昭和47年10月19日第4種学術刊行物許可　2020年5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

May. 2020　Vol. 51　No. 3

特集「ターボ機械最前線」

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51巻　第3号　2020年5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「ターボ機械最前線」

【巻頭言】
「ターボ機械最前線」発行にあたって　梅村　哲郎　94

【解説】
トルクコンバータ設計とその動向　山口　健　95
心不全治療に用いられるターボ型ポンプ　築谷　朋典　98
プラズマとライダーを用いた大型風車の高性能化技術の開発　田中　元史，川端　浩和，小垣　哲也　101
ターボ分子ポンプ　石森　康禎　106
ターボ機械高性能化を支える高精度流れ解析技術　黒澤　貞男　110
小型ターボジェットエンジンの開発　市村修太郎　115

【会議報告】
MoViC2019におけるフルードパワー技術研究の動向　田中　豊　118
ASME/BATH 2019 SYMPOSIUM ON FLUID POWER AND MOTION CONTROL（FPMC2019）に参加して　増田　精鋭　120
計測自動制御学会・流体計測制御シンポジウムにおける研究動向　吉満　俊拓　122
ICFD2019におけるフルードパワー関連研究　中野　政身　125

【トピックス】
学生さんへ，先輩が語る－空気圧機器メーカーで働いて思うこと－　針谷　修生　128
Youは日本をどう思う？第14回：マレーシアから日本に留学して　ジョシュア　ティオン　シュウ　カイ　131
香港駐在員日記　平出　博一　134

FLUID POWER SYSTEM

【研究室紹介】

苫小牧高専　小薮研究室紹介　米山　京吾，加賀谷浩太　137

【企画行事】

2019年度オータムセミナー開催報告「アディティブ・マニュファクチャリングの最新技術と適用事例
－フルードパワー分野への活用法を考える－」　川島　正人　140

【会告】

新型コロナウイルス感染拡大に対する本学会の対応について　143
理事会・委員会報告　143
学会創立50周年特別会費（賛助金）の受付状況　144
講演会と記念式典・祝賀会などについてのお知らせ　145
会員移動　145
共催・協賛行事のお知らせ　146
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　147
次回予告　148

■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. 51, No. 3 May 2020

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

Special Issue "The Leading Edge of Turbomachinery"

【Preface】

On the Special Issue "The Leading Edge of Turbomachinery" — Tetsuo UMEMURA — 94

【Review】

Design Methods of Torque Converter and its Trend — Takeshi YAMAGUCHI — 95
Turbopumps for Treatment of Heart Failure — Tomonori TSUKIYA — 98
Wind Turbine Performance Improvement using the LIDAR Assisted Turbine Control and the Plasma Aerodynamic Control Technology — Motofumi TANAKA, Hirokazu KAWABATA, Tetsuya KOGAKI — 101
Introduction to Turbo Molecular Pump — Yasutada ISHIMORI — 106
High Accuracy CFD Supporting Development of High Performance Turbomachinery — Sadao KUROSAWA — 110
Development of a Small Turbojet Engine — Shutaro ICHIMURA — 115

【Conference Report】

Research Trend of Fluid Power in MoViC2019 — Yutaka TANAKA — 118
REPORT of the ASME/BATH 2019 SYMPOSIUM ON FLUID POWER AND MOTION CONTROL — Seiei MASUDA — 120
A Research Trend of Fluid power in FLCOME-J of SICE — Toshihiro YOSHIMITSU — 122
Researches Related to Fluid Power in ICFD2019 — Masami NAKANO — 125

【Topics】

Senior talks to students — Working at a Pneumatic Equipment Manufacturer — — Naoki HARIYA — 128
What do you think of Japan? 14th : Studying Abroad in Japan from Malaysia — Joshua Tiong Sieu Khai — 131
Hong Kong resident diary — Hirokazu HIRAIDE — 134

【Laboratory Tour】

Introduction of Koyabu Laboratory in National Institute of Technology, Tomakomai College — Keigo YONEYAMA, Kota KAGAYA — 137

【JFPS Activities】

2019 Autumn Seminar Report — Masato KAWASHIMA — 140

【JFPS News】

143, 144, 145, 146, 147, 148

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

巻頭言

「ターボ機械最前線」発行にあたって

著者紹介

梅村哲郎（うめむら てつお）
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：umemura-tet@kyb.co.jp

1992年建設機械メーカに入社，建設機械用トランミッション，油圧ポンプ・モータの開発に従事，2018年にKYB株式会社に入社，油圧ポンプの開発に従事，現在に至る．日本フルードパワーシステム学会の会員．

フルードパワー機器は，流体機械の中で容積型機械に分類され，ピストンやシリンダなどの往復運動による容積の増減を利用してポンプやアクチュエータとして作動し，一般に間欠・小流量の用途で，静圧による力の伝達や変換，機器の制御などに利用されることが多い．一方，流体機械の中でも羽根車の回転運動を利用するターボ機械は，特殊な用途を除けば連続・大流量の用途に適しており，動圧による力の伝達や変換，液体や気体の圧送・圧縮などに用いられるのが通常である．航空分野におけるターボジェットエンジン，エネルギー・産業分野での風・水車や蒸気・ガスタービン，輸送機器では内燃機関の過給機や変速機のトルクコンバータ，医療・研究分野での特殊用途ポンプといった幅広い分野での活用が知られるが，用途の違いから流体機械でありながらフルードパワーシステムに用いられることは少ない．そこで，本特集号ではフルードパワー分野の技術者・研究者が流体機械の仲間として身近に感じていながらも，普段の技術開発や研究で対象とすることが少ないターボ機械を取り上げ，その最新情報を会員諸氏に紹介することで流体分野の知見を広げ，フルードパワー分野の研究・開発に役立てることを目的に「ターボ機械最前線」を企画した．

山口健氏（アイシン・エィ・ダブリュ株式会社）には，「トルクコンバータ設計とその動向」と題して，自動車の変速機に使われるトルクコンバータの動作原理，設計・解析技術の変遷と最新動向について解説いただいた．

築谷朋典氏（国立循環器病研究センター研究所）には，「心不全治療に用いられるターボ型ポンプ」と題して，補助人工心臓用ポンプの変遷，近年急速に普及した超小型ターボ型血液ポンプの構造と最新技術，課題などについて紹介いただいた．

田中元史氏，川端浩和氏，小垣哲也氏（国立研究開発法人産業技術総合研究所）には，「プラズマとライダーを用いた大型風車の高性能化技術の開発」と題して，プラズマによるブレード表面に発生する気流剥離の抑制，およびライダーを用いた風速風向予測によるヨー，ピッチ制御で大型風車を高性能化する最新技術動向を解説いただいた．

石森康禎氏（株式会社大阪真空機器製作所）には，「ターボ分子ポンプ」と題して，半導体製造などの先進技術分野で必要となる清浄な超高真空を得るターボ分子ポンプの動作原理，構造，最新技術動向について解説いただいた．

黒澤貞男氏（東芝エネルギーシステムズ株式会社）には，「ターボ機械高性能化を支える高精度流れ解析技術」と題して，近年進歩が著しい流体解析分野における，発電用水車への高精度流れ解析技術の適用事例について解説いただいた．

市村修太郎氏（川崎重工業株式会社）には，「小型ターボジェットエンジンの開発」と題して，ターボジェットエンジン概要，小型ターボジェットエンジンの構造，各要素の設計手法，解析・評価試験などの最新事例について解説いただいた．

一口にターボ機械と言っても，このようにさまざまな機能・用途があり，その周辺技術が存在することがお分かりいただけると思う．本特集号がフルードパワー分野への応用や新たな発想を生む一助になれば幸いである．

最後に，ご多忙にもかかわらず快く執筆を承諾していただいた著者の皆様に深く感謝するとともに，厚く御礼を申し上げる．

（原稿受付：2020年3月11日）

解説

トルクコンバータ設計とその動向

著者紹介

山口（やまぐち）　健（たけし）

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

1995年アイシン・エィ・ダブリュ株式会社入社．トルクコンバータ設計・開発に従事後，トランスミッション全体の流体実験，CFD技術の研究開発に取組み中．現在に至る．ターボ機械協会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．

1. はじめに

トルクコンバータ（以下，T/C）と聞いて，何人の方がその形や機能を答えることができるであろうか？T/Cとは，その名の通り，トルクを変換，実際には，トルクを増幅させることができる流体機械である．一般的に自動変速機（図１）の機能部品として使われることが多い．その自動変速機は，日米で95％以上の自動車に装着されており，意外と身近なターボ機械である．図２にT/Cの断面図を示す．図に示すように，T/Cは，２つの大きな部分から構成されている．まず，エネルギーを効率良く伝達するためのロックアップクラッチ部，そして，ターボ機械として流体に支配されるトーラス部に分けられる．

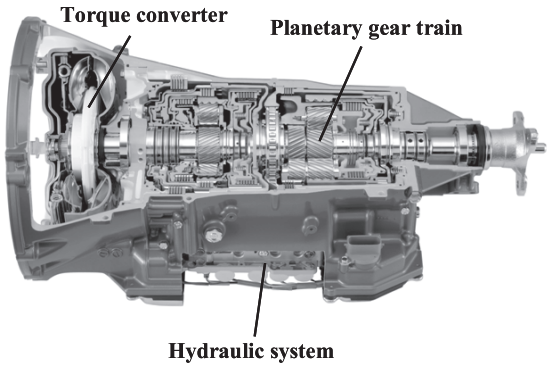


図１　自動変速機

このトーラス部にはポンプ，タービン，ステータという３つの羽根車が配置されている．それぞれの羽根車は，まったく違う役割を担っている．エンジンからの動力を内部流体に伝える役割のポンプ，ポンプから流体に与えられたエネルギーを回収し変速機に動力を伝えるタービン，内部流体の角度を変えることでトルク増幅を行うステータである．

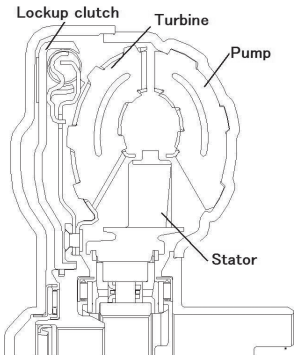


図２　トルクコンバータ　断面図

T/Cは，典型的なターボ機械であるが，水車など他のターボ機械との違いがいくつかある．一つ目は，作動流体がトーラス内部を循環していることである．ポンプで加速された流体は，タービンに流入し，さらにステータを通過した後，またポンプに戻ってくる．たとえば，ポンプで起きた乱れがトーラス内を一周し，またポンプに戻ってきてしまうのである．これは，設計を行う際にかなり頭を悩ます問題であり，後ほど述べる数値計算においても計算不安定の原因となる．二つ目の相違点は，設計者は，設計点を含めすべての作動領域を考慮しなければならないことである．

図３に典型的なT/Cの流体性能曲線を示す．横軸は，ポンプとタービンの回転数の比をとった速度比．車両が停止状態にあるとタービン回転数は０rpmであり，速度比は０となる．縦軸にはトルク比（実線）とトルク容量係数（点線）を示した．タービントルクとポンプトルクの比を表すのがトルク比で，速度比０の時に最大となる．トルク容量係数は，エンジンの出力曲線と組み合わせて使われるため，便宜上ポンプトルクをポンプ回転数の２乗で除した値とされる．この性能曲線においてT/Cの設計点は，

ポンプとタービンの回転差が少なく内部流れの抵抗が一番少なくなるポイント，速度比0.8あたりに定義される．ここは，自動車の走行状態に相当する．また，速度比が０のポイントをストールポイントと呼び，このポイントから速度比の上昇する領域が自動車の静止状態からの加速に相当する．T/C性能がエンジン特性や自動車の走行性能に最適化されていないと，運転者は，アクセルを踏み込んでも思ったように自動車が動いてくれないといった違和感を覚えることになる．設計者は，このようにエンジン，自動車の特性を考え，すべての速度比領域で最適な性能を設計しなければならない．ここがT/C設計者の醍醐味であり，苦労が絶えないところでもある．

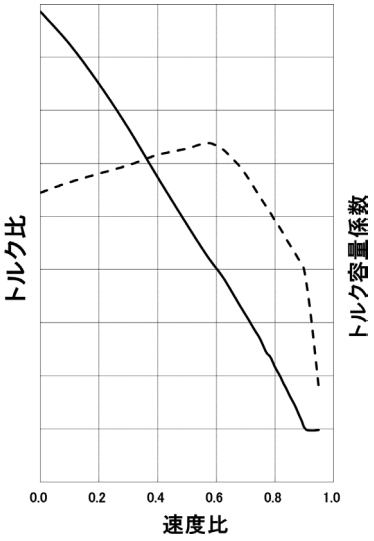


図３　トルクコンバータ性能曲線

2. トルクコンバータ流体性能設計法

ここで，T/C流体性能設計手法について述べる．ターボ機械であるT/Cは，他の機械と同様にブレード設計が最重要課題となる．ブレード設計に関して弊社の事例を紹介すると，1990年台までは，石原の式[1]と呼ばれる一次元の運動量保存式が唯一の設計ツールであった．この式は，基本的に設計点，つまり内部抵抗の一番少なくなる点について，ブレードの出入口の角度を求めるもので，設計点以外の速度比領域における予測は，実験とのかい離が非常に大きかった．現実の設計プロセスにおいては，試作品が完成した後が勝負で，目標性能を達成するために，それぞれのブレードを曲げたり，削ったりを繰り返しながら流体性能を調節し，最後にそのブレード形状を図面にするといった繰り返し作業を実施していた．

その後，計算機の低価格化，今まで，大学や研究所のみで使われていたCFDソフトの商用化により，1995年にダイムラーから商用CFDを使ったT/C流体性能予測に関する論文[2]が出されると社内でも数値計算技術の活用が始まった．始めた当時は，計算リソースをできるだけ節約するため，図４のOne pitch modelと呼んでいる各ブレード１枚を計算領域として利用するミキシングプレーン法（周方向には圧力や速度が一定と仮定する方法）を使った．現在では信じられないが，５万要素の計算でも最新のワークステーションで１日を要した．しかしながら，性能予測は従来法と比較して飛躍的に向上し，さらに，構造上T/C内部流れは実験で可視化することが困難だったこともあり，三次元的に可視化できるCFDは画期的で，その後のT/C設計に大きな役割を果たした．CFDを設計に活用する機会が増え，課題も見えてきた．周方向の物理量を平均化するミキシングプレーン法では，複雑な内部流を有するT/Cの内部流れを正確に表現するには限界があり，予測精度低下の原因のひとつであるということが解ってきた．さらに数年を要するが，この問題を解決するために図４で示したFull modelと呼ばれるすべてのブレードを計算領域とする計算手法が確立された．この手法は，ミキシングプレーン法を使う必要がなく，予想どおり計算精度も向上した．また，One pitch modelでは平均化されて不明瞭だった流れ場もFull modelで見るとまったく異なっていることがわかり，新たな知見が次々と生まれた．

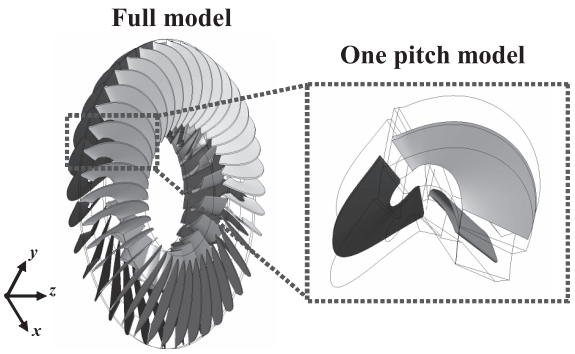


図４　トルクコンバータ数値計算モデル

計算機の発展をさらに待つこと数年，ようやく本格的に非定常解析を実施できる環境が整備された．非定常解析を実施することで，翼列干渉など，より実機に近い状態をシミュレーションすることが可能となり，性能設計のみならず，さまざまな流体に起因する問題解決に活用できるようになった．近年では，数千万要素という計算モデルを扱えるようになり，非定常RANS計算からLESモデルを利用した計

算も行われている．LESモデル計算を行うことで，大規模なはく離が支配的で，最後まで困難であった速度比０付近の性能予測精度も実験値とほぼ一致するようになった．CFDがT/C流体性能予測に活用され始めて25年余り，予測技術は，ほぼ完成したと言ってよい．

3. CFDの応用展開

商用化されたCFDソフトは，単に計算の安定性やスピードの進化に加えて，さまざまな機能が組み込まれてきた．ここでは，その機能を使った解析の事例の一部を紹介する．

ひとつ目は，６自由度機能を使った計算[3]である．従来，T/C性能計算を行う際は，あらかじめ指定されたポンプとタービンの回転数をパラメータとして入力する．この機能を利用することで，ポンプの回転数は入力するが，タービンは慣性モーメントを与えるだけで，回転数は，ポンプから与られるエネルギーと慣性モーメントのバランスにより決定される．このような解析を行うことで，タービンが停止している状態から動きだすまでの時間，つまり，車両発進時，過渡的なタービントルクの変化量を見積もることが可能となった．

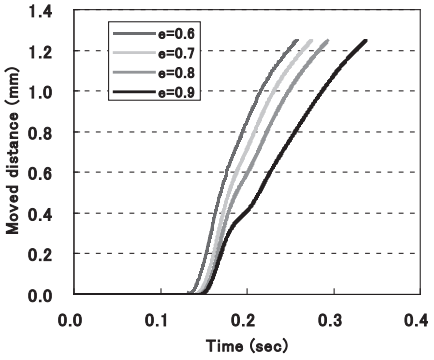
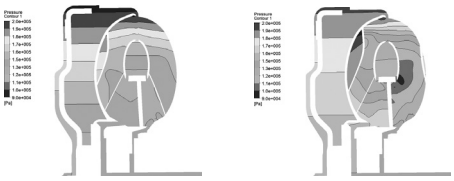


図５　速度比違いによる作動応答性

二つ目は，流体構造連成計算[4]である．ロックアップクラッチの作動には，油圧が使われるが，油圧やT/Cの回転数が作動応答性にどれだけ影響されるかを解析で求めた．ロックアップクラッチにかかる油圧を荷重に変換し，計算格子を変形させることで，ロックアップクラッチの係合に至る過程を計算した．図５に，速度比違いによる作動応答性を示した．縦軸はロックアップクラッチの移動距離，横軸は時間である．まったく同一の条件で，タービンの回転数のみを変化させた時の結果である．タービンの回転数が低い，速度比が低いほど，クラッチの移動時間は，短くなっており，高速度比ほどクラッチの係合が遅いという過去の実験，経験に対して納得のいく結果となった．図６に，同計算で使われたモデルの速度比0.6と0.9時の圧力コンターを示した．(b) 速度比0.6では，ロックアップクラッチ部前後での圧力差が大きくなっているのに対し，(a) 速度比0.9では，ポンプ，タービン，あるいは，ロックアップクラッチが剛体運動のように一体となって回転し，クラッチ部の前後の圧力差があまり発生していない．この圧力差の不足が係合の遅れにつながっていると考えられる．



(a) e=0.9　　(b) e=0.6

図６　トルクコンバータ断面圧力コンター図

4. ま と め

T/C機能の説明，流体性能設計の創生期から現在までの歴史を示した．また，新たに開発されたCFDソフトの機能を使ったT/C設計について解説した．流体解析を始めて25年近く経った今，計算機の進化，ソフトウェアの進化には驚くべきものがある．もはやCFDなしでは，工業製品は設計できないところまで浸透したように思う．

長年研究を続けてきたT/Cだが，近年の電動化の流れにより，モーターにとって代わられようとしている．個人的には非常に残念であり，この流れは止められないが，次世代の油圧技術者には，電動化に勝る油圧製品の開発に期待したい．

参考文献

1）石原智男：流体変速機の研究（第１報　一般的性能計算式と正転用１段トルクコンバータの性能）日本機械学会論文集，Vol. 21, No.101（第３部），pp. 61-67,（1955）

2）Cigarini, M. and Jonnavithula, S.：Fluid Flow in an Automotive Torque Converter：Comparison of Numerical Results with Measurements, SAE 950673,（1995）

3）Takeshi Yamaguchi, Kazuhiro Tanaka：Torque Converter Transient Characteristics Prediction using Computational Fluid Dynamics, IOP Conference Series：Earth and Environmental Science, Vol. 15,（2012）

4）Takeshi Yamaguchi, Kazuhiro Tanaka：Transient flow field analysis around a lockup clutch inside a torque converter, SAE International, 2012-01-2001,（2012）

（原稿受付：2020年１月27日）

解説

心不全治療に用いられるターボ型ポンプ

著者紹介

築谷朋典（つきや とものり）
国立循環器病研究センター研究所
〒564-8565 大阪府吹田市岸部新町６－１
E-mail : tsukiya@ncvc.go.jp

1997年京都大学大学院工学研究科後期博士課程修了．1997年国立循環器病センター研究所人工臓器部室員，2007同室長，現在に至る．人工心臓，人工肺の研究に従事．日本人工臓器学会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．

1. はじめに

我々の持つ心臓は全身に血液を巡らせるポンプであるが，さまざまな原因により心臓の持つポンプ機能が阻害され，十分な血液を循環させることができない状態，すなわち心不全という病態に陥ることがある．薬剤による治療では回復が見込めないほど重症である場合，機械の使用により循環を補助する機械的循環補助法（Mechanical Circulatory Support, MCS）という手段が取られる．その中でももっとも重度の心不全に対しては，補助人工心臓（Ventricular Assist Device, VAD）と呼ばれる血液ポンプによって心臓のポンプ機能を代替する治療が行われる．多くは心臓移植までの待機中の救命に使用されているのだが，補助期間が数年～５年と長期間にわたるため，血液ポンプを体内に埋め込むVADが必須である．この目的のために超小型のターボポンプが使われており良好な成績を残している．本稿では，体内植込み型VADとして用いられているターボ型ポンプについて解説する．

2. VADとしてのターボ型ポンプの特徴

2.1　拍動型ポンプとターボ型ポンプ

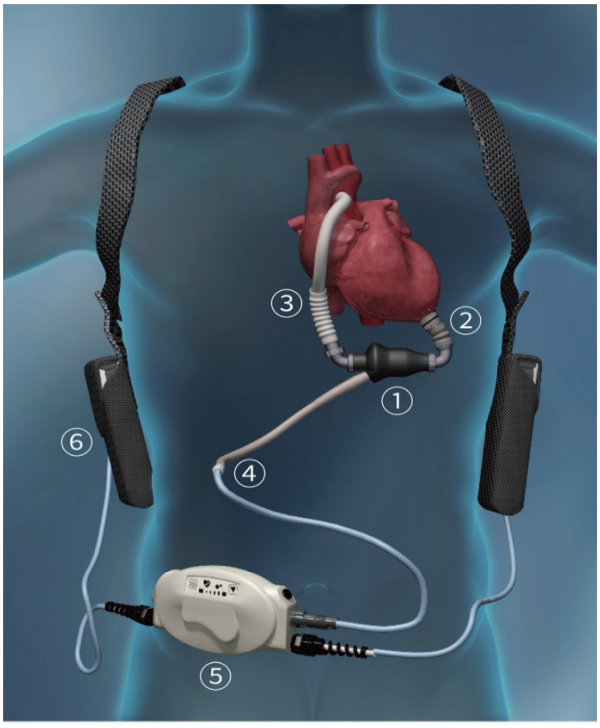
心臓は心筋が収縮と弛緩を繰り返すことによって間欠的に血液を拍出する拍動流ポンプであり，左心と右心の２つのポンプが心臓内部で発生する電気的な刺激に反応して同時に収縮することにより体重１kgあたり毎分約100mLの血液を拍出している．左心室は全身への循環を担当するために，肺循環のみを担当する右心室に比べて高い圧力（平均約80mmHg）に対抗して血液を拍出する必要があり，補助が必要な心不全に陥りやすいといえる．人工のポンプで血液循環を代替する人工心臓開発の幕開けは1957年に遡る[1]が，当時は生体と同様に拍動するタイプのポンプのみが開発されてきた．超小型のターボポンプによって血液を送る装置のアイデアを持った研究者もいたのだが，高速で回転する羽根車を通過する際の血球の破壊，生理学的に必須であると考えられていた脈圧の消失などに対して，医学界からきわめて強く拒否された．

VADはそもそも心臓移植を受ける患者に対して装着されることが前提なため，装着期間は数年以上にわたることが想定される．よって患者は退院して在宅にて可能な限り通常に近い生活を送りながら待機することが必須であり，血液ポンプは体内に植込んで，携帯可能な小型コントローラおよびバッテリで駆動されることが必須である．1980年代後半には体内植込み型の拍動型VADが実用化されたものの，ポンプ容積と同じ体積の気体あるいは液体を一時的に貯めるチャンバーや，逆流防止用の弁が必要であるためポンプが大型にならざるを得ず，体格の小さな患者には適用できなかった．また，往復動を発生させる機構の耐久性は２年程度であることが明らかとなり，より高い耐久性を持つシステムが必要であった．

遠心ポンプあるいは軸流ポンプといったターボポンプは小型化するのにきわめて有利であることに加え，運動する部品はインペラだけであることから耐久性が高く，数時間程度の使用に限られた体外循環用ポンプ[2]としてだけではなく，体内植込み型VADとしてきわめて有望であると期待され世界中で精力的に開発が進められた．1998年にはオーストリアで世界初のターボポンプVAD臨床例が報告された．2008年にアメリカで承認されて以来国際的に急速に普及し，日本でも国産の２機種が2010年に承認されて以来，着実に使用例を増やしてきた．現在では植込み型VADはすべてターボポンプ型の機種によって占められている．

