昭和47年10月19日第4種学術刊行物許可　平成30年9月15日発行（奇数月）　ISSN 1346−7719　フルードパワーシステム

日本フルードパワーシステム学会誌

JOURNAL OF THE JAPAN
FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# フルードパワーシステム

Sep.2018 Vol.49 No.5

## 特集「バイオミメティクスにみられるフルードパワー」

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

ISSN 1346-7719
第49巻　第5号　2018年9月

日本フルードパワーシステム学会誌

# フルードパワーシステム

## 目　次

### 特集「バイオミメティクスにみられるフルードパワー」

【巻頭言】
「バイオミメティクスにみられるフルードパワー」発行にあたって　上妻　文英　212

【解説】
タコの吸盤を参考とした臓器吸着用ソフトフィンガー　塚越　秀行　213
空気圧人工筋肉を用いた腸管の蠕動運動を模擬したポンプの開発と応用　山田　泰之，中村　太郎　216
蝶型はばたきロボット開発のためのCFD解析　藤川　太郎　219
フナムシを模倣したポンプレス微量液体輸送システム　石井　大佑　223
サメ体表の微細構造に着目したバイオミメティックデザインとフルードパワーへの応用　宮崎真理子　227
バイオミメティクスによる家電製品の価値創造　大塚　雅生　231
航空機の機体形状に適用された生物模倣の事例　菅野　剛　235

【解説】
欧州建設事情視察団参加報告　藤谷　秀次　239

【会議報告】
MSCS2018におけるフルードパワー技術研究動向　川上　幸男　243

【トピックス】
学生さんへ，先輩が語る―建設機械メーカーで働き始めて―　枚木　昭平　245
Youは日本をどう思う？第5回：中国から来日して　薛　成華　248

【研究室紹介】
鹿児島大学　中尾研究室　中尾　光博　250

【企画行事】

平成30年春季講演会併設セミナー
「フルードパワーにおける設計技術のトレンド―品質向上と最適化を目指して―」　桜井　康雄　253

【会告】

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会共催　平成30年秋季フルードパワーシステム講演会　257
平成30年度オータムセミナー　「知っておきたい空気圧システム設計技術の新常識」　257
日本フルードパワーシステム学会論文集　49巻（2018）2号　発行のお知らせ　257
共催・協賛行事のお知らせ　258
その他　226，256，259，260

■表紙デザイン：山本　博勝　㈱豊島

一般社団法人　日本フルードパワーシステム学会

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

FLUID POWER SYSTEM

ISSN 1346-7719
Vol. 49, No. 5 September 2018

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# FLUID POWER SYSTEM

## Contents

Special Issue "Fluid Power at Biomimetics"

【Preface】
On the Special Issue "Fluid Power at Biomimetics" — Fumihide KOZUMA — 212

【Review】
Soft Finger Aimed for Adsorption of Organs Inspired by Octopus Suckers — Hideyuki TSUKAGOSHI — 213
Development and Application SP of Pump with Pneumatic Artificial Muscle Based on Peristaltic Motion of Intestinal Tract — Yasuyuki YAMADA,Taro NAKAMURA — 216
Development of A Butterfly-style Flapping Robot and its CFD Analysis — Taro FUJIKAWA — 219
Pump-Free Micro Liquid Transport System — Daisuke ISHII — 223
Biomimetic Design Inspired Microstructure of Sharkskin and Application to Fluid Power — Mariko MIYAZAKI — 227
Value Creation of Home Appliances by Biomimetics — Masaki OHTSUKA — 231
Example of Bio-mimicry in Aircraft Fuselage Design — Takeshi KANNO — 235

【Review】
"European Construction Inspection Team" Participation Report — Hidetsugu FUJITANI — 239

【Conference Report】
A Research Trend of Fluid Power in MSCS2018 — Yukio KAWAKAMI — 243

【Topics】
Senior talks to students —Start Working in a Construction Machine Manufacturer— — Shouhei SUGIKI — 245
What do you think of Japan? 5th : Coming to Japan from China — Chenghua XUE — 248

【Laboratory Tour】
Nakao Laboratory, Kagoshima University — Mitsuhiro NAKAO — 250

【JFPS Activities】
Report on JFPS Spring Seminar "Trend of Design Technology in Fluid Power —Aiming for Quality Improvement and Optimization—" — Yasuo SAKURAI — 253

【JFPS News】
226, 256, 257, 258, 259, 260

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

巻頭言

# 「バイオミメティクスにみられるフルードパワー」発行にあたって


著者紹介

上妻文英（こうづま ふみひで）

KYB株式会社
技術本部技術企画部技術標準化推進室
〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1－12－1
E-mail：kouzuma-fum@kyb.co.jp

1991年上智大学理工学部機械工学科修了．同年カヤバ工業株式会社（現KYB）入社．主に技術分野の標準化推進業務に従事．日本フルードパワーシステム学会の会員．


地球上に生息する生物は長大な年月をかけ変化し，その過程で優れた機能を身につけてきた．本特集号で着目するバイオミメティクス（biomimetics）とは，バイオミミクリー（biomimicry）とも呼ばれ，これら生物が有する機能や形状を模倣し，活用する技術である．

近年，バイオミメティクスを応用した製品が乗り物，スポーツ用具，家電製品，工業製品などで実用化されている．一方，フルードパワーの分野に目を移すと，ロボットやソフトアクチュエータなど医療や災害対応分野にて，事例は少ないものの興味深い応用が試みられている．

そこで本特集号では，バイオミメティクスとフルードパワーとをキーワードとし，それらの適用事例や適用可能性について，周辺技術とあわせて紹介したい．

はじめに，塚越秀行氏（東京工業大学）には，「タコの吸盤を参考とした臓器吸着用ソフトフィンガー」と題して，医療現場にて安全に使用できるデバイスを開発するための構造と，試作機の性能について解説いただいた．

つぎに，山田泰之氏と中村太郎氏（中央大学）には，「空気圧人工筋肉を用いた腸管の蠕動運動を模擬したポンプの開発と応用」と題して，生物のユニークな運動を模擬したポンプの開発およびそれを用いた粉体や高粘度流体の搬送事例について解説いただいた．

藤川太郎氏（東京電機大学）には，「蝶型はばたきロボットの開発とCFD解析」と題して，他の飛行体とは異なる蝶のユニークな飛行運動を解明するため用いた流体解析およびその解析結果について解説いただいた．

石井大佑氏（名古屋工業大学）には，「フナムシを模倣したポンプレス微量液体輸送システム」と題して，フナムシを参考にポンプを使用することなく流体を効率よく輸送することが可能な構造とその設計方法について解説いただいた．

続いて産業界からは，以下の３件についての解説記事をいただいた．

宮崎真理子氏（株式会社日立製作所）には，「サメ体表の微細構造に着目したバイオミメティックデザインとフルードパワーへの応用」と題して，生物の構造を解析し，それを同社の製品開発に適用した事例について，設計方法と実証結果に関する解説をいただいた．

大塚雅生氏（シャープ株式会社）には，「バイオミメティクスによる家電製品の価値創造」と題して，同社で数多く実用化されるバイオミメティクス適用製品を対象として，生物の特徴とその応用効果について解説いただいた．

菅野剛氏（KYB株式会社）には，「航空機の機体形状に適用された生物模倣の事例」と題して，過去に同社が航空機を開発した際の技術を紹介いただいた上で，その理論の検証結果について解説いただいた．

末筆ながら，ご多忙の中ご寄稿いただいた執筆者の皆様に深く感謝するとともに，厚く御礼申し上げる．いずれの事例も，今後ますますの成果が期待できるものと考える．本特集号がフルードパワー技術者への有用な情報となれば幸いである．

（原稿受付：2018年５月31日）

解説

# タコの吸盤を参考とした臓器吸着用ソフトフィンガー


著者紹介

塚越秀行（つかごしひでゆき）

東京工業大学　工学院

〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1-S5-19

E-mail：htsuka@cm.ctrl.titech.ac.jp

1998年東京工業大学大学院工学研究科博士課程修了．同大学助手を経て，2004年同大学工学部助教授，准教授，現在に至る．レスキューロボット，流体アクチュエータの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．


## 1. はじめに

腹腔鏡手術は，腹部に設けた10～12mm程度の穴（トロカール）から内視鏡や鉗子を挿入する低侵襲操作のため，患者への負担は少ない．その反面，患部に被さる臓器が内視鏡の視界を遮り，医師の手術を妨げる事態が生じることもある．現状では，臓器の掴み・吊上げ・押しのけを行う圧排用手術器具を利用して視界の確保が試みられているが，これらの器具は臓器を傷める懸念があり，術後の回復の遅延や合併症の誘発などの問題が指摘されている．

その解決策として，筆者らのグループでは，損傷を防ぎつつ臓器を圧排するために，腹腔内へスムーズに挿入でき，軽く押し当てただけで様々な臓器を安定かつ安全に吸着把持できるソフトフィンガーの開発を目指してきた[1]．その吸着把持の基本原理として，多様な環境への吸着機能を発揮するタコの吸盤に着目した．本報では，その着想に至った経緯と試作機の性能について紹介させていただく．

## 2. タコの吸盤に基づく発想

臓器を吸着するうえで既存の真空吸引を用いると，つぎのような問題を招く．すなわち，1）臓器表面の体液や血液の吸引，2）手術の作業空間の確保のために腹腔内膨張用に送り込んだ$CO_2$ガスの吸引，3）気密性を保持するうえで各吸盤を個別に吸引するための弁や流路の煩雑化，などの不具合である．

一方，軟体動物のタコは真空吸引を用いずに吸着力を生成する．タコの吸盤は中央のドーム部と縁の漏斗部から成る．吸着初期では，漏斗部を対象面に接触させてシールする．つぎに，ドーム部周囲の筋肉を縮めると内部の空気の体積が膨張するため負圧を生成する（図1）．各吸盤の閉じた系内で個別に負圧を生成できるため，ほかの吸盤と流路を共有する必要もなく，それゆえ凹凸面でも気密性を保ちやすい．さらに，筋肉を弛緩させるとドーム内の体積と圧力は初期状態に戻り，瞬時に離脱動作を実現できる．タコの吸盤は，経線筋・半径筋・円周筋の3種類の筋肉から成り，これらの弛緩と緊張の組み合わせにより上述の動作が生じる．

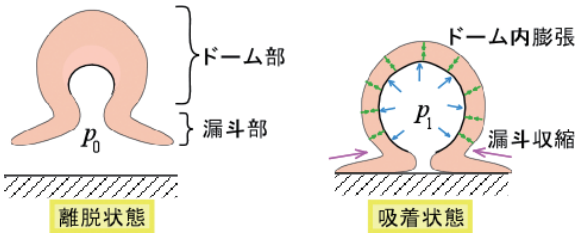



図1　タコの吸盤の吸着原理

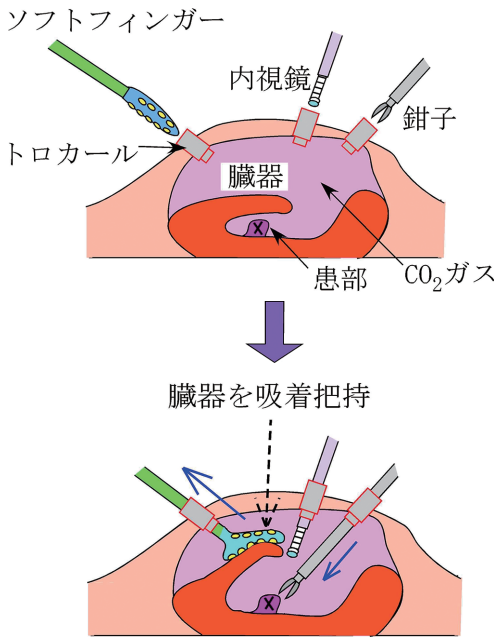



図2　腹腔鏡手術への適用を目指したソフトフィンガーの構想

筆者のグループでは，タコの吸着力を実感するために，担当の学生に生きたタコを築地市場で購入してきてもらった．観察前の準備段階で，学生の手や周囲の予期せぬ環境に吸盤が貼りつき，それを引き剥がしながら水槽に移すまでの作業が一苦労だったことを覚えている．

このような体験をもとに，タコのような体積変化で吸着する吸盤を人工的に再現することに挑戦した．そして，それらを先端に複数設けた柔軟体がソフトフィンガーである（図２）．ソフトフィンガーは，吸着機能に加えて剛性可変の機能も有する．すなわち，腹腔内への挿入時には剛性を高めて挿入しやすくし，臓器への接触時には剛性を低めて形状を適応させ，吸着後は再び剛性を高めて臓器を持ち上げやすくする機能の発現を目指したものである．

## 3. 吸着機能を有するソフトフィンガー

ソフトフィンガーは，弾性膜，可変容積式吸盤，吸引用チューブ，発泡粒子から成る（図３）．吸着初期では，当該吸盤が臓器に接触すると，臓器表面の体液と弾性膜との相互作用によりシールされる（仮吸着）．つぎに，真空発生器によりチューブを通して弾性膜内の圧力を減圧させると，各吸盤表面の弾性膜が吸盤内側に凹む．その結果，弾性膜と臓器接触部との間の体積が膨張し圧力が減少して吸着力が生成される（本吸着）．

このように弾性膜を介して間接的に負圧を生成する手法を「間接吸引」とし，吸盤内の空気を直接吸引する従来手法と異なる吸引方式として提案してきた[2]．間接吸引は直接吸引と異なり，臓器表面の体液や血液，腹腔内の$CO_2$ガスなどを吸引する懸念がない．

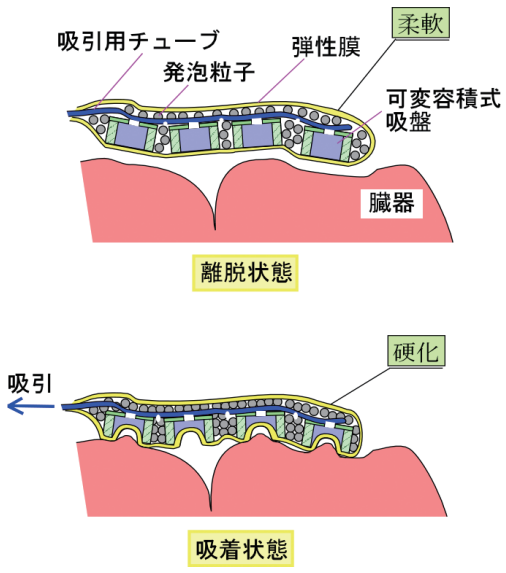



図３　ソフトフィンガーの構造と動作原理

当初筆者らは，災害救助の支援ツールとして開発した，壁面に探査機を搬送するための投擲型吸着体Anchor Ballに間接吸引の原理を適用した[3]．研究を進めている過程でその有用性に気づき，さまざまな用途に適用可能なことが判明してきた．実際，凹凸物体を把持するハンドなどへの応用例も他の研究グループにより報告されている[4]．

また，弾性膜内に設けた発泡粒子は，吸引時に変形して摩擦が増加し，剛性を高める効果を発揮する．つまり，吸着と同時にソフトフィンガーを硬くすることができ，臓器の持ち上げ時に座屈を防ぎやすい構造となり得る．質量20 g の試作機の外観を図４に示す．内径12mmのトロカール内に挿入でき，剛性を低めて形状を適応させた後，豚の肝臓片を持ち上げられることを確認した（図５）．

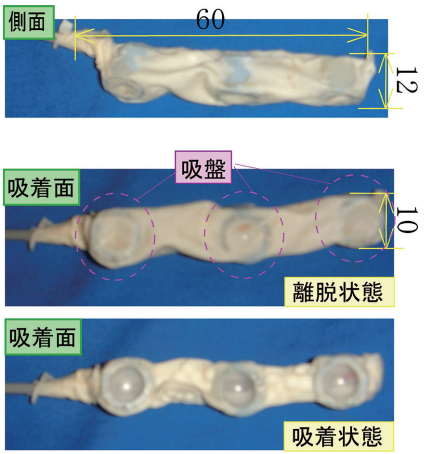



図４　試作したソフトフィンガーの外観

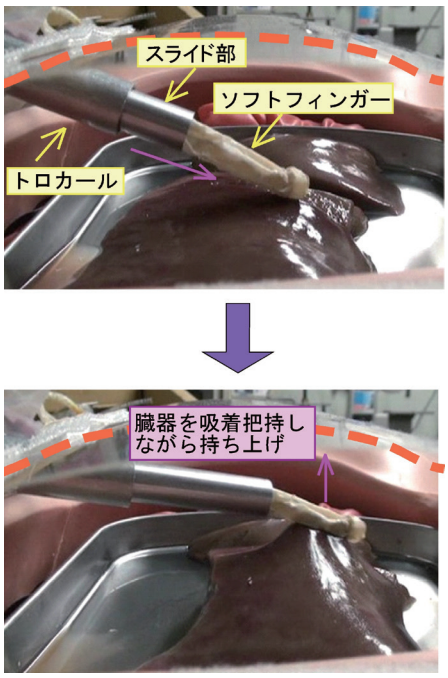



図５　腹腔鏡手術を模擬した装置内で豚の肝臓片を吸着把持するソフトフィンガー

## 4. 性能評価

ソフトフィンガーの力学的な性能評価を行った結果を図６に示す．臓器表面の粘弾性や脂質による摩擦への依存度を比較するため，複数の異なる肉を用いて吸着力を測定した．測定の結果，最大で質量300g以上の肉片を持ち上げられることを確認した．また，垂直方向よりせん断方向，なかでもソフトフィンガーの軸方向（長手方向）への吸着力を高く保持しやすいことが明らかとなった．この理由は，複数の吸盤が直列に配置した方向に外力が作用すると，仮にいずれかの吸盤が離脱しても，他の吸盤で吸着力を補助できるためと考えられる．特筆すべきは，肝硬変を想定し，ボイルして表面の硬度を高めた豚の肝臓片にも吸着できた点である．

一方，実際の医療現場の使用において，臓器の吸着状態を数時間持続することも想定される．そのような場合を鑑み，吸着した肉片に及ぼす影響を調査した．３時間程度の吸着把持の結果，肉片表面の痕跡具合が吸盤表面の構造によって異なることが明らかとなった．すなわち，吸盤表面に柔軟な漏斗を設けると痕跡を緩和させる効果があり，そのうえ小さい押しつけ力で効果的に吸着力を生成できることが確認できた．自然界のタコの吸盤において，先端に漏斗が存在する意義を再確認することができた．

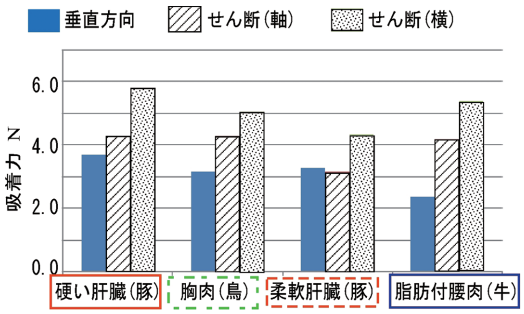



図６　試作したソフトフィンガーにおける吸着力の実験結果

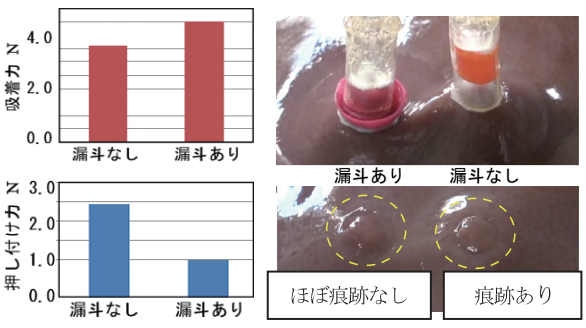



図７　ソフトフィンガー先端の漏斗の有無による痕跡の比較

## 5. おわりに

タコの吸盤を参考に開発した臓器吸着用のソフトフィンガーを紹介した．前述のタコを飼育した折，吸着特性以外にも奇妙な現象が確認された．それは，ある一定距離以内まで吸盤に人間が手を近づけると，タコは積極的に吸盤を手に吸着させようとした点である．あたかも，視覚や非接触センサが吸盤に存在し，人間と握手するかのような挙動に思われた．タコの吸盤には，工学的に見習うべき魅力がまだ隠されているかもしれない．

**謝辞**

本研究は，東京医科歯科大学と東京工業大学との医工連携講座のご支援のもとで行われました．

**参考文献**

1）桑原宏介，塚越秀行，北川能：タコの吸盤を参考とした臓器を吸着把持するソフトフィンガー，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013，1A1-B14（2013）
2）Hideyuki Tsukagoshi, Kazutaka Fuchigami, Eyri Watari, Ato Kitagawa: Deformable Anchor Ball for Thrown Referring to Octopus Suckers, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 26, No. 4, 477-485（2014）
3）渕上和峻，ワタリエイリ，塚越秀行，北川能：危険建物内のレスキュー活動を支援する投擲式吸着体の開発，ロボティクス・メカトロニクス講演会2011，2A1-J11（2011）
4）菊池智史，高橋智一，鈴木昌人，青柳誠司：自由曲面の把持可能なフレキシブル吸盤型ハンドの開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013，1A1-K03（2013）

（原稿受付：2018年８月３日）

解説

# 空気圧人工筋肉を用いた腸管の蠕動運動を模擬したポンプの開発と応用


著者紹介

山田泰之（やまだ　やすゆき）
中央大学
〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27
E-mail : yamada@mech.chuo-u.ac.jp

2013年 慶應義塾大学大学院理工学研究科博士後期課程修了．日本学術振興会DC1，PD（東京工業大学）を経て，中央大学理工学部助教．2018年インペリアル・カレッジ・ロンドンVisiting Assistant Professor．メカニズムとデザインエンジニアリングに着目したハードウェアによる全体最適化を目指す．移動ロボット，アシスト装置，ソフトロボティクスの研究開発に従事．日本フルードパワーシステム学会，博士（工学）．

中村太郎（なかむら　たろう）
中央大学
〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27
E-mail : nakamura@mech.chuo-u.ac.jp

信州大学大学院工学系研究科博士後期課程修了．1999年，秋田県立大助手．2004年，中央大学理工学部専任講師．2006年，同大学准教授をへて2013年より同大学教授．現在に至る．2012-2013年までスイス連邦工科大学ローザンヌ校Visiting Professor．文部科学大臣表彰若手科学者賞等受賞．人工筋肉や機能性流体などのスマートアクチュエータの開発と制御，および生物を規範としたバイオロボティクスの開発と応用に従事．日本フルードパワーシステム学会，博士（工学）．


## 1. バイオミメティクスと空気圧人工筋

生物は長い時間をかけて進化することで，それぞれの環境で生存するための最適な機能・形態を獲得してきた．Bio-mimeticsやBio-inspired robot等の研究分野は，このような生物の優れた機能を模倣・参考にする．そして，産業機械の延長上にはないような新たな発想や着眼によるイノベーションを起すのである．

生物は，当然電気モータではなく，筋肉や体液により運動する．今この解説を執筆している私の指は無数の筋肉で動いている．ヒル類などのシャクトリムシ運動は体液で動く．このような，生物の運動を機械で模倣する場合，アクチュエータ自体が柔らかく，またアクチュエータが柔らかくも動けることは相性がよい．そのため，筆者らも含め，バイオミメティクス分野においては，しばしばソフトアクチュエータが活用される．我々も，ソフトアクチュエータの一つである空気圧ゴム人工筋肉（以下：人工筋肉）を用いた生物型ロボットを研究開発している．

特に本稿では，生物のユニークな運動のひとつである「蠕動運動」に着目し，これを人工筋肉によって再現した事例を紹介する．具体的な開発事例として腸管の蠕動運動を模擬した蠕動運動ポンプとその応用事例について概説する．

## 2. 腸管の蠕動運動と空気圧人工筋肉

### 2.1　蠕動運動とは？

蠕動運動は，縦波の伸縮波を一定方向に進行させることによって移動や運搬を行う動作のことである．主に環形の軟体動物や人間の食道・腸などの消化器官に見られる平滑筋によって発生させられる．この平滑筋は，人間のように骨格等が存在しないため，筋肉自体が変形して自由度の高く柔軟な動きを発生する．蠕動運動は図1のように，「環状筋」と「縦走筋」という2種類の平滑筋により発生する．これにより，腸管は食塊の「移動」と「搬送」を実現している．

