昭和47年10月19日第4種学術刊行物許可　平成25年1月15日発行（奇数月）

ISSN 1346−7719　フルードパワーシステム
ISSN 1880−3121　日本フルードパワーシステム学会論文集

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

Jan.2013 Vol.44 No.1

日本フルードパワーシステム学会論文集
TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

特集「ものづくり教育（大学編）」

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44巻　第１号　2013年１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

【挨拶】

年頭にあたり　香川　利春　4
年頭にあたって　築地　徹浩，肥田　一雄，北畠　多門　5

特集「ものづくり教育（大学編）」

【巻頭言】

特集　「ものづくり教育（大学編）」発行にあたって　吉田　和弘　7

【解説】

ものづくり教育に活かすコミュニケーションスキル
—エンジニアリング・ファシリテーション　大石加奈子　8
エンジニアリングデザイン教育 —ものづくり工学実習—　加藤　友規，溝田　武人　11
JABEEとエンジニアリング教育　岸本喜久雄　14
カーネギーメロン大学におけるものづくり教育　塚越　秀行　18
国際デザインコンテスト（IDCロボコン）2012　山北　昌毅　21
PBLを志向した設計製図教育「EV-Mileage」　佐藤　恭一　25
東北大学機械系大学院教育改革プログラム「機械工学フロンティア創成」　吉田　和哉　28
岐阜大学金型創成技術研究センターにおけるものづくり教育　王　志剛　31

【FPIC会議報告】

2012年度日本機械学会年次大会におけるフルードパワー研究の動向　田中　豊　34

【教室】

おもしろ油圧機構　第10回　メカトロ油圧機器　大橋　彰　37
おもしろ空気圧「イオナイザ」　小辻　一雄　40
入門講座「流体力学」第３回：噴水はどこまで上がる？　高橋　勉　43

【トピックス】

油空圧に関するISO活動の現状　千葉　誠　48

韓国駐在員日記　三宮　俊之　51

【研究室紹介】

東京工業大学横田・吉田研究室　横田　眞一，吉田　和弘　54

【企画行事】

ステルソン教授の特別講演会　田中　豊　58

【会告】

学会誌「フルードパワーシステム」フォーマット変更のお知らせ　24

平成25年春季講演会併設セミナー「自動車技術とフルードパワー」　57

平成25年春季フルードパワーシステム講演会併設企画
「製品・技術紹介セッション」の講演募集案内　60

平成24年度　ウインターセミナーのお知らせ
「アクアドライブシステム（新水圧駆動技術）の現状と将来」　62

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25年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ　64

共催・協賛行事のお知らせ　67

その他　61,63,65,66,68

■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. 44, No. 1 January 2013

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

【Greeting Message】
A Letter of Greetings as an Inaugural Address from the President — Toshiharu KAGAWA — 4
A Letter of Greetings as an Inaugural Address from the Vice Presidents — Tetsuhiro TSUKIJI, Kazuo HIDA, Tamon KITABATAKE — 5

Special Issue "Design and Manufacturing Education in Universities"

【Preface】
On the Special Issue "Design and Manufacturing Education in Universities" — Kazuhiro YOSHIDA — 7

【Review】
Communication Skills to Activate the Manufacturing Education —Engineering Facilitation — Kanako OISHI — 8
Engineering Design Education —Seminar for Creative Engineering— — Tomonori KATO, Taketo MIZOTA — 11
JABEE and Engineering Education — Kikuo KISHIMOTO — 14
Education of Design and Development in Carnegie Mellon University — Hideyuki TSUKAGOSHI — 18
IDC(International Design Contest) Robocon 2012 in Tokyo — Masaki YAMAKITA — 21
"EV-Mileage" : Design Education with PBL — Yasukazu SATO — 25
Project-Based Learning Program of Frontier Technology in Graduate Education of Mechanical Engineering — Kazuya YOSHIDA — 28
Manufacturing Education System in G-CADET — Wang ZHIGANG — 31

【FPIC Report】
Research Trend of Fluid Power in JSME Annual Conference 2012 — Yutaka TANAKA — 34

【Lecture】
The Interesting Mechanism of Hydraulic Components No.10 Mechatronic-Hydraulic Component — Akira OHASHI — 37
Interesting Pneumatic Technology – IONIZER — Kazuo KOTSUJI — 40
An Introductory Course of Fluids Mechanics : The Third: *Where does the fountain go up to?* — Tsutomu TAKAHASHI — 43

【Topics】
Report on Status of ISO/TC131 "Fluid Power Systems" — Makoto CHIBA — 48
Korea Representative Diary — Toshiyuki SANNOMIYA — 51

【Laboratory Tour】
Yokota-Yoshida Laboratory, Tokyo Institute of Technology — Shinichi YOKOTA, Kazuhiro YOSHIDA — 54

【JFPS Activities】
Special Lecture on Efficient Transportation with Fluid Power by Prof. Stelson — Yutaka TANAKA — 58

【JFPS News】
24,57,60,61,62,63,64,65,66,67,68

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

挨拶

年頭にあたり

著者紹介

香川利春（かがわ としはる）
東京工業大学精密工学研究所
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259 R2-45

1974年東京工業大学制御工学科卒業．精密工学研究所およびメカノマイクロ工学専攻教授として自動制御・流体計測制御・生体計測の研究に従事．（一社）日本フルードパワーシステム学会，計測自動制御学会，㈳日本機械学会フェロー

東日本大震災を経験し２年目の新年をむかえる．この２年弱の短い期間においてもさまざまな社会の変化が起こり，東アジアの不安定な動きもあり，少なからず日本フルードパワーシステム学会関係者にも影響を及ぼしている．日本フルードパワーシステム学会関係のそれぞれの分野について概観を行う．

油圧分野ではヨーロッパを始めとする景気の減退の影響で中国での需要の陰りが顕著であるものの省エネ，環境騒音振動対策がフルードパワーシステムに求められている．油圧建設機械のハイブリッド化も一部行われだしている．日本国内では建築，建設のパイは限られているが，震災需要が発生し，これからも建設機械分野にしばらくは需要が継続すると考えられる．日本フルードパワーシステム学会として油圧分野の研究者の減少，高齢化が問題となっている．企業サイドにおいても基本技術の習得が若手技術者にできていないとの声を良く耳にする．確かに油圧技術に限らず機械産業が成熟化している事によっていると考える．時計，車やバイクの産業製品もその例に漏れず，現在のユーザはその発展，進化の経緯を知らずに恩恵のみ便利に利用している．

空気圧分野ではアクチュエータとしての一般機械産業への応用，半導体分野での利用，血圧計測機器やマッサージ機などの生体関連分野での利用があるが，空気圧の特徴として作動流体が空気であるため，原則では戻り配管が不要であることに起因する簡便性が挙げられる．しかしながら，ここ10年以上の省エネ化でかなりの改善が行われた．一方，フルードパワーシステムとしての空気圧の効率が定義されていないため，ユーザサイドにおいても議論が混乱している．エクセルギーをベースにしたエアパワーの計測が行われだし，日本フルードパワー工業会規格となっている．今後ISO規格にも提案される．一部のユーザにおいて空気圧の代わりに電動化すれば省エネとなり，優れたシステムが実現できると考えた技術者が存在したようで，それらの後日の話は聞いていない．やはりフルードパワーシステムを上手に使用するのが良いと断言できる．ただしフルードパワーシステムに対する認識，教育がなされない場合には比較検討する土壌にも上がれないことになってしまう．

水圧分野では流体制御要素関連の数社が開発を継続しているが，コストなどの問題によってなかなか浸透速度が遅いようである．前述の空気圧分野と同じで，水圧によってしかできない若しくは他の方法では困難な分野での応用が期待される．

つぎに日本のフルードパワーシステム研究体制の危機を考察する．この10年間でフルードパワーを研究する大学関係研究室が減少している．特に油圧関係では油圧ユニットを運転している研究室が激減している．日本の研究室体制では研究室そのものが小規模で，また油圧プロパーの研究テーマでは科学研究費の獲得がままならない現実がある．欧米の研究室では，まず米国でのKIM教授を中心とするCCEFP研究グループ，ドイツのアーヘン工科大学およびドレスデンのフルードパワー研究所やスエーデンのリンシェーピン大学，フィンランド共和国タンペレ大学の研究所でのフルードパワーに関する研究などはそれぞれ特徴を持ち地道な活動を継続している．日本では研究室の規模の問題だけでなく，目先の変わった研究でなければ予算がつかないだけでなく，学生も集めることも困難となり，フルードパワー研究は受難の時代といえる．

日本フルードパワーシステム学会としては，フルードパワー技術を有効に利用する機会を多くし，社会に広める責務があると考える．

（原稿受付：2012年10月９日）

挨拶

年頭にあたって

著者紹介

築地徹浩（つきじ てつひろ）
上智大学理工学部
〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町７－１
E-mail：t-tukiji@sophia.ac.jp

上智大学理工学部教授．大学院理工学研究科理工学専攻専攻主任，流体工学，油空圧工学，機能性流体の研究に従事．（一社）日本フルードパワーシステム学会副会長，日本機械学会，可視化情報学会，アメリカ機械学会などの会員．工学博士．

肥田一雄（ひだ かずお）
川崎重工業株式会社　精密機械カンパニー
〒651-2239 神戸市西区枦谷町松本234番地
E-mail：hida_k@khi.co.jp

川崎重工業株式会社，執行役員．精密機械カンパニー 技術本部長，（一社）日本フルードパワーシステム学会副会長，日本機械学会会員．

北畠多門（きたばたけ たもん）
SMC株式会社
〒101-0021 東京都千代田区外神田４－14－１
秋葉原UDX15F
E-mail：tamon-kita@smcjpn.co.jp

1998年SMC株式会社入社，取締役海外事業部長を経て，取締役社長室長．日本フルードパワーシステム学会副会長，（一社）日本フルードパワー工業会副会長

1. はじめに

新年あけましておめでとうございます．年頭にあたり，本年は平成24，25年度副会長を仰せつかりました私たちの連名でご挨拶を申し上げます．

日本フルードパワーシステム学会は，昨年４月から新公益法人法に基づき一般社団法人へ移行して，今年，２年目を迎えます．本学会はこれまでも自発的参加者による自主的運営をおこなって参りましたが，一般法人化したことによって，これまでにも増して自主性・独立性が求められています．

本学会にて意義ある活動，成果の上がる活動が継続的に行われ，発展的に存続できる学会となることを目指して，昨年より，新たな取り組みを香川会長の下，始めました．本ご挨拶では，主にそれらの新たな取り組みについての大枠を述べさせていただきます．

2. 新たな取り組み

フルードパワー技術／製品は，自動車，建設機械，産業機械，工作機械，航空機，船舶，車両，さらに，自動車製造ライン，半導体製造装置，医療機器，食品機械などあらゆる産業分野で使われ，無くてはならない要素技術／製品といえます．見えないところで働く技術／機械であり，他の製品／技術と組み合わさって始めて最終製品となります．

重要な要素技術でありながら，それだけでは新規性を見せにくい面もあり，多く使われているにもかかわらずフルードパワー技術そのものへの関心が低くなっていることを懸念しております．

フルードパワー技術や製品は，今後とも，産業にとって，重要な役割を果たすべきものであることは，何ら変わることがないと考えており，本学会の活動力・影響力を上げるべく，以下の取り組みを行っております．

2.1　会長副会長会議の発足

平成24年度から会長副会長の４人で構成される会長副会長会議を発足させています．この会議は委員長会議や理事会の前に定期的に開催され，会議の目的は，学会としての大きな方向付けの案を作成することです．特に，今回の副会長３人のうち２人がそれぞれ油圧と空圧での企業人であります．学会として企業の力が必要であるため，このような構成になっており，企業人としての経験と知恵を本学会に最大限に生かせるように大学教員と活発な議論を本会議で展開しています．この議論の結果，以下に述べます正会員と賛助会員の増強計画，各委員会間の連携強化などの具体的な方策を講じています．

2.2　正会員と賛助会員の増強

本学会は，大学，研究機関などの教員，研究者，技術者と企業の研究者，技術者などの正会員が中心となり積極的に運営し，賛助会員はあくまでも側面からの支援者であるという意識が大切です．

サッカーでいうと，選手が正会員であり，サポーターが賛助会員です．そのチームにいると，互いに切磋琢磨できて個人のレベルが上がる，そう考えて多くの選手が集まってくる．そのチームのゲームが魅力的なのでそれを見るためにサポーターである賛助会員が自分でチケットを買ってスタンドに足を運ぶ．本学会でもそのような関係が必要です．しかし，現実には正会員と賛助会員が近年特に減少しております．このため，会員数の増強に力を入れていくことが喫緊の課題です．本学会に参加することの魅力を上げることが根源的対策と考えております．

昨年は，正会員と賛助会員のこれまでの推移の分析や，会員増強のための諸準備を行いました．今年は，その結果をもとに，正会員は勿論，特に賛助会員数の新たな獲得や回復に力を入れていきたいと考えています．

2.3　各委員会間の連携強化

これまで，それぞれの委員会において事業の計画立案や活動は行われていましたが，各委員会間の連携が弱かったようです．すなわち，ある委員会からの別の委員会への要望等が正確に伝わっていない，あるいは伝わったとしても遅いといった問題があったようです．本来，委員長会議で行うべきですが欠席の場合もあり，正確に敏速に伝わっていたとはいえません．さらに，どこの委員会で取り上げてよいのかわからない活動や事業計画などが提案された場合などの対処が敏速でなかったこともありました．そこで，今回すべての委員会規程を検討・修正しましたが，その中で特に基盤強化委員会の規程を改正して，この委員会へ各委員会から少なくとも一人の委員が入るようにし，各委員会間の要望伝達事項を基盤強化委員会で確実に伝達するようにいたしました．他の委員会への要望事項がある場合には，その議事録を回すことにより委員会間の要望伝達事項を確実にその委員会へ伝えることができます．さらに，この活動はどの委員会で行うかの議論もこの基盤強化委員会で行い，委員会間の活動の調整を行います．そして常に，学会の全体の委員会の活動状況を見渡します．以上のことを確実に実行するために，平成24年度から基盤強化委員会に会長と副会長３名が参加させていただいています．

3．終わりに

先に述べましたように，大学，研究機関などの教員，研究者，技術者と企業の研究者，技術者などの正会員が中心となり，賛助会員に支援をしていただきつつ，本学会を積極的に運営していくことが必要です．このために，学会活動や運営における長期的視点や広い視点が必要です．

企業の研究者，技術者について見ますと，当学会では，フルードパワー製品を製造，販売する側と，それらを使用し，最終製品に使用するユーザ側とが共存する他には無い，有意義な場であり，その場の有利性を生かして，フルードパワー技術の一層の発展を生かしていくことが必要であると考えております．

産学連携の視点を生かしつつ，工業会や産業界との関係も大事にしながら，さらなる新たな戦略的改善や提案を行い，フルードパワー技術の発展を目指し微力ながら最大限の努力していく所存であります．

会員の皆様のご理解･関心とご協力をよろしくお願い申し上げます．

（原稿受付：2012年10月４日）

巻頭言

特集「ものづくり教育（大学編）」発行にあたって

著者紹介

吉田和弘（よしだ かずひろ）
東京工業大学精密工学研究所
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-R2-42
E-mail : yoshida@pi.titech.ac.jp

1989年東京工業大学大学院博士課程修了，同年同大学助手，1996年同大学助教授（現，准教授）．2008年10月～2009年３月米国UCSB客員研究員．流体マイクロマシン，機能性流体の研究に従事．JFPS，JSME，IEEEなどの会員．工学博士．

「ものづくり」は，日本の製造業の根幹を成す重要なキーワードとして再認識され，子供時代にものづくりの経験が乏しくなっている若者に体験的なものづくり教育を施す重要性が指摘されている．そのため，大学などの高等教育機関および企業においては，様々なユニークな試みが行われている．そこで本特集では，「ものづくり教育（大学編）」と題し，高等教育機関における機械系ものづくり教育の試みを紹介することとした．企業の取組みについては，本巻第３号で特集する予定である．

本特集においては，まず，大石加奈子氏（沼津工業高等専門学校）に，ものづくりをチームで実行するために必要なコミュニケーションスキルであるエンジニアリングファシリテーションについて解説していただくとともに，ファシリテーション・トレーニングの実施例をご紹介いただいた．

続いて加藤知規氏，溝田武人氏（福岡工業大学）には，エンジニアリングデザイン教育の実例として，企画，調査，設計，製作，成果発表を管理，運営も含めて学生に経験させ，ファシリテーション，プレゼンテーションなどの能力を育成する福岡工業大学の講義「ものづくり工学実習」をご紹介いただいた．

岸本喜久雄氏（東京工業大学）には，ものづくり教育と関連の深い，大学などの技術者教育プログラムで社会の要求水準を満たしているものを評価，認定する日本技術者教育認定機構（JABEE）について，設立の経緯，評価内容，およびエンジニアリングデザイン教育について解説していただいた．

塚越秀行氏（東京工業大学）には，海外の事例として米国カーネギーメロン大学を取り上げ，同氏の滞在経験に基づき，現実に近い環境で行うロボットカーレース，月面上で探査を行う月探査レースといった大規模レースに参戦する研究グループの活動についてご紹介いただいた．

また山北昌毅氏（東京工業大学）には，2012年８月に東京電機大学で開催された，与えられたテーマのロボットを国籍の異なる学生４～５名から成るグループごとに与えられた材料で製作し，競技を行う国際デザインコンテスト（IDCロボコン）2012について，学生の参戦記も含めてご紹介いただいた．

佐藤恭一氏（横浜国立大学）には，基礎知識をものづくりに結び付ける設計課題の一環として横浜国立大学において実施されている，１人乗り電気自動車の企画，設計，製作，および走行競技会を行うPBL（Problem（Project）-based learning）を志向した「EV-Mileadge」についてご紹介いただいた．

吉田和哉氏（東北大学）には，文部科学省の大学院教育改革支援プログラムに採択された東北大学機械系大学院の教育プログラム「機械工学フロンティア創成」について，修士１年前期に行うものづくりを主体としたプロジェクト研修の具体的な実施内容およびその結果についてご紹介いただいた．

王志剛氏（岐阜大学）には，文部科学省振興調整費により岐阜大学に設置された金型創成技術研究センターにおいて，金型基礎教育プログラムによる基本トレーニングと卒論・修論研究による技術開発能力付与により即戦力を与えることを目的に実施されているものづくり教育についてご紹介いただいた．

以上のように，本特集は，高等教育機関におけるものづくり教育のユニークな取組みを紹介したもので，科学技術立国を標榜する我国にとって重要な情報を提供するものと考えている．なお本特集は，編集委員の塚越秀行氏および吉田とで企画した．ご多忙中のところ貴重な解説記事をご寄稿いただいた執筆者の皆様および本特集号の発行にご尽力いただいた編集委員の方々に厚くお礼申し上げる．

（原稿受付：2012年11月13日）

解説

ものづくり教育に活かすコミュニケーションスキル —エンジニアリング・ファシリテーション

著者紹介

大石（おおいし）　加奈子（かなこ）
沼津工業高等専門学校教養科
〒410-8501 静岡県沼津市大岡3600
E-mail : oishi@numazu-ct.ac.jp,
http://oishikanako.com/

2002年，神戸大学大学院総合人間科学研究科博士課程コミュニケーション科学専攻修了 現在，沼津工業高等専門学校教養科准教授，工学院大学大学院工学研究科非常勤講師，平成23年度日本工学教育協会賞「著作賞」受賞
博士（学術），(財)生涯学習開発財団認定コーチ

1. はじめに

エンジニアリングデザイン教育を通じて，問題解決力や主体性を育成する試みが，高等教育機関において，近年多く見られるようになってきた．実践の方法として，体験型ものづくり実習を，少人数チームで共同して進めることが主流である．デザイン教育が目的とするのは，「どのようにしてモノをつくるか」が中心ではない．チーム全員参加で最大の成果を出す力，話し合いによる効果的な問題解決をする力，一人ひとりが目標に向けて自立的に行動できる力を養うことである．チームでの話し合いが難航してなかなか結論が出ない，全員が主体的に活動に取り組めないなどは，ものづくり体験の機会を多く与えれば改善されることではない．集団の協働によるアイデア創造，問題解決，合意形成，モチベーション向上に役立つコミュニケーション・スキルの修得が必要になる．そのコミュニケーション・スキルを「ファシリテーション」という．

2008年８月に日本工学教育協会の大会で，エンジニアに求められるコミュニケーション能力を修得できる科学理論に基づいた手法「エンジニアリング・ファシリテーション」ついて発表したことをきっかけに，筆者は複数の工学系の国私立大学・高専・学協会・エンジニアや実業家の研究会，大手企業からも特別講義の依頼を受けた．2009年より延べ約40か所以上で，特別講義（講演・ワークショップ）を行った．教職員，学生，企業人がエンジニアリング・ファシリテーションを楽しく意欲的に実践している．2010年に理工系出版社から依頼を受け，これまでの教育内容と『工学教育』誌などに発表した論文[1)-6)]をまとめて書籍化した（図１）．特別講義などで訪問した先では，「学生の様子がいつもと違う」「学生が自分たちで率先して協力し結果を出していくのが不思議だ」「学んだことをその後の演習に自分たちで工夫して活用していく」などの驚嘆の声を受けている．

本稿では，2012年６月に日立製作所総合教育センタ日立工業専門学院で社員学生を対象に特別講義を行い，好評を得たファシリテーション・トレーニングを紹介する．

2. 日立工業専門学院でのファシリテーション・トレーニング

今回のファシリテーション・トレーニングで取り上げたテーマは，「茨城県民を災害から守るための災害対策新製品の開発」である．最初に話し合いやすい環境をつくるためのアイスブレイクを行い，その後５，６人のグループを作り，新製品開発のためのファシリテーション・トレーニングへと進めた（図２）．

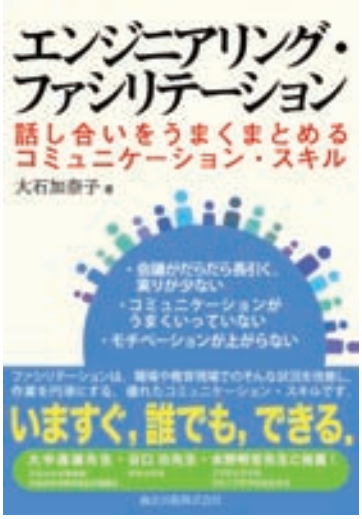


図１　エンジニアリング・ファシリテーション[7)]

図２　日立工業専門学院でのファシリテーション・トレーニング風景

2.1　セットアップ信頼関係の構築

脳科学の理論によると，人が集団の中で主体的に自分の可能性を発揮できるのは，楽しい雰囲気のときである．自由な発言や学習意欲・信頼関係はもちろんのこと，主体性や創造性もそのような場で無理なく育成されていく．そのため人が集まっていきなり製品開発の方法を学び始めたり，開発会議を行うのでなく，まず話しやすい雰囲気にするアイスブレイクを行う．アイスブレイクというのは身体を動かして，ゲームやクイズなど行う明るく柔軟で笑いのある活動である．ウソホントクイズ・Yes-andゲーム・好きな遊び場・ふうせんほめほめゲームなどを行った．

2.2　話し合いの役割とルールづくり

ファシリテーション会議をスタートする前に，チーム内で４つの役割を決める．進行役のファシリテーター，議論を模造紙に描き出すグラフィッカー，時計係のタイムキーパー，そして発表役のプレゼンターである．ファシリテーターは議長や意思決定者ではない．チームメンバーと対等な立場をとり，効果的な質問や傾聴を行うことで，皆からアイデアを引出し，気づきを促し，意見を整理する進行役である．また，「人の意見を否定しない，一人で喋りすぎない」など，話し合いのルール作りもチームで行う．メンバー一人ひとりが役割を持つこと・ルールを決めることで，話し合いの幅が広がり活性化し，限られた時間で大きな効果を得ることができる．

2.3　発明技法を活用したファシリテーション

新商品開発変数（どんな人に使ってもらうかという「対象」や，どんな状況で使うのかという「場面」，どんな「機能」を期待されているか，対象がどんな「心理」を得たいか）についてマトリクスを用いて，各チームで考える．それにより，ニーズに沿った本当に価値ある製品について考えられる．そこから「TRIZ」の発明原理を用いたファシリテーション会議を行い，製品開発を行った．良いアイディアが出ない，アイディアが少なくて何を作ればよいかわからないというようなときにでも，誰もが先入観や固定観念を排除して創造的な発想ができるように技術開発のヒントを多く与えてくれるのがTRIZの発明技法である．今回は，TRIZの８つの発明原理，「分割原理」，「先取り作用」，「逆発想」，「ダイナミックス原理」，「周期的作用」，「災い転じて福となす」，「セルフサービス」，「パラメータの変更」をもとに，具体的な問題からいったん離れて，抽象的な世界で発想をした．出された多くのアイデアを組み合わせるなどでアイデアをより豊かにし，最終的な製品へと近づけていく．さらにペイオフマトリクスや意思決定マトリクスを用いて効果や実現しやすさ比較検討し，最後に最適な製品の選定を行った．

3.　受講者の感想

受講者Ａ：３限目に行ったゲームでは相手を褒め合うということをした．最初はただ楽しんでいただけだったが，終わった後に相手を否定せず肯定すること，褒め合うことは互いに気持がよく，距離が縮まったように感じた．

４限目のグループ活動ではそれぞれ役割分担をして，大石先生の指示通りに話し合いを進めた．その結果，１時間というわずかな時間だったにもかかわらず意見をまとめきることができた．今回講話で教えていただいたことは，製品開発にかかわらず，いろいろな話し合いの場面で使えると感じた．

受講者Ｂ：アイデアの出やすい環境を作るには，メンバーと友愛関係をつくることが望ましいと学んだ．実際に，ゲームや演習を実施し交流を深めてから，新製品開発演習を実施した．自分の意見が障害なくスムーズに出せるようになったと感じた．実際に感じることができ，良い環境をつくることは，とても大切なことだと思った．

また，新製品開発演習では，マトリクス法，発明技法TRIZ，ペイオフ・意思決定マトリクス法とポストイットを使い演習を行った．それぞれの技法と，進め方が新しいもので，私が使いこなせるか不安であったが，演習を進めるうちにそれぞれの良さがわかり無事に演習を終わらすことができた．今回の講義で学んだことは職場で活かすことができるものなので，今回学んだことを十分に理解し職場に活かしたい．

受講者Ｃ：今回の講義は，管理工学科と情報工学科との合同だったので，今までに話したことのない人達とも話す機会が設けられ，自分が好きな“山”

について話したり，相手を褒めたりと，最初は恥ずかしい気持ちがあったが，だんだんと慣れてきた．グループワークでは，“イエス・アンドゲーム”や趣旨である製品開発を行う会議を実施することで，積極的に発言することを目標に取り組んだ．１つの話題から話を広げたり，一方的に話す・聴くだけでなく，相手としっかり会話することを学んだ．これまで話したことがない人に対して自分から話すことが苦手だったのだが，この講義でコミュニケーションスキルを修得することができた．今後の学院生活では，もっと色々な人とコミュニケーションをとることでさらに友達を増やしていきたい．職場復帰後は，今までよりも会議に出席することが増えたり，打ち合わせが増えることが考えられるので，今回得たスキルを発揮できるように日々意識して生活していきたい．

今回の講義は本当に役に立つ内容であり，実践的で面白く学ぶことができた．

4. おわりに

受講された社員学生さん81名14チームが，一つ一つの会議プロセスを忠実に守り，問題解決技法を工夫して活用し，最後までたいへん積極的に楽しそうに取り組んでくださった．また，話しやすい雰囲気を皆で主体的につくり，既成概念にとらわれないアイデアを数多く出されたことに目をみはった．しかも進行時間からの遅れがほとんどなく，各チームが平均８割以上納得できる結論を導き出して終了できた．一連の製品開発手順により，効率よくかつ最善のものを選択できたということである．

各チームの発表や感想文から，受講された皆様が今までにない気づきを得たことや体験を通じて潜在的な力を引き出されたことを感じた．

ものづくりを成功させるためには，人と人との良好なコミュニケーションが基盤になる．技術者同士が互いに尊重できる信頼関係を築くことで，消費者の立場になる感性や新規性も生まれる．エンジニアリング・ファシリテーションの方法により，だれでも，楽しくそれらを育成できる．変動する新しい時代を担う若い人たちが，企業を弱体化から救い，生産性を回復し，人生をよりよく生きられるように，このコミュニケーション・スキルをこれからのものづくりの業務にも有効活用していかれることを望みたい．

参考文献

1）大石加奈子：エンジニアリングデザイン教育を活性化するファシリテーション―話し合いの技術，工学教育，Vol. 56, No. 6, p. 176-180（2008）
2）大石加奈子：エンジニアリングデザインに活かすファシリテーション　合意形成のトレーニング，工学教育，Vol. 57, No. 2, p. 53-56（2009）
3）大石加奈子，エンジニアリングデザイン教育―教員は何を学ぶか，工学教育，Vol. 57, No. 6, p. 70-74（2009）
4）大石加奈子：エンジニアリング・ファシリテーション―主体性を引き出す導入のスキル，工学教育，Vol. 58, No. 2, p. 76-79（1010）
5）大石加奈子：コーチングを活かした面談とその成果，工学教育，Vol. 58, No. 4, p. 16-20（2010）
6）大石加奈子：高専の学生さんに生きる力と幸せな笑顔を 新しいコミュニケーションの技術を紹介，高専フロントランナー　～活躍する女性教員～，日本高専学会誌，Vol. 16, No. 4, p. 32-36（2011）
7）大石加奈子：エンジニアリング・ファシリテーション，森北出版，（2011）

（原稿受付：2012年10月５日）

解説

エンジニアリングデザイン教育 ―ものづくり工学実習―

著者紹介

加藤友規（かとう ともの り）
福岡工業大学工学部知能機械工学科
〒811-0295 福岡市東区和白東３-30-１
E-mail：t-kato@fit.ac.jp

2007年東京工業大学大学院博士課程修了．都立高専助手～助教を経て，2010年福岡工業大学工学部知能機械工学科助教，2012年同准教授となり現在に至る．本学会（企画委員・編集委員），日本機械学会などの会員．博士（工学），技術士（機械部門）．

溝田武人（みぞた たけと）
福岡工業大学工学部知能機械工学科
〒811-0295 福岡市東区和白東３-30-１
E-mail：mizota@fit.ac.jp

1968年熊本大学大学院生産機械工学専攻修了．松下電器産業株式会社，九州大学応用力学研究所助手などを経て，現在，福岡工業大学工学部知能機械工学科教授．日本機械学会，日本風工学会，日本工学教育協会などの会員．工学博士．

1. はじめに

福岡工業大学工学部知能機械工学科（以下，本学科）では，平成18年度より日本技術者教育認定機構（JABEE）の認定を受けた知能機械創成コースを設置している．JABEEにおいて，エンジニアリングデザイン教育はきわめて重要なものと位置付けられている．本学科ではエンジニアリングデザイン教育として，２年生前期の必修科目として「ものづくり工学実習」を開講している．本講義は平成17年度に「創造性セミナ」の名称でスタートし，平成22年度に現在の「ものづくり工学実習」に改名された．本稿では，その授業の取組についてご紹介させていただく．

2. 講義の目的と概要

本講義では，４～８人を１班とするチームによるモノづくりを行う過程で，企画・役割分担・調査・スケジュール管理・運営・設計・製作・成果発表・報告（最終論文提出）などの諸作業を経験し，創造力・独創力を陶冶し，コミュニケーション能力やファシリテーション能力，そしてプレゼンテーション能力を育成することを目的としている．

必修科目であり，受講生は例年100～130名程度である．教育側のスタッフとしては，教員４名と教育補助（TA）の大学院生４名が担当している．その他，学内の工作センターとものづくりセンターの担当職員数名が必要に応じてアドバイスを行っている．

講義は２年生前期の半期15週であり，１週の授業時間は連続２コマ（180分）である（計30回，２単位）．各週の授業は，概ね以下の流れで進行される．

第１週：授業の説明・班分け・役割分担
第２週：各班でのテーマ検討（フィールドワーク）
第３週：追及テーマについて教員・TAと面談
第４週～第10週：ものづくり作業・発表準備
第11週：作品デモ（作品の実演と説明）
第12週：PPTを用いた成果発表会
第13週：表彰式・最終論文提出・等角図提出
第14週：アンケート・提出物返却・会計処理
第15週：成果物の整理・後始末

なお，本講義を受講する学生は，前年度の１年生後期の開講科目「ものづくりのための科学技術表現法」を履修することが前提であり，その講義の一環として沼津工業高等専門学校の大石加奈子先生を本学科にお招きしての「ものづくり工学実習のためのファシリテーション講習会」に参加し，工業製品の改良を題材に，ファシリテーション技法によるグループによる合意形成[1)]を学んでいる（図１）．

3. 講義内容

3.1 第１週（班分けと役割分担）

まず，受講生を４～８名を１班として15～20チームに班分けする．実社会において，必ずしも元々仲の良い者同士がチームになるとは限らないので，班分けには原則，学生の希望は反映させないこととしている．各班員は，班長１名・副班長（書記）１名・会計係１名・発表PPT担当（１～３名）

図１　ものづくり工学実習のためのファシリテーション講習会（大石加奈子先生）

の役割を持つこととなる．なお，ここで班長・副班長とは，あくまで教員・TAとの連絡や班内の作業における各種調整を担当したり，合意形成におけるファシリテーターを担当する役割であり，いわゆるトップダウン型の組織におけるリーダーという意味ではないことを意識するように，受講生に説明している．

3.2　第２週～第３週（テーマ設定と計画立て）

ここで各班は，大学から支給される予算内（平成24年度は１班あたり８千円）で自由に追及テーマを設定することになる．この予算とは別に，作品の制作にあたって必要な材料については，各自の自宅にあるものや学内の廃材から調達することは制限しない．また，一般的な工具類や測定器類は，学内の工作センターやものづくりセンターにて借りることも可能である．受講生は，学内やホームセンターなどをフィールドワークすることで，限られた予算・時間・環境を勘案し，適切なテーマを設定し，無理のない計画を立てることが求められる（ただし，学外への買い物は，授業時間外に行くこととしている）．

また，授業で使用するテキスト（溝田武人，加藤友規ほか：ものづくり工学実習―エンジニアリングデザイン教育―，学内でのみ販売）には，過去のテーマの例など，テーマ設定のためのヒントはいくつか紹介している．しかし，学生の自主性やアイディアを尊重するため，教員側が関与しすぎないことに配慮している．

ある程度追及テーマが固まったら，第３週は各班担当の教員・TAとテーマについて面談することになる（図２）．これは，自分たちの追及テーマと計画について，上司・先輩にきちんと順序立てて説明し，了承していただいた上で制作開始のゴーサインをいただく，という練習である．ここで重要なポイントは，各班により設定された追及テーマが，班内でのファシリテーション技法による合意形成を経た結果であるかどうか，という点である．この段階で毎年よく見られる傾向としては，各班の中で，ものづくり系のサークル活動などを行っている一部の班員が議論の主導権を握り，他の班員は我関せずの態度となってしまう，ということである．そのため，たとえば追及テーマの説明を担当した班員以外が追及テーマの内容を理解してないような場合や，作業計画の中で班員全員の役割分担が不明確な場合には，全員で議論しなおし，合意形成を経たうえで再度説明に来るように指示することとなる．

各班，教員・TAによる幾度の駄目出しと説明のやり直しを経て，少しずつではあるが班内での議論が活性化してくる．また，この説明の段階で，図や表を用いるなどの工夫が見られるようになる．テーマ設定・作業計画について，最終的に教員・TAの了承が得られた班から，いよいよ制作作業へと進む．

図２　第３週：テーマについて教員・TAと面談

3.3　第４週～第10週（ものづくり作業・発表準備）

第４週から第10週までの７週（計14回）の間は，各班の作業計画に基づいて作品を制作したり，追求テーマを検証するための実験などを行うことになる．文献調査のみ，あるいは製図・計算・シミュレーションのみの追求テーマは原則，認めていないので，すべての班が何らかの工作あるいは実験をすることになる．工作の実施については，学内の総合機械工場である工作センターとものづくりセンターを利用可能である（図３）．毎週の授業の最後には，その週の作業報告書を指定の書式で全員が１枚ずつ提出することを義務づけている．

3.4　第11週～第12週（作品デモ・成果発表会）

各班は第10週目の終わりまでに，作品を完成させ，あるいは実験を完了する必要がある．第11週目は，制作した作品や実験結果を披露する，成果デモを行う（図４）．各班ごとに持ち時間（５分程度）の中で，制作した作品を全員（教員・TA・受講生）

図３　制作中の作品（風見鶏風車）

の前で披露し，可能ならばその場で実演してみせる．ただし，水や火などを利用するという理由で教室での実演が不可能な場合には，動画を用いて披露することになる．作品の完成度は班によりかなり差があるが，例えば鳥をモデルにした羽ばたき飛行体が見事に空中を舞った時などには，大きな歓声が上がる．

第12週目は，パワーポイント（PPT）を用いた成果発表会を行う（図５）．ここでは，作品の披露だけではなく，追求テーマを選定した背景や目的，得た結論などについて，説明することが求められる．なお各班の発表については，教員・TAだけでなく，受講生も他の班を採点し，高得点の上位３班については，学科長から表彰状を授与している（図６）．

3.5　第13週（作品デモ・成果発表会）

第13週目には，A4用紙２段組２ページの最終論文と，作品の等角図を全受講生が提出する．この最終論文のフォーマットは，本学会の講演論文集と同じものを使用させていただいている．

最終的な各個人の成績は，制作した成果物，成果発表，毎回の報告書，最終論文の点数を合計して評価することになる．

図４　第11週：成果デモ（作品の実演と説明）

図５　第12週：成果発表会

図６　第13週：表彰式

4. おわりに

本稿では本学科におけるエンジニアリングデザイン教育科目である「ものづくり工学実習」について，その概要をご紹介させていただいた．なお，本学科では平成24年度入学生からは新カリキュラムとなっており，エンジニアリングデザイン教育科目は，学部１年～３年前期までの専門科目で学んだ知識を生かすことや，卒業研究との接続に配慮し，学部３年生後期に「知能機械創成実験」として実施する予定である．本学科は平成23年度に受審したJABEE認定の継続審査に合格し，引き続きJABEE認定コースを維持すると共に，エンジニアリングデザイン教育をより一層推進していく所存である．

参考文献

1）大石加奈子：エンジニアリング・ファシリテーション 話し合いをうまくまとめるコミュニケーション・スキル，森北出版，(2011)

解説

JABEEとエンジニアリング教育

著者紹介

岸本　喜久雄（きしもと　きくお）
東京工業大学
〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 I6-1

1977年東京工業大学助手，1989年同助教授，1995年同教授
日本学術会議会員，日本技術者教育認定機構業務執行理事，日本機械学会フェロー，米国機械学会フェロー，専門は材料力学，計算力学，破壊力学

1．はじめに

エンジニアリング分野では，海外での企業活動は必須なものとなっており，企業は，良い人材を世界に求めるようになってきている．一方で，高等教育の質に対する社会の目が厳しくなっている．大学は，ふさわしい教育を提供しているのか，それによって学生が着実に知識・能力を習得しているのかを，社会に対して適切な方法で示すことが求められている．偏差値の高い大学に行けば質の高い教育が受けられるといった漠然とした期待感があるが，偏差値の高さが入学後の教育の質の高さを必ずしも保証するものではないことは明らかである．近年，高等教育の成果の直接的指標である学習成果，すなわち「教員が何を教えたか」ではなく，「学生が何を学んだか」に注目するトレンドが，世界的に広がっている[1]．さらにグローバル化に伴う学生や教員の国際的な移動によって，大学教育の国際通用性への要請が高まっている．国境を越えて自分に合った大学を選んで勉学することが世界中で容易になりつつあることから，大学には国際競争力を持った教育プログラムを提供することが求められている．

このような教育のグローバル化の流れの中にあって，我が国の大学は，どこへ向かって進めば良いのであろうか．以下では，筆者が関係している技術者教育プログラムの適格認定の現状を述べることで，エンジニアリング教育のグローバル化の議論に資したい．

2．日本技術者教育認定機構

高等教育機関における技術者教育プログラム（Engineering Education Program）の認定審査を目的として，日本技術者教育認定機構（JABEE : Japan Accreditation Board for Engineering Education）が1999年に設立された[2]．JABEEが目標としているのは，「大学など高等教育機関で実施されている技術者教育プログラムが，社会の要求水準を満たしているかどうかを外部機関が公平に評価し，要求水準を満たしている教育プログラムを認定する」ことにある．JABEEはEngineering Education Programに対応するものとして「技術者教育プログラム」と呼称している．工学教育ではなく技術者教育とすることで，育成する人材像の明確化を意図している．JABEEは工学教育とせずに技術者教育としたことに，こだわりを持っている．

JABEEは，教育プログラムの認定を通じて技術者教育の質の向上を実現し，その国際同等性を確保することを狙いとしている．このようなことからJABEEは2001年６月に南アフリカで開催されたワシントン協定総会において加盟申請を行った．その後，準備が順調に進み2005年６月に非英語圏の第１号として加盟が承認された．以後，アジアからの加盟が増加し，当初６団体でスタートしたワシントン協定の加盟団体は，現在，15団体（米国，カナダ，英国，オーストラリア，アイルランド，ニュージーランド，香港，南アフリカ，日本，シンガポール，韓国，台湾，マレーシア，トルコ，ロシア）に達している．さらに，暫定加盟の４団体（ドイツ，インド，スリランカ，パキスタン，バングラディッシュ）に加えて，中国が急速に加盟に向けて準備を整えつつあり，また，タイ，フィリピン，インドネシアなどの国々も認定団体の設立や加盟に向けた準備を進めつつある．アングロ・アメリカン諸国から始まったワシントン協定は，非英語圏を含む世界の技術者教育認定団体の相互協定へと拡大している．

JABEEは2011年までに171教育機関の450プログラムを認定し，修了生の累計は約17万人に達して

いる．認定プログラム数の内訳は，国立大学48％，公立大学５％，私立大学30％，高専（専攻科）18％，大学校１校となっており，分野ごとの認定プログラム数の累計は，機械（74），土木（64），工学〔融合複合，新領域〕（54），電気・電子・情報通信（54），化学（50）などとなっている[3]．

３．技術者に求められる能力とその国際的同等性

JABEEは「技術者」を技術業に携わる専門職業人と定義し，「技術者」には，技術業に従事する研究者も含まれているとし，技術業を，「数理科学，自然科学および人工科学等の知識を駆使し，社会や環境に対する影響を予見しながら資源と自然力を経済的に活用し，人類の利益と安全に貢献するハードウェア・ソフトウェアの人工物やシステムを設計・製造・運用・維持並びにこれらに関する研究を行う専門職業である．ここで，専門職業とは，社会が必要としている特定の業務に関して，高度な知識と実務経験に基づいて専門的なサービスを提供するとともに，独自の倫理規程に基づいた自律機能を備えている職業であり，単なる職業とは区別される．」と規定している．

国際的な観点からは，技術者教育プログラムの認定と専門職資格認定の同等性に関するさまざまな協定を包括的に取り扱っている枠組みとしてIEA（International Engineering Alliance）があり，我が国からはJABEEと技術士会が参加している．IEAは，JABEEが加盟するワシントン協定を含むエンジニアリング教育認定に関する３協定（ワシントン協定，シドニー協定，ダブリン協定），専門職資格認定についての３枠組によって構成され，高等教育機関における教育の質保証・国際的同等性の確保と，専門職資格の質の確保・国際流動化は同一線上のテーマであるという観点のもとに運営されている[4]．国際的にみると，技術者はエンジニア（ワシントン協定），テクノロジスト（シドニー協定），テクニシャン（ダブリン協定）の３階層に大別され，エンジニアの資格を取得するには，エンジニア育成の認定された技術者教育プログラムを修了していることが条件となっている．そのため，我が国への留学生の受入や技術者の国際的流動性の観点からもJABEEの認定は不可欠なものとなっているといえる[5]．

IEAが2009年に策定したGraduate Attributes（卒業生としての知識・能力，http://www.ieagreements.org）[6] によると，エンジニアの養成は大学での４～５年の専門教育を必要とし，複合的なエンジニアリング問題を解決する能力を身に付けることが求められている．これに対して，テクノロジストは大まかに示された問題を，テクニシャンは明確に示された問題を解決する能力を求めており，教育年限はエンジニアの養成よりも短縮されている．ワシントン協定の各加盟団体は，2019 年までにこのGA を模範にして認定基準の改定を行うことが義務付けられ，Outcomes Based Learning（学生が何を学んだか）の審査という明確な方向が示されており，「複合的なエンジニアリング問題を解決する能力」の達成水準の設定，エンジニア教育のより一層の改善が求められている．

欧州圏では，欧州技術者教育認定ネットワーク（ENAEE）が2006年に発足し，適格認定の基準を共有するドイツ，フランス，アイルランド，トルコ，ロシア，ポルトガル，イギリスの７つの技術者教育認定機関の認定を受けた大学に対して，EUR-ACE適格認定印を付与するシステムが設けられた．ワシントン協定とEUR-ACE制度における基準の整合性は高い[7]．このことは技術者教育における学習成果に関する共通理解が，アングロ・サクソン圏，アジア圏，欧州圏の間でなされていることを意味している．

４．JABEEが求める学習・教育到達目標

JABEEは，2012年度に基準の抜本的な改定を行った．旧基準では，ワシントン協定対応プログラム，ソウル協定対応プログラム（情報系），修士課程の３種類の認定種別ごとに個別に基準を定めていたのを，整理し１本化するとともに，認定基準を⑴技術者教育認定に関わる基本的枠組，⑵共通基準，⑶個別基準の３種類の文書に整理された．表１と表２に新旧の基準の構成を示す．新基準ではPDCA（Plan-Do-Check-Act）サイクルについて，「Do」を基準２に集約させることで基準項目の対応関係がより明確化されていることと，「学習・教育目標」の名称を「学習・教育到達目標」に変更して，「学生に到達させるべきもの」であることを示し，アウトカムズ重視の姿勢がより明確化されている点に特徴がある．

さらに，学習・教育到達目標の内容を，国際的同等性を強化する観点から，IEAが策定したGraduate Attributes を参考に点検し，学習・教育到達目標として，表３に示す（a）～（i）を含めることを求めている．旧基準から，（i）の「チームで仕事をするための能力」が新たに独立した項目として付け加えられた．また，「学生を将来どのような技術者にするのか，そのために修了時に何をどの程度身につけさせようとしているのか」を明確化することが求められており，プログラム側には，しっかりした教育課程の設計が求められている．

表1　JABEE認定基準（ワシントン協定対応プログラム用旧基準）

基準1：学習・教育目標の設定と公開（Plan）
基準2：学習・教育の量（Do）
基準3：教育手段（Do）
教育方法、教員組織
入学、学生受け入れ及び移籍の方法
基準4：教育環境・学生支援（Do）
施設、設備
財源、学生への支援体制
基準5：学習・教育目標の達成（Check）
基準6：教育改善（Act）
教育点検、継続的改善
分野別要件