2.2　VAD用ターボ型ポンプの構造

日本で使用されている体内植込み型VADとして，もっとも使用実績の多いHeartMate Ⅱ（Abbott, U.S.）を例にあげる．図1にVADシステムの構成を示す．①血液ポンプは左心室近傍に装着されるが，この例のように横隔膜を貫通して腹部の筋層間に収納される機種もあれば，心臓にほぼ接触する形で胸腔内に置かれる機種もある．ポンプ吸込み口につながる②の脱血管は左心室の先端部にあたる心尖部から左心室内部に先端が露出するように挿入される．ポンプ吐出し口は③の人工血管に接続され，大動脈弁の下流側すぐの位置で上行大動脈に縫合されることにより合流する．血液ポンプはターボポンプ（軸流あるいは遠心）であり，インペラの回転により血液に直接運動エネルギを与えることにより血圧に相当する圧力差に対抗して血液を送り出す．小型化のためにインペラは磁石を内包しておりモータの回転子として動作する機種が多い．



Copyright 2007 Thoratec Corporation

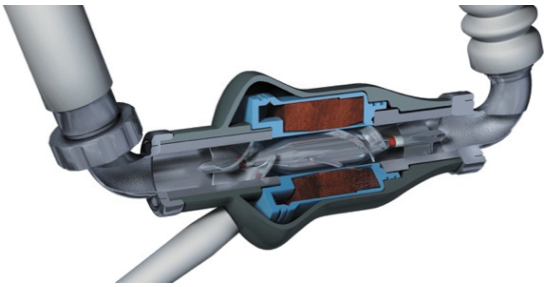


図1　上：Heartmate Ⅱ体内植込み型補助人工心臓システムの構成　下：血液ポンプ断面（提供：ニプロ株式会社）

モータ駆動用のケーブルは腹部から④の位置で皮膚を貫通して体外に引き出され，体外にて⑤の携帯型コントローラに接続される．コントローラには⑥の携帯バッテリが常時複数個接続されており，短くとも数時間程度はバッテリのみで駆動できる．血液ポンプの寸法については，ポンプ出入口径が10～20㎜の範囲であり，インペラ外径は遠心ポンプで30～50㎜程度，軸流ポンプで20㎜程度である．軸流ポンプの方が容易に小径化できる反面，ポンプ内部の流路が直線ポンプ出入り口の方向をそれぞれほぼ直角に曲げる必要があるため経路デザインをよく検討する必要がある．血液ポンプの標準的な仕様は流量が3～7L/㎞，揚程が70～100㎜Hg（9.3～13.3kPa）程度であるが，これらの仕様は患者の体格や血行動態に依存して変化する．さらに，左心室から直接脱血しているために，残存している心臓の拍動により1～2ヘルツ程度の周波数でポンプ流量が周期的に変化する．これらの理由から産業ポンプのように動作点を決定することは不可能であり，設計段階では広範囲の動作点における安全性を検討する必要がある．

ターボポンプは高速で回転する羽根車の安定した姿勢維持のために軸受を必要とするが，一般の産業用ポンプのようにモータに直結した回転軸と軸シールは血液ポンプに適用できない．シール部における血液の漏洩，滞流による血栓の形成などのリスクが高いためである．VADには軸シール部のない軸受が必須であり，このような軸受の開発が実用化のための最大の課題であるといえる．図に示したHeartMate Ⅱの場合は，羽根車の両端が金属（ルビー）と高分子（超高分子量ポリエチレン）の組み合わせからなるピボット型軸受を用いており，最長で10年を超えて装着している患者がいるなど，これまでの実績から高い耐久性を有することが実証されている．ただし，この方式では羽根車と静止部品との間で接触が残っており，接触点での血栓形成予防のために抗凝固剤の持続的服用が不可欠である．羽根車を液体中で非接触支持する方式の軸受（動圧軸受あるいは磁気軸受）を持つ機種も登場しており，ポンプ内部の血栓形成を抑制する効果が期待されている．

3. ターボ型ポンプを用いたVADの成績と課題

植込み型補助人工心臓が認可された製品として使用され始めてから米国では10年，日本では7年が経過した．国際的なレジストリ[3]によると生存率は1年経過で85.6%，2年経過で77.9%である．死因としては多臓器不全，右心不全，脳卒中などが主なものである．VAD装着中の有害事象としては，感染

や出血が多く発生している．装置の不具合については２％と報告されているが，システム個別の事象であるためにVAD治療成績のレジストリにおいては具体的に述べられていない．日本では，外部コントローラの異常，外部バッテリの接続部やケーブル，ドライブラインの断線といった不具合が発生したことが報告されている[4]．

最大の問題である感染は時間と共に発生率が高くなるため，術後管理を非常に困難にしている．感染源も多様であるが，最も多いのはVADを駆動するドライブラインの皮膚貫通部における感染である．ドライブラインはいわば（円周）×（貫通部の長さ）分の面積で固定されているだけであり，外部から引張，曲げ，捻れなどが作用すると容易に癒着部が剥がれ，感染源になりやすい．対策としては，できるだけしなやかで貫通部の皮膚組織に力がかからないようなケーブルの開発と体内の走行経路の検討が重要であるが，ケーブル自体の強度とトレードオフの関係にあるため注意が必要である．一方で，ドライブラインに関わる問題を根本的に解決する手段として経皮的エネルギー伝送システム（Transcutaneous Energy Transfer System：TETS）の開発が進められている．TETSは体内と体外に対向するコイルを配置することによって電磁誘導で電力をポンプ側に供給するワイヤレス給電システムであり，皮膚を貫通する部位を完全に除去することが可能である[5]．途切れることなく10W程度の電力を安定して供給する必要があるために完成までの課題は残されているものの実現が切望されている．

出血という事象は血栓形成の結果引き起こされる脳梗塞などの事象と表裏一体であり，過度の抗凝固管理によっても，飛散した血栓によっても引き起こされるが，適度な血液凝固能を細やかに管理することは困難をともなう．血栓・出血については，先述の非接触式の軸受を用いることで格段にポンプ内血栓が減少したことが報告されているものの完全に解決したとは言いがたい状況である．血栓は血液に接触した人工物表面に形成されるが，これら血液接触面の表面処理に関しても従来とは異なるアプローチがなされるようになっている．すなわち，高速で回転するインペラおよびそのごく近傍の領域以外は表面を微細なチタンビーズの焼結体で構成し，生体による反応の結果この焼結体上に擬内膜を形成させるという方法[6]である．このような方法による血栓防止策が有効であることが明らかとなってきており，従来の鏡面仕上げの平滑な表面に抗血栓性コーティングをほどこす，いわば生体を寄せ付けない方法から，人工血管や人工弁のように，表面に擬内膜を生成させることにより生体と一体化した構造を目指す方法にシフトしつつあるといえる．

4. おわりに

ターボポンプを応用した補助人工心臓（VAD）は耐久性も高く小型化が容易なため，体内植込み型VADとして拍動型ポンプにとって代わり急速に普及した．装着患者は退院することが可能であり，高い生活の質（Quality of Life）の下で移植待機することができる．ターボポンプ型VADはこれまで良好な成績を残してきており，年齢などの理由で移植対象となれなかった患者に対しても恒久的に使用する方法（Destination Therapy, DT）の導入が目前に迫っている．一方で，感染に代表される既存の問題を解決する方法が切望されていることに加え，心臓を切除して左心・右心の全機能を代替する全人工心臓（Total Artificial Heart, TAH）あるいは小児患者用体内植込みVADなど，早期の実現が望まれている装置も残されており，今後ますますターボポンプ型人工心臓の発展が期待されている．

参考文献

1）Akutsu T, Kolff WJ. : Permanent substitute for valves and heart. Trans Am Soc Artif Intern Organs, Vol. 4, p. 230（1958）

2）Bernstein, Dorman, Blackshear & Scott. : An efficient compact bloodpump for assisted circulation, Surgery, Vol. 68, p. 105-113（1970）

3）Goldstein, D.J., et al. : Third Annual Report From the ISHLT Mechanically Assisted Circulatory Support Registry：A comparison of centrifugal and axial continuous-flow left ventricular assist devices. J Heart Lung Transplant, Vol. 38, No. 4, p. 352-363（2019）

4）http://www.jpats.org/modules/jmacs/index.php?content_id=2

5）柴健次，他，：人工心臓用空心型経皮エネルギー伝送システム，生体医工学，Vol. 43，p. 670-676（2005）

6）Slaughter M, Naka Y, John R, et al.: Post-operative heparin may not be required for transitioning patients with a HeartMate II left ventricular assist system to long-term warfarin therapy, J Heart Lung Transplant, Vol. 29, p. 616-624（2010）

（原稿受付：2020年１月８日）

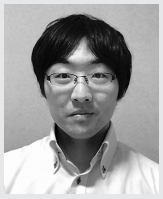
解説

プラズマとライダーを用いた大型風車の高性能化技術の開発

著者紹介

田中元史（たなかもとふみ）
（国研）産業技術総合研究所 風力エネルギーチーム
〒963-0215 福島県郡山市待池台２－２－９
E-mail : motofumi.tanaka@aist.go.jp

1995年大阪大学大学院理学研究科博士前期課程修了．株式会社東芝にてプラズマの産業応用機器の開発に従事し2016年三重大学大学院工学研究科博士後期課程修了．2018年より現職．プラズマ気流制御の風車適用研究に従事．電気学会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．



川端浩和（かわばたひろかず）
（国研）産業技術総合研究所 風力エネルギーチーム
〒963-0215 福島県郡山市待池台２－２－９
E-mail : kawabata-h@aist.go.jp

岩手大学大学院工学研究科にて，ガスタービン翼の空力・伝熱研究に従事し，2015年博士後期課程修了．2015年より現職．リモートセンシングを活用した風車制御をはじめとした風車要素技術研究に従事．日本風力エネルギー学会などの会員．博士（工学）．

小垣哲也（こがきてつや）
（国研）産業技術総合研究所 風力エネルギーチーム
〒963-0215 福島県郡山市待池台２－２－９
E-mail : kogaki.t@aist.go.jp

1999年東京大学大学院工学系研究科博士課程（機械工学専攻）終了．同年，国立研究開発法人産業技術総合研究所（旧：工業技術院機械技術研究所）に入所以来，風力発電関連の研究開発，実証に従事．日本風力エネルギー学会理事，日本機械学会，日本流体力学会などの会員．博士（工学）．

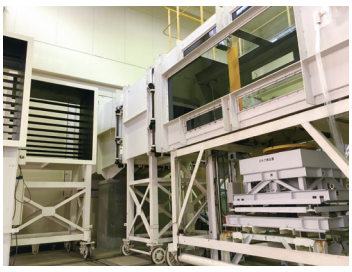
1．国内風力発電の現状と産総研の取組み

2018年の第５次エネルギー基本計画により再生可能エネの主力電源化の方針が示されて以来，洋上風力発電を推進する法律などの環境整備が急ピッチで進められており，今後国内の風力発電導入量が拡大することが確実視されている．日本風力発電協会のロードマップからは毎年数百機以上の運転開始が期待される（図１）[1]．

一方，日本はその山岳性の複雑地形から海外に比べて風速風向変動が激しく乱流強度が高いことが知られており[2]，パワートレーンなどへの荷重変動による風車の故障で事業性を悪化させるリスクがある．しかも，現在は国内大型風車メーカが不在で，発電事業者は海外メーカの風車を導入し，海外とは異なる風況で安定運用する必要に迫られる．

産業技術総合研究所（産総研）は，1970年代後半ごろにサンシャイン計画の一環として風車本体の開発などに携わって以来，当時風力発電分野では国内唯一の国立研究機関として風車関連の研究に取り組んできた．2014年には福島県郡山市に新設された福島再生可能エネルギー研究所（FREA）に拠点を移し，風車単体やウィンドファーム全体を高性能化する要素技術と，事業計画時の適地選定・発電電力量評価に資するアセスメント技術の研究開発に取

図１　日本風力発電協会の風力発電導入ロードマップ[1]



メーカ　：三菱重工業
型式　：水平回流式
計測部　：1.4mx1.4mx4m
最大風速：48m/s
乱流強度：0.5%以下
その他仕様
　静圧計測
　六分力天秤計測
　変動風発生装置
　境界層生成装置
　PIV計測システム
　密閉式／開放式カート

メーカ	：駒井ハルテック
型式	：KWT300
定格出力	：300kW
ロータ直径	：33.0m
ハブ高さ	：41.5m
定格風速	：11.5m/s
定格回転数	：40.5rpm
カットイン風速	：3.0 m/s
カットアウト風速	：25 m/s
耐風速	：70 m/s
タイプクラス	：TC2A+

その他仕様
　アップウィンドタイプ
　アクティブヨーアクティブピッチ
　誘導式発電機，AC-DC-ACフルコンバータ

図２　つくば北風洞実験設備（上）とFREA300kW実験用風車（下）

り組んでいる．前者においては，つくば北サイト風洞実験設備とFREAの300kW実験用風車（図２）を駆使し，被災地企業のシーズ支援事業[3]にて企業とも連携しながら，今後の風力発電事業者の安定運用に資する要素技術の開発を進めている．本稿では特にライダーとプラズマを用いた風車の高性能化技術の開発状況を紹介する．

2. ライダーによる風車の高性能化技術の開発

2.1　コンセプト

風車では出力最大化・安定化を目的としてヨー（ナセルの向き）・ピッチ（ブレードの角度）の制御が行われている．風速風向の変動に対して安定した発電を実現するためには，風車ロータに流入する正確な風速風向の情報に応じてこれらの制御が行われるべきである．従来風車のコントローラはナセル上の風センサー計測値や回転数計測値を参照して制御を行っているが，風センサーがロータの下流側にあるため，⑴風センサーがロータ後流の影響を受け正確な風速風向の情報を得られないこと，⑵風速変動に対して制御遅れが生じることが課題となっている．ライダーは，図３に示すようにレーザをロータ上流側に照射しエアロゾルからの散乱光を受信することで，遠方の風速を計測可能なシステムであり，ロータに流入する風速風向情報を正確に得られる．著者らは，先に示した風車制御の課題を解決するため，ライダー計測値を風車の制御に活用するLidar Assisted control（LAC）[4]の研究開発を進めている．

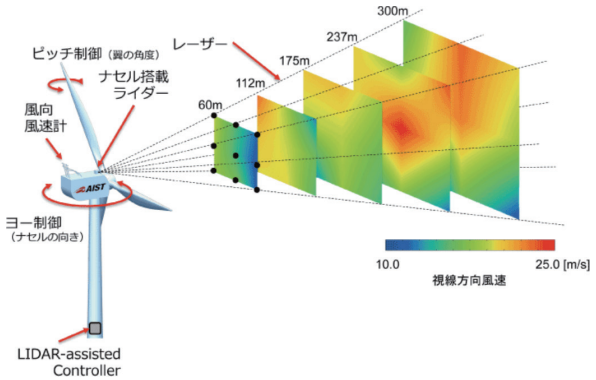


図３　Lidar Assisted Controlのコンセプト

2.2　FREA300kW実験用風車を用いた実証試験

LAC技術においては，ライダーで計測した流入風情報を風車の制御にどのように活かすかが鍵となる．一般に風車の翼型と制御の情報は風車メーカにとっては秘中の秘とされており，事業者が風車の制御に改変を加えるような技術の実現は困難とされてきた．産総研ではK社の協力を得て，風車の安全性を損なわずに風車の制御を自由に変更できるシステムをFREA300kW風車に追設した．また，通常風車のSCADAにロギングされる回転数や出力などの情報以外に，タワーやパワートレーンにおける荷重を計測するシステムを設置し，風車の制御に関する実験が可能となった．以下でこの設備を用いて行われたLACに関する２つの実証試験を紹介する．

2.2.1　ヨー制御最適化

ヨー制御の目的は，ロータを風向に対して正対させることで，得られるパワーを最大化させることである．図４はLACを実施しないベースラインの制御と，LAC実施下で得られた風車のパワーカーブを示している．ライダーの計測値はロータ後流の影響を受けないため，正確な流入風向情報がコントローラに取り込まれることで，得られるパワーが最大化されたことがわかる[5]．

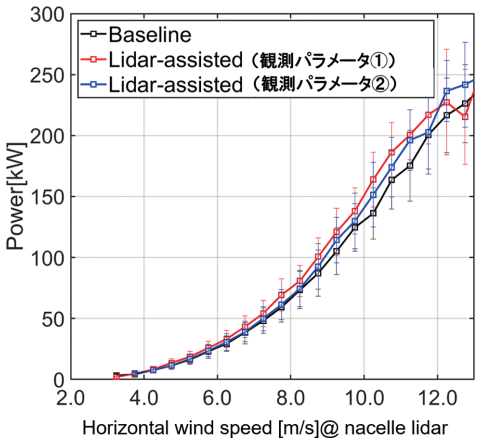


図４　ヨー制御最適化によるパワーカーブの改善

2.2.2　ピッチ制御最適化

ピッチ制御の目的は発電機回転数の安定化である．図５はLACによりピッチ制御を行った場合の風車タワー基部曲げモーメントと，その時の流入風速を示している．短時間の結果ではあるが，風速の変動に

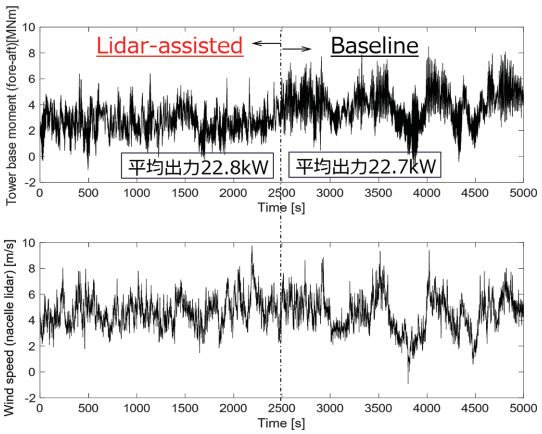


図５　ピッチ制御最適化時の風速とタワー基部曲げモーメント

対して適切なピッチ制御が実施されることで，ベースライン制御に比べて平均的なタワー曲げモーメントが低減されたと考えられる[6]．

2.3　今後の研究計画

風車制御のフィールド実証試験は世界的に見ても例が少なく，ライダー計測値を用いた制御の最適化は実現されていない．これまでに得られた計測データからシミュレーションモデルの構築も並行して進めており，モデルベースデザインを適用した最適制御設計により風車の安定運用に資する技術を開発していく計画である．

3. プラズマ気流制御による風車の高性能化

3.1　コンセプト

風車ブレードの各断面は，自身の回転による相対風と自然風の合成風から受ける揚力で回転力を生み出している．両者の関係は図６に示すような速度三角形で表され，合成風とブレードの翼弦線のなす角が迎角となる．回転速度一定で自然風が強くなると迎角が増大し，迎角がしきい値を超えると流れが剥離して揚力が低下してしまう．流入風の乱流強度やロータ面内の不均一性が高い場合，このような剥離がロータのあちこちで発生することになり，風車出力の低下や荷重・振動の増大などにつながる．

プラズマ気流制御は，物体表面の剥離点付近に大気圧プラズマを発生させ，流れの境界層にじょう乱を与えることで流れを引き寄せ，揚力や抗力を改善することができる技術である．機械的駆動部なしで流れをアクティブに制御できるメリットが注目され20年ほど前から盛んに研究が行われている[7]．

プラズマ気流制御を風車ブレードの剥離制御に適用する技術は，2012年に産学共同開発チームが30kW風車のフィールド実験で効果を確認[8]して以来，日本が世界を先導する技術となっている．産総研は，プラズマ電極製造メーカや風車のO&M事業者とともに，本技術を用いた風車の安定運用技術の実用化を目指している[9]．

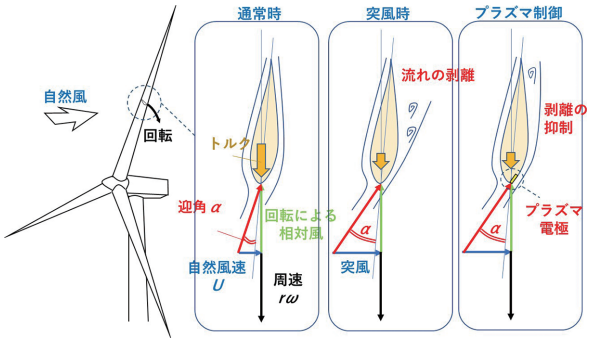


図6　風車ブレード周り流れの剥離と期待されるプラズマ効果

3.2　実用化に向けた研究開発

以下に，実用化にむけた３つの課題に対する産総研の取組みの状況を紹介する．

3.2.1　高レイノルズ数における流れ制御

ブレードに流入する流れの速度や流れ方向のブレードの大きさが大きくなると，慣性力の粘性力に対する比（レイノルズ数Re）が大きくなり，流れを強制的に制御することが難しくなる．大型風車ブレードの流れはRe＝５～10×10^6になるが，プラズマによる流体制御効果はこれまで主に$Re<10^6$でしか確認されていない．そこで，プラズマ効果のRe依存性を調べ，実機Reでの制御を実現するため，つくば北風洞実験設備での風洞実験を実施している．まず翼弦長300㎜の二次元翼型を用いて$Re<10^6$までの範囲での実験を行い，図７のように流れが制御できることや，Reによって流れ制御のメカニズムが異なることが明らかになってきた[10]．

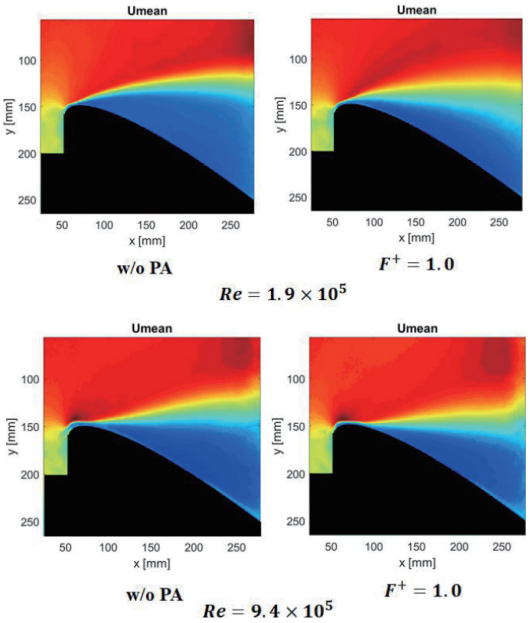


図７　異なる２つのレイノルズ数におけるプラズマ気流制御効果

3.2.2　電極の耐久性向上

風車ブレードの前縁は，紫外線や温度変化などの屋外環境に暴露されるだけではなく，風車が回転することで，雨滴や砂塵の衝突によるエロージョンや，ブレードの変形の影響を受ける．最近の洋上大型風

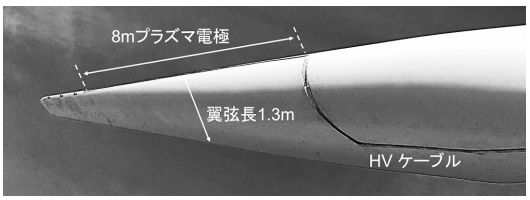


図８　300kW風車のブレードに搭載された８m電極

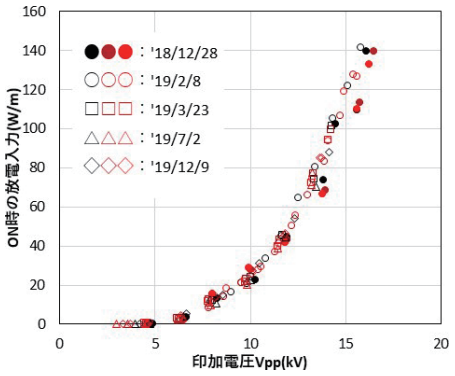


図９　実機搭載した電極の放電特性の経時変化

車は周速が80m/s以上にもなりエロージョンによる翼の損傷が大きな問題になっている[11]．プラズマ電極は，このような過酷な環境で数千ボルトの高電圧に長期間耐える必要があり開発のハードルは高い．

先述したプラズマ電極製造メーカや風車のO&M事業者は，産総研の高周波耐圧試験設備・屋外暴露試験設備・300kW実験用風車を活用して材料・製造プロセス・施工プロセスの改良を行い，耐久性向上の施策を進めている．最新の８m電極では，300kW風車ブレード上で１年間運用しても放電特性がほとんど変わらないことが確認されている（図９）[12]．

3.2.3　風車に対する有効性の検証

本技術を事業者の風車に搭載するためには，ブレードにおける剥離の制御が風車全体にどのようなメリットを生み出すのかを定量的に示していく必要がある．最初のステップとして，FREA300kW風車にプラズマ電極を設置し，風車を10%負荷制限で運転した場合に，風車のパワーカーブにどのような影響があるのかをテストしている[13]．10%負荷運転においては，風速4.5m/s付近で出力と回転数を制限する制御となっており，この風速帯付近では周速比（風速に対する回転周速の比）が低下して迎角が大きくなる運用となっている．10分ごとにONとOFFを切り替えて運用し，ONのパワーカーブとOFFのパワーカーブを分けてプロットしたのが図10である．迎角が大きくなる4.5m/s帯においてプラズマONの平均出力がプラズマOFFを上回っていることがわかる．このことは，剥離の抑制によって風車トルクが増大した可能性を示している．10%負荷とは言ってもブレードにおけるReは1.6×10^6程度であり，風洞実験よりも高いReの領域でプラズマにより剥離が抑制されている可能性がある．

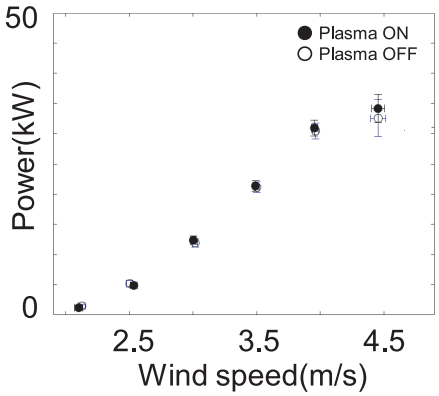


図10　10%負荷運転におけるパワーカーブ

3.3　今後の研究計画

今後はより翼弦長の大きな翼型の風洞実験でスケール効果を調べるとともに．100%負荷運転での実機検証を行い，これらのデータをもとにプラズマの風車へのメリットを予測できるモデルを構築していく．

