

日本フルードパワーシステム学会誌

# フルードパワー

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# システム

Jan. 2024 Vol. 55 No. 1

特集「フルードパワーシステムを活用した超高压技術」

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

### 【挨拶】

新年のご挨拶	早川 恭弘	4
年頭にあたり	田中 豊	5

### 特集「フルードパワーを活用した超高压技術」

#### 【巻頭言】

「フルードパワーを活用した超高压技術」発行にあたって	佐藤 恭一	7
----------------------------	-------	---

#### 【解説】

超高压インパルス耐圧試験機の高圧発生技術とサーボ制御	加藤 祐輔	8
200MPaを超えるディーゼルエンジン用燃料噴射技術	芹澤 晃	11
高圧容器用サイクル試験装置と破裂試験装置	水上 峻一	15
地震大国日本で活躍する建築構造実験用超高压油圧試験装置	今井 亮太	19
フルードパワーシステム評価のための高圧試験	木附 敬雄	23
高水圧技術を活かした「チューブハイドロフォーミング」	岩村 忠儀	26
深海への挑戦：高圧実験水槽の概要と成果、現況	高橋 和行, 大嶋 真司	31

#### 【トピックス】

学生さんへ、先輩が語る一開発職の心構えー	浅野広太郎	35
ラクイラ（イタリア）滞在記	伊藤 和寿	38

#### 【企画行事】

学会主催のキャリア支援セミナーの紹介	田中 豊, 渡邊 悠希	43
--------------------	-------------	----

#### 【会告】

共催・協賛行事のお知らせ		30
日本フルードパワーシステム学会キャリア支援セミナー開催のお知らせ		42
英文論文誌の特集号（第12回フルードパワー国際シンポジウム 広島2024）のお知らせ		42

理事会・委員会報告	45
会員移動	46
日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催 2024年春季フルードパワーシステム講演会	46
2023年度ウィンターセミナー「医療福祉技術を支えるフルードパワー」	46
一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会 賛助会員一覧表	47
日本フルードパワーシステム学会論文集54巻（2023）抄録	48
次回予告	50

■表紙デザイン：浅賀 美希 勝美印刷㈱

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-22 機械振興会館別館102

TEL：03-3433-8441 FAX：03-3433-8442

E-Mail：info@jfps.jp

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# FLUID POWER SYSTEM

## Contents

### [Greeting Message]

New Year Greetings from the President	Yasuhiro HAYAKAWA	4
New Year Greetings from the Vice President	Yutaka TANAKA	5

### Special Issue "Ultra-high Pressure Technology utilizing Fluid Power"

#### [Preface]

On the Special Issue "Ultra-high Pressure Technology utilizing Fluid Power"	Yasukazu SATO	7
-----------------------------------------------------------------------------	---------------	---

#### [Review]

High-pressure Generation Technology and Servo Control of Ultra-high-pressure Impulse Resistance Tester	Yusuke KATO	8
Fuel Injection Technology for Diesel Engines Exceeding 200 MPa	Akira SERIZAWA	11
Cycle and Burst Test Apparatus for High Pressure Vessel	Shunichi MIZUKAMI	15
Ultra-High Pressure Hydraulic Testing Equipment for Structural Experiments in Earthquake-Prone Japan	Ryota IMAI	19
Introduction to High-pressure Testing for Evaluation of Fluid Power Systems	Takao KITSUKI	23
"Tube Hydroforming" Utilizing the Very High Water Pressure Technology	Tadayoshi IWAMURA	26
Challenge to the Deep Sea: Over View Achievement and Current Status of Hyperbaric Chambers	Kazuyuki TAKAHASHI, Shinji OSHIMA	31

#### [Topics]

Mindset for a Development Job	Kotaro ASANO	35
Staying Report in L'Aquila	Kazuhiro ITO	38

#### [Laboratory Tour]

Introduction to Career Support Seminars	Yutaka TANAKA, Yuki WATANABE	43
-----------------------------------------	------------------------------	----

#### [JFPS News]

30, 42, 45, 46, 47, 48, 50

## 挨拶

## 新年のご挨拶

## 著者紹介



はや かわ やす ひろ  
早川 恭弘

奈良工業高等専門学校  
〒639-1080 大和郡山市矢田町22  
E-mail : hayakawa@ctrl.nara-k.ac.jp

1984年立命館大学理工学研究科博士前期課程機械工学専攻修了、博士(工学)、2023年独立行政法人国立高等専門学校機構奈良工業高等専門学校 名誉教授、社会福祉法人天寿会理事、2022年5月より、日本フルードパワーシステム学会会長。

謹んで新年のお慶びを申し上げます。

2020年から続いた新型コロナウイルス感染症の流行は、2023年5月8日以降、第5類感染症に移行されました。そして、社会生活は、コロナ禍以前の状態に戻りつつあり、海外からの観光客も大幅に増加しています。その結果、インバウンド需要の推計は5.9兆円に達しています。このように明るい兆しがある一方、温暖化の影響により、今年の夏は、極暑状態が続き、熱中症により搬送される方が増えました。そのため、今まで以上に温暖化対策の必要性に迫られ、各企業がさまざまな取り組みを行っています。当学会としても、この問題に対して積極的に取り組んで参りたいと思います。

学会行事に関しましては、開催が延期されておりました学会創立50周年記念パーティーを昨年9月29日に、多くの会員の方々にご参加いただき、盛況裡に執り行うことができました。ご協力いただきました方々に心から御礼申し上げます。また、2023年春季フルードパワーシステム講演会および総会を対面で開催することができ、総会後の技術懇談会では、久しぶりに多くの方々と楽しいひとときを過ごすことができました。さらに、秋季フルードパワーシステム講演会も岡山理科大学にて対面で開催でき、盛況のうちに終了いたしました。ご参加いただいた方々に心より御礼申し上げます。

第12回JFPS国際シンポジウムが本年10月22日から25日まで広島国際会議場において、また、IFPEX2024 第27回フルードパワー国際見本市が9月18日から20日まで東京ビックサイトで開催されます。皆様方の積極的なご参加をお願いいたします。

昨年度からの新たな取り組みとして、基盤強化委

員会が中心となり、学生へのキャリア教育を行っています。具体的には、賛助会員企業若手社員の方からフルードパワー関連の研究室に所属する学生会員などに対して、オンラインで企業に関する情報発信を行なっていただきました。昨年度は、1月より3月まで、月1回のペースで開催し、就活中の学生が多く参加してくれました。今年度も継続して、学生へのキャリア教育を実施してまいりますので、賛助会員企業の方々のご協力をお願いいたします。また、学生会員の皆様も積極的にご参加ください。

産学連携に関しましては、日本フルードパワー工業会様のホームページに“フルードパワー 技術コンサルティング コーナー”を開設していただきました。このコーナーにいただいたお話は、当学会内で相談・協議の上、適切な相談先をご紹介します。その時は、ご協力のほど、よろしく願いいたします。また、日本フルードパワー工業会 西日本支部総会・懇談会のご案内を当学会事務局より関西地区の教員の皆様に送付させていただいております。産学連携の観点からも、積極的にご参加をお願いいたします。さらに、日本フルードパワー工業会様から工業会会員企業様へ、当学会行事のアナウンスをしていただいています。今後も、日本フルードパワー工業会様との情報共有と連携を積極的に行って参りたいと考えておりますので、皆様のご協力をお願いいたします。

当学会の英文論文集 (JFPS International Journal of Fluid Power System) は、オープンアクセス (CC BY-NC-ND ライセンス付き) となっており、年に1~3回発行されています。英文論文集のさらなる充実を図るために、会員皆様方の英文論文集への積極的な投稿をお願いいたします。また、会誌に関しましても、会員の皆様にとって有益な解説記事を企画しておりますので、楽しみにしていただければと思います。

最後になりましたが、本年も継続して、フルードパワー技術の発展をめざし、会員の皆様および事務局の方々のご支援を頂戴しながら、当学会運営に微力ながら最大限努力していく所存であります。本年も会員の皆様のご理解とご支援ご協力を賜りますよう何とぞよろしくお願い申し上げます。

(原稿受付：2023年10月13日)

## 挨拶

## 年頭にあたり

## 著者紹介

た なか ゆたか  
田 中 豊法政大学デザイン工学部  
〒102-8160 東京都千代田区富士見2-17-1  
E-mail: y\_tanaka@hosei.ac.jp

1985年東京工業大学大学院総合理工学研究科修了。その後、東工大精密工学研究所助手を経て、1991年法政大学講師、1992年同助教授、2002年同教授、現在に至る。工学博士（1991年東京工業大学）、（一社）フルードパワーシステム学会副会長、理事、基盤強化委員会委員長

新年明けましておめでとうございます。2024年の年頭にあたり、現在の3名の副会長、川崎重工業株式会社 嶋村英彦様と芝浦工業大学 川上幸男先生を代表し、ご挨拶を申し上げます。

## 1. 学会行事

昨年の2023年5月に、いわゆるコロナの扱いが5類相当に移行し、多くのイベントが2020年からのコロナ禍前に戻りつつあります。9月29日(金)には多くのフルードパワー関連の皆様にお集まりいただき、3年半以上延期となっておりました学会創立50周年記念パーティーと特別講演会が会長の早川恭弘先生の強力なリーダーシップのもと、盛大に開催されました。誠に嬉しい限りです。また11月30日には岡山理科大において秋季フルードパワーシステム講演会と技術懇談会が以前と同じ対面形式で行われました。研究者や技術者の交流はやはり対面での開催が重要であることを再確認した次第です。今後も対面による開催が企画されることと思います。

一方、あの忌まわしいコロナは、オンライン形式による講演会やセミナーの視聴形式という新たな学会活動の方向を示してくれました。講演会やセミナーにおいて講演者は開催会場における対面参加が基本ですが、視聴を希望する会員はオンラインによる団体試聴も可能となっております。企画担当者や学会事務局は以前よりも準備負担は増えますが、視聴希望者にとっては時間と距離の制約から解放され

ており好評です。ネットワークと情報技術の進化による大きなメリットです。今後も積極的に活用されることでしょう。

また本年の2024年10月22日～25日の日程で第12回JFPSフルードパワー国際会議が広島で開催されます。論文の申し込みや参加登録受け付けも間もなく始まる予定です。アフターコロナのこの機会に、世界中のフルードパワーの仲間達と交流を深めることができるはずです。多くの皆様のご参加とご協力をお願い申し上げる次第です。

## 2. 国際交流

国際シンポジウムだけでなく、コロナで断たれた学会における国際交流を再開することも重要です。多くの国のフルードパワー研究者の世代交代が叫ばれる中、中国や韓国をはじめ多くの国々との研究者交流を再開し、コロナ前に増して積極的に進める必要性を痛感しております。手始めに日中韓ワークショップを学会の国際交流活動として2025年に日本で開催すべく、国際交流委員会や理事会で議論し、準備しております。

## 3. 基盤技術と先端技術の融合

フルードパワーは枯れた基盤技術との印象が強いですが、学会の「よろず相談」窓口には油空圧に関連した技術相談がしばしば寄せられております。新技術が進展する中で、これまで見過ごされ考慮する必要が無かったような課題がクローズアップされてくる事もあるようです。また熟練の技術者や研究者の退職などによりノウハウの継承が断たれてしまっている事も要因の一つかもしれません。学会の使命は企業では難しい理論や基礎研究を推進することです。理論の裏打ちを欠いた技術は衰退することを認識し、学会の講演会やセミナー、学会に設置される研究委員会等を積極的に活用し、その中で技術者や研究者による理論と技術が切磋琢磨することが重要です。生成AIなどの最先端技術の進化のスピードは目を見張るものがあります。基盤技術に積極的にこうした最先端技術を取り込み、両者を融合させて新

たな形に仕上げるのが大切です。

#### 4. 若い技術者や研究者へ

昨年度より基盤強化委員会では、会員企業と学校関係者を結ぶキャリア支援セミナーを開催しております。フルードパワー関連企業への関心を学生の頃から喚起し、将来の選択肢の一つに考えるきっかけと同時に、企業の若手技術者と学生との密な交流が目的の一つです。こうした学生も含めた若い技術者や研究者へのサポートが、学会の将来に大きく貢献すると確信しております。

#### 5. おわりに

学会は皆様が個人の資格において参加し、フルードパワー技術の向上に資する場です。一人一人がご自身に何ができるかを常に問いかけ、自ら積極的に発信していくことが重要であると考えています。会員の皆様にとって良い年となりますことを祈念し年頭のご挨拶といたします。

(原稿受付：2023年11月30日)

# 「フルードパワーを活用した超高压技術」 発行にあたって

## 著者紹介



さとう やすかず  
佐藤 恭一

横浜国立大学大学院

〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5

E-mail : sato-yasukazu-zm@ynu.ac.jp

1992年横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期修了。同大学講師、准教授を経て、2012年同大学院工学研究院教授。現在に至る。油圧動力の伝達、制御、メカトロニクスに関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。

## 1. フルードパワーの高圧、超高压

本号では、「フルードパワーを活用した超高压技術」と題して、液圧は数百MPa、ガス圧は数十MPaの高圧発生技術と高圧対応技術、それらの研究成果を紹介する。

フルードパワーの出力や伝達動力は流量×圧力であるが、目的、用途、分野によって、動力の内訳は、大流量×低圧力、小流量×高圧力、大流量×高圧力…など、流体が発生する力（圧力）や速度（流量）の利用方法により異なる。また、空気やガスにおいては、大容積気体の圧縮による高圧下での小容積貯蔵用途もある。

法規などでの定義や表現は別として、フルードパワーの利用者にとって、高圧や超高压の明確な区分は無いように思う。たとえば、筆者は大学の研究室で油圧機器、空気圧機器を扱っているが、研究室の学生が普段使用している油圧ポンプの圧力は最大でも14MPa、自動車用は数MPa、空気圧は市販のコンプレッサーで0.7MPaである。この辺りの圧力レベルを用いている者からすれば、産業油圧機器の21MPa、35MPaは高圧であり、0.7MPaを超える空気圧は高圧と感じられる。余談ではあるが、筆者が学生当時、スキューバダイビングの講習で、空気タンクの満充填の圧力が180気圧（当時の圧力計の単位）と知り、高圧の圧縮空気タンクを海中で背負う

恐ろしさを感じた。また、高圧圧縮空気を平易に呼吸できる圧力まで減圧する減圧弁（タンクに取り付けるファーストステージ、口にくわえる部分のセカンドステージと呼ばれる）のメカニズムと機構のシンプルさに驚いたが、他の受講者はさほど気にしていなかったようである。話を戻すと、産業油圧機器を扱っている方にとっては、21MPa、35MPaは産業油圧機器の運用には普通の圧力であろう。

そこで、本号では、読者の方に“超”高圧と認めもらえるであろう油圧、空気圧（ガス圧）共に、通常の使用圧の1桁以上高い超高压技術を取り上げた次第である。

## 2. フルードパワーを活用した超高压技術

本号では、耐圧・疲労試験、構造試験、燃料噴射、加工、深海環境の再現など、分野も多岐にわたる超高压技術に関わる下記の記事で特集を構成した。

- ・超高压インパルス耐圧試験機の高圧発生技術とサーボ制御
- ・200MPaを超えるディーゼルエンジン用燃料噴射技術
- ・高压容器用サイクル試験装置と破裂試験装置
- ・地震大国日本で活躍する建築構造実験用超高压油圧試験装置
- ・フルードパワーシステム評価のための高圧試験
- ・高水压技術を活かした「チューブハイドロフォーミング」
- ・深海への挑戦：高圧実験水槽の概要と成果、現況

## 3. あとがき

解説執筆をご快諾いただき、充実した特集に結び付けていただいた執筆者の皆様へ深く感謝の意を表したい。

本特集の企画は、主査を横浜国立大学 佐藤恭一（筆者）、副主査をコマツ 飯田武郎 委員が担当した。

（原稿受付：2023年12月7日）

解説

# 超高圧インパルス耐圧試験機の 高圧発生技術とサーボ制御

## 著者紹介



かとう ゆうすけ  
**加藤 祐輔**  
東明工業株式会社  
システム製品事業部 技術課  
〒470-0162 愛知県愛知郡東郷町大字春木字小坂51  
E-mail: yusuke\_kato@tohmei.com  
2003年名城大学理工学部機械工学科を卒業、  
同年、東明工業株式会社に入社、現在に至る。  
油圧、空圧、電気制御技術を用いたシステム製  
品の設計、開発に従事。日本設計工学会会員

## 1. はじめに

近年、環境の問題やメンテナンスが容易になる点から油圧、空圧の駆動源を電動化する動きがみられるものの、瞬間的に高圧、高速を必要とする分野には油圧サーボ機構を利用することが有利であると考えている。弊社では油圧、空圧、電気制御技術を融合したシステム製品の設計、開発業務を行っており、多くのユーザーに提供している。

今回、フルードパワーを活用した超高圧技術に関する貴重な機会をいただいたことに感謝申し上げるとともに、ブースター方式の超高圧インパルス耐圧試験機（水圧、最大200MPa）について、基盤技術である油圧サーボの観点から紹介させていただく（写真1、表1）。



写真1 試験機外観

表1 試験仕様

試験品内容積	22.8cm <sup>3</sup>
最大加圧力	200MPa
昇圧速度	200MPa at 0.028sec以内
試験媒体	水

## 2. 試験機構成

試験機は水ポンプユニット、サーボブースターシリンダ、油圧ユニット、サーボコントローラから構成される。水ポンプユニットから試験品およびサーボブースターシリンダに水を封入する。サーボブースターシリンダは電気油圧サーボ弁と増圧ブースターを組合せてサーボブースターとしている。また、試験品付近に圧力センサを設置して、圧力制御系を構成している。変位センサは水の吸い込みとエア抜き時におけるシリンダの変位を制御するためである。図1にシステム構成図を示す。

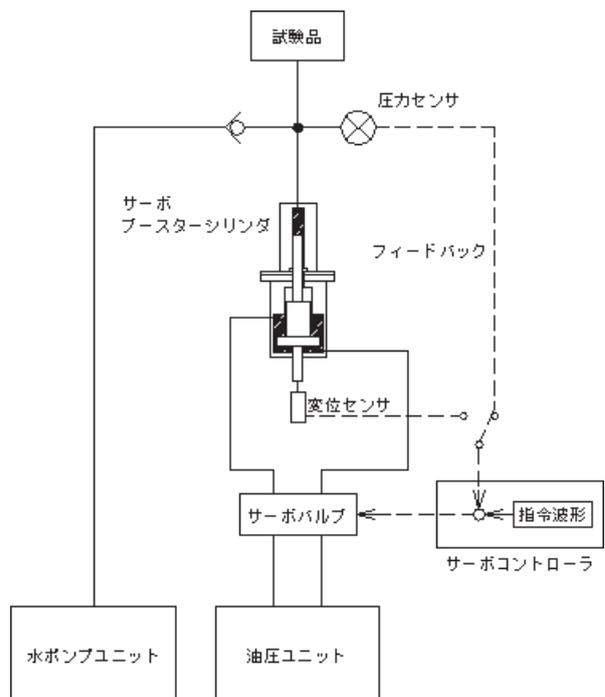


図1 システム構成図

### 3. サーボブースターシリンダ

水の高圧化の手段として水ポンプで直接高圧にする方式もあるが、水は潤滑性が悪く、鉄部品の腐食を引き起こしやすい。また流体機器の選択肢が少なく、設計に支障があるため、機器（油-水変換部）の選択肢が多い油圧での制御を考える。油圧は低圧21MPaで駆動、水の高圧側はパスカルの原理を利用し、増圧することで200MPaの水圧を得る。弊社では油圧サーボ設計で高水圧を発生させるサーボブースターシリンダを設計製作した（写真2-下）。試験媒体と油圧制御部を分けることで、試験媒体は水以外の流体にも大きな変更なく対応が可能である。

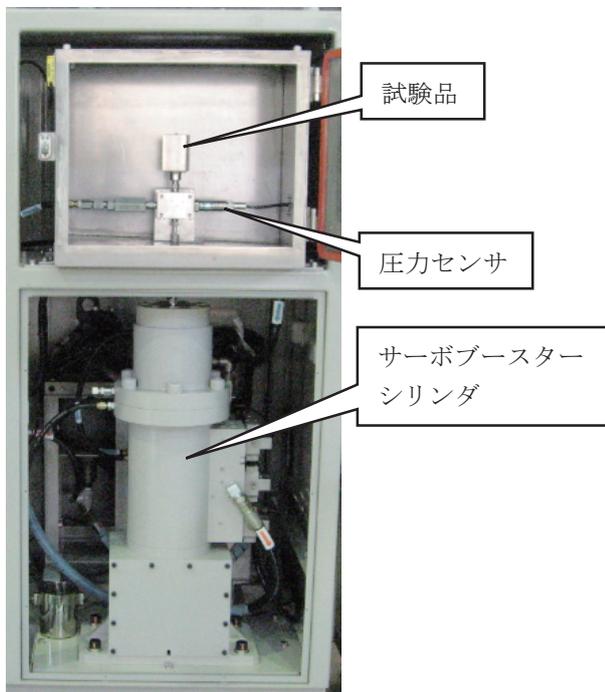


写真2 試験部とサーボブースターシリンダ

サーボブースターシリンダ設計にあたり、応答性の面から試験品の膨張量、漏れ量、発熱、耐食性、強度面からの材料の選定も十分に検討する必要がある。

はじめにシリンダサイズを決定する。本試験機ではブースター部φ28、油圧シリンダ部はピストンφ110、ロッドφ28とした。圧力は断面積比より、ブースト比14.4倍で油圧21MPaから水圧302MPaに増圧される。ここでは試験圧力に対して約1.5倍の余裕をみている。

つぎにシリンダストロークを決定する。まずは試験品の容積、管路の容積、ブースター部の容積における200MPa圧縮時の変化量を求める。変化量 $\Delta V$  cm<sup>3</sup>とすると、 $\Delta V = V \cdot P \cdot \beta$ で求められる。

( $V$ は容積、 $P$ は圧力、 $\beta$ は水の圧縮率を示す。水

の圧縮率： $5 \times 10^{-4} \text{MPa}^{-1}$ )

膨張量は、高圧時の円筒の内圧における変形を考える。ここでは単純化のため薄肉円筒とすると円周方向に作用する応力は $\sigma_\theta = P \cdot d/t$ となる。(dは管内半径、tは肉厚を示す。)薄肉管の円周方向の歪みは、フックの法則より $\varepsilon_\theta = \sigma_\theta / E$  ( $E$ は縦弾性係数)、半径方向の伸びを $\delta_d$ とすれば、 $\delta_d = d\varepsilon_\theta$ となり $\delta_d = P \cdot d^2 / (E \cdot t)$ で表され、半径方向の伸びから膨張量を算出する<sup>2)</sup>。

加圧時のブースター内の漏れ量は、ブースター内部の圧力が高いためピストンにはシールを用いず、メタルシールとしてすき間で管理している。本試験機において、ブースター部のすき間を25 $\mu\text{m}$ 、油圧シリンダ部のすき間を30 $\mu\text{m}$ とした（図2）。

