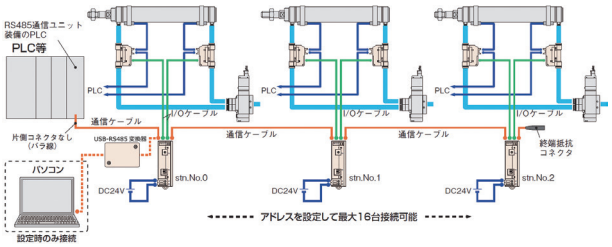



図６　複数台使用時の構成例

### 3.3　劣化予測の実施例

劣化予測の実施例として図３の構成にて，空気圧シリンダをシリンダ内部のパッキンが破損し制御不能となるまで動作させたときの作動回数と補正回数およびシリンダの劣化状態を示したグラフを図７に示す．

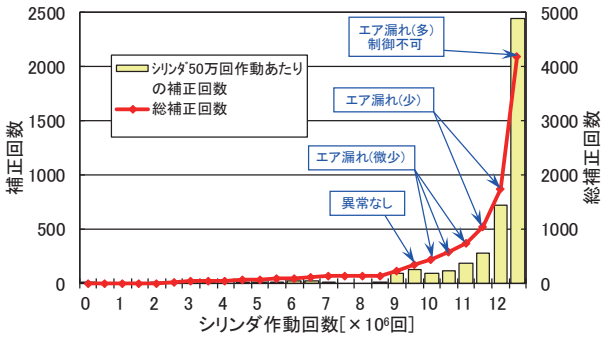



図７　シリンダ劣化状態と補正回数

図７のとおり，作動回数が８×$10^6$回程度までは補正回数が少なく安定して動作している結果となっている．しかし，９×$10^6$回程度から徐々に補正回数が増加していく傾向がみられ，10×$10^6$～12×$10^6$回ではシリンダは正常動作しているがエア漏れが発生し始めシリンダ作動を重ねるにしたがってエア漏れの量も増加していく傾向にある．12.5×$10^6$回の時点で多量のエア漏れにより制御不能レベルの状態にいたる．

自動補正回数からシリンダの劣化レベルを４段階に分類した結果を表１に示す．使用用途にもよるが，シリンダの劣化レベルが正常レベルから注意レベルへと切り替わる付近で，交換やメンテナンスを検討するのがよいと考える．

表１　自動補正から判断するシリンダの劣化レベル

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

本試験の詳細については，参考文献に記載している「電動流量制御システムを利用した空気圧機器の故障予知」[1] を参照いただきたい．

また，紹介した結果については試験した構成での一例であり，使用するシリンダや圧力，周囲環境により劣化レベルの進み具合は変化するため，実際にシリンダの故障予知や劣化レベルの判定に使用する場合，使用する環境にてデータを蓄積していき判定しきい値を定める必要がある．

## 4. おわりに

本稿では，スマートファクトリへのタクトタイムコントローラの活用として，タクトタイムコントローラと電動流量制御弁を用いた空気圧シリンダの駆動システムの概略および自動補正機能についての解説を行った．つぎに，シリンダ劣化予測での活用についての説明およびデータ収集のための通信機能および劣化予測の実施例の紹介を行った．本内容が空気圧機器のスマートファクトリ対応の普及に活用できれば幸いである．

**参考文献**

1）斎藤悠：電動流量制御システムを利用した空気圧機器の故障予知，フルードパワーシステム，Vol. 46，No. 2，p. 64-66（2015）

（原稿受付：2021年６月14日）

ニュース

# 「機能性流体入門－基礎と応用－」書籍紹介


著　者　紹　介

中野（なかの）　政身（まさみ）

東北大学未来科学技術共同研究センター
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2－1－1
東北大学産学連携先端材料研究開発センター内
E-mail : masami.nakano.b2@tohoku.ac.jp

1982年早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了．1981年早稲田大学助手，1982年山形大学助手，助教授を経て，1997年同教授，2008年東北大学教授流体科学研究所，2018年同教授未来科学技術共同研究センター．機能性流体，流体関連振動・騒音，振動制御などに関わるスマート流体制御システム工学に従事．日本フルードパワーシステム学会理事．


## 1. はじめに

本学会は2020年に記念すべき創立50周年を迎えている．学会創立50周年記念事業実行委員会が発足され，創立50周年記念事業のひとつとして，機能性流体に関する入門テキストの出版が計画された．実行委員会内に設置された記念出版編集分科会において，著者が本機能性流体入門テキストの編集を担当し，書籍「機能性流体入門－基礎と応用－」（図1，全278ページ）が2021年７月に日本工業出版㈱から出版されている．本ニュースでは本書に関して紹介する．

図１　書籍「機能性流体入門－基礎と応用－」の表紙カバー

本書でいう機能性流体（Functional Fluids）とは，図２の機能性流体の概念図に示すように，流体を人工的に調製して，ある機能を強調し，かつ外部から加える物理量（電磁場，光，温度，変形速度など）を制御することによって，その微視的構成要素（微粒子，分子，イオン，電子など）の物理化学的性質を機能的に変化させ，諸機能を発現することができる流体を指しており，工学的に応用可能な機能性を発揮する流体の総称である．

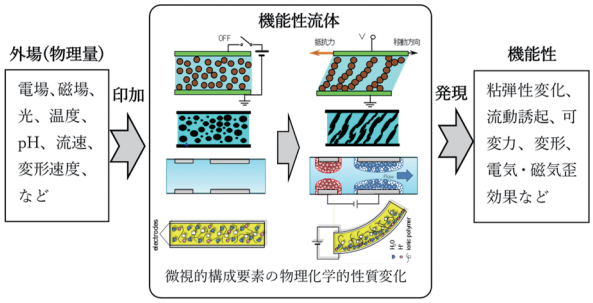



図２　機能性流体の概念図

機能性流体の歴史を紐解くと，機能性流体そのものだけでなくその工学的な応用も含めて1900年代半ばに提案・開発されている．電気粘性（ER）流体は1947年にWinslow W.M.によってブレーキやクラッチへの応用として，磁気粘性（MR）流体は1948年にRabinow J.によってクラッチへの応用として，電気流体力学（EHD）現象は1959年にStuetzer O. M.によってイオンドラッグポンプとして，磁性流体は1965年にPapell S.S.によって無重力空間における液体燃料の流れを磁場によって制御するための流体として，それぞれ初めて提示あるいは創製されている．これらのいずれの機能性流体も，機能性を発現させるための外場として電場あるいは磁場を用いており，電磁気学・電気化学などの学問領域に立脚し，電気的に容易に制御可能ということで応用に際しての簡便性に配慮した開発が行われて

いるようである．この方向性は機能性流体を実用に供するという観点から的を射ており，これらの機能性流体の開発・提案を起源として，その後，新たに発展的な優れた機能性流体が創製され，その機能性の評価，機能発現のメカニズムの解明，そしてマルチスケール流動特性解析など流体力学的な観点からのアプローチもなされ，それらの固有の機能性を有効に活用した特徴的な応用デバイス・システムの開発がさまざまな分野で展開されてきており，いくつかの機能性流体は実用に供され現在にいたっている．

本書では，フルードパワーシステムに応用可能な機能性流体として，外場として電場あるいは磁場を印加することによって機能性が発現する，電気粘性（ER）流体，磁気粘性（MR）流体，電気流体力学（EHD）現象を呈する流体，磁性流体・磁気混合流体，そして機能性ソフトマテリアルを取りあげ，それらの機能性およびその機能発現メカニズムの基礎から種々の分野への特徴的な応用展開およびその可能性までを入門レベルでわかりやすく解説している．その目次概要と執筆者，および各章の概要を記述して本書の紹介とする．

## 2. 目次概要と執筆者

本書は，第1章～第6章で構成されており，その目次の章と節，およびその執筆者は下記のとおりである．

第1章　緒言（中野政身（東北大））
1.1 機能性流体の概念と種々の機能性流体
1.2 レオロジーの基礎
1.3 おわりに
第2章　電気粘性（ER）流体
2.1 電気粘性（ER）流体の概要（中野政身（東北大））
2.2 粒子分散系ER流体（中野政身（東北大））
2.3 均一系ER流体（液晶）（吉田和弘（東工大））
第3章　磁気粘性（MR）流体（中野政身（東北大））
3.1 MR流体
3.2 MR流体多孔質コンポジット
3.3 ドライMR流体
第4章　電気流体力学現象を呈する流体
4.1 電気流体力学現象（柳田秀記（豊橋技科大））
4.2 電界共役流体（ECF）（横田眞一（東工大），竹村研治郎（慶應大））
4.3 ECFの応用（横田眞一（東工大））
4.4 EHD現象としての応用（三井和幸（東京電機大））
第5章　磁性流体・磁気混合流体（西田均（富山高専））
5.1 磁性流体（MF）
5.2 磁気混合流体（MCF）
第6章　機能性ソフトマテリアル
6.1 電気粘着ゲル（柿沼康弘（慶應大））
6.2 EAPソフトアクチュエータ（藤原由紀乃，奥崎秀典（山梨大））
6.3 MRエラストマー（中野政身（東北大））

## 3. 各章の概要

第1章では，機能性流体の概要をとらえられるように，緒言として，機能性流体の概念を示し，機能性流体として，ER流体，MR流体，EHD効果を呈する流体，磁性流体，機能性ソフトマテリアル，およびShear-Thickening流体などの代表的な機能性流体を取り上げ，これらの機能性流体の種別ごとにその機能性と特徴について概観しながら，簡単に研究開発・応用の動向について記述されている．さらに，本書で取り上げる機能性流体がその機能性として流体のレオロジー特性を変化できる流体が多いことから，その理解を促すためにレオロジーの基礎について概説されている．