4. おわりに

今後は本稿で紹介したライダー技術とプラズマ技術を組み合わせる最適制御手法なども含め，メガワットクラス風車での実証試験で技術のポテンシャルを示していく必要がある．また，これらのレトロフィット技術を許容するような保証や認証のしくみも並行して検討していく所存である．

ところで，FREA300kW機においては風車のピッチ制御機構やブレーキに油圧システムが使われている[14]．また，洋上大型風車では従来の歯車に変わる油圧ギアのシステムも開発されてきている[15]．これらの油圧システムの耐久性向上も風力の発電コスト低減に大きく寄与する技術である．本稿で紹介した技術は風車のパワートレーンに使用されている油圧システムへの負荷軽減にも役立つものである．本稿が，油圧システムに造詣が深い読者の皆様との新しいコラボレーションのきっかけになれば幸いである．

参考文献

1）http://jwpa.cloud/about/vision/
2）http://jwpa.jp/2011_pdf/90-33mado.pdf
3）http://www.fukushima.aist.go.jp/seeds/
4）Simley, E., Furst, H., Haizmann, Florian., Schlipf, D.：Optimizing Lidars for Wind Turbine Control Applications—Results from the IEA Wind Task 32 Workshop, Remote Sens. Vol. 10, No. 6, p. 863, (2018)
5）川端浩和，小垣哲也：ライダー支援風車制御のフィールド試験，第40回風力エネルギー利用シンポジウム（2018）
6）川端浩和，小垣哲也：ライダー支援ピッチ制御のフィールド試験，第41回風力エネルギー利用シンポジウム（2019）
7）瀬川武彦，田中元史：プラズマアクチュエータの原理と産業応用に関して，ターボ機械，Vol. 47，No. 1，p. 19，(2019)
8）田中元史，松田寿，雨森清行，志村尚彦，安井祐之，大迫俊樹，前田太佳夫，鎌田泰成：プラズマ気流制御によるロータトルク増大効果のフィールド検証，日本

風力エネルギー学会論文集，Vol. 38，No. 4，p. 132，(2014)
9）http://www.fukushima.aist.go.jp/e-book/seeds31-R1-1/html5.html#page=35
10）久保徳嗣，バンダリサガル，田中元史，野々村拓，川端浩和：DD8プラズマアクチュエータによるNACA0015翼の失速特性制御の試み，第41回風力エネルギー利用シンポジウム（2019）
11）https://www.vindenergi.dtu.dk/english/news/2019/08/international-symposium-on-leading-edge-erosion-of-wind-turbine-blades
12）武山昌史，渡辺延由，佐藤英昭，田中元史，久保徳嗣，川端浩和，尾立志弘：300kWフィールド風車と地上屋外暴露試験設備で検証した全天候型プラズマアクチュエータの施工性と耐候性，第41回風力エネルギー利用シンポジウム（2019）
13）田中元史，久保徳嗣，川端浩和，渡辺延由，佐藤英昭，武山昌史，尾立志弘：300kW風車の部分負荷運転におけるプラズマ気流制御の失速抑制効果，第41回風力エネルギー利用シンポジウム（2019）
14）https://www.komaihaltec.co.jp/env/wind/kwt300.html
15）https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100352.html

（原稿受付：2020年 2 月10日）

解説

ターボ分子ポンプ

著者紹介

石森康禎（いしもり　やすただ）
株式会社大阪真空機器製作所
〒541-0042 大阪府大阪市中央区今橋３－３－13
E-mail : yasutada-ishimori@osakavacuum.co.jp

1997年株式会社大阪真空機器製作所入社，ターボ分子ポンプの開発，海外，国内での技術サポートに従事したのち，2016年退職，２社での勤務を経て，2019年大阪真空機器製作所再入社，現在に至る．

1. はじめに

周囲よりも低い圧力を得るための真空ポンプは，動作原理で分類すると図１のように分類される．

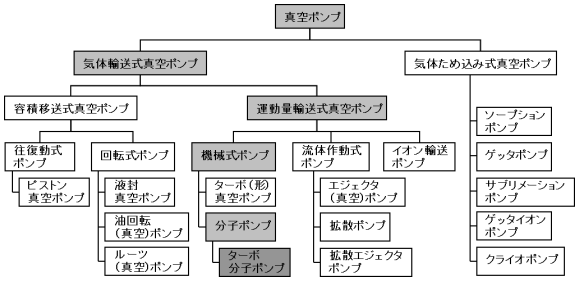


図１　真空ポンプの分類（JIS Z 8126-2による）

ターボ分子ポンプはその中の機械式の運動量輸送式真空ポンプの一種であり，回転する動翼と対となる静翼により，気体分子に軸方向の運動量を与えて排気口側に輸送するターボ式機械である（図３）．吸気口圧力が10^{-7}Paから10^{-1}Paの超高真空・高真空でのみ動作し，大気圧への吐出はできない．補助真空ポンプや大気圧から排気する荒引ポンプを別途必要とする．

ターボ分子ポンプの最初の製品は1958年に製品化された．当時主流であった油拡散ポンプ（流体作動式ポンプ）に比べて構造が複雑で高価であったため，当初は限られた用途でしか用いられなかったが，後述のねじ溝段を回転翼列の下流側に同軸に配置し，吸気口圧力が数十Pa以上でも動作可能とした製品の登場と，油汚染を嫌う半導体製造装置などの用途の拡大により，主要な真空ポンプの一形式となった．

国産最初の製品は1971年に当社より発売された（図２）．約50年を経て，近年では輸出を含めた国内でのターボ分子ポンプ売上台数は年間２～３万台にまで成長した．

図２　国産初のターボ分子ポンプ[1)]

図３　最新の4,000L/sクラス大型ターボ分子ポンプ（磁気軸受形，コントローラ・電源一体型）

2. 動作原理と構造

2.1　動作原理

真空工学では，低真空・中真空では気体を粘性流（連続体）として扱うが，超高真空・高真空では気体分子は他の気体分子と衝突せずに壁から壁に達し，そこでは気体を個々の分子の運動の総和である分子流として扱う．ターボ分子ポンプは名称の通り分子流領域で動作する．

分子流領域で排気能力を得るために，その動翼の周速は気体分子の平均速度に近い．吸気口径63㎜

の小型ターボ分子ポンプでロータの定格回転数は90,000rpm，吸気口径350㎜の大型ポンプでも20,000rpmにもなり，動翼先端の周速度は数百m/sに達する．

吸気口に飛び込んだ気体分子は，動翼に対して周速と逆向きの相対速度を持つため，図４のように回転方向側の面に多く衝突する．表面に留まったのち分子はランダムな方向に飛び出すが，翼面の傾きから，下方（後段側）に向かう数は逆方向に戻る数よりも多くなる．

動翼と衝突し，回転方向の運動量を与えられて後段に向かった気体分子は，図４のように静翼の回転方向に対向した面に多く衝突する．翼面の傾きから，下方（後段側）に向かう数は逆方向に戻る数より多くなる．

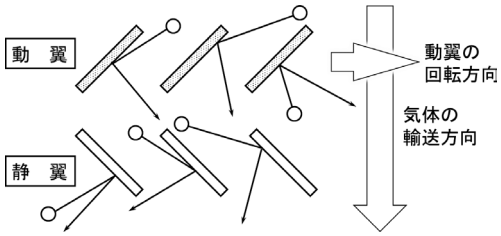


図４　動静翼及び気体分子の動きの模式図

このようにして排気口側に向かう分子と吸気口側に戻る分子の数に差が生まれ，それが排気能力となる．単段での排気能力は限られるが，複数段を軸方向に組み合わせることで実用的な排気能力を得る．

回転翼段の出口では，圧縮された気体分子が分子流と粘性流の中間状態となることで，粘性を利用して輸送するねじ溝段が有効に動作する．ねじ溝段は，対向した円筒又は円板と，その片側に作られた図５のロータのようなねじ溝で構成され，回転する壁面が気体を引きずり，気体がねじ溝に沿って動くことで排気能力を得る．

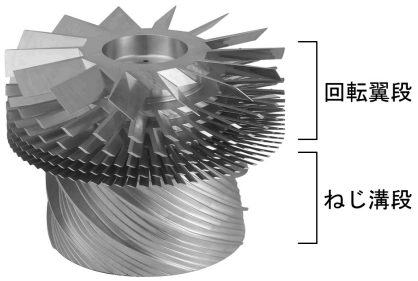


図５　ねじ溝段を持つターボ分子ポンプロータ

吸着などの性質を用いるため込み式の高真空ポンプとは異なり，物理的に排気するため最大排気速度はガス種間で大きな差はない．分子量が小さく平均分子速度の速い分子の圧縮は苦手だが，逆に分子量の大きな油などの高分子の逆流を防ぐ能力は高く，油汚染を嫌う半導体製造工程などで使われる理由のひとつとなっている．

2.2　ロ ー タ

ターボ分子ポンプは，ロータ径が60㎜程度で本体質量が数kgの小型のものから，ロータ径が400㎜にもなり本体質量が100kg以上の大型のものまで，各種大きさのものが製造，販売されている．

高速回転するため，ロータは１つのアルミ鍛造素材から切削加工して製作される．ねじ溝段のロータにCFRPの円筒を用いた複合素材ロータも多い．動翼，静翼は分子を衝突・反射させるだけなので，断面は直線的な形状で，迎え角は後段になるにつれ小さくなる．

大型ポンプのロータは十数kgにもなるが，真空中で回転させるためモータの出力は１kW程度しかない．ただし定格回転数への起動には10分程度を要する．

2.3　軸　　受

小型，中型ポンプでは，図６のような排気口側の２個の玉軸受による片持ち支持や，ロータの吸気口側を永久磁石で支持し，排気口側は１個の玉軸受で支えるハイブリッド型が使われる．中大型ポンプでは，過去には油潤滑形の玉軸受も使われたが，現在はオイルフリーで軸受の摩耗もなくメンテナンスフリーな５軸能動型磁気軸受が使われることが多い．（ただしコントローラの電子部品は経年劣化する）

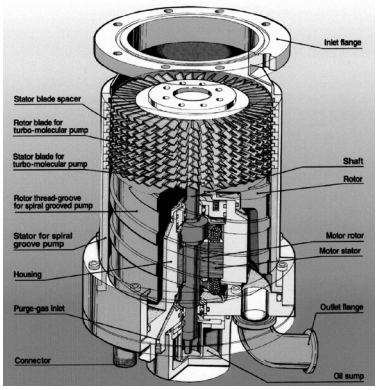


図６　ターボ分子ポンプの構造（玉軸受形）

3. 最近の技術動向など

3.1　ポンプの大型化

半導体ウェハーの大径化や液晶用ガラス基板の大型化で，ポンプもより大型で大排気速度のものが求められ，現在5,000L/sクラスまで商品化されている．

また大型のターボ分子ポンプが主流化，低価格化

したことで，競合する油拡散ポンプは，本体価格の安さから大型のものを中心に変わらず使われていたが，油の加熱や冷却などにかかるランニングコストが大きいこともあり，ターボ分子ポンプへの置き換えが進んでいる．

3.2　ポンプの大流量化

動作範囲を高圧側に広げ，より大流量の排気を可能にするための改良も続いている．流量が増えると発熱が増え，高温，高応力下ではアルミ素材のクリープ伸びの問題があるため，ロータの冷却が重要になる．

3.3　表面処理

エッチングで用いられる塩素系ガスなど，ロータ素材であるアルミ合金に対して腐食性を持つガスを排気することも多く，その際にロータなどに施す耐食表面処理の開発も続いている．磁気軸受タイプは非接触で浮上しているため放射による伝熱も重要であり，耐腐食性と高放射率の両立が必要になる．

アルミ合金の粒界に浸透して脆性破壊させる恐れのあるガリウムなどの元素を排気する場合は，表面処理や定期オーバーホール時のロータの検査でより注意が必要である．

3.4　温度コントロール

エッチングやCVD工程に用いる場合は，メンテナンスフリーであるはずの磁気軸受形でも，アルミ配線のエッチングで生じる塩化アルミなどの各種副生成物が図７のようにポンプ内部に堆積し，そのクリーニングのために定期オーバーホールが必要になることも多い．それらの工程用には，圧力の高くなるねじ溝段から排気口までをヒータで昇温し，ガス中の副生成物の分圧よりもその飽和蒸気圧を高く保って固化・堆積を防ぐことで，オーバーホールの間隔を伸ばす．

図７　副生成物で排気口が閉塞したターボ分子ポンプの例

3.5　コントローラの小型化，一体化

登場時の磁気軸受はアナログ制御であったが，DSPの登場によりデジタル制御が主流になった．以前はポンプ本体とは別にラックに納められていたコントローラは大幅に小型化され，玉軸受形，磁気軸受形共にコントローラがポンプ本体に一体化したものも珍しくなくなった．また多機能化も進み，バルブや真空計などを併せて制御できるものも登場している．

外部からポンプを制御するための通信機能も，接点信号による入出力から，産業用イーサネットなどのネットワーク接続への対応が求められるようになった．ネットワークを介した回転数の制御や磁気軸受・モータの監視も可能となっている．

3.6　安全対策

特に大型のポンプはロータが大きな運動エネルギを持つため，万が一に破壊した場合に，ロータの破片を内部にとどめるだけの強度をそのケーシングが持つことはもちろん，ロータが急停止することにより発生するポンプ本体を回転させようとする大きなトルクに対して，ポンプの固定は十分な強度を持つ必要がある．

ロータ急停止時の発生トルクはメーカ各社が独自に試験を行うなどして見積もっていたが，検証のための試験方法などを定めたISO 27892（2010）が日本主導で制定された．また発生トルク自身を低減するための開発も進められている．

4. 適 用 事 例

ターボ分子ポンプは，超高真空・高真空を必要とする現代のさまざまな場面において活躍している．現代を代表する工業製品であるスマートフォンの製造においても，CPUやメモリなどの半導体部品や液晶パネルの製造はもとより，カメラモジュールのレンズの光学膜の膜付けや外装ケースの装飾膜付けでも，その真空排気にターボ分子ポンプは用いられている．

4.1　半導体製造（ドライエッチング）

ドライエッチングによる3D NANDの多層をつなぐアスペクト比の大きな深孔加工や，DRAMのキャパシタの容量を保ちつつ微細化するための深孔加工は，半導体製造で最も困難なプロセスのひとつである．そこでもプラズマ生成のためにチャンバー内を真空にし，導入されるガスを排気するのにターボ分子ポンプが使用される．

4.2　EUV露光

最先端ロジック半導体の製造でEUV露光が量産に使われ始めたが，EUV光は大気に吸収されるために真空中で露光する必要がある．またその光源である波長13.5nmのEUV光も真空中で錫の液滴に高出力レーザを加えて発生するプラズマから放射される．これらの真空排気を行うのもターボ分子ポンプの役割である．

4.3　電子顕微鏡

ターボ分子ポンプは，振動を極端に嫌う電子顕微鏡でも使われている．磁気浮上させたロータを制御により幾何中心ではなく慣性中心で回転させることにより低振動を実現している．さらにポンプ本体はダンパを介して装置に取り付けられる．

4.4　粒子加速器

特殊な用途の一例として，大規模な粒子加速器での真空排気がある．そこで特に問題になるのは巨大な電磁石からの磁場と加速器からの放射線である．油やグリースは放射線により劣化するため磁気軸受形が用いられる．電子部品が放射線の影響を受けるため，コントローラは放射線の影響を受けないエリアに設置されるが，その際にポンプとコントローラを接続するケーブルは，長い場合には数百mにもなる．あまりに長くなると磁気軸受の変位センサの出力が減衰してしまうため，信号中継器などを追加して対策としている．

真空断熱されているため，磁場中では渦電流によるロータの温度上昇も問題になる．適切な磁気シールドによりポンプでの磁場強度を下げる必要がある．

5. おわりに

ターボ分子ポンプは，オイルフリーで清浄な10^{-7}Paにもなる高真空を簡単に得られる真空ポンプとして，実験室から産業用途まで幅広く用いられるようになった．用途をより広げ，より使いやすい製品とするために，これからもターボ分子ポンプの開発は続く．

参考文献

1）https://www.osakavacuum.co.jp/company_profile/history.php

（原稿受付：2020年1月24日）

解説

ターボ機械高性能化を支える高精度流れ解析技術

著者紹介

黒澤貞男（くろさわさだお）

東芝エネルギーシステムズ株式会社
〒230-0034 神奈川県横浜市鶴見区寛政町20－1
E-mail : sadao.kurosawa@toshiba.co.jp

1986年東北大学大学院工学研究科博士前期課程修了．㈱東芝入社を経て，2019年分社化により現在の所属に至る．水力機器の性能開発・流体関連振動の研究に従事．ターボ機械協会，日本機械学会などの会員．修士（工学）．

1. はじめに

十数年前は模型試験により性能改善を図る設計法が主流であったが，近年の計算機性能の飛躍的向上にともない，数値シミュレーション技術の実用化が進み，ターボ機械の設計・開発の分野では数値シミュレーションは欠くことができないほど深く浸透し，開発期間の短縮および高性能化に大きく貢献している[1)2)]．また，ターボ機械の設計では，信頼性・コストなどの制約の下，最高の性能を達成する必要があるため，最近では，数値シミュレーションと最適設計手法を組み合わせ，設計パラメーターを自動的に最適化する「数値最適化」の適用が盛んに行われており，革新的性能を有するターボ機械が出現しつつある[3)]．

本稿では，筆者が開発担当する発電用水車を対象に，ターボ機械高性能化を支える高精度流れ解析技術について，紹介させていただく．

2. 複雑な非定常流れ場を再現する高精度流れ解析

発電用水車の基本構造を，図1に示す．二酸化炭素を発生しないクリーンエネルギー機器の代表機種である発電用水車は，流量・回転数・落差で規定された特定の運転状態，すなわち，設計点（最高効率点）と呼ばれる運転状態を対象に設計される．したがって，その流路形状やランナ羽根形状は設計点での水力性能がベストになるように，流れ解析技術や模型試験技術により最適化される．しかしながら，近年の資源有効活用の観点から使用可能運転範囲を拡大することが求められており，これに伴い落差変動や流量変動に対して堅牢な性能を有する水車を開発することが切望されている．このようなロバストな水車を開発する際には，学術的には興味深いさまざまな非定常流動現象に直面する．すなわち，設計点から離れた想定外の落差・流量は，水車のコア部材であるランナに対して迎角度増加による流れの剥離・子午面内二次流れ・出口旋回流…などを誘発するため，このような運転点では不安定で制御するのが困難な非定常流動下での稼動を強いられることになる．

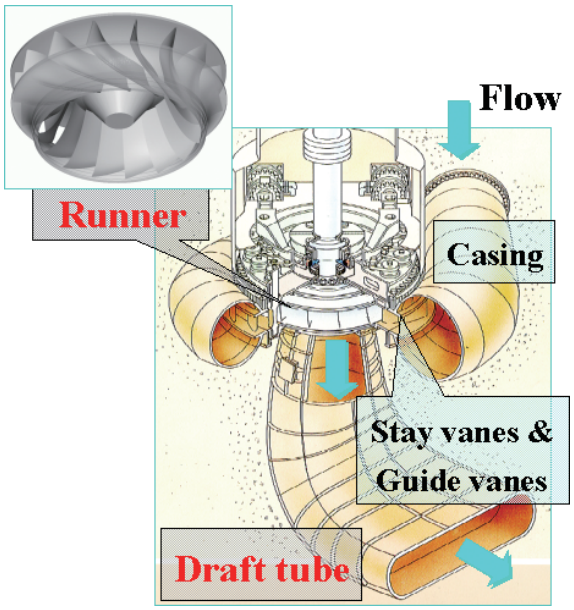


図1　発電用水車構造

2.1　発電用水車の非定常流動現象

水車の作動流体は水であるため，非定常流動現象はキャビテーションにより可視化される場合が多い．すなわち，非定常現象の主因となる剥離領域や渦芯では，静圧力値が低下するため，キャビテーションとして可視化されることが多いのである．そこで，水車で発生する非定常流動現象をキャビテーション発生パターンに置き換えて説明することにする．

水車の運転状態とキャビテーション発生の関係を図2に示す．本図においては，単位長さ・単位落差

当たりの回転速度と流量をそれぞれ最高効率点の値で除した無次元量を用いて運転状態を定義している．なお，実物水車の回転速度は一定であるため，横軸の物理的意味は落差であり，左側が高落差運転・右側が低落差運転を表している．

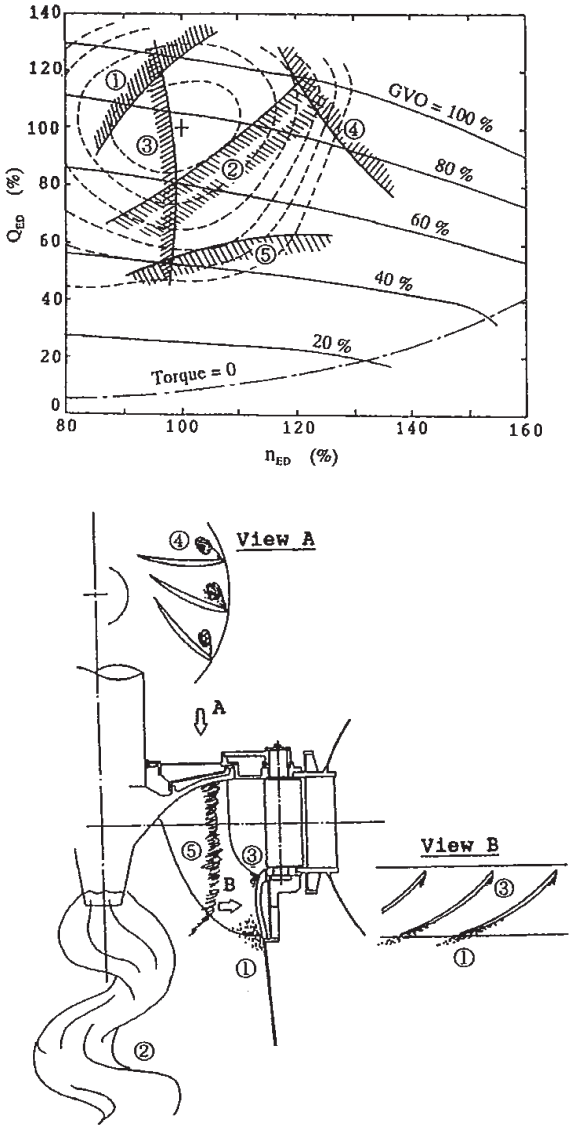


図２　運転状態とキャビテーション発生の関係[4]

図中①の高落差・大流量運転領域では，ランナ羽根負圧面出口側にシート状キャビテーションが発生する．本キャビテーションは流量増加によるランナ出口側の圧力低下に起因するものであるが，キャビテーションが羽根後縁まで成長すると圧力面側からの巻き込み流れ（Re-entrant jet）の影響を受け，自励振動的水圧変動や騒音が引き起こされる．また，図中②の小流量運転領域では，センタホワールと呼ばれる螺旋状の渦糸がランナ下流側に発生する．センタホワールは，小流量運転の際にランナコーン下流域に形成される死水コアの表面に分布する渦層が一本の渦糸となって巻き上がる現象で，水車出口側の水圧振動の主要因であると共に吸出し管全体の圧力回復性能を変動させるため，その規模が大きい場合には水車出力変動（power swing）も重畳して起こる．

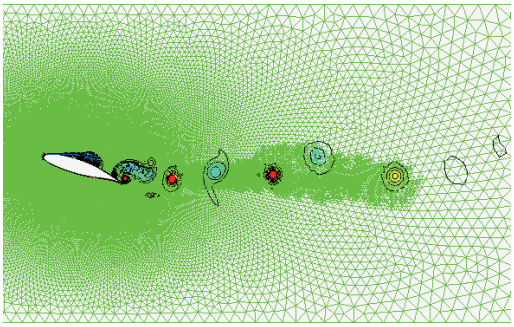
図中③の高落差運転領域と図中④の低落差運転領域では，ランナ羽根入口部位での流れの入射角度と羽根角度の偏差が大きくなり，それぞれ負圧面側・圧力面側に剥離領域が形成される．そして，本剥離領域と主流との間のせん断層内に渦が形成され，水圧振動や騒音原因となっている．特に，低落差運転時にランナ羽根圧力面側に形成される渦は，不安定な挙動をするとともに渦度も大きいため，これに比例して誘発される音・振動も大きい．

図中⑤の極小流量運転領域では，ランナの各羽根間に翼間渦（blade-channel vortex）と呼ばれる渦糸が形成される．翼間渦は，ランナクラウン出口側に形成される剥離領域の表面に生じるせん断渦が巻き上がったもので，極小流量運転時の非常に大きな振動の元凶と考えられている．

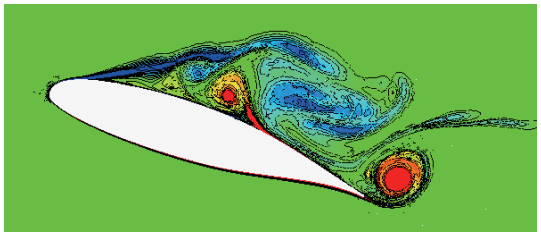
以上が水車で発生する主な非定常流動現象である．水車の運転可能範囲拡大のためには，これらの障壁を乗り越える必要がある．なお，これ以外の非定常現象としては，翼後縁から発生するカルマン渦現象・ガイドベーンとランナの翼列干渉現象などがあるが，上記現象と比べて高周波数帯にあるため，両者は別々に解析しても周波数特性上はほぼ加算評価できる関係にある．