表2　JABEE認定基準（共通基準，2012年版）

基準1：学習・教育到達目標の設定と公開（Plan）
基準2：教育手段（Do）
教育課程の設計、学習・教育の実施
教育組織、入学、学生受け入れ及び異動の方法
教育環境・学生支援
基準3：学習・教育到達目標の達成（Check）
基準4：教育改善（Act）
教育点検、継続的改善

表3　学習・教育到達目標にて具体化を求める項目（共通基準，2012年版）

(a)	地球的視点から多面的に物事を考える能力とその素養
(b)	技術が社会や自然に及ぼす影響や効果、及び技術者が社会に対して負っている責任に関する理解
(c)	数学及び自然科学に関する知識とそれらを応用する能力
(d)	当該分野において必要とされる専門的知識とそれらを応用する能力
(e)	種々の科学、技術及び情報を活用して社会の要求を解決するためのデザイン能力
(f)	論理的な記述力、口頭発表力、討議等のコミュニケーション能力
(g)	自主的、継続的に学習する能力
(h)	与えられた制約の下で計画的に仕事を進め、まとめる能力
(i)	チームで仕事をするための能力

5．エンジニアリング・デザイン教育

「複合的なエンジニアリング問題について，公衆の衛生と安全，文化，社会および環境に適切に配慮しつつ，定められた要件を満たす解決策をデザインし，かつ，システム，構成要素又は工程をデザインする」[6] 能力を身に付けさせるエンジニアリング・デザイン教育は，エンジニアリング教育の根幹を成すものといえる．JABEEが2005年にワシントン協定に加盟した際，ワシントン協定加盟団体による審査チームから「日本の技術者教育におけるエンジニアリング・デザイン教育の弱点」が指摘された[8]．これを受けて，JABEE および関連学協会では，国際シンポジウムやワークショップなどを開催した．そのなかで，エンジニアリング・デザイン能力について，「実際のデザインにおいては，構想力／課題設定力／種々の学問，技術の総合応用能力／創造力／公衆の健康・安全，文化，経済，環境，倫理等の観点から問題点を認識する能力，およびこれらの問題点等から生じる制約条件下で解を見出す能力／構想したものを図，文章，式，プログラムなどで表現する能力／コミュニケーション能力／チームワーク力／継続的に計画し実施する能力などを総合的に発揮することが要求され，そのようなデザインの能力は内容・程度の範囲が広く，デザイン教育は技術者教育を特徴づけるもっとも重要な要素であり，対象とする課題はハードウエアでもソフトウエア（システムを含む）でも構わない．」との意見集約を行った．さらに，エンジニアリング・デザイン教育への対応の基本方針として，以下の観点を提示している．

1．デザイン能力に関して具体的な達成目標を設定しているか．
2．学生がデザインあるいは問題解決策についての学習体験をしているか．
3．学生に以下のような能力を育成できる内容を含む複合的な課題を提示しているか．
　(1)　複数のアイデアを提案できる．
　(2)　大学で学ぶ複数の知識を応用できる．
　(3)　コミュニケーション力ならびにチームワーク力．
　(4)　創造性（既存の原理や知識を組み合わせて，新規の概念または物を創り出せる）．
　(5)　コスト等の制約条件や評価尺度について考察できる．
　(6)　自然や社会への影響（公衆の健康・安全，文化，経済，環境，倫理等）について考察できる．

これらを満足するには教育プログラムの立案においてさまざまな工夫が求められ，教育プログラムそのものも答えは一つではないといえる．

6．む　す　び

高等教育の学習成果への世界的関心が高まるなかで，OECD（経済協力開発機構）による高等教育における学習成果アセスメントAHELO（OECD Feasibility Study for the International Assessment of Higher Education Learning Outcomes）が発案された[9]．大学生がいかなる知識・技能・態度を習得したのかを，世界共通のテストで測定しようとする

取り組みであり，その実施可能性（フィージビリティ）をさぐる試行的な調査が行われた[10]．AHELOフィージビリティ・スタディは，「一般的技能」，「専門分野別技能（工学・経済学）」，「背景情報」から構成されている．そのうち「工学」には，日本をはじめとしてアブダビ，オーストラリア，カナダ，コロンビア，エジプト，メキシコ，スロバキアなどが参加した．我が国においては，東京工業大学を中心とする国私立12大学と国立教育政策研究所の研究者・スタッフから構成される調査研究チームで，学習成果アセスメントのあり方についての検討が先導的大学改革推進委託事業として2009年２月より実施された．この先導的大学改革推進委託事業では，欧州，米国，豪州，中国への訪問調査も行われた．その調査から，各国ともにエンジニアリング教育の質の向上に関して多くの努力が払われていることが明らかにされた．それは研究重点大学でも例外ではなかった．訪問調査を行った米国マサチューセッツ工科大学，カリフォルニア工科大学，カリフォルニア大学バークレー校の関係者から異口同音に，「我々にとって教育プログラムの適格認定は教育の質の改善にとって不可欠であり，我々はABET（Accreditation Board for Engineering and Technology）の認定の望ましい運用を推進する優れた見本となる社会的責務がある．」との見解が述べられた．世界をリードする大学こそ良い学生を集め質の高い教育を行うことが使命であると自負していることに感銘を受けた．

我が国の工学教育の礎は，工学寮の開設に寄与したヘンリー・ダイアー（Henry Dyer，1848-1918）によって築かれたとされているが，彼は理論の習得と実習・演習のバランスを重視した教育を実践した[11]．当時の実習重視型の英国や理論重視型のドイツやフランスに例を見ない教育が世界に先駆けて行われていたことは，我が国はエンジニアリング教育において，すばらしい伝統を有しているといえる．このような良き伝統を継承し，さらなる高い水準の教育プログラムを設計し，実践していくことが，今日のエンジニアリング教育を担う関係者に課せられた責務といえよう．

参考文献

1）例えば，岸本喜久雄，深堀聡子，学部教育の現状と今後，機械の研究，61巻，１号，p.117, 2010.
2）日本技術者教育認定機構（JABEE）ホームページ，http://www.jabee.org/
3）2011 年度認定審査サマリーレポート，http://www.jabee.org/OpenHomePage/accreditation_o-2012_s.htm
4）木村孟，技術者教育の質保証に向けたJABEEの取り組みとその意義，情報処理，53巻，７号，p.661，2012.
5）長島昭，大学の国際化と技術者教育認定，大学時報，No.332，p.31，2010
6）文部科学省 平成22，23年度先導的大学改革推進委託事業「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究報告書」http://hneng.ta.chiba-u.jp:8080/，2012.
7）例えば，深堀聡子，学習成果の評価―工学分野の取り組みを例に考える―，比治山高等教育研究，第４号，p.892，2011.
8）日本技術者教育認定機構，JABEEにおけるエンジニアリング・デザイン教育への対応 基本方針，http://www.jabee.org/OpenHomePage/accreditation_o-2012_k.htm#ede，2010.
9）OECD, Testing student and university performance globally: OECD's AHELO，http://www.oecd.org/education/highereducationandadultlearning/testingstudentanduniversityperformancegloballyoecdsahelo.htm
10）岸本喜久雄，工学系教育の国際化，IDE-現代の高等教育，Vol.540，2012.
11）Nature, “Engineering Education in Japan,” No. 394, Vol. 16, 1877.

（原稿受付：2012年10月９日）

解説

カーネギーメロン大学におけるものづくり教育

著者紹介

塚越秀行（つかごしひでゆき）
東京工業大学　大学院理工学研究科
〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1
E-mail : htsuka@cm.ctrl.titech.ac.jp

1998年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了．同大学助手を経て，2005年同大学大学院准教授，現在に至る．ロボット工学，流体アクチュエータ，レスキューロボットなどの研究に従事．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

所属大学のサバティカル制度により，H23年８月～H24年１月までの５カ月間，筆者は米国ペンシルバニア州ピッツバーグに位置するカーネギーメロン大学（CMU）に滞在する機会をいただいた（図１）．海外で生活する機会は初めてであったが，数日間の短期旅行だけでは味わい難い貴重な体験を研究面・生活面双方においてさせていただいた．紙面の都合もあるため，体験記については略記し，本稿では主に同大学の（プロジェクトと称すべき？）ものづくり教育について筆者が個人的に興味を抱いた内容を紹介させていただく．

2. CMUの紹介

鉄鋼王アンドリュー・カーネギ―により1900年に技術学校として設立された同大学は，工科系と芸術系の研究教育を柱に，全米でも高く評価される大学の１つに成長したようである．中でも計算機科学は全米１位の評価を得ているほか，新進気鋭のロボット工学研究者を集めて設立されたRobotics Institute（以下，RIと略す）は，オバマ大統領も視察に訪れた経緯もあるとされる全米きってのロボット研究拠点として，活発な研究活動を展開している．

筆者は，そのなかの１つに所属するNano Robotics のラボに滞在し，バクテリアの推進機構やヤモリの足の吸着機構などを研究するチームに参加した．また，上記RIでは，大学の内外を問わず著名な研究者を招待して，ロボット研究の最新成果に関するセミナーが週１回のペースで毎週開催され，世界の動向を知るうえでも貴重な機会に接することができた．さらに，折に触れてRI内のさまざまな研究室にも潜入させていただき（図２），研究室の雰囲気や教授陣の人柄を肌で感じることもできた．

図１　CMUのキャンパス

図２　Howie Choset らのグループが開発した管内を移動するヘビ型ロボット

いくつか足を運んだ研究室のうち，とりわけ興味を惹くグループがあった．米国政府の国策に絡む大規模コンペティションに大学チームとして参戦し，学生と協力企業との双方をまとめあげながら数々のプロジェクトを成功に導いてきた研究室である．本稿では，当該グループの関与した２つの事例を紹介することとする．

3. ロボットカーレース

2007年11月カリフォルニアの空軍基地跡において，米国国防総省高等研究計画局（DARPA）の主催によるロボットカーレース（Urban Challenge）が開催された．一般道路で使用される乗用車に多数のセンサーやパソコンを搭載したロボットカーが，自律制御されながら無人運転によりゴールまでのタイムを競うというレースであった．市街地を想定して用意された約100㎞の距離を６時間以内に走行し，そのうえカリフォルニア州の交通ルールに遵守した運転が義務づけられていた．さらに，白線・ストップサイン・信号の自動認識，他車との車間距離や交差点での優先順位の判断に加え，事前のマップ情報に掲載されていない道路封鎖に直面した場合の迂回など，無人運転としてはいずれも高度なミッションが要求された．

そもそも，このようなレースをDARPAが開催する背景には，戦場の「退屈で，汚く，危険な」任務を機械で行うことにより，兵士を守り，貴重な人的資源の有効活用が図れる，という国防省の考え方が根底に存在するためとされる．具体的には，「2015年までに，地上戦闘車両の３分の１を無人化できるように，無人で遠隔操作できる技術を開発すべき．」という議会命令を達成するために，このレースが開催された．

レースには世界中から80を超えるチームが参加を表明し，さまざまなレギュレーションをクリアした11チームだけが最終レースに参戦した．そして，このレースで優勝を決めたのがCMUのチームであった．ロボットカーの平均速度は毎時14マイル（22.5㎞）で，２位のスタンフォード大学のチームに20分近くの差をつけて最短時間で完走し，賞金200万ドルを勝ちとった．CMUのロボットカーには，GPS・レーダー・2Dスキャナー・カメラなどが搭載され，これらの取得データをパソコン10台で処理することにより，安定な無人運転を達成した．

このCMUのチームをまとめたのが，RIのField Robotics Centerでディレクターを務めるProf. William Red Whittakerである（図３）．Whittakerは，1979年に起きたスリーマイル島原子力発電所事故において，放射能漏れを起こした原発内に世界で初めて探査ロボットを進入させ，遠隔操作による情報収集を行った人物である．筆者らの訪問の際に，その当時導入したロボットについて興奮気味に説明していただいたが，原発内のロボットから送られた情報を説明する場面では，筆者らの写真撮影やメモを一切禁じて，声を潜めながら紹介されていたのが印象的であった．原発探査以外にも，活火山の火口を登るロボット[1]（図４）や南極の氷原に落ちた隕石を探すロボットなど，フィールドロボットにおける数々の新領域を開拓してきた．

図３　原発事故現場に導入されたロボットを筆者らに説明するProf. Whittaker

図４　アラスカの活火山の火口に入るCMUで開発された歩行ロボット：Dante II [1]

図５　CMUのロボットカー：Boss[2]

これらの手腕がカーレースでも遺憾なく発揮され，GMやタイヤメーカーなどと提携しながら，博士課程を主体とする参加学生に画像処理・自立走行ソフトなど各々異なるミッションを担わせ，最終的にレースの優勝杯を勝ち獲った（図５）．Whittakerに

レースの勝因を訊ねると，「参加者全員に，プロジェクトの方向づけを簡単明瞭な言葉で示した．我々はロボットの移動スピードを意識し，すべての設計をそれに向けて最適化させた．」と語っていた．

4. 月探査レース

Whittakerらの探査レースへの挑戦は，筆者らの訪問時にもなお続いていた．Google Lunar X Prize（GLXP）と称されるGoogleがスポンサーとなった民間による月面無人探査を競うコンテストへの参戦である[3]．2015年末日までに純民間開発の無人探査機を月面に着陸させ，着地点から500m以上走行したうえで，画像やデータなどを地球に送信するミッションを最初に達成したチームに，2000万ドルの賞金が与えられる，というなんともスケールのでかい話である．

参加26チームの中で技術的に先頭を走っていると評される[4]のが，Whittakerらの開発した探査ロボット“Red Rover”である（図６）．自らが設立したベンチャー企業「アストロボティック・テクノロジー」が中心となって技術面・資金面においてプロジェクトをリードする傍ら，CMUの学内受講者向けの授業として“Advanced Mobile Robot Development”を開講し，学科や学年を問わずプロジェクトの参加者を幅広く募っていた．受講学生が担う役割の一例としては，月面の昼夜の気温差に耐えうるリチウムイオンバッテリーの開発などに携わらせているようである．また，以前のカーレースにも参加していた学生の１人は，GPSの代わりに星や地球の位置を観測しながらロボットの自己位置を推定するプログラムにより，カーレースで使用していた自律走行用の制御ソフトを月面探査用にもそのまま流用できるものと見込んでいるようである．目下最大の課題は，月面までの到達費用として要する5,400万ドルの資金をどのように確保するかということらしい．

このようなプロジェクトへの参戦の意義をWhittakerはつぎのように語っていた．「ロボットが未だ到達できていない領域は無数にある．未開の領域には未知の課題が潜んでいる．それらを１つ１つ解決していく過程で，ロボット技術の新たなイノベーションが無数に生じる．」

5. おわりに

米国の大学で行われたものづくり教育の一端として，大規模レースに参戦する研究グループの活動を紹介した．彼らのチャレンジングスピリットには目を見張るものがあった．参加していた教員や学生は子供のように興奮し，プロジェクトを通じてものづくりの感動を味わっているように見受けられた．新規性や意義とは異なる次元から研究をみつめ，興奮度の高いプロジェクトに参加しながら感性を磨くことも，ときには必要な要素かもしれない．

図６　CMUの開発した月面探査用の４輪走行型ロボット：Red Rover[5]

参考文献

1）John Bares and David Wettergreen：Dante II: Technical Description, Results and Lessons Learned, International Journal of Robotics Research, Vol. 18, No. 7, July, p. 621-649（1999）
2）http://www.tartanracing.org/
3）http://www.googlelunarxprize.org/
4）日経サイエンス　10月号（2012）
5）http://astrobotic.net/rovers/rover/

（原稿受付：2012年11月12日）

解説

国際デザインコンテスト（IDCロボコン）2012

著者紹介

山北昌毅（やまきた まさき）
東京工業大学機械制御システム専攻
〒152-8522 東京都目黒区大岡山2-12-1
E-mail：yamakita@ctrl.titech.ac.jp

1989年東京工業大学制御工学専攻修了．1995年より東京工業大学制御システム工学科助教授．現在同大学大学院機械制御システム専攻准教授．ロボット工学，適応学習制御，非線形ロバスト制御などの研究に従事．博士（工学）．

1. はじめに

第23回大会となるIDC2012は2012年８月６日から８月18日かけて日本の東京電機大学の千住新キャンパスで行われた．参加したのは８カ国で，日本，中国，アメリカ，フランス，ブラジル，韓国，タイ，シンガポール（モロッコも参加予定であったが，ビザの取得の問題で不参加）から60名の学生が参加した．IDC2012の概要と大会の様子を日本からの参加学生の参戦記を交えて報告する．

2. IDCの概要

国際ロボットコンテスト（IDCロボコン）は1990年に東工大とMITの２校によって始められたロボットコンテストである．このロボコンのもっともユニークな点は，これらの参加者が国別に対戦をするのではなく，各国の学生がシャッフルされて，国籍の異なる４～５人からなるグループをつくり，そのグループでロボットを設計・製作しコンテストを行う点である．また，多くの他のロボコンと異なり，毎年違うテーマが与えられる．さらに，基本的に与えられた材料だけでロボットを作製しなければならない．そして，この大会ではコンテストの勝敗よりもマシンを設計・実現する際のアイデアが高く評価されることも大きな特徴である．

3. 今年のコンテスト・テーマ内容

ゲームのテーマは“Haiku Master：俳句の達人”で，大会会場の東京電機大学のキャンパスが千住地区にあり，千住の地が俳聖松尾芭蕉の「奥の細道」の最初の宿場町であったところからきている．コンテストフィールドは図１のようなっている．フィールドは奥の細道のルートの一部を模したものになっており，中央の千住エリアとそれを取り巻く日光街道エリアとそれを橋渡しする千住大橋からなり，後方には得点盤である短冊エリアがある．千住エリアと日光街道エリアの間は川のエリアとなっており，他よりも低くなっている．千住大橋は可動式で，試合開始後30秒すると橋がかかるようになっている．それぞれのエリアは左右に青と赤のゾーンに分かれている．千住エリアには銀色の芭蕉ボールが中央に１つ，青と赤のゾーンにゴールデンボールが３個置かれており，日光街道エリアにはそれぞれのゾーンに18個のコーナー色のオブジェクトが置かれている．（ボール，オブジェクトにはマジックテープが貼られており，短冊エリアにくっつくようになっている）それぞれの短冊エリアは縦に３つ，横に３つの領域に分かれており，縦はそれぞれ俳句の五七五のフレーズの入る場所となっており，横は１点，２点，５点のエリアとなっている（図１参照）．

ゲームは１試合90秒の対抗戦で，俳句のフレーズに見立てたオブジェクトを，できるだけ多く，高い位置の五七五のエリアに１つずつ入る位置に横に並べると高い得点が得られる．たとえば，５点の行の五七五の領域に１ずつ自分のコーナー色のオブジェクトをくっつけると５点の得点になる．銀色の芭蕉ボールは特別で，そのボールをくっつけたチームの得点が倍になる．また，ゴールデンボールで，２点以上の俳句を完成させると一発勝ちになる．

学生たちの使った戦略は大きく分けてつぎの３つであった．

(1) 千住大橋を利用するもの
　千住大橋が出てくるまでにゴールデンボールを拾っておき，千住大橋ができたら日光街道をわたって短冊につける

(2) 川に自前の橋をつくるもの
　一台のマシンを川のエリアに進入させ，ロボット自身を橋として利用して，もう一方のマシンが

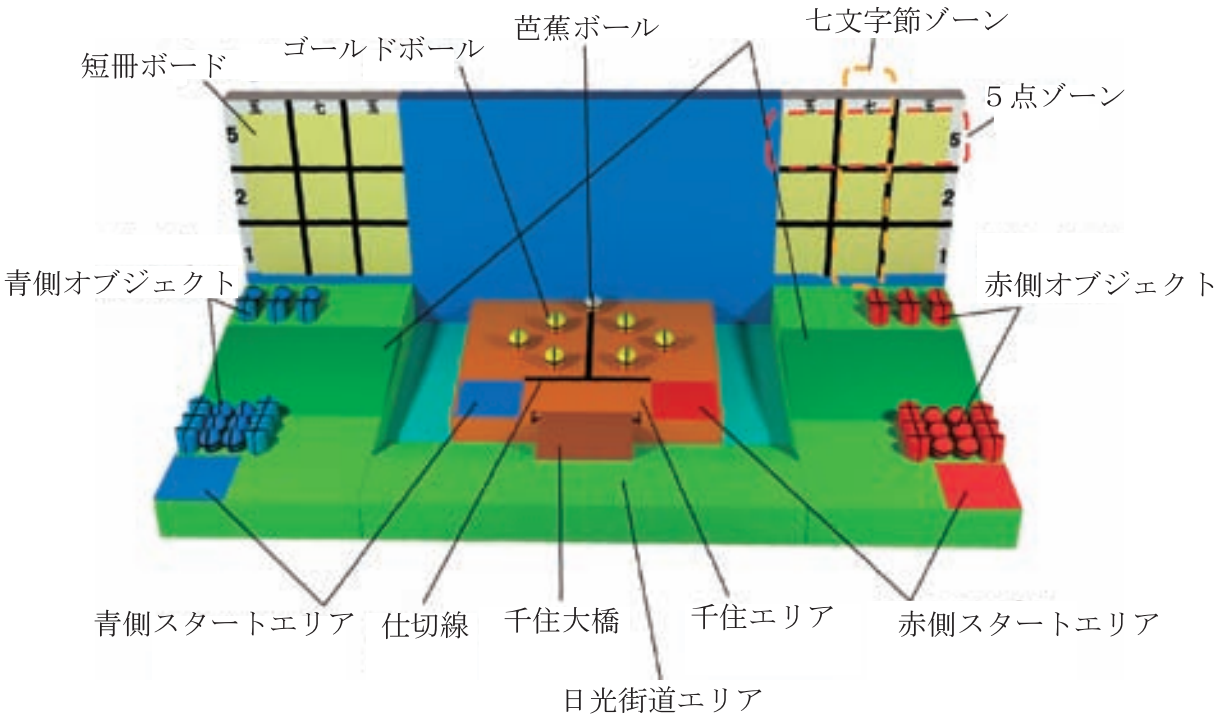


図１　コンテストフィールド構成

千住エリアに渡る

⑶　ゴールデンボールをシュートするもの

千住エリアのゴールデンボールをひろって，そこから直接短冊パネルにシュートして一発勝ちを狙う．

この戦略にたいして，それを阻止することを主戦法とするものとして，ａ）身軽なロボットで，すばやく相手の重要な位置に陣取ってじゃまをするもの，ｂ）一発勝ちを阻止するために，相手のゴールデンボールを川に落としてしまうもの，があった．

4. コンテストの結果

コンテストの結果は以下のようになった．

優勝：グリーンチーム

準優勝：ブラウンチーム

アイデア賞：スカイブルーチーム

グリーンチームは，重量のあるバッテリやコントロールボックスをスタートエリアに置いたまま，長いコードを引っ張ってａ）の戦略を用いて優勝した．ブラウンチームは⑶の作戦でもう少しのところで優勝というところまでいったが，決勝戦ではうまくゴールデンボールを集めることができなかった．アイデア賞のスカイブルーチームはｂ）の戦略を採用して会場を沸かせた．

5. IDC2012参戦記

IDC2012に参加した制御システム工学科２年生６人の内２名の参戦記を以下に掲載する．

図２　優勝した瞬間のグリーンチーム

◆ピンクチーム　藤田哲平

IDCロボコンに参加してまず感じたことは，自分が今までやってきた英語はまったく使い物にならないということでした．初日のアイディアディスカッションではまったく意見をいうことができず，気付いた時にはチームの方向性が決まっていました．その後も英語でのコミュニケーションには常に苦しみました．ただ，それでも２，３日で聞き取りはかなりできるようになり，こちらの意見も身振り手振りで何とか伝わるくらいにはなりました．また，アイディアそのものやそれを実現させる技術に関しては外国の学生に劣るものではなく，むしろ日本人がそういった面でチームを引っ張れていると感じました．自分の意見を伝えられるようになってからは，アイ

ディアがどんどん採用されるようになり，世界でも通用しているという実感を持つことができました．

このIDCロボコンで自分に足りない部分と，自分の持つものでも十分戦える部分がわかったことは大きな収穫であったと思います．このことは自分にとって自信になったし，その後の勉強のモチベーションにもつながりました．

国際交流という意味でも，普通に生活していれば知り合うことのないような外国の学生たちと交流することができ，よかったと思います．外国の有名大学の学生と対等にディスカッションし，一緒にご飯を食べ，雑談で笑いあえたことは，とても貴重な体験でした．最初は自分の実力不足が不安で参加を迷っていましたが，思い切って参加を決めて本当によかったと思います．

図３　ピンクチームのメンバー

◆パープルチーム　ファンゾァンフク

私は2012年のIDCに参加しました．８月の５日から18日まで外国人と生活したりロボットを作ったりすることは本当にいい経験になりました．チームの中で，日本の代表者は２人（自身はベトナムからの留学生で東工大代表），フランス人１人，中国人１人と韓国人１人です．

最初に，ロボットの設計を決めました．皆はいろんな意見を出して，いっぱい良い意見が出ました．しかし，誰の意見が一番よいかということを決めにくくなりました．そのとき，皆で一緒に協力し，一番良い意見に決定しました．このことは一番難しいと思いますが皆は良くできました．その後は皆と工作しながらロボットのアイデアを改善して，ロボットの設計はだんだんできました．時々，ロボットの設計が良くなくて，設計をもう一度変えなければだめでした．うまく変えられるか，皆はとても心配しました．そのとき，私は大変だと感じましたが，経験したら非常にいい体験になりました．将来，成功だけでなく失敗も経験するので，失敗しても冷静に修正することは，自分で訓練しなければならないと思いました．

ロボットを一緒に作っただけでなく，チームは昼ご飯も一緒に食べていました．ロボット以外の話をいっぱい聞いて，他の国の習慣や言語など勉強になりました．

IDC2012に参加して，いろんなことがわかって来ました．チームで仕事するときに，リーダーシップは一番大事なことです．リーダーは皆の意見をまとめるので，能力や知識が必要です．今回私がリーダーでしたが，ロボットの知識は十分良くなかったので，チームの結果は良くありませんでした．しかし，結果が大切ではなく，皆で楽しく一緒に生活したり，協力してロボットをつくったりすることが大事だと思います．そのことは，私のチームは良くできました．IDC2012は本当にすばらしかったです．

図４　パープルチームのメンバー

6. おわりに

ことしのテーマは俳句ということで，せっかくの機会なので，海外から来た学生にも俳句という文化に少しでも親しんでもらおうと，「夏休み」「ひまわり」「夏の空」を季語として各チームに一句ずつ作ってもらった．その中からベストに選ばれたのがグリーンチームのつぎの句であった．

ひまわりが
広がるように
つながる輪

Made new connection,
Just like how sunflowers bloom,
Circle of friends grew.

コンテスト開催の時期は難しい国際問題が顕在化していたが，コンテスト参加者には俳句のような友情の輪が大きく広がっていたように感じられた．IDCロボコンを通じて，科学技術の振興を促進する

だけではなく，参加国間の友好の輪を広げていけたらと思っている．

今年以後の開催地は以下のようになっている．

2013年　サンパウロ　サンパウロ大
2014年　パリ　イオニス工科大学
2015年　シンガポール　シンガポール技術・デザイン大学

複数の国から集まった学生が，国籍を超えた混成チームによるマシンデザインを行うIDCロボコンという，非常にユニークな派遣型プロジェクトによる学生の貴重な経験の場を，今後も維持していきたいと思っている．この経験がエンジニアとして，国際人として，学生を大きく成長させるきっかけになるものと期待している．

IDCの開催に当たっては，一般社団法人日本フルードパワーシステム学会，社団法人日本フルードパワー工業会をはじめ，多くの関係企業からご支援をいただいた．最後に，皆さまにこの場を借りて御礼申し上げるとともに，今後のご支援をお願いする次第である．

詳細なルールや協賛いただいた機関は下記Webサイトでご覧いただけます．ぜひご覧になってください．

http://www.idc-robocon.org/

（原稿受付：2012年10月10日）

会　告

学会誌「フルードパワーシステム」フォーマット変更のお知らせ

編集委員会委員長　吉田　和弘

編集委員会では，会員に情報を提供するとともに学会の広報活動にも役立つ，内容が充実し読みたくなる学会誌の実現を目指しています．このたび，学会誌充実の一歩として，フォーマットの変更を行うことにいたしました．主な変更点は以下のとおりです．

- 各記事において，所属の情報を含めた著者紹介を最初のページに，原稿受付日を最後のページに掲載することとし，記事題目における著者名および脚注を削除しました．
- 記事題目，章・節の表題，記事分類のデザイン，文字フォントおよびサイズを変更しました．
- 本文の文字フォントを変更しました．
- 図の表題および参考文献の文字フォントおよびサイズを変更しました．
- 行間隔を±10%程度調整できるようにしました．
- 和文目次を２ページとしデザインを変更しました．
- 会告記事のデザインを変更し，各記事の後に配置するようにしました．

今後も，学会誌のさらなる充実を目指して編集委員一同努力してまいりますので，よろしくお願いいたします．ご意見，ご要望をお待ちしております．

解説

PBLを志向した設計製図教育「EV-Mileage」

著者紹介

佐藤恭一（さとう やすかず）
横浜国立大学大学院工学研究院
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
E-mail：yasukazu@ynu.ac.jp

1994年横浜国立大学大学院博士課程修了．同年横浜国立大学講師．1998年同助教授，現在，同教授．メカトロニクス，電気・流体・機械系の動力伝達と制御の研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，自動車技術会などの会員．博士（工学）

1. はじめに

横浜国立大学工学部生産工学科*では，１年次から３年次で習得する専門科目の体験的な理解と，学生の創造的能力の育成を目的に，「EV-Mileage」と題した一人乗りEV（電気駆動車両）の企画，設計，製作，および走行競技会による製作したEVの評価（図１，図２）を実施している．EV-MileageはEVの航続距離という意味であるが，当学科では，EVの企画から評価に至る一連のものづくり教育の総称として用いている．

当学科の学生は，１，２年次は機械工学，材料工学の共通的な基礎教育を受け，３年次からは機械系３コース（機械プロセス，熱流体，機械システムの各コース）と材料系１コース（材料設計コース）からなる４コースのいずれかに属して，所属コースのより専門的な教育を受ける．この機械系３コースの学生には，３年次に応用機械設計製図という設計製図教育の必修科目が課されており，それまでに習得したいわゆる四力学（材料力学，熱力学，流体力学，機械力学），自動制御，機械設計，製図などの機械工学に関わる知識をものづくりに結び付ける設計課題に取り組む．EV-Mileageはこの「応用機械設計製図」の一環として実施されているもので，当授業の通常の設計課題が流体機械や内燃機関などを題材とし，設計計算書の作成につづく図面の作成で完結して単位が与えられるのに対し，EV-Mileageでは，さらに設計，製図にもとづいて学生自らが一人乗りEVを製作し，その出来栄え（性能）を走行競技会で競う．EV-Mileageの走行競技会は，毎年，夏休みの終了間近の９月下旬に実施され，今年度で15年目を迎えた．以下，EV-Mileageの背景，概要，教育効果を紹介したい．

図１　EV-Mileage 走行競技会の様子（その１）

図２　EV-Mileage 走行競技会の様子（その２）

*2011年度より理工学部機械工学・材料系学科に改組．今年度のEV-Mileage参加者は，改組前の工学部生産工学科３年生であるため，本稿では改組前の学科名称を使用している．

2. ものづくり教育におけるEV-Mileageの位置づけ

2.1　EV-Mileage実施の背景

EV-Mileageは，1997年度に前述の応用機械設計製図の一部として開設された．その目的は，従来の設計製図科目の履修目標に加えて，下記の体験を通して，総合的に機械工学を活用する実践力を身につけることである．

(1)　座学や机上の作業で完結せず，学生自らが手を動かして設計対象の製作までを行うことで，それまでに習得した機械工学の基礎を駆使することを体得する．

(2)　設計，製作に関わる課題，問題をどのようなアプローチでどのように解決するかを学生自身が考え，実行する．

(3)　限られた期間の中での資材調達や設計・製作計画の遂行能力を養う．

(4)　課題に対してチームで取り組むことで，チームワークやマネジメント力を養う．

これらはPBL（Problem-based learning，Project-based learning）を志向した創造性教育の主要素となっている．また，学生自らが課題や問題点を見つけて解決することが重要と考え，授業でありながら教員は“教えない”という立場を取ることも，この教育の特徴である．

EV-Mileageは，応用機械設計製図の履修者約100人の中から，20名を上限とした希望参加制としている．これは，車両製作や走行競技会における安全確保による制約，教員，ティーチングアシスタント（大学院生）等のスタッフの人的制約，および車両製作費用に充てる予算制約による．実際の希望者も毎回20名程度で，これまでに人数制限により参加できなかった希望者は出ていない．うまく人数バランスがとれている理由としては，学生にとってEV-Mileageは車両製作と走行競技会で夏休みがほとんど潰れる負荷の大きい内容であること，当授業とは別に，夏休み中の企業インターンシップなど，他の選択肢もあることなどが考えられる．

2.2 EV-Mileageのレギュレーション

車両の安全と公平性の確保のため，車両の設計製作に関わるルール，すなわちレギュレーションを設けてあり，これに従った車両を設計製作することを課している．表１にレギュレーションの抜粋を示す．

学生の創造的能力の育成が主目的であるから，安全が確保されることは大前提であるが，設計の自由度や，車両に盛り込むアイデアを抑制することがないよう，一般のエコランなどのMileageレースと違って事細かい明文化されたレギュレーションは設けていない．これにより，チームごとにレギュレーションを満たし，かつ，個性的，独創的な車両が設計製作されることを狙っている．また，車両の安全性に問題があると判明した場合は，設計や製作の過程で教員スタッフが改善を指導する体制をとっている．

表１　EV-Mileage ルール，レギュレーション

走 行 競 技
あらかじめ供与されたバッテリ（定格12V，7.2Ah）を４個用いて，周回約１kmの学内コースを２時間走行し，２時間以降にゴール位置を通過するまでの周回数と所要時間によって順位を決める．
車両　下記の条件を満足するものとする（抜粋）
１）一人乗り形式，２）乗降が容易なこと，３）４輪,または３輪車両であること，４）車両サイズは長さ3m，幅1.2m，高さ1.6m以内であること．（他にも，ブレーキ性能，後方視界等の車検項目に関するレギュレーションがある）
チ ー ム 編 成
原則４名／チームで，最大５チーム．チーム内で，リーダ，ドライバ，車体構造，操舵系，懸架系，駆動系，電装系（電力マネジメント）の設計担当をおく．
費　　用
１チーム（１台）あたり基準費用20万円．ただし，共通仕様のモータ，コントローラ，バッテリ，充電器，車輪のハブは大学から支給し，基準費用外とする．
製 作 場 所
学内機械工場
評　　価
ドキュメンテーション（設計計算書，図面など），走行競技会における周回数順位，設計製作に掛るプレゼンテーション，車両製作コストを総合して評価する．

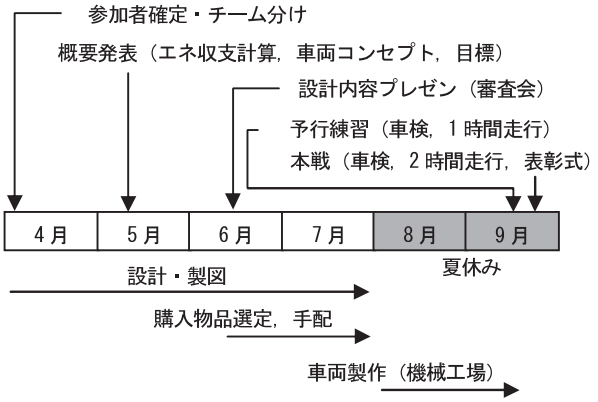


図３　EV-Mileage スケジュール

2.3 スケジュール

図３にEV-Mileageのスケジュールを示す．この授業は３年次春学期（４月～９月）に実施される．４月初めにEV-Mileage参加者を確定し，チーム分

けを行う．その後，車両のコンセプトの検討からスタートし，設計および製図を進めていく，７月までに設計，製図と，並行して購入物品の選定と購入手配の準備を行う．この間，５月中旬には各チームが概要発表を行い，エネルギー収支計算結果，車両コンセプト，目標周回数などを報告する．６月中旬には，より詳しい設計内容のプレゼンを行い，審査会形式で教員が確認する．７月末までに審査会での指摘などを踏まえて設計，製図を完了し，購入物品の発注も進める．８月から夏休みで，８月初めに本学機械工場で安全講習を受講した後，約1.5ヵ月の車両製作期間に入る．図４に本学機械工場での車両製作の様子を示す．９月下旬にEV-Mileage走行競技会の本戦が実施されるが，その１週間前に本戦と同じ車検と走行時間を半分の１時間に短縮した予行練習を行い，各チームは，ここで明らかになった不備を修復して，本戦に臨む．

３．EV-Mileageの教育効果

3.1　課題は何か？

EV-Mileage本戦で勝てるEVは，周回の途中でピットインや修理で止まることなく，効率よくバッテリのエネルギーを消費し，２時間の走行で余すことなく使いきる車ということである．その様なEVの設計，製作には多様なアプローチが考えられ，正解は一つではない．学生は，これまで正解のない課題に取り組む経験があまりないため，最初に悩むことは，EV-Mileageの課題は何か？である．「レギュレーションを満たして，EV-Mileage本戦で勝てるEVを設計製作すること」という表向きの課題は提示されているが，その下にどのような課題があるのかを見つけるのに悩み，見つかった課題を具体的にどのようにして解決していけばよいかに，また迷う．たとえば，走行を考えた場合，モータと駆動輪間の動力伝達方式をどうするかという課題に直面し，各方式の特徴を踏まえて，自分で，またはチームで相談して採用方式を判断する．チェーン伝動を採用するとなれば，つぎにスプロケットの歯数比や各歯数をいくつにするか，どういう手順で計算するかに悩む．そのうちに，他のチームでもチェーン伝動採用の情報が入り，チームの特色を出すために歯車伝動ではどうか，という欲が出たりしてまた悩む，等々．これらは，自ら課題を見つけ，ある期間で解決して判断を下すという能力の育成には，非常によいトレーニングになると考えられる．ティーチングアシスタントには，学部でEV-Mileageを経験したノウハウをもった大学院生を主に採用しているので，学生が悩み続けていつまでも決まらないというケースには，

図４　車両製作の様子

ティーチングアシスタントの「答えは教えないが解決のきっかけとなるアドバイス」が有効に働く．

3.2 学生から見たEV-Mileage

本学の全授業に対して実施される学生による授業評価アンケートや，EV-Mileage走行競技会後の表彰式での学生からの感想によると，学生から見たEV-Mileageは下記のようであり，

・はじめのうちは何をしたらよいのかわからない．
・EVの構想が固まってくるにしたがって，次々にやるべきことが増えてきた．
・作業内容によって，チーム内での分担がうまくいったところと，負担が偏ったところがあった．
・設計製図をしっかりやっておかないと，その成果が製作段階になって役に立たないことがわかった．
・実際に自分が製作作業をしてみて，図面上の精度を実現するのが難しいことがわかった．
・物品調達，コスト管理など，普段の授業にはない体験ができた．
・座学で学んだことを実践に移す設計製作の一連の流れを体験でき，有意義だった．
・とても苦労したが，チームで製作したEVが完成し，走り出したとき，感動した．

など，EV-Mileageによる教育の狙いとおおむね合致した学生の反応であった．

４．おわりに

EV-Mileageという一連のPBL型設計製図教育を紹介した．2009年度からは，首都大学東京でもEV-Mileageを実施し，同様のスケジュールで設計製作したEVで本学の走行競技会に参戦しており，大学間で連携したものづくり教育の形も確立してきている．今後も，EV-Mileageの内容を少しずつ見直しながら，学生にものづくりの充実感と感動を与えられる教育を検討していきたい．

（原稿受付：2012年10月12日）

解説

東北大学機械系大学院教育改革プログラム「機械工学フロンティア創成」

著者紹介

吉田和哉（よしだ かずや）
東北大学 大学院工学研究科
〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6－6－1
E-mail：yoshida@astro.mech.tohoku.ac.jp

1986年東京工業大学修士課程終了．同大学助手，東北大学助教授を経て，2003年東北大学大学院工学研究科教授，現在に至る．宇宙ロボットの力学と制御の研究を中心に，小惑星探査機「はやぶさ」，小型人工衛星「雷神」，原発対応ロボット「クインス」の開発などに従事．工学博士．

1. はじめに

東北大学機械系（機械システムデザイン工学専攻，ナノメカニクス専攻，航空宇宙工学専攻，バイオロボティクス専攻，情報科学研究科の一部，および医工学研究科の一部）では，2007年度より「機械工学フロンティア創成」と名づけた新しい大学院教育プログラムを実施している．文部科学省・大学院教育改革支援プログラムに採択（平成19年度～21年度）されたこの取り組みの背景には，資源に乏しいわが国を人材立国として発展させ，国際競争力に秀でた人材，リーダーシップのとれる即戦力を育成する，という教育施策・目的がある．本プログラムでは，このような時代の要請に対する答えとなることを目指して，大学院にて新しい教育への試みを実践している．

「機械工学フロンティア創成」プログラムの大きな柱として「機械工学フロンティア」と名づける新しい授業科目を開設した．これは修士（博士前期）課程の1年生を対象に，修士研究の導入となるようなミニ・プロジェクトを第1学期に実施するものであり，最初に明確な達成目標を定め，3～5名程度でチームを組み，メンバー間で作業を分担・協力し，半年間という限られた時間で結果を出すことが求められる目的達成型の研修を行う．研修のテーマは，「航空宇宙」「ロボティクス」「ナノテクノロジー」「バイオ」や「医工学」など，機械工学の基礎から先端的な応用に至るまで幅広い分野をカバーする．入学直後のフレッシュな大学院生がそれぞれ希望するテーマに分かれて，実践的な研修活動を実施する．

本稿では，「機械工学フロンティア」において実施している「ものづくりプロジェクト」を中心とする新しい大学院教育について，概要を紹介する．

2. プログラムの概要

「機械工学フロンティア創成」プログラムの大学院履修モデルを図1に示す．この中で，「機械工学フロンティア」は本プログラムを特徴づける新規授業科目であり，博士前期（修士）課程の1学期に開講した．平成19年度50名，平成20年度131名，平成21年度118名の学生が受講した．文科省からの補助金終了後の平成22年度以降も，毎年80名前後の学生が受講している．

同授業科目では，学生が「ものづくり」を主体としたプロジェクト研修を行う．研修実施のスケジュールを図2に示す．

図1　「機械工学フロンティア創成」の履修モデル

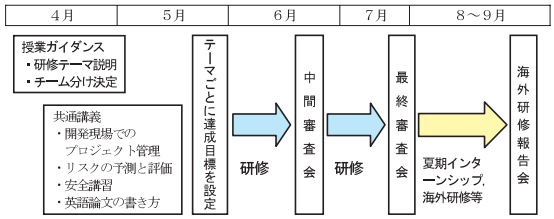


図2　「機械工学フロンティア」の授業スケジュール

3. 研修内容

プロジェクト研修のテーマは，原則として各研究室より提示し，それを学生が選択する方式をとっている．よって研修のための設備の提供や具体的な指導は，研究室を中心に行われる．複数の研究室が協力してひとつのテーマを実施すること，および学生が自分の所属以外の研究室のテーマを受講することも認めており，学生がフロンティア研修→修士研修へと進んで行く過程で複数の研究室を経験することを可能としている．

「機械工学フロンティア」の個々の研修内容について詳しく紹介することは，限られた紙面では困難であるので，ここでは，平成21年度に実施された研修テーマのうち，いくつか代表的なものを紹介する．

「原子レベルシミュレーションに基づく新機能材料と試作評価」では，カーボンナノチューブを樹脂に分散させたひずみセンサを開発し，その特性を評価した． 夏休みには，MIT（米国）にてワークショップを開催し，同大の学生と研究交流を行った．（図３）

「航空ロボットの開発と飛行実験」では，自律制御機能を搭載した模型飛行機を製作し，自動離発着および自律的な経路追従飛行の実験を行い，大きな成果をあげた．飛行実験には，東北大学青葉山キャンパス内の実験フィールドおよび宮城県南部にある角田滑空場を用いた（図４）．

「自律探査ロボットとフィールド実験」では，最高時速15km/h以上で走行する重量１ kgの小型自律走行ロボットを開発し，米国ネバダ州で開催された国際競技会（ARLISS)にて優勝を果たした（図５）．

「ロボットアームの運動制御実験／移動ロボットの運動制御／人間の運動計測・解析」の３テーマでは，それぞれのロボットを実現する基礎技術の開発に取り組み，これらの研修を行った計８名の学生は，フランスで開催された国際会議に出席し研究発表，研究交流を行った．

「要救助者情報収集ロボットの開発とフィールド実験」では，地震等の災害時に瓦礫や倒壊した建物内の被災者を発見するロボットの，自律・遠隔制御システムの開発を行った．開発されたロボットを携えて，2009年７月にオーストリアにて開催された「ロボカップ世界大会」に参加し，４部門において優勝もしくは準優勝の成果を挙げた（図６）．

「火星探査のための飛行システムと制御法の検討」では，火星を取り囲む希薄大気中で飛行探査を行う飛翔体の基礎研究として，プラズマアクチュエータを用いた飛行制御方式を検討し，模型飛行機を用いた飛行実験により有益な基礎データを得た．

「全日本学生室内飛行ロボットコンテストへの挑戦」では，競技ルールに則した超軽量模型飛行機を製作し，コンテストに参加した．また，上記「火星探査……」のチームも合わせた学生の中から選抜チームを募り，米国パデュー大学に派遣し，無人飛行ロボットに関する先端技術について研究交流を行った（図７）．なお，米国パデュー大学とは，平成17年度以来このような学生交流を深めている．

図３　MITにおける研究交流会

図４　航空ロボットの飛行実験

図５　米国ネバダ州でのARLISS大会

図６　ロボカップレスキュー世界大会参加チーム

図７　米国パデュー大学での研究交流

プロジェクト研修の一環として，学生を海外に送り出し経験を積ませることも積極的に推進している．文部科学省から大学院教育改革支援プログラムの補助金をいただいていた平成20年度には43名，平成21年度には31名の学生を海外に派遣した．平成22年度以降は，研究室の自主財源等により可能な範囲で，学生に海外経験の機会を与えている．

研修内容についてのさらに詳しい情報は，Webページ[1)]をご覧いただきたい．

4. 発表会と成績評価

「機械工学フロンティア」の受講生には，研修を開始して１ヶ月半ほど経過した６月中旬に中間発表，研修終了後には最終発表会と最終報告書の提出を課している．

本科目の研修テーマは，上述のように研究室より提示するが，それはあくまでも大枠であり具体的に何を目標とし，それを達成するためにどのようなアプローチで研修を進めて行くかについては，学生に考えさせている．中間発表では，プロジェクトとしてのフルサクセスは何かを定義させ，それに至るスケジュールと，グループ内の役割分担を明確にして発表させている．