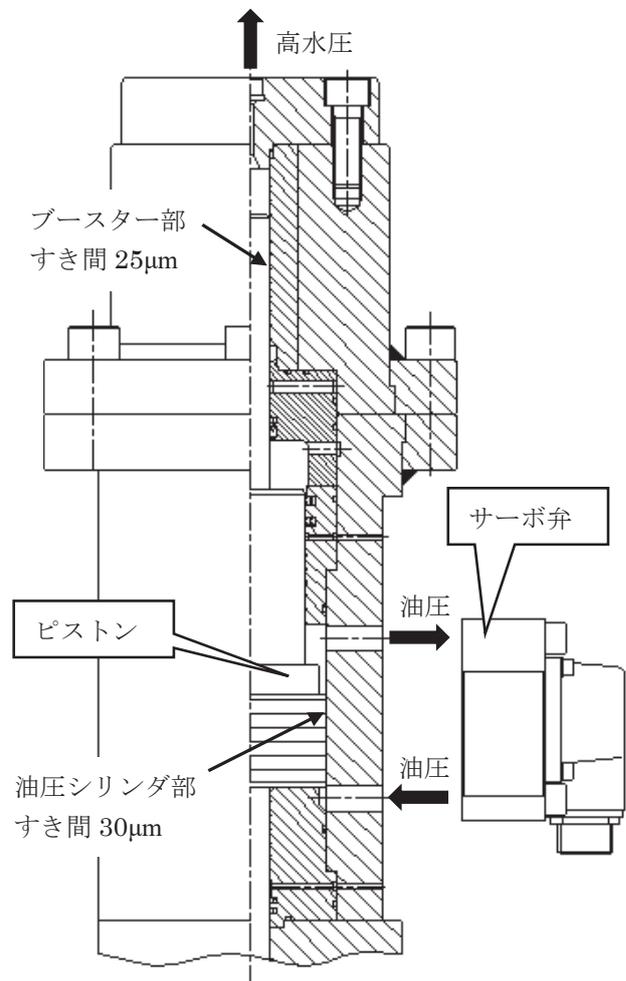


図2 サーボブースターシリンダ断面図

すき間流れの流量は環状すき間流れの次式より計算する<sup>3)</sup>。

$$Q = \frac{\pi R \delta^3}{6\mu} \frac{\Delta p}{l} (1 + 1.5\varepsilon^2)$$

粘度 $\mu$ 、流入部と流出部における圧力差 $\Delta p$ 、環状すき間 $\delta$  ( $\delta = R - r$ ,  $R$ : 外側半径,  $r$ : 内側半径)、長さ $l$ で示される。最大偏芯 $\varepsilon = 1$ として計算する。こ

の式の適用で、水側 $60\text{cm}^3/\text{s}$ 、油側 $18\text{cm}^3/\text{s}$ となり性能獲得には十分小さい値と考えている。

変化量、膨張量、漏れ量の総和をプースター部の断面積で割ることで、必要なストロークを算出する。今回の計算では $200\text{MPa}$ 昇圧時には $1.2\text{cm}$ のストロークが必要になり、余裕をみてシリンダストロークは $3\text{cm}$ とした。

#### 4. 油圧サーボ

サーボ弁は一般的に大流量を制御する3段型、小流量を制御する2段型があるが、3段型は応答性が劣る<sup>1)4)</sup>。また、両者を具備したサーボ弁は非常に高価である。本試験機では大流量高速応答が必要になることから、サーボ弁を複数台使用した(写真3)。

サーボ弁の必要流量が $161\text{L}/\text{min}$ のため、定格流量 $62\text{L}/\text{min}$ のサーボ弁を3台搭載して並列運転することで高速大流量を実現した。

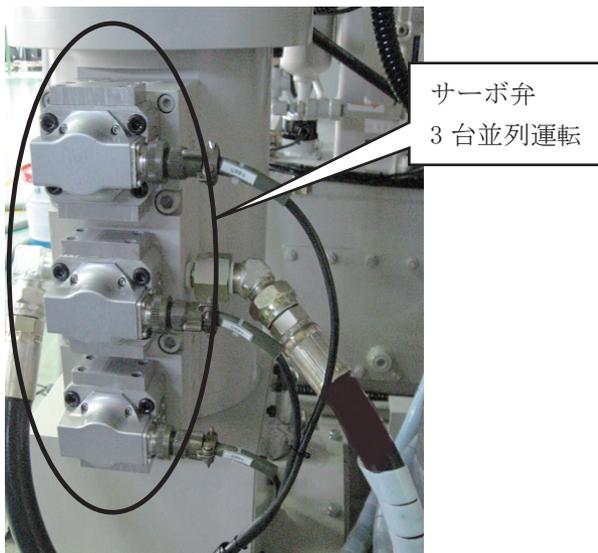


写真3 サーボプースターシリンダ サーボ弁

#### 5. 試験波形

圧力試験で良好な波形を得るためには、十分なエア抜きが必要である。わずかでも空気が混入すると圧力の応答性が極端に悪くなり、目的の達成ができない場合がある。それを回避するため、サーボプースターシリンダには変位センサを搭載し、試験前には変位制御で往復運動させてエア抜きを自動で行っている。エア抜き時のストローク速度は、水ポンプの供給流量に合わせて調整している。 $200\text{MPa}$ の圧力制御した波形を図3に示す。

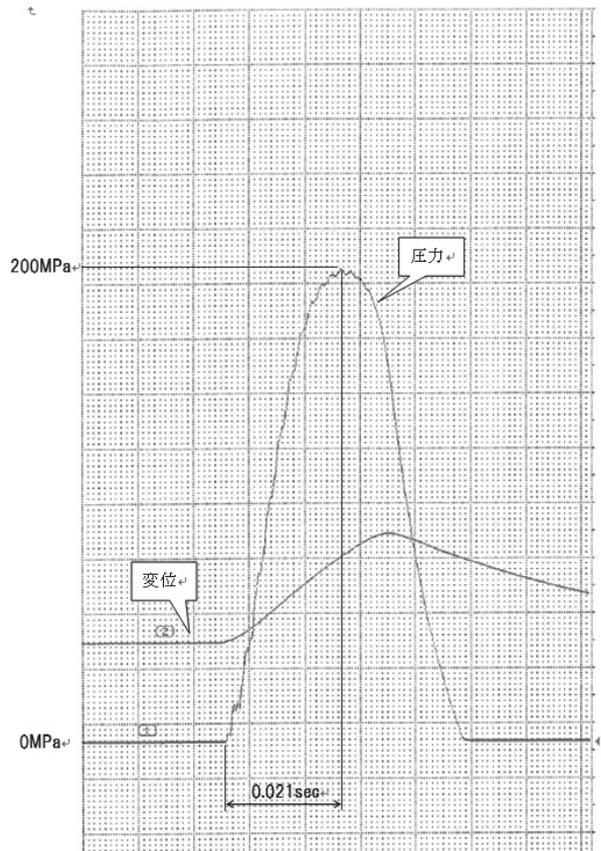


図3 試験波形

#### 6. おわりに

本稿では、弊社で製作した超高压インパルス耐圧試験機について紹介させていただいた。ホース、配管、タンク、圧力容器などの高耐圧を必要とする製品は自動車部品、航空機部品をはじめ、われわれの生活の中に大量に出回っており、これらを安全に使用するためには新設、修理、点検などさまざまな機会での動的耐圧試験が必要となる。また容器内壁硬化の目的にも高压技術が使われる例もあり、数は少ないが弊社でもリリースした経験がある。今後もお客様のニーズに合わせて最適な構成でシステム製品の提案を続けていきたい。

#### 参考文献

- 1) 中田孝：制御工学より見た油圧技術（流量・周波数特性より見た電気・油圧サーボ弁の応用範囲）油圧と空気圧、第14巻、第6号
- 2) 中田孝：続・制御工学より見た油圧技術（油圧パイプ・インパルス・テスターと圧力制御）油圧と空気圧、第14巻、第7号
- 3) 実用油圧ポケットブック、日本フルードパワー工業会、2001年版
- 4) 油空圧便覧、日本油空圧協会、オーム社、1975

(原稿受付：2023年10月4日)

解説

# 200MPaを超えるディーゼルエンジン用燃料噴射技術

## 著者紹介



せり ざわ あきら  
芹 澤 晃

いすゞ自動車株式会社  
〒252-0881 神奈川県藤沢市土棚8番地  
E-mail: Akira\_Serizawa@isuzu.com

1991年横浜国立大学工学部卒、1992年～ヤマハ発動機(株)、2008年～いすゞ自動車(株)にてガソリン/ディーゼルのエンジン開発に従事、自動車技術会会員

## 1. はじめに

図1に例として示すディーゼルエンジンは主要な動力源として長年使用されてきた。トラックなどの自動車用以外にも船舶や産業機械、鉄道、発電機までその用途は多様である。いずれの用途においても、燃費と排出ガスという両立の難しい課題を解決するための有効な手段として高圧燃料噴射が取り入れられており、近年ではその圧力は200MPaを超えるまでになっている。今回は高圧燃料噴射システムの仕組みと効果について簡単に解説する。

## 2. 燃料噴射システムの概要

ディーゼルエンジンは吸入した空気をシリンダ内で圧縮し、そこに噴射した燃料の自己着火による燃焼で動力を得ている。

高圧のシリンダ内に燃料を噴射するためには、シリンダ内の圧縮空気の圧力より十分に高い圧力で燃料を供給する必要がある。また燃料を噴射する際の量や回数、タイミングの制御が、エンジン性能に大きく影響する。これらの要求を高次元で実現する手段として、1995年から図2に示すコモンレールシ



図1 ディーゼルエンジン (排気量15.7L産業機械用)

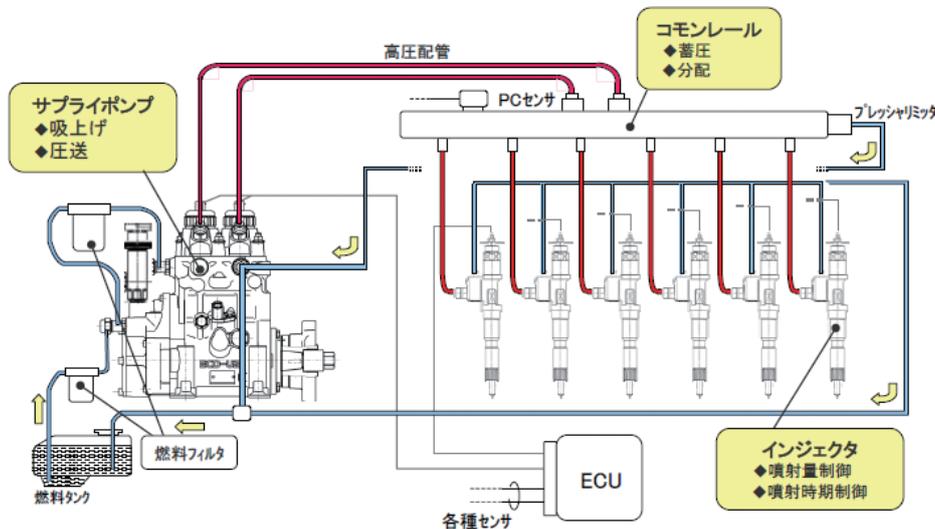


図2 コモンレールシステム

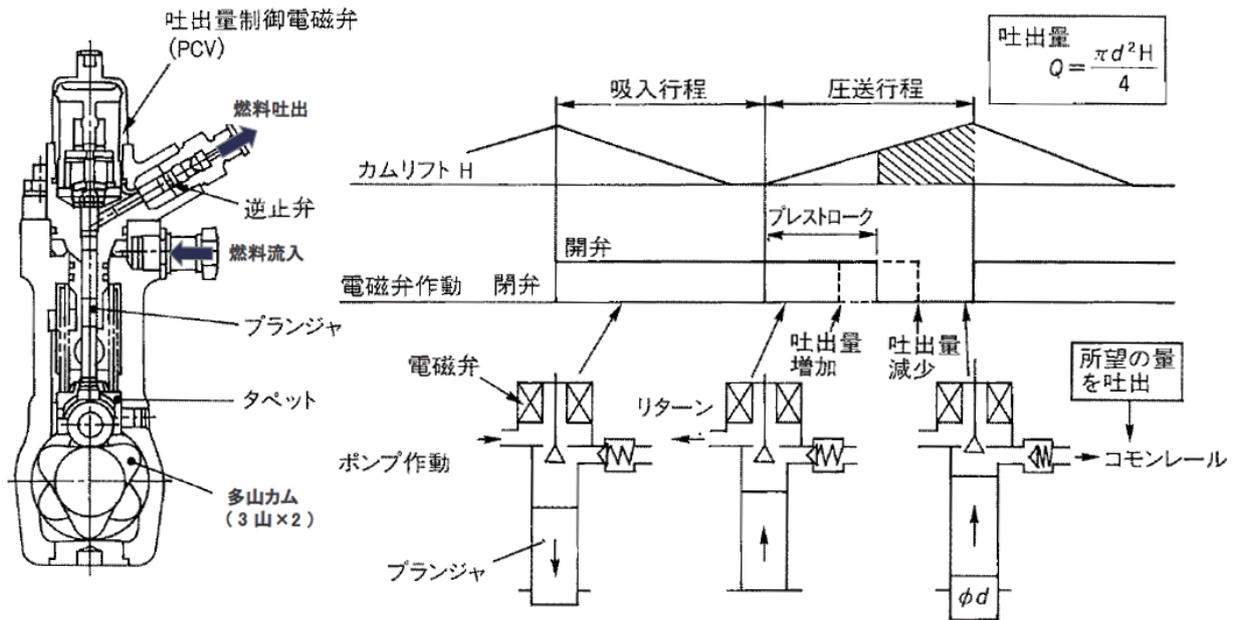


図3 PCV型サプライポンプ

ステムと呼ばれる燃料噴射システムが生産開始され、現在まで主流となっている。サプライポンプで加圧した燃料を狙いの圧力でコモンレールに蓄圧し、各気筒に設置された燃料噴射用のインジェクタに分配する構成となっている。これらのハードは全てECU (Electronic Control Unit) で詳細に制御される。

### 3. サプライポンプの仕組み

図3に最大250MPaの圧力まで燃料を加圧するポンプの一例としてPCV型サプライポンプのメカニズムを紹介する。サプライポンプは機械式の燃料ポンプであり、エンジンのクランクシャフトから取り出した駆動力でカムを回し、プランジャを押すことにより、燃料を圧送する仕組みである。エンジンはその運転条件によって必要な燃料の量と圧力が変化するので、必要な量の燃料を圧送するために、プランジャで加圧を開始するタイミングを電磁弁で制御している。

サプライポンプ駆動の仕事はエンジンにとっては負の仕事であり、これを少なくすることは燃費改善に寄与することになる。機械式のポンプであるため、各部のしゅう動抵抗低減はもとより、最小限の燃料圧送量とする制御も重要である。

### 4. インジェクタの仕組み

コモンレールに蓄圧された燃料をエンジンのシリンダ内に直接噴射するのがインジェクタである。インジェクタは高圧燃料を短時間に正確に噴射する精密部品でありながら、燃焼にさらされる過酷な使用環境で、しかも長い耐用年数が求められる。

図4に示すインジェクタ構造の模式図で噴射の仕組みを説明する。

インジェクタ先端のノズルにはφ0.2mmにも満たない小さな噴孔が数個設けられている。噴射しない時は噴孔が裏側でノズルニードルに塞がれており、噴射する時はノズルニードルを引き上げて燃料の流路を開く。

ディーゼルエンジンのインジェクタ制御にはソレノイドコイルが多く使われるが、ノズルニードルを直接駆動するのではなく、制御バルブを駆動してコントロールチャンバ内の燃料のリークを制御している。燃料のリークにより、コントロールチャンバ内の圧力が低くなると、コマンドピストンに連動してノズルニードルが引き上げられる。この仕組みにより、小さなソレノイドの力で高圧燃料を高応答で噴射することが可能となる。

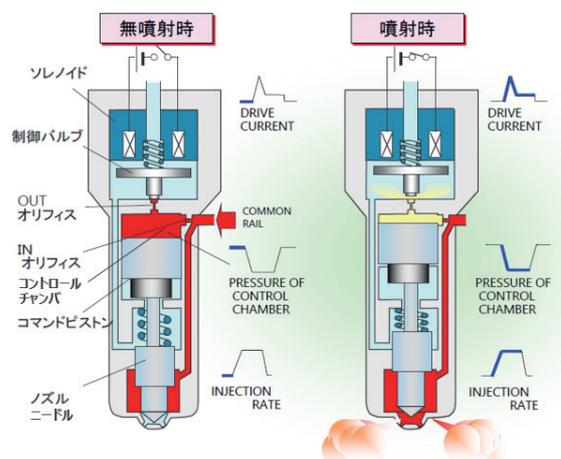


図4 インジェクタ構造の模式図

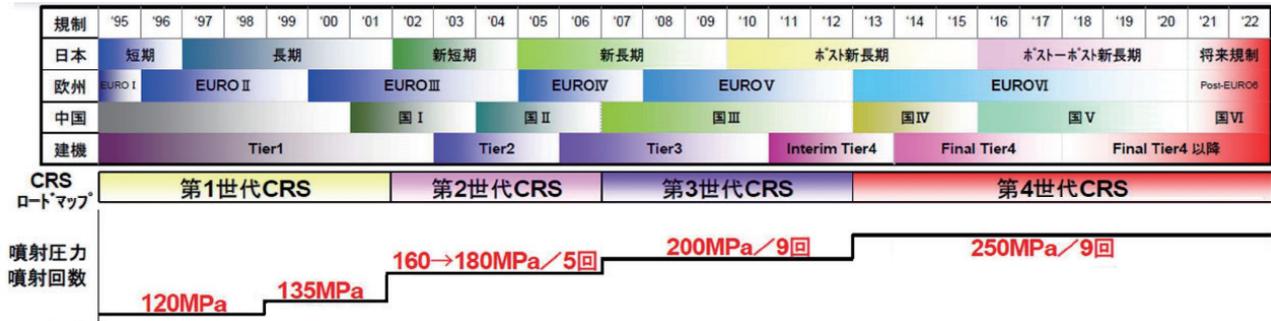


図5 コモンレールシステムのロードマップ

## 5. 高圧燃料噴射

### 5.1 噴射圧力の変遷

図5に示すコモンレールシステムのロードマップから分かるように、燃料噴射圧力はコモンレールシステムが導入された当時は最大でも120MPaであった。その後、排出ガス規制強化に対応しながら燃費を改善するために、燃料噴射圧力は段階的に引き上げられ、現在では最大250MPaになっている。

### 5.2 高圧燃料噴射の恩恵

高圧燃料噴射には大きく2つのメリットがあり、それは燃料液滴の微粒化促進と噴射期間の短縮である。共に噴孔の上流側である燃料と下流側であるシリンダ内ガスの差圧増大により、流速が高くなるために得られる結果といえる。

図6にインジェクタから噴射された燃料噴霧のイメージを示す。圧力容器内での撮影であるが、エンジンでの圧縮時を模した雰囲気圧力0.88MPaとしている。なお、図6は図4のインジェクタを下から見た場合の視野となる。

#### 5.2.1 微粒化による効果

燃焼において燃料と空気は適切な範囲の比率で混合する必要がある。排出ガス規制への対応で、燃焼温度の低下により窒素酸化物の生成を抑制するEGR (Exhaust Gas Recirculation：排出ガス再循環) を使用すると、シリンダ内に取り込める空気量が減少するため、局所的に燃料の過濃部分が存在する混合不良が発生しやすくなり、すす増加の要因となる。

ここで燃料を高圧で微粒化させることにより燃料と空気の混合を促進させると、すすの増加を抑制することができる。

#### 5.2.2 噴射期間短縮による効果

燃料噴射圧力が高くなると、単位時間当たりの燃料噴射量が増えるので、エンジンが仕事をするときに必要な燃料をより短時間に供給できることになる。エンジンはピストンが上死点(シリンダ内で一番上の位置=圧縮により内部の圧力が高くなる位置) 近

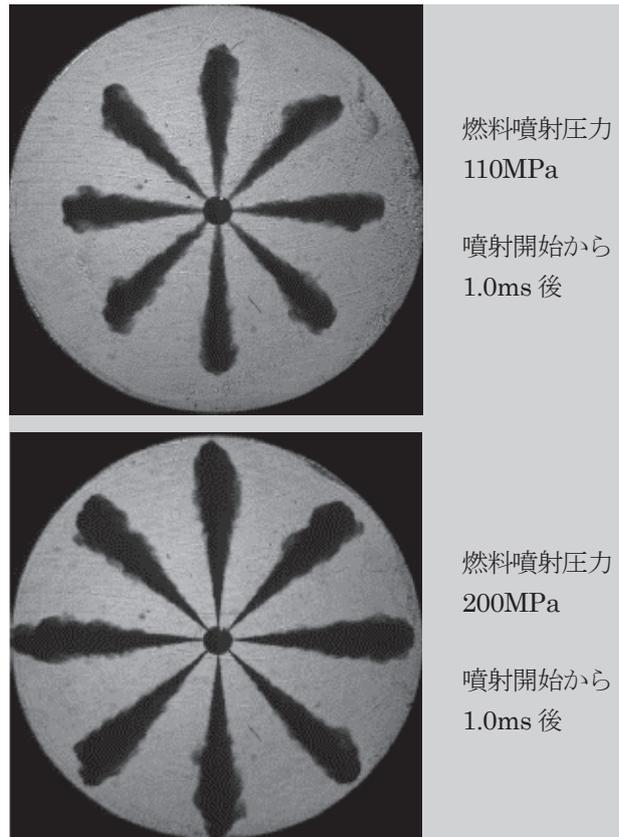


図6 噴射された燃料噴霧

傍で短期間に燃焼する方が熱効率が高くなる。よって、サプライポンプでの駆動損失増加を上回らない範囲では、高圧燃料噴射によって噴射期間を短縮することが燃費改善につながる。

## 6. エンジンでの使用例

### 6.1 性能試験結果

研究用のディーゼルエンジンを用いてエンジン回転数、燃料噴射量を一定に保った定常状態にて、燃料噴射圧力を変更した結果を図7に示す。燃料噴射圧力を140MPa以上とするとすすを表すスモーク濃度がほぼゼロになる事を確認できる。そして図示熱効率も向上している。この時、主燃焼期間が短縮し

ており、燃料噴射期間が短縮した結果と言える。

燃料噴射圧力を高めると最高燃焼圧力は上昇するが、エンジンの構造強度の都合で制限を受ける場合がある。また、急な圧力上昇は燃焼音の増加につながる。燃料噴射圧力の上昇にはこれらの背反項目が存在する事にも留意しなければならない。

### 6.2 燃焼圧力と熱発生率

図7の結果の中から燃料噴射圧力最大と最小の2点について、エンジンシリンダ内での燃焼圧力と熱発生率を図8に示す。燃料噴射圧力上昇により図8上の燃焼圧力が高くなる様子が良く分かる。図8下は燃焼圧力から求められる熱発生率であり、どのタ

