

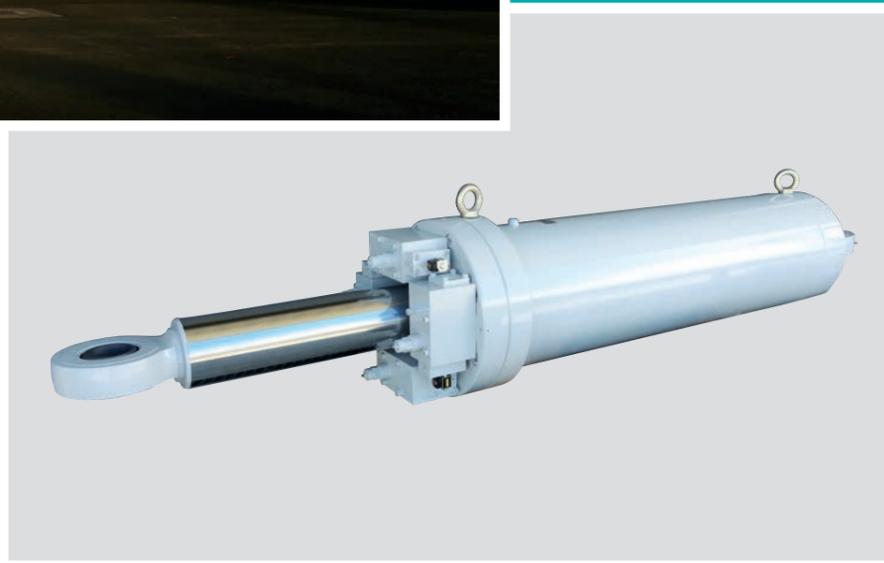
ISSN 1880-7410

KYB TECHNICAL REVIEW

KYB技報
APR. 2017 No.54

K
Y
B
技
報

KYB TECHNICAL REVIEW NO. 54 APR. 2017



KYB 株式会社

KYB

KYB株式会社

(2015年10月1日よりカヤバ工業株式会社は商号をKYB株式会社に変更いたしました)

本社・営業 東京都港区浜松町二丁目4番1号（世界貿易センタービル） ☎105-6111 ☎(03)3435-3511

基盤技術研究所	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎252-0328	☎(042)745-8111
生産技術研究所	岐阜県岐阜市土田60番地	☎509-0206	☎(0574)26-1453
KYB開発実験センター	岐阜県加茂郡川辺町鹿塩白砂1185番地の4	☎509-0307	☎(0574)52-1323
工機センター	岐阜県岐阜市土田60番地	☎509-0206	☎(0574)26-5310
電子技術センター	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番地1	☎252-0328	☎(042)761-8145
名古屋支店	愛知県名古屋市中村区名駅三丁目11番22号(IT名駅ビル)	☎450-0002	☎(052)587-1760
大阪支店	大阪府吹田市江坂町一丁目23番20号(TEK第2ビル)	☎564-0063	☎(06)6387-3221
福岡支店	福岡県福岡市博多区博多駅東二丁目6番26号(安川産業ビル)	☎812-0013	☎(092)411-2066
第二営業部	静岡県浜松市中区神明町315番地1(浜松しみずビル)	☎430-0931	☎(053)454-5321
広島営業所	広島県広島市東区光町一丁目12番16号(広島ビル)	☎732-0052	☎(082)567-9166
相模工場	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎252-0328	☎(042)746-5511
熊谷工場	埼玉県深谷市長在2050番地	☎369-1193	☎(048)583-2341
岐阜北工場	岐阜県岐阜市土田2548番地	☎509-0298	☎(0574)26-5111
岐阜東工場	岐阜県岐阜市土田505番地	☎509-0297	☎(0574)26-1111
カヤバシステムシナリー機	東京都港区芝大門二丁目5番5号(住友不動産芝大門ビル)	☎105-0012	☎(03)5733-9441
KYBトロンデュール機	東京都府中市蒲田西3909番地	☎949-5406	☎(0258)92-6903
機タカコ	京都府相楽郡精華町祝園西一丁目32番地1	☎619-0240	☎(0774)95-3336
K Y B 金山機	岐阜県下呂市金山町戸部字舟野4350番地の130	☎509-1605	☎(0576)35-2201
K Y B - Y S 機	長野県埴科郡坂城町埴城9165	☎389-0688	☎(0268)82-2850
KYBモーターサイクルガスベンション機	岐阜県岐阜市土田2548	☎509-0298	☎(0574)27-1170
KYB エンジニアリング	東京都港区芝公園一丁目6番7号住友不動産ランドマークプラザ	☎105-0011	☎(03)6895-1260
アンドサービス機			
KYBシステメリット機	岐阜県岐阜市土田505番地	☎509-0226	☎(0574)26-1110
KYBロジスティクス機	岐阜県可児市姫ヶ丘二丁目16番地	☎509-0249	☎(0574)26-6427
ジャパン・アナリスト株式会社	東京都港区浜松町二丁目1番17号(松永ビル)	☎105-0013	☎(03)3436-5660

KYB Corporation

(Kayaba Industry Co., Ltd. employed “KYB Corporation” as the popular name from October 1st, 2015.)

Head Office

World Trade Center Bldg, 2-4-1, Hamamatsu-cho, Minato-ku, Tokyo 105-6111, Japan
Tel : (81)3-3435-3511

Overseas Subsidiaries and Affiliates		
【Americas】		
KYB Americas Corporation 2625 Noth Morton, Franklin, Indiana 46131, U.S.A. TEL: (1)317-736-7774	KYB Advanced Manufacturing Spain, S.A.U. Poligono Industrial Perguita Calle B. No.15. 31210 Los Arcos Navarra, Spain TEL: (34)948-640336	永華機械工業股份有限公司 KYB Manufacturing Taiwan Co., Ltd. No. 493, Kuang Hsing Road, Bade City, Taoyuan Pref. 33450, Taiwan TEL: (886)3-368-3123
Takako America Co., Inc. 715 Corey Road Hutchinson, Kansas 67504-1642, U.S.A. TEL: (1)620-663-1790	KYB Manufacturing Czech, s.r.o. U Panasonicu 277, Stare Cvice, 530 06 Pardubice, Czech Republic TEL: (420)466-812-233	KYB Motorcycle Suspension India Pvt. Ltd. Pilot No. 6, Sipcot Industrial Park, Vallam Vadagal Village, Sriperumbudur Taluk, Kancheepuram District 631604 Tamil Nadu, India TEL: (91)44-3012-4444
KYB Corporation Aircraft Components Division Seattle Representative Office 701 5th Ave Suite 1160 Seattle, W.A, 98104-7002, U.S.A. TEL: (1)425-365-1392	KYB CHITA Manufacturing Europe s.r.o. Prumyslova 1421, 53701 Chrudim, Czech Republic TEL: (420)469-363-302	KYB-Conmat Pvt. Ltd. 702-703, Beside N. H. No. 8, Por, Vadodara 391243, Gujarat, India TEL: (91)960-1551608
KYB International America, Inc. 2625 North Morton, Franklin, Indiana 46131, U.S.A. TEL: (1)317-346-6719	LLC KYB Eurasia 117638 Odesskaya street 2 building A, Moscow, Russian Federation TEL: (7)495-7716010	KYB Corporation Chennai Branch Pilot No. 6, Sipcot Industrial Park, Vallam Vadagal Village, Sriperumbudur Taluk, Kancheepuram District 631604 Tamil Nadu, India TEL: (91)44-37106016
KYB Mexico S.A. de C.V. Circuito San Roque Norte 300, Parque Industrial Santa Fe Ampliacion 1, 101, 36275 Silao Guanajuat, Mexico TEL: (52)472-748-5000	【Asia】	KYB Middle East FZE Office No. 2010 20th Floor, Tower-A JAFZA One, Jebel Ali Free Zone, PO.BOX:261819, Dubai, UAE TEL: (971)4-887-2448
KYB Latinoamerica, S.A. de C.V. Blvd. Manuel Avila Camacho 32 Int. 403, Col. Lomas de Chapultepec, 1 seccion, Del. Miguel Hidalgo, Distrito Federal, C.P. 11000, Mexico TEL: (52)55-5282-5770	KYB (Thailand) Co., Ltd. 700/829 Moo 6, T. Nongtamlueng Amphur Panthong, Chonburi 20160,Thailand TEL: (66)3-818-5559	【China】
KYB-Mando do Brasil Fabricante de Autopeças S.A. Rua Francisco Ferreira da Cruz, 3000, Fazenda Rio Grande-Parana, CEP 83820-293, Brazil TEL: (55)41-2102-8200	KYB Asian Pacific Corporation Ltd. 105/1-2 Moo 1 Bangna-Trad Road, K.M. 21, Srisajor-akaeyai, Bangsaothong, Samutprakarn 10540, Thailand TEL: (66)2-740-0801	凱達必(中国)投資有限公司 KYB (China) Investment Co., Ltd. Wei 3 Road121, dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhenjiang, Jiangsu, 212009, China TEL: (86)511-8558-0300
Comercial de AutopeÇas KYB do Brasil Ltda. Rua Cyro Correia Pereira, 2400 Suite 07-Cidade Industrial, Curitiba-PR, 81460-050, Brazil TEL: (55)41-2102-8244	KYB-UMW Malaysia Sdn. Bhd. KYB-UMW Steering Malaysia Sdn. Bhd. Lot 8, Jalan Waja 16, Telok Panglima Garang, 42500 Kuala Langat, Selangor Darul Ehsan, Malaysia TEL: (60)3-3322-0800	凱達必機械工業(鎮江)有限公司 KYB Industrial Machinery (Zhenjiang) Ltd. Wei 3 Road 38, dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhenjiang, Jiangsu, 212009, China TEL: (86)511-8889-1008
【Europe】	PT. KYB Hydraulics Manufacturing Indonesia JL. Irian X blok RR2, Kawasan Industri MM2100 Desa Cikedokan Kec. Cikarang Barat, Kabupaten Bekasi, 17845, Indonesia TEL: (62)21-28080145	無錫凱達必拓普減震器有限公司 Wuxi KYB Top Absorber Co., Ltd. No. 2 Xikun North Road, Singapore Industrial Zone, Wuxi New District, Jiangsu 214028, China TEL: (86)510-8528-0118
KYB Europe Headquarters GmbH Kimpler Strasse 336, 47807 Krefeld, Germany TEL: (49)2151-9314380	PT. Kayaba Indonesia JL. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia TEL: (62)21-8981456	常州朗銳凱達必減振技術有限公司 Changzhou KYB Leadrun Vibration Reduction Technology Co., Ltd. No. 19 Shunyun Road, New District, Changzhou, Jiangsu 213125 China TEL: (86)519-8595-7206
KYB Europe GmbH Kimpler Strasse 336, 47807 Krefeld, Germany TEL: (49)2151-931430	PT. Chita Indonesia JL. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia TEL: (62)21-89983737	CHITA KYB Manufacturing (zhenjiang) Co., Ltd. No. 8 Building-1F, New Energy Industrial Park (North Park), No. 300, Gangnan Road, Zhenjiang New District, Ji-angsu 212132, China TEL: (86)511-8317-2570
KYB Suspensions Europe, S.A.U. Ctra, Irurzun S/No. 31171 Ororbia Navarra, Spain TEL: (34)948-421700	KYB Manufacturing Vietnam Co., Ltd. Plot 1 10-1 11-1 12, Thang Long Industrial Park, Dong Anh District, Hanoi, Vietnam TEL: (84)4-3881-2773	凱達必貿易(上海)有限公司 KYB Trading (Shanghai) Co., Ltd. B1008-1009 Far East International Plaza, 317 Xianxia Road, Shanghai 200051, China TEL: (86)21-6211-9299
KYB Steering Spain, S.A.U. Poligono Industrial de Ipertegui No. 2, nave 12, CP-31160, Ororbia Navarra, Spain TEL: (34)948-321004	Takako Vietnam Co., Ltd. 27 Dai Lo Doc Lap, Vietnam Singapore Industrial Park, Thuan An District, Binh Duong, Vietnam TEL: (84)650-378-2954	

複写をご希望の方へ

KYB(株)は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(一社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が公益社団法人日本複製権センター（(一社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先　一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
FAX：03-3475-5619　E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）について

直接、KYB(株)へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO. Please visit the following URL for the countries and regions in which JAC has concluded bilateral agreements.
http://www.jaacc.org/

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly. JAC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAC)
Address9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619

KYB技報

第54号 2017-4

目 次

巻頭言

時代と生きること 駒木根隆士 1

論説

真の「技術先進国」になろう 鈴木 康一 2

随筆

PT. KYBI駐在記 田中 巧大 7

アメリカ・メキシコ駐在記 奥村 哲也 12

技術解説

水圧電磁比例制御弁の応答特性 吉田 太志 16

随筆

技術士取得への挑戦 高松 伸一 24

技術紹介

自動車用セミアクティブダンパ制御の開発 工藤 朋之 30

用語解説

「ハーシュネス」 米澤 和彦 34

技術紹介

ダイカストの解析技術の開発 横野 航太 35

PREGIO-HCPS (KYB高輝度化学めっきシステム) の開発 岡島 孝幸 39

用語解説

「塗装不良の種類」 赤堀 正弘 44

技術紹介

微低速域高減衰バルブの開発 君嶋 和之 45

紹介

KMEX SA工場立ち上げ 日下部 誠 49

技術紹介

EPS減速機加工の生産性向上・品質向上の取り組み 伊藤 進 53

PPMポンプフランジ加工ラインの構築 瀬瀬 久人 57

航空民需用マニホールド加工の内製化 奥島幸一郎 57

岡本 和也 61

木田 重人 61

製品紹介

小型油圧ショベル用ピストンポンプの開発 武井 元 65

阪井 祐紀

高出力2ピニオンEPSの開発 筒井 隆明 71

村瀬 智幸

中型油圧ショベル用情報化施工機器 新型ストロークセンシングシリンダの開発 高橋 佑介 75

ロック機構付き免震用オイルダンパシステムの開発 伊藤 禎浩 79

鈴木太輝雄

編集後記

(表紙写真(表) : PREGIO-HCPS処理のスプリング [P.43参照], (裏) : KMEX SA工場外観 [P.49参照], ロック機構付き免震用オイルダンパ [P.79参照])

KYB TECHNICAL REVIEW

No. 54 APL. 2017

CONTENTS

Foreword			
Live with the Times	KOMAKINE Takashi		1
Editorial			
Becoming a Truly “Technologically Developed Country”	SUZUMORI Kouichi		2
Essay			
Report of Residence in PT. KYBI	TANAKA Yoshihiro		7
Report of Residence in America and Mexico	OKUMURA Tetsuya		12
Technology Explanation			
Response Characteristics of Water Hydraulic Proportional Control Valves	YOSHIDA Futoshi		16
Essay			
Setting out to Become a Professional Engineer	TAKAMATSU Shinichi		24
Technology Introduction			
Development of Automotive Semi-Active Damper Control	KUDO Tomoyuki		30
Glossary			
“Harshness”	YONEZAWA Kazuhiko		34
Technology Introduction			
Development of Die Casting Analysis Techniques	YOKONO Kouta		35
Development of PREGIO-HCPS (High-brightness Chemical Plating System)	OKAJIMA Noriyuki		39
Glossary			
“Coating Defect”	AKAHORI Masahiro		44
Technology Introduction			
Development of High Damping Force Piston Valve for Extra Low Velocity	KIMISHIMA Kazuyuki		45
Introduction			
Setting up the KMEX SA Plant	KUSAKABE Makoto		49
Technology Introduction			
Methods for Improving Productivity and Quality for Machining	ITO Susumu		53
EPS Dampers	KOUKETSU Hisato		
Construction of a PPM Pump Flange Machining Line	OKUSHIMA Kouichiro		57
	OKAMOTO Kazuya		
Make Fabrication of Manifold In-House for Commercial Aircraft	KIDA Shigehito		61
Product Introduction			
Development of Piston Pumps for Mini-Excavators	TAKEI Gen		65
	SAKAI Yuki		
Development of High Power Output 2 pinion EPS	TSUTSUI Takaaki		71
	MURASE Tomoyuki		
Development of New Stroke Sensing Cylinder for Middle-Sized Machine			
Control and Machine Guidance Excavator	TAKAHASHI Yusuke		75
Development of Oil Damper System for Seismically Isolated Structures with Lock Mechanism			
	ITO Yoshihiro		79
	SUZUKI Takio		

Editors Script

(Cover Photograph: Springs Plated with PREGIO-HCPS [see p.43], KMEX SA Plant [see p.49], Oil Damper System for Seismically Isolated Structures with Lock Mechanism [see p.79]).

巻頭言

時代と生きること

駒木根 隆 士*



科学技術に寄り添い生きる者は日々勉強が欠かせない、と日々自分に言い聞かせているが、勉強せずとも万人が使いやすい技術を社会は要求している。だが、少なくともその恩恵を受けるには進歩発展を理解して慣れていくことは必要なことである。

1864年、幕末の日本で池田屋事件が起きた157年前、大陸間横断有線電信システムが完成して3年目の米国は南北戦争の最中であった。この年、英国でマクスウェルが電磁波の存在について数学的な理論式を整理した。そして1900年台初頭にマルコーニが大西洋横断無線通信に成功し、わが国でも1917年に秋田県大館市出身の鳥潟右一博士が双方向無線通話に成功している。その100年後の現代、我々は携帯電話を含めた通信技術の恩恵を享受している。このような技術発展の世紀の中、生きるタイミングで技術的人生は大きく変わる。自分はどのように技術の時代を漂ってきたのかを、時代に重ね合わせて、自身が学び、また親しんできた技術を振り返ってみたい。

50年前、日本でポケットベルサービス（以下ポケベル）が開始された1968年、電電公社（現NTT）の技術者であった亡父がそのサンプル機を当時小学生の私に見せてくれたことを思い出す。翌年私はアマチュア無線の免許を取り、自分の目指す技術領域の一つを見つけた。ポケベルは時代の要求により終息期を迎えるが、携帯電話・スマートフォンへと進化していく。

40年前、NECから1976年にワンボードマイコンTK-80が発売され、パーソナルコンピュータの時代の端緒となる。マイコンを使った信号のデジタル処理が容易に行えるようになった。私が大学で電子工学を学び始めた年である。その後、大学院で情報工学を専攻し、もう一つの技術領域を手に入れることになった。パーソナルコンピュータは高性能・高機能化が進み、また、組み込みマイコン技術は多様な電気製品に適用されている。通信と情報の融合は

IoTやサーバクライアント方式の時代を支えている。

30年前、関西学研都市にある研究所でヒトの聴覚機能を研究する機会を得、音声認識・音声合成技術の最前線に立ち会うことができた。現在ごく普通に使われる自動翻訳を初めとする技術の先駆けである。この時の経験は陰に陽にその後の研究を支えている。

25年前、故郷秋田の県立研究所で磁気記録デバイスの高密度化の研究開発に加わった。当時一般的なPC用ハードディスクの容量は10GB程度であったが、垂直磁気記録の実用化もあり、現在では1TB超も普通である。ここで経験を積んだ電波測定技術がこの後の研究活動の大きな推進力となっている。

20年前、1996年にHONDAの自律二足歩行ロボットASIMO®が登場する。それまでなかなか立ち上がれなかったロボットはこれ以降急激に開発が進む。

15年前、20年来の趣味が昂じ、地元で同好の士を得て二輪のサーキット走行を楽しむようになった。二輪車の技術的進歩には驚く。ABSの標準装備化も進み、ETC・カーナビはもはや普通の搭載品である。排ガスや騒音の規制が強化される一方で、スポーツ車では軽量化・ハイパワー化・電子制御化が進む。最近の話題はロボット技術応用の静止時でも倒れない機構であるし、電動化もあり得るが、乗り手の技量・感性が如実に現れるマシンであり、魅力の一端はそこにある。今後の進化の方向は技術のみへの傾斜ではありえない（と願う）。

閑話休題。

高々半世紀の間の時代に出会った様々な技術に触発され、要求に応えることで禄を食んできた。それらは、大方が偶然の出会いであるが、立場を変えると、自分が生み出す技術の結果は誰かの運命に影響を与え、社会を変えるかもしれない。良かれと思った技術が時として負の遺産を撒くことも歴史が教えている。次世代、次々世代に引き継ぐに相応しい成果となるように、時代から渡された課題の解決に取り組みたいものである。

*秋田工業高等専門学校 教授

真の「技術先進国」になろう

鈴 森 康 一*



1. はじめに

技術立国、ものづくり大国、ロボット大国、等々、我が国の技術力を称えてきた言葉が、近年やや色あせつつあるようにも見える。しかし、長い歴史の中では山もあれば谷もある。少し長期的にみればやはり世界トップの技術先進国であり続ける力を我が国は持っていると思う。長年、工学、技術の分野に身を置いてきた者として期待している。

私は、機械工学をベースとしてロボットとアクチュエータを専門にしている。大学院修了後、民間企業での研究開発、国家プロジェクト（マイクロマシン）での研究管理、大学での研究教育、そしてベンチャー経営、といった具合に、産学官、色々な立場で技術開発に携わってきた。

そのような立場の工学の研究者／技術者として、我が国が今後も優れた「技術先進国」であり続けるための期待と私見を述べさせていただく。

2. 真のパイオニアとなろう

ロボットに関係する多くの「先端技術」がマスコミや社会をにぎわしている。AI、IoT、自動運転、ドローン、3Dプリンタ、ヒューマノイド、MEMS、マイクロロボット、ソフトロボット、お掃除ロボット、手術ロボット、等々、枚挙にきりが無い。

近年は、技術ブームの誕生、回転が非常に速い。私が参加したこの数年の展示会を例にとると、2016年はどこへ行っても人工知能だったが、2015年はドローンだらけで、前年の3Dプリンタはどこに行った？という感じだった。

これらの新しい潮流の多くはアメリカに端を発している。AI、IoTはGoogleや米国大学での研究内容が、ドローンはアマゾンが商用利用するとか、3Dプリンタはオバマ政権が巨額投資するとかが話題になり、大きなブームのきっかけを作った。

しかし、これらの技術は既に日本にもあった。例

えば、AIに関しては1980年頃にはNHK技研でディープラーニングの研究が進められていたし、ドローンについては1990年頃にキーエンス社がクアドコプターを商品化していた。3Dプリンタ関連では1980年代には三井造船が光造形法を開発していた。MEMSに関しては古くよりマイクロマシンという形で東工大の林輝教授を中心に先駆的な研究が進められていたし、NECも体内に入って薬物供給や生体液採取を行うマイクロカプセルをずいぶん開発している。

しかし残念なことに、それらは大きな技術の潮流にはならず、しばらくして欧米で着目されてからそれを追うように技術開発を再開している。例えば、お掃除ロボットは、1990年頃に国内の複数の大手電機メーカーでいろいろと試作されていた。当時の試作機の写真を見ると、いまのiRobotのルンバとそう変わらないものが20年以上前に出来上がっている。ルンバが売れ出してから開発を再開するのでは、どうしても周辺技術の開発が中心になる。イノベーションの核心である「ロボットに掃除をさせる」という新技術分野を自分で切り拓いた訳ではない。

国内で新規性の高いアイデアに基づいた研究開発をしても、周りからは「面白い。将来の可能性を感じる」という評価で終わる。そしてそれで本人も満足する。そういうケースをたくさん見てきた。ところがそのテーマが欧米でブームになると、国内でも急にオーソライズされた研究分野として扱われ、後を追いつく。このようなケースが残念ながら多い。

コペルニクスやニュートン等、現代の「自然科学」を築きあげてきた歴史に裏付けされた「自信とプライド」が我が国には不足しているのが背景にあるのではないだろうか。しかし今や、欧米諸国を除けばノーベル賞受賞者最多国なのだから、そろそろ「人類の知」開拓の最先端にいるという「自信とプライド」を持ち、科学技術の真のパイオニアとなるべきであろう。

*東京工業大学 工学院 教授

3. 研究は世界各地で同時萌芽する

私には強烈な「残念な体験」がある。

20歳代後半の頃、私はmedical micro manipulator (M³) という研究企画を立てたことがある。図1はその時に描いた図である。小さなロボットが体内に入り、低侵襲の医療処置を行う、あるいは微細で精密な手術を正確に行う、といったものだった¹⁾。

いまから見れば陳腐なアイデアである。しかし、この企画を立てた1986年当時、マイクロマシンや手術ロボットという概念は、私を含め一般にはまだ知られていなかった。今から思えば、その後のロボット技術開発の2つの潮流をまさに先取りした研究企画であった。

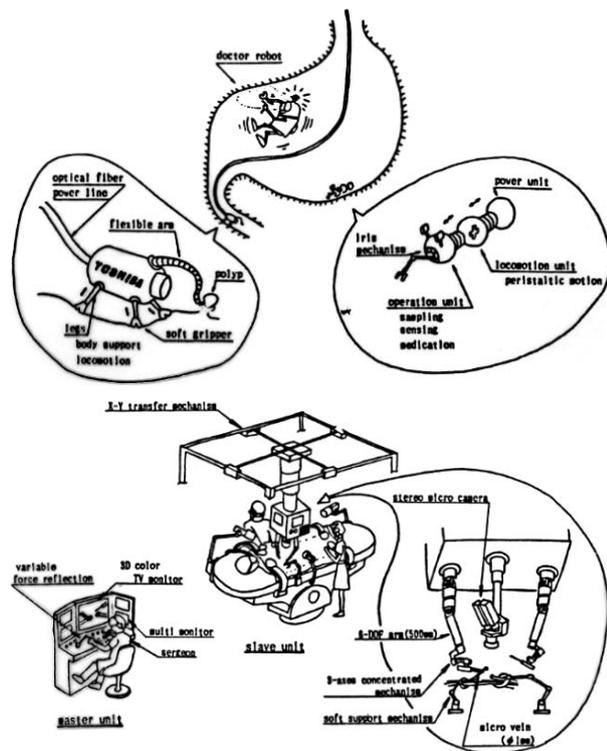


図1 私の残念体験 (medical micro manipulator; M³)

正式な研究テーマとしてGOがでて、私が中心となって研究を始めたが、結果的にはうまく研究展開できなかった。直後に米国を中心に急速に展開したMEMSや手術ロボットの研究開発に、出だしから完全に負けてしまった。

失敗の最大の原因の一つは、誰もやっていないこと（本当は米国で同時期に始まっていたのだが）、あるいは当時のロボット研究のホットトピックスから離れた研究テーマを本気でやってもよいのだろうか、という戸惑いを心の底で持っていたからだとして私は反省している。これは前述の「自信とプライド」の不足に起因すると思う。要するに、自分たちがロボット研究の最先端にいて、それを牽引する、とい

う自覚が当時の私になかったのである。

原因はまだある。「こんな奇抜なテーマはどうせ誰も取り組んでいないだろう。上司から指示された本来の仕事の合間にゆっくり進めていこう」。そんな呑気な気持ちがあったのだ。ところが、実際は同時期に世界のどこかで同じことを思いついて、そして実際に行動に移している人がいたのである。

新技術は世界の複数の場所で同時萌芽する。実は私はこのような経験にこれまで3回接している。同じような状況下に置かれた同じような意識や能力を持った研究者は同じような「凄い」アイデアを思いつくのである。

どんなに奇抜なアイデアだと思っても、同時に誰かがどこかで同じものを思いついていると考えた方がよい。ものにできるか否かは、それを堂々と行動に移せるか否かである。

4. 「なんちゃって」思考を乗り越えよう

イノベーションを起こすべき当の技術者にとっての最大の敵の一つは「なんちゃって思考」である。これはアイデア造出会議やブレインストーミングでしばしば見られる。M³の失敗の原因の一つもこれだと思っている。

ブレインストーミングでは否定的発言がご法度だから色々なアイデアが飛び交う。「こんなロボットができたらいいいね。ドラえもんみたいにタイムトラベルさせたらどう？ なんちゃって……」と、笑いながらどんどん話は膨らんでいく。

これ自体は問題ではない。問題はその後である。出てきたアイデアを基に行動を起こさなければならぬ。このプロセスをうまく機能させる必要がある。

実行段階に至って、「どうせできないよね……」という気持ちが少しでも残っているとイノベーションは絶対に起こせない。一方、「できること」だけの実行でもイノベーションは起こせない。

しかし、世の中には一見突拍子もないアイデアに対して「できる」と考える人たちがいるのだ。そういう人は、ケースによって異なるが、議論の前提を少し修正したうえで本質的な目的達成への筋道を描く場合が多いように思う。そしてその人たちのみに技術を完成させる資格が与えられるのである。たとえ思い込みであっても機能する場合もある。「できる」と確信して行動に移すことが重要なのである。

5. 「突拍子もないこと」にもポジティブに向きあおう

わが国でも従来にない新しい「技術分野」を開拓した事例は多い。例えば、胃カメラとウォークマン

である。

胃カメラは、東大病院の医師とオリンパスの技術者の共同によるイノベーションである。人類が見たことがない世界を見ようという、当時は「突拍子もない」思いつきを行動に移した点を私は素晴らしいと思う。その後、ファイバ内視鏡、電子内視鏡、内視鏡手術とオリンパスは独走している。こんな独創的な技術開発がなぜ成し遂げられたのだろうか？

一つは、開発を牽引した医師の情熱と確信であろう。技術開発には「思い」と「自信」をもった牽引役が必要であるが、この役目を東大の医師が見事に果たしている。もう一つは、当時の技術者のハングリーさではないだろうか。「日本の薬事は厳しくて……」とまことしやかにとどまる理由を並べてはいけないのだ。

ウォークマンは、当時は「突拍子もない」盛田／井深氏の思いつきを行動に移した成果と言える。私は大学生の頃、野外を歩きながらはじめて聞いたステレオ音源の感激は今でも忘れられない。新しい世界が広がったと感じた。

私の研究室では最近長さ20mのロボットアームを開発した(図2)²⁾。「20mの巨大アームを作ろう」と学生に持ちかけると、のってくる学生とのってこない学生がいる。のってこない優秀な学生は、教科書の理論や式を色々持ち出してできない理由を説明する。確かにそれは重要である。原理的にできないことに取り組むのは錬金術と同じだからである。しかし多くの場合、議論の前提や仮定を自ら作り、自ら可能性を制約している。工夫を凝らしその制約を突破することこそがイノベーション創出であると思う。錬金術も化学反応の枠を出て核反応まで考えれば……、専門ではないのでやめておく。



図2 20m長のロボットアーム（「できない」ことに挑戦する）

6. 問題意識を共有した異分野融合

イノベーションを生み出す一つの手法は、異分野融合である。今まで接点のない2つの「知恵」が融

合することでイノベーションが生まれる場合がある。

私の専門であるアクチュエータの分野では、特に異分野融合は重要である。私は機械工学をベースにしているが、機械工学だけの枠組みではそもそも新しいアクチュエータを生み出すのは限界に達している。材料の専門家と連携し、新しい機能材料を使うことではじめて新アクチュエータが出来上がる。応用も重要である。10 [T], -270 [°C] という特殊環境下で動くモータの開発に携わったことがあるが、これはそれを必要とする化学の研究者の情熱が牽引力となった。

異分野融合のポイントの一つは、問題意識の共有である。それぞれのバックグラウンドが違うとこれは案外難しい。分野が違うと「考え方」がそもそも違う。

例えば、工学の中でも、電気工学や機械工学といった「物理系」と化学やバイオといった「化学、生命系」とでは「実験」に対する考え方がまるで異なる。

荒っぽい言い方で当てはまらない例もあると思うが、一般に「物理系」の実験はロジックの確認である。例えば、1 Ωの抵抗に1Vの電圧をかけてみる。すると1Aの電流が観測された。これを「物理系」では「実験」と呼ぶ。

「化学、バイオ系」は異なる。この物質を細胞に注入するとどうなるか？わからないからやってみよう。これが「化学、バイオ系」でいう「実験」である。私のやっているロボットの「実験」は、「実験」ではなく「検証」でしょう、と化学の専門家に言われたことがある。生まれ育った環境の違いは、意外に根深いところで異分野融合の妨げになる。

その分野の専門家の意見、というのも鵜呑みにしてはいけない。専門家の意見というのは、いくら説明してもその専門分野の今までの常識を前提にした見解であることが多い。異分野融合というのは、それぞれの分野のそれまでの常識から一步外に出ることに価値があるのだから、十分なディスカッションをして問題意識を共有することが不可欠である。

「専門家に聞いたところ、それは非常識だ、無理だ、と言っていた」で終わってしまうケースを多く見てきた。これを超えるところに異分野融合の意義がある。

7. 相互信頼に基づく人的交流

融合のもう一つの形は、立場やバックグラウンドが異なる人間の交流である。マイクロマシンの国プロの管理業務に従事していた頃、プロジェクトに参加する多くの企業の研究者／技術者と親しく接する機会があり、社風や上司の影響がいかに大きいかわりに痛切に感じた。紳士的に振る舞う会社、押しの強い会社、とことん研究・技術を突き詰める会社、等々、

それぞれの上司／部下の姿勢がそっくりなのだ。知らず知らずに人間は、身を置く組織や上司から非常に大きな影響と、場合によっては制約を受けていることを目の当たりにした。環境によって考え方も仕事の進め方も異なる。ときには環境を変えて、あるいは色々な人と交流をして広い視野を持つ必要がある。そしてその際、相手を認めることと、敬う気持ちが不可欠である。

民間企業、大学、公的機関、経営者という立場によっても、仕事の進め方や考え方はずいぶん異なる。私の産学官の経験では、ちゃんとやっている人はそれぞれの立場でしっかりやられていると思う。ただ、お互いの理解が不足していると感じることがある。

産学官では、研究開発に対する考え方や取組み方も明確に違うべきで、それをしっかりと認識することで産学官連携はうまく機能する。

技術開発における「学」の本来の役割は、(1)全く新しい萌芽的な技術を開拓し、その可能性を理論や実験でしめすこと、(2)「産」では保有しない特殊な実験技術や理論を使って解析／設計を行う、等であると私は考える。製品に近い段階に完成度を上げることで、当初の研究計画通りに寸分の違いなく進めること、産業界での広い実践的知識を前提とした開発は、本来「学」では無理であり、そのような産学連携では双方に満足感が得られない。また私の経験で言えば、研究費を出して数か月に一回打ち合わせをするというのではなく、「産」から実際に「学」に人を派遣することによって優れた成果につながる場合が多い。

「産」は、製品化、実用化ということにもっと注力してもよいと感じることがある。特に大企業の研究所で基礎研究を進める場合、本当に出口が見えているのか、こちらが心配になる場合もしばしば経験したことがある。中には、ちょうど貴族が抱えた宮廷楽団のように「研究所」を位置付けているのではないかとさえ思え、もったいないと思うケースもある。私がとやかく言うことではないが。

昨年ノーベル賞を受賞した東工大の大隅先生は、「研究費はもう少しばらまいたらいい」というような発言をされた。現在、「学」における研究費は、「競争」、「集中」という方針の下、競争的資金が中心の配分になっている。このため、巨額な研究予算を持つ研究者と最低限の研究活動にも困るような研究者との予算にはかなり差が出ている。こんなに極端なことをせずに、1人100万円でもいいから条件をつけずにばらまいた方が全体として日本の学術活動は上がるのではないかと、というような主旨だったと私は理解している。

「大学はぬるま湯的環境だ。民間の競争原理をもっと導入するべきだ。ばらまきなどとんでもない。」と考える方もいるかもしれない。ノーベル賞受賞者だから許される発言であって、私が言ったりすると袋叩きにあうかもしれない内容である。

しかし、「学」の現場から見ると大隅先生のご意見は十分理解できる。集中投資すべき研究があるのは事実であるし、それは重要である。しかし、研究者の自主的な萌芽的研究をたくさん行うことによってその中から将来大輪となる芽が生まれる可能性も非常に高い。「学」の研究者の能力と良心を信頼し、「官」や一部の評価者の目に留まった研究以外にも一定の研究費を「ばらまく」ことは、学術、技術の健全な発展に大きく寄与すると私は思う。

読者の皆様はどのように考えるだろうか。しかし少なくとも、色々な見方があることの許容と、相手の信頼、尊重は不可欠である。これがあってはじめて産学官連携はうまく機能する。その意味で、産学官の間の流動的な人事異動／交流は、広くバランスの取れた視野を持つ人材の育成に、必要だと思う。

8. 真のグローバル化を目指そう

大学の世界ランキングで日本の大学の地位が低いことがしばしば話題になる。

よく目にするランキングでは英語圏の大学が高得点になる評価尺度が用いられる。例えばドイツの名門大学もランキングではかなり低い。しかしドイツでは国民の間でさほど問題になってはいないらしい。ドイツ留学経験者からは留学中になぜ英語の論文を読む？ドイツ語の論文を読みなさいと指導されたと聞いたこともある。

それに対し日本では状況は異なる。「優秀な高校生は東大など目指さず米国の大学を目指す」といった報道が堂々となされ、ますます「日本の大学はダメ」風評に拍車をかける。

しかし海外の研究事情に詳しい同僚からは、「高ランキングの米国の大学が、日本の大学に比べて本当にそこまで優れているか……??」という意見も聞く。

怖いのは、一面的な価値観に振り回されて、本来の強みを見失うことである。これまで「母国語による高等教育」というのが本来の強みであった。これを単純に「ガラパゴス」と評価してはいけないと思う。鎖国（現在の歴史学ではこの考え方自体も疑問視されているようである。「価値観」というのは時代によって変わるのだ）によって、世界に誇れる独自の文化がはぐくまれた。本来の強み、アイデンティティは見失ってはいけない。

そのような意味で、多機能のハイテク携帯電話を「ガラパゴス」と自虐評価して開発の歩みを止めざるをえなかったことを実は私は大変残念に思っている。そういうときにこそ、商品／技術開発、標準化、研究開発、経営といったそれぞれの立場で、真に「グローバルな」視野をもって活動することで道は拓けるのだと思う。

9. おわりに

先人たちの努力により我が国は世界有数の技術大国、そして経済大国となった。今後、我が国が真の技術先進国としてますます発展することを願って、

私見をいくつか述べさせていただいた。

世のブームに流されすぎず、それぞれの立場で、挑戦的に、かつ謙虚で真摯な姿勢を忘れずに、真の技術先進国を目指そう。

参 考 文 献

- 1) 鈴森, ほか: マイクロロボットのためのアクチュエータ技術, コロナ社, pp. 4-9, (1998年).
- 2) 武市, 鈴森: バルーン型ジャコメッティアームの試作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2A1-17a6, (2016年).