2.2　ランナ内剥離渦解析

落差変化により発生するランナ内剥離渦を解析するポイントは，剥離渦の不安定な挙動を高精度に捉えることである．このためには，格子解像度のレベルで渦の非定常な挙動を忠実に模擬するLESモデルと，時間ステップごとに渦廻りの格子解像度を上げるDynamic Mesh法を組み合わせて適用することが有効である．本解析方法の理解を容易にするため，図３に２次元単独翼剥離流れへの適用事例を示す．本図より，翼前縁部から剥離渦が連続的に発生するとともに，剥離渦廻りに格子が動的集中し，高落差大流量運転点で確認されるようなRe-entrant jet現象が再現されていることがわかる．また，本解析手法を落差変化により発生するランナ内剥離渦に適用した事例を図４に示す．本図では，ランナ中心断面上の剥離領域と剥離渦の挙動をそれぞれ相対速度コンターと流線で示しているが，ランナ入口部剥離領域で発生する渦の挙動が高精度に再現されていることがわかる．一方，剥離渦発生の抑制には，羽根先端形状の鈍頭化・羽根枚数増加・スプリッターブ

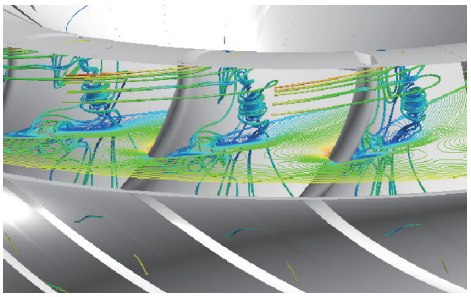


(a)　解析格子上の渦度分布

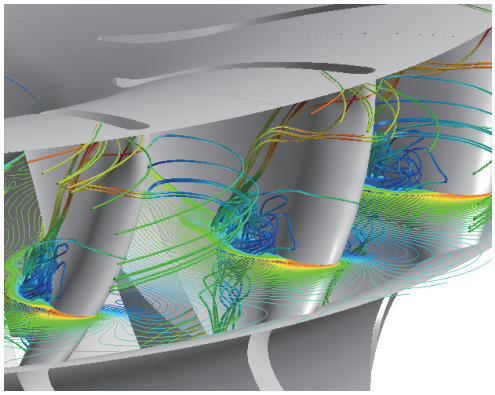


(b)　翼型廻りの渦度分布

図３　２次元単独翼剥離流れへの適用事例



(a)　超低落差運転点



(b)　超高落差運転点

図４　水車ランナ適用事例

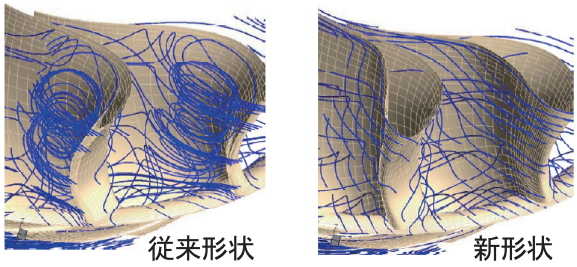
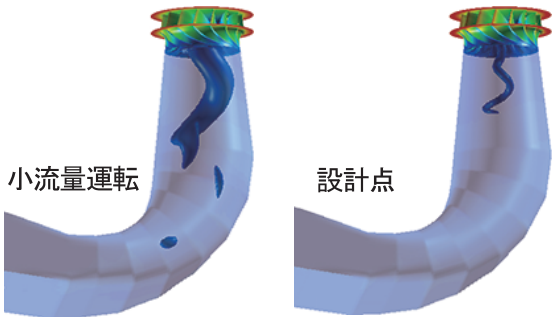


図５　変落差特性改善ランナ[5)]

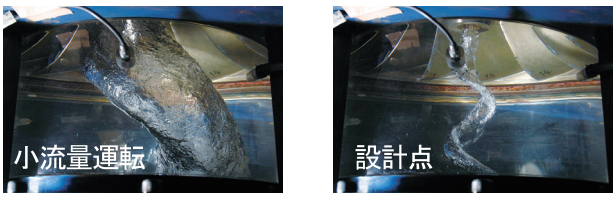
レードの取り付けなどが有効と考えられており，図５に示すようなユニークな形状をしたランナも提案されている．本ランナは水力性能的には最適化されていない可能性があるが，他施策併用と共に本項で示した流れ解析コードを活用することにより，より洗練されたものになるものと思われる．

2.3　センタホワール解析

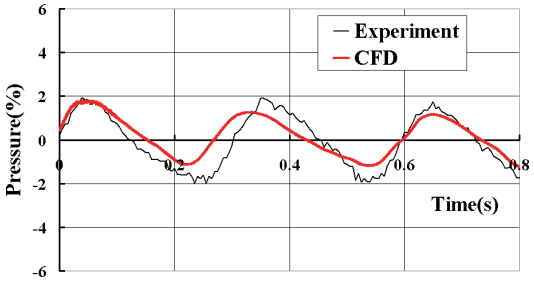
小流量運転時に発生するセンタホワールを解析するポイントは，ランナと吸出し管の干渉効果を模擬することと，レイノルズ応力の非等方性を考慮することである．このためには，ランナの回転移動を考慮した解析領域のモデル化と，RSMモデル・LESモデルなどの非等方性乱流モデルの適用が必要となる．図６にRSMモデルを適用した場合のセンタホワール解析結果と模型実験による検証結果を示す．これらの図より，吸出し管内でのセンタホワールの挙動やこれにより誘発される水圧脈動特性が高精度に予測できていることがわかる．



(a)　解析結果



(b)　模型試験結果



(c)　水圧脈動特性（小流量運転）

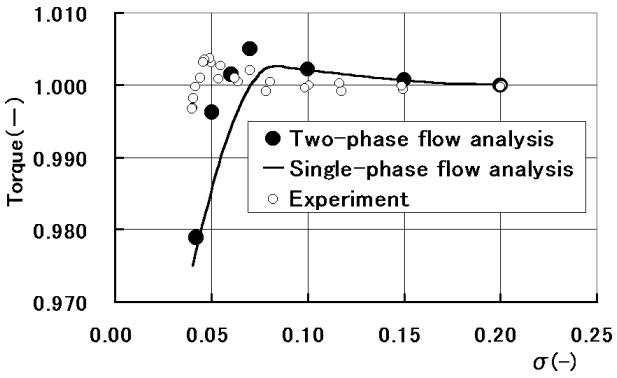
図６　センタホワール現象予測検証結果

なお，センタホワールの生成により，ランナ下流域の正味の流路断面積は小さくなる．したがって，センタホワールの触れ回り幅を小さくできれば，摩

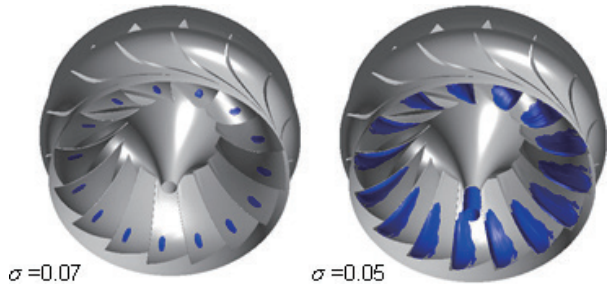
擦損失を低減することができる．センタホワール生成の支配的要因は，ランナ出口旋回流れと上部吸出し管形状である．これらに関連する形状パラメータを本項に示した解析コードで最適化することにより，小流量運転時の水力性能を改善することができる．

3. 気液２相流れ解析技術

発電用水車のキャビテーション性能を評価する指標としては，臨界キャビテーション特性がある．本特性は，キャビテーション係数σを下げてゆくとランナ羽根面の広い範囲にわたってキャビテーションが発生し，ランナ内のフローパターンが変化して効率などの性能が低下し始めるが，変化し始める点を臨界キャビテーション係数σcと定義して，実物運転状態に相当するキャビテーション係数σpに対する裕度（σc／σp）を確認するものである．



(a)　臨界キャビテーション特性予測検証結果



(b)　キャビテーション発生状況

図７　キャビテーション解析事例

この場合，キャビテーション気泡の成長がランナ内部流動特性に与える影響を考慮する必要があるが，流れ場が気液２相流になることとキャビテーション気泡が非定常で不安定な挙動を示すことにより，解析対象としては難しいものであるため，現在でも物理モデル（キャビテーションモデル）の改良・開発が行われている．現在提案されているキャビテーションモデルとしては，①キャビテーションをひとつあるいは数個程度の気体の塊と捉え，その界面位置を追跡するモデル[6]，②Rayleigh-Plesset方程式などの球形気泡の膨張収縮を模擬した気泡力学方程式をベースにするモデル[7]，③気体－液体間の相変化を表現した状態方程式をベースにしたモデル[8]がある．これらの内，①のモデルがもっとも高精度であるが，現状の計算機性能の制約から，水車キャビテーション流れに適用するのは難しい．このため，発電用水車性能開発現場では②のモデルもしくは③のモデルが活用されている．②のモデルを発電用水車の臨界キャビテーション特性予測に適用した事例を，図７に示す．本図より，キャビティー下流域のキャビテーション気泡の離脱・分離などの微細な現象は再現されていないが，シートキャビテーションの概略的サイズは模擬できているため，臨界キャビテーション係数σcを工学的には十分な精度で予測可能になっていることがわかる．

4. 数値最適化技術

水車性能上もっとも重要な部材であるランナは複雑な自由曲面を有する形状をしており，約30個の設計定数から定義される．このため，おのおのの設計定数について効率に関する最適値が存在する可能性があるので，設計定数平面上に効率特性を描くと，図８に示すような大小さまざまな効率の山が存在することになる．このような多峰性を有する設計空間内での最適解探索には，勾配法で代表される決定論的方法は原理的に適用不可である．また，DOEやRSMも，最適解の多峰性に応じた水準数やRS次数を選定する必要があるので，実用上は適用困難である．一方，最近の計算機性能の飛躍的向上と相まって，生物進化にヒントを得たとされる遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm：以下GA）による最適化手法がさまざまな分野から注目されている．本手法によれば，初期形状を確率論的にランダムに発生させ，各々の形状の設計定数の組替えや，突然変異的な設計定数の変更により，繰り返し新たな特性の優れた形状を発生させるので，多峰性を有する設計空間内でも真の極大値に到達することができるのである．

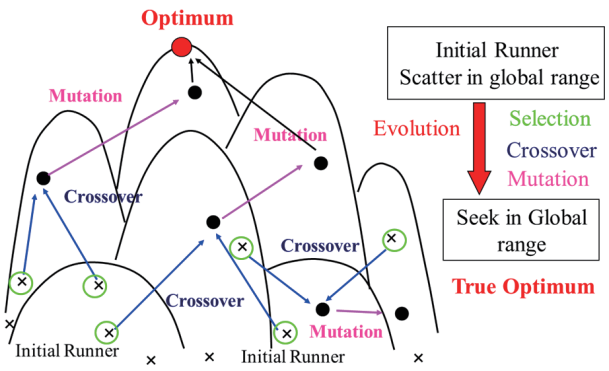


図８　GAによる形状最適化

このような背景のもと，発電用水車開発の現場では，図９に示すようなGAをコアとしたランナ形状設計プログラムと乱流解析コード（CFD）とを組み合わせた水車ランナ最適化システムが構築されている．

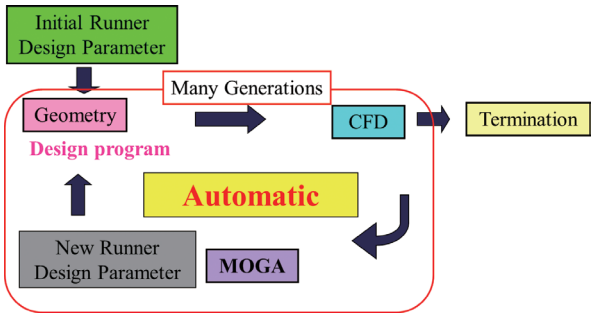


図９　水車ランナ最適化システム

60%流量・100%流量・120%流量の運転状態で，ランナで発生する水力損失と出口渦損失の和を最小にする問題に，本最適化システムを適用した結果として，図10にそのパレート解を示す．パレート図の軸は，目的関数である各流量点での損失を示しており，これらの値は従来ランナの損失で無次元化されている．本図に示される黒点が，試設計したランナで，本図によれば小流量損失の小さなランナ形状や大流量損失の小さなランナ形状を，容易に選定出来るので，水力発電所の運用に合わせて水車流路の選定を行うことができる．また，すべての流量点において，優れた性能を有するランナBについては，

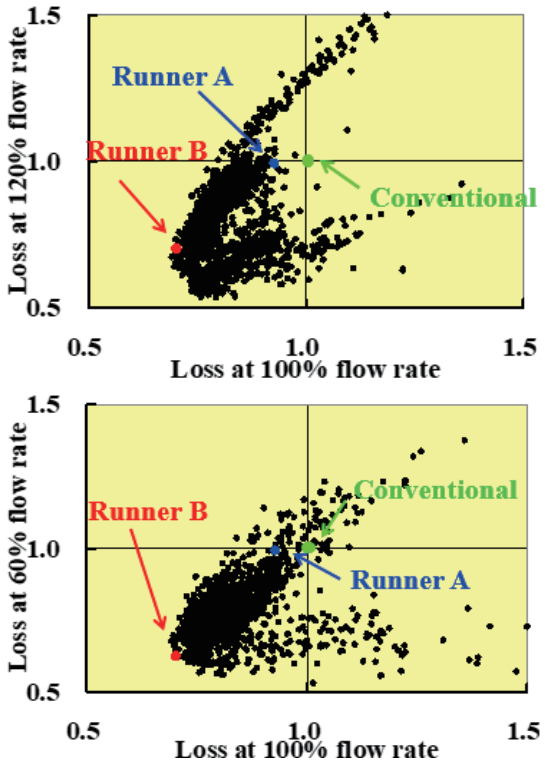


図10　ランナ最適化事例（パレート解）[9]

模型試験検証を実施したので，性能検証結果を図11に示す．本図より，効率特性が改善されているだけでなく，ランナ出口渦損失の低減も図っているため，水圧脈動も低減していることが確認される．

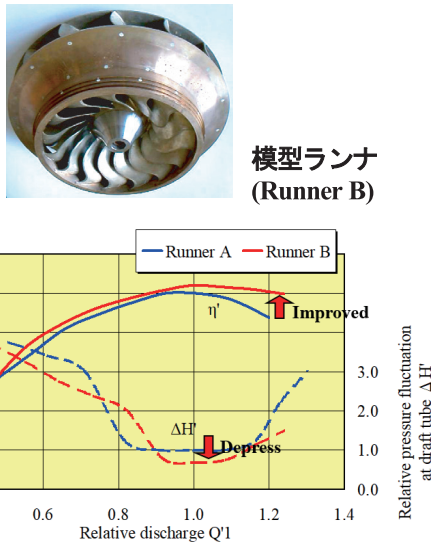


図11　最適化性能検証結果[9]

5. おわりに

発電用水車を例にターボ機械高性能化を支える高精度流れ解析技術について紹介した．紹介した解析技術が，フルードパワー機器の技術開発や研究のお役に立てば幸いである．

参考文献

1）黒澤・他：水車流路全体流路解析を基盤にした性能検証模型試験代替技術開発，東芝レビュー，Vol. 67，No. 7，p. 19–22（2012）
2）黒澤：水車開発におけるキャビテーションCFD，ターボ機械，Vol. 42，No. 11，p. 713–719（2014）
3）川尻：水車性能開発における最適化技術，ターボ機械，Vol. 43，No. 10，p. 612–617（2015）
4）Tanaka, H., et al.：Cavitation of Hydraulic Machinery Imperial College Press., p. 212（2000）
5）Couston, M., et al.：Shasta powerplant refurbishment, Proc. of 22th IAHR Sympo., Paper No. A13–3（2004）
6）高比良他：液体中での気泡群の力学，日本機械学会論文集（B），Vol. 58，No. 548，p. 1275–1282（1992）
7）Kubota, A., et al.：A New Modeling of Cavitating Flows：A Numerical Study of Unsteady Cavitation on a Hydrofoil Section, J. Fluid Mech., Vol. 240, p. 59–96（1992）
8）Song, et al.：Numerical Simulation of Cavitating Flows by Single-Phase Flow Approach, Proc. 3rd Int. Symp. on Cavitation, Grenoble, Vol. 2, p. 295–300（1998）
9）Enomoto,. Y. et al.：Design optimization of a Francis Turbine Runner using Multi-Objective Genetic Algorithm, Proc. of 22th IAHR Sympo., Paper No. A1–2（2004）

（原稿受付：2020年１月30日）

解説

小型ターボジェットエンジンの開発

著者紹介

市村（いちむら）　修太郎（しゅうたろう）
川崎重工業株式会社
〒673-8666 兵庫県明石市川崎町１－１
E-mail : ichimura_s@khi.co.jp

1999年京都大学大学院工学研究科修士課程修了．同年，川崎重工業株式会社に入社，以来，小型ジェットエンジンの開発に従事，日本機械学会会員．

1. はじめに

ターボジェットエンジンとは，外部から吸入した空気に燃料を混合し，その燃焼で発生させた噴流により推進力を得る装置である．燃焼で動力を得る点では，車などに用いられるピストンエンジンと原理は同じであるが，吸込，燃焼，膨張の各工程を，圧縮機，燃焼器，タービンという専用の要素に割振り，連続して行うことで，小型で大動力を得られるものである．噴流から動力の一部を回収し，エンジン入口に追加したファンを回転させるものが，低騒音で燃費のよいターボファンエンジンであり，大型航空機の多くに採用されている．さらに噴流から動力の大部分を軸出力として回収したものが，小型航空機に用いられるターボプロップエンジンや，ヘリコプタに用いられるターボシャフトエンジンである．

大型機用ターボファンエンジンは開発費が巨額となるため，世界でも独自開発できる企業は少ない．一方，近年，開発が盛んな小型無人航空機用の小型ターボジェットエンジンは，弊社単独で開発できる．本稿では，弊社における開発の一端を紹介する．

2. ターボジェットエンジンの開発

2.1　弊社での開発

最新の長距離中型旅客機用のターボファンエンジンでは，ファン径ϕ2.8m（ϕ112in），推力は330kN（74,000lb）にもなる[1]．一方，弊社が製造する小型無人航空機用ターボジェットエンジンは，外径ϕ160㎜～ϕ350㎜（ϕ6 in ～ϕ14in），推力0.4kN ～4kN（100lb ～ 880lb）である[2]．構造の一例を図１に示す．圧縮機とタービンを一体構造とすることによる部品点数削減や，軸受支持を片持ちとすることによる組立簡素化を実現している．

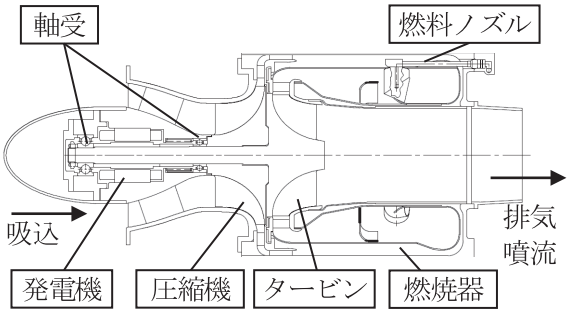


図１　小型ターボジェットエンジンの構造例

2.2　ターボジェットエンジンの性能設計

ターボジェットエンジンの基本サイクルは図２に示すように，断熱変化と定圧変化からなるブレイトン・サイクルである．理論熱効率η_{th}は圧縮機の圧力比γ=P2/P1，比熱比κを用いて式①で表され，γが高いほど高効率となる．

$$\eta_{th}=\frac{Q1-Q2}{Q1}=1-\left(\frac{1}{\gamma}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \qquad \cdots\cdots式①$$

推力は主にエンジン入口出口の運動量変化で得られ空気流量が多いほど高推力となる．よって，空気密度が低い上空では推力が低くなる．ジェットエンジンの開発では，所望の推力，燃費を得るために，このサイクルにおいて，空気流量，圧力比，燃焼温

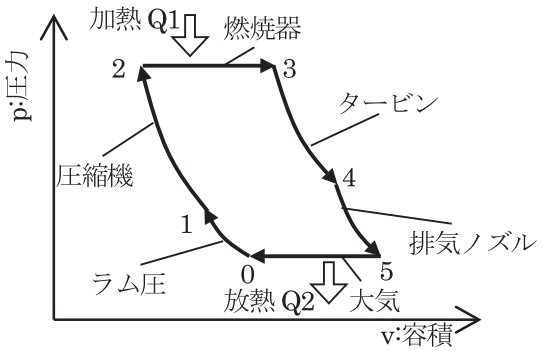


図２　ターボジェットエンジンのサイクル（P-V線図）

度を決定する．

2.3　圧縮機の設計

圧縮機には，より多くの空気を吸引し圧縮する能力に加え，高い効率や安定作動などが求められる．形式には空気流路を縮小させ圧縮していく軸流型と，遠心力で圧縮する遠心型がある．図１は後者である．いずれの形式でも，空気流量，圧力比を実現するための，寸法，回転数，流路（翼型）の設計が行われる．また高速回転体であるため，強度や振動も設計課題となる．

流路設計では，局所的な高速域や剥離域のない形状にすることが理想でありCFDを活用する．解析例を図３に示す．強度設計では，遠心力・熱応力に十分な強度を有する形状とする．解析例を図４に示す．また翼振動による繰返し応力での破断がないよう，作動回転数領域で回転周波数と共振周波数が合致しない形状とする．解析例を図５に示す．設計後は試作し実証試験を実施する．

2.4　燃焼器の設計

燃焼器は，燃料を燃焼させ高温高圧ガスを発生する能力に加え，低い圧損や均一な温度分布，燃焼安

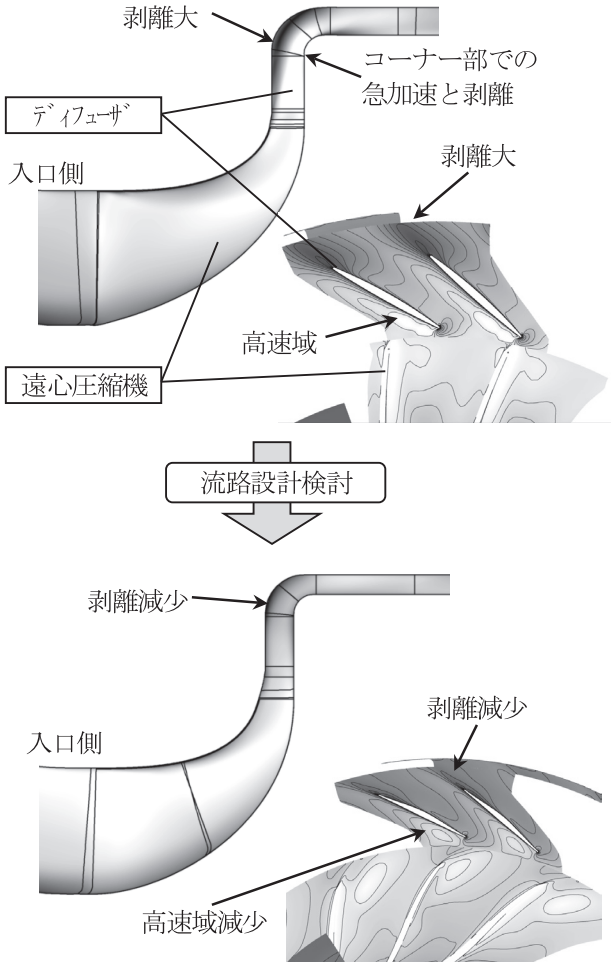


図３　CFD（速度分布）解析例
（濃色：低速域，淡色：高速域）

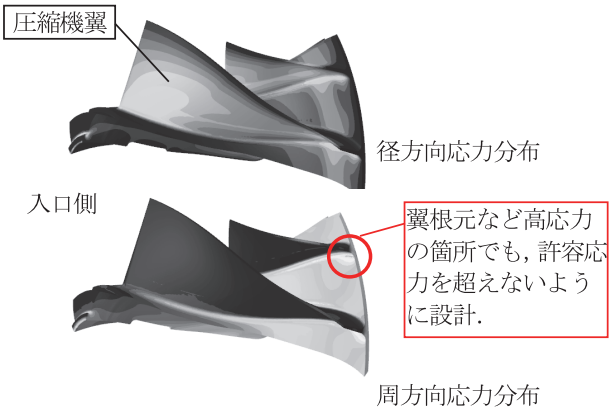


図４　強度解析例
（濃部：低応力，淡部：高応力）

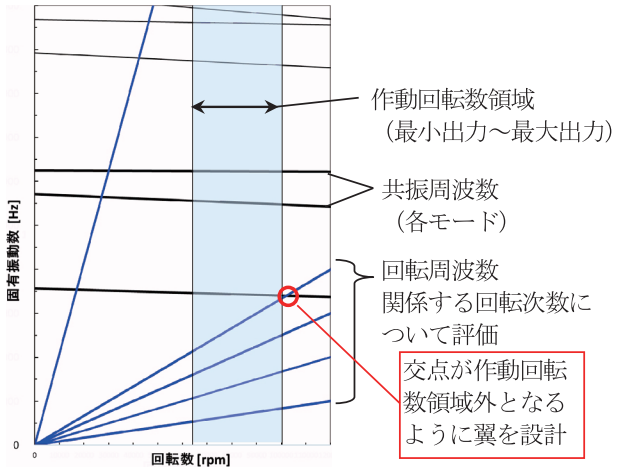


図５　翼振動解析例（キャンベル線図）

定性などが求められる．形式には空気流れが入口から出口へ直進する順流型燃焼器と，入口から出口で逆転する逆流型燃焼器がある．後者はエンジン全長が短くできるため，機体内に搭載するヘリコプタ用エンジンなどで採用されている．図１もこの形式である．いずれの形式でも，着火性，燃焼効率，損失の低減，均一な温度分布を実現するために，内部空気配分の設計が行われる．また，もっとも高温となる要素であり，冷却設計が施される．

流れ場は非定常乱流であり，かつ燃焼反応もともなう複雑なものである．LES（Large Eddy Simulation）などの解析手法もあるが，小型エンジンでは実証試験が有効である．試験例を図６に示す．

2.5　タービン

タービンは，高温高圧ガスを膨張させ，圧縮機駆動動力を取り出す能力に加え，高い効率や信頼性などが求められる．形式には，圧縮機と同じく軸流型と遠心型があり，設計や解析ツールも圧縮機に類したものとなる．もっとも高温で回転する要素であり，耐熱材料や冷却構造が，大きな役割を担う要素である．