第2章では，外部電場の作用のもとでそのレオロジー的性質が大きく変化する現象，いわゆるER効果を示す電気粘性（ER）流体を取りあげ，これまで開発されてきたER流体を組成とER効果の違いから，粒子分散系ER流体と液晶に代表される均一系ER流体に分類し，それぞれのER流体の機能発現メカニズムとER効果の特性や流動特性について詳述されている．ER流体の種々の特徴的な工学分野への応用展開として，粒子分散系ER流体を作動媒体とする，ERダンパと振動制御への応用，ERバルブのPWM流量制御とマイクロアクチュエータへの応用，ER点字表示システム，そして，均一系ER流体としてのネマティック液晶を作動媒体とする，MEMS技術を用いて作成したERマイクロバルブ，ERマイクロアクチュエータ，およびERマイクロフィンガシステムなどの研究事例が紹介されている．

第3章では，外部磁場の作用のもとでそのレオロジー的性質が大きく変化する現象，すなわちMR効果を示す磁気粘性（MR）流体を取りあげている．オイルを分散媒として数mmサイズの強磁性体粒子を分散したMR流体，そのMR流体を不織布などの多孔質体に含侵させたMR流体多孔質コンポジット，そしてオイルフリーの強磁性体粒子の粉体からなり流動性を高めたドライMR流体に関して，それぞれのMR効果発現メカニズムと特徴，そしてMR効果の特性や流動特性について記述されている．MR流体の特長的な応用事例として，拮抗型ベローズMR流

体ダンパを用いた除振脚のセミアクティブ振動制御，永久磁石を用いた変位×速度依存型パッシブ式MR流体ダンパと免震制御，MR流体クラッチ活用アクティブ負荷機とその下肢筋力評価・訓練システムへの応用，下肢パワーアシスト用MR流体アクチュエータ，モータ用励磁作動型・無励磁作動型MR流体ブレーキ，小型MR流体ブレーキ膝継手を用いた随意制御大腿義足，車両用MR流体ブレーキとその超小型EVへの適用，そしてMR流体の実用化・製品化の動向としてMR流体ショックアブソーバの車両サスペンションへの実用化やMR流体研磨加工機の製品化などの事例が紹介されている．MR流体多孔質コンポジットの特徴を活かした応用として，MR流体多孔質コンポジットブレーキとそのコイル巻線用線材張力制御装置への応用，MR流体多孔質コンポジット回転ブレーキを活用した直動型可変減衰力MRダンパとその免振制御への応用事例が紹介されている．ドライMR流体の応用としては，ドライMR流体が比較的過酷な使用条件にも耐えることから，車両用ブレーキへの適用とその超小型EVへの実装および走行試験に関して紹介されている．

第４章では，誘電液体に高電界を与えると液体内部に電気的な力が発生して流動が生じる電気流体力学（EHD）現象を呈する機能性流体を取りあげている．その現象の発現機構に関してモデル解析によって詳述し，EHDポンプを対象にその数値解析結果が提示されている．EHD現象を呈する誘電液体の中でも特に強い流動を呈する電界共役流体（ECF）に関してもその発現機構が詳述され，解析モデルによるシミュレーションによってその効果について解説されている．EHD現象の応用事例として，ECFのマイクロモーター，液冷用ポンプ，およびソフトアクチュエータ用のマイクロ液圧源などへの応用，EHD現象を活用した多段EHDポンプを適用した人工筋ロボットアーム，揺動型アクチュエータとその多関節ロボットへの応用などが紹介されている．

第５章では，粒子表面を界面活性剤処理した10 nm程度の強磁性体微粒子を水やケロシンなどの分散媒中に高濃度に分散したコロイド溶液である磁性流体（MF）を取りあげている．磁性流体は，磁場印加により磁気体積力などが発生し若干の粘度変化も生じる．その分散安定性や磁化特性，磁場下での流動特性と粘度特性，そして磁場勾配下で発生する磁気体積力による磁気的エネルギーなどについて概説されている．磁性流体の実用化された応用事例として，比重差選別，研磨，回転軸用シール，音響スピーカ，そしてエネルギー変換装置などへの応用が紹介されている．

さらに，磁性流体と磁気粘性（MR）流体を混合した磁気混合流体（MCF）を取りあげている．磁気混合流体は混合した両流体の機能性をあわせもつ特徴があるが，その組成，磁化特性，流動特性と粘度特性などと関連付けてその特徴的な機能性について概説されている．MCFの研磨加工への応用事例が取りあげられ，MCF研磨の研磨原理，さまざまな被加工物への適用とともに，その加工特性にかかわるMCFの機能性と特性について解説されている．さらに，MCFのダンパへの応用例も紹介されている．

第６章では，電磁場に反応して表面性状や粘弾性特性が変化したり，大きく変形したりする機能性を発揮する機能性ソフトマテリアルとして，電気粘着ゲル，EAP（Electro-Active Polymer）ソフトアクチュエータ，およびMRエラストマーを取りあげている．

電気粘着ゲルは，ER流体の粒子をゲルに分散し固化したもので，電気的にそのゲルの表面の粘着性を変化できる機能性を発揮する．この電気粘着ゲルの創製方法や特徴，電気的に粘着性が変化する原理．物理的特性，そして多板クラッチ，フィクスチャなどへの応用事例が紹介されている．

EAPソフトアクチュエータは，電場に応答して大きな変形をする各種の機能性高分子材料からなり，ここでは，イオン電導性高分子，導電性高分子，カーボンナノチューブ，コイル状高分子，誘電エラストマー，液晶エラストマー，圧電性高分子，静電フィルムなどからなるソフトアクチュエータの作動原理，特性と特徴，そして応用について解説されている．

MRエラストマーは，磁場に反応して粘弾性．特に弾性的特性が大きく変化する機能性を発揮する．その創製方法や機能性発現メカニズム，粘弾性の変化特性，そして応用事例として，積層MRエラストマー可変剛性吸振器とその適応同調吸振器への応用，積層MRエラストマー基礎アイソレータと免震制御への応用，そして粒子配向MRエラストマーのせん断変形による磁気特性変化を利用した振動発電について紹介されている．

## 4. おわりに

本書が，実際に機能性流体に関する研究・開発に携わっている研究者・技術者のみならず，機能性流体とその応用に興味のある大学院生や若手技術者の必読の書として，その一助となれば幸いである．

本書の出版の企画に関わられた創立50周年記念事業実行委員会の関係各位に御礼を申し上げる．本学会では，2001年８月に学会名を「日本油空圧学

会」から現在の「日本フルードパワーシステム学会」へと名称を変更している．油空圧分野だけでなく，機能性流体や水圧分野などさまざまなフルードパワーを対象とした学会活動の展開を期してのことであり，現に，1990年代頃から機能性流体に関する研究発表や研究委員会の設置（1996年から７回（各３年））と活動が活発に行われてきている．本書の分担執筆もこの研究委員会の委員の方々に依頼している．ご多忙な中執筆を快諾いただいた執筆者各位，並びに出版へと運んでいただいた日本工業出版㈱にあらためて謝意を表する．

（原稿受付：2021年７月14日）

**会　告**

## 日本フルードパワーシステム学会<br>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．

## 2021年度オータムセミナー<br>「機能性流体入門―基礎と応用―」<br>開催日時：2021年11月19日（金）10：00 ～ 17：00<br>会　　場：オンライン開催（zoom）※会場での開催はございません

機能性流体は，外部からの刺激によりその物理・化学的性質を制御できる流体であり，多様な分野への工学的応用が期待されている基盤技術です．本セミナーでは，学会創立50周年事業として出版された「機能性流体入門―基礎と応用―」をテキストとして，各種機能性流体の機能性およびその機能発現の基礎から各種分野への応用およびその可能性までを入門レベルでわかりやすく紹介します．詳細は学会ホームページに随時掲載いたします。皆様の積極的なご参加を心よりお待ちしております．

会議報告

# The 10th International Conference on Fluid Power Transmission and Control（ICFP 2021）におけるフルードパワー関連技術の研究動向

著者紹介

吉田和弘（よしだかずひろ）

東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259－R2－42
E-mail：yoshida@pi.titech.ac.jp

1989年東京工業大学大学院博士課程修了，同大学助手，助教授（准教授）を経て2015年4月教授．2008年10月～2009年3月米国UCSB客員研究員，2015年7月～9月米国MIT客員研究員．機能性流体，パワーマイクロロボットの研究に従事．JFPS，JSME，IEEEなどの会員．工学博士．

## 1. まえがき

International Conference on Fluid Power Transmission and Control（ICFP）は，4年に1回，中国杭州の浙江大学において開催されているフルードパワーに関する国際会議である．世界的な新型コロナウイルス感染症の拡大により，2021年4月11～13日（講演会は4月12日，13日）に開催された第10回会議は，対面発表とオンライン発表を組み合わせた形式で開催された．中国内の参加者は会場に集まり対面形式で発表，質疑応答が行われ，そのリアルタイム映像がビデオで配信された．一方，中国外の発表者は事前にビデオを撮影して事務局に送り，現地で再生する形式で行われた．質問は発表者にメールで連絡することになっていた．中国外の参加者は，リアルタイムでビデオを含む発表を聴講するとともに，録画された発表をオンデマンドで聴講できるようになっていた．

著者は，キーノート講演と一般講演の2件の発表をビデオにより行った．また，できる限り多くの発表の聴講を行った．このような事情で，不十分な点はあると思われるが，本国際会議におけるフルードパワー関連技術の研究動向について報告したい．

