

日本フルードパワーシステム学会誌

JOURNAL OF THE JAPAN

FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

フルードパワー システム

Sep.2016 Vol.47 No.5

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「フルードパワーを活用した大規模研究開発」

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

目 次

特集「フルードパワーを活用した大規模研究開発」

【巻頭言】

「フルードパワーを活用した大規模研究開発」発行にあたって	佐藤 恭一	206
------------------------------	-------	-----

【解説】

地球温暖化対策：海洋エネ発電（波力、潮力）の研究開発	丸山 康樹	207
フルードパワーによる実大三次元震動破壊実験	梶原 浩一	211
深海水槽および高圧タンクによる海洋開発分野の研究開発	藤原 智, 中島 康晴, 岡本 章裕	215
フルードパワーを活用した鉄道車両試験装置および車両用機器開発	宮原 宏平	219
超高圧下の物質合成技術	谷口 尚	222
圧縮空気を利用した地震探査	伊藤 誠	226
大規模波動地盤総合水路（大津波水路）による沿岸防災研究	鈴木高二朗	229

【会議報告】

IFK2016におけるフルードパワー技術の動向	伊藤 隆	232
第16回JSME機素潤滑設計部門講演会におけるフルードパワー技術研究	金 俊完	234

【教室】

入門講座「エネルギー工学」第一回：日本のエネルギーと発電方式	江間 敏	236
--------------------------------	------	-----

【トピックス】

産学協同という幻想	山田 剛志	239
台湾（台北）駐在日記	川口 敦史	244

【研究室紹介】

岐阜大学工学部 機械工学科 山田宏尚研究室	山田 宏尚	247
-----------------------	-------	-----

【企画行事】平成28年春季講演会併設セミナー開催報告

「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」 成田 晋 250

【会告】

日本フルードパワーシステム学会 平成28年度受賞候補者募集	255
一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会 (JFPS) フェロー認定者推薦のお願い	256
お詫びと訂正	256
共催・協賛行事のお知らせ	258
平成28年度 オータムセミナー	
「生産技術に貢献するフルードパワー in トヨタ産業技術記念館」開催のお知らせ	259
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28年秋季フルードパワーシステム講演会（青森）のお知らせ	259
その他	253, 254, 257, 260

■表紙デザイン：山本 博勝 株豊島

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

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

Special Issue "Large-scale Research and Development on Fluid Power Systems"

[Preface]

On the Special Issue "Large-scale Research and Development on Fluid Power Systems"	Yasukazu SATO	206
--	---------------	-----

[Review]

Mitigation of Global Warming; R & D of Marine Energy Converters (Wave, Tide)	Koki MARUYAMA	207
3-D Full Scale Earthquake Shaking Table Tests by Fluid Power System	Koichi KAJIWARA	211
Research and Development for Ocean Development using the Deep-Sea Basin and the High Pressure Tank	Tomo FUJIWARA, Yasuharu NAKAJIMA, Akihiro OKAMOTO	215
The Railway Vehicle bench Testing Machine and the Development of the Equipment for Railway Vehicles for which the Fluid Power is Applied	Kohei MIYAHARA	219
Materials Synthesis Under High Pressure	Takashi TANIGUCHI	222
Seismic Survey using Compressed Air	Makoto ITO	226
Research on Coastal Structures using the Large Hydro-Geo Flume (the Large Tsunami Flume)	Kojiro SUZUKI	229

[Conference Report]

Trend of the Technology of Fluid Power in IFK2016	Takashi ITO	232
Researches concerning fluid power technology at the 16th MD&T Division Meeting in JSME	Joon-wan KIM	234

[Lecture]

An Introductory Course of Energy Engineering : 1. Energy and generation of electricity in Japan	Satoshi EMA	236
--	-------------	-----

[Topics]

An Illusion Concerning Cooperation Between Industry and the Academic World	Tsuyoshi YAMADA	239
Expatriate Diary in Taiwan (Taipei)	Atsushi KAWAGUCHI	244

[Laboratory Tour]

Yamada Laboratory in Gifu University	Hironao YAMADA	247
--------------------------------------	----------------	-----

[JFPS Activities]

Report on JFPS Spring Seminar "Latest Technology of IoT and ICT to Change the Fluid Power System"	Susumu NARITA	250
--	---------------	-----

[JFPS News]

253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260

巻頭言

「フルードパワーを活用した大規模研究開発」 発行にあたって

著者紹介



さとう やすかず
佐藤 恭一

横浜国立大学大学院
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
E-mail : sato-yasukazu-zm@ynu.ac.jp

1992年横浜国立大学大学院工学研究科博士課程修了。同大学講師、准教授を経て、2012年同大学院工学研究院教授。油圧動力の伝達、制御、メカトロニクスに関する研究に従事。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、IEEEなどの会員。博士（工学）。

本特集では、大規模な研究開発に関わるフルードパワーの技術に注目し、研究設備、試験装置などに活用され研究開発を支えるフルードパワー技術や、流体を対象とした大規模実験設備を紹介し、それらの研究プロジェクトから生まれた研究成果を広く読者に示していくことを企画した。ここで「大規模」という言葉は、動力伝達を担う流体や研究対象となる流体のパワー、圧力、流量などが、大学の研究室の試験装置や、一般的な産業機械に比べて、桁違いに大きいという意味で使っているが、実験設備が大きい、海洋のように研究対象が非常に広範囲にわたるといった意味も含んでいる。もちろん、研究設備や研究対象の規模だけではなく、投入される研究費の規模も大きいという見方もできるかもしれない。兎に角、「大規模」をキーワードに、興味深い研究開発の記事を集めた。その対象は、波力、潮流等の流体の持つパワーの変換や活用に関する大規模研究、流体の高圧力や大出力の特徴を活かした超高压環境の生成や、大きな加振力、制振力を活用した大型車両の運動性能の研究など、多岐にわたる。さらには、水路のような、流体を対象とした大規模実験設備と、それらの設備、実験装置から生まれた成果の事例を広く取り上げる。

自然は莫大なエネルギーを持っており、流体の持つ莫大なエネルギーをクリーンエネルギーとして取り出す技術が水力発電、波力発電、潮流発電、風力発電などである。また、流体エネルギーから電気エネルギーに変換する手段としてフルードパワーが活

用されている例もある。本特集号では、はじめに、丸山康樹氏に、地球温暖化対策と海洋エネルギーの活用として、波力、潮流発電について解説いただいた。

自然の莫大なエネルギーは、社会生活の脅威となることがあり、大規模なエネルギーを相手にした防災研究も進められている。梶原浩一氏には、E-ディフェンス、フルードパワーによる実大三次元実験震動破壊実験について解説いただいた。

深海環境の海洋開発では、高圧力と海流の深海環境を再現する水槽にフルードパワー技術が活用されており、藤原智氏、中島康晴氏、岡本章裕氏には、深海水槽及び高圧タンクによる海洋開発研究について解説いただいた。

一方、自然界から我々の社会生活に視点を変えると、鉄道車両が利用されており、日本の安全かつ高性能な鉄道車両の開発が進められている。宮原宏平氏には、フルードパワーを活用した鉄道車両試験装置および車両用機器開発について解説いただいた。

圧力が数GPaを超える超高压環境をフルードパワー技術で作出し、大気圧下では得られない物質を得たり、物質の基礎物性を調べたりする研究が進められており、谷口尚氏には、超高压下での物質合成技術について解説いただいた。

再び海洋に目を向けると、海溝型巨大地震発生のメカニズムを解明するための地震学的地質構造探査が実施されており、伊藤誠氏には、圧縮空気を利用した反射法地震探査について解説いただいた。

津波、高潮、高波等による災害の防止、減災に関する研究では、鈴木高二朗氏には、大規模水路試験施設、大規模地震津波実験施設による沿岸防災研究について解説いただいた。

以上のように、本特集号は、「大規模」をキーワードに、フルードパワーに関わる多岐にわたる研究開発の記事で構成されている。

最後に、ご多忙にもかかわらず、本特集号の各記事をご寄稿いただいた執筆者の皆様に深く感謝するとともに、厚く御礼申し上げます。

(原稿受付：2016年7月5日)

解説

地球温暖化対策：海洋エネ発電（波力、潮力）の研究開発

著者紹介



まる やま こう き
丸 山 康 樹

東京大学生産技術研究所
〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1
E-mail: Koki@iis.u-tokyo.ac.jp

1976年東大工学部修士課程修了，1986年同大学工学博士学位取得。1976年財電力中央研究所入所，環境科学部長，研究参事，米国NCAR共同研究代表者，温暖化研究総括責任者を経て，首席研究員，2011年東大客員教授，2013年～現在，東大特任教授（海洋エネ）。

1. はじめに

2016年の1月，世界気象機関（WMO）がプレスリリースを発表し，2015年は過去最高の気温上昇（ $\Delta T \approx 0.76^\circ\text{C}$ ）であったと報じた。長期的な温度上昇トレンドに加えて，過去最大のエルニーニョ（1998年）を超えるスーパーエルニーニョが発生したと分析されている（図1）。筆者は，電力中央研究所に在籍中，地球温暖化の予測・対策プロジェクトの責任者として，二十年以上も気候変化の兆候に注目してきた。2015年は，その中でも記憶に残すべき1年と言えよう。たとえば，過去最高の気温上昇 ΔT に加え，北極海，オホーツク海の海氷が減少し，過去最小面積を記録した。大気中の CO_2 濃度は，大台の400ppmに達した。これまでに

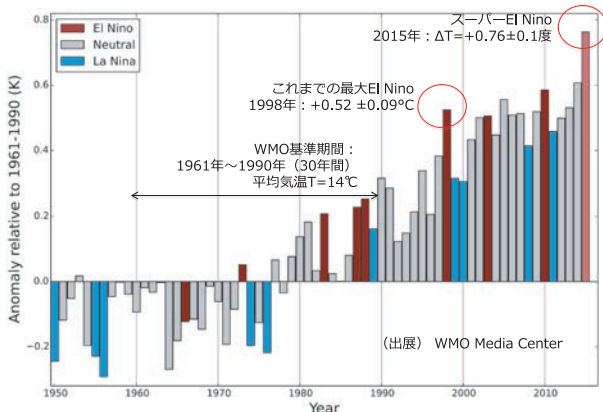


図1 WMO発表：温暖化とスーパー El Nino（2015年）

様々な温暖化予測が実施されてきたが，大気中濃度が450ppmに達すると，気温上昇 $\Delta T = 2^\circ\text{C}$ を超える確率がかなり高くなる。 CO_2 増加率は約2 ppm/年なので，2040年には450ppmに達するであろう。原子力事故以来，マスコミ等で加熱した温暖化論争はすっかり沈静化しているが，米国のNASA，NOAAの共同発表（2016年）にあるように，地球温暖化は確実に進行している。

温暖化対策国際会議COP21（2015年，パリ）では， CO_2 排出抑制のための再生可能エネルギーへの関心が高まった。英国等の欧米諸国では，世界的に実用化が遅れている海洋エネルギー（波力，潮流等）に注目し，国家戦略として温暖化防止と新産業創出に熱心に取り組んでいる（たとえば，英国の実証フィールドEMEC参照）。潮流発電については，実用段階のプロジェクト（たとえば，MeyGen，英国，2020年目標39.8万kW）が進行中である。

図2は，世界全体の海洋エネ（波力，潮流）分布を示したもので，資源の乏しい我が国にあって珍しく豊富である。原子力事故後に施行（2012年）された固定価格買取制度（FIT）により，太陽光発電（メガソーラー），洋上風力発電等が急速に普及してきたが，海洋エネの研究開発は欧米に比べ著しく遅れた状況にある。

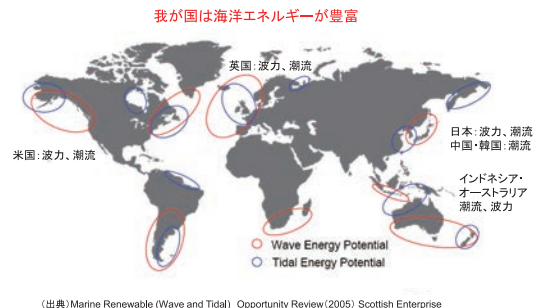


図2 世界の海洋エネルギー（波力、潮流）ポテンシャル

2. 人材不足と海洋エネ開発

我が国では，2000年以前には海洋エネ発電の研究開発は活発であった。例えば，海洋科学技術セン

ター（JAMSTEC）は、1998年に沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」（最大出力110kW）の海域試験を行った。その後、我が国のエネルギー戦略が原子力へとシフトするにつれ、国プロ予算の縮小とともに海洋エネ開発は下火になってしまった。原子力事故後に成立した温暖化対策税が段階的に増税され、2016年度には2000億円に達し、省エネや再エネへ多額の国家予算が投入されるようになった。海洋エネに関しても、2012年から経産省・NEDOによる公募研究が再び開始された。しかし、海洋エネ開発の10年以上の空白期間は、人材面で深刻な影響を残しており、経験者のほとんどが定年退職したため、大学にも企業にも人材が不足している。これが、海洋エネ開発がなかなか進まない原因の一つとなっている。

3. 電気事業法と海洋エネ

現在、海洋エネは、固定価格買取制度（FIT）の対象外で、売電による収入を得られないという問題があり、メーカ参入の障壁となっている。さらに厳しいのは、規制の問題である。法令遵守のため、海洋エネ開発は、電気事業法の規制の枠内で開発することが必須である。現行の電気事業法には「波力発電、潮流発電」の記載は無いので、所管省庁である経産省・電力安全課の解釈では、もっとも規制の厳しい「事業用電気工作物」に分類される。この分類（原子力発電と同じ）になると、出力の大きさや系統接続の有無に関わらず、工事計画認可申請書を作成し、経産大臣の認可を得る必要がある。さらに、工事竣工時には、電気事業法が定める使用前検査に合格する必要がある。この検査では、発電機の現地耐圧試験や漏電試験、負荷遮断試験等が要求され、経産省・電力安全課の担当者、電気主任技術者、発電装置の責任者が立ち会うため、主要な電気機器は検査員が容易にアクセスできる場所に設置する必要がある。

海外では、海底設置型の波力発電装置（例えば、40kW程度の小型装置をDCリンクで多数接続する形式：Seabased wave energy, スウェーデン）や水没式潮流発電装置（MeyGenプロジェクトのAtlantis Resources Limited（ARL-1500）、Andritz Hydro Hammerfest（AHH-1000）等）が多い。これらの方式では、発電機等の電気部品が海中に設置されるため、使用前検査が困難で、日本では認可されない可能性が高い。

4. 東京大学生産技術研究所の取組み

当研究グループでは、震災直後から5カ年の計画

（2012年～16年度）で、文科省東北復興プロジェクトにより、津波で甚大な被害を受けた岩手県・久慈市、宮城県・塩竈市を対象に、全国の多数のメーカの協力を得て、海洋エネ発電（波力、潮流）の開発を進めている。また、NEDOの公募研究（2012年～2015年）に応募し、東京大学、九州大学、佐世保重工業と油圧式潮流発電の要素技術を開発した。なお、紙幅の関係でNEDO要素研究（油圧式潮流発電）の紹介は割愛するが、波力発電2号機を含め研究開発を継続中である。いずれも近いうちに国プロに応募し、大型化した海洋エネ発電装置の海域実証試験を行う計画である。別の機会に改めて報告したい。

5. 油圧システムの採用と系統接続

当研究グループが開発中の3種類の海洋エネ発電装置の比較を図3に示す。経験の蓄積のため、低出力から高出力へと段階的に開発を進めている。最近、大型の波力発電装置として先駆的な英国のPelamis（出力750kW）、Aquamarine社のOyster（出力800kW）は開発に失敗し、倒産してしまった。最初から大型の装置に取組んだため、故障等の対策費が嵩んだことが原因であろう。

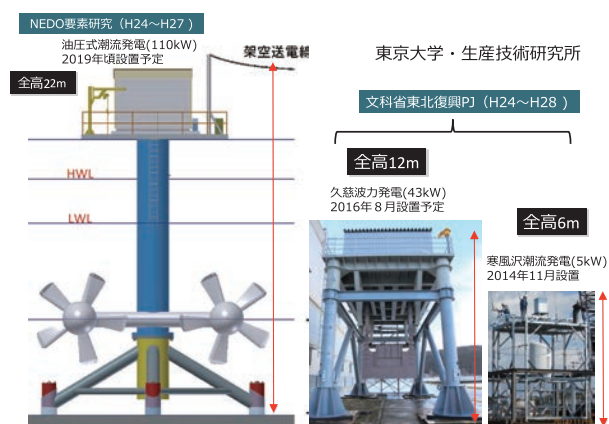


図3 東大生産研で開発中の海洋エネルギー発電装置の比較

欧米に比べて我が国の海洋エネ（波力、潮流）は密度が低く、かつ電気事業法の厳しい規制に対応するため、図3の装置はいずれも油圧システムを採用している。また、FIT価格は、送電費用を含む価格（送電端価格）と定義されているので、装置製作・海上工事・送配電工事を含むトータルコストの最小化を狙っている。特徴は以下の通りである。

- ①海中には電気部品を設置せず、一次変換エネ（海洋エネ→機械エネ）は油圧配管で海上機械室内の油圧モータへ伝え発電機（二次変換）を駆動する
- ②発電機には高性能な永久磁石同期発電機（PM）を用い、パワーコンディショナーを介して電力会

社の系統へ接続

- ③研究開発段階にあるため、工事費が高額となる海底ケーブルは使用しない
- ④低速・高トルク型の油圧ポンプ(A)と回転数可変の斜板オイルモータ(B)を採用することで、押退け容積比 (A/B) により容易に増速が可能
- ⑤停電時や事故時の緊急停止、負荷遮断実験時には、油圧回路のシャットアウトバルブを閉止することで、瞬時にPM発電機を停止可能。一次変換エネを平滑化する蓄圧器等の効果で、油圧回路内の急激な圧力上昇（サージング）は吸収され、発電機の電圧上昇も軽微であり、安全性が高い

6. 久慈波力発電所（定格43kW）の紹介

波力発電装置は、台風や冬季の低気圧で発生する高波で壊れない設計が何より重要である。図4は、市販されている船舶の油圧操舵機を応用した油圧式波力発電（WaveRudder-I）の模式図である。船舶用部品は高トルクに対応しているので、波力発電に適している。三陸沿岸（久慈市）は台風の直撃を受けず、久慈市の玉の脇漁港には電力会社の送電線が海岸近くまで伸びており、実証試験に適した場所である。久慈市役所、漁協の協力のもと、漁港の防波堤近くに装置を設置する計画とし、発電出力は低压接続条件（50kW以下）を満たす43kWとした。全国の多数のメーカーの協力を得て開発した波力発電装置の一部を貨物船で久慈市に輸送し、地元企業で組立てを行った（図5）。図6は、完成した波力発電装置で、全高約12m、総重量約90トンである。2016年夏に現地に設置し、送電を開始する予定である。成功すれば、日本で最初の系統接続した波力発電装置（Wave to Wire）となる。

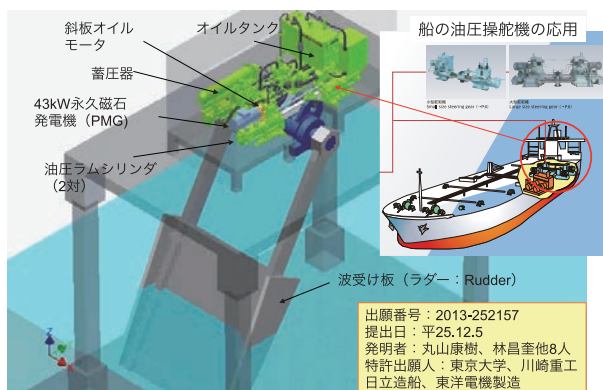


図4 油圧式波力発電装置（WaveRudder-I）の構造



図5 波力発電装置の製作状況



図6 完成した油圧式波力発電装置（WaveRudder I）（久慈市）（出力43kW、全高12m）

7. 寒風沢潮流発電装置の紹介

宮城県・塩竈市・寒風沢島は、津波により多数の家屋が流出し、停電も長期間続くなど甚大な被害を受けた。東北ではめずらしく潮流の流れが速く（最大1 m/s）、地元ではそのエネルギーを発電に利用する潮流発電への期待が大きい。寒風沢島は、松島湾に位置し、湾内振動（セイシュ）の影響を受け、潮流は非常に不規則である。このため、流向が変化してもロータが一方に回転する鉛直軸ロータを採用し、2台を油圧配管で直列接続して出力を高める方式を採用した（HydrauTide-I）。塩竈市、地元漁業組合の協力のもと、多数のメーカーの協力により装置を開発し、地元企業で組立て、作業台船で運搬し、現地に設置した（図7）。定格5kWの油圧式潮流発電装置であるが、工事計画認可申請書を提出して経産大臣の認可を得て、経産省本省の検査官による使用前検査に合格している。図8は、2014年末に完成した装置で、日本初の系統接続した潮流発電装置である（Tide to Wire）。

8. ま と め

筆者らのこれまでの開発経験からすると、先行す



図7 油圧式潮流発電装置の製作状況



図8 完成した油圧式潮流発電装置 (HydrauTide-I) (塩竈市) (出力5 kW、全高6 m×2台)

る風力発電や太陽光発電の分野で開発普及した低コスト部品（永久磁石発電機，パワコン等）をうまく活用し，油圧システム等を応用して構造を工夫すれば，海洋エネ発電自体はそれほど難しい技術課題では無いと言える．今後は，海洋という特殊な自然環境のもとで，メンテナンス方法・費用を含め，よりシンプル，より低コスト（大型化それとも複数リンク）の海洋エネ発電の開発が課題となろう．

9. おわりに

海洋エネ発電は，当面は出力が小さい分散電源のため，複数の専門家の分業体制は適さず，少なくとも3分野の専門知識（機械，電気，海洋土木等）をもつ新しいタイプの人材が必要である．大学が率先して海洋エネ開発を行うことで，様々な技術課題の克服と人材育成に貢献していきたい．それにより，新産業創出による地域活性化や地球温暖化の対策に役立つことを期待している．

参考文献

- 1) WMO検索キーワード：2015 is hottest year on record
- 2) 検索キーワード：NASA, NOAA Analyses Reveal Record-Shattering Global Warm Temperatures in 2015
- 3) 英国，海域実証フィールドEMEC：<http://www.emec.org.uk/>
- 4) 英国，MeyGenプロジェクト：<http://www.meygen.com/technology/>
- 5) 鷲尾幸久他，沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」実海域実験その1 実験システム概要及び係留設置工事，海洋科学技術センター試験研究報告 第40号 JAMSTECR, 40 (February 2000)
- 6) 文科省東北復興プロジェクト：<http://umi-tohoku.sblo.jp/>
- 7) 環境省地球温暖化対策税：<http://www.env.go.jp/policy/tax/about.html>
- 8) NEDO油圧式潮流発電：<http://www.nedo.go.jp/content/100546658.pdf>
- 9) 海底設置型の波力発電装置Seabased wave energy (スウェーデン) <http://www.seabased.com/en/technology/seabased-wave-energy>
- 10) Pelamis：https://en.wikipedia.org/wiki/Pelamis_Wave_Energy_Converter
- 11) Aquamarine Oyster：知財競売のニュース（2015年10月28日）<http://www.aquamarinepower.com/news/aquamarine-power-calls-in-administrators.aspx>

（原稿受付：2016年5月20日）

解説

フルードパワーによる実大三次元震動破壊実験

著者紹介



かじ わら こう いち
梶原浩一

国立研究開発法人防災科学技術研究所
地震減災実験研究部門長
兵庫耐震工学研究センター長
〒673-0515 三木市志染町三津田字西亀屋1501-21
Tel. 0794-85-8211 (代表)

1988年東北大学大学院工学研究科建築学博士前期課程修了。民間会社研究所を経て、2000年科学技術庁防災科学技術研究所主任研究官、E-ディフェンスの建設と実験・研究に従事。2011年4月より兵庫耐震工学研究センター長、博士(工学)。

1. はじめに

国立研究開発法人防災科学技術研究所（以下、防災科研と略記）の実大三次元震動破壊実験施設（愛称：E-ディフェンス）は、1995年の阪神・淡路大震災を教訓として、当時の科学技術庁（現文部科学省）と防災科学技術研究所が建設した世界最大の振動台実験施設である¹⁾。運用を開始してから2016年4月より12年目に入ったが、各方面からの利活用への要望はいまだに高い。その理由の1つは、他に類を見ない巨大な機器・装置で構成された強力なフルードパワーシステムによる地震動の再現能力にある。本稿では、2011年の東日本大震災以後に行った、油圧システム等の長時間・長周期対応工事を含め、施設の概要とE-ディフェンスで行った実験の一部を紹介する。

2. 施設について

2.1 施設の安全管理

防災科研の兵庫耐震工学研究センターは、E-ディフェンスの運用を開始してから11年目の平成27年度末で、80課題の実験を完遂した。この施設では、施設の維持管理業務や更新工事等に加え、実験に関わる実大・大規模な試験体の製作・設置・加振・計測・撤去・解体などの作業が、センターの安全管理の基に進められており、その無事故無災害記録は2015年12月15日に150万時間に達した。この

無事故無災害記録（以下、無災害記録と略記）を一般の建設現場における評価に照らすと、第1種無災害記録時間数で、建設業（年間完成工事高250億円未満）で75万時間、建設業（年間完成工事高250億円以上）で170万時間が表彰の対象となることから、工事の無災害記録と遜色ない管理実績となる。また中小企業無災害記録日数では、土木建築業の規模区分50人～99人で、第4種（銀賞）の表彰に相当する実績と考えられる。

ここに至った経緯は、各年度の施設の定期点検、法定点検、日常点検などを適切に遂行し、実験を含む工程管理および安全管理を確実に実施したことによるものである。特に、これら業務を推進するため、市役所、消防署、警察署、労働基準監督署等の関係官公署と普段から情報交換や調整を行い、施設利用者の安全のために「施設安全衛生の手引き」を整備するなど、センター全体の安全管理の向上に努めたことが、この施設運用の継続に大きく貢献している。運用を開始してからの11年で、この施設運用に関する多くの知見とノウハウを蓄積した。

これら巨大なフルードパワー システムを用いた実験では、その大規模な試験を表装としているが、普段見えない細心の注意と安全対応がその背景にあることを、自戒を込めて記載する次第である。

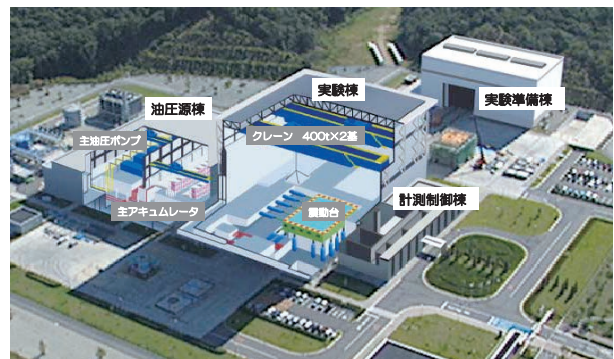


図1 E-ディフェンスの全景

2.2 施設の概要²⁾

E-ディフェンスは、三木総合防災公園内（兵庫県三木市志染町三津田西亀屋1501-21）の、兵庫

県から借用している面積6.6haの土地に位置している。この施設は、震動実験装置本体（以降、震動台と称する）の機械系設備とそれを収納する建屋から構成される（図1）。施設の特徴である、高圧油の蓄圧や油圧配管内の脈動吸収を窒素ガスでバランスさせるアキュムレータ設備では、高圧窒素ガス配管が廻らされていることから、高圧ガス保安法の適用を受け、毎年2ヶ月の定期点検を実施している。また、実験棟の2基の400tonクレーンをはじめ、合計10基のクレーンが設備されているため、労働安全衛生法に従い、2年に1度の定期点検を行なっている。さらに、775klという大量の作動油が循環する施設であるため、消防法による年2回の定期点検も実施している。こうした法令に基づく定期点検のために毎年10ヶ月が実験に利用できる期間である。主要施設について以下に記載する。

実験棟：建物の規模は、60mW(幅)×87mL(長さ)×43mH(高さ)であり、鉄骨造建屋である。スパン約50m、吊り荷重400tonfのクレーン2基を具備している。試験体の吊り上げ、搬送に用いる。試験体の高さは、これまでの実績から27m程度のもので可能である。試験体搬送は、実験棟両サイドに設けられている20mW×20mHの電動大扉から行う。実験棟基礎は、神戸層（S波速度：1.5km/s）岩盤に設置され、鉄筋コンクリート製で深さが24mである。重量は20万tonとなり、震動台の揺れに抵抗する。この重量は、試験体と震動台の総重量を2,000tonと仮定した場合の100倍となる。ピット部に震動台を含む加振機構が収納されている。

油圧源棟：57mW×77mL×21mHの鉄骨造建屋である。加振機構に高圧油を供給する4基の油圧ポンプユニットと加振用高圧油を蓄圧しておく20基の主アキュムレータユニットが納められている。蓄圧能力は20,000lである。また、環境と施設利用者に配慮し、壁全体は防音構造となっている。

計測制御棟：実験棟に隣接する2階建て鉄筋コンクリート（RC）造建物であり、計測制御室を中心に、施設運営のための各種管理室および研究室が設けられている。計測制御室には、震動台制御装置、データ計測収録システムなどが納められている。

実験準備棟：規模が30mW×58mL×29mHの鉄骨造建屋であり、150tonfのクレーンが設置されている。実験に必要な各種治具の収納場所および試験体製作場所として活用されている。

屋外機器：屋外の敷地には、油圧作動油タンク（205kl）、熱交換器、作動油冷却装置、冷却用水タンク（500ton）、作動油フィルターなど油圧供給装置関連の補機類が設置されている。なお、実験棟、

油圧源棟並びに屋外機器を結ぶ油圧配管は、溶接レスとし、その総延長は約13kmである。

屋外重舗装ヤード：年間にわたりほぼフル稼働で実験が行われるため、その準備は、実験準備棟だけで対応できない状況にある。敷地の東西2カ所に設けられており、通年で、大型試験体構造物の建造、移動、解体、保管エリアとして利用されている。

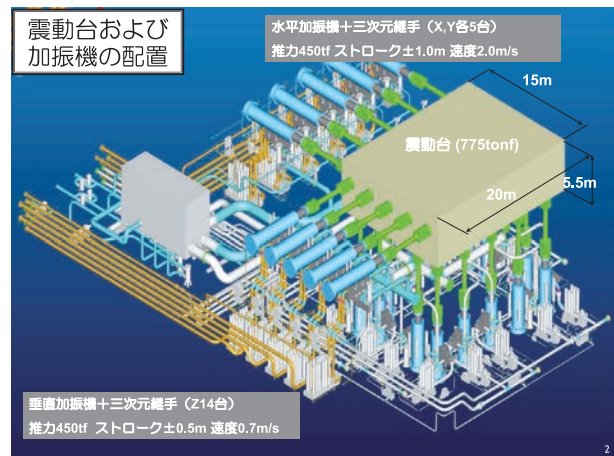


図2 E-ディフェンスの主たる加振システム

3. E-ディフェンスの仕様と加振性能

E-ディフェンスの主たる加振機構を図2に示す。ハニカム構造の長さ20m、幅15m、高さ5.5mの鋼製箱型震動台（重量775tonf）を加振機と三次元継手を1セットとして、水平X及びY方向にそれぞれ5セット、垂直Z方向に14セットで支えている。最大重量1,200tonfまでを搭載して、水平には変位±1.0mのストローク、最大速度2.0m/sで、鉛直では変位±0.5mのストローク、最大速度0.7m/sによる加振が可能である。また、通常の実験では用いないが、各軸回りには、±2.5度の範囲で回転による加振ができる。水平方向の最大推力は、 $5 \times 450\text{tonf} = 2,250\text{tonf}$ であり、それにより試験体及び震動台に生ずる回転モーメント（最大15,000tonf・m）に抵抗しながら3軸方向と3軸周りの加振が可能である。

