日本フルードパワーシステム学会誌

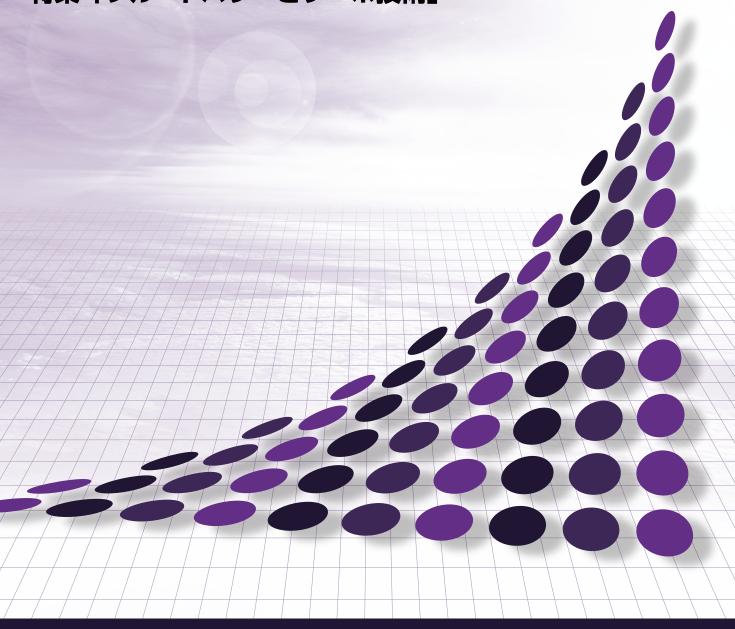
JOURNAL OF THE JAPAN

FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

フルードパワーシステム Nov.20

Nov.2018 Vol. 49 No. 6

特集「フルードパワーとサーボ技術」



日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

目 次			
特集「フルードパワーとサーボ技術」			
【巻頭言】			
「フルードパワーとサーボ技術」発行にあたって	五嶋	裕之	264
 【総論】			
サーボ弁・歴史と技術	田村	博久	265
【解説】			
油圧サーボ・比例弁駆動ドライバの技術	岩崎	章	271
デュアル・ハルバッハ・マグネット・アレーによる強磁界直動型高速サーボ弁	中川圏	晋—朗	274
半導体製造装置における空気圧サーボ技術	涌井	伸二	277
水圧サーボ弁の新技術	鈴木	健児	281
小型スマート油圧アクチュエータ	西畑	教英	284
マイクロ流体制御バルブ	吉田	和弘	287
ROBOMECH2018におけるフルードパワー技術研究の動向	田中	豊	290
【トピックス】			
ナーフトニリラ /デリスが2.4 氏弁ロミュ	च्छेन होता ह	<u>≒</u> — ∆0	000

オーストラリア (ブリスベン) 駐在日記 齋藤真二郎 293 学生さんへ, 先輩が語る一空気圧機器メーカーに勤め始めて一 下川 一幸 296 Youは日本をどう思う?第6回:ベトナムから日本に留学して ハー・フー・フン 299

【研究室紹介】

慶應義塾大学 竹村研究室紹介 當麻 美友 301

【企画行事】

平成30年春季フルードパワーシステム講演会 桜井 康雄 304

【会告】

共催・協賛行事のお知らせ			307
平成30年度ウインターセミナー 「フルードパワーシステムと1DCAE」			308
資料一覧			309
フルードパワーシステム第49巻総目次			313
その他	306,	308,	316

■表紙デザイン:山本 博勝 ㈱豊島

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会 〒 105-0011 東京都港区芝公園 3 — 5 — 22 機械振興会館別館102 $\mathtt{TEL}: 03-3433-8441 \quad \mathtt{FAX}: 03-3433-8442$ E-Mail: info@jfps.jp

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

Special Issue "Fluid Power System and Servo	Technology "	
[Preface] On the Special Issue "Fluid Power System and Servo Technology"	Hirovadd COTO	264
On the Special issue Fluid Power System and Servo Technology	Hiroyuki GOTO	204
[Survey]		
Servovalves-Brief history and Design	Hirohisa TAMURA	265
[Review]		
Technique of Fluid Control Valve Driver	Akira IWASAKI	271
Direct-acting Servo Valve Driven by Strong Magnetic Field of Dual Halbach	Magnet Array Shinichiro NAKAGAWA	274
Air Servo Technology used in Semiconductor Manufacture Equipment	Shinii WAKUI	274
New Technology of a Water-Hydraulic Servo Valve	Kenji SUZUKI	281
Compact Smart Hydraulic Actuator	Michiteru NISHIHATA	284
Micro Fluid Control Valves	Kazuhiro YOSHIDA	287
[Conference Report]		
Research Trend of Fluid Power in ROBOMECH2018	Yutaka TANAKA	290
[Topics]		
Residence Diary in Australia (Brisbane)	Shinjiro SAITO	293
		200
Senior talks to students—Start working in a Pneumatic Product Manufactu		
•	Kazuyuki SHIMOGAWA	296
Senior talks to students—Start working in a Pneumatic Product Manufactu What do you think of Japan? 6th: Study in Japan from Vietnam		
What do you think of Japan? 6th: Study in Japan from Vietnam	Kazuyuki SHIMOGAWA	296
•	Kazuyuki SHIMOGAWA	296
What do you think of Japan? 6th: Study in Japan from Vietnam [Laboratory Tour] Introduction of Takemura Laboratory in Keio University	Kazuyuki SHIMOGAWA HA HUU HUNG	296 299
What do you think of Japan? 6th: Study in Japan from Vietnam [Laboratory Tour]	Kazuyuki SHIMOGAWA HA HUU HUNG	296 299
What do you think of Japan? 6th: Study in Japan from Vietnam [Laboratory Tour] Introduction of Takemura Laboratory in Keio University [JFPS Activities]	Kazuyuki SHIMOGAWA HA HUU HUNG Miyu TOMA	296 299 301

巻頭言

「フルードパワーとサーボ技術」発行にあたって

著 者 紹 介



嶋 裕 五

株式会社 工苑 機器システム部 〒213-0032 神奈川県川崎市高津区久地4-26-41 E-mail: goto@koenn.co.jp

1987年神奈川大学大学院工学研究科修士課程 修了、日立製作所、機械振興協会、菊池製作所 を経て現在に至る、メカトロニクス、フルード メカトロニクス -制御の研究開発に従事. 法政大学兼任講 械学会会員. 博士(工学)(2010年法政大学)

フルードパワーを利用したサーボ機構、中でも油 圧サーボ機構は、高剛性、高応答、電動に比べ軽量 で高い出力が得られるなどの特徴により航空機、船 舶,試験装置,産業機械に幅広く使われている.そ の中心となる技術は、電気信号を受けて任意に流量 や圧力を制御する電気油圧サーボである.高性能な サーボ弁の開発により、応答性能の優れた電気油圧 サーボが実用化された. 初期の油圧パルスモータや 油圧サーボ機構により、製品化、実用化が進められ たNC工作機械や産業用ロボットも, 現在は電動モー タによるデジタルサーボ機構に置き換えられている. 近年,空圧,水圧といった流体を利用したサーボ機 構も、その特徴を生かした分野で実用化が進んでい る. 今後も、電動、油圧、空圧、水圧、機能性流体 といった各フルードパワーシステムの特徴を生かし た棲み分けが一層進むと考えられる.

本特集では、フルードパワーを利用したサーボ技 術開発の歴史を振り返るとともに、油圧、空圧、水 圧、機能性流体の各フルードパワーとサーボ技術に ついて, 最新のサーボ弁, 周辺機器やアプリケー ション、新たな研究開発について第一戦で活躍中の 技術者・研究者の皆様に解説記事を執筆いただいた.

はじめに、本特集の総論として「サーボ弁・歴史 と技術」と題して、電気油圧サーボ弁の歴史と技術 開発について丁寧に解説いただいた。サーボ弁の基 本構造は長年変化していないものの、油圧は瞬発力、 空圧は人へのやさしさ、水圧は環境へのやさしさを キーワードに流体応用サーボとしての広がりについ て期待が述べられた.

続いて、「油圧サーボ・比例弁駆動ドライバの技 術」と題して、電気油圧制御弁のコイル電流を駆動 するために必須なドライバ回路の特徴について, AC駆動とDC駆動, 定電流駆動回路, PWM駆動な どについて平易に解説いただいた.

つぎに、「デュアル・ハルバッハ・マグネット・ アレーによる強磁界直動型高速サーボ弁」と題して, 高磁束密度のマグネット・アレーを応用した、直動 型高速サーボ弁について解説いただいた. 高サイク ルタイム、高速で高推力が必要なアプリケーション での活用が期待される.

続いて、「半導体製造装置における空気圧サーボ 技術」と題して、半導体製造の中核である露光装置 で使用される空気圧サーボ技術について解説いただ いた. 除振台の制御では,多数個の空気ばねを平衡 位置に支持し、かつ除振および制振の両機能を満た す事が必要であることが示され、その解決のための これまでの研究成果が示された.

さらに、「水圧サーボ弁の新技術」と題して、水 圧制御弁の現状、水圧駆動システムの市場規模拡大 のため構造を単純化し低コスト化した、ロータリー 型サーボ弁の開発についてこれまでの研究成果をも とに解説いただいた.

つぎに、「小型スマートアクチュエータ」と題し て、3D金属プリンタで成形された小型軽量ボディ に、小型サーボ弁、油圧シリンダ、位置・圧力セン サおよび通信機能を統合したスマートアクチュエー タの開発について解説いただいた. サービスロボッ トなど新たな応用分野への普及が期待される.

最後に、「マイクロ流体制御バルブ」と題して、 マイクロサイズでも高パワー密度であるフルードパ ワーの特徴を生かした、マイクロ流体制御バルブの 研究開発について解説いただいた。圧電材料、電気 粘性流体などの機能性材料を用いると、高機能なデ バイスの実現できることが実証された.

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

(原稿受付:2018年9月13日)



サーボ弁・歴史と技術

著 者 紹 介



田

田村技術士 〒259-0133 神奈川県中郡二宮町百合が丘3-16-5 E-mail: tamura-servo@mj.scn-net.ne.jp

1972年 早稲田大学理工学部機械工学科卒業 東京精密測器(株)、日本ムーグ(株を経て、2014年 田村技術士(事務所)設立、現在に至る、油圧 制御、サーボ弁設計方法の調査研究に従事、日 日本機械学会 などの会員. 技術士 (機械部門)

1. はじめに

電気油圧サーボ弁が世に出て久しい.現代でも主 流のノズルフラッパパイロット駆動メカニカル フィードバック型サーボ弁(MFBと称す)とほと んど同じ形状の特許が出願されたのは1959年であ る¹⁾. 現在に到るまで、どのような進化があったの であろうか、近年新製品が多く発表されている直動 方式のサーボ弁と合わせて振り返ってみたい。直動 方式とは主弁であるスプールを電気モータで直接駆 動するタイプ(直動弁と称す)で、その一つである トルクモータ型直動弁(TM型と称す)は1960年の 文献2)にもみられ、MFBと同様に歴史がある. 現在の代表的な直動弁は可動線輪型モータ(VCM と称す) 駆動方式である.

サーボ弁の歴史を振り返ることは度々行われてき た. 文献3)によれば最初にパイロット駆動型メカ ニカルフィードバックタイプを特許申請したのは Carsonである. 残念ながらこの構造は片ノズルで あり、圧力や温度の変化に対するドリフトの恐れが あることは想像に難くない. その後, 文献4)の ジェットパイプパイロット型や、文献5)の対称的 な構造のダブルノズル型へと続く経緯が示されてい て興味深い.

近年は直動弁の開発が多いが、それはマグネット や駆動アンプや制御の進歩の恩恵であろう.

2. サーボ弁の構造と特徴

2.1 サーボ弁の構造と比較

MFBと直動弁の構造例を図1,2に示す.とも

に主弁の構造は4方弁型スプール弁である. スプー ル変位に連動する4個の制御オリフィスがフルブ リッジを構成して精度よく負荷を制御できる特徴が ある. 過去にはプレート型や回転型のサーボ弁も存 在したが円筒形状スプール弁構造に収束している. 加工面(高精度が得やすい)や性能面でスプール型 が有利である理由によると思われる.

また、図1や図2をパイロット弁としてメインス プールを駆動する構造の大型サーボ弁も存在する.

サーボ弁の基本特性は指令対出力流量である. ス プール変位xに対応する開口面積をA(x)とすると出 力流量Qは式1で示される.

 $Q = Cd \times A(x) \times \sqrt{(2\Delta P/\rho)}$

スプール弁の円周方向の幅(B)が一定であれば ストロークxに対する開口面積A(x)は比例し、Oは ストロークに比例(弁差圧 ΔP が一定として)する.

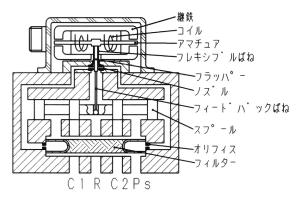


図1 MFBの構造例

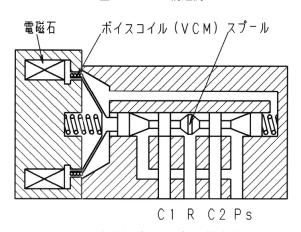


図2 直動弁 (VCM型) の構造例

Cdは流量係数であり0.7程度の一定値と考えてよい が、低Re数の領域では層流効果によって等価的に Cdが小さくなる. スプール弁の零点付近の特性を 正確に評価する時はこれを考慮しなくてはならない.

MFBでも直動弁でも指令に対してスプールスト ロークが比例し、弁差圧一定下で流量が比例するこ とに違いはない.動的な特性と分けて図3のように 表現するとわかりやすい.

MFBとVCM型直動型サーボ弁の比較を表 1 に示 した. また、MFBと直動弁の特徴を次節に示す.

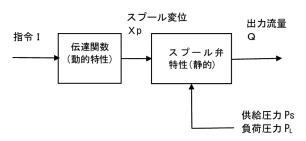


図3 サーボ弁の表現例

表1 VCM型直動弁とMFBの比較

	直動弁(VCM型)	MFB
定格流量	\sim 80 [LPM]	~ 230 [LPM]
応答性	高応答	中程度
スプール駆動力	小~中	大
	$40\sim 100[\text{N}]$	$200 \sim 1000[N]$
スプール弁の形状	流体力補償形状	一般形状
駆動電力	大	小
例2到1电/]	$20 \sim 100 [W]$	$0.05 \sim 0.3 [W]$
大きさ	大	小
パイロット圧	不要	必要
組立熟練度	中	高

2.2 MFB (ノズルフラッパパイロット) の特徴

メカニカルフィードバック方式が発明される以前 のノズルフラッパパイロット型はスプールがバネバ ランスで定位される²⁾. 図1の構成のフィードバッ クばねが無く、スプールの両端に釣り合いばねの設 置された構造である. このタイプは外乱(流体力や 摩擦力など)の影響を受けやすいため、スプール位 置を機械的にフィードバックして性能の向上が図ら れた. 一つは電磁変換部であるトルクモータに フィードバックばねをつけてトルクフィードバック する方法(図1のMFBの構造)である.他の方式 はフラッパ変位にスプールを追従させる位置フィー ドバック方式であるが本稿では言及しない.

図 1 のMFBの動作原理 $^{1)}$ は、コイルに指令電流Iが入力されるとアマチュアに偶力(トルクT)が働 き、それと一体構造のフラッパが変位(Xf)して左右 のノズルギャップを変え、スプール端室(面積Ad)

に導かれている左右のノズル背圧Pnに差を生じて スプール(質量M)を駆動し、フィードバックばね の反力トルク $(Xp*K_F)$ が指令トルク (T) と釣り 合う位置でスプールを定位させる. 図 4 は、力の外 乱を明示できる形で指令Iからスプール変位Xpまで をブロック図化したものである. 図中の $\partial Pn/\partial$ *On* はノズルフラッパ機構の出力特性で、流量(*On*) に対するノズル背圧の勾配である. また, Kpはフ ラッパ変位に対するノズル背圧ゲインである.

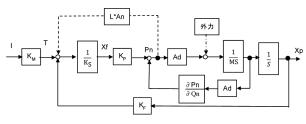
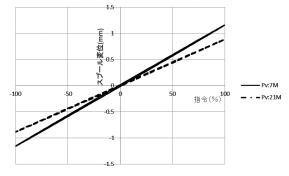


図4 MFBのブロック図

図中の外力は主にスプールに作用する流体力で. 流速と流量の積に比例する. つまり, 流す流量に よって外力が変化することになり、本来一定である べき指令対スプールストロークが一定でなくなる. MFBはスプール駆動力が大きく、その影響は少な いことが特徴だが、大流量のMFBでは図5のよう に影響を受けてしまう. サーボ弁の定格流量Orは 弁圧力降下7(MPa)で規定されており、任意の弁 圧力降下Pvの時の出力流量は $Or*\sqrt{(Pv/7)}$ と計算さ れる。しかし、大きな弁圧力降下の時、図5のごと くスプール変位が減少(スプールバックと称す)し て計算値の出力流量が得られないことになる. 極端 な例では、弁圧力降下を増加しても出力流量がほと んど増加しないこともあるので注意すべきである.

改善する方法は制御ループの前向きゲインである $(1/K_o)*Kp$ を大きくすることや、波線で示したノズ ル噴流の流体力項のゲイン(L*An)を小さくする ことなどでスプールの位置決め剛性を大きくするこ とである. しかし. いずれもノズルサイズを小さく することになり、パイロット流量が減少するので難





大流量MFBの指令対スプール変位例(弁差圧 図5

しいところである.

つぎに、パイロットであるノズルフラッパ弁(NF 弁と称す)の流量限界を説明する. 比較的流量の大 きなサーボ弁の周波数特性には振幅依存性がある (指令振幅大なるほど周波数特性が低下する). これ はパイロット流量が不足するためである. NF弁の ノズルやオリフィスを大きくすれば流量を増加する ことが可能だが、流体的なノイズが発生してスプー ルが微小駆動して使用に耐えなくなる. 図6は MFBをパイロットとして大型のメイン弁スプール を位置決め制御した時のスプール変位を記録したも のである。高圧時にはメイン弁スプールが約1%変 動している. MFB内に生じたキャビテーションに 起因する出力流量ノイズが原因となっていることが 推測できる.

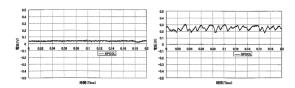


図6 MFBによる変位制御例(左:低圧時,右:高圧時)

NF弁のキャビテーションはキャビテーション係 数 σ が小さく、レイノルズ数Reが大きいほど発生し やすい. つまり. サイズの大きなノズルやオリフィ スはReが大きくなって不利である。また、 σ は(出 口圧力/差圧力)で近似されるので、上流にあるオ リフィスよりも下流のノズルの方が小さい値になっ て不利である、設計に際して、オリフィスの差圧が ノズルの差圧よりも大きくなるようにノズル系(直 径とフラッパとのギャップ)とオリフィスのサイズ 選定がされている. また、図1には示されていない が、ノズルの下流にドレンオリフィスを設置してノ ズル下流の圧力を高くしてσを大きくし、キャビ テーションの発生を防止する構造が現在のMFBの 主流である. MFBのカタログなどの断面構造で確 認していただきたい.

2.3 直動弁の特徴

スプールを直接駆動するモータとして表2の3種 類がある. 可動線輪型 (VCM) と可動鉄片型に大 分類される. 可動鉄片型はリニア型(LMと称す) と大型トルクモータ型(TMと称す)がある. それ ぞれの特徴を表2に示す.

VCM型サーボ弁の例として、1kHzで加振する高 サイクル疲労試験の用途で図7のVCMパイロット 2段型サーボ弁が紹介⁶⁾されている. 製造元のカタ ログ⁷⁾によれば出力流量は1kHzで約26[LPM] (Pv= 7MPa時)である. 我が国でも同構造で同等の応答 性のものが開発されている.

TM型直動弁はMerritが指摘⁸⁾しているように①ス トロークが小さくて十分な流量が得られない②安定

表2 直動型サーボ弁のモータと特徴

モータの種類	可動線輪	大型トルク	可動鉄片型
モータの種類	(VCM)	モータ(TM)	(LM)
応答性	高	高	中
駆動力	小	中	中
	$\sim 100[N]$	~ 250[N]	~ 300[N]
ストローク	大	小	中
ストローク	\sim 2 mm	約0.1mm	$\sim 1 \text{ mm}$

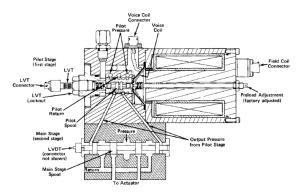


図7 VCM型直動弁パイロットの2段型サーボ弁⁶⁾

性に問題があるなどの欠点があるが、スプール軸方 向の加速度に対する影響を少なくできる利点を活か して試験機用サーボ弁のパイロット弁として使用し ている図8の事例⁹⁾がある.

直動型は油圧パイロット型 (MFB) に比較して高 応答が得られるが、その応答性の限界について述べ る. 高応答を特徴とした直動弁は、速度フィードバッ クループを有するスプール変位フィードバック制御 系(図2において変位検出器と速度検出器を搭載し た構造)の構造であり、図9のブロック図で表せる.

この構成では、遅れ要素が無ければ、図のゲイン K_i はいくらでも大きくすることができる. すなわち, 図の速度フィードバックゲインKvを大きくしてい けば、減衰係数*て*を適正値に保ったままで、弁変位 制御系の固有角速度ωnは限りなく大きくできる. しかし、系には弁側の遅れ(渦電流などの影響)や

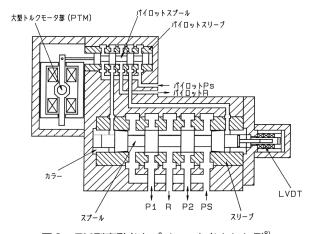


図8 TM型直動弁をパイロット弁とした例8)

アンプ系の遅れがあって限界がある. 筆者の経験で は、遅れを最小限になるように考慮しても速度制御 ループのループゲインK_tが6000(1/s) 程度になる Kvが超高応答直動型サーボ弁の限界である. ここ $\mathcal{C}K_{\iota}$ は、図の速度ループの一巡ゲインの (Ka*Kfm*Kv)/m で示される. その上で, 弁変位の 制御調整パラメータ K_l を調整して ζ =0.5になるよう にした場合、 ωn は K_L となり、固有振動数fnは950Hz と計算される. この程度が実現可能な限界であると 考えられる. (図10の20%指令参照)

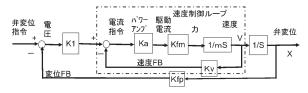


図9 直動型サーボ弁のブロック図例

図9の変位フィードバックに用いられる変位検出 器には非接触で高応答である差動変圧器(LVDT) や渦電流式変位検出器が用いられている. 速度検出 器もスプールに直結させて遅れの無い信号を検出す る方法が高応答タイプに採用される.変位信号を微 分して速度信号を作る方法もあるが、位相遅れを完 全に排除することができないので超高応答型に適用 するのは難しい.

