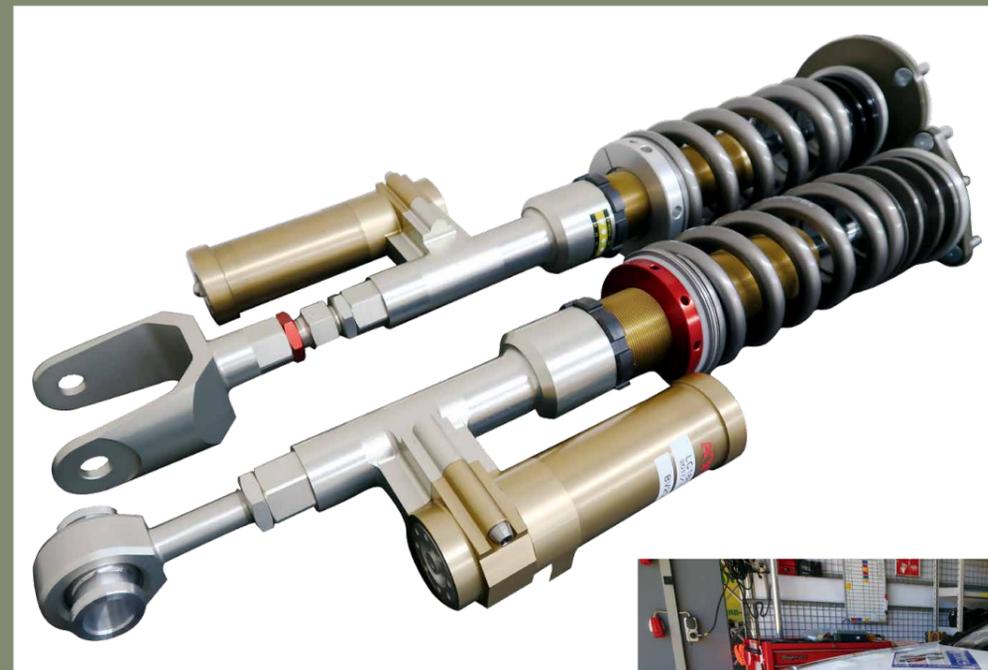


ISSN 1880-7410

KYB TECHNICAL REVIEW

KYB技報
OCT. 2018 No.57

K
Y
B
技
報



KYB TECHNICAL REVIEW NO. 57 OCT. 2018

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	岐阜県可児市土田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	岐阜県可児市土田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	埼玉県深谷市長在家2050番地	☎369-1193	☎(048)583-2341
岐阜北工場	岐阜県可児市土田2548番地	☎509-0298	☎(0574)26-5111
岐阜東工場	岐阜県可児市土田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	新潟県新潟市蒲原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坂城9165	☎389-0688	☎(0268)82-2850
KYBモーターサイクルガスベンション機	岐阜県可児市土田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	岐阜県可児市土田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9番3号 (NBC浜松町ビル)	☎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 Manufacturing Czech, s.r.o. U Panasonicu 277, Stare Covicе, 530 06 Pardubice, Czech Republic TEL: (420)466-812-233	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 CHITA Manufacturing Europe s.r.o. Prumyslova 1421, 53701 Chrudim, Czech Republic TEL: (420)469-363-302	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)44-3012-4301
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	LLC KYB Eurasia 117638 Odesskaya street 2 building A, Moscow, Russian Federation TEL: (7)495-7716010	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	【Asia】 KYB Steering (Thailand) Co., Ltd. 700/829 Moo 6, T. Nongtamlueng Amphur Panthong, Chonburi 20160,Thailand TEL: (66)3-818-5559	KYB Corporation Chennai Branch No. 408, Height 1, Temple Green Project, Mathur Village, Sriperumbudur Taluk, Kancheepuram District, India 602105 TEL: (91)2568-0501
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	KYB (Thailand) Co., Ltd. 700/363 Moo 6, Amata Nakorn Industrial Park2, Bangna-Trad Road, K.M. 57, Tambol Don Hua Roh, Amqhur Muang, Chonburi 20000, Thailand TEL: (66)3-846-9999	KYB Middle East FZE Office No. 2010 20th Floor, Tower-A JAFZA One, Jebel Ali Free Zone, P.O.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, I seccion, Del. Miguel Hidalgo, Distrito Federal, C.P. 11000, Mexico TEL: (52)55-5282-5770	KYB Asian Pacific Corporation Ltd. No. 4345 Bhiraj Tower at BITEC, Unit 1209-1211, 12th Floor, Sukhumvit Road, Bangnatai Sub-District, Bangna District, Bangkok 10260, Thailand TEL: (66)0-2-300-9777	【China】 凱達必(中国)投資有限公司 KYB (China) Investment Co., Ltd. No. 12L Wei 3 Road, Dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhenjiang, Jiangsu, 212009, China TEL: (86)511-8558-0300
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-UMW Malaysia Sdn. Bhd. KYB-UMW Steering Malaysia Sdn. Bhd. Lot 8, Jalan Waja 16, Telok Panglima Garang, 42500 Kuala Langat, Selangor, Malaysia TEL: (60)3-3322-0800	凱達必機械工業(鎮江)有限公司 KYB Industrial Machinery (Zhenjiang) Ltd. No. 38, Wei 3 Road, Dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhenjiang, Jiangsu, 212009, China TEL: (86)511-8889-1008
Comercial de AutopeCas KYB do Brasil Ltda. Rua Cyro Correia Pereira, 2400 Suite 07-Cidade Industrial, Curitiba-PR, 81460-050, Brazil TEL: (55)41-2102-8244	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, Xinxu District, Wuxi, Jiangsu, 214028, China TEL: (86)510-8528-0118
【Europe】 KYB Europe Headquarters B.V. Godsweetersingel 77, 6041 GK Roermond, the Netherlands TEL: (31)475-3863-53	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 Shunyuan Road, New District, Changzhou, Jiangsu 213125 China TEL: (86)519-8595-7206
KYB Europe GmbH Fritz-Vomfelde-Str. 20, 40547 Düsseldorf, Germany TEL: (49)211-538-059-0	PT. Chita Indonesia Jl. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia TEL: (62)21-89983737	知多彈簧工業(鎮江)有限公司 CHITA KYB Manufacturing (Zhenjiang) Co., Ltd. No. 8 Building-1F, New Energy Industrial Park (North Park), No. 300, Gangnan Road, Zhenjiang New District, Jiangsu 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 I 10-1 11-1 12, Thang Long Industrial Park, Dong Anh District, Hanoi, Vietnam TEL: (84)24-3881-2773	凱達必貿易(上海)有限公司 KYB Trading (Shanghai) Co., Ltd. King Board Square Building 3, 9F B-C, No. 269, Tongxie Road, Changning District, Shanghai, China, 200335 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	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
KYB Advanced Manufacturing Spain, S.A.U. Poligono Industrial Perguita Calle B. No. 15, 31210 Los Arcos Navarra, Spain TEL: (34)948-640336		

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57号 2018-10

目 次

巻頭言

国際協力と日本の力 北川 能 1

随筆

メキシコ駐在記 松浪 淳雄 2

中国鎮江駐在記 関口 秀樹 6

解説

IoT, AIの現状と製造業における活用 増倉 孝一 10

製品紹介

中型油圧ショベル用 倒立バケットシリンダ 船戸 泰志 16

技術解説

水圧電磁比例制御弁の安定性に関する考察 吉田 太志 21

紹介

ニュルブルクリンク24時間レース活動の紹介 辻 亘 28

富山 宗輝

技術紹介

ピストンロッド曲がり測定・矯正技術の開発 光尾 崇 35

製品紹介

大型高性能LMW用フロントフォークの開発 牧野 公昭 40

トリリニア型オイルダンパの開発 石原 幸子 45

中原 学

技術紹介

極微低速域高減衰バルブの開発 安井 剛 50

磁場解析を活用した比例ソレノイド減衰力調整式ショックアブソーバの応答性改善 上野 和生 54

松下 雄介

用語解説

品質工学について KYB品質工学研究会 60

技術紹介

油圧機器に関連した材料分析技術 田村 徹弥 62

中瀬 拓也

櫻木 研治

編集後記

(表紙写真 (表) : TGR参戦車両用SAと実車 [P.31参照], (裏) : 大型高性能LMW用フロントフォークと実車 [P.40参照])

KYB TECHNICAL REVIEW

No. 57 OCT. 2018

CONTENTS

Foreword

International Cooperation and the Strength of Japan KITAGAWA Ato 1

Essay

Notes on My Stay in Mexico MATSUNAMI Atsuo 2

Notes on My Stay at Chinese Zhenjiang SEKIGUCHI Hideki 6

Explanation

The Current State of IoT and AI, and Their Use in the Manufacturing Industry
MASUKURA Kouichi 10

Product Introduction

Inverse Type Hydraulic Cylinder for Medium Class Excavators FUNATO Hiroshi 16

Technology Explanation

Stability of Water Hydraulic Proportional Control Valves YOSHIDA Futoshi 21

Introduction

Profile of Activities for 24 Hours Nürburgring TSUJI Wataru 28
TOMIYAMA Shuuki

Technology Introduction

Development of Technology for Piston Rod Bending Measurement and Correction
MITSUO Takashi 35

Product Introduction

Development of Front Fork for Large, High-Performance LMW MAKINO Kimiaki 40

Development of Tri-Linear Oil Damper ISHIHARA Yukiko 45
NAKAHARA Manabu

Technology Introduction

Development of Valve for Ultra-Low Speed with High Damping Force YASUI Takeshi 50

Response Improvement of Shock Absorber with Proportional Solenoid Damping
Force Adjustment by Using Magnetic Field Analysis UENO Kazuo 54

MATSUSHITA Yusuke

Glossary

Quality Engineering KYB Quality Engineering Research Group 60

Technology Introduction

Material Analysis Techniques for Hydraulic Components TAMURA Tetsuya 62
NAKASE Takuya
SAKURAGI Kenji

(Cover Photograph: SAs for TGR-Participating Vehicle and Actual Vehicle [see P.31], High-Performance Large LMW Front Fork and Actual Vehicle [see P.40])

巻頭言

国際協力と日本の力

北川 能*



人間、歳をとっても何かしら社会に貢献できる。社会にとって良いだけでなく、その方が本人にとっても心身ともに健康に生きる上で良いことと思う。かく言う私も、現在は既に年金暮らしが続いており日本国民および日本政府へ感謝するところ大である。その感謝の気持ちを表すため、オファーがあった仕事は可能な限り引き受けている。

現在、私の専門が活かせる国際協力の一つとして、東南アジア諸国の多くの島々を対象とした水力発電所の建設事業への参加がある。東南アジア諸国では現在、電力需要が急増しており発電所建設の必要性が高まっているが、資金および技術に問題がある。

多くの島々への建設であるから巨大な原子力発電所ではなく、規模としては火力発電所が適切であるが、それを維持していくには多額の燃料代が必要となる。これに対し、水力発電所は一旦建設すれば燃料代はかからずメンテナンスだけで済むため、経済的な発電所と言える。また東南アジア諸国の島々には意外と大きな川があり、雨量が多いので川の水量も多い。そのうえ全く未開発の状態にある所が多く、まさに水力発電所の建設にはうってつけである。問題は東南アジア諸国に水力発電所の建設技術がないことである。

一方の日本はどうかと言うと、水力発電所の建設技術や資金は幾らでもあるのに、肝心のそれを建設する場所がもうどこにもなく、メンテナンスだけを行っているという状態にある。そこでこの東南アジア諸国での水力発電所建設事業への日本の国際協力の出番となった。私はたまたまその設計作業の一部である急遮断時の水路系解析を行った。最初に建設する発電所は毎秒2トンの水量で発電量は8000kWであるが、近く完成のようである。

これはたまたま私が関わった一例に過ぎず、最新技術に関することでもないが、日本は今後様々なことで世界に貢献していかなければならない。

今年が明治維新から数えて150年になるという。その真ん中に第二次世界大戦があった。前半の75年間は西欧に征服されないよう死に物狂いで富国強兵に努め、いつの間にか世界有数の軍事大国になってしまった。そして結局、世界を相手に戦うことになり、敗戦。日本は負けたもののアジア諸国は西欧の植民地から次々と独立した。

一方、後半の75年間の日本は、戦前とうって変わって経済発展だけに傾注し、完全に破壊された国土から目覚ましい復興を遂げた。そして今度はいつの間にか一時はアメリカに次ぐ世界第二の経済大国になってしまった。

日本はその気になると、すぐに世界有数の国になってしまう。どうしてこのようなことが可能なのだろう。これは第一に、何にでも興味を持ち、学ぶ気持ちがあることと思う。例えば江戸時代における一般庶民の識字率は世界一だった。そして「塵劫記」という数学の本はベストセラーとなり、どの家にあつたと言われる程であるから驚く。数学の問題を解くのが一つの娯楽だったのだろう。

日本がすぐに世界有数の国になってしまう第二の理由は、技術を大切にし身体を動かすことを卑しいこととは思わないことであり、それは技術を持つ職人を大切にすることに繋がる。また自らの仕事に興味を見出し、仕事を単なる苦役ではなく自分自身を高める道と考えて打ち込み、しまいには仕事を楽しむに変えてしまう。

イラクのサマーワへの自衛隊のPKO派遣の期間も終りに近づいた頃、現地で自衛隊に対するデモがあった。デモと言っても自衛隊への感謝と滞在延長を求めるもので前代未聞である。こんなデモが起きた理由は、自衛隊がイラクの友人としてお手伝いに来たという気持ちを持っていたこと、そして何事をするにしても自衛隊の隊員が率先して現地の人たちと一緒に仕事をしたことである。他の国の部隊ではあり得ないことで、このような気持ちがある限り、日本の力は世界有数であり続けるであろう。

*所属 東京工業大学 名誉教授

随筆

メキシコ駐在記

松 浪 淳 雄

1. はじめに

私は、2006年7月から2010年12月と2015年1月から2017年3月までの2回にわたりメキシコシティへ駐在しました。1回目がKYB Latinoamerica, S. A. de C. V. (以下KLA)、2回目がKYB Mexicoメキシコシティ支店 (以下KMEX-DF)。KLA及びKMEX-DFはメキシコシティに所在し、メキシコ以南の中南米をカバーするオートモーティブコンポーネンツ事業本部の市販ショックアブソーバ販売拠点です。妻と子供2人 (次女はメキシコ生まれ。現在、日墨両方の国籍保有) の家族帯同での駐在でした。通算7年弱の駐在を通じて家族と共に貴重な経験をさせて頂いたので、ここにその一部を紹介したいと思います。

2. メキシコ生活

メキシコシティはメキシコ合衆国 (合衆国は世界でアメリカとメキシコの2国のみ) の首都で、地理的には国土のほぼ中心に位置します。

気候は標高約2,300mにあることもあり、世間一般のイメージとは異なって年間を通じて気温は温暖で、且つ湿度が低く、非常に過ごし易い街です。

一方、盆地であることから空気の流れが悪いため、過去に比べると改善されていますが、依然として大気汚染は深刻な問題です。

人口は首都圏を含めると約2,000万人を超える大都市で、住んでいる日本人 (駐在含む) は約3,000人。最近では日系企業の進出が自動車産業を中心に非常に増えており、在留邦人数は更に増えています。

そのお蔭もあってか、クオリティの高い日本人向けの飲食店が増えており、日本食材店もあります。

また当然ながら、メキシコ料理をはじめ、スペイン料理、フランス料理、アルゼンチン料理などの美味しいレストランもたくさんあり、食生活は恵まれています。ただし、露店などのタコスを食べると食中毒になる危険性があるので、注意が必要です。

ちなみに、メキシコ人もその辺りを考えてか、信

頼のおける行きつけのタコス屋さんを幾つか持っており、時として『俺のオススメの角のタコス屋は最高だ!』『いや、俺のオススメの方が美味しい』等、どうしても良いタコス自慢に付き合わされることもしばしばです (写真1, 2)。



写真1 タコス屋



写真2 タコス

子供は2人とも日本人学校に通わせていました。同学校は1977年に田中角栄首相 (当時) 訪問の際の

共同声明の趣旨に従い、日本政府・在留邦人・日系企業の援助を得て設立されました。同じ敷地に日本人コースとメキシコ人コースと一緒に学ぶ、世界でも珍しい日本人学校です。

メキシコシティの交通事情は、お世辞にも褒めたものではありません。まず交通手段として、クルマ、地下鉄、バスがありますが、安全面や利便性からクルマ移動が基本となります。前述の公共交通機関はスリや強盗に遭うリスクが高いためです。しかし、残念ながらクルマの運転については、メキシコにはそもそも自動車運転免許証の試験が筆記・実技ともにありません（厳密に言うと、過去はあったが廃止された）。そのせいかどうかはわかりませんが、日中の街中は渋滞が慢性化しています（写真3）。ようやく最近、免許試験制度復活の声があがっていますが、早期の復活を切に願っています。

また、タクシーもあります。これもまたハードルが高い交通機関です。大きく分けて『シティオ』という無線タクシーと、『リブレ』という流しタクシーがあります。前者は会社に属したタクシーなので比較的信頼性は高いのですが、後者は無認可のものも多くあるため、安全面でのリスクが高く、犯罪に巻き込まれる可能性があります。最近ではUBER社に代表される配車アプリによるタクシーサービスもありますが、既存タクシーとの軋轢や、安全面の課題があります。

このように交通事情の悪さはある意味メキシコシティの名物ですが、日々深刻の度合いは増しており、何らかの対策を講じて欲しいものです。



写真3 渋滞

3. メキシコでの業務～思い出

メキシコでの業務は市販用ショックアブソーバをメキシコ以南の中南米へ販売するというもので、テリトリーとしては非常に広範囲をケアする必要がありました。地図で見るとメキシコからチリやペルーへ行くのは近く見えますが、いざ行くとすると、チリの場合で約10時間のフライトとなり（東京からロスアンゼルスに行くのと変わらない）、これが結構疲れます。

また、1回目の駐在で印象に残っているのは、2009年に流行した新型インフルエンザ（当時、豚インフルエンザと言われていた）に直撃したことです。コルドバ保健相（当時）が新型インフルとして報じた事をきっかけに世界中で一気に社会問題となりました。報道直後から日本をはじめたくさん問い合わせが入ったり、感染予防マスクが届いたり大変でした。日本やアメリカへ一時避難をするかなど、色々な検討をしたことは今でも鮮明に覚えています。最終的に家族は日本へ一時帰国させることになりました。

その時、興味深かったのが、日本人とメキシコ人の対応の差です。メキシコ人も流行当初はマスクをしていたのですが、1週間もすれば、マスクを外していました。これぞ底抜けに陽気な彼等のなせる業かと思知らされました。

次に2回目の思い出ですが、2011年のマツダ様様のメキシコ進出を皮切りに自動車産業への投資が一気に拡大したことです。当社も2012年にグアナフアト州・シラオ市にKMEXシラオ工場を設立しました。BRICsに次ぐNEXT 11のメンバーであるメキシコが経済的に成長を始めていくダイナミズムを直接、肌で感じる事ができたのは貴重な体験でした。

4. テキーラ

メキシコを語る上で外せないのがテキーラ（写真4）です。ご存知の通り、アルコール度数が約40度もあるメキシコを代表するハードリカーで、アガベというリュウゼツランを原材料とした蒸留酒です。日本では勢いに任せてショットガンで飲んで、二日酔い！という様なイメージがあるかもしれませんが、レモンジュースやトマトジュースをチェイサーにちびちびと飲む方法もあります。またグレードもたくさんあって非常に楽しめるお酒で、古くはアステカ時代にルーツを持ち、ハリスコ州で造られるものがテキーラと呼ばれます。テキーラの古い製造施設（日本でも有名なホセ・クエルボ社）はユネスコ世界遺産に登録されています。

ちなみに、先述の製造施設までは列車で行くこと

ができます。その名も『テキーラ・エクスプレス』。駅に着くなりマリアッチ^{注1)}(写真5)が迎えてくれ、列車の中ではテキーラが振る舞われるというもので、世界遺産へ着くころにすっかり出来上がっているという、とってもご機嫌な乗り物です。

注1) メキシコ音楽を演奏する楽団



写真4 テキーラ



写真5 マリアッチ

5. 世界遺産

その他にもメキシコには世界遺産がたくさんあり、メキシコシティ近郊ではピラミッドが有名です。『テオティワカン』と呼ばれる紀元前に存在したテオティワカン文明の中心となった宗教都市遺跡で、太陽のピラミッド(写真6)と月のピラミッド(写真7)と呼ばれる2つのピラミッドがあります。太陽

のピラミッドは今でも頂上まで登ることができ、頂上からの眺めは壮観です。



写真6 太陽のピラミッド, 長女



写真7 月のピラミッドからの眺め

6. ビーチ

メキシコはカリブ海と太平洋に面しており、非常に綺麗なビーチでも有名です。中でも、カリブ海側

のカンクン（写真8）は世界中から観光客が集まるホットスポットで、バケーションを過ごすには持って来いの場所です。



写真8 カンクン

もう一方の太平洋側にも、ロスカボスやアカプルコといった有名なビーチがあります。また1月～3月にかけては繁殖と子育てでクジラがやってくるので、ホエールウォッチング（写真9）でも有名なエリアです。



写真9 ホエールウォッチング

7. おわりに

メキシコで一緒に仕事をした駐在員、ローカルスタッフ、そして家族のおかげで駐在を全うできました。紙面を借りて感謝とお礼を申し上げます。

Gracias a todo el apoyo que me han brindado mis companeros de trabajo y mi familia, pude cumplir con el reto que yo tenia en Mexico. Muchas gracias por todo!

仕事の上でも、自分自身の人生においても、とても貴重な体験をさせて頂きました。

著者



松浪 淳雄

2005年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部グローバル事業統轄部営業企画部専任課長。市販営業、名古屋支店営業、メキシコ駐在を経て現職。

随筆

中国鎮江駐在記

関口 秀樹

1. はじめに

私は、2011年6月から2016年3月までKYB Hydraulics Industry (Zhenjiang) Ltd. (以下KHIZ) に、2016年4月から2017年5月まではKYB Industrial Machinery (Zhenjiang) Ltd.(以下KIMZ)へ駐在した。約6年間を振り返り、駐在生活で経験した一部を紹介する。KIMZとKHIZは、共に中国の江蘇省「鎮江」市にあり、2016年に2拠点は合併し新KIMZとなり、オートモーティブコンポーネンツ（以下AC）事業とハイドロリックコンポーネンツ（以下HC）事業の両製品を生産している海外で唯一の工場である。

2. 鎮江市について

鎮江市は、上海から西へ約300kmに位置し、人口は約300万人、住んでいる日本人（駐在含む）は50人にも満たない。したがって、街に出てもまず日本人に会うことはありません。馴染んでしまったせいか、街ではよく現地の人に道を聞かれることが多かった。特産は、芳醇な香りとコクのある味わいの「黒酢」が世界的にも有名である。黒酢工場で働いている人は、風邪をひかないといわれるくらい、健康に良いらしい。街に入ると、黒酢の香りが漂っている所もある。また、麵文化が発達しており、朝食で鎮江鍋蓋面（写真1）を食べる人が多い。友好都市は、ドイツのマンハイム、韓国の全羅北益山市、日本の倉敷市と津市である。駐在中には、倉敷市との友好都市交流会があり、日系企業として招待された。市内には京口三山と言われる、金山、北固山、焦山があり、その中でも北固山は、三国志時代の蜀の劉備と呉の孫尚香（孫権の妹）が見合いをした舞台としても有名である。歴史好きの人にはたまらないのではないのでしょうか。西津度（写真2）は、瓦で積み上げられた街並みを見ながら散策し、風情を楽しむことができるため、全国からの多くの観光客が訪れている。ライトアップされた夜の西津度も素晴らしい。



写真1 鎮江鍋蓋面

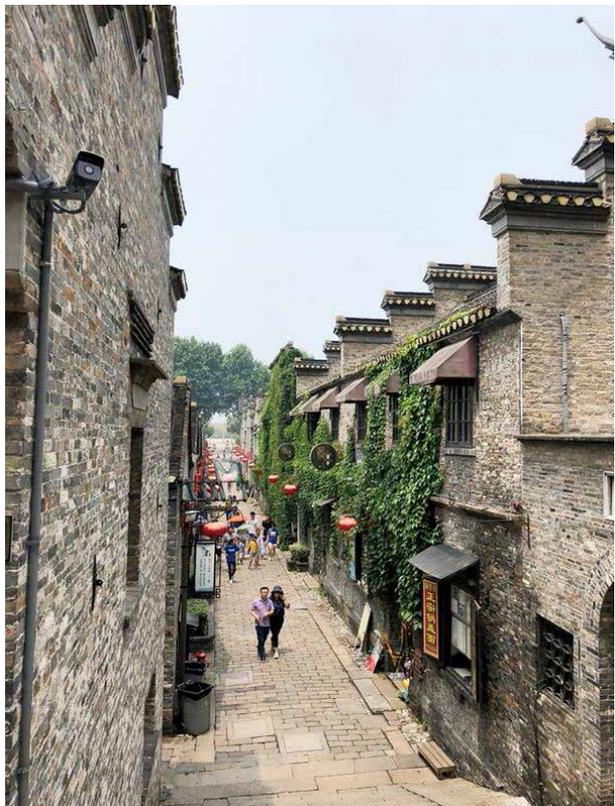


写真2 西津度

3. 交通機関の発展

交通機関は、飛行機、車、バス以外では、中国全土に高速鉄道網が広がっており、交通渋滞に巻き込まれることなく、遠距離移動には非常に便利である。しかし、外国人は、切符を買うときに苦勞する。昔は、駅の自動販売機で購入できた。駅員と会話をすることなく、画面からタッチパネル方式で買えたため、非常に便利であったが、現在は諸事情により、外国人は窓口もしくは、携帯電話予約でしか購入できない。外国人が窓口で購入するには、2通りの方法がある。①言葉が話せない場合には、事前に行先を紙に書いておき、窓口にて無言で駅員に差し出す。質問を受けても、駅員が処理をしてくれるまで、必死な形相でひたすら紙を指さす。②多少会話に自信がある場合には、晴れて挑戦できるのだが、発音がうまくないと聴き取ってもらえず、何度も言い直すことがある。このようにして、何とか購入できる。そういうこともあってか、数年前に大きな駅には外国人用の窓口が設けられ、英語対応も可能になるなど改善されている。

また、全国的に電動バイクが普及しており、利用者は非常に多い。音もなく速い速度で接近してくるので、歩行者は気を付けないと危険である。鎮江市内には近場の移動手段としてタクシーの代わりに使える便利な電動三輪車があったが、数年前に政策的に廃止された。

ここ数年は、スマートフォンで開錠できる乗り捨て自由のシェアサイクル（自転車）が市内の至るところでみられるなど新しいサービスが次々と展開されている。

4. 言葉について

世界各国地域ごとに方言があるように、鎮江にも方言がある。通常一般に勉強をする標準語とは、発音が異なるため、街や従業員同士の会話を聞くと別の国にいるかのような感覚になる。初めは、鎮江駅からホテルまでのタクシー移動も大変であった。私の標準語の発音もおかしかったのもあるかもしれないが、運転手に「言っていることがわからない」と言われ、当時覚えたての鎮江方言でホテル名を伝えようと、何事もなかったかのように送ってもらったのを覚えている。その後は、雑談しながら目的地に向かうことも多くなりました。

電子辞書、携帯の翻訳ツールなどを駆使し、ある程度会話ができるようになるまでは、必死でした。現地で強制的に話さざるをえない環境に身を置いた方が、必然性からされるため、語学力は、早く身に

つくことが実感できるが、鎮江では、基本的に日本語は通じず、英語もほとんど通じないため、生活上最低限の基本会話、単語、数字、単位は事前にマスターしておいた方がよい。

5. 食文化について

人が生きるために「食」はとても重要である。駐在中は「食」を楽しんだ。朝食は、お腹にやさしい粥、ワンタンなどの軽めのもの、皆さんがご存知の饅頭類（肉まん、野菜まん、小籠包など）は、どれも中身がジューシーである。当然、麺類も外せない。ただし、ほとんどのお店で麺の量が多いので食べ過ぎには要注意である。オプションで卵焼きを付けたり、好きなだけ生姜、香菜、漬物等々トッピングできるので、つつい山盛りになってしまう。

煎餅（Jianbing）（写真3）と呼ばれ、ソーセージや野菜、海藻、卵など好きな具材と店ごとの謎の特色ソース（これが非常に良い味を出している）をクレープ状の生地包んだものがある。注文してすぐに熱々のものができ、多くの人々に好まれているようだ。個人的には、通常の具材と揚げパンを挟んでもらったものが、食べごたえありで、お気に入りである。機会があったら、ぜひお試しを。



写真3 煎餅

次に紹介するのは、中国の何処でも食べられ、万人に好まれている「火鍋」（写真4）という料理である。野菜、肉、海鮮類、練り物など様々な食材から選び、鍋でしゃぶしゃぶして、自分で作った「つけだれ」に浸けて食べる。また、辛さのレベルを選ぶことができる。写真4は、本場の四川省の火鍋で、辛さレベルが一番下の「微辛」でも、正直言って、辛い。四川系は、唐辛子の「辛さ」と山椒の「痺れ」

が混ざった「麻辣味」が特色で、食べた直後に汗がどっと噴き出すが、汗を拭きながら食すのもとても爽快。病み付きになる料理のひとつである。



写真4 四川火鍋

また、夜の屋台も忘れてはいけない。炒飯、焼きそば、串焼き、なんでもある。寝る直前まで至福の時間を過ごせるが、その代償として、体重が右肩上がりで増えていき、最悪はスーツ、作業着を破いてしまう場合がある。経験者からのアドバイスとして、駐在される方はお気を付け願いたい。

6. 歴史

4,000年の歴史といわれる中国には、世界的にも有名な万里の長城、西安の兵馬俑など史跡が数多く残っている。その中でも「三国志」の史跡を訪れてみました。三国志は、学生時代に何度も読んだ歴史物で、想像を膨らませながら見るのができた。どの史跡も規模の大きさに圧倒される。写真5は、蜀の武将「張飛」が治めていた重慶にある古城に保存されていたものである。

次に、鎮江から電車とバスで乗り継いで約8時間、湖南省にある「嵩山少林寺」(写真6)も訪れた。1982年に公開されたハリウッドスターのジェットリー主演の映画「少林寺」で少林武術は、一躍有名になった。少林寺では、全寮制武術学校が多くあり、多くの生徒が武術修行をしていた。また、夜には自然の山々を舞台に屋外で行われる少林武術ショーは、ライトアップ、音響効果も迫力があり、圧巻であった。

中国では、小さなお店がたくさん集まったお城のような建物をよく見かける。重慶の商業城(写真7)は、映画のワンシーンのように、夜は黄金色に輝いていた。



写真5 蜀の武将「張飛」の甲冑



写真6 嵩山少林寺



写真7 黄金に輝く重慶の商業城

7. 中国での業務

HC事業の海外生産工場であったKHIZは、2004年から岐阜南・東工場と同じ建設機械用シリンダの生産をしており、2011年には相模工場の20t系ショベル用の走行モータを一部中国移管した。これに伴って駐在することになった。最初の業務は、移管までに部品の現地調達化を進めることと、移管後に安定的量産ができるように部品の安定供給を図ることであった。また、KHIZに原価企画部門を立ち上げ、日本の工場経営に近づけるように試行錯誤しながら活動した。さらに相模工場のミニショベル用走行モータおよび旋回モータの中国移管も経験できた。その後2016年頃までは、世界的な経済不況の影響もあり、中国市場も厳しい状況が続き、どん底の時代を耐え、2016年4月にはKIMZと合併し、新たな体制の下、歩んできたことが記憶に残っている。KIMZに少しでも力になればと、言葉の壁、ニュアンスの違いなどで苦勞もしつつ、現地の方々と何度もやり取りをしながら、これまでやってきた。

