

ISSN 1880-7410

# KYB TECHNICAL REVIEW

**KYB技報**  
OCT. 2020 No.61

K  
Y  
B  
技  
報

KYB TECHNICAL REVIEW No. 61 OCT. 2020



**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)

2020年9月1日現在

|                                 |                                     |           |                |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------|----------------|
| <b>本社・営業</b>                    | 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 |
| <b>基盤技術研究所</b>                  | 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 |
| <b>生産技術研究所</b>                  | 岐阜県可児市土田60番地                        | ☎509-0206 | ☎(0574)26-1453 |
| <b>KYB開発実験センター</b>              | 岐阜県加茂郡川辺町鹿塩字白砂1185番地                | ☎509-0307 | ☎(0574)52-1323 |
| <b>工機センター</b>                   | 岐阜県可児市土田60番地                        | ☎509-0206 | ☎(0574)26-5310 |
| <b>名古屋支店</b>                    | 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 |
| <b>大阪支店</b>                     | 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 |
| <b>大福岡支店</b>                    | 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 |
| <b>浜松営業所</b>                    | 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 |
| <b>広島営業所</b>                    | 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 |
| <b>相模工場</b>                     | 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 |
| <b>熊谷工場</b>                     | 埼玉県深谷市長在家2050番地                     | ☎369-1193 | ☎(048)583-2341 |
| <b>岐阜工場</b>                     | 岐阜県可児市土田2548番地                      | ☎509-0298 | ☎(0574)26-5111 |
| <b>岐阜北工場</b>                    | 岐阜県可児市土田505番地                       | ☎509-0297 | ☎(0574)26-1111 |
| <b>岐阜南工場</b>                    | 岐阜県可児市土田60番地                        | ☎509-0206 | ☎(0574)26-2135 |
| <b>岐阜東工場</b>                    | 岐阜県可児市土田60番地                        | ☎509-0206 | ☎(0574)26-2135 |
| <b>カヤバシステムマシナリー株式会社</b>         | 三重県津市雲出長常町1129番地11                  | ☎514-0396 | ☎(059)234-4111 |
| <b>KYBステージエンジニアリング株式会社</b>      | 三重県津市雲出長常町1129番地11                  | ☎514-0396 | ☎(059)234-9260 |
| <b>KYBトロンデュール株式会社</b>           | 東京都府相模郡精華町祝園浦一丁目32番地1               | ☎949-5406 | ☎(0258)92-6903 |
| <b>K Y B 金 山 株 式 有 限 公 司</b>    | 岐阜県下呂市金山町戸部4350番地130                | ☎619-0240 | ☎(0774)95-3336 |
| <b>K Y B - Y S 株 式 有 限 公 司</b>  | 岐阜県下呂市金山町戸部4350番地130                | ☎509-1605 | ☎(0576)35-2201 |
| <b>KYBモーターサイクルサスペンション株式会社</b>   | 長野県埴科郡坂城町坂城9165番地                   | ☎389-0688 | ☎(0268)82-2850 |
| <b>KYB エンジニアリングアンドサービス株式会社</b>  | 岐阜県可児市土田2548番地                      | ☎509-0298 | ☎(0574)27-1170 |
| <b>KYBシステメリット株式会社</b>           | 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 |
| <b>KYBロジスティクスジャパン・アナリスト株式会社</b> | 岐阜県可児市土田505番地                       | ☎509-0206 | ☎(0574)26-1110 |
| <b>株式会社けんしゅう</b>                | 岐阜県可児市姫ヶ丘二丁目16番地                    | ☎509-0249 | ☎(0574)26-6427 |
|                                 | 神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号 KYB株式会社 相模工場内 | ☎252-0328 | ☎(042)749-7512 |
|                                 | 東京都港区浜松町二丁目9番3号（NBC浜松町ビル）           | ☎105-0013 | ☎(03)3437-1955 |

## 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 North Morton, Franklin, Indiana 46131, U.S.A.  
TEL: (1)317-736-7774

###### Takako America Co., Inc.

715 Corey Road Hutchinson, Kansas 67504-1642, U.S.A.  
TEL: (1)620-663-1790

###### KYB International America, Inc.

2625 North Morton, Franklin, Indiana 46131, U.S.A.  
TEL: (1)317-346-6719

###### KYB Mexico S.A. de C.V.

Circuito San Roque Norte #300 Santa Fe II, Puerto Interior, Silao Guanajuato, CP 36275, Mexico  
TEL: (52)472-748-5000

###### 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 Manufacturing do Brasil Fabricante de Autopeças S.A.

Rua Francisco Ferreira da Cruz, 3000, Fazenda Rio Grande-Parana, CEP 83820-203, Brazil  
TEL: (55)41-2102-8204

###### Comercial de Autopeças KYB do Brasil Ltda.

Rua Cyro Correia Pereira, 2400 Suite 07-Cidade Industrial, Curitiba-PR, 81460-050, Brazil  
TEL: (55)41-3012-3620

##### [Europe]

###### KYB Europe GmbH

Fritz-Vomfelde-Str. 20, 40547 Düsseldorf, Germany  
TEL: (49)211-538-059-0

###### KYB Suspensions Europe, S.A.U.

Ctra. Irurzun S/No. 31171 Ororbia Navarra, Spain  
TEL: (34)948-421700

###### KYB Steering Spain, S.A.U.

Poligono Ipertegui No. 2, nave 12, CP-31160, ORKOIEN Navarra, Spain  
TEL: (34)948-3121004

###### KYB Advanced Manufacturing Spain, S.A.U.

Poligono Industrial Perguita Calle B, No. 15, 31210 Los Arcos Navarra, Spain  
TEL: (34)948-640336

###### KYB Manufacturing Czech, s.r.o.

U Panasonicu 277, Stare Cvice, 530 06 Pardubice, Czech Republic  
TEL: (420)466-812-233

###### KYB CHITA Manufacturing Europe s.r.o.

Prumyslova 1421, 53701 Chrudim, Czech Republic  
TEL: (420)469-363-302

##### LLC KYB Eurasia

117638 Odesskaya street 2 building A, Moscow, Russian Federation  
TEL: (7)495-7716010

##### [Asia]

###### KYB Steering (Thailand) Co., Ltd.

700/829 Moo 6, T. Nongtamlueng Amphur Panthong, Chonburi 20160,Thailand  
TEL: (66)3-818-5559

###### 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 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)2-300-9777

###### KYB-UMW Malaysia Sdn. Bhd.

Lot 8, Jalan Waja 16, Telok Panglima Garang, 42500 Kuala Langat, Selangor, Malaysia  
TEL: (60)3-3322-0800

###### PT. KYB Hydraulics Manufacturing Indonesia

Jl. Irian X blok RR2 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia  
TEL: (62)21-28080145

###### PT. Kayaba Indonesia

Jl. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia  
TEL: (62)21-8981456

###### PT. Chita Indonesia

Jl. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia  
TEL: (62)21-89983737

###### KYB Manufacturing Vietnam Co., Ltd.

Plot I 10-I 11-I 12, Thang Long Industrial Park, Dong Anh District, Hanoi, Vietnam  
TEL: (84)24-3881-2773

###### Takako Vietnam Co., Ltd.

27 Dai Lo Doc Lap, Vietnam Singapore Industrial Park, Thuan An District, Binh Duong, Vietnam  
TEL: (84)274-378-2954

###### 永華機械工業股份有限公司

###### KYB Manufacturing Taiwan Co., Ltd.

No. 493, Guang Hsiang Road, Bade District, Taoyuan City, 33454, Taiwan  
TEL: (886)3-368-3123

##### 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-Conmat Pvt. Ltd.

702-703, Beside N. H. No. 8, Por, Vadodara 391243, Gujarat, India  
TEL: (91)960-1551608

##### KYB Corporation Chennai Branch

No. 408, Height 1, Temple Green Project, Mathur Village, Sriperumbudur Taluk, Kancheepuram District, India 602105  
TEL: (91)2568-0501

##### KYB Middle East FZE

Office No. 2010 20th Floor, Tower-A

JAFZA One, Jebel Ali Free Zone,

PO.BOX:261819, Dubai, UAE

TEL: (971)4-887-2448

##### [China]

###### 凱途必(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

###### 凱途必機械工業(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

###### 無錫凱途必拓普減震器有限公司

###### Wuxi KYB Top Absorber Co., Ltd.

No. 2 Kikun North Road, Singapore Industrial Zone, Xindu District, Wuxi, Jiangsu, 214028, China  
TEL: (86)510-8528-0118

###### 常州朗銳凱途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

###### 湖北恒隆凱途必汽車電動轉向系統有限公司

###### Hubei Henglong & KYB Automobile Electric Steering System Co., Ltd.

108 Shacen Road, Economic and Technological Development Zone, Jingzhou, Hubei, China. 434000  
TEL: (86)716-416-7951

###### 知多彌美工業(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株では、複製複製および転載複製に係る著作権を一般社団法人学術著作権協会に委託しています。当該利用をご希望の方は、学術著作権協会（<https://www.jaacc.org/>）が提供している複製利用許諾システムもしくは転載許諾システムを通じて申請ください。

KYB Corporation authorized Japan Academic Association For Copyright Clearance (JAC) to license our reproduction rights and reuse rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (<http://www.jaacc.org/en/>) and confirm appropriate organizations to request permission.

# KYB技報

第61号 2020-10

## 目 次

### 巻頭言

何事も現地現物

伊東 敏夫 1

### 技術解説

CFD解析によるベーンポンプの性能改善

鈴木 一成 3

スマート道路モニタリングシステムの開発

長島 碧 11  
首藤 悠  
高松 伸一

### 用語解説

新しい社会の始まり

岡村 淳 21

### 技術紹介

ピニオンアシストタイプ電動パワーステアリングの減速機ラトル音解析技術

柳生 貴也 23

### 用語解説

バックラッシとラトル音

宮谷 修 28

1Dシミュレーション, 1DCAE

島田 美穂 29

### 技術紹介

油圧シリンダ用故障検知機器の開発

岩本 貴宏 31

シリンダチューブボトム溶接部の非破壊検査技術の開発

高橋 佑介 35

小型ミキサMR12のドライブシャフト駆動化の開発

光尾 崇 35

油圧モジュールロボットの開発

齋藤 弘明 40

齊藤 靖 45

杉本 隼一

玄 相昊

### 製品紹介

ミニモーションパッケージ5型 (MMP5)

田中 大介 50

### 紹介

ワールドラリークロス用ショックアブソーバの開発

奥村 昌利 55

### 随筆

チェコ・スペイン・ドイツ駐在記

松岡 毅 60

アメリカ・メキシコ駐在記

岡 敬子 64

### 編集後記

(表紙写真 (表) : 油圧モジュールの適用イメージ [P. 47参照], (裏) : MMP5外観 [P. 50参照])

---

# KYB TECHNICAL REVIEW

No. 61 OCT. 2020

## CONTENTS

### Foreword

Everything is “Genchi Genbutsu” ITO Toshio 1

### Technology Explanation

Performance Improvement of Vane Pump via CFD Analysis SUZUKI Kazunari 3

NAGASHIMA Midori

Development of a Smart Road Monitoring System SHUTO Yu 11

TAKAMATSU Shinichi

### Glossary

The Beginning of a New Society OKAMURA Atsushi 21

### Technology Introduction

Analysis Technology for Rattling Noise in Reduction Gears of Pinion-Type Electric Power Steering  
YAGYU Takaya 23

### Glossary

Backlash and Rattling Noise MIYATANI Osamu 28

1D Simulation and 1DCAE SHIMADA Miho 29

### Technology Introduction

Development of a Wireless Condition-Monitoring System for Hydraulic Cylinders  
IWAMOTO Takahiro 31

TAKAHASHI Yusuke

Development of Non-destructive Inspection Technology for Cylinder Tube Bottom Welded Zones  
MITSUO Takashi 35

Development of the “MR12” Mixer truck with driveshaft drive SAITO Hiroaki 40

Development of a Hydraulic Module Robot SAITO Yasushi 45

SUGIMOTO Shunichi

SANG-Ho Hyon

### Product Introduction

Mini Motion Package 5 (MMP5) TANAKA Daisuke 50

### Introduction

Development of a Shock Absorber for the World Rallycross Championship  
OKUMURA Masatoshi 55

### Essay

Report on Residence in the Czech Republic, Spain and Germany MATSUOKA Tsuyoshi 60

Report on Residence in the USA and Mexico OKA Keiko 64

### Editors Script

(Cover Photograph: Application Image of a Hydraulic Module [see P. 47], Appearance of the MMP5  
[see P. 50])

## 巻頭言

## 何事も現地現物

伊 東 敏 夫\*



昨年度は、年齢的に最後のチャンスだったため、在外研究で1年間イギリスのラフバラー大学に滞在させていただきました。研究内容は、自動車分野で有名なラフバラー大学の交通安全研究チームの一員として、自動運転におけるドライバのヒューマンファクターの解析を行うことでした。

イギリス留学での関心事は、研究内容もさることながら、英語でありました。英語は国際的なコミュニケーションの基本として誰もが使えないといけないものですが、ずっともやもやしたものが付きまわっていました。それは、なぜ日本人がこんなにも英語が苦手なのかということです。多くの企業が国際的なビジネスを展開する中、英語教育を奨励し昇進条件に課すところもあり、また、大学においても本学のようにスーパーグローバル大学でなくても英語教育に力を入れております。力を入れるのは、学生の英語力が期待値に到達していないからです。アジア圏の外国人学生と比べても、日本人学生のレベルはよろしくない状況です。

日本人にとって英語が苦手なことを解明する材料は、留学に同伴した家族（恥ずかしながら遅くしてできた5歳の息子と家内）になります。二人ともまったく英語には無縁で、息子は日本語すらあやしいほどでした。彼らの1年間の英語の学習状況を観察すれば、なぜ日本人が英語を苦手とするのかかわかるのではないかと考えたのでした。彼らの英語の学習として特別なことをやらず、息子は現地の小学校任せ、家内は自習とし、私から強制するものは一切なしとしました。

イギリスの小学校は5歳になる9月から1年生となるため、日本より1年半程早くなります。したがって、2019年春に渡英しましたので、息子は1年生のイースター休暇の後学期から地元の小学校に入学しました。小学校の登校は親が引率するルールになっており、始業まで校庭で待機することになります。

その間、同級生の子供や親と懇談するのですが、現地の5歳児が話す英語と、普段大学で同僚が話す英語に大差ないことがわかりました。日本なら、5歳児の話し言葉と大学教員の話し言葉が同じ訳があるはずもないので、非常に印象深く感じました。それに、どの子供も5歳にしてはよく喋ります。日本でも幼稚園に子供を引率していましたが、こんなにも上手に会話をする子供はいなかったはず。この体験で、実は英語の方が日本語よりも容易に学習できる言語ではないかという思いに至りました。それで、息子がすぐ英語を使えるようになったかという、まったく先生の言っていることが理解できず授業に付いて行けないので、就学時間はずっと塗り絵をさせられていたそうです。

そんな状態が半年程続いた後、三者懇談があったので小学校で順番を待っている間、同級生と息子が英語で会話しているのを初めて聞きました。半年で子供同士の英会話はできるようになっていたのです。家に帰ってから英語を話すことはなかったので、てっきりわからないままだと思っていたのでした。どの程度話せるか、息子に校内を案内してと英語で聞いてみると、まともな英語で案内してくれたのでした。その英語は、たどたどしい日本語よりも流暢で、発音は現地で覚えたものなので私よりも英語らしい、というよりはネイティブ英語そのものでした。もちろん、語学の早期習得は子供だけの能力なのですが、同年齢の会話レベルからみて、このときどうも英語の方が学習しやすいのではないかという思いが強まりました。そして、その思いが決定的になったのが、クリスマス前に持って帰って来た6歳になった息子の宿題の文章です。

NORTH POLE TIMES

Breaking News: Rudolph Saves Christmas

In the early hours of this morning a red-nosed reindeer saved Christmas, by leading Santa's sleigh on the foggiest Christmas Eve in fifty years.

\*芝浦工業大学 教授

Santa very nearly cancelled delivering presents to children all over the world because it was too foggy to drive his sleigh. Luckily, Santa had the idea to ask young reindeer Rudolph if he could use his bright nose to guide the sleigh through the bad weather. Rudolph was happy to help and thanks to him all presents were delivered safely. Rudolph said; "All of the other reindeer used to laugh and call me names !" Rudolph the red-nosed reindeer, you'll go down in history !

現地では6歳児が読む英語がこの程度なのです。日本の中学1年では学習していないレベルの語彙と文法で構成されています。この文章を読んで、なぜ日本人が英語を苦手とするのかわかった気がしました。それは、中学で教える英語レベルが低すぎるのではないかということです。外国語にせよ、6歳児が読む文章なら、中学1年生がわからないわけがありません。それを、例えば"I have a book."から教え、3年間習っても現地で6歳児が読む英文のレベルまで行っていないのです。これでは、英語レベルが低いままで、義務教育が終わって現実の英語に接するとレベルの差があり過ぎて苦手意識を持つのではないのでしょうか。

一方、家内の方は、渡英後しばらくはスマートフォンの翻訳ソフトを駆使して日常の買い物をしていたのですが、英語が使えないとうまく買い物ができないことを痛感し、英語の独学（復習）を始めました。そして、帰国する前には、息子の同級生のママ友とコミュニケーションが取れるようになっていました。こちらは必要に応じて仕方なく勉強してものにした、という社会人スタイルになります。家内の英語学習をみて思ったのが、そもそも日本人には英語が不要なので学校を卒業してしまえば英語を使わないため、多くの日本人は英語に苦手意識を持つのではないかと思いました。これは、母国語だけで日常生活が成り立ち、大学における高度な学問も母国語だけで成り立つ日本特有の事情も関係しているはずですが、アジアだけでなく、世界中の英語が母国語でない国々は、理工系の知識は英語で学ばなければならないはずですが、日本では偉大な先人達が、理工系も含めすべて英語を日本語に訳してくれたので、現代人は英語が使えなくても高度な技術を学ぶことができているということを、留学によって改めて気付かされたのであります。例えば、"information"という英語は直訳すれば「内部形成」ですが、偉大な先人達はこ

れを「情報」と訳して定着させました。なぜこのような訳にしたかということ、information（内部形成）の意味合いは、受け手はその内容を聞いて自分の内部に変化を起こす重要なものだけを受け入れることなので、日本人が内部形成するのは情（なさけ）を知ったときだということで「情報」と訳したのです。つまり、内部形成は情を報じられたときということです。明治時代の偉人達は、万事この調子で知恵を絞って、日本人にわかり易い翻訳語を造ってくれたのでした。そのおかげで、現代人は英語を学ばなくても西洋文明を享受できることになったのであります。

以上、日本人がなぜ英語が苦手なのか、私なりの解を見出せることができました。これは、英語を母国語とするイギリスに行っていなければ明確な信念としてわからなかったはずですが、英語教育は私の立場上重要事項ですので、留学による研究成果と共に、現地現物の重要さを改めて痛感した体験にもなりました。御社におかれましても、英語が必要な方は案ずることなく、必要に応じて学習すればよいと思います。なぜなら、英語は日本語以上に学習しやすい言語だからです。私の研究室に滞在している外国人留学生は、日本語は非常に難しい言語だと言っています。それは文字の種類が多さだけでなく、使用される状況の暗黙の宣言を理解しないと適切に使えない言語だからだそうです。どういうことかということ、日本語には通常主語がありません。それは、状況に応じて主語を省略しても意味が通じるからで、その状況の理解（空気を読む）も含めた言語構成になっているからです。英語は必ず主語があり、空気を読まなくても意思の疎通が可能です。実際、留学先で会議に出席していると、日本人同士では考えられない発言や展開になります。誰も会議の空気を読まず、論理的に発言するからです。何となく偉い方を意識し、空気を読んで、全体が合意して方向が決まるということはありませんでした。また、英語には敬語がありません。敬意を伝えたいときは丁寧な言い回しで婉曲表現をしますが、通常の会議では誰もが同じ言葉を使います。学生も教授を名前と呼ぶ文化もあって、なおさらフランクに感じました。現状ではオンラインでの会議が増え、現地に移動することが減りましたが、現地現物で得られるものは多いと思われれます。御社におかれましても、オンラインでの業務展開を織り込みながらも、現地現物の仕組みの展開を期待しています。

## CFD解析によるベーンポンプの性能改善

## Performance Improvement of Vane Pump via CFD Analysis

鈴木一成・長島 碧  
SUZUKI Kazunari・NAGASHIMA Midori

## 要 旨

近年、自動車には環境性能向上が求められており、車載用ベーンポンプにおいてもより一層の効率向上や静粛性向上が求められている。高品質な車載用ベーンポンプ開発のためには、試作、検証試験のほか、CFD（Computational Fluid Dynamics）解析技術による性能予測を併用することが重要であるが、性能を限界まで高めるためには、より予測精度を向上させることが必須である。しかし、従来の解析技術では予測精度をこれ以上高めることが難しく、改良が必要である。

これまで、解析技術向上のために、キャビテーションモデルを取り入れた混相流の非定常解析を用いて、作動油中のエアの挙動とポンプ内部のキャビテーション現象の予測に取り組んできた。その結果、回転数-流量特性では予測誤差5%以下を達成した。

本報では、ポンプの振動、騒音に影響を及ぼすベーン室の内部圧力のサージ圧力に着目し、その予測精度を向上させるために解析モデルの改良を行ったため、その取り組み内容と各性能予測の結果について解説する。

## Abstract

In recent years, there has been a demand to improve the environmental performance of vehicles and also a demand for further improvements in both efficiency and silent operation for vane pumps equipped on vehicles. To develop a high quality vane pump, in addition to manufacturing a prototype and conducting verification tests, it is also important to simultaneously use performance prediction based on CFD (Computational Fluid Dynamics) analysis techniques, but it is necessary to further improve prediction accuracy in order to push the performance to its limit. However, it is difficult to increase prediction accuracy any further using existing analysis techniques so an improvement is needed.

So far, to improve analysis techniques, work has been done to predict the behavior of air contained in hydraulic oil and cavitation phenomena in pumps using transient analysis of multiphase flow that incorporates cavitation models. As a result, a prediction error of 5% or less was achieved for rotational speed-flow rate characteristics.

This paper focuses on the surge pressure of internal pressure in the vane chamber, which affects pump vibration and noise. Since the analysis model was enhanced to improve the prediction accuracy, an explanation is provided concerning the details of this initiative and the results from each performance prediction.

## 1 緒言

自動車市場では、環境対応としての低燃費化が進み、

車載システムの省エネ化が求められている。また駆動システムも多様化し、環境性能にも有利な電動化が大きな潮流となる中、一層の静粛化も求められている。

車載システムの一つであるCVT (Continuously Variable Transmission) もそうした対象となり、その動力源として用いられるベーンポンプにおいても、高効率化や低騒音化対応は必須となっている。

こういった要求に対してこれまでKYBでは、流動抵抗による圧力損失の低減や隙間漏れ低減、ポートタイミングのチューニングなどの様々な対策を行ってきた。しかし、これらの対策も過去の実績や知見に基づくアプローチでは限界レベルにきており、より高い要求性能に応えるためには理論・現象論に基づいた設計方策が必要となっている。

そこで、性能限界の理論的判断が可能な解析技術を構築し、厳しい要求性能の実現と開発効率の向上を目指した研究活動を継続している。前報<sup>(1)</sup>掲載時までの取組みでは、CFD解析においてキャビテーションモデルを取り入れた混相流の非定常解析を行うことで、作動油中のエアの挙動とポンプ内部のキャビテーション現象の予測を可能にし、回転数-流量特性では予測誤差が5%以下となることを述べた。現在は更にポンプ品質特性である低騒音化を狙い、これに影響を及ぼすベーン室の内部圧力の高精度化に対して取組んでおり、本報ではこの技術内容について概説する。

## 2 実験

解析の精度を確認するために試験機にてポンプ性能計測を実施している。計測項目はベーン室の内部圧力、回転数-流量特性、吐出圧力脈動、軸トルクの4項目となる。ベーン室の内部圧力は昇圧時のサージ圧力、回転数-流量特性は高回転時の流量低下量、吐出圧力脈動は脈動の変動幅、軸トルクは平均トルクの予測精度確認のために計測を実施している。

### 2.1 対象ベーンポンプ

対象とするベーンポンプは図1に示すような平衡型ベーンポンプである。ベーンとロータ、シャフトで構成されたロータASSYは2つのバルブプレート間に配置されて回転する構造となっており、ベーンとロータ、カムリングで形成されるベーン室の容積が増減することでポンピングを行う。ベーン室の容積は吸込みポートの直前で最小となり、吸込みポート区間で増大してい

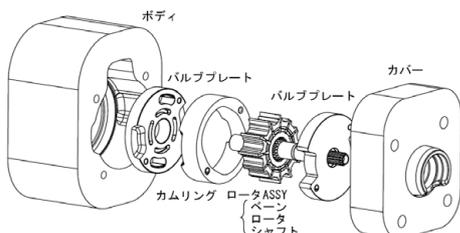


図1 平衡型ベーンポンプ構造

くことで油をベーン室へと吸込み、吐出ポート区間で減少していくことで油を吐き出す(図2)。また平衡型ポンプの場合、ベーン室の形状は回転軸に対して対称であり、一回転の間にポンピング行程を二度行う。

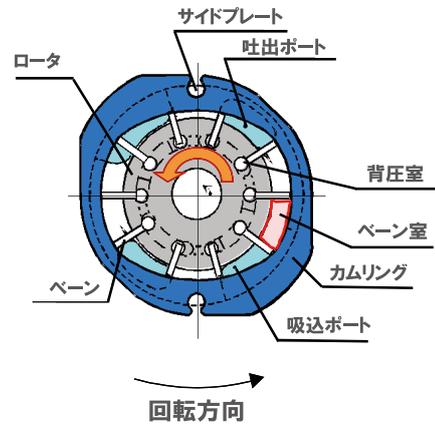


図2 カムリング-ロータASSY概要

### 2.2 試験装置

検証用実験データを計測する試験機の油圧回路を図3に示す。試験機は、

- (A)ポンプの特性計測回路
- (B)タンク内の油への気体混入回路
- (C)混入した気体量の計測回路

の3つの部分から構成されている。以下に各油圧回路を説明する。

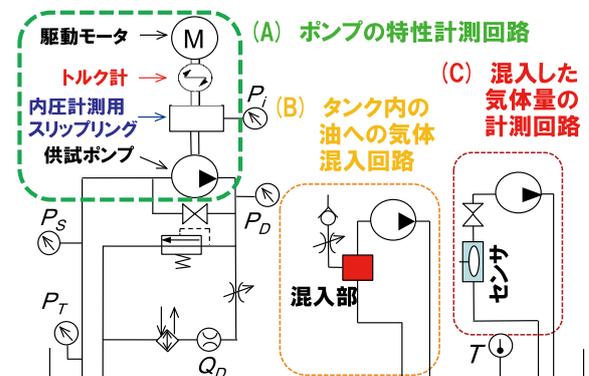


図3 試験機の油圧回路

#### 2.2.1 (A)ポンプの特性計測回路

回転数-流量特性は、駆動モータによって供試ポンプの回転数を制御し、吐出側に設置した体積式流量計にて計測した。また、油温はタンク内油の温度とし、一定に制御した。

ベーン室の内部圧力計測は、図4に示すように圧力センサを供試ポンプのロータに埋め込み計測をした。センサケーブルはシャフトの軸方向に穴を設け、カップリングの内側を通してスリップリングに取り付けた(図5)。スリップリングはブラシ式である

ため、ブラシの回転接触部に発生する熱によって接触抵抗が変化することで圧力計測値の誤差となる。そのため外部からのブロア送風による冷却で、計測時の発熱を抑え計測精度の確保を行った。

吐出圧力脈動は供試ポンプの吐出口直近に設けた圧力センサで計測を行い、軸トルクは駆動モータと供試ポンプの間に設けた軸トルクセンサによって計測を行った。



図4 ベーン室の内部圧力計測用センサ

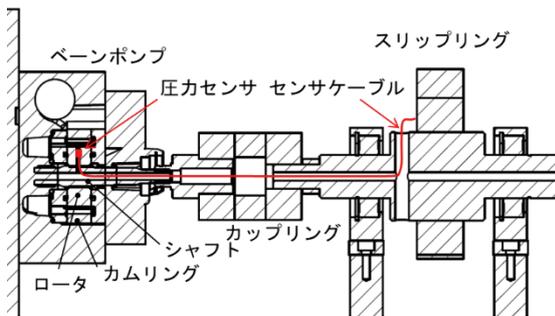


図5 圧力センサ取付け方法

2.2.2 (B)タンク内の油への気体混入回路

タンク内の油へ気体混入を行った場合、油中に混入した気体は瞬時に溶解せず気泡として存在し、気泡が大きいほど浮力によって浮上しやすく、油面にて消滅する。そこで、実験ではタンク内の油中に気泡を停留させ、かつ均一に混入された状態を作る目的で別途、循環回路を構成した。本回路ではポンプ吸込み側にマイクロバブル発生器（気泡サイズ：10～30μm）を取り付けることで、マイクロバブルを油中に混入させた。なお油中の気体量（気体含有率）は、マイクロバブル発生器へ送り込む気体量で調整しており、実験前に慣らし運転を行うことで回路内の気体含有率を一定にした。

2.2.3 (C)混入した気体量の計測回路

気体含有率は、タンク内の油を注射器で抜き取り、メスシリンダを用いて気体の体積を計測することで算出する方法が一般的に用いられる。しかし、注射器での抜き取り工程では圧力変化に伴って気体の析出や溶解が起こり、気体含有率が変わる恐れがある。

そこで今回は、油のインピーダンスから気体含有率を計測可能な計測器を油圧タンクに接続し、タンク内の気体含有率をリアルタイムに計測した。図6に気体含有率の計測波形を示す。ここで気体を混入せずに計測した場合の気体含有率が0%ではなく $\gamma_0$ としているのは、通常状態で油中には既に気体を含んでいるためである。一方、気体を混入した場合の気体含有率 $\gamma_1$ は $\gamma_0$ の約5倍程度である。

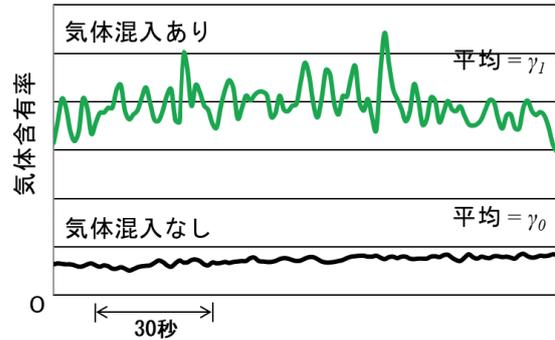


図6 気体含有率計測結果

3 解析

本章ではCFD解析に関して、ベーン室の内部圧力の高精度化への取組みと各性能予測の実験との比較結果について記述する。

解析には市販ソフトSimerics MP+<sup>®</sup>(米Simerics社)を用いた。表1に主な解析条件の一覧を示す。

また、キャビテーションモデルに関する蒸気については次のSinghalモデルにて計算している。

$$\text{蒸気量} : \alpha_{vap} = \int_V (R_v - R_c) dV \quad (1)$$

発生量 :

$$R_v = C_v \cdot \rho_{oil} \rho_{vap} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{(P_{sat} - P)}{\rho_{oil}}} (1 - \alpha_{air} - \alpha_{vap}) \quad (2)$$

$$\text{消滅量} : R_c = C_c \cdot \rho_{oil} \rho_{vap} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{(P - P_{sat})}{\rho_{oil}}} \alpha_{vap} \quad (3)$$

- $\alpha_{vap}$  : 蒸気量 (質量)
- $\alpha_{air}$  : 気体含有量 (質量)
- $V$  : 計算格子体積
- $P$  : 圧力 (絶対圧)
- $P_{sat}$  : 油の飽和蒸気圧
- $\rho_{oil}$  : 油の密度
- $\rho_{vap}$  : 蒸気の密度
- $R_v$  : 蒸気の発生量
- $R_c$  : 蒸気の消滅量
- $C_v$  : 蒸発係数 (= 1)
- $C_c$  : 凝縮係数 (= 1)

