

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

Nov.2015 Vol.46 No.6

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「水素燃料自動車とフルードパワー技術」

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「水素燃料自動車とフルードパワー技術」

【巻頭言】

「水素燃料自動車とフルードパワー技術」の発行にあたって 五嶋 裕之 248

【総論】

自動車における水素燃料、水素エネルギー利用に関する展望 山根 公高 249

【解説】

水素ステーション関連技術 高橋 宣行 254

車載用燃料電池スタックの技術開発 荒木 拓人 257

水素高速充填に関する研究（準等温化圧力容器の応用） 尹 鍾皓 260

高圧縮水素ガス用減圧弁の開発 中村 善也 263

【会議報告】

第14回スカンジナビアフルードパワー国際会議（SICFP15）におけるフルードパワー研究開発動向 林 光昭 266

MOVIC2015におけるフルードパワー技術研究動向 眞田 一志 268

【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…アクチュエータと流体回路 木原 和幸 270

フルードパワー分野の産学連携（大学-企業）成功事例 加藤 友規 273

【研究室紹介】

横浜国立大学 眞田研究室 嘉藤 真英, 岸 和紀, 渡邊 拓巳 277

【随想】

夢をかなえて 大島 茂 280

【企画行事】

平成27年春季フルードパワーシステム講演会報告	赤木 徹也 284
-------------------------	-----------

【会告】

共催・協賛行事のお知らせ	287
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27年秋季フルードパワーシステム講演会のお知らせ	288
平成28年度 第四回日中国際共同ワークショップのお知らせ The 4 th Japan-China Joint Workshop on Fluid Power — Innovative Key Technology on Fluid Power —	288
資料一覧	290
フルードパワーシステム第46巻総目次	294
その他	286, 289, 296

■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 "Hydrogen Powered Cars and Fluid Power System"

[Preface]

On the Special Issue "Hydrogen Powered Cars and Fluid Power System"	Hiroyuki GOTO	248
---	---------------	-----

[Survey]

Hydrogen as a Fuel for Automotive Vehicles and Prospect of Hydrogen Energy	Kimitaka YAMANE	249
--	-----------------	-----

[Review]

Related Technology in a Hydrogen Station	Nobuyuki TAKAHASHI	254
Technological Development of Automotive Fuel Cell Stack	Takuto ARAKI	257
Research on High Speed Charging of Hydrogen	Chongh YOUN	260
Development of Pressure-Reducing Valve for HighCompressed Hydrogen Gas	Yoshinari NAKAMURA	263

[Conference Report]

The Research and Development Trend on Fluid Power in the 14th Scandinavian International Conference on Fluid Power Conference (SICFP15)	Mitsuaki HAYASHI	266
Research Trends in Fluid Power Presented at MoViC2015	Kazushi SANADA	268

[Topics]

Investigation of the Patent Documents/ Japan Platform for Patent Information — Actuator and Hydraulic Circuit	Kazuyuki KIHARA	270
Introduction of a Successful Case of Industry-University Collaboration in Fluid Power Field	Tomonori KATO	273

[Laboratory Tour]

Sanada Laboratory in Yokohama National University	Masahide KATO, Kazuki KISHI, Takumi WATANABE	277
---	--	-----

[Essay]

I Realized a Dream	Shigeru OSHIMA	280
--------------------	----------------	-----

[JFPS Activities]

Report on Spring Conference of Japan Fluid Power System Society 2015	Tetsuya AKAG	284
--	--------------	-----

[JFPS News]

286, 287, 288, 289, 290, 294, 296

巻頭言

「水素燃料自動車とフルードパワー技術」の発行にあたって

著者紹介



ごとうひろゆき
五嶋裕之

(一財)機械振興協会 技術研究所
〒203-0042 東京都東久留米市八幡町 1-1-12
E-mail: goto@tri.jspmi.or.jp

1987年神奈川大学大学院工学研究科修士課程、
2010年法政大学大学院システムデザイン研究科
博士後期課程修了。日立製作所を経て1990年機
械振興協会技術研究所、2011年同所産学官連携
センター長代理。現在に至る。環境対応油圧シ
ステム、などの研究に従事。博士（工学）。

地球環境問題と化石燃料の枯渇問題を同時に解決できる近未来のエネルギーとして、水素エネルギーが注目されている。昨年、世界初の量産燃料電池乗用車（FCV：Fuel Cell Vehicle）が国内で発売となり、水素を車の燃料とする次世代自動車が一気に現実のものとなった。現在水素を車の燃料として利用する形式として、水素を燃料電池で電気に変換しモーターで動力を得る方法と、水素を熱機関で燃焼することで動力を得る方法が提案されている。これらの水素燃料自動車を普及させるためには、水素生成・運搬・貯蔵、水素ステーションなどのインフラ機器整備や車載要素機器開発が必須である。現在実現されている主な水素燃料の利用形態は、水素を液化し、あるいは高压タンクに充填することで貯蔵、運搬、車載するものである。このためにフルードパワーシステムにおける代表的な要素機器である、タンク、ポンプ、弁、配管などが利用されている。しかしながら制御対象となる気体、液体は、通常の作動流体と全く異なる高压水素ガスや極低温の液体水素であり、フルードパワーシステムで研究開発された基盤技術をベースとして、技術のさらなる深化、極限化、高度化が必要であると考えられる。

本特集では、現時点での水素燃料自動車に関する最新技術動向を説明いただくとともに、フルードパワーに関連した水素燃料向け要素機器の研究開発事例を紹介いただいた。本特集記事が、会員各位の新

たな技術革新のヒントになれば幸いである。

はじめに、「自動車における水素燃料、水素エネルギー利用に関する展望」と題して、水素を自動車の燃料として利用することで、排気ガス中の二酸化炭素はゼロになり、地球環境問題と化石燃料枯渇化問題を同時に解決できることを、これまでの技術開発の歴史を振り返りながら丁寧に解説いただいた。

つぎに、「水素ステーション関連技術」として、水素燃料自動車普及の鍵となる、水素供給ステーションに関する技術の現状と展望を解説いただいた。

続いて、FCVなど普及・性能向上のキーデバイスである「車載用燃料電池スタック技術開発」について、これまでの歴史と今後の技術開発の展望について解説いただいた。

続く二つの解説記事は、フルードパワーシステムでこれまでに研究開発された基盤技術をベースとして、水素燃料自動車への適用を目的として技術のさらなる深化、高度化を行なった研究開発事例の紹介である。

「水素高速充填に関する研究（準等温化压力容器の応用）」では、高压水素を急速充填する際のタンクの温度上昇を抑える方法として、空気圧システムで開発された準等温化原理を用いた水素貯蔵タンクを提案し、解析結果より、等温化原理を持つ水素貯蔵タンクは温度抑制、時間短縮の観点から有効であることが示された。

つぎに、「高压縮ガス用減圧弁の開発」として、油圧バルブの設計と同様な手順で、圧縮性流体の数値シミュレーションを適用。さらに、絞りを高速で通過する際に生じる流体音に対して、空気圧技術として研究されてきた消音機構をヒントに、新たな水素ガスバルブ静音化技術が提案され有効性が示された。

末筆ながら、非常にご多忙中のところ、大変に貴重で興味深い解説記事をご寄稿いただいた執筆者の皆様にご心よりお礼申し上げます。

(原稿受付：2015年10月6日)

自動車における水素燃料、水素エネルギー利用に関する展望

著者紹介



やま ね きみ たか
山 根 公 高

代表 山根水素エネルギー研究所
〒251-0014 神奈川県藤沢市宮前370-1
E-mail : kimitaka-yamane@icom.home.ne.jp

1973年武蔵工業大学大学院機械工学専攻修士課程修了，日産自動車株式会社航空事業部研究開発に従事，1992年武蔵工業大学工学部水素エネルギー研究センター助教授，1997年現在東京都市大学工学部エネルギー化学科准教授を兼務，2012年博士（工学）取得，2013年定年退職後，現職。

1. はじめに

太陽は、その誕生から地球にエネルギーを供給し続けている。加えて、地球はその成り立ちからマグマを起源とする地熱エネルギー持っている。太陽エネルギーも地熱エネルギーも現在人類が消費しているエネルギーと比べると無限に大きなエネルギーである。それを自然エネルギーと呼ぶ。

人類が今まで利用してきたエネルギーである石炭、石油は、自然エネルギーが長い年月をかけて地球で変身した自然エネルギーの貯蔵形態である。化石燃料と呼ばれている。この化石燃料は、産業革命以来、

人類の文明活動に大いに役立ってきたがその利用速度が過大なため、地球上で地球環境問題、特に地球温暖化問題と化石燃料枯渇化問題を起こしている。加えて、文明が発展するにしたがって、人口も増大の一途をたどっている。人口の増加が進めば、人類は益々高い利便性を持った安価な化石燃料を使い、ますます地球上で地球温暖化問題と化石燃料枯渇化問題は大きくなり、人類が住みやすかった青く美しい地球環境に戻せなくなってきている。

図1は、水循環サイクルと炭素循環サイクルを示す¹⁾。両方ともエネルギーの起源は太陽エネルギーである。図中右側の炭素循環サイクルでは、太陽エネルギーと空気中の二酸化炭素と水を原料として2～3億年かけて化石燃料を作ってきた。それを、非常に短時間で消費している。その結果、化石燃料になるパスが大変遅いため大気中に二酸化炭素が残留する。これが地球温暖化問題を引き起こしている。

一方、水循環サイクルでは、太陽エネルギーと水を原料とし、ほとんど瞬時に水素と酸素を作ることができる。水素を大気中の酸素と反応させ有効なエネルギーとして消費した後は、再度原料の水になる。その水は、大気中に2週間程度滞留した後、雨として地上に降ってくる。それを精製してまた太陽エネ

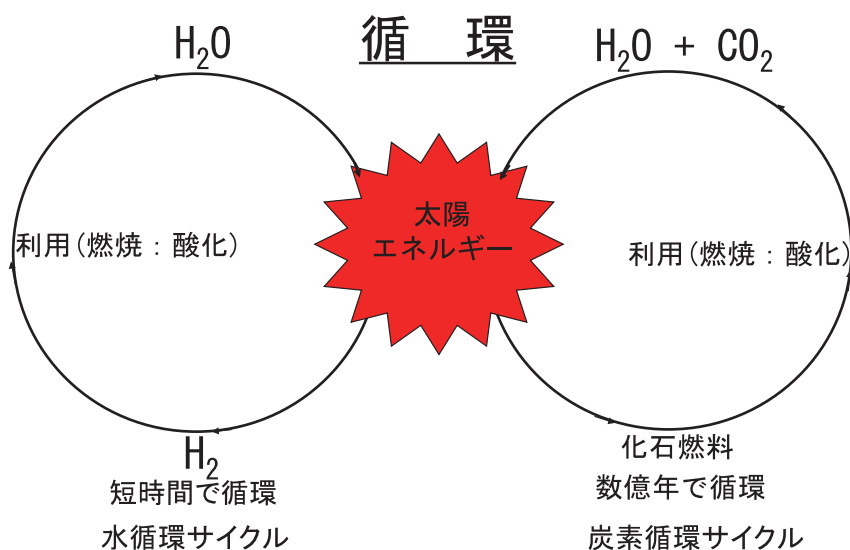


図1 水循環サイクルと炭素循環サイクル

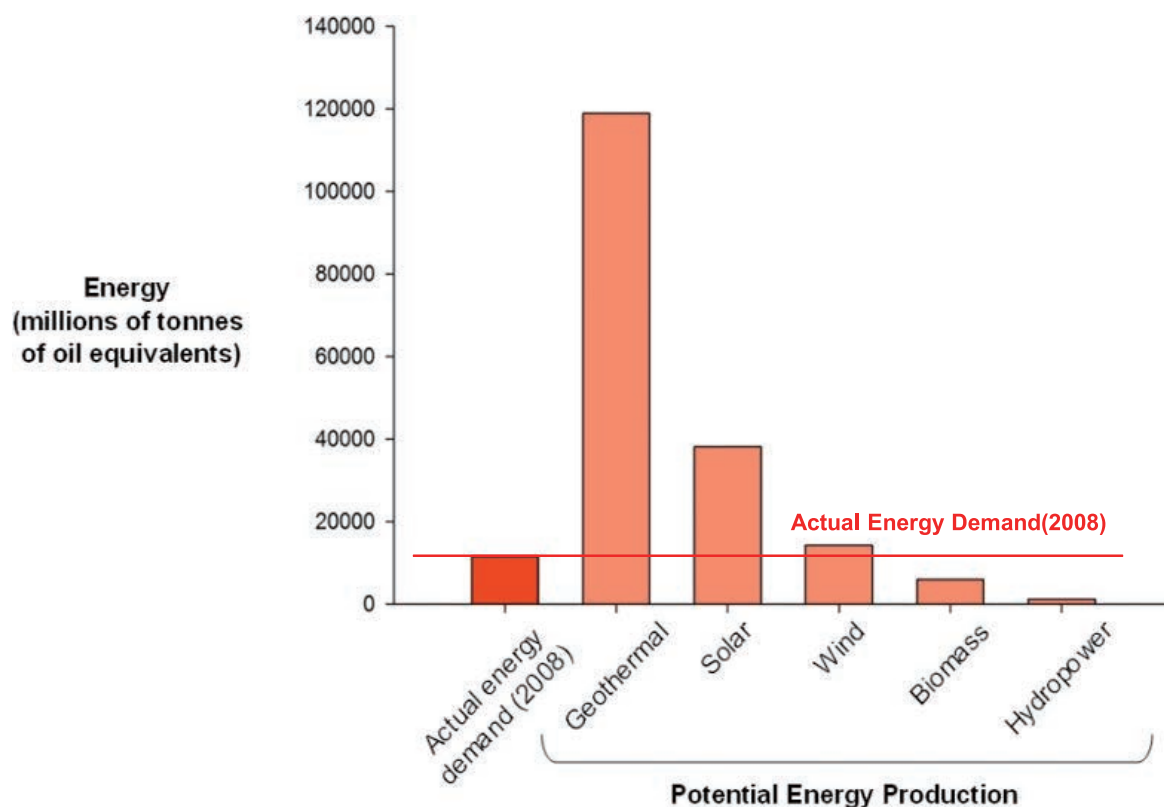


図2 2008年の世界エネルギー需要量に対する自然エネルギーの経済的に利用できる潜在生産量

ルギーを使って水素を作るには、1ヶ月もかからない。そのため、大気的成分は、いつも安定している。このような大気を吸っている人類にとっては住みやすい。水循環サイクルが社会のエネルギーの循環サイクルになれば、大気はクリーンで青く輝きさらに人類が住みやすい地球を取り戻すことができる。

経済的に利用できる自然エネルギーは、地球上に十分ある。図2は、2008年の世界エネルギー需要量に対する自然エネルギーの経済的に利用できる潜在生産量を示している²⁾。横軸に、まず2008年の全世界エネルギー需要量、経済的に利用できる潜在性がある自然エネルギーとして、地熱エネルギー、太陽エネルギー、風力、バイオマス、水力が示されている。縦軸は、石油等価エネルギー百万トンでエネルギーの尺度である。自然エネルギーの経済的に利用可能な潜在量は、2008年の全世界エネルギー需要量の14倍も有ることが判る。全世界エネルギー需要量に対して一桁以上も経済的に利用できるエネルギーがあるのであれば、化石燃料の代替として使うべきである。

2. なぜ、自動車に水素をつかうか

自動車は社会の必需品である。将来も使いたい。今まで利用してきた化石燃料自動車は、地球温暖化と大気汚染の大きな発生源である。よって、地球温暖化、大気汚染が無い地球にしたい。日本国内では、

温暖化ガスである二酸化炭素の発生量の19%は運輸部門が発生している(図3³⁾)。先進国では、自動車の二酸化炭素の寄与率は、ほぼ日本と同じである。かつ、自動車は、排気ガスをまき散らして走行している。車上で排気ガス中の二酸化炭素を捕獲することは、居住スペースや荷載量を重視する自動車では不可能である。水素を自動車の燃料として利用すれば、排気ガス中の二酸化炭素はゼロである。よって、将来も社会の必需品である自動車の燃料として水素を利用すれば、地球環境問題と化石燃料枯渇化問題を同時に解決することに大きく貢献できる。

3. 水素燃料自動車の現状

水素燃料自動車には、燃料電池で水素と空気中の酸素とを化学反応させ、その時得られる電気エネルギーを使って電気モーターで車を駆動する燃料電池水素自動車と従来のガソリンエンジン、ディーゼルエンジンやガスタービンエンジンと同じように水素と空気中の酸素を燃焼してその時得られる熱エネルギーをエンジンで機械仕事に変換して車を駆動する内燃機関水素エンジン自動車がある。

図4は、代表的な内外の燃料電池水素自動車。図5は、代表的な内外の内燃機関水素エンジン自動車である。水素燃料自動車は、すでに実用化域に達している。

自動車の役目は、人や荷物をできれば短時間で効

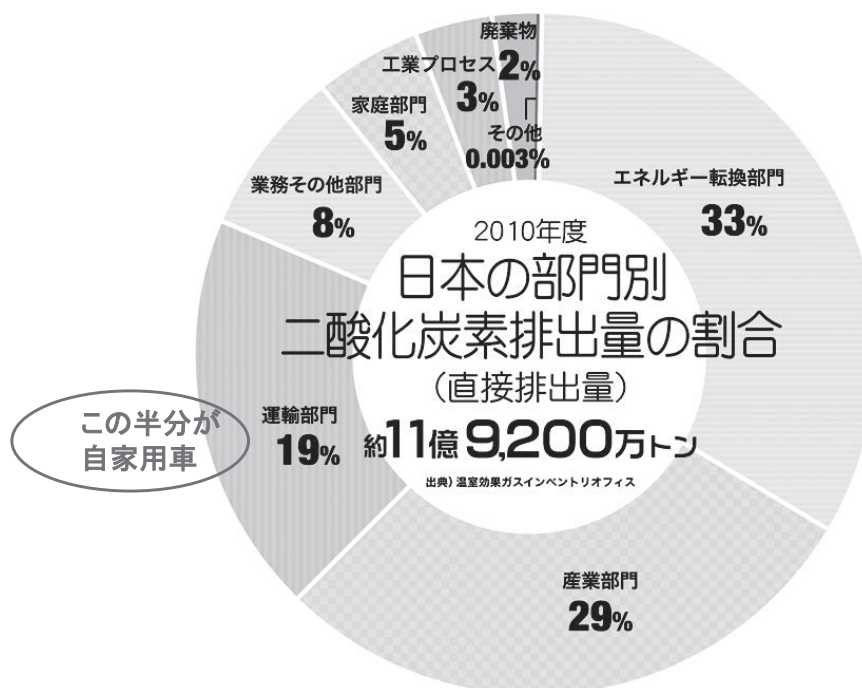


図3 日本の部門別二酸化炭素排出量割合

国内燃料電池水素自動車

ホンダ 燃料電池水素自動車 FCXクラリティ
2005年トヨタ 燃料電池水素自動車 FCV-R
2011年

国外燃料電池水素自動車

GM 燃料電池水素自動車 上海FCV
2010年日産 燃料電池水素自動車 X-Trail FCV
ハイヤー仕様 2007年トヨタ/彼の 燃料電池水素リムジンバス
FCHV-BUS 2011年メルセデス・ベンツ 燃料電池水素自動車
BクラスF-CELL 2009年

図4 電気モーターで動く燃料電池水素自動車

率的に移動させることである。そのためには、できるだけ1度に沢山の人を、大きな重たい荷物を1度に移動させることが経済的に要求されている。よって、自動車の動力源の必須条件は、高出力である必要がある。人や荷物を沢山積載するためには、動力源は小型であることが必要である。重い荷物をできるだけ多く積載するためには、動力源は軽量である必要がある。この動力源の高出力、小型、軽量は、自動車の3必須条件と言われ、これを満足させられない自動車の動力源は、いくらほかの条件が優れていても上述した自動車の役目を十分発揮できないこ

とから、動力源としては不適切である。

燃料電池水素自動車と内燃機関水素エンジン自動車の比較を表1に示す。熱効率以外は、全て内燃機関水素エンジン自動車の方が優れている。

では、内燃機関水素エンジン自動車ではなく、どうして主として燃料電池水素自動車を全世界で開発してきたのだろうか。著者は、燃料電池水素自動車の技術は、内燃機関水素エンジン自動車技術と比べ大変未知であり、早く水素エネルギー社会になったら困るため、開発が難しい、時間がかかる燃料電池水素自動車を水素燃料自動車として選んだと考えて

国内内燃機関水素エンジン自動車

東京都市大学 内燃機関水素エンジン自動車
1990年 武蔵-8号マツダ 内燃機関水素ロータリエンジン自動車
ガソリンのみで走行可 2006年東京都市大学 内燃機関水素エンジン
シャトルバス 2004年 武蔵-11号ITカーズ(株) 内燃機関ガソリン混合
水素エンジン自動車 2012年

海外内燃機関水素エンジン自動車

ドイツBMW Production Type Hydrogen7
ガソリンのみでも走行可 2007年フォード E-450 内燃機関水素エンジンシャトルバス
2006年

図5 内燃機関水素エンジン自動車

いる。かつ、水素燃料は人工的に作る必要があり、それを燃料として利用するためには、水素燃料自動車は、高熱効率が重要である。それで燃料電池方式は、大いに高い熱効率が期待できる可能性があったから燃料電池水素自動車の開発を進めてきたと思っている。しかし、自動車は、現在も、将来も社会の必需品であることから、高い安全性、高信頼性が担保でき、かつ、もっとも大事なことは安価であることが必須であると思う。その点では、内燃機関水素エンジン自動車の方が、優れていると思っており、今後見直されると思う。

4. 水素燃料の安全性

水素は、危険であるという方が多い。それは客観的に見て真実であるかを調査した。表2は、水素、メタン（天然ガスの主成分）、ガソリンの物性について、水素がメタンおよびガソリンと比較して安全上の観点から、「安全」、「危うい」、「同程度」に区分した表である⁴⁾。それぞれの燃料は、基本的には危険である。しかし、その特性を知って注意して扱うことにより、水素はガソリンや天然ガスと同じように安全に利用できることがわかる。

表1 燃料電池水素自動車と内燃機関水素エンジン自動車の比較

評価項目	燃料電池水素自動車	内燃機関水素エンジン自動車	内燃機関優位性
出力	小さい	大きい	あり
重量/単位出力	大きい	小さい	あり
容積/単位出力	大きい	小さい	あり
安全性	水素安全基準あり	水素安全基準あり	同じ
燃料	高圧水素	高圧水素	同じ
燃料純度	99.999%以上	純度問題なし	安価で、あり
熱効率	小出力時 大 高出力時 同じ	小出力時 小 高出力時 同じ	なし
走行距離トルク	起動トルク大 高速トルク小	起動トルク小 高速トルク大	高出力化可能であり
耐久性、信頼性	使用環境を選ぶ 特に、温泉場では性能劣化	劣悪な環境でも、使用できる	戦時、災害時利用可能であり
技術	これから実績作り	100年以上の歴史の裏付け	高信頼性であり
使用材料	白金、リチウム等 希少金属が必要	多量に安価に入手できる材料	高入手性、安価あり
製造インフラ	新設	ほとんど今あるまま	安価で、あり
水素燃料バス	約1億円	約3700万円	63%安い、あり

表2 安全性について水素燃料、メタン燃料およびガソリンの物性比較

物性値		水素	メタン	ガソリン
—	化学式	H ₂	CH ₄	C _{7.5} H ₁₇
	分子量	2.02	16.0	107
	理論混合割合 (Vol. %)	29.5	9.48	1.76
安全	比重 (気体@ 1 気圧, 273K) (kg/m ³)	0.084	0.651	4.40
	自発火温度 (T _{ig}) (K)	858	813	501-774
	空气中拡散係数 (cm ² /s)	0.61	0.16	0.05
	火炎輻射率 (%)	17-25	25-33	34-43
	*空气中火炎伝播速度 (cm/s)	265	40	40
危 う い	着火限界	(Vol. %)	4-75	5.3-15
		(空気過剰率 λ)	10-0.1	1.9-0.6
	デトネーション限界	(Vol. %)	13-65	6.3-13.5
		(空気過剰率 λ)	2.8-0.2	1.6-0.7
	*最小点火エネルギー (mJ)	0.02	0.29	0.24
同 程 度	*消炎距離 (mm)	0.6	2.0	2.0
	断熱火炎温度 (T _{flame}) (K)	2318	2148	2473
	デトネーション速度 (km/s)	1.48-2.15	1.39-1.64	1.4-1.7
	理論爆発エネルギー (gTNT/kJ)	0.17	0.19	0.25
	色, におい	無色透明, 無臭	無色透明, 無臭	無色透明, 有臭

5. 水素エネルギーの展望

水素エネルギーは、人類が人工的に作らなければならない二次エネルギーである。一方、電気エネルギーは、大規模に貯槽できないこと。大陸間のような長距離の移送には利用できない。地球上に豊富にある自然エネルギーと水を利用することで、水素エネルギーは、永続的すなわち無限に我々に、欲しいときに欲しい量を与えてくれる。それを使うことで、地球環境問題、特に地球温暖化問題と化石燃料枯渇化問題を同時に解決してくれる。

自然エネルギーのエネルギー媒体として、アンモニア、メタノール等が検討されているが、電気エネルギーへの変換が容易な水素エネルギーの方が高い利便性が得られる。水素エネルギーは、万一多量に大気に放出されても、その安全性が確保され、無害であり理想的エネルギー媒体である。かならず、水素エネルギーは、人類が使うことになるエネルギーである。水素エネルギーを利用する社会が到来するための重要なキーは、安価な水素を製造することにある。

現在、日本における水素エネルギー社会の到来をめざし、安価な水素を海外から導入する計画が始まっている^{5), 6)}。

参考文献

- 1) 山根公高他, 「トコトンやさしい燃料電池の本」, 燃料電池研究会編集, 日刊工業新聞社, (2001/11)
- 2) Thomas B. Johansson, Kes McCormick, Lena Neij, Wim Turkenburg, "The Potentials of Renewable Energy", International Conference for Renewable Energies, Bonn, 2004
- 3) <http://www.jccca.org/chart/>
- 4) 山根公高, 「40年の水素エンジン自動車の経験から水素の安全性を考える」, 水素エネルギー協会会誌, Vol. 35, No. 4, (2010), p. 45-50
- 5) 岡田佳巳, 「有機ケミカルハイドライド法による水素エネルギーの大量長距離輸送技術の安全性」, 水素エネルギー協会会誌, 水素エネルギーシステムVol. 35, No. 4 (2010), p. 19-24
- 6) 山根公高, 神谷祥二, 「水素エンジンから見た液体水素燃料の有効性, 安全性と多量生産・移送の可能性」, グローバルビジネス学会第2回全国大会予稿集 (2014), p. 5-12, 2014年3月22日-23日, 京都大学吉田キャンパス総合2号館開催, <http://s-gb.net/nationalcon/>

(原稿受付: 2015年8月19日)

解説

水素ステーション関連技術

著者紹介



たか はし のぶ ゆき
高橋 宣行

日立オートモティブシステムズメジャメント株式会社
〒436-0082 静岡県 掛川市 淡陽13 (エコポリス内)
E-mail: takahashi-nb@hitachi-automotive-mm.com

2010年東京電機大学大学院工学研究科精密システム工学修士課程修了。同年、日立オートモティブシステムズメジャメント株式会社（旧トキコテクノ株式会社）に入社。

1. はじめに

燃料電池自動車（FCV）は従来の化石燃料自動車のように排気ガスや有害物質を排出せず、エネルギー効率も優れているために環境問題、エネルギー問題を解決するものとして積極的に開発・普及が進められている。FCVに水素ガスを供給する水素ステーション等のインフラと共に、本格的な普及に向けた動きが始まっている。本稿では水素ステーションの概要と水素ディスペンサーの構成機器について紹介する。