8. おわりに

2016年は、中国市場は政策変革や中国を中心とした一帯一路の動きから徐々に景気が回復し始めた、世界経済の好調も重なり、生産も忙しくなり始め、2017年6月に日本帰任となった。振り返ってみれば、駐在の6年は、あっという間で、つらい時も楽しい時も多々あったが、濃厚な時間を過ごせたと思う。特に海外駐在では、自部署の範囲外業務や、様々な面での判断と責任を求められる機会が多いため、苦勞もしたが、緊張感を持って仕事をすることができ、非常にやりがいがあった。これまでお客様、取引先の方々、現地従業員、日本や他拠点の方々、拠点長や同じ駐在員など多くの方々から支援を受けたおかげで様々な問題も一緒に解決できた。この場をお借りしてお礼を申し上げます。現在、海外駐在の方々、これから駐在される方々は、健康に留意され、ストレスを上手に発散し、国際交流もしながら万事うまくいくことを願っている。

著者



関口 秀樹

1997年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部営業統轄部専任課長。相模工場油機技術部第一設計室、管理部原価企画課、KHIZ駐在、KIMZ駐在を経て現職。



IoT, AIの現状と製造業における活用

増 倉 孝 一

1 はじめに

近年, AI (Artificial Intelligence: 人工知能) と IoT (Internet of Thing: モノのインターネット) が学界のみならず, 産業界や政府機関においても注目を集めている。自動車の自動運転の発展や, 自然言語の自動翻訳など日々の生活の利便性の向上だけでなく, AIによる労働の置き換えが進むとの予測もある。IoTやAIの発展は良い面, 悪い面の両面で, 大きなインパクトを産業界や社会に与えることが予測されている。

今後, 広い分野のビジネスがAIやIoTにより大きく変化すると考えられている。従来, IT (Information Technology: 情報技術) とあまり縁のなかった業界もAIやIoTを活用することにより, 従来存在しなかった新サービスが創出されてくると思われる。また, AIやIoTを利用した判断や作業の自動化が進み, 生産性や業務効率の大きな改善が進むと考えられる。

製造業におけるIoT, AIの活用は, ドイツや米国が進んでいたが, 最近では日本の製造業もIoTやAIの活用に注目している。日本の製造業は伝統的に現場が強く, 熟練の職人が高品質な製品を製造するという特徴があり, 比較的部門最適が得意であったが, IoT, AIの導入により, 工場間や部門間の全体最適化が図れる可能性が高い。

本稿では, 上記の状況を踏まえ, まずIoTやAIなどのIT化が本質的にどのような価値をもち, どのように産業界や社会を変化させていくかを論じる。

次に, ディープラーニングを中心とした現在のAIの技術動向を解説し, AIの特徴とAIを活用することでなにができて, なにができないかを説明する。

さらに, IoTシステムの動向とシステムイメージを解説し, IoTを活用し実世界の情報を収集, 蓄積して, AIによってデータ処理することで生まれる新たな価値について論じる。

最後に, 上記の議論を踏まえ, 製造業におけるIoT, AIの具体的な活用方法の考察といくつかの事

例紹介を行う。

2 IoTとAIによるパラダイムシフト

2.1 情報技術の進化による新たな価値

ITの急速な発展により, デバイス, ネットワーク, クラウドなど, IoTを構成する要素は高性能かつ安価となってきている。これにより, 従来では扱えなかった大量かつ広範囲のデータを収集し, 蓄積することができるようになった。国際的なデジタルデータ量は2016年は16ゼタバイトだが, 2020年は47ゼタバイト, 2025年には163ゼタバイトに飛躍的に増大すると予測される¹⁾。これらのデータのうち大部分はカメラからの画像データ, マイクからの音声データ, 各種センサからのデータなどの実世界を観測したデータ, 各種ログなどの非構造化データである。

図1に情報の階層とその価値を示す。カメラ, マイク, 各種センサからの信号や, SNSの書き込みなどから得られるデータ (Data) は, 関係や意味が付与されていない非構造化データであり, そのままでは活用が難しく価値を見出しづらい。従来はこのような非構造化データは, 大部分が収集も活用もされず捨てられていた。

このような捨てられていた膨大なデータをセンサなどで収集し, インターネット技術で送信して, クラウド上のデータベースに蓄積することで構造化する技術がIoTである。データベース上に日時, 場所, 取得したセンサや対象物の情報などと共にデータを蓄積することで, データの検索や比較ができる情報 (Information) として活用ができるようになる。構造化された情報は, 過去からのトレンドをみたり, 他の情報と比較したり, 統計的処理を行うことが可能で, 判断や制御を行うための基準として活用ができるようになる。

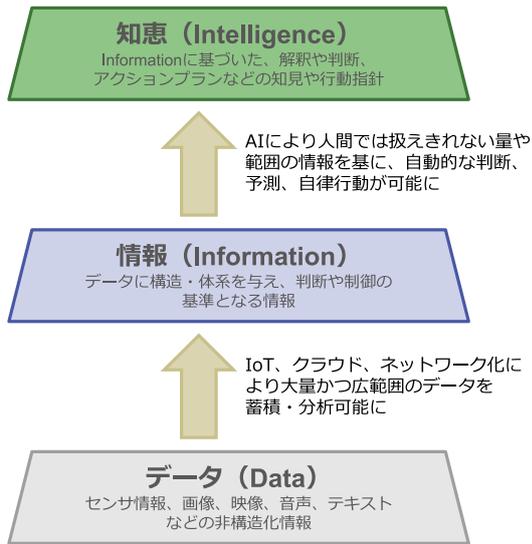


図1 情報の階層と価値

このような構造化された情報 (Information) を基にして物事の解釈、予測を行い、判断や行動方針を決める知恵 (Intelligence) とする。従来は情報を基に知恵に昇華することができるのは人間だけであったが、AIの発展によって、比較的単純な領域を中心にAIが人間に代わって行うことができるようになってきている。AIは人間では扱いきれない大量かつ広範囲のデータや情報を扱うことができ、IoTと親和性が高い。実際に画像認識や音声認識では、人間の認識精度を超えるAIが現れてきている。また、囲碁などのゲームにおいて最適な行動を選ぶような比較的高度な判断でも人間を超えるような事例が見られる。

階層が低いデータは活用することが難しいため、価値は低い。しかしデータを構造化された情報にして、さらに知見や行動へつなげる知恵とすることで、さまざまな活用が可能となり、大きな価値を持つ。IoT、AIによる価値創造の本質とは、このように無価値であったデータを、情報や知恵に昇華することで価値を生むことができることと考えられる。

2.2 産業の変化

前節で述べたような情報技術の進化と、それによる大量のデータの蓄積と知的労働のAIでの置き換えにより、従来は人間の労働者によって行われていた分析や作業が機械化、自動化されていくことで効率化されていく。さらに、自動運転、ドローン、スマート農業などの新たなサービスやビジネスが生まれ、成長していく。

この影響範囲は、先進国および途上国のあらゆる産業分野に広がり、今日の世界経済の46%にのぼる32.3兆ドルのインパクトを与えると予想される²⁾。成長率で見ても、IoTは世界全体、日本国内とも年

間約15%で成長する³⁾⁴⁾と考えられており、他のあらゆる産業と比較して、規模的、成長率的にインパクトが大きい。

IoTの産業適用は米国およびドイツが先行しており、米国では産業界を中心に「Industrial Internet」のコンセプトで、IoTを利用した新たなサービスや価値創造を目指している。ドイツでは政府が主導し「Industry 4.0」のコンセプトで主に製造業の効率化を目指している。日本政府でもSociety 5.0という概念を提唱し、IoT、AI、ロボット技術をあらゆる産業や社会生活に取り入れ、経済発展と社会問題の解決を図ることを目指している⁵⁾。

表1に示すように、いままでの工業社会では製造業を中心とした労働集約型、資本集約型の経済であったが、今後はITによりリアルとバーチャルが融合し、個人や企業同士が結びつく分散協働型の経済へと次第に変化していくと考えられる。

表1 農業、工業、情報社会の比較

	農業社会	工業社会	情報社会
年代	BC 8世紀～18世紀	18世紀～21世紀	21世紀～
主要技術	農耕具、灌漑、天文学など	蒸気機関、電気、自然科学など	コンピュータ、電気通信、バイオ等
価値の源泉	土地	資本	データ、ネットワーク
経済形態	封建経済	資本経済	シェアリング経済
競争力の源泉	主従制度と土地貸与	資本の集中と垂直統合	分散協働とネットワークング
活動範囲	ローカル	グローバル	リアル&バーチャル

このような情報社会においては、価値の源泉はデータやネットワークにあり、いかにネットワークを築き、有益なデータを利用して集めるか。また集めたデータを、いかに情報や知恵として価値を創出するかが企業戦略上の最重要ポイントとなる。

3 AIの動向と特徴

現在の急速なIT化への動きは、近年のAIの急速な発展によるところが大きい。AIはコンピュータの黎明期の1950年代より研究されてきたが、実用に足るレベルの精度に達していなかった。

しかし、ディープラーニングを中心とした第三世代AIは、課題によっては人間に匹敵、もしくはを超える精度を達成し、人間からAIに置き換えることが経済合理性を持つようになってきた。

本章では、第三世代AIの概要と、特徴を説明する。

3.1 第三世代AI

AIは、図2のように入力データからそのデータを区別するような特徴を表した特徴量を抽出し、解決したい課題に応じて作成したモデルやアルゴリズムに特徴量を入力することで、望む出力を得る。

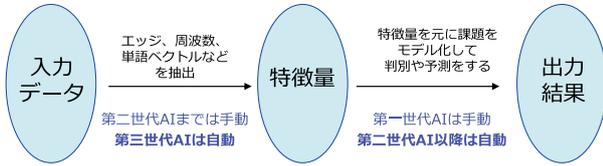


図2 AIの基本的処理

例えば、画像認識では入力データは画像、特徴量はエッジ情報や色分布などとなり、モデルからは認識結果をあらわすラベルが出力される。

第一世代のAIは、入力データから特徴量を作る部分とモデルを生成する部分の両方を人間が行っており、あらかじめ人が決めたルールに沿って動くAIであった。第二世代AIは、特徴量を作る部分は人間が行うが、モデルの生成は統計的アルゴリズムや探索的アルゴリズムにて自動で行う。ディープラーニングに代表される第三世代AIは、特徴量を作る部分も畳み込み演算などにより自動的に行うことができるようになった。入力データと教師データのみを用意すればよいため、人手を要する部分が大きく減り、AIの適用範囲が格段に広がっている。また以前のAIに比べて複雑なモデル表現が可能であり、性能的にも大幅に向上している。

特に、ディープラーニングは画像、音声、時系列データなどの多次元データから特徴量を抽出し、推論を行うことが得意という特徴があり、IoTシステムにおいて入手しやすいカメラ、マイク、センサからのデータと相性がよい。

AIの学習手法には大きく3つの種類があり、目的や課題に応じて適切に使い分けことが重要である。

教師あり学習は、学習時に入力データとその望ましい出力を教師データとして教えることでモデルを生成する方法で、高い判別精度が期待できる手法である。一方、大量の教師データを人手にて作成する必要があることが欠点である。画像認識、音声認識、自然言語翻訳、予測などはこの教師あり学習が主に利用されている。

教師なし学習は、教師データなしで入力データのみを利用してモデル化し、クラスタリング、次元削減、異常検知などに利用される。教師データの作成が不要で、導入のハードルが低いため注目を集めている手法である。機器の故障予知や異物検知などに

適用される事例が増えてきている。

強化学習はロボットの動作やゲームの行動を最適化する手法で、状況に応じてどのような行動をとることが最適かを学習する手法である。ロボットや車などの自動制御や、新しい物質を試行錯誤しながら探するような課題に向いている手法である。強化学習は現在活発に研究がおこなわれている分野であり、2～3年後以降に実用化の事例が増えてくると考えられる。

3.2 AIの得手・不得手

第三世代AIの汎用性と高性能化により、あらゆる産業分野でAIを活用した自動化や効率化、新サービスが考案されている。図3は、各産業分野におけるAIの主な適用例である。



図3 産業分野ごとのAIの適用例

製造業、運輸業、店舗やECなどの小売業では、すでに具体的な適用例が数多く出てきている。医療、インフラ、金融、農業などにおいても今後適用事例が増えていくと考えられる。産業分野ごとでAI活用のタイミングは異なると思われるが、ほとんどの業界で、今後なんらかのAI活用が進むと考えられる。

AIの進化により、下記のような課題は実用レベルまで精度向上してきている。

- ・事務処理、物を運ぶなどの比較的単純な作業を正確に行うこと
- ・画像認識や翻訳など、データを認識判別して適切な回答を返すこと
- ・天気予報や人事評価など、今までのデータに基づいて、分析や予測すること

一方現状では、AIは下記のような課題には向い

ていない。

- ・経営ビジョンや事業戦略作成など、ビジョンや目標を設定すること
- ・コンサルティングや学術研究など、目に見えない問題を発見し解決すること
- ・クリエイターやプロデューサーなど、今までにないまったく新しい何かを生み出すこと
- ・営業提案や演出など、感情や感性に深く関わるコミュニケーション

基本的に、十分な量のデータを集めることが難しい課題や、どのような答えが正解かを定義することが難しい課題には、AIより人間のほうが向いているといえる。

実際にAIを業務に活用しようとするときは、すべての業務をAIで置き換えようとするのではなく、AIが得意な部分はAI化を積極的に進め、人間のほうが得意な分野は人間にて行い、人とAIのそれぞれ得意なところを活かす形で協働することが重要となる。

4 IoT, AIによる価値の創造

4.1 IoTシステムの全体像

IoTとAIを用いた典型的なシステムの全体像を図4に示す。

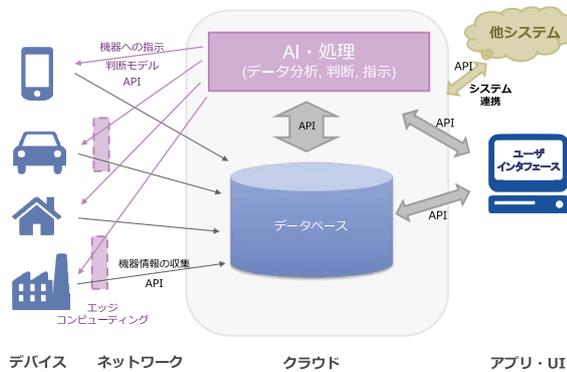


図4 IoTシステムの全体像

IoTの対象物は、人の健康や行動、スマートフォン、車やドローン、家庭やビル、工場、インフラなど多岐にわたるが、これら対象物の状態を、機器から直接取得したり、センサ、カメラなどを利用して取得したりする。

取得したデータは、マイコンやゲートウェイなどによってデジタル化され、ネットワークを通じてクラウドに転送される。ネットワークの物理層は汎用的なものを利用し、光ファイバーなどの有線通信や、セルラー、無線LAN、LPWA (Low Power Wide Area: 省電力広域無線通信) などの無線通信がよ

く使われる。

プロトコルには、HTTP (Hypertext Transfer Protocol: Web通信用プロトコル)や、MQTT (Message Queuing Telemetry Transport: 軽量メッセージ通信プロトコル) など、汎用的なものがよく使われる。

近年、クラウドはコスト面や運用面から、パブリッククラウドを利用することが増えている。データベースは大量のデータの格納に適したNoSQLデータベースがよく使われる。

AIや統計的なデータ処理はクラウド上にて処理されることが多いが、自動運転など応答速度への要求が高い場合は、モデルの学習はクラウドで行い、モデルを用いた推論はデバイス上のプロセッサで行う。このようにデバイス側で判断や処理などを行うことをエッジコンピューティングといい、今後必要性が増すと考えられる。

IoTシステムでは、他システムやアプリとの連携がポイントとなる。これはAPI (Application Programming Interface) というインターフェース仕様を定義して、他システム等とのやりとりや通信を行うことが一般的である。

IoTシステムのそれぞれの構成要素は、比較的標準的、汎用的なものであり、個々の技術的な難易度は高くないが、必要とされる知識やノウハウは広範囲にわたるため、一社で構築、運用するのは困難である。それぞれの得意な部分を持ち寄り、複数の会社でうまく協調し協業して進めることがポイントとなる。

4.2 IoTとAIによる提供価値

IoTとAIにより、提供されるサービスやその価値を図5に示す。図に示したように、提供サービスは単純なものから、次第に高度化していき、それに合わせて提供価値も向上していく。

モニタリングは最も単純なサービスであり、センサなどで取得したデバイスのデータを遠隔地より監視する。人手による定期点検に比べると現場に行く必要がなく、多拠点・リアルタイムなモニタリングが容易となる利点がある。

IoTのネットワークを使い、モニタリングにより遠隔地より得た情報を基にクラウドからデバイスに指示することで遠隔制御が実現できる。現場に行ってデバイスを制御する手間や時間が不要となり、トラブルへの早期対応やコスト削減に役立つ。

次段階の予測からはIoTとAIの複合システムとなる。デバイスのセンサ等から得られた大量のデータをクラウドに蓄積し、AIでモデル化することで今後の挙動を予測する。例えば機器の故障予測を行う、顧客ごとに購入しやすい商品を予測してレコメン



図5 IoTとAIによるサービスと価値

デーションするなどの応用が考えられる。

予測結果に応じた設定や操作をあらかじめ行うことで、システムやその運用を最適化することができる。ユーザーの行動を予測して、適切な警告やアドバイスをあたえる、故障を予測してメンテナンスをするなどで大幅な効率化が可能である。

最後の段階として、システムやデバイスが状況や目的に応じて判断し、自律的に稼働するようになる。自動車の自動運転や自己修理など、人手を介さず運用され、大幅な効率化のみならず、いままでにない革新的な新サービスが生まれる可能性がある。自律運転の段階まで到達すると産業や社会にも大きなインパクトを与えるものと予測される。

5 製造業における活用

製造業において、IoTとAIの活用が考えられる分野は多岐にわたる。図6に示すように、IoTやAIを用いて、コストの削減や業務効率の改善を目指す活用方法がある。また、マーケティングやセールスを高度化して既存商品の売上増を目指したり、IoTやAIを活用した新サービス、新規事業を立ち上げることでビジネス拡大を目指したりする活用方法もある。

一方、自社におけるコスト削減やビジネス拡大を目指す方向性と、顧客やパートナーのコスト削減やビジネス拡大を支援する方向性がある。それぞれにより適したビジネスモデルは異なっている。

5.1 IoT, AIによるコスト削減

最も取り組みやすく、現在活発に検討されているのが自社コスト削減である。製造業においては製造や物流など、比較的定型業務が多い部門に効果が高い。

- ①機器の予兆保全：製造設備などにセンサを取り付けて故障をAIにて予測することでダウンタイムを減少させる。ディープラーニングなど最

	コストの削減	ビジネスの拡大
自社	将来的なコスト削減効果で投資回収 ・予兆保全によるダウンタイム減少 ・機器メンテナンス最適化、状態基準保全品質チェックの高精度化、短時間化 ・部材調達、人員配置の最適化 ・工場オペレーションのムダ削減 ・製品の遠隔メンテナンス・診断	将来的な新規事業や売上増で投資回収 ・マーケティング・販売の最適化による売上増 ・製品利用状況の分析による新商品展開 ・サブスクリプション等の新ビジネスモデルによる顧客拡大 ・自社の強みとIoT&AIを組み合わせた新規事業
顧客・パートナー	月額保守サービスの展開 コスト削減コンサルティングサービス ・定額保証/メンテでのリスク削減 ・自社データを活かした最適化コンサル&ソリューションの提供	売上拡大コンサルティング JVや出資による共同事業 ・自社データを活かしたマーケティング、セールスコンサルティング ・各社の強みを活かした共同新規事業

図6 製造業におけるIoT, AIの活用例

新のAIを使うことで、故障の1~2か月前に検知できることが多い。

- ②製品品質チェック：画像やセンサにて製品をセンシングして、AIによって正常品/異常品の分別を行う。超音波やマルチスペクトルカメラなど人間を超えたセンシングと、バラつきのない判断が可能である。

- ③機器操作、オペレーションの自動化：センシングとAIにより、機器操作やオペレーションを自動化する。人件費削減だけではなく、生産速度の向上や、事故の防止が期待できる。

顧客に販売する機器においても、予兆保全や操作自動化が実現できれば、顧客側のコスト削減につながる。このような場合、月額保守サービスへの展開、コスト削減コンサルティングサービスの提供などによって、機器の提供側も追加収益が得られるビジネスモデルが展開できる。

経営、商品開発、マーケティングなどは、創造性や戦略性が必要とされるため、IoTやAIによって業務の置き換わりが進むとは考えづらい。しかし、IoTにより製品や使用状況からとったデータを分析して方針決定に役立てる、AIを利用して膨大な候補のなかから最適な物質や組合せを探すなど、人間の業務のサポートとしての使い方が増えてくると考えられる。

5.2 IoT, AIによるビジネスの拡大

IoT, AIを活用したビジネスや売上の拡大は、マーケティングや販売プロセスを最適化するものと、新たなサービス、商品、ビジネスモデルを創造するものがある。

マーケティングや販売プロセスの最適化では、顧客の製品利用状況や商談状況をAIで分析し、よりよい商品やサービスを提案する、広告をAIで最適化するなどが考えられる。この分野はECが先行しているが、今後B2Bを含む幅広い業界に広がると予想

される。

新たなサービス、商品、ビジネスモデルの創造は、今後の企業存続の大きな要因として経営層からの期待が大きい分野である。ユーザー情報や商品利用状況を分析し、それぞれのユーザー層に対して最適な商品をマスカスタマイゼーションで提供する、クラウドやAIと連携して自動的に進化する商品、ユーザーにとって煩雑な部分をAIとIoTで自動化する商品などが考えられる。

IoTにより収集したデータをAIで分析、判断し、そのデータを必要とする個人や企業に提供するビジネスも今後増えていくと考えられる。航空機のセンサ情報から航空機の最適な運航をアドバイスする、道路状況やセンサ情報から自動的にトランスミッションのギアシフトを補正して燃費向上を図る⁶⁾、時間帯や曜日、天気などからどの場所にタクシーの客がいる確率が高いかをタクシー会社に情報提供するサービスなどがすでに出てきている。

IoTやAIを活用することで、様々な新しい商品やサービスが生まれる可能性があるが、従来の製造業と開発内容やビジネスモデルが異なることが多いため、柔軟な人材活用や、他社とのコラボレーションが重要となる。

は今後も数多く出てくると考えられる。従来の製造業的なプロセスやビジネスと異なる面が多いが、その分チャンスも大きいと言える。

本稿が今後の事業効率化やビジネス拡大の一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) IDC Data Age 2025 Study, sponsored by Seagate (2017/4)
- 2) インダストリアル・インターネット解説レポート (GE 2012/11)
http://www.ge.com/jp/sites/www.ge.com.jp/files/Industrial_Internet_Japan_WhitePaper_0517_2s.pdf
- 3) IDC Forecasts Worldwide Spending on the Internet of Things to Reach \$772 Billion in 2018 (2017/12)
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS43295217>
- 4) 国内IoT市場 産業分野別/ユースケース別予測, 2018年~2022年 (2018/03)
<https://www.idcjapan.co.jp/Press/Current/20180314Apr.html>
- 5) 内閣府 Society 5.0
http://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html
- 6) The internet of Things: ZF Friedrichshafen AG
https://www.zf.com/corporate/en_de/magazine/magazin_artikel_viewpage_22170472.html

6 おわりに

IoT, AI分野は現在も技術進化, ビジネス応用ともに早い速度で進んでいるため, 新しい技術や応用

著 者



増倉 孝一

(株)ブライトビジョン代表取締役社長。(株)東芝にて、人工知能および映像処理の研究開発、携帯電話、スマートホームの商品企画、事業戦略を担当した後、2016年より現職。先端ITを活用した業務効率化、新商品・新規事業開発のコンサルティングを行う。現在、KYBにてIoTに関するコンサルティングを実施。

製品紹介

中型油圧ショベル用 倒立バケットシリンダ

船 戸 泰 志

1 はじめに

油圧ショベルは、道路や建物の建設や解体、森林開発や農地の改良、産業廃棄物の処理等、様々な用途で用いられており、我々が街中で目にすることも多い建設機械の主力機である。

一般的な油圧ショベルのフロント部は、ブーム、アーム、バケットの3つの可動部を有し、それぞれを油圧シリンダで動かすことで、強力で複雑な動作を行うことができる(図1)。



図1 中型油圧ショベル SK200
(コベルコ建機株式会社ホームページより転載)

KYBでは1970年代から油圧ショベル用シリンダを生産しており、1984年に誕生した高圧型シリンダKCH (KYB Cylinder High Pressure) シリーズは、機体の油圧システム高圧化への対応や、シールの耐久性向上等、「漏れない・錆びない・壊れない」をスローガンとしてモデルチェンジによる改良を繰り返し、現在も当社ハイドロリックコンポーネンツ事業本部の主力製品の一つである。しかしながら、シリンダの基本的な構造は30年以上に亘って大きな変更はなく、油圧機器の中でも比較的単純な機能、構造であることから、コモディティ化が進行した製品であるといえる。

油圧ショベル用の従来型バケットシリンダ(以下、

現行KCH)は、ロッド摺動部が先端(バケット)側になるよう装着される。それに対して、倒立バケットシリンダKCH-Upside Down(以下KCH-UD)は、ロッド内部に伸側、縮側の2つの油通路を構成し、機体への装着方法を反転することを可能としている(図2)。KCH-UDは、現行KCHのような従来型バケットシリンダが潜在的に持っていた、ロッド摺動部、及びダストシール部の損傷リスクを低減し、シリンダの外部油漏れ発生を抑制することを主目的とした、KCHの派生製品である。しかし、これまでその有効性の実機検証が十分にはできていなかった。

今回、KCH-UDを様々な用途の油圧ショベルに装着し、KCH-UDの有効性を検証することができたので、開発背景や構造と共に紹介する。

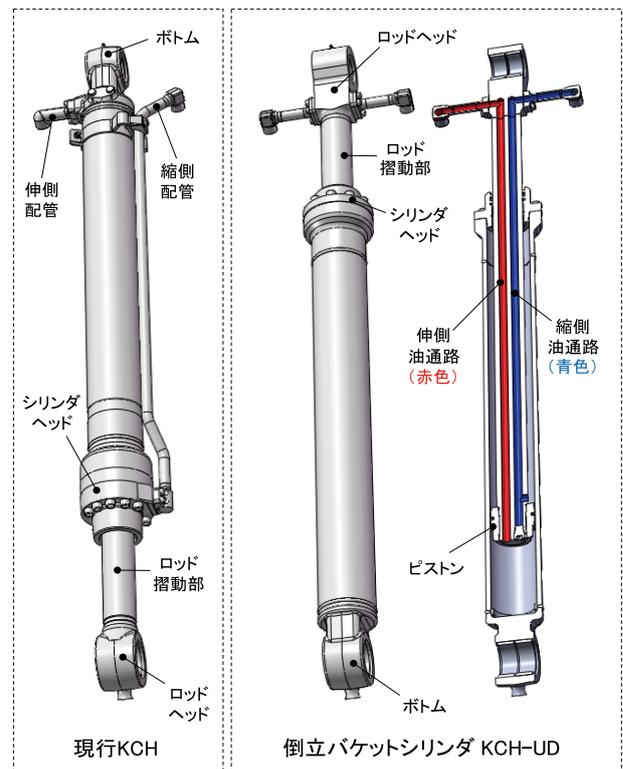


図2 倒立バケットシリンダ構造概略

2 KCHと油漏れ

KCHシリーズは、機体の油圧システム高圧化や、摺動速度の高速化に対応した、油圧ショベル用シリンダとして最適なシールシステムを採用してきた。近年では、耐ダスト性を向上したワイパリングを採用し、ダストの侵入によるロッドの傷付き、外部油漏れに至る不具合件数も減少している。

しかしながら、KCHで最も多い不具合は、依然としてロッドシール部からの油漏れである。図3に2005年以降、現在に至るまで長期間にわたって収集した油圧ショベル用シリンダの不具合分析データを示す。ロッドシール部からの油漏れは、シリンダ不具合全体の30%を占め、シリンダ別割合ではバケットシリンダが特に多く、66%を占める。

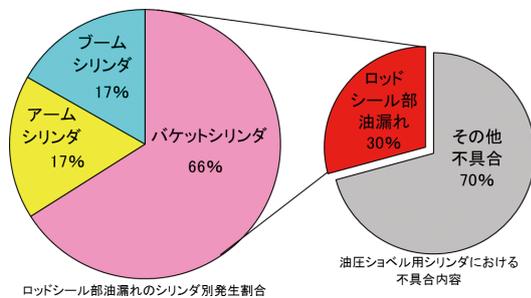


図3 中型ショベル用シリンダの不具合割合

ロッドシール部からの油漏れは、偶発的な油漏れと、シール寿命による油漏れの2種類に大別できる。図3に示すロッドシール部からの油漏れ発生時の機体稼働時間を確認すると、シール寿命には至らない短い稼働時間で油漏れに至っている事例が多くを占めている。つまり、短い稼働時間でも発生割合の高いロッドシール部からの油漏れは、偶発的な理由により多く発生し、その中でもバケットシリンダが、ブームシリンダやアームシリンダより多く修理・交換されているということである。この理由として考えられるのは、バケットシリンダのロッド部が被掘削物に近いというシリンダ取り付け構造上の問題である。しかも、バケットシリンダはアーム構造物によりオペレータからは直接目視できないので、意図せず被掘削物に接触させてしまうリスクが高い(図4)。

シリンダのロッド摺動部表面は、高周波熱処理の後、クロムめっきを施しているが、油圧ショベルの強大な力で被掘削物に衝突させた場合、ロッド摺動部には打痕や擦り傷が生じてしまう。ロッドの打痕や擦り傷は、摺動によりロッドシールを傷付けることで外部油漏れに至る。また、被掘削物の衝突までには至らないとしても、ロッド摺動部表面に被掘削

物が付着、接触した状態でシリンダが摺動した場合、ワイパリングのダストリップ部を損傷するリスクが増大する。ダストリップ部が損傷すると、シリンダ内部へのコンタミ侵入を許し、コンタミによりシールを傷付けることで外部油漏れに至り、さらには作動油の汚染による油圧機器全体の不具合に発展する可能性がある。



図4 油圧ショベルのオペレータ視界

3 開発背景

近年では油圧ショベルのマシンコントロール(半自動運転)、マシンガイダンス(運転支援)技術も進歩し、オペレータの習熟度、運転技能に頼らない取り組みも活発である。しかし、油圧ショベルの用途は様々で、オペレータ自らの操作でフロントを自在に操りながら行う作業も依然として多い。そのため、オペレータから直接目視できないバケットシリンダのロッド摺動部を被掘削物に接触させてしまうリスクは依然として残されているといえる。このリスクを低減することは、油圧ショベルにおけるシリンダ不具合発生件数を低減し、ひいては機体のライフサイクルコスト低減に繋がるものと考えている。

ロッド内に配管を構成するアイデア自体は従来から存在し、油圧ショベル以外では一般的となっている用途もある。例えば、高所作業車のブームを伸縮させるシリンダや、トラックの荷台を上下させるテレスコピックタイプのシリンダでは、中空ロッドの内部にパイプを通すことで、伸側、縮側の2つの油通路を構成している。伸側、縮側ポートがロッドヘッド部に集約され、シリンダ外部に配管を取り回す必要がないロッド内配管構造のメリットを生かした用途である。しかしこれらのシリンダは、定格圧力が20MPa程度と低く、シリンダに大きな外力が加わることのない、いわば優しい使われ方である。対して油圧ショベル用シリンダは、

定格圧力が35MPaと高く、その高圧は高頻度で発生し、さらに機体構造物の一部として大きな外力に耐える必要がある、いわば厳しい使われ方であり、中空ロッドの内部にパイプを通す従来のロッド内配管構造では強度上の問題がある。よって、KCH-UDでは、中実ロッドに2つの深穴加工を施すことで伸側、縮側の油通路を構成するという、ロッドの強度低下を最小限に抑えた構造を採用するに至った。