## 2. 一般講演の内訳[1)]

ICFP 2021では，一般講演のセッションとしてIntelligent Fluid Power (2)，Renewable Energy (2)，Mobile Hydraulics (2)，Industrial Hydraulics (2)，Light Hydraulics，Control Systems (2)，Modelling and Simulation，Sensors and Actuators (2)，Hydraulic Pumps (2)，Valves，Friction and Sealing，Fluid Media and Contamination，Fundamentals and Fluids，Pneumatic Components，Pneumatic Systems，Water Hydraulics (3)の全25のセッションが用意され，5講演室によるパラレルセッション形式で，合計115件の一般講演があった．

研究発表の内訳は，油圧関連75件（ポンプ15件，バルブ6件，アクチュエータ11件，システム27件，シール6件，その他10件），空気圧関連20件（バルブ2件，アクチュエータ6件，システム6件，シール1件，その他5件），水圧関連13件（ポンプ2件，バルブ4件，アクチュエータ3件，システム3件，その他1件），機能性流体関連2件（ポンプ1件，バルブ1件），その他5件であった．油圧関連の研究発表が全体の65%を占め多く，空気圧関連は17%，水圧関連は11%であった．機能性流体は少なく2%であった．

## 3. 基調講演の概要[2)]

ICFP 2021では，表1に示す13名による基調講演が行われた．これらの基調講演がフルードパワー関連技術の研究動向の情報になると考え，以下，各基調講演の概要について紹介する．

K. Schmit（基調講演1）は，建機などの油圧式移動機械の技術動向について概観していた．労働者不足，生産性増加の要求，事故防止などのため，不規則な環境で自動化を図るため，AI技術などを用いた運動制御，遠隔制御などに関する事例が紹介された．

E. Angue（基調講演2）は，圧電素子を応用したバルブ技術について概観していた．圧電素子の特性に基づき高精度流量，高精度圧力，速度制御，質量流量制御を実現する圧電駆動バルブと，運動制御，ロボットなどへの応用事例が紹介された．

A. Vacca（基調講演3）は，EHA（電気静油圧アクチュエータ）を用いた建機の高効率な電動駆動について概観していた．電動ポンプと油圧シリンダを直結したEHAの特性，設計などについて説明され，

表１　ICFP 2021の基調講演者リスト

| No. | Speaker (affiliation)/Title |
|---|---|
| 1 | Prof. Katharina Schmitz (RWTH Aachen University)<br>Future mobile machinery from vision to mission |
| 2 | Mr. Eric Angue (Festo (China) Automation Ltd.)<br>Piezo technology and application |
| 3 | Prof. Andrea Vacca (Purdue University)<br>An efficient drive technology for electrified off-road vehicles |
| 4 | Prof. Kazuhiro Yoshida (Tokyo Institute of Technology)<br>Recent developments of micro hydraulic system technologies |
| 5 | Prof. Jouni Mattila (Tampere University of Technology)<br>Towards high-performance and energy-efficient system of systems control of heterogenous heavy-duty mobile manipulators |
| 6 | Prof. Wieslaw J. Fiebig (Wroclaw University of Science & Technology)<br>Potential for noise reduction in fluid power units |
| 7 | Prof. Huayong Yang (Zhejiang University)<br>Development of 3D technology from fluid power components to bioprinting |
| 8 | Dr. Robert Rahmfeld (Danfoss Power Solutions)<br>Hydrostatic machines for the future |
| 9 | Prof. Andrew Plummer (University of Bath)<br>Artificial ventilation of the human respiratory system: modelling and optimization |
| 10 | Prof. Zongxuan Sun (University of Minnesota)<br>Efficient and precise control of fluid power systems |
| 11 | Dr. Steffen Haack (Bosch Rexroth AG)<br>Industrial hydraulics: now - next - beyond |
| 12 | Prof. Jean-Charles Mare (INSA Toulouse)<br>Why switching from hydraulic to electric actuation in aerospace is not so simple? |
| 13 | Prof. Petter Krus (Linköping University)<br>The impact of digital-and green transformation on mobile hydraulic systems |

具体的な応用事例が紹介された．

K. Yoshida（基調講演４）は，マイクロ液圧システム技術として，機能性流体ERFを用いたフレキシブルERマイクロバルブ（FERV），交流圧力源を用いた多自由度駆動マイクロシステム，流体慣性を用いた高出力FIマイクロポンプを紹介していた．

J. Mattila（基調講演５）は，建機のための異種重負荷移動マニピュレータの制御技術について概観していた．非線形モデル規範制御，仮想分解制御などの制御手法が説明され，複数ロボットの協調制御などの事例が紹介された．

W. J. Fiebig（基調講演６）は，油圧ユニットの騒音低減技術について概観していた．大気，作動流体，構造体を介して伝ぱする騒音の数学モデルを用いたシミュレーション，測定結果などが示され，騒音低減の手順について説明された．

H. Yang（基調講演７）は，フルードパワー要素から生体材料までの3Dプリント技術について概観していた．フルードパワー要素の金属3Dプリント技術が説明され，EHAの製作事例が紹介された．また歯科用，バイオプリントなどについて紹介された．

R. Rahmfeld（基調講演８）は建機などに応用する静油圧機械について概観していた．デジタル容積式ポンプの高精度容量制御，カートリッジ増圧機，状態監視システムなどについて説明され，いくつかの開発事例が紹介された．

A. Plummer（基調講演９）は，ヒト呼吸器系に機械的に酸素供給を行うシステムについて概観していた．患者の呼吸器系のモデル化，シミュレーション結果などが説明され，２人の患者の酸素供給システムが紹介された．

Z. Sun（基調講演10）は，高効率で高精度なフルードパワー制御について概観していた．高圧力源と低圧力源を用いた圧力流量独立制御システムの構造，シミュレーション結果などが説明され，周波数応答解析，非線形制御などについて説明された．

S. Haack（基調講演11）は，産業用油圧システムの開発動向について概観していた．デジタル化，適応制御，オンラインパラメータ調整，メンテナンスなどについて説明された．また，高機能アクチュエータの研究事例が紹介された．

J.-C. Mare（基調講演12）は，航空機の電動化の困難性について概観していた．航空機ではパワー制御，漏れ，制御性，環境適合性の観点で電動化が検討されているが，機械的減速機による副作用などの課題があることが指摘された．

P. Krus（基調講演13）は，建機などの油圧式移動機械へのデジタル化，グリーン化の影響について概観していた．電動化について説明され，デジタルポンプ，航空機用アクチュエータなどの開発事例が紹介された．

## ４．あとがき

ICFP 2021におけるフルードパワー関連技術の研究動向について概観した．本国際会議は，対面とオンラインのハイブリッドの発表形式であったが，インターネット環境の影響のためか，音声が小さく聞きづらかったり，途中で回線が切れる場合があり，オンライン発表の難しさを感じた．新型コロナウィルス感染症の早期の収束を切に願っている．

**参考文献**

1）ICFP 2021 Conference Proceedings (Web), (2021)
2）The 10th International Conference on Fluid Power Transmission and Control (ICFP 2021) Final Program, (2021)

（原稿受付：2021年６月21日）

# What do you think of Japan?（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

著者紹介

ヴ　ディン　ヒエップ
**VU DINH HIEP**
東京計器株式会社
〒327-0816　栃木県佐野市栄町１－１
E-mail：d-u@tokyo-keiki.co.jp

2007年ハノイ工科大学機械工学部を卒業，同年来日．2014まで自動車部品メーカ勤務．2015年に東京計器㈱に入社．油圧加工部品の生産準備に従事．

## 1．はじめに

**自己紹介：**

私はベトナムのバクニン省で生まれ育った．

バクニン省はハノイ市中心部から東北に30キロ離れた位置にあり，ベトナムで一番小面積の省である．

2006年のハノイ工科大学機械工学部最終学年（５年生）の時に，日本の人材サービス会社から奨学金をもらって，大学に通いながら日本語センターで１年間日本語を学んだ．卒業した年の11月に来日してから，14年が経過し，現在は栃木県に在住している．

**来日の理由：**

私は大学の時から海外で働きたいという夢があり，日本企業とハノイ工科大学の連携による日本で働くエンジニア向けの選考に合格し，来日した．当時の日本はGDPランキング世界第２位で日本の自動車業界や工作機械などの技術がとても発展していた国であり，魅力的であったこと，そして連続テレビ小説「おしん」や「ドラえもん」などの漫画がベトナムでも放映され，日本に興味があったことが理由である．

**現在の所属機関とその研究/仕事内容：**

現在，私は東京計器㈱油圧制御システムカンパニー佐野工場 生産技術部に勤めており，国内生産ラインと海外拠点（ベトナム）生産ラインの立ち上げや油圧加工部品の生産準備など（工程設定・治工具設計・加工プログラム作成等）に従事している．また，生産性向上のための改善業務も手掛けている（写真１）．

写真１　ベトナム社員への機械加工指導（右端が筆者）

## 2．日本の印象

### 2.1　来日直後の第一印象

中部国際空港に到着し，空港から会社の寮へバスで移動した際に，自動車が想像より多く通行していたこと，そしてもっとも驚いたのはクラクションが１回も聞こえなかったことである．ベトナムではバイクの通行量が多く，クラクションが途絶えることがない交通環境が染み付いていたので，異国に来たことを実感した．

### 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：**

来日前に「日本人は勤勉であり，働きすぎである」ということを耳にしていたが，実際に配属された職場の多くの方が遅くまで残り，仕事をしているのを見て，納得した．計画した業務の遅れや緊急業務に対応しているようであり，日本人の責任感の強さを感じた．また，計画の立て方とその管理の仕方がとてもすばらしいと感じる．なぜなら計画策定では，短期計画だけではなく長期計画も考えており，目標までのプロセスを描いていることである．さらに，定期的なミーティングで計画の進捗管理をメンバ間で共有し，目標必達を図っている．目標必達の執念が感じられる．