2. 水素ステーションの概要

水素ステーションはステーションへの水素供給の形態により、2つに分類される。水素ステーションにて水素を製造するステーションをオンサイト型、外部より水素ガスを持ち込むステーションをオフサイト型としている。水素供給後の機器構成（図1）はどちらも同じであり、上流より、圧縮機、蓄圧器、水素ディスペンサー等で構成される。

2.1 圧縮機

- (1) オンサイト型、オフサイト型のどちらも同様に、水素源からの水素を82MPaまで昇圧して蓄圧器に蓄圧する。
- (2) 連続充てんなどで蓄圧器のガス圧が低下した際は、圧縮機から直接充てんされる。圧縮機の吐出量は $300\text{Nm}^3/\text{h} \sim 340\text{Nm}^3/\text{h}$ （定置型）となる。

2.2 蓄圧器

- (1) 圧縮機により昇圧された水素ガスを蓄圧する。

- (2) 充てんの際は出口側の遮断弁を開弁し水素ガスを供給する。

2.3 水素ディスペンサー

- (1) 蓄圧器とFCVの車載水素タンクとのガス圧力差を利用して、遮断弁、調節弁により圧力・流量を制御しながら充てん・計量を行う。
- (2) 車載水素タンクへの充てんはガソリン給油と同等となる約3分で完了させる。
- (3) 水素ガス温度は熱交換器により冷却され、常温 $\sim -40^\circ\text{C}$ となる。
- (4) 筐体はガソリン計量機と同等のサイズとなっている。

3. 水素ディスペンサー

水素ディスペンサーの内部構成機器は図2に示すように、上流側からフィルタ、流量計、調節弁、熱交換器、遮断弁、緊急離脱カップリングを経て充てんノズルとなっている。これらを制御する基板、表示部などは防爆構造となっている。また安全装置としては、安全弁の設置、異常圧力の検知による脱圧制御や、水素ガス検知器を設置し万一のガス漏れが

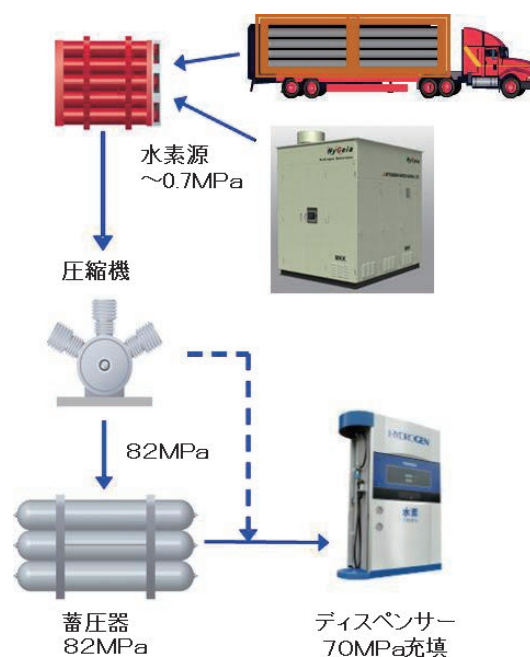


図1 水素ステーション概要

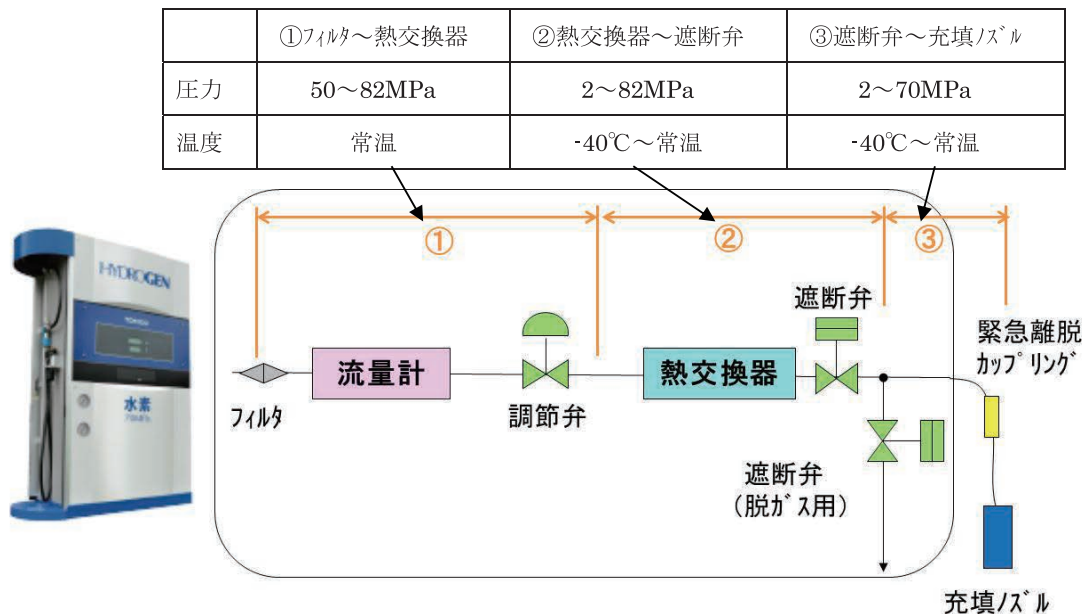


図2 水素ディスペンサー内部構成機器

生じた場合の遮断弁閉鎖等を行っている。

3.1 水素ディスペンサーの概要

水素ディスペンサーは一次側（蓄圧器）と車載水素タンクの圧力差により充てんを行う。充てん量はコリオリ式流量計で測定し、その流速・圧力に応じて調節弁開度調整による充てん制御を行っている。

ディスペンサーは高圧まで充てんする特性上、構成機器は水素ガス雰囲気下で圧力変動、温度変動が大きい環境で使用されている。

図2. ①：フィルタ～熱交換器の範囲では圧力は50MPa～82MPa、圧力変動は中程度であり、ガス温度は常温で温度変動も小さい。

図2. ②：熱交換器から遮断弁の範囲では圧力は2MPa～82MPaで圧力変動は中程度であるが、ガス温度は待機中の常温～充てん中の-40℃であり、特に充てん開始直後は充てんプロトコルにより30秒以内に-33℃～-40℃に下げる必要があるため大きく変動する。

図2. ③：遮断弁から充てんノズルの範囲では圧力は2～70MPaであり、特に充てん後は脱圧により、30秒程度での急減圧があるため、圧力変動は大きい。

さらに温度についても熱交換器により常温～-40℃まで変動し、②と同様に充てん開始後30秒以内に-33℃以下に変化するため、変動は大きい。

3.2 各構成機器

(1)流量計

水素ディスペンサーにはコリオリ式質量流量計が用いられている。本流量計は流路となるチューブを加振させる。加振するチューブに測定流体を流すこ

とでコリオリ力が発生し、チューブの振動に位相差が生じる。この位相差が質量流量に比例することを利用して測定を行う。下記に示す特長により、水素ディスペンサーに用いられている。

- ①取引に使用される単位である質量流量を直接測定することが出来る。
- ②流量変化に対する応答性が良好であり、充てん制御に用いることが出来る。
- ③質量流量を測定するため、測定流体の温度、圧力の変化に強い。
- ④商取引に求められる高い精度で測定することが出来る。
- ⑤流路であるチューブを外部から振動させて測定するため、管路内には構造物が不要であり、流路を狭くする必要がある高圧化に対応しやすい。コリオリ式質量流量計のチューブ肉厚を厚くすると、位相差信号のS/N比が悪化し、計測精度・測定流量範囲が低下する。しかし、チューブは高圧水素ガスの流路でもあるために高い強度を要求され、肉厚が大きくなる。（鋼材配管の設計係数：日本4倍、海外3倍）

そのため、チューブには高圧ガス保安法に定められた鋼材の中からJISU SUH660や、ASME XM-19といった高い強度を持つ鋼材を使用し、強度解析、強度計算に加えて引張試験、4倍耐圧試験、加減圧試験や高圧水素を充てんした状態でチューブを加振させる長期耐久試験等を実施し、安全性、耐久性を確認している。

(2)調節弁と制御

ディスペンサーにはガソリン計量機と同様に数分

でFCVの車載水素タンクへ満タンに充てんすることが求められる（水素ガス 5 kg / 3 分で充てんする）。安全かつ短時間で充てんを行うために充てん制御を行っている。

①昇圧率制御…充てん圧力上昇率が一定になるように制御することで、車載水素タンクの大きさに左右されずに一定時間で充てんを実現するのに効果がある。

②Top-off充てん制御…満タン直前となる充てんの終盤で昇圧率制御から本制御に切り替える。この制御では昇圧率を低く変更して圧力損失の影響や温度上昇を抑えて満タン充てんに近づける制御を行う。

また、熱交換器下流側の温度を監視し、異常値となった場合に充てん停止を行うなどの制御をする。

(3)熱交換器

水素ガスを車載水素タンクへ充てんする際は、外部からエンタルピを与えることとなるため、水素タンク内のガス温度は上昇する。しかし、利用者の利便性が損なわれるため充てん時間を延ばすことは出来ない。そのため水素タンクからの放熱が追いつかずガス温度は大幅に上昇することになるが、水素タンクの温度は安全使用範囲である85℃を超えてはならない。そのため熱交換器を用いてガス温度をあらかじめ-40℃付近まで下げてから水素タンクへ充てんしている。

(4)緊急離脱カップリング

充てん途中に車両が誤発進しホースが引っ張られて切断した場合に水素ガスが漏れ出すことを避けるため、またディスペンサーの破損防止のため、ある一定以上の力が加わることでホースが分離し、かつガス漏れを防止する緊急離脱カップリングが取り付けられている。

(5)接ガス部に用いられる材料

上記構成機器や配管などの接ガスする部材には圧力の変動、温度の変動、高圧に耐える強度のほかに水素脆性に対する耐性も要求される。そのため、鋼材は高圧ガス保安法で定められた材料を用い、性能評価では水素の実ガスを用いた試験を実施している（図3に水素ガス試験設備を示す）。



(a)設備外観



(b)通流試験配管・蓄ガス器

図3 水素ガス試験設備

4. おわりに

現在、水素ディスペンサーはガソリン計量機と比べてコストが高く、水素ビジネスが成立する本格的な普及のために安全性を確保しつつもコスト低減努力が続けられている。

参考文献

- 1) 水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会の実現に向けた取り組み～，経済産業省（H26）
- 2) FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ，燃料電池実用化推進委員会（FCCJ）（2010）

（原稿受付：2015年10月13日）

解説

車載用燃料電池スタックの技術開発

著者紹介

あら き たく と
荒 木 拓 人横浜国立大学大学院
〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
E-mail: taraki@ynu.ac.jp2003年京都大学機械工学専攻博士課程修了。
カリフォルニア大学ロサンゼルス校特別研究員、
豊橋技術科学大学電気電子工学系助手を経て、
2007年横浜国立大学工学研究院准教授。現在に
至る。日本機械学会、日本伝熱学会、電気化学
会などの会員。博士（工学）。

1. はじめに

1.1 燃料電池スタックとは

燃料電池スタックは外部から燃料と酸化剤（空気）を連続的に供給しながら、化学反応で得られるエネルギーを電気エネルギーに変換する装置である。機能から見れば単なる発電機であるが、燃焼反応と熱機関の組み合わせではなく、原理としては乾電池や自動車バッテリーと同じ電気化学反応を直接用いるため、可動部が無い、損失が一般に少ないなどという熱機関とは異なる特性を持っている。本稿では、燃料電池の中でも自動車向けに応用が始まっている固体高分子形燃料電池（Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC）スタックに関する技術開発の流れを紹介する。

1.2 PEFC開発の大きな流れ

2014年12月にトヨタ自動車からMIRAIの一般発売が開始され話題となったが、燃料電池自体の原理はボルタの電池が発明された1800年代の初頭にすでに知られ、19世紀前半のグローブ卿¹⁾や20世紀中ごろのベーコン卿による改良が知られている。固体高分子形に限っても最初の実用化は1965年のジェミニ5号であり歴史は長い。しかし、宇宙船用途としてはその後アルカリ形燃料電池が使われ、国内ではリン酸形燃料電池（PAFC）の開発が先行して進められていた。

車載のPEFCの研究開発が盛んになったきっかけの一つがカナダ発祥のベンチャー、巴拉ード社が

1980年代後半に開発したスタックである。このスタックはいくつかの技術革新により自動車の動力源として使用できるまでの高出力化、コンパクト化が達成されており、多くの企業がこのPEFCの研究開発に本格的に参入し始める契機となった。その後2002年ごろから各社から圧縮水素燃料PEFC車のリース販売が相次いで始まったが、インフラやコスト等の問題から期待されたほどすぐには量産は始まらず、一般販売が始まるのには前述の通り2014年末まで待たなくてはならなかった。ちなみに家庭用PEFCは自動車用からやや先行し、2008年にはエネファームとして一般販売が開始されている。

2. PEFCの構造の概要

固体高分子形燃料電池は、図1に示すように中心に高分子電解質膜（PEM）を置き、その両側に酸素（空気）と水素を流す構造である。燃料側では水素が水素イオン（ H^+ ）と電子に別かれ、電解質膜を通過できない電子は外部回路を通り仕事をし、膜中を通った水素イオンと外部回路を通った電子は空気側で酸素と反応し水となる。ただし、このままでは反応が遅く実用にならないため、電解質膜の両側に白金を用いた触媒層を形成させ、さらにその外側をガス拡散層（GDL）を設置する。このGDLは電子を通す必要があるが、同時に反応ガスを供給する必要もあり多孔質状のものを用いる。最後にガスを均等に供給するために流路溝を掘った集電板（セパレータ）で挟み込むという構造である。膜に対峙

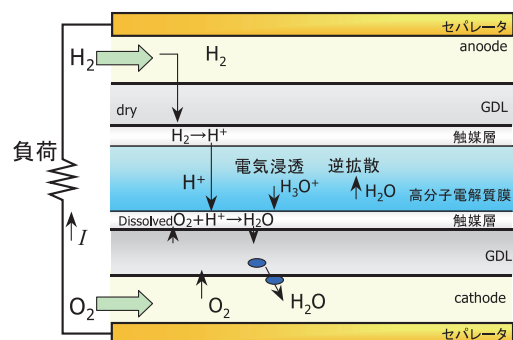


図1 固体高分子形燃料電池の構造

称な7層の積層構造のセルにガスを供給するだけで、全く可動部もなく発電でき、ある意味極めてシンプルなシステムとも言える。

ただし、図1に示した7層のものは単セルと呼ばれ、1.0V前後の電圧しか発生させることができないため、多くの場合にはこの単セルを積層（スタック）して直列に接続して用いられる。「スタック」と呼ばれる所以である。たとえばMIRAIでは370枚の単セルが「スタック」されている²⁾。

以下の章では、フルードパワーに近い現象を扱うセパレータ流路を中心に各部材の研究開発動向を概説する。

3. セパレータ（ガス流路）

3.1 役割

セパレータは前述の通り、触媒層で反応した電子を集電する役割と反応ガスを均等に供給するための流路を兼ねている。また、スタックの場合には、セパレータが空気側と燃料側を隔てる隔壁の機能を持つためセパレータと呼ばれる。その機能から単純に「(溝付) 集電板」と呼ばれたり、両極に触れることから「バイポーラプレート」と呼ばれる場合もある。余談であるが、乾電池などで「セパレータ」と呼ぶ場合には、正極と負極を隔離する意味で、電解液を保持する多孔質膜を指すことが多い。

3.2 流路構造と排水

集電とガス供給に加えてセパレータの重要な役割の一つに、液水の排出がある。100℃以下で運転されることの多いPEFCでは、水素と酸素の反応から発生する生成水が凝縮してガスの供給を阻害する「水詰まり（フラッディング、プラギング）」が問題となることが多く、流路にもその対応が求められる。その例として、前頁のパラード社の技術革新の一つ

であるサーペンタイン（蛇行）流路がある。それまでの多くの燃料電池では、圧力損失を嫌い平行（並行）流路が用いられていたが、その場合、1つの流路が液水で閉塞された際に供給ガスは並行する他の流路に迂回してしまうため「水詰まり」が解消しにくい。それに対し、サーペンタイン流路では、流路で水詰まりを起こしたとしても、流路が1本であるため迂回流は起こりにくく、流路液水の排水はより容易である。

図2は、現在も代表的な標準セルとして用いられている日本自動車研究所（JARI）によって開発されたJARI標準セル（IEC 62282）の流路構造であるが、典型的なサーペンタイン流路となっている。流路幅、流路間隔ともに1 mm程度でありこれも現在においても標準的である。

車載用のセパレータの場合、電極面積が大きく、1本のサーペンタインとした場合には圧力損失が大きくなりすぎるため、数本の流路を並行して蛇行させる構造を用いることも多い。また、金属焼結体などの導電性多孔質を流路の代替として用いる構造⁴⁾や、精密プレスによって立体的な構造とした3Dファインメッシュ流路⁵⁾なども提案されている。

3.3 材質と加工法

セパレータの材質には電子伝導性のほか、反応の副生成物などに対する耐食性や熱伝導性、平面性も求められる。そのため、前節で述べたJARI標準セルでは、焼成した高密度カーボン板から切削したものを用いている。ただし、スタックでは数百枚にものぼるセパレータすべてを切削加工することは現実的ではないため、1 mm以下の薄いカーボン薄板のプレス成型や射出成型が多く行われ、家庭用のエネファームでは主流となっている。

車載用途では、衝突時の靱性、薄型成形性に優れた金属薄板のプレスが現在のところ有望とされている。ただし、わずかな金属イオン（特にFe, Cuなどの陽イオン）の溶出であっても電解質膜の劣化につながるため、表面のコーティングが必要である。研究・試作では金などのめっきが用いられる場合もあるが、量産用としてはCVDやPVDなどでDLC（ダイヤモンドライクカーボン）等のカーボン系の被膜を作成することが多く行われている。コーティングではないが、ステンレスの不導体被膜を貫通した導電性析出粒子によって導電性を確保したSUS系セパレータも用いられている。

セパレータの母材としては、SUS、カーボンのほかチタンやアルミ系も用いられている。MIRAIには、カーボンコーティングされたチタン系材料が用いられていると発表⁶⁾されている。

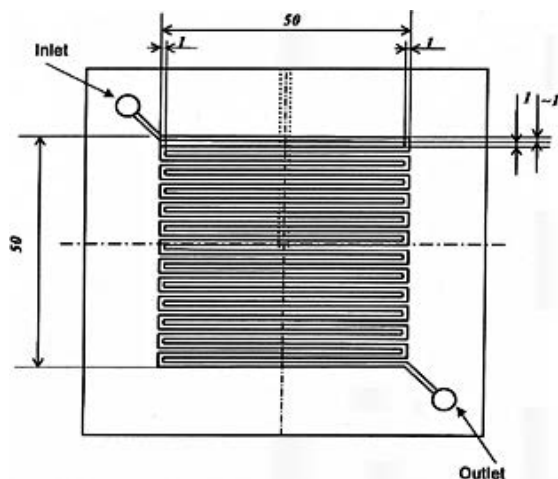


図2 セパレータ流路構造の一例
(JARI標準セルを基にしたIEC 62282-7セル³⁾)

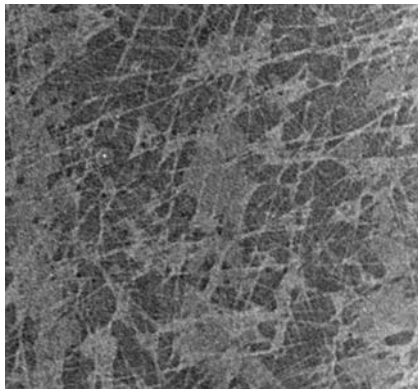


図3 ガス拡散層のCT画像
(黒：空隙，白：カーボン繊維，グレー：液水)

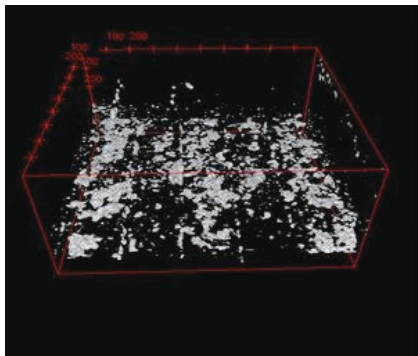


図4 ガス拡散層中の液水のみを3D表示

4. ガス拡散層 (GDL)

ガス拡散層 (Gas Diffusion Layer, GDL) は、触媒電極に均等に反応ガスを供給するとともに、反応によって生じた電子を伝導する必要がある。セパレータよりもさらに腐食に強い必要があるため、ほとんどの場合はカーボン繊維を布や紙状に成形したカーボクロスやカーボンペーパーが用いられる。性能は一般にガス透過性の高いカーボクロスが優れるが、コストや耐久性から近年はカーボンペーパーの採用が多い。

ガス拡散層の空隙中に液水がたまるとセパレータと同様に反応ガスの輸送を阻害するために、一般に PTFE などの撥水剤を導入する。過去にはその有効性の確認や構造などの最適化は難しかったが、最近では X 線 CT 装置の空間解像度が改善されてきたため、GDL 中の液水分布の可視化が可能となってきた。図 3 に、本研究室で CT 撮影した断面画像を示す。白線がおおよそ直径 $8\mu\text{m}$ のカーボン繊維を、黒い部分が平均空孔径が $30\mu\text{m}$ 程度の空隙を表す。中間のグレーの部分が液水である。この画像から、乾燥状態で別途撮影した画像を引き算すると液水のみ分布を得ることができ、それを鳥瞰図的に示したものが図 4 である。このように、これまで試行錯誤や勘に頼って開発されてきた各種 PEFC の部材であるが、測定技

術の発達と応用によって、ようやく徐々に物理的な予測に基づいた設計が可能な段階に近づきつつある。

ガス拡散層開発の最近 10 年の進展の一つとして、マイクロポーラス層 (Micro Porous Layer, MPL) が拡散層に付加されることが増えてきている。これは、直径 20nm ほどの微細カーボン粉末と PTFE などの撥水剤との混合物を拡散層基材に塗布・乾燥させた層で、拡散層内の水詰まり防止に効果が認められている。ただ、その正確な作用機序は明らかにされたとはいえず、今後の研究が期待されている。

5. 膜電極接合体 (MEA)

電解質膜と触媒層を併せ、膜電極接合体と呼ぶことも多い。この部材の問題点として過去から指摘され続けてきたことは触媒に白金を使用しなければならないことで、当然のことながら非白金触媒は活発に研究⁷⁾されている。中長期的にはこれらの取り組みは重要であるが、現状の白金使用量は 1cm^2 あたり数 mg 程度であり、実験室レベルでは $0.4\text{mg}/\text{cm}^2$ 程度も実現されつつある。この量であれば燃料電池車 1 台当たりの白金使用量は 10g 程度と見積もられ、現状の三元触媒に用いられる $1\sim 8\text{g}/\text{台}$ と比較して必ずしも極端に多く白金を使用するわけではない。

6. ま と め

車載用燃料電池スタックのこれまでの開発の流れを駆け足ながらご説明したつもりである。ただ、振り返ってみると各論のみに終始し、全体像がつかみにくいと感じられたかもしれない。これはひとえに筆者の責によるが、皆様の率直なご意見をいただければ幸いである。今後、燃料電池にかかわる分野の研究開発を検討するにあたって、少しでもご参考になればと願っている。

参考文献

- 1) Grove, W.R., : On voltaic series and the combination of gases by platinum, Vol. 14, Issue 86, pp. 127-130 (1839)
- 2) <http://toyota.jp/mirai>
- 3) <http://www.fcdevelopment.co.jp/c13.html>
- 4) 小境正也, 奥澤務, 佐竹弘之, 高橋宏, 田部豊, 近久武美: 固体高分子形燃料電池における多孔質ガス流路の検討, 動力・エネルギー技術の最前線講演文集, pp. 249-150 (2008)
- 5) http://www.toyota-body.co.jp/ps/qn/usr/db/d_file5-0001-0372.pdf
- 6) http://www.kobelco.co.jp/releases/2015/1190692_14507.html
- 7) 濱崎真, 石原顕光, ほか 7 名: PEFC 用非貴金属系カーボンフリー酸化物系触媒の開発, 燃料電池, Vol. 14, No. 2 (2014)

(原稿受付：2015 年 8 月 23 日)

解説

水素高速充填に関する研究（準等温化压力容器の応用）

著者紹介



ゆん 尹 ぞん 鍾 ほ 皓

東京工業大学精密工学研究所
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259R2-45
E-mail : youn.c.aa@m.titech.ac.jp

2005年東京工業大学大学院精密機械システム専攻博士課程修了。同年ボッシュ(株)入社。07年東京工業大学精密工学研究所高機能化システム助教。現在に至る。圧縮性流体の計測と制御の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会会員、博士（工学）。

1. はじめに

化石燃料に大きく依存したエネルギー供給から代替のエネルギー源によるエネルギー供給が必要とされている。化石燃料の問題点を克服するエネルギー源として太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー利用設備が社会に導入されているが、自然エネルギーは大量貯蔵ができない。そこで、新しいエネルギー源として期待されているのが水素である^{1),2)}。

水素社会実現に向けて、燃料電池車等の水素エネルギー利用技術の開発が進められている。燃料電池車や水素ステーションにおいて用いられる高压水素貯蔵タンクにおいては、安全性の観点から水素充填時の温度上昇を抑える方法が重要な課題となっている。また利便性の観点から水素の高速充填が求められる一方、タンク素材等の観点から温度上昇には制限がある。現在はプレクールによる温度抑制が用いられているが、燃料電池車が普及するにつれ、水素を冷却する際のエネルギーも大きな問題となってくる。

そこで本論では、高压水素を急速充填する際のタンクの温度上昇を抑える方法として、準等温化原理を用いた水素貯蔵タンクを提案する。提案するタンクではプレクールすることなく、水素充填時の温度上昇を抑えるもので、これにより省エネルギーで高速な充填を可能とすることを目指す。著者は先行研究で水素を用いて容器の充填圧力が0.7MPa程度であれば、等温材の体積充填率は4%程度で温度変化を1%以内に収めることができ、準等温化压力容器

としての効果を果たすことを明らかにした³⁾。本論では35MPaの圧力まで高压充填を行う際に準等温化原理の有効性を確認するため、集中定数系における解析による検討を行うことにする。

2. 準等温化原理を用いた水素貯蔵タンク

水素などの圧縮性流体を容器に充填する際、圧縮により容器内の気体温度が上昇する。また容器から気体を放出する際、膨張により容器内の気体温度は下降する。そこで、香川らは準等温化原理を提案し、それを用いたものとして準等温化压力容器を提案した⁴⁾。準等温化压力容器とは気体の出入りがあっても容器内の気体温度をほぼ一定に保つ性質を持つ容器である。準等温化压力容器には容器内を準等温化するために等温材が封入されている。等温材の条件として、等温材と気体間の熱伝達面積が非常に大きいこと、等温材の熱容量が気体よりも遥かに大きいことが挙げられる。これらの条件から、線径の細い金属線が等温材として提案されており、線径20～50μmの銅線が用いられることが多い。

今までの準等温化原理を用いていた研究では、気体の熱容量に比べ等温材の熱容量が10倍以上あった。そのため、気体の出入りに伴う温度変化は1%以内に抑えられていた。しかし、今回の研究対象となる高压水素の場合、充填材の熱容量に比べ気体の熱容量の方が大きい。そのため、気体の出入りに伴う温度変化を数%以内に抑えることは難しいと予想される。