4 製品仕様

KCH-UDは、現行KCHと同等に使用できる強度特性、耐久性と、取り付け互換性を有することを要件として開発した。

4.1 基本仕様

- ①定格使用圧力：35MPa
- ②最高シリンダ速度：60m/min
- ③作動油温度範囲：-20~100℃

KCH-UDは、現行KCHと同一のシリンダ径、ロッド径で構成するため、伸推力、縮推力は同一である。

4.2 耐久性

(1)シールシステム

シリンダの耐久性に関わる重要な要素であるシールシステムは、現行KCHと同一品を採用する。

(2)構造物強度

圧力、外力に対する一発破壊強度、疲労強度は現行KCHと同等レベルを維持する（ロッドの強度低下については5.1項を参照）。

4.3 取り付け互換性

現行KCHでは、ボトムに設けていた伸側ポートとシリンダヘッドに設けていた縮側ポートを、KCH-UDではロッドヘッド部に集約し、作動油の給排ポートが必要なくなったボトム、シリンダヘッドは専用のポートなし品を設定することで、シリンダのデッドストロークを延長することなく、機体への取り付け互換性を確保する（図2）。

5 開発課題と設計上のポイント

5.1 油通路の構成とロッドの強度低下

KCH-UDは、現行KCHと同外径、同材質のロッド本体に2つの深穴加工を施すことで油通路を形成するため、ロッドの曲げ剛性、最小断面積が、現行KCHの中実ロッドに対して低下し、シリンダの座屈荷重も低下するが、次の処置により強度低下を最小限とし、油圧ショベルの使われ方として問題ないレベルとしている。

- ①シリンダを機体へ取り付けるピン揺動方向に対

してロッドの曲げ剛性低下が小さくなるように、油通路を横並びに配置する（図2）。

- ②ロッドの最小断面積を確保し、現行KCHと同等の一発破壊強度を確保するため、ピストン締結部のねじサイズを大径化する。

5.2 圧力損失

ロッド内に油通路を設けることで、現行KCHに対して伸側油通路が長くなり、圧力損失は大きくなる。この圧力損失の増大分による燃費への影響を、当社の油圧ショベルシミュレーションモデルにて解析を行うと、KCHに対する燃費の悪化は、模擬掘削積込動作を常時フルレバー（最大流量）で実施するという最も影響の大きくなる条件において約0.7%程度となる結果を得た。しかし、実作業モードでは、常時フルレバー動作を行うことは考え難く、KCH-UDによる燃費への影響は軽微であると考えられる。

5.3 ピストン締結ねじの締付トルク低減

現行KCHのピストン締結部は、高トルク締付によりねじ部に初期締付力を与えることで、締付部に外力が負荷された際のねじ底に発生する応力振幅を小さくし、ねじ部の疲労強度を確保する思想である。KCH-UDは、ロッドに油通路加工を施しても、ねじ部の最小断面積を確保し、十分な一発破壊強度を有するよう、ねじサイズを大径化しているが、それに伴い、ピストンとロッドの接触座面が小さくなることから、現行KCHと同等の高トルク締付は出来ない。そこでKCH-UDでは、外力負荷時のねじ底応力を分散する構造を採用し、締付トルクを低減しても、現行KCHと同等の外力耐久強度を確保している。

5.4 チューブへの傷付き耐久性

KCH-UDでは、ロッド摺動部への被掘削物接触リスクは低減できるが、その分、シリンダチューブ外表面に被掘削物が接触しやすいといえる。しかし、油圧シリンダの使われ方で発生するような、被掘削物の接触による当て傷や打痕は、局部的に圧縮応力場となっており、シリンダ内の圧力によりチューブ外表面にフープ応力が生じても、当て傷や打痕が起点となって早期破損する心配はないことが確認できている。問題ないと考える。

5.5 ロッドの深穴加工工法

KCH-UDの構成上、油通路として用いる偏心した2つの深穴が、最も難易度が高い機械加工部である。KCH-UDでは、伸側、縮側の両油通路共、ピストン締結側のロッド端面より加工する。穴径や内面粗度、真直度といった加工精度も必要であるが、KCH-UDの量産に向けては加工時間の短縮が最大の課題であった。加工工具や加工条件の研究を、製品の開発と並行して実施し、高速深穴加工条件を見出すことができた。

6 実機によるKCH-UD有効性の検証

コベルコ建機様ご協力のもと、様々な用途の油圧ショベルにKCH-UDを交換装着し、有効性の確認を実施した。

6.1 産廃リサイクル機

高く積み上げられたプラスチックごみの中にアタッチメントを挿入し、細かく砕きながら、処理設備へ投入する作業に用いられる産廃リサイクル機（図5）では、現行KCHバケットシリンダの場合、ロッド摺動部に当て傷が生じ、シリンダヘッド部にもプラスチックごみが接触し、ワイパリングのダストリップ部損傷、チューブに沿って装着される油圧配管の曲がりや、配管をシリンダチューブに固定するバンドの破損が確認された（図6）。



図5 産廃リサイクル機 作業状況

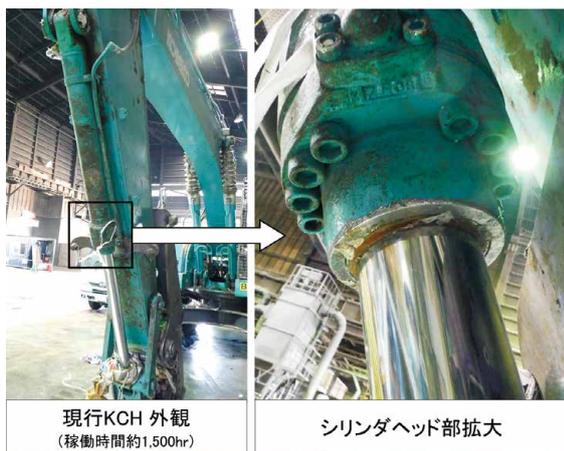


図6 現行KCH搭載 産廃リサイクル機

ユーザーによると、この用途では、バケットシリンダのロッド部からの油漏れが多発しており、対策としてロッドカバー（ブーツ）を装着しても、プラスチックごみの中でシリンダを伸縮作動させることから、すぐに破れてしまうとのことである。この産廃リサイク

ル機において、バケットシリンダをKCH-UDへ交換し、同様の作業を実施頂いた。交換後1,000hr以上の稼働を行った結果、チューブ外表面にはプラスチックごみの接触による傷や汚れが確認されるものの、ロッド摺動部の傷付きはほとんど確認されず、ワイパリングのダストリップ部も健全であることを確認した。また、チューブ上に配管やバンドがないことから、配管損傷による油漏れリスクを撲滅できる（図7）。



図7 KCH-UD搭載 産廃リサイクル機

ユーザーからは「これまで多発していたロッドの傷付き、油漏れに対する根本的な解決手段になり得る」とのコメントを頂いた。

6.2 建築廃材リサイクル機

マグネット付圧碎機を装着し、鉄筋コンクリート廃材から鉄筋を回収する作業に用いられる建築廃材リサイクル機では、現行KCHの場合、作業中に鉄筋がロッド摺動部に接触し、油漏れに至る事例がある。これに対し、KCH-UDはロッド摺動部が圧碎機から離れていることで、鉄筋がロッド摺動部に接触するリスクを低減できる（図8）。



図8 KCH-UD搭載 建築廃材リサイクル機

6.3 汚泥処理機

一般的な掘削用バケットを装着し、汚泥の処理作業に用いられる機体では、汚泥の中にアームを深く挿入して作業するため、現行KCHでは、ロッド摺動部やシリンダヘッド部に汚泥が付着しやすい。また、この汚泥は乾燥すると、ダストシールで掻き取りきれないほど固くなることで、シリンダ内への砂粒侵入による油漏れや、作動油の汚染が生じる。KCH-UDでは、ロッド摺動部やシリンダヘッド部に汚泥が接触、付着する機会が減少し、シリンダ内部へのコンタミ侵入、シリンダ油漏れを防ぐことができる（図9）。



図9 KCH-UD搭載 汚泥処理機

6.4 一般土木作業機

法面用バケットを装着し、造成作業を行う一般土木作業機では、法面を造成する作業自体ではロッドに土砂を接触させることはほとんどないが、掘削用バケットへ交換し、ピット掘りのように深く掘る作業を行う場合、不注意でロッド摺動部を掘削物に当ててしまうこともある。KCH-UDでは、こうしたオペレータの不注意による操作ミスに対しても、即油漏れに繋がるロッド摺動部への傷付きリスクを低減できる（図10）。



図10 KCH-UD搭載 一般土木作業機

7 おわりに

今回、実際に稼働している油圧ショベルにて評価を行うことで、これまでのKCHでは防ぎきれない油漏れ不具合に対するKCH-UDの有効性を確認できた。今後、さらに多くのユーザー様に使用して頂くことで、シリンダの油漏れ不具合低減、さらには油圧ショベルの信頼性向上と発展に繋げていきたい。

最後に、本製品の開発にあたりご協力頂きましたコベルコ建機様、関連協力会社の皆様、社内各部門に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 原：回想，KCHの誕生，KYB技報第56号（2018年4月）。
- 2) 高橋：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，KYB技報第54号，（2017年4月）。
- 3) 上倉：ピストンロッド内配管シリンダの開発，KYB技報第50号，（2015年4月）。
- 4) 高井：油圧ショベル用シリンダ変遷，KYB技報第50号，（2015年4月）。

著者



船戸 泰志

2004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岐阜南油機技術部シリンダ設計室。油圧ショベル等のシリンダ製品開発に従事。

水圧電磁比例制御弁の安定性に関する考察^{*}

Stability of Water Hydraulic Proportional Control Valves

吉 田 太 志
YOSHIDA Futoshi

要 旨

作動流体に清水を用いた水圧電磁比例制御弁は高いエネルギー密度と制御性を持ち、かつ高い環境性と安全性、衛生性を兼ね備えた流体制御機器のひとつである。このような特長をもつ制御弁は、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、水中作業機械などの多岐にわたる製造装置への応用が期待される。本制御弁の作動流体は低粘性のため、摩擦・磨耗を防ぐための静圧軸受けと案内弁が安定して動作するための減衰絞りを設けている。更に制御弁の性能の向上のため、補償回路により、スプール変位を制御パラメータとしてフィードバック制御を行っている。既報において制御弁単体の理論解析と実験的検証から、補償回路、ソレノイド及び案内弁の3つの要素に分けた伝達関数を定義づけ、これらをフィードバック結合することで制御弁単体の特性が三次の伝達関数で表せることを提案し、各種設計パラメータが周波数特性やステップ応答特性に及ぼす影響を検証してきた。その結果、ソレノイドの推力特性と案内弁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り、その応答特性は補償回路を含めると三次の伝達特性となって不安定要素が包含されることが明らかになった。しかし、補償回路が加わることによる安定性への影響は十分に考察されていない。本報では、提案している制御弁の安定性に関して設計的視点から検討し、特に補償回路のパラメータの影響について言及する。

Abstract

Water hydraulic proportional control valves using tap water as their working fluid provide fluid control solutions with excellent power density and controllability similar to oil hydraulic equipment as well as high levels of environmental friendliness, hygiene, and safety. Control valves with these features are expected to find application in a wide range of manufacturing equipment for foods, drinks, semiconductors, medical/pharmaceutical products, cosmetics, chemicals, renewable energy, and underwater work equipment. Since these valves use a low-viscosity working fluid, they have hydrostatic bearings for friction/wear prevention and damping orifices for stable pilot valve operation. They are also equipped with a compensating circuit to provide feedback control, using spool displacement as a control parameter, for improved valve performance. The previous report proposed, based on theoretical analysis and experimental verification of each valve, that valve characteristics can be represented using a cubic transfer function by defining transfer functions for three valve components, namely the compensating circuit, the solenoid, and the pilot valve, and performing feedback connection of these components. It also examined the effects of design parameters on frequency and step response characteristics, revealing that, while the thrust characteristics of the solenoid and the transfer characteristics required due to the geometric structure of the pilot valve are always stable, the valve response characteristics are determined by a cubic transfer function including the compensating circuit and may include unstable elements. However, effects on stability due to the addition of a compensating circuit are not adequately considered. This report examines design considerations for valve stability and discusses the effects of parameters associated with the compensating circuit.

^{*}The 12th International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization (FLUCOME2013), 奈良 (2013年11月)にて発表

1 諸言

作動流体に清水を用いた水圧機器・システムは高いエネルギー密度と制御性を持ち、かつ高い環境性と安全性、衛生性を兼ね備えた流体制御機器のひとつである。このような特長をもつ制御弁は、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、水中作業機械などの多岐にわたる製造装置への応用が期待される。特に波力・風力発電及び、海底掘削などの高い安全性と環境性が必要な海洋開発機械への応用や、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、衛生度が高く洗浄性を備えたシステムの実現が期待されている。その中の共通技術として力、位置、速度制御の高性能化を実現するための手段の一つが水圧電磁比例制御弁である¹⁾。本制御弁は、作動流体が低粘性であるが故に機器動作に減衰効果を与えるためには何らかの工夫が必要である。ここではスプールの動作に対してメータイン/メータアウトを組合わせた構造としている。制御弁の応答性に対してこれらの構造に起因する影響については既に報告している^{2), 3), 4), 5)}。

既報において制御弁単体の理論解析と実験的検証から、補償回路、ソレノイド及び案内弁の3つの要素に分けて伝達関数を定義づけ、これらをフィードバック結合することで制御弁単体の特性が三次の伝達関数で表せることを提案し、各種設計パラメータが周波数特性やステップ応答特性に及ぼす影響を検証してきた。その結果、ソレノイドの推力特性と案内弁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り、その応答特性は補償回路を含めると三次の伝達特性となって不安定要素が包含されることが明らかになった。前報では、静圧軸受け絞りと減衰絞りの等価直径比 Cr が制御弁の応答性に及ぼす影響を調査した⁵⁾。本報では、制御弁の安定性に関わる補償回路と Cr の関連について言及する。

2 構造と特長

図1に水圧電磁比例制御弁の構造、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、摺動部の隙間に水膜を形成するのが困難である。そのため、本制御弁のスプールの両端を静圧軸受けで支持し、スプールの両端をスリーブに対して非接触で変位し、摺動による摩擦・摩耗の低減を図る構造になっている。静圧軸受けを通過した水は、スプールの両端の圧力室へ導かれている。スプールの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が、単に絞りによる減衰効果は「水」のような低粘性流

体では得られにくい。図2に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を模式的に示す。静圧軸受け絞りは、摺動による摩擦・摩耗の低減効果のほかに、スプールとの位置関係から明らかなように、スプールの動きに対してメータイン回路として機能し、スプール動作の応答性向上の効果も併せ持つ。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ている。後述するように、これらの機能をより効果的に作用させるためには、スプール動作に対して、2箇所絞りの相対的な影響を知っておくことが重要である。

スプールの両端はソレノイドの推力とばね力とのバランスで定位している。ここで、図1に示すように引張りばねを用いることで、スプールの片側が自由端となるため、スプールにかかるモーメントや横力を低減し、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3に制御弁内で構成されるシステムのブロック線図を示す。本制御弁は、補償回路、ソレノイド、案内弁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。案内弁の制御はスプール変位を作動変圧器(LVDT)で検出し、これ

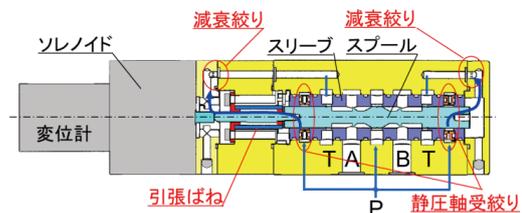


図1 水圧電磁比例制御弁の構造

表1 主な仕様

項目	仕様
定格流量	[L/min] 20
定格圧力	[MPa] 14
使用圧力範囲	[MPa] 3.5~14
使用温度範囲	[℃] 2~50
作動流体	水道水
入力電圧	[V] ±10

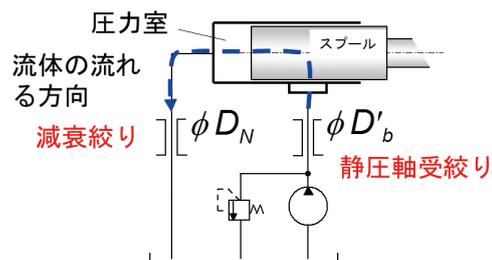


図2 静圧軸受け絞りと減衰絞りのスプールに対する位置関係

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。

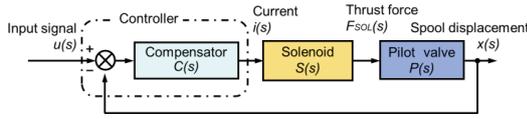


図3 ブロック線図

3 伝達関数と特性方程式

図4に解析モデルのパラメータ定義図を示す。以下に各要素について説明する^{2).3).4)}。

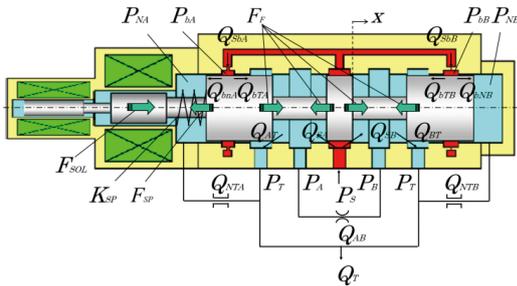


図4 パラメータ定義図

3.1 補償回路C(s)

補償回路は一般的なPIコントローラとし、式(1)で定義する。

$$C(s) = \frac{kpT_s s + kp}{T_s} \quad (1)$$

3.2 ソレノイドの伝達関数S(s)

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、時定数 τ_{SOL} を用いて式(2)の伝達関数で表現できる³⁾。

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

3.3 案内弁の伝達関数P(s)

案内弁の伝達関数P(s)は、各部の圧力、流量を平衡点近傍において線形化し、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)の各パラメータは表2で定義する。ここで、 Cr は、減衰絞りと静圧軸受け絞りの等価直径比である。静圧軸受け絞りの直径は、スプールの円周方向に4カ所配置されていることから、これらを一つの絞りとして等価直径 D'_b で表し、減衰絞りの直径 D_N との比を $Cr = D_N / D'_b$ で定義した。静圧軸受け絞りの流れはレイノルズ数 Re から層流と判断し、チョーク絞りとして α_b 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、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た。

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

表2 パラメータ一覧

$C_r = \frac{D_N}{D'_b}$	$D'_b = 2D_b$
$D_N = 2C_r D_b$	$\zeta = \frac{2A_{SPL}^2}{\alpha \cdot \alpha_{bN}}$
$R_e = \frac{2wD_b}{v} C_r$	$T_L = \frac{\Gamma - \zeta}{K_{SP} + \beta}$
$K_L = \frac{1}{K_{SP} + \beta}$	$\alpha_b = \frac{\pi \cdot D_b^4}{32 \cdot \mu \cdot L_b}$
$\alpha_{bT} = \frac{\pi \cdot D_{SPL} \cdot \delta^3}{12 \cdot \mu \cdot L_{bT}}$	$\alpha_{bN} = \frac{\pi \cdot D_{SPL} \cdot \delta^3}{12 \cdot \mu \cdot L_{bN}}$
$W = \frac{4Q_{NTO}}{\pi \cdot 2^2 D_b^2} \frac{1}{C_r^2}$	$\alpha_N = \frac{\pi^2 2^5 D_b^5}{16 \rho L_{NT} Q_{NTO} \cdot \lambda} C_r^5$
	$\Gamma = (L_{bn} + L_{bT}) \frac{2\pi \cdot D_{SPL} \cdot \mu}{\delta}$
	$\alpha = \frac{\alpha_{bN}}{\alpha_{bN} + \alpha_{bT} - \alpha_b} - \frac{\alpha_N}{\alpha_{bN}} - 1$
	$\beta = 8 \cdot C \cdot L_w \cdot (P_s - P_L) \cot(\theta)$
	$\lambda = 0.3164 \cdot \left(2 \frac{wD_b}{v}\right)^{-0.25} C_r^{-0.25}$

3.4 開ループ伝達関数V(s)

以上で定義した3つの要素のうち、ソレノイドと案内弁により構成される伝達特性は図5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(4)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(5)~式(7)で表される。開ループ伝達関数の固有振動数は式(5)のように案内弁とソレノイドの推力の応答特性の時定数で決まる。

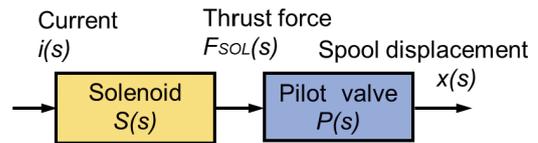


図5 補償回路を除いたソレノイドと案内弁のブロック線図

$$V(s) = \frac{K\omega^2}{s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2} \quad (4)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{T_L \cdot \tau_{SOL}}} \quad (5)$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\tau_{SOL}\omega} + \tau_{SOL}\omega \right) \quad (6)$$

$$K = \frac{K_{SOL}}{K_{SP} + \beta} \quad (7)$$

3.5 一巡伝達関数 $V_{SYS}(s)$

更に、図3に示したように補償回路を含めた制御弁システムにおける一巡伝達関数 $V_{SYS}(s)$ は、式(1)、式(4)のフィードバック結合により式(8)で表すことができる。

$$V_{SYS}(s) = \frac{C(s)v(s)}{1 + C(s)V(s)} = \frac{k_p K \omega^2 \left(s + \frac{k_p K \omega^2}{T_I} \right)}{s^3 + 2\zeta \omega s^2 + (1 + k_p K) \omega^2 s + \frac{k_p K \omega^2}{T_I}} \quad (8)$$

上記で求めた一巡伝達関数 $V_{SYS}(s)$ の特性方程式は、以下の式(9)で表される。

$$T_I s^3 + 2T_I \zeta \omega s^2 + (1 + k_p K) T_I \omega^2 s + k_p K \omega^2 = 0 \quad (9)$$

4 安定性に関する考察

補償回路を含めた制御弁における特性の安定性を調べるには、補償回路を含めた式(9)の特性方程式をもとに検討することが可能である。

4.1 ソレノイドと案内弁部の動特性に及ぼす Cr の影響⁵⁾

案内弁の安定性に関わるパラメータとして、静圧軸受け絞りと減衰絞りに注目して検討する。前述のとおり、これらはスプールとの位置関係によって、それぞれメータイン回路、メータアウト回路を構成し、スプール動作に対して、応答性と減衰性の相反する効果をもたらす。これにソレノイドの一次遅れ系の推力特性が加わることでソレノイドと案内弁の応答特性が決まる。これらの影響について、静圧軸受け絞りと減衰絞りの等価直径比で定義した Cr と式(3)で定義した案内弁の伝達関数の時定数 T_L と式(4)で定義した案内弁とソレノイドを含めた伝達関数の減衰係数 ζ により考察する。図6に Cr と時定数 T_L 及び減衰係数 ζ の関係を示す。

時定数 T_L は Cr の増加に対して反比例して減少している。これは、 Cr が小さい場合、減衰絞りが静圧軸受け絞りに対して相対的に小さいことを意味し、メータアウトの効果でスプールの応答が遅くなる。逆に Cr が大きくなるに従い時定数 T_L が反比例して小さくなり、静圧軸受け絞りによるメータインの効果で応答が速くなる。

減衰係数 ζ は、 Cr の値に関わらず ζ は常に正である。従ってシステムへ応用する際は、あらかじめ共振周波数を避けて設計することが可能である。

$Cr=0.69$ で減衰係数 ζ が最小値1となるため、過渡応答においてオーバシュートを生じない臨界制動になっている。更に Cr が大きくなると ζ は指数関数的に増大するため、過制動の伝達特性になり、スプールの応答が遅くなる。

以上の結果から、 Cr が小さすぎると時定数 T_L が大きくなることで応答が遅くなり、 Cr が大きすぎると減衰係数 ζ が増大することにより応答が遅くなるので、 Cr をある範囲に設定することでソレノイドと案内弁の応答性を改善することができる。前報において Cr の最適値は $Cr = 0.69 \sim 1.6$ の間にあることが示されている⁵⁾。

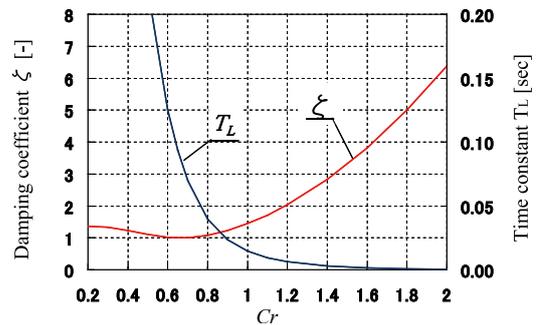


図6 Cr と時定数 T_L 及び減衰係数 ζ の関係

4.2 補償回路を含めた総合的考察

前述のとおり、 Cr をある範囲に設定することでソレノイドと案内弁の応答性が良くなることを示したが、これに補償回路が加わることで制御弁の応答性は式(8)で表現されるように、不安定要素が包含されることが予測される。制御弁を安定に制御するためには、 Cr に着目した補償回路の制御パラメータとの関連を知っておくことが重要である。そこで、式(9)で表される制御弁の伝達関数の特性方程式に対して、Hurwitzの安定判別法を適用し、補償回路の制御パラメータと Cr の関係から制御弁の安定性について検討する。式(9)の特性方程式の各係数 $a_0 \sim a_3$ は、式(10)~(13)として求められる。

$$a_0 = T_I \quad (10)$$

$$a_1 = 2T_I \zeta \omega \quad (11)$$

$$a_2 = T_I \omega^2 (1 + Kk_p) \quad (12)$$

$$a_3 = Kk_p \omega^2 \quad (13)$$

Hurwitzの安定判別法において、この系が安定となるためには、 $a_0 \sim a_3$ の各係数が正であることが必要となる。Hurwitzの行列式は式(14)~(16)で表すことができる。

$$H_1 = a_1 = 2T_I \zeta \omega \quad (14)$$

$$H_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 = 2T_I \zeta \omega T_I \omega^2 (1 + Kk_p) - T_I Kk_p \omega^2 \quad (15)$$

$$H_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_3 H_2 = Kk_p \omega^2 [2T_I \zeta \omega T_I \omega^2 (1 + Kk_p) - T_I Kk_p \omega^2] \quad (16)$$

これらの行列式において、式(14)の H_1 は、式(5)、(6)及び図6から $H_1 > 0$ となることは明らかである。従って、全ての行列式が正になるための条件は、 H_2 が正になることが必要条件で、 ζ で整理すると式(18)が得られる。

$$2T_I \zeta \omega T_I \omega^2 (1 + Kk_p) - T_I Kk_p \omega^2 > 0 \quad (17)$$

$$\zeta > \frac{Kk_p}{2T_I \omega (1 + Kk_p)} \quad (18)$$

つまり、補償回路の制御パラメータが制御弁の特性に及ぼす安定性及び安定限界は、式(18)の不等式により決まる。この式は、制御弁の安定限界の視点から、式(5)、(6)及び図6で示したように減衰係数 ζ 及び固有周波数 ω に含まれる Cr に関係していること、また、補償回路の比例ゲインと積分時間が相互に影響を及ぼし合っていることを示している。以下、各パラメータが制御弁の特性に及ぼす安定性について考察する。

4.3 比例動作と積分動作の相互影響

比例ゲインと積分時間が安定限界に及ぼす相互影響については、式(15)を用いて考察することが可能である。式(15)において、 T_I を大きくすると右辺は0に近づく、一方、左辺 ζ は、式(6)で表されるように補償回路を除いたソレノイドと案内弁の伝達関数の減衰係数であるため、比例ゲイン及び積分時間には依存しない一定値となる。その値は図6で示したとおり Cr に対して常に1より大きい。従って、式(18)は任意の Cr 及び K_p に対して不等式を満足するため、比例ゲイン K_p は制御弁の安定性に対して及ぼす影響はなく、比例動作のみでは制御弁は常に安定となる。

図7(a), (b), (c)に比例制御のみの場合のステップ応答の実測結果を示す。代表例として、 Cr はややメータインの効果をもつ $Cr=1.2$ を選定し、比例ゲイン $K_p=2, 6, 10$ の場合を示す。 K_p を大きくすると、立上りが速くなり、オーバーシュートが発生、振動しながらも収束し安定に至っている。ここで、実測結果から、 $K_p=10$ までは安定と判断できるが、立上りで振動が発生しているため、 K_p を更に大きくすることでより振動的になる可能性が予測される。

図8に同条件でのシミュレーション結果を示す。シミュレーション結果においても $K_p=10$ までは安定しており、解析結果と定性的に一致している。

$K_p=6$ までは立上り及び減衰特性については実測結果と同様の傾向が確認できる。なお、実測とシミュレーションの結果ではその振動周波数に違いが見られるが、これは、数式モデルでは、比例弁の実用的な使用周波数域を対象とし、高周波数域で共振周波数を持つ慣性項を考慮していないためと考えられる。シミュレーション結果では定常偏差が1%程度で

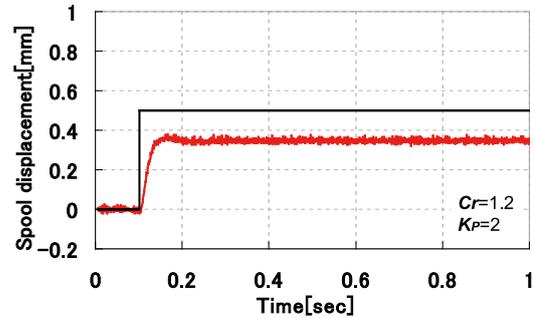


図7(a) 比例制御のみの実測結果 ($K_p=2$)

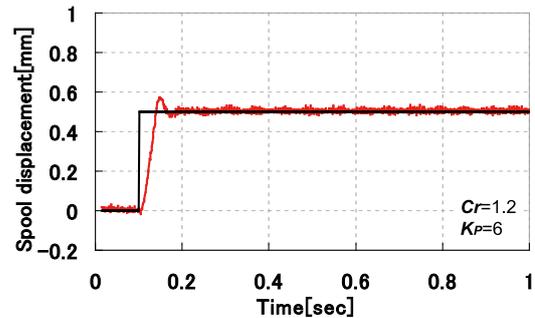


図7(b) 比例制御のみの実測結果 ($K_p=6$)

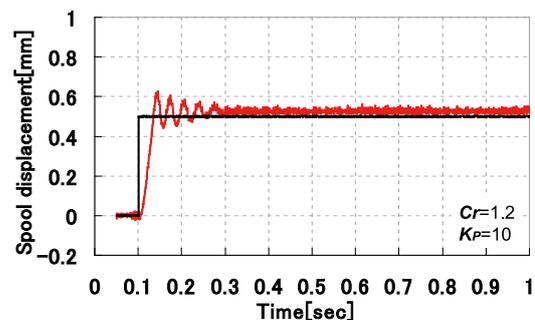


図7(c) 比例制御のみの実測結果 ($K_p=10$)

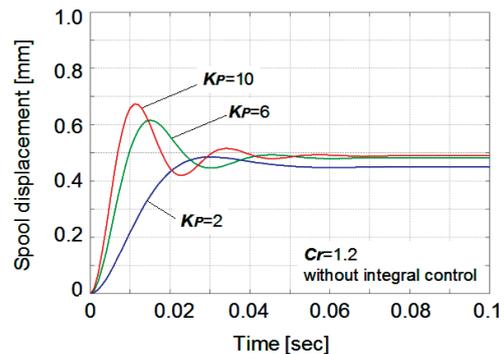


図8 比例制御のみのシミュレーション結果 ($Cr=1.2$)

あり、これを除去するには一般的には積分動作を加えることが必要である。図9に $Cr=1.2$ 比例ゲイン $K_p=6$ の場合の積分時間に対する安定限界を示す。図9において、式(18)の不等式を満足する領域が安定となり、この場合、 $T_I=5$ msec程度が安定限界であることを示している。これを実験的に確認するために図9の(a)、(b)に示した条件で行ったPI制御によるステップ応答の実測結果を図10(a)、(b)に示す。 $T_I=20$ msecのときは、立上り後0.2秒程度で収束し、安定しているが、 $T_I=4$ msecにすると安定限界を超えて持続振動が発生し、不安定になっていることが分かる。ちなみに図11に $T_I=20$ msec、 $Cr=1.2$ の場合の比例ゲインに対する安定限界の関係を示す。 $K_p=1$ 以上である一定値に漸近し、 $K_p=0\sim10$ の範囲で ζ よりも小さいことから、比例動作は制御弁としての安定性に及ぼす影響はないことが分かる。