固有振動数950Hz程度まで可能と記述したが、 100%加振の限界周波数(Ffulと称す)には限界が ある. 駆動モータの定格推力をFm=100[N], 定格 スプール変位を*Yr*=0.2mm, スプール系の質量を m=0.05 [Kg] で慣性力と推力をつり合わせると,

 $Fm=m*Yr*(2\pi*Fful)^2$ であるから、Ffulは計算上 約500[Hz]になる.図10に示した100%指令の周波 数特性例が限界であろう.

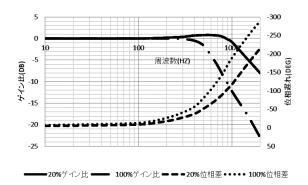


図10 VCM直動型サーボ弁の周波数特性例(大小指令)

可動鉄片型直動弁は応答性よりもパイロット圧力 が不要である特徴を重視したモデルである. その一 例は図11の超高圧70[MPa]サーボ弁である、MFB でも70[MPa]のサーボ弁の実績はあるが、パイロッ トであるノズルフラッパ弁のキャビテーション問題 をクリアせねばならず、技術的に高難度である.

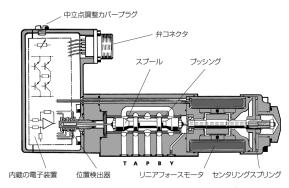


図11 可動鉄片型超高圧サーボ弁10)

MFBのスプールバックについて述べたが直動型 サーボ弁にも発生する. 直動型は駆動力がMFBよ りも小さいため流体力の影響を受けやすい. そのた め流体力そのものを低減する流体力補償型のスプー ルスリーブが適用される(たとえば文献11)).それ に加えて、図9のフィードバック系のゲインK,の部 分に補償要素を加えることを行っている場合もある. 低域のみのゲインを大きくする(低域補償)ことに より、制御の安定性を損なわないでスプールバック 量を低減する方法である.

3. サーボ弁の静的な特性と関連技術

サーボ弁の弁差圧 ΔP (1制御オリフィス当り) と流量の関係は式1で示した. ΔP をサーボ弁の弁 圧力降下 $Pv(=Ps-P_I)$ に置き換え、負荷圧力 P_I に対 する流量の関係を例示したものが図12a(負荷圧 力一流量特性)である.ここでPsは供給圧力, Pv は負荷への流出、流入の両方の合計差圧(2制御オ リフィス当り)である.

負荷圧力P,が一定であればスプール変位x対出力 流量Qはリニアである. 負荷圧力が零, すなわち無 負荷流量特性はxに対するQを図12aのY軸との交点 を連続的にプロットしたものと同じである. 負荷圧 カー流量特性のxの零点近傍を拡大したものが図 12bであり、xに対するX軸との交点を連続的にプ ロットしたものがサーボ弁の圧力ゲイン特性に相当 する. スプールとスリーブのクリアランスが小さい ほど圧力ゲインが高くなるため、初期のサーボ弁は 直径クリアランスが2~3[μm]と非常に小さいも のが好まれた. しかし、耐ゴミ性が低い(シルティ ングを生じる)欠点があるため、この2倍程度以上 のクリアランスに設定しているものが増加してきて いる. シルティングとは微小ゴミがスプールとス リーブ間に堆積して想定外の摺動抵抗増加や特性変 化を発生させる現象である.

また、hクリアランスは図12bの勾配($\partial Q/\partial$ P_{L}) が零に近くなることを意味し、制御系(シリ ンダー負荷慣性)の油柱共振を強くしてしまうこと がある. これに対して、大クリアランスの場合はそ れへの抑制効果が働くメリットがある. ただし, 内

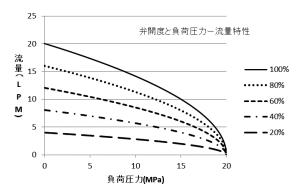


図12a スプール弁の負荷圧力 - 流量特性例

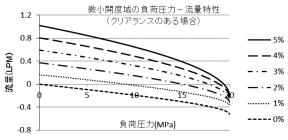


図12b スプール弁の負荷圧力-流量特性(零点拡大)

部リーク量が増加するマイナスがある.

4. スプール弁の形状について

スプール弁の4つの制御オリフィスの流量ゲイン は通常共通である. しかし, これを敢えて不均一に する技術がある. それは、非対称シリンダに適合さ せるためである、非対称シリンダが適用される代表 例は片ロッドタイプのフライトシミュレータである. 不均一にする理由は圧力の急変を無くすためである. 非対称シリンダでは無負荷であっても、図13のよ うに速度の切り替わり点で圧力が急変する. その結 果、異音を生じたり加速度歪を生じたりすることが あり問題となる. スプール弁の各端面の流量ゲイン (すなわちポート幅)をシリンダの面積比に一致さ せると理論的に圧力の急変が解消されるのでフライ トシミュレータ用途では適用される¹²⁾.

付け加えれば、非対称シリンダの速度ゲインを伸 縮で共通にするためには上記では不十分である. ポート幅比をシリンダ面積比に合せた上で、P側と

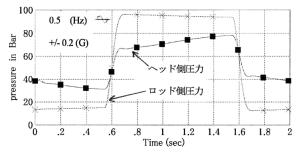


図13 片ロッドシリンダ無負荷加振時の内圧変化13 (無負 荷にも拘らず切返し点で内圧が急変する)

T側のポート幅比をシリンダ面積比の平方根比に合 わせると速度ゲインも共通になり、伸縮の定速度動 作時の定常速度偏差が同じにできる. これは面白い 技術(図14)だがシリンダに応じた専用のスプー ル弁が必要になり、実用には供されていないようで ある. 片ロッドで高周波数加振するシステムの場合 に有効な技術であるので敢えて紹介した. なお, シ リンダ面積比aの場合のスプール弁のポート幅Sの 比を具体的に示せば式2である.

 $S1:S2:S3:S4=a:1:a^{1/2}:a^{3/2}$ ……式2

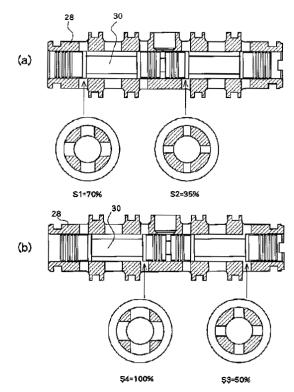


図14 全てのポート幅が異なる事例14)(シリンダ面積比 a=2の場合の各ポート幅比)

スプールの外形の特徴として、ハイドロリック ロックを防止するためにラビリンス溝(図14のス プール外径の溝)が設けられている。ラビリンス溝 の代わりに図15のテーパ形状の静圧軸受を設ける 場合がある. 特に高周波数で加振する用途の場合や 重量のある超大型スプール弁150の場合の焼き付き 防止のために採用される傾向にある.

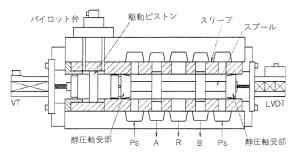


図15 超大型サーボ弁スプールのテーパ型静圧軸受15)

5. サーボ弁技術のトレンド

サーボ弁の基本構造は長年変化してないと述べた が機種の拡がりはある. 特徴的なものを列記する. 超大型化:実物に近い模型での耐震実験用途で、防 災科学技術研究所の E ディフェンスでは15000 (LPM) のサーボ弁を3台並列に使用しているシリ ンダ軸がある.

超小型化:モータスポーツやモビリティロボット¹⁶⁾ 統合化:制御アンプのサーボ弁への搭載化やサーボ 弁とシリンダと制御の一体化16)

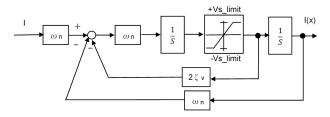
カートリッジ型化:一方向の高速度制御(ダイカス トマシンなど) 用途の大流量2方弁型サーボ弁 超高応答化:VCM型直動弁による応答性向上 新型モータの適用:ピエゾアクチエータや磁歪素子 のサーボ弁への応用

超高圧化: 定格圧力70[MPa]のサーボ弁(既述)

6. サーボ弁のシミュレーションモデル

サーボ弁を使用した油圧サーボシステムの設計や 性能評価を行う場合、まず線形化して得た伝達関数 を用いて評価する. しかし, 得られる波形を評価す るためには非線形のままで取り扱う必要があり、そ のためのシミュレーションツールも揃っているので 活用すべきである. サーボ弁の周波数特性には振幅 依存性があると述べたが、単なる二次系ではなく図 16のような飽和要素付き(リミッタ付積分器の出 カリミッタで置換える) 二次系モデルで取り扱うこ とを推奨する.このモデルは小指令振幅と大指令振 幅時の違いを実データに近い特性で表現できる. な お、図16の各パラメータはサーボ弁の仕様書やカ タログで記載されている数値なので取得しやすい利 点がある.

流量特性についてもスプール変位から流量の式1 を線形化せず、平方根のままモデル化17)できること が数値シミュレーションのメリットである.



ωn: 小入力時の周波数特性データの 90 度位相遅れ点 (rad/S) 2 C v : ω n 点におけるゲイン比M (d B表示ではない) の逆数(1/M) V s: 100%ステップ応答時の立ち上がり時間 T の逆数 (1/T)

図16 サーボ弁の動特性モデル(振幅依存性考慮)

7. おわりに

電気油圧サーボ弁の歴史と実際的な特性を含めた

技術について述べた、ここでは触れなかったが、特 定用途向けの特殊なサーボ弁も存在してきたことが 示すように、オールマイティ的なサーボ弁ですべて を対処しきれないところがこの分野である. 新たな サーボ弁の適用分野を見つけることが新たなサーボ 弁を生み出すきっかけになるであろう. また, サー ボ制御の可能なサーボ比例弁の進展も見逃せない.

本書では油圧サーボ弁を念頭において解説したが 他の流体用のサーボ弁も基本的な構造は同じである ので参考になると思う. 空気圧や水圧は油圧に比較 して潤滑性に劣るのでそれに対応する構造、例えば 静圧軸受の採用などが特徴的であろう.

本特集には油圧のほかに、他の流体用のサーボ弁 や新しい機械要素を適用した事例が紹介されている. 今後、油圧は瞬発力、空圧は人へのやさしさ、水圧 は環境へのやさしさをキーワードに流体応用サーボ 系として広がりを見せることを期待して終りとする.

参考文献

- 1) 田村:サーボ弁の基礎的な仕組みと課題,油空圧技術 1994. 8
- 2) Blackburn: Fluid Power Control, The M.I.T. Press p. 404, p. 407 (1960)
- 3) Thayer: A Brief History of Electrohydraulic Servomechanisms (TECHNICAL BULLETIN 141, MOOG)
- 4) U.S. Patent 2884907 : Servomechanism, R.D. Atchley, filed Aug. 1957
- 5) U.S. Patent 3023782: Mechanical feedback flow control servo valve, A. Chaves filed Nov. 1959
- 6) Morgan: A 1KHz SERVOHYDRAULIC FATIGUE TESTING SYSTEM, Proceeding of conference "High Cycle Fatigue of Structural Materials" 1997, p 305-312
- 7) MTS社カタログ "Servovalves" 2012年
- 8) Merrit: HYDRAULIC CONTROL SYSTEMS, John Wiley & Sons, Inc. p. 193 (1967)
- 9) 田村:試験機用サーボ弁,油空圧技術1992.10, p.22
- 10) 日本ムーグ社カタログ "ダイレクトドライブサーボバル ブ_J634シリーズ"2013年
- 11) 佐々木他:サーボ弁・不思議現象―案内弁に働く流体 力について, フルードパワーシステムVol. 30-5
- 12) 田村: フライトシミュレータ用サーボバルブ開発秘話, フルードパワーシステム Vol. 33-5
- 13) 田村:フライトシミュレータ用サーボ弁, JFPS 平成13年春季講演会製品・技術紹介, p. 109
- 14) 特開2001-132706
- 15) 日垣:超大型試験機用サーボ弁の開発,機械設計Vol. 40-11
- 16) 北村:超小型サーボ弁と最新油圧技術の適用事例,油 空圧技術2018.2
- 17) 例えば 真田:電気油圧サーボ弁のモデル,油空圧技 術2007.2

(原稿受付:2018年8月15日)



油圧サーボ・比例弁駆動ドライバの技術

著 者 紹 介



祫 童

株式会社工苑開発部部長 〒213-0032 神奈川県川崎市高津区久地4-26-41 E-mail: iwasaki@koenn.co.jp

1990年株式会社工苑入社,主に特機案作ステム設計・電気設計・ソフト設計に従事 主に特機案件のシ

1. はじめに

油空圧システムにおける制御の対象は作動油や圧 縮空気等の流体である. その方向・流量・圧力を電 気信号により制御するものが電磁弁、電磁比例弁、 サーボ弁等の電気制御弁である. 制御弁内にあるス プールやポペット等の流体を制御する部品(弁)に 物理的な変位を与え、流路を変化させる事でさまざ まな制御を実現している. 弁を動かすための力はコ イルに電流を流す事により発生する電磁力を鉄心等 の磁性体に作用させる事で得ている. ここでは電気 制御弁のコイルを電流駆動しているドライバ回路等 について考えて行く.

2. 電気制御弁の仕組み

電気制御弁はコイル、磁性体、スプリングで構成 れており、スプリングの力で固定されている磁性体 の位置をコイルへの通電により発生する吸引力で変 位させている. 単純な電磁弁はスプリングにより保 持されている流路に対して通電の有無により弁を2 値的に位置変化させている. 単なる流量のON/OFF だけでなく絞り弁と組み合わせる事で速度の切替え を行ったり,減圧弁と組合せて圧力を切り替えたり する事も可能である.一方,電磁比例弁やサーボ弁 は通電する電流量に比例した連続的な位置変位を弁 やフラッパに与える事で流体を比例的に制御してい る. シリンダや揺動モータ等のアクチュエータの速 度制御, 位置決め制御, 荷重制御, 圧力制御等に適 用されている.

3.AC駆動とDC駆動

電磁弁はソレノイドの構造をしており、AC駆動 かDC駆動かの駆動(通電)方式により特徴が分か れる. ACソレノイドの場合, 鉄心がコイルの外に ある初期状態(起動時)にはインダクタンスが低い ので突入電流が大きくなる. 大きな電流が流れるの で大きな推力が得られるため、大きなストロークが 可能となる.鉄心を引き込んだ後は磁性体がコイル の中にある状態となり、インダクタンスが上昇する ので、保持電流は低く済み省電力である. しかし作 動ストローク途中でロックされてしまうようなトラ ブルが発生すると大きな電流が流れ続けてしまい, コイル焼損に至る事がある. AC200Vのコイルを間 違ってAC100Vで駆動した場合も駆動力が不足して 鉄心を動かす事ができず焼損を招く場合がある.

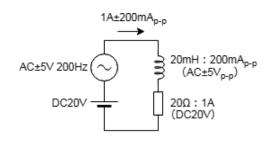
DCソレノイドの場合, DC駆動であり通電開始時 や遮断時の過渡的な状態を除いてはインダクタンス の影響を受けないのでロック等が発生してもACソ レノイドの様な過電流による焼損の心配はない.し かし駆動電流が一定のためACソレノイドよりはス トロークは大きく取れない.

電磁比例弁やサーボ弁を扱う場合は指令信号に対 してどれだけ追従するかの応答性や周波数特性を検 討する必要がある. 実質的にAC駆動と考えインダ クタンスやその変化等も考慮しなければならない. たとえばヒステリシスやスレッショルドの改善,ま たコンタミ対策としてディザ信号をコイルの駆動電 流に加算する場合、駆動する電流は制御弁のコイル インピーダンスに依存するため、周波数が高くなる とインダクタンスが大きく作用し、駆動電圧を高く しなければ所定の電流を流せない場合がある. たと えば図1のようにコイル抵抗20Ωのコイルは直流 電流であれば、24Vで1.2A流す事ができるが、目標 電流 1 Aで200Hz±200mAのディザ電流を加算し たい場合は25V以上の駆動電源が必要となる. 実際 には駆動する電子素子のドロップ分を考慮する必要 もある.

4. 定電流駆動回路

単純な電磁弁はリレーや半導体により通電・非通 電を制御すれば良いが、電磁比例弁やサーボ弁は定 電流回路により、実駆動電流が指令した電流になる 様に制御している. 制御するためには駆動電流の フィードバックが必要であり、コイルの駆動回路に電 流検出用の抵抗器を直列に接続している場合が多い.

検出抵抗器に発生する電圧を計測し、既知である 抵抗値から電流に換算して定電流回路のフィード



(1) 直流抵抗 : 20Q (2) インダクタンス: 20mH のコイルに

(3) 目標電流 : 1A

(4) ディザ電流 : 200mA_{p-p}/200Hz

を流そうとする場合

直流分(R×I):20[Ω]×1[A] = 20[V]

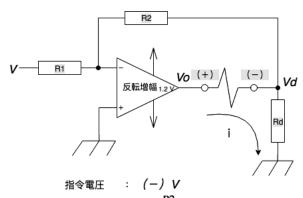
交流分(2π× f × Z × I): 2 × π × 200[Hz] × 20[mH] × 200[mA] = 5[V]

の電源が必要となる。

(Z:コイルインピーダンスのインダクタンス成分)

図1 インダクタンスの影響

バックとしている. 検出抵抗を挿入する位置より使 用条件等が異なってくる. 図2のようにコイル通電 後に検出抵抗を配置した場合、検出電圧Vdの計測 はOV基準電圧からであり回路構成的にシンプルで あり多用されている. 図3のようにコイル通電前に 検出抵抗を配置した場合は検出抵抗の両端電位差 (Vo-Vd) を差動増幅器により計測する必要がある. 計測基準電圧となるVdがコイルに流れる電流によ り変化してしまうため、回路としての同相信号除去 比(CMRR:Common Mode Rejection Ratio)の影



R2ループゲイン: G =R1検出抵抗 : Rd

 $: i = G \times \frac{r}{Rd}$ 制御電流

図2 コイル通電後に検出抵抗を配置

響を受ける. Vdが増減した分の電圧値に同相利得 が掛かり差動増幅の出力がシフトしてしまう現象で ある、ノズルフラッパ型サーボ弁のトルクモータ等 を駆動する時のように数十ミリアンペアの電流を扱 う場合はあまり問題にならないが、電磁比例弁や直 動型サーボ弁は数アンペアの電流を扱うため、Vd の変化幅が大きくなるのでコイルのインピーダンス や駆動条件により計測電流の補正が必要となる.

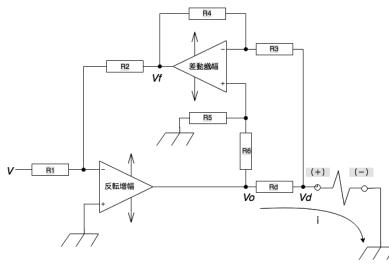
図4のような非反転増幅回路を適用したコイル通 電前に検出抵抗を配置する事例もある. 比較的シン プルな回路構築が可能だが、電流値を正確にモニタ するには差動増幅器や別の検出抵抗が必要となる.

5. PWM駆動

100mA程度までの駆動であれば高出力型のオペア ンプや、オペアンプの出力にトランジスタやFETによ るブースト回路を追加する事で対応できるが、それ 以上の電流を扱いたい場合は素子が負担する損失量 が大きくなるので許容損失や放熱を十分考慮しない と出力素子を焼損させてしまう、そこで登場するの がパルス幅変調PWM (Pulse Width Modulation) に よるチョッパ制御である.

一定の周期(キャリア周波数)の矩形波における 通電ON/OFFの時間(デューティー比)を制御する 事でコイルに流れる平均電流を制御している.

図5のように指令電圧(a)と内部生成した一定周 波数のノコギリ波(b)とをコンパレータ回路で比



指令電圧 : (-) V ループゲイン

検出抵抗 : Rd

差動増幅ゲイン: 1 @R3=R4=R5=R6

制御電流 $i = G \times \frac{r}{Rd}$

 $\rightarrow Vf = G \times V$

また

Vf = Vo - Vd $Vd = Vo - Rd \times i$ $\rightarrow Vf = Rd \times i$

図3 コイル通電前に検出抵抗を配置(1)

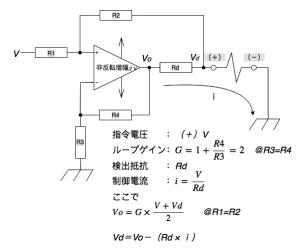
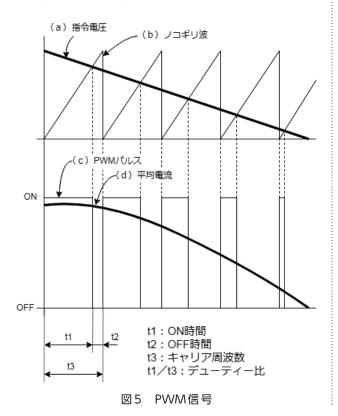


図4 コイル通電前に検出抵抗を配置(2)

較し、(a) が(b) 以上の時をONとする事でPWM 制御信号を生成する事ができる. 100%デューティー 指令は常時ONのMAX電流であり、50%では平均電 流が丁度半分となり、0%は通電OFFと同等となる.

6. ドライバの付加機能

サーボ弁用のドライバは位置や荷重のサーボルー プ迄を取り込んだサーボアンプやサーボコントロー ラとして展開されているものが多い. 電磁比例弁用 のドライバには図6のように電流指令が急激に変化 しても出力電流はスローアップ/スローダウンで出 力させる事でアクチュエータのショックレス動作を 図るものや、スプールの位置をLVDTのフィード バックで取り込む事で正確に制御し、電流指令に対 する流量特性の補償を行っているものもある.