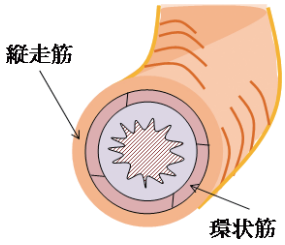



図1　腸管の構造

### 2.2　柔らかい動きを実現する空気圧人工筋肉

蠕動運動の柔らかい動きを，空気圧人工筋肉によって再現する．蠕動運動を実現するアクチュエータとして用いている空気圧人工筋肉のひとつである軸方向繊維強化型空気圧人工筋肉を図2に示す．これは，著者らによって開発が進められている高出力な人工筋肉である．天然ゴムチューブの軸方向にカーボンロービング繊維を内包した構造である．内部に流体圧を印加すると，半径方向に膨張して，軸方向に収縮する．この筋肉の膨張・収縮の動きが上述の「環状筋」と「縦走筋」の筋肉の動きと一致しているため，本人工筋肉を用いることで，蠕動運動を再現できる．また，空気圧の「柔らかさ」とゴム

の「膨張」を利用するため，蠕動運動特有の柔軟な動きも実現できる．なお，この蠕動運動は従来のモータによる回転系の機構では実現することが難しい技術であると言われてきた．空気圧の適用領域がモータにとって替わられる昨今，本運動の実現は空気圧による独自技術として注目を浴びている．

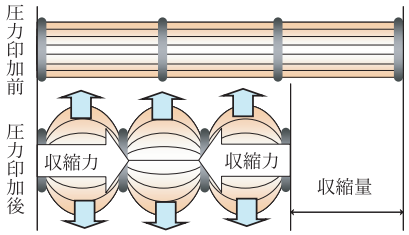



図２　軸方向繊維強化型人工筋肉

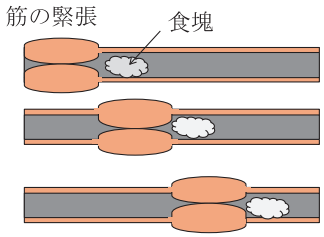



図３　腸管の動き

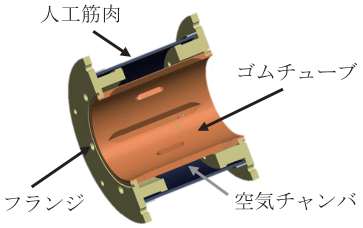



図４　腸管ユニット

## 3. 蠕動運動ポンプの研究開発

### 3.1　さまざまな物体を運ぶ・混ぜる蠕動運動ポンプ

高粘度流体，粉体や固液混合流体は，最終製品・中間材料として，食品，医薬品，建設などさまざまな産業活動で利用されている．そのため，さまざまな搬送・混合技術が求められている．これらの既存技術の多くはモータによる回転運動を動力源としているものが多く，１か所に動力箇所が集中して力を発生する形式が多い．たとえばスクリューコンベアは，管路に内包されたスクリュの軸をモータで回転させて搬送を実現する．プラネタリミキサは，回転ブレードの軸をモータで回転させることで混合を実現する．この際，搬送・混合対象の材料に大きな摩擦力やせん断力がかかる．また，駆動部が集中することで，より大きな力でなかば強制的に搬送・混合を行うため，それにより発生する熱により対象材料を劣化させる場合がある．

一方で，著者らは管路全体に動力源を分散させた形での運動により，搬送・混合を実現する腸管の蠕動運動に着目した．腸管は，体内で食塊の混合・搬送を担っている．図３のように，腸管は，直径方向に収縮する環状筋と軸方向に収縮する縦走筋の２つの筋肉の連動で蠕動運動を発生させる．

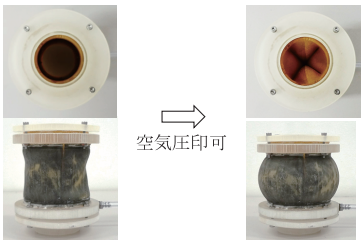



図５　腸管ユニットの動き

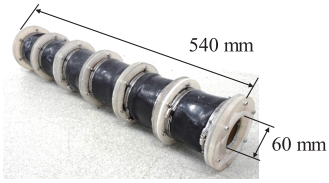



図６　蠕動運動ポンプ

### 3.2　蠕動運動ポンプ

著者らは，図４に示すように，独自の空気圧人工筋肉とゴムチューブを用いた二重円筒構造で腸管の構造を再現した蠕動運動ポンプを研究開発している[1)]．二重円筒の両側をフランジで密閉したチャンバ構造となっている．このチャンバに空気圧を加圧することで，図５のように，各ユニットは人工筋肉により軸方向に収縮し，円筒チューブは内側に膨張する．この腸管を模擬した構造を連結することで蠕動運動を発生するポンプを図６のように実現した．

各ユニットが閉塞する際は，材料を管内面全体で揉み解かすように押し出すため，せん断力が大きく発生せず，擦れ動く部分がなく摩擦も発生しにくい．管路各ユニットに分散した高出力な空気圧人工筋肉を用いることで，低エネルギでの搬送と混合を実現している．

## 4. 蠕動運動ポンプの応用

蠕動運動ポンプは空気圧駆動で，混合と搬送を同一システムで行い，材料が接触する構造体がすべて非金属の柔らかいゴム材料で構成されている特徴がある．この特徴を利用して，幅広い分野において応用が期待されている．たとえば，機器内での粉体の搬送や固体ロケット燃料の製造である．

### 4.1　粉体搬送への応用　～印刷用トナーの搬送～

さまざまな粉体搬送装置が利用されている．しかし，目的に合致した任意の条件で粉体を搬送できない場合がある．たとえば，印刷機で扱われている粉状の現像剤の搬送である．印刷機は，印刷速度と印刷品質の両立のために，プリンタ内部で現像剤を凝集なく高速に搬送する必要がある．一方で，一般的

な現像剤の搬送に用いられるスクリューコンベアでは，スクリュと壁面間に生じる剪断力やスクリュの高速回転によるモータの温度上昇から粉体に凝集が生じる場合がある．そのため，凝集が生じない搬送速度以下で制御するなどの対策が取られている．このように，印刷機では現像剤の低剪断力かつ低温での高速搬送技術が求められている．著者らは，図７のように，粉体搬送の高速化に特化した蠕動運動ポンプを研究開発している[2]．内壁はゴムチューブ，外壁は樹脂製で，この２つ間にチャンバがあり，各チャンバに空気を適宜加圧することで駆動する．発生する運動は，図８のように，腸管の中でも特に小腸で発生する分節運動を模擬している．これは，環状筋のみが運動し，縦走筋による軸方向の伸縮はほぼ発生しない．各種の腸管の運動パターンで粉体搬送を実験的に検討した結果，このような分節運動の，各ユニットの長さと，駆動周波数を変更することで，搬送量を増加できることが分かった．図９のように，水平搬送や，垂直搬送にも成功している．

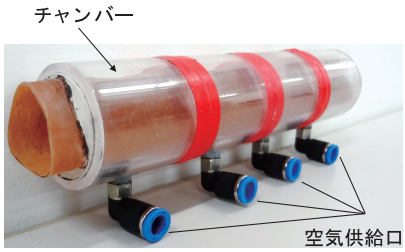



図７　粉体搬送用蠕動運動ポンプ

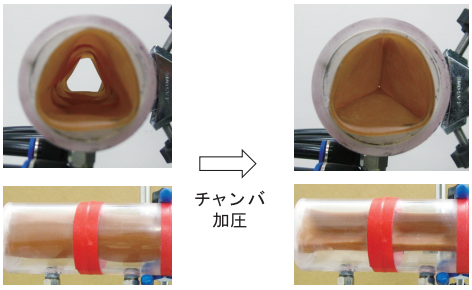



図８　粉体搬送用蠕動運動ポンプの動作の様子

図９　蠕動運動ポンプによる粉体搬送の様子

### 4.2　固体推進薬製造への応用

従来，ロケット用固体燃料は，金属粉体とバインダである高粘度流体等を，金属ブレードを金属ボールの中で回転させるプラネタリミキサで捏和して，その高粘度スラリを別途人力で搬送するバッチ式で製造されている．そのため，コスト低減へのハードルが高く，安全面に配慮しつつ新たな製造手法の検討を進めることが難しい状況であった．そこで，図10の蠕動運動ポンプの特徴を生かした，製造コストの抜本的な低下を目指して，固体推進薬の混合と搬送を安全かつ連続的な実現を目指している[3]．これは，腸の蠕動運動を模した「包み込むように揉み解しながら搬送する動き」で，材料の混合からロケット本体まで搬送を蠕動ポンプシステムで実現を目指すものである．蠕動運動ポンプの搬送混合性能は，実験室レベルでの検証にとどまらず，すでに実用組成の固体燃料材料を用いた企業施設での火薬製造試験に成功している．

図10　固体推進薬製造のための蠕動運動ポンプ

## 5. おわりに

このように，生物の構造・運動である腸管の蠕動運動を，柔らかい動きを実現可能なソフトアクチュエータである空気圧人工筋肉を用いて模擬した蠕動運動ポンプを紹介した．

粉体の低せん断での搬送や，高粘度スラリである固体燃料の製造を世界で初めて成功するなど，従来のモータによる回転系の機構では実現が難しい事例を，生物規範と空気圧駆動の相乗効果により実現した．今後，空気圧による独自技術としてますます研究開発を進めていく．

**参考文献**

1）Taro Nakamura, Kazuyuki Suzuki：Development of a Peristaltic Pump Based on Bowel Peristalsis using Artificial Rubber Muscle, Advanced Robotics, Vol. 25, No. 3, p. 371-385（2011）

2）山田泰之，吉浜舜，芦垣恭太，加藤弘一，中村太郎：粉体の高速搬送のための管式蠕動運動型コンベア―印刷機用トナーの搬送―，計測自動制御学会論文集，Vol. 54, No. 1, p. 2-8（2008）

3）山田泰之，吉浜舜，岩崎祥大，芦垣恭太，松本幸太郎，羽生宏人，中村太郎：蠕動運動型混合搬送機による固体推進薬連続製造の検討，日本機械学会論文集，Vol. 83,No. 850, p. 16-00576（2017）

（原稿受付：2018年５月７日）

解説

# 蝶型はばたきロボットの開発とCFD解析

著者紹介

藤川太郎（ふじかわたろう）
東京電機大学
〒120-8551 東京都足立区千住旭町５番
E-mail：fujikawa@fr.dendai.ac.jp

2011年千葉工業大学大学院工学研究科博士後期課程修了．同大学附属総合研究所特別研究員を経て，2012年より東京電機大学助教，現在に至る．ロボティクスの研究に従事．日本機械学会，日本ロボット学会などの会員．博士（工学）

## 1. はじめに

「昆虫は渦使い」と呼ばれるように，飛翔昆虫は自身の翅のはばたきで生成した剥離渦を再帰的に利用することで高い飛翔能力を得ていると考えられている．また，左右の翅を打ち付けて引き剥がすように行うclap-and-flingメカニズムでは，翅面上に負圧を発生させることで体を引き上げるような力を生み出していることも明らかにされている[1),2)]．筆者は，このような昆虫のはばたきに着目し，狭隘空間を移動可能なMicro Air Vehicle（MAV）として，小型はばたきロボットの開発を行っている．そのモデルとしてアゲハチョウを採用しているが，運動解析やCFD解析によって，その飛翔にはさまざまな特徴があることが明らかになってきた．本稿では，開発した蝶型はばたきロボットと飛翔メカニズム解明のためのCFD解析について紹介する．皆様の研究の一助になれば幸いである．

## 2. 蝶型はばたきロボットの開発

### 2.1 モデルとする蝶の飛翔メカニズム

鳥のようにはばたいて飛翔する生物は，一般に翼を上下に動かすフラッピング運動，前後に動かすリード・ラグ運動，翼面の迎角を変えるフェザリング運動などを行っている．昆虫もこのように翅を動かして飛翔しているが，膜状であるその翅は胸部に取り付けられているだけであるため，その支点回りの動き以外は翅の弾性変形によるところが大きい[3)]．ここで，モデルとしている蝶の翅構造に着目すると，蝶はトンボと同様に左右２枚ずつ４枚の翅を有しているが，前翅の一部は後翅に重なっている．そのため，トンボやハチのように翅を支点回りに回転させるフェザリング運動を行うことは困難である．よって，蝶は翅だけの向きを変えるのではなく，翅をたわませると同時に体全体の向きを変えることでフェザリング運動と同様の効果を生み出していることが明らかになった．

図１に蝶の飛び立ちの連続画像とそのメカニズムを示す．蝶の重心は腹部寄りであるため，その位置は全体の中心よりもやや後方にある．また，はばたき時に翅面に発生する揚力の作用点は重心よりも前方の前翅上にある．このため，蝶は翅を打ち下ろすと重心周りに頭を上げる向きのモーメントが発生し，翅を打ち上げると頭を下げる向きのモーメントが発生する．よって，蝶は翅打ち下ろしの際には体を起こしながら上昇し，この状態で翅を打ち上げることで体を前傾させながら前進する．このような動作を繰り返すことによって蝶は翅の迎角を制御し，階段状に飛翔している．

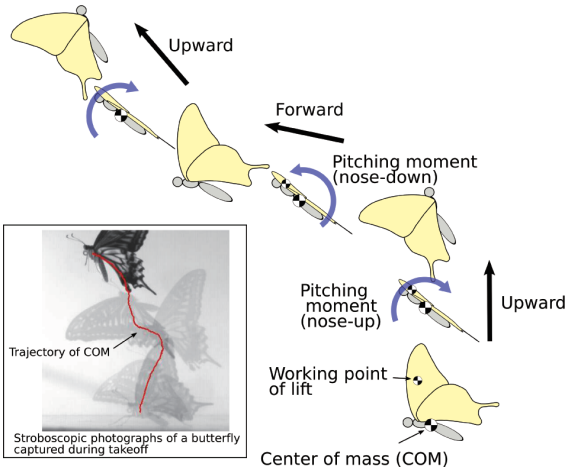



図１　蝶の飛び立ちの様子

### 2.2 蝶型はばたきロボット

昆虫の中でも翼長100㎜程度と大型であり，少ない翅の自由度と10Hz前後という低いはばたき周波数で飛翔している蝶をモデルとすることは，昆虫と

同スケールのはばたきロボットを開発する上でより実現性が高いと筆者は考えている．図２に開発した蝶型はばたきロボットの一例を示す．ボディを構成する主な材料は，軽量かつ高比強度・高比弾性の力学特性をもつCFRP（Carbon fiber reinforced plastic）で，翅にはポリエチレン製の薄膜フィルムを用いている．アクチュエータには出力質量比に優れた繊維ゴムを採用し，捻ることで生じる回転エネルギをスライダクランク機構を通して翅のフラッピング運動に変換している．これらの構成により，モデルとしたアゲハチョウとほぼ同サイズである，翼長115㎜，質量500㎎以下で開発された蝶型はばたきロボットは，初速0m/sからの飛び立ちを可能としている（図３）．この機体をベースとして，上下方向の姿勢制御や左右への旋回制御の実験を行っている．蝶型はばたきロボットの機構の詳細については文献４）を参照されたい．

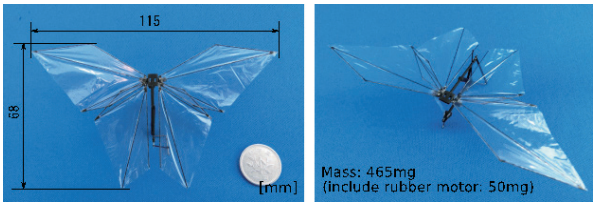



図２　開発した蝶型はばたきロボット[4)]

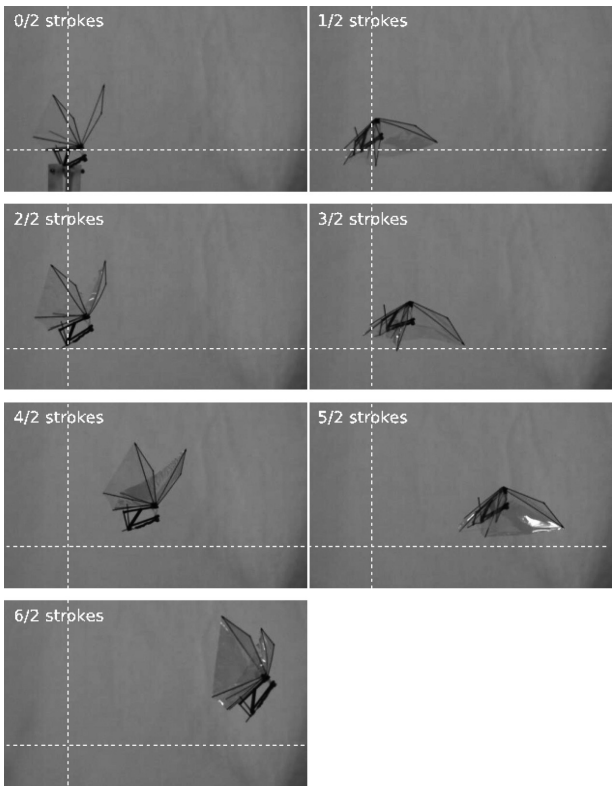



図３　蝶型はばたきロボットの飛び立ちの様子[4)]

## 3. 姿勢制御メカニズムと翅周り流体解析

### 3.1　蝶の飛翔画像を用いたCFD解析

蝶型はばたきロボットの姿勢制御手法を構築する場合，実際に蝶がどのようなメカニズムで姿勢を制御しているのかを知る必要がある．昆虫は，飛翔時に翅周りに生成される剥離渦を再帰的に利用することで高い揚力を得ていると考えられており，旋回などの際にも大きな影響を受けているものと思われる．このような観点から，本研究では，蝶の飛翔時の運動解析と共にCFD解析も行うことで姿勢制御メカニズムを明らかにしようと試みている．まず，蝶の飛び立ちの様子を３台の高速度カメラで撮影し，得られた画像から図４に示す定義に従ってフラッピング角やピッチ角などの解析を行う．つぎに，この画像から蝶の数値モデルを三次元的に構築し，そのモデルに対して，三次元，非圧縮，非定常の条件で流体のシミュレーション解析を行う．得られたデータから流線や圧力分布などを可視化し，元の画像と重ね合わせることで，蝶の飛翔時の翅周り流体解析が可能となる．詳細は文献５）を参照されたい．

図５に蝶の飛び立ち時のフラッピング角とロールおよびピッチ角の推移の一例を示す．85㎳付近と120㎳付近において，はばたき速度が最大となるフラッピング角０°近傍で大きくロール角が変化していることがわかる．このときの１はばたき間における翅周り流線の様子を図６に示す．翅の打ち下ろし（０～27㎳）では，翅の上面に巻き込むような流れができていることが確認できる．翅の打ち上げ（37～58㎳）においては，翅の下面に向かう流れが確認できる．また，右翅付近において，翅の動きに追従するような渦が生成されていることも明らかになった．

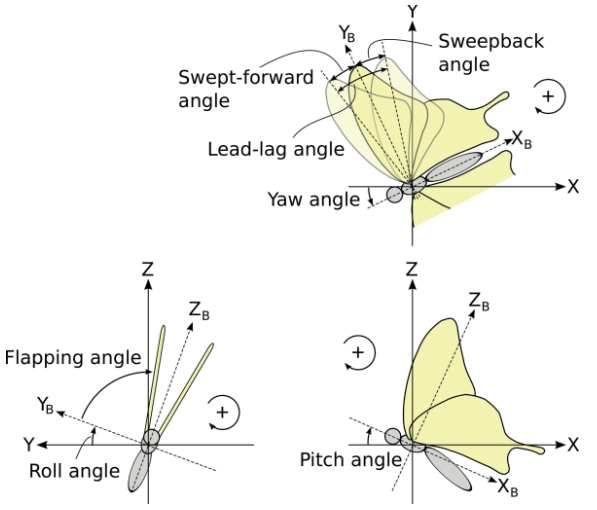



図４　解析に用いる角度の定義

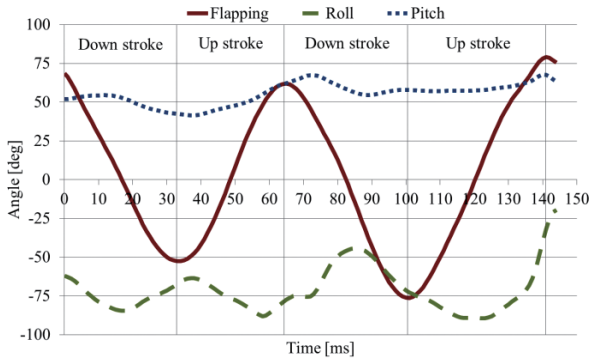



図５　フラッピング角とロールおよびピッチ角の推移[5)]

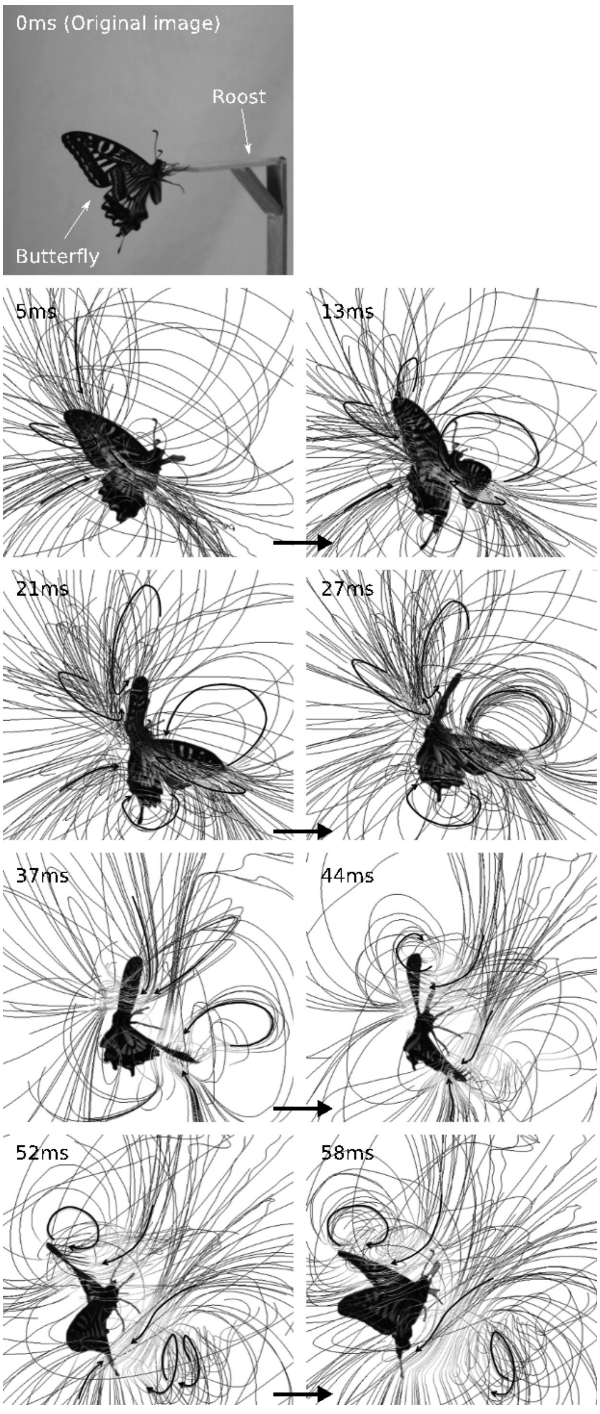



図６　蝶の翅周りの流線（図中の矢印は流れの向きを示す）

### 3.2　数値モデルを用いたCFD解析

フラッピング角や重心位置といった設計パラメータを変更することにより，姿勢制御にどのような影響が及ぶのかを図７に示す数値モデルを用いて解析を行っている．ボディを頭，胸部１，胸部２，腹部の４質点とし，バネとダンパで接続している．翅は前後が同位相ではばたくことから１枚の凸型四角形とし，x方向にNx-1，y方向にNy-1分割した．この分割部分を質点とし，分割された翅の各面積に比例させた質量を割り当てている．ボディ同様に各質点をバネとダンパで接続し，バネ係数で翅の剛性を表している．前節での解析手法は，蝶や開発したはばたきロボットの飛翔実験結果に対して行うものであるのに対し，本手法は事前に設計および制御パラメータを調整して数値シミュレーションを行うことができる点で大きく異なる．これまでに，フラッピングの中立角（翅の打ち下ろしと打ち上げの中間の角度）や翅の打ち下ろしと打ち上げ時間の比率を変えることによって，ピッチ方向の姿勢制御が可能であることなどを明らかにしてきた[6),7)]．その一例として，蝶型はばたきロボットのフラッピング中立角を変更した３モデルのCFD解析結果を以下に紹介する．