震動台の駆動方式は、アキュムレータ蓄圧・電気油圧制御方式である。加振機には、大流量サーボ弁（4段弁方式）を水平加振機にそれぞれ3台、鉛直加振機にそれぞれ1台、合計44台を装備している。サーボ弁1台あたりの流量能力は15,000l/minであり、水平加振機には3台装備していることから、2.0m/sの最大速度加振が可能である。加振の継続時間に関わるアキュムレータ蓄圧能力は20,000lである。実験で確認した性能としては、兵庫県南部地震での記録地震動JR鷹取波の1.3倍の加速度振幅の

3軸同時加振が可能である。この地震に特有な、構造物の破壊を招いた、長周期パルス波（周期1秒前後）の揺れを再現することができる。また、今後の実験技術の展開も見据え、付属設備として高圧油供給口を設置し、同じ能力の加振機1台を追加装備して稼動できる。E-ディフェンスの加振能力を示す加振性能限界線を図3に示す。

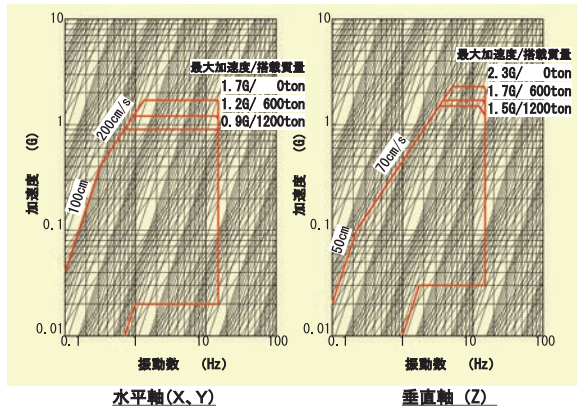


図3 加振性能限界線

4. 油圧システム等の長時間・長周期対応工事

防災科研では、2011年3月の東北地方太平洋沖地震で観測された地震波の加振を可能とするために、油圧システムの工事を2012年度に施した。工事では、蓄圧能力を2割向上するアキュムレータユニットの増設とバイパスバルブを設置し、使用する油を節減する加振機の間引き運転を可能とした（図4）。これにより、E-ディフェンスは、兵庫県南部地震の直下型地震波と東北地方太平洋沖地震で観測された海溝型地震波を再現できる震動台となった。

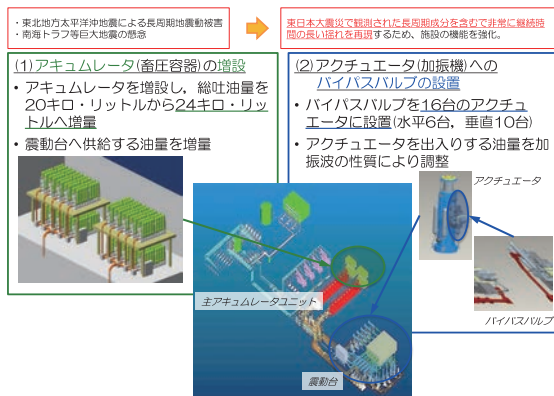


図4 長時間・長周期化工事について

5. これまでのE-ディフェンス実験について

5.1 実験課題の選定

実験・研究の課題については、E-ディフェンス

建設の計画段階である1995年度から2000年度にかけて、有識者による検討委員会で討議され、数多くの候補が挙げられた³⁾。最初に取り組むべき課題としては、RC建物、木造建物、地盤・基礎、道路橋脚、鉄骨造建物の5課題が選定され、2002年度から2006年度の5ヶ年に、大都市大震災軽減化特別プロジェクト⁴⁾で最初の3課題を実施し、「路橋脚」と「鉄骨造建物」の実験については、2005年度から2010年度の「E-ディフェンスを活用した耐震工学研究プロジェクト」で実施した。2007年度から2011年度の首都直下地震防災・減災特別プロジェクト⁵⁾では、病院と高層建物を模擬した2つの試験体を対象に、施設の機能を維持するための課題の抽出、対策の実証と地震による損傷の発生過程を調査した。

5.2 東日本大震災以降の実験

2011年度から2015年度の防災科研の第三期中期計画プロジェクトでは、「E-ディフェンスを活用した社会基盤研究プロジェクト」を推進した。2011年3月の東日本大震災では、新宿の高層ビルや大阪の高層庁舎に変位の大きい長時間の揺れが生じ、将来の海溝型地震の襲来による被害を予見させる象徴的な事象となった。このプロジェクトでは、建築構造物とライフラインについて、将来の地震に備えるための研究を進めた。

2013年9月には、RC4階の免震建物が、設計想定を上回る地震により大きく揺れて擁壁へ衝突する現象について、建物に入力する加速度と室内の衝撃による影響を含め調査する実験を実施した⁶⁾。この成果の一部は、日本建築構造技術者協会（JSCA）関西支部が設置した「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および設計法に関する研究会」により2015年3月にまとめられた設計指針に活用された。2013年2月には、体育館を模擬した実大の試験体を製作し（図5）、東日本大震災で発生した天井の脱落被害メカニズムの解明と、国の新たな基準に準拠した設置による吊り天井の性能を確

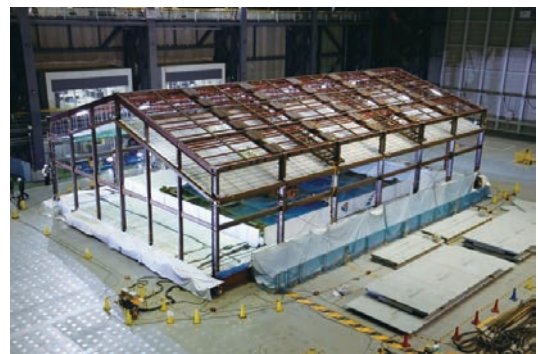


図5 体育館の天井落下検証実験

認した⁷⁾。その成果の一部は、文部科学省の学校管理者向け事例集「屋内運動場等の天井等落下防止対策事例集」に掲載され活用されている。

2015年11月と12月には、10層のRC建物の試験体を用いて、大規模地震により生じる建物骨組の大変形を抑制するため、基礎すべり技術の性能確認を実施するとともに、基礎を固定することで、現行基準による建物骨組の耐震性能を確認した（図6）。



図6 10層RC建物実験試験体

5.3 国・地方自治体との研究

国の施策に関わる実験では、国土交通省の建築基準整備促進事業における、長周期地震動に対するRC造建築物の安全性検証方法に関する検討（2012年8月）の実験への施設貸与と、長周期地震動に対する免震建築物の安全性検証方法に関する検討（2011年度から2013年度）に関わる共同実験を実施した⁸⁾。他に、3階建ての長期優良住宅の耐震性能を検証する共同実験（2009年10月）と高層の木造建築物の設計法の策定に向けた木質パネル（CLT）を用いた施設貸与実験（2015年2月）と共同実験（2016年1月）も実施している。

兵庫県とは、2006年度からE-ディフェンスを利用した共同研究を継続している。2016年3月には、ため池堤体の耐震実験を実施した。ここでは、遮水シート工法に関する耐震性能評価を行った。実験の成果は、施策への展開が検討されている。

5.4 民間の活用

施設の民間活用としては、これまで建設会社、住宅メーカー、エネルギー関連会社等に貸与しており、27課題が実施されている（2016年6月1日時点）。それらの成果は、住宅の販売等を含み社会実装に結び付いている。

6. 今後について

2016年4月から7年間となる、防災科研の新たな長期計画がスタートした。ここでは、地震被害の再現や構造物等の耐震性・対策技術を実証及び評価する実験を基軸として、地震減災技術の高度化と社会基盤の強靱化に資する研究及びシミュレーション技術を活用した耐震性評価に関する研究を推進する。引き続き、強力なフルードパワーシステムによる実大・大規模実験が続く予定である。

謝 辞

これまでのE-ディフェンス実験とそれに関わる準備研究では、関係省庁、国内外の研究機関、大学、地方自治体、民間企業の参画者と関係者、防災科学技術研究所の諸先輩方と関係各位の多大なご尽力により推進され、多くの成果が導かれた。ここに記して感謝の意を表するものである。また、施設の建設と更新計画・工事に関わられた関係各位に重ねてお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 大谷圭一，小川信行，箕輪親宏，御子柴正，田村修次，中村いずみ：実大三次元震動破壊実験施設の開発(Ⅰ)—建設計画と要素技術開発の概要—，防災科学技術研究所研究報告第58号（1998）
- 2) 防災科学技術研究所（2016）：国立研究開発法人防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターホームページ（<http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>）
- 3) 大型三次元震動実験施設の利用に関する検討報告書，科学技術庁研究開発局大型三次元震動台の利用に関する検討会（1996）
- 4) 文部科学省：大都市大震災軽減化特別プロジェクト統括成果報告書Ⅱ 震動台活用による構造物の耐震性向上（2007）
- 5) 文部科学省委託研究：首都直下地震防災・減災特別プロジェクト統括成果報告書Ⅱ 都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究（2012）
- 6) 佐藤栄児，佐々木智大，福山國夫，田原健一，梶原浩一：E-ディフェンスを用いた実大実験による免震技術の高度化その1研究プロジェクトの概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，751-752（2013）
- 7) 佐々木智大，青井淳，田川浩之，梶原浩一，荒井智一，金井貴浩，高岡昌史，岩下裕樹，吉澤睦博，壁谷澤寿海，清家剛，山田哲，福山洋，太田勤，江口亨，伊山潤，石原直，磯部大吾郎：大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のためのE-ディフェンス加振実験 報告書 一大規模空間吊り天井の脱落被害再現実験および耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験一，防災科学技術研究所研究資料，391（2015）
- 8) 平成23年度国土交通省建築基準整備促進事業：27-3 長周期地震動に対する免震建築物の安全性検証方法に関する検討調査報告（2011）

（原稿受付：2016年6月5日）

解説

深海水槽および高圧タンクによる海洋開発分野の研究開発

著者紹介



ふじ わら とも
藤 原 智

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1
E-mail: tomo@nmri.go.jp

2008年大阪府立大学大学院工学研究科修士課程修了，独立行政法人海上技術安全研究所（現国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所）入所，2016年4月より主任研究員（現職）。海洋資源開発に係る水中線状構造物の研究に従事，日本船舶海洋工学会会員，修士（工学）。



なか じま やす はる
中 島 康 晴

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1
E-mail: nakajima@nmri.go.jp

1995年東京理科大学大学院理工学研究科修士課程修了，運輸省船舶技術研究所（現国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所）入所，2013年4月より上席研究員（現職）。海底鉱物資源開発等の研究に従事，日本船舶海洋工学会，日本機械学会などの会員，博士（工学）。



おか もと あき ひろ
岡 本 章 裕

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1
E-mail: okamoto@nmri.go.jp

2014年神戸大学大学院海事科学研究科博士課程前期課程修了，独立行政法人海上技術安全研究所（現国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所）入所，自律型無人探査機の開発・運用に関する研究に従事，日本航海学会，画像電子学会の会員，修士（海事科学）。

1. はじめに

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所（以下、海空研）は，国立研究開発法人海上技術安全研究所，国立研究開発法人港湾空港技術研究所および国立研究開発法人電子航法研究所の統合により平成28年4月に発足した研究機関である（従来の3研究所の名称は統合後も部署名として引き続き使用されている）。本稿では，海空研の有する試験研究施設のうち海洋開発分野の研究開発に使用されている深海水槽および高圧タンクについて紹介する。

2. 深海水槽

2.1 施設の概要

深海水槽の概要および主要目を図1および表1に示す。深海水槽は円形水槽部と，その下部中央に接続した深海ピット部で構成されており，水面から深海ピット底面までの水深は最大で35mとなる。深海ピット内には深海ピット上面から底面まで移動可能な昇降床を備えており，試験時の水深を変えることが可能となっている。

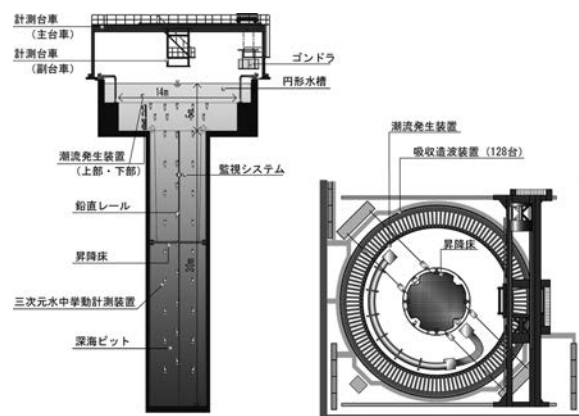


図1 深海水槽概略図

表1 深海水槽の主要目

円形水槽	直径16m×深さ5m (有効水域直径14m)
深海ピット	直径6m×深さ30m
造波装置	台数：128台 造波方式：フラップ型スネーク式 駆動方式：0.8kW ACサーボモータ ボールネジ駆動 造波板：幅0.3m×高さ2.5m 最大波高：0.5m（周期2.0s時） 周期範囲：0.5～4.0s
潮流発生装置	大型（1台）：最大0.35m/s 小型（4台）：最大0.15m/s
計測台車	主台車：X方向 副台車：Y方向（主台車上を走行） Z方向（昇降範囲3m）
三次元水中挙動計測装置	高解像度デジタルカメラ 36台（円形水槽9台，深海ピット27台）

円形水槽部の周囲には128台のフラップ型造波機で構成される吸収式造波装置を持ち、1方向規則波、多方向不規則波等の船舶および海洋構造物を対象とした水槽試験を行うに足る機能を有している。また、流れ中の実験を行うために円形水槽部には潮流発生装置を備えており、インペラと吹き出し口を蛇腹ホースで繋ぐことにより、吹き出し口が円形水槽内を移動可能な構成であるため、試験内容に合わせて水面付近の潮流や模型近傍の流れを発生させることが可能である。これに加えて大型ファンを複数台並べた送風装置を水槽辺縁部または深海水槽上部に跨るように配置された計測台車に設置することで、実海域で想定される波と流れと風を再現できる試験設備となっている。

水槽内に設置した模型や海中機器の挙動を計測するために、非接触の光学式三次元挙動計測装置を導入しており、円形水槽部と深海ピット部合わせて36台ある水中ビデオカメラによって供試体に取り付けたターゲットマーカを異なるアングルから撮影し、これを解析することで、水槽内全域にわたりターゲットの三次元挙動を計測することが可能である。

2.2 主な研究開発

深海水槽では主に石油・天然ガス生産設備をはじめとした海洋開発関連の水槽試験を行っている。加えて、従来から海底資源の一つとして知られていたがコストや技術面の問題により検討が進んでいなかった海底鉱物資源の開発についても、近年、金属資源の調達リスク回避の観点から改めて注目されているため、その開発に係る研究を実施している。これら海底資源を産出するためには海底から洋上にある生産設備まで輸送する必要がある。ライザーと呼ばれる水中管で海底から洋上の生産設備までを接続し、管内部に石油・天然ガス等の海底資源を通して海面まで輸送することとなる。鉱物資源開発であれば鉱物資源を細かく粉碎し、海水と混合したスラリーとして輸送する必要がある。

ライザーを用いた生産において、対象海域の水深は非常に重要な要素であり、大水深開発になると技術的に困難な要素が増え、コストも増大するため、開発計画を立てるに当たっては、数値シミュレーションを用いた事前検討が重要となる。しかしながら海洋構造物のうち、洋上生産設備等の浮体構造物についてはすでに豊富な研究例があり、実用的な挙動解析手法が確立されているが、ライザーを含めた水中線状構造物の挙動解析技術は十分に確立されていないのが現状である。したがって、ライザー挙動の実用的な計算法を確立し、ライザーの疲労寿命等を適切に予測することが安全性と経済性を両立した

海洋開発に必要となる。

水中線状構造物の挙動解析精度向上のために必要となるのが解析結果を検証するための実測データである。実機の挙動を計測し、解析結果と比較することが望ましいが、技術的、経済的に困難であることが多いため、模型を用いた水槽試験を行うことが一般的である。深海水槽において使用したライザー模型の一例を図2に示す。この模型は、管の外径を模擬するためのケーシング材と重量を調整するためのウェイト材およびそれをつなぐための芯材で構成されている。ケーシング材あるいは芯材に適切な材料を用いることにより、模型全体の曲げ剛性を実機と相似にしておき、この組み合わせによって鋼管から柔軟性の高いフレキシブルライザーまで対応できる模型を実現している。これら模型の製作技術の確立も重要な研究課題の一つである。

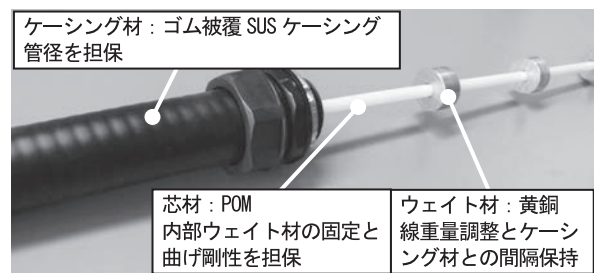


図2 ライザー模型の一例（フレキシブルライザー）

ライザー模型を用いた水槽試験の様子を図3に示す。深海水槽では模型下端部を水槽底部に固定する場合や潮流発生装置を設置するときなどの模型の設置・撤去時に、写真のように水槽内を排水することができる。また写真中央にある白く写る線がライザー模型であり、模型には3次元画像計測装置用にターゲットマーカとなる反射テープを貼っている。

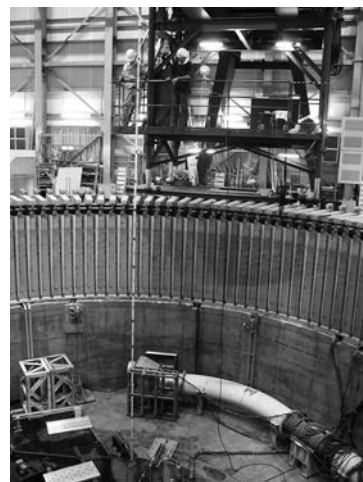


図3 水槽試験の様子（模型設置）

図4に水槽試験の結果と挙動推定シミュレーションの結果の比較の一例を示す。模型試験を通してシミュレーションコードの検証を行いその有効性が確認できても、実機と模型ではレイノルズ数が異なるためそのまま適用することはできない。そこで海空研では実機と同じ外径の流体力計測用模型を用いた計測試験を別に行っており、これで得られた流体力データベースを挙動推定シミュレーションに組み込み、実機の挙動推定を行っている。

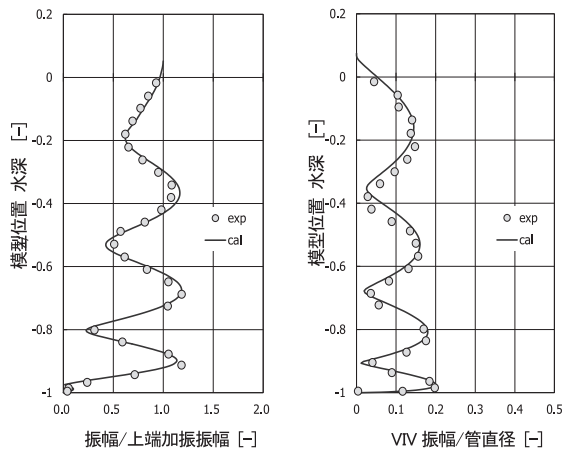


図4 水槽試験とシミュレーションの比較例
(左図：上端強制加振，右図：潮流中VIV)

3. 高圧タンク

3.1 施設の概要

高圧タンクは内径1.1m、内部深さ3.0mの圧力容器であり、内部を最大60MPa（水深6,000mの水圧に相当）まで加圧することが可能である。高圧タンクの概要および主要目を図5および表2に示す。タンク内には温度センサ、水中カメラ、水中ライトが装備されており、圧力、温度等のデータや水中カメラの映像を監視制御コンソールにて表示・記録することが可能である。監視制御コンソールの外観を図6に示す。

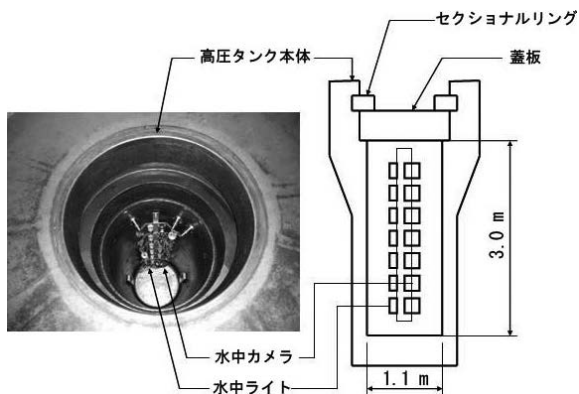


図5 高圧タンクの概要

表2 高圧タンクの主要目

内径	1.1m
内部深さ	3.0m
最高使用圧力	60MPa
水温調節範囲	2℃～常温
加圧媒体	清水，人工海水
密閉機構	セクショナルリング方式
内部監視装置	水中カメラ，水中ライト

高圧タンクには監視制御コンソールのほかに加圧装置、温度調節装置、回流装置等の装置が付属している。加圧装置は、ポンプで高圧タンクに注水することによりタンク内を加圧する装置である。加圧装置と高圧タンクをつなぐ高圧配管には空気圧で作動するアンロード弁や吐出弁が設置されている。温度調節装置は、高圧タンクに冷風を吹き付けることにより高圧タンク全体を冷却する装置である。冷却時に高圧配管が凍結することを防止するため、高圧配管にはヒートトレースが装着されている。回流装置は高圧タンク内部に水の流れを発生させる装置である。回流装置の内部には水中電動機で駆動する回流ポンプが収納されており、このポンプにより高圧タンク内の水を循環させ流れ（最大流速約60mm/s）を発生させる。



図6 監視制御コンソールの外観

3.2 主な研究開発

高圧タンクは深海用機器の耐圧試験をはじめとしてさまざまな研究・試験に利用されている。高圧タンクを使用した最近の研究事例として、海底鉱物資源開発に関する研究開発について紹介する。

我が国の周辺海域には、海底熱水鉱床やコバルトリッチクラストなどの非在来型金属鉱物資源が賦存することが知られている。特に、海底から噴出した熱水に含まれる硫化鉱物が海底に堆積した海底熱水鉱床は、銅、亜鉛、鉛等を含むことが知られており、将来的な金属鉱物資源として期待されている¹⁾。海

空研では海底熱水鉱床の調査や開発を目的とした研究開発を民間企業や大学との共同研究等により実施しており、その一環として高圧タンクを利用した実験も行っている。

たとえば、海底資源調査のための自律型水中ロボット (Autonomous Underwater Vehicle : AUV) の開発 (図7参照)²⁾では、部品の耐圧試験を実施しただけでなく、スラストモーターなどの要素技術の開発にも高圧タンクが利用されている。高圧タンクの蓋板には貫通孔が設けられており (通常は盲目フランジにより閉止されている)、レセプタクルと呼ばれる耐圧式のコネクタを取り付けることによりタンク外の電気配線とタンク内の電気配線を接続することが可能である。これにより、タンク内に設置した機器への外部からの電力供給や、内部に設置したセンサなどからの信号の取り出しが可能となる。スラストモーターの開発では、高圧タンク内に設置したスラストモーターにタンク外から電力を供給して駆動させるとともに、内部の信号をタンク外に取り出し、信号データを計測しながら高圧水中条件下でモーターの性能試験を実施した。

高圧タンクはこのほかにもさまざまな実験に利用



図7 海空研が開発したホバリング型AUV “ほばりん” の外観

されている。試験研究施設としてのポテンシャルを生かし、海洋開発の現場で必要とされる新技術の開発に資することが期待されている。

4. ま と め

本稿では、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 (海空研) の有する深海水槽および高圧タンクの概要を記すとともに、これらの施設を利用した海洋開発分野の研究開発事例を紹介した。海洋基本法や海洋基本計画にも示されているように、海底資源開発を含む海洋開発への挑戦は、我が国にとってフロンティアの1つであり、将来的な発展が期待される分野でもある。しかしながら、我が国において海洋開発に携わる技術者や研究者の人数は、欧米と比較して圧倒的に少数であり、著者らはより多くの技術者、研究者の方々にこの分野に参画していただきたいと考えている。本稿がきっかけとなって、読者諸賢が海洋開発に一層の関心を寄せていただければ幸いである。

謝 辞

本稿で紹介した研究の一部は、SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) の「次世代海洋資源調査技術」 (海のジパング計画) の一部、「AUV複数運用手法等の研究開発」 (高効率小型システム) の研究資金により実施しています。関係者各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 岡本信行：海底熱水鉱床開発の今後の展望について，海洋と生物，Vol. 32，No. 6，p. 567-571 (2010)
- 2) http://www.nmri.go.jp/sip/sip_index.html

(原稿受付：2016年6月6日)

解説

フルードパワーを活用した鉄道車両試験装置 および車両用機器開発

著者紹介



みや はら こう へい
宮原 宏平

公益財団法人鉄道総合技術研究所
〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38
E-mail: miyahara.kohei.10@rtri.or.jp

2014年上智大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年（公財）鉄道総合技術研究所に入所。現在に至る。車両運動特性評価、車両油圧空圧技術の研究に従事。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。

1. はじめに

鉄道車両開発の現場では、試験そのものにかかる大きなコストと安全上の問題を解決するため、古くから定置で車両走行状態を模擬する装置が開発されてきた。近年ではより実際に近い車両走行状態を模擬したい、あるいは地震発生時の車両挙動を再現したいといった要望から、鉄道車両や台車（鉄道車両の走行装置）を直接加振できる大型試験装置の導入が進められている。こうした大型試験装置は、加振機構に強力な油圧装置を採用することでランダムな車両動揺や地震動を再現する事が可能になっている。ここでは、鉄道総合技術研究所（以下、鉄道総研）が所有する大規模な油圧加振機構を備えた試験装置と、その活用事例について紹介する。

2. 車両試験台

2.1 車両試験台とは

鉄道車両の定置試験装置としてもっとも代表的なものは、車両の各車輪を外縁部がレール頭頂部の形をした円盤（軌条輪）の上に載せ、走行状態を模擬する「車両試験台」（図1）であろう。

車両試験台の歴史は1892年にロシアとアメリカではほぼ同時期に始まったと言われており^{1),2)}、国内では1914年に最初の車両試験台が現在の東京都品川区大井に完成した²⁾。当時からフルードパワー技術が車両試験台に活用されており、ブレーキ機構には水圧を利用していた¹⁾。

鉄道総研では前身の鉄道技術研究所時代の1959

年に初代車両試験台が完成した³⁾。その後新たな車両試験台が建造され、さまざまな改良が加えられながら現在の姿になっている（図2）。現在の車両試験台は試験最高速度500km/hであり、軌間や軸距の調整により在来線、新幹線問わずさまざまな車両の試験が可能になっている。主に高速走行安定性確認試験や本線走行を模擬した実軌道走行模擬加振試験に使用される他、ばねやダンパ装置の特性試験、横風などを想定した車体外力付与試験など活用範囲は非常に広く、研究所内でも稼働率の高い試験装置の一つである。

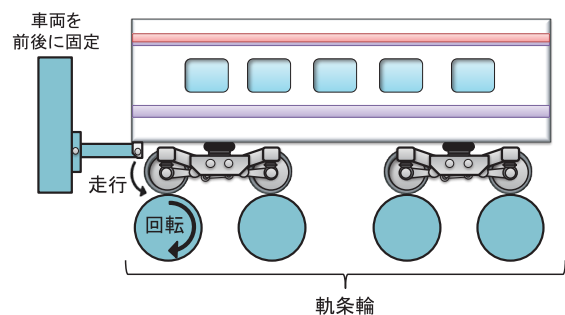


図1 車両試験台の基本構造



図2 現在の車両試験台

2.2 油圧による軌条輪変位制御と車両加振

乗り心地を悪化させる車両動揺の主要因の一つに、「軌道不整」と呼ばれるレールの歪みがある。走行状態を模擬する車両試験台にとって、こうした軌道不整を再現する事は車両の乗り心地などを評価する上で非常に重要である。車両試験台では油圧機構に

よって軌条輪を上下・左右・ロール方向に変位制御することで、軌道不整を模擬することが可能になっている（図3）。実際のレールと軌条輪の違いに起因した制限はあるものの、さまざまな走行条件を模擬した試験が行われている。

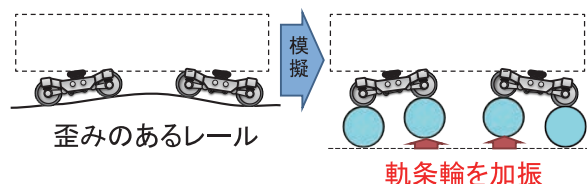


図3 車両の加振

走行条件模擬に加え、正弦波やステップ加振など同一波形の加振を繰り返し行うことで、車両に搭載されたダンパなど制振装置の周波数特性などを測る試験もよく行われる。乗客の乗り心地や酔いには、特定の周波数の振動が影響する傾向にある。そうした周波数の振動を抑えるような制振装置の開発にも、車両試験台は大きく役立っている。

豪華観光列車に代表されるように、最近では移動手段としてだけでなく「乗る」こと自体が目的となるような車両のニーズが高まっている。そうした車両に要求される高い乗り心地性能を実現していくためにも、車両試験台は鉄道車両開発において大きな役割を担っている。

3. 大型振動試験装置

3.1 大型振動試験装置とは⁴⁾

大型振動試験装置（図4）は地震動の再現を目的とし、振動テーブル上に大型供試体を載せて振動させる装置である。

振動テーブル寸法 7 m × 5 m、最大積載重量 50 t で x 軸方向には最大変位 ±100 cm、最大加速度 1,000 gal (10m/s^2)、y 軸方向には最大変位 ±25 cm、最大加速度 2,000 gal (20m/s^2) で加振が可能であり、加振周波数は 0.1 ～ 20 Hz である。この能力は構造物模型や鉄道車両台車を載せて震度 7 クラスの地震動を模擬することを想定している。

地震動を模擬する加振は油圧サーボ制御方式で行われており、正弦波もしくは任意の地震波を模擬することが可能である。油圧源装置は建屋の地下 1 階に設置され、油圧ポンプユニット、アキュムレータユニットなどで構成されている。また当研究所は住宅密集地に立地しており、周辺住宅の地盤振動を防止するため、52 機の空気ばねで構成される免震支承によるフローティング基礎を採用している。

大型振動試験装置が設置された背景には、1995

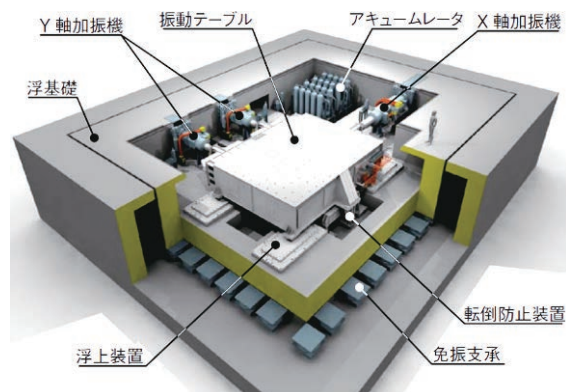


図4 大型振動試験装置

年兵庫県南部地震における鉄道構造物の甚大な被害や2004年新潟県中越地震による営業列車としては初の新幹線脱線事故を受けて、構造物・軌道・車両すべてにおいて地震時挙動の解明と対策が急務になったことがある。装置建造後も大地震による鉄道被害は度々発生しており、鉄道における地震対策研究の重要性は高まっている。