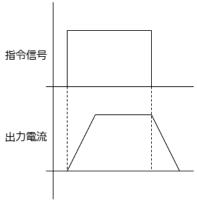


図6 スローアップ・スローダウン

7. おわりに

油圧応用においては長期使用に対する作動油のコ ンタミ管理の問題等もあり、ノズルフラッパ型より リニアサーボやボイスコイル型の直動弁が好まれる 傾向があったが、デュアルハルバッハ磁石配列を応 用したより高速、高ストロークなものも登場し、よ り直動弁化が進んで来ている.油空圧の世界でも サーボ制御を含むコントローラのマイコン化は古く から行われてきたが、サーボモータやインバータ用 のドライバに比べ電磁比例弁用のドライバ部のマイ コン化は遅れていた、CPUの処理速度が向上し、さ らにCANopenやEtherCAT等に代表されるネットワー ク化の要望も高まり各社製品化が進んで来ている.



図7 ディジタルサーボアンプの例

マイコン化によりパラメータ等のディジタル設定が可 能となり、アナログ式の電子回路アンプをトリマーポ テンショで調整する作業に比べて設定の再現性が向上 するので調整作業の効率化が図れ、複数台への設定 がパラメータのコピー等で済むので省力化が可能であ る.モニタ機能も強化されているので調整時だけでな くトラブル発生時の要因究明にも非常に役に立つ. さ らにディジタル処理によりアナログ回路では難しかっ たノンリニアな補正や複雑なアルゴリズム処理等を組 み込む事も可能であり、ますます進化する事だろう.

(原稿受付:2018年8月8日)

解説

デュアル・ハルバッハ・マグネット・アレーによる 強磁界直動型高速サーボ弁

者 紹 介



中 Ш

サンテスト株式会社 〒554-0024 大阪市此花区島屋4-2-51 E-mail: nakagawa@santest.co.jp

2002年京都大学大学院工学研究科修了、同年サンテスト株式会社入社、2016年サンテスト株式会社技術部長、現在に至る、産業用センサおよび油空圧制御製品の研究開発およびユーザへ のサポートに従事 システム制御情報学会会員

1. はじめに

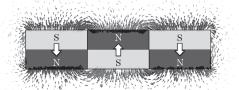
筆者は産業用センサおよびサーボ制御コントロー ラの提供を通じて、多くの機械において油圧駆動か ら電気駆動に置き換わるケースを見てきた. しかし ながら一旦電動化したが再び油圧駆動へ戻すケース, どうしても電動機では解決できないケースもまた存 在する. これらのケースに共通するキーワードは高 サイクル, 高推力, 高速である. 具体的に言えばサ イクルタイムが重視されるプレス機や大推力で加振 を行う試験機などが挙げられる.

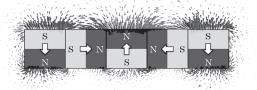
言うまでもなく油圧システムは高推力、高速すな わち高いパワー密度を発揮できる点において電動機 に比べて有利である. この強みを活用するため、筆 者らはデュアル・ハルバッハ・マグネット・アレー を利用した高速サーボ弁を新たに開発した.

2. ハルバッハ・マグネット・アレー

ハルバッハ・マグネット・アレーは1980年代に Klaus Halbachによって発明された永久磁石の配置 方法である. この配列方法では, 通常のN-S配列と は異なり磁界が磁石片側に集中する(図1).ハル バッハ・マグネット・アレーの集中磁界を向かい合 わせて配置を行うと、N-S配列に比べおよそ2倍の 磁束密度を得ることができる(図2).

近年では、ハルバッハ・マグネット・アレーの磁 束解析とこれを利用した高トルクコアレスモータの 設計事例が報告されているが¹⁾, 筆者らはこのア レーを直動型サーボ弁のボイスコイルに適用するこ





N-S配列(上)とハルバッハ配列(下)

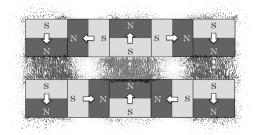


図2 デュアル・ハルバッハ・マグネット・ア レーによる磁束分布図

とを考え、課題であったアレーの製作の困難さを独 自の方法で解決した.

3. 高速サーボ弁の開発課題とその対処

図3は設計したサーボ弁断面図である. 図中右側 のボイスコイル界磁にデュアル・ハルバッハ・マグ ネット・アレーを利用している。開発したマグネッ ト・アレーは期待どおりの性能を持っていたが、高 速のサーボ弁として成立させるにはなお一層の研究 開発が必要であった.以下に種々の課題と達成状況 を報告する.

①軽量ボイスコイルの製作

高速応答を達成するためボイスコイルは軽量かつ

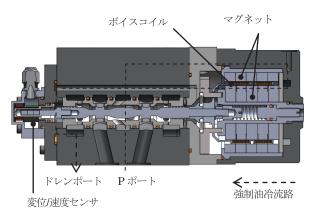


図3 サーボ弁断面図

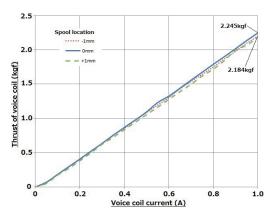


図4 開発したボイスコイルの推力

低インダクタンスでなくてはならない。また、推力 発生時にコイル自体がボビン上でずれてはならない ため、筆者らはアルミニウムボビンとアルミニウム 角断面ワイヤを採用した.

製作したボイスコイルの推力特性を得るためにボ イスコイルに一定の電流を与えたときのロードセル 出力を測定した(図4). グラフからわかるように 2.245kgf/Aを得ている. また、ボイスコイルの位置 が定格である±1mm変動した場所においても同様に 測定し比較を行ったが大きな推力の変動はなく,実 際に磁界が一様に与えられていることを確認できた.

②スプール位置. 速度センサの開発

直動型サーボ弁においてスプール変位を制御する にはスプール位置センサが必要となる. 従来, ス プール位置センサとしては差動トランスが使われて きたが、安定した位置出力を得るためには変換器に おけるローパスフィルタが必須であり、それに伴う 位相遅れは高速応答を目指すサーボ弁には無視でき ないほど大きい.

そこで筆者らはホール素子を利用した小型の位置 センサを新たに開発した(写真1). このセンサは スプール位置を示すコア部分に小さなマグネットを 利用するもので、非接触、アブソリュート検出で士 1 mmのストロークに対して非線形性1.5%FS以下,

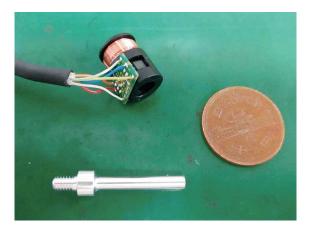


写真1 スプール位置/速度検出センサ

-20℃~60℃全域に対する温度ドリフト1%FS以 下, 単体でのステップ応答が 2 μ秒である. さらに 検出コア同軸上にコイルを設け、電磁誘導現象によ るスプール速度も得られるようにした. ボイスコイ ルを駆動するドライバにはこれらの位置, 速度信号 に加えてボイスコイルに印加する電流(等価的加速 度) もフィードバックすることで、単純な位置 フィードバックのみの制御に比べて安定性が増し, ループゲインを高く設定することが可能となった.

③フローフォースを抑えたスリーブ・スプールの設計

フローフォースは、スリーブとスプールで構成さ れる可変オリフィスを流れるジェット噴流に起因し, 軸方向へはポートを閉じる方向に力が発生する. こ れはスプール位置制御系にとってはバネ負荷に相当 する外乱となる2). 結果としてスプール位置定常偏 差やステップ応答でのハンチングの要因となるため. スリーブ・スプールの流体力補償形状を工夫し低減 した.

④ボイスコイルの冷却

ボイスコイルに電流を流す必要があるのはスプー ルの加減速を行うためと、フローフォースに対抗す る反力発生のためである. 本サーボ弁のように大推 力のボイスコイルと流体力補償形状スプールを利用 する場合には発熱が問題となるほどの電流は発生し

しかしながら試験機アプリケーションによく見ら れる正弦波駆動の場合ではスプールは常に加減速を 行い, 周波数が高くなるにつれ駆動電流による発熱 が無視できなくなる. 設計したボイスコイルでは土 1 mm変位を150Hz以上で駆動した場合には特別に 冷却する必要性が生じる結果となった. これを解決 するために筆者らは強制油冷を採用した. 強制油冷 はPポートから供給される作動油をボイスコイルに 循環させる手法である. これによって動作周波数1 kHzの場合においてもコイル温度上昇を40℃以下に 抑制することができた. 強制油冷の油量は供給圧力 7 MPa時0.7L/min以下である.

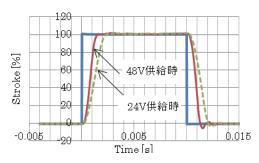
以上述べた種々の課題を解決し写真2に示すよう な製品となった. アンプを内蔵したタイプと外置に したそれぞれのデザインを用意している.



開発した高速サーボ弁(左:アンプ内蔵型, 写真 2 右:アンプ外置型)

4. 性能評価

図5および6に開発したサーボ弁のステップ応答 と周波数特性を示す. いずれもA/Bポートを直結し 定格流量を流した状態で測定した. ステップ応答に おけるスプール位置偏差が少ないのは,フロー フォースの影響が十分に低減できていることを示し ている.



ステップ応答(60L/minドライ型) 図5

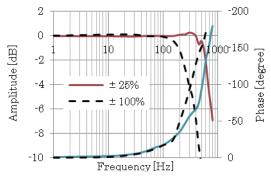
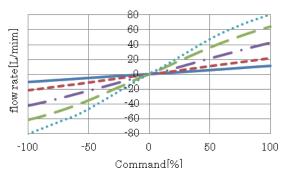


図6 周波数特性(60L/min 強制油冷型48V供給)

本サーボ弁のアンプ部はパワー部と制御部が電気 的に絶縁されており、供給電源は24V/±15V/48V のいずれでも接続可能であるが、高い電源電圧を接 続すればより高速な応答を得ることができる. 主に ステップ応答が重視されるアプリケーションや難燃 性作動液を利用する場合には強制油冷のないドライ 型を、150Hz以上の周波数で加振するようなアプ リケーションでは強制油冷型をおすすめする.

図7に定格10L/minから80L/minまでの流量特性 を示す. 上位サーボコントローラとの組み合わせを 想定してできる限り直線状の流量特性を目指した. ループゲインを上げやすく、正弦波コマンドでの波 形歪みを少なくできるからである.



無負荷流量特性 ($\Delta P=7 MPa$) 図7

5. む す び

本稿ではデュアル・ハルバッハ・マグネット・ア レーを利用した直動型サーボ弁の開発について報告 した. より高速に高推力を発揮させるためのコン ポーネントとして油圧システムの限界の突破に貢献 できればと考えている.

本サーボ弁をパイロット弁として活用していただく ことも考え, 本サーボ弁に利用したホール素子を主 弁スプール用に設計したセンサなども開発中である.

参考文献

- 1) 森下明平:永久磁石ハルバッハ配列界磁の特徴と電気 機器への応用, ケミカルエンジニアリング, 58/10, 26-31 (2013)
- 2) Herbert E. Merritt: Hydraulic Control Systems, Wiley, p 101-105 (1967)

(原稿受付:2018年7月23日)

解説

半導体製造装置における空気圧サーボ技術



1. はじめに

半導体製造の中核である露光装置では、数種類の 空圧機器が稼働している. そのなかでも、半導体ウ エハを載置する精密ステージに振動を混入させない 空圧式除振装置での空気消費量が最大である. そし て、過酷な動かされ方をしている.

本稿では、同装置の原理を解説する.さらに、除 振台に搭載される精密ステージの加減速駆動が急峻 であるという特殊事情に起因して、除振装置の設計 と運用に際して留意すべきをことを解説する.

2. 空圧式除振装置

2.1 構 诰

図1に空圧式除振装置の構造と制御系を示す1). 水平方向にプッシュ・プル構造の空気ばねと、この 方位の位置と加速度を検出するセンサを備える. こ れらセンサの出力に基づくフィードバック(以降, FBと略記)によって、各空気ばねの空気供給量を 連続的に調整する.鉛直方向も同様の構造となる.

2.2 制御系

図1を再び参照して、平衡位置に除振台を定位さ せる位置FB補償には、PI補償器が採用されている. 位置FBはサーボ剛性を生み出し、床の振動を除振 台に伝えない機能の実現においては実は都合が悪い. そのため、PI補償器の比例ゲインは小さく、積分時 間は大きく設定している、ここで、制御系のループ 構造では、位置FBがメインループとなる. しかし,

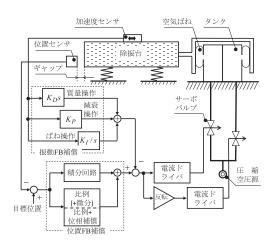


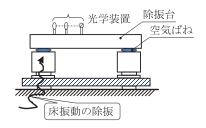
図1 空圧式除振装置の構造と制御系

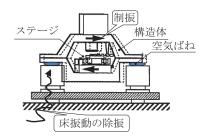
機能の観点では、除振台上に設置した加速度センサ の出力に基づくFBがメインである. 加速度信号は K_Pを介して電流ドライバに印加されている.電流ド ライバ、サーボバルブ、そして空気ばねは、積分特 性であるため、K_Pによって減衰操作が行える. いわ ゆる、スカイフックダンピングを発現させられる. ほかに加速度信号を積分器K₁/sを介して速度信号と なし、これを積分特性に通してばね操作ができる. スカイフックスプリングの実現である. 微分器Kos のFBによっては質量操作が行える. しかし, 除振 装置にあっては実用に供されてはいない. 主に, ス カイフックダンピングの機能が用いられている.

2.3 除振装置を使用する二種の場面

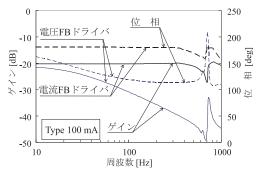
図2は除振装置を使用する二種の場面を示す. 同 図上段には、除振台上に静的な光学装置が搭載され ており、床からの振動を光学系に与えない除振機能 だけが求められる. 一方, 図2下段では, 空気ばね で支える構造体にはステージが搭載されている. こ れが加減速駆動することによって、構造体には揺れ が生じ、これを抑制する必要がある。したがって、 空気ばねを用いた除振装置には、床からの振動を精 密なステージに伝搬させない除振と、構造体の揺れ を抑制する制振の両機能が求められる.

以降では、後者の立場で空圧式除振装置を設計・ 運用する際に留意すべき観点をまとめる.





除振装置を使用する場面



2種の駆動方式による周波数応答の差異

3. 留 意 点

3.1 電流ドライバ

空気ばねへの空気の給排気はノズルフラッパ形 サーボバルブ(以下, NFSVと略記)が担う. 直流の 電磁モータであり、電気的にはインダクタンスを負 荷とする.電機子の回転角はコイル電流にほぼ比例 する. これによりノズル内の背圧を線形性よく制御 できる. ここで、コイル電流を流すには電流ドライ バが必要であり、電圧駆動と電流駆動の2種がある.

電圧駆動とはコイル両端電圧を検出し, これを FBする回路形式である. 一方, 電流駆動とは, コ イル電流を電流検出抵抗の電圧降下で検出し、これ をFBする回路構造をとる. 図3に, 両者の周波数 応答をNFSVに通電するコイル電流が100mAのとき 弁全開となるタイプの場合で示す20. 電流駆動の方 が高周波数域まで応答性がのびている. いずれも. OA機器などの電磁モータに採用される周知の回路 であり、高速性を要しない場合、安価な電圧駆動を 採用する、この考え方を踏襲すると、空気ばねで支 えられる構造体の応答は緩慢である. したがって, 電圧駆動の採用でよしとしたくなる。ところが、空

気ばねで支えられる除振台上では精密ステージが加 減速駆動されており、この繰り返しの駆動反力に抗 するためNFSVは頻繁に弁開閉を行う. 動作が遅い 電圧駆動を採用のとき、空圧式除振装置の性能指標 の一つである除振率(除振台上の振動/床の振動) におけるロールオフ領域の特性の劣化を招く. した がって、電流駆動の電流ドライバを実装する必要が ある.

3.2 NFSVのヒステリシス特性

図4はNFSVの入出力静特性である. 具体的に、 コイルに流す電流に対する制御ポートの圧力の特性 である. 図示のようなヒステリシス特性をもつ. た だ1個のNFSVを使った空圧機器の場合には深刻な 問題を招くことはないであろう. しかし、複数台の 空気ばねによって除振台を支持し、これに搭載され るステージの駆動反力に応じてNFSVの給排気を頻 繁に行わせる空圧式除振装置の場合,NSFVのヒス テリシス特性のバラツキは構造体としての除振台を 歪ませる. これを避けるためには、管理したもの、 例えば図4を参照してコイル電流50mAにおけるヒ ステリシス幅が所定以下のものを製造するか、ある いはスクリーニングして使用する必要がある.

3.3 NFSVの高周波数の振動

再び、図3を参照して700~800Hz近傍のゲイ ンおよび位相特性には乱れがある.これは、NFSV それ自身の機械共振に起因する. 具体的に、図5に 示すように、ねじりばねでイナーシャを持つアーマ チャの平衡位置を保つ構造であるため、ここが振動 する. しかし. 空気ばねで支持する除振台の固有振 動数が例えば2Hzという値に対して高周波である. そのため、NFSVの振動は除振台の性能には関与し ないと考えられる. ところが、除振台上のステージ を急加減速駆動させ、構造体の揺れを抑えるために 除振装置の位置FBをハイゲイン化せざるをえない 場合、NFSVから「鳴き」が発生する. 大質量の除

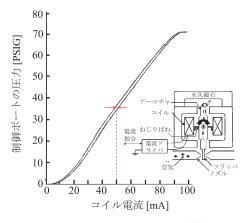


図4 NFSVのヒステリシス特性

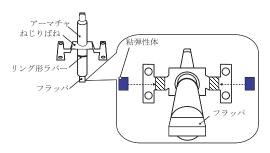


図5 NSFVの高周波振動とその抑制

振台が700~800Hzの振動数で有意に動かされる ことはないが、NFSV取り付け部位の振動を誘起し、 これが位置決め機器に伝搬する事態を招く. 解決の 試みとしての一例を図5に示す。ねじりばねの箇所 に粘弾性体を挿入し、ダンピングを付与している. 空圧特性は損なわないように組み立てを行った.除 振台上に伝達するNFSVの高周波数の振動は低減で きている²⁾.

3.4 空気ばね推力のバラツキ

複数個の空気ばねを使って、平衡位置に除振台を 定位させている. このとき、NFSVに流す電流が同 一, すなわちNFSVの開度が同一でも, 空気ばねの 形状およびゴム厚のバラツキなどに起因して、発生 する推力に違いが生じる. この差異は、本体構造体 の変形を招く. すると、同構造体を機械的な基準と している計測機器があるため、これらの計測値に誤 差がのる. そこで、個々の空気ばねの内圧を圧力セ ンサで計測し、これをFBする圧力FBが文献3)で は導入されている. 図6がこの制御系である. 電磁 モータを使った位置制御では、同図下側のように、 内側から外側に向かって、電流FB、速度FB、そし て位置FBという3重のループが構成される.一番 内側の電流FBの機能は、電磁モータの発生トルク の管理にある. 初期の空圧式除振装置には、電磁 モータの場合におけるトルク管理ループに相当する ものはない. 導入した圧力FBは電磁モータの位置 制御におけるトルク管理ループと等価であり、空気 ばねで発生させる推力管理ループと言える.

図7は、除振台上に搭載のステージが連続的に位 置決めしたときにあって、構造体を変形させる力を 複数箇所の空気ばねの内圧計測に基づいて計算した 結果である. 上段は圧力FBがない場合であり、構 造体を変形させる力を生じさせている. 一方, 圧力 FBを投入した図7下段では、構造体を柔に変形さ せる力の発生はない. したがって、構造体を機械的 基準として取り付けたステージの位置決めのための レーザ干渉計の計測値には、構造体の歪みによる影 響は入り込まない、そのため、位置ずれなしで半導 体ウエハに焼き付けできる.

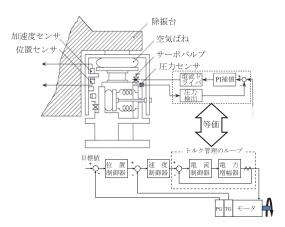
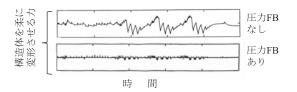
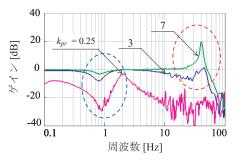


図6 圧力フィードバックの制御系



圧力フィードバックの有無による構造体の変形力



圧力制御系の周波数応答 図8

3.5 配管共振

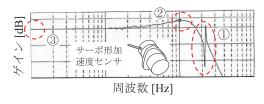
3.4節に記載の圧力FBの帯域を伸ばすことは、ス テージの位置決めに応じて, 除振台が傾斜する現象 を緩和する傾斜補正制御4)にとっても都合がよい. 圧力制御系への指令に対する定位性を使って、除振 台の傾斜が矯正されるからである.

図8は、圧力PI補償器の比例ゲインkorの上昇に よって、帯域を拡げたときの周波数応答である、楕 円で囲む 1 Hz近傍の箇所は、空気ばね定数に起因 する共振特性であり、帯域拡大にともないゲインの 変動が抑えられる.一方,高域の40Hz近傍の共振 ピークは先鋭的になる、これは、NFSVと空気ばね をつなぐ配管長に起因した配管共振である. 同共振 を抑える補償法はあるが、大型除振台の四隅に配置 される空気ばねへの配管は必然的に長くなり、かつ 同一の配管長にはできない、このことを加味でき産 業応用に供せられる実用的な補償法はない. した がって、図8の特性において、圧力の帯域を保守的 に設定して運用することになる.