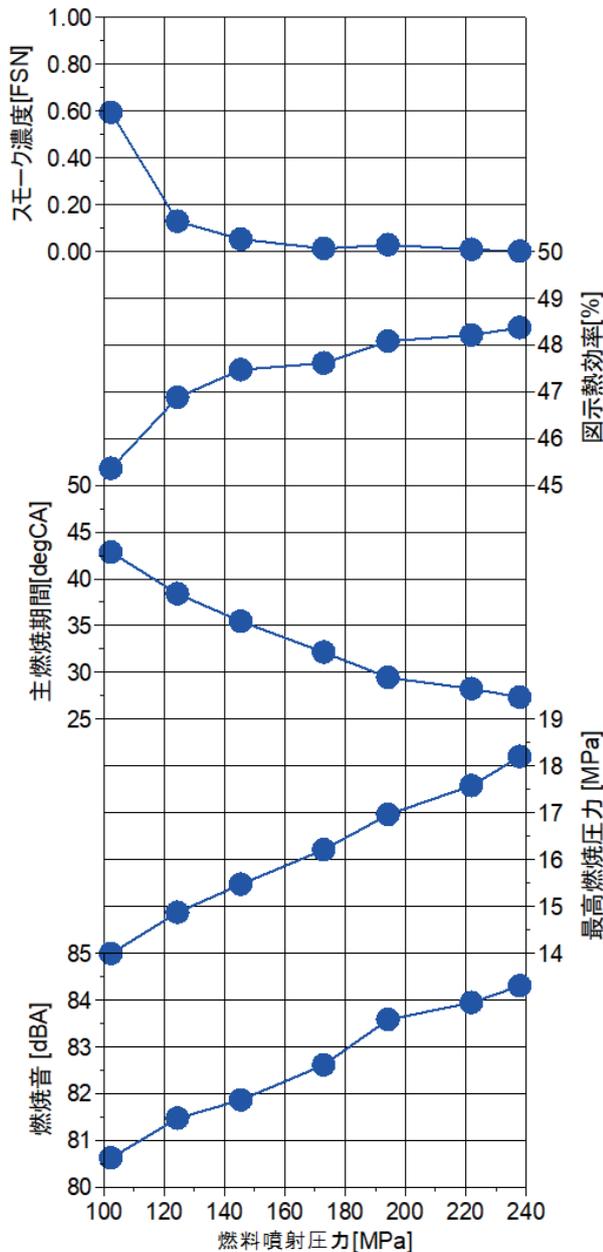


図7 燃料噴射圧力変更結果

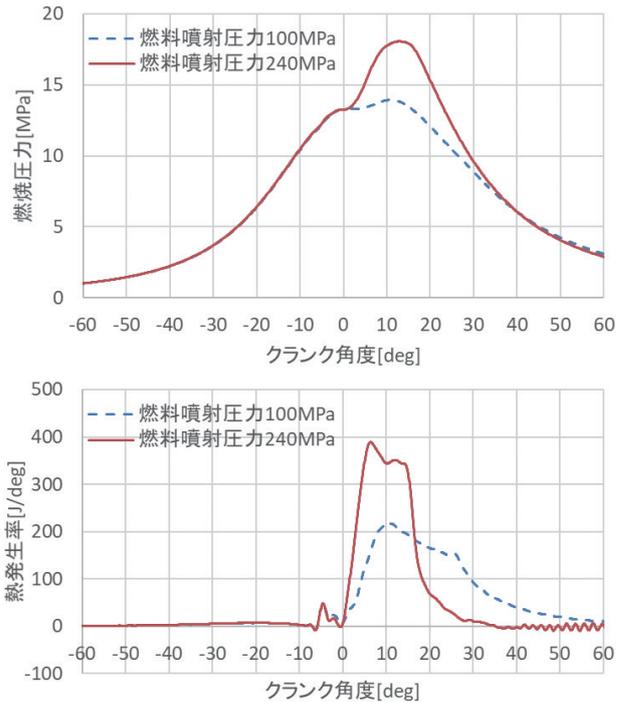


図8 燃焼圧力と熱発生率

イミングでどれだけ燃焼しているかを示す指標である。燃料噴射圧力上昇により短期間に高い熱発生をしている様子が確認でき、主燃焼期間短縮による図示熱効率向上に寄与していることがわかる。

## 7. おわりに

内燃機関の熱効率向上のために燃料噴射の重要性は依然高く、今後もさらなる技術開発が期待される。

また株式会社デンソー様より説明用の資料をご提供いただいたことに感謝申し上げます。

(原稿受付：2023年10月5日)

## 解説

## 高圧容器用サイクル試験装置と破裂試験装置

## 著者紹介

みず かみ しゅん いち  
水上 峻 一株式会社スギノマシン  
〒936-8577 富山県滑川市栗山2880  
E-mail: s.mizukami@sugino.com

2018年株式会社スギノマシン入社、超高压ポンプの設計・開発に従事、2023年金沢大学大学院機械科学専攻の博士（工学）取得

## 1. はじめに

水素燃料は使用時にCO<sub>2</sub>を排出しない環境負荷の少ないクリーンなエネルギーである。水素を燃料とした燃料電池自動車（FCV）とは、車に搭載した燃料電池からつくられる電気を使い、モータを回して走行する自動車で、燃料になる水素は車に搭載されたタンク（圧力容器）に充填して走行する。走行中にCO<sub>2</sub>が発生せず、排出されるのは水のみであるため、究極のエコカーともいわれている。

FCVは、国内大手自動車メーカーから2014～2016年にかけて相次いで発売され、2020年には2代目新型車両も登場している。近年は水素ステーションの設置の遅れなどから自家用車の販売台数は大きく伸びていないものの、燃料電池大型トラックなどの大型水素モビリティについての開発や実証試験は活発に行われている。電車・船舶・航空・宇宙にも拡がりを見せており、将来的には一層の技術革新が期待されている。

## 2. サイクル試験装置および破裂試験装置の必要性

FCVを普及させるためには、水素を高圧で大量に貯蔵するための圧力容器が必須であり、近年はさらに高圧化かつ大容量化に需要が見込まれている。

安全上高い強度が必要な高圧圧力容器は、耐圧・耐久性の検証が不可欠である。そのための検証方法として、液体を加圧媒体としたサイクル試験および破裂試験が用いられており、その試験装置に水噴流

切断などで用いられる「超高压技術」を使用している。

## 3. 加圧原理

サイクル試験装置および破裂試験装置は、供試体に対して圧力負荷を与える装置である。当社のこれらの試験装置は、モータ駆動式油圧ポンプによる油圧システムを圧力発生源とし、この油圧をさらに増幅する機器“増圧機”を付帯させている。

## 3.1 増圧機原理

増圧機の原理は、受圧面積の違いによる圧力の増幅である。たとえば図1のような両端で断面積が異なるピストン-プランジャがあり、プランジャ側の断面積がA、ピストン側の断面積がBである場合、それぞれの圧力比と面積比の逆数は等しくなる。また、B/Aの値は増圧比と呼ばれる。

サイクル試験装置および破裂試験装置では油圧で一次側のエネルギー源を作り出し、ピストン-プランジャの面積比を利用して二次側の高い水圧を作り出している。計算式としては、「水圧=油圧×増圧比」となり、増圧機を用いることによって、一次側油圧の増圧比倍の水圧を作り出すことが可能となる。

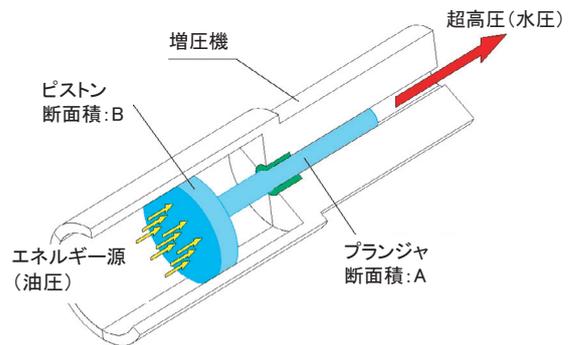


図1 増圧機模式図

## 3.2 水の圧縮性

当社技術であるウォータージェット切断や高圧洗浄では液体を加圧媒体として利用しているが、サイクル試験装置および破裂試験装置においても同様である。水は一般的に大気圧環境下では非圧縮性流体と

して扱われるが、高圧環境では、圧縮性が表れることが知られている。この圧縮性を考慮した上で、必要量の媒体を供試体へ押し込み、供試体内を試験圧力まで到達させる。

水と作動油について、圧力と圧縮率の関係を図2に示す。計算式としては、 $\text{圧縮率} = \Delta V / V$ である(体積変化量の比)。グラフより、水の場合では圧力100MPaのときに約4%圧縮され、300MPaでは約9%圧縮されることとなる。逆に考えれば100MPaにするためには、水の体積を4%圧縮しなければならない。たとえば、1Lの高圧圧力容器の場合、容器の膨張を無視すると内部に40mLの水を押し込むことで約100MPaが発生することになる。

なお、水が圧縮するとはいえ、気体に比べると圧縮率はかなり小さい。試験媒体として水などの液体を用いることは、ガス媒体での加圧試験に比べて押し込み量も少なく済み、また少排出量で大気圧まで減圧できるため安全性の面においても優位性が高い。

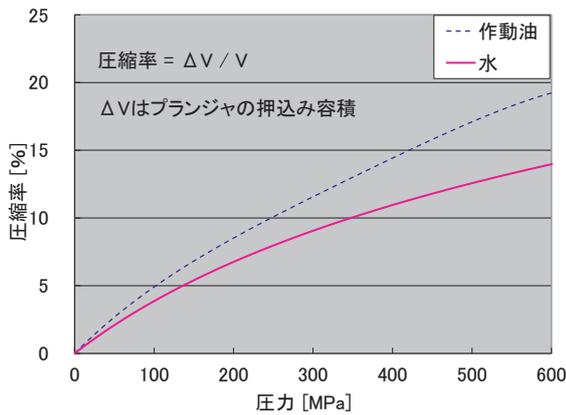


図2 加圧媒体の圧縮特性

## 4. サイクル試験装置概要<sup>1)</sup>

### 4.1 サイクル試験装置とは

高圧圧力容器の一般的な使用環境は、媒体の充填・放出の繰り返しである。サイクル試験装置はそれらを想定した装置であり、高圧圧力容器に加圧・減圧の高周波サイクルを与えることで、疲労強度を短時間で確認することができる。

サイクル試験の圧力波形には主に図3のようなサイン波と台形波の2通りがある。サイン波と台形波の違いは最大圧力・最小圧力の領域で規定時間保持するかどうかであり、これらは高圧圧力容器の使用目的や規格によって使い分けられる。本システムはどちらの波形にも対応できるようになっている。

### 4.2 サイクル試験装置の構成

本装置の模式図を図4に示す。本装置は超高压水

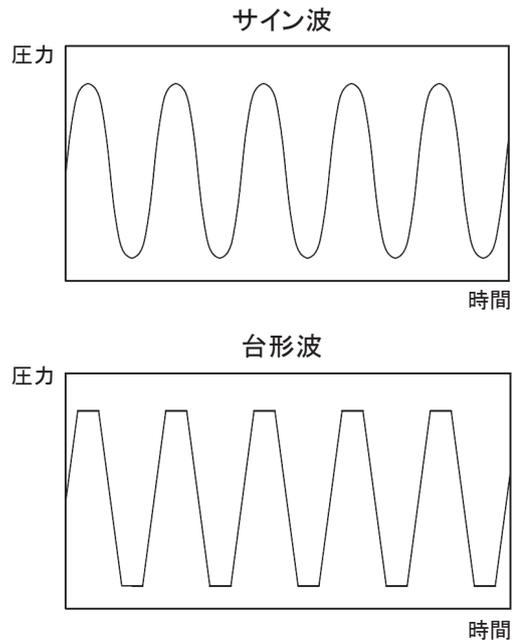


図3 圧力波形

を発生させる単動増圧機、圧力媒体の流れ方向を制限するチェックバルブ、単動増圧機を駆動するための油圧ユニット、媒体を供給する給液ユニット、圧力を計測するための圧力センサおよび制御装置より構成される。この装置構成により、最大140MPaの超高压力を発生させることができる。FCV用高压水素容器は最高充填圧力70MPaであり、水圧サイクル試験には1.25倍の87.5MPaが求められている。本装置はその試験を余裕をもって行える能力があり、将来考えられるさらなる高圧化の要求にも対応可能である。

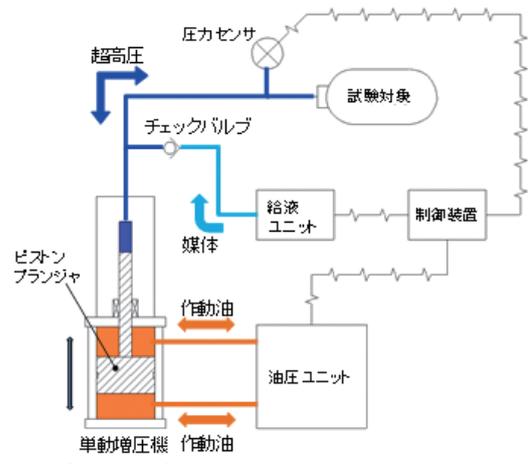


図4 サイクル試験装置構成模式図

### 4.3 従来方式のシステム

油圧ユニット部をさらに詳しく説明する。従来方式のシステムフローを図5に示す。油圧ユ

ニットは一定油量を吐出するポンプを含む開回路油圧システムを用いて、単動増圧機のピストンプランジャを往復動させている。

サイクル試験では、試験対象内の圧力変動に伴い必要な油圧および油量が変化するため、必要動力が常に変化する。しかし従来方式の場合、油圧ポンプは吐出油量が一定であるため、試験に要求される最高圧力、かつ最大流量を常に出力し、必要動力との差をリリーフ弁からドレンする設定としている。このため、動力を無駄に費やす動作が生じてしまっていた。また、この余分な動力の差がリリーフ弁からの戻りとなり、油温を上昇させるため、多量の冷却水も必要になる。

このように、従来方式では油圧ポンプ駆動用モータ容量の増大のほか、余分な油の流れ発生や、モータとは別に制御弁が必要になる。

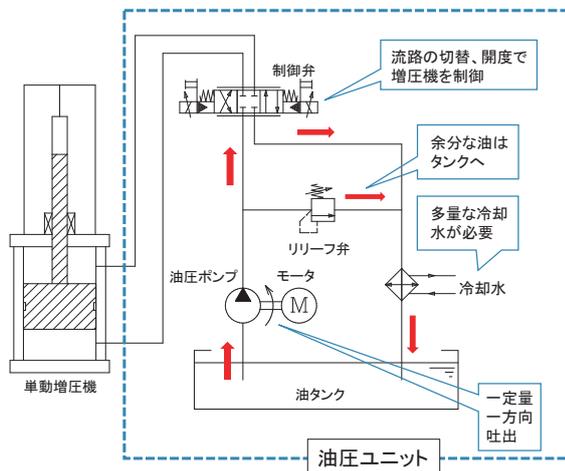


図5 従来方式のシステム

#### 4.4 新方式のシステム

新方式のシステムを図6に示す。今回採用した油圧機構が当社のサイクル試験装置の省エネ性に大きく寄与している。油圧ユニットはサーボモータ駆動の正逆両回転式ポンプを採用し、これを用いて単動増圧機を動作させている。

このシステムでは、油圧ポンプは増圧機ピストンプランジャの動作方向に合わせて正転・逆転を切替えながら作動油を吐出し、さらにモータ回転数を制御することにより作動油押込み量を制御することで、要求される圧力波形を作り出す。これにより試験対象内への圧力制御に合わせて必要な分だけの油圧および油量を出力でき、従来方式より動力損失が少なくなるため、所要動力が半分以下まで小さくなる。また、リリーフ弁からのドレン量も少なくなるため、作動油の冷却に必要な水量も少なくなる。

このように、新方式サイクル試験装置は省エネ性に大きく寄与している。必要動力について試算してみると以下ようになる。油圧ポンプ駆動用モータ容量は従来方式が330kWに対して新方式では300kWとなり、約9%減である。一方で総所要平均動力は、従来方式では198.6kWであるが、新方式のサイクル試験装置では64.6kWとなり、約67%削減できた。これらを電気消費量に換算すると2,780kWh/日から904.4kWh/日に削減できており、大幅な省エネ効果があると言える。

また、油タンクからの作動油供給を少量化できるため、油タンクの小型化が可能になるなどシステムが簡素化され、全体的に大幅なダウンサイジングが可能となった。

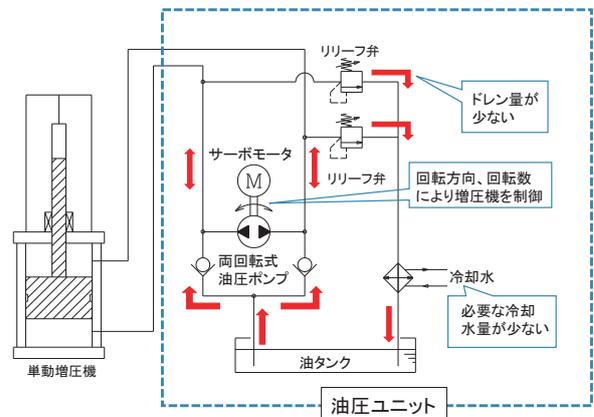


図6 新方式のシステム

新方式の課題としては、今以上の高サイクルが必要になった際、ポンプの正転・逆転の切替え回数が増加し、また急加速を担うために必要な油の流量も増加するため、ポンプユニットへの負担が大きくなることである。その場合は油量を補うためにポンプを増やすなども必要になる。

量産ラインでは装置の停止は絶対に避けなければいけないため、装置の負荷状態の常時監視を行い、故障の早期予測と、早めの保守を実現する必要があるだろう。そのため、サーボモータの回転数や負荷トルク、各部の温度や圧力などの出力数値を活用して、IoTの導入を検討している。

## 5. 破裂試験装置概要

### 5.1 破裂試験装置とは

高圧圧力容器の安全性を確保するためには、過剰な圧力が付加されても破裂しないことが求められる。そこで高圧圧力容器に対して最高充填圧力の数倍の圧力を付加して試験し、強度を評価する必要がある。FCV用高圧水素容器の破裂試験では、最高充填圧力

70MPaに対して2.25倍の157.5MPaにおいて破裂しないことが求められている。

### 5.2 破裂試験装置の構成

本装置の模式図を図7に示す。本装置は超高压水を発生させる複動式の増圧機、チェックバルブ、増圧機を駆動するための油圧ユニット、作動油の圧力および流量を制御する調整弁、作動油方向切換えバルブ、媒体を供給する給液ユニット、媒体の流量計、および圧力を計測するための圧力センサより構成される。

増圧機は複動式を採用することで加圧容積の上限が無くなり、小容量から大容量までさまざまな高压容器の加圧が可能となっている。増圧比は約20であり、約15MPaの1次油圧で2次側の媒体を約300MPaまで発生させることができる。

また、圧力値をフィードバックし作動油の流量調整弁を制御することで任意の昇圧スピードで加圧することが可能となり、図8のように圧力を時間に対して直線的に増加させるだけではなく、加圧—保持—加圧の段階的な昇圧パターンでの運転も可能である。

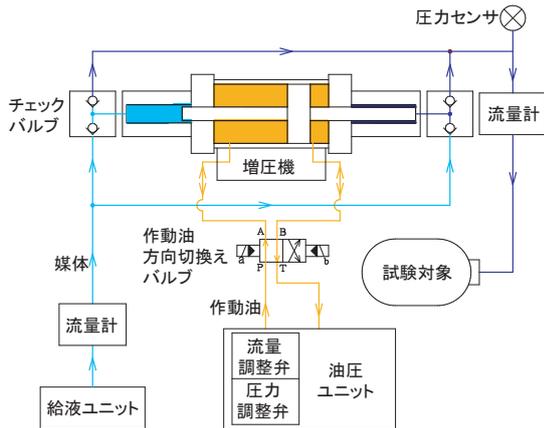


図7 破裂試験装置のシステム

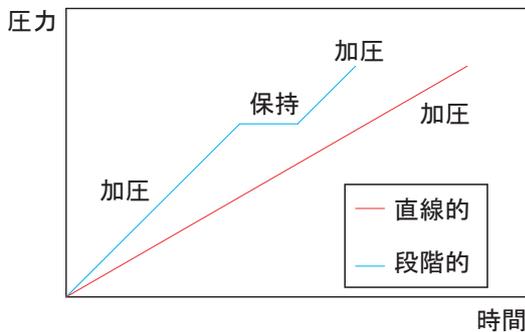


図8 昇圧パターンの模式図

## 6. おわりに

世間では今でも水素は危険であるという認識を持つ人は少なくない。しかしながら水素というものは人体に無害であり、空気よりも軽いため地上に溜まる心配も少ない。貯蔵管理を徹底し、適切に水素エネルギーを利用することが環境負荷の少ない社会に近づくための大きな一歩につながるはずである。

当社も今回、高压容器用サイクル試験と破裂試験装置の原理・システムや小型化や省エネ化を中心に紹介してきたが、水素の安全性への取り組みについても理解いただけたら幸いである。

今後も超高压を扱うメーカーとして絶対的安全性を確保しながら高サイクル化、高压化、大容量化、省エネ化、低コスト化によりFCV普及の一助を担うよう技術開発を進める所存である。

### 参考文献

- 1) 須摩貴嗣：高压压力容器のサイクル試験装置，油空圧技術，2020年11月号，p. 40-44

(原稿受付：2023年10月10日)

## 解説

# 地震大国日本で活躍する 建築構造実験用超高压油圧試験装置

## 著者紹介



いま しょう た  
今井 亮太

理研機器株式会社  
〒108-0074 東京都港区高輪4-24-50  
E-mail: r-imai@rikenkiki.co.jp

2000年愛媛大学工学部機械工学科を卒業。  
2006年理研機器株式会社に入社。現在に至る。  
油圧機器のセールスエンジニアに従事。

## 1. はじめに

70MPa~200MPaの超高压油圧試験装置は、さまざまな業界で試験機として使われている。特に、省スペースで大きな力を発生できる利点から、建築部材である鉄骨やコンクリートの構造実験・载荷加熱実験などの用途で、多くのユーザーに使用されている。このような超高压油圧試験装置は、海外の方から見ると地震大国かつ国土が狭い日本ならではの試験装置であり、解析ソフトや振動台のような動的試験装置もある中で、静的な構造実験装置を使用するあたりがまさに日本らしいという。

超高压油圧試験装置は、油圧ユニット、サーボ弁ブロック、油圧シリンダ、油圧ホース、制御装置、制御ソフトウェアから成り立ち、省スペースで高荷重・高精度の実験を行うことが可能である。

近年、構造実験は多様化しており、IoTや画像処理技術もオンラインで連動導入され、世界各地で多種多様な構造部材の実験を同時に行い、各々の実験結果をオンラインでつなぐことで、仮想的に建物全体の性能を評価することが可能になるだろう。このような実験を可能にする地震大国日本の技術力には目を見張るものがある。その技術力の発展の一翼を超高压油圧試験装置の進歩が担っていると考える。