3.2 地震対策ダンパの開発⁵⁾

こうした地震動模擬を活用して開発されたのが、地震時にのみ大きな減衰力を発生して脱線を防止する地震時脱線対策左右動ダンパ（以下、地震対策ダンパ）である（図5）。地震対策ダンパは、高速走行中の高い安全性が求められる新幹線車両を対象とし、①地震時の脱線防止効果を持ちつつ平常時の乗り心地を損ねないこと、②実装に際して車両に大幅な構造変更が生じないことの2点を満たすように設計された。油圧回路は作動油の移動が抑制可能なバイフロー型となっている他、ピストン速度が高速となった場合でも安定して減衰力が発生するようダンパ形状に工夫が施されている。

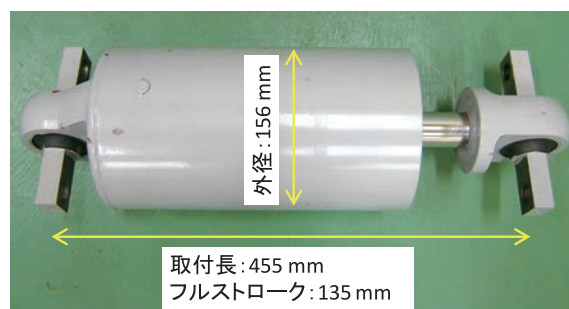


図5 地震対策ダンパ

地震対策ダンパの地震時性能確認試験を行うため、大型振動試験装置上に実物の軌道と新幹線台車および車体を模擬した荷重枠から構成される供試体（図6）を配置し、まくらぎ方向に加振した。加振試験は正弦波および地震波によって行われたが、ここで

は地震波加振時の結果のみを紹介する。

車輪が軌道から完全に離れた状態を「脱線」とみなすこととし、軌道に貼ったひずみゲージから車輪・レール間に作用する上下方向の力（輪重）を測定し、輪重がゼロになった瞬間を脱線状態と判断した。

地震波は新潟県中越地震で新幹線車両が脱線した高架橋上での揺れを推定した推定地震動⁶⁾を基にしている。加振振幅の倍率を段階的に大きくしながら試験を行い、現行ダンパ装備時と地震対策ダンパ装備時について輪重がゼロとなる加振条件を調査した。

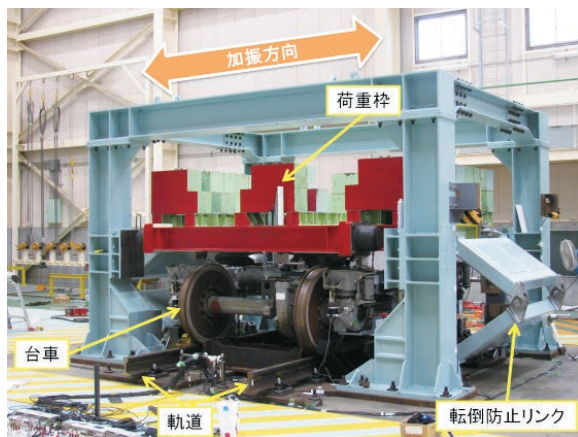


図6 試験実施状況

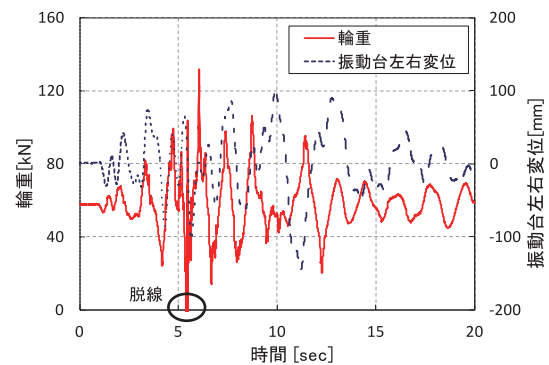
試験の結果、脱線に至る加振振幅の倍率は現行の左右動ダンパが60%であることに對し、地震対策ダンパでは65%であることが確認され、その適用効果が確認された（図7）。

4. おわりに

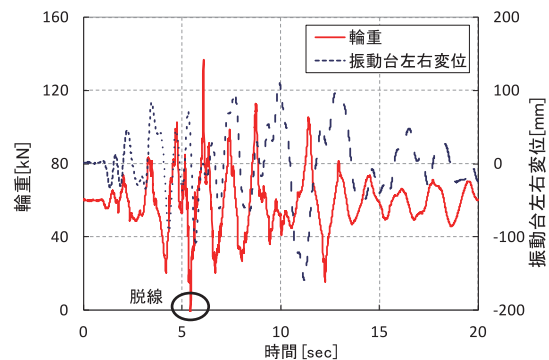
本稿では、油圧加振機構を備えた車両試験台と大型振動試験装置、および新幹線車両用油圧式地震対策ダンパの開発について紹介した。

元来、鉄道とフルードパワーの結びつきは非常に強い。多くの鉄道車両には空気タンクとコンプレッサーが搭載されており、昔からさまざまな制御が空気圧によって行われてきた。また、鉄道総研の初代車両試験台は軌条輪の偏心によって一定の上下方向加振のみが可能³⁾であったが、油圧制御技術の発達によって現在の多様な加振が可能となっている。このように鉄道技術開発の進歩にはフルードパワー技術の発達が大きく寄与してきた。

日本は人口減少時代に突入し、鉄道技術開発にお



(a) 現行ダンパ装備 加振倍率60%



(b) 地震対策ダンパ装備 加振倍率65%

図7 地震波加振試験結果（輪重ゼロ観測時）

いても省力化・省メンテナンス化が大いに叫ばれている。大規模な走行試験を行うことなく、高出力な流体機器を活用して車両特性を評価するような手法・装置は今後ますます必要になると予想される。鉄道総研では鉄道そのものに適用される技術開発と併せて試験手法などの基礎研究にも注力し、鉄道の発展と豊かな社会の実現に貢献していく。

参考文献

- 1) 横堀進：車両試験台を語る，鉄道ピクトリアル，Vol. 2, No. 5, pp. 25-28 (1952)
- 2) 小野田滋：鉄道総研の技術遺産—File No. 3 車両試験台物語，RRR，Vol. 69, No. 6, p. 34-35 (2012)
- 3) 佐々木君章：車両試験台の軌跡と展望，RRR，Vol. 72, No. 11, p. 4-7 (2015)
- 4) 館山勝：トピックスー大型振動試験装置，RRR，Vol. 65, No. 11, p. 47 (2008)
- 5) 鈴木貢，飯田浩平，遠竹隆行，中嶋大智，宮本岳史：地震による車両の揺れを抑えて脱線を防ぐ，RRR，Vol. 70, No. 3, p. 28-31 (2013)
- 6) 新潟県中越地震新幹線脱線シミュレーション解析，鉄道総研報告，特別第52号 (2008)

(原稿受付：2016年6月3日)

解説

超高压下の物質合成技術

著者紹介



たに ぐち たかし
谷 口 尚

物質材料研究機構
〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1
E-mail: taniguchi.takashi@nims.go.jp

1987年東京工業大学大学院総合理工学研究科材料科学専攻博士後期課程修了（工学博士）。同大学助手を経て、1989年科学技術庁無機材質研究所入所、現在に至る（2001年物質・材料研究機構に改組）。超高压力下の物質・材料合成研究に従事、日本高压力学会などの会員。

1. はじめに

油圧駆動により大型プレス进行操作し、超硬合金製金型に囲まれた試料空間に数万気圧以上の超高压力を発現することができる。この空間内部に黒鉛製の発熱体を配置し、圧力をかけた状態で通電することにより2,000℃を越える高温を発生することが可能であり、新物質・材料開発の土俵として過去に多様な研究がなされてきた。本報では、材料合成用大型プレスとしてベルト型高压発生装置による物質探索、材料合成研究を紹介する。

2. ベルト型高压発生装置

図1に筆者らが用いているベルト型高压装置の概略図を示す。上下に配置した対抗型のアンビルで円筒形状のシリンダー内の試料を上へ方向に加圧する構成となっている¹⁻³⁾。ベルト型高压装置のコンセプトは発明者のT. Hallが米、GE社に在籍時に考案し、これにより人工ダイヤモンド合成の先駆的な研究が進められてきた。通常のペレット成形などで馴染みのあるピストンシリンダー型の金型は、高压発生部材（超硬合金：タングステンカーバイド）の破壊により2 GPa以上の圧力発生は困難である（1 GPa = 1 万気圧）。Hallは図に示すようにアンビルとシリンダーの形状に曲率を持たせて対向させることにより、6 GPa以上でも加圧下でアンビル表面に作用する荷重を分散させることでアンビルの破壊の回避に成功した。また、シリンダーコアは大型のシ

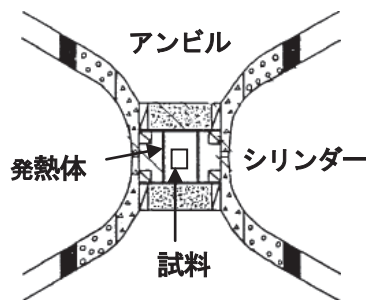


図1 ベルト型高压装置（上）と試料構成断面図（下）

リンダーケース内に加圧充填されることでシリンダー内部に予加圧状態を実現し、試料加圧時の引っ張り応力に耐えて、やはり6 GPa以上の高压合成環境の確保を達成している。試料を内包した円筒状の黒鉛ヒーターを充填した試料セルは、シリンダー内部でパイロフィライト等の圧力伝達物質（固体ガスケット）に囲まれ、試料中心部に発生する超高压力はガスケット内をその末端部まで緩やかに緩和される。この際の発生圧力を一定に保持する上では、高压プレスの駆動油圧の精密な制御が重要であり、PID制御により長時間の精密制御がなされている。また、試料は図1（下）に示す発熱体（円筒形状黒鉛ヒーター）に通電することで加熱することができる。熱電対を試料内に挿入して投入電力と発生温度の関係を把握した上で、実際の高压合成実験では電力の制御により温度制御を行っている。なお、10 GPaを越えた圧力領域では、通常の黒鉛ヒーターがダイヤモンドに転換してしまうため、TiC-ダイヤ

モンド複合焼結体等を用いた加熱手法の開発も進められている⁴⁾。圧力の測定は、あらかじめ高压下での相転移挙動が既知の物質を試料内に設置し加压に伴う相転移を検出することにより、油圧と発生圧力の関係を得る。通常、ビスマス (Bi)、タリウム (Tl)、バリウム (Ba) の薄膜を試料中に配し、2端子法により電気抵抗を測定し、それぞれの半金属—金属転移による大きな電気抵抗変化を検知する (Bi : 2.5GPa, Tl : 3.75GPa, Ba : 5.5GPa)。

後述するダイヤモンド単結晶の成長などでは100時間を越す高压高温実験が行われるが、実験の再現性を確保する上で、高压部材 (ガスケット、圧力伝達部材) の寸法精度の精密な管理が重要となる。

3. 物質に及ぼす圧力の効果

3.1 ダイヤモンド合成

物質合成の研究に着目すれば、圧力は温度、組成と共に最も基本的なパラメーターである。物質を構成している原子の原子間距離は圧力によって変化し、物質の諸性質、化学反応性、生体応答・反応性はその影響を受ける。結晶の安定性は圧力と温度に支配され、同一の結晶組成においても、その熱力学的な安定性により圧力・温度環境に応じた多様な形態をとる。我々の立つ、地球表面からその内部に向けて、その環境は高压力、高温状態に変化し、地球中心部分ではおよそ360万気圧、6,000℃程度と推定されている。

宝石として有名なダイヤモンドは炭素の高压多形の種類であり、地表から100～200km程度の高压環境において生成したと推定されている。

図2に炭素の多形となる黒鉛とダイヤモンドの圧力—温度相図を示す。一気圧下では黒鉛が安定相であるが、例えば5GPa (1GPa=1万気圧)、1,400℃領域ではダイヤモンドの方が熱力学的に安定とな

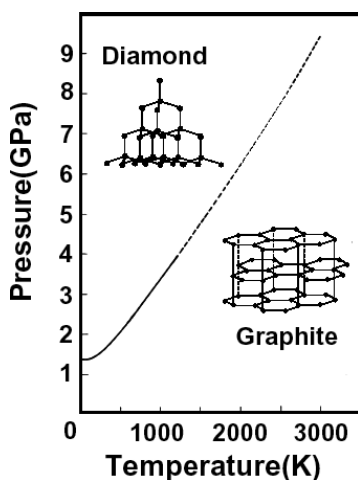


図2 炭素の圧力-温度相図

る。天然ダイヤモンドの場合、原料となる炭素は炭化物や有機物の分解など諸説あるが、そのダイヤモンドへの転換過程においては高压・高温反応環境下に存在するであろうC-H-O流体が重要な役割を果たしつつ、原料炭素が長い年月をかけて、高密度の安定相であるダイヤモンドに転換する等の考察が実験結果をもとになされている⁵⁾。このような天然の高压、高温環境を実験室で再現することが高压合成研究の出発点と言えよう。すなわち、油圧駆動による高压プレスの精密な制御により所望の物質の高密度相、高压相の合成を、制御された環境下で人工的に進めることができる。

1950年代後半に米国GE社により、黒鉛がニッケル等をはじめとする遷移金属溶媒に高压、高温下 (図2で示すダイヤモンド安定領域) で溶解し、ダイヤモンドとして再結晶することが報告された⁶⁾。以来、世界各国で大量のダイヤモンドが工業生産され、多様な形態で超硬質材料として活用されている。工業用に用いられているダイヤモンドは、宝石を含むダイヤモンドの全生産量の98%を占め、その中の9割近くは高压高温下で合成された人工ダイヤモンドであり、その年間生産総量は約20億カラット (40トン) にもなる。ダイヤモンド粒子 (粉末) は黒鉛原料とニッケル等の溶媒を短時間反応させることで得られるが、長時間保持することで種子結晶上への結晶成長で数mm～数cm角のダイヤモンド単結晶の合成が可能である⁷⁾。図3に高压下温度差法で得られたダイヤモンド単結晶の例を示す。

この結晶は原料として同位体濃縮した¹²C炭素を原料としており、窒素及びホウ素不純物100ppb以下、¹²C炭素同位体濃度99.995%の高純度結晶である⁸⁾。

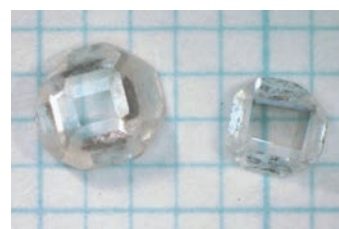


図3 同位体制御した高純度ダイヤモンド

通常、高压合成ダイヤモンドは黄色を呈しており、この着色は窒素不純物による影響であることが知られている。この単結晶育成プロセスにおいて溶媒中に窒素ゲッターとなるアルミニウムやチタンを添加することにより、窒素不純物を除去した高純度ダイヤモンドの合成が可能である⁷⁾。

3.2 立方晶窒化ホウ素

ホウ素と窒素からなる窒化ホウ素 (BN) はIII-V化合物として、周期律表のIV族最上段でダイヤモンドを構成する炭素原子の両隣に位置し、炭素と同様の振る舞いを呈する。すなわち、黒鉛と類似の構造を有する六方晶窒化ホウ素 (hBN) は高密度相としてダイヤモンドと同構造の立方晶窒化ホウ素 (cBN) に転換する。このcBNはやはりGE社のR. Wentorf, Jrにより初めて合成された天然に産しない物質である⁹⁾。ダイヤモンドは常圧、高温下で鉄系金属と反応し、黒鉛に転換するためにその加工に適さない。他方、cBNの硬さはダイヤモンドの半分程度であるが、鉄系金属に対してダイヤモンドよりも安定である。このため、cBNはこれまでに鉄系金属材料の切削加工などの機械加工分野において重要な役割を果たしており、近年その需要は急増している。

超硬質材料の重要な用途は、炭化タングステン (WC) や炭化珪素 (SiC) などの硬質材料で加工が困難な難削材の研削・切削であり、最近はcBN焼結体をベースとした切削工具の需要が増大している。工業的に量産されているcBN工具は、cBN粒子を助剤と共に高圧焼結した複合焼結体である。近年では加工対象となる鋼材の硬度の増加や、機械加工効率の増大が求められるのに応じて、cBN焼結体工具の性能向上は重要な研究課題となっている。優れた切削性能を有する加工工具の開発は、砥粒による研削工程を高効率の切削工程に置き換える上で重要である。このような切削プロセスにおける技術革新は、大量の砥粒や潤滑油の廃棄を伴う研削工程が内包する環境負荷を低減する上でも大きな意義がある。

cBN焼結体工具の特性は構成元素であるcBNと焼結助剤の割合やその結合様式に依存するが、当然のことながら、焼結助剤を全く含まないcBN焼結体の特性が最も優れている。図4に示すような焼結助剤を含まない高純度焼結体は透光性を呈し、粒成長を制御した条件で得られた高純度焼結体は通常の複合焼結体と比較して30%程度硬度に優れ、切削性能も優れた特性を示している¹⁰⁾¹¹⁾。

工業的には、cBNの合成溶媒は、通常アルカリ金属あるいはアルカリ土類金属系元素のホウ窒化物が用いられている。その合成プロセスはダイヤモンドの場合と同様に、基本的には溶媒となるアルカリ金



図4 高純度cBN焼結体

属ホウ窒化物に原料のhBNが溶解し、cBNとして晶出するものとして理解されている。高圧下温度差法により得られたcBN単結晶で現在得られている最大径のもので辺長約3mm程度迄である¹²⁾。また、結晶の色は典型的には琥珀色に着色しており、これは炭素、あるいは酸素不純物による影響と考えられる。

高純度のcBN単結晶を得るためには、育成溶媒中に強い還元作用、脱炭素効果をもたらす物質の探索が課題となっていたが、試行錯誤の末、溶媒としてホウ窒化バリウムを使用した際にほぼ無色のcBN単結晶が育成できることが見出された¹³⁾。

本報ではいわゆるフルードパワーの応用例として油圧駆動による高圧発生とこれを用いた材料合成を紹介しているが、実はその合成においても、高温・高圧下における試料と反応性溶媒の反応制御が極めて重要である。良質溶媒の超臨界状態 (流体) の精密な制御は良質単結晶成長に欠かせない研究対象であり、反応状態を直接観察することができない高圧合成実験においては試行錯誤によりその最適化への取り組みがなされている。

窒化ホウ素の本来の特性を引き出す上では、酸素・炭素不純物の除外が必要である。この高純度cBN結晶合成への取り組みの過程で、思わぬ副産物が得られた。

高圧下、温度差法で良質のcBN単結晶を得る際、hBN/cBN相境界近傍でcBNの多核発生を抑える必要がある。この際、長時間の育成において低密度相のhBNも再結晶化する。反応性のバリウム系溶媒が高純度cBNの結晶成長に有用であるが、この際同時に再結晶化したhBN単結晶も無色で透明度が高い。このhBN単結晶の光学的特性を評価したところ、電子線照射下で高輝度の深紫外線発光が観測された (波長 (215nm))¹⁴⁾。化学的・熱的安定性に優れ、紫外線レーザー照射にも高い耐性を持つhBNは、原理的に遠紫外線発光デバイス材料として高いポテンシャルを持つ物質であることが見いだされたことになる¹⁵⁾。また、このhBNは黒鉛と同様に2次元の層状物質であり、近年グラフェンをはじめとする2次元電子系材料の特性制御において、基板材料、絶縁材料として欠かせない材料としての応用研究が進められている¹⁶⁾。

hBNは、古くから絶縁体や耐熱材料として広く応用されている物質であるが、種々の評価に適する良質単結晶が得られた例はなく、とりわけバンド端近傍の電子励起状態等に着目した研究はなされていなかった。高純度hBNの合成法が高反応性のバリウム系溶媒を用いた高圧合成法により見出されたことになる。

4. おわりに

油圧駆動により大型高压装置を用いた物質、材料合成研究の例としてダイヤモンド単結晶とcBN及びhBNの高純度結晶合成を紹介した。高压合成において重要なのは安定した圧力、温度の発生であることは言うまでもないが、そのための新たな試みは現在も多方面で進められている。本報と異なる高压発生装置として地球科学分野において我が国で発展した川井型高压装置の大型化による材料合成（高品位ダイヤモンド多結晶）や放射光と組み合わせた高压、高温下におけるX線や中性子線によるその場観察実験など、本邦において多くの研究機関で活発な研究開発がなされている。

本報で紹介したベルト型高压装置においては、筆者らは現在2-4万気圧領域における高温発生（現在の目標は3,500℃以上の安定な長時間制御）、さらに15万気圧以上の圧力領域での2,000℃以上の高压、高温発生を目標として掲げている。

物質・材料合成のための発生温度、圧力領域を拓げることは、とりもなおさず合成研究の自由度を拓げ、ここで紹介したダイヤモンドやcBNに限らず多様な機能材料の開発に寄与することが期待される。現在も新物性の探索・理解や高機能化のための基礎研究が進められている本手法であるが、ひとたび高压合成により得られた物質で興味深い特性が見いだされれば、薄膜合成など多様な合成手段への波及などのブレイクスルーが期待できる。引き続き実用材

料開発に寄与するための装置開発研究が重要である。

参考文献

- 1) 福長脩, *New Diamond*, 79, 8 (2005) .
- 2) 山岡信夫, 他 圧力技術, 30, 15, (1992).
- 3) 赤石實, 菅家康, 谷口尚, 高压力の科学と技術, 13, 358, (2003).
- 4) T. Taniguchi, M. Akaishi, Y. Kanke, S. Yamaoka, *Rev. Sci. Instrum.*, 75, 1959 (2004).
- 5) 赤石實, 高压力の科学と技術 13, 36 (2003).
- 6) F.P. Bundy, H.T. Hall, H.M. Strong, R.H. Wentorf Jr., *Nature* 176 51 (1955).
- 7) H. Sumiya, S. Sato, *Diamond Relate. Mater.*, 5, 1359 (1996).
- 8) T. Teraji, T. Taniguchi, S. Koizumi, Y. Koide, Junichi Isoya, *Appl. Phys. Express* 6, 055601-1 (2013)
- 9) R.H. Wentorf, Jr., *J. Chem. Phys.* 36, 1990 (1962).
- 10) M. Akaishi, T. Sato, M. Ishii, T. Taniguchi, and S. Yamaoka, *J. Mater. Sci., Lett.*, 12, 1883 (1993).
- 11) T. Taniguchi, M. Akaishi, S. Yamaoka, *J. Am. Ceram. Soc.*, 79, 547, (1996).
- 12) T. Taniguchi, S. Yamaoka, *J. Cryst. Growth*, 222, 549 (2001).
- 13) T. Taniguchi, K. Watanabe, *J. Crystal. Growth*, 303, 525 (2007)
- 14) K. Watanabe, T. Taniguchi, H. Kanda, *Nature Materials*, 3, 404 (2004).
- 15) K. Watanabe, T. Taniguchi, T. Niiyama, K. Miya, M. Taniguchi, *Nat. Photonics*, 3 591-594 (2009).
- 16) C.R. Dean, A.F. Young, I. Meric, C. -Lee, L. Wang, S. Sorgenfrei, K. Watanabe, T. Taniguchi, P. Kim, K.L. Shepard, J. Hone, *Nat. Nanotech.*, 5, 722 (2010).

(原稿受付：2016年7月4日)

解説

圧縮空気を利用した地震探査

著者紹介



いとう まこと
伊藤 誠

日本海洋事業株式会社
〒238-0004 神奈川県横浜須賀町小川町14-1
E-mail: itom@nme.co.jp

1997年湘南工科大学電気工学研究科博士前期課程修了，日本海洋事業㈱入社，現在に至る。マルチチャンネル反射法地震探査の運用管理，海底地震計の開発に従事。

1. はじめに

日本列島周辺には複数のプレートが存在しており，そのプレートの収束変動により地震や火山が発生している。国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）では海溝型巨大地震発生メカニズムを解明するとともに，地震津波災害の軽減に貢献するため，地震学的構造探査を実施している。

構造探査では海底ケーブルによる地震・津波観測監視システムや，自己浮上型海底地震計などが用いられるが，主力となるのはマルチチャンネル反射法地震探査（MCS）である。

2. MCS観測装置

MCSは，圧縮空気を用いたエアガンにより海中で人工的に音波を発生させ，地層境界面で返ってきた反射波を調査船から曳航したケーブルに内蔵した受信機でとらえて，地下の地質構造を調査する調査方法である（図1．MCSイメージ図）。

MCSは元来，石油などの資源探査用に発達してきた技術で，海底下の浅い部分（数km）をターゲットとしてきた。地震学的構造探査では容量の大きなエアガンを用いて低周波を発生させ，より深い（数十km）領域までの探査を行う。

MCSシステムは主に，人工震源として音波を発生するエアガン，反射波を受信するストリーマケーブル，エアガンやストリーマケーブルの位置を計算して発振/収録のタイミングを制御する測位制御装置から構成される。海底深部を調査するには，

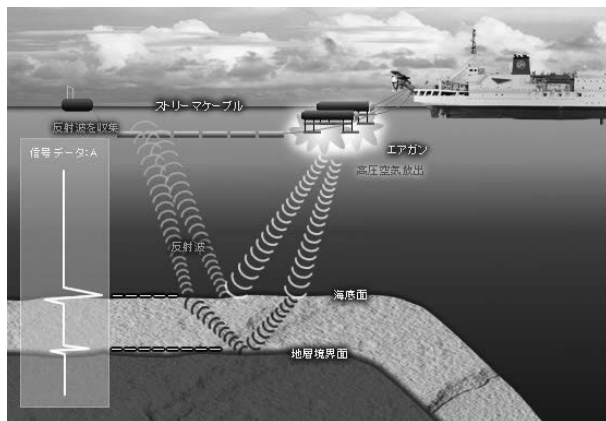


図1 MCS反射法地震探査のイメージ図
圧縮空気を用いたエアガンが発生した音波が海底下で反射し，ストリーマケーブルで受信する。

より大きなエアガンが必要となり，大容量の船舶固定コンプレッサが求められる。一方，船舶の制限なく機動的に観測可能な小規模観測用として，20ft船用コンテナにパッケージングされた空冷式コンプレッサも用いられる。

JAMSTECでは3種類のMCSシステムと，より小規模で各種観測装置と同時運用が可能な，浅海向けのSCS（シングルチャンネル反射法地震探査）システムを運用している（表1，表2）。

2.1 海底広域研究船「かいめい」MCS

2016年度より運航が始まった「かいめい」は，海底資源の分布など海底の広域調査を行うと共に，総合的科学調査が可能な最新鋭の研究船である。全長12kmのストリーマケーブルを要し，12km×1本，3km×4本，300m×20本の3モードを観測対象によって使い分ける。国内最大のエアガン容量（174L）を誇り，54（m³/min）のコンプレッサを3台搭載する。

2.2 深海調査研究船「かいてい」MCS

1997年度に就航して以来，MCS観測の主力を担ってきた。幾度かのシステム更新を経て，2008年度に全長6kmのストリーマケーブル，総容量128Lのチューンドアレイエアガンを有する現行システムとなった。観測総延長は4万8千kmで，地球の円周を超えている。

表1 MCS/SCS各システムの比較

	エアガン総容量 (リットル) (最大)	エアガン数	ケーブル 総延長 (m)	チャンネル 数/間隔 (m)	ケーブル 曳航数 (本)	搭載船舶
「かいめい」	174	44	12,000	3,840/3.125	4	
「かいいい」	128	32	6,000	444/12.5	1	
可搬式MCS	9	4	1,200	192/6.25	1	「かいめい」 「かいいい」 「よこすか」 「みらい」 「新青丸」 に搭載可能
SCS	12	2	65	1/—	1	

表2 MCS/SCS各システム用のコンプレッサ比較

	メーカー / 形式	容量 (FA) (m ³ /min)	基数	吐出圧力 (MPa)	圧縮 段数	所用動力 (kW)	外寸 (mm) / 1 基	備考	外観
「かいめい」	NEA社 (ドイツ) SAPS 54E	54	3	14.7MPa	4	1,100	L 7,000 W2,480 H2,230	船体固定 水冷	
「かいいい」	LMF社 (ドイツ) 4/150-E60	24	3	14.7MPa	3	365	L 1,500 W2,450 H2,200	船体固定 水冷	
可搬式 MCS	NCA社 (カナダ) 5-138 DSE	5	2	14.7MPa	4	64	L 2,870 W2,210 H2,235	20ftコンテナ 空冷	
SCS	サービスエンジニ アリング社 (日) 4 S30A-150K	1	2	14.6MPa	4	22	L 2,900 W2,100 H 1,000	20ftコンテナ 空冷	

2.3 可搬式MCS

2011年度から運用を開始した、船舶に依存しないMCSシステムである。東北地方太平洋沖地震に震源域周辺で測線数146本におよぶ高分解能イメージングを行い、地球深部探査船「ちきゅう」による緊急掘削候補点選定などに貢献した。

空冷式コンプレッサ2台が20ft船用コンテナに組み込まれ、440V、400A（1台のみ運転の場合、240A）の給電で運転が可能。システム全体で20ft船用コンテナ5本程度の搭載スペースがあれば運用が可能なMCSシステムである。

3. 観測記録

観測データはエアガンの発振毎に収録され、各種演算やフィルタ処理を経て海底下の断面図が作成さ

れる。「かいいい」MCSシステムで得られた観測記録の例を紹介する。

MCSは新技術の開発に伴い、システムの更新を繰り返しながら運用している。図2はほぼ同じ測線において新旧両方の「かいいい」MCSで観測された記録である。旧システムは1999年に更新され、エアガン8本で総容量197Lの大容量エアガンアレイおよびチャンネル数156、全長4kmのストリーマークケーブルで構成されていた。高精度化を図って2008年に更新されたのが新システムで、1.6～9.8Lまでの容量が異なるエアガン32本を組み合わせた総容量128Lのチューンドエアガンアレイ、チャンネル数444、全長6kmのストリーマークケーブルで構成されている。各々の観測記録を比べてみると、旧システムによる記録は大容量エアガンの特性として

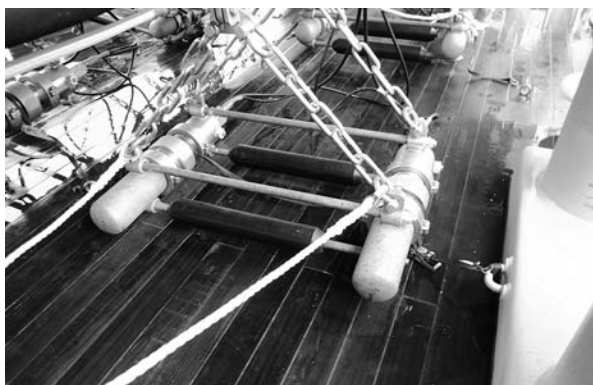


写真1 上:「かいめい」エアガン水深5～10mで曳航する
中:「かいめい」ストリーマーケーブル3,000m×
4本
下:可搬式MCSオペレーション用コンテナ内部

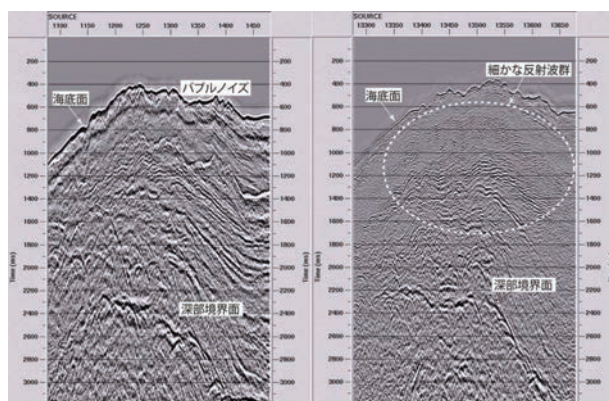


図2 地震探査システムの観測記録の例. 三浦2009を一部修正.
旧MCSシステムのデータ (左) と新MCSシステムのデータ (右)