表1 解析条件一覧

| 流体パラメータ        |       | Unit                  |                   |
|----------------|-------|-----------------------|-------------------|
| 油              | 温度    | 55                    | °C                |
|                | 密度    | 815                   | kg/m <sup>3</sup> |
|                | 粘度    | 0.0032                | Pa·s              |
|                | 体積弾性率 | 1.52                  | GPa               |
|                | 蒸気圧   | 400                   | Pa (Abs.)         |
| 気体             | 密度    | 1.23                  | kg/m <sup>3</sup> |
|                | 粘度    | 1.79×10 <sup>-5</sup> | Pa·s              |
| 境界条件           |       |                       |                   |
| 入口圧            |       | 0                     | MPa (Gage)        |
| 吐出圧            |       | 2.5                   | MPa (Gage)        |
| 回転数R           |       | 0.8 to 1.4            | -                 |
| 流体モデル          |       |                       |                   |
| 二相流流れ          |       | 均質媒体モデル               |                   |
| 粘性             |       | 層流モデル                 |                   |
| キャビテーション       |       | Singhal モデル           |                   |
| 格子             |       |                       |                   |
| 移動境界           |       | スライディングメッシュ法          |                   |
| ベーン室           |       | 六面体格子                 |                   |
| その他            |       | 四面体格子                 |                   |
| 最小セルサイズ        |       | 5×10 <sup>-5</sup>    | m                 |
| 総セル数           |       | 約300万セル               |                   |
| 計算             |       |                       |                   |
| CPU (64bit PC) |       | E5-1650V3, 32GB RAM   |                   |
| 時間             |       | 2-4日                  |                   |

### 3.1 既存モデルの解析結果

まず既存モデルでのベーン室の内部圧力の実験比較結果を図7に示す。横軸はポンプロータの回転角度であり、本波形はポンピングサイクル1回分の圧力となる。また、回転数Rは気体含有率 $\gamma_0$ の状態における計測回転数に対して理論流量から5%低下した流量のときの回転数にて無次元化している。この結果よ

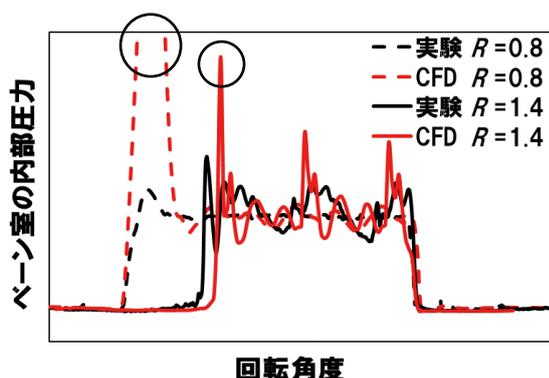


図7 ベーン室の内部圧力比較結果 (改良前)

り、回転数に関わらず圧力の昇圧が完了した際のサージ圧力 (図中○部) は実験よりも解析の方が大きくなっていることが確認できる。今回はこのベーン室の内部圧力のサージ圧力に着目し、その予測精度を向上させることを目的とする。

### 3.2 解析モデルの改良

#### 3.2.1 隙間モデルの追加

既存モデルではポンプ内部の隙間をモデル化していないため内部漏れを考慮できず、サージ圧力が大きく計算される結果となっていた。そのため今回はベーン室の内部圧力に大きく影響を及ぼすと考えられるベーンとカムリングの隙間 (図8)、ベーンとサイドプレートの隙間 (図9)、ベーンとロータの隙間 (図10) を解析モデルに追加した。ベーンとカムリングの隙間量は、別途潤滑解析を行って見積もった値を、ベーンとサイドプレート、ベーンとロータの隙間量については、図面と各部品の組付位置から幾何学的に決まる値を用いている。

また、ベーンとロータの隙間で生じる漏れに関しては、ベーンをカムリングに押し付けるために設けられている背圧室に起因することから、背圧室のモデル化も同時に行った。なお、背圧室ではポンプ駆動中、ベーンがカムリングの内周に沿って運動するため、背圧室の容積が変化することで、圧力脈動が発生する。この圧力脈動は吐出圧力にも影響を与えることから、背圧室のモデル化によって、吐出圧力脈動をより精度良く予測することも可能となる。

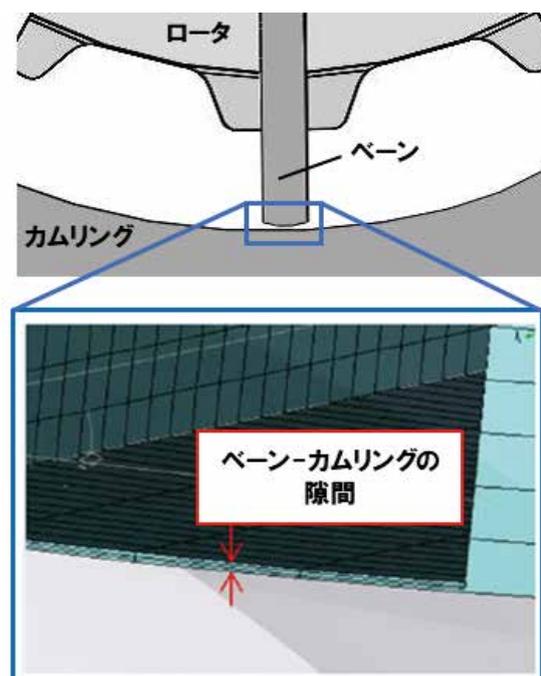


図8 ベーンとカムリングの隙間

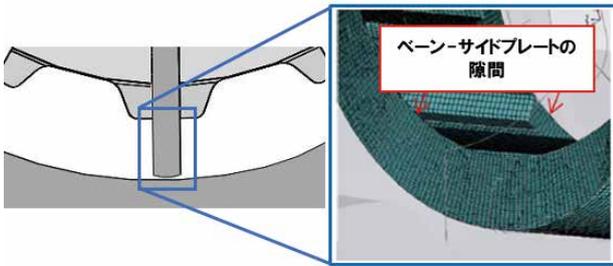


図9 ベーンとサイドプレートの隙間

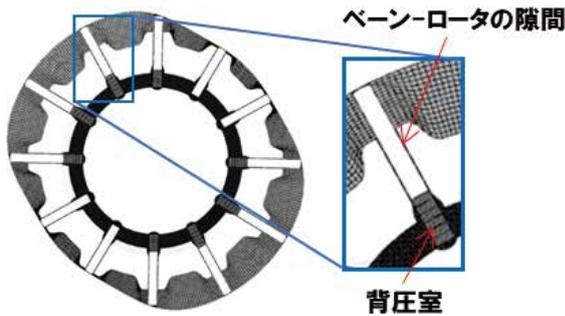


図10 ベーンとロータの隙間

### 3.2.2 ベーン先端形状の変更

既存モデルにおけるベーン先端の形状は図11(a)のようなカムリング内周面に平行な簡略形状としていた。しかし、今回ベーンとカムリングの隙間を考慮することから、実形状(円弧)にすることで先端隙間の流れ抵抗は現実解に近づき、予測精度は向上すると考えられるため、ベーン先端の形状を図11(b)のように変更した。

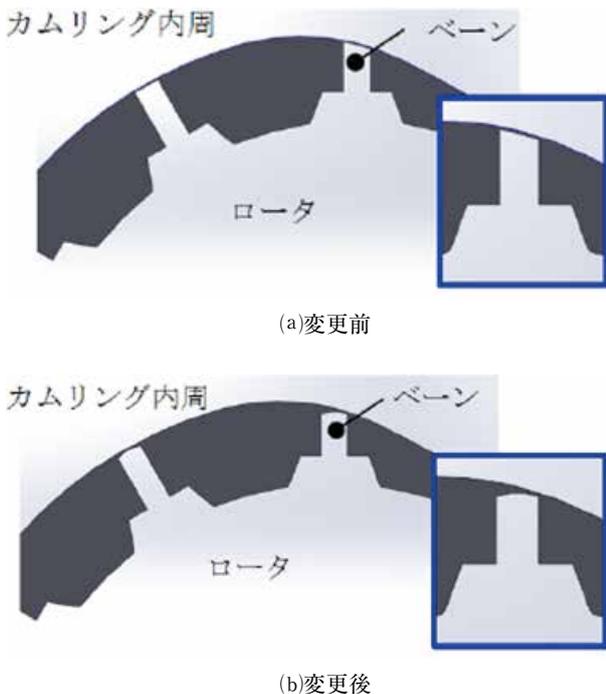


図11 ベーン先端形状

### 3.3 予測精度の確認

前節で説明した解析モデルの改良効果を確認するために、各性能について、実験結果との比較を行った。以降に詳細を述べる。

#### 3.3.1 ベーン室の内部圧力

まず、作動油中に気体を混入しない場合(気体含有率 $\gamma_0$ )におけるポンプの回転数 $R=0.8$ でのベーン室の内部圧力の結果を図12に示す。モデル改良前の解析結果を赤線、モデル改良後の解析結果を青線、実験結果を黒線で表している。結果を比較すると、モデル改良後の結果では、全体的に実験結果と近い圧力波形になっていることがわかる。特に昇圧時のサージ圧力については、モデル改良前の結果では376%あった予測誤差が、モデル改良後の結果では27%まで低減され、大幅に予測精度を向上させることができた。またこのサージ圧力は、図13に示すように回転数を変更した場合においても予測精度の向上が確認できた。

次に、作動油中に気体を強制的に混入した場合(気体含有率 $\gamma_1$ )におけるポンプの回転数 $R=0.8$ でのベーン室の内部圧力の結果を図14に、回転数毎のサージ圧力の比較結果について図15に示す。これらの結果から、気体含有率 $\gamma_1$ においても前述の気体含有率 $\gamma_0$ の結果と同様に、解析モデル改良後の結果は改良前と比較して、サージ圧力が大きく改善している様子が確認できた。

以上のことから、今回の解析モデルの改良によって、解析においてもベーン室周りの隙間漏れや背圧室の影響などを考慮できるようになったことで、ベーン室の内部圧力のサージ圧力の予測精度は、気体含有率やポンプの回転数に関わらず、大幅に向上することが示された。

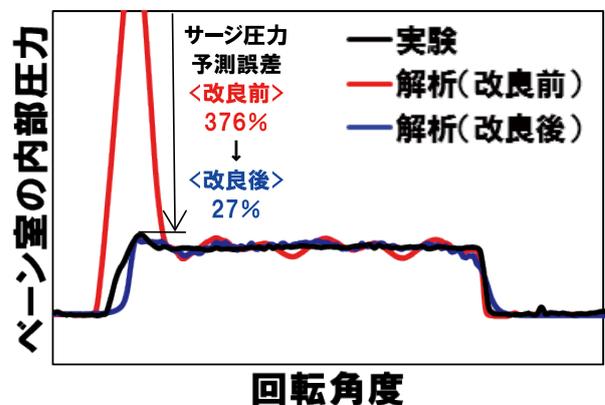


図12 気体含有率 $\gamma_0$ におけるベーン室の内部圧力 (回転数 $R=0.8$ )

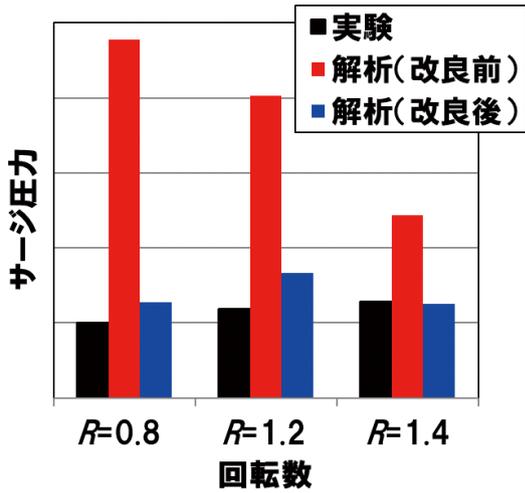


図13 気体含有率 $\gamma_0$ におけるサージ圧力比較結果

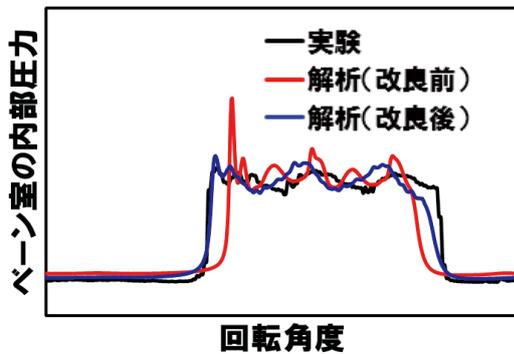


図14 気体含有率 $\gamma_1$ におけるベーン室の内部圧力 (回転数 $R=0.8$ )

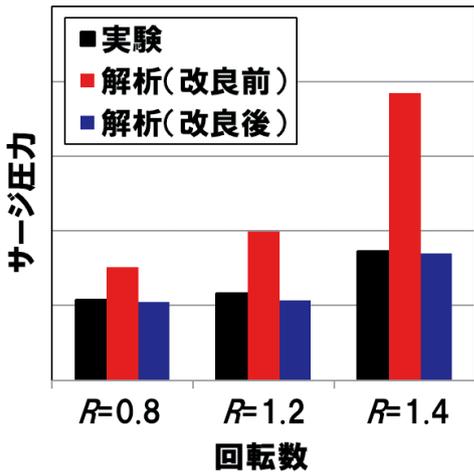


図15 気体含有率 $\gamma_1$ におけるサージ圧力比較結果

### 3.3.2 回転数-流量特性

回転数-流量特性はポンプの基本性能のひとつであり、既存モデルにおいても十分な予測精度を確保できているが、今回の解析モデルの改良による予測精度への影響を確認するため、改良後の解析結果と

実験の比較検証を行った(図16)。モデル改良後の解析結果を赤点、実験結果を黒線で示す。図より、予測誤差は最大でも4.3%となっており、解析モデルの改良は吸込み油路やポンプ室内部のキャビテーション予測には大きな影響を与えることなく、改善前とおおよそ同程度の予測精度を維持していることが確認できた。

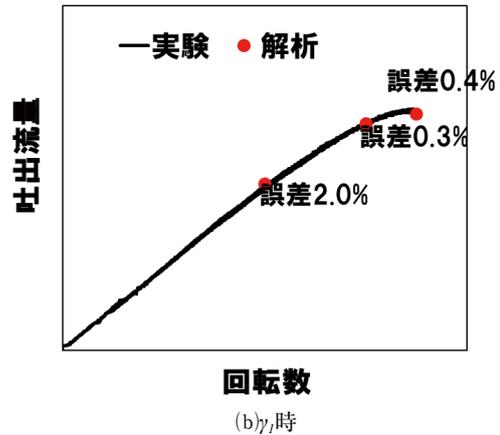
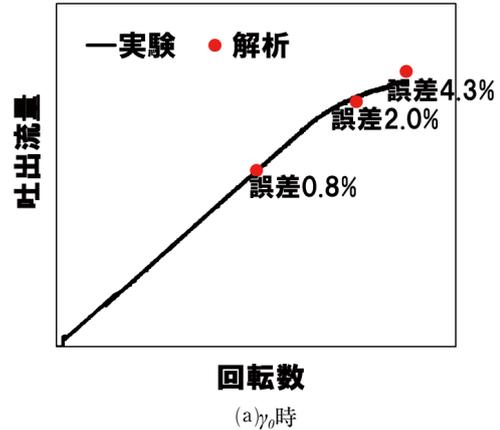


図16 回転数-流量特性

### 3.3.3 吐出圧力脈動

吐出圧力脈動はポンプ騒音への寄与率が高いため、脈動予測は騒音対策に非常に有用であると考えられる。従って、今回はまず脈動の変動幅(以下、変動振幅)に関して、解析と実験の比較を行った。なお、変動振幅は図17に示すように、波形におけるPeak to Peakの幅で表している。この変動振幅について、回転数毎に比較した結果を図18に示す。グラフより、気体含有率に関わらず、回転数 $R=1.2$ までは比較的精度良く予測できているが、 $R=1.4$ においては予測誤差が大きくなるのが分かる。これはポンプ内部で発生するキャビテーションに起因していることが考えられるが、その詳細についてはまだ解明できておらず、今後の課題となる。

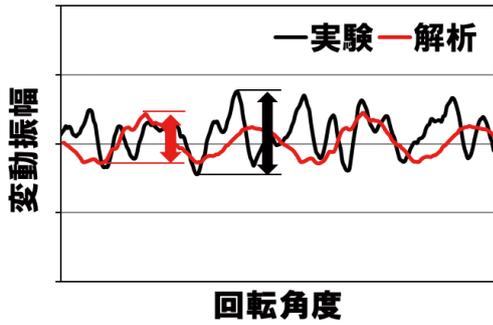
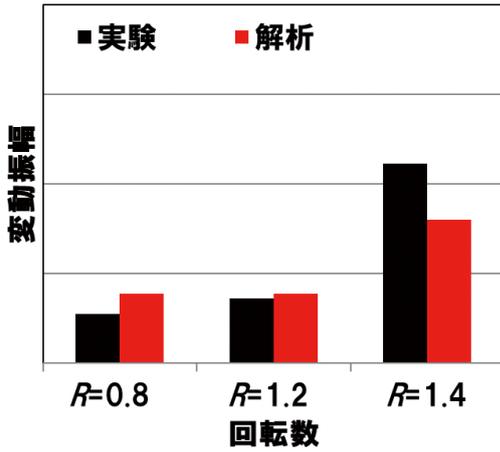
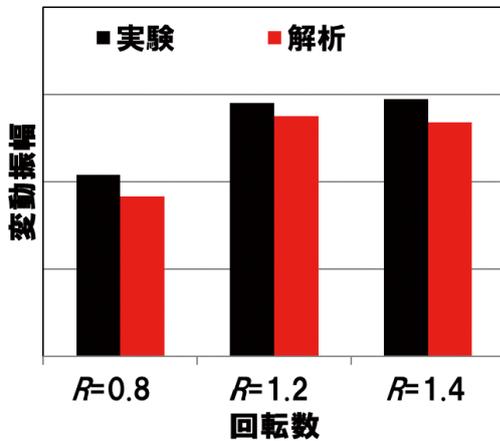


図17 吐出圧力脈動の変動振幅例



(a) 70時



(b) 70時

図18 吐出圧力脈動の変動振幅比較

### 3.3.4 軸トルク

ポンプの軸トルクは、ポンプ効率を検討する上で重要な特性となる。そこで、今回はベーンとロータの表面に負荷する圧力の積分値から算出される値を軸トルクとして実験結果との比較を行った(図19)。また、図中破線は理論トルクであり、以下の式(4)で求めている。

$$T_{th} = \frac{P \times V}{2\pi} \quad (4)$$

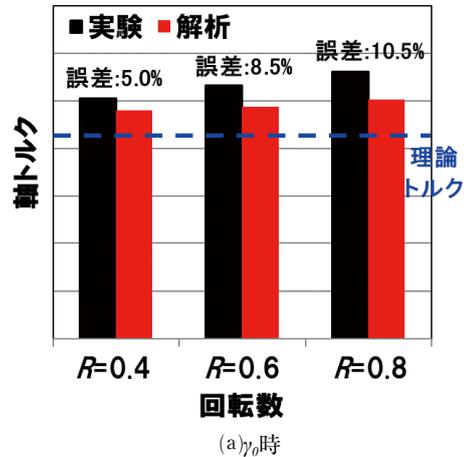
ここで、

$T_{th}$  : 理論トルク [N・m]

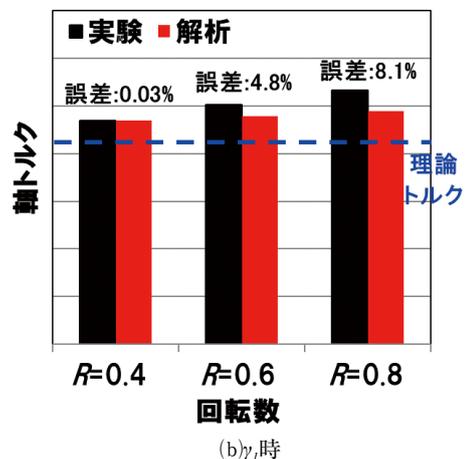
$P$  : 吐出圧力 [MPa]

$V$  : ポンプ容積 [cm<sup>3</sup>/rev]

理論トルクは上記のように回転数に関する項がないため、回転数に関わらず一定値となるが、実験における軸トルクは回転数の増加に伴って、大きくなっていく傾向となっており、これは解析においても同様である。こうした傾向は、①回転数に応じてベーン室の内部圧力のサージ圧力や吐出圧脈動が変化して軸トルクに影響を与えること、②ポンプの回転に伴ってしゅう動速度に比例する粘性抵抗(ベーンとカムリングの隙間、ベーンとサイドプレートの隙間の粘性抵抗)がベーンに作用して軸トルクに影響を与えることが要因として挙げられる。しかしながら、今回の解析においては②のしゅう動部の粘性抵抗を考慮していなかったため、実験と解析において軸トルクの増加傾向が異なると考えられる。従って、今後の取組みとしてはしゅう動部の隙間流れの粘性抵抗を考慮することで軸トルクの予測精度の向上を図る予定である。



(a) 70時



(b) 70時

図19 軸トルク比較

#### 4 結言

CFD解析技術の向上について、ベーン室の内部圧力のサージ圧力の予測精度を向上させることを目的に実施した解析モデルの改良内容と、改良前後における各性能の予測精度の結果について解説した。

解析モデルの改良により、ベーン室の内部圧力のサージ圧力の予測精度が向上した他、回転数-流量特性に関しても改良前と同程度の高い予測精度を確保できていることが確認できた。

しかし、吐出圧力脈動に関して、変動振幅は特定の回転数までは高い予測精度となったが、高回転領域においては誤差が大きい結果となり、また軸トル

クについても、低回転では予測誤差が小さいものの、回転数の増加に伴って予測誤差が大きくなる傾向があるなど、現解析モデルにおける高回転域の性能予測への課題が示唆された。

今後はキャビテーションが与える影響の詳細把握や、しゅう動部の隙間流れの粘性抵抗の考慮といった解析モデルの更なる改良に取組み、CFD解析の予測精度を向上させることで高品質なポンプ開発に貢献していく所存である。

#### 参 考 文 献

- 1) 鈴木, 中村, 矢加部, 渡辺, 中村: CFD解析によるベーンポンプの特性予測, KYB技報第53号, (2016年10月)

#### 著 者



鈴木 一成

2008年入社. 技術本部基盤技術研究所要素技術研究室. 油圧ポンプの研究開発ならびに振動騒音関連業務に従事.



長島 碧

2011年入社. 技術本部基盤技術研究所要素技術研究室. 油圧ポンプならびに油圧システム関連業務に従事.

## スマート道路モニタリングシステムの開発

### Development of a Smart Road Monitoring System

首藤 悠 ・ 高松 伸一  
SHUTO Yu ・ TAKAMATSU Shinichi

#### 要 旨

少子高齢化に端を発して起こる社会問題への対策として、日本政府は科学技術政策Society5.0を提唱し、情報技術を駆使して効率化した都市（スマートシティ）を構築するプロジェクトを推進している。

これに対しKYBでは、保有技術を応用して自治体の道路維持管理業務を支援する新たなサービスビジネスを打ち出し、スマート道路モニタリングシステムと銘打って開発に着手した。開発にあたり、自治体の実情を反映したサービスを実現するために、島根県益田市の協力のもと、この地をテストベッドとして活動を進めている。

スマート道路モニタリングシステムは、データ収集、データ転送、データ分析の3つのサブシステムで構成され、これらは従来よりKYBの保有する車両の計測技術や分析技術に加えて、AI/IoT技術を利用したものとなっている。

開発の結果、道路パトロール時の車両挙動計測とそのデータの分析を通じて、道路維持管理業務を効率化するサービスの基本システムを構築することができた。現在、その成果は国の認めるところとして、さらなる技術開発を継続している。

#### Abstract

As a measure against social problems caused by the declining birthrate and aging population, the Japanese government has proposed the Science and Technology Policy “Society 5.0” and promotes a project to build an efficient city (smart city) by making full use of information technology.

In response to this, KYB applied its own technology and launched a new service business that supports the road maintenance work of local governments, and started developing this as the Smart Road Monitoring System. In order to achieve a service that reflects the actual situation of the local government, we have developed the system with the cooperation of Masuda City in Shimane Prefecture, where it is being used as a test bed.

The Smart Road Monitoring System consists of three subsystems: data collection, data transfer, and data analysis. These subsystems have been using AI/IoT technology in addition to vehicle measurement and analysis technology owned by KYB.

As a result of the development, we were able to build a basic system of service that makes road maintenance work more efficient by measuring vehicle behavior during road patrol and analyzing the data. At present, the achievements are recognized by the government, and further technological development is continuing.

#### 1 緒言

少子高齢化の進む日本では、将来の人口減少により市場規模が縮小し経済発展が停滞することや、生産年齢人口減少により公共サービスの提供体制が破

綻することなどが危惧されている。そこで日本政府は、これらの課題解決に向けた科学技術政策として、“Society5.0”を提唱している。Society5.0では、IoTやAI等の先端技術を利用し、仮想空間と現実空間を高度に融合させることで、経済発展と社会的課題の解

決を両立する社会を目指しており、このような社会を体現するモデル都市、すなわちスマートシティの創造を目標に、国家プロジェクト<sup>1)</sup>が進められている。

このような政府の取り組みを視野に、KYBでもスマートシティ創造への貢献策の検討を行った。この中では様々な提案がなされたが、従来から持つ保有技術の強みを活かした新たなビジネスとして、モノづくりとサービスを融合するスマート道路モニタリングシステムの構想がまとまり、開発に着手することとなった。

スマート道路モニタリングシステムは、自治体の業務を、IoTやAIなどの先端技術によって効率化することを狙いとしたサービスである。このシステムでは、本章冒頭に述べたような生産年齢人口の減少を受け、労働者不足に陥っている自治体を想定し、自治体のインフラ資産である道路の維持管理業務を支援することに焦点を当てている。

近い将来、このような労働者不足に悩む自治体は大いに増加し、税収減と相まってインフラの維持管理は深刻化することが見込まれる<sup>2)</sup>。この対策として、少数の労働者で業務を遂行できるよう、労務負担を軽減することや、費用負担の軽減を企図するサービスは、Society5.0の構想に合致したソリューションである。



図1 島根県益田市 (Google mapより)



図2 スマートシティモデル開発体制

## 2 開発体制

前述の通り、スマート道路モニタリングシステムは自治体向けに構想されたサービスである。このため、より有益なサービスを実現するには、社内で技術開発を進めるばかりでなく、自治体の業務実態を把握して開発目標を定め、実際に利用してもらって評価する必要がある。そこで、スマートシティ規格作成に向けた各種プロジェクトを展開する「一般社団法人益田サイバースmartシティ創造協議会」

(MCSCC: Masuda Cyber Smart city Creative Consortium)の会員となり、スマートシティのテストベッドの一つである島根県益田市(図1)の協力のもと、この地を舞台に開発活動を開始した。このKYBとMCSCC、および益田市の連携について、スマートシティを推進する国の位置づけも踏まえた関係図を図2に示す。この関係の中で、KYBは益田市の有する課題を抽出し、その解決のための技術開発を行ったうえ、益田市の環境を利用して開発技術の評価を行う。この取り組みに対し、MCSCCは両者の調整役を担い、スマートシティモデルとしての成果を日本政府に示してロビー活動を行うことで、政府から権威が付与され、サービス普及の基盤を固めていく、といった構図である。

## 3 道路維持管理の実情

MCSCCに加わったのち、スマート道路モニタリングシステムの開発をスタートさせるにあたり、まずは開発目標を定めるために、益田市における道路維持管理業務の実情を聞き取り、実際の業務に同行して調査した。

このような調査の結果、道路維持管理業務は、最終的な道路補修作業の担い手が異なる2つの系統に大別されることが分かった。一つは道路パトロール車両での管理道路巡回を通じて路面の損傷個所を確認し、市職員の手によって適宜の補修を行う小規模補修業務、もう一つは広範囲にわたる損耗が確認された路面に対し、正確な測定調査を行った後、国に対して補修予算を申請して、専門業者に外注して大掛かりな工事を行う大規模補修業務である。

これら規模の異なる補修業務は、いずれも道路パトロール車両による巡回を起点に路面の実態を把握することから始まり、必要な補修の規模によって異なる選択肢を辿る。また、この規模の違いにより、自治体に与える課題の性質にも違いがある。

小規模補修では、危険性の高い箇所を迅速に見出し素早く補修することが重要である。写真1に示すように、益田市の道路パトロールでは山間を巡る道程なども多く含まれ、写真2のような異常箇所を見つける度に停車確認することも頻繁である。このような視界の悪い経路を含む長大な道路を、くまなくパトロールして回ることの労務負担は、非常に大きなものとなっている。

一方の大規模補修では、国への予算申請の証拠資料として必要な、損傷度測定のための調査費用が高額であるという課題がある。正確な定量値を把握する必要があることから、高額な機器を備える専門業者に調査を委ねることとなるが、調査費用に割り当てられる財源は十分でないため、数年に一度、管理道路の総延長のうち、わずかに数%を測定するに留まる。

業務の具体的な様態については自治体ごとの差異があると思われるが、道路維持管理の枠組みはどの自治体でも類似すると考えられたため、上述の様に把握できた益田市の実情に立脚し、開発目標の設定を行った。



写真1 山岳部の市道



写真2 路側への落石

#### 4 開発目標

前章に記載の調査情報をもとに、IoTやAIを活用して労務負担を軽減することや、従来よりも安価かつ広域を調査できる方式で路面性状の測定を行うことを狙いとして、開発目標を定めた。目標は、データの収集や分析を司るサブシステムを構築して連動させることで、道路の状態計測やそのデータの蓄積、分析を通じた診断の機能を持つ、スマート道路モニタリングシステム(図3)を開発することである。

個々のサブシステムの機能概要を以下に示す。

- ①データ収集システム：道路パトロール車両に各種センサを取り付け、パトロール中の経緯度座標とセンサデータをセットで収集する。
- ②データ転送システム：市庁舎とKYBの分析拠点とでセキュアなネットワークを構築し、相互にデータを送受信する。
- ③データ分析システム：益田市から受信したデータをもとに、経緯度座標ごとの路面性状を診断し、診断結果を視認可能な地図に出力する。

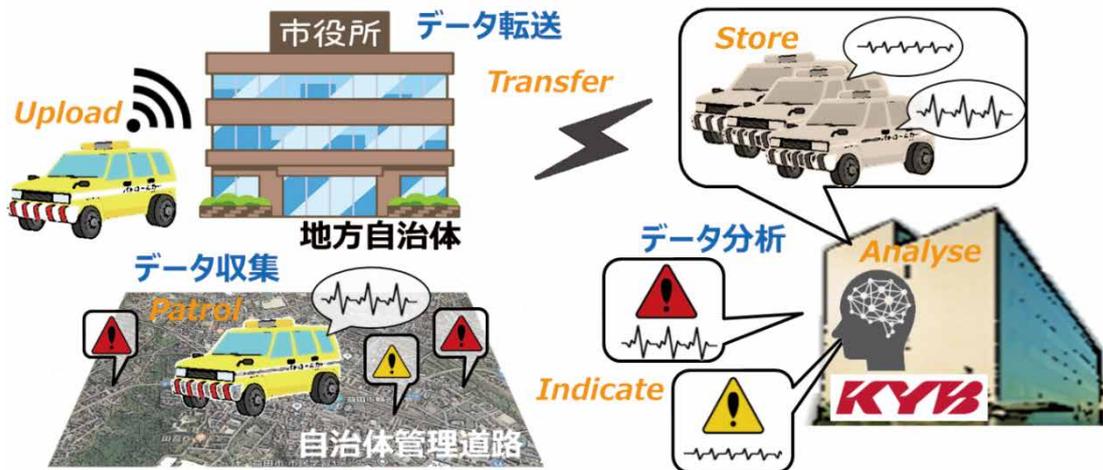


図3 スマート道路モニタリングシステム

## 5 システム開発

以下に、スマート道路モニタリングシステムを構成するデータ収集、データ転送、データ分析の3つのサブシステムについて記述する。

### 5.1 データ収集システム

益田市の管理道路を道路パトロール車両で巡視する際に、その車両挙動を計測する狙いで、市の利用車両を改造し、センサとロガーを搭載した計測車両を構築した。この改造により収集される車両挙動のデータは、走行中の路面からの入力を反映した振る舞いを記録するため、後述するデータ分析システムを利用することで、路面の損耗状態を推定できるものと見込む。また、この車両に搭載したロガーは、市職員の利便性や収集データの画一性などを企図して開発した専用機を利用している。これらの計測車両や配置したセンサ、ロガーについて、以下の各項で詳述する。