 随筆

PT. KYBI駐在記

田中巧大

1. はじめに

私は2011年1月から2015年10月までの4年10ヶ月の間、PT. Kayaba Indonesia (以下、PT. KYBI) にテクニカルアドバイザーとして駐在していた。

かねてより海外駐在を希望しており、念願叶って赴任することになったのだが、駐在期間中は山あり谷ありの連続であった。本報では私の駐在生活の一部をご紹介しますと思う。

2. 赴任

2010年4月上旬、私は半年後に控えた自身の結婚式の日取りを伝えるべく、上司や同僚の席を渡り歩くのに忙しかった。そんな中、上司からPT. KYBIへの駐在を命ぜられたのは、結婚の報告から1週間後のこと。新婚生活と海外生活が同時に訪れる事態に少し戸惑いながらも、異動を承諾した私は、2011年1月よりインドネシアへ移り住むことになった(写真1)。



写真1 自宅からの風景

3. インドネシアという所

正式名称はインドネシア共和国、約17,500の島々から成る島国である。領土は赤道を挟んで南北に約

1,900km、東西に約5,100kmあり、日本の約5倍の面積を有する。公用語はインドネシア語であるが地方毎で方言の範囲を超えた独自の言語が存在する。

駐在期間中、多少なりともインドネシア語には自信を持っていた私であるが、同郷者同士が地方言語で話す会話は、全く聞き取ることができなかった。

政府が定める国教はイスラム教、ヒन्दゥー教、キリスト教、中国儒教の4つであるが、国民の9割以上がイスラム教徒と言われており、教育や文化、法律等もイスラムの教えに沿ったものとなっている事が多い。例えば、イスラム教徒にとってタブーであるアルコール類は、外国人向け商業施設もしくは一定以上の売り場面積を有する店舗でしか販売を許可しないという法律が、2015年に制定された。イスラム教徒の若者が、興味本位で容易に飲酒出来てしまう環境を是正する事が目的とのこと。しかし実際は、販売禁止店舗であっても「Bir ada kah? (ビールあるか?)」と聞けば、「Ada (ある)」と言って店の奥から出てくるのだから、本当に有効な策かは疑問である。

一昔前までは、自動車は一部の富裕層か外国人の乗り物であったが、この10年程で急速に所得が増加し、いわゆる中間層が自動車を所有できるようになった。しかしながら、道路の整備が追い付いていないため、ジャカルタ首都特別州(以下、ジャカルタ)をはじめとする主要都市では、至る所で大渋滞が発生していた。そして、渋滞中の車の間を縫っておびただしいほどのバイクが走り抜け、やがてバイクも渋滞。車は更に動けなくなる(写真2)。まさに負の連鎖である。

自宅のあるジャカルタからPT. KYBIのあるMM2100工業団地(プカシ県)まで、30kmに満たない距離を高速道路を使って通勤するのだが、通常で1時間半、時には3時間以上掛かることも珍しくなかった。お陰で、日本の連休中の渋滞など、渋滞の内ではないと思えるほど気が長くなった。



写真2 通勤時の渋滞

インドネシアは親日国と言われている。実際、仕事や私生活の中でも、困りごとがあると周りの人達が親身になって対応してくれた。40年以上前からインドネシアに進出し、雇用と利益をもたらしてきた日系企業の努力の結果とも言えるが、それだけではないと思う。インドネシアには残留日本兵と呼ばれる方々が居たことをご存じだろうか。第二次大戦中、インドネシアは旧日本軍が占領していたが、それ以前はオランダ領東インドとして、オランダが統治していた。終戦を迎え日本が敗戦した後、再びオランダの占領が始まったのだが、インドネシアを独立させることを約束していた旧日本軍の一部の兵士が、その約束を守るべくインドネシアの地に残り、共に独立戦争を戦ったという。2014年8月、最後の残留日本兵である小野盛さんが亡くなった。現地の新聞やテレビで大きく取り上げられ、葬儀の様子を見ることが出来たのだが、小野さんの棺にはインドネシア国旗がかけられ、国軍兵士先導で英雄墓地に埋葬されるという待遇であった。日本の歴史の教科書を見開いても、どこにも載っていない。しかし、インドネシアの歴史上、大きな功績を残した残留日本兵。インドネシア人にとって日本人は、義理堅い人情で祖国の独立を手助けしてくれた心の友なのかも知れない。

4. PT. KYBIでの仕事

PT. KYBIでは四輪用ショックアブソーバ関連のテクニカルアドバイザーという役職に就いていた。

主に品質保証、製造、生産技術、メンテナンス、生産管理部門の現地スタッフに対して、仕事の進め方や不具合対処法の指導、日本からの指示事項の伝達を行ってきた。また、組織には属していなかったが、部品調達、原価企画、安全衛生部門にも深く関わってきた。入社以来、生産技術業務のみに従事

してきた私にとって、他部門の業務を、しかも異国の地で指導することは大変困難であった。もちろん、赴任前に一通りレクチャーは受けてきた。インドネシア語も勉強してきた。しかし、付け焼刃な知識で対応できることは極僅かであり、現地スタッフから相談されても上手くアドバイス出来ない日々が続いた。

特に手を焼いたのが品質関連の業務である。例えば「今日中に出荷する製品の性能が規格値を外れているが、どうすれば良い？」という問い合わせが、休日であろうと夜中であろうと降り掛かってくる。今でこそ、必要な情報を聞き出し、対処方法を指示できるようになったが、赴任当初は適切か否かに関わらず、思い付いたものを手当たり次第指示していた。もし誤って流出し品質クレームとなれば、客先から私に直接連絡が入り、自ら報告に行かなければならない。そんな不安や焦りから、指示事項が過剰に多くなり、それを思うように実施してくれないことに苛立ち、口調が荒くなることもあった。「私なんか勤まる仕事では無かった」そう思い始めたある日、現地の日本語新聞で次の言葉を目にした。

「慌てず焦らず 当てにせず

しかして飽きずに諦めず」

1969年、ジャカルタで初となる日本料理店「菊川」の総支配人であった菊池輝武さんという方が、来店する日本人駐在員に説き、今やインドネシアにおける邦人社会の格言ともなっている言葉である。日本では経験したことの無い問題が次々起こる。言語も文化も違う相手に、自分の言っていることを瞬時に理解してもらうことなど不可能である。それでも飽きず諦めず、共に前に進み続けることが、インドネシアで仕事をする上で最も重要なことなのだと思う。この記事を読んで以降、急に気持ちが楽になった。気負い過ぎず、一歩ずつ進もうと思えるようになった。流石に不具合の際に「慌てず焦らず」は難しかったが、「飽きず諦めず」という気持ちは持ち続けられたと思う。

駐在中、日本から多くの方々に出張頂き、大変お世話になった。前述のように、専門外の部門も担当していたため、力の及ばない部分も多かった。そのため、専門の方々へ支援を要請するのだが、その際に問題となるのがビザである。多くの出張者にはビジネスビザを取得後、出張頂くのだが、このビザで許可されているのはミーティングや取材のみ。工場への立ち入りは可能だが、実務作業は禁止されている。なお、工場内で実務作業を行うには、駐在員と同じ就労ビザと滞在許可証の取得が必要となり、申請書類の準備も含めると2ヶ月程度要するため、あ

まり多用しなかった。多くの出張者は現物を手に取って、やって見せることが出来ない中、言葉やジェスチャー、漫画絵などでローカルスタッフに伝達する必要があり、大変苦労されたことだと思う。この出張者とローカルスタッフとのパイプ役を担うこともテクニカルアドバイザーの重要な仕事であった。

出張者の指摘を受け、ローカルスタッフが具体的に何をしなければならないのか、どういったアウトプットを要求されているのかをはっきりと伝える必要があった。同時に、ローカルスタッフが必要としていること、疑問に思っていることなどを抽出し、出張者に伝える必要もあった。これを怠ると、せっかく教示頂いている技術や手法が、ほとんど伝わらないまま支援期間が終了する。そのため、支援期間中は始業時と終業時には必ずミーティングを開き、お互いが理解して進められるよう努めた。結果、ローカルスタッフだけでなく、私自身も随分勉強させて頂くことができた。



写真3 PT. KYBI正面玄関

5. 食事

インドネシア料理の中には、日本でよく食べられているものと似ている料理がいくつか存在する。

代表的な例を挙げると、Nasi goreng=チャーハン、Mi goreng=やきそば、Ayam goreng=鶏のからあげ、Sate ayam=やきとりである。厳密には調理方法や味が違うのだが、私にとっては日本のものより美味しく感じた。但し、私がお金を払って食べたいと思ったインドネシア料理は上記の4食くらいで、その他は全くと言って良いほど口に合わなかった。

ほとんどの料理が辛いのか甘いのかの二択で、白米においては臭みすら感じた。毎月1回、社員食堂で昼食を食べるイベントがあったが、申し訳ないが最後まで美味しいとは思えなかった。そのため、日々の

食事は日本食スーパーで日本のものか、それに近いものを購入し調理した。値段は日本で買うより2~3倍高いが、背に腹は代えられない。また、駐在員や出張者との食事でも日本食や欧米系のレストランが中心で、インドネシア料理店にはほとんど行くことは無かった。

一方、帯同していた妻は私とは対照的で、友人らとインドネシア料理店で食事をすることも少なくなく、一緒に連れて行かれた娘はKerupukという煎餅のような食べ物が好物になった。更に、路上でやっている屋台で色々つまみ食いをしたいとのことだったが、彼女らが倒れると私への影響も大きいため、断固反対させてもらった。

インドネシアはご存じの通り南国である。当然のことながら南国フルーツは新鮮で美味しく、何より安い。値段は大型スーパーでも日本の3分の1以下、市場で買うと5分の1以下で手に入った。パパイヤ、ドラゴンフルーツ、マンゴーは我が家の朝食の定番であり、雨季の後半になるとフルーツの女王マンゴスチンを食べることも多かった。帰任した今となっては、あり得ない朝食であり、もう一度東南アジアに駐在でもしない限り、再現することは無いであろう。ちなみにフルーツの王様ドリアンはと言うと、その匂いゆえ、一度も口にすることはなかった。



写真4 インドネシアの伝統料理

6. 休日と祝日

インドネシアのほとんどの企業は日本と同じく週休2日制をとっており、PT. KYBIも基本的に土日と祝日は休みであった。多くの日本人駐在員はゴルフに出かける人が多く、私も例に漏れず月3~4回のペースでプレーしていた。腕前はというと、数多くプレーしている割には余り上手な方ではなかった。恐らく、「今日のスコアが悪くても、また来週もあ

るから」という考えが、練習から遠ざけ、上達を妨げていたのだと思う。

家族帯同ということもあり、近くの大型ショッピングモールやレストランへも出かけた。前述のような交通事情であるため、駐在員とその家族は必ずと言って良いほど専属のドライバーを雇っている。もちろん実費で給料を支払っているのだが、彼らの月給は3万円程度のため、異国の地で事故を起こすリスクを考えると、むしろ安いと捉えるべきだろう。

ドライバーには毎日アパートのドライバー待機所に「出勤」してもらい、電話すれば玄関まで車を回してくれる。我々は後部座席に乗り込み、目的地の玄関で降車。ドライバーが駐車場で待機しており、帰りはまた玄関まで迎えに来てくれる。まるでテレビで見るとようなセレブになった気分だったが、お陰でペーパードライバー化してしまい、帰任後はなかなか運転の感覚が戻らなかった。

祝日は元日と独立記念日以外は、宗教に基づくものであり、イスラム教だけでなくキリスト教や中国儒教の祝日もあった。私の周りのインドネシア人は祝日は必ず休むことにしている人が多く、PT. KYBIのスタッフだけでなく、ドライバーやメイドに対しても配慮が必要であった。

インドネシアで最大の祝日はレバランと呼ばれるイスラム教の断食明けの大祭である。イスラム歴第九の月に断食を行い、その翌月の最初の2日間が大祭にあたる。ほとんどの企業や行政はこの大祭を中心に前後4～5日程度、合計で9～12日程度が休みとなり、インドネシア唯一の大型連休となる。

日本に置き換えると、正月とお盆が一度に来たようなものであり、大半の人が帰省する。スーパーやショッピングモール、レストランも一斉に休みとなり、ジャカルタに居残ると食べるものに困ると言われていた。

既にお気付きかも知れないが、レバラン初日の帰省ラッシュは、想像を絶する凄まじさである。道路の端から端まで車とバイクで埋め尽くされ、何時間も動かず、街にはクラクションの音が木霊する。この大渋滞を少しでも緩和しようと、毎年レバランの前になると道路整備工事が至る所で行われるのだが自動車やバイクの普及率も年々上がっており、整備が追い付いていないようであった。

この休暇を利用して一時帰国する駐在員が多い中、我が家は毎年バリ島へ旅行に出かけた(写真5)。バリ島は言わずと知れた世界屈指のリゾート地であり、且つヒンドゥー教徒が大半を占めるため、レバランとは関係なく時間が流れていた。加えて、PT. KYBIのレバラン休暇は世間より少し早く始まり、

少し遅く明ける。そのため、一度も大渋滞に巻き込まれることなく、快適に過ごすことが出来た。イスラム歴の周期は西暦より2週間ほど短いため、レバランの時期も毎年2週間ずつ早まっていく。私の駐在期間中はタイミング良く、乾季の真ただ中であつたため、常に晴天に恵まれ、海や山、街中散策を堪能することが出来た。

日本から同じ場所に同じ期間旅行しようと思うと、かなりの高額になる。しかし、同じインドネシア国内の移動であれば安価であり、また宿泊費についても、就労ビザ取得者は、一般の外国人よりもかなり割安に設定されていた。様々な好条件に恵まれた旅行であることは言うまでもなく、恐らく二度と成立することは無いであろう。なお、長女は3回連れて行ったが、帰任直前に生まれた二女は、一度も連れて行っていない。物心つく頃にはクレームは必至であり、何と言いつても、どう埋め合わせしようか、頭が痛い。



写真5 バリ島のホテルロビーからの風景

7. 帰任

2015年10月、私は岐阜北工場へ帰任した。貴重な経験・多くの知識を得ることができたが、今一度マザー工場の技術を学び直そうと思い、自ら帰任を希望した。人とモノと時間を調整し、目標達成に向けてローカルスタッフを動かしていくことに関しては、少なからず力が付いたと自負している。

しかし、自身の技術力に関しては最後まで力不足を感じていた。また、マザー工場の最新工法や工程思想の伝達が、徐々に難しくなってきたことも理由の一つである。赴任当初は実際に見て、経験してきたことを中心に展開してきたが、次第に未経験の聞いただけの話伝えることが増え、理解し切れないまま展開することも少なくなかった。そして、古巣

である生産技術部へ戻り、再度技術を磨きたいと考えるようになった。当時の拠点長には「個人的にはもう少し居て欲しいのだが」と有り難い言葉を掛けて頂いた。本当にお世話になった方だけに、帰任したい旨を伝えるのが心苦しかったが、最終的には私の思いを理解頂き承諾を頂いた。

現在、私は岐阜北工場生産技術部にて、新ラインの構築に携わっている。駐在中、不足を感じていた技術力を少しでも補えるよう、日々精進する所存である。

8. おわりに

駐在時期を共にし、頼りなかった私を飽きず諦めずご指導頂いた拠点長、同僚の皆様、遠路遥々お越し頂き、ご支援頂いた出張者の皆様、そして、どんな時も共に前に進もうとして下さったPT、KYBIの皆様、私が4年10ヶ月という長きに渡り、駐在業務を遂行できたのは、偏に皆様のご協力あつての事と思います。この場をお借りして御礼申し上げます。ありがとうございました。

著者



田中 巧大

2002年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部 岐阜北工場生産技術部 SA第一生産技術課。岐阜北工場 生産技術部 SA工程設計係、PT、KYBI駐在を経て現職。

随筆

アメリカ・メキシコ駐在記

奥村 哲也

1. はじめに

2008年2月から2016年1月までの8年間に渡ってアメリカとメキシコでの駐在生活を経験した。

アメリカ駐在はKYB Manufacturing North America (以下KMNA) から現在のKYB Americas Corporation (以下KAC) に変わる間の5年8か月、メキシコはKYB Mexico S.A. de C.V. (以下KMEX) の立ち上げから2年3か月間の駐在であった。

妻と一人娘、愛犬と共に家族帯同で駐在を始めたが、娘は中学二年生から高校卒業までをインディアナで過ごし、大学で日本に戻るため先に帰国した。駐在を通じて家族と共に貴重な経験をさせて頂いたため、その一部を紹介する。

2. KYB Manufacturing North America (KMNA)

駐在を始めた2008年当時は、サブプライム住宅ローン危機に端を発して資産価値の暴落が起こった、いわゆるリーマンショックの時であった。KMNAは赤字が続いており、経営は厳しい状況にあった。それに追い打ちを掛けるように売上は減少し続け、リーマンショック前の半分にまで落ち込んだ月もあった。従業員も駐在員も減少の一途を辿り、資金調達においても地元の銀行は貸し剥がしを行い、他の米系銀行も新規貸付を受け付けない。唯一、KYBのメインバンクのみが借入枠の増枠に応じてくれたため、小切手等全ての取引をこの銀行に移し資金を確保できた。また、先が見えない状況であった2008年度には固定資産の減損も行ったため、最悪の決算となった。

2008年度はこのような状況にあったが、徹底的なコスト削減を行い、売上も徐々に増え、翌2009年度には黒字化を達成することが出来た。

3. KYB Americas Corporation (KAC)

2011年10月、KMNAはシカゴの販売会社KYB America LLCを吸収合併し、製造会社と販売会社

がひとつの会社となり、社名がKYB Americas Corporationとなった。合併に伴い経理部門はインディアナに集約するため、人財の採用とシカゴでの引継ぎに奔走した。

2012年には工場に隣接するDaily Journalという新聞社の土地と建物を買収し、事務所を移転することになった。最初に開発部門と経理部門のみが移動したのだが、買収後もしばらくは建物の半分を新聞社が使っており、壁を隔てて新聞社と同居しながら仕事をしていた。現在はほとんどの事務部門が移動し、米州統括の本拠となっている（写真1）。

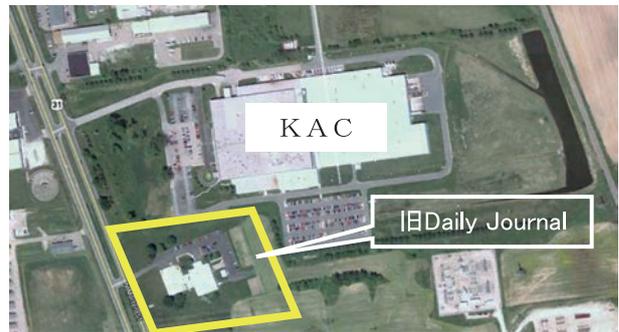


写真1 KACと旧Daily Journalの敷地

4. アメリカの自然

KACのあるインディアナ州は米国中西部に位置するため大陸性気候で、夏は35℃以上になることもあるが湿度が低いため、日陰は過ごしやすい。時折激しい雷雨を伴ったサンダーストームが発生する。遮るものが無いため遠くで鳴っていても危険であり、会社の木にも駐在期間中に数回落雷があった。駐在が始まって5か月目の2008年夏には洪水に見舞われた。道路が至る所で通行止めとなり、会社も駐車場が冠水し水没した車もあった。また、米国駐在終盤の2013年4月にはゴルフボール大の雹が会社周辺に降り、従業員の車が被害にあった。インディアナ州は比較的トルネード（竜巻）の発生が多い州としても知られており、よく警報が鳴ることがあったが幸

い遭遇したことは無い。

冬は大体零下10℃位で、寒いときには零下20℃を下回ることもある極寒の地である。屋外に居ると「寒い」というより「痛い」という方が近い感覚かも知れない。雪は年に数回積もるため通勤時には注意して運転しなければならないが、特に危険なのはフリージング・レイン（雨水）という着水性の雨が地面で凍る状況であり、道路がスケートリンクのように滑る。

このような厳しい自然環境であったが、現地の人々に助けられながら事故なく無事に過ごすことができた（写真2）。



写真2 フリージング・レインで凍った庭の木

5. KYB Mexico S.A. de C.V. (KMEX)

2012年10月KMEXが設立された。場所はメキシコのグアナファト州シラオ市の工業団地である。この工業団地は広さが20万ヘクタールあり、空港が隣接し貨物鉄道が通っている。100社強の会社が工場や倉庫を有しており半数が日系企業である。

KMEXのあるグアナファト州はメキシコ中央部に位置し、国内では6番目に人口が多い州である。主要産業は自動車や革製品を中心とする製造業で、日本企業ではマツダ様やホンダ様がそれぞれ工場を稼働させており、トヨタ様も2019年に進出予定となっている。また、隣のアグアスカリエンテス州には、日産様やジヤトコ様といったお客様の工場がある立地となっている。

工場建設中は工業団地の管理ビルの一室を借りて仮事務所としており、経理処理はメキシコ首都メキシコシティにあるグループ会社の経理に委託していた。駐在前はインディアナからメキシコシティに出張し、帳簿のチェックや報告資料の作成を行っていた。

2013年10月、メキシコ駐在が始まった。ビザは、インディアナのメキシコ領事館で仮ビザが発給され、メキシコシティの移民局で本ビザが発給されるため、日本に帰ることなく駐在手続きが完了した。

2014年3月に仮事務所から工場に移動し、無段変

速機（以下CVT）用ポンプの生産準備に入った。事務所がまだ工事中であったため、仮の部屋に机を並べた（写真3）。



写真3 工事中のKMEX事務所

2014年5月末にお客様、州知事、市長、取引先様を招待してCVT用ポンプ工場の開所式を開催した。州知事が出席されるので政府により式次第が決められ、式当日は大勢の護衛を従えて来社され、スピーチを終えた後は工場裏からヘリコプターで帰られた。昼食時には、「上を向いて歩こう」や「Cielito Lindo」（日本でも知られているメキシコの歌）を従業員と駐在員で合唱する等、準備は大変であったがユニークな開所式となった（写真4、5）。



写真4 CVT用ポンプ工場開所式にて（右はグアナファト州知事）



写真5 CVT用ポンプ工場開所式翌日の新聞記事

2014年12月、メキシコやパナマにあるグループ販売のアフターマーケット業務をKMEXに移管して製販一体とした。そのため、グループ販売や弁護士等との打合せにメキシコシティに出張する機会が増えた。

メキシコシティは駐在員が住んでいるレオン市から南東に約380km強、車で4時間半程度の距離にあり、標高は2,300mで高山病にかかる出張者もいる。

余談になるが、メキシコの高速度道路は制限速度が110km/hのところが多く、飛ばしている車が多い。しかし、高速度道路を人が渡り自転車走る等、危険が沢山潜んでいる。当然事故も多く、通行止めになる程の大事故も度々起こる。出張の帰りに数キロ先の高速度道路に小型飛行機が墜落し、大渋滞に巻き込まれた経験もある。手前で休憩していなかったら遭遇していたかも知れない。

2014年12月、ショックアブソーバ（以下SA）工場の建設が始まった（写真6, 7）。KMEXの敷地は全体で13.4万㎡あり、1/4をCVT用ポンプ工場、1/2をSA工場、残りの1/4は芝生を植えて社内イベントのオープンハウス等に使っている。



写真6 SA工場鍬入れ式



写真7 建設中のSA工場

6. 世界遺産

KMEXがあるシオラ市の近くには、州都であり

世界遺産に登録されているグアナファト市がある。KYBの会社紹介ビデオにも映っている色とりどりの建物が立ち並ぶ歴史的な街である（写真8）。グアナファト市は16世紀半ばにスペイン人により築かれ、18世紀後半には世界でも有数の銀の産出地であった。グアナファト市への道は銀の坑道跡が道路となっており、非常に趣はあるが迷路のようである。この銀によってもたらされた富がメキシコを代表する大劇場であるファレス劇場（写真9）を有する文化の街をつくりあげ、メキシコ独立運動を率いた進歩的な考えを持つ人々を輩出した。

街中にはグアナファト大学があり、観光客に加えて学生の姿が目立つ。



写真8 グアナファトの街



写真9 ファレス劇場

7. メキシコ生活

駐在員が住んでいるレオン市はグアナファト州最大の都市であり、人口約140万人を有する革製品で栄えた街である。標高1,800mの高地にある。日系企業が多く進出しており、他社の駐在員家族とも交流できて生活情報を共有していた。

市内にはメキシコ料理（写真10）、スペイン料理、フランス料理、韓国料理等の美味しいレストランが



写真10 メキシコ料理の定番「タコス」

沢山あり，日本食レストランや食材店もあるため，食事には恵まれている。ただし，庶民的なレストランでは食中毒に注意が必要である。

駐在時，グアナファト州はメキシコの中でも比較的治安が良かったのだが，最近は治安悪化が報じられており残念であると共に心配でもある。駐在当時間も車上狙い等の盗難事件は頻発しており，車から離れるときは荷物を車に残さない点は留意していたが，今はそれ以上に神経を使うことが多く大変だと思う。

一般的にメキシコ人は楽観的で明るく，陽気で人懐っこくて世話好きで，その瞬間を楽しみ先の事はあまり深く考えないところがある。従業員の結婚式

に招待されたことがあるが，夕方に教会で式を挙げ，その後披露宴会場に移動して朝までテキーラを飲み，食べ，踊る。会社のクリスマスパーティーでもメキシコ独特の賑やかな音楽によって終始踊り続けている。

アメリカ人もメキシコ人も家族との時間を非常に大切にする。ほとんどの従業員は定時までには仕事を終えて帰宅する。

メキシコ人は人生を楽しく過ごす。宗教への信仰が篤いこともあるが自殺する人は極めて少ない。帰国後，毎日のように自殺のニュースを聞く度に日本人の人生観について深く考えざるを得ない。

8. おわりに

KACやKMEXと一緒に仕事をしたローカルスタッフや駐在員の皆様にいつも助けて頂き，8年間の駐在を全うできたと感謝している。紙面を借りてお礼を申し上げたい。両拠点とも駐在員のチームワークはとても良かったと思う。仕事では苦楽を共にし，週末はゴルフを楽しんでストレス発散し，8年間で非常に短く感じられた。

仕事の上でも，自分や家族の人生においても貴重な経験をさせて頂いた。

著者



奥村 哲也

1987年入社。経理本部経理部長。
岐阜地区経理部門，本社経理部，
アメリカ，メキシコ駐在を経て現職。

水圧電磁比例制御弁の応答特性[※]

Response Characteristics of Water Hydraulic Proportional Control Valves

吉田 太志
YOSHIDA Futoshi

要 旨

水圧電磁比例制御バルブは、作動流体に「清水」を用いていることから高い環境性と安全性を必要とするシステムに適しており、特に食品加工機械、半導体製造装置への応用が期待される。筆者らは、既報において、本バルブを補償回路部、ソレノイド部、案内弁部の3つの要素に分けて、要素ごとに、実験的及び解析的に伝達関数を定義し、バルブ性能へ及ぼす設計パラメータの影響を検証してきた。本バルブは、潤滑性の乏しい水を作動流体としているため、その構造的特徴である静圧軸受けと減衰力発生用の絞り（以下、減衰絞り）は、それぞれ、スプールの磨耗・摩擦の防止、スプール動作の安定化の機能を有している。しかし、これらの静圧軸受けと減衰絞りはスプール動作に対してその構造から、前者は応答性に効果的なメータイン回路、後者は減衰性に効果的なメータアウト回路を構成し、これらは目的に応じて機能を仕分けする。本報では、バルブ全体の特性に大きく影響を及ぼすと考えられるソレノイド部と案内弁部で表される開ループ伝達関数に着目し、静圧軸受けと減衰絞りの幾何学的パラメータの影響を考察した後、これらのパラメータがバルブ全体に及ぼす影響について、そのステップ応答特性の観点から解析的に検証した。

Abstract

Water hydraulic proportional control valves using “tap water” as the working fluid are suitable for systems that require high levels of environmental friendliness and safety as they use “tap water” as the working fluid. There is a high level of expectation for applications in the fields of food processing machinery and semiconductor manufacturing equipment in particular. In the previous report, the authors defined the transfer functions of three components of the water hydraulic proportional control valve, namely the compensation circuit, the solenoid, and the pilot valve, and examined the effects of design parameters on valve performance using experimental and analytical methods. These water hydraulic proportional control valves use tap water, which has poor lubricating properties, as the working fluid, and the hydrostatic bearings and damping orifices that make up their mechanical features function to prevent friction and wear in the spool, and stable operation of the spool itself. The structure of the hydrostatic bearings also consist of a meter-in circuit that is effective for spool operation response, while the damping orifices consist of a meter-out circuit that is effective for damping characteristics of the spool; their functions are used as required depending on the purpose of the valve. This report focuses on the open loop transfer function represented by the solenoid and the pilot valve sections that have a major impact on the characteristics of the entire valve, examines the effect of hydrostatic bearing and damping orifice geometric parameters, and verifies analytically the step response characteristics that these parameters have on the entire valve.

[※]Scandinavian international conference of fluid power (SICFP2013), Linköping, Sweden (2013年6月)にて発表。

1 諸言

水圧電磁比例制御バルブは、作動流体に「清水」を用いていることから高い衛生性と安全性を必要とするシステムに適しており、その応用範囲は、食品、飲料、半導体、医療、医薬、化粧品、化学薬品、自然エネルギー、水中作業機械など多岐にわたる。

特に、従来手作業で行われていた食肉・水産加工の自動化においては、高い衛生・洗浄性を備えたシステムの実現が期待されている。

筆者は、既報において、本バルブを補償回路部、ソレノイド部、案内弁部の3つの要素に分けて、要素ごとに、実験的及び解析的に伝達関数を定義し、バルブ性能へ及ぼす設計パラメータの影響を検証してきた^{1)~5)}。本バルブは、潤滑性の乏しい水を作動流体としているため、スプールの両端を静圧軸受けで支持することで摩擦・摩擦を防ぎ、かつ静圧軸受けから流出した流体をスプール両端の圧力室へ導き、スプールの動作を安定させるために減衰力を発生させる構造になっている。静圧軸受けと減衰絞りはスプール動作に対してその位置関係から前者はメータイン回路、後者はメータアウト回路を構成している。メータイン回路はスプール動作の応答性に効果的であり、その逆のメータアウト回路は減衰性の効果を持つため、これらは目的に応じて機能を仕分けする。バルブを安定にするにはこれらの寸法を最適値に設定する必要があるが、いままでに理論的考察は十分に行われておらず、経験的に決められていた。

本報では、バルブ全体の特性に大きく影響を及ぼすと考えられるソレノイド部と案内弁部で表される開ループ伝達関数に着目し、その幾何学的パラメータの影響を考察した後、バルブ全体の特性について、その応答性の観点から検証した。具体的には、静圧軸受けの等価絞り径 D_b と減衰絞り径 D_n の寸法比を $Cr = D_n/D_b$ で定義し、 Cr の変化に伴う案内弁部の一次遅れ系の時定数 T_L 及びソレノイドと案内弁部を含めた2次遅れ系の減衰係数 ζ への影響、更にバルブ全体の補償回路を含めた一巡伝達関数のステップ応答における Cr の影響を解析的に考察した⁶⁾。

2 水圧電磁比例制御弁の概要

水圧電磁比例制御弁の構造的特徴及び制御方法について説明する。

2.1 構造

図1に水圧電磁比例バルブの構造を示す。表1に主な仕様を示す。作動流体に低粘性の清水を用いているため、しゅう動部の隙間に水膜を形成するのが

困難である。そのため、本バルブのスプールはその両端を静圧軸受けで支持し、スプールはスリーブに対して非接触で変位し、しゅう動による摩擦・摩擦の低減を図る構造になっている。

スプール両端の圧力室から戻りラインの間に減衰絞りを設けている。これにより、スプール動作に対して減衰力を与えることでバルブ動作を安定化させることができる。

スプールはソレノイドの推力とばねの力のバランスで定位している。一般的なソレノイドバルブは、スプール両端をソレノイドと圧縮ばねで支持された構造になっているが、本バルブは引張りばねを採用している。引張りばねを採用することでスプールの片方の端が自由端になるため、モーメントや横力の低減に対し、静圧軸受けの機能をより効果的に得ることが可能になる。

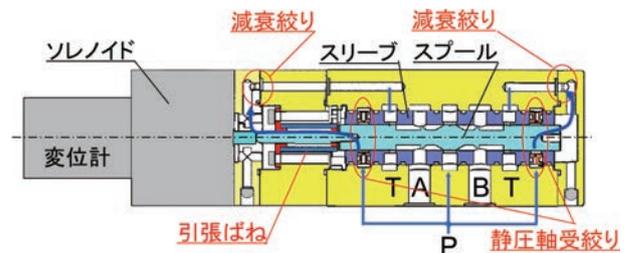


図1 構造

表1 主な仕様

項目	仕様
定格流量	20L/min
使用圧力範囲	3.5~14MPa
使用温度範囲	2~50°C
作動流体	水道水

2.2 静圧軸受け絞りと減衰絞りの機能

図2にスプールと静圧軸受け絞り及び減衰絞りの位置関係を模式的に示す。静圧軸受け絞りの機能は、スプールをスリーブ内で非接触で支持し、摩擦・摩擦を防ぐことであるため、その設計寸法はスプールを保持するための負荷容量で決まる¹⁾。静圧軸受け絞りを通過した流体は、スプール端部の圧力室へ導かれる。これが減衰絞りを通過することで減衰力が発生する。従って、減衰絞りの設計寸法は静圧軸受け絞りの設計寸法に依存し、一義的には決まらない。

静圧軸受け絞りは、スプールを非接触で支持する機能のほかにスプールとの位置関係から明らかのように、スプールの動きに対してメータイン回路として機能し、スプール動作の即応性に効果がある。一方、減衰絞りは、スプールの動きに対してメータア

ウト回路として機能し、スプール動作の減衰性に効果がある。スプールの動作に対してこれらがメータイン、メータアウトのどちらの機能がより効果的に作用するかは、2箇所の絞りの相対的な関係によって決まる。つまり、静圧軸受け絞りが減衰絞りより相対的に小さければメータインの効果、逆に減衰絞りが静圧軸受け絞りより相対的に十分大きければメータアウトの効果が強くなる。両者が同等の場合は、メータインとメータアウトの効果が複合して、スプールの動作に影響を及ぼすと考えられる。

一般的に水の粘性は油に比べて約1/30と非常に小さいので十分な減衰力を発生させるには絞り径を非常に小さくする必要があると考えられ、また実用面からは絞り径を小さくすることでコンタミの影響が懸念されることもあり、その効果の定量的な検討はほとんど行われていない。この点に関して、本バルブを対象に、減衰絞りの減衰力を算出するために必要な摩擦係数について油と比較しながら検討する。

はじめに絞り穴径 D とレイノルズ数 Re の関係を、絞り寸法と、流量の実測値²⁾を用いて算出する。例えば絞り径を $\phi 0.6$ とすると水の場合はレイノルズ数が約9,000で乱流となるのに対し、油の場合のレイノルズ数は約300で層流になる。これは同じ絞り径でも水と油の場合では流れの状態が異なっていることを意味する。次に図3にレイノルズ数 Re と摩擦係数 λ の関係を示す。油の場合の摩擦係数は層流であるからハーゲンポアズイユの法則から $\lambda = 64/Re$ を適用すると $\lambda_{oil} = 0.22$ になる。一方、水の場合は乱流となることから摩擦係数はブラシウスの実験式 $\lambda = 0.3164/Re^{0.25}$ を適用し、 $\lambda_{water} = 0.033$ となる。このことから水の摩擦係数は油に比べて約1/6になることが分かる。

上記の結果を踏まえて、図4に一般的な絞り径で計算した減衰力について水と油の場合で比較して示す。この結果より、油と同程度の減衰力を得るためには水の場合は、油の場合に比べ、絞り径はほぼ半分となることがわかる。絞り径を小さくすることで

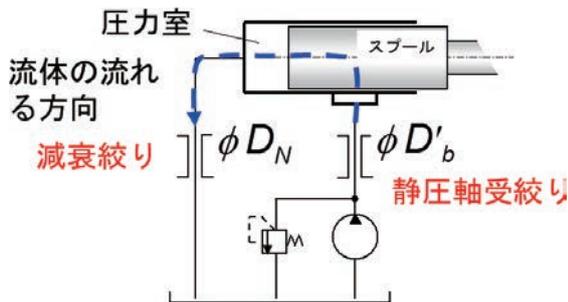


図2 静圧軸受け絞りと減衰絞りのスプールに対する位置関係

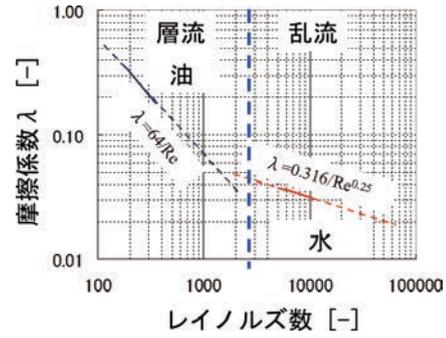


図3 レイノルズ数 Re と摩擦係数 λ の関係

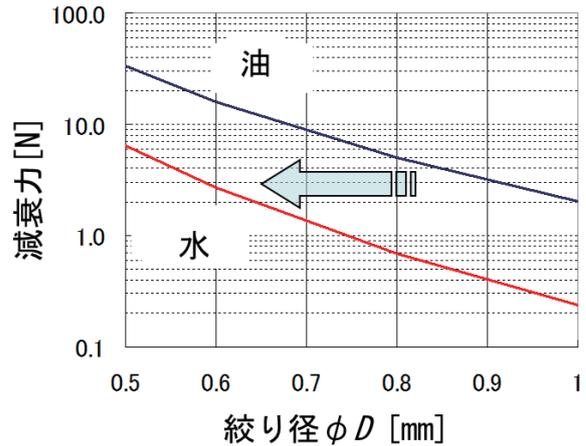


図4 絞り径と減衰力の関係

量産性の観点から穴加工の精度の向上、コンタミネーションの対策はますます厳しいものとなる。したがって、水圧系で減衰を得るには減衰絞りの穴径を小さくするだけではなく、本報で示すようなメータインとメータアウトの効果を複合して得られる回路構成が妥当である。

2.2 制御方法

図5にバルブ内で構成されるシステムのブロック線図を示す。本バルブは、補償回路、ソレノイド、バルブの要素に分けることができる。それぞれの伝達関数を $C(s)$ 、 $S(s)$ 、 $P(s)$ で表す。バルブ制御はスプール変位を作動変圧器の変位計で検出し、これをフィードバックしてPI制御の補償回路により行っている。

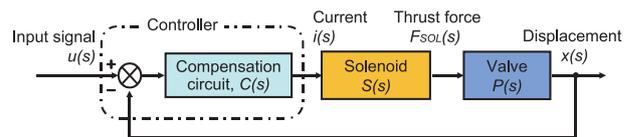


図5 ブロック線図

3 伝達関数

図6に解析モデルのパラメータ定義図を示す。

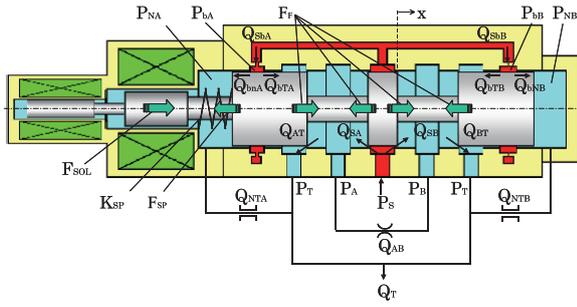


図6 パラメータ定義

前述のように本バルブは、補償回路部、ソレノイド部、案内弁部の3つの要素に分けて考えることができる。補償回路は一般的なPIコントローラとして式(1)で定義する。

$$C(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad (1)$$

ソレノイドの伝達関数 $S(s)$ は、既報において実験的に一次遅れの標準形で近似できることを確認しており、式(2)の伝達関数で定義する。図7にソレノイド単体の推力の周波数特性の実験結果と式(2)の伝達関数の解析結果の比較を示す。

$$S(s) = \frac{K_{SOL}}{\tau_{SOL} s + 1} \quad (2)$$

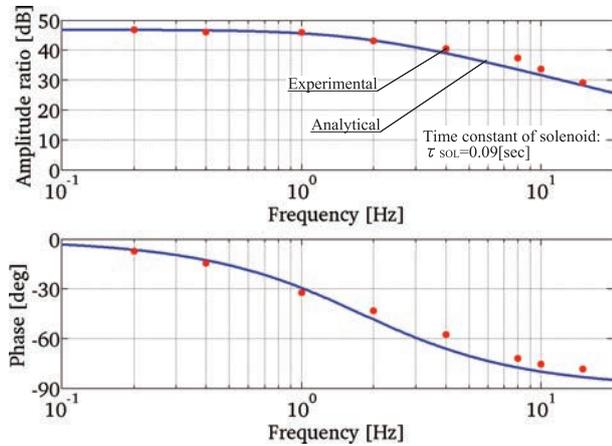


図7 ソレノイド推力の周波数特性

案内弁部の伝達関数 $P(s)$ は、各部の圧力、流量を実験点近傍において線形化した数式モデルをラプラス変換することで式(3)の一次遅れ系の伝達関数として求めることができる。なお、式(3)の各パラメータは式(4)~式(19)で定義する。ここで、式(15)の C_r は、減衰絞りと静圧軸受け絞りの直径比である。静圧軸受けはスプールの円周方向に4ヵ所配置されていることから、これらを一つの絞りとして式(14)で定義した等価直径 D'_b で現し、その比を $C_r = D_N/D'_b$ とした。静

圧軸受け絞りの流れは、実測流量と形状寸法から算出されるレイノルズ数から層流と判断し、チョーク絞りとして式(12)でモデル化した。減衰絞りの減衰力を決める摩擦係数 λ は、前述のとおり、その流れが乱流であるため、ブラシウスの実験式を適用し、式(19)でモデル化した。

