

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

Nov. 2020 Vol. 51 No. 6

特集「トータルシステムの効率向上」

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「トータルシステムの効率向上」

【巻頭言】

「トータルシステムの効率向上」発行にあたって	佐藤 恭一	246
------------------------	-------	-----

【解説】

建設機械におけるロードセンシングシステムについて	高 圭介	247
油圧ショベル用省エネ油圧システム（3 ポンプシステム）	小高 克明	251
電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの制御	加藤 友規	254
転がり軸受の低トルク化技術	外尾 道太	258
自動車用トランスミッションにおける効率向上システム	柴山 尚士	262
空気圧システムのエネルギー消費の評価	香川 利春, 蔡 茂林	267
鉄道車両用真空式トイレの省エネルギー	藤野 謙司	271

【ニュース】

学会創立50周年記念誌と記念出版編集事業	佐藤 恭一	276
----------------------	-------	-----

【トピックス】

学生さんへ、先輩が語る一大勢の人と関わりながら働くということー	勝又 玲子	278
---------------------------------	-------	-----

【研究室紹介】

立命館大学 ソフトロボティクス研究室	平井 慎一	281
--------------------	-------	-----

【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	
2020年秋季フルードパワーシステム講演会	257
日本フルードパワーシステム学会論文集51巻（2020）2号 発行のお知らせ	257
会員移動	277
理事会・委員会報告	284
学会創立50周年特別会費（賛助金）の受付結果	285
共催・協賛行事のお知らせ	286
資料一覧表	287
フルードパワーシステム総目次（第51巻）	292
次回予告	294

■表紙デザイン：浅賀 美希 勝美印刷株

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 "Efficiency Improvement on Total System"

[Preface]

On the Special Issue "Efficiency Improvement on Total System"	Yasukazu SATO	246
---	---------------	-----

[Review]

Load Sensing System in Construction Machinery	Keisuke TAKA	247
Energy Saving Hydraulic System for Hydraulic Excavator	Katsuaki KODAKA	251
Introduction of Recent Research on Control of Hybrid Electric-Pneumatic Ultra-Precision Vertical Positioning Stage	Tomonori KATO	254
Low Torque Technology for Rolling Bearings	Michita HOKAO	258
Efficiency Improvement Systems in Automobile Transmission	Takashi SHIBAYAMA	262
Assessment of Energy Consumption in Pneumatic Systems	Toshiharu KAGAWA, Maolin CAI	267
Study of the Energy Saving of a Vacuum Toilet System for Train	Kenji FUJINO	271

[News]

The JFPS 50th Anniversary Memorial Book and Commemorative Publishing and Editing Project	Yasukazu SATO	276
--	---------------	-----

[Topics]

Senior talks to students—Working with a Large Number of People—	Reiko KATSUMATA	278
---	-----------------	-----

[Laboratory Tour]

Soft Robotics Laboratory, Ritsumeikan University	Shinichi HIRAI	281
--	----------------	-----

[JFPS News]

257, 277, 284, 285, 286, 287, 292, 294

巻頭言

「トータルシステムの効率向上」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。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. ま え が き

本号では、「トータルシステムの効率向上」と題して、油圧システム、空気圧システムの全体としてのエネルギー効率の向上を実現するシステム設計、要素技術、駆動手法などに注目するとともに、さまざまな分野での効率向上、動力伝達損失低減、環境負荷・エミッション低減に貢献する技術を紹介する特集を企画した。

フルードパワーの技術分野に限らず、産業界におけるエネルギー伝達、動力伝達の効率向上、損失低減は重要な課題であり、性能向上、低コスト化、環境負荷低減と並んで技術開発の最重要目的のひとつである。効率を度外視した技術開発はないといっても過言ではないであろう。

2. トータルシステムの効率向上

機器単位では、長年の研究開発の成果として、高効率をアピールした機器が当たり前になりつつある。たとえば、平歯車のかみ合いに関しては98～99%といった伝導効率を示し、あと1、2%の効率向上しろを残すのみである。このような高効率機器を含むシステムであっても、エネルギー伝達、動力伝達は基本的に伝達要素の直列接続であるため、伝達経路の途中に効率が低い要素があればボトルネックとなり、トータルシステムの高効率化は望めない。

すなわち、トータルシステムの効率向上は、システムを構成する伝達要素の全機器のさらなる効率向上に帰着する。

一方、もうひとつのトータルシステムの効率向上手段として、最適な制御の適用やシステムの使い方があげられる。

機器や伝達要素ごとに存在する高効率な最適運転のポイントを勘案したシステム構成や、トータルシステムの最適運転ポイントを見出して制御することで、前述のボトルネックの緩和ができると考えられる。また、システムの使い方では、伝達したエネルギー、動力を回収し再利用する回生技術が有望である。

このような機器や要素の効率向上と、システムの制御および使い方での効率向上を網羅して紹介すべく、当特集は次の7件の興味深い解説記事で構成した。

- ① 建設機械におけるロードセンシングシステムについて
- ② 油圧ショベル用省エネ油圧システム（3ポンプシステム）
- ③ 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの制御
- ④ 転がり軸受の低トルク化技術
- ⑤ 自動車用トランスミッションにおける効率向上システム
- ⑥ 空気圧システムのエネルギー消費の評価
- ⑦ 鉄道車両用真空式トイレの省エネルギー

3. あとがき

当特集号の解説執筆を依頼したのは、本年5月上旬であり、新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言の最中で、社会は外出自粛、在宅勤務、テレワークの制限が敷かれていた。このような厳しい状況の中、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に深く感謝の意を表したい。

（原稿受付：2020年9月30日）

解説

建設機械におけるロードセンシングシステムについて

著者紹介



たか けい すけ
高 圭 介
コマツ開発本部油機開発センタ
〒323-0820 栃木県小山市横倉新田400
E-mail : keisuke_taka@global.komatsu

1982年 福井大学産業機械工学科卒、1982年
コマツ入社、同年油機開発センタ配属後、建設
機械の油圧システム開発、操作弁の開発に従事。

1. はじめに

建設機械と聞くと皆さんが思い浮かべるのはショベルカーではないだろうか。ショベルカー、正式名Excavatorは日本建設機械業界では「油圧ショベル」と呼ばれ、全アクチュエータが油圧駆動で油圧モータで走り、旋回し、油圧シリンダで土を掘り運ぶ機械である。この油圧ショベルの歴史は古く、1947年にイタリアで生まれ1961年に国産化されたのち油圧システムの改良が重ねられてきた。そしてそのうちのひとつにロードセンシングシステムがある。本稿では油圧ショベルの油圧システム比較を通してロードセンシングシステムについて紹介する。

2. 油圧ショベルのシステム変遷¹⁾

まず世の中の油圧ショベルの油圧システムの変遷を簡単に説明する(図1)。

	オープンセンタ			クローズセンタ
	製品化当初	可変容量化	ネガティブ制御	ロードセンシング(CLSS)
回路				
ポンプ	固定	可変容量	可変容量	可変容量
等馬力	なし	あり	あり	あり
フィードバック	なし	なし	あり(ネガティブ)	あり(ロードセンシング)

図1 油圧ショベルの油圧システム変遷

(1) 製品化当初

製品化当初はオープンセンタシステムで、つねに

ポンプが最大量を吐出し、ブリードオフ回路を絞ってドレンさせながら作動させる、回路圧が上がって逃がす際もポンプ最大流量をリリースさせるという非常にむだの多いシステムだった。また、エンジン馬力に対し油圧馬力が大きい場合もあり、重掘削でエンストすることもあった。

(2) 可変容量化

次の世代は可変容量ポンプを採用し、馬力一定制御でエンスト防止とするとともに高圧化も合わせエンジンの小型化を図ることができた。また、馬力一定制御で圧が上がると流量が少なくなりでリリース時のロスも減らせた。しかし操作している時はポンプは最大量を吐出してブリードオフ回路を絞りドレンさせながら作動させるのでロスは多かった。

(3) ネガティブ制御システム

1980年代から各社とも採用したシステムで、ブリードオフラインの下流に絞りを設け、そこを通過する流量による絞りの前後差圧を検出し、可変容量ポンプにフィードバックして操作していないときは最小斜板とし操作をすると操作量に応じて流量が増えるようにしてロスを低減させた。

(4) ロードセンシングシステム

操作量に応じた操作弁のメータイン絞りの前後差圧が一定になるよう可変容量ポンプに差圧をフィードバックし可変容量ポンプの斜板を制御するのがロードセンシングシステムである。後述するが、ネガティブ制御システムの原理的な欠点を補える油圧システムである。

※ロードセンシングを以降LS (Load Sensingの文字) で表す

3. ネガティブ制御システム

LSシステムの説明の前に比較としてネガティブ制御システムについて説明する。前項のおさらいになるがネガティブ制御システムは操作弁のブリードオフ回路を通過するポンプ流量を下流に設置した絞りの前後差圧をポンプにフィードバックしてポンプ容量を制御するシステムで図2のように操作量に応じて絞り前後差圧が変化し、その差圧によりポンプ

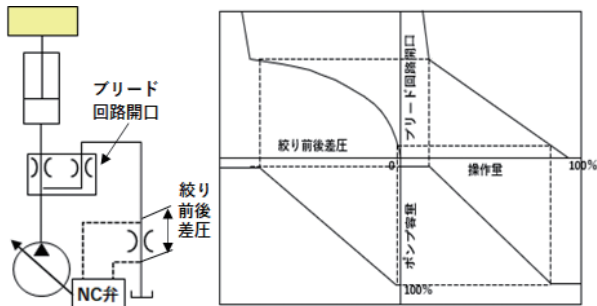


図2 ネガティブ制御システムの作動

容量が変わる。

ネガティブ制御システムもLSシステムと同様、指令に応じて可変容量ポンプの容量を制御する省エネシステムであるが機能上の欠点を持っている。またそのために油圧ショベルの回路構成では平行回路とタンデム回路を織り交ぜたり、同時操作を成立させるため補助機能を追加せざるを得ず、回路が複雑化する(図3)。

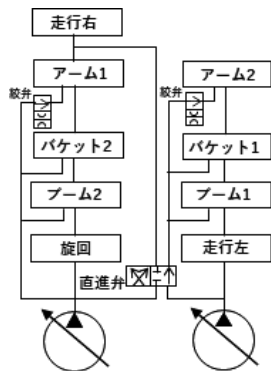


図3 ネガティブ制御システムの回路例

ネガティブ制御システム機能上の欠点は下記である。

- ①操作(ファインコントロール)特性が負荷によりドリフトし操作がしづらい
- ②複数軸同時操作すると負荷の軽い方に流れてしまい操作がしづらい
- ③ポンプ容量中間域制御が困難(負荷が変わると流量が変わる)で、アタッチメントに応じた適時流量調整ができない
- ④増設弁追加(上記の中間斜板流量設定ができないため)で流量設定のため追加装置が必用

4. LSシステム²⁾

つぎにLSシステムをネガティブ制御システムと比較して説明する。LSシステムは $Q=CA\sqrt{\Delta P}$ に従い、操作弁のメータインオリフィスの開口面積Aの前後差圧 ΔP が一定になるようポンプサーボが流量コントロールし、アクチュエータの負荷圧が変わっても指令どおりの流量が安定して得られ、遠隔化や自動化への対応がやりやすいシステムである。また、LSシ

ステムは各セクションの圧力補償弁で他セクションの圧力フィードバックを受け各セクション要求流量比で分流するので全セクションが平行接続していても良く、走行直進のために左右走行が独立になるよう分流弁があるだけの簡素な回路である(図4)。

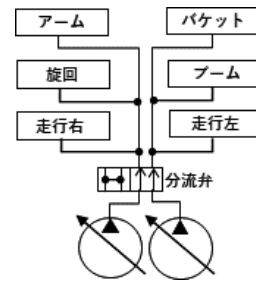


図4 LSシステムの回路例

LSシステムは1955年に検討が始まり1965年の“New Concepts in Hydraulic Controls for Mobile Equipment”³⁾として発表され1975年SundstrandのA. Myersにより“Controlling Variable Displacement Hydraulic Pumps for Energy Conservation”⁴⁾で省エネ油圧システムとして提唱された油圧システムである。実用化されたのは1987年に米国J社の油圧ショベルからであった。古くから検討されてきたのに約30年間実用化がされなかったのは優れた特徴にも関わらず簡単に解決できない課題があったためであり、この課題も後述する。

4.1 ネガティブ制御システムとLSシステムとの比較(3. 項で述べた欠点に対するLSシステムの比較)

①操作特性(ファインコントロール特性)

ネガティブ制御システムは負荷が変わるとブリードオフ回路からのドレン流量が変化するため操作特性がドリフトする(図5)。

ロードセンシングシステムはメータイン絞りの前後差圧が一定になるようにポンプコントロールされるためドリフトしない(図5)。

そのため負荷による差が少なく制御が非常にやりやすい。

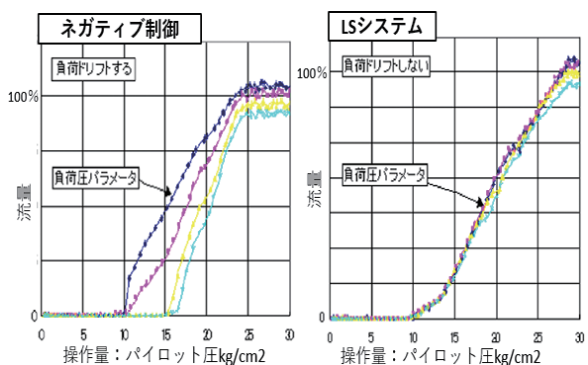


図5 ネガティブ制御システムとLSシステムの操作力特性

②複数軸同時操作

ネガティブ制御システムは同時操作すると負荷の軽い方に流れてしまい、操作量でコントロールしなくてはならぬ慣れないと操作が難しく、自動制御でも複雑化する（図6、グラフは低压側（アーム）を最大操作して高压側を徐々に操作した際の横軸高压側操作量、縦軸それぞれの流量を示す。同圧の時は両方に流れているが、圧力差が付くと高压側にはまったく流れていない）。

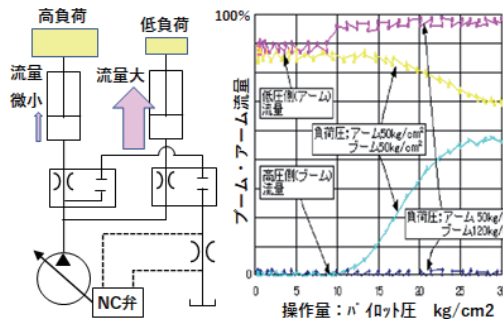


図6 ネガティブ制御システムの複合操作特性

低い方に流れにくくするために絞り弁を追加する事など回路が煩雑になるうえ、一負荷に対ワンプointマッチングとなり、負荷が刻々と変わるとそれに対しフィードバック系が必用になり自動制御では使いづらい（図7）。

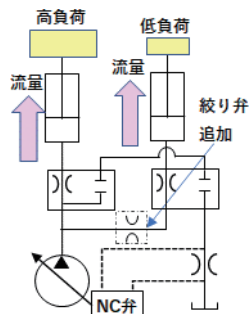


図7 ネガティブ制御システムの複合改善回路

一方LSシステムは負荷によらず、複数の操作量に応じて比例配分され同時操作でき、慣れていない人でも比較的容易にコントロールでき、かつ負荷による差が少なく自動制御がしやすい（図8）。

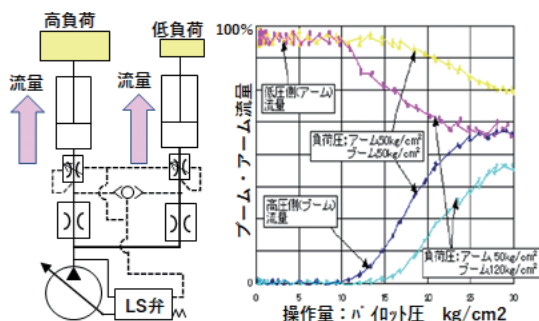


図8 LSシステムの複合操作特性

③ポンプ容量中間域制御

ネガティブ制御はポンプ容量中間域での流量調整が負荷圧によって変わってくるので基本各アクチュエータの速度は1ポンプ流量か2ポンプ合計流量で設定されている。またいろいろなアタッチメントは個別にさまざまな流量設定があり、基本的に1ポンプ流量か2ポンプ合計流量しか選べないので、増設弁を追加しアタッチメントを動かす場合、流量調整弁などがさらに必用となる。LSシステムでは各アクチュエータごとにメータイン絞り量を変えることで自由に流量を設定できるので増設弁追加も容易である。

4.2 LSシステムの特徴と課題³⁾

LSシステムの特徴としては以下の点があげられる。

- a) 負荷に依存しない操作特性
- b) 負荷に依存しない同時操作性
- c) 任意の流量設定が可能
- d) 操作域によらず力が出せる

このうちa), b), c) については前述4-(2)項でネガティブ制御システムとの比較で優れる点を説明した。d) についてだが、ネガティブ制御システムでは中立回路があるため非常に大きな負荷、たとえば壁をシリンダで押そうとすると操作量に応じて徐々にポンプ圧が立ちあがる。LSシステムはというと、動き出すとすぐに圧力が高くなる特性を持ち、微操作域でも力を出せ操作性が向上する（図9）。

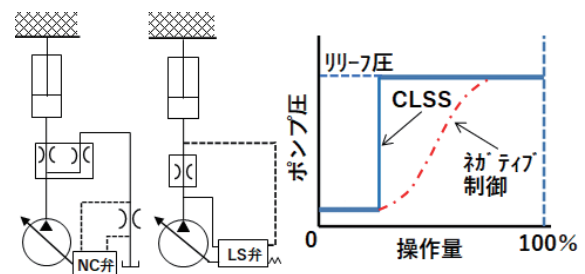


図9 操作量に対するポンプ圧立ち上がり特性

①LSシステムの課題について

LSシステムは油圧ショベルに採用するにはいいことばかりでなく以下の課題がある。

- e) 慣性の大きな旋回起動時にブームを同時操作した際の上がり量が不足
- f) 慣性の大きな旋回やブームなどを駆動する際の流量変動が減衰しずらくハンチングが起きやすい
- g) LSの制御差圧が増える
油圧ショベルに採用するにはこの課題に対する何らかの対応が必要になる。

以下に対応の例を述べる。

e) 旋回起動でブーム同時操作時の対応

LSシステムでは一番高いアクチュエータの圧力

にポンプ圧が支配されるため、慣性の大きな旋回を加速する時に旋回りリリーフし、等馬力制御で減少した流量を旋回とブームで分配するのでブームの上がり量が少なくなるという問題があった。

これに対し旋回→LS回路に切換弁を付け、旋回とブームを同時に操作した際旋回のLS圧をLS回路に出力せず旋回りリリーフ圧より低いブームの圧力で流量を増やし、ブームの圧力で旋回を加速することでブーム上がり量を確保する対応法がある（図10）。

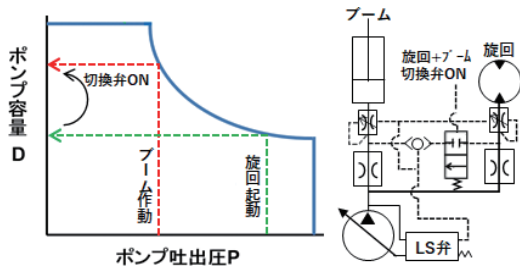


図10 旋回+ブーム同時操作時改善

f) 旋回やブームを駆動の流量変動の減衰について

慣性が大きな負荷を駆動した時の速度変動の減衰のしやすさを考えると負荷圧 P の変動に対する流量 Q の割合 $\partial Q/\partial P$ （傾き）が <0 であれば減衰しやすい系といえる。

流量-負荷圧特性を比較するとネガティブ制御システムは負荷圧の上昇に対し流量が減少する特性で $\partial Q/\partial P < 0$ で流量変動が減衰しやすい。一方LSシステムは $Q = CA\sqrt{\Delta P} = \text{const}$ に制御されるので $\partial Q/\partial P = 0$ となりネガティブ制御システムに比べ流量変動が減衰しにくい（図11）。

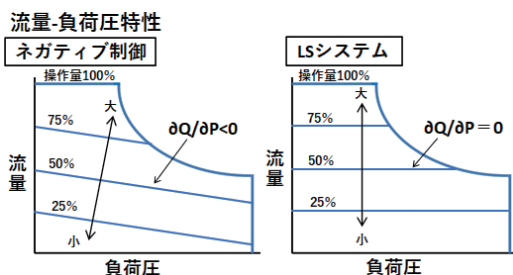


図11 流量変動の減衰の比較

LSシステムに対し各セクションのLS出力部に適度な導入絞りを設けネガティブ制御に流量-負荷圧

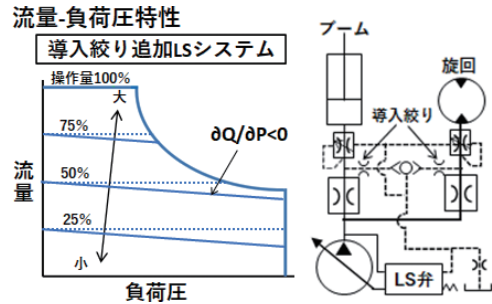


図12 流量変動の減衰LSシステムの対応

特性を近づける対応法がある（図12）。

g) LS制御差圧が増えることに対する対応

LSシステムはLS制御差圧が必用でこの差圧損失が不利になる。このことは避けることができない課題である。LS制御差を極小さくすればほとんど影響ないレベルにはできるが、流量制御の分解能が劣りばらつきが大きくなるので適切に設定する事が必用である。

単独操作ではLS制御差圧損失が発生するものの油圧ショベルはほとんど複合操作で動く機械であり、実際にはLS制御差圧の設定圧よりかなり低い差圧しか発生しない。弊社の経験では、LSシステムによって土を掘ったり運ぶ動作がやりやすくなったのかネガティブ制御システムと比較して約10%作業量燃費が改善された。

5. あとがき

ロードセンシングシステムはICT施工工化、ICT建設機械や遠隔化および自動化に向け電子制御に対応しやすい（手間の少ない）油圧システムとして今後も発展していくと考える。

参考文献

- 1) 生田正治 国立科学博物館技術の系統化調査報告 Vol. 22 2015. March
- 2) SAE Paper 941714 "Load Sensing Fluid Power System"
- 3) SAE Paper 650669 "New Concepts in Hydraulic Controls for Mobile Equipment"
- 4) SAE Paper 750807 "Controlling Variable Displacement Hydraulic Pumps for Energy Conservation"