以上の結果から積分動作を入れることで安定範囲が狭くなることがわかった。図7(b)に示した実測結果において、 $K_p=6$ 程度では定常偏差は測定誤差範囲に含まれてしまうほど小さいと考えられ、これ以上に定常偏差に対して精査する必要がなく、比例動作のみでも実用上十分な定常特性が得られていると判断できる。従って、定常偏差をある程度、許容することで比例動作のみでも安定して制御弁を制御することが可能であり、補償回路の簡略化やコスト低減を図ることができる。

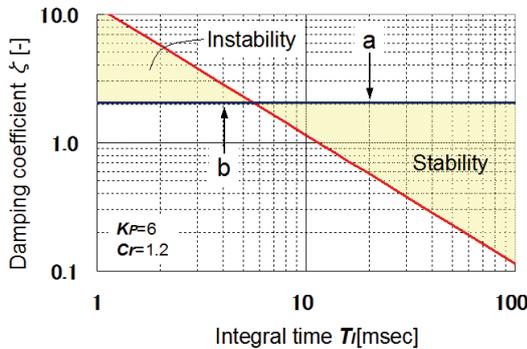


図9 積分時間と安定限界の関係

4.4 Cr の応答性への影響

このように補償回路の比例動作と積分時動作が制御弁の安定性に及ぼす影響を考察した結果、比例ゲインは安定性への影響は小さく、積分時間を加えることで不安定になる可能性を示した。比例動作のみでも基本的には安定なので、次に比例動作と Cr の応答性について考察する。図12に Cr の応答性へ及ぼす影響を示す。 Cr を大きくすると立ち上がりが速くなり、応答性に効果がある。これは、立ち上がりは案内弁の Cr に依存した伝達関数の時定数 T_L が小

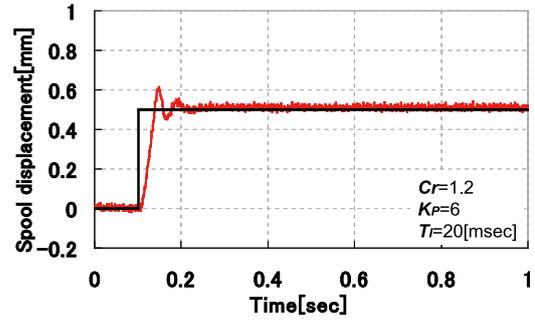


図10(a) ステップ応答における積分時間の影響の実測結果 ($T_I=20$ msec)

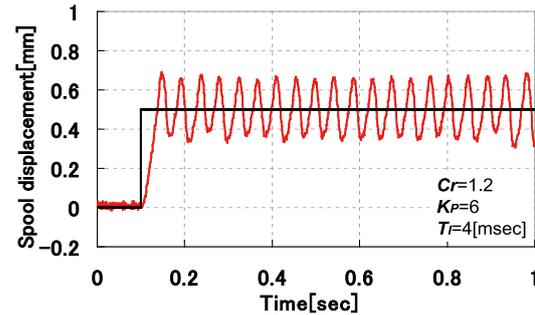


図10(b) ステップ応答における積分時間の影響の実測結果 ($T_I=4$ msec)

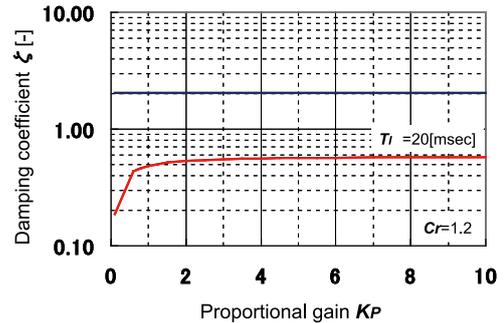


図11 比例ゲインと安定限界の関係

さいためにメータインの効果が強くなり、目標値に近づくと、ソレノイドと案内弁で決まる伝達特性の減衰係数 ζ が大きいことにより減衰効果が大きく作用し、全体としてオーバーシュートが小さく、かつ立ち上がりが速い特性が得られるためと考えられる。図13は $Cr=1.2$ と 1.6 の場合の実測結果である。 Cr が大きいほうが応答性に優れる。しかしながら、前述のとおり、実測においては立ち上がりが速くなると振動的になる。一方、振動を抑えるために比例ゲインを小さくすると定常偏差が大きくなるため、不安定要素である積分動作を加えることが必要になる。

以上の結果から、実用性の観点において、本制御弁の応答性と安定性から判断すると、比例動作のみの制御で比例ゲインに適値が存在する。

5 結言

設計的視点で、提案している水圧比例制御弁の安定性に関して検討した結果、特に設計パラメータ Cr と補償回路の影響について以下のことが明らかになった。

- 1 Cr を 1 よりも大きい範囲で設定するとメータインの効果により、立ち上がりが速くなり、安定性を確保しつつ応答性に効果がある。
- 2 実用的に要求される応答性とある程度の定常偏差を許容することで比例動作のみでも安定して制御弁が機能する比例ゲインの適値が存在する。

- 3 比例ゲインは、制御弁としての安定性に及ぼす影響は極めて小さく、積分動作を加えることで安定範囲が狭くなる。

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, ©Copyright JHPS, 1999 All rights reserved. Japan
- 2) Yoshida, F., Miyakawa, S., Characteristics of Proportional Control Valve Using Tap Water, the 7th International Fluid Power Conference, Group H, 445-456, 22-24 March 2010, Aachen, Germany.
- 3) Yoshida, F., Miyakawa, S., Dynamic Characteristics of Proportional Control Valve Using Tap Water—Experimental Examination—, the Twelfth Scandinavian International, Conference on Fluid Power, Vol. 2 469-480, 18-20 May 2011, Tampere, Finland.
- 4) Yoshida, F., Miyakawa, S., Effect of Parameters on Frequency Characteristics of Proportional Control Valve Using Tap Water, the 8th JFPS international Symposium on Fluid Power in Okinawa, Japan, on October 25-28, 2011, CD-ROM.
- 5) Yoshida, F., Miyakawa, S., Effect of Design Parameter on Response Characteristics of Water hydraulic proportional Control Valves, The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, Proceedings, ISBN: 978-91-7519-572-8, June 3-5, 2013, Linkoping, Sweden.

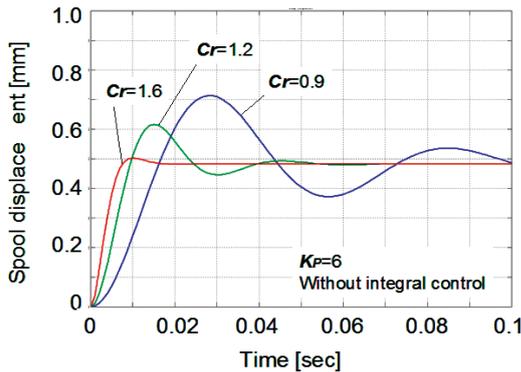


図12 Cr の応答性への影響 (シミュレーション結果)

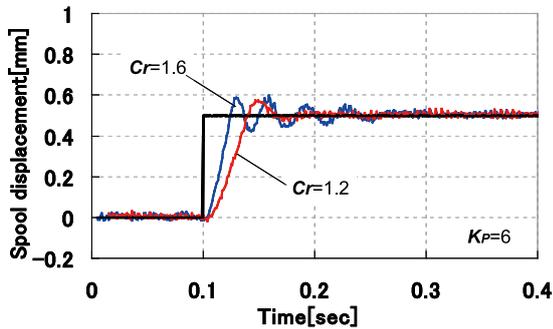


図13 Cr の応答性への影響 (実測結果)

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。博士（工学）。水圧機器・システムの研究・開発に従事。



ニュルブルクリンク24時間レース活動の紹介

辻 亘 ・ 富山 宗輝

1 はじめに

過去、KYB技報第38号随筆「ニュルブルクリンクでのチューニング事情」、同第43号製品紹介「レクサスLFA用ショックアブソーバ」として、ドイツニュルブルクリンク（以下ニュル）については触れている。今回3回目として「ニュル24時間（以下24h）レース」用ショックアブソーバ（以下SA）と開発事情などについて紹介する。

2 ニュルとの関わり

KYBとニュルとの関わりを振り返ると、

- ①筆者の一人がトヨタNチーム出向中に故成瀬マスタートライバー（以下成瀬さん）を中心として始まったTOYOTA GAZOO Racing（以下TGR）の「ニュル24hレース」活動：2001年～現在に至る（レース参戦活動は2007年～）
- ②「Tri-d-Master」の開発：2005年頃
- ③各カーメーカー（国内・海外）との量販車向けSAチューニング：随時実施

などが上げられる。継続的に行っているのは①TGRとの「ニュル24hレース」活動となる。

3 KYBと「ニュル24hレース」活動

3.1 活動経緯

成瀬さんとのSA開発活動やニュルを使っの車両評価テスト・育成活動などから、2007年にはニュルで開催されている24h耐久レースへ参戦する運びとなった。一連の活動の流れから、このレース用SAも任されることとなったが、今から考えると実にチャレンジな機会を与えて頂いたと思う。初めての参戦車両は当時既に生産が終了していたアルテツァであった。

3.2 「ニュル24hレース」とは

ドイツ北西部ニュルにて行われる「世界一過酷な

耐久レース」と呼ばれる。20.8kmにも及ぶ通称「北コース」と5.1kmの通称「グランプリコース」を連結した約25kmのコースを24時間の総周回数で競う耐久レースである（写真1）。近年プロフェッショナル化が進められているものの、元来はローカルレースでありアマチュアドライバーの参戦と多種多様な参戦車両から、車速に大きな違いのある車両が多数混走するという特徴がある。



写真1 ニュル24hレースPIT風景（TGRより）

3.3 TGR参戦車両

表1に、主な「ニュル24hレース」クラス分けを示す。

表1 24h/SPECIAL（SP）クラス

24h/SPECIAL (SP) クラス	排気量(cc)		備考 (◆: TGR参戦クラス)
	下限	上限	
SP2T (T: ターボ付) ◆	1350	1600	現行最小クラス
SP3 ◆	1750	2000	幅広い車種が参戦
SP3T ◆	1600	2000	主に2Lターボ車が参戦
※SP4～SP7, SP8T(6クラス)は省略			
SP8 ◆	4000	6250	主に大排気量スポーツカーが参戦
SP-PRO ◆	3000	上限なし	特別に承認されたプロトタイプ等のクラス 改造範囲は広いがリストラクチャー規制あり
SP9	FIA-GT3ホモロゲーションに準拠		
SP10	近年設定されたSRO-GT4ホモロゲーションに準拠		
SP-X	どのクラスにも適合しないスペシャルマシン		

TGRはここまでSP2T～SP-PROまでの5クラスに参戦している。総合優勝を争うのは純粋なレーシングカーと言えるSP9クラスとなるが、TGRのSP8

及びSP-PROクラス参戦車は乗用車ベースとはいえこれに続く速さである。

TGRが2007～2018年まで12年間参戦した全車両

にKYB製SAが装着されている。12年間で8車種用のSA開発を行ってきた。表2に、参戦車両の概略を掲載する。

表2 TGR参戦車両の歴史（写真TGRより）

年度	参戦車両	クラス	車両No	総合順位 (クラス順位)	備考
2007	トヨタアルテッツァRS200	SP3	109	110位 (16位)	生産終了（中古車） 社内ドライバー中心 スタート前豪雨による遅延、濃霧による中断 MORIZO選手出場
			110	104位 (14位)	
2008	レクサスLF-A (開発車両)	SP8	14	121位 (7位)	発売前/開発車両テスト ジャーナリスト・レーサー起用 MORIZO選手出場
2009	レクサスLF-A (開発車両)	SP8	14	87位 (4位)	未発売開発車両テスト（継続） プロレーサー一部起用 MORIZO選手出場
			15	リタイヤ	
2010	レクサスLFA (デリバリー直前)	SP8	50	18位 (1位)	タイヤサイズ変更など大幅なUpdate実施 本格的にプロレーサー起用 初のクラス優勝達成
			51	規定周回数 不足	
2011	レクサスLFA	SP8	87	134位 (8位)	LFA：4年目
			88	41位 (3位)	
2012	レクサスLFA	SP8	83	15位 (1位)	LFA：5年目 86：初年度 初の3台体制参戦
	トヨタ86	SP3	165	65位 (6位)	
			166	46位 (1位)	
2013	レクサスLFA	SP8	79	36位 (2位)	LFA：6年目 降雨による9時間の中断 MORIZO選手出場 ジャーナリスト、社内Dr等の復活
	トヨタ86	SP3	135	DNS	
			136	63位 (2位)	
2014	レクサスLFA	SP8	48	13位 (1位)	LFA：7年目（最終） 86：3年目（最終） 再び先行開発車として LFA Code X参戦 MORIZO選手出場
	レクサスLFA Code X	SP-PRO	53	11位 (1位)	
	トヨタ86	SP3	86	54位 (1位)	
2015	レクサスLFA Code X	SP-PRO	53	14位 (1位)	事前レース事故での速度規制 開発車2台参戦（原点回帰と新たな挑戦のスタート） TOYOTA GAZOOR acingとしての参戦
	レクサスRC	SP3T	187	39位 (4位)	
2016	レクサスRC F	SP-PRO	36	24位 (1位)	一部レースチーム体制での参戦（RC F） RC：2年目 C-HR：初参戦 雹による3時間の中断 社内ドライバー復活（1名）
	レクサスRC	SP3T	188	リタイヤ	
	トヨタC-HR	SP2T	326	84位 (3位)	
2017	レクサスRC	SP3T	170	25位 (2位)	RC：3年目 社内ドライバー出場（1名）
2018	レクサスLC	SP-PRO	56	96位 (1位)	LC初参戦 濃霧による2時間の中断

4 ニュル24hレース用SA

4.1 ニュル「北コース」の特徴

「ニュル24hレース」を過酷と云わしめる最大の要因は、言うまでもなく「北コース」と呼ばれる Nordschleife（ノルドシュライフェ）を使って行われることにある（写真2）。通常のサーキットと比較した場合、

- (1)世界最長である。
 - ①トラブル等あった場合、PITへ戻るのが容易ではなくロスタイムも大きい
 - ②部分的な降雨など、場所によって1周の中でも路面状況が大きく異なる場合がある
- (2)アップダウンや路面の起伏により常に上下左右方向に入力がある。
 - ①高低差が300mもある
 - ②ジャンピングスポットが幾つか存在する(写真3)
- (3)路面 μ が一般道並みに低い。
- (4)172ものコーナーがある。

超低速～超高速（50～250km/h超）まで
- (5)荒れたコンクリート路のバンクがある（写真4）。
- (6)縁石が高い。

ショートカットなどライン取りが容易でない
- (7)コース全体の平均スピードが高い。
- (8)コース幅・エスケープゾーンが狭い。

コースオフ≒即クラッシュとなる危険が高い
- (9)山間部であり、天候・気温の変化が激しい。



写真2 ノルドシュライフェ（車の大辞典cacacaより）



写真3 ジャンピングスポット（TGRより）



写真4 名物「カルーセル」（TGRより）

寒さ・暑さ・雨・霧・電など

4.2 求められるSA性能

「ニュル24hレース」では、前述した「北コース」の特徴からも分かるように、SAも過酷な状況下で使用されるため求められる性能も高い。特に以下が重要であると考えられる。

- ①激しい路面の起伏に追従するしなやかなストローク
- ②優れた操縦性と車体安定性を実現するための高い路面接地性
- ③大小様々な入力に対応する広範囲の減衰力特性

4.3 初参戦用SA

2007年当時、当社にアルテツァ向けレース用SAはあったが、既存の物をそのまま投入することはしなかった。それは成瀬さんと活動を共にする中で知らずに身についた以下の2つの「教え」の様なものがあつたからである。

- ①けっして妥協せず少しでも性能の良いものを求める姿勢
- ②1秒前の技術はもう古い、常に進化を追い求める姿勢

自分でも気づかないうちに染みついたこの「教え」により、出来るだけ性能の高いSAを投入したいという「強い想い」につながっていったのである。全く新しい構造のSAを投入し、SAとしてはトラブルなく完走に貢献できたことは何よりの成果であった。2007年初参戦時のこうした想いは12年間継続された今でも守られており、以下の設計思想につながっていったのである。

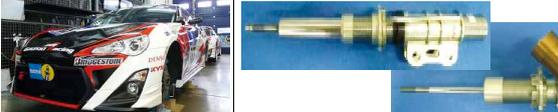
①SA基本性能の重視

（特性調整機能などのレースフィールドにおける利便性よりも、まずは基本性能の重視）

②軽量化よりも十分な強度と信頼性の確保

これらとはかく誤解されがちであり、時には議論となったり、時には自分達を追い込んだりもしたが、これもあくまで「ニュル24hレース」に参戦し始めた成瀬さんの想い・考えを軸に活動を継続されてい

表3 TGR参戦全車両用SA

年度	参戦車両	アブソーバ	アブソーバ概要
2007	トヨタアル テツァ RS200		<ul style="list-style-type: none"> ・ニュル24hレース用SAへの挑戦 (性能と信頼性) ・スルーロッド構造 (簡易型) 開発
2008 2009 2010	レクサス LF-A		<ul style="list-style-type: none"> ・LF-A用量産仕様での挑戦 (摺動部等一部試作)：2008～09年 ・改良ベースバルブ開発 (応答性向上狙い)：2010年
2011 2012 2013 2014	レクサス LFA		<ul style="list-style-type: none"> ・本格的なスルーロッド構造開発と熟成 (更なる応答性向上狙い)：2011～13年 ・減衰力調整式スルーロッドSA開発 (性能と利便性両立)：2014年
2012 2013 2014	トヨタ86		<ul style="list-style-type: none"> ・スルーロッド構造以外での性能の追求 (摺動性、応答性) ・Fr倒立式単筒ガスST開発 ・Rr可変応答調整式単筒ガスSA開発
2014 2015	レクサス LFA Code X		<ul style="list-style-type: none"> ・他社製SAと競合経緯有：2014年 ・2WAY減衰力調整式可変応答タイプ単筒ガスSA開発 (性能と利便性の両立、初の横置き搭載SA)
2016	レクサス RC F		<ul style="list-style-type: none"> ・Code X用SA構造流用 (正立搭載)
2016	トヨタ C-HR		<ul style="list-style-type: none"> ・86用同構造流用し利便性追加 ・Fr倒立式1WAY減衰力調整式単筒ガスST ・Rr2WAY減衰力可変応答調整式単筒ガスSA
2015 2016 2017	レクサス RC		<ul style="list-style-type: none"> ・性能と利便性の両立追求 (圧側可変機構追加) ・3WAY減衰力調整式可変応答タイプ単筒ガスSA開発：2017年
2018	レクサス LC		<ul style="list-style-type: none"> ・2017年RC用SA構造流用

るTGRの活動でこそ許されることである。表3に参戦全車両用SAを示す。

5 SA開発・活動裏話

ここまでの内容で若干触れてはいるが、開発等に関する内容を紹介する。

5.1 開発スタッフ

筆者は2017年から新設の「モータースポーツ部」所属となり、ほぼ専任でこの活動に対応しているが以前は量販車向けSAの性能開発に従事していた。初めからレース用SAを専門に手掛けていた訳ではなかった。

5.2 設計思想

通常はレース用SAのイメージとして

- ①コンパクト・軽量
 - ②格好良いルックス
 - ③高価格
 - ④調整機構満載 (ダイヤルがたくさん付いてる)
- といった事柄が思い浮かぶと思うが、我々の思想を敢えて当て嵌めると以下の様になる。

- ①コンパクト・軽量
→強度面、信頼性重視で最優先事項ではない
- ②ルックス
→基本気にしていない (機能優先)
- ③価格
→安く作ろうとはしてないので唯一合致!?

④減衰力調整機構・構造

→性能重視の観点からシンプルな構造重視
(フルサポート体制なので、内部部品組換えで特性調整実施)

こう書くと前述の様に誤解も招くが、この活動ならではの以下の背景や理由がある。

(背景・理由)

- ①MORIZO^{注1)}選手が乗られる車両であること。
つまり万が一にも壊れてはならない
(絶対的な信頼性と安全性が必要)

注1) トヨタ自動車豊田章男社長のドライバーズネーム

- ②毎年ほんの数か月の短期開発であること。「ニュル24hレース」一本に絞った活動であり、車両も年毎に異なる場合が多く、一発開発となり失敗は許されない
(作り直しや熟成していく時間が無い)

結果として、一般的な開発イメージとは異なる形となってしまふ。また、万全を期すために

- ①使用する部品は、全て性能や信頼性を確認した実績のあるものを使用
(量産部品をそのまま流用という意味ではない)
- ②性能確認も、時には自分達で同じ構造のSAを製作し取付け、実走確認まで実施
- ③SA組立て・組換え等に関しても全て自分達の手で一つ一つ確認しながら実施

5.3 実際の設計

参戦車両毎に条件は異なるが、実際の設計にあたっては量販車向けとは異なり細かな要求仕様が提示される訳ではない。また、参戦するベース車両のSAが当社製の場合は参考図面等も存在するが、他社製の場合も多く、その場合は自分達でサスレイアウトの確認や長さ検討・取付け形状の採寸から干渉予測まで行わなければならないため苦勞する。トヨタ自動車のシャシ設計者が参画されている場合は、上記の様な苦勞は大幅に軽減され、心的負担も減る。

TGR活動の主旨として、一から純粋なレーシングカーを製作している訳ではなく、あくまで量産の、あるいは量産前提の乗用車ベースでの車両製作となっているので、量産乗用車ならではの「作り勝手」や「居住性」重視などにより、スペースが厳しかったり、苦しいサスレイアウトになっている場合もある。また、車高は落としたいがSAのストロークは出来る限り欲しいとか、SAが効率の良い配置にならないとか、シャシ設計を始め関わるエンジニアの方々も常に苦勞が絶えない。SAも例えばストロークを少しでも確保するために、0.1mm単位で部品寸法を削る努力が行われる。図1に「ニュル24hレース」用SAの開発スケジュールイメージを示す。

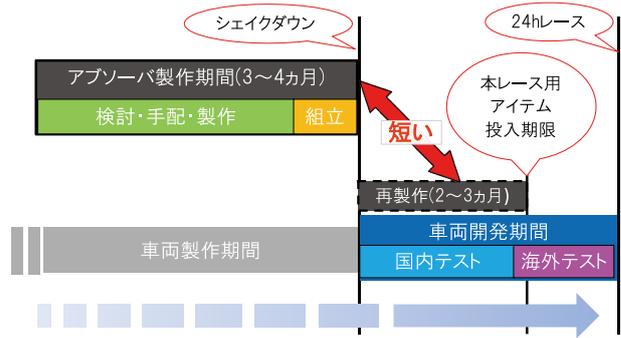


図1 開発スケジュールイメージ

5.4 走り終えたSAは

24hを走り終えたSAがどんな状態なのか興味のある方もいると思う。雨や霧、はては雹まで降り積もることもあり、24hでの走行距離は天候に大きく左右される。過去を振り返ってみると、2014年クラス優勝のCode Xが151ラップしている。つまりスタート～ゴールだけの単純計算で3829km。これに予選やウォームup走行などの周回数として25ラップ程度を加算すると、走行距離はおおよそ4500km程度となる。この数値をどう考えるかはそれぞれではあるが、幸いにこれまでSAが壊れたり性能downにより走行に支障を来したりしたことは一度もない。走行後のSAをチェックしても性能の低下や各部品の劣化などは極めて少ない。これはひとえに前述した思想はもちろんのこと、量産SAメーカーとして日頃各メーカーに鍛えられているおかげではないだろうか。

5.5 他SAメーカー

「ニュル24hレース」には多彩な参戦車が多数出場するが、使用されるSAはレース用で知名度の高いZF・OHLINS・KW・BILSTEIN・MULTIMATIC社製でほぼ占められている。中でもドイツの老舗SAブランドBILSTEIN社は、このレースの冠スポンサーの一つであるため、同社製SAが装着されているか否かに関係なく出場する全車両が同社のロゴを貼付しなければならない規定となっている(写真5)。

因みに2016年RC Fと2018年LCは、SAだけでな



写真5 BILSTEIN社ロゴ (TGRより)

くKYB製レース用EPSも装着されている。

6 課題

SA自体の課題と活動に関する課題がある。

- ①SA製作費が高額になってしまっている
→各 부품の作り勝手（加工のしやすさ）など、
量産的考えの必要性
- ②SAがメンテナンスフリー的な設計になってお
らず、機能や作りを理解した取扱いを要する
（フルサポート体制での機能や作り）
→取扱いの容易性
- ③SA基本性能と利便性の両立
→利便性を欲する声は継続的にある
- ④後任となる専任設計者の不在
→後任候補者選出中

7 TGR「ニユル24hレース」活動を振り返って

TGRの「ニユル24hレース」参戦目的はホームページ等でも繰り返し述べられており、改めて自分が触れる必要もないが、ワークス参戦といったイメージを持たれている方々、あるいはレース関係者などがこの活動内容やレース映像などを見ると、疑問を抱かれたり、現場での当事者たちとは全く異なるご評価だったりする事に驚く場合もある。「レースには参加しているが、レースをしていない」といった本質、「人を鍛え（人財育成）、クルマを鍛える（いいクルマづくり、味づくり）」が原点と分かっているにもかかわらず、現場での戸惑いは、正直なところ2007年の参戦当初からここまで少なからずあった。しかし、そうした中で活動の目的をしっかりと踏まえる事を心掛け、参戦以前からご信頼頂いているTGRのこの活動に少しでも貢献できるようにひたすら努力してきたつもりである。それがTGRのパートナー企業の一つとして12年間活動を共にして頂いている一因と思いたい。

成瀬さんが故人となって久しいが、この活動に携わる方々が変わっても、また成瀬さんを全く知らなくとも活動が脈々と継続されているという事実に、感慨深いものを感じる。この活動自体が、成瀬さん

が遺してくれた目に見えるもの（活動、形）と言えるのではないだろうか。



写真6 成瀬さんを偲びニユル近郊に植樹された桜（TGRより）

8 「ニユル24hレース」活動の意義

この活動がKYBにとってどんな活動なのか、どんな意義があるのかまとめると以下の様に考える。

- ①制約なく技術的なチャレンジができる活動
→技術力を高める絶好の機会
- ②貴重な経験やいろいろな人と交流できる活動
→人財育成
- ③当社SA事業として、豊田章男社長やトヨタ自動車にKYBを直接アピールできる大切な活動
→技術アピールやSA受注・市販化のチャンス
- ④SAメーカーとして、特に量販車向けを主体としているKYBとしては誇れる特別な活動
→KYBブランドのイメージアップ

9 おわりに

「ニユル24hレース」活動に参画させて頂いている部品サプライヤーとして、TGR（トヨタ自動車株式会社）様に厚くお礼を申し上げます。また、レース用SA製作にあたりいつもご協力頂いている部品メーカー様および加工業者様にも心より感謝申し上げます。

最後にもう一度、この様な機会を与えてくれた故成瀬さんに改めて感謝の意を表し締めくくります。

著者



辻 亘

1982年入社。経営企画本部モータースポーツ部専門部長。自動車技術研究所開発実験室，トヨタ出向，技術統轄部車両技術部，開発実験センターなどを経て，現職。



富山 宗輝

2014年入社。経営企画本部モータースポーツ部。開発実験センターを経て，現職。

ピストンロッド曲がり測定・矯正技術の開発

光 尾 崇

1 はじめに

建設機械や農業機械のアクチュエータとして油圧シリンダが用いられている。例えば図1に示すフォークリフトは工場や倉庫などで物品の輸送や保管の際の積みおろし、倉庫での荷役作業を行うための産業車両の一つである。この機体は荷物の下部やパレットに差し込んで持ち上げるフォークとフォークを上昇させるリフトシリンダを備えている。そのリフトシリンダの構成部品のひとつにピストンロッドがあり、ピストンロッド製造工程の一部に、曲がりの測定及び矯正がある。

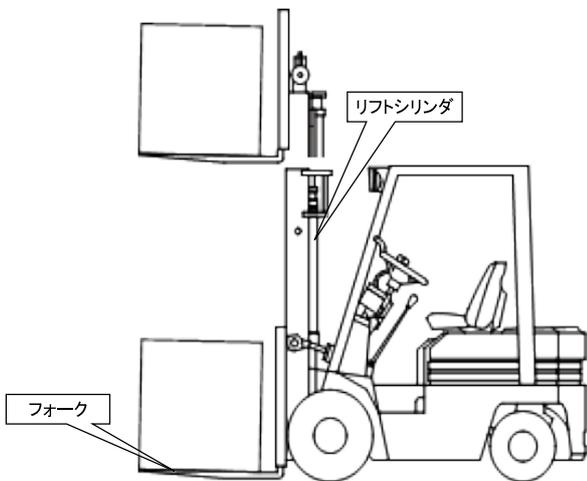


図1 フォークリフト

曲がり矯正工程では図2および図3に示すようにピストンロッドを回転させた時の振れにて曲がりを測定し、曲がりが最大の位置をVブロックで受けて加圧ブロックでワークを押し込み、曲がりを矯正している。ワークを押し込む量は測定した曲がり量より算出している。

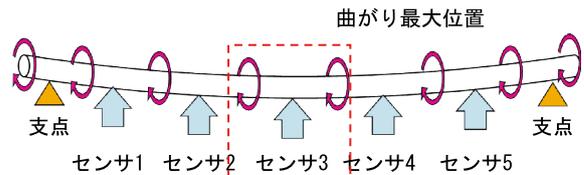


図2 曲がり測定方法

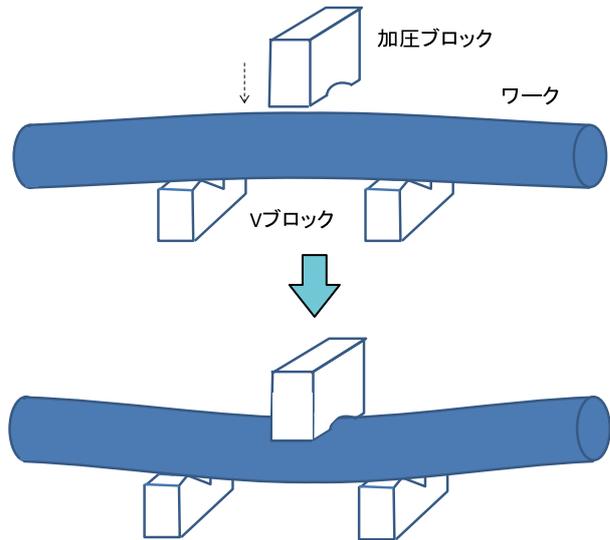


図3 曲がり矯正方法

ただし現状の設備は、曲がりと同時に外形による振れ量も測定している（外形による振れ量の詳細は後述の4.1項にて説明する）ため、真円度の悪い素材が投入されると実際の曲がりが小さくても、設定された矯正アルゴリズムでは曲がりのしきい値を満足せず矯正が完了しないことがある。これにより、矯正工程のサイクルタイム（以下CT）悪化による生産性低下や矯正不良品として廃棄することによる歩留まり悪化の問題がある。