以上で定義した3つの要素の内、補償回路を含まないソレノイドと案内弁により構成される伝達特性は、図8に示すブロック線図の開ループの伝達関数 $V(s)$ として、式(20)の二次遅れ系で表される。ここで、減衰係数 ζ と固有振動数 ω 及び比例定数 K は式(21)~式(23)で定義される。更に、図5に示したように補償回路を含めたバルブシステムのフィードバック制御の開ループ伝達関数 $V_{SYS}(s)$ は、式(24)に示す三次遅れ系となる。

$$P(s) = \frac{x(s)}{F_{SOL}(s)} = \frac{K_L}{T_L s + 1} \quad (3)$$

$$T_L = \frac{\Gamma - \xi}{K_{SP} + \beta} \quad (4)$$

$$K_L = \frac{1}{K_{SP} + \beta} \quad (5)$$

$$\Gamma = (L_{bn} + L_{bT}) \frac{2\pi \cdot D_{SPL} \cdot \mu}{\delta} \quad (6)$$

$$\xi = \frac{2A_{SPL}^2}{\alpha \cdot \alpha_{bN}} \quad (7)$$

$$\beta = 8 \cdot C \cdot L_w \cdot (P_S - P_L) \cot(\theta) \quad (8)$$

$$\alpha_N = \frac{\pi^2 2^5 D_b^5}{16 \rho L_{NT} Q_{NT0}} C_r^5 \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_{bN}}{\alpha_{bN} + \alpha_{bT} - \alpha_b} - \frac{\alpha_N}{\alpha_{bN}} - 1 \quad (10)$$

$$\alpha_{bN} = \frac{\pi \cdot D_{SPL} \cdot \delta^3}{12 \cdot \mu \cdot L_{bN}} \quad (11)$$

$$\alpha_b = \frac{\pi \cdot D_b^4}{32 \cdot \mu \cdot L_b} \quad (12)$$

$$\alpha_{bT} = \frac{\pi \cdot D_{SPL} \cdot \delta^3}{12 \cdot \mu \cdot L_{bT}} \quad (13)$$

$$D'_b = 2D_b \quad (14)$$

$$C_r = \frac{D_N}{D'_b} \quad (15)$$

$$D_N = 2C_r D_b \quad (16)$$

$$w = \frac{4Q_{NT0}}{\pi \cdot 2^2 D_b^2 C_r^2} \quad (17)$$

$$\lambda = 0.3164 \cdot \left(2 \frac{w D_b}{v} \right)^{-0.25} C_r^{-0.25} \quad (18)$$

$$Re = \frac{2wD_b}{\nu} C_r \quad (19)$$

$$V(s) = \frac{K\omega^2}{s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2} \quad (20)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{T_L \cdot \tau_{SOL}}} \quad (21)$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\tau_{SOL} \omega} + \tau_{SOL} \omega \right) \quad (22)$$

$$K = \frac{K_{SOL}}{K_{SP} + \beta} \quad (23)$$

$$V_{SYS}(s) = \frac{k_p K \omega^2 \left(s + \frac{1}{T_I} \right)}{s^3 + 2\zeta\omega s^2 + (1 + k_p K)\omega^2 s + \frac{k_p K \omega^2}{T_I}} \quad (24)$$

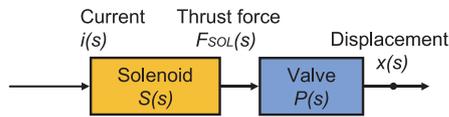


図8 補償回路を除いたソレノイドと案内弁のブロック線図

4 結果と考察

バルブ全体の特性を調べる前に、図8で表される開ループ伝達関数の伝達特性と減衰係数 ζ 及び静圧軸受け絞りの等価直径比 C_r との関係性を知ることは重要である。

減衰係数 ζ と静圧軸受け絞りの等価直径比で定義した C_r の変化に伴う式(3)の案内弁部の一次遅れ伝達関数 $P(s)$ の時定数 T_L と式(20)のソレノイドと案内弁部の二次遅れ系の伝達関数の $V(s)$ の減衰係数 ζ との関係について考察する。図8に C_r と減衰係数 ζ 及び時定数 T_L の関係を示す。

4.1 案内弁部の伝達関数 $P(s)$ に及ぼす C_r の影響

$C_r > 1$ の場合は、減衰絞りの穴径が静圧軸受け絞りの穴径に対して相対的に大きいことを意味し、逆に $C_r < 1$ の場合は穴径が静圧軸受け絞りの穴径に対して相対的に小さいことを意味する。

上記を踏まえると案内弁部の伝達関数の時定数 T_L と C_r の関係として以下のことが言える。

- ① C_r が小さいほど時定数 T_L の値が大きくなり、案内弁部の応答は遅くなる。これは、減衰絞りがスプール動作に対してメータアウトの効果を及ぼすことを意味する。
- ② C_r が大きいほど時定数 T_L の値が小さくなり、案内弁部の応答は速くなる。これは、減衰絞りによるメータアウトの効果よりも、静圧軸受け絞りによるメータインの効果が大きいことを意味する。

- ③ 全体的な傾向として C_r の増加に対して時定数 T_L は反比例して減少し、スプール動作に対するメータアウトの効果も急激に減少し、 $C_r > 1.2$ では減衰絞りとしての効果はほとんどないと言える。

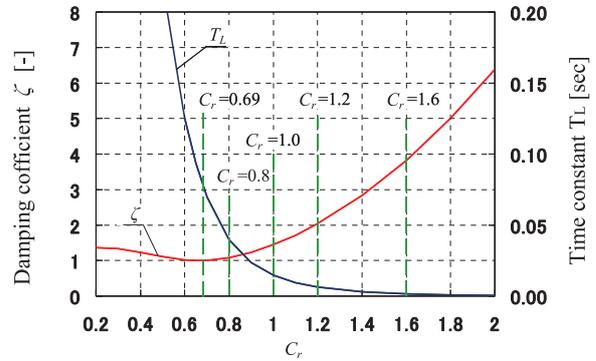


図9 C_r と減衰係数 ζ 及び時定数 T_L の関係

4.2 C_r が案内弁部とソレノイドの積で表される伝達関数 $V(s)$ に及ぼす影響

同様に図9において、式(4)の案内弁部とソレノイドの積で表される開ループ伝達関数 $V(s)$ の減衰係数 ζ と C_r の関係として以下のことが言える。

- ① C_r の値に関わらず ζ は常に正であるから基本的には、補償回路を除いたソレノイドと案内弁部の伝達特性は安定である。
- ② $C_r = 0.69$ で減衰係数 ζ は最小値1となり、過渡応答においてオーバーシュートを生じない応答臨界制動になっている。
- ③ $\zeta > 1$ より大きいと過制動になり、応答が遅くなる。
- ④ C_r の増加に対して減衰係数 ζ は指数関数的に増加し、過制動の度合いが大きくなる。

4.3 補償回路を除いた開ループ伝達関数のステップ応答特性に及ぼす C_r の影響

図10に開ループ伝達関数のステップ応答特性に及ぼす C_r の影響を示す。 $C_r = 0.69 \sim 1.6$ の場合である。

C_r が小さいほど伝達関数 $P(s)$ の時定数 T_L が大きくなる

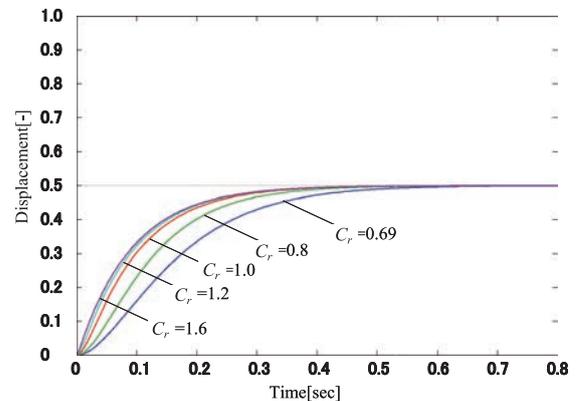


図10 C_r が開ループ伝達関数のステップ応答特性に及ぼす影響

なるため、立ち上がりが速くなる傾向を示している。

C_r が大きいほど、伝達関数 $P(s)$ の時定数 T_L が小さくなり、立ち上がりが速くなるが、伝達関数 $V(s)$ の減衰係数 ζ が大きくなることで過制動になり、応答性としては必ずしも良いとは言えない。 $C_r = 1$ 以上では整定時間に大差はみられない。

以上の関係から、 C_r が小さい場合は、減衰絞りによるメータアウトの効果で案内弁部の応答が遅くなり、 C_r が大きい場合は、減衰係数 ζ の増大による過制動で応答が遅くなることから、 C_r が適切な値が0.69~1.6の範囲があると考えられる。

4.4 C_r がバルブ全体のステップ応答特性に及ぼす影響

上記の結果において C_r に適切な範囲があることが示唆された。また、ソレノイドの推力特性と案内弁部の幾何学的構造から求められる伝達特性は常に安定であることも示された。ここでは、補償回路を含めたバルブ全体の応答特性について考察する。

本バルブは、全体的には補償回路を含めたフィードバック制御系を構成し、その閉ループ伝達関数は式(25)により、3次系の伝達特性を示す。

図11に C_r が閉ループ伝達関数のステップ応答に及ぼす影響を示す。この結果により、本バルブのステップ応答特性の観点から補償回路の影響を考察する。ここで、 C_r は0.69~1.6の範囲とし、補償回路の比例ゲイン $K_p = 1.9$ 、積分時間 $T_I = 0.1\text{sec}$ の場合である。 $C_r = 0.69$ の場合、立ち上がりが遅く、減衰振動し、収束が遅い。 $C_r = 0.69$ から1まで大きくなるに従い立ち上がりが速くなるとともに収束も速くなる傾向を示している。更に $C_r = 1.2$ と1.6を比較すると立ち上がりは $C_r = 1.6$ のほうが速いが、急激に減衰し、整定時間では $C_r = 1.2$ より長くなっている。これは、立ち上がりの速さは時定数 T_L の影響が大きく、目標に近づくと減衰係数 ζ の影響により変曲点を持って急激に減衰作用が働いていると考えられる。

同様に図12、図13に比例ゲイン及び積分時間を変えた場合の C_r の影響を示す。ただし、図12は比例ゲイン $K_p = 4$ 、積分時間 $T_I = 0.1\text{sec}$ 、図13は、比例ゲイン $K_p = 1.9$ 、積分時間 $T_I = 0.05\text{sec}$ である。これらの結果から、比例ゲイン及び積分時間を変えた場合でも、 C_r が小さいほど、立ち上がりが遅く、減衰振動しながら収束する。 C_r が大きすぎると立ち上がりは速いが整定時間が長くなる傾向を示している。

一般的に立ち上がりが速いほどオーバーシュートが発生しやすくなると考えられるが、本バルブにおいてはそのような傾向はみられない。このことは図10に示したように、立ち上がりの速さは案内弁部の伝達関数 $P(s)$ の時定数 T_L の影響であり、定常値に近

づき収束するまでの特性は、ソレノイドと案内弁部を組み合わせた伝達関数 $V(s)$ の減衰係数 ζ の影響であると考えられる。

以上の結果から、立ち上がりの速さや減衰性などの観点から、 C_r の0.69~1.6の範囲内に最適値があると考えられる。補償回路の比例ゲイン及び積分時間は、バルブの安定性と応答性の両面から判断し、ある範囲内で適正値を設定する必要がある。

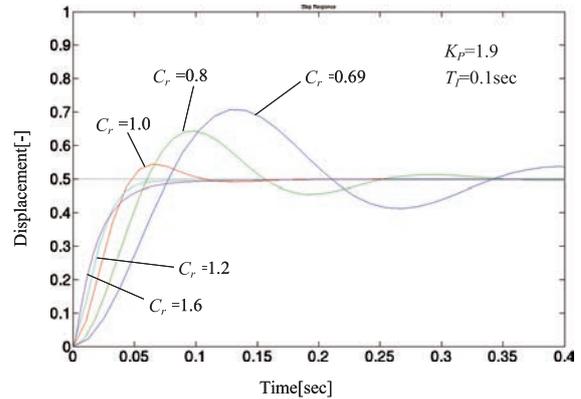


図11 C_r がステップ応答特性に及ぼす影響 ($K_p = 1.9, T_I = 0.1\text{sec}$)

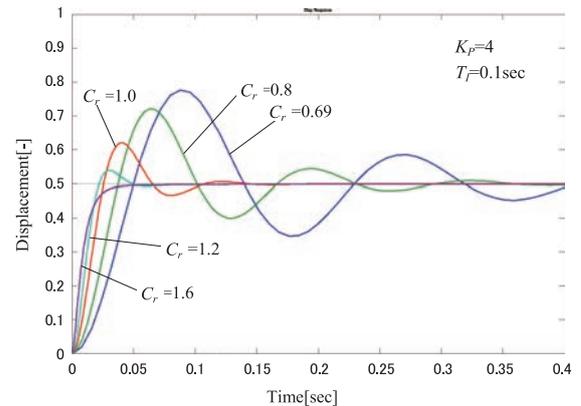


図12 C_r がステップ応答特性に及ぼす影響 ($K_p = 4, T_I = 0.1\text{sec}$)

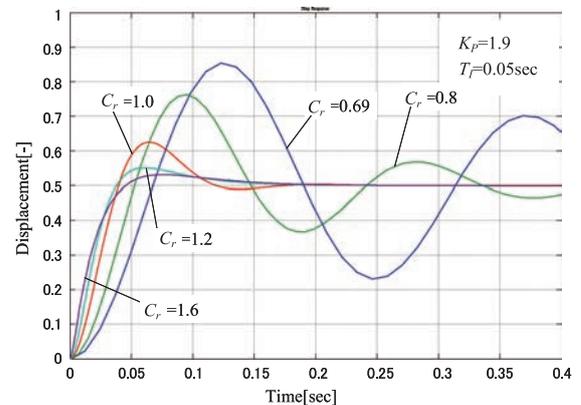


図13 C_r がステップ応答特性に及ぼす影響 ($K_p = 1.9, T_I = 0.05\text{sec}$)

5 実験的検証

前章までの解析的検証から、ステップ応答特性の立ち上がりの速さや減衰性などの観点から、 C_r は0.69~1.6に最適値があるということが明らかになった。このことを実験的に検証した。

5.1 実験方法

図14にステップ応答特性の実験装置の概略を示す。手順は以下の通りである。ストップバルブを閉じた状態でバルブの中立点を調整する。実験の平衡点として50%の入力信号をコントローラに入力した状態で、ストップバルブを開きながら、A、Bポート間の負荷圧力差 P_L を7MPaに調整する。負荷圧力を調整した後、入力信号を0にする。入力信号を0→50%のステップ波形としてバルブに入力する。入力信号 u とスプール変位 x を時系列に計測器で記録する。供給圧力 P_s は14MPa、水温は $25 \pm 5^\circ\text{C}$ で行った。

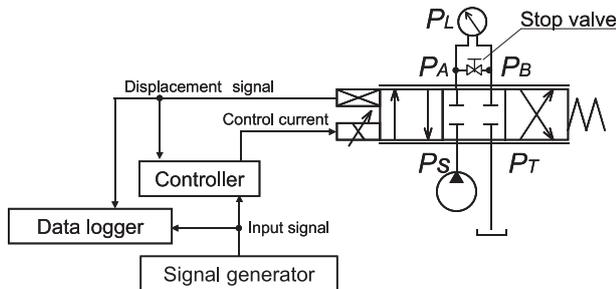


図14 ステップ応答特性の実験装置の概略

5.2 実験結果

図15に C_r がステップ応答特性に及ぼす影響の実験結果の例を示す。ただし、補償回路のパラメータは C_r の効果をより明確に示すために調整し、スプール変位は定常偏差を除いて正規化している。 $C_r=0.9$ の場合、定常値へ到達するまでに50msec程度で比例的に立ち上がっている。 $C_r=2$ の場合、立ち上がりは $C_r=0.9$ の場合より速いが、目標の約95%まで達すると変曲点を持って傾きが小さくなり、目標値へ達している。これは、 C_r が大きい場合において時定数 T_l が小さいために立ち上がり速く、この変曲点以降は減衰係数 ζ が大きいことによる過制動の減衰作用が働いていると考えられる。この結果から C_r が小さいと立ち上がりが遅くなり、逆に C_r が大きいと立ち上がりは速いが過制動により、減衰作用が働くことで整定時間が長くなるという解析結果と同様の傾向が示された。

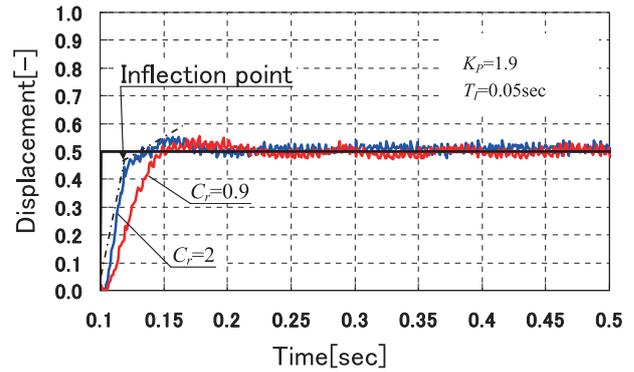


図15 C_r がステップ応答特性に及ぼす影響の実験結果 ($K_p=1.9$, $T_l=0.05\text{sec}$)

6 結言

- ① C_r が小さい場合は、減衰絞りによるメータアウトの効果で案内弁部の応答が遅くなり、 C_r が大きい場合は、減衰係数 ζ の増大による過制動で応答が遅くなることから、 C_r は0.69~1.6の範囲に適切な値がある。
- ② ステップ応答特性において、 C_r が小さすぎると、立ち上がりが遅いため目標値までの収束も遅く、逆に C_r が大き過ぎても、立ち上がりが速くなるが、過制動になり、目標値までの収束が遅くなる。 C_r がある範囲において立ち上がりが速く、且つ収束も速くなる傾向を示した。
- ③ 上記で得られた知見が実験結果からも明らかになった。

記号

Designation	Denotation	Unit
A_{SPL}	Spool Cross-sectional area	[m^2]
D'_b	equivalent orifice diameter	[Pa]
D_{SPL}	Spool diameter	[m]
D_n	Damping orifice diameter	[m]
F_F	Flow force	[N]
F_{SOL}	Solenoid thrust	[N]
K_{SP}	Spring constant	[N/m]
K_{SOL}	Constant of solenoid thrust	[N/A]
L_W	Control orifice width	[m]
L_{bn}, L_{bt}, L_{NT}	Annular clearance length	[m]
P	Supply pressure	[Pa]
Q	Flow rate	[m^3/s]
ζ	Damping coefficient	[-]
λ	Friction factor	[-]
θ	Jet angle	[degree]
δ	Radial clearance	[m]

μ	Viscosity	[Pa s]
ν	Kinetic viscosity	[m ² /s]
ρ	Working fluid density	[kg/m ³]
k_p	Proportional gain	[-]
T_i	Integral time	[sec]
τ_{sol}	Time constant	[sec]
β	Coefficient of flow force	[N/m]
Γ	Coefficient of viscosity	[Ns/m]
C	Flow constant	[-]
C_r	Ratio of orifice diameter	[-]

International Fluid Power Conference, Group H, 445-456, (2010年), Aachen, Germany.

3) Yoshida, F., Miyakawa, S.: Dynamic Characteristics of Proportional Control Valve Using Tap Water - Experimental Examination-, Proceedings of the Twelfth Scandinavian International, Conference on Fluid Power, Vol.2 pp. 469-480, (2011年), Tampere, Finland.

4) Yoshida, F., Miyakawa, S.: Effect of Parameters on Frequency Characteristics of Proportional Control Valve Using Tap Water, Proceedings of the 8th JFPS international Symposium on Fluid Power in Okinawa, Japan, on October 25-28, (2011年), CD-ROM.

5) 吉田太志, 水圧電磁比例制御弁の開発と応用, KYB技報第48号, pp. 17-23, (2014年4月)

6) Yoshida, F., Miyakawa, S.: Effect of Design Parameter on Response Characteristics of Water hydraulic proportional Control Valves, Proceedings of the 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, (2013年), Linkoping, Sweden.

参 考 文 献

1) Miyakawa, S., Yamashina, C., Takahashi, T.: Development of Water Hydraulic Proportional Control Valve, the Fourth JHPS International Symposium on Fluid Power, ISBN4-931070-04-3.

2) 吉田太志, 宮川新平: 水圧用電磁比例弁の開発, KYB技報第42号, pp. 3-9, (2011年4月).

3) Yoshida, F., Miyakawa, S.: Characteristics of Proportional Control Valve Using Tap Water, Proceedings of the 7th

著 者



吉田 太志

1998年入社。技術本部事業開発推進部（相模駐在）専任課長。水圧機器・システムの研究・開発に従事。

随筆

技術士取得への挑戦

高松 伸一

1. はじめに

「技術士」という資格をご存知だろうか。聞き慣れないという方や、よくご存じない方も多いのではないだろうか。一般に、「士」という字は「侍」や「学問や道徳に優れ尊敬すべき人物」といった意味に由来し、専門的な性質を有する職業等の接尾辞として用いられており、技術士もまたこの字義に沿った専門資格の一つである。

かく言う私も、取得を決意する直前までその存在さえ知らなかったが、数年前に縁あって取得することができたため、この機会に紙面を借りて、資格の内容や取得の経緯について紹介したい。

2. 技術士について

技術士資格は、労働基準法第14条において、公認会計士や医師等と並び、専門的知識等を有する労働者とされる資格である(表1)。また技術士は、技術士法によって、「技術士という名称を用い、科学技術に関する高等の専門的応用能力を必要とする業務を行う者」と定義されている。国家試験である技術士試験に合格し、登録を終えた者のみが技術士を名乗れることから、技術士とは、国家に実力を認定された高度技術者の称号であると言えるだろう。博士が理論を確立し、技術士がそれを産業に応用するという役割を持つことから、博士と技術士はよく技術の両輪に例えられる。この関係を知れば、技術士の位置付けも分かりやすいのではないだろうか。

技術士の認定制度が始まったのは、高度経済成長期に差し掛かった1958年のことである。昔も今も、技術力は専門的な能力であるため、技術に携わっていない者にとって、その多寡を測ることは容易でない。それまで技術者の実力を示す制度の無かった日本では、科学技術の利用を企図する側にとって、実務を担う業者の選定にはリスクがあり、国民経済発展の枷となっていた。そういった背景から、経験と実力を備えた技術者を重用するための仕組みとして、

技術士の認定制度が開始されたのである。この意義は今日にも継承されており、最も権威ある技術者の資格¹⁾として、資格取得時の報奨金や、博士号相当の手当を与えて厚遇する企業も少なくないようである²⁾。

表1 労働基準法第14条における専門的知識等を有する労働者の資格

	資格名称	取得難度		資格名称	取得難度
イ	公認会計士	超難関	ト	税理士	難しい
ロ	医師	超難関	チ	薬剤師	難しい
ハ	歯科医師	難しい	リ	社会保険労務士	難しい
ニ	獣医師	難しい	ヌ	不動産鑑定士	難しい
ホ	弁護士	超難関	ル	技術士	超難関
ヘ	一級建築士	難しい	ヲ	弁理士	超難関

3. 技術士試験

技術士になるには、図1に示すように幾つかの道程がある。技術士第一次試験は難しい試験とされるものの、教育課程次第で免除される場合があるのに対し、第二次試験は避けて通ることができない試験である。この試験は受験要件、試験内容ともに敷居が高く、合格が非常に難しいとされている。参考までに資料¹⁾より抜粋した各資格の取得難度を表1に併記しておいた。このうちいくつかの資格をご存じであれば、第二次試験の難度も想像に難くあるまい。

技術士第二次試験では、まず受験要件として通常7年以上の専門的業務経験が必要であり、受験資格を有す者だけでも大きく限定される。

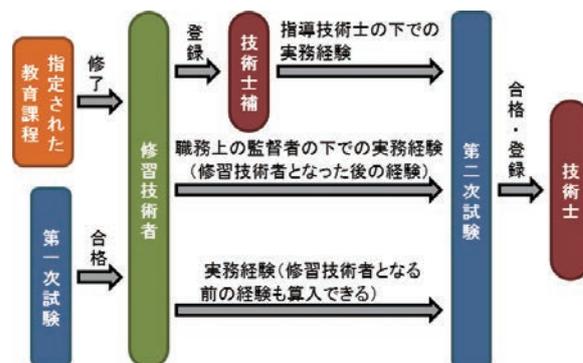


図1 技術士試験の仕組み

受験者は全21ある技術部門（表2）から希望する部門を選択し、さらに自身の専門分野に応じた科目を選択して記述試験に臨むことになる。例えば私の受験した機械部門では、表3に挙げる選択科目があり、この中から私は機械力学・制御を選択した。

記述試験では、選択した部門の技術全般に関する専門知識を問われるほか、全4時間もの時間をかけて技術について論述する問題が出題され、高度な技術的知見と、課題発見力、背反要素の調整力、論理構成力、説明能力などを試されることになる。

また、記述試験合格後には最終試験である口頭試験が控えており、熟練の技術士である面接官達から、技術士としての適性を測られる。

平成27年度の第二次試験では、受験者数24,878名、受験者平均年齢43.3歳、対受験者合格率14.7%³⁾であり、技術系最高難度の国家試験とされている。

表2 技術士の選択部門

1	機械	6	繊維	11	衛生工学	16	情報工学
2	船舶・海洋	7	金属	12	農業	17	応用理学
3	航空・宇宙	8	資源工学	13	森林	18	生物工学
4	電気電子	9	建設	14	水産	19	環境
5	化学	10	上下水道	15	経営工学	20	原子力・放射線
						21	総合技術監理

表3 機械部門の選択科目

技術部門・選択科目	選択科目の内容
1 機械部門	
1-1 機械設計	機械要素、トライボロジー、設計工学、設計情報学その他の機械設計に関する事項
1-2 材料力学	構造解析・設計、破壊力学、機械材料その他の材料力学に関する事項
1-3 機械力学・制御	運動・振動、計測・制御、構造動解析・制御その他の機械力学・制御に関する事項
1-4 動力エネルギー	内燃機関、水車、ボイラ、発電機、蒸気タービン、ガスタービン、風力発電、太陽光発電、燃料電池その他の動力エネルギーに関する事項
1-5 熱工学	加熱・冷却、熱移動（電熱、対流及び複写を含む）、燃焼、熱交換機器、冷凍機、暖房機器、蓄熱機器その他の熱工学に関する事項
1-6 流体工学	流体力学、流体機械（送風機を含む）、化学機械、油空圧機器その他の流体工学に関する事項
1-7 加工・ファクトリーオートメーション及び建設機械	加工法、加工機、生産システム（ファクトリーオートメーション等）及びその構成要素、工場設備計画、産業機械その他の加工・ファクトリーオートメーション及び産業機械に関する事項
1-8 交通・物流機械及び建設機械	鉄道車両、自動車、物流機械及び建設機械並びにこれらの関連システムその他の交通・物流機械及び建設機械並びにこれらの関連システムに関する事項
1-9 ロボット	産業用ロボット、移動ロボット、建設用ロボット、ロボット関連機器その他のロボットに関する事項
1-10 情報・精密機器	情報・精密機器、光学機械、電子応用機器、操作監視制御機器その他の情報・精密機器及びその関連システムに関する事項

4. 受験動機

ここまで、一般論に基づいて技術士及びその試験制度について概説した。ここからは私個人の視点に立ち返り、何故この資格の取得を目指したのか、という点から話を再開したい。

受験を志した当時は、丁度長男が次々と言葉を覚

え始めた時期だった。子供の成長速度は目覚ましく、親の言行を真似て次々に新しいことを習得する。あるとき、そのような我が子の成長を目の当たりにしていて、ふと思いついたことがあった。我が子は私の一挙手一投足から世界を学び取っているのに、私自身は成長に乏しい生き方をしている、ということである。子の範たる親として、この姿勢は良くないと思った。

未知に触れ、失敗から学ぶことは、人生を豊かに彩る重要要素であり、子供には是非これらを沢山経験してもらいたい。そのためには本人が多くの人に興味を持ち、自ら行動する習慣を備えることが肝要だろう。これは教えて身に付けさせることは難しくそうだが、常日頃から親である私自身が当然の如く実践していれば、子供にも当たり前の生活習慣として根付くのではないかと考えた。

このような次第で、以来私は挑戦や探求に貪欲であらうと志し、大人びた躊躇は放り捨てて、好奇心に従うことを心掛けていた。下らないことでも、そうでないことでも玉石混交、興味があればやってみる。そしてあるとき、資格でも取ってみようかと思いついたことがあった。そして、折角ならとにかく難しいものを目指す方が楽しかろうと考え、超難関との評判が目に残ったのが技術士であった。

5. 試験対策

受験を決意した私は、まず第一次試験を受けた。これは大卒程度の工学的知識が求められるが、参考書の斜め読みで合格できたため、詳細を割愛する。

さて、その翌年受けた第二次試験からが本番である。とりあえず願書を提出し、試験まで1ヶ月ほどの時期に差し掛かった頃、そろそろ対策を始めようと考えてインターネットでの調査を開始した。

調査によると、第二次試験は毎日コツコツと勉強し、数年がかりで合格にこぎ着けるといのが一般的な合格体験談のようである。合格までの勉強時間が数千時間に及んだとの体験談まである。

随分後れを取っていると自覚したが、諦めるには受験料が惜しい。それに、どんなに難しいと言われても、一年前まで知りもしなかった資格のこと、風評の一人歩きだろうと高を括った。

逆に、この状況から合格できれば痛快である。学習効率を劇的に高める戦略を立案して合格してやろうと考えた。

だが、どうすればそんな都合の良い戦略が立つだろう。見当もつかないが、別に失うものはない。とりあえず過去問題の分析から手を付けることにした。この内容は本報の主旨からはやや外れるが、面白

い結果が得られたため、一部紙面を割いて紹介する。

5.1 出題分野予測モデル

日本技術士会の公式HPから5年分の過去問題が入手できたので目を通すと、困難とされる論述問題はどれ一つとして解けないが、出題される内容には一定の傾向があることがわかった。例えば非線形ばねやジャンプ現象を題材とする論述問題があった場合、非線形系の振動という分野で捉えれば共通の技術として括ることができる。このように小さな分野を想定すると、過去5年間の論述問題は表4に示す13分野に分類できるようである。この出題傾向を探り、平成26年度の出題分野を予測することは効率的な学習に利すると考え、予測モデルを作成することにした。

当然のことだが、各分野の出題頻度には差があるため、この頻度を期待値とすれば出題率に基づく予測モデル P_R になる。しかし、そんな安直なモデルは面白くない。そこで、「この分野は昨年も出題したから今年はやめよう」という問題製作者の心理を深読みし、もう一つモデルを作ることにした。それが図2に示すマルコフ過程を用いたモデルである。

非線形系の振動分野を例とすると、この分野は平成23年に出题されなかった以外は、全ての年において出題されている。これを出題有り、出題無しとの2状態を確率的に遷移するという現象面から捉えると、出題された年の翌年に出题されない確率は0.33、出題されていない年の翌年に出题される確率は1.00である。このように、一時点での状態に基づいて次時点の状態が確率的に定まる性質をマルコフ性と言い、この性質が連なる過程をマルコフ過程と言う。私は全分野に対してマルコフ過程の状態遷移確率を求め、マルコフモデル P_M を作成した。

このように二種のモデルを考えたが、データ不足のため十分な精度検証を行うことができず、式(1)に示すように、二つのモデルを平均化結合した統合モ

デル P_I を出題分野予測モデルとして採用した。

$$P_I = (P_R + P_M) / 2 \tag{1}$$



図2 マルコフ過程

5.2 優先学習分野決定モデル

出題分野予測が完了すると興に乗ってきた。差し迫る試験のことはさておき、試験対策を抽象化し、数的に分析するということの結末が興味深い。そこで、モデルをさらに進化させるために、次は学習分野に優先順位をつけることにした。

単純には、出題率の高い分野を優先的に学習すれば良いと考えられるが、それでは苦手な分野の学習に多大な時間を取られる可能性もある。逆に、もともとよく理解している分野なら時間は要さず、少々出題率が低かったとしても、効率的に習得できる意義は大きい。そこで、得意な分野の学習は効率向上に寄与するという考え方をモデルに組み入れることにした。

表4には、過去の出題分野のほか、出題分野予測結果や、各分野の学習時間 T なども記載している。この学習時間 T は、6割以上得点できるようになるまでに費やす勉強時間 [hour] を主観的に見積もった値である。そして、出題分野予測モデル P_I と学習時間 T から、式(2)による学習優先度 F を求めた。

$$F = P_I / T \tag{2}$$

この学習優先度 F が大きい分野は、出題率の高さや学習期間の短さを兼ね備え、かつ6割以上の得点

表4 過去五年の出題傾向などの分野情報

No.	出題分野	過去問題					本番	確率モデル	マルコフモデル	統合モデル	学習時間	学習優先度	累積学習時間
		H21	H22	H23	H24	H25							
1	周波数領域固有問題	✓	✓		✓	✓		0.80	0.66	0.73	4	0.183	4
2	振動対策		✓	✓	✓	✓	✓	0.80	1.00	0.90	6	0.150	10
3	FF/FB制御	✓		✓	✓			0.60	1.00	0.80	6	0.133	16
4	振動発生メカニズム			✓			✓	0.20	0.33	0.27	2	0.133	18
5	回転機械の振動		✓	✓			✓	0.40	0.50	0.45	4	0.113	22
6	モード解析	✓		✓	✓			0.60	1.00	0.80	8	0.100	30
7	非線形系の振動	✓	✓		✓	✓		0.80	0.66	0.73	8	0.091	38
8	系の安定性		✓			✓	✓	0.40	0.00	0.20	4	0.050	42
9	PID制御					✓		0.20	-	0.20	6	0.033	48
10	連成振動				✓			0.20	0.33	0.27	10	0.027	58
11	配管系の振動	✓	✓					0.40	0.00	0.20	8	0.025	66
12	事例対策					✓	✓	0.20	-	0.20	8	0.025	74
13	軸受けの振動特性	✓						0.20	0.00	0.10	10	0.010	84
14	伝達関数	過去問題に出題事例無し					✓	-	-	-	-	-	-

を狙える分野である。したがって、学習優先度 F の数値が大きい分野から順に学習すればよいのである。

5.3 合格率推定モデル

このように、暗中模索で開発したモデルは有用性の高い発展を見せたが、まだもう一工夫する余地があった。それが、学習しない分野の決定である。

最終的に全分野を学習するようでは優先順位を決めた意味がなく、手を広げ過ぎれば論述問題以外への対策が疎かになるだろう。試験に合格することを目的とするならば、全分野を学習することは時間や集中力といった資源を浪費するため、無駄を通り越して害悪なのである。そこで、学習優先度 F の低い分野は一切学習しないことに決めた。しかし、一体どれだけの分野を学習せずに済ませられるだろうか。この見極めを行うため、次に行ったのが学習分野の着手状況に応じた合格率推定である。

ここで、合格率推定についての理解を促すために、試験の出題形式を単純化して説明しておく。技術士第二次試験で出題される論述問題は、合計6題が出題され、その中から任意の3題を選択して答案を作成する形式である。また、合格基準は選択した3題の平均得点が6割以上であることと公表されている。この出題形式を念頭に、以下のように合格率推定を行った。

過去問題の傾向より、出題される6題は全13分野から重複なしに出題されると考えられ、この組合せは ${}_{13}C_6$ より1716通りである。本番の論述問題では、これらのうち一つが発現すると期待できるが、組合せを構成する6分野は出題率の偏りを持っているため、各組合せの発現率は一様ではない。そこで、出題率の偏りを考慮した各組合せの発現率を求める。

まず、1716通りの組合せを添え字 i ($1 \leq i \leq 1716$) を用いて C_i と表現する。組合せ C_i は出題率 P_i の異なる6分野によって構成されており、出題率 P_n の集合として式(3)のように表される。ここで、添え字 n は各分野の通し番号 ($1 \leq n \leq 13$) を意味する。

$$C_i = \{x | x \in \{P_n\}, i \text{ 番目の組に含まれる } P_i\} \quad (3)$$

そして、各分野の出題率 P_n を重みと捉え、組合せ C_i に含まれる6分野の出題率 P_n を全て積算することで、組合せごとの重み W_i を算出する (式(4))。

$$W_i = \prod_{n=1}^6 C_i \quad (4)$$

この組合せ重み W_i は1716通りあり、それら全てを合計すれば試験全体の重みとなる。このため各 C_i の発現率 R_i は、式(5)の通り、組合せごとの重み W_i を試験全体の重みで除すことによって求められる。

$$R_i = W_i / \sum W_i \quad (5)$$

ここまでの計算で、平成26年度の試験で出題される6分野の組合せ1716通りの発現率 R_i が求まった。これらの組合せのいずれかが発現された際に合格できるか否かは、発現した組合せ C_i の中に得点が6割以上となるような分野が3つ以上含まれる場合に限られる (6割得点できない分野は0点と仮定)。そこで、学習優先度 F の高い順に学習を進めた際に、合格を見込める組合せ C_i の発現率 R_i を図3のように表し、発現率 R_i を合計して求めた合格率を併記しておく。

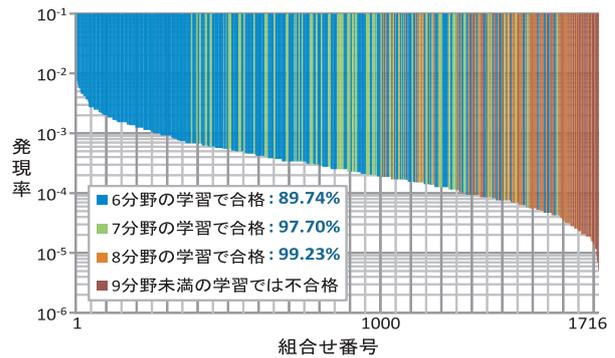


図3 学習の進捗別合格率

図は縦軸に発現率 R_i をとり、横軸には1716通り全ての組合せを、発現率 R_i が降順になるよう並べている。これを見ると、発現率 R_i が高い順に1000通りほどの組合せは、学習優先度 F の高い順に6分野ないし7分野を学習しておけば合格できることがわかる。加えて、7分野の学習により97.70%の確率で論述試験に合格できるのに対し、8分野の学習では99.23%と、僅かな差しか生じないことから、8分野以降の学習は時間の無駄であり、7分野の学習に留めることが妥当であると判断できる。また表4に示す通り、7分野の学習に費やす累積学習時間は38時間程度である。

いわばデータに基づいて科学的にヤマを張ったわけだが、技術士第二次試験の要衝とされる論述問題の対策に必要な勉強量が、期せずして半分程度で済むこととなった。論述問題対策が38時間で済むならば、時間の捻出や集中力の維持も容易であり、論述問題以外の勉強をする余裕も十分にとれるだろう。事象の本質を見抜いて現実に応用できる形に整備するのは技術士の本分でもあり、皮肉にもこのモデルは、その真髓によって生みだされたとも言えよう。

こうして、興味本位で構築した数理モデルは、学習戦略を明示するに至り、合格率まで明らかにするという華を添えて開発を完了した。少年漫画のマッドサイエンティスト的敵キャラクターなどがよく、「くくく…、貴様が僕に勝てる確率など、わずか〇

〇%に過ぎぬ！」などと発言するが、その計算モデルの設計思想はきっとこのモデルに近いだろう。彼らの思想の片鱗に触れることができ、至極満足である。

6. 試験勉強から合格発表まで

あとは勉強に注力するだけの簡単な作業である。毎日4時間程度勉強することにして2週間ほど経つと、なすべきことは完了し、試験日までの手持ち無沙汰に苦勞するまでになった。

そして迎えた記述試験当日、論述問題は想定通り学習済みの分野から3題を選択し、後日合格通知を受け取った。表4に示した通り、過去問題には存在しなかった分野からの出題が1問あったが、7分野を学習しておけば、学習済みの分野が少なくとも3題以上含まれる公算が極めて高い、という予測にはいささかの影響も無かった。N=1の実験検証を終えた限りでは、構築したモデルは期待していた働きを満足し、どうやら通用したように思われる。

残るは年を跨いで行われる口頭試験のみである。これは合格率60%ほどのようだが、明確な対策法を描けないため、記述試験よりも厄介である。試験要項には経歴や応用能力、技術者倫理や技術士制度への理解その他を問うと記載されているものの、具体的に何をすれば対策になるのか見当もつかないまま、ついに当日を迎えてしまった。

結局、特殊な質問はされず、技術士制度や技術者倫理に関する質問の他、受験動機や技術に関する質疑を受けた。特段耳に残る回答もできずに手応え無く終了してしまい、合否に自信は持てなかった。インターネットで調べた限りでは、どの受験者も同様の感想を持っているようであるため、口頭試験の合否基準は今もって謎である。

合格発表の日は流石に気懸りであり、合格と知ってやはり嬉しかった。私が受験した平成26年当時、合格者は官報で公表されており、官報に記載された自分の名を見た際には、国家の一員としての帰属意識を刺激され、社会のために力を尽くそうと意欲が湧いたことを覚えている。

7. 資格取得を振り返って

既に述べた通り、私の試験対策期間は一般的な合格体験談に比べて随分と短かった。これを実現した要因には、闇雲に勉強を始めずに戦略を立案し、それが奏功したという点もあったが、それ以上に大きく影響していたこととして、KYBでの業務経験が私の技術力を裏打ちしていた点があるように思う。

技術士試験は単なる知識を問う試験ではなく、一朝一夕に培うことの出来ない技術力そのものが問わ

れる。戦略的に学習量を減らすことはできても、出題される問題の難度自体を減らすことは不可能であり、乏しい業務経験しかなければ合格することはできなかっただろう。つまり、機械系技術者として業務の中で積んできた経験が私の専門性を錬磨し、機械部門に限っては、難関とされる技術士資格の取得さえ容易にできてしまっていたのである。事実、合格後、試みに畑違いの情報工学部門の過去問題を覗いてみて、問題文の意味さえ理解することができず、技術士試験の難度を痛感したことがある。この経験は、当社での業務の質に感心する契機ともなった。

この経験から顧みるに、技術士は本来中堅以上の技術者なら取得できて然るべき資格のように思う。世間一般では高難度の資格とされているのだが、それはある意味において事実ではない。そもそも我々技術者は、こと技術において世間一般とは隔絶した存在だからだ。7年以上もの歳月を通じて専門分野に身を置き、技術の発展に向けて知恵を絞って過ごしてきたならば、一日4時間、年間200日の換算でも、5600時間もの時間を注いできたことになる。相応の専門性を宿すのは当然ではないだろうか。

それゆえ私は、経験を積んだ技術者諸君に対し、自身の専門性を測る意味で受験してみることをお勧めする。もし合格したなら、自身の重ねてきた経験に多少の誇りが持てるだろうし、不合格であれば至らぬ点に気づき、謙虚に学び直す好機となるだろう。

また、技術士となることで得られる効果も捨てたものではない。資格取得以来、それ以前にはなかった事例が増えている。例えば名刺交換をした際に話が広がったり、技術書共著の引き合いが来たり、あるいは本報のような執筆依頼があったりと、多様な刺激を得るようになった。特に、各々専門家でありながら、同好の士といった雰囲気漂う技術士の集いはギルド的で、異業種交流により貴重なインスピレーションが汲み上がることも多い。技術士資格を得たことで、肩書が威を發して何かが劇的に変わるということは無いが、上述のような機会や刺激の活性化という点は、得難い成果のように思う。

8. おわりに

技術士を目指すに当たり、試験対策などという退屈な領分を大真面目に数理モデル化したことで、合理的な戦略を導き出すことができた。このような遊び半分の数理であっても、考える楽しみや思わぬ発見と興奮があり、このモデルの開発過程は試験自体より遥かに楽しめた。本報の主題は技術士資格であるが、退屈なことも真剣にやれば面白いし、役にも立つということの例証として詳述しておく。これが

何かの参考になるようであれば幸甚である。

なお、主題と甚だしく乖離してしまうためこれ以上は述べないが、様々な事柄をモデル化して大枠を掴むというアプローチは、本報の例に限らず、ありとあらゆる思考実験に効果を発揮するため、考察の深化と好奇心の充足の双方にとって有用である。個人的には技術士資格への挑戦もさることながら、この考え方の習得をこそ推薦したい。ご興味があれば、フェルミ推定⁴⁾が近い概念であるため、このキーワードで各々調査願いたい。

さて、無事技術士資格を取得できたことは喜ばしいものの、これは私にとって目標でも通過点でもなく、挑戦や探求の習慣化を目的とした数多ある取り組みの一事例に過ぎなかった。この取り組みに果てはないが、世に興味は尽きず、取り組みたい事柄もまた限りない。高杉晋作の辞世の句とされる

「おもしろきこともなき世をおもしろく
すみなしものは心なりけり」

にあるように、世を楽しむか否かは心次第であろう。然らば私も志士の心意気にあやかり、これからも科学に遊ぶという視点を忘れず、名にし負う技術士として、子の親として、不断の成長を遂げていきたい。

最後に、遊ぶという言葉の語源は仏教に由来し、本来は悟りの世界に通ずる非常に真剣なものなのだ

そうである。これを念頭に、近ごろ感銘を受けた言を以下に引用することで、本報の結びとする。

～ 引用 ～

「研究を楽しむ」心持ちも、この「遊び」に通ずるように思う。楽しむというのは、決して安楽な道を選んだり、稚拙な考えに満足したりすることではない。誰も知らない新しい世界を拓いていこうとすれば、荒野に踏み出す力が要る。研究を楽しむためには、高い専門性と深い知識に裏打ちされて自由な探求を楽しむ精神が必要で、それこそ研究の醍醐味である⁵⁾。

参 考 文 献

- 1) 成美堂出版：18年版 最新最強の資格の取り方・選び方全ガイド, (2016年).
- 2) 経済産業省産業技術環境局大学連携推進課：技術士に関する企業ヒアリング結果について, (2012年11月).
- 3) 公益社団法人日本技術士会：平成27年度技術士第二次試験統計, (2015年).
- 4) スティーブン・ウェップ：広い宇宙に地球人しか見当たらない50の理由—フェルミのパラドックス, 青土社, (2004年).
- 5) 福水健次：遊びをせんとや…, 統計数理研究所ニュースNo. 126, pp. 18, (2014年).