また，多部署で編成されるプロジェクトを頻繁に

立ち上げ，課題の早期解決を図っている．チームを結成してお互いの意見を出し合い，新しいアイデアや個人の限界を超える力を生み出している．個人の成果を重要視してきた私にとって日本人の全体成果を優先する考え方は，一番参考になる考え方である．今では，他部署とのコミュニケーションや情報共有などが，いかに重要であるか理解している．

**日本に滞在中に自分が最も変わった点：**

日本は時間に厳しい国である．電車やバスの時間などはほとんど遅れることなく，定刻発車が当然であり，また，日本人は仕事だけでなく，プライベートでも他人と約束した時間を守る習慣が備わっている．日本の社会では，時間を守らない人は信頼されないということを理解し，私も約束の時間を守ることを心掛けている．また，ミーティングなどで重要と思われる内容をメモすることで，忘れないようにする習慣も身に付いている．

### 2.3　生活に関して

**日本の生活で困ったこと：**

日本に来た当時は，日本語があまりわからなかったため，生活にはさまざまな困難があった．特にゴミの分け方と出し方が良く理解できず，ゴミ分別の間違いがあったり，曜日で捨てられるゴミが違ったりして部屋に戻され，隣人から注意されることもたびたびあった．ベトナムではゴミの分別ルールはなく，社会で大きな問題となっているが，生活面でも環境配慮の違いに困惑した．現在，特に悩まされているのは花粉症である．花粉症は日本人だけではなく，長く住むと外国人も患うようで，私は来日５年目で発症し，目のかゆみ，鼻水に困っており，薬が欠かせない体になってしまった．

**日本の生活でよかったこと：**

日本は医療機関・交通機関・教育・社会保険制度などがとても充実している国であり，差別なく誰でも平等に利用できるので，とても助かっている．また，教育面もすばらしく，日本の学校では学科を勉強するとともに体力強化の教育も行われており，日本人の体力の基礎を作っていると思われる．子供の教育環境が充実しており，子育てのしやすい国だと感じている．

**最も興味ある日本の文化：**

日本は経済を発展させているだけでなく，伝統的な文化を守り，大切にしている国である．来日してから日本の伝統的な祭りや地元の食べ物作り（写真２）などを体験したことがある．私は，大型連休を利用して，お祭りを見学したり，観光地を散策したり，日本に在住しているベトナムの親友に合ったりすることが好きで，心と体をリフレッシュしている．

写真２　栃木県佐野市の名物耳うどんの作り方
（２列目が筆者の妻と子供）

## 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：**

日本で子供を育てたいので，これからも日本で働き，日本の社会に貢献したいと考えている．帰国の時期はまだ決めていないが，子供が社会人になってから，状況によっては，帰国を考えるかもしれない（写真３）．

写真３　小学校入学式の記念写真

**日本人へのメッセージ：**

日本は，母国ではないが，長く生活し，働いていると，第２の故郷のように感じている．また，来日してから多くの日本人の方々にお世話になり，こころから感謝している．日本では他国に比べて人口減少が進み，重大な課題となっている．ひとつの要因として日本人は勤勉で，働きすぎであり，家族や仲間と過ごす時間より会社で過ごす時間の方が多いからだと感じている．できるだけ働く時間と家族や仲間と過ごす時間のバランスが取れるように「よく働き，よく遊べ」の精神で，「元気なニッポンを取り戻そう」とお願いしたい．

（原稿受付：2021年５月25日）

トピックス

# 米国サンディエゴ駐在員日記

著者紹介

竹村（たけむら）　研治郎（けんじろう）

慶應義塾大学理工学部機械工学科
〒223-8522 横浜市港北区日吉3－14－1
E-mail：takemura@mech.keio.ac.jp

2002年慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士前期課程修了．同大学助手，東京工業大学助手，助教を経て，2008年慶應義塾大学専任講師，2019年より同教授．機能性流体などの研究に従事．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

筆者は日本学術振興会科学研究費助成事業国際共同研究加速基金の助成を受け，2019年６月から2020年３月に米国カリフォルニア大学サンディエゴ校での在外研究の機会を得た．当初，１年間の滞在を予定していたが，新型コロナウィルス感染症のパンデミックにより滞在期間を３ヶ月ほど短縮せざるを得ない状況となったが，現在も世界中が影響を受けているパンデミックという事態に外国で直面したからこそ体験し得たことも含めて，本稿で紹介したい．

## 2. カリフォルニア大学サンディエゴ校

カリフォルニア大学サンディエゴ校は９つのキャンパスを有するカリフォルニア大学（University of California, UC）に属する大学である（図１上段左）．UC各校はThe UC Systemという教育システムのもと，それぞれが独立して独自のカリキュラムを展開している．私が滞在したUCサンディエゴは，隣接するSalk 研究所（図１上段右）やSanford研究所などとともにバイオエンジニアリングに特に優れた研究成果を発信しており，サンディエゴ地域からは多くのノーベル賞受賞者が輩出されている．1987年にノーベル生理学・医学賞を受賞した利根川進先生もUCサンディエゴ，Salk研究所に在籍していた．学生数は学部，大学院を合わせて38,000名あまりで，いわゆる米国のパブリック・アイビーの一角を占める大学である．

サンディエゴの町は，カリフォルニア州でも最南端のメキシコ国境に位置し，ロサンゼルス，サンフランシスコに次ぐカリフォルニア州第３の都市である．太平洋に面した多くのビーチを擁しており，UCサンディエゴは世界的にも有名なLa Jolla（ラホヤ）ビーチに隣接した広大なキャンパスを有している．San DiegoあるいはLa Jollaといった地名からもわかるように，スペイン語圏である中南米の影響も強い地域のようである．また，近郊のMiramar海軍基地は映画トップガンの舞台としても知られ，日常的にキャンパスの上空を戦闘機や輸送機が飛行しているのを目にする．日本からは成田空港から直行便があり，ダウンタウン近くのサンディエゴ国際空港は交通の便も良い．一年を通して20～25℃程度で，朝夕は多少冷え込むものの，常春と言った過ごしやすい気候である．サンディエゴ，ビーチ，暖かい，といったイメージを持っていた筆者にとっては意外な涼しさであった．特に，UCサンディエゴが位置するLa Jollaは海からの風もあり，筆者が居住していたやや内陸のCarmel Valleyと比べるとひんやりとしていた．

図１　UCSDの図書館（上段左），Salk研究所（上段右），ラボメンバーと（下段）

## 3. サンディエゴでの研究生活

UCサンディエゴでは機械工学とバイオエンジニアリングの融合研究が盛んである．私もDepartment of Mechanical and Aerospace EngineeringのJames Friend教授の研究室（図１下段）に滞在し，Acoustofluidics（音響流体学）をベースとした細胞剥離に関する研究に取り組んだ．超音波振動子の一種である表面弾性波デバイスを利用して，培養基板上に接着した細胞に対して局所的に超音波を照射し，細胞10個程度を選択的に剥離する技術などを研究した．これにより，たとえば，培養中に現れた不要な細胞（iPS細胞からの未分化細胞など）を選択的に除去し，培養細胞の品質向上などに利用できる．

滞在当初，研究を開始するにあたってさまざまな講習やwebテスト，実技テストをパスしなければならないことに驚いた．一般的な研究に関するwebテストだけではなく，筆者が取り組んだ研究はクリーンルームを使用するものであったため，その講習とテストには時間を要した．クリーンルーム全般の講習を受けてテストに合格すると，自分が使う装置ひとつひとつの実地講習を受講し，実技テストに合格しなければならない．実技テストの枠も限られており，筆者の場合，初めてUCに滞在したこともあり，一般的な研究に関するwebテストから順番にパスする必要があったため，クリーンルームでひとりで装置を触れるまで３か月を要した．聞くところによると，UC他校での過去の事故を踏まえて，かなりシステマティックに事前講習と実技テストを行っているとのことであった．こうした苦労を経た研究成果の詳細は文献１）を参照いただきたい．

研究室での生活は極めて自由である．サバティカルでの滞在ということもあるが，すべてが自分のペースで計画できた．研究室のミーティングや教授との個別の打ち合わせはあるものの，Friend教授の研究室では他のメンバーも自律的に研究に取り組んでおり，サンディエゴで盛んなバイオスタートアップをめざして意欲的に研究している．私が滞在している間にも複数のメンバーが起業の段階に進んでいた．必死に３年間で学位をめざす，といった雰囲気はない．時間をかけてもアカデミアでできるだけの成果を出して，満を辞して起業．学位はその結果ついてくる，という感じさえ受けた．UCサンディエゴをはじめとしてサンディエゴ地域にはバイオエンジニアリングに関係する研究所，企業，投資家が集まり，優れたエコシステムが根付いているようである．

## 4. サンディエゴでの日常生活

先にも触れたが，サンディエゴは多くのビーチを擁し，サーフィンなどのマリンスポーツが盛んである（図２上段）．また，2021全米オープンゴルフの会場であるTorrey Pines GCもあり，アクティビティには事欠かない．メジャーリーグでは地元のSan Diego Padresだけではなく，車で１時間半ほどの距離にLos Angeles Angelsの本拠地アナハイムも近い（図２下段右）．ロサンゼルスも２時間半ほどで到着する．ディズニーランドやユニバーサルスタジオ，ハリウッドなども楽しめる．秋にはミラマー基地でのエアショーがあり，米軍ブルーインパルスによる航空ショーがある（図２下段左）．耳栓をしても爆音の戦闘機のショーは迫力があったが，ある意味複雑な思いを抱いたのも事実である．