Model Aのフラッピング角を80°～－60°（中立角10°），Model Bを70°～－70°（中立角０°），Model Cを60°～－80°（中立角－10°）と設定し，12Hzのはばたき周波数で初速0m/sから飛び立たせた．図８～10に各モデルに対する翅周りの流線の様子を示す．いずれのモデルも，翅打ち下ろしの際には，翅の下面から上面に向かう渦が翼端に沿って発生していることが確認できる（図中のaおよびb）．翅打ち下ろし終了時（２/４ストローク）では，これらの渦は翼端から剥離しており，特にModel Cにおいてはそれが顕著に見られる．これは，中立角の値がより小さいModel Cは，Model A, Bに対して翅打ち下ろし終了時のピッチ角がより大きくなっているためであると考えられる．いずれのモデルもこの剥離渦を下から上に向かって裂くように翅が打ち上げられるため，その翅先端の移動軌跡に追従するかのように，翅の下面に引き込まれるような渦が発生している（図中のc）．ボディ前面にも同様に渦が発生しているが（図中のd），フラッピング角－80°から翅打ち上げが開始されるModel Cでは，その渦は他のモデルに対してより大きくなっており，翅打ち上げ終了時のピッチ角も大きいことが確認できる．つまり，フラッピング中立角の値が小さくなることで，１ストローク終了時のピッチ角は大きくなり且つボディの前面に発生する渦もより大きくなるということが明らかになった．この状態からつぎのスト

ロークが始まることでピッチ角はより増加傾向となり，Model CはModel Aに対してより上方へと飛翔する．この傾向は，はばたきロボットの飛翔実験からも明らかになっている[4),6)]．

前節および本節で紹介したCFD解析では，揚力やボディの回転モーメントなども算出している．本研究では，蝶やはばたきロボットの飛翔実験と合わせてCFD解析を行うことで，姿勢制御等の飛翔メカニズムの解明に努めている．

## 4. おわりに

本稿では，開発した蝶型はばたきロボットとその飛翔メカニズムに関するCFD解析結果について紹介した．はばたきロボットについては，実装可能な小型モータやバッテリの開発，姿勢制御手法の構築など実用化に向けての課題は山積みである．この姿勢制御手法についてはモデルとしている蝶の姿勢制御を基にしようとしているが，未だ解明されていない部分が多い．CFD解析により徐々にそのメカニズムが明らかになってきているが，「渦使い」である昆虫のはばたきには，翅の構造やボディ全体のダイナミクスなどさまざまな面でも学ぶものが多い．そのような昆虫の見えない流れの力を借りながら，蝶型はばたきロボットの実現に向けて研究開発を進めているところである．

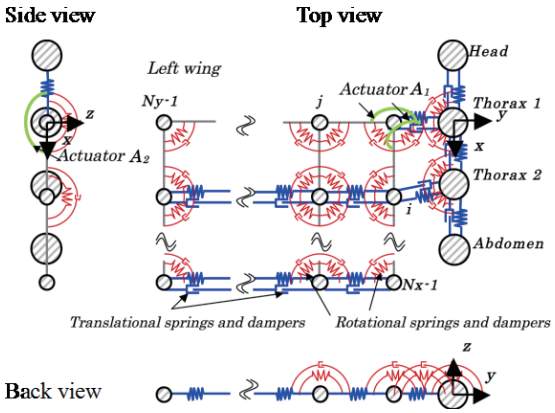



図7　数値モデル

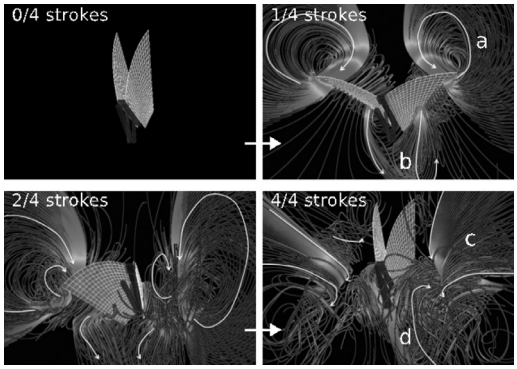



図8　Model Aの翅周りの流線（図中の矢印は流れの向きを示す）

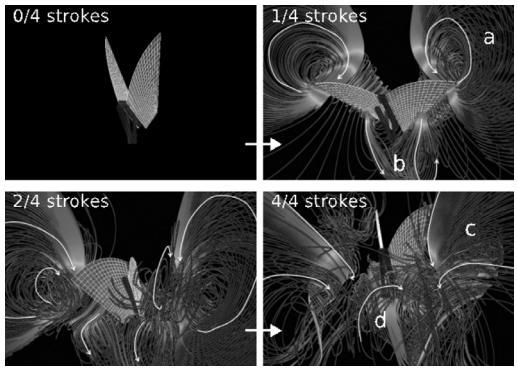



図9　Model Bの翅周りの流線（図中の矢印は流れの向きを示す）

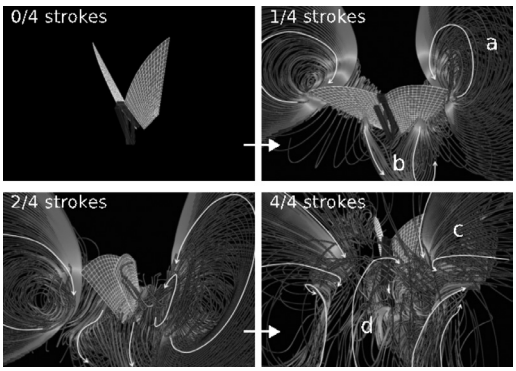



図10　Model Cの翅周りの流線（図中の矢印は流れの向きを示す）


参考文献

1）R. F. Chapman: The Insects, Cambridge University Press（1998）
2）T. Weis-fogh: Quick Estimates of Flight Titness in Hovering Animals, Icluding Novel Mechanisms for Lift Production, The Jounal of Experimental Biology, Vol. 59, p.169–239（1930）
3）東昭：生物の動きの辞典, 朝倉書店（1997）
4）藤川太郎：昆虫型はばたき翼系ロボティクス，日本ロボット学会誌, Vol.34, No.1, p. 19–23（2016）
5）Shindo, M., Fujikawa, T., and Kikuchi, K.: Analysis of Roll Rotation Mechanism of a Butterfly for Development of a Small Flapping Robot, American Transaction on Engineering & Applied Science, Vol. 3, No. 4, p. 233–255（2014）
6）Fujikawa, T., Shindo, M., and Kikuchi, K.: Motion Analysis of Pitch Rotation Mechanism for Posture Control of Butterfly-style Flapping Robot, American Transaction on Engineering & Applied Science, Vol. 3, No. 4, p. 251–263（2014）
7）Fujikawa, T., and Kikuchi, K.: Development of a Butterfly-style Flapping Robot with a Different Ratio of Down and Up Stroke Times, The 4th International Conference on Design Engineering and Science, ICDES 2017（2017）


（原稿受付：2018年７月28日）

解説

# フナムシを模倣したポンプレス微量液体輸送システム

著者紹介

石井大佑（いしい だいすけ）

名古屋工業大学大学院
〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町
E-mail : ishii.daisuke@nitech.ac.jp

2006年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士後期課程修了．理化学研究所基礎化学特別研究員，東北大学助教，名古屋工業大学特任助教を経て，2012年同大学大学院工学研究科准教授，現在に至る．生物模倣工学，高分子材料の研究に従事．高分子学会などの会員．博士（工学）．

## 1. はじめに

バイオミメティクス（生物模倣）を実現するためには，生物のもつ優れた機能を明らかにする必要がある．たとえば，オーストラリアの砂漠に生息しているモロクトカゲの皮膚には円錐状のトゲが多数あり，そのトゲには放射状の凹凸構造がある．その構造が皮膚のさまざまな場所から口へと繋がる流路となっており，干ばつ地帯の砂中に含まれるわずかな水分を皮膚全体で補水し，毛管現象により口まで輸送している．地球上には水不足の地域が多く，この毛管現象に着目して空気中のわずかな水分や雨水を利用するシステムが開発されている．管のような流路により液体を輸送する際には，低粘性液体では圧力は不要であるが，蜜のような高粘性液体となると粘性抵抗が顕著に現れ，自発的に流路内を流れることは困難となる．自然界に目を向けると，生物や植物は生存のために多様な手法で，水分のみならず粘性の高い養分や油分を省エネルギーで取り込んでいる．その実態は，輸送流路内部に微細構造や組成の違いを生み出す表面があり，その構造のもつエネルギーのみで高粘性液体の高効率輸送を実現している．このような構造のもつエネルギー駆動の液体操作は，省エネルギーで高効率に高粘性液体を操作可能なシステムとして期待されている．

また，現在の社会では，多くの場面で液体を自在に操ることが求められている．たとえば，水とオイルの分離問題が挙げられる．水とオイルは相溶性が悪くほとんど混じり合わない．たとえば，船舶からの海水へのオイル漏れや，野菜やイカなどの水分の多い食材をサラダオイルで炒めた際の水の飛散など，環境問題から日常生活まで多岐にわたる．しかし，水とオイルの分離は非常に手間がかかる．そのため，高効率な水とオイルの分離プロセスが切望されている．現状の分離技術は，吸着材に染みこませる方法や水のみ透過できる膜を利用する方法など，吸着材や膜材を用いることが主である．これは，水とオイルはともに液体であり，液-液分離をしなければならないためである．近年では，通過する液体の表面張力による分離が可能なフィルターを用いた分離技術があるが，重力を利用した分離のために容器の移し替えが必要である．

そこで本稿では，この問題を解決するための水とオイルの省エネルギー分離プロセスなどに利用可能な液体輸送システムを，フナムシが微細構造で液体を自発輸送していることに倣い，微細構造や組成の違いにより高効率な液体輸送を実現した結果を紹介する．微小流路では粘性抵抗が流路の阻害因子となるが，フナムシの流路構造を模倣することで，流路阻害にはならずにむしろ流速を促進できる省エネルギー輸送プロセスを構築できた．

## 2. ポンプレス微量液体輸送システム

### 2.1 フナムシのもつ液体輸送システム

我々は，数多く存在する生物の機能の中から，フナムシのもつ吸水現象に着目した．フナムシは甲殻綱・等脚目・フナムシ科の海岸に広く生息する小動物であり，エラ呼吸のために多くの水分が必要である．多量の水分が必要であるにもかかわらず，泳ぐことができないため，口から補水するのみならず，自発的に脚からエラまで海水を輸送する微細毛で形成された流路構造をもつ．この流路構造を使い，エラに適切量の水分を供給することが可能である．この脚側面の構造は開放型の微小流路（オープン流路）であり，図1に示すように，脚先の節では針状の微毛が流路に沿って配列しており，付け根の節では平板状の微毛を針状毛が取り囲んだ構造で構成さ

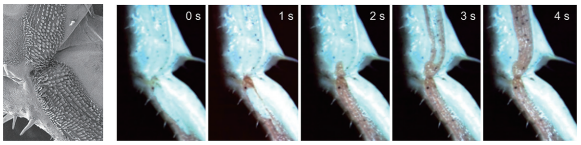



図１　フナムシの脚にある微小流路.

れている．微細な凹凸を有する表面は，平滑表面に比べて特異な濡れ性を示すことは，Wenzelの理論やCassie-Baxterの理論により説明されている．流路を形成している針状毛と平板状毛，および，流路外部の外皮のもつ特異な濡れ性を，構成物質の化学組成の差違を排除することで明らかにした．具体的には，フナムシの脚の表面を金でコーティングし，疎水成分と親水成分の組成比を系統的に変化させた自己組織化単分子膜で修飾することで，表面化学組成の均一な表面を作製し，各部位の微小水滴（１nL）に対する接触角測定による濡れ性の評価を行った．その結果，外皮の濡れ性は，平滑面を自己組織化単分子膜で被覆した際の濡れ性とほぼ同等であったのに対し，針状毛と平板状毛では疎水成分の増加に伴い，ある比率で急激に疎水性が高くなっていた．それぞれのサンプルの水上昇挙動を観察すると，外皮，針状毛，平板状毛のすべてが濡れる状態では脚全体に濡れ拡がってしまい，すべてが撥水の状態では全く濡れなかった．針状毛のみが濡れる状態では途中の節までしか上昇しなかったのに対し，針状毛および平板状毛の両方が濡れる条件においてのみ流路での選択的な吸水現象が観察された．以上の結果から，脚構造に伴う濡れ性の違いを駆動力として，微細構造部分でのみ選択的に液輸送していることが明らかとなった．また，縁部の針状毛と中央部の平板状毛の濡れやすさを比較したところ，針状毛の方が４倍速く濡れ拡がることが明らかとなり，縁部が先に濡れて流路の壁面を構築し，その後，中心部が満たされることで液量が確保されていた．

つぎに，このフナムシのもつ液体輸送機構を物理化学的解析により解明した結果，流路を構築している微細構造と液体との界面張力の相関が，高効率な液体輸送に重要な役割を担うことを見いだした[1]．一般的に，微細構造は流路抵抗になるため，流路内に形成させることは不適とされてきたが，フナムシの脚の微細構造は流路抵抗にはならずに流路を促進させる働きをしていた．つまり，微細構造の違いに伴う濡れ性の違いを駆動力として，高効率で液体を輸送していることが示唆された．そこで，このフナムシの脚の流路構造を模倣した流路を設計し，高効率な液体輸送システムを開発した．具体的には，微細構造の構造因子を系統的に変化させたパターンによる高効率な流路機能を論述する．

### 2.2　フナムシ模倣流路構造の作製法

フォトリソグラフィにより，フナムシ模倣流路構造を作製した．フォトリソグラフィとは，感光性のフォトレジストを塗布した基板にマスクを介した紫外光を照射し，現像することで微細なパターン構造を基板上に転写作製する技術である．フォトレジストの性質の違いにより露光部が微細構造として残るネガ型と露光部以外を残すポジ型がある．フナムシ模倣流路構造はネガ型のフォトリソグラフィで作製した．微細凹凸構造の横間隔をLW，縦間隔をPIとし，10㎜×25㎜のシリコンウェハ上にLW，PI，高さの異なる約30種類の微細構造からなるオープン流路を作製した．

作製したフナムシ模倣流路の完全な親水化を行うために，エキシマ光照射による表面酸化処理を行った．Xe，Kr，Ar，Neなどの希ガス原子は化学的に結合して分子を作らないため，不活性ガスと呼ばれる．しかし，放電などによりエネルギーを得た希ガス原子（励起原子）は他の原子と結合して分子を作ることが可能である．こうしてできた分子をエキシマという．希ガスがキセノンの場合には，励起されたエキシマ分子が基底状態に遷移するときに172nmのエキシマ光を発光する．基底状態に遷移すると励起原子ではなくなるのでXe原子に解離する．通常基底状態に遷移する時に発光する共鳴線は，基底状態の原子に吸収される自己吸収を生じ強い発光が妨げられるが，エキシマにはそれがなく高い発光効率が得られる．そのためエキシマランプは真空紫外光（VUV）源として最適である．VUVの光子エネルギーはほとんどの有機物の結合エネルギーよりも大きいため，結合を直接切断することが可能である．表面改質は対象物表面の有機汚染物をエキシマ照射により除去した後に進行する．VUVが照射雰囲気中の酸素に吸収され活性酸素やオゾンを生成し，オゾンはさらに分解し活性酸素を生成する．有機物を除去された表面の分子と活性酸素が結合し，親水性の高い官能基（ヒドロキシ基，アルデヒド基，カルボキシル基）が形成されることで表面親水化が進行する．

### 2.3　フナムシ模倣流路構造による液体輸送

フナムシ模倣構造のパラメータは，LWが25および50μm，PIが０～50μmで，SLは５～100μmと変化させた．またLW＝50μm，PI＝50μm，SL＝50μmの配列モデルに関しては，図２に示すようにLW方向に隣り合うパターン配列をずらした流路も作製した．作製した模倣流路の重力に抗した水上昇に関して，一般的に上昇高さは経過時間の１/２乗

に比例することが示されており，フナムシ模倣構造の水上昇もすべてその理論に従っていた．その際の上昇速度の指標Dは，時間の平方根に対する上昇高さの傾きで表される．

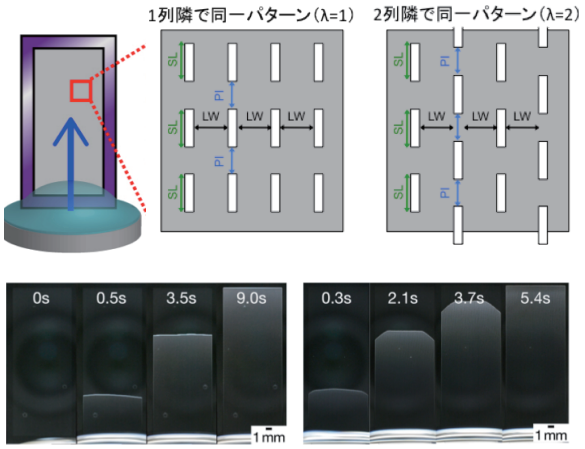



図２　配列パターンをずらした模倣流路および水上昇測定のモデル図

図３にLW＝25or50μm，PI＝20μmで固定し，スリット長のみを変化させた場合のD値を示す．スリット長が長くなるにつれて水との接触表面積が大きくなるため，表面張力が増大し，それに従って速度の増加が見られた．しかし，SL＝100μmになると，LW値に関わらずにSL＝50μmよりも速度が低下した．この結果から，SLの幅が２μmの場合，最適なSL長が50μm近辺にあり，SL長を変化させることで，流路としての能力が向上することが明らかになった．

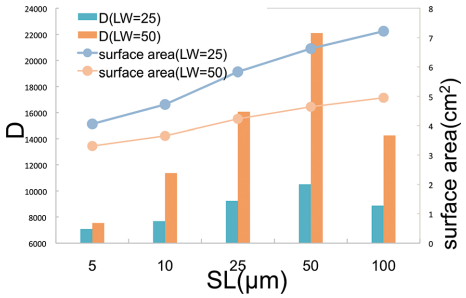



図３　SLを変化させた場合の上昇速度の変化

また，LW＝50μm，PI＝20μm，SL＝25μmで固定し，隣接パターンのずれを加えた場合の上昇速度を比較した場合，単位面積あたりの表面積は同じであるのにもかかわらず上昇速度が速くなった（図２参照）．この結果から，ずれを加えることで流路としての能力が向上することが明らかになった．

### 2.4　液体輸送のエラー回避システム

フナムシの脚の微小流路に不純物であるWaxを付着させた場合と微小流路の一部を破損させた場合の流路構造での水上昇挙動を調べた．外的因子により流路が完全に不通にならない場合を除き，水はすべての流路を満たしていた．これは，マイクロチューブやマイクロチップなどのクローズド流路では得られないオープン流路に特有の能力である．さらに，単一の溝構造などのオープン流路である短軸方向に導通のないオープン流路構造でも得られない特徴的な機能とも言える．

フナムシのスリットの構造が配列されたフナムシ模倣モデルにおいても，フナムシと同様のエラー回避システムが観察できた（図４）．オープン流路構造であるが短軸方向の導通が無いモデルと，短軸方向の導通があるフナムシ模倣モデルを比較した場合，導通が無い場合は単独列の束であるため，不純物の付着やパターンの欠損により水上昇は阻害される．それに対し，導通が有る場合は，横方向からの漏れ溢れ出た水が，不純物の付着やパターンの欠損を補うように移動し，すべての流路が満たされることが明らかになった．この結果より，フナムシ模倣モデルはエラー回避システムを有することが明らかになった．

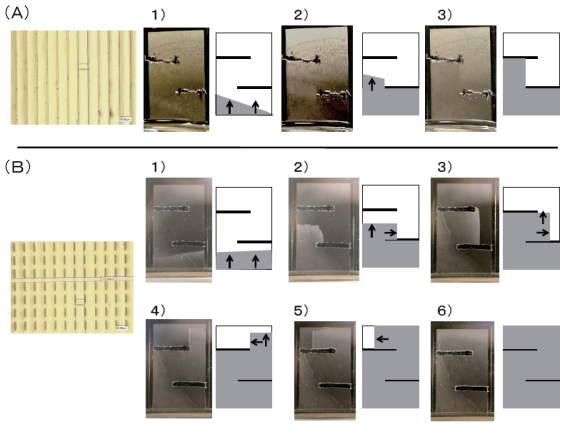



図４　フナムシの微小流路のエラー回避システム．(A) 短軸方向に導通の無いオープン流路構造の水上昇現象，(B) 短軸方向に導通のあるフナムシ模倣流路構造の水上昇現象．

## 3. おわりに

フナムシを模倣した微細構造の配列の違いに伴う表面張力を駆動力とした新規液体輸送システムの有用性を下記に列挙する．

(1)　省エネルギー液体輸送システム

高粘性液体（イオン液体や濃厚溶液）も自発的に吸水可能である．物理理論よりも優れた初期流速が得られ，流路開始点での加圧が不要である．物理理論よりも優れた表面張力駆動の長距離輸送を実現可能である．電力供給が困難な地域（アフリカ等）で

省エネルギーに水を輸送可能である．

⑵　自動制御流路

流路構造の配列パターンやブレードの形状を制御することで流路を制御可能である．流路構造と液体の表面張力との関係により，水と油を自発的に分離可能である．血液などの混合溶液の表面張力を識別した流路で，視覚的に判別可能である．配列パターンの流路をレゴブロックのように組み合わせることが容易である．

⑶　安全装置

流路の一部が損壊していたり，不純物が付着していたりしても吸水可能である．一時的に欠陥を作り，そこを流路開始点にするなどの始点と終点の自在性がある．

⑷　開放流路

壁などの平面に用いて，大規模流路や湿潤状態維持空間として利用可能である．水溶液などを展開した後に溶媒を蒸発させ，溶質を析出可能（塩の析出）である．インクジェットプリンタのノズルなど，詰まっては困るところでの有用性がある．微径管などの内壁に用いることで，液量のモニタリングが可能である．

今後は，液体輸送メカニズムの理論解析を行い，上記の実用性を探索する．

**参考文献**

1）Ishii, D., Horiguchi, H., Hirai, Y., Yabu, H., Matsuo, Y., Ijiro, K., Tujii, K., Shimozawa, T., Hariyama, T., Shimomura, M.：Water transport mechanism through open capillaries analyzed by direct surface modifications on biological surfaces, Scientific Report, Vol. 3, p. 3024 (2013).