著 者



高松 伸一

2007年入社。基盤技術研究所要素技術研究室所属。技術士（機械部門）。四輪用ショックアブソーバの研究に従事。

自動車用セミアクティブダンパ制御の開発

工藤 朋之

1 はじめに

セミアクティブダンパ（以下セミアク）搭載車両は現在も増加傾向であり、Alfa Romeo MiToなどにも搭載されているように小型車両でも採用例がある。このような状況の中、メーカ毎の車両性能重視とコスト重視、操安性能重視と乗心地重視というように、ニーズがメーカ・車格・車両タイプによって大きく異なる。

これらの様々なニーズに対し、前もって対応可能な制御技術が必要である。KYBの取り組みとしては磁気粘性流体ダンパ用セミアク制御や比例ソレノイドダンパ用セミアク制御を開発してきた。これらの制御技術では、ばね上の制御とばね下の制御の両方を行っている。今回はこれらの制御技術にバリエーションを持たせ、様々なニーズに対応させることを目的として制御開発を行った。具体的には、ばね上とばね下の両制御を実施しながらセンサ数を変更し、車両性能の調整幅を今まで以上に拡大可能な制御技術の開発となる。本報ではこれらの技術について紹介する。

2 セミアク用センサ

まず、車両に取り付けるセミアク用センサについて説明する。当社セミアク制御ではセミアク制御用にセンサが7個必要である。そのセンサの内訳は、ばね上の上下方向を検出する加速度センサ3個、サスペンションストロークセンサ4個であり、図1のように配置されている。このセンサ構成では、加速度センサからばね上振動を検出し、ストロークセンサからばね下振動を検出する。このセンサ数7個に対してセンサ数を変更するにあたり、加速度センサより高価で取り付けに制約の多いストロークセンサを削減することとした。

センサ数を変更したセミアク制御の開発を行うにあたり、センサの取り付け位置をセンサ数に応じて

変更した。ストロークセンサを減らすということは、今まで得られていたばね下振動情報が得られなくなるとのことである。そのため、センサの配置を変更しながらばね下振動を検出可能にしていく必要がある。

G : 加速度センサ
St : ストロークセンサ

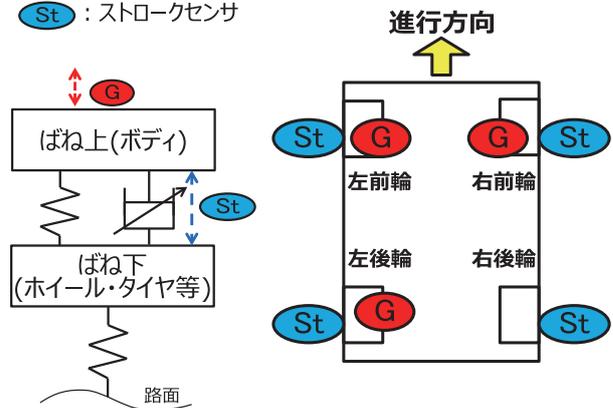


図1 センサ数7個配置図

今回、センサ数を低減したセミアク制御として、センサ数が5個と3個の場合の開発を行った。図2にセンサ数が5個の配置図、図3にセンサ数が3個の配置図を示す。

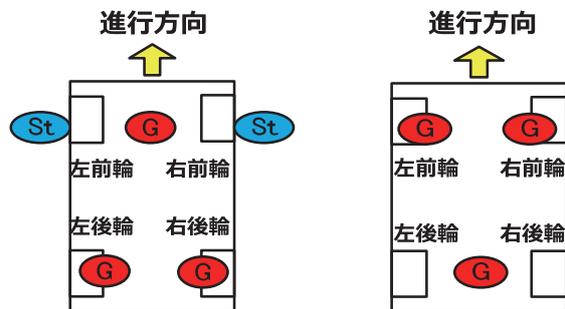


図2 センサ数5個配置図 図3 センサ数3個配置図

センサ数が5個の場合は、後輪側のストロークセンサを削減し、後輪の各輪上に加速度センサを配置した。これは、路面入力を先に捉える前輪の振動をしっかりと抑制する狙いで、前輪の情報を重要視したためである。つまり、前輪はストロークセンサで

ばね下振動を検出して振動を抑制する。一方、後輪では削減したストロークセンサの代わりにばね下振動を検出する必要がある。そこで、後輪の各輪上に配置した加速度センサから、ばね上に伝達されるばね下振動成分を抽出し、右後輪と左後輪のばね下振動を検出可能とした。なお、ばね下振動成分の抽出については後述する。

センサ数が3個の場合は、全てのストロークセンサを削減した。前輪の各輪上に加速度センサを配置し、右前輪と左前輪のばね下振動を検出可能とした。前輪側にセンサを2個配置した理由は、センサ数5個と同様に路面入力を先に捉える前輪を重要視したためである。後輪に関しては、後輪中心の加速度センサから得られたばね下振動を左右に等分に割り振っている。

3 センサ数に応じたセミアク制御

次に、使用するセンサ数7・5・3個に応じた制御について説明する。本開発では、乗心地重視と操安性重視の二通りの制御を、ゲインチューニングに加えて制御そのものを変更して差別化した。つまり、センサ数が3個の乗心地重視の制御、センサ数が5個の操安性重視の制御といったように、センサ数・車両性能に応じた制御を開発した(表1)。表1には特にセンサ数低減や性能の調整幅拡大に寄与した部分の制御を記載している。なお、センサ数が寄与せず、車両から元々得られる情報であるハンドル角や車速、横加速度等を用いる操舵時の制御や、ゲインチューニングのみの制御部分の説明は今回省略する。

表1 センサ数と車両性能に応じた制御

センサ数	乗心地重視	操安性重視
7個	乗心地制御 突上げ緩和制御 ばね下制御	路面追従制御 突上げ緩和制御
5個	7個と3個の技術 使い分け	7個と3個の技術 使い分け
3個	突上げ緩和制御 ばね下制御	突上げ緩和制御

まずはセンサ数が7個の場合について説明する。センサ数が7個の場合は、ばね上振動に加え各輪のばね下振動まで検出可能である。そのため、より細やかな制御が実施可能となっている。特に、ばね下振動周期毎にばね上をフラットな状態に保とうとする乗心地制御と、路面のうねりに追従しようとする路面追従制御によって乗心地重視と操安性重視に性

能幅を持たせることができた。

図4に乗心地制御実施時のばね上の動きのイメージ図を示す。乗心地制御は一般的なサスペンション制御に用いられているスカイフック制御を実施している。ばね上速度に対してばね下振動周期毎にダンパ減衰力の伸圧比を制御することに加え、伸圧比を制御する際に減衰力が急変しないような工夫をしている。この制御によって乗心地が向上する。

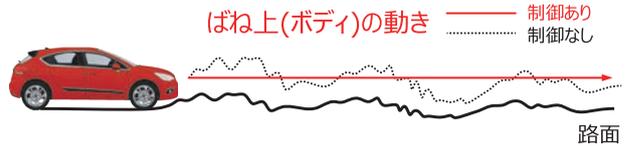


図4 乗心地制御イメージ図

図5に路面追従制御実施時のばね上の動きのイメージ図を示す。路面追従制御は低周波ダンパ速度に対してばね下振動毎に制御している。ここで、低周波ダンパ速度というのは、ストロークセンサから検出したダンパ速度に対して、フィルタリングによって1~2Hzの低周波成分を抽出したものである。これにより路面の大きなうねりに対し車両が追従可能となり、操安性が向上する。

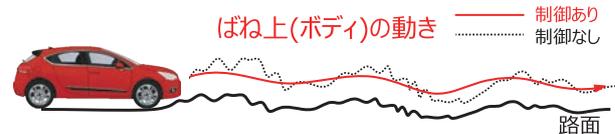


図5 路面追従制御イメージ図

図6にばね下制御実施時のばね下の動きのイメージ図を示す。ばね下制御は、ばね下の振動レベルに応じて減衰力を大きくするようにしている。これによって、凹凸の少ない路面ではダンパ減衰力を小さくすることが可能となり、乗心地向上に寄与している。

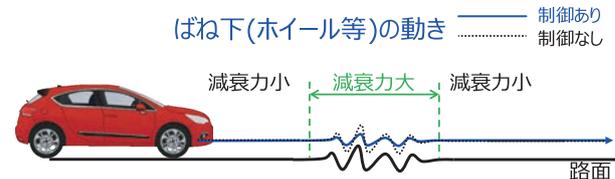


図6 ばね下制御イメージ図

センサ数が5個の場合は、前輪の振動検出がセンサ数7個の前輪の配置、後輪がセンサ数3個の前輪の配置と同様である。そのため制御もセンサ数が7個と3個の場合の制御を前輪と後輪で使い分けているため説明を省略する。

センサ数が3個の場合は、センサ数7個では得られていたストロークセンサからの情報を得ることができない。そのため、ばね上振動を検出している加

速度センサを用いて代替となる値を求め、ばね下制御を実施した。ばね上の加速度センサにはばね上振動の情報に加えて、ばね下振動成分も重畳している。このことから、加速度センサの値からばね下振動成分だけを抽出し、ばね下がどのくらい振動しているか（ばね下振動レベル）ということを検出できるようにした（図7）。図7に示すように、ストロークセンサで検出した値を微分したダンパ速度から求めた振動レベルと、加速度センサで検出したばね上加速度から求めた振動レベルがほぼ同じ波形となっていることが分かる。このことから、ばね上加速度からでもばね下振動レベルを検出可能であるといえる。そして、検出したばね下振動レベルに応じてダンパの減衰力を大きくするという制御（ばね下制御）を実施した。

ただし、ストロークセンサによるばね下振動の検出と比較すると検出精度が低下するため、センサ数が7個の時のようなばね下振動周期毎の制御は実施していない。また、操安性重視では最低減衰力を大きくしているため、ばね下制御は実施していない。

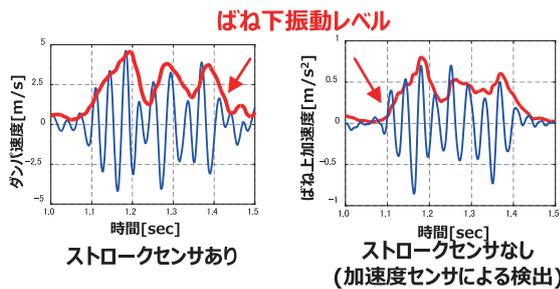


図7 ばね下振動検出

いずれの制御仕様でも実施している突上げ緩和制御は、ダンパ内バルブのクラッキング（開弁）に伴う減衰力波形の歪みを抑制するための制御である。この突上げ緩和制御のダンパ単体での試験結果を図8に示す。

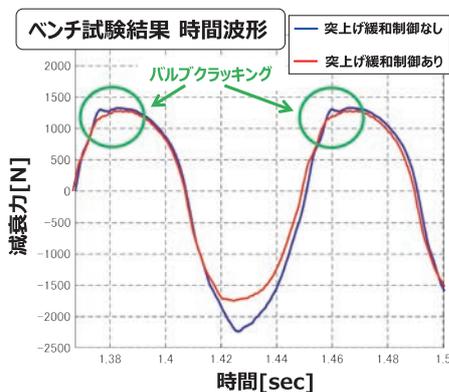


図8 ダンパ単体での突上げ緩和制御ベンチ試験結果

緑枠で示した減衰力波形の歪みが、突上げ緩和制御によって低減されていることが分かる。波形上では歪みの低減が小さく見えるが、実車評価時はこの歪みの低減によって突上げ感が緩和されて乗心地が向上する。

次に突上げ緩和制御実施時の実車試験結果を図9に示す。

バルブクラッキングに伴う減衰力波形の歪みが発生するタイミングは、ダンパ速度の正負が切り替わった少し後のタイミングである。この際、減衰力が大きければ大きい程、減衰力の急変が大きくなる。したがって、ダンパの応答遅れを考慮し、ダンパ速度0付近で電流指令を下げている。これによって、減衰力の急変を低減することができ、突上げ感が緩和されて乗心地が向上する。

また、図9に示すようにばね上加速度（加速度センサ検出）とダンパ速度（ストローク量の微分値）の動きに相関があるため、ストロークセンサ削減時にはばね上加速度を用いて突上げ緩和制御を実施した。

なお、突上げ緩和制御なしの電流指令は、ノイズが多く混じり分りづらいがほぼ一定電流となっている。

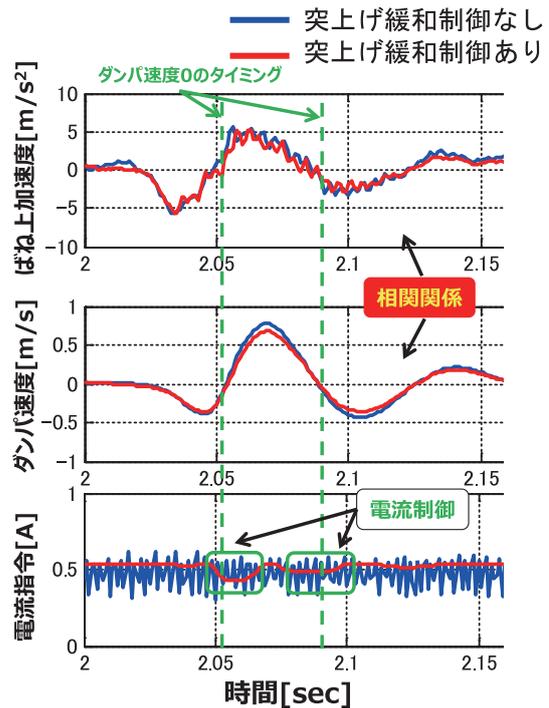


図9 突上げ緩和制御の実車試験結果

4 実車官能評価

前章で述べた制御を車両に搭載して、社内の評価基準に基づいた実車での官能評価を行った。評価を実施するにあたり、以下のように実車官能評価項目の中から乗心地と操安性に寄与度の大きい項目をピックアップし、それぞれ乗心地評点と操安性評点

とした。

乗心地評点…「フラット感」+「ハーシュネス^{*}」

操安性評点…「接地感」+「ヨー・ロール感」

※用語解説「ハーシュネス」p.34参照。

また、センサ数が3個の場合の乗心地重視仕様の制御を基準として評価を実施し、乗心地評点と操安性評点の合計を車両性能と定義している。

実車での官能評価の結果を図10に示す。図10中の「純正車両」の表記は、今回の制御開発に使用した市販車両のことであり、標準搭載されているセミアクと制御アルゴリズムで制御（他社製、センサ数7個）されている。参考値として社内評価したので記載する。なお、純正車両でも乗心地重視と操安性重視の2モードが搭載されている。

図10に示す緑の破線は純正車両の乗心地重視と操安性重視の評点を結んだラインである。

一般的に制御ゲインのみでチューニングを行うと、乗心地と操安性が背反特性となるため、純正車両であれば車両性能が緑の破線上を推移するように変化する。

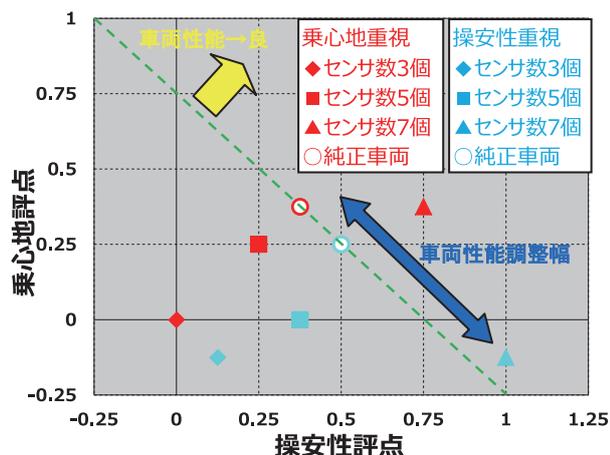


図10 実車官能評価結果

これに対し、制御のアルゴリズム自体と制御ゲインの両方をチューニングすることでチューニングの自由度が増加するため、背反特性が少ない状態で乗心地や操安性に特化した車両性能を実現できる。純正車両が制御ゲインのみでチューニングしているかは不明であるが、同じセンサ数が7個の場合では純正車両の両評点を結んだ緑の破線よりも、当社製の評点は乗心地重視、操安性重視ともに右上側にあり、車両性能を高いレベルでチューニングできていることが分かる。

センサ数が7個の操安性重視に関しては、表1で示した路面追従制御の効果が高く、うねり悪路において乗心地の悪化が許容できると感じるレベルまで、操安性を高める方向にチューニング可能であった。そのため、センサ数が5個の場合より乗心地評点が下回る結果となったが、結果的に車両性能の調整幅として大きく変化させることができた。

5 おわりに

それぞれのセンサ数において操安性重視と乗心地重視に車両特性を変更できており、各センサ数に応じた制御と幅広い車両性能の調整幅を実現することができた。

また、センサ数が3個とセンサ数が5個の場合においても、同一センサ数で制御が行われている車両との比較を実施して、より良い制御の開発に取り組んでいく必要があると考えている。

本報は、セミアク制御用センサ数を変更した取り組みの紹介であるが、セミアク制御用センサを新たに追加しないばね上とばね下の両制御を実施する技術の開発も継続して行っていく。

最後に、本開発の支援いただきました関係部署の方々に対して厚く感謝をいたします。

著者



工藤 朋之

2012年入社。技術本部基盤技術研究所運動制御研究室。セミアクティブダンパの研究開発に従事。

「ハーシュネス」

「自動車用セミアクティブダンパ制御の開発」(p.30)に記載

KYB技報編集委員 米澤和彦

1

ハーシュネスとは

自動車が舗装路の継ぎ目や段差、突起などの凹凸を通過したときに、衝撃音と振動を発生する現象をハーシュネスといいます。

体感的には、タイヤが路面から受けた上下方向または前後方向の強い衝撃力(図1)がサスペンションを通して車体に伝わることでシートやフロア、またはステアリングから振動を感じるようになります。

バイアスタイヤに比べてエンベロープ特性^{注1)}が不利なラジアルタイヤの普及とともに問題視されるようになった現象です。

ハーシュネスはサスペンションの前後方向または上下方向の剛性とも関連があり、それらが高いとハーシュネスも悪くなります。

注1) タイヤが突起に乗り上げたときに、タイヤのトレッド面が突起を包みこんで突起から受ける力を吸収する特性。

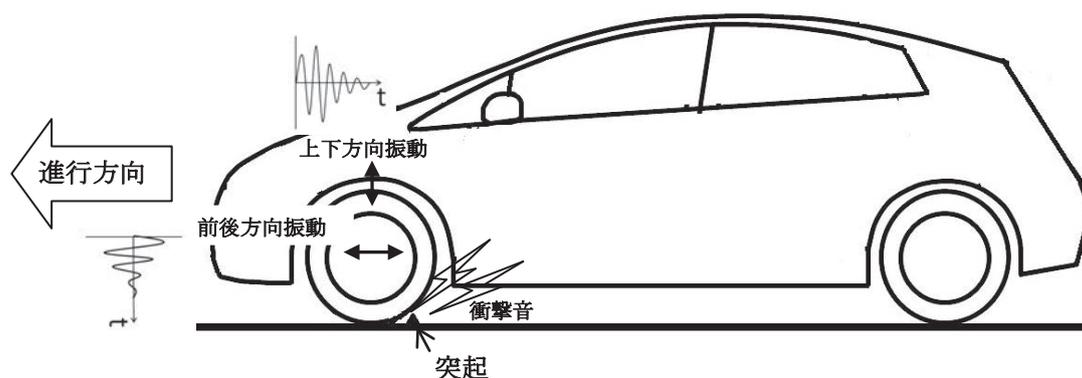


図1 突起を通過した時に車体に伝わる衝撃音と振動

ダイカストの解析技術の開発

横野 航太

1 はじめに

KYBの自動車用電動パワーステアリング（以下EPS）のギヤケースや油圧パワーステアリング（以下HPS）用ベーンポンプのボデーと呼ばれる部品はダイカスト工法で製造されている（図1）。

EPSは自動車のステアリング操作において電動モータが発生するトルクをパワーアシストとして利用するものである。HPS用ベーンポンプは油圧の力により、わずかな操作でステアリング操作を可能とし、危険回避にも素早く対応できるなど安全運転に不可欠な装備である。

これらのダイカスト部品において引け巣などの铸造欠陥が発生した場合、水の浸入による錆の発生や、作動油のリークが発生し動作不良の原因となる。

铸造欠陥が試作段階で発生した場合、追加試作を経て欠陥の対策をするため、型修正や試作に費用と期間が必要になる。

本報では、開発リードタイムの短縮を狙ったダイカストシミュレーションの欠陥予測精度向上の取り組みと、その適用事例について紹介する。

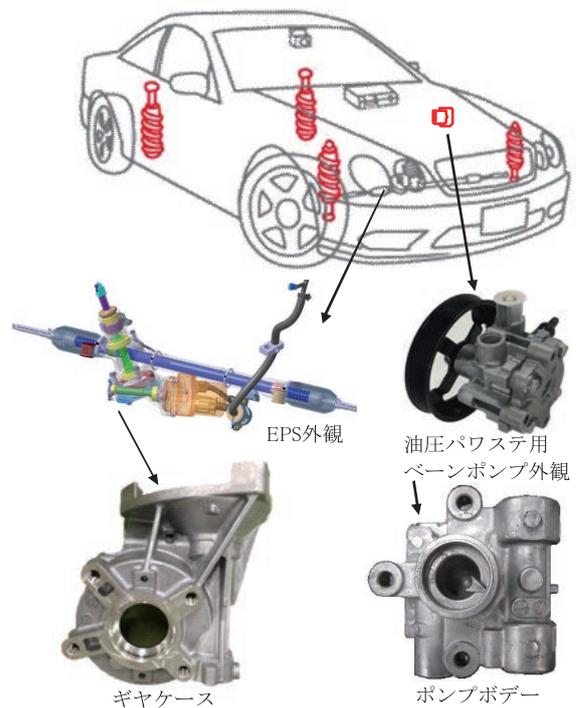


図1 KYBのダイカスト部品の例

2 铸造欠陥と対策

铸造欠陥にはガス巻き込み、湯じわ、引け巣といった欠陥がある（図2）。

ガス巻き込みは、金型内に溶湯が射出される際に巻き込まれた空気が製品部に気泡として残ったものである。ガス巻き込みは空気を巻き込みにくい湯道形状にすることで対策する。

湯じわは、溶湯が完全に融合する前に凝固し、しわ状のくぼみとなる表面欠陥であり、溶湯温度の低下を防止することで対策する。

引け巣は、溶湯の凝固収縮により製品内に発生した空隙で、主に肉厚中心部や最終凝固部に発生することが多い。引け巣には厚肉部の冷却を強化し指向性凝固を行う、局部加圧により溶湯を補給するなど

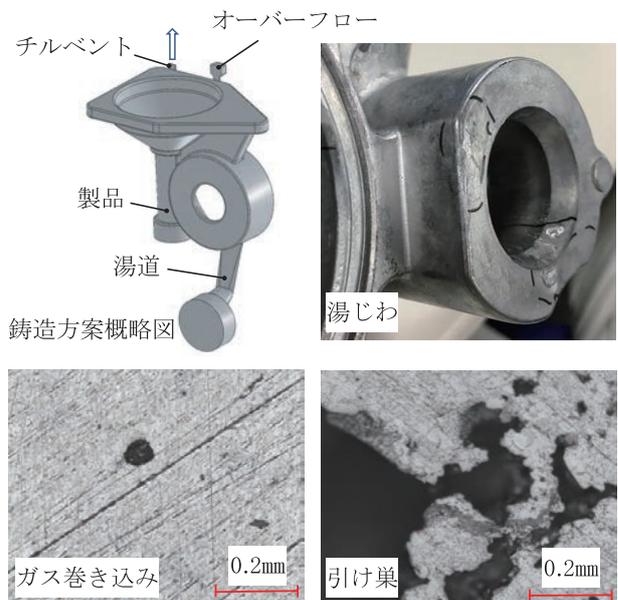


図2 铸造方案と铸造欠陥

の対策をする。

これらの欠陥は製品の機械的性質を悪化させ、切削加工後に欠陥が露出した場合にはリークの原因となる。しかし、ダイカストでは工法上、製品の引け巣やガス巻き込みを避けられないため、外観検査やリークテストにより不良品の流出を防止している。また、不良率が高い場合、今までの経験から金型や射出条件を変更し対策していた。しかし、金型修正のリードタイムが伸びることや修正回数が複数に及ぶ問題があった。

3 シミュレーションの予測精度向上

シミュレーションソフトは市販の鋳造用解析ソフト（ADSTEFAN^{注1)}を用いた。シミュレーションを活用するためには、実体とシミュレーションの欠陥の有無や発生個所が一致する必要がある。実際の鋳造欠陥についてはX線CTスキャンを用いて空隙分布を確認後、それぞれの部位の断面を観察することで引け巣とガス巻き込みの2種類の欠陥に分類した。シミュレーションソフトには、比熱や熱伝導率などの物性値がデフォルトで用意されているが、そのままの値では欠陥の発生を正確に予測することができない。そこで、以下の手順で予測精度を向上させた。

注1) 株式会社日立産業制御ソリューションズの商標登録。

3.1 温度分布の予測精度向上

実体の金型温度をシミュレーションで再現することは湯流れ、凝固解析における欠陥予測には不可欠である。そのためにはシミュレーションの温度分布の予測精度向上が必要である。

鋳造モデルは溶湯や金型、金型の水冷回路などの要素から構成されている(図3)。温度分布の予測精度向上には、比熱や密度などの各要素固有の物性値と、要素間の熱伝達係数を把握する必要がある。要素固有の物性値については、比熱、密度、熱伝導率、粘度を測定し、実測値をシミュレーションに反映した。

熱伝達係数は測定できなかったため、サーモグラフィで金型温度を実測し、実測した温度をシミュレーションで再現できるように調整した。

デフォルトの物性値では最大で100℃以上の温度差があった。実測の物性値を用いて熱伝達係数を調整することで実体との温度差を最大20℃以下に収めることができた(図4)。また、機種が変わっても各材質や工程が同じであれば、物性値を再度調整することなく実体との温度差を20℃以下に収めることができた。

3.2 欠陥の予測精度向上

ガス巻き込みは射出開始から完了までのガス圧を

表示する「最大空気圧力」を用いて評価した。巻き込んだ空気が高圧になった部分に発生すると考え、あるガス圧以上の部分のみを表示させた。その結果、デフォルトの状態では部位Aを予測できず、他の部分で欠陥を過剰に予測した。物性値や温度分布を実際の値に近づけることで部位Aを予測し、更に過剰予測部分も減ったことからガス巻き込みの予測精度を向上することができた(図5)。

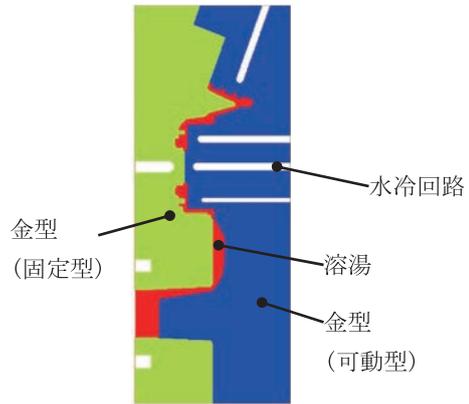


図3 鋳造モデルの概略図

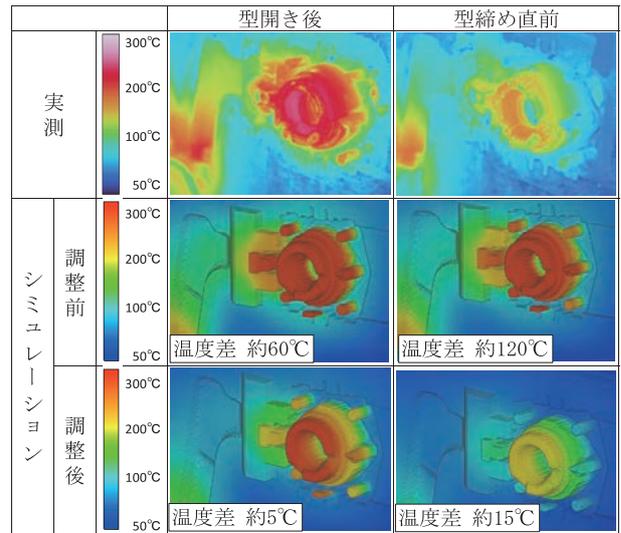


図4 金型温度分布の合わせ込み結果

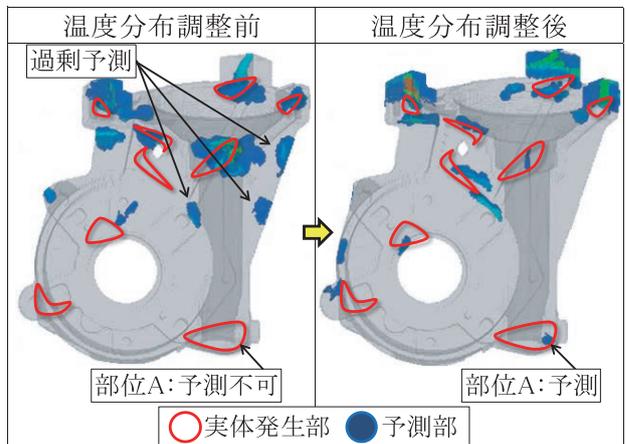


図5 ガス巻き込み予測結果

湯じわは充填完了時の溶湯の「空気接触時間」が長く、溶湯が合流する際の温度が低い箇所と実体の湯じわの発生個所が一致した(図6)。

引け巣の予測方法は溶湯の凝固収縮と凝固収縮による溶湯の移動を考慮する「健全度」を用いた。健全度は率で表され、数値が小さいほど引け巣の危険度は高まる。ガス巻き込み同様に物性値や温度分布を実際の値に近づけることで予測精度を向上できた(図7)。また、引け巣の発生場所は、凝固中の未凝固部分を絞り込んだ「固相率」でも一致させることができた(図8)。健全度は局部加圧^{注2)}の効果も再現し、未凝固部はより引け巣範囲を精度良く予測できることも分かった。

注2) 凝固過程中に金型内の一部を直接加圧し、凝固収縮する溶湯を補う方法。

4 シミュレーションの適用事例

4.1 ギヤケースの引け巣対策

部位Aにて欠陥が発生しているギヤケースの原因調査と欠陥の対策をした(図9)。部位Aには主に引け巣が発生していることが観察結果から確認できた。そこで、シミュレーションを用いて対策を事前検討した後、鑄造実験をした。

引け巣は金型の冷却を強化することで対策した。金型の構造上追加冷却が可能である場所に水冷管を追加した。シミュレーションの結果、金型温度が下がり健全度は変わらないが未凝固部分が小さくなるのが分かった(図10)。この結果から引け巣を消滅させることはできないが、切削加工後に加工面に引け巣が露出してリークに繋がる危険度が下がると判断した。

鑄造実験の結果、引け巣の程度を小さくすることができ、リーク不良率を大幅に減らすことができた。

4.2 湯じわ対策

新機種の鑄造方案検討時に、過去に類似形状の部品で湯じわが発生していた。同様の部位に湯じわが発生する可能性が高く、シミュレーションを用いて鑄造方案の対策をした。

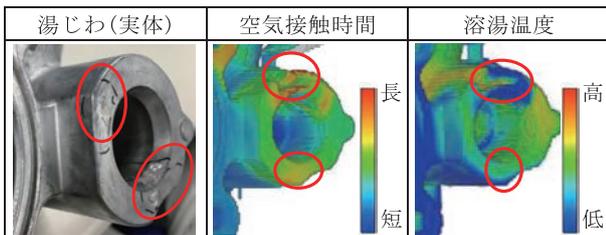


図6 湯じわ予測結果

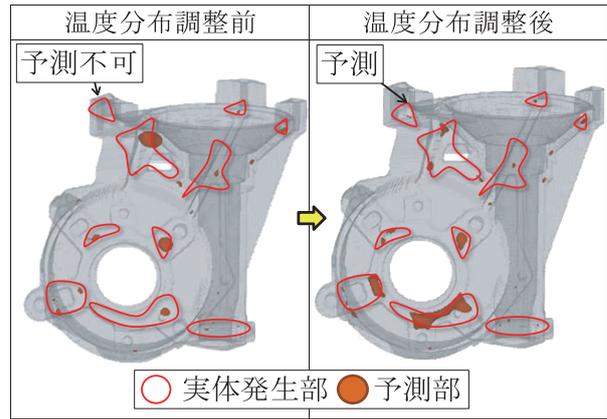


図7 引け巣予測結果(健全度)

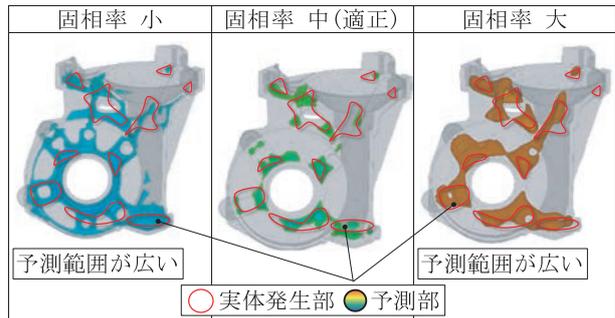


図8 引け巣予測結果(未凝固部)

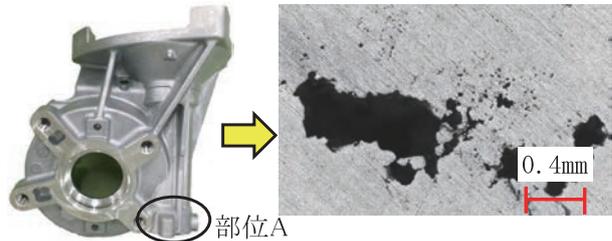


図9 ギヤケースの部位Aに発生した欠陥

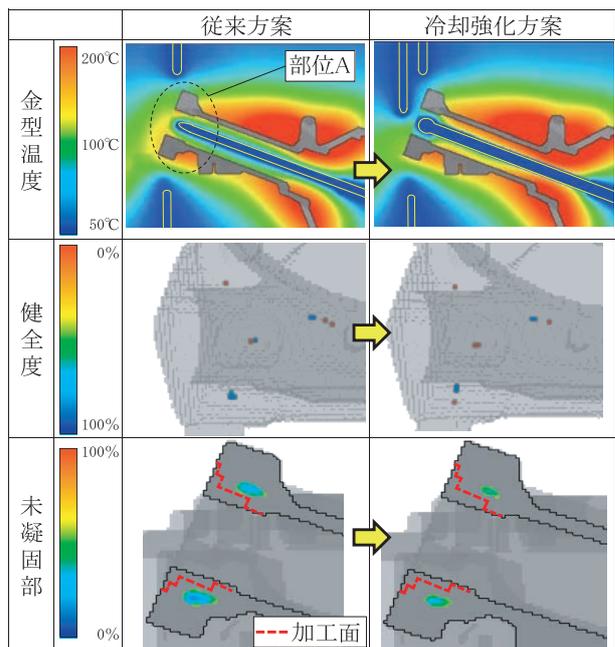


図10 冷却強化による引け巣分布の変化の違い

湯じわが発生した場所は、溶湯が鋳抜きを左右から合流し、合流部の溶湯温度が低下していることがシミュレーションの結果から分かった。

対策として溶湯の合流部の隙間にオーバーフローを設け、オーバーフローを最終充填部にし、温度の低下した溶湯をオーバーフローへ流すことによって対策した。

鋳造の結果、その部分に湯じわは発生せず、金型を修正することなく立ち上げることができ、開発リードタイムの短縮に繋がった（図11）。

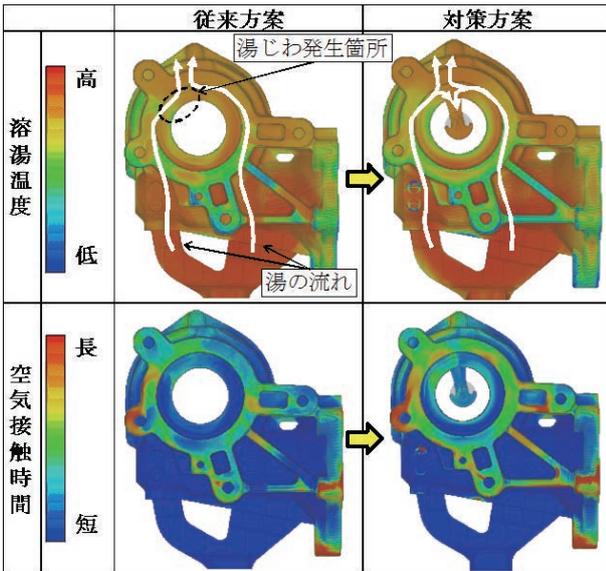


図11 オーバーフロー追加による湯じわ対策

5 おわりに

シミュレーション結果が実体の欠陥を再現するまでには多くの時間を要したが、本開発により活用できるレベルになった。しかし、完全には予測できない部分もあることから、シミュレーションの精度は更に向上する必要がある。したがって、事例を増やすことで社内のノウハウを積み上げることが重要だと考える。