（原稿受付：2020年9月9日）

解説

油圧ショベル用省エネ油圧システム（3ポンプシステム）

著者紹介



こ だ か かつ あき
小 高 克 明

日立建機株式会社
〒300-0013 茨城県土浦市神立町650

1998年日本大学大学院理工学研究科修士課程
修了。同年日立建機入社。現在に至る。油圧、
車体システムの開発に従事

1. はじめに

近年、環境負荷低減、燃料費の高騰を背景に油圧ショベルの燃料消費量の低減要望が高まっている。従来の油圧ショベルは2ポンプシステムを採用しており、このシステムにおいては、ブーム上げ、アームクラウド複合時の操作性を確保するために、低压側となるアーム流量制御弁の上流を絞るようにした。作業性を向上するために、アームの戻り回路を絞るようにしてアームクラウド時に再生を行わせるようにしており、いずれの場合も管路を絞ることによる圧損が大きく、作業性と省エネの両立が難しかった。

そこで、作業性と省エネの両立を実現できる、3ポンプシステムとなる新たな油圧ショベル用省エネ油圧システムを開発した。

本3ポンプシステムは、平成29年度関東地方発明表彰「特許庁長官賞」を受賞している。

2. 新たな油圧システムの提案

2.1 3ポンプシステム

従来の油圧ショベルは2ポンプシステムを採用しており、お客様より操作性と作業量は高く評価いただいているが、さらなる燃費低減要望に対し、作業性と省エネ性を両立するシステムを新たに開発することが課題となっていた。

特に操作性においては、バケットだけでなく、アタッチメントでの操作性においても高い評価をいただいております。その操作性を確保して燃費低減を行うことが必要であった。そこで、操作性、作業量は維持しながら油圧システム効率を上げて燃料消費を下

げる、アタッチメントのさらなる拡張性を広げる、というコンセプトとして新たな油圧システムを開発した。

従来の2ポンプシステムにおいては、第1油圧ポンプには、第1ブーム、および第2アーム、バケット方向制御弁を備え、第2ポンプに第2ブーム、および第1アーム、旋回、アタッチメントを備える構成になっている。ブーム上げ、アームクラウド複合時の操作性を確保するために、低压側のアームを絞ることで操作性と作業量の両立を実現している（図1）。

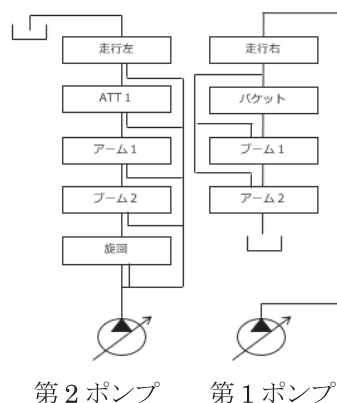


図1 従来の2ポンプシステム

その結果、2ポンプシステムにおいては複合時の絞り圧損が大きくなっている。新油圧システムである3ポンプシステムにおいては、それを解決するために第3ポンプを追加して、絞り圧損を低減することとした^{1), 2)}。

具体的には、第1油圧ポンプに第1ブームおよび第2アーム用方向制御弁と、第2油圧ポンプに第2ブーム用および第1アーム用方向制御弁を備え、第3油圧ポンプに第3ブーム用方向制御弁と第3アーム用方向制御弁をタンデム接続した構成にしてある。また、第3ポンプに旋回用方向制御弁を備え、第3ブームと平行接続した構成にしてある。さらに、第2ポンプにアタッチメント用の方向制御弁を備えているが、さらなる拡張性を見据えて第3ポンプにも第2アタッチメント用方向制御弁を追加することでアタッチメントへの対応力を向上させた（図2）。

この構成により、ブーム上げ、アームクラウド複合時に、第3油圧ポンプの圧油によってブーム上げを行い、第1、第2油圧ポンプによって十分な流量を供給してアームクラウドを行わせることができる。これにより、従来よりも圧損を低減することができるため、複合操作性確保および作業性向上をさせつつより大きな省エネ効果を実現させることが可能となった(図3)。

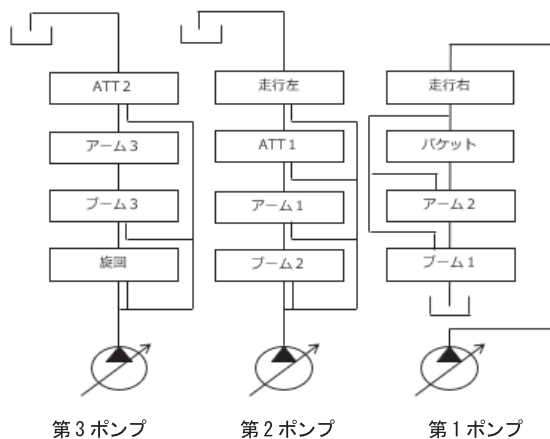


図2 3ポンプシステム

省エネ油圧システム (3ポンプシステム)

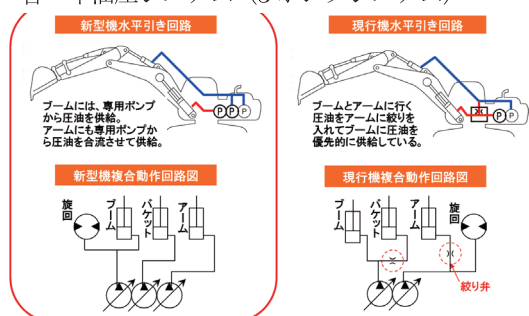


図3 従来システムと3ポンプシステムの違い

2.2 3ポンプシステムの効果

このシステムを搭載したことにより、ブーム上げ、アームクラウド複合動作において、従来の作業量を確保しつつ油圧損失を33%低減した。

このシステムを搭載した20t油圧ショベル(写真1)において、前モデルと比べてPWRモードにおいて燃費を17%低減、ECOモードにおいて燃費を25%低減することに成功した。

また、第2アタッチメントを追加したことで、拡張性が増し、従来の複数のアタッチメントを使うお客様においては後付けのシステムで実現していたが、アタッチメントとの複合性も向上し、お客様から評価いただいた。



写真1 3ポンプシステム搭載の20t油圧ショベル

2.3 第2世代3ポンプシステム

3ポンプシステム搭載の20t油圧ショベルの省エネについてはお客様からも高評価をいただき、次のモデル開発においては、高評価いただいている3ポンプシステムを改良することとした。

改良するポイントについては、当社独自の市場車体の稼働情報管理システムから車体稼働データにて操作状況を分析することで改善ポイントを見極め改善することとした。稼働機のポンプ負荷頻度、エンジン回転数頻度を見ることで実稼働の割合などが確認できる。これによりショベルの使われ方を分析することができる³⁾。

この市場車体の稼働情報管理システムを活用することで油圧システムの改善ポイントを見つけることができた。フル操作時の省エネについては3ポンプシステム化したことで大幅に改善したことから、さらにエネルギーロスを低減するポイントとして、レバー操作量がハーフ操作の場合に着目した。

具体的には、ハーフ操作時のレバーの操作状況をコントローラにより判断し、その操作に必要な最小のポンプ流量になるようにポンプ流量電子制御を追加した。その流量に合わせてコントロールバルブのスプール開口も最適化することで、さらなる省エネを実現した。レバー操作によってポンプの流量を最適にするために、各レバー操作信号を検出し、ポンプ流量制御電磁弁を追加し、レバー操作に応じたポンプ流量を制御しハーフ操作時のポンプ出力を低減することにした(図4、5)。

すべての操作において操作性を維持しながら油圧、電子制御を複合させポンプ出力を低減することにより、ハーフ操作時の作業性を維持しながら省エネを実現できた。

また、アタッチメント装着時においても、バケットに比べて重量物が装着された条件においても、良好な操作を維持できるように最適なポンプ制御を実現させることができた。

2.4 第2世代3ポンプシステムの効果

このシステムを搭載したことにより、ハーフレバー操作においてアクチュエータの出力はそのまま

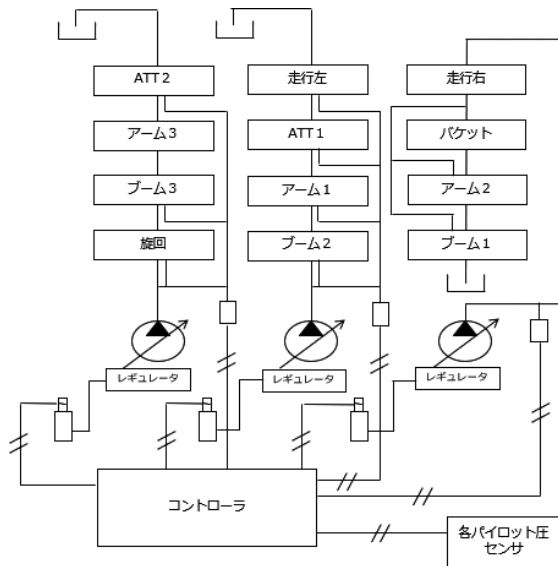


図4 第2世代3ポンプシステム

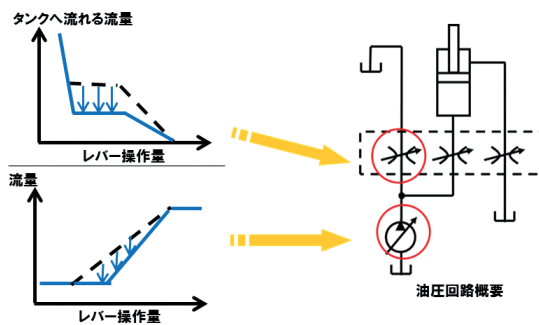


図5 改良システム

でポンプ出力を34%低減した。

このシステムを搭載した新型20 t 油圧ショベル（写真2）において実際の作業動作においてPWRモードにおいて前モデルに対して6%の燃費低減、ECOモードにおいて、15%の燃費低減を実現した。さらに、ECOモードよりもさらに燃費を重視したSECOモード、大作業量に対応できるHPモードも必



写真2 第2世代3ポンプシステム搭載の新型20t油圧ショベル

要に応じてお客様で設定可能とし、従来のPWR、ECOモードに対してお客様の要望に柔軟に対応できる設定を可能とした。

3. 終わりに

このように3ポンプシステムは、油圧ショベルとしてお客様の課題解決に向けて進化成長してきた。このシステムを有効に活用してICT建機においても効率的なシステムとして適用が可能となっている。今後もお客様の課題を解決するために進化させていく。

参考文献

- 1) 西田利明, 中村剛志, 荒井康, 柴森一浩, 新排出ガス規制に対応した油圧ショベル「ZAXIS-5シリーズ」, 日立評論, Vol.94, No.5, p.30-33 (2012)
- 2) 石川広二: モデルチェンジによりさらに進化した省エネルギー性能, 建設機械, 日本工業出版, 2014年8月号, p.19-23 (2014)
- 3) 眞野英徳, 佐藤謙輔, 小高克明, 廣木武則: 新たな環境対応技術を搭載した油圧ショベルZAXIS-6シリーズ, 日立評論, Vol.97, No.5, p.27-30 (2015)

(原稿受付: 2020年10月9日)

解説

電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの制御

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 福岡県福岡市東区和白東3-30-1
E-mail: t-kato@fit.ac.jp

2007年東京工業大学大学院博士課程修了。都立高専助手～助教を経て、2010年福岡工業大学助教、2012年同大学准教授。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の会員（現在、理事・国際交流委員長を担当）、博士（工学）、技術士（機械部門）。

1. はじめに

超精密加工を行う上で、超精密位置決め技術は重要な基盤技術のひとつであり、求められる超精密位置決め精度は年々高くなっている。現在、精密加工では1 μm 、超精密加工では数nm～10nm程度の超精密位置決めが必要と考えられており¹⁾、最近の超精密工作機械のなかには、位置のデジタル表示の最小桁が0.1nmであるものも登場している。これらの要求を満たすための手段として、超精密工作機械の位置決めにはさまざまな方式が用いられているが、著者らはある非球面加工機の鉛直ステージに使用される、電空ハイブリッド方式の超精密鉛直位置決めステージに関する研究を進めている。この方式は、鉛直ステージを駆動するのに電動のリニアモータを使用し、ステージの自重補償には空圧式バランスシリンダを使用しており、ナノレベルの高精度な位置決めを実現している。

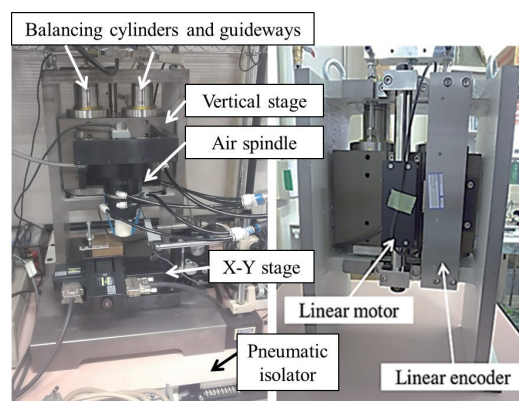
この方式の特徴として、リニアモータがステージの自重の影響を受けることなく動作することが可能であるため、リニアモータの省電力化や熱の発生抑制、制御性の向上や最大動作速度の向上といった効果を期待できる点が特徴としてあげられる。

本記事では、著者らが近年実施している電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの研究に関して、装置の概要といくつかの成果をご紹介します。

2. 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージ

著者らが研究に使用している電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置の外観を図1に、仕様を表1に示す。この装置の主な構成としては、ステージの移動にコアレス型リニアモータ（GHC社製、S250D）、ステージの自重補償器として空気静圧案内を用いたバランスシリンダ、位置センサとして分解能1nmのアブソリュート型リニアスケール（HEIDENHAIN社製、LIC4017）を採用している。特徴としては、バランスシリンダの静圧面を可能な限り平滑化し、スティックスリップと熱の影響を抑えている。また、コアレス型リニアモータは構造上、可動子と固定子の間に接触部が存在しないため、応答性が良く摩擦力が発生しない。また、コアレス型リニアモータでは可動子と固定子間に働く磁気吸引力を打ち消すように磁極を配置できるため、モータの出力ノイズとなりえるコギング力が発生しないという特徴を持つ。

制御に関するシステム構成を図2に示す。実験装置に内蔵されているリニアエンコーダで計測した位置はPCからDSPとドライバ両方の機能を持つMOV02（Servoland社製、SVFH-H3-DSPNMK）に送られる。リニアエンコーダから送られた位置と、



(左) 正面

(右) 背面

図1 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージ

表1 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの仕様

Linear motor	Rated thrust [N]	38
	Rated current [A]	1.3
	Maximum thrust [N]	148
Linear encoder	Encoder type	Absolute
	Resolution [nm]	1
Stage	Weight of movable part [kg]	19.81
	Bearing type	Aerostatic bearing

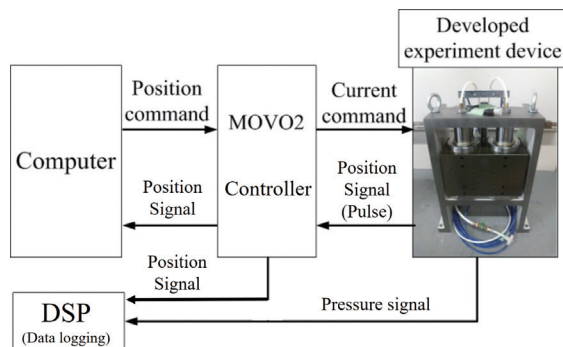


図 2 制御系の構成

コンピュータから送る目標位置指令値をもとに
MOV02がリニアモータへ電流指令を送る.

3. HPRとNF弁を用いたバランスシリンダ内圧制御

著者らは、気体用超精密高速応答圧力レギュレータ (HPR) とノズルフラップ型サーボ弁 (NF弁) を用いた装置構成に、PI制御とフィードフォワード制御 (FF制御) を適用した圧力制御構成を適用することを提案し、その有効性を評価した²⁾³⁾。提案した圧力制御方法のブロック線図を図3に示す。この制御系により、NF弁が持つ非線形性が補償される。この圧力制御方法を適用してステージを駆動した場合と従来方法 (PI制御のみ) の場合での実験結果を図4に示す。この結果より、PI制御のみの場合と比べ、提案方法により制御した場合はステージ駆動による内圧変動の影響に加え、ヒステリシスの

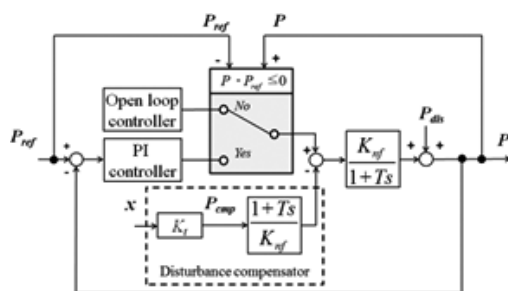


図3 HPRとNF弁を用いた内圧制御のブロック線図

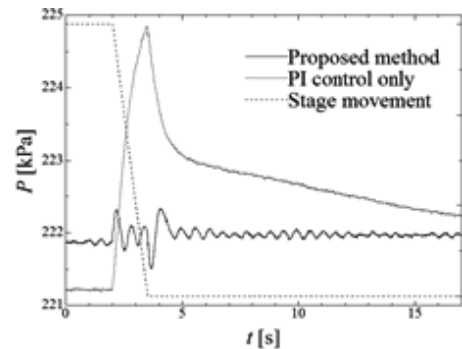


図4 HPRとNF弁を用いた内圧制御の場合の実験結果

影響が大幅に抑制できていることがわかる。なお、本方式は特許出願され特許登録されている⁴⁾。

4. ツールの自重変動補償のためのバランスシリンダ内圧のフィードフォワード制御

電空ハイブリッド方式を用いた工作機械でツールチェンジを行う場合、一般的に位置決めステージ部分にスピンドルなどのツールを取り付ける。しかし、ツールの有無や種類によってステージ全体の重量が変化するため、その都度、ステージ重量と釣り合わせるためにシリンダへの供給圧を最適圧に調整する必要がある。一般的には減圧弁のハンドル部分を手動やモータで回して調整を行うが、圧力が整定するまでに時間を要してしまうなどの問題がある。そこで、任意のステージ重量変動に対応して高速にシリンダ内圧を最適圧に制御する方法を提案した⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

提案方法のブロック線図を図5に示す．この制御はHPRの制御にトルク指令値の変動分を補償するFF制御を付与した制御系である．フィードフォワードによる制御量の算出にはリニアモータのトルク指令値の信号を用い，トルク指令値 $T\%$ にゲイン K_t を掛けることで補償圧力 P_{cmp} を求める．その補償量を目標圧力に加算することでトルク指令値が0%になるようにシリンダ内圧を制御する．また，HPRの制御を主としているため，外乱に対して高いロバスト性を持ち，圧力を高速かつ精密に制御することができる．

本提案方法の有効性を評価するために、図6に示す実験装置構成にて、ステージ重量を変化させ、一

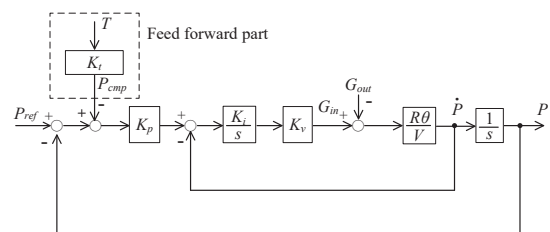


図5 ツールの自重変動補償のためのFF制御のブロック線図

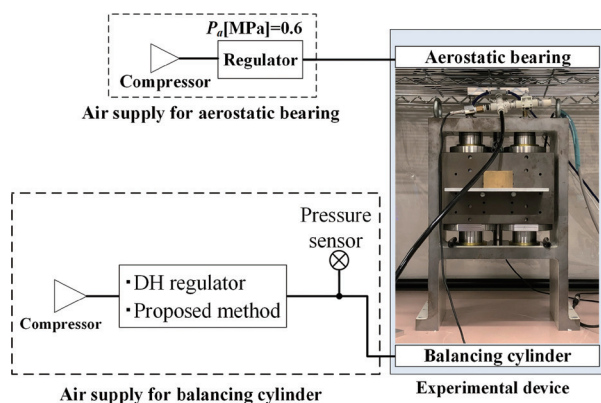


図6 ツールの自重変動補償のためのFF制御の有効性の評価実験の装置構成

一般的なダイヤフラム型 (DH) レギュレータを用いた場合、提案方法を用いた場合で比較する実験を行った。実験方法としてはまず、ステージをリニアモータで固定し、トルク指令値が0 [%] になるようにシリンダ内圧を調整する。その後、実験開始10秒後にプレートに乗せた錘を取り外し、その時のシリンダ内圧とトルク指令値とステージ位置を測定した。また、本実験では1 kgと2 kgの錘を使用した。

記事のページ数の都合上、ここでは1 kgの重量変動の場合の実験結果について記載する。トルク指令値の結果を図7に、シリンダ内圧の結果に図8に

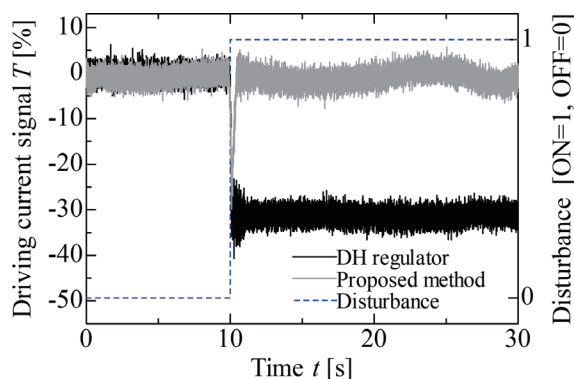


図7 実験結果 (重量変動1 kg, 電流制御信号)

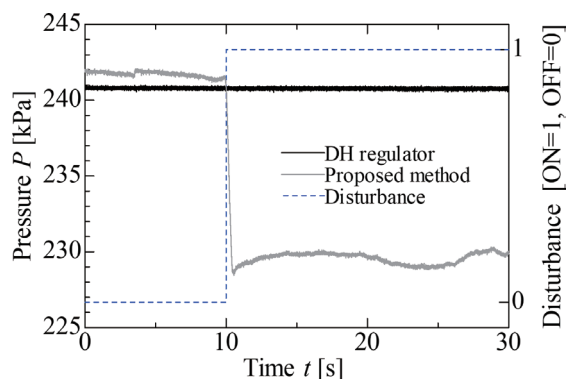


図8 実験結果 (重量変動1 kg, バランスシリンダ内圧)