データが低周波領域に限定され、構造の概要はつかめるものの浅部詳細構造は確認できない。一方、更新後の新システムによる記録は、チューンドアレイによってデータ領域が低周波から高周波まで拡大され、浅部微細構造が明瞭に確認できるほか、深部境界面もシャープにイメージされている。

4. 今後の展開

最新鋭の「かいめい」MCSシステムは大容量チューンドアレイエアガンと高分解能/長大ストリーマーケーブルにより、詳細構造と深部構造取得の両立を目指している。これにより、巨大地震発生メカニズムの解明や減災への貢献、さらに海底資源の分布調査などの資源開発分野でも活躍が期待される。

現在はシステム導入直後の初期不具合対応を進めており、安定運用に向けて全力で取り組んでいる。

参考文献

- 1) 三浦誠一: JAMSTECにおける地殻構造探査システムの変遷. JAMSTEC Report R&D, Special issue, p. 81-87 (2009)
- 2) <http://www.jamstec.go.jp/>
- 3) <http://www.nmeweb.jp/>

(原稿受付: 2016年6月10日)

解説

大規模波動地盤総合水路（大津波水路） による沿岸防災研究

著者紹介



すず き こうじろう
鈴木 高二朗

港湾空港技術研究所耐波研究グループ長
〒239-0826 神奈川県横浜須賀市長瀬3-1-1
E-mail: suzuki_k@pari.go.jp

1994年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了、港湾技術研究所 耐波研究室研究官、2012年横浜港湾空港技術調査事務所長、現在に至る。海岸工学、環境水理学の研究に従事。土木学会、日本海洋学会、海洋調査技術学会、博士（環境学）。

1. はじめに

港湾海岸構造物の設計では防波堤に作用する波の力（波力）や護岸・海岸堤防を波が乗り越える量（越波量）を試算する必要がある。そのため、これらの現象を明らかにするため古くから水理模型実験が行われ、波力公式や越波量算定手法が構築されてきた。

このような波を対象とする実験では断面2次元造波水路が主に使われてきた。断面2次元造波水路とは長い水路の片側端部に波を発生させる装置（造波器）を設置して波を発生させる水路のことである。

実験は相似則を満足させるために従来からできる限り大型の水路が用いられてきた。このうち本稿で述べる大規模波動地盤総合水路（Large Hydro Geo Flume, 以下、LHGF）は、構造物周辺の砂地盤の洗掘現象など実規模実験でなければ再現できないと考えられていた現象を再現するために2000年に築造された超巨大水路である。東日本大震災による防波堤の被災原因の解明など、これまでに数多くの実験が行われてきた。ここでは、この水路の概要と実験について述べる。

2. 大規模波動地盤総合水路（大津波水路）の概要

2.1 相似則と大規模水路の必要性

波を外力とする水理模型実験では一般に粘性力に比べて重力が卓越するため、重力と慣性力を相似させるフルード則にしたがって実験を実施する。しかし、以下のような現象はフルード則で再現できない

ため、よりスケールの大きい実験をする必要があり、大規模水路が整備されてきた。①消波ブロックの安定性実験など、粘性力が問題となる現象。②越波現象など波が小さな水塊に分離する現象。③波が砕けて空気を巻き込みながら構造物に作用する衝撃砕波力。④洗掘のような砂地盤を対象とする現象である。

2.2 大規模水路の歴史

大型の断面2次元造波水路としては1956年に運輸省港湾技術研究所に築造された105m水路（長さ105m、幅3m、深さ2.5m、最大波高0.8m）や1978年に築造された電力中央研究所の大型造波水路（長さ205m、幅3.4m、深さ6m、最大波高2m）が挙げられる。これらの実験施設を用いることで数多くの設計公式が構築され、また、さまざまな港湾海岸構造物の被災原因が明らかにされてきた。

1970年代頃までは、前述した105m水路のほか、世界的にはオレゴン州立大学の大型水路などが代表的な水路だったが、1986年にドイツのブラウンシュバイク大学に超大型水路GWK（長さ310m、幅5m、深さ7m、最大波高2m）が完成した。

そして、2000年になりGWKを上回る波高3.5mの風波を起こすことが可能な超大型水路、LHGFが建設された¹⁾。LHGFの特徴の一つは14mにも及ぶ造波板のストロークであり、一気に14m動かすことで波高2.5mという実規模の津波を発生させることができ、現在では“大津波水路”とも呼ばれている。ここでは、風によって引き起こされる波を風波、地震によって引き起こされる波を津波と呼ぶ。風波と津波は周期が異なり、現地の風波の周期は通常3～20秒、津波は数分～数時間である。

インド洋大津波、東日本大震災以降の津波に関するLHGFでの実験は世界的に大きく注目され、大型水路での実験の必要性が改めて認識された。そして2014年に中国のLHF、2015年にはオランダのDelta Flume（長さ300m、幅5m、深さ9.5m）とよばれる超大型水路が相次いで建設された。

LHGFの水路の長さはこれらの新水路よりも短いものの、造波器のストローク14mはDelta Flumeの最大ストローク7mと比較しても圧倒的に大きく、現在でも世界最大の造波水路である。

2.3 LHGFの特徴

LHGFは長さ184m、幅3.5m、深さ12mの造波水路であり（図1）、4台の電動モーターによって造

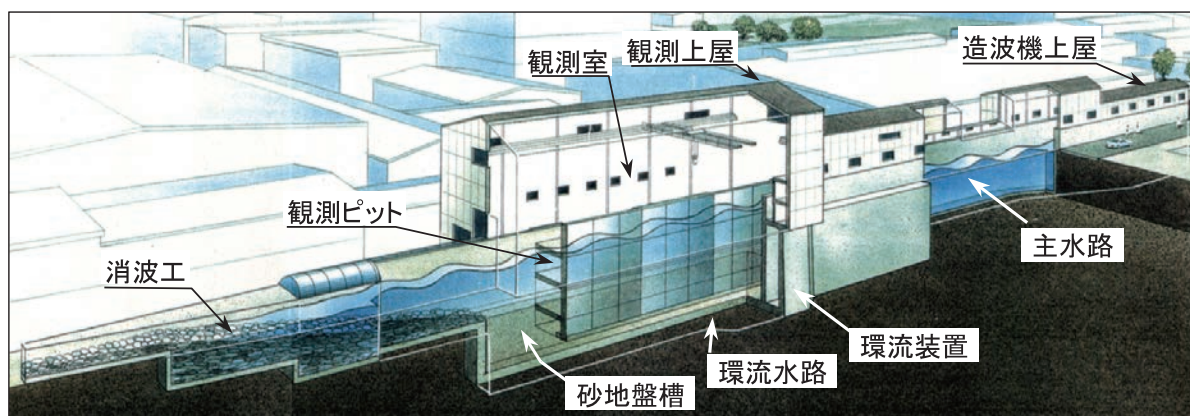


図1 大規模波動地盤総合水路 (LHGF) 概要図

波板を往復運動させ、最大3.5mの風波と2.5mの津波を発生させることができる。図2は防波堤への風波の作用状況である。

このほか、還流水路があり主水路内に20m³/sの流れを発生させることができる。また、長さ35mの観測ピットがあり、実験状況を横から見るができる。2013年には水中振動台が設置され、地震と津波の複合災害を再現することが可能となった。LHGFはこれらの還流装置、観測ピット、水中振動台を有する点でも他に類の無い超大型造波水路である。

3. 研究事例

3.1 既往の実験事例

LHGFには当初、長さ77m、深さ4mの砂地盤層があり、その下部には砂地盤を浸透流によって液状化させる液状化装置が設置されていた。これにより、緩く堆積した砂地盤が波によって液状化し徐々に高密度化する現象が解明されたほか、液状化地盤を波が通過すると波が減衰する現象を利用した液状化消波装置も開発された。また、防波堤や護岸前面の消波ブロックが沈下する現象が、ブロック下部の砂地盤の吸い出しで発生していることも解明された²⁾。このほか、防波堤マウンドの支持力破壊実験や衝撃砕波力によるコンクリート壁の破壊実験、波力発電実験など、大規模実験でなければ再現できない実験が実施されてきた。

2004年のインド洋大津波以降、津波に関する実験が注目され、木造家屋に作用する津波の実験などがメディアで多数紹介された。また、東日本大震災では防波堤や護岸、海岸堤防を越流し構造物を破壊する現象が課題となり、還流装置を用いた実験も実施された。その実験結果は防波堤の耐津波設計ガイドライン³⁾に反映されている。

3.2 最近の実験事例：津波と地震の複合現象

津波単独による波力はこれまでの研究によりおよそ明らかになってきた。しかし、津波と地震の重畳などの複合災害は必ずしも明確になっていない。

2011年の東日本大震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震直後には数多くの余震が発生し、津波



図2 防波堤への波の作用状況 (波高2.5m, 周期7秒)

と地震が同時に作用した可能性がある。図3は八戸、釜石、相馬における本震と余震の最大加速度であり、余震は本震から3時間以内に発生した最大の余震である。本震は釜石で742gal、八戸で206galであるのに対し、本震後3時間以内の余震の最大値は、釜石では263gal（本震の約35%）、八戸では201gal（本震と同程度）だった。このように本震発生直後の余震は無視できる大きさではなく、津波との複合により堤体が不安定になる可能性が高い。実際、釜石では5mほどの津波が湾口防波堤に作用している同時刻に、震度3.4（111.9gal）の余震が作用しており⁴⁾、防波堤の被災に影響していた可能性もある。

津波と地震単独での作用力はそれぞれ越流式³⁾とWestergaard式⁵⁾とによって評価が可能である。しかし、津波と地震が重畳した際の構造物への作用現象は未解明であり、これらの式の単なる組み合わせで良いかが明確でなかった。そこで、地震と津波の重畳現象をLHGFにおいて再現した⁶⁾。

実験はLHGFの還流装置と水中振動台を用いて実施した。水中振動台は長さ12m、幅2.5mで、最大加速度980gal（積載重量170t作用時）の地震を発生させることができる。

図4は実験断面図であり、外洋に面したK港の防波堤の縮尺1/20の断面を製作した。水中震動台の上に砂地盤とマウンド、および質量と重心位置を調

整したケーソンを設置し、模型には水位計、水圧計、加速度計、変位計を設置した。防波堤を津波が乗り越える（越流する）ことを想定し、防波堤前後での水位差が0.14～0.27mになるように流れを作用させ、また、加速度50、75galの地震を作用させた。

津波が作用するとケーソンの前面と背面に水位差が発生し、水位にほぼ比例する水圧が作用した。さらに地震を作用させたところ、地震による加速度に比例する水圧が加わることがわかった。図5はその模式図であり、地震時には岸側変位最大時に冲向き水平加速度が最大となり、このとき防波堤前面と背面に水平加速度に比例する岸向きの動水圧が発生し、津波と加わることでもっとも危険となることがわかった。

図6は実験時の水圧と計算値とを比較したものである。計算値は越流による水圧式³⁾と地震による水圧を評価するWestergaard式⁵⁾を重ね合わせたものであり、実験値が再現されていることがわかる。この結果をもとに前述した釜石湾口防波堤の余震を評価すると、約10mの津波に加えて、余震も影響していた可能性があることがわかってきた。防波堤の被災が津波と余震の複合で起こっていた可能性があり、さらに詳細な分析を行っているところである。

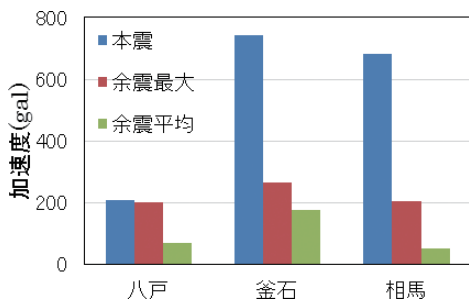


図3 代表的な港湾での東日本大震災発生直後の本震と余震の加速度（余震は本震発生後3時間以内に発生した地震）

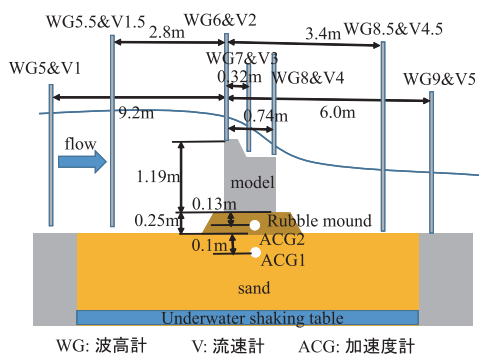


図4 実験断面図

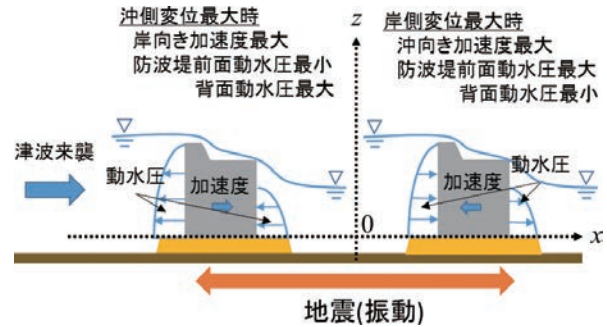


図5 津波と地震が防波堤に同時に作用する場合の模式図

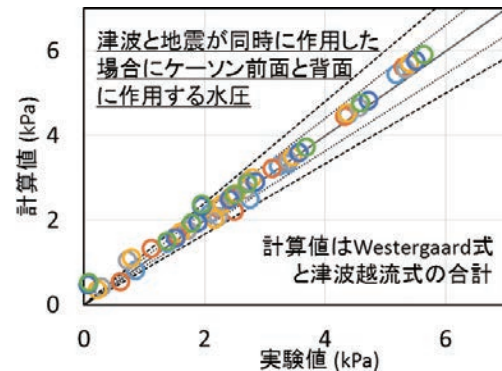


図6 津波と地震が同時に作用した場合の水圧

4. おわりに

本稿では2000年に築造された3.5mの波を発生させることのできる大規模波動地盤総合水路（LHGF）の特徴とそこでの研究事例について述べた。インド洋大津波以後、津波の研究が盛んに行われ2013年には地震も発生可能な水中振動台が設置された。最近では津波と余震の複合災害の研究が行われている。今後も津波や高潮と地震などの複合災害を含めた巨大災害に関する研究を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 高橋重雄, 山崎浩之, 下迫健一郎, 姜閔求, 善功企, 高山知司: 大規模波動地盤水路の建設とその利用, 海洋開発論文集, 第16巻, p. 421-426 (2000)
- 2) 鈴木高二郎: 大規模波動地盤総合水路における波動実験, ながれ, 第34巻, p. 255-260 (2015)
- 3) 国土交通省港湾局: 防波堤の耐津波設計ガイドライン, 35p. (2013)
- 4) 防災科学技術研究所: 強震観測網 (K-NET, KiK-NET), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>, 参照2016-05-10
- 5) Westergaard, H.M.: Water Pressure on Dams during Earthquakes, ASCE Transactions No. 1835, p. 418-472 (1933)
- 6) 岡田克寛, 鈴木高二郎, 有川太郎: 地震と津波の重畳時における防波堤への作用力に関する研究, 土木学会論文集, Vol. 72, No. 2 (2016) (印刷中)

(原稿受付: 2016年6月9日)

会議報告

IFK2016におけるフルードパワー技術の動向

著者紹介



いとう たかし
伊藤 隆

KYB(株)基盤技術研究所要素技術研究室
〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1-12-1
E-mail : itou-taka@kyb.co.jp

1994年金沢大学大学院工学研究科修士課程、
2012年信州大学大学院総合工学系研究科博士後
期課程修了。油圧機器および機械システムの研
究に従事。日本フルードパワーシステム学会、
日本機械学会などの会員。博士（工学）。

1. はじめに

ドイツのアーヘン工科大とドレスデン工科大とで隔年共催され、第10回目となる油空圧国際会議（10th International Fluid Power Conference : IFK2016）は2016年3月8日～10日まで、ドレスデン国際会議場で開催された。今年の参加者は約600名で、参加国はドイツ国内70%、他EU18%、アジア6%、米国4%であり、所属内訳は産業界と学界とでほぼ同数と発表された。講演数は基調講演など14件を含む合計128件と、IFKとしては例年レベルと思われる。技術・学術講演は14のトピックスで構成され中でも、Pump : 17, Mobile Hydraulics : 25, Valve & Component : 12, Industrial : 12は講演件数の多い主要分野であった。

また例年通り、企業の展示ブースも併設され、こちらも賑わっていた（写真1）。この他、期間中にはドレスデン工科大でのラボツアーとパーティも開催され、ドイツ料理とビールで上機嫌になった参加者で熱気と活気に満ちた時間を過ごすことができた。



写真1 展示ブースの様子

2. 研究発表の動向

会議のテーマは「SMART FLUID POWER」であり、まずは要素機器および油圧システムの高効率化がもっとも重要な課題として大半のテーマで挙げられていた。以下にいくつかの研究テーマについて紹介する。

Kimらは「Active Vibration Control of Axial Piston Machine using Higher Harmonic Least Mean Square Control of Swash Plate」¹⁾で、バランスピストン型の斜板式可変ポンプの低騒音化に対して、アクティブコントロールを適用し、シミュレーションおよび実験検証を行った。

Aliらは「A Machine Learning Approach for Tracking the Torque Losses in Internal Gear Pump」²⁾で、電動ポンプの信頼性向上について、システムの数学モデルに基づく解析手法と各種センシングデータに基づく分析手法（機械学習）を統合した状態監視システムを提案した。

Wegnerらは「Validation of the Physical Implementation in a Simulation Model for the Cylinder Block/Valve Plate Contact Supported by Experimental Investigations」³⁾で、斜板ピストンポンプ、特に球面弁板タイプを対象に、シリンダブロックとバルブプレート間のしゅう動解析を行った。ここで解析精度の向上のため、しゅう動すき間と接触面圧の関係式を実験的に導出した。

Waitschatらは「Active Fluid Borne Noise Reduction for Aviation Hydraulic Pumps」⁴⁾で、航空機用油圧機器の低騒音化に対して、アクティブアッテネータを用いた油圧ポンプの圧力脈動低減手法を開発した。

Vaccaらは「A General Method to Determine the Optimal Profile of Porting Grooves in Positive Displacement Machines: the Case of External Gear Pump」⁵⁾で、外接型ギヤポンプを対象に圧力逃がし溝の形状を設計パラメータとし、圧力脈動や効率を目的関数とした最適化手法を開発した。その結果、7,000～9,000のパラメータの組合せより最適形状を決定し、実機による脈動低減効果を確認した。

Pellegriniらは「A Lumped Parameter Approach for GEROTOR Pumps : Model Formulation and Experimental Validation」⁶⁾で、内接ギヤポンプを対

象に、ロータ運動などを考慮した内圧シミュレーションモデルを汎用1次元解析ソフトAMESim®を用いて開発した。

Chiangらは「A Study on Integration of Energy Harvesting System and Semi-Active Control for a Hydraulic Suspension System」⁷⁾で、自動車用のエネルギー回生式セミアクティブダンパの原理試作を行った。油圧ダンパに油圧モータとDC発電機を備え、可変抵抗を介してバッテリーに蓄電するシステムを構築した。

Lodewyksらは「Decentralized Energy-Saving Hydraulic Concepts for Mobile Working Machines」⁸⁾で、ショベルなどの建設機械の省エネ化について論じ、エネルギー回生における貯蔵システムとしてはアキュムレータが比較的優れていると報告した。また、油圧システムの中で大きなエネルギー損失割合を有するバルブ類の高効率化が喫緊の課題と提言した。

Vaccaらは「A Flow Control System for a Novel Concept of Variable Delivery External Gear Pump」⁹⁾で、外接型ギヤポンプを対象に、サイドプレートの圧力逃がし溝を移動可能とした新機構の可変容量ポンプを開発し、試作評価によりその効果を確認した。

Schumacherらは「High Performance Drivetrains for Powerful Mobile Machines」¹⁰⁾で、農業機械などに用いられる油圧システムの高効率化を目的に、メインポンプ用の吸込みチャージポンプに着目し、可変容量型のローラベンポンプを開発した。また、同時にシステム制御のアルゴリズム改良も行い効率改善を実現した。

Jooらは「Application of Power Regenerative Boom System to Excavator」¹¹⁾で、油圧ショベルのブームエネルギー回生システムを開発し、燃料消費量の低減を実現した。システム設計には、プラントモデルと実機を統合したモデルベース開発を適用した。

Kramerlらは「Smart Control of Electromagnetically Driven Dosing Pumps」¹²⁾で、自動車の燃料ポンプなどに用いられるシングルピストン型ポンプを対象に、制御特性を向上させ低騒音化と省エネ化を実現した。

Leuteneggerらは「The Liebherr Intelligent Hydraulic Cylinder as Building Block for Innovative Hydraulic Concept」¹³⁾で、油圧シリンダのストロークセンサについて、シリンダロッドのインピーダンスを利用した新方式を開発した。

Helwingらは「Data-Based Condition Monitoring of a Fluid Power System with Varying Oil Parameters」¹⁴⁾で、油圧システムの監視手法として、冷却性能や漏れ流量などの変化から作動油の状態を予測する分析アルゴリズムを開発した。圧力、流量、電力、温度などのビッグデータを用い機械学習を適用している。

Ermertらは「Electromechanical Actuator Concept for the Controlled and Direct Actuation of

a Hydraulic Main Stage」¹⁵⁾で、長ストロークで大出力の電磁アクチュエータを開発した。構造上の特徴として、油圧バルブのスプール直動化などのアプリケーションを視野に薄型設計を図った。

Garrityらは「Design of a High Performance Energy Coupling Actuated Valve (ECVA)」¹⁶⁾で、MR (Magneto-Rheological) 流体を用いた電磁アクチュエータを開発した。電場印加時のMR流体のせん断モードを利用し、対向した円盤間に装着された2つのコイルに交互に励磁することにより、一定の変位が出力されることを確認した。今後は、直動バルブへの適用を目指している。

3. おわりに

以上、IFK2016における研究動向の一部について紹介した。

主催国がドイツであることも関係してか、Industry 4.0を意識（背景と）した講演が多かった。シリンダストロークのセンシングや油圧システムの状態監視技術の他、そもそもIndustry 4.0の根幹をなすものは各種機械群を支える油圧要素であり、その性能向上は重要であるという主張がなされていた。

第11回となる次回は、2018年の開催予定である。

参考文献

- 1) Taeho Kim, Monika Ivantysynova, Proc. 10th Int. Fluid Power Conference (誌名は以下すべて同じ), Vol. 1, p. 91-104, 2016.
- 2) Emad Ali, Jürgen Weber, Matthias Wahler, Vol. 1, p. 121-133
- 3) Stephan Wegner, Fabian Iöschner, Stefan Gels, Hubertus Murrenhoff, Vol. 1, p. 493-506
- 4) Arne Waitschat, Frank Thielecke, Robert M. Behr, Ulrich Heise, Vol. 1, p. 307-318
- 5) Andrea Vacca, Manuel Rigosi, Vol. 1, p. 453-464
- 6) Matteo Pellegrini, Etienne Dautry, Vol. 1, p. 465-476
- 7) Mao-Hsiung Chiang, Yung-Ching Sung, Vol. 1, p. 559-570
- 8) Johann Lodewyks, Pascal Zurbrugg, Vol. 2, p. 79-90
- 9) Andrea Vacca, Ram Sudarsan Devendran, Vol. 2, p. 263-275
- 10) Andreas Schumacher, Robert Rahmfeld, Vol. 3, p. 53-67
- 11) Choonshik Joo, Martin Stangl, Vol. 3, p. 175-184
- 12) Thomas Kramerl, Martin Petzold, Jürgen Weber, Olaf Ohligschläger, Axel Müller, Vol. 3, p. 385-398
- 13) Paolo Leutenegger, Sebastian Braun, Markus Dropmann, Vol. 3, p. 399-410
- 14) Nikolai Helwing, Andreas Schütze, Vol. 3, p. 425-436
- 15) Markus Ermert, Vol. 3, p. 503-513
- 16) Jordan Garrity, Farid Breidi, John Lumkes, Vol. 3, p. 515-526

(原稿受付：2016年6月13日)

会議報告

第16回JSME機素潤滑設計部門講演会におけるフルードパワー技術研究

著者紹介



きむ じゅん わん
金 俊 完

東京工業大学大学院
〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259-J3-12
E-mail: woodjoon@pi.titech.ac.jp

2005年東京工業大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士後期課程修了。2005年から東京工業大学精密工学研究所助手（助教）。2013年から同大学准教授。現在に至る。機能性流体、MEMS、マイクロマシン、超精密機械加工、メカトロニクスなどの研究に従事。博士（工学）。

1. はじめに

JSME機素潤滑設計部門講演会（以下、MD&T講演会）は、日本機械学会機素潤滑設計部門の主催で隔年に開催される研究交流集会であり、西暦奇数年には大韓機械学会生産設計部門と共同で国際会議（以下、ICMDT）を開催している。今年のMD&T講演会は、西暦偶数年であり日本機械学会のみの主催で、学術ばかりでなく技術の視点からも情報交換を活発に行えることを目的に、機械設計、機械要素、アクチュエータシステム、トライボロジーなどの分野における新たなアイデア、研究成果、今後の方向性を議論・討論した。今回でICMDTを含め第16回を迎えるMD&T講演会は、2016年4月18日から19日まで福井県あわら市グランディア芳泉で開かれた。第16回MD&T講演会の会議要約によると、本講演会は幅広い分野から72件の一般講演、1件の特別講演、4件の基調講演、技術情報交流会などで構成された。本報告では、これらの研究発表の中、フルードパワーシステムに関連する発表を1) 油圧・水圧、2) 空気圧、3) 機能性流体の応用の大枠に分類し、代表的な研究成果について紹介する。

2. フルードパワー技術に関する発表

2.1 油圧・水圧とフルードパワー技術

第16回MD&T講演会では、油圧・水圧分野の発表として、(1)SRM駆動油圧サーボポンプの両方向流量制御、(2)振動子と微小孔を用いた液滴生成における液柱形成に関する研究が発表された。

佐藤らは、油圧動力損失を低減させるとともに希土類磁石を使用しない油圧制御システムを実現することを目的として、スイッチトリラクタンスマータ

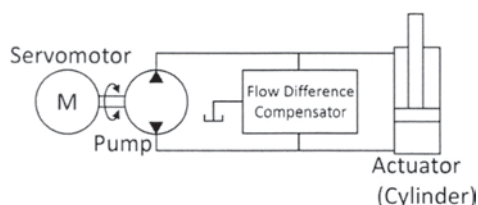


図1 SRM駆動油圧制御システム¹⁾

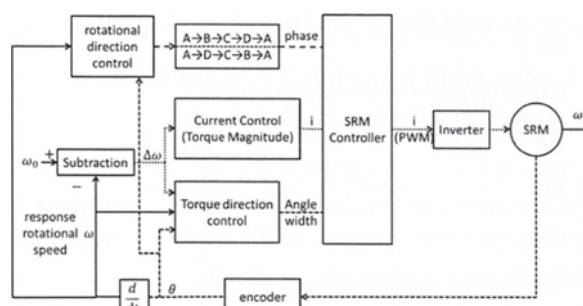
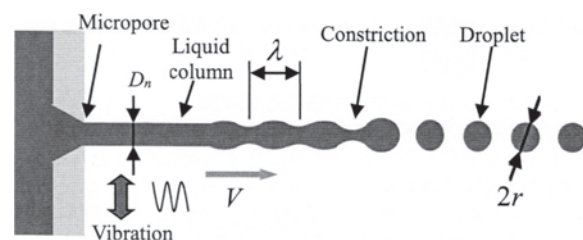


図2 SRMによる両方向流量制御¹⁾



(a) Liquid ejection schematic



(b) Without vibration



(c) With vibration

図3 振動の有無による液滴生成²⁾

(SRM)を用いた油圧ポンプ駆動への適用を検討している¹⁾。SRMにより油圧ポンプを駆動し、効率的に吐出流量と圧力を制御する油圧システム（図1）

と、両方向回転を実現するSRサーボモータ制御系(図2)を提案し、その制御の有効性を示している¹⁾。

神田らは、効率的に単分散液滴を生成するために、超音波ねじり振動子と微小孔を用いた液滴生成法(図3)を開発している²⁾。本報では、液滴生成時(分散相：純水、連続相：シリコンオイル)の液滴径と液柱径の関係について多様な実験により調べている²⁾。

2.2 空気圧

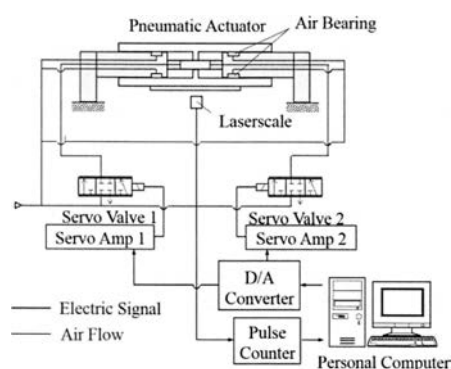


図4 エアステージシステム³⁾

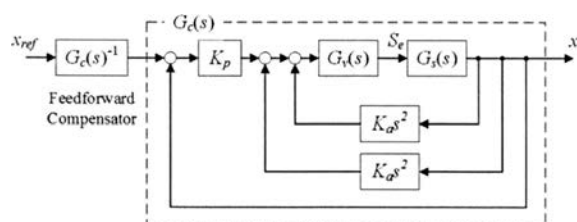


図5 エアステージの制御アルゴリズム³⁾

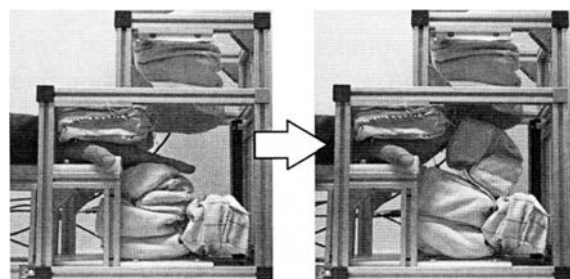


図6 リハビリ装置と作業療法士の伸展動作⁴⁾

藤田らは、空気圧アクチュエータの精密位置決めにおける摺動摩擦を低減するために、静圧軸受エアステージ(図4, 5)を研究している³⁾。サーボ弁動特性を考慮すると5次系になることを明確にし、シミュレーションと実験により有効性を確認している³⁾。

谷口らは、軽量かつ柔軟な手指リハビリシステムを開発することを目的とし、空気圧ソフトアクチュエータを直接指に作用させるシステム(図6)の有効性を確認している⁴⁾。

2.3 機能性流体

第16回MD&T講演会では、ECF関連で2件、ERF関連で1件の研究発表があった。

吉田らは、高いパワー密度を有する管内作業マイ

クロマシンを実現することを目的とし、機能性流体であるERFと交流圧力源を融合したシステムをMEMS技術により開発している⁵⁾。4個のチャンバーを一体化した2自由度ソフトアクチュエータ(図7)を提案し、動作の確認に成功している⁵⁾。

また、金らは、高出力パワー密度のECFマイクロポンプを用いて、水溶液ポンピングシステム⁶⁾と可変焦点形液体レンズ⁷⁾(図8)への有効性を明確にした^{6, 7)}。