3.6 加速度センサの周波数特性

図9はサーボ形加速度センサを実加振したときの 周波数応答である.「実加振」とは、加速度センサ そのものを機械加振したという意味であり、実使用 の状況下における応答となる. これに対して, 加速 度センサに内蔵する検定コイルに電流を通電し、振 動子の重心に駆動力を与えたときの周波数応答をカ タログに提示することがある. このとき、加速度セ ンサのケースは固定されており、振動子が重心駆動 されている. したがって、図9の①に生じるねじり 振動は誘起されず、きれいな周波数応答になる、加 速度センサをFBで使用する除振台の開発者が、実 加振の周波数応答では①の2次副振動や②の共振特 性があり、内蔵する検定コイルに電流を通電して得 られた綺麗な周波数応答とは異なるという認識が無 い場合、除振装置の仕様を満たす調整においてトラ ブルを招きやすい. 具体的に、図9の加速度センサ を除振装置に装着したとき、検出信号の中には①が 混入する. これが加速度センサのものという認識が ない場合には、同センサの取り付け治工具あるいは 局所的な機械振動の存在を疑って、無駄にこれら部 位の高剛性化を図る. あるいは、加速度センサの出 力にローパスフィルタリングの処理を施して, ①, ②のFB時における影響を排除する. この場合, 加 速度センサの検出帯域がのびているにも関わらず、 これをあえて狭めて使用することになり、空圧式除 振装置の除振および制振特性を確実に劣化させる.

最後に、図9で③と記載している箇所について説 明する. ③の領域は直流の加速度信号が検出できる ことを意味する. 加速度センサは傾斜計としても使 われる. したがって, 直流から所与の周波数までの 帯域にわたって傾斜に対して感度を有する. 再び図 1を参照して、加速度センサの出力に基づくメイン のFBとして、比例ゲイン K_P を介して発現させるス カイフックダンピングがある. 図示では, 直流信号



加速度センサの周波数応答の一例 図9

を含む加速度センサの出力を直接に、KPに接続し ている.

しかし、加速度センサを構造体に装着したとき、 高感度であるため傾きによる直流信号が必ずでる. この直流信号のFBによってもたらされる機能はな い. さらに、加速度センサには低周波数の微小振動 に対して高いSN比の検出感度を持つことも求めら れるが、1/fノイズに埋もれた信号品質ならば、加 速度センサの低周波数域の信号を、真の振動として FBすることはできない. そこで、加速度センサの 出力に対して直流域をカットするフィルタ処理をし た信号がFBとして使われる. この遮断周波数を低 く設定できるほど、除振装置の除振・制振特性は良 好になる.

従来、サーボ形の加速度センサの主な用途は観測 用であった、そのため、FB用センサとしての仕様 は設定されていなかった. 現在, FB用途を狙って, 自己ノイズを抑えたのものが開発されている50.

4. ま と め

空圧系はほぼ積分特性であり、ここに加速度FB を施すとダンピングを得る. 半導体製造装置におけ る除振台の制御では、このスカイフックダンピング を主に活用している. 原理的に明らかになっていた ことであるが、多数個の空気ばねで除振台を平衡位 置に支持し、かつ除振および制振の両機能を満たす ためには、アクチュエータであるNFSVの選定と、 この駆動回路の構造に注意を払う必要がある. 加え て、振動検出のための加速度センサの特性にも留意 する必要がある.

参考文献

- 1) 特許機器㈱:除振台の水平位置の維持と水平振動の除 振方法並びにその回路, 特許第2673321号(1997)
- 2) 涌井伸二, 渡辺智仁, 高橋正人:空圧式除振装置に使 用するノズルフラッパ形サーボバルブの振動抑制の定 量化と除振台上の振動低減効果、日本機械学会論文集C. Vol. 75, No. 755, p. 1941–1949 (2009)
- 3) キヤノン:能動的除振装置,特許第3286201号(2002)
- 4) Wakui, S.: Incline Compensation Control using an Air-spring Type Active Isolated Apparatus, Precision Engineering, Vol. 27, No. 2, p. 170-174 (2003)
- 5) 日本航空電子:低ノイズ加速計の開発(JA-40GA) https://www.jae.com/jp/gihou/gihou29/pdf/g_14.pdf

(原稿受付:2018年7月30日)

解説

水圧サーボ弁の新技術

者紹介



健

神奈川大学工学部

〒221-8686 神奈川県横浜市神奈川区六角橋3-27-1 E-mail: suzuki@kanagawa-u.ac.jp

1995年神奈川大学大学院工学研究科博士前 課程修了 光洋精工株式会社、行かいた を経て、2013年同大学工学部助教、現在に至る を経て、2013年同大学工学部助教、現在に至る 神奈川大学助手 水圧駆動システム及びその構成要素の研究に従 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

現代の水圧駆動システムでは、一般に供給圧力は 14MPa程度であり、クリーンで衛生的、環境保全 性に優れ、火災の危険性が無く、水中での使用や洗 浄が容易作動流体の入手や廃棄が容易などの利点を 活かす用途で使用されている1). 主な応用分野とし て,食品加工機,水門駆動装置,入浴施設内の水圧 シリンダなどへの適用例が増えつつある2).

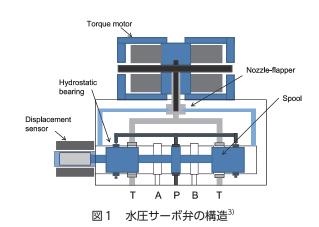
水圧駆動システムの構成要素は、油空圧機器と比 較して一般に高価である. 水の粘度は油圧用の鉱物 油と比べて1/30程度であり、機器内部のしゅう動部 を通る内部漏れ流量はすき間の3乗に比例するため, 水圧機器の内部漏れを油圧と同程度に抑制するため には、すき間の大きさを1/3程度にしなければなら ない. したがって、弁部品の真円度、円筒度、同軸 度などを精度良く加工する必要がある. また, 水圧 機器の部品はほとんどが難削材であるステンレス鋼 であることや、市場規模が小さく量産効果が小さい ことなども、低コスト化を阻む要因となっている.

一方、機器を低圧仕様にすることでコストを削減 し、低圧を使用する安心・安全な水圧駆動システム も実現されている. 高動力密度のシステムを目指す のではなく、安全かつ容易に使用できる一般ユーザー 向けの駆動システムとして、幅広い分野への応用が 期待できる. その場合、システムの構成要素を単純 化してコストを削減することは極めて重要である.

代表的な水圧用方向制御弁は、図1と2に示すよ

うなサーボ弁と比例弁であり、どちらも円柱状のス プール弁の直動運動によって流体を制御する. サー ボ弁は、トルクモータとノズルフラッパ系によって スプール両端に圧力差を生じさせて、スプールを変 位させる.スプール変位を機械的にフラッパ変位に フィードバックするものと、スプールに取り付けた 変位計によってトルクモータへの入力電流をフィー ドバック制御するものがある. 一方, 水圧比例弁は ソレノイドによって発生するスラスト力とばねによ る力の平衡によってスプール変位を定める.ソレノ イドへの入力電流と変位の関係は非線形性が強いた め、スプール変位のフィードバック制御が必要とな る. また、水は潤滑性に乏しいため、これらの水圧 制御弁のスプールしゅう動部には静圧軸受が組み込 まれている. これらにより、構造が複雑かつ部品の 高精度加工が必要であり、製造コストが高騰する要 因となっている.

そこで本稿では、低コストを志向して構造を単純 化して設計製作した水圧用サーボ弁について、その 構造的特徴と静特性の測定結果について紹介する.



Hydrostatic bearing Spool Spring Solenoid Displacement Т Α Ρ В Т

図2 水圧比例弁の構造4)

2. 弁の構造

2.1 全体構造の検討

現代の水圧サーボ弁は、主たる弁作用をする部分 にスプール弁を用いるが、低コスト化のためにはさ まざまな問題点がある. 弁の開口部を構成するメー タリング・エッジが細長い円筒面上に並んでいるた めに加工が難しく,特にスプールとスリーブとのエッ ジを精確に合わせてラップ量を調整するには、高度 な測定と加工の技術が必要であり、場合によっては 専用の加工機が必要となる. また, 長期間の使用に よってエッジが摩耗してしまうと再生利用できない. さらに、構造が複雑であり手間と費用がかかる.

また, スプール弁の運動は直線運動であるため, スプールを直接駆動するにはソレノイドで駆動する 方法、リニアモータやボイスコイルモータで駆動す る方法、回転型のモータとカム機構を組み合わせて 直動運動を得る方法50などがある.一般的には比例 ソレノイドとばねの力のつり合いによってスプール 変位を定めるが,変位計の取り付けとスプール変位 のフィードバック制御が必要である.

そこで、電気信号を機械的変位に変換する部分に は小型の回転型サーボモータを使用し、その回転角 度によって流体の方向と流量を制御するような、直 動形のロータリー型サーボ弁とすることで上記問題 の解消を目指した.油圧用では、三方弁形式のロー タリーサーボ弁の研究例⁶⁾ はあるが、水圧用では国 内外ともに見られないようである.

図3に、設計製作したロータリー型サーボ弁の外 観を示す. 上部に取り付けた小型のサーボモータに よって、ロータリー型の流体制御弁を駆動する. よって、動特性はサーボモータの性能で決まる.

弁全体の寸法は、幅64mm×奥行40mm×高さ110mm である. この弁の形式は四方弁であり、弁の下面に はピッチ円上にP, T, A, Bの各ポートがある. Pは供 給ポート、Tは排出ポートである、A及びBは制御 ポートであり、水圧シリンダ等のアクチュエータに 接続される.

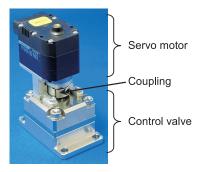


図3 ロータリー型水圧サーボ弁の全体構成

ポート配置は、JIS B8355 (油圧-サブプレート 取付形 4 ポート電磁切換弁) のD-02-01-0-05 (ISOコード:4401-02-01-0-05) に準拠したポー トに、サブプレートを介して取り付けるようにした.

2.2 ロータリー型制御弁

四方弁形式のロータリー型制御弁の部品を図4に 示す. 円形の弁板は弁体によって挟みこまれており. 弁板の上下面は弁体としゅう動している. 弁板とそ の外側のハウジングの厚さは、平面研削盤によって 高精度に加工できるため、すき間寸法の管理が容易 である. また、摩耗時には再研磨することによって 再生利用することができる.

円板形の弁板形状と、弁本体にある4つのポート のピッチ円に沿った断面の概略図を図5に示す.円 形の弁板のピッチ円上には、まゆ形のポートがある. これが上下の弁体に加工された流路と重なることに よって、流体が流れる. なお、内部漏れ低減のため、 弁は1degのオーバーラップとなっている.

弁板の上下面における圧力差が生じると、 弁板に スラスト力が作用し、摩擦および摩耗を促進させる. そこで、 弁板のポート付近のしゅう動面にいくつか の貫通穴を設けた. これは、スプール弁の外周の圧 力分布を均一化するために溝を設けることと同様の 効果を狙ったものである.



図4 ロータリー型制御弁の部品

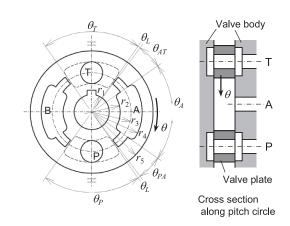


図5 ロータリー弁板のピッチ円に沿った断面の概略図

図6(a)はロータリー弁板が中立位置の状態を示す. (b)は弁板が回転し、PとAポート、BとTポートがそ れぞれ接続された様子を示す. 弁板の回転角度は, 物理的なストッパを設けることによって、±20 degの範囲内に限定されている.





(a) 中立位置

(b) PとA, BとTの接続

図6 ロータリー弁板の回転による流路の接続

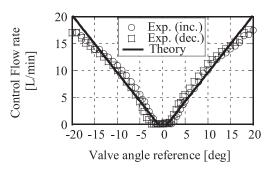
3. 静 特 性

静特性の理論値計算のため、円板形の弁板と弁本 体とのしゅう動部すき間の流れを、矩形流路として モデル化した7). 静特性実験において、供給圧力は 3.5MPaに設定した. 流量はすべてタービン式の流 量計で測定した.

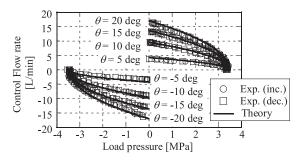
弁の指令角度に対する無負荷流量の計算結果及び 実験結果を、図7に示す.流量係数の値は、土 10degの範囲の実験値から求めた. 弁の角度が大き くなると、線形性がやや失われる。これは、ロータ リー弁内の流動抵抗が増加する構造によるものであ る. また, ±2.5deg程度の不感帯と, 1 deg程度の ヒステリシスが生じた、詳述はしないが、これは使 用したサーボモータの特性による影響が大きい.

制御弁のA-Bポート間の負荷圧力(圧力差)に対 する流量の計算結果および実験結果を、図8に示す. パラメータ θ はサーボモータへの指令角度である.

A-Bポート間を閉じた状態での、弁の角度に対す る内部漏れ流量を図9に示す. 不感帯の両端付近を 除き, 定性的・定量的によく一致した.



ロータリー型サーボ弁の無負荷流量特性



ロータリー型サーボ弁の負荷流量特性

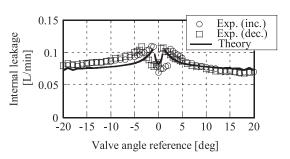


図9 ロータリー型サーボ弁の内部漏れ流量特性

4. おわりに

本稿では、水圧駆動システムの市場規模拡大のた め,低コストを志向して構造を単純化して設計製作 した水圧用サーボ弁について、その構造的特徴と静 特性の測定結果について紹介した.

参考文献

- 1) 社日本フルードパワー工業会:アクアドライブシステ ム一技術資料 3 (2004), http://www.japan-fluid-power. or.jp/pdf/adsg_3.pdf
- 2) 鈴木健児:IFPEX2014における水圧分野の技術動向, フルードパワーシステム, Vol. 46, No. 1, p. 14-15 (2015)
- 3) Urata, E., Miyakawa, S., Yamashina, C., Nakao, Y., Usami, Y., and Shinoda, M.: Development of a Water Hydraulic Servovalve, Jpn. Soc. Mech. Engrs, International Journal, Ser.B, Vol. 41, No. 2, p. 286-294 (1998)
- 4) Yoshida, F. and Miyakawa, S.: Characteristics of Proportional Control Valve Using Tap Water, Proc. Seventh International Fluid Power Conf., Group H, Aachen, Germany, p. 445-456 (2010)
- 5) Suzuki, K., Akazawa, S. and Nakao, Y.: Development of cam-drive type proportional valve for water hydraulics, International Journal of Automation Technology, Vol. 6, No. 4, p. 450-456 (2012)
- 6) 野上忠彦,中村一郎,貞森博之,下釜宏徳,佐藤博之: 直動形ロータリサーボ弁の開発(第1報,ロータリサー ボ弁の構造と特性), 日本機械学会論文集C編, Vol. 61, No. 584, p. 1431-1436 (1995)
- 7) 鈴木健児:低コストを志向した水圧用ロータリー型サー ボ弁の静特性解析、日本フルードパワーシステム学会 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 (鹿児島市), p. 104-106 (2015)

(原稿受付:2018年10月4日)

解説

小型スマート油圧アクチュエータ



1. はじめに

1950年William C. Moog氏により開発されたノズ ルフラッパタイプのサーボ弁(図1)は、その後現 在のサーボ弁と同様な形となり、50年以上経った 現在でも基本的な原理は変わらず、さまざまな分野 で活躍している.



図1 1950年のサーボ弁とUS特許書類

過去20年ほどの間に電動モータ・電動アクチュ エータの参入により、装置の中で油圧=高出力・大 型、電動=低~中出力・小型というような棲み分け ができた印象を受ける.

しかしながら、近年、さまざまな用途の自動化の 中で、電動ではサイズに対する出力不足や、耐環境 性能の問題から、油圧のもつ「高パワー密度」、「耐 環境性」および「しなやかな力・トルク特性」を備

えた小型の油圧制御製品の需要が増加してきている. そのような状況の中,数年前,イタリアの研究機 関から、4足モビリティロボットの足関節向けの 「小型スマート油圧アクチュエータ」の開発の依頼 を受け、金属プリンタで成形された小型軽量ボディ に, 小型サーボ弁, 油圧シリンダ, 位置・圧力セン サ及び通信機能を持つ制御基板が1つになった電動 油圧式スマートアクチュエータ「ISA(インテグ レーテッド・スマート・アクチュエータ)」(図2) を完成させた.

(直訳すると、「(多機能が) 統合されたスマート なアクチュエータ」という意味である.)



図2 インテグレーテッド・スマート・アクチュエータ

ISAの特長

・ピストン径:21.5mm

・ロッド径:12mm

・ストローク長:100mm

・最大出力: 7.500N@21MPa

・最大速度@66%最大出力時:264mm/sec

·全長(最縮時取付間長):295mm

本体金属素材:チタン

・質量:1.6kg

・通信:CANopenまたはEtherCAT

「スマート」と呼ぶ最大の理由は、内蔵された位 置センサ, 圧力センサおよび制御基板により, ク ローズドループ制御を内部で構築でき、さらにCAN openまたはEtherCATによる上位コントローラとの リアルタイム通信機能を備えているからである.油 圧アクチュエータの制御システムに必要となるサー ボ弁、油圧シリンダ、センサおよび制御装置を小型 なボディにすべて内蔵し、上位コントローラとの通 信により、アクチュエータの制御や内部パラメータ の設定が可能な小型でスマートな油圧アクチュエー タである.

本稿では、このような「小型スマート油圧アク チュエータ」が開発可能になった背景と現在の課題、 そして将来の展望を紹介する.

2. スマート油圧アクチュエータ誕生の背景

前述の「ISA(インテグレーテッド・スマート・ アクチュエータ)」のような小型スマート油圧アク チュエータが開発可能になるためには、構成部品の 技術的な進歩が必要であった. それら主な構成部品 や技術的な要素は、サーボ弁、制御基板・センサ、 3D金属プリンタ加工技術および産業用イーサネッ ト通信である(図3).

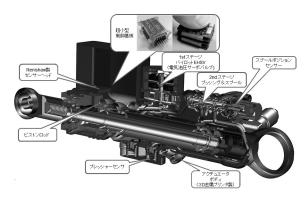


図3 プロトタイプの断面図

2.1 超小型油圧サーボ弁

サーボ弁が、航空宇宙業界での需要から、飛行機、 ロケットおよび人工衛星に装備されるために、堅牢 性・信頼性を保ちつつ、小型・軽量を求められるよ うになり、小型の油圧サーボ弁が開発された.

その後,「地上の戦闘機」とも比喩されるF1カー に搭載されるために, さらなる小型軽量化に加え, エンドキャップを保持するねじが200℃の局部温度 に耐えるようにアップグレードされた、耐高熱の超 小型油圧サーボ弁が開発された(図4).

2.2 制御基板・センサの小型化

半導体業界で有名な「ムーアの法則」に則って、 半導体の微細化技術が急成長を遂げ、表面実装技術 の進化により、ICチップの小型化、小型実装基板、 小型センサの製造が可能になった.

制御基板や各種センサは、スマホやウェアラブル 端末、車載部品の小型化のトレンドにより、小型部 品の選択肢が大きく広がり入手も容易になった.



図4 F1用超小型サーボ弁

2.3 金属3Dプリンタ技術

もっとも重要な課題であった複雑な構造のアク チュエータ本体を製造する技術は、ここ数年で一般 的になった金属3Dプリンタ技術があって初めて実 現可能になった.

金型鋳造,溶接加工や削り出し加工では,これま でには絶対に製作不可能だった複雑な内部構造を持 つ製品も製造できるようになった.

このような加工法を、Additive Manufacturing (付加製造)技術と呼ぶ(図5).

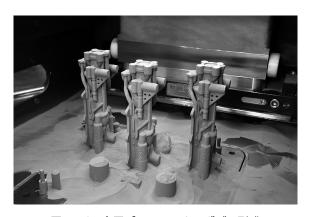


図5 3D金属プリンタによるボディ形成

2.4 産業用イーサネット通信

2007年頃から産業用イーサネット通信規格が同 時多発的に誕生した. イーサネットを使用すること により最高100mbpsの高速通信が可能となり、そ れらのオープンネットワーク通信規格が、10年以 上経ち,多くのユーザに普及し一般化した.産業用 イーサネット通信により、センサからのフィード バックやコマンド指令および軸間同期速度が、飛躍 的に高速化し、上位コントローラからの多軸制御も 容易になった.

3. 現在の課題

長い間アナログ制御のイメージのあった油圧アク チュエータであったが、このように、市場や開発者 の需要と構成部品の技術的進歩により、自立ロボッ トの駆動にも使用可能なほど「小型」で「スマー ト」な油圧アクチュエータが開発可能となった.

しかしながら、まだ誕生したばかりの新たな製品 であるため、いくつかの課題が残されている.

3.1 ハード面の課題

スマート油圧アクチュエータを限られたスペース に搭載しなければならない場合、筐体の小型化のた めに3D金属プリンタを使用した付加製造が必要に なる. 現在の金属3Dプリンタ装置では、まだまだ 量産に必要な生産能力の確保が難しい. さらに金属 3Dプリント加工できる筐体のサイズも300mm以下 というレベルになっている.

さらに、油圧アクチュエータは小型・スマートに なったとしても、電源・ポンプ・タンクを含む油圧 ポンプユニットの小型・スマート化が実現していな い. これにより、小型スマート油圧アクチュエータ 製品を使用・評価したいと考える新規油圧ユーザの 参入のハードルを上げている.

3.2 ソフト面の課題

前述した産業用イーサネット通信であるが、いく つかのメジャーな通信規格があり、同じ通信規格を 介して、他社製品と通信が可能となるはずである. しかしながら、このような新しい製品の場合は、同 一通信規格の他社スレーブ製品やマスターコント ローラとの相互運用性(インターオペラビリティ) の確認が必要になる.

また、現在、電動制御を使用しているユーザが、 電動アクチュエータではどうしてもカバーできない 限られたサイズでの高密度パワーを求め、スマート 油圧アクチュエータのような製品を探しているが、 そういった開発設計者達への、製品の認知度の向上 と、油圧制御製品の選定・設置・操作方法の教育が 必要とされる.

4. 将来の展望

まだまだ発展途上な製品カテゴリーである「小型 スマート油圧アクチュエータ」だが、現在抱えてい るハード・ソフト面の課題は、近い将来、間違いな くクリアされるだろう.

そして「小型スマート油圧アクチュエータ」が, ユーザーフレンドリーな製品になれば、新規ユーザ 層の拡大が見込まれる.

ターゲット市場として、モビリティ、医療・介護、 レスキューなどのロボットアプリケーション用途で の需要が高まると予想する.

それらのロボット用途では、油圧制御のみではな く、電動制御との同一システムでの同期制御も可能 となるはずである.