示す。図7に示すトルク指令値より、DHレギュレータでシリンダ内圧を調整した場合は、重量変化を加えた制御開始10秒時にトルク指令値が約30%変動しており、リニアモータへの負荷が増加していることがわかる。一方、提案方法では重量変動の影響を補償できており、瞬時にトルク指令値を0%に復帰させることができている。つまり、リニアモータの出力の軽減に成功したといえる。また、その時のシリンダ内圧の結果 (図8) を見ると、DHレギュレータを用いた場合はステージ重量変動後も一定圧を供給し続けているため、ステージ自重とシリンダ内圧とのバランスが崩れ、結果的にモータの負荷が増加した。提案方法ではトルク指令値が変動した瞬間に圧力を約12kPa変化させており、トルク指令値が0%になるように圧力補償を行っていることがわかる。

また、参考文献6)では、この図7・図8の場合とほぼ同様の実験を行った場合について、リニアモータの消費電力、DHレギュレータおよびHPRの消費エアパワー・リニアモータ消費電力とエアパワーの合算値 (つまりトータルシステムの消費エネルギー)、を比較している。図9に合算値の比較のグラフを示す。提案方法は特に、ステージ上の重量変動が生じたのちにリニアモータの消費電力が抑えられることから、消費エネルギーの合算値が従来方法に比べて低いという結果を得ている。

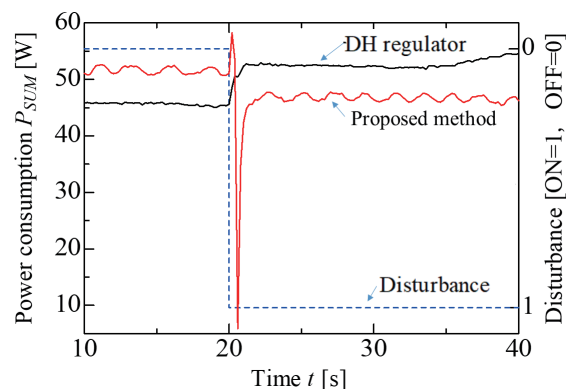


図9 消費エネルギーの合算値の比較

5. おわりに

本記事では、著者らが近年取り組んでいる、非球面加工機の鉛直ステージに使用される電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの研究にご紹介した。電空ハイブリッド技術は、「電動かフルードか」の二者択一ではなく、ユーザーが「電動とフルード」のそれぞれの長所を活かして併用している好例だと思われる。

参考文献

- 1) 大岩孝彰, 勝木雅英:【超精密位置決め専門委員会】超精密位置決めにおけるアンケート調査, 精密工学会誌, Vol. 81, No. 10, p. 904-910 (2015)
- 2) 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)
- 3) Kato, T., Hirakawa, T.: Proposal of a Novel Pressure Control Method for Air Cylinders Used in Hybrid Electric-Pneumatic Ultra-Precision Vertical Positioning Device, Proceedings of the Thirtieth Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering (ASPE2015), p. 522-525 (2015)
- 4) 田中克敏, 福田将彦, 益田大海, 加藤友規, 平川鉄磨: 主軸ヘッド昇降装置および工作機械, 特許第6638915号 (2020)
- 5) 築山義信, 加藤友規, 中垣瞬: 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置の消費エネルギー測定, 2017年度砥粒加工学会学術講演会 (A B T E C2017) アブストラクト集, p. 379-381 (2017)
- 6) Yoshinobu TSUKIYAMA, Tomonori KATO, keita MATSUO: EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION OF HYBRID ELECTRIC-PNEUMATIC ULTRA-PRECISION VERTICAL POSITIONING DEVICE, The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power 2017, 2 D42 (2017)
- 7) 築山義信, 加藤友規, 中垣瞬, 徐有衛: 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置のバランスシリンダ内圧のフィードフォワード制御, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 50, No. 1, p. 18-24 (2019)

(原稿受付: 2020年7月25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・日本機械学会 共催
2020年秋季フルードパワーシステム講演会
 開催日: 2020年12月8日(火)・9日(水)

2020年秋季フルードパワーシステム講演会は2020年12月8日(火)・9日(水)に岡山理科大学(岡山市)で開催されます。本講演会では、一般講演に加えて、特別講演とオーガナイズドセッションを企画しています。なお、新型コロナウイルスの影響を考慮して、今回は、通常の参加型とオンライン型

の併用、もしくはオンライン型のみでの実施を予定しています。詳細につきましては、学会ホームページでご確認ください。ようお願い申し上げます。感染症対策には十分留意しております。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

日本フルードパワーシステム学会論文集
51巻 (2020) 2号 発行のお知らせ
 (公開日: 2020/10/6)

【研究論文】

- (1) 看護動作の支援を目的とした空気圧式コルセットの設計に関する基礎実験
西岡 靖貴, 安田 寿彦, 山野 光裕
- (2) 製紐機を用いたインダクタンス型スマート人工筋の製作手法の確立
小川 草太, 脇元 修一, 神田 岳文, 大村 健人, 安藤 克倫
- (3) 矩形パルス波制御による磁気粘性流体バルブによる油圧アクチュエータの速度と推力の同時制御
大島 信生, 福田 真也, 清水 悠平

(URL) https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jfps/51/2/_contents/-char/ja

解説

転がり軸受の低トルク化技術

著者紹介



ほか お みた
外 尾 道 太

日本精工株式会社 技術開発本部
〒251-8501 神奈川県藤沢市鶴沼神明1-5-50
E-mail: hokao@nsk.com

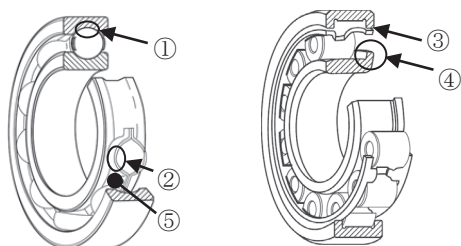
2000年東京工業大学大学院理工学研究科無機材料工学専攻修了、同年日本精工株式会社入社、入社以来潤滑グリースの研究開発に携わる。2020年九州大学より博士（工学）取得、日本トライボロジー学会会員。

1. はじめに

転がり軸受は、玉やころなどの転動体を用いて、機械の回転部を支持する部品であり、荷重の支持面を転動体による転がり接触とすることで、すべり接触よりも摩擦を低くすることができる。さらに潤滑剤を用いて接触面に油膜を形成させることで、摩擦や摩耗の低減を図ることができ、回転軸を円滑に、長期間支えることができる。

転がり軸受は、すべり軸受と比較して国際的な規格化が進んでおり、実用上のメリットが多い。このため、転がり軸受はエアコンや洗濯機などの家電製品から鉄鋼設備や工作機械などの産業機械、自動車まで、幅広い機械で用いられている。

転がり軸受の種類は転動体の種類によって玉軸受ところ軸受に大別できる。図1に、深溝玉軸受と円筒ころ軸受の概略図を示す¹⁾。玉軸受ところ軸受では転動体と軌道輪の接触形態が異なり、玉軸受ではいわゆる点接触、ころ軸受では線接触となる。玉軸



深溝玉軸受

円筒ころ軸受

図1 転がり軸受の概略図（文献¹⁾より一部改編）

受の方が高速条件まで使用でき、また振動の発生を抑えやすい一方、ころ軸受は接触面積が広いため負荷能力が高く、高荷重まで使用できる。

転がり軸受の潤滑剤として、潤滑油やグリースが用いられる。グリースは半固体状の潤滑剤であり、その成分は基油、増ちょう剤および添加剤からなる。基油と添加剤は潤滑油と同様な成分である一方、増ちょう剤はグリースに特有な固体成分であり、スポンジが水を保持するように、基油を保持する役割を担う。

グリースは流動特性に特徴があり、降伏応力を有するとともに、せん断速度の増加に応じて見かけの粘度が低下し、固体状から基油の粘度に近い状態まで流動状態が変化する。この流動特性のために、グリースの流動状態は、軸受内で受けるせん断速度に応じて変化し、この結果、軸受内でのグリースの分布が変化する。このグリースの流動状態や分布は、転がり軸受のトルクや寿命に影響を与える。

油潤滑とグリース潤滑を比較すると、油潤滑の方が高速条件まで使用でき、さらに冷却効果が期待できる。一方、グリース潤滑は、シールなどの密封機構を用いることにより軸受からの漏洩を抑制することができるため、メンテナンスフリーでの使用が可能であるという大きな利点がある。グリース潤滑はとくに玉軸受でよく用いられ、玉軸受の約8割でグリース潤滑が採用されている²⁾。

軸受の回転時には、潤滑剤の粘性抵抗や接触面で発生する摩擦などにより抵抗が発生する。この回転時の抵抗の大きさは、一般に軸受トルクとして測定され、軸受トルクが小さいほど、すなわち軸受によるエネルギーの消費量が小さいほど、システム全体のエネルギー効率を向上させることができる。

本稿では主に潤滑油とグリースにより発生する抵抗に着目して、転がり軸受の低トルク化技術について解説する。

2. 軸受トルクの発生要因

2.1 軸受トルクに関わる抵抗の種類

転がり軸受内で抵抗が生じる場所として下記①～

⑦があげられる^{3,4)}。図1に、シールが関連する場所を除く、①～⑤を示した。

- ① 転動体と外内輪の転走面との接触部
- ② 転動体と保持器ポケット内部でのしゅう動部
- ③ 保持器とその案内面でのしゅう動部
- ④ ころ軸受の場合はころ端面とつばでのしゅう動部
- ⑤ 転動体や保持器が回転する方向の空間
- ⑥ 転動体や保持器とシール／シールド板の間の空隙
- ⑦ シール／シールド板と外輪との間の空隙

この中で①～④は、油膜を形成させることにより、軸受部材同士の直接接触による摩擦、摩耗を抑制できるため、適切に潤滑されることが重要となる。これに対し⑤～⑦では、⑦で接触シールを用いる場合を除いて、油膜の形成、すなわち潤滑が不要な場所である。このため、⑤～⑦で発生する抵抗を低減することにより、効率的に軸受の低トルク化を図ることができる。

上記の場所で発生する抵抗を種類別に整理すると、⑤で転動体や保持器の進行に抗する方向に働くのは抵抗、①で転動体が転がり運動をする際に生じる転がり抵抗、②、③、④、⑥、⑦ですべり運動をする際に生じるすべり摩擦の3つに分けることができる。なお、たとえば深溝玉軸受など、軸受形式によっては、①の接触面内ですべり摩擦があわせて発生する。

2.2 軸受形式の影響

軸受トルクに占めるかくはん抵抗、転がり抵抗、すべり摩擦の影響度には軸受形式や回転条件が影響することが指摘されている。

深溝玉軸受を低速軽荷重条件、グリースなしで回転した場合、軸受トルクは測定できないほど小さいが、円すいころ軸受では、④のころ端面とつばのしゅう動部などでのすべり摩擦による影響が荷重増加とともに出てくると報告されている⁵⁾。したがって、玉軸受では、低速軽荷重条件では主に潤滑剤による抵抗が影響する一方、ころ軸受では潤滑剤に起因する抵抗だけでなく、つば部などでのすべり摩擦の影響にも注意する必要がある。

3. 潤滑剤による低トルク化技術

軸受トルクは一般に内輪を回転させ、外輪がつけ回る力を測定することにより測定される。このため、回転時に軸受内で発生する抵抗力が小さいほど、すなわち軸受トルクが小さいほど、軸受によるエネルギー損失が小さいことを示す。

軸受トルクを構成するかくはん抵抗、転がり抵抗

およびすべり摩擦には、潤滑剤による粘性抵抗が影響し、すべり摩擦ではさらに接触面での油膜の形成状態が影響する。この粘性抵抗を、低粘度化や低油量化などにより低減し、かつ油膜の形成状態を適正に保つことで、軸受トルクの低減を図ることができる。以下に潤滑油および潤滑グリースにおける低トルク化技術の例を示す。

3.1 油潤滑

油潤滑において、軸受トルクと基油動粘度の関係を、円筒ころ軸受（呼び番号NJ306）を用いて評価した例を図2に示す⁶⁾。ここで、油の粘度は、粘性抵抗の大きさや油膜の形成状態に影響し、温度や種類により変化する性質を有する。具体的には、温度が上昇するほど粘度が低くなり、その粘度変化の程度は基油の種類によって異なる。

軸受トルクとして、1時間程度回転したのちの平衡値を用いた場合、図2に示されるように、軸受温度に対応した基油の粘度で整理することにより、種類が異なる基油を用いた場合にも、軸受トルクと粘度の良い対応が得られることが報告されている。このように粘度が低いほど軸受トルクが低減する傾向を有し、この効果は油による粘性抵抗の低減によって得られたと考えられる。

粘性抵抗の低減は、低粘度化だけでなく、低油量化によっても実現可能であるが、過度な低粘度化や低油量化は転動体とリングの接触面（①）やつば部（④）などでの油膜厚さを低下させ、直接接触の発生による摩擦上昇を招く恐れがある。直接接触には油膜厚さだけでなく軸受材料の表面粗さも影響し、表面が平滑なほど直接接触しにくくなる⁷⁾ため、表面が平滑な方が、基油の低粘度化による低トルク化を推し進めることが可能である。

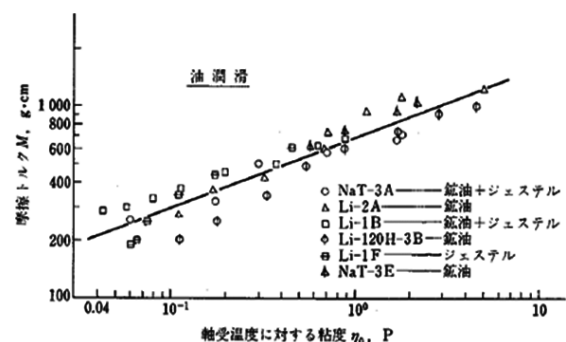


図2 油潤滑における基油粘度と摩擦トルク⁶⁾

3.2 グリース潤滑

グリースの見かけの粘度は、低せん断速度時の高粘度な状態から、高せん断速度時の基油の動粘度に近い低粘度なレベルまで変化する。平衡時の軸受トルクと見かけの粘度の関係を、円筒ころ軸受（呼び

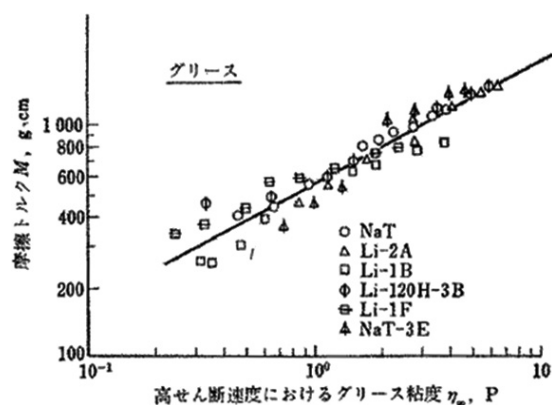


図3 グリース潤滑における高せん断速度におけるグリースの見かけの粘度と摩擦トルク⁶⁾

番号NJ306) で評価した例を図3に示す⁶⁾。図2の場合と同様に軸受温度の影響を考慮し、さらに、高せん断速度条件に相当する見かけの粘度を用いた結果、見かけの粘度と平衡時の軸受トルクにより相関関係が認められ、粘度の低下に応じて軸受トルクの低減が認められている。

グリースのせん断速度による流動状態の変化が軸受トルクの挙動に大きく影響する場合がある。

基油動粘度が同等で基油の種類だけ異なるグリースを深溝玉軸受(呼び番号608)に封入し、軸受トルクを評価した結果を図4に示す⁸⁾。POEは回転初期にトルクが大きく減少するのに対し、PAG3は時間によるトルクの変化が小さい。POEはPAG3よりも降伏応力が大きいグリースであり、グリースが流動し始める際に、より大きなせん断応力を必要とする。

グリース潤滑では、相対運動する物体間に存在するグリースにすきまが生じる、チャネリング⁹⁾と呼ばれる現象が発生することがある。これは、たとえば軌道溝で転動体通過時に押しのけられたグリースが、軌道の脇に固体状のまま堆積することにより生じる。転走面でのグリース潤滑の概念図を図5に示す¹⁰⁾。

図5右では、接触面の入口にグリースが多く存在し、かくはん抵抗や転がり抵抗が働く。一方、チャネリングが進行し、図5左のように接触面入口へのグリースの再供給が低減すると、かくはん抵抗や転がり抵抗の発生要因となるグリースの量が低減するため、軸受トルクが低減する。

チャネリングに対して、軸受内にすきまができず、グリース全体がかきまぜられる状態はチャーニングといわれ、大きな回転抵抗を生じやすい。チャーニングとチャネリングの概念図を図6に示す⁵⁾。

この軸受内部のグリースの分布状態を直接観察することは困難であるが、近年X-ray computed tomography (X線CT) を用いて、軸受回転試験後に内外輪および転動体とグリースの間でのすきまの

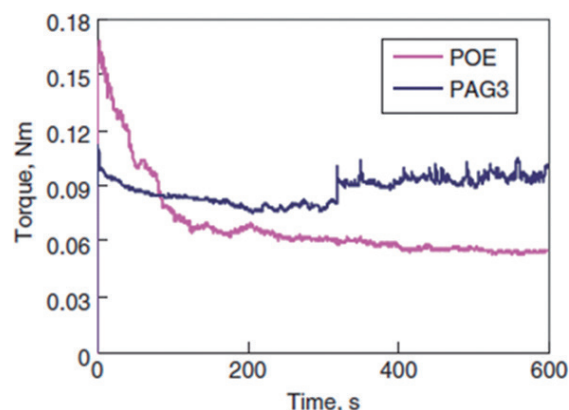


図4 グリースによる軸受トルク挙動の変化⁸⁾

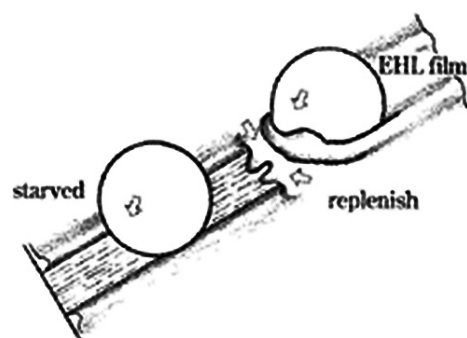


図5 転走面でのグリース潤滑の概念図¹⁰⁾

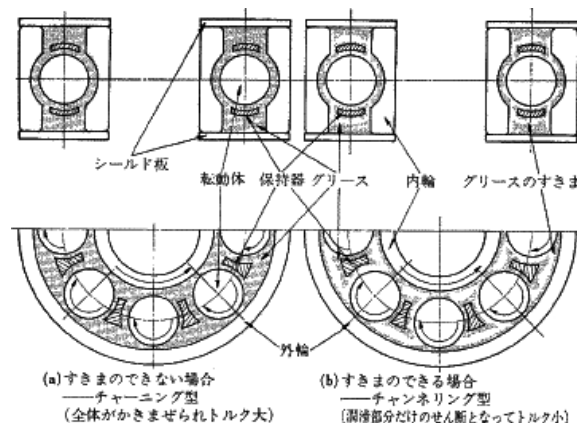


図6 チャーニングとチャネリングの概念図⁵⁾

形成が直接観察されている¹¹⁾。

図4においてPAG3はチャーニングしやすいため、軸受トルクが低減しにくかったのに対し、POEは起動後にグリースがチャネリングしていくのに応じて、かくはん抵抗が低減することにより、軸受トルクが低減したと考えられる。したがって、チャネリングしやすいグリースを用いることにより、低トルク化を図ることができる。

チャネリング性はグリースの流動特性と関係し、降伏応力が大きいほど^{5,8)}、もしくは見かけの粘度の時間依存性である、チキソトロピー性が強いほ

ど⁵⁾ チャンネリング性が強くなると指摘されている。降伏応力やチキソトロピー性などの流動特性は、増ちょう剤の三次元的構造と関係し、増ちょう剤の種類、量や形状、および増ちょう剤と基油の相性^{8,12)}の影響を受けると考えられており、基油動粘度を低減しなくても低トルク化が可能であるという利点がある。

チャンネリングやチャーニングは軸受内のグリース分布状態を定性的に表しており、グリースの種類だけでなく、速度などの回転条件や回転時間でも変化する。また軸受へのグリース封入量の低減によってもチャンネリングと同様の効果により低トルク化が可能である³⁾。

なお、過度なチャンネリングは、接触面へのグリース供給不足による油膜厚さの低下により、直接接触が発生させ、トルクの増大や寿命の低下を招く可能性がある。したがって、油潤滑の場合と同様にグリース潤滑においても、直接接触が発生しない範囲で油膜厚さを低減させることが、低トルク化のひとつの手法となる。

近年、転がり軸受が回転している際に、油膜厚さと油膜の破断率を高い精度で同時測定する、電気インピーダンスを用いた手法が開発されている¹³⁾。このような手法を活用することにより、低トルク化と信頼性の確保を、高いレベルで両立させることができると考えられる。

4. おわりに

転がり軸受の低トルク化技術について、潤滑油および潤滑グリースによる低トルク化に着目して解説した。油潤滑では、軸受温度を考慮した動粘度が低いほど低トルク化を図ることができる。また、グリース潤滑では、温度やせん断速度を考慮した見かけの粘度の低減だけでなく、降伏応力などの流動特性に着目し、チャンネリング性を向上させることにより、低トルク化を図ることができる。ただし、極端な低粘度化やチャンネリングは、油膜厚さの低下による直接接触の発生を招き、トルクの増加や寿命などの性能を低下させる可能性があるため、直接接

触が発生しない範囲で、油膜厚さを低下させることが重要である。

今後、軸受トルクの高精度な予測を可能とするための、潤滑剤による粘性抵抗のシミュレーションや、トルクと信頼性との両立を検証する測定技術の進展をもとに、転がり軸受のさらなる低トルク化により、システム全体のエネルギー効率が向上されることを期待したい。