最終発表会は，ポスターセッション形式の発表会とし，実物展示やデモ等を行うことを推奨している．教員が各ポスターを巡って発表を聞き，評価を行う．また，学生どうしで他のテーマの発表を聞き，インタラクティブに質疑応答を行うことも，効果をあげている．

全日程終了後には受講者全員に自己評価を含む詳細なアンケートを行い，本授業科目で学生が何を学び，どこで苦労したかを問い，本科目をより効果的にするためのフィードバック情報として学生の声を収集している．学生回答の一例を示す．

==========

問１．あなたは，どのような動機および達成目標等を持って，本授業科目および研修テーマを選択しましたか？

回答１．＊＊の課題について，プロジェクトを計画し，メンバーへの役割分担，実験計画の立案，問題の解決などを通して一つのプロジェクトを行うことを体感的に経験することを目的とした．

問２．本科目を終了するにあたり，当初の目標はどの程度達成されましたか？

回答２．

・プロジェクトを行うことの経験　100％
・計画の予定通りの遂行　50％
・問題の解決　70％
・メンバーとの連携　80％
・トータル　70％

試料の準備などに手間取り，実験を始める時期がずれ込んでしまったために，すべての試料で定量的評価のフルサクセスを得られるほど実験データを多くとることができなかった．しかし，観察方法などメンバー内で情報共有を行うことでより精度の高い観察を行うことができプロジェクトとしてはなんとかまとめることができた．

問３．チームの中で，あなたはどのような役割を担当しましたか？　自分に点数をつけると何点になると思いますか？

回答３．プロジェクトリーダーとして計画立案や発表準備などで中心となった．また，４つの試料のうち＊＊を担当し観察を行った．自分の結果としてはうまくまとめることができたので計画の遅れと合わせて点数は80点．

問４．本科目で，一番楽しかったこと（うれしかったこと）は何ですか？

・きれいな結果が得られた時．
・全員の成果がひとつのポスターとして形になった時．

問５．本科目で，一番大変だったこと（つらかったこと，苦労したこと）は何ですか？

回答５．観察がうまくいかなかったとき．またその原因を考えているとき．

問６．本科目を通して，あなたは何かを得ることができましたか？　箇条書きにて，記してください．

回答６．

・複数人で分担し計画を進める際には，メンバー間の情報共有が重要であること．それぞれの進展度合いをもっとこまめに聞くことができればよかったと思う．
・物事は計画通りにはいかないこと．
・実験，観察は面倒くさがらずに一歩一歩着実に進めていくことが結局は一番の近道になること．
・後からみたときに他の人でもわかるデータ整理をしておく必要があること．

==========

学生たちは半年間という限られた時間の中で，目標達成のために試行錯誤を繰り返し，失敗や計画変更，メンバー間のコミュニケーションの問題に苦心しながら，問題解決のプロセスを実体験したことが読み取れる．そしてほぼ全員の学生が，本研修に対してやりがいや満足感を得たと回答している．

本教育プログラムでは「自ら手を動かして挑戦し，小さな失敗の中から大きなものを学ぶこと」を体得させることを目指しており，この目的は十分に達成できていると考える．

参考文献

１）http://www.mech.tohoku.ac.jp/MechFrontier/

（原稿受付：2012年10月21日）

解説

岐阜大学金型創成技術研究センターにおける ものづくり教育

著者紹介

王（わん）　志剛（ずがん）
岐阜大学工学部
〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸１番１
E-mail : zgwang@gifu-u.ac.jp

1992年名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了．富山県立大学助手，岐阜大学助教授を経て，2006年岐阜大学工学部教授，現在に至る．塑性加工，型工学の研究に従事．日本塑性加工学会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．

1. はじめに

大学における機械系ものづくり教育の目的は何であろうか．卒業生のほとんどがものづくり企業に就職している事実から，教育は従来の４力を中心に据えつつも企業の国際競争力の向上を念頭にカリキュラムを組み直すべきではないかと思う．大学を卒業してから技術開発の戦力になるまで数年もかかるような大学教育システムは早晩淘汰される．即戦力を輩出することができれば，企業での教育費用の削減効果もさることながら，技術者として創造力盛んな期間が延ばされ，その意義は大きいと思う．この思いから2006年に岐阜大学金型創成技術研究センターが設立された．即戦力を輩出するために企業の新入社員研修プログラムを参考に，金型を用いるものづくりプロセスの一貫教育を基本コンセプトにカリキュラムが編成された．その後今日に至るまで受講生の意見，産業界のアドバイスを取り入れながら改善が重ねられてきた．

2. 基礎教育プログラム

本センターの人材養成教育は，金型基礎教育プログラムによる基本トレーニングと卒論・修論研究による技術開発能力の付与の二段構えとなっている．

図１に育成システムにとり入れるカリキュラムの概要を記す．金型に特化した科目構成とし，実学を重視した内容を特徴としている．実学教育に必要なマシニングセンター，放電加工機，プレス機械，射出成形機などの各種機械は工作機械メーカーや地元金型産業界のご協力によりセンターの付属加工工場に一通り完備されている[1]．CAD/CAM/CAEも完備されており，特にCAEは人材養成教育の中心ツールで鋳造，鍛造，板金プレス，射出成形のソフトウェアが導入されている．

学部４年生は，鋳造コース，鍛造コース，板金プレスコースおよび射出成形コースのいずれかに所属し，一学期かけて課題に取り組みながら，図２に例示するように，製品設計，工程設計，金型設計，金型製作，成形加工の一連のものづくりプロセスをスルーで実体験し，基本スキルを習得する．博士前期課程生は学部４年生と同様に各コースに所属するが，CADによる金型設計，CAEによる成形予測，CATに

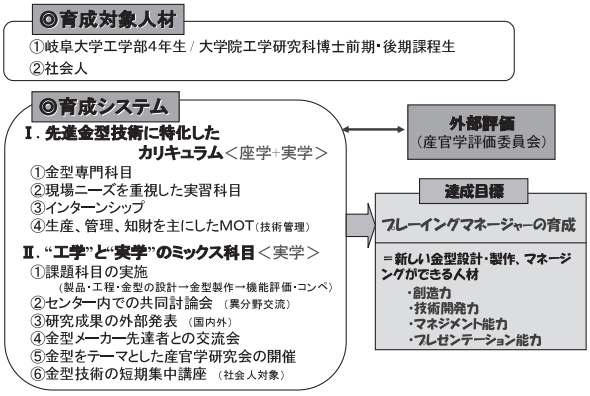


図１　基礎教育プログラムの概要

図２　基礎教育プログラムの実施形態

よる計測に重点をおき，金型のCADデータと実金型の形状差異，CAEによる予測値と実成形品の差異を論理的に分析する能力の養成に力点をおく．表１に博士前期課程生の修得すべき知識・スキルと到達レベルを示す．新しい金型の開発設計能力，マネジメント能力，後進の指導能力の修得を修了要件としており，即戦力の育成を目標にしている．

一例として図３に博士前期課程生に開講した板金プレスコースの実習内容を示す．演習課題はタンデム工程ではなく，空間的な想像力を必要とする順送金型とした．CAD/CAM設計，金型加工演習の後，金型の形状計測を行う．成形加工の後，成形品の不具合確認や詳細な寸法測定を行い，不具合対策を施す．CADデータと金型実寸法との比較分析，被加工材の材質による成形品の寸法差を詳細に解析する流れとなっている．

表１　博士前期課程生の到達レベル

到達スキル	到達レベル（認定基準）	認定方法
⑴　新しい金型の開発設計能力の修得（創造力，技術開発力強化）	①金型創成技術専門科目12単位，演習科目２単位以上の修得 ②金型に関する修士論文研究の単位取得	修了書の授与
⑵　マネジメント能力の修得	①金型創成技術基礎科目４単位以上の修得 ②インターンシップの参加	
⑶　後進の指導能力の修得（技術開発力，プレゼンテーション能力の強化）	①金型先達との交流会の参加（発表・討議） ②センター共同討論会の参加（発表・討議） ③研究成果の公表（国内・国外発表各１件）	

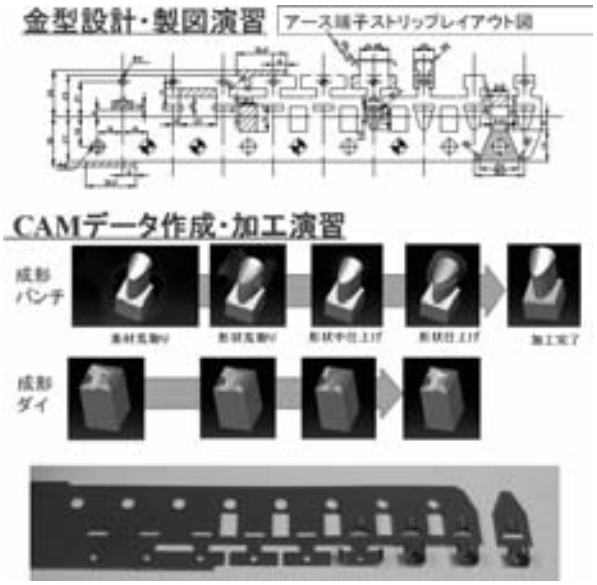


図３　博士前期課程生プレス金型コース実習内容（順送金型によるアース端子の製作）

実習した学生にアンケート形式で配属を希望した理由，実習教育について聞いてみた．配属を希望した理由の第１位：「従来にない実習を多く取り入れたカリキュラムであるから（88％）」，第２位：「技術を身につけたいから（76％），第３位：「金型を基本にしたものづくり産業が強い日本の将来に重要であるから（59％）」であった．受講した教育・実習の第１位：「いろいろ学ぶことがあって，大変興味があり，やりがいを感じる（88％）」，第２位：「実習でモノを創ることは楽しい（82％）」，第３位：「CAD設計，製図，成形加工のプロセスは楽しい（71％）」と拮抗している．アンケートの結果から判断して，座学中心の教育に実学を重視したカリキュラムは学生の希望であると受け取れ，金型人材育成教育の効果が出ていると認識している．また，ものづくり実習教育は学生全員が興味とやりがいを感ずると共に，楽しみを享受している．平成24年度の金型教育には学部４年生18名，博士前期課程生35名が参加している．

3．技術開発能力の付与

上記の基本トレーニングに加え，卒論・修論研究を通じて技術開発に必要な基礎能力の訓練を行っている．創造力，技術開発力を養うためには未知な領域に踏み込んだ技術開発への参画は有効と考え，企業との共同研究を積極的に展開している．いくつかの事例を通して教育のプロセスを述べることとする．

図４はプレスブレーキ用高精度V曲げ加工制御システムの開発例を示す[2)-4)]．プレスブレーキによる高精度の曲げ加工を実現するためには多数回の試し曲げが必要で，作業時間と材料の無駄が発生する．開発したシステムは２回目の加工で目標角度を確実に得ることを目標にしている．この開発には延べ４名の博士前期課程生が参画し，従来システムの問題点の洗い出し，新しいシステムのコンセプトと曲げ基礎式の構築，実証実験，実用化の一連のプロセスを分担した．研究の進め方と方向性を提示し，具体的な課題への対処法を極力学生に考えさせ，出されたアイデアに修正を加えて研究を進めるように心がけた．担当した学生は先輩の研究成果を吸収しつつ，当面の課題の解決策を模索し，後輩の教育をも担う．好運にも当初のコンセプトを修正することなく最後までやり遂げることができ，担当した学生に技術開発の喜びを体験させることができた．

図５は板鍛造によって製作したものである[5)]．板鍛造は板状素材に曲げ，絞りといった板成形の工法と据込み，押出しといった鍛造加工の工法を組合わ

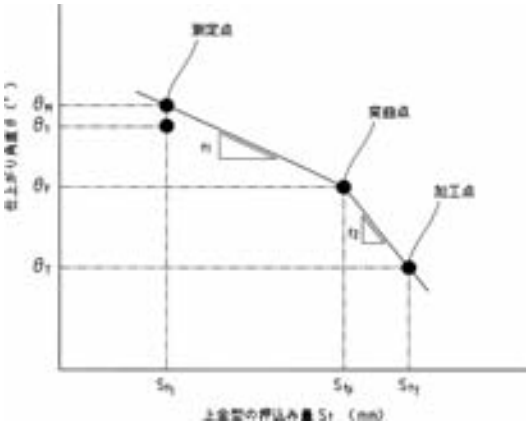


図４　プレスブレーキ用V曲げ加工制御システム

せて，製品形状を高精度に制御する新しい加工法である．板鍛造は塑性加工製品の設計の自由度を広げる手段として今後多用されると思われる．図示の製品は絞り，端面圧縮工法によって製作されたもので，圧縮パンチの耐圧限界を超えないように工程設計の工夫を要する．また，上下ボスへの分流鍛造となるため，分流点の近くで被加工材の表面積が数十倍に拡大され，金型への焼付きを防止する潤滑設計が必要である．このような難易度の高い技術開発に参画させることで，高付加価値の工法開発に必要な能力を付与している．

図５　板鍛造によるトリプルカップ（被加工材：SPCE，板厚：2.6㎜）

4. おわりに

本センターは，平成18年度の文部科学省科学技術振興調整費プログラム「地域再生人材創出拠点の形成」の分野で採択されたプロジェクト「次世代金型人材育成拠点の形成」を推進するために岐阜大学に設置された．このプロジェクトは，本学と岐阜県および大垣市との連携の下で，世界に冠たる日本の金型技術の伝承とさらなる高度化を担い得る創造的かつ意欲的な若手技術者の育成を目的としている．それゆえ，ものづくりプロセスの一貫教育を基本コンセプトとして，実習を多く取り入れたカリキュラムを編成し，即戦力の育成に注力してきた．その結果，平成18年度から平成22年度までの５年間のプロジェクトの成果に対する平成23年度の科学技術振興機構の総合評価では「Ｓ」（所期の計画を超えた取組が行われている）を獲得し，同期に採択された10プロジェクトの中で唯一，最高の評価を受けた．いただいた高評価は，産業界，地元自治体ならびに学内の支援と協働の賜物だと感謝している．

以上のような高評価を裏付けるものとしていくつかの嬉しい成果が生まれつつある．たとえば，平成21年度からスタートした日中韓大学生金型グランプリ大会で，本センターの学生が製作・出展した金型は，素人作品の域を超えた実用レベルにあるとの評価を３年連続で来場者からいただいた．また，昨今の不況下における就職においても，本センターの修了生に対する求人依頼が全国から寄せられ，毎年約20名の修了生のほとんどが希望通りの企業に就職している．修了生の就職先からは，“技術者の基本は完成しており，即戦力となっている”，“期待を満足するものであり，大いに活躍している”などの高評価が寄せられている．

なお，平成24年度から「金型人材育成における教育高度化事業」が国に認められ，新たに３年間の事業費が交付されることになった．この新しい教育事業では，これまで通りの即戦力となる人材育成を念頭において，ものづくり技術の全体像を俯瞰できるように，生産管理などを実践ベースで学び，かつ環境負荷低減技術や国際展開力を身に付けるための国際交流も取り入れている．また，ものづくり教育にもかかわらず，より高度な教育を求めて博士後期課程へ進学する学生が増えてきたので，企業の価値観で新技術を開発できる博士の育成にも注力したいと考えている．

参考文献

1）王志剛：岐阜大学における金型人材育成の実践，塑性と加工，Vol.49，No.573，p.943-947（2008）
2）王志剛，池井戸翔太，金田宣弘：プレスブレーキ用V曲げ制御システムの開発（第１報　曲げ基本計算式の構築），平23塑加春講論文集，p.299-300（2011）
3）王志剛，池井戸翔太，金田宣弘：プレスブレーキ用V曲げ制御システムの開発（第２報　変曲点および加工荷重の算出法），平23塑加春講論文集，p.301-302（2011）
4）王志剛，池井戸翔太：プレスブレーキ用V曲げ制御システムの開発（第３報　システムの加工精度），平23塑加春講論文集，p.303-304（2011）
5）王志剛，吉川泰晴：板鍛造による中空ボス製品の成形技術の開発，型技術，Vol.26，No.12，p.12-13（2011）

（原稿受付：2012年10月９日）

FPIC会議報告

2012年度日本機械学会年次大会における フルードパワー研究の動向

著者紹介

田中（たなか）　豊（ゆたか）
法政大学デザイン工学部システムデザイン学科
〒102-8160 東京都千代田区富士見2-17-1
E-mail : y_tanaka@hosei.ac.jp

1985年東京工業大学大学院修士課程修了，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．工学博士（1991年東京工業大学）

1. はじめに

年に1回開催される2012年度の日本機械学会年次大会は「日本再生に向け新たな未来を切り拓く機械工学」をキャッチフレーズに，2012年9月9日（日）～9月12日（水）まで，創立150周年の金沢大学・角間キャンパスで開催された．この年次大会は，機械工学の全分野に関わる研究者・技術者が一堂に会して議論を行う国内最大の機械系学会のイベントである．今回は，エネルギー，クオリティーオブライフ，オープンイノベーションをテーマとして，大会期間中，2件の特別講演，14件の市民開放行事（市民フォーラム），25件の基調講演，20件のワークショップ，14件の先端技術フォーラム，4件の特別企画と数多くのオーガナイズドセッションや一般技術講演セッションが，広大な金沢大学キャンパスのA，B，Cの3つの会場に分かれて企画・開催され，約2,400名の参加登録があった．本稿では，この年次大会におけるフルードパワー技術の研究動向について紹介する．

2. 基調講演と先端技術フォーラム

機素潤滑設計部門のアクチュエータシステム技術企画委員会の企画により「フルードパワーアクチュエータの動向と将来像」と題して，著者による基調講演が行われた．フルードパワーと電動のアクチュエータの特長を比較しながら，油圧や空気圧，水圧を用いたフルードパワー駆動が電動と比較して大きな出力密度が取れる特徴を持っていることやその技術動向，今後の展望に関する紹介があった[1]．

また同じ技術委員会の企画により「フルードパワーアクチュエータ技術の最前線」と題する先端技術フォーラムが開催された．6人の講師により，風力や波力発電などのエネルギー関連技術[2]，HSTフォークリフト[3]，機能性流体によるマイクロフルードパワー[4]，空気圧や水圧技術を用いた医療用手術機器[5),6]や介護福祉機器[7]など油圧や空気圧，水圧，機能性流体によるフルードパワーアクチュエータの特長を活かした最新の事例や研究が紹介され，フルードパワーアクチュエータの特長や新技術への展開の可能性に関する熱い議論が講師と参加者の間で行われた．

3. 技術講演セッション

オーガナイズドセッション「次世代アクチュエータシステム（オーガナイザー：岡山大・鈴森康一教授，東工大・吉田和弘准教授，著者）」の中で13件のフルードパワーに関する技術講演があった．写真1にオーガナイズドセッションの様子を示す．

吉田ら[8]は一本の配管のみで作動流体の供給と排出が可能で，配管側とアクチュエータ側の作動流体を水と機能性流体（ERF）で分離して配管部でのエネルギー損失を低減させた交流圧力源を用いた多自由度ERアクチュエータシステムを提案し，ラージ

写真1　OS次世代アクチュエータシステムの様子

モデルによる特性実験により動作原理の検証を行った．

眞田[9]は空気圧シリンダを利用したパワーアシスト椅子の制御に，動作感応形制御手法を導入し，実験により動作の緩急に応じてアシスト力が調整されることを明らかにした．

早川ら[10]は，介護用移乗機の安定性を向上させ，被介護者への負担を軽減するため，背負い式の人体把持部と旋回機構や高さ調整機構を持つ移乗機を試作検討し，移乗に関する動作解析の比較から，負荷分散効果により負担が改善されることを指摘した．

塚越ら[11]は，柔軟構造の流体アクチュエータとして，装備したチューブの自然長と同じストローク長が得られる遮断部スライダ駆動方式（Λ-Drive）を提案し，安定な駆動力生成や動作原理，駆動力の解析や試作機を用いた駆動力の測定，適用例の検討を行った．

三浦ら[12]は，安全性の高いMRアクチュエータに外乱オブザーバによるロバスト加速度制御を適用し，リハビリテーションで使用される負荷を想定した環境の再現実験を行った．

赤澤ら[13]は，ロボットアームの関節部に組み込むことを想定した水圧揺動ベーンアクチュエータを水圧用比例弁で駆動するシステムについて，そのアクチュエータの性能測定実験を通して課題や改善提案を行った．

畑山ら[14]は，水圧用シリンダと水圧揺動アクチュエータ，水圧比例弁を組み合わせた二自由度マニピュレータのモデル化とシミュレーションおよび速度測定実験結果について報告した．

村木ら[15]は，静圧案内で支持されたステージを空気圧ベローズで微動駆動する超精密位置決めシステムを試作し，レーザースケールによる測定実験の結果から，良好な再現性を保ちながら0.01±0.9nmの位置決め精度と1nmの分解能が実現できることを示した．

山口ら[16]は，ノズルフラッパ型空気圧サーボ弁を用いて圧力制御を行う時のPI制御系設計手法を提案し，その手法の妥当性と有効性をシミュレーションと実験により明らかにした．

山本ら[17]は，マッキベン型空気圧アクチュエータを複数本束ねてバンドル化することを想定したアクチュエータの小形化のため，金型により螺旋状の溝を有するゴムチューブを成型し，外径1㎜，内径0.5㎜，収縮部20㎜の細径マッキベン型アクチュエータを試作し，動作特性の測定結果を報告した．

岩田ら[18]は，マッキベン型水圧人工筋を並列に組み合わせて用いた重作業用の全方位湾曲高出力マニピュレータの開発を目的として，中心に収縮型，周囲に伸長型を配置した放射状配置アクチュエータを試作し，駆動実験を行って，大きな湾曲量と高い剛性および基本原理の妥当性を確認した．

今村ら[19]は，電界共役流体（ECF）を用いた流体レートジャイロにおいて，MEMS技術による構成部品のワンチップ統合化と，偏流検出部の性能向上のための改良結果と良好な性能特性について報告した．

金ら[20]は，冷却性能が高く，騒音や振動の小さい，強制液冷システムを実現するため，電界共役流体を用いた環状閉流路ECFマイクロデバイスを提案・試作し，流路内におけるECFジェット流速の測定結果について報告した．

また，その他の一般技術講演セッションやオーガナイズドセッションの中から，フルードパワー，特に空気圧を用いた福祉医療への応用や精密位置決めに関する以下の6件の研究発表が行われた．

勝又ら[21]は空気圧ベローズを用いたイモムシ型管内走行ロボットに関する報告を行った．また則次ら[22]は空気圧ゴム人工筋を用いた腰部パワーアシスト装置について，早川ら[23]は布アクチュエータを用いた鬱血防止マットの血流促進効果について報告した．また北脇ら[24]は空気圧アクチュエータによるアシストウェアの評価にさまざまな生体情報を用いた．さらに中西ら[25]は上肢リハビリテーション支援装置に，柔軟性と安全性があり，出力重量比が高い空気圧シリンダを用い，リハビリテーション専門家からこの装置の評価を行った．辻村ら[26]は超精密位置決め用アクチュエータとして，高速高精度な空気圧サーボ弁と多連型静圧軸受機構を組み合わせたシステムを提案し，オープンループで位置決め分解能10nmを実現した．

4. おわりに

会期中の二日目の午後には，金沢大学医薬保健研究域教授の渡邊剛氏による「日本におけるロボット心臓外科手術」と，コマツ取締役常務執行役員開発本部長の髙村藤寿氏による「建設機械における新技術の展望」と題する特別講演があった．渡邊氏は，手術ロボットのダビンチを日本でいち早く導入し，高いロボット心臓手術の成功率を誇っている．驚くべきことに，難しいといわれる心臓手術の患者が，術後1週間程度で退院が可能で，ロボット手術は患者への負担がきわめて少ないとのことである．また髙村氏は省エネルギーやハイブリッド，IT技術を駆使した建機の稼働管理システムなどの紹介を通じて，建設機械メーカーとしてのグローバルな展開を紹介し，フルードパワーの底力を感じさせてくれた．

フルードパワー技術，特に油圧・水圧の液圧技術は，重作業や建設機械，エネルギー関連技術への今後のますますの発展展開が期待でき，また人間親和性の高い空気圧技術やマイクロ化に適した機能性流体は，医療や福祉機器・システムへのより一層の展開が期待できる．今回の日本機械学会年次大会では，基調講演や先端技術フォーラム企画，オーガナイズドセッションで，多くのフルードパワーの研究や事例紹介が活発に行われ，フルードパワーの将来への幅広い展開を予感させる大会となった．なお2013年度の年次大会は岡山大学にて開催される予定である．

参考文献

1）田中豊，フルードパワーアクチュエータの動向と将来像，日本機械学会2012年度年次大会講演論文集DVD，No. 12-1，K11500，基調講演，2012.（以下，すべて同じDVD論文集）
2）浦井隆宏，フルードパワーシステムのエネルギー関連への技術展望，先端技術フォーラム
3）平岩秀幸，HSTフォークリフト，先端技術フォーラム
4）竹村研治郎，マイクロフルードパワー源としての電界共役流体，先端技術フォーラム
5）小俣透，流体を用いた手術機器，先端技術フォーラム
6）川嶋健嗣，力覚提示機能を有する空気圧駆動多自由度鉗子マニピュレータ，先端技術フォーラム
7）早川恭弘，空気圧を用いた福祉介護機器の開発，先端技術フォーラム
8）吉田和弘，三好智也，嚴祥仁，横田眞一，交流圧力源を用いた多自由度ERマイクロアクチュエータシステム，J113015
9）眞田一志，パワーアシスト椅子用アクチュエータの動作感応形制御，J113021
10）松永拓也，早川恭弘，俣野有毅，野口卓磨，人間親和性を有する介護移乗機に関する基礎研究，J113022
11）塚越秀行，森庸太朗，北川能，スライド式柔軟流体アクチュエータ：Λ-driveとその応用，J113023
12）三浦一将，桂誠一郎，MR流体アクチュエータによる環境再現システムの実現，J113024
13）赤澤翔，鳥居良介，鈴木健児，中尾陽一，水圧駆動用90°回転型アクチュエータの性能評価，J113025
14）畑山敏毅，赤澤翔，鈴木健児，中尾陽一，水圧比例弁を用いた水圧シリンダ制御系のモデル化，J113026
15）村木雄飛，藤田壽憲，榊和敏，川嶋健嗣，香川利春，空気圧ベローズを用いた静圧案内微動ステージの超精密位置決め，J113031
16）山口大裕，藤田壽憲，ノズルフラッパ型空気圧サーボ弁の動特性を考慮した圧力制御，J113032
17）山本陽太，脇元修一，鈴森康一，和田晃，細径マッキベン型アクチュエータの開発，J113033
18）岩田和大，鈴森康一，脇元修一，伸縮人工筋の放射状配置による全方向湾曲高出力ソフトマニピュレータ，J113034
19）今村恒彦，NGUYEN Vinh Xuan Thanh，金俊完，横田眞一，枝村一弥，MEMS技術によるECFマイクロレートジャイロの開発と性能評価，J113035
20）金俊完，宮川裕史，横田眞一，枝村一弥，マイクロチップ冷却用環状ECFマイクロデバイスの特性評価，J113036
21）勝又大介，佐藤知弘，坂本誠，大野学，吸着ブレーキを適用したイモムシ型管内走行ロボット（吸着ブレーキと体節を構成するベローズアクチュエータの特性），G150051
22）則次俊郎，塚村幸平，高岩昌弘，佐々木大輔，空気圧ゴム人工筋を用いた腰部パワーアシスト装置，J027043
23）早川恭弘，上治卓也，鬱血防止マットの開発，J241041
24）北脇知己，藤長武士，小西有人，佐々木大輔，則次俊郎，岡久雄，生体情報を考慮した起立動作評価法（空気圧アクチュエータを用いたアシストウェアへの応用），S153012
25）中西祐貴，北川真一貴，土橋宏規，嵯峨宣彦，永瀬純也，中本裕之，空気圧シリンダを用いた上肢リハビリテーション支援機器に関する研究，S154014
26）辻村修平，網干大樹，松岡敦，平山朋子，佐々木勝美，超精密位置決め用多連型空気圧サーボ軸受アクチュエータの特性評価，S114015

（原稿受付日　2012年10月7日）

教　室

おもしろ油圧機構　第10回　メカトロ油圧機器

著者紹介

大橋（おおはし）　彰（あきら）
油研工業
〒252-1113 綾瀬市上土棚中4-4-34
E-mail：ak.ohashi@yuken.co.jp

1972年静岡大学大学院修士課程修了．1972年油研工業入社．主に，油圧ポンプ・モータの開発，営業技術，商品企画，経営企画などの業務に従事．

1．はじめに

油圧機器の巧みな機構を土台にして，電子制御機器，センサ，制御ソフトなどを組み合わせた機器は，メカトロ機器と呼ばれる．1970年代頃から比例電磁式油圧機器としての実用化と普及が始まり，制御性，操作性の良さ，使いやすさなどが加味され，様々な製品群が出現した．本教室でも，比例電磁式ロードセンシングポンプ[2]，比例電磁式パワーセービング弁[3]などを紹介した．今回は主として油圧ポンプの斜板角制御と回転速度制御に関するメカトロ油圧機器の作動原理と機構を解説する．

2．ポンプの斜板角制御

図1～3に，比例電磁式圧力･流量制御形ポンプの図記号，カットモデル，原理図を示す．

図1に示すように，必要な圧力と流量は，それらの入力電圧信号をポンプに搭載されたアンプに入力することによって得られる．ポンプ吐出側に比例式絞り弁と流量のコンペンセータ弁がないことが，比例電磁式ロードセンシングポンプと大きく相違する．流量は，斜板に取り付けた回転角センサ（ポテンショメータ）からの電圧信号と入力信号を比較し，偏差をなくす方向に斜板の角度を直接制御して調整する．同様に圧力は，搭載弁内の圧力センサからの信号との比較による．

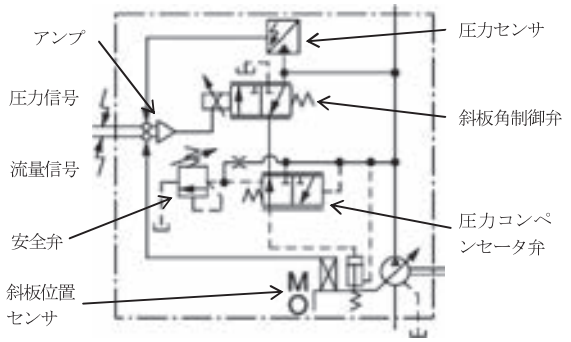


図1　比例圧力･流量制御形ポンプ図記号

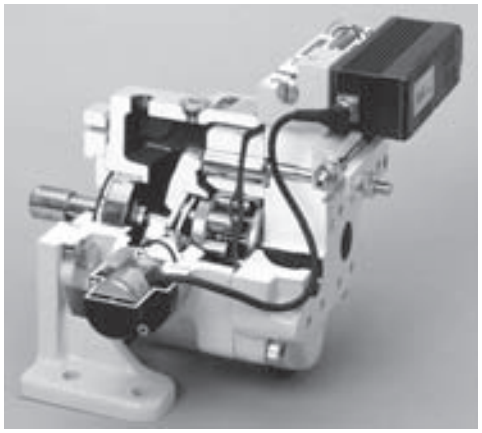


図2　比例圧力･流量制御形ポンプ

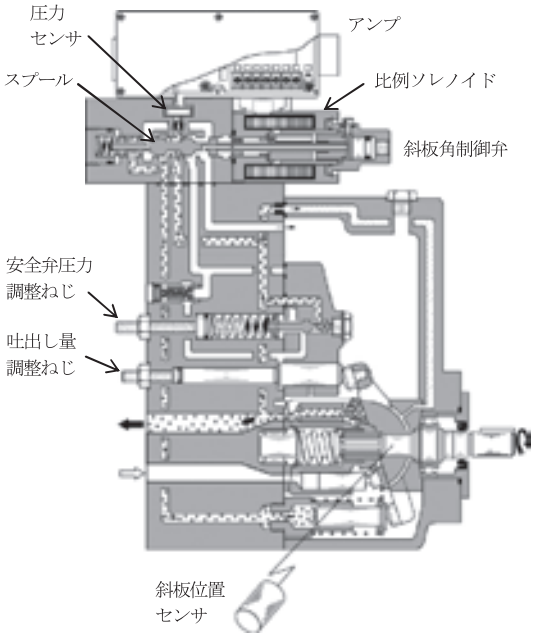


図3　比例圧力･流量制御形ポンプ原理図

この方式は，ロードセンシングポンプがオープンループ制御であるのに対し，クローズドループ制御である．偏差信号はアンプ内で演算され，電流信号を比例ソレノイドに出力し，斜板角制御弁のスプール変位に応じてポンプ可変機構を動かす．制御回路に電気的な不具合が発生した場合は，異常圧力が作用しないよう安全弁とコンペンセータ弁が作動する．

この結果，第３回[2)]の図10に示すように，優れた直線性やヒステリシス特性などが得られる．また，絞り弁による流量制御のような弁差圧分のポンプ圧力の上昇がないため，省エネ効果もあり最低調整圧力も低く抑えられる．各センサからの電気信号を流量値（最大流量に対する%），圧力値（MPa）に換算してモニタ表示することもできる．

流量は，ポンプ回転速度に比例して変化することに注意を要す．誘導電動機で駆動する場合には，使用地域により電源周波数が異なるため，第３回[2)]の図10下図のように，同一斜板角でも得られる流量が異なる．逆にこのことを利用して，圧力の上昇によるポンプの漏れ量増加や誘導電動機のスリップ量を推定して補うことも可能であり，圧力値をセンシングしているからこその特長である．

３．ポンプの回転速度制御

図４は，サーボモータ駆動回転速度制御ピストンポンプの外観であり，図５はシステムの構成図である．

流量・圧力の制御原理は，２章の斜板角制御に対して，サーボモータの回転速度制御であり，第３回[2)]で示した式(1)，および式(2)に基づく．

$$Q_{th}=nq_{th}=nZ\frac{\pi}{4}d^2D\tan\alpha \tag{1}$$

$$p=\frac{2\pi T}{q_{th}} \tag{2}$$

式(1)は，斜板角 α によって決まる押しのけ容積q_{th}が一定でも回転速度nを制御すれば，等価的に流量を調整できることを意味する．可変容量形ピストンポンプでなく，ギアポンプ，スクリューポンプなど定容量形ポンプを使用する製品も多い．式(2)は，圧力pが入力トルクTと押しのけ容積q_{th}によって決まることを意味している．

回転速度は図５のモータに付属するパルスジェネレータ（PG）により，圧力はポンプに搭載した圧力センサによってセンシングする．圧力制御の原理は斜板角制御ポンプと同等で，斜板角に代えて回転速度変化により圧力補償制御を行なう．

一般に，油圧ポンプを駆動する電動機やエンジンには，出力動力と出力トルクに制限があり，最高圧力かつ最大流量の高負荷状態では長時間使用できない．定馬力（定トルク）制御方式のポンプは，圧力の上昇に応じて流量（斜板角）を減らし，油圧負荷を軽減してエンジンのストールを防止するねらいがある．電動機も同様にトルク制限があり，サーボモータ駆動ポンプでは，圧力と流量の設定信号を許容使用範囲内で入力する必要がある．

図６は，圧力-流量特性の例であり，各工程の負荷が線図内となるような機種を選定する．ここで，たて軸の流量は回転速度に，よこ軸の圧力はトルクに対応する．

図４　サーボモータ駆動ポンプとコントローラ

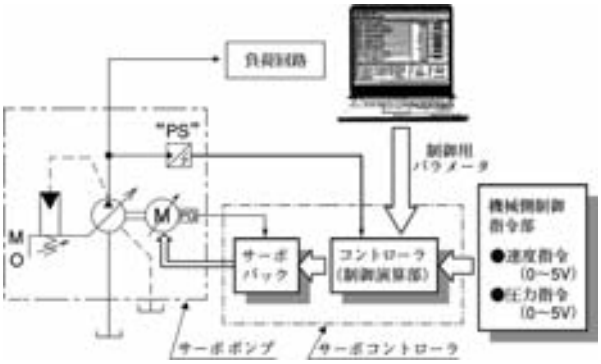


図５　サーボモータ駆動ポンプのシステム構成

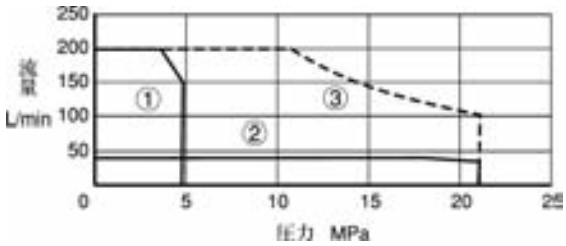


図６　サーボモータ駆動ポンプの特性例

①は最大斜板角にて連続使用可能な領域，②は斜板角を制限して連続使用可能な領域の例，③は短時間使用が可能な領域を示す．①と③のコーナ部の放物線は，油圧動力が一定となる圧力と流量の値である．また，①の斜板角設定ではモータのトルク定格から連続使用圧力が５MPaに制限され，②では21MPaまで可能なことを示している．②は斜板角を小容量側に切換え，小流量かつ高圧力で使用する工程に適用される．この２容量形ポンプは，プレス装置や射出成

形機などにおいて，高圧の保圧時間が長い使用条件に適し，比較的小出力のサーボモータが選定できる．

回転速度制御ポンプシステムの特長は，省電力・省エネかつ低発熱である．負荷の必要とする流量に応じた回転速度を調整することから，低負荷時でも誘導電動機を定格回転速度で運転するロードセンシング制御ポンプや斜板角制御ポンプの場合に比し，損失動力も低減でき低発熱につながる．また，サーボモータは広い回転速度範囲にわたる高応答運転が可能なため，油圧の静的高精度，動的高応答性を実現できる．

一般にサーボモータは高速で駆動するため，誘導電動機を使用する場合と比べ，小容量のポンプで大流量が得られることも小形化のメリットとなる．油圧駆動に適した高トルク形サーボモータの開発なども活発に行なわれている[4]．

4．サーボドライブシステム

図７に，サーボモータ駆動ポンプにより，油圧シリンダの速度･圧力･位置制御を行なうシステムの構成を示す．図８はパッケージ部の断面である．

このシステムは，サーボ弁を使用せずにポンプの双方向（正逆転）回転速度制御により，油圧シリンダの一軸制御を行なう簡易サーボシステムである．ポンプとシリンダは閉回路を構成し，ポンプ・モータはリザーバと一体である．シリンダ位置は位置センサにより，回路圧力は圧力センサによりそれぞれセンシングする．回転速度制御のフィードバック信号は，サーボモータに付属するPGにより得られる．３章のシステムとの違いは，双方向回転ポンプを使用した閉回路であり，ポンプの正逆転によりシリンダを押し引きする．サーボ弁・比例弁制御のような圧力損失は発生せず，負荷に必要な流量（回転速度）の制御を行なうため動力損失も少なく省エネ運転ができる．特に圧力制御中は，回路の内部漏れを補うだけのポンプ流量で済み，低発熱，低騒音である．

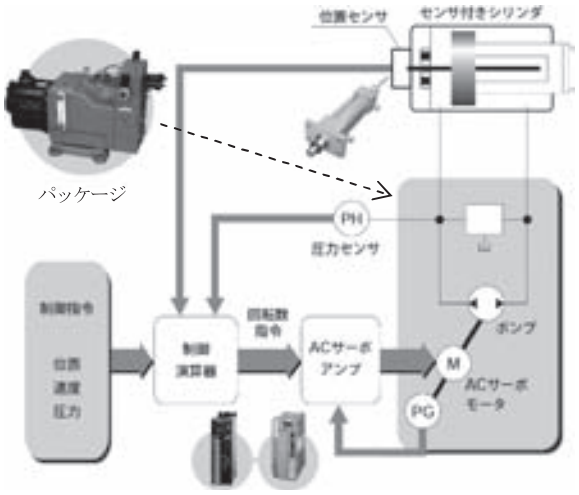


図７　サーボドライブシステム

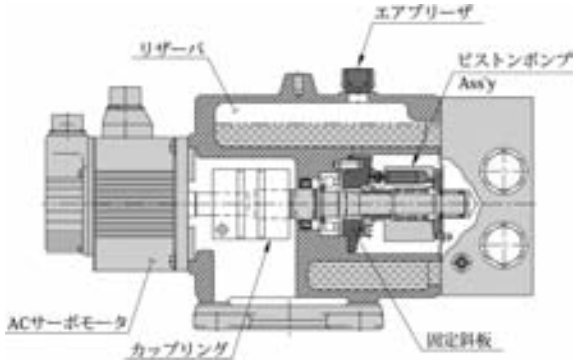


図８　パッケージ部断面

5．おわりに

ポンプシステムのほか，図９に示すアンプ搭載形制御弁や，サーボ弁を油圧モータやシリンダに搭載したシステムもメカトロ油圧機器といえる．

図９　メカトロ油圧制御弁類

メカトロ機器は，比例ソレノイド，トルクモータ，リニアモータ，ステッピングモータ，サーボモータなどの電気－機械変換要素とセンサ，アンプを含む制御機器とソフトウエアの電気的制御が特徴である．油圧の優れた増幅機能をより一層引き出して特性を改善し，通信機能などを付加したシステムもあり，用途を拡大している．

油圧補償弁の弁要素がセンサに置き換わった原理などがお分かりいただけただろうか．

参考資料

1）全般：油研工業カタログ，作動原理図集
2）大橋：おもしろ油圧機構 第３回 比例電磁式ロードセンシングポンプ，フルードパワーシステム，Vol. 42, No. 5, p. 300-303（2011）
3）大橋：おもしろ油圧機構 第５回 流量制御弁，フルードパワーシステム，Vol. 43, No. 1, p. 40-42（2012）
4）大場：サーボモータ駆動油圧ポンプとその制御，フルードパワーシステム，Vol. 41, No. 4, p. 192-195（2010）

（原稿受付：2012年８月９日）

教　室

おもしろ空気圧「イオナイザ」

著者紹介

小辻一雄（こつじ かずお）
株式会社コガネイ
〒184-8533 東京都小金井市緑町3-11-28
E-mail：kotsuji-ko@koganei.co.jp

1986年株式会社コガネイ入社．
主に流体機器，空気圧機器，静電気対策機器の開発に従事．

1．静電気問題

静電気問題として，冬場の乾燥した時期にセーターを脱いだ時や車から降りる時などに痛い思いをした経験があると思う．その静電気による問題は，産業の中では製品の歩留りを向上する上で深刻な問題であり，その対策は欠かせない課題となっている．たとえば，情報化社会の発展を支えるパソコンや携帯端末，デジタルカメラなどの情報化機器は，その機能性を高め進化し続け，これらの機器に搭載されるCPUや各種半導体メモリ，HDD，CCD，LCDなどの電子部品，電子機器も高速化，高集積化，大規模化を余儀なくされている．その一方でダウンサイジングと省エネという課題も満足しなければならない．これらの製品，部品の製造工程では静電気障害による多くの問題が発生している．

静電気現象による障害は，大きくつぎの三つの要因に分類することができる．

○静電気放電（ESD）による部品，製品の損傷
○静電気放電により発生する電磁波の影響（EMI）
○静電気力（クーロン力）によるゴミの付着および製品の汚染，またシート状製品やガラス基板の帯電による搬送異常

製造工程におけるこれらの現象はいずれもワークの帯電が起因している．このワークに対して，治具やゴミとの電位の差が放電や吸着といった現象を引き起こすこととなる．

ワークが帯電する多くの場合，搬送時に帯電することが多いが，静止状態であっても帯電している場合があるので，注意が必要である．

一般的な帯電メカニズムとしては次のようなものがある．

○接触帯電：２物体を接触させるだけで起こる帯電
○摩擦帯電：摩擦による帯電
○転がり帯電：回転体が他の物体の上を転がったときに起こる帯電
○剥離帯電：接触面の分離による帯電，剥離速度が速いと帯電量大
○噴出帯電：高圧ガスや液体の噴出に伴うノズルなどとの摩擦による帯電
○誘導帯電：静電誘導によって生じる帯電，接触させずに帯電する

いずれも物体の移動，相対位置の変化と密接な関係にあることがわかる．したがって製造工程における静電気対策においては，ワーク自身の静電気に対する特性だけではなく，ワークおよびワーク周辺に存在する稼動部との位置関係を十分に考慮して，効果的な静電気対策を考える必要がある．

静電気対策の基本は，帯電防止・抑制と除電，すなわちいかにワークに問題となる電荷を蓄積させない工夫をするかということと，もしも蓄積してしまった場合にいかに効果的に電荷を取り除くのか，この二つの課題がある．

帯電防止・抑制にはワークおよび装置の材質，湿度などエリアの環境，アースの取り方などの検討が必要であり，蓄積してしまった帯電を取り除くにはイオナイザによる電荷の中和が効果的である．また，イオナイザを常時用いることにより事前にワークの帯電を予防することができる．

2．イオナイザの原理

2.1　イオンの発生方式

静電気障害対策のひとつの方法として，イオナイザによる除電は非常に効果的である．

前述のように静電気による障害発生のメカニズムはワークの材質，形状などワーク自身の特性とともに，ワークの相対的な移動と密接な関係にあるため，工程に合致した機種選定と設置および使用が必要である．

イオナイザによるイオンの発生には図１に示すように種々の方式があるが，機器の取扱いの容易さからコロナ放電式イオナイザがもっともよく用いられている．

コロナ放電式イオナイザは，針状の放電電極へ高電圧を印加し，放電電極先端での電界集中により空気を絶縁破壊し電離させることにより，プラス（正）とマイナス（負）の空気イオンを生成するものである．

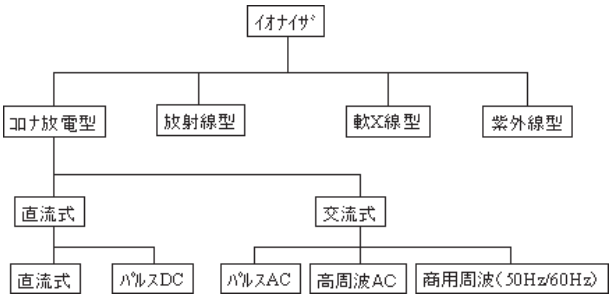


図１　イオン発生方式による分類

2.2　除電メカニズム

静電気を中和する除電メカニズムとしては，図２に示すように放電電極の電界により生成されたプラス（正）とマイナス（負）の空気イオンは，圧縮空気あるいはファンの送風により帯電しているワークへと搬送される．このときワークがプラス（正）に帯電しているとすれば，マイナス（負）の空気イオンは，クーロン力により引き付けあい中和する．プラス（正）の空気イオンは，クーロン力により反発しあい空間へと放出される．