本稿では、超高压油圧試験装置の一つである70MPaサーボシステムについて紹介する。

## 2. 70MPaサーボシステムの構成

### 2.1 油圧ユニット

油圧ユニットは、70MPaのラジアルピストンポンプ、循環用ポンプ、冷却器、圧力設定弁などから構成される。

油圧ユニットの心臓部は、70MPaのラジアルピストンポンプである。このポンプは、主に偏心カムを持つ主軸と、10個のピストンブロックで構成されている。ピストンブロックはピストン、シュー、吸込側と吐出側の逆止弁、ばねより成り立つ。主軸が回転すると、偏心カムによりシューを介してピストンの往復運動がばねにより生じ、容積室の体積が増減する。これにより、容積室の圧力が上昇および下降するため、作動油は逆止弁を通り吸込口より流入し、吐出口から押し出される。ポンプの仕様は、最高使用圧力70MPa、吐出量12L/min（回転速度1,800rpm時）である。

70MPaのラジアルポンプは、高压域で連続運転が可能、かつ70MPaでも容積効率93~98%と高効率である。斜板式アキシャルピストンポンプと比べ容積効率が高く、耐久性にも優れているため、連続運転を必要とする70MPaサーボシステムに適したポンプである（図1）。

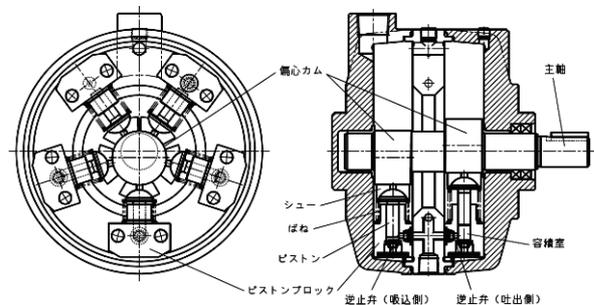


図1 ラジアルピストンポンプの構造

### 2.2 サーボ弁ブロック

サーボ弁ブロックは、サーボ弁、電磁弁、圧力検出器、ラインフィルタなどから構成され、油圧シリンダに搭載される（図2）（写真1）。

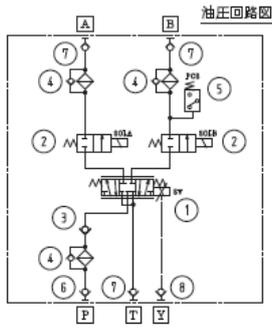


図2 基本的な油圧回路図



写真1 サーボ弁ブロック

ゴミの混入を防ぐ70MPaのラインフィルタに加え、サーボ弁の中立点の調整はもとより、電磁弁を閉めることで油圧回路がクローズし、油圧シリンダの現状の位置および荷重を一時的に維持することができる。またその位置からの復旧も容易である。

### 2.3 油圧シリンダ

油圧シリンダは、ロードセル、デジタル変位計を搭載させ、油圧ホースでサーボ弁ブロックとつなぐことで制御可能なアクチュエータとなる(写真2)。

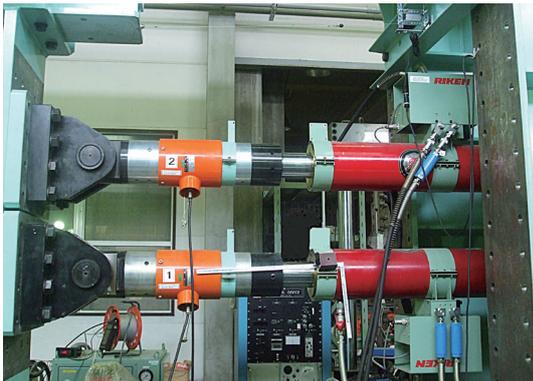


写真2 サーボ弁ブロックを搭載した既設シリンダ

そのため、耐圧70MPa油圧シリンダをすでにもっていれば、サーボ弁ブロックとデジタル変位計を搭載することで、70MPaサーボシステムを構築することができる。この利点はユーザーに非常に重宝されている点である。

### 2.4 制御装置

制御装置は、各サーボ弁ブロックを制御するサーボ弁コントローラと、70MPaサーボシステムの全体システムを制御するサブコントローラから構成される。

サーボ弁コントローラ(写真3)は、フルデジタル制御で、設定値はすべて数値で設定するため、再現性に優れている。シリアル通信、LANを標準装備し、多様な自動制御に対応することができる。

サーボ弁コントローラには、手動・自動の切り替

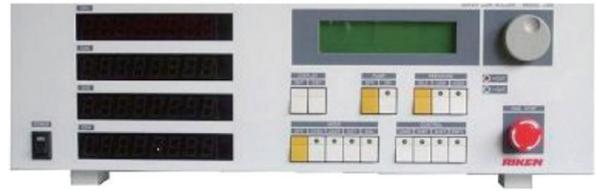


写真3 サーボ弁コントローラの外観

えスイッチを用意し、その後制御種別をシームレスに操作できるシステムとしている。これにより、状況に応じた臨機応変な操作が可能である。また、付属するペンダントによりデジタル変位計での制御を容易に行うことができる(写真4)。このペンダントはシリンダをフレームや試験体に連結させる作業に非常に適しており、安全に操作できることが一番のメリットである。



写真4 ペンダント外観

サブコントローラ(写真5)を使用することで、アラーム統括や、オプションでサーボ弁コントローラ入力前アナログ信号の演算を行うことが可能になる。また、使用しない軸の選択や、システム全体の状態をモニタすることも可能になる。それ以外にも圧抜き実行機能を有する。



写真5 サブコントローラ

近年はこのサブコントローラからさらに機能を拡張し、演算器としてユーザーが定義する演算式に、入力変数を割り当てることが非常に増えてきている。その計算結果を試験装置に戻し、実験をつぎのステップに進めるのである。ユーザーにとっては、シリンダのスィベルジョイントのガタや摩擦も非常に悩ましい部分であることは想像できる。実験自体がよりシビアになっている証拠でもある。ただし、目標値と実験値には誤差があるためその誤差を最小にするためのチューニングが非常に難しい。実験から

ノウハウを得ることはある程度できるが、いずれ人工知能を導入してオートチューニングする日も近いであろう。

## 2.5 制御ソフトウェア

Microsoft® Windows® Operating Systemを動作環境として、最大4軸の油圧シリンダの同時制御(荷重/変位)が可能である。変位制御については、最小単位が0.01mmの巻き取り型デジタル変位計を標準で装備し、精密な変位制御を可能としている(写真6)。

代表的な実験例としては、逆対称加力、一定軸力/変動軸力下の剪断力加力などがあるが、前述の演算器と組み合わせることにより、ユーザーの要望に応じたさまざまな実験パターンに対応することが可能となる。

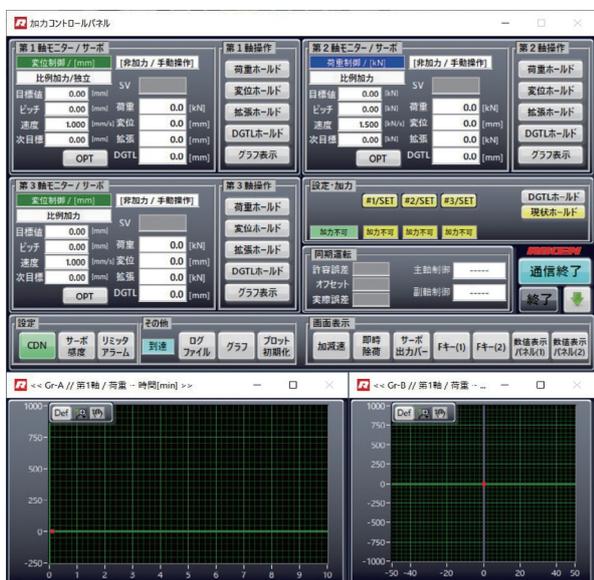


写真6 制御ソフトウェア画面

## 3. 演算器を導入した70MPaサーボシステム例

### 3.1 多方向载荷の研究<sup>1)</sup>

これまでの構造実験に比べ、地震による建物の柱への影響を、より現実に近い条件で実験を行うことを可能にする多方向载荷試験という実験方法がある。まずはこの多方向载荷の研究の一例を紹介する。

これまで、柱断面の向きを変えて加力する一方向载荷型(図3(a))や複数の水平ジャッキを用いて柱頭の変位を8の字形(図3(b))もしくはL字形に载荷した研究がある。これらの研究では、0°主軸方向での一方向载荷と比較して二方向载荷の試験体は最大耐力後の耐力低下が大きくなり、破壊の進展

等が激しくなることが報告されている。ただし、上記の実験手法では図3(a)および(b)に示すように部材角が最大となる到達点までの载荷経路は、到達点X、Y座標を超えない範囲で柱部材を変形させていた。そのため多くの実験では設定した到達点での载荷角度において最大耐力を記録する傾向があった。

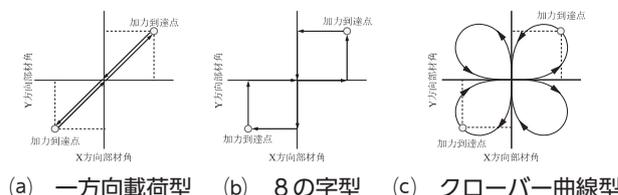


図3 平面変位履歴

しかしながら、実際の地震時の柱頭の平面変位履歴は直線ではなく、より複雑な曲線的な挙動を示す。構造物の中には図3(c)に示すように45°方向において部材角が最大となるが、到達点のX、Y座標を一部超えた载荷経路をたどる曲線で応答するものもあると考えられている。しかし、このような変位履歴での実験例はきわめて少ない。そこで本研究では、実際の地震動下での柱部材の挙動をより忠実に再現するため、試験体頭部の平面変位履歴を図4に示すClover形となるようにX方向およびY方向の油圧シリンダを制御し実験を行った。また、図4におけるClover形载荷の第1象限~第4象限(以下、第1象限:SE象限,第2象限:NE象限,第3象限:NW象限,第4象限:SW象限とする)の各象限を経験したものを1サイクルと定義し、各部材角とも2サイクルの繰り返し载荷を行った。なお载荷はSE象限(反時計回り)→NW象限(時計回り)→SW象限(時計回り)→NE象限(反時計回り)の载荷順序で载荷を行ったと報告されている。

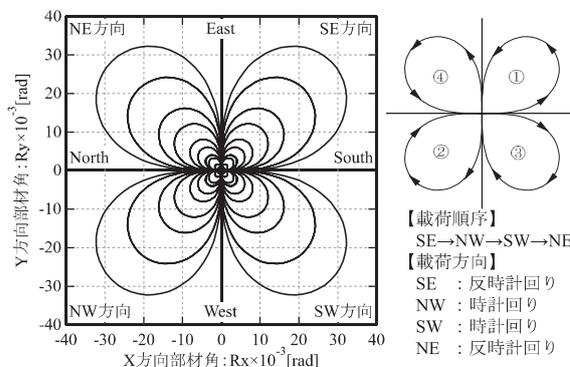


図4 柱頭における平面変位履歴

### 3.2 70MPaサーボシステムの効果

70MPaサーボシステムの特徴は、一言でいうと、

メータアウト制御である。そのため、外乱などの負荷の影響を受けにくい制御を可能にしている。一方、通常の油圧シリンダの制御はロッド側かヘッド側のみ加圧する、いわゆるメータイン制御である。そのため、負荷がバネ系のように、荷重・変位関係が単調増加の関係（正勾配）にあるときは正常に制御を行うことができるが、荷重・変位関係が負勾配の関係、または制御シリンダが外乱を受ける場合には、制御精度が悪くなるかまたは単純には制御できない場合がある。その弱点をクリアしたのが70MPaサーボシステムである。

前述の多方向载荷の一つであるClover形载荷が実現できたのは、この70MPaサーボシステムの負勾配での強さが発揮されたことと、分解能の向上から得られた結果である。導入当初は、さまざまな試行錯誤が必要ではあったが、前述の多方向载荷の研究に採用されることで、70MPaサーボシステムで対応できる範囲は大きく広がった。

構造実験分野では試験体の弾性域から塑性域と進み、さらに終局の大変形に至るまでの性能評価が近年増えてきている。このような実験においても、負勾配に強い70MPaサーボシステムは、ユーザーが安全に使用することができるシステムである。

## 4. おわりに

本稿では70MPaサーボシステムの基本構成について述べた。また、70MPaサーボシステムを利用した実験例としてClover载荷<sup>1)</sup>実験を行った多方向载荷の研究を引用した。

年々、構造実験の内容は複雑化し、70MPaサーボシステムに求められる要求も高まってきている。

70MPaサーボシステムは超高压油圧試験装置の一例だが、これからも超高压技術を核に周辺技術も磨きながらユーザーの要望に対し、最善の提案をしていくことが必要不可欠であると考えます。

そのためにも、学会やユーザーの実験に立ち会うことで、装置の使用方法や制御方法のヒントをつかみ、超高压油圧技術の特徴をいかながら地震大国日本に貢献していきたい。

### 参考文献

- 1) 掛悟史, 小倉史崇, 麻生直木, 太田義弘, 木村秀樹, 石川裕次: 変動軸力および二方向曲げを受ける高強度SFRC柱の耐震性能に関する研究, 竹中技術研究報告 No. 75 2019

(原稿受付: 2023年10月5日)

## 解説

## フルードパワーシステム評価のための高圧試験

## 著者紹介



き つ き た か お  
木 附 敬 雄

日鉄テクノロジー株式会社 関西事業所  
〒663-8141 兵庫県尼崎市東海岸町21-1  
E-mail: kitsuki.takao.c6s@nstec.nipponsteel.com

1992年大阪市立大学工学部卒業。2016年日鉄テクノロジー株式会社 関西事業所 試験部 高圧試験技術室に配属、高圧試験に従事。

## 1. はじめに

当社は、日本製鉄グループの試験・分析会社であり、グループ会社だけでなくグループ外の各社から依頼されるさまざまな試験・分析を行っている。

その中で、高圧試験技術室では、フルードパワーシステムのほか、各種プラントをはじめとする高圧機器や燃料電池用の高圧水素部品、自動車用部品など、耐圧性・気密性が求められるさまざまな機器や部品の高圧試験を行っている。高圧試験の方法は、目的・用途によってさまざまである。

以下に高圧試験の概要と当社がこれまでに行った高圧試験の事例を紹介する。

## 2. 高圧試験の概要

高圧試験とは、液圧ポンプやガス昇圧機などの加圧設備で加圧媒体を昇圧し、タンク、バルブなどの試験体の内部（または外部）に圧力をかける試験である。当社では、液体では、水や油、不凍液、気体では、窒素やヘリウムの不活性ガス、水素を加圧媒体として用いる。

目的・用途に対して、加圧設備・加圧媒体・試験方法を選び、温度などの付帯条件や、必要に応じて圧力以外の測定（変位、流量、漏れ量など）を行う。

高圧試験には、「耐圧・気密試験」・「破壊（破裂）試験」・「疲労（圧力サイクル）試験」などがある<sup>1)</sup>。図1に高圧試験概略図を示す。

## 2.1 耐圧・気密試験

試験体に規定の圧力を既定の時間かけて、破損・変形・漏れの有無を評価する試験である。

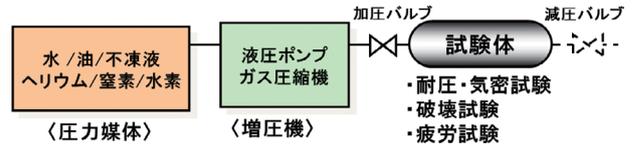


図1 高圧試験概略図

破損・変形の確認には、目視による外観確認のほか、変位計、ひずみ計、画像相関法（DIC）などを用いて行う。

漏れの確認には、圧力測定（圧力低下の確認）のほか、加圧媒体が水の場合は、液体漏れ発色検査材や、漏洩検知器を用いることができる。気体の場合は、発泡液や水没法（気泡確認）を用いることができる。ヘリウムまたは水素の場合は、リークディテクタを用い微量な漏れ量を定量的に測定することもできる。

## 2.2 破壊（破裂）試験

試験体が破壊するまで昇圧を続け、破壊圧力の測定や破壊モードを確認する試験である。

試験体を破壊するために、最高到達圧力が高い加圧設備を用いる。内容量が大きく、破壊圧力が高い試験体では、破壊した際の衝撃が大きいため、耐爆試験室（図2）内で試験を行う。

## 2.3 疲労（圧力サイクル）試験

加圧、減圧を規定回数繰り返すことで圧力耐久性を評価する試験である。

サイクルのステップは、



図2 耐爆試験室

①加圧バルブ開⇒②上限圧力到達⇒③加圧バルブ閉⇒④減圧バルブ開⇒⑤下限圧力到達⇒⑥減圧バルブ閉⇒① であり、これを繰り返す。

サイクル速度を上げるために、吐出量が大きく昇圧速度が速い加圧設備を用いる。

疲労試験の継続回数は、多いものでは数十万回で、試験期間が数か月間に及ぶ。そのため、連続運転が可能で、また安全上、試験体からの漏れ・設備異常などが発生した際に、自動で停止できる機能を有する設備が必要である。

### 3. 高圧試験の事例

#### 3.1 高圧水素試験

ステンレスパイプの耐水素性評価のために行った水素による低温気密試験、低温疲労試験、および高温疲労試験について紹介する。

図3に水素試験室外観を、図4に水素試験概略図を示す。



図3 水素試験室外観

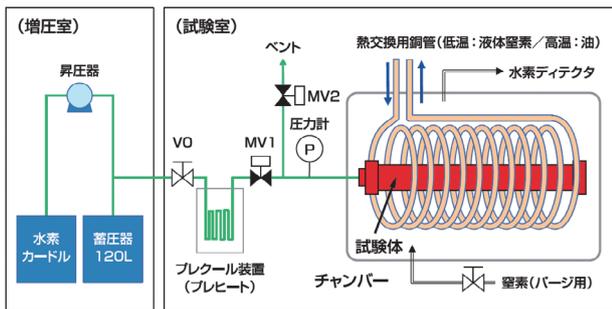


図4 水素試験概略図

低温気密試験では、試験体温度を0℃から-5℃に温調しながら、40MPaまで昇圧し、水素ディテクタで水素の漏れ量を測定した。図5に試験チャートを示す。

低温疲労試験では、試験体温度を-40℃から-50℃に温調しながら、水素で90MPaの圧力を繰り返しかけた。図6に試験チャートを示す。

高温疲労試験では、試験体温度を80℃から90℃に温調しながら、水素で90MPaの圧力を繰り返しかけた。図7に試験チャートを示す。

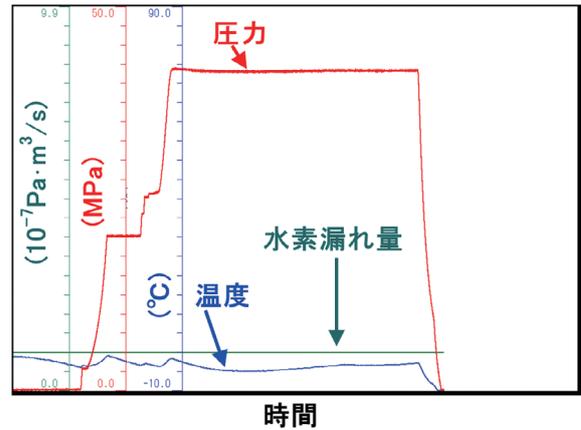


図5 低温水素気密試験チャート

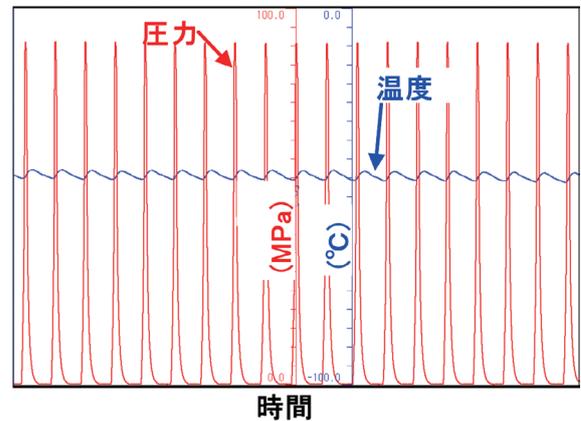


図6 低温疲労試験チャート

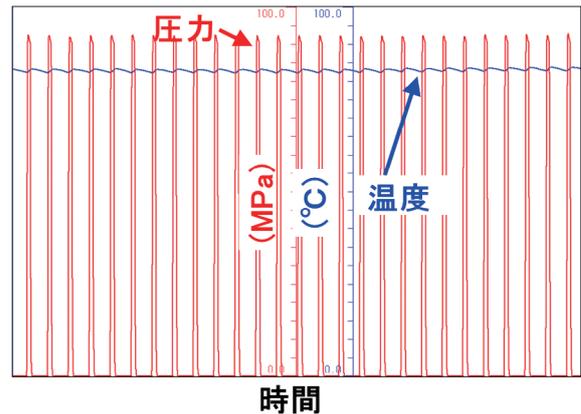


図7 高温疲労試験チャート

#### 3.2 大型タンク破壊試験

大型タンク（容量：約500リットル）の強度評価のために行った破壊試験を紹介する。

液圧ポンプで破壊するまで昇圧し、破壊圧力を測定した。破壊時の衝撃が大きいいため、試験は地下に

設けられた、コンクリートと厚さ20mmの鉄板で囲まれた大型タンク用の耐爆試験室（図8）で行った。図9に試験チャートを示す。



図8 大型タンク用の耐爆試験室

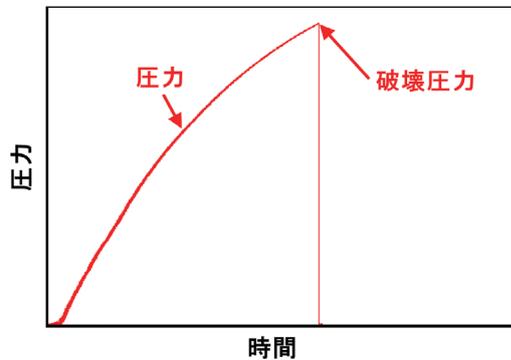


図9 大型タンクの破壊試験チャート

### 3.3 超高圧（400MPa）水圧試験

高圧設備に用いられるパッキンには高いシール特性が求められる。その評価として行った超高圧（400MPa）での疲労（圧力サイクル）試験を紹介する。

本試験はパッキン自体の評価であるが、パッキンに直接圧力をかけることはできないため、高強度な専用の治具を用いて試験を行った。（400MPaでは1cm<sup>2</sup>当たり約4tonの力がかかる）。