#### 5.1.1 計測車両化改造

益田市では、道路パトロール業務に対し、写真3のような車両を利用しているため、この車両を計測車両とする改造を行った。

この改造にあたりいくつかの制約があった。例えば、リース車両であるため、リース終了後に原状復帰できるよう、可逆的な改造に留めておく必要があることや、用具が多数搭載(写真4)されるため、十分な車室空間の確保が必要となることなどである。

これらの制約から、車体への穴開けや接着等、車両にとっての破壊や汚損に繋がる加工を一切行わず、既存の隙間やねじを利用する治具を設計して機器を固定するといった工夫を行った。また、配線や機器は露出を避け、助手席下の隙間などに設置している。このような工夫を経たうえで、前述したような山道を日々走行したとしても、安定した計測が行えるよう、機器の耐久性や構成の信頼性には十分に配慮している。



写真3 計測車両化した益田市パトロール車両



写真4 ラゲッジスペースの使われ方

#### 5.1.2 利用センサ

車両各部へのセンサ配置を図4、計測項目の一覧を表1に示す。全球衛星測位システム(GNSS: Global Navigation Satellite System)による経緯度に加え、4輪全てに対し車体側とタイヤ側(ばね上とばね下)の3軸加速度およびサスペンション変位を収集することを基本とし、さらに慣性計測装置による姿勢情報や、ステアリング角度による運転情報の取得など、車両挙動の詳細が把握できる構成となっている。この構成は、後の分析を通じ計測項目や精度の評価を行う狙いがあり、まずは質/量ともに充実したデータを得られる計測車両を仕立てている。

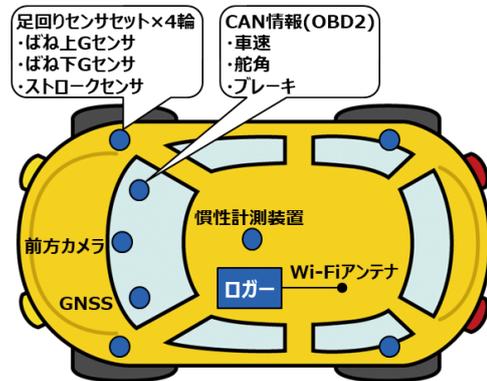


図4 センサ配置

表1 計測項目

| 名称          | 計測対象           | 種別   | CH数  |
|-------------|----------------|------|------|
| ばね上Gセンサ     | 4輪ばね上-上下方向加速度  | アナログ | 4ch  |
| ばね下Gセンサ     | 4輪ばね下3軸加速度     | アナログ | 12ch |
| ストロークセンサ    | 4輪サスペンション変位    | アナログ | 4ch  |
| 慣性計測装置      | 車体ロール・ピッチ・ヨー挙動 | アナログ | 6ch  |
| 手動ボタン       | 道路イベント         | デジタル | 4ch  |
| GNSS        | 自己位置計測         | デジタル | 1ch  |
| 前方カメラ       | 前方路面画像取得       | デジタル | 1ch  |
| CAN情報(OBD2) | 舵角・車速・ブレーキ等    | デジタル | 5ch  |

### 5.1.3 専用ロガー

前述のように、構築した計測車両では多様なセンサを利用しており、収集される信号は数種の通信方式が混在したものとなっている。このため、多様な通信方式に対応してデータを記録できるロガーが必要であり、またセンサ信号を増幅するためのアンプや、センサへの電源供給も不可欠である。しかしながら、5.1.1項で述べたように、車室内で機器の設置に利用できる空間には大きな制約がある。電源やアンプ、ロガーもこの制約を免れず、一般に大型化してしまう傾向にある市販品の利用は難しいという問題があった。

さらに、仮にこれら機器サイズの問題が解決できたとしても、データ収集のための機器操作にも問題がある。実際のデータ収集の手順を考えると、機器類の電源をONにしたのち、計測開始のトリガを起動させなければならず、計測を終えるタイミングでは、停止操作をして電源をOFFにする必要がある。これらの操作は、頻繁に停車を繰り返す道路パトロール業務をさらに煩雑にし、操作ミスや操作忘れによるデータの未収集に繋がる恐れが大きいほか、作業者に従来以上の業務負担を与えてしまう。

このような機器類のサイズの問題と、操作負荷の問題を一挙に解決するため、コンパクトながら必要な機能を集約した専用ロガーを開発した。このロガーの外観を写真5に示す。専用ロガーはおおむねA4大のサイズの中に、電源供給および信号増幅の回路を組み入れ、様々な通信規格に対応した80chの信号を記録できるようにしたロガーである。

専用ロガーは、必要機器を全て小型化して搭載してあることから、これ一つで計測車両に配置した多様なセンサからの信号を全て記録できるうえ、助手席下など、デッドスペースとなっている空間に格納することも容易い。さらに、組み込まれたプログラムによって起動/終了処理の管理がなされ、計測車両のエンジンONに連動した計測開始と、エンジンOFFに連動した終了処理が自動実行される。このとき、終了処理を行っている地点が予め設定された

Wi-Fi基地局の近傍であった場合には、自動的に無線通信が開始され、記録した収集データをサーバに転送する。これらの機能により、作業者は計測について何ら意識することなくパトロールを行うだけで、車両挙動データが収集され、データがサーバに蓄積されることとなる。なお、データの喪失や車両のバッテリー枯渇が起こらないよう、データ保存処理と電力管理は十分に配慮した設計となっている。



写真5 専用ロガー

### 5.2 データ転送システム

益田市で収集されたデータを、神奈川県相模原市にあるKYB社内に設置した分析サーバへ転送するため、図5に示すデータ転送システムを構成した。このシステムは、益田市側とKYB側の2つのローカルエリアネットワーク（LAN）をインターネットによって接続し、LAN内部で利便性高く最適化されたデータ転送を行うとともに、LAN間では暗号通信によりセキュアな通信を実現する構成となっている。このシステムの構築にあたり課題となった、ネットワーク構造と無線通信方式、具体的な転送手順について、以下の各項に述べる。

#### 5.2.1 ネットワーク構造

開発当初、データ転送に関しては世に数多ある通信技術を利用するだけで良く、開発上の課題は少な

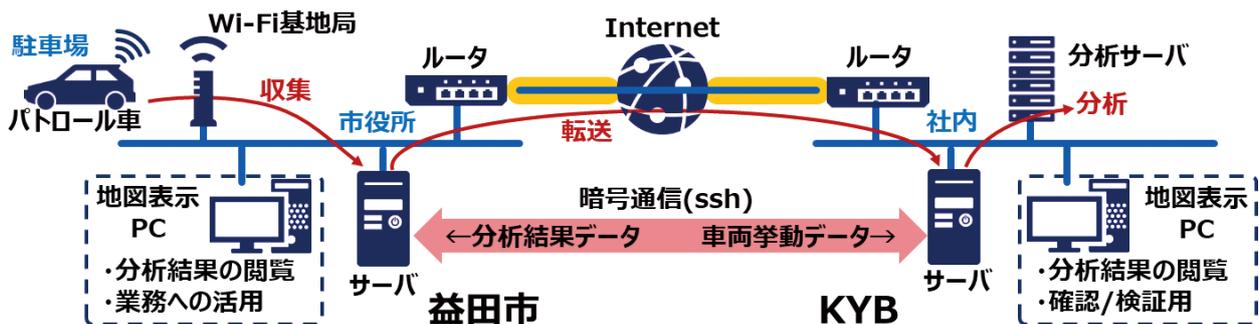


図5 データ転送システム

いと考えていたが、この考えは早期に改めざるを得なくなった。益田市役所は地方自治体の行政機関であるため、住民情報等、様々な重要情報を扱っており、近年ではこういった情報が流出しないよう、市役所のネットワークからは直接インターネットに接続できないようになっていたのである。市役所の業務の要に応じインターネットを利用するためには、より上位の行政機関である県のネットワークを介して行う必要があり、セキュリティを担保するため、利用には厳正な審査を経ての登録が必要となる。本件のように、研究開発を旨とした取り組みに対しては門戸が開かれていないため、通常の手続きで希望の通信環境が整備される望みは薄かった。

そこで、市役所内に新たなLANを構築する手段を採った。市役所内に、市の業務で用いる公的ネットワークと切り離れた新規のネットワークを敷設し、市の業務と独立したLANを形成する。このLANの下に、計測車両が収集したデータを受信するためのWi-Fi基地局と保存するためのサーバ、後述するデータ分析システムによって診断された結果を閲覧するためのPC、およびインターネット接続のためのルータを設置した。

### 5.2.2 無線通信方式

既に述べている通り、データ収集を行ったのち、車両に蓄積されたデータの転送にはWi-Fiによる無線通信を利用している。無線通信を採用した理由は、データの取り出しにあたり、データを保存したメディアや転送ケーブルの抜き差しなど、操作を要する方法では職員の業務に負担を強いることになってしまうためであり、無線通信の採用は必須の要件である。しかしながら、採用する通信方式にはいくつかの選択肢があった。

表2に、代表的な無線通信規格の一覧を示す。車両に搭載した専用ロガーから、拠点に設置されたサーバまでデータを転送する目的で無線通信を行う場合、選択肢としてはWi-Fi+FTTH、携帯網、LPWAの3種が挙げられた。

まず、Wi-Fi+FTTHは、無線通信規格であるWi-Fiと敷設された光通信網（FTTH：Fiber To The Home）を併用する方式である。この方式には安価に高速通信が行えるメリットがあり、計測車両による1日の収集データ量は最大20GBほどにのぼるが、Wi-Fi+FTTHであれば転送時間と費用に関しては問題とならない。ただし、短距離にしか到達しないWi-Fiの特性上、通信可能な範囲が限られるという制約がある。

次の携帯網は、3G/4G/5Gなど、携帯電話で利用される無線通信規格を利用する方式である。この

方式は、携帯電話のサービスを提供する通信事業者の事業戦略に依存するものの、人口密集地帯ではほぼ完全に通信が確立できるうえ、高速通信が可能という特徴がある。デメリットは、人口密集地帯以外では通信途絶となる可能性が高いことと、料金形態が通信量に応じた従量課金であることである。試算によれば、20GBものデータを携帯網利用によって送信した場合、約8千円もの通信費が発生することとなる。したがってこの方式を採用すれば、本開発を通じて提供する道路維持管理業務支援サービスの収益の大部分は、そのままKYBを通り抜けて通信事業者に納まる見込みとなる。

もう一つの方式であるLPWAはLow Power Wide Areaの略称であり、その名の通り、省電力で広域をカバーする無線通信方式である。市内の要部数か所に基地局を設置すれば、益田市内全域で通信が行えるような広域性と安価な費用が特徴だが、高速通信には向かず、一日当たり20GBものデータの転送には実用性を見込めない。

このような無線通信方式の特徴を整理し、通信データ量を踏まえたうえで、採用する方式を検討した。最終的には、市職員の道路パトロールが毎日午前と午後の二回行われ、昼食時や退勤時となる昼/夕の時間帯に計測車両が市役所敷地内に戻るという益田市の業務パターンと、パトロールした路面の診断結果は翌日に確認できればまず十分であるという情報に照らし、Wi-Fi+FTTHを採用した。この決定により、無線通信は市役所敷地内等、通信地域を制限されるものの、毎日のデータ転送を行うに十分な廉価性と高速性が確保された。

表2 無線通信規格の特性比較

| 方式          | 規格            | 転送性能     | 通信コスト   | メリット・デメリット          | 評価    |
|-------------|---------------|----------|---------|---------------------|-------|
| Wifi + FTTH | IEEE802.11b/g | ~54Mbps  | 13K円/月  | ネットワークの設置要          | △     |
|             | IEEE802.11n   | ~600Mbps |         | ネットワークの設置要          | ○     |
|             | IEEE802.11a   | ~54Mbps  |         | 野外での利用禁止            | ×     |
|             | IEEE802.11ac  | ~600Mbps |         | ネットワークの設置要          | △     |
| 携帯          | 3G            | ~14Mbps  | 300K円/月 | データの転送コストが高い        | ×     |
|             | 4G            | ~100Mbps |         |                     | △     |
| LPWA        | Lora          | ~250Kbps | 13K円/月  | ネットワークの設置要<br>帯域が不足 | ×     |
|             | SIGFOX        | ~100bps  |         | —                   | 帯域が不足 |

### 5.2.3 データ転送手順

構築したデータ転送システムは、職員が道路パトロールから戻って車両のエンジンを切った際に、専用ロガーが自動でWi-Fi基地局を探索することから始まる。市役所内の駐車場内に設置された基地局との接続が確立されると、専用ロガー内のデータが市役所内のサーバへ転送される。このとき、通信障害

やエンジン再起動によるデータ転送の中断が起これば、データ欠損が生じないように制御して中断処理が行われ、後に改めて再送処理が実行される。サーバ内に蓄積されたデータは、毎日昼／夕の2度、インターネットを介してKYBのサーバに自動送信され、夜には送信を完了し、KYBのサーバに当日分の収集データが蓄積された状態に至る。このシステムは、2019年5月の運用開始以来、現在まで安定して機能しており、相当量の車両挙動データが蓄積されている。

### 5.3 データ分析システム

本システムの目的は、計測した車両挙動データから路面性状を診断することである。このため、システムの要点は車両挙動データを入力、路面性状を出力として入出力の関係を明らかにし、入力に対し精度良く出力を算出するモデルを作ること他にない。この関係を数式で表すと、式(1)となる。ここで、 $X$ は入力となる車両挙動データ、 $y$ は出力となる路面性状データ、 $L$ は入出力を関係づけるモデルである。

$$y = LX \tag{1}$$

今回、入力は5.1.2項で述べたセンサ構成からなる多チャンネルの時系列データ、出力は路面性状評価指標（※5.3.3項にて後述）である。式(1)では簡単のため、出力データを単一変数としたが、複数の路面性状評価指標を併用する場合は出力もベクトル化されるため、多入力多出力のモデルとなる。このようなモデルを構築する場合、関係式と条件式の組み合わせが膨大となることから、一般に、人の手によって精度の良いモデルを作成することは困難である。一方、統計学を根拠としたAIを用いてモデルを作成する場合、一定のアルゴリズムを利用することで組み合わせ計算の膨大さは無害化され、比較的容易に実現することが可能である。そのため、本システムではAIを用いて路面性状診断モデルを作成することとした。以下、順を追ってこのモデルの作成手順を解説する。

#### 5.3.1 AIモデル

まず、本システムで用いたAIのモデルについて説明する。一般的にAIと言うと、コンピュータを用いて人間のような判断を行うソフトウェアの総称といった広い概念を指す。この中でも、式(1)に示したような、適切なモデルを構築することで未知の入力から正しい出力を推定する手法は、教師あり学習と呼ばれる。図6に示す通り、教師あり学習は、AIという大枠の中にある、機械学習の一分野である。教師あり学習にも様々なモデルが存在し、一部には、昨今注目を集めるディープラーニングも含まれる。

今回構築するデータ分析システムの精度目標とし

ては、従来益田市職員が把握していた路面性状診断と同等以上の診断精度を掲げた。これを実現するAIモデルとしては、予断を持たず、教師あり学習のモデルを複数併用することとした。

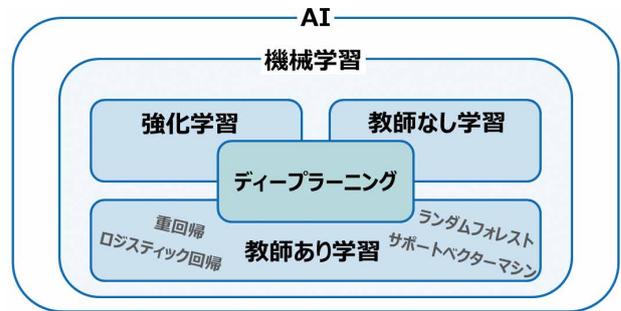


図6 AIモデルの選定

#### 5.3.2 AIの学習

教師あり学習を行う場合、予め入出力が揃った既知のデータ、すなわち教師データを準備し、図7に示す分析精度向上の過程を経て精度の良いAIモデルを作成する。これは式(2)として表され、車両挙動データ $X_i$ をAIモデル $L$ に入力して得られた路面性状推定値 $LX_i$ と、既知の路面性状データ $y_i$ との差が最小となるAIモデル $L$ を探査することを表す。

$$\arg \min_L \left( \sum_{i=1}^n (y_i - LX_i)^2 \right) \tag{2}$$

精度の良いモデルが構築できた後、車両挙動データをAIモデルに入力し、出力される路面性状推定値を利用したシステム運用が可能となる。システム運用では、式(2)における路面性状データ $y_i$ は把握できていないが、分析精度向上の過程での精度確立を根拠として、路面性状推定値 $LX_i$ が十分高精度であるものと解釈して利用される。



図7 AIを用いた分析システム運用イメージ

#### 5.3.3 データの準備

このようなAIモデル構築の手順から、モデル構築には教師データを十分な量用意する必要がある。

5.1節で説明したデータ収集システムによる収集データは、教師データのうちの入力データに相当するが、これに対する出力データ、つまり路面性状の正しい情報を記録したデータが不足しているため、このデータの準備を行った。

路面性状のデータ準備では、MMS (Mobile Mapping System) による測定を行った。これは写真6に示すような、レーザスキャナやカメラ、ジャイロセンサなどの計測装置を搭載した車両により、道路表面の凹凸等、物理的な性状を直接測定する方法である。 (株)三英技研の協力により益田市内の路線を測定し、同じ路線をデータ収集システム搭載車両にて走行することで、入力となる車両挙動データ、および出力となる路面性状のデータを揃え、教師データとした。このときMMSにより測定した路面性状データは、国際ラフネス指標 (IRI: International Roughness Index)、ひび割れ率、平坦性、わだち掘れなど、いずれも路面性状評価のために広く利用されている定量評価指標である。以降では簡単のため、この中からIRIを採り上げて解説する。



写真6 MMS搭載車両 (株式会社三英技研HPより転載)

### 5.3.4 路面性状診断

益田市での聞き取り結果から、従来より路面性状として補修不要/要経過観察/要補修の3水準で診断結果を把握していることが分かっていたため、データ分析システムの出力も同じ3水準に揃えることとした。これらの水準に対し、定量的な損傷程度は把握できていないものの、定性的には、舗装された平滑路面のような良路を補修不要、路面表層に軽度の損傷がある状態を要経過観察、安全で快適な走行を脅かす程度の損傷がある状態を要補修と判断していることがわかった。これら3水準として想定する路面としての例を写真7に示す。

路面性状評価指標の一つであるIRIは、自動車乗車中に体感や目視によって推測することでも、ある程度の精度を期待できる指標とされており、路面性状とIRIの関係は図8のように表される。この図を参考に、定性的な補修不要/要経過観察/要補修の3水準を、定量値であるIRIと対応付けて、以下のように設定した。これにより、AIモデルから補修不要/要経過観察/要補修の3水準が出力可能となる。

- ・補修不要 :  $0 \leq IRI < 2$
- ・要経過観察 :  $2 \leq IRI < 4$
- ・要補修 :  $4 \leq IRI$



写真7 路面性状診断出力の例

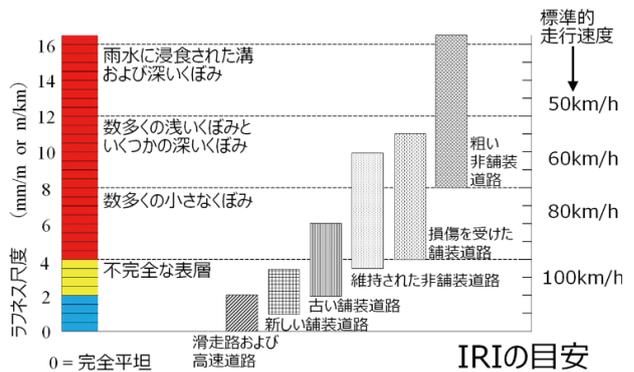


図8 IRI値と3水準の関係<sup>3)</sup>

### 5.3.5 データの前処理

データをAIに利用可能な形式に加工する工程を前処理という。データ転送システムによりKYBのサーバに蓄えられた車両挙動データに対し行った前処理について、以下に概要を記述する。

まず、車両挙動データの元の形式の概要を図9に示す。このデータは、経緯度と車両挙動の計測値とが時系列に記録されたものである。このデータ形式を前提に、車両挙動データに対して行う前処理を説明する。

時系列のデータから路面性状を診断する際、適切な処理を行わずに全データを利用して診断を行うと、データに含まれる走行区間全体で1つの診断を下すことになる。これでは細かく地点を特定し、各所での損傷を把握して道路維持管理に役立てる用途を満足できない。そのため、時系列のデータを一定時間ごとに区切り、区切られた時間帯に含まれる走行区間を路面性状診断の最小単位に据えることで、区間の分解能を向上させる。

次に、AIモデルを学習させるため、上記データから特徴量と呼ばれる数値を算出する。特徴量とは、最大値や平均値などの基本統計量や、車両挙動を代表する数値として定義した値などである。この特徴量の設定が分析精度に寄与するため、車両挙動分析の知見を活かして定めた。特徴量を算出することで、一定時間ごとにまとめられた時系列データは少数の特徴量データに置き換えられ、学習にけるデータの量を効率的に縮約することができる。

上述の時間分割と特徴量算出の前処理を経て、分析に用いるデータは図10の形式に再編される。



図11 地図表示ソフト上への描画

| 時刻 | 経度 | 緯度 | 車両挙動（時系列） |     |       |
|----|----|----|-----------|-----|-------|
|    |    |    | センサ1      | ... | センサ n |
| 0  |    |    |           |     |       |
| ⋮  |    |    |           |     |       |
| ⋮  |    |    |           |     |       |
| ⋮  |    |    |           |     |       |

図9 車両挙動データ

| No. | 時刻 | 経度 | 緯度 | 車両挙動（特徴量） |     |    | 路面性状評価指標 |     |    |
|-----|----|----|----|-----------|-----|----|----------|-----|----|
|     |    |    |    | x1        | ... | xn | y1       | ... | ym |
| 1   |    |    |    |           |     |    |          |     |    |
| 2   |    |    |    |           |     |    |          |     |    |
| 3   |    |    |    |           |     |    |          |     |    |
| ⋮   |    |    |    |           |     |    |          |     |    |

図10 前処理後のデータセット

### 5.3.6 AIの分析結果と精度検証

前処理を経て整備された教師データのうち、8割を学習用、2割を検証用として分け、学習用データを用いてAIモデルを学習させた。十分に精度を高めた後、AIモデルに検証用データを入力して路面性状評価指標の推定値を獲得し、3水準の路面性状診断出力に変換した。この出力を地図表示ソフト上に描画した結果を図11に示す。

従来の益田市の業務には比較対象が無いため、定量評価は難しいものの、地図への出力結果についての職員の認識において、従来の方法に基づく認識との齟齬が無いことから、従来相当の精度で分析が行えているものと思料される。

また、AIモデルによる分析では、益田市の従来の診断に揃えて3水準の出力としているが、その背後ではIRI、ひび割れ率、平坦性、わだち掘れなどの各路面性状評価指標の推定値が数値出力されるため、定量性

を備えた資料としての利用可能性を備えている。

## 6 開発成果と反響

以上のように、スマート道路モニタリングシステムは開発の第一ステップを終え、自治体の道路維持管理業務を支援するための路面性状診断が実現可能であることを確認できた。通常の製品開発であれば、この実行可能性検証を経て獲得した知見を一度整理し、さらなる開発の具体化に向けて社内での検討を進める段階である。しかしながら、冒頭に述べたように、本取り組みは国や自治体と連携しているため、フォーラムでの講演や、新聞・TVでの報道を通じた公表とともに開発が進められており、既に得られた反響も大きい。そこで、以下の各節にて、国や自治体との連携や、寄せられた反響について記述する。

### 6.1 益田市からの評価

益田市に対してスマート道路モニタリングシステムの開発提案を行った時点では、システムの全容は絵に描いた餅であり、具体的な現実性を帯びてはいなかった。しかしながら、各サブシステムの機能が実装され、成果が形付いていくにつれ、道路維持管理業務に携わる職員から、具体的な要望や課題が挙げられるようになった。これらの声をもとに、適宜開発目標を修正して完成した本システムの評価は高く、特に、従来では把握できていなかった路面性状の具体的な様態が、定量的な数値や直観に訴える地図情報として示され、記録が蓄積していくこと、それにも関わらず、利用者である自治体職員には一切の労苦を伴わないことが好評を博している。

このように評価されるシステムの実現は、実務課題を抱える自治体と連携しての開発であればその成果であり、KYB内部で完結した開発体制だったならば、完成したシステムは砂上の楼閣となっただろう。開発にご協力頂いた益田市職員の方々のご厚情には感謝が尽きない。

## 6.2 国との連携

スマート道路モニタリングシステムの開発は、令和元年度に公募された、国土交通省スマートシティモデル事業<sup>4)</sup>として行われた取り組みでもある。この公募には73のコンソーシアムからの応募があり、その中から選出された15の先行モデルプロジェクトのうちの一つに、MCSCCを通じた本活動がある。

本報で述べた初年度の成果は、評価機関である有識者委員会の定めた、以下の4点の評価項目すべてにおいて高く評価されている。

- ①先進性：早期に社会実装可能な具体性がある
- ②効率性：都市経営の効率化に資する
- ③継続性：継続的で自律的な運営である
- ④汎用性：他の都市にも移植可能である

これを受け本活動では、引き続き令和二年度の事業にエントリし、国と連携した開発を推進していく。

## 6.3 他都市展開

益田市や国との連携の他、MCSCCを通じて他都市への水平展開についても検証を行っている。2019年11月には熊本県八代市に招かれ、計測車両を伴った訪問のうへ、指定された路線を走行して現地の路面性状を題材にシステムを実演した(図12)。

この取り組みでは、構築済みのデータ転送システムが無いため機能は制限されるものの、携行可能なまでに縮小した状態でもシステム運用可能なことを示し、高い移植性と有用性を評価された。



図12 熊本県八代市での出張診断

## 7 結言

本報に述べた開発により、スマート道路モニタリングシステムは実効可能性検証を終え、技術面での実現性を確認することができた。また、開発に並行して取り組んだ国や自治体との連携を通じ、実際の課題に直面する現場の中で柔軟に開発目標を定めたことで、高い評価を得られた。

スマートシティの実現には、都市の抱える課題の要衝を見極め、実務者が自律的に運用できるサービスを構築することが鍵となる。実務者の視点を見落とした理想論では、運用の現場に馴染むシステムの開発は難しいため、早期に連携の体制を整えて開発に臨めたことは幸いであった。今後もこの紐帯を強め、国や自治体、KYBなど、関係するすべての者にとって有益で、持続可能なサービスを打ち立てられるよう、ビジネスモデルの開発を進めていく。

近年では、KYBにおいてもAI/IoT技術を利用し生産支援・開発支援・計測分析等を行う例が増えてきている。本取り組みもそのうちの一つとして、従来技術にAI/IoT技術を融合させ、新たな付加価値を生むモデルケースとなることを目指したい。

最後に、本開発に携わり多大なご協力を頂いた社内外の関係各位に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 国土交通省都市局報道発表, “スマートシティの実現に向けた計画を策定”, 令和2年4月24日
- 2) 国土交通省 第6回道路技術小委員会, “これからの舗装マネジメント”, 平成28年
- 3) 池田拓哉, 東嶋奈緒子, “国際ラフネス指数の計測方法に関する研究”, 土木学会舗装工学論文集第3巻, 1998年
- 4) 国土交通省スマートシティプロジェクトチーム事務局 報道発表, “スマートシティモデル事業 いよいよ始動”, 令和元年5月31日

## 著者



首藤 悠

2016年入社。基盤技術研究所運動制御研究室所属。主に振動制御技術の開発に従事。



高松 伸一

2007年入社。基盤技術研究所要素技術研究室所属。技術士(機械部門)。主に四輪用ショックアブソーバ、電動パワーステアリングの研究に従事。

# 「新しい社会の始まり」

「スマート道路モニタリングシステムの開発」(p. 11)に記載

オートモーティブコンポーネンツ事業本部 技術統轄部 岡村 淳

## 1

### Society 5.0

#### 1.1 人間社会の変化

新しい発明が人間社会に大きな影響をあたえることがあります。古くは稲作の発明による大規模集落の形成や、ワットによる蒸気機関の発明による産業革命、そして、コンピュータやインターネットの発明によるボーダーレス化など、そのような発明が行われると人間の社会構造そのものが変化し、新しい社会が生まれます。

日本政府は、これまでの社会構造の変化を、狩猟社会 (Society 1.0)、農耕社会 (Society 2.0)、工業社会 (Society 3.0)、情報社会 (Society 4.0) の4段階と捉え、次の5番目の社会構造として期待される未来の姿をSociety 5.0として提唱し、我が国が目指すべき姿を図のように定め、第5期科学技術基本計画にまとめて発表しました (図1)。

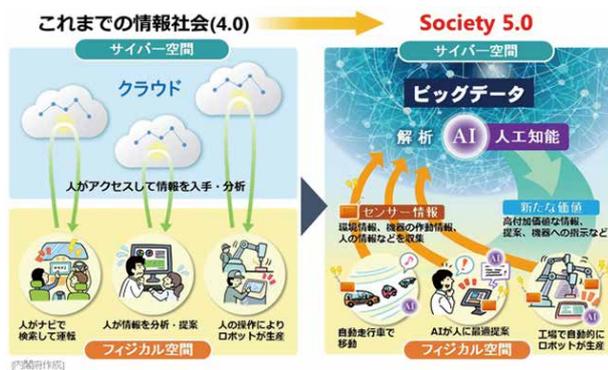


図1 第5期科学技術基本計画によるSociety 5.0<sup>1)</sup>

Society 5.0は、コンピュータに蓄積された情報(サイバー空間)と、現実社会に紐づいた情報・状態(フィジカル空間)をシームレスに接続し、サービスを自動化して、新たな価値を創造しようというものです。

#### 1.2 サイバー空間とフィジカル空間

スマートフォンの普及によってSNSが身近になり、人は何処にいても、誰とでも好きな時に連絡できるようになり、また、個人が世界に向けて情報発信を行うこともできるようになりました。

発信者から発信された情報は、一旦クラウドと呼ばれるコンピュータの集合体の中(サイバー空間)に蓄積され、検索・読み出しによって、情報の受信者(フィジカル空間)に引き渡されます。

このように、サイバー空間とフィジカル空間の間の情報のやり取りには、これまで、必ず人間が介在していました。これをシームレスに接続することが、Society5.0の必要条件となります。

## 2

### IoTとCPS

#### 2.1 IoT (Internet of Things)

それでは、サイバー空間とフィジカル空間をシームレスに接続するにはどうしたらよいのでしょうか？

そこで、考えられたのが、“物のインターネット (IoT)”と呼ばれる技術です。いろいろな機器を直接インターネット接続し、人間を介さずに、自動でフィジカル空間の計測データをサイバー空間に上げることができれば、サイバー空間でこれらのデータが利用できるようになります。

例えば、最近の車両のカーナビは、GPSによって計測された自車の位置や速度等をネットワーク上のサーバに自動で上げる機能が搭載されています。自動車OEMは、これを解析することで、例えば道路の混雑状況の解析を行っています。カーナビに表示される渋滞情報は、この解析データを用いて渋滞地点を表示している為、道路にセンサーがない場所でも渋滞地点を表示することが可能になっています。

## 2.2 CPS (Cyber Physical Space)

IoT技術により自動で収集され、サイバー空間に送られたデータを活用し、処理したうえで、フィジカル空間へのフィードバックを実現することをCPSと呼びます。

例えば、高速道路の自動走行では、本車線上から料金所までの走り方（走行速度）をどうするかという課題があります。勿論、道路の制限速度で走ればよいという話がありますが、実際にはどう走るのがよいのでしょうか？こういった問題を解決する為に、先ほどのカーナビから収集した位置と速度のデータが役に立ちます。当然、走行速度はインターチェンジの構造や天候、そして混雑度合いに依存して異なるでしょう。こういった走行パターンを整理して、それぞれの場合の適切な減速パターンをコンピュータで計算して、自動走行車にフィードバックする検討がされています。

このように、人と社会をコンピュータとシームレスにつなげることで、今まで人が行っていた面倒なことをコンピュータに任せることで、より良い社会を実現しようというのがSociety5.0の提案です。