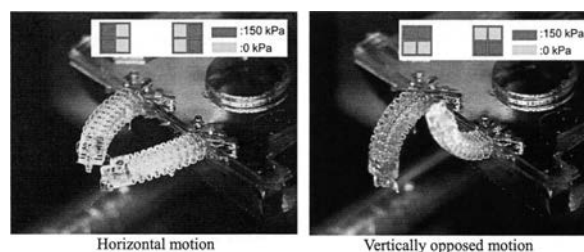


図7 2自由度ソフトアクチュエータの動作(空気圧駆動)⁵⁾

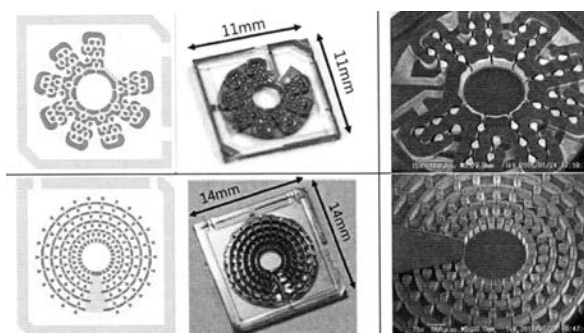


図8 ECFレンズ駆動用のECFマイクロポンプ⁷⁾
(上) 直列5対、並列8対、(下) 直列5対、並列24対

3. おわりに

MD&T講演会は機械設計・要素関連の会議であり、フルードパワーを用いた研究発表は少ない。今後、フルードパワーシステムに関する研究が増え、この分野での発展を期待する。

参考文献

- 1) 角谷海斗, 杉野祐己, 佐藤恭一: 第16回機素潤滑設計部門講演会, p. 69-72 (2016)
- 2) 山田知靖, 神田岳文: 第16回機素潤滑設計部門講演会, p. 75-76 (2016)
- 3) 直井誠, 畠山径, 藤田壽憲: 第16回機素潤滑設計部門講演会, p. 73-74 (2016)
- 4) 谷口浩成, 目黒匠, 荒木翔歩, 山本卓: 第16回機素潤滑設計部門講演会, p. 79-80 (2016)
- 5) 三好智也, 吉田和弘, 金俊完, 嚴祥仁: 第16回機素潤滑設計部門講演会, p. 63-64 (2016)
- 6) 松原竜也, 金俊完, 横田眞一, 枝村一弥: 第16回機素潤滑設計部門講演会, p. 65-66 (2016)
- 7) 金俊完, 中川卓也, 横田眞一, 枝村一弥: 第16回機素潤滑設計部門講演会, p. 67-68 (2016)

(原稿受付: 2016年8月8日)

教室

入門講座「エネルギー工学」

第一回：日本のエネルギーと発電方式

著者紹介



え ま さとし
江 間 敏

沼津工業高等専門学校
〒410-8501 静岡県沼津市大岡3600
E-mail: ema@numazu-ct.ac.jp

1977年東京工業大学大学院修士課程修了。国鉄（現JR）勤務。鉄道技術研究所を経て、1986年沼津高専勤務。2015年同高専退職（名誉教授）。現在嘱託教授。電力工学、浮上式鉄道の研究に従事。電気学会上級会員。

1. はじめに

現代社会ではエネルギーの利用が増大した結果、さまざまな環境の変化が地球温暖化等の深刻な問題になっている。また平成23年3月の福島第一原子力発電所事故以来、エネルギー問題は緊急の課題となっている。このような状況の中、本講座ではエネルギーについて取りあげる。とりわけ、エネルギーの中でも2次エネルギーとして40%を占める電気エネルギー（火力、原子力、水力、再生可能エネルギー及び関連する事項等）について、2回以降3回程度の連載を予定している。

2. 世界・日本のエネルギー

2.1 人類とエネルギーのかかわり、世界の人口とエネルギー消費量

人類のエネルギーの歴史は数百万年前の原始人の火の発見から始まり、18世紀後半にイギリスで始まった産業革命により石炭によるエネルギーの大量消費の幕開けとなる。20世紀には石油エネルギーとなり、エネルギー消費は増大の一途をたどり、現在では石油換算で1日1,800万klという膨大な量となっている（図1）。それと共に地球温暖化などの環境問題も起きている。

世界の人口と1次エネルギー消費量は図2である。世界の人口は増え続け2000年には約61億人であったものが、2040年には約90億人まで増えると予測されている。このうち先進国は横ばいに対して、アジアやアフリカなどは1.5～2倍近く増加すると予

測されている。現在日本は約2%の1.3億人である。人口増加に伴いエネルギー需要も著しく増大することが予想され、世界的なエネルギー需給のひっ迫が懸念される。日本は世界第五位のエネルギー消費国でもある。また一人当たりの1次エネルギー消費量はカナダ、アメリカが断然多く、日本の約2倍である。発展著しい中国は世界平均である。一人あたりのGDP（総生産）と一次エネルギー消費量は比例関係があることもわかる。

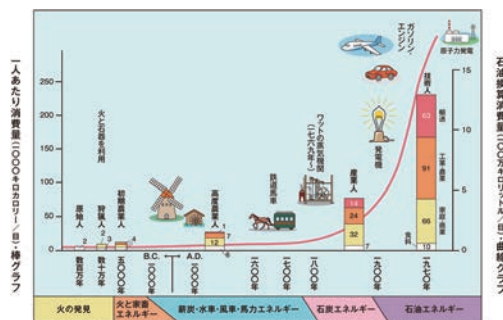


図1 人類とエネルギーのかかわり

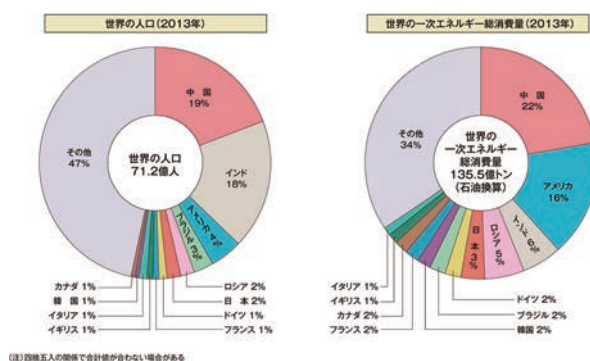


図2 世界の人口とエネルギー消費量

2.2 世界のエネルギー資源、一次エネルギー消費量の推移

現在の資源埋蔵量で、エネルギー消費した場合（可採年数）、石油・天然ガスは約半世紀、石炭・ウランは一世紀しかもたない（図3）この事からも再生可能エネルギーの開発は重要である。

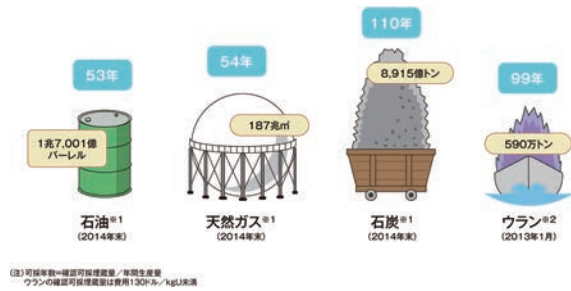


図3 世界のエネルギー資源確認埋蔵量

図4は世界の一次エネルギー消費量の推移であり、石油、石炭、天然ガスを柱に消費量が増え続けている。

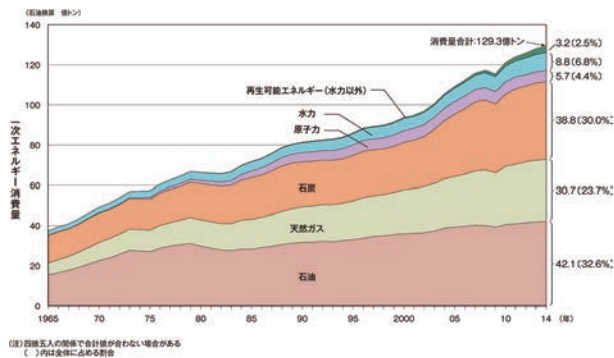


図4 世界の一次エネルギー消費量の推移

2.3 主要国の一次エネルギー構成

図5から世界全体のエネルギー消費量は年間約129億tにも達しており、中国、アメリカが断トツに多い。日本は石油、石炭、天然ガスで93%を占めている。また各国エネルギー事情は少しずつ異なっている。原子力・水力だけに着目すれば、水力では自然豊かなカナダ、ブラジルが多い。原子力ではフランスが断然多く、イタリアには現在ない。

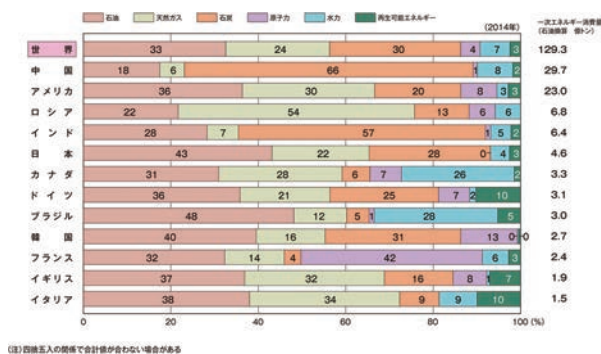


図5 主要国の一次エネルギー構成

2.4 主要国のエネルギー輸入依存度（自給率）

図6から日本をはじめ自国にほとんど資源を持たない韓国、イタリア、フランス等が高い数値である。その一方で、自国で石油を生産し、豊富な水力資源

を持つカナダはエネルギー輸出国となっている。日本は世界第五位のエネルギー消費国であるにもかかわらず、エネルギー自給率はわずか6%しかない（2013年）。これは先進国の中でも極めて低い数値である。化石燃料のほとんどを海上ルートからの輸入に頼る日本。主な輸入先である中東は、政治的・経済的に多くの不安定要素を抱えた地域でもあり、私たちの暮らしにもさまざまな影響が懸念される。

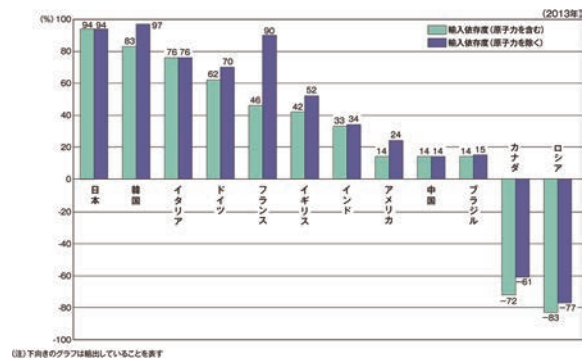


図6 主要国のエネルギー輸入依存度

2.5 エネルギーの使われ方

エネルギーがどのような方面に多く使われているか。大きな区分けの中、運輸：家庭：企業他では3：2：9位の比率である（図7）。とりわけ民生部門において家庭で使われる電気機器別の消費電力量の内、エアコンがトップであり、照明、冷蔵庫と続く（図8）。

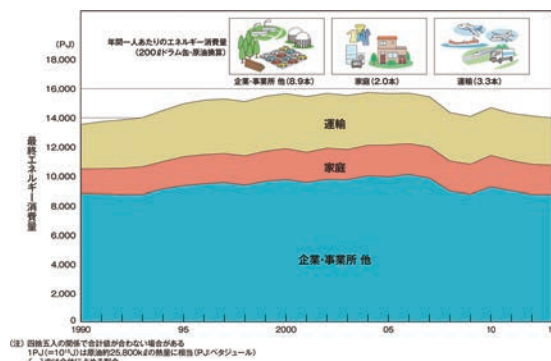


図7 エネルギーの使われ方

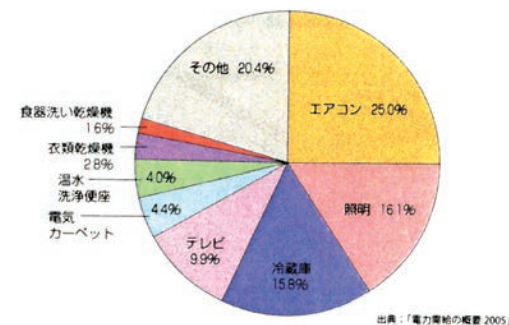


図8 家庭内電気製品の電力消費量（2005年）

3. 電力化率と発電方式

3.1 一次エネルギーに占める電力の比率（電力化率）

我々は日常エネルギーを消費する際に、調理や風呂に使われるガス、自動車のガソリン等を除けば電気形で消費することが多い。従って一次エネルギーに占める電力の比率は増加を続け45%と約半分を占めている（図9）。電気エネルギーの特徴としては

◎瞬時に遠方に輸送できる。◎どこからでもとり出したり、また加えたりすることができる。

◎制御を瞬時に行うことができ、遮断・接続を短時間にできる。◎小電力を除けばエネルギーの貯蔵は出来ない等である。



図9 一次エネルギーに占める電力の比率

3.2 電力の発電方式

電気エネルギーの発電方式には、ソーラー、燃料電池等の直接発電方式もあるが、一般的にはエネルギーをいったんタービン等の運動エネルギーに変え、電気エネルギーに変換する方式で火力、原子力、水力発電がある。その概念図を図10に示す。各方式及び関連する事柄については2回以降順次検討していきたいと考えている。

コラム 自転車発電機からエネルギーを学ぶ

自転車に自転車のダイナモと自動車のオルタネータを後輪のタイヤに接触させ、自転車発電機とした。若い学生がチャレンジしても白熱電球60W程度であり、100W常時発生となると容易ではない。いかにエネルギーをつくるのが大変であるかが体験できる（図11）。余談になるが、動物が生きていくためには新陳代謝を必要としており、それに必要なエネルギーは標準代謝量（安静時の消費エネルギー）と呼ばれる。生物学の本³⁾によると60kgの人間は約

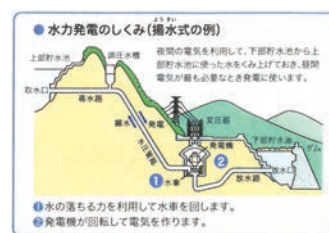
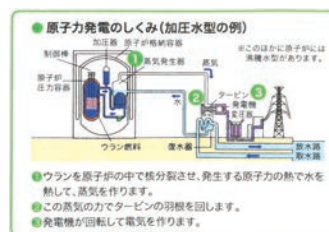
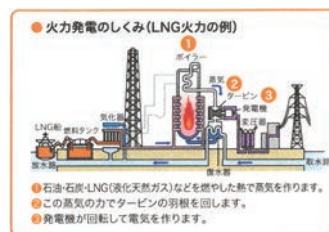


図10 各種発電方式



図11 自転車発電の様子

80W、400kgの馬は300W、1馬力が約746Wであるので、人力ももう少しでるのかもしれないが。

参考文献

- 1) 図1～図7及び図9のデータは日本原子力文化財団：原子力・エネルギー図面集2016
- 2) 図8、図10は社団法人家庭電気文化会：「図表でみる資源・エネルギー」平成21年度版
- 3) 本川達雄：ゾウの時間ネズミの時間、中公新書、p. 24-41 (1992)

(原稿受付：2016年5月30日)

トピックス

産学協同という幻想

著者紹介



やま だ つよ し
山 田 剛 志

成城大学大学院法学研究科教授・弁護士
〒157-8511 東京都世田谷区成城 6-1-20

1965年生。銀行勤務を経て1996年一橋大学大学院法学研究科博士後期課程単位取得。コロンビア大学客員研究員（Visiting Scholar）。2011年論文博士（法学）（青山学院大学）。商法、会社法、金融法専攻。2009年成城大学大学院法学研究科教授（現任）。2004年より新潟県弁護士会弁護士登録。著書、論文多数。M&Aなど会社実務に精通。

1. はじめに

本稿は貴会会員の加藤友規先生よりご紹介いただき、執筆の機会を得たものであり、最初に事務局並びに関係各位のご厚意に感謝申し上げます。しかし私はフルードパワーには素人であり、自分の知識と経験を元にした論考を書かせていただくことをご了解頂ければ幸いです。

私は略歴の通り、法律、特に会社法専攻の研究者であるが、2004年に法科大学院が設立されるのと同時に弁護士登録をし、民事事件一般の実務に従事してきた。その後、徐々に専門の会社法、企業法実務の割合が多くなり、企業の支配権の争い（乗っ取り）、社長解職、株主総会における役員の解任等、極めて激しい法的紛争に遭遇することとなった。私は自己紹介をするときは、本籍は大学であり、現住所として弁護士に従事し、実際に会社役員として上場企業から中小企業まで企業経営に関与している、と伝えている。つまり会社をキーワードにして研究、実務、経営、そして紛争解決をしている、ということになるのか。中には読者各位もご存じの有名企業の事件も含まれており、具体的名称を聞けばご存じの方もいるかもしれない。

本稿は「産学協同という幻想」という刺激的なタイトルをつけたが、これは最近立て続けに研究者から産学協同についての法律相談を受ける機会を得て、大学にも企業にも関連した立場からみて「産学協同¹⁾」には非常に大きな問題があると感じたので、

その一端を紹介したいと思ったからである。ご承知のようにかつて大学は象牙の塔とも揶揄されてきたが、近年研究資金の獲得と大学の社会貢献のかけ声の下、180度方針を転換し研究者の研究を広く公開し、民間企業と共同研究をしたり、場合により研究者がベンチャー企業を立ち上げて、会社役員に就任する事例が散見される時代となった。しかし、産学協同に対し大学側、研究者個人、そして会社側の思惑はそれぞれ異なり、それが明確にならないままプロジェクトが進展し、深刻な法律問題が生じつつあるのが現状である。本稿では実際に研究と産学協同に従事している研究者に、会社に関連する問題を指摘し、現状を認識して頂くことが目的であり、いたずらに不安にさせることが目的ではないことをあらかじめお断りしておきたい。

本稿は産学協同に従事する研究者、大学事務局の方々に以下の4つの問題を検討していただき、それに解答する形で議論を進めていきたい。すなわち、①あなたは企業からまたは大学から提示される契約書をすべて読んでいますか？②あなたは会社に関連する法律をご存じですか？③あなたは何のためにベンチャーを立ち上げ、社長になるのですか？代表取締役に就任するリスクは何かご存じですか？④あなたは何のために産学協同をするのですか、である。

私は30年ほどしか会社法の研究に従事せず、弁護士も10数年のキャリアしかないが、上記①―④の質問に明確に答えられないまま、産学協同に従事することは場合により、「丸腰でシリアに行くようなもの」というと多少の脅迫もあるが、それに近いと思われる。以下分説する。

2. あなたはすべての契約書に目を通していますか？

通常共同研究は共同研究に関する覚書、その後特許につながる場合には共同特許出願契約を締結することが多い。当事者は大学、企業および研究者個人となる。問題は、この場合、企業が提出する契約書に研究者がそのまま署名してしまうことである。大学の知的財産事務局（Technology Licensing

Organization : TLO) を通しているから大丈夫というように考える方は、TLOが誰のために存在するか考えてみてほしい。TLOはあくまで大学側の機関であり、研究者個人の代理人ではない。ある大学に関連するTLOは、企業から研究者が有する特許について関心があると言われた場合のために「ご希望がございましたら、皆様に代わって私たちが企業様との契約手続きをお手伝いさせて頂くことも可能です。お気軽にお問い合わせ下さい。」という案内をHP上に記載しているが、その結果どうなるか何も書かれていない。問い合わせたらどうなるのだろうか。

(設例1)²⁾ A大学に属する研究者Bは、自ら(2014年に成立した)特許を有する技術の関連技術を有するC社より共同研究の申し入れを受けた。

その中に「相手方の書面による事前の同意なくして本研究と同一目的の研究を第三者と共同して行い、又は第三者から受託してはならない。」という文言があった。契約締結後、Bは共同研究を進めたが、関連してはいるが別の技術を用いた研究をD社と行っていたところ、C社から契約解除と1億円の損害賠償請求を求める通知が到達した。Bは、関係がない技術と説明をしたが、C社は納得せず、上記条項違反として、Bに裁判を提起した。なお、A大学TLOは裁判上の代理権はなく、B個人の代理でもないため、本件には一切関与していない。

設例1では、Bは従前別の発明特許を持っていたので、関係がないと思っていたところ、上記契約文言の題名が、第〇〇条「類似の研究」となっており、いちいち事前にC社に許可を取らなければならないという契約になっており、C社に非常に有利な内容になっていた。裁判になると弁護士費用や、負けた場合賠償責任を負うだけでなく、自ら被告となるため、精神的負担は極めて重い。しかもC社は大手で法務部があり、顧問弁護士がいるが、Bは個人であり、訴えられてから自分の費用で弁護士を探さなければならない。また実例を挙げると、C社が中小企業の事例で、代表者が権利意識の強すぎる人物だったため、Bは、社会貢献としてやっただけであるが、結果的に裁判の被告となってしまった。裁判になると、契約に性善説は妥当しない。一番大きな勘違いは、TLOは大学の一部門であり、研究者個人の代理人ではないことである。さらに特許権の帰属について、大学と研究者の紛争になった場合には、研究者個人にとっては、表現は悪いがTLOは立場上相手方、または敵となる。

Bは社会貢献のつもりで共同研究をしただけであったが、契約書を読まなかったため³⁾か、C社から裁判を起こされた。その後のBの状況はご想像にお

任せする。ビジネスは性善説だけでは成り立たない。

設例1はBが提携先のC社から訴えられた事案であったが、実際にはC社がBの別の技術について勝手に単独特許申請する事例や、共同研究と称して、無償か非常に低額⁴⁾で、または実験器具の提供のみで、技術指導をさせられる事例は珍しくない。元々、研究者自身が社会貢献として、無償で、協力する予定であれば問題はない。しかし、研究者の側で、何らかの期待を持って、金額を契約に明示することなく、だんだらとつきあったあげく、期待を裏切られるくらいならば、初めからつきあわない方がよいのでは、と思われる。

3. 会社に関連する法律をご存じですか？

近頃、ニュースで大学発ベンチャーのニュースをよく聞く。大学発ベンチャーとは何か？インターネットサイト⁵⁾によると、「大学の教官、学生、または公的試験研究所の研究成果を技術シーズとして事業化・創業を行う事業主体のこと。大学、公的試験研究機関等の研究者、学生等が兼業等により事業活動を行い創業する、または、大学等の研究成果を技術移転して創業する場合などがある」という。具体的には、①教員の特許を活用した技術移転型起業②特許以外の大学の研究成果活用型起業③教職員・学生による人材移転型起業④大学が支援した出資・経営支援型起業の4タイプの大学発ベンチャーが、政策目標通り3年後の2004年3月には、累積1,000社を超えたという。その後2012年には2,000社を超えたとされる。その中で20社程度が株式公開(IPO)したとされるが、しかし、その過半数はリビングデッド(安楽死状態)とされる⁶⁾。

そもそも大学発ベンチャーがわが国でも活発化した背景には、2001年3月政府により「失われた10年」を「インキュベーションの10年」に転化するため「科学技術基本計画」を定めて定められ、その後「大学の研究成果を活用した新産業の創出」として、2012年度補正予算で、日本の4研究大学に1,000億円が投資資金として配分された⁷⁾ことが端緒であるとされる。つまり、政府が音頭をとって次の成長産業を育てるという名目で補助金や独立行政法人を設立したが、実質的な活動をしている研究者中心の会社は、それほど多くないということである。なお本稿は、上記の問題を指摘することが目的ではないので別稿に譲るが、実際、大学発ベンチャー設立発起人らは、会社設立の目的をどのように考えているのだろうか。

(設例2) 国立大学法人C大学に勤務するA教授は、自らの光学特許等を元にB株式会社を設立した。

大学TLOが介在して出資資本金3億を集め、植物工場を営業するためAが代表取締役社長となった⁸⁾。その後B会社はマスコミに取り上げられ、順調に業績を伸ばした。しかし、業容拡大を見越して2014年中に2工場を増設したが、野菜生産が当初予定したように安定せず、売り上げが想定を下回ったことで大幅な営業赤字を計上した。一方で設備投資資金などの借入金が返済できず、民事再生法申請（倒産）となった⁹⁾。この場合、AおよびBはどのような責任を負うか。

植物工場は周知の通りマスコミ等で大きく取り上げられ、大きな期待を集めているが、生産が安定せず、また販路の拡大が不十分なため、その75%が赤字で、補助金を受けている会社が多いという記事¹⁰⁾もあり一概に順調とはいえない。

設例2では、Aはどのような責任を負うだろうか？Bは当初10万円の資本金とAの特許を元に設立されたが、その後TLOとベンチャーキャピタルの介在により、3億円の資本金を集めたものである。多くの資本金が集まったのはいいが、読者はその意味をご存じだろうか？1株5万円の2株の発行からスタートしたB社が、3億円集めたということは、6,000株を他に発行したということであり、Aが直接知らない多数の個人、法人が出資したことを意味する。取締役は株主総会において選任され、取締役会において代表取締役社長に選定される。もし代表取締役社長の経営に不満な場合には、任期途中であっても、取締役会で解職または、株主総会で解任される。B社の株主は、ハイリスクハイリターンを狙うプロ株主が多く、チェックの目は非常に厳しい。株主総会はそのようなプロ株主が多い場合には、数時間に及ぶことが多く、質問も多岐にわたり鋭い質問が浴びせられる。はたしてこのようなプレッシャーの中、大学教員のAは、研究の片手間で会社経営ができるだろうか？

なお、私は大学教員がベンチャー企業を立ち上げ、会社の経営者になることを否定しているわけではない。起業の目的がしっかりしており（例えば株式公開で大金を手に入れる、という目標でも悪いことではない）、なおかつ自らの権利（特許等）を生かす知識と経験があり、企業経営を熟知して、株主や銀行の対応も難なくこなし、何より売り上げを上げて、利益を出し（大学でお金儲けをすることに抵抗があるかもしれないが、利益を上げない会社は倒産である）、雇用を守る意識と覚悟があれば、積極的に関与すべきだと思う。もしそれができなければ、研究者自身の意図に即したスキームを構築し、その意図に応じて適切に社会貢献すれば、その方がベターで

はないか。私が本稿を通じて申し上げたいことは、以上の通りである。

さて設例2では、B社は金融機関から9億近い借入れをしていた。通常銀行借入れには、個人保証が要求される。Aは自宅マンションを有していたが、民事再生と同時に差し押さえされた。さらに株主も経営判断ミスを理由にA個人に対して、株主代表訴訟を起こして、個人財産を賠償させることがある。Aは論文も多く、光学の特許を持ち、植物栽培には非常に多くの知識を持っていたが、いかんせん会社経営の経験がなく、TLOの斡旋のまま資本を調達して事業を継続したものである。また補助金も多額を受け取っていたが、Aの関心は資金繰りよりむしろ、学問的な興味であり、周りのすすめに従って会社経営をしていたに過ぎない。

私は現在数社の会社経営に関与しているが、設例のように、株主が外部のプロ株主で、会社財務や野菜の流通に知識がないのに、数億円の借入れをするような会社の代表取締役には、とても責任が重く就任はできない。数十万円の報酬をもらっても、リスクの大きさと比べると、釣り合いが全くとれない。代表取締役社長というのは、日本では銀行に個人保証をとられているような場合には、無限連帯責任を負っているということである。さらに、ベンチャーから出資を募るということは、株主がほとんど外部であることを意味し、「いつ首を切られるか、責任追及されるか分からない、議会で味方がいない少数与党の首相」のような立場であり、安心して経営は難しい。設例のような状況で、株式も持たないまま社長に就任することは、問題の所在で述べたように、「現在丸腰でシリアに行くようなもの」と述べたが、それも誇張でないことが理解されるだろう。私には怖くてとてもできない。

4. まとめにかえて

本稿では紙幅の制約から2つの事例しか紹介できなかったが、設例1では共同研究に関連した契約上および特許をめぐるトラブル、設例2ではベンチャー企業の経営をめぐる紛争を取り上げた。しかし、実際には他にも産学共同において多くの法的トラブルがある。

第1に、例えば製造物責任法という法律があり、非常に重い責任が課されている。仮に、ここに油圧または水圧を使った特許があるとして、当該特許を用いてある機械の設計を貴会会員がしたと仮定する。ある工事現場で当該機械を使用中に機械が故障して、死傷者が出たとすると、その故障は機械（製造物）の設計上、製造上、指示警告上（仕様説明書）の欠

陥があると推定され、不備がなかったことはメーカーや設計者等が反証しなければならない。欠陥があるとされた場合には、死亡事故の責任など、設計者も非常に重い責任を負う。近年エアバッグのタカタというメーカーが、アメリカで死亡事故の責任を追及されて、裁判で多額の賠償金を取られている。これが個人の設計ミスや特許自体の欠陥であれば、メーカーから設計者個人が求償を受けることもある。

第2に、不正競争防止法がある。研究者にとって、関係がある事象としては、大学を移動したときに、従前の大学に帰属する特許または営業上の秘密を、転勤後の会社または大学において、継続して研究していたところ、営業秘密の漏洩として不正競争防止法違反となり、裁判になる可能性がある。転々と大学や研究所を移る可能性がある場合には、覚書または契約等で書面により前勤務先の許可を取っておかないと研究に支障が出るのではないか。

このように産学協同には様々な法的問題点があったが、最大の問題は研究者個人が法的なリスクを理解しないまま、性善説に従い、産学共同に協力していることである。その解決には研究者個人の代理人が、必要不可欠であろう。

産学共同はみてきたように、政府が主導をして産業界および大学・学会に補助金を使い、連携を強化するべく意識改革を図ってきたものである。中には権利が無償利用されたり、ほぼ無償で技術指導させられたり、実体の伴わない会社の起業を図る例も多く、理系の研究者に対し十分なリスクの説明と保障をしないまま、産学協同が行われている。

以上の通り、知的財産権や技術を有する研究者は、誰も味方がいないまま、契約書も読まず性善説に基づいて、産学共同・交流を行ってきた。その結果、研究者は、意図せずただ働きや、社会貢献の名目で権利を無償で利用されるだけでなく、非常に大きな責任を無意識的に負わされていることになる。何のために産学共同を行うのか、リスクとリターン（もちろん金銭だけでなく社会的な名誉や権利自体も含む）は見合っているのか、問題があれば誰に相談するのか¹¹⁾、その費用¹²⁾はどうするのか、十分理解した上で産学共同を行うことが愁眉の課題といえよう。

繰り返すが、私は大学発ベンチャーも、産学協同も否定しているわけではない。せっかくの研究者の善意が裏目に出て、場合により損害を被る場合があることは事実であり、関係者にとって不幸な出来事である。知的所有権等を有する研究者の希望をよく聞き、その対応策を考えた上で、まず売り上げを確保しながら¹³⁾、費用面も含めた目的達成のためのス

キーム¹⁴⁾を構築しながら、会社と交渉して、その目的に即した結果を出すために法律的知識だけでなく、大学の内情も企業の状況も熟知する代理人が必要であることをご理解頂ければ、幸甚である。