3. 集中定数系による数値解析

3.1 空タンクにおける支配方程式

タンクへの充填は開いた系である。タンク内の水

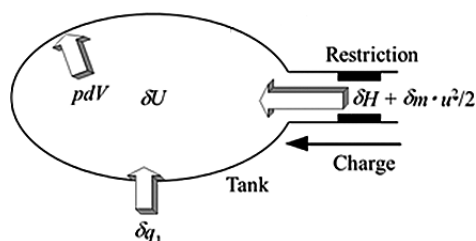


図1 空容器

素は外部と熱だけでなく、物質の水素のやり取りも行う。ここでは、図1に示すように、タンク内を検査面として扱う。熱力学第一法則を開いた系に適用すると式(1)が導ける。

$$dU = \delta q_1 - PdV + \left(\delta H + \frac{1}{2} \delta m \cdot u^2 \right) \quad (1)$$

式(1)をタンクとの熱伝達を考慮し、変形すると式(2)が導ける。

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{mc_v} \left(GC_p \theta_s - GC_v \theta + hSh(\theta_w(0) - \theta) \right) \quad (2)$$

つぎにタンクの熱移動について考える。タンク形状は円筒であるため、ここでは円筒座標系を用いる。タンクの熱移動は一次元非定常熱伝導方程式と考えると、式(3)により表せる。また境界条件を式(4)、(5)に示す。

$$\frac{\partial \theta_w(y, t)}{\partial t} = \alpha_w \frac{1}{r} \cdot \left(r \frac{\partial \theta_w(y, t)}{\partial r} \right) \quad (3)$$

$$-k_w \frac{\partial \theta_w}{\partial t} \Big|_{r=d_{in}} = h(\theta - \theta_w(0)) \quad (4)$$

$$-k_w \frac{\partial \theta_w}{\partial t} \Big|_{r=d_{out}} = h_{atm}(\theta_w(5) - \theta_{atm}) \quad (5)$$

ここで、水素とタンク内壁との熱伝達率、タンク外壁と大気との熱伝達率をそれぞれ250W/(m²・K)、20W/(m²・K)とする。

また系に流入する質量流量は式(6)で表される。

$$G = \begin{cases} S_e P_a \sqrt{\frac{k}{R\theta} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k-1}{k+1}}} & \frac{P}{P_a} < \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k+1}} \\ S_e P_a \sqrt{\frac{2}{k-1} \frac{k}{R\theta} \left[\left(\frac{P}{P_a} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P}{P_a} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} & \frac{P}{P_a} > \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k+1}} \end{cases} \quad (6)$$

ここでは、有効断面積を変えることで充填時間を調整する。

つぎにタンク内の状態方程式について説明する。本研究では実在気体の状態方程式として、ファンデルワールスの状態方程式を用いる。ファンデルワールスの状態方程式を式(7)に示す。式(7)から式(8)が導ける。また水素におけるファンデルワールス定数を表1に示す。

$$\left(P + a \frac{m^2}{v^2} \right) \left(\frac{v}{m} - b \right) = R\theta \quad (7)$$

$$\frac{dP}{dt} = \left(\frac{PV^2 + m^2 a}{mV^2 - m^2 Vb} - \frac{2ma}{V^2} \right) G + \frac{mR}{V - mb} \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (8)$$

表1 Van der walls constants of hydrogen

$a [\text{Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{kg}^{-2}]$	$b [\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
6.102×10^3	1.324×10^{-2}

3.2 準等温化タンクにおける支配方程式

準等温化原理を用いたタンクでは熱のやり取りは物質の水素、タンクだけでなく、充填材とも行う。熱力学第一法則を適用すると式(9)が導ける。

$$dU = \delta q_1 + \delta q_2 - PdV + \left(\delta H + \frac{1}{2} \delta m \cdot u^2 \right) \quad (9)$$

式(1)をタンクとの熱伝達、充填材との熱伝達を考慮し、変形すると式(10)が導ける。

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{mc_v} \left(GC_p \theta_s - GC_v \theta + hSh + hSh_{iso}(\theta_{iso} - \theta)(\theta_w(0) - \theta) \right) \quad (10)$$

等温材については線径が非常に小さく、伝熱面積が非常に大きいいため、瞬間熱平衡状態になると考える。等温材におけるエネルギー方程式を式(11)に示す。

$$\frac{d\theta_{iso}}{dt} = \frac{1}{C_{iso}} (hSh_{iso}(\theta - \theta_{iso})) \quad (11)$$

タンクの熱伝導方程式、熱伝達率、系に流入する質量流量、タンク内の水素の状態方程式については空タンクと同様に考え、式(3)～式(8)を用いる。

3.3 計算条件

タンク素材として、アルミニウム、CFRPにおける解析を行う。充填時間を30秒、60秒にて行い、充填時間の違いにおける検討を行う。また準等温化原理の効果としては熱容量の増加だけでなく、伝熱面積の増加に伴う急激な温度上昇の抑制が期待される。そこで、空タンク、等温材を封入したタンクに加え、等温材と同程度の熱容量を持つ銅の丸棒を加えた状態において解析を行う。これにより熱容量が等しいとき、伝熱面積が大きいという特徴を持つ等温化原理が及ぼす影響についても検討を行う。等温材には線径50μmの銅線を充填率6.7%にて用いる。

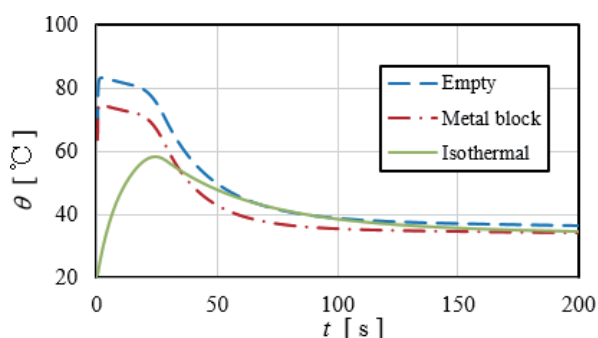
つぎに供給側の水素の圧力は50MPa、温度は17℃にする。アルミニウム、CFRP、銅の物性値および計算に用いる各種数値を表2に示す。

表2 Tank and isothermal material value

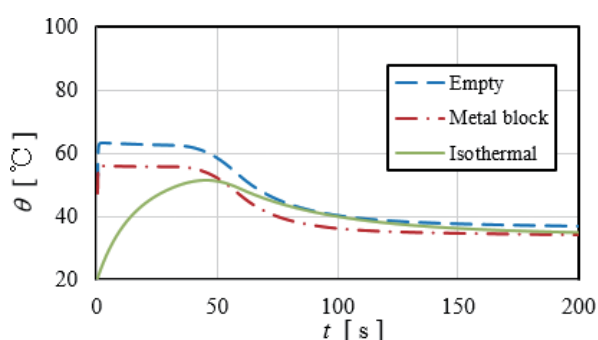
	タンク (AL)	タンク (CFRP)	等温材 (銅)	丸棒 (銅)
質量 kg	21.0	11.7	6.03	
表面積 m ²	0.32	0.32	53.66	0.11
密度 kg/m ³	2700	1530	8990	
比熱 J/(kg・K)	900	799	390	
熱伝導率 W/(m・K)	155	0.55	398	

4. 計算結果および考察

充填時間30秒, 60秒における解析結果を図2, 図3に示す. 充填時間が短い程, 丸棒を封入したタ

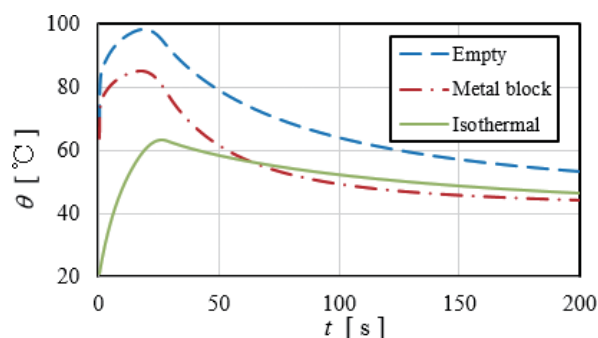


(a)Charging time : 30s

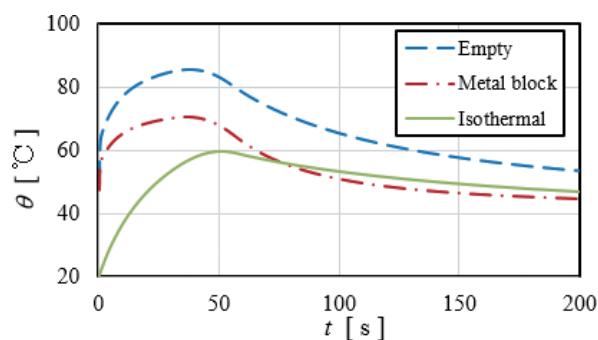


(b)Charging time : 60s

図2 温度変化 (アルミニウムタンク)



(a)Charging time : 30s



(b)Charging time : 60s

図3 温度変化 (CFRPタンク)

ンクや空のタンクと充填材を封入したタンクの最高温度の差は大きく, 準等温化原理の効果が大きくなっていることがわかる. これは熱移動の観点から, タンクの外へ熱移動が小さいタンクの方が等温化原理が及ぼす効果が大きいいため, 充填時間が短い程, 水素の温度上昇に対してタンク等の熱移動効率が悪くなるため, タンクの素材に関係なく充填時間が短い程影響が出ているためだと考えられる. そのため, 準等温化原理の効果は充填時間が短い急速充填でこそ発揮されるものと考えられる.

つぎにタンク素材の違いにおける充填時間の比較について述べる. 充填時間を短くすると準等温化原理の及ぼす効果はCFRPタンクよりもアルミニウムの方が大きいことがわかる. これも熱移動の観点から, 熱移動の時間短縮による影響が熱移動の効率が悪いCFRPよりも熱移動の効率が良いアルミニウムの方が充填時間を短くすることによる効果が大きく表れているためだと考えられる. しかし, 充填時間が長くなるほど, 影響が小さくなるということであり, 現状の充填時間の観点からはCFRPの方がよい効果が得られると考えられる.

素材および充填時間による解析結果の比較を行ったが, アルミニウムよりもCFRPの方が準等温化原理による効果が大きいことが予想される.

5. ま と め

本論では充填における温度変化の数値計算を行い, 素材および充填時間の観点から準等温化原理を用いたタンクは有効性の検討を行った. 解析結果より, 等温化原理を持つ水素貯蔵タンクは温度抑制, 時間短縮の観点から有効であると考えられる.

参考文献

- 1) 経済産業省: 省エネルギー技術戦略2011, (2011)
- 2) 経済産業省: 新たなエネルギー基本計画の策定について, <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004657/energy.html>
- 3) 香川利春, 川嶋健嗣, 藤田壽憲, 田中豊, 榊和敏: 等温化压力容器を用いた有効断面積の計測法, 油圧と空気圧, Vol. 26, No. 1, pp 79-81 (1995)
- 4) 大川陽一, 尹鍾皓, 中村善也, 香川利春: 水素における等温化放出法による流量測定, 計測自動制御学会, Vol. 48, No. 9, pp 515-521 (2012)

(原稿受付: 2015年 8月12日)

解説

高圧縮水素ガス用減圧弁の開発

著者紹介



なか むら よし なり
中村 善也

KYB株式会社 技術本部
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: nakamura-yos@kyb.co.jp

1997年岡山大学大学院自然科学研究科エネルギー変換前期課程修了。同年KYB株式会社入社。主に油圧技術を応用した新製品技術の研究開発に従事。日本フルードパワーシステム学会の会員。博士（工学）。

1. はじめに

水素機器の需要が今後、高まることを想定¹⁾²⁾³⁾し、特に水素貯蔵システムに関係する要素技術の研究開発を行ってきた。水素ガスは高密度に貯蔵する目的で高圧化されるのだが、高圧水素ステーションでは燃料電池自動車の低圧となった水素タンクへ充填される。また走行時には大気圧まで減圧され、燃料電池にて発電に用いられる。したがって高圧水素ガスを圧力制御する減圧弁は必要不可欠と言える。

弊社製品が対象とする主な流体は非圧縮性流体の油であるが故に、水素ガス用機器に対する設計的感覚は非常に乏しい。しかしながら従来からの油圧で培った流体制御への知見は、水素ガス用減圧弁の設計面や製造面などへ、多くの技術流用が期待できる。一方、水素ガスは油と違って、密度が非常に小さく、粘性もなく、圧縮性の気体である。そこでまず、油圧バルブの設計と同様な手順で、圧縮性流体の数値シミュレーションを行って実際に試作開発を行った。更に、絞りを高速で通過する際に生じる流体音に対して、空気圧技術として研究されてきた消音機構をヒントに、水素ガス流れにおけるバルブ静音化構造を新たに考案したので、その効果を紹介する。

2. 開発目標と取組み課題

表1は減圧弁の仕様を示している。設計ならびに試験評価の要件は、以下の通りである。

①量産を考慮し、汎用性のある小型構造とする。

②接ガス部の金属材料は、SUS316LもしくはA6061-T6とする。

③耐圧は常圧の1.5倍で、水压にて確認する。

④ガス漏れは常圧にてヘリウムガスで確認したのち、水素ガスを導入する。

⑤高圧ガス保安法を遵守し、試験を実施する。

3. 開発した減圧弁

3.1 仕様・設計

水素の物性は液体の油とは全く違うのは当然であるが、空気とも密度やガス定数など大きく違う。更に35MPaや70MPaといった高圧縮のガスは、理想気体として扱えず、実在気体の振る舞いをすることが判っている⁴⁾。開発した減圧弁（図1）は、まず絞り形状、ピストン外径、ばね定数などを決めるにあたり、各部の圧力、流量、弁変位を予測する数値

表1 減圧弁の仕様

名称	減圧弁
流体	水素
一次圧	3 ~ 35MPa
二次圧	Max 1.0MPa
圧力オフセット	Max 0.2MPa
流量	Max 500 NL/min

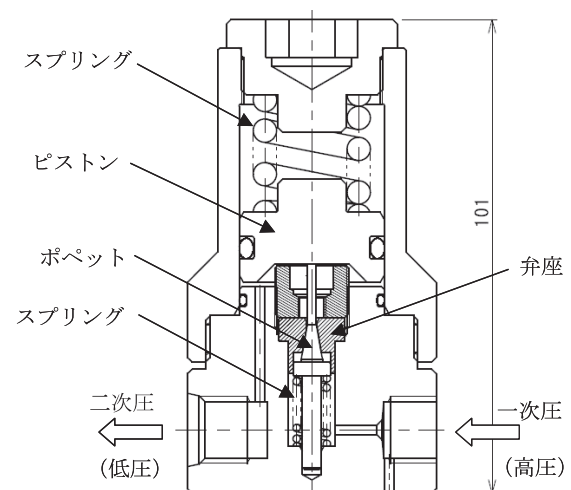


図1 減圧弁の構造

シミュレーションを実施した。なお今回は、高圧水素ガスに対するモデル式に対する詳細な妥当性の検証実績がないため、一般的な空気圧機器で用いられる計算モデルを適用して基本設計した。

3.2 試験方法

試験による評価は水素エネルギー製品研究試験センター⁵⁾の設備を利用して実施した。この施設では認可された高圧ガス機器類で試験設備が構成されており、常に定期メンテナンスが為されている。こうした設備を利用することで水素ガス用機器の試験を安全に、かつ迅速に実施できる。

図2は性能評価の試験設備を示している。供試体は窒素ガスで満たされた耐爆チャンバー内に設置し、もし供試体周辺から水素が漏れた場合、すぐに検知し、試験を自動停止する。更に供試体は飛散防止カバーで覆っており、万が一破裂してもチャンバー内面を傷付けることなく、二次災害への配慮もしている。なお二次圧は供試体に1 MPa以下に制御されるが、供試体の故障などにより二次圧側が1 MPa以上になると安全弁が作動し、圧力上昇が抑止される。今回は6体の供試体を試験水素回路中に組み込み、それぞれを切り替えて、効率よく一度に計測した。

3.3 圧力-流量特性の評価

一次圧を常時一定に保ち、流量を徐々に30秒程度で最大流量の500NL/minまで上げながら、そのときの二次圧と流量を計測する。また最大流量の500NL/minで30秒間保持したのち、30秒間で0 NL/minまで流量を下げ、この間の計測を連続で行った。図3には計測した二次圧力の結果の一例を、一次圧力違いでプロットしている。なお圧力-流量特性に

おいて、今回どの計測結果もヒステリシスは見られなかった。

4. 流体音の静音化

4.1 静音化のための新構造

5 MPa程度の低圧において、ラジアルスリットを用いた空気圧機器の低騒音化技術が研究⁶⁾⁷⁾されている。これはスリットで構成した流路が、非常に薄く、流路断面積がスリット入口から徐々に拡大するように構成し、騒音を低減する。そこで水素ガスに対する減圧弁に適用を試みた。図4にはその原理構造を描いており、図5にはバルブ絞り部の面積 $A(x)$ と整流化後の絞り出口面積 $B(x)$ の関係を示している。このバルブは $A(x)$ で絞られ、その後徐々に流路が拡大するため、流れに乱れが生じず流体音の発生が低減すると考えられる。

4.2 流体音の計測方法

今回、供試体から生じる流体音は圧力、流量を計

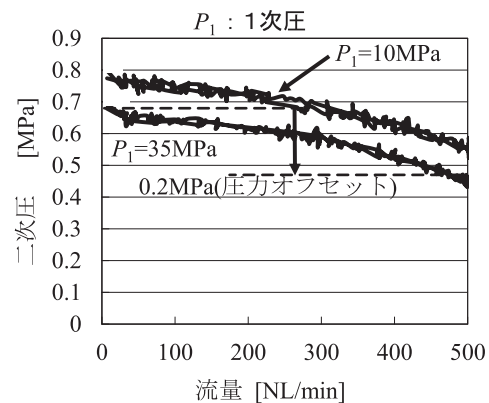


図3 測定結果

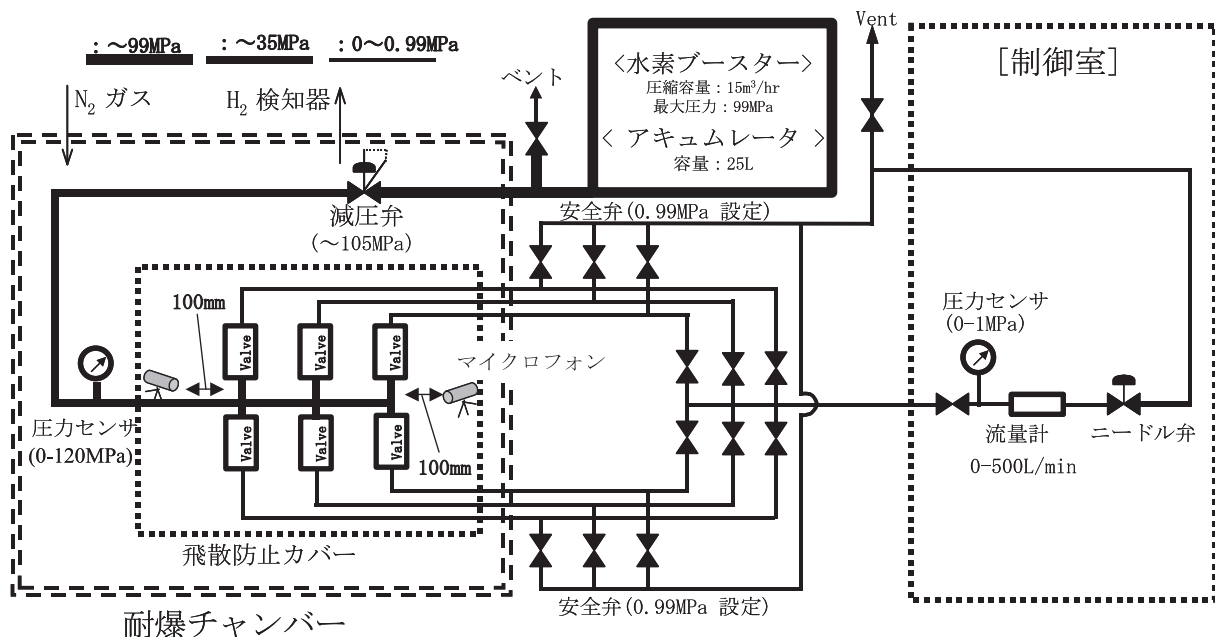


図2 試験装置

測しながら、マイクロフォン（図2）にて計測する。供試体は金属製の飛散防止カバーで囲まれているため、発生した音は反射する。そこで飛散カバー内面に吸音材のグラスウールを貼り付け、音の反射を防止する処置をした。またマイクロフォンは2台を対向させ、飛散カバー内の音を計測する。

なお水素を高圧に昇圧するブースターの作動音は非常に大きい。図2で示す耐暴チャンバーの外部で計測した音は約80dB(A)であったが、供試体の近傍で計測した音（飛散防止カバー内）は、外部の音と連動しないことは事前に確認している。

4.3 静音化の確認

図6は開発初期である供試体の流体音と、拡大流れを構成した供試体の流体音を比較した結果である。整流化エリアで拡大流れを持つ供試体は最大流量500NL/minにて-10dB(A)前後の静音化効果が確認で

きる。図7には流量500NL/minにおける周波数分析結果を示しておく。また図4に示した弁座径 d_p よりも整流化エリア部の L_r を長くすることで、静音化もより効果的になることを確認している。

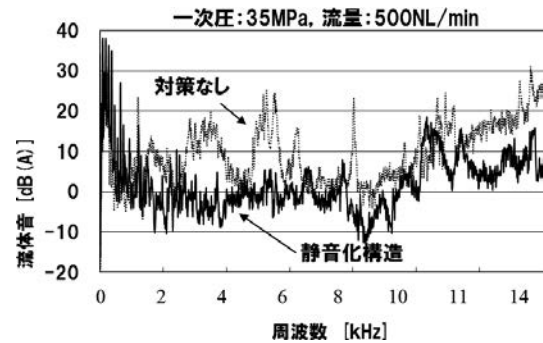


図7 静音効果（周波数分析）

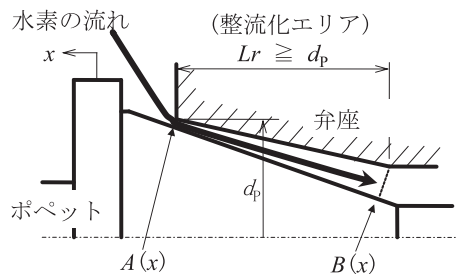


図4 静音化構造

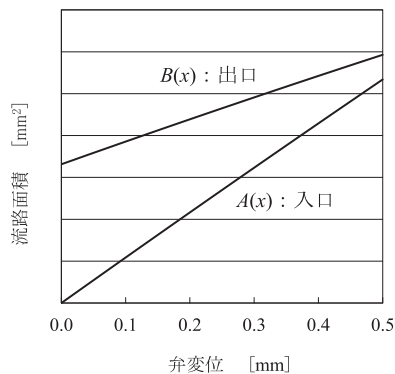


図5 整流化部の弁変位と流路面積の関係

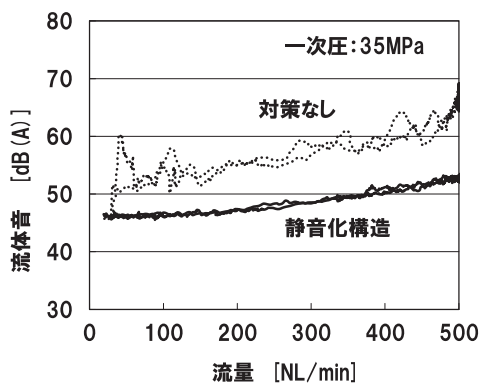


図6 静音効果（流体音特性）

5. 結 言

油圧機器の延長上として、高圧水素ガス用減圧弁を製作し、評価を行った。その結果、水素ガスに関する多くの設計・計測の知見を得ることができた。また流体音の計測を行い、静音化効果のある弁構造を提案し、その効果が確認できた。

最後に流体音に関する取組みは東京工業大学の香川利春教授と尹鍾皓助教のご協力のもと、進めて参りました。また関係する方々の多大なご支援を賜り、この場をお借りし、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 「燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明」, January 13 2011
- 2) 燃料電池実用化推進協議会 (FCCJ), 「FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ」, July 2010
- 3) 株式会社 富士経済, 「2011年版燃料電池関連技術・市場の将来展望 上巻」, March 2011
- 4) N. Sakoda, K. Shindo, K. Shinzato, M. Kohno, Y. Takata, and M. Fujii, : Review of the Thermodynamic Properties of Hydrogen Based on Existing Equations of State, International Journal of Thermophysics, Vol. 31, No. 2, p. 276-296 (2010)
- 5) 公益財団法人 水素エネルギー製品研究試験センター, Hydrogen Energy Test and Research Center (HyTReC), in Japan, <http://hytrec.jp>
- 6) C. Youn, S. Asano, K. Kawashima and T. Kagawa : Development of a Nozzle-Flapper Type Servo Valve Using a Slit Structure, Trans. ASME, Journal of Fluid Engineering, Vol. 129, No. 5, p. 573-578 (2007)
- 7) Youn, S. Asano, K. Kawashima and T. Kagawa, "Flow Characteristics of Pressure Reducing Valve with Radial Slit Structure for Low Noise", Journal of Visualization, Vol. 11, No. 4, p. 357-364 (2008)

(原稿受付：2015年8月4日)

会議報告

第14回スカンジナビアフルードパワー国際会議 (SICFP15) におけるフルードパワー研究開発動向

著者紹介



はやし みつ あき
林 光 昭

株式会社IHI
〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町 1
E-mail: mitsuaki_hayashio@ihi.co.jp

1989年明治大学大学院修士課程修了。同年石川島播磨重工業株式会社（現・株式会社IHI）入社。現在に至る。油圧装置／システムに関する研究開発に従事。日本フルードパワーシステム学会会員

行われる形式で進められ、全体の講演数は3日間で約70件であった。一般講演の発表時間は15分で、各セッションでの全講演の発表終了後、全発表者が再び登壇して、まとめて質疑応答を受け付ける形式で進行される。その他、各種講演と併行して、スポンサー企業および主催者IHAによる若干の展示／デモ、IHAラボツアーも行われていた。



写真1 開催会場 (Tampere Hall)

1. はじめに

SCIFP (Scandinavian International Conference on Fluid Power) は、タンペレ (フィンランド) とリンシェーピン (スウェーデン) で交互に2年毎に開催される、フルードパワーの国際会議である。2015年は、5月20日～22日の3日間にわたり、タンペレ工科大学の油圧オートメーション部門 (IHA*) の主催により、欧州フルードパワー連絡網 (FPCE**) の協賛のもと、フィンランドの首都ヘルシンキから約160km北に位置するフィンランド第2の都市である、タンペレにおいて開催された。本国際会議は、1987年にタンペレでフルードパワー国際会議が開催されて以降、約30年の歴史を持ち、1993年にSICFPと命名されて隔年で開催されるようになり、今回で第14回目を迎える。本稿では、このSICFP15の概要について紹介する。

2. SICFP15開催状況

SICFP15は、タンペレ市街地のイベントホール (写真1) で開催されて、講演会場としては、大小2つの会場 (Small Auditorium: 500席, Sopraano: 150席) が使用された。講演内容としては、各日の最初のセッションにおいて、招待・基調講演が大会場 (Small Auditorium, 写真2) で行われた後、大小2つの会場に分かれての一般講演が、同時に並行して

カンファレンス資料による参加登録者名簿によれば、参加登録者は全20カ国からの173名で、日本からの参加者は6名であった。主な国別ごとの参加登録者内訳を、図1に示す。中国からの参加登録者が多いが、一般講演への登録も10件以上を数え、勢力的な活動が伺える。