こうしたサンディエゴの生活でもっとも多くの刺激を受けたのは中学２年の娘だろう．筆者自身は大学に行き実験をして家に帰るという生活で，最低限の英語が使えれば事足りていたし，どのような生活になるかはある程度想定できる範囲であった．一方，娘は突然，現地の公立中学に転校し，言葉も通じずに放り込まれたため，だいぶ苦労したようである．幸い周りの友人にも恵まれ，ハロウィーン，シークレットサンタ，バースデーパーティなどを満喫し，なんとか３月まで学校生活をサバイブしたことを娘には誇りに思ってもらいたい．

## 5. 新型コロナウィルス感染症

筆者のサンディエゴ滞在は新型コロナウィルス感

図２　サンディエゴ周辺のビーチ（上段），ミラマーエアショー（下段左），アナハイムエンゼルススタジアム（下段右）

染症のパンデミックによってあっけなく終了した．2020年に入り新型コロナウィルス感染症の話題が報道されるようになり，２月にはダイヤモンドプリンセス号からの米国人帰国者がサンディエゴ周辺の米軍基地に隔離されるといった報道が続いていた．米国内での感染者が確認されると状況は一変した．３月13日に大学にいた私に妻から電話があり，トランプ大統領の会見の様子が何かいつもと違うと言う．急いで帰宅し，取り急ぎスーパーに行ったところ棚は空っぽ（図３左）で，駐車場には警察が待機している状況であった．UCサンディエゴの先生が，本当に怖いのはウィルスより人，といっていた意味がなんとなく理解できた．そのまま，週明けにはUCサンディエゴはキャンパス全面閉鎖，３月19日にはカリフォルニア州がSTAY AT HOME ORDERを発出し，車もほとんど姿を消して，街の様子は激変した．航空会社によっては日米間のフライトの運休が報じられ始め，筆者は６月までの滞在を諦めて３月末に帰国した（図３右）．２月中旬にFriend教授のグループに加わったフランス人のポスドクが，サンディエゴに到着して１か月でようやくソーシャルセキュリティーナンバーを申請してこれから研究という時にキャンパスが封鎖となり，その後ほとんど大学に行くことなく12月にはフランスでの教員ポジションを獲得して帰国したのは気の毒である．

筆者の在外研究は新型コロナウィルス感染症の影響を受けたが，この危機を米国で経験したことからの学びもあった．ひとつは州知事などが連日，科学的なエビデンスを示しつつ会見する姿勢である．リーダーからの大枠のメッセージの後，必ず担当責任者や専門家がデータを示して説明する姿勢は印象的であった．もうひとつは，危機に対する研究者のすばやい反応である．先述のように，UCサンディエゴはキャンパス封鎖となったが，新型コロナウィルス感染症対策のプロジェクトが次々と立ち上がり，大学の許可のもと，すぐに始動した．私が所属していた研究室でも簡易的な人工呼吸器のプロジェクトが始まり，私が帰国した３月末にはプロトタイプが完成していた．コロナ以前はまったく取り扱っていなかったテーマであったが，研究室メンバーの行動力には驚かされた．さらに，その成果は６月には学術論文として発表している[2]．こうした行動力に刺激され，筆者も帰国後に教員学生の有志によって人工呼吸器，フェイスシールド，キャンパス換気状況の調査，リアルタイム換気モニタリングシステムなどの開発に取り組む慶應メドテックデザインプロジェクトを実施している[3]．

## 6. おわりに

サンディエゴでの筆者の在外研究は，研究活動のための多くの講習やテストに始まり，新型コロナウィルス感染症のパンデミックに終わった．研究成果を上げるという意味では，１年ほどの在外研究期間はどうも非効率である．しかし，パンデミックという危機を米国で経験したからこそ得られた学びも大きい．これからも，自然科学の専門家としての責任を感じ，いかにして社会に貢献していくべきかを考えていきたい．

図３　パンデミックで空っぽになった棚（左），帰国日に閑散としたサンディエゴ国際空港（右）

**参考文献**

1）Takumi Inui, Jiyang Mei, Chikahiro Imashiro, Yuta Kurashina, James Friend, Kenjiro Takemura, Forcused surface acoustic wave locally removes cells from culture surface, Lab on a Chip, Vol. 21, p. 1299–1306 (2021)

2）Aditya Vasan, Reiley Weekes, William Connacher, Jeremy Sieker, Mark Stambaugh, Preetham Suresh, Daniel E. Lee, William Mazzei, Eric Schlaepfer, Theodore Vallejos, Johan Petersen, Sidney Merritt, Lonnie Petersen, James Friend, MADVent: A low-cost ventilator for patients with COVID-19, Medical Devices & Sensors,Vol. 3, e10106 (2020)

3）http://www.takemura.mech.keio.ac.jp/medtech/

（原稿受付：2021年６月15日）

研究室紹介

# 関西大学機械工学科生産加工システム研究室

著　者　紹　介

廣岡大祐（ひろおか　だいすけ）
関西大学
〒564-8680 大阪府吹田市山手町３－３－35
E-mail：hirooka@kansai-u.ac.jp

2012年岡山大学大学院博士課程後期修了．同年関西大学システム理工学部助教，2019年同准教授．空気圧アクチュエータ，流量制御弁，空気圧機器の制御などの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，精密工学会などの会員．博士（工学）．

## 1．関西大学の紹介

関西大学は1886年に関西法律学校として開校し，1922年に大学（旧制）に昇格した．2022年には大学昇格100年を迎える．大阪府内に複数のキャンパスがあり，学生数は大学院生を含めると，３万人ほどになる．理工系学部は，1958年に機械，電気，化学，金属の４学科からなる工学部が発足し，2007年よりシステム理工学部，環境都市工学部，化学生命工学部の３学部体制となった．システム理工学部に所属する機械工学科は10研究室からなり，学科全体の１学年の定員は220名，大学院への進学率は３～４割程度である．機械工学科が所属するメインキャンパスである千里山キャンパスは大阪府吹田市にあり総面積35万㎡の広大な敷地を有する．

図１　関西大学正門

## 2．生産加工システム研究室

生産加工システム研究室は，機械工学科開設時に機械工作研究室として立ち上げられ，1983年に生産加工システム研究室と改称した．現在は，山口智実先生，古城直道先生，筆者（廣岡）の３名の教員で運営している．当研究室では，革新的な生産加工技術の実現をめざし，精密加工，機械加工，生産設備に関する研究を行っている．代表的な研究としてダイヤモンド工具を用いた精密切削に関する研究や，化学反応を利用したメカノケミカル超砥粒を用いた加工の研究がある．近年は空気圧制御機器の開発や，空気圧シリンダ制御の研究なども進めている．研究室の設備として，走査電子顕微鏡，レーザ顕微鏡，白色干渉計などの計測機器のほか，超精密微細加工機，超精密旋盤などの大型の加工機を備えている．2021年度の学生は院生９名，学部生21名である．機械工学科では，一定の要件を満たした学生が３年生の秋より，研究室に配属される制度があり，秋学期には所属学生が40名程度となる．研究室の行事としては，新４年生歓迎会（４月），中間発表打ち上げ会（８月），新３年生歓迎会（９月），最終発表打ち上げ会（２月）などがある．昨年度はすべての行事が実施できなかったため，遠隔での打ち上げ会を試みた．

図２　微細加工機

## 3. 研究紹介

本解説では，フルードパワーシステムに関係した研究テーマとして，小型の空圧サーボ弁である微粒子励振型流量制御弁の開発，制御弁の効率化について，また，シリンダ制御システムへの応用について紹介する．

### 3.1　微粒子励振型流量制御弁[1-2)]

微粒子励振型流量制御弁は筆者らが開発している小型で応答性が高く連続的な流量制御が可能な制御弁である．図３に制御弁の模式図と試作機を示す．この流量制御弁はオリフィス板，微粒子とオリフィス板を振動させる圧電素子から構成されている．オリフィス板には複数のオリフィスがあり，制御弁非駆動時には制御弁内部に供給された空気により，微粒子がオリフィス開口部に押し付けられる．駆動時には圧電素子によりオリフィス板を振動させ，微粒子に外力を加えることで，オリフィスが開き流量が変化する．圧電素子への印加電圧によりオリフィス板の振動振幅を変化させることで，オリフィスの開口数を調整し流量を連続的に制御することが可能である．この駆動原理を用いて，オリフィス板の変形形状の分布に合わせてオリフィスを配置し，オリフィスの開口条件を調節することで，印加電圧に対して比例的な流量調節を実現した[1)]．

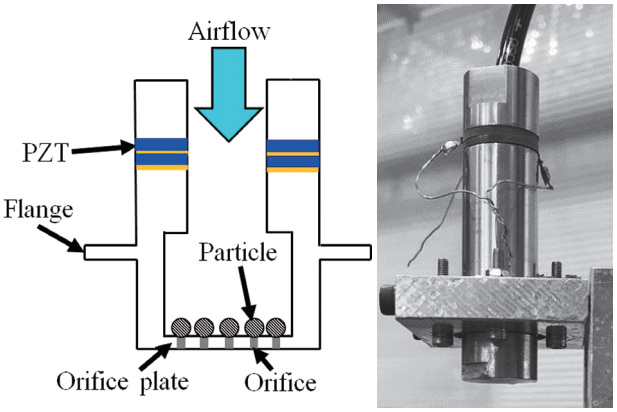



図３　制御弁模式図[1)]と試作機

この動作原理では弁体となる微粒子の位置決め用の機構が不要で制御弁の小型化が可能となる．また，圧電素子を駆動源としているので応答性も高い．この駆動原理を用いて，図４に示すようなφ10mmのオリフィス板と圧電素子を用いた2.5gの試作機を製作し，流量特性を評価した結果，0.7MPa印加時に73L/minの大流量の制御が可能であること，応答時間が約５msであることを示した[2)]．