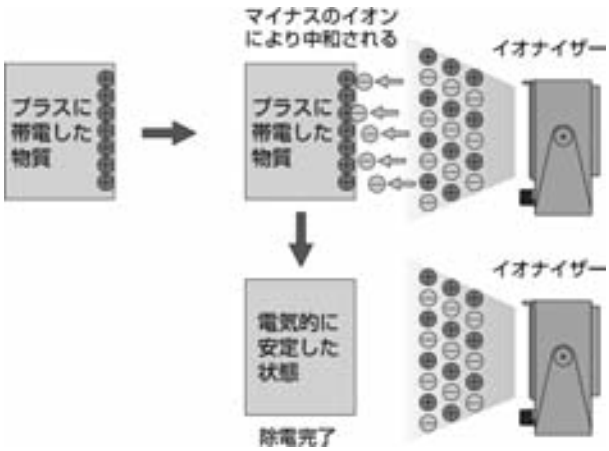


図２　除電メカニズム

このとき，ワークは搬送されてくるプラス（正）とマイナス（負）の空気イオンによりプラス（正）とマイナス（負）の帯電を繰り返す．イオンクラスターが大きければ帯電電圧は高くなる．すなわちイオナイザの周波数が低く電荷が大きいほどイオナイザから放出される正・負の電荷による帯電の危険性が高くなる．当初のワークの帯電を中和した後，イオナイザからのイオンクラスターが大きすぎるために逆の極性に帯電させてしまうことがあるため，特に静電破壊電圧の低いワークの除電にはイオナイザの選定に注意が必要である．

３．イオナイザの種類

3.1　イオナイザの種類

イオナイザに必要とされる性能の一つには，帯電したワークの静電気をいかに早く中和するかという除電性能があり，その評価はチャージプレートモニタという測定器を使い評価するのが一般的であるがここでは詳細な説明は省く．

イオナイザの除電性能を向上させるためには，発生した空気イオンを効率よくワークへ搬送することが必要である．

その方法として，圧縮空気を使い空気の流れに空気イオンを乗せて搬送するものと，電動ファンを用いてファンの風の勢いで搬送するものがある．

圧縮空気を使い空気イオンを搬送するタイプの用途には，ワークの静電気を中和する除電用途と静電気によってワークに張付いたゴミを取り除く除塵用途がある．

また，イオナイザのタイプとしては，複数個の放電電極を並べ幅広い除電範囲を有する図３の「バータイプイオナイザ」，除電および除塵用途に使われ，さまざまな形状のノズルから空気イオンを噴出しスポット的に除電を行うことができる図４の「ノズルタイプイオナイザ」，そして，静電気により張付いたゴミの除去に使用する図５の「ガンタイプイオナイザ」がある．

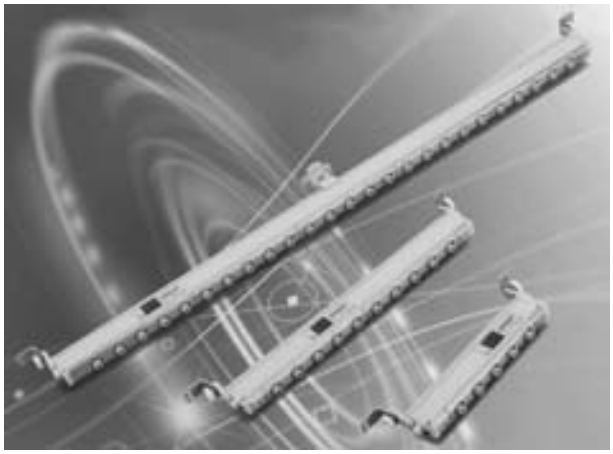


図３　バータイプイオナイザ

そのほか，電動ファンの風を利用して空気イオンを搬送し除電を行う「ファンタイプイオナイザ」がある．

図４　ノズルタイプイオナイザ

図５　ガンタイプイオナイザ

3.2　イオナイザの使用

イオナイザの種類には，形状やイオンの発生方法，イオンの搬送方法などの違いによる各種タイプがあり，使用する用途により適切なものを選定し使い分ける必要がある．

圧縮空気を利用するイオナイザの一つの用途としてワークに張付いたゴミの除去がある．ノズルタイプイオナイザやガンタイプイオナイザでは，圧縮空気が噴出する勢いを利用してワークに付着したゴミを除去すると共に，静電気で帯電しているワークの除電を行い除塵と除電を同時に行うことができる．

圧縮空気のみで付着したゴミを除去することも可能であるが，ワークが帯電しているとゴミの再付着が発生するため，イオナイザを使用することによりワークのゴミを取り除くと同時に除電を行うことが有効である．

また，ゴミを除去する際にイオンを搬送する圧縮空気を間欠で吹き付けることにより，ワークに付着しているゴミを剥がす効果が上がり，ゴミを効率よく除去することができる場合がある．

図６に示すようにワークが固定または一定方向に移動しているような工程では，圧縮空気を間欠に吹き付けること（間欠イオンエアブロー）により除塵効果が向上する．

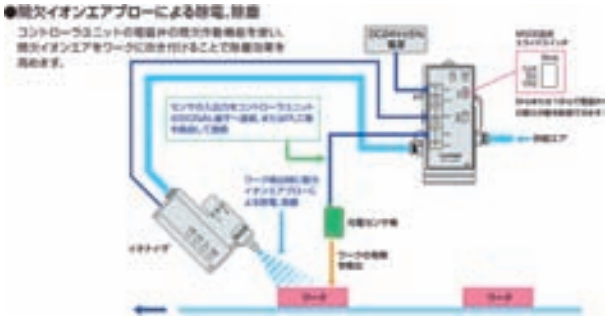


図６　間欠イオンエアブローのイメージ図

4．静電気対策

ここに紹介したイオナイザによる除電，除塵以外にも，静電気障害の問題と対策方法は種々あり，特に静電気による帯電においては，むしろイオナイザの使用は静電気対策の方法のひとつとして考える必要がある．また，帯電現象および放電現象による静電気障害は，対象物のみならず環境も含め対策を講じることが重要である．

イオナイザによる静電気障害の対策は非常に有効な場合がある．しかし，使用方法を誤るとイオナイザの効果が出ないばかりか逆にワークを危険にさらすことにもなりかねない．イオナイザを使用する際は，それぞれの特性を生かした機種選定とイオナイザの効果が失われないような設置方法を検討する必要がある．また，イオナイザを設置した際の効果を確認しておく必要がある．

参考文献

1）静電気学会：静電気ハンドブック（1998）

（原稿受付：2012年10月１日）

教　室

入門講座「流体力学」 第３回：噴水はどこまで上がる？

著 者 紹 介

高橋（たかはし）　勉（つとむ）
長岡技術科学大学工学部
〒904-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1
E-mail : ttaka@nagaokaut.ac.jp

1989年東京理科大学大学院理工学研究科博士後期課程修了．同大学助手，長岡技術科学大学工学部助手，助教授，准教授を経て，2011年同大学工学部教授，現在に至る．複雑流体力学，レオ・オプティクス，流体関連振動の研究に従事．日本機械学会などの会員．工学博士．

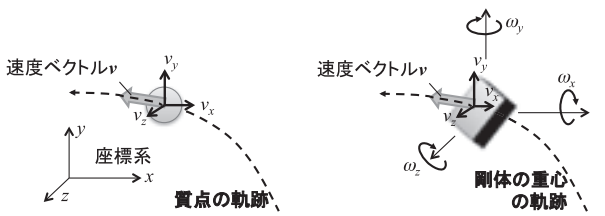
1. はじめに

いよいよ流体の運動について勉強を始めよう．流体の運動を理解するということは何を求めれば良いのであろうか，それを求めるにはどんな考え方や式が必要なのだろうか．まずはまさつを無視できる流体（理想流体）の流動を検討しよう．皆さんよくご存じの質点および剛体の力学と流体の力学の類似点，相違点を考えながら流体力学の考え方の基礎を学んでいただきたい．

2. 流れ場を表す４つの次元と４つの物理量

問題3-1：流れを完全に理解した，というためには何を求めればよいか？

流れ場について考える前に単純な仮想物体である質点と剛体の運動について確認しよう．物体の運動は移動（平行移動，回転）と変形に分けられる．質点は質量のみで大きさのない物体であり，平行移動のみを議論すればよい．質点の速度の時間的な変化 $\boldsymbol{v}(t)(v_x(t), v_y(t), v_z(t))$ がわかれば移動する軌跡や加速度も算出できる．剛体とは大きさはあるが変形しない物体であり，図１(b) に示すように重心位置の平行移動に加えて回転（角速度 $\boldsymbol{\omega}(t)(\boldsymbol{\omega}_x(t), \boldsymbol{\omega}_y(t), \boldsymbol{\omega}_z(t))$）を考慮しなければならない．



(a)　質点の運動　　(b)　剛体の運動

図１　質点および剛体の運動を表す物理量

それでは流れ場を理解するには何を求めれば良いであろうか．第２回の講座で学んだとおり質点や剛体の運動はひとつの物体の運動を時間とともに追いかける方法，ラグランジュの見方により観察する．これに対して流れ場ではオイラーの見方，すなわち時刻と場所の関数として各種の物理量を取り扱う．オイラーの見方では速度 $\boldsymbol{v}$ の３つの成分（v_x, v_y, v_z）はそれぞれが時刻と場所の関数として表される．

$$v_x = v_x(t, x, y, z),\quad v_y = v_y(t, x, y, z),$$
$$v_z = v_z(t, x, y, z) \tag{1}$$

剛体の運動で考慮した回転（角速度）は流れの場において必要な物理量であろうか？流れにおいて回転は「渦」という現象に関係し，きわめて重要な因子のひとつである．しかし，剛体と異なり形が不定である流体の回転は単純に角速度で表すことはできず，回転の中心も無数に発生する．このため，流れの中の回転は渦度という指標で評価する．渦度は空間的な速度差より算出されるため速度分布（式(1)）がわかれば求めることができる．渦度は少しややこしい概念なので次回以降に解説する．

流れ場を理解するには速度以外に必要な情報はあるだろうか．温度，密度，流体や壁面に作用する応力なども流れ場に関係する物理量だろうか？

液体は通常，非圧縮性の物体として取り扱う．気体は密閉容器内で圧力を加えると圧縮するが，風のような自由な流れや停まっている空気の中で移動する物体のまわりの流れにおいて圧縮の効果が現れるのは超音速に近い高速の場合に限られる．普段の生活で目にする流れ場では気体であっても非圧縮性として取り扱うことができ，流体の密度は定数となる．また，非圧縮性であれば外部からの加熱・冷却がないかぎり温度変化を考慮する必要もなく，温度の関

数である流体の粘度もこの場合は定数として扱える．流体内部や流れに接する壁面に作用する応力は本講座第１回で学んだニュートン流体の構成方程式であるニュートンの粘性法則を用いれば速度分布から算出することができる．では，圧力はどうであろう？圧力は面に垂直に作用する応力（法線応力）と等価であるが，流動により誘起される法線応力と大気圧に代表される静圧（運動状態とは無関係に流体に作用する周囲からの圧力）は別のものであり分けて考慮すべきである．魚は海の表面近くでも深海でも同じように泳ぐことができる．つまり，遊泳に関する流体力学は静圧の大小に影響されない．一方で，水深が下がると静圧が上がり圧迫される．底に穴のあいたバケツに水を入れると水位が高いときには勢いよく水がもれ，水位が下がると漏れ量も小さくなる．水位は底にかかる静圧に関係することから圧力が流れ場（この場合は漏れ量）に影響することは容易に予想できる．つまり，圧力は速度分布から予測可能である応力とは分けて検討しなければならない流れに関する物理量のひとつであり，オイラーの見方では速度と同様に４つの次元の関数として表される．

$$P=P(t, x, y, z) \tag{2}$$

式(1)と式(2)を合わせて，図２のように流れ場は４つの次元（t, x, y, z）と４つの物理量（v_x, v_y, v_z, P）により表すことができる．言葉で定義すると「流れ場の中の任意の座標と任意の時刻を指定したとき，その位置における速度ベクトルと圧力が答えられる状態にあれば流れを完全に理解したといえる」となる．

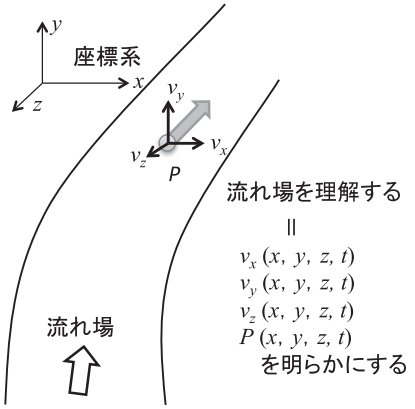


図２　流れ場を表す４つの次元と４つの物理量

本講座第２回において物体の運動を次元と定常・非定常で分類することで問題を簡単にできる場合があることを学んだ．流れの問題でも一次元や二次元で表すことが可能な場合がある．このとき式(1)，式(2)で示した流れに関係する４つの次元のうち１個ないし２個の次元および速度成分を現象に影響しないものとして無視することができる．定常な流れ場を対象とする場合は時間的な変動を無視できるので次元の中からtを無視することができる．たとえば，水の二次元定常流動状態を理解するためには$v_x(y)$と$P(x)$のみを求めればよい（詳細は次回に説明予定）．

このように，対象とする流れをよく観察すると４つの次元，４つの物理量のいくつかを無視できる場合があり，未知数や次元を減らすことで解析を簡単化することができる．

3. 流れの問題を解くツール

流れに関係する物理量が流速と圧力でありこれらを求めればよいことはわかったが，解析にはその関係式が必要である．代数学で学んだとおり問題を解くには未知数の数だけ方程式が必要になる．そこでつぎに流れの問題を解くための方程式を導こう．

問題3-2：一般力学においてよく用いられる保存則を3つ述べよ．

流れの問題に限らず自然科学においては保存則を用いて基礎方程式を得ることが多い．力学における基本的な保存則は「質量保存則」，「運動量保存則」，「エネルギ保存則」の三つである．質点の力学の基礎方程式もこれらの保存則より導かれている．これらと比較しながら流体力学に関する基礎式を求めてみよう．

もっとも単純な流れ場として，まさつを無視できる流体（理想流体）のパイプ内の定常流動を考える．図３のように途中で直径が細くなる円管流路の定常流れを例としよう．まさつを無視すると流体は壁で滑ることから流れに垂直な断面では半径方向のどの位置でも速度は同じとなる．流れの速度成分は軸方向（x）のみとなり，時間的変化もないことからv_xは流れ方向の位置に関する関数$v_x(x)$となる．圧力も同様である．これより，この流れ場は一次元定常

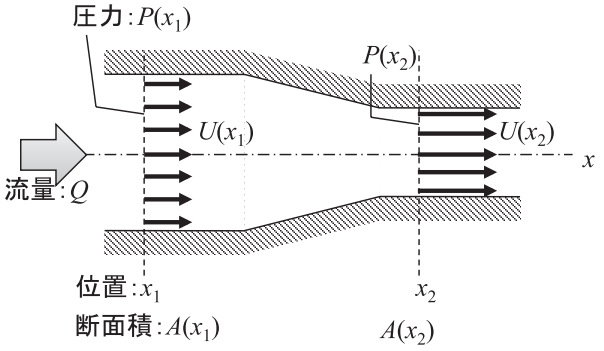


図３　理想流体の一次元定常流動

流動として取り扱うことができると考える．

$$v_x = v_x(x),\ v_y = v_z = 0,\ P = P(x) \tag{3}$$

いま，１秒間にQ［m³］の流体が流れているとしよう．Qを体積流量という．ある位置x_1に注目するとこの断面を１秒間に体積Qの流体が通り過ぎることになる．この断面における平均的な流速$U(x_1)$はQをこの位置における断面積$A(x_1)$で除すればよい．

$$U(x_1) = Q/A(x_1) \tag{4}$$

断面にわたって流速は一定であるから，x_1における軸方向の速度$v_x(x_1)$は断面の平均流速$U(x_1)$と等しい．

つぎに，断面x_2での速度を考える．x_2では断面積が$A(x_2)$に変化している．では速度はどのように求まるであろうか．この管路は途中で水漏れやまわりからの流れ込みがないので，x方向の位置が変わっても１秒間に流れる流体の質量は一定に保たれなくてはならない．つまり，質量保存則が成り立つ必要がある．流体は非圧縮としているので密度は不変であり１秒間に流れる質量が一定なら体積も一定となる．つまり，どの断面においても１秒間に流れる流体の体積はQであり，位置x_2における流速$v_x(x_2)$は

$$v_x(x_2) = U(x_2) = Q/A(x_2) \tag{5}$$

となる．式(3)と式(4)より，流量Qと断面積$A(x)$，流速$v_x(x)$の間には以下の一般的な関係が成り立つ．

$$Q = AU = 一定 \tag{6}$$

式(6)はまさつを考慮しない流体の一次元流れにおける質量保存の法則を表すものであり「連続の式」とよぶ．

つぎにエネルギ保存則の適用を検討しよう．質点の力学では位置エネルギと運動エネルギの和が等しいことを学んだ．質量m［kg］の物体が速度v［m/s］で垂直上方に投げ上げられるとき，時間経過にかかわらずある瞬間の物体の高さhと速度の間には以下の関係が成り立つ．

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 = 一定 \tag{7}$$

ここで，gは重力加速度を表す．これを流体の力学に置き換える場合，質点と異なり流体は連続していることから質量の代わりに単位体積あたりの質量，すなわち密度ρ［kg/m³］を用いる．図３の例では位置x_2において断面積が減少し流速が高くなることから運動エネルギが大きくなる．x_1とx_2の位置で流体の持つエネルギが保存されるためには増加した運動エネルギと同等の何らかのエネルギ低下が生じなければならない．この管路が水平に設置されているとするとx_1とx_2の位置では流体の持つ位置エネルギは変化しない．流れを表す物理量が速度と圧力であることから，低下したエネルギは圧力に関するエネルギと予測できる．単位をチェックしてみよう．流体の持つ運動エネルギと位置エネルギの単位は，

$$\frac{1}{2}\rho v^2, \rho gh \sim \left[\frac{kg}{m^3}\left(\frac{m}{s}\right)^2\right] or \left[\frac{kg}{m^3}\frac{m}{s^2}m\right] = \left[\frac{N\cdot m}{m^3}\right] = \left[\frac{J}{m^3}\right]$$

$$\approx \left[\frac{N}{m^2}\right] = [\mathrm{Pa}] \sim P \tag{8}$$

のように単位体積あたりのエネルギ［J/m³］で表され，これは圧力の単位［Pa］と同じであることがわかる．これより式(7)の質点のエネルギ保存則を単位体積あたりの流体のエネルギ保存則として書き直すと以下のようになる．

$$\rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 + P = 一定 \tag{9}$$

なんだかトリックのようであるので，具体的な例を挙げて考えてみよう．

問題3-3：図4(a)〜(d)に示すように質量mの質点，剛体，垂直なパイプ内および底に穴のあいたタンク内に保持された密度ρの理想流体がある．それぞれ時刻$t=0$において重力により落下を開始する．そのときx_1の位置で観察される各物体（流体）の速度を求めよ．

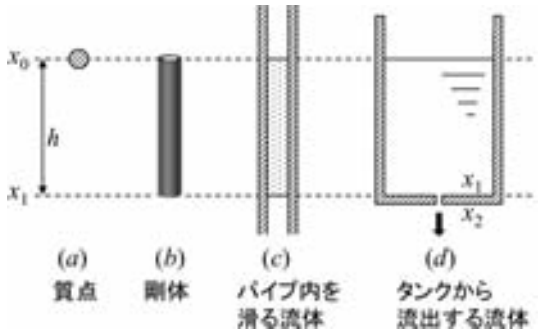


図４　固体・流体の重力による落下，流出

図４(a)に示す質点は時刻tにおいてx_0の位置にあり，重力加速度gにより落下する．位置x_0とx_1での速度をv_0，v_1とすると，式(7)に示したエネルギ保存則より各位置でのエネルギは以下のようになる．

$$mgx_0 + \frac{1}{2}mv_0^2 = mgx_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 \tag{10}$$

v_0はゼロであり，x_0とx_1の距離をhとすると，式(10)よりx_1における質点の通過速度は以下のようになる．

$$mg(x_0 - x_1) = \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$\therefore v_1 = \sqrt{2gh} \tag{11}$$

ラグランジュの見方では質点は時間とともに加速しながら落下するが，位置x_1において物体の通過速度を観察している人にとっては時刻が経過しても何も起こらず，ある瞬間に物体が速度$\sqrt{2gh}$で通過したよ

うに見える（図５参照）．

図４(b) の剛体（長さh）の場合は，落下運動は平行移動であるので重心に全質量が集中している質点の運動と全く同等になる．すなわち，剛体が距離hだけ落下するときその落下速度は$\sqrt{2gh}$で与えられる．しかし，位置x_1で観察している人は質点の場合とは異なり落下開始時刻 $t=0$から目の前を物体が移動しているのが見えており，図５に示すようにその速度はゼロから時間とともに増加するはずである．x_0にあった剛体の上端がx_1を通過する際の速度は$\sqrt{2gh}$となる．

図４(c) はまっすぐなパイプに長さhの範囲だけ理想流体が満たされている．まさつを考慮しなくてよいので流体は質点や剛体と同様にパイプの中を変形せずに重力により滑り落ちる．形が変わらないので剛体の運動とまったく同じと考えてよい．すなわち，位置x_1において観察している人は流体の速度が時刻tとともに増加し，流体の上端面が通過する瞬間の速度は$\sqrt{2gh}$に達する，と感じる．

図４(d) はタンクに流体が蓄えられており水面からhの深さの底面に穴があいている場合である．図４(c) との違いは，タンクの断面積に対して穴の面積が小さければわずかな時間であれば水面が下がらないと仮定できること，そして穴を通過する流体が変形を伴う「流動」をすることである．水面が下がらないと仮定できるなら流体全体の重心に相当する位置は移動せず，穴から流出する流体の速度は質点・剛体の運動では説明できない．では，なぜ流体は穴から流れ出すのであろうか．タンクの中の流体は重力により下に引っ張られており，それをタンクの底面が落ちないように支えている．底面に作用する力は流体の全質量と重力加速度の積である．タンクが底面の面積Aの筒であるとするとタンク内の流体の全質量はρAh［kg］と表される．したがって底面に作用する力FはρAhg［N］となる．タンク底面に作用する圧力P_1は底面に作用する単位面積あたりの力なので

$$P_1 = \frac{F}{A} = \rho gh \text{ [Pa]} \tag{12}$$

と表される．ただし，大気圧は無視する．

穴から流出する流体の速度を計算するには式(9)を用いて各位置でのエネルギの比較を行う．比較を行う位置として，流体の上端面x_0，タンクの内側の底面x_1，および流体が流出するタンクの底面の外側x_2の３カ所を検討してみよう．

$$\rho g x_0 + \frac{1}{2}\rho v_0^{\,2} + P_0 = \rho g x_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^{\,2} + P_1 = \rho g x_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^{\,2} + P_2 \tag{13}$$

タンクの底の壁面は薄くx_1とx_2は高さの差が無視できるとすると$x_0 - x_2 = h$となる．タンクの水位がほとんど動かないとするとx_0とx_1では流速はゼロといえる（$v_0 = v_1 = 0$）．大気の圧力を無視するなら，開放されて大気と接している位置x_0とx_2では圧力は大気圧と同値でありゼロとおける．x_1を基準の高さ（$x_1 = 0$）とすると式(13)は以下のようになる．

$$\rho gh = P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^{\,2} \tag{14}$$

これより，穴から流出する流速v_2は$\sqrt{2gh}$となる．この結果は図４(a) の質点の落下速度とまったく同じである．つまり，容器の穴から流出する流体の流速は水面から穴まで質点を落下させたときの到達速度と同じとなる．これを「トリチェリの定理」という．

ところで，図５に示すように質点や剛体が落下によりこの速度に達するにはそれぞれ距離hを落下するだけの時間経過が必要となる．これに対して容器の底に空いた穴から流出する流体の速度は穴を空けた瞬間，たとえば穴に栓をしておいて栓を抜いた瞬間にこの速度に達する．図４(c) のように変形しない流体の運動なら質点や剛体の運動とまったく同じ考え方でよいが，流動する流体の場合には圧力という新たな物理量を導入することが必要となり，これが栓を抜いた瞬間に$\sqrt{2gh}$という速度が発生するという現象の理由となる．すなわち，静止した（運動エネルギがゼロの）状態でも深さにより位置エネルギと圧力の間にエネルギ保存則が成り立ち，タンクの底面の流体は水面から落下してきた質点が持つ運動エネルギと同等のエネルギを圧力として保持しているのである．このため，質点や剛体と異なり位置エネルギを運動エネルギに転換するためにわざわざ水面付近の流体が底まで運動する必要がなく，栓を抜くと底面付近の流体が持つ圧力が時間遅れなく運動

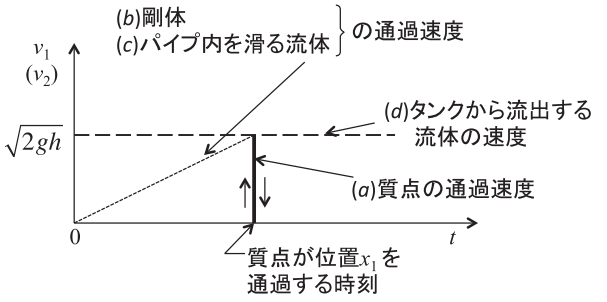


図５　位置x_1における物体（流体）の通過速度の時間変化．質点・剛体は手を離した瞬間を，流体は栓を抜いた瞬間を$t=0$とする．

エネルギに転換されて瞬時に所定の速度で流出する．

4. 噴水はどこまで上がる？

式⑼はある位置（状態）における流体が持つエネルギの総量を表し，それがどの位置でも保存されること，すなわち流体力学的エネルギ保存則を表すものである．この式を「ベルヌーイの定理」という．パイプの中の流れや噴流の運動などは連続の式とベルヌーイの定理を用いることで簡単に流速や圧力を知ることができる．では，今回の表題に掲げた問題，噴水について考えてみよう．

問題3-4：図６に示すようにタンクに理想流体が水深hとなるように満たされている．タンクの底に穴を空けチューブを取りつけた．チューブの出口は底面と同じ高さであるが出口は（a）真上，（b）斜め45度上方，（c）真横を向いている．チューブから噴出する流体が描く軌道を求めよ．

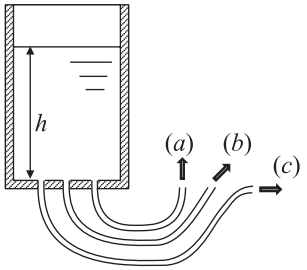


図６　チューブから噴出する流体の軌道

問題3-3(d）のタンクの底の穴からの流出問題と流体の上端面x_0からタンクの内側の底面x_1までは同じであるが，底面の穴にチューブが取りつけられており先端（出口）が底面と同じ高さとなるよう設置されている．タンク底面からチューブに入ったところをx_2，チューブ内の出口手前をx_3，チューブから噴出した直後をx_4の位置としよう．チューブの出口を指でふさいで流れないようにすると，すべての位置で流速がゼロとなり圧力と位置エネルギの関係だけで表される．タンク底面を基準の位置とするとx_0では位置エネルギがρgh，x_1からx_3はいずれも高さゼロであり位置エネルギはゼロとなり圧力Pのみの状態となっている．すなわち，チューブ出口部内側x_3では圧力$P=\rho gh$である．

指を離して流体が噴出するとき，チューブから流出した直後の噴流の直径はチューブの出口と同じである．つまり，連続の式から噴流の速度v_4はチューブ内の速度v_3と同じであり，さらにタンクからチューブに入ったところx_2での速度v_2とも同じとなる．v_2，v_3，v_4が同じ速度であることから運動エネルギも等しい．x_4では圧力は大気圧のみでこの場合ゼロとおけるので，x_1で流体が持つ圧力がx_2～x_4の位置ではすべて運動エネルギに変換される．理想流体は管内面をまさつなしで滑るためチューブは流れのガイドとして作用するだけであり，チューブの中の流れは問題3-3(c）のようにたとえ曲がりくねったチューブでも位置エネルギと運動エネルギだけを考慮すればよく圧力は変化しない．また，チューブの出口の向きが図６(a)～(c)のように変わっても，チューブを出た直後の噴流の速度v_4は変化しない．v_4は水深hのみの関数となる．空中を飛ぶ噴流は紐のようにつながって移動するが曲がった軌道においても変形に対してエネルギ損失が生じない．重力以外の力を受けず圧力も大気圧で一定なので，軌道は質点の飛翔軌跡とまったく同じとなる．(a)の垂直上方に出口を向けたチューブの場合は運動エネルギがすべて位置エネルギに変換される位置，すなわち噴流の最高到達点はもとの水面と同じ高さx_0となる．角度が付くと噴出速度の垂直成分が角度に合わせて減少するため噴流の到達点は下がる．噴流の軌道は放物線を描く．質点の力学の知識を用いて計算してみて欲しい．

5. さて，次回は？

以上のように噴水やパイプ内の流れに関して圧力と速度の関係を簡単な式で予測することできた．しかし，これで十分だろうか．今回の説明に現実の問題と合わない部分はなかっただろうか．疑問が何もわかなかった方はぜひ，疑いの目を持ってもう一度読んでいただきたい．ここまで信じて読んでいただいた方には大変申し訳ないのであるが，現実世界はもう少し複雑で厳しい．次回の本講座のタイトルは「『噴水はどこまで上がる？』のウソ」を予定している．

（原稿受付：2012年10月20日）

トピックス

油空圧に関するISO活動の現状

著者紹介

千葉　誠（ちば　まこと）

一般社団法人日本フルードパワー工業会
〒105-0011 東京都港区芝公園３－５－８

1972年上智大学大学院理工学研究科修士課程修了．一般社団法人日本フルードパワー工業会，ISO/TC131/SC7国際幹事，日本フルードパワーシステム学会会員．

1. はじめに

1968年９月，フランスおよびアメリカから国際標準化機構（International Organization for Standardization：ISO）内に油圧・空気圧機器に関する新規専門委員会（TC：Technical Committee）の設置提案があり，翌1969年７月にISO中央事務局からTC131（Fluid Power Systems）の創設が認められ，アメリカが幹事国に推薦された．これを受けて日本はP（Participation）メンバーとして参加する旨をISOに回答するとともに，10月に油圧・空気圧機器業界，官庁，学界を包括するISO/TC131国内対策委員会を編成した．

1970年９月のTC131第１回総会において，分科委員会（SC：Subcommittee）およびその下部組織としてテーマごとの作業グループ（WG：Working Group）の構成が決められ，日本はSC1（用語・分類及び記号；現在はWGに分解）の幹事国に推薦され，引き受けることになった．その後，1996年にアメリカのSC7と幹事国を交換し，SC7の幹事国として現在に至っている．

1995年１月に発効されたWTO/TBT協定によって各国は自国の国家規格を制定・改正する際は，国際規格を基礎として用いることが求められるようになり，わが国におけるISO規格の位置づけが大きく変わった．これに対処するために，再び組織だった対応が求められるようになった．そのため，1996年からは，担当する油空圧システムに関連するISO/TC131の各WGのエキスパートを固定し，継続して会議に出席するように体制を整えた．さらに，1998年には標準化委員会の傘下にISO国内対策部会を設置し，活動の強化を図ってきている．ここでは，最近のISO活動について報告する．

2. 活動状況

表１に油圧・空気圧関連のISO組織表を示す．各TCはSCおよびその下部組織としてのWGから構成される．SCがないWGは油空圧全体に関連することからTC131の直轄下に置かれていることを示す．

各SCを担当する幹事国が決められており，SCの議事を進行する者を議長（Chairman）,WGの議事を進行する者をコンビーナ（Convener），WGを構成する各国を代表する委員をエキスパート（Expert）と呼んでいる．

なお，ISO規格制定への審議過程は，NP（提案段階）→WD（作業部会段階）→CD（分科委員会段階）→DIS（ISO規格案）→FDIS（ISO規格最終案）を経て規格発行へとつながる．

以下に各SC，WGの活動状況の概要を述べる．

2.1　TC131/WG1アキュムレータ

アキュムレータの規格には，気体式アキュムレータに関するISO 5596，ISO 10945，ISO 10946の３件の規格がある．

現在フランスは，欧州規格EN 14359を基にした気体式アキュムレータの材料，設計基準，試験方法，安全対策などを含む総合規格ISO/NP 16920を提案し，各国が分担して原案作りを行い，現在WD段階にある．

2.2　TC131/WG4空気圧機器の信頼性試験

2004年に始まったこの作業部会は，2007年にISO 19973 ４部作（Part １，Part ２，Part ３，Part ４）を発行した．これらのISO規格は，JIS B 8672 空気圧―試験による機器の信頼性評価シリーズ（第１部：通則，第２部：方向制御弁，第４部：減圧弁）として発行された．現在，これらのISOシリーズは見直しに入っており，新たにPart５としてチェック弁やシャトル弁などに関する規格を加えた５規格がDIS投票段階に来ている．

2.3　TC131/WG5図記号

2006年にISO 1219-1（図記号）の改正版を発行した．

表１　ISO/TC 131油圧・空気圧システムの組織表

2012年８月現在

ISO		名称	幹事国
ISO/TC 131		油圧・空気圧システム	アメリカ
	WG1	アキュムレータ	フランス
	WG4	空気圧機器の信頼性評価	ドイツ
	WG5	図記号	ドイツ
	WG6	回路図	ドイツ
	WG7	用語	アメリカ
SC2		ポンプ・モータ及び集積伝動装置	ドイツ
SC3		シリンダ	ドイツ
	WG1	油圧シリンダの取付寸法	アメリカ
	WG2	空気圧シリンダの取付寸法	フランス
SC4		接続及び結合部品	アメリカ
	WG1	ポート及び継手端部	ドイツ
	WG2	フランジ・ポート結合	ドイツ
	WG4	油圧用急速継手	イタリア
	WG6	ホース及びチューブ継手との結合方法	アメリカ
	WG9	空気圧用結合	フランス
SC5		制御用要素機器	フランス
	WG2	油圧用制御機器	ドイツ
	WG3	空気圧用制御機器	アメリカ
	WG5	空気の調質	フランス
SC6		汚染管理	アメリカ
	WG1	サンプリング・汚染分析・報告	イギリス
	WG2	フィルタ及びセパレータの評価	アメリカ
	WG3	機器及びシステムの清浄度	アメリカ
SC7		密封装置	日本
	WG2	シールハウジングの寸法	イギリス
	WG3	Ｏリングの設計基準	ドイツ
	WG4	回転軸用リップタイプ・シール	ドイツ
	WG9	流体と標準ゴムとの適合性	日本
SC8		要素機器の試験	イギリス
	WG1	油圧機器及びシステムの騒音測定	イギリス
	WG10	油圧電磁比例制御弁の試験方法	イギリス
	WG11	圧力定格	イギリス
	WG12	電子制御式ポンプの試験方法	日本
	WG13	容積式ポンプ及びモータ実容量の決定方法	アメリカ
SC9		装置及びシステム	アメリカ
	WG1	油圧システム	ドイツ
	WG2	空気圧システム	イギリス

2.4　TC131/WG6回路記号

2012年にISO 1219-3（回路図）の改正版を発行した．

現在，新たにISO 1219-3（積層弁の記号表記）について審議を開始した．

2.5　TC131/WG7用語

2008年にISO 5598（用語）の改正を20数年ぶりに行い，発行した．

2.6　TC131/SC2ポンプ・モータ

この分科委員会は，油圧ポンプ，モータおよび集積伝動装置の寸法および性能特性について審議する．

この委員会は，現在は新規に規格を制定する活動は行っておらず，既存のISO規格の見直しを投票で行っている．

2.7　TC131/SC3シリンダ

この分科委員会は，揺動アクチュエータを含めて，シリンダの寸法および性能特性について審議する．

WG1油圧シリンダにおいては，附属金具寸法および取付寸法について審議をしており，ISO 10762シリンダの取付寸法―10MPaシリーズの定期見直しにおいて，日本のコメントが採用され，日本がプロジェクトリーダとなって改正することになった．

WG2空気圧シリンダにおいては，シリンダの取付寸法について審議している．ここでは，日本が提案したショートストロークシリンダについての規格案が採用され，ISO 15524として2011年11月に発行された．

2.8　TC131/SC接続及び結合部品

この分科委員会は，継手，フランジ，急速継手およびホースアセンブリなどについて審議している．

WG1継手については，ほとんどがすでに使用実績のあるものについて審議しているため，特に問題もなく進行している．

WG2フランジについては，ISO 6164について日本からボルト強度について提案を行い，議題として取り上げられることになっている．

WG4急速継手については，2008年ごろからイタリアを中心に活発な審議が行われている．ISO/CD7241-1急速継手シリーズ（Part1：寸法及び要求事項，Part２：試験方法）について審議が行われている．

WG6ホースアセンブリの清浄度測定方法に関する規格の提案がイタリアから出されたが，日本などの強硬な反対に合い廃案となる見通しである．

2.9　TC131/SC5制御用要素機器

この分科委員会は，制御要素機器の寸法および性能特性について審議している．

WG2油圧用制御機器については，新規制定はなく，改正が中心でISO/DIS 7790（４ポートモジュラスタック弁の締付け寸法）では，モジュラスタック弁の取付高さH２寸法が日本の製品に合致しないことから修正を求め，受け入れられている．

WG3空気圧用制御機器については，流量特性試験シリーズISO 6358の審議を行っており,日本提案の（Part１：通則及び定常流れ試験方法，Part２：代替試験方法）はともにFDISの段階に来ている．フランス提案の（Part３：複数機器接続時の計算法）はDISの段階である．

WG5空気の調質については，日本が提案した減圧弁や電空圧力制御弁の流量特性を求める代替試験方法ISO 6953-3が2012年８月に発行された．

2.10　TC131/SC6汚染管理

この分科委員会は，作動油の汚染分析，フィルタの評価およびシステムの清浄度について審議している．

2008年には，固形粒子によって汚染された液体の清浄度をモニタするための手法に関する規格ISO 21018シリーズ（Part１：一般原則，Part３：フィルタ目詰り法）を制定した．

現在は，光学顕微鏡を用いた計数法による微粒子測定法に関する規格ISO 4407：2002が定期見直し投票にかかっている．

2.11　TC131/SC7密封装置

日本が幹事国を努めている唯一の分科委員会である．この分科委員会は，密封装置（Ｏリング，オイルシール，ガスケットなど）の寸法および性能特性などについて審議している．

WG2シール溝の寸法については，ISO 5597を2010年に発行した．現在，ワイパリングの規格ISO 6195 の改正を行っており，現行の４タイプから改良タイプのＥ，Ｆを追加する提案がなされ，Ｅタイプのみを追加することにしてDISへと進んでいる．

WG3Ｏリングの設計基準については，ISO 3601 Ｏリングシリーズの改正を行い（Part１：Ｏリングの寸法，Part２：ハウジングの形状・寸法，Part３：外観品質基準，Part４：バックアップリング）が2008年に発行された．（Part５：ゴム材料の選定基準）は，現在WD段階で各国の意見を調整中である．

日本は，ミリ系列のＯリングシリーズの規格を提案しているが，欧米の数の論理で否決されている．

WG4回転軸用リップタイプ・シールについては，ISO 6194シリーズPart１～Part５の改正を行い，2009年にすべて完了した．2011年には関連する熱可塑性プラスチック製オイルシールに関する規格ISO 16589シリーズPart１～Part５を日本がプロジェクトリーダとなって改正した．

2.12　TC131/SC8要素機器の試験

この分科委員会は，要素機器の性能特性の評価方法について審議している．

WG1油圧機器およびシステムの騒音測定については，ISO 10761-1（油圧－システムと機器から発生する圧力脈動レベルの測定方法－第１部：ポンプの吐出し流量脈動と内部インピーダンスの測定方法）の改正案を日本から提案し，現在DIS段階に来ている．

WG10油圧比例電磁弁の試験方法については，ISO 10770-1（４方向流量制御弁）が2009年に発行された．現在，ISO 10770-2（３方向流量制御弁）を改正中である．

2.13　TC131/SC9装置及びシステム

この分科委員会は，油空圧システムの設計，構成，取付け，性能評価，運転，保全および安全などに関わる事項について審議している．安全に関する基本姿勢は，つぎのとおりである．

a）ISO 4413およびISO 4414：1998とEN 982：1996との統合

b）欧州機械指令2006/42/ECに従った安全要求事項との統合

c）機械安全に関する国際規格を考慮した安全要求事項の更新

WG1油圧システムについては，ISO 4413（油圧―システム及びその機器の一般規則及び安全要求事項）が，2010年に改正された．この改正によって，適用範囲が，従来の工業の製造工程において用いられる機械設備の油圧システムを対象とするものから，設置式産業機械に車両機械を含めた機械全般に使用する油圧システムを対象とするものに広がっている．

WG2空気圧システムについては，ISO 4414（空気圧－システム及びその機器の一般規則及び安全要求事項）が，2010年に改正された．この改正によって，適用範囲が，これまでの工業の製造工程における空気圧システムから，機械類全般に使用される空気圧システムに広がっている．

3．おわりに

2012年６月８日付け日本経済新聞に『先行日本，標準化ならず：電気自動車の充電規格，競争激しく』という記事が載った．すでに実用化している日本の充電器に対し，欧米諸国は2013年に実用化予定の欧米方式を規格化する意向があるという記事である．

一般に，ISO規格は各国のその分野の技術の専門家が集まり高度な技術的審議を経て制定されるものと思われがちであるが，実際にはISO規格の制定には参加国の思惑が絡み合う．欧州は欧州規格をISO規格とするという戦略を立てて攻勢を強めてきている．日本は，1996年以来，各WGのエキスパートを固定し，継続して会議に出席することで対応しているが，ISO規格に日本の意向を反映させるためには，より積極的にJIS規格をISO規格に提案する，SCの議長，WGのコンビーナを受け持つことなどが求められる．新規ISO規格の提案は，ある程度増えてはきているが，欧米諸国に比べると十分とはいえない．

わが国が技術的に先行する分野については，SC，WGといった場面で積極的に提案を行い早期規格化の活動をより一層強化する必要があると考えている．

（原稿受付：2012年９月４日）

トピックス

韓国駐在員日記

著者紹介

三宮俊之（さんのみや　としゆき）
韓国油研工業株式会社
Rm 210, ASIA Bld., 413-49, Shindorim-dong,
Guro-Gu, Seoul, 152-887, Korea
E-mail : to.sannomiya@yuken.co.jp

2001年　神奈川大学経済学部卒
同　年　油研工業㈱入社
2008年　韓国油研工業㈱に出向，現在に至る

1. はじめに

2008年10月に韓国駐在員として韓国へ赴任し，今月（2012年10月）で丸４年が経過した．韓国駐在５年目を迎え月日の流れの早さを感じるが，それにもかかわらず，一向に上達しない筆者の韓国語レベルについて反省しながらこの原稿を執筆している．

2008年の赴任当時から現在までを，筆者の中であらためて振り返りながら，韓国生活を紹介していきたい．

2. 韓国について

韓国の面積は約98,480平方キロで日本の約26％，人口は約48百万人で日本の約38％である．首都ソウルには，人口のほぼ半数の約20百万人が住んでいる．

韓国経済を牽引する原動力は，自動車・船舶・携帯電話・石油化学製品などから構成される輸出業である．ウォン安を背景に輸出競争力を発揮する韓国企業に日本企業は苦しめられている．生活水準は日本と変わらず，多様な食材，生活用品が手に入り，拘りがなければ日本とほぼ同じ物を揃えることができるので特段不便は感じない．

社会問題として，日本以上の熾烈な幼少時からの受験戦争，その後の就職難が挙げられる．

3. 韓国語

この文章を読んでいただいている方の中には，韓国語の記号のようなもの，すなわちハングルが気になっている方もおられると思われるので，まずハングルについて説明をしたい．

結論からいえば，ハングルは日本語の平仮名や片仮名に相当し，ハングルで構成される単語の50パーセント以上が漢字もしくは英語に当てはめることが可能と思われる．

たとえば「감사⇒感（カム）謝（サ）」と「진로⇒眞（ジン）露（ロ）」という具合だ．さらにそれを元に「사진⇒写（≒謝）真（≒眞）」は「サジン」と類推することが可能となるのである．

日本語と韓国語は基本的に文法が同じであるため，筆者は上記のように単語だけを頼りにして４年間の韓国生活を乗り切ってきた．韓国のインターネットサイトでの予約や購買，地図検索程度であれば特段不便なくこなせるようになった．

しかし発音に関しては，たとえば同じ「ン」の発音でも複数の種類があり，大した違いも無いように筆者が思っても，相手にとっては致命的な間違いのようで，なかなか聞き取ってもらえずに心が折れることもしばしばある．

4. 食　事

平日の昼食は会社の外で食べることがほとんどであるが，一食あたり6,000～8,000ウォン程度（600円位）で食べることができる．メニューは辛いものが多いが，美味しいものが多く，赴任当初は体重が急増した（図１）．

基本的には会社のメンバー皆である程度固まって食べに行く．会社の韓国人メンバーが一人で食べに行くことはほとんどない．理由を聞いてみると，お店で一人で食べている人はおかしな人に見え，そう見られるのも嫌なのだそうで日本人の感覚からすると不思議に感じる．若いメンバーに聞くとあまり気にならないという回答もあるので生活スタイルが変わってきているのであろう．いずれ，コンビニエンスストアで買ってきた弁当（韓国ではまだ種類や味が劣る）を，事務所で一人で食べるというスタイルも一般的になるかもしれない．

図１　サムギョプサル（豚焼肉）

5. 韓国の交通

韓国語が読めるようになると，筆者は韓国の安い交通料金もあって日本在住時よりも週末に出かける頻度が増えた．目的地に行くことも楽しいが，出発当日までの計画立案・交通手段，宿泊場所の手配が面白く感じることも大きな理由だ（図２）．

図２　KTX（韓国高速鉄道）

さて，韓国の主な公共の交通機関は地下鉄・バス・タクシーである．料金は総じて安く，地下鉄はソウル市内であれば一律1,000ウォン（約70円）程度で乗車可能で，日本のように細かく区間別に料金は設定されていない．車内での携帯電話の使用については，周囲に配慮して通話すれば問題はない．優先席に若者が座っている姿はあまり見かけず，一般席であっても高齢者がいれば即座に譲ったり誘導したりするところはさすが儒教の国だと思った．駅や車内には日本語のアナウンスもあり，初めて韓国に来られる方でもわかりやすいと思う．

つぎに市内バスについてだが，こちらも地下鉄同様料金は安く，市内であれば大抵1,000ウォン程度で移動可能である．運転は，急ブレーキ急発進は当たり前でスピードも速く車内で立っている場合は気を抜けない．運転手さんは自分の好みの音楽やラジオをかけていることが多く，気分が高揚しているのかもしれない．ちなみに韓国のバスと電車は下車後30分以内であれば料金が発生することなくつぎの交通機関に乗ることができる．

最後にタクシーについてだが，運転の部分では基本的に運転はバスと大差ない．バスに比べ座席・手すりは確保されているので一応は安心できる．

これらの交通機関は日本同様，カードに金額をチャージして料金を決済するシステムに対応している．

6. 週末の思い出

6.1　登　　山

韓国には地形的にたくさんの山があるが，一番高い山でも2,000メートル未満である．韓国では登山を趣味にしている人が多く，街中でも登山スタイルの方をよく見かけるし，登山用品専門店も多い．筆者は，現時点で韓国の上位３位までの山を登頂した．登頂といっても登山道はよく整備されていて，ハイキングに近い（図３）．