参考文献

- 1) NSKカタログ 転がり軸受, CAT.No. 1102q., p.A10-A11
- 2) 桜井俊男: グリース潤滑の基本的問題, 潤滑, Vol. 25, No. 8, p. 489-497 (1980)
- 3) 星野道男: グリースの流動特性と転がり軸受におけるトルク (第2報), 潤滑, Vol. 25, No. 8, p. 555-561 (1980)
- 4) 外尾道太: グリースによる転がり軸受の低トルク化技術, トライボロジスト, Vol. 63, No. 2, p. 69-74 (2018)
- 5) 星野道男: グリースの流動特性と転がり軸受におけるトルク (第1報), 潤滑, Vol. 25, No. 8, p. 547-554 (1980)
- 6) 小松崎茂樹, 上松豊翁, 伊藤廉: グリースの流動性と軸受の摩擦トルク, 潤滑, Vol. 19, No. 4, p. 285-291 (1974)
- 7) NSKテクニカルレポート, CAT. No. 728i, p. 44-45
- 8) Oikawa, E., Inami, N., Hokao, M., Yokouchi, A., Sugimura, J.: Bearing Torque Characteristics of Lithium Soap Greases with Some Synthetic Base Oils, J. Engineering Tribology, Vol. 226, No. 6, p. 575-583 (2012)
- 9) 社団法人日本トライボロジー学会編, トライボロジー辞典, p. 163 (1995)
- 10) 星野道男: グリース潤滑の理論, トライボロジスト, Vol. 47, No. 1, p. 8-14 (2002)
- 11) 野田隆史, 柴崎健一, 宮田慎司, 谷口雅人: 玉軸受におけるグリース挙動のX線観察および多相流解析の妥当性確認, トライボロジスト, Vol. 61, No. 4, p. 275-284 (2016)
- 12) 外尾道太, 園田健太郎, 杉村丈一: 潤滑グリースの増ちょう剤構造変化と流動特性の関係, トライボロジスト, Vol. 64, No. 1, p. 42-54 (2019)
- 13) 丸山泰右, 前田成志, 中野健: 電気的手法を用いたEHD接触域における潤滑状態モニタリング技術, トライボロジスト, Vol. 64, No. 11, p. 655-660 (2019)

(原稿受付: 2020年8月23日)

解説

自動車用トランスミッションにおける効率向上システム

著者紹介



しば やま たか し
柴 山 尚 士

元 ジャトコ株式会社 フェロー
〒259-1117 神奈川県伊勢原市東成瀬3-1-7-204
E-mail: t-shiba@f5.dion.ne.jp

1981年4月 日産自動車へ入社、2000年4月にジャトコ株式会社に出向転籍、2017年定年退職。36年間、AT、CVTの開発に従事した。2018年6月自動車技術会よりフェロー認定（変速機技術分野のフェローとしての認定）

1. はじめに

自動車用トランスミッションにおいて、油圧制御に使用されるトランスミッションフルードは制御バルブやトルクコンバータ向けの作動油として用いられるにとどまらず、種々の役割を果たしている。摩擦擦動部位の潤滑や摩擦損失の低減、摩耗粉の運搬除去も担い、フィルターとの組み合わせ作用による夾雑物の低減、オイルクーラーとの組み合わせによるトランスミッション全体の冷却にも貢献している。摩擦力を用いた動力伝達にも重要な役割を果たしており、湿式摩擦クラッチの動力伝達能力や、金属間摩擦で動力を伝えるCVTの金属ベルトの動力伝達機能にもトランスミッションフルードが大きな影響力を持っている。これらの種々の機能を確実に実現し、かつトランスミッション全体として高効率とするための、システムの観点での改良が種々取り組まれている。本稿ではその典型事例を紹介する。

2. トランスミッションの損失の内訳

トランスミッションにおいて大きなウェイトを占める損失は典型的なCVTを例にすると下記である。

- 1) オイルポンプ駆動損失
- 2) トルクコンバータ流体滑りによる損失
- 3) 回転部品が油を攪拌する攪拌損失
- 4) 金属ベルトのしゅう動部分の摩擦損失
- 5) 湿式摩擦クラッチの空転時引きずり損失
- 6) ギヤ類の歯面における摩擦損失
- 7) ベアリング類のころがり摩擦損失

8) シール類のしゅう動摩擦損失

効率向上のために体系的な観点での改良が多く行われるのは1)～5)の領域である。本稿ではこれら5つの領域における改良事例を紹介したい。

3. オイルポンプ

オイルポンプ損失減の柱は次の1), 2)である。

1) オイルポンプの効率 η の向上

$$\eta = \eta_v \times \eta_m$$

η_v : 容積効率の向上 漏れをすくなくする

η_m : 機械効率の向上 機械損失の低減

2) オイルポンプ吐出の圧力 P ×流量 Q の低減

使用する圧力 P を下げる

消費流量 Q を下げる

図1にAT、CVT用のオイルポンプ形式の進化を表す。かつてはクレセントつきギヤポンプが多かったが、歯先クリアランス部の漏れを少なくするためにクレセントなしギヤポンプとなり、遠心力と油圧によってベーンをポケット内周壁面に押し付けてシールクリアランスを積極的にゼロに近づけるベーンポンプへと主流が変化してきた。さらに、ベーンポンプを軸径が大きい動力伝達軸で駆動するのではなく、チェーンを用いて別軸で駆動して軸を小径化するのが主流になってきている¹⁾。また、図のように平衡型にすることによって高压部で発生するラジアル荷重を相殺して軸受けの機械損失の低減を図るタイプも使われている。

システムの観点で改善は上記の2)の使用圧力

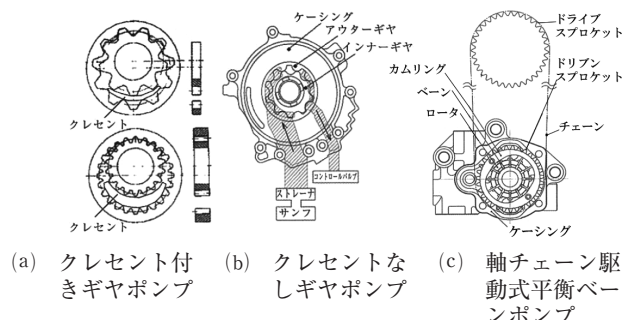


図1 AT、CVT用オイルポンプ形式の進化

Pの低減もしくは消費流量Qの低減の双方の領域で進化しており、平衡型ベーンポンプの2つの吐出ポートの1つの圧力を制御で状況に応じて一時的に下げることによって、必要以上に高圧になって発生していた損失を低減する改良が多く採用されている。また最新のATでは、可変吐出量ベーンポンプを採用して、制御との組み合わせで最適吐出量を得るような油圧源システムとする機種も増えてきている。必要最小限の吐出量となるように無段階的に制御で調整することによって高効率化を実現するシステムであり、上記の2段階切り替え方式制御の、さらに先の技術として各社で開発や採用が行われている。以前はこの可変吐出方式は油圧振動を起こしやすい形式であったが、制御の進化によって油圧振動なく実用できるようになってきている。また電動ポンプにして必要な時に必要圧、必要量のみ吐出するオンデマンド型のシステムにする方式も登場してきている。

4. トルクコンバータ損失の低減

トルクコンバータは流体を介して動力を伝えるため滑らかさが要求されるAT、CVTにとっては非常に有用なコンポーネントであり、低速走行時の運転のしやすさにも大きく貢献している。しかしながら流体を介する動力伝達であるため、流体すべりによる損失が非常に大きい。そこで近年ではトルクコンバータの入出力軸を湿式クラッチで機械的に結合させるロックアップクラッチを有するトルクコンバータが主流になって来ている。所定以上の車速に達した時にロックアップクラッチが締結して流体すべりをゼロにする。図2に典型的なロックアップクラッチ付きトルクコンバータの断面図を示す²⁾。

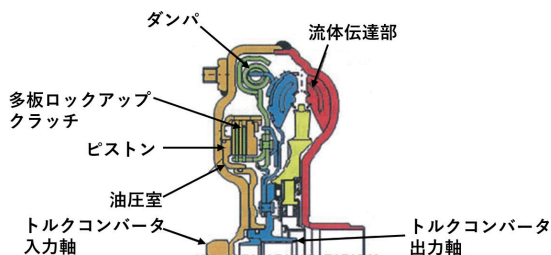


図2 ロックアップクラッチ付きトルクコンバータ

トルクコンバータのロックアップクラッチをできる限り低速から締結させると流体すべり損失が低減できるが、低速領域ではエンジンの燃焼爆発に起因する振動の低減が重要な課題となる。図2に示すように近年では流体伝達部とダンパとロックアップクラッチを限られたスペースに最適に配置してシステムとして効率向上と音振性能を両立させる取り組み

が非常に重要となっている。かつては流体伝達部がダンパよりも大きなスペースを占めていたが、最新の設計では図のようにダンパやロックアップクラッチが占める体積が大きくなってきている。また、図3のように、ダンパの改良が種々の視点で行われており、システム全体でロックアップ領域を拡大しつつ制振性能を良くする開発が盛んに行われている。

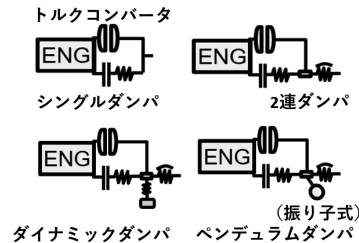


図3 ロックアップ領域の拡大のためダンパ改良の例

また、油圧制御と組み合わせたスリップロックアップという制御の採用も主流になっている。ロックアップクラッチの油圧を精度良く高応答で制御することにより、湿式クラッチの相対すべり回転数を毎分100回転未満の微小滑りに保つシステム制御でありダンパのみでは音振性能を許容レベルにおさめることができなくなるような極低速走行領域において、微小すべりによって振動を遮断し、かつ高応答の油圧制御によって流体すべり回転による損失を極小に抑えることを実現する制御である。近年のCVTでは発進直後に上記のスリップ制御に移行し、エンジントルク量の調整制御も同時に実施しながらスムーズなエンジン回転の上昇を演出し、そののちに完全ロックアップ制御に移行するようなシステム制御も行われている。制御的には難易度の高い制御であるため最新の現代制御理論が適用されることも多い。

5. 回転部品による攪拌損失の低減

回転部品が油を攪拌することによって生じる損失はトランスミッション開発においては頻度高く問題になり、各社の新型トランスミッション開発報告の論文でもバッフルプレートによる改良などの記事が数多く報告されている。図4にCVTにおける回転部品を例として示す。

攪拌損失を抑制する対策の基本の考え方を図5に示す。各社から種々の改善が報告されているが、考え方は図中の5つの観点に大別できる。トランスミッション内部での油の流れを狙いどおりにするシステムの構築が重要となる。最新のDCTではケース内側の上部に屋根裏部屋のような空間を作り、そこに余剰油をためるといった機種も発表されている。また回転物の回転表面の凹凸をできるだけ小さく、滑らか

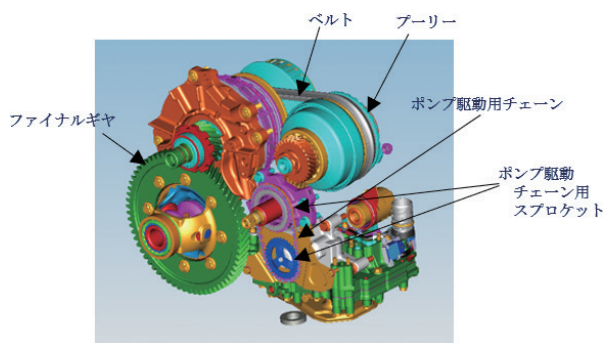


図4 FF車用CVTにおける回転部品例

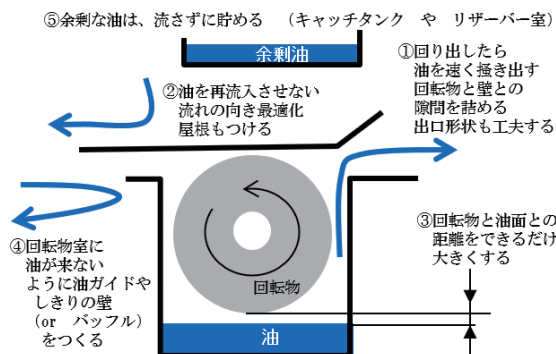
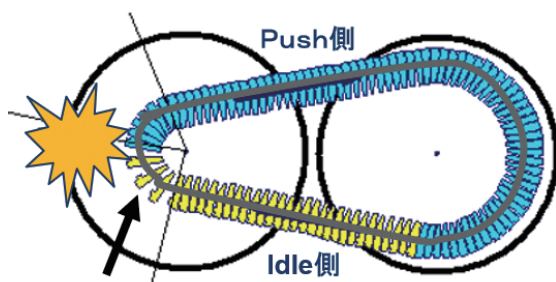


図5 攪拌損失低減のための5大視点

にすることによって攪拌を少なくすることも、上記5大視点以外の、部品としての重要な視点である。

6. 金属ベルトにおける損失の低減

図6にCVT用プッシュベルトにおける重要な摩擦損失の要因を示す。ベルトが曲線状になる部分において、図のように種々の摩擦損失が発生する。巻き付き半径が小さいほど摩擦損失が大きくなる。このため、図7に示すように、巻き付き半径が小さくなるHighとLowにおいてプッシュベルトの伝達効率が下がることが、よく知られている。ベルトや作動油の金属間摩擦特性の改良によって、図7に記載したような微小な効率の改善は可能であるが、改善量については限界がある。



ベルトが曲線になる部分における
多層のリング同士のすべり摩擦損失
エレメントとリングの間の相対すべり摩擦損失
エレメントとプーリーの間の相対滑り摩擦損失

図6 ベルトの曲線部で発生する種々の摩擦損失

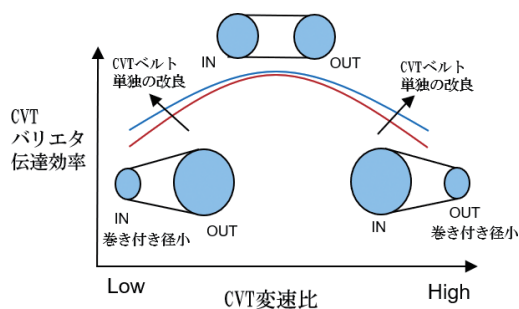


図7 LowとHighで低下するCVTの伝達効率

そこで近年のCVTでは、ベルトや作動油の改良にとどまらず、副変速機を増設して、システムとして効率化する取り組みを行う機種が登場している。図8のように、CVTの変速幅を小さめにして、効率の高いところのみを使用し、副変速機の変速によってトータルの変速幅を確保するシステムである。副変速機に起因する損失が若干追加するが、高速走行で重要となるHighの効率を向上できる。

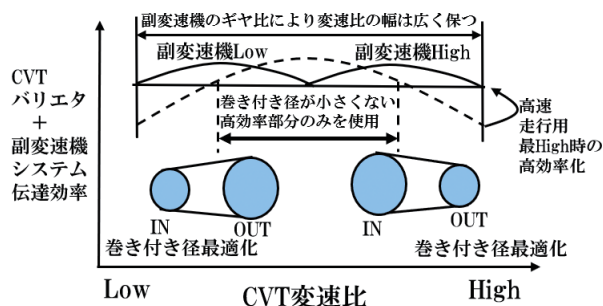


図8 副変速との組み合わせによるCVTの高効率化

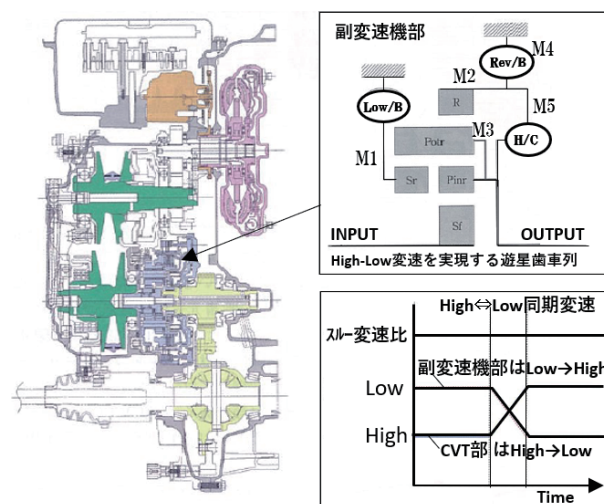


図9 CVT部と副変速機部を同期して実施するシステム制御

図9に副変速機つきCVTにおいて重要となる油圧制御課題を示す。副変速機が変速するとき、段差感が出てしまうとCVTの良さである滑らかさが損なわれるため、段差感が発生しないように、副変速機

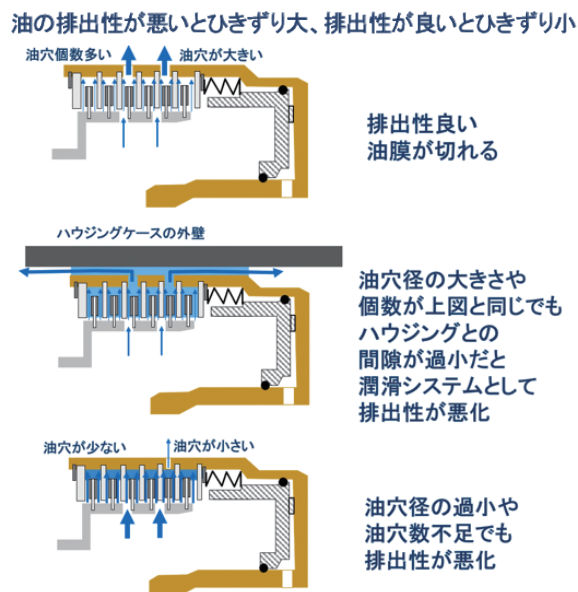


図13 油の排出性を上げる潤滑流&潤滑設計の重要性

である。

8. おわりに

トランスミッションの作動油が種々の機能を担っていることを背景として、それらの種々の機能に着眼しながらシステム的な観点で損失を低減すること

が可能であり、いくつかの典型的な機能領域におけるシステム観点での高効率化への取り組み事例について紹介した。筆者はこれらの種々の領域での改良開発に長年かかわってきたが、すべてに共通して感じられたことは、狭い視野や観点では解がなかったことも、より広い視点、観点で考察すると、思わぬ改良点に気づくことが多かったという体験である。フルードパワーに関わる皆様に本稿を読んでいただき、同様なシステム課題の解決の参考になれば幸いである。また、より広い視野観点での改良進化をトランスミッションに吹き込んでいただけることをお願いできれば、たいへんありがたく、業界を超えた連携でのさらなる革新システムの開発を期待します。

参考文献

- 1) 自動車技術会：自動車技術ハンドブック，第5巻，P239-240，図4-80，図4-81（2016）
- 2) 自動車技術会：自動車技術ハンドブック，第5巻，P221，図4-28（2016）
- 3) 自動車技術会：自動車技術ハンドブック，第5巻，P261，図4-140，図4-142，図4-144（2016）

（原稿受付：2020年8月5日）

解説

空気圧システムのエネルギー消費の評価

著者紹介



か がわ とし はる
香 川 利 春

空気圧工学研究所
〒213-0013 川崎市高津区末長1-49-1-3042
E-mail: tkagawa0256@gmail.com

1974年東京工業大学制御工学科卒業。精密工学研究所およびメカノマイクロ工学専攻教授として自動制御・流体計測制御・生体計測の研究に従事。また本学会会長、計測自動制御学会理事を歴任、(一社)日本機械学会フェロー。



さい も りん
蔡 茂 林

北京航空航天大学
〒100191 中国北京海淀区学院路37号
E-mail: caimaolin@jbuua.edu.cn

2002年東京工業大学総合理工学研究科精密機械システム専攻博士課程修了。同大学助手、助教授を経て、2006年北京航空航天大学自動化学院教授。空気圧省エネ、流体計測の研究に従事。博士(工学)。

1. はじめに

周知のように、空気が圧縮される前の大気状態では何の仕事もできず、パワーをもっていない。空気に仕事能力を与えたのは圧縮機である。圧縮空気のパワーの源は圧縮機の消費電力である。そのため、圧縮空気のパワーを評価する際には、圧縮機の消費電力に基づいて行わなければならない。

本文では、まずは従来の評価方法を紹介した上、その評価方法の問題点を例をあげて検討する。つぎに、圧縮空気のパワーを正しく評価できる方法を紹介する。最後に、空気圧の省エネルギーにおいて、新しいエネルギー消費評価の視点から省エネルギーの方策や方向性を示し、評価技術の有用性を示す。

2. pQ —間違えた空気のパワー

油圧では、油動力は pQ と表示される¹⁾。 p は大気圧を基準に取った油のゲージ圧力である。この油のパワー pQ は電圧と電流の積と表された電力パワー UI と同様なものであり、単位がWattである。

空気圧技術には油圧を継承したものが多く、空気のパワーを評価しようとするとき、油動力をそのま

ま援用することはきわめて自然な流れである。また、 pQ の表示式から、 p と Q が大きければ大きいほどパワーが大きい特性は空気のパワーについての直感的な理解とも一致する。そのため、この表示式が多く省エネ現場に使われるようになり、特にシンプルな形で現場の方々に愛用されるにいった。

しかしながら、油動力と同じ表示式が適用できれば、空気圧のもっとも大きな特徴である圧縮性がパワーと無関係といえる。これは真実なのか？ここで油動力の概念を復習したい。

油は圧縮性が無視できるため、油動力は実は上流側(ポンプ)から伝わってきた伝達エネルギーであり、油自身が持つエネルギーではない。

図1に示すように、配管に流れる油が破線の断面を通過すると同時に、 pQ の押し込みパワーも上流側から下流側へ伝わる。ここに大文字 P で絶対圧力を表す。大気圧に対する仕事は有用なものではなく、それを引けば破線の断面を通過する押しのけパワーは $(P-P_0)Q=pQ$ となる。ポンプでは何の損失もない理想な状態で圧力 p 、流量 Q の油を送り出すとすると、 pQ の軸動力が必要である。一方、空気の場合にはどうなるのか？空気が圧縮されたままで破線の断面を通過するときに、油と同様に pQ の押しのけパワーが上流側から下流側へ伝わる。また、空気が圧縮性を持つため、圧縮空気自身が持つ膨張エネルギーも同時に伝わる。図1に示すように、仕切り弁で上流側の供給を遮断すると、油圧の場合には下流側の油がモータを駆動する仕事能力はなくなるが、



油動力 = 伝達エネルギー

空気のパワー

= 伝達エネルギー + 膨張エネルギー

図1 油と空気のパワー

空気圧の場合には下流側の空気が自身の膨張で仕事を続けることが可能である。言い換えると、圧縮空気は pQ 以外に、膨張性を生かしたパワーを持つことがわかる。つぎに、上流側の圧縮機の状況を検討する。圧縮機では油と異なり、空気を送り出す前に圧縮しなければならない。この圧縮には電動機の軸でより多くの動力がかかる。そのため、単なる pQ では理想な状態でも圧縮機の消費電力を評価できない。