### 3

## ビッグデータとAI

### 3.1 ビッグデータ

IoT技術によって、データの収集を自動化する話をしてきましたが、次は、収集されたデータをどう処理するかということが課題になります。自動で収集されたデータは、量が多いだけでなく、様々な形を持つ、いろいろな種類のデータとなります。これをビッグデータと呼びます。データの種類、量、発生・更新の頻度がビッグデータの重要な要素になります。

先ほどの例で言うと、カーナビから収集されている自動車の位置、速度、エンジン回転数、ワイパーの状態等の情報の集合体はビッグデータといってもよいでしょう。これらのデータからは、渋滞情報だけでなく、道路の降雨状況の検出、大地震や台風の直後の通れる道路の検出、道路上の陥没など危険な場所の検出等、いろいろな分析が可能なのは想像に難くないと思います。

しかし、これまで蓄積されたデータをどう利用するかは、そのデータを解析する人間に任されていました。データの解析が大変難しかったためです。それが、近年のコンピュータの性能向上とAI技術の

進歩によって、ビッグデータの分析が可能になり、注目され始めました。

### 3.2 AI (Artificial Intelligence, 人工知能)

最近注目を集めているAIですが、歴史は非常に古く、人間の脳を再現するニューラルネットワークのアイデアは、1943年まで溯ります。しかし、これまで、コンピュータの性能が不足していた為、ごく限定された規模のニューラルネットワークをシミュレーションすることしかできず応用範囲が限定されておりました。現在は、コンピュータの性能が10,000倍以上にもなり、取り扱うことができるニューラルネットワークの規模も、人の脳に近づいてきています。更に、機械学習と呼ばれるニューラルネットワークの教育方法も考案され、急速に応用範囲が広がっています。

例えば、コンピュータで、犬と猫の写真を見分けさせたい場合、まず、犬と猫の見た目の違いを明確にして、それを人手でプログラムにしなければなりません。ひとことで、犬と猫の見た目の違いといわれても、明確に答えられる人は、少ないでしょう。

機械学習では、その代わりに、沢山の犬と猫の写真を用意し、猫・犬というラベルとともにニューラルネットワークに入力し、それが正しい答えを出せるように調整していきます。

入力する写真の数が少ないと、コンピュータは頻繁に間違えますが、大量の写真で教育すると精度を上げることができるようになります。

このように、機械学習は、人がプログラムを記述するのではなく、データをあたえることで、機械に自分自身をプログラムさせるため、あいまいな概念をコンピュータに作りこみやすいという特徴があります。この為、プログラムにするのが難しい応用でも対応できる可能性が広がります。

有名な例では、レントゲン写真を観察して、がん患者を見分ける応用では、医者が見落とししていたがんまできっちり見分けることができたそうです。

このように、言語化が難しい場合でも、コンピュータで分析できるようになるため、ビッグデータを分析する一つの方法として期待されています。

#### 参考文献

1) 「Society 5.0」内閣府

[https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/)

技術紹介

# ピニオンアシストタイプ電動パワーステアリングの減速機ラトル音解析技術

柳 生 貴 也

## 1 はじめに

KYBの電動パワーステアリング（以下EPS）は、ウォーム減速機を用いたピニオンアシストタイプである。

ウォーム減速機のウォームホイールは樹脂製のため、金属製と比較して摩耗や温度による寸法変化が大きく、減速機のバックラッシ変化が大きい。

例えば、雰囲気温度が高くなるとウォームホイールは熱膨張により大きくなり、バックラッシが減少する。それにより減速機のロストルクが増加するため、図1に示すようにウォームギヤが揺動する構造を用いてバックラッシの大きさを保ち、ロストルクの変動を低減している。

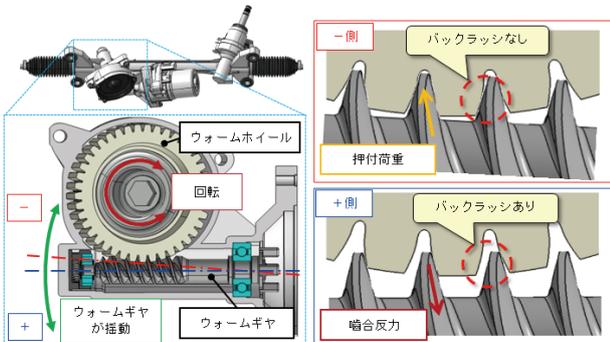


図1 アンチバックラッシ構造

これに対し、減速機の摩耗によりバックラッシが増大するとウォームホイールの回転方向が切り替わる瞬間に、歯面が接触しない空走状態が発生し、その後、歯面が衝突することで、減速機ラトル音が発生する（図2）。

このため、回転方向が切り替わる際のバックラッシの大きさが、なるべく小さくなるように、ウォームギヤをウォームホイールに押し付ける荷重（押付荷重）を与えている。

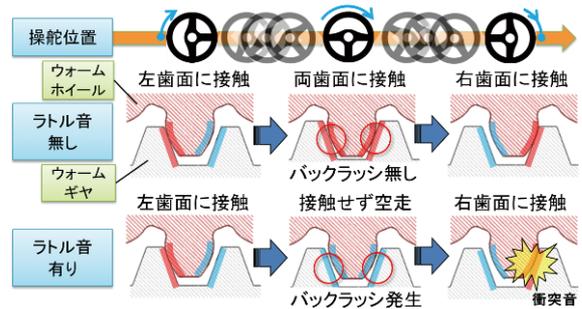


図2 操舵位置と歯面状態

押付荷重を大きくすると減速機のロストルクが大きくなるため、操舵トルクに対するラック軸力の発生に遅れが生じる。その結果、車両としては理想の走行ラインを描けなくなる（図3）。従って、操舵応答性と減速機ラトル音の両特性はトレードオフの関係にある。

これまでは、互いの特性を両立する押付荷重やバックラッシの大きさなどの仕様を実験的に決定するほかなかったが、仕様に基づいたEPS特性を予測可能な1Dシミュレーションモデルを開発したので紹介する。

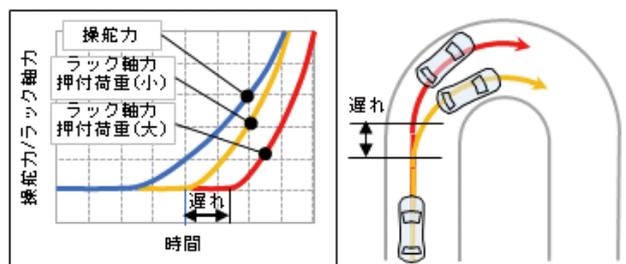


図3 操舵力とラック軸力

## 2 シミュレーションモデル

### 2.1 EPSシステムモデル

図4に示すEPSシステムモデルは、ハードの「EPS機構部」とソフトの「アシスト制御部」で構成されている。ステアリングホイールの操作やタイヤからの逆入力などに応じてEPSの挙動を模擬する全体モデルである。

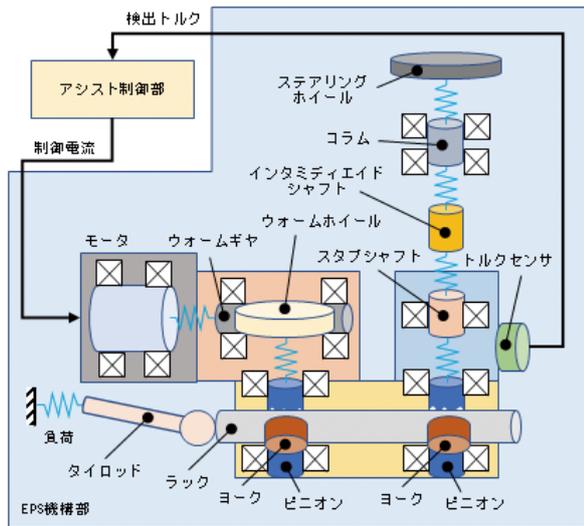


図4 EPSシステムモデル

EPS機構部のモデリングには、1DCAEツールであるSimulationX<sup>注1)</sup>を使用した。本ツールは、制御モデルで広く採用されているMATLAB®/Simulink<sup>注2)</sup>との連携が容易であり、MBDモデリングツールとして一般に多用されている物理モデリング言語Modelicaに準拠している。

アシスト制御部は、当社EPSに採用されている制御ロジックに基づき、MATLAB®/Simulink®を使用してモデル化している。

注1) SimulationXはESI ITI GmbHの登録商標です。

注2) MATLAB®/Simulink®はMath Works社の登録商標です。

### 2.2 減速機アンチバックラッシ構造

図5にアンチバックラッシ構造の概略を示す。ウォームギヤの先端には、ベアリングを減速機の軸間方向のみに移動するよう規制するホルダと、ベアリングをウォームホイール側へ押すためのスプリングとで構成されたカートリッジを配置する。モータ側は、ベアリングの内部隙間によってウォーム軸が傾斜できる構造になっている。

Oを支点にウォームギヤ軸が傾斜することで、噛合い位置での軸間距離が変化し、バックラッシを変化させる。また、カートリッジはベアリングとハウ

ジングの打音を抑制する緩衝材も兼ねている。

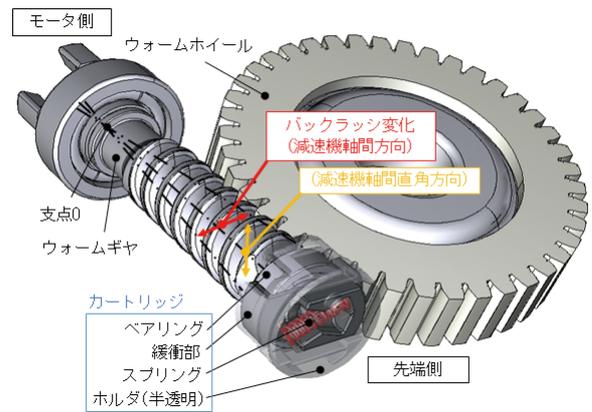


図5 アンチバックラッシ構造概略

### 2.3 減速機アンチバックラッシ構造モデル

図6にアンチバックラッシ構造のモデル概略図を示す。ウォームギヤ先端側のカートリッジの構造は、減速機の軸間方向の動きに対して、噛合い剛性とスプリング剛性を与える。軸間が広がる方向へ移動し、ウォームギヤが緩衝部と接触したのちには、上記に加え、緩衝部剛性が加わる構成とした。

軸間直角方向の動きに対しては、ホルダの二面幅で動きを規制する構成とした。

モータ側は、ベアリングで支持する構造であり、ベアリングのアキシャル隙間によってウォームギヤはウォームギヤ軸方向へ移動する。アキシャル隙間の大きさによって、ウォームギヤの揺動可能な角度が変化する構成とした。

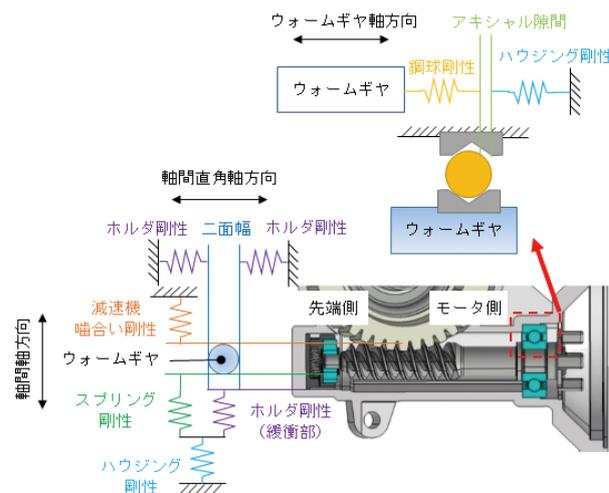


図6 アンチバックラッシ構造モデル概略

## 3 減速機ラトル音評価

### 3.1 減速機ラトル音計測方法

減速機ラトル音の評価は、図7に示すように、タ

イロッド端よりサイン波で荷重を入力し加振した際の減速機部の加速度の大きさで行った。ステアリングホイールやコラムの代わりに、スタブシャフトには慣性円盤を取り付けている。実機計測及び解析ともに同様の評価条件である。

なお、減速機ラトル音として放射音ではなく、ハウジングに取り付けた加速度計の値を用いたのは、実機において計測が比較的容易なためである。

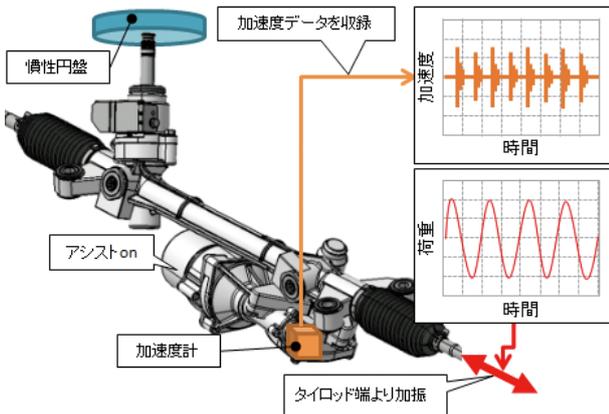


図7 減速機ラトル音評価条件

### 3.2 減速機ラトル音解析と実機計測の比較

図8に減速機ラトル音の解析結果と同条件における実機計測結果を示す。

結果に示す線図は、実機計測及び解析によって得られた加速度データを周波数分析したものである。

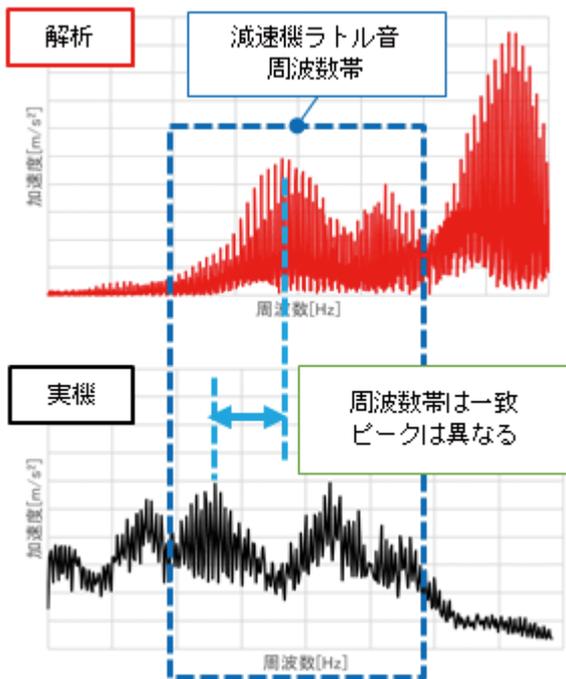


図8 減速機ラトル音比較

本計測方法によると、減速機ラトル音は破線で囲った周波数帯にピークが発生する。

解析結果のピークは、減速機ラトル音の周波数帯の中に発生しているが、実機計測結果と比較すると、周波数が若干高い。周波数が高くなる原因として機構部品の支持状態が実機と解析で異なることが考えられる。従って、ハウジングの3Dモデルを1Dモデルへ縮退することで、実機と支持状態を一致させることを検討した。

図9に示すのは、減速機ハウジングの3Dモデルである。ハウジングの各ベアリング支持部を多点拘束 (MPC) し、1Dモデルにおける荷重入力点として使用した。3Dモデルの1D縮退にはニュートンワークス(株)のMOR (model-order-reduction) を使用した。

図10は、ハウジングの1DモデルをEPS機構部のモデルに取り込み、同様の解析を行った結果である。

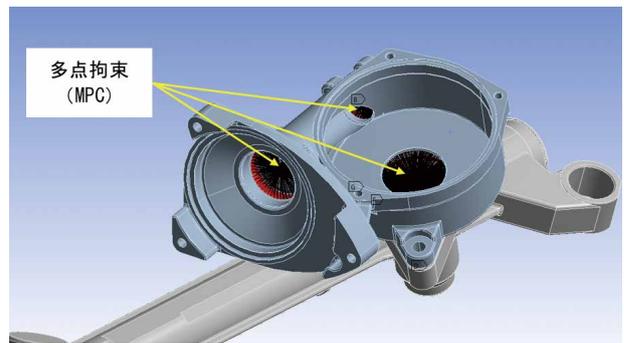


図9 減速機ハウジング3Dモデル

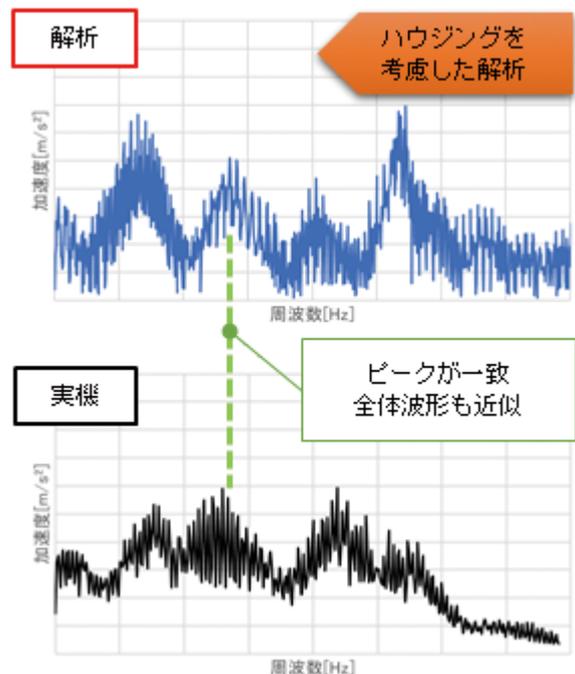


図10 ハウジングを考慮した減速機ラトル音比較

ハウジングを考慮していない結果に比べて、ピークが一致し、全体も実機と近似した波形になった。

#### 4 シミュレーションモデルの妥当性確認

##### 4.1 減速機ラトル音の確認

本シミュレーションモデルを用いて、減速機バックラッシュと押付荷重についてパラメータスタディ（表1）を行い、減速機ラトル音への影響を確認した。同時に、実機についても同様の測定を行い、互いの結果の相関を確認することでシミュレーションモデルの妥当性の確認を行った。減速機ラトル音の測定方法は、前節の方法と同様である。

表1 ラトル音確認仕様

| 仕様 | バックラッシュ | 押付荷重 |
|----|---------|------|
| A  | 中       | 中    |
| B  | 大       | 大    |
| C  | 大       | 中    |

図11に示すのは、減速機ラトル音の実機計測結果（横軸）と解析結果（縦軸）の相関グラフである。値は減速機の周波数帯の加速度で、ピークtoピークの値を用いた。

実機と解析の相関係数Rは0.974であり、高い相関がある。つまり、仕様の変化に対する減速機ラトル音の変化は実機と同等であり、特性予測ツールとして本シミュレーションモデルが妥当であると言える。

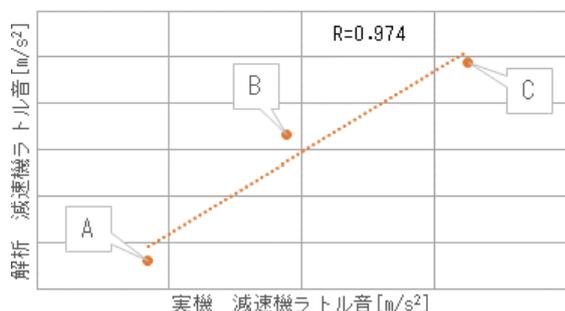


図11 減速機ラトル音相関

##### 4.2 操舵応答性の確認

操舵応答性への影響確認として、ロストルクの変化を確認した。確認は、タイロッド端に負荷を付けていない状態で操舵した時の操舵トルクを測定することで行った。

操舵トルクの測定方法は、図12に示す通りである。ハンドルから三角波で操舵角度を入力し、その時の

操舵トルクを記録する。

操舵トルクについても、表2に示す仕様でパラメータスタディを行った。バックラッシュは新品状態を想定しているため「小」で固定し、押付荷重のみ変化させた。

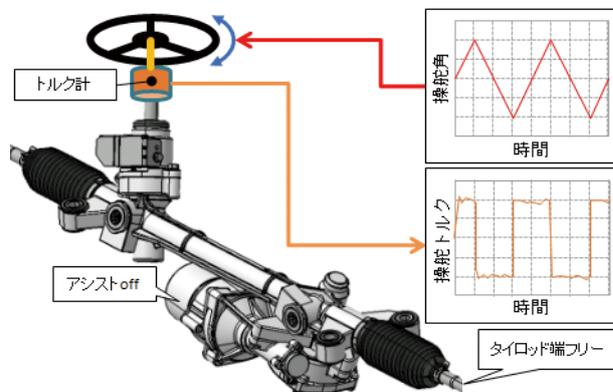


図12 操舵トルク評価条件

表2 操舵トルク確認仕様

| 仕様 | バックラッシュ | 押付荷重 |
|----|---------|------|
| D  | 小       | 小    |
| E  | 小       | 中    |
| F  | 小       | 大    |

図13に示すのは、操舵トルクの実機計測結果（横軸）と解析結果（縦軸）の相関グラフである。値は操舵範囲の平均操舵トルクを用いた。

実機と解析の相関係数Rは0.951であり、高い相関がある。つまり、仕様の変化に対する操舵トルクの変化は実機と同等であり、特性予測ツールとして本シミュレーションモデルが妥当であると言える。

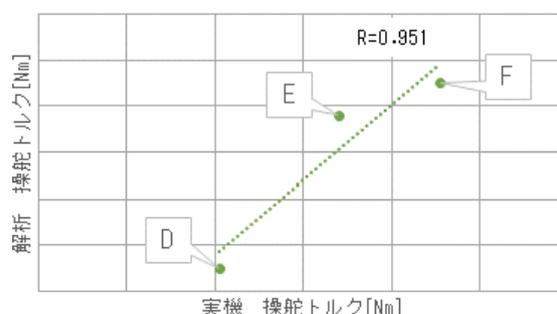


図13 操舵トルク相関

以上より、本シミュレーションモデルを用いることで、減速機ラトル音を最小に抑えつつ、操舵応答性を最大にする仕様を導出することができる。

## 5 まとめ

本報では、本シミュレーションモデルを用いた特性予測として減速機ラトル音と操舵トルクを取り上げたが、このほかのEPSに関する動作についても、本シミュレーションモデルを用いて予測することが可能である。

また、変更パラメータについては「バックラッシ」や「押付荷重」としているが、本シミュレーションモデルに入力する際は、部品寸法で入力するため、部品の寸法公差の設定検討に用いることも可能である。

本シミュレーションモデルの開発により、設計段階でEPSの特性予測が可能となり、開発・設計の効率化を図ることができた。

## 6 おわりに

EPSは省エネや油を使わないことによる環境配慮を背景に需要が高まっていったが、昨今では、先進運転支援システム（ADAS）や自動運転への対応のため、欠かせない技術となっている。これらの変化に対して迅速な対応ができるよう、シミュレーションモデルにさらなる改良を加え、開発・設計支援技術の向上に取り組む。

最後に本シミュレーションモデルの開発にご支援、ご協力をいただいた社内外の関係者各位に、この場を借りて厚く御礼申し上げたい。

## 著者



柳生 貴也

2005年入社、オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部電子技術部、ペーンポンプ、EPSの設計を経て現職。

用語解説

## 「バックラッシとラトル音」

「ピニオンアシストタイプ電動パワーステアリングの減速機ラトル音解析技術」(p. 23)に記載

KYB技報編集委員 宮谷 修

### 1 バックラッシ

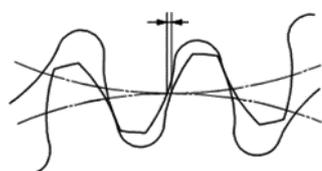
#### 1.1 バックラッシとは

歯車がお互いに噛み合っている際に運動方向に意図的に作られた隙間部分のことを言います。歯車同士の干渉を防ぎ、スムーズに回転するために必要です。

#### 1.2 バックラッシの種類

- ・円周方向バックラッシ

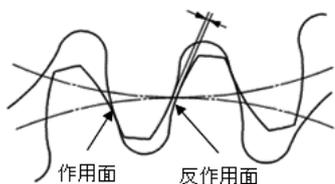
相手歯車を固定し、歯車を回転させることができるピッチ円上の弧の長さのことを言います。



JISB0102-1より引用

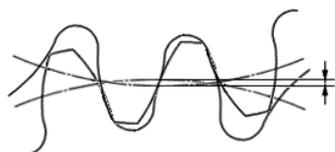
- ・歯直角法線バックラッシ

作用面が接触しているときの、反作用面の歯面間の最短距離のことを言います。



- ・半径方向の遊び

両方の歯面を接触させたときの、所定の軸間距離からの移動量のことを言います。



### 1.3 バックラッシに関する問題点

- ・バックラッシが大きい場合  
騒音や振動の発生原因になります。
- ・バックラッシが小さい場合  
伝達効率の低下や歯車寿命の低下などを招きます。

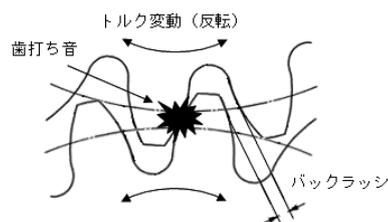
### 2 ラトル音

#### 2.1 ラトル音とは

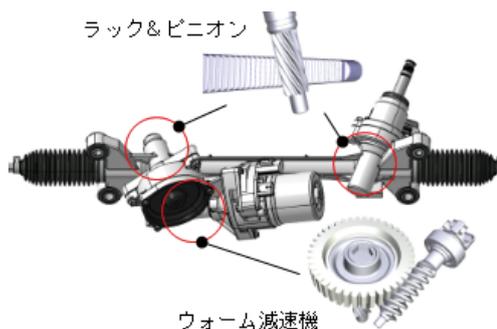
歯車の回転トルクの変動や反転時に発生する歯打ち音のことを言います。

#### 2.2 ラトル音の発生原因

- ・トルク変動（反転）
- ・バックラッシ



#### 2.3 電動パワーステアリングにおけるラトル音発生箇所



## 「1Dシミュレーション, 1DCAE」

「ピニオンアシストタイプ電動パワーステアリングの減速機ラトル音解析技術」(p. 23)に記載

技術本部 CAE推進部 島田美穂

### 1

### 1Dシミュレーション

コンピュータによる技術的なシミュレーション(CAE: Computer Aided Engineering)はこれまで、より大規模で高精度な計算ができるようになる方向に進んできました。モノづくりとシミュレーションとの関係は、1980年代初めから有限要素法(FEM)が、1990年代からは流体解析が設計にルーチンとして組み込まれ発展し、コンピュータ性能の向上とともに大規模なシミュレーションを高速に行うことができるようになり、応力の熱の状態、空気や油の流れなどの計算は、ある特定の断面をモデル化した2Dシミュレーションから、より精密な立体形状を用いる3Dシミュレーションが日常となっています。さらに複数部品での計算や異なる場を連成した計算など、精度も上がり、実験に近い結果が得られるようになってきています。

近年では、製品や部品の現象を数式で表現し複数の物理現象を跨って計算をする1Dシミュレーションが注目されています(表1)。設計においては形状が決まる前の構想設計での製品の動作原理や物理現象を計算する机上検討が重要であり、1Dシミュレーションは有効な手段です。形状によらないためコンピュータに掛かる計算負荷は2D、3Dのような形状をモデル化した計算より小さく、モデルを修正しながらパラメトリックに設計寸法を変化させるような繰り返し計算による検討が可能です。設計フロントローディングの観点から、製品開発プロセスにおいては、開発初期での問題抽出や最適化が重要であり、設計の手戻りや開発期間への影響が大きいといわれています。そのため、開発の早期段階からの1Dシミュレーションの活用は不可欠であり、全体最適設計を可能とすることが重要となります。最近ではこれに対し、1Dシミュレーションを含め「1DCAE」という考え方が提案されています。

表1 1Dシミュレーションソフト例<sup>1)</sup>

| 製品名             | 開発元                             | 概要   |
|-----------------|---------------------------------|--|
| Dymola          | 仏 Dassault Systemes 社           | 数式でシステムを記述できる言語「Modelica」のモデルを用いてシミュレーションを実行するツール。   |
| AMESim          | SIEMENS (IHLMs)                 | 微分方程式で挙動を記述したコンポーネントが多数あり、互いに結び付けることで物理的システムをモデル化。Modelicaのモデルを取り込める。  |
| MATLAB/Simulink | 米 MathWorks 社                   | 「MATLAB」はベクトルや行列の計算が容易なコンピュータ言語。MATLABのライブラリによりプログラミングをブロック線図で表現可能にしたツールが「Simulink」。制御設計やデジタル信号処理のアルゴリズム開発に使われる。 |
| Simscape        | 米 MathWorks 社                   | MATLAB/Simulinkをベースにした言語とモデリングツール。電気や油圧のコンポーネントを微分方程式で表現でき、このコンポーネントを組み立てることで物理的システムのモデルを構築できる。                  |
| SimulationX     | 独 ITI 社                         | 自動車のパワートレイン向けシミュレータ「ITI-SIM」の後継として、油圧、電気、熱流体なども扱えるように開発したシミュレーションツール。Modelicaに準拠したカスタマイズツール。                     |
| OpenModelica    | Open Source Modelica Consortium | Modelicaのモデルを用いてシミュレーションを実行するオープンソースの無償ツール。  |

## 2 1DCAE

「1DCAE」という考え方は10年ほど前から聞かれるようになり次のように定義されています<sup>2)</sup>。

『1DCAEとは上流段階から適用可能な設計支援の考え方、手法、ツールで、1Dは特に一次元であるという意味ではなく、物事の本質を的確に捉え、見通しの良い形式でシンプルに表現することを意味する。1DCAEにより、設計の上流から下流までCAEで評価可能となる。ここで言うCAEはいわゆるシミュレーションだけでなく、本来のComputer-Aided Engineeringを意味する。1DCAEでは、製品設計を行うに当たって（形を作る前に）機能ベースを対象とする製品全体（もの・ひと・場）をもれなく表現し、評価解析可能とすることにより、製品開発上流段階での全体適正設計を可能とする。全体適正設計を受けて（この結果を入力として）個別設計（形を作る）を実施、個別最適設計の結果を全体適正設計に戻しシステム検証を行う。』

この定義の1DCAEの位置付けは図1、1DCAEと3D-CAEの関係は図2のようになります。そして、1DCAEの考え方を具現化する手段の一つとなるのが1Dシミュレーションです。図3は油圧バルブの動作イメージです。1Dの段階ではメカ部の形状は気にせず、質量、バネ定数といった情報が必要となります。1DCAE で最適な質量、バネ定数を

決定しこれを実現するように左側の3D-CAEを用いて形にしていきます。ここで決定された詳細情報から最終的な質量、バネ定数を1DCAEに戻し油圧バルブの機能を検証します。この例はコンポーネントレベルではありますが、実際は複雑なシステムにも適用可能です。

このように1DCAEはエンジニアの思考を容易に計算機上に具現化してくれますが、設計者の資質に大きく依存します。エンジニアは対象とする製品全体を機能レベルで理解する必要があり専門分野以外のことも知る必要があります。近年では、要求される機能が高度化・多様化してきており、製品やシステムは、それに伴い複雑化し、今後ますます加速していく方向にあります。このような状況において、実機だけでの評価では限界があり限られたリソース（人・もの・金）の中で開発を効率良く進めて行くには、1DCAEの考え方が重要であり市場の使われ方まで想定したモデルによるシミュレーションが重要になってきています。

### 参考文献

- 1) 日経ものづくり, 2012年9月号, pp. 86-89 (一部抜粋).
- 2) 大富浩一:「1DCAEの背景, 考え方, 課題, 今後」日本機械学会誌, 第120巻, 第1188号, pp. 10-15 (2017年11月)
- 3) ニュートンワークス, SimulationX解析事例 (一部加筆).  
<http://www.newtonworks.co.jp/solution/software-analysis/simulationx/simx-ex007.html>