今後も開発した欠陥予測方法を活用し、鋳造方案の机上検討による開発リードタイムの短縮、生産性向上に取り組む。最後に関係各位、ならびに御指導御支援頂いた方々に厚く御礼を申し上げます。

著者



横野 航太

2007年入社。技術本部生産技術研究所第一研究室。鋳造技術と塑性加工技術の研究に従事。



PREGIO-HCPS (KYB高輝度化学めっきシステム) の開発

岡 島 孝 幸

1 はじめに

KYBモーターサイクルサスペンション株式会社(以下KMS)の製品を構成する主要部品の多くに金属が使用されており、その表面処理には、塗装やアルマイト(陽極酸化被膜)、化粧クロムめっきなどが使用されている。それぞれに長所と短所があり、新たにKMS製品に使用可能な表面処理技術が望まれていた。そこで外観に特徴を持つ銀鏡めっきに注目し開発を行った。

KMSに於ける銀鏡めっきの開発は、二輪車用ショックアブソーバ部品(アルミアウターチューブ)に使用されている化粧クロムめっきの代替技術として始めた。化粧クロムめっきは協力会社で実施しており、工程の複雑さや工程数の多さによる不良率の高さと高コストに悩まされていた。代表的な不良であるピンホールは鑄巣を起点としており、クロムめっき処理により大きくなり目立つ特徴を持つ(図1)。これが不良率を引き上げる要因になっていた。

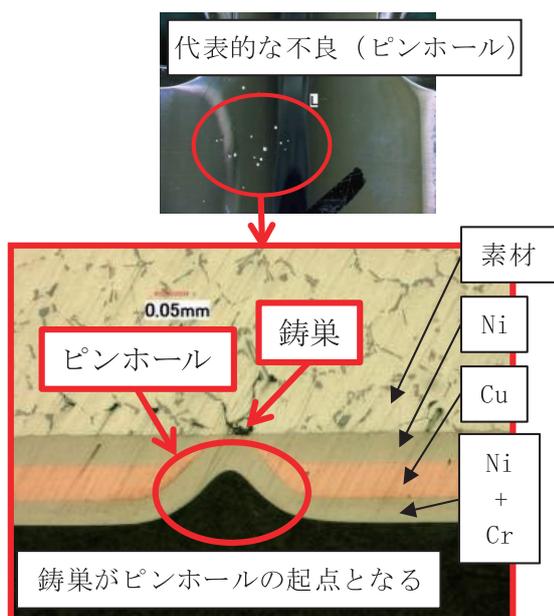


図1 めっき不良

銀鏡めっきが化粧クロムめっきの代替技術として注目されたのには二つの理由がある。

一つ目は銀鏡めっきが塗装技術を使用しているところである。鑄巣などの欠陥を塗膜で覆い隠すことができれば不良低減の可能性がある。

二つ目は塗膜を着色することにより、外観をクロムめっきに疑似できることであり、元々銀鏡めっきが持つ最大の特徴であるカラーバリエーションと高輝度を使用したものである。これらの特徴を最大限に生かすために、単なる化粧クロムめっきの代替技術開発から方向転換し、付加価値のある新表面処理技術の構築として進めることにし、この銀鏡めっき処理技術をPREGIO-HCPS (KYB高輝度化学めっきシステム)と命名した。PREGIOとは、イタリア語で価値や美点を意味する。

2 概要

銀鏡めっきは、銀めっき技術の銀鏡反応を応用したもので、スプレー工法により化学反応で形成された銀膜をアンダーコートとトップコートで挟む表面処理として樹脂素材に於いては既存の技術である(図2)。

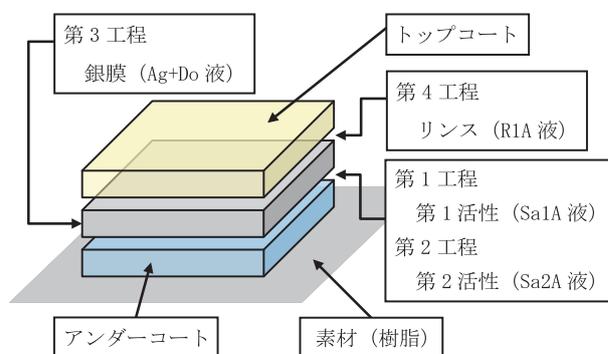


図2 銀鏡めっきの構造

銀鏡反応とは、アンモニア硝酸銀水溶液が各種還元剤によって還元され、銀が析出する化学反応であ

る。19世紀前半に発見され古くから使用されている技術である。現在は鏡の製造法として工業的に使用されていることから銀鏡反応と呼ばれている。銀の長所は、可視光線の反射率が98%と金属中最大なこと。短所は、金に次ぐ高価な金属であり、化学変化を起こしやすいことである。協力メーカは、写真用印画紙で培った銀塩処理技術のノウハウを銀鏡めっきに応用し、従来の銀鏡めっきの弱点とされてきた、**白化**、**黄変**、**シケ**（用語解説「塗装不良の種類」p.44参照）などの化学変化を抑制できる銀鏡めっきを開発した。

銀膜を形成する処理工程は4工程から成る(図3)。

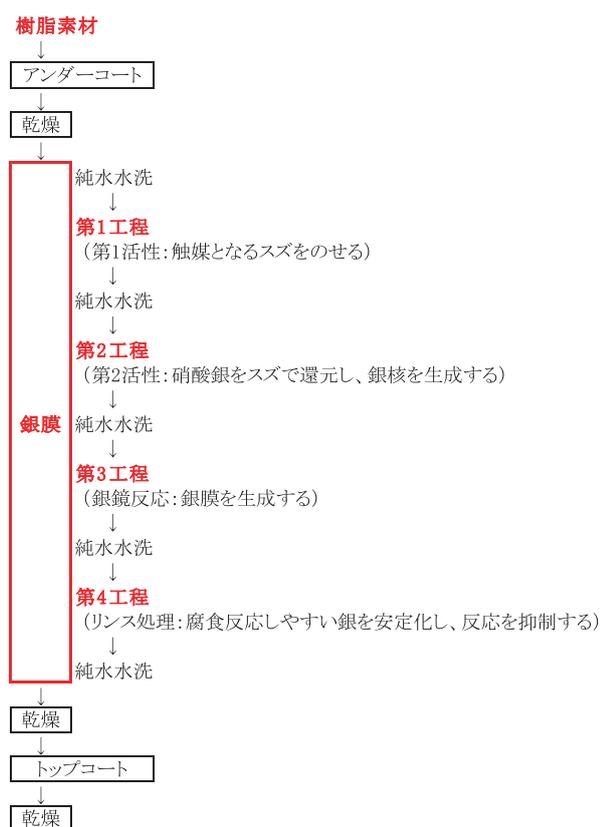


図3 銀鏡めっきの工程

3 目標

既存の銀鏡めっきは屋内使用が前提で、めっきを施す素材が樹脂に限定されたものだったため、アンダーコートは金属素材に密着しなかった。そこで、メーカの協力を得て、KMSの金属素材部品を対象に現行流動品に適用されている塗装品質規格に対応可能な表面処理技術にする事を目標とした。

4 予備テスト

アンダーコートが樹脂素材に密着することは解っている。そこでKMS部品は塗装品（塗料が樹脂）

であることを利用してアンダーコートが塗装に密着すれば、金属素材への銀鏡めっきは可能になると考えた。

まずリヤクッションユニットスプリング用のカチオン電着塗装、アルミアウターチューブ用のクリヤ静電塗装とアンダーコートの密着性を調べた。

一方、ベースコートとしてのクリヤ塗装はKMSのアルミ用及び鉄用塗装ラインで使用可能で、アルミ塗装ラインでの実績があり密着性も良好である。

4.1 基盤目密着性試験の結果

- ①カチオン電着塗装品：良好
- ②クリヤ静電塗装品：クリヤ塗装とアンダーコートの間で剥離が発生した（写真1）。

協力メーカによる原因調査の結果、クリヤ塗装の過硬化が原因でありクリヤ塗装はベースコートに適さないとの見解が出された。

アルミアウターチューブ用クリヤ塗装は二液硬化型のアクリルシリコン樹脂塗料である。シリコン樹脂は他の塗料樹脂との密着性能が良い方ではなく、密着性の悪さは塗膜硬化が進むとより顕著に表れる。二液硬化型塗料は塗料と硬化剤の二液に分かれており塗料に硬化剤を投入することにより塗膜が硬化する。硬化は乾燥熱や時間の経過と共に進むのが特徴で、この特徴はシリコン樹脂の密着性の悪さを強調する結果になった。

以上より、現状使用しているアルミアウターチューブ用のクリヤ塗装は使用できず、新たなベースコートの開発が必要となった。



写真1 剥離（アルミ材）

5 ベースコートの開発

そこで新たにベースコートの選定を協力メーカに依頼し、高温焼付型アクリル樹脂塗料と低温焼付型ポリエステル樹脂塗料を選定した。これらの塗料は協力メーカの塗料の中でも素地との密着性に優れたプライマ塗料であり、優位性を評価して選択するこ

とにした。

5.1 基盤目密着試験と耐食性試験の結果

(1)高温焼付型アクリル樹脂塗料

テスト用の板（以下TP板）を製作し基盤目試験による密着性を確認した結果、ベースコートとアンダーコートの間で剥離が発生したが耐食性は良好であった。

協力メーカーの見解では剥離の原因は高温焼付型アクリル樹脂塗料の過硬化であった。

(2)低温焼付型ポリエステル樹脂塗料

TP板を製作したところわきが発生した（写真2）ため密着性の確認ができず、耐食性も劣っていた。

協力メーカーの見解ではわきの原因は低温焼付型ポリエステル樹脂塗料内の溶剤の一部がトップコート乾燥時に揮発したためであった。



写真2 わき

以上の結果から高温焼付型アクリル樹脂塗料を選択した。理由は塗料設計の面から低温焼付型塗料の耐食性の向上は難しく、耐食性が良好な高温焼付型塗料における過硬化が原因とされる不具合への対策の方がやり易いと判断したためである。

5.2 不具合対策と結果

ベースコートの過硬化を防止し、かつアンダーコートとの密着性を確保するには、ベースコートの乾燥温度をアンダーコートより低く設定し、アンダーコートの乾燥時にアンダーコートと共にベースコートの硬化が完了できるようにするのが良い。更にトップコートの乾燥時にベースコートとアンダーコートが乾燥温度に影響されないようにするために、アンダーコートとトップコートの乾燥温度を同じにすることが望ましい。

そこで、ベースコートの硬化方法を高温焼付による熱硬化型から二液硬化型に変更した。二液硬化型塗料は硬化剤の投入により硬化するため、ベースコートの乾燥温度をアンダーコートの乾燥温度より低く設定でき、硬化方法が同じアンダーコートとの相性も良くなると考えられた。TP板を製作した結果、

わきの発生は無く基盤目試験による密着性も確保できた。

以上から金属素材への銀鏡めっきは金属素材とアンダーコートの上にベースコート（カチオン電着塗装又は高温焼付型アクリル樹脂塗料改）を挟むことで可能となった。

6 塗装品質規格での評価と対策

塗装品質規格での評価に当たり、重ね塗り性試験は評価項目から除外した。なぜならこの試験の目的は一度乾燥した塗膜上に同じ塗料を再度塗装し、乾燥した時の密着性能を確認することであるが、銀鏡めっきはトップコートにカラークリヤを使用しているため、塗り重ねると色が濃くなり外観が変化してしまう。外観の変化は商品価値に影響が出ることになるため、重ね塗りはできないと判断したためである。

6.1 塗装品質規格による評価結果

耐候性と屈曲性については塗装規格を満足しなかった（写真3, 4）。

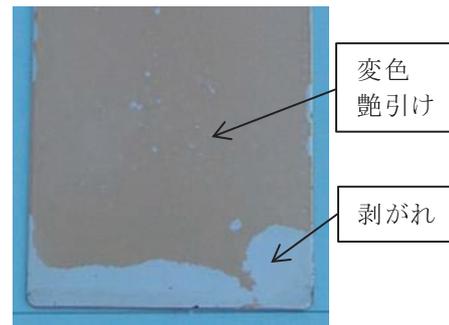


写真3 耐候性試験結果

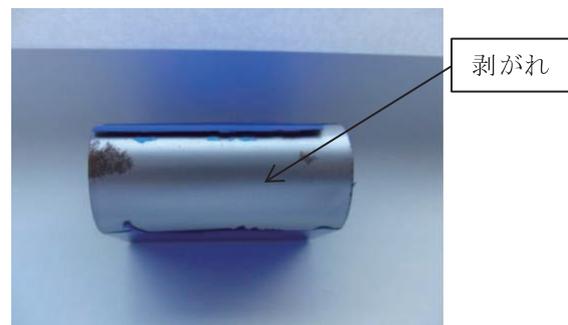


写真4 耐屈曲性試験結果

6.2 不具合項目の対策と結果

(1)耐候性試験^{注1)}の不具合内容

銀鏡めっきのトップコートは一般的な有色塗装に比べ、変色や白化が起りやすい環境にある。一般の有色塗装膜は、塗膜表面で紫外線などの入射光を

受け一部を反射するため塗膜は入射光により劣化する。これに対し銀鏡めっきのトップコートはカラータリヤで着色はあるが入射光を通す。そして塗膜を通過した入射光は銀膜で反射し再びトップコートを通過するため、トップコートは入射光と反射光の両方から影響を受けることになり、塗膜の劣化が促進される環境にある(図4)。

注1) 試験片をサンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機 (JIS B 7753) に入れ、試験を規定時間実施する。目視評価により、割れ、艶、色などに異常が無ければ合格。

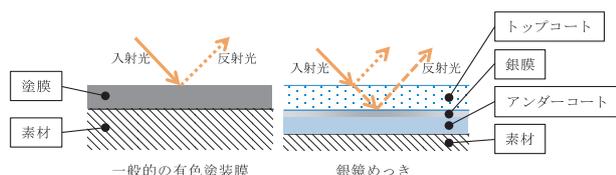


図4 光の反射の違い

(2)耐屈曲性試験^{注2)}の不具合内容

一般的な塗装膜厚に比べてベースコートからトップコートまでの塗装膜厚が50 μ m程度と厚いことが要因である。

注2) 試験面が折り曲げた時に外側になるように折り曲げ試験装置 (JIS K 5600-5-1) に取り付ける。約1秒かけて180度屈曲させる。塗膜の割れ、剥がれが無ければ合格。

(3)対策

協力メーカーでは塗装規格を満足するために、ベースコート、アンダーコート、トップコートのそれぞれに対し様々な添加剤の調査やテストを繰り返しながら、性能を向上させる取り組みを続けてきた。その性能の向上度合を確認するために二つのベースコートで実力値を評価することにした。

(4)結果

前回の評価で塗装規格を満足できなかった耐候性、耐屈曲性については、明らかに性能が向上していることは確認できたが、目標としている塗装規格を満足するまでには至らなかった(写真5, 6)。その他の評価項目については塗装規格を満足する結果であった。



写真5 耐候性試験結果

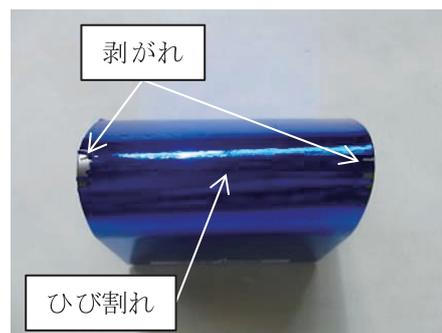


写真6 耐屈曲性試験結果

7 結論

銀の三大欠陥(シケ、黄変、密着不良)を克服するための安定化技術、銀膜を形成するために必要なアンダーコート、銀膜を保護し発色するためのトップコートを協力メーカーが開発した。これらの技術に加え金属素材とアンダーコートの間に今回開発したベースコートを挟むことで金属素材への銀鏡めっきが可能になり、KMS製品が使用される屋外環境に対応可能な新表面処理技術のシステムとその基礎技術の構築ができた(図5, 6)。

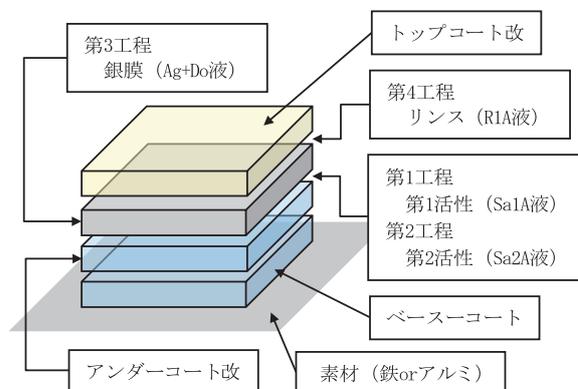


図5 PREGIO-HCPSの構造

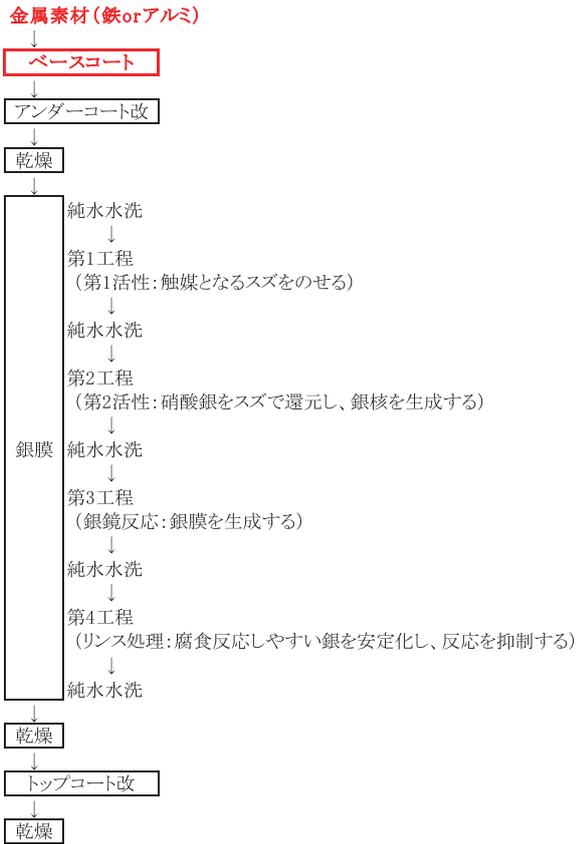


図6 PREGIO-HCPSの工程

8 おわりに

銀鏡めっきは古くから存在する技術だが、使用環境が限定された技術である。これまでに開発を試みた企業は幾つかあったが、結果が出せず断念したと聞いている。

今回の開発において一部の性能は未達となったが結果が出せたのは、協力メーカーとKMSが協力して取り組めたことが大きな要因だと確信している。

今後は以上の評価結果をPREGIO-HCPSの実力値として販路検討を行うことにしていく。



写真7 PREGIO-HCPS処理のスプリング

著者



岡島 孝幸

1992年入社。KYBモーターサイクルサスペンション(株)生産技術部第3係。主に安全・環境管理業務に従事。

「塗装不良の種類」

「PREGIO-HCPS(KYB高輝度化学めっきシステム)の開発」(p.38)に記載

KYB技報編集委員 赤堀正弘

1

塗装不良の代表例

塗装工程においては各種不具合が発生します。それら不具合の内容について本報に記載されているものと代表的なものを簡単に説明します。

1. 白化

乾燥過程で塗膜表面に露がかかったように白くぼけて艶がなくなった状態。

2. 黄変

本来の塗面発色とは異なり、淡黄色から褐色がかった変色を伴って仕上がった状態。

3. シケ

銀鏡めっき特有の白化のこと。

4. 剥がれ, 剥離, 密着不良

不純物などにより塗膜が剥がれる現象。素材面や相間で発生する(図1)。

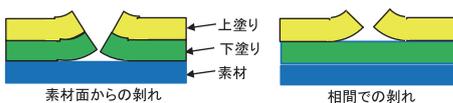


図1 剥がれ

5. わき

塗膜の硬化、乾燥時に、泡状の小さな膨れや穴が生じた状態(図2)。



図2 わき

6. 艶引け

乾燥後、塗膜本来の光沢が出ない状態。または短期間で光沢を失った状態。

7. 割れ, ひび割れ

塗膜に裂け目ができること。割れ目が素材まで達しているもの、いないもの、塗膜表面に浅く交

錯した割れなどがある。

8. 変色

塗膜の明度、色相、彩度のいずれか1つ以上が変化して他の色に変わった状態。

9. しみ

塗膜面に小さな斑点や色むらが生じた状態。

10. たれ

垂直面、傾斜面の塗装時、塗料が下方に流れて塗膜が局部的に厚くなり不均一となった状態(図3)。

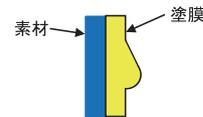


図3 たれ

11. 透け

素地や下塗りの表面が塗膜を通して見え、塗膜本来の色でない状態。

12. 色むら

塗膜の色が部分的に不均一な状態。

13. ごみ(ぶつ)

仕上げ面に異物が付着して突起状となった状態。異物などが保管中の塗料へ混入したり素材面へ付着することにより生じる(図4)。



図4 ごみ(ぶつ)

14. はじき

塗装後、塗料が均一に付着せず、塗膜が部分的に凹みを生じた状態。下地面と塗料との間の表面張力の不均等などによって起こる(図5)。

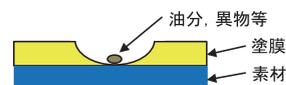


図5 はじき



微低速域高減衰バルブの開発

君 嶋 和 之

1 はじめに

近年、自動車メーカーにて開発される新型車両においては、サスペンションフレームや、ボディそのものの剛性が上昇傾向にあり、またタイヤ・ホイールの大径化・低扁平化も併せて、車両全体の高剛性化が進んでいる。

これに伴い、従来はタイヤ等によって吸収され、ショックアブソーバ（以下SA）には伝わっていなかった細かい振動もSAに伝わるようになり、同じ路面からの入力に対しても、SAがより細かく、より繊細に動かされるようになった。

上記の振動をうまく制振できない場合、振動はSAからアッパーマウント等を介してボディに伝わり、最終的にはユーザーの不快感に繋がるため、SAに対しては、従来よりもより微低速域・小振幅における減衰力の確保、および減衰力応答性の高さが求められるようになった。

この要求を受けて、減衰力応答性改良ピストンバルブを開発し、その詳細をKYB技報第51号にて紹介した¹⁾。本バルブにおいては、主要部品であるピストンの内面側シート面形状を、従来品（図1(a)）から刷新し（図1(b)）、減衰力応答性の大幅な向上を実現するとともに、より低速からリーフバルブを開弁させることが可能となったことから、減衰力バルブのオリフィスを更に絞り、微低速域減衰力の向上も可能となった（図2）。



図1 ピストン内面側シート面形状

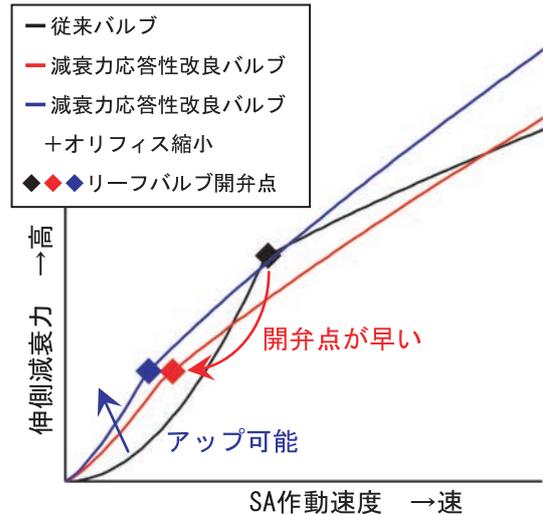


図2 従来バルブと減衰力応答性改良バルブの減衰力-速度特性比較イメージ

本報では、前記減衰力応答性改良バルブに対し、更に微低速域減衰力の向上を可能とするピストンバルブの開発について紹介する。

2 開発の背景

図3に、SAの作動ストロークと作動周波数に対する実車フィーリングへの影響の位置付けイメージを示す。操安性は、主にステアリングの操舵に対する応答性・追従性、質感は路面からのビリビリした細かい入力の遮断感、乗心地はばね上の制振性と言い換えることができる。

操安性と質感とは、図3における領域としては異なるものであるが、SAの作動速度に着目した場合、同じ微低速域に位置しており、微低速域減衰力が操安性と質感に大きく影響していることが分かる。また同様に、中・高速域減衰力が乗心地に影響を及ぼしていると言える。

減衰力応答性改良バルブの適用により、従来バルブに対し操安性と質感は大きく向上したものの、自動車メーカーからは更なる性能向上要求があった。

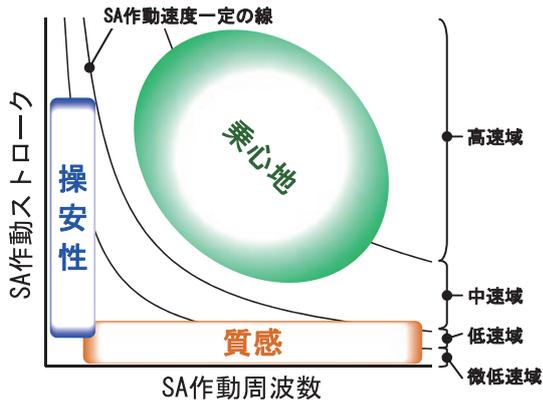


図3 SAの作動に対する実車フィーリングへの影響

また特性上、中・高速域の減衰力のみを低下させることができず、乗心地に改善の余地が残されていた。一般的に、①操安性・質感と②乗心地との間にはトレードオフの関係があり、車両（車重やサスペンション形式・ジオメトリ等）やグレード（車両の性格）に合わせ、①②両性能の両立点（より高い妥協点）を探るのが、SAの減衰力チューニングである。減衰力チューニングのみで、②乗心地を維持もしくは向上させつつ、①操安性・質感をもさらに向上させることは困難であったため、①操安性・質感と②乗心地とをさらに高水準で両立する減衰力バルブの開発に着手した（図4）。

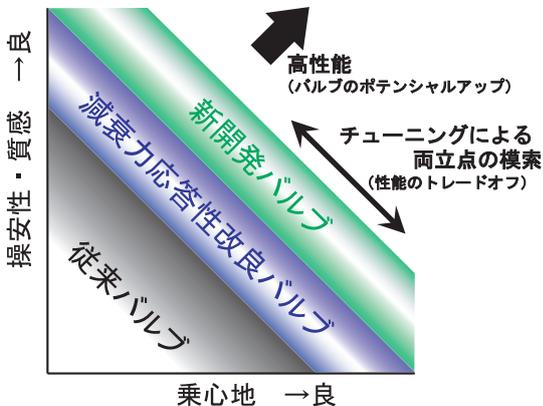


図4 新開発バルブの開発方向性イメージ

3 新ピストンバルブの開発

3.1 開発の狙い

前述の通り、車両の操安性・質感の向上にはSAの微低速域減衰力の向上（≒リニア特性化）が寄与しており、乗心地の向上にはSAの中・高速域減衰力の抑制（≒飽和特性化）が有効であるとされている。KYBの既存バルブには、上記の両特性を併せ持つバルブはなかった（表1）。

以上のことから、新開発バルブの狙いを次のよう

表1 従来バルブと新開発バルブの特徴

	微低速域減衰力	中・高速域減衰力
従来バルブ1	低（オリフィス特性）	高（リニア特性）
従来バルブ2	低（オリフィス特性）	中（弱飽和特性）
従来バルブ3	低（オリフィス特性）	低（超飽和特性）
減衰力応答性改良バルブ	高（リニア特性）	高（リニア特性）
新開発バルブ（狙い）	高（リニア特性）	低～中（飽和～弱飽和特性）

に設定した（図5）。

- ①減衰力応答性改良バルブと同等の微低速域減衰力特性を有すること。
- ②中・高速域減衰力を抑制でき、乗心地の背反なく更に微低速域減衰力を向上できること。
- ③減衰力折れ点・傾き等を車両に応じて様々に変更することができるチューニング性を有すること。

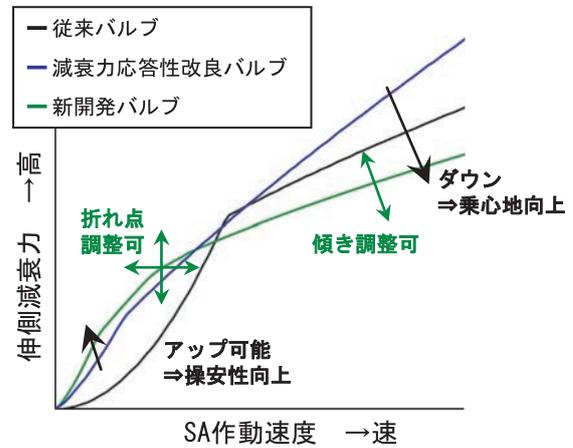


図5 新開発バルブの減衰力-速度特性イメージ

3.2 ピストン形状の設計

微低速域減衰力のリニア特性化には、図1(b)に示すようなピストンシート面形状の独立化が有効である。これはSAの作動時、リーフバルブにスポット状に圧力が負荷されることで、局所的なリーフバルブの開弁を促進し、早期にオリフィス特性からバルブ特性へ移行することにより、減衰力-速度特性がリニアに近づくためである。

また、中・高速域減衰力の飽和化には、バルブシート面の環状化および大径化が有効である。ともにリーフバルブの開口面積を大きく取りやすく、作動油流量の増加に対してバルブ差圧が大きくなりやすく、減衰力の上昇が抑えられるためである。

微低速域のリニア化と、中・高速域の飽和化を同時に成立させるため、ピストン内面側シート面形状は、図6に示すような独立シート面部と環状シート面部を併せた二重形状とした。

またメカニズムは後述するが、ピストンの環状シート面内部に多数のバルブサポートを設けることで、

様々な負荷位置・大きさのプリロードに対応できる構造とし、幅広い減衰力チューニング性の確保を狙った。

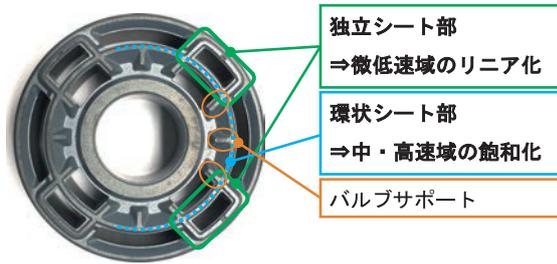


図6 新開発バルブのピストン内面側シート面形状

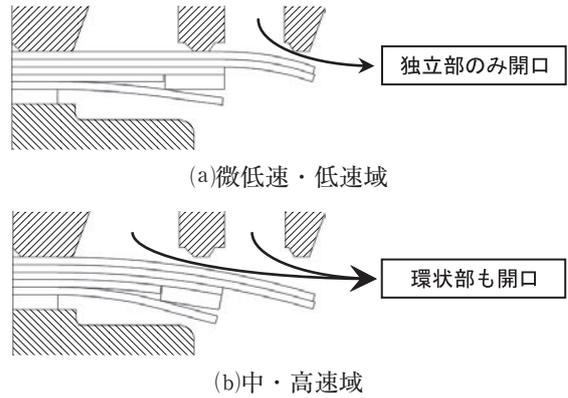


図8 伸側バルブ作動模式図

3.3 ピストンバルブ構造

新規ピストンバルブの断面構造を図7(a)に示す。全体の構造は、従来からあるナット締結により積層リーフバルブの内周側を固定する構造であるが、伸側リーフバルブの積層形態を、ピストンの二重シート面形状に合わせて二段構造としたことに特徴がある(図7(b))。

ピストン環状シート面内部にバルブサポートを設けたことにより(図6)、1段目リーフバルブと2段目リーフバルブの間に挟み込むプリロードバルブ荷重の大小・負荷位置を自由に調整することができ、環状シート部の開弁点をコントロールすることで、所望の減衰力-速度特性を実現することを狙った。

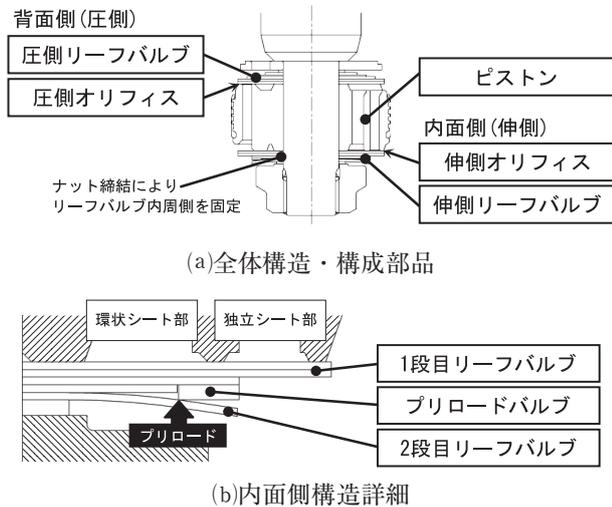


図7 新開発バルブの構造

SAの伸長作動時のリーフバルブ開口状態の模式図を図8に示す。SAの作動速度が遅いときは独立シート部のみが開口し、1段目リーフバルブのみが開弁する。1段目リーフバルブは可能な限り大径化しており、また圧力負荷がスポット状となることから、リーフバルブがSAの作動初期から開口するため、従来バルブよりもオリフィスを絞ることができ、微低速域減衰力の向上が可能となる。

SAの作動速度が徐々に速くなると、2段目リーフバルブがかかる環状シート部が開口し、開口面積が急激に増加するため、作動速度に対する差圧の上昇が抑えられ、中・高速域の減衰力が抑制できる。

環状シート部の開口点は、プリロードバルブによる荷重の大きさ、荷重負荷径により自在にコントロールでき、開口点以降の特性は2段目リーフバルブの剛性によって調整が可能である。

以上をまとめ、各チューニング要素の減衰力調整における狙いを図9に示す。

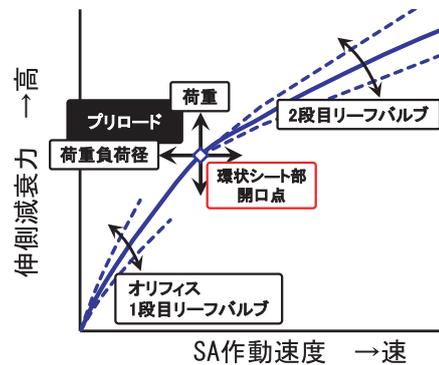


図9 各チューニング要素の狙い

3.4 減衰力-速度特性の確認

3.4.1 減衰力応答性改良バルブとの比較

代表サイズ(シリンダ径φ35, ロッド径φ22)のSAを用いた、伸側減衰力-速度特性の比較結果を図10に示す。微低速域~低速域の減衰力は、減衰力応答性改良バルブとほぼ同一の特性となり、かつ中・高速域の減衰力を抑制し、目標の特性を達成できた。

3.4.2 チューニング自由度の確認

図11(a)~(e)は、新開発バルブの各チューニング要素につき、減衰力-速度特性への影響およびカバーレンジを確認した結果である。

(a)オリフィス面積の変更により、微低速域での十分な減衰力可変幅が得られている。また中・高速域の減衰力を抑制できている効果で、微低速域の減衰

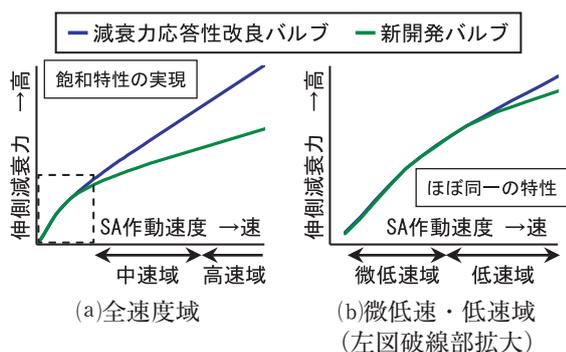


図10 減衰力-速度特性比較

力を大きく向上させても、この領域の減衰力変化を比較的小さく抑えられており、乗心地との両立ができていていると考えられる。

(b) 1段目リーフバルブ剛性の変更により、全速度域での減衰力ボリュームの調整が可能である。微低速域から減衰力が変化していることから、リーフバルブの開弁開始速度が非常に小さく設計できていることも同時に窺える。

(c) プリロードバルブの段差の選択によるプリロード荷重の調整により、環状シート部の開口圧を変化させることができる。開口点以降の速度では減衰力はオフセット的に上下する。

(d) プリロードバルブの外径の選択によるプリロード負荷径の調整により、環状シート部の開口速度の微調整が可能である。

(e) 2段目リーフバルブ剛性の変更により、環状シート部の開口圧、および開口点以降の減衰力傾きの調整が可能である。

4 採用状況

本開発ピストンバルブは、昨年12月より量産を開始し、現在も多数の車種に採用の動きとなっており、適用開発を進めている。先の減衰力応答性改良ピストンバルブと併せ、標準バルブとは一線を画す付加価値バルブとしての位置付けで、今後の主力バルブとして展開を進める予定であり、採用車種・生産数

著者



君嶋 和之

2000年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部サスペンション技術部第一設計室。ショックアブソーバの開発に従事。

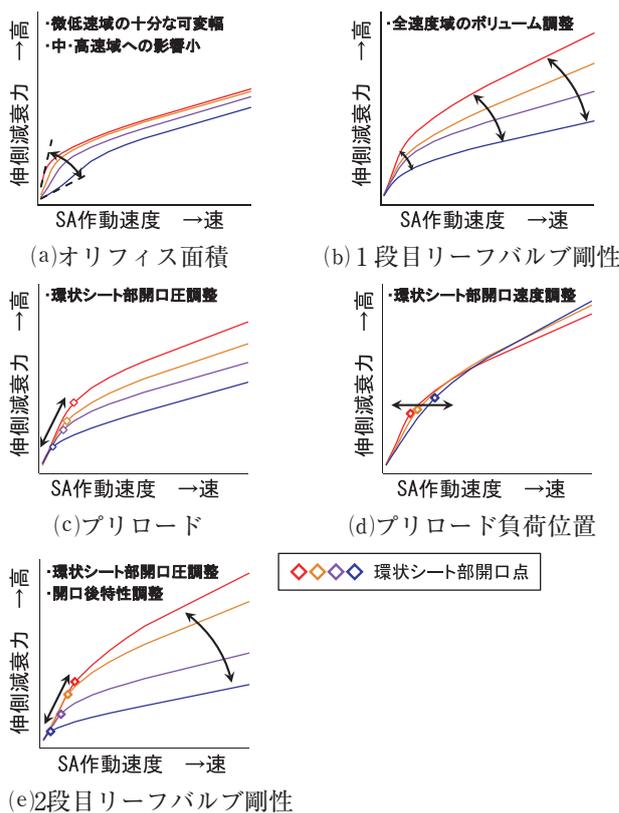


図11 各チューニング要素の減衰力-速度特性への影響・効果

ともに拡大が予測される。

5 おわりに

微低速域減衰力の向上、および中・高速域の減衰力抑制に着目し、先般の開発バルブの弱点を克服する新規アイテムを開発した。これにより操安性と乗心地との両立をさらに高い次元で実現し、エンドユーザにより快適な車両を提供できるようになった。

最後に、本開発にあたりご指導、ご協力頂いた関係各位に、この場を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 君嶋, 山中, 山本: 減衰力応答性改良バルブの開発, KYB技報第51号, (2015年10月).