これらを踏まえ、空気のパワーは pQ では評価できず、膨張エネルギーを加える必要があることがわかる。

3. エアパワーの定義

著者らは空気の圧縮性によって生み出した膨張エネルギーを下記の式で適切に評価することを提案した²⁾。

$$L_e = PQ \ln \frac{P}{P_a} - (P - P_a)Q \quad (1)$$

この膨張エネルギーは、圧縮空気が大気環境において外部に対してなせる仕事で評価するものである。

前述の pQ を伝達エネルギーとすると、

$$L_t = pQ = (P - P_a)Q \quad (2)$$

空気のパワーは両者の和となり、以下の式で表すことができる。

$$L = L_t + L_e = PQ \ln \frac{P}{P_a} + P_a Q \ln \frac{P}{P_a} \quad (3)$$

$PQ \ln \frac{P}{P_a}$ は著者らが提案したエアパワーである。

ただし、 P と Q は空気の絶対圧力と加圧状態下での体積流量、 P_a と Q_a は大気圧力と大気状態に換算した体積流量であり、 $\ln$ は自然対数を意味する。

ここで注意を要するのは上記表示式の中の P が絶対圧力であることである。大気環境との相対関係は自然対数の項に現れる。大気状態の空気は自然対数の項がゼロとなるため、エアパワーを持たない。伝達エネルギーと膨張エネルギーの割合を示すために、体積流量 $1000[\text{dm}^3/\text{min}(\text{ANR})]$ の圧縮空気の両エネルギーを計算した。その結果を図2に表示する。グレーで塗りつぶした部分は伝達エネルギー、黒の部分が膨張エネルギーである。圧力が上昇するにつれて両エネルギーが増える。大気圧に近いところでは膨張エネルギーが小さく、動力伝達エネルギーが支配的であるが、 $0.52[\text{MPa}]$ になると膨張エネルギーが伝達エネルギーと等しくなる。圧力がこれ以上上昇すると、膨張エネルギーの割合が50%よりさらに増えていく。

これをふまえ、膨張エネルギーはエアパワーの中

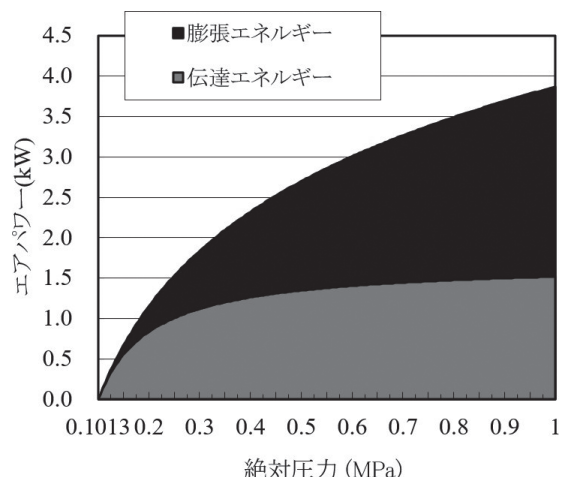


図2 エアパワーの構成

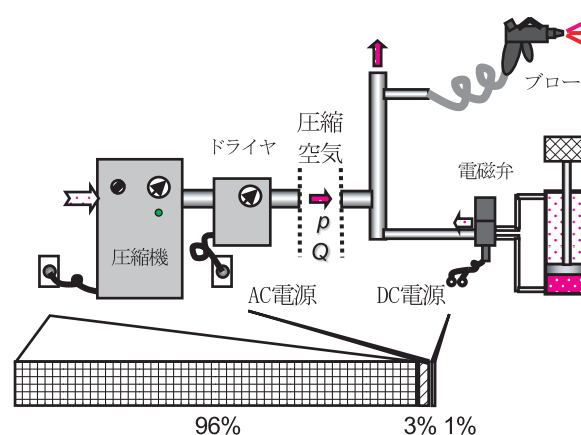


図3 空気圧システム全体の消費電力

で大きな割合を占めており、圧縮空気のエネルギー的な特性として膨張エネルギーを適切に評価することが重要である。

上記した式(3)は運動エネルギーが無視できる大気温度下での圧縮空気のパワーであるが、流速が速い時や大気温度以外の時のエアパワーの計算式は文献³⁾を参考されたい。

4. エアパワーによる省エネへの役割

前述のように、エアパワーは圧縮空気のエネルギー消費量を定量化するために提案したものである。エアパワーが今後の省エネ活動にどのような役割を果たしていくかを以下に検討してみる。

その前に、まずは空気圧システム全体のエネルギー消費の概況を把握しておく。図3に示すように、システム全体の消費電力の中で、圧縮機の消費電力が96%、エアドライヤが3%を占めており、圧縮空気によるエネルギー消費はほぼ圧縮機とドライヤの消費電力であるといえる。

4.1 供給側のエアパワー

エアドライヤから出力される圧縮空気は空気圧源の出力である。そのエアパワーを出力、圧縮機の消費電力 L_c とエアドライヤの消費電力 L_d を入力とすると、空気圧源のトータルエネルギー変換効率は

$$\eta = \frac{P_a Q_a \ln \frac{P}{P_a}}{L_c + L_d} \times 100\% \quad (4)$$

となり、著者らが提案した圧縮機の全効率と似たものである⁴⁾。

このトータル効率は従来の全断熱効率や全等温効率と異なり、インバータ制御や電動機の損失、アフタークーラーの冷却と乾燥処理による消費電力を考慮したほか、エアドライヤの消費電力も入れた。その評価対象は単なる圧縮機ではなく、エアドライヤも含めたので、空気圧ユーザにとって空気圧源のトータル効率の評価に適切なものである。また、その計算式が全断熱効率より計算しやすく、現場の方々に使用されやすい特徴もある。

つぎに中型スクリュウ圧縮機を例として、空気圧源のトータル効率を計算する：

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_a Q_a \ln \frac{P}{P_a}}{L_c + L_d} \times 100\% \\ &= \frac{0.1013 \times 12.4 / 60 \times \ln \frac{0.83 + 0.1013}{0.1013} \times 10^3}{75 + 2.8} \times 100\% \\ &= 59.7\% \end{aligned} \quad (5)$$

ここに、圧縮機の定格入力：75[kW]

吐出圧力：0.83[MPa(G)]

吐出流量：12.4[m³/min]

エアドライヤの定格入力：2.8[kW]

トータル効率が計算できれば、空気圧源を選定する際にその機種が省エネなのかどうかをわかりやすく判断でき、空気圧源の省エネ化につながる。

4.2 消費側のエアパワー

空気圧末端設備のエネルギー消費量は

$$E = \int_0^t P_a Q_a \ln \frac{P}{P_a} dt \quad (6)$$

で計算できる。式(6)より、エネルギー消費量を低減させるには、圧力 P の降下、流量 Q_a の減少、時間 t の短縮が有効である。具体的な対策を述べると、圧縮機吐出圧力の低減、漏れの改善、非稼動時間帯でのブローの停止などほとんどの対策がこの三つのどれかに当たる。

現場で省エネの対策を実施するかどうかを判断するには、その節約効果をあらかじめ概算しなければ

ならない。特に資金投入が必要な場合、回収期を算出する必要がある。以下に、エアパワーを活用したふたつの概算例をあげる。

(1) 圧縮機吐出圧力の低減

現状の吐出圧力0.75[MPa(G)]を0.1[MPa]下げる。圧縮機の消費電力がどのくらい節約できるか？

A. 設備側で減圧弁が付けられた場合、供給圧力の下降にかかわらず空気消費量が一定となる。したがって、エアパワーの節約量は

$$\begin{aligned} \zeta &= \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100\% \\ &= \frac{P_a Q_a \ln \frac{P_1}{P_a} - P_a Q_a \ln \frac{P_2}{P_a}}{P_a Q_a \ln \frac{P_1}{P_a}} \times 100\% \\ &= \frac{\ln \frac{P_1}{P_a}}{\ln \frac{P_1}{P_a}} \times 100\% \\ &= \frac{\ln \frac{0.75 + 0.1}{0.65 + 0.1}}{\ln \frac{0.75 + 0.1}{0.1}} \times 100\% \\ &= 5.8\% \end{aligned} \quad (7)$$

B. 減圧弁が付けられていない漏れやエアブローなどの場合、供給圧力の下降に比例して空気消費量が下がる。この場合、エアパワーの節約量は

$$\begin{aligned} \zeta &= \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100\% \\ &= \frac{P_a Q_a \ln \frac{P_1}{P_a} - P_a Q_a \frac{P_2}{P_1} \ln \frac{P_2}{P_a}}{P_a Q_a \ln \frac{P_1}{P_a}} \times 100\% \\ &= \frac{\ln \frac{P_1}{P_a} - \frac{P_2}{P_1} \ln \frac{P_2}{P_a}}{\ln \frac{P_1}{P_a}} \times 100\% \\ &= \frac{\ln \frac{0.75 + 0.1}{0.1} - \frac{0.65 + 0.1}{0.75 + 0.1} \ln \frac{0.65 + 0.1}{0.1}}{\ln \frac{0.75 + 0.1}{0.1}} \times 100\% \\ &= 16.9\% \end{aligned} \quad (8)$$

消費側では上記したAとBのケースが混在しているため、0.1[MPa]の圧力下降は5.8–16.9%のエアパワーの節約効果があることがわかる。吐出圧力が高いほどトータル効率が低いという圧縮機の効率特

性を考えれば、消費電力では上記した数値を若干上回る節約効果があると考えられる。

(2) 塗料攪拌のブロワ化

現在、多くの工場では圧縮空気ラインから直接パイプを引いて、塗料攪拌用途で減圧弁を使って低压ブローをしている。このようなエア使用は多くのむだを招いているため、近年、圧縮機からの圧縮空気をやめてブロワを採用する省エネ事例が報告されている。ここに、ブロー流量は $10[\text{m}^3/\text{min}(\text{ANR})]$ として、両者のエアパワー消費を試算する。

A. 圧縮機（吐出圧力 $=0.75[\text{MPa}(\text{G})]$ ）

$$\begin{aligned} L &= P_a Q_a \ln \frac{P}{P_a} \\ &= 0.1 \times 10/60 \times 10^3 \times \ln \frac{0.75+0.1}{0.1} \quad (9) \\ &= 35.6 [\text{kW}] \end{aligned}$$

空気圧源のトータル効率が60%とすると、このブローの所要消費電力は $35.6 \div 60\% = 59.3[\text{kW}]$ となる。

A. ブロワ（吐出圧力 $=0.05[\text{MPa}(\text{G})]$ ）

$$\begin{aligned} L &= P_a Q_a \ln \frac{P}{P_a} \\ &= 0.1 \times 10/60 \times 10^3 \times \ln \frac{0.05+0.1}{0.1} \quad (10) \\ &= 6.8 [\text{kW}] \end{aligned}$$

ブロワのトータル効率はブロワの構造などによって

さまざまであるが、通常40%を中心に変わっている。ここに効率40%で計算すれば、ブロワの所要動力は $6.8 \div 40\% = 17[\text{kW}]$ となる。

ブロワ化による省エネ効果は

$$59.3 - 17 = 42.3 [\text{kW}] \quad (11)$$

となり、かなり大きい数値である。ブロー時間を掛けると、節約電力量が算出でき、ブロワへの改造費用との比較から、投資回収期がわかる。

5. おわりに

エアパワーによる圧縮空気のエネルギー消費評価手法が確立したことにより、空気圧システムや機器間のエネルギー流れが定量化できるようになり、そのエネルギー収支が見える。エアパワーは今後の省エネルギー活動を推進する上で非常に重要な概念である。

参考文献

- 1) 新版油空圧便覧, (社)日本油空圧学会 (現日本フルードパワーシステム学会) (1989)
- 2) 蔡・藤田・香川: 空気圧駆動システムにおけるエネルギー消費とその評価, 日本油空圧学会論文集, Vol. 32, No. 5, p. 118-123 (2001)
- 3) 香川・蔡: 知っておきたいやさしい空気圧技術⑩空気圧のエネルギー消費, 油空圧技術, Vol. 45, No. 6, p. 58-62 (2006)
- 4) 香川・蔡: 環境に配慮したコンプレッサの最新動向, 油空圧技術, Vol. 45, No. 4, p. 1-5 (2006)

(原稿受付: 2020年8月24日)

解説

鉄道車両用真空式トイレの省エネルギー

著者紹介



ふじのけんじ
藤野謙司

株式会社総合車両製作所
〒236-0043 神奈川県横浜市金沢区大川3-1
E-mail: kenji-fujino@j-trec.co.jp

1991年東京工業大学大学院理工学研究科制御工学専攻修士課程修了, 2012年同総合理工学研究科メカノマイクロ工学専攻博士課程修了, 1991年東日本旅客鉄道株式会社入社, 車両の設計・開発に携わり, 2019年より株式会社総合車両製作所に出向, 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

鉄道車両は元来省エネルギーな交通手段であるが, よりいっそうの省エネ化が求められている¹⁾。鉄道車両に利用されている空気圧も例外ではなく, 軽量化と快適な車内環境を実現するため, トイレに空気圧システムが用いられており, そのひとつとして真空式トイレとも呼ばれる, 汚物を負圧で吸引して正圧で汚物タンクに移送するシステムがある^{2), 3)}。図1に鉄道車両用真空式トイレを示す。しかし, このような空気圧システムはこれまで圧力や流量の計測が十分に行われておらず, 設計は経験的なものであった。

一方, これまでの研究により圧縮流体の計測において空気圧エネルギーの評価が行われている。まず,



図1 鉄道車両用真空式トイレ

空気の圧縮性を考慮した空気の有効エネルギーの概念を定義することにより空気圧システムのエネルギーと効率に対して評価することが可能となる⁴⁾。また, 高応答性を有する層流形流量計(QFS)を提案し, この流量計を用いて圧縮性流体の定常および非定常流量計測が測定可能なことを示した^{5), 6)}。

そこで, 本解説では, 著者が以前鉄道車両用真空式トイレを対象として計測したシステム内の圧力や流量のデータ⁷⁾をもとに, 鉄道車両用トイレシステムの省エネルギー化について考察を行うこととした。

2. 主な記号

P	: 圧力	[Pa]
Q	: 流量	[L/min (ANR)]
t	: 時間	[s]
$\dot{E}$	: エアパワー	[J/s]
添字		
s	: 供給ライン	
c	: 予備汚物タンク	
2	: 減圧弁下流	
a	: 大気圧	
duty	: 真空式トイレの1洗浄サイクル	

3. 鉄道車両用トイレの変遷と真空式トイレの動作原理

3.1 鉄道車両用トイレの変遷

トイレは, 悪臭を放ち周辺の環境を汚損するおそれのある排泄物などの汚物を処分するための機能を持つ施設である。特に長時間移動を行う航空機や鉄道などの交通機関においては, 乗っているお客さまの排泄に供するためにさまざまな工夫がされてきた³⁾。

従来, 鉄道車両においては, 污水管を線路上に開放し汚物を自然落下により流下させる方法が用いられてきたが, この方法では汚物が飛散してしまうため, 衛生的にきわめて問題となった。その後, 汚物タンクを車両下部に設置した貯留式トイレが利用された。水洗式トイレは水の使用量が多いため, 洗浄水と汚物の回収タンクを搭載した車両の重量は増加した。この問題を解決するために, 便槽に溜まった

汚物の水分をろ過・消毒し、便器の水洗に再利用する循環式トイレが用いられ、1970年代以降主流になったが、再利用した水分には大便や便紙などに起因する固形物が含まれ、また処理水自体の臭いが強いので、不快感を伴い鉄道車両用トイレの独特の臭いを防ぎきれないのが実情である。

以上のような問題を解決するため、1990年代から真空式トイレが飛行機をはじめ交通機関に導入された。通常のトイレでは一回につき5～6Lの水を必要とするが、真空式トイレでは、真空を発生させ便器内の汚物を吸引し便槽に収めてから洗浄水を流し便器を洗浄することで0.3L程度と水の使用量を最小限に抑えることができる。

2000年代になると、システムの簡素化を目的に、重力式をベースとした清水空圧式トイレが開発され、新幹線車両や在来線車両に搭載されている。

3.2 真空式トイレの動作原理

鉄道車両用真空トイレの構成を図2に示す。トイレ使用後に光電スイッチに手をかざすと、真空式トイレは以下の順序で作動する。バルブ3が作動し、圧縮空気がエジェクタに送られ、予備汚物タンクに真空圧を発生させる。また、バルブ1が動作し、洗浄水用のバッファタンクに0.3Lの水を蓄積する。バルブ2は、バルブ1が閉じたのちに作動し、洗浄水用のバッファタンクを加圧して、便器内を洗浄する。同時に、バルブ6を動作させてスライドバルブ2を動作させる。スライドバルブ2が動作すると、負圧により便器内の汚物は予備汚物タンクに送られる。その後、スライドバルブ2は閉じて、便器と予備汚物タンクを隔離する。つぎに、バルブ4が動作して予備汚物タンク内を加圧したのちに、バルブ5を作動させてスライドバルブ1を開き、汚物は汚物タンクに圧送される。

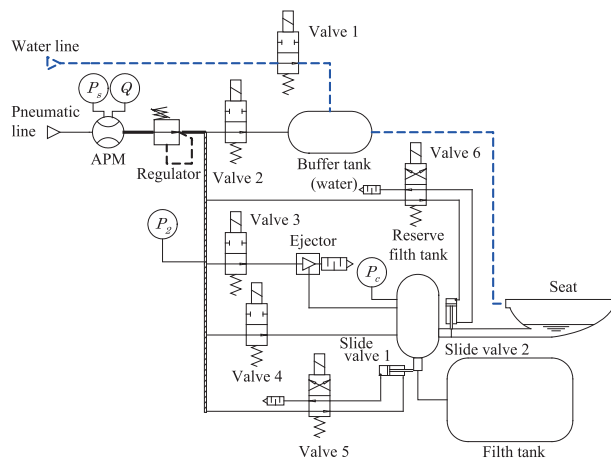


図2 鉄道車両用真空式トイレの構成

4. 真空式トイレの測定

前章から、鉄道車両用真空式トイレの空気圧システムは、エジェクタやスライドバルブを動作させるエアシリンダーなどの空気圧アクチュエータおよび制御弁と空気配管から構成されていることがわかる。本章では、タンクの充填やシリンダーの作動、またエジェクタによる真空発生などの洗浄サイクルにおける圧力および流量の計測を行った。なお、真空式トイレ上流側の圧力と流量はエアパワーメータ⁷⁾で計測した。

4.1 測定点および試験条件

図2に示すように、真空式トイレシステムへの供給圧力（減圧弁の上流側圧力）と流量、エジェクタへ圧縮空気を送るバルブ3の入口圧力、そして予備汚物タンク内の圧力を測定した。

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

表1 試験条件

試験番号	供給圧力 [MPa (G)]	減圧弁	配管径 (内径)	配管ルート
Case A	0.7	標準品	4 mm	変更なし
Case B	0.7	大流量タイプ	4 mm	変更なし
Case C	0.7	大流量タイプ	8 mm	短縮
Case D	0.6	大流量タイプ	8 mm	短縮

4.2 測定結果

4.2.1 圧力

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

この図から、初期状態の真空圧力発生量に対し、減圧弁の大流量化、配管径アップ、配管ルート変更を行うと、圧力損失が減ることで真空圧力発生量が増えている。機能上、初期状態での真空圧力発生量で真空式トイレの動作に問題は発生していないが、空気圧部品を変更もしくは効率的に配置することで真空圧力発生量を増加させることができ、それは汚物の吸引力向上につながる。また、Case Cの状態では減圧弁設定圧を0.6MPaにしても（Case D）、初期状態での真空圧力発生量と大きな差がない結果となった。このことから、減圧弁設定圧を低下させても機能上に問題がないことが確認できた。

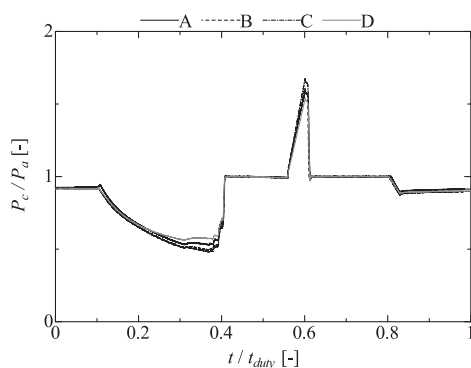


図3 予備汚物タンク圧力の測定結果

4.2.2 流量

減圧弁の上流側で計測した積算流量結果を図4に示す。この図からわかるように、初期状態に対し、減圧弁の大流量化、配管径アップと配管ルートの変更をすることで、真空式トイレへの供給流量が増加している。これは、配管類での圧力抵抗が減ったため、流量が流れやすくなっていることが要因である。さらに、各変更を加えた状態で減圧弁設定圧を0.6MPaにすると、流量を初期状態と同等程度とすることができた。

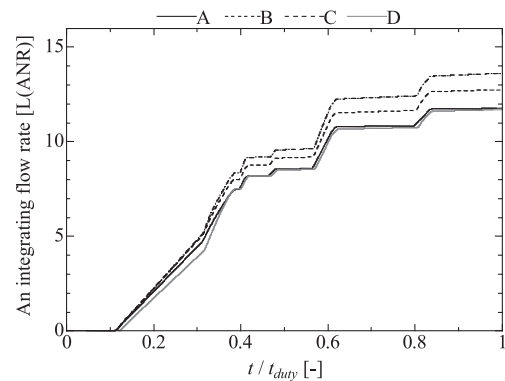


図4 積算流量結果

4.2.3 エアパワー

各ケースのエアパワーを比較した。なお、エアパワーとは、下記式で求められる圧縮空気が持つ有効エネルギーである⁴⁾。

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

図5に、真空式トイレの上流側で計測したエアパワーの推移を示す。Case Aに対し、減圧弁設定圧が同じであるCase B、Case Cでは、管路などにおける圧力抵抗が減少したために流量が大きくなり、その結果エアパワーも増加している。それに対しCase Dは、減圧弁設定圧の低下により流量が減少していることもあり、他のケースに比べてもっともエアパ