そこで、これらの問題点を解消すべく真円度に影響されない曲がり測定技術を開発し、量産運用に至ったため、その概要について紹介する。

2 開発目的・目標

本技術開発の目的は曲がり測定精度向上による生産性向上と歩留まり改善である。そのため、以下の目標を満たす必要がある。

- (1)曲がり測定精度の明確化
- (2)1本当たりの矯正回数：平均10回以下
- (3)矯正不良数：0/20本（曲がりの大きなワーク対象）

3 対象製品・対象工程について

リフトシリンダの構造は図4に示す通りであり、以下のような機能を有す。また、ピストンロッドの概略図を図5に示す。

- ①油圧ポートから油が供給されることで、ピストンロッドが伸びてフォークが上昇する。
- ②油圧を開放し、自重にてフォークが下降する。

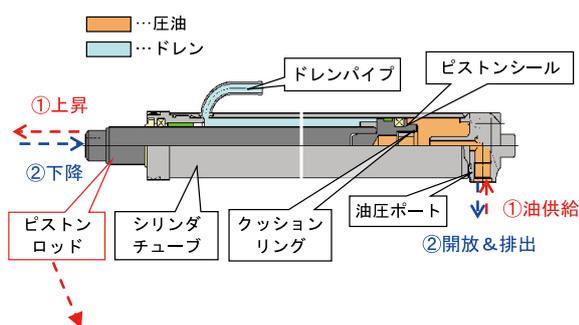


図4 リフトシリンダ構造図

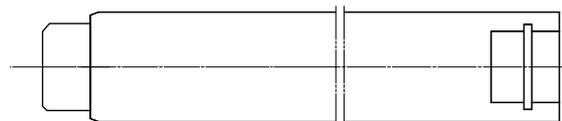


図5 ピストンロッド概略図

ピストンロッド生産工程フローを図6に示す。対象工程である曲がり矯正は、NC加工機におけるワークの振れ防止と切削取り代低減を図るための重要な工程である。なお、本開発の対象であるピストンロッドのサイズは長さL=900~2300mm、外径φ37~52mmである。

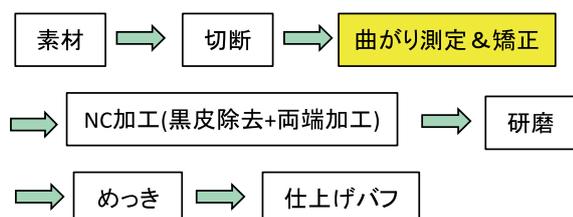


図6 ピストンロッド生産工程フロー

4 現状の問題点

4.1 曲がり測定精度

ピストンロッド曲がり測定状態を写真1に示す。曲がり測定は1項図2のように、両端の支点の部分をローラで受けてワークを回転させ、各測定位置（センサ1~センサ5）の振れ量を測定する。

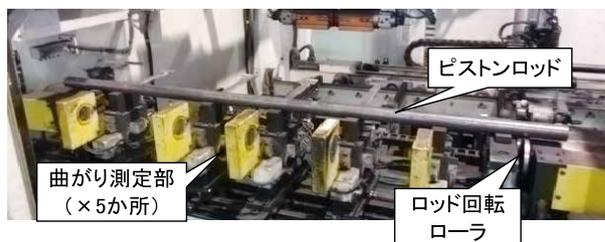


写真1 ピストンロッドと曲がり測定部

この時、図7のように対角上（図でのAとA'、BとB'など）の変位量の差を算出する。その値の最大値を振れ量とし、振れ量の1/2をワークの曲がりとしている。また、図7のように実変位に対してあるレバー比で振れを測定しているため精度に余裕はなく、曲がり測定の高精度化を狙うには振れ測定方法の見直しが必要である。

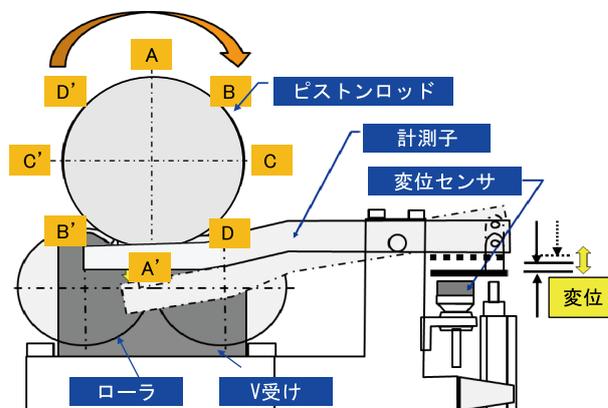


図7 曲がり算出方法

さらに、図8に示すような断面形状が真円ではないワークが投入された場合、真円度形状とワークの上下動による振れ量（以下、外形による振れ量）の両方の値が測定値に含まれ、曲がりを正確に測定できない。つまり真円度が悪い場合、外形による振れ量の影響が大きく、振れ量をしきい値以下とすることが困難となり、矯正が完了しないことがある。

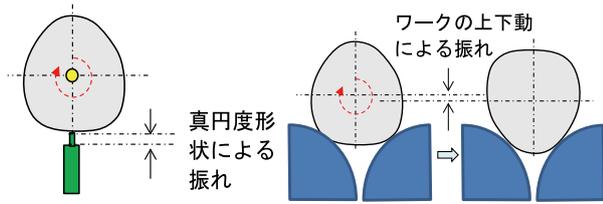


図8 誤差原因となる外形振れ量

4.2 材料変更によるワーク押し込み量不足

曲がり矯正工程では、材料の初期曲がりの大きさに応じてワーク押し込み量を設定し、曲がりを矯正している。現状の曲がり矯正において、初期曲がりが小さいワークに対しては設定される押し込み量で矯正ができています。しかし、初期曲がりの大きなワークに対しては設定されるワーク押し込み量では押し込み量が不足し曲がりを所定のしきい値以下とすることができない、つまりは矯正が完了しないことがある。

5 曲がり測定・矯正技術の開発

5.1 曲がり測定技術の開発

5.1.1 振れ測定精度の向上

接触式高精度変位計を採用し、直接振れを測定する構造を採用することで振れ測定精度（仕様上の指示精度） $\pm 0.003\text{mm}$ を確保した。

5.1.2 外形による振れ量の除去

各センサにて測定される振れ量には外形による振れ量が含まれるため、曲がりを正確に測定するためにはこの値を除去する必要がある。そこで、図9のように両側ローラ直近にセンサ0及び6を追加した曲がり測定方法を考案した。センサ0及び6はローラ直近であるため、曲がりによる振れ量がなく外形による振れ量のみを測定できる。この振れ量より外形振れ量を以下のように設定し、各センサにて測定される振れ量より各センサでの曲がりを以下のように算出する。各センサでの曲がりの最大値をワークの曲がりとする。

$$b = (b_0 + b_6) / 2 \quad (1)$$

$$Z_n = (b_n - b) / 2 \quad (2)$$

b : 外形振れ量, b_0 : センサ0の振れ量,
 b_6 : センサ6の振れ量, b_n : 各センサの振れ量,
 Z_n : 各センサでの曲がり

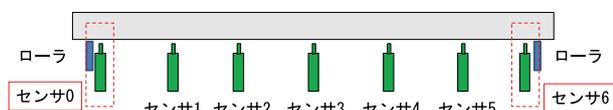


図9 現状の曲がり測定方法

5.1.3 断面形状ねじれの影響の補正

5.1.2項の考えを検証した結果、式(1)および式(2)にて算出した曲がりと三次元測定機にて測定した曲がり（真値）との間に誤差が発生した。各センサ位置におけるワーク断面形状を確認すると、センサ0とセンサ6の位置における断面形状は図10のようにねじれていることが分かった。このねじれの影響を考慮していない式(1)では、外形振れ量に誤差が発生するため、ねじれを考慮した算出方法を検討した。

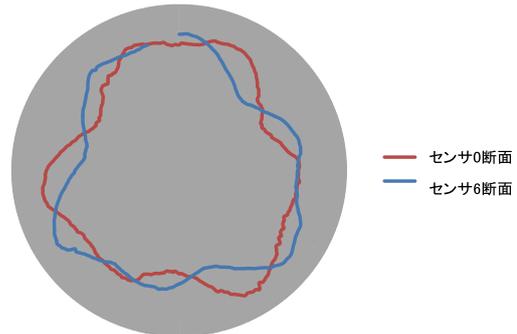


図10 センサ0及び6における断面形状

このねじれは材料メーカーのロール矯正工程にて発生したと推測され、ねじれ量はワークごとに異なるが、各断面におけるねじれ量は距離に比例しほぼ一定の比率でねじれていることを確認した。この特性を利用して、外形振れ量をセンサ0及び6の平均値でなく各センサからの距離の逆比で算出することとした。例えばセンサ1の外形振れ量は以下のようになる。

$$b = \{b_0 \times (L - L_1) / L\} + b_6 \times L_1 / L \quad (3)$$

L_1 : センサ1の距離, L : ワーク全長

5.2 曲がり矯正に関する変更点

曲がり矯正方法は1項図3に示す現行の方式を採用し、測定した曲がり量に対して機種ごとに設定した係数を掛けて算出した押し込み量にて矯正を行う。ただし、初期曲がりが大きなワークでは前述したように、押し込み量が足りず矯正できない場合があったため、初期曲がりの大きなワークについては押し込み量算出設定値を改めて設定した。

6 開発結果

6.1 曲がり測定技術の開発結果

曲がり測定実験機を試作し、外径 $\phi 37$, 42mm, 長さ $L=900$, 2300mmのワークの曲がりを測定した。この時の曲がり測定精度は表1のようになった。ここでは、真円度測定機及び三次元測定機で測定した

曲がりをワークの曲がりの真値としている。

外形振れ量の算出方式別に測定精度を比較すると、L=900mmでは両方式で大きな差はなかったが、L=2300mmでは差が発生した。これは全長の短いL=900mmでは両端におけるねじれ量が小さく、各センサにおける外形による振れ量の影響が小さかったためである。一方、L=2300mmでは両端のねじれが大きくなり、式(1)では各センサにおける外形による振れ量の誤差が大きくなったことが測定精度悪化の原因である。つまり、式(3)の方が長さ依存することなく測定精度は良好であり、有効な補正方式であるといえる。

表1 曲がり測定精度

全長	外形振れ量	ave[mm]	σ [mm]	測定精度 (ave \pm 3 σ) [mm]
L=900 [mm]	平均値	-0.007	0.011	\pm 0.040
	距離の逆比	-0.008	0.011	\pm 0.041
L=2300[mm]	平均値	-0.008	0.024	\pm 0.080
	距離の逆比	-0.004	0.013	\pm 0.043

また、この測定精度を考慮した曲がりしきい値を設定して矯正を行えば、次工程であるNC工程も特に問題なく加工可能であることを確認した。

以上のことから、真円度に影響されない曲がり測定技術には、5.1項図9に示すセンサ0および6の追加と外形による振れ量を算出し除去する方案が有効であることが明らかになった。

6.2 ワーク押し込み量の変更結果

初期曲がり大きなワークに対して矯正ができるよう、押し込み量設定値を変更し矯正を実施した。矯正前後における曲がり量の変化及び矯正回数を図11に示す。図より初期曲がり大きなワークにおいても目標CTに入る矯正回数平均10回以下に対し、平均8.2回で曲がり矯正を完了することができた。

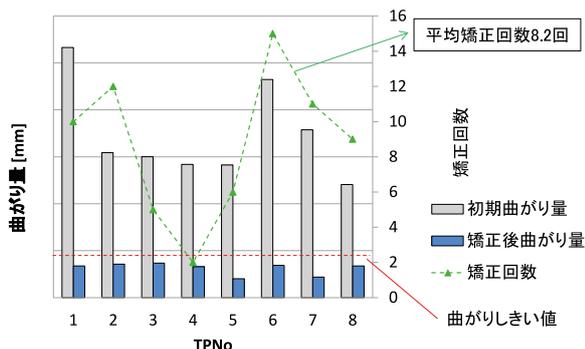


図11 初期曲がりの大きなワークの矯正結果

7 量産設備への展開

7.1 量産設備の曲がり測定精度

6項の結果を受け、量産設備へセンサの追加及び開発した曲がり測定方式の機能追加をした。センサ追加後の曲がり矯正機は写真2のようにになっている。

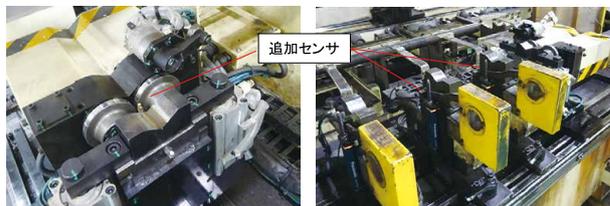


写真2 センサ追加後の曲がり矯正機

量産設備への機能追加後の曲がり測定精度を、表2に示す。

表2 曲がり測定精度

全長	外形振れ量	ave[mm]	σ [mm]	測定精度 (ave \pm 3 σ) [mm]
L=2300[mm]	距離の逆比	0.005	0.016	\pm 0.052

表1の値と比較し、ほぼ同等の測定精度が得られており、真円度などの外形による振れの影響を受けず、曲がりを測定できるようになった。

7.2 曲がり矯正工程の評価

量産設備への機能追加後、初期曲がりの大きなワークに対して矯正を実施した。曲がり矯正前後における矯正結果は図12のようになり、矯正不良となったワークは0本であった。また、平均矯正回数は8.95回であり、目標CTに入る矯正回数平均10回以下であった。

以上の結果より、改造前の設備で矯正できなかった真円度の悪いワークや初期曲がりの大きなワークに対しても、曲がりをしきい値以下に矯正できる設備能力が確保できたといえる。

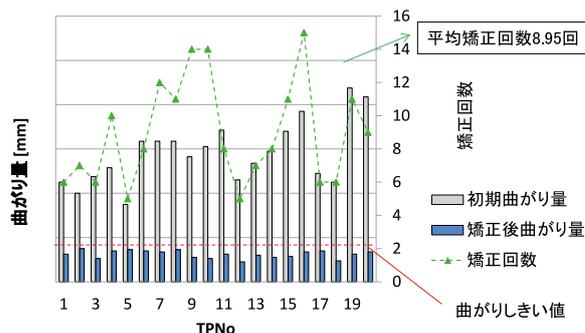


図12 自動曲がり測定及び矯正結果

8 結果

- (1)曲がり測定精度を明確にできた。
曲がり測定精度：真値に対し $\pm 0.052\text{mm}$
- (2)1本当たりの矯正回数：平均8.95回
- (3)矯正不良数：0/20本

9 おわりに

真円度の悪いワークや初期曲がりの大きなワークに対応可能な曲がり矯正技術を開発し、量産運用を

開始した。これにより生産性の向上や歩留まりの改善を図ることができた。

今後も生産性向上や低コスト化につながる、様々な検査計測技術開発に取り組んでいきたい。

最後になりましたが、今回の開発、量産運用に至るまでに多大なご支援、ご協力をいただきました社内外関係者各位にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

著者



光尾 崇

2006年入社。技術本部生産技術研究所第二研究室。検査、計測技術の開発に従事。

製品紹介

大型高性能LMW用フロントフォークの開発

牧野 公昭

1 はじめに

4輪の自動車や2輪のモーターサイクル同様、3輪の車両も過去から様々なものが提案・実現されてきた。近年では、2013年にヤマハ発動機(株) (以下YMC) 様がリーニングマルチホイール (以下LMW) という車両システムを発表し、大きな注目を集めている。このLMWは3輪あるいはそれ以上の車輪を持ち、2輪車と同じように車輪を含めてリーンさせる (傾ける) 事でバランスをとりコーナーを曲がる事の特徴としている。その結果、2輪車の使い勝手の良さとしながら、2輪車より高い安定性を持つ車両となる。LMWを採用した車両として、2014年にTRICITY 125、2016年にTRICITY 155 (写真1) を発売。スクータータイプのシティコミュータとして、高く評価されている。

今回YMC様が開発した新型LMWのNIKEN (写真2) は、TRICITYと異なりスポーツタイプの大型高性能車両である。エンジン出力、タイヤのグリップといった性能が極めて高く、走行速度域がスクータータイプの車両を大きく上回る。前の2輪を支えるフロントフォークも、TRICITYや従来の2輪車

と大きく異なる仕様となっている。KYBモーターサイクルサスペンション(株) (以下KMS) はNIKENのフロントフォークの開発を担当した。本報はその開発について、ポイントとなったいくつかの内容について紹介する。



写真2 NIKEN

※「LMW」、「TRICITY」および「NIKEN」は、ヤマハ発動機(株)の商標です。



写真1 TRICITY 155

2 新規性と課題

今回の開発品フロントフォークは、特に骨格となる部分に多くの新規要素がある。以下に主なものを挙げる。

- ① 2本の脚がタイヤの片側から支える片持ち (後脚をダンパASSY、前脚をガイドASSYと呼ぶ)
 - ② アップブラケット無しの全長が短い倒立構造
 - ③ 大径のステアリングシャフト
 - ④ アウタチューブ2本を連結するブラケット追加
 - ⑤ 2本の脚が1個のアクスルブラケットで結合
- その骨格に対し、ダンパASSYの内部には、既存の高性能倒立フロントフォーク用オイルダンパカートリッジ/スプリング構造を採用した。内部構造の新規性を抑える事で、骨格部分の開発に専念した。

ガイドASSY側にはオイルダンパやスプリング等はなく、作動油のみが入ったシンプルな構造となっている。

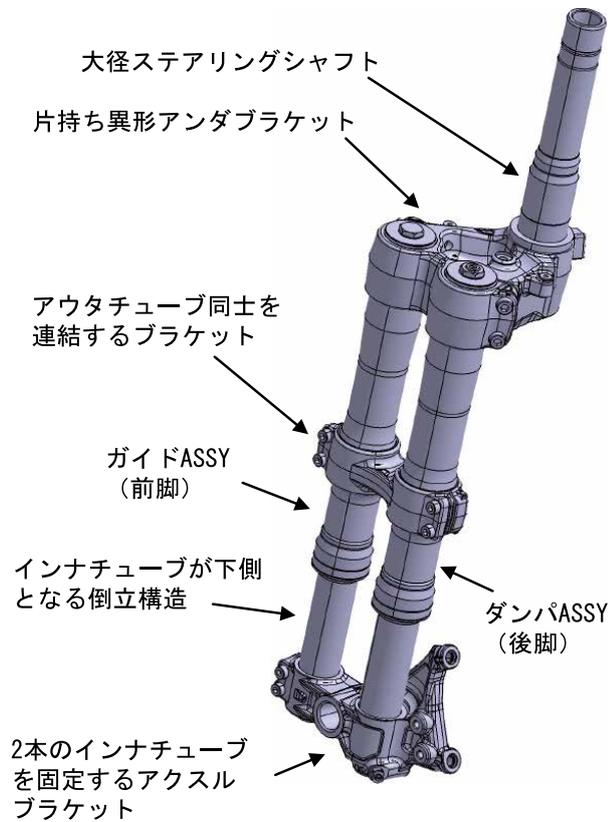


図1 概要

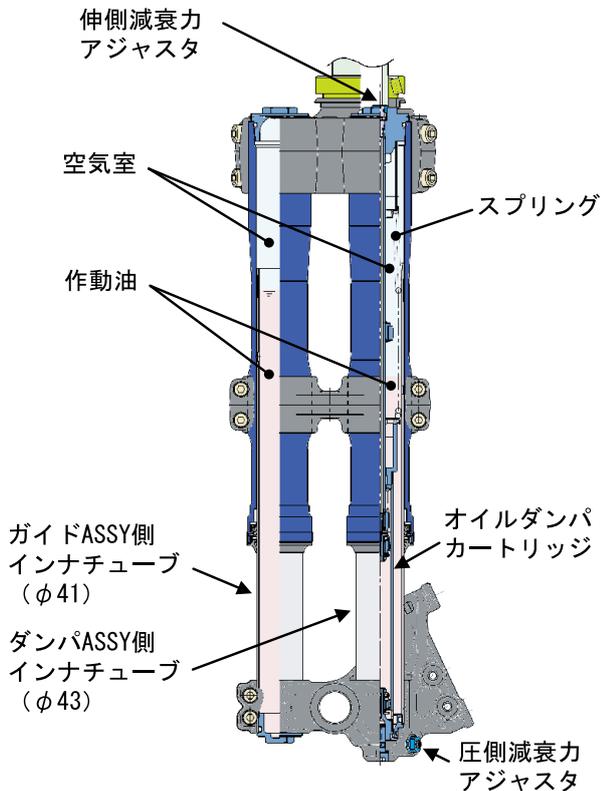


図2 内部構造

最終仕様について概要を図1、内部構造を図2に示す。

このフロントフォークを実現するために、強度・耐久性、性能、量産性、設備投資を含むコストなど、多くの課題があった。中でも「量産性と設備投資抑制の両立」と「強度・耐久性の確保」は、本製品の特殊性から重要であった。

3 量産性と設備投資抑制の両立

3.1 ステアリングシャフト塑性加工

本開発品のステアリングシャフトは、強度上の要件からφ50という前例の無い大径である。一方でステアリングシャフトの上部は、車両側のレイアウト都合上、小径とする必要がある。これはこれまでに量産実績が無い仕様であり、高額な設備投資が予想された。

そこで開発の初期段階で、KMS生産技術とKYB(株)生産技術研究所での塑性加工の解析(図3)を実施し、設備投資無しで加工可能な限界となる形状を求めた。その結果をYMC様の車両設計に反映することで、車両側の要求と量産性を両立させた(写真3)。

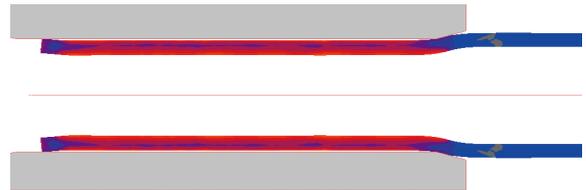


図3 塑性加工の解析例



写真3 塑性加工したステアリングシャフト素材

3.2 ステアリングシャフト圧入設計

大径のステアリングシャフトは塑性加工だけでなく、アンダブラケットへの圧入工程にも量産性への大きな課題があった。

本開発品の圧入部には、圧入荷重に大きな影響を与える以下2点の特徴がある。

- ①大径化に伴い、圧入嵌合部外周が長い
- ②アンダブラケット厚み寸法が大きい
(圧入嵌合部が長くなる)

通常の2輪車向け圧入寸法の相似設計を適用した場合、圧入荷重が過大となり、大型の新規圧入設備が必要になってしまう。また本開発品の素材は、穴が

アルミ、軸が鉄である。圧入代をむやみに減らして圧入荷重を低減した場合、線膨張係数の違いから、温度上昇時に圧入が緩んで固定できなくなってしまう。

そこで圧入部の設計全体を見直した。まず圧入代については、温度上昇時でも圧入代が確保できる設定を計算で求めた。次に上下の端部のみが圧入嵌合部となる形状とし、強度に影響の無い中央部は隙間を明け、圧入荷重を低減した。その結果、既存設備で圧入可能となった。加えて、上下の圧入径に差をつけることで、圧入ストロークを短くし、圧入時間も短縮した。圧入部を工夫する事で、設備投資を抑えながら、必要な強度と量産性を両立させた(図4)。

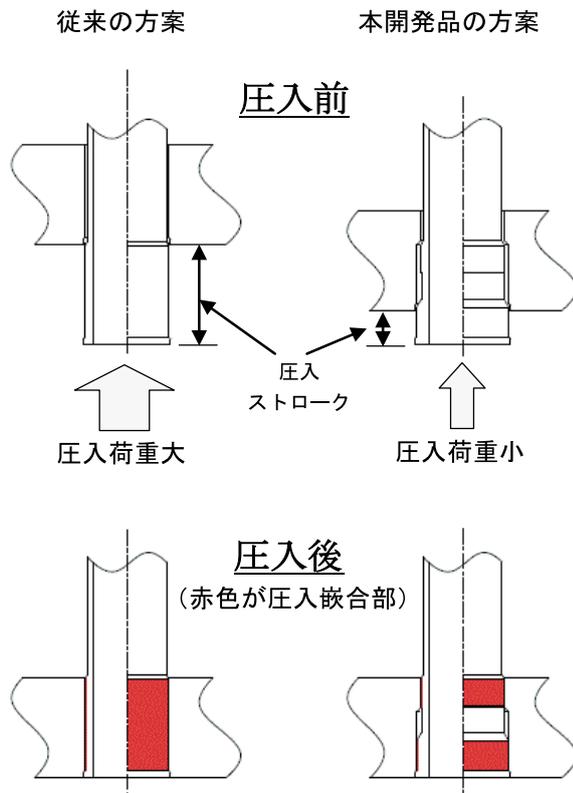


図4 圧入部の変更内容

3.3 組立工程への対応

本開発品の初期の試作品では、ダンパASSYとガイドASSYのインナチューブが両方アクスルブラケットに直接ねじ結合されていた。この構造では最初にアクスルブラケットとインナチューブ2本が一体となり、その上で2本の脚を同時に組立てなければならない(図5)。通常の2輪車用フロントフォークは、2本のダンパASSYを1本ずつ組立した後、それをブラケットに組付けるという組立順序である。よってこの構造のままでは、既存のダンパASSYラインで生産できず、専用組立ラインが必要となる。

そこでアクスルブラケットとガイドASSYの組付け部をクランプ結合とし、分割可能とした(写真4)

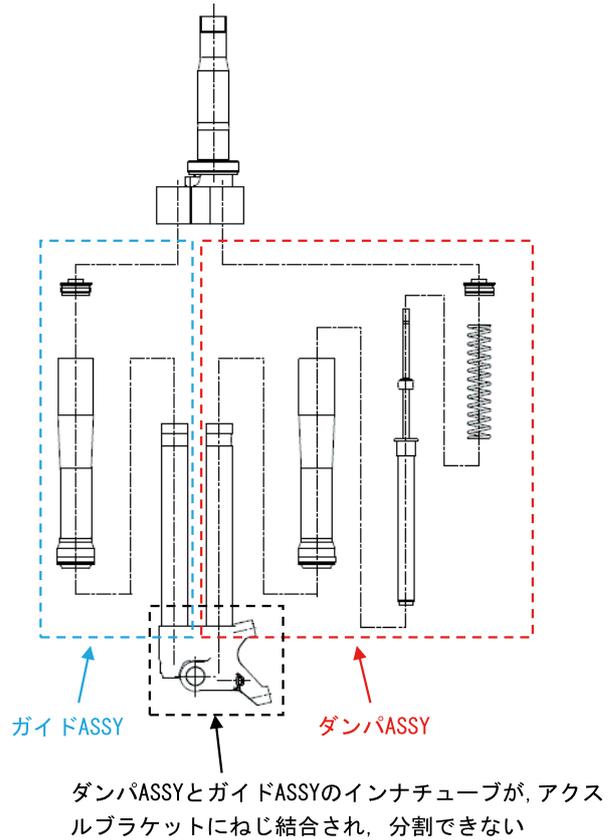


図5 初期試作品の構造

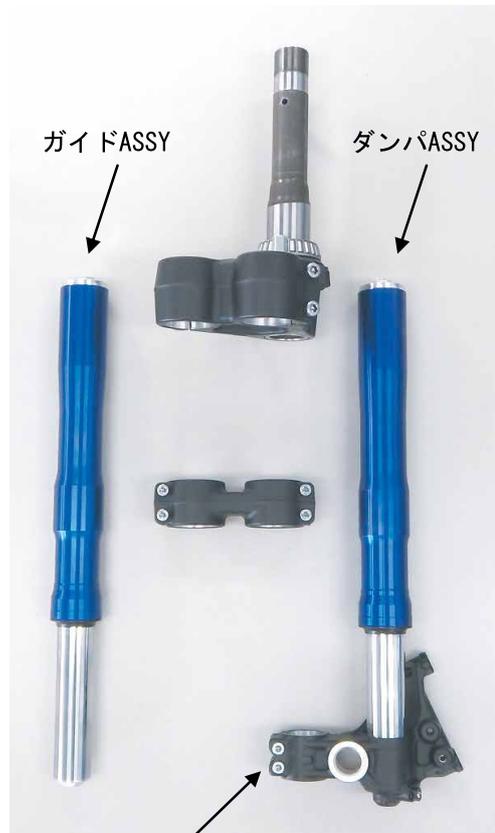


写真4 最終仕様の構造

結果、ダンパASSY及びガイドASSYは、それぞれ通常の2輪車と同じダンパASSYラインで組立可能となった。新規設備はブラケット類とダンパ・ガイドASSYを組み上げる最終工程のみとし、設備投資を抑制した。

3.4 ダンパASSYインナチューブ結合部の設計

ダンパASSYのインナチューブとアクスルブラケット結合部は、アクスルブラケット内側の溝にOリングを入れて密封するのが標準構造である(図6)。しかし本開発品のアクスルブラケットはアンバランス形状でサイズも大きく、従来工法での内側Oリング溝加工ができない。そこでOリングを保持するカラーを挟む事で内径Oリング溝加工を無くし、量産可能な仕様とした(図7)。

このカラーを用いる構造は、薄肉のインナチューブを採用した特殊な機種で量産されている。ただし本開発品は片持ち構造であり、インナチューブとアクスルブラケット結合部に高い負荷がかかる。そこでインナチューブ端面から高い面圧を受けるカラーの材質を、アルミ合金から炭素鋼に変更した。さらにアルミ合金製アクスルブラケットとの座面を大きくして、面圧を低く抑えた。結果、生産上の課題解

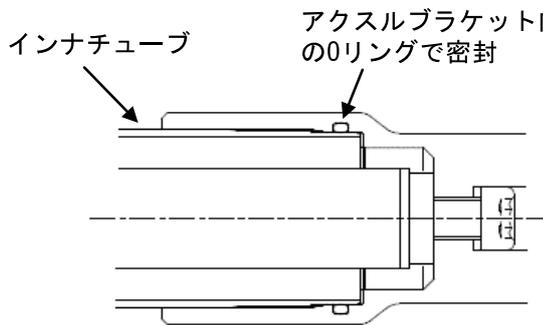


図6 標準構造の締結部

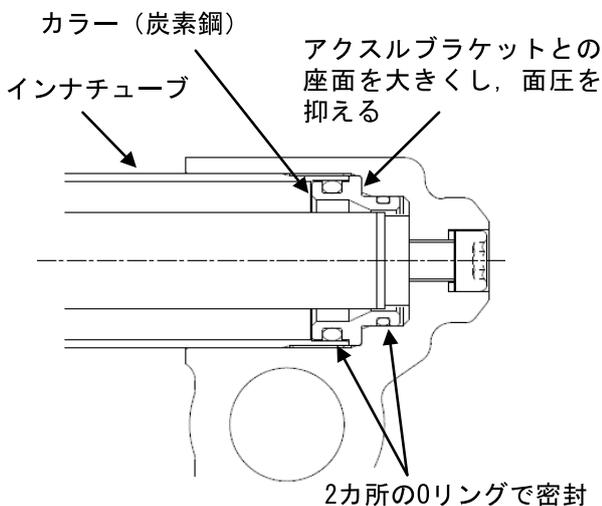


図7 本開発品の締結部

決と同時に、高い負荷にも対応させる事ができた。

4 強度・耐久性

4.1 初期検討

YMC様での強度検討と並行して、KYB(株)CAE推進部にてFEM解析(図8)を行った。開発初期段階での強度検討は、これで目処をつけた。

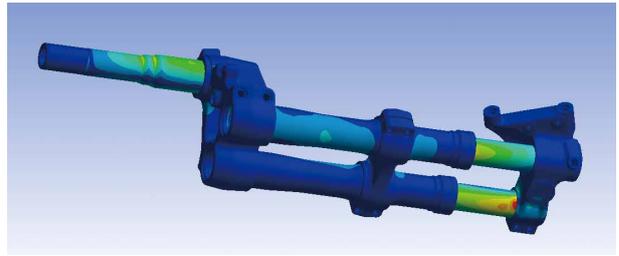


図8 FEM解析(例)

4.2 疲労寿命の確保

単純な強度は解析や強度試験で確認できるが、疲労強度を確認するには十分ではない。そこでYMC様で実施いただいた実車計測から解析した応力頻度と、KMSで測定した各部品のS-N線図を使用し、部品ごとに疲労強度要件を満たしているかを計算で確認した。通常の2輪車での実車計測は、例えばアウトチューブでは前後方向の応力が高いことは明確であり、その方向だけを測定すれば良い。しかし本製品は片持ちであり、解析の荷重付与前後の変形具合(図9)を見ても分かるように、フォークには前後方向だけでなく振じれや曲げの複雑な入力がある。そこで応力を45°刻みの8カ所で全周測定し、応力全体像を把握した(写真5)。