**（原稿受付：2018年７月１日）**

**会　告**

# 会　員　移　動

| 会員の種類 | 正　会　員 | 海外会員 | 学生会員 | 賛助会員 |
|---|---|---|---|---|
| 会　員　数<br>（8月10日現在） | 923 | 16 | 117 | 130 |
| 差引き増減 | －3 | ±0 | －5 | ±0 |

正会員の内訳　名誉員15名・シニア員41名・ジュニア員144名・その他正会員723名

〈新入会員〉

正会員

鈴木　直也（株式会社椿本チエイン）

今泉　竹司（有限会社イマイズミダイシン）

村田　泰典（三一重工株式会社）

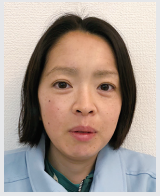
学生会員

河野　　大（芝浦工業大学）

解説

# サメ体表の微細構造に着目したバイオミメティックデザインとフルードパワーへの応用

著者紹介



宮崎（みやざき）　真理子（まりこ）

株式会社日立製作所

〒312-0034 茨城県ひたちなか市堀口832－2

E-mail : mariko.miyazaki.jm@jhitachi.com

2006年筑波大学博士前期課程修了．株式会社日立製作所入社，機械研究所に配属．2014年同研究開発グループ材料イノベーションセンタを経て現在に至る．分子シミュレーション，流体シミュレーション，バイオミメティクスの研究に従事．日本機械学会，応用物理学会等の会員．

## 1. はじめに

液体や気体の流体制御は，オイル＆ガスの資源関連，都市ガスや上下水道などの社会インフラ，航空機や船舶，自動車，鉄道の輸送分野，空調機や掃除機の家電分野など，幅広く現代社会の根底を支えている．一方，生物は自然環境下で外界と接しながら生態系を形成しているが，40億年の進化の過程で，膨大な試行錯誤を繰り返し，水や空気の流体制御に適した構造や機能を獲得してきた．

流体制御に関する生物構造体として，サメ体表の微細構造が注目されており，サメ体表の機能を工学製品に応用する研究が，30年以上にわたって研究されてきた．たとえば，サメ体表の溝構造に着目した樹脂フィルム（リブレットフィルム）により流体抵抗が低減することが実証されている[1]．従来の研究は，SEM（Scanning Electron Microscopy）で観察したサメの体表構造を，流れに沿った単純な溝（リブレット）と解釈し，表面構造を設計してきた．しかしながら，分析技術の進歩により生物体表の微小な3D構造計測が可能となり，サメ体表は単純な溝ではなく，1 ㎜スケール以下の微細で複雑な3D構造を有する無数の楯鱗で覆われていることがわかってきた．この複雑な楯鱗構造の機能を解明することで，リブレットを超える流体制御が可能な表面構造を設計できると考えられる．

サメ体表の3D構造計測については，Wenらがアオザメの楯鱗をマイクロフォーカスX線CT法で断層撮影し，画像合成によって楯鱗の3D構造を構築した後，楯鱗の大きさを十数倍（1 ㎜スケール）にして3Dプリンタで楯鱗構造を造形した[2]．サメ体表に着目した微細構造を工業製品に適用するときに加工すべき寸法は，適用する製品で生じる流れのレイノルズ数によって異なるが，0.1㎜スケール以下で楯鱗構造をそのまま加工することは困難である．そこで，筆者らは楯鱗の3D構造計測と流体解析により，楯鱗構造と楯鱗表面に生じる流れ場の関係を明らかにし，楯鱗表面と同様の流れ場を人工的に再現できる表面構造を設計することにした．このように，生物の機能を解析し，人工的に類似の機能を工業製品で再現する設計を，筆者らはバイオミメティックデザイン（Biomimetic Design：BMD）と呼んでいる．BMDを用いて設計した構造を工業製品に加工することで，生物構造をそのまま加工することなく，生物と類似の機能を発現することができる．以下では，BMDを用いて設計した構造をBMD構造と呼ぶ．

本稿では，筆者らが確立した，BMDを用いた設計方法について解説する[3]．さらに，遠心ブロワのディフューザにBMDを適用し，流体制御を実証した例について解説する[3]．

## 2. サメ体表の微細構造に着目したバイオミメティックデザイン

### 2.1 微細構造からの特徴形状の抽出

本稿では，Wenら[2]と同様，マイクロフォーカスX線CT計測を用いてサメ体表の構造計測を行った．マイクロフォーカスX線CT計測では，測定サンプルにX線を照射し，360度あらゆる角度からのX線断面画像（CT画像）を取得し，得られたCT画像から3D構造を構築する．

マイクロフォーカスX線CTで計測した，ガラパゴスザメの体表構造を図1に示す．サメの体表は，流れ方向の溝を持つ無数の楯鱗が重なって配列していることがわかる．これらの楯鱗の構造はどれもほぼ同じであるため，取得したCT画像からある一つの楯鱗を抽出し，3D構造を構築した．図2が楯鱗の3D構造である．筆者らは，楯鱗の構造について，

２つの特徴形状を抽出した．一つは，図２(a)に示すように，楯鱗が表皮に対して傾斜を有していることである．この特徴については，すでにLuoらが報告している[4]．もう一つの特徴は，図２(b)に示す，流れに沿った数個の溝である．これらの溝の断面模式図を図３に示す．ガラパゴスザメの楯鱗にはGnで示す溝が４つある（左から順にn＝１，２，３，４）が，各溝で左側の表面積（$S_{n,L}$）と右側の表面積（$S_{n,R}$）が異なる．筆者らは，このような左右の表面積が異なる溝を非対称溝と呼んでいる．溝の非対称性は，４つの溝により形成される５つの突起Pn（左から順にn＝１，２，３，４，５）において，隣り合う突起の高さまたは幅が違うことで生じるものである（たとえば，$H_1 \neq H_2$，$W_1 \neq W_2$）．楯鱗の溝の非対称性はこれまで明らかにされていなかったことであり，これが楯鱗表面の流れに大きな影響を与えていると考えられる．

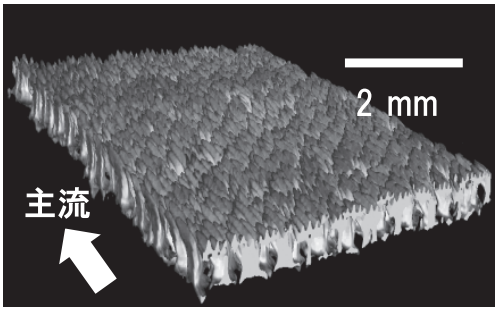



図１　ガラパゴスザメの体表構造

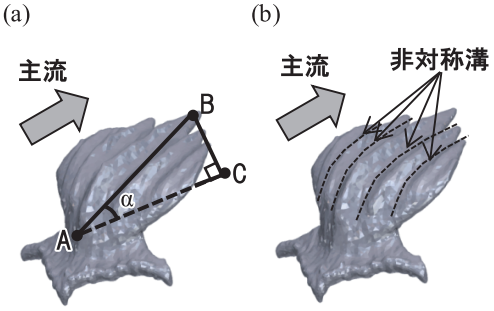



図２　ガラパゴスザメの楯鱗構造

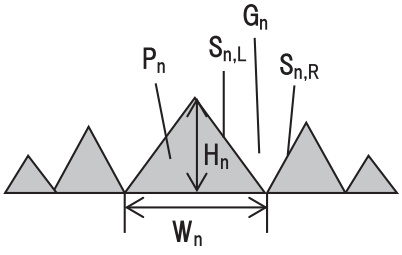



図３　楯鱗の溝の模式図

## 2.2　特徴形状からの設計指針導出

流体解析を行い，楯鱗の特徴的な形状と楯鱗表面に生じる流れ場との関係を明らかにすることで，BMDの設計指針を導出した[5]．

初めに，楯鱗の3D構造をもとに楯鱗表面の流れ場を解析したところ，非対称溝の近傍に流れ方向に軸を持った渦（縦渦）が発生することが明らかになった（図４）．

つぎに，非対称溝をモデル化した流体解析を行った．図５に示すように，高さが0.1㎜で，幅の異なる２つの三角形（$w_1$＝0.1㎜，$w_2$はパラメータ）を交互に配置し，溝の非対称性（$w_1/w_2$）と縦渦の強さ（$|\omega_x|$：渦度の主流方向の成分の絶対値）の関係を検討した結果，溝の非対称性が大きいほど縦渦の強さが大きくなることを明らかにした（図６）．このことから，楯鱗の非対称溝が縦渦の発生を促進していると考えられる．さらに，楯鱗が表皮に対して傾斜を有していることで，表皮から主流の方向へ流れる上向きの流れ（上昇流）が生じるため，表皮近傍の境界層から表皮から離れた主流の方へ縦渦が移動しやすくなる．つまり，縦渦と上昇流により，境界層と主流の運動量交換が活性化することが，楯鱗表面の流体特性向上のメカニズムではないかと考えられる．このことから，楯鱗表面の同様の流れ場を

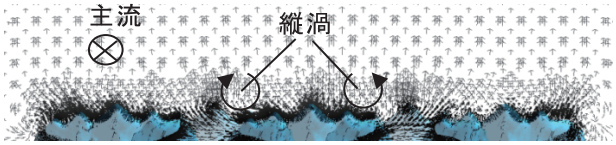



図４　楯鱗近傍の流れ場

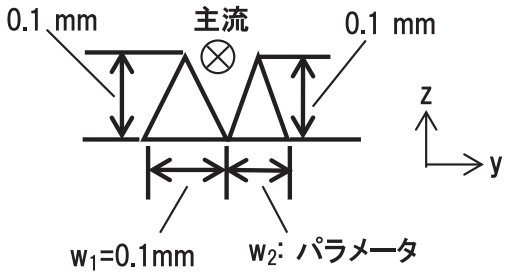



図５　非対称溝をモデル化した流体解析のパラメータ

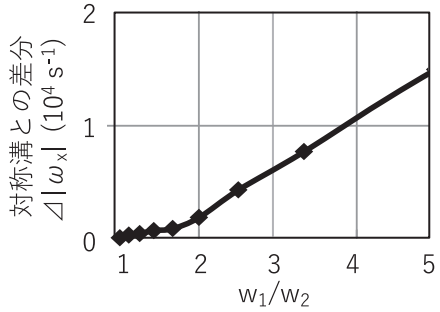



図６　溝の非対称性と縦渦の強さとの関係
(縦軸は対称溝（$w_1/w_2$＝１）からの差分で表示)

人工的に再現する表面構造について，傾斜構造と非対称溝を設けるという設計指針を導出した．

## 3. フルードパワーへの応用

### 3.1 遠心ブロワ用ディフューザのバイオミメティックデザイン

本稿では，BMDを適用する工業製品として，遠心ブロワを選択した．遠心ブロワはインペラおよびディフューザによって構成される．インペラには数枚の動翼があり，駆動モータでインペラを毎分数万回転で回転し，旋回流を発生させている．旋回流はディフューザに接続され，旋回流の運動エネルギーの一部が空気の圧力に変換される．図７に，適用対象としたディフューザの外観図を示す．ディフューザには十数枚の静止翼があり，インペラから流入した空気が静止翼間を流れて外に排出される．空気の速度は静止翼の先端部で高速になるため，静止翼先端部で流れが不安定となり，流れが剥離し，これにより，効率の低下や騒音が発生したり，運転動作が不安定になることが問題となっている[6]．ディフューザのマクロな構造はほぼ最適化されており，現状の性能をさらに向上させることは困難な状況になっている．そこで本稿では，ディフューザ静止翼の表面にBMDを適用し（図７の“BMD領域”），BMD構造をディフューザ静止翼の表面に加工することで流体特性を向上させ，ディフューザの性能向上を図ることにした．

ディフューザにBMDを適用するにあたり，サメの遊泳時と同じレイノルズ数を実現する特徴長さを求めることで，静止翼表面に加工するBMD構造の大きさを見積もる．まず，サメの遊泳時のレイノルズ数を見積もる．代表速度をサメが獲物を捕らえる時の速度（約10m/s），代表長さを楯鱗の大きさ（約0.1㎜）とすると，水の動粘性係数が約 $1\times10^{-6}$㎡/sなので，レイノルズ数は約1000となる．ディフューザ内部の流れの流速が約100m/s，空気の動粘性係数が約 $1\times10^{-5}$㎡/sなので，レイノルズ数が1000となる時の特徴長さは約0.1㎜となる．このことから，静止翼に0.1㎜程度のBMD構造を加工することで，サメの遊泳時と同じ流体制御特性をディフューザ内部の流れで得られると想定した．

ディフューザに楯鱗近傍と同様の流れを発生させるための表面構造，すなわちBMD構造を設計した．設計した構造を図８に示す．図８(a)は，BMD構造の斜視図である．図８(b)は$x$–$z$断面図であり，$x$–$y$面に対して27°の傾斜角を有する．図８(c)は$y$–$z$断面図であり，非対称溝構造を表している．$y$–$z$断面で見ると，高さが0.1㎜で，幅の異なる三角形が交互に並んでいる．大きい三角形の幅$w_1$と，小さい三角形の幅$w_2$はそれぞれ0.2㎜と0.1㎜である．設計値を決定する際，三角形の高さをサメの遊泳時と同じレイノルズ数を実現する特徴長さとし，$w_1$と$w_2$は加工限界から決定した．

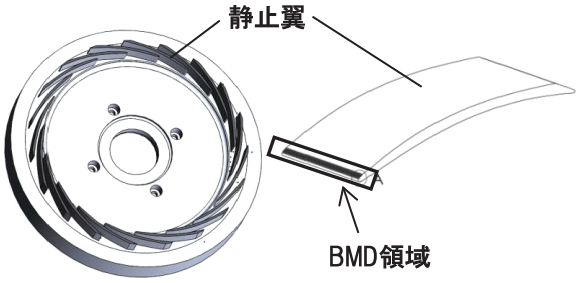



図７　ディフューザの外観図

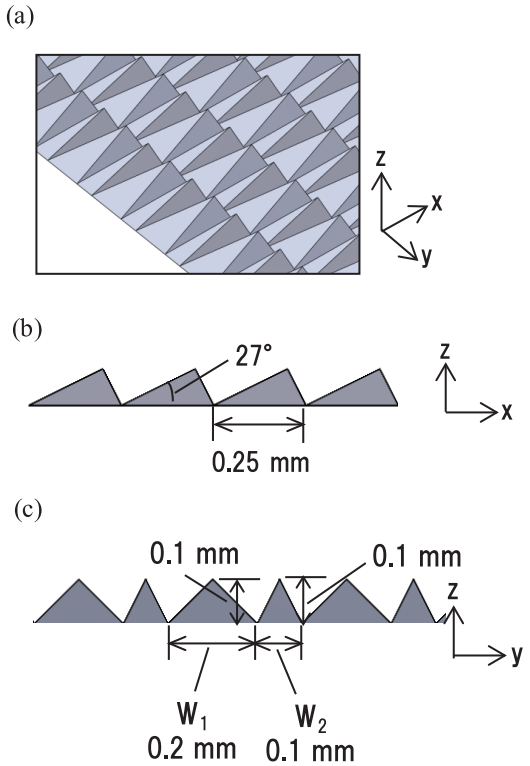



図８　BMD構造の設計図

### 3.2 バイオミメティックデザインの効果検証

アルミ製の静止翼に精密切削加工機を用いてBMD構造を加工した．図９に，BMD構造を加工した静止翼先端部のSEM像を示す．

BMD構造を加工した19枚の静止翼を樹脂製の母体とリング蓋に組み上げることでディフューザを試作し，試作したディフューザの流体特性を評価した．評価装置は，インペラを回転させることにより高速ガス流を発生させることができ，発生したガスがディフューザに導入される．流量は，ガス入口側に位置する流量制御弁によって制御される．

ディフューザは，流路の上流から下流に向けて流路が拡大する構造をしており，これにより，流路の上流から下流に向けて圧力が大きくなる．実際の流路では摩擦抵抗により圧力損失が生じる．そこで，ディフューザの流入部と流出部でどの程度圧力が上昇したかがディフューザの特性の指標となる．本研究では，ディフューザにおける流路の入り口と下流での測定点で圧力を測定し，それらの圧力差$\delta P$により流体特性を評価した．

BMDを適用したディフューザと，BMDを適用していない従来のディフューザについて，流量$Q$と$\delta P$との関係をプロットしたグラフを図10に示す．縦軸，横軸ともに設計点の値で規格化している．測定は従来ディフューザ，BMDディフューザそれぞれ３回ずつ行い，図10は平均値をプロットし，標準偏差をエラーバーで表示している．図10より，従来のディフューザは，$Q=0.75$で$\delta P$が最大となり，$Q=0.58$で$\delta P$が減少する．すなわち，低風量側で失速が生じている．一方，BMD翼では，$Q=0.58$でも$\delta P$は減少しておらず，失速が生じていない．図10に示すように，設計点である$Q=1$から，$\delta P$が最大となる流量の範囲が，装置が安定的に作動する範囲であり，この範囲はサージマージンと呼ばれる．サージマージンの拡大は，遠心ブロワがより広い運転条件で制御されることを可能にし，遠心ブロワの能力を向上させるために非常に有益である．BMDディフューザは，従来のディフューザと比較してサージマージンが拡大している．これにより，BMDによる遠心ブロワの性能向上の効果が確認された．

## 4. ま と め

本稿では，筆者らが確立した，サメの楯鱗構造を用いたBMDの設計方法，および，遠心ブロワのディフューザにBMDを適用し，流体制御を実証した例について解説した．今後は，ディフューザ以外の工業製品についてもBMDの効果を検証し，BMDの適用を広めていきたい．

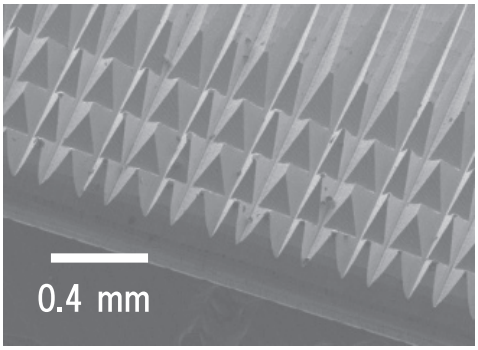



図９　BMD構造を加工した静止翼先端部のSEM像

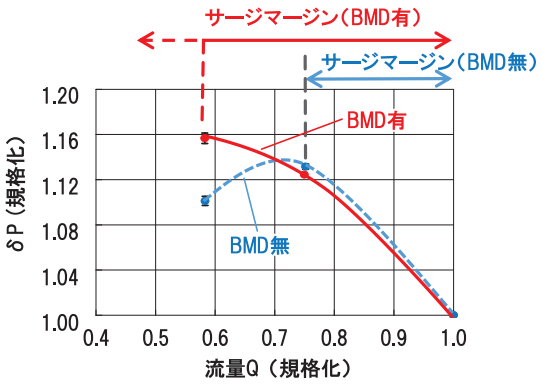



図10　ディフューザの流体特性評価結果


Liu, H.：Biomimetic design inspired sharkskin denticles and modeling of diffuser for fluid control, Jurnal of Photopolymer Science and Technology Vol. 31, No. 1, p. 133-138 (2018)

4）Luo, Y., Liu, Y., Zhang, D., EYK NG.：Influence of morphology for drag reduction effect of sharkskin surface, Journal of Mechanics in Medicine and Biology, Vol. 14, 1450029 (16 pp) (2014)

5）宮崎真理子，宮内昭浩：生体表面3D解析と生体模倣設計，高分子学会　バイオミメティクス研究会講演予稿集 (2017)

6）本多武史，坂上誠二，馮益祥，船﨑健一：小型遠心ブロワ用羽根付きディフューザの翼間曲率半径が及ぼす流れと性能への影響，日本機械学会論文集，Vol. 80，p. FE0225 (2014)



**謝辞**

本研究は，東京医科歯科大学 宮内昭浩教授，千歳科学技術大学 下村政嗣教授，平井悠司専任講師との共同研究成果である．

サメ体表のサンプルは，国立科学博物館 篠原現人博士に提供いただいたものである．

本研究は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業「生物表面模倣による難付着・低抵抗表面の開発」の成果である．

（原稿受付：2018年６月15日）

解説

# バイオミメティクスによる家電製品の価値創造


著者紹介

大塚雅生（おおつかまさき）

シャープ株式会社健康・環境システム事業本部
スモールアプライアンス事業部健康美容開発部
〒581-8585 大阪府八尾市北亀井町3丁目1番72号
E-mail : ohtsuka.masaki@sharp.co.jp

1997年大阪府立大学大学院工学研究科機械系専攻航空宇宙工学分野博士後期課程修了後，シャープ株式会社入社．以降，白物家電の「健康・環境」関連の研究開発に従事．専門は，①航空工学，②疲労克服研究，③生物模倣学，④イノベーションマネジメントの4分野．博士（工学），MBA．これまでに文部科学大臣表彰科学技術賞2回受賞．他，学会や業界団体の賞を計15回受賞．


## 1. はじめに

自然に学ぶバイオミメティクス研究が注目を集めており，さまざまな産業分野において応用が進みつつある．当社はこれをネイチャーテクノロジーと称して積極的に取組み，2018年4月現在で既に25種類のネイチャーテクノロジーの実用化に成功，28品目の家電商品に適用し，商品の価値向上や新たな価値創造を実現している．ここではこれらのうち，アホウドリ・イヌワシの翼を応用したエアコン室外機，トンボの翅を応用したエアコン室内機を取り上げ解説する．

## 2. エアコン室外機に鳥を応用

### 2.1 用いた鳥の翼の特徴と効果

エアコン室外機プロペラファンに3つの「鳥の翼」の要素（図1a，図1b，図1c）を応用し，大幅省エネ化・省資源化を実現した．以下に，用いた鳥の翼の特徴とその応用効果について示す．

アホウドリは，すべての鳥の中でもっとも滑空力が高く，数万kmも飛び続けることができる長距離飛行に適した高効率翼を持つ．その秘密は滑空中に誘導抵抗を抑制する細く鋭い（アスペクト比の大きい）翼平面形状（図1a）にある[1]．これをエアコン室外機プロペラファンの翼前縁先端部から円周部にかけて採用し，随伴渦低減による高効率化・軽量化を実現した．

イヌワシは，陸上の極めて強い乱気流の中で安定した飛翔を行うことが可能である．その秘密は初列風切羽と呼ばれる先端が分かれた翼平面形状（図1b）で風を巧みにコントロールすることにある[1]．これをエアコン室外機プロペラファンの翼後縁部に採用し，偏流による効率低下を抑制，および馬蹄渦乱れの抑制により低騒音化を実現した．

ほとんどの鳥の翼にある親指のなごりは，小翼羽（図1c）と呼ばれ，多くの鳥はこの小翼羽にて渦を発生させて離着陸の際の翼面で生じる剥離現象を抑えているという．これをエアコン室外機プロペラファンの翼前縁根元部近傍に採用することにより，従来は低周速のため剥離領域となるファン中心部を翼として働かせることが可能となる．その結果，ファン中心部の逆流領域を閉塞するためのボス部を廃止することができ，大幅な軽量化と，若干のP－Q特性の向上を実現した．

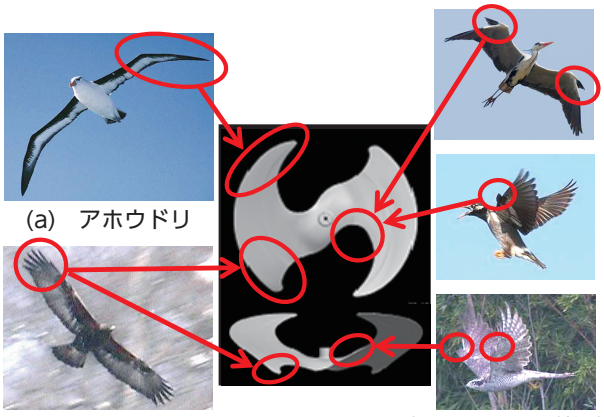


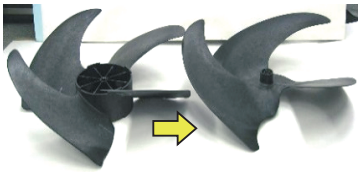

図1　用いた「鳥の翼」の形状要素

### 2.2 製品の性能革新

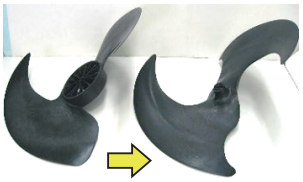
上記により，従来ファンに対し，同風量時消費電力20～30％低減，重量20～50％低減，騒音1.5～2dB低減をそれぞれ同時に実現し，当社エアコン室外機に搭載した．得られた省資源化の効果を表1および図2aに示す．またファン消費電力とファン重量の同時低減により，ファンの回転に必要なトルク，すなわちモータ負荷の大幅軽減に成功した．