そのような使用が可能になれば、独立したロボッ ト用途だけではなく,現在の産業界の流れであるス マートファクトリーやコネクテッド・インダスト リーといった生産ラインや設備の中への利用も可能 になると考える.

5. おわりに

本稿で紹介したような油圧製品のトレンドが、新 たな市場や用途を作り出し、油圧業界を発展させて いくと期待している.

(原稿受付:2018年8月22日)



マイクロ流体制御バルブ

者 紹 介



田 和 弘 一

東京工業大学科学技術創成研究院未来産業技術研究所 〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-R2-42 E-mail: yoshida@pi.titech.ac.jp

1989年東京工業大学大学院博士課程修了,同大学助手,助教授(准教授)を経て2015年4月教授、2008年10月~2009年3月米国UCSB客員 研究員, 2015年7月〜9月米国MIT客員研究員 流体マイクロロボット, 機能性流体の研究に行 機能性流体の研究に従 JFPS, JSME, IEEEなどの会員.

1. まえがき

フルードパワーはマイクロサイズでも高パワー密 度であり1),マイクロフルードパワーシステムは, 細い管内などの狭隘な空間でパワーを要する作業を 行うマイクロロボットなどに応用することができる. マイクロフルードパワーシステムでサーボ機構を構 築するためにはマイクロ流体制御バルブが必要であ るが、大きな力を高応答で発生できる圧電材料、電 界で粘度を制御できるERF(Electro-Rheological Fluid. 電気粘性流体) などの機能性材料を用いると, 高機能なデバイスを実現することができる.

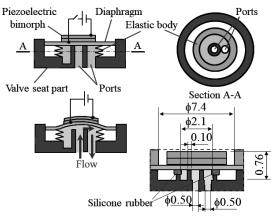
本稿では、マイクロ流体制御バルブの研究事例と して、著者らのいくつかの研究を紹介する.

2. 圧電バイモルフを応用したマイクロバルブ²⁾

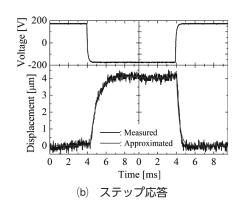
圧電バイモルフは、電界印加で変位し大きな力を 高応答で発生できる圧電材料の薄板2枚を貼り合わ せたもので、大きな屈曲変位を得ることができる.

著者らは、交流圧力源による往復流をマイクロバ ルブで整流する構造で、配管が少ない複数マイクロ アクチュエータシステムを提案しており²⁾³⁾, その変 位分解能を高めるため、円板形圧電バイモルフを用 いた高応答マイクロバルブを提案, 開発している20.

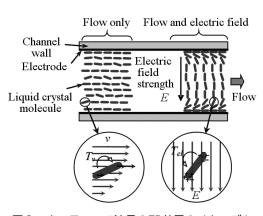
図1に、提案するマイクロバルブの概要を示す. 円板形圧電バイモルフを接着したダイアフラムのた わみで弁の開閉を行うもので、円環形の弾性体によ りポートの周囲を囲い、受圧面積を小さくし、圧力 によるダイアフラムの変位を抑制している. 直径 7.4mm, 厚さ0.76mmの稼働部を有する試作バルブに ついて,変位のステップ応答を空気中で測定し,バ ンド幅が220Hz以上であることを確認している.



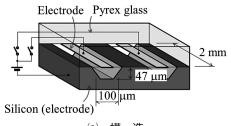
(a) 構造およびサイズ



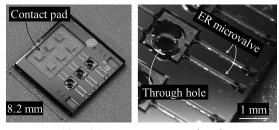
圧電バイモルフを用いたマイクロバルブ



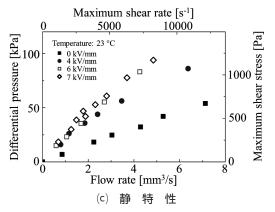
ネマティック液晶のER効果のメカニズム



構造



試作したERマイクロバルブ



シリコンERマイクロバルブ

3. ERFを応用したマイクロバルブ

3.1 シリコン製ERマイクロバルブ³⁾

図2に、均一系ERFの1種であるネマティック液 晶のER効果のメカニズムを示す. ネマティック液 晶は棒状の分子から成り、電界を印加したとき、液 晶分子が配向して抵抗が増加し、見かけの粘度が上 昇するER効果を生じる⁴⁾.

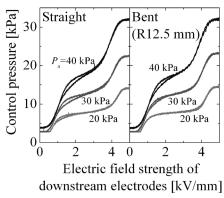
図2の電極対は、液晶の流れを電圧で制御するバ ルブとして機能する. このようなERバルブは可動 部のない非常にシンプルな構造であり, MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術で製作す ることができる.

図3(a)(b)に、交流圧力源システムのためMEMS技 術を用いて試作したERマイクロバルブを示す.流 路は,長さ2㎜,幅0.1㎜,高さ(電極間隔)47μ㎜ であり, 異方性エッチングにより高精度に溝を形成 したシリコン基板と、スパッタにより薄膜電極を形 成したパイレックスガラスを陽極接合して製作して いる. 図3(c)に静特性を示す. ERFは電圧無印加時





(a) 試作したC-FERV



(b) 静 特 性

カンチレバー形フレキシブルERマイクロバルブ (C-FERV)

の基底粘度が103mPa·sと本稿の他のデバイスに比 べ5倍以上高いものを使用している. 電圧により粘 度が3.3倍に上昇し、バルブとして機能することを 確認している.バンド幅は10Hz以上である.

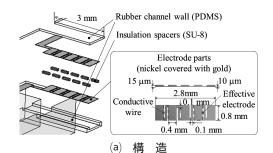
3.2 カンチレバー形フレキシブルERマイクロバル ブ (C-FERV)5)

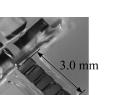
近年関心が高いソフトアクチュエータは流体駆動 が多く、ERバルブの応用は有望である.しかし、 ERバルブの流路幅が小さいと側面の摩擦力が相対 的に大きいためER効果が低下し、流路高さが小さ いと応答性が低下する4). したがって、制御圧力の 変化幅を大きくとるためには流路長が必要で、著者 らはフレキシブルERマイクロバルブ (Flexibel ER microValve. FERV) を提案している.

図4は、薄く長いカンチレバー構造と、フォトリ ソグラフィに用いる樹脂材料SU-8を用いたカンチ レバー形FERV (Cantilever type FERV: C-FERV) を示す. 電極をマスクとして用いたMEMSプロセス を提案, 開発し, 長さ5㎜, 幅0.6㎜, 高さ(電極 間隔) 0.1mmの流路2本を有するC-FERVの試作に成 功している. 図4(b)に示すように、真直および屈曲 状態で圧力制御できることを確認している.

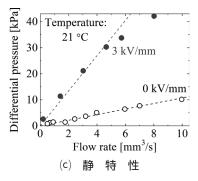
3.3 電極分割形フレキシブルERマイクロバルブ (DE-FERV)⁶⁾

マイクロフィンガに組み込むため、図5(a)に示す ように、電極を軸方向に分割して柔軟なチューブで 接続した電極分割形FERV(Divided Electrode type FERV: DE-FERV) を提案し、MEMS技術を用いて





試作したDE-FERV



MEMS技術を用いたDE-FERV

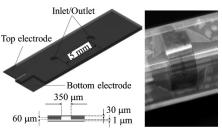
開発している. 流路は, 長さ2.8mm, 幅0.8mm, 高さ (電極間隔) 0.1mmである. 分割した厚い有効電極と 薄い配線部を一体化した電極部品を製作するため. フォトレジストを型とした電鋳加工を2回重ねるプ ロセスを提案, 開発し, 図5(b)のようなデバイスの 試作に成功している. 図5(c)に示すように、電圧に より有効電極において粘度が6.3倍上昇することを 示し、十分な弁制御特性を確認している.

3.4 導電性高分子材料を用いたフレキシブルERマ イクロバルブ (CP-FERV)⁷⁾

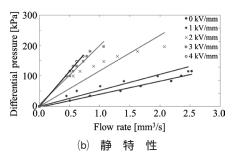
図6(a)に示す導電性高分子PEDOT: PSSを電極材料 とした導電性高分子形FERV (Conducive Polymer type FERV: CP-FERV) を提案, 開発している. 流路は, 長 さ5mm,幅0.35mm,高さ(電極間隔)60μmである. UV硬化性PEDOT: PSSを電極材料, SU-8を構造材と し、フォトリソグラフィ技術で試作に成功している. 図6(b)に示すように、電圧による粘度変化5.4倍が得 られることを示し、十分な弁制御特性を確認している.

4. あとがき

本稿では、マイクロフルードパワーシステムで サーボ機構を構築するために必要なマイクロ流体制



(a) 試作したCP-FERV



導電性高分子を用いたフレキシブルER 図6 マイクロバルブ (CP-FERV)

御バルブとして、著者らの研究事例を紹介した、読 者の参考になれば、幸いである.

参考文献

- 1) 吉田和弘, 横田眞一:流体パワーを用いたマイクロア クチュエータに関する研究(第1報 微小化に適した アクチュエータ方式の検討と管内走行機械への応用), 油圧と空気圧, Vol. 25, No. 2, p. 281-288(1994)
- 2) Yoshida, K., Yamamoto, S., Eom, S.I., Yokota, S.: A Multiple-Microactuator System Using a High-Frequency Pressure Source, Sensors and Materials, Vol. 27, No, 4, p. 317-328 (2015)
- 3) Miyoshi, M., Yoshida, K., Kim, J.-W., Eom, S.I., Yokota, S.: An MEMS-Based Multiple Electro-Rheological Bending Actuator System with an Alternating Pressure Source, Sensors and Actuators A, Vol. 245, p. 68-75 (2016)
- 4) De Volder, M., Yoshida, K., Yokota, S., Reynaerts, D.: The Use of Liquid Crystals as Electrorheological Fluids in Microsystems: Model and Measurements, J. of Micromechanics and Microengineering, Vol. 16, No. 3, p. 612-619 (2006)
- 5) Kim, J.-W., Yoshida, K., Kouda, K., Yokota, S.: A Flexible Electro-Rheological Microvalve (FERV) Based on SU-8 Cantilever Structures and Its Application to Microactuators, Sensors and Actuators A, Vol. 156, p. 366-372 (2009)
- 6) Yoshida, K., Tsukamoto, N., Kim, J.-W., Yokota, S.: A Study on a Soft Microgripper Using MEMS-Based Divided Electrode Type Flexible Electro-Rheological Valves, Mechatronics, Vol. 29, p. 103-109 (2014)
- 7) Sudhawiyangkul, T., Yoshida, K. Eom, S.I., Kim, J.-W.: A Fabrication Process of Flexible Electro-Rheological Microvalve (FERV) Using UV-Curable PEDOT: PSS Electrodes,機学第18回機素潤滑設計部門講演会講論集, p. 181-182 (2018)

(原稿受付:2018年8月17日)

会議報告

ROBOMECH2018におけるフルードパワー技術研究の動向

者紹介



中

法政大学デザイン工学部 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町2-33 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 士課程修了, その後, 東工大精密工学研究所 1500年 修士課程修了,その後、東上人相立上 助手を経て,1991年法政大学講師,1992年同助 動手を経て,1991年法政大学講師,1992年同助 7教育研究センター所長を兼務. 工学 博士 (1991年東京工業大学)

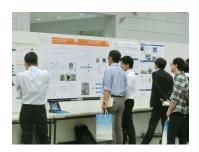
1. はじめに

ロボティクス・メカトロニクス講演会2018 (2018 JSME Conference on Robotics and Mechatronics; ROBOMECH2018 Kitakyushu)は日本機械学会のロ ボティクス・メカトロニクス部門の主催により、 2018年6月2日(土)から6月5日(火)まで、北 九州市の北九州国際コンベンションゾーンを講演メ イン会場にして開催された. 本講演会はすべての発 表がポスターセッションで行われる国内最大規模の 講演会である.今回のテーマは「地方から創生する ロボティクス・メカトロニクス | で、1.312件のポ スター講演(講演論文)のほか,地域交流ワーク ショップ「地域の課題への挑戦」など、ロボット産 業が主要産業の1つで国家戦略特区にも指定されて いる北九州市ならではのさまざまな行事が企画され、 1,800名以上の参加者があったとのことである。 写 真1にポスターセッションの様子を示す.

2. 研究発表の動向

表1に分野別のセッション数と代表的なオーガナ イズド・セッション名を示す。フルードパワー・ロ ボティクスのセッションをはじめ、13分野全体で 78セッションが企画された.

手元の抄録集および講演論文が収録されたDVD を基にした著者の分析によれば、全体の講演の中で 油圧・空気圧などのフルードパワーに関連する発表 として60件が確認された.表2にオーガナイズド・



ポスターセッションの様子

分野別セッション数および代表的なオーガナイズド・ セッション名

分野名	セッション 数	代表的なセッション名
ロボメカにおける基盤制御技術	9	フルードパワーロボティクス
移動ロボット	8	脚移動ロボット
人間および生物規範	8	バイオミメティクス・バイオメカトロニクス
人間協調・共存システム	8	ウェアラブルロボティクス
ロボメカ技術の応用システム	7	建設&インフラ用ロボット・メカトロニクス
感覚と計測	7	ハプティクスインタフェース
屋外環境でのロボメカ技術	6	サーチ&レスキューロボット・メカトロニクス
ナノ・マイクロシステム	6	マイクロロボット. マイクロマシン
医療・福祉システム	5	福祉ロボティクス・メカトロニクス
機構と制御	5	フレキシブル/ソフトロボティクス
ロボットシステムのための環境	4	ネットワークロボティクス
ストラテジックセッション	4	ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジ
ロボメカを使った教育	2	ロボカップ・ロボットコンテスト

表2 フルードパワー関連のセッション名と論文数

オーガナイズド・セッション名	件数
フルードパワーロボティクス	11
フレキシブル/ソフトロボティクス	10
アクチュエータの機構と制御	8
建設&インフラ用ロボット・メカトロニクス	6
ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジ	6
ウェアラブルロボティクス	4
福祉ロボティクス・メカトロニクス	3
筋骨格モデリングとアプリケーション	2
スポーツ工学とロボティクス・メカトロニクス	2
エコ・グリーンメカトロニクス	1
サーチ&レスキューロボット・メカトロニクス	1
アミューズメント・エンタティナーロボット	1
バイオミメティックス・バイオメカトロニクス	1
脚移動ロボット	1
ハプティックインタフェース	1
マイクロロボット・マイクロマシン	1
バイオマニピュレーション	1
合計	60

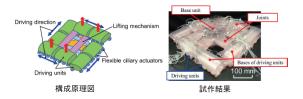
セッション別の発表件数を示す. 最近話題のソフト ロボティクス関連のセッションにフルードパワー. 特に空気圧を用いた応用研究が多い。一方、建設機 械関連のセッションや災害関連タフロボティクスの セッションでは油圧関連の研究発表が多かった.

3. 研究発表の紹介

ここでは、フルードパワーに関連したいくつかの 興味ある発表論文を紹介する.

安原ら¹⁾は、布製の柔軟な空気圧ソフトアクチュ エータを利用した動作支援装置を開発し、上体の傾 きによりアクチュエータのアシスト率を決定する簡 易モデルを構築し、筋雷位信号に基づく支援効果の 検証結果について報告した.

篠崎ら²⁾は、ミミズやイソギンチャク等の生物に 見られる水力学的骨格を利用した柔軟な全方向移動 ロボットの試作結果について報告している. 図1に 移動ロボットの原理図と試作結果を示す. 提案試作 したロボットは狭隘空間の移動に適し, 動作実験で は全方向移動とその場での旋回が可能であることが 示された.



柔軟繊毛全方向移動ロボット 図 1

井口ら3)は、3Dプリンタで製作した複数のモ ジュールを組合わせた面状の柔軟変形移動体を試作 し、空気圧を用いて屈曲動作を周期的に行うことで 進行波を形成し、任意の方向に移動可能な事を検証 実験により示した.

日原ら⁴⁾は、図2に示すベローズとワイヤ、スラ イドする弁体で構成された関節機構により、柔軟な 三次元屈曲動作が可能なマニピュレータと推進機構 を提案した.

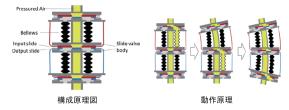


図2 流体駆動柔軟マニピュレータ

豊田ら5)は、図3に示す構造を有するマイクロポ ンプを提案し、先端径が0.2 mm程度のヤマトヒメミ

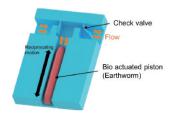


図3 バイオアクチュエータ駆動ピストン型 マイクロポンプ

ミズをシリンダの代わりに駆動用バイオアクチュ エータに用いて、流体駆動ができることを示した.

大塚ら60は、内部の空気を排出すると身体に沿う ように変形固化する柔軟な機械要素を提案試作し, この機械要素を用いた身体拘束具の開発結果とその 特性を示している.

内閣府委託の革新的研究開発プログラム (ImPACT) のタフ・ロボティクス・チャレンジで は多くの油圧要素や油圧駆動ロボットシステムが開 発され、その成果が報告された. 吉灘ら⁷⁾は、図 4 に示す二重旋回複腕建設ロボットのプロトタイプ機 によるフィールド評価実験結果を報告した. また荒 木ら8)は、この建設機械モデルを対象に、各関節シ リンダ圧に基づいて手先負荷衝撃力を推定し、操縦 者側に力覚をフィードバックした実験結果を報告し た. 井出らは⁹⁾ImPACTで作業ロボットのエンドエ フェクタとして開発された油圧多指ロボットハンド を単腕建機ロボットのアームに装着し、さまざまな 物体把持の評価実験結果について報告した. 森田 ら¹⁰⁾は、ImPACTで開発された油圧駆動マッキベン 型人工筋を4本組合わせて配置して3自由度手首機 構を構成し、理論モデルと測定結果を比較して、そ の特性を明らかにした. 尾崎ら¹¹⁾は, ImPACTで開 発した圧電素子を用いた三方弁を試作し、振動周波 数を変更することで2組の制御弁として駆動でき, 印加電圧を変化させることで連続的に流量を変動さ せることができることを示した.

小林ら12)は、せん断速度の増加に伴ない粘性が増 加するダイラタント流体の特性を用いて、図5に示 す生物の水中推進機構を模した繊維複合粘弾性フィ ンを提案試作し、繊維の方向に依存する流体中の推



二重旋回・複腕建設ロボット

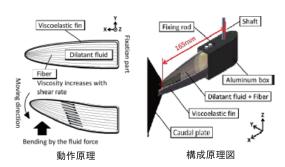


図5 ダイラタント流体を封入した繊維複合粘弾性フィン

進力の違いを明らかにした.

奥井ら13)は、高圧小流量と低圧大流量の空気圧源 を組合せ、必要に応じて両者を切り替えることで圧 力供給を行うハイブリッド空気圧源を提案し、高圧 空気圧源には液化二酸化炭素、低圧空気圧源にはジ メチルエーテルの気液相変化を用いた図6に示す携 帯型空気圧源を試作し,空気圧駆動アシスト装置に 適用した実験結果を報告した.





構成図

試作機外観

図6 ハイブリッド型携帯空気圧源

石井ら14)は、競泳のドルフィンキックの特性を詳 細に検討するために、柔軟な脊椎と大きな関節トル クを持つ人サイズの空気圧駆動筋骨格ロボットを開 発し、水中評価試験を行った結果について紹介した.

4. おわりに

本講演会ではフルードパワーの特長を活かした多

くのロボットやメカトロニクスシステムへの応用事 例を見ることができた.

来年のROBOMECH2019は2019年6月5日~8日 まで広島国際会議場で開催される予定である.

参考文献

- 1) 安原, 佐々木, 他3名, 布製空圧アクチュエータを用 いた腰用ウェアラブル動作支援装置のセンサレス力制 御, No. 18-2 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018講演論文集 (誌名は以下すべて同じ), 1P1-C18.
- 2) 篠崎, 伊能, 木村, 水力学的骨格を利用した柔軟繊毛 全方向移動ロボット, 1P1-G10
- 3) 井口, 岩谷, 青木, 空気圧を用いた柔軟変形移動体の 開発, 1P1-G12
- 4) 日原, 伊達, 大矢, 曲率微分制御による流体駆動柔軟 マニピュレータ, 1P1-H09
- 5) 豊田, 上杉, 森嶋, チューブ型生物を用いたバイオア クチュエータによるピストン型マイクロポンプの作製, 1P1-K12
- 6) 大塚, 満田, 真空圧により形状と剛性が変化する機械 要素を用いた身体拘束具の開発, 1P2-I07
- 7) 吉灘,他5名,ImPACTタフ・ロボティクス・チャレ ンジ(TRC)建設ロボット一二重旋回・複腕モデルに よるフィールド評価実験―, 2A1-J02
- 8) 荒木, 他6名, 災害対応油圧駆動ロボットの高臨場感 遠隔操縦のための手先負荷推力推定, 2A1-J05
- 9) 井出,他4名,油圧タフ多指ロボットハンドの評価実験, 2P1-L01
- 10) 森田, 他3名, 油圧人工筋による高トルク・可変コン プライアンス3自由度手首機構, 2P1-L02
- 11) 尾崎, 他8名, 単一の圧電振動子により駆動する微粒 子励振型三方弁の試作, 2P1-M02
- 12) 小林, 杉山, ダイラタント流体を封入した繊維複合粘 弾性フィンによる生物規範型水中推進機構―静止流体 中における推力特性一, 2P1-F08
- 13) 奥井, 山田, 中村, 空気圧駆動ウェアラブルアシスト システムのためのハイブリッド型携帯空気圧源の開発, 2P1-H16
- 14) 石井, 他3名, ドルフィンキック研究のための空気圧 駆動筋骨格ヒューマノイドの開発, 2P2-F09

(原稿受付:2018年8月17日)

「トピックス)

オーストラリア(ブリスベン)駐在日記

者 紹 介



藤

Hitachi Construction Machinery Co.,LTD. 〒300-0013 茨城県土浦市神立町650 E-mail: s.saitou.ix@hitachi-kenki.com

2005年武蔵工業大学機械システム工学科博士 前期課程修了,同年日立製作所機械研究所に入 社,2012年日立建機へ異動,2013年同社オース ラリア支社に出向, 2016年帰任, 現在に至る. 鉱山用超大型ダンフ クの自律走行開発に 日本自動車技術会会員

1. はじめに

2013年4月から3年半の間、オーストラリアは ブリスベンに駐在していた(写真1). 知らない土 地でのプロジェクト推進、海外赴任などいずれも初 めてづくしであり、言葉の壁も含め当初は不安も少 なくなかった. しかし得られた経験は私の人生にお いては間違いなく大きな財産となっている.