参考文献

- 1) 実務上、場合により産学協同、産学連携、産学交流などの用語が用いられるが、本稿では基本的には同じ意味で用いる。なお本稿のタイトルは、一番意味が広いと思われる「産学協同」を用いる。
- 2) 本稿で取り上げる設例はすべて、筆者が実際に相談を受けた事例か過去の判例を元に作った類似の架空の事例であり、現実の研究者等とは一切関係がない。
- 3) 実際には契約書を読むだけでは何も変わりはない。研究者自身の希望をヒアリングして、紛争にならないように、または仮に契約不履行があれば研究者個人が損をしないような条項を契約書上に落とし込み、場合によりその実行を担保するような措置が必要である。この点、知識プラス実務経験がないと百戦錬磨の企業にはなかなか通じない。学生のインターンシップも一部には無償のバイトと化しているように、一部の企業には大学に頼むのが一番安いという意識もある。
- 4) 筆者自身も既存の資産証券化に関し「研究者としての先生に期待しています」などと、ある企業から協力を要請されたことがあるが、結局は「無償で協力せよ」という意味であった。私は、大学に金銭など持ち込むのはもってのほかで「社会貢献として、無償で協力するのは当然である」という気持ちは否定しない。ただし、それなら契約書ではじめからそれを明示して、契約の上、行動すべし、ということ述べている。私は「自分自身弁護士として、実務にも従事しており、限られた時間を有効に使うためには、無償ではできません」と伝えたところ、その企業は二度と来なくなった。
- 5) 「コトバンク」による（平成28年4月24日閲覧）<https://kotobank.jp/word/%E5%A4%A7%E5%AD%A6%E7%99%BA%E3%83%99%E3%83%B3%E3%83%81%E3%83%A3%E3%83%BC-1140906>
- 6) 米国では3年で50%倒産すると言われているが、日本の大学発ベンチャー倒産率の低さは研究者を中心とした経営チームが、通常の経済活動を行っていないことを意味する、とされる。筆者の推計によると、企業などの出資や経営アドバイスを受けていない会社では、補助金を受けることなどがメインで、その他ほとんど活動をせず休眠状態の会社が多いように思われる。
- 7) <https://sangakukan.jp/>
- 8) 日本総研編「平成14年度大学発ベンチャーに関する基礎調査」P27によると、大学発ベンチャーの4割が特許を元に起業しており、15%は、教員が代表取締役となっているという。http://www.meti.go.jp/policy/innovation_corp/start-ups/h14venturereport.pdf（平成28年5月3日閲覧）
- 9) 本件は2015年6月29日（株）みらい（資本金3億、従業員25名）は東京地裁へ民事再生法の適用を申請した件を元に筆者が作成した架空の事件である。
- 10) http://biz-journal.jp/2015/07/post_10898_2.html（平成28年5月3日閲覧）。
- 11) 私は法律学の研究者であり、また会社だけでなくビジネス法の実務家であるが、なかなか両方を理解する弁護士等はいない。私自身は非常に社会的・実務的に価値が高い研究を行っている研究者個人の代理として、会社および場合により大学と交渉することも可能であり、このような立場の代理人が有能な研究者には必要

ではないかと思われる。弁護士報酬についても、大学等に勤務する研究者が個人で多額の報酬を支払うことは現実的ではなく、新たな報酬体系を考える必要がある。

特許の99.7%は無価値といわれることがあり（逆に1000に3つくらいしか、価値がない）、権利はあっても収益を生まないことには、ビジネス的には絵に描いた餅である。そのため、私はその特許等がどのように価値を生むか調査し、興味を持つ企業と交渉し、スキームを構築することは権利そのものと同じくらいの価値があると考えている。

- 12) 弁護士に依頼すると弁護士費用がかかる。それなりの専門弁護士に依頼すると一時間2-3万円の相談料、またはタイムチャージが相場である。逆に研究者が弁護士に産学協同だから無料に対応せよというならば、それは研究者個人を無償で利用しようとする企業と同じである。私は研究に関連する事案はライフワークの一種として低廉または無償で対応しているが、それ以外は委任契約に基づき専門家として一定の費用をいただく。委任契約により善管注意義務（プロとしての義務）が発生し、公の仕事としてコストをかける方がお互いにすっきりしてよい仕事ができるというのが実感である
- 13) 研究者自身の研究成果を専門に販売・営業する無償の「研究営業」がいればよいが、そうでない場合は研究者

自身が営業も行うことになる。それが不可能なら他の人に頼むしかないが、誰が無償で行うかは大問題である。現実には研究成果を実用化するタイミング、実用化された後のフォロー、さらに開発者の活動の自由を守りつつ実用化へ貢献する方法など、具体的な課題は多い。研究者が特許をどのように生かすか、またどのように営業するかは別の問題であり、現状企業のいいなりに利用されているケースも散見される。信頼できる代理人が代わりに営業を行い（弁護士は委任契約を結べば、善管注意義務：プロとしての注意義務を負う。最後はもちろん信頼できるか否かであるが）、弁護士報酬は研究者の負担とならず、リターンを研究者自身にも利益が戻ってくるようなスキームが望ましいと思われる。

私自身は経歴にあるように元々銀行の営業マンであり、その重要さは認識している。このスキームでは開発とマネジメント、販売、スキーム構築は一体であり、イコールパートナーであるべきと考えている。

- 14) そのスキームの中にはその特許が価値のあるものならば、研究者個人が一定以上の資金負担をしないで弁護士に委任できるやり方も、私個人としては考えている。

（原稿受付：2016年5月11日）

トピックス

台湾（台北）駐在日記

著者紹介

かわぐち あつし
川口敦史TAIWAN KOGANEI TRADING CO.,LTD
Rm.2, 13F., No88, Sec. 2, zhongxiao E.Rd.,
Zhong Zheng Dist., Taipei City 10050, Taiwan(ROC)
E-mail : atsushi_kawaguchi@koganei-corp.com1996年長崎県立大学経済学部流通学科卒業、
1997年株式会社コガネイ入社、営業職に従事、
2013年台湾小金井貿易股份有限公司に出向、現
在に至る。

1. はじめに

私が初めて台湾に来たのは2012年11月の台北出張であった。それまでの私は海外駐在や海外出張はおろか海外旅行すら経験が無かったので、初めての海外に不安でいっぱいだったのを憶えている。当初は出張ベースで代理店の販売サポートを中心に活動していたが、台湾で本格的な営業活動を行うために2013年5月より台北駐在を開始した。従って、台北に駐在してもう3年になるのだが未だに台湾の母国語である中国語は簡単なコミュニケーションレベルである。それでも日常生活は不自由なく過ごせており、駐在生活にもだいぶ慣れてきた。この度、駐在員日記の執筆依頼をいただいたので、私の3年間の駐在生活を通じて経験した事や感じた事などをご紹介させていただく。

2. 親日国台湾

台湾はさまざまなメディアで紹介されているようにとても親日である上、非常に治安が良く日本人駐在員にとって大変恵まれた生活環境であると思う。台湾には日本語を話せる台湾人が多く、大半の台湾人は日本人に対してとても親切であり、日常生活において簡単な中国語さえできればさほど不自由する事がないというのが実情である。台湾に赴任した当初、台湾に駐在している日本人の方から「赴任先が台湾でとても恵まれているね」と言われたのをよく憶えている。言語の問題や文化の相違などにより悩んだり戸惑ったりする事は未だにあるのだが、現在の環境および周囲の方々に感謝しながら日々、楽しく生活する事を心掛けている。

3. 台湾の気候と文化

台湾（中華民国）の人口は約2350万人（2016年1月末時点）であり、その面積は約3万6000km²とほぼ九州と変わらない。気候は中央部を通る北回帰線より北部が亜熱帯、南部は熱帯に属している。年間を通して気温は総じて温暖だが、私の駐在している台北は湿度が非常に高い関係上、夏は蒸し暑く冬は体感温度が低くとても寒く感じる。

このような気候の台湾に住んでみて、私が感じている事の一つに日本との空調文化の違いが挙げられる。まず、夏場における台湾の飲食店やタクシーのエアコンがとにかく寒い。エアコンが効いている空間にいと、真夏にも関わらず寒くて震えてしまうなんて事は頻繁にあるので、夏に台湾旅行をされる際、冷え性の方は長袖を一枚持ち合わせてこの非常事態に備える事をお薦めする。冬場は気温が10℃を下回ると非常に寒く感じるにも関わらず、一流のホテルなどを除いて基本的にエアコンに暖房の機能が存在しない。台湾人は室内であっても寒いと感じればジャンパーを着用するのが一般的であり、室内を薄着で過ごす日本の文化とは大きく異なる部分である。

また、台湾南部は年中ほとんど雨が降らないのに対して私の駐在している台北はとても雨が多い。朝晴れていたのに夕方には大雨が降るなんて事はざらにある。特に夏場はスコールのように急に激しく降る事があるのだが、建物に面した主要道路を歩いていれば雨が降ってきてもさほど苦勞をしなくて済む。その理由は、歩道の上に建築物の二階から建築物と一体となって出っ張っているアーケードが設置されているからである（図1）。つまり、歩道の上にアーケードがあるおかげで雨が降っていてもほとんど濡れずに済むのである。このアーケードは雨避けだけでなく強烈な日差し避けにもなるのでとても便利である。

4. 台湾の食べ物

台湾の食文化は多様性に富んでいる。中国大陸の福建料理や広東省北部の客家料理、約50年間に及ぶ日本統治時代の食文化に与えた影響などが現在の台湾料理の土台となっていると指摘する人もいる。

台湾の食べ物と聞くと小籠包や牛肉麵、火鍋、マ



図1 建築物と一体となっているアーケード

ンゴなど比較的、日本人の嗜好にあった食べ物をイメージすると思うが、それはすでにご存知の方も多くご紹介させていただくにはあまりにも面白くないと思うので、私が台湾に赴任してもっともインパクトを受けた台湾料理を紹介させていただく。それは台湾の名物である臭豆腐。その名の通りかなり臭い。私が初めて台湾の夜市を歩いていた時の事が突然、強烈な臭さに出くわした。においのする先を確認すると屋台の看板に『臭豆腐』と書いてある(図2)。台湾人はなぜわざわざ臭い豆腐を好んで食べているのだろうと不思議に思ったのを憶えているのだが、台湾人に聞くと半数以上の人が臭豆腐は良いにおいがすると言うから驚きである。ちなみに臭豆腐には大きく2種類ある。発酵した豆腐を油で揚げたものと唐辛子の汁に漬け込んだものがあるのだが、油で揚げた方が味にもにおいも臭みが和らいでいる。私の個人的意見ではあるが、油で揚げたものであれば、実際に食べてみるとさほど味の臭さは気にならず意外と美味しい。一番の問題点は強烈なにおいを我慢して屋台に近づく事ができるかという事なのかもしれないが、興味のある方は台湾に来られた際に是非食べていただければと思う。



図2 夜市の臭豆腐屋台

5. 台北周辺の観光地

台湾は日本から近いという手軽さもあり、年間多くの日本人が観光に訪れる。台北周辺には淡水や101タワー、故宮博物館、烏来を始め観光名所が沢山有るのだが、もっとも人気が高いのは九份であると言われている。台湾人にとっての九份は1989年

に台湾映画『非情城市』のロケ地となり台湾の観光地として一躍有名になったのだが、日本においては宮崎駿のアニメ『千と千尋の神隠し』のモデル・舞台であると噂になり(図3)、観光地としての知名度が高まった。



図3 湯婆婆の屋敷のモデルと噂された茶店

九份は台湾のガイドブックに必ず紹介されているのでここでの詳細な説明は割愛させていただくが、九份を旅行される際には是非セットで足を延ばしていただきたい十分という名所があるのでご紹介させていただく。

十分は、九份からタクシーで凡そ30分程度(料金は凡そ600NTD≒2,040JPY)のところにある。台北駅から行くには台湾鉄路を使う場合、宜蘭・花蓮・台東行きに乗り、瑞芳駅で平溪線・菁桐行きに乗り換えて十分駅で下車。十分駅の線路沿いにずらりと並んだお店は異国情緒に溢れており、また線路への立入りを制限する柵もなく、そのお店のすぐ横を電車が通過する風景は迫力満点である。これらのお店で食べ物を買いながらぶらぶら歩いてのんびり過ごしても十分に楽しいのだが、私のお勧めは台湾の伝統行事であるランタン(天燈)上げの体験である(図4)。ランタンの4面に筆で願い事を書いて空に上げるのだが、ランタンの色によって、叶うとされる願い事が変わるので、自分の願いに合った色のランタンを購入する事をお薦めする。ちなみにランタンはすべての面が同色である1色タイプと4面それぞれ色が異なる4色タイプがあり、購入価格は



図4 ランタン上げの様子

100～150NTD（≒340～510JPY）である。ランタン上げは恋人やご家族など大切な人と一緒にすると素敵な思い出作りになると思うので台湾観光の際には是非、体験していただければと思う。

また、十分駅の近くには十分瀑布という台湾最大の滝があるので合わせてご紹介させていただく（図5）。十分瀑布は十分駅から徒歩で約15分程度のところあり、幅40Mに渡って半円状に広がっている。その姿形から台湾のナイアガラと呼ばれている。スケール自体は本物のナイアガラにはかなり及ばないのだが、とても美しい滝でありマイナスイオンを感じながら日頃の疲れを癒していただければと思う。



図5 十分瀑布

6. 台湾のものづくり

台湾に赴任して日本のものづくりの文化や考え方との違いを感じたのでご紹介させていただく。最初にお断りしておくが、これは私が台湾に駐在して感じた事であり、あくまで私個人の主観に基づいた内容である事をご了承いただきたい。

日本人の世界的な評価は勤勉かつまじめで細かい所にも気配りをするという話を耳にしたことがあるが、ものづくりにおいてもそれは当てはまっていると感じた。台湾では民生品・生産財問わず日本製というだけで信頼度が格段に上がる。それは日本の技術力による所が大部分であると思うのだが、人の目に付かない部分においても高品質を保っている事や、使いやすさを重視している点なども評価されていると感じた。価格競争が激しくなっている世情において、日本の製品は過剰品質になっている部分があるかもしれない。しかし、日本人固有の気質からくるものづくりの精神は評価されていると思うので、この部分については日本のアドバンテージであり今後も大切にしていかなければいけないと考える。

中小規模の装置製作会社を比較した場合、日本よ

り台湾の方が世界各国へ装置を展開している割合が高いと感じる。日本には世界有数のエンドユーザーが多く存在するが、台湾には少ないという状況がそうさせているのかもしれないが、台湾は中小規模の会社であってもグローバル化が進んでいるという印象を受ける。

また、台湾の企業は加工・組立・検査などの各工程において分業化が進んでいる。これにより必要とされる物がある一定の品質を保ちつつ、安価で大量かつ短期間で生産するのが得意である。これは、台湾において世界を代表するファウンドリーメーカーが育ってきた背景の一つであると考ええる。

7. 最後 に

台湾に駐在して3年が経過したが、本当にあっという間であった。取引先の方々や自社の台湾人スタッフをはじめ、周りの人達の支えがあったからこそ今までやってこれたのだと心から感謝している。また、海外駐在は日本に住んでいたら経験できない事や学べない事を沢山吸収できるチャンスがある上、自分の知らない異国文化や価値観に触れる事ができるのでとても貴重な体験をしているのだと思う。

上述以外にも台湾駐在をして良かったと思う事がある。台湾に住んでいる日本人の方々との間に、同じ日本人というだけで年齢や立場など関係なく、強い仲間意識が生まれて助け合おうという気持ちが芽生える。これは恐らく台湾駐在であるからという話ではなく、他の国で駐在されている方々の中にも同様の感想を持っておられる方が沢山いると類推する。また、もし日本に住んでいたら恐らく出会う機会がないような方とも出会える環境があり、台湾で出会ったからこそ良好な関係を築けたのだと思う時が沢山ある。実際に、日本で生活していた時は比較的、年齢が近く気の合う人達との付き合いが多かったが、台湾に駐在してからは幅広い年齢層の方々との付き合いが増えた。台湾在住の日本人の方々との交流を通じて学んだ事や教えていただいた事、経験した事は今後の自分自身の人生に対して必ずプラスに作用すると考える。

あと何年位、台湾で駐在生活を続けられるのかはわからないが、この先もきっと楽しい事や貴重な体験が沢山待っている。そんな未来にわくわくしながらこれからも明るく前向きに台湾での駐在生活を続けていきたいと思う。

（原稿受付：2016年6月5日）

研究室紹介

岐阜大学工学部 機械工学科 山田宏尚研究室

著者紹介



やま だ ひろ なお
山 田 宏 尚

岐阜大学工学部機械工学科
〒501-1193 岐阜市柳戸1-1
E-mail: yamada@gifu-u.ac.jp

1991年名古屋大学大学院博士課程修了、名古屋大学工学部講師等を経て2007年より岐阜大学工学部教授。油圧制御、人間支援工学などの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、日本ロボット学会等の会員。工学博士。

1. はじめに

岐阜大学は、医学部、工学部、教育学部、応用生物科学部（旧農学部）、地域科学部（旧教養部）の5学部を持ち、約800名の教職員および約7,300名の学生が在籍している。岐阜大学のある岐阜市内の北東から南西にかけては、日本三大清流のひとつで、鵜飼でも有名な長良川が流れている。また、岐阜市の中央、長良川沿いに位置する金華山頂上には織田信長ゆかりの岐阜城が聳え立ち、岐阜大学からも望むことができる。本稿では自然豊かな岐阜大学で行われている一研究室の研究事例について紹介したい。

2. 研究室の概要

筆者が岐阜大学に赴任したのは1994年であり、その当時は同じ研究分野の武藤高義教授と共同で研究室を運営していた。岐阜大学工学部では、2002年度に学科改組があり、筆者の所属研究室は機械システム工学科から、人間情報システム工学科という新設学科へ移籍した。その後、2004年に武藤教授が退官されると共に筆者が講座を引き継いだ。2013年に工学部が再び改組され、筆者らの研究室¹⁾は機械工学科の知能機械コースに所属することになった。現在は、主にメカトロニクス、フルードパワー制御、バーチャルリアリティ、人間支援システム等の研究を行っている。

研究スタッフは、職員が教授・山田宏尚、准教授・川村拓也、助教・大坪克俊の3名、学生が博士

前期課程2年4名、同1年5名、学部生5名、留学生1名で構成されている（写真1）。



写真1 研究室にて一部学生と

3. 研究内容

以下では主な研究内容について簡単に紹介する。

3.1 遠隔操作建設ロボット

宇宙、海中、大深度地下等の極限環境での作業や災害現場の復旧作業など、人間にとって危険が伴う環境での遠隔操作を想定した遠隔操作建設ロボットの研究を行っている²⁾。写真2に、本研究で扱うシステムの実験風景を示す。写真右手に見える建設ロボットは、ミニショベルに比例制御弁や各種センサ類を取り付けて遠隔操作ができるように改造したもので、全ての油圧アクチュエータはスレーブ側コンピュータにより制御できるようになっている。写真左手の操作者はステレオ視カメラから入力された画像、力覚フィードバック、音響フィードバックなどを有する臨場マニピレータより、建設ロボットを操作する。また、操作者の椅子は油圧式3軸揺動装置となっており、建設ロボットの動きに応じて、揺動するようになっている。これにより、操作者は、ロボットの動きをリアルに体感することができる。

本システムに関わる研究課題として、①オペレータに建設ロボットからの力感覚をフィードバックするための油圧マスタ・スレーブ制御法の検討、②仮想現実感を用いて、オペレータに視覚情報を効率的に与えるための研究、③3軸揺動装置を用いて、オ

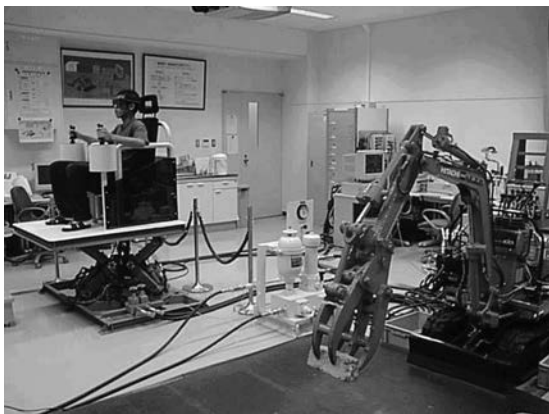


写真2 遠隔操作建設ロボット

ペレータにロボットの動きをリアルに体感させるための研究、④インターネット回線を用いた遠隔制御の研究等に取り組んでいる。

たとえば、作業精度を高めるため写真3のように作業対象物の空間的認識精度を高められるAR (Augmented Reality) を用いた情報提示法、および作業精度の評価手法を開発し、実機実験を通してこれらの有効性を検証している。本システムを学外からインターネット接続して遠隔操作ができるようにし、岐阜大学から約300km離れた場所からの遠隔操作実験に成功している。インターネット回線では通信の遅れが作業性を損なう可能性があるが、操作者に遅れの少ない作業位置をARにより提示することで、その問題を低減させる研究にも取り組んでいる。



写真3 ARによる操作ガイダンス表示

また、オペレータが作業のための基準を安全かつ簡易に知覚できるようにすることを目的として、図1に示すような現場のカメラ映像に丁張りのCGを提示するAR丁張りシステムを構築している。そして、AR丁張りを評価するために法面の3次元形状を計測する法面誤差評価システムを開発し、実験によりその有効性を検証している。

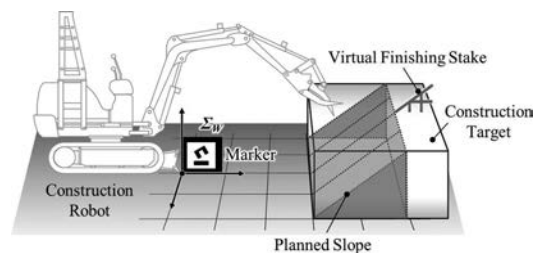


図1 AR丁張りシステム

3.2 アーム型パワーアシスト装置

人間支援に関するテーマとして、産業用パワーアシスト装置 (写真4) の研究に取り組んでいる。これは、空気圧式 (もしくは電気式) アクチュエータとアーム構造により作業者の操作力を低減できる作業支援用パワーアシストシステムを対象として、ユーザ・インターフェースの評価を行うと共に、機種や負荷質量などを変更した場合の性能予測を可能とするために、動特性シミュレーションを構築することを目的としている。パワーアシスト装置は人間の操作力により受動的に動くため、シミュレーションの数学モデルに人間を含めた制御系を構成する必要がある。このため、人間モデルを構築し、制御系に含めることで、実験値と良好に一致するシミュレーションの構築を可能にしている。

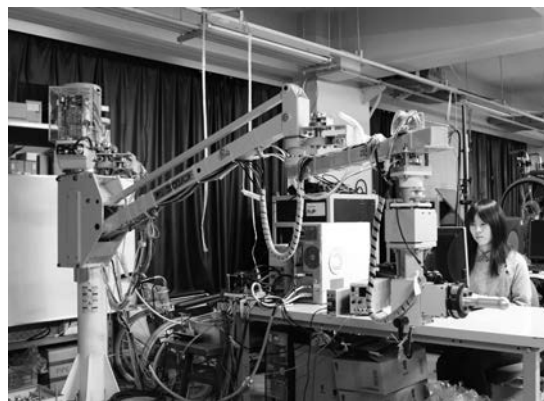


写真4 アーム型パワーアシスト装置

3.3 車椅子体験シミュレータ

車椅子シミュレータのテーマ (写真5) では、車いすユーザにとって快適となる空間の設計支援および段差乗り越え訓練を目的とした研究・開発を行っている。本研究では、仮想空間内に車椅子の運動を定義し、ハンドリム操作によって移動・旋回を行い、それによる車椅子の位置・姿勢が油圧6軸揺動装置の揺動として提示されるシステムを構築した。

本システムの揺動装置上部のシミュレータ機構および駆動ソフトウェアは学生達による自作であるが、これを用いた使用感は揺動感覚および車輪の力覚、

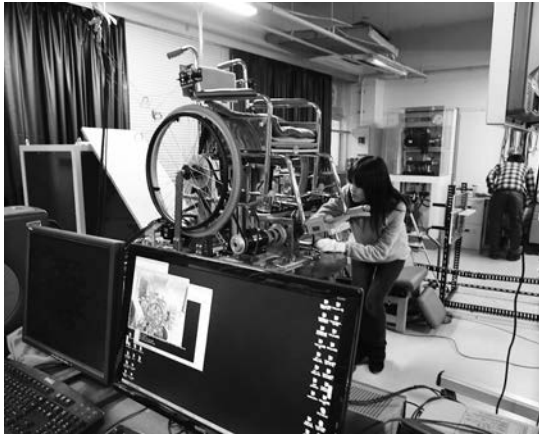


写真5 車椅子シミュレータ

視覚提示が総合的に与えられることで、かなりの臨場感が得られる。ただし、こういった人間が介在する装置の有効性を客観的評価することは容易ではなく、主観評価、生理的評価、作業効率等の観点から総合的に評価するための手法自体を含めて検討を行っている。

3.4 起立補助装置の開発

高齢者の起立動作を解析し、適切な補助を行う起立補助装置を開発することを目的として研究を進めている。高齢者の起立時の動作特性を解析した結果、若年者と比べて下肢（主に足首）の筋力が低下しているために、起立動作時に肘掛に依存する割合が高いことがわかった。現在、商品化されている起立補助椅子は座面が上昇したときに、肘掛の位置が座面に固定されていて身体に対して後方に位置するために起立動作が不安定となる。また、起立後も使用者は肘掛に手をかけて起立姿勢を保持するため、重心位置が身体の後方に残った状態となりスムーズに歩行動作に移行することができないことがわかった。そこで、座面昇降機能に加え、肘掛が独立に前方に可動する装置を付加した起立補助装置（写真6）を開発し、起立動作解析を行うことで、起立補助装置および肘掛駆動装置が使用者にもたらす影響について検討を行った。

このような福祉機器の開発においては、福祉介護現場の実際のニーズに合致した研究を行っていくことが重要である。福祉の現場においては「高機能」であることよりも、使いたいと思ったときに「手軽に・すぐに使える」ことが要求される場合が多い。



写真6 開発した起立動作補助装置

こういった現場の声を念頭に置きながら今後も研究・開発に取り組んでいく必要があると考える。

3.5 その他

上記以外にも、人間の視覚機能を模擬した中心窩レンズカメラによる監視カメラ開発をはじめとした画像処理関連の研究や無人店舗用リテールロボットシステムの開発、また准教授らによる触覚センサの開発などのメカトロニクスシステム全般にわたる研究を行っている。

4. おわりに

当研究室では、学生が研究を通じて制御システムを構成するためのソフト・ハードに関する基礎知識およびシミュレーション技術を学び、また週一回の研究報告会を通して、問題を解決する考え方を身につけることを目指している。講座運営のモットーは「学生が自らの力を発揮しながら楽しんで研究できる環境を提供する」ことである。すなわち、学生に一から十まで研究についての指示を与えるのではなく、学生が自分の力で考え、問題設定・解決できる力をつけられることを願って研究指導を行っている。

参考文献

- 1) <http://www1.gifu-u.ac.jp/~ymdlab/>
- 2) 山田宏尚, 建設機械の遠隔操作のためのヒューマンインタフェース, 日本ロボット学会誌, 33巻6号, p. 400-403 (2015).

(原稿受付：2016年6月3日)

企画行事

平成28年春季講演会併設セミナー開催報告 「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」

著者紹介

なり すすむ
成 田 晋

KYB株式会社技術本部技術企画部
〒105-6111 東京都港区浜松町2-4-1
E-mail: narita-sus@kyb.co.jp

1983年豊橋技術科学大学大学院修了。同年萱場工業株式会社（現KYB株）入社。主に油圧ポンプ・モータの開発に従事した後、現職。日本フルードパワーシステム学会会員。

1. はじめに

平成28年春季講演会併設セミナー「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」が平成28年5月25日（水）に機械振興会館において開催された。本稿では、本セミナーの趣旨および当日行われた各講演の概要について報告する。

2. 開催趣旨

IoT (Internet of Things:モノのインターネット) という言葉がさまざまなメディアで取り上げられ話題となっているが、その実態は漠然としてなかなか理解しづらい状況ではないかと考える。製造業におけるIoTのトレンドの一つとして、設備や機器に取り付けたセンサから稼働データをネットワーク経由でクラウドサービスなどに収集し、生産設備や機器の稼働状況を管理・分析し、運用・保守や製品開発に生かすといった取り組みが始まっている。一方、建設機械や農業機械といった分野においては、ICT (Information and Communication Technology) を活用した自動運転、遠隔操作、ロボット化といったさまざまなアプリケーションが構築されてきている。従来からフルードパワーシステムが活用されている分野に、IoT, ICTを適用することにより、より高付加価値なシステムを構築することが可能となっており、今後、フルードパワーシステムを発展させていくためには、IoT, ICTが重要な基幹技術の一つとなると考えられる。

IoT, ICTに対する理解を深め、さらなる活用を

図っていくため、IoT, ICTについて解説いただくとともに、その基盤技術となる情報センシング技術、情報通信技術、遠隔制御技術についての解説、さらに生産設備や建設機械におけるアプリケーションについて解説していただく。

3. セミナーの概要

3.1 参加者

セミナーの参加者は登録参加者25名、それに講師7名および事務局1名の参加で開催された。同時に開催された日中国際共同ワークショップの影響もあり、多少少ない参加者であったことが残念であった。登録者の所属別では大学関係者が7名、企業関係者が17名、その他1名であった。

3.2 開 会

企画委員会委員長の横浜国立大学の眞田一志先生から本セミナーの開催趣旨説明がなされ、講演が開始された（図1）。



図1 挨拶をされる眞田企画委員長

3.3 Internet of Things時代における変化とその対策

はじめに、日本アイビーエム株式会社の森大輔氏より「Internet of Things時代における変化とその対策」¹⁾と題する講演をいただいた（図2）。

IoTのトレンドとして製造業を取り巻く大きな技術的变化について解説いただき、その中でドイツ政府がドイツ産業界とともに推進するIndustrie4.0と

GE/AT&T/IBMなどの米国勢が中心となったIoTの国際標準化推進団体Industry Internetについて詳しく解説いただいた。その後、実際のユースケースについて紹介していただき、最後にIoT時代を生き抜くために日本の製造会社に取り組むべき課題について提言いただいた。



図2 森氏の講演

3.4 フルードパワーの情報センシング技術

つぎに、横浜国立大学大学院工学研究院の眞田一志先生に「フルードパワーの情報センシング技術」²⁾と題した講演をいただいた(図3)。

IoTの広がりとともに、情報センシングに関するニーズが高まり、さまざまなセンサが組み込まれるようになってきており、収集したデータをどう分析して活用するかという課題に対して、各種分析手法の紹介をしていただいた。フルードパワー分野において必要とされる情報を推定する方法の一つとしてカーネル法とその統計解析フリーソフトである統計Rについて詳しく解説いただくとともに、カルマンフィルタや特性曲線法についても解説いただいた。



図3 眞田先生の講演

3.5 マイコンと周辺装置の情報通信基盤技術

岡山理科大学工学部知能機械工学科の赤木徹也先生に「マイコンと周辺装置の情報通信基盤技術」³⁾

と題して講演いただいた(図4)。

研究室で開発したOn/Off弁を用いた疑似サーボ弁を例に、マイコンを組込んだ圧力制御システムにおけるPWM信号の生成原理、アナログ電圧出力、さらにマイコン内部データ送信やセンサ値の取り込みについて解説いただいた。



図4 赤木先生の講演

3.6 遠隔操作に関わる一般論とバイラテラル・マルチラテラル遠隔制御について

豊橋技術科学大学の三好孝典先生には、「遠隔操作に関わる一般論とバイラテラル・マルチラテラル遠隔制御について」⁴⁾と題して講演いただいた(図5)。

運動や力などの指令を遠隔地のロボットへ指令するとともにロボットからのフィードバックを受けて制御を行うバイラテラル制御の必要性について解説いただくとともに、バイラテラル制御における通信遅延を原因とする不安定問題の解決方法として、位置・力帰還型バイラテラル遠隔制御アルゴリズムについて解説いただいた。さらにマルチラテラル制御技術による仮想綱引き実験についても解説いただいた。



図5 三好先生の講演

3.7 エアパワーメータを活用した空気圧システムの省エネルギー化

福岡工業大学工学部知能機械工学科の加藤友規先

生に「エアパワーメータを活用した空気圧システムの省エネルギー化」⁵⁾について講演いただいた(図6)。

空気圧機器の消費エネルギーを測定するためのエアパワーメータの紹介とエアパワーメータによるエネルギー消費量の評価の例として空気軸受式エアタービンスピンドルの回転数制御に関する研究の紹介、およびエアパワーメータを工場内の要所に配置することで電動機器と空圧機器を同時に利用した場合などに工場全体のエネルギーとして管理することが可能となること等を解説していただいた。