KMEX SA工場立ち上げ

日下部 誠

1 はじめに

米州の自動車市場は活況が続いており、客先は南下を続けている。特にメキシコにおける自動車関連企業の進出は目覚ましい。KYBも米州域での拡販活動が成功し、生産能力の増強が必要になっている。客先動向も踏まえて米州生産工場全体（KAC/KMEX/KMB）の供給体制を検討した結果、KMEXにショックアブソーバ（以下SA）工場を建築し生産体制を整える事となった（図1）。

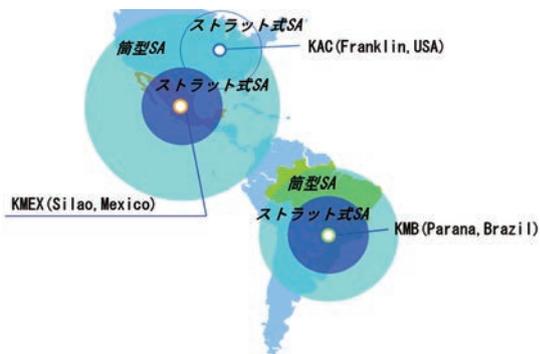


図1 KYB米州生産戦略

SAを高品質かつ低コストで供給するため、工場建築の段階で、部品調達から出荷までの工程全体に亘って様々な検討を実施した。

本報では、下記の実施内容について報告する。

- ①投資抑制の為、製品の立ち上がりに合わせた段階的投資（工場／工程／設備）。
- ②加工内製化を立ち上がり時から実施。
- ③今後整備されていく生産ラインのモデルとなるような、運搬効率がよく、工程順配置で整流化したライン群の構築。
- ④高品質を達成する為、コンタミを持ち出さないかつ持ち込まない工程の構築。

2 工場概要

KMEXは2012年10月に設立され、2014年10月からCVT工場が既に稼働を始めている。SA工場は2棟目の工場となる。

場所はメキシコ主要都市のメキシコシティより350km離れたシラオの工業団地内にあり、レオン国際空港より約5kmの位置にある。



図2 KMEX所在地（Google Mapより引用）



写真1 KMEX SA工場外観

3 実施内容

3.1 投資抑制のための段階的投資

製品の立ち上げに合わせ、段階的な設備投資をする計画とした（図3）。



図3 レイアウト計画（段階的投資）

立ち上がり当初は生産数量が少ないため、第1ステップとして、アフターマーケット向け製品とOEMを混流する筒型SA用のSA1ラインを2016年5月に立ち上げ、アフターマーケット向け製品の納入を開始した（図4）。

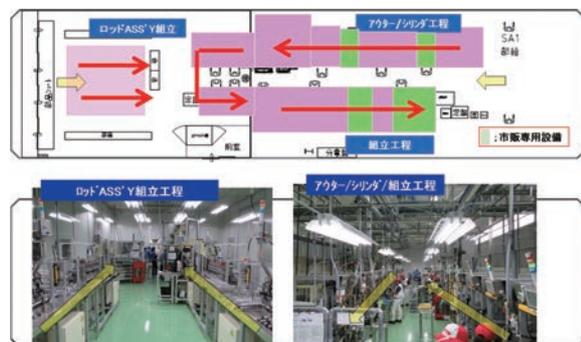


図4 SA1ライン概要

また、ストラット式SA用のST1ラインを2016年9月に立ち上げ、筒型SAと合わせて、OEM製品の納入を開始した。

今後は、需要に合わせてSA2ラインを追加し、SA1ラインをOEM専用、SA2ラインをアフターマーケット向け製品専用にして生産の効率化を図る計画である。

3.2 加工内製化の取り組み

(1)長材（アウター／シリンダ）加工

素材の現地調達化と長材加工工程を導入し、変動

費と在庫低減を目的に、2016年5月に稼働を開始した。今後、需要に合わせて段階的に工程を追加していく（写真2）。



写真2 長材加工工程

(2)ピストンロッド加工工程

工程は、グローバルスタンダードをめざし、以下のコンセプトで立ち上げた。（写真3）

- ・投資抑制の為、需要に合わせてラインを製作し、設備は品質／コスト／実績による最適調達の実施。
- ・重要な設備は日本調達。
- ・アフターマーケット製品に対応する為、40本ロットの少量から生産出来る設備仕様。



写真3 ピストンロッド加工工程

3.3 整流化したレイアウト

KYBモノづくり基準に沿った工場レイアウトを実施し、部品庫→組立エリア→完成品店エリアを一定方向へ物が流れるよう設置した（図5）。

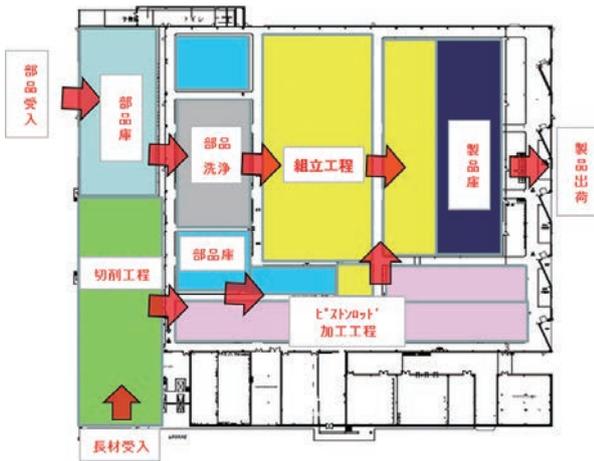


図5 工場全体レイアウト

3.4 コンタミ対策（工場～工程～設備）

(1)工場間のコンタミ相互影響の防止

- ・一度工場内へ入ったら、工場外に出なくても一日の作業ができること。
 - ・工場間の連絡通路（写真4）を加圧してエアシャワー（写真5）でコンタミを除去し、工場内に持ち込まないこと。
 - ・工場専用シューズ化で工場外部からコンタミを持ち込まないこと。
- 以上のコンセプトで進めた。



写真4 連絡通路



写真5 エアシャワー

(2)工場内コンタミ対策

組立室内へ持ち込む前に部品洗浄を実施することにより、組立室内へのコンタミ持ち込みを防止している。

内蔵部品準備、バルブやロッドASSYの組付けは組立室にて実施する（図6）。



図6 工場内コンタミ対策

4 ラインの立ち上げ

(1)日本での事前確認

KMEXでは初めてのSA生産ライン立ち上げとなる為、日本での設備調整時に部品供給シュートや作業台等の付帯部を製作し、KMEXと同じ作業ができる環境で以下の項目を確認した（写真6）。



写真6 日本でのライン立ち上げ

- ・ 不安全な箇所／作業がないこと。
- ・ 計画した標準作業通りに作業できること。
- ・ 目標サイクルタイムが達成できていること。
- ・ 必要書類が準備できていること。（条件表等）

設備調整の最終段階では、量産時を想定して、実際に作業者を配置した生産トライを行って問題点の洗い出しを行った（写真7）。



写真7 標準作業の検証

(2)KMEXでのライン立ち上げ評価

設備設置から評価完了まで現地スタッフとともに日本で評価した内容を一つ一つ確認しながらラインの立ち上げを実施した（写真8）。



写真8 生産トライ

そして、KMEXにて行われた社内審査での合格を経て、以下の日程で生産を開始した（写真9）。

- ・ アフターマーケット向け製品の生産開始
2016年5月～
- ・ OEM製品の生産開始
2016年9月～



写真9 KMEXでの社内審査

5 おわりに

アフターマーケット向け製品とOEM製品の立ち上げをKMEXとの定例会を活用し進捗管理を強化することにより無事完了することが出来た。

今後、アフターマーケット向け製品とOEM製品とも多くの機種の新規立ち上げが計画されており、不具合を発生させないように十分にラインと製品を評価し、計画通り立ち上げを実施していく。

最後に本件に対してご支援を頂いている関係各位に対しこの場をお借りして深く感謝申し上げます。

著者



日下部 誠

1992年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部岐阜北工場生産技術部所属。海外支援業務に従事。



EPS減速機加工の生産性向上・品質向上の取り組み

伊藤 進 ・ 瀬瀬 久人

1 はじめに

電動パワーステアリング（以下EPS）の新規受注に伴い質の高いステアリングフィールを実現するため、減速機（図1）を2007年からコア技術／コア部品と位置づけ、減速機加工の開発を行い内製を開始した。性能向上を実現するため、コア部品の内製化方針に則り精度向上とコスト低減を目的として内製化の拡大を行ってきた。既存設備を有効活用した生産性向上と品質向上活動を報告する。

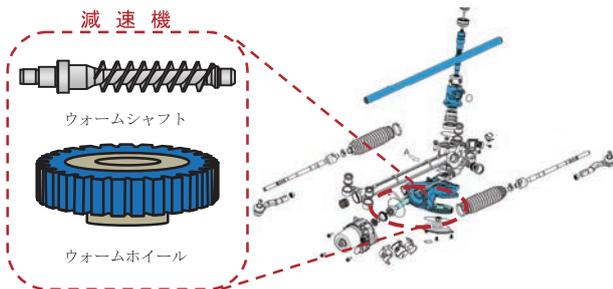


図1 EPS内製加工部品

2 概要

2.1 製品の概要

ウォームシャフト（以下ウォーム）とウォームホイール（以下ホイール）を組み合わせたウォーム減速機（以下減速機）は、モータトルクをウォームを介し、ホイール軸に減速比倍したトルクが発生し車両が曲がることをアシストする重要な機能を有している（図2）。

ホイールはハンドル軸にあり噛み精度が手に伝わりやすいため、ステアリングに求められる静寂性、高応答性、正確性の3点に大きく影響する重要な部品で

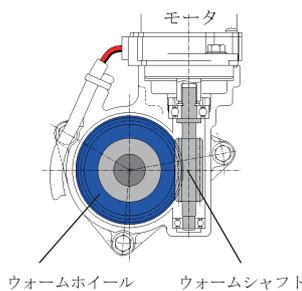


図2 ウォーム減速機

ある。

2.2 減速機加工ラインの概要

減速機加工ラインは、旋削、歯切り、研削、洗浄、で構成されるウォーム加工工程と、歯切り、バリ取り、洗浄、マッチングで構成されるホイール加工工程から構成されている（表1）。

表1 工程の概要

ウォーム加工		ホイール加工	
工程名	工程内容	工程名	工程内容
①旋盤	外径粗加工	①ホブ盤	歯切り加工
②ワーリング	歯切り荒加工	②面取り機	バリの除去
③研削	外径研磨	③洗浄	コンタミの除去
④ネジ研削	ネジ部研磨	④保管	一定時間保管させ、寸法を安定させる
⑤ブラシ掛け	歯面粗度向上	⑤検査1	目視及び噛み試験
⑥洗浄	コンタミの除去	⑥検査2	マッチング
⑦検査	目視及び噛み試験		

3 課題と目標

3.1 生産性の課題と目標

今後、生産増を見込みコスト低減を実現するため、投資を抑えて生産能力を段階的に高めていく必要があった（図3）。

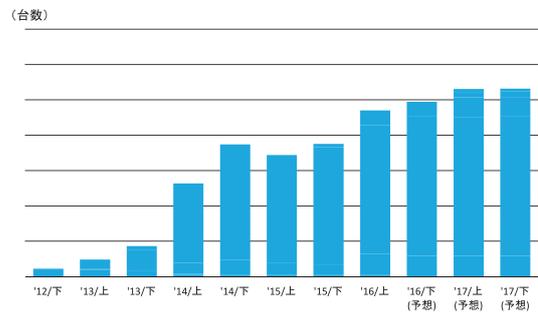


図3 内製減速機の生産実績と予想

2012年の既存ラインをベンチマーク（以下B・M）とし、多品種少量ライン、高生産性ラインの2本のラインを構築し、全体の生産能力を上げるため、目標を以下に設定し取り組むこととした（表2）。

表2 減速機ラインの生産能力

項目	B・M(12/10)	ライン1目標	ライン2目標
コンセプト		多品種少量ライン	高生産性ライン
CT	B・M	31%短縮	44%短縮
可動率	B・M	同等	26%UP
生産性能力	B・M	45%UP	124%UP

3.2 品質の課題と目標

音やフィーリングに対する質の良い製品を提供するためにはウォームとホイールを押し付けて回転させたときの軸間距離の変化を表す1歯噛合い誤差の品質向上を図る必要がある(図4)。

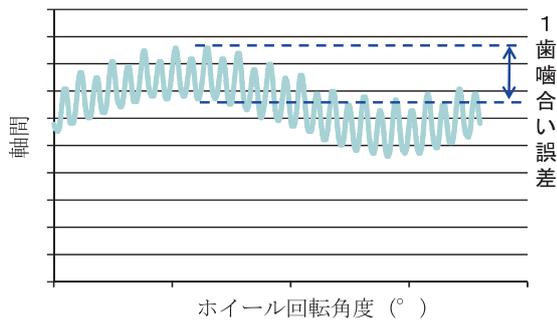


図4 軸間距離の変化

1歯噛合い誤差の大きい減速機は作動検査で赤い線のように操舵角に対する操舵力の変動が大きくなる。小さければ、黒色の様に変動が小さくなる(図5)。

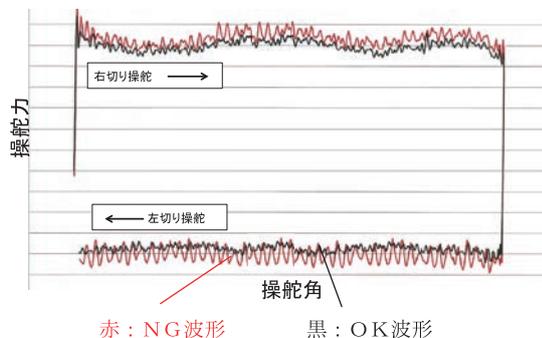


図5 完成品ギヤの作動抵抗試験データ

B・M時の不良の50%低減を目標に取り組むことにした。

4 実施内容

4.1 生産性向上

高生産性ライン化を実現するためにネックであるマシンタイム(以下MT)短縮の必要がある(図6)。実施例を紹介する。

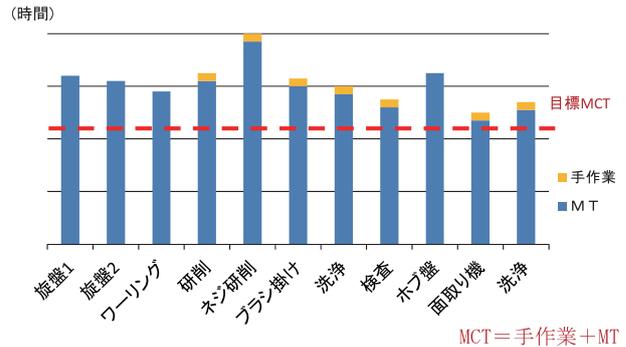


図6 各工程の手作業時間+MT

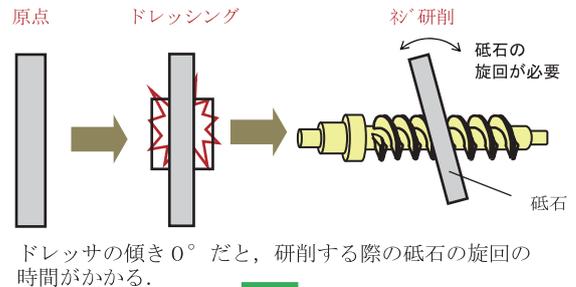
4.1.1 MT改善

(1)ネジ研削工程改善

ワーリング加工機で旋削した歯切り部分の研削仕上げを行う工程である。

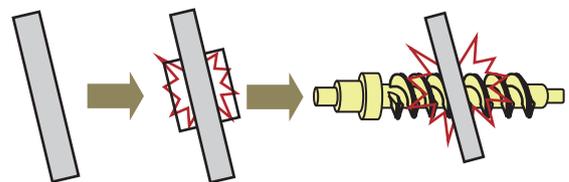
目標のMTで加工を完了するためにドレスサイクルの見直しを行った。いままでは、砥石とドレッサは傾き0°の状態で行った。ドレスした砥石はウォームと噛合う傾きに旋回し研削を行う。そして再び傾き0°に戻り、この動作を繰り返す。1サイクル中に砥石の旋回時間がかかっていたが、メーカーとここに着目し、高生産性ラインを1機種に集約しドレッサと砥石を傾けた状態でドレス出来るようにし、1サイクル中の砥石の旋回を廃止し、MT短縮することができた(図7)。

改善前



ドレッサの傾き0°だと、研削する際の砥石の旋回の時間がかかる。

改善後



ドレッサをワークの進み角と合わせる事で、砥石の旋回をなくした。

図7 ネジ研削盤の砥石の旋回

(2)ブラシ掛け工程改善

ネジ研削盤で仕上がった歯面のバリ取りと面粗度を向上させる工程である。

条件UPでMT短縮を試みたが歯面の面粗度の規格が未達となる。二度加工だと面粗度は達成するが、MTが未達になり、設備投資が必要になる。1軸ブラシユニットで加工していたが、2軸ブラシユニットを設計し製作したことで、品質、MT共に達成できた(表3、図8)。

表3 ブラシ掛けマトリックス

	ブラシ回転数	ブラシ切削送り	MT	品質(面粗度)	コスト	効果
現状条件	B・M	B・M	B・M	○	○	—
変更条件1	1.5倍	2.0倍	0.67倍	×	○	×
変更条件1を2回加工	1.5倍	2.0倍	1.34倍	○	×	×
2軸ブラシ化	1.5倍	2.0倍	0.67倍	○	△	○

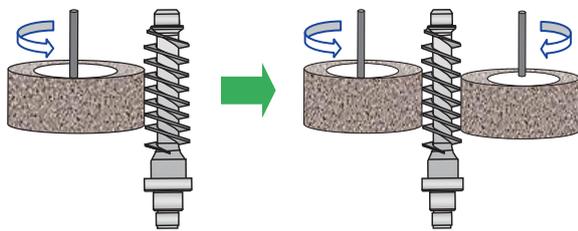


図8 ブラシ掛けの2軸ブラシユニット

4.1.2 段取り替え改善

多品種少量ラインにするために段取り替え改善を行う必要がある(図9)。実施例を紹介する。

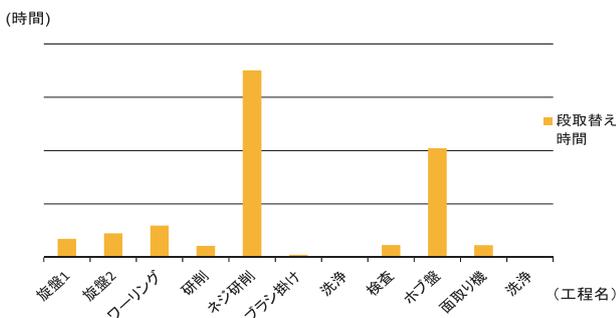


図9 各工程の段取り替え時間

(1)ネジ研削盤ドライブ方式変更

当初ネジ研削盤のクランプ方式は、3つ爪チャックでワークをクランプしていた。この3つ爪の段取り替え時に振れの抑制に時間が多くかかる。振れが大きいと一歯噛合い誤差が大きくなり不良が発生していた。

そのため、チャック方式からケレ方式へ変更した。全機種両センタ支持なので、機種別にケレ本体を変えるだけで段取りが終わる(写真2)。

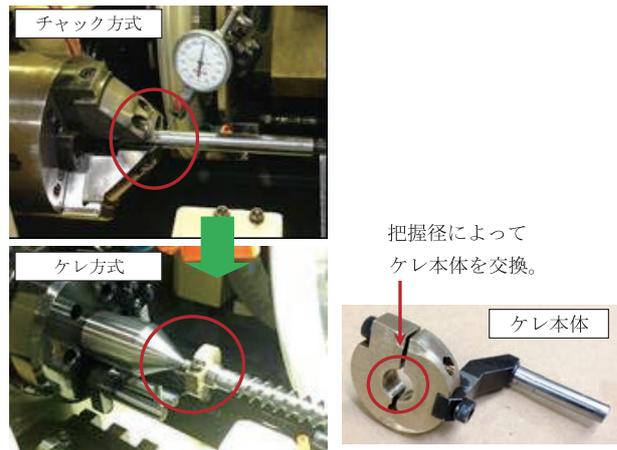


写真2 ネジ盤のドライブ方式

(2)ネジ研削盤ドレッサ段取り替えレス化

ネジ研削盤はドレッサ1ヶしか取付け出来ないため、モジュール違いの機種を段取り替えするときは、ドレッサを交換しなければならない。加工精度を出すため交換作業に30分かかる。ドレッサ3連取り付け機構にし交換作業をなくした(図10)。交換時に発生するドレッサの振れもなくなり品質向上にもつながった。

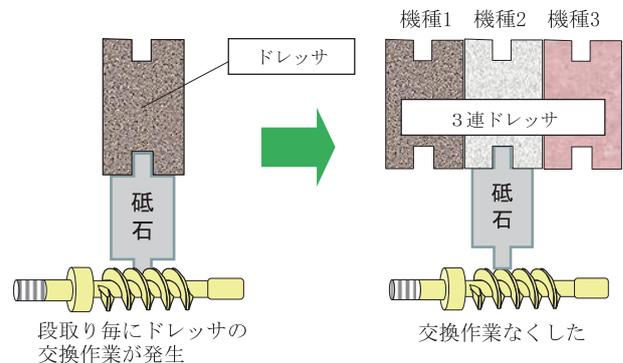


図10 ネジ研削盤のドレッサ3連装置

4.2 品質向上

ホイールの歯切り工程のホブ盤のホブカッターをアーバにナットで締め付ける際、焼入れ側の相手面に対し、締め付けナットの材質を変更することで密着面の摩擦力を変化させ、カッターの振れの抑制を容易に出来るようにし、1歯噛合い誤差不良を低減した。

改善前は市販のナットを使用しており、締め付けの際に密着面が摩擦により止まったり、さらに運動外力が加わると密着面はこれに抗し切れずに相手面上を瞬間的に滑り、振れが大きくなってしまい調整をくり返していた(図11)。

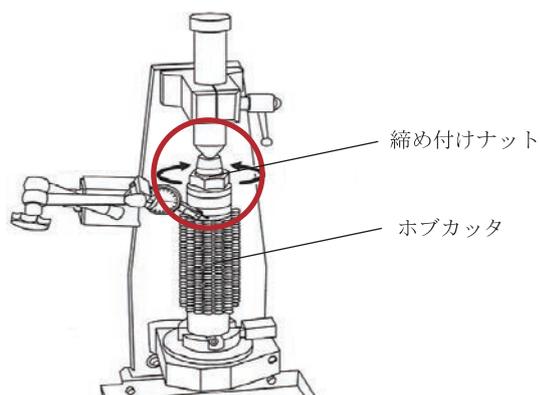


図11 ホブカッタ取付詳細図

5 結果

5.1 生産性向上の結果

多品種少量ライン，高生産性ラインのCT，可働率等は以下ようになった（表4）。

表4 生産性向上の取組みの結果

項目	B・M('12/10)	ライン1目標	ライン1結果
コンセプト		多品種少量ライン	多品種少量ライン
CT	B・M	31%短縮	31%短縮
可働率	B・M	同等	10%UP
生産性能力	B・M	45%UP	50%UP

項目	B・M('12/10)	ライン2目標	ライン2結果
コンセプト		高生産性ライン	高生産性ライン
CT	B・M	44%短縮	42%短縮
可働率	B・M	26%UP	16%UP
生産性能力	B・M	124%UP	97%UP

5.2 品質向上の結果

締め付けナットの材質の変更，ネジ研削盤のセンタ，ドレッサの段取りレス化を行い，1歯噛合い誤差不良を98%低減する事が出来た。

6 おわりに

CT短縮と段替え時間短縮で生産能力を確保するために非加工時間に目を付け，新規設備製作時に案を出し従来の方式以上の効果を出すことができた。

今後は，更なる改善として自動化による省人を図っていきたい。

最後に本件に対してご支援を頂いた関係各位に対し，この場をお借りして深く感謝申し上げます。

著者



伊藤 進

1993年入社。オートモーティブコンポーネッツ事業本部岐阜北工場生産技術部PS第1生産技術課長。EPS部品加工ラインの生産準備，量産支援業務に従事。



額 久人

2006年入社。オートモーティブコンポーネッツ事業本部岐阜北工場生産技術部PS第1生産技術課。EPS部品加工ラインの生産準備，量産支援業務に従事。

PPMポンプフランジ加工ラインの構築

奥島 幸一郎 ・ 岡本 和也

1 はじめに

KYB相模工場で生産しているPPM^{注1)}製品の中にピストンポンプ(写真1)があり、このピストンポンプは油圧ショベル用の部品である。このポンプの構成部品の1つとして、ポンプフランジ(写真2)があり、このポンプフランジはポンプのコア部品となっている。また、ポンプフランジにはクレードル^{注2)}と呼ばれる半円形状部がある。これはポンプの流量を制御する部品の軸受を装着する重要な部分である。

当社ではこのポンプフランジを過去に内製していたが、生産急増対応のため、取引先にて設備貸与し生産していた。しかし、ポンプフランジはコア部品であるため、今回内製化するため、ポンプフランジ加工ラインを新規構築した。

注1) ピストンポンプモータの略。

注2) 軸受けの役割をする半円形状部位のこと。



写真1 ピストンポンプ

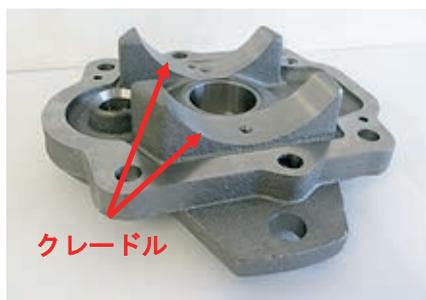


写真2 ポンプフランジ
(半円形状部をクレードルという)

2 ポンプフランジ加工の概要

2.1 ポンプフランジ加工の特徴

- ①多品種少量である。
(鋳物素材7種、加工形状16品種)
- ②大きさの異なる製品を1ラインで生産する。
- ③生産数変動の大小が混在している。
- ④難加工のクレードルがある。

2.2 ポンプフランジ加工の基本工程

- ①旋盤による基準面加工を行う。
- ②マシニングセンタによる穴あけ加工を行う。
- ③加工部のバリ取りを行う。
- ④洗浄機にて洗浄を行う。
- ⑤検査を行う。
- ⑥防錆油を塗布する。

3 目的

多品種少量生産に対応できる、ポンプフランジ加工ラインを構築する。

4 目標

- | | |
|----------|---------|
| ①可動率 | 85.0%以上 |
| ②ラインクレーム | 0件 |
| ③生産開始時期 | 2016年5月 |

5 要件

- ①生産数変動に対応できる加工ライン。
- ②従来の加工工法にとらわれない新規加工技術の確立。
- ③後工程に不良品を流出させない仕組みを取入れたライン。

6 実施内容

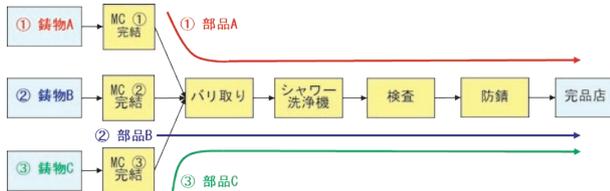
6.1 生産割合変動に対応

6.1.1 工程集約によるライン構築

従来のラインは、旋盤とマシニングセンタを用いて加工完了する工程分割ラインであった。大きさの異なる製品を加工しており、生産割合が変動しても段取り替えを頻繁にできないため、在庫を大量に持って生産していた。

今回のラインはマシニングセンタ1台で加工完結する工程集約ラインとして、異なる品番を同時に流し、多品種少量生産に対応できるようにした。工程集約を用いた混流生産の流れを図1に示す。

①の鋳物Aをマシニングセンタ①で加工完了とし、バリ取り、洗浄、検査、防錆をして完品店入れをする。これを1つの流れとして、②の流れ、③の流れと進めていき①・②・③の作業を完了させ1サイクルとなる。



※MCはマシニングセンタの略。

図1 工程集約を用いた混流生産の流れ

6.1.2 混流生産に対応

異なる品番が同時に流れる混流生産ラインであるため、各所に間違い防止のための工夫をした。

ライン先頭でワーク間違い防止のために、ワークと1対に1枚の生産指示票を取り付ける。これは完品になるまで取り付いたまま流れる(写真3)。

次にマシニングセンタ前でプログラム選択ミス防止のために生産指示票のQRコード^{注3)}(写真4)とプログラムを照合する。照合結果が違う場合はアラームとなり、加工がされないようにした。さらにマシニングセンタ加工では、ワークと生産指示票の間違い防止のために号機と品番を刻印して、作業者がどの機械で加工した何の品番なのかを、一目で見分かるようにした(写真5)。

注3) QRコードはDENSO WAVE社の登録商標です。



写真3 生産の姿



写真4 QRコード付生産指示票



写真5 刻印

6.1.3 生産割合変動に対応できる生産方式

ポンプフランジは多品種で生産割合変動の大小が混在している。各マシニングセンタで異なる品番を加工することができるため、ロット形成^{注4)}やパターン生産^{注5)}といった生産方法を自由を選択することができる。生産数が多い製品はロット形成とし、生産数の少ない製品はパターン生産にすることで、生産割合が変わった場合は、これらを入れ替えることで対応する(図2)。

注4) 機種毎に加工するタイミングを設定する生産方式。

注5) 生産の順序を一定にした生産方式。

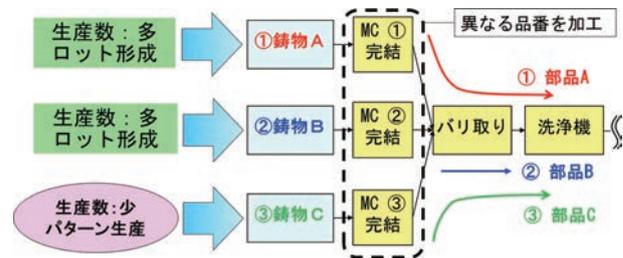


図2 生産方式

6.1.4 段取り能力向上の方策

従来は鋳物毎にジグがあり、ワーク厚みの違いに対して手動クランプジグの交換が発生していた。この交換作業に手動工具を使用していたため、時間がかかっていた。

今回はクランプジグを油圧クランプのトグル機構にしたことで、クランプストロークが広がり、1個のクランプジグで多品種に対応できるようになった(図3)。また、クランプジグ交換は工具を使用せずにワンタッチで行えるようにしたことで、ジグ段取りを最小限にでき、時間短縮となった。

さらに、段取り回数を減らすためにワークの重ね図から子ジグの共通化を検討し、ジグの個数を減らしたことで段取り回数を抑えた(写真6)。

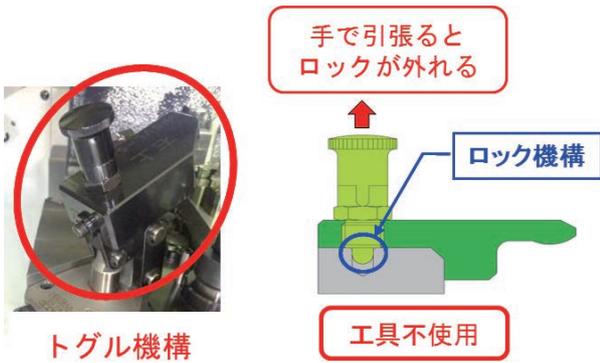


図3 油圧クランプ

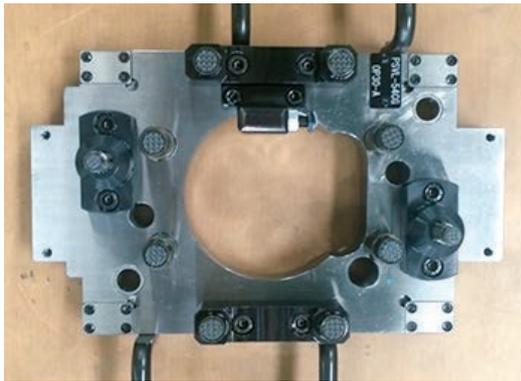


写真6 共通化した子ジグ

6.2 クレードル新規加工技術

6.2.1 高速・高精度加工技術の確立

従来の加工では、旋盤でワークを2個1セットで向い合わせにして、クレードル部の半円形状を旋削加工していた(図4)。これではジグに2個のワークを取り付けるので重くなり、チャックのクランプ力が下がりワークが外れやすくなってしまふ。そのため、加工条件を上げることができない。

今回はマシニングセンタ1台での自己完結ラインのため、マシニングセンタでの加工技術が必須となった。クレードルのような半円形状のものを1個

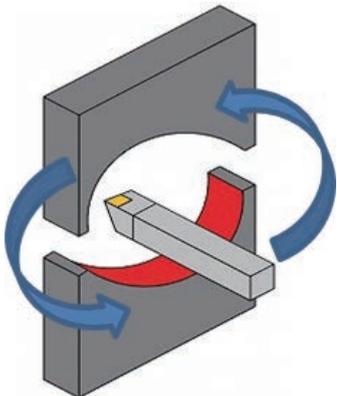


図4 従来の加工方法

づつ加工するには、円の動きのコンタリング加工^{注6)}を行うのが一般的であるが、加工時間がかかってしまふ。そこで高速加工を行うために直線の動きのボーリング加工^{注7)}を採用した(図5)。

また、高精度加工するためにはツール剛性が重要である。半円形状で断続切削のためビビリが発生しないようにツールたわみ量を考慮し、ジグとの干渉を検討しながら、ツール径を太くして剛性を上げることで対応した。これにより高速、高精度の加工が実現できた。

注6) NCテーブル制御を使用した輪郭加工のこと。

注7) 精密な穴径加工方法のこと。

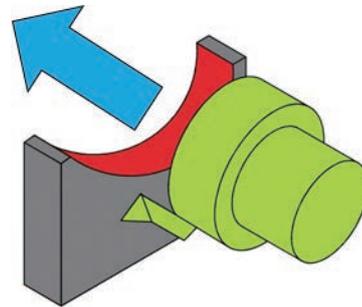


図5 ボーリング加工

6.2.2 測定技術確立

従来のクレードル部の測定は旋盤加工直後、機内でワーク2個がチャッキングされた状態でしか測定できなかった。図6のようにシリンダーゲージを用いて測定し管理していたが、径の大きいものの測定は難しく、測定には熟練度が必要であった。

今回はクレードル部を測定する半円測定器の開発を行った(写真7)。基準をマスターリングゲージとして、ワークとマスタとの比較測定を行う。求められた曲率半径から加工径を算出できるため、ワークを1個ずつ測定することが可能になった。

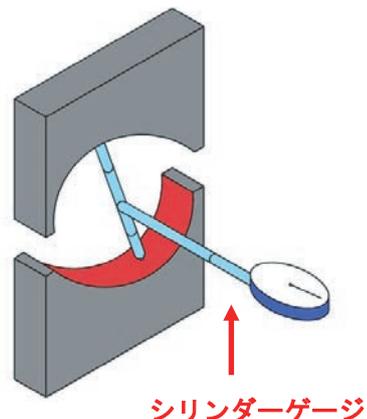


図6 従来の測定方法



写真7 開発測定器



写真8 検査支援システム

6.3 不良品流出対策

従来は標準書を作業者が見て測定する場所を探し、測定結果を測定用紙に手書きで記入していた。作業により測定順番が変わる可能性があり、測定の標準作業が組めない状態であった。

今回は混流生産でランダムに生産されたワーク測定に対応することと、測定の標準作業を確立する目的で、弊社の生産技術研究所が開発した検査支援システムを導入した(写真8)。本ラインではワーク毎に生産指示票が付いた状態で生産される。この生産指示票にはQRコードが印字されており、QRコードより品番情報を読み込むことで画面が品番毎に切り替わり、測定が開始される。

全16品種に対応しており3台のマシニングセンタで同時に異なる3品種の生産に対応することができるようになった。

作業時間のばらつきをなくし標準作業を確立する対策として、各測定箇所を次々に表示させることで、どこを測定するのか分かるようになった。また、測定手順の統一化をすることで、作業のばらつきを抑えることができるようになった。さらに画面の測定器番号と現物の番号を一致させ、作業者の迷いをなくすことができた。測定器での測定結果を無線通信し、測定結果が許容値内であれば次の測定ができる

仕組みとなっている。

7 成果

目標を全て達成した。

- ①可動率 86.0%
- ②ラインクレーム 0件(2016年12月まで)
- ③生産開始時期 2016年5月

8 まとめと今後の課題

本ライン構築によりマシニングセンタでクレードル加工の高速、高精度技術を確立させ、多品種少量生産に対応できる工程集約ラインの構築ができた。

今後は本技術をベースに他ラインへ展開、発展させていく。

9 おわりに

ポンプフランジ加工ラインの構築に御協力頂いた関係部署ならびに御指導御支援を頂いた方々へ、この場をお借りしてお礼を申し上げます。

著者



奥島 幸一郎

2012年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部相模工場生産技術課。主にPPM製品のポンプの工程設計を担当。



岡本 和也

2005年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部相模工場生産技術課。主にPPM製品のモータの工程設計を担当。

航空民需用マニホールド加工の内製化

木田 重人

1 はじめに

航空機器事業部では民需拡販を実施している。その中の1つとして、民間航空機（ビジネスジェット機）に搭載される、フライトコントロール系のバルブモジュールを受注した。

しかしながら、現行保有設備で行っている類似製品のマニホールド加工方法では、段取り替え能力が低くダンゴ生産となっている。そのため、リードタイム（以下 L/T）が長くなってしまい、今後の生産数増加への対応が困難であった。

そこで、構成部品であるマニホールドの内製化に伴い、段取り替え能力が高く小ロット生産（Lot：1個）が行える専用加工ラインを構築したので紹介する。

2 マニホールド加工の概要

2.1 マニホールド加工の特徴

バルブモジュールの構成部品であるマニホールドは、丸棒材からの削り出しが要求されている（写真1）。

マシニングセンタのみで加工することが可能であるが、軽量化のため外形形状が複雑で、加工穴数が

多く、穴径や位置の精度要求が厳しい。

2.2 マニホールドの基本加工部

マニホールドの基本加工部としては、以下となる。加工角度が複数あり、工程の設定には設備の動作範囲や寸法要求精度の考慮が必要である（図1）。

- ①外形形状加工
- ②穴あけ加工
- ③ポート加工
- ④ソレノイド取付け部加工
- ⑤メインバルブ穴加工

No Image

図1 加工部

No Image

写真1 バルブモジュール

3 目的

現状保有設備での問題点を考慮し、小ロット1個流し生産（Lot：1個）で、段取り能力の高い加工ラインを構築する。

4 目標

- | | |
|---------|---------|
| ①可動率 | 85.0%以上 |
| ②取り替えロス | 5分以内 |
| ③加工L/T | 30%減 |

5 要件

- ①手扱い作業の自動化を行い、作業時間の短縮及び段取りミスをなくす。
- ②小ロット1個流し生産（Lot：1個）が行える加工ライン。

6 実施内容

6.1 加工設備

加工設備の選定は、省スペース及び汎用性を重視した。また、様々な材質に対応できるように高速かつ高トルク主軸を選択し、さらに段取り性を考慮して使用ツールのパーマネント化が出来る積載本数のものを選定した。

6.2 機内自動計測装置

自動計測装置を用いることによって手扱い作業の自動化が可能となる。

機内計測装置の選定は、計測精度及び現行設備との汎用性を重視。また、ワーク計測部位を考慮し、最適長さのスタイラスを選定した（写真2）。



写真2 機内自動計測装置

6.3 加工工程の検討

一般的に加工工程は大きく分けて、工程分割型工程と工程集約型工程がある。

6.3.1 工程分割型

工程分割型（図2）は、工程毎に設備を割り当てライン構成し加工を行うため、設備毎のMTが減少しL/Tが短くなる一方、設備増加に伴い段取り回が増加するため、可動率が低下する。高い生産性を確保するためには、段取り能力を上げる必要がある。

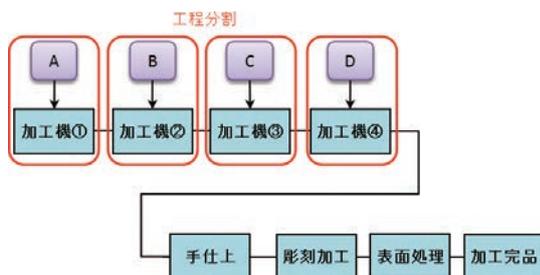


図2 工程分割型

6.3.2 工程集約型

工程集約型（図3）は、各加工工程（A, B, C, D）を集約するため、少ない設備台数でのライン構成が可能であるが、設備毎のマシントイム（以下MT）が増加し、L/Tが長くなってしまふ。また、工程集約のため、多軸制御加工機となる場合が多く、経年劣化等による品質維持が難しい。