表１　新開発「鳥」ファンの省資源化の効果①

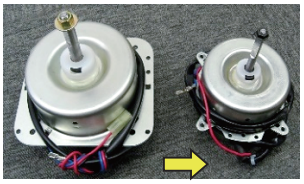
| 採用機種 | 直径 | 従来 | 新開発 |
|---|---|---|---|
| a）ASEAN向け大型機種 | φ460 | 966g | 680g（▲30％） |
| b）国内向け大型機種 | φ460 | 600g | 495g（▲18％） |
| c）国内向け中型機種 | φ420 | 450g | 390g（▲13％） |
| d）国内向け小型機種 | φ370 | 400g | 290g（▲28％） |
| e）北欧向け機種 | φ400 | 700g | 350g（▲50％） |



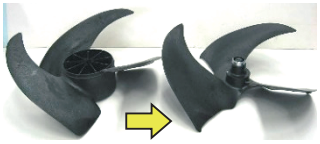
(a-1)　ASEAS向け大型機種



(a-2)　国内向け大型機種



(b)　ASEAN向け大型機種のモータ



(a-3)　北欧向け機種

図２　新開発「鳥」ファンの省資源化の効果②（左が従来，右が新開発）

これによりモータ巻線の積厚を小さくでき，大幅な省資源化（たとえばASEAN向け大型機種において従来使用の3.8kgのモータを2.1kg品に置換成功，重量▲45％）を実現した（図２b）．

### 2.3　性能革新のメカニズム

以下に，「鳥の翼の平面形」応用によるファン性能革新のメカニズムについて説明する．ファンの翼は，翼の正圧面側から負圧面側に向かう渦（馬蹄渦）が生じる．従来ファンの場合，図３a上に示すように，翼が太いため発生する渦も太くなる．この太い渦が螺旋を巻きながら後方に放出される（随伴渦）が，翼が太いため渦は強くて太くなり，悪影響が広範囲に及ぶだけでなく，この渦はファンに対し大きな負荷となる．これに対しアホウドリを模倣し翼を細く形成した新開発ファンの場合，図３a下に示すように，翼が細いため発生する渦も細い．この細い渦が螺旋を巻きながら後方に放出されるが，翼が細いため渦は弱くて細く，ファンに対する負荷も小さくなる．これにより，主に大幅な省エネ効果が得られる．また従来ファンの場合，図３b左に示すように，翼後縁部が流線に対して垂直な方向に幅広な形状になっている．このため，前述の馬蹄渦は渦の直径が大きく，また発生箇所も安定しない．この，不安定で規模の大きい馬蹄渦が次の翼に衝突して騒音が発生する．これに対し新開発ファンはイヌワシの翼の初列風切羽を模倣した形状要素を翼後縁部に採用している．初列風切羽とは，鳥の翼でもっとも外側に位置し，人間においては「手」にあたる部分である．なお，イヌワシは複数の初列風切羽を有するが，製品の場合，翼後縁部を複数に分割すると強度が弱くなるため，同様の効果を有する１つの形状要素に置き換えている．図３b右に示すように，翼後縁の先端部に馬蹄渦が収束するため，渦の直径が小さく，また発生箇所も安定する．さらに，室外機内部は強い偏流が生じるため，偏流に比較的弱いプロペラファンにとっては過酷な条件であり騒音発生の要因となるが，この形状要素が，あたかも指が地面をつかむように風をつかむので，翼を通過する流れが安定し，偏流による効率低下と騒音発生を抑制することができる．これにより，主に大幅な静音効果が得られる．さらに従来ファンの場合，図３c左に示すように，ボス部近傍の翼面に剥離領域が生じ，性能が損なわれ，強い乱流が生じて騒音が発生する．またこのため回転軸近傍は風を送りだす力が弱く逆流しやすい．その逆流経路を塞ぐためボス部が必要であった．このボス部のファン全体に占める重量割合は非常に大きい．これを廃止できれば軽量省資源化が可能になるが，従来ファンはボス部で逆流経路を塞いでいるため，何も対策せずに単にボス部を廃止すると逆流しエアコンの性能に悪影響を及ぼす．これに対し新開発ファンは，図３c右に示すように，翼根元部に形成した小翼羽模倣形状から強制渦を発生させ，回転軸近傍の翼面に運動エネルギーを注ぎ込み剥離を抑え込む．これにより小翼羽模倣形状よ

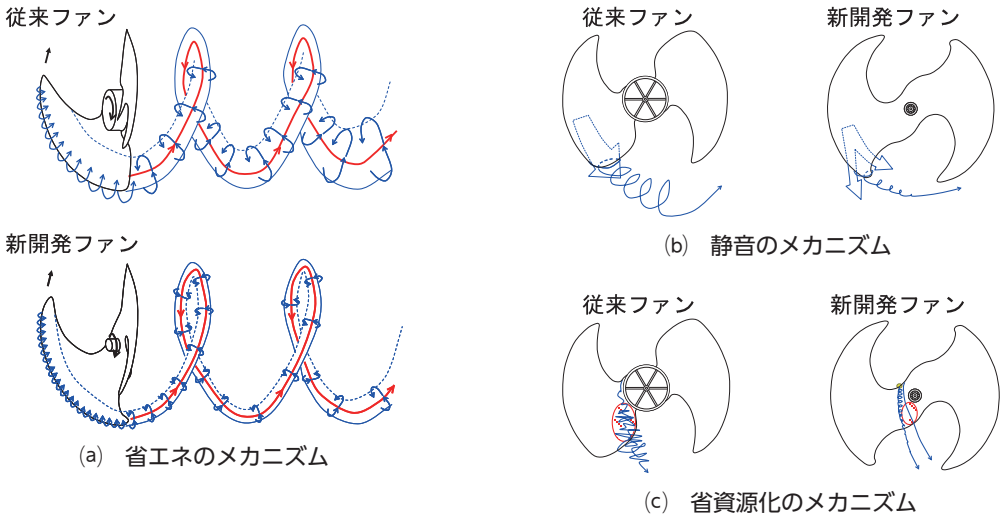



図３　新開発「鳥」ファンの性能革新のメカニズム

りも内側を通過する風をより内側に押さえつけ，回転軸近傍の翼面を「翼」として有効活用させることができ，これらにより回転軸近傍の逆流を抑制でき，従来は逆流経路を塞いでいたボス部が必要なくなるため，ボス部を廃止することができる．これにより，主に大幅な軽量省資源効果が得られる．

## 3.　エアコン室内機にトンボを応用

### 3.1　用いたトンボの翅の特徴と効果

エアコン室内機クロスフローファン（図４右，図５上）に「トンボの翅」（図４左）を応用し，大幅省エネ化・低騒音化を実現した．以下に，用いたトンボの翅の特徴とその応用効果について示す．

トンボの翅の断面はギザギザ形状（図６a）であり，これに渦が生じてボールベアリングの機能を果たし空気と翼の摩擦抵抗を軽減して揚抗比を高めていること[2]，また極薄に形成された翼の強度を大幅に高めていることが知られている．ただし，これをエアコン室内機に単に適用しただけでは静圧特性が低く熱交換器の圧力損失に打ち勝つことができない．

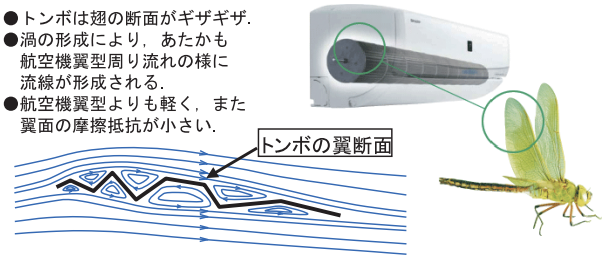



図４　トンボの翅の断面形とその周り流れ

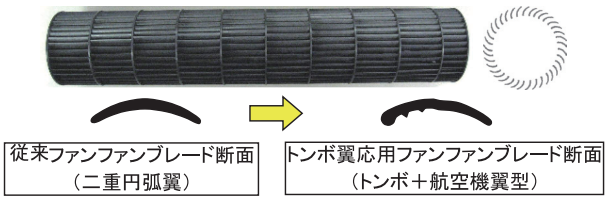



図５　新開発「トンボ」ファンの断面形状

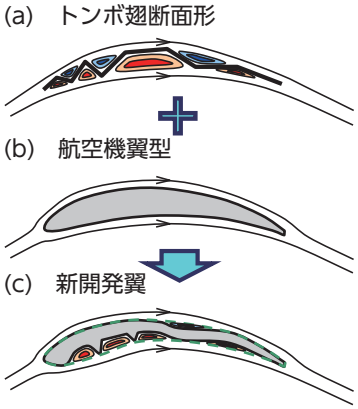



図６　新開発翼型の技術思想

一方，航空機翼型（図６b）は揚抗比が高く，また圧力損失に強いことが知られているが，エアコン室内機ファンとして用いる場合は重量増大による効率低下が激しく，高揚抗比のメリットを相殺（二律背反）するため，採用が困難であった．それゆえ，古くから，エアコン室内機ファンは効率の悪い二重円弧翼（図５左下）が用いられ続けてきた．

そこで，トンボ翼断面と航空機翼断面を融合（図５右下，図６c）することにより，圧力損失に強く，軽量かつ強度も高く，また翼面に渦を生じて摩擦抵抗を軽減させ高い揚抗比を達成する新概念翼断面形状の実現に成功，両者の利点を最大限に引出すことで，これまで長く苦しみ続けてきた二律背反を打破し，上記の効果を実現した．

### 3.2　製品の性能革新

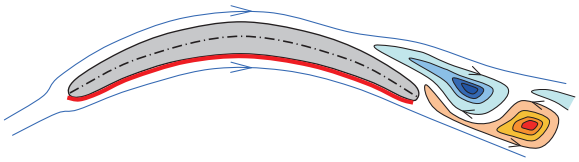
上記により，従来ファンに対し，同風量時消費電力30％低減，重量10％低減，騒音３～５dB低減，

ピーク音７dBカットをそれぞれ同時に実現し，当社エアコン室内機に搭載した．

### 3.3　性能革新のメカニズム

以下に，「トンボの翅の断面形」応用によるファン性能革新のメカニズムについて説明する．従来ファンの場合，図７aに示すように，翼の正圧面側において翼面と風の接触面積が大きく，そのため摩擦抵抗が大きい．これに対し，新開発ファンの場合，図７bに示すように，前述のとおり渦がベアリングの役割を果たすこと，また翼面と風の接触面積が小さいことから，風の摩擦抵抗が小さく，このため高効率となる．また，ベースの航空機翼型から肉を削り取って大幅軽量化していること，またギザギザ形状のため強度がアップしていることから，軽量化が可能となる．一方，ファンは大径化により高効率化・低騒音化できることが知られているが，従来ファンの場合，二重円弧翼は揚力が前向きに働かず圧力に弱いこと，翼の負圧面側下流域で圧力に負けて剥離や乱流が生じること，また，ファンを大径化すると同風量に対して吹出口面積が大となり風の圧力が低下することから，圧力に負けて逆流が生じてしまうため，これ以上の大径化は困難であった．これに対し，新開発ファンの場合，翼型は揚力が前向きに働くため，圧力に強いこと，また翼の負圧面側下流域でも圧力に負けずにスムーズに流れることから，ファンを大径化すると同風量に対して吹出口の面積が大となり風の圧力が低下するが，翼型の前向き揚力のおかげで圧力に負けないため逆流などのデメリットが生じにくい．これにより直径アップ（110％化）が可能となり，ファンを低回転にできるため大幅な高効率化・低騒音化の効果が得られる．

(a)　従来二重円弧翼



(b)　新開発翼

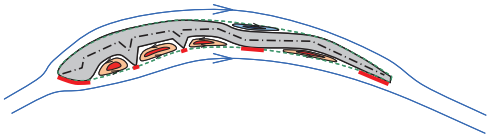


図７　新開発「トンボ」ファンの性能革新のメカニズム

## 4. おわりに

以上，自然に学ぶという思想，特に生物の体の構造からヒントを得た研究開発は，モノづくりにおいて非常に有用であることを確認した．ただし，単なる生物の模倣だけでは，必ずしも効果は得られない．生物の持つ特異な形状と，彼らの棲息する環境との適合，そしてそれを実現する物理現象や作用メカニズムに鑑み，同様の作用メカニズムを奏する形状を付与する必要がある．生物模倣学の今後のますますの発展と，その実用範囲の拡大に期待するところ大である．なお，バイオミメティクス技術は他の家電製品にも応用しており，省エネや低騒音化などに寄与している．それらについては文献３）を参照いただきたい．

参考文献

1）A. Azuma : The Biokinetics of Flying and Swimming, 2nd Ed., AIAA, Reston VA（2006）.

2）M. Okamoto : An experimental study on aerodynamic characteristics of the steady and unsteady airfoils in low Reynolds number flow, Nihon University（2005）.

3）大塚雅生・公文ゆい，生体模倣技術応用による家電製品の価値創造，日本画像処理学会誌，Vol. 53, No. 3, p. 224-230（2014）

（原稿受付：2018年７月14日）

解説

# 航空機の機体形状に適用された生物模倣の事例

著者紹介

菅野（かんの）　剛（たけし）

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 : kanno-tak@kyb.co.jp

1996年カヤバ工業株式会社入社　コントロールバルブの設計に従事，2011年より油圧機器の解析業務に従事．

## 1. はじめに

弊社は戦前，旧日本陸軍，海軍向けの軍艦のカタパルト，航空母艦の着艦装置，航空機のオレオ（降着装置）の開発，生産を出発点としていた．創業者の萱場資郎は，レシプロエンジンの付いたプロペラ推進に替わってジェットエンジンを搭載したジェット戦闘機が必要になると考え，航空機の開発に乗り出したようである．また，釣りが好きだった萱場資郎は，海釣りをしているときに飛行機の形はカツオドリのように，推進装置はイカのようなジェット推進を思い立ったとのことである．カツオドリには小さな尾翼に似た尾が付いているが，ジェット推進の航空機は速度が高く，当時まだ研究が始まったばかりの衝撃波の尾翼への影響を考えて無尾翼機にチャレンジしたようである．

弊社では以前社員のレクリエーションの一環で当時の論文を元に無尾翼機を設計し，鳥人間コンテストへの出場を試みたことがある．残念ながらこの計算を反映した無尾翼機での出場は果たせなかったが，製作予定の1/10の模型を製作し飛ばしたことがある．当時の論文と同じ翼形を使い重心位置，翼ねじり下げを再計算して模型グライダーを設計したのであるが，重心位置，飛行特性共に論文の通り飛行して驚いた．その辺のことを紹介したいと思う．

## 2. かつをどり

萱場資郎は図1のカツオドリの表面形に，イカのジェット推進を組み合わせたものを夢見てジェット機を構想したという．

図1　カツオドリ[1)]

このアイデアを旧日本陸海軍に「成層圏飛行機申言書」に記載して送ったところ，陸軍から無尾翼航空機とジェットエンジンの開発を委託されることになった．当時の日本（昭和10年頃）では，まだ無尾翼機の製作経験はまったくなく基本的な飛行特性も分からない状態であった．そのため機体の基本特性を把握するために全部で3種類のグライダーを製作し，試験飛行をおこなった．図2は，最初に製作されたHK-1というグライダーの写真である．

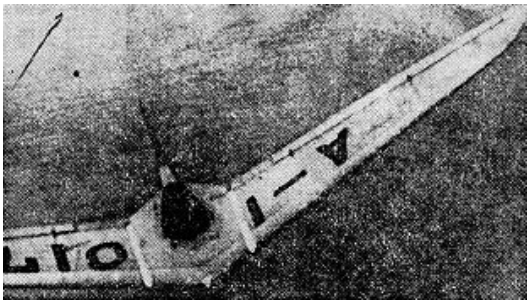


図2　HK-1

飛行特性は良好だったが一部のテストパイロットが無尾翼機の飛行特性を理解せずに飛行したため，3度の墜落事故を起こし，昭和16年に開発は中止となった．しかし，社内で細々とラムジェットエンジンと機体の開発は進められた．図3は当時のラムジェットエンジンの試験風景である．図4，表1はラムジェット戦闘機の構想図，仕様で，「かつをどり」と命名された．その後，海軍が昭和19年にドイツから無尾翼ロケット戦闘機Me168の技術を入

手し，再度，無尾翼機を海外の技術で開発し始めた．なんとも皮肉な話である．

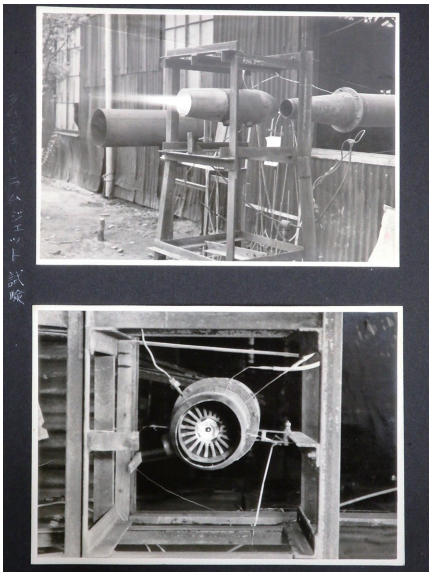


図３　ラムジェットエンジン

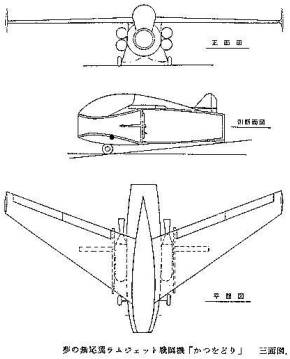


図４　「かつをどり」構想図

表１　「かつをどり」要目

| | |
|---|---|
| 全幅 | 9.0m |
| 全長 | 4.5m |
| 翼面積 | 13.5㎡ |
| 後退角 | 25.5度 |
| 全備重量 | 3,000kg |
| 構造重量 | 800kg |
| 主エンジン<br>（M0.3）<br>（M0.5）<br>（M0.6 ～ 0.9） | ラムジェット<br>300kg<br>550kg<br>750kg |
| 離昇用エンジン | 火薬ロケット（推力7,200kg） |
| 最大速度 | 900㎞ /h |
| 上昇限度 | 15,000m |
| 上昇性能 | 約３分で<br>高度1,000m |
| 航続時間 | 30㎜ |
| 航続距離 | 400㎞ |
| 武装 | 30㎜無反動機関砲２門 |

## 3. 航空機の安定性

### 3.1　迎え角と揚力

最初になぜ無尾翼機が安定して飛行できるかを翼の特性から追って行きたいと思う．

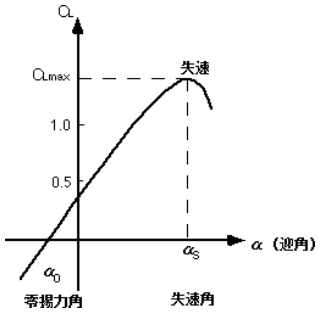



図５　迎角と揚力の関係

図５に示すように翼は，翼と気流のなす角度（迎角）が大きくなると揚力の大きさが変わる．図５は，揚力係数と迎角の関係を表したものである．揚力係数の定義は，

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$$

$C_L$：揚力係数
$L$ ：揚力
$\rho$ ：流体の密度
$V$：流速
$S$ ：翼面積

である．図５の通り，翼は迎角が大きくなると揚力は大きくなり，迎角が小さくなると揚力は小さくなる．ある程度の迎角になると翼の気流が剥離し揚力が失われる．その状態を失速と呼んでいる．

### 3.2　尾翼のついた航空機の安定

翼は図６のように迎角によって揚力の合力（空気合力）の大きさと位置が変化する．このため，航空機は釣り合いを保つために，図７のように重心を空力中心の前に設定し，尾翼を設ける．尾翼の迎角を調整し，図７の尾翼の揚力を$-L_h$になるようにする．こうすることによって機体は水平飛行を保てる．突風が吹くなどして主翼の揚力が大きくなると機首が

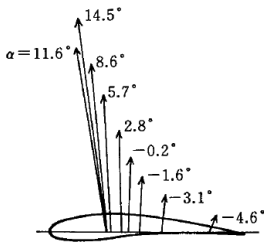



図６　迎角による空気合力の変化[2)]

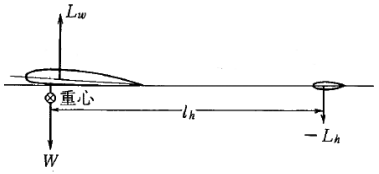



図７　尾翼式飛行機の釣り合い[2)]

上がり迎角が大きくなる．そうすると自然に尾翼の迎角も大きくなるため下向きの力が弱くなり尾翼側が持ち上がり，水平になる．これが，飛行機の縦の釣り合いの基本的な概念である．

### 3.3　無尾翼機の安定性

無尾翼機は尾翼が付いていないので翼に図８のような後退角を設ける．この時，翼端に向かって迎角が小さくなるよう翼をねじる設計をする．これを翼のねじり下げという．翼単体では安定しないが，ねじり下げを持ち後退した翼端が図７の尾翼のような働きを持つことになる．そのため，水平安定が保たれるわけである．従って無尾翼機の翼面積は大きいが，揚力を発生するために使われる面積は案外小さいのである．

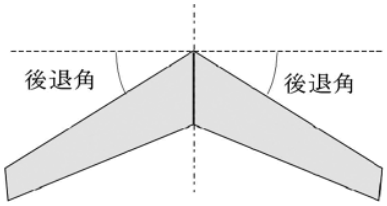



図8　後　退　角

戦後間もないころの超音速機は，コンコルドに代表されるように無尾翼機が多い．これは，航空機の速度が音速を超えると主翼，尾翼に衝撃波が発生し，尾翼の効きが悪くなる，高速飛行時に抵抗を減らすために尾翼をなくした方がよいと考えたためのようである．しかし，尾翼がないと短距離で離着陸するためのフラップという高揚力装置が使用できなくなるため滑走距離が長く，離着陸時の迎角が大きくなるという欠点も持つ．現にコンコルドは，離着陸時の迎角が大きいので機首が折れ曲がる構造になっている．超音速機の研究が進むにつれ，主翼と同じ高さに尾翼を設け，尾翼全体の迎角を変える構造にすれば，それほど抵抗は増えないし，超音速飛行時も安定飛行するとわかった．尾翼があるのでフラップも装着できるため，現在では，積極的に無尾翼機が開発されることは無くなった．

## 4.　鳥人間コンテスト出場機の設計計算

当時の萱場製作所の無尾翼機設計は，東京帝国大学航空研究所の木村秀政氏に委託した．当時，木村氏は航研機（長距離飛行の世界記録を作った研究機）の設計で多忙であったにも関わらず，無尾翼機に興味を引かれ設計を請け負っていたようである．戦前，戦中に木村氏は，この無尾翼機に関する論文を三編[3)4)5)]発表した．そのうちの「無尾翼飛行機の縦の静安定について」という論文に掲載された計算式を用いて重心位置やねじ下げ角度を鳥人間コンテストの設計計算にそのまま適用した．この論文は，国立情報学研究所が運営するCiNii[6)]というサイトから無料で手に入るので，興味のある方は参考にしていただきたい．

論文では，揚力線理論を無尾翼後退翼機に適用しており，後半に実際に製作したグライダーの翼型を使って設計検討を含めた計算例が掲載されている．また，グライダーの設計時，この論文に従って翼のテーパー比（先細比）は，１：１とした．

## 5.　鳥人間コンテスト

弊社では社内リクリエーションとして鳥人間コンテストに挑戦したことがある．2005年度に初出場した．図９はその時の飛行の様子である．

図９　2005年鳥人間コンテスト飛行の様子

写真ではよく飛行できているように見えるが，飛行距離は15m程であった．初出場の時は，無尾翼機の釣り合い安定の理論がよくわからず，安定した飛行が叶わなかった．2008年に再度出場しようとチームを結成したときに，戦前の木村秀政氏の論文を発見し，この論文を参考に設計計算を行なった．飛行の安定性を確認するために１/10スケールのラジコングライダー模型を製作した．図10がその時の模型グライダーである．グライダーの翼型はNACA23012で，HK-1とまったく同じ翼型であり，翼幅約２mの大きさで製作した．図10の写真でも明らかな通り翼端に向かうに従って迎角が小さくなる