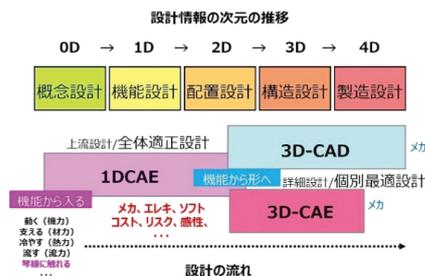


図1 1DCAEの位置付け

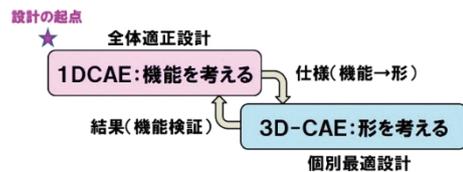


図2 1DCAEと3D-CAEの関係

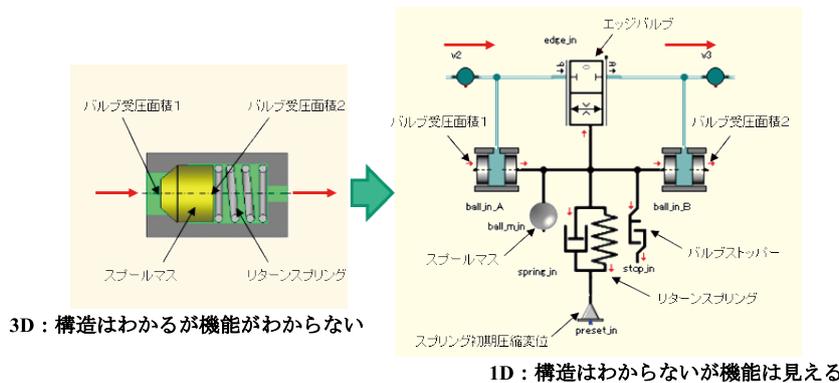


図3 1Dと3D<sup>3)</sup>

# 油圧シリンダ用故障検知機器の開発

岩本 貴宏 ・ 高橋 佑介

## 1 はじめに

近年、様々な市場でIoT<sup>注1)</sup>やICT<sup>注2)</sup>などを活用した情報収集、未然故障診断の開発、製品化が進んでいる。建設機械、産業車両に代表される、油圧機器が多く搭載される機体メーカー各社においても、機体状態や稼働状況を遠隔でモニタリングし、機体ダウンタイム軽減を目的に様々な状態監視が行われている。

一方で、生産設備などの市場では、予知保全をキーワードとして、振動や加速度を検出可能な機能を備えた軸受などの部品を搭載した機器の導入が進んでいる。

KYBでも各種センサ開発や、取得したビッグデータを活用した状態監視システム開発を進めてきた。今後は油圧機器自体で各種センサ情報から、状態や予兆を検知し、不調を発信するセルフケア機能が搭載されると推察される。

本報では故障情報を検知する無線状態監視システムを開発し、KYB油圧製品の付加価値向上を狙いとして取り組んだ、油圧シリンダ用故障検知機器の原理試作について紹介する。

注1) Internet of Things (モノのインターネット) のこと

注2) Information and Communication Technology (情報通信技術) のこと

## 2 開発の狙い

油圧シリンダ(写真1)は油圧システムの中で末端に位置するアクチュエータであり、ロッドシールのみで高圧な作動油を外部に対し密封し、さらに外部ダスト環境で摺動している。KYBの油圧シリンダは外部油漏れの対策を中心として進化を続けてきたが、現在でもシリンダ故障は、ロッドシール部からの油漏れが高い割合となっている。

ロッドシール部からの油漏れは、シール寿命による油漏れと、ロッド傷つきなどによる偶発的な油漏れの2種類に大別できる。

そこで、油圧シリンダのシール寿命による油漏れ

と偶発的な油漏れの両要因による油漏れを早期に検知する機能を備えた機器の開発を狙いとする。



写真1 油圧シリンダ

## 3 盛り込み技術

### 3.1 油漏れ検出技術

本開発は、現行油圧シリンダの基本機能を維持しつつ、故障検知機能を付加することを基本思想としている。そこで、油圧シリンダのロッド径に関わらず、簡単に装着が可能で、かつ汎用的なセンサを用いた油漏れ検出機構を構築した(図1)。

一般的にロッドシールからの油漏れは、装着された各シール部品のシール性が、寿命や偶発的な要因で低下することによって、シリンダ外部への油漏れが発生する。そこで、メインシールとダストシール間に新たに検出専用の追加シールを装着し、ロッドシールを通り抜ける油の微小な圧力をセンサで検出し、その変化をモニタリングして油漏れを判定するようにした。

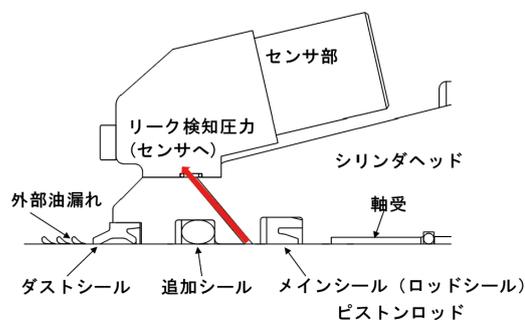


図1 油漏れ検出機構略図

### 3.2 無線通信技術

油圧シリンダを搭載する機体は多くの場合、過酷な

環境で使用され、またその中でも、アクチュエータであるシリンダは油圧配管のみが存在する機体先端に配置される。そのため、センサ駆動用の電源線や出力信号線が確保しにくい箇所への装着性や現行製品への展開容易性などを考慮し、電源線および信号線が一切不要な、電池駆動にて故障情報を無線通信で出力する完全ワイヤレスセンサを適用したシステム構成とした(図2)。

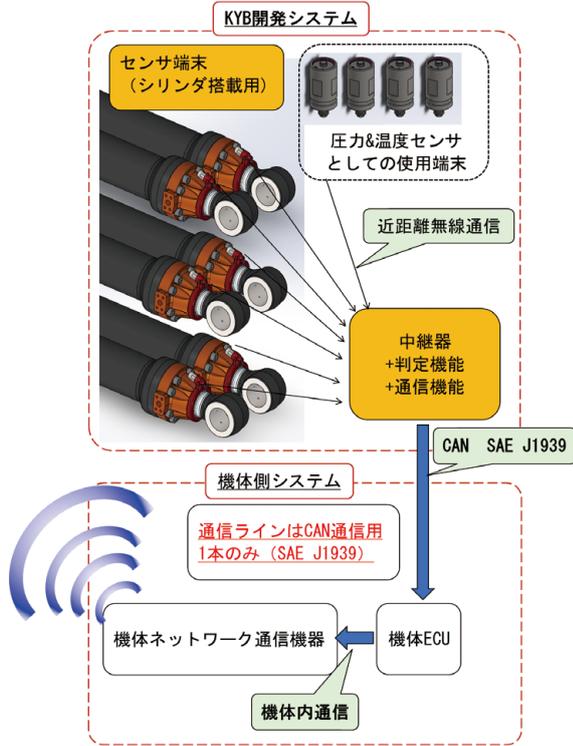


図2 システム構成

### 3.3 低消費電力技術

油圧シリンダのメンテナンス間隔、シール寿命は複数年に亘ることから、センサ端末の駆動電池寿命も複数年の連続動作が必要となる。そこで、センサ端末機能のシンプル化、高効率DCDCコンバータ<sup>注3)</sup>の搭載による低消費電力化を盛り込んだ。さらに大容量電池搭載での長寿命化も実施した。

なお、センサ端末は機体先端などの比較的日常生活メンテナンスが実施しにくい箇所に設置されるため、充電作業が不要な一次電池での駆動方式とした。

### 3.4 省スペース・高耐久性

開発したセンサ端末は、現在生産しているKYB製油圧シリンダへの装着性と機体干渉、および被掘削物との接触の面から、シリンダ最大外径に対し内側に配置する必要がある。また、シリンダとのクリアランスを設けることで、異物の挟まり、電波遮蔽も回避できるよう省スペース化した(図3)。

過酷な振動環境での使用を考慮し、高い耐振性と耐衝撃性を備えるセンサ構造とした。

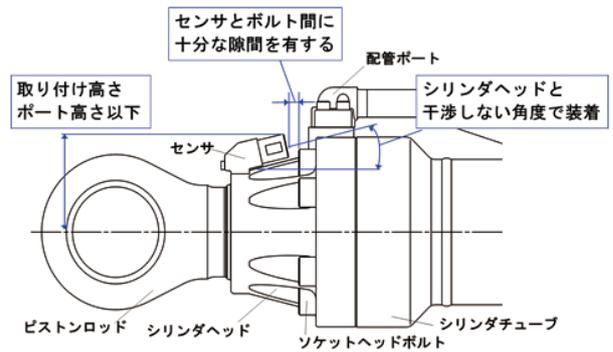


図3 センサ端末取り付け部

注3) 直流電圧をある電圧レベルから別の電圧レベルに変換する電力変換器のこと

## 4 原理試作

開発したシステムは、油圧シリンダに装着され、油漏れに伴う圧力を検出するセンサ端末と、センサ端末から送信された無線信号を受信し、演算処理を実施する中継器にて構成する。

### 4.1 油漏れ検出機構

原理試作での油漏れ検出機構は、市場でオプションアタッチメントとして後からでも装着できる構造とした。試作品の構成は以下の通りである(図4)。

- ①シリンダヘッド：装着用ボルト穴追加加工
- ②シールハウジング：検知シール装着用
- ③センサホルダ：センサ端末装着用
- ④リリーフバルブ：高圧からのセンサ保護用
- ⑤センサ端末：試作品

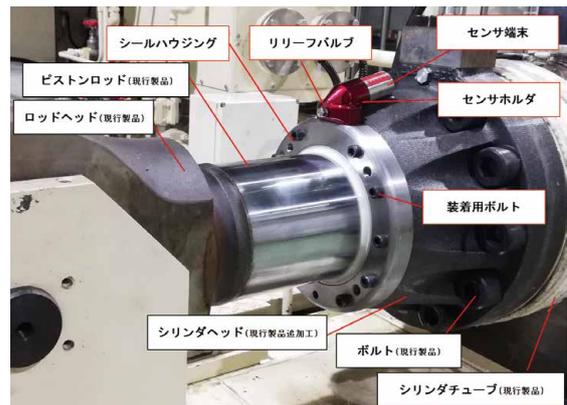


図4 原理試作品部品構成

センサ端末に搭載した圧力検出部は、油漏れの兆候を早期に検知するため、微小な圧力を検出できる低圧領域の検出部が必要である。しかし、偶発的な要因による油漏れが生じた場合は、油圧シリンダの伸縮動作に伴う高い圧力が加圧されることとなり、耐圧不足により検出部の破損が懸念される。そこで、

センサホルダにリリーフバルブを備え、検出部を保護する構成とすることで、高圧となる環境下において、低圧領域計測の検出部を装着可能とした。

#### 4.2 無線通信システム

現在、無線通信方式は様々な周波数帯が存在するが、本システムでは搭載機体サイズや使用環境を考慮し、通信距離が数十メートルから数百メートルの2.4GHz近距離無線通信（PAN：Personal Area Network）を採用した。なお、この周波数帯は免許不要で世界共通で使用可能である。また、モジュール単体で無線認証が進んでおり、製品認証の簡略化が可能となる。

さらに、様々な環境において高い通信信頼性を確保するため、センサ端末同士での相互通信が可能なマルチホップ機能、チャンネル干渉で有利な常に周波数を移動しながら通信する伝送周波数ホッピング機能を備えた無線モジュールを適用した。

#### 4.3 センサ端末

センサ端末は、内部に無線モジュールを実装した基板および駆動用一次電池を備え、各部品をステンレス製ケースに保持し、高い耐振性と耐衝撃性を備えた構造とした（図5）。また、外形寸法は、長さ66mm、径Φ37mmとし、KYB製油圧シリンダのシリンダヘッドと干渉しないよう省スペース化した。

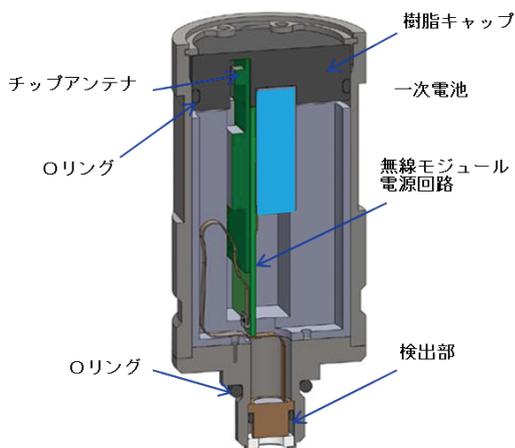


図5 センサ端末構造概略図

#### 4.3.1 電子回路構成

無線モジュールを使用する場合、制御用のCPU<sup>注4)</sup>を別で搭載する構成を採ることが一般的に知られている。しかし、無線モジュールには、通信などを制御するCPUがあらかじめ搭載されているため、2つのCPUをそれぞれ駆動することになり、より多くの電力を消費してしまう。そこで、無線モジュールに搭載されたCPUのユーザ領域を活用した構成とし、消費電力を低減した。なお、CPUのユーザ領域は限られているため、計測と無線通信の機能に限定したシンプルな独自のプログラムとした。

#### 4.3.2 駆動電源回路

無線モジュール制御用のCPUを未搭載としたことで実装面積の削減を実現し、大容量の二酸化マンガンリチウム電池を搭載しつつコンパクト化を可能とした。

電池特性は、一般的に周囲温度の依存が大きく、特に低温環境下では著しい性能低下が生じる。

屋外で使用される機体の使用温度範囲は、下限温度が-20℃であることが多い。この場合、搭載した電子部品の一部で駆動電圧範囲を下回り、動作不能となる懸念がある。そこで、周囲環境の温度変化においても安定した駆動電力を供給し、かつ間欠動作パターン（後述）で時間割合の高い待機動作での低負荷領域において、電力変換効率が優れ、消費電力の小さい高効率DCDCコンバータを搭載した。

#### 4.3.3 無線通信アンテナ

無線信用アンテナは、センサ端末外部に突起物のない形状とするため、基板実装型のチップアンテナを採用した。ステンレス製ケース内にチップアンテナを収納することで懸念される電波遮蔽は、上部に備えたキャップ部品を樹脂製にすることで、電波の透過を可能とした。なお、この樹脂キャップは電池や実装基板の固定と外郭防水シール機能を兼ねており、高い耐振動性、耐衝撃性、耐水性を実現している。

#### 4.4 中継器

センサ端末から受信した圧力、温度の計測データを、温度補正および圧力値への換算処理を行い、独自の演算式で油漏れの判定や兆候を診断する。

圧力、温度の計測データのほかに、駆動用一次電池の電池電圧も受信し、残量を監視して電池交換時期を出力する。

そのほかに、無線通信パラメータやセンサ端末の動作パターンパラメータの設定や、通信状態の監視に関わる機能を備えている。

中継器にシステムの中核を担う演算処理機能を集中化したことで、今後生じる様々な要求に柔軟に対応可能な機能拡張を容易にし、独自性と発展性を実現可能とした（図6）。



図6 計測データ変換処理

#### 4.4.1 計測・送信動作パターン

開発したシステムは、電池駆動のセンサ端末を電池無交換で長時間連続動作を実現するため、常時動作ではなく、計測および送信動作と待機動作を行う

間欠動作パターンを採用した（図7）。

計測および送信動作では、高い電力消費を必要とする送信を、計測データを一定量蓄積した後にまとめて送信することで、送信頻度を減らし電力消費を低減した。

この動作パターンは、今後搭載する機体や環境にあわせて、計測時間、サンプリング周期およびシステム周期の3つの動作パラメータを任意に設定可能な仕様とした。

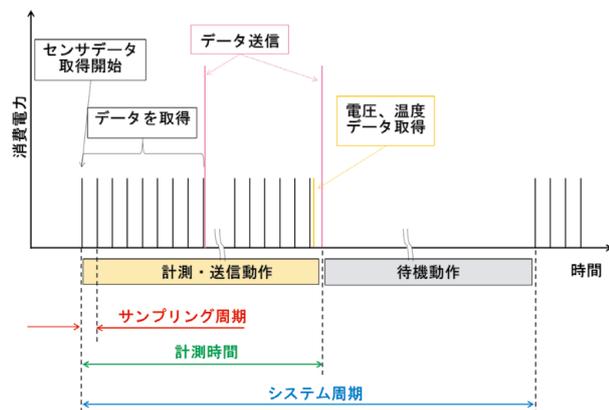


図7 間欠動作パターン

#### 4.4.2 判定結果の出力

油漏れ判定結果は、ユーザが扱いやすいデータに変換し、CAN<sup>注5)</sup>通信にて搭載機体のECU<sup>注6)</sup>へ出力する。なお、CAN通信は、建設車両、農業車両やバストラックなどの商用車で利用されているSAE J1939を適用した。

機体側ネットワーク環境も考慮し、計測データをSDカードへ蓄積する機能を搭載した。

#### 4.4.3 駆動電源

中継器の駆動は、機体装着を前提にDC24V駆動で自動起動や自動停止などの機能も備え、搭載車両のバッテリー負荷低減を考慮した使用しやすい機能も搭載した。また、産業用途として使用可能なAC100Vの電源駆動にも対応している。

注4) Central Processing Unit（コンピュータの中央処理装置）のこと

注5) Controller Area Network（シリアル通信プロトコル）のこと

注6) Electronic Control Unit（電子制御装置）のこと

## 5 現在の状況

本システムは、研究段階での原理試作品による評価を終え、量産可能な工程での試作へと移行し、各構成部品はその工程での試作を完了している。

研究段階から製品開発段階へ移行し、量産性を加味した部品設計での試作品の製作も完了したため、動作確認、耐環境性確認、電気的特性に関する試験もすでに実施中である。

今後、早期に機体への試作品提供ができる体制となるようシステム評価を実施中である。

今回、研究レベルでの原理試作から製品開発の量産に向けた試作へのスムーズな移行は、当社の研究機関と製品開発部門での小規模グループ化による柔軟性によるものであり、両部署をもつ弊社の強みであると再認識している。

## 6 おわりに

本来、故障予知検知機能は、そのメンテナンスビジネスやデータ活用が重要であり、今後は、デジタル技術を取り入れ、それに合わせたシリンダ機能、供給の最適化へ広げていく。

今回は油圧シリンダをターゲットとして開発を行ったが、開発で得られた無線通信技術や電池駆動技術を応用し、各種センサの完全ワイヤレス化やエネルギーハーベストの適用による完全自立型センサへ発展させ、各種油圧製品への組込、機能の見える化や自己診断、予知などの機能を有した高付加価値製品の開発に取り組んでいく。

#### 参考文献

- 1) 船戸：中型油圧シヨベル用 倒立バケットシリンダ，KYB技報第57号，(2018年10月)。
- 2) 吉田，亀田，原：状態監視システム，KYB技報60号，(2020年4月)。

## 著者



岩本 貴宏

1992年入社。技術本部基盤技術研究所情報技術研究室。主にセンサ技術開発に従事。



高橋 佑介

2007年入社。ハイドロリックコンポーネッ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。油圧シヨベル用シリンダ開発に従事。

# シリンダチューブボトム溶接部の非破壊検査技術の開発

光 尾 崇

## 1 はじめに

写真1に示す油圧ショベルは街中の工事現場や採掘場など様々な用途で用いられている建設機械である。一般的にフロント部はブーム、アーム、バケットの可動部から成り立っており、これらを動かすためにKYBの主力製品のひとつである建設機械用油圧シリンダ KCH (KYB Cylinder High pressure) が用いられている。

現在、中型KCHの組立工程において、シリンダチューブボトム溶接工程がネック工程となっている。このネック工程を解消する方策として新工法の採用を検討している。そこで、新工法による溶接部の品質を保証するために、溶け込み不足を検出可能な非破壊検査を実施することとした。

ここでは、シリンダチューブボトム溶接部の溶け込み不足を検出するため、超音波探傷を用いた非破壊検査技術の開発を行ったので紹介する。



写真1 中型油圧ショベルSK200  
(コベルコ建機様ホームページより転載)

## 2 開発目的・目標

本技術開発の目的は溶接不良検出による品質保証である。そのため、以下の目標を満たす必要がある。

- (1)溶接不良品検出率：100%
- (2)過検出率<sup>注1)</sup>：1%以下
- (3)未溶着長さ測定精度の明確化

注1) 溶接良品をNGと判定する確率

## 3 対象製品・対象工程について

### 3.1 油圧シリンダの基本構造

油圧シリンダの基本構造は図1に示す通りであり、以下のような機能を有する。

- ①圧油がボトム側ポートから供給されることでシリンダが伸び、ロッド側の油はタンクへ戻る。
- ②圧油がロッド側ポートより供給されることでシリンダが縮み、ボトム側の油はタンクへ戻る。

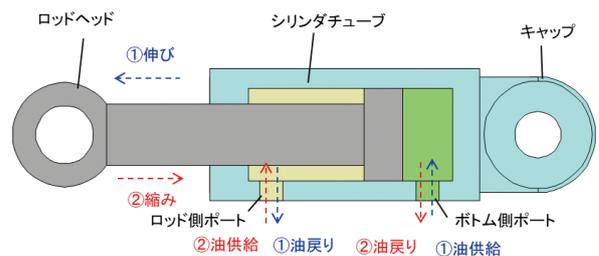


図1 油圧シリンダの基本構造

### 3.2 現状の溶接工程

現状の工程（溶接工程～仕上げ洗浄工程まで）および超音波探傷を用いた検査工程の導入予定位置を図2に示す。

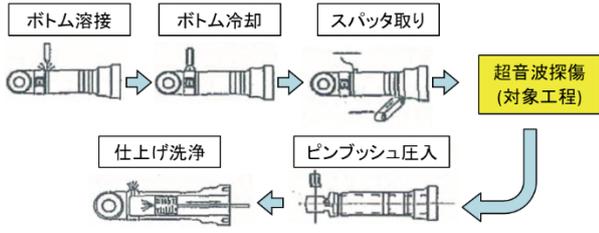


図2 溶接工程～仕上げ洗浄工程

### 3.3 溶接不良について

対象となるシリンダチューブの一例を写真2に示す。溶接部のA-A'断面を観察したとき、図3-aのようにカラーまで溶け込んでいる状態を溶接良、図3-bのようにカラーまで溶け込んでおらず溶け残りがある状態を溶接不良（以下未溶着）とする。この未溶着が円周方向に一定長さ以上ある製品について溶接不良品と定義する。溶接不良品はB-B'断面を観察すると写真3のように未溶着部に空隙が観察される。

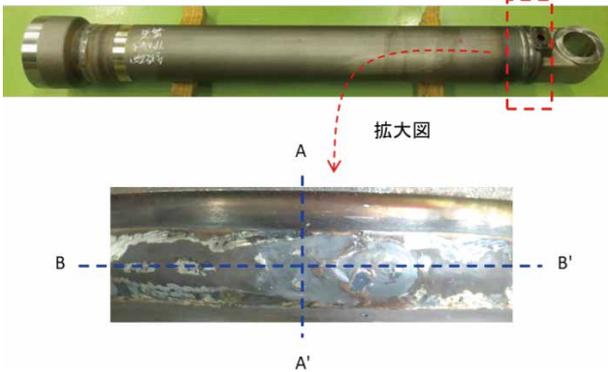


写真2 シリンダチューブ外観

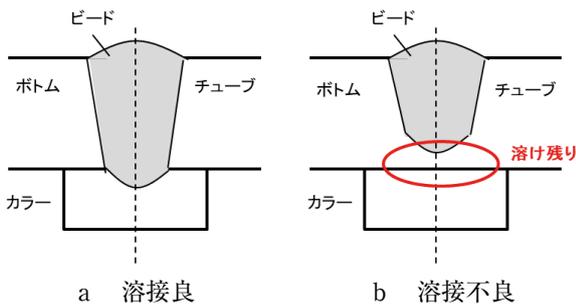


図3 溶接部A-A'断面の概略図

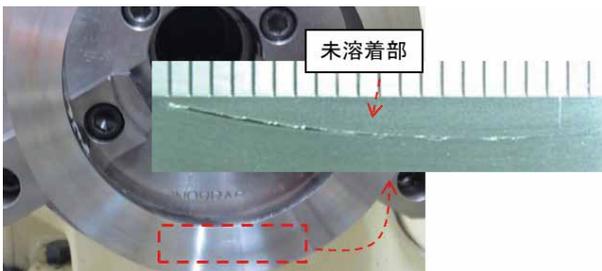


写真3 溶接不良品の溶接部B-B'断面

## 4 現状の問題点

従来、溶接部の検査では斜角探触子による手作業での検査を実施してきた。しかし、応力集中による破損を防ぐため一律であったカラーのサイズがチューブ肉厚に合わせモデルチェンジされた。そのため、カラーのサイズによっては図4-aのように検査できるモデルと、図4-bのように反射エコーが得られず、従来使用してきた斜角探触子では検査できないモデルがある。全モデルの検査を実施するにはカラーのサイズに合わせた斜角探触子が必要となり、コストや校正などを含めた段取り時間などが問題となる。

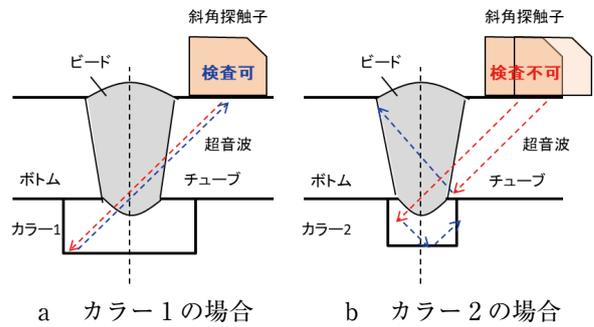


図4 カラーサイズの異なる場合の斜角探傷

そこで垂直探触子での検査が必要となったが、溶接部のビード形状は図3のような凸形状となっており、さらに円筒形状の検査となる。通常の垂直探触子では点接触に近く探傷面の接触面積が小さくなり、超音波が十分に入射できず感度が低くなるため、正確な検査が困難となる。

また、写真4に示すように溶接がラップしている部位に対し、それ以外のビード高さが低くなっている。そのため、溶接開始および完了位置付近では写真4のような傾斜が存在し、通常の垂直探触子では検査が困難である。

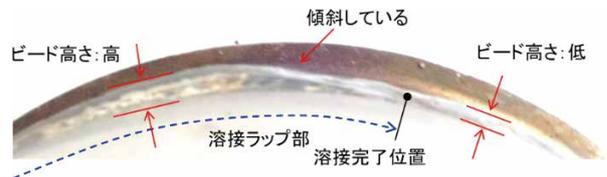


写真4 溶接完了位置付近のビード形状

## 5 溶接部非破壊検査技術の開発

### 5.1 ソフトプローブ

溶接部の垂直探傷を実施するため、写真5に示すジャパンプローブ社製ソフトプローブを使用する。



写真5 ソフトプローブ各種

ソフトプローブは図5に示すようにプローブの接触面に柔軟性があるためビード形状に沿って接触が可能であり、曲面や凹凸面を有する試験体の検査に適している探触子である。

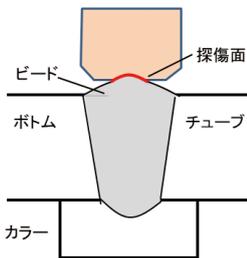


図5 ソフトプローブの特徴概略図

傾斜しているビード部の検査やプローブの構造上発生するノイズなどを考慮し、写真5右のソフトプローブを使用することとした。仕様については以下に示す通りである。

周波数：10MHz 振動子径：5mm  
振動子数：2

### 5.2 評価方法

評価方法について説明する。

図6のように溶着している場合、カラーの底面でエコーが反射し、図のXの位置にエコーが表示される。この位置に表示されるエコーを底面エコーとする。

図7のように未溶着の場合、カラーの表面(チューブ、ボトム底面)でエコーが反射し、図のYの位置にエコーが表示される。この位置に表示されるエコーを欠陥エコーとする。このXおよびYの位置に

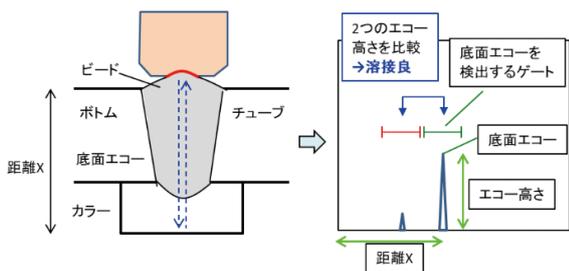


図6 溶着良部のエコー

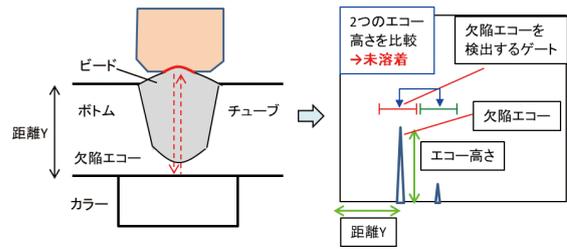


図7 未溶着部のエコー

表示されるエコー高さを比較し、検査部位を以下のように判定する。

- [欠陥エコー<底面エコー]：溶着良
- [欠陥エコー>底面エコー]：未溶着

### 5.3 超音波探傷機

溶接部を円周方向に探傷し、未溶着部を検査する写真6のような超音波探傷機を製作し評価を行った。



写真6 超音波探傷機

## 6 開発結果

### 6.1 探傷能力評価結果

ある一定長さの未溶着があると予想されるNGテストピース(以下TP)のエコー高さを評価した結果を図8に示す。図は最も未溶着の発生しやすい溶接開始位置の少し手前より検査を行った結果である。

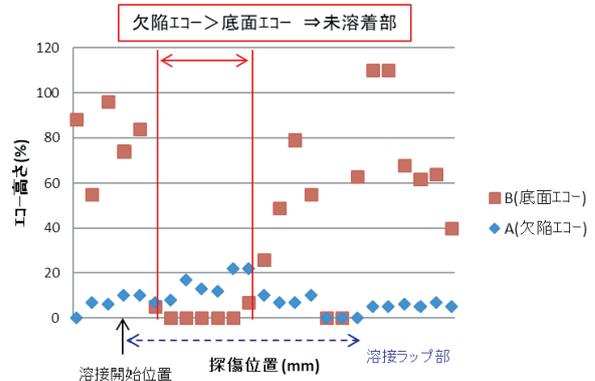


図8 NGTPのエコー高さ評価結果

図のように溶接開始後に [欠陥エコー>底面エコー] となる部位を確認した。この結果より、この位置に一定長さ以上の未溶着部があると推定できる。

次に、このTPについて写真7のような断面観察を行い未溶着長さを測定し、その値に対する探傷機で判定した未溶着長さの測定誤差を評価した。結果の一部を表1に示す。

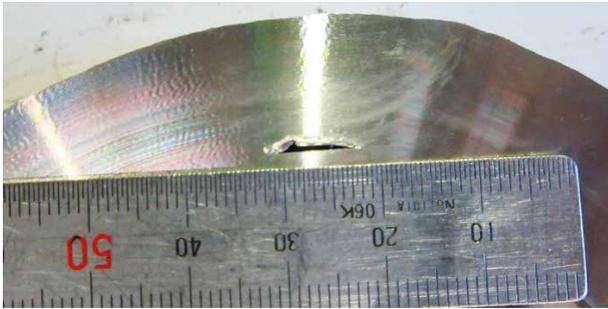


写真7 NGTP断面観察結果

表1 断面観察結果と探傷機判定結果

| TPNo | 判定     |     | 未溶着長さ<br>測定誤差(mm) | 結果    |
|------|--------|-----|-------------------|-------|
|      | 断面観察結果 | 探傷機 |                   |       |
| OK-1 | 溶接良品   | OK  | 未溶着部なし            | OK正判定 |
| OK-2 | 溶接良品   | OK  | 未溶着部なし            | OK正判定 |
| OK-3 | 溶接良品   | OK  | 未溶着部なし            | OK正判定 |
| NG-1 | 溶接良品   | NG  | 6                 | 過検出   |
| NG-2 | 溶接不良品  | NG  | 6                 | NG正判定 |
| NG-3 | 溶接不良品  | NG  | 4                 | NG正判定 |

表より、不良検出率は100%であった。しかし、未溶着長さについては実際の未溶着長さより長く (+4 ~+6 mm) 判定する傾向となった。これは図9のようにビード中心では溶着できているが、溶着幅が小さい場合、一部欠陥エコーが反射してしまい、[欠陥エコー>底面エコー] となる場合がある。この時、溶着良部を未溶着と判定してしまうため、過剰検出気味の判定結果となる。