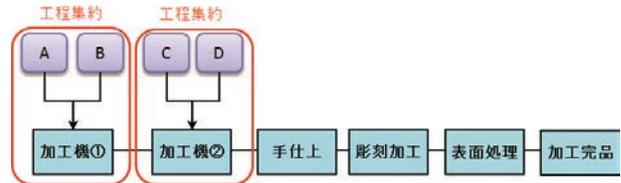


図3 工程集約型

6.3.3 生産方式

ダンゴ生産は各工程に仕掛り品があり、また工程毎の停滞が発生してしまう（図4）。

1個流し生産は各工程の仕掛り品が無くなり、在庫の低減となる（図5）。

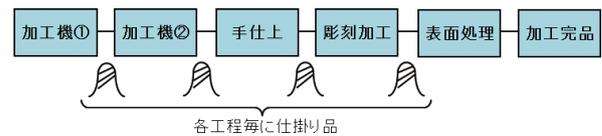


図4 ダンゴ生産

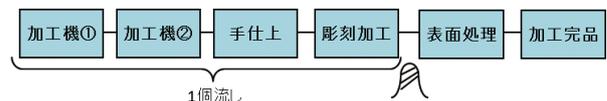


図5 1個流し生産

新ラインは、長期生産に渡り品質の維持がし易く、また、在庫の低減ができ、L/Tが短くなるよう、1個流しの生産方式とし、加工工程は工程分割型とした。

6.4 段取り能力の向上

一般的に段取り作業は、以下の項目であり、小ロット生産を行うためには、高い段取り替え能力が不可欠である。

- ①加工工具の取り付け
- ②ジグ取り付け
- ③原点位置の確認（以下 原点出し）
- ④加工プログラムの設定

6.4.1 加工工具

必要な工具を事前に洗い出し、必要な積載本数の加工設備を選定することで、工具のパーマネント化を行い、段取り替え毎に行っていた工具の付け外しを廃止した。また、工具管理容易化のため、工具品

番／工具名／使用製品品番等の項目に分けた工具リストを作成した。

これにより、使用工具の統一化を行うことで、工具在庫の低減を行った。

6.4.2 加工ジグ

ジグの共通化・取付け容易化のため、ワンタッチクランプ方式のジグを採用した(写真3)。

また、製作ジグについては、ジグ設計時にベース形状を統一し製作することで、取り付け作業の統一化を行った。ベース形状統一化による取り付けミス防止のポカヨケとしてベース角部に面取りを設け、さらに識別用ブロックを取り付けた。

これにより、ジグ取り付けミスによる工具の衝突リスクをなくした。



写真3 加工ジグ

6.4.3 原点出し

加工精度維持のために行われている原点出し作業は、段取り替え毎に行う必要があり、作業者による手扱い作業となっていた。そのため、作業者の技能レベルによるばらつきが発生し、計測ミスを誘発する可能性が高く、多くの時間を要する。それにより、生産性低下要因の1つとなっていた。

機内自動計測装置を利用することで、ワーク外径等の計測が可能となり、加工設備へ自動入力することで段取り替え時の原点出し作業の自動化を行った。

これにより、手扱い作業の大幅な短縮及び作業ミスの撲滅を実現した(図6)。

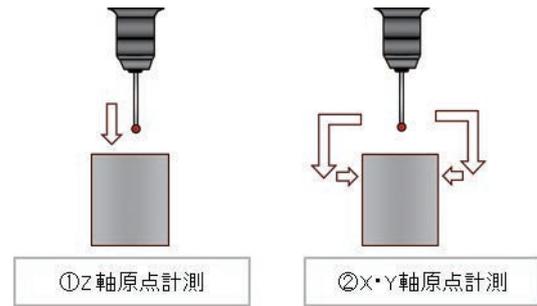


図6 原点計測

6.4.4 加工プログラムの設定

素材が丸棒材であるため、形状が酷似している。そのため、素材の取り付けミスや加工プログラム設定ミスにより、設備の衝突や不具合が発生する可能性が非常に高い。

そこで、機内自動計測装置及びカスタムマクロを使用した特殊プログラムの開発を行った。

これにより製品毎の素材又はジグ形状差異による自動製品識別を行うことで、加工プログラムの自動呼出しが可能となり、段取り替え時に必要とされていた加工プログラムの再設定を行うことなく、運転が可能となった(図7)。

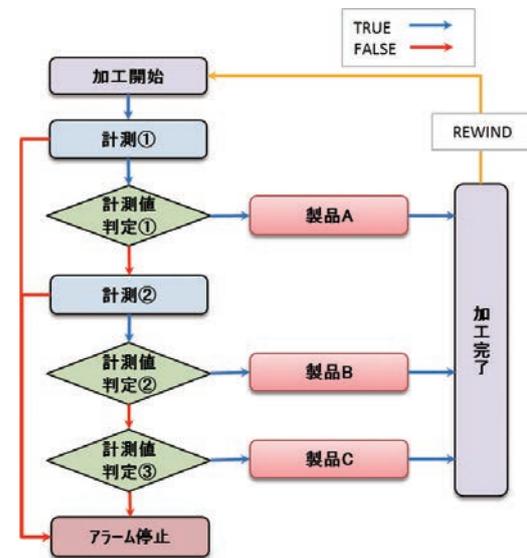


図7 自動識別プログラムフロー

6.5 L/Tの短縮

マニホールドは、主要構成部品の一つであることから、シリアル番号(以下S/N)表示による製品トレサビリティが要求されている(写真4)。



写真4 S/N表示

S/Nは一貫番号のため、カウントアップ機能を有する専用加工設備が必要となる。投資額抑制のため現状保有設備での加工を検討したが、現行設備は他ラインからの混流があり、多品種少量で汎用的な作業が多く、段取り替え能力も低いことから、ダンゴ生産となっているため、L/Tが長くなってしてしまう。

新ラインへ専用加工設備の投資を行わず、L/T短縮のため彫刻加工のインライン化を実現するため、カスタムマクロを使用した特殊プログラム開発を行った（図8）。



図8 彫刻プログラムフロー

これにより、専用加工設備を使用せず一貫番号のS/N彫刻加工を実現し、L/Tの短縮だけでなく省スペース化及び投資額の抑制ができた（図9）。

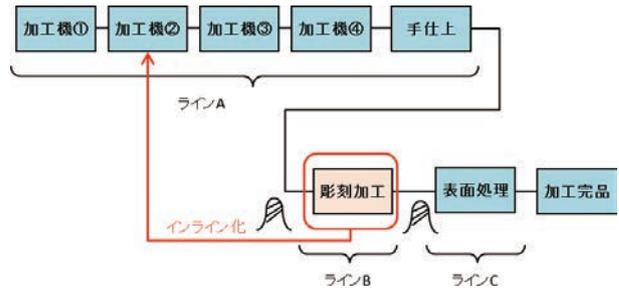


図9 工程フロー

7 成果

- ①可動率 86.4%
- ②取り替えロス 0分
- ③加工L/T 35%減

8 まとめと今後の課題

本ライン構築により、段取り替え能力が高く、小ロットで加工が行える加工ラインの構築ができた。

今後は本技術をベースに他ラインへの展開および発展を行っていく。

9 おわりに

本ラインの構築に御協力頂いた関係部署ならびに御指導御支援を頂いた方々へ、この場をお借りしてお礼を申し上げます。

著者



木田 重人

1999年入社。航空機器事業部生産部生産技術課。航空製造課を経て現職。主に工程設計に従事。

製品紹介

小型油圧ショベル用ピストンポンプの開発

武井 元 ・ 阪井 祐紀

1 はじめに

油圧ショベルは一般的に機体質量毎にクラス分けされ、図1に示すように6t未満をミニショベル、6～9tを小型ショベル、10t以上を中・大型ショベルと呼ぶ。

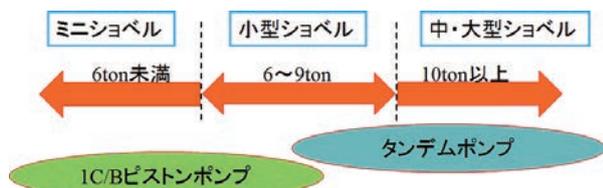


図1 油圧ショベルクラスと搭載ポンプ

搭載されるポンプはクラス毎に異なり、ミニショベルでは図2（上）に示すような『1C/B2フローポンプ（以下1C/Bポンプ）』を搭載する。1C/Bポンプの『C/B』とはシリンダブロック（Cylinder Block）の略であり、C/Bとピストン等からなるロータリーパーツにおいて、C/Bが回転しピストンが入り出すことでシリンダ容積を増減させ、油の吸い込みと吐き出しを行う。この形式のポンプは一つのポンプで構成されながらも、図2（下）に示すようにC/Bの吐出口を内外二つに分ける（内：青色，外：赤色）ことで二つの吐出が可能である。全長を短くでき、小型かつ低コストであるが、二つのポートの吐出流量を別々に制御することはできない。

次に中・大型ショベルでは図3（上）に示すような『タンデムポンプ』を搭載する。この形式は二つのポンプから構成されるため全長は長くなり、図3（下）に示すようC/Bの吐出は分かれておらず1C/Bポンプより大型で高コストになるが、個別に吐出流量制御が可能であり、付加機能も多く高機能である。

それらの中間にある小型ショベルでは、搭載するポンプは母機メーカーにより様々で、両者が混在している。

本開発品は小型ショベル用1C/Bピストンポンプであるが、1C/Bポンプの適用範囲を拡大しタンデムポンプを置き換えることも狙い、1C/Bポンプにタンデムポンプが持つ付加機能を搭載し、低コスト

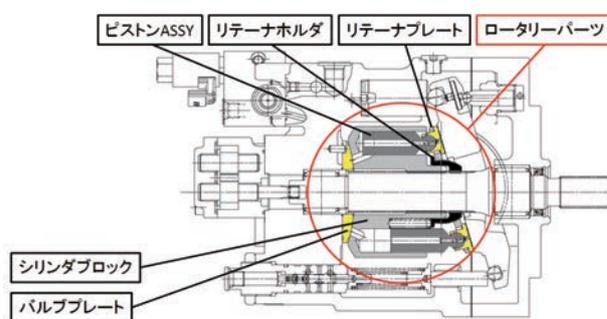


図2（上）1C/Bポンプ，（下）C/B詳細

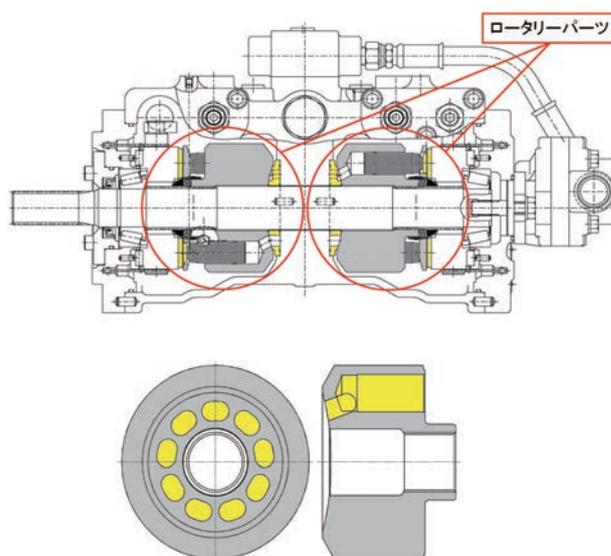


図3（上）タンデムポンプ，（下）C/B詳細

で高機能な1C/Bポンプの開発を目指した。

2 製品概要

2.1 ラインアップ

今回開発した1C/Bポンプはシングルフローロードセンシング（以下L/S）ポンプであるPSVL-84、スプリットフローオープンポンプのPSVD2-42とスプリットフローL/SポンプのPSVL2-42である。図4にPSVL2-42の外観を示す。

本開発では上記3機種の開発を同時に進めており、開発効率の向上とコスト削減のため、開発要件の一つとしてロータリーパーツの共用化を挙げた。前章で述べた吐出が二つのC/Bを基軸に、シングルフローは二つの流れをポンプ内で合流させ一か所から吐出し（シングルポンプと機能的な差はない）、スプリットフローは二つの流れをP1、P2として二か所から吐出する。

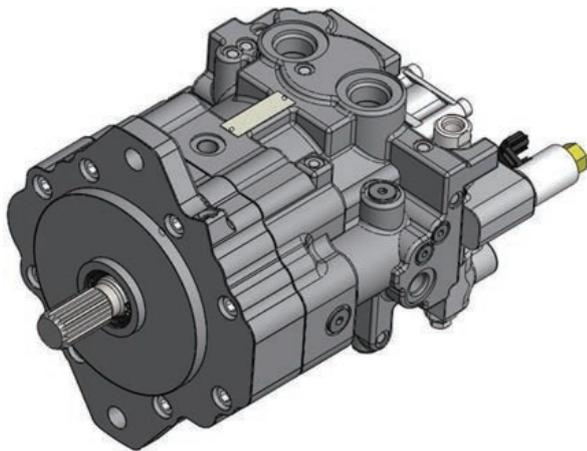


図4 PSVL2-42

図5にKYB油圧ショベル用ポンプのラインアップの一部を示す。黄色部が開発品であり、下半分の青色部がスプリットフローオープンポンプ、上半分の

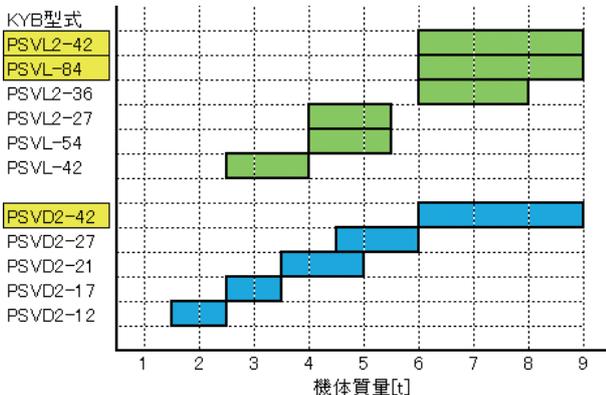


図5 油圧ショベル用ポンプラインアップ

の緑色部がL/Sポンプ（スプリットフロー、シングルフロー混在）である。9tクラスまでのほぼ全てのショベル用ポンプをラインアップできた。

表1に示すように、本製品の量産化により6～9tショベルに搭載される油圧機器全てのラインアップを揃えることができた。ショベル用油圧機器をシステムで提供することで、チューニングやメンテナンスを含めたトータルソリューションとして提供することができる。

表1 ショベル用油機システム一覧

	ロードセンシング (LS)		
	オープン スプリット	スプリット	シングル
ポンプ	PSVD2-42	PSVL2-42	PSVL-84
コントロールバルブ	KVMM-80	KVSX-18	KVMX-18
走行モータ	MAG-50		
旋回モータ	MSG-44		

2.2 製品仕様

開発品の仕様を表2に示す。最高圧力、回転数は全顧客の要求に対応可能な値に設定した。押しのけ容積の最大値は42.3+42.3cm³/revとし、ショベルの省エネのためにエンジン回転数を下げた場合でもアクチュエータの作業速度を維持できるようにした。また、最小値は可能な限り幅広いクラスに対応できるように36.0+36.0cm³/revとした。

表2 製品仕様

押しのけ容積 [cm ³ /rev]	・スプリットフロー： 36.0+36.0～42.3+42.3 ・シングルフロー： 72.0～84.6
最高圧力 [MPa]	32.0
最高回転数 [rpm]	2200

2.3 付加機能

冒頭に記した通り、本開発品は1C/Bポンプに多くの付加機能を搭載した。それらを表3に一覧で示す。

表3 付加機能一覧

1	馬力制御
2	油圧パイロット式可変馬力制御
3	電子式可変馬力制御
4	★スタンバイ制御
5	★可変ゲインL/S制御
6	★L/S2段階ゲイン変更制御

※★はL/Sポンプのみの付加機能

2.3.1 馬力制御

馬力制御は、エンジン最大馬力をポンプ吸収馬力が超えないよう制御して、エンストを防止する油圧ショベル用ポンプの基本機能である。図6に示すように、負荷圧力に応じて吐出流量（=斜板傾角）を変化させ、ポンプ吸収馬力を制御する。

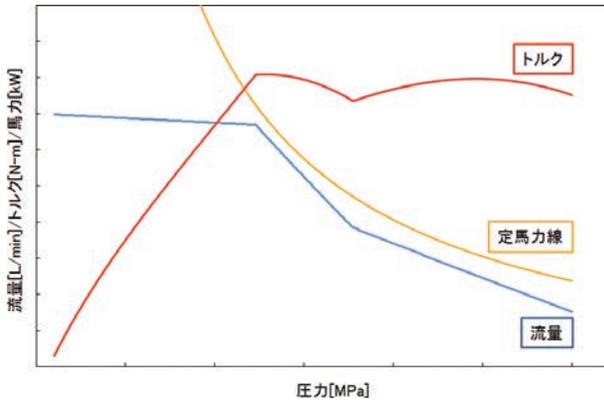


図6 馬力制御特性線図

2.3.2 油圧パイロット式可変馬力制御

油圧パイロット式可変馬力制御は、馬力制御の吸収馬力を外部パイロット圧で変更ができる機能である。図7に本機能により吸収馬力を低下させる減馬力制御の特性を示す。外部信号圧のON-OFFにより二段階でポンプ吸収馬力を変更できる。

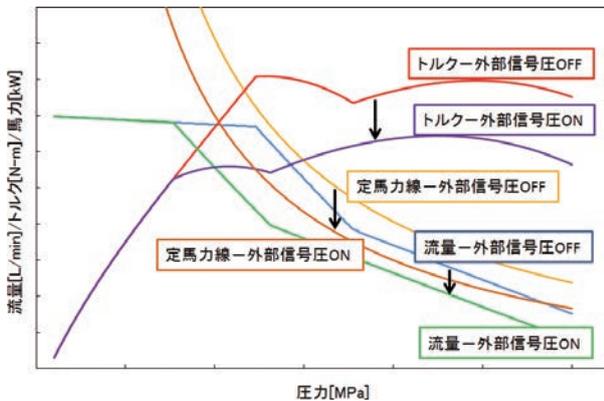


図7 減馬力制御線図

2.3.3 電子式可変馬力制御

電子式可変馬力制御は、上述の吸収馬力変更を比例ソレノイドによる電子制御にしたものである。外部パイロット式はON-OFFの二段階であるのに対し、電子制御の場合は電流値を変えることで無段階にポンプ吸収馬力を変更でき、ポンプの汎用性が向上する。

2.3.4 スタンバイ制御

スタンバイ制御は、コントロールバルブがアン

ロード状態の時（=ショベル操作者がレバー操作をしていない時）、ポンプ吐出流量を最小にしてポンプ吸収馬力を最小に維持する機能である。本機能により無駄な燃料消費を抑制し、ショベルの省エネに貢献する。

2.3.5 可変ゲインL/S制御

L/S制御とは、オペレータのレバー操作量を油圧的にポンプにフィードバックし、必要な流量のみをポンプに吐出させる省エネ機能である。そのL/S制御において、『レバー操作量』対『吐出流量』のゲインを変える機能をゲイン変更機能と呼び、現在は操作性を低下させないために、エンジン回転数を下げた場合にゲインを下げるゲイン変更L/S制御が主流である。

可変ゲインL/S制御とは、ゲイン変更量を回転数に応じて最適化する機能である。例えば通常のゲイン変更L/S制御では、図8の青線で示すように回転数に比例して吐出流量も変動する。エンジン回転数をAからBへ下げた場合、省エネになるが同じレバー位置での作業速度（吐出流量）も低下してしまう。これを可変ゲインL/S制御では、赤色で示すようなゲイン特性に変更し、回転数BでもAと同等の流量が吐出できるようにする。つまり、回転数を落としてもゲイン特性を変更することでアクチュエータの作業速度を同一にできるのである。

この機能により、作業負荷に応じて可能な限りエンジン回転数を下げて作業することができ、実作業時の燃料消費量が削減可能なシステムとなる。

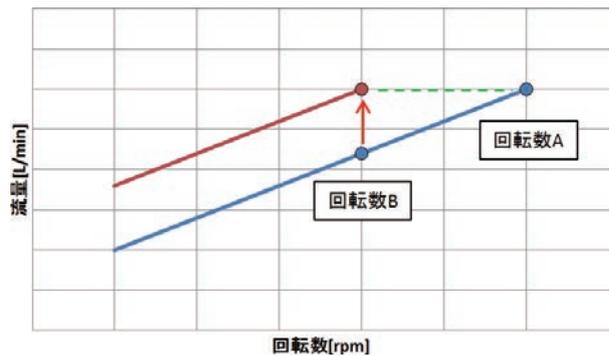


図8 可変ゲインLS特性

2.3.6 L/S二段階ゲイン変更制御

前述したゲイン変更L/S制御では、図9の赤線で示すような一次比例制御が基本であるが、近年の省エネ志向によりオペレータはエンジン回転数を落として作業することが多くあり、その場合、作業速度が低下してしまう問題がある。

L/S2段階ゲイン変更制御では、図9青線で示すようにゲイン変更特性を二段階で設定することがで

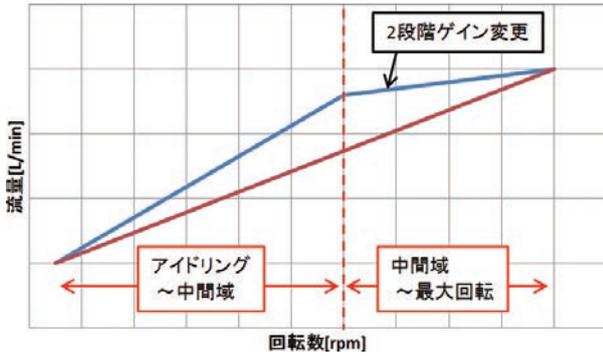


図9 二段階ゲイン変更特性

き、最大回転数から中間域では制御流量の低下を抑制し作業速度を確保し、中間域からアイドリングは制御流量の低下量を大きくして低速時の操作性を確保することができる。

3 ロータリーパーツ設計

本開発品は球面ロータリーパーツを採用している。球面ロータリーパーツとは、図10に示すようにバルブプレート（以下V/P）を球面形状にし、シリンダブロックと球面接触するよう設計したものである。この球面ロータリーパーツは、ポンプ仕様の高速化、高圧化、性能安定化が可能と一般的に言われている。

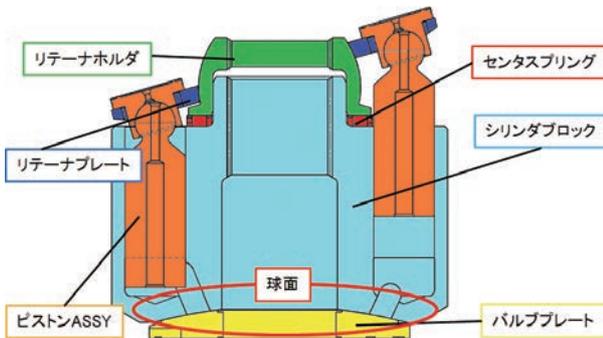


図10 球面ロータリーパーツ断面図

ロータリーパーツはピストンポンプの根幹部位であり、その設計が性能を左右する。ポンプの性能として、効率、低騒音、耐久性の3つが重要であり、これら3つのバランスが取れた設計が必要となる。

3.1 球面クリアランス設計

圧力負荷状態では油圧力によりシャフトがたわみ、V/P外側の当たりが強くなることに着目した。そのたわみを吸収できるように図11のようにV/PとC/Bの球径 (SR) に差を設定した ($SR-V/P < SR-C/B$)。しかし、スプリットフローの場合、吐出を2つに分ける必要があり、図12のように内側をP1ポート、外側をP2ポートとした場合、外側 (P2) ポートは

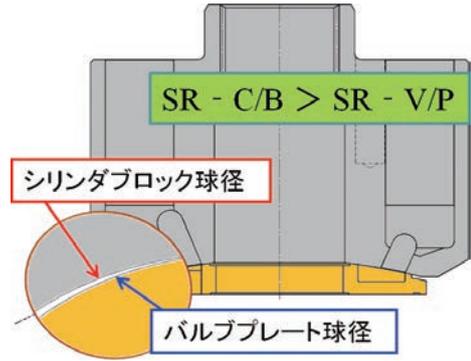


図11 球径差

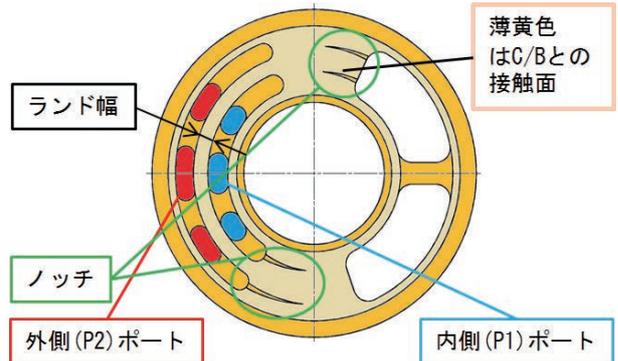


図12 バルブプレート形状

クリアランス (CL) の影響を受け易く、その球径差によるクリアランスが原因で外側 (P2) ポートの漏れが増えてしまう現象が発生する。

そこで、球径差と外側 (P2) ポート容積効率の相関を得るため、ベンチ試験を実施した。クリアランスを変えた3つの水準A, B, C ($CL-A < CL-B < CL-C$) を準備し、それぞれの外側 (P2) ポート容積効率を比較したのが図13である。

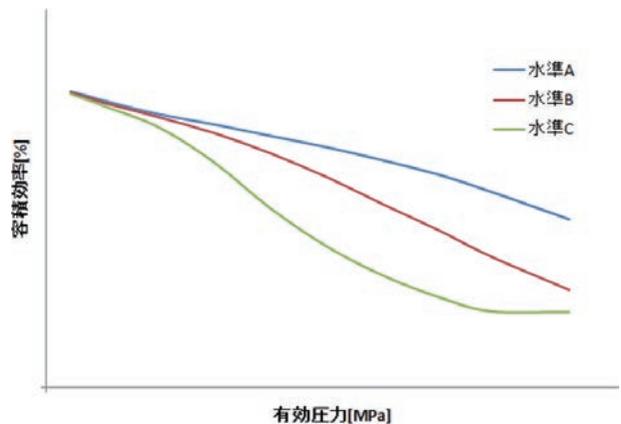


図13 外側 (P2) ポート容積効率試験結果

クリアランスが大きいほど容積効率の低下が大きいことが分かり、水準Cは低圧域での低下量が多い (漏れ量が多い)。この結果に基づいて球面ク

リアランスを設定した。

3.2 油圧バランス最適化

性能、低騒音、耐久性をそれぞれ満たすためにシリンダブロックに働く油圧力バランスの最適設計が重要である。設計の効率化のため、シリンダブロック、バルブプレート、ピストンASSY、シャフトを図14に示すようモデル化し、任意の回転角度における各部に働く作用力を算出する解析プログラムを構築した。

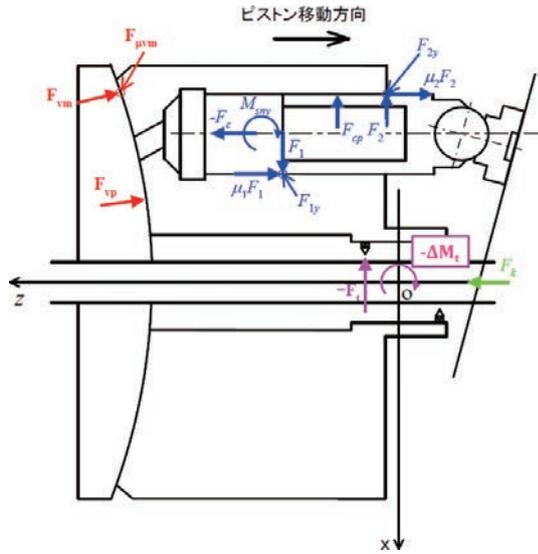


図14 油圧バランス計算モデル

各部品の寸法と圧力を入力することで、図15に示すようなV/P、C/B間の圧力分布等を算出し、出力として図16に示す1ピッチ（360°をピストン本数で割った角度）の押付比（図14に示す全荷重のZ方向の比）やC/Bの安定性を示すモーメントバランス（ ΔM_i ）の変動が得られる。

この解析モデルを活用し、図12に示すノッチ形状

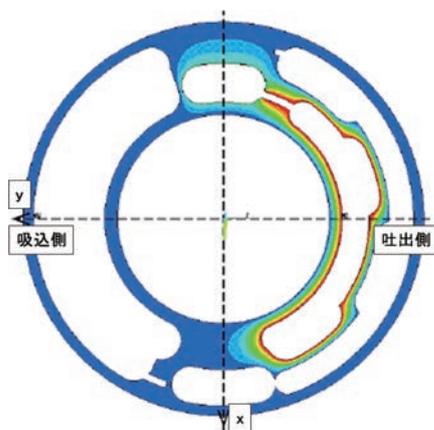
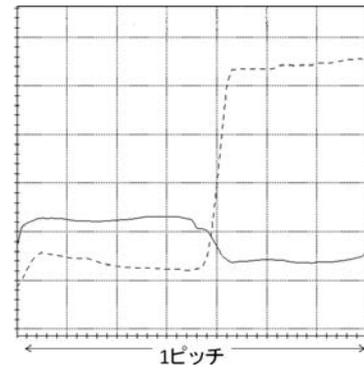
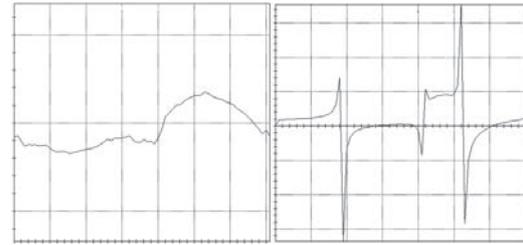


図15 V/P、C/B間圧力分布参考



(a) 押付比



モーメント比

(b)x軸周り

(c)y軸周り

図16 出力グラフ

を変えてシリンダ内圧パターンを変化させたり、V/Pランド幅を変えて押付比を変化させるなどして、押付比やモーメントバランスの変動が小さく安定した設計値を候補とし、ベンチ試験にて性能、耐久評価を実施し、性能、低騒音、耐久性を満足する設計値を採用した。

4 性能結果

図17に当社従来品であるPSVL2-36と本開発品PSVL2-42の全効率を比較したグラフを示す。当社評価ポイントで比較すると約4%向上しており、3

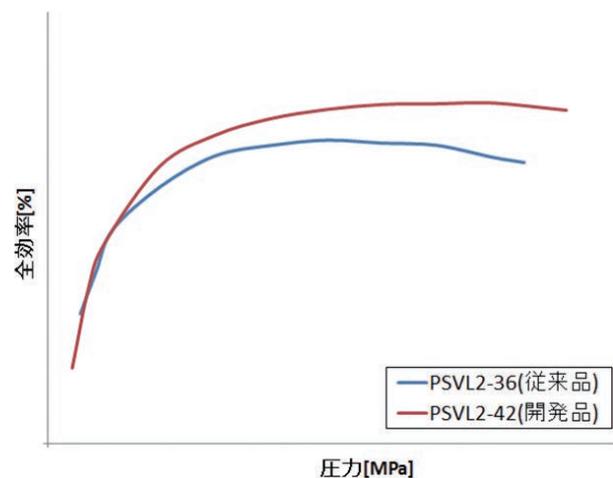


図17 全効率比較

章で述べたロータリーパーツの最適化により高効率化を達成している。

騒音に関しても、図18に示すように従来品 PSVL2-36と比較し、ポンプ後方1mでの測定値で約4～8 dB(A) 低減した。また耐久性も当社で実施する厳しい耐久試験に全て合格しており、効率、低騒音、耐久性の全てを満足する製品を開発することができた。

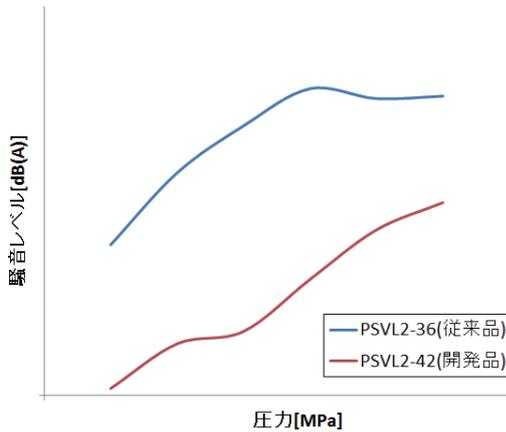


図18 騒音レベル比較 (ポンプ後方1m)

5 おわりに

省エネ化に対応した高効率化、適用範囲拡大のための付加機能を搭載した小型シヨベル用1C/Bピストンポンプを開発した。本製品の立上げにより当社油圧シヨベル用油圧システムとして9tクラスまで全てをラインアップすることができた。

最後に、開発に際して、多大なご協力を頂いた関係各位に対して、深く感謝申し上げます。

著者



武井 元

2013年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部技術統轄部製品企画開発部第一開発室。油圧ポンプ製品の開発に従事



阪井 祐紀

2009年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部技術統轄部製品企画開発部第一開発室。油圧ポンプ・モータ製品の開発に従事。

高出力2ピニオンEPSの開発

筒井 隆明 ・ 村瀬 智幸

1 はじめに

電動パワーステアリング（Electric power steering, 以下EPS）は、現在多くの乗用車に採用され、EPS搭載率は年々上昇している。主な採用理由として車両の燃費性能向上が挙げられるが、操舵フィーリング向上、高出力化も採用増加の一因となっており、小型車から大型車まで車両特性に合わせた様々な方式のEPSが開発され搭載されている。今回2ピニオンEPSを開発し、2016年よりKYB岐阜北工場にて量産を開始した（図1）。次項より2ピニオンEPSの特長を説明する。

2 2ピニオンEPSについて

当社は1989年に世界に先駆けて2ピニオンEPSの量産を開始した。

その後、1ピニオンEPSをラインアップに加え2ピニオンタイプを中心に開発、量産してきた。1ピニオンタイプはハンドル軸にアシスト機構が構成されている。一般的に部品点数が少なく、コンパクトな構造となる反面、ハンドル軸周りが大型化し、搭載

性が問題となる場合がある。またドライバからの操舵力とモータからのアシスト力を全て1つのラック&ピニオンで受け持つため、高出力を必要とする場合、ラック&ピニオンに掛かる負荷はより大きなものとなる。

それに対して2ピニオンタイプは、ハンドル軸とアシスト軸がそれぞれ2つの軸に分かれている。ハンドル軸はドライバからの入力トルクを検出するトルクセンサ部と操舵力を伝えるラック&ピニオンで構成される。アシスト軸は、モータの回転を減速するウォーム減速機部とアシスト力を伝達するラック&ピニオンで構成される。そのため1ピニオンタイプに比べてハンドル軸周りをコンパクトに出来る。さらにアシスト軸は左右位置、回転位相を自由に設定できるため搭載性に優れている。この自由度を生かし、高出力モータと高減速比を採用することにより、10kN以上の高出力EPSの構築が可能となる。

またハンドル軸にアシスト機構がなく、ラックに直接アシスト力を加えるためにダイレクトで自然な操舵フィーリングを実現できるといったメリットがある。

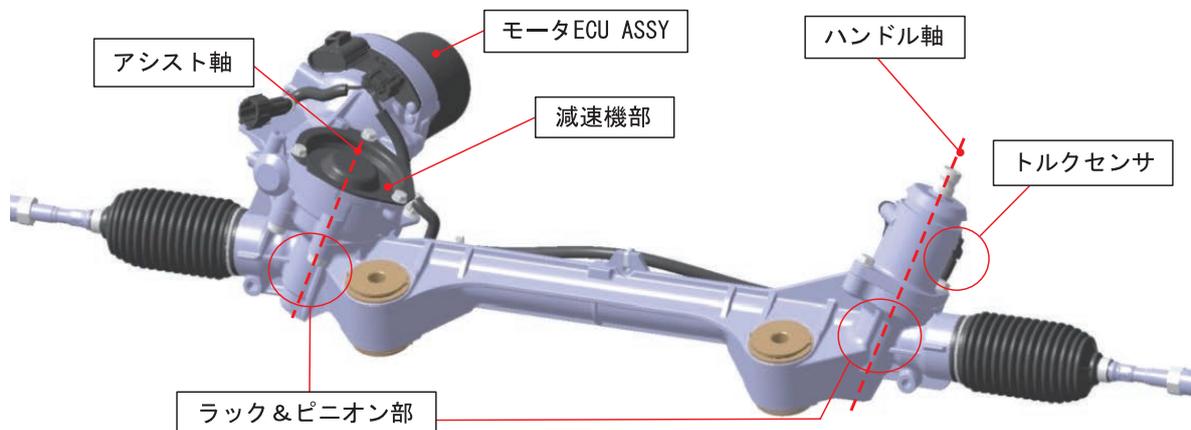


図1 2ピニオンEPS

3 製品の紹介

当社が2ピニオンEPSを量産開始してから四半世紀以上が経過した。その間培ったブラシレスモータの採用、高出力化、静粛性、操舵フィーリングの向上、多様な制御仕様の追加など多岐にわたる要素技術を基にして、本製品は以下を重点にシステム開発を行った。

- ①高出力化
- ②静粛性向上
- ③安全性向上
- ④操舵性能向上

本開発品の主要諸元を表1に示す。

表1 主要諸元

項目	仕様・諸元
モータ形式	DCブラシレス
転舵方式	ラック&ピニオン
理論推力	9.6kN
比ストローク	44.66mm/rev
減速比	1/15.5
ストローク	134.4mm
ラック径	φ28

3.1 高出力対応

高出力化により、ラック&ピニオン、減速機の負荷が増大し強度と耐久性向上が要求される。

ラック&ピニオンの対応として、ラック径をサイズアップすることで耐久性向上を実現した。またラックを支持する摺動部材であるプレッシャパッドのシート材質に耐磨耗性の高い材質を採用した。

減速機は、車両周辺部品とのスペースが十分ではなく小型にする必要があったため、減速比を小さく抑えることで達成できた。低減速比と高出力という背反する要求を成立させるため、モータトルクを上げる必要があり、減速機にかかる負荷が増大した。そこで、強度と耐久性向上の対応として、新材料を使用した射出成形ホイールを採用した(写真1)。さらにFEM解析を用いて減速機の歯形形状を最適化し、耐久性を向上させている。

3.2 静粛性向上

EPSの静粛性に対する要求は車室内の快適性が向上するにつれて日々高くなっており、作動音を低減させる必要があった。



写真1 射出成形ホイール

図2にラック&ピニオン部とストロークストップ部を示す。ラック&ピニオン部は、ラックとラックを支持するプレッシャパッドの仕様を見直し、耐久性と静粛性を両立した。また、ストロークストップ部を構成するギヤボックスとインナージョイントASSYの間には樹脂製のダンパーリングを配置し、接触による打音を抑制した。

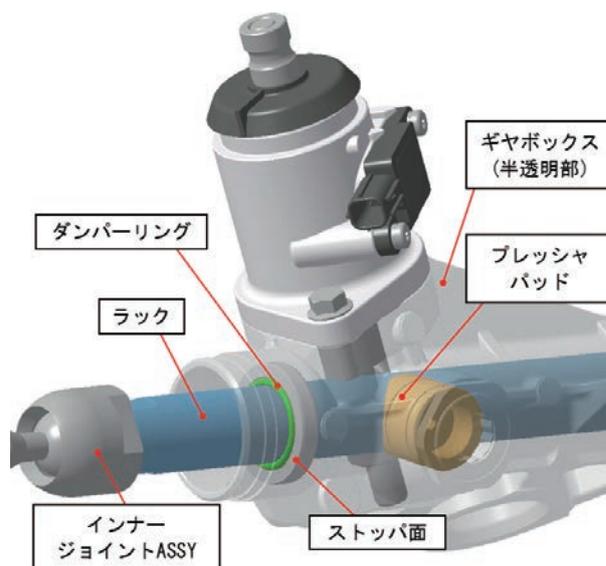


図2 ラック&ピニオン、ストロークストップ部

図3にウォーム減速機部を示す。ウォームとウォームホイールのバックラッシをスプリングとカップリングを用いた調整機構により安定化させ、減速機音を低減した。

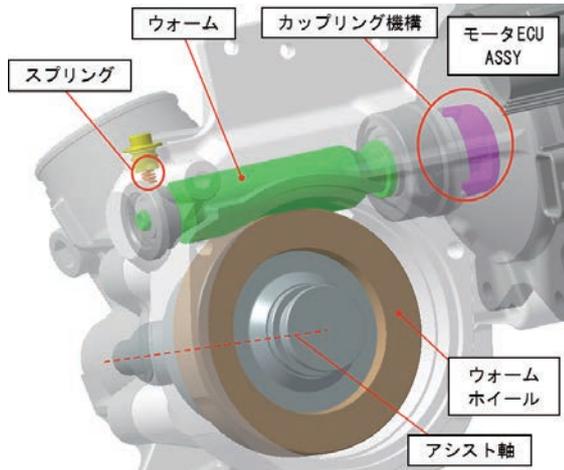


図3 減速機バックラッシ調整機構

3.3 安全性向上

近年安全性への関心の高まりから機能安全対応としてISO26262への対応が求められている。

ISO26262とは、2011年11月に国際規格として発行された自動車向けの機能安全規格である。

EPSシステムは自動車の3つの基本機能の1つである「曲がる」を担っており要求される安全性のレベルは非常に高い。そのためシステムの安全性確保は、開発における最重要課題として位置づけられる。