図10に400MPa疲労試験概略図を、図11に試験チャートを示す。

## 4. おわりに

高圧試験は、加圧設備で試験体に圧力をかけるだけでなく、目的・用途に合わせて試験方法を設計し、

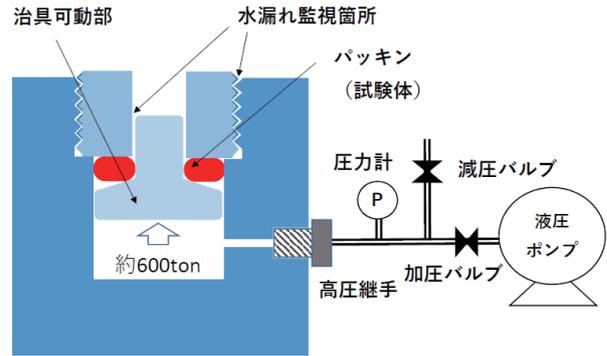


図10 400MPa疲労試験概略図

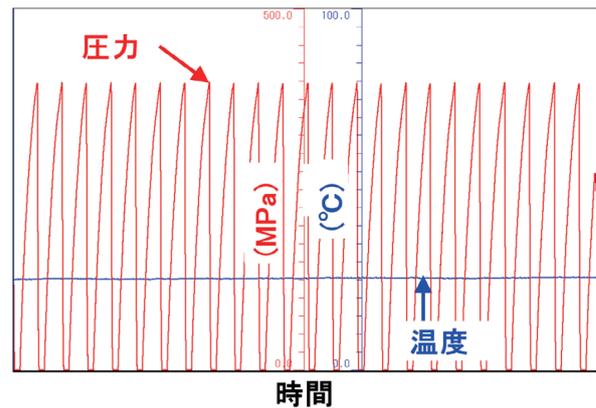


図11 400MPa疲労試験チャート

要求される条件や測定へも適切な設備・測定方法で対応することが重要である。

当社は、試験・分析会社であり、フルードパワーシステムを製造しているわけではないが、高圧試験を通してその評価に貢献する。

#### 補足

高圧ガス保安法では、1MPa以上のガスを高圧ガスと定義しており、高圧ガスを使用した試験を行うには、高圧ガス製造所の認可が必要である。高圧水素ガスを使用した試験には、加えて、消防法他の認可が必要であり、当社はこれらの認可を取得している。

#### 参考文献

- 1) 当社ホームページ [https://www.nstec.nipponsteel.com/technology/mechanical-test/high-pressure/high-pressure\\_01.html](https://www.nstec.nipponsteel.com/technology/mechanical-test/high-pressure/high-pressure_01.html)

（原稿受付：2023年10月26日）

解説

# 高水圧技術を活かした「チューブハイドロフォーミング」

## 著者紹介



いわむらただよし  
**岩村 忠儀**

株式会社山本水圧工業所  
〒561-0835 大阪府豊中市庄本町2-8-8  
E-mail: iwamura-t@hyprex.co.jp

本社営業部 部長

## 1. はじめに

弊社は創立1930年以来、経営理念に「水五則」を掲げ、水をコンセプトに「圧力を活かす」で取り組んできた。圧力を静的(Static)に活用する水圧試験機や高圧カプセルの製品となり、動的(流れ=Flow)に活用したのがハイドロフォーミングである。1962年にT継手管の製造機を、1970年にはペローズ成型機を商品化した。ハイドロフォーミングは以前バルジフォーミングと呼ばれ、比較的単純形状の小物製品が成形されていた。しかし1990年代から地球温暖化が問題となり、その原因の一つが自動車の排気ガスとされ、対策の一つとして自動車の軽量化が急務となったが、軽量化は安全性を損なうことにつながるため、この相反した問題の解決手段として、パイプで重量軽減効果の大きいフレームをバルジフォーミングで成形し、閉断面効果で剛性を増すと同時に板厚を減らすことの有効性が確認された。この頃からこのフォーミング技術はハイドロフォーミングと呼ばれるようになり一般化している。

## 2. チューブハイドロフォーミングの原理

成形原理は比較的簡単でパイプを包むように金型を設置し、パイプ内に水を満たし高圧を(必要に応じ軸圧縮負荷)加え膨張させて、金型形状になぞらせることで成形される。この技術は、バルジフォーミングと呼ばれていた時期より、より複雑形状の成形を行う「複合成形技術」で図1のように①パイプを曲げる②パイプを潰す③パイプに高圧力を加える。

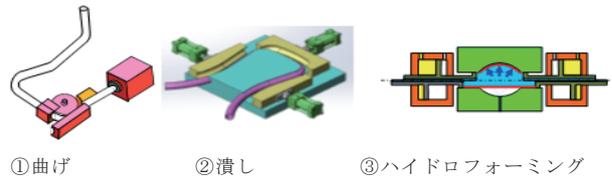


図1 ハイドロフォームミング3要素技術

この3つの技術を組合せて成形される。

## 3. ハイドロフォーミングの特徴

- ①非対称で複雑形状の成形が可能(写真1, 2)。
- ②閉断面による剛性向上や加工硬化による強度向上が見込める。

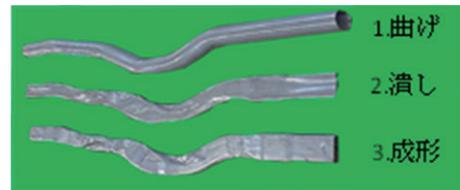


写真1 ハイドロフォーミング3要素成形品

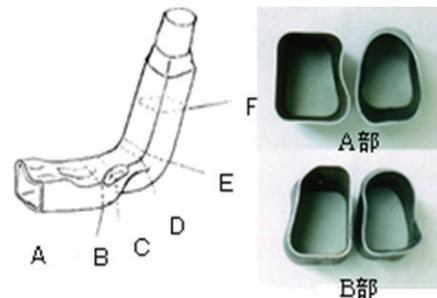


写真2 右側潰し品左側THH品

製品にもよるが溶接構造との比較では、

- |         |      |
|---------|------|
| ① 曲げ剛性  | +40% |
| ② 曲げ応力  | -30% |
| ③ ねじり剛性 | +7%  |
| ④ ねじり応力 | -20% |

とそれぞれ良くなるとある<sup>2)</sup>。

- ③成形時軸圧縮を加えるために減肉が少ない。
- ④プレス製品に比べ歩留まりが70~90%に向上。
- ⑤閉断面で拡管するため減肉が少ない。

- ⑥複数部品を一体化成形ができ工程数削減可能。
- ⑦同一工程内で穴あけ，バーリング等ポストフォーミングが可能。
- ⑧雄形不要。

以上のように多くの特徴を有する反面，水圧による大きな反力を受けるためプレスが大型化し設置面積が大きくなる。また，水を入れ昇圧しなければならない工程がサイクルタイムを要すなどの弱点がある。

#### 4. ハイドロフォーミングの種類

代表的なハイドロフォーミングを紹介する。

##### ①液封ハイドロフォーム（図2）

パイプを金型内にセットした後パイプ内に水を満たし金型を閉じると体積が変化し自己内圧が発生する。上昇しすぎると破裂するためリリースで圧力をコントロールする。形状には制限があるが，増圧機が不要で設備費が安くなる。

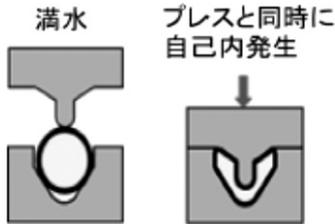


図2 液封ハイドロフォーミング

##### ②高圧ハイドロフォーミング（図3）

この方法は潰し加工（形状によっては同一金型内で）を行った後金型を閉じ，パイプ内を満水にし高圧を加えて拡管し金型になぞらせる。拡管率が大きく取れるので複雑な形状の成形が可能で，最も多く使用されている。



図3 高圧ハイドロフォーミング

##### ③低圧ハイドロフォーミング（図4）

潰し加工を行った後，隙間の与えられた金型にパイプをセット満水にし，昇圧と同時に金型を閉じる。コーナー R 成形時に最高圧力を必要とするが，プレス力でコーナー R を折り込むように成形されるため，低い圧力で成形できる。しかし大きな拡管率は見込めず複雑な形状の成形は難しい。

##### ④型寄方法（図5）

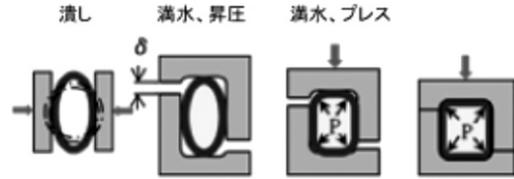


図4 低圧ハイドロフォーミング

成形の手法でよく使用される方法である。塑性加工では金型と成形品間の摩擦の軽減が重要なポイントになる。金型に所定の隙間を与えておき，パイプ内に圧力を加えながらパイプと金型に軸力を加えて閉じて行く。パイプは軸力を加えられた状態でキャビティ内をフリーに膨張するために拡管率を大きくできる。この手法で成形される代表例がフレキシブルチューブである。



図5 型寄法

##### ⑤カウンター（図6）

ハイドロフォーミングにおいて膨張過程では曲率半径に応じて破裂圧力が異なるため，あらかじめ破裂ししやすい部分を押しえ込み，目的の部分を膨張させるために使用される。

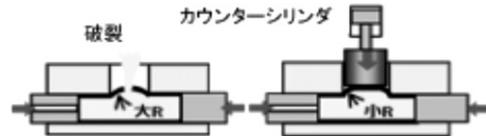


図6 カウンターの使用

実際のハイドロフォーミングでは，成形形状に合わせてそれぞれの方法を組み合わせることで，拡管率200%を超える製品もできつつある。

##### ⑥シートハイドロフォーミング（図7）

パイプでは拡管率が大きく成形困難，ハイテン材料で成形が難しいなどの製品に応用される方法。

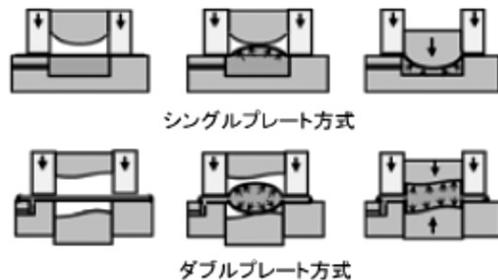


図7 シートメタルハイドロフォーミング

シートメタルハイドロフォーミングには、シングルメタル方式とダブルメタル方式がある。シングル方式はプレスで板をルーズに押し込んだ後、水槽内に圧力を加えて金型に触れさせることなく、自由に膨張させ周長を稼いだ後、金型でプレスし形状を転写する。ダブルメタル方式は二枚合わせのメタルの縁を閉じ二枚の間に圧力を加えて自由に膨張させた後、両面より金型でプレスして形状を転写する。

いずれの場合も対向液圧方式、深絞りなどと比較してより深く成形できる。

### 5. 圧力発生装置

#### ① 圧力発生装置の種類 (図8)

超高圧発生装置は一次側油圧を二次側高圧水圧に変換する増圧機が使用される。増圧機の種類には主に単動式と複動式の2種類がある。

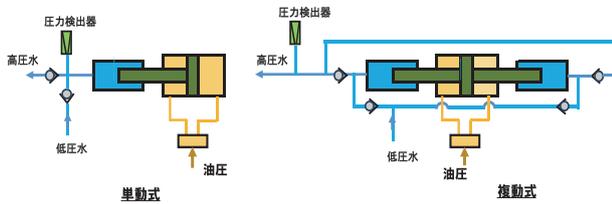


図8 増圧機の種類

単動式は、構造が簡単で精度がよく取扱いやすいが、吐水量に限りがあり大型化になる。複動式は吐水量に限りはないが、息つき現象により精度が落ちる。また、逆流水を受け止められない欠点がある。

管の成形においては破裂圧力と成形圧力がきわめて近く高精度で制御することが求められる。また、ハイドロフォーミングは膨らむイメージでとらえ、高圧水を送るだけの一方通行と思われがちだが、形状によっては素管容積より最終成形形状の方が小さい場合がある。この場合は逆流を受け止め増圧機が後退しなければならない。これらの理由により一般的には単動式が採用されている。

シリンダの材料は超高圧に耐える高強度低合金鋼が一般的に使用され、シリンダの構造としては、単層円筒、多層円筒、自緊円筒、鋼帯巻円筒などの方法がある。強度評価は、静的強度、動的強度(疲労強度)、破壊工学に基づく強度のいずれか小さい値を採用するよう求められている。

高強度鋼は降伏比が高いため一瞬にして破壊が起る危険性があり、十分な評価が必要である。高圧ガス保安協会発行「超高圧ガス設備に関する基準」によると円筒胴の肉厚、最高許容圧力は(2)式および(3)式で求められる。また、疲労強度に関しては、材料特性からせん断応力で評価され(4)式となり、その時

の応力振幅は設計疲労曲線を用いる場合(5)式で求められる。

$$t = \left( \frac{D_i}{2} \right) \left[ \exp = \left\{ \frac{\sqrt{3}fP}{S_y + S_u} \right\} - 1 \right] \tag{1}$$

$$P_{max} = \frac{2}{\sqrt{3}f} \times \frac{(S_y + S_u)}{2} \ln K \tag{2}$$

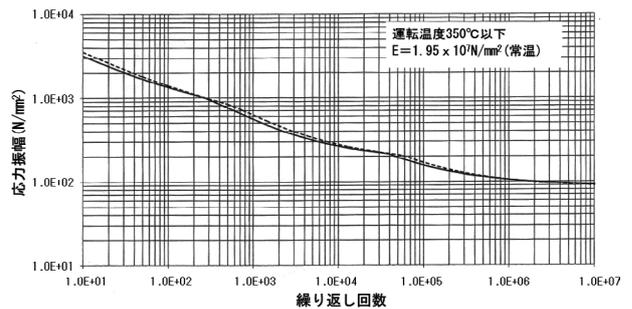
$$\tau_{max} = \frac{2K^2}{K^2 - 1} (P_u - P_l) \tag{3}$$

$$S_a = \frac{K^2}{K^2 - 1} (P_u - P_l) \tag{4}$$

ここに

- $t$  : パイプ肉厚 (mm)
- $P_{max}$  : 最大許容圧力 (MPa)
- $P$  : 設計圧力 (MPa)
- $D_i$  : 円筒胴の内径 (mm)
- $D_o$  : 円筒胴の外径 (mm)
- $K$  : 円筒胴の内外径比  $D_o/D_i$
- $f$  : 安全率で2.4とする
- $S_y$  : 設計温度における材料の降伏点又は耐力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $S_u$  : 設計温度における材料の引張強さ (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_{max}$  : 最大せん断応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $P_u$  : 運転圧力変動の最大値 (MPa)
- $P_l$  : 運転圧力変動の最小値 (MPa)

(3)式によれば $K$ の値が無限大の時、せん断応力 $\tau_{max}$ は $2(P_u - P_l)$ に、応力振幅 $S_a$ は $(P_u - P_l)$ に収束する。高強度低合金鋼の $10^7$ 回時の応力振幅を設計疲労曲線で見ると $S_a = 90\text{N/mm}^2$ であり、 $P_l = 0$ の条件で $K$ と $P_u$ の関係をグラフ化すると図9になる。



備考 1.点線は常温における引張強さの設定値が989N/mm<sup>2</sup>以上980N/mm<sup>2</sup>未満の材料に使用する。  
2.実線は常温における引張強さの設定値が980N/mm<sup>2</sup>以上1180N/mm<sup>2</sup>未満の材料に使用する。  
3.平均応力の補正済み。

図9 高強度低合金鋼の設計疲労曲線<sup>1)</sup>

この図によれば $K$ をむやみに大きくしても大きな効果はなく、 $K = 3$ 以下で計算される。(3)式(4)式の関係から設計疲労曲線を用いる場合の最大許容圧力は180 MPaとなる(図10)。

このことから単層円筒の場合は200MPa以下で使用するのが良い。この値以上の圧力、回数を要求する場合は、最適疲労曲線を用いた疲労解析を行わな

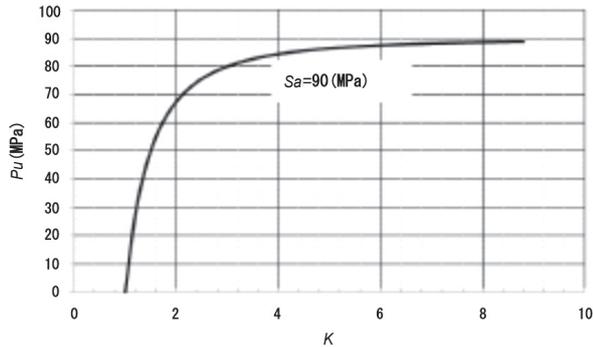


図10 応力振幅 $10^7$ 回時の $P_u$ と $K$ の関係<sup>1)</sup>

ければならないが、この解析と、破壊工学的強度については市販の文献を参照されたい。

②最高圧力の決定

最高圧力は一般的にコーナー $R$ の成形時に発生し、肉厚とコーナー $R$ の大小で決まる(図11)。従ってコーナー $R$ が小さいと高圧を必要とし、装置が大型化となる。それゆえ一般的には肉厚の5倍程度で留めるべきだが、型寄法で折り込み成形するようにして圧力を下げるのが良い。実際の圧力決定においては幾多の式があるが、もっとも簡単な(5)式を記載する。

$$P = \frac{t\sigma}{R-t} \tag{5}$$

- $P$  : 成形圧力 (MPa)
- $t$  : パイプ肉厚 (mm)
- $R$  : コーナー  $R$  (mm)
- $\sigma$  : 塑性応力 (N/mm<sup>2</sup>)

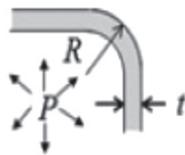


図11 コーナー部

③増圧機容量の決定

水はわずかだが圧縮性があり、圧力と容積に比例して容積が小さくなる。この圧縮容積にリーク量、エア残留量、パイプの拡管容積などが加算されて、増圧機の容量が決まり(6)式で求められる。最近ポストフォーミング(ピアシング加工、バーリング加工など)を実施することが増えてきているので、十分な余裕を取る必要がある。

$$V_B = \beta P(V_E + V_P) + V_R + V_A + V_V \tag{6}$$

ここに

- $V_B$  : 増圧機容積 (ℓ)
- $\beta$  : 圧縮比  $4 \times 10^{-4}$  (1/MPa)
- $P$  : 設計圧力 (MPa)
- $V_E$  : 素管容積 (ℓ)
- $V_P$  : 配管容積 (ℓ)
- $V_R$  : リーク量 (ℓ)
- $V_A$  : エア残留量 (ℓ)
- $V_V$  : 拡管量 (ℓ)

6. プレス機

ハイドロフォーミングの金型は図12および(7)式

に示すようにシール部分を含めた成形品の投影面積に成形圧力を掛けて算出されるが、成形圧力が超高圧であるため、大きな反力を受ける。この反力を受け止める方法は2種類ある。

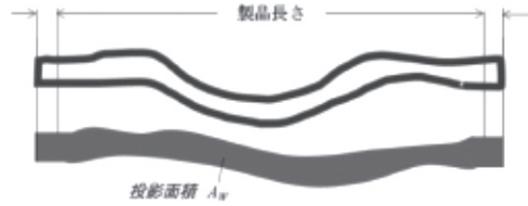


図12 加工品と投影図

$$F = PA_w \tag{7}$$

- $F$  : 水圧による反力 (kN)
- $P$  : 成形圧力 (MPa)
- $A_w$  : 投影面積 (mm<sup>2</sup>)

①プレス方式

成形品は形状が複雑でプレス軸心と通常一致しないため、軸押しシリンダを傾けて取りつける場合があるので通常汎用性の高い油圧プレス用いられる。成形形状によっては、水圧反力が大きく大型プレスが必要となる。

②メカロック方式

メカロック方式は図13、14に示すようにテーパーリングまたは、テーパークランプを使用して、反力を受け止める方法である。形状にテーパーリング方式はリングが閉断面であり、金型ひずみが小さく、大きな反力を受けることができる。テーパークランプはテーパーリングに比べれば受け止める反力は小さいが、金型面積が大きくとれる。

いずれも小スペース、省エネルギー化が可能である。

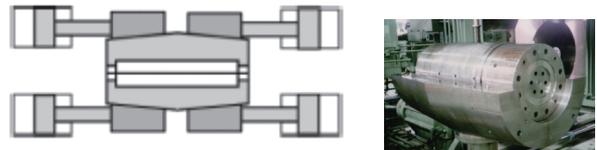


図13 テーパーリング方式

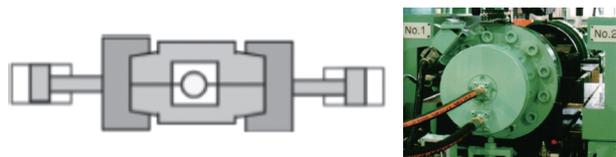


図14 テーパークランプ

7. おわり

高水圧の活用例としてハイドロフォーミングの概要を記載したが、忘れてはならないのがシール技術

である。シール技術がなければ超高压水の活用は成さない。超高压水の活用において実用性に優れたシール技術を用途に応じ技術開発をおこなってきた。そのほか、高水压技術の活用実績を列記する。

- ① Max.300MPa 複合荷重試験機（油井管）  
29,000kN引張・圧縮下で内圧、外圧試験
- ② Max.300MPa 高压容器の安全性評価試験機サイクル（各圧力波形）試験および破裂試験
- ③ Max.700MPa 高压試験カプセル（静水压）
- ④ Max.900MPa 自緊装置

など、各種用途に応じた耐圧試験機を製作している。極低温下での圧潰バースト試験機（CCS用）開発は、新たなニーズに応えるもので、生命の源である水、環境に優しい水、「水の力の可能性」が、幅広い産業への活用に広がるものと感じている。

#### 参考文献

- 1) 高压ガス保安協会KHKS 0220（2016）
- 2) Technische Mitteilungen : SCHEUBER G（1984）

（原稿受付：2023年9月26日）

## 会 告

### 共催・協賛行事のお知らせ

#### 連続講習会（全4回）機械—電気—の統合モデルによるモデルベース開発

主 催：一般社団法人日本機械学会 交通・物流部門

開催日程：2024年1月23日(火) 物理機能モデルによるモデル化（機械と電気の共振構造と非線形化、機械と電気の統合モデル化実習）

会 場：日本機械学会事務局第1会議室（東京都新宿区新小川町4番1号 KDX飯田橋スクエア2階）

U R L：https://www.jsme.or.jp/event/23-76/

#### 第390回講習会「事例に学ぶ流体関連振動」

主 催：一般社団法人日本機械学会 関西支部

開催日：2024年1月25日(木)～1月26日(金)

会 場：オンライン開催（Webex）

U R L：https://jsmekansai.org/Seminar/kou390.html

#### IIP2024 情報・知能・精密機器部門（IIP部門）講演会

主 催：一般社団法人日本機械学会 情報・知能・精密機器部門

開催日：2024年3月4日(月)～3月5日(火)

会 場：岡山大学 津島キャンパス（ハイブリッド開催）

U R L：https://www.iip-conference.org/iip2024

#### 第23回機素潤滑設計部門講演会

主 催：一般社団法人日本機械学会 機素潤滑設計部門

開催日：2024年4月22日(月)～4月23日(火)

会 場：オンライン開催

U R L：https://www.jsme.or.jp/conference/mdtconf24/

#### ロボティクス・メカトロニクス講演会2024（ROBOMECH 2024 in Utsunomiya）

主 催：一般社団法人日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門

開催日：2024年5月29日(水)～6月1日(土)

会 場：ライトキューブ宇都宮（栃木県宇都宮市宮みらい1-20）

U R L：https://robomech.org/2024/

各行事の最新情報は、主催者のホームページまたは各行事のURLからご確認ください。

# 深海への挑戦：高圧実験水槽の概要と成果、現況

## 著者紹介



たか はし かず ゆき  
**高橋 和行**

国立研究開発法人海洋研究開発機構  
〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15  
E-mail: kazuyuki@jamstec.go.jp