図４ 小型試作機[2)]

### 3.2　制御弁の効率化[3)]

微粒子励振型流量制御弁の省電力化をめざして，制御弁の開口に必要な力が低減可能な，新たな駆動原理の研究を行っている．開口に必要な力の低減の方法として，図５に示すように，空気圧による押し付け力に対して，開口の際の力の方向を調整することが考えられた．力の向きを調節するには，オリフィス板に空気圧と直交方向の振動を加えることが有効である．そこで，図６に示すようなオリフィス板が円周方向に振動するねじり振動を用いることを提案した．専用の試作機を用いた実験により，この駆動原理を用いることで，オリフィス開口に必要な力を低減できることを示した．

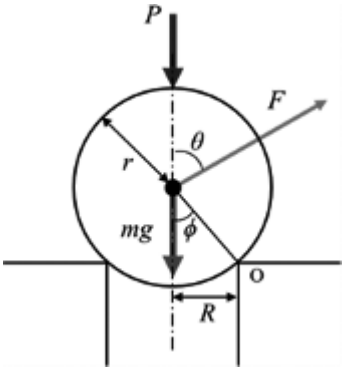



図５　微粒子にかかる力のつり合い[3)]

図６　ねじり振動[3)]

### 3.3　シリンダ制御システムの開発[4)]

空気圧シリンダ動作時の衝撃緩和をめざし，微粒子流量制御弁によりシリンダ制御を行うシステムの開発を行っている．システムの構成要素は，図7に示すようなシリンダ，シリンダ駆動用バルブ，圧力計，流量計である．シリンダには，光学式のリニアエンコーダが搭載されており，シリンダの位置情報，速度情報を取得することが可能である．このシステムではシリンダ駆動用バルブの排出側に流量制御弁を取り付け，メータアウト回路としてシリンダの速度調節を行う．また，シリンダに発生する振動をレーザードップラ振動計により測定することで，行程端での衝撃の評価を行った．この実験結果より，微粒子励振型流量制御弁を用いることで，通常の速度制御弁と同様にシリンダ速度の調節が可能なことを示した．また，応答性の高さによりシリンダの動作端点付近で減速することで，動作端点での衝撃を緩和できることを示した．

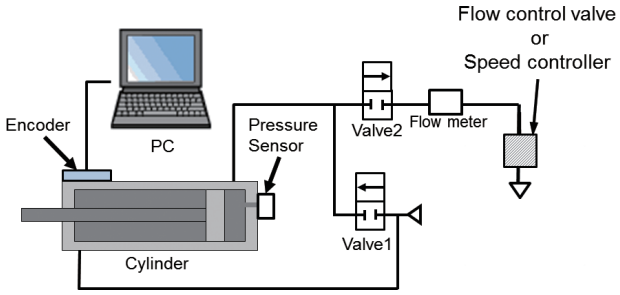



図7　シリンダ制御システム[4)]

## 4. おわりに

関西大学機械工学科生産加工システム研究室について，空気圧機器関連の研究を中心に紹介した．本研究室の特徴は学生数の多さと，幅広い研究テーマであると考える．研究テーマが違う学生同士での意見交換をする中で，新たな発見や，理解が進むことがある．学生数が多いことはそのような機会を増やす要因となる．一方で，昨年度よりの新型コロナウィルスの影響により，研究室での活動が制限され，学生間でのコミュニケーションがとりにくくなっている．今後事態が収束し，早く安定することを願う．

**参考文献**

1）D. Hirooka, T. Yamaguchi, N. Furushiro, K. Suzumori, T. Kanda：Optimization of Orifice Position in Particle-excitation Valve for Proportional Flow Control, ROBOMECH Journal, Vol. 4, 25, p. 1–11（2017）

2）D. Hirooka, T. Yamaguchi, N. Furushiro, K. Suzumori, T. Kanda: Particle-Excitation Flow-Control Valve using Piezo Vibration-Improvement for a High Flow Rate and Research on Controllability, 電気学会論文誌E（センサ・マイクロマシン部門誌），137巻，1号，p. 32–37（2017）

3）廣岡大祐，東一毅，古城直道，山口智実：微粒子励振型流量制御弁におけるねじり振動を利用した駆動原理の有効性評価，日本フルードパワーシステム学会論文集，50巻，1号，pp. 7–13（2019）

4）廣岡大祐，山口智実，古城直道，鈴森康一，神田岳文：微粒子励振型流量制御弁を用いた空気圧シリンダの速度制御，日本フルードパワーシステム学会論文集，46巻，2号，p. 7–13（2015）

（原稿受付：2021年6月22日）

企画行事

# 2020年度ウィンターセミナー開催報告

著者紹介

坂間清子（さかま さやこ）
産業技術総合研究所
〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1中央第２
E-mail : s-sakama@aist.go.jp

2015年法政大学大学院デザイン工学研究科博士後期課程修了．同大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター P.D，青山学院大学理工学部助教を経て，2020年産業技術総合研究所研究員．小形油圧ロボットの研究に従事．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３月10日，2020年度ウィンターセミナー「フルードパワーシステムにおける解析技術」が開催された[1]．本年度は新型コロナウイルス感染拡大防止のため，完全オンラインでの開催となった．また，本セミナーでは新たな試みとして団体参加での参加も受け付けた．本稿では，本セミナーの各ご講演の内容，また，ご参加いただいた皆様にご協力いただいたアンケートの結果の一部をご紹介し，本セミナーの概要を報告する．

## 2. 本セミナーの趣旨と各講演の概要

### 2.1　セミナー趣旨・概要

昨今，フルードパワー機器の設計開発，トラブルの原因特定や解決にシミュレーションは必要不可欠な技術となっている．本セミナーでは，すでに解析業務に従事されている方だけでなく，解析業務にこれから携わる方や解析技術に興味のある方にもご参考にしていただける内容とすることを目的として，下記のような構成でセミナーを開催した．

①斜軸式油圧モータの挙動計測と混合潤滑解析
　講師：東京工業大学　田中真二氏
②モデルベース開発のためのパラメトリックCAE活用法
　講師：KYB株式会社　永溝喜也氏，満嶋弘二氏
③CFDによる調節弁でのエロージョン発生の予測
　講師：アズビル株式会社　尹鍾晧氏
④OpenFOAMによる流れの解析
　講師：長崎総合科学大学　松川豊氏
⑤フリーディスカッション

本セミナーでは最後にフリーディスカッションの時間を設けた．昨年から新型コロナウイルスの影響で多くの学会，セミナーがオンラインでの開催となり，他の参加者との情報交換の場を設けることが難しくなっていることから，オンラインでも参加者同士の交流の場を設けたいと考え設定したものである．

### 2.2　斜軸式油圧モータの挙動計測と混合潤滑解析[2]

最初のご講演では，東京工業大学の田中真二氏より斜軸式油圧モータの挙動計測と混合潤滑解析について，その概要と結果をご紹介いただいた．建設機械の作業性向上のためにHydro-Static Transmissionに使用されている斜軸式油圧モータは高速化が求められ，しゅう動部の潤滑状態は厳しい状態となる．本ご講演では，油圧モータしゅう動部の負荷低減の方策を検討するために実施された油圧モータ内の部品の挙動の計測実験，また，油圧モータの機構解析としゅう動部の混合潤滑解析の結果についてご紹介いただいた．本ご研究の大きな特徴のひとつは，解析だけでなく事前に実機の計測実験が実施され，その結果をもとに現象に大きく影響をおよぼす要因を抽出し，解析では対象を限定してモデル化をしていることである．実験と解析のそれぞれの結果だけでなく，その結果が得られるプロセスも多くの聴講者にとって参考になるものであった．

### 2.3　モデルベース開発のためのパラメトリックCAE活用法[3]

２件目のご講演では，KYB株式会社の永溝喜也氏と満嶋弘二氏より，パラメータ設計を用いたパラメトリックCAE活用について，その方法と適用事例をご紹介いただいた．本ご講演でご紹介いただいた内容は，近年，さまざまな産業分野で導入が進んでいる製品の設計・開発プロセスにおけるモデルベース開発の高効率化を図るためのものである．ご講演の中でご紹介いただいた「パラメータ設計」を用いた製品の設計・開発の方法は，考慮すべき使用条件と検討すべき設計パラメータが多く存在する場合の実験回数を大幅に削減することを可能にする．因子を直交表に割り付けて実験またはCAE計算を実施し，安定性が高く，狙いの平均値を満たす設計パラメータの組み合わせを導き出す方法で，本ご講演では事

例を交えてそのプロセスを丁寧にご紹介いただいた．製品の設計開発プロセスでの利用を想定したご講演であったが，対象を限定せずに幅広く利用可能な方法であり，企業の方だけでなく，学生の皆さんにも参考にしてほしい内容のご講演であった．

### 2.4　CFDによる調節弁でのエロージョン発生の予測[4)]

３件目のご講演では，アズビル株式会社の尹鍾晧氏よりCFDを用いた調節弁でのキャビテーションエロージョンの発生を予測する手法についてご紹介いただいた．調節弁ではキャビテーションによりエロージョンが発生することがあり，キャビテーションの発生抑制，壊食の防止は調節弁の設計者にとって重要な技術課題である．本ご講演では，エロージョンを評価するための指標，また，その指標を用いたCFDによるエロージョンの可視化結果をご紹介いただいた．ご紹介いただいた評価指標によるエロージョンの可視化結果は実験結果とよく一致しており，有用性の高い評価方法であることが示されていた．キャビテーションエロージョンは調節弁に限らず油圧機器や水圧機器における大きな問題の一つであり，本ご講演は，キャビテーションエロージョンの問題に取り組む多くの技術者，研究者にとって有益な情報が非常に多く盛り込まれた内容であった．