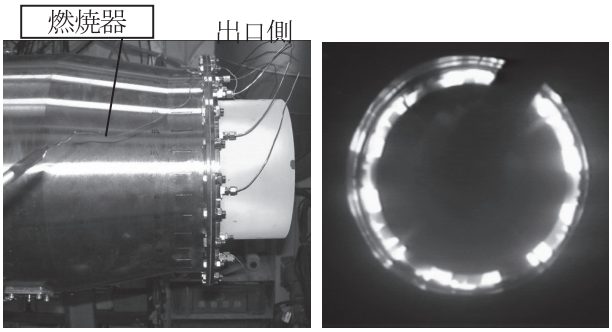


図６　燃焼器試験例（左図：側視，右図：出口視）

2.6　エンジン試験

各要素について，設計・試験確認を行った後，エンジンとして組立て，性能確認試験を行う．

最も基本的なものは，SLS（Sea Level Static：地上静止）試験である．試験例を図７に示す．エンジン始動は電動モータによる方法や，高圧エアを圧縮機などに噴き込む方法などで，回転開始させた後，燃料を投入し着火させる．以降，投入する燃料流量を増減させ，最小出力から最大出力までの性能（推力，燃費）を取得する．各要素の入口・出口には温度や圧力センサーを設置し，設計通りに作動しているか評価を行うが，これらは，開発の進捗にともない減少させ，より製品に近い形態での試験とする．

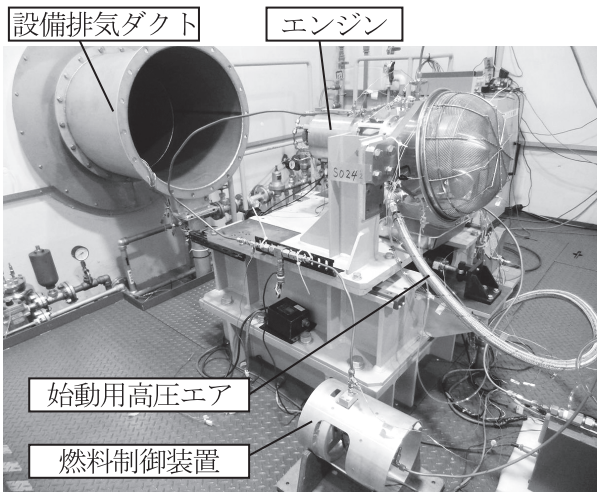


図７　エンジンSLS試験例

また，航空機用エンジンの代表的な試験にはATF（Altitude Test Facility：高空試験設備）がある．これは，エンジンを高空の低圧を模擬できるチャンバー内に設置し，エンジン入口には高速気流を供給することで，飛行状態を模擬した状態で性能取得を行うものである．概念図を図８に示す．

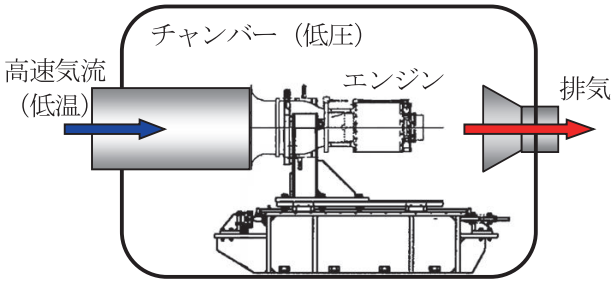


図８　エンジンATF試験の概念図

2.7　そ の 他

使用条件に応じて，長時間耐久や，耐環境性の設計を行う．一例として，着氷環境下で氷を吸い込んだ場合を想定した，氷塊と圧縮機の衝突解析例を図９に示す．

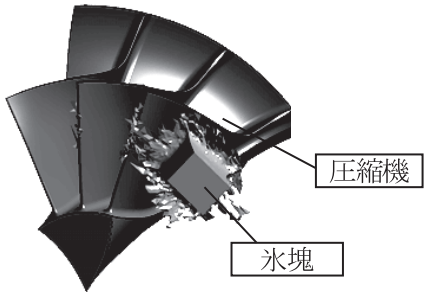


図９　氷塊と圧縮機の衝突解析例

3. ま と め

弊社における小型ターボジェットエンジンの開発概略について述べた．最近では，加工においてもAM（Additive Manufacturing）といった新技術が実用化されつつあり，より小型・軽量なジェットエンジンの実現が期待できるものである．

弊社では，最新技術を適用したエンジンラインナップを拡充させ，拡大が期待される小型無人航空機のニーズに対応していくものである．

参考文献

1）大型ターボファンエンジン「Trent1000」の開発，川崎重工業技報，No. 161, p. 9（2006年５月）
2）小型ジェットエンジン「KJ14」の開発，川崎重工業技報，No. 161, p. 12（2006年５月）

（原稿受付：2020年３月２日）

会議報告

MoViC2019におけるフルードパワー技術研究の動向

著者紹介

田中（たなか）　豊（ゆたか）
法政大学デザイン工学部
〒162-0843 東京都新宿区市谷田町２－33
E-mail : y_tanaka@hosei.ac.jp

1985年東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程修了，その後，東工大精密工学研究所助手を経て，1991年法政大学講師，1992年同助教授，2002年同教授，現在に至る．第11回JFPSフルードパワー国際会議実行委員長．工学博士（1991年 東京工業大学）．

1. はじめに

第16回「運動と振動の制御」シンポジウム（MoViC2019）が，日本機械学会の機械力学・計測制御部門の主催により，2019年12月４日（水）から６日（金）まで，写真１に示す高知城に程近い高知県高知市の高知県教育会館 高知城ホールを会場にして開催された．

本講演会では２件の特別講演と９つのオーガナイズドセッション（OS）による82件の講演発表があった．著者は横浜国大の眞田先生と共に「OS2 フルードパワーの基礎と応用」を企画し，このセッションには６件の発表があった．

写真１　会場に程近い高知城

2. 研究発表の紹介

ここでは，講演会の中でフルードパワーに関連した興味ある７件の発表論文を紹介する．

眞田ら[1]は，配管内の作動油の流れの慣性を利用したデジタル油圧制御回路について報告している．図１に示す油圧回路において，サーボ弁を最適なデューティー比で切換えることによりアキュムレータ側の出力圧力を任意の一定圧力に保つ圧力制御が実現できることを数値シミュレーションにより明らかにしている．

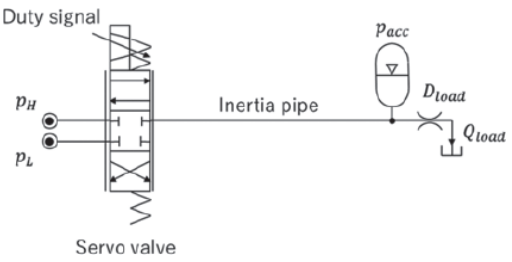


図１　慣性を利用したデジタル油圧制御回路

芳賀ら[2]は，斜板式油圧アキシャルピストンポンプのポンプケーシングの一部に観測窓を設けてポンプ内部を可視化することにより，さまざまな運転条件下におけるピストンやスリッパの往復運動や公転運動と自転運動が組み合わさった複雑な運動を高速度カメラで撮影観測している．ピストンとスリッパにマークをつけ，図２に示す吐出ポート付近の丸印の座標における８か所を記録し，ピストンとスリッパの運動の様子を解析した結果，スリッパの回転はピストンの回転に比べ遅く，スリッパとピストンのジョイント部分ですべりが発生して運動が一体となっていないことが報告された．

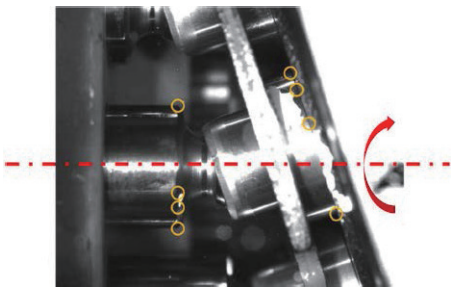


図２　ピストン・スリッパ付近の観測結果

吉満ら[3]は，関節可動域を有しつつ機構の重量を抑え屋外活動に適したアシストスーツ用空気圧アクチュエータシステムについて報告している．アシストスーツ用空気圧シリンダの流量制御にスピードコ

ントローラではなくエジェクタを用いることで，降坂時の衝撃力吸収を行うと同時に降坂時のエネルギー回生を行うシステムを提案し，その動作特性を実験的に検討した．

坂間ら[4]は，油の等価体積弾性係数から簡易に油の気泡含有率を推定する手法を提案し，その同定手法の妥当性を実験的に検討している．空気が数パーセント含まれる油に対して行った実験結果とコリオリ流量計を用いた計測結果との比較を通して，提案手法の妥当性が示された．

野田ら[5]は，高い耐性をもつポリイミド（PI）フィルムを用いた柔軟アクチュエータについて報告している．図３に示すような，PIフィルムをPIフィルム製バルーン内に積層し，ジャミング転移現象を用いた可変剛性要素を提案・試作し，その可変曲げ剛性特性を実験的に明らかにした．実験の結果，内部圧力の低下にともない剛性が線形的に増加すること，柔らかな状態から硬い状態に変わる現象であるジャミング転移の影響によるヒステリシス特性が確認されたことが報告された．

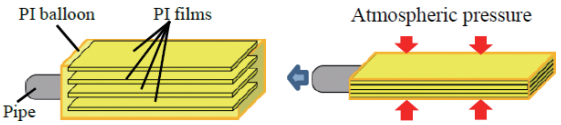


図３　ジャミング転移現象を利用した柔軟アクチュエータの原理

杉山ら[6]は，図４に示す静圧軸受により可動部を浮上させ駆動する空気圧アクチュエータの精密位置決めシステムにおいて，大容量サーボ弁と受圧面積を増大させた空気圧アクチュエータを適用し，位置決めの高精度を保ちながら高速化を実現する新たなシステムの試作結果を報告している．高速でも追従可能な目標軌道を与えることにより，80㎜のストロークにおいて最大速度1.25m/s，最大加速度50m/s^{2}を実現したことが示された．

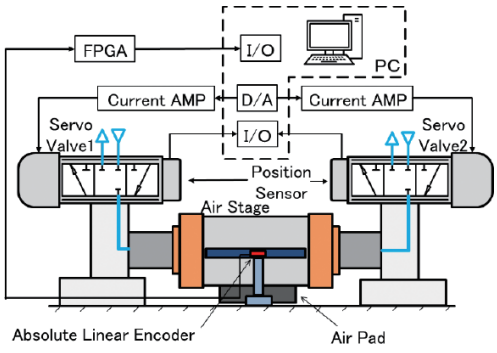


図４　ステージの精密位置決め用空気圧サーボシステム

横田ら[7]は，手術用ロボットの操作用マスターデバイスに使用する空気圧により把持力の提示が可能な球体入力型インタフェースの把持力の提示精度について報告している．このインタフェースは，図５に示すように筒の先端に柔軟な半球が接着された容器で，筒内を加圧することで力覚の提示を行う．把持力の提示精度を確認する実験の結果，高い精度で力覚提示が可能であることを示した．

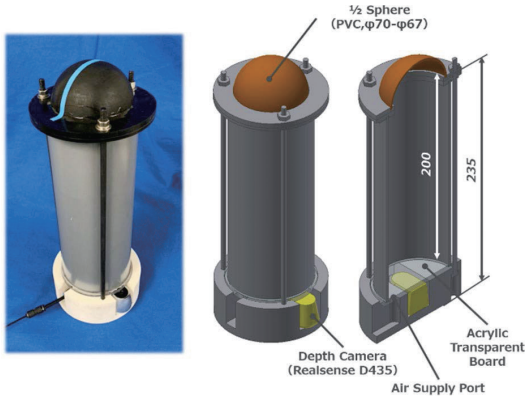


図５　球体型入力インタフェース

3. おわりに

第16回「運動と振動の制御」シンポジウム（MoViC2019）におけるフルードパワー関連の発表講演についてレビューした．運動の計測や制御におけるフルードパワー技術研究の活用成果の一端を垣間見ることができた．次回のMoViC2020は国際会議として９月に新潟の朱鷺メッセで開催される予定である．

参考文献

1）眞田，他４名：慣性配管を利用し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，No-18-301，第16回「運動と振動の制御」シンポジウム（MoViC2019）講演論文集（誌名は以下すべて同じ），C101.
2）芳賀，風間：ピストンポンプのピストン・スリッパ回転運動の可視化計測（予備実験），C102.
3）吉満，松本：屋外活動アシストスーツ用アクチュエータの研究，C103.
4）坂間，田中，菅原：油の等価体積弾性係数の測定による気泡含有率の推定，C104.
5）野田，山口，他３名：真空圧を利用したポリイミドフィルム製可変剛性要素の試作，C105.
6）杉山，藤田：静圧軸受を用いたエアステージの高速高精度制御，C106.
7）横田，他５名：空気圧による力覚提示が可能な球体型入力インタフェース，C208.

（原稿受付：2020年１月６日）

会議報告

ASME/BATH 2019 SYMPOSIUM ON FLUID POWER AND MOTION CONTROL（FPMC2019）に参加して

著者紹介

増田精鋭（ますだせいえい）

株式会社IHI 航空・宇宙・防衛領域 制御技術部
〒190-8686 東京都昭島市拝島町3975番地18
E-mail：masuda4631@ihi.com

1990年上智大学大学院博士前期課程修了．同年 石川島播磨重工業株式会社（現，株式会社IHI）に入社，2018年九州工業大学情報工学府博士後期課程（社会人枠）入学，現在に至る．ジェットエンジン燃料制御機器開発に従事．日本フルードパワーシステム学会，ターボ機械協会，日本技術士会などの会員．技術士（機械，総合技術監理）．

1. はじめに

2019年10月７日から10月９日に米国フロリダ州ロング・ボート・キー Zota Beach Resort（写真１）において，ASME/BATH 2019 SYMPOSIUM ON FLUID POWER AND MOTION CONTROL（FPMC2019）が開催された．この国際会議は米国機械学会（ASME）と英国バース大学が2009年度より共催しており，今年度は米国開催となった（写真２）． 議長はミネソタ大学のJames Van de Ven 教授が務められた．

今回，FMPC2019に出席する機会を得たので会議の概要について報告する．

写真１　Zota Beach Resortホテル[1)]

FPMCは会議進行方法に特徴があり，出席者を全員集めて講演に対して全員でレビューをする形式を採用している．レビューは約２時間のセッションの最後に30分にまとめて実施するため，注目を集めた講演については，レビューと討議の時間がより多く費やされる．このような会議形式も影響していると考えられるが，講演テーマが多岐に渡るわりには，発表論文数は比較的少なく，2019年度に採択された講演論文は78本であった．

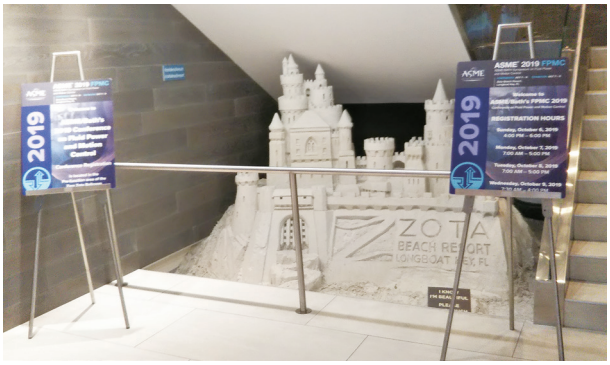


写真２　FPMC2019のエントランス

2. 研究発表の動向

2.1　セッションと講演論文数

セッションの一覧と講演論文数を表１に示す．

９つのセッションの中でもっとも発表が多かったの

表１　FPMC2019のセッション一覧

セッション名	講演数
Control Design Methodologies and Techniques for Fluid Power Systems	10
New Approaches to System Modeling and System Design	6
Modeling and Design of Fluid Power Components	6
Reliability，Fault Analysis and Diagnosis	4
Fluid Power Drives and Transmissions	6
Properties of Hydraulic Fluids	6
Hydrostatic Pumps and Motors	8
Digital and Switched Fluid Power Systems	6
Hydraulic Control Valves	6

は“Control Design Methodologies and Techniques for Fluid Power Systems”のテーマについてであり．10件の発表があった．次いで“Hydrostatic Pumps And Motors”の８件の発表があった．また，“Digital And Switched Fluid Power Systems”は６件の発表があったが，空圧システム分野の発表は２件と少なかった．産業分野は建機の講演が多く，航空関連の講演も２件あった．

今年度は，日本からの投稿が少なく，芝浦工業大学の西海教授が，INNAS社社長 Peter Achten博士ら８名と連名で投稿した“Measuring the Losses of Hydrostatic Pumps and Motors-A Critical Review of ISO4409：2007”と著者[2]の発表の２件のみであった．

2.2　受賞講演

Achten博士にフルードパワーの学術的な貢献を表彰してKosikiメダルが授与され，受賞講演が行われた．“Where is the coxswain?”[3]といった標題の講演が行われ（写真３），フルードパワーにおけるイノベーションが牽引されるためには，強いリーダーシップが必要であり，そのような人材が出てくることが期待されるといった内容であった．

講演では1970年代から現代までのフルード・パワーの十数人のオピニオン・リーダの発言が多く引用されており，日本人では1994年の田中裕久先生の「ユーザーフレンドリな油圧システムを実現するためには，絶え間ない効率向上と制御性向上が必要である．」といった発言が引用されていた．また，自身のFloating Cup Pumpの事例もイノベーションの一例として紹介していた．

写真３　Kosikiメダル受賞講演会場

2.3　優秀講演

FPMC2018最優秀論文としてパデュー大学Andrew Robison氏とAndrea Vacca教授の内接ギヤポンプの最適化に関する講演[4]が表彰され，ヨハネス ケプラー大学のBernhard Manhartsgruber教授の管路モデリングの最適化[5]についてGlobal Fluid Power Society（GFPS）のFPMC2019 最優秀論文に選出された．

3. 終わりに

今回，議事進行の新しい試みとしてAttendeeHub（CrowdCompass社製）というソフトウェアを使用して進行情報の伝達や予行集の配布が無線Lanを通して行なわれた．モバイル・パソコンまたはスマートフォンがあれば，身ひとつで聴講が可能といった試みであり，今後，このような方式が増えていくものと考えられる．

また，FPMC2019で，歯車ポンプや電油サーボバルブといった古典的な油圧機器に関する投稿が複数あった．筆者の従事する航空宇宙産業では，これらの機器がいまだに多く使用されているが，成熟した技術分野のため最新の研究成果を知ることが難しく，聴講の機会を得たことは，非常に有益であったと考えられる．

Achten博士の講演資料[3]は100ページ超の膨大なものであったが，フルードパワーシステムの第一人者の発言が顔写真付きで多く引用されており，フルードパワー現代史の資料としても一読の価値があるのではないかと感じられた．

タンパ空港経由で会場に到着したが，約100㎞をタクシーで移動した．途中，タンパ湾上の275号線を通り，海上を自動車で走っているような景色が30分以上続き，その風光明媚な景色には驚かされた．また，開催日が米国の夏時間の最後の時期だったため，早朝は非常に暗く温暖な気候と相まって非常に大きな時差があるように感じられた．

なお，FMPC2020は，英国のBath大学で，９月９日から11日で開催されるとアナウンスされた．

参考文献

1）https://www.zotabeachresort.com/gallery/
2）https://event.asme.org/Events/media/library/resources/fpmc/FPMC2019-Final-Program.pdf
3）https://www.innas.com/assets/2019-koski-lecture---where-is-the-coxswain_peter_achten.pdf
4）Robison A, Vacca A：Multi-Objective Geometric Optimization of Elliptical-Toothed Gerotor Pumps for Kinematics and Wear by Genetic Algorithm, Proceedings of FPMC2018
5）Manhartsgruber B：H 2-Optimal Low Order Transmission Line Models, Proceedings of FPMC2019

（原稿受付：2020年２月５日）

会議報告

計測自動制御学会・流体計測制御シンポジウムにおける研究動向

著者紹介

吉満俊拓（よしみつとしひろ）
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．現在は准教授．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，計測自動制御学会などの会員．博士（工学）

1. はじめに

計測自動制御学会産業応用部門主催2019年度産業応用部門大会が2019年10月31日（木）に東京工業大学にて開催された．産業応用部門では，「実践が理論を越える，技術を生み，技術を役立て，技術を評価する産業応用部門」をキャッチフレーズに，流体計測制御部会，計測・制御ネットワーク部会，計装技術交流部会の３部会と計測制御エンジニア会を中心として，シンポジウムを企画している．本年は，産学連携に関する基調講演として，広島大学山本透先生より「産学連携のWin-Winな関係を目指して」の講演をいただいた．さらに，産業応用部門，制御部門，国際標準化委員会の合同企画OS（Organized Session）として，「SI単位系の定義改定の動向」や，「ネットワーク化制御，スマートシティ，スマートマニュファクチュアリングの最新動向」をテーマとする講演も行われた．

流体計測制御シンポジウムは産業応用部門流体計測制御部会によって企画され，フルードパワーシステムに関する分野の研究発表が行われた．本シンポジウムでは，６件の研究発表がなされた．本稿では，本シンポジウムにおける研究動向について報告する．

2. 研究内容の紹介

肥後らの研究[1]では，空気圧ロッドレスシリンダ，高速電磁弁，サーボバルブを組み合わせた新たな空気圧回路を提案した．空気圧シリンダの位置決め制御には，これまでに多くの手法が提案されているがシステムが複雑となることや設備が高額になることから，一般に普及しているとは言い難いのが現状である．制御手法としてもっともシンプルな比例制御によるシリンダ中間位置決め制御の性能について，従来の手法と比較した結果について報告した．

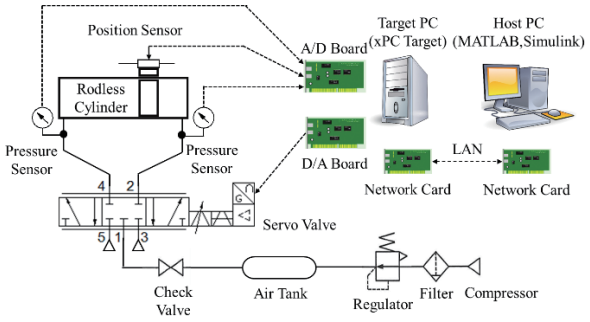


図１　空気圧ロッドレスシリンダの位置決め制御回路[1]

油圧制御回路における制御弁絞りの圧力損失への対策として，油圧配管を流れる作動油の慣性力を有効に利用したデジタル油圧制御回路の研究が注目されている．

眞田らの研究[2]では，慣性配管を利用したデジタル油圧制御回路について，シミュレーションモデルを構築して定常特性の考察を行っている．慣性配管は，管路の共振特性が影響することから，分布定数系としての動特性を再現できる数学モデルである最適化有限要素モデルによるシミュレーションモデルを構築し．定常特性の考察を行っている．負荷絞りが全閉の時，負荷圧力はデューティ比で線形的に制御できること，および負荷流量の増加に伴って負荷圧力が減少することが報告された．

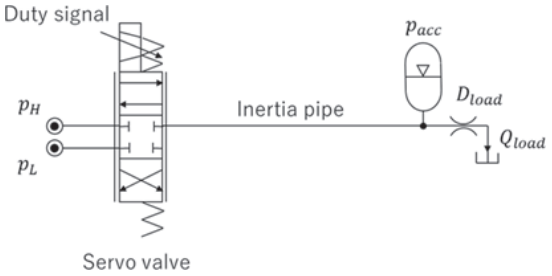


図２　慣性配管を利用したデジタル油圧制御回路[2]

横田らの研究[3]では，リンク機構を用いずに把持の計測が可能な多点入力型ヒューマンインタフェースを提案する．柔軟な球面の形状変化を深度カメラで計測することで，複数指からの入力を簡易な機構で計測する．また，空気圧により把持力を提示することが可能である．提案しているマスタ・デバイスを用いた把持計測の精度について報告する．

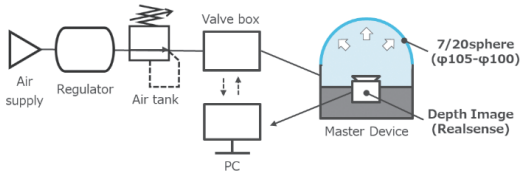


図３　多点入力マスタ・デバイスシステム概要[3]

心筋生検はX線透視により生検鉗子の動きを確認しながら行うが，目標とする心筋壁は透視像となり視認が困難である．佐藤らの研究[4]では，安全性を担保しつつ定量的に接触状態を判定するために，受動電極での筋電位計測により接触状態の判別を可能とするシステムを提案した．新たに開発された心筋生検鉗子により，筋電位計測性能，接触状態推定性能の評価実験を行い，受動電極により筋肉との接触状態を推定することが可能であることが報告された．

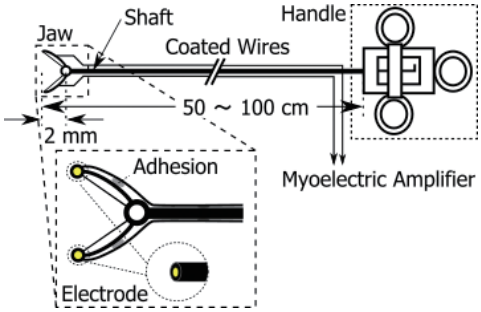


図４　受動電極を有する心筋生検鉗子概要図[4]

触覚センサをもつロボットハンドはヒトと関わりのあるロボットに必要性が高く，応用範囲も広いと考えられる．吉満らの研究[5]では，歪ゲージと熱電対を用いて，表面状態，硬さ，温度を検出する関節を持ち，空気圧アクチュエータを用いて能動的な触知覚動作を導入することによりヒトに近い触覚感性機能を持つ空気圧式人工指を提案した．強化学習を用いた材料認識システムを構築したことにより，材質ごとになぞり方を変えることを実現し，従来では人の心理値との誤差が大きい素材に対して誤差率の軽減に成功し，材料認識精度の向上が報告された．