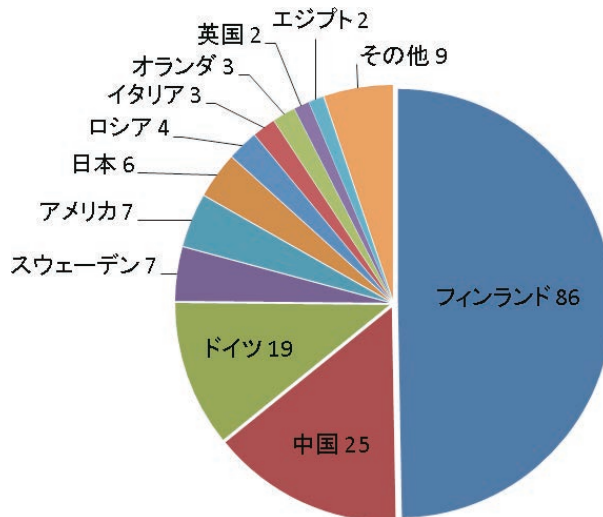


図1 国別の参加登録者内訳

*Department of Intelligent Hydraulics and Automation

**network of Fluid Power Centres in Europe

3. 講演内容

本会議での講演内容について、その項目のみを紹介する。詳細については、各講演のアブストラクトがSICFP15ウェブサイト¹⁾で公開されているので、そちらを参照願う。

3.1 基調講演

開催初日の招待講演の他、以下のテーマ毎に各2件ずつ、計4件の基調講演が行われた。

(1)Energy Efficient Systems

- Control of a Semi-Binary Hydraulic Four Chamber Cylinder (Bosch Rexroth)
- General rules for the design of efficient hydrostatic machines (INNAs)

(2)Reliable Hydraulic Systems

- Modular Software Design of Safety Related Systems for Mobile Machinery (Hydac)
- Digital Hydraulics on Rails (Bosch Rexroth)

3.2 一般講演

以下のテーマにより分類された14セッションにわたり、合計67件の一般講演が行われた。

(1)Small Auditorium (大会場)

- Drives (5件)
HST, Hybrid等の車輛ドライブに関するもの
- Digital hydraulics
Digital Hydraulics²⁾用バルブおよびその適用
- Controls (5件)
油圧システム制御に関する検討
- Pumps (5件)
油圧ポンプとその装置／システムに関するもの
- Robotics (5件)
油圧多脚歩行, 移動自律制御, マニピュレータ等
- Hybrids (5件)
各種の油圧ハイブリッド構成による効率改善
- Fluid Power Systems (4件)
各種フルードパワーシステムの評価検討

(2)Sopraano (小会場)

- Hydraulic systems (5件)



写真2 講演会場 (Small Auditorium)

各種油圧システムおよびその構成機器

- Components (5件)
フィルタ, マニホールド, 作動油, 熱交換器など
- Modelling (5件)
油圧システムシミュレーションによる評価検討
- Valves (5件)
各種油圧バルブの開発, 性能向上に関する検討
- Energy Efficiency (5件)
油圧システムの効率評価／改善に関するもの
- Pneumatics (5件)
要素～システムまで, 空圧全般に関するもの
- Fluid storages (3件)
油圧脈動低減デバイス, 油圧タンクの最適化

4. その他展示等

スポンサー企業および主催者IHAによる展示(写真3)の他, 上記各講演と併行して, IHAラボツアーが行われていた。ラボツアーは, バスで会場からIHAに移動することから参加人数に限りがあり, また, 講演プログラムの都合から筆者は参加できなかったため, 詳細は不明であるが, 他の参加者から聞いたところによれば, ホイールローダーによる自律運転／作業のデモが行われたとの事であった。



写真3 Exhibition会場

5. おわりに

本稿では、誌面が限られている事もあり、各講演等の詳細内容について触れず、全体的な概要のみを紹介した。詳細な内容については、今後発行される会議録を参照いただければと思う。

参考資料

- 1) <http://www.tut.fi/en/sicfp/index.htm>
- 2) Matti Linjama, DIGITAL FLUID POWER-STATE OF THE ART, Proceedings of the Twelfth Scandinavian International Conference on Fluid Power, vol. 3, p 331-353 (2011)

(原稿受付：2015年8月21日)

会議報告

MOVIC2015におけるフルードパワー技術研究動向

著者紹介



かな だ かず し
眞 田 一 志

横浜国立大学大学院工学研究院
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
E-mail: ksanada@ynu.ac.jp

昭和61年3月東京工業大学大学院理工学研究
科修士課程制御工学専攻修了。昭和61年4月東
京工業大学助手。平成10年横浜国立大学工学部
生産工学科助教授。平成13年横浜国立大学大学
院助教授。平成16年横浜国立大学大学院教授。
現在に至る

1. はじめに

日本機械学会主催、日本フルードパワーシステム学会協賛の第14回「運動と振動の制御」シンポジウムが、栃木県総合文化センターを会場として、2015年6月22日（月）～24日（水）に開催された（図1）。「運動と振動の制御」シンポジウムは、国際会議 International MoViCと隔年で交互に開催される講演会である。著者が担当したオーガナイズドセッション「フルードパワーの基礎と応用」は6月23日（火）午後に開催され、計8件の講演発表があった。以下に講演発表に見る研究動向について、講演発表論文をもとに述べる。



図1 MoViC2015講演会

2. 講演発表にみる研究動向

風間¹⁾は、斜板式アキシャルピストンポンプ・モータにおいて、スリップの公転運動やパッドの傾斜などまで考慮した、流体潤滑域から混合潤滑域までの連続した潤滑状態に適用可能なモデルを構築した。このモデルを用いて、斜板振動を模擬した入力に加え、パラメータの影響を数値計算で明らかにした（図2）。



図2 講演発表1

戸松ら²⁾は、モデル予測制御を用いたパワーショベルの軌道追従制御について発表した。バケットの姿勢角と先端位置の移動可能範囲に制約を与えることで、目標形状を考慮した軌道追従制御の実現を目指した。逆運動学を用いて各作業部の角度を計算し、幾何学的にシリンダ変位を求めて、軌道追従制御を実施した。ブーム、アーム、バケットシリンダを同時に動作させて掘削動作を想定したシミュレーションを行い、サーボシステムを用いた軌道追従制御手と比較することで、モデル予測軌道追従制御の有効性を示した。

田中ら³⁾は、船舶の動揺を低減するためのシステムとして、油圧式6自由度スチュアートプラットフォーム形パラレルメカニズムを開発した。洋上試験を行い、動揺吸収性能が発揮されることを示した（図3、図4）。

金子ら⁴⁾は、自動変速機のシリンダと流量制御弁について、流体力の影響と供給圧力の変動を表現し



図3 講演発表2



図4 講演発表3

た非線形モデルを導出した。実機から取得したデータから、流量制御弁のパラメータを求め、モデル出力と実機の出力を比較することで、モデルの妥当性を示した。

山下⁵⁾は、エアブローによる清浄技術について取り上げた。この清浄技術は、製品に非接触で清浄できることが特徴である。連続エアブローより効率的に粉塵を除去できるパルスエアの基本的な除塵メカニズムの明確化と理論に基づいた装置の開発が期待されている。現在明らかになっていないパルスエアによる除塵効果向上のメカニズムを実験により検討した。

桜井⁶⁾は、1本のボンドで二つの変数を伝達することができるボンドグラフの長所と、信号を伝達するアクティブボンドを活用し、空気圧システムの新しいモデル化手法を提案した。

早川⁷⁾は、高齢者と介護者の負担を軽減するアクティブセンシングマットの開発を行った。アクティブセンシングマットは、患者の状況に応じてマット制御を行い、体位変換を促すことによって鬱血や褥瘡を抑制する。また、離れた場所からも、患者の状況を把握できるモニタリング機能もあわせて開発した。

岸⁸⁾は、AMT (Automated Manual Transmission) のスリップ状態の力学モデルを構築し、状態フィードバックゲインを、最適制御理論を適用して求めた。評価関数の重み係数を、ドライバのクラッチ操作の緩急

に応じて可変とすることで、ドライバの操作を制御に反映させる手法を考案した。

3. おわりに

今回のセッションも多く参加者の協力で成功裏に終了した(図5)。次回は国際会議となり、2016年7月3日～6日、英国のサザンプトン大学で開催される予定である。



図5 参加者一同

参考文献

- 1) 風間俊治, 斜板式アキシャルピストンポンプ・モータのスリップモデルに対する数値シミュレーション: 斜板振動の影響, 日本機械学会第14回「運動と振動の制御」シンポジウム USB論文集, p. 306-309 (2015)
- 2) 戸松匠, 野中謙一郎, 関口和真, パワーショベルによるモデル予測軌道追従制御, 日本機械学会第14回「運動と振動の制御」シンポジウム USB論文集, p. 310-313 (2015)
- 3) 田中豊, 五嶋裕之, 野見山望, 油圧式六自由度パラレルメカニズムによる動揺吸収装置の開発, 日本機械学会第14回「運動と振動の制御」シンポジウム USB論文集, p. 314-317 (2015)
- 4) 金子大喜, 平田光男, 鈴木雅康, 金子豊, 安達和孝, AT油圧制御のためのリニアソレノイドを用いた3ポート流量制御弁のモデリング, 日本機械学会第14回「運動と振動の制御」シンポジウム USB論文集, p. 318-321 (2015)
- 5) 山下和秀, 村山栄治, 川上幸男, 深田佳成, パルスエアの除塵メカニズムの検討, 日本機械学会第14回「運動と振動の制御」シンポジウム USB論文集, p. 322-327 (2015)
- 6) 桜井康雄, 田中和博, 中田毅, 幸田武久, 空気圧システムモデル化のためのボンドグラフ法に関する一提案, 日本機械学会第14回「運動と振動の制御」シンポジウム USB論文集, p. 328-332 (2015)
- 7) 早川恭弘, 大内紳司, 光崎将人, 杉田健太, 介護用アクティブセンシングマットシステムの開発, 日本機械学会第14回「運動と振動の制御」シンポジウム USB論文集, p. 333-336 (2015)
- 8) 岸和紀, 真田一志, ドライバの意思を考慮したAMT始動時の最適制御のロバスト性, 日本機械学会第14回「運動と振動の制御」シンポジウム USB論文集, p. 337-340 (2015)

(原稿受付: 2015年7月20日)

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 …アクチュエータと流体回路

著者紹介



きはら かず ゆき
木原 和幸

工業所有権協力センター
〒135-0042 東京都江東区木場 1-2-15
E-mail : k-kihara@sctv.jp

1974年神戸大学工学部計測工学科卒。東京計器入社、パワーコントロール研究室長、油空圧技術部長等を経て、現在に至る。比例弁、サーボ弁、ピストンポンプ等の油圧機器とそれらを制御するコントロールシステム等の開発に従事。日本フルードパワーシステム学会会員。

1. はじめに

前稿までに国際特許分類（IPC）および日本における特許の分類の大きな概要を紹介し、さらに、具体的な事例として、低騒音、高圧化、耐コンタミ性に関する特許文献を検索する方法を示した。また、前項では、特許電子図書館のサービスが2015年3月23日で終了したため、それにともない新たな特許情報サービスが特許情報プラットフォーム¹⁾として提供されたことを紹介した。本稿ではキーワードからの検索ではなく、アクチュエータと流体回路に関連して、わかりにくい点などを含め、ポイントを解説する。

2. 流体回路に関するテーマとFI

流体回路に関するFIの上位コードであるF15Bは下記内容である。

F15B 流体手段によって作動する系一般；流体圧アクチュエータ、例、サーボモータ；他に分類されない流体圧系の細部。

ここで、サーボモータが、流体圧アクチュエータの一例となっているのをおかしいと感じる方は多いと考える。筆者も違和感がある。しかし、サーボモータの用語にはサーボ制御において機械系の位置、速度等を制御するためのアクチュエータの意味もある。ただし、近年では死語とも言えるのではないだろうか。電動機であるサーボモータが一般的である。

ところで、F15Bに使用している用語の意味として、下記の説明がある。

(1) テレモータ

入力部材と出力部材の間に実質的に一定量の流体が封じこまれており、流体的なリンクとして作用す

る系または装置を意味する。

(2) サーボモータ

流体圧アクチュエータを意味する。

これから、F15Bに記載されているサーボモータは流体圧シリンダ、流体圧モータと判断できる。その解釈からすると下記テーマコードはわかりにくい。

3H001 サーボモータ(1)

F15B9/00 ~ F15B9/17

3H002 サーボモータ(2)

F15B13/02 ~ F15B13/08

3H081 アクチュエータ

F15B15/00 ~ F15B15/28@Z

パテントマップガイダンス（PMGS）から各テーマの解説を参照することができる。特許情報プラットフォームの特許実用新案から5. パテントマップガイダンス（PMGS）を選択する。FI照会、Fターム照会、IPC照会がある。下記画面から解説を参照できる。

表1 Fターム照会

照会画面	○Fタームリスト	◎Fターム解説
分類	3H001	

Fターム解説を選択して、分類に3H001を入力し、照会する。以下の技術の概要を確認できる。

油圧シリンダ、油圧モータの位置を制御するものにおいて、油圧シリンダ、油圧モータの位置を検出し、その検出値を比較器にフィードバックして設置値と検出値を比較し、位置制御を行うもの。

制御方式は、容積制御方式とバルブ制御方式に大別できる。

3H001サーボモータ(1)のFIを下記に抜粋する。

F15B9/00 追従動作をするサーボモータ、すなわちその被作動部材の位置が制御部材の位置に従うもの

F15B9/02…往復動形または揺動形のサーボモータをもつもの

F15B9/03…電氣的制御手段をもつもの

F15B9/04…可変容積形ポンプの出力を変えることによって制御

F15B9/08…サーボモータの流体供給量または流体流出量に影響を与える弁によって制御

F15B9/08@A 直結フィードバック式

F15B9/08@C カフィードバック式

F15B9/08@F 位置フィードバック式

同様に3H002サーボモータ(2)のFターム解説を照会すると下記となる。

油圧シリンダ、油圧モータの作動を制御する弁が分類されている。

F15B13/04 ~ F15B13/044 流量と方向、圧力と方向を制御する弁

F15B13/06 ~ F15B13/08 主に分流集流弁

3H002サーボモータ(2)のFIの抜粋は下記である。

F15B13/02…サーボモータの制御に適用することを特徴とする流体の分配または供給装置

F15B13/04…単一のサーボモータとともに用いるもの

F15B13/042…流体圧により作動されるもの

F15B13/043…電氣的に制御されるパイロット弁をもつもの

F15B13/043@A サーボ弁

F15B13/044…電氣的に制御される手段、例。ソレノイド、トルクモータ、により作動されるもの

F15B13/06…2個以上のサーボモータとともに用いるもの

F15B13/06@A 優先型分流弁

F15B13/06@B 等量型分流集流弁

これより、制御弁がF16KのFI分野だけではなく、F15BのFI分野にもあることがわかる。また、3H001、3H002のテーマコード名はサーボモータ(1)および(2)であるが、流体圧アクチュエータ自体の分野でないことがわかる。

3H081アクチュエータのFターム解説を参照すると、技術の概要は下記である。

本テーマでのアクチュエータとは、圧油、圧縮空気等の流体エネルギーにより出力軸の回転、または往復運動を発生させて、機械的な仕事に変換する機械の総称をいう。ただし、出力軸が連続回転するモータは除く。代表的なものに直動形アクチュエータ、揺動形アクチュエータがある。

本テーマではアクチュエータ単体について解析し、システムに関するもの、制御回路に関するもの等は、別のテーマで解析している。

3H081アクチュエータのFIの抜粋は下記である。

F15B15/00部材をある位置から他の位置へ移すための流体作動装置；それと組み合わせた伝動装置

F15B15/04…揺動シリンダをもつもの

F15B15/06…直線運動を非直線運動へ機械的に変換するためのもの

F15B15/08…モータユニットの構造に特徴

F15B15/10…ダイアフラム形のモータ

F15B15/12…揺動羽根またはわん曲シリンダ形

F15B15/14…直線シリンダ形

F15B15/18…ポンプおよびモータを含む結合ユニット

F15B15/28…位置、例。行程端、を表示するた

めの手段[4]

連続回転の流体圧モータはテーマコード3H084に分類されている。

3H084 液圧モータ

F03C1/00-F03C99/00

Fターム解説を参照すると、技術の概要は下記である。

液圧によるエネルギーにより出力軸を回転又は揺動させる機関に関する技術である。

F03C1/00 ~ F03C1/40 往復ピストン液体機関

F03C2/00 ~ F03C2/30 回転ピストン液体機関

F03C4/00 揺動ピストン液体機関

F03C5/00 ~ F03C502 上記以外の液体機関

また、本テーマにはモータのみでなく、ポンプとしても用いられる液体機関も含まれる。

揺動に関しては3H081アクチュエータにも揺動モータは分類されている。

流体回路に関するテーマコードは下記がある。

3H089 流体回路(1)

F15B11/00 ~ F15B11/22@Z, F15B21/14 ~ F15B21/14@Z

3H082 流体回路(2)

F15B20/00 ~ 21/12

3H089流体回路(1)のFターム解説を照会すると下記である。

油圧、空気圧等の流体圧を用いてアクチュエータの駆動(力、速度、位置等)を制御する流体圧回路一般に関するものである。ただし、アクチュエータの位置をフィードバック制御する技術は、3H001サーボモータ(1)に分類され、このテーマには含まれない。

3H082流体回路(2)のFターム解説を照会すると下記である。

油圧、空気圧等の流体圧を用いてアクチュエータの駆動(力、速度、位置等)を制御する流体圧回路の中で、安全装置、非常用装置、プログラム制御、作動油の冷却、加熱または異物除去、その他特殊流体、遅延回路、パルス発生等に関するものである。

上位のFIであるF15B20/00の解説は下記である。

F15B20/00 流体アクチュエータ系用の安全装置；流体アクチュエータ系における安全装置の適用；流体アクチュエータ系用の非常用装置

3H089流体回路(1)には多くの流体回路が分類されている。この分野のFIは多いが、一部を以下に示す。

F15B11/00 追従動作をしないサーボモータ系

F15B11/00@A 省エネ回路

F15B11/00@C 緩衝回路

F15B11/00@D 流体圧回路のユニット化

F15B11/02…出力部材の速度または作動力を制御するための特有な要素を実質上もつ系

F15B11/02@M…方向切換弁を介してポンプ吐出流体を合流させるもの

F15B11/02@G…調圧回路

F15B11/02@K…増圧増強回路

F15B11/02@L…差動回路

F15B11/02@V…蓄圧回路

F15B11/04…速度制御を目的とするもの

F15B11/04@B もつぱらポンプにより速度を制御するもの

F15B11/06…圧縮性の媒質, 例. 空気, 蒸気, を用いるための特有な要素をもつもの

F15B11/06@B…力・圧力又は速度を制御する回路

F15B11/06@L…消音, 潤滑, 排液, 除湿又は除塵を行う回路

F15B11/06@M…安全手段を備える回路

F15B11/18…単一の被制御部材の段階的動作を得るために結合して用いられるもの

F15B11/20…相互作用または順次作動する数個の部材を制御するもの

F15B11/20@A シーケンス制御

F15B11/22…2個以上のサーボモータの動作を同期させるもの

F15B11/22@A オープン容積制御

F15B11/22@L フィードバック同期制御

F15B11/22@M…ポンプ制御方式

F15B11/22@N…弁制御方式

上記の内容からどのようなものか推定できるFIもあれば, そうでないものもある。たとえば, FタームにAA86閉回路があるが, 文献を検索するとF15B11/08@C容積制御が付与されているものが多い。全文献への付与でないのは, FIは発明内容の請求項からの分類であり, Fタームは文献の明細に記載されている内容も含むためである。しかし, 閉回路と容積制御を同等とイメージするのは難しいかもしれない。回答が先にあれば, イメージが湧く程度ではないだろうか。同様にAA82定馬力制御はF15B11/02@C可変吐出容量形ポンプによるものである。これも言われなければわからないレベルではないだろうか。可変吐出容量形ポンプを用いて馬力制御を行っているイメージするのが良い。ただし, F15B11/02@Cには他の流体回路への適用文献も多いと推定される。

3. おわりに

特許電子図書館が廃止となり, 特許情報プラットフォームが特許情報サービスとして2015年3月23

日から提供されたが, 特に問題はないようである。

本稿ではキーワード検索ではなく, FIの用語から直接のイメージが合うか否かを例示した。アクチュエータと流体回路から一部のサンプルを示しただけであるが, 簡単と感じる方は, 特許文献の分類, 検索に習熟している方である。筆者もイメージが合わないFIが多く, 適切な文献検索ができず, 見出したい文献とは関連の少ないFIを検索し, 途中で間違えたと認識することも多々ある。そのため, 検索に習熟されていない方は前稿までに照会しているようにキーワードを用いて近似文献を見出し, その文献に付与されているFI, Fタームを検索する方式を推奨する。

本稿をより良く理解するために, 前稿までの特許文献を調べる^{1)2)3)4)5)6)7)および8)}参照されたい。

参考文献

- 1) 特許情報プラットフォーム <http://www.j-platpat.inpit.go.jp/web/all/top/BTmTopPage>
- 2) 木原和幸: 特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 1…特許の基本, フルードパワーシステム, Vol. 44, No. 4, p. 241-243 (2013)
- 3) 木原和幸: 特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 2…特許の基本, フルードパワーシステム, Vol. 44, No. 6, p. 362-364 (2013)
- 4) 木原和幸: 特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 3…日本の分類・テーマコード1, フルードパワーシステム, Vol. 45, No. 2, p. 81-83 (2014)
- 5) 木原和幸: 特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 4…日本の分類・テーマコード2, フルードパワーシステム, Vol. 45, No. 4, p. 184-186 (2014)
- 6) 木原和幸: 特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 5…類似文献の検索1, フルードパワーシステム, Vol. 45, No. 6, p. 285-287 (2014)
- 7) 木原和幸: 特許文献を調べる・特許電子図書館の活用 6…類似文献の検索2, フルードパワーシステム, Vol. 46, No. 2, p. 90-92 (2015)
- 8) 木原和幸: 特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…特許電子図書館のサービス終了, フルードパワーシステム, Vol. 46, No. 4, p. 179-181 (2015)

(原稿受付: 2015年8月3日)

トピックス

フルードパワー分野の産学連携（大学-企業）成功事例

著者紹介



かとうとものり
加藤友規

福岡工業大学工学部知能機械工学科
〒811-0295 福岡県福岡市東区白東3-30-1
E-mail: t-kato@fit.ac.jp

2007年東京工業大学大学院博士課程修了。都立高専助手～助教を経て、2010年福岡工業大学助教、2012年同大学准教授、現在に至る。空気圧制御に関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）、技術士（機械部門）。

1. はじめに

本記事は、表題の通りフルードパワー分野における産学連携（大学-企業）の成功事例をご紹介しますというトピックスである。

著者には大した成功体験はないのだが、大学院の学生～助手の頃に経験した、大学での研究が企業の製品化に繋がった事例を一つ、ご紹介させていただく。

2. 開発の経緯

2.1 圧力微分計の提案

著者は、2002年4月に東京工業大学大学院総合理工学研究科精密機械システム専攻（現：メカノマイクロ工学専攻）修士課程に入学し、同大学精密工学研究所の香川利春教授・川嶋健嗣助教授（当時）の研究室に配属された。

当時、香川・川嶋研究室では、気体の非定常流量発生装置や空気ばね式除振台、空気圧サーボシステム、漏れ計測などを研究テーマとしていたが、いずれの研究テーマにおいても、圧力の微分値をいかに高分解かつ広帯域に計測できるかが、ひとつの課題となっていた。それまで、圧力の微分器としては、差圧計測の方法やベローズを用いた空気圧式微分調節計などが提唱されていたが、容器内の気体の状態変化についての取り扱い・議論は不十分であった。

修士課程2年生になった2003年4月のある日、川嶋先生の教員研究室に呼ばれお伺いしたところ、「本を読んでいて、圧力の微分値を計測するための

面白いセンサを思いついた」と告げられ、ご説明をお聞きした。川嶋先生のご提案は、等温化压力容器・層流抵抗管・微差圧計を構成要素とした、新しい圧力微分計であった¹⁾(図1)。当時、香川・川嶋研には修士課程2年生が9名在籍しており、私の研究テーマは「空気ばね式除振台のアクティブ制御」であった。そのため、「本論と関係ないテーマなのではないか」と少し感じたが、本テーマの担当者は私ということに決まっているようだった。

私は早速、ご提案の圧力微分計を試作し（写真1）、特性をシミュレーションと実験で確認した。実験結果の一例として、ある圧力波形について、圧力センサ（分解能50Pa）の測定値を一次微分（同時離散微分）した場合と、提案された等温化压力容器を用いた圧力微分計、提案された圧力微分計の容器内を空にした（等温化をしなかった）場合の3通りについての実験結果を図2に示す。これらの結果より、川嶋先生のご提案の通り、等温化压力容器を用いることで、空容器の場合に計測値の振幅・位相に現れる影響が大幅に低減されており、また圧力センサの離散微分値と比較すると、分解能は非常に高いものであるということが明らかとなった。この成果の第1報を2003年9月に計測自動制御学会論文集に投稿し、2004年6月に掲載された²⁾。なお、圧力微分計の研究については査読付論文を出す成果を得たが、肝心の「空気ばね式除振台」に関する研究の方はあまりうまく進まず、修士論文の作成およ

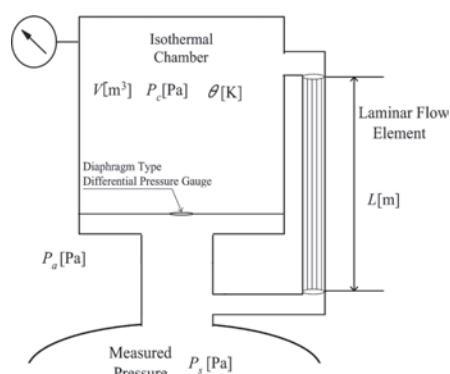


図1 圧力微分計の構成図

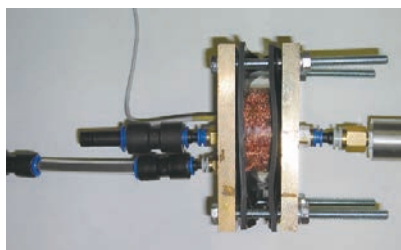


写真1 圧力微分計 初号機

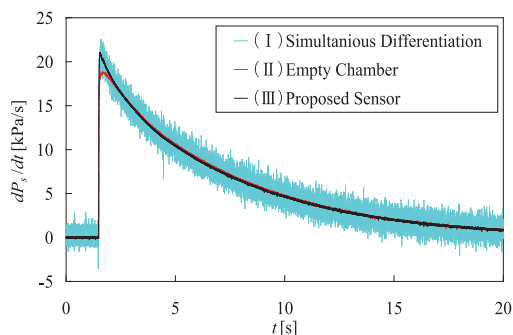


図2 測定された圧力微分値の比較

び発表会では、辛酸を嘗めた記憶が残っている。

2.2 NEDOマッチングファンドへの採択

著者は、2004年4月に東京都立工業高等専門学校機械工学科（現：公立大学法人首都大学東京 東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科 機械システム工学コース）の助手（2007年4月に助教に職名変更）として採用された。同校は当時、東京都教育委員会所管の公立学校であり、助手も任期付でなく東京都立学校教員としての正規採用であった。

修士課程を修了直後にこのようなポストに就けたのは大変な幸運であるが、当然、研究の方は一人では何もできない状態であり、東工大の香川先生・川嶋先生に全面的にお世話になることとなった。

ちょうどこの頃、香川・川嶋研究室は、NEDOの大学発事業創出実用化研究開発事業（マッチングファンド）に採択された。事業名は「次世代高安定除振台のための重要要素技術（圧力微分計）の開発」で、資金供給事業者は東京メータ㈱、助成期間は2004年7月から2006年6月とのことであった。

2.3 圧力微分計の改良

とにかく私は、香川・川嶋研の学生さん達と協力し、圧力微分計の改良に関する研究を進めることとなった。議論と理論計算の結果、圧力微分計の層流抵抗管を多段スリットにすることで、分解能・動特性の向上と小型化が実現できるという話になり、多段スリット型圧力微分計を試作（写真2）し、性能試験を行い、有効性を確認した。この成果は、2005年3月にMeasurement Science and Technologyに掲