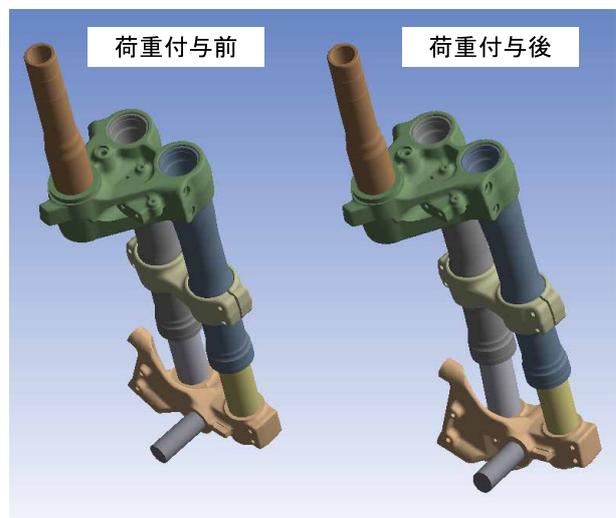


図9 FEM解析, 変形比較
(変形を増幅して表示したもの)



写真5 応力測定用のゲージ（例）

4.3 耐久試験

各部品の疲労寿命を確認した後、フロントフォーク全体での耐久試験を実施した。YMC様での実車計測データを基に、その応力をベンチ上で再現できるテスト条件を新規に設定した。

この新たに設定した耐久試験をクリアすることで、フロントフォーク全体としての疲労強度が必要要件を満たしていることが確認できた。

5 おわりに

今回の開発品は特殊な機種ではあったものの、開発内容自体は基本に則った手法をそのまま適用したものである。しかしここまで新規性要素の多い機種は珍しく、その開発を基本に立ち返って携わることが出来たのは、とても良い経験であった。また基本とはいうものの、フロントフォーク開発に関わるKMSのノウハウと言える内容も多くあり、YMC様が求めるフロントフォークの実現に大きく貢献できたと思う。

最後に、本製品の開発にあたりご指導、ご協力頂いた関係部署、協力会社の皆様に、この場を借りて厚くお礼申し上げます。

著者



牧野 公昭

2006年入社。KYBモーターサイクルサスペンション(株)技術部。2輪車用サスペンションの設計・開発に従事。

トリリニア型オイルダンパの開発

石原幸子・中原学

1 はじめに

地震による被害から人と建物を守るため、建築物はただ損傷・倒壊しないだけでなく、安心・安全な居住空間の確保や居住者の恐怖心を和らげることが非常に重要である。

地震に対する建築物の構造は、「耐震」、「制振」、「免震」に分けることができる。「耐震」とは、建築物自体の粘りや強さで地震に耐える構造である。「制振」とは、建築物の任意の階に制振装置（ダンパ等）を設置し、層間変位（各階のずれ）を抑え、建築物の変形を低減させる構造である。両者は建築物に伝わった地震力をいかに抑えることができるかが重要となる。

これに対して「免震」とは、地盤と建築物を絶縁させ、地盤から建築物に伝わる揺れを低減させる構造である。そのため、免震建築物は居住空間や居住者の安全性を高めることができる。

2 日本の地震と建築基準の歴史と免震の普及

日本は多くの巨大地震を経験し、そのたびに建築基準を改正している（表1）。1948年に発生した福井地震を教訓に、1950年に初めて建築基準法が制定された。1964年の新潟地震では液状化が問題となり、1968年の十勝沖地震ではコンクリートのせん断破壊が起きた。この2つの地震を教訓に、1971年に建築基準法が改正された。1981年には震度7でも倒壊・損傷しない新耐震基準が導入された。現在の耐震基準もこのときの改正を基にしており、これ以降に建てられた建物を新耐震基準と呼ぶ。1995年に発生した兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）では、旧基準の建物に被害が集中し、新基準の建物は被害を免れたと言われている。また、当時2棟あった免震建築物が無傷であったことから免震建物が注目されるようになった。

2003年に発生した十勝沖地震では、震央から約

250km離れた苫小牧で石油タンクの火災被害が発生した。この頃から長周期地震動という言葉が一般社会に広がり、免震・制振構造の採用が広がった。2011年に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）により、長周期地震動への対策が強化されるようになった。今後起こりえる南海トラフ沿い巨大地震や内陸直下型地震等の大振幅地震動への対応が急務となっている中、免震用オイルダンパの需要も増え、要求性能も変化している。

表1 日本の地震と建築基準法の変遷

1923	関東大震災 M7.9
1924	市街地建築物法改正 世界で初めての耐震基準の制定
1948	福井地震 M7.1 壁の少ない建物に被害が集中
1950	建築基準法制定（旧耐震） 必要な壁量を追加
1964	新潟地震 M7.5 地盤の液状化
1968	十勝沖地震 M7.9 鉄筋コンクリート短柱化とせん断破壊
1971	建築基準法改正 柱の補強規定の追加 コンピュータ解析による知見の反映
1978	宮城県沖地震 M7.4
1981	建築基準法改正 新耐震設計法の導入
1995	兵庫県南部地震 M7.3 旧基準の建物に被害が集中 免震・制振構造が注目される
2000	建築基準法改正 免震・制振構造の普及
2003	十勝沖地震 M8.0 震源から200km以上離れた苫小牧で石油タンク火災被害
2011	東北地方太平洋沖地震 M9.0
2016	熊本地震 M6.5（前震）M7.3（本震）

3 開発の背景

本報で紹介するトリリニア型オイルダンパは免震用オイルダンパであり、株式会社熊谷組様と共同開発した速度依存型減衰係数可変オイルダンパである。通常の免震用オイルダンパは速度によって減衰係数の切り替わらないリニア特性か、切り替わりが1回のバイリニア特性のみであった。バイリニア特性は1次減衰係数と2次減衰係数で構成されており、1次減衰係数領域では傾きを大きくして、低速で高減衰力を発生させることができる。2次減衰係数領域では、傾きを小さくして、オイルダンパの破損を防いでいる。

それに対し、本品は1次減衰係数を低速域と中速域に分け、減衰係数の切り替わりが2回のトリリニア特性になるようにした。今後想定される巨大地震に向けて、低速域では免震効果をより発揮できるように傾きを現行品よりも小さくし、中速域では建築物が擁壁に衝突することを回避できるように傾きが急激に大きくなる。

カヤバシステムマシナリー(株) (以下KSM) は、建設会社と共同で様々なオイルダンパを開発してきた。変位によって減衰係数を切り替えるオイルダンパとして、大成建設株式会社様との共同開発であるパッシブ変位切換型オイルダンパ (KYB技報第52号で紹介)、清水建設株式会社様との共同開発品である可変減衰型オイルダンパ (KYB技報第55号で紹介) がある。変位依存型と速度依存型は建物構造設計者の判断によるものであり、どちらが良いと言えるものではない。

本開発品である速度依存型は、標準の免震ダンパ (BDS : Building Damper hi-Speed type) のバルブの構成部品を1つ追加するだけで実現可能であったため、製作が容易で短期間で評価を行うことができた。

4 開発ダンパの構造と作動原理

図1にトリリニア型オイルダンパの構造を示す。免震用オイルダンパはインナーチューブ、アウターチューブ、ピストンロッド、ピストン、減衰バルブ、作動油から構成される。

ピストンロッドとピストンは連結されており、インナーチューブ内部の黄色部 (A室・B室) に作動油が密閉されている。ピストンとボトム側のシリンダには減衰バルブ (調圧弁・リリーフバルブ) が組み込まれており、速度に応じて減衰力が発生する。オイルダンパの構造はKSM標準品であるBDS型オ

イルダンパと同様である。

オイルダンパは両端に取り付けられる物体の相対変位に応じて伸縮する。ダンパが伸びてピストンが動くときA室の圧力が上昇し、伸び側の減衰バルブ (調圧弁・リリーフバルブ) が開き、作動油がB室に流出する。この時の、減衰バルブを作動油が通過する際の油圧抵抗により発生したA室とB室の圧力差によりピストン速度に応じた減衰力として作用する。また、A室はB室よりピストンロッド分の作動油が少ないため、チェックバルブが開くことによりタンク室からB室へ作動油が補充される。

ダンパが縮む時、チェックバルブが閉じ、B室の圧力が上昇する。そして縮み側の減衰バルブ (調圧弁・リリーフバルブ) が開き、作動油がA室へ流出する。伸びる時同様、減衰バルブを作動油が通過する際の油圧抵抗により発生したA室とB室の圧力差によりピストン速度に応じた減衰力として作用する。また、ピストンロッド体積分の余剰作動油はボトム側のシリンダに組み込まれている。減衰バルブ (調圧弁・リリーフバルブ) が開くことでタンク室へ流出する。

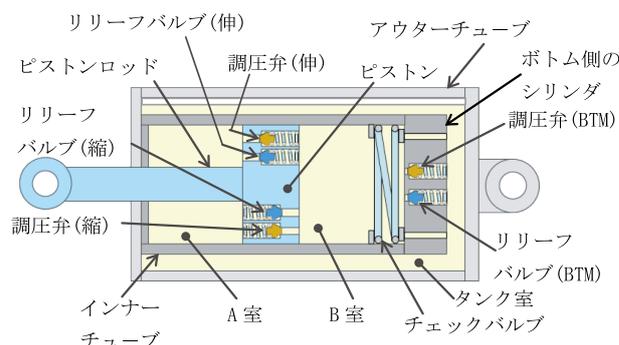


図1 免震用オイルダンパ概略図

5 減衰性能の確認試験

5.1 設計仕様

本オイルダンパの設計仕様を表2、減衰力特性を図2に示す。標準品であるBDS120-B-1 (最大力1000kN) は速度32cm/sで減衰係数を切り替える。それに対し、本開発品は、速度60cm/s以下では傾きを小さくし、速度60cm/sを超えて中速域に切り替わると、減衰係数が大きくなる。100cm/sを超えると、オイルダンパの破損を防ぐために傾きを極小にし、力の増大を抑える。また、本特性値は、要求性能に応じて切替え速度を変更する計画である。

表2 標準品と開発品の設計仕様比較

			標準品 BDS120-B-1	開発品
低速減衰係数	$C1_1$	$\text{kN}/[\text{cm}/\text{s}]$	25.0	6.67
中速減衰係数	$C1_2$	$\text{kN}/[\text{cm}/\text{s}]^2$	—	0.11
高速減衰係数	$C2$	$\text{kN}/[\text{cm}/\text{s}]$	1.695	2.0
切替力	F_c	kN	—	400
切替速度	V_c	cm/s	—	60
リリース力	F_r	kN	800	1100
リリース速度	V_r	cm/s	32	100
最大減衰力	F_{max}	kN	1000	1200
最大速度	V_{max}	cm/s	150	150

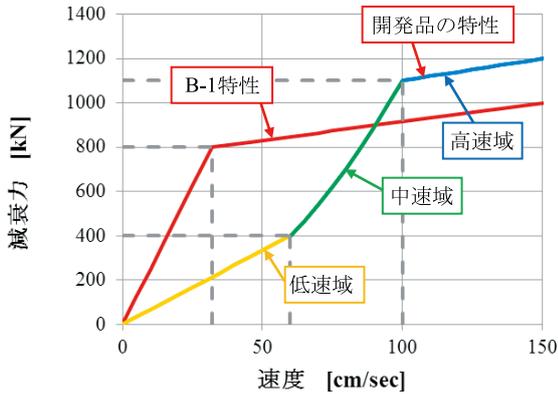


図2 減衰力特性

5.2 開発品のバルブ構成

本開発において、減衰係数が任意の速度地点で高くなるように切り替えることは技術的に難しいため、専用のバルブを開発した。調圧弁概略図を図3に示す。本バルブはKYB保有特許（特第5466539号）を利用している。

具体的な構造は、ハウジング内部に規制部材を追加し、調圧弁が規定のストローク量に達すると、規制部材とぶつかり、調圧弁の移動量を規制できることである。特許内容については、特許紹介を参照いただきたい。

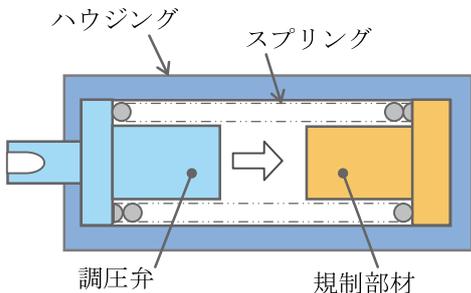


図3 調圧弁の概略図

5.3 試験概要

5.3.1 試験内容

本試験では、下記項目について確認を行った。

①減衰力確認試験

正弦波加振により、計画通りの減衰力-変位履歴図が得られるかを確認する。

(正弦波加振の説明は次頁図6に記載)

②切り替り位置確認試験

切り替り速度とその前後での変化を確認する。

③周波数依存性確認試験

同速度の実験を複数の周波数で行い、依存性の有無を確認する。

5.3.2 試験体

試験体はKSM保有の評価用ダンパを使用し、減衰バルブのみ製作して組み込む。ダンパ外観を図4に示す。

型式：BDS120

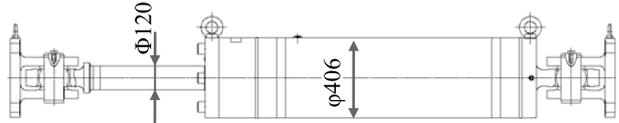


図4 試験体概略図

5.3.3 加振条件

加振条件を表3～表5に示し、計画特性プロットを図5に示す。また、本試験は図6に示すように正弦波加振とし、オイルダンパ取付長近傍を加振開始位置（中立位置）とする。各速度での減衰力を測定し、その値を評価する。なお、減衰力の計算値は式(1)～(3)より算出した値を用い、測定した力値との比較を行う。

$$F=C1_1 \cdot V \quad (V < V_c) \quad (1)$$

$$F=C1_2 \cdot V^2 \quad (V_c \leq V < V_r) \quad (2)$$

$$F=F_r+C2 \cdot (V-V_r) \quad (V \geq V_r) \quad (3)$$

ここで、

$C1_1$ ：低速時減衰係数 [$\text{kN}/[\text{cm}/\text{s}]$]

$C1_2$ ：中速時減衰係数 [$\text{kN}/[\text{cm}/\text{s}]^2$]

F_r ：リリース力 [kN]

$C2$ ：高速時減衰係数 [$\text{kN}/[\text{cm}/\text{s}]$]

V ：正弦波加振時速度 [cm/s]

V_r ：リリース速度 [cm/s]

V_c ：切替速度 [cm/s]

F ：減衰力 [kN]

表3 低速域の加振条件

		加振変位 [mm]			
		速度 [cm/s]			
周波数 [Hz]	周期 [s]	20	40	55	60
0.25	4	127.3	254.6	350.1	382.0
0.5	2	63.7	127.3	175.1	191.0
0.75	1.33	42.4	84.9	116.7	127.3
1.0	1	×	63.7	87.5	95.5

表4 中速域の加振条件

周波数 [Hz]	周期 [s]	加振変位 [mm]				
		速度 [cm/s]				
		65	80	90	95	100
0.25	4	413.8	×	×	×	×
0.5	2	206.9	254.6	286.5	302.4	318.3
0.75	1.33	137.9	169.8	191.0	201.6	212.2
1.0	1	103.5	127.3	143.2	151.2	159.2

表5 高速域の加振条件

周波数 [Hz]	周期 [s]	加振変位 [mm]			
		速度 [cm/s]			
		105	120	140	150
0.25	4	×	×	×	×
0.5	2	334.2	382.0	445.6	477.5
0.75	1.33	222.8	254.6	297.1	318.3
1.0	1	167.1	191.0	222.8	238.7

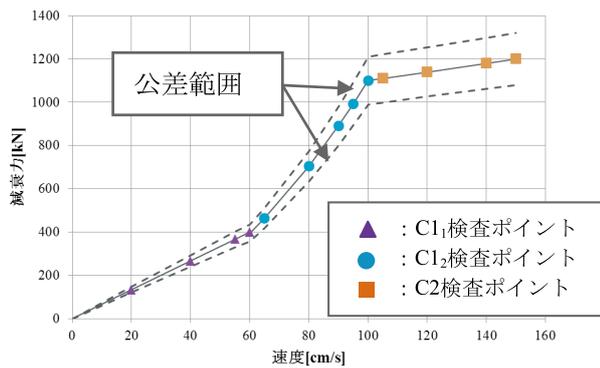


図5 加振条件 計画特性プロット

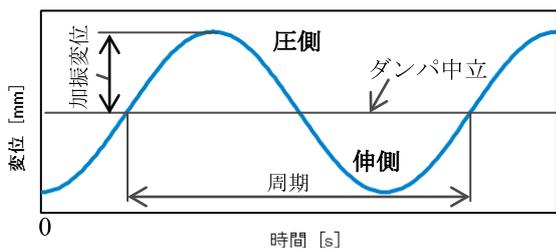


図6 正弦波波形の説明

5.3.4 試験結果

周波数0.5Hzで加振した時の減衰力-変位履歴図を図7～図9に示す。建築の場合、変位履歴図でダンパ特性を評価する。また、計画特性との比較をするため、速度と最大減衰力の関係をプロットしたグラフを図10、図11に示す。

①減衰力確認試験

低速域である20cm/s、40cm/s時では、低めにふれているが、その他の領域については、特性公差

中央近傍に入っていることを確認した。

②切り替わり位置確認試験の結果

低速から中速への切り替え速度である60cm/sと、中速から高速への切り替え速度（リリース速度）である100cm/sとその前後（±5cm/s）の検査ポイントにおいて、計画特性と一致した減衰力が発生しており、計画通りに特性が切り替わっていることを確認した。

③周波数依存性確認試験の結果

低速と高速域での周波数依存性はほぼ見られなかった。中速域では周波数の影響が多少見られるものの、実運用時には免震建物の固有振動数が0.16から0.3Hz(周期3～6秒)であるため、実建物への影響は少ないと考える。

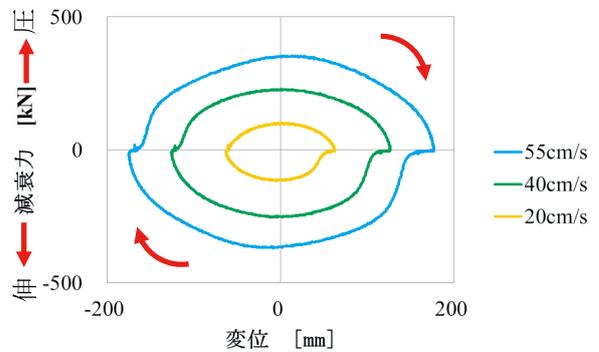


図7 低速域の減衰力-変位履歴曲線 (0.5Hz)

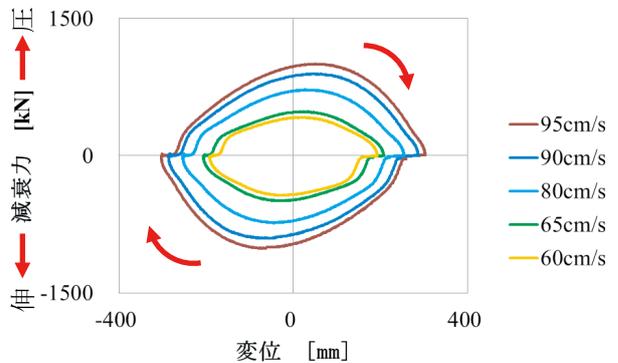


図8 中速域の減衰力-変位履歴曲線 (0.5Hz)

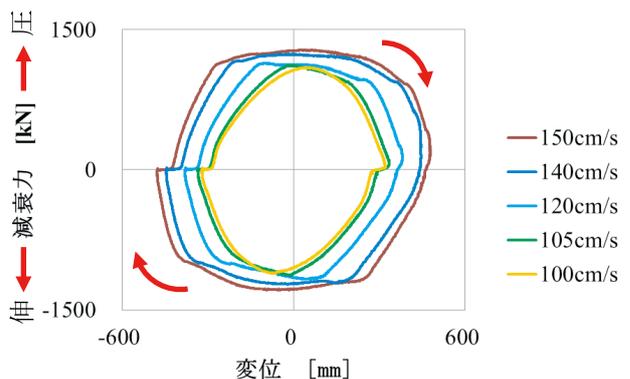


図9 高速域の減衰力-変位履歴曲線 (0.5Hz)

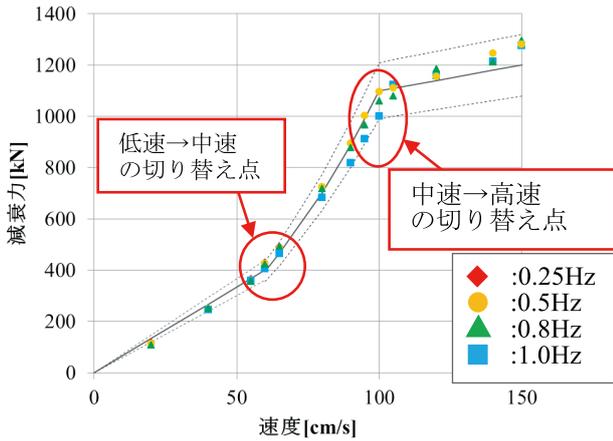


図10 伸び側の加振結果

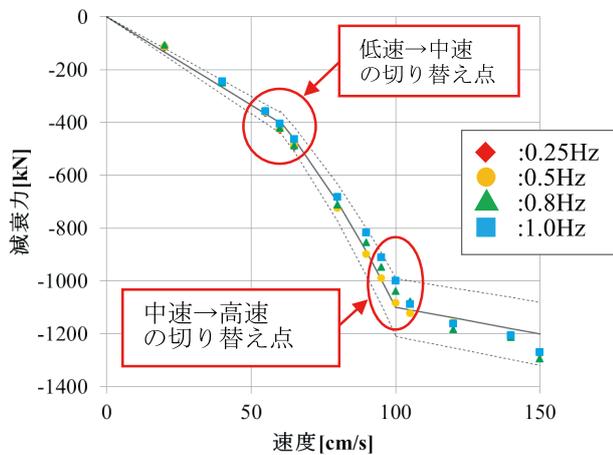


図11 縮み側の加振結果

6 まとめ

トリリニア型オイルダンパの原理試作品を製作し、減衰特性を確認し、実現可能であることを確認した。本年度は製品化に向けて、量産型のオイルダンパの設計・試験を行い免震用部材としての大臣認定を申請し、来年度に認定取得予定である。本オイルダンパは、新築の免震建築物の大振幅地震動のみならず、既存の免震建築物の免震性能の向上にも寄与できることが期待される。

本製品の開発にあたって協力いただいた株式会社熊谷組のご担当の皆様、社内各部門、関連協力業者の皆様に、深く感謝申し上げます。

著者



石原 幸子

2015年入社。カヤバシステムマシナリー(株)三重工場技術部。KYB事業開発推進部よりKSMへ転籍。オイルダンパ開発業務に従事。



中原 学

1991年入社。カヤバシステムマシナリー(株)三重工場技術部専任部長。KYB岐阜南油機技術部設計室よりKSMへ転籍。オイルダンパ開発業務に従事。

極微低速域高減衰バルブの開発

安井 剛

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、サスペンションフレームや、ボディ自体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がより細かく動かされるようになった。したがって、SAに対しては、より微低速域・小振幅における減衰力の確保が求められる。

本要求を受けて開発されたピストンバルブをKYB技報第51号・第54号にて紹介した¹⁾²⁾。何れのピストンバルブもピストン形状を工夫することで、微低速域減衰力をリニアに発生することが可能となった（図1）。

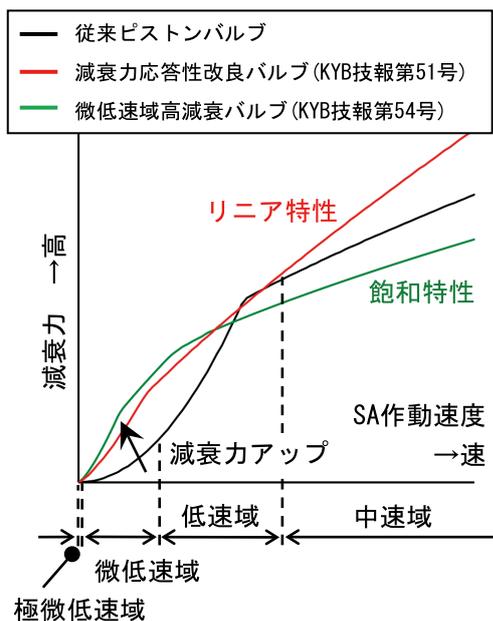


図1 既存バルブの減衰力-速度特性イメージ

本報では、前述のピストンバルブ開発時に着目した微低速域よりも、更に低速度域（極微低速域）における減衰力の向上を可能とする新開発のピストンバルブについて紹介する。

2 開発の背景

極微低速域は、SAが動き始める極めて初期の速度域であり、従来、油圧力（ピストンバルブ）ではコントロール困難とされてきた。

この速度域でSAが発生する軸力^{注1)}は、SA摺動部の摩擦力が支配的であり（図2）、車両性能への影響が非常に大きいことから、摺動部品の改良による軸力コントロールが従来成されてきた。

注1) 摩擦力と減衰力の合成力

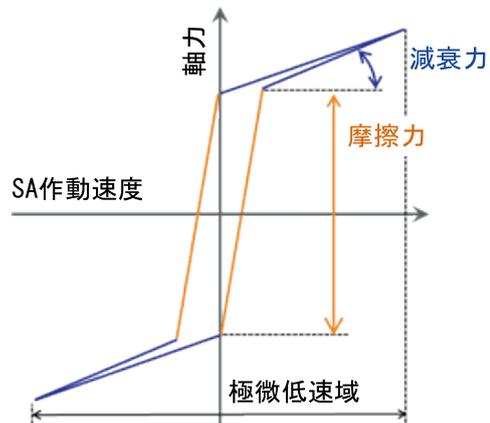


図2 極微低速でSAが発生する軸力イメージ

摺動部の摩擦力は、数十N程度であるが、その僅か数Nの差により車両官能評価が明らかに変化することが知られている。しかし、サスペンション特性や車両性能の狙いに合わせて摺動特性を変化させることは、大幅な部品種類の増加に繋がるため実質困難である。

そこで、従来のピストンバルブではコントロール出来ないと言われてきた極微低速域の軸力を油圧力

(ピストンバルブ)によりチューニング可能とすべく、新バルブの開発に着手した。

3 新開発ピストンバルブの狙い

極微低速域の軸力を適度に発生させることで、主に路面からのビリビリした細かい入力への遮断性等の質感やステアリング操作に対する応答性・追従性等の操安性が向上することが確認されている。

KYBの既存ピストンバルブを用いて極微低速域の減衰力を増加させる場合は、極微低速域以降も影響を受け減衰力が増加し、路面からのゴツゴツした入力が強くなり乗心地が悪化してしまうため、減衰力チューニングのみで、質感・操安性とゴツゴツしない乗心地を両立させることは困難であった(図3)。

新開発のピストンバルブは、既存のピストンバルブでは両立困難だった特性、①車両の質感向上を目的とした極微低速域の軸力向上、②乗心地の確保を目的とした微低速～低速域の減衰力抑制の2点を狙いとした。

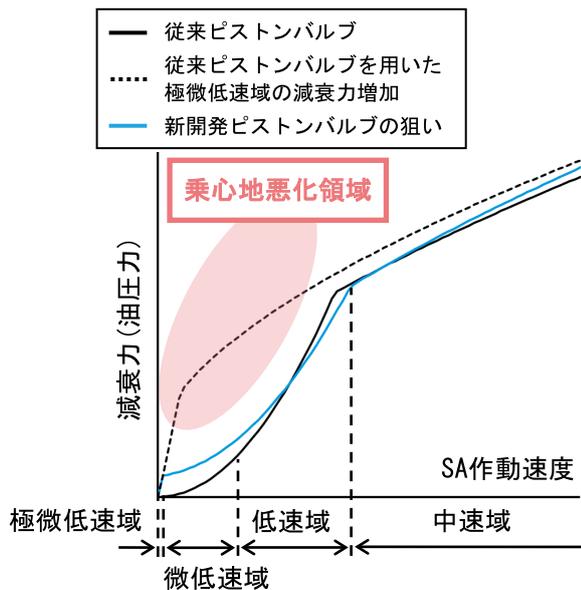


図3 新開発バルブの目標特性イメージ

極微低速域で減衰力を発生させるため、従来ピストンバルブとは異なる構造(以下、拡張バルブ部)を検討した。拡張バルブ部の設計要件は以下の3点である。

- ①極微低速域で減衰力を発生し、バルブチューニング可能とする。
- ②極微低速以降の速度域では、減衰力を飽和特性とする。
- ③伸び・縮みの両行程に作用する。

拡張バルブ部と従来ピストンバルブ部の減衰力特性を合成することで、新開発ピストンバルブの目標特性を達成することとした(図4)。

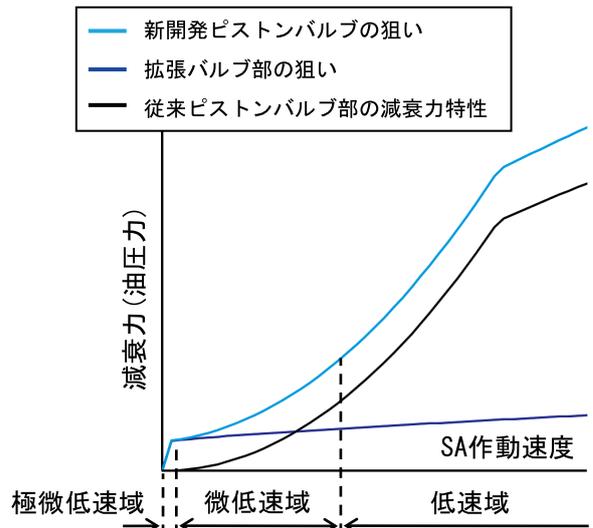


図4 拡張バルブ部の目標特性イメージ

4 新開発ピストンバルブのメカニズム

4.1 ピストンバルブ構造

従来ピストンバルブと新開発ピストンバルブの構造を図5に示す。

新開発ピストンバルブは、従来ピストンバルブに拡張バルブ部を追加し直列配置した構造とした。

拡張バルブ部(図6)は、ディスクとリーフバルブで構成され、ディスク内径部に配置されたリーフバルブ(以下、非着座バルブ)がシート面を持たず、通常のリーフバルブのように着座しない構造となっていることが特徴である。

	従来ピストンバルブ	新開発ピストンバルブ
KYB呼称	HMP型	HMP-SV型
構造		
油圧回路図		

→ : 作動油の流れ □ : 拡張バルブ部

図5 新開発ピストンバルブ構造

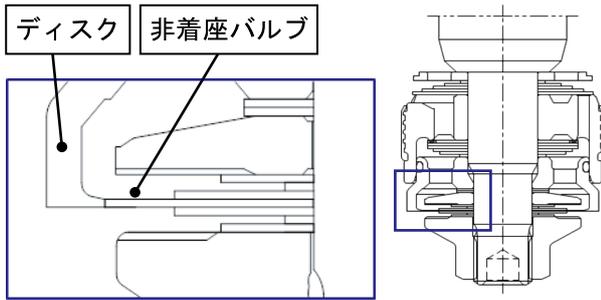


図6 拡張バルブ部構造

4.2 新開発ピストンバルブの作動原理

極微低速域で減衰力を発生するため、ディスクと非着座バルブは、組付け時の隙間が限りなく小さくなるよう設計した。非着座バルブにより作動油流路が蓋をされているため、極微低速域の僅かな作動油流量であっても減衰力を発生すると共に、瞬時に非着座バルブが押し広げられることで極微低速域以降の減衰力増加が抑制される構造となっている。

また、極微低速域より速い作動速度域の減衰力を飽和特性とするため、非着座バルブを大径に設定し、バルブ開口時に十分な流路面積を確保した。中高速域においては、作動油流量が増えるため、非着座バルブを大きく撓ませ、流路面積を確保する必要がある。