1997年海洋科学技術センター（現海洋研究開発機構）予算、決算、調達業務に従事し2018年より高圧実験水槽の保守管理、試験作業に携わってきた。現在は調査航海における事前調整業務を行っている。



おお しま しん じ  
**大嶋 真司**

国立研究開発法人海洋研究開発機構  
〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15  
E-mail: oshimas@jamstec.go.jp

1985年東京水産大学（現東京海洋大学）大学院修士課程修了。1996年海洋科学技術センター（現海洋研究開発機構）、潜水技術研修、報道、外部連携等に従事

## 1. はじめに

国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）は2021年10月をもって創立50周年を迎えた。今回紹介する高圧実験水槽はJAMSTEC設立当初である1976年に建造され、各種深海調査・観測機器および各種材料などの耐圧試験、疲労試験や動作試験に利用されてきた。現在利用可能な高圧実験水槽には大型と中型があり、水深15,000m相当までの深海圧力環境を再現する装置である。建造後47年が経過し、大型高圧実験水槽（公式には大型を単に高圧実験水槽と呼称しているが、本稿ではより簡明にするため大型高圧実験水槽もしくは大型水槽と記述する）は老朽化により加圧制限を設けて運用をしているが、中型水槽は通常の運用を継続している。本稿ではこれらの高圧実験水槽についての概要、成果および現況について紹介する。

## 2. 高圧実験水槽建造の経緯

1960年代、海洋は海底資源、水産資源の供給源として注目され、米国やフランスなどにおいても積極的な取り組みがなされ、「バチスカーフ」や「ト

リエステ」など潜水艇による深海域における調査が始まった<sup>1)</sup>。わが国においても海洋開発・利用への期待が膨らみ、その一端を担う機関としてJAMSTECが設立された<sup>2)</sup>。そして民間では保有することが非効率であるが、わが国として必要な共用実験施設の一つとして、深海圧力環境を再現し各種試験を実施する施設である高圧実験水槽が建造された。当時は大型、中型、小型の3種類の大きさの実験水槽があったが、小型水槽は2019年3月に運用停止し、現在は大型、中型水槽を運用している。

## 3. 大型高圧実験水槽の概要

高圧実験水槽は、水深15,000mまでの深海圧力環境を再現し、各種深海用機器を対象としての加圧耐圧試験や繰返し加圧連続試験を行えるものとして建造された。大型水槽と中型水槽は試験有効スペースが異なり、試験体の大きさにより使い分けている。大型水槽の概要を図1に示すが、補足すると①静力加圧：最高圧力147MPa、所要時間30分以内②繰返し加圧：最高圧力63.7MPa、圧力波形三角波、正弦波③水槽内寸法内径1,400mm、胴部長3,000mm④加圧媒体：真水である。

次に設備の構成であるが、①水槽、②加圧装置（定圧保持、繰返し加圧）、③媒体貯蔵タンク、④冷却水設備、⑤貫通金物、⑥計測制御装置（モニタ装置、計測装置、制御装置）から構成される。水槽本体は地下に設置され（図2、図3）、加圧装置、モニタ装置、計測装置、制御装置は別室に設置されている。加圧制御は加圧装置制御盤により加圧パターンを設定しそれに従い自動運転を行うことができる。さらに、目標加圧から手動による追加の加圧、圧壊時の緊急停止など、柔軟性、安全性に配慮した運転システムとなっている。また5MPa以下の圧力設定には手押しポンプによる対応も可能である。

## 4. 中型高圧実験水槽の概要

中型水槽の設備構成および性能については、上述した大型水槽とほぼ同じだが、水槽本体の内寸法が内径600mm、胴部長1,600mmで大型水槽のほぼ半分

の大きさであり、昇圧速度、減圧速度も大型より速く設定可能である。

設備の構成も大型とほぼ同様で、(①水槽、②加

圧装置、③貫通金物、④計測制御装置(モニタ装置、計測装置、制御装置)からなるが、加圧装置は水槽の機側に設置され集約されている(図4、図5、図6)。

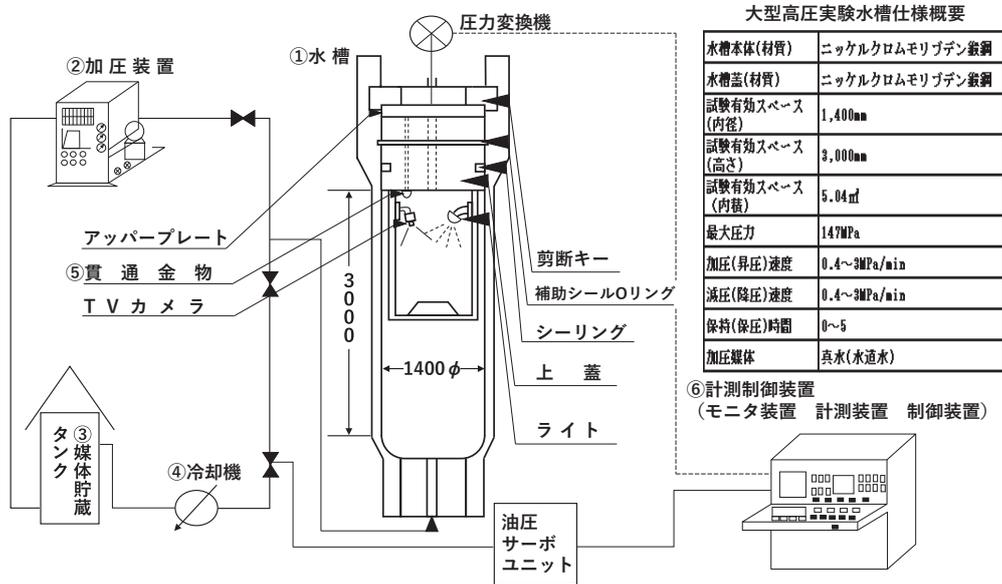


図1 大型高圧実験水槽概要



図2 大型高圧実験水槽地上部(上蓋吊り上げ作業中)



図4 中型高圧実験水槽地上部(上蓋吊り上げ作業中)



図3 大型高圧実験水槽地下部

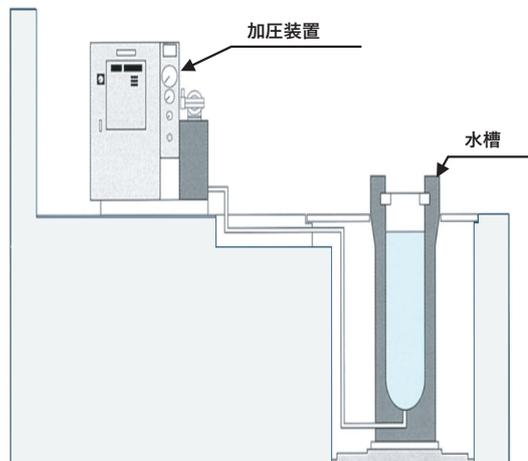


図5 中型高圧実験水槽配置図

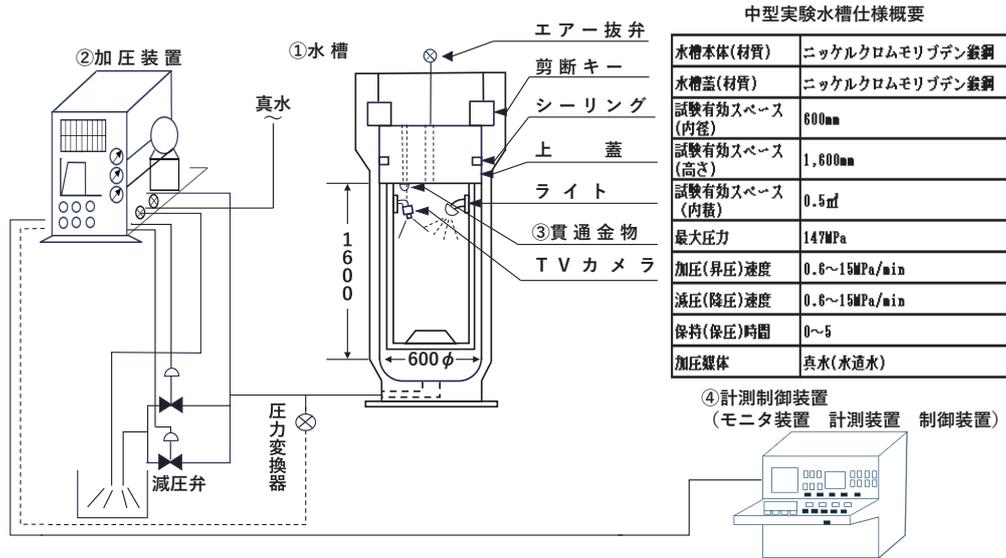


図6 中型高圧実験水槽概要

## 5. 有人潜水調査船「しんかい6500」耐圧殻圧壊試験

1986年2月、当時開発中であった有人潜水調査船「しんかい6500」の耐圧殻(乗員室)の強度試験が行われた。実際の耐圧殻の内径は2.0mだが、試験体は内径700mm、縮尺1/2.86で、実機と同じ材料(チタン合金)、同じ手順で作られ、ハッチ(出入口)や観測窓も取り付けられた。試験内容としては大型水槽を用いて6,500m相当圧(66.64MPa)において1,500回繰返し加圧試験を行い、異常のないことが確認され、その後圧壊試験を行い水深13,200m相当圧(137.0MPa)において圧壊した(図7)。この試験により耐圧殻の材料、設計法、製法などの妥当性が実証された<sup>3,4)</sup>。「しんかい6500」は完成から33年が経過し、潜航回数も1,500回を超えているが、高圧実験水槽による耐圧殻加圧実験がその後の建造や安全運航に大いに役立ったことはいうまでもなく、今なお現役で潜航を行っている。



図7 圧壊した耐圧殻試験体

## 6. 利用状況

高圧実験水槽はJAMSTECの内部利用のみならず民間企業や大学などの外部機関にも利用されてきた。2013年から2022年までの10年間の利用実績から各年度の利用回数および利用最高圧力について集計した。また利用最高圧力は、実際の利用時の最高圧力とし、利用回数は1日を1回とし、同機関が同試験を数日繰り返した場合は、その日数を利用回数として集計した。

### 6.1 年間利用回数

図8に年間利用回数の推移を示した。2013~2022年における利用回数は、大型水槽で計190回、中型水槽では計1,102回であった。この期間で利用回数に影響を与えた大きな事象として2011年に発生した東北地方太平洋沖地震が挙げられる。大型水槽においては、2012年、2013年にこの地震に対する緊急調査に必要となった各種観測機器(海底地震計用ガラス球、水中測位機器など)の整備・試験に伴い、特に内部利用回数が増加している。また、もう一つの大きな影響として2019年度からの新型コロナウイルス感染症による影響が挙げられ、特に中型水槽においては、2019年度以降は外部利用回数が減少した。

### 6.2 利用最高圧力分布

利用最高圧力分布(図9)を見ると、大型、中型水槽とも最高圧力による利用が多いというわけではなく、大型では、40MPa未満の試験が120件と全体190件の約63%を占めている。一方、中型では、40MPa未満の試験が472件と全体1,102件の約43%であるとともに、60~70MPaでの試験が240件と

突出して多く約20%を占めているのが特徴である。この要因として、大型水槽では、圧力よりも装置の大きさ、すなわち大きな試験体を加圧ができる特徴があることに対して、中型では、試験体の大きさではなく利用水深をより反映しているためと推察する。具体的には、大型水槽では観測ブイシステムや水中

ロボット関連機器の耐圧試験が実施され、中型水槽では、有人潜水調査船「しんかい6500」や水中ロボットに搭載するセンサーや水中コネクタ、耐圧容器の試験が実施されている。また最高利用圧力による利用はJAMSTEC内部試験もしくは大学などによる試験が主であった。

本装置による試験の実例については日本フルードパワーシステム学会誌2005年9月第36巻第5号に記載があるので参照されたい<sup>5)</sup>。

## 7. おわりに

高圧実験水槽は現在でも多くの利用があるが、冒頭でも記述したように現在、大型高圧実験水槽は、底部より水漏れが発生しているため圧力保持のために追加加圧をしており、一定圧力を保持できない状態で指定圧力を維持している。高圧実験水槽は共用施設としてJAMSTECの各種研究開発とともに外部のさまざまな試験研究に利用され、わが国における深海調査、海洋観測機器の開発・試験の基盤となる必要不可欠な装置である。水中ロボット技術などの目覚ましい進展により深海や海洋の利活用がより多様化し、今後も本装置が多く利用されることが見込まれている。これらのニーズに応えるためには機器の維持管理、更新を計画的かつ継続的に実施していくことが非常に肝要である。最後に、JAMSTECには同様の共用施設として、プール施設、多目的実験水槽、超音波水槽などの設備も有しており、これらも利用することができる。利用希望者はJAMSTECホームページから問い合わせフォームにて申し込みを受け付けている。(https://www.jamstec.go.jp/j/about/equipment/yokosuka/)

### 参考文献

- 1) 科学技術庁研究調整局海洋開発課監修 戸部健次郎編：日本の海洋資源と開発 無限の海洋資源に挑む科学技術、日本科学技術振興協会 教育図書刊行会（発売）、p. 242-246（1985）
- 2) 海洋科学技術センター企画室企画課：海洋科学技術センターの概要—その誕生から現在まで—、JAMSTEC, Vol. 1, No. 1, p. 9-20（1989）
- 3) 高川真一、木内大助、高橋憲二、山内裕、井上和也、西村孝：「しんかい6500」耐圧殻の設計・製作、海洋科学技術センター試験研究報告, No. 23, p. 329-344（1990）
- 4) 篠原保、高川真一、横田公男、森鼻英征、山内裕、浦上紘一：チタン合金球殻模型の圧壊強度研究（第2報）、関西造船協会誌, Vol. 207, p. 69-80（1987）
- 5) 澤隆雄、田原淳一郎、石橋正二郎：高圧実験水槽、フルードパワーシステム, Vol. 36, No. 5, p. 16-19（2005）

（原稿受付：2023年9月28日）



図8 年間利用回数（上：大型，下：中型）

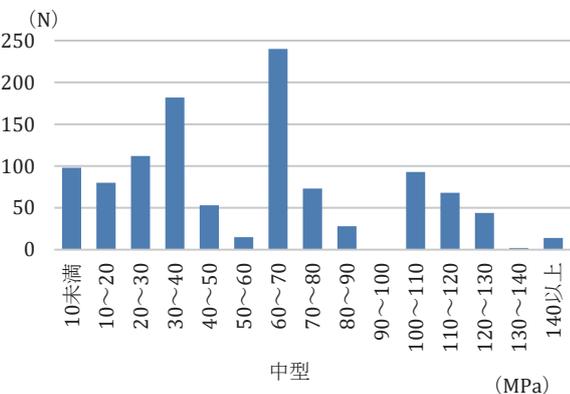


図9 2012年度～2022年度利用最高圧力分布（上：大型，下：中型）

## トピックス

学生さんへ、先輩が語る  
一開発職の心構え一

## 著者紹介

あさのこうたろう  
浅野 広太郎

コマツ

〒963-0215 福島県郡山市待池台1-1  
E-mail: koutaro\_asano@global.komatsu

2005年山梨大学大学院医学工学総合教育部機械システム工学専攻修了、同年、コマツ入社。現在に至る。油圧シリンダの技術研究、開発業務に従事。

## 1. はじめに

## 1.1 自己紹介

著者は、静岡県磐田市で生まれ育った。幼少期から、ものの構造に興味があり、さまざまなものを分解して、元に戻せず後悔することを多く経験した。近所に工事現場があると親に連れて行ってもらい、よく作業現場を見学していたことを覚えている(図1)。

この経験が、現在につながっているのかもしれない。高校卒業後は、山梨大学・同大学院へと進み、幼少期から興味があった、ものづくりに携わるための知識を学んだ。学生時代は、古いオートバイのレストアに没頭し、現在も続けている。卒業後は、コマツに入社して、油圧シリンダの技術研究、開発業務に従事している。



図1 著者5歳

## 1.2 企業紹介

コマツは、1921年創業で、100年以上の歴史がある。建設機械、鉱山機械、林業機械、産業機械などの事業を展開しており、従業員数は6万人を超えるグローバル企業である。油圧機器などの主要コンポーネントを自社開発しているため、コンポーネン

トの製造、設計に関わる知見を自社で保有しており、商品力の高い製品を世の中に送り出している。

## 2. 学生時代を振り返って

## 2.1 学生時代に取組んだこと

機械いじりが好きで、学生時代は、オートバイのレストアに没頭していた。実作業では、何が悪いのか、なぜそうなったのかを考えながら修理を行い、手に入らない部品は、自作したり、パーツカタログを読み漁り、流用できる部品を調べたりした。アパートの一室で、組上げてしまい、外に出すために、再度分解したことは、いい思い出である。

研究室は、当時教授であられた大内英俊先生のもと、油圧、空圧の研究に取り組んだ。研究室では、当時助手であられた長田佐先生のご指導で、PICマイコンの勉強会が行われており、電子回路、プログラミングのおもしろさに、はまってしまい、それまでは、機械いじりばかりだったが、電子工作にも、のめり込んだ。もう20年以上前になるが、先生のおっしゃっていた「機械を制御するのはマイコン、これからの設計者は、両方知っていた方が良い」という当時の言葉は、今になってその必要性を痛感している。

## 2.2 学生時代にしておくことと良いこと

ひとつ目は学生時代に何をしましたか?という問いに対して自信をもって語るができる経験をして欲しい。就職などを機に新たな世界に踏み入れる時、自分を紹介するネタになるし、新たな環境で不安を感じた時にも、自信を持っている経験があることで前向きな気持ちになれる。一見すると実務とは関係ないような経験でも、その目標を達成するための過程、考え方、取り組む姿勢などが実務につながることもある。

ふたつ目は講義をしっかり聴くこと。人から教えるをいただくということを楽しんでほしい。新しいことを知るということは、直接的ではなくても、考え方やひらめきの源になる。多くのことを知っているということは、アイデアが生まれやすいといえる。別々の講義を聴き、それぞれの点が線につながることに気づけると、勉強だけではなく、広く知見を得るといった発想に変わり、新たな楽しみに気づくはずである。

### 3. 仕事紹介と心構え

#### 3.1 職場紹介

コマツでは、建設機械に用いる主要コンポーネントを自社開発している。著者の所属している油機開発センターでは、バルブ・ポンプ・油圧モータ・油圧シリンダなどの研究、開発をしている。著者が担当している油圧シリンダの開発拠点は、福島県郡山市にある(図2)。開発センターと生産工場が同じ敷地内にあるため、設計部門と生産部門は、風通しの良い環境である。挑戦的な設計と生産のしやすさというのは、相反することが多いが、構想段階から生産部門とコミュニケーションを取りながら開発を進めることで業務を円滑に進めていくことができる。設計者のモチベーション向上、技術伝承の活動も盛んで、次世代を担う設計者の育成にも力を入れている。



図2 コマツ 郡山工場事務棟

#### 3.2 仕事紹介

業務経験から、影響を受けた事例を紹介する。

##### 3.2.1 外に出れば、部門の代表者である

入社3年目に超大型ホイールローダWA1200(図3)のプロジェクトに参画した<sup>1)</sup>。メンバーは、著者以外は役職のついた方々であった。詳細は割愛するが、プロジェクトに参画するということは、部門の代表者という扱いになる。同じ土俵に上がるので年齢に関係なく意見は聞いてもらえるが、その一方で追及も厳しかった。大先輩の方々に資料の作り方や報告の仕方など、いろいろな指導をいただいた。この経験は、社会人として自信を持てる経験のひとつになった。



図3 WA1200-6(右側の車両)

##### 3.2.2 基礎分野を学ぶことで視野が広がる

建設機械用の油圧シリンダは、土ぼこりの舞う環境で使われることが多いため、油漏れしてしまうことがある。シールを改善しないと解決ができないが、シー

ルは購入品であるためメーカーに要求機能を伝え、一緒に開発を行った<sup>2)</sup>。シールは、ウレタンやゴムであり、従来扱ってきた鉄鋼材料とはまったく異なる分野であったが、メーカーとのやり取りを行う中で知見を吸収し、異なる分野であっても対等に意見交換できるようになり、より良い製品づくりができた。内部に隠れてしまう部品なので地味だが、最重要部品であるシールをメーカーと開発したことは、基礎研究の楽しさを知るきっかけとなった。ほかにも、シリンダ用鋼管の材料をメーカーと開発し、郡山工場とも溶接技術、焼入れ、めっきなどの油機設計の基礎分野に携わったことで、視野を広げる経験ができた。その経験をとおして設計は、基礎分野の集合体であることを再認識して、広い視野で、物事を見ることの大切さに気づいた。

##### 3.2.3 議論の原点は相手を知ること

コマツは、海外拠点も多く、海外拠点の設計者と業務を進めることもある。マイニング油圧ショベルPC3400-11M0(図4)を開発したときの事例を紹介する<sup>3)</sup>。それまでドイツで開発、製造してきた車格の車両を日本の設計部門の技術を導入して開発を行った。ドイツで設計された油圧シリンダは、油機開発センターの設計思想と異なる点が多かった。お互い良いものを開発するという志は同じであるが、アプローチが違うことで、異なる形になっており、協力して作り上げていくことに苦労した。お互いの拠点や稼働現場で、顔を合わせて現物を見て話し合い、徐々にお互いの設計の理解が深まり、ひとつのものができ上がった。苦労が大きかった分、開発完了時の達成感も大きかった。この経験で、話し合いにおいて大事な要素は、相手が何を考えているのか知ることであると学ぶことができた。



図4 PC3400-11M0

##### 3.2.4 仕事は関係部門との連携が大切である

パワーショベルのバケットシリンダは、ロッドが地面側に向いている(図5)。そのため、ロッドに岩石などが衝突して、ロッドが傷つき、シールがしゅう動することでシールが破損する。もしくはロッドに土砂、砂塵がかかり、シールがしゅう動することでシールが摩耗して、油圧回路中にダストが混入するという不具合を潜在的に抱えていた。シリンダ設計者にとって、油漏れを防ぐというのは、過去からの課題であった。従来はシールを強化するという

対応を取ってきたが、使われ方の厳しい環境下においては、完全な対策は難しかった。そこで発想転換して、環境が厳しいなら環境を変えようという思いに至り、シリンダを反転して取り付ける配管内蔵シリンダを開発した<sup>4)</sup>。反転することで、シール部への土砂付着のリスクは軽減した(図8)。しかし、油圧シリンダを反転することは容易なことではない。一般的な油圧シリンダの油圧ポートは、シリンダチューブにあるため、反転すると、ホースをたるませる必要があり、作業時にひっかけるリスクがある(図6)。