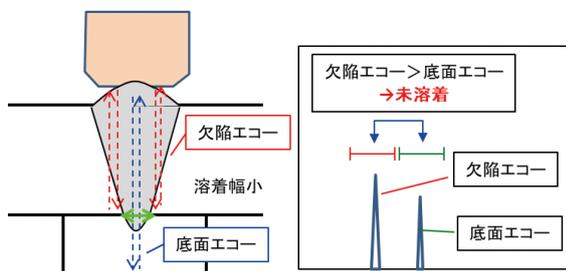


図9 溶着幅の小さい部位でのエコー

本テーマにおける評価結果では、探傷機の判定した未溶着長さが、断面観察し確認した未溶着長さより短くなることはなかった。

また、検査時間短縮のため検査ピッチを2倍に変更した場合の探傷能力評価も行ったところ、判定結

果は検査ピッチ変更前と同じ結果となった。未溶着長さ測定精度については変更前よりばらつきは大きくなるものの、実際の長さに対し0~+6mmと判定する結果となった。そのため、検査ピッチ変更後も過剰検出の傾向にあるといえる。

## 6.2 ソフトプローブの耐久性評価結果

探傷時は、ソフトプローブにある程度荷重をかけながら行っているため、使用回数とともにプローブは消耗し感度低下が発生する。そこでTPの探傷を繰り返し、ソフトプローブ使用回数に対する感度低下(探傷感度の上昇)についてn=2台で評価した。ソフトプローブ使用回数5,000回ごとに、写真8のように板厚10mmの平板を使用しエコー高さが80%となる探傷感度を確認した。

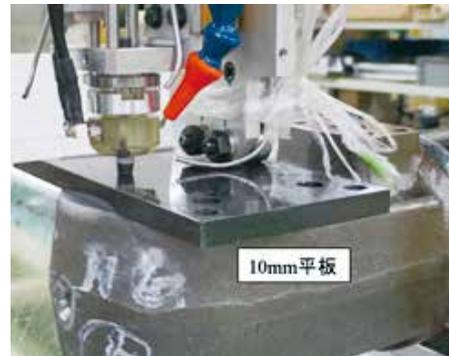


写真8 探傷感度確認

耐久性評価結果を図10に示す。ここで、プローブの価格および1本当たりの使用回数より目標使用回数は82千回とした。また、各プローブにおける探傷限界感度についてはプローブのノイズが検査精度に影響しない感度より設定している。

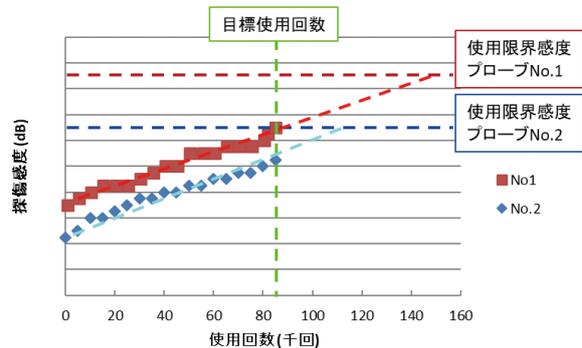


図10 耐久性評価結果

確認した両プローブともに使用回数82千回では使用限界感度にならず、使用限界感度となる使用回数はそれぞれNo. 1=150千回、No. 2=110千回と推定できた。また、82千回使用後のプローブNo. 1およびNo. 2にて、TPを再探傷したが耐久テスト前後にお

ける判定結果にほぼ変化はなく、82千回使用後も問題なく探傷可能といえる。

## 7 量産ラインへの導入

設備の完成立ち合いを経て、量産ラインにてn増しテストを実施中である。現在までにn=300本の探傷を実施したが、未溶着長さが一定長さ以上となり溶接不良と判定された量産品は1本であった。その量産品についても手探傷で未溶着長さを確認したところ、未溶着長さは一定長さ以下となり良品判定となった。つまり、開発時と同様過剰検出の傾向となっているといえる。過検出率は0.33% (1/300本) であった。

また、開発時に使用したNGTPをマスタとし、定期的に未溶着長さを測定しているが判定結果は開発時と同様の結果となっている。これらのことから、量産ライン導入後においても問題なく検査できているといえる。

## 8 結果

- (1)溶接不良品検出率：100%
- (2)過検出率：0.33%
- (3)未溶着長さ測定精度：0～+6 mm<sup>注2)</sup>

注2) 検査ピッチにより精度は変化(上記値は2倍のピッチ)

## 9 おわりに

ソフトプローブを用いたシリンダチューブボトム溶接部の非破壊検査技術を開発したことで、溶接部の品質保証が可能となった。これにより新工法の採用が可能となり、生産性向上やコスト低減を図ることができる見込みである。

今後も品質保証度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、今回の開発において多大なご支援、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所属。検査、計測技術の開発に従事。

# 小型ミキサMR12のドライブシャフト駆動化の開発

齋藤 弘明

## 1 はじめに

KYB熊谷工場では各種コンクリートミキサ車を製造している。そのラインアップは大型ミキサ（MR42<sup>注1)</sup>～50）、中型ミキサ（MR15～32）、小型ミキサ（MR12）とお客様の使い勝手に応える型式を揃えており、好評をいただいている（写真1）。

小型ミキサであるMR12は積載量3tクラスで小回りが利く小型シャシがベースであり、住宅街等の狭い工事現場への生コン打設が主な役割の型式である。MR12は品質向上を目的とし、MR1220から現行型であるMR1221にモデルチェンジをした。本報ではMR1221へのモデルチェンジについて紹介する。

注1) MRはMixer Rocketの略で42は最大混合容量4.2m<sup>3</sup>を示す。MR12は同1.2m<sup>3</sup>となる。



写真1 大型ミキサ（MR44）と小型ミキサ（MR12）

PTOとポンプは直結構造のため、PTOとポンプフランジのツメの接点に摩耗が生じ、そのまま使用し続けることで摩耗が進行しツメが破損する不具合が発生した。この対策としてMR1220ではポンプフランジの定期的な交換が必要となっている。なお小型シャシの場合、PTOはハウジングの中にPTOフランジを備える構造となっている（写真4）。

MR12における直結構造の一掃及び、耐久性の高いドライブシャフト構造へ変更することこそ、過去MR12では実現できなかったことであり、今回の開発は小型シャシの小スペースに対するドライブシャフト駆動の適用という挑戦となった。

注2) Power Take Offの略でエンジン後部から動力を取り出す装置

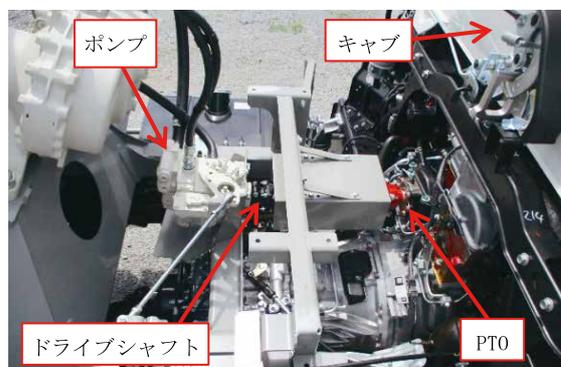


写真2 中型ミキサ（MR15）のポンプレイアウト

## 2 開発背景

ミキサ車において、ポンプ駆動の動力はシャシ側のエンジン後部についているPTO<sup>注2)</sup>にドライブシャフトを接続することが標準の仕様になっている（写真2）。しかしMR12ミキサにおいてはミキサのサイズが小さいため、中・大型系のミキサで採用されているドライブシャフトを取り付けるスペースがなく、ポンプをPTOに直結させ、ポンプに取り付けたフランジをPTOに直接噛み込ませる構造となっていた（写真3、図1）。

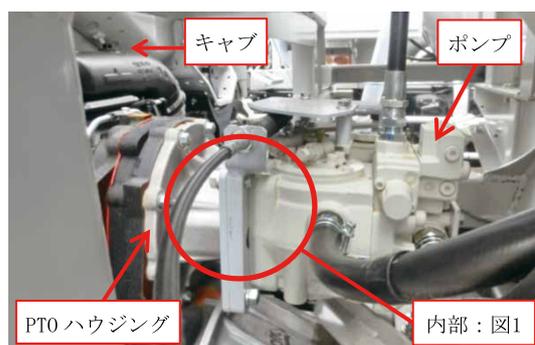


写真3 MR1220 PTO-ポンプ直結構造

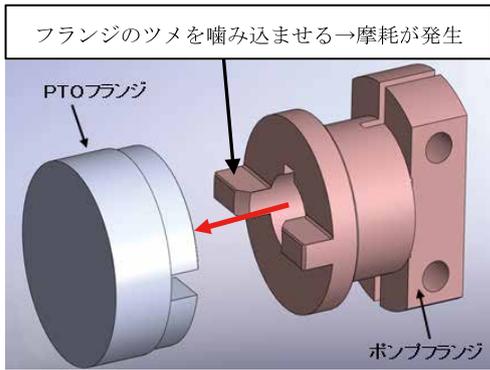


図1 PTOとポンプフランジの取り付けイメージ

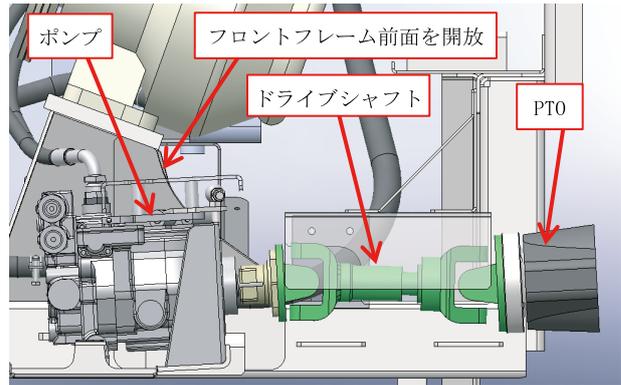


図2 MR12ドライブシャフト駆動ポンプレイアウト構想

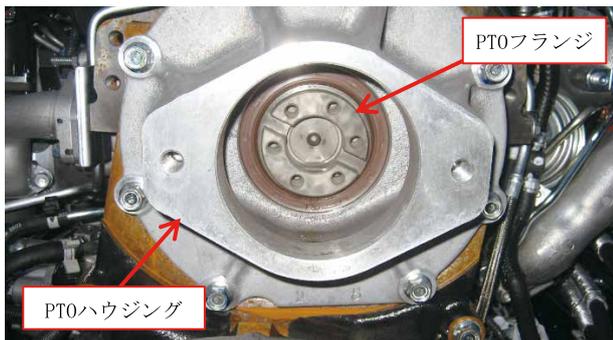


写真4 PTOハウジング内部

ポンプをフロントフレーム内部に設置し、ドライブシャフトを接続する構造を採用するにあたり、下記の課題があった。

- ・フロントフレーム強度
- ・油圧配管レイアウト
- ・ドライブシャフト-PTO接続法
- ・組立性/整備性の確保

各課題について4章にて詳述する。

### 3 構想検討

前述のようにMR12は小型ミキサ故にPTOとフロントフレームの間のスペースが少ない(写真5)。ドライブシャフトの取り付けスペースを確保することがドライブシャフト駆動化への必須条件であり、その方法を模索した。

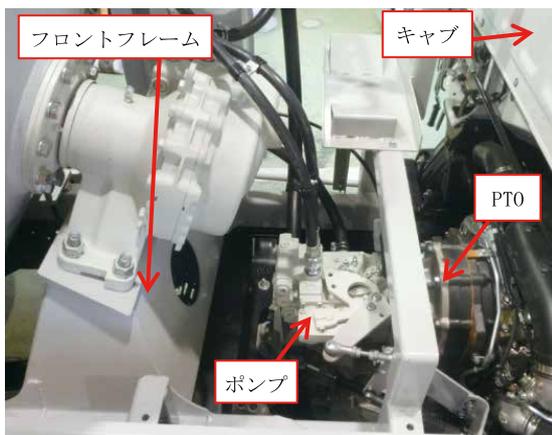


写真5 MR1220のポンプレイアウト

フロントフレームの4側面のうち前面を開放形状とすることでポンプをフロントフレーム内部まで移設できるようになり、ドライブシャフトが取り付けられるようになったと考えた(図2)。

## 4 詳細設計

### 4.1 フロントフレーム強度

フロントフレームは生コンを積載したドラム及び減速機の重量を支えており、停車時はもちろん、走行時の急制動や悪路走行でドラムから受ける荷重にも耐える強度を求められる。フロントフレームの基本形状は4側面が閉じた末広がりとなる台形をしており、KYBミキサ車でもこの形状が多く型式で採用されている。

前面を開放形状とすることは前述の荷重に対して大きく不利となる。実際にFEM解析で形状評価をしていく中で開放部の上面角部に高応力が発生した(図3)。

高応力を低減するために角部に板を取り付ける対策をとった。形状はRとし、その大きさはFEM解析

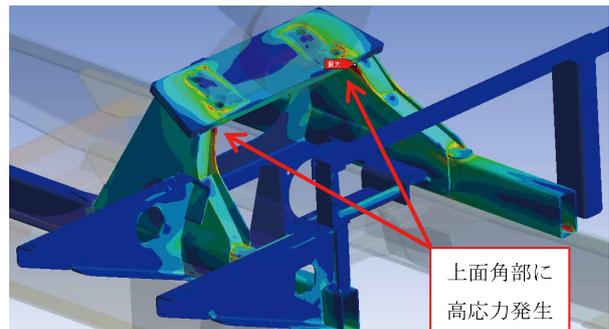


図3 FEM解析 急制動モードの応力分布

を繰返し行うことで最適化し、強固なフレーム形状が出来上がった(図4, 図5)。

最終的に試作フレームにて実車応力試験を実施し、要求強度を満たしていることを確認した。

このフレーム形状によりポンプを格納するスペースの確保と、フレーム強度の向上という相反する要件を両立させることが可能となった。

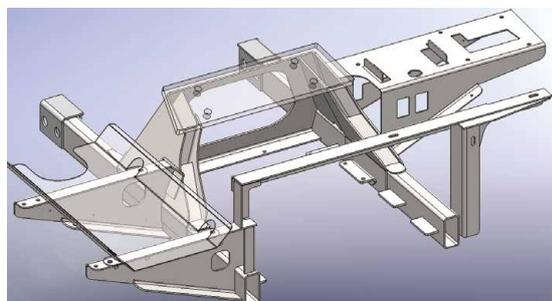


図4 構想時のフロントフレーム形状(図3同等)

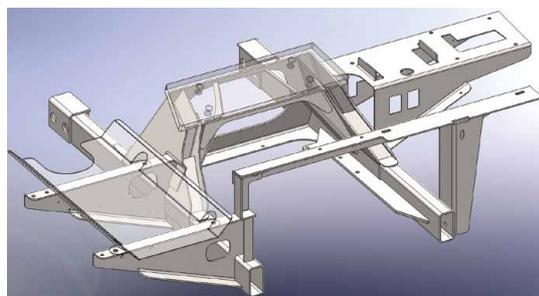


図5 最終フロントフレーム形状

#### 4.2 油圧配管レイアウト

MR1220の油圧配管はポンプの周辺にスペースがあり、ポンプの上方より2本、側方より2本の計4本油圧ホースが伸びていた(写真6)。

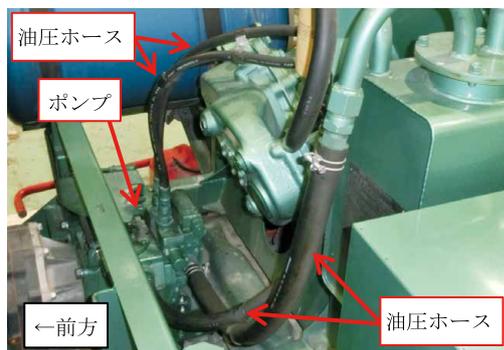


写真6 MR1220の油圧配管レイアウト

MR1221ではポンプがフロントフレーム内部に入ってしまうことからポンプ周辺にスペースがなく、油圧ホースをどのように取り出すかが課題となった。

フロントフレームの減速機を固定するプレート(フロントフレーム内部の天井)はドラム取り付け

角度に合わせ20°前方に傾斜しており、フロントフレーム内部は前方に向かって狭くなる(図6)。従ってポンプ上方に配管されるホースは、前方から取り出すとフロントフレーム上部と干渉するため、不可能であることがわかり、フロントフレーム後方に配管用の穴を開け、後方より取り出すこととした。

ポンプ側方配管もホースの許容曲げR範囲内ではスペース上成立しない。継手で強制する必要があったが、適合する継手が存在していなかったため、専用設計の継手を準備することとし、この専用継手で前方より取り出す構造とした。こうしてフレームの前方より油圧ホース2本、後方より同2本を取り出す配管構造となった(図7)。

なお前述のフロントフレーム後方の穴は配管用だけでなく、軽量化のため強度に影響を与えない範囲で可能な限り大きく開放する形状としている。

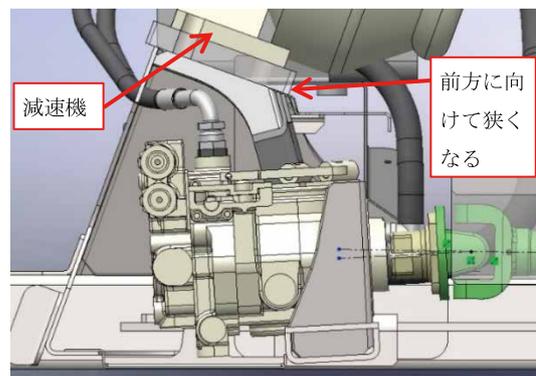


図6 ポンプとフロントフレーム内部の位置関係

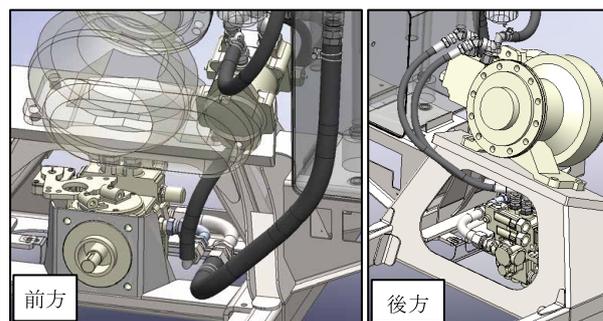


図7 MR1221の油圧配管

#### 4.3 ドライブシャフト-PTO接続法

ドライブシャフトとPTOの取り付け穴はピッチが異なるため直接接続することはできない。またPTOはPTOハウジングの内部に引っ込むように配置(写真4)され、両者をどのように接続するのが課題となった。解決策として両者をつなぐ中間のアタッチメントと呼ばれる部品を装着することで接続は可能となる(図8, 写真7)。しかし、PTOにとっ

ては重量物を追加することになるため、PTOの寿命が懸念された。計画段階からのシャシメーカーの協力により、アタッチメントを接続しても製品寿命が十分確保できることが確認できた。これによりドライブシャフトとPTOを接続する課題をクリアした。

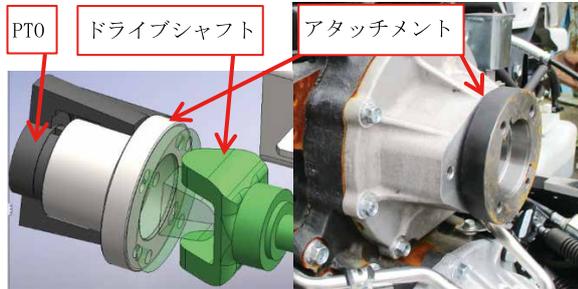


図8 アタッチメント構造 写真7 実車取り付け

#### 4.4 組立性／整備性の確保

ポンプをフロントフレーム内部に配置することで組立性／整備性の大幅な低下が予測された。前述の不具合を根絶することが命題ではあったが、いかに組立性／整備性の低下を抑えるかも課題であった。

##### 4.4.1 ガイドのスライド構造

ポンプは組立時はフレーム内部へ組み付けるが、整備時はフレーム外へ取り出しできるようになっていなければならない。そこで採用したのがフロントフレームに設けたガイドのスライド構造である。

フロントフレームの両内側側面にガイドと呼ばれるプレートを設け、ポンプを固定するポンプブラケットは、このガイドの上に乗せフレーム内部の固定位置でボルト固定される。ポンプブラケットは、ガイドの上に乗る部分を後方に大きく延長した形状をしているため、ガイド上で安定する。この安定によりガイド上でポンプブラケットをスライドして移動させることができるようになり、ポンプ本体のフロントフレーム内部への出し入れが可能となった(図9)。

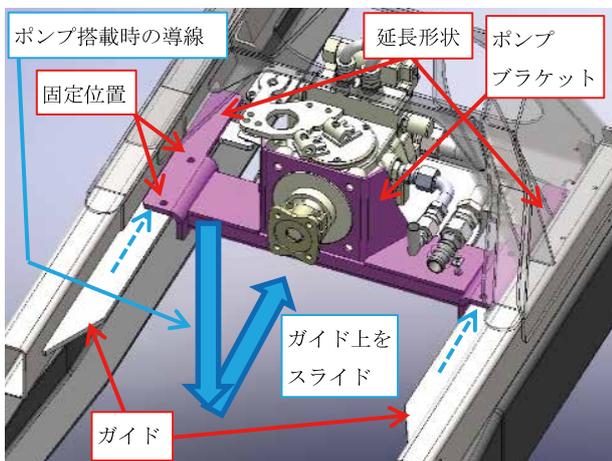


図9 ガイドのスライド構造

##### 4.4.2 配管のユニオン継手採用

ポンプはフロントフレームの内部に入り込んでおり、また油圧ホースはフレームの前後に配管されていることから、整備時にポンプのフレームへの出し入れには継手を外す必要がある。その作業は狭いスペースでの作業を強いられるため、作業性向上を狙い4.2節で前述の専用継手は、ポンプへの接続部に配管の向きを変えなくても脱着可能なユニオン継手を採用した(写真8)。



写真8 ポンプの専用継手

##### 4.4.3 フレーム分解構造

フロントフレーム前方には、スペアタイヤを載せるキャリアと追加したドライブシャフトのカバーを吊るすブラケットがついている(写真9)。ポンプ整備時にこれらの部品が作業者の作業スペースを阻害する。MR1220ではブラケットは溶接で取り付けられ脱着は不可であったが、これをMR1221ではボルト留め構造に変更することで、整備時にブラケットごと取り外し作業スペースを確保できるようにした。

試作段階において実車でポンプ脱着確認会を行い、実作業でのポンプ作業性を確認した(写真10)。

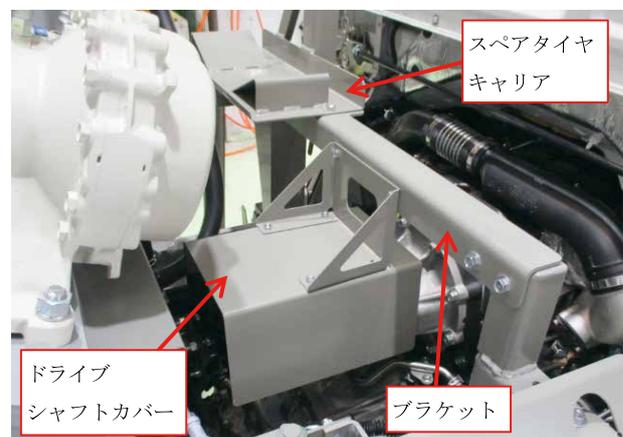


写真9 フロントフレーム前方ブラケット

上面部を外したブラケット側面部。上面部が外せても側面部が作業性を悪化させることがわかった。



写真10 ポンプ脱着確認会の様子

ブラケットは当初上面部と側面部が分かれており、側面部は溶接で固定し上面部をボルト留めできるようにしていたが、この確認会においてブラケットの側面部が作業性を悪化させることがわかり、ブラケット全体を脱着可能とすることとした（図10）。

最終的にブラケットの上面部と側面部を一体構造として全体を外せるようにした。

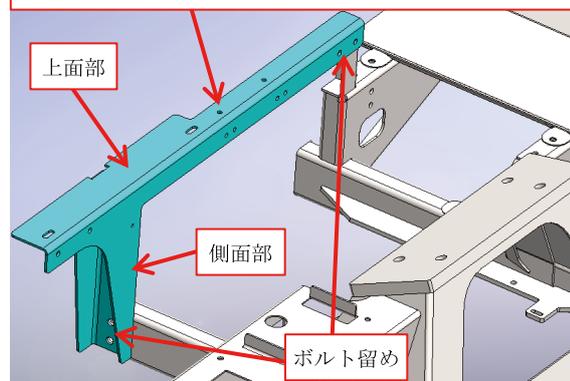


図10 脱着可能なブラケット

また油圧配管についても、取り付けについて製造部門よりリクエストがあり、可能な限り実車に反映させることができた。

— 著 者 —



齋藤 弘明

2012年入社。特装車両事業部熊谷工場技術部。ミキサ車量産・改善関連業務に従事。

5 まとめ

MR12の新旧仕様の差を表1にまとめる。

表1 MR12新旧の仕様比較

| 型式         | MR1220 (旧) | MR1221 (新) |            |
|------------|------------|------------|------------|
| 特          | 駆動方式       | PTOポンプ直結   | ドライブシャフト   |
|            | ポンプ位置      | フロントフレーム前方 | フロントフレーム内部 |
| 徴          | フロントフレーム形状 | 前面クローズ形状   | 前面開放形状     |
| 架装物重量 (kg) |            | 1040       | 1075       |

6 おわりに

MR12において摩耗によるツメの破損という不具合によりお客様に多大なご迷惑をお掛けしてしまいましたが、今回の開発を通して命題であった不具合の改善と共に耐久性の向上を達成でき、お客様にも安心してお使い頂けるミキサ車とすることができた（写真11）。

最後にこの場をお借りし本開発にご協力頂いた関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。



写真11 MR1221初号機

# 油圧モジュールロボットの開発

齊 藤 靖 ・ 杉 本 隼 一\* ・ 玄 相 昊\*

## 1 はじめに

本報は、立命館大学 理工学部 ロボティクス学科 ヒューマノイドシステム研究室\*とKYB-YS株式会社との2018年度研究成果であり、第38回日本ロボット学会学術講演会および2019国際ロボット展で発表した内容を主に報告する。

従来、油圧と言えば一般的に油圧ショベルなど、大きな力が必要なものに利用されてきたイメージがある。ロボットの様に繊細な動作が必要な機械については、電動モータの方が制御容易であり一般的である。近年、電動モータは日々出力密度を高め続けており、油圧市場の侵食が進んでいる。

そのような折、Boston Dynamics社が開発した人型ロボット‘アトラス (Atlas)’は悪路を正確に安定して動き、人々に衝撃を与えたことは記憶に新しい。本機体は、段差を軽快に飛び越えるなど、その高速で高負荷な動作は、電動ロボットにはない油圧の可能性を示していた。

我々も、油圧のコア技術を活用した新市場を生み出すべく、油圧ショベルが得意とする農林水産・土木建築・物流運搬・防災復興などの過酷な環境下での重作業だけでなく、人手不足が深刻化している業種で活用しやすい機器の市場参入を目指し、開発に着手した。油圧ショベルは特定のタスクに対して圧倒的に高い性能を発揮している。しかし、作業環境の変化や、多様なタスクに現場で適応することは不得意であり、搬入・搬出、タスクの切り替え方法・時間など、利便性の面で弱点が存在する。一方、近年の産業界での開発手法として、製品アーキテクチャは、従来のインテグラル型（擦り合わせ）からモジュール型（組み合わせ）への移行が進み、モジュール化による合理化により開発期間の短縮やコスト低減を図る動きが加速している。以上より、油圧ショベルの能力を包括し、油圧ロボットの長所を活用する手段の1つとして、モジュール化によるロボットのプラットフォーム化を提案することとした。

## 2 課題の抽出と解決手法

ほとんどの機械やロボットは、各々の用途に特化した構造設計がなされており、特定のタスクに対し高い能力を発揮するが、複数のタスクに対し形態を柔軟に変えて適応することは困難である。

災害発生時、復旧現場に、いち早く油圧ショベルを投入する方策として、分解・組立式の空輸可能な油圧ショベルの開発事例等があるが、部品の分解・組立に時間が掛かること、および部品形状が一定ではないため、効率のよい運搬ができないなどの課題がある。それらの弱点を最小化することができれば、油圧のメリットを最大化して活用することができるようになる。災害復旧に使用される、油圧ショベルの課題とモジュールロボットによる課題解決方法を表1に示す。

表1 課題と解決方法

| 油圧ショベルの課題   |
|---|
| A1) 大型かつ重量物であるため、輸送が困難である                                     |
| A2) 油圧配管の取り回しが複雑で、油洩れがある                                      |
| A3) 車輪やクローラ式では姿勢が安定しない環境では使用が困難である                            |
| A4) 先端アタッチメント交換だけでは、様々なニーズに対する汎用性には限界があり、パーツの換装も困難である         |
| モジュールロボットによる課題解決方法  |
| B1) 軽量小型で輸送がしやすく、分解・組立が容易であること                                |
| B2) 油圧配管の取り回しが容易、或いは不要であり、電動ロボットのように取扱いが簡単であること               |
| B3) 姿勢が安定しない環境では車輪だけでなく脚構造を使用するなど、多彩な移動機構を構成できること             |
| B4) モジュールの簡単な換装により、ロボットの形状を状況に合わせて変化させることで多様なニーズに対する汎用性を有すること |

## 3 単関節モジュールの提案と概要

### 3.1 アクチュエータと回路構成

前項を受け、油圧モジュールロボットとして様々な形態が考えられるため、ここではアクチュエータ駆動方式について述べておく。

表2に油圧制御の構成パターンを示す。油圧回路の構成（開回路・閉回路）と油圧アクチュエータの選択（電動油圧アクチュエータ（Electro-Hydraulic Actuator）、直動運動の油圧シリンダ、回転運動の油圧モータ等）により、開発できるモジュールは無数に考えられる。本開発では開回路で出力密度が高く、ロボットフレーム内に配管が容易な油圧シリンダを用いることとした。

モジュールの更なる重量化を防ぎ、耐汚染性に優れた比例弁を使用する目的で、C1)の方式を選択した。

表2 油圧制御の構成パターン

| 油圧制御の構成   |
|---|
| C1) 油圧源と制御弁を外部や胴体モジュールに集中配置し、開回路で駆動する方式           |
| C2) 油圧源を外部や胴体モジュールに設置、制御弁を各モジュールに分散配置し、開回路で駆動する方式 |
| C3) EHA方式のアクチュエータを各モジュールに分散配置し、閉回路で駆動する方式         |

### 3.2 モジュールの要求仕様

モジュールロボットを設計する際、モジュール化する範囲や構成部品が重要となる。既存の油圧ロボットでは、油圧ユニット・制御弁・アクチュエータ・フレーム構造など個別で設計されており、アクチュエータと制御弁はユニット化して搭載するのが一般的である。しかし、フィールドロボットでは腕や脚の本数の変更だけでは対応できない状況が多々あり、自由度とアクチュエータの再配置を含めた最適な形態を選択する必要がある。タスクに合わせた多様な形態を明確にするために、表3に要求仕様を示す。

表3 要求仕様

| モジュールの要求仕様                                     |
|--|
| D1) モジュール構造のみでロボットリンクの形成が可能であること               |
| D2) 構造が単純で耐久性・耐衝撃性を有すること                       |
| D3) 分解と組立が容易な脱着機構を有すること                        |
| D4) 油圧回路・電気回路の接続が容易であること                       |
| D5) 関節の角度制御とトルク制御が可能であること                      |
| D6) 環境やタスクに合わせ、形態だけでなく、柔軟な力の操作が可能な制御システムを有すること |
| D7) 安価で大量に製造でき、輸送効率や整備性が高いこと                   |

### 3.3 モジュールの関節仕様

次に、モジュールの関節仕様について決定する。

モータによる回転関節を駆動する構造が一般的であるが、本研究では表3の要求仕様D1)とD4)を重視して、表4のE1)構造を選択した。

表4 関節仕様

| モジュールの関節仕様                             |
|--|
| E1) 直動アクチュエータ：シリンダとリンク機構で回転関節を駆動する構造   |
| E2) 回転アクチュエータ：モータを回転軸に取り付け、直接関節を駆動する構造 |

### 3.4 単関節モジュール

本機体は、モジュール化のコンセプトを実証する目的で製作した最初の機体である。従って短納期かつ低コストで試作評価すべく、最低限の機能搭載に限定した。

開発した単関節モジュールを図1に示す。単関節モジュールは、油圧シリンダやセンサを搭載するメインフレームと、4節リンクで回転駆動されるサブフレームから構成される。メインフレームは、材質SPHC鉄鋼を板金加工により製作した。各々のフレーム背面と後面の接続面にボルト締結用の穴が設けられており、同一モジュールを締結可能とする。これにより要求仕様D3)を満たしている。油圧シリンダは内径φ25、ロッド径φ12.5のサイズを選定した。