### 2.5　OpenFOAMによる流れの解析

最後のご講演では，長崎総合科学大学の松川豊氏より無料で流れの数値解析が実施できる「OpenFOAM」についてご紹介いただいた．

OpenFOAMは，偏微分方程式を数値的に解くためのC++のライブラリであり，化学反応，乱流，熱伝達を含む複雑な流体の流れや，音響，固体力学，電磁気学等のさまざまな物理現象の解析を可能にする[5)]．本ご講演では，OpenFOAMを利用したことのない方を対象として，OpenFOAMの概要から使用方法までをご紹介いただいた．本ご講演では，ただ使用方法をご説明いただくだけでなく，実際にOpenFOAMを使ってモデルの準備から結果の表示までの解析の一通りの手順を示しながらご説明いただいた（図１）．非常に丁寧でわかりやすいご説明で，OpenFOAMを全く利用したことのない人でも簡単に導入可能であることがわかるご講演であった．CFDのソフトウェアは高額なものが多く，流体解析を実施したいと考えていてもソフトウェアを導入できないという方も多くいらっしゃるだろう．そういった方にはぜひ本ご講演の内容をご参考にしていただき，OpenFOAMを使って流体解析を試してみていただきたい．

### 2.6　フリーディスカッション

フリーディスカッションでは，特にテーマを設けずにご参加いただいた皆様から普段の業務や研究で気になっていることなどについてご意見をいただき，情報交換を行った．講師の方々へのご講演内容に関するご質問や，解析の手法に関すること，機械学習を利用した解析技術に関することなど，さまざまなご質問，ご意見を頂戴し，意見交換を行った．ご参加いただいた皆様のご協力のおかげで有益な情報交換の場となったが，セミナー終了後のアンケートでは，「事前にテーマを用意しておいた方がもっと盛り上がるのではないか」というご意見を多く頂戴した．今後またセミナーなどでフリーディスカッションを実施する機会があれば，いただいたご意見を参考に準備，進行を進めていきたい．

## 3.　開催方法に関するアンケート結果

### 3.1　オンライン開催について

本学会では初めて完全オンライン（Zoom）でセミナーを開催した．オンサイトでの開催と大きく異なる点は，参加者からのご質問やご意見は基本的にチャット機能を利用して受け付けた点である．図２は，オンラインでの開催とチャット機能の利用に関するアンケート結果である．

オンラインでの参加については，「時間を効率よく使うことができる」，「時間の制約がある中でも参加しやすい」，「withコロナへの対応として今後も継続してほしい」というご意見を多くいただいており，オンライン開催を今後も希望されている方が多くいらっしゃることがわかった．ただし，「できれば会場で参加したい」，「どちらでもよい」という方も多くいらっしゃることから，2020年度秋季講演会のようにオンラインとオンサイトの併催が理想といえるのかもしれない．チャット機能の利用については，図２(b)で示されるように多くの方が利用しやすいと感じていることがわかるが，「チャットでも問題はないが対面の方が質問しやすい」，「短い質問・コメントの場合はチャットで問題ないが，タイピングに時間のかかる質問・コメントをしたい参加者のための発言の方法やシステムを検討してほしい」などの貴重なご意見も頂戴した．また，その他に「Zoomではなく他のWeb会議ツールで実施してほしい」というご意見もいただいている．オンラインでの開催を継続していく場合は，多くの方が参加しやすく，オンラインであっても不便を感じることなくご参加いただけるよう適した実施方法を検討していく必要がある．

### 3.2　団体参加について

本セミナーでは初めて団体参加という形式を設けて申し込みを受け付けた．団体参加は，お申し込み１件につき１接続で，会議室等で人数制限なくご聴講いただける形式をとり，お申し込み１件の料金は個人参加料金３名分の料金とした．

個人と団体のそれぞれの参加者数の内訳を表１に

示す．個人でのお申込みは21件，団体でのお申込みは５件，団体でご参加いただいた方の合計人数は42名であり，個人・団体を合わせて63名と多くの方にご聴講いただくことができた．図３は，団体参加についてのアンケートの回答結果である．個人でご参加いただいた方は団体でご参加いただける環境になかった方も多かったようで，今後利用したいと感じている方は少なかったが，今回団体参加でご聴講いただいたご参加者のほとんどは「よかった」と感じていただいたことがわかる．具体的なご感想としては，「情報共有しやすい」，「社内で議論しながら聴講できる」，「参加のハードルが低く初めてでも参加しやすい」，「関係する部署，担当者を誘いやすい」，「手続きが楽で参加しやすい」などのご意見をいただいており，団体参加を取り入れた点については多くの方にメリットを感じていただけたことがわかる．今後も団体参加形式を継続していくことができるかはわからないが，ご参加いただく皆様にご意見を伺いながら，よりご参加いただきやすい方法を検討していきたい．

## 4. おわりに

2020年度ウィンターセミナーはコロナ禍での開催となったが，講師の皆様をはじめ，関係の皆様のご協力のおかげで多くの方にご参加いただくことができた．また，ご参加いただいた皆様にはアンケートにもご協力いただき，多くの貴重なご意見をいただいた．この場を借りてご協力いただいた皆様に心より感謝申し上げる．今後もセミナーなどのイベントの開催方法等は変わっていく可能性があるが，今回ご参加いただいた皆様からいただいたご意見を参考にし，多くの皆様にご満足いただけるイベントを開催できるよう検討していく所存である．今回ご参加いただくことがかなわなかった方も，ご意見やご要望等があれば是非学会にお寄せいただきたい．

**参考文献**


1）一般社団法人日本フルードパワーシステム学会：2020年度ウィンターセミナー資料「フルードパワーシステムにおける解析技術」(2021)
2）田中真二：斜軸式油圧モータの挙動計測と混合潤滑解析，フルードパワーシステム，Vol. 51，No. 5，p. 203-205 (2020)
3）満嶋弘二，永溝喜也：モデルベース開発のためのパラメトリックCAE活用法，フルードパワーシステム，Vol. 51，No. 5，p. 216-219 (2020)
4）尹鍾晧，斉藤健二：CFDによる調節弁でのエロージョン発生の予測，フルードパワーシステム，Vol. 51，No. 5，p. 216-219 (2020)
5）https://www.openfoam.com/

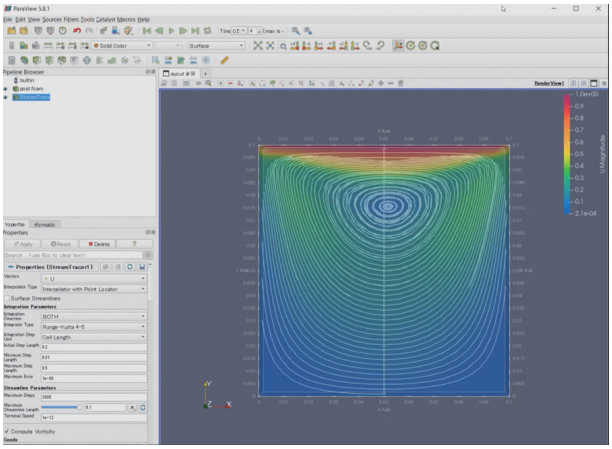
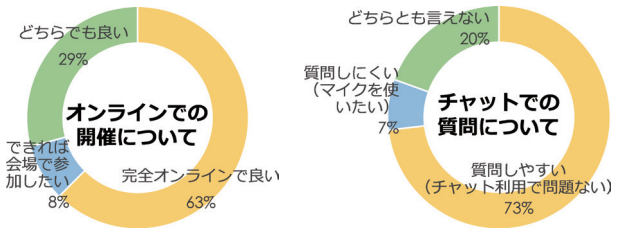



図１　「OpenFOAM」による流れの解析の講演の中でご紹介いただいた解析結果の例




(a)　オンライン開催について　(b)　チャット機能の利用について

図２　開催方法に関するアンケート結果

表１　参加人数

| 会員種別 | | 参加人数 | 合計人数 | |
|---|---|---|---|---|
| 個人 | 正会員 | 9 | 21 | 63 |
| | 賛助会員 | 5 | | |
| | ジュニア員 | 2 | | |
| | 学生会員 | 4 | | |
| | 永年会員 | 1 | | |
| 団体 | 正会員 | 31（4団体） | 42（5団体） | |
| | ジュニア員 | 11（1団体） | | |

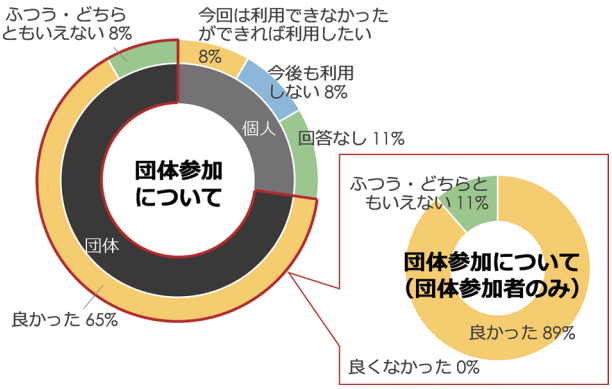



図３　団体参加についてのアンケート結果

(原稿受付：2021年６月15日)

会　告

## 〈理事会・委員会日程〉

| | |
|---|---|
| 7月15日 | 理事会 |
| 7月5日 | 論文集委員会 |
| 7月28日 | 企画委員会 |
| 8月4日 | 編集委員会 |