小型で低価格な眼科手術ロボットを実現するためにソフトアクチュエータを用いた眼科用注射ロボットが開発され，角膜の刺突に成功している．佐藤らの研究[6]では，眼科用手術ロボットの針先を振動させることで，眼球の変形を抑えながらより小さい力で刺突できるシステムを提案した．針先振動には専用のアクチュエータを用いず，従来の空気圧制御系のサーボバルブ印加電圧に正弦波信号を加える方式とすることで，システムの重量増加を抑えており．高い周波数の振動付与が角膜貫通時における眼圧上昇の抑制に効果があるということが報告された．

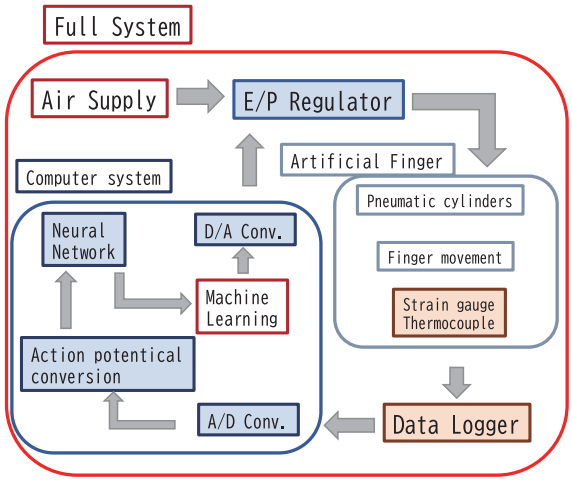


図５　材料認識システム概要図[5]

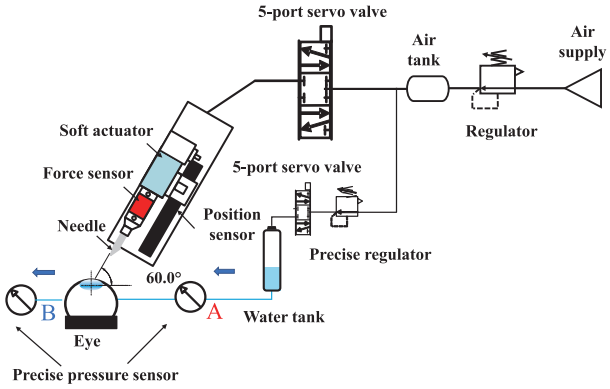


図６　空気圧ソフトアクチェエータを用いた眼科用注射ロボット[6]

3. おわりに

流体計測制御シンポジウムにおける研究動向を紹介した．理論解析・制御に関する事例やソフトアクチュエータなどフルードパワー分野において注目されている課題に関する研究の成果が多く報告され，大変興味深いものであった．本年も昨年同様，部会企画のシンポジウムを併設し，先端技術についての基調講演などもまじえて，さらに充実した発表，討論，交流の場としたいと考えているので，奮って参加いただけると幸いである．

参考文献
1）肥後隼佑，横山雄大，村山栄治，川上幸男：高速電磁弁を用いた空気圧ロッドレスシリンダの位置決め制御回路の検討，SICE産業応用部門2019年度大会講演論文集CD-ROM，F01（2019）
2）眞田一志，武田侑己，安藤大我，名倉忍，村上慶太：慣性配管を利用したデジタル油圧制御回路に関する考察，SICE産業応用部門2019年度大会講演論文集CD-ROM，F02（2019）
3）横田航也，菅野貴皓，藤田壽憲，宮嵜哲郎，川瀬利弘，川嶋健嗣：深度センサを用いた多点入力型マスタ・デバイス，SICE産業応用部門2019年度大会講演論文集CD-ROM，F03（2019）
4）佐藤慶，梅本朋幸，宮嵜哲郎，川瀬利弘，菅野貴皓，川嶋健嗣：筋電位計測による接触状態推定機能を有する心筋生検鉗子の開発，SICE産業応用部門2019年度大会講演論文集CD-ROM，F04（2019）
5）吉満俊拓，小山紀：空気圧駆動人工指による機械学習を用いた材料認識システムに関する研究，SICE産業応用部門2019年度大会講演論文集CD-ROM，F05（2019）
6）佐藤理香，菅野貴皓，川崎美苗，古城智也，宮嵜哲郎，川瀬利弘，藤田壽憲，川嶋健嗣：空気圧ソフトアクチュエータを用いた眼科用注射ロボットにおける針先振動の効果，SICE産業応用部門2019年度大会講演論文集CD-ROM，F06（2019）

（原稿受付：2020年2月6日）

会議報告

ICFD2019におけるフルードパワー関連研究

著　者　紹　介

中野政身（なかのまさみ）

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機械工学専攻博士後期課程修了．同年山形大学助手，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，現在に至る．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．

1. はじめに

第16回流動ダイナミクスに関する国際会議（The 16th International Conference on Flow Dynamics：ICFD2019）が，東北大学流体科学研究所を主催として2019年11月６日（水）から11月８日（金）にかけて仙台国際センターで開催された．本国際会議は2004年から毎年開催され，図１に示すように年々参加者も増加してきており，世界的に認知された国際会議となっている．今回は23か国から667名（内外国人259名）の参加者（図２）があり，504件（内外国人212件）の発表があった．初日の午前に３名の著名な研究者による基調講演があり，１つの一般セッション と20のオーガナイズドセッション（OS）が組まれ，活発な発表と討議がなされた．流動ダイナミクスに関する国際会議なため，油圧・空圧・水圧のフルードパワーに直接関係するOSはなく，OS：Smart Fluids & Soft Matters and the Advanced Applicationsにおいて，フルードパワーとして機能性流体に関する関連技術の研究発表がいくつかあったので紹介する．

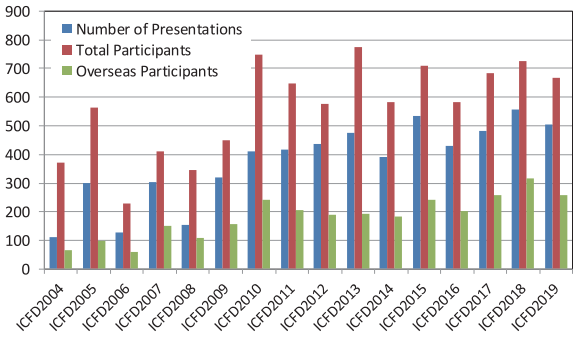


図１　ICFDの参加者と発表件数の推移

図２　ICFD2019の参加者集合写真

2. 機能性流体関連の研究発表の概要

当該OSでは，機能性流体および機能性ソフトマテリアルとそれらの応用に関して，招待講演３件を含めて12件の発表があった．

2.1　機能性流体とその応用に関する研究発表

Taoは，原油を輸送するパイプラインにおける原油の流動点を低下させる目的で，重質パラフィン系原油の電場印加によるエレクトロレオロジー効果による流動点の低下方法について招待講演を行っている[1)]．原油の流れ方向に電場を与え，原油中のパラフィンワックス粒子の鎖状構造を形成することによって最大ランダムジャミング密度を増大させ，その流動点を４℃程度低下させることができることを明らかにしている．

Kimは，図３に示すように，２種の電界共役流体ECFを作動流体とした２つのECFポンプを圧力源として２種のECFをT形分岐チャンネルに供給し，オイル中にオイルの液滴（O/O droplets）を形成するOn chip systemについて招待講演を行っている[2)]．この液滴発生装置はMEMS技術によって構築され，超小型化を特徴とし，２つのECFポンプに印加する各電圧を可変することによって，液滴の径を制御で

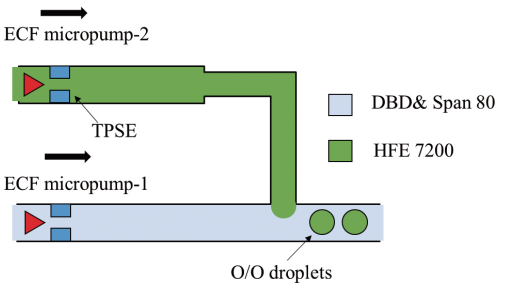


図３　２つのECFポンプを有するO/O液滴発生装置の作動原理

きることが示された．

Shirotaらは，水滴による面冷却を目的に研究された，90℃～320℃に熱せられた歯形面を移動する水滴の自立移動推進現象について報告している[3]．歯形面を非対称歯面，対称歯面，およびその面の濡れ性として親水性面と疎水性面の非対称性などを変化することによって，水滴の自立移動推進力が大きく変化することを明らかにし，その水滴の推進機構について考察している．

Abeらは，MR流体中の分散粒子の形状がMR効果に与える影響を検討する目的で，Fe_3O_4の同じ約1.0 μmサイズの８面体マイクロ粒子と球形マイクロ粒子を20 Vol%で分散した２種のMR流体のMR効果を測定比較し，両MR流体のMR効果（流動曲線，動的粘弾性特性）に大きな違いがないことを明らかにしている[4]．

Nakanoらは，従来のオイルを分散媒とするMR流体の使用温度の制限などの欠点を克服する目的で，

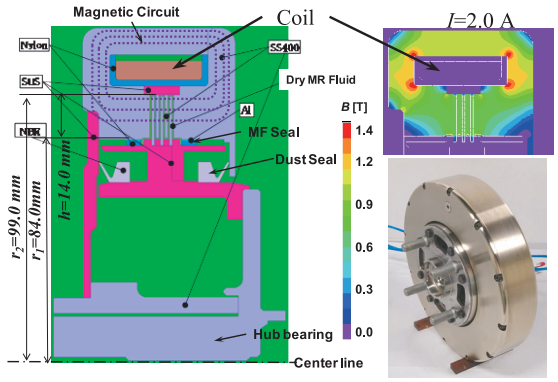


図４　超小型EV向けに開発されたドライMR流体ブレーキ

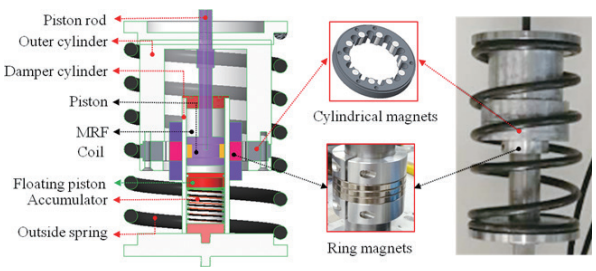


図５　２つの永久磁石ペアからなる負剛性発生装置を装着したMR流体ダンパ・支持バネサスペンション系

オイルを含まない流動性向上のためにナノシリカ粒子をコーティングしたカルボニル鉄粒子だけからなるドライMR流体を提案・開発しており，そのドライMR流体を用いて開発した超小型EV用の多層円盤型ドライMR流体ブレーキ（図４）について，その設計および性能試験結果について報告している[5]．

Liは，招待講演において，図５に示すように，車両サスペンション系のMR流体ダンパと支持バネ間に２つの永久磁石ペアからなる変位依存型の非線形負剛性発生装置を設計して装着することにより，減衰だけでなく剛性可変も施すことによって，MR流体ダンパを用いたサスペンション系の性能を革新的に向上させることができることを提示している[6]．

Christieらは，差動遊星歯車装置において，太陽歯車を入力軸，遊星キャリアを出力軸として，最外周部のリングギア部をMR流体ブレーキによって制動することによって，出力軸の回転数やトルクがMR流体ブレーキへの印加電圧で可変な差動トランスミッションを構築し，実際にPID制御によってMR流体ブレーキでリングギアの回転数を操作することによって出力軸の回転数とトルクを一定値に制御できることを示している[7]．

2.2　機能性ソフトマテリアルとその応用に関する研究発表

Sebaldらは，変形を与えると熱の発生および吸収をともなう弾性熱効果（Elastocaloric effect）を示す天然ゴムとP（VDF-TrFE-CFE）ターポリマーの弾性熱特性に関して，実験的に調べた結果について報告があった[8]．天然ゴムの場合，６%程度の瞬間的な伸び歪において８℃の温度上昇が生じ，歪を瞬間的に０%に戻すと－８℃程度温度が低下する．一方，ターポリマーでは発熱にかなり大きな歪を必要とするため，天然ゴムの弾性熱効果が大きいことが示された．

Suzukiらは，EAE（Electroactive Elastomer）のアクチュエータへの応用を前提に，高速化量子化学分子動力学法にもとづいて，EAEであるPoly TetraMethylene Oxide（PTMO）の結晶相とアモルファス相の電気的に誘起される分極現象を定量的に評価し比較している[9]．その結果，電荷密度のポテンシャル勾配が正の印加電場に対して負から正となるが，負の印加電場に対してその逆となり，また，アモルファス相のポテンシャル勾配が結晶相のものより大きく，電気分極の感度がエラストマー相に大きく依存することが示された．

Yangらは，建築構造物の免振装置として，印加磁場によってその剛性が可変な多層MRエラストマーを開発しており，その免振装置を制御するための電力を供給する地震動全方位自己発電装置に関し

て報告している[10]．この全方位自己発電装置は，図６に示すように，建築構造物と地面との全方位の相対変位を機械的にモータ発電機の回転運動に変換して発電を行い，その電力を免振装置である多層MRエラストマー装置に供給することによって，地震動の相対変位速度に比例した印加電流が多層MRエラストマー免振装置に印加され，効果的な免振制御が実現できることを提示している．

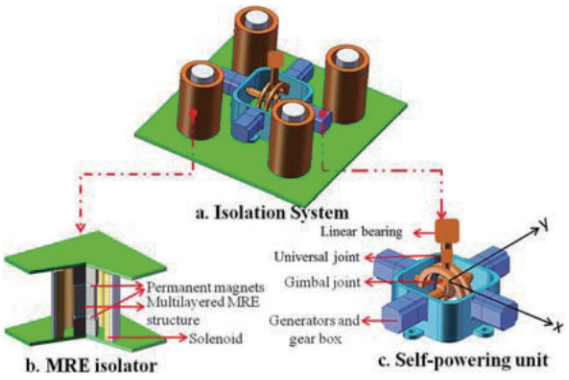


図６　全方位自己発電装置を内蔵した多層MRエラストマー免振装置

Diguetらは，粒子配向MRエラストマーのせん断変形に対して透磁率が変化することを発見し，ファラデーの電磁誘導の法則を利用してせん断変形という機械的なエネルギーをサーチコイルを用いて電気的なエネルギーに変換する環境発電装置を開発しており，その粒子配向MRエラストマーの粒子含有量（５～25 Vol%）がMRエラストマーの初期剛性，発電量，およびビラリ効果などに与える影響に関して研究し，粒子含有量が多いほど初期剛性が大きくなり，せん断変形に対する発電量も多くなることを明らかにしている[11]．

Sunらは，Shear thickening流体（STF）を作動流体とするダンパ，中心軸，シリコンゴム要素，そして外筒シリンダからなる鉄道車両台車用の革新的なラバー継手（STFジョイント）を開発し，その加振周波数に依存する剛性可変特性について報告している[12]．0.1Hzの加振周波数で0.162MN/mの剛性を示し，３Hzでは0.438MN/mと剛性が増大し，この加振周波数の変化に対して170.4％の剛性可変能がある．STFジョイントのこの剛性可変特性により，鉄道車両の高速走行時には高剛性で，カーブ走行時には低剛性となり，車両安定性を向上できることが示された．

3. おわりに

ICFD2019におけるOS：Smart Fluids & Soft Matters and the Advanced Applicationsでの機能性流体および機能性ソフトマテリアルとそれらの応用に関する研究発表内容を紹介した．フルードパワー分野の機能性流体関連の研究動向把握の一助になれば幸いである．

2020年に開催されるICFD2020[13]は，2020年10月28日（水）から30日（金）にかけて仙台国際センターで開催される．フルードパワー技術に関わると思われるOSとして，“Advanced Applications of Multi-functional Fluids”，“Microfluidics and Microphysiological Systems”，“Complex Thermofluid System”，“Flow Realization, Measurement and Visualization”などが企画されている．奮っての参加を期待したい．

参考文献

1）Tao R., Xu X.：Electrorheology Lowers the Pour Point Temperature of Crude Oil, Proc. of 16th Int. Conf. on Flow Dynamics, OS7-1, p. 378-379（2019）
2）Kim J.-W., Mao Z., Yoshida K.：Performance of ECF Micropumps-integrated O/O（Oil-in-Oil）Droplet Generators, ibid, OS7-5, p. 386-387（2019）
3）Konno Y., Narita K., Kato M, Okabe T., Shirota M.：Behavior of Self-propelled Drops on Hot Surfaces with Asymmetric Wettability in Low Temperature Regime, ibid, OS7-6, p. 388-389（2019）
4）Abe H., Sato K., Suzuki Y., Naka T., Nakano M.：Synthesis of Faceted Magnetite Microparticles and their Magnetorheology, ibid, OS 7 -7, p.390-391（2019）
5）Nakano M., Taguchi O., Shibata F., Sun S., Yang J., Abe H.：Development of Dry MR Fluid Brake for Super-compact Electric Vehicle, ibid, OS7-8, p. 392-393（2019）
6）Li W., Sun S., Yang J., Nakano M.：Development of an Innovative MR Damper with Negative Stiffness Characteristics toward a New Generation of Vehicle Suspension System, ibid, OS7-9, p. 394-395（2019）
7）Christie M. D., Sun S., Nakano M., Li W.：Design and Analysis of the Magnetorheological Fluid Variable Differential Transmission, ibid, OS7-10, p. 396-397（2019）
8）Sebald G., Coativy G., Yuse K., Capsal J.-F, Lebrun L.：Elastocaloric Effect in Polymers, ibid, OS7-2, p. 380-381（2019）
9）Suzuki A., Miyano M., Miura R., Cavaille J.-Y., Diguet Gildas, Sebald G.：Polarization and Elasticity Characterization in Crystal and Amorphous States of Polytetramethylene Oxide Elastomer, ibid, OS7-3, p. 382-383（2019）
10）Yang J., Sun S., Nakano M., Li W.：Integration of an Omnidirectional Self-powering Component to an MRE Isolator towards a Smart Passive Isolation System：ibid, OS7-4, p. 384-385（2019）
11）Diguet G., Sebald G., Nakano M., Lallart M., Cavaille J.-Y.：Experimental and Theoretical Investigation on the Influence of the Volume Fraction of the Particles on MR and Villari Effect, ibid, OS-11, p. 398-399（2019）
12）Sun S., Yang J., Nakano M., Li W.：Development of an Innovative Rubber Joint for Train using Shear Thickening Fluids, ibid, OS-12, p. 400-401（2019）
13）http://www.ifs.tohoku.ac.jp/icfd2020/index.html

（原稿受付：2020年２月26日）

トピックス

学生さんへ，先輩が語る
―空気圧機器メーカーで働いて思うこと―

著　者　紹　介

針谷修生（はりや　なおき）
SMC株式会社
〒300-2493 茨城県つくばみらい市絹の台４－２－２
E-mail : HARIYA.NAOKI@SMCJPN.CO.JP

2013年茨城大学工学部電気電子工学科卒業．同年SMC株式会社へ入社し現在へ至る．開発Ⅰ部へ配属され電磁弁開発業務へ従事．

1. はじめに

1.1　自己紹介

私は幼いころからモノの仕組みやどう動くのかに興味があり，大学では電気・電子工学や，磁気工学について学んだ．SMCは大学の求人案内で知り入社した．

1.2　企業紹介

SMC株式会社は，世界トップシェアの空気圧機器メーカーであり，さまざまな産業界におけるオートメーション化を支えている．産業界のオートメーション設備は日々高度化しており，SMCの事業内容は空気圧機器を軸としてメカトロ機器，流体制御機器，電動機器，温調機器などへ拡大している．

写真１　技術センター

1.3　職場でのおすすめスポット

埼玉県にある草加工場の裏には春になると川沿いに桜が咲き工場へ出張した際には駐車場から工場まで歩く際にちょっとした楽しみになっている（写真２，３）．

写真２　草加工場

写真３　草加工場裏の桜

2. 学生時代を振り返って

2.1　学生時代の研究内容

学生時代の研究内容は磁気材料のヒステリシス曲線のモデル化を目指した研究だった．既存の理論を元に現実に沿うように改良を試み，ひたすら計算を繰り返す毎日であった．そんな出口の見えない作業をひたすらに繰り返すことである程度忍耐力が鍛えられたのではないかと今では思っている．

2.2　学生時代に勉強しておくとよい内容

私は大学院に進学しておらず，大学の研究室配属も４年時からだったため専門的な研究に取り組む時間はそう多くはなかったように思う．また，大学では電気電子工学を学んでいたが，就職したのは空気圧機器メーカーと大学で学んでいた内容とは少し離れた分野に就職した．機械設計など大学４年間では

ほとんど触れることなく卒業した．

そのため，業務に必要な専門知識などは入社して仕事をしていく中で必要に応じて学んでいくことが圧倒的に多かった．

それでもやはり空気圧機器が使用される現場は多岐にわたっており（図１），自分が勉強してきた電気の知識があって助かったことは一度や二度ではない．

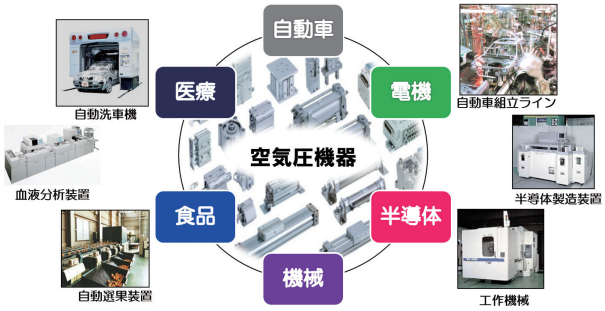


図１　多岐にわたる空気圧機器の用途

たとえば研究所のように専門知識に特化した仕事をするのであれば学生時代から専門性をどんどん深めていくことが求められると思うが，空気圧機器のようにその用途が多岐にわたる機械メーカーで働くのであれば，自分の軸となる専門分野があるに越したことはないが，特化した専門性よりも多岐にわたるジャンルの，浅くても良いから広い知識，少なくとも自分の専門外の分野にも苦手意識を持たないような雑食的な知識欲がある人は強いと思う．

2.3　就職活動での留意事項，工夫したこと

先にも書いたように私は専門的な研究に取り組む時間が多くはなく，就職活動を開始した時点ではほとんど研究に触れていなかったため，就職活動の際には自分の専攻に合致する会社よりも自分の専攻も活かせる可能性があるが，いろいろな専攻の人が集まりそうな会社を重点的に見ていた覚えがある．

同級生の多くは半導体や電子メーカーを志望していたが，会社に入ってからの方が長いので，自分がどのように働くか，本当に大学で専攻した内容に重きを置いて働くかを，長い目で見て考えてみることも良いのではないかと思う．

3.　社会人の仕事紹介とやりがい

3.1　仕事紹介

私は入社して最初の１年は研修として工場で製品を組み，部品の取り揃えや組み方など実際のモノづくりの現場を体感できた．その後，今の部署に配属され，電磁弁の開発業務を行っている．

実際の仕事内容は製品の開発・検証や既存製品の改良，製造部や営業部のフォローなど多岐にわたる．

3.2　入社して変化した考え方など

入社するまで開発部という仕事は常に新しいものを作り続けるというイメージだったが，実際にはそれだけではなく市場要求の変化にともなう既存の製品の改良など常にさまざまなことに目を向けて，いろいろな事を同時進行的に進めていかなければならないことに最初は少し驚いた．

また，学生時代から仕事は一人ではできないと先輩たちから聞かされていたが，実際に会社に入り働いてみるとこの言葉を実感する場面が本当に多くある．何をするにしても多くの部署や人が関わっており，互いに協力していかないと自分がどんなに頑張って作業しても仕事にならないという場面がほとんどである．

3.3　職務遂行で大切にしていること

先にも書いたように仕事をしていく上で，多くの人と関わることは避けて通れない．

入社して数年はほとんどが助けてもらうばっかりだったが，仕事も覚えて今まで受けた恩を少しずつ返せるようになってきたので，急に頼まれたことでもちょっと無理してでもなるべく対応するようにしている．

3.4　職場で使用するおすすめの道具

職場では一日中パソコンに向かって作業していることも珍しくはない．今やほとんどがパソコンによる入力のため，私は毎朝自分の考えをまとめるためあえてノートにその日やるべきことを書き出すようにしている．そのためのペンとノートにもこだわり毎朝気持ちよくスタートできるように心掛けている．

またちょっとした息抜きのために朝淹れたコーヒーを水筒に入れてくるようにしている．

缶コーヒーよりも美味しくかつ経済的なのでおすすめである．

3.5　勉強会などの紹介

通信教育講座が年２回開講され，ビジネススキル関連のコースから，PC，資格，一般教養，専門分野まで，約100講座の多彩なコースから選択が可能となっている．

また，海外での業務を希望する場合，外部から講師を招いた英会話教室を週２回受けることも可能．

3.6　リフレッシュの仕方など

技術センター（写真１）には千人を超える社員が在籍しており，全体で利用されている食堂では他部署の同期や同年代の社員とも顔を合わせ他愛もない会話をする機会も多く，業務の合間の貴重な息抜きとなっている．

プライベートでは３歳になる息子と全力で遊ぶ時間を持つことで，日々のストレスを発散し，また癒

される時間ともなっている．

最近では息子と共に寝る前に動物図鑑を眺めることが日課となっており，休みの日には動物園に行くことが家族の楽しみとなっている（写真４）．

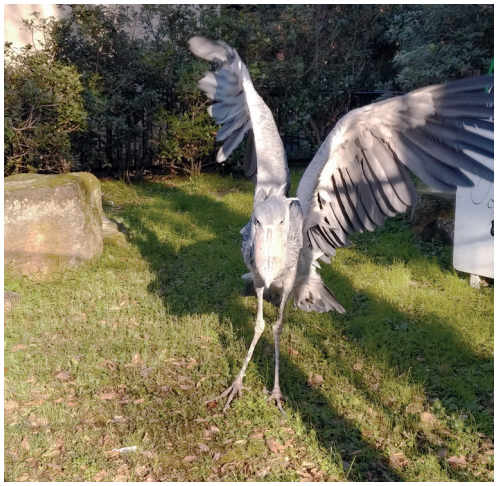


写真４　動物園で撮ったハシビロコウ

また，結婚後から少しずつ料理のレパートリーを増やすことを密かに自分に課しており，おいしくできた際に家族の喜ぶ顔を見ることも最近では楽しい時間となっている．料理手順を整理し，材料を整え，完成を目指していくという工程は，どこか業務における思考パターンと似ており，そういった意味では仕事にも活かされているかもしれない．