図10　1/10スケール模型グライダー

ようにねじられているのが分かると思う．縦の釣り合いは，これで大丈夫であるが，横の釣り合いを安定的なものとするために翼端に垂直尾翼を配置した．

グライダーの図面が出来上がると，翼端に垂直尾翼があるラムジェットエンジンを搭載した「かつをどり」のような形になった．

会社の近くにある河川敷で飛行試験を試みた．グライダーを50m程の長さのあるウインチで素早く引き上げ滑空飛行させる．驚いたことに重心位置，安定性共に論文記述の通りであった．旋回性能も高く，迎角を上げて失速させてもキリモミせずに失速状態から回復した．見た目が不安定そうに見えるので，みんなこの飛行を見てびっくりした思い出がある．しかし，翼を上から見たときの投影翼面積が大きいので着陸時，地面効果によって機首が急に上がる癖があった．戦前のグライダーでも同様なことが発生したと記述があったので理屈は分かっていたが，当時の技術者と同じ経験ができ，感慨深いものがあった．

## 6. おわりに

油空圧機器とはかけ離れた話題になってしまったが，戦前の日本でも先進的な航空機の開発を行なっていた事例を紹介した．弊社でも戦前の資料はほとんど焼却処分されており，紹介した航空機やエンジンも個人で持っていた写真が少数残っていたのみで，技術的な資料は一切残っていなかった．しかし，インターネットの発達によって当時書かれた論文が簡単に入手できたので先人たちの英知を活用することができた．

生物模倣とは概念だけで直接結びつかない解説であるが，鳥やイカがきっかけで発想が刺激され，先進的な技術が開発される例にはなったと思う．

**参考文献**

1）ウィキペディア：https://ja.wikipedia.org/
2）牧野光雄：航空力学の基礎　第2版，産業図書
3）木村秀政：無尾翼飛行機の縦の靜安定について，東京帝國大學航空研究所彙報　204，307-318，1941-08
ム学会論文集，Vol. 39，No. 8，p. 567-572（2008）
4）木村秀政：無尾翼機の縦の動安定について　無尾翼機の研究　第2報，東京帝國大學航空研究所彙報　209，13-24，1942-01
5）木村秀政：無尾翼機の昇降舵の効きについて：無尾翼機の研究第3報術，東京帝國大學航空研究所彙報　244，443-457，1944-12
6）https://ci.nii.ac.jp/

（原稿受付：2018年6月13日）

解説

# 欧州建設事情視察団参加報告

著者紹介

藤谷（ふじたに）　秀次（ひでつぐ）

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

1972年焼結金属工業株式会社（現SMC）入社．2009年SMC㈱退社．現在，日本フルードパワーシステム学会．

## 1. はじめに

（一社）日本フルードパワー工業会（以下，JFPAという）からの情報によると，平成29年度の油圧機器市場は，欧米市場の堅調さ・中国の底堅いインフラ投資・資源国における鉱山開発の推進などから，また，空気圧機器市場は，中国を始めとする新興国における自動化，省力化投資が根強く，フルードパワー業界は，昨年度に比して２桁の成長が見込まれているそうである．

一方，平成30年度のフルードパワー業界を展望すると，NAFTAの再交渉，英国のEU離脱問題，東アジアや中東等の根強い諸問題，原油価格の動向等注視していかなければならない課題が数多く散見され，これらの動向いかんによって景気の流れも大きく変わる懸念もあるようである．

これらの状況を踏まえて，JFPAでは世界三大建設機械展のひとつであるINTERMAT2018土木建設機械関連国際見本市およびロンドン五輪跡地の都市再開発計画地現場の視察を中心とした，フランス，英国視察団の派遣が企画され（一社）日本フルードパワーシステム学会（以下，JFPSという）へも参加の要請があった．建設機械は，フルードパワー・特に油圧の最大ユーザーであり，その動向を知ることは今後のJFPSの運営に必要であり，産学連携強化の一環としても参加すべきであるということになった．

なお，欧州建設事情視察団は，４月23日（月）に東京羽田空港を出発し，翌日24（火）から順次以下の項目を視察し，29（日）に帰国した．その概要を報告する．

・INTERMAT・Paris 2018（建設機械見本市）視察
・JETRO・パリ事務所訪問
・ロンドン五輪跡地の都市再開発計画地現場視察
・JETRO・ロンドン事務所訪問

## 2. INTERMAT・Paris 2018 視察

INTERMA・Paris 2018は，三年に一度開催される建設機械およびその関連機器を中心とした国際見本市で，BAUMA[注1)]・CONEXPO[注2)]と並ぶ世界三大建設機械展のひとつであり，世界中から業界を牽引する主要企業，サプライヤー，バイヤーが集結する．ちなみに，主催者発表では，今回の見本市の実績は以下とおりである．

●開催期間：2018年４月23日（月）～４月28日（土）
●会場：パリ・ノール・ヴィルパント見本市会場
（広さは37万㎡，うち３万㎡が屋外デモ・スペース）
●取扱品目：土木・建設機械関連；建設資材準備・処理用機器，油圧機器・周辺機器，土木工事現場用機械・部品　等
●今回の実績：来場者数173,300人
（フランス外の160ヵ国・30%を含む）
出展社数社1,400社
●開催頻度：３年に１回

注１）BAUMAは，正式には「国際建設機械・建設資材製造機械・建設用車輌専門見本市」と呼ばれ，ミュンヘン見本市会社が主催し，ドイツ機械工業連盟と欧州建設機械工業連合会が後援している．

注２）CONEXPOは，Construction Equipment position & Road Showの略で，米国ラスベガスのコンベンションセンターで開催され，1909年からの歴史と実績を持つ展示会である．

前回（2016年）の実績，来場者数183,000人・出展社数社1,415社に対して，今回は173,300人・1,400社で，若干は減少したようであるが，主催者側からは『新しいビジネスを予見するイノベーションの波が感じられた』との声明が寄せられており，今回の国際見本市も成功裡に終えることができたようである．

会場は，主要４大出展分野「土砂運搬と解体」，「道路・採掘／採石・基礎工事」，「ビル建設とコンクリート産業」，「リフティング・ハンドリング・輸送」が設けられており，クレーンを中心とした屋外展示に広大な敷地を設けていたのもこの見本市ならではである（写真１，２，３）．

展示場のほぼ全会場を屋外も含めて回ってみたが，その駆動源の多くはフルードパワーの代表格である油圧と推定された．この建設機器分野においては，小型機種には電動化の機運もあるようであるが，まだまだ鉄の塊（失礼！）とフルードパワー（油圧）とが主役のようである．ちなみに，文献「油圧技術の動向と展望」[1]では『サイズや重量に制限のあるところでは油圧が最適である』と結論づけられており，文献「FPS技術の将来（油圧は，生きられるか？」[2]では『大型機械のシステムにとっては，数十年後においても油圧は避けられない状況下におかれるであろう』と結論づけられており，過去の文献でも本見本市の現状が予測されている．まずはホットした次第である．

とはいえ，建設機械の分野も，機械の自動化・運転支援・電気モビリティ・ロボット化・外骨格・BIM[注3)]などのテーマにも取り組まれ，建設のすべての段階でデジタルツールや新技術が導入されていることも注目したい点である．

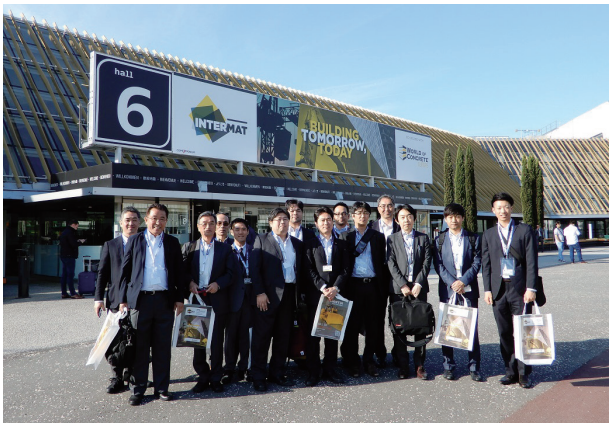



写真１　見本市会場入り口にて

写真２　屋外展示ブース

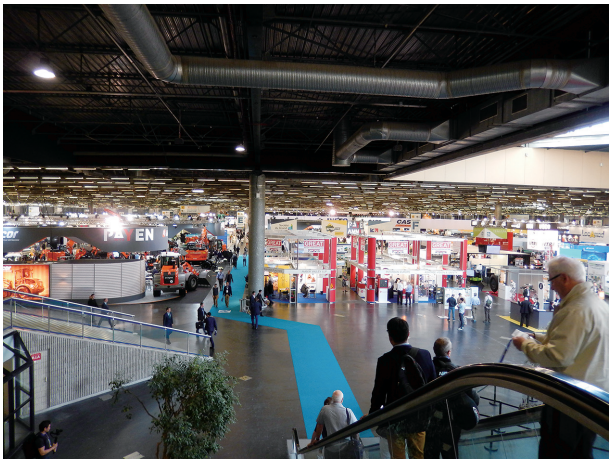


写真３　屋内展示ブース

注３）BIMとは，Building Information Modelingの略称で，コンピュータ上に作成した３次元の建物のデジタルモデリングにコンピュータ上に作成した３次元の建物のデジタルモデルのコストや仕上げ，管理情報などの属性データを追加した建築物のデータベースを建築の設計，施工から維持管理までのあらゆる工程で情報活用を行うためのソリューションであり，また，それにより変化する建築の新しいワークフロー．

## 3. JETRO・Paris事務所訪問

JETRO・Parisの事務所を訪問し，フランスの政治・経済・産業の状況を伺った（写真４）．

○政治：2017年５月に行われた大統領選の決選投票で中道系独立候補のマクロン元経済・産業・デジタル相が66％の得票で当選したが，棄権率が25.4％と過去最高だったらしく，政局運営は楽ではないようである．

○経済：2018年経済成長率の政府見通しは2.0％で，業況改善を受け製造業で生産設備増強の動きが続く見通しである．

○産業：マクロン大統領は経済プログラムとして，

写真４　JETRO・Paris事務所にて

財政赤字（GDP比）の削減，歳出削減，公務員の削減，税・社会保険負担の軽減，ユーロ圏の強化，などを提案している．

フランスの建設事情は，視察した見本市も盛況だったようであり，おおむね良好と思われるが，パリ市内の交通渋滞と難民居住地の治安の悪さは何とかならないものか．

## 4. ロンドン五輪跡地 都市再開発計画地現場視察

イースト・ビレッジとクイーン・エリザベス・オリンピック・パークは，急速に発展するロンドンオリンピック跡地である（写真５）．このイースト・ビ レッジとクイーンエリザベス・オリンピックパーク内の都市再開発計画地を建設中の施設を含め見学し，敷地内の大規模さ，誘致の現状について現場担当者よりお話を伺った．

イースト・ビレッジとクイーン・エリザベス・オリンピック・パークは，

○イースト・ビレッジ

選手村はイースト・ビレッジと名付けられ，住宅地としての再開発事業が進行中で，2030年度までに新たに５つの住宅地が誕生する予定である．

○アクアテック・センター

北島康介氏を始めとする日本水泳陣の活躍が目立った水泳会場は，そのまま使用され，曜日や時間帯によって一般利用できるプールに変わる．

○スタジアム（写真６）

開会式や閉会式，陸上競技場などが行われたオンピック・パークの代表的競技場で，2015年のラグビー W杯会場を経て現在はサッカーのプレミアリーグ“ウエストハム・ユナイテッド”の新たなホームグラウンドとなっている．

などの諸施設からなり，新設の鉄道によりロンドン中心部（ロンドン・シテイ）より20分程度の利便や，緑豊かな住環境などから新興住宅地として人気が高まっているそうである．

参考に日本の2020年の大会では，会場のコンセプトを“無限の可能性（Infinite Excitement）”におき，会場計画は，東京1964大会を引き継ぐ「ヘリテッジゾーン」と都市の未来を象徴する「東京ベイゾーン」の２つのゾーンからなり，選手村中心に広がる２つのゾーンは，無限大の記号をイメージさせるように構成されており，東京2020大会を通じて，トップアスリートが灯した情熱と次世代へつながる可能性，そして語り継がれるレガシーが無限に広がっていくことを表しているそうである（東京2020大会 ガイドブック より）．2020年には，ロンドンに負けず劣らずの日本レガシーが出現することになる．

写真５　イースト・ビレッジとクイーン・エリザベス・オリンピック・パーク全景[3)]

写真６　サッカーチームWEST HAM UNITEDの本拠地スタジアムの前にて

## 5. JETRO・London事務所訪問

JETRO・Londonを訪問し，英国の政治経済動向を伺った（写真７）．

メイ首相の政策理念は，

○**格差是正**（所得，人種，職業，学歴，性別などに起因する社会生活上の格差是正に向けた取り組み→一般国民に奉仕する政権運営）

○**Brexit実現**（EU残留・再加盟，２度目の国民投票は行わず，Brexitの成功を追求→Brexit means Brexit）

○**国内経済生産性の向上**（安定・低廉なエネルギー供給，政府支援によるインフラ，住宅整備，産業戦略の立案→国内経済生産性の向上）

○**コーポレート・ガバナンス改善**（経営のディスクロージャー向上，競争法の改正，課税逃れの取り締まり→企業の社会的責任追及）

英国についてもっとも気になるのは，EU離脱（Brexit）後のことではなかろうかと思われるが，交渉期間として２年間猶予があるため今後のことは，まだ流動的なようである．

イノベーション・科学技術政策について質問をしてみたら，カタパルト・センターのシステムを紹介された．これは，６つの英国の強み・８つの主要テクノロジーに対して10分野のカタパルト・センターをUK国内に設けて産学共同の研究開発を実施するというものである．

興味のある方は，以下のURLを参照されるとよい．

https://www.catapult.org.uk

つぎに，最近日本や米国などで問題になっている『「奨学金」返済』問題について聞いてみたが，やはり同様に大きな問題になっているようである．

写真７　JETRO・London事務所にて

## 6. おわりに

欧州建設事情視察から帰ってJFPA・JFPSの事務所のある機械振興会館近傍の建築物が気になり見渡してみた．機械振興会館もそれなりに歴史ある建物で，最近はテレビドラマなどのロケがある程のそれなりの風情のある建物ではあるが，何といっても一番目立つのは眼前にそびえる東京タワーであろう．東京タワーは，着工から１年３か月後（543日間）の1958年12月23日に，延べ人員219,335人にて完成し，総工費30億円（当時の金額）であったそうである．最近は，国内外の観光客も増え，スカイツリーを凌ぐかと思えるほどの人気であるが，INTERMAT・Paris 2018視察を終えた後では，当時の人力中心の建設現場が偲ばれ技術の進歩には驚かされる．

一方，東京タワーの延長線上に広がる『虎ノ門エリア』は，『虎ノ門ヒルズ森タワー』のオープンにより，都内でも有数の超高層ビル群を有する街と化しており，2020年東京オリンピック・パラリンピックに向けて，東京メトロ日比谷線の新駅やBRT（バス高速輸送システム）のターミナルなど交通インフラの整備が続けられている．ちなみに，今では基礎工事がほぼ終わり，建設機械もクレーンが中心となっている（写真８）．まさに，本企画は東京オリンピックを３年後に控えた日本の建設現場を目のあたりにすると，派遣される『欧州建設事情視察団』は，きわめてタイムリーな企画であったと改めて痛感する．

最後に，この企画を立案，先導していただいたJFPAの担当者，参加メンバーに改めて謝辞を表する．

写真８　虎ノ門工事現場

**参考文献**

1）坂間清子：油圧技術の動向と展望，KYB技報，第56号，2018-4，p. 2-5，（2018年）．

2）落合正巳：FPS技術の将来（油圧は，生きられるか？），フルードパワーシステム，Vol. 37，第E1号緑陰特集号電子版，p. E41-E43，（2006年８月）

3）https://www.internationalquarter.london/Workplaces

（原稿受付：2018年５月18日）

会議報告

# MSCS2018におけるフルードパワー技術研究動向

著　者　紹　介

川上幸男（かわかみゆきお）
芝浦工業大学システム理工学部
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307
E-mail : kawakami@shibaura-it.ac.jp

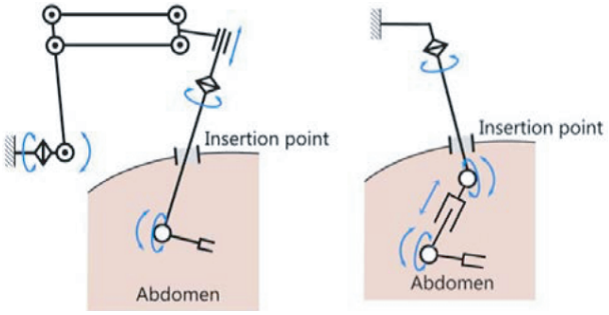
1991年早稲田大学大学院工学研究科博士課程単位取得満期退学，1992年芝浦工業大学助手，講師，助教授を経て，2004年同大学システム工学部教授，現在に至る．空気圧システム制御の研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．

## 1. はじめに

計測自動制御学会制御部門主催 第５回 制御部門マルチシンポジウム（MSCS2018）が2018年３月８日（木）～11（日）で東京都市大学世田谷キャンパスにて開催された．「集え！熱きシステム制御研究者・技術者たち！」をテーマに掲げ，熱意を持った研究者・技術者たちの集うシンポジウムを目指して，理論から応用まで幅広い分野を対象に特別講演，一般講演，OS（オーガナイズドセッション）講演等が盛況に催された．計測自動制御学会 制御部門と産業応用部門には交流関係があり，筆者が産業応用部門流体計測制御部会主査であることから，筆者がオーガナイザを務め，産業応用部門連携OS「流体制御の基礎と応用」を３月10日（土）に企画した．本OSでは５件の講演があり，活発な討論が行われた．以下にその内容について紹介する．

## 2. OS「流体制御の基礎と応用」の紹介

参考文献１）の研究では，従来の手術支援ロボットによる腹腔鏡下手術では図１左に示すように患者の体外に４自由度，患者の体内に手首の２自由度とグリッパを搭載する機構が一般的であるが，鉗子の挿入点を中心に体外の駆動機構が大きく動き，他のアームと干渉するという課題があることから，図１右に示す腹腔内５自由度鉗子の機構を提案した．そして実際に，５自由度を有する空気圧駆動鉗子マニピュレータの設計・試作を行い，伸縮機構の位置制御の追従性，５自由度の機構動作を確認している．




（2 自由度）　（5 自由度）

図１　腹腔内２自由度と５自由度鉗子機構の比較[1)]

参考文献２）の研究では，眼科手術支援デバイスに応用するため，器具先端の力覚推定，空気圧サーボによる精密駆動，安全に刺入可能なシステムの構築および軽量で安価かつディスポーザブルに使用できる刺入デバイスの開発に取り組んだ．図２に示すソフトアクチュエータを用いた眼科手術支援デバイスを提案し，実際に設計・試作を行い，その有用性について検討した結果について報告した．

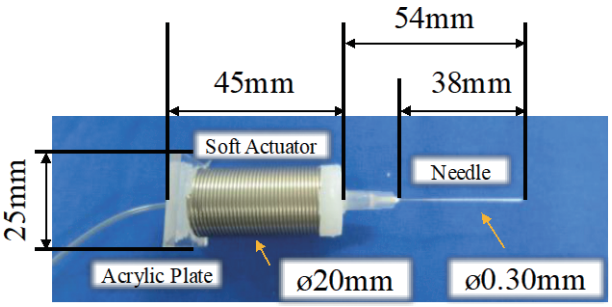



図２　簡単な構造を持つソフトアクチュエータ[2)]

参考文献３）の研究では，射出成型機や除振台などでは空気の有する柔らかさを活かしてサーボ弁を用いた圧力による力制御が広く利用されており，このときサーボ弁と力を発生する空気圧容器の間は0.5［m］～３［m］の管路で接続されることが多く，この管路の共振が圧力制御系に大きく影響することに注目した．そこで，図３に示す空気圧システムを

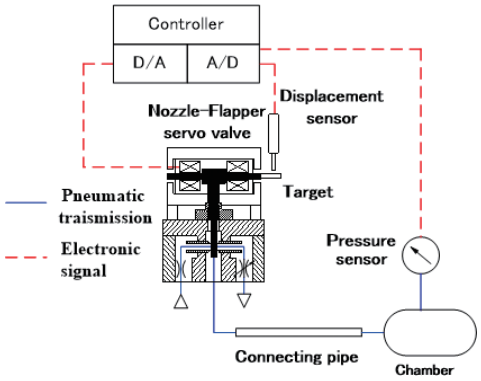



図３　接続する管路を有する圧力制御システム[3)]

対象とし，管路の有限要素モデルをノミナルモデルとして$H_\infty$制御器を設計することを提案することにより，その有効性について検討した結果について報告した．

参考文献４）の研究では，近年では油圧回路のエネルギー回生に活用されている気体式アキュムレータに注目し，その数学モデルについて検討した．気体式アキュムレータの効率については，運転サイクル，充填・放出時間，周囲温度，アキュムレータの構造などの多くの要因の影響を受けるため，定量的に求めることが容易でないことから，主要な構成要素である窒素ガスについて実用ガスモデルとしてvan der Waals方程式と SRK方程式による数値計算を行い，ブラダ形アキュムレータとピストン形アキュムレータ（図４）を有した装置に適用した実験結果を交えて比較検討を行った．

参考文献５）の研究では，空気を一定間隔かつ高速で噴射するパルスエアは，従来の連続エアブローよりも高い除去能力，省エネルギー効果を有する点に注目し，その有用性を明らかにすることを目標としている．パルスエアは圧縮性流体かつ非定常流れの乱流であるため，CFD解析等によるシミュレーションによる検討が困難で，詳細な除塵メカニズムが現在も明確にされていないことから，圧力測定実験（図５）や微粒子除去実験を行い，パルスエアを用いた除塵における設定条件と除去能力の関係や特性を実験的に検討した結果について報告した．

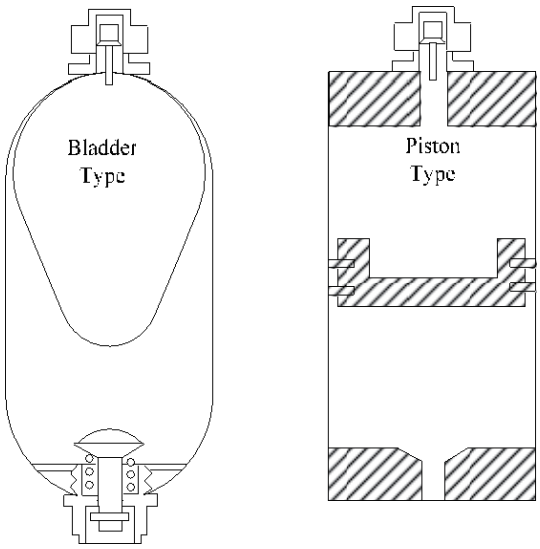



図４　ブラダ形アキュムレータとピストン形アキュムレータ[4)]

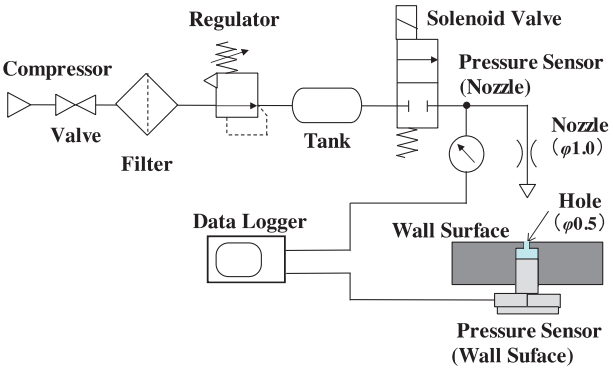



図５　圧力測定実験装置概略[5)]