非着座バルブはシート面を持たない構造であるため、上下両方向へ開口し、伸行程・縮み行程に作用する（図7）。

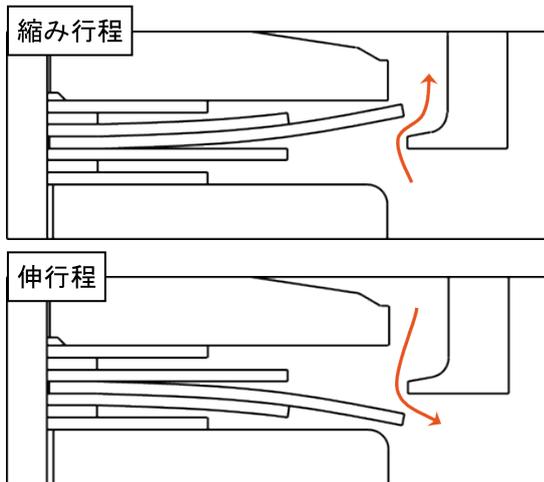


図7 拡張バルブ部の作動イメージ

4.3 極微低速域軸力特性

従来ピストンバルブと新開発ピストンバルブの極微低速域の軸力特性を図8に示す。両バルブとも、同一の摺動部品で構成しており、軸力の差から、新開発ピストンバルブは極微低速域で減衰力を発生していることが分かる。

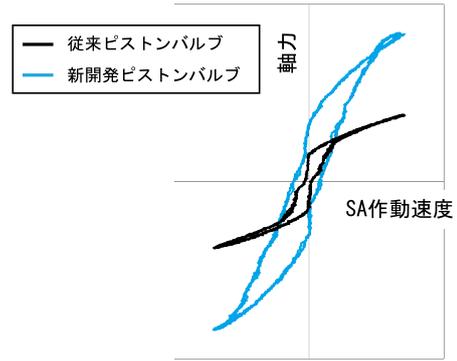


図8 極微低速域の軸力特性

4.4 チューニング性

新開発ピストンバルブは、極微低速域の減衰力をリーフバルブの開弁抵抗により発生させることから、リーフバルブ剛性を変更することによりチューニングが可能である。また、内背面のバルブ剛性を変えることで、伸行程・縮み行程それぞれの減衰力を独立してチューニングすることが可能である（図9）。極微低速域のチューニング例を図10に示す。

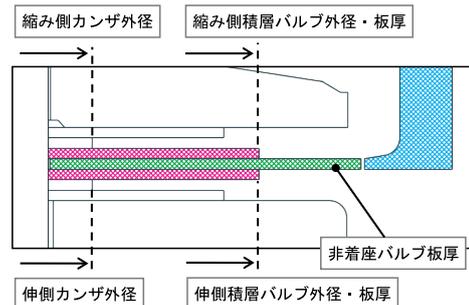


図9 拡張バルブ部チューニング要素

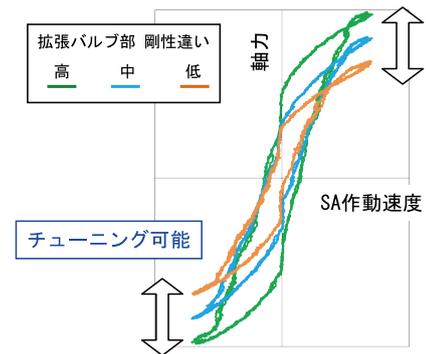


図10 極微低速域の軸力チューニング例

4.5 非着座バルブ耐久性向上手法

前述の通り中高速域の減衰力を飽和特性とするため、非着座バルブを大きく撓ませる。そのため、非着座バルブの支持点に高い応力が発生し、破損の懸念がある。

非着座バルブの耐久性向上の手法として、バルブ支持点を増やし、最大応力を低下させると共に、応力を分散させる対策を行った（図11）。

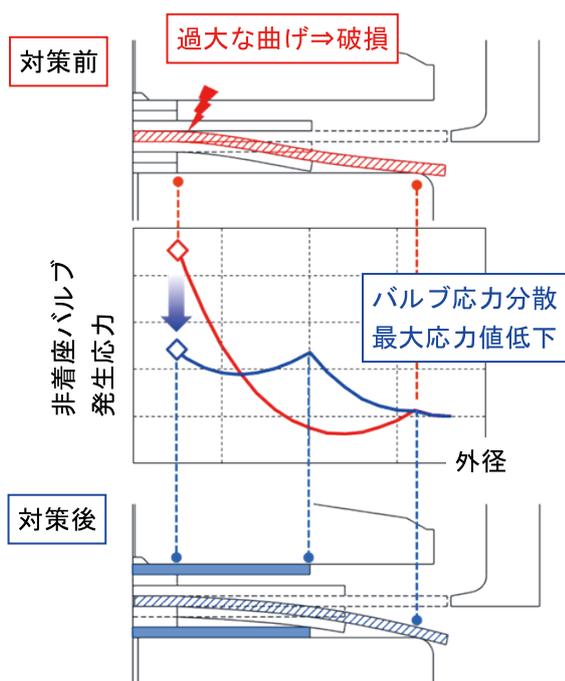


図11 非着座バルブ破損対策

4.6 新開発ピストンバルブによる効果

車両が動いている間、SAは常に微振幅での上下動を繰り返しているため、伸行程・縮み行程の切り替わりで、SA作動速度は必ず極低速域を通過する。

極低速域の軸力を新開発バルブを用いて車両に合わせチューニングすることにより、車両性能への様々な効果が確認されている。

- ①ステアリング操作に対する応答性の向上
- ②路面から伝達する細かな振動の遮断性向上
- ③高速走行時の車両安定性の向上
- ④ばね下追従性の向上
- ⑤良路走行時のばね上フラット感の向上

また、極低速域の軸力が油圧力（ピストンバルブ）でチューニング可能となったことで、摺動部特性は可能な限り低摩擦とすればよく、信頼性の向上へ注力できるようになることも、付帯効果として大きい。

5 採用状況

本バルブ構造は、2018年7月より発売のLexus ES(写真1)の一部グレードへ採用され、カーメーカーから非常に高い評価を頂いている。

現在も複数車種にて採用に向けた開発を進めており、採用車種・生産数ともに拡大を目指している。



写真1 Lexus ES

6 おわりに

極低速域の減衰力向上・調整を可能とする新構造のピストンバルブを開発した。これにより、従来バルブでは不可能であった速度域のチューニングが可能となり、カーメーカーからのニーズに対して高い次元で対応できるようになった。

国内では既に量産が開始されており、現在は海外拠点への展開を推進している。

最後に、本開発にあたりご指導、ご協力を頂いた関係各位に、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)
- 2) 君嶋: 極低速域高減衰バルブの開発, KYB技報54号, (2017年4月)

「Lexus ES」はトヨタ自動車株式会社の商標です。

画像提供: Lexus International

著者



安井 剛

2005年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部サスペンション事業部技術部第一設計室。ショックアブソーバの開発に従事。

磁場解析を活用した比例ソレノイド減衰力調整式 ショックアブソーバの応答性改善

上野和生・松下雄介

1 はじめに

近年、自動車において、操縦安定性と乗り心地を両立するため、セミアクティブサスペンションを搭載した車両が増加しつつある。

セミアクティブサスペンションとは、時々刻々と変化する路面からの入力に対し、リアルタイムで減衰力を制御するシステムのことで、アクティブサスペンション^{注1)}を減衰力調整式ショックアブソーバで近似的に実現しようとするものである。

自動車用減衰力調整式ショックアブソーバの形式としては、制御電流に応じて無段階に減衰力調整できる比例ソレノイドバルブ（以下SOL弁）を搭載した減衰力調整式ショックアブソーバが主流である（図1）¹⁾。

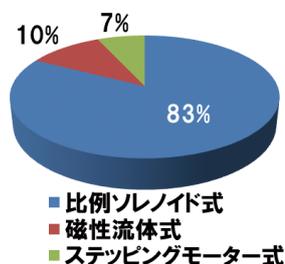


図1 減衰力調整方式の割合（2016年度）

SOL弁の搭載位置としては、ショックアブソーバの内側に設置する内蔵式と、ショックアブソーバの外側に設置する外付け式があり、その割合はショックアブソーバ諸元の成立性が高い外付け式が過半数を占めている¹⁾。

今回報告を行うのは、外付け式SOL弁を用いた減衰力調整式ショックアブソーバ¹⁾（以下、外付け式SOL減調SA）の開発初期の試作品において、減衰力切替え応答性が要求品質に達しなかったために行った応答性改善活動についてである。

本活動において、磁場解析に品質工学（用語解説「品質工学について」p. 60参照）を活用し、実際の使用状況におけるばらつきに対するロバスト性と、減

衰力切替え応答性を同時に改善できる条件を求めた。

注1) パワー源をもち、路面状況に応じた制御機能をもつサスペンション。セミアクティブサスペンションの場合は減衰力を制振方向にのみ働かせることができるが、アクティブサスペンションの場合は加振方向にも働かせることができる。

2 本製品の概要

写真1に製品化した外付け式SOL減調SAの外観を示す。



写真1 外付け式SOL減調SA外観

図2に外付け式SOL減調SAの構造を示す。ショックアブソーバの外側に設置したSOL弁に油を導くためにシリンダ、中間パイプ及びアウトシェルで構成される3重管の構造となっている。伸行程と圧行程を1つのSOL弁で減衰力を調整するために、作動油の流れをユニフロー（一方向流れ）とした。ピストン、ベースバルブはチェック弁になっており、減衰力は主にSOL弁で発生させる。

図3に量産に用いられたSOL弁構造（本活動と基本構造は同じ）を示す。SOL弁は、ソレノイド部と制御バルブ部から成り立っている。ソレノイド部は通電する電流値に応じて変化するソレノイド推力を発生させる。制御バルブ部のメイン弁については、

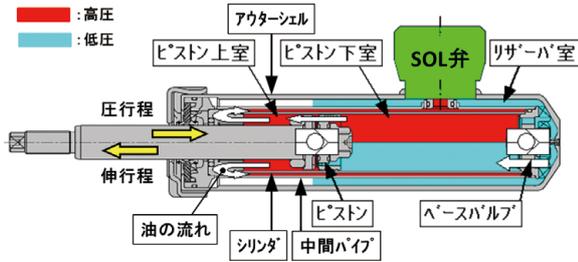


図2 3重管ユニフロー構造

P1, P2及びP3の圧力バランスで積層リーフバルブと可動ディスクの開閉を行なう。このP3は、ソレノイド推力を受けたポペットバルブによってコントロールされる。つまり、電流値を変化させることで、任意の減衰力を発生させる構造になっている。このソレノイド部が、磁場解析を行う対象である。

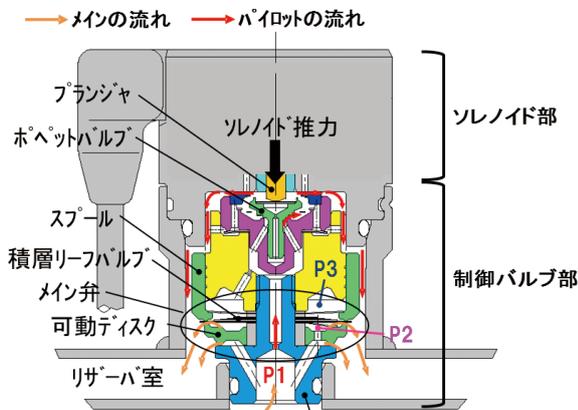


図3 SOL弁構造

図4に減衰力特性の狙いのイメージを示す。セミアクティブサスペンションでは、ショックアブソーバの減衰力可変幅を大きく設定し、その切替え応答性を上げることで、操縦安定性と乗り心地を高次元で両立できると考える。

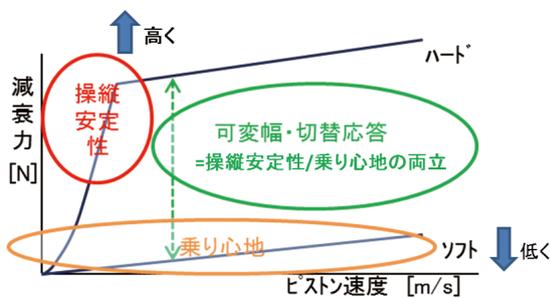


図4 減衰力特性の狙いイメージ

3 減衰力切替え応答性への寄与率

応答性に関する試験結果を分析することによりSA本体(図2におけるSOL弁以外)は、応答性への寄与率は低く、SOL弁の寄与率が高いこと、中でもソレノイドの寄与率が高いことがわかった(図5)。

そこで、ソレノイドの磁場解析により応答性を改善する方法を検討することとした。

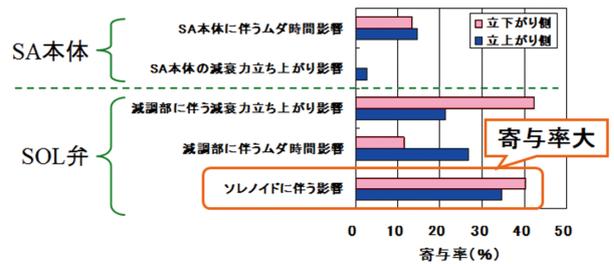


図5 減衰力切替え応答性の寄与率

4 解析モデル

ソレノイドの過渡磁場解析モデルを汎用有限要素法解析プログラムのスクリプト言語を用いて作成した。

解析モデルは、パラメトリックに寸法を変更できるように簡略化したモデルとした(図6)。さらに、渦電流及び磁気飽和も考慮した。

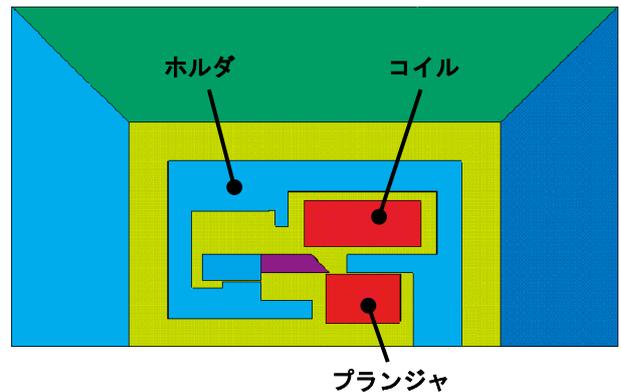


図6 ソレノイド解析モデル

5 制御モデル

対象のソレノイドは電流値制御にPWM制御^{注2)}(図7)を用いており、そのデューティー比^{注3)}を決めるためにPI制御(図8)が用いられている。設定推力に対しての応答性を評価するためには、電流制御を考慮する必要があるため、これらの点も汎用有限要素法解析プログラムのスクリプト言語を用いて再現した。

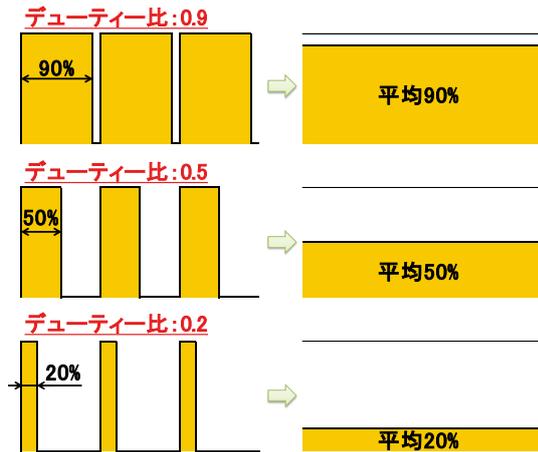


図7 PWM制御概念

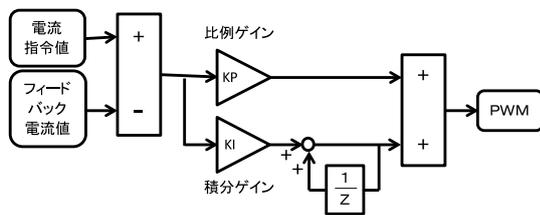


図8 PI制御概念

- 注2) 一定電圧の入力から、パルス列のONとOFFの一定周期を作り、ONの時間幅を変化させる事で、出力される電力を制御する方式。
- 注3) ある一定の周期でON-OFFを繰り返すパルス列において、パルス幅 (ONの時間) をパルス周期 (ONとOFFを合計した時間) で割った比率。

6 解析モデルの検証

解析プログラムの妥当性を確認するために、応答性 (時間と電流の関係) の比較を行った。

図9に、内蔵部品の有無による解析結果 (磁束線図) の比較を示す。

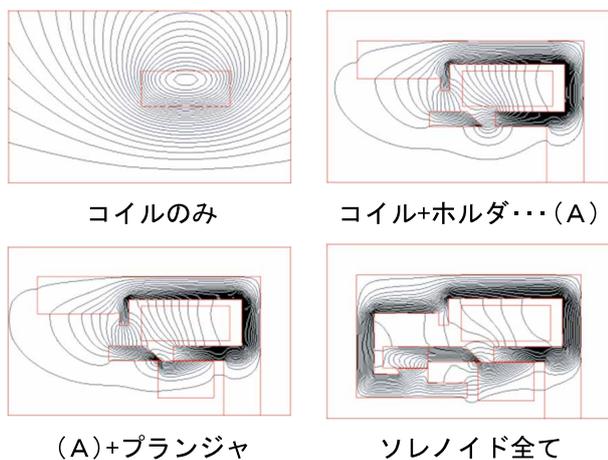


図9 内蔵部品の影響確認 (磁束線図)

図10に、内蔵部品の有無と応答性の関係を示す。内蔵部品が増加するほど、応答性が悪化する状況を解析においても再現できた。

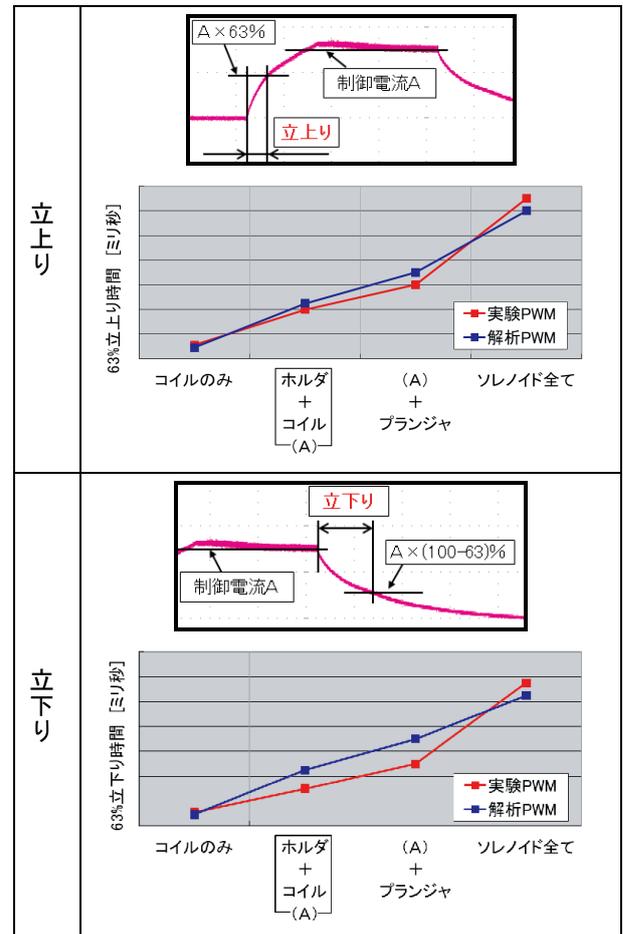


図10 内蔵部品の影響確認 (応答性)

図11は、実験結果の出力図の上に、スケールを合わせて解析結果のグラフを重ね書きしたものである。

PWM制御有無にかかわらず、解析結果は実験結果の応答性の傾向を良く再現できており、今回作成

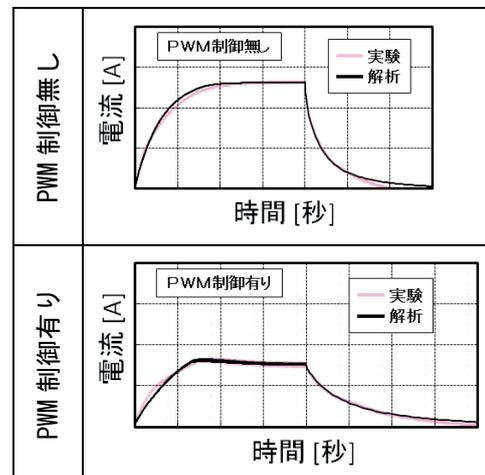


図11 実験と解析の比較

したモデルが実用上問題ないことが確認できた。

7 実験計画法による事前評価

図12は、同一条件における吸引力と電流値の解析結果である。立上りは吸引力の応答性が悪く、立下りは電流の応答性が悪い。

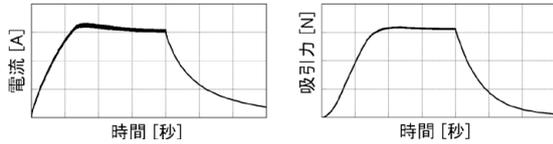


図12 同一条件における電流と吸引力の解析例

各因子の傾向を把握し、よりの確に品質工学を適用するために、事前実験計画法(L16)による評価を実施した。その結果を図13に示す。

電流と吸引力の要因効果図は近い傾向にあり、電流の応答性を改善すれば、吸引力の応答性も改善できる可能性が高いことが分った。また、評価した因子の影響度合いも確認でき、ソレノイド部で起きている現象について理解を深めることができた。この評価によって得られた知見を基に、品質工学における評価方法、制御因子及び誤差因子を考案した。

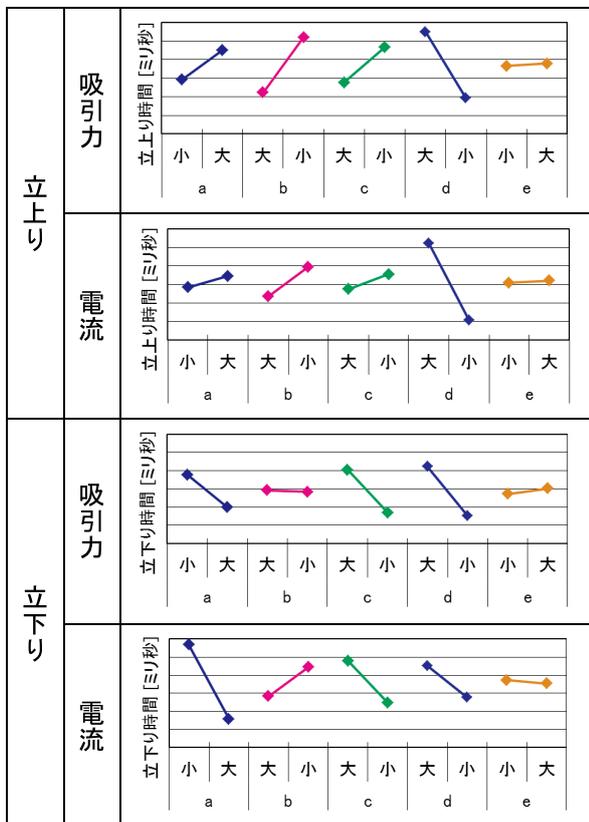


図13 応答性の要因効果図比較

8 品質工学の適用

8.1 パラメータ設計^{注4)}

品質工学には多くの手法が存在するが、本活動で用いたのはパラメータ設計である。パラメータ設計においては、対象製品における課題を解決するために、入力と出力の関係から機能を定義する必要がある。

比例ソレノイドの応答性改善のための機能を、本活動においては、入力は電流値(PWM制御)、出力は電流波形(電流の応答性)と考えた。

また、パラメータ設計では、誤差因子と制御因子を設定する必要がある。誤差因子は、市場での使われ方や製造工程などにおけるばらつきであり、設計者側で制御できない因子である。制御因子は、設計者が自由に設定できる設計パラメータであり、製品の課題解決のために調整する因子である。

以上に示したシステムの入出力関係について図式化したものがP-ダイアグラム(図14)である。

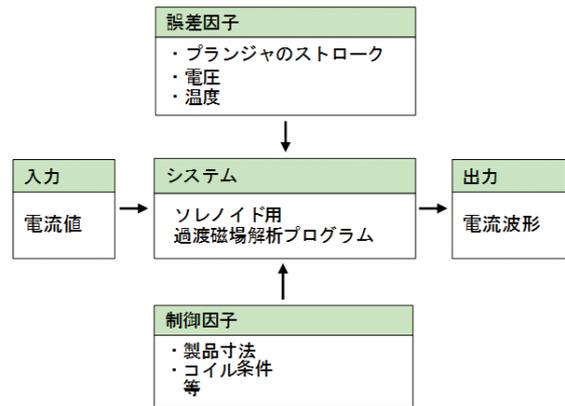


図14 P-ダイアグラム

注4) 製品の特性や機能性が、誤差因子に対してロバスト(頑健)になるように制御因子を設計する方法。

8.2 標準SN比^{注5)}

ソレノイドの応答性の理想は、波形の立上りおよび立下りが瞬時に行われることである。そこで標準SN比を用いて理想に近づく条件を求めたこととした。具体的には、図15に示したように、矩形波(赤線)を目標曲線^{注6)}とし、電流が目標曲線に近いほど良いと考えた。

解析には、設定した吸引力となるように電流設定値を自動調整するプログラムを用いたため、ロバスト性が低い場合は、電流波形が誤差因子間で大きくばらつくことになる。

今回は、目標曲線を標準状態N0^{注7)}とし、ノイズ条件(N1~N8)における電流波形が、標準状態N0に近づく制御因子の組み合わせを求めることで、ロ

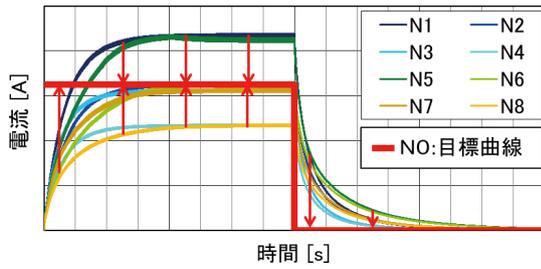


図15 標準SN比

バスト性向上と応答性向上を同時に達成できると考えた。

- 注5) 製品の機能を入力-出力で考えた場合に、理想と考える機能が、直線関係にない場合に用いる評価方法。
- 注6) その製品にとって理想と考える特性を表した曲線。
- 注7) 基準となる因子の水準の組み合わせ。例えば、ノイズのない状態。

8.3 誤差因子（ノイズ）

実際の使用状況においてばらつきが影響すると考えられる3因子（プランジャのストローク、電圧、温度）について直交配列（2水準）して得られた8水準（N1～N8）を誤差因子とした。

8.4 制御因子

製品において調整可能な8因子（製品寸法、コイル条件など）を制御因子（A～H）とした。これをL18直交表に割り振った。

8.5 解析結果

図16に、L18直交表の全条件（18×8条件）の解析結果を示す。条件によって、電流値の大きさや、立上り、立下りの応答性が大きく異なっていること

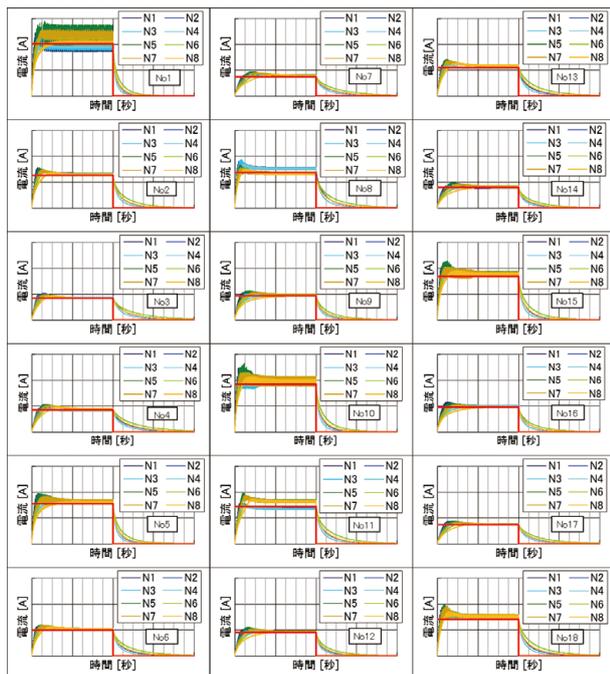


図16 解析結果一覧

がわかる。

図17に要因効果図を示す。応答性に対し、因子Hの影響が特に大きく、因子Bおよび因子Gも影響していることが分かった。

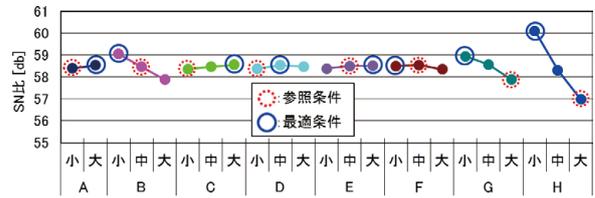


図17 要因効果図

図18に参照条件と最適条件の解析結果を示す。最適条件では、立上り、立下り共に応答性が向上している。なお、吸引力の設定値に合うように電流値を自動調節するプログラムを用いているため、両図の電流の絶対値は異なる。

なお、図18の最適条件は波形が振動しているが、これは応答性が高い条件において見られた現象である。

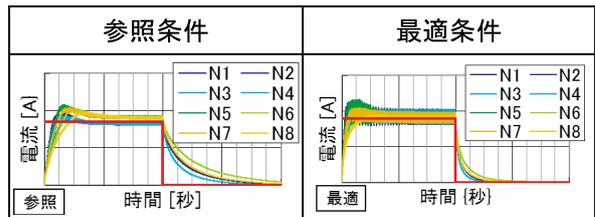


図18 参照条件と最適条件の解析結果（電流値）

表1にSN比の再現性確認結果を示す。推定値と確認結果の利得差は0.26dbと小さく、利得の再現性は高いことから、解析結果は信頼できると考える。

表1 再現性確認 [db]

条件	推定値	確認結果
最適条件	61.47	61.78
参照条件	56.26	56.31
利得	5.21	5.47

これらの結果から、応答性を向上し、ノイズに対してロバスト性を向上させるための知見を得ることができた。

9 振動低減

図18の最適条件において波形の振動が見られた。この現象が実際に発生するかは未確認であるが、問題となった場合の対策をあらかじめ解析上で検討することとした。

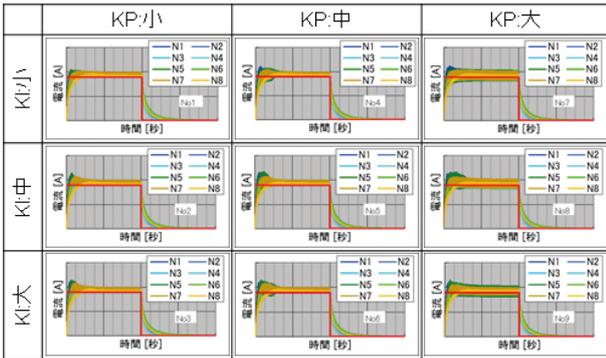


図19 KP値とKI値の影響

図19に、PI制御（図8）におけるKP値とKI値を調整することにより振動低減にトライした結果を示す。

確認した範囲においては、KP値を小さくすることで振動を低減できている。仮に解析と同様の振動が実際に発生した場合には、この考え方で改善可能と考える。

10 おわりに

本活動は製品開発の初期に行ったものであったため、製品化に至るまでの間に設計変更があったが、

著者



上野 和生

1993年入社。技術本部CAE推進部岐阜分室専門課長。生産技術研究所を経て現職。解析業務に従事。



松下 雄介

2007年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部サスペンション事業部技術部第二設計室。製品企画開発部を経て現職。ショックアブソーバの開発に従事。

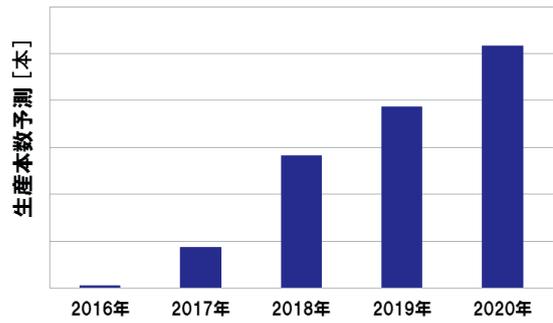


図20 外付け式SOL減調SA生産数予測

その際に本活動で得られた知見を基に応答性改善策が盛り込まれた。外付け式SOL減調SAは、2016年より量産が開始され、今後も採用車種・生産数ともに拡大が期待される（図20）¹⁾。

参考文献

- 1) 鎌倉, 古田, 森, 富田: 外付け式ソレノイド減衰力調整ショックアブソーバーの開発, KYB技報第55号, (2017年10月).