登山中は，日本語で話しかけられることもしばしばで日本語を喋れる人の数の多さに驚く．うっかり変なことはいえないと思った．

また，待避所で夕食を作る際，お湯が無く困っていたところ隣の家族の方からお湯を分けていただき，さらに食事にまで混ぜていただいたことがあったが，今でもいい思い出となっている．

ところで韓国の有名な山はほぼすべて国立公園に指定されていて，公園内では待避所など，指定された場所以外，火気厳禁である．自然保護の観点から一定期間入山禁止になる場合もあり，自然に対する

図３　智異山頂上

姿勢が伺える．

6.2　板門店

韓国にいる間に一度は行っておきたかった場所が軍事境界線，板門店（パンムンジョム）である．板門店とは韓国と北朝鮮の軍事境界線上の村の名前なのだが，政府認定のツアーでしか来ることができない．参加の際には，服装や持ち物も厳しくチェックされた．

ソウルからバスに乗って１時間ほどで板門店に到着．注意事項の説明を受けた後，軍事停戦委員会・本会議場と呼ばれる建物に入るとサングラスをした韓国軍兵士が立っている．サングラスをかける理由は，北朝鮮側の兵士に表情を読み取られてトラブルが起こるのを防ぐためらしい．本会議場内はかなり緊張感があるのだが，観光スポット化していることが面白く感じられた．なお，北朝鮮でも同種のツアーが行われているらしいので機会があれば北朝鮮側から来てみたい（図４）．

図４　板門店にて

7. おわりに

駐在生活は，現地での習慣・風土・考え方の違いもあり，毎日のようにさまざまなことが，予想外の角度から起こるので本当に刺激的である．高層ビルでの引越しが高所作業車を使って外から行なわれることもしばしば見かけた（図５）．

図５　韓国の引越し

あとどのくらいの期間駐在しているのかはわからないが，このような良い経験を今後にどう生かしていくかをよく考えながら生活していきたい．

（原稿受付：2012年10月30日）

研究室紹介

東京工業大学横田・吉田研究室

著者紹介

横田眞一（よこた しんいち）
東京工業大学精密工学研究所
〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259-R2-41
E-mail：syokota@pi.titech.ac.jp

1975年　東京工業大学大学院修士卒，同大学助手，助教授を経て，1995年同大学精密工学研究所　教授．機能性流体を応用したマイクロアクチュエータ・センサ・システムの創成研究に従事．JSME，JFPS，AEMなどの会員．工学博士．

吉田和弘（よしだ かずひろ）
東京工業大学精密工学研究所
〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259-R2-42
E-mail：yoshida@pi.titech.ac.jp

1989年東京工業大学大学院博士課程修了，同年同大学助手，1996年同大学助教授（現，准教授）．2008年10月～2009年３月米国UCSB客員研究員．流体マイクロマシン，機能性流体の研究に従事．JFPS，JSME，IEEEなどの会員．工学博士．

1. はじめに

東京工業大学横田・吉田研究室は，1995年に横田が教授になって以来，今日に至っている．その間，フルードパワーシステムとくに油圧および機能性流体に関する基礎およびその応用についての研究を共同で行ってきている．機能性流体については，「マイクロ」をキーワードとして研究を進めてきている．

2. 研究室の概要

研究室の教員は横田教授，吉田准教授，金俊完助教，嚴祥仁助教の４名である．学生は，博士課程はこの９月に２名修了して現在はいない．修士課程学生は，２年次が４名，１年次が５名，学部卒論生が３名である．これにフランスから修士課程の研究員１名，中国浙江大からYSEPで学部４年生１名が加わって14名の学生がいる．この他に，鈴木事務員と西岡技術員がいる．図１は，９月に撮影した，研究室の集合写真である．

研究室は，東急田園都市線すずかけ台駅から３分のすずかけキャンパス内R2棟２階にあり，最近耐震改修が行われたため，建物および周囲は比較的きれいな環境にある．

図１　研究室構成員

周囲は，ぶな林が多く自然環境には恵まれており，たまに，道でへびとかたぬきを見かける．

3. 最近の研究テーマ

・横田研究室：現在は機能性流体ECFを対象とした研究に主眼を置いている．とくにECFジェットを用いた「マイクロ液圧」の可能性を探っている[1)]．

3.1　MEMS技術を用いたECFマイクロ液圧源

マイクロ液圧を考えたとき，ポンプのマイクロ化がネックとなる．これを解決して，ポンプ一体形アクチュエータを実現できるECFマイクロポンプの開発を行っている．

ECF効果をより密度高く，再現性良く得るために，MEMS技術を応用して平面電極を高さ方向に積み上げてアスペクト比を大きく取った2.5次元ともいうべき三角柱-スリット電極対を提案・試作している[2)]．この三角柱-スリット電極対を直列あるいは並列に並べて製作すれば望みの圧力流量を得ることは可能である．これを二次元に並べて展開したポンプの一例を示すと図２のようになる．縦10列横３列になるように試作した電極対の体積あたりのパワー密度は，ECFとしてFF101$_{EHA2}$を用いたとき４kV印加時に0.16W/cm^{3}を示して，ほぼ針-リング電極対と同じ体積パワー密度が得られている．このパ

ワー密度は，体積が1㎤以内のマイクロポンプでは世界最高水準である．

これをさらに高さ方向に立体的に積むことを現在試行中である．この3次元集積のポンプを圧力駆動のマイクロアクチュエータに内蔵することにより，マイクロ液圧アクチュエータの高機能化を実現できると期待している．現在，助教の金俊完と修士2年の山田嘉穂がおもに担当している．

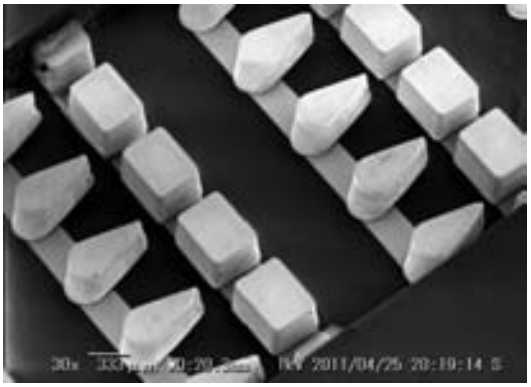


図2　MEMSによる並直列三角柱-スリット電極対

3.2　ECFマイクロ液圧源1体形マイクロアクチュエータ

ECF効果に注目して，そのジェット圧力により，ソフトマイクロアクチュエータ駆動に用いてきている．そのジェット発生器としては，針-リング電極対をこれまで使用してきたが，この針-リング電極対は，体積あたりのパワー密度は高いものの，三次元形状をしている上に手作りでしか調整できないため，自由な組み込みや大量生産によるコスト削減を困難にしている．これはMEMS技術を応用した三角柱-スリット電極対導入で解決できる．

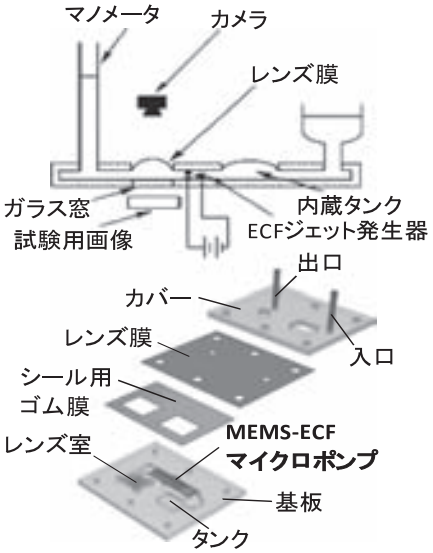


図3　ECF可変焦点レンズの装置展開概略[4]

この三角柱-スリット電極対を縦1列に並べたマイクロポンプはすでに，ECFマイクロレートジャイロ[3]およびECF可変焦点レンズ[4]などに応用を試みている．図3は，ECF可変焦点レンズの原理確認用に試作した装置の概略である．現在，修士2年の山下悟がおもに担当している．

3.3　ECF駆動マイクロレートジャイロ

これまでに，ECFジェットを利用した液圧マイクロレートジャイロを提案している．これは振動ジャイロよりも衝撃に強く，マイクロポンプ組み込みのため薄く小形化できる．このジャイロを大量生産するためには，MEMS技術によるECFポンプの実装が欠かせない．このマイクロレートジャイロは，図4の写真に見えるように2つの戻り流路と中央流路に分けられており，内部は三角柱-スリット電極対を直列に有するECFマイクロポンプと中央流路部のノズルから構成されている．両側のマイクロポンプから噴出したECFジェットの圧力を利用することで中央のノズルから再度ECFを噴流として噴出させる．ここで，ジャイロ本体平面と直交する軸回りの角速度が加わると，ノズルから噴出された噴流が角速度に応じたコリオリ力により偏流する．この偏流量を，図4中のホイートストンブリッジ回路で検出することによってマイクロレートジャイロが実現できる．

現在，図4の写真に示す，ECFマイクロ液圧源，ノズルを含むマイクロ流路，ホットワイヤを一体化したマイクロチップを基板上に作製し，流路をECFで満たした1チップECFマイクロレートジャイロを試作検討している．現在，博士修了の今村恒彦がおもに担当している．

図4　1チップ化したECFマイクロレートジャイロ[3]

・吉田研究室：以下二つはERFに関する，吉田研を中心としたテーマである．

3.4　FERMA

分岐管を走行する管内作業マイクロマシン，医療・福祉用マイクロデバイスなどのため，FERVを

用いたFERMA（Flexible ER MicroActuator）を提案，開発している．FERV（Flexible ER Valve）とは，ERF（Electro-Rheological Fluid）の見かけの粘度を印加電界により変化させその流れを制御するERバルブを柔軟構造で実現したものである．

カンチレバー形FERVは，主に柔軟なフォトレジストSU-8製で，厚さ方向に屈曲することができる．MEMSプロセスを開発し，流路部の長さ５㎜，幅2.4㎜，厚さ0.2㎜のFERVを試作し，屈曲のER効果への影響がほとんどないことを確認するとともにFERMAに応用し，その動作を確認している．

また，ERバルブの電極を軸方向に分割し柔軟なゴムチューブで接続した電極分割形FERVを提案，長さ10㎜のアーム２本から成るグリッパに応用し，図５に示すように把持機能を実現している[5]．現在修士１年の塚本昇がおもに担当している．

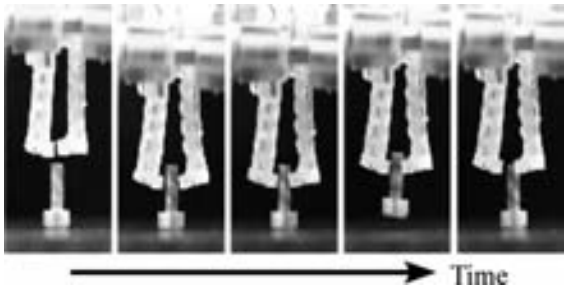


図５　電極分割形FERVを用いたグリッパ[5]

3.5　交流圧力源を用いた多自由度ERマイクロアクチュエータシステム

従来のERマイクロアクチュエータは，１個につきERFの配管が供給用と排出用で２本必要であり，またERFの基底粘度が比較的高く各配管を細くできないため，配管のスペースが多自由度化の限界を与える．そこで，１本の配管で作動流体の供給・排出を行うとともに，配管側とアクチュエータ側の作動流体を水とERFに柔軟膜で分離することで配管を細くできる，交流圧力源を用いた多自由度ERマイクロアクチュエータシステムを提案，開発している[6]．本システムはERバルブとゴム製チャンバの組合せを有し，圧力源の交流圧力と同期してERバルブをオン／オフすることでゴム製チャンバの伸縮を行う．ラージモデルとして長さ16㎜のアーム２本から成るグリッパを試作し，動作確認している．現在，修士１年の三好智也がおもに担当している．

4. 学生の視点から

今年度の横田・吉田研究室は，学生数が前年度の９人から今年度14人に大増員され学生室が非常ににぎやかになりました．また，９月からフランスと中国から留学生が来ており，英語による会話が研究室で頻繁に行われているので，学生室内に少しグローバルな雰囲気が漂っています．

本研究室では，学生が積極的にものづくりを行っており，特にECFやERFなどの機能性流体はその動作原理が不明確な部分も存在するので，学生が自身で製作したデバイスを用いた実験を頻繁に行っています．機能性流体を用いるデバイスを製作するときに主に用いられるのがMEMSプロセスによる精密微細加工で，学生は毎日クリーンルームに足しげく通って日々試行錯誤に取り組んでおります．

図６は今年の８月上旬の研究室臨海合宿の写真です．本研究室では臨海合宿以外にも春のハイキング，鹿沢林間合宿を毎年恒例の行事として行っております．また，月に１度行われる研究報告会の後にもワイン会（横田先生がチョイスなされたおいしいワインを皆でいただく会）を行っており，学生は日々研究に悪戦苦闘しながらも，楽しい研究生活を送っています．　（三好　智也）

図６　臨海合宿の様子

5. おわりに

生き方として，昔からアクティブに研究活動をすることを心がけてきた．学生にも，故中田孝東京工業大学名誉教授が提唱してきた「学遊一如」を実践することを薦めているが，実際におもうように実行することはなかなか難しい．研究会の後には，オフサイドとして飲み会を毎月している．少なくとも，横田研究室を出るとワインの飲み方は多少身につくという程度にはいつも努力しているつもりである．また，修士学生には費用研究室持ちでの海外での学会発表をなるべく勧めているが，ようやく最近希望者が増えつつあるのはうれしいことである．

参考文献
1）横田眞一：マイクロ液圧（基調講演），平成22年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.1-6（2010）
2）Kim, J.-W., Suzuki, T., Yokota, S., Edamura, K. : Tube-type micropump by using electro-conjugated fluid (ECF), the Journal of Sensors & Actuators, A, 174, p. 155-161 (2012)
3）横田，今村，鈴木，竹村，枝村，熊谷：電界共役流体を用いたマイクロ液体レートジャイロの研究，日本機械学会論文集C，75-750, p. 496-502（2009）
4）Kim, J.-W., Yoshimoto, T., Yokota, S., Edamura, K.: Concept of a Focus-Tunable ECF Microlens and Fabrication of a Large Model Prototype, the International Journal of Automation Technology (IJAT), 6-4, p. 476-481 (2012)
5）Yoshida, K., Hara, S., Eom, S. I. and Yokota, S.: A Novel Microgripper Using Flexible Electro-Rheological Valves, Proc. of 13th Mechatronics Forum Int. Conf., p. 834-839 (2012)
6）吉田和弘・三好智也・嚴祥仁・横田眞一：交流圧力源を用いた多自由度ERマイクロアクチュエータシステム，機学2012年度年次大会DVD論文集, J113015（2012）

（原稿受付：2012年10月５日）

会　告

平成25年春季講演会併設セミナー

「自動車技術とフルードパワー」

（編集・企画委員会合同企画）

開催日時：2013年５月29日(水)　13：00～16：30
開催場所：機械振興会館　本館
（東京都港区芝公園３－５－８）
趣　　旨：自動車において，フルードパワーは動力伝達系，懸架装置系，操舵性能，制動性能等に深く関わる基盤技術であり，今日の自動車技術の発展に大きく寄与しています．一方，従来フルードパワーが担っていた機能のいくつかは，電動化が大きく進展していることも事実であります．しかしながら，HV，PHV，EV等，新世代のエコカーにおいては，電動とフルードパワーの競合といった側面よりも，電気・電子技術とフルードパワー技術を融合することで，お互いの特徴をより引き出すとともに，地球環境問題を見据えた，新技術開発を進めることがますます重要となると考えられます．以上のような背景から，標記のテーマで自動車技術とフルードパワーに関する最新の研究，技術開発成果に関するセミナーを開催いたします．

なお、本セミナーは学会誌を担当する編集委員会と，講演会やセミナーの企画を担当する企画委員会の合同企画事業の第10回目です．先に学会誌44巻第２号（次号）で同じテーマで特集を組み，執筆された方々の中から講師を数名お招きし，この学会誌をテキストとして，本セミナーにおいてご講演いただき，解説記事を深く理解する機会を設けます．

詳細のご案内は次号の会告欄でお知らせいたしますが，ご要望，ご意見等ございましたら学会までお知らせください．可能な限り皆様のご意見を盛り込んだ形で，本セミナーを開催させていただきます．春季講演会との併設開催ですのでフルードパワーシステムの最新情報を得る絶好の機会であります．ぜひ春季講演会とセットでの参加登録をお勧めいたします．

お問い合わせ：
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

企画行事

ステルソン教授の特別講演会

著者紹介

田中　豊（たなか　ゆたか）
法政大学デザイン工学部システムデザイン学科
〒102-8160 東京都千代田区富士見２-17-１
E-mail：y_tanaka@hosei.ac.jp

1985年東京工業大学大学院修士課程修了，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．工学博士（1991年東京工業大学）

1. はじめに

アメリカ合衆国の全米フルードパワー工業会NFPA（National Fluid Power Association）は全米科学技術財団（NSF）からの大規模な補助金と企業からの出資により，2007年から小形で高効率なフルードパワーのための研究センター（CCEFP：Center for Compact and Efficient Fluid Power）を設置し，核となる７つの大学（ミネソタ大学，イリノイ大学，ジョージア工科大学，パデュー大学，バンダーベルト大学，ミルウォーキー大学，ノースカロライナ州立大学）の大学間コンソーシアムと産学連携により，次世代のフルードパワー教育研究を積極的に進めている[1)]．

この研究センターのディレクターであるミネソタ大学のKim A. Stelson教授ご夫妻（写真１）が，日本のフルードパワー教育研究の視察のため2012年７月下旬から８月中旬にかけ来日され，７月下旬の１週間ほど東京に滞在する予定との連絡が４月下旬に学会関係者に入った．これを受け，学会の企画委員会と国際交流委員会は，2012年７月25日（水）に東京・法政大学市ヶ谷田町校舎において，特別講演会と技術懇談会を企画開催した．本稿では，講演に使用された図の一部を引用しながら，この企画行事の様子を報告する．

2. フルードパワーによる効率的な輸送手段

特別講演は「Efficient Transportation with Fluid Power」のタイトルで行われた．月末の平日の夕方からの設定であったが，企業や大学の関係者を中心に50名ほどの参加があった．

写真１　ステルソン教授ご夫妻（中央・右）と藤谷事務局長（左）

図１　CCEFPにおける4つのテストベッド（講演資料より抜粋）

まずCCEFP設立の経緯やビジョン，構成メンバーなどの紹介が行われた．CCEFPはその名称からもわかるように，小形軽量（Compact），高効率と省エネルギー（Efficient），クリーンで静粛・安全（Effective）な次世代のフルードパワーシステムの実現を目指した全米総合研究センターとして発足した．したがって研究テーマは多岐にわたっているが，テストベッドと呼ばれる成果を実証する対象システムとして図１に示す４つの装置あるいはデバイスを想定して活動を進めている．すなわち，大きな仕事を行う建設機械のような移動機械，省エネルギーな油圧ハイブリッド自動車，高性能で高出力な小形作業ロボット，人間をサポートする機器の４つを対象

としている．

こうした対象はすべて，フルードパワーの特長である，機器配置の柔軟性や双方向駆動，非常に大きな可変減速比，高出力・高トルク・高応答，小形・高出力密度，容易な拘束特性などに適していることが，フルードパワーと電動や機械式駆動方式との比較を基に紹介された．

一方，フルードパワーの課題として，低い動力伝達効率，騒音，漏れ，低いエネルギー蓄積密度，汎用性と大衆性の欠如などが指摘され，特に建設機械や油圧ハイブリッド自動車を対象とした取り組みにより，これらの課題を克服する研究がすすめられていることが紹介された．全米でフルードパワーの伝動装置で消費されるエネルギーは，消費エネルギー全体の2.3 ～ 3.0％に相当し，フルードパワーの平均伝動効率が21％であることを考慮すると，効率の改善はエネルギー消費に大きなインパクトがあるとのことであった．

講演の後半では，主に油圧ハイブリッド自動車に関する紹介が行われた．３つのタイプの主要油圧ハイブリッド自動車の構成において，油圧機器の効率がさらに向上すれば，シリーズハイブリッドやパワースプリットハイブリッド方式の低燃費性が向上することがシミュレーション解析により明らかとなっていること，すでにいくつかの小形コンセプトカーが試作されていることなどが紹介された．これらの油圧ハイブリッド自動車の課題は，油圧ポンプ／モータの高効率化と，アキュムレータのようなエネルギー蓄積素子の小形化と高性能化にあるとの指摘であった．

最後に，風力エネルギーへのフルードパワーの可能性についての言及があった．油圧ポンプ／モータ（HST）による動力伝達の原理を用いて，図２に示すように，従来の機械式による風力発電のプロペラの回転数増速用歯車列や発電機を風車本体塔上（ナセル）に必要としない構成をとることができるため，

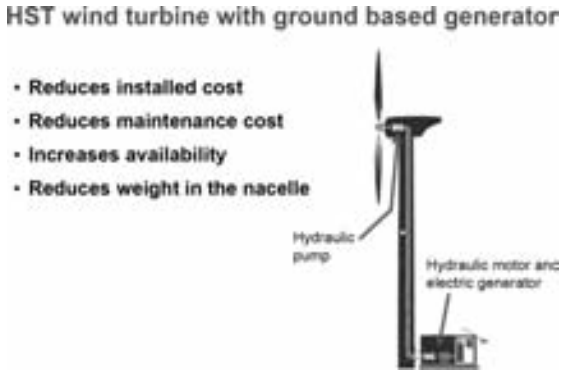


図２　油圧駆動による風力発電の利点と構成（講演資料より抜粋）

写真２　技術懇談会の参加者による記念写真

小形軽量で信頼性や維持管理の容易なシステム構成とすることができる点が強調された．長い配管の抵抗損失や動特性など課題も多いが，再生利用可能エネルギーの技術開発は，これからの日本の大きなテーマの一つでもある．日本のフルードパワーの果敢な挑戦を期待したい．

またCCEFPは，次世代のフルードパワーを担う若手エンジニアの育成にも力を入れており，企業などとも協力して，インターンシップや奨学金による学生の支援を積極的に行っている．こうした点も日本のフルードパワーの産業界や学界は参考とすべきである．

なお本特別講演の資料は，ステルソン教授のご厚意により，日本のフルードパワー関係者に自由に配布することができる．資料入手をご希望の方は，学会事務局か著者までお問い合わせいただきたい．

3. おわりに

講演会終了後，場所を高層階の会場に移し，都心の夜景を眺めながら，多くの参加者がステルソン教授ご夫妻を囲んで，和やかな技術懇談会が開催された．写真２は参加者による記念写真である．ステルソン教授時夫妻はこれまで数回，日本を訪問されており，多くのフルードパワー関係者との再会を懐かしんでおられた．

今回のご夫妻の来日のもう一つの目的は，奥様のカレンさんがライフワークとして手掛けておられる，長崎の被爆者・安井幸子さんの体験を綴った児童向け英語書籍の出版準備のための調査であった．書籍はほぼ完成しており，最後に挿絵となる写真を探しておられるとのことであった．ご夫妻が住むミネソタ州のミネアポリス・セントポール市は長崎市と姉妹都市の関係にあり，その関係で，カレンさんは長崎在住の安井さんと親交があるとのことであった．東京では，国会図書館や大学図書館で写真や新聞資料を収集したり，当時の新聞や関連文献を検索したりした．著者の研究室の女子学生が東京での４日間

の調査に同行し，様々な資料の収集整理を手伝った．奥様は，８月から広島と長崎に滞在し，両市の平和祈念式典にも招待されているとのことで，ミネアポリス・セントポール市長から広島と長崎の市長に宛てたメッセージも持参しておられた．こうしたご夫妻の親日家としての一面は，フルードパワーだけでなく，今後の日米両国の文化交流とさらなる友好交流関係の強化を強く印象付けることとなった．

最後に，ご夫妻の今回の東京滞在中，見学対応を快く引き受けていただいた東京工業大学，上智大学，芝浦工業大学，法政大学および機械振興協会技術研究所の関係者の方々と，見学や調査作業にボランティアで同行し，手伝いを買って出てくれた法政大大学院生の近藤瞳，坂間清子さんの両名に，この場を借りて感謝申し上げます．

参考文献

1）田中豊，米国フルードパワー教育・研究の現状とERCについて，フルードパワー（日本フルードパワー工業会誌），Vol. 21，No. 1，p. 17-22（2007）

（原稿受付：2012年10月９日）

会　告

平成25年春季フルードパワーシステム講演会併設企画

「製品・技術紹介セッション」の講演募集案内

（一社）日本フルードパワーシステム学会　企画委員会

本講演会では，企業関係の方々に製品・技術の紹介をしていただくオーガナイズドセッション（「製品・技術紹介セッション」）の通算14回目の開催を企画しました．本企画は，企業関係の方々に，現在，企業がお持ちの製品・技術あるいは検討課題などを，学会主要行事の１つである講演会で発表していただき，会員間で問題意識を共有し，会員相互の研究・技術の交流の促進を図ろうとするものです．また，本セッションの講演は，平成15年より表彰事業の１つとして設立された「最優秀講演賞」社会人部門の審査対象となります．企業関係の会員みなさまの参加を心よりお待ちしております．

講演申込方法，前刷原稿の書式，申込および原稿の提出期限などは，基本的には一般の講演と同じになりますので，本誌会告の「**講演募集要項**」をご参照ください．ただし，講演者が手軽に講演いただけるように，以下の３点が一般の講演とは異なりますので，お気をつけください．

⑴　講演内容は，新規あるいは従前の製品・技術，製品開発の際発生した問題点や，検討課題，製品開発に至った背景などを紹介していただきます．

⑵　講演時間は，通常の講演より短く15分（発表11分，討論４分）とします．

⑶　講演原稿は，手軽に執筆していただけるよう２ページと短くしました．

会　告

〈理事会・委員会日程〉

12月７日	委員長会議
12月14日	基盤強化委員会
１月８日	情報システム委員会
１月25日	理事会
１月28日	編集委員会
２月１日	企画委員会

〈第４回　理事会〉

11月19日　15：00～17：00　機械振興会館６―62
（出席者17名）
１）平成24年春季講演会論文賞審査結果について
２）学会紹介パンフレットについて
３）平成25年度フェロー認定者推薦について
４）会長・副会長会議に関する運営規程について
５）表彰規程の改訂について
６）各委員会の運営規程について
７）財務基盤の強化について
８）各委員会間の迅速な意思疎通と迅速なアクションについて
９）会員の推移と入退会者について
10）その他

〈委員会報告〉

第４回委員長会議
11月２日　15：00～17：00　機械振興会館B3―７
（出席者12名）
１）平成24年秋季講演会の準備状況ついて
２）平成25年度フェロー認定者推薦について
３）委員会の運営規程について
４）学会誌掲載記事の体裁変更について
５）国際シンポジウムに関する内規（案）について
６）会員入会申込書について
７）各委員会の報告
８）その他

第３回企画委員会
11月16日　15：00～17：00　機械振興会館 B3―３
（出席者21名）
１）平成24年度実施事業に関する報告・審議事項
・公益事業について、終了報告
・オータムセミナーについて
・平成24年秋季講演会について
・ウインターセミナーについて
・その他
２）平成25年度実施の事業に関する報告・審議事項
・春季講演会について
・講演会併設セミナーについて
・秋季講演会について
・オータムセミナーについて
・公益事業について
３）確認事項
・会誌11月号の掲載予定会告記事について
・ウインターセミナー開催会告
・企画委員会規程について
・WGの構成について
・その他

第４回編集委員会
12月４日　14：00～17：00
田町キャンパスイノベーションセンター
（出席者20名）
１）会誌特集号の現状と企画について
２）トピックスについて
３）会誌フォーマットの改定について
４）編集委員会規程について
５）学会誌44巻表紙カラーについて

会　告

平成24年度　ウインターセミナーのお知らせ

「アクアドライブシステム（新水圧駆動技術）の現状と将来」

開催趣旨：

20世紀末にスタートしたアクアドライブシステム（新水圧駆動技術）のスタート当初の目的は地球環境問題に立脚するものであった．すなわち，油圧作動油による環境汚染を防止するため従来の油圧システムの代替という考え方が主であった．しかしながら，現在では，油圧，空気圧，電動駆動システムという従来の駆動システムを適用するのが困難な分野に用いる第４の駆動源としての位置づけを目指し，アクアドライブシステムの研究開発が各所で進められている．その結果，本学会の講演会にもその成果が徐々に発表されるようになってきた．本セミナーでは，このようなアクアドライブシステムに着目し，その技術の現状と将来を展望します．皆様の積極的なご参加をお待ちしております．

開催日時：2013年２月22日(金)　10：55 ～ 16：40
会　　場：機械振興会館　本館　地下３階　B3―1
〒105-0011　東京都港区芝公園３―５―８
http://www.jspmi.or.jp/about/access.html

プログラム：

10：55 ～ 11：00　開会の挨拶　企画委員長　大内　英俊（山梨大学）

11：00 ～ 12：00　「水圧駆動システムにおける省エネルギー化」　上智大学　池尾　茂
環境融和性の高い水道水を用いた水圧駆動システムの利用が注目され，高効率の水圧駆動技術が求められている．しかし，水の低粘性による内部漏れ等の問題により，可変容量型ポンプ／モータの開発が困難であり，エネルギー回収による省エネルギー化を行うことは難しい．このような状況の中で，水圧駆動システムの省エネルギー化の可能性について説明する．

12：00 ～ 13：00　休憩（昼食）

13：00 ～ 14：00　「水圧マッキベン型人工筋を用いた水中歩行訓練補助装具の開発」　芝浦工業大学　伊藤　和寿
近年，リハビリテーション分野においてもクリーンな駆動源である水圧技術の適用が進められている．本セミナーでは水圧技術をマッキベン型人工筋に適用した例として，水中歩行訓練補助装具の開発について紹介し，水圧システムの新しい可能性について考える．具体的には，水圧人工筋のモデル化および補助装具に取り付けた人工筋の変位を推定するアプローチについて概説する．

14：00 ～ 14：10　休憩

14：10 ～ 15：10　「アクアドライブ技術の超精密工作機械への有効利用」　神奈川大学　中尾　陽一
超精密工作機械は光学部品の創成に利用されている．この場合，要求加工精度は数十nmオーダであり，このような高い加工精度を達成するためには，スピンドルやテーブルの高い運動精度や熱的安定性が必要不可欠になる．本講演では，アクアドライブ技術を利用した超精密工作機械用スピンドルやテーブルについて紹介する．また，水静圧軸受を利用する際に，高い軸受剛性を実現するための軸受絞りの設計問題についても紹介する．

15：10 ～ 15：20　休憩

15：20 ～ 16：20　「ADS技術：最近の応用と展望」　KYB株式会社　宮川　新平
安全・衛生，クリーン，省資源，省エネルギーは民生，産業の中で確実に定着してきた．ADS（新水圧技術）はこの様な社会的背景に高い貢献性を有している．ここでは，これまで学会，工業会，企業が実施してきた研究，開発，製品化の実用化された具体的事例を紹介する．併せて，「水利用・

排熱利用」の視点からもADSの位置付けを考察して，将来技術と市場を展望する．

16：20～16：30　閉会の挨拶，アンケート記入　　企画委員会幹事　桜井　康雄（足利工業大学）

参加費：参加費にはセミナーの聴講料およびテキスト１冊の代金が含まれます．

⑴　事前登録（締切日：平成25年２月12日厳守）

正会員 賛助会員企業の社員	名誉員 シニア員・ジュニア員 学生会員＊1	工業会会員企業の社員 共催・協賛団体の正会員	一　　般
14,000円	5,000円	16,000円	19,000円

⑵　事前登録締切日以降

正会員 シニア員・ジュニア員＊2 賛助会員企業の社員	名誉員 学生会員	工業会会員企業の社員 共催・協賛団体の正会員	一　　般
15,000円	7,000円	17,000円	20,000円

＊１　会員資格について不明な点は，事務局までお問い合わせください．

＊２　事前登録締切日以降は，シニア員・ジュニア員の参加費は正会員と同じになります．

申し込み方法：

参加申込は，学会ホームページ（http://www.jfps.jp）上で行ってください．

詳細はホームページをご覧ください．

問合せ先：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

E-mail：info@jfps.jp　TEL：03-3433-8441　FAX：03-3433-8442

⑴　郵便振替貯金　00110-3-133690

⑵　三井住友銀行　日比谷支店（普）　7611417

＊　口座名はいずれも「シャ）ニホンフルードパワーシステムガッカイ」です．

会　告

お詫びと訂正

本学会誌43巻，第6号（2012年11月）英文目次【Lecture】におきまして，以下のような著者名の記載ミスがありました．

【誤】An Introductory Course of Fluids Mechanics：The second: Change your perspective!　　Osamu TAKAHASHI

【正】An Introductory Course of Fluids Mechanics：The second: Change your perspective!　　Tsutomu TAKAHASHI

関係各位に大変ご迷惑をおかけしたことを深くお詫び申し上げ，ここに訂正させていただきます．

〈編集委員会〉

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25年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ

開催日：平成25年5月30日(木)，31日(金)

講演募集要項

平成25年春季フルードパワーシステム講演会を下記のとおり開催します．29日午後には編集委員会と企画委員会の合同企画による併設セミナー「自動車技術とフルードパワー」を予定しております．また，特別講演・基調講演・製品技術紹介・技術懇談会などを計画しております．

詳細は後日，学会ページに掲載いたしますので，ご確認くださいますようお願いいたします．皆様の積極的なご参加をお待ちしております．

1．開催日時：平成25年5月30日(木)～31日(金)
9：00～17：00（予定）

2．会　　場：機械振興会館　本館
〒105-0011 東京都港区芝公園3―5―8
(http://www.jspmi.or.jp/about/access.html)

なお，講演会場は午前8：30から使用可能です．また，受付は8：45から行います．

3．講演会の種類：学術講演．基本的に講演内容はフルードパワーシステムの分野に関連するものに限ります．

4．講演申込者の範囲：共催両学会の会員およびその会員を含むグループ．ただし，講演者は会員に限ります．

5．講演申込要領：

⑴　申込方法：講演申込者は，当学会のホームページ（http://www.jfps.jp）上で講演申込を行ってください．詳細はホームページをご覧ください．

㈱　郵送，FAXでの申込は受けつけません．なお，また，講演申込後の講演タイトル等の変更はできませんのでお申し込み時に十分ご注意ください．また，ご講演日時のご指定はプログラムの編成作業上承ることができませんので，ご了承ください．

⑵　講演申込締切日：平成25年4月3日(水)

⑶　前刷原稿の書式：1題目につき3頁（図・表含む）．サンプルファイルを学会ホームページからダウンロードしてご使用ください．

⑷　前刷原稿締切日：平成25年4月17日(水)必着
締め切りを論文集作成に必要な最小日数で設定しました．締切日に未着の原稿は論文集に掲載できない場合がありますのでご注意ください．

⑸　前刷原稿提出方法：PDF化した原稿ファイルを学会ホームページ上からご提出ください．詳細はホームページをご覧ください．PDF化に際しましては図・写真の画質にご注意ください．なお，ファイルサイズは2MBまでです．

6．講演会の形式：

⑴　講演時間：1題目につき20分（講演15分，討論5分）を予定

⑵　座長：会員中からあらかじめ見識ある方を人選します．

⑶　講演論文集：申込講演の前刷原稿をオフセット印刷し，一冊に編集します．

⑷　討論：講演発表時に，5分間討論の時間を設けてありますが，さらに講演会終了後1ヶ月間は会員より「書面による討論」を受け付けています．講演者はその討論に対して学会へ書面をもって回答することを原則とします．

⑸　論文集への投稿：講演者は講演会終了後の討論締め切後，「日本フルードパワーシステム学会論文集」に投稿できます．

7．参加登録：

⑴　講演会の参加者は参加登録が必要です．また，講演会の講演者は前刷原稿締切日（平成25年4月17日(水)）までに事前登録が必要です．参加登録は，学会ホームページ（http://www.jfps.jp）上で行ってください．詳細はホームページをご覧ください．

⑵　登録料：登録料には各種講演の聴講料および講演論文集1冊の代金が含まれます．なお，参加登録者は，技術懇談会に参加することができます．

事前登録（平成25年5月15日(水)まで　厳守）の方は，つぎの表に示す割引料金となります．

※ただし講演者の方は上記7．⑴の通り，前刷原稿締切日（平成25年4月17日(水)）までに事前登録をお願いいたします．

講演会と併設セミナーを同時に事前登録されますと，併設セミナー分の登録料が2,000円割引となります．

	正会員 賛助会員企業の社員	名誉員・シニア員・ ジュニア員・学生会員	日本フルードパワー工業会会員企業の 社員，共催・協賛団体の会員（正会員）	一般
講演会	18,000円	10,000円	20,000円	23,000円
併設セミナー	14,000円	5,000円	16,000円	19,000円
講演会＋併設セミナー	30,000円	13,000円	34,000円	40,000円

平成25年５月16日（木）以降（講演会当日を含む）のご登録の場合

	正会員 賛助会員企業の社員	名誉員 学生会員	日本フルードパワー工業会会員企業の 社員，共催・協賛団体の会員（正会員）	一般
講演会	20,000円	15,000円	22,000円	25,000円
併設セミナー	15,000円	7,000円	17,000円	20,000円

注１　シニア員，ジュニア員の割引料金は事前登録の場合のみ適用されます．事前登録締切り以降の場合は，正会員と同料金での受付となります．
注２　会員資格について不明な点は，事務局までお問い合わせください．
注３　同一の講演者が複数の講演を行う場合，２件目以降は，１講演につき7,000円が加算されます．

⑶　別売り講演論文集料金：登録料に含まれる１冊の講演論文集とは別に論文集を購入される場合，正会員・名誉員・賛助会員企業の社員6,000円，フルードパワー工業会会員企業社員，協賛・共催団体社員8,000円，一般10,000円で当日受付にて購入できます．また，学会ホームページ（http://www.jfps.jp）から講演論文集申込書をダウンロードしE-mailに添付して学会宛（info@jfps.jp）に送信する方法でも購入できます．ただし，発送は講演会終了後となります．

連絡先：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
E-mail info@jfps.jp
TEL　03-3433-8441
FAX　03-3433-8442

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 （11月15日現在）	905（注１）	15	155	103
差　引　増　減	＋5	0	＋2	0

（注１）正会員の内訳　名誉員14名・シニア員22名・ジュニア員180名

正会員
谷口　浩成（津山工業高等専門学校）
西股　健一（SMC㈱）
斉藤　啓司（KYB㈱）
曽谷　康史（川崎重工業㈱）
清水　則雄（SMC㈱）

学生会員
近村　真孝（早稲田大学）
Kamali Mohammadreza（東京工業大学）

会　告

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会 賛助会員会社一覧

アイシン・エイ・ダブリュ㈱
㈱明石合銅
アズビル㈱
㈱アドヴィックス
イートン㈱
㈱医器研
㈱IHI
出光興産㈱
イナバゴム㈱
㈱インターナショナル・サーボ・データ
㈱打江精機
SMC㈱
SMC㈱中国
NOK㈱
㈱大阪ジャッキ製作所
大瀧ジャッキ㈱
㈱オプトン
鹿島通商㈱
KYB（株）
KYBエンジニアリング・アンド・サービス㈱
KYB-YS㈱
川崎重工業㈱
キャタピラージャパン㈱
協和シール工業㈱
極東開発工業㈱
㈱クボタ
クロダニューマティクス㈱
㈱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
ザウアーダンフォス・ダイキン㈱
㈱阪上製作所
㈱鷺宮製作所
三和テッキ㈱
CKD㈱
㈱島津製作所
㈱ジェイテクト
勝美印刷㈱
㈱ジコー
JX日鉱日石エネルギー㈱
新日鐵住金㈱
住友建機㈱
千住金属工業㈱
TACO㈱
第一電気㈱
㈱TAIYO
㈱タカコ
㈱タダノ
ダイキン・ザウアーダンフォス・マニファクチャリング㈱
ダイキン工業㈱
ダイワ㈱
大生工業㈱
㈱中央パッキング
調和工業㈱
㈱TNK
天竜丸澤㈱
トーヨーエイテック㈱
東京メータ㈱
TOHTO㈱
東北特殊鋼㈱
東明工業㈱
DOOSAN　CORPORATION
東洋機械金属㈱
同和発條㈱
東京計器㈱
特許機器㈱
特許庁
㈱豊田自動織機製作所
㈱豊田中央研究所
中村工機㈱
長津工業㈱
長野計器㈱
ナブテスコ㈱
ニッタ㈱

日新沪器工業㈱
日本アキュムレータ㈱
日本工業出版㈱
日本精器㈱
日本電産トーソク㈱
日本ムーグ㈱
㈱ハイダック
日立建機㈱
㈱日立製作所
広瀬バルブ工業㈱
ピー・エス・シー㈱
フェスト㈱
㈱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㈱
松巳鉄工㈱
㈱増田製作所
マックス㈱
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㈱

会　告

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

一般社団法人 日本機械学会 関西支部 第324回講習会
「事例に学ぶ流体関連振動（トラブル事例相談会付き」
共　　催：機械力学・計測制御部門
開　　催：2013年１月28日(月)，29日(火)　９：10 ～ 17：00
会　　場：大阪科学技術センター ８階 中ホール（大阪市西区靭本町１―８―４／電話（06）6443-5324（代）／地下鉄四つ橋線「本町」駅下車，28番出口北へ400m）

次世代油圧伝達システムワークショップ
開　　催：2013年２月25日(月)　13：30 ～ 17：00（第１部），17：15 ～ 19：00（第２部）
会　　場：法政大学市ヶ谷田町校舎（デザイン工学部棟）５階 マルティメディア教室 他
主　　催：法政大学デザイン工学部
共　　催：(一社）日本フルードパワーシステム学会，㈱ティーエヌケー，タマティーエルオー㈱，先端モーションシミュレータ技術研究所

編集室

次号予告
― 特集「自動車技術とフルードパワー」―

〔巻頭言〕「自動車技術とフルードパワー」発行にあたって　五嶋　裕之
〔解説〕自動車と流体制御　田中　裕久
フルードパワーとショックアブソーバ技術　坂井　静
自動車用トルクコンバータ内の油圧解析技術　山口　健
回生協調ブレーキ　上野健太郎，大谷　行雄，佐伯　秀之
電動油圧式電子制御パワーステアリング用オイルポンプの開発　倉田　昌和
New V6エンジン用VTEC with Vシステムの紹介　林　泰宇，手塚　英至，橋場　一雄
商用車向けACサーボモータ駆動ポンプ制御電動油圧パワーステアリング　佐藤　恭一，平野　謙一，田中　裕久
〔FPIC会議報告〕Mechatronics2012におけるフルードパワー技術研究　吉田　和弘
FPMC2012におけるフルードパワー技術研究動向　尹　鍾晧
日本ロボット学会第30回記念学術講演会におけるフルードパワー技術研究　佐々木大輔
ICMT2012におけるフルードパワー技術研究動向　嚴　祥仁
山梨講演会2012におけるフルードパワー技術研究動向　鈴木　勝正
計測自動制御学会Annual Conferenceと流体計測制御シンポジウムに観るフルードパワー技術研究動向（仮題）　藤田　壽憲，加藤　友規
〔教室〕おもしろ油圧機構　第11回　油圧で扱う量と計測機器　大橋　彰
入門講座「流体力学」第４回：噴水はどこまで上がる？のウソ　高橋　勉
〔トピックス〕TC131/WG4空気圧機器の信頼性評価　小根山尚武
アメリカ駐在日記　田村　和也
〔研究室紹介〕岡山大学大学院自然科学研究科知能機械制御学研究室　則次　俊郎
〔企画行事〕平成25年度企画行事紹介　大内　英俊，桜井　康雄
平成24年度オータムセミナー開催報告　兵藤　訓一

平成25年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長　吉田和弘（東京工業大学）
副委員長　塚越秀行（東京工業大学）
委員　伊藤雅則（東京海洋大学）
内堀晃彦（宇部工業高等専門学校）
大橋　彰（油研工業㈱）
小倉　弘（日立建機㈱）
加藤友規（福岡工業大学）
木原和幸（㈶工業所有権協力センター）
金　俊完（東京工業大学）
栗林直樹（川崎重工業）
五嶋裕之（機械振興協会）
佐藤恭一（横浜国立大学）
妹尾　満（SMC㈱）
多田昌弘（CKD㈱）
中野政身（東北大学）
委員　成田　晋（KYB㈱）
西海孝夫（防衛大学校）
藤田壽憲（東京電機大学）
丸田和弘（㈱コマツ）
村松久巳（沼津工業高等専門学校）
柳田秀記（豊橋技術科学大学）
山田真の介（㈱TAIYO）
山田敏夫（㈱コガネイ）
吉満俊拓（神奈川工科大学）
担当理事　宮川新平（KYB㈱）
山田宏尚（岐阜大学）
編集事務局　藤谷秀次（学会事務局）
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．（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．

ISSN　1880-3121

日本フルードパワーシステム学会論文集

第44巻, 第１号（2013）

平成25年１月

目　次

研究論文

１．可動翼型吸込み・送風エアポンプにおけるブレード摺動トルク特性
植木　忠博，稲葉　一雄　1

２．カルマンフィルタを用いた管内非定常流量・圧力の推定
小澤　明，眞田　一志　8

３．鉄道車両用真空式トイレにおける真空特性と消費エネルギーに関する研究
藤野　謙司，山本　円朗，谷口　宏次，山本　寛
伊藤　正彦，黎　しん，尹　鍾晧，香川　利春　16

４．油圧Ｌ字配管チェックボール挙動の実験的解析
梶原　伸治，田中　達也　23

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

ISSN 1880-3121

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.44, No.1 January 2013

Contents

Paper

1. Characteristics on Sliding Torque of Blades in a Slide-Blade Type Air Pump
Tadahiro UEKI, Kazuo INABA 1

2. An Estimation of Unsteady Flowrate and Pressure in a Pipe using Kalman Filter
Akira OZAWA, Kazushi SANADA 8

3. A Study on the Vacuum Characteristics and the Energy Consumption of the Vacuum Toilet System for Vehicle
Kenji FUJINO, Nobuaki YAMAMOTO, Koji TANIGUCHI, Hiroshi YAMAMOTO, Masahiko ITO, Xin Li, Chongho YOUN, Toshiharu KAGAWA 16

4. Experimental Analysis of Check Ball Behavior for L-shaped Pipe
Shinji KAJIWARA, Tatsuya TANAKA 23

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

研究論文

可動翼型吸込み・送風エアポンプにおけるブレードの摺動トルク特性*

植　木　忠　博**，稲　葉　一　雄***

Characteristics on Sliding Torque of Blades in a Slide-Blade Type Air Pump

Tadahiro UEKI**, Kazuo INABA***

Slide-blade type air pumps are utilized in printing machines as an air source which provides both the action of air blowing and suction necessary for the paper handling. In the air pump, a large part of the motor power is occupied by the sliding friction between blades and cylinder surface of the casing. So, it is necessary to clarify the mechanism of the friction quantitatively in order to design practical dry air pumps with longer life and less energy consumption.