この課題を解決するために、ロッドに油圧ポートを設けた配管内蔵シリンダを開発した(図7)。ロツ

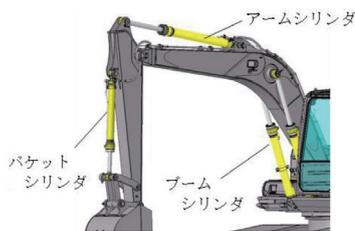


図5 パワーショベル用油圧シリンダの配置

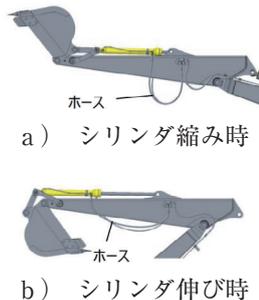


図6 従来のシリンダを反転して取付けた場合

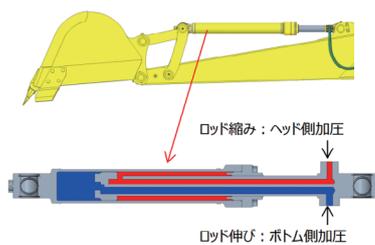


図7 配管内蔵シリンダの模式図

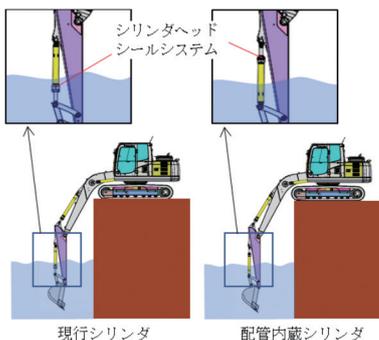


図8 配管内蔵シリンダの効果

ド内部に油路を設けるといって挑戦的な設計であったため、生産部門と協議を重ね、量産化までの道のりは長かった。生産部門と対等に話すために、多くのことを学んだ。さらに大変だったのは、この製品を車体に採用して、市場投入するという道のりである。いくら良いものを開発しても各部門の理解が得られなければ、市場には出ないということを痛感した。この経験から、構想段階から各部門の理解を得て、お互いの意見を尊重しながら進めていくことで、スムーズな製品開発ができることを学ぶことができた。

#### 4. まとめ

自身に変化を与えた経験を紹介した。文面にすると恥ずかしい思いもあるが、ひとつひとつが自信につながり、現在に至っている。紹介できる経験が多いことは、恵まれた環境で仕事ができていることの表れだと感じており、関わっていただいた方々には、心から感謝している。

設計職の魅力とは、自分の設計したものが、世の中に出ていくことだと感じている。そのためには、自分の設計に自信を持ち、関係部門に思いを語ることが大切と考えている。日々、経験を増やし、できることを増やしていくことが、楽しく仕事をするコツと考えている。思い返せば、経験を得るための道のりは効率が良いとはいえなかった。中堅社員となった現在、若手の育成に力を入れている。個人で知見を溜めても、生涯で成し得ることは限られている。自身の経験を後進に伝え、その経験を元に後進がさらなる高みをめざし、新たな世界を拓いていけるような職場環境を作っていきたい。

最後に、学生時代に専門分野だけでなく、幅広い経験をして欲しい。それはいずれ自身の仕事に活かせる日が来る。多様性の容認が求められるこれからの社会で、学生時代に多くの考え方や価値観に触れることは、生涯の財産になるはずだ。

#### 参考文献

- 1) 瀧口敬英, 松本智, 小林正学, 村本卓也: 超大型ホイールローダWA1200-6の紹介, KOMATSU TECHNICAL REPORT, Vol. 56 NO. 163 (2010)
- 2) 金丸健二, 浅野広太郎, 早川順平, 道上智史: Tier4向け油圧シリンダ, KOMATSU TECHNICAL REPORT, Vol. 57 NO. 164 (2011)
- 3) 余喜多仁, 内丸雅敏, 上田知己, 近藤悠介, 赤澤智昭: マイニング油圧ショベル PC3400-11M0, KOMATSU TECHNICAL REPORT, Vol. 65 NO. 172 (2019)
- 4) 浅野広太郎: 配管内蔵シリンダの開発, KOMATSU TECHNICAL REPORT, Vol. 67 NO. 174 (2021)

(原稿受付: 2023年10月12日)

## トピックス

## ラクイラ（イタリア）滞在記

## 著者紹介



いとうかずひさ  
伊藤和寿

芝浦工業大学  
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307  
E-mail : kazu-ito@shibaura-it.ac.jp

1995年上智大学大学院博士前期課程修了。株式会社小松製作所、上智大学助手、鳥取大学准教授を経て、2011年芝浦工業大学教授。日本フルードパワーシステム学会、日本生物環境工学会、計測自動制御学会、電気学会等の会員。博士（工学）。

## 1. はじめに

私の所属大学では在職中に最大1年間の在外研究の機会が認められており、今回その制度を利用して昨年9月から本年8月末の約1年間に渡り、イタリアのアブルッツォ州の州都にあるラクイラ大学に留学した。そこでの成果や所感について報告する。

## 2. 留学先について

## 2.1 ラクイラ大学

ラクイラ大学（University of L'Aquila, 以下UNIVAQ）はラクイラ市にある国立の大学で、約1万9千名の学生、約650名の教員を擁している。工学、理学、医学を始めとする9学部、17学科を有しており、特に工学分野での実績が大きい。JFPSとのつながりも深く、国際シンポジウムにはイタリア勢には一定数参加していただいている。

芝浦工業大学とラクイラ大学の間には1994年に初めての協定校契約が結ばれ、2000年からは交換留学生事業がスタートした。2022年度末までの実績では44名の修士生が1セメスターの研究留学で両大学間を行き来した。これらの学生交換制度は休学せずに行えるものであり、ここでつちかわれたノウハウが2021年度に締結されたダブルディグリー（以下、DD）制度設計に大きく活かされた。DD制度については別の機会で解説させていただくとして、この他にも本学とUNIVAQは毎年25名程度が参加する2週間の発展型国際プロジェクトベーストラーニ



写真1 ラクイラ大学工学部Roioキャンパス

ング（Advanced Global Project-Based Learning）も開催している。

以上のように本学とUNIVAQでは多くの協働事業が進められており、今後の関係をさらに強化することも私の留学の目的の一つであった。受入教員のProf. Zobelは空気圧制御および作業支援機械設計を専門とされ、上で述べた事業をすべて担当されており、今回の私の留学も快く受け入れてくださった。

UNIVAQは市内に5か所のキャンパスを持っており、私が滞在した機械工学コースはRoioキャンパスと呼ばれるラクイラを一望できる標高約1,000mの山頂にあった（写真1）。滞在中はProf. Zobelの研究室の一角をお借りし、ここで11か月以上を過ごした。研究室は、Prof. Durante, Prof. Gabrioおよび技官のLuca氏を含めた計4名が所属する講座制となっており、さらに2名の博士課程学生が在籍していた。修士の学生は最後の第4セメスターのみ研究活動を行っており、半期ごとに研究室の顔触れは変わる。イタリアの大学はその多くが修士課程までの5年制一貫教育で、学部課程にあたる初めの3年間に研究を行う制度はなく、したがって研究室に所属するという感覚自体が非常に希薄である。

なお11月から2月まではまとまった雪が降りやすいため、この期間は大学までは片道15分のバス通勤に切り替えた。小さな大学町のためにバスの本数は少なく、帰りの便の時刻にはかなり気を遣った。

## 2.2 ラクイラ市

12世紀から19世紀イタリア統一前まで栄え、イタリア南部を支配していたシチリア王国の時代、ラクイラは王国第二の都市と呼ばれる栄華を誇った時期がある。アドリア海に面するアブルッツォ、モ

リーゼ、プーリアの三州は小麦やブドウの一大産地であり、イタリアの食を支える地域でもある。しかしアペニン山脈の最高点グラン・サッソの麓でもあることから起伏の激しい土地であり（写真2）、ローマからの鉄道アクセスは非常に悪いため、高速バスを利用するのが一般的である。ローマのバスターミナルから乗車すると次の停車駅がラクイラであり、約90分で到着するほか、ローマ空港との直行バスも多く便利である。2009年4月に発生した大地震によりこの州都を含む地域は壊滅的な被害を受け、大学でも犠牲者が出た。14年が経過した現在でも、街の裏通りに入ると屋内に倒壊防止の補強材が組まれたまま、周囲に足場が露出したまま、という建物が数多く残っている。予算が十分でないこと、および重機が入れるような十分な広さの街並みでないことなどにより、復興は中々進んでいない。ただし、毎年訪れる度に少しずつ人や店が戻ってきている印象がある。

夕食は20時頃が基本であり、とにかく夜遅くまで仲間や家族で楽しむ南イタリアの明るい気風がはっきり表れている。また街の中心部から少し離れたところには、キリスト教にとって非常に重要なコレマッジョ大聖堂があり、ここには毎年8月末にPerdonanza（イタリア語で「赦し」と呼ばれる非常に大きなお祭りが開かれることで有名である。なお、現地在住の日本人はほぼゼロと考えられ、この意味でも留学先として適していた。



写真2 グラン・サッソを望むラクイラ市（左）およびクリスマス時期の市内イルミネーション（右）

### 3. 研究について

読者の皆さまにはあまり面白くない内容であることを承知の上で、留学中に進めた主な研究テーマについて簡単に触れさせていただく。

#### 3.1 データ駆動型制御

制御対象の数学モデルに基づく制御系設計手法はこれまで非常に多く提案されてきたが、適切な数学モデルを構築する工程（システム同定）には大きな工数とノウハウが必要である。これを反省点として、数学モデルを構築することなく、かつできるだけ少ない（究極的には一組のみの）入出力データを基に

必要な制御ゲインを数値計算により入手するという手法が2005年前後からデータ駆動型制御、データ指向型制御として議論されている。代表としてはFRIT, VRFT, MFC, ILCなどが挙げられるが、この設計手法はバリエーションが非常に多く、また近年ではモデルベース制御との融合も盛んに研究されている。ただし直感的に想像できるように、設計の基となる入出力データが制御対象の性質を十分含むものでなければ、得られた制御ゲインは所望の制御性能を満たすものでなくなる。つまり、入力信号が十分多くの周波数成分を持っていないといけないという、いわゆる持続的励起条件（Persistent Excitation Condition, 以下PE条件）を満たすことが必要となる。これはシステム同定で要求されるものと全く同じ性質であり、高い制御性能を求めるのであればどのような設計手法に依ったとしてもこの合理的な要求からは逃れられないことを再認識したことも、留学中に学んだ成果の一つである。

なお、私の留学中の2023年7月に横浜でIFAC2023が開催された。世界中から3,000人以上の制御系研究者が集い、最新の研究成果が議論されたが、発表論文を読み、また現地で参加した研究室の学生に聞いたところでは、データ駆動型制御あるいはモデルベース制御との融合をテーマにしたものが議論の70%を占めているという印象である。ただし、データ駆動型制御自体の議論はややピークを過ぎた感がある。モデルベース制御を研究テーマの一つとしている立場の者としてはデータ駆動型制御に多くの魅力を感じる一方、最終的には数値最適化に持ち込んでしまうことに何とも味気なさを感じてしまうが、これも時代の流れであろう。



写真3 受入教員のProf. Zobel（左）、トリノ工科大学のProf. Raparelli（中央）、筆者（右）

#### 3.2 真値収束性を保証するシステム同定手法

解析対象が線形時不変系であったとして、入出力データからその真値パラメータを入手することが可能であるかは、制御系設計者にとって現在も重要なテーマとなっている。真値が入手できることは、理

想状態ではシステムの状態変数がすべて推定できることを意味しており、モデルマッチングによる追従制御系、故障診断系など、応用は非常に広い。その一つの十分条件が上で述べたPE条件として知られているが、制御対象の持つ制約等によってはこれを満たすことが出来ないことも良く知られている。追従制御系設計でもこれと同様なことが言え、この場合には目標信号がPE条件を満たすかどうかの問題となるが、これはまったく期待できない。したがってこのPE条件を緩めることができるかは非常に重要な問題であるが、これに対しては2010年前後から大きな進展が見られている。具体的にはPE条件を緩めたFE (Finite Excitation) 条件というものを仮定し、過去に得られた入出力情報を基に信号空間のランク条件を補うことで真値収束性を保証するConcurrent Learning法が提案された。ただし、この手法は制御対象が時変系の場合には真値収束しないことも知られている。この対策として、過去の入出力情報の重みを調整することで新しいデータをより重く評価するような忘却要素を導入することが提案されているが、実はそれだけではうまく行かない。これを改良した手法については、私と一緒にラクイラ大学に研究留学し、2023年1月に帰国した当研究室の鶴原理司君（現博士課程1年生、JSPS特別研究員）が非常に精力的に研究を進めており、後日の研究成果報告を待たれたい。

### 3.3 Combined/Composite Model Reference Adaptive Control

制御対象のシステムパラメータが未知であっても所望の制御性能を実現することを目的とする適応制御系では、制御対象の入出力データからオンラインで同定を行い、その結果に基づいて制御入力を生成する間接法、同定を行うことなく補償器のパラメータを出力誤差により直接調整する直接法、の2つの構成が1970年前後から提案され、現在でもさまざまな派生版が提案され研究が続けられている。この代表としてはモデル規範型適応制御 (MRACS) というタイプが挙げられるが、その後1990年前後にこれら2つの方法を組み合わせた方法が提案され、さらに2010年前後に大きな改良を経ている。この方法は複数の独立した提案者がいるためCombined MRACSあるいはComposite MRACSと呼ばれている。この手法には以前から興味があったが、まとまった時間が取れたことで今回ようやく全体を理解することができた。アイデアは、まず直接法で系の安定性を保証するパラメータ更新則を設計したのちに、誤差モデルに一次フィルタを導入することで静的システムとして書き換え、そのパラメータ同定を行った

結果を直接法の制御入力に含まれるパラメータの更新に利用するというもので、適応制御系の弱点とされている過渡応答を、間接法を取り入れることにより改善する効果が確認されている。非常に興味深いのは、全系の安定性を保証するリアプノフ関数が、直接法におけるその自然な拡張として構成可能な点である。ここには古くから研究されていた双線形系の同定手法の成果が適用されており、この着想自体が画期的なものであった。

## 4. 現地の人々および生活

### 4.1 人 柄

私が交流した方々にほぼ共通して言えることは、生きてゆく上でとにかく無理をしないということであった。遅くまで働くことはしない、自分の時間を常に生活の中心に置く、家族との時間を大切にすること、ということに第一に考えているということ、現地ではほぼ毎日肌で感じていた。時間的にも精神的にも余裕がないと自分なりの物の考え方ができないということ、彼らは常に意識しているのだろうと推察する。大学も、土日は分厚く高い門扉が閉まり、完全に無人となる。週末は友人や家族とゆっくりしたり、旅行に出たりしてはどうか、という現れのようなのである。

日本人から見たイタリア人の印象を有り体に申し上げると、時間にルーズ、約束感覚が緩い、などであろう。また、このことはある程度正しい。しかし逆に、時間に正確、約束を必ず守る、ということが苦手という方にとっては、かなり生きやすい社会である。お互い様、あまり四角四面にはせずにやりましょう、というスタイルは、学会などで現地に一週間程度滞在するだけではその構造が十分には理解できないものであったが、長く滞在するとさまざまなものがつながって見えてくるようになった。さらに興味深かったことは、イタリア人が常に自分の意見をはっきりと持って自分の判断で行動することが原則になっている理由は、環境変化に対する自衛措置の現れであるという点であった。政府が頻繁に法律を変える、行政対応や必要書類も頻繁に変わる、という社会で自身を守り生き抜くためには、自分の情報収集能力、判断力と行動力のみが頼りであり、他人に依存することはできない。その結果、イタリア人はいい加減で自分勝手だ、というように日本人には映るのかもしれないが、それは彼らなりの最適化の結果なのだと思えば解釈すると見方は違ってくる。イタリア人は仲間を非常に大切にする。日本人の「ウチと外」、つまり仲間とよそ者というものとこの感覚はかなり近い関係にあり、先の大戦で日伊が組めた

のはこの辺りの親和性が背景にあるのかも知れないと勝手に想像している。なお、彼らが個々の判断で物を考えるということについては、私がこちらの学生を対象にある調査を行った際、回答方法を明確に文章で説明しているにも関わらず記入方法が5通りも出てきたことがその好例であったと捉えている。

## 4.2 現地での生活

ラクイラ大学には学生寮が無く、また外部研究者用の滞在施設も無い。したがって現地入り直後からアパート探しおよび滞在許可証取得が最優先事項となった。前者は8軒目の不動産屋で唯一見つけた物件に入居することとなった。ラクイラには時間とともに住人や学生が戻って来ているが、復興が非常にゆっくりのために入居可能物件が常に不足している。加えて、入居時のインフラ手続きには非常に時間がかかり、私のケースでは事前はかなり日数があったにも関わらず9月末の入居後に5日間ガスが使えない状況であった。真冬でなくて助かったが、この頃はまだイタリア人の考え方に慣れておらず、また言葉の壁で大家さんと上手くコミュニケーションが取れなかったために精神的にやや厳しい時期にあった。ただ、携帯電話のSIMが非常に安く購入でき、また自宅にはWiFiを設置できたため、家族との会話や学生との研究ディスカッションが自由にできたことは大きな救いとなった。ところが、ウクライナでの紛争によるヨーロッパ全域での一時的な燃料費高騰および契約手数料などが含まれたことで、初月にはガス代が262.5ユーロ、電気代が100ユーロという、家賃の半額に相当する請求が届いた。ラクイラでは9月には最低気温は一桁台に下がるが、省エネで様子を見ながら調整した結果、冬季でのガスおよび電気代は月平均で合わせて70ユーロ程度に収まった。ロシアの指導者恨めしや、と現地のアパート暮らしのイタリア人学生と話したことを覚えている。

研究室のある山頂のキャンパスまでは片道10kmあるため、通勤には自動車が必要であった。渡航前に私はオートマ車専用免許しかもっておらず、イタリアではマニュアル車が95%以上を占めていることが分かっていた。そこで、昨年4月に教習所で限定解除教習と試験を受け、マニュアル車を運転できるように国際免許を取得して現地入りしたが、大変幸運なことにProf. Zobelの知り合いの方から中古のオートマ車を安く購入することができ、移動については非常に便利な環境がそろった。ただし、遠出中に速度センサが壊れたために速度情報がフィードバックされず、常にローギヤのみで自宅に戻らざるを得なくなったり、圧力センサのねじ込み部からエンジンオイルのほとんどが漏れ、途中でパワステが

効かなくなったりと、自動車の仕組みと安全設計に対して実体験で学ぶところが多かった。

## 5. イタリア人の日本観から再考する日本

イタリア人は、現在も日本に非常に良いイメージを持っている。これは滞在中に訪れた都市で共通に感じたもので、具体的には、政治が機能し、街は清潔で、交通機関は時間通りに運行し、人々は優しいなどが挙げられた。しかし、現実を見ている側からすれば、すでにその状況は大きく変わりつつある。先に述べたようにイタリア人は一日の時間に余裕を持って生活しており、夕方6時過ぎには大学には学生も教員もほぼいなくなっている。日本人全体の労働時間と比較すると明らかに短いと推察される。自分が帰宅する時刻には、会社と思われる建物の窓には明かりは少ない。それでも、彼らは生活に困っているようには見えず、話を聞くと裕福ではないにしても問題なく十分暮らして行けるのだという。一方日本では、昨年から今年にかけて物価や公共料金の異常な値上がりが続く、さらには今後防衛費が2倍になることがすでに公表されている。なぜ日本人は相当働いているにも関わらずここまで余裕がないように見えてしまうのか。なぜわれわれ自身が毎日をそれほど楽しめていないのか。この違いには生活と政治は密接に関係しているものという認識の差があるように感じる。イタリアの総選挙の投票率は、過去最低だったとされる2022年でも63.9%で、日本の52.05%を12%以上上回っている。この数字の持つ意味は複数政党の存在を考えると決して小さいものではなく、日本でこの水準まで投票率が上がると政権交代が現実味を帯びてくる。投票率が上がる、または支持率が下がると、政権がまともな政治をするようになるのは各国共通の現象であるので、イタリアでは国民の政治に関する関心が高く、政治は生活に直結したものであると考えられる。つまり、政治を自分たちの物、生活に直結している物、と考えているからこそ政府に要求や自分たちの声を届けようとする回路が生きている。フランスでは、2023年1月に内閣が年金支給開始年齢を62歳から64歳まで引き上げることを柱とする年金改革法案を提出した直後、労働組合などの反対派が組織した一連の大きな抗議運動が起きたことは記憶に新しい。これは国民もメディアも民主主義を深く理解し、自分たちが政治に参加するという姿勢が明確であることを示している。今回の留学では、イタリアやヨーロッパを通して私自身が日本を見つめ直す非常に良い機会にもなった。

## 6. おわりに

これまでとりとめなく留学中の経験や所感について述べてみたが、現地では本当に多くの方々に温かく迎えていただき、そして助けていただいた。外国人が経験するとされる嫌な思いをする場面や差別にはほとんど出会わなかった。特に、受入れ教員のProf. Zobelおよび同研究室の博士課程学生のNicola Stampone君には細かな点まで都度ご支援いただいた。何度も自宅に招いてくれた知り合いや、家族ぐるみでお付き合いしてくださった方々も多かった。本当に感謝の念にたえない。この場をお借りして謝

意を示す次第である。現地でいただいたものは、形を変えてぜひ次の代につなぎたいと思う。

最後に、大学に勤務されている先生方は常に変にお忙しいと考えられるが、ぜひとも在外研究の機会を得ていただくことを強くお勧めしたい。自身の研究領域が広がるだけでなく日本に対する考え方も大きく変わり、そのことで学生指導に良いフィードバックが得られるという期待が今回確信に変わったからである。

(原稿受付：2023年9月1日)

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

## 日本フルードパワーシステム学会 キャリア支援セミナー開催のお知らせ

2024年度卒業・修了予定の学生の皆さんを対象として、学生と賛助会員企業の若手技術者との交流を目的としたキャリア支援企業セミナーを企画しました。下記のような月1回程度の頻度でリモート形式により開催します。

第1回：2023年12月15日(金) 17:00～18:30

第2回：2024年1月19日(金) 17:00～18:30

第3回：2024年2月16日(金) 17:00～18:30

第4回：2024年3月8日(金) 17:00～18:30

いずれの回もフルードパワー関連企業3社程度から企業紹介や仕事内容の紹介、個別相談等を行います。参加費用は無料です。大学や高専などの教育関係の教員の皆様は、学生の皆さんにホームページを見るようご案内ください。 基盤強化委員会

## 英文論文誌の特集号

### (第12回フルードパワー国際シンポジウム 広島2024) のお知らせ

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会では、この度、英文論文誌「JFPS International Journal of Fluid Power System」(Volume 18, 2025年予定) に「第12回フルードパワー国際シンポジウム 広島2024」の特集号を企画しております。詳細は、近日中に学会誌会告あるいはホームページ

に掲載予定です。奮ってご投稿ください。

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会  
論文集委員会

## 企画行事

## 学会主催のキャリア支援セミナーの紹介

## 著者紹介



たなか ゆたか  
田中 豊

法政大学デザイン工学部  
〒102-8160 東京都千代田区富士見2-17-1  
E-mail: y\_tanaka@hosei.ac.jp

1985年東京工業大学大学院総合理工学研究科修了。その後、東工大精密工学研究所助手を経て、1991年法政大学講師、1992年同助教授、2002年同教授、現在に至る。工学博士（1991年東京工業大学）、（一社）フルードパワーシステム学会副会長、基盤強化委員会委員長