「品質工学について」

「磁場解析を活用した比例ソレノイド減衰力調整式ショックアブソーバの応答性改善」
(p. 54) に記載

KYB品質工学研究会

1 品質工学の定義とその必要性

品質工学とは、品質不具合がお客様の下で発生しないよう、製品の目的を達成する技術的な機能が、お客様目線での様々な条件下で、安定して発揮されるような、良い技術開発を行うための考え方と方法のことです。

近年、製品や技術に求められる機能が高度化、多様化する中で、製品開発を効率良く実施するために、開発そのものを机上で実施するモデルベース開発（以下MBD）が注目されています¹⁾。MBDでは、その適用にあたり具体的な評価手法が明確になっておらず、品質工学の活用がその一つであるといえます。

一方で、次世代を担う若手・中堅人財の技術者育成が、モノづくり企業における重要な課題となっています。現在の企業環境は、以前と比べて若手技術者が育ちにくい状況にあります。その要因として文献²⁾では、業務の細分化がもたらす全体観不全、メールやインターネットの普及によるコミュニケーション不足や業務観察不足が挙げられています。技術の本質を追求し、技術者の想像力を引き出す品質工学の方法論が、人財育成につながるとされています³⁾。

2 市場の様々な条件に強い製品開発

技術には働きがあります。辞書によれば、働きには、“物の果たす機能・役割、他のものに及ぼす作用・影響”の意味があります。技術における働きとは、例えば電動モータの場合、電気を流すことで回転運動を得ることです。言い換えれば、電気エネルギーを投入し、回転の運動エネルギーを得ることです。この様に、技術の働きを入力と出力の関係で表現したものを**基本機能**と呼びます。

製品は市場に出荷され、様々な条件下で使用されます。例えば、高温多湿等の環境条件や長時間の連続稼働等の使用条件、経時による材料、材質の劣化等があります。出荷時には何の問題もなかった製品の性能が、これらの条件下で乱れ、故障や不具合が引き起こされることがあります。このように、製品を開発した設計者がコントロールできない市場における様々な要因のことを、**誤差因子**、または**ノイズ**と呼びます。

良い品質とは、市場における様々な条件下において、安定した性能を発揮することです。誤差因子に対する機能の安定性のことを**機能性**、または**ロバスト性**と呼びます。誤差因子を付加して、基本機能の安定性（ばらつき）を評価することを**機能性評価**と呼びます。機能性の高い製品を開発するため、設計者は形状寸法や材質等の設計パラメータを選択します。このように設計者が選ぶことができるパラメータが**制御因子**です。以上の関係をひと目でわかるように図示したものを、**システムチャート（Pダイアグラム）**と呼びます（図1）。

開発の初期段階において、ロバスト性の高い技術を開発することで、後々市場における不具合を未然防止することが、品質工学の考え方の基本です。

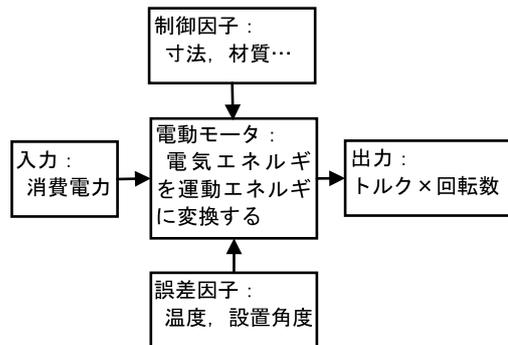


図1 システムチャートの例

3 評価の効率化

製品開発時には、多くの制御因子が存在します。また、市場での不具合を未然に防止するためには、誤差因子をなるべく多く取り上げることも必要です。これらを組み合わせて機能性評価を実施する場合、実験や計算の回数が膨大となってしまいます。そこで、品質工学では、実験計画法の技術を応用して、効率的に機能性を評価する手法が手順化されています。この手法のことを**パラメータ設計**と呼びます。パラメータ設計では、**直交表**と呼ばれる実験計画法のツールを活用します。取り扱い可能な因子の数と水準の数に応じて、様々な直交表がありますが、最も良く使われるものがL18直交表です。L18直交表では、3水準の因子を7つ、2水準の因子を1つ利用でき、全4,374通りの組み合わせを18通りに削減することができます。

パラメータ設計では、直交表を用いて削減した制御因子の組み合わせに対して、誤差因子を与えた計測を実施します。その結果を統計的に処理して、図2のような**要因効果図**と呼ばれるグラフを作成します。グラフは2種類あり、いずれも横軸には制御因子とその水準を取ります。1つめは縦軸に基本機能の安定度（ばらつき）を表す**SN比**を取ります。SN比が大きい程、ばらつきが小さく、ロバスト性が高くなります。2つめは、入力に対する出力の大きさを表す**感度**を取ります。基本機能の考え方に応じて、SN比と感度の計算式にはいくつかの種類があります（例えば、**標準SN比**）。いずれの場合も、実際の数値に常用対数 (\log_{10}) をとり、[db] 単位で表されます。

設計者はこの要因効果図を見て、各制御因子の最適な水準を選びます。この時、機能の安定性確保を重視し、SN比の高い制御因子を優先して採用します。次にSN比への影響が少ない制御因子で、出力を目標値に調整します。

ところで、総組み合わせ数の1 [%] 以下の計測数から選ばれた最適条件は、本当に最適なものでしょうか？ 要因効果図から選ばれた最適水準の組み合わせは、実際の計測には含まれていない統計的な推定値です。そこで、この推定が正しいかどうかを確認するため、実際に最適水準の組み合わせを作成し、計測を行います。これを**確認実験**と呼びます。もし統計的な推定値と実際の確認結果の間に差がなければ、パラメータ設計が成功したと判断します。この差のことを**利得差**と呼び、SN比、または感度を引き算して求めます。常用対数の引き算ですから、実際の値の割り算を意味します。利得差が大きい場合、基本機能や誤差因子、制御因子の設定に問題がある、すなわち設計者のアイデアに問題があると判断され、これらを見直す必要があります。品質工学のパラメータ設計は、単に計測数を低減させるだけでなく、アイデアの確からしさを検証する部分まで手順化されているのです。

参考文献

- 1) “マツダの目指すモデルベース開発”，藤川智士，マツダ技報 No.31 (2013)。
- 2) “なぜ若手社員は「指示待ち」を選ぶのか？”，豊田義博，PHPビジネス文庫。
- 3) “技術にも品質がある”，長谷部光雄，日本規格協会。

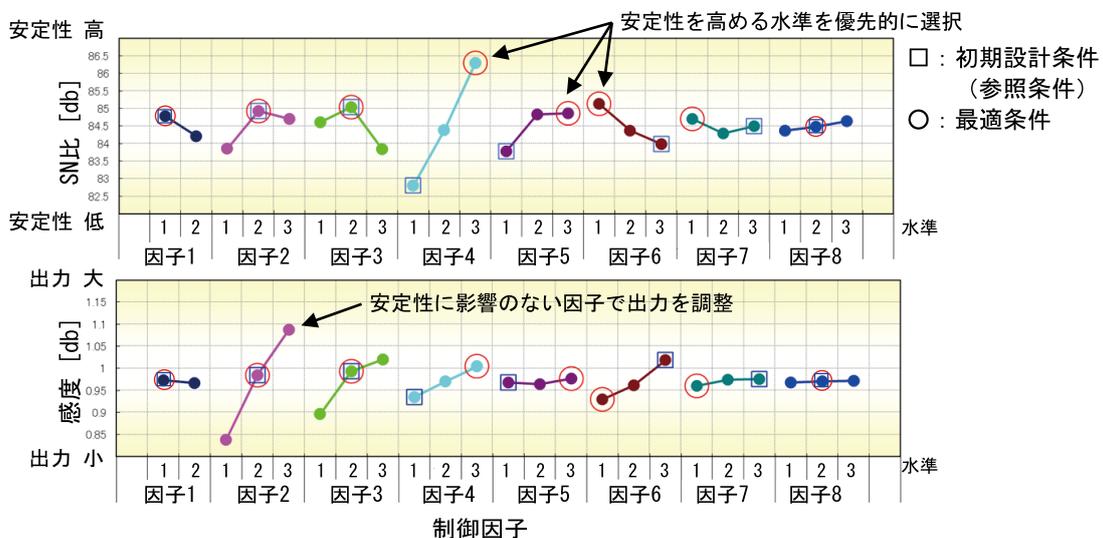


図2 要因効果図の例

油圧機器に関連した材料分析技術

田村 徹 弥 ・ 中瀬 拓 也 ・ 櫻 木 研 治

1 はじめに

油圧機器が意図した通りの機能を発揮するためには、部品を構成する材料の品質が適切でなければならない。油圧機器の摺動部を例にとると、品質を満足しない材料は疲労破壊、摩耗、かじり、腐食など様々な形態の不具合を引き起こす原因になる。材料起因の不具合は、眼で見ただけではわからない原因が多く、ときには微視的な観点から材料の分析を行う必要がある。

KYBでは一般的な材料試験（硬さ測定、触針式粗さ測定、光学顕微鏡による組織観察など）に加え、以下のような材料分析手法を用いている。

- ・ 走査電子顕微鏡法
(Scanning Electron Microscopy : SEM)
- ・ エネルギー分散型X線分光法
(Energy Dispersive X-ray Spectrometry : EDS)
- ・ X線回折法
(X-Ray Diffraction : XRD)
- ・ 電子線後方散乱回折法
(Electron Backscatter Diffraction : EBSD)
- ・ 原子間力顕微鏡法
(Atomic Force Microscopy : AFM)

他にも、有機分析（赤外分光分析や質量分析など）を行う場合もある。一般的な材料試験では材料の良し悪しを評価するに留まるが、上記に挙げた材料分析手法は、材料の微視的な性質を詳細に把握することで不具合原因の推定ができる。さらに付け加えると技術開発の立場からも一歩進んだ材料特性の理解が得られるため重要である。

油圧機器の摺動部には、耐摩耗性や耐食性などの機能を付与するために様々な表面処理・熱処理が施され、それらの品質は製品機能を支えている。表面処理のうち、当社で最も多く使用されるクロムめっきは、摺動部の耐摩耗性や耐腐食性を付与するが、表面欠陥があると製品機能の損失につながる。焼入れなどの熱処理は主に鉄系材料の機械的性質を向上

させるが、組織異常があると疲労強度の低下などにつながる。また、油圧機器の油漏れを防止するオイルシールに対するコーティング表面の粗さの摩擦特性への影響など、表面処理・熱処理に関する知見は枚挙にいとまがなく、それらの品質確認に使用される材料分析は重要な位置を占める。

本報では、上記に述べた代表的な分析事例を以降に紹介する。

2 材料分析事例

2.1 クロムめっきの欠陥観察 (SEM/EDS)

硬質クロムめっきは油圧シリンダやショックアブソーバのピストンロッドに成膜し、耐摩耗性や耐傷付き性を向上させる。めっきにピットやピンホールなどの表面欠陥があると、耐食性を悪化させる原因となる。表面欠陥の原因は様々あるが、クロムめっきの欠陥を分析した一例を紹介する。この事例では、SEMおよびEDSを用いた。SEMは電子線を用いて表面を高倍率で観察する方法であり、EDSなどの検出器を追加して元素分析を行うこともできる。目視できない微視的な形状の違いや、それに含まれる成分を検知することは、一般的な材料試験ではできない。しかしながら、これらは製品品質を左右する重要な要素であり、当社にとって不可欠な方法である。

図1はクロムめっき表面上の10 μ m程度の大きさのピットをSEMにより観察した結果である。このような微視的な表面欠陥が生じる原因を探るため、観察された欠陥の一部のめっき皮膜断面内部構造を調査した。断面サンプル作製方法として、機械研磨では観察したい欠陥部が研磨くずなどで汚染されてしまうため、清浄な断面が作製できる集束イオンビーム (Focused Ion Beam : FIB) 加工やイオンエッチング法によるクロスセクションポリッシュ (CP) 加工を行う。図2は、約10 μ mの表面欠陥の直上よりCP加工を行った断面SEM像である。表面上はわずかな大きさに見られる欠陥も、内部では広く広がってい

ることが確認できる。この腐食成分を確認するため、SEM/EDSを用いて分析した事例が図3となる。これは図2と同位置における元素マッピング像（クロム (Cr)、鉄 (Fe)、酸素 (O)、塩素 (Cl)、それぞれ検出率が高い部分を設定色別で明るく表示) である。母材成分であるFeとめっき成分であるCrが確認されるほか、腐食とみられる箇所からは、Oと腐食の要因となるClが特徴的に検出される。このように、微小領域の分析によって腐食過程を詳細に調べることができ、不具合の原因推定に役立っている。

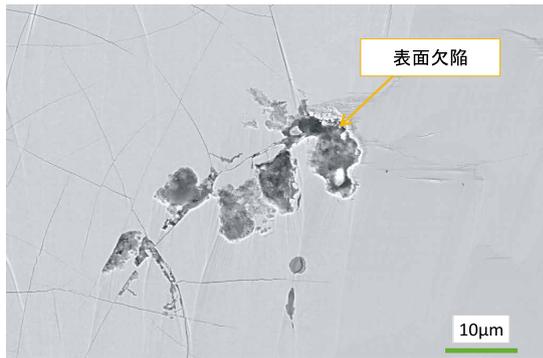


図1 クロムめっき表面欠陥のSEM観察事例

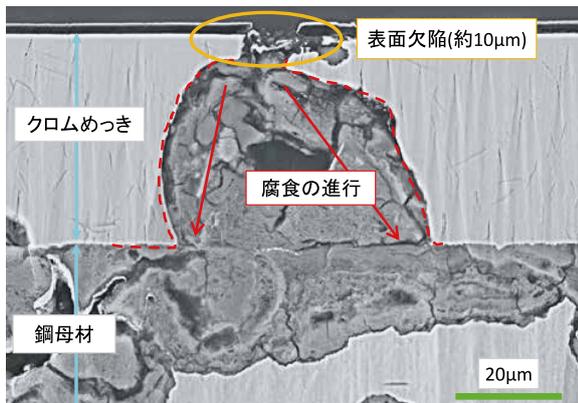


図2 CP加工後の断面SEM像

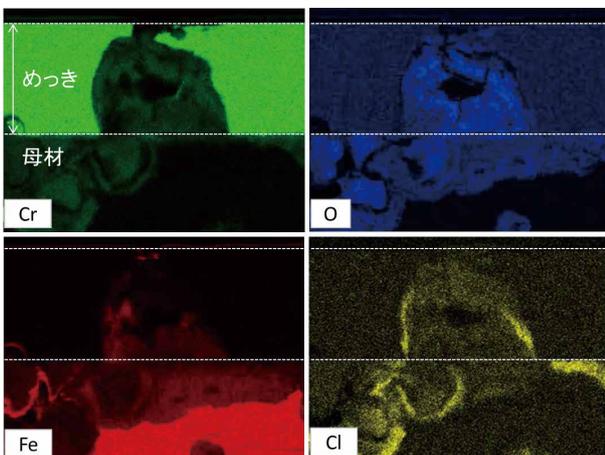


図3 クロムめっき欠陥部の元素マッピング

2.2 ニッケルリンめっきの結晶構造解析 (XRD)

ニッケルリン (NiP) めっきは成膜後にベーキング (300℃前後の熱処理) を施すと、めっき皮膜の結晶化により硬さが800~900HV程度に上昇する¹⁾。熱処理条件が不適切であると、硬さの低下を招き不具合につながる懸念がある。

NiPめっきの硬さ上昇メカニズムは、皮膜の結晶構造に由来する。ここでは、NiPめっきの結晶構造をXRDで解析した結果を紹介する。

XRDは、試料に単色 (特定の波長) のX線を照射することで得られるX線の回折パターンから結晶構造の情報を読み取る手法である。その応用により化合物の同定のほか、残留応力の測定や試料の配向性、結晶子サイズやひずみの推定など広く用いられる。

図4は異なるリン量のNiPめっきについて、熱処理温度を変化させたサンプルのXRDスペクトルを示す。

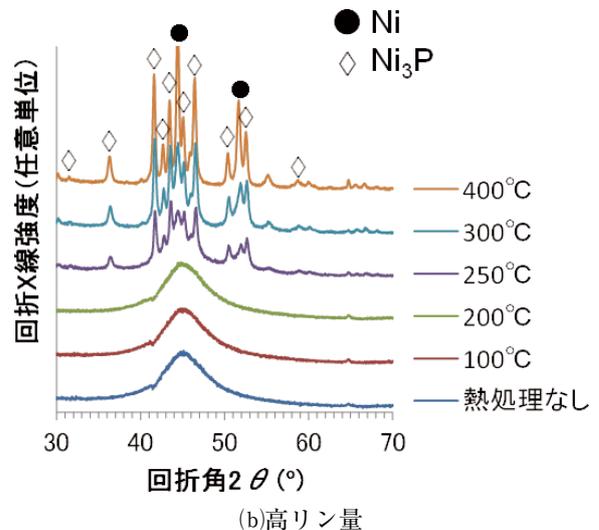
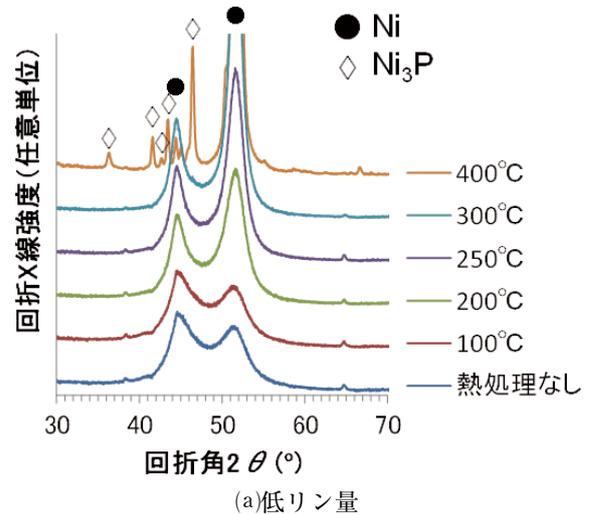


図4 ニッケルリンめっきXRDスペクトル

一般的に低リン量のめっき皮膜は、熱処理によるNiの結晶化で硬さが上昇することが知られる。図4(a)から実際に低リン量NiPめっきは、250℃以上でNiのピークが鋭くなっていることからNiの結晶化が進んでいることが確認できる。

高リン量のめっき皮膜（図4(b)）は、Ni₃Pの析出が皮膜結晶構造の変化として表れており、高リン量の場合、Ni₃Pの析出が硬さ上昇に寄与することが考えられる。

以上からリン量がNiPめっき皮膜特性に影響することが確認された。

2.3 熱処理組織の結晶方位解析

高面圧接触する歯車（球状黒鉛鋳鉄）の歯面へ焼入れを行ったところ、白色組織（図5および図6）が発生した。この材料は、本来、黒鉛周りも含め全てパーライト基地となる。この白色組織を特定し、有害なものであれば対策案を検討するため、EBSDを用いて詳細な組織調査を行った。

EBSDは、SEM中において試料に電子線を照射することで得られる結晶方位に基づいたパターンを取得する。これにより、単一相内における結晶方位の違いや、結晶構造の差異から複数の相の微視的な識別が可能である。今回のような同じ鉄元素で構成される結晶系の差異は、前述のEDSでは判別できない。このためEBSDによる判別が役立つ。

上記の白色組織を含む焼入れ層表層部をEBSDにより解析した結果を図7に示す。光学顕微鏡で観察された球状黒鉛まわりの白色組織は、相分布図をみるとオーステナイトとセメンタイトの混合組織であるレデブライトと考えられる。セメンタイトは硬質で脆性な組織であり、今回は歯車における接触面直下に生成しているため、黒鉛とともに疲労強度を低下させる欠陥として作用する懸念がある。

セメンタイトの低減に有効な策として焼入れ時の温度を低下させることが考えられる。この理由として、レデブライト組織は加熱の際に黒鉛周辺の炭素拡散により低融点化し溶解する。固溶限を超えた炭素はセメンタイトとなり、その他の部分は残留オーステナイトとして現れる²⁾。そのため、焼入れ温度を低減させることで、黒鉛周辺の炭素の拡散および溶解を抑制し、結果としてセメンタイトの晶出を低減できると考えられる。

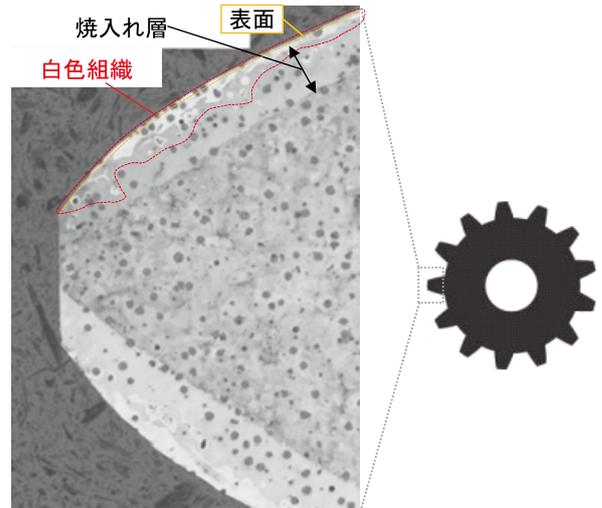


図5 マクロ組織

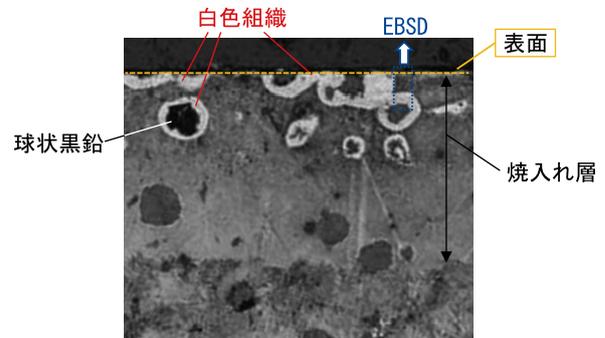


図6 表面の白色組織（光学顕微鏡像）

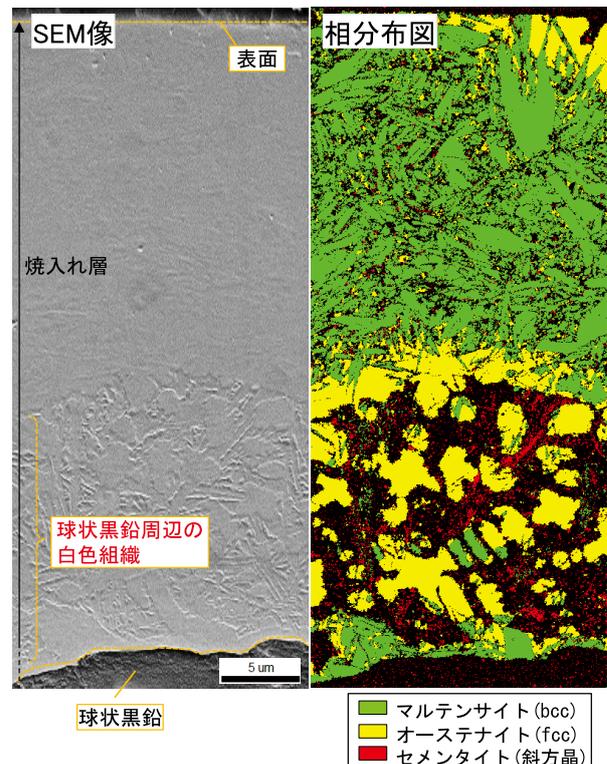


図7 EBSDによる白色組織の相解析結果

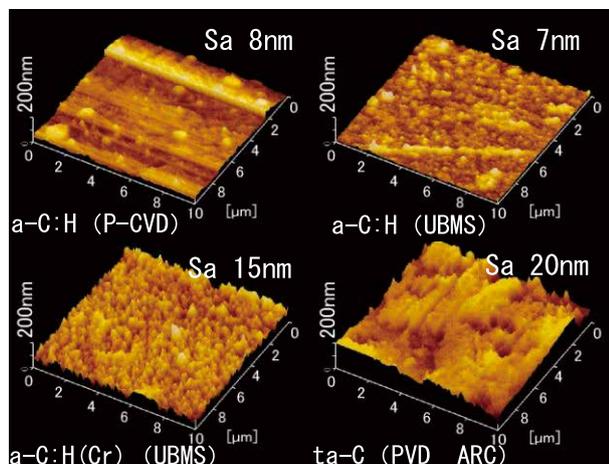
2.4 ダイヤモンドライクカーボン皮膜のナノメートルスケール粗さ測定

ダイヤモンドライクカーボン (Diamond-Like Carbon : DLC) 皮膜³⁾は、非常に滑らかな皮膜であるが、その表面にはナノメートルオーダーの凹凸 (以下、ナノ粗さと称する) が存在する。ここでは、DLC皮膜表面のナノ粗さをAFMを用いて観察した事例を紹介する。

AFMは、一般的な触針式粗さ計よりも非常に高分解能に三次元の表面プロフィールを測定することができる手法である。

図8に成膜方法の異なる各種DLC皮膜表面をAFMで観察した結果を示す。図中に三次元表面性状のパラメータの一つである算術平均高さ $Sa^4)$ の値を示す。一般的な粗さに比べると、非常に小さく、金属を相手に摺動する場合、これが影響することはほとんどない。しかし、摺動相手がオイルシール、ブッシュといった軟質材料の場合、この数十nmの粗さが摩擦・摩耗特性を悪化させる原因となる。

DLC皮膜は、圧力、ガス流量、温度、バイアス電圧等様々なパラメータを制御することで成膜を行っている。これらのパラメータを変更することで、DLC皮膜ナノ粗さの改善を実施した。図9に成膜パラメータが異なる仕様のDLC皮膜のAFM像を示す。成膜パラメータの変更によるナノ粗さの改善により、仕様Cの皮膜において Sa が0.5nmという非常に滑らかな粗さを実現することができた。各仕様のDLC皮膜を二輪車用フロントフォークインナーチューブに成膜し、オイルシールを往復摺動させた平均摩擦力の速度特性を評価した (図10)。皮膜ナノ粗さの改善により、摩擦特性の改善が図られていることが確認できる。



水素化アモルファスカーボン (a-C:H)
テトラヘドラルアモルファスカーボン (ta-C)

図8 DLC皮膜の表面粗さ

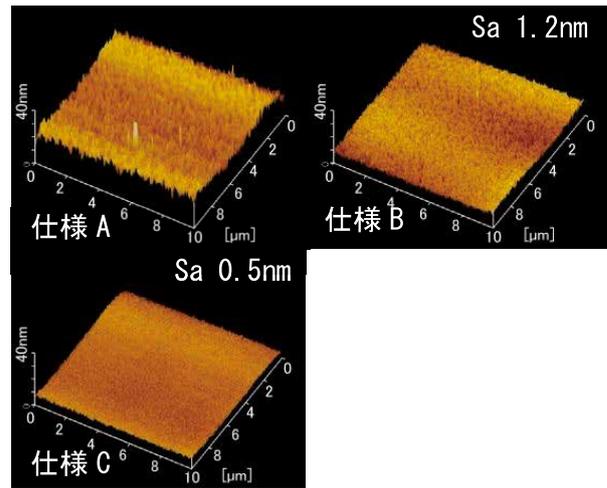


図9 DLC皮膜の粗さ改善

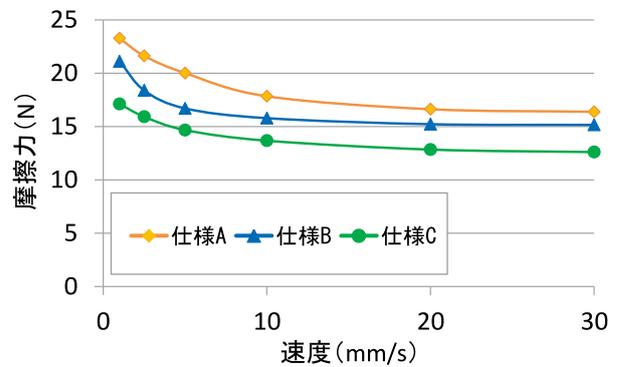


図10 DLC皮膜の粗さ改善による摩擦低減

3 おわりに

材料の性能や品質は肉眼での観察や一般的な材料試験だけでは分からないことが多く、今回紹介したような微視的な分析手法が不具合解析などに活用されている。

参考文献

- 1) 来間清志, 山田克美, 佐藤馨, 影近博: 電析Ni-P合金めっきの熱処理による皮膜構造変化と硬さとの関係, 表面技術, Vol. 42, No. 10 (1991) 1013-1018.
- 2) 辻川正人: レーザ技術の素形材分野への展開, 素形材 Vol. 55, No. 4 (2014).
- 3) 大竹尚登, 平塚傑工, 齋藤秀俊: DLC膜の規格化について, トライボロジスト, Vol. 58, No. 8 (2013) 538-544.
- 4) 日本工業規格: JIS B 0681-2:2018

— 著 者 —



田村 徹弥

1996年入社。技術本部基盤技術研究所材料研究室主幹研究員。主に表面処理に関する材料技術開発に従事。



中瀬 拓也

2005年入社。技術本部基盤技術研究所材料研究室。博士（工学）。主にトライボロジーに係る材料技術開発に従事。



櫻木 研治

2011年入社。技術本部基盤技術研究所材料研究室。主に金属材料の表面処理・熱処理の技術開発に従事。

編集後記

KYB技報に、何度か執筆しているが、初めて掲載された記事は1999年発行の19号である。当時の上司に技術文章の書き方について指導して頂きながら、苦勞して書き上げたことを、よく覚えている。久しぶりに記事を読み返してみたが、「今ならもっと上手く書けるな」と思った。編集委員となって、記事をじっくりと目を通す機会が増える中で、伝えたい要点を簡潔に解り易く書かれている記事を目にすることが多々あり、感心させられ、参考になることがある。今後、執筆する際は、読み易く、読みたくなる記事になるよう心掛けていきたい。(川島委員)

編集委員の作業のうち、校正と校閲の占める割合は比較的大きいが、近い将来において、校正作業の大部分がAIによって自動化されそうである。更には、全編集作業の自動化も夢物語ではないように思われる。とはいえ、歴史ある技報編集委員の仕事にだまされて自動化ツールに明け渡すのは悔しい限りである。

そこで、当面自動化が難しいであろう校閲の領域、すなわち執筆者の意図を汲みとりつつ新しい技術を如何に判りやすい文章で表現するかといった部分において、自動化ツールに負けない執筆者支援ができるよう努めてゆきたい。(野口委員)

技報の編集委員会には、毎回KYBグループ内からさまざまな記事が寄せられてきます。私は編集員になり今回3回目の編集作業でしたが、記事の内容はKYBグループ内の多種にわたる製品のものであり、自分の業務の専門外の記事は内容を理解しながらの確認作業となるのでなかなか大変です。

技報の読者の方もさまざまな業務をされています。読者の方の専門外の記事でも、内容がわかりやすく、興味をもって読んでもらえるよう技報の編集をしていきたいと思えます。(仙田委員)

編集委員

◎手塚 隆	執行役員技術本部技術企画部長	渡辺 健二	AC事業本部サスペンション事業部生産技術部
中村 善也	技術本部基盤技術研究所要素技術研究室	松久 隆司	KYBモーターサイクルサスペンション(株)生産技術部
栲澤 亮一	技術本部基盤技術研究所電子技術研究室	梅田 禎典	HC事業本部技術統轄部開発実験部
西尾 昭彦	技術本部生産技術研究所	堂上 真樹	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
星野 公輔	HC事業本部技術統轄部相模油機技術部	岩田 達也	人事本部
吉村 光明	航空機器事業部生産部	近藤 文隆	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
赤塚浩一郎	AC事業本部ステアリング事業部ポンプ技術部	仙田 貴弘	KYB-YS(株)設計部
米澤 和彦	AC事業本部サスペンション事業部実験部	○宮 能治	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57号

〔禁無断転載〕 〔非売品〕

発行

2018年10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、こちらを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)