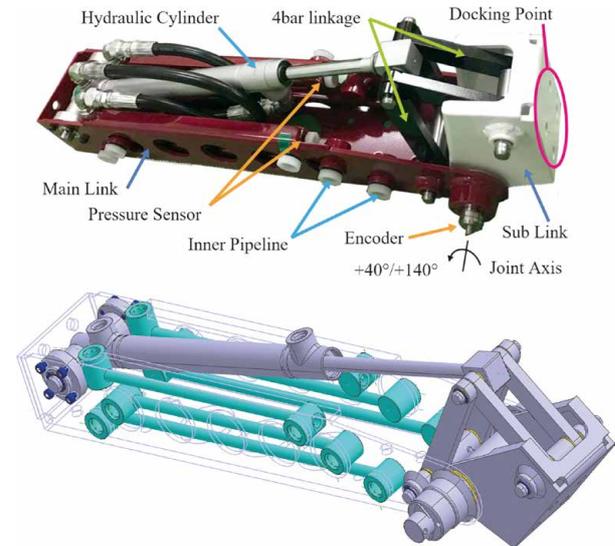


図1 単関節モジュールの構成要素および配管

### 3.5 単関節モジュールの活用方法

モジュールを適用したイメージを図2に示す。

開発のコンセプトは、図2に示すような多様な形態を構成できることであり、(i)~(vi)のように自在に組み替え可能である。また、油圧シリンダおよび搭載するエンコーダと圧力センサにより、関節の角度制御とトルク制御が可能であり、先端のアタッチメントを用途に応じてショベルのバケットやタイヤを選択することで、様々な用途・環境で使用できる。

- (i)油圧ショベル
- (ii)双腕型油圧ショベル
- (iii)2足型ヒューマノイドロボット
- (iv)6脚型ロボット
- (v)4脚型不整地適応ロボット
- (vi)4脚型ロボット

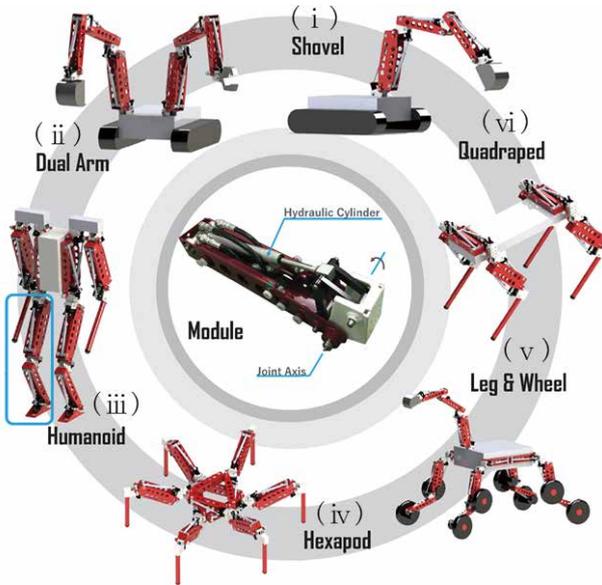


図2 モジュールの適用イメージ

もしモジュールが破損したとしても、予備品があれば、故障部位に因らず現場で交換可能であり、直ちに作業復帰することができる。破損したモジュールはメンテナンスに出せばよく、同一品のため、工場より代品を直ぐに発送・補充することもできる。また、使用頻度が高い部位のモジュールをローテーションさせ稼働時間を増やすことも可能である。

## 4 複数モジュールによるロボット構成

### 4.1 制御システム概要

複数組み合わせたモジュールを操作するにあたり、制御システム概要について図3に示す。Host PCとサーボコントローラから構成され、Ethernet通信により目標値やセンサ値を送受信して各モジュールを駆動する。運動計画や各モジュールへのトルク分配などの上位層演算はHost PC、角度・推力の関節サーボ制御の下位層演算はサーボコントローラで行い、制御弁へ指令電圧を与える。制御システムのアーキテクチャとして表5が挙げられる。

本報ではサーボコントローラの防油防塵対策が不要なF1)の方法を選択した。

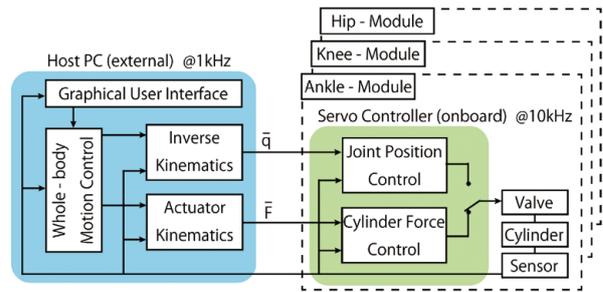


図3 制御システム概要

表5 制御システムアーキテクチャ

| 制御システムのアーキテクチャ |   |
|----------------|---|
| F1)            | Host PCとサーボコントローラを、外部や胴体モジュールに集中配置する方法          |
| F2)            | Host PCを外部や胴体モジュールに設置、サーボコントローラを各モジュールに分散配置する方法 |

### 4.2 脚ロボットの概要

1つ9.7kgのモジュールを3個結合して、先端にアタッチメントを追加すると図4に示すような股・膝・足首の関節を有する脚部ロボットができる。これは図2の適用イメージ(iii)の青枠に該当しており、構成の足部や配管を含む総重量は33.3kgである。本報では割愛するが、脚部の設計は2足歩行ロボットの着地動作やスクワット、スイング動作の運動シミュレーションを行い、必要な関節トルクや関節角速度を満足する4節リンクパラメータを設計している。

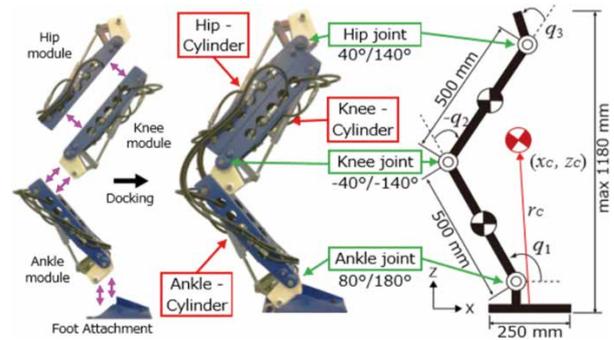


図4 ロボット脚部構成

また、表3の要求仕様D6)を検証するため、実機の制御実験を実施した。脚部ロボットの足裏を地面に固定し、位置制御の検証として股関節の軌道追従制御と、トルク制御の検証として膝・足首関節を用いた重力補償制御を行った。脚部ロボットの重量をキャンセルし、人間のわずかな力でロボットを任意の位置へ動かすことが可能であり、その任意の位置で手を放しても、ロボットはその位置を保持することが可能な制御である。写真1に重力補償制御実験状況を示す。

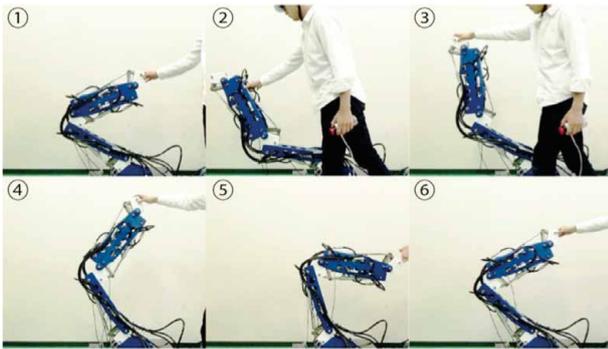


写真1 重力補償制御実験

#### 4.3 マニピュレータロボットの概要

4.2節で述べたモジュールロボットの先端にハンド部を追加すると、写真2のようにマニピュレータロボットに置き替えることができる。本構成は2019国際ロボット展に出展しており、会場でデモンストレーションを実施した。

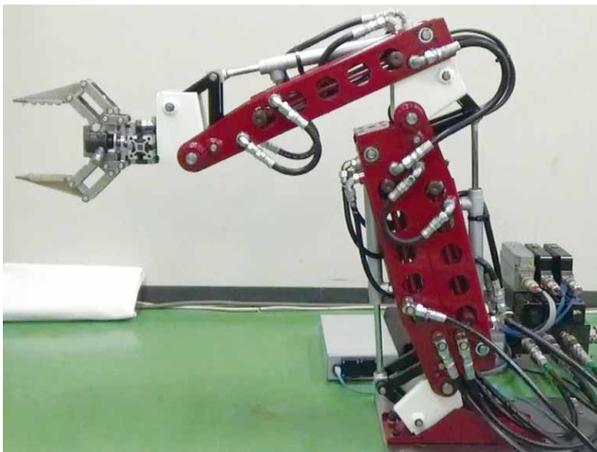


写真2 マニピュレータロボット

マニピュレータロボットの構成を図5に示す。展示会場ブースの狭いスペースでも問題なく動作でき、

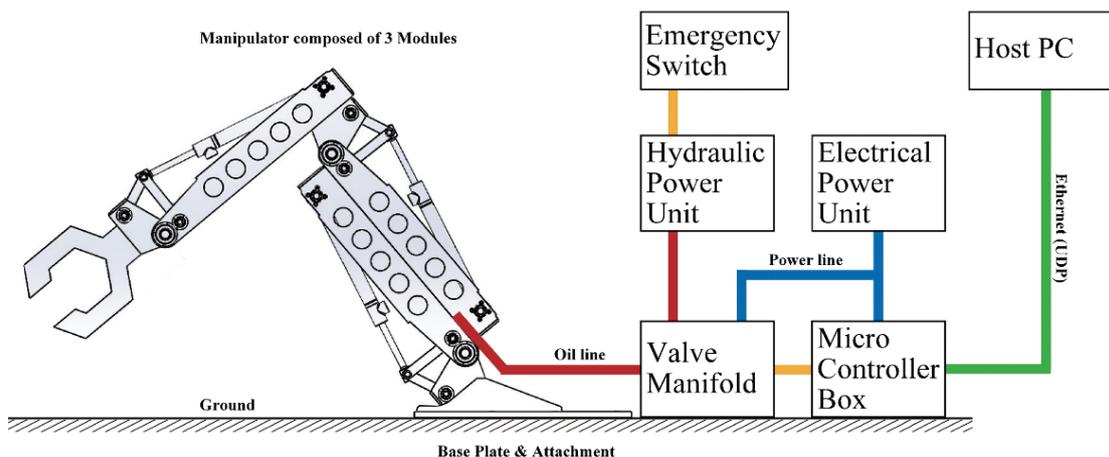


図5 マニピュレータロボット構成

電動モータの出展多数の中、油圧ロボットの存在を示すことができた。

#### 5 モジュールの軽量化の方策

展示会場の設営でも感じたが、モジュールの運搬を考慮した場合、本機体の重量は運搬や現場での組立に影響するため、軽量化を図る必要がある。そこで、現状の鉄鋼材料から軽くて強い炭素繊維とエポキシ樹脂の複合材であるCFRP材を利用して、油圧シリンダの外筒およびモジュールフレームを製作した。試作品を写真3に示す。

モジュール総重量として1/2程度低減できた。CFRPシリンダの作動確認は実施したが、耐久性等の評価について完了しておらず、今後も開発を継続する。



写真3 CFRPモジュール（上）とCFRPシリンダ（下）

#### 6 おわりに

本報では油圧ロボットとして、単関節モジュールロボットを提案し、有効性を検証するための脚部ロボットの評価を実施した。今後、各構成方法における検証を進めていく予定である。

モジュール単体については、フレーム構造や油圧配管を一体化し、トポロジー最適化手法や金属3Dプリンタを活用した軽量化と、脱着機構の改良を進

める考えである。

最後に、本研究に支援頂きました坂城町コトづくりイノベーション補助金事業に感謝致します。

---

著 者

---



齊藤 靖

1999年入社。KYB-YS(株)技術本部設計部実験課課長、生産技術部、岐阜北SA技術部、事業開発推進部、相模油機技術部、設計部設計課を経て現職。



杉本 隼一

2018年立命館大学工学部ロボティクス学科卒業。  
2020年立命館大学工学研究科ロボティクスコース修了。  
同年、トヨタ自動車入社。  
在学中は油圧モジュラーロボットの研究に従事。



玄 相昊  
(げんそうこう ; Sang-Ho Hyon)

1998年早稲田大学大学院修士課程修了。  
2002年東京工業大学大学院博士後期課程修了。  
同年、東北大学大学院工学研究科助手、2005年講師。  
2005 ATR脳情報研究所研究員。  
2010年立命館大学工学部ロボティクス学科准教授、2020年教授、現在に至る。  
運動制御理論、人型ロボットの研究開発等に従事。博士(工学)。  
日本ロボット学会、IEEEなどの会員。

## 製品紹介

## ミニモーションパッケージ5型 (MMP5)

田 中 大 介

## 1 はじめに

ミニモーションパッケージ（以下MMP）は、油圧シリンダとDCモータで油圧ポンプを駆動する小型パワーユニットを一体化した、電動油圧アクチュエータである。製品外観を写真1に示す。

MMPは「油圧配管が不要」、「電気配線のみで高推力が出力可能」、「取付姿勢を問わない」、「シリンダ伸縮時のみポンプが駆動し省エネルギー」といった長所を特徴に、様々な分野で広く利用されている。

旧モデルのMMP“4型 (MMP4)”は、軽量小型、信頼性の向上（極低温環境への対応・長寿命化等）、生産性向上を図ったモデルであり、KYB技報第35号や第46号で紹介された<sup>1)2)</sup>。

現在の市場において競合他社や代替製品（電動アクチュエータ等）の参入に対抗し、更なる市場拡大を狙う上では、MMP4の機能を維持しつつ、シリンダ推力増強、小型化、低電流化等の性能向上が必要である。これら課題を解決する為、軽量小型を維持しながら電力油圧変換効率を従来比で高めて商品性を向上させた、新型MMP“5型 (MMP5)”を開発した。

本報では、その製品概要について紹介する。

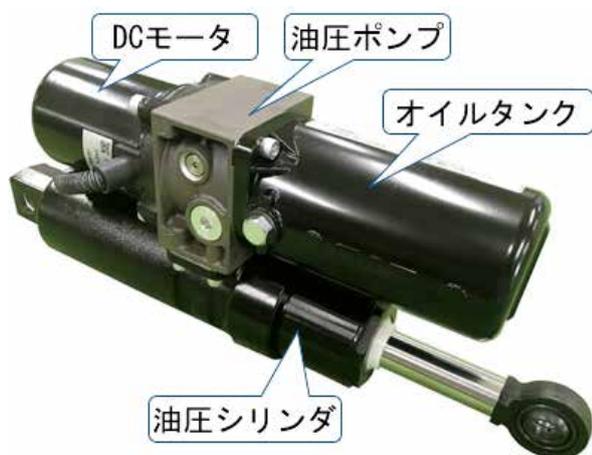


写真1 MMP5 外観

## 2 MMPの概要

## 2.1 基本構成

MMPの構造図を図1に示す。

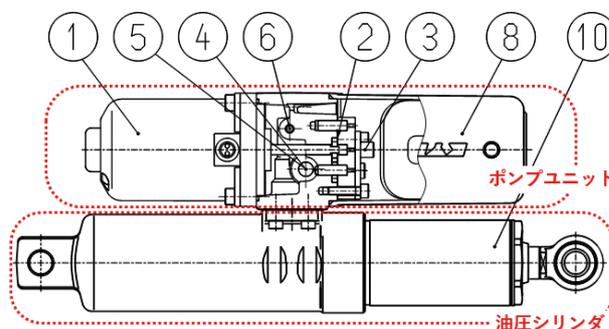


図1 MMP5 構造図

MMPは主に下記2つのパートから構成される。

## 1) ポンプユニット

DCモータ・ギヤポンプ・各種油圧バルブ・オイルタンクから構成される、MMPの動力源のパート。

ギヤポンプ・各種油圧バルブについては中央部のボディ内部に内蔵され、MMP5型モデルで共通使用される。

DCモータは、仕様に応じて選定が可能である。電圧違い（電源電圧DC12V, DC24V, DC100V用）や、出力違い（108W, 250W, 350W（電圧24Vのみ））の仕様を用意しており、バッテリー電源や屋内交流100V電源（全波整流器を介して駆動）等、様々な電源に対応でき、車両搭載用途から工場・家庭内の固定機械用途等、広範囲の分野で使用可能である。

## 2) 油圧シリンダ

ポンプユニットにて発生した油圧力を、仕事（推力や作動速度）に変換するパート。

複筒式で構成され、2つの管の間（隙間）を油路とする為、油圧ホース等の配管を必要としない構造となっており、製品のコンパクト化に寄与している。

シリンダサイズ（ボア・ストローク）を変更することで、様々な出力（推力・作動速度）に対応でき

る構成となっている。

### 3) 油圧回路及び動作説明

MMPの油圧回路図を図2に示す。

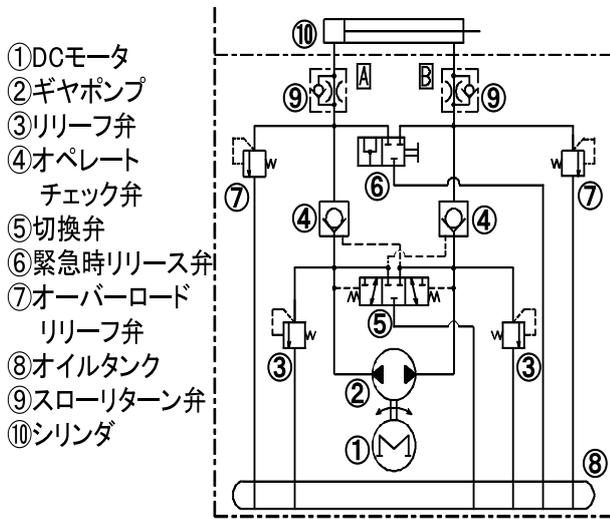


図2 MMP油圧回路図

MMPの油圧回路は閉回路で構成される。

①DCモータを電源に接続し、正転・逆転駆動する事で⑩油圧シリンダの伸縮作動を行う事ができる。

#### 〈シリンダ伸作動〉

- (1)①DCモータ駆動にて②ギヤポンプを回転させ、⑩シリンダ伸側室に圧油を吐出させる。
- (2)圧油により⑤切替弁が図中右側に移動しつつ、縮側④オペレートチェック弁（以下④チェック弁）を開弁し、⑩シリンダ縮側室と⑧オイルタンクから②ギヤポンプへの吸込み流路を形成する。このとき、⑩シリンダの伸側室・縮側室の体積差による油量の不足分を、⑧オイルタンクより補填する。
- (3)伸側の④チェック弁を開弁して⑩シリンダ伸側に流入し、伸作動する。
- (4)⑩シリンダの伸端到達時等、伸側油路内の圧力が③リリーフ弁の設定圧力を超えると、③リリーフ弁が作動し圧油を⑧オイルタンクへ返す。MMP作動中の⑩シリンダの推力（内圧）は、③リリーフ弁セット圧力によって決まる。

#### 〈シリンダ停止・負荷保持〉

- (1)①DCモータへの通電を止めると、②ギヤポンプの圧油の吐出が止まり、⑩シリンダが停止する。
- (2)④チェック弁が開弁し、⑩シリンダは入力される圧縮負荷・引張負荷を保持することができる。
- (3)負荷保持状態にて、過大外力や温度上昇に伴う、過大な内圧上昇があった場合は、⑦オーバーロードリリーフ弁により内圧を抑える制御をする。このとき⑩シリンダは負荷に応じて変位する。

#### 〈シリンダ縮作動〉

- (1)シリンダ伸作動の反対向きの動作で作動する。
- (2)⑩シリンダの伸側室・縮側室の体積差による油量の余剰分を、⑧オイルタンクに補填する。

## 2.2 MMPの特徴

MMPの特徴として、次のような長所がある。

- (1)小型・軽量
- (2)安全・確実
  - (a)注油・配管やエア抜きといった油圧施工を特に必要とせず、ユーザは電気配線と母機への取り付けのみを行えば良い。メンテナンス性に優れる。
  - (b)耐水性JIS D0203 D2 に適合（屋外使用を想定、防水コネクタ使用時に限る）。
  - (c)耐振性JIS D1601 3B に適合（車両搭載を想定）。
  - (d)前述のリリーフ弁で内圧制御し破損を防止。
  - (e)モータ内部に安全装置（サーキットブレーカ）を配置し、モータ過負荷からの焼損・発火等、2次災害を生みかねない破損を防止する。
  - (f)電源喪失等の緊急時を想定し、手動でシリンダ伸縮を可能とする緊急時リリース弁を備えている。
- (3)簡便・清潔
  - (a)油圧配管が不要、ホース等からの油漏れなし。
  - (b)電気配線のみで高推力が出力可能。
  - (c)取付姿勢を問わず作動可能。
  - (d)シリンダ伸縮時のみポンプが駆動するため省エネルギー。

## 3 MMP 5 の開発

### 3.1 開発背景

旧MMP 4は2007年の量産開始以降、12年以上続くロングセラー製品である。様々な母機のアクチュエータとして好評いただいていたが、近年の市場要求に出力や仕様で応えられない事案が増えていた。

そんな中、大手客先より、MMP 4に対しシリンダを小型化（小径化）しつつ推力は現行同等以上という要求があり、対応には高圧化が必要で、そのためには「高効率化による出力向上」が必要となった。

また、同時期に、より高出力な競合製品も台頭しており、高効率化は必須課題となった。

以上より、競合製品を出力性能で凌駕する、高効率なMMP新モデル（5型）の開発を行った。

### 3.2 開発目標値

開発課題の高効率化とは、電力（入力）から油圧力（出力）に変換できる割合を高めることをいう。

図3に電動油圧シリンダの効率実測値を示す。

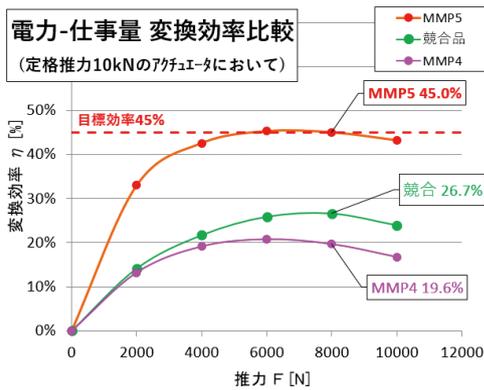


図3 各電動油圧シリンダの効率線図

最大効率は、MMP4は約20%、競合品は約27%である。

これに対し、市場要求出力を達成する為のMMP5目標効率は45%以上（推力8.0kN出力時）であり、旧MMP4+25%という高い目標を目指し開発を行った。

変換効率のうち、改善（向上）すべき主な項目として下記の2つが挙げられる。

- (1)油圧ポンプの駆動力から油圧力への変換効率
  - (2)DCモータの電力から駆動力への変換効率
- 上記2つの項目を、同時にバランスを取りながら改善を進める必要があった。よって開発課題を下記として開発を進めた。

- (1)油圧ギヤポンプ（以下ポンプ）の高効率化
- (2)新モータ採用と新ポンプとの出力調整

### 3.3 開発課題(1)ポンプの高効率化

MMPのポンプ構造図を図4に示す。

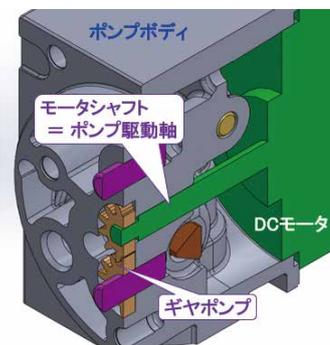


図4 MMP ポンプ構造図

MMPのポンプの特徴として、ポンプ駆動軸をモータシャフトが兼ねている。これにより構造簡略化・組立工数低減・部品点数低減ができ、リーズナブルな価格での製品提供に寄与している。MMP5はこの構造を保ちつつ高効率化を目指すこととした。

図5にポンプの効率線図を示す。

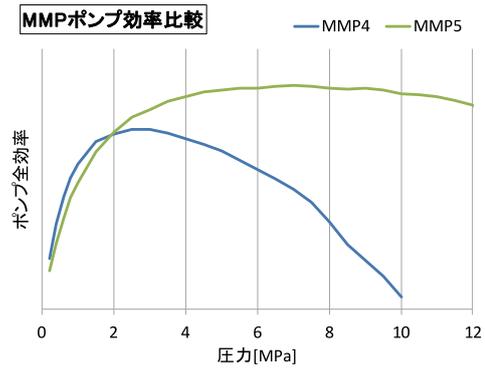


図5 ポンプ効率線図

旧MMP4のポンプ効率の特徴として、吐出圧力3MPaを超えると急激に効率が悪化する。MMPは4～8MPaでの使用割合が高く、この圧力領域の効率改善が必要であった。

高圧領域（4MPa以上）でのMMP4のポンプ特性を調査した結果、低圧領域（4MPa未満）比で高電流値＝大トルクが必要な特性（＝ポンプ機械効率悪化）であり、さらに高トルクに伴うモータの回転数の低下による吐出流量の低下と内部漏れ増大（＝ポンプ容積効率悪化）を招き、急激な効率低下を起こしていた。

MMP5のポンプでは、この高圧領域での効率低下の改善を行った。高トルクの原因となる回転抵抗要素を排除する為、ポンプ可動各部の形状・寸法を見直し、各部クリアランスの最適化を行った。さらに、後述する新DCモータの出力特性・効率特性より、MMPにおける使用割合の高い圧力領域と、モータの効率が最も高くなる領域が重なるよう性能調整を行った。

これにより、油圧ポンプの駆動力から油圧力への変換効率を向上させた。

### 3.4 開発課題(2)新モータ採用と出力調整

MMP5より、従来の内製モータから、社外製新モータを採用している。採用にあたり前述した高圧領域でのトルク増大・回転数低下対策として、モータのトルク-回転数特性を高トルク領域での回転数低下が少ない特性に変更している。これにより、ポンプ高圧領域（高トルク）でも高い回転数を維持でき、ポンプの効率向上に寄与している。

また、前述したモータの効率が最も高くなる領域が、MMPにおける使用割合の高い圧力領域と重なるよう性能調整を行ったことで、DCモータ使用における電力から駆動力への変換効率を向上させた。

### 3.5 MMP 5 の出力特性について

MMP 4 及びMMP 5 の出力特性線図を図 6 に示す。

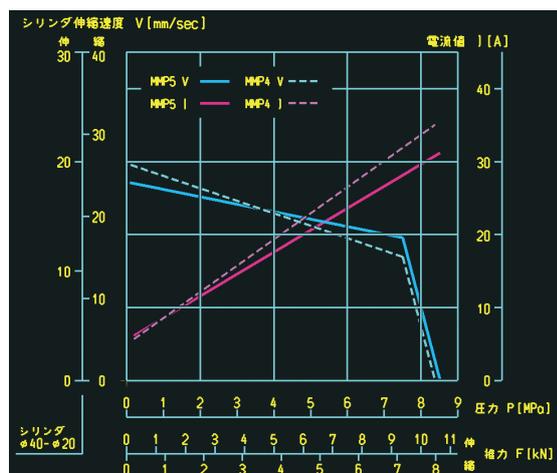


図 6 出力特性新旧比較 (電圧12V, シリンダ径φ40)

横軸に発生推力 (圧力) を示し, 青線が左縦軸の速度 (ポンプ吐出量) のライン, 赤線が右縦軸の電流値のラインを示す. 効率を改善したMMP 5 の出力特性は, 旧MMP 4 の出力特性に対し変更されている. 大きな出力特性変更点として, 下記が挙げられる.

- (1)高推力 (圧力) 領域での作動速度 (吐出量) を向上.
- (2)推力 (圧力) に対する電流値増加率を低減.  
(推力が増す毎に電流値の低減量は増える)
- (3)推力 (圧力) 変化に対し速度 (吐出量) 変化少.

使用割合が高い高推力 (高圧力・高トルク) 領域での速度増・電流値低減を達成できた. また, 作動速度変化が少なく, かつ電流値増加率を低減できたことで, 開発目標設定の根拠となった高圧化への対応が可能になった. 小径シリンダでの推力維持や, 同径シリンダでの推力アップ等, ポンプユニットとシリンダサイズの組合せ次第で対応できる範囲を広げることができるようになり, 新たな市場 (ニーズ) への拡販の土台ができた.

## 4 特殊用途向け仕様の改善

MMPには標準機能 (仕様) として, 外部からの圧縮・引張負荷が一定値を超えると, シリンダを伸縮させて機器の破損・脱落等を防止する, オーバードリリーフ弁が内蔵されている.

この機能を拡張し, 瞬間的に大きなシリンダ変位を伴う過大負荷に対応した, 大流量オーバーロードリリーフ弁 (以下, 大流量OLRV) を特殊仕様として用意している. 代表的な用途としては, 北米に多い小型車両 (UTV) 等に装備されるスノーブラウ (雪掻き装置) の角度調整用途で, 雪掻き時にブラウ (雪

掻き板) に作用する衝撃負荷を逃がす機能に用いられている.

従来の大流量OLRV仕様は, 標準MMPのポンプユニットとシリンダの間に外付けの大流量OLRV内蔵プレートを設ける為, 本体サイズが大きくなり, 取付時に取り回しがやや難になることがあった.

MMP 5 型開発にあたり, この機能をより簡略化してサイズダウンを図った.

図 7 に大流量OLRV仕様の新旧外観と回路図を示す.

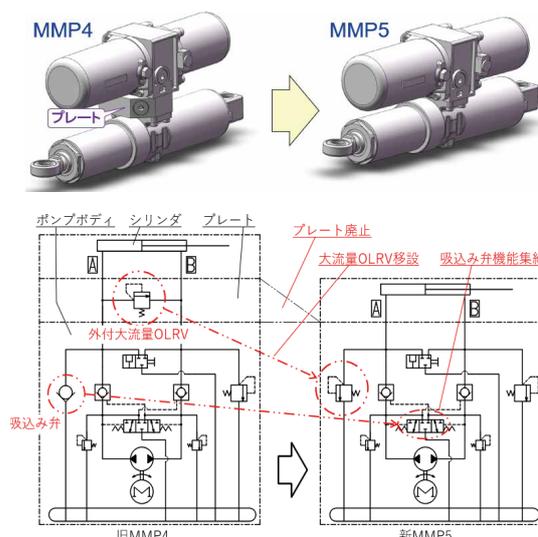


図 7 大流量OLRV仕様 新旧外観と油圧回路図

旧MMP 4 の大流量OLRV回路は, 標準MMPの油圧回路に対し, ポンプボディ内蔵の大流量OLRVと外付けの大流量OLRV, タンクの作動油をシリンダに返す吸込み弁の3つが付与されている. MMP 5 では, オペレートチェック弁部の吸込み許容量を向上することで, 単体の吸込み弁を廃止, 空いたスペースに大流量OLRVを設置することで, 外付け大流量OLRVを廃止した. これにより大流量OLRV仕様は標準MMPと同じ外観にサイズダウンする事ができた.

## 5 ラインナップの拡充

### 5.1 分離型MMP

前項において特殊仕様MMPのサイズダウンについて言及したが, MMPは小型サイズの油圧機器としてのニーズが高い. しかし, 小型なMMPであっても, 母機によっては取付場所が狭く, 母機と干渉して設置できない用途もある. これらのニーズを受け, MMPの新たなラインナップとして「分離型MMP」を提案している.