載された³⁾。

また、圧力微分計の更なる小型化・高性能化の実現のため、多段スリット部をSiO₂膜付シリコン基板とパイレックスガラスを材料としたMEMS加工により製作した、微細スリット流路型圧力微分計（写真3）を開発し、成果は2005年5月に計測自動制御学会論文集に掲載された⁴⁾。本論文は2006年度計測自動制御学会論文賞蓮沼賞を受賞した。

その後さらに、五十嵐康一氏・川嶋先生・船木達也先生・香川先生による続編の論文「微細熱式流速計を用いた圧力微分計の開発」⁵⁾が2007年4月に掲載され、本論文は平成20年度油空圧機器技術振興財団論文顕彰と平成20年度ファナックFAロボット財団論文賞を受賞した。

3. 圧力微分計の製品化と応用

3.1 圧力微分計の製品化

前述の通り特許を出願し論文も出ていることから、この「スリット型圧力微分計」を東京メータ㈱の商品として製品化する、という話になった。上述の多段スリットは、製品化・量産するには、隙間の調整がかなり難しいという課題があった。そこで、製品化に向けては、多段スリットを円筒型スリットにしてはどうかという話になった。

開発された円筒型スリット式圧力微分計の構造と写真を図3と写真4に示す。この円筒型スリット式圧力微分計は、東京メータ㈱のDTPシリーズとして製品化され、現在も販売されている。

3.2 圧力微分計の応用

その後、圧力微分計の応用として、以下のような研究を実施した。

1) 気体用超精密高速圧力レギュレータ（HPR）

本技術は、圧力微分計を用いた微分先行制御により等温化压力容器内の圧力を高速・精密に制御するもの⁶⁾（写真5）で、東京メータ㈱のHPRシリーズ（写真6）として販売されている。

2) HPRによる空気ばね式除振台への供給空気圧力の安定化

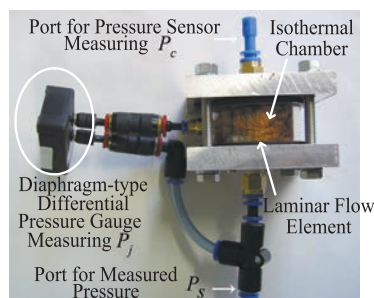


写真2 多段スリット型圧力微分計

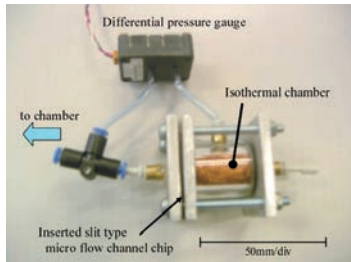


写真3 MEMS加工による微細スリット流路型圧力微分計

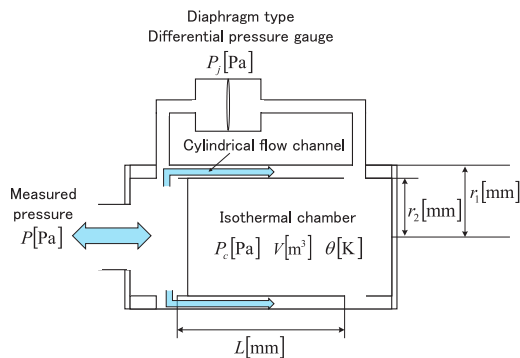


図3 円筒型スリット式圧力微分計の構造

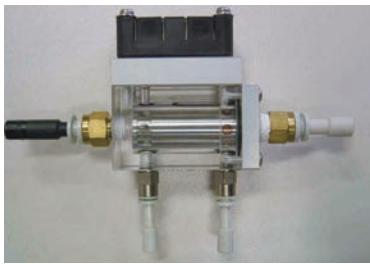


写真4 円筒型スリット式圧力微分計

HPRを空気ばね式除振台の供給空気圧力の制御に使用することで、供給空気圧力の変動による除振台への影響を抑制した⁷⁾。

3) 圧力微分計を用いた空気ばね式除振台の制御

圧力微分計を空気ばね式除振台の空気ばね室に設置し、以下の2つの制御を実現した。

- ・仮想バッファタンクの実現⁸⁾
- ・モデル追従制御⁹⁾(スプール型サーボ弁が持つ非線形性を補償)

ここまでの研究成果をまとめ、2007年3月に著者は「空気ばね式除振台のアクティブ制御」の題目にて博士(工学)の学位を東京工業大学にて取得した。またほぼ同時期に、技術士(機械部門)の国家資格を取得した。

その後、圧力微分計関連では、近年では以下のような研究を実施している。

- 4) 圧力微分計を用いた空気ばね式除振台の外乱補償制御¹⁰⁾
- 5) HPRのガス脈動再現試験装置への応用¹¹⁾

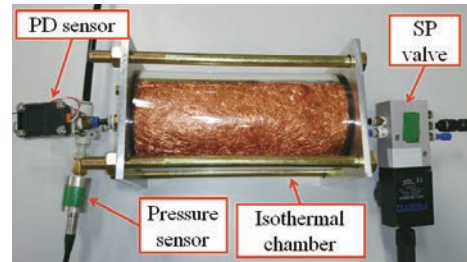


写真5 HPRの構成



写真6 製品版のHPR

6) HPRのエアタービンスピンドルの回転数制御への適用¹²⁾

7) HPRの電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージへの適用¹³⁾

4. おわりに

本稿では、産学連携(大学-企業)の事例として、圧力微分計の開発の経緯とその応用についてご紹介させていただいた。

本件でご指導いただいた香川利春先生・川嶋健嗣先生、ならびにお世話になった関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 川嶋健嗣, 香川利春: 圧力微分計, 日本国特許第4088667号(2008)
- 2) 加藤友規, 川嶋健嗣, 香川利春: 等温化圧力容器を用いた圧力微分計の提案, 計測自動制御学会論文集, Vol. 40, No. 6, p. 642-647 (2004)
- 3) Kenji Kawashima, Tomonori Kato, Yosuke Yamazaki, Michio Yanagisawa, Toshiharu Kagawa: Development of slit type pressure differentiator using an isothermal chamber, Measurement Science and Technology, Vol. 16, p. 1150-1156 (2005)
- 4) 川嶋健嗣, 五十嵐康一, 小玉亮太, 加藤友規, 香川利春: 微細加工技術によるスリット型流路を用いた圧力微分計の開発, 計測自動制御学会論文集, Vol. 41, No. 5, p. 405-410 (2005)
- 5) 五十嵐康一, 川嶋健嗣, 船木達也, 香川利春: 微細熱式流速計を用いた圧力微分計の開発, 計測自動制御学会論文集, Vol. 43, No. 4, p. 264-270 (2007)
- 6) 川嶋健嗣, 加藤友規, 山崎俊平, 香川利春: 気体用の超精密高速応答圧力レギュレータの開発, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 38, No. 2, p. 17-22 (2007)
- 7) Tomonori KATO, Kenji KAWASHIMA, Tatsuya

- FUNAKI, Kotaro TADANO, Toshiharu KAGAWA : A New, High Precision, Quick Response Pressure Regulator for Active Control of Pneumatic Vibration Isolation Tables, Precision Engineering, Vol. 34, No. 1, p. 43-48 (2010)
- 8) Kenji Kawashima, Tomonori Kato, Koichi Sawamoto, Toshiharu Kagawa : Realization of Virtual Sub Chamber on Active Controlled Pneumatic Isolation Table with Pressure Differentiator, Precision Engineering, Vol. 31, No. 2, p. 139-145 (2007)
- 9) Tomonori Kato, Kenji Kawashima, Koichi Sawamoto, Toshiharu Kagawa : Active Control of a Pneumatic Isolation Table using Model Following Control and a Pressure Differentiator, Precision Engineering, Vol. 31, No. 3, p. 269-275 (2007)
- 10) 川嶋健嗣, 加藤友規, 金恩敬, 新井豪, 只野耕太郎, 香川利春 : 圧力微分計を用いた空気ばね式除振台の外乱補償制御, 日本機械学会論文集C編, Vol. 76, No. 764, p. 861-868 (2010)
- 11) Tomonori KATO, Takashi OWAKU, Hirohisa SAKUMA Toshiharu KAGAWA : Introduction of A Newly Developed Arbitrary Pressure Pulsation Generating Device for Evaluating The Characteristics of Gas Flow Meters and Sensors, JFPS International Journal of Fluid Power System, Vol. 5, No. 1, p. 16-21 (2012)
- 12) 加藤友規, 東嶋元気, 矢澤孝哲, 大坪樹, 野崎悠輔, 田中克敏 : 気体用超精密高速応答圧力レギュレータを用いたエアタービンスピンドルの回転数制御, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 45, No. 1, p. 8-14 (2014)
- 13) 加藤友規, 平川鉄磨 : HPRとNF弁を用いた電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの制御, 平成27年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 4-6 (2015)

(原稿受付 : 2015年 8 月 3 日)

研究室紹介

横浜国立大学 眞田研究室

著者紹介

かとうまさひで
嘉藤 眞英

横浜国立大学大学院工学府システム統合工学専攻
機械システム工学コース（博士課程前期2年）
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
E-mail: kato-masahide-hz@ynu.jp

2014年、横浜国立大学工学部生産工学科を卒業し、同校専攻科に入学。眞田研究室では、DDVC方式燃料噴射装置を用いた船舶用エンジンの回転数制御を行う研究に従事。

きしかずき
岸 和紀

横浜国立大学大学院工学府システム統合工学専攻
機械システム工学コース（博士課程前期2年）
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
E-mail: kishi-kazuki-jx@ynu.jp

2014年、横浜国立大学工学部生産工学科を卒業し、同校専攻科に入学。眞田研究室では、自動変速機における変速制御に関する研究に従事。

わたなべたくみ
渡邊 拓巳

横浜国立大学大学院工学府システム統合工学専攻
機械システム工学コース（博士課程前期2年）
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
E-mail: watanabe-takumi-hr@ynu.jp

2014年、横浜国立大学工学部生産工学科を卒業し、同校専攻科に入学。眞田研究室では、統計的手法を用いたエンジン吸気系の制御を行う研究に従事。

1. 横浜国立大学の紹介

横浜国立大学は、横浜経済専門学校・横浜工業専門学校・神奈川師範学校・神奈川青年師範学校の4つの旧制官立教育機関を母体とし、新制国立大学として1949年に発足した。前身校の沿革を含めると、横浜師範学校が設置された1876年以来の歴史を有し、2009年に創立60周年を迎えた。

私たちの研究室がある常盤台キャンパスは、豊かな森に囲まれており、教育人間科学部、経済学部、経営学部、理工学部など文理を問わずさまざまな学科・コースが開設されている。機械工学教育プログラムでは、私たちが快適で安全に暮らせる社会作りに貢献できる技術者・研究者を育てるために、科学技術に携わるための倫理観と教養、ならびに幅広い

専門分野に対応できる工学の基礎的能力が身につく教育を実施している。この教育プログラムでは、材料力学、熱力学、流体力学、機械力学、自動制御といった基盤領域の教育を重視しており、機械工学の基礎を体系的に教育し、多様な分野で活躍できる資質を備えた人材を養成している。

2. 研究室の紹介

眞田研究室は、横浜国立大学大学院工学府システム統合工学専攻機械システム工学コースにある研究室の1つである。本研究室では全般的な制御工学の研究が行われており、特に油圧や空気圧システムを含む機械システムのシミュレーションと制御である。

平成27年度は博士前期課程6名、学部生4名が所属し、教授の眞田一志先生、助教の宮寄哲郎先生が在籍する。研究室では1～2人のグループで研究を行っており、研究テーマを超えたディスカッションも行われており、様々な知識および見聞を広げている。図1は、平成27年度の研究室構成員の集合写真である。

3. 研究紹介

3.1 DDVC方式燃料噴射装置を用いた船舶用エンジンの回転数制御

船舶における大きな課題は、主力となるディーゼルエンジンの排ガスに含まれる窒素酸化物（NOx）や硫黄酸化物（SOx）を低減することである。乗用



図1 集合写真

車用ガソリンエンジンと比較して、船舶用ディーゼルエンジンは、大口径のピストンが長いストロークを往復し、低回転数で、大きな馬力を出力し、1回の噴射で噴出される燃料は数ccと多い。自動車分野と同様にコモンレール技術の応用も進んでいるが、高圧を蓄圧するコモンレールが大きく、また、気筒間の干渉が噴射率制御に影響する可能性も考慮する必要がある。

そこで、本研究では、ACサーボモータで回転数制御された固定容量形油圧ポンプ・油圧シリンダで燃料ポンプを駆動するDirect Drive Volume Control (DDVC) を利用した燃料噴射システムについて検討する。DDVC方式は、図2に示すように、回転数制御された油圧ポンプで燃料ポンプを押下し、燃料を噴射する。油圧ポンプをACサーボモータで駆動するので、噴射時期や噴射量を電気信号で制御することができる。また、シリンダ毎に装置を設置するので、シリンダ間の干渉も少ない。船舶用ディーゼルエンジンにDDVC方式を適用する際には、エンジン回転数制御の実現が目標となるが、プロペラ負荷トルクの変動や船速の変動、プロペラのピッチ角の変動がエンジン回転数制御の性能に影響を及ぼす。そこで、本研究では、船体運動を考慮したエンジンシミュレーションモデルを構築し、DDVC方式燃料噴射システムによる可変ピッチプロペラ船のエンジン回転数制御の性能をシミュレーション解析により明らかにする。

3.2 自動変速機における変速制御に関する研究

自動車は変速の際に車両の駆動軸トルクに変動が生じ、それを変速ショックという。そこで、運転手の乗り心地改善のために自動変速機(AT)における変速ショックを抑制する制御系を構築している。変

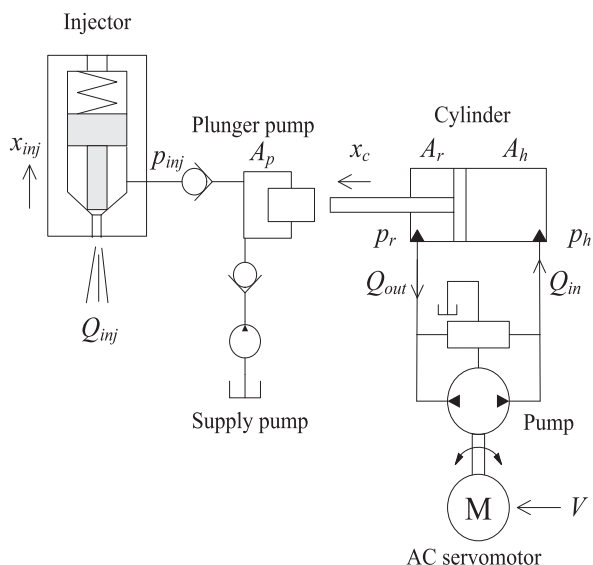


図2 DDVC方式燃料噴射システム

速過程において、特に変速ショックが生じやすい相があり、トルクフェーズ、イナーシャフェーズと呼ばれている。トルクフェーズでは変速操作において油圧をかけるクラッチを変速前のものから変速後のものに移行させる際のクラッチ前後間のトルクの差が原因となり、変速ショックが発生する。イナーシャフェーズとは、トルクフェーズ後から変速終了までの相を表す。イナーシャフェーズでは、ギヤ比を変化させて必要な速度を実現するためにエンジンの回転を変化させる際にエンジンの持つ回転イナーシャが原因となり、変速ショックが発生する。そこで、変速過程における2つの相で、駆動軸トルクが変動しないための制御を行うコントローラを開発することが本研究の目的である。開発したコントローラの実用化に向け、実際は変速時間に限りがあるために、時間内に変速を完了させ、変速ショックを抑制する制御も同時に行っている。現在は、モデル化誤差や不確かなパラメータを考慮し、ロバスト性を補償できる変速ショック抑制制御系を構築している。

3.3 空気圧アクチュエータを用いた身体支持アームの開発

近年、人間の動作を補助するロボットの開発・研究が盛んに行われている。代表的なものに、人間の四肢に装着し動作を支援する外骨格タイプのパワーアシスト機（以下、アシスト機）であるHAL¹⁾や、マッスルスーツ²⁾が開発されている。この外骨格タイプのアシスト機は人間の四肢に沿って動き、補助力を発生するものだが、姿勢によっては転倒などで補助が難しい場合もある。

そこで、工場で作業者が中腰などの負荷の大きい姿勢を維持する場合を想定し、Federico³⁾らは、人間に新たな機械の腕（supernumerary robotic limbs; これ以降SRLsと呼ぶ。）を取り付け、SRLsを環境に固定して人間の姿勢を支えることで、転倒を防止しつつ人体にかかる負荷を軽減する方法を考えた。実験の結果、SRLsタイプのアシスト機は、外骨格タイプのアシスト機より、負荷を軽減できることがわかった。

しかし、このSRLs自体の重量は約7.5kgあるため、作業者がアシスト機を携帯して工場内を移動する場合は負担となることも考えられる。また、このSRLsに用いられているアクチュエータは電気モータで、電気モータはしばしば減速機を使用するが、この場合外部からの衝撃を柔軟に受けることが難しく、これは衝突事故や機器故障などの原因となる。

そこで本研究では、電気モータの代わりに空気圧アクチュエータを用いてSRLsを設計し、機器の軽量化を図る。また、空気圧アクチュエータにはそれ

自体に柔軟性があるため、衝突事故や機器故障などのリスク低減も期待できる。

4. 研究室の行事

眞田研究室では毎週ゼミが行われる。このゼミでは、研究グループごとに研究の進捗状況を発表する。発表後に先生から質問やご指摘、アドバイスをいただくことができ、それらを参考にして研究を進めることができる。

また、眞田研究室では定期的に飲み会が開催される。飲み会ではワインを片手に語り合うことで、研究室のメンバーとの親睦を深めることができる。

さらに、研究室には毎週、大学内にあるジムで筋力トレーニングを行うという風習がある。この活動を通じて、心身ともに強い人間になることを目指している。図3は、著者の一人である渡邊が、筋力トレーニングを行っている写真である。



図3 渡邊による筋力トレーニングの実施

5. 研究室の学生から見た先生

5.1 眞田先生のこと

眞田先生は、とても優しく人当たりの柔らかい先生である。研究室選択に当たって、研究内容は当然であるが、先生の人柄で選ぶ学生もいるほどである。先生は制御の分野などに精通した、権威ある教授である。そのため、講義や会議等の学内の仕事に加え、学外で行われる学会等にも多く参加されているため、お忙しいはずである。しかし、週に1度、ゼミの時間を確保していただける。ゼミでは、研究成果などの報告を行うと同時に、研究の方針やアドバイス等をいただける。研究の進め方がわからなくなった際や、結果がうまく出ないときに助言を頂け、研究に関して参考となる本、文献等を勧めていただけるなど多くのサポートを行っていただける。研究室の学

生にとって、とてもありがたい貴重な時間となっている。年に数回行われる研究室の行事にも参加いただいており、時間がある時は研究室で学生と研究の話だけでなく、雑談をするなど学生との時間を大切にしてくださっている。学生から親しまれ、尊敬されるのは当然と感じる。このような先生の下で研究を行っていることは大変幸せだと思う。

この拙い紹介文では先生の人柄について伝えきれていないと思っている。しかし、少しでも先生の人柄の良さを伝えることができれば幸いである。

5.2 宮寄先生のこと

宮寄先生は、眞田研究室に在籍する助教である。社会人2年目ということもあり、学生と年が近く、とても親しみやすい先生である。主に先生は研究室で研究と仕事を行っている。研究は学生と共にロボットに関する研究を行い、学生実験を担当するなどの仕事をこなしている。宮寄先生は研究室に在席している時間が長いため、共に研究を行っている学生のみならず、研究室に在席する学生は助言をいただくことが多い。たとえば、発表資料や要旨などの文章の修正をお願いすることが多く、信頼はとても厚い。また、接する機会がとても多いので雑談等をすることも多い。先生という立場の方にこういう表現は失礼になってしまうが、とても頼りになる先輩ができたという感覚に近いかもしれない。先生がこの研究室にいていただけるおかげで毎日がより有意義に、より楽しいものになったのは間違いないと思う。これからも同様に助言をいただければ嬉しいし、雑談にも付き合っていただければと思う。

6. おわりに

ここでは横浜国立大学眞田研究室をいくつかの面から紹介した。眞田研究室では、各々日々研究に、勉学に励んでおり、時には互いに刺激を与え、切磋琢磨することのできる環境がそろっている。この研究室紹介を通して、読者のみなさまに活気のある眞田研究室の魅力を感じていただけたのなら幸いである。

参考文献

- 1) CYBERDYNE (<http://www.cyberdyne.jp/products/HAL/index.html>)
- 2) INNOPHY (<https://innophys.jp/product>)
- 3) F.Parietti and H. Asada, "Bracing the human body with supernumerary robotic limbs for physical assistance and load reduction," Proc. of IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, Hong Kong, China, May 2014, in press.

(原稿受付：2015年8月4日)

随想

夢をかなえて

著者紹介



おおしま しげる
大島 茂

浙江越秀外国语学院
〒312-000 中国浙江省紹興市会稽路428号
E-mail: oshima@zd5.so-net.ne.jp

1974年静岡大学工学研究科修士課程修了。
1978年より国立沼津工業高等専門学校に勤務。
2013年定年退職。同校名誉教授。油圧制御弁、
キャビテーション、水圧駆動機器の研究に従事。
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。工学博士。

1. はじめに

1985年、中国で初めての油空圧関連の国際会議が浙江省杭州市の浙江大学で開催された。当時、ポペット形油圧制御弁の半割モデルを用いてキャビテーションに関する研究を進めていた私は、静岡大学時代の恩師であり卒業後も永く研究のご指導をいただいた故市川常雄先生にお誘いいただき、当時豊橋技術科学大学の日比昭先生、沼津高専の黒下清志先生（故人）らとともに当国際会議に出席してその研究成果を発表した。私にとっては初めての国際会議であり、初めての中国だったのでとても印象深い旅だった。中国に到着して最初の夜、宿泊した上海のホテルでネズミに悩まされたこと、上海から杭州へ向かう列車の中で月餅のような昼食が喉を通らなくて困ったこと、黒下先生と杭州の街中の小さな食堂に入り注文するのに困ったこと、日本語を話す呉志章という中国人研究者と知り合い西湖畔を案内していただいたこと、友誼商店で刺繍や掛け軸のお土産を持ちきれないほど購入し帰国時に日比先生に助けていただいたことなど、多くのことを鮮明に覚えている。杭州の街角の雑踏に溢れる人々の活気が特に印象深く、子供の頃見た戦後復興時の日本の街角を思い出し、懐かしくて嬉しくて、その時以来私は中国の魅力に惹かれてしまった。そんな理由で、在住する裾野市の日中友好協会に入会し、中国語講座に参加して中国語を学び、中国語で歌う合唱団にも加わった。そして、定年退職後には中国に長期滞在

し生活する夢を抱くようになった。

一昨年（2013年）の3月に沼津高専を退職し半年の準備期間の後、長年の夢であった中国での生活が実現した。同年9月初めから、中国浙江省の紹興市にある浙江越秀外国语学院という大学で日本語教師を務めている。2年目が終わり、本年9月から来年6月末まで1年間の契約延長をしたところである。これまで、尖閣諸島や安倍総理の靖国神社参拝の問題などで険悪な日中関係のニュースがたびたび日本では流れているが、この2年間の生活で特に危険や不快な出来事に遭遇したことは一度もない。キャンパス内にある外国人教師用アパートに住み、日本に興味を持ち日本語を学びたいという思いを強く持つ学生達と、海外に目を向けた見識の高い教職員に囲まれて暮らしているのも、まったく不安はなく楽しく毎日を過ごしている。

広大な中国で、江南の地にある中規模な一都市である紹興でのたった2年間の少ない見聞ではあるが、中国の現状の一端をご紹介したいと思う。

2. 江南の古都紹興

紹興は紹興酒の産地としてよく知られている。街中には酒屋がたくさんあり、紹興酒が山のように店頭で積まれて売られている。地元の有名銘柄は、会稽山、古越龍山、女兒紅などである。5年～10年もので500ml瓶が20～25元、3年ものだと7元前後で買える。日本で買うよりもずいぶん安い。そして、やはり紹興酒は中華料理に合う。現地で中華料理を食べながら飲む紹興酒は格別である。

紹興市は上海から南方へ250kmほどのところにあり、高速鉄道ならば紹興北駅まで1時間半足らずである。ただし、紹興北駅から中心市街区までバスで40～50分かかる。紹興市は現在3区2市1県を包括し総人口は約550万人、市街区の人口は64万人規模の都市である。紹興は紀元前500年～250年ころ春秋戦国の時代に越国の都だったところであり、中心市街区は古い歴史文化が色濃く残るしっとりした雰囲気のある街並みである。日本ならば奈良のような存在だと思う。水郷の街としても知られ、水路が網

の目のように走り、その畔には柳の並木が風に揺れ、ところどころに天へ昇るようなアーチ形の古い石橋がかかり、まさに私達年代の者が思い描く中国そのものの風情ある景色がいたるところに見られる素敵な街である。水路には水が満々としてゆったりと流れ、船頭が足で漕ぐ烏篷船と呼ばれる黒い籠をかぶせたような船が観光客を乗せて静かに行き交う(図1)。



図1 石橋から見る水路の風景

紹興はまた多くの偉人を生んだ地としても広く知られており、日本人に馴染み深いところでは魯迅や周恩来などの生誕の地でもある。その生家が保存され多くの観光客で賑わっている。

産業としては、郊外の田園では主に米が栽培され、春には広大な菜の花畑が黄色に染まる。古くから繊維産業が盛んで大学の近隣にも中小の製糸、織布や衣料品の縫製工場がたくさんある。そんな関係で日系の企業も衣料品関連の企業が比較的多く進出している。大学近隣を散歩すると、紡績機械や織機が音をたてて稼働している様子が工場の窓を通して見える。近年は自動車や家電製品等の部品製造工場も増えてきている。特に市内北部の地域には多くの工場が集まり工場団地を形成している。北京や上海ほどではないが、PM2.5等による大気汚染状況は深刻で、季節にかかわらず霞がかかったようにかすんだ日が多い。かすみがひどい日には多くの人が色とりどりのマスクを掛けている。

日系企業や現地企業等に勤め紹興に在住する日本人で組織する紹興日本人会には90余名が登録している。12月の忘年会と6月の総会・親睦会を定例会とし、毎回30名前後が出席し親睦を図っている。忘年会の席には在上海総領事館と紹興市人民政府から来賓を招き交流を図っている。上海総領事館からは中国国内における鳥インフルエンザの感染状況や大気汚染状況などの注意喚起情報が頻繁に発せられ日本人会事務局を経由して会員に転送されてくる。

紹興市人民対外友好協会の知人にお世話いただき、

紹興日本人会に所属する日系企業を二社見学することができた。一社は大学から近い所にあるボールベアリングの部品加工を専業とする企業で、従業員数780名、自動車用の小・中径玉軸受けの内輪と外輪の旋削加工を主業務とする企業である。独自の内外輪親子取り製法を採用して40ラインで月産2400万セットの生産能力を持ち世界最大級とのことであった。製品は世界の有力ベアリングメーカーへ出荷し、1/3は中国内、残り2/3は中国外へ出荷している。加工設備は中国製も導入しているが、信頼性の観点から刃物だけはすべて日本製を使用している。素材も客先指定があり半分は日本から取り寄せているという。中国人従業員に対し、品質管理や工場内の整理・整頓・清掃の習慣付けはもとより、従業員寮での共同生活のマナー教育にも力を注がなければならぬとの話を聞き日本との違いを感じた。