## 〈理事会報告〉

**2021年度第１回理事会**

7月15日　15：00～17：00

Web開催　（参加者21名）

⑴　国際シンポジウム函館2020開催準備状況
⑵　創立50周年記念セミナー・記念式典実施報告
⑶　2021年春季フルードパワーシステム講演会開催報告
⑷　2021年度学会賞各賞の選考委員
⑸　会員の推移
⑹　各委員会からの報告
⑺　その他

## 〈委員会報告〉

**2021年度第１回論文集委員会**

7月5日　15：00～16：30

Web開催　（参加者7名）

⑴　英文論文集の組版化
⑵　査読者への謝辞，感謝状
⑶　論文のテンプレートデザイン
⑷　査読プロセス・期間
⑸　査読者リスト
⑹　その他

**2021年度第１回企画委員会**

7月28日　15：00～18：00

Web開催　（参加者22名）

⑴　2021年春季フルードパワーシステム講演会開催報告
⑵　2021年度オータムセミナー準備状況
⑶　2021年度ウィンターセミナー準備状況
⑷　2022年春季講演会併設セミナーについて
⑸　その他

**2021年度第２回編集委員会**

8月4日　13：00～14：00

Web開催　（参加者18名）

⑴　会誌特集号の現状と企画
　1）Vol.52 No.E1「電子出版号－緑陰特集号」
　2）Vol.52 No.5「フルードパワーシステムとIoT・スマートファクトリー」
　3）Vol.52 No.6「AI技術とフルードパワー（案）」
　4）Vol.53 No.1「IFPEX2021」
　5）Vol.53 No.2「JFPS国際シンポジウム函館2020」
　6）Vol.53 No.3「合同企画（企画委員会）」
⑵　その他
　1）今後の特集について

# 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（8月10日現在） | 856 | 10 | 95 | 126 |
| 差引き増減 | －5 | ±0 | ±0 | ±0 |

正会員の内訳　名誉員16名・シニア員62名・ジュニア員101名・その他正会員677名

〈新入会員〉

正会員

市川　翔太（東京計器株式会社）
千葉　雄正（SMC株式会社）
水上　英紀（株式会社IHI）

会　告

# 共催・協賛行事のお知らせ

**後援・協賛行事**

**Dynamics and Design Conference 2021（D&D2021）**
主　　催：一般社団法人 日本機械学会
開 催 日：2021年9月13日(月)～9月17日(金)
会　　場：東京大学　駒場Ⅱキャンパス／オンライン開催
ＵＲＬ：https://www.jsme.or.jp/conference/dmcconf21/index.html

**第39回可視化フロンティア「流れの可視化講習会2021」**
主　　催：一般社団法人 可視化情報学会
開 催 日：2021年9月15日(水)～9月24日(金)
会　　場：オンライン開催
ＵＲＬ：https://www.vsj.jp/eventdetails/frontier39-piv2021.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9月19日(日)　上級アナリスト認定試験二次試験(熱流体力学分野)
2021年9月25日(土)　上級アナリスト認定試験二次試験(個体力学分野・振動分野)
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
ＵＲＬ：https://www.jsme.or.jp/cee/

**第34回計算力学講演会（CMD2021）**
主　　催：一般社団法人 日本機械学会
開 催 日：2021年9月21日(火)～9月23日(木)
会　　場：オンライン開催
ＵＲＬ：https://www.jsme.or.jp/cmd/conference/cmdconf21/index.html

**第26回フルードパワー国際見本市（IFPEX2021）**
主　　催：一般社団法人 日本フルードパワー工業会，産経新聞社
開 催 日：2021年10月6日(水)～ 10月8日(金)
会　　場：東京ビッグサイト 南1，2ホール（東京都江東区有明3－11－1）
ＵＲＬ：https://www.ifpex.jp/

**第64回自動制御連合講演会**
主　　催：システム制御情報学会，計測自動制御学会，日本機械学会，化学工学会，精密工学会，電気学会，日本航空宇宙学会
開 催 日：2021年11月13日(土)～ 11月14日(日)
会　　場：オンライン開催
ＵＲＬ：https://rengo64.iscie.or.jp/

**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
ＵＲＬ：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

**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

**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/

**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/

新型コロナウィ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

# 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

㈱IHI
アイシン・エィ・ダブリュ㈱
㈱明石合銅
アズビル㈱藤沢テクノセンター
アズビルTACO㈱
㈱アドヴィックス
アネスト岩田㈱
イートン㈱
出光興産㈱
イナバゴム㈱
イハラサイエンス㈱
㈱インターナショナル・サーボ・データー
㈱ウェーブフロント
㈱打江精機
エコ技術研究所㈾
SMC㈱
SMC㈱中国
㈱NF1
ENEOS㈱潤滑油カンパニー
㈱荏原製作所
㈱大阪ジャッキ製作所
大瀧ジャッキ㈱
オカダインダストリ㈱
鹿島通商㈱
㈱桂精機製作所
神威産業㈱
川崎重工業㈱精密機械・ロボットカンパニー
川崎油工㈱
川重商事㈱
㈱神崎高級工機製作所
キャタピラージャパン㈾
協和シール工業㈱
旭東ダイカスト㈱
㈱クボタ
KYB㈱
KYBエンジニアリングアンドサービス㈱
KYB-YS㈱
㈱工苑
甲南電機㈱
㈱古河製作所
㈱コガネイ
コスモ石油ルブリカンツ㈱
㈱小松製作所開発本部
㈱小松製作所試験センタ
㈱小松製作所油機開発センタ
㈱阪上製作所
㈱鷺宮製作所
佐藤金属㈱
三輪精機㈱
三和テッキ㈱
㈱ジェイテクト奈良
㈱ジェイテクト刈谷
CKD㈱
㈱島津製作所
勝美印刷㈱
ジヤトコ㈱
住友建機㈱
住友重機械建機クレーン㈱
住友重機械工業㈱
制御機材㈱
第一電気㈱
ダイキン工業㈱
ダイキン･ザウアーダンフォス㈱
大生工業㈱
㈱TAIYO
タイヨーインタナショナル㈱
ダイワ㈱
㈱タカコ
㈱タダノ
㈱都筑製作所
TMCシステム㈱
東京計器㈱
東京計器パワーシステム㈱
東京メータ㈱
東北特殊鋼㈱
東明工業㈱
東レエンジニアリング㈱
同和発條㈱
特許機器㈱
特許庁
TOHTO㈱
豊興工業㈱
㈱豊田自動織機
長津工業㈱
中西商事㈱
長野計器㈱
中村工機㈱㈱
ナブテスコ㈱
㈱南武
日新濾器工業㈱
日本アキュムレータ㈱
日本機材㈱
日本クエーカー・ケミカル㈱
日本工業出版㈱
日本精器㈱
日本製鉄㈱交通産機品カンパニー
日本電産トーソク㈱
（一社）日本フルードパワー工業会
日本ムーグ㈱
㈱野村商店
㈱ハイダック
日立建機㈱
㈱日立建機ティエラ
㈱日立製作所
廣瀬バルブ工業㈱
フエスト㈱
㈱フクダ
㈱不二越
産経新聞社東京本社
二見屋工業㈱
ボッシュ・レックスロス㈱
昌富工業㈱
マサモト㈱
㈱増田製作所
マックス㈱
松巳鉄工㈱
三國機械工業㈱
三菱電線工業㈱
ヤマシンフイルタ㈱
ヤマハモーターハイドロリックシステム㈱
㈱山本金属製作所
油研工業㈱
㈱ユーテック
理研精機㈱
リバーフィールド㈱
㈱レンタルのニッケン

## 編 集 室

### 次号予告

**―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
【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，中島　浩平
乱流の機械学習と制御　深潟　康二
AIを用いたハンディ油漏れ検出　大津　良司
物理モデリングを活用したAIによる予知保全　王　暁星
AIと制御系設計―モデルベース開発環境を利用した強化学習―　村山　栄治
【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
【会議報告】
ロボティクス・メカトロニクス講演会2021（ROBOMECH2021 in Osaka）における
フルードパワー関連技術の研究動向　塚越　秀行
【トピックス】
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
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
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
【研究室紹介】
長崎総合科学大学松川研究室　松川　豊
【企画行事】
春季講演会　酒井　悟

### 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（㈱小松製作所）
伊藤雅則（東京海洋大学）
猪飼暢崇（CKD㈱）
加藤友規（福岡工業大学）
窪田友夫（KYB㈱）
栗林直樹（川崎重工業㈱）
五嶋裕之（㈱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㈱）
谷口浩成（大阪工業大学）
寺澤達士（油研工業㈱）
中野政身（東北大学）
中山晃（日立建機㈱）
藤田壽憲（東京電機大学）
丸田和弘（㈱小松製作所）
村岡裕之（㈱コガネイ）
山田真の介（㈱TAIYO）
吉満俊拓（神奈川工科大学）
担当理事　伊藤和巳（KYBエンジニアアリングアンドサービス㈱）
学会事務局　成田晋
編集事務局　竹内留美（勝美印刷㈱）
（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．

フルードパワーシステム Vol. 52 No. 5

昭和47年10月19日第４種学術刊行物認可
2021年９月15日発行　　（奇数月）

〒105―0011
東京都港区芝公園三丁目五―二二　機械振興会館別館一〇二　電話（〇三）三四三三―八四四一　FAX（〇三）三四三三―八四二一
編集兼発行人　一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会　振替口座　東京〇〇一一〇―三―一三三六九〇

東京都文京区白山一―一三―七　アクア白山ビル五階
印刷所　勝美印刷株式会社

本紙広告取扱　株式会社 産業企画　東京都港区新橋6-22-2 佐藤ビル　〒105-0004
TEL. 03-3437-0057　FAX. 03-3437-9868　www.sanki.asia　E-mail　sanki@sanki.asia