図6 加藤先生の講演

3.8 衛星通信を利用した建設機械のグローバル遠隔監視システム

イリジウムの関口和浩氏に「衛星通信を利用した建設機械のグローバル遠隔監視システム」⁶⁾と題して講演いただいた(図7)。

建設機械に搭載されているデータ通信端末に衛星通信が採用されるメリットとその技術的理由、衛星端末とアンテナ、衛星通信の仕組みと携帯通信との比較、次世代通信衛星への更新計画、および今後の展望等について解説いただいた。



図7 関口氏の講演

3.9 荒掘削から仕上げ整地まで自動アシスト制御するICT油圧ショベル

最後に、コマツ開発本部の大岩憲史氏に「荒掘削から仕上げ整地まで自動アシスト制御するICT油圧ショベル」⁷⁾と題して講演いただいた(図8)。

GNSS (Global Navigation Satellite System) 測量技術を活用したICT油圧ショベルによるマシンコントロール制御を用いて施工することにより、丁張りや測量回数の削減で20%～63%の作業時間低減が可能となり、大幅な施工効率向上が可能となった油圧ショベルの機能と特徴について解説いただいた。



図8 大岩氏の講演

3.10 閉会

編集委員会委員長の東京工業大学の吉田和弘先生による閉会の挨拶ののち、参加者にセミナーのアンケートを記入していただき、残った参加者全員で記念写真を撮影しセミナーを終了した(図9)。



図9 セミナー参加者

4. おわりに

本セミナーは、本学会の編集委員会と企画委員会の合同企画事業であり、学会誌(47巻第2号)の特集記事をテキストとして、その内容を深く理解する機会を設けるものである。講演時間が25分と短かったこともあり、休憩時間に講演者へ質問をされている方もおられ、参加者の関心の高さがうかがわれた。

最後に、本セミナーで貴重な講演をいただきました講師の皆様はもちろんのこと、学会誌の特集記事

をまとめられた吉田委員長をはじめとする編集委員の皆様と、セミナーの準備、運営にご協力いただいた企画委員並びに学会事務局の皆様に、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 森大輔：Internet of Things時代における変化とその対策，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 2，p. 51-53 (2016)
- 2) 眞田一志：フルードパワーの情報センシング技術，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 2，p. 54-56 (2016)
- 3) 赤木徹也：マイコンと周辺装置の情報通信基盤技術，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 2，p. 57-60 (2016)
- 4) 三好孝典：遠隔操作に関わる一般論とバイラテラル・マルチラテラル遠隔制御について，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 2，p. 61-64 (2016)
- 5) 加藤友規，山本円朗，小林敏也：エアパワーメータを活用した空気圧システムの省エネルギー化，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 2，p. 65-67 (2016)
- 6) 関口和浩：衛星通信を利用した建設機械のグローバル遠隔監視システム，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 2，p. 71-73 (2016)
- 7) 大岩憲史：荒掘削から仕上げ整地まで自動アシスト制御するICT油圧ショベル，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 2，p. 74-77 (2016)

(原稿受付：2016年6月6日)

会 員 移 動

会員の種類	正 会 員	海 外 会 員	学 生 会 員	賛 助 会 員
会 員 数 (8月10日現在)	961	16	135	134
差 引 増 減	+21	±0	-14	±0

正会員の内訳 名誉員14名・シニア員39名・ジュニア員184名・その他正会員724名

正会員

山田 崇 (神戸製鋼所)
田中 英紀 (川崎重工業株式会社)

荒井悠一郎 (油研工業株式会社)
齋藤 匡祐 (株式会社ケー・ティー・システム)

学生会員

中村 友哉 (横浜国立大学)
坪井 佑悟 (横浜国立大学)

柳田 悠太 (横浜国立大学)
増原 伊織 (法政大学)

会 告

〈理事会・委員会日程〉

9月 2日	委員長会議
9月20日	企画委員会
9月28日	情報システム委員会
10月 4日	理事会
10月 5日	編集委員会
10月 6日	基盤強化委員会

〈理事会報告〉

8月3日 15:00～17:00 機械振興会館
地下3階B3-2号室（出席者20名）

- 1) 新会長挨拶
- 2) 国際シンポジウム福岡について
- 3) 平成28年度フェロー認定者推薦について
- 4) 平成28年度秋季講演会最優秀講演賞受賞者について
- 5) 平成28年度学賞選考委員長の選出について
- 6) 会員の推移と入退会者について
- 7) 理事会名簿作成について
- 8) 学会財務基盤の強化の進捗状況について
- 9) その他

〈委員会報告〉

平成28年度第1回委員長会議

7月5日 15:00～17:30 機械振興会館
地下3階B3-9号室（出席者8名）

- 1) 新会長挨拶
- 2) 理事会開催要領について
- 3) 平成28年度各委員会の名簿作成について
- 4) 学会財務基盤の強化の進捗状況について
- 5) その他

平成28年度第1回委員長会議

7月22日 15:00～17:30
機械振興会館6階6-62号室（出席者22名）

- 1) 平成28年度実施事業について
 - ・平成28年春季講演会併設セミナー
 - ・平成28年春季講演会

- ・最優秀講演賞
 - ・平成28年秋季講演会
 - ・オータムセミナー
 - ・ウインターセミナー
- 2) 平成29年度実施事業について
 - ・平成29年春季講演会併設セミナー
 - ・平成29年春季講演会
 - 3) その他
 - ①予告会告・会告について
 - ・平成28年度秋季講演会（会誌9月号掲載）
 - 平成28年度オータムセミナー（会誌9月号掲載）
 - ②WGの構成について
 - ③委員会名簿について

平成28年度第1回基盤強化委員会

7月5日 13:30～15:30 機械振興会館
地下3階B3-9号室（出席者9名）

- 1) 会員サービス、会員数増加
- 2) 外部への情報発信
- 3) フルードパワー道場
- 4) フルードパワー・バーチャルミュージアム
- 5) 研究員会について
- 6) その他

平成28年度第1回編集委員会

8月4日 14:00～17:00 東京工業大学田町CIC
5階リエゾンコーナー 501（出席者13名）

- 1) 会誌特集号の現状と企画
 - ・Vol.47 E 1（電子出版号）「緑陰特集」
 - ・Vol.47 No.5「フルードパワーを活用した大規模研究開発」
 - ・Vol.47 No.6「機能性流体を活用したフルードパワー技術の実用化最前線」
 - ・Vol.48 No.1「柔軟構造のフルードパワー・アクチュエータ」
 - ・Vol.48 No.2「フルードパワーに役立つセンシング技術」
- 2) その他
 - ・会議報告
 - ・トピックスについて
 - ・今後の特集について
 - ・記事一覧

会 告

日本フルードパワーシステム学会 平成28年度受賞候補者募集

当学会は、我が国の油圧・空気圧・水圧工学の振興と発展の奨励を目的として毎年優れた研究・技術を表彰しております。本年も当学会の「表彰規程」に基づき、日本フルードパワーシステム学会平成28年度受賞候補者を募集いたします。

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

募集要項

1. 受賞候補者の資格 受賞候補者の資格は本学会の正会員および法人である賛助会員に属する者とする。ただし、共同研究者、共同開発者のある場合はその者の資格については、その限りでない。

2. 募集方法 公募によるものとし、当学会の賛助会員、正会員、あるいはフルードパワー工業団体、フルードパワー関係学協会の推薦、または本人の申請によるほか、本学会内の委員会の推薦による。

3. 応募対象

(1) **学術論文賞** 過去数年以内に発行された日本フルードパワーシステム学会誌、論文集、あるいは本学会主催の国際シンポジウムのプロシーディングスに掲載された研究論文の著者(連名可)。

(2) **学術貢献賞** 多年フルードパワー工学・技術に携わり、その間数多くの論文を発表して、当該工学・技術分野に多大の貢献をし、その累積効果が抜群であって、しかも学会に対する貢献大なる研究者。

(3) **技術開発賞** 過去数年以内に完成を遂げた油圧・空気圧・水圧・その他の流体圧に関する新技術の開発者とする。ただし、当該製品は市場で6ヶ月以上使用実績があることが望ましく、選考の際は特許(もしくは新案)の申請も参考とする。応募者が連名の場合は、筆頭者を含めて5名以内とする。

(4) **技術功労賞** 多年フルードパワー技術に携わり、この間数々の技術改良を行うなどして当該技術の向上に貢献しその累積効果が抜群の技術者(長年にわたる技術的な功績を重視し、候補者の年齢は原則として50歳以上とし、現在の事業所にお

ける役職についてはこだわらないが、業績があまり世に知られていない技術者を積極的に推薦する)。

4. 提出書類 推薦者又は申請者は必ず当学会所定の「推薦書・申請書」用紙を使用し、1件につき4通提出するものとする(推薦書・申請書用紙は学会事務局info@jfps.jp Tel: 03-3433-8441までご請求ください。各賞《下記のSMC賞も含む》ごとの用紙をお送りします)。

5. 提出締切日 平成28年12月5日までに着信のこと。

6. 提出先及び問合せ先

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番22号
機械振興会館 別館102

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会事務局

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

7. 表彰 表彰は選考された受賞者に対して賞状と副賞を贈与する。共同研究および共同開発の場合は賞状を共同研究者および共同開発者にも贈る。表彰は原則として学術論文賞2件以内・学術貢献賞1件・技術開発賞2件以内および技術功労賞若干件とする。

8. 表彰の時期 表彰は平成29年5月開催の第36期通常総会後におこなう。

「SMC高田賞」

SMC株式会社殿のご寄付を基金として、標記の如く「SMC高田賞」が設けられており、新進気鋭の方々の多数応募をお待ちしています。

1. 応募資格 学会の正会員、学生会員および法人である賛助会員に所属する者のうち、原則として年令満40才未満の研究者・技術者とする。ただし、大学院生の場合は年令に制限を設けない。また一度受賞した者は、重ねて受賞することができない。

2. 応募対象となるもの 過去数年以内に発行された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学会論文集」または講演論文集に掲載された研究論文の著者とする。

3. 表彰 表彰は、選考された受賞者に対して、賞状と副賞の贈与をもって行う。副賞は論文1篇に対し10万円とする。表彰は原則として2件以内とする。

会 告

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会（JFPS） フェロー認定者推薦のお願い

本学会は下記によりJFPSフェローの認定を行います。

1. JFPSフェローの趣旨と要件

JFPSフェローはフルードパワー技術の進展に貢献した正会員、本学会の諸活動に貢献した正会員に贈られる名誉ある称号です。認定された本人には本学会より認定証を交付します。認定要件は上記に適合する人物で、かつ15年以上継続して本学会の正会員であることです。

2. JFPSフェロー推薦の方法

下記要項が記載された推薦書によりJFPSフェローの推薦を受け付けます。

- 1) 3名の推薦者の名前。その内1名が推薦代表者となり、代表者には代表者であることの記載、連絡先住所、電話番号、E-mailアドレスを記してください。全ての推薦者が同じ機関（企業・大学）の所属であることはできません。推薦者は正会員であることが望まれますが、必ずしも全ての者が正会員でなくてもかまいません。
- 2) 推薦される者（被推薦者）の名前とふりがな、英字による名前、連絡先住所、電話番号、E-mailアドレス。被推薦者は前記JFPSフェローの要件を満たさなければなりません。ただし、企業からの被推薦者の正会員継続年数につ

いては15年を満たさない場合でも、推薦を受けてフェローを選考する段階で学会長が特別に認めることがあります。

- 3) 推薦理由。JFPSフェローの趣旨に合致する必要があります。選考の重要な資料となります。可能な限り具体的にお伝えください。

推薦代表者は任意のA4用紙に上記1)から3)を記入して、本学会・学会長宛てにお送りください。手元にコピーを残すようお願いします。

平成28年度フェローの推薦受付締め切りは平成28年11月末日（消印有効）とします。

3. 推薦書送付先

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会

会長 小山 紀

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-22

機械振興会館別館102

4. 選考結果の伝達

フェロー選考結果は会告と学会ホームページにて公知します。選考の途中経過や、選考の内容についての問い合わせについては、一切回答しませんので承ください。

お詫びと訂正

本学会誌47巻、第4号（2016年7月）会員移動ページの入会者（正会員）におきまして、以下のような記載ミスがありました。

【誤】 西川 理仁（豊橋技術科学大学）

【正】 西川原 理仁（豊橋技術科学大学）

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ます。ここに訂正させていただきます。

〈勝美印刷株式会社〉

会 告

(一社)日本フルードパワーシステム学会
賛助会員一覧表

アイシン・エイ・ダブリュ(株)
 (株)明石合銅
 (株)曙ブレーキ中央技術研究所
 アズビル(株)湘南工場
 アズビルTACO(株)
 (株)アドヴィックス
 アネスト岩田(株)
 イートン(株)
 (株)IH I
 出光興産(株)
 イナバゴム(株)
 イハラサイエンス(株)
 (株)インターナショナル・
 サーボ・データー
 (株)打江精機
 SMC(株)
 SMC(株)中国
 (株)荏原製作所
 (株)大阪ジャッキ製作所
 大瀧ジャッキ(株)
 (株)オプトン
 鹿島通商(株)
 KYB(株)
 KYBエンジニアリング・
 アンド・サービス(株)
 KYB-YS(株)
 (株)桂精機製作所
 神威産業(株)
 川崎重工業(株)
 川重商事(株)
 (株)神崎高級工機製作所
 キャタピラー・ジャパン(株)
 旭東ダイカスト(株)
 協和シール工業(株)
 極東開発工業(株)
 (株)クボタ
 (株)クレアクト・インターナショナル
 クロダニューマティクス(株)
 (株)ケンチク舎成増
 (株)古河製作所
 (株)工苑
 甲南電機(株)
 (株)コガネイ
 コスモ石油ルブリカンツ(株)
 (株)小松製作所
 (株)小松製作所試験センタ

(株)小松製作所研究本部
 (株)小松製作所油機開発センタ
 (株)阪上製作所
 (株)鷺宮製作所
 佐藤金属(株)
 三和テッキ(株)
 三輪精機(株)
 CKD(株)
 (株)島津製作所
 (株)ジェイテクト
 勝美印刷(株)
 JXエネルギー(株)
 ジヤトコ(株)
 新日鐵住金(株)交通産機品カンパニー
 住友建機(株)
 住友重機械工業(株)
 住友精密工業(株)
 制御機材(株)
 千住金属工業(株)
 第一電気(株)
 (株)TAIYO
 タイヨーインターナショナル(株)
 (株)タカコ
 (株)タダノ
 ダイキン・ザウアーダンフォス(株)
 ダイキン工業(株)
 ダイワ(株)
 大生工業(株)
 調和工業(株)
 (株)都筑製作所
 TMCシステム(株)
 (株)TNK
 テラル(株)
 天竜丸澤(株)
 トーヨーエイトック(株)
 東京メータ(株)
 TOHTO(株)
 東北特殊鋼(株)
 東明工業(株)
 DOOSAN CORPORATION
 同和発條(株)
 東京計器(株)
 東京計器パワーシステム(株)
 特許機器(株)
 特許庁
 豊興工業(株)

(株)豊田自動織機
 中西商事(株)
 中村工機(株)
 長津工業(株)
 長野計器(株)
 ナブテスコ(株)
 ニッタ(株)
 日新戸器工業(株)
 日本アキュムレータ(株)
 (株)日本アレフ
 日本機材(株)
 日本クエーカー・ケミカル(株)
 日本工業出版(株)
 日本精器(株)
 日本電産トーソク(株)
 (一社)日本フルードパワー工業会
 日本ムーグ(株)
 (株)野村商店
 (株)ハイダック
 日立建機(株)
 (株)日立建機ティエラ
 (株)日立建機カミーノ
 (株)日立製作所
 日立住友重機械建機クレーン(株)
 廣瀬バルブ工業(株)
 ピー・エス・シー(株)
 フジサンケイビジネスアイ
 フェスト(株)
 (株)フクダ
 (株)不二越
 二見屋工業(株)
 ボッシュ・レックスロス(株)
 昌富工業(株)
 マサモト(株)
 (株)増田製作所
 マックス(株)
 三菱電線工業(株)
 ヤマシンフィルタ(株)
 ヤマハモーターハイドロリック
 システム(株)
 油研工業(株)
 理研精機(株)
 リバーフィールド(株)
 ワールドインシュアランス
 ブローカーズ(株)

共催・協賛行事のお知らせ

共催行事

キャビテーションに関するシンポジウム（第18回）	
主 催：	日本学術会議 第三部（予定） 第18回キャビテーションに関するシンポジウム実行委員会 （委員長：理化学研究所理事，東京大学名誉教授・松本洋一郎）
開 催 日：	2016年12月8日(木)～9日(金)
会 場：	九州大学医学部百年講堂（〒812-8582 福岡市東区馬出3丁目1番1号）
連 絡 先：	九州大学大学院工学研究院 安東 潤 教授 TEL：092-802-3449（直通） FAX：092-802-3368 e-mail：cav18@nams.kyushu-u.ac.jp

協賛行事

SICEセミナー「マルチエージェントシステムの制御：IoT時代の制御理論」	
開 催 日：	2016年9月29日(木)～9月30日(金)
会 場：	北陸先端科学技術大学院大学 東京サテライト 東京都港区港南2-15-1 品川インターシティ A棟19階 http://www.jaist.ac.jp/satellite/sate/ アクセス：JR品川駅から徒歩3分 参考URL： http://www.jaist.ac.jp/satellite/sate/access/ 東京サテライトお問合せ先：部門担当 鈴木和美 (E-mail：bumon@sice.or.jp, TEL：03-3814-4121, FAX：03-3814-4699)
トライボロジー会議2016秋新潟	
開 催 日：	2016年10月12日(水)，13日(木)，14日(金)
会 場：	朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター（〒950-0078 新潟県新潟市中央区万代島6-1）
申込み・問合せ：	一般社団法人日本トライボロジー学会 事務局 （〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館407-2号室） TEL 03-3434-1926 FAX 03-3434-3556 E-mail jast@tribology.jp 申込みはホームページ http://www.tribology.jp から可能です。
第9回トライボロジー入門西日本講座	
開 催 日：	2016年10月27日(木)～28日(金)
会 場：	名城大学天白キャンパス研究実験棟Ⅱ2階261（多目的室）（〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501）
申込・問合せ先：	一般社団法人日本トライボロジー学会 事務局 （〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館407-2号室） TEL 03-3434-1926 FAX 03-3434-3556 申込はホームページ http://www.tribology.jp から可能です。
No.16-14 第59回自動制御連合講演会	
開 催 日：	2016年11月10日(木)，11日(金)，12日(土)
会 場：	北九州国際会場（北九州市）
申込締切：	2016年8月1日(月)（7月5日から受付開始予定）
講演申込先及び方法：	ホームページからのオンライン申し込みになります。 http://www.jsme.or.jp/conference/rengo59/
N0.16-14 講習会	
産業に役立つアクチュエータ研究開発の最前線	
—最新アクチュエータ要素技術からアクチュエータシステムへの展開—	
開 催 日：	2016年11月25日(金)
会 場：	名古屋大学 ベンチャービジネスラバトリー ベンチャーホール [名古屋市千種区不老町／電話（052）789-5447 地下鉄名城線名古屋大学駅3番口より徒歩3分 http://www.nagoya-u.ac.jp]
問合せ先：	機素潤滑設計部門 担当職員 金子／電話（03）5360-3504／E-mail kaneko@jsme.or.jp

エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム (EcoDePS) 2016 開 催 日：2016年12月7日(水) 開催場所：東京理科大学森戸記念館（東京都新宿区神楽坂1-3） 主 催：エコデザイン学会連合 後 援：エコプロダクツ大賞推進協議会（予定） 幹事団体：特定非営利法人エコデザイン推進機構 組織委員長：細田 奈麻絵 物質・材料研究機構グループリーダー／東京大学教授 実行委員長：木下 裕介 産業技術総合研究所研究員 事務局：エコデザイン推進機構／エコデザイン学会連合事務局（イトレイ株）
21016年度計算力学技術者（CAE技術者）資格認定事業 （固体力学分野の有限要素法解析技術者・熱流体力学分野の解析技術者・振動分野の有限要素法解析技術者） 実 施 日：認定試験2016年12月10日(土) 申 込：2016年8月1日(月)～8月17日(水) 17時 申込方法・申請書類等の詳細は、http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm 参照
第17回SICEシステムインテグレーション部門講演会 開 催 日：平成28年12月15日(木)～17日(土) 会 場：札幌コンベンションセンター（札幌市白石区東札幌6条1丁目1-1 ※地下鉄東西線東札幌駅から徒歩10分） 主 催：公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門 HP：http://www.si-sice.org/si2016 事務局所在地：〒060-0814 札幌市北区北14条西9 北海道大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻 本件連絡担当者：SI2016実行委員長 田中 孝之 E-mail: ttanaka@ssi.ist.hokudai.ac.jp TEL: 011-706-6756 SICE事務局：部門担当 E-mail: bumon@sice.or.jp TEL: 03-3814-4121
「EU Green Gateway to Japan」プロジェクト 日 程：2017年7月1日～2019年12月 場 所：東京 主 催：欧州連合（EU） 運営事務局：（一社）日本能率協会 産業シンクセンター

会 告

平成28年度 オータムセミナー 「生産技術に貢献するフルードパワー in トヨタ産業技術記念館」 開催日時：平成28年11月25日（金）9：30～17：00

開催趣旨：

今年のオータムセミナーは、日本のものづくり集積地のひとつ中部地区、名古屋市で開催いたします。

私たちの身の回りにあるさまざまな製品や部品、これらを作る生産技術の分野でも、フルードパワーがたくさん使われています。このような最先端のものづくりに色々な形で貢献している事例を第一線で活躍されている方々に具体例を交えて講演

いただきます。

また、今回セミナー会場となるトヨタ産業技術記念館は、自動車生産と織機の歴史を数多くの展示で紹介している素晴らしい博物館です。午前には館内の自由見学時間を設け、午後から講演形式のセミナーを行います。

セミナーの詳細は学会ホームページにて随時掲載いたします。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催 平成28年秋季フルードパワーシステム講演会（青森）のお知らせ 開催日：平成28年10月19日(水)～21日(金)

開催趣旨：

平成28年秋季フルードパワーシステム講演会は平成28年10月19日（水）・20日（木）・21日（金）に青森市文化観光交流施設 ねぶたの家ワ・ラッセ（<http://www.nebuta.jp/warasse/> 青森駅から徒歩1分）で開催されます。本講演会は通常の一般講演およびオーガナイズドセッション（「油圧

制御技術と制御技術に貢献する油圧要素機器」、「ソフト・ロボティクス」）、特別講演、技術懇談会、テクニカルツアーなどで構成されます。詳細は学会ホームページにて随時掲載いたしますので、ご確認いただき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。

編集室

次号予告

—特集「機能性流体を活用したフルードパワー技術の実用化最前線」—

〔巻頭言〕「機能性流体を活用したフルードパワー技術の実用化最前線」発刊にあたって

〔総論〕機能性流体の研究開発と実用化の動向

〔解説〕自動車用MR流体ダンパの研究

超小型EV向けMR流体ブレーキの開発

建築物の免震・制振用MR流体ダンパの開発

ナノMR流体の特長とハプティクスへの応用

MR流体ブレーキを用いた筋力トレーニングロボットの開発

高頭 静夫, 石井 博,

古川 仁,

中野 政身

中野 政身

斎藤 啓司

中野 政身

袖山 博

野間 淳一

白石 俊彦

岩谷 徹

井上 昭夫

安齊 秀伸

小原 武恵

ER流体とその応用開発の現状

リハビリテーション長下肢装具用電子制御EAM膝ブレーキの開発

釣用リールにおける磁性流体シールの応用

〔ニュース〕第4回フルードパワーに関する日中国際共同ワークショップ

(The 4th Japan-China Joint Workshop on Fluid Power) 開催報告

〔会議報告〕インドフルードパワー技術セミナーに参加して

ROBOMECH2016におけるフルードパワー技術研究の動向

〔教室〕入門講座「エネルギー工学」第二回：火力発電と再生可能エネルギー

〔トピックス〕特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム……特許文献を見る3

人工心臓

〔研究室紹介〕鈴森・遠藤研究室

〔企画行事〕春季講演会

中野 政身

中野 政身

斎藤 啓司

中野 政身

袖山 博

野間 淳一

白石 俊彦

岩谷 徹

井上 昭夫

安齊 秀伸

小原 武恵

伊藤 和寿

眞田 一志

田中 豊

江間 敏

木原 和幸

進士 忠彦

鈴森 康一

金 俊完

平成28年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 塚 越 秀 行 (東京工業大学)
副委員長 村 松 久 巳 (沼津工業高等専門学校)
委員 伊 藤 雅 則 (東京海洋大学)
上 野 朝 嗣 (CKD(株))
内 堀 晃 彦 (宇部工業高等専門学校)
加 藤 猛 美 (株コガネイ)
加 藤 友 規 (福岡工業大学)
北 村 剛 (油研工業(株))
木 原 和 幸 (財工業所有権協力センター)
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(株))

委員 中 野 政 身 (東北大学)
中 山 晃 (日立建機(株))
成 田 晋 (KYB(株))
藤 田 壽 憲 (東京電機大学)
丸 田 和 弘 (株コマツ)
柳 田 秀 記 (豊橋技術科学大学)
山 田 真の介 (株TAIYO)
山 田 宏 尚 (岐阜大学)
吉 満 俊 拓 (神奈川工科大学)
担当理事 伊 藤 和 巳 (KYB(株))
編集事務局 藤 谷 秀 次 (学会事務局)
竹 内 留 美 (勝美印刷(株))

(あいうえお 順)

会 告

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写してください。ただし(公社)日本複写権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。したがって、社外頒布用の複写は許諾が必要です。

権利委託先：(一社)学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

TEL: 03-3475-5618 FAX: 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接本会へご連絡ください。

日本フルードパワーシステム学会論文集

第47巻, 第5号 (2016)

平成28年9月

目 次

研究論文

1. 油圧アームのオンライン物理パラメータ同定

松本優司, 酒井 悟 31

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.47, No.5

September 2016

Contents

Paper

- 1 . An On-line Physical Parameter Identification for Hydraulic Arms

Yuji MATSUMOTO, Satoru SAKAI 31

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

油圧アームのオンライン物理パラメータ同定*

松本 優 司**, 酒 井 悟**

An On-line Physical Parameter Identification for Hydraulic Arms

Yuji MATSUMOTO, Satoru SAKAI

This paper discusses an on-line parameter identification for hydraulic arms. First, the state-space equation of hydraulic arms is converted into a linear equation with respect to unknown physical parameters such as the bulk modulus and the flow gain. Second, a new on-line parameter identification method for hydraulic arms is proposed based on the linear equation. Third, the validity of the proposed method is confirmed by simulation using a nonlinear model. Finally, the validity of the proposed method is confirmed by experiment using an actual arm. The identified values by the proposed method converge to those by the previous off-line method and the setting times in our laboratory scale are less than 10 seconds.

Key words : Parameter identification, Nonlinear systems, Fluid power system, Fluid power engineering, Robot, Manipulator

1. 緒 言

本論文では、体積弾性係数、漏れ係数を含む物理パラメータを未知とする油圧アームのオンラインパラメータ同定法を提案し、数値的かつ実験的に有効性を検証する。

BigDog¹⁾や無人建設機械などの油圧アームは電動アームと比較して、出力重量比が高いだけでなくエネルギーを消費せずに姿勢維持が可能であるため、掘削、レスキュー、耐震試験などにて広く普及しており、近年では作業効率や安全性を高めるためのモデルベース制御による高度自動化が求められている。油圧アームは電動アームとは異なって運動方程式だけではなく連続式にも支配される複雑な非線形系であり、同時に、電動アームよりも多くの未知パラメータを有する。特に体積弾性係数、漏れ係数は油圧アームの制御性能にとって重要である²⁾。

前島らは物理パラメータを未知とする油圧アームの同定法を提案した³⁾⁴⁾。しかし、オフライン同定を前提としており、計算量の観点からオンライン同定には実装できないという問題がある。

先に報告されている西海らのオンラインパラメータ同定法など⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾のアプローチとは異なり、本論文のアプローチでは体積弾性係数、漏れ係数を含む物理パラメータを未知とする油圧アームの非線形公称モデルと実験機の双方を

用いて、オンライン同定法を数値的かつ実験的に検証する。具体的には、第3章において油圧アームの非線形公称モデルを述べる。第4章において非線形公称モデルの未知パラメータを定義し、オンラインパラメータ同定法を与える。第5章において計算機に非線形公称モデルを構築してオンライン同定法を数値的に検証する。第6章において油圧アーム実験機を用いてオンライン同定法を実験的に検証する。最後に第7章において結言を述べる。

2. 主 な 記 号

本論文の記号を次表に示す。

Table 1 The main symbols.

Symbol	Parameter	Unit
s	Piston displacement	m
$p_{\pm}$	Pressure	Pa
u	Input	V
M	Inertia	—
F_v	Damping coefficient	N·s/m
F_c	Coulomb friction	N
b	Bulk modulus	Pa
$V_{0\pm}$	Pipeline volume	m ³
A_+	Cap area	m ²
A_-	Rod area	m ²
L	Stroke	m
$C_{\pm}$	Flow gain	m ² /(sV·√Pa)
C_i	Leakage coefficient	m ³ /(s·Pa)
p_s	Pump supply pressure	Pa
α_j ($j=1, \dots, 7$)	Initial element of error covariance	—
λ_l ($l=1, 2$)	Forgetting factor	—
$\hat{x}$	Estimate of x	—

*平成28年4月1日 原稿受付

**信州大学大学院理工学系研究科

(〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)

(E-mail: satorus@shinshu-u.ac.jp)

3. 油圧アームの非線形公称モデル

本章では油圧アームの非線形公称モデルを述べる。Fig. 1に同定対象とするスプール弁からシリンダまでの油圧アームを示す。油圧アームの制御のための公称モデルの1つは

$$\begin{cases} \dot{s} = -M^{-1} \{ F_v \dot{s} + F_c \operatorname{sgn}(\dot{s}) - (A_+ p_+ - A_- p_-) \} \\ \dot{p}_+ = \frac{b}{V_{0+} + A_+ (L/2 + s)} \{ -A_+ \dot{s} + C_{f+} h_+ u - C_i (p_+ - p_-) \} \\ \dot{p}_- = \frac{b}{V_{0-} + A_- (L/2 - s)} \{ +A_- \dot{s} - C_{f-} h_- u + C_i (p_+ - p_-) \} \end{cases} \quad (1)$$

と表される³⁾⁴⁾。ただし、

$$\begin{aligned} h_+ &:= \sqrt{\left| \operatorname{sgn}(-u) p_+ + \frac{1 + \operatorname{sgn}(+u)}{2} p_s \right|} \\ &= \begin{cases} \sqrt{|-p_+ + p_s|} & (u > 0) \\ \sqrt{|+0 + \frac{1}{2} p_s|} & (u = 0) \\ \sqrt{|-p_+ + 0|} & (u < 0) \end{cases} \\ h_- &:= \sqrt{\left| \operatorname{sgn}(+u) p_- + \frac{1 + \operatorname{sgn}(-u)}{2} p_s \right|} \\ &= \begin{cases} \sqrt{|+p_- + 0|} & (u > 0) \\ \sqrt{|+0 + \frac{1}{2} p_s|} & (u = 0) \\ \sqrt{|-p_- + p_s|} & (u < 0) \end{cases} \end{aligned}$$

である。下付文字の+と-はそれぞれピストンのキャップ側とロッド側である。

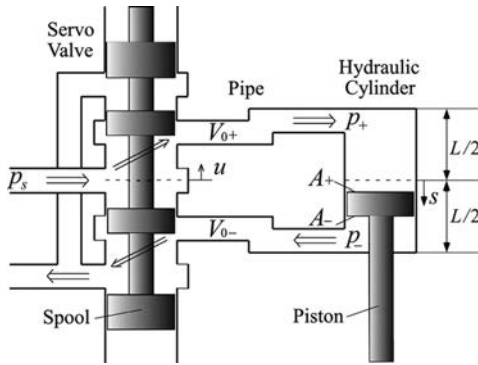


Fig. 1 Hydraulic arms.