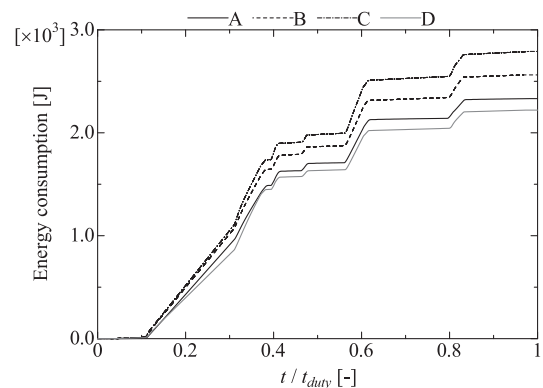


図5 エアパワー測定結果

ワーが少ない。つまりCase Dは、消費エネルギーが最も少ない構成となった。

5. 予備汚物タンク容量変更による消費エネルギー検討

つぎに、予備汚物タンク容量を変更した場合の消費エネルギー変化について、測定を行った⁸⁾。測定条件を表2に示す。初期状態での測定に加え、予備汚物タンクの容量とタイムチャートを変更して測定を行った。測定条件2が初期状態である。測定条件1は予備汚物タンク容量を変更した。測定条件3は、タンク容量の変更に加えタイムチャートも変更し、減圧時間と加圧時間を短縮した。測定条件4では動作時間全体も短縮した。

表2 測定条件

測定条件	供給圧力 [MPaG]	予備汚物タンク容量 [L]	タイムチャート
1	0.7	2.044	変更なし
2	0.7	4.475	変更なし
3	0.7	2.044	減圧時間と加圧時間を短縮
4	0.7	2.044	減圧時間と加圧時間と動作時間を短縮

5.1 圧 力

予備汚物タンク圧力の測定結果を図6に示す。測定条件2では、2.5秒付近から真空圧力が変化している。測定条件1では、予備汚物タンク容量をおおよそ半分としたため、予備汚物タンク内の真空度が高くなっている。測定条件3では、タイムチャートを汚物タンク内圧力がおおよそ-60kPaになる時点でエジェクタへの供給を止めるように変更した。測定条件4では、予備汚物タンク負圧時間をおおよそ1秒短くした。そのため、2.5秒付近で圧力が上昇している。

5.2 エアパワー

真空式トイレ供給ラインの積算エアパワーの測定

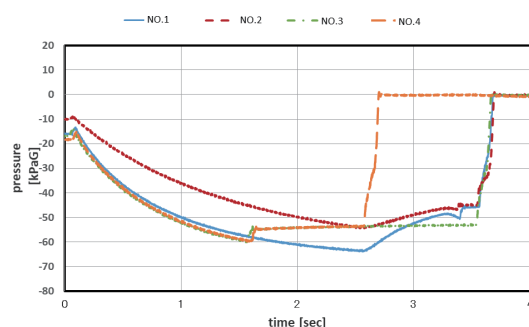


図6 予備汚物タンク圧力測定結果

結果を図7に示す。初期状態である測定条件2に対し、測定条件1は予備汚物タンク内の真空圧力が大きくなっているため、消費エネルギーが増えている。測定条件3は、1.5秒付近からバルブ1が動作する2.5秒付近までエアパワーの増加がなく、測定条件2より省エネルギーとなっていることがわかる。測定条件4では、タイムチャートを縮めたことで、さらなる省エネルギー化が図られている。

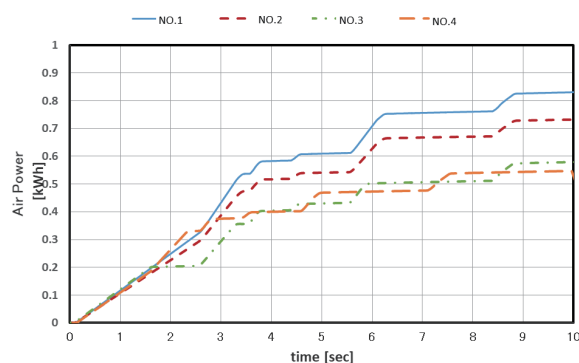


図7 積算エアパワー測定結果

6. 鉄道車両用トイレの省エネルギー

鉄道車両用真空式トイレは、エジェクタにより負圧を発生させるコンパクトなシステムである。真空式トイレとその前に使用されていた循環式トイレのエネルギー効率を比較することは、現時点では循環式トイレの新車への搭載がほとんどされていないことを考えるとあまり意味を持たないと考えられる。しかし、現行の真空式トイレの構成要素や供給圧力を変更することで、消費エネルギーを低減できることを確認した。

真空式トイレは臭気対策を主目的に導入したものであるが、先に触れた清水空圧式トイレも臭気対策を図るとともに、構造の簡素化を狙ったシステムである。図8に清水空圧式トイレを示す。汚物は洗浄ノズルから出る水流と重力で汚物タンクに落とし、汚物タンクからの臭気立上りは便器下部に設けたフ



図8 清水空圧式トイレ

ラップ弁で抑える構造である。空気圧は洗浄水の吹き出しとフラップ弁の動作に使われているが、汚物の吸引、圧送に空気圧を使用していないため、真空式トイレより消費エネルギーは低減されている。システムへの供給圧は真空式トイレ、清水空圧式トイレとも同じであるが、空気消費量は清水空圧式トイレは真空式トイレの1/8～1/9程度であるため、消費エネルギーも同程度低減されていることになる。

7. ま と め

鉄道車両用トイレは、臭気対策、軽量化、コストなどの観点で変化をしてきた。鉄道車両内は圧縮空気の作成、使用に制限があるため、圧縮空気を有効に使用するためには効率を上げることがトイレシステムに限らず求められる。これまで、鉄道車両に搭載された空気圧システムに対して、圧力値がシステム評価の対象であったが、消費エネルギーの観点から流量も評価の対象に加え、エアパワーという視点で省エネルギーを図る必要があると考える。この解説では、真空式トイレの各構成要素を省エネルギー化の観点で選定することで効率化が図られることをあらためて示したが、その他の個々のシステムの省エネルギー化を構成要素の適正配置によって達成するとともに、トイレシステムで使用する圧縮空気、水、電気をトータルで効率化する技術の開発が今後

も求められる。

参考文献

- 1) 萩原, 藤田: 新幹線電車の省エネルギー効果, 電気学会誌, 123-7, 406/409 (2003)
- 2) 藤野: 車両用真空式トイレの効率評価手法について—車両用真空式トイレにおける消費エネルギーの評価方法について, 油空圧技術, 47-6, 8/12 (2008)
- 3) 株式会社 テシカ: <http://www.tesika.co.jp/>
- 4) 蔡, 藤田, 香川: 空気圧駆動システムにおけるエネルギー消費とその評価, 日本油空圧学会論文集, 32-5, 105/110 (2001)
- 5) Kenji FUJINO, Masahiko ITO, Chongho YOUN, Li Xin, Kenji KAWASHIMA, Toshiharu KAGAWA, Nobuaki YAMAMOTO, Koji TANIGUCHI and Hiroshi YAMAMOTO: Transient pressure and flow rate measurement of the vacuum toilet system for train, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, OKINAWA 2011, 378/383 (2011)
- 6) 蔡茂林, 船木達也, 川嶋健嗣, 香川利春: 省エネのためのエアパワーメータの開発, 平成15年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, 119/121 (2003)
- 7) 東京メータ株式会社: <http://www.tokyometer.co.jp/>
- 8) Kenji FUJINO, Hiroshi YAMAMOTO, Nobuaki YAMAMOTO, Chongho YOUN and Toshiharu KAGAWA: STUDY OF THE ENERGY CONSUMPTION OF A VACUUM TOILET SYSTEM FOR TRAIN, Proceedings of the 9th JFPS International Symposium on Fluid Power, Matsue 2014, 348/353 (2014)

(原稿受付: 2020年8月31日)

ニュース

学会創立50周年記念誌と記念出版編集事業

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。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. ま え が き

今年度、日本フルードパワーシステム学会が学会創立50周年を迎えた。昨年来、学会創立50周年記念実行委員会の中に設置された記念出版・編集分科会（主査：筆者）では、4つの事業、すなわち

- (1) 学会創立50周年記念誌の発行
- (2) 機能性流体の入門テキストである「機能性流体入門 ～基礎と応用～」の出版
- (3) アーカイブ・情報システム事業
- (4) 学会誌「フルードパワーシステム」における学会創立50周年記念特集号の発行

を進めている。

当初は、今年5月に予定されていた学会創立50周年記念式典までに、記念出版・編集分科会の全事業を完了する計画であった。しかしながら、新型コロナウイルス感染拡大、5月下旬までの緊急事態宣言、6月以降も継続した実行委員会活動の制約により、学会創立50周年記念式典は延期となり、記念出版・編集分科会の事業も遅延している状況である。記念出版・編集分科会の4事業は、現時点（2020年10月1日現在）ですでに完了したものと、まもなく完了するものがあるが、記念出版を心待ちにしている会員諸氏もおられると思う。ここで「ニュース」として事業の状況を共有し、今後の予定を紹介したい。

以下、2020年10月1日現在の状況である。

2. 記念出版・編集の4事業

2.1 学会創立50周年記念誌出版

コロナ禍での編集作業の停滞により出版が遅れており、現在は鋭意作業を進めているところである。年内には発行できる見込みである。

過去、学会創立30周年と40周年の記念誌は、フルードパワー分野の技術書であった。当50周年記念誌は、50年をひとつの節目として、これまでの学会のあゆみをまとめた記録資料として発行を予定している。その概要は、箱入り・布表紙、A4版、カラー16ページ、モノクロ64ページ、全80ページ程度であり、以下のような構成である。

「一般社団法人日本フルードパワーシステム学会50年のあゆみ」

- ・学会創立50周年を迎えて
- ・学会50年のあゆみを示すカラー画像、写真集
- ・学会の沿革、歴代会長など
- ・学会50年の歩み

10年単位で学会の活動、トピックス、当時の時代背景をまとめる。

- ・学会事業の記録
講演会、セミナーなどのイベントで特筆すべきものと国際シンポジウム
- ・学会のこれから
- ・ファクトシート、創立からの会員数推移など

2.2 機能性流体入門書籍の出版

「日本フルードパワーシステム学会創立50周年記念」を冠した機能性流体の入門書籍として「機能性流体入門 ～基礎と応用～」が出版社から刊行される。学会創立50周年記念誌と同じく、遅くとも年内の刊行を予定している。発売日、価格はあらためて案内する。

2.3 アーカイブ・情報システム事業

アーカイブ事業と情報システム事業の2本立てで進められており、事業はほぼ完了している。

会員諸氏は、現在、学会のウェブサイトの会員のページで、学会誌バックナンバーが32巻7号（2001年11月号）から50巻6号（2019年11月号）が電

子データ化し公開されていることはご存知のことと思う。今後も前年度までの学会誌の電子データが追加されていく。一方、32巻7号（2001年11月号）以前の過去のバックナンバーは、紙媒体の冊子で保管されていた。アーカイブ事業では、学会誌創刊号（「油圧と空気圧」1巻1号、1970年10月）を起点として紙媒体の冊子のみで存在する学会誌をすべて電子データ化するもので、全誌の電子データの作成が完了している。

情報システム事業は、学会ホームページ（<http://www.jfps.jp>）のリニューアルであり、すでにインパクトのあるホームページが公開されている。また、英語ホームページも充実した。

2.4 学会誌「フルードパワーシステム」における学会創立50周年記念特集号の発行

学会誌「フルードパワーシステム」において、

51巻1号（2020年1月号）「50周年記念企画—フルードパワーエキスパートからみる将来への提言」、51巻2号（2020年3月号）「50周年記念企画—フルードパワーユーザーからみる将来への期待」が、二号に渡った連続特集で発行された。

3. あとがき

学会創立50周年記念誌出版と機能性流体入門書籍の出版は、遅れながらも作業が進行している。現時点（10月1日現在）では、状況が流動的であり明確な案内ができないが、当号が発行される11月には、会員諸氏に具体的な頒布方法をお知らせできるよう、事業を進めていきたい。

（原稿受付：2020年9月30日）

会 告

会 員 移 動

会員の種類	正会員	海外会員	学生会員	賛助会員
会員数 (10月10日現在)	881	12	99	128
差引き増減	+2	±0	+4	±0

正会員の内訳 名誉員15名・シニア員49名・ジュニア員115名・その他正会員702名

〈新入会員〉

正会員

杉目 道史（横河電子機器株式会社）

土方 聖二（日立建機株式会社）

学生会員

安達 拓生（横浜国立大学）

藤田 昌孝（横浜国立大学）

武内健史郎（岡山理科大学）

古谷 拓実（室蘭工業大学）

トピックス

学生さんへ、先輩が語る 一大勢の人と関わりながら働くということー

著者紹介



かつ また れい こ
勝 又 玲 子

KYB株式会社

〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1-12-1

2014年東海大学工学部航空宇宙学科卒業、同年KYB株式会社に入社、主に油圧機器全般の解析業務に従事。

1. はじめに

1.1 自己紹介

私は神奈川県の川崎市で生まれ、大学卒業まで同じ土地で過ごした。幼いころから工作が好きで、ものづくりに関わる仕事に就きたいと思い工学部への進学を決める。卒業後は油圧機器メーカーであるKYB株式会社に入社し、建設機械用コントロールバルブの設計業務を経て、現在は主に油圧機器全般の解析業務に従事している。

1.2 企業紹介

弊社は振動制御技術とパワー制御技術をコア技術として、システムや電子制御の技術を掛け合わせることで多様な油圧製品を提供している油圧機器メーカーである。事業分野は多岐にわたり、四輪車・二輪車・建設機械・産業車両・航空機・鉄道・特装車両などに展開している。

弊社の油圧製品は日常生活において目にする機会は少ないが、より快適な生活を送るための縁の下での力持ちとして日々活躍している。

1.3 職場のおすすめスポット

私が勤務している相模工場にはKYB資料館がある。製品の機能や使われ方、弊社技術の歴史を紹介する博物館であり、零式艦上戦闘機に装着された主脚の緩衝器（写真1）をはじめ、さまざまな製品が展示されている。油圧の原理や技術が普段使用しているものどう関わっているかなどが学べる体験コーナーもあり、小中学生を対象にした科学教室では子供だけでなく保護者にも人気を博している。

2. 学生時代を振り返って

2.1 学生時代の研究内容紹介

学生時代は、ハイブリッドロケットの振動燃焼、燃料後退速度、深宇宙探査機の離着陸エンジンの制御に関する研究を行っている研究室に所属し、そこでハイブリッドロケットの単位時間当たりの燃料供給量を推定する研究を行った。

ハイブリッドロケットは燃料と酸化剤の層が異なるロケットで、安全性や低コストの特徴を持ち、世界中で研究開発が行われている。流れてくる酸化剤と固体燃料から気化した燃料が混ざり合って燃焼するシステムのため、単位時間当たりの燃料供給量を直接測定することが一般的に難しいとされている。供給量が把握できないことは、正確な酸燃比を求めることができず最適設計点での運用ができないことを意味する。このような背景がある中、酸化剤流量と燃焼室圧力の履歴から燃料の質量流量を推定する再現法と数値計算プログラムを用いて燃料供給量の推定を試みた。

この研究では酸化剤流量と燃焼室圧力の履歴を得るために燃焼実験を実施しており、同時に固体燃料の消費量を測定して数値計算プログラムの結果と一致するかを確認した。しかし、燃料消費量の実験値と計算値では差が発生する結果となり、実験後の固



写真1 零式艦上戦闘機の主脚

体燃料の形状や燃焼室圧力の波形から、燃焼せずに欠片や液体として燃焼室外に排出された分があると考察した。課題の残る結果となったが、複数のデータからどんな現象が起きているのか多角的に読み取りそれに対する改善策の提案など、社会に出てからも必要となる課題に対する取り組み方を学ぶことができたと思う。

2.2 学生時代の経験

私は大学生生活の半分を人力飛行機の製作に費やした。そこでの経験は社会人になってからもさまざまな場面で活かしていると感じる。

私が所属していた人力飛行機サークルは毎年7月末に琵琶湖で開催される大会の出場を目指し、設計や製作はもちろん、材料の選定や手配などすべての工程を学生主体で活動するものづくり団体である。限られた時間・人員・作業場・資金で結果を残すために試行錯誤の日々を過ごした。この活動でものづくりに関して大切だと感じたのは報・連・相をもとにしたコミュニケーションである。

団体で活動しているとコミュニケーション不足でトラブルが発生することが多々あった。そこで私たちは情報共有の仕方を見直し、作業開始前後でミーティングを開いたり、進行状況と連絡事項を見えるところに掲示することでトラブルは格段に減った。全員が現状を認識することで問題が発生してもスムーズに解決することができ一体感も増したと思う。

私たちの人力飛行機は大会出場は叶わなかったがテスト飛行に成功した(写真2)。大勢の仲間と同じ目標を持って一緒に努力できた経験は、私の人としての成長に大きく影響したと感じている。



写真2 テスト飛行中の人力飛行機

2.3 就職活動期間を有効活用

就職活動中はメーカーだけでなく、興味のある業界の説明会にも積極的に足を運んでみてほしい。メーカーとの違いも感じ取れる上、説明会では普段は入れないような場所を見学させてもらえたり、その仕事をしている人から直接話を聞くことができる。

見聞を広めるためにも、この貴重な期間を有効活用することをお勧めする。

就職は人生においてとても大きな分岐点である。何を仕事にしたいのか、どんな環境で働きたいのか、いろんな企業に足を運びながらじっくり考えてみてほしいと思う。

3. 社会人の仕事紹介

3.1 仕事紹介

3.1.1 設計

入社して4年間は建設機械用油圧機器の設計・開発部門に所属し、主に8tクラスの油圧ショベル用コントロールバルブの量産品設計を担当した。

お客様ごとにポンプやアクチュエータの仕様、実機の用途は異なる。それぞれの要望に合ったコントロールバルブを提供する必要があるため、バルブ以外の油圧機器の仕様を加味した製品設計を行っている。また、操作性改善のために流量制御特性の合わせ込みを随時対応している。どの部位を、どのように操作した場合に、どのような現象が発生するのか、どのような操作性に改善したいのかお客様との密なコミュニケーションが重要である。改善策や要望を盛り込んだ製品がお客様の満足する操作性を発揮し量産が決まった時は、役に立てた達成感を得ることができた。

設計業務に就いた当初は、初めて聞く部品の名前や役割、どんな原理でその機能を発揮しているのかなど覚えることが多くたいへん苦戦した。また、設計は部品の加工や組立のしやすさも考慮する必要がある。自分以外の人が見て分かりやすい図面になっているか、既存の加工方法で対応できるか、適した材質を使用しているかなど意識しなければならない事柄はたくさんある。その都度教育してくれた設計の先輩方はもちろん、そのことに精通した他部署の方々から直接教えてもらうことも多々あり、たくさんの方々を支えられながら成長させていただいた。

3.1.2 解析

入社5年目からは電子制御機器のソフトウェア開発や機械製品のCAE解析を行う部署に所属し、主に油圧機器全般の応力解析を担当している。

CAE解析ではものづくりの開発・設計・試作という工程の中で、コンピューター上でシミュレーションを行い構造に問題がないか検討する支援を行っている。コンピューター上でのシミュレーションは製品の形状や実験条件を簡単に変更できることから、試作品の作製を必要最低限にできたり実験回数を削減することができる。このことからCAE解析はものづくりに関してコスト削減はもちろん、製品開発を

スムーズに進めるために必要不可欠な手段であるといえる。

解析では製品が作動時にどのような動きをするのか理解する必要がある。また、材料力学・FEM解析・解析ソフトの知識がないと解析結果を正しく評価することができない。現段階で私の知識不足は否めず、解析結果を評価する際には間違いがないよう裏を取りながら進めている。まだまだ身につけなければならない知識・技術はたくさんあるため、仕事をする中で着実に身に付けていきたい。

設計も解析も、依頼が立て込むと早く仕事をさばくことに集中してしまいがちである。時間がないときほど、疑問点や不明確なところは担当者に確認を取ったり周りに相談したりして後戻りがないように心掛けている。1つ1つ丁寧に検討し不備がないか確認を疎かにしないことが、結果的に早く依頼に応えることにつながると私は思う。

3.2 企業内研修とイベント

3.2.1 研修

弊社では業務に必要な工学について技術者教育を実施していたり、語学教育として短期海外語学派遣制度などがありグローバルに活躍できる人財を育てる制度がある。スキルアップにつながる制度が多く用意されており、従業員は積極的に活用している。

私がかつても大事だと感じた研修の1つに、入社してから配属されるまでに行われる工場での現場研修がある。これは自分が携わる製品の組立ラインに入り作業を行ったり、製品に内蔵される子部品の組立やラインへの運搬供給など、数ヶ月間にわたり工場内の流れを体験するものである。私はこの研修で製造部の方々と顔見知りになったことで、配属後に現場で確認したいことがある際に声をかけやすくなり、現場研修は目の前の作業をこなすだけでなく、周りの方々と交流することで配属後も円滑にコミュニケーションが取れるようになる重要な機会だと私は思う。

3.2.2 イベント

弊社では地域の方々も参加可能な納涼祭や海外拠点の従業員も参加するロボットコンテスト、スポーツ文化交流会などのイベントが定期開催されている。自由参加ではあるが毎回大勢の従業員が参加し、大きな盛り上がりを見せている（写真3、4）。業務以外の活動は仕事仲間の普段と違う一面を知ることができ、従業員同士の距離を近づけてくれるとても良い機会だと思う。



写真3 ロボットコンテスト



写真4 スポーツ文化交流会

4. ま と め

4.1 今後の抱負

現在私は育児短時間勤務を利用しており、勤務時間が通常より短く、残業することはできない。設計職に就いていたころは納得できるまで職場に残って勤務していたが、今は時間内に作業を終えることを意識して取り組む必要がある。そして効率的に作業するために知識と技術は必要不可欠である。私は技術者としてその2つが足りていないことを実感しているが、勤務時間外に勉強時間を確保するのは至難の業である。日々の業務の中で経験を積みながら、解析を任せられる技術者として早く一人前になれるようしっかりと身に付けていきたい。

4.2 学生へのメッセージ

仕事をする上でコミュニケーション能力は想像以上に大切だった。仕事は1人で行うものではなく、お客様であったり他部署の方々だったり、大勢の人と関わりながら行うものである。そのため、相談できる人が多いということは知識や技術を持っていることと同じくらい強みになると私は思う。

いつでも専門家に質問ができる環境にあるうちに勉強も精一杯頑張ってもらいたいが、教授などの目上の方や、友人たちとコミュニケーションを取りながら何かに一緒に取り組む経験もたくさん積んでいただきたい。