In the paper, first of all, the sliding force by a single blade was measured experimentally through the axle torque, and its mechanism was made clear. Then, the torque by multi-blades was investigated similarly, and its characteristics which should be affected by chamber pressure were analyzed. As a result, the following conclusions are obtained:

1). The sliding torque by a single blade indicates a cyclic change with rotor rotation, the absolute value of which is far larger than the theoretical one estimated by the centrifugal force to the blade solely.

2). The sliding torque by a single blade is affected significantly due to the constraint of the blade movement at the rotor slit. Specifically, the sliding torque is the largest around a point between the maximum protrusion hight and the maximum thrust speed. Therefore, the set angle of rotor slits is an important parameter for the blades behavior.

3). In actual air pumps with multi-blades, the air pressure in the blade chambers as well as in the bottom space of the rotor grooves seriously affect the blade motion along the rotor slit. Therefore, air holes connecting the bottom of the rotors slits as well as air slots formed on the blade side-face are effective for decreasing the sliding torque.

Key words：Air pump, Air blow, Air suction, Blade, Power consumption, Sliding torque, Paper handling, Printing machine

1. 緒　　言

枚葉印刷機や製本機械などの高速化に伴い，周辺機器の１つであるカットシートフィーダに対して，重送防止の性能アップが求められている．そのエアアシスト機構では，空気流をシートのサイドエッジに向けて噴きつけることによってシート同士の付着を解きほぐす一方，紙面を負圧吸引する．この２つの機能を同時に担うのが，可動翼型吸込み・送風エアポンプである（以後，エアポンプと略称）．偏心ロータの回転によって翼室容積を変化させるという作動原理は従来の可動翼型回転圧縮機と何ら変わるものではないがその構造と機能はかなり異なっている．要は，必要な吸引負圧と排気送風量が１台のエアポンプによって供せられるという利便性，圧力・流量の微調整への対応性などが買われて，ペーパハンドリングアシスト用エアポンプとして独自に発展し，国内外の専業メーカがその製造に当たっている．またエアポンプをヘリュームガス回収ポンプや排煙ポンプとして活用する新たな用途が検討されている．

エアポンプの特徴は圧力比が小さいこと，ブレードの出入（突出し／後退）を遠心力のみに依存する単純構造であること，ブレードがケーシング内壁を直接摺動すること，およびブレードの枚数やロータのスリット角などに見出すことができる．なお実用に際しては，吸込み・送風効率が低いことに加え，軸動力の大半がブレードとシリンダの高速摺動摩擦によって占められるという機械効率の低さが弱点となる[1]．そのため潤滑には特段の配慮を要する反面，エアポンプ本体の温度上昇に加え吸込み負圧によりミスト化した潤滑油が，紙面はもとより作業環境の汚染源となること，あるいは劣化潤滑油の処理などへの対応上，潤滑油の消耗を極力抑えなければならないというジレンマも抱えている．

このような背景から斯界では，オイルフリーのドライエアポンプが待望され，既にその実用化が始まっているが，鋳鉄ブレードからカーボンブレードへの転換が定着しつつ

*平成23年５月13日　原稿受付
**芝浦工業大学工学部機械工学科
（所在地　〒135-8548 東京都江東区豊洲３－７－５）
***㈱ナピコ
（所在地　〒140-0013 東京都品川区南大井１－16－１）

あるドライエアポンプにとって，ブレード摩擦トルクの抑制は切実な課題である．また送風エア中に混入したカーボンブレードの摩耗粉による紙面の汚染，あるいはカーボン粉塵に対するフィルター等の保守にも悩まされている．

2. 研究目的

エアポンプの駆動トルクは，理論仕事とブレード摺動摩擦の２成分からなる．このうち理論仕事トルクを試算してみると，たかだか0.2Nm程度であり，吐出圧をかなり高く設定したとしても実駆動トルクに比べると遙かに小さいことから，その大半がシリンダに対するブレードの摺動摩擦によって占められることは明白である．問題はこのブレードの摺動トルクを支配する要因である．エアポンプと機構が類似している可動翼型回転圧縮機や油圧ベーンポンプに対してブレード摺動トルクの力学的解析がかなり行われてはいるものの[2),3)]，仕様や運転条件などの大きく異なるエアポンプではそれらからブレード挙動を類推するにはかなり無理がある．しかも観察が難しいという制約もあり，ブレードの動的挙動については推測に頼らざるを得ない．恐らくブレードに働く遠心力が作用因子の１つであることは間違いないが，定量的な効果は不明である．更にロータスリットにおけるブレードの出入あるいは翼室圧が駆動トルクにどれ程の影響を及ぼしているか，これらの究明が必要である．その意味では，理論仕事や翼室圧の影響を受けないシングルブレードによる摺動トルクを個別に分離・測定することは，駆動トルク特性の本質を知るための参考となる．

そこで，本研究ではまずエアポンプにおけるブレード摩擦挙動をシングルブレードによる摺動トルクサイクルを通して追跡した．次にその所見をもとに，翼室内圧の影響が加わるマルチブレード摺動トルク特性を測定し，ドライエアポンプの摺動トルク低減対策の手掛かりを得ようとするものである．

3. 実験方法および実験装置

本報告ではまず，シングルブレードによる摺動トルクの観察を先行させた．次いで，配列に配慮しながらブレードの枚数を順次増やし，枚数に対する摺動トルクの変化を追跡したのは，枚数による摩擦トルクの加法性を検証し，ブレード前後の翼室圧差やロータスリット底の隙間圧力がこの摺動トルクへ及ぼす影響を抽出するためである．用いた実験装置と実験条件は次のとおりである．

3.1 実験装置

実験には市販のエアポンプ（㈱ナピコ製）を供したが，ブレードとシリンダ間の摺動トルクを測定するため，次のような改造を加えた．まず，ロータとケーシングを独立に回転できる構造とし，ケーシングとベース間に設置した荷重計によって，回転中のブレードによる摺動トルクをロータの回転角度θに同期させながら検出できるようにした．なおトルク計を介して駆動モータと主軸を直結させて駆動トルクを直接計測し，荷重計による測定データの信頼性を確かめている[4),5)]．

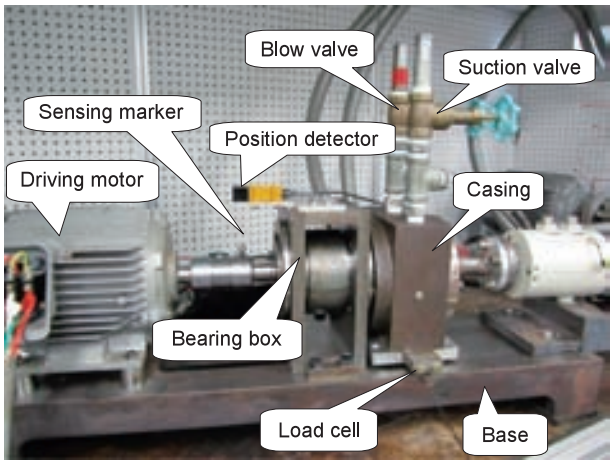


Fig. 1　A view of the experimental apparatus

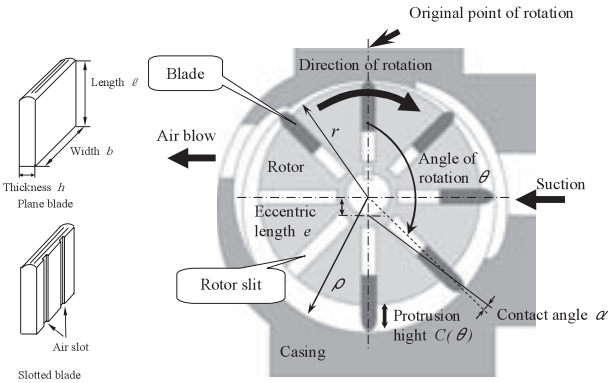


Fig. 2　Structure of a air pump

実験装置の全体構成をFig. 1に，エアポンプの機構部をFig. 2に示す．なお空転駆動トルク：約0.7Nm（ブレード未装着状態での駆動トルクで，軸受摩擦力がその主体である）を予め計測し，実験データを補正した．また荷重計を含む摺動トルク測定装置系の固有振動数は約120Hzであり，回転周波数を十分上回っている．

荷重計の出力はPCに取り込まれ，ロータ５回転分の平均値を実験値とし10度毎にデータ処理を行った．

3.2 実験条件

試供エアポンプの仕様をTable. 1に一覧する．また，ロータの諸寸法をTable. 2に示す．エアポンプの摺動トルクにとって，ブレード出入（突出し／後退）抵抗とスリット角γとの関わりが大きいことは，ブレード重心に加わる遠心力 f_Cとケーシング反力F_0の関係から当然予想できることである．本研究では基本構造である求心スリットロータを主体にし，偏心スリットロータも比較のため実験に供した（Fig. 3）．ドライポンプ用に開発された偏心スリットロータは，摺動摩擦力F_Tのケーシング反力 F_0を高めることによっ

てカーボンブレードの破壊を抑制する目的で設計された．

一方，隣り合う翼室間の差圧がブレード出入の円滑性に大きな影響を及ぼす可能性は，当然予想されることである．そこで，ブレード出入に対する翼室圧の効果を確認する目的でブレード通気溝（Fig. 2），およびロータスリット底隙間を結ぶ導通孔（Fig. 3）も実験因子に加えている．ただし，偏心スリットロータではカーボンブレードの破壊強度低下の理由により，すべて通気溝を持たない平滑ブレードが用いられている．そのため，ロータスリット底の隙間圧効果は導通孔（Fig. 3）の有無によって検討した．使用した鋳鉄およびカーボンブレードの仕様もTable. 1に併記している．

実験条件として回転数N，風量Qは常用値程度としたが，不確定な影響因子をできる限り除く意味で，吸込みバルブと送風バルブを開放し，求心スリットロータでは滴下給油，偏心スリットロータでは無潤滑（ドライ）条件の下でそれぞれ実験した．ブレード頂部の初期形状（円弧半径R：10㎜）と表面粗さ（Ra：15μm）は稼働時間とともに摩耗し，ある特定の曲面に収斂するため，実験は十分馴染んだ後に行われた．ロータスリットとブレード厚のあそびは0.2㎜以内である．

Table. 1　Specifications of the air pump

specification \ Type of rotor		Centripetal slit		Eccentric slit
Suction pressure　Ps　kPa		−40 ～ 0		−40 ～ 0
Blow pressure　Pe　kPa		0 ～ 50		0 ～ 50
Flow rate　Q　㎥/min		0 ～ 0.3		
Rotation speed　N　rpm		500 ～ 750		1,500
Blade	Number of slit	8		4
	Material	FC250		Resin-impregnated Carbon
	Size（Length × Width × Thickness）㎜	40×80×5		55×75×4
	（Mass g）	(116)		(30)
	Air slot	Plane	Slotted	Plane
Casing	Bore of cylinder　㎜	127		118
	Material	FC250		S45C
Lubrication		Drop-feed		Dry

Table. 2　Specifications of the rotors

Size of rotor \ type	Centripetal	Eccentric
Diameter of rotor　2r　㎜	114	100
Width of rotor　b　㎜	80	75
Number of slit	8	4
Depth of slit　㎜	40	55
Thickness of slit　㎜	5.1	4.2
Slit setting angle　γ　deg.	0	22

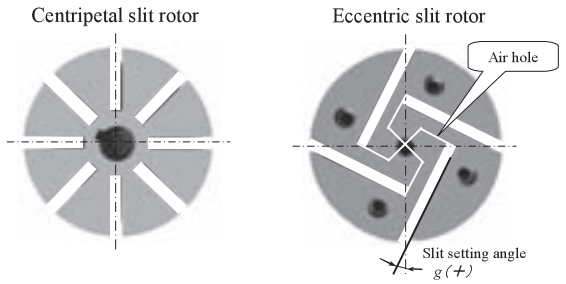


Fig. 3　Slit patterns of rotors

4. 実験結果および考察

エアポンプのブレード挙動を考察するに先立ち，その出入速度$v(\theta)$を，ブレードの回転角度θに対する突出し量$c(\theta)$の変化率として定義する（式(1)）．ここで，ブレード突出し量$c(\theta)$とはロータスリット出口とシリンダ間の隙間であり，ロータ偏心量eによって発生する（Fig. 2）．

$$v(\theta) = d\{c(\theta)\}/d\theta \tag{1}$$

Fig. 4は，突出し量$c(\theta)$と出入速度$v(\theta)$の理論計算例を極座標で示したものである．突出し量は，偏心円状のサイクルを呈する．出入速度は突出し時と後退時で正負が逆転するがその絶対値は対称なサイクルを描き，最大値はブレードの最大突出し位置から±90度位相がずれることが分かる．このような特性カーブは，回転する偏心ロータの幾何学から容易に算出できる．

以下，データはすべて極座標で表示され，中央にブレードの配置図が付されているが，回転角度θとポンプ構造（吸・排気ポートなど）の配置関係は全てFig. 4に準じている．なおAppendixに関連する記号表を記載した．

4.1　シングルブレードによる摺動トルクサイクル

シングルブレードによる摺動トルクサイクルの解析モデル計算値と実測値を，求心スリットロータと偏心スリットロータについて比較した.その所見をまとめると次のとりである．

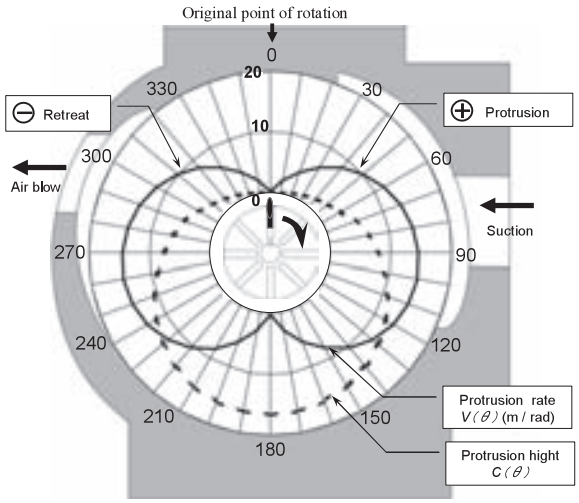


Fig. 4　Protrusion higth $C(\theta)$ and protrusion rate $v(\theta)$ of single blade（Theoretical results for a centripetal slit rotor）

4.1.1　求心スリットロータの摺動トルク特性

ブレードはロータの回転 N（rpm）が誘起する遠心力 f_C によって，ロータスリットとの摩擦に抗して，その頂部をシリンダ壁へ押付けられる．その垂直方向分力 F_N に滑り摩擦係数 μ_0 を乗じることによって摺動力 $F_T(=F_N\times\mu_0)$ を概算できる．これらの数値 F_N，F_T，および合力 F_0 の間の力学モデルが，可動翼型回転圧縮機や油圧ベーンポンプに対して提案され[2),3),5),6)]，ロータスリットにおける支点反力 F_1，F_2 の作用を考慮することによって，ブレードの出入に要する摩擦力 $F_B(=F_{1B}+F_{2B})$ は理論的に定義されている．しかし，ブレード側面に生じる擦過痕観察[1)] から，F_B の存在は間接的に確認されるが，理論モデルにおける F_B 数値の妥当性を具体的に検討した例は見当たらない．

摩擦係数の効果；本報では静力学的理論モデルの１つ[3)] を参考に，エアポンプにおけるブレード摺動トルク式を誘導し（Appendix参照），その摺動トルクサイクルを具体的に数値計算した．なおその際，ブレード頂部を円弧形状とし，シリンダ面との線接触を仮定している．その計算結果の１例をFig. 5に示す．同図では，シングルブレードを想定しているので翼室圧の影響を無視し，摩擦係数 μ_0，μ_B（Appendix参照）には常識的な数値を仮定している．この解析モデル値はブレード突出し時に比べ後退時に数倍大きなトルク値の歪み円状サイクルを呈しており，最大突出し量と最大後退速度（Fig. 4）の中間付近に極大値が存在する（Fig. 5）．なぜなら，ブレードのスリット後退抵抗と突き出し高さが摺動トルクを左右するために両者のピーク値の中間あたりに最大トルクが現れるものと理解され，当然のことながら，摩擦係数 μ_0，μ_B による影響が大きいことは，容易に推察できる．このように仮定された摩擦係数の下でのシミュレーション結果は比較的妥当な傾向を示しているが，ブレードの動力学モデルの検討および実摩擦係数の特定が今後の課題である．なお参考までに，ブレード支点反力　F_1，F_2 および接触角 α をゼロと仮定し，遠心力のみによるブレード出入を想定した単純モデルによって求心スリットロータのシングルブレードに対する摩擦トルクサイクルを試算してみた．ブレード重量：約0.012N／１枚より，回転数650rpmにおけるブレードの遠心力は，20 ～ 29N程度となり平均値でも高々24Nに過ぎない．この摺動トルクサイクル（摩擦係数　$\mu_0=0.2$ を仮定）はFig. 5（破線）に見るとおりであり，平均摩擦トルク $\overline{T}_F$ は約 $T_F=0.25$Nm（最大摩擦トルクは約0.35Nm）となる．

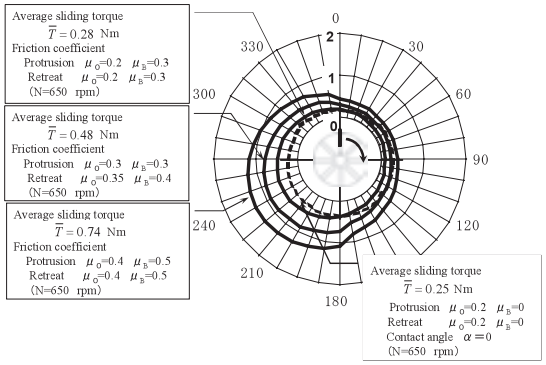


Fig. 5　Sliding torque by single blade（Theoretical results for a centripetal slit rotor）

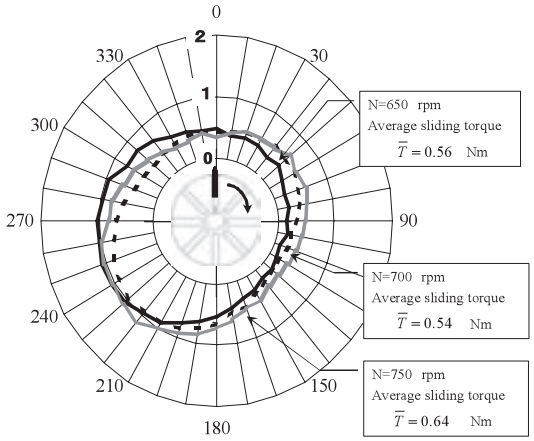


Fig. 6　Effects of rotation speed on sliding torque by single blade（measured value for a centripetal slit rotor）

またFig. 6にシングルブレードにおける駆動トルクの実測値（Fig. 5に対応する回転数：650rpm）を示した．実測値と解析モデル（$\mu_B=0$）の数値はかなり乖離しているのがわかる．このことからも，ロータスリットとブレード間の出入摩擦係数 μ_B が，摺動トルクに極めて大きな影響を及ぼすことが窺われる．

回転数（遠心力）の効果；　ロータ回転数に関して言えば，回転数変化650 ～ 750rpmに伴う遠心力の変化量がせいぜい10Nと摺動抵抗の絶対値に比べ小さいものの，理屈上は遠心力が回転数の二乗に比例することから，高速になるに伴い摺動トルクも相応に増加するはずである．

Fig. 6に示した回転数の違いによる効果の特性的傾向は理論サイクル（Fig. 5）と近似しているが，回転数の変化に対して，650 ～ 750rpm程度では大きな差違が現れない．おそらく，前述のように摺動トルクの主体がブレードのスリット出入抵抗によって支配されているためと考えられる．しかし，回転数がある限界（本実験では600rpm辺り）以下の低速度になると摺動トルクサイクルパターンの再現性が急激に低下することが観察されることから，安定したブレードの出入を保証するには，それより大きい回転数の望ましいことが判明した．この原因はブレードに作用する遠心力効果にしきい値が存在するものと想像される．

ロータスリット底の圧力効果；ブレードの出入に伴うロータスリット底の隙間変化がその内圧を変動させ，出入運動の挙動に影響を及ぼすことは十分予想される．ロータスリット底と翼室を繋ぐブレード通気溝（Fig. 2）はこの圧力変化を緩和（自動調整）させる意図で考案された．

Fig. 7はブレード通気溝の有無によるシングルブレードの摺動トルクを対比したもので，実測した5サイクル分のデータを示している．同図によると，平滑シングルブレードの方が通気溝を付したブレードに比べ，摺動トルクの平均値（$\overline{T}$）は小さいもののトルクサイクルの再現性に劣っている様子が現れており，このことは恐らくブレードの浮き上りも含めてその出入の不安定さを示唆している．しかし，ブレード通気溝の得失はエアポンプの送風・吸気効率との絡みで駆動トルクの絶対値も含めて議論されなければならないものと考える．

4.1.2　偏心スリットロータの摺動トルク特性

まず，スリット角をロータ回転方向へプラス，その逆をマイナスと定めることにする（Fig. 3）．ブレード摩擦力のうち後退ベクトル分力の大きいことから，理論上プラススリット角の方がブレードの出入運動にとって有利のはずである．したがって，カーボンブレードを用いた偏心スリットロータのドライエアポンプでは，プラススリット角が採用されることになる．偏心スリットロータに対する摺動トルクの実測値の1例をFig. 8に示す．トルクの最大値が局所に集中すると共に，その位置が求心ロータに比べ回転逆方向側に偏る（位相が進む）傾向を示す．これは，ブレードがケーシング壁面へ傾斜接触するため，最大突出し量C_{max}に対する回転位置が早まることによって生じる現象であることは幾何学的にも理解できる．

Fig. 8では，シングルブレードの摺動トルクに対してロータ導通孔（Fig. 3）の効果も対比されている．同図では両者の明白な差は確認できない．すなわち，ロータスリット底間に導通孔を設けても，駆動トルクに大幅な変化が見られない．しかし，ブレード側面の通気溝と同様，マルチブレードにおいて導通孔もまた出入運動の安定性に優位に作用する傾向が確認された．

4.2　マルチブレードにおけるブレードの出入挙動

4.2.1　翼室圧が求心スリットロータ／ブレード挙動へ及ぼす影響

シングルブレードの実測したデータの摺動トルクサイクルをブレードの取付位置だけ位相をずらしてその枚数分を重ね合わせるという線形加法モデルは，エアポンプの摺動トルク特性を考察する上で1つの手がかりを与えてくれる．この手法によってマルチブレードにおける摺動トルクサイクルをシミュレーションした1例が，Fig. 9（A）である．

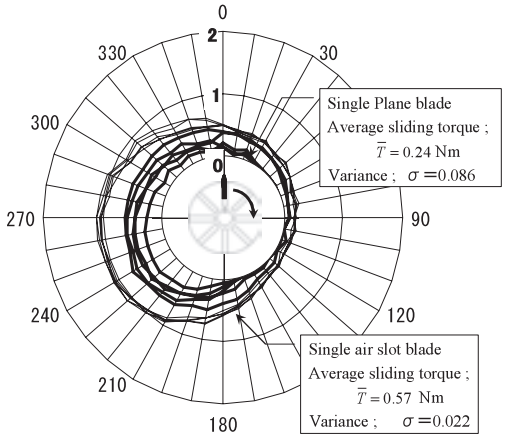


Fig. 7　Effects of air slots on slidimg torqur by single blade（measured value of serial 5 cycle curves for centripetal slit rotor）

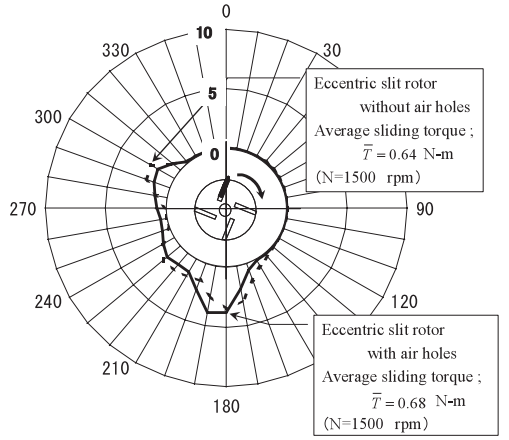
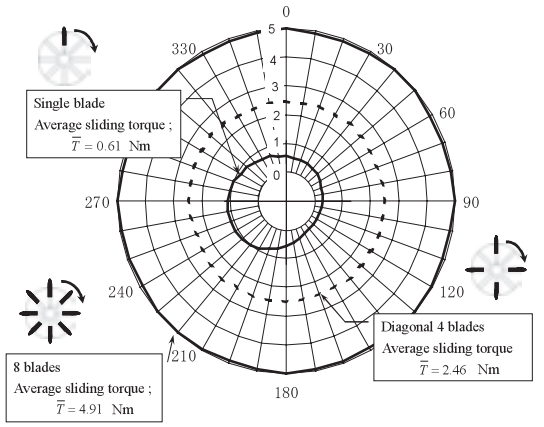
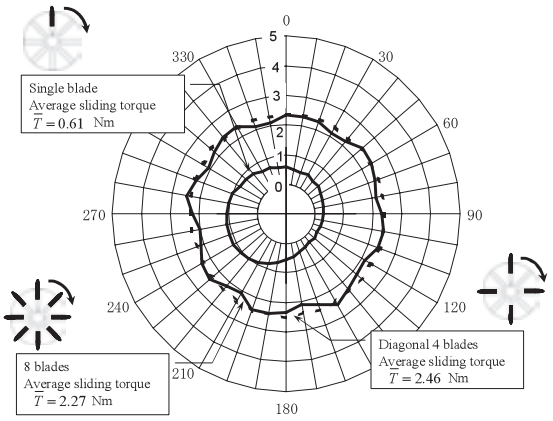


Fig. 8　Sliding torque by single blade on an eccentric slit rotor（measured value）



(A)　Simulated value by summing up single blade torque



(B)　Measured values

Fig. 9　Sliding torque by multi-blades with air slots

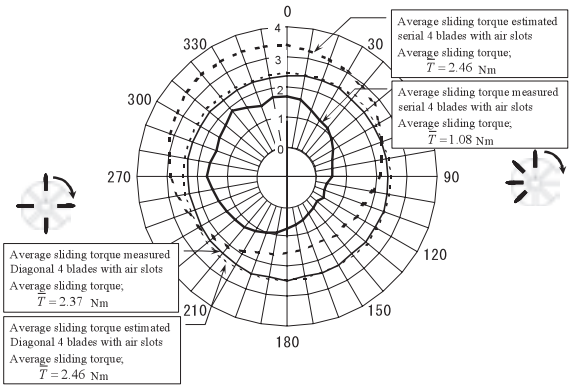
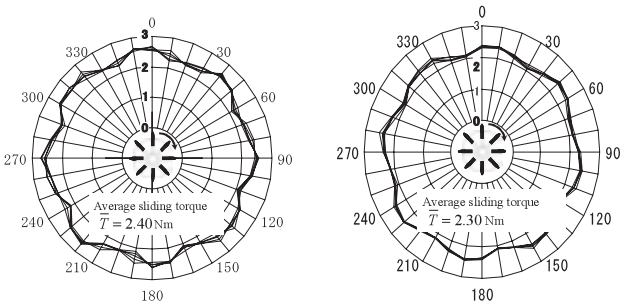


Fig. 10　Array effect of 4 blades on sliding

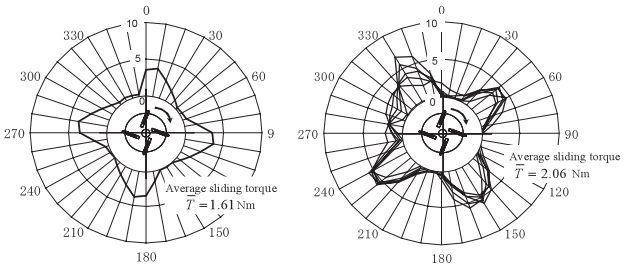
また比較のためFig. 9（B）に，この実測トルクサイクルを示している．両図の結果を対比させて見ると，シングルブレードの加法モデルによるシミュレーション結果は実測値と対角４枚ブレード配列（翼室圧は生じない）ではその傾向がほぼ一致しているのに対し，８枚ブレード（翼室圧が発生）では実測値がシミュレーションより遙かに小さな数値を示している．このように顕著な相違は翼室圧によってもたらされる効果と予想される．恐らく，マルチブレードにおけるブレード出入の円滑性は隣り合う翼室圧差に敏感に反応し影響を受けたものと考えられる．したがって，シングルブレードによる摺動トルクサイクルのブレード枚数に応じた単純加法性は，翼室圧の生じるケースでは成立し難いということになる．この結論の妥当性を検証する目的で，ブレードの配列による摺動トルク効果を実測した．Fig. 10は，４枚マルチブレードについて，連続４枚配列（翼室圧が発生）と対角４枚配列（翼室圧の変化なし）を実測値と単純加法モデル値をそれぞれ対比させて示したものである．前者（連続配列）は隣り合う翼室に生じた圧力の差圧がロータスリットにおける反力 F_1，F_2（Appendix参照）に少なからぬ影響を及ぼした結果，ロータスリットでのブレード拘束を緩めその出入が円滑化し，加法モデル値より実測値が大幅に低下したものと推測される．これに対して，後者（対角配列）はその圧力差が生じないことから，シングルブレードの単純な重ね合わせシミュレーションと良い一致を見たものと解釈できる．

以上の結果より，ブレード出入の円滑化にとって，ロータスリットの寸法形状や表面粗さ，エッジ品質などが重要な影響因子となり得るものと推察される．とりわけ，マルチブレードにおける通気溝の調圧効果には，期待が大きい．Fig. 11には平滑ブレードと通気溝付きブレードの８枚ブレードにおける摺動トルクを比較している．シングルブレードでは平滑ブレードの摺動トルクが通気溝付きブレードに比べかなり小さかったにもかかわらず，８枚ブレードになると通気溝付きブレードの方が結果として，トルクサイクルが安定し，絶対値も若干小さくなる傾向を示している．



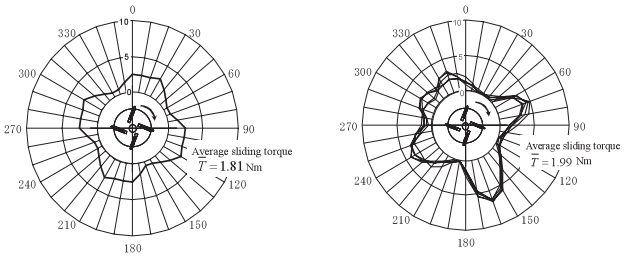
(A)　Plane blade　　(B)　Air slot blade

Fig. 11　Stability of sliding torque cycle for multi-blades (serial 5 cycle curves)



(A)　Value estimated by summing up single blade torque　　(B)　Measured values (serial 5 cycle curves)

Fig. 12　A sliding torque cycle curve by multi-blades (an eccentric slit rotor without air holes)



(A)　Value estimated by summing up single blade torque　　(B)　Measured values (serial 5 cycle curves)

Fig. 13　A sliding torque cycle curve by multi-blades (an eccentric slit with air holes)

4.2.2　偏心スリットロータ／ブレード挙動へ及ぼす翼室圧の影響

偏心スリットロータによるマルチブレードの駆動トルク予想にも，シングルブレードによる摺動トルクの加法シミュレーションを利用できる．Fig. 12(B)より明らかなように，平均実測トルクおよびその極大値は加法モデルFig. 12(A)による予測値よりかなり大きく，トルクサイクル間のばらつきも著しい．すなわちロータスリット底の導通孔無しでは，ブレード出入運動が安定しにくい傾向を示しているといえる．

このような所見をもとに，ブレードの出入の円滑化を図る対策としてロータスリット底間を導通させることによる

調圧効果を予見することができる．例えば，ロータサイドにスリット底を連結するスロットを同心円状に設ける試みがなされた例がある．本研究では，ロータスリット底間を繋ぐ導通孔を設計した．すなわち，ブレードの出入によって生じるロータスリット底容積の変化がもたらす背圧変動をこの導通孔によって緩和することにより，ブレードの出入を円滑にし，摺動トルクの低減を図ろうとするものである．Fig. 12，13より導通孔有無の効果を対比すると，導通孔によって１サイクル中のトルク変動が緩和され，安定性も増している様子が認められる．このことよりロータスリット底に形成される密封隙間内の背圧を開放するために導通孔を設けることは，ブレードの円滑な出入挙動に一応の効果を認めることができたと考える[5]．

5. 結　　言

本研究では，以下の結論を得た．

(1) エアポンプにおける軸駆動トルクは，理屈上は，ブレードに作用する遠心力f_Cがもたらす摺動抵抗F_T（$=F_N \times \mu_0$）によって支配されるはずである．しかし，現実の摺動抵抗はそのような単純計算値よりも大きい．この原因は，ブレードとロータスリット間の摩擦によるブレード出入の拘束に因ることが，本実験によって推定された．

(2) ブレードとシリンダ壁間の摺動トルクはロータの回転角度に連動してサイクル変化する．その大きさはブレードの突出し量とその変化率（出入速度）に影響され，両者の極値の中間付近で最大となる傾向を示す．

(3) 求心スリットロータと偏心スリットロータでは，シングルブレードのトルク極大値の位置に位相差が生じる．これはスリット角がもたらすものと考えられる．

(4) マルチブレードにおいて，翼室圧はブレード出入挙動にとって大きな影響因子となる．

(5) ブレード通気溝および導通孔によるロータスリット底間自動調圧作用は，ブレード摺動摩擦の軽減にとって有効な対策となり得る．

謝　　辞

本研究の実施に当たり，有益な助言を賜った芝浦工業大学名誉教授　柴田順二氏に深甚の謝意を表します．

参 考 文 献

1）植木，稲葉，柴田：真空・圧縮ポンプのベーンとケーシング摩耗に関する基礎研究（その２），日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集，p. 95-96（2002）

2）伊藤，他：容積型圧縮機，産業図書，p. 184（1979）

3）上野，岸岡，森本：可変容量型ベーンポンプの特性に関する研究（第２報　ベーンによる摩擦トルク特性について），油圧と空気圧，Vol. 9，No. 1，p. 38-45（1978）

4）植木，稲葉，柴田：可動翼型送風・圧縮ポンプのベーン挙動観察，㈳フルードパワーシステム 平成18年春季講演会，p. 85-87（2006）

5）植木，稲葉，柴田：可動翼型送風・圧縮ポンプおけるロータ溝間の導通孔の効果，㈳日本フルードパワーシステム　平成19年春季講演会，p. 158-160（2007）

6）稲熊，日比：ベーンポンプの摩擦トルク特性，油圧と空気圧，Vol. 25，No. 7，p. 843-849（1994）

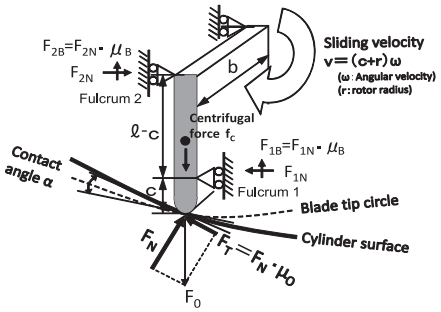
Appendix

３つの力のつり合い方程式（ブレード出入り方向とその直交方向の力のつり合いおよびモーメントのつり合い）から，ブレード摺動トルクTは，次のとおり導かれる．

$$T = F_0 \cdot \cos\alpha \cdot (\sin\alpha + \mu_0 \cdot \cos\alpha) \cdot \rho$$

$$= (W + F_0)\frac{\rho}{\mu_B}$$

$$= \frac{W \cdot \{\cos\alpha \cdot (\sin\alpha + \mu_0 \cdot \cos\alpha)\} \cdot \rho}{\cos\alpha \cdot (\sin\alpha + \mu_0 \cdot \cos\alpha) \cdot \mu_B - 1}$$



[記号表]

f_C：遠心力（N）

ρ：ロータ中心からケーシング接触面までの距離（㎜）

α：ケーシングとブレードの接触角（度）

μ_0：ケーシングとブレードの摩擦係数

μ_B：ロータ溝とブレードの摩擦係数
（前進＋，後退－）

F_o：ケーシング反力（N）

F_N；F_T：ケーシング壁面分力（N）

F_1，F_{1N}，F_{1T}；支点１各反力（N）

F_2，F_{2N}，F_{2T}：支点２各反力（N）

W：ブレードの作用する遠心力（N）

研究論文

カルマンフィルタを用いた管内非定常流量・圧力の推定*

小 澤 明**，眞 田 一 志***

An Estimation of Unsteady Flowrate and Pressure in a Pipe using Kalman Filter

Akira OZAWA**, Kazushi SANADA**

In this study, an experimental method of estimating fluid transients by combining a steady-state Kalman filter and an optimized finite element model of pipeline dynamics is discussed. In this method, spatiotemporal distributions of not only the flow rate but also the pressure in a pipe can be estimated from pressure at three points. Furthermore, fluid transients can be estimated without accurate setting of initial conditions, and it is also possible to exclude sensor noise in estimating the pressure and flow rate from the measured pressure including the noise. Steady flow rate was first estimated online in real time. The estimated flow rate was compared with the flow rate measured by a flow sensor. This confirmed that the estimated result coincide with the measurement result well. Next, unsteady flow rate and pressure were estimated offline. For comparison, unsteady flow rates and pressures were simulated with the method of characteristics using the same data. Unsteady pressure was also measured by pressure sensor. This comparison confirmed that the unsteady flow rate and pressure can be estimated even though the input includes sensor noise. Finally, estimation of the pressures and flow rates at uniformly spaced grid points in a pipe were discussed. The estimates showed good agreement with the simulation results. Therefore, it was confirmed that the spatiotemporal distributions of pressure and flow rate can be precisely estimated with the Kalman Filter.

Key words：Kalman Filter, Pipe Flow, Optimized Finite Element Model, Simulation

1. 緒 言

油圧管路は機器同士を接続する要素として油圧システムの動特性に影響をおよぼす．そのため，管路における圧力や流量は流体過渡現象の把握に役立つ情報となる．しかしセンサによる計測のみでは，圧力や流量を知りたい場所にセンサが取り付けられない場合など場所や構造による制限も多い．この問題を解決するためにセンサを取りつけていない場所の圧力・流量を推定する間接測定手法[1)-7)]や，解析モデルを用いた数値シミュレーション[8),9)]などの研究がおこなわれてきたが，近年は直接計測と解析モデルを組み合わせてオブザーバとして用いた計測融合シミュレーション[10)-14)]などの新しい手法も提案されている．

著者は，油圧管路における圧力と流量の時空間分布を得ることができる，管路の最適化有限要素モデル（OFEMモデルと呼ぶ)[8)]を用いたカルマンフィルタを提案し，その構成法を示すと共に，基礎特性を数値シミュレーションにより明らかにした[15)]．その文献[15)]では，管路動特性の最適化有限要素モデルを用いたカルマンフィルタを新たに提案することに主眼をおき，文献[16)]の実験管路（測定区間長32m）を利用して，本手法によって管路の流量・圧力が推定できることを従来の代表的な計測・解析手法[1)-3),9)]との比較と考察から明らかにした．しかし，実時間推定については今後の課題となっていた．そこで本論文では，本手法による実時間推定について述べる．そのため，実用上も受け入れられるある程度短い管路（3.2m）の実験装置を新たに製作し，本手法の特色を明らかにする．非定常流量・非定常圧力の推定に対するニーズは現時点では油圧分野の方が強いと考えられるため，文献[15),16)]では水圧管路を用いていたのに対して，本論文では油圧管路を用いることとした．短い管路で実時間処理を実施する際に重要なパラメータ設定に関連して，サンプリング時間，管路モデルのパラメータや使用する圧力センサ，および周波数帯域について述べる．

第３章ではカルマンフィルタの概要を説明し，特に3.2項ではリアルタイムで時空間分布を取得する際に必要な手続きについて他手法と比較し，本手法の特長を述べる．第４章では実験と検討を行った．4.2項では，コリオリ式流量計

*平成24年４月７日　原稿受付
**横浜国立大学大学院工学府システム統合工学専攻
（所在地　横浜市保土ヶ谷区常盤台79－５）
（E-mail：d09sb101@ynu.ac.jp）
***横浜国立大学大学院工学研究院
（所在地　横浜市保土ヶ谷区常盤台79－５）

を用いて計測した定常流量値とカルマンフィルタのリアルタイム推定値を比較した．4.3項では，さらに非定常流量について本手法のオフライン推定結果を特性曲線法（MOC）のシミュレーション結果と比較した．4.4項では，推定に使用する３点以外の箇所に圧力センサを設置して非定常圧力を計測し，推定結果との比較を行った．4.5項では時空間分布を推定し，特性曲線法と比較した利点を述べる．最後に第５章で，本論文で得られた結論を述べる．

2. 主な記号

A	：管路断面積
$\boldsymbol{A}_p, \boldsymbol{B}_p$	：OFEMモデルの係数行列
$\boldsymbol{B}, \boldsymbol{E}, \boldsymbol{F}$	：係数行列
c	：波動伝播速度
$\boldsymbol{C}$	：出力行列
$\boldsymbol{G}$	：システムノイズゲイン
$\boldsymbol{K}_\mathrm{T}$	：定常カルマンゲイン
$\boldsymbol{P}$	：推定誤差共分散行列
p	：圧力
$\bar{\boldsymbol{p}}$	：OFEMモデルの入力圧力
p_4	：測定区間の3/4の位置の圧力
$\boldsymbol{p}_f$	：圧力損失項
$\boldsymbol{Q}$	：プロセスノイズの共分散
q	：流量
R	：センサノイズの共分散
t	：時間
v	：センサノイズ
$\boldsymbol{w}$	：プロセスノイズ列ベクトル
$\boldsymbol{x}$	：状態変数ベクトル
ρ	：密度
添字	
N	：管路途中の圧力格子点の個数
up	：上流端
mid	：中央点
$down$	：下流端

3. カルマンフィルタの概要

3.1 カルマンフィルタの構成

OFEMモデルでは，管内流れを一次元流れと仮定する．対流項を省略した管内流れの運動方程式と連続の式を用い，Fig. 1のように交互に配置した格子系をもとに近似を行うと以下の式を得る[8]．

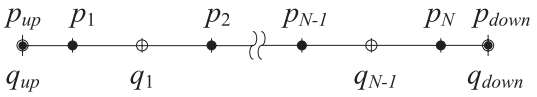


Fig. 1　Interlacing grid system

運動方程式

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{q}}{\mathrm{d}t}+\frac{A}{\rho}\boldsymbol{B}\boldsymbol{q}+\frac{A}{\rho}\boldsymbol{F}\bar{\boldsymbol{p}}+\boldsymbol{p}f=\boldsymbol{0} \tag{1}$$

連続の式

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}}{\mathrm{d}t}+\frac{\rho c^2}{A}\boldsymbol{E}\boldsymbol{q}=\boldsymbol{0} \tag{2}$$

これを状態方程式で表わし，圧力損失項などを整理すると，以下の式となる．

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{x}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{A}_p\boldsymbol{x}+\boldsymbol{B}_p\bar{\boldsymbol{p}} \tag{3}$$

OFEMモデルを用いた定常カルマンフィルタでは，状態方程式及び出力方程式は，ノイズ誤差v，およびシステム誤差$\boldsymbol{w}$を考慮して以下の式で表される[15]．

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{x}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{A}_p\boldsymbol{x}+\boldsymbol{B}_p\bar{\boldsymbol{p}}+\boldsymbol{G}\boldsymbol{w} \tag{4}$$

$$p_{mid}=\boldsymbol{C}\boldsymbol{x}+v \tag{5}$$

ここで，システム誤差$\boldsymbol{w}$は管路モデル両端に入力する圧力の計測値に含まれるセンサノイズと対応させて考えれば，システム誤差$\boldsymbol{w}$と$\bar{\boldsymbol{p}}$は２×１行列となり，システムノイズゲイン$\boldsymbol{G}$は$\boldsymbol{B}_p$とおくことができる．

$$\boldsymbol{G}=\boldsymbol{B}_p \tag{6}$$

このとき，離散時間における定常カルマンフィルタは以下の式で与えられる[17]．

フィルタ方程式

$$\hat{\boldsymbol{x}}[n]=\boldsymbol{A}_p(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{K}_T\boldsymbol{C})\hat{\boldsymbol{x}}[n-1]+\boldsymbol{A}_p\boldsymbol{K}_T p_{mid}+\boldsymbol{B}_p\bar{\boldsymbol{p}} \tag{7}$$

定常カルマンゲイン

$$\boldsymbol{K}_T=\boldsymbol{P}\boldsymbol{C}^T(R+\boldsymbol{C}\boldsymbol{P}\boldsymbol{C}^T)^{-1} \tag{8}$$

ただし$\boldsymbol{P}$は以下の代数リカッチ方程式の解である．

$$\boldsymbol{P}=\boldsymbol{A}(\boldsymbol{P}-\boldsymbol{P}\boldsymbol{C}^T[\boldsymbol{C}\boldsymbol{P}\boldsymbol{C}^T+R]^{-1}\boldsymbol{C}\boldsymbol{P})\boldsymbol{A}^T+\boldsymbol{G}\boldsymbol{Q}\boldsymbol{G}^T \tag{9}$$

ここで$\boldsymbol{Q}$，Rは以下の式で表わされる．ただし，$E(x)$はxの期待値を示す．

$$\boldsymbol{Q}=E(\boldsymbol{w}[n]\boldsymbol{w}[n]^T) \tag{10}$$

$$R=E(v[n]^2) \tag{11}$$

Fig. 2にカルマンフィルタの概要をブロック線図で示す．上流端圧力p_{up}および下流端圧力p_{down}をOFEMモデルの入力

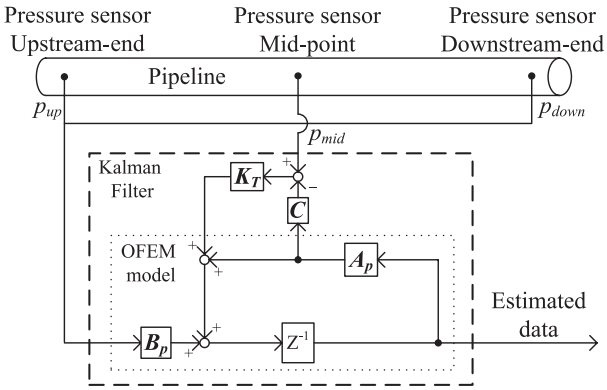


Fig. 2　Schematic diagram of a proposed Kalman filter

として各状態変数を得る．OFEMモデルから中央点の圧力p_{mid}を出力し，これとセンサより得られた圧力信号p_{mid}との偏差をフィードバックすることで，状態変数を圧力と流量の推定値として利用することができる．