もう一社は、市内の北部にある自動車用ボールジョイントを主力製品とする企業で、従業員数1,658名、ロボットを備えた自動化ラインを設備し、ボールジョイントを組み込んだサスペンションアームなどの多種製品を世界の主要自動車メーカーへ出荷している。工場内は非常にきれいで日本国内で見る工場とまったく変わらない様子だった。最新の廃水処理設備を導入し、その視察のために多くの訪問客があるという。国家より「高技術企業」の認定を受け、環境に配慮した企業としてのイメージを高く掲げ、他社の手本とされる工場となっている。終業時間前に大勢の従業員が共同して構内の草取りを行っていた。中国人従業員の愛社精神と連帯感育成が目的ということであった。



図2 郊外の高層マンション群

中心市街区から少し離れた郊外では高層マンション等の建設ラッシュである(図2)。日本の10倍以上の人口を抱え、都市部への人口集中が進む中で都市部の住宅不足は大きな問題である。ただ、建設中のマンションの多くは一般庶民には容易に手が届か

ない価格で、金持ちのセカンドハウスや投資対象となる例も多いようである。中国の女性の結婚相手に対する条件は、身長が高くお金持ちで、家と自動車を所有することだそう。一般に大学卒で初任給が3000元程度という現実で、結婚前に住居を所有できる男性がどれだけいるだろうか。多くの若い男性達は将来に大きなプレッシャーを感じている。それにしても大きなタワークレーンが林立し、高層ビルが次々に建設されている中国の現状には驚くばかりである。フルードパワーの需要の大きさが実感される。

3. 浙江越秀外国語学院

私が日本語を教えている浙江越秀外国語学院は外国語専門の4年制私立大学である(図3)。その前身は、紹興在住の一教育家によって1981年に創立された紹興越秀外国語学校で、当初は英語科と日本語科(学生数各20名)の小さな外国語専門学校だった。しかしそれは中国で最初の私立の外国語専門学校で画期的なことだった¹⁾。その後拡大発展し、現在は創始者の手を離れ経営陣も変わり、2008年から浙江省人民政府の認証を受けた全日制本科大学となった。教えている外国語は英語、日本語、韓国語、アラビア語、フランス語、ドイツ語、イタリア語、スペイン語、ロシア語の9か国語で、近年は国際ビジネスや情報ネットワークなどの学部も加え紹興市内に二つのキャンパスを持つ。総学生数は一万人を超え、世界各国から来た外国人教師が80人余りいる。



図3 東方言語学院から見たキャンパスの中心部

日本語科は韓国語とアラビア語の学科とともに東方言語学院に所属する。日本語科には20名余りの中国人教師と現在8名の日本人教師がいる。日本人教師は主に「発音」「会話」「作文」「日本事情」「新聞講読」などの科目を担当する。基本的には教科書を中心にして授業を行うが、教科書の内容が古いものも多く、最新の日本の社会情勢、生活・文化などを

写真やビデオを交えて紹介している。その資料準備や会話練習のテーマ設定や毎週提出させる作文の添削など授業の準備やフォローに大変な時間を費やしている。会話の授業では、宿題として教科書の一部を暗誦させたりペアを組ませて会話練習をさせたりしており、それらの成果を授業時間外に聞き指導することもある。その他、グループ活動の自主学習としてビデオ画像のセリフを日本語に吹き替えアフレコで発表したり日本語で寸劇を演じたりする課題もある。授業時間外に学生達は自主的に練習して準備し、授業内で発表する。取り組む姿勢は真剣である(図4)。



図4 日本語による寸劇の発表風景

この他に授業外の活動として、日本風の建物で行う「日本語コーナー」がある。学生は自由参加で、日本人教師が用意した日本文化の体験や、歌やゲーム、雑談などで交流する。それも合わせると週に16～18時間の担当時間となり、授業時間以外の時間も大半を授業の準備とフォローに費やしている。例年9月中旬～1月下旬が一学期、3月初旬～6月末が二学期で、学期中はとにかく忙しい。春節(中国の正月)の時期が1月下旬から2月中旬の間で毎年変わるため各学期の日程も毎年変わる。間近になるまで休日等の日程が定まらないこともあり、授業の計画が立てにくくて困ることがある。

年に一回程度、自由なテーマで特別講演も依頼される。文系の学生達が普段聞く機会のないフルードパワーに関する話をしたことがある。ベルヌーイの定理や浮力、表面張力、圧力などを簡単な実験を交えて解説した。学生達が驚いたり歓声をあげたりするのが楽しくて話に熱が入った。中国では、高校三年生の終わりの時期(例年6月の第一日曜日から3日間)に行われる全国一斉大学入学統一試験の成績で進学先が決まるため、理系を望みながら不本意に日本語科で学んでいる学生もおり、理系の話題に興味をもつ学生も意外に多い。

学生達は北海道の面積より広い浙江省全域と一部他省から来ており、一万人余りの学生がキャンパス内の学生寮に住んでいる。だからキャンパス内にあるたくさんの建物のうち半分は学生寮といったところだ。私も含め外国人教師はキャンパス内の教員用アパートに住んでいる。だからキャンパス内を歩けば顔見知りの学生や教員によく会う。学生達は気さくに明るい笑顔で「先生、こんにちは」とよく挨拶する。時には一緒に食事をしたり近くの山に登ったり、また、医者に行くなどで通訳を必要とするような場合には喜んで同行して助けてくれる。先生を尊敬し大切にすることは日本の学生に比べて強い。先生を食事に誘いご馳走してくれることもよくある。中国の習慣だそうで、私もよく学生に誘われて学内の食堂や学外の飲食店で一緒に食事をすることがあるが、多くの場合学生がおごってくれる。申し訳ない気分でちょっと居心地が悪い時もある。だから、お返しに日本食レストランなどへ誘いご馳走することもある。学生達はこんな交流も日本語で会話する大切なチャンスと捉えている。



図5 2年生の教室での授業風景

約80%が女子学生(図5)で、一般に男子学生に比べて女子学生のほうがまじめによく勉強し成績も良い。一昔前の中国の学生は、なりふり構わずひたすら食欲に勉強に明け暮れるというイメージだったが、一人っ子政策により小皇帝と呼ばれるような環境で大事に育てられた年代の若者達だから、ガリガリと勉強ばかりしているという昔の学生のイメージではない。日本の学生達と同じように学生生活を楽しんでいる。友達同士で、映画やカラオケ、ショッピングや食事などによく出かけている。休日や授業のない時間には、レストランやファーストフード店、携帯電話の販売や塾の講師など、アルバイトをする学生も多い。授業が終わる時間帯には市街へ向かうバスはいつも学生で超満員になる。また中国では、日本のテレビドラマや映画など多くのものが自由にインターネットで視聴でき、ダウンロードできる。多くの日本語科の学生は日本のドラマや

アニメをパソコンやスマートフォンで毎日のように楽しんでいる。それを日本語の学習に役立てている学生も多い。

日本へ留学できる機会も多く提供されており、協力提携を結んでいる大学を中心に多くの学生が北海道や岡山県、静岡県などに留学している。静岡県と浙江省は姉妹提携を結んでおり交流が盛んである。その一環で静岡県の大学へ3か月間の短期留学をする学生もいる。多くの学生が留学や研修などで日本へ行きたいと望んでおり、留学生選考のための面接に日本人教師はよく駆り出される。中国の若者達が日本を訪れ真の日本を知ることが、日本語学習のためだけでなく日中間の友好を深めるために非常に良いことである。大勢の学生が日本に行きたいと望んでいることに嬉しさと安心感を覚える。

4. おわりに

63歳で定年退職したのを期にこれまでと全く違った分野に飛び込み中国で日本語教師を務めている。沼津高専での35年間の教師経験があるとはいうものの、専門知識の伝授を主体とした工学の専門教育と、学生との対話を主体とする日本語教育とは大いに異なり、一年目はとまどい悩むことが多かった。ある日昼食を共にしていた学生から「失礼ですが、先生の授業はあまり面白くありません。教科書以外のことも教えて下さい。楽しい授業をみんな望んでいます。」と言われた。目から鱗が落ちる気がした。その言葉に感謝し、試行錯誤しながら授業の内容と進め方を工夫した。

小さい頃から日本のアニメを見て育ち、アニメを通して日本文化に憧れ日本語科を専攻したという学生も多い。日本のアニメは他国のものと異なり人の心理や精神活動を深く描いているところが素晴らしい、と学生達から教わった。日本で人気のあるドラマや俳優、歌や歌手など私の知らないことを彼らはたくさん知っている。工学系一筋で他のことにはあまり目を向けずにやってきて、中国で日本語を教えるようになり、日本について知らないことがたくさんあることに気づいた。日本の歴史、伝統文化、観光、芸能や芸術、スポーツ等々、インターネットを駆使して勉強し、それらを題材にして教室で学生達と会話する。今はそれを大いに楽しんでいる。

参考文献

- 1) 方政：一老中国人の回想《激動の時代を彷徨した生涯》、方政先生回想記刊行会、(2008)

(原稿受付：2015年8月4日)

企画行事

平成27年春季フルードパワーシステム講演会報告

著者紹介

あかぎ てつや
赤木 徹也岡山理科大学工学部知能機械工学科
〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1
E-mail: akagi@are.ous.ac.jp

1998年岡山理科大学大学院工学研究科博士課程修了。津山工業高等専門学校助手を経て、2005年岡山理科大学工学部講師、2010年文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞、2013年同大学教授、現在に至る。ウェアラブル空気圧制御機器の開発に従事。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

本年5月28日（木）～29日（金）の2日間、機械振興会館（東京都港区芝公園3-5-8）において、平成27年春季フルードパワーシステム講演会が開催された。本会では以下の通り、2種類のオーガナイズドセッション（OS）と2種類の一般セッション、製品技術紹介セッションが企画され、計47件の講演発表が行われた。

OS「機能性流体テクノロジーの新展開」：11件

OS「フルードパワーで支える医療、福祉の発展」：6件

一般セッション「空気圧」：13件

一般セッション「油圧・水圧」：9件

製品技術紹介：8件

また、会期前日の5月27日（水）には春季講演会併設セミナーが開催され、29日（金）の午前には、特別講演が開催された。本記事では、28日、29日両日の講演会について、概要を報告する。

2. 各セッションの概要

2.1 OS：機能性流体テクノロジーの新展開

本OSは「ER流体、液晶、EHD・ECF、MR流体、磁性流体、および機能性ソフトマテリアルなどの機能性流体の創製・特性評価から特徴的な種々の機械要素・システムへの応用まで、機能性流体テクノロジーの新たな展開を紹介する」ことを趣旨として、中野政身先生（東北大学）、竹村研治郎先生（慶応義塾大学）の両名がオーガナイザーとなり開催された。3室で計11件の講演が行われ、講演では、交流電気浸透マイクロポンプの開発¹⁾（写真1）や、ECFを用いたPCの強制液冷システム²⁾などが報告された。



写真1 講演発表の様子（OS：機能性流体テクノロジーの新展開）

2.2 OS：フルードパワーで支える医療、福祉の発展

本OSは只野耕太郎先生（東京工業大学）と高岩昌弘先生（徳島大学）の両名がオーガナイザーとなり、以下の趣旨のもと行われた。

「わが国の少子高齢化に伴う医療費の増大、人材不足など医療・福祉に関わるさまざまな問題を抱えている現状から、工学的にもこれらの解決に寄与するブレークスルーが求められる。このような背景を受け医工連携研究が推進される中、フルードパワーならではの特徴を活かしたさまざまな研究開発も行われている。本OSでは、医療・福祉に関連する研究開発の基礎から応用まで幅広い分野に関して紹介する。」

近年、この医療・福祉分野におけるフルードパワーに関する研究が増えつつあり、本OSでも、腹腔鏡手術用のハンド³⁾や、体重を用いた空圧発生源を有する歩行支援シューズの開発⁴⁾（写真2）など計6件の発表があった。

2.3 一般セッション「空気圧」

本セッションは3室で計13件の講演が行われた。空気圧の講演においても、超音波センサを内蔵したゴム人工筋の開発⁵⁾や歩行支援機器^{6),7)}など、前述のOSと同様に医療・福祉機器への応用を目的とした研究報告が5件ほどあり、福祉・ウェアラブルをキーワードとした研究が増えつつあるように思われる。



写真2 講演発表の様子（OS：フルードパワーで支える医療、福祉の発展）

2.4 一般セッション「油圧・水圧」

本セッションは油圧に関するものが6件、水圧に関するものが3件と計9件の講演が行われた。特に、油圧・水圧に両方において、省エネを考慮した駆動方法やエネルギー回生⁸⁾などの講演があり、また、エンジン内での燃料噴射量の推定⁹⁾などの講演があった。

2.5 製品技術紹介セッション

本セッションは、企業からの技術報告を積極的に行う目的で、17年にわたり開催されてきたセッションであり、本年度は、加藤猛美氏（㈱コガネイ）が中心となり実施された。講演件数は、昨年より多い8件の講演であった。講演では鉄道車両¹⁰⁾や建築機械に使われるアクチュエータやバルブなど、興味深い内容が報告された（写真3）。



写真3 講演発表の様子（製品技術紹介セッション）

3. 特別講演

5月29日（金）の10時50分からの1時間で、野波健蔵先生（千葉大学）を講師として、「自律型電動マルチロータヘリ・ミニサーベイヤーの現状と展望」の演題で特別講演が行われた。講演概要は以下の通りである。近年、ドローンと呼ばれるコンピュータ制御型マルチコプタがさまざまな分野で活用されており、特に、物流分野で大きなイノベーションが起こし「空の産業革命」とまで言われている。本講演では、ドローンに関する最新の世界の動向を紹介した後、オートパイロットが純国産のミニサーベイヤーについて現状技術やさまざまなアプリケーション、将来実装する技術について述べ、最後に、こうしたドローンが作り出す近未来社会について展望する（写真4）。

講演の直前にドローンに関する事件などが報道されたなど時勢に合った内容だったこともあり、講演前の問い合わせがあるなど多くの受講者を集めていた。なお、本特別講演は学会の社会貢献の一環として一般公開（無料）されている。



写真4 特別講演（千葉大学 野波健蔵特別教授）

4. おわりに

例年、国際シンポジウムが開催された翌年の春の講演会は発表件数が減る傾向があったが、昨年度とほぼ同じ発表件数と参加者を集めることができた。また、例年と違い、参加者の情報交換場として開催する技術懇談会が、壁などの障害物の少ない講演会場で行われた。これに関し、「参加者の顔が一望できて良い」など概ね好評であったと思われる。個人的な見解ではあるが、例年に比べ活発な懇談・情報交換が行われていたように思う（写真5）。



写真5 技術懇談会の様子

なお、筆者は本学会企画委員として、本講演会の主査を担当させていただいた。この報告にて、本講演会にご協力いただいた皆様に感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 吉田和弘他：平板-円筒電極アレイを用いた交流電気浸透マイクロポンプの開発，平成27春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 67-69（2015）
- 2) 金俊完他：ECFと五角柱電極アレイを用いた強制冷却システム，平成27春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 73-75（2015）
- 3) 小山祐史他：腹腔鏡手術支援空気圧駆動ハンドの開発，平成27春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 40-42（2015）
- 4) 高岩昌弘他：体重を用いた空気圧歩行支援シューズの開発，平成27春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 49-51（2015）
- 5) 下岡綜他：超音波センサと疑似サーボ弁を用いたゴム人工筋の位置決め制御，平成27春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 16-18（2015）
- 6) 斎藤新二他：4自由度空気圧歩行支援装置，平成27春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 1-3（2015）
- 7) 柴田大作他：歩行訓練用高機能靴に関する研究，平成27春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 19-21（2015）
- 8) 高橋優他：水圧駆動式昇降システムの省エネルギー化と評価，平成27春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 31-33（2015）
- 9) 眞田一志他：DDVC方式燃料噴射装置の噴射量推定，平成27春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 85-87（2015）
- 10) 山長雄亮他：ダンパ機能を有する車体傾斜用空気圧アクチュエータ，平成27春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p. 118-121（2015）

（原稿受付：2015年8月5日）

会 告

〈理事会・委員会日程〉

11月17日	基盤強化委員会
12月18日	企画委員会
1月14日	情報システム委員会
12月25日	委員長会議
12月10日	編集委員会
10月27日	理事会

〈委員会報告〉

平成27年度第2回委員長会議

9月29日 15:00～17:00 機械振興会館
地下6階6—60号室（出席者7名）
議題

- 1) 次期会長人選について
- 2) 国際シンポジウム福岡の開催準備状況について
- 3) 秋季講演会の準備状況について
- 4) 第4回日中ジョイントワークショップ開催について
- 5) 平成27年度でロー認定推薦状況について
- 6) マイナンバー制度についてについて
- 7) 学会の財務基盤の強化の進捗状況について
- 8) その他

報告事項

- 1) 各委員会からの報告
- 2) その他

平成27年度第2回企画委員会

9月8日 15:00～17:00 機械振興会館
地下3階B3—9号室（出席者20名）

- 1) 平成27年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - ・平成27年春季講演会について
 - ・オータムセミナーについて
 - ・ウインターセミナーについて
 - ・公益事業について
 - ・その他
- 2) 平成28年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - ・平成28年春季講演会併設セミナーについて
 - ・平成28年春季フルードパワーシステム講演会について
 - ・平成28年秋季講演会について

- ・オータムセミナーについて
- ・ウインターセミナーについて
- ・その他

3) その他審議・確認事項

- ・学会誌会告とHPについて
- ・平成27年度ウインターセミナー予告会告
- ・WGの構成について
- ・その他

平成27年度第2回編集委員会

10月2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16名）

1) 学会誌発行報告

2) 学会誌編集計画

- ・Vol.46 No.6「水素燃料自動車とフルードパワー技術」
- ・Vol.47 No.1「農業に貢献するフルードパワー（案）」
- ・Vol.47 No.2「IoT, ICTを活用したフルードパワーシステム（仮）」
- ・Vol.47 No.3「都市・海洋開発（インフラ整備）に使われるフルードパワー（仮）」
- ・Vol.47 No.4「作動油の劣化対応（仮）」

3) その他

- ・会議報告
- ・トピックスについて
- ・執筆依頼時に送る評価基準（ロゴ等）について
- ・HP掲載情報に関するお願い

平成27年度第2回情報システム委員会

9月10日 15:00～17:25 法政大学市ヶ谷キャンパス・新見附校舎9階・創造空間サロン1（出席者6名）

- 1) 会議報告担当者について
- 2) HP更新作業状況報告（7月～8月）
- 3) 研究者リストの更新とその作業について
- 4) 傘寿会員へのIDとパスワードの発行について
- 5) 企画・編集・基盤強化の各委員会からの掲載情報について
- 6) 海外の学会開催等のイベントカレンダーについて
- 7) 今後のHP関連作業について
- 8) 学会事務局の会員管理システムの更新について
- 9) 今後のHP更新作業予定
- 10) その他

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

No.15シンポジウム 動力伝達系の最新技術2015ー快適性と環境性能を両立する最新駆動系 日 時：2015年11月12日(木) 会 場：東京工業大学 すずかけ台キャンパス すずかけホール H2棟3F (横浜市緑区長津田町 4259) 企 画：動力伝達系部門委員会, CVT・ハイブリッド部門委員会	
第58回自動制御連合講演会 (神戸) 主 催：システム制御情報学会 (幹事学会), 計測自動制御学会, 日本機械学会, 化学工学会, 精密工学会, 電気学会, 日本航空宇宙学会 共 催：神戸大学 工学研究科・システム情報学研究科 期 日：2015年11月14日(土), 15日(日) 場 所：神戸大学 六甲キャンパス 工学部教室棟 (神戸市灘区六甲台町 1-1)	
International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS 2015) (2015年知的情報処理と生物医科学国際会議) 主 催：琉球大学, 沖縄科学技術大学院大学, 沖縄高等工業専門学校 期 日：2015年11月28日(土), 30日(月) 連 絡 先：2015年知的情報処理と生物医科学国際会議事務局 実行委員長 玉城 史朗 〒903-0213 沖縄県西原町千原1番地 琉球大学工学部情報工学科 Tel : 098-895-8720 FAX : 098-895-8727 E-Mail : shiro@ie.u-ryukyu.ac.jp	
SICEセミナー「モデルベース制御系設計～モデリングから制御系設計までを系統的に学ぶ～」2015 主 催・企画：計測自動制御学会 制御部門 期 日：2015年11月30日(月), 12月1日(火) 会 場：常翔学園大阪センター 大阪市北区梅田3-4-5 毎日インテシオ3F (JR大阪駅から徒歩10分) http://www.josho.ac.jp/facility/osakacenter.html	
EcoDesign 2015 第9回 環境調和型設計とインバースマニファクチャリングに関する国際シンポジウム 主 催：エコデザイン学会連合、産業技術総合研究所 会 期：2015年12月2日(水)～12月4日(金) 開催場所：東京国際フォーラム (東京都千代田区丸の内3丁目5-1) 事 務 局：東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻梅田研究室EcoDesign2015事務局	
No.15-121講習会 産業に役立つアクチュエータ研究開発の最前線 ー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ー (機素潤滑設計部門 企画) 主 催：一般社団法人日本機械学会 開 催 日：2015年12月4日(金) 問合せ先：機素潤滑設計部門 担当職員 渡邊／電話 (03) 5360-3504	
No.15-210 The 6th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM 2015) 第6回先端メカトロニクス国際会議 U R L : http://www.jubi-party.jp/icam2015/ 企 画：ロボテックス・メカトロ部門 開 催 日：2015年12月5日(土)～8日(火) 会 場：早稲田大学 西早稲田キャンパス (新宿区大久保3-4-1) 併設行事：ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジ シンポジウム 問 合 せ：ICAM2015 実行委員会 Email : icam2015-info@iwata.mech.waseda.ac.jp 実行委員長：岩田 浩康 (早稲田大学) プログラム委員長：山下 淳 (東京大学)	
第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 主 催：公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門 開催時期：平成27年12月14日(月)～16日(水) 事 務 局：〒464-8603 愛知県名古屋市中種区不老町 名古屋大学航空・機械研究実験棟3階310室 SI2015 実行委員長 新井 史人 E-mail : arai@mech.nagoya-u.ac.jp SICE事務局：部門協議会担当 E-mail : bumon@sice.or.jp TEL : 03-3814-4121	

一般社団法人日本機械学会 関西支部 第342回講習会「事例に学ぶ流体関連振動（トラブル事例相談付き）」

共 催：機会力学・計測制御部門

開 催 日：2016年1月25日(月) 9:10～17:00 26日(火) 9:10～17:00

会 場：大阪科学技術センター 8階中ホール（大阪市西区靱本町1-8-4／(06)6443-5324（代）／地下鉄四つ橋線「本町」駅下車 北へ400m

申 込 先：大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル内

TEL：06-6443-2073 FAX：06-6443-6049 E-mail：kansai.jsme.or.jp

会 告

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催 平成27年秋季フルードパワーシステム講演会のお知らせ 開催日：平成27年11月26日（木）・27日（金）

開催趣旨：

平成27年秋季フルードパワーシステム講演会はジェイドガーデンパレス（鹿児島県鹿児島市）で開催されます。本講演会では、一般講演に加えて、日中若手交流事業の一環として実施する徐兵教授（浙江大学）による招待講演・特別講演・オー

ガナイズドセッション・技術懇談会などを企画いたしました。本講演会に関する詳細なアナウンスは日本フルードパワーシステム学会のホームページ（<http://www.jfps.jp/index.html>）で行っております。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

平成28年度 第四回日中国際共同ワークショップのお知らせ The 4th Japan-China Joint Workshop on Fluid Power — Innovative Key Technology on Fluid Power — 開催日：平成28年5月（春季講演会の前日開催）

開催趣旨：

日本フルードパワーシステム学会では、中国機械工程学会流体伝動及制御分会と共同で、日本と中国のフルードパワーに関する国際共同ワークショップ（The Japan-China Joint Workshop on Fluid Power）を開催しています。第4回の今回は日本での開催です。ワークショップのテーマは「Innovative Key Technology on Fluid Power」の予定で、日中の研究者・技術者が集い、フルードパワーに関する最新の

研究や技術および市場動向の紹介を通して、情報交換と相互交流を図る学術講演会です。正式な論文募集は11月以降、学会ホームページ上でご案内いたします。どうぞ奮ってご参加いただきますよう、お願い申し上げます。

お問合せ：国際交流委員・企画委員

伊藤和寿（芝浦工業大学 システム理工学部）

E-mail：kazu-ito@shibaura-it.ac.jp

会 告

会 員 移 動

会員の種類	正 会 員	海 外 会 員	学 生 会 員	賛 助 会 員
会 員 数 (10月10日現在)	948	16	134	133
差 引 増 減	+5	0	+9	0

正会員の内訳 名誉員12名・シニア員37名・ジュニア員154名

正会員

前田 桂 (カヤバシステムマシナリー株式会社)
 宮寄 哲郎 (横浜国立大学)
 山中 圭史 (株式会社神崎高級工機製作所)

清水 文雄 (九州工業大学)
 森田 晋也 (株式会社神戸製鋼所)
 吉田 毅 (川崎重工業株式会社)

学生会員

小川 拓也 (横浜国立大学)
 袴田 祐太 (横浜国立大学)
 西田 一矢 (福岡工業大学)
 程 明昭 (福岡工業大学)
 柿山 稜 (福岡工業大学)
 松本 優司 (信州大学)

吉田 拓 (横浜国立大学)
 韓 冬 (東京工業大学)
 櫻木 一樹 (福岡工業大学)
 築山 義信 (福岡工業大学)
 新谷 敏功 (信州大学)

会 告

資料一覧表

価格は、(社)日本フルードパワーシステム学会事務局までお問い合わせください。

資 料 名	発行年月
平成元年春季油空圧講演会講演論文集	元年 5月
平成元年秋季油空圧講演会講演論文集	元年11月
平成2年秋季油空圧講演会講演論文集	2年11月
平成3年秋季油空圧講演会講演論文集	3年11月
平成4年春季油空圧講演会講演論文集	4年 5月
平成4年秋季油空圧講演会講演論文集	4年10月
平成5年春季油空圧講演会講演論文集	5年 5月
平成5年秋季油空圧講演会講演論文集	5年11月
平成6年秋季油空圧講演会講演論文集	6年10月
平成7年秋季油空圧講演会講演論文集	7年11月
平成8年春季油空圧講演会講演論文集	8年 5月
平成8年秋季油空圧講演会講演論文集	8年10月
平成9年春季油空圧講演会講演論文集	9年 5月
平成10年春季油空圧講演会講演論文集	10年 5月
平成10年秋季油空圧講演会講演論文集	10年11月
平成12年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	12年10月
平成13年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	13年 5月
平成13年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	13年11月
平成14年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	14年 5月
平成15年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	15年 5月
平成16年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	16年 5月
平成16年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	16年11月
平成17年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	17年 5月
平成18年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	18年 5月
平成18年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	18年11月
平成19年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	19年 5月
平成19年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	19年11月
平成20年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	20年 5月
平成21年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	21年 6月
平成21年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	21年11月
平成22年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	22年 5月
平成22年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	22年12月
平成23年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	23年 5月
平成24年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	24年 5月
平成24年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	24年 5月
平成25年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	25年 5月