（原稿受付：2020年8月7日）

研究室紹介

立命館大学 ソフトロボティクス研究室

著者紹介



ひら い しん いち
平 井 慎 一

立命館大学理工学部ロボティクス学科
〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1
E-mail: hirai@se.ritsumeai.ac.jp

1990年京都大学大学院工学研究科数理工学専攻博士課程単位取得退学。2002年4月より立命館大学理工学部ロボティクス学科教授。ソフトロボティクスに関する研究に従事。日本フルードパワー学会、日本ロボット学会、計測自動制御学会、IEEEなどの会員。工学博士。

1. はじめに

立命館大学理工学部ロボティクス学科は、1996年に開設された。理工学部は、1994年にオープンしたびわこ・くさつキャンパス（滋賀県草津市）にあり、機械工学科とロボティクス学科で機械システム系を構成している。ロボティクス学科は、現在10研究室を有しており、著者が所属するソフトロボティクス研究室はそのひとつとして活動している。また、研究を進める組織として、総合科学技術研究機構とロボティクス研究センターが設置されており、研究プロジェクトや共同研究を担っている。すべての教員の部屋と多くの実験室が、同じ建物（図1）に入っている。また、複数の研究室の大学院生が、



図1 立命館大学ロボティクス学科が入る建物

同じ部屋に入ることになっており、研究室間の研究交流が活発である。

ロボティクス学科は、「ロボティクス」という分野名を有する日本で初の学科である。新しい学科ということで、設置にいたるまでに尽力されたことを多くの方から伺っている。著者は設立の1996年より、ロボティクス学科に所属し、研究室を立ち上げた。名称変更を経て、現在はソフトロボティクス研究室と称している。

2. 空気圧研究のきっかけ

当研究室では、名称のとおりソフトロボティクスに関する研究を幅広く進めている。ソフトロボティクスを、柔らかい材料を積極的に用いて、新しい機能を発現するロボットに関する研究と定義しており、空気圧システムに関する研究も、その一環と位置付けている。

著者が空気圧駆動に興味を持ったのは、ウェアラブルロボットのための空気圧駆動のソフトアクチュエータに関する研究を始めた2000年ごろである。ゴムチューブに機械的な拘束を埋め込み、単一運動チューブを実現するとともに、複数の単一運動チューブを組み合わせ、空気圧群アクチュエータを構成した。このような空気圧駆動のソフトアクチュエータを開発する過程で、空気圧弁のサイズが課題であることを認識し、2003年から空気圧弁の小型化に挑戦することになった。目標は、ソフトアクチュエータに埋め込むことが可能なサイズと重量を持ち、ソフトアクチュエータを駆動するために、圧力0.5MPaで流量5 l/min程度の空気圧を制御可能である空気圧弁である。当時、卒業研究で配属された上原君がこの課題を担当することになり、さまざまな機構を試作したが、失敗を重ねた。あるとき、上原君が携帯電話を振動モードのまま机の上に置いていたとき、着信があった。着信により電話が振動し、机の上を動いた様子を見たとき、振動を用いてポップを開けるという着想を得たと聞いた。これが振動駆動式無拘束弁の原点である。

以降、空気圧に関する研究を継続的に進めている。本稿では、振動駆動式無拘束弁とその駆動回路、空気圧駆動ソフトグリッパーに関する研究を紹介する。

3. 振動駆動式無拘束弁

振動駆動式無拘束弁は、空気圧弁の小型化に挑戦することで生まれた。最初に試みた小型のポペット弁は、熱膨張の影響を受けやすく、動作が安定しなかった。そこで提案されたのが、振動駆動式無拘束弁¹⁾である。振動駆動式無拘束弁は、ポペット、貫通穴を有する振動体、ケースからなる(図2(a))。ポペットはケースの中に封入されており、名称のとおり他の部材とは接続されていない。入力ポートは空気圧源に接続され、出力ポート側は大気圧に保たれる。入力ポート側と出力ポート側の圧力差のため、ポペットは振動体の貫通穴に押し付けられ、結果として閉状態となる(図2(b))。ここで振動体を振動させると、振動によって生じる慣性力によりポペットが跳躍し、ポペットと振動体との接触が断続的に失われる。結果として、入力ポートから印加された空気が、貫通穴を通して出力ポート側に流れ、開状態となる(図2(c))。すなわち、振動体の振動をOn/Off制御することにより、弁を開閉する。ポペットと振動体は接続されていないため、振動によって生じる熱で振動体が膨張しても、弁の開閉には影響しない。

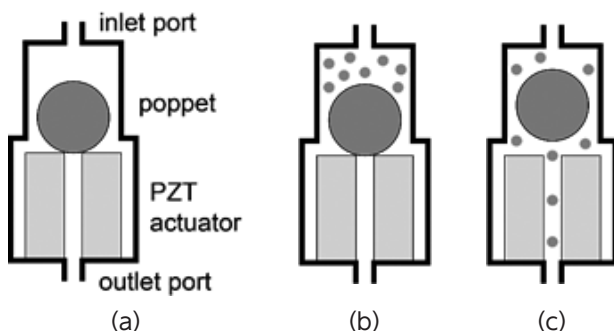


図2 振動駆動式無拘束弁の構造と原理

振動駆動式無拘束弁のプロトタイプ(図3左)は、直径7mm、高さ9mmの円筒である。振動体として、積層ピエゾアクチュエータ(富士セラミックス社製)を用いた。ピエゾアクチュエータのサイズは、3mm×3mm×2mm、貫通穴の直径は0.3mm、オリフィスの直径は0.5mmである。さらに、振動駆動式無拘束弁の駆動回路を開発した。駆動回路(図3右)は、発振回路と増幅回路からなる。発振回路は、無安定マルチバイブレータ回路である。この回路は、トランジスタ、抵抗、コンデンサから構成されてお

り、小型化が容易である。駆動回路は、LCチューナーを採用した。この回路は、インダクタとゲートドライバーから構成されており、小型化が容易である。試作した駆動回路は、ピーク電圧5V、周波数60～80kHzの矩形波を、出力電圧30Vに増幅することができる。試作した駆動回路で振動駆動式無拘束弁を駆動した結果、0.5MPaの印加空気圧に対し、8.0L/min以上の流量を実現することができた²⁾。したがって、振動駆動式無拘束弁と駆動回路により、空気圧駆動のロボットハンドやウェアラブルロボットを駆動することができる。

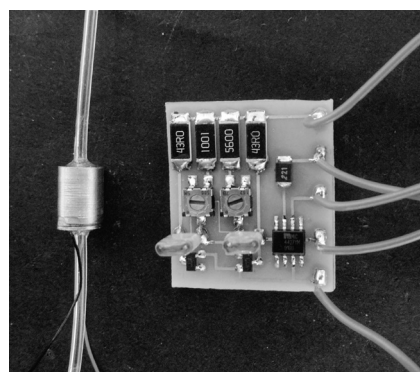


図3 振動駆動式無拘束弁とその駆動回路

4. 空気圧駆動ソフトグリッパー

空気圧を駆使している分野として、食品ハンドリング用ソフトグリッパーの研究を紹介する。複数のチャンバーからなるプリーツ構造を有し、柔らかいエラストマー製の指に空気圧を印加すると、チャンバーが膨張し、指に印加した圧力に応じて指に曲げ変形が生じる(図4)。複数のこのような指を持つロボットハンドにより、食品を把持することができる。指の形状や寸法、チャンバーの配置を設計することにより、個々の食品に適したグリッパーを製作することができる。

たとえば、自然状態でまっすぐではなく、外側に曲がっている指を設計した(図5(a))。このような指からなるハンドを、プレストレッチ指ハンドと呼ぶ³⁾。空気圧を印加すると、指が内側に曲がり、食品を把持することができる(図5(b))。自然状態でまっすぐな指からなるハンドでは、薄い食品を把持することが難しい。プレストレッチ指ハンドでは、まっすぐな状態で食品に接触し、結果として薄い食品を把持することができる(図5(c))。

また、コーンなどの粒状の食品を、一定量だけつまみ上げるために、包みグリッパーを設計した⁴⁾。このとき、空気圧を印加して指が曲がったときに、

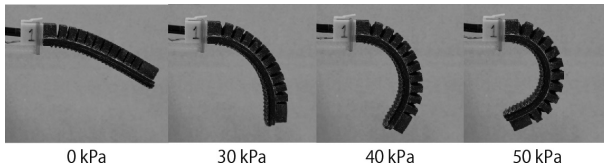


図4 空気圧印加で曲がるエラストマー製の指

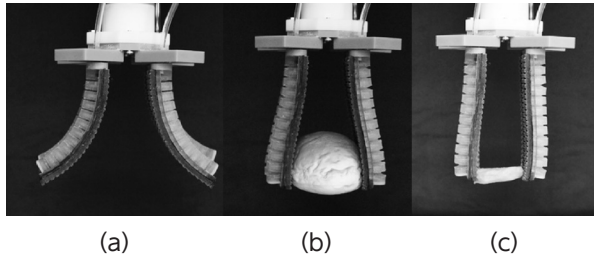


図5 プレストレッチ指ハンド

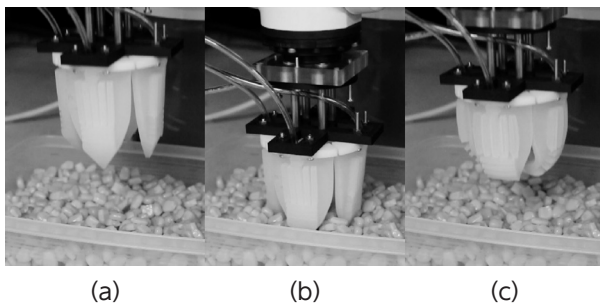


図6 包みグripper

指と指の間に隙間ができないように、チャンバーの配置を工夫した。コーンが入っているトレーに包みグripperを差し込み（図6 (a)）、空気圧を印加して指を曲げると、グripperの内側にコーンが保持される（図6 (b)）。指を持ち上げると、こぼれ落ちることなくコーンを掴み上げることができる（図6 (c)）。

2020年度より、立命館大学川村研究室、山形大学古川研究室を中心に、内閣府のSIP事業の一環として「CPS構築のためのセンサリッチ柔軟エンドエフェクタシステム開発と実用化」を実施している。このプロジェクトのターゲットのひとつが、食品のハンドリングであり、研究開発を推進するために、SIPデモンストレーションルーム（図7）を整備した。そこに、弁当のパッキング工程の模擬ラインを



図7 SIPデモンストレーションルーム

設置し、開発したさまざまなグripperに関する実験を進めている。

5. おわりに

本稿では、ソフトロボティクス研究室における空気圧駆動に関する研究を紹介した。ソフトロボティクスにおいては、柔らかい材料を用いてボディを構成し、柔らかいボディの変形を分布的に制御する。空気圧駆動は、このような特性を持つソフトロボットと相性が良く、今後もさまざまな適用が考えられる。なお、研究の詳細は、<http://www.ritsume.ac.jp/~hirai/>を見ていただきたい。

参考文献

- 1) 上原正太, 平井慎一, 空気圧アクチュエータ用小型比例制御弁の開発, 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, pp. 98-100 (2004)
- 2) 宮治和弥, 平井慎一, 振動駆動式無拘束パペット空気圧弁の駆動用発振回路の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2018)
- 3) Zhongkui Wang, Yuuki Torigoe, and Shinichi Hirai, A Prestressed Soft Gripper: Design, Modeling, Fabrication, and Tests for Food Handling, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.2, Issue 4, pp. 1909-1916, Oct. (2017)
- 4) Yoshiyuki Kuriyama, Yuusuke Okino, Zhongkui Wang, and Shinichi Hirai, A Wrapping Gripper for Packaging Chopped and Granular Food Materials, 2019 IEEE Int. Conf. on Soft Robotics, COEX, Seoul, Korea, Apr. 14-18, (2019)

(原稿受付：2020年8月19日)

会 告

〈理事会・委員会日程〉

9月15日	理事会
9月 8日	編集委員会
9月15日	国際交流委員会
10月13日	編集委員会
10月15日	情報システム委員会
10月29日	企画委員会

〈理事会報告〉

2020年度第3回理事会

9月15日 15:00～17:00

Web開催（参加者22名）

- 1) 国際シンポジウム函館2020の開催準備状況
- 2) 学会創立50周年記念事業について
- 3) 2020年秋季フルードパワーシステム講演会開催準備状況
- 4) 会員の推移
- 5) 各委員会からの報告
- 6) その他

〈委員会報告〉

2020年度第2回編集委員会

9月8日 10:00～11:45

Web開催（参加者18名）

- 1) 会誌特集号の現状と企画
 - (1) Vol.51 No.5「フルードパワーの最新解析技術動向」
 - (2) Vol.51 No.6「トータルシステムの効率向上」
 - (3) Vol.52 No.1「自然災害に関わる流体现象とフルードパワー」
 - (4) Vol.52 No.2「再生可能エネルギーに関するフルードパワー（仮）」
 - (5) Vol.52 No.3「超大型機械を支える油圧技術（仮）」
- 2) その他
 - (1) 会議報告
 - (2) トピックスについて
 - (3) 今後の特集について

2020年度第2回国際交流委員会

9月15日 17:00～18:30

Web開催（参加者8名）

- (1) 今年度実施事業について
- (2) 今後の国際交流事業について
- (3) その他

2020年度第3回編集委員会

10月13日 15:00～17:00

Web開催（参加者18名）

- 1) 会誌特集号の現状と企画
 - (1) Vol.51 No.6「トータルシステムの効率向上」
 - (2) Vol.52 No.1「自然災害に関わる流体现象とフルードパワー」
 - (3) Vol.52 No.2「持続可能社会とフルードパワー（仮）」
 - (4) Vol.52 No.3「超大型機械を支える油圧技術（仮）」
- 2) その他
 - (1) 会議報告
 - (2) トピックスについて
 - (3) 今後の特集について

2020年度第2回情報システム委員会

10月15日 15:00～17:00

Web開催（参加者10名）

- 1) 学会HPの更新状況
- 2) 事務局のテレワーク環境整備について
- 3) 会議報告
- 4) その他

2020年度第2回企画委員会

10月29日 15:00～17:00

Web開催（参加者25名）

- 1) 2020年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - (1) 2020年度オースタムセミナー
 - (2) 2020年秋季フルードパワーシステム講演会
 - (3) 2020年度ウィンターセミナー
- 2) 2021年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - (1) 2021年春季フルードパワーシステム講演会・総会日程
- 3) その他審議・確認事項
 - (1) フェロー推薦
 - (2) 研究委員会設置期間の要望
 - (3) その他

会 告

学会創立50周年特別会費（賛助金）の受付結果

学会創立50周年記念事業・行事に協賛し、特別会費（賛助金）のご協力をいただいた賛助会員および正会員各位は、つぎのとおりです。関係者一同、心から感謝申し上げます。

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会

会長（学会創立50周年記念実行委員会 委員長） 眞田 一志

理事（学会創立50周年記念実行委員会 幹事） 吉満 俊拓

【賛助会員】 50音順（敬称略）

(株)IH
SMC(株)
オカダイナストリ(株)
(株)神崎高級工機製作所
(株)古河製作所
(株)ジェイテクト
住友重機械工業(株)
(株)TAIYO
(株)タダノ
東京計器パワーシステム(株)
豊興工業(株)
日本アキュムレータ(株)
日本工業出版(株)
日本ムーグ(株)
(株)不二越
マックス(株)
油研工業(株)

イナバゴム(株)
SMC中国(株)
川崎重工業(株)
KYB(株)
(株)小松製作所
CKD(株)
ダイキン・ザウアーダンフォース(株)
タイヨーインタナショナル(株)
(株)都筑製作所
TOHTO(株)
中西商事(株)
日本機材(株)
日本精器(株)
日立建機(株)
フジサンケイ ビジネスアイ
三菱電線工業(株)
(株)ユーテック

(株)インターナショナル・サーボ・データー
(株)NF1
川重商事(株)
KYBエンジニアリングアンドサービス(株)
(株)阪上製作所
勝美印刷(株)
大生工業(株)
(株)タカコ
東京計器(株)
東レエンジニアリング(株)
ナブテスコ(株)
日本クエーカー・ケミカル(株)
(一社)日本フルードパワー工業会
(株)日立建機ティエラ
(株)増田製作所
ヤマシンフィルタ(株)
リバーフィールド(株)

【正会員】 50音順（敬称略）

饗庭 健一 青柳 幸雄
石崎 義公 石浜 和義
伊藤 和巳 稲富祥一郎
浦井 隆宏 大内 英俊
小笠原文男 小本曾太郎
香川 利春 柿山 稜
川嶋 健嗣 川島 正人
玄 相昊 小嶋 英一
齋藤 直樹 酒井 悟
佐藤 毅彦 佐藤 允彦
蕭 欣志 上達 政夫
鈴木 健児 鈴木 隆司
高崎 邦彦 高田 進
田中 和博 田中 裕久
築地 徹浩 筒井 大和
長汐 康裕 永瀬 徳美
中野 政身 中山 晃
延本 泰一 則次 俊郎
早川 恭弘 林 光昭
藤田 壽憲 藤谷 秀次
丸田 和弘 丸山 勝徳
武藤 高義 村松 久巳
山田 宏尚 横田 眞一
吉灘 裕 吉松 英昭

天野 勝 荒井 一則
市丸 寛展 一柳 隆義
井上 淳 今泉 竹司
大信田文司 大科 守雄
小澤 忠彦 落合 貴志
風間 俊治 加藤 友規
神田 国夫 北川 能
小曾戸 博 小藪栄太郎
桜井 康雄 佐々木政彰
佐藤 恭一 眞田 一志
杉本 文一 鈴木 勝正
須原 正明 曾谷 康史
高田 芳行 高橋 建郎
田中 豊 田中 義人
釣賀 靖貴 寺澤 孝男
仲宗根隆志 永田 精一
成田 晋 西田 均
土師野 正 橋本 強二
張本 護平 肥田 一雄
前畑 一英 増田 精鋭
三浦 孝夫 峯岸 敬一
村山 勝彦 諸橋 博
吉田 和弘 吉田 清久
吉満 俊拓 レア・ルコント

池尾 茂 石井 進
伊藤 一寿 伊藤 和寿
呉 春男 上嶋 優矢
大橋 彰 大見 康生
落合 正巳 小川 紀
神倉 一 川上 幸男
北畠 多門 木原 和幸
齊藤 賢治 齋藤 剛
佐藤 三禄 佐藤 潤
嶋村 英彦 清水 秋雄
鈴木 勝也 鈴木 圭子
袖山 博 高岩 昌弘
高橋 浩爾 竹村研治郎
千葉 誠 塚越 秀行
富山 俊作 中井 政光
中田 毅 中野 和夫
西股 健一 野武 久雄
波多野 徹 羽生田信良
兵藤 訓一 広田 善晴
松園 和久 松永 拓也
宮川 新平 宮崎 哲郎
柳田 秀記 山口 惇
吉田 進 吉田 伸実

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム2020 主 催：エコデザイン学会連合（幹事団体：特定非営利活動法人 エコデザイン推進機構） 開 催 日：2020年11月17日(火) 会 場：オンライン開催 U R L：http://ecodenet.com/EcoDePS2020/
第63回 自動制御連合講演会 主 催：公益社団法人 計測自動制御学会、化学工学会、システム制御情報学会、精密工学会、電気学会、日本機械学会、日本航空宇宙学会 開 催 日：2020年11月21日(土)～11月22日(日) 会 場：オンライン開催 U R L：https://www.sice.jp/rengo63/
SICEセミナー「モデル予測制御～最適制御の基礎から応用事例・ソフトウェアツールまで～」2020 主 催：公益社団法人 計測自動制御学会 制御部門 開 催 日：2020年12月1日(火) 会 場：オンライン開催 U R L：http://www.sice-ctrl.jp/jp/wiki/wiki.cgi/c/semi?page=mpc2020
第15回「運動と振動の制御」国際会議（MoViC2020） 主 催：一般社団法人 日本機械学会 機械力学・計測制御部門 開 催 日：2020年12月8日(火)～12月11日(金) 会 場：オンライン開催 U R L：https://www.jsme.or.jp/conference/movic2020/
第3回 安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議（COMPSAFE2020） 主 催：COMPSAFE2020実行委員会 開 催 日：2020年12月8日(火)～12月11日(金) 会 場：オンライン開催 U R L：https://compsafe2020.org/
第21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（SI2020） 主 催：公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 開 催 日：2020年12月16日(水)～12月18日(金) 会 場：オンライン開催 U R L：https://www.sice-si.org/conf/si2020/
Grinding Technology Japan 2020 企 画：日本工業出版株式会社 開 催 日：2021年3月2日(火)～3月4日(木) 会 場：幕張メッセ（千葉県千葉市美浜区中瀬2-1） U R L：https://10times.com/grinding-technology-japan
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：2021年3月5日(金)、4月5日(月)、5月10日(月)、6月7日(月) 会 場：オンライン開催 U R L：https://www.jsme.or.jp/event/21-5/

新型コロナウイルスの影響で協賛行事の開催予定が変更になっている場合があります。
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。