ISO26262の規格において「電気電子システムの機能不全のふるまいにより引き起こされるハザードが原因となる、不合理なリスクの不在」と定義されており、車載電気電子システムの故障によるリスクを社会的に受け入れられるレベルまで低減する必要がある。危険なモードの代表事象はハンドルがドライバーの意思に反して勝手に動いてしまうセルフステアやドライバーが操舵したいときにハンドルが動かないステアリングロック等がある。

電気電子システムに要求される安全性レベルはASIL^{注1)}により定義される。システムの機能不全により引き起こされる各ハザードは表2に示す3つの指標により評価され、「A」から「D」の4つのASILレベルに分類される(図4)。EPSシステムにおいては最も厳しいASIL Dでの開発が求められた。

表2 ASILの決定指標

指標	説明
シビアリティ	機能不全が引き起こす障害の大きさ(重傷, 軽傷など)
曝露の確率	動作状況の頻度(高速走行をする状況など)
コントローラビリティ	危険を回避できる可能性(ほとんどのドライバーが危険を回避可能など)

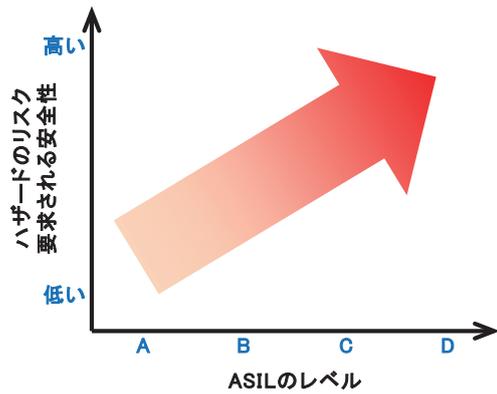


図4 ASILのレベルとリスク, 求められる安全性

機能安全を達成するためには、規格に準拠したプロセスを適用することが求められる。そのため、新たに規格に準拠した社内の開発プロセスを構築し、そのプロセスに従い以下の活動を実施した。

- ①故障モードの分析
- ②安全要求を技術レベルに詳細化
- ③詳細化した安全要求を満たすシステム設計
- ④異常検出し安全状態へ遷移する安全機構開発
- ⑤システムの安全要求達成度検証
- ⑥規格で求められた観点に基づくテスト
- ⑦機能安全アセスメントによる評価

また、ハザードの要因となるシステムの異常を確実に検出する安全機構についても求められる。そのため、本システムではマイコンの監視機能を強化する冗長監視の手法を新たに適用した(図5)。

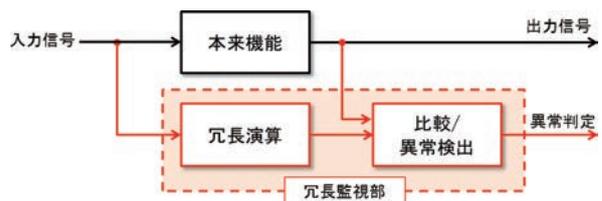


図5 冗長監視ブロック図概略

その結果、機能安全の達成を評価する機能安全アセスメントにおいて、必要な開発プロセスを正しく適用し開発されたこと、またシステムが顧客から要求されている安全要求を満たすことを確認した。

注1) Automotive Safety Integrity Levelの略。自動車の安全度水準のこと。

3.4 操舵性能向上

本車両には以下の制御パラメータを適合した。

- ①基本アシスト制御
- ②位相補償制御

- ③ダンピング制御
- ④摩擦補償制御
- ⑤ハンドル戻し制御

その結果、車両に最適な操舵フィーリングを作り込むことができた。

4 おわりに

2ピニオンEPSは、高出力、車両搭載性、操舵フィーリング等のEPSに求められる性能を高次元でバランスすることが出来る製品であるといえ、今後も需要は伸びると予測する。

本開発により2ピニオンEPSは高出力化、静粛性向上、安全性向上、操舵性能向上を達成した。今回の開発にご協力いただいた方々に対しこの場を借りてお礼を申し上げたい。

著者



筒井 隆明

2004年入社。オートモーティブコンポーネツ事業本部技術統轄部ステアリング技術部。電動パワーステアリングの設計、開発に従事。



村瀬 智幸

2004年入社。オートモーティブコンポーネツ事業本部技術統轄部ステアリング技術部。電動パワーステアリングの設計、開発に従事。

製品紹介

中型油圧ショベル用情報化施工機器 新型ストロークセンシングシリンダの開発

高橋 佑介

1 はじめに

今までも増して各業界で活用されつつある情報通信技術（以下ICT）。近年、建設機械業界においてもICTを活用する動きが活発となってきている。ICTの活用は、i-constructionと呼ばれる総合的な情報化推進として国土交通省主導のもと進められている。

今回は図1に示す情報化施工技術に使用されるICT建機の機体姿勢把握を目的としたストロークセンシング機能付きシリンダ（以下SSC）を紹介する。



図1 情報化施工イメージ
国土省情報化施工推進戦略（平成25年版）より引用

情報化施工は建設業界の生産性向上、労働力不足解消、現場安全性向上を目標として進められており、施工自体の最適化を図ることを目的としている。

情報化施工においては3次元測量を用いた測量をUAV（無人航空機）などにより行い、得られた3次元データと設計データの双方をICT建機へ送る。ICT建機はそれらの情報からマシンコントロール（半自動運転）もしくはマシンガイダンス（運転支援）にて施工を行う。最終的には機体施工情報と3次元計測を用いた検査で施工完了となるため、従来工法に比較して施工効率向上に加えて事前の測量や出来形の検測などが省略でき、大幅な工期の短縮が見込まれる。これらの技術は2013年一般化推進技術認定

により税制優遇等の支援制度が実施されている。

2 開発背景

開発当初の2014年、情報化施工対応の油圧ショベルにおいては多くがアドオンタイプの角度センサを各揺動ピン部に装着している状況であった。しかしながらバケットを3次的に動作させて施工を行う油圧ショベルの特性上、施工面に近接するバケットシリンダだけは、施工面との接触による破損が問題となり、使用にあたり制約が生じていた。

このような状況に対し、シリンダ内にストロークセンシング機能を組み込み、問題を解決することが今回の開発の狙いである。

KYBでは1987年にもSSCを開発している。このシリンダはピストンロッドに非磁性部を一定間隔で設けることにより、シリンダのストローク変動量を計測するインクリメント（相対位置検出）であった。今回の製品開発ではICT建機向けに、より使いやすく、高精度なSSCとするためアブソリュート出力（絶対位置検出）、標準シリンダ互換となる新規モデル開発を行った。

本製品は現在、日立建機株式会社様ICT油圧ショベルZX200X-5B（図2）に搭載されている。



図2 日立建機株式会社様ICT油圧ショベルZX200X-5B

3 製品仕様

3.1 開発の要件

本シリンダは、現行油圧ショベルへの装着を基本として開発を行ったため、多くの部分を現行油圧シリンダKCH (KYB-Cylinder-High pressure) シリーズと共通化している。

標準KCHと変わらない性能を保持したまま、高水準な位置検出性能を追加することを開発の要件とした。また、油圧シリンダがセンサを組み込んだ電子部品となるため、建設機械という過酷な使用環境への対応は、センサにとって厳しいものだった。

また、KYBの標準KCH量産工程での生産を行うため、量産性も開発の要件として追加した。

(1)開発の要件

- ①標準KCHと同等に使用できる耐久性
- ②標準KCHとの取付互換性
- ③十分な位置検出精度と、絶対位置検出
- ④機体仕様に合わせた出力特性 (CAN J1939)

(2)量産の要件

- ⑤標準KCH量産工程で混流生産可能な構造
- ⑥標準KCHのサイズ展開に対応可能な構造

3.2 基本仕様

標準KCHの仕様は以下が基本である。

- ①最高使用圧力：35MPa(一時昇圧時最高40MPa)
- ②最高シリンダ速度：60m/min
- ③作動油温度範囲：-20℃～100℃

3.3 追加仕様

SSCの仕様として、標準KCHに対し追加した仕様を以下に示す。

- ①ストローク検出分解能：0.1mm
- ②ストローク検出精度： $\pm 1.5\text{mm}$ (実力値 $\pm 0.5\text{mm}$)
- ③耐振動性：最大 700m/s^2 (70G)^{注1)}
- ④耐衝撃性：最大 1000m/s^2 (100G)^{注1)}
- ⑤雰囲気温度範囲：-40～105℃(ストローク検出時)
- ⑥保護等級：IP69K
- ⑦電気関連：ISO規格, EN規格, JASO規格準拠
- ⑧EMC関連：ISO規格, EN規格, JASO規格準拠
- ⑨CAN通信：SAE J1939
- ⑩電源：DC24V 1.5W以下

注1) 耐振動, 耐衝撃値は本製品仕様値。



図3 ストロークセンシングシリンダ (開発品)

3.4 ストローク検出用センサ

本開発において、ストローク検出方式については、開発期間短縮、技術的信頼性を重視し、センサはシリンダ内蔵用として実績のあるMTSセンサーテクノロジー株式会社製 (以下MTSセンサ) 磁歪式ストロークセンサ (図4) を選択した。ストロークセンサのKCHへの組み込みに対し、センサ内部部品を専用設計とすることで開発の要件の①, ③を満足している。

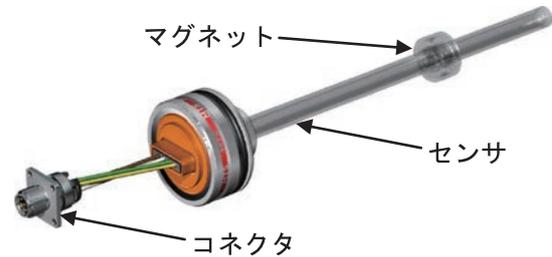


図4 磁歪式ストロークセンサ (MTSセンサ製)

4 開発課題

4.1 基本構造

前述の開発要件を満足するためには、標準KCH同等の取付性を持つ形状であること、ストロークセンサが十分な精度で固定されていることが必要である。また、横置き組立である標準KCH量産工程で配線までを含んだセンサ組み付けを完了させる必要もある。

これらを解決するため以下に示す新規構造を採用した。

(1)新規採用構造

- ①ストロークセンサをピストンロッドに仮組みすることにより標準KCH自動組立ラインでアッセンブリ可能な構造 (図5中(g), (i))

- ②組立をシリンダ横置きで実施し、工程を簡略化するためのシリンダボトム配線穴設計（図5中(a), (l)）
- ③シリンダボトム加工簡略化のためカラーを設定。既存圧入工程で圧入可能な構成とし、加工性と組立性を向上できる構造（図5中(a), (k)）
- ④振動、衝撃による内部部品脱落防止のためセットスクリュ2箇所でセンサを固定。セットスクリュ長さや溝深さの最適化設計により誤組付防止と緩み時でも脱落しない構造（図5中(i), (j), (n), (o)）

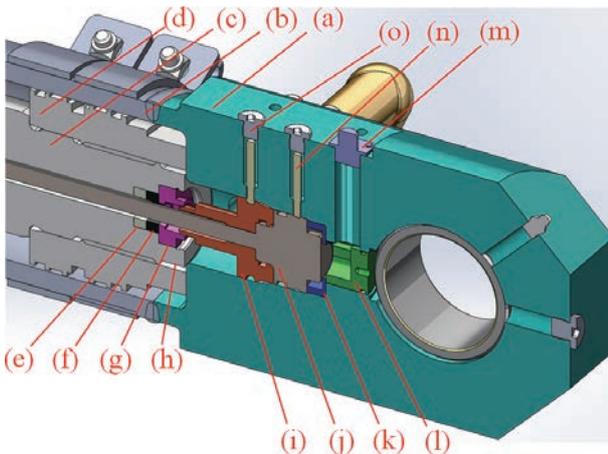


図5 ストロークセンシングシリンダ内部構造

- (a)シリンダボトム：専用設計
- (b)シリンダチューブ：標準品
- (c)ピストンロッド：深穴加工追加
- (d)ピストン：標準品
- (e)スペーサ：位置検出用に追加
- (f)マグネット：位置検出用に追加
- (g)マグネットホルダ：位置検出用、組立用に追加
- (h)スナップリング：(e)～(g)の固定用に追加
- (i)センサホルダ：センサ固定用に追加
- (j)センサ：位置検出用に追加
- (k)カラー：(a)の加工簡易化のため追加
- (l)カバー：センサ背面保護用に追加
- (m)コネクタ：出力用に追加
- (n)セットスクリュ：センサ、ホルダの固定用
- (o)プラグ：セットスクリュ保護用に追加

これらの構造と標準KCHの基本設計を組み合わせることにより今回の新SSCを開発した。

4.2 耐振動性・耐衝撃性

今回、KCHの仕様に加え、SSCは電子部品を搭載するための耐振動性、耐衝撃性に関する加速度の仕様が必要となった。現在のKCHと同等の環境での使用を可能とするためには、これまでお客様に使用頂いている環境下で破損しない仕様とする必要がある。

実際の油圧ショベルの使われ方は掘削のみではない。機体の自由な動作を生かし、多彩な作業を行えるため、滑らかなクレーン作業もあれば、特殊アタッ

チメントによる破碎作業のような強い衝撃が発生する作業もそこには含まれる。

現状の情報化施工対応の油圧ショベルにおいてはそのような厳しい作業を制限する機体も存在するが、ストロークセンサの装着により、上記の作業に制限が出ることは、油圧ショベルの持つ機能が失われることになる。

実作業における最大レベルの加速度に耐えなければ、標準シリンダと同様に使えるSSCとはならない。

それらの機体振動環境に対し、過去のKYBでの実機試験情報から一定の基準を定め、試験を実施した。その結果、試作段階ではセンサの固定状態によってシリンダ発生加速度以上の加速度がセンサに発生すること、センサの標準仕様ではKYBの耐久テストを満足することができず、センサ自体が破損することも判明した。

今回の開発では上記対策として、シリンダ設計の最適化による振動対策を行うと同時に、センサメーカーのMTSセンサ様のご協力によりセンサ内部部品の専用設計化による振動対策を行った。その結果、耐振動性と耐衝撃性を向上することができた。

4.3 EMC関連

今回のSSCは電子部品を装着した製品であることから、シリンダとしてのEMC評価を実施した。試験条件、評価基準については一般的な規格に客先要望に合わせた試験を追加し実施した。

油圧シリンダ製品では電子部品を含む製品は少ないが、自動車関連部門ではステアリング・バイ・ワイヤシステムに代表される電子部品を含む製品を製造している。

今回の開発においてはそれら電子部品の開発評価のための専門部署である電子技術センタにて評価を行った。上記部署の持つ専門知識と評価技術を活かすことで油圧シリンダ製品であるSSCの評価を早期に実施できた。

5 まとめ

今回開発したSSCはこれまでの評価で開発要件のすべてを満足できる製品となった。

SSCは油圧シリンダでありながらも電子部品であるという特性上、お客様毎に評価が異なる。KYBが持つ試験設備と評価技術により、それらの評価を個別に行うことも可能となる。

また、標準KCHと同様に、お客様個別の対応として、本SSCにおいても出力配線ガード、配線ブラケット等の対応が可能な設計としている。



図6 開発品ストロークセンシングシリンダ

6 今後の展望

建設機械用油圧シリンダの基本的な機能は伸縮動作すること、構造物であることの2点である。機能追求の面で、すでに完成されたモデルとなりつつあるKCHに対し、機能アップへの障害は少ない。

これはKYBのその他の油圧シリンダも同様である。

今後、ストロークセンシングのニーズは建設機械の姿勢制御の高度化から伸びていくと考える。高精度な絶対位置検出と標準KCH同等の機体取付性を持つSSCはKYBがシリンダでそのニーズに応える製品となった。今後、油圧ショベル向けに限らず、同様のシリンダのラインナップを広げるにあたっては、今回の開発同様にモデルとなるシリンダの機能を損なってはならない。その上でこれまで他種多様のシリンダを生産してきたKYBがシリンダメー

カーとして蓄積してきたシリンダのノウハウを生かし、使用環境に合わせた高品質なストロークセンシングシリンダを提供できるよう、開発していきたいと考えている。

現在、その第一弾として小型ショベル用油圧シリンダのKCM (KYB-Cylinder-Middle pressure) のSSC (図7) が開発中である。KCMのSSCは既に試作段階にあり、KCHの場合と同様、高品質かつ量産性に優れた設計を取り入れ、標準KCMと変わらない使いやすさを目指し試作評価中である。

今回、「ストロークをセンシングする」という機能アップを行ったが、今後もシリンダの機能アップとしてその他のセンシング技術を提案し、機体の機能アップに貢献できる開発を行っていく。

最後に、本製品の開発にあたって協力いただいた社内各部門、関連協力業者の皆様はこの場を借りて厚く御礼申し上げます。



図7 ストロークセンシングシリンダ (KCM試作品)

著者



高橋 佑介

2007年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部技術統轄部製品企画開発部第二開発室。油圧ショベル用シリンダ開発に従事。

製品紹介

ロック機構付き免震用オイルダンパシステムの開発

伊藤 禎 浩 ・ 鈴木 太輝 雄

1 はじめに

巨大地震を経験すると、そのデータを基に安全対策が強化され、地震対策もより進歩する。1995年の兵庫県南部地震をきっかけに免震構造を備えた建物の普及が急速に進み、記憶に新しい2011年の東北地方太平洋沖地震、今後予想される巨大地震への対応などで、現在「免震」という言葉は広く世間に認知されている。

免震構造は一般的に地面と建物の間に免震層を設け、アイソレータ（免震ゴム等）で建物へ伝わる振動を低減し、減衰装置で振動を減衰する。減衰装置としては、鋼材ダンパ^{注1)}や鉛ダンパ^{注2)}等も存在するが、東北地方太平洋沖地震を経て、大地震後も継続して使用可能な耐久性の観点で、オイルダンパが有力とされている。本報では強風時に風揺れを低減させるロック機構付きオイルダンパ（最大減衰力1,000kN）を例に紹介する。

注1) 鋼材の塑性変形によるエネルギー吸収を利用した履歴型ダンパ

注2) 鉛材の塑性変形によるエネルギー吸収を利用した履歴型ダンパ

2 ロック機構付きオイルダンパ

通常の免震構造は、台風などによる強風に対して、風揺れにより居住性を損なう可能性もある。

ロック機構付きオイルダンパ（写真1）を用いた免震構造は、写真2のように取り付けられ、通常時（ロックOFF）には免震用オイルダンパとして機能し、強風時にはダンパの伸縮をロック（ロックON）することができる。この機能により、通常の免震構造と比較して、強風時における建物の居住性を向上することができる（図1, 2）。

風揺れ対策としてダンパをロックする考え方は、戸建住宅用としてKYB技報第23号でも紹介しているが、本報で紹介するロック機構付きオイルダンパ

は、高層ビル等の大型建築物向けに対応している。



写真1 ロック機構付きオイルダンパ



写真2 ロック機構付きオイルダンパ取り付け例

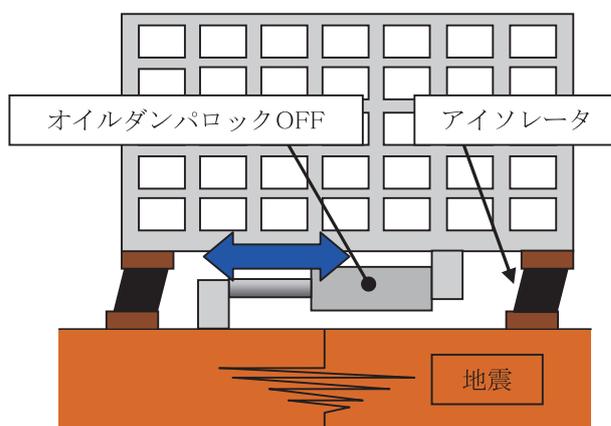


図1 地震時はダンパが伸縮し揺れを減衰

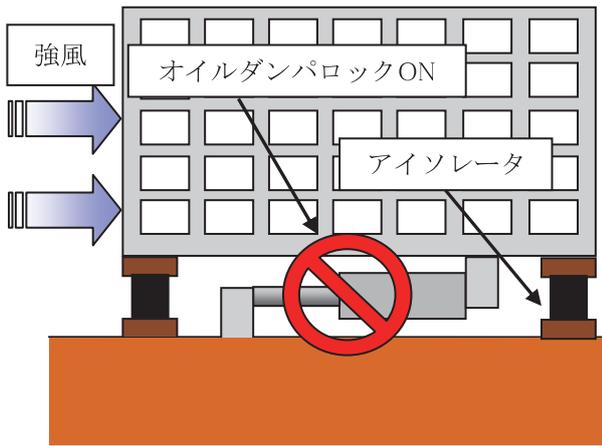


図2 強風時はダンパをロックし風揺れを低減

3 システム開発背景

2012年に日本免震構造協会より「免震建築物の耐風設計指針」が刊行され、建物の耐風性能が明確にランク付けされて記載された。耐風性能について高い評価を獲得できれば建物の付加価値も高まるため、ロック機構付きオイルダンパの需要が高まっている。

このような背景もあり、従来のロック制御システムについて、施工性・コスト・機能を見直し、ラインアップの基本として開発した新標準の制御システムを紹介する。

なお、ロック機構付きオイルダンパ本体の開発背景については、KYB技報第29号（2004年10月）にて詳述しているのでそちらを参照されたい。

4 ロック機構付きオイルダンパの構造と作動

4.1 ロックOFF時の構造と作動

ロック機構付きオイルダンパは、図3に示すように減衰特性を得るための調圧弁、ロック機構を制御するロック弁と電磁弁、ロック時の過大な荷重に対し破損を防止する安全弁が、バルブブロックにまとめて内蔵されている。

ロック機構付きオイルダンパは、ロックがOFFの状態において免震用オイルダンパとして機能する。ダンパの伸縮共に作動油が共通の調圧弁を通過するユニフロー型のため、伸縮時は図4、図5に示すように作動する。減衰特性はリリーフ弁等を設けず、調圧弁のみで減衰力を制御し、速度に比例して減衰力が上昇するリニア型を採用している。

図3に示すように「インナーチューブ内径断面積（A室：2）」と「インナーチューブ内径断面積からロッドの断面積を引いた値（B室：1）」の比を2：1としている。この構造により、伸縮共に調圧弁へ

流れる作動油の流量と圧力を等しくしている。作動油の流量はオイルダンパの速度に、圧力は減衰力に変換されるため、伸縮時における作動油の流量と圧力を等しくすると伸縮時のオイルダンパの減衰特性を等しくすることができる。

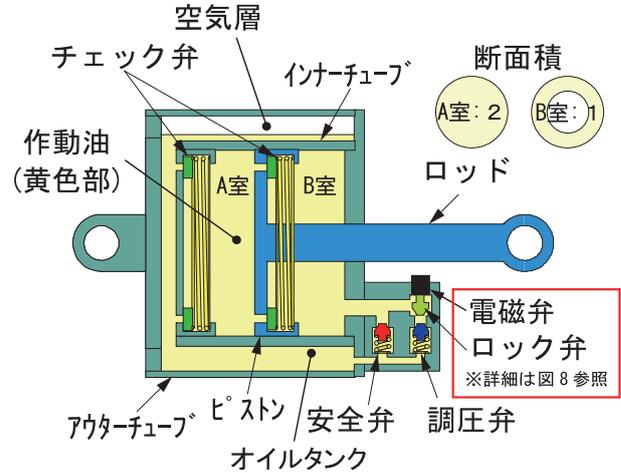


図3 ダンパ構造

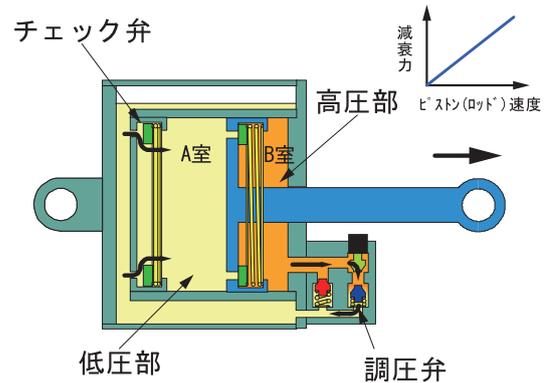


図4 ダンパの作動（伸び方向）

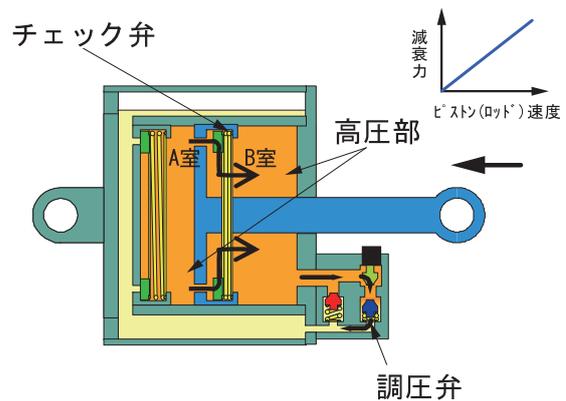


図5 ダンパの作動（縮み方向）

4.2 ロックON時の構造と作動

ロックがONになると図6に示すようにロック弁が閉じ、調圧弁への通路を遮断する。前述の通り、ロック機構付きオイルダンパはユニフロー型のため、調圧弁への通路を遮断されると、伸縮できずロック

された状態となる。

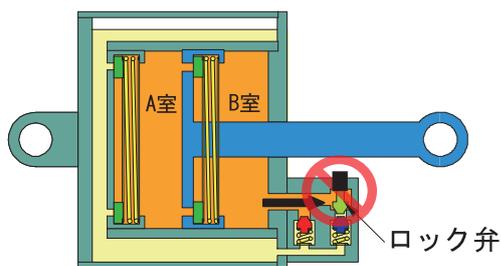


図6 ロック時ダンパの作動

4.3 安全弁

ロック機構付きオイルダンパの最大減衰力は1,000kNであり、ロックONの状態地震等により荷重がこれを超える1,100~1,200kNに到達すると、図7に示すように安全弁が作動し、過大な負荷でダンパが破損することを防ぐ。

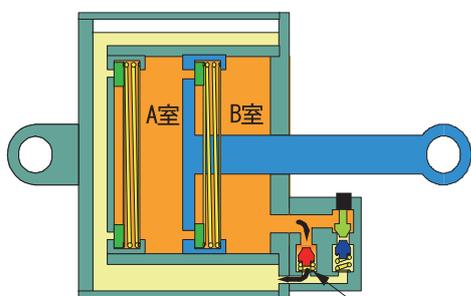


図7 安全弁の作動

4.4 ロック弁と電磁弁

ロック弁と電磁弁（ソレノイドバルブ）は、バルブブロック内部で図8に示すような構造となっている。

ロックOFFでは電磁弁が開いており、オイルタンクへの通路が開いている状態となる。そのため、ダンパの伸縮による内圧は、ロック弁を開く力として断面①にかかり、閉じる力として断面②にかかるが断面①の面積が大きいため、ロック弁を開く力が勝り、調圧弁への通路も開いた状態となる。

ロックONでは、電磁弁が閉じており、ダンパの伸縮による内圧は断面①・②・③にかかるがこの状態では、ロック弁を閉じる力は断面②・③にかかるため、ロック弁を閉じる力が勝り、調圧弁への通路が閉じた状態となる。

4.5 電磁弁とコネクタ

電磁弁の開閉は電気信号で制御される。電磁弁が内蔵されたバルブブロックは写真3に示すようにダンパのロッド側に4個設けられている。

また、写真4に示すコネクタが各電磁弁についており、ここから制御システムに接続する。

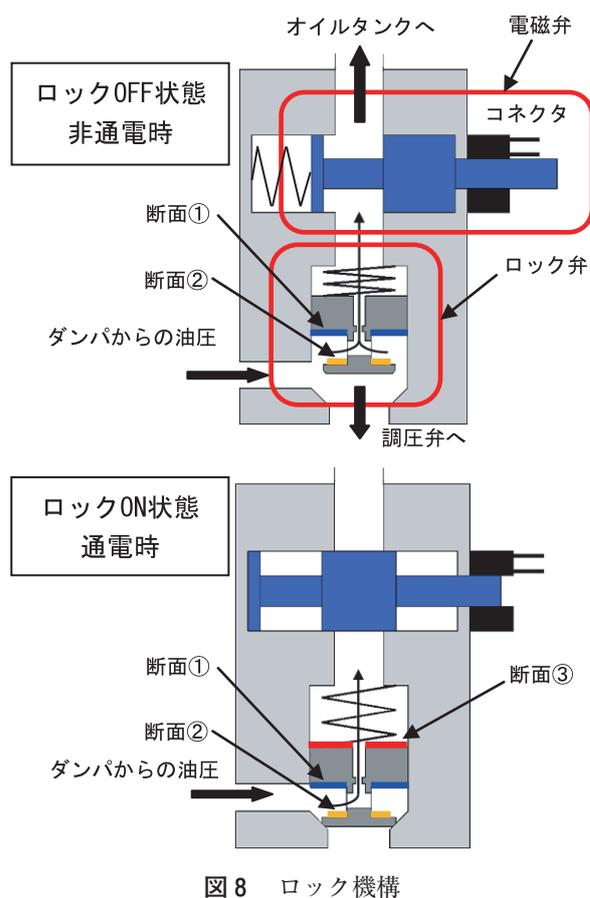


図8 ロック機構

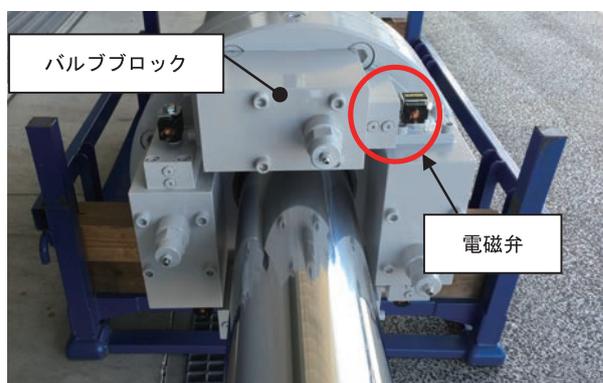


写真3 バルブブロック



写真4 バルブブロックコネクタ

5 制御方式

制御方式は、風情報と地震情報を共に使用する標準制御方式と、建物の使用条件と費用を考慮した上で風情報又は地震情報のどちらか一方で制御する簡易方式（2種）を準備している。

以下に標準制御方式について説明をする。

5.1 標準制御方式のシステム構成

図9に標準制御方式のシステム構成を示す。地震を検知するための加速度計（写真5）、強風を検知するための風速計（写真6）、各検知器からの情報を元に電磁弁への電気信号を制御する制御盤（写真7）、ロック機構付きオイルダンパ1本当たり4個の電磁弁があるため、制御盤からの1本のケーブルを4本に分岐するための中継ボックス（写真8）で構成されている。各検知器はフェールセーフを考慮し、2台以上を推奨している。

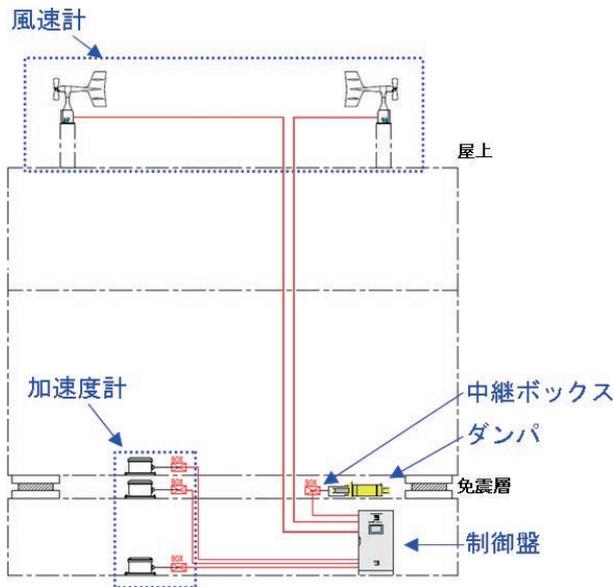


図9 システム構成



写真5 加速度計 外観



写真6 風速計 外観



写真7 制御盤 外観



写真8 中継ボックス 外観

また、地震時のロック機構付きオイルダンパの免震効果を検証したいというお客様のご要望に応じるため、免震層上部にも加速度計を設置し、地震時の加速度データを記録している。

5.2 システムの制御

図10に標準制御方式のフローチャートを示す。オイルダンパのロックOFF状態を初期状態とし、自動モードと手動モードで使用できるが、通常は自動モードを使用する。自動モードは、風速信号が設定値を超えると自動的にロック機構付きオイルダンパをロックする。ロック中に加速度信号が設定値を超えるか又は一定時間経過するとロックをOFFし、免震ダンパ状態へ戻る。

手動モードは、制御盤面上のタッチパネルスイッチ操作（写真9）によりロック及びロックOFFを選択する。ただし、自動的にロックをOFFする条件は、自動モードと同様である。

各検知器の設定値及び各タイマ設定値は、同タッチパネルにて運用開始後も容易に変更可能としている（写真10）。

電気制御で問題となる停電時は、ノーマルオープンの電磁弁を採用しており電磁弁に電気が流れないため、ロック機構付きオイルダンパはロックがOFFとなり、免震用オイルダンパとして機能することで建物の安全を担保している。

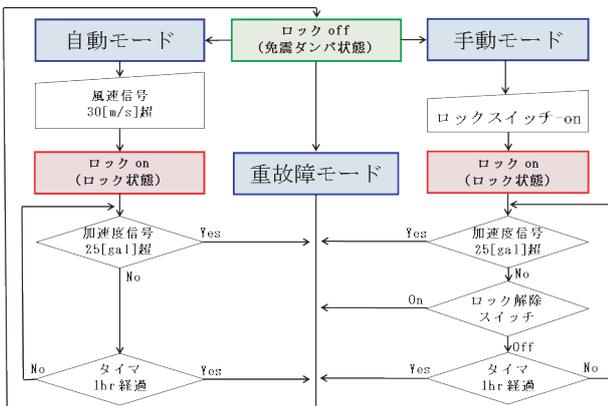


図10 標準制御方式フローチャート



写真9 制御画面

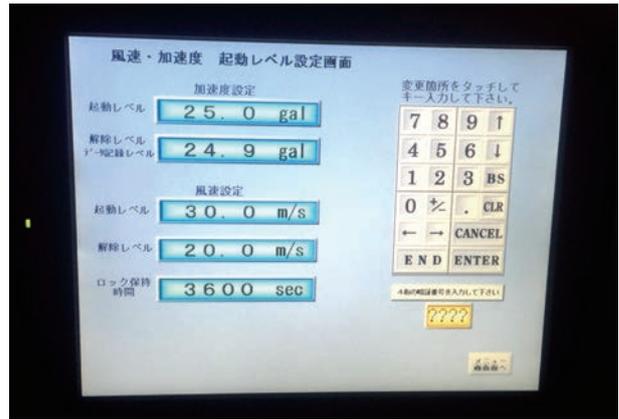


写真10 風速・加速度起動レベル設定画面

6 導入事例

本システムを導入した建物がいくつかあるが、その一例を紹介する。

6.1 六本木グランドタワー

地下2階、地上43階の建物に、風速計2台、加速度計8台（制御・記録兼用：2台、記録専用：6台）、ロック機構付きオイルダンパ4台の標準制御方式を導入した事例である（写真11）。



写真11 六本木グランドタワー 外観

6.2 鉄鋼ビルディング

地下3階、地上26階の建物に、風速計3台、加速度計7台（制御・記録兼用：2台、記録専用：5台）、ロック機構付きオイルダンパ32台の標準制御方式を導入した事例である（写真12）。

本事例は、お客様が導入された地震・風観測装置より出力された信号を制御盤に取り込み、ロック機構付きオイルダンパのロック及びロックOFFを制御している。



写真12 鉄鋼ビルディング 外観

7 おわりに

ロック機構付き免震用オイルダンパシステムを開発し、3種類の制御方式を準備したことで、本システムの導入増加、免震建物の居住性向上に役立つ事が期待される。

今後、IoT^{注3)}技術等を活用することで、オイルダンパシステムの状態を逸早く把握する技術を高めることができると考えられる。

最後に、本システムの開発にあたってご協力いただいた関係者の皆様及び快く写真の掲示を許可いただいた各所の皆様には、深く感謝申し上げます。

注3) Internet of Thingsの略。モノをインターネットに接続して計測データ等の通信をすること。

著者



伊藤 禎浩

2008年入社。カヤバシステムマシナリー(株)三重工場 技術部。制御設計・開発に従事。



鈴木 太輝雄

2009年入社。カヤバシステムマシナリー(株)三重工場 品質保証部。

編集後記

健康のために週2回を目標として片道10kmの自転車通勤を始めて1年が過ぎた。目標を達成できないことも少なくはない。いつも自身の心と、弱った身体との戦いであり、当然、直ぐに見える成果はない。しかし1年を振り返ると確実な変化(健康=成果)は感じ、継続する大切さを痛感する。本誌の編集委員を務めさせて頂き、企業の技術・製品の開発も同じことだと思った。手前みそとなるが、10年前に比べると大きな変化(成果)を感じる。5年先、10年先には、現在の開発技術が形になっていると思うと、不安な面もあるが、期待が勝っている。(中村委員)

書店には『文章の書き方』など“伝えること”に関連する種類が以前よりも多くなっているように感じる。確かに、一読しただけでは理解し難い文章で書かれた報告書に直面することも少なくなると、それを添削する立場となってからは自分自身が文章表現の難しさを痛感している。冒頭に述べた書店の陳列にも頷けてしまう。それらの書物で共通するのは“読み手を意識”だった。読み手の代表として、読み手にやさしい記事にすることを目指して編集委員を務めていきたい。(米澤委員)

本号より編集事務局を務めています。入社以来二十余年製品開発一筋で過ごしてきましたが、1年半前本社異動となり、今はそれをサポートする立場。本誌はKYBグループの技術を社内外に広く発信するものであり、日々製品の設計開発に従事されている方々のサポートになるものとして、今後も皆様にとって楽しく読めて役に立つ冊子作りを心がけますので、どうかご協力の程宜しくお願い申し上げます。

私儀、本号発行のころは引越しも子供の受験も一段落し、晴れやかに新年度を迎えられているはずである。(編集事務局)

編集委員

◎手塚 隆	技術本部生産技術研究所所長	志多 一彦	AC事業本部岐阜北工場生産技術部
中村 善也	技術本部基盤技術研究所要素技術研究室	野口 浩市	HC事業本部岐阜南工場生産技術部
村上 敏和	技術本部生産技術研究所	石倉 朝之	経営企画本部経営企画部
小倉 雅則	技術本部知的財産部第一知的財産室	野口 恵伸	技術本部事業開発推進部
小川 義博	HC事業本部技術統轄部鉄道緩衝器設計室	岩田 達也	人事本部
吉村 光明	HC事業本部相模工場航空生産部	伊藤 好文	カヤバシステムマシナリー(株)技術部
川島 茂	特装車両事業部熊谷工場技術部	宮嶋 勝昭	KYBエンジニアリングアンドサービス(株)技術部
伊藤 直樹	AC事業本部技術統轄部製品企画開発部	河野 義彦	(株)タカコ技術本部開発部
赤塚浩一朗	AC事業本部技術統轄部ポンプ技術部	松崎 敬一	KYB-YS(株)設計部
米澤 和彦	AC事業本部サスペンション実験部	金井 昭文	KYBトロンデュール(株) 技術部
赤堀 正弘	KYBモーターサイクルサスペンション(株)生産技術部	○廣瀬 光彦	技術本部技術企画部

◎編集委員長

○編集事務局

HC事業本部：ハイドロリックコンポーネンツ事業本部

AC事業本部：オートモーティブコンポーネンツ事業本部

KYB技報 第54号

〔禁無断転載〕 〔非売品〕

発行 行

2017年4月1日

編集発行人

KYB技報編集委員会

発行所

KYB株式会社

(2015年10月1日よりカヤバ工業株式会社は商号をKYB株式会社に変更いたしました)

〒105-6111

東京都港区浜松町二丁目4番1号

世界貿易センタービル

電話 03-3435-6451

FAX 03-3436-6759

印刷所

勝美印刷株式会社/東京・白山

ホームページへの掲載のお知らせ

日頃、KYB技報をご愛読いただきありがとうございます。第50号(2015年4月発行)から、より多くの方々にご覧いただくことを目的とし、弊社ホームページへの掲載を行っております。是非ご利用下さい。

なお、冊子の発行は従来通り行ないますので、こちらもあわせてご利用下さい。

〈KYBのホームページアドレス〉

<http://www.kyb.co.jp/>

(トップ画面からKYB技報バナーをクリックして下さい)