## 3. おわりに

５件の講演ともそれぞれ充実した内容であり，今後の研究展開が期待される．計測自動制御学会産業応用部門流体計測制御部会でもフルードパワーに関連する分野の研究を広く扱っている．毎年秋，産業応用部門大会にて流体計測制御シンポジウムを開催しているので，関連する方々が積極的に参加いただけると幸いである．

**参考文献**

1）岡林諒，渡邉賢吾，菅野貴皓，宮嵜哲郎，川嶋健嗣：腹腔内５自由度を有する空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発，第５回制御部門マルチシンポジウム講演論文集，Ss33-1，2018

2）川上知則，菅野貴皓，宮嵜哲郎，川嶋健嗣：ソフトアクチュエータを用いた眼科外科手術支援デバイスの開発，第５回制御部門マルチシンポジウム講演論文集，Ss33-2，2018

3）中澤友宏，下川利樹，藤田壽憲：管路を有する空気圧容器の圧力制御，第５回制御部門マルチシンポジウム講演論文集，Ss33-3，2018

4）眞田一志：気体式アキュムレータの窒素ガスの数学モデルに関する研究，第５回制御部門マルチシンポジウム講演論文集，Ss33-4，2018

5）森政尚，川上幸男：パルスエアによる微粒子除去特性の実験的検討，第５回制御部門マルチシンポジウム講演論文集，Ss33-5，2018

（原稿受付：2018年７月25日）

トピックス

# 学生さんへ，先輩が語る
# ―建設機械メーカーで働き始めて―

著　者　紹　介

杖木（すぎき）　昭平（しょうへい）

日立建機
〒300-0013 茨城県土浦市神立町650番地
E-mail : s.sugiki.re@hitachi-kenki.com

2015年九州大学大学院工学府修士課程修了，同年日立建機入社，現在に至る．油圧制御，油圧システムの研究開発に従事

## 1. はじめに

### 1.1　自己紹介

私は鹿児島で生まれ育ち，大学卒業まで九州で過ごした．幼少期から工作やメカを好み，大学では機械工学を学んだ．大学時代には専門の研究以外にもロボコンサークルに所属し，競技用ロボットの製作に熱中した（写真１）．卒業後は九州を離れ，ロボットに近い建設機械のメーカーである日立建機に入社し，現在は油圧システム，油圧制御の研究開発に従事している．

### 1.2　企業紹介

私が勤務する企業は，建設機械のグローバルメーカーで，世界中に拠点を持ち，世界各国・地域の社会インフラを支えている．純国産技術による日本初の油圧ショベルを開発して以来，独自の研究開発と高度な生産技術により，安全性，信頼性，耐久性の高い製品を生み出してきた．現在では建設機械業界で世界第３位の規模を誇り，世界基準の製品と技術力を有している．

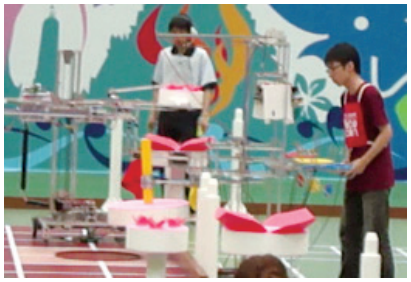


写真１　ロボコン大会での様子

## 2. 学生時代を振り返って

### 2.1　学生時代の研究内容

学生時代は音響制御や振動解析を取扱う研究室に所属し，そこで音声の解析に関する研究を行った．

当研究室では，従来の音響解析手法に対して，計算時間が速く，取扱いの容易な音響解析手法の確立を目指し，音響空間をばね・質点系の多自由度集中系でモデル化した時間領域と周波数領域の新たな解析手法を提案しているが，私の研究は本手法を音声の解析に適用したものであった．

本研究は当研究室で初めて扱うテーマであり，それまでの講義等でも学ぶことがなかった音声の研究ということで，非常に興味深く，挑戦してみたいという思いが強かった．

研究内容について少し詳しく触れると，声帯から唇までの声道と呼ばれる空間を集中系でモデル化し，声帯振動から生じる音源が声道を通ることで音声へと変化する様子を解析するもので，そこで作成したモデルを用いて音声情報から喉頭がんなどの早期診断を可能にする技術の研究を行った．

在学中には，基礎的な技術構築までに留まり，早期診断技術を確立するには至らなかったが，国際学会で発表するなど，貴重な経験を積むことができた．

会社に入ってからの仕事内容と直接結びつくような研究ではなかったが，大学で学んできた知識や研究を通して学んだ考え方や取り組む姿勢などは現在の業務でも大いに役立っている．

### 2.2　会社の選び方

就職活動にあたり，始めは視野を広く持つために，自動車や食品などさまざまな分野のメーカーに目を向けていたが，最終的には自分の研究と関係がありそうな医療機器メーカーと，もともとの興味関心が高かった建設機械メーカーに絞り，企業研究を始めた．

医療機器メーカーは人命に関わる非常にシビアな製品を開発するため，その責任は重大であるが，医療の最前線で活躍する製品を生み出せるという点が非常に魅力的だった．しかしながら，採用選考を進めていく中で医療分野への知識不足や求められる専

門性の高さなどから，自分の能力を活かしていけるか不安を感じていた．

一方で幼少期からロボットやメカへの憧れがあったため，それに近い重機を開発できるという点で建設機械メーカーならやりたいことを仕事にできると思った．また，学生時代に学んできた知識や，サークル活動を通して得た経験なども存分に活かせると感じ，結果，当社に入社した．

まったく新しい分野に足を踏み入れてチャレンジしたいという思いや，やりたいことを仕事にしたいという思い，人それぞれ考え方は異なるが，しっかりと企業研究を行い，その会社でどんな仕事をしたいのかという明確なビジョンを持てる会社を選ぶのが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　会社での仕事紹介

入社以来，油圧システムや油圧制御に関する研究開発に携わっている．省エネ性や信頼性，操作性といったさまざまな要求を実現するために，実際に油圧ショベルを動かしてデータを取得し，分析，改善を行っている．

当初は何もわからず，ひたすら勉強する日々であったが，初めて自分で油圧ショベルを動かしたときにその力強さに圧倒され，油圧のすごさを見せつけられ，ますます油圧ショベルに魅了されていった．先輩の補助をしながら，いろいろな仕事を覚えていく必要があり，大変ではあったが，憧れの油圧ショベルの開発であり，高いモチベーションで楽しみながら仕事ができていた．

現在では，油圧ショベルでの実験を主に任されており，自分で動かしては操作感などを評価したり，取得したデータを分析して問題点の抽出，改善をしたりと，新規技術の開発に尽力している（写真２）．油まみれになりながらの作業や，冬の北海道での凍えながらの作業など（写真３），辛いこともちろんあるが，自分がやりたかった仕事ができているということが何よりもうれしく感じている．

写真２　実験中の様子

写真３　大雪の中での実験

### 3.2　入社して変化した考え方

入社後，大きく考え方が変わったのは，よく一般に言われている「安全第一」という言葉に対する認識である．もちろん大学の実験などでも安全に対する意識を持って作業していたが，入社後に感じたのは，安全に対する徹底した取り組みへの驚きであった．たしかに業務で扱う機器や製品は大型で取り扱いを間違うと非常に危険なものが多いが，始めはそこまでやる必要があるのかと思っていた．しかしながら，危険予知訓練やリスクアセスメントなどに取り組んでいくと，気づいていない多くの危険源が潜んでいることが分かり，今までの安全意識の低さを思い知らされた．今では，何か作業をする際には，必ず危険源の洗い出しを行い，安全に作業できるよう努めているし，日常生活においても安全に対する感度が高まっている．良い技術，良い製品を開発することも重要だが，最優先事項は安全であるということを肝に銘じて日々過ごしている．

### 3.3　業務遂行で大切にしていること

私の場合，一つのことに集中して取り組むことに熱中して，知識や考え方が偏ってしまうことがしばしばあった．しかしながら，技術開発，製品開発を行うためには，一つの分野にとどまらず，さまざまな知識を持って，それらを柔軟な発想で効果的に組み合わせていく必要がある．そこで，普段の業務だけで知識を広げていくのはなかなか難しいので，外部のセミナーに参加したり，関連技術について資料を読み漁ったりして新しい知識を得るということを意識している．また，技術的な内容だけでなく，別業界の動向をニュース等でチェックしたり，自然科学系の雑誌を購読したりして，普段から視野を広く持つことも大切にしている．もちろん知識を持っていても，経験がものを言うところも多々あるので，さまざまなことにチャレンジし続けていくことで，自分なりのやり方を身につけていきたいと思う．

### 3.4　社会貢献活動の紹介

当社は人道支援の立場から，地雷除去後の地域の

復興・住民の生活再建支援を行うことを目的としたNPO法人「豊かな大地（GEJ）」[1] を全面的に支援している．油圧ショベルをベースとした地雷除去機の開発者が，除去だけでは終わらない地雷の被害を最小限に食い止めようと立ち上げた団体である．

現在は主にカンボジアで活動を行っており，地雷除去後の土地で自立した生活を営むことができるように，現地各機関やNGO，住民とコミュニケーションを取りながら農地整備や農業訓練，インフラ整備などの支援を行っている．

私も本団体の会員で，毎年寄付を行い微力ながら活動支援をしている．会員には，定期的に活動報告のメールが送付されてくるが，そこには日本では考えられないような厳しい環境の中，GEJの支援を受けて真剣に農業に取り組む大人たちの姿や，子供たちの喜ぶ様子の写真が掲載されており，それを見てこちらも元気をもらっている．

また，地元への活動としては，かすみがうらマラソンに特別協賛として関わっており，当社社員もランナーとしてだけでなく，ボランティアとしても多数参加しており，地域住民の健康促進，地域活性化の一助となっている．

### 3.5　リフレッシュの仕方

私の場合，現在の業務を比較的楽しんで行えており，あまりストレスを感じることなく仕事ができているが，考え過ぎて頭が痛くなったり，慣れない作業で体に疲れが出てきたりすることはしばしばある．そんな時には無理せず，まずはじっくり寝て別のことを考えている．

会社に入ってから始めた趣味の一つが写真だ．カメラ好きの同期社員に触発され，デジタル一眼レフカメラを購入し，いろいろな写真を撮り始めた．休日時間があれば車で出かけて，各地の名所を巡り写真に収めている．被写体は主に自然風景や神社，時には飛行機などであるが，その中でもとりわけ星空の撮影にはまっている．星空の撮影には知識だけでなく，気象条件や月齢も気にしながら撮影場所やタイミングを調整する必要があり，なかなかハードルの高い被写体である．

写真４　磐梯山と天の川

初めて撮影に赴いたのは，栃木県にある戦場ヶ原であった．その時見た満天の星空は，とても感動的だったが，それを写真にきれいに撮れたとき，こんなにも美しい景色が夜空には広がっているのかと，さらに衝撃を受けた．それ以来，タイミングを見計らっては星空撮影に出かけて，大自然の雄大さ，美しさに癒されている（写真４）．

## 4. ま と め

私は入社してから油圧の勉強を始めたが，油圧を始めとするフルードパワー技術は世界中の産業を支えており，非常に魅力的な技術であると感じるとともに，これからの時代もさまざまな分野で大いに活躍していく技術であると考える．今後も初心を忘れずに新たな可能性を切り開いていけるよう，日々努力し続けたい．

**参考文献**

1）豊かな大地　http://www.good-earth-japan.org/

（原稿受付：2018年７月９日）

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

## 第5回　中国から来日して

著者紹介

薛 成華(Chenghua XUE)（せつ せいか）
CKD株式会社
〒512-1303 三重県四日市市小牧町高山2800番地
E-mail : c-xue@ckd.co.jp

2013年名城大学システム工学科を卒業．同年CKD株式会社に入社，現在に至る．電磁弁にかかわる新規商品の開発業務を携わっている．

## 1. はじめに

**自己紹介：**

私の出身地は中国の大連市だ．海が近く，綺麗な都市だ．最初に日本に来た時，同じく海に近い福岡市に住み，日本語専門学校に一年半通っていた．

その後，名古屋市の名城大学へ進学した．機械システム工学科を卒業し，CKD株式会社に入社した．

今年で入社６年目になった．日本に来てから10年が経った，あっという間だった．

**来日の理由：**

日本が出身地の大連に近いから，高校卒業後日本に留学することを親が決めてくれた．当初は日本の大学を卒業後，国へ戻るつもりだったが，日本の生活に慣れつつ，仕事の待遇も日本のほうが良いため，日本に残ることを決意した．

**現在の所属機関とその研究／仕事内容：**

入社した時は四日市工場にある第１技術部の開発グループに所属し，既製品のカスタマイズ品の開発を携わりながら機種担当をしていた．

中国からのお客様向けの工場見学案内役や展示会のアテンド活動も行っていた．

一昨年よりビジネスユニットに開発部が発足し，私が開発部の第４グループに移動となった．新規商品の開発に携わることになった．

昨年には，CKD中国工場へ出張し，現地の技術者たちと技術交流を行い，新しい競争力のある製品を生み出すことができた．

これからも社会に貢献できる新商品を世にたくさん出していきたいと思う．

## 2. 日本の印象

### 2.1　来日直後の第一印象

**来日直後の日本の第一印象は？：**

初めて日本に住んだ町は福岡市の博多区だった．大都市と聞いたが，意外と都市中心部が小さかった．

梅雨の時期となると，天気が荒れる．雨でびしょびしょになったのが何回もあった．傘を持っていても，風の強さに負けてしまうからだ．

悪天候に負けないように，人も町も元気になれる祭りやイベントがたくさん開催される．普段静かな町が一気に沸騰した様に，活気が湧いてくる所に魅力を感じた．

祭りを楽しみながら飲んだ梅茶は，人生で飲んだ一番美味いお茶だった．香りが半端なかった．思い出すたびに，福岡へすぐ飛んでいきたい気分になるぐらいだ．

また，初めての24時間コンビニ，初めての地下鉄など，初めての経験が多かった．日本のサービスの便利さと技術力の高さに驚いた．

### 2.2　研究室／職場に関して

**日本人の考え方や働き方で驚いたこと：**

仕事している日本人がすごく真面目で，残業時間でもフルパワーで働く人が多い．納期遵守のため制限時間まで残業をしていても毎日元気で働けることに驚いた．

工場内に数か所の自動販売機があり，一番人気のある飲み物は定番のコーヒーだ．皆さんは，朝からコーヒーを飲むことが習慣となっているが，私にとっては，すこし不思議に思っていた．

**日本に滞在中に自分が最も変わった点は？：**

お父さんになったことが最も変わった点だ．家族のことと仕事のことで毎日充実して過ごしている自

写真1　長女の1カ月健診の時

分に変わった．

休日の時にはファミリーサービスをしないといけないため，休みのないお父さんとなったが，家族が一緒に楽しめることに満足している．

写真2　休日のファミリーサービス（彦根城・琵琶湖観光）

### 2.3　生活に関して

**日本の生活で困ったことは？：**

中国にいる両親が何回か日本に会いに来てくれたが，滞在期間の制限があり，一年のうち最大半年しか一緒に暮らせられないのが一番困っている．

**日本の生活でよかったことは？：**

日本で見つけた美人妻（中国人）が，可愛い娘を産んでくれたことが一番良かったことだ．とても幸せだ．子供の医療制度と食品安全の保障があるため，安心して子育てができることがすごく良いと思う．

**最も興味ある日本の文化：**

最も興味あるのは，日本で盛んに行われている歴史のある祭りのことだ．危険を伴うこともあるけど，人との繋がりを深めることができるし，町を元気にすることもできる祭りの魅力に魅了された．

全国各地で個性のある祭りがいっぱいあって，民間文化を見守る効果もあり，観光客を招くことにより更に知名度を上げていて，経済効果もある．古い文化を大事にする日本社会の考え方に感服した．

## 3. 抱負と日本の方々へのメッセージ

**今後はどんな予定？　出身国に戻るのはいつ？：**

今後の予定は，開発業務をやり遂げられるよう，キャリアアップをしていくこと．

日本の生活に慣れていたため，やむ得ない事情がなければ日本に住み続けたいと思う．

**日本人へのメッセージ：**

ルールに従い行動する日本人はよいと思うが，融通が利かない，硬い考え方しかできない日本人が多いことに驚いた．

もちろん中国人の中にもこういう人がいるが，日本人の中には割合が多いと思う．そのため，効率的な行動ができず，ただルールのために時間を無駄にしている場合が多い．

残業時間が厳しく制限されている現在だからこそ，効率最優先で今一度ルールの見直しを行ってみることが良いのではないか．

（原稿受付日：2018年6月5日）

研究室紹介

# 鹿児島大学　中尾研究室

著者紹介

中尾光博（なかお みつひろ）

鹿児島大学大学院
〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元１－21－40
E-mail : nakao@mech.kagoshima-u.ac.jp

2011年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士後期課程修了．鹿児島大学助教を経て，2015年同大学工学部准教授，現在に至る．空気圧系の計測制御などの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．

## 1. はじめに

鹿児島大学は法文学部，理学部，工学部，教育学部，水産学部，農学部，医学部の７学部からなる総合大学である．大学の起源は，江戸時代に島津家25代島津重豪が創始した造士館にさかのぼる．西郷隆盛や大久保利通といった明治維新の立役者も造士館で学んだといわれており，日本の近代化における功績は大きい．なお，筆者の所属する工学部の直接の前身は1945年に設置された鹿児島県立工業専門学校であり，鹿児島県立大学工学部を経て，1955年の国立移管により鹿児島大学工学部となった．

工学部のある郡元キャンパスは，九州新幹線の終着駅である鹿児島中央駅から市電で約10分，鹿児島空港から約１時間の位置にある．鹿児島の平野部が狭いために都市機能がコンパクトにまとまっていることもあり，生活の便は大変よい．鹿児島といえば，桜島の噴火が有名である．近年は噴火の頻度が高く，当学会の2015年鹿児島講演会の際も懸念されていたことが記憶に新しい．噴火そのものは日常生活に影響しないが，風が市街地の方を向くと降灰が生じる．降灰とは文字通り灰が降ることで，経験のない方には想像し辛いかもしれないが，本当に地面に灰が積もる．洗濯物を屋外に干すことができない，夏場に窓を開けられない，自転車などがすぐ壊れる，などといった影響がある．鹿児島の気候は南国らしく夏がかなり長いため，近年のように降灰が多いと，暑く長い夏の間，窓を開けることができず，冷房の電気代がかさみがちになるのが頭痛の種である．

今回数年ぶりに研究室紹介の執筆を依頼され，２度目ということもあるので，少し思い切った内容も書いてみることにした．ただし，あくまで筆者個人の考えであることを強調しておきたい．学生目線での紹介を，とのことであったので，最後に学生からのメッセージを掲載している．

## 2. 研究室について

中尾研究室では旋回流を用いた非接触搬送の最適設計，空気圧管路内流れの数値解析・状態推定，微小振幅波の制御などを研究している．微小振幅波は空気圧関係ではほとんどお目にかかる機会がないが，都市ガス関係では頻繁に発生する現象である．研究の詳細については，ぜひ学会の講演会にお越しいただき，講演をご覧いただきたい．

研究室は単独での運営であるが，飲み会や報告会，レクリエーションなどの各種活動は粉体工学がご専門の福原教授の研究室と共同で行っている．当学科では完全に単独での活動も認められているが，筆者は性格や指導方針が異なる教員が共同で指導にあたった方が教育効果は高いと考えており，このような形態で活動している．実際，互いの研究室の学生にとっては良い刺激となっているようである．

当研究室で育成目標としている人材は，自分自身を客観的にみることができ，周囲に対してどのような貢献ができるかを考え，必要に応じて学び，論理的思考に基づいて適切な判断を下し，実行するといったことを自主的にできる人間である．凄まじく高い水準であることは認識しているが，現状の学生のレベルでもなんとか到達可能な範囲だと考えているし，仮にも国立大学法人であるのだから，これくらいの水準を期待してもバチはあたらないだろう．

近年，大学ではFaculty Development，要は教育の質の向上に関する活動が活発化している．本学でも例外ではなく，外部講師を招いての講演会が開催されているが，筆者は数年前，とある米国の大学教授が話された内容が忘れられない．その大学では１年生の段階で３割程度の学生を退学させるそうだ．

当然本学の教員から，そんなに退学させて大丈夫なのかという質問があがったが，回答に絶句した．いわく，「半分は卒業できますよ．１年生の段階で向いていない学生には，退学させて人生設計を考え直す機会を与えてあげないと，その学生の人生が本当に終わってしまう」だそうだ．ド正論だとは思うが，日本の多くの大学では恐ろしくて発言できない内容である．道理を通せる米国の環境を羨ましく思うと同時に，捻じ曲げてしまうから色々なところに歪みが生じているのではないかと思った次第である．

さて，当研究室の育成目標については前述の通りであるが，そのキーとなるのは自主性，自分自身の客観視，論理的思考力である．それらについて，どのように考え，どのように指導しているかを述べる．

本来，勉強は自分で自分のためにやるものであって，誰かに強制されてやるものではない．しかし，小中高の生徒の多くは教師や親に強制されて勉強させられているのが現状であろう．特に九州では０限という朝課外が多くの高校で行われているくらいである．生徒が自主的に勉強する場を提供するというのであれば素晴らしいが，学生の話を聞く限り，残念ながら強制であることが多いようだ．そのような環境で育ってきた学生たちであるから，自主性があるわけがなく，自主的にやれと口で言うだけでは自主性を身に付けさせることはできない．自主的にやらざるを得ない環境を与え，自分でやらないとダメだと危機感をもたせてやらなければならない．だから筆者は講義で基準に満たない学生をきちんと落第させているし，研究室の指導では，指示した内容をやってこない学生に対しては，やってくるまで待つ．ただし，その都度卒論までに何をどこまでしなければならないかを説明し，現在のペース配分だと間に合わなくなる公算であることを確認している．もちろん本当に間に合わなかった場合は留年である．内定が決まっていても容赦はしないと説明してある．ちなみに，これまでに内定が決まっていながら留年した学生はいない．筆者が本気だと悟ると流石に学生も本気になるようである．

研究室配属当初の学生の多くは自分自身を客観視できる状態からほど遠い．周りにお膳立てされることに慣れ過ぎているため，学生は自分に何ができて，何ができないかすら把握していない場合が多いのである．そのような状態では，人から認められる何かができる喜びなぞ理解しようがない．そこで，前述のような指導をするわけであるが，多くの学生は，思っていた以上にできない自分にショックを受けるようである．そもそも学ぶために大学へ来ているのだからできなくて当然なのだが，なぜそのように過剰な自信をもっているのかがわからない．大学入学までに，学ぶ姿勢をまったく身に付けられていないということなのだろうか．

論理的思考力は極めて強力な武器である．例えば大学入試の物理の問題であれば，その問題の論理構造を紐解き，基本となる法則を当てはめてやれば解けない問題はない．そしてそれが本当に理解するということだと筆者は考えている．これがきわめて高いレベルの話なのは言うまでもなく，この水準に到達できている受験生は全体の１％もいないかもしれない．おそらく，大学生の大多数は理解することと暗記することの区別がついていない．反復学習による暗記の方が，点数を伸ばす方法としては手っ取り早いからであろう．そのような学習を続けてきた学生に，論理的思考や理解するということがどういうことかを教えるのは非常に時間と労力のかかる作業であるが，ディスカッションの際に根気強く指導している．学生によってはかなりの時間がかかるが，少なくとも院生は，どういうことなのかを理解できるレベルまではもっていけている．

## 3. 所属学生のメッセージ

最後に現在研究室に所属している学生諸君に簡単に研究室について思うところを執筆してもらった．卒業生の中には，卒業後に来訪し，「中尾研は能力覚醒所である」という賛辞（？）を残した方もいるが，とりあえず在学生に限定することにした．

研究室では，中尾先生のご指導のもと流体の計測・制御・数値計算の研究に取り組んでいます．その中でも私は半導体や液晶ガラス基板などを非接触で搬送する装置の効率化についての研究に取り組んでいます．