仕事と私生活のオンオフをうまく切り替えつつ，心身ともに健康であろうとすることが，長く仕事をしていく上で重要な要素であると感じる日々である．

4. ま　と　め

4.1　学生へのメッセージ

会社で働くということは大学での研究とはまた違ったおもしろさがあると思う．

会社には多くの先輩もいるし聞けばアドバイスがもらえると思うが，学校での勉強とは違い正解を知っている人が誰もいないことがほとんどである．

そんな時に物事を広い視点から見られる人が会社でも活躍できる人だと思う．

自分の考え方の経験値を蓄えるという意味でも学生時代に自分の専門分野だけでなく広い視点でいろいろな事を経験してもらいたいと思う．

（原稿受付：2020年３月18日）

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

第14回　マレーシアから日本に留学して

著者紹介

ジョシュア　ティオン　シュウ　カイ
Joshua Tiong Sieu Khai
沼津工業高等専門学校　機械工学科
〒410-8501　静岡県沼津市大岡3600
E-mail：joshuationg38@gmail.com

2017年沼津工業高等専門学校　機械工学科編入学，現在５年在学中

1. はじめに

自己紹介：

私の出身は東南アジアのマレーシアである．ジョホールバルというマレーシア半島の南側にある小さい町で生まれ育ちました．また，父は自動車の整備士として働いていて，私の人生に一番影響が大きい存在である．小さい頃から父の自動車整備工場（写真１）によく遊びに行って，自動車に関心を持つことになった．

写真１　父の自動車整備工場

来日の理由：

2017年に沼津工業高等専門学校（沼津高専）の３年に編入して，日本での生活を始めた．私は父の勤める自動車整備工場内の自動車を見学すると，日本の車が多くあり，修理する自動車の分解・組立の様子を長い時間見ていました．日本の車には低価格で性能がよい車がたくさんあります．剛性・耐久性・燃費など優れた点に多くの魅力を感じた．また，強い関心を持った．そこで自動車について勉強するために日本に留学することを希望した．

現在の所属機関とその研究／仕事内容：

現在，私は沼津高専の５年生で，2020年の３月に卒業する予定である．私は沼津高専の機械工学科機構学研究室（写真２）に所属して「トラッキング解析による平歯車の損傷及び非円形歯車の衝突現象の検出」というテーマについて研究を行っている．現在，歯車箱の検査で用いられている方法は工業用内視鏡をギアケースの小さい穴に入れて目視で検査する方法やAE診断などがあるが，例えば目視の場合，見落としのようなヒューマンエラーが発生したり，運転中の歯車の様子が観察できなかったりするなどの短所がある．私が取り込んでいるトラッキング解析（写真３）では加速度センサを用いて歯面の損傷検出を行う．歯面の損傷の際には衝撃力の影響により微小な振動が生じることが予想され，この振動を検出できれば，AEに代わる新たな検査方法として期待できる．また，従来より非円形歯車を用いた装置では加減速の現象をともなう歯面の衝突現象が起き，その影響が装置の各部に伝播し疲労破壊する問題がある．このような衝突現象を高速度カメラなどで捉えることは困難であるが，トラッキング解析では高速度カメラに代わる検出方法となり得るた

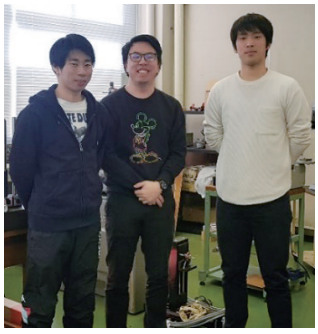


写真２　卒業研究のメンバー（真ん中が著者）

写真３　卒業研究の実験の様子

め，その適用可能性について検討をしている．

2. 日本の印象

2.1　来日直後の第一印象

来日直後の日本の第一印象：

成田空港に到着したときは４月であったので，日本の第一印象は「寒い」ということである．マレーシアは赤道下にあり，四季がなく１年間27℃の気温があまり変わらないので，日本に到着したら初めて低い気温を体験した．沼津高専までには東海道新幹線を利用して，人生初めての高速鉄道を乗る経験をした．

2.2　研究室に関して

日本人の考え方や働き方で驚いたこと：

私は現在の研究室に入って，カルチャーショックを多く感じた．ひとつの事例をあげると，日本人には「他の人に迷惑をかけないように」というルールが最も重要なルールになる．このルールを守るために，他の人の都合を考えながらスケジュールを立てたり，機械を使用後しっかり片づけたりする習慣に驚いた．この習慣から日本人が優しい印象を受けることが多い．私が困っているときに，友達と先生が問題を解決するまでに助けてくれて，感謝している．しかし，迷惑をかけないように他の人に声をかけることが少ないので，日本人が冷たいという印象もある．

研究の面に関しては，先生の指導に従って進めることでなく，研究の方向や目的を自分で決めて責任を持ち，計画を立てて進めるかたちをとっている．研究遂行の途中で生じる疑問点や問題解決の糸口に対して先生からのサポートとアドバイスを受けることになる．

日本に滞在中に自分が最も変わった点：

私は日本で生活しているときに，日本人からいろいろなことを学んだ．その中で，私に一番影響が大きいことは日本人の努力である．ひとつの目的を達成するために，努力が必要であることを日本人から学んだ．また，私は日本で異文化や新しい習慣を体験したり，考えが違う人たちと交流したりした．その結果，自分の文化に誇りを持ちながら，他の人の文化に対しても敬意を持つ必要があると考えている．

2.3　生活に関して

日本の生活で困ったこと：

２年間マレーシアで日本語学校に通っていたが，日常生活で使用する日本語の会話をあまり勉強しなかったので，最初に言語の壁があり，日本人のクラスメイトとうまく会話できなかった．日本の会話内容も母国と違っていた．しかし，私と話してくれる友達のおかげで日本語が少しずつ上達し，６ヶ月後会話ができるようになった．私もいろいろな日本の文化を体験したり日本の番組を見たりした結果，日本という国を理解し友達と多くの内容について会話できるようになった．

また，最初の３ヶ月日本料理が口に合わなかったので，母国の料理を食べたくなってホームシックまで感じたときもあった．そのとき，日本人の友達と有名な飲食店に一緒に食べに行ったり，友達においしい食べ物を紹介されたりしたおかげで，ラーメン，回転寿司や焼肉など日本料理を好きになった．友達のお母さんの手作り料理も食べさせてもらったこともある．母国の料理を食べたいときには，食材を見つけて自分で作るときもあった．

日本の生活でよかったこと：

私は日本で多くの困ったことや問題を乗り越えて，しかもスキルアップして，自分を成長したと感じられる．日本で手に入れたスキルを活かして，将来どこでも活躍できる自信がついた．

日本人の友達だけでなく，他の国からの留学生と絆を深めていた．皆からの考え方や勉学の取り組み方を自分に教え込んだ．教わった先生たちといろいろな話をして，キャリアパスなどの将来のアドバイスを受けた．その結果，自らの方向がはっきりわかるようになった．

機械工学科の友達（写真４）のお陰で，日本語が上達し日本の生活にすぐ慣れるようになった．生活

写真４　機械工学科の友達

だけでなく，学校の勉強やテストもいろいろ手伝ってくれた．

最も興味ある日本の文化：

私は家族や友達と食事することが好きなので，日本の食事文化に興味を持っている．仕事後，友達と飲食店に行って一緒に話し合いながら食事を楽しむことである．このときには新しい人と出会ったり，友達とのつながりを深めたりする機会になる．また，友人の誕生日のパーティー（写真５）に参加し，一緒に食事しながら，話し合った．好きな人と楽しい会話をして時間を過ごすのは大切であると思っている．

写真５　友人の誕生日パーティー（後列の中心が著者）

3. 抱負と日本の方々へのメッセージ

今後の予定と抱負：

私は今年の３月に沼津高専を卒業し，豊橋技術科学大学に進学する予定である．豊橋技術科学大学で工学の理解をさらに深めて，新しい人と出会ってつながりを作りたい．その後，米国大学院に進学したいと思っている．国際的な会社で働きいろいろな経験をして自分を成長させて，その後マレーシアで社会に貢献できる自動車会社を立ち上げたいと考えている．

日本人へのメッセージ：

私はこの３年間で日本人と交流して大半の日本人が希望を持っていないことを気づき，驚いた．夢を持っていても，その夢を追わない人が多いのです．もちろん，夢を叶えることは簡単なことではないのですが，私たちの人生は一度きりなので後悔しないため夢を追った方がいいと思っている．最後に日本人の皆さんに一言を伝えたいです．「立ち上がれ日本人！」．

（原稿受付：2020年２月５日）

トピックス

香港駐在員日記

著者紹介

平出博一（ひらいで ひろかず）

YUKEN KOGYO（H,K.）CO.,LTD.
Flat 20, 7/F., Block'B'Focal Industrial Centre, 21 Man Lok Street, Hung Hom, Kowloon, HONG KONG

1992年東海大学工学部動力機械工学科卒，同年油研工業株式会社に入社，2018年よりYUKEN KOGYO（H,K.）CO.,LTD.に出向．

1. はじめに

読者の中にも観光旅行などで香港を訪れ，詳しい方もおられると思うが，自分が２年間の単身赴任生活で経験し印象に残ったことを紹介したい．

2. まっすぐ道を歩けない

東京23区の面積が620平方キロメートルに対し香港の土地面積は1,100平方キロメートルと東京23区に対し≒1.8倍．東京23区の人口が960万人，香港の総人口は750万人．これだけ見ると東京23区の方が人口密度も高いことになるが，香港の可住地面積は少なく海を挟んだ夜景スポットを中心に人口が集中しており，このエリア130平方キロメートル内に総人口の約半数が居住している．そのため，人口密度がもっとも高い地区では60,000人/平方キロメートルを超え，自分の住むエリアも含め近隣の地区は40,000人/平方キロメートルを超えている．そこに観光客が追加される訳なので生活圏は何しろ人が多い．季節，平日関係なく歩道は人をよけて歩くことが必然となる．

3. 住宅費が高い

一般的に住宅費は人口密度に比例する．出生率は日本よりも低い状況にあるが，人口の１/７が中国本土からの移民で毎年数万人増加し，今なお人口密度は上昇し続けている．さらに中国本土から積極的な不動産投資も行われており，不動産価格高騰の一要因にもなっている．

結果，香港の平均住宅価格は世界一の水準で１億円を超え，賃貸平均も30万円を超えている．

初めて自分が居住する家賃を聞いた時は，そんな豪華な住まいは必要ないと申し出たが，家具家電付き賃貸は限定されると説明を受け，とりあえず住むことに．

実際に住むと電球切れは年中，換気扇やTV，セーフティーボックスも壊れた．すべて借用品なので都度メインテナンスの予約をし，修復のお願いをするが立会いが必要なため仕事の都合上平日は対応できず，いつしか土曜日が交換修理に立合う日となってしまった．トイレから水漏れが発生した際には別途排水口があるからと余り気にせず就眠したが，翌日排水口が詰まっていたようで床が水面に，これは緊急事態と朝一でメインテンス窓口に伝えると，11PMに修理業者を予約したと回答がきた．思わずAMとPMを間違えているのか思い何度も聞き直してしまった．一日中水捌けを行い，約束どおり30分遅れの11：30PMに修理業者が訪問，無事５分で水漏れは改善されたが排水口の詰まりは直せないと言う．現状を知った今はもっと良い所に住みたいと願っている．

4. 物価も高い？

不動産が高ければ物価も当然，世界一の水準でインフレもあり年２～４%の物価上昇がある．イメージ的に日本の1.5倍以上に感じ，たとえば某家の牛丼一杯45.5HK$（600円以上），某ソース焼きそば（カップ麺）24HK$（300円以上）となる．日本の100円shopの商品を扱うチェーン店もあるが，１品12HK$で販売されている．

輸入品だから？と思われるが，香港には基本的に輸入品しかない．ただし，この輸入品がポイントでスーパーに買い物に行くと同じ食材でも倍以上の価格差が発生している．中国本土から入って来た食材は割安だが，その他は輸入国別に高価になる．近所の日系スーパーに行くと，高価な輸入品は売り切れ，中国本土産だけが残っていたりする．日系スーパーだけに限られている可能性もあるが，食材に気を使

う人は多いようで生活用品全般にも同じことがいえる．

公共の交通機関料金は安価で，街中を移動する程度の地下鉄やバス，渡し船の料金は気にしたことがないほど安く，どこへでも100 ～ 200円程度で移動できる．

5. この人たちは？

不動産の物価が世界一水準としたら，気になるのは給料である．しかし平均的な統計を見る限り日本よりも低いようであり，貧困差や税制面でも差異があるので単純に比較は難しいが，給与は世界一の水準とはならないようである．

家計は基本的に夫婦共働きで支えるのが一般的で住宅費や物価を考慮すると一人では生活できない．そこに子供が生まれたらどうなるか？育児休暇は14週間しかなく，加えて12歳以下の子供を一人にしてはいけないという法律があり，外出だけでなく留守番も一人にしてはいけないらしい，家計を支えるため両親は仕事を辞める訳には行かない．そこで活躍するのがフィリピンやインドネシアから来たメイドさんであるが，祖父母の手が空いていなければメイドさんを雇うしか選択肢がない．

そのため，平日に街中で子供を見かけると大抵の場合メイドさんが面倒を見ている．両親と過ごす時間よりも長いため非常に仲の良い姿も散見される．

また，メイドさんとのコミュニケーションには英語が使われるため，子供たちにとっては英語学習も兼ねられる．特にフィリンピンのメイドさんは英語に長けていることから人気が高いようだ．裕福な方も多いので育児とは関係なくメイドさんを雇っている方も大勢いる．

そんなメイドさんは基本的に住込みで働いているが，休日は両親が全力で子供の面倒を見るので必要がないことと，メイドさんの休日を兼ねて家から放り出されてしまう．その数は何と人口の５%．放り出されたメイドさんは町に溢れ，公園や歩道橋の下などでピクニック集団を形成する．日曜日のこの光景は香港ではない異国に居る気分が感じられる．

写真１　日曜日のピクニック集団

6. 年配の方も元気！

朝の通勤時，気分転換に公園を横切るとグループで太極拳やら踊っている方々を散見する．これに参加している方のほとんどはリタイヤされた年配の方々であり，さらに海岸沿いを行くと，驚いたことに夜景が綺麗な湾で泳いでいる人を見かける．大型フェリーも通過するこの海を毎日泳いでいる年配のグループが存在しており，泳ぎながら大きな声で世間話をしている年配の女性の方々にはさらに驚かされる．

写真２　朝泳ぐ人（３人）

大きな声といえば葬儀に参列した時のこと，日本のお通夜のような雰囲気の中，取引先の社長という身分のためか7人もの僧侶がお経を唱えていた．

しかし，参列者の世間話の声の方が大きくお経などまったく聞こえずほとんど同窓会の雰囲気．これが３時間続くところが日本との大きな違いと感じた．

長寿国でいえば日本は世界一だが，地域別で見ると香港は日本を抜き世界一のようだ．元気の源はこんなところにあるのかと感じている．

7. 壊れる香港

2018年は台風“山竹”（台風22号）による甚大な被害を受けた．台風通過中は自宅マンションで待機していたが強風で建物が揺れた．大きな揺れを想定している建造物とは思えないだけに，このまま風がさらに強くなったら倒壊するかと不安でしょうがなかった．

翌日，通勤路で木や道路標識が倒れ高波の影響で湾沿いの歩道も破壊，近所の商業施設はガラスが多数破損し，道はガラスで覆いつくされ，会社に隣接

するビルの足場も倒壊し道を塞ぎ，信号機も横たわる惨たんたる状況であった．

ただし，香港特有の道にはみ出した商業看板に台風による被害が一切見られなかったことには驚いている．

写真３　台風でガラスが破損した商業施設

写真４　台風で倒れた信号機

そして2019年は数ヶ月続く抗議活動があった．当初は数万人が道を埋めつくし抗議活動を行う姿を見て香港の人は元気だとか感じたが，長期化する中，徐々に駅や幹線道路，特定の商業施設などが一部の抗議活動者により繰返し破壊され始めた．

駅や幹線道路における抗議活動に対しては，空港までの経路が閉ざされ朝から右往左往したり，近隣の駅が封鎖されスタッフが定時に出社できないこともあったが，近づかないことで日常生活ではさほど危険を感じることはなく，幸い業務への影響もなかった．

ただし，抗議活動が徐々に過激化し通勤途中の身近な物が日々破壊され，特定商業施設が鉄板で外壁を覆う姿を見ながら，あとどれくらい香港で仕事を続けられるかを考え始めていた．

火種が消えたわけではないので安心はしていないが，最近は抗議活動もおとなしくなっている．

写真５　抗議活動で破壊された信号機

8. 最　後　に

20年来，いく度となく訪れた香港は華やかな印象でしかなかったが，居住して気付かされたことが多く印象は大きく変った．

２年連続で通勤途中の信号機が破壊されている状況を横目に，今後も国際社会の中で揺れる香港で情勢を注視しつつ，業務を続ける思いでいる．

（原稿受付：2020年１月21日）

研究室紹介

苫小牧高専　小薮研究室紹介

著者紹介

米山京吾（よねやま　けいご）
国立高専機構苫小牧高専　機械工学科
〒059-1275 北海道苫小牧市錦岡443番地

2020年３月苫小牧工業高等専門学校機械工学科卒業，卒研テーマは，小型風洞とタイミングベルトを使用した後流発生装置の改良製作および速度計測．今春から，関西の機械メーカーに就職予定．

加賀谷浩太（かがや　こうた）
国立高専機構苫小牧高専　機械工学科
〒059-1275 北海道苫小牧市錦岡443番地

2020年3月苫小牧工業高等専門学校機械工学科卒業，卒研テーマは，EHD現象を利用したマイクロポンプ内流れの数値シミュレーション．今春から，道内の機械メーカーに就職予定．

1. はじめに

苫小牧工業高等専門学校（以下「苫高専」）は，北海道苫小牧市の西側に立地しています．高専は大学の教育システムとは異なり，社会が必要とする技術者を養成するため，中学校の卒業生を受け入れ，５年間の一貫教育を行う高等教育機関です．現在，国立高専51校，公立高専３校，私立高専３校が全国に設置され，最近では，モンゴルやタイにも日本の高専型教育を取り入れた学校が開校しています．また高専は５年間の本科の後，２年間の専門教育を行う専攻科が設けられて，修了後は就職か大学院へ進学します．

苫高専は，校舎から車で数分のところに道央自動車道の苫小牧西ICがあり，新千歳空港まで約20分，札幌まで約60分と広大な道内の中では比較的交通の便が良く，苫小牧港からは，関東，東北地方などへフェリーが運航されています．また隣町の白老町にはアイヌ文化の復興と発展のために，国立博物館や民族共生公園などの施設「ウポポイ（民族共生象徴空間）」が４月末に誕生予定です．なおウポポイとは，アイヌ語で「（おおぜいで）歌うこと」を意味します．

私たちは機械工学科の52期生で，入学時から機械，電気電子，情報，物質，環境都市工学科にそれぞれ所属していましたが，学年がひとつ下から創造工学科に改組になりました．特徴的な講義の創造工学では，ICT活用，キャリア教育，3DCADやドローンを用いたプログラム演習，グループでSDGsについて調査発表するなど，多種多様な取り組みをしています．２章から私たちが所属する研究室の概要と研究内容，行事などについて紹介させていただきます．

2. 研究室の概要

小薮研究室は，苫高専創造工学科機械系流体工学研究室に所属しています．今年度のメンバーは，本科生７名，専攻科生２名にスタッフが見藤教授，小薮准教授，蘇武技術専門員の計12名で構成されていて，マレーシア出身の留学生も含まれています（図１）．見藤教授の専門は生体工学で，今年度のテーマは，補助人工心臓の開発や脳動脈瘤のCFD解析などです．私たちの指導教員の小薮先生は，岩手大学工学部船崎研究室（航空宇宙推進研究グループ）の博士後期課程を修了後，上智大学に着任され，液晶の流動，CPSハイブリッドカーなどフルードパワーシステムに関する分野に携わりました．その後，苫高専に着任されて今年度で11年経ちました．その間に７年間本科と専攻科の学級担任を務めました．特に2014年から４年間も機械科の５年担任を続けて，就職と進学指導を担当されました．今年度は校内外の厚生補導を担当しているので，卒研が中断してしまうことも多かったです．

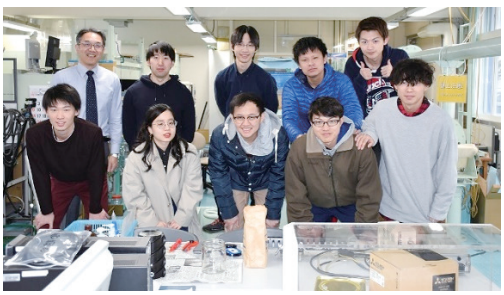


図１　流体工学研究室の学生と小薮先生

3. 研究紹介

限られた地球資源の有効活用と環境負荷の低減を行うために，実験流体力学，数値流体力学を両輪として研究に取り組んでいます．具体的には，「流れを理解する」，「流れを予測する」，そして「流れを応用し制御する」ために，風洞を使用した非定常速度，圧力，可視化計測や汎用熱流体解析ソフトウエアのANSYS CFXを使用したCFD解析により，流体機械の高効率，高性能化を目指す研究に取り組んでいます．

3.1　マグナス効果を利用したフィン付き回転円柱周りの流れ場の可視化計測およびCFD解析

マグナス風車とは，ブレード翼の代わりにフィン付きの円柱を使用し，円柱を自転させ発生する揚力により数本のロータを回転させて発電します．低風速域（低回転数）から高揚力を得られ，空力騒音も小さい特徴があります．しかしフィンを取り付けることによる揚力上昇メカニズムは詳しく解明されておらず，円柱の回転数やフィンの取り付け角度などのパラメータの最適化も不明です．そこでマグナス風車の翼を想定したフィン付単一回転円柱周りの流れ場の可視化計測，およびCFD解析[1),2)]（図２）を行うことで，フィンの取り付けにより流れ場に与える影響を調査しています．

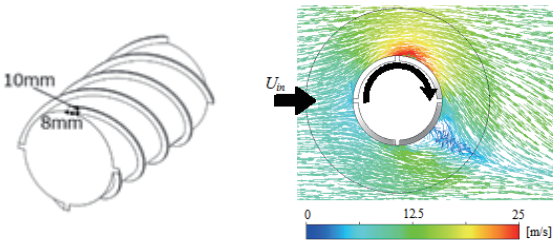


図２　（左）スパイラルフィン付き円柱，（右）回転円柱まわりの速度ベクトル（Re=1.0×10^5，周速比θ=1.0）

3.2　タービン翼面上の非定常な境界層遷移

ガスタービンなどの軸流ターボ機械内部では，静翼，動翼の組み合わせである段が連なった構造をしています．このような段における相対運動や異なる段の静翼，動翼との相対運動によって，下流側翼列は上流側翼列から周期的に発生した後流と呼ばれる速度欠損領域が通過することで強制的に境界層の遷移を促進し（図３），定常流として予測した値と異なる翼列空力性能をもたらすと考えられています．そのためターボ機械の性能向上を実現するには，後流通過の影響を受ける非定常な翼面境界層の動的挙動を把握する必要があります．研究室では回流式風洞を所有していますが，計測システムの関係で，吹

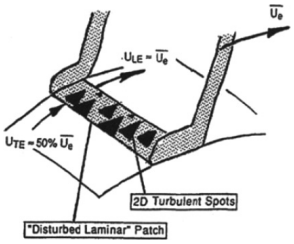


図３　翼面上で移動する乱流スポットモデル[3)]

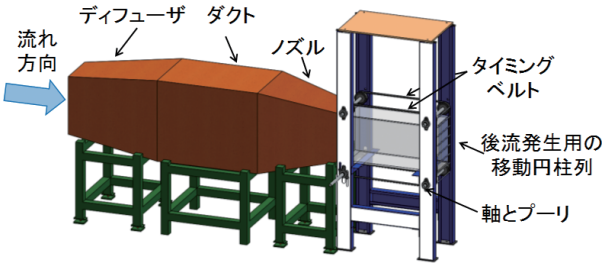


図４　吹出し風洞と後流発生装置の概要図

出し風洞とタイミングベルトを使用した後流発生装置の設計は，Solidworksを使用して行い，その後，製作を実習工場で行いました（図４）．来年度からは後流発生装置の下流に平板翼を設置して，非定常な速度波形を計測し，位相平均処理や機械学習を使用したデータ評価を行う予定です．

3.3　EHD現象を利用した小型ポンプ内流れのCFD解析

機能性流体に電場を印加すると機能性流体自らが流動を行うEHD現象を小型ポンプに適用し，CFD解析を行っています．この現象を利用すると，液体中に電極を配置して電圧を印加するだけで流動を制御できることから，ポンプの部品点数や羽根車などのしゅう動部を大幅に減らすことができる特徴があります．解析モデルは上智大学築地研究室で使われた実験装置[4)]の円管型電極対ポンプを再現しています．印加電圧3,000［V］の条件で行った解析の一例を図５に示します．最終的には圧力-流量特性を実験値とCFD解析で比較検討することが目標です．