会 告

資料一覧表

価格は、(一社)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
〈講演論文集〉	
平成元年春季油空圧講演会講演論文集	平成元年 5 月
平成元年秋季油空圧講演会講演論文集	平成元年11月
平成2年秋季油空圧講演会講演論文集	平成2年11月
平成3年秋季油空圧講演会講演論文集	平成3年11月
平成4年春季油空圧講演会講演論文集	平成4年 5 月
平成4年秋季油空圧講演会講演論文集	平成4年10月
平成5年春季油空圧講演会講演論文集	平成5年 5 月
平成5年秋季油空圧講演会講演論文集	平成5年11月
平成6年秋季油空圧講演会講演論文集	平成6年10月
平成7年秋季油空圧講演会講演論文集	平成7年11月
平成8年春季油空圧講演会講演論文集	平成8年 5 月
平成8年秋季油空圧講演会講演論文集	平成8年10月
平成9年春季油空圧講演会講演論文集	平成9年 5 月
平成9年秋季油空圧講演会講演論文集	平成9年10月
平成10年春季油空圧講演会講演論文集	平成10年 5 月
平成10年秋季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	平成10年11月
平成11年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	平成11年 5 月
平成12年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	平成12年 5 月
平成12年秋季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	平成12年10月
平成13年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成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	平成24年11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	平成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	平成25年11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	平成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	平成27年5月
平成27年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成27年11月
平成28年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成28年5月
平成28年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成28年10月
平成29年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成29年5月
平成30年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成30年5月
平成30年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	平成30年10月
2019年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	2019年5月
〈IFPEX〉	
平成9年IFPEX第18回油圧・空気圧国際見本市大学・研究室展出展内内容説明書	平成9年10月
平成11年IFPEXフルードパワーシステムワークショップ講演会講演論文集	平成11年10月
平成14年IFPEXフルードパワーシステムワークショップ講演会講演論文集	平成14年6月
平成17年IFPEXフルードパワーシステムワークショップ講演会講演論文集	平成17年8月
平成20年IFPEXフルードパワーシステムワークショップ講演会講演論文集	平成17年4月
平成23年IFPEXフルードパワーシステムワークショップ国際見本市論文集	平成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	平成26年9月
平成29年第25回IFPEXカレッジ研究発表展示コーナー論文集	平成29年9月
〈フォーラム〉	
フォーラム'91「賢い電子油圧制御をいかに実現するか」	平成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」	平成4年7月
フォーラム'93「水圧システムの現状と課題ー作動流体として水はどこまで使えるか」	平成5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」	平成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」	平成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」	平成8年7月
フォーラム'97「21世紀を見つめた新技術開発」	平成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」	平成10年7月
フォーラム'99「技術開発におけるトラブル事例」	平成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！」	平成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」	平成13年7月
フォーラム2002「電動かフルードか」	平成14年8月
フォーラム2003「電動かフルードかⅡ」	平成15年5月
フォーラム2004「最近の緩衝・制振・免振技術」	平成16年5月
〈セミナー〉	
オータムセミナー「最近の油空圧」	昭和61年10月
オータムセミナー「表面改質」	昭和62年10月
オータムセミナー「油空圧技術の将来のために」	昭和63年10月
オータムセミナー「油空圧のためのセンシング技術」	平成元年10月
オータムセミナー「メカトロニクス関連センサ」	平成2年10月
オータムセミナー「200X年における電子油空圧はどうあるべきか Part1」	平成3年10月
オータムセミナー「油空圧を支える解析技術」	平成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」	平成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」	平成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」	平成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)」	平成8年9月

オートムセミナー「油空圧システムに於ける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)」	平成9年9月
オートムセミナー油圧機器応用「パワーパッケージの現状と動向」	平成10年9月
オートムセミナー「フルイドパワーシステムへの最新制御手法の適用」	平成11年10月
オートムセミナー「環境適合技術の動向」	平成12年9月
オートムセミナー「フルイドパワーシステムに用いられる制御技術の動向」	平成13年9月
オートムセミナー「ハイブリッドカーの現状と将来」	平成14年10月
オートムセミナー「フルードパワーと環境・リサイクル」	平成15年10月
オートムセミナー「食品機械におけるフルードパワーの利用と課題」	平成16年10月
オートムセミナー「レスキューにおけるフルードパワーシステム」	平成17年10月
オートムセミナー「生活に密着したフルードパワー」	平成18年10月
オートムセミナー「鉄道におけるフルードパワー技術」資料は『油空圧技術』Vol.46 No.4	平成19年4月
オートムセミナー「フルードパワーシステムと環境・省エネルギー」	平成20年10月
オートムセミナー「フルードパワーシステムのためのlinux開催環境」	平成21年10月
オートムセミナー「BOPビジネスの可能性～CSRとビジネスの両立～」	平成22年11月
オートムセミナー「パワートレインにおけるフルードパワー技術」	平成23年11月
オートムセミナー「フルードパワー技術を生かす油圧作動油の最新動向」	平成24年11月
オートムセミナー「鉄道車両とフルードパワー技術」	平成25年10月
オートムセミナー「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」	平成26年11月
オートムセミナー「アクアドライブシステムの産業利用の現状」	平成27年11月
オートムセミナー「生産技術に貢献するフルードパワー in トヨタ産業技術記念館」	平成28年11月
オートムセミナー「ロボティクス分野におけるフルードパワー活用の現状と今後について」	平成29年11月
オートムセミナー「知っておきたい空気圧システム設計技術の新常識」	平成30年11月
オートムセミナー「アディティブ・マニファクチャリングの最新技術と適用事例 ーフルードパワー分野への活用を考えるー」	2019年12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」	平成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」	平成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」	平成4年2月
ウインターセミナー「新素材の油空圧への応用」	平成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」	平成6年2月
ウインターセミナー「人と環境に優しい油空圧ー油空圧機器・システムの低騒音化技術ー」	平成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」	平成8年2月
ウインターセミナー「フルイドパワーにおける流体の役割」	平成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」	平成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」	平成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」	平成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」	平成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」	平成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～」	平成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」	平成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」	平成17年1月
ウインターセミナー「機械システムの安全性」	平成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」	平成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」	平成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	平成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	平成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」	平成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」	平成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」	平成25年2月
ウインターセミナー「大型機械と油圧技術」	平成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」	平成27年2月
ウインターセミナー「フルードパワー技術を支える要素技術」	平成28年3月
ウインターセミナー「自動車の動力伝達機能を支える油圧技術」	平成29年2月
ウインターセミナー「フルードパワーに利用できるマイコン技術 ～機器の駆動に関わるマイコン技術～」	平成30年3月
ウインターセミナー「フルードパワーシステムと1DCAE」	平成31年2月
〈教育講座〉	
教育講座「マイコン制御講座」（大学上級コース）	平成元年8月
教育講座「現代制御理論講座」（大学上級コース）	平成元年10月
教育講座「マイコン制御講座」（大学上級コース）	平成2年8月
教育講座「トライボロジー講座」（大学上級コース）	平成3年8月
教育講座「油空圧における鋳造技術講座」	平成5年10月
教育講座「油空圧における最新の制御技術の理論と実際」	平成6年10月
教育講座「トライボロジー講座」	平成9年9月
教育講座「空気圧システム入門」	平成10年6月
教育講座「空気圧システム入門」	平成11年6月
教育講座「フルードパワーシステムへの最新制御手法の適用と コンピュータソフトウェアツールの体験実習」	平成12年8月
教育講座「トライボロジー講座」	平成14年9月
教育講座「空気圧システム入門」	平成15年5月
教育講座「空気圧システムの基礎」	平成15年5月
〈国際シンポジウム論文集〉	
第1回油空圧国際シンポジウム論文集	平成2年1月
第2回油空圧国際シンポジウム論文集	平成5年9月
第3回油空圧国際シンポジウム論文集	平成8年11月
第4回油空圧国際シンポジウム論文集	平成11年11月
第5回油空圧国際シンポジウム論文集	平成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）	平成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）	平成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）	平成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）	平成26年10月
第10回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集（HP公開のみ）	平成29年10月
〈書籍〉	
日本フルードパワーシステム学会創立30周年記念出版 3冊セット（分冊頒布可） 「油圧駆動の世界—油圧ならこうする—」 「空気圧システム入門」 「水圧駆動テキストブック」	平成15年4月
日本フルードパワーシステム学会創立40周年出版 3冊セット（分冊頒布可） 「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」	平成23年4月
新版「油空圧便覧」	平成元年2月
初歩と実用シリーズ「圧縮性流体の計測と制御—空気圧解析入門—」	平成22年7月
「油圧機関技術—伝承と応用—」	平成26年9月
〈研究成果報告書〉	
フルードパワーのトライボロジー研究委員会研究成果報告書	平成19年6月

フルードパワーのトライボロジー研究委員会研究成果報告書II	平成22年 5 月
フルードパワーのトライボロジー研究委員会研究成果報告書III	平成25年 5 月
水圧駆動システム研究委員会成果報告書	平成16年 6 月
水圧駆動システムの有効利用に関する研究委員会	平成25年 5 月
空気圧システム省エネルギー研究委員会報告書	平成15年 3 月
空気圧機器の流量特性評価法に関する研究委員会成果報告書	平成15年 9 月
空気圧のシミュレーション研究委員会報告書	平成16年 2 月
空気圧システム及び機器の信頼性に関わる研究委員会成果報告書	平成19年 3 月
空気圧シリンダ系動特性研究委員会研究成果報告書	平成16年 2 月
油空圧駆動システムにおける制御手法の適用と評価に関する研究委員会報告書	平成14年 2 月
油空圧制御系の研究開発力推進に関する研究委員会報告書	平成24年11月
機能性流体の油空圧機器への応用に関する研究委員会報告書	平成14年 3 月
機能性流体を用いたスマートフルードパワーシステムに関する研究委員会成果報告書	平成18年 1 月
機能性流体を活用した次世代型フルードパワーシステムに関する研究委員会成果報告書	平成22年 6 月
機能性流体を核としたフルードパワーシステムの融合化に関する研究委員会成果報告書	平成24年 9 月

フルードパワーシステム 総目次 (第51巻)

	号	通し頁		号	通し頁
【挨拶】			小特集「日本フルードパワーシステム学会賞受賞者および研究委員会の紹介」		
会長就任にあたって	…真田 一志	4 152	2019年度学術論文賞について	…大内田剛史	E1 E20
副会長のご挨拶	…早川 恭弘	4 153	SMC高田賞受賞について	…小島 明寛	E1 E24
	…田中 豊		SMC高田賞受賞について	…八木澤 遼	E1 E28
	…嶋村 英彦		学術貢献賞受賞について	…柳田 秀記	E1 E32
特集「創立50周年記念企画—フルードパワーエキスパートからみる将来への提言」			油空圧機器技術振興財団論文顕彰について	…吉満 俊拓	E1 E35
学会創立50周年記念特集号の発行に寄せて	…真田 一志	1 4	JFPS名誉員を拝命して	…則次 俊郎	E1 E39
創立50周年によせて	…田中 豊	1 5	深層学習を活用したフルードパワーシステムのモデル化と制御に	…小林 亘	E1 E44
フルードパワーと情報：リアルとバーチャル	…北川 能	1 7	関する研究委員会		
研究と学会活動の回想、学会への期待—油圧分野	…築地 徹浩	1 10	OHC-Sim特別研究委員会 (第22期)	…桜井 康雄	E1 E45
研究と学会活動の回想、学会への期待—フルイデックスが教えてくれたもの—	…小山 紀	1 13	油圧機器のトライボロジーなど基盤技術に関する基盤研究委員会 [II]	…西海 孝夫	E1 E47
空気圧のイノベーションに向けて	…則次 俊郎	1 16	機能性流体フルードパワーシステムに関する研究委員会	…中野 政身	E1 E50
研究と学会活動の回想、学会への期待—機能性流体分野	…中野 政身	1 20	特集「フルードパワーのクリーン化技術最前線」		
JFPS学会50周年記念に寄せて—学会の未来への期待	…北畠 多聞	1 23	「フルードパワーのクリーン化技術最前線」発行にあたって	…中野 政身	4 155
油圧機器設計の回想、油圧技術者/設計者への期待	…肥田 一雄	1 25	ミニマルファブによる半導体、MEMS製造の革新	…前川 仁 …ケンアソマワ …原 史朗	4 156
筆者のフルードパワー 50年	…宮川 新平	1 30	半導体デバイス・液晶パネル製造用レジストポンプ	…矢島 丈夫	4 162
特集「創立50周年記念企画—フルードパワーユーザーからみる将来への期待—」			磁性流体を用いた真空装置の技術紹介と展望	…鷲坂 圭亮 …浅井 笙平 …折原 大輔 …廣田 泰丈	4 165
「創立50周年記念企画—フルードパワーユーザーからみる将来への期待」発行にあたって	…塚越 秀行	2 50	真空装置に必要な漏れ試験技術	…平山 道人	4 169
建築物の振動制御への機能性流体の活用	…袖山 博	2 51	プラズマ流による殺菌・ウイルス不活化法	…佐藤 岳彦	4 172
鉄道車両になくはない空気圧システム	…風戸 昭人	2 54	抗菌・除菌フィルタの要素・評価技術	…大石 崇	4 177
環境機械の油圧	…佐志田 貴	2 58	特集「フルードパワーの最新解析技術動向」		
フルードパワーユーザ（建設機械）から見る将来への期待	…布谷 貞夫	2 61	「フルードパワーの最新解析技術動向」発行にあたって	…加藤 友規	5 202
人工透析装置に使用されるポンプ	…小林 正樹 …門脇 信傑	2 64	斜軸式油圧モータの挙動計測と混合潤滑解析	…田中 真二	5 203
海洋開発におけるフルードパワーの現状と将来	…伊藤 雅則	2 68	油圧機器のキャビテーション流れ解析	…沖田 浩平	5 206
特集「ターボ機械最前線」			流体機械へのモデルベース開発手法の適用とケーススタディ	…工藤 啓治	5 212
「ターボ機械最前線」発行にあたって	…梅村 哲郎	3 94	モデルベース開発のためのパラメトリックCAE活用法	…満嶋 弘二 …永溝 喜也	5 216
トルクコンバータ設計とその動向	…山口 健	3 95	ベーンポンプの流れ解析	…長島 碧	5 220
心不全治療に用いられるターボ型ポンプ	…築谷 朋典	3 98	CFDによる調節弁でのエロージョン発生予測	…尹 鍾皓 …斉藤 健二	5 224
プラズマとライダーを用いた大型風車の高性能化技術の開発	…田中 元史 …川端 浩和 …小垣 哲也	3 101	特集「トータルシステムの効率向上」		
ターボ分子ポンプ	…石森 康禎	3 106	「トータルシステムの効率向上」発行にあたって	…佐藤 恭一	6 246
ターボ機械高性能化を支える高精度流れ解析技術	…黒澤 貞男	3 110	建設機械におけるロードセンシングシステムについて	…高 圭介	6 247
小型ターボジェットエンジンの開発	…市村 修太郎	3 115	油圧ショベル用省エネ油圧システム (3 ポンプシステム)	…小高 克明	6 251
小特集「日本フルードパワーシステム学会賞受賞者および研究委員会の紹介」			電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの制御	…加藤 友規	6 254
会長就任にあたって	…真田 一志	E1 E1	転がり軸受の低トルク化技術	…外尾 道太	6 258
副会長のご挨拶	…早川 恭弘	E1 E2	自動車用トランスミッションにおける効率向上システム	…柴山 尚士	6 262
2019年度学会誌のレビュー	…塚越 秀行	E1 E4	空気圧システムのエネルギー消費の評価	…香川 利春 …蔡 茂林	6 267
2019年度の油圧分野の研究活動の動向	…風間 俊治	E1 E6	鉄道車両用真空式トイレの省エネルギー	…藤野 謙司	6 271
2019年度の空気圧分野の研究活動の動向	…吉満 俊拓	E1 E9	【ニュース】		
2019年度の水圧分野の研究活動の動向	…伊藤 和寿	E1 E12	学会創立50周年記念誌と記念出版編集事業	…佐藤 恭一	6 276
2019年度の機能性流体分野の研究活動の動向	…吉田 和弘	E1 E16			

【会議報告】

日本機械学会2019年度年次大会に おけるフルードパワー技術研究 FLUCOME2019におけるフルード パワーの研究動向	…吉田 和弘	1	35
MoViC2019におけるフルードパ ワー技術研究の動向	…早川 恭弘	1	37
ASME/BATH 2019 SYMPOSIUM ON FLUID POWER AND MOTION…増田 精鋭	…田中 豊	3	118
CONTROL (FPMC2019) に参加して 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	…吉満 俊拓	3	122
ICFD2019におけるフルードパワー 関連研究	…中野 政身	3	125

【トピックス】

学生さんへ、先輩が語る—学生時代 にやってよかったこと、やっておけ…奥井	学	2	74
ばよかったこと— 学生さんへ、先輩が語る—空気圧機 器メーカーで働いて思うこと—	針谷 修生	3	128
学生さんへ、先輩が語る—電子工学… から油圧システムへ—	森田 晃平	4	181
学生さんへ、先輩が語る—フルード パワーの研究に携わる学生の皆さん…坂間	清子	5	227
に向けて— 学生さんへ、先輩が語る—大勢の人… と関わりながら働くということ—	勝又 玲子	6	278

Youは日本をどう思う?第13回:ベ トナムから日本に留学して	…トランドルンフォン	2	77
Youは日本をどう思う?第14回:マ レーシアから日本に留学して	…ジョシアティンジョウ	3	131
Youは日本をどう思う?第15回:日 本の医療について勉強しています	…ンダイセイエサミエル	4	185

香港駐在員日記	…平出 博一	3	134
英国ノッティンガム駐在員日記	…加藤 友規	5	230

【研究室紹介】

東京都立産業技術高等専門学校 大 野研究室	…津久井康介	2	79
苫小牧高専 小藪研究室紹介	…{ 米山 京吾 加賀谷浩太	3	137
信州大学酒井研究室:油圧アームの モデルベース制御	…酒井 悟	4	187
大分大学理工学部 菊池研究室	…{ 原 久乃 菊池 武士	5	233
立命館大学 ソフトロボティクス研 究室	…平井 慎一	6	281

【企画行事】

2020年度企画行事紹介	…{ 藤田 壽憲 小林 亘	2	82
2019年秋季フルードパワーシステ ム講演会報告	…加藤 友規	2	84
2019年度オートムセミナー開催報告 「アディティブ・マニファクチャリ ングの最新技術と適用事例 —フルードパワー分野への活用法を 考える—」	…川島 正人	3	140

【会告】

学会創立50周年特別会費(賛助金) ご芳名	1	34
理事会・委員会報告	1	39
(一社)日本フルードパワーシステム 学会賛助会員一覧表	1	40
2019年度ウィンターセミナー フ ルードパワーに利用できるマイコン 技術 ~機器の駆動に関わるマイコ ン技術(ハード&ソフト編)~	1	41
第39期通常総会 学会創立50周年 記念式典・セミナー・技術懇談会開 催のお知らせ	1	41
日本フルードパワーシステム学会・ 日本機械学会 共催 2020年春季 フルードパワーシステム講演会	1	41

日本フルードパワーシステム学会論 文集50巻(2019)2号 発行のお 知らせ	1	41
日本フルードパワーシステム学会論 文集50巻(2019)抄録	1	42
会員移動	1	45
共催・協賛行事のお知らせ	1	45
次回予告	1	46
学会創立50周年特別会費(賛助金) ご芳名	2	73
第39期通常総会 学会創立50周年 記念式典・セミナー・技術懇談会開 催のお知らせ	2	83
日本フルードパワーシステム学会・ 日本機械学会 共催 2020年春季 フルードパワーシステム講演会	2	83
理事会・委員会報告	2	87
講演会・セミナー・常設教育講座 参加登録料改定のお知らせ	2	87
共催・協賛行事のお知らせ	2	88
会員移動	2	89
次回予告	2	90
新型コロナウイルス感染拡大に対す る本学会の対応について	3	143
理事会・委員会報告	3	143
学会創立50周年特別会費(賛助金) の受付状況	3	144
講演会と記念式典・祝賀会などに ついてのお知らせ	3	145
会員移動	3	145
共催・協賛行事のお知らせ	3	146
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	3	147
次回予告	3	148
理事会・委員会報告	4	191
日本フルードパワーシステム学会 ホームページ改訂のお知らせ	4	192
2019年度 学会賞表彰	4	193
訂正のお知らせ	4	193
学会創立50周年特別会費(賛助金) の受付状況	4	194
2020年度(第39期)通常総会終了 日本フルードパワーシステム学会論 文集51巻(2020年)1号 発行の お知らせ	4	195
共催・協賛行事のお知らせ	4	196
会員移動	4	197
次回予告	4	198
理事会・委員会報告	5	236
学会創立50周年特別会費(賛助金) の受付状況	5	237
2020年度オートムセミナー「自動 車におけるフルードパワー技術」共 催・協賛行事のお知らせ	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 2020年秋季 フルードパワーシステム講演会	5	238
日本フルードパワーシステム学会 2020年度受賞候補者募集のお知らせ	5	238
計報 Cliff Burrows教授	5	239
会員移動	5	239
共催・協賛行事のお知らせ	5	240
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	5	241
次回予告	5	242
日本フルードパワーシステム学会・ 日本機械学会 共催 2020年秋季 フルードパワーシステム講演会	6	257
日本フルードパワーシステム学会論 文集51巻(2020)2号 発行のお 知らせ	6	257
会員移動	6	277
理事会・委員会報告	6	284
学会創立50周年特別会費(賛助金) の受付結果	6	285
共催・協賛行事のお知らせ	6	286
資料一覧表	6	287
フルードパワーシステム第51巻総目次 次回予告	6	292
	6	294

編集室

次号予告

— 特集「自然災害に関わる流体現象とフルードパワー」—

【巻頭言】「自然災害に関わる流体現象とフルードパワー」の発行にあたって

山田真の介

【解説】

風速から見た自然災害

船木 達也

海象現象の予測

竹下 彰

令和元年東日本台風にとまなう千曲川水害について

豊田 政史

地震による液化化現象とそのメカニズム

飛田 哲男

津波・高潮災害の事例、対策、予防

鈴木高二朗

【会議報告】コロナ禍でのROBOMECH2020とフルードパワー技術研究の動向

山田 泰之

【トピックス】

学生さんへ先輩が語る一油空圧機器メーカーの工場より一

亀田 尚人

駐在員日記

西川原理仁

【研究室紹介】宮城教育大学 門田研究室

門田 和雄

2020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）

副委員長 山 田 宏 尚（岐阜大学）

委員 飯 尾 昭一郎（信州大学）

飯 田 武 郎（株式会社小松製作所）

伊 藤 雅 則（東京海洋大学）

猪 飼 暢 崇（CKD株式会社）

梅 村 哲 郎（KYB株式会社）

加 藤 友 規（福岡工業大学）

栗 林 直 樹（川崎重工株式会社）

五 嶋 裕 之（株式会社工苑）

齋 藤 直 樹（秋田県立大学）

佐々木 大 輔（香川大学）

佐 藤 恭 一（横浜国立大学）

委員 妹 尾 満（SMC株式会社）

寺 澤 達 士（油研工業株式会社）

中 野 政 身（東北大学）

中 山 晃（日立建機株式会社）

藤 田 壽 憲（東京電機大学）

丸 田 和 弘（株式会社小松製作所）

村 岡 裕 之（株式会社コガネイ）

山 田 真の介（株式会社TAIYO）

吉 満 俊 拓（神奈川工科大学）

担当理事 伊 藤 和 巳（KYBエンジニアリングアンドサービス株式会社）

学会事務局 成 田 晋

編集事務局 竹 内 留 美（勝美印刷株式会社）

（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。

〒105
0011東京都港区芝公園三丁目五十二機械振興会館別館一〇二 電話(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―二三六九〇 FAX(〇三)三四三三―八四四二東京都文京区白山一―三―七 アクア白山ビル五階
印刷所 勝美印刷株式会社