2. 赴任地について

オーストラリアと言えば鉱業、農業の印象が強い. 鉱業においては、西は鉄鉱石、東は石炭、その他チ タン、金などが採掘され、その国土の広さに比例し て採掘現場も巨大である. 農業においてはさらには 牧畜、畜産、穀物などに分かれやはり日本とは比較 にならないほど広大で、都市部から一時間も郊外に 向かって走れば、地平線まで見える牧歌的な風景が 広がる. 私は、平日は都市部から300キロほど内陸 にある鉱山で屈強なオージー(オーストラリア人の 愛称)たちに囲まれて仕事し、週末になるとまたブ リスベンに戻ってくる生活を送っていた.

ブリスベンは、日本から飛行機で9時間弱、シド ニー,メルボルンに次いでオーストラリア第3の, 人口は100万人ほどの都市である.中心部はブリス ベン川河口付近の蛇行に囲まれ、こぢんまりとまと まっており、都市部の端から端まで徒歩で移動でき るほど.季節の境目では天気予報で「太陽マーク」 「雨マーク」「曇りマーク」のすべてが重なった、要

するに「なんでもあり」を報じる不安定な時期もあ るが, 夏の夜は掛け布団一枚, 冬は長袖一枚で一日 中過ごせる快適さと抜けるような青い空は、筆舌に 尽くしがたい. 日本人はなぜあんな狭く暑苦しい. 寒いところに住んでいるのだろうと常々思うほどで あった. ただ、日差しは強く、皮膚がんに対する国 を挙げての取り組みは、TVCMでも頻繁にみられる し、日焼け止めの商品も種類が多い、皮膚がんクリ ニックは日本の歯科クリニックさながらに存在し, 紫外線の強さを物語っている.



写真1 ブリスベン都市部

3. オージーの人柄

典型的な自動車社会であり日本ではなかなか見ら れない海外の自動車も多い. 日本車は信頼性が高い せいか、また、全体的にセダンよりも大型車が好ま れる傾向がある. 週末やバカンス時には、SUVに キャンピングカーを括り付け、広い大地の中でビー ルとバーベキュー (BBQ) に浸るのがオージーの決 まった週末の過ごし方である.充電,給水施設が 揃った原っぱが完備されている箇所も国中に点在し ており、各地を旅する間に立ち寄って、一晩同じ趣 味の人々と交流を深める. また, 安定した気候が長 く続くため、カフェやバーには必ずと言っていいほ どテラス席があるし、広い公園の芝には、日光浴を 楽しむ人も多い.

オージーを語る上で重要なのがBBQの存在である. 週末になれば家族や友人と火を囲んで自慢の料理を ふるまう. 公園やアパート等にはコンロがついた BBOエリアが併設されており、誰でも使うことがで きる. キャンプ, BBQ専門店は当たり前のように並 び、製品ラインナップも充実している.

私も負けじとジャパニーズBBQ (?) であるたこ 焼きをふるまった(写真2). 日本からたこ焼き器 を持参し、タネを作って、特徴的な焼き器に流し込 む. その後これまた特徴的な器具でひっくり返す. うまく行くとどっと歓声が沸く. その一部始終を一 緒に楽しんだ. タコは食材としてあまり一般的では ないため、見た目の時点でかなりの抵抗感を示した が、ユニークな作り方とその味に興味を抱いてくれ たことは間違いない.



写真2 焦げたたこ焼きに冷ややかな目線

日本では残業することになんら疑問を持っていな かったが、ここではその働き方に驚かされる、平日 は19:00以降にオフィスに残っているのは日本人 のみ, オージーは定刻で早々に帰宅し, その後は家 族と時間を過ごす。一方朝は7:00前から働いて いる. これは数あるコーヒーショップや. スーパー マーケットなどの商店の営業時間も例にもれず朝も 夜も早い. 金曜日にもなれば、午前中の会議で早々 に切り上げ、昼には白ワイン片手に優雅なランチと しゃれこむビジネスマンも少なくなく、午後にはオ フィスはもぬけの殻になる. 日本では働き方改革が 叫ばれる昨今、このような割り切りは見習うべきだ ろう.

先に記載した通り, ブリスベンはブリスベン川が 大きく蛇行した地域に展開した都市である. この川 の周辺には歩道が整備され、しかも一部区間はまさ に川の上に歩道がある. 土日平日に関わらず, スト リーブリッジ(世界恐慌時の公共事業で建設された

象徴的な橋)を見ながらエクササイズに励む人が多 くみられる. このような日の当たる歩道や公園など では、日本では考えられないような至近距離になか なか大きい野生の動物を見る、いやむしろ触れ合う ことができると言える. あまり警戒心がないのか. こちらから手を差し出すと餌をくれるのかと近寄っ てくる(写真3). これは普段からオージーたちが 「隣人」に気を使っているからに他ならない.



写真3 逃げないゴアナ

4. 食 生 活

人口の比率としては印象として、都市部ではシド ニーよりもアジア人の比率が低いが、郊外にはリト ル上海、リトル東京、リトルホーチミンなどといっ たそれぞれの国々の方々が集中している地域が点在 していた、日本におけるアジア料理よりも「より現 地に近い」ものを堪能できる.

毎週休日になると、一般人が店を開くマーケット が都市部だけでなく郊外でも開かれる(写真4). 大きいものになると数百店舗が立ち並ぶ、各家庭の 手作りしたアクセサリや、家庭菜園の果物や野菜、 服、おもちゃ、帽子などといったものから、ご当地 グルメを提供する出店などが立ち並び、ちょっとし たお祭りの雰囲気である. 私は各地で開催される マーケットそれぞれで必ず販売されている家庭の味 であるジンジャーエールが好きだ. 暑い中回って疲 れたところに、炭酸が弱めだがしょうがの風味は抜 群、甘さ控えめのそれを乾いた喉に流し込む、格別 である.

オーストラリアの食と言えば豊富な野菜や果物は もちろんだが、やっぱり「オージービーフ」であろ う. スーパーマーケットに行くと、業務用さながら の肉の塊が販売されている. これが肉専門店にもな ると、店全体が冷蔵庫になっており、入口でフリー スのジャケットを配られ、それを羽織って入店、と ころせましと並べられた肉を品定めできる. レジの 方へ行くと野菜や、スパイス、ソースといった肉に ベストマッチする調味料、BBQ用品なども並べられ ている. 個人的には量り売りしているビーフジャー キーが好きだ. 日本でよく見るような平たい形では なく、扁平で肉厚、固いが噛むほどに強烈な肉のう まみを感じられる.



写真4 マーケット

国内で有名なステーキレストランはブリスベンだけ でも数か所ある. 「The Worst Vegetarian Restaurant」 などといったキャッチフレーズはいかにもオージー らしい. 牛肉にも旬があり(赴任後に初めて知っ た!) その時期には1kgチャレンジを開催したり, Agedと言って熟成させたものを提供したりと、各 店によって特徴が異なる. 私も周囲のオージーに 「Crazy!」と言われながら 1 kgを完食, その賞とし て壁に名前が掘られている.

5. 飲 生 活

私が住んでいたアパートは過去羊毛を船積みする ための倉庫だったところを改装していた. ブリスベ ン川を利用したフェリーのターミナルが目と鼻の先 にあり、都市部への移動は全く問題にならなかった. オーストラリアの大手であるスーパーマーケットも そばにあり、治安もよい閑静な住宅街だった. 特徴 的なのは、閑静な住宅街なのに、近くにビールの醸 造所が数か所,バーも点在していたこと(写真5). これが私の人生を変えることになる.

オーストラリアでは主にビール、ワイン、ラム酒 が飲まれており、それぞれ非常に有名な醸造所、蒸 留所が点在する。中でもビールの味に心底ほれ込み、 毎週Pub Crawling,要するにハシゴをしていた.各 パブやバーでそこで作っているビールを数杯飲んで は次の店に行く. 昼には各店舗開店するので、朝か ら待ち望んでいた最初の一杯を流し込む. 日本では ラガー系をベースに食事に合わせて味や喉越しを楽 しむが、オーストラリアではビールそのものを楽し む、味や色、風味は千差万別であり、ある店では 30個以上のタップが立ち並び毎週そのラインナッ プが変わるところもあった. 全ビールの種類を飲み つくすことは到底できなかったが、それでもその豊 富な種類と味を、青い空と快適な気候の中で心行く まで堪能し、次週から仕事に打ち込むための充電が できた.

また飲んでいると陽気なオージーが話しかけてく る. 普段より饒舌に英語を話せる自分にもびっくり するが、すぐに友達になり、その後も食事に誘って くれたり、結婚式に呼んでくれたりと、そのオープ ンさは素晴らしい. これも雄大な大地と温暖な気候, そして透き通るような青い空によるものだろうか.



写真5 飲み処●箇所(Google Mapより引用)

6. 最後に

冒頭に記載したように非常に多くを経験でき、自 分の糧とできたこの数年間の機会を与えてくださっ た関係者の方々に感謝の気持ちを伝えたい.

またみなさんにおいても、もしブリスベンへ行く 機会があったら、美しい世界遺産へ足を運ぶのも良 いが、街中を散歩して、現地を感じてみるのもいか がだろうか.

(原稿受付:2018年8月31日)

「トピックス)

学生さんへ, 先輩が語る -空気圧機器メーカーに勤め始めて―

著 者 紹 介



Ш

株式会社コガネイ 〒184-8533 東京都小金井市緑町3-11-28 E-mail: shimogawa@koganei.co.jp

2012年香川高等専門学校卒業,2016年岡山大 学大学院自然科学研究科博士前期課程修了,同 大学院で機械システム工学を専攻.同年株式会 社コガネイに入社し、現在に至る

1. はじめに

1.1 自己紹介

私は香川県の小豆島で生まれ、香川高専、岡山大 学・大学院で機械、制御系の工学を学んだ、大学・ 大学院で所属していた研究室で空気圧関係の研究が あったことがきっかけで一昨年の4月からコガネイ で働き始めた.

1.2 企業紹介

コガネイでは、主力製品である空気圧機器に空気 圧+エレクトロニクスの技術を用いて生産・物流ラ インの自動化・省力化をバックアップし、労働力不 足という日本が抱える問題に取り組んでいる.

1.3 職場でのおすすめスポット

現在, 東京の小金井市にある本社に勤めている. 職場でのおすすめスポットを紹介する. 入社当時驚 いたのは、入り口の門をくぐると視界一面に桜が 入ってくることだ.入社して3年目になるが、また 春になって桜が見られるのが待ち遠しい(写真1).

製品の大半を生産している工場がある長野県駒ヶ 根市の事業所でも桜が社内でたくさん咲き誇る.駒 ケ根市ではアルプスが見られるため、アルプスを背 景に桜を見ることもできる. 弊社では桜の季節にな ると写真撮影している社員の方を見かける. 入社後, 社内を散策し、何があるのか探してみることを楽し んでいる (写真2).

2. 学生時代を振り返って

2.1 学生時代の活動

学生のころは、勉強とは別の何かをやり込みたい



コガネイ本社の桜



写真 2 コガネイ駒ヶ根事業所の桜

と思い、高専在学中はロボットコンテストに取り組 んだ。ロボット製作の経験は皆無の状態で始め、毎 日四苦八苦していた. 当時の同期, 先輩や後輩と切 磋琢磨し, 地区大会で敗退が続いていたが何とか全 国大会に出場することができた. 当時の記憶は今で も残っている.

今, 学生のころを振り返ると空気圧機器との出会 いはこのときから始まっていた. ロボットコンテス トは大会によってルールが異なり、制約条件も多い. ロボットの重量やバッテリーの容量、材料費などが 限られる. 制約条件がある中で, 取扱いが容易かつ 高出力で消費電力の少ない空気圧機器は使うことが 多かった. 特にエアシリンダとバルブは使用頻度が 高かったことを覚えている.

課外活動に取り組む時間が多い学生生活だったが 勉強も頑張り、高専から大学に編入することができ

た. 進学先の岡山大学・大学院の研究室ではゴムを 使った低剛性で安全なデバイスの研究を行っており、 その一部に空気圧を使っている. 当時,機械に使わ れるものは高剛性であることが一般的だと思ってい たため、ゴムや空気圧を使って柔軟性があるものを 作ろうと考えたことがなく、とても感動した.

使い方次第で空気圧はもっと成長できると感じ, 興味を持つようになった. 大学の研究室での経験が 現在、コガネイで働くきっかけになったことは間違 いない.

2.2 学生時代に勉強しておくとよいこと

学生だったころの話を述べてきたが、現在は社会 人になり数年経過した。短い社会人経験だが、学生 のときに勉強しておくとよいこと、しておくべき だったと思ったことがある. 学生さんたちの役に立 てばと思い、話させていただく、

学生のころは自由な時間があり, 遊びたい時期で もある. それでも学生のころから勉強はしっかり取 り組むべきである. 数学などの基礎学力をベースと して、専攻している分野の基礎科目は漏れなく勉強 しておくべきだ. 社会人になって改めて勉強するこ と、新しく勉強することはたくさんあるが、基礎学 力は技術者として働くための基礎になるため重要で ある. 加えて得意な科目を2,3個作る. 社会人に なるまでに得意なことがあれば技術者として働く際 の強みになる.

私自身、不足していたと感じることは日頃の言葉 使い、電話の対応、メールの書き方など、マナーを 身につけることだ. 入社後, 新人研修で学ぶが, 急 にできるものでなく、日頃から習慣にしておかない といざというときにできない. 特に私は配属後の電 話対応が不慣れだった.

昨今の人手不足により, 新入社員に対する期待は どの企業でも大きいと思う. 入社後, 活躍できるよ うになるには何が必要になるのか考えてみてはどう だろうか.

3. 社会人の仕事紹介

3.1 現在の仕事内容/1日のタイムスケジュール

現在, 私はコガネイの開発部門で働いている. 主 な仕事内容は製品開発である. 製品開発といっても 仕事の内容はさまざまである. 新製品の開発から既 に流通している製品の対応、特定ユーザー向けの製 品開発などである. また, 営業からの要望で展示会 の準備に参加し,展示会の説明員として製品の説明 を行ったこともある.

若手社員は仕事を通して色々な製品の知識や経験 を積み、今後の製品開発に役立てる必要がある.

日々の業務で経験することを今後の製品開発のきっ かけにできればと思う.

開発部門での1日のタイムスケジュールを大まか に説明する. 毎朝、始業後に朝礼があり、職場全体 1日の予定を確認する. その際, 職場内に出張や外 出などで不在の方もいるため、自分の予定に加えて 職場の方々の予定も把握しておく. 社内, 社外の方 と連絡する際、メールは必ずと言っていいほど使う ため、毎朝、昼、就業後は必ずメールの有無を確認 する. 返信が必要なものがあれば連絡を入れる.

確認することが終わり次第、その日に決めていた 業務に取り掛かる. デスクで図面を作成したり, 実 験室で製品の性能測定を行ったりする.

3.2 職務遂行で大切にしていること

仕事は始業から終業までの時間と決まっているこ とが学生のころとは大きく異なる、そのため、常に 何をいつまでに終わらせる必要があるか計画するこ とを大切にしている. 大学の研究室に在籍していた 当時, いつも研究室にいてめりはりをつけられず, だらだら活動してしまっていた.

現在は1日、1週間、1ヶ月といった異なる期間 で仕事をどのように進めていくか日程表を作り、計 画している. 計画通り取り組めるように日々努力し, 仕事に遅れが出ないよう気をつけている.

3.3 職場でのコミュニケーション/人間関係

職場でのコミュニケーション、人間関係を良くす ることは仕事する上でとても大切であると日々感じ ている. 弊社は80年以上続いている企業であるため, 経験豊富な先輩社員がたくさんいる. 仕事で分から ないことがあれば先輩方に相談し、豊富な知識や経 験に基づいたアドバイスをいただいている(写真3).



写真3 職場でのやりとり

3.4 職場で使用するおすすめの道具

社会人になり、時間を気にするようになったため、 必ず腕時計をつけるようになった. 学生のころは時 間管理に気をつけていなかったため、時間はわざわ ざ携帯で確認していた. 社会人として働くにように なると移動が多く, 時計がない場所にいることも多 いため、腕時計を見て時間厳守で行動している.

職場では文房具をよく使う、職場で提供される文 房具もあるが、日頃の業務で必ず使うため使い慣れ たものや使いやすいものを選ぶようにしている. 私 の場合、3色ボールペン、蛍光ペン、こすって消せ るボールペンなどをよく使う. 職場の上司に報告書 や図面など資料を確認してもらうとき、1番見ても らいたい箇所にマーキングして、一目で分かるよう に心がけている.

職場のデスクには卓上カレンダーを置くようにし ている. 急な仕事が入ってきたときに予定を確認す る際、カレンダーを見ながら予定を決める. 使用頻 度は多くないがあると便利だと感じることが多い.

使いやすい道具を持っていても使いたいときに見 つからず探していると思いのほか時間を使ってしま う、そのため、よく使う文房具はデスクのペン立て に入れるようにしている. 入社後は新人研修の機械 加工で製作したものを現在も愛用中である(写真4).



写真4 ペン立て (新入社員の研修で製作)

3.5 ライフワークバランス/リフレッシュ

社会人になると学生の頃に比べて, 自由な時間は 減った. 土日が休みの場合, 1日は家で過ごし, 最 低1日は出かけるようにしている。社会人になるタ イミングで上京したため、関東について知らないこ とが多く、職場で教えてもらうことが多々ある. 出 かけるときは関東の旅雑誌から情報収集し、気に なった場所に行くようにしている.

家では実家から届いた野菜でご飯を作り、気分転

換している. また, 地元の食材が欲しいときは都心 のアンテナショップまで食材を買いに出かけること もある. 最近では、地元で買ったオリーブの木を部 屋の中で栽培している. 毎朝の水やりが出勤前の日 課である (写真5).



写真5 栽培中のオリーブ

4. ま と め

4.1 今後の抱負

入社して数年過ぎ、ようやく職場に慣れてきたと 思う、エンジニアとして働いていく上で、私が考え たアイデア、製品でユーザーを満足させられるよう になりたい. 今は職場の先輩方に助けられることが たくさんある. 今後も日々の仕事に精進し、エンジ ニアとして成長することを心がけていく.

学会誌に記事を投稿することが今回初めてであっ た. また別の機会に本誌へ仕事の成果を発表できる ようになれればと思う.

4.2 学生へのメッセージ

学生のときは社会人になって働くことがイメージ しづらい. 入社後は社会人として立ち振る舞いがで きず、大変だ、しかし、分からないことは職場の先 輩方に教えてもらいながら慣れるしかないと私自身 経験している。入社3年目になり、新人が入社して くると職場の方々はどんな人かと興味津々になるこ とが分かるようになった. 新入社員は大変だが、ど んな人でも経験することだと割り切って、明るく元 気に頑張って欲しい.

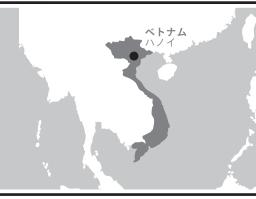
(原稿受付:2018年8月31日)

What do you think of Japan? (Youは日本をどう思う?)

第6回

ベトナムから日本に留学して

著者紹介





HA HUU HUNG

岐阜大学大学院自然科学技術研究科 知能理工学専攻知能機械領域修士課程2年 〒501-1112 岐阜県岐阜市柳戸1-1 E-mail: huuhung2501@gmail.com

2015年3月ベトナムハノイ工科大学機械工学科中退, 2015年4月 2015年3月ペトノムハノイエ科人子機械工学科中處,2015年4月 岐阜大学機械工学科知能機械コース編入,2017年3月岐阜大学機械 工学科知能機械コース卒業,2017年4月岐阜大学大学院工学研究科 知能理工学専攻,知能機械領域博士前期課程に進学,現在に至る、 VRを利用した車椅子訓練シミュレータの開発について研究に従事.

1. はじめに

自己紹介:

私はベトナムの首都であるハノイで生まれ育った. ハノイ工科大学における2年間でメカトロニクスに 関連する専門科目と日本語を学んだ. その後, 日本 留学試験,編入試験,面接試験等に合格し,岐阜大 学に3年次編入生として入学した. 現在は岐阜大学 大学院修士課程で知能理工学を専攻しており, Virtual Reality (VR) を利用した車椅子訓練シミュ レータの開発について研究を行っている.

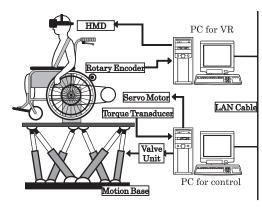
来日の理由:

最先端科学技術や高度情報処理を活用した、人間 の機能と活動を補助し、支援する介護機器に関連す る研究を行いたかったことや、日本人の心や強い絆 に大変関心があったため、日本で学習・研究するこ とを決意した.

現在の所属機関とその研究/仕事内容:

現在、岐阜大学工学部機械工学科知能機械コース の山田宏尚研究室でVRを利用した車椅子訓練シミュ レータの開発について研究を行っている(図1).近 年では、バリアフリー化が進められているが、いま だに十分とは言えず、段差や凸凹道等が車椅子での 移動において大きな障害になっている。それらの障 害を車椅子利用者が介助者無しで通過するためには, 前輪を浮遊させながら移動する「キャスター上げ」 動作を行う必要がある.しかし.「キャスター上げ」 の習得訓練には、失敗による転倒等の危険性や訓練 の長時間化等が問題となっている. そこで, 油圧機 器やサーボモータ等から構成されるシミュレータと, VRの技術を利用することで、安全に短時間で習得で

きる訓練システムを開発した. 卒業研究では, 前後 上下方向の移動やロール、ピッチ、ヨーの角度変化 が可能な6軸揺動装置を導入し、前後方向の加速度 を再現できるシステムを開発した. その結果, 実際 の車椅子の操作感覚に近い効果が得られた. 博士前 期課程では、最新のHMD(ヘッド・マウント・ディ スプレイ)やUnity(2D/3Dゲームや仮想現実を作 るためのソフトウェア)を活用し、より没入感の高 いシステムの開発を行っている. これにより、訓練 者はHMDを用いて、あたかも目の前に現実に近い 仮想空間が感じられ、3D空間を自由に動き回ること によって、より多様な訓練が可能となる.