分離型とは, MMPのポンプユニットとシリンダとを2本の油圧ホースで繋いだ, 1つのパッケージである. 使用時は母機可動部にアクチュエータであ

るシリンダを配置し、動力部であるポンプユニットを母機の空いたスペースに設置する。母機可動部周辺に干渉物が多くても、細長いシリンダであれば設置が容易な為、母機への取付自由度が増える。また、従来の一体型MMPと同様に1つのパッケージである為、お客様において各油圧装置の接続やエア抜きといった油圧作業は一切必要がなく、シリンダとユニットを取付けて電源を繋ぐだけで使用できる手軽さを持っている。

分離型MMPの外観写真を写真2に示す。



写真2 分離型MMP外観

分離型MMPは現在、北米向け用途で販売している。狭いスペースでも干渉なく母機に取付けができ、油圧作業が不要な為、お客様より好評を得ている。

## 5.2 高推力MMP (高圧化)

MMP5開発のきっかけとなった「シリンダを小型化(小径化)しつつ推力は現行シリンダ同等」の要求は、言い換えれば各シリンダサイズでの高推力化=ポンプ吐出圧力の高圧化の要求である。前述した高効率化により、同一のシリンダ径・推力にて必要な電流値を下げる事ができた為、逆に従来の高い電流値領域まで、出力(ポンプ吐出圧力)を上げる余力ができたとも言える。

高圧化については現在市場のニーズを見ながら開発中である。

## 6 おわりに

MMP5は電力-油圧変換効率を向上し、従来品比で出力の向上や作動時電流値の低減をすることで、より扱いやすく適用範囲を広げた製品である。

現在、市場を広げるべく様々な分野に拡販活動を行っている。

最後に、開発に際して多大なご協力を頂いた関係各位に対して厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 佐藤, 西岡: 改良型ミニモーションパッケージ, KYB技報第35号, (2007年10月).
- 2) 細川, 田中: 農業用油圧機器の紹介, KYB技報第46号, (2013年4月).

## 著者



田中 大介

2001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設計室。  
MMPの開発に従事。



# ワールドラリークロス用ショックアブソーバの開発

奥村 昌利

## 1 はじめに

KYBは2017年よりモータースポーツ活動による技術力向上と人材育成、KYBブランドの確立を目的にモータースポーツ部（以下MS部）を発足させ、以下の①～④によりWorld Rallycross Championship（以下WRX）参戦を目指して活動してきた。

- ①後述するがWRXの競技の特性上ショックアブソーバ（以下SA）の性能差が出やすい世界選手権であり技術開発力向上が望めたこと
- ②海外レース現場における人材育成が望めたこと
- ③海外でのブランディングが望めたこと
- ④KYB技報第52号で紹介した「レース用パワーステアリング」が、2014年よりWRXに参戦していたEKS Performance AB（以下EKS）に採用されたこと

EKSとは2017年よりスポンサ契約を結び共同開発を進め、2019年には当社SA初の世界選手権にフル参戦を果たした。本報はWRX用SA開発及び海外レース現場でのテクニカルサポートについて紹介する。

## 2 WRXとは

### 2.1 WRXの歴史

1973年から開催されていたFIA European Rallycross ChampionshipのSupercarクラスが発展し、2014年から世界選手権に昇格され、年間10戦程度で欧州を中心に開催されているレースである。

### 2.2 WRXのレギュレーションの概略

#### 2.2.1 Supercarクラス車両

各チームが使用する車両のエンジンは約2000ccのターボエンジン、最高出力は約600HPであり、トランスミッションはシーケンシャル6速でフルタイム四駆、最低車両重量は1300kg、タイヤはCooper Tires社のWRX専用ワンメイクタイヤを使用している。0-100mは約2.5秒で駆け抜け、これはF1よりも速いといわれている。

また各チームでサスペンション形式の最適化を図っ

ており、SA及びスプリングのメーカは各チームが自由に選択することができる。SAについてはOhlins社、Reiger Racing Suspension社、Bilstein社、ZF（Sachs）社、BOS Suspension社、TEIN社などが参入しており、WRXで開発を行っているサプライヤも見られる。エンジンとトランスミッションの性能差が各チーム拮抗しているため、SAを含めたサスペンションの役割が大きいレースカテゴリといえる。

#### 2.2.2 Race format

コースは舗装路区間と未舗装路区間から成る約1kmのショートコースを使用し、コースには迂回路と必ず1カ所はジャンプポイントが存在する。またルール上各レース1周は迂回路を走行しなければならず、迂回路を走行するタイミングが各チームの戦略であり、レースの勝敗に大きく関係する。

レースは予選4レース、準決勝2レース、決勝1レースで行われる。予選の上位12台が準決勝に出走でき、準決勝1、2の上位3台ずつ（計6台）が決勝に進出できる。Season Point（以下SP）は予選と準決勝、決勝の結果に応じて付与され、年間を通してSPが多い者がチャンピオンとなる。

## 3 EKSとは

EKSとはMattias Ekström氏（以下Mattias）（写真1）が発足したWRXチームであり、2014年からWRXにスポット参戦し、上述した通り当初から当社製レース用パワーステアリングを搭載しているチームである。2015年からはWRXにフル参戦を開始し、2016年には年間チームタイトルを獲得。また2017年と2018年にはAudi SportのワークスチームとしてWRXに参戦していた名門トップチームである。

Mattias自身、ドイツツーリングカー選手権、WRX共に年間タイトルを獲得した名ドライバーである。

Audi Sportが2018年限りでEKSへのワークス活動を終了したため、チームの規模を小さくし、2019年は表1に示す体制、写真2、3に示す車両で参戦した。



写真1 Mattias Ekström氏



図1 WRX用SA 3Dモデル (外観)

表1 2019年EKS参戦体制と年間順位

| Team Name      | Driver                  | Season Rank |
|----------------|-------------------------|-------------|
| Monster Energy | Andreas Bakkerud (以下AB) | 2nd         |
| RX Cartel      | Liam Doran (以下LD)       | 8th         |
| EKS Sport      | Krisztián Szabó (以下KS)  | 10th        |



写真2 Monster Energy RX Cartel 2019年参戦車両



写真3 EKS Sport 2019年参戦車両



写真4 WRX用SA (車両取り付け時)

## 4 WRX用SA

ここではWRX参戦に向けて当社で開発したWRX用SA(図1, 写真4)の新技术, 新機能について紹介する。

### 4.1 チューブ移動勘合式正立ストラット

まず初めに, EKSの車両はストラット(以下ST)形式のサスペンションを採用しており, 当社はそのに対応すべくST形式SAの構造検討を行った。表2にSTの分類表を示すが, その中から当社はWRX用SAにチューブ移動勘合式正立ST構造を採用した。表2よりわかるように, チューブ移動勘合式正立ST構造は非常に高価な構造ではあるが, 超高剛性であるため車両接触による強度的な不安が減少するとともに, 横力を最外殻部品で受けるためSAは非常に低摩擦になる。

5章にて後述するが, 採用可否判断をするためにレースに出場した際に, 車両同士の接触があったが当社製のSAが破損することなく, EKSからも高評価を頂いた。

### 4.2 伸圧独立減衰力調整式SA

一般的な減衰力調整式SAは減衰力調整をする際, ピストンロッドニードル油路の開口面積を変化させる構造を採用している。その構造の場合, ピスト

表2 STの構造分類表

| 大分類 | 中分類<br>チューブ<br>(シリンダ)本数 | 小分類1<br>ばね上剛性部 | 小分類2<br>勘合方式 | 主な用途 | 性能         | 剛性         | 摩擦         | 部品数        | 価格         |   |
|-----|-------------------------|----------------|--------------|------|------------|------------|------------|------------|------------|---|
|     |                         |                |              |      | 高:5<br>低:1 | 高:5<br>低:1 | 低:5<br>高:1 | 少:5<br>多:1 | 低:5<br>高:1 |   |
| ST  | 正立                      | 1チューブ          | ピストンロッド摺動    | 移動   | 低価格車高調     | 1          | 1          | 1          | 5          | 5 |
|     |                         | 2チューブ          | ピストンロッド摺動    | 移動   | 量産品用       | 3          | 2          | 3          | 4          | 5 |
|     |                         | 3チューブ          | チューブ摺動       | 固定   | ラリー用       | 5          | 4          | 4          | 1          | 2 |
|     | 倒立                      | 2チューブ          | SAシリンダー摺動    | 移動   | ラリー用       | 5          | 5          | 5          | 1          | 1 |
|     |                         |                |              | 固定   | スポーツ走行用    | 3          | 3          | 2          | 4          | 4 |
|     |                         | 3チューブ          | SAシリンダー摺動    | 固定   | スポーツ走行用    | 3          | 4          | 2          | 3          | 3 |

ンロッドニードル油路の開口面積は伸行程、圧行程共に影響を受けることになるため、伸行程減衰力と圧行程減衰力が共に変化する。しかし今回設計した新構造は、ピストンロッドニードル油路の開口面積が、伸行程にのみに作用するように独立させたため伸行程減衰力のみ変化する。そのことによってチューニング性の向上が図られた。

この構造は初実車走行テスト時から搭載しており、EKSからは以下の(1)、(2)について高い評価を頂いている。

- (1)伸圧独立で減衰力調整ができることで車両運動特性を部分的に改善することができる
- (2)減衰力調整による背反が起きづらい

#### 4.3 ハイドロバンプストップ

上述した通りWRXのコースは大小あるものの、必ず1カ所はジャンプポイントが存在し、ジャンプの着地後の車両安定性がラップタイムに大きく関係する。ジャンプの着地後の車両安定性を向上させるためには様々な方策があるが、それぞれ利点及び欠点が存在するため、それをまとめる。

- ①圧行程減衰力を高く設定
  - 利点：簡易
  - 欠点1：路面からの突上げが大きくなる
  - 欠点2：トラクションや操縦性などが悪化する
- ②メカニカルバンプストップ（以下MBS）を搭載
  - 利点1：安価
  - 利点2：ボトムタッチ時に金属部品同士の接触を防いで衝撃を緩和できる
  - 欠点1：ゴムやウレタンなどの材質は、ばね反発力があるため車両安定性が低下する
  - 欠点2：不意にばね反発力が発生し、トラクションや操縦性などが低下する

- ③ハイドロバンプストップ（以下HBS）を搭載
  - 利点：油圧で減衰力を上げるため、ばね反発力がなく安定する

欠点1：高価

欠点2：路面からの突上げが時折大きくなる

欠点3：減衰力が唐突に上がるとトラクションや操縦性などが低下する

以上の①～③の欠点で分かるように、ジャンプの着地後の車両安定性と路面凹凸の走破性、トラクションや操縦性などは背反特性であり、両立が難しいことがわかる。ただし、③HBSの欠点1については性能重視で採用されることが多いモータースポーツ業界では大きな欠点とは言えず、また欠点2、3については発生頻度が少ないことから、コース上にジャンプなどのイベントがあるRallycrossやRallyなどのモータースポーツ用SAではHBSを採用することが必須となっている。

当社としては、②MBSの利点2と③HBSの利点に着目しそれぞれを併用することにした。しかし上述した背反特性があるため、当社は以下A～Cを用いて両立を図った。

- A：MBS極薄構造
- B：HBS減衰外部調整機構
- C：HBS三段階減衰力可変機構

上記A～Cを搭載したことにより、MBSとHBSの欠点を最小限にしつつ、上記背反特性を高次元で両立させることに成功し、EKSからは以下の(1)～(3)について高い評価を頂いている。

- (1)各コースに対しての適応性が高い
- (2)着地後の車両が他チームよりも安定している
- (3)コーナリング時に急激な減衰力変化が発生しないためグリップが急変せずスムーズ

## 5 EKSとの共同開発

上述した通り2017年に当社にMS部が発足し、2017年にはスポンサ契約、共同開発契約等をEKSと締結した。その当時からEKSが使用していたSAのサスペンション取り付け寸法やサスペンションの3Dモデル、SAのストロークなどの情報を共有し、その情報をもとに当社で机上検討と試作品製作を行い、実車走行テストに向けて準備をしてきた。表3に示す通り、2018年から実車走行テストを開始し、EKSに採用されるようにテストごとに改善すべき点を明確にして性能アップを図った。

表3 EKSとの実車走行テスト

| Year/Month | Test format               | Place                          |
|------------|---------------------------|--------------------------------|
| 2018/3     | Private test              | Mayenne (France)               |
| 2018/5     | Race test<br>(British RX) | Silverstone<br>(Great Britain) |
| 2018/6     | Private test              | Strängnäs (Sweden)             |
| 2018/7     | Private test              | Höljes (Sweden)                |
| 2018/9     | Race test (WRX)           | Rīga (Latvia)                  |

表3の通り性能確認を3回のPrivate testで実施し、彼我比較と耐久確認を2回のRace testで行った。各テストの間隔は約2ヵ月あるが、実際はテスト後にSAをEKSから当社へ返送し、日本で仕様変更と機能改善を行い、再度テスト1週間前にはEKSへSAが到着するように出荷するため、SAの仕様変更と機能改善を実施できる期間は非常に短く大変苦労した。時には現地で仕様変更をする必要があり、昼食を食べずに準備したり、夜中まで準備をしたりして大変苦労した。

また、様々なドライバにテストしていただいたが、共通のエンジニアとメカニックがテストに参加する等EKS側の配慮があったため、各ドライバの特徴などを把握したうえでSAの評価ができた。さらに、様々なコースでテストしたことで、多種多様な路面環境下での評価によって当社製SAの実力把握ができ、我々自身も本物のラリークロスコースを見て学べたことは非常に大きな経験になった。

主な機能や部品については4章で紹介した通りだが、それらだけではなく常にSAの基本特性の改良を進め性能向上をさせていった。最終的には、2018年9月のRīgaにて写真5に示す車両で以下の①②を評価するためにスポット参戦を果たした。

- ①レース中のラップタイム
  - ②レース条件下での信頼性及び耐久性
- 結果としては準決勝で接触によるサスペンション

アームの破損が原因でリタイアとなったが、初出場準決勝に進出したこと、サスペンションアームが破損するほどの接触があったものの当社製SAについては破損がなかったことなどが評価され、2019年より正式に採用されることが決定した。



写真5 2018年WRXスポット参戦車両

## 6 2019シーズンの成績と成果

### 6.1 2019年シーズンのレース成績

EKSに正式に採用されたことにより、2019年のレースには全戦帯同しSAの技術サポートを開始した。表4に開催された全10戦のWRXのレースと表1に示す3台の最高順位を示す。

表4 2019年開催地と最高順位

| Round | Place                          | Highest Rank    |
|-------|--------------------------------|-----------------|
| 1     | Yas Marina (UAE)               | 3rd Place (LD)  |
| 2     | Barcelona (Spain)              | 3rd Place (AB)  |
| 3     | Spa (Belgium)                  | 2nd Place (AB)  |
| 4     | Silverstone<br>(Great Britain) | 2nd Place (AB)  |
| 5     | Hell (Norway)                  | 5th Place (LD)  |
| 6     | Höljes (Sweden)                | 12th Place (AB) |
| 7     | Trois-Rivières (Canada)        | 1st Place (AB)  |
| 8     | Lohéac (France)                | 5th Place (AB)  |
| 9     | Rīga (Latvia)                  | 3rd Place (AB)  |
| 10    | Cape Town (South Africa)       | 2nd Place (AB)  |

表4から読み取れるように、参戦初年度にもかかわらず全10戦のうち7戦で表彰台を獲得しており、安定した成績を残すことができた。EKSは名門トップチームであり、Andreas Bakkerud氏はトップドライバであるため当然の結果かもしれないが、参戦初年度としては当社にとって素晴らしい結果を残すことができた。参戦した3台とも成績が良くなかったレースはマシントラブルやクラッシュなどが原因

でリタイアしたり、スローダウンしたりしたレースであり、基本的には天候や路面コンディションに左右されることなく安定したレースが多かった。そのような中、当社製のSAがトラブルを起こして順位を落とすことはなく無事シーズンを終えられ、EKSからさらに信頼を得ることができた。

### 6.2 EKS内での当社の役割と成果

当社が担当したのは当社製SAの製品提供だけでなく、EKSにセッティングのアドバイスも実施した。ドライバーから現状のセッティングで起こっている問題点を挙げてもらい、SA目線で問題を解決するアドバイスを実施した。シーズン序盤は車両特性を把握できなかったため非常に厳しい戦いの中で結果を出していたが、シーズン中盤からは我々の提案で安定した結果が出るようになり、EKSからはさらに高い信頼を得ることができた。

### 6.3 スポンサーシップの成果

またレースの成績には関係はないが、2017年から開始したスポンサーシップ契約に基づくWRX参戦車両への当社ロゴの掲載を継続してきたこと、レース終了時にAndreas Bakkerud氏が当社名を出してYouTubeやSNSでコメントしたことなどから、他のレースチーム、他のレースカテゴリからの引き合いなどもあり、WRXに参戦したことによる海外での当社のブランドイメージや知名度は向上した。これを継続しEKSと協力して広報活動を行っていくことで、さらなるブランドイメージ及び知名度向上、モータースポーツ活動以外のビジネスチャンスを得られることが期待できる。

## 7 おわりに

当社のWRX用SAが参戦初年度にもかかわらずシーズン2位（SPは1位タイ、優勝回数によって2位）という結果が残せたのは、社内外の方々のご指導とご支援があったからこそ達成できたことであ

ります。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

また、我々をアットホームな雰囲気であったチームに迎え入れ、我々の英語を理解しセッティングに反映してくれたEKSの方々にも厚くお礼を申し上げます。

さらにモータースポーツに関わったことがなかった私が、WRX参戦活動及び2019年のWRX全戦帯同したことは、エンジニアとしてSAの知識を深められただけでなく、車両運動特性の知識やレースでの戦略的判断、ドライバーのコメントや天候、路面状況などから現状を総合的に分析及び判断し、先見性を磨くことができ貴重な経験をさせて頂きました。

最後になりますが、2020年は以下の表5に示す参戦体制及び写真6に示す車両でWRXに参戦しています。EKSは以前から協力関係にある、JC Raceteknik ABを支援する形で参戦しています。当社としてはWRXで勝利を収められるように開発と技術サポートを継続していく所存です。

表5 2020年EKS参戦体制

| Team Name   | Driver         |
|-------------|----------------|
| KYB Team JC | Robin Larsson  |
|             | Janis Baumanis |



写真6 KYB Team JC 2020年参戦車両

## 著者



奥村 昌利

2010年入社。経営企画本部モータースポーツ部所属。基盤技術研究所運動制御研究室、オートモーティブコンポーネンツ事業本部製品企画開発部を経て現職。

## 随筆

## アメリカ・メキシコ駐在記

岡 敬 子

## 1. はじめに

私は2014年5月から2015年12月までの1年8ヶ月間、アメリカのKYB Americas Corporation（以下KAC）、2016年1月から2019年4月までの3年4ヶ月間、メキシコのKYB Mexico S.A de C.V.（以下KMEX）、KYB Latinoamerica S.A de C.V.（以下KLA）での駐在生活を経験した。

入社以来、本社人事に勤務し異動経験のなかった私にとって、初めての異動が海を超えた海外になろうとは露ほども思わず、異動の話聞いた時の衝撃は今でも鮮明に覚えている。さらに、続けてメキシコへ行くことになるとは、人生何が起こるか分からないものである。

5年間の駐在生活を通じて得た貴重な経験の一部を紹介する。

## 2. アメリカ生活

KACのあるインディアナ州はアメリカ中西部に位置している。夏は気温が35℃近くまで上がり日差しが非常に強いが、湿度が低くカラッとしているため日陰に入れば涼しく過ごしやすい。一方、冬は寒く気温がマイナス20℃近くまで下がることもある。幸い私が過ごした2014年は暖冬だったため、そこまで下がることはなかったが、それでもマイナス10℃以下になることはあり、耳の痛くなるような寒さを経験した（写真1）。



写真1 自宅アパートからの雪景色

アメリカでの移動手段は自動車メインとなる。日本では完全にペーパードライバーだったため、運転の練習をするところからのスタートであった。先輩駐在員の方々には慣れない運転に同乗して思いをさせてしまい、感謝と申し訳なさで頭が上がらない。ただし、日本での運転はほとんどなく、私にとっての“運転”は「左ハンドル、右側通行」が普通だったため、先入観なくアメリカの道路を走ることができたのでは、と思っている。

アメリカには言わずと知れた観光地がたくさんあり、メキシコ駐在時も含めシカゴ（写真2）、ハワイ、ニューヨーク、フロリダと主だった観光地を訪れることができた。



写真2 ミシガン湖から見たシカゴの街並み

ちなみに、インディアナからハワイへ行くには同じアメリカとは言え、国内線を乗り継いで10時間近くかかる。日本から行く方が乗り継ぎもなく、よほど早く楽に行ける。この事実がアメリカの広大さを如実に物語っていると感じた。

## 3. アメリカでの業務

私が赴任した2014年にKACが米州統轄会社として位置付けられ、人事部門としては初めてのKAC駐在となった。前任者がおらず手探りの状態の中、コーディネータとして日本とローカルスタッフとの橋渡しの役割を担った。日本からの様々な依頼事項をローカルスタッフと協力しながら対応することはもちろん、日本での経験で得た知識をローカルス

スタッフに伝えて改善活動へ繋げたりした。

英語でのコミュニケーションは日本人によくある「文法が間違っていて、伝わらなかつたら恥ずかしい」という思いが先に立ち、なかなか言葉が出て来ず、「間違っているでも伝わればいい!」と割り切れるまでは非常に苦労した。

ある人から「英語で夢を見るようになったら、かなりの上達だ」と言われたが、1年強の駐在ではその域に達することができなかったのは残念だった。

また、統轄会社として米州各拠点の支援にも携わった。残念ながら、一度は行ってみたかったブラジルに行く機会はなかったが、メキシコはアメリカ駐在時から出張ベースで支援した。最終的にはメキシコの比重が高くなったこともあり、メキシコを本拠地として活動することとなった。

#### 4. メキシコでの業務

KMEXは2012年10月に会社設立、無段変速機用ポンプの生産から始まり、2016年からのショックアブソーバの生産開始に向けて、人事部門として従業員の採用、人事制度の基盤構築等に携わった。

日本とは言語はもちろんのこと法律、文化、国民性の異なる海外ではローカルの人事マネージャの存在が不可欠であるが、KMEXではなかなか人事マネージャが定着せず人事制度の制定が遅れていたこともあり、ローカルスタッフの協力を得ながらの作業となった。社員の離職率の高さやそれに伴う採用活動等、悩まされたこともたくさんあったが、一つ一つ協力しながら乗り越えることができた。

また、生産の立ち上げ準備で日本やKACからの出張者が多数来訪していた(表1)。多い時は30人近く同時に滞在したため、ホテルや通勤バス、空港送迎の手配等に奔走し大変な思いもしたが、普段はなかなか接する機会のない技術や製造の方々と一緒に食事をしたり時には観光に行ったり、日本ではできないコミュニケーションを取ることができた。現在はKYB岐阜北工場に勤務しているが、メキシコでご一緒した方々から声をかけていただけて非常に有難く思っている。

表1 ある月の出張者来訪スケジュール表

| KMEX Visitors Schedule       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Total Visitors               | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
| Arrive (Need Pick up/Hotels) | 0         | 2         | 0         | 1         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 1         |
| Stay (Need Hotels)           | 29        | 27        | 23        | 23        | 22        | 22        | 23        | 18        | 18        | 18        |
| Departure (Need Drop off)    | 2         | 2         | 6         | 0         | 2         | 0         | 0         | 5         | 0         | 0         |
| <b>Total</b>                 | <b>31</b> | <b>31</b> | <b>29</b> | <b>24</b> | <b>24</b> | <b>23</b> | <b>23</b> | <b>23</b> | <b>18</b> | <b>19</b> |

2017年4月からは人財サービス会社であるKLA

の経営者としての業務に携わる機会をいただいた。KMEXの役員を除く従業員は全員KLAからの人財派遣という形態を取っており、総務、人事、経理を中心とした人に関わる業務はKLAで行っている。人事業務だけでなく、株主総会、取締役会、経理決算処理、監査対応といった日本ではあまり経験する機会のない貴重な経験ができた。2017年当初はあまりのプレッシャーとストレスで円形脱毛症になったりもしたが、周囲のサポートをいただきながら無事に乗り切ることができ、感謝している。

また、KLAの本社は首都メキシコシティにあるため、月に一度の大都会へのお出張では業務の合間にささやかな息抜き(食事や観光)を楽しむことができた。

#### 5. メキシコ生活

KMEXがあるシラオ市、駐在員が生活するレオン市のあるグアナファト州はメキシコ中央高地に位置している。メキシコは一年中暑いイメージがあるが、標高が1,800~1,900メートルと高いため、日中晴れると30℃近くまで上がるものの、朝晩は気温が一桁台まで冷え込むこともあり、一日の寒暖差が大きく体調管理が難しい。この寒暖の差と急な高地生活に高山病のような症状を訴える出張者もいた。

ちなみにメキシコシティは標高2,300メートルとさらに高く、普段レオン市にいる私でも息苦しさや寝つきの悪さを感じることもあった。

メキシコもメインの交通は自動車である。メキシコの高速度道路は制限速度が110km/h、一般道でも大通りは80km/hのところがあり、スピードを出して走っている車が非常に多い。そんな中、右にウィンカを出しながら左に入ってくる車がいたり、時には高速度道路でも平気で自転車や人が横切ることもあり、ハプニングには事欠かない。渋滞もひどく、レオン市からシラオ市までは通常で30分もかからずに移動できるが、雨が降ったり、事故があると1時間~2時間は覚悟しなければならない。こんな状況の中を運転初心者の私がよく運転していたと自分を褒めたくなるぐらいである。

レオン、シラオ地区は日系企業が多数進出していることもあり、リーズナブルで美味しい日本食レストランが増え、日本食材も気軽に手に入るため(値段は日本の3倍ぐらいするが)食事にはあまり困らなかった。また、メキシコ料理を始め、スペイン料理、イタリア料理、アルゼンチン料理等、様々な多国籍料理を堪能でき恵まれていたと思う。

メキシコ料理と言えば唐辛子、パクチーが欠かせない調味料である。辛いものが苦手な私はレストランで「この料理は辛い?」と聞くとたいい「辛く

ないよ」と返ってくるため、頼んでみるとかなりの確率で激辛料理が出てくることがあった。「(メキシコ人にとって)辛くない」という意味を理解するのにしばらく苦労した。また、パクチーも得意ではないため、私の中では「Sin Chile (唐辛子抜き)」「Sin Cilantro (パクチー抜き)」の2つは重要なスペイン語だった。

定番のタコスには日本では小麦粉を使ったトルティーヤが多いが、メキシコではトウモロコシの粉を使ったものが一般的である。独特の香りがするため最初は抵抗感を持つ人も多いが、慣れてくるとこの香りがヤミツキになってくる。タコス屋は町の至るところで見かけるが、ピンからキリまで様々あるため、ローカルスタッフに連れて行ってもらうと美味しいタコスにありつける(写真3, 4)。



写真3 タコス屋



写真4 トウモロコシのトルティーヤのタコス

いう陶器である(写真5)。非常に緻密で細かい絵柄、色使いに一目惚れして少しずつ増えていった。絵柄によってはリーズナブルに買えるものもあり、日本に一時帰国した際のお土産としてとても喜ばれ、出張者もお土産によく購入していた。



写真5 セルビン焼の小物入れ

レオン、シラオ地区から一番近い観光地と言えば、州都でもあるグアナファトである(写真6)。グアナファトは色とりどりの建物が建ち並び街全体が世界遺産となっており、数年前に上映されたディズニー映画「リメンバー・ミー」の舞台になったとされる街である。昼間はカラフルな景色、夕方は夕陽に照らされた景色、夜はライトアップされた景色とその時々美しい景色が見られる。出張者を連れて何度もグアナファトに行く機会があったが、いつ行っても、何度行っても楽しめる素敵な街である。

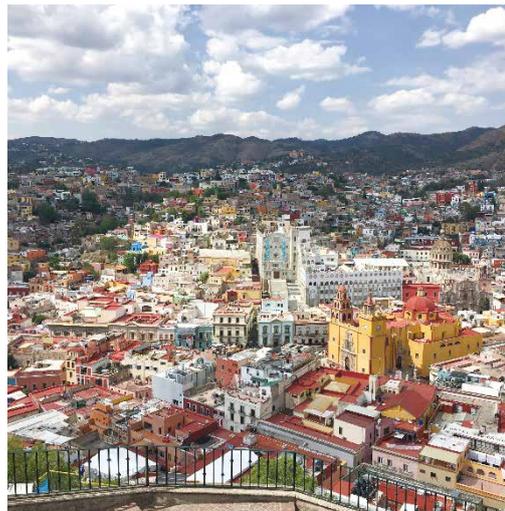


写真6 グアナファトの街並み

## 6. メキシコ観光・名産品

メキシコには民芸品を中心に様々な名産品があるが、グアナファト州で有名なのは「セルビン焼」と

メキシコシティには世界遺産の「テオティワカン遺跡」がある。中心街から50km程の場所にあり、中でも「太陽のピラミッド」、「月のピラミッド」と呼

ばれる2つのピラミッドが有名である（写真7, 8）。現存するピラミッドでは珍しく頂上まで登ることができ、途中で何度も挫けそうになりながらも頑張って登り切った頂上からの景色は圧巻だった。



写真7 太陽のピラミッド



写真8 太陽のピラミッドから見た月のピラミッド

## 7. おわりに

KAC, KMEX, KLAと2か国、3拠点で過ごした5年間は何物にも代え難い貴重な経験となった。言葉も文化も違う海外で大きなトラブルもなく駐在を全うできたのは、一緒に仕事をしたローカルスタッフ、駐在員の皆様のおかげである。また、生活面では駐在員のご家族の皆様にも大変お世話になった。この紙面をお借りして感謝を申し上げたい。

駐在生活で得た経験や人との繋がりを、今後の業務に活かしていけるよう邁進していく所存である。

## 著者



### 岡 敬子

1997年入社。総務・人事本部人事管理部専任課長。

本社人事部門、アメリカ、メキシコ駐在を経て現職。

## 編集後記

編集委員の主な仕事は、記事の情報収集や選定、執筆者との調整やフォロー、原稿の査読による校正や修正箇所の調整である。デジタルが普及した中で、何とも古風で地味な作業である。一部では校正ソフトによる自動化も行われているようであるが、単純ミスや表記ルールの統一など、対応可能な校正内容は限定的であり、まだまだ人の目に依存するところが大きい。前後の文章の意味を理解した上で人が校正を行うことにより、文法の整合だけでなく読者にとって読みやすい記事に仕上がるのである。まだ世に出ていない記事を自分が査読し、読みやすく仕上がった技報を多くの読者に届ける。技報という主役を陰ながら支える脇役に満足している。(周防委員)

平成バブル末期の1992年に就職活動で当社(当時はカヤバ工業)を会社訪問した際、「この大きさで容量8Gバイトもあるんだよ!」と紹介された小型冷蔵庫程の大きさのファイルサーバを見て「凄いですね!!」と驚いたことを覚えている。卒論の全データが1.4Mバイトのフロッピーディスク1枚に収まっていた時代である。技術の進化は凄まじく、今では誰もがスマホで数十Gバイトを持ち歩いており、もうすぐ高速通信でメモリの概念すらなくなるであろう。そんな中、オーケストラで使われる楽器の基本構造は300年以上変わっていないらしい。進化するものと変わらないもの、技術にも双方ありどちらも大切と思う今日このごろである。(宮谷委員)

アメリカ駐在から帰任して3度目となる、蒸し暑く例年よりも長い梅雨の中、本記を執筆している。駐在当時はKYB技報を通じて、日本やその他海外拠点からの情報を受信していた。中でも自分が所属するHC事業部関連の記事や、海外駐在記に良く目を通していたのを思い出す。編集委員である今は情報を発信するという立場にあり、本誌が世界中で読まれる事を再認識しながら、編集作業に当たっている。今後も技報がより多くの方々に興味を持っていただける内容になるよう、努めていきたい。(中野委員)

## 編集委員

|       |                          |        |                            |
|-------|--------------------------|--------|----------------------------|
| ◎伊藤 隆 | 技術本部基盤技術研究所              | 岡田 潔   | KYBモーターサイクルサスペンション(株)生産技術部 |
| 梶澤 亮一 | 技術本部基盤技術研究所              | 中野 智和  | HC事業本部岐阜南油機技術部             |
| 川添 敏行 | 技術本部生産技術研究所              | 村松 亮一  | 経営企画本部経営企画部                |
| 周防 士朗 | 技術本部知的財産部                | 渡辺 裕明  | 人事本部                       |
| 星野 公輔 | HC事業本部相模油機技術部            | 岡村 和徳  | KYBステージエンジニアリング(株)技術部      |
| 丸山 政一 | 航空機器事業部技術部               | 宮嶋 勝昭  | KYBエンジニアリングアンドサービス(株)技術部   |
| 川島 茂  | 特装車両事業部熊谷工場技術部           | 河野 義彦  | (株)タカコ技術本部開発部              |
| 太田 康洋 | AC事業本部製品企画開発部            | 小林 弘孝  | KYB-YS(株)設計部               |
| 宮谷 修  | AC事業本部電子技術部