3.2　他手法と比較した本手法の利点

リアルタイムで時空間分布を取得する際に必要な手続きについて，本手法と他手法を比較する．センサが設置されていない箇所の値を推定する手法には間接測定法や数値解析がある．間接測定法の代表として遠隔瞬時流量計測手法[1)-3)]を挙げると，この手法は2点の圧力値や流量値からセンサが設置されていない箇所の流量値をリアルタイムで間接測定するものである．機能拡張により，任意の箇所の値を測定することができるが，一つの伝達関数で一箇所の流量値を求める手法である[3)]．時空間分布を知るためには多数の伝達関数を用意する必要があるため計算負荷が大きい．これに対して，本手法では出力行列の設定によって推定値を取得する位置とその個数を簡単に変更することができる．一方，管内流れの代表的な数値解析手法である特性曲線法では，簡単に時空間分布を得ることができる．本研究においても推定結果の検討には特性曲線法を用いている．しかし固定刻みのサンプリング時間で計算を行う場合，“時間刻み×波動伝播速度＝管路の分割幅”の関係があるため，時間刻みが先に決められていると管路の分割幅が決まってしまう．管路長さは分割幅に分割数を乗じた値しか取ることができないため，実際の管路長さと一致しなくなる．また，実際の管路長さと解析する管路長さを同じにする場合，管路の分割幅が決まる．このとき，時間刻みは分割幅を波動伝播速度で割った値になるため，実際のサンプリング時間と一致しない．これに対して，本手法ではOFEMモデルを用いており，管路の分割幅とサンプリング時間は互いに独立であるため，管路長さもサンプリング時間も自由に決めることができる．この点はリアルタイムで時空間分布の推定や短い管路で高い周波数の非定常流れを推定する場合に適用しやすい特長であると考えられる．本研究で比較検討に用いた特性曲線法によるシミュレーションでは，時間刻みとサンプリング時間のずれを線形補間によって補った．

4.　カルマンフィルタを用いた推定実験

4.1　実験装置および実験手順

カルマンフィルタで使用する圧力信号p_{up}，p_{mid}，p_{down}として実験データを使用する．実験装置をFig. 3に示す．左から(1)油圧ポンプ，計測管路，(2)流量制御弁，(3)コリオリ式流量計の順に接続されている．(4)高速サーボ弁は計測管路の上流部から分岐して接続している．油圧ポンプの斜板角と流量制御弁の絞りによって流量を調整でき，高速サーボ弁で流量変動を発生させることができる．計測管路の(5)上流端，(6)中央点，(7)下流端に1.6m間隔で圧力センサを取り付け，アンプ，A/D変換ボードを通して信号を(9)PCに取り込んだ．この実験装置では，上流端から推定区間長の3/4の位置にもう一台(8)圧力センサを設置し，圧力の推定結果の確認に用いた．コリオリ式流量センサのアナログ信号も(9)PCに取り込み推定流量と流量計の流量を比較する．実験の諸元はTable 1のとおりである．本実験では，共和電業製の圧力センサPGM-100KDと動ひずみ増幅器DPM-911Bを用いた.また，波動伝播速度は，3圧力変換器法による実験を別途行い1310m/sと求めた．油圧ポンプ(1)はアキシャルピストンポンプで，ピストン数は9本であり，定格回転数は1435min^{-1}であるから，ポンピング周波数は215Hzとなる．

本推定手法における周波数帯域は，主として①サンプリング定理による周波数帯域，②管路動特性のモデルとして利用する最適化有限要素モデルの周波数帯域，③圧力センサと動ひずみ増幅器の周波数帯域の影響を受けると考えられる．ここで，①については，サンプリング時間が1msの時，サンプリング周波数は1kHzであり，サンプリング定理からその半分の500Hz以下の周波数帯域が有効となる．②については，測定区間長$L=3.2$mの管路長さで，波動伝ぱ速度cが1310m/sの場合，固有周波数f_nは

$$f_n=\frac{c}{4L}=\frac{1310}{4\times 3.2}\approx 102\,\mathrm{Hz} \tag{12}$$

となる．最適化有限要素モデルの管路内の圧力格子点の個数Nを5としているため，モデルが再現できる最高次の固有周波数は$2Nf_n=1020$(Hz) である[16)]．③は使用するセンサや増幅器によって決まる．圧力センサPGM-100KDの固有振動数は約113kHzである．また，動ひずみ増幅器DPM-911Bの応答周波数範囲は2.5kHzであり，ローパスフィルタを用いずに使用した．以上より，要因①の500Hzが本実験で本カルマンフィルタが測定できる周波数帯域と考えられる．一方，管路長さLは要因②に示したように測定区間の固有周波数f_nに影響する．管路長さが長いほど測定区間の固有周波数f_nは低下する．例えば管路長さを2倍の6.4mとした場合の固有周波数は半分の510Hzとなり，3倍の9.6mとした場合は1/3の340Hzとなる．管路長さが長くなると，要因②の最適化有限要素モデルの最高次の固有周波数が要因①のサンプリング定理から定まる周波数帯域500Hzより低くなり，本手法で推定できる非定常流量の周波数帯域が要因②の最適化有限要素モデルで決まるようになる．また，

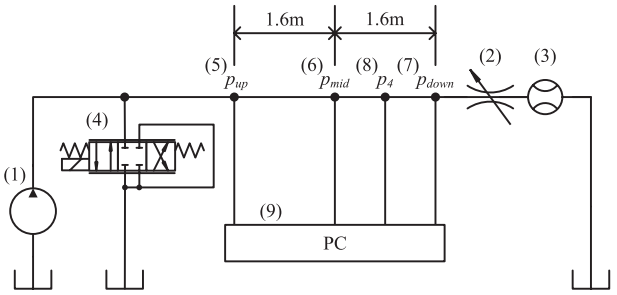


Fig. 3　Experimental pipeline and measurement system

Table 1　Parameters for experiment and simulation

Wave speed	1310m/s
Length of pipe	3.2m
Number of elements	5
Diameter of pipe	20㎜
Kinematic viscosity	5×10^{-5} ㎡/s
Oil temperature	30℃
Density	850kg /㎥
Sampling time	1ms（real time）
	0.1ms（offline）

管路内径は流れの状態（層流か乱流か）や圧力損失の計算に影響するが，周波数帯域の要因①～③とは直接的な関係はない．

4.2　定常流量のリアルタイム推定

提案したカルマンフィルタによるリアルタイム推定結果と，コリオリ式流量計の計測結果を比較することで，定常流量のリアルタイム推定結果の妥当性を検討した．リアルタイム推定にはMATLAB/SimulinkのRealtime-Windows Targetを使用した．リアルタイム推定では，計算負荷との兼ね合いからサンプリング時間を1msとした．流量制御弁を全閉状態から流量が30l/minにまでなるまでゆっくりと開き，再び全閉状態にし，その時の推定値とコリオリ式流量センサの計測値を比較した．この実験での推定値の時刻歴をFig. 4に示し，コリオリ式流量センサを用いた測定値の時刻歴をFig. 5に示す．Fig. 6はこの時のコリオリ式流量センサの計測値とカルマンフィルタの推定値との関係を示している．両者の間には顕著な線形関係が見られ，定常流量をリアルタイムでも推定できることが確認できた．

Fig. 4に示すカルマンフィルタによる推定流量の振幅は，Fig. 5に示すコリオリ式流量計による測定結果より大きい．Fig. 4の一部を拡大してFig. 7に示す．Fig. 7でわかるように，流量の推定結果には周期的な振動が現れている．一方，Fig. 5のコリオリ式流量計にはローパスフィルタが組み込まれており，Fig. 5のコリオリ式流量計の波形では振動が低減されている．Fig. 7では，振動周期は約0.0046sであり，サンプリング時間が1msであるから，一周期の間にサンプリング点は4，5点しかない．そのため，プロットするとサンプリング点における折れ点が顕著である．

そこで，サンプリング時間をさまざまな値に設定して実時間推定を試みた．その結果，0.5ms，0.2msでも実時間推定が可能であったが，0.15ms，0.1msでは実時間推定が実行できなかった．実時間推定が実行可能なサンプリング時間は，推定演算の計算量と使用したパーソナルコンピュータ

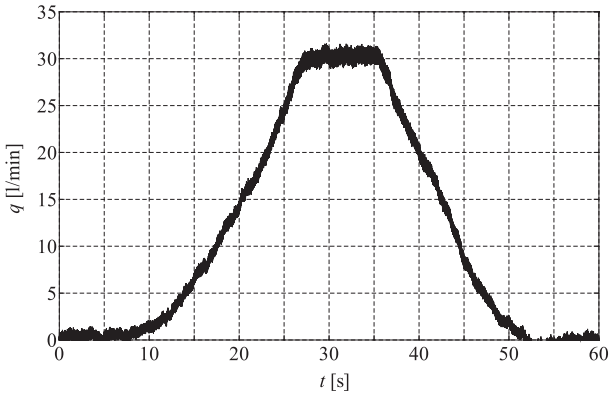


Fig. 4　Estimated flow rate at the mid-point

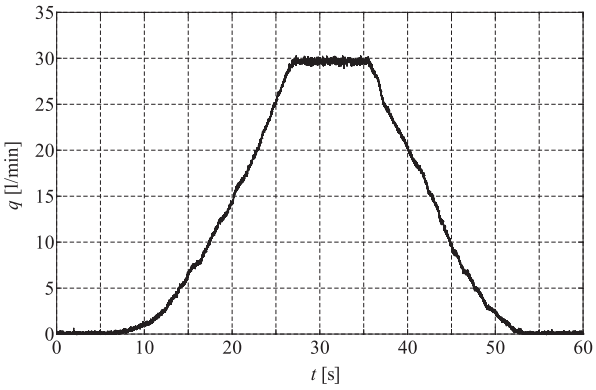


Fig. 5　Flow rate measured by the flow sensor

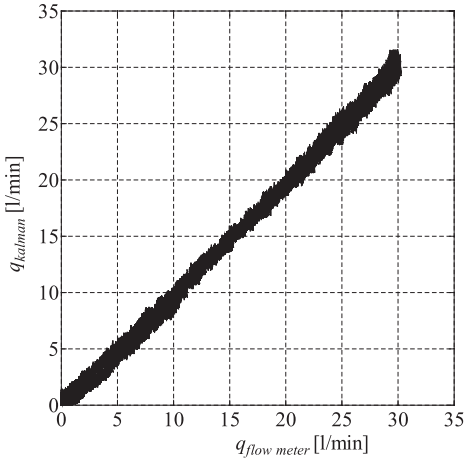


Fig. 6　Relationship between estimated flow rate and measured flow rate

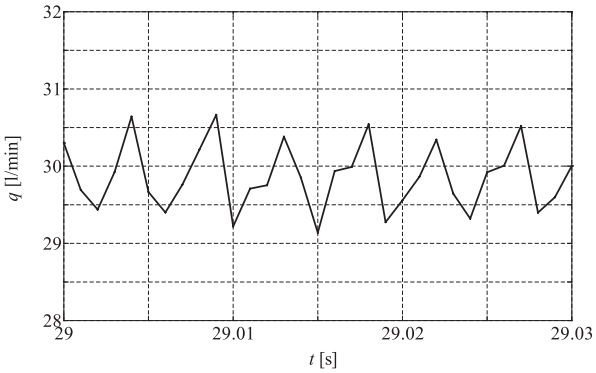


Fig. 7　Enlarged figure of the estimated flow rate

の演算処理能力によって定まると考えられる．

4.3 非定常流量のオフライン推定

非定常流量について，サンプリング時間0.1msでオフライン推定を行った．流量が30l/minになるよう流量制御弁を開いた状態から，サーボ弁に正弦波信号を加えて流量脈動を発生させた．サーボ弁の駆動周波数が100Hzの時の管内に発生した圧力の測定結果をFig. 8に示す．上段に示した上流端圧力p_{up}，中段に示した中央点圧力p_{mid}，下段に示した下流端圧力p_{down}をカルマンフィルタに加える信号として用いた．

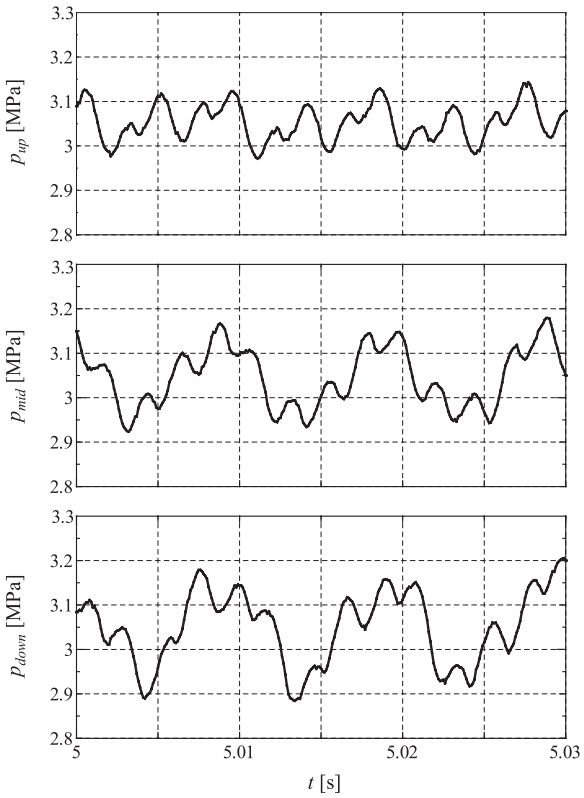


Fig. 8 An example of experimental results of pressures p_{up}, p_{mid} and p_{down}

このときの非定常流量について特性曲線法との比較を行った．特性曲線法のモデルには上流端圧力p_{up}と下流端圧力p_{down}を境界条件として入力し，管路長さを3.2m，分割数は32とした．Fig. 9に，カルマンフィルタによる推定値を実線で，特性曲線法によるシミュレーション値を破線で示した． Fig. 9におけるカルマンフィルタによる推定流量と特性曲線法による流量の計算結果は，測定区間（3.2m）の中央点（圧力P_{mid}の測定点）における流量を表している．

カルマンフィルタの推定結果と特性曲線法のシミュレーション結果はほぼ一致しており，特性曲線法と比較しても良好な推定結果を得ることができた．推定された非定常流量の波形は，正弦波からゆがんでいるようにみえるが，これは油圧ポンプのポンピング脈動の周波数成分（215Hz）がかさなっているためと考えられる．高速サーボ弁の駆動周波数を100Hzから10Hzまで変化させた時の流量推定値のFFT結果をFig. 10に示す．上から順にサーボ弁駆動周波数が100Hz，75Hz，50Hz，25Hz，10Hzの場合である．いずれの図についても駆動周波数以外に，215Hzの周波数付近に同じ大きさのスペクトルを持つ流量の振動があり，ポンピング周波数と一致する．このことから，Fig. 7にみられた流量脈動もポンピング脈動であると考えられる．

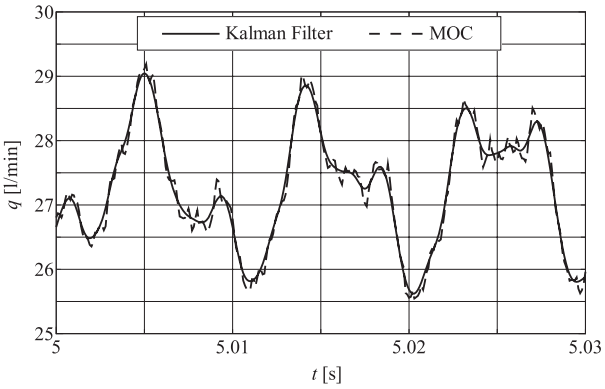


Fig. 9 Comparison of flow rate obtained by Kalman filter and MOC

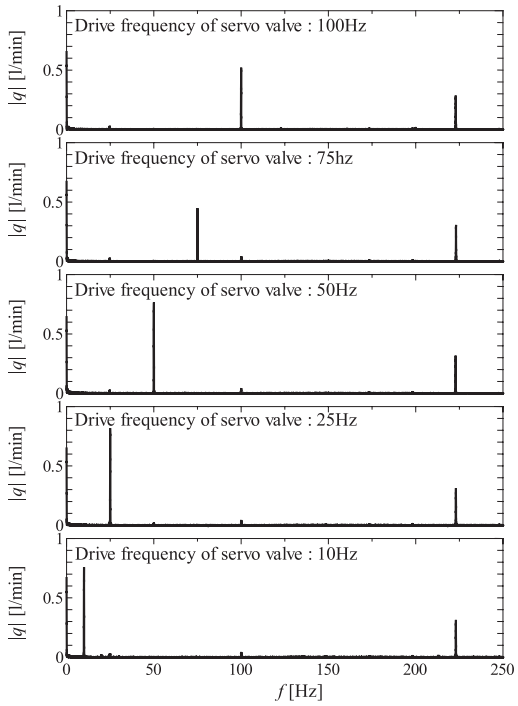


Fig. 10 FFT results of estimated flow rate for various frequency of servo valve

4.4 非定常圧力のオフライン推定

圧力センサを用いた計測結果，特性曲線法による解析結果とカルマンフィルタによる非定常圧力の推定結果を比較した．上流端から計測区間の長さの3/4の位置の圧力について，Fig. 11にカルマンフィルタの推定結果を，Fig. 12に圧力センサの計測結果，Fig. 13 ～ Fig. 15に特性曲線法のシミュレーション結果を示す．Fig. 13に示す特性曲線法のシ

ミュレーション結果は非定常圧力を良く再現しているが，細かな圧力振動が現れている．その原因として，圧力センサのノイズと，油圧ポンプ脈動の２次以降の成分が考えられる．ここで，ポンピング脈動の２次成分（約430Hz）まで残し，それ以上の周波数帯域の振幅を除去するため，450Hzのカットオフ周波数でローパスフィルタをかけた圧力信号を元に特性曲線法で計算を行うと，Fig. 14に示すように，細かな振動は減衰された．また，ポンピング周波数の４次成分まで残した場合をFig. 15に示すが，やはり細かな振動は除去されている．以上から，Fig. 13の特性曲線法の計算結果に表れる細かな振動の原因は，圧力センサのノイズに起因するものと考えられる．

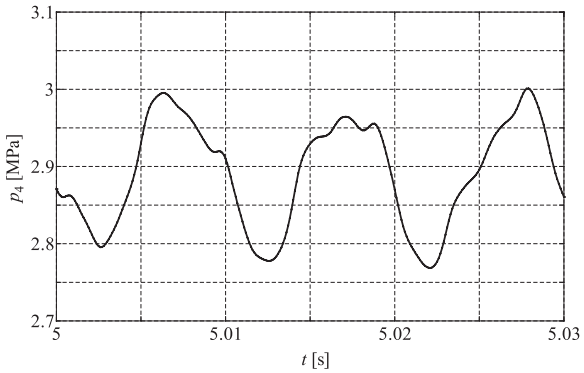


Fig. 11　Pressure p_4 obtained by the Kalman filter

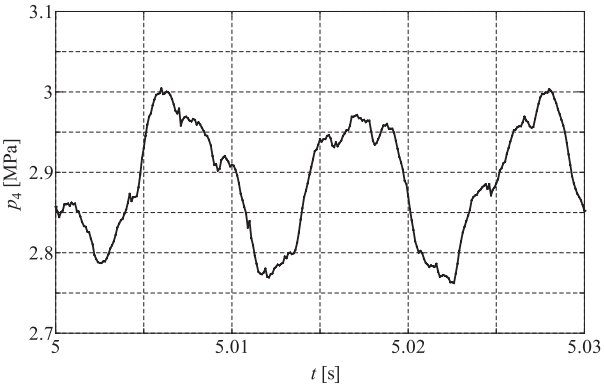


Fig. 12　Pressure p_4 obtained by the pressure sensor

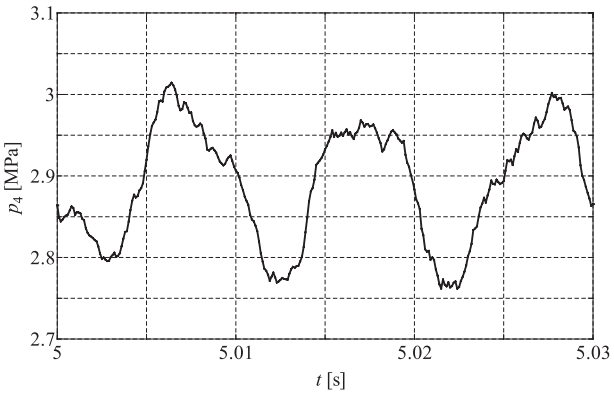


Fig. 13　Pressure p_4 obtained by MOC（without low-pass filter）

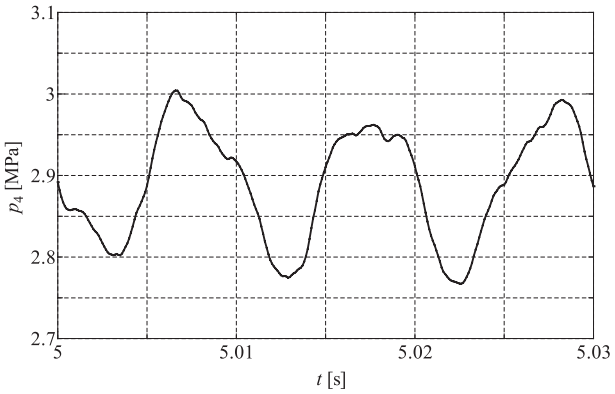


Fig. 14　Pressure p_4 obtained by MOC（Low-pass filter: 450Hz）

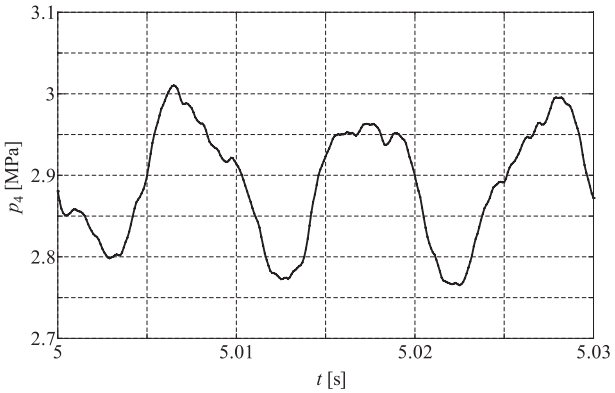


Fig. 15　Pressure p_4 obtained by MOC（Low-pass filter: 900Hz）

本研究では，$\boldsymbol{Q}$は管路両端の圧力センサに生じる計測ノイズによる共分散に対応していると考えることができ，２×２行列である．また，Rは中央点の圧力センサに生じるノイズに対応した誤差の共分散である．

本研究では，３つのセンサとも出力電圧のノイズ振幅はほぼ同じ0.01$V_{p\text{-}p}$程度であった．圧力に換算すると0.01MPaであったので，$\boldsymbol{Q}$とRは以下の値とした．

$$Q = E(w[n]^2) = (1\times10^4)^2 I \tag{13}$$

$$R = E(v[n]^2) = (1\times10^4)^2 \tag{14}$$

誤差の共分散が推定値へ与える影響を検討するため，システムノイズの共分散行列$\boldsymbol{Q}$およびセンサノイズの共分散Rを変えて推定を行った．

3/4の位置における推定値と計測値の誤差p_{error}をFig. 16に示す．初期条件の設定による誤差と定常誤差を調べるため，計測開始から5sまでの推定誤差を調べた．上段と中段のグラフと比較すると，上段のグラフでは初期の推定誤差が極端に大きくなっている．カルマンフィルタでは，初期値を正確に設定できなかったことによる誤差は推定値と中央点の計測値との偏差によって修正される．両端で許容される誤差が小さく，中央点の想定される誤差が大きいため，修正にかかる時間が長くなったと考えられる．次に，中段と下段のグラフを比較すると，下段のグラフは推定開始から

5sまで全域にわたって誤差が大きい．中段のグラフから$\boldsymbol{Q}$とRを適切に設定した場合に最も推定誤差が小さいことが確認できる．

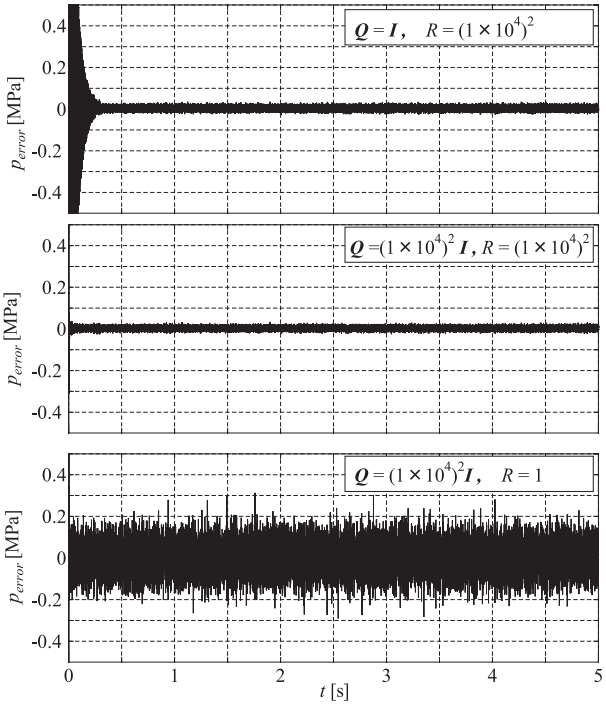


Fig. 16　Estimation errors in p_4

4.5　時空間分布のオフライン推定

時空間分布の推定を行った．管路の上流端，上流端から1/4の位置，中央点，上流端から3/4の位置，下流端における圧力と流量をカルマンフィルタと特性曲線法によって求めた．Fig. 17に流量，Fig. 18に圧力の時空間分布を示す．実線がカルマンフィルタの推定値，破線が特性曲線法のシミュレーション値である．特性曲線法のシミュレーション結果に4.3，4.4で述べたような振動成分がみられるが，良く一致した結果を得ることができた．特性曲線法ではこの振動成分は通常圧力信号にローパスフィルタを通すなどすることによって除去するが，カットオフ周波数の設定によっては本来存在する振動も除去してしまう可能性がある．しかし，カルマンフィルタではカットオフ周波数を決める必要がなく，センサのノイズを考慮することができるため，このような計測等において優位性を持つと考えられる．

また，時空間分布を把握する場合においても，特性曲線法では格子点の位置と時間刻みは独立ではないため，任意に決めることができず，どちらかは補間を行う必要がある．一方で，本手法では，サンプリング時間を自由に決めることができる．

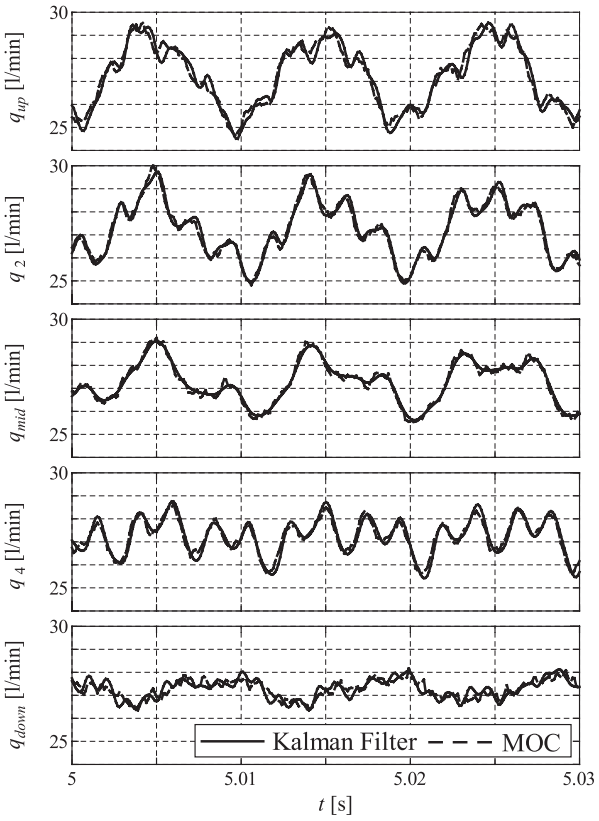


Fig. 17　Transient flow rate along a pipe obtained by the Kalman filter and the method of characteristics

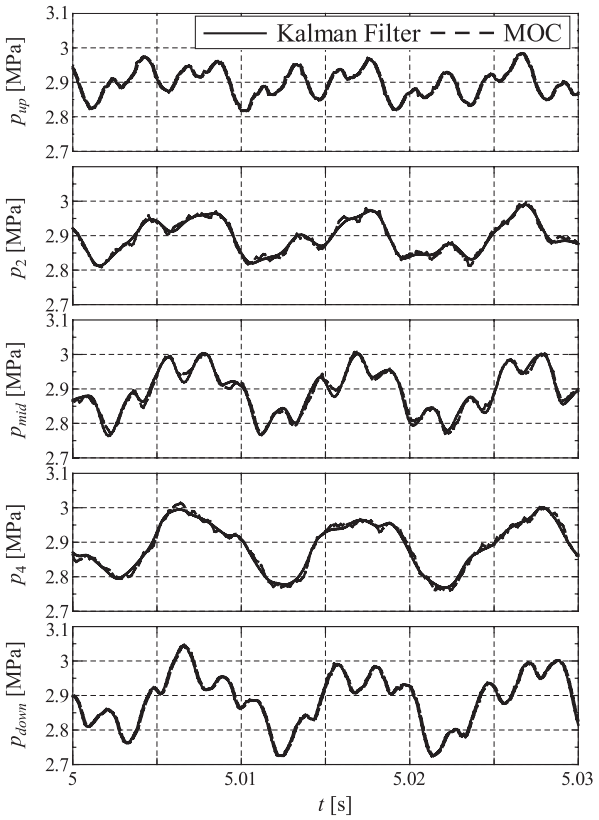


Fig. 18　Transient pressure along a pipe obtained by the Kalman filter and the method of characteristics

5. 結　　言

本論文では，著者らが提案する管路の最適化有限要素モデルを用いたカルマンフィルタの推定について，油圧管路を用いて実時間推定の実験を行い，その効果を検討した．カルマンフィルタによる実時間推定では，定常流量について良好な推定結果を示した．この結果の確認のためにより短いサンプリング時間でオフライン推定を行い，非定常流量・圧力ともに良好な推定結果が得られた．ポンプの脈動を含むような非定常流量測定においても，特性曲線法と同等の精度で推定が行えることが確認された．さらに，ノイズを含んだセンサの信号からローパスフィルタをかけることなくノイズを除去した場合と同等の良好な推定結果を得ることができた．特性曲線法との比較では，非定常の推定において同等の精度を有し，圧力と流量の時空間分布を求められる本手法の特色を示した．

参 考 文 献

1）中野和夫，横田眞一，植山幹夫：円管内瞬時流量計測手法，計測自動制御学会論文集，Vol. 20，No. 5，p. 421-426 (1984)

2）横田眞一，金道泰，中野和夫：管路の圧力流量間の動特性を利用した非定常流量計測手法，日本機械学会論文集C編，Vol. 57，No. 541，p. 2872-2876 (1991)

3）横田眞一，金道泰，中野和夫：油圧管路の動特性を利用した遠隔瞬時流量計測手法，油圧と空気圧，Vol. 21，No. 2, p. 680-685 (1995)

4）趙彤，北川能，香川利治，竹中俊夫：管内流れにおける非定常諸変量間の伝達関数の近似表示，日本機械学会論文集B編，Vol. 51，No. 472，p. 4132-4138 (1985)

5）趙彤：管内流れにおける非定常変量の変換演算，日本機械学会論文集B編，Vol. 51，No. 472，p. 4139-4145 (1985)

6）趙彤，北川能，香川利治，竹中俊夫：管内差圧を利用した非定常流量および流速の実時間測定法，日本機械学会論文集B編，Vol. 52，No. 480，p. 2851-2859 (1986)

7）鳥越一平：流れの加速度の検出法と脈動流量測定，計測自動制御学会論文集，Vol. 23，No. 8，p. 794-799 (1987)

8）真田一志，北川能：最適化交互格子系を用いた管路動特性の有限要素モデル，日本機械学会論文集C編，Vol. 60，No. 578，p. 3314-3321 (1994)

9）㈳油空圧学会編：新版油空圧便覧，オーム社，p. 29-31 (1989)

10）早瀬敏幸：超音波計測融合血流シミュレーション，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 37，No. 5, p. 302-305 (2006)

11）早瀬敏幸：計測融合シミュレーションによる流れ解析，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 39，No. 4，p. 220-224 (2008)

12）井上慎太郎，川嶋健嗣，舩木達也，香川利春：計測融合シミュレーションを用いた非定常管内流れ場のモニタリング，計測自動制御学会論文集，Vol. 42，No. 7，p. 832-837 (2006)

13）川嶋健嗣，中尾光博：乱流オリフィス流れの計測融合シミュレーション，日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集，WS204 (2010)

14）中尾光博，岡本悠，川嶋健嗣，香川利春：分布定数系オブザーバを用いた空気圧管路容量系の制御，2010年度計測自動制御学会産業応用部門大会講演論文集，p. 35-40 (2010)

15）小澤明，眞田一志：管路動特性の最適化有限要素モデルを用いたカルマンフィルタに関する研究，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 39，No. 4，p. 220-224 (2010)

16）真田一志：最適化有限要素モデルによる管路の流体過渡現象のシミュレーション，日本油空圧学会論文集，Vol. 31，No. 1，p. 1-6 (2000)

17）片山徹：新版応用カルマンフィルタ，朝倉書店，p. 86-93 (2000)

研究論文

鉄道車両用真空式トイレにおける真空特性と消費エネルギーに関する研究*

藤野謙司**，山本円朗***，谷口宏次****，山本　寛*****，
伊藤正彦******，黎　しん******，尹　鍾晧******，香川利春******

A Study on the Vacuum Characteristics and the Energy Consumption of the Vacuum Toilet System for Vehicle

Kenji FUJINO, Nobuaki YAMAMOTO, Koji TANIGUCHI, Hiroshi YAMAMOTO,
Masahiko ITO, Xin Li, Chongho YOUN, Toshiharu KAGAWA

Railway vehicle pneumatic systems are included in many elements, such as the brakes, suspension, and doors. To date, these systems have been designed through experience, and evaluation of the unsteady characteristics of these systems has not yet been attempted. The railway pneumatic system termed a vacuum toilet serves passenger comfort. To assess the efficiency of this pneumatic system, we measure the pressure and flow rate of the vacuum toilet using an air power meter which applies the principle of the quick flow sensor. We also confirm that it is possible to improve the efficiency of the toilet by changing the pneumatic element. The simulation results approximated the experiment data.

Key words：Pneumatic system, Vacuum toilet, Railway vehicle, Energy consumption

1. 緒　　言

鉄道車両は元来省エネルギーな交通手段であるが，より一層の省エネ化が求められている[1]．鉄道車両に利用されている空気圧も例外ではないが，その適用先として近年，鉄道車両の軽量化と快適な車内環境を実現するため，車両用トイレにおいても空気圧システムが用いられている．そのシステムは真空式トイレとも呼ばれ汚物を負圧で吸引し，その後正圧で汚物タンクに移送するシステムである[2),3)]．Fig.　1に車両用真空式トイレを示す．しかし，このような空気圧システムは，圧力や流量の計測が十分に行われておらず，ほとんど設計は経験的なものである．消費エネルギーや効率から設計の妥当性に関する検討が必要と考えられる．

一方，著者らの研究により圧縮流体の計測において空気圧エネルギーの評価が行われている．まず，空気の圧縮性を考慮した空気の有効エネルギーの概念を定義することにより空気圧システムのエネルギーと効率に対して評価することが可能となる[4)]．また，高応答性を有する層流形流量計（QFS）を提案し，この流量計を用いて圧縮性流体の定常および非定常流量計測が測定可能なことを示した[5),6)]．

そこで，本論文では鉄道車両用真空式トイレを対象とし，システム内の圧力や流量を計測し，その計測データから真空特性と消費エネルギーについて検討を行う．

まず，実験により鉄道車両搭載と同等状態の真空式トイレの非定常流れにおける圧力や流量を計測する．次に，測定した結果をもとに真空式トイレの効率化，省エネルギー

Fig. 1　Vacuum toilet for vehicle

*平成23年11月21日　原稿受付
**東日本旅客鉄道㈱JR東日本研究開発センター
（所在地　さいたま市北区日進町２－479）
（E-mail：k-fujino@jreast.co.jp）
***東京メータ㈱技術部
（所在地　川崎市中原区今井南町461）
****㈱総合車両製作所生産本部技術部
（所在地　横浜市金沢区大川３－１）
*****㈱テシカ
（所在地　大田区中馬込３－３－18）
******東京工業大学精密工学研究所
（所在地　横浜市緑区長津田町4259）

化を目指し，真空式トイレを構成している空気圧機器の変更や配管径や経路変更を検討して，効率化を評価する．さらに，真空式トイレに使用されている空気圧機器の空気圧特性をもとにシミュレーションを行い，測定結果との比較を行うこととする．

2. 主 な 記 号

P	：圧力	[Pa]
Q	：流量	[L/min（ANR)]
t	：時間	[s]
$\dot{E}$	エアパワー	[J/s]

添字

s	：供給ライン
c	：予備汚物タンク
2	：減圧弁下流
a	：大気圧
duty	：真空式トイレの１洗浄サイクル

3. 車両用トイレの歴史と真空式トイレ動作原理

3.1 車両用トイレの歴史

トイレは，悪臭を放ち周辺の環境を汚損するおそれのある排泄物などの汚物を処分するための機能を持つ施設である．特に長時間の移動を行う飛行機や鉄道などの交通機関においては，乗っているお客さまの排泄に供するためにトイレに様々な工夫がされてきた[3]．

従来，鉄道車両においては，汚水管を線路上に開放し汚物を自然落下により流下させる方法が用いられてきたが，この方法では汚物が飛散してしまうため，衛生的に極めて問題となった．1960年代には汚物と処理剤を混合することによって消毒・固化してから粉砕・飛散させる粉砕式汚物処理装置も開発され一部の車両に応用された．しかし，この方式は衛生面での質的な改善はなく，1980年代までに廃止された．その後，汚物タンクを車両下部に設置した貯留式トイレが利用されていた．水洗式トイレは水の使用量が多いため，大量洗浄水と汚物の回収タンクを搭載した車両の重量は増加し，車両の軽量化に伴い問題となった．その問題を解決するために，便槽に溜まった汚物の水分を濾過・消毒し，便器の水洗に再利用する循環式トイレが用いられ，1970年代以降主流になったが，再利用した水分には大便や便紙などに起因する固形物が含まれ，流水管内面に付着し詰まりの原因となることがある．また，処理水自体の匂いが強いため，不快感を伴い鉄道車両用トイレの独特の臭いを防ぎきれていないのが実情である．

1990年代から真空式トイレが飛行機をはじめ交通機関に導入された．通常のトイレでは一回につき５～６Lの水を必要とするが，真空式トイレでは，真空を発生させ便器内の汚物を吸引し便槽に収めてから洗浄水を流し便器を洗浄することで0.3L程度と水の使用量を最小限に抑えることができる．よって，車両の重量削減にもつながる．さらに，真空式は汚物と一緒に周りの空気を吸い込み，その後は排出弁が閉まるので汚物の臭いが残らず快適である．また，従来の重力式と比べ真空式は負圧で搬送するため配管に傾斜をつける必要がなく，水平および立ち上げ配管の施工が可能となる．

3.2 真空式トイレの動作原理

真空式トイレは，新幹線に搭載されている．Fig. 2は真空式トイレが搭載されているE3系新幹線電車である．

鉄道車両用真空トイレの例をFig. 3に示す．トイレ使用後に光電スイッチに手をかざすと，真空式トイレは以下の順序で作動する．バルブ３が作動し，圧縮空気がエジェクタに送られ，予備空気タンクに真空圧を発生させる．また，バルブ１が動作し，洗浄水用のバッファタンクに0.3Lの水を蓄積する．バルブ２は，バルブ１が閉じた後に作動し，洗浄水用のバッファタンクを加圧して，便器内を洗浄する．同時に，バルブ６を動作させてスライドバルブ２を動作させる．スライドバルブ２が動作すると，負圧により便器内の汚物は予備汚物タンクに送られる．その後，スライドバルブ２は閉じて，便器と汚物タンクを隔離する． 次に，バ

Fig. 2　Series E3 Shinkansen vehicle

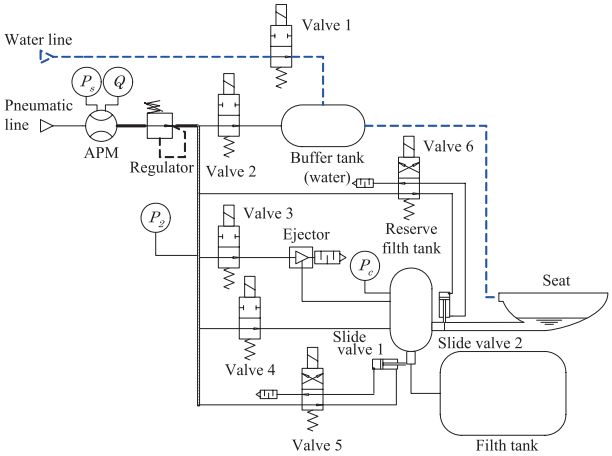


Fig. 3　Scheme of vacuum toilet system for train

ルブ４が動作して予備汚物タンク内を加圧した後に，バルブ５を作動させてスライドバルブ１を開き，汚物は汚物タンクに圧送される．以上が，真空式トイレの洗浄サイクルである．

真空式トイレの構成として，便器と車両下部に搭載している汚物タンクの間には予備汚物タンクがあり，便器と予備汚物タンク，そして予備汚物タンクと汚物タンクの間は，洗浄サイクル時以外はスライドバルブで閉じられている．よって，汚物タンクの臭気がトイレ内に充満することはなく，これまで鉄道車両に搭載されたトイレ中でも，真空式トイレは臭気対策に優れた性能を有していると言える．

4. 真空式トイレの測定

前章から，鉄道車両用真空式トイレの空気圧システムは，エジェクタやスライドバルブを動作させるエアシリンダーなどの空気圧アクチュータおよび制御弁と空気配管から構成されていることがわかる．本章では，タンクの充填やシリンダーの作動，またエジェクタによる真空発生などの洗浄サイクルにおける圧力および流量の計測を行った．なお，計測には線形性と応答性に優れたQFSにエアパワーの計算回路を組合わせたエアパワーメータを用いた．

4.1 測定点および試験条件

Fig. 3に示すように，真空式トイレシステムへの供給圧力（減圧弁の上流側圧力）と流量，エジェクタへ圧縮空気を送るバルブ３の入口圧力，そして予備汚物タンク内の圧力を測定した．

Table 1に試験条件一覧を示す．鉄道車両搭載と同等の状態（以下，この状態を初期状態とする）での計測のほか，エアパワーメータの下流側にある減圧弁の変更，主配管サイズとルートの変更，そして各変更を行った状態で減圧弁の設定圧を変更した場合の４ケースの計測を行なった．Case Aは初期状態である．Case Bは減圧弁をCase Aに対し大流量を流せるタイプに変更，Case Cは減圧弁の変更に加え，配管のサイズとルートを変更した状態で試験を行なった．なお，Table 1に示す主配管サイズの変更は，減圧弁の前後，すなわちエアパワーメータから減圧弁までと減圧弁からバルブ２～５へ配管が分岐するまでの間の配管径を，内径４㎜から８㎜に変更したことを表す（Fig. 3の太線部）．また配管ルートの変更は，減圧弁下流側からバルブ５の分岐までの配管長さを，およそ700㎜からおよそ400㎜に短くしたことを表している（Fig. 3の斜線部）．Case Dは，Case Cの状態で減圧弁設定圧を0.6MPaに変更して試験を行った．Table 2に測定に使用した機器の一覧を示す．

Table 1　Test condition

Test Number	Supply Pressure [MPa(G)]	Type of Regulator	Pipe Size (inner diameter)	Pipe Route
Case A	0.7	R150-02 (KOGANEI)	4 ㎜	No Change
Case B	0.7	IR3020 (SMC)	4 ㎜	No Change
Case C	0.7	IR3020 (SMC)	8 ㎜	Shorter
Case D	0.6	IR3020 (SMC)	8 ㎜	Shorter

Table 2　Measurement devices

Mark	Instrument	Model	Manufacturer
P_s	Air Power Meter	APM-L-400	TOKYO METER CO.,LTD
Q	Air Power Meter	APM-L-400	TOKYO METER CO.,LTD
P_2	Pressure Gauge	AP-13S	KEYENCE CORPORATION
P_c	Pressure Gauge	KL-80	Nagano Keiki CO.,LTD

4.2 測定結果

4.2.1 圧力

予備汚物タンク内の圧力測定結果をFig. 4に示す．予備汚物タンク内を負圧にすることで汚物を吸引するため，真空式トイレの性能を評価する上で，この圧力変化に注目した．Fig. 4において，縦軸は大気圧に対する予備汚物タンク内圧力比に、横軸は真空式トイレの１洗浄サイクルに要する時間t_{duty}（約18秒）に対する各動作時間の比とした．なお，この横軸の設定は，真空式トイレシステムの実測値およびシミュレーションの図に採用している．また，本論文で対象としている真空式トイレは，予備汚物タンク内の臭気を外部に漏らさないため，洗浄サイクル終了時に予備汚物タンク内は負圧の状態にしている．Fig. 4において，試験開始時の圧力値が１より低いのはこのためである．また，図には４つのケースを重ねて記載している．真空式トイレの動作として，試験開始時よりエジェクタへ圧縮空気を送り込むことにより，予備汚物タンク内の圧力が徐々に低下している．0.3t/t_{duty}付近で圧力低下割合が変化しているのは，エジェクタに圧縮空気を送り込みながら，便器に洗浄水を送るためにバルブ２を開いたため，エジェクタへの供給圧が低下したためである．その後バルブ３を閉じてスライドバルブ２を動作させ，便器内の汚物を負圧により予備汚物タンクに吸引している．0.6t/t_{duty}付近の圧力上昇は，予備汚物タンクを加圧し，汚物タンクへ汚物を圧送するためのものである．

この図から，初期状態の真空圧力発生量に対し，減圧弁の大流量化，配管径アップ，配管ルート変更を行うと，圧力損失が減ることで真空圧力発生量が増えている．

機能上，初期状態での真空圧力発生量で真空式トイレの動作に問題は発生していないが，空気圧部品を変更もしくは効率的に配置することで真空圧力発生量を増加させることができ，それは汚物の吸引力向上につながる．ベンチ試験ではあるが，空気圧機器を適切に配置することで，トイレ機能の向上が達成できることが確認できた．

また，Case　Cの状態で減圧弁設定圧を0.6MPaにしても，初期状態での真空圧力発生量と大きな差がない結果となった．このことから，減圧弁設定圧を低下させても機能上に問題がないことが確認できた．

Fig. 5に，減圧弁下流側の圧力変化を示す．縦軸はシステムへの供給圧に対する減圧弁下流圧の比とした．なおシステムへの供給圧は，測定の際に若干の変動があった．Case Aに対し，Case BやCase Cでは減圧弁での圧力損失が低いため，エジェクタ上流圧は高い値となっている．Case Dでは，減圧弁設定圧を下げているために全体的に圧力が低いが，たとえばバルブ２を開く$0.3t/t_{duty}$付近でのエジェクタ上流圧の低下幅は，他のCaseと比べると大きくない．これも，配管径や配管ルート変更が圧力損失を減少させ，減圧弁設定圧を0.6MPaに変更してもシステム構成上問題のないことを示している．