わたなべ ゆき  
渡邊 悠希

立命館大学大学院理工学研究科  
機械システム専攻 ロボティクスコース  
ヒューマノイドシステム研究室

2024年3月立命館大学大学院理工学研究科前期課程を修了予定。その後、東京大学大学院システム情報理工学研究科後期課程に進学予定。

JFPS基盤強化委員会では2022年度からの新企画として、賛助会員企業と学生を結ぶ「キャリア支援セミナー」を企画開催した。

本セミナーでは、学会に所属するフルードパワー関連企業の若手技術者の方々より、会社や仕事の内容など、学生のキャリア教育に有益な情報を発信していただくことを主な内容とした。大学の学部学生、大学院生、高専の学生諸君のフルードパワー分野関連企業への興味と就活へのモチベーションを高め、卒業・修了後の進路を定める一助となれば幸いとの考えのもと、早川会長の肝いりで本セミナーは企画された。賛助会員企業にとっても、フルードパワー関連の仕事内容などを知ってもらい、就活に結び付けてもらう良い機会ともなった。

2022年度は基盤強化委員会委員の所属する企業を中心に、以下の日程と参加企業で行われた。

第1回（2023年1月13日（金）17：00～）

参加企業：カヤバ株式会社、日立建機株式会社

第2回（2023年2月10日（金）17：00～）

参加企業：東京計器株式会社、CKD株式会社、株式会社小松製作所

第3回（2023年3月17日（金）17：00～）

参加企業：油研工業株式会社、SMC株式会社、川崎重工業株式会社

セミナーは、事前に申し込み用の2次元QRコードが付いた広報ビラを作成し、ホームページおよび関係者へのダイレクトメール等で周知し、参加学生を募集した。実施形態はZoomオンラインによるリモート形式とし、参加費は無料で事前申込制（定員20名）をとった。参加学生は各回、15名～25名であった。

各社の話題提供の若手技術者の人選は、参加企業の担当者に任せ、日常、フルードパワー関連技術に関わる入社およそ10年以内の方を推薦してもらった。学会主催のセミナーという趣旨から、企業紹介のほかに、技術の話や現場の話、ご自身の仕事の内容なども重視してもらった。図1はリモートで行われた第1回セミナーの共有画面の一コマである。



図1 セミナーの一コマ

各社の若手技術者の説明の後、参加学生の皆さんからは多くの質問が寄せられた。例えば、「海外との関わりはどのようなものがあるか」、「技術者の1日はどのようなものか」、「機器の開発にはどの程度の役割が任せられるか」、「設計開発業務を目指した理由は」、「語学に関してはどの程度のレベルが求められるか」、「研修制度や資格取得制度はどのようになっているか」、「海外留学制度はどのようになっているか」、「年間を通じて何名ほどいるか」、「残業時間はどの程度か」、「社会人ドクター制度はあるか」など、かなり突っ込んだ質問も多かった。若手技術の方々

も、企業風土などを背景に、現状や自身の経験などと照らし合わせた有益な情報を参加学生に丁寧に説明していた。

合計3回のセミナー終了後に参加学生にアンケートを実施したところ、自主的に参加した学生が6割ほどで、キャリア支援に関する関心の高さがうかがわれた。また多くの学生が「大いに参考になった」と回答してくれた。ある学生は、若手技術者の目線から説明や意見が生で聞けて、自分自身で調べた段階ではイメージが付きにくかった内容の理解が深まり、大変勉強になった」との回答が寄せられた。また実施時期が1月～3月では少し始まりが遅いようで、前年の12月からの開催を希望する声が多く聞かれた。

ここでは参加学生の一人、立命館大学大学院修士2年生の渡邊悠希さんにセミナーに参加しての感想を述べてもらったので掲載する。

#### 〈参加学生の声〉

この一連のセミナーへの参加を通じて、フルードパワー分野の複数の企業の技術者から直接お話を伺う機会を得ました。これにより、フルードパワー分野の市場全体の動向を理解できるだけでなく、各企業の特徴や強みを知ることが出来ました。これにより、いわゆる「業界研究」と「業界内研究」を同時に行える有益な場でした。通常、就職活動の際に説明会を探すと、自身の研究に近い企業に焦点を絞りがちで、視野が狭くなることがあります。しかし、今回のセミナーでは、モーターやセンサなど要素部品を提供する企業から、重機建機の開発や作業現場のプロセス管理を行う企業まで、多岐にわたる分野が網羅されていました。これにより、新たな進路の選択肢を探る貴重な機会となりました。

さらに、このセミナーは企業紹介に留まらず、

実際の業務内容に焦点を当てており、キャリアパスを具体的に想像するのに役立ちました。20人程度の学生が参加していたため、通常の説明会よりも質問の機会が多く、自身の興味に合わせた情報を得ることができました。

このキャリア支援セミナーは、単なる就職についての情報収集にとどまらず、自身の将来について明確なイメージを持つのに非常に役立つ企画でした。当時、私は修士取得後の進路について迷っていましたが、大学院後期課程を修了してから民間企業に就職し、自身の専門知識を用いて社会に貢献するという将来の進路を、自信を持って選ぶことができました。

一方、本セミナーの企画に協力いただいた企業側の基盤強化委員会委員の方々からは、就活の時期を迎えた学生の興味を引く企画で、企業に入ると具体的にどんな業務をするのか、就職前に何を勉強しておくべきなのか、などを事前に知っておくことは、学生にとって重要な問題であろう、などといった意見があった。

2023年度は学生からの声を受け、2023年12月より、月1回の開催で実施することになっており、以下のスケジュールが決まっている。

第1回（2023年12月15日（金）17：00～）

第2回（2024年1月19日（金）17：00～）

第3回（2024年2月16日（金）17：00～）

第4回（2024年3月8日（金）17：00～）

ぜひ、多くの学生諸君に参加してもらい、各人の将来のキャリア形成に役立ててほしい。また賛助会員企業の方々には、こうした機会を通じて、フルードパワーに興味を抱く志ある学生の獲得に有効に利用していただきたい。

（原稿受付：2023年11月17日）

## 会 告

## 〈理事会・委員会日程〉

11月1日	企画委員会
11月14日	理事会
12月4日	編集委員会
12月18日	情報システム委員会

## 〈理事会報告〉

## 2023年度第4回理事会

11月14日 15:00～17:00

機械振興会館6F 6-64, オンライン (参加者21名)

- (1) 国際シンポジウム広島2024開催準備状況
- (2) 2023年秋季講演会開催準備状況
- (3) 学会創立50周年記念パーティー開催準備状況
- (4) 2023年学会賞各賞の選考委員長について
- (5) 会員の推移
- (6) 次期会長選挙について
- (7) 各委員会からの報告
- (8) その他

## 〈委員会報告〉

## 2023年度第3回企画委員会

11月1日 15:00～17:00

Web開催 (参加者19名)

- (1) 2023年秋季講演会開催準備状況
- (2) 2023年度オータムセミナー開催準備状況
- (3) 2023年度ウィンターセミナー開催準備状況
- (4) 2024年春季講演会併設セミナー開催準備状況
- (5) その他

## 2023年度第2回情報システム委員会

12月18日 13:00～14:00

Web開催 (参加者9名)

- (1) 学会HPの更新状況確認
- (2) 理事会・委員長会議報告
- (3) 会議報告(担当者, 執筆者選定)
- (4) HP内容の更新
- (5) その他

## 2023年度第4回編集委員会

12月4日 15:00～16:30

Web開催 (参加者19名)

- (1) 会誌特集号の現状と企画
  - 1) Vol.55 No.1「フルードパワーを活用した超高压技術」
  - 2) Vol.55 No.2「触覚技術と応用技術」
  - 3) Vol.55 No.3「DX時代の生産技術を支えるフルードパワー(仮)」
  - 4) Vol.55 No.4「フルードパワーシステムにおけるMDB活用(仮)」
  - 5) Vol.55 No.5「未定」
  - 6) Vol.55 No.6「機械工学を学ぶ皆さんへーフルードパワーのすすめー(仮)」
- (2) その他
  - 1) 会議報告
  - 2) 今後の特集について

## 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 (12月10日現在)	808	8	120	123
差引き増減	+2	±0	+4	±0

正会員の内訳 名誉員17名・シニア員74名・ジュニア員72名・その他正会員645名

## 〈新入会員〉

## 正会員

梅澤 俊祐 (CKD株式会社)

石川 将人 (大阪大学)

## 学生会員

田原 姫七 (岡山理科大学)

藤原 峻河 (岡山理科大学)

吉田 章人 (岡山理科大学)

富田 佳秀 (東京大学)

## 会 告

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

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催  
2024年春季フルードパワーシステム講演会  
開催日：2024年6月20日(木)・21日(金)

2024年春季フルードパワーシステム講演会は2024年6月20日(木)・6月21日(金)に機械振興会館(東京都港区)で開催されます。本講演会では、一般講演に加えて、製品技術紹介セッションや技術懇談会を企画する予定です。

詳細は学会ホームページに随時掲載いたしますので、ご確認いただけますようお願いいたします。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

## 会 告

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

2023年度ウィンターセミナー  
「医療福祉技術を支えるフルードパワー」  
開催日時：2024年3月5日(火) 10:00～17:00

超高齢社会であるわが国において高齢者のQ.O.L.の維持・向上に、医療福祉技術の進展は必要不可欠であり、人間親和性の高いフルードパワーシステムの貢献が期待されています。本セミナーでは、本年度5月号の会誌において、標記タイトルの特集号に執筆いただいた著者を講師陣に迎え、より深く記事の内容をご紹介いただきます。油圧、空気圧、機能性流体を対象

に、ロボティクス、運動支援、流体数値解析まで幅広くフォーカスしています。なお、本セミナーはオンラインでの開催を予定しております(※会場での開催はございません)。詳細は学会ホームページに随時掲載いたします。皆様の積極的なご参加を心よりお待ちしております。

## 会 告

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会  
賛助会員一覧表

(株)HI	(株)小松製作所油機開発センタ	長野計器(株)
(株)アイシン	(株)阪上製作所	中村工機(株)(株)
(株)明石合銅	(株)鷺宮製作所	ナブテスコ(株)
アズビル(株)藤沢テクノセンター	佐藤金属(株)	(株)南武
アズビルTACO(株)	産経新聞 東京本社	日新濾器工業(株)
(株)アドヴィックス	三輪精機(株)	日本アキュムレータ(株)
アネスト岩田(株)	三和テッキ(株)	日本機材(株)
出光興産(株)	(株)ジェイテクト	日本クエーカー・ケミカル(株)
イナバゴム(株)	(株)ジェイテクトフルードパワーシステム	日本工業出版(株)
イハラサイエンス(株)	CKD(株)	日本精器(株)
(株)インターナショナル・サーボ・データ	(株)島津製作所	日本製鉄(株)交通産機品カンパニー
(株)打江精機	シヤトコ(株)	(一社)日本フルードパワー工業会
(株)エムテック	勝美印刷(株)	日本ムーグ(株)
エコ技術研究所(株)	新電元メカトロニクス(株)	(株)野村商店
SMC(株)	住友建機(株)	(株)ハイダック
SMC中国有限公司	住友重機械建機クレーン(株)	ピー・エス・シー(株)
(株)NF1	住友重機械工業(株)	日立建機(株)
ENEOS(株) 潤滑油カンパニー	制御機材(株)	(株)日立建機ティエラ
(株)荏原製作所	第一電気(株)	(株)日立製作所
(株)大阪ジャッキ製作所	ダイキン工業(株)	廣瀬バルブ工業(株)
大瀧ジャッキ(株)	ダイキン・ザウアーダンフォォス(株)	フエスト(株)
オカダインダストリ(株)	大生工業(株)	(株)フクダ
鹿島通商(株)	(株)TAIYO	(株)不二越
(株)桂精機製作所	タイヨーインタナショナル(株)	二見屋工業(株)
神威産業(株)	ダイワ(株)	ボッシュ・レックスロス(株)
カヤバ(株)	(株)タカコ	昌富工業(株)
川崎重工業(株)精密機械・	(株)タダノ	(株)増田製作所
ロボットカンパニー	ダンフォォス(株)	マックス(株)
川崎油工(株)	(株)都筑製作所	松巴鉄工(株)
川重商事(株)	TMCシステム(株)	三國機械工業(株)
(株)神崎高級工機製作所	東京計器(株)	三菱電線工業(株)
キャタピラー・ジャパン(株)	東京計器パワーシステム(株)	ヤマシンフィルタ(株)
協和シール工業(株)	東京メータ(株)	ヤマハモーターハイドロリック
旭東ダイカスト(株)	東北特殊鋼(株)	システム(株)
(株)クボタ	東明工業(株)	(株)山本金属製作所
(株)工苑	東レエンジニアリング(株)	油研工業(株)
甲南電機(株)	特許機器(株)	(株)ユーテック
(株)古河製作所	特許庁	横河計測(株)
(株)コガネイ	TOHTO(株)	理研精機(株)
コスモ石油ブリカンツ(株)	(株)豊田自動織機	リバーフィールド(株)
(株)小松製作所開発本部	長津工業(株)	(株)レンタルのニッケン
(株)小松製作所試験センタ	中西商事(株)	

## 日本フルードパワーシステム学会論文集54巻 (2023) 抄録

斜軸式アキシャルピストンモータにおけるピストンリングのシール特性と  
合口部からの漏れ流量予測  
Sealing Characteristic of Piston Ring in Bent Axis Type Axial Piston  
Motor and Prediction of leakage from Piston Ring Gap

矢内 柁平, 藤井 智哉, 京極 啓史, 山本 浩, 菊池 雅男, 田中 真二  
Shuheï YANAI, Tomoya FUJII, Keiji KYOGOKU, Hiroshi YAMAMOTO,  
Masao KIKUCHI, Shinji TANAKA

2023年54巻1号 p. 1-9 [DOI](https://doi.org/10.5739/jfps.54.1) https://doi.org/10.5739/jfps.54.1

In this paper, the sealing characteristics of the piston ring of the piston in a bent axis type axial piston motor are clarified. In order to clarify the sealing mechanism of the piston ring, a test rig was developed and the behavior of the piston ring was visualized and measured. Next, the measured piston ring behavior was modeled and fluid structure interaction analysis was performed to analyze the leakage flow rate of the piston ring. The effect of the number and arrangement of piston rings on the leakage flow rate of the piston rings was also investigated. Comparison of experimental and analytical leakage flow rates indicated that the 2nd piston ring may have lower sealing performance than the 1st piston ring. The leakage flow rate from the piston ring gap was modeled by the flow between parallel plates and estimated the ratio of the leakage flow rate from that to the total leakage flow rate. The results showed that cross section profile of piston ring gap may affects the leakage flow rate.

デジタル油圧の建設機械向けパイロット元圧回路への応用に関する研究  
Study on An Application of Digital-Hydraulic Pressure Reducing Circuit to  
Pilot-Pressure Supply Circuit of Construction Machinery

名倉 忍, 柳田 悠太, 眞田 一志  
Shinobu NAGURA, Yuta YANAGIDA, Kazushi SANADA

2023年54巻1号 p. 10-17 [DOI](https://doi.org/10.5739/jfps.54.10) https://doi.org/10.5739/jfps.54.10

Pilot-pressure supply circuit of construction machinery consumes 2-3% of engine's horsepower. A method of improving energy efficiency is studied by many researchers. Switched Inertance Hydraulic Converters (SIHC) which is one type of digital hydraulic circuit has been proposed as a solution to reduce throttling loss through control valve in a hydraulic circuit. A digital-hydraulic pressure reducing circuit is an example of SIHC which may show high energy efficiency because it does not use a throttling orifice. It can obtain output flowrate larger than supply flowrate. This paper aims to apply the digital-hydraulic pressure reducing circuit to pilot-pressure supply circuit of construction machinery. A control method of the pilot pressure to follow demanded pilot pressure is proposed. A simulation model is experimentally verified. The proposed control method is validated. Controllability and loss reduction effect are investigated by simulation based on transient pressure and flowrate data of an actual construction machinery in operation.

油圧インピーダンス計測技術に関する研究  
(自動変速機バルブボックス油圧回路の動特性計測)  
A Study on hydraulic impedance measurement technology  
(Measurement of dynamic characteristics of an oil-hydraulic circuit in an  
automatic transmission valve box)

橋本 大樹, 藤田 昌孝, 眞田 一志  
Daiju HASHIMOTO, Masataka FUJITA, Kazushi SANADA  
2023年54巻2号 p. 19-26 [DOI](https://doi.org/10.5739/jfps.54.19) <https://doi.org/10.5739/jfps.54.19>

In recent years, model-based development (MBD), a system development method that incorporates simulation technology, has been increasingly adopted in the design of valve-box hydraulic circuits for automatic transmissions. This method has various advantages in terms of development cost and time. On the other hand, hydraulic vibration, response delay, and pressure over/undershoot may occur in actual machine under development that were not easily predicted in the simulation. Although it is necessary to understand the characteristics of the actual machine in order to analyze these problems, the measurement technology has not yet been established. The objective of this research is to develop a measurement technique for hydraulic impedance, which represents the frequency characteristics in the valve-box of an automatic transmission, and to identify the parameters. This will not only enable us to evaluate the response and stability of the actual machine, but also to analyze the causes of actual phenomena and improve the accuracy of the model. It will lead to an improvement in design accuracy.

## 編集室

## 次号予告

## —特集「触覚技術と応用技術」—

【巻頭言】「触覚技術と応用技術」発行に当たって	兵藤 訓一
【解説】	
空中超音波による触覚フィードバック	篠田 裕之
力触覚技術とその土木分野へ応用	野崎 貴裕
建設重機の臨場感のある遠隔操作の実現を目指して	江沢 迪和
織細ハプティックデバイスの実現を目指したMR 流体デバイスとその評価法の開発	菊池 武士
VR/AR 空間におけるフルードパワーを用いたウェアラブルな全身型力覚提示システム	澤橋龍之介, 中村 太郎
空気圧腱駆動機構を用いた人工指による材質認識システム	吉満 俊拓
【会議報告】	
日本機械学会2023年度年次大会におけるフルードパワー技術研究	吉田 和弘
【トピックス】	
学生さんへ、先輩が語る—過去の経験が今につながる—	栗 奉憲
笑顔で活躍—お仕事フルードパワー便—これまでの進学選択を振り返って—	渡邊 悠希
【企画行事】	
2024年度企画行事紹介	桜井 康雄, 小林 亘
2023年度オータムセミナー 開催報告「環境負荷の低減を進める空気圧システム」	飯田 知良

## 2023年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 柳 田 秀 記 (豊橋技術科学大学)	委員 中 野 政 身 (㈱SmartTECH Lab.)
副委員長 山 田 宏 尚 (岐阜大学)	中 山 晃 (日立建機㈱)
委員 飯 尾 昭 一 郎 (信州大学)	藤 田 壽 憲 (東京電機大学)
飯 田 武 郎 (㈱小松製作所)	丸 田 和 弘 (㈱小松製作所)
加 藤 友 規 (福岡工業大学)	水 上 和 哉 (CKD㈱)
北 村 剛 (油研工業㈱)	村 岡 裕 之 (㈱コガネイ)
窪 田 友 夫 (カヤバ㈱)	山 本 久 嗣 (富山高等専門学校)
五 嶋 裕 之 (㈱工苑)	吉 見 浩 司 (川崎重工業㈱)
齋 藤 直 樹 (秋田県立大学)	吉 満 俊 拓 (神奈川工科大学)
佐々木 大 輔 (香川大学)	担当理事 伊 藤 隆 (カヤバ㈱)
佐 藤 恭 一 (横浜国立大学)	学会事務局 成 田 晋
妹 尾 満 (SMC㈱)	編集事務局 竹 内 留 美 (勝美印刷㈱)
谷 口 浩 成 (大阪工業大学)	(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。

個人会員各位

2024年1月15日

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

2024年度会費納入のお願い

拝啓 時下益々ご清祥のこととお慶び申し上げます。

さて、2024年度（2024年4月1日～2025年3月31日）の会費を、下記の通りご納入賜わりたくお願い申し上げます。なお、すでにご納入くださいました場合は、なにとぞご容赦ください。

敬 具

記

2024年度 正会員会費 8,000円  
(40歳未満で入会された方は、入会から5年間にかぎり4,000円となります.)  
学生会員会費 2,000円

お 願 い

- ・2023年度以前の会費を未納の方は、新年度分（2024年度）とあわせてお振り込みくださいますようお願い申し上げます。
- ・会員名を必ずご記入ください。
- ・便利な自動振り込みは手数料が不要です。ご希望によりお申し込み書をお送りいたしますので、FAXまたはE-mailにてご一報いただきたく、よろしくお願い申し上げます。

以上

払 込 取 扱 票												払込票兼受領証																	
00	東京		口座番号 (右詰めにご記入ください)									金額	千	百	十	万	千	百	十	円									
0	0	1	1	0	3	1	3	3	6	9	0	*																	
加入者名	一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会										料金		特殊取扱																
通信欄	該当するものに○をつけ、お振込の内容をご記入ください。 1. ( ) 年度 ( ) 会費 企業名・[ ] 会 員 名 2. ( ) の代金																												
払込人住所氏名	(郵便番号 )												受付局日附印																
	(電話番号 - - )																												
裏面の注意事項をお読みください。(郵政事業庁) (私製承認東第23957号)																													

口座番号	0	0	1	1	0	3		
右詰めにご記入ください								
	1	3	3	6	9	0		
加入者名	一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会							
金額	千	百	十	万	千	百	十	円
*								
払込人住所氏名								
料 金	(消費税込み) 受付局日附印							
	円							
特殊取扱								

各票の※印欄は、払込において記載してください。

切り取らないで郵便局にお出しください。

記載事項を訂正した場合は、その箇所に訂正印を押してください。

## お振り込み先金融機関一覧

1. 郵便振替貯金 00110-3-133690

\*下の振替用紙をご利用いただけます。

(なお、この振替用紙は会費納入・資料購入・セミナー等受講料など総てにご利用いただけます。)

2. 三井住友銀行 日比谷支店 (普) 7611417

(注) \*口座名はいずれも「シャ)ニホンフルードパワーシステムガッカイ」です。

\*誠に恐れ入りますが、振り込み手数料はご負担くださいますようお願い申し上げます。

\*上記2をご利用の方で、会社名・大学名にてご送金の方は、個人名・内容・振込金融機関名を、FAXまたはE-mailで学会宛にご連絡くださいますよう、お願い申し上げます。

FAX : 03-3433-8442

E-mail : info@jfps.jp

この受領証は、郵便局で機械処理をした場合は郵便振替の払込みの証拠となるものですから大切に保存してください。

### ご注意

この払込書は、機械で処理しますので、口座番号及び金額を記入する際は、枠内に丁寧に記入してください。

また、下部の欄(表面及び裏面)を汚したり、本票を折り曲げたりしないでください。

(日本郵政公社)

〒105  
0011

東京都港区芝公園三丁目五番二機械振興会館別館一〇二一 電話(〇三)三四三三―八四四一 FAX(〇三)三四三三―八四四二  
編集兼発行人 一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会 振替口座 東京〇〇―一〇―三一―二三三六九〇

東京都文京区白山一―二―七 アクア白山ビル五階  
印刷所 勝美印刷株式会社