平成25年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	25年 5月
平成26年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	26年 5月
平成27年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	27年 5月
平成11年IFPEXフルイドパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	11年10月
平成14年IFPEXフルイドパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	14年 6月
平成17年IFPEXフルイドパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	17年 8月
平成20年IFPEXフルイドパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	17年 4月
平成23年IFPEXフルイドパワーシステム ワークショップ国際見本市論文集	23年 7月
平成26年第24回IFPEXカレッジ研究発表展示コーナー論文集	26年 9月
フォーラム'91「賢い電子油圧制御をいかに実現するか」	3年 7月
フォーラム'92「ここまできた電子油空圧制御システム」	4年 7月
フォーラム'94「油空圧駆動と電動駆動の現状と課題 その1」	6年 7月
フォーラム'95「油空圧駆動と電動駆動の現状と課題 その2」	7年 7月
フォーラム'96「油空圧技術を支えるトライボロジー」	8年 7月
フォーラム'97「21世紀を見つめた新技術開発」	9年 7月
フォーラム'98「オフロードビーグル用走行装置の動向」	10年 7月
フォーラム'99「技術開発におけるトラブル事例」	11年 7月
フォーラム2000「油空圧機器の省エネルギー化はこれだ！」	12年 7月
フォーラム2001「自動車における最新油空圧技術の動向」	13年 7月
フォーラム2002「電動かフルードか」	14年 8月
フォーラム2003「電動かフルードかⅡ」	15年 5月
フォーラム2003「最近の緩衝・制振・免振技術」	16年 5月
オータムセミナー「油空圧のセンシング技術」	元年10月
オータムセミナー「メカトロニクス関連センサ」	2年10月
オータムセミナー「油空圧を支える解析技術」	4年10月
オータムセミナー「油圧機器・システムにおける振動をいかに克服するか」	5年10月
オータムセミナー「油空圧制御と高速インターフェース技術の融合」	6年11月
オータムセミナー「油空圧におけるシミュレーション技術の現状と課題」	7年10月
オータムセミナー「最新制御理論の超活用法（油空圧システムとロバスト制御の融合）」	8年 9月
オータムセミナー 2000「環境適合技術の動向」	12年 9月
オータムセミナー 2001「フルイドパワーシステムに用いられる制御技術の動向」	13年 9月
オータムセミナー 2003「フルードパワーと環境・リサイクル」	15年10月
オータムセミナー 2004「食品機械におけるフルードパワーの利用と課題」	16年10月
オータムセミナー 2005「レスキューにおけるフルードパワーシステム」	17年10月
オータムセミナー 2006「生活に密着したフルードパワー」	18年10月
オータムセミナー 2007「鉄道におけるフルードパワー技術」資料は『油空圧技術』Vol. 49 No. 4	
オータムセミナー 2008「フルードパワーシステムと環境・省エネルギー」	20年10月
オータムセミナー 2009「フルードパワーシステムのためのlinux開催環境」	21年10月
オータムセミナー 2010「BOPビジネスの可能性～CSRとビジネスの両立～」	22年11月
オータムセミナー 2011「パワートレインにおけるフルードパワー技術」	23年11月
オータムセミナー 2012「フルードパワー技術を生かす油圧作動油の最新動向」	24年11月
オータムセミナー 2013「鉄道車両とフルードパワー技術」	25年10月
オータムセミナー 2014「医療・福祉・介護分野でのフルードパワーを利用したロボティクス」	26年11月
ウインターセミナー「油空圧システムの低騒音化のために」	2年 2月
ウインターセミナー「知っておきたい新しいアクチュエータ」	3年 2月
ウインターセミナー「200X年における電子油空圧はどうあるべきか Part2」	4年 2月
ウインターセミナー「新素材の油空圧への応用」	5年 2月
ウインターセミナー「空気圧の新たな可能性を求めて」	6年 2月

ウインターセミナー「人と環境に優しい油空圧・油空圧機器・システムの低騒音化技術」	7年 2月
ウインターセミナー「油圧システムの高圧化に関する現状と将来」	8年 2月
ウインターセミナー「フルードパワーにおける流体の役割」	9年 2月
ウインターセミナー「ER流体の可能性とその油空圧技術への応用」	10年 1月
ウインターセミナー「ユーザは語る・自動化機器における駆動方式の現状と将来像」	11年 1月
ウインターセミナー「水圧システムの現状と応用事例・展望」	12年 1月
ウインターセミナー「省エネ、環境のためのセンシング」	13年 1月
ウインターセミナー「油空圧機器・システムにおける省エネルギー化の方法」	14年 1月
ウインターセミナー「油空圧機器に係わる加工技術～共存する油空圧機器と加工技術～」	15年 1月
ウインターセミナー「メンテナンスエンジニアリングーランニングコストを安くー」	16年 1月
ウインターセミナー「医療・福祉におけるフルードパワーシステムの応用動向」	17年 1月
ウインターセミナー「機械システムの安全性」	18年 2月
ウインターセミナー「家庭の中のフルードパワー」	19年 2月
ウインターセミナー「航空機とロケットへの応用」	20年 2月
ウインターセミナー「海と船のフルードパワー」資料は『学会誌』Vol. 39 No. 5	21年 2月
ウインターセミナー「フルードパワー機器・システムの小型化」資料は『学会誌』Vol. 39 No. 5	22年 2月
ウインターセミナー「福祉・医療環境における空気圧応用の現状と問題」	23年 2月
ウインターセミナー「圧縮空気エネルギーの有効利用技術」	24年 2月
ウインターセミナー「アクアドライブシステム（新水駆動圧技術）の現状と将来」	25年 2月
ウインターセミナー「大型機械と油圧技術」	26年 2月
ウインターセミナー「大型機械・大型施設で活躍するフルードパワー」	27年 2月
教育講座「マイコン制御講座」（大学上級コース）	元年 8月
教育講座「現代制御理論講座」（大学上級コース）	元年10月
教育講座「マイコン制御講座」（大学上級コース）	2年 8月
教育講座「トライボロジー講座」（大学上級コース）	3年 8月
教育講座「油空圧における鋳造技術講座」	5年10月
教育講座「空気圧システム入門」	10年 9月
教育講座「空気圧システム入門」	11年 6月
教育講座「空気圧システム入門」	13年 6月
教育講座「トライボロジー講座」	14年 9月
教育講座「空気圧システム入門」	15年 5月
教育講座「空気圧システムの基礎」	15年 5月
第1回油空圧国際シンポジウム論文集	2年 1月
第2回油空圧国際シンポジウム論文集	5年 9月
第3回油空圧国際シンポジウム論文集	8年11月
第4回油空圧国際シンポジウム論文集	11年11月
第5回油空圧国際シンポジウム論文集	14年11月
第6回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（CD-ROM）	17年11月
第7回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（冊子，CD-ROM）	20年 9月
第8回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（冊子，CD-ROM）	23年10月
第9回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（冊子，CD-ROM）	26年10月
学会創立20周年記念出版「油空圧の進歩100人の証言」	2年 5月
学会創立30周年記念出版「アドバンスドフルードパワー技術の基礎と応用」	15年 4月
分冊販売 油圧駆動の世界ー油圧ならこうするー	
空気圧システム入門	
水圧駆動テキストブック	
日本フルードパワーシステム学会創立40周年出版	23年 4月
分冊販売 油圧システムのモデリングと解析手法	

Webシミュレーション解説
アクアドライブ技術の進展

フルードパワーシステム 総目次 (第46巻)

	号	通し頁		号	通し頁
【挨拶】			特集「フルードパワー歴史探訪～温故知新～」		
年頭のご挨拶 …築地 徹浩	1	4	「フルードパワー歴史探訪～温故知新～」発行にあたって …山田 宏尚	5	202
年頭にあって …{ 小山 紀 肥田 一雄	1	5	古代のフルードパワー技術 …小山 紀	5	203
特集「IFPEX2014」			一統・ヘロンの謎 …長岐 忠則	5	207
「IFPEX2014特集号」の発行にあたって …吉満 俊拓	1	6	空気圧制御弁の推移 …布谷 貞夫	5	211
IFPEX2014における空気圧分野の技術動向 …加藤 友規	1	7	油圧ショベルの歴史を振り返り …中野 政身	5	216
IFPEX2014における油圧分野の技術動向 …佐藤 恭一	1	11	機能性流体の歴史レビューと展望 …中野 和夫	5	222
IFPEX2014における水圧分野の技術動向 …鈴木 健児	1	14	特集「水素燃料自動車とフルードパワー技術」		
IFPEX2014空気圧セミナー …小山 紀	1	17	「水素燃料自動車とフルードパワー技術」の発行にあたって …五嶋 裕之	6	248
IFPEX2014油圧セミナー「油圧の魅力とその可能性に迫る」 …田中 豊	1	20	自動車における水素燃料、水素エネルギー利用に関する展望 …山根 公高	6	249
IFPEX2014見学記（カレッジ研究発表コーナー） …吉満 俊拓	1	23	水素ステーション関連技術 …高橋 宣行	6	254
特集「フルードパワーにおける故障予知技術」			車載用燃料電池スタックの技術開発 …荒木 拓人	6	257
「フルードパワーにおける故障予知技術」発行にあたって …栗林 直樹	2	54	水素高速充填に関する研究（準等温化压力容器の応用） …尹 鍾皓	6	260
予知保全技術など産業オートメーション技術のサービス体系化について …川田 誠一	2	55	高圧縮水素ガス用減圧弁の開発 …中村 善也	6	263
色診断による潤滑油状態監視センサ …高橋 勉	2	58	【ニュース】		
作動油の清浄度センサ …石塚 雅規	2	61	第三回日中ジョイントワークショップおよび日中若手研究者交流報告 …{ 伊藤 和寿 加藤 友規	1	26
電動流量制御システムを利用した空気圧機器の故障予知 …齊藤 悠	2	64	【会議報告】		
ビッグデータを用いた異常時、正常時の比較による故障予知処理のアルゴリズム …鈴木 英明	2	67	MOVIC2014におけるフルードパワー技術研究動向 …眞田 一志	1	30
高度複雑システムの故障予兆検出技術 …{ 藤島 泰郎 中山 俊也	2	70	FPMC2013におけるフルードパワー技術研究動向 …金 俊完	1	32
油圧システムのリモートモニタリングによる保守方法 …岩崎 一実	2	74	日本機械学会2014年度年次大会に観るフルードパワー研究動向 …藤田 壽憲	2	77
特集「国際シンポジウム2014」			ICMT2014におけるフルードパワー技術研究動向 …田中 豊	2	80
第9回日本フルードパワーシステム学会国際シンポジウム実施報告 …香川 利春	3	111	山梨講演会2014におけるフルードパワーの技術研究動向 …大内 英俊	2	82
第9回フルードパワー国際シンポジウムの全体概要 …佐藤 恭一	3	112	計測自動制御学会・流体計測制御シンポジウムにおける研究動向 …尹 鍾皓	2	84
第9回フルードパワー国際シンポジウムに観るフルードパワー研究動向 …藤田 壽憲	3	115	ICMDT2015におけるフルードパワー技術研究動向 …田中 豊	5	225
特別招待講演の概要 …佐藤 恭一	3	122	ROBOMEC 2015におけるフルードパワー技術研究動向 …高岩 昌弘	5	227
展示セッションの概要 …川嶋 健嗣	3	125	第14回スカンジナビアフルードパワー国際会議（SICFP15）におけるフルードパワー研究開発動向 …林 光昭	6	266
最優秀論文賞および最優秀学生論文賞の贈賞 …吉田 和弘	3	127	MOVIC2015におけるフルードパワー技術研究動向 …眞田 一志	6	268
第9回フルードパワー国際シンポジウム参加記 …只野耕太郎	3	130	【教室（連載）】		
特集「食品の加工と生産に活用されるフルードパワーの技術」			入門講座「トライボロジー」 …風間 俊治	1	34
「食品の加工と生産に活用されるフルードパワーの技術」発刊にあたって …村松 久巳	4	152	第4回：潤滑について …風間 俊治	2	87
食品加工の特徴と食品工学 …安達 修二	4	153	【トピックス】		
高压技術を用いた食品加工 …山本 和貴	4	159	学会と産業界との連携に向けてフルードパワー人材育成への産学連携 …佐藤 恭一	1	37
緑茶の重臨界水抽出による苦渋味改善製品の開発 …衛藤 英男	4	165	「油空圧技術」実習講座「フルードパワー人材育成への産学連携2」 …吉満 俊拓	2	93
食品用超高压処理装置 …山内 孝紀	4	168	学会のフルードパワー研究者リストの活用 …佐藤 恭一	3	132
植物工場に活用されるフルードパワー …谷尾 和彦	4	171	フルードパワーシステム出前講義 …香川 利春	4	182
ADSを搭載した食肉加工機 …佐藤 郁也	4	175	海外の産学連携（米国の事例） …平工 賢二	5	229
			フルードパワー分野の産学連携（大学・企業）成功事例 …加藤 友規	6	273

特許文献を調べる・特許電子図書館 の活用 6…類似文献の検索 2	木原 和幸	2	90	フルードパワー道場10「トライボ ロジーの基礎知識」開催のお知らせ	2	104
特許文献を調べる・特許情報ブラッ トフォーム…特許電子図書館のサー ビス終了	木原 和幸	4	179	平成27年春季フルードパワーシス テム講演会併設企画「製品・技術 紹介セッション」のお知らせ	2	104
特許文献を調べる・特許情報ブラッ トフォーム…アクチュエータと流体…木原 和幸	木原 和幸	6	270	共催・協賛行事のお知らせ	2	105
回路				書籍のご案内	2	107
米国駐在日記	…澤西 利幸	3	135	その他	2	103, 107, 108
インドネシア駐在員日記	…田中 大慶	5	232	共催・協賛行事のお知らせ	3	142
【研究室紹介】						
防衛大学校機械システム工学科流… 体システム講座	西海 孝夫 一柳 隆義 栗林 哲也	1	40	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27年 春季フルードパワーシステム講演 会のお知らせ	3	144
豊橋技術科学大学柳田研究室	…柳田 秀記	2	96	研究委員会（委員公募）の告知 せ	3	144
豊田工業高等専門学校 近藤研究室	…倉田 祐貴	3	138	防衛大学校 機械システム工学科 教官（助教）公募	3	145
大阪大学 吉瀬研究室	…篠原 啓	4	188	その他	3	141, 146, 147, 148
東北大学流体科学研究所 早瀬・白… 井・宮内研究室	…早瀬 敏幸	5	235	第34期 通常総会終了	4	194
横浜国立大学 眞田研究室	嘉藤 真英 岸 和紀 渡邊 拓巳	6	277	共催・協賛行事のお知らせ	4	195
【随想】						
我がさまよえる油圧人生	…一柳 健	4	186	平成27年度 特別教育講座のお知 らせ「油圧システムのモデリング の基礎をつかむ—ブロック線図と パワーフロー—」	4	197
夢をかなえて	…大島 茂	6	280	平成27年度 オータムセミナーの お知らせ「アクアドライブシステ ムの産業利用の現状」	4	197
【企画行事】						
平成27年度企画行事紹介	…眞田 一志 桜井 康雄	2	99	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27年 秋季フルードパワーシステム講演 会のお知らせ	4	197
平成26年オータムセミナー開催報告				平成27年度 日中若手研究者交流 事業 徐兵教授（浙江大学）特別 講演のお知らせ「建設機械のシン グルポンプ—マルチアクチュエー タにおけるモーションコントロー ルシステムに関する研究」	4	197
医療・福祉・介護分野でのフルー… ドパワーを利用したロボティクス	…山下 良介	2	101	その他	4	193, 196, 198
平成26年度ウインターセミナー開催 報告「大型機械・大型施設で活躍す… るフルードパワー」	…名倉 忍	4	191	平成27年度 オータムセミナーの お知らせ「アクアドライブシステ ムの産業利用の現状」	5	215
平成27年春季講演会併設セミナー開 催報告「フルードパワーにおける故… 障予知技術」	…内堀 晃彦	5	238	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27年 秋季フルードパワーシステム講演 会のお知らせ	5	215
平成27年春季フルードパワーシステ ム講演会報告	…赤木 徹也	6	284	平成27年度 日中若手研究者交流 事業 徐兵教授（浙江大学）特別 講演のお知らせ「建設機械のシン グルポンプ—マルチアクチュエー タにおけるモーションコントロー ルシステムに関する研究」	5	215
【コーヒーブレイク】						
ブラマー氏の水圧機 はじめての水… 圧編	…大橋 彰	1	43	共催・協賛行事のお知らせ	5	241
【会告】						
平成27年春季フルードパワーシステ ム講演会併設セミナー「フルードパ ワーにおける故障予知技術」のお知 らせ		1	46	お詫びと訂正	5	242
フルードパワー道場10「トライボロ ジーの基礎知識」開催のお知らせ		1	46	その他	5	240, 242, 243, 244
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27年春季フル ードパワーシステム講演会のお知 らせ		1	46	共催・協賛行事のお知らせ	6	287
平成27年春季フルードパワーシステ ム講演会併設企画「製品・技術紹介 セッション」のお知らせ		1	46	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27年 秋季フルードパワーシステム講演 会のお知らせ	6	288
平成26年度ウインターセミナーの お知らせ「大型機械・大型施設で 活躍するフルードパワー」		1	47	平成28年度 第四回日中国際共同 ワークショップのお知らせ The 4 th Japan-China Joint Workshop on Fluid Power—Innovative Key Technology on Fluid Power —	6	288
共催・協賛行事のお知らせ		1	48	資料一覧	6	290
その他		1	44, 45, 47, 49, 50	フルードパワーシステム第46巻総 目次	6	294
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27年 春季フルードパワーシステム講演 会のお知らせ		2	104	その他	6	286, 289, 296

編集室

次号予告

—特集「農業に貢献するフルードパワー」—

〔挨拶〕 年頭のご挨拶		築地 徹浩
年頭にあたって	小山 紀	肥田 一雄
〔巻頭言〕「農業に貢献するフルードパワー」発行にあたって		柳田 秀記
〔解説〕 農業機械における油圧技術		中川 修一
空気ジェットを利用した米粒などの選別機	加藤 猛美	土澤 聡明
ロボットハンドによる農作物の収穫支援		伏見 卓也
農作業補助用マッスルスーツ		小林 宏
温室内環境の均質化に使用される循環扇		畔柳 武司
〔会議報告〕 FPM2015におけるフルードパワー技術研究動向		小林 亘
〔トピックス〕 駐在員日記		阪本 晴康
海外研修日記		吉田 和弘
〔研究室紹介〕 法政大学高機能メカトロデザイン研究室の紹介	田中 豊	坂間 清子

平成27年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 吉田和弘 (東京工業大学)	委員 中野政身 (東北大学)
副委員長 塚越秀行 (東京工業大学)	成田 晋 (KYB株)
委員 伊藤雅則 (東京海洋大学)	藤田 壽憲 (東京電機大学)
内堀晃彦 (宇部工業高等専門学校)	丸田和弘 (株コマツ)
小倉 弘 (日立建機株)	村松久巳 (沼津工業高等専門学校)
加藤 猛美 (株コガネイ)	柳田 秀記 (豊橋技術科学大学)
加藤 友規 (福岡工業大学)	山田 真の介 (株TAIYO)
北村 剛 (油研工業株)	吉満 俊拓 (神奈川工科大学)
木原和幸 (財工業所有権協力センター)	担当理事 伊藤和巳 (KYB株)
栗林直樹 (川崎重工業)	山田 宏尚 (岐阜大学)
五嶋 裕之 (機械振興協会)	編集事務局 藤谷 秀次 (学会事務局)
佐藤 公哉 (CKD株)	竹内 留美 (勝美印刷株)
佐藤 恭一 (横浜国立大学)	
妹尾 満 (SMC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46巻, 第6号 (2015)

平成27年11月

目 次

研究論文

1. アキュムレータを用いたアイドリングストップ方式による
油圧源の省エネルギー
(第3報 ガソリンエンジン駆動油圧源における
油圧アシストを用いた間欠運転)
糟谷修史, 杉村 健, 野中謙一郎, 鈴木勝正 41

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.46, No.6

November 2015

Contents

Paper

1. Energy Saving of Oil Hydraulic Pump Unit by Idling Stop Using Accumulator
(3rd Report : Intermittent Operation Using Hydraulic Assist in an Oil Hydraulic
Pump Unit Driven by a Gasoline Engine)
Shuji KASUYA, Ken SUGIMURA, Kenichiro NONAKA and Katsumasa SUZUKI 41

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

アキュムレータを用いたアイドリングストップ方式による油圧源の省エネルギー*
(第3報 ガソリンエンジン駆動油圧源における油圧アシストを用いた間欠運転)

糟谷 修史**, 杉村 健***, 野中 謙一郎****, 鈴木 勝正****

Energy Saving of Oil Hydraulic Pump Unit by Idling Stop Using Accumulator
(3rd Report : Intermittent Operation Using Hydraulic Assist in an Oil Hydraulic Pump Unit
Driven by a Gasoline Engine)

Shuji KASUYA, Ken SUGIMURA, Kenichiro NONAKA and Katsumasa SUZUKI

Recently, energy saving is very important because the environmental contamination and the shortage of energy resources have become a major problem in a number of fields including oil hydraulic systems. We previously proposed a pump unit driven by an electric motor with intermittent operation. This pump unit achieves electrical energy saving compared with conventional pump units under a wide range of driving condition. However, construction machines and vehicles mainly use an engine as a power source. In this study, we test the intermittent operation of a pump unit driven by an engine, and we achieve automatic engine restart by means of a hydraulic assist. We research an intermittently operated pump unit driven by a gasoline engine and achieve a saving in energy. In addition, we research the effect of accumulator volume and the stability of the engine restart.

Key words : Energy saving, Hydraulic pump unit, Intermittent operation, Accumulator, Gasoline engine

1. 緒 言

近年、地球環境の汚染や化石資源の枯渇が問題となっている。そのため油圧を含む様々な分野において省エネルギーが求められている。著者らは以前の研究で、電動機駆動の油圧源においてアキュムレータと圧力スイッチを組み合わせて間欠的な運転を行った^{1), 2), 3)}。この間欠運転方式油圧源は、従来の可変容量形油圧源やインバータ制御方式油圧源と比較し、高いエネルギー効率を得られることを明らかにした。

一方で建設機械や車両などはポンプの動力源としてエンジンを用いることが多い。この場合においても省エネルギーの見地から様々な研究が行われている。例えばAchtenらはエンジンとトランスフォーマーを用いる油圧駆動形ハイブリッド自動車においてエンジンの間欠運転を行い、省エネルギー効果を検討している^{4), 5), 6)}。Vukovicらはパワーショベルにおいて間欠運転を利用した効率的な運転について報告している⁷⁾。一方、井上は電気モータを組み合わせ

た省エネルギー形ハイブリッドパワーショベルについて報告している⁸⁾。そこで本研究ではエンジン駆動の油圧源において間欠運転を行い、燃料消費率の点で優れていることを明らかにする。間欠運転を行う際にはエンジンを繰り返し再起動させる必要があるため、油圧アシストを用いた。これはエンジン再起動時において、ポンプモータ吸込口にアキュムレータに蓄えられている作動油を供給し、同時にポンプモータ吐出口をタンクに接続する手法である。これによってエンジンを加速させることにより再起動させることができる。本論文では油圧アシストを用いてガソリンエンジン駆動油圧源の間欠運転を行い、その際の燃料消費率を測定して、他の方式と比較した。またアキュムレータ容積の影響や、安定したエンジン再起動の条件を調査した。

2. 主な記号

A	: エンジンのピストン面積
d	: エンジンのピストンから点Gまでの距離
f	: クランクシャフトを押す力
k	: エンジンの圧縮比
L_c	: コンロッド長さ
m_g	: ガソリンの消費質量
n	: ポリトロープ指数
p_c	: シリンダ内圧力
P_a	: アシスト開始圧力
P_d	: 下限設定圧力 (負荷の必要圧力)

*平成27年1月23日 原稿受付

**東京都市大学大学院機械システム工学専攻

***IFAS, RWTH Aachen University, Germany

****東京都市大学機械システム工学科

(所在地: 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

(E-mail: ksuzuki@tcu.ac.jp)

P_e : 大気圧
 P_{on} : エンジンのスイッチON圧力
 P_u : 上限設定圧力
 Q_L : 負荷流量
 Q_p : ポンプ吐出流量の最大値
 r_t : 点Oからコンロッドへの垂線の長さ
 R_c : クランク長さ
 SFC : 燃料消費率
 t_h : エンジン出力トルク
 t_r : クランクシャフトのトルク
 T_m : 測定時間
 v_c : エンジンのシリンダ内容積
 V_m : 下死点でのシリンダ内容積
 x : 点Oからピストンまでの距離
 y : エンジンのピストン変位
 θ : クランクシャフトの角度
 φ : シリンダ軸とコンロッドのなす角
 点G, 点OについてはFig. 12参照

3. 実験装置

実験装置の写真をFig. 1, 油圧回路図をFig. 2に示す。回路図の(1)は油圧アクチュエータを抽象化した負荷部分, (2)は油圧源である。本実験で用いる間欠運転方式油圧源の特徴は、ポンプモータ動作中は一定吐出量、高効率で運転される点である。また、油圧アシストを行うために2つの電磁弁、2つのチェック弁、そして油圧ポンプモータが組み合わされている。この油圧ポンプモータは油圧ポンプと油圧モータの両方の機能を併せ持ったものである。圧力スイッチに付属の圧力信号出力で負荷圧力値、またポンプ吸込口と吐出口の半導体圧力センサによって各圧力値を測定する。ガソリンエンジンは発電機等に使用される市販の一般産業用4サイクル式エンジンを用いた。この装置により次章に示す4種類の運転方式を比較する。また油圧源の仕様をTable 1に示す。

4. 各種運転方法

4.1 間欠運転方式

間欠運転方式の動作パターンをFig. 3に示す。この図では負荷圧力とエンジンの状態を表している。なお本方式では圧力スイッチによってエンジンのスイッチのONとOFFおよび油圧アシストの開始と終了の制御を行っている。ポンプモータが定常回転時にはほぼ一定吐出量で運転される。負荷に作動油を供給し余った分はアキュムレータに蓄積される。一定量蓄積し、圧力が設定値に達するとエンジンのスイッチをOFFにしてエンジンとポンプモータを停止させる。この時の設定圧力を上限設定圧力 P_u と呼ぶ。ポンプモータ停止中はアキュムレータが負荷に作動油を供給し、負荷圧力が低下する。圧力が設定値まで下がると油圧アシ

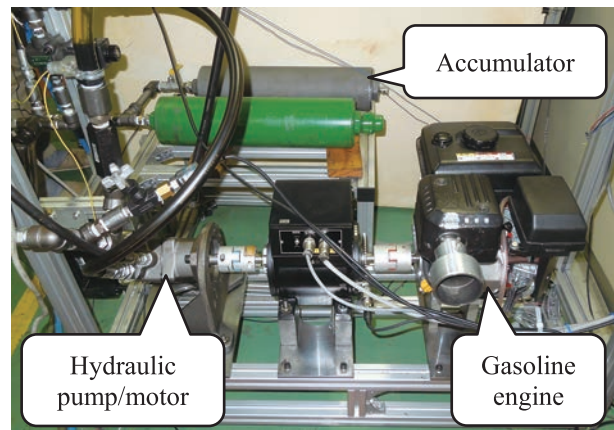


Fig. 1 Photograph of experimental pump unit

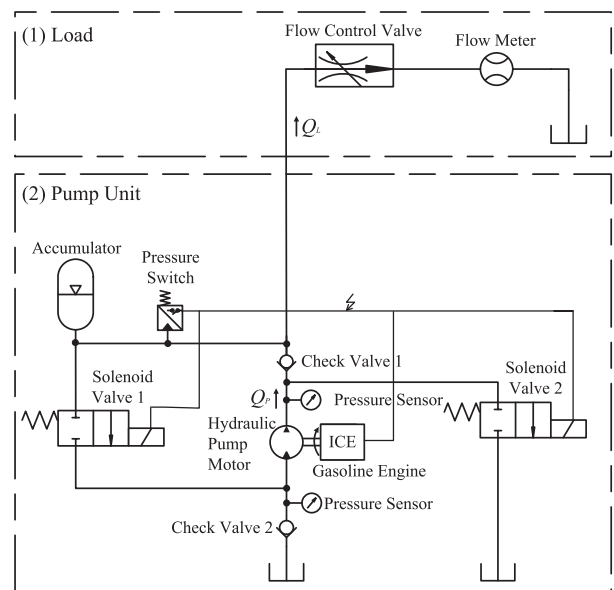


Fig. 2 Hydraulic circuit of experimental pump unit

Table 1 Pump unit specifications

Pump motor	
Type	Axial piston
Displacement volume	100 cc/rev (Fixed)
Pump discharge flow rate Q_p	15.0 L/min
Gasoline engine	
Cylinder capacity	126 cc
Continuous cruising power	23 kW/1,800 min ⁻¹
Compression ratio	8.5
Accumulator	
Accumulator volume	3.0, 6.0, 10.0 L
Upper pressure P_u	8.0 MPa
Assist starting pressure P_a	7.2 MPa
Lower pressure P_d	6.2 MPa