車椅子シミュレータの装置概要

2. 日本の印象

来日直後の第一印象

来日直後の日本の第一印象は?:

来日直後は空気が非常に新鮮で、日本人は人懐っ こいという第一印象を持った. また, 日本は治安が 良く、どこにでもハイテクな製品が整っており、伝 統とモダニズムとの素晴らしい融合や調和のとれた 環境に好印象を持った.

2.2 研究室に関して

日本人の考え方や働き方で驚いたこと:

山田宏尚研究室(写真1)に配属された際に、同 級生や先輩方は非常に勤勉に研究や仕事等に取り組 むこと、何事にも要領が良く、取り掛かりが早いこ とに驚いた.

日本に滞在中に自分が最も変わった点は?:

日本に憧れてきた色々な外国人留学生が数多く, 彼らと一緒に国際交流活動に参加し、さまざまな国の 風習や文化を理解し貴重な経験を積んだ. 広い視野 を養って、毎日勉強になり世界の広さをさらに悟った.



写真 1 研究室全員(2列目の右から3番目が筆者)

2.3 生活に関して

日本の生活で困ったことは?:

留学する以前には滅多に家事をやらなかった. 何 でもかんでも母に手伝ってもらい、自立性を持たな かったため、日本での一人暮らしに大変苦労した. 特に、料理を作ることが困難であった。最初の頃は 学業が多忙で外食がほとんどであったが、出費が多 く貯金が減ったため、自炊を始めた、ところが、そ もそも料理が苦手だったため、当時はとにかく手間 がかかる料理を作らなかった。また、栄養バランス のとり方もわからなかったため、毎日同じものを食 べていた. しかし最近になって,「健康が何より」 ということを意識し始めたため、毎日栄養豊富な食 事を心がけている.

日本の生活でよかったことは?:

日本での生活はとにかく便利で暮らしやすいと思



写真 2 東京ディズニーシーの記念撮影

う(写真2).具体的には,ほぼどこにでも24時間 営業のコンビニエンスストアがあり、食品以外でも 日常生活で最低限必要なものも扱われているため, 非常に便利である. 交通機関も整っており, 万一電 車等が遅れても、遅延証明書が発行されるため、安 心である.

最も興味ある日本の文化:

日本の伝統文化に関する課外活動に積極的に参加 し、日本伝統の武芸である剣道や茶道等に触れること ができた. 特に、最も興味あるのは剣道である. 日本 の剣道においては、母国の戦闘手段である剣術とは違 い、己の精神を鍛えることも目的であるということが わかった.これらの伝統的文化交流活動を通じて,日 本の事をより深く学ぶことができ、母国ではあまり馴 染みのない「和」の心を肌で感じることができた.



写真3 両親と研究室の友達と一緒にベトナム旅行 (左端が筆者)

3. 抱負と日本の方々へのメッセージ

今後はどんな予定? 出身国に戻るのはいつ?:

5月に日本での就職活動が終わり、修士課程修了 後は、日本の企業でしばらく働く予定である. 帰国 の時期は未定であるが、日本滞在中に色々なことに 挑戦したい. 日本で学んだことや蓄積した経験を活 かし、日本とベトナムの架け橋となり、両国の親交 を深めたいと考えている.

日本人へのメッセージ:

日本に3年以上在住して, 仕事に励む日本人の勤 勉さや忍耐強さを肌で感じた. 逆境を跳ね返す力を 持った日本人は仕事に対して大きな成果を出し続け, 現在の日本を支えている.しかし、仕事に熱心なあ まり、ワーク・ライフ・バランスが心配である. 仕 事は大事だと思うが,「健康が何より」ということ を意識していただければと思う(写真3).

(原稿受付:2018年8月10日)

研究室紹介

慶應義塾大学 竹村研究室紹介

著 者 紹 介



慶應義塾大学大学院 〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1 E-mail: paka-miyu@jkeio.jp

2017年慶應義塾大学理工学部機械工学科卒業,同年同大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻応用力学・計算力学専修入学. _研究室では, ヒトの触感のセンシングに関する研究に従事

1. はじめに

慶應義塾大学理工学部の前身は1939年に創設さ れた藤原工業大学です. 当初,機械工学科,電気工 学科, 応用化学科の3学科でスタートした藤原工業 大学は1944年に慶應義塾に寄付され,慶應義塾大 学工学部が誕生しました. その後, 1981年に理学 系3学科を加えて理工学部となり、現在では11学 科から構成されています. 当研究室が所属する機械 工学科は1学年140名程で、卒業後は7~8割の学 生が大学院へと進学しています.

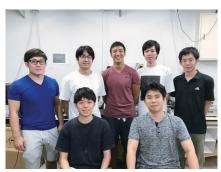
2. 研究室の概要

当研究室では超音波振動や機能性流体を利用した アクチュエータ技術を基盤とし, こうした技術の強 みを生かしたアプリケーションを研究しています. 応用分野は多岐に渡りますが、生物や人との関わり を持った機械システムの研究に特に力を注いでいま す. そのため、生体分野に精通する他研究室や他学 部との連携を積極的に行い、分野の枠にとらわれな い研究を行っていることも特徴のひとつです。学生 らは研究テーマに基づき触覚班、細胞班、メカトロ 班のいずれかに所属し、日々研究を行っています (図1). 10周年を迎えた平成30年度の研究室の構 成メンバーは、大学院博士課程2年生:1名、大学 院修士課程2年生:7名,大学院修士課程1年生: 4名、学部4年生:7名の計18名となっています。

学生らの定期的な研究報告の場として, 毎週行わ れるゼミのほか、各々が所属する班ごとに行われる



(a) 触覚班メンバー



細胞班メンバー



(c) メカトロ班メンバー

図1 研究室のメンバー (平成30年度)

グループミーティングがあります(図2). さらに 当研究室は学生らがいる部屋と竹村先生のいらっ しゃる部屋が通り抜けられるようになっているため、 研究内容についてすぐに先生に報告、相談ができる 隔たりの無い環境となっています.

学生らが企画し実施する研究室行事として主に, 歓送迎会, BBQ (図3), OB会, 夏の合宿, 忘年会 などがあります. これらの定期的な行事を通して学 年, 立場を越えた, 研究室内の親睦を深めています.



グループミーティングの様子



図3 BBQの様子

3. 研究テーマについて

先述したように、当研究室で扱っている研究テー マは大きく触覚、細胞、メカトロニクスの3つに分 けられます. 以下に各分野について詳しく紹介します.

3.1 触 覚

「つるつる」「ざらざら」といった触覚情報はモノ の価値を決める重要な指標の1つです. こうした触 覚情報は, 人の指腹部に存在する機械受容器と呼ば れる受容器が、モノを触察した際の振動を検出する ことで知覚されると言われています. 当研究室では、 モノの触察時の振動情報を取得し、人の感性情報と の関係を明らかにする研究を行っています. 具体的 には、図4に示すような振動情報を取得する触覚セ ンサの設計製作をはじめ1), 官能評価の実施や振動 情報、物理量に基づく感性の定量化などをテーマと して扱っています。また、スクイーズ効果と呼ばれ る, 超音波振動により摩擦が低減する現象を利用し た触覚ディスプレイの開発も行っています.

3.2 細 胞

再生医療に注目が集まる中、その実用化には細胞 の培養、組織化といったさまざまなプロセスにおい て未だ多くの課題が残されています。当研究室では 細胞培養の過程に着目し、超音波振動を用いた新た な培養技術の確立を目指しています²⁾. 細胞培養に は大きく「播種」→「培養」→「剥離」→「回収」 の4プロセスがあるのですが、その中でも主に「培 養」「剥離」に着目したデバイスの開発などを行っ ています. たとえば、超音波振動により生じる定在

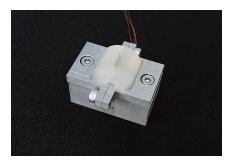


図4 触覚センサ



バルーン型アクチュエータを用い たハンド



図6 マイクロロボットハンド



図7 シャクトリムシ型ロボット

波を利用した細胞塊の生成や、超音波を用いた細胞 の除去といった細胞の活性を維持しながら、培養の 効率化を図る研究を展開しています.

3.3 メカトロニクス

メカトロ班では主に、超音波モータと電界共役流 体(以後ECF)を研究テーマとして扱っています. 超音波モータは電磁モータと比較して, 軽量でかつ 静粛性に優れています. こうした特性を生かし, 超 音波モータを用いた義手の開発や新たな超音波モー タの開発を行っています.一方, ECFは液中に微小

な電極対を配置するだけで液圧源として利用できる ことから、マイクロアクチュエータなどの駆動源と して応用されています. 近年はソフトロボティクス と呼ばれる研究分野において注目を集めており、当 研究室でも図5,6に示す小型ソフトロボットハン ド、図7に示すシャクトリムシ型ロボットをはじめ とするソフトロボットの製作3)-5) や、チップ上で生 化学分析を行う小型デバイスμ-TASの設計開発⁶⁾ な ども行っています.

4. おわりに

本稿では慶應義塾大学竹村研究室についてご紹介 させていただきました. 本原稿の執筆にあたりご協 力いただいた皆様に感謝申し上げます.

参考文献

1) Lisako Nobuyama, Yuta Kurashina, Kei Kawauchi, Koji Matsui, Kenjiro Takemura: Tactile Estimation of Molded Plastic Plates Based on the Estimated Impulse Responses of Mechanoreceptive Units. Sensors, Vol. 18, Issue 5, 1588, (2018)

- 2) Yuta Kurashina, Makoto Hirano, Chikahiro Imashiro, Kiichiro Totani, Jun Komotori, Kenjiro Takemura: Enzyme - free cell detachment mediated by resonance vibration with temperature modulation, Biotechnology and Bioengineering, Vol. 114, No.10, pp. 2279-2288, (2017)
- 3) Akihiro Yamaguchi, Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura: A robot hand using electro-conjugate fluid: Grasping experiment with balloon actuators inducing a palm motion of robot hand, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 174, pp. 181-188 (2012)
- 4) 上野将平, 竹村研治郎, 横田眞一:電界共役流体を用 いたマイクロロボットハンド、フルードパワーシステ ム講演会講演論文集, pp. 109-111, (2013)
- 5) Shohei Ueno, Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura: Micro inchworm robot using electro-conjugate fluid, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 216, pp. 36-42, (2014)
- 6) Yoko Abe, Kenjiro Takemura, Katsunari Sato, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura: Droplet µTAS using electro-conjugate fluid- Feedback position control of multiple droplets in flow channel matrix, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 198, pp. 1-7, (2013)

(原稿受付:2018年8月2日)

企画行事

平成30年春季フルードパワーシステム講演会

著 者 紹 介



桜 康

足利大学工学部 〒326-8558 足利市大前町268-1 E-mail: ysakurai@ashitech.ac.jp

1986年上智大学大学院理工学研究科博士前期 課程機械工学専攻修了. 富士重工業㈱, 上智大 学助手等を経て2000年足利工業大学講師, 2001 年同大学助教授, 2007年同大准教授, 2009年同 大教授, 現在に至る. 博士 (工学)

1. はじめに

5月24日(木)の午前中に開催された春季講演 会併設セミナーに引き続き、平成30年春季フルー ドパワーシステム講演会が例年通り機械振興会館に おいて24日(木)の午後から25日(金)までの2 日間,112名の参加者を得て開催された.本講演会 では、一般講演、2つのオーガナイズドセッション (OS) および製品技術紹介セッションにおいて、合 計37件の講演が行われ、25日の午後には特別講演 が開催された.

ここでは、本講演会の概要を報告する.

2. 各セッションの概要

2.1 OS1:機能性流体によるフルードパワーシス テムの高機能化・高性能化

本OSは吉田和弘先生(東京工業大学),竹村研治 郎先生(慶応大学),金俊完先生(東京工業大学) により企画された. 開催趣旨は,「機能性流体を用 いたフルードパワーシステムでは、ポンプあるいは バルブといった流体駆動機器を使用する必要があり ません. このため、マイクロフルードパワーシステ ムの実現やフルードパワーシステムの高機能化への 応用が期待されております. また, 近年は機能性流 体の原理を応用した機能性ソフトマテリアルなどの 開発も進み、機能性流体関連の研究が活発化してい ます. 本オーガナイズドセッションではこうした機 能性流体に関連する研究を広く募集し、機能性流体 がフルードパワーシステムを高機能化・高性能化す る可能性を議論します.」である. ここでは、機能



写真 1 OS1



写真 2 OS2

性流体を用いたアクチュエータ、ポンプ、および MR流体に関する合計 5 件の講演が行われ、活発な 質疑応答が行われた(写真1).

2.2 OS2:フルードパワーのシミュレーション

本OSは、「コンピュータの性能向上に伴って、シ ミュレーション技術は機械の研究開発に不可欠なも のとなりました. その役割は、従来から行われてき たような現象解析や性能予測に留まらず、それらを 応用したシミュレーションベースの形状最適化など も行われるようになっています. 本OSでは、油圧、 空気圧、水圧、ER流体などのフルードパワーシス テムについて、シミュレーション事例やその周辺技 術、新手法に関する研究成果を広く募集し、議論す る場としたいと思います.」という主旨で企画され た. オーガナイザーは藤田壽憲先生(東京電機大 学),中尾光博先生(鹿児島大学)が務めた.ここ では、熱交換器、油圧制御弁、空気圧管路および制 御弁に関する1Dから3Dまでのシミュレーション を用いた研究に関する幅広い講演が5件行われ、活 発な質疑応答がなされた(写真2).



写真3 製品・技術紹介セッション



写真 4 特別講演

2.3 製品・技術紹介セッション

本セッションは、「企業関係の方々に製品に係る 技術や検討課題などを学会主要行事の1つである講 演会で発表していただき、会員間で問題意識を共有 し会員相互の研究・技術の促進を図ろうとするもの です.」という主旨で和田重伸企画委員会副委員長 (CKD(株))が中心となって企画したセッションであ る. 本セッションでは4件(フエスト(株), CKD(株), 日本ムーグ(株)、ボッシュ・レックスロス(株))の講演 が行われ、活発な質疑応答が行われた(写真3).

2.4 一般セッション:液圧

液圧に関する講演は8件行われた. そのうち2件 が水圧に関するものであった. 基礎的な現象に関す る研究から油圧システムを用いた2足ヒューマノイ ドロボットの研究まで幅広い講演が行われた.

2.5 一般セッション:空気圧

空気圧に関する講演は11件行われた. 空気圧機 器の流量特性試験法に関する基礎研究から空気圧を 利用したリハビリシステムやロボットに関する応用 研究まで幅広い講演が行われた.

2.6 一般セッション:機能性流体

機能性流体に関する研究は応用技術に関する研究 に関する講演が4件行われた、なお、OSにおいて も機能性流体に関する講演が行われており、合計す ると機能性流体に関する講演は9件である.

3. 特別講演

特別講演は、中野政身先生(東北大学教授)を講



写真5 眞田新会長の挨拶



写真6 技術懇談会の様子

師としてお迎えし、「MR流体とその先進フルードパ ワーテクノロジー」という演題で実施された. この 講演では、MR流体の基本的な特性や特徴、新規MR 流体の創製・評価, MR流体を応用した建築構造物 の免震制振用ダンパ、超小型EV用車両用ブレーキ 等, MR流体を用いたフルードパワー技術とそのシ ステム化に関する最新技術が紹介され、会場はほぼ 満席であった(写真4). なお、本特別講演は学会 の社会貢献の一環として無料で一般公開されている.

4. おわりに

本稿では平成30年春季フルーパワーシステム講 演会の概要について報告した.

講演会2日目の25日(金)には,通常総会に引 き続き技術懇談会が開催された. 平成29年春季フ ルードパワーシステム講演会の最優秀講演賞の受賞 式が行われた後、眞田一志新会長(横浜国立大学) のご挨拶で懇談会が開催された(写真5).

本講演会は講演数37件、参加者数112名で、講 演数は前年度より2件多く参加者数は7名少なくほ ぼ前年度と同じであり、参加者各位のご協力で盛会 裏に終えることができた. 技術懇談会にも多数の参 加があり活発な情報交換が行われていた(写真6).

最後に、本講演会に参加ならびに協力いただいた 方々に深く感謝申し上げます.

(原稿受付:2018年8月3日)

会告

〈理事会・委員会日程〉

8月29日 基盤強化委員会

9月 4日 企画委員会

9月20日 情報システム委員会

9月27日 理事会

10月 4日 編集委員会

〈理事会報告〉

9月27日 14:00~16:00

機械振興会館 地下3階 B3-6 (出席者16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
- 3) 平成30年度フェロー推薦者募集
- 4) 平成30年度学会賞各賞の選考
- 5) 平成30年秋季講演会の開催準備状況
- 6) 会員の推移
- 7) その他

〈委員会報告〉

平成30年度第2回基盤強化委員会

8月29日 15:00~17:00

機械振興会館 地下3階 B3-7 (出席者11名)

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

平成30年度第2回企画委員会

9月4日 15:00~17:00

機械振興会館 地下3階 B3-9 (出席者12名)

- 1) 平成30年度実施の事業に関する報告・審議事項
- (1)平成30年度オータムセミナー
- (2)平成30年秋季フルードパワーシステム講演会
- (3)平成30年度ウインターセミナー
- (4)その他
- 2) 平成31年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - (1)平成31年春季講演会併設セミナー
 - (2)平成31年春季フルードパワーシステム講演会・総会
 - (3)平成31年秋季フルードパワーシステム講演会
- 3) その他審議・確認事項
 - (1)学会50周年記念行事
 - (2)その他

平成30年度第2回情報システム委員会

9月20日 15:00~17:00

東京工業大学田町CIC5階 (出席者8名)

- 1) HP更新状況
- 2) プライバシーポリシーへの対応
- 3)会議報告
- 4) 事務局の情報機器更新
- 5) その他

平成30年度第3回編集委員会

10月4日 14:00~17:00

東京工業大学田町CIC5階 (出席者13名)

- 1)会誌特集号の現状と企画
 - · Vol. 49 No. 6 「フルーパワーとサーボ技術」
 - · Vol. 50 No. 1 「油圧ポンプの技術動向 |
 - · Vol. 50 No. 2 「ロボティックスに役立つフルードパワー の要素技術し
- 2) その他
 - ・今後の特集
 - ・トピックス

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

協替行事

第61回 自動制御連合講演会

主 催:システム制御情報学会(幹事)、計測自動制御学会、日本機械学会、化学工学会、精密工学会、電気学会、

日本航空宇宙学会

開催日:2018年11月17日(土)~18日(日)

会 場:南山大学 名古屋キャンパス (愛知県名古屋市昭和区山里町18)

URL: https://rengo61.iscie.or.jp/

No06-18 シンポジウム 動力伝達系の最新技術2018-快適性と環境性能を両立する最新の駆動系-

画:公益社団法人 自動車技術会

開催日:2018年11月20日(火)

場:東京工業大学 大岡山キャンパス 西9号館 ディジタル多目的ホール(東京都目黒区大岡山2-12-1)

URL: http://www.jsae.or.jp/sympo/2018/scdl.php

日本機械学会 第31回 計算力学講演会 (CMD2018)

催:一般社団法人日本機械学会

開催日:2018年11月23日(金)~25日(日)

場:徳島大学 常三島キャンパス (徳島県徳島市常三島町2-1) URL: https://www.jsme.or.jp/cmd/conference/cmdconf18/

No18-118 講習会アクチュエータシステムの基礎と応用ーモーションコントロールから生体・情報・感情制御への展開ー

画:一般社団法人日本機械学会 機素潤滑設計部門

開催日:2018年11月26日(月)

場:名古屋大学 ベンチャービジネスラボラトリーベンチャーホール(愛知県名古屋市千種区不老町B2-4)

エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム (EcoDePS) 2018

催:エコデザイン学会連合

開催日:2018年12月5日(水)

場:早稲田大学 西早稲田キャンパス63号館(東京都新宿区大久保3-4-1)

URL: http://ecodenet.com/EcoDePS2018/

SICEセミナー「モデルベースト制御系設計~モデリングから制御系設計までを系統的に学ぶ~」2018

催:公益社団法人 計測自動制御学会 制御部門

開催日:2018年12月10日(月)~11日(火)

場:慶応義塾大学 矢上キャンパス 16-A棟厚生棟 3 F大会議室(神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)

U R L: http://www.sice-ctrl.jp/jp/wiki/wiki.cgi/c/semi?page=design2018

第19回 計測自動制御学会システムインテクレーション部門講演会 (SI2018)

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:2018年12月13日(木)~15日(土)

場:大阪工業大学 梅田キャンパス(大阪府大阪市北区茶屋町1-45)

URL: http://www.sice-si.org/conf/si2018/

Grinding Technology Japan 2019

催:日本工業出版㈱,フジサンケイビジネスアイ

開催日:2019年3月18日(月)~20日(水)

場:幕張メッセ 展示2ホール(千葉市美浜区中瀬2-1)

URL: http://grind-tech.jp/

第3回 安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議(COMPSAFE2020)

催:COMPSAFE2020実行委員会

開催日:2020年3月8日(日)~3月11日(水)

場:神戸国際会議場(兵庫県神戸市中央区港島中町6-9-1)

URL: https://compsafe2020.org/

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)	926	16	135	130
差引き増減	+3	± 0	+18	± 0

正会員の内訳 名誉員14名・シニア員43名・ジュニア員146名・その他正会員723名

〈新入会員〉

正会員

大島 信生(大阪市立大学) 川瀬 利弘(東京医科歯科大学)

藤本 博司 (株式会社テイサク) 脇元 修一(岡山大学)

学生会員

小川 草太 (岡山大学) 井西 健太(香川大学)

大林 秀幸 (岡山理科大学) 井上 椋太(岡山理科大学)

楠瀬 系知(岡山理科大学) 福川 展弘 (岡山理科大学)

鈴木 善雄(岡山理科大学) 前川 哲志(奈良工業高等専門学校)

西村 祐希 (信州大学) 永井 一輝 (信州大学)

水上 英紀(早稲田大学) 林田 岳士 (関西大学)

塩田 秀人(青山学院大学) 北澤 勇気(青山学院大学) 山ノ内祐太(鹿児島大学) 神代 拓見 (鹿児島大学)

小野塚祐樹 (中央大学) 原田 篤也(神奈川工科大学)

高見澤 諒(法政大学)

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

平成30年度ウインターセミナー 「フルードパワーシステムと1DCAE」

開催日時:平成31年2月22日(金) 13:15~16:45

本学会では、フルードパワーシステムにおける1DCAE手法 … とその活用状況の把握を目的として、「1DCAEによるフルー ドパワーシステム設計に関する研究委員会」を設置して、継続 開催場所:機械振興会館本館6階6D-4 的な活動を行っています。本セミナーでは、この研究委員会の 活動内容から、注目すべきトレンド/トピックの紹介を行い、 詳細は学会ホームページに随時掲載いたします.