4. 物理パラメータ同定法

本章では油圧アームのオンライン同定法について述べる。まず、非線形公称モデル(1)のオフライン同定法を確認する。同モデルの第1式に M 、第2式に $\{V_{0+} + A_+ (L/2 + s)\} / b$ 、第3式に $\{V_{0-} + A_- (L/2 - s)\} / b$ をそれぞれ両辺から掛ける。次に未知パラメータに依存する項を左辺、未知パラメータに依存しない項を右辺に移項すると、

$$M \dot{s} + F_v \dot{s} + F_c \operatorname{sgn}(\dot{s}) = A_+ p_+ - A_- p_- \quad (2)$$

$$-\frac{\dot{p}_+ \{V_{0+} + A_+ (L/2 + s)\}}{b} + C_{f+} h_+ u - C_i (p_+ - p_-) = A_+ \dot{s} \quad (3)$$

$$\frac{\dot{p}_- \{V_{0-} + A_- (L/2 - s)\}}{b} + C_{f-} h_- u - C_i (p_+ - p_-) = A_- \dot{s} \quad (4)$$

を得る。式(2)は

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11}(t) & \sigma_{12}(t) & \sigma_{13}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M \\ F_v \\ F_c \end{bmatrix} = [f_1(t)] \quad (5)$$

と表現できる。ただし、

$$\sigma_{11}(t) = \dot{s}(t), \quad \sigma_{12}(t) = \dot{s}(t), \quad \sigma_{13}(t) = \operatorname{sgn}(\dot{s}(t))$$

$$f_1(t) = A_+ p_+(t) - A_- p_-(t)$$

である。また式(3)、(4)は、

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{21}(t) & \epsilon_{22}(t) & 0 & \epsilon_{24}(t) \\ \epsilon_{31}(t) & 0 & \epsilon_{33}(t) & \epsilon_{34}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{b} \\ C_{f+} \\ C_{f-} \\ C_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_2(t) \\ f_3(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

と表現できる。ただし、

$$\epsilon_{21}(t) = -\dot{p}_+(t) \{V_{0+} + A_+ (L/2 + s(t))\},$$

$$\epsilon_{31}(t) = \dot{p}_-(t) \{V_{0-} + A_- (L/2 - s(t))\},$$

$$\epsilon_{22}(t) = h_+(t) u(t), \quad \epsilon_{33}(t) = h_-(t) u(t),$$

$$\epsilon_{24}(t) = -(p_+(t) - p_-(t)),$$

$$\epsilon_{34}(t) = -(p_+(t) - p_-(t)),$$

$$f_2(t) = A_+ \dot{s}(t), \quad f_3(t) = A_- \dot{s}(t)$$

である。式(2)~(4)は状態について非線形であるが、式(5)、(6)は未知パラメータについて線形である。

$f_1(t)$, $f_2(t)$, $f_3(t)$ は一般に零ではないため、計測時点 $t=1, \dots, k$ における未知パラメータの最小二乗推定値 $\hat{x}$ が

$$\hat{x}_1 = (A_1^T(k) A_1(k))^{-1} A_1^T(k) B_1(k)$$

$$\hat{x}_2 = (A_2^T(k) A_2(k))^{-1} A_2^T(k) B_2(k)$$

と一意に計算される。ただし、 $\hat{x}_1$, $\hat{x}_2$, $A_1(k)$, $B_1(k)$, $A_2(k)$, $B_2(k)$ は以下で与えられる。

$$\hat{x}_1 = \begin{bmatrix} M \\ F_v \\ F_c \end{bmatrix}, \quad \hat{x}_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{b} \\ C_{f+} \\ C_{f-} \\ C_i \end{bmatrix}$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} a_1^T(1) \\ \vdots \\ a_1^T(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{11}(1) \\ \vdots \\ \sigma_{11}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{12}(1) \\ \vdots \\ \sigma_{12}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{13}(1) \\ \vdots \\ \sigma_{13}(k) \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} a_2^T(1) \\ \vdots \\ a_2^T(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{21}(1) & \epsilon_{22}(1) & 0 & \epsilon_{24}(1) \\ \epsilon_{31}(1) & 0 & \epsilon_{33}(1) & \epsilon_{34}(1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \epsilon_{21}(k) & \epsilon_{22}(k) & 0 & \epsilon_{24}(k) \\ \epsilon_{31}(k) & 0 & \epsilon_{33}(k) & \epsilon_{34}(k) \end{bmatrix}$$

$$B_1(k) = \begin{bmatrix} b_1(1) \\ \vdots \\ b_1(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(1) \\ \vdots \\ f_1(k) \end{bmatrix}, \quad B_2(k) = \begin{bmatrix} b_2(1) \\ \vdots \\ b_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_2(1) \\ f_3(1) \\ \vdots \\ f_2(k) \\ f_3(k) \end{bmatrix}$$

しかし、オフライン同定法では、計算に必要な入出力データ長は計測時間に沿って単調増加する¹⁰⁾。従って前島らのオフライン同定法をオンラインで実装するには計算量の観点から制御周期 1 ms に対して 0.68s 毎に入出力データを更新する必要があり、実用的なオンライン同定を実装できない。

そこで本論文ではオンライン同定法としてHilbertの射影定理に基づく最小二乗法の逐次アルゴリズム¹¹⁾¹²⁾

$$\hat{x}_1(k) = \hat{x}_1(k-1) - P_1(k)a_1(k)(a_1^T(k)\hat{x}_1(k-1) - b_1(k)) \quad (7)$$

$$\hat{x}_2(k) = \hat{x}_2(k-1) - P_2(k)a_2(k)(a_2^T(k)\hat{x}_2(k-1) - b_2(k)) \quad (8)$$

$$P_1(k) = \{P_1(k-1) - P_1(k-1)a_1(k)C_1(k)a_1^T(k)P_1(k-1)\} / \lambda_1 \quad (9)$$

$$P_2(k) = \{P_2(k-1) - P_2(k-1)a_2(k)C_2(k)a_2^T(k)P_2(k-1)\} / \lambda_2 \quad (10)$$

を選定して実装する。ただし、

$$C_1(k) = (A_1 + a_1^T(k)P_1(k-1)a_1(k))^{-1}$$

$$C_2(k) = (A_2 + a_2^T(k)P_2(k-1)a_2(k))^{-1}$$

$$(A_1 = \lambda_1, A_2 = \text{diag}(\lambda_2, \lambda_2), \lambda_1, \lambda_2 \in (0, 1))$$

である。また、 A_1 と A_2 は過去よりも現在の入出力を重視するための忘却係数を対角成分に持つ対角行列である。式(7)～(10)において初期値は

$$P_1(0) = \text{diag}(a_1, a_2, a_3)$$

$$P_2(0) = \text{diag}(a_4, a_5, a_6, a_7)$$

$$\hat{x}_1(0) = \begin{bmatrix} \hat{M}(0) \\ \hat{F}_v(0) \\ \hat{F}_c(0) \end{bmatrix}, \quad \hat{x}_2(0) = \begin{bmatrix} 1/\hat{b}(0) \\ \hat{C}_f + (0) \\ \hat{C}_f - (0) \\ \hat{C}_l(0) \end{bmatrix}$$

である。一般の制御対象とは異なって、油圧アームの場合 $\hat{x}_1$, $\hat{x}_2$ の各成分の物理パラメータは全て重複しないという特質に注意する。以下ではオンライン同定法は非線形公称モデルのための計算機(シミュレータ)と実験機のための計算機の双方に実装される。

5. 同定シミュレーション

5.1 方法

非線形公称モデル(1)をRunge-Kutta法(4次, 固定ステップ, 計算周期 1 ms)を用いて離散化し、計算機(2.13GHz, Simulink)に構築する。Table 2に既知のパラメータを示す。質量 M , 減衰係数 F_v , クーロン摩擦係数 F_c , 体積弾性係数 b , 流量ゲイン $C_{f\pm}$, 内部漏れ係数 C_l の値はオフライン同定値である³⁾⁴⁾。

Fig. 2に構築した非線形公称モデルに印加する同定入力を示す。ここでオフライン同定入力は正弦波 $u (=A_{off} \sin(2\pi ft))$ [V], $A_{off}=4.0$ V, $f=1.0$ Hz)の指令電圧である。同定入力の周波数に関する仮定はないので、次章のオンライ

ン同定値が10s以下で整定するという条件のもとで試行錯誤を介して1.0Hzのみが選定される。オフライン同定出力はピストン変位 s , 圧力 $p_{\pm}$ の実出力である。直接計測されないピストン速度と圧力の時間微分値は計測周期 1 ms の1次後退差分を介してピストン変位と圧力からそれぞれ取得する。オフライン同定で使用する 0～6sの入出力データには移動平均フィルタ(17次)が施される。

Table 2 The off-line identified and measured parameters.

Symbol	Parameter	Value	Unit
M	Inertia	1.4×10	kg
F_v	Damping coefficient	3.2×10^3	N · s/m
F_c	Coulomb friction	3.2×10	N
b	Bulk modulus	5.6×10^8	Pa
C_{f+}	Flow gain	1.8×10^{-8}	m ³ / (sV · √Pa)
C_{f-}	Flow gain	1.8×10^{-8}	m ³ / (sV · √Pa)
C_l	Leakage coefficient	1.9×10^{-13}	m ³ / (s · Pa)
V_{0+}	Pipeline volume	7.3×10^{-5}	m ³
V_{0-}	Pipeline volume	6.9×10^{-5}	m ³
L	Stroke	7.5×10^{-2}	m
A_+	Cap area	7.0×10^{-4}	m ²
A_-	Rod area	5.4×10^{-4}	m ²
p_s	Pump supply pressure	7.0×10^6	Pa

オンライン同定入力はオフライン同定入力と同一、本章のオンライン同定出力はピストン変位 s , 圧力 $p_{\pm}$ のモデル出力である。直接計算されないピストン速度と圧力の時間微分値は同定周期10msの一次後退差分を介してピストン変位と圧力からそれぞれ取得する。本章のオンライン同定では、ローパスフィルタを含めフィルタは一切使用しない。

Fig. 2にオフライン同定実験のための実出力とオンライン同定シミュレーションのための非線形公称モデル出力を合わせて示す。式(7)～(10)について、忘却係数は試行錯誤的に $\lambda_1=0.997$, $\lambda_2=0.997$ とした。初期値 $P_1(0)$, $P_2(0)$ も試行錯誤的に

$$P_1(0) = \text{diag}(a_1, a_2, a_3)$$

$$P_2(0) = \text{diag}(a_4, a_5, a_6, a_7)$$

$$\left(\begin{matrix} a_1 = 1.7 \times 10^{-1}, a_2 = 5.1 \times 10^{-1}, a_3 = 1.2 \times 10^{-1}, \\ a_4 = 7.6 \times 10^{-8}, a_5 = 7.6 \times 10^{-8}, a_6 = 1.2 \times 10^{-8}, \\ a_7 = 1.1 \times 10^{-9} \end{matrix} \right)$$

とした。具体的には、オンライン同定値が10s以下で整定するという条件のもとで λ_1 , λ_2 を十分小さく、 $P_1(0)$, $P_2(0)$ を定常値 $P_1(10)$, $P_2(10)$ よりも十分大きくした。Table 3に示す初期値 $\hat{x}_1(0)$, $\hat{x}_2(0)$ の組Case 1, Case 2, Case 3のそれぞれについてオンライン同定する。ここで、Case 2はオフライン同定値に基づく。Case 1はCase 2の正規化に基づく。Case 3は本章のオンライン同定値が10s以下で整定するという条件のもとでCase 1を十分大きくした結果に基づく。

Table 3 The initial value of the identified parameters.

Symbol	Case 1	Case 2	Case 3	Unit
$\hat{M}(0)$	1.0×10	1.4×10	3.0×10	kg
$\hat{F}_v(0)$	1.0×10^3	3.2×10^3	3.0×10^3	N·s/m
$\hat{F}_c(0)$	1.0×10	3.2×10	3.0×10	N
$\hat{b}(0)$	1.0×10^8	5.6×10^8	3.0×10^8	Pa
$\hat{C}_{f+}(0)$	1.0×10^{-8}	1.8×10^{-8}	3.0×10^{-8}	m ² /(sV·√Pa)
$\hat{C}_{f-}(0)$	1.0×10^{-8}	1.8×10^{-8}	3.0×10^{-8}	m ² /(sV·√Pa)
$\hat{C}_l(0)$	1.0×10^{-13}	1.9×10^{-13}	3.0×10^{-13}	m ³ /(s·Pa)

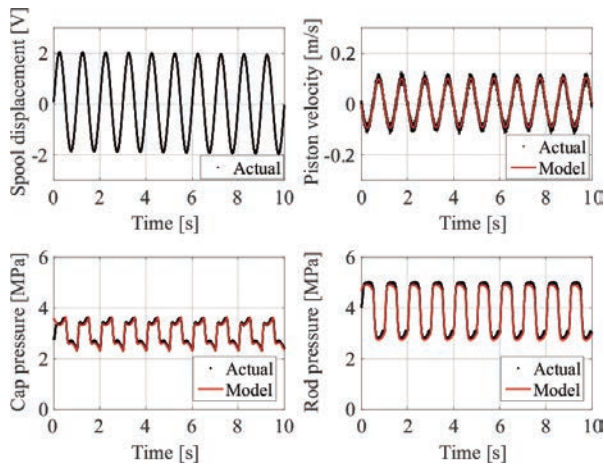


Fig. 2 The time response of the input and output (actual and model by off-line identification).

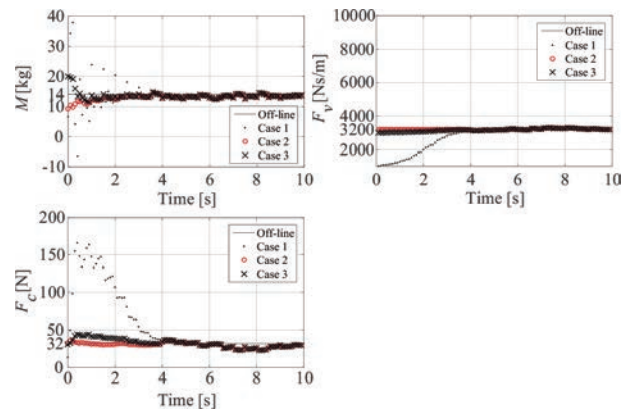
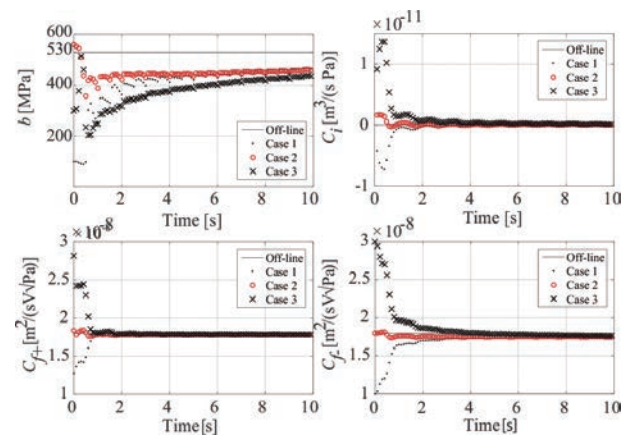
5.2 結果と考察

Fig. 3とFig. 4にオンライン同定値を示す。Case 1の結果を点、Case 2の結果を丸、Case 3の結果をアスタリスクで示す。すべてのCaseにおいて同定シミュレーションのオンライン同定値は整定した。

Fig. 3において、機械系の未知パラメータである質量 M 、減衰係数 F_v 、クーロン摩擦係数 F_c のオンライン同定値はCase 2、Case 3において2sで十分に収束した。Case 1において機械系の未知パラメータのオンライン同定値は4sで十分に収束した。ここで、初期誤差が最も小さいCase2において整定時間は最も小さくなった。

Fig. 4において流体系の未知パラメータである体積弾性係数 b 、流量ゲイン $C_{f\pm}$ 、内部漏れ係数 C_l のオンライン同定値はCase 1、Case 2において2s程度で十分に収束した。Case 3において流体系の未知パラメータのオンライン同定値は6sで十分に収束した。ここで、初期誤差が最も小さいCase 2において整定時間は最も小さくなった。

オンライン同定では初期値 $\hat{x}_1(0)$ 、 $\hat{x}_2(0)$ とオフライン同定値のオーダーが一致するように初期誤差を十分に小さくする必要があると考えられる。以上より提案法の有効性が数値的に確認された。

Fig. 3 The identified result (simulation, M , F_v , and F_c).Fig. 4 The identified result (simulation, b , C_f , and C_l).

6. 同定実験

6.1 方法

Fig. 5に実験機の外観を示す。実験機は水平型並進1自由度油圧アーム、油圧ユニット（ダイキン工業、NDR-81-071H-30、吐出流量11.7L/min、ポンプ供給圧力7 MPa）、油圧配管（横浜ゴム、NWP70-6、内径1/4inch）、制御弁（油研工業、LSVG-01EH-20-WC-A1-10、ゼロラップ型、定格流量20L/min、ストローク1 mm）、油圧シリンダ（JPN、KW-1CA30×75、ストローク75mm）、作動油（ISOVG32、密度860kg/m³）、オイルフィルタ（大生工業、UM-03-20U-1V）から構成される。油温は30±2℃である。

出力 s はポテンシオメータ（緑測器、LP-100F-C）、出力 $p_{\pm}$ は圧力センサ（キーエンス、AP-15S）で計測され、入力 u は差動トランス（0.5mm/5V）で計測されてからAD変換器（Interface、PCI-3155、16bit）を介して制御計算機（EPSON、LX7700、実時間化Linux、2.53GHz、計測周期1 ms）に保存される。入力DA変換器（Interface、PCI-3325、12bit）を介して印加される。

オンライン同定入力の前章と同一、本章のオンライン同定出力はピストン変位 s 、圧力 $p_{\pm}$ の実出力である。直接計測されないピストン速度と圧力の時間微分値は同定周期10

msの一次後退差分を介してピストン変位と圧力からそれぞれ取得する。本章のオンライン同定では、ローパスフィルタを含めフィルタは一切使用しない。Fig.7にオンライン同定入力、オンライン同定の実出力を示す。忘却係数と各初期値は同定シミュレーションと同一である。

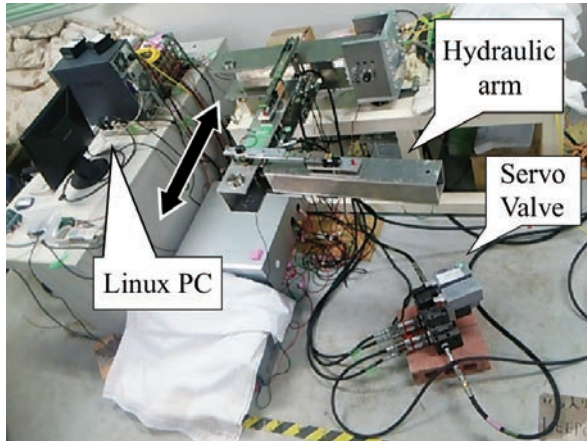


Fig. 5 The experimental setup.

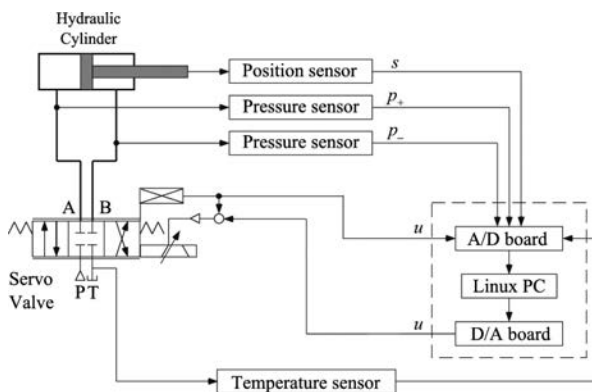


Fig. 6 The system configuration.

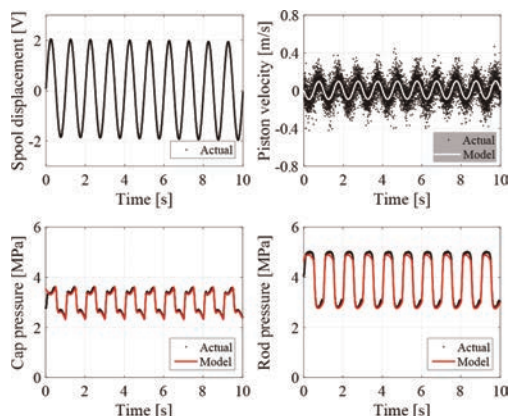


Fig. 7 The time response of the input and output (actual and model by on-line identification).

6.2 結果と考察

Fig.8とFig.9にオンライン同定値を示す。Case 1の結果を点で、Case 2の結果を丸で、Case 3の結果をアスタリス

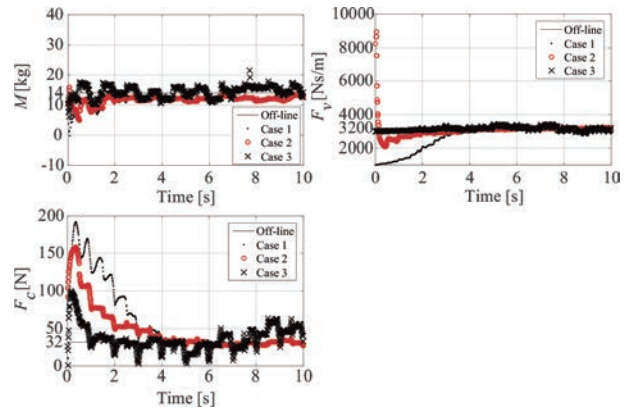


Fig. 8 The identified result (experiment, M , F_v , and F_c).

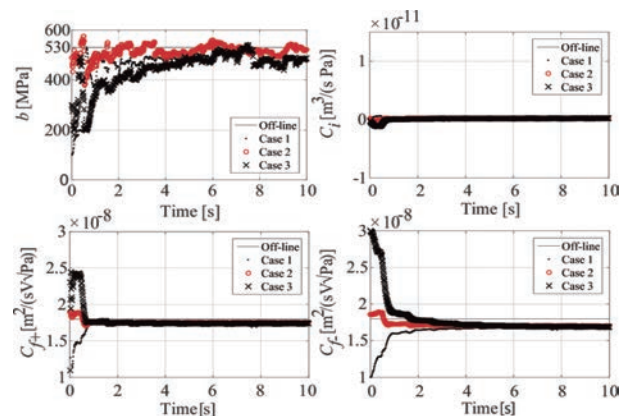


Fig. 9 The identified result (experiment, b , C_p , and $C_{f\pm}$).

クで示す。すべてのCaseにおいて同定実験のオンライン同定値は整定した。実出力に対してローパスフィルタを含め、フィルタを全く使用していないにもかかわらず、オンライン同定値は正となり、オフライン同定値に対して非常に大きな定常偏差を生じなかった。ただし、比較として同定周期を10msから1msに変更した場合、直接計測されないピストン速度と圧力の時間微分値の振幅は最大2倍となり、特に質量のオンライン同定値はオフライン同定値に対して10kgを超える定常偏差を生じた。

Fig.8において、機械系の未知パラメータのオンライン同定値は4sで十分に収束した。それぞれの整定時間は同定シミュレーションの場合と比較して同程度であった。例えば、減衰係数 F_v のオンライン同定値は4s程度で十分収束した。ただし同定シミュレーションの場合と比較して、質量 M とクーロン摩擦係数 F_c のオンライン同定値はオフライン同定値の近傍にて振動的となった。一方、整定時間に対する初期誤差の影響の大きさは同定シミュレーションの場合と比較して同程度であった。例えば、減衰係数 F_v の整定時間は初期値 $\hat{F}_v(0)$ とオフライン同定値との初期誤差に応じて鋭敏に大きくなった。

Fig.9において、流体系の未知パラメータのオンライン同定値は6sで十分に収束した。それぞれの整定時間は同定

シミュレーションの場合と比較して同程度であった。例えば、体積弾性係数 b のオンライン同定値は6s程度で十分収束した。ただし同定シミュレーションの場合と比較して、体積弾性係数 b のオフライン同定値はオフライン同定値の近傍にて振動的となった。一方、機械系の場合と同じく、整定時間に対する初期誤差の影響の大きさは同定シミュレーションの場合と比較して同程度であった。

同定シミュレーションの場合と比較して、一部のパラメータが振動的となった原因は非線形公称モデル(1)では無視されている複雑な摩擦現象などのモデル化誤差であると考えられる。

ここで本章のオンライン同定値（定常状態8～10sの平均値）と第3章のオフライン同定値との誤差を評価すると、絶対誤差としては体積弾性係数の $105 \times 10^6 \text{Pa}$ が最大であり、絶対誤差をオフライン同定値で除した相対誤差としては漏れ係数の17%が最大であった。ただし絶対誤差として式(6)の体積弾性係数の逆数 $3.88 \times 10^{-10} \text{Pa}^{-1}$ 、内部漏れ係数の $2.30 \times 10^{-13} \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Pa})$ は十分に小さいことが確認される。Fig. 7に本章のオンライン同定値（定常状態8～10sの平均値）を第3章のオフライン同定値の代わりに用いた非線形公称モデル出力を合わせて示す。フィルタの有無に応じて特にピストン速度の振幅が異なるにも関わらず、オンライン同定値のモデル出力とオフライン同定値のモデル出力の差は小さいことが確認される。実際、2つのモデル出力についてFIT率¹³⁾を計算すると、ピストン速度94%、キャップ圧力88%、ロッド圧力91%であった。以上より提案法の有効性が実験的に確認された。

ただしオンライン同定では、初期値 $\hat{x}_1(0)$ 、 $\hat{x}_2(0)$ とオフライン同定値のオーダーが一致するように初期誤差を十分に小さくする必要があると考えられる。ただし整定時間に対する初期誤差の影響の大きさに関しては、シミュレーションによって予め検討可能であることが事例として確認された。

本章の実験結果では、式(2)の左辺において未知パラメータを含む支配的な項が減衰係数 F_v の項、式(3)、(4)の左辺において未知パラメータを含む支配的な項が流量ゲイン $C_{f\pm}$ の項であるという結果が得られた。物理パラメータと同様、支配的な項を実時間で判別できることは適応制御など高度な制御系設計¹⁴⁾や故障検出などにも応用可能と考えられる。

7. 結 言

本論文では、体積弾性係数、漏れ係数を含む物理パラメータを未知とする油圧アームのオンライン同定法を提案して、同定シミュレーションと同定実験の双方により有効性を検証した。

整定時間に対する初期誤差の影響の大きさに関しては、シミュレーションによって予め検討可能であることが事例として確認された。提案法は適応制御など高度な制御系設計や故障検出などにも応用可能と考えられる。

ただし今後の課題として、

- ①無次元化を介して、提案法の有効範囲（パラメータ、初期誤差、解軌道との関係、周波数帯域）を調べること、
 - ②線形化を介して、先に報告されているオンライン同定法と提案法との関係を調べること、
 - ③制御のための公称モデルと比較してモデル化誤差の小さな厳密モデルの物理パラメータ同定との関係を調べること、
 - ④提案法の整定時間と比較して高速に変化する時変パラメータに対して提案法の有効性を調べること、
- の4点が非常に重要と考えられる。

謝 辞

本研究は油空圧機器技術振興財団の研究助成金および科研費(26420173)の助成を部分的に受けました。またご協力を頂きました油研工業(株)、信州大学大学院新谷敏功君に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) Marc Raibert, Kevin Blankespoor, Gabriel Nelson, Rob Playter and the BigDog Team: BigDog, the Rough-Terrain Quadruped Robot, Proc. IFAC World Congress, pp. 10822-10825 (2008)
- 2) H. Merritt: Hydraulic control systems, Jhon Wiley & Sons (1967)
- 3) 前島祐三, 酒井悟, 中西稔, 大須賀公一: 油圧アームの基底パラメータ同定法とモデル検証, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 43, No. 1, pp. 16-21 (2012)
- 4) 前島祐三, 酒井悟: 鉛直多関節油圧マニピュレータのパラメータ同定法とモデル検証, 計測自動制御学会論文集, Vol. 50, No. 1, pp. 91-100 (2014)
- 5) 山本浩三, 高橋浩爾, 池尾茂: δ 演算子を用いたモデル規範形適応制御理論の電気油圧サーボシステムへの応用, 油圧と空気圧, Vol. 22, No. 2, pp. 184-190 (1991)
- 6) 西海孝夫, 一柳隆義, 加藤博司, 小波倭文朗: 自励起振法を用いた油圧サーボアクチュエータ系の実時間パラメータ推定, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 36, No. 1, pp. 1-7 (2005)
- 7) Amit Mohanty, Bin Yao: Indirect adaptive Robust Control of Hydraulic Manipulators With Accurate Parameter Estimates, IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 19, No. 3, pp. 567-575 (2011)
- 8) Jean-Philippe Gauthier, Philippe Micheau: Regularized RLS- λ and DHOBE: An Adaptive Feedforward for a Solenoid Valve, IEEE Transactions on Control Systems Tehnology, Vol. 20, No. 5, pp. 1311-1318 (2012)
- 9) Rui Lian, Zhengguo Xu and Jiangang Lu: Online Fault

- Diagnosis for Hydraulic Disc Brake System Using Feature Extracted From Model and an SVM Classifier, IEEE Chinese Automation Congress, pp. 228-232 (2013)
- 10) 松本優司, 酒井悟：1 自由度油圧アームのオンラインパラメータ同定実験, 平成27年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp. 32-34 (2015)
- 11) D. Luenberger：Optimization by vector space method, Wiley interscience (1968)
- 12) 片山徹：システム同定入門, 朝倉書店 (2002)
- 13) L. Ljung：System Identification Theory for the Users, Prentice Hall (1999)
- 14) 川崎晴久：オンラインパラメータ同定によるマニピュレータの軌跡制御, 計測自動制御学会論文集, Vol. 20, No. 9, pp. 8-15 (1984)

会 員 各 位

平成28年 9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28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上げます。

さて、平成28年度（自平成28年4月1日～至平成29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上げます。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28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年間にかけ4,000円となります。)
学生会員会費 2,000円

お 願 い

- ・27年度以前の会費を未納の方は、新年度分（平成28年度）と併せてお振り込みくださいますようお願い申し上げます。
- ・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、宜しくお願い申し上げます。

以上

00東京

口座番号 (右詰めにご記入ください)

001103133690

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

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・[]

2. () の代金

払込人住所氏名

(郵便番号)

(電話番号 - -)

裏面の注意事項をお読みください。(郵政事業庁)(私製承認第23957号)

各票の※印欄は、払込において記載してください。

払込取扱票

払込票兼受領証

口座番号

001103

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

(消費税込み)

受付局日附印

料金

円

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。

切り取らないで郵便局にお出しください。

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上げます。

* 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上げます。

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)

〒105-0011 東京都港区芝公園三丁目五-22 電話(03)3433-8441 FAX(03)3433-8442
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 東京0011013133690

印刷所 勝美印刷株式会社
東京都文京区白山1-13-7 アクア白山ビル五階