ストを開始する。この時の設定圧力をアシスト開始圧力 P_a と呼ぶ。油圧アシストではFig. 2のSolenoid Valve 1とSolenoid Valve 2を開き、アキュムレータの高圧な作動油の一部を油圧ポンプモータの吸込口に供給する。またポンプモータ吐出口をタンクへと接続し、圧力を0にする。この圧力差によって油圧ポンプモータは油圧モータとして加速される。

ある程度加速したところでエンジンのスイッチをONに切り替え、エンジンの点火が始まる（この時の設定圧力をエンジンスイッチON圧力 P_{on} と呼ぶ）。更に圧力が低下し設定値に達するとSolenoid Valve 1とSolenoid Valve 2を閉じ、油圧アシストを終了する。この時の設定圧力を下限設定圧力 P_d と呼ぶ。この P_d は負荷が必要とする圧力に設定している。再び油圧ポンプモータは油圧ポンプとして作動油を吐出する。この動作を繰り返すことによって、セルモータを使用せずにガソリンエンジンの間欠運転を行う。 P_{on} の値は P_a と P_d の中間に設定した。

4.2 アンロード運転方式

アンロード運転方式はFig. 4に示すように、間欠運転方式からSolenoid Valve 1を取り除いた構成になっている。エンジンは常に一定速度で運転される。負荷に供給されずに余った作動油はアキュムレータに蓄積される。一定量蓄積し、圧力が上限設定圧力 P_u に達しても、エンジンは停止させずにSolenoid Valve 2を開いてアンロードとする。アンロード中はアキュムレータが負荷に作動油を供給する。圧力が低下し下限設定圧力 P_d に達するとSolenoid Valve 2を閉じてアンロードを終了する。これを繰り返すことでアンロード運転方式を実行する。

4.3 リリーフ弁方式

リリーフ弁方式は、Fig. 5に示すようにポンプモータ吐出口にリリーフ弁を取り付ける。ポンプモータは常に一定吐出量で運転される。負荷に供給する作動油の余った分はリリーフ弁よりタンクに戻すため、一定の設定圧力 P_d で運転される。

4.4 可変容量形油圧源

固定容量形のポンプモータをFig. 6に示すように可変容量形のポンプに交換する。出力圧力に応じてポンプ1回転当たりの吐出量を変化させて圧力を一定に保つ構造である。ただし固定容量形ポンプモータと同様にアキシャルピストン形を使用し、最大押しのけ容積が固定容量形ポンプモータの押しのけ容積と一致するものを用いている。

5. 4種類の運転方式の燃費比較

4種類の運転方式において、負荷の必要圧力は同一であるが負荷流量が変化する場合について燃料消費率を比較した。出力1kW・hあたりに消費するガソリン量として燃料消費率（ $SFC[g/(kW \cdot h)]$ ）を次式で算出した。 $m_g[g]$ は時間 $T_m[h]$ あたりに消費するガソリンの質量、 $P_d [Pa]$ は負荷の必要圧力、 $Q_L[m^3/s]$ は負荷流量である。

$$SFC = \frac{m_g \times 10^3}{P_d Q_L T_m} \quad (1)$$

実験では15ccのガソリンを消費する時間を測定することで燃料消費率を算出した。結果をFig. 7に示す。ただし間欠運転方式およびアンロード運転方式では負荷圧力が変動するが、ここでは負荷での必要圧力としてその下限を採用した。またエンジンの回転速度は、ポンプが下限圧力で定

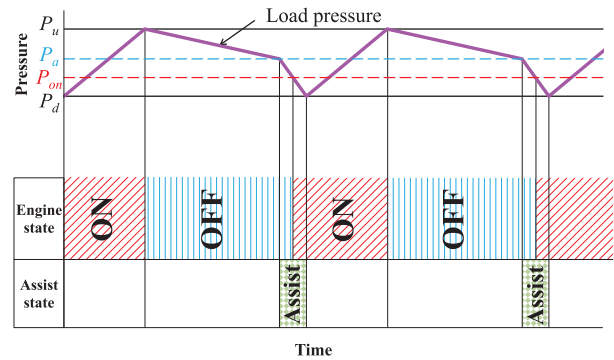


Fig. 3 Operation cycle of intermittently operated pump unit

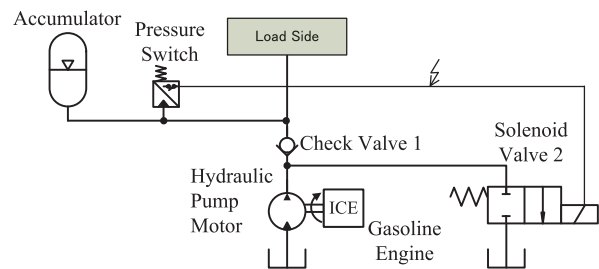


Fig. 4 Unloading method pump unit

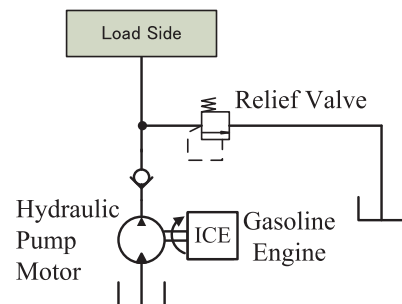


Fig. 5 Pump unit with relief valve

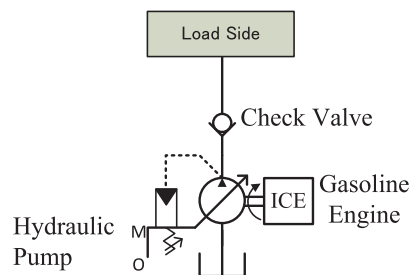


Fig. 6 Variable displacement pump unit

常的に作動油を吐出する場合に $1,500\text{min}^{-1}$ になるように設定した。また図中の横軸は、ポンプ吐出流量の最大値 Q_p に対する負荷流量（計測値）の比をとっている。 Q_p は押しのけ容積と回転速度（ $1,500\text{min}^{-1}$ ）の積より求めた。また本実験で用いたアキュムレータの容積は、7章を除いて6Lである。図より負荷流量が少なくなるほど燃料消費率が上昇している。また間欠運転方式（Intermittent）が最も燃料消費率が低く、その次に可変容量形油圧源（VD）、アンロード運転方式（Unload）、リリーフ弁方式（Relief）となっている。

この理由としては、リリーフ弁方式ではエンジンを常に一定速度で回転させ、圧力が設定値を超えると作動油をタンクに戻すことにより圧力を一定に保っている。そのためトルクが変わらず一定の燃料を消費するが、余剰油を無駄にタンクに戻してしまい、同じ出力に対して燃料の消費が多くなる。一方、アンロード運転方式は高効率の状態で作動油を吐出するのに加え、設定圧力になるとアンロードにより零負荷に切り替わりトルクが低下する。このためリリーフ弁方式よりも燃料消費が少なく、可変容量形油圧源では、圧力が上昇すると負荷流量を調整するためにポンプ1回転当たりの吐出量を減少させるので駆動トルクが減少し、燃料消費が減少する。間欠運転方式では高効率の状態で作動油を吐出するのに加え、設定圧力になるとエンジンが止まりガソリンの消費が零になるため、更に燃料消費が少なくなる。

Fig. 8は同じデータを基に単位時間に消費する燃料を示したものである。負荷流量が零の時の燃料消費速度に注目してみると、リリーフ弁方式では最大流量時と変わらず、アンロード方式と可変容量形油圧源の燃料消費速度でも最大流量時の半分程度である。これらは流量が減少するのに従って燃料消費を低減させる機能が働いているが十分とは言えない。一方、間欠運転方式では完全に零となっていて十分な省エネ機能を有していることが分かる。負荷流量が最大付近ではそれぞれの燃料消費率が逆転しているものがある。これは以下の理由によるものである。間欠運転方式とアンロード運転方式はアキュムレータに作動油を蓄えるために、リリーフ弁方式以上の高い圧力で運転される。このため余分な圧力をかけて運転されている。負荷流量が最大付近では、間欠運転におけるエンジン停止、またアンロード運転方式におけるアンロード状態となる時間が短くなり、これらの方式の利点が小さくなるため燃料消費速度が逆転してしまう。また可変容量形ポンプ方式では、負荷流量の最大付近では固定容量形のポンプと同様の働きとなり燃料消費量も同程度になる。

油圧源を設計する際の最大流量は負荷の必要最大流量を上回るように設計される。しかし実際使用される時には、負荷流量は大幅に変化し、零となる時間が長い例も多い。そのような応用例において間欠運転方式の特長が活かされる。

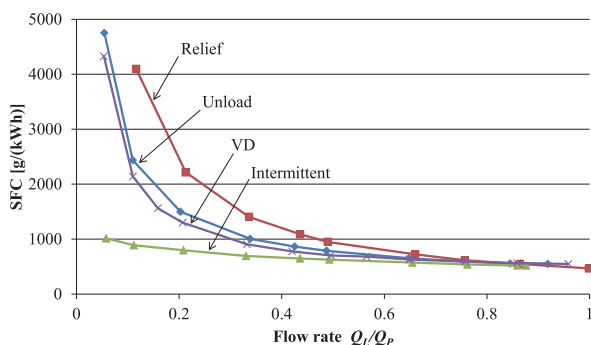


Fig. 7 Specific fuel consumption of each pump unit

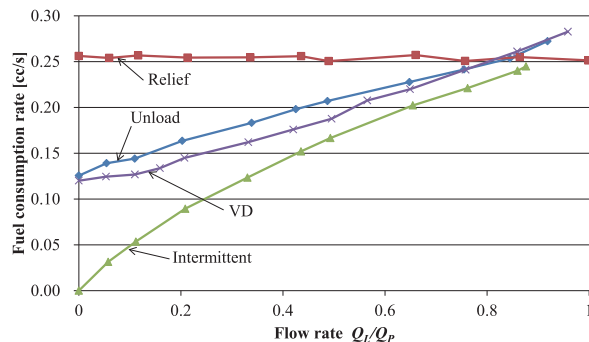


Fig. 8 Fuel consumption rate

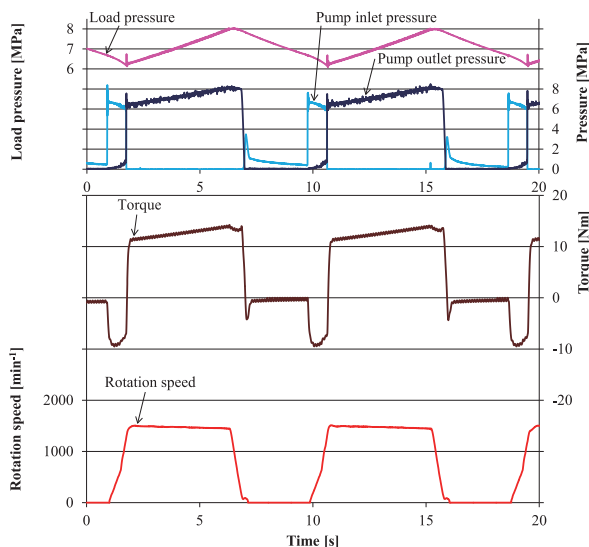


Fig. 9 Measured results of intermittently operated pump unit

6. 間欠運転方式油圧源の特性

間欠運転方式油圧源の動作の一例をFig. 9に示す。それぞれ負荷圧力、ポンプモータ吐出口圧力、ポンプモータ吸込口圧力、エンジン出力軸トルク、軸の回転速度を示している。図より回転速度が 1500min^{-1} と0を交互に繰り返しており、エンジンの運転と停止が繰り返し行われて油圧源の間欠運転が実現できていることが分かる。この図において、例えば3秒の時点では、エンジンは回転速度 1500min^{-1} 程度で回転している。また作動油がアキュムレータに蓄積され負荷圧力が徐々に上昇している。負荷圧力が上限設定圧力 P_u に達するとエンジンのスイッチがOFFになるため回転速度が0となる。エンジン停止中はアキュムレータが負荷に作動油を供給するため負荷圧力が低下していく。負荷圧力がアシスト開始圧力 P_a に達すると油圧アシストを開始する。この時、ポンプモータ吸込口圧力が上昇し、吐出口圧力が0に近づいている。これにより負方向のトルクが発生し回転速度が上昇していることより、ポンプモータ及びエンジンが油圧アシストにより加速していることが分かる。ある程度加速し負荷圧力が P_{om} に達した時にエンジンのスイッチをONにする。これにより点火が行われエンジンの燃焼

が始まる。負荷圧力が下限設定圧力 P_d に達すると油圧アシストを終了する。これにより負荷圧力は再び上昇していく。この動作を繰り返すことによりガソリンエンジンの間欠運転を実現している。

7. アキュムレータ容積の間欠運転への影響

間欠運転方式において、アキュムレータ容積が及ぼす影響について調査した。各流量における運転の切り替え周期を比較した結果をFig. 10に示す。図より、アキュムレータの容積を増やすと切り替え周期が長くなることが分かる。アキュムレータ容積が増えることにより、アキュムレータに蓄積する時間と、放出する時間がそれぞれ長くなるためである。なお負荷流量が大きいほど切り替え周期が長くなっている。これは負荷流量が大きくなるほどアキュムレータに流れ込む作動油が少なくなって蓄積する時間が長くなるためである。また負荷流量が小さい場合にはこれと逆にアキュムレータが放出する時間が長くなるため切り替え周期が長くなる。これらの要因により、負荷流量によって運転の切り替え周期が変化する。

次に各燃料消費率を測定した結果をFig. 11に示す。図よりアキュムレータ容積が大きいほど燃料消費率が低くなることが分かる。これは切り替え周期が関係すると考えられる。Fig. 10で示した通り、アキュムレータ容積が大きい方が1周期の時間が長い。これにより運転中に起動と停止を行う頻度が少なくなる。エンジンは起動、停止を行う際に

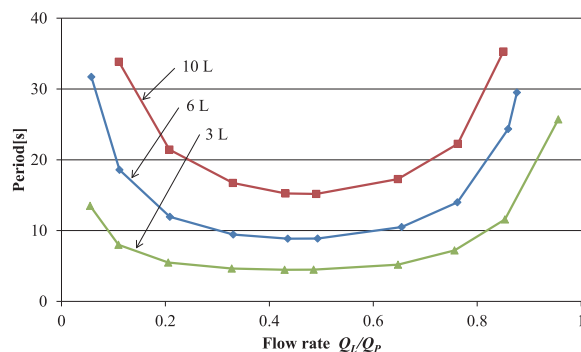


Fig. 10 Operating period for each accumulator volume

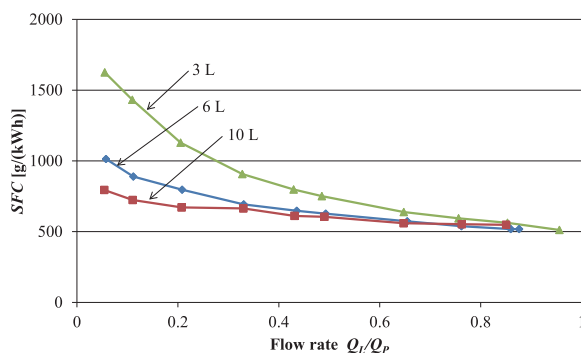


Fig. 11 Specific fuel consumption for each accumulator volume

も燃料を消費するため、切り換え頻度が燃料消費率に影響すると考えられる。しかし負荷流量が大きい場合においては、エンジンが継続して回転している時間が長くなるため、それぞれの容積における差が出にくくなり、燃料消費率が同程度の値となっている。なお燃料消費率は負荷流量の最大付近で約500g/(kW·h)となっている。アキュムレータ容積を大きくするほど燃料消費率は低下するが、最低でもこれと同様の約500g/(kW·h) となると考えられる。

以上の結果よりアキュムレータ容積の決定に当たって、容積を大きくする程、Fig. 11に示されるように燃料消費率は向上するが限界が存在する。一方、アキュムレータ容積に応じて重量や価格が増加するとともに、アキュムレータに蓄積され放出される作動油の体積が増加するのでその体積の増減をカバーするタンクの容積が大きくなる。このように使用するアキュムレータ容積の決定に当たっては効果に対するコストやスペースを検討する必要がある。

8. エンジン再起動の安定性

間欠運転方式によりガソリンエンジンの再起動を行う場合に、条件によっては再起動に失敗することがある。そこでこの章ではエンジン再起動の安定性について調査した。本研究で用いているエンジンは4ストロークのガソリンエンジンである。この機関では吸気・圧縮・点火/燃焼・排気の4行程が繰り返し行われるのでこの特徴を考慮する。

ここでは再起動に必要なアシスト圧力を検討するため、エンジンのシリンダ内における圧力変化と、それに釣り合うトルクを推定する。ここではエンジンをFig. 12に示すような単純なモデルとして扱う。まず下死点で大気圧となった空気をシリンダで圧縮する場合を考える。なお摩擦の影響は無視する。図よりクランクシャフト中心Oからピストンまでの距離 x 、ピストンから点Gまでの距離 d 、シリンダ軸とコンロッドのなす角 φ 、クランクシャフト中心からコンロッドへ伸ばした垂線の長さ r_l は以下の式で与えられる⁹⁾。

$$x = R_c \cos \theta + d \quad (2)$$

$$d = \sqrt{L_c^2 - (R_c \sin \theta)^2} \quad (3)$$

$$d = L_c \cos \varphi \quad (4)$$

$$r_l = x \sin \varphi \quad (5)$$

ピストン変位 y を図のように左の壁からの距離にとると、シリンダ容積は

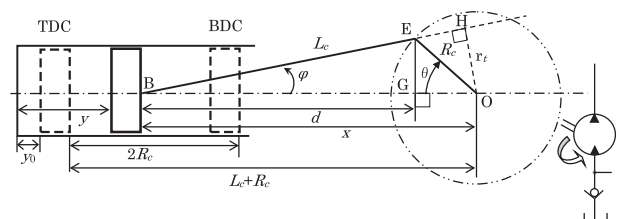


Fig. 12 Schematic of engine mechanism

$$v_c = Ay \quad (6)$$

破線により上死点 (TDC) および下死点 (BDC) でのピストン位置を示す。上死点での y の値を y_0 とすると下死点では $y_0 + 2R_c$ となる。シリンダ容積はそれぞれ Ay_0 および $A(y_0 + 2R_c)$ であるから圧縮比 k はこれらの容積比として

$$k = \frac{A(y_0 + 2R_c)}{Ay_0}$$

となる。これより y_0 について解くと

$$y_0 = \frac{2R_c}{k-1}$$

この結果を使って、ピストン変位 y は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} y &= y_0 + (L_c + R_c - x) \\ &= L_c + \frac{k+1}{k-1} R_c - x \end{aligned} \quad (7)$$

ここでポリトロプ変化を仮定する。圧縮行程では v_c と下死点における圧力 P_e および容積 V_m よりシリンダ内圧力 p_c は以下の式で与えられる¹⁰⁾。

$$p_c = P_e \left(\frac{V_m}{v_c} \right)^n \quad (8)$$

上死点で燃焼によりシリンダ内空気の温度 (絶対温度) が T_2 に瞬時に変化すると仮定すると (吸入時 T_1)、その時のシリンダ内圧力 P_m は

$$P_m = kP_e \times \frac{T_2}{T_1} \quad (9)$$

点火/燃焼行程では

$$p_c = P_m \left(\frac{V_m/k}{v_c} \right)^n \quad (10)$$

クランクシャフトを押す力 f は

$$f = \frac{(p_c - P_e) A}{\cos \varphi} \quad (11)$$

となる。以上よりクランクシャフトに働くトルク t_r は

$$t_r = fr_t \quad (12)$$

となる。ただし本研究で用いるエンジンはギア比 1:2 で減速しているため、出力軸のトルク t_h は2倍となり、

$$t_h = 2t_r \quad (13)$$

となる。以上のようにシリンダ内における圧力と駆動トルクを推定することができる。これらをFig. 13に示す。計算に用いた数値はTable 2に示すエンジンの仕様を用いた。ポリトロプ指数 n は、低速度では $n=1$ (等温変化) に近く、速度が上がると $n=1.40$ (断熱変化) に近づくと考えられるので、ここでは極めて低速の場合を考えて $n=1$ とする。また T_1 は吸入空気の温度で $T_1=303\text{K}$ (30°C) と仮定する。 T_2 は燃料の量によって変化するが、 400°C となる場合を想定し $T_2=673\text{K}$ (400°C) と仮定した。なお 0° および $\pm 360^\circ$ が上死点、 $\pm 180^\circ$ が下死点である。トルクの符号は、回転方向に働くトルクを正、逆方向に働くトルクを負としている。

ここで、油圧アシストによりポンプモータが発生するトルクについて摩擦を無視して求める。ポンプモータの1

Table 2 Engine specifications

Engine piston area	A	$30.1 \times 10^{-4} \text{m}^2$
Connecting rod length	L_c	$75.5 \times 10^{-3} \text{m}$
Compression ratio of engine	k	8.5
Atmospheric pressure	P_e	0.1MPa
Crank length	R_c	$21 \times 10^{-3} \text{m}$
Cylinder volume at BDC	V_m	$143 \times 10^{-6} \text{m}^3$

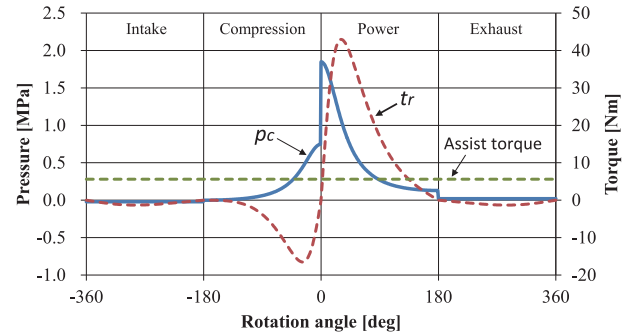


Fig. 13 Pressure and torque of engine piston

rad当たりの吐出量と圧力の積の公式を用い、エンジン内のギア比による1/2倍も考慮すると以下のように求められる。

$$\frac{10.0 \times 10^{-3}}{2\pi} \times 7.2 \times 10^6 \times \frac{1}{2} = 5.7 \text{ [Nm]}$$

またこの値も図上に示した。これは同じ大きさの圧力を出力する場合に油圧ポンプモータを駆動するために必要なクランクシャフト上のトルクでもある。図よりエンジンにおいて気体を圧縮するのに必要なトルクは最大で16.5Nmで、油圧アシストによって発生できるトルクの2.9倍となる。この値より、このままでは回転させることができない。さらに、ここでは等温変化を仮定しているが、断熱変化を仮定すると必要トルクは更に大きくなる。そのため今回使用したエンジンにはデコンプ機構と呼ばれるものが備えられている。これは低速では、カムシャフトに取り付けられたピンが圧縮上死点近傍で排気バルブを突き上げ、圧縮空気を抜いて圧力上昇を抑えることにより、トルクを低く抑え再起動を行いやすくする機構である。回転速度が高くなると遠心力の働きでピンが戻るため、デコンプ機構は働かなくなる。この時の回転速度は約 900min^{-1} であり、この機構により再起動が可能になっている。これらの要因が再起動の安定性に深く関わっているといえる。

9. 結 言

ガソリンエンジン駆動の油圧源において、一定圧力であるが変動する流量を供給する場合に、エンジンの間欠的な運転を行い、その燃料消費率が他の方式より優れていることを示した。間欠運転方式は、特に負荷流量が少ない場合に効果が大きいため、そのような負荷流量の領域を長い時

間使用する装置に対して有効であるといえる。

またアキュムレータ容積の影響を調べ、容積を大きくすることで切り替え周期が長くなり燃料消費率も下がることを示した。更にシリンダ内の圧力変化を推定して、再起動の安定性に影響する条件を示した。

謝 辞

本研究の実施に当たりご支援いただいた日本アキュムレータ株式会社に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Suzuki, K., Niimura, Y., Akitani, K., Sugimura, K. : Energy Saving of Oil Hydraulic Pump Unit by Idling Stop Method Using an Accumulator, 10th International Conference on Fluid Control, Measurements, and Visualization, Moscow, Russia (2009)
- 2) 杉村健, 大田真平, 土井哲郎, 鈴木勝正, 野中謙一郎 : アキュムレータを用いたアイドリングストップ方式による油圧源の省エネルギー (第1報), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 42, No. 4, p. 14-20 (2011)
- 3) 杉村健, 大田真平, 鈴木勝正, 野中謙一郎 : アキュムレータを用いたアイドリングストップ方式による油圧源の省エネルギー (第2報), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 44, No. 2, p. 29-34 (2013)
- 4) Achten, P., Vael, G., Kohmäscher, T., Sokar, M. : Energy Efficiency of the Hybrid, 6th International Fluid Power Conference, Dresden, Vol. 2, p. 329-340 (2008)
- 5) Achten, P., Vael, G., Sokar, M.I., Kohmäscher, T. : Design and fuel economy of a series hydraulic hybrid vehicle, 7th JFPS International Symposium on Fluid Power, Toyama, p. 47-52 (2008)
- 6) Vael, G., Eggenkamp, S., Achten, P. : The E-hybrid, 12th Scandinavian International Conference on Fluid Power, Tampere, p. 19-33 (2011)
- 7) Vukovic, M., Sgro, S., Murrenhoff, H. : STEM - a holistic approach to designing excavator systems, 9th International Fluid Power Conference, Aachen, Vol. 2, p. 250-260 (2014)
- 8) Inoue, H. : Development of hybrid hydraulic excavators, 9th JFPS International Symposium on Fluid Power, Matsue, p. 93-97 (2014)
- 9) 日本機械学会編 : 機械工学便覧, 日本機械学会, $\alpha 2$ p. 142 (2007)
- 10) 文献(9)の $\alpha 5$ p. 24-26 (2006)

日本フルードパワーシステム学会論文集 総目次（第46巻）

【研究論文】

号 通し頁

複数の空気圧容器への分岐管を用いた加圧特性	...	阪本 大介 尹 鍾皓 香川 利春 1 1	重み関数モデルを用いた特性曲線法の気体管路内微小振幅波の計算誤差円筒形2段磁極式電磁比例アクチュエータの研究	...	中尾 光博 香川 利春 近藤 尚生 竹内 綾太 若澤 靖記 4 23
微粒子励振型流量制御弁を用いた空気圧シリンダの速度制御	...	廣岡 大祐 山口 智実 古城 直道 鈴森 康一 神田 岳文 2 7	アキュムレータを用いたアイドリイングストップ方式による油圧源の省エネルギー（第3報 ガソリンエンジン駆動油圧源における油圧アシストを用いた間欠運転）	...	槽谷 修史 杉村 健 野中 謙一郎 鈴木 勝正 5 33
ラバーレス人工筋拮抗駆動システムの動作特性と位置制御	...	齊藤 直樹 佐藤 俊之 3 15			6 41

〒105
|
0011 東京都港区芝公園三丁目五十二 電話 (〇三) 三四三三―八四四一
編集兼発行人 一般社団法人日本フルードパワーシステム学会 振替口座 東京〇〇―一〇―三―三三六九〇 FAX (〇三) 三四三三―八四四二

印刷所 勝美印刷株式会社 東京都文京区白山一―一三―七 アクア白山ビル五階