フルードパワーシステムにおける1DCAE適用の現状と今後の 展開を展望したいと思います.

(東京都港区芝公園3-5-8)

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

平成元年春季油空圧講演会講演論文集 平成元年秋季油空圧講演会講演論文集 平成2年秋季油空圧講演会講演論文集 平成3年秋季油空圧講演会講演論文集 平成4年春季油空圧講演会講演論文集 平成4年秋季油空圧講演会講演論文集 平成5年春季油空圧講演会講演論文集 平成5年秋季油空圧講演会講演論文集 平成6年秋季油空圧講演会講演論文集 平成7年秋季油空圧講演会講演論文集 平成8年春季油空圧講演会講演論文集 平成8年秋季油空圧講演会講演論文集 平成9年春季油空圧講演会講演論文集 平成9年秋季油空圧講演会講演論文集 平成10年春季油空圧講演会講演論文集

平成元年5月 平成元年11月 平成2年11月 平成3年11月 平成4年5月 平成 4 年10月 平成5年5月 平成5年11月 平成6年10月 平成7年11月 平成8年5月 平成8年10月 平成9年5月 平成9年5月 平成10年5月 平成10年11月 平成11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年秋季フルイドパワーシステム講演会講演論文集 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年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集 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年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集 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年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集 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年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集 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年秋季フルー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10月 平成13年5月 平成13年11月 平成14年5月 平成15年5月 平成16年5月 平成16年11月 平成17年5月 平成18年5月 平成18年11月 平成19年5月 平成19年11月 平成20年5月 平成21年6月 平成21年11月 平成22年5月 平成22年12月 平成23年5月

平成24年5月

平成24年11月

立書OFに左手です。 № .0 ローン・ローン・は ケム 独 ケシム 本佐	₩ ₽05 ₩ 5 ₽
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
平成11年IFPEXフルイドパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	平成11年10月
平成14年IFPEXフルイドパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	平成14年6月
平成17年IFPEXフルイドパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	平成17年8月
平成20年IFPEXフルイドパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	平成17年4月
平成23年IFPEXフルイドパワーシステム ワークショップ国際見本市論文集	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'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'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2003「最近の緩衝・制振・免振技術」	平成16年5月
オータムセミナー「油空圧のセンシング技術」	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「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
オータムセミナー「環境適合技術の動向」	平成12年9月
オータムセミナー「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
オータムセミナー「フルードパワーと環境・リサイクル」	平成15年10月
オータムセミナー「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
オータムセミナー「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
オータムセミナー「生活に密着したフルードパワー」	平成17年10月 平成18年10月
オータムセミナー「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
オータムセミナー「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
オータムセミナー「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
オータムセミナー「BOPビジネスの可能性~ CSRとビジネスの両立~」	平成22年11月

	## # # # # # # # # #
オータムセミナー「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
オータムセミナー「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
オータムセミナー「鉄道車両とフルードワー技術」	平成25年10月
オータムセミナー「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
オータムセミナー「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
オータムセミナー「生産技術に貢献するフルードパワー in トヨタ産業技術記念館」	平成27年11月
オータムセミナー「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27年11月
ウインターセミナー「油空圧システムの低騒音化のために」	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―油空圧機器・システムの低騒音化技術―」	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3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一」	平成15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10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
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「空気圧システム入門」	平成10年9月
教育講座「空気圧システム入門」	平成11年6月
教育講座「空気圧システム入門」	平成13年6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 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6年10月 学会創立30周年記念出版「アドバンスドフルードパワー技術の基礎と応用」 平成15年4月 分冊販売 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 日本フルードパワーシステム学会創立40周年出版 平成23年4月 分冊販売 油圧システムのモデリングと解析手法 Webシミュレーション解説 アクアドライブ技術の進展

フルードパワーシステム 総目次 (第49巻)

・		号	通し頁		号	通し頁
会長設任にあたって 四川 一恵 4 164 IPPS2017福岡展示における観要・桜井 康雄 3 128 IMPS2017福岡展示における観要・桜井 康雄 3 131 IPPS2017福岡展示における観要・桜井 康雄 3 131 IPPS2017福岡展示における観要・松井 康雄 3 131 IPPS2017福岡展示における観要・松井 康雄 3 131 IPPS2017福岡展示における観要・高古 6折 3 131 IPPS2017福岡展示における観要・高古 6折 3 131 IPPS2017福岡展示における観要・高古 6折 3 131 IPPS2017福岡展示における観字・高古 6折 3 137 IPPS2017福岡展示における概字・高古 6折 3 137 IPPS2017福岡展示における概字・高古 6折 3 137 IPPS2017福岡を加ま 一古 6折 157 137 137 137 137 IPPS2017福岡展示における概字・高古 6折 3 137 IPPS2017福岡展示における観字・高古 6折 1 7 7 7 7 7 7 7 7 7		1	4	クス分野の研究期间	3	123
会長威圧にあたって ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・		1	5	JFPS2017福岡におけるポスター田中 豊	3	125
特集 [FPEX2017]	会長就任にあたって …眞田 一志	4	164	IFPS2017福岡展示における概要 …桜井 康雄	3	128
FPESZO177		4	165	CGPS/ソートの贈主	3	131
IFPEX2017年別にあたって				JFPS2017福 岡 GFPS Best Paper 宣木 做一	3	134
IPEPX2017における油圧分野の	(IEDEV2017発刊におたって … 村松 カロ	1	6		3	137
技権期间	0)+文1/11里川口	1	7		剝新技	術]
接着車両におけるフルードパワー・鴨下 庄吾 1 17	7之 (亦) 車川口	1	11	ドパワーの最新技術」発行にあ…栗林 直樹	4	166
数直即向に記げる) ルードハリー・鳴下 庄吾 17	技術動向	1	14	フルードパワーとモーターサイクル	4	167
建設現場のIoT スマートコンス…小野寺昭則 1 19 自動車用エンジンの熱効率向上・…小酒 英範 4 172 液浸露光装置の技術動向	1 4 7 10TO 11 is 111	1	17	~フィダーから見た技術的魅刀~		
液浸露光装置の技術動向 …江頭 裕之 1 21 大型二輪甲用過給エンジン開発に…市 聡顚 4 177	建設現場のIoT スマートコンス小野寺昭則	1	19	自動車用エンジンの熱効率向上・小洒 苗節		
ADS の	液浸露光装置の技術動向 …江頭 裕之	1	21	大型二輪車用過給エンジン開発に市 野原	4	177
#型ワイドレンジ副変速機付CVT野武 久雄 1 25	(ADS: Aqua Drive System 新水…宮川 新平	1	23	おける流体技術 オートバイの音に関する音質評価		100
STATE	新型ワイドレンジ副変速機付CVT野武 な雄	1	25	違い~	4	180
特集「フルードパワーにおける設計技術のトレンドー品質向上と最適化を目指して一」 「フルードパワーにおける設計技術のトレンドー品質向上と最適化・・・成田 音 2 56 タニの吸盤を参考とした臓器吸着…塚越 秀行 5 213 クグチメソッド・品質エ学・ロバ・・・田口 伸 2 57	の油圧ンステムについて	_		モトクロス用軽量フロントフォー クの開発	4	184
この	特集「フルードパワーにおける設計技術のトレン	ĸ		特集「バイオミメティクスにみられるフルードパワ	7 —	
構のトレンドー品質向上と最適化…成田 を目指して一」発行にあたってタグチメソッド・品質工学・ロバニ田口 体 2 57 タコの吸盤を参考とした臓器吸着…塚越 秀行 5 213 タブチメソッド・品質工学・ロバニロ クグチメソッド・品質工学・ロバニロ ケット用ターボポンプのダイナ…川崎 聡 2 61 第20の吸盤を参考とした臓器吸着…塚越 秀行 5 213 ロケット用ターボポンプのダイナ…川崎 聡 2 61 東空気圧人工筋肉を用いた腸管の 塩土 大郎 全地 大郎 野老と応用 株型はばたきロボット開発のため、藤川 太郎 5 219 医と 2 65 のCFD解析 フナムシを模倣したポンプレス微…石井 大佑 5 223 取り組み シリンダクッションの最適形状 へ AMESimを用いた品質工学的… 食丸 使工 2 68 サメ体表の微細構造に着目したバイオミメティックデザインとフ…宮崎真理子 5 227 深層学習を応用した油圧システム 設計におけるテスト設計プロ… (横島 ヤス) ン開発における流体最適化事例 外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバーの応答性… (上野 政事) クアブソーバーの応答性… (上野 政事) 日本 は介 と書 は介 と書 は介 と書 は介 と書 は介 と書 「フルードパワーとサーボ技術」 …五嶋 俗之 6 264 高質工学を用いたサスペンション … 野瀬昌則 2 設定の最適化 81	―品質向上と最適化を目指して―」			「「バイオミメティクスにみられる 上事 立英		212
マグラチメソッド・品質工学・ロバー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	術のトレンド―品質向上と最適化…成田 晋	2	56	フルートハソー」 発行にあたって タコの吸盤を参考とした臓器吸着 伝越 季行	5	213
大下エンラー	タグチメソッド・品質工学・ロバロロ 伸	2	57	用ソフトノインカー		
Sup の	ストエンシートリンク				5	216
取り組み	¬ ツ ク 設計主外			(/)(E I) 開発 A IT	5	219
~ AMESimを用いた品質工学的…金丸 健二 2 68サメ体表の微細構造に着目したバアプローチ~ 飯谷 英史 窓径 英史 ステム設計におけるテスト設計プロ…1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	取り組み	2	65	フナムシを模倣したポンプレス微万世、大佐	5	223
深層学習を応用した油圧システム設計におけるテスト設計プロ…	~ AMESimを用いた品質工学的… 金丸 健二	2	68	サメ体表の微細構造に着目したバ		
ム設計におけるテスト設計プロ…	深層学習を応用した油圧システ			ルードパローへの応用	5	227
オートマチックトランスミッショ ン開発における流体最適化事例 外付け式ソレノイド減衰力調整 ショックアブソーバーの応答性… { 上野 和生 改善 品質工学を用いたサスペンション …一野瀬昌則 設定の最適化上野 和生 2 松下 雄介 	ム設計におけるアスト設計プロ… 由沢 俊彦	2	71	バイオミメティクスによる家電製大塚 雅生 品の価値創造	5	231
外付け式ソレノイド減衰力調整 ショックアブソーバーの応答性… { 上野 和生 改善 品質工学を用いたサスペンション…―野瀬昌則 設定の最適化 2 78 特集「フルードパワーとサーボ技術」 [フルードパワーとサーボ技術」…五嶋 裕之 6 264 発行にあたって サーボ弁・歴史と技術 …田村 博久 6 265 油圧サーボ・比例弁駆動ドライバ…岩崎 章 6 271 の技術 特集「JFPS国際シンポジウム2017」 第10回JFPSフルードパワー国際…原田 一志 3 106 第10回JFPSフルードパワー国際…原田 一志 3 106 78 デュアル・ハルバッハ・マグネッ	オートマチックトランスミッショ山口 健	2	75	航空機の機体形状に適用された生 萱野	5	235
	外付け式ソレノイド減衰力調整			(
品質工学を用いたサスペンション野瀬昌則 2 81 発行にあたって ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	ひまックアフリーハーの心合性… 松下 雄介 改善	2	78	「フルードパワーレサーボ技術」	0	20.4
特集「JFPS国際シンポジウム2017」 油圧サーボ・比例弁駆動ドライバ・・・・ 岩崎 章 6 271 第10回JFPSフルードパワー国際・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	品質工学を用いたサスペンション野瀬具則	2	81	発行にあたって		
第10回JFPSフルードパワー国際 _{10日}				油圧サーボ・比例弁駆動ドライバ皇崎 音		
	第10回IEDCフルードパワー国際	2	100	の技術	Ü	271
シンボシワムの実施報告	シンホシワムの実施報告			ト・アレーによる強磁界直動型高…中川晋一朗 凍サーボ弁	6	274
		3	108	半導体製造装置における空気圧 通井 伸一	6	277
JFPS2017福岡における油圧分野 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	の研究期间	3	110		6	281
JFPS2017福岡における空気圧分…・早川 恭弘 3 115 小型スマート油圧アクチュエータ…西畑 教英 6 284 野の研究動向 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	単2000年3月11日	3	115			
JFPS2017福岡における機能性流 竹村研治郎 3 118 体分野の研究動向 【解説】	JFPS2017福岡における機能性流佐村研治郎	3	118		-	
JFPS2017福岡における水圧分野鈴木 健児 3 120 欧州建設事情視察団参加報告藤谷 秀次 5 239 の研究動向	JFPS2017福岡における水圧分野鈴木 健児	3	120		5	239

【会議報告】				亚成20年寿季フルードパワーシフ		
日本機械学会MoViC2017における…桜井フルードパワー関連技術の研究動向…桜井	康雄	1	33	平成30年春季フルードパワーシス桜井 康 テム講演会	雄(304
口木機械学会年次十会2017における	清子	1	36	【 会告】 平成29年度 ウインターセミナー		
FLUCOME2017参加記 季川	利春	2	85	のお知らせ「フルードパワーに利用		1 49
山梨講演会2017におけるフルード吉田パワー技術研究	和弘	3	139	できるマイコン技術〜機器の駆動に 関わるマイコン技術〜		. 45
ICMT2017会議報告 …嚴	祥仁	3	141	平成30年春季フルードパワーシス		
計測自動制御学会・流体計測制御シ…川上 ンポジウムにおける研究動向	幸男	4	187	テム講演会併設セミナー「フルード パワーにおける設計技術のトレンド		1 49
第11回IFK2018におけるフルード _{円中}	曹	4	190	―品質向上と最適化を目指して―」		
ハワー研究の町回 MSCS2018におけるフルードパワー	幸男	5	243	日本フルードパワーシステム学会・ 日本機械学会共催 平成30年春季		1 49
技術研究動向 ROBOMECH2018におけるフルード ・・・・田中	1 23			フルードパワーシステム講演会 平成30年春季フルードパワーシス		
パワー技術研究の動向 …田中	豊	6	290	テム講演会併設企画「製品・技術紹 介セッション」]	1 49
【トピックス】				共催・協賛行事のお知らせ		1 50
特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…改良構想から分類を考…木原	和幸	1	39	その他 共催・協賛行事のお知らせ		1 16, 48, 51, 52 2 99
える2	1H +	1	00	平成29年度ウインターセミナー「フ	_	2 00
特許文献を調べる・特許情報プラッ トフォームまとめと国際分類の…木原	和去	3	143	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	2	2 100
動向		3	143	技術~」		
Youは日本をどう思う?第1回:イアシュリータシ ンドネシアから日本に留学して	メートリー	1	43	平成30年春季フルードパワーシス テム講演会併設セミナー「フルード		
Youは日本をどう思う?第2回:オー	中なっまた	2	00	パワーにおける設計技術のトレンド	2	2 100
ストフリアから日本で仕事をして	瞳菲	2	90	―品質向上と最適化を目指して―」		
Youは日本をどう思う?第3回:フレア・ルランスから来日して	コント	3	148	日本フルードパワーシステム学会・ 日本機械学会共催 平成30年春季	2	2 100
Youは日本をどう思う?第4回:日潘	剛毅	4	196	フルードパワーシステム講演会		
本で暮らして Youは日本をどう思う?第5回:中薛	成華	_	0.40	平成30年春季フルードパワーシス テム講演会併設企画「製品・技術紹	2	2 100
国から米日して		5	248	介セッション」 日中若手研究者交流事業 招聘者募		
Youは日本をどう思う?第6回:ベ,・フ-トナムから日本に留学して	-・フン	6	299	ロ中石子研究有交流事業 指時有券 集のお知らせ	2	2 101
上海駐在員日記 ····山本 米国駐在員日記 ····中野	哲也	2 4	87 193	日本フルードパワーシステム学会論 文集49巻(2018) 1 号発行のお知	,	2 101
オーストラリア(ブリスベン)駐在…齋藤真	10 和	6	293	文集49台 (2016) 1 万光刊のお別 らせ		
		O	293	その他 日本フルードパワーシステム学会・	2	2 98,101,102
学生さんへ,先輩が語る一建設機械枚木 メーカーで働き始めて一	昭平	5	245	日本機械学会共催 平成30年春季	3	3 156
ターカーで働き始めて一 学生さんへ、先輩が語る一空気圧機…下川 器メーカーに勤め始めて一	一幸	6	296	フルードパワーシステム講演会 平成30年春季フルードパワーシス		
1117 / V (-33)-5/74-5				テム講演会併設企画「製品・技術紹	3	3 156
【研究室紹介】	優悟			介セッション」 特別協賛行事「空気圧システムの新		
之佣工業大字 伊滕研究至紹介 … 伊藤	和寿	1	45	展開 実習付き講演会」	3	3 156
福岡工業大学フルードパワーシステ い加藤 ム研究室(加藤研究室)	友規	2	93	日本フルードパワーシステム学会・ 日本機械学会共催 平成30年秋季		3 156
立命館大学ヒューマノイドシステム女	相昊	3	150	フルードパワーシステム講演会		
研究室の紹介				共催・協賛行事のお知らせ その他		3 157 3 155,158,159,160
プカトローク 人子科 百個研究室	俊拓	4	198	第37期 通常総会終了		4 204
鹿児島大学 中尾研究室 ···中尾 慶應義塾大学 竹村研究室紹介 ···當麻	光博 美友	5 6	250 301	平成30年度 特別教育講座「油圧 機器・システムのモデリング入門:		
	入汉	O	501	市販ソフトを利用するときに知って	4	4 205
【企画行事】 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□	壽憲	6	2.2	おくことはこれだ!」 日本フルードパワーシステム学会・		
平成30年度正画行事稻厅 "\桜井	康雄	2	96	日本機械学会共催 平成30年秋季	4	4 205
平成29年度オータムセミナー開催 報告「ロボティクス分野におけるフタ		6	1.50	フルードパワーシステム講演会 共催・協賛行事のお知らせ	4	4 206
ルードパワー活用の現状と今後につ ^{・・・石启}	忍	3	153	その他		4 203,207,208
いて」 平成29年度ウインターセミナーの				日本フルードパワーシステム学会・ 日本機械学会共催 平成30年秋季		5 257
報告 「フルードパワーに利用でき…赤木	徹也	4	201	フルードパワーシステム講演会		20.
るマイコン技術」 平成30年春季講演会併設セミナー				平成30年度オータムセミナー「知っ ておきたい空気圧システム設計技術		5 257
「フルードパワーにおける設計技術 ****	康雄	5	253	の新常識」	`	,
のトレンド―品質向上と最適化を目 ^{・・・} 検升 指して―		-				

		亚-200万 庆上 7.7.6	
日本フルードパワーシステム学会論 文集 49巻(2018)2号 発行の	5 257	平成30年度ウインターセミナー 「フルードパワーシステムと1DCAE」	6 308
文集 49台 (2018) 2号 光刊の お知らせ	3 237	「フルートハワーンスケムとTDCAE」 資料一覧	6 309
共催・協賛行事のお知らせ	5 258	フルードパワーシステム第49巻総	0 303
その他	5 226.256.259.260	目次	6 313
共催・協賛行事のお知らせ	6 307	その他	6 306,308,316

編集室

次号予告

−特集「油圧ポンプの関連技術動向|-

〔挨 拶〕会長の挨拶 眞田 副会長の挨拶 田中 豊, 嶋村 英彦 〔巻頭言〕「油圧ポンプの関連技術動向」発行にあたって 丸田 和弘 〔総論〕油圧ポンプ素描 風間 〔解 説〕油圧ポンプの根幹技術:非エロージョンノッチの開発 小曽戸 博 細井 真下 和昌 油圧ポンプの開発へのCAEの適用事例 藤井 智幸 自動車に用いられるベーンポンプの特徴と開発 野田 小型アキシアルピストンポンプの球面弁板の特長と活用事例 樋口 雄一. 辻井 高剛性作動油の特徴と効果 永井 利幸 外接ギヤポンプの仕組みと低騒音技術の変遷 村田 建機用油圧ポンプの搭載関連技術 宇佐美秀明 〔会議報告〕日本機械学会2018年度年次大会におけるフルードパワー技術研究 脇元 修-FPMC (Bath/ASME) におけるフルードパワー関連技術の研究動向 加藤 友規 〔トピックス〕学生さんへ、先輩が語る(大学編)―大学研究者の仕事― 宮嵜 哲郎 バトバヤル・ウラン ウルジ Youは日本をどう思う?第7回:モンゴルから日本に留学して 中尾 陽一 〔研究室紹介〕神奈川大学工学部 機械工学科 中尾研究室

平成30年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 塚 越 秀 行(東京工業大学) 員 中 山 晃(日立建機㈱) 憲(東京電機大学) 副委員長 村 松 久 巳(沼津工業高等専門学校) 藤 \blacksquare 伊 藤 雅 則(東京海洋大学) 和 弘 (㈱コマツ) 員 丸 田 矢 野 丈 夫 (㈱コガネイ) 上 朝 嗣 (CKD(株)) 島 堀 晃 彦(宇部工業高等専門学校) 柳 \blacksquare 秀 記(豊橋技術科学大学) 加 藤 友 規(福岡工業大学) 山田 真の介 (㈱TAIYO) 北 村 剛(油研工業㈱) Щ \blacksquare 宏 尚(岐阜大学) 栗 林 直 樹 (川崎重工業) 満 俊 拓(神奈川工科大学) 吉 伊 L 妻 巳 (KYB㈱) 文 英 (KYB㈱) 担当理事 藤 和 五 嶋 裕 之 (㈱工苑) 学会事務局 成 \blacksquare 晋 佐 一 (横浜国立大学) 竹 留 美 (勝美印刷㈱) 藤 恭 編集事務局 内 妹 尾 (あいうえお 順) 満(SMC㈱) 中 野 政 身(東北大学)

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.