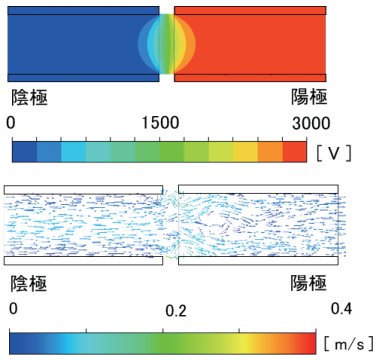


図５　（左）電圧分布，（右）速度ベクトル

3.4　小型船舶の図面の3次元化とCFD解析

今年度から始めた地元企業との共同研究です．総トン数が20トン未満の小型漁船の設計は，現在まで建造してきた経験や技術的知見を活用している場合が多く，今後は大型船舶同様にCAE技術による設計や解析などに期待が持たれています．建造は線図と呼ばれる２次元図面をもとに行いますが，船主が完成間際までイメージがわかず，作業途中での修正が難しいなどの問題点があり，模型を準備して事前説明を行う必要がありました．そこで，Solidworksを使用して3次元化し，3Dプリンターでモデルを作成しました．これにより２次元図面ではわかりにくかった船首近傍や船底の曲面形状などを一目で判断することが可能となりました．その後はANSYS CFXを使用し，速度，圧力分布や摩擦抵抗などを算出しています．また漁船の喫水線下側にバルバスバウという造波抵抗を低減する球状の突起物を設置し，既存の漁船と比較検討を行っているところです．今後の展望は，小型漁船の３次元図面の作成に対して，Solidworksの機能を十分に活かしきれていないので効率的に図面作成を行うとともに，CFD解析結果を裏付ける実験データの取得です．ただ小型船舶には波浪や風，重量変動や重量バランスなどさまざまな影響も考慮しながら検討する必要があります．

4．研究室行事について

実習工場の隣の広場で歓迎会（焼き肉大会）を行ってもらいました（図６左）．また８月下旬にオープンキャンパスがあるので手伝い，忘年会もお店で焼肉（図６右）でした．３月には日本機械学会の学生会で数名が発表していて，昨年度は小薮研の専攻科生２名がBPA受賞[5),6)]（図７）しました．また苫高専とタイ・カセサート大学が2017年度に学術交流協定を締結したので，その交流の一環として初めてインターンシップ生[7)]を小薮先生が受け入れました．休日は研究室の専攻科生と富良野を訪れたり，研究室でカレーをふるまうなど，研究だけではなく日本の文化と生活を楽しんだようです．図８は，当時のメンバーで撮影した記念写真です．

5．おわりに

本稿は，苫小牧高専と小薮研究室についてご紹介させていただきました．あっという間に過ぎたこの1年間は3DCADと格闘し，遅くまで実習工場で実験装置を製作，またCFDソフトの操作が困難だった…など卒研を通じてさまざまなことを経験し，実験室でポップコーンや餅を焼いてみんなで食べたりなど楽しく過ごすことが出来ました．研究と教育のバランスを取るのが難しいんだよね，と話していた先生の気分転換は，1歳8か月になる一人娘と遊ぶことだそうです．新型コロナウイルス感染症が日本国内に拡大し，楽しみにしていた卒業式と謝恩会が中止になったので，今度は社会人として再会したいです．最後になりますが，本稿の執筆にあたりご協力いただいた皆様に感謝申し上げます．

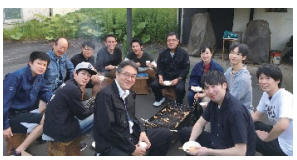


図６　配属歓迎会と忘年会

図７　BPA受賞者

図８　記念写真

参考文献

1）宮前涼介，加藤璃旗，小薮栄太郎，見藤歩：蘇武栄治，最適化手法を使用したフィン付き回転円柱まわりのCFD解析，日本機械学会第97期流体工学部門講演会（2019）．

2）小薮栄太郎，山本彰，見藤歩，蘇武栄治：マグナス効果を利用した円柱まわりのCFD解析，日本機械学会2019年度年次大会（2019）．

3）H.P. Hodson, J.S. Addison and C.A. Shepherson：Models for unsteady wake-induced transition in axial turbomachines, Journal de Physique III, Vol. 2, No. 2,（1992）．

4）宮原宏平：機能性流体を利用したポンプに関する研究，上智大学大学院理工学研究科理工学専攻修士論文，（2013）．

5）山本彰，小薮栄太郎，見藤歩，蘇武栄治：マグナス効果を利用した回転円柱周りのCFD解析，日本機械学会北海道学生会第48回学生員卒業研究発表講演会（2019）．

6）本間貫太，小薮栄太郎，見藤歩，蘇武栄治：小型ハイドロタービンまわりのCFD解析，日本機械学会北海道学生会第48回学生員卒業研究発表講演会（2019）．

7）https://www.tomakomai-ct.ac.jp/date/2018/08

（原稿受付：2020年３月11日）

企画行事

2019年度オータムセミナー開催報告「アディティブ・マニュファクチャリングの最新技術と適用事例―フルードパワー分野への活用法を考える―」

著者紹介

川島正人（かわしま まさと）

東北特殊鋼㈱経営企画部
〒989-1393 宮城県柴田郡村田町大字村田字西ケ丘23
E-mail : kawashima@tohokusteel.com

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

1. はじめに

2019年度オータムセミナー「アディティブ・マニュファクチャリングの最新技術と適用事例―フルードパワー分野への活用法を考える―」が，2019年12月６日（金）に東京電機大学の東京千住キャンパスにおいて開催された．本稿では，本セミナーの趣旨および各講演内容の概要とその状況を報告する．

2. 開催趣旨

産業分野でのアディティブ・マニュファクチャリングの活用が急速に進んできている．

アディティブ・マニュファクチャリング（Additive Manufacturing，以後AMと略す）とは３次元積層造形や単に積層造形あるいは3Dプリンティングやその加工装置により3Dプリンタとも呼ばれている従来の切削加工や成型加工に対して，付加をする製造法である．なお，本稿ではそれぞれの講師が用いられた表現をそのまま使用させていただくため，本文中に多数の表記が混在することをご了承願いたい．

本セミナーでは今後期待されるフルードパワー分野での活用のために，特に金属分野での基礎的な原理から最新技術とそれに用いられる材料と適用事例および考慮すべき事項の紹介として４名の方々に講演をお願いし，加えて実際に装置を導入している東京電機大学ものづくりセンターの見学会と合わせることで関連技術者の今後の展望の一助とする機会として企画した．

3. セミナーの概要

3.1 参加者

参加者数は26名で，それに講師４名および事務局１名の参加で開催された．参加者の所属別では企業が21名，大学関係者が５名で企業技術者の関心の高さが伺えた．

3.2 開　会

企画委員会委員長の藤田壽憲氏（東京電機大学）からの本セミナーの趣旨説明と今後の企画運営の参考のための終了後のアンケートのお願いの挨拶で始められた（写真１）．

写真１　挨拶される藤田氏

3.3 金属3Dプリンタ（積層造形）の研究開発動向

東北大学金属材料研究所の千葉昌彦教授より，「金属3Dプリンタ（積層造形）の研究開発動向」と題し，金属積層造形技術の基礎について概説され，当該技術における中国の研究開発動向と，世界的な応用と研究開発動向について解説いただいた．

積層造形の特徴については金型不要のニアネットシェイプに製造可能であることやリードタイムの大幅な短縮，トポロジ最適化，バイオニックデザインさらには省資源・省エネルギーなどなどについて豊富な具体的事例により説明された．続いて金属積層技術の基礎については電子ビーム方式を中心に，そしてメルトプールの動的挙動と溶融凝固シミュレーションの有用性についても説明された．

先行する欧米の企業ではさまざまな製品への適用が進められてきている中で，最近での中国での大型の装置開発や適用製品事例には著しいものがあることが紹介された．そして今後のIoTやAI技術とともにデジタルマニュファクチャリングを牽引する技術としての期待が大きいことが語られた（写真２）．

写真２　講演される千葉教授

3.4　アディティブ・マニュファクチャリングの特徴を活かす新合金の開発

AMにおける金属原料について，「アディティブ・マニュファクチャリングの特徴を活かす新合金の開発」と題して日立金属株式会社の桑原孝介氏より，講演いただいた．

写真３　講演される桑原氏

鋳造や塑性加工とは異なる積層造形プロセスならではの特徴を活かすことで，従来の材料では得られない強度や耐食性を併せ持つ新しい材料の開発が可能であることについて説明された．すなわち，局所的な溶融とその後の急速冷却とを繰り返す積層造形プロセスとそのプロセス条件およびそれに適した合金設計により開発した具体的な合金事例とその特性について紹介された（写真３）．

3.5　大学と連携した金属3Dプリンタの活用事例

株式会社ソディックの高山翼氏より「大学と連携した金属3Dプリンタの活用事例」と題して，東京電機大学ものづくりセンター内のソディックルームの紹介と具体的な活用事例の紹介をいただいた．まず初めに金属3Dプリンタがもたらす大きな変革や自動車業界での適用事例が紹介された後，金属3Dプリンタによる３次元冷却水管が組み入れられた金型の製造とその効果による冷却時間および成型サイクルの大幅な短縮例が紹介された．続いて一体構造金型造形によるプラスチック成形時の成形品質およびハイサイクル成形が同時に実現できた例のほか，多孔質造形および微細穴造形により工程の簡略化が実現可能であることやマルエージング鋼，SUS420J2，インコネルなどの材料によるメッシュ構造や複数の部品や機能を一体化した部品の造形について紹介された（写真４）．

写真４　講演される高山氏

3.6　東京電機大学ものづくりセンター見学

ものづくりセンターの帯川利之氏から案内と説明をいただいた．センターは「ものづくり教育」を充実させる教育の中心となる場とともに，学生・教職員の研究の支援および企業の技術開発を支援する社会貢献の場としての役目も担っているとのことです．

写真５　ものづくりセンター入口で説明する帯川氏

多数の参加をいただいたため，ものづくりセンターからとソディックルームからとの２つのグループに分かれて見学をしていただいた（写真６，７）．

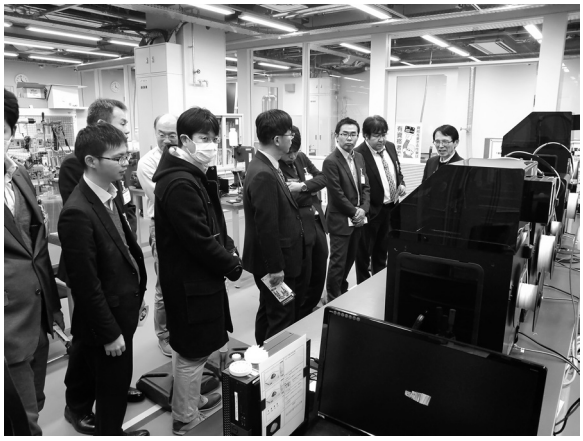


写真６　ものづくりセンター内のAM装置の前で

3Dプリンタのあるソディックルームでの装置見学では高山翼氏から，精密金属3Dプリンタのほか，ワイヤ放電加工機と高速細穴加工機が設置されていることが説明された．

写真７　ソディックルームにて

3.7　金属積層造形技術の適応事例および装置を用いる際の注意点

最後は，AMを実際に活用する上での押さえておきたい事柄について「金属積層造形技術の適応事例および装置を用いる際の注意点」と題して，金属技研株式会社の増尾大慈氏より講演いただいた．

まずは積層造形の現状について活用事例の紹介とそのターゲットとすべき対象についての考え方を従来工法と積層造形との比較で説明された．つぎに量産部品備品の製造について，積層造形における品質影響の分析・評価が重要であることが説明された．すなわち，造形前の事前検証や材料の確認そして造形の検討から始まり，造形後の適切な熱処理の選択の必要性，さらに適切な工程での測定・検査を行うことにより不適合品の発生防止のみならず品質改善に有用であることが説明された．特に熱間等方圧加圧処理（HIP処理）による組織や機械的特性への効果についてはデータを用いて詳しく説明された．

最後に日本と世界における積層造形に関する認知度および技術や戦略のレベルについての考察が示され，会社としての取り組み方針と体制について紹介された．

4. おわりに

今回多くの参加者を得て，それぞれのご講演後の質問では具体的な内容が多く，さらにものづくりセンターでは装置を熱心に見学されていたことは，アディティブ・マニュファクチャリングの技術動向に関心を持っている方々が多いことを示していると考える．

またセミナー終了後のアンケート結果によれば，現状についての理解が得られたとか，活用を考える良い機会となったという感想がある一方で，もう少し時間が欲しかった，もう少しフルードパワーに関連した話が聞きたかったという意見があった．

今回のセミナーがフルードパワーシステム分野における活用の一助となれば幸いである．

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

（原稿受付：2020年２月25日）

会　告

新型コロナウイルス感染拡大に対する本学会の対応について

新型コロナウイルスの感染拡大が懸念されております．

各種イベントへの参加者の皆様の健康を第一に考え，イベントを中止させていただく場合がありますので，ご来場前に，必ずホームページなどで開催の有無をご確認ください．

今後の状況により対応は変化することがありますので，常に最新の通知をご確認ください．

〈理事会・委員会日程〉

書面審議	理事会
書面審議	企画委員会
書面審議	編集委員会
書面審議	基盤強化委員会
書面審議	情報システム委員会

〈理事会報告〉

2019年度第６回理事会

書面審議（参加者23名）

1）2019年度第５回理事会議事録確認

2）2020～2021年度役員（理事・監事）候補選任

3）2020年度予算（案）

4）2019年度学会賞受賞者の推薦

5）2019年度フェロー候補者推薦

〈委員会報告〉

2019年度第５回企画委員会

書面審議（参加者35名）

1）2019年度実施の事業に関する報告・審議事項

⑴　2019年度ウインターセミナー

2）2019年度実施の事業に関する報告・審議事項

⑴　2020年春季フルードパワーシステム講演会・総会日程

⑵　2020年度オータムセミナー

3）その他審議・確認事項

⑴　その他

2019年度第６回編集委員会

書面審議（参加者22名）

1）会誌特集号の現状と企画

・Vol.51 No.3「ターボ機械最前線」

・Vol.51 No.4「フルードパワーのクリーン化技術最前線」

・Vol.51 E.1「緑陰特集」

・Vol.51 No.5「フルードパワーの最新解析技術動向」

・Vol.51 No.6「トータルシステムの効率向上（仮）」

・Vol.52 No.1「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（仮）」

2）その他

・新トピックスについて

・今後の特集について

2019年度第４回基盤強化委員会

書面審議（参加者18名）

1）報告事項

⑴　委員長会議報告

⑵　新型コロナウィルス感染拡大に対する学会対応

2）審議事項

⑴　FP道場14-4開催延期について

⑵　会員サービスについて

⑶　JFPS函館2020企業展示について

3）その他

2019年度第４回情報システム委員会

書面審議（参加者12名）

1）報告事項

⑴　学会HPの更新状況

⑵　理事会報告

⑶　委員長会議報告

2）審議事項

⑴　学会HPのリニューアルについて

⑵　事務局の情報環境整備について

⑶　会議報告

3）その他

会　告

学会創立50周年特別会費（賛助金）の受付状況

2020年4月10日現在，学会創立50周年記念事業・行事に協賛し，特別会費（賛助金）のご協力をいただいた賛助会員および正会員各位はつぎのとおりです．関係者一同，心から感謝申しあげます．なお，特別会費は5月31日まで受付けておりますので，よろしくお願い申しあげます．

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会
会長（学会創立50周年記念実行委員会　委員長）　眞田　一志
理事（学会創立50周年記念実行委員会　幹事）　吉満　俊拓

［賛助会員］　50音順（敬称略）

㈱IHI
SMC㈱
オカダインダストリ㈱
㈱神崎高級工機製作所
㈱古河製作所
㈱ジェイテクト
住友重機械工業㈱
㈱TAIYO
㈱タダノ
東京計器パワーシステム㈱
豊興工業㈱
日本アキュムレータ㈱
日本工業出版㈱
日本ムーグ㈱
㈱不二越
マックス㈱
油研工業㈱
イナバゴム㈱
SMC中国㈱
川崎重工業㈱
KYB㈱
㈱小松製作所
CKD㈱
ダイキン・ザウアーダンフォス㈱
タイヨーインタナショナル㈱
㈱都筑製作所
TOHTO㈱
中西商事㈱
日本機材㈱
日本精器㈱
日立建機㈱
フジサンケイ ビジネスアイ
三菱電線工業㈱
㈱ユーテック
㈱インターナショナル･サーボ・データー
㈱NF1
川重商事㈱
KYBエンジニアリングアンドサービス㈱
㈱阪上製作所
勝美印刷㈱
大生工業㈱
㈱タカコ
東京計器㈱
東レエンジニアリング㈱
ナブテスコ㈱
日本クエーカー・ケミカル㈱
(一社）日本フルードパワー工業会
㈱日立建機ティエラ
㈱増田製作所
ヤマシンフィルタ㈱
リバーフィールド㈱

［正会員］　50音順（敬称略）

饗庭　健一	青柳　幸雄	天野　勝	荒井　一則	池尾　茂	石井　進
石崎　義公	市丸　寛展	伊藤　一寿	伊藤　和寿	伊藤　和巳	稲富祥一郎
井上　淳	今泉　竹司	呉　春男	上嶋　優矢	大内　英俊	大信田文司
大科　守雄	大橋　彰	大見　康生	小笠原文男	小木曽太郎	小澤　忠彦
落合　貴志	落合　正巳	小山　紀	香川　利春	柿山　稜	風間　俊治
加藤　友規	神倉　一	川上　幸男	川嶋　健嗣	川島　正人	神田　国夫
北川　能	木原　和幸	玄　相昊	小嶋　英一	小曽戸　博	斉藤　賢治
齋藤　剛	齋藤　直樹	酒井　悟	桜井　康雄	佐々木政彰	佐藤　三禄
佐藤　潤	佐藤　毅彦	佐藤　恭一	眞田　一志	嶋村　英彦	清水　秋雄
蕭　欣志	上達　政夫	杉本　文一	鈴木　勝正	鈴木　勝也	鈴木　圭子
鈴木　隆司	須原　正明	曽谷　康史	袖山　博	高岩　昌弘	高崎　邦彦
高田　進	高田　芳行	高橋　建郎	髙橋　浩爾	竹村研治郎	田中　和博
田中　裕久	田中　豊	田中　義人	千葉　誠	塚越　秀行	築地　徹浩
筒井　大和	釣賀　靖貴	寺澤　孝男	冨山　俊作	中井　政光	長汐　康裕
永瀬　徳美	仲宗根隆志	永田　精一	中田　毅	中野　和夫	中野　政身
中山　晃	成田　晋	西田　均	西股　健一	野武　久雄	延本　泰一
則次　俊郎	土師野　正	橋本　強二	波多野　徹	羽生田信良	早川　恭弘
林　光昭	張本　護平	肥田　一雄	兵藤　訓一	広田　善晴	藤田　壽憲
藤谷　秀次	前畑　一英	増田　精鋭	松永　拓也	丸田　和弘	丸山　勝徳
三浦　孝夫	峯岸　敬一	宮川　新平	宮嵜　哲郎	村松　久巳	村山　勝彦
諸橋　博	柳田　秀記	山口　惇	山田　宏尚	横田　眞一	吉田　和弘
吉田　清久	吉田　伸実	吉灘　裕	吉松　英昭	吉満　俊拓	レア・ルコント

特別会費振込先：りそな銀行　新橋支店（普）0898726　または　郵便振替00110- 3-133690
名義：シャ）ニホンフルードパワーシステムガッカイ
募集期間：2020年5月31日まで

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

講演会と記念式典・祝賀会などについてのお知らせ

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会では，新型コロナウイルスの感染状況をふまえ，2020年5月28日（木），29日（金）に開催を予定しておりました機械振興会館における2020年春季フルードパワーシステム講演会と学会創立50周年記念式典・祝賀会，理事会・総会・表彰式などの諸行事を以下のとおり，変更・延期することといたしました.

◆2020年春季講演会について

5月28日（木），29日（金）における機械振興会館での開催を取りやめます.

電子的な方法による実施など，その可能性についてあらためて検討します.

◆学会創立50周年記念式典・祝賀会について

延期することにいたします．時期等は未定です.

◆理事会・総会・表彰式など

開催・実施方法などについて検討します.

なお，今後の対応については学会のホームページ（http://www.jfps.jp/index.html）などをとおしてご連絡申し上げます．今後の状況の変化により，変更などが生じる場合がありますことをご了解ください.

ご関係の皆様の安全と感染拡大防止のため，誠に残念ではありますが，苦渋の判断をせざるを得ない状況になりました．皆様のご理解とご支援をなにとぞよろしくお願い申し上げます.

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会
会長　眞田一志

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 （4月10日現在）	877	12	90	129
差引き増減	−34	−1	−59	−5

正会員の内訳　名誉員14名・シニア員47名・ジュニア員109名・その他正会員706名

〈新入会員〉

正会員

星野　宜夫（コマツ）
小西　博英（日本精工株式会社）
森本　光一（株式会社コガネイ）
今井　勇樹
宮坂　　篤（油研工業株式会社）
松永　拓也（コマツ）
清水　自由理（株式会社日立製作所）
大場　良太郎（株式会社コガネイ）
水野　純一（CKD株式会社）

学生会員

岡田　光太朗（豊橋技術科学大学）
児島　　諒（豊橋技術科学大学）
佐藤　直紀（東京電機大学）
篠崎　英輝（東京電機大学）
川﨑　敦也（豊橋技術科学大学）
三枝　　渚（徳島大学）
石井　達也（東京電機大学）
酒井　昂輝（東京電機大学）

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

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

ロボティクス・メカトロニクス講演会2020（ROBOMECH2020）
主　　催：一般社団法人 日本機械学会　ロボティクス・メカトロニクス部門
開 催 日：2020年5月27日(水)～5月30日(土)
会　　場：石川県産業展示館 他（石川県金沢市袋畠町南193）
U R L：http://robomech.org/2020/

混相流シンポジウム2020
主　　催：日本混相流学会
開 催 日：2020年8月21日(金)～8月23日(日)
会　　場：静岡大学　浜松キャンパス（静岡県浜松市中区城北3-5-1）
U R L：http://www.jsmf.gr.jp/index.shtml

Dynamics and Design Conference 2020
企　　画：一般社団法人 日本機械学会　機械力学・計測制御部門
開 催 日：2020年9月1日(火)～9月4日(金)
会　　場：大阪府立大学　中百舌鳥キャンパス（大阪府堺市中区学園町1-1）
U R L：http://www.jsme.or.jp/cinference/dmcconf20/

第38回 日本ロボット学会学術講演会
主　　催：一般社団法人 日本ロボット学会
開 催 日：2020年9月2日(水)～9月5日(土)
会　　場：信州大学　長野（工学）キャンパス（長野県長野市若里4-17-1）
U R L：http://ac.rsj-web.org/2020/

第15回「運動と振動の制御」国際会議（MoViC2020）
主　　催：一般社団法人 日本機械学会　機械力学・計測制御部門
開 催 日：2020年9月8日(火)～9月11日(金)
会　　場：朱鷺メッセ（新潟県新潟市中央区万代島6-1）
U R L：https://www.jsme.or.jp/conference/movic2020/

第63回 自動制御連合講演会
主　　催：公益社団法人 計測自動制御学会，化学工学会，システム制御情報学会，精密工学会，電気学会，日本機械学会，日本航空宇宙学会
開 催 日：2020年11月18日(水)～11月20日(金)
会　　場：黒部・宇奈月温泉　やまのは（富山県黒部市宇奈月温泉352-7）
黒部市宇奈月国際会館　セレネ（富山県黒部市宇奈月温泉6-3）
U R L：https://www.sice.jp/rengo63/

第3回 安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議（COMPSAFE2020）
主　　催：COMPSAFE2020実行委員会
開 催 日：2020年12月8日(火)～12月11日(金)
会　　場：神戸国際会議場（神戸市中央区港島中町6-9-1）
U R L：https://compsafe2020.org/

Grinding Technology Japan 2020
企　　画：日本工業出版株式会社
開 催 日：2021年3月2日(火)～3月4日(木)
会　　場：幕張メッセ（千葉県千葉市美浜区中瀬2-1）
U R L：https://10times.com/grinding-technology-japan

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
曙ブレーキ工業㈱
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
㈱打江精機
SMC㈱
SMC㈱中国
㈱NF1
㈱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
㈱小松製作所試験センタ
㈱小松製作所開発本部
㈱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㈱
JXTGエネルギー㈱
㈱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㈱
千住金属工業㈱
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
調和工業㈱
㈱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㈱㈱
㈱NaNaデザインワークス
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
フジサンケイビジネスアイ
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「フルードパワーのクリーン化技術最前線」―

【挨拶】
新会長就任のご挨拶
新副会長就任のご挨拶
【巻頭言】「フルードパワーのクリーン化技術最前線」の発行にあたって　中野政身
【解　説】
ミニマルファブによる半導体製造の革新　前川　仁
半導体・液晶製造プロセス用薬液供給ポンプ　矢島丈夫
磁性流体を用いた真空装置の技術紹介と展望　鷺坂圭亮，浅井笙平，折原大輔，廣田泰丈
真空装置に必要な漏れ試験技術　平山道人
大気圧低温プラズマを活用した滅菌技術・装置　佐藤岳彦
抗菌・除菌フィルタの要素・評価技術　大石　崇
【トピックス】学生さんへ，先輩が語る　森田晃平
Youは日本をどう思う？第15回：日本の医療について勉強しています　ンダイゼイエ　サミュエル
【研究室紹介】信州大学酒井研究室　酒井　悟

2019年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長	塚越秀行	（東京工業大学）
副委員長	村松久巳	（沼津工業高等専門学校）
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）
	梅村哲郎	（KYB㈱）
	加藤友規	（福岡工業大学）
	北村　剛	（油研工業㈱）
	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）
	妹尾　満	（SMC㈱）
委員	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）
	宮津寿宏	（CKD㈱）
	矢島丈夫	（㈱コガネイ）
	柳田秀記	（豊橋技術科学大学）
	山田真の介	（㈱TAIYO）
	山田宏尚	（岐阜大学）
	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.51 No.3

昭和47年10月19日第４種学術刊行物認可
2020年５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