4.2.2　流量

減圧弁の上流側に設置したエアパワーメータで計測した流量をFig. 6に，その流量を積算したデータをFig. 7に示す．図には４つの試験番号を重ねて記載しているが，圧力測定結果と比較するため，図の横軸は同じ設定としている．

この図からもわかるように，初期状態に対し，減圧弁の大流量化，加えて配管径アップと配管ルートの変更をすることで，真空式トイレに供給している流量が増加している．これは，配管類での圧力抵抗が減ったため，流量が流れやすくなっていることが要因である．

しかし，各変更を加えた状態で減圧弁設定圧を0.6MPaにすることで，流量を抑制できている．これは，配管などを効率的に配置することで，システムへの供給圧力を低下させても機能上問題なく真空式トイレを動作させることができることを示している．

なお，供給圧の低下，流量の減少は，真空式トイレにおける消費エネルギーを抑えることにもなる．

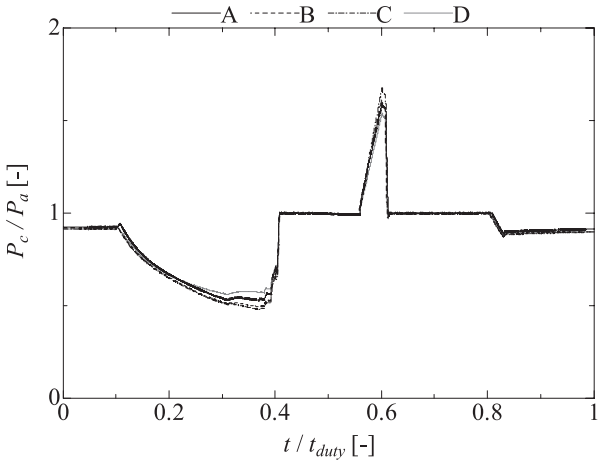


Fig. 4　Experimental results of the reserve filth tank pressure

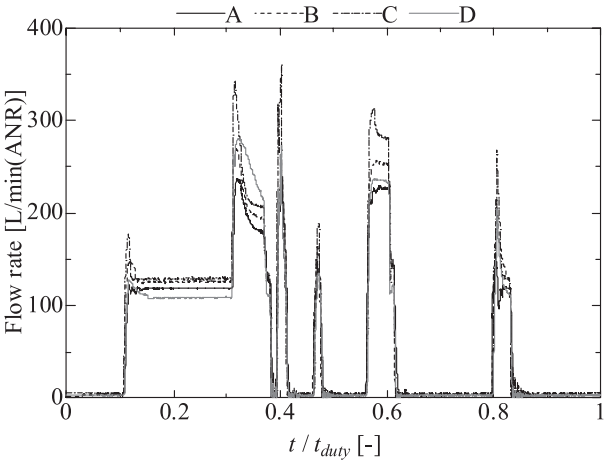


Fig. 6　Experimental results of flow rate

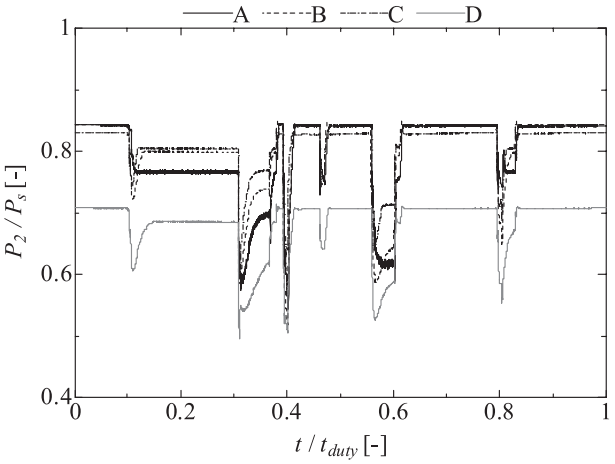


Fig. 5　Experimental results of supply pressure

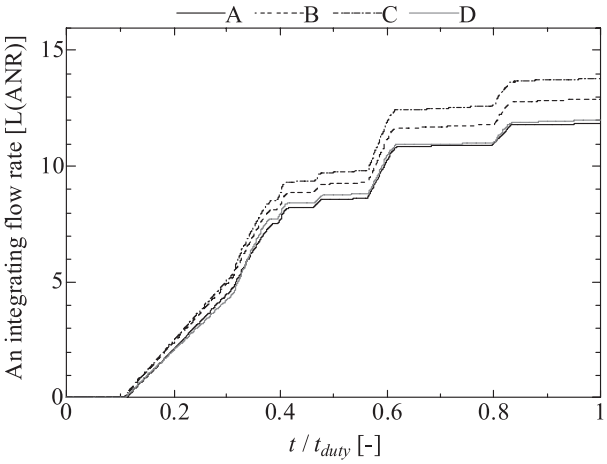


Fig. 7　Experimental results of integrating flow rate

4.2.3　エアパワー

エアパワーメータにより，各ケースのエアパワーを比較した．なお，エアパワーとは，下記式で求められる圧縮空気が持つ有効エネルギーである[4]．

$$\dot{E} = \frac{dE}{dt} = PQ\ln\left(\frac{P}{P_a}\right) = P_aQ_a\ln\left(\frac{P}{P_a}\right) \quad (1)$$

Fig. 8に，真空式トイレの上流側で計測したエアパワーの推移を示す．初期状態Case Aに対し，減圧弁設定圧が同じであるCase B，Case Cでは，管路等における圧力抵抗が減少したために流量が大きくなり，その結果エアパワーも増加している．それに対しCase Dは，減圧弁設定圧の低下により流量が減少していることもあり，他のケースに比べて最もエアパワーが少ない．つまりCase Dは，消費エネルギーが最も少ない構成となった．

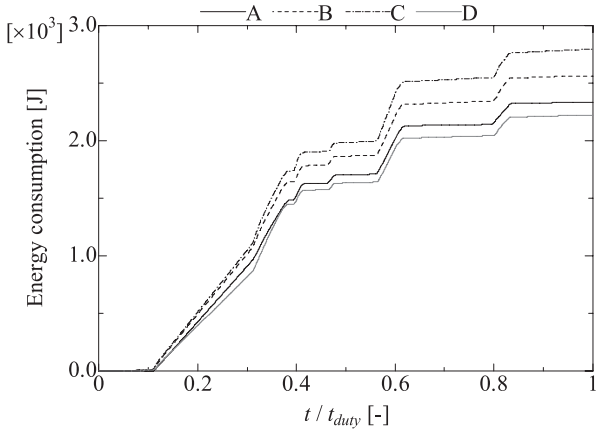


Fig. 8　Experimental results of the air power

5. シミュレーション

次に，真空式トイレのシミュレーションを行う．真空式トイレの設計時における性能評価や，空気圧要素の変更等による機能確認を行う際に，シミュレーションの活用が考えられる．

5.1　エジェクタおよび減圧弁の特性

エジェクタの真空特性をFig. 9に示す．真空特性はエジェクタの上流圧と真空ポートの圧力から求められ，下記のP-Q特性の測定結果から近似式を求めた[7),8)]．

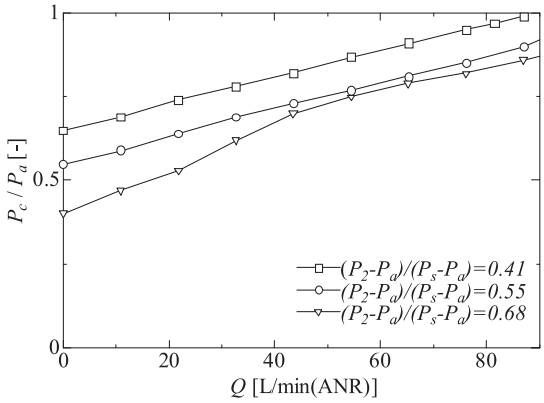


Fig. 9　Vacuum characteristic of the ejector

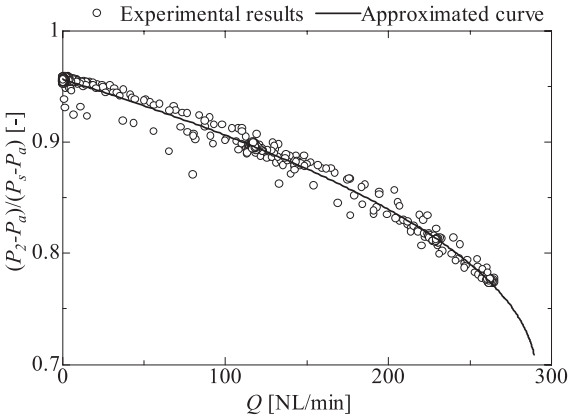


Fig. 10　Regulator characteristic

Fig. 10に減圧弁のP-Q特性を示す．減圧弁もエジェクタと同様に，測定結果から近似式を求めた．

5.2　その他の空気圧要素

真空式トイレを構成するその他の空気圧要素は，電磁弁類と配管である．電磁弁の特性は，実験により得られた値より音速コンダクタンス，臨界圧力比を求めた．Table 3に各バルブの音速コンダクタンスと臨界圧力比を示す．また，配管はひとつの容量系とし，また配管内の空気は等温変化と仮定してシミュレーションを行った．配管容積は，減圧弁から各バルブまでが1.1×10^{-4}m³，バルブ3とバルブ4から予備汚物タンクまでの配管と予備汚物タンクを併せた容積が3.6×10^{-3}m³である．

Table 3　Valve characteristic

Valve	Sonic Conductance (s・m⁴/kg)	Critical Pressure Ratio (-)
Valve2	5.8×10^{-9}	0.50
Valve3	2.7×10^{-9}	0.65
Valve4	6.4×10^{-9}	0.83
Valve5	3.0×10^{-9}	0.50
Valve6	2.6×10^{-9}	0.52

5.3　シミュレーション結果

水タンク内の洗浄水の使用量は変動するため，シミュレーションは洗浄水を流さない条件で行い，実測値も同様に洗浄水を流さない条件で測定を行った．Fig. 11は上流側圧力，Fig. 12は予備汚物タンク内圧力，Fig. 13は流量，Fig. 14はエアパワーの各シミュレーション結果である．

上流圧P_2のシミュレーション結果と実験値の平均誤差は1.8％で良く一致した．この誤差について考察すると，レギュレータの動特性を考慮していないこと，実験値から電磁弁や配管の合成インピーダンスを算出したことなどが原

因として挙げられる．予備汚物タンク内の圧力P_cの平均誤差は8.4%であり，生じる理由はエジェクタの上流圧の誤差，エジェクタの真空特性が非線形であり，正確に近似が不可能であること，タンクの容量の誤差などが挙げられる．流量Qのシミュレーション結果と実験値との誤差が発生する原因は，上流圧の誤差と同様である．１サイクルの消費エネルギーのシミュレーション結果は，実験値とほぼ同じであった．以上の結果から本シミュレーションは実験値と良く一致しており，十分に有用であると考えられる．このシミュレーションを活用することにより，真空式トイレ設計時に基本性能と必要とされる流量等が把握でき，効率性向上も図った設計や検証，性能確認が可能になると考えられる．

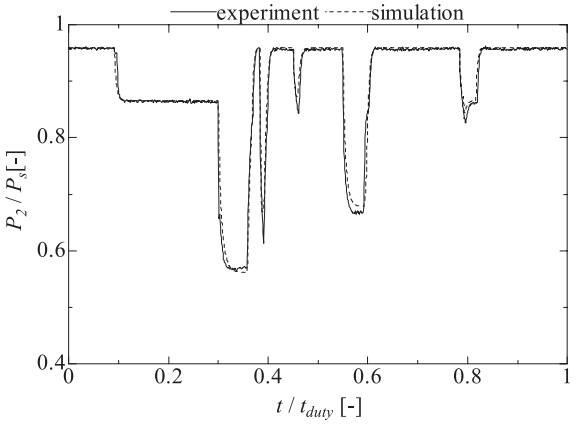


Fig. 11　Simulation results（Upstream pressure P_2）

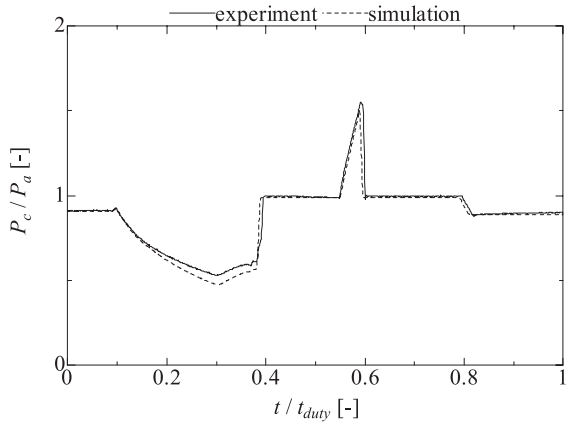


Fig. 12　Simulation results（Reserve fifth tank pressure）

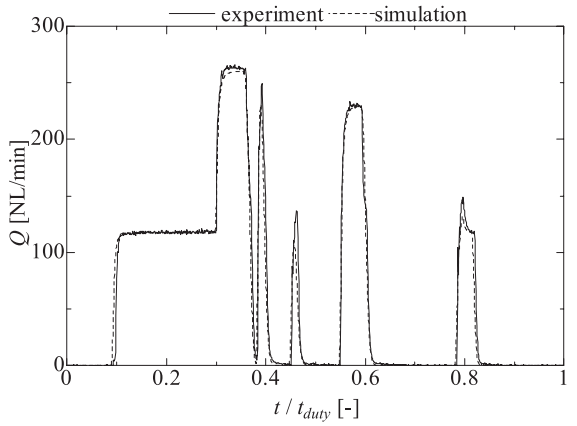


Fig. 13　Simulation results（Flow rate Q）

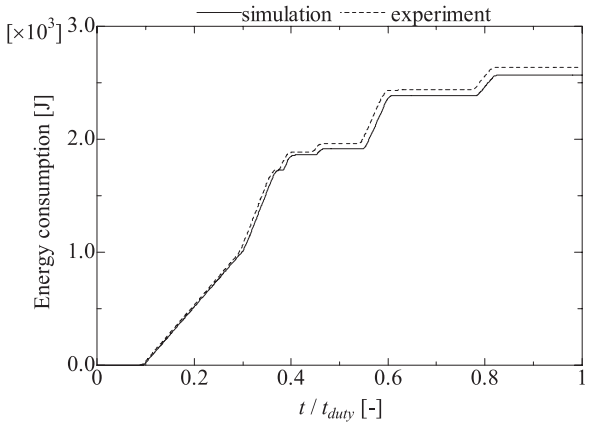


Fig. 14　Simulation results（Air power）

6. 結　　言

鉄道車両用真空式トイレは，エジェクタにより負圧を発生させるコンパクトなシステムである．本論文では，この真空式トイレを対象とし，これまで計測できなかった圧力や流量を計測した．これにより予備汚物タンク内の圧力値が明確になるとともに，減圧弁や配管径やルート変更を行うことで真空度を約９％高められることを確認した．さらに，減圧弁，配管径，配管ルートを変更した状態で減圧弁設定圧を0.6MPaに変更すると，真空度は約５％低下するものの，汚物吸引に必要な真空度は確保でき，消費エネルギーでは約５％低減できることが確認できた．

次に，真空式トイレをモデル化してシミュレーションを行い，実験値と比較してその有効性を確認した．

参 考 文 献

１）萩原，藤田：新幹線電車の省エネルギー効果，電気学会誌，Vol. 123，No. 7，p. 406-409（2003）

２）藤野：車両用真空式トイレの効率評価手法について―車両用真空式トイレにおける消費エネルギーの評価方法について，油空圧技術，Vol. 47，No. 6，p. 8-12（2008）

３）株式会社　テシカ：http://www.tesika.co.jp/

４）蔡，藤田，香川：空気圧駆動システムにおけるエネルギー消費とその評価，日本油空圧学会論文集，Vol. 32，No. 5，p. 105-110（2001）

５）舩木，香川：層流型高速応答流量センサの開発，油空圧技術，Vol. 44，No. 12，p. 18-24（2005）

６）舩木，川嶋，香川：気体用連続非定常流量発生装置の開発，計測自動制御学会論文集，Vol. 42，No. 5，p. 461-466（2006）

７）伊藤，尹，黎，郭，香川：排気側の流体抵抗を考慮す

る空気圧エジェクタシステムの解析モデル，平成22年度秋季フルードパワーシステム学会講演会，p. 145-147 (2010)

8）Zhonghua Guo, Xiaoning Li, Xin Li, Kenji Kawashima and Toshiharu Kagawa：Simulation on Pneumatic Vacuum Circuit with Ejector, Asia Simulation Conference 2009 (JSST'2009)

研究論文

油圧Ｌ字配管チェックボール挙動の実験的解析*

梶　原　伸　治**，田　中　達　也***

Experimental Analysis of Check Ball Behavior for L-shaped Pipe

Shinji KAJIWARA, Tatsuya TANAKA

The spring-driven ball-type check valve is one of the most important components of hydraulic systems: it controls the position of the ball and prevents backward flow. To simplify the structure, the spring must be eliminated, and to accomplish this, the flow pattern and the behavior of the check ball in L-shaped pipe must be determined. In this paper, we present a full-scale model of a check ball made of acrylic resin, and we determine the relationship between the initial position of the ball, the diameter of the inflow port, and the kinematic viscosity of oil. When kinematic viscosity is high, the check-flow rate increases in a standard center inflow model, and it is possible to greatly decrease the check-flow rate by shifting the inflow from the center.

Key words：Hydraulics, Pipe Flow, Experimental Analysis, Flow Visualization, Check ball, L-shaped Pipe

1. 緒　　言

油圧システムは，直線・回転運動，大きな力が必要，速度を自由に変えたいなどの仕事が必要とされるときなどに用いられ，油圧技術の発達により，エネルギーの伝達手段として建設機械や土木機械，工作機械はもちろんのこと，自動車や飛行機，エレベータなどの身近なものにも広く利用されている．この油圧システムの重要な構成部品のひとつにチェックバルブがある．チェックバルブ内部にボールを用いているものは，一般にボール位置を規制し，逆流を確実に防止すめるためにバネによって押付ける構造をもつことが多い[1]．しかしながら，ボールのチャタリングによるバネの破損の問題やコストダウン要求などからバネをなくすという要求も強い．また，チェックバルブまわりの油圧配管の型式としては，ストレートタイプとL字エルボータイプがある．ストレートタイプのチェックボールについては，実験解析的研究があり[2] 形状の検討がされている．また，ポペット弁については，三次元流れ[3] や横振動[4] に関する研究や固有値解析[5] や三次元数値解析[6] などが行われている．しかしながら，これまでL字型配管の油圧チェックバルブのチェックボール挙動について，配管内の作動油の流れや流れがおよぼすチェックボールの挙動などは明らかにされていない．チェックボール周りの流れは，管内流がボールに流体力を与え，さらに直角に曲がるといった複雑流となっている．このときのチェックボールの挙動は，流路の相対位置関係と流量，粘度などが複雑に関係しあう．そこで本研究では実物大透明アクリルモデルを用いてチェックボール挙動を観察し，ボール位置，流量および粘性をそれぞれ変化させ，チェックボールが動作し，チェックバルブが確実に逆止できるチェック流量を調査した．モデルとしては，入口部分直径および位置の違う２種類を供試した．なお，油圧配管内でチェックボールが逆止弁として動作する場合は圧力差が小さく，可視化が容易なためモデルをアクリル製とした．

2. 実験装置および方法

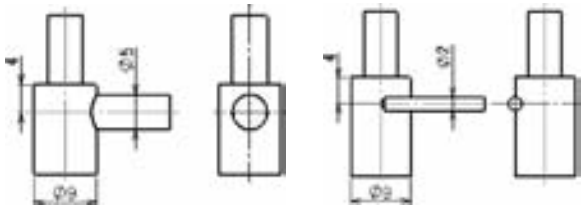
実験装置の模式図をFig. 1に示す．⑥のPCによって，⑦のサーボアクチュエータ（IAI製RCA-RA3C-I-20-2 5-200-AI-M-HS）のヘッドスピードを制御する．アクチュエータに連動し，⑤の油圧シリンダ70H-8 HYDRAUL CYLを作動させることによって，①のアクリル樹脂製のＬ字配管供試体

Fig. 1　Experimental apparatus

*平成24年１月１日　原稿受付
**近畿大学理工学部機械工学科
（所在地　大阪府東大阪市小若江３－４－１）
（E-mail：kajiwara@mech.kindai.ac.jp）

の流量を規定した．作動油への空気の吸込みを防止するために⑨の作動油タンクには100kPaの圧力をかけた．実験では，チェックボールが浮上し，チェック可能であったかを確認し，ボールの回転の計測を④の300fps高速度カメラによって観察した．なお，回転計測を画像で行うためにボールにレーザマーカで＋印を６箇所マーキングしてある．本実験のパラメータはチェックボールの初期位置，作動油の動粘度および作動油のチェック流量である．モデル形状は7.94㎜のチェックボールの入ったφ９の円筒に対しφ５で流入・流出する基本モデルをモデル１，流入部をφ２に縮小し，作動油の旋回流によってボールを回転させるように流入位置を横方向へシフトさせるよう改良したものをモデル２とした．これらモデル１，モデル２をそれぞれFig. 2(a)およびFig. 2(b)に示す．また，Ｌ字管まわりの構造をFig. 3に示す．チェックボール初期位置を規定するために，Ｌ字管における流出部のエッジ部分からボールの重心方向の表面までの平均距離をリフト量として定義した．リフト量はボールを置く下部調整台の位置を二方向からデジタルカメラで撮影しながら調節することによって規定した．チェックボールの初期位置はリフト量１，２，３，４㎜として実験を行った．また，作動油の動粘度は一般的な作動油の範囲である６㎟/s，15㎟/s，35㎟/sの３種類として，チェック流量は０～60㎤/s（０～6.0×10^{-5}㎥/s）の範囲で実験を行った．実験はそれぞれ５回行い，チェック流量および回転数はそれらの平均で評価した．

レイノルズ数Reは，入口管内流速$V = 4Q/\pi D^2$を使って，



(a)　Model1　　(b)　Model2

Fig. 2　L-shaped pipe arrangement

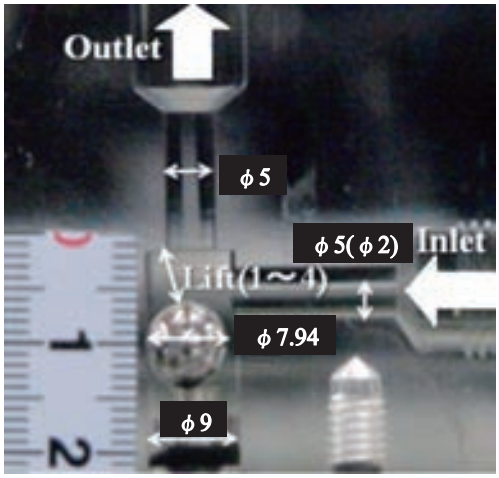


Fig. 3　Experimental Model

次式で表される．

$$\mathrm{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} \tag{1}$$

ここに，D ：管内径，m

Q ：流量，　㎥/s

ν ：動粘度，㎡/s

である．このレイノルズ数の算出時の代表長さは入口径（２㎜または５㎜）を用いた．

また，ボール回転の様子を明らかにするために，流量と動粘度を変化させ，チェックボール周辺の流れの様子およびボール回転数を300fpsの高速度カメラで計測した．この流れの様子は，作動油内にアルマイト表面加工した平均粒径11μmの低密度ポリエチレン（住友精化製フロービーズ）を混入させ，画像処理を行うことによって観察した．

3. 実験結果

実験によって得られたボールが浮き，チェック可能となったチェック流量とリフト量の関係をFig. 4に示す．なお，チェック流量は再現性が高く，誤差５％以内であったため平均値で示した．この図よりモデル１の中央流入の場合，リフト量１㎜では動粘度の変化によるチェック流量の変化は少なく，8.3㎤/s以下となった．リフト量が大きくなるにしたがって，チェック流量も増加しリフト３㎜では概ね20㎤/sのチェック流量が必要であることがわかる．このリフト１㎜から３㎜では動粘度の増加に伴ってチェック流量が減少した．しかしながら，リフト４㎜の場合は動粘度の変化がおよぼすチェック流量への影響が大きいという結果となった．すなわち，動粘度が15㎟/sのときに最大がチェック流量52㎤/sとなることがわかった．一方，モデル２の場合は，流入口を縮小し位置をずらすことによって，チェック流量を非常に減らすことができ，実験を行った範囲ではチェック流量を8.3㎤/s以下にできることがわかった．この主要因は流入口をシフトすることによって，流れを上方向に変える際に発生する作動油の反力，すなわちボールへの下方力が低下したことによると考えられる．このモデ

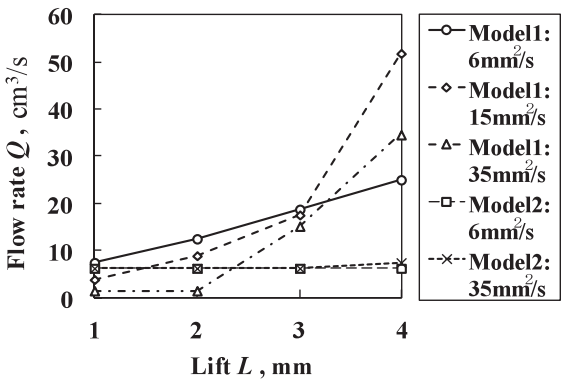


Fig. 4　Relation between Lift and Flow rate of Model 1 and Model 2

ル２では，動粘度とリフトのいずれも，チェック流量への影響は非常に小さかった．

次に，モデル１，モデル２における動粘度とチェック流量の関係をそれぞれFig. 5およびFig. 6に示す．これら図より，モデル１の場合は４㎜リフトを除いて動粘度が大きくなるほどチェック流量が少なくなる．また，モデル２では動粘度やリフト量によるチェック流量の変化が非常に小さいことがわかる．ただし，モデル１のリフト量４㎜では，動粘度15㎟/sの場合が最も多くのチェック流量を必要とすることがわかった．これは，ボール位置が流入部よりも低く，ボール上部に噴流があたり，ボール下方向に力が加わることによってチェック流量が多くなったと考えられる．ただし，動粘度がある程度以上大きくなると上昇する主流の粘性力が大きくなり，この下方向力と粘性力のバランスによってチェック流量が少なくなったと考えられる．Fig. 5およびFig. 6から得られた動粘度とレイノルズ数の関係をFig. 7およびFig. 8に示す．ただし，Fig. 7はモデル１，Fig. 8はモデル２のものである．レイノルズ数Reは全ての場合で1000程度以下であり，層流状態に近く，層流境界層による動粘度の影響が大きいことが推測される．一方，モデル２は，Fig. 6およびFig. 8より今回計測した範囲では，動粘度の影響は非常に小さかった．レイノルズ数Reも150程度から1700程度までの領域であり，いずれも層流状態であると推測される．このモデル２はチェックボールの領域に旋回流を発生させているが，動粘度の変化がおよぼすボール浮

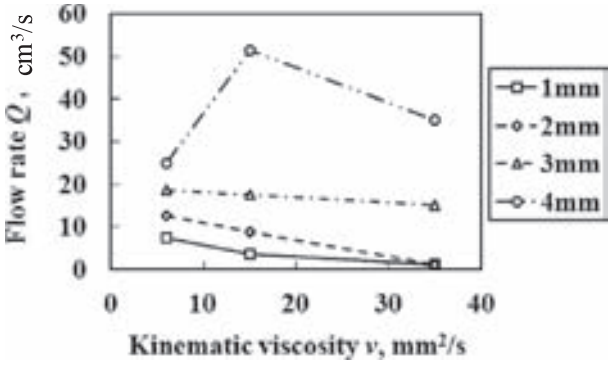


Fig. 5　Relation between ν and Q of Model 1

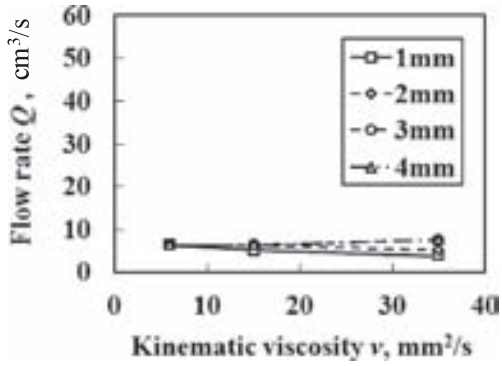


Fig. 6　Relation between ν and Flow rate of Model 2

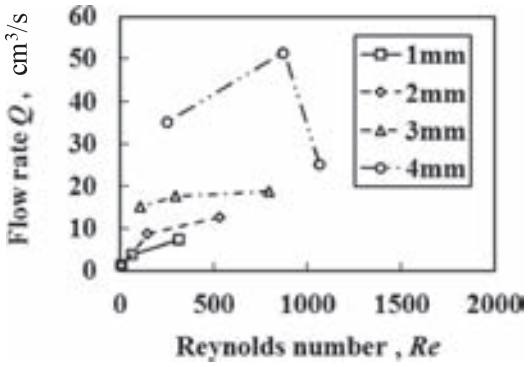


Fig. 7　Relation between Reynolds number and Flow rate of Model 1

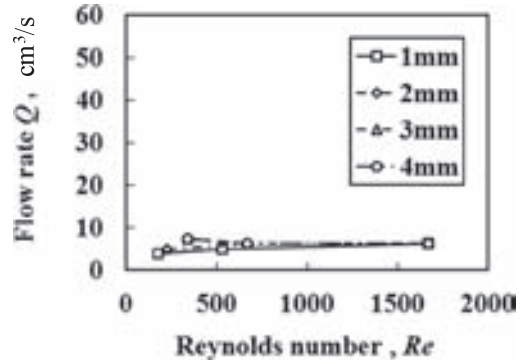


Fig. 8　Relation between Reynolds number and Flow rate of Model 2

上力への影響は小さい．

次に，チェックボール領域の旋回流によるボール回転への影響を明らかにするため，ボール回転数の計測結果を示す．リフト量１㎜における回転数の測定結果をFig. 9に，同様に２，３，４㎜における測定結果をそれぞれFig. 10，Fig. 11，Fig. 12に示す．Fig. 9からFig. 12より，動粘度が大きくなると回転数が小さくなることがわかる．また，流量と回転数はほぼ比例関係にあるといえる．動粘度６㎟/sにおける回転数とリフト量の関係をFig. 13に，同様に15㎟/sにおける回転数とリフト量の関係をFig. 14にそれぞれ示す．動粘度６㎟/sではリフト量の増加にしたがって回転数が低下している．なかでもリフト量が２㎜から３㎜での変化が大きかった．これは，入口からの噴流の幾何学的な位置が大きく変化したためであると考えられる．Fig. 14の動粘度15㎟/sの比較的高粘度の場合はリフト量２㎜よりも３㎜の場合がボールの回転数は高くなった．これは，ボールの回転数は噴流とボールの幾何学的な位置関係に加えて，ボール付近の旋回流と粘性による力のバランスによって決定されるためと考えられるこのとき，リフト量の増加によって回転数は低くなったが，チェック流量の変化はほとんどなかった．

さらに，可視化実験結果として，モデル１におけるリフト量２㎜，流量7.5㎤/sにおける流れの様子をFig. 15に示す．ただし，Fig. 15(a)は動粘度６㎟/s，(b)は動粘度35㎟/sの場

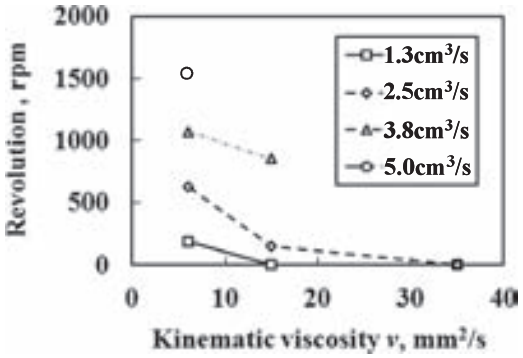


Fig. 9 Relation between ν and Revolution of Lift 1 ㎜

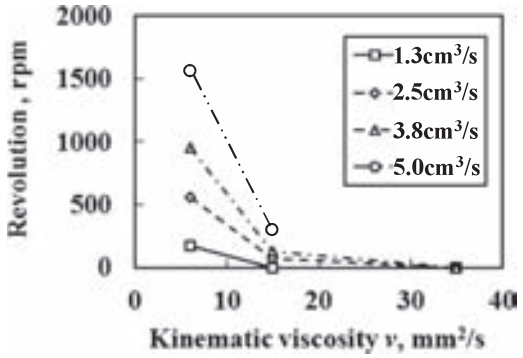


Fig. 10 Relation between ν and Revolution of Lift 2 ㎜

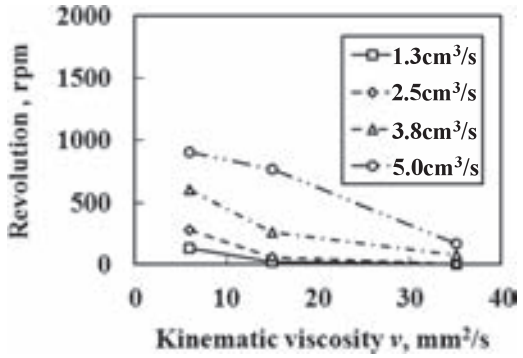


Fig. 11 Relation between ν and Revolution of Lift 3 ㎜

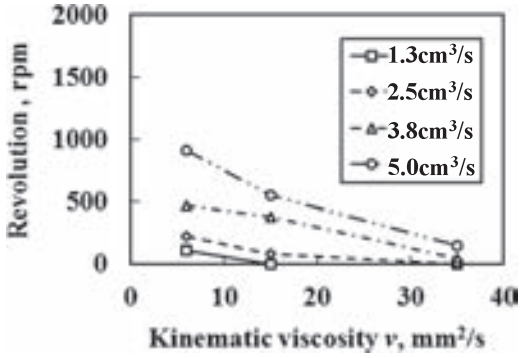


Fig. 12 Relation between ν and Revolution of Lift 4 ㎜

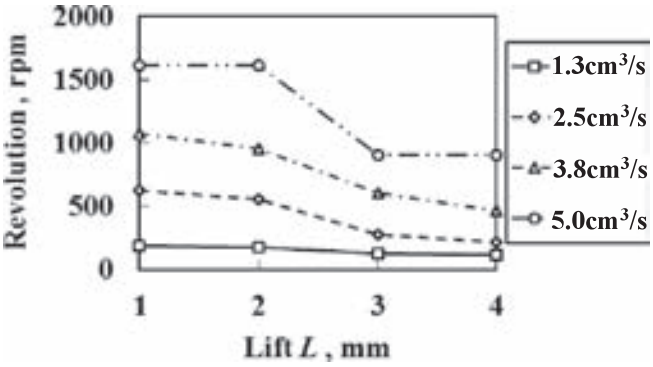


Fig. 13 Relation between Lift and Revolution of 6 ㎟/s

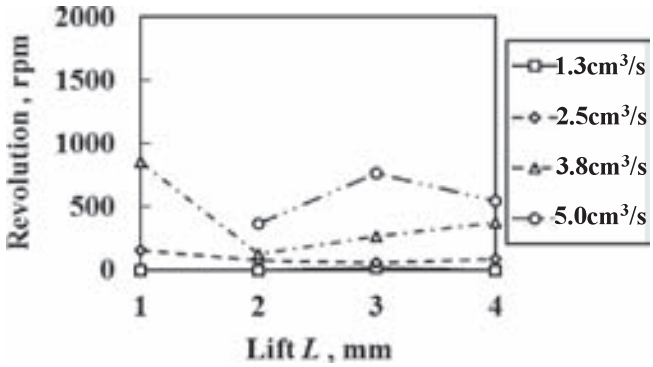


Fig. 14 Relation between Lift and Revolution of 15 ㎟/s

合である．同様に，リフト量 4 ㎜，流量23.9㎤/sの様子をFig. 16に示す．Fig. 16(a)は動粘度 6 ㎟/s，(b)は動粘度35㎟/sの場合である．これらの流量はボールが浮上しない最大のもので観察している．モデル 1 では，Fig. 15よりFig. 15(a)の動粘度が 6 ㎟/sと低い場合にはボール左上の逆流や旋回流，あるいは下に向かう流れなど種々の流れが観察される．一方，動粘度35㎟/sのときは入口から出口まで，ボールに沿うようにスムーズに上向き流れが形成されていた．すなわち，動粘度の上昇にしたがって下回りの流量の減少がおこり，チェック流量が多くなったと考えられる．また，いずれの粘度でもボールの周囲をまわるような流れが見られたが，動粘度が低い 6 ㎟/sの場合は動粘度の高い場合と比べて強く観察された．Fig. 16のリフト量 4 ㎜のときは，入口からの噴流がボールの上面にあたっていることが観察され，その主流の方向が変わる反力がボールに下方向へ加わっていると考えられる．Fig. 16(a)のように低粘度で比較的流量が多い場合は，ボール周りに種々の流れが生じ，一部のボールの下部への流れによってチェックボールが浮上することが確認された．しかしながら，高粘度の場合は一様流に近い流れとなっている．

次に，モデル 2 におけるリフト量 2 ㎜，流量3.8㎤/sおける流れの様子をFig. 17に示す．ただし，Fig. 17(a)は動粘度 6 ㎟/s，(b)は動粘度15㎟/sの場合である．このとき，作動油の流入口がボールの中心と流れが上下に分かれていることが観察される．Fig. 17(a)とFig. 17(b)を比較すると，いず

れの場合も旋回流もみられているが，同じ流量でも動粘度が大きくなると旋回流が小さくなっていることがわかる．さらに，リフト量３㎜，流量3.8㎤/sの流れの様子をFig. 18に示す．Fig. 18(a)は動粘度６㎟/sの場合，(b)は15㎟/sの場合である．Fig. 18のリフト量３㎜の場合でも同様に動粘度が大きくなると旋回流は小さくなっているが，リフト２㎜の場合と比べてボール位置が低いため，入口からの噴流がボールには直接当たらず大きな旋回流がみられ，ボール下方向への流れはほとんどみられない．

4. 考　　察

中央からφ５で流入するモデル１とサイドからφ２で流入させ，旋回流を発生させるモデル２を用いて，チェックボール挙動を明らかにした．さらに，可視化実験によって作動油の流れを明らかにした．モデル１の中央流入の場合は，Fig. 5およびFig. 15より，リフト量が３㎜以下と小さいときはボール周りや表面の流れが比較的多く，ボールに対して上方向力が生じやすいため粘度による差は小さい．一方，リフト量が４㎜と大きくなるとボール上部に主流があたり，特に動粘度が大きくなるとチェック流量が多く必要となった．

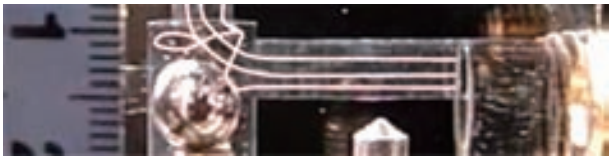
モデル２では，リフト量２㎜，流量3.8㎤/sのときのボール回転数はFig. 10より，動粘度６㎟/sの場合は約1000rpm，動粘度15㎟/sの場合は約90rpmと大きな差となっている．Fig. 17の可視化実験から，流入口からの噴流はチェックボール中央部側面にあたり，上下に分散しているが，動粘度が大きくなると旋回流が発達しないことがわかった．しかしながら，Fig. 6より動粘度がおよぼすチェック流量への影響は非常に小さかった．一方，リフト量３㎜のときはボールの回転数が動粘度６㎟/sの場合に約700rpmに対し，動粘度15㎟/sの場合が約250rpmと差が小さくなった．このとき，Fig. 18に示したように低粘度では強い旋回流が観察され，高粘度では旋回流は弱くなっていたが，低粘度ではボールを回転させるための粘性力が小さいため，ボール回転数の差が縮小したことが推定される．Fig. 6で示した動粘度の変化によるチェック流量の差がほとんどみられなかったのは，粘性と旋回流のバランスによって，結果としてのチェック流量に変化がみられなかったと推定される．これらより，モデル２はモデル１と比較して，低流量でチェック可能であり，リフト量や動粘度の影響を受けにく

(a)　Viscosity：6 ㎟/s

(b)　Viscosity：35 ㎟/s

Fig. 15　Flow pattern of Model 1 at lift 2 ㎜, flow rate 7.5㎤/s

(a)　Viscosity：6 ㎟/s



(b)　Viscosity：35 ㎟/s

Fig. 16　Flow pattern of Model 1 at lift 4 ㎜, flow rate 23.9㎤/s

(a)　Viscosity：6 ㎟/s

(b)　Viscosity：15 ㎟/s

Fig. 17　Flow pattern ofa Model 2 at lift 2 ㎜, flow rate 3.8㎤/s

(a)　Viscosity：6 ㎟/s

(b)　Viscosity：15 ㎟/s

Fig. 18　Flow pattern of Model 2 at lift 3 ㎜, flow rate 3.8㎤/s

いことがわかった.

5. 結　　言

本研究では，現在使用されている油圧用ボール弁のバネなし化を目的として，作動油入口位置と径，ボール位置および作動油の動粘度を変化させ，チェック流量と回転数の計測およびボール付近の可視化実験を行った．その結果，サイドから流入させ，旋回流を積極的に利用するによって，ボールを低流量で浮上させることが可能なことがわかった．さらに，高速度カメラを用いて粒子観察を行い，改善理由を考察した．ただし，これら旋回流の強さ，ボールとの相対位置，噴流の強さを決める入口径，作動油粘性など種々のパラメータが相互に作用し合うため，今後，現象理解を深めるためにもCAE解析を活用し，定量的な観察を行う予定である.

主な結論を以下にまとめて記す.

⑴ 流量，動粘度およびリフト量を変化させチェック流量を調査した結果，チェック流量とボールの初期位置のおよび動粘度の相互関係が明らかになった

⑵ 中央から流入させるモデルではリフト量３m以下では20㎤/s程度のチェック流量であるが，４㎜では，現象が変化し，50㎤/sのチェック流量の場合がある.

⑶ 中央流入モデルでは，リフト量１㎜ないしは３㎜では動粘度が大きいとボールを浮かせやすく，チェック流量が少なくなる.

⑷ サイドから流入させる形状を採用すると旋回流が生じ，動粘度によらず8.3㎤/s以下の低流量でチェック可能である.

⑸ サイドから流入させ，動粘度を変化させるとボールの回転数，旋回流の強さは大きく変化するが，チェック流量はほとんど変化しない.

謝　　辞

本研究は，文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成24年～平成26年）の助成を受けたものである.

参 考 文 献

1）小波倭文朗，西海孝夫：油圧制御システム，東京電機大学出版局，P. 105 (1999)

2）築地徹浩，松本学，佐倉青蔵，永田精一，吉田太志：可視化技術を用いた油圧用ボール弁の改良，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 35, No. 6, p. 103-108 (2004)

3）築地徹浩，米澤至彦，石井祐一郎：油圧用三次元ポペット弁内の流れ，日本機械学會論文集，B編，Vol. 61, No. 583, p. 998-1004（1995）

4）築地徹浩，中山真吾：油圧用ポペット弁の横振動に関する研究，日本機械学會論文集，B編，Vol. 64, No. 620, p. 1088-1094（1998）

5）白井敦，林叡，早瀬敏幸，王偉民：直動型ポペット弁回路の固有値解析，日本油空圧学会論文集，Vol. 30, No. 3, p. 75-80 (1999)

6）菊池和重，山口隆平：スプール弁内流れの可視化と三次元数値解析モデルの検討，日本機械学會論文集，B編，Vol. 64, No. 627, p. 3558-3564（1998）

会　員　各　位

平成２５年１月１５日

一般社団法人　日本フルードパワーシステム学会

平成25年度会費納入のお願い

拝啓　時下益々ご清祥のこととお慶び申しあげます．

さて，平成25年度（自平成25年4月1日～至平成26年3月31日）の会費を，下記の通りご納入賜わりたくお願い申しあげます．なおすでにご納入くださいました場合は，何卒ご容赦ください．

敬　具

記

平成25年度

正会員会費　8,000円
（40歳未満で入会された方は，入会から5年間にかぎり4,000円となります.）
学生会員会費　2,000円

お　願　い

・24年度以前の会費を未納の方は，新年度分（平成25年度）と併せてお振り込みくださいますようお願い申しあげます．

・会員名を必ずご記入ください．

・便利な自動振り込みは手数料が不要です．ご希望によりお申し込み書をお送り致しますので，FAXまたはE-mailにてご一報いただきたく，宜しくお願い申しあげます．

以上

払　込　取　扱　票

00　東京

口座番号（右詰めにご記入ください）：00110－3　13369０

金額：千 百 十 万 千 百 十 円

加入者名：一般社団法人　日本フルードパワーシステム学会

料金　特殊取扱

通信欄：該当するものに○をつけ、お振込の内容をご記入ください。

1.（　　）年度（　　）会費

企業名・会員名［　　］

2.（　　）の代金

払込人住所氏名：（郵便番号　　）

※

（電話番号　　－　　－　　）

受付局日附印

裏面の注意事項をお読みください。（郵政事業庁）（私製承認東第23957号）

各票の※印欄は、払込において記載してください。

切り取らないで郵便局にお出しください。

払込票兼受領証

口座番号：00110－3

右詰めにご記入ください　13369０

加入者名：一般社団法人　日本フルードパワーシステム学会

金額：千 百 十 万 千 百 十 円

※

払込人住所氏名：※

料金：（消費税込み）　円

受付局日附印

特殊取扱

記載事項を訂正した場合は、その箇所に訂正印を押してください。

お振り込み先金融機関一覧

1．郵便振替貯金　00110-3-133690

＊下の振替用紙をご利用いただけます．
（なお，この振替用紙は会費納入・資料購入・セミナー等受講料など総てにご利用いただけます．）

2．三井住友銀行　日比谷支店（普）　7611417

（注）＊口座名はいずれも「社団法人　日本フルードパワーシステム学会」です．
＊誠にお恐れ入りますが，振り込み手数料はご負担くださいますようお願い申しあげます．
＊上記2をご利用の方で，会社名・大学名にてご送金の方は，個人名・内容・振込金融機関名を，ファクシミリまたはE-mailで学会宛にご連絡くださいますよう，お願い申しあげます．

この受領証は、郵便局で機械処理をした場合は郵便振替の払込みの証拠となるものですから大切に保存してください。

ご注意
この払込書は、機械で処理しますので、口座番号及び金額を記入する際は、枠内に丁寧に記入してください。
また、下部の欄（表面及び裏面）を汚したり、本票を折り曲げたりしないでください。
（日本郵政公社）

フルードパワーシステム Vol.44 No.1

昭和47年10月19日第４種学術刊行物認可
平成25年１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）三四三三―八四四一　ＦＡＸ（〇三）三四三三―八四四二
編集兼発行人　一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会　振替口座　東京〇〇一一〇―三―一三三六九〇
印刷所　勝美印刷株式会社　東京都文京区小石川一―三―七

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.or.tv　E-mail　sanki@venus.dti.ne.jp