私含め，研究室の学生は，研究に対して世の中に本当に価値あるものなのか考え，目標実現のためにどうアプローチするのかを常に考えながら取り組んでいる印象があります．また，中尾先生は，大学を卒業させるためではなく，社会に出て活躍できるような人材になるための指導を行ってくださるため，少しハードルが高いところもありますが，研究室配属前と比べると格段に力がついたと実感しています．

（山ノ内　祐太 君，修士２年）

毎年個性豊かなメンバーが研究室に配属され，普段から空いた時間に談笑などで盛り上がったり，食事に行ったりしてコミュニケーションをとっており，ときには先生も交えて笑い合い，

とても雰囲気の良い研究室です．しかし，研究活動となると，毎週のゼミの真剣な眼差しでのディスカッションや個人で異なる課題に全力で取り組むメリハリのある研究室です．

私はCFD解析を用いた非接触搬送装置の効率化に関する研究を行っております．自分一人で問題を解決することが困難なときも多く，試行錯誤しながら奮闘する日々ですが，先生に的確な助言をいただきながら，仲間とともに二人三脚しながら頑張っております．

（川田　龍 君，修士１年）

私は，中尾先生のご指導のもと層流形流量計の完全特性の解明に関する研究を行なっております．層流形流量計を用いた流量計測には，まだよくわかっていない点があるのが現状で，より確かな計測方法確立の足掛かりとなれるよう，日々研究に取り組んでおります．

研究室の印象と致しましては，学生が各々達成目標を設定できるため，それぞれが確実に力をつけられる環境であるという印象があります．また中尾先生は，非常に丁寧にご指導して下さいますので，私自身物事の捉え方が変化しているのを実感しております．

最後に，社会人となるまでに多くの失敗と成功を繰り返し，より成長できるよう走り続けたいと思っております．

（神代　拓見 君，修士１年）

現在私は中尾研究室に所属しており，日々の学生生活にてご指導ご鞭撻を賜っております．研究室の印象としまして個々の自主性を重んじるだけでなく，一緒になって検討をしてくださるので，毎日楽しい研究生活をやらせていただいております．また何事に関しても事実のみを伝えてくださるので，真摯に受け止めて考えるきっかけとなり，成長の機会が多いと感じています．この研究室を出る時には自分は社会にとって何かしらの困難も乗り越え，役に立つ存在になれるのではないかと思える研究室であると思えます．

（栗原　和志 君，学部４年）

研究室が決定して3 ヶ月近くが経ちました．優しい先輩方にも囲まれて充実した学校生活が送れています．先輩方の研究も興味深いものばかりでこれから，たくさんのことを吸収していきたいです．

中尾先生は，これまであまり関わりがなく初めどう話せばいいのかわかりませんでしたが，質問した時は思った以上の量の情報とヒントをいただけました．ただ，先生からの問いかけには答えられないことがほとんどで，自分自信の無知さを思い知らされ辛くなります．卒業までに少しは答えられるようにトレーニングしていきたいです．

これから，不安も多いですが頑張ります．研究だけでなく人間的にも大きくなりたいです．

（稗田　幾朗 君，学部４年）

現在私は中尾研究室に所属しています．私は機械工学の基礎でもある流体力学について深く掘り下げていきたいと考え，中尾研究室を選びました．中尾先生は厳しさの中に優しさのある先生で，学生の甘えた考えに対していつも論理的思考に基づいて説得力のある意見を言ってくださるので，心身共に成長していける研究室だと思います．

この研究室は，卒業後社会に出たときに困難を乗り越えるための精神力，自主性を鍛えられる研究室であると思います．

（山内　崇史 君，学部４年）

## 4. おわりに

当研究室の概要などについて説明し，学生からのメッセージを記載した．思うところを乱雑に書き散らかしたような文章になってしまったし，必ずしも多くの方に賛同いただける内容ではないかもしれない．あくまで筆者のこれまでの経験に基づく考え方であり，必ずしもこれが正解だと主張したいわけではないことを強調しておきたい．

最後に，平素よりお世話になっております本学会の皆さまに感謝の意を表する．

（原稿受付：2018年６月26日）

企画行事

# 平成30年春季講演会併設セミナー「フルードパワーにおける設計技術のトレンド―品質向上と最適化を目指して―」

著者紹介

桜井康雄（さくらいやすお）

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

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

## 1. はじめに

平成30年春季講演会併設セミナー「フルードパワーにおける設計技術のトレンド―品質向上と最適化を目指して―」が機械振興会館において平成30年５月24日（木）９時30分から12時25分にかけて35名の参加者を得て開催された．前年度まで春季講演会の前日の午後に開催されていたが，今年度より春季講演会の参加者が本セミナーに参加し易いようにするため，春季講演会の初日の午前中に開催した．

春季講演会併設セミナーは，学会の企画事業を担当する企画委員会と学会誌の制作を担当する編集委員会との合同企画事業である．本年度は企画委員会が主導で編集委員会と協力して特集号を作成するとともに，セミナーの実施も企画委員会が担当した．先に学会誌で同じテーマで特集を組み，執筆された方々の中から数名の講師をお招きし，この学会誌をテキストとして，本セミナーでご講演いただき，解説記事を深く理解する機会を設ける．これが，本セミナーが他のセミナー（オータムセミナー，ウインターセミナー）と異なる点である．なお，本年度は４名の執筆者に講演を行っていただいた．

ここでは，本セミナーの趣旨および当日の講演の概要について報告する．

## 2. 開催趣旨

製品の高品質化および高機能化はいつの時代においても技術者に求められ，技術者はその要求を実現するために腐心している． そのような要求を実現するためにソフトウェアを利用した品質工学的なアプローチ，CFDを利用した形状の最適化が行われている．また，コンピュータよる設計・解析技術を進化させるため解析精度を向上させる取り組みも行われている．

本セミナーでは，このような取り組みの中から品質工学に基づいた事例を中心とし，要求された事項を実現した技術者の方々にそれぞれの事例について紹介していただき，フルードパワー技術者に役立つ設計技術の現状と将来の展望を知る機会を設けた．

写真１　上野氏の講演

## 3. セミナーの概要

### 3.1 外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバーの応答性改善[1)]

はじめに，KYB㈱の上野和生氏により「外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバーの応答性改善」について講演をいただいた（写真１）．

上野氏からは，会社紹介に引き続き，自動車の操縦安定性と乗り心地を両立するためにその利用が増加しつつある減衰力調整ショックアブソーバーの応答性を改善した事例紹介が行われた．

対象とするショックアブソーバーの構造の説明が行われ，実験結果の分析により，その応答性にはソレノイドの寄与率が高いことが明らかとなったことが示された．そこで，ソレノイドの磁場解析によりその応答性を改善することを試みたことおよびその解析モデルの説明が行われた．次いで，このソレノイドのモデルの種々の因子の寄与率を実験計画法により評価を行った結果が示された．これは，より的

写真２　田崎氏の講演

確に応答性の改善に品質工学を適用するためであるとのことである．品質工学の適用に際しては，ソレノイドの理想的な応答である立ち上がりおよび立ち下がりが瞬時に行われることであり，それに近づく条件を標準SN比で求めたことが示された．さらに，その解析結果を確認し良好な結果が得られたこと，この解析を通して得られた知見が盛り込まれたソレノイドバルブを搭載したショックアブソーバーの量産が2016年より開始されたことが説明された．

### 3.2　シリンダクッションの最適形状～ AMESimを用いた品質工学的アプローチ～[2)]

つぎに，コマツの田崎佳介氏によりに「シリンダクッションの最適形状～ AMESimを用いた品質工学的アプローチ～」と題した講演をいただいた（写真２）．

ここでは，建設機械で使用されている油圧シリンダのロッドクッションの減衰性能に対する各部品の寄与度を確認するとともに減衰範囲を短くすることが可能か品質工学的なアプローチで検討した結果が示された．なお，この検討は，１Dマルチドメインシステムシミュレーションソフト AMESim上でロッドクッションの動作状態を再現した上で実施された．

ロッドクッションの構造の説明が行われた後，解析モデルの説明が行われた．ここでは，20tクラスの油圧ショベルのアームシリンダを対象としたとのことである．次いで，解析結果から求めた出力因子をロッド側圧力のピーク値としたSN比と感度の関係の説明が行われ，再現性（信頼性）が低いことおよびその原因が説明された．そこで，これを改善するため，作業機が有するエネルギの変化率を出力因子に採用する案が示された．その結果，SN比が大幅に改善され，再現性（信頼性）が確保できたことが示された．この解析により得られた最適水準を採用した場合，性能が向上することが示された．さらに，この最適水準を採用することによりロッド圧およびストロークエンド衝突速度の低減が可能となったため，減速範囲をどこまで短くすることが可能か検討した結果について示された．

写真３　一野瀬氏の講演

### 3.3　品質工学を用いたサスペンションALDモデルの最適化[3)]

㈱日立製作所の一野瀬昌則氏からは「品質工学を用いたサスペンションALDモデルの最適化」についての講演をいただいた（写真３）．

実機ベースでの改良が困難なダンプトラックの機構解析ツールによるモデルを用いて設計パラメータの最適化を実験計画法およびタグチメソッドなどの品質工学的な考え方を用いて実施した結果について解説が行われた．これらの手法の適用により，より少ない探索試行回数で最適値の探索が可能となったとのことである．

まず，対象とする鉱山用ダンプトラックの概要とその乗り心地を支配するサスペンションの動特性は種々の非線形特性のため事前に検討することが困難であることが述べられた．さらに，対象とするダンプトラックのような大型機械では多額の費用と長い試作期間を要するため実機試験が困難であるため，車両をマルチボディ機構解析ツールによりモデル化しシミュレーションによりサスペンションの動的な性能を検討するようにしたことが示された．

次いで，ここで作成したモデルで詳細なモデル化が必要となるサスペンションおよびサスペンション特性を決めるストラットのモデルについて詳細な解説が行われた．

このモデルを用いて最適設計を行う場合，剛性に関係する因子が８種あり，それらの因子に対して初期設計値を中心に前後に振った３水準とし，６種類の走行条件に対してシミュレーションを行った場合，26,244回の計算が必要となることが示された．そこで，実験計画法の考え方を適用しL18直交表を用いることで108回の計算に減らすことが可能であることが説明された．さらに，このシミュレーションにより最適値を決定する際には最適かつ特性のばらつきの少ない設計パラメータを決定する統計的な手法であるタグチメソッドを利用したことが説明された．これらの手法を用いた結果，少ない計算時間で最適なパラメータを決定することができたこと，こ

写真４　横島氏の講演

のパラメータに基づき実機を試作して実験を行った結果大幅に性能が向上したこと，および，オペレータによる官能評価が良好であったことが示された．

### 3.4　深層学習を応用した油圧システム設計におけるテスト設計プロセス[4)]

シーメンス㈱の横島靖典氏からは「深層学習を応用した油圧システム設計におけるテスト設計プロセス」についての講演をいただいた（写真４）．

種々の動作条件で長期間稼働することが求められる油圧システムの開発段階では多くの試験が必要となる．この試験はシミュレーションを利用すると設計段階で多数のテストを実行することができる．ここでは，この多数のテスト結果の統計的な性質に基づき，テストシナリオの類似性と網羅性の検証によりテストプロセスの改良の可能性があることについて解説が行われた．

まず，テスト設計のコンセプトの説明が行われた．システムの数値計算モデルが存在し多数のテストが可能である場合を想定し，テストシナリオに対するシステムの挙動を学習器に学習させることから始めることが説明された．これにより，テストの類似性が高いものを間引くこと，新たなテストシナリオの新規性の評価が可能となることが示された．

このコンセプトの具体的な事例についての説明が行われた．対象とするシステムを油圧駆動アームとし，種々の条件でシミュレーションを行いその結果を学習器に入力したこと，深層学習の学習器としては，Variational Auto-Encoderを用いたことが説明された．

この学習結果を利用したテスト数の削減結果と新規性の評価を行った結果が示された．この学習器を用いることにより，閾値によっても異なるが92％のテストを削減できる場合があること，学習済みの状態分布と新しいテストによる状態分布とのかい離を調べることによりテストの新規性の評価が可能であることが示された．さらに，この深層学習を利用したシステムを用いることで設計の抜け漏れ，想定外のシステムの異常を防ぐ設計が可能となることが期待されるとのことが示された．

## 4．おわりに

本稿では平成30年春季講演会併設セミナーの概要について報告した．

講演は品質工学に基づいた事例に加え深層学習を利用した油圧システム設計プロセスの提案もあり大変興味深い内容であった．活発な質疑応答の様子から，参加者された方々の関心の高さがうかがわれた．

最後に，本セミナーで貴重な講演をいただいた講師の皆様，本セミナーの事業に携わっていただいた企画委員，編集委員および学会事務局の皆様に深く感謝申し上げます．

**参考文献**

1）上野和生，松下雄介：外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバーの応答性改善，Vol. 49，No. 2，p. 78-80（2018）
2）田崎佳介，金丸健二，飯谷英史：シリンダクッションの最適形状～AMESimを用いた品質工学的アプローチ～，Vol. 49，No. 2，p. 68-71（2018）
3）一野瀬昌則：品質工学を用いたサスペンションALDモデルの最適化，フルードパワーシステム，Vol. 49，No. 2，p. 81-84（2018）
4）横島靖典，中沢俊彦：深層学習を応用した油圧システム設計におけるテスト設計プロセス，フルードパワーシステム，Vol. 49，No. 2，p. 71-74（2018）

（原稿受付：2018年６月５日）

## 会　告

### 〈理事会・委員会日程〉

| | |
|---|---|
| 6月22日 | 情報システム委員会 |
| 7月31日 | 理事会 |
| 8月　1日 | 編集委員会 |

### 〈理事会報告〉

7月31日　15：00～17：00
機械振興会館　地下3階　B3―9　（出席者18名）
1）国際シンポジウム函館2020の開催準備状況
2）学会創立50周年記念記念事業
3）平成30年度フェロー募集
4）平成30年春季講演会最優秀講演賞受賞者の推薦
5）平成30年度学会賞各賞の選考
6）平成30年秋季講演会の開催準備状況
7）会員の推移
8）その他

### 〈委員会報告〉

**平成30年度第１回情報システム委員会**
6月22日　14：00～16：00
東京工業大学田町CIC5階　（出席者４名）
1）HP更新作業
・新会長挨拶掲載
・理事名簿更新
・イベント情報校正
・旧情報の移動・削除，旧ページ取扱い
・検索対象キーワード
2）会議報告担当
3）その他

**平成30年度第２回編集委員会**
8月1日　14：00～17：00
東京工業大学田町CIC5階　（出席者13名）
1）会誌特集号の現状と企画
・Vol. 49 No. E1「緑陰特集」
・Vol. 49 No. 5「バイオミメティクスにみられるフルードパワー」
・Vol. 49 No. 6「フルーパワーとサーボ技術」
・Vol. 50 No. 1「油圧ポンプの技術動向(仮)」
2）その他
・会議報告
・創立50周年記念事業実行委員会・分科会名簿(案)
・企画行事一覧
・今後の特集

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

## 日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会　共催
## 平成30年秋季フルードパワーシステム講演会
### 開催日：平成30年10月25日(木)・26日(金)

平成30年秋季フルードパワーシステム講演会は平成30年10月25日（木）・26日（金）に京都教育文化センター（京都市）で開催されます．本講演会では，一般講演に加えて，特別講演（「京都の街づくり（新旧）（他国世界遺産都市との比較など）（仮)」，京都府立大学副学長 宗田 好史 先生）・オーガナイズドセッションや技術懇談会などを企画しています．詳細につきましては，学会ホームページでご確認くださいますようお願い申し上げます．皆様の積極的なご参加をお待ちしております．

## 平成30年度オータムセミナー
## 「知っておきたい空気圧システム設計技術の新常識」
### 開催日時：平成30年11月16日(金) 13：15 ～ 16：45

空気圧に関する技術者として知っておくべき常識も少しずつ変わってきています．例えば電磁切換弁の特性はソニックコンダクタンスと臨界圧力比で表示されることとなり，今年からJISでその新たな計測法が制定されました．本セミナーでは空気圧駆動システムおよびそこで使われる機器を開発するエンジニアに向けて，ぜひ知っておきたい現代の新常識について紹介します．

**開催場所**：機械振興会館本館地下3階B2-2
（東京都港区芝公園3-5-8）

詳細は学会ホームページに随時掲載いたします．
皆様の積極的なご参加をお待ちしております．

## 日本フルードパワーシステム学会論文集
## 49巻（2018）2号　発行のお知らせ
### （公開日：2018/07/12）

**【研究論文】**

(1) 分岐・合流管を持つ管路を含む空気圧シリンダ駆動システムのシミュレーション
（複数のシリンダを同時に駆動する場合）
藤田壽憲，小此木卓馬，香川利春

(2) E-FRITを用いた空気圧サーボ系の力制御PIDコントローラ設計
村山栄治，黒澤和磨，川上幸男

(3) 熱伝導を考慮したブラダ形アキュムレータの数学モデル
宮下修人，眞田一志

(4) 感覚フィードバック機能を備えた無動力型空気式義手の開発
西川弘太郎，平田健太郎，高岩昌弘

（URL）https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jfps/49/2/_contents/-char/ja

会　告

# 共催・協賛行事のお知らせ

**協賛行事**

**第11回 トライボロジー入門西日本講座　ートライボロジーの基本知識と考え方ー**
主　　催：一般社団法人 日本トライボロジー学会
開 催 日：2018年10月4日(木)～5日(金)
会　　場：兵庫県立大学姫路工学キャンパス書写記念会館記念ホール（兵庫県姫路市書写2167）
U R L：http://www.tribology.jp/

**キャビテーションに関するシンポジウム（第19回）**
主　　催：日本学術会議　機械工学委員会，第19回キャビテーションに関するシンポジウム実行委員会
開 催 日：2018年10月18日(木)～19日(金)
会　　場：北海道大学工学部フロンティア応用科学研究棟（札幌市北区北15条西8丁目）
U R L：http://cavitation19.sakura.ne.jp/index.html

**第61回 自動制御連合講演会**
主　　催：システム制御情報学会（幹事），計測自動制御学会，日本機械学会，化学工学会，精密工学会，電気学会，
　　日本航空宇宙学会
開 催 日：2018年11月17日(土)～18日(日)
会　　場：南山大学　名古屋キャンパス（愛知県名古屋市昭和区山里町18）
U R L：https://rengo61.iscie.or.jp/

**No18-118 講習会アクチュエータシステムの基礎と応用**
**ーモーションコントロールから生体・情報・感情制御への展開ー**
企　　画：一般社団法人日本機械学会機素潤滑設計部門
開 催 日：2018年11月26日(月)
会　　場：名古屋大学　ベンチャービジネスラボラトリーベンチャーホール（愛知県名古屋市千種区不老町B2-4）

**エコデザイン・プロダクツ＆サービスシンポジウム（EcoDePS）2018**
主　　催：エコデザイン学会連合
開 催 日：2018年12月5日(水)
会　　場：早稲田大学西早稲田キャンパス63号館（東京都新宿区大久保3-4-1）
U R L：http://ecodenet.com/EcoDePS2018/

**第19回 計測自動制御学会システムインテクレーション部門講演会（SI2018）**
主　　催：公益社団法人　計測自動制御学会システムインテグレーション部門
開 催 日：2018年12月13日(木)～15日(土)
会　　場：大阪工業大学梅田キャンパス（大阪府大阪市北区茶屋町1-45）
U R L：http://www.sice-si.org/conf/si2018/

**Grinding Technology Japan 2019**
主　　催：日本工業出版㈱，フジサンケイビジネスアイ
開 催 日：2019年3月18日(月)～20日(水)
会　　場：幕張メッセ　展示2ホール（千葉市美浜区中瀬2-1）
U R L：http://grind-tech.jp/

会　告

# （一社）日本フルードパワーシステム学会 賛助会員一覧表

アイシン・エィ・ダブリュ㈱
㈱明石合銅
㈱曙ブレーキ中央技術研究所
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㈱
㈱IHI
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
㈱荏原製作所
㈱大阪ジャッキ製作所
大瀧ジャッキ㈱
鹿島通商㈱
KYB㈱
KYBエンジニアリングアンドサービス㈱
KYB-YS㈱
㈱桂精機製作所
神威産業㈱
川崎重工業㈱
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㈱
旭東ダイカスト㈱
協和シール工業㈱
極東開発工業㈱
㈱クボタ
㈱クレアクト・インターナショナル
クロダニューマティクス㈱
㈱ケンチク舎成増
㈱古河製作所
㈱工苑
甲南電機㈱
㈱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㈱
三和テッキ㈱
三輪精機㈱
CKD㈱
㈱島津製作所
㈱ジェイテクト奈良
㈱ジェイテクト刈谷
勝美印刷㈱
JXTGエネルギー㈱
ジヤトコ㈱
新日鐵住金㈱ 交通産機品カンパニー
住友建機㈱
住友重機械工業㈱
住友精密工業㈱
制御機材㈱
千住金属工業㈱
第一電気㈱
㈱TAIYO
タイヨーインタナショナル㈱
㈱タカコ
㈱タダノ
ダイキン･ザウアーダンフォス㈱
ダイキン工業㈱
ダイワ㈱
大生工業㈱
調和工業㈱
㈱都筑製作所
TMCシステム㈱
㈱ティーエヌケー
東京計器パワーシステム㈱
東京メータ㈱
TOHTO㈱
東北特殊鋼㈱
東明工業㈱
同和発條㈱
東京計器㈱
特許機器㈱
特許庁
豊興工業㈱
㈱豊田自動織機
長津工業㈱
中西商事㈱
長野計器㈱
中村工機㈱
ナブテスコ㈱
ニッタ㈱
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
㈱日立建機カミーノ
㈱日立製作所
日立住友重機械建機クレーン㈱
廣瀬バルブ工業㈱
フジサンケイビジネスアイ
フエスト㈱
㈱フクダ
㈱不二越
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㈱
油研工業㈱
理研精機㈱
リバーフィールド㈱
㈱レンタルのニッケン
ワールドインシュアランスブローカーズ㈱

編 集 室

## 次号予告

## ――特集「フルードパワーとサーボ技術」――

〔巻頭言〕「フルードパワーとサーボ技術」発行にあたって　五嶋　裕之
〔総論〕サーボ弁・歴史と技術　田村　博久
〔解説〕半導体製造を支える空気圧サーボ技術　涌井　伸二
水圧サーボ弁の新技術　鈴木　健児
マイクロ流体制御バルブ　吉田　和弘
デュアル・ハルバッハ・マグネット・アレーによる強磁界直動型サーボ弁　中川晋一朗
油空圧サーボ・比例弁駆動ドライバの技術　岩崎　章
小型スマート油圧アクチュエータ　西畑　教英
〔会議報告〕ROBOMECH2018におけるフルードパワー技術研究の動向　田中　豊
〔トピックス〕オーストラリア（ブリスベン）駐在日記―空気圧機器メーカーに勤め始めて―　齋藤真二郎
学生さんへ，先輩が語る　下川　一幸
Youは日本をどう思う？第６回ベトナムから日本に留学して　HA HUU HUNG
〔研究室紹介〕慶應義塾大学　竹村研究室紹介　當麻　美友
〔企画行事〕平成30年春季フルードパワーシステム講演会　桜井　康雄

## 平成30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　伊藤雅則（東京海洋大学）
上野朝嗣（CKD㈱）
内堀晃彦（宇部工業高等専門学校）
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）
上妻文英（KYB㈱）
五嶋裕之（㈱工苑）
佐藤恭一（横浜国立大学）
妹尾　満（SMC㈱）
中野政身（東北大学）
委員　中山　晃（日立建機㈱）
藤田壽憲（東京電機大学）
丸田和弘（㈱コマツ）
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㈱）
学会事務局　成田　晋
藤谷秀次
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.49 No.5

昭和47年10月19日第４種学術刊行物認可
平成30年９月15日発行　　（奇数月）

〒105―0011 東京都港区芝公園三丁目五―二二　電話（〇三）三四三二―八四四一　FAX（〇三）三四三二―八四四二
編集兼発行人　一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会　振替口座　東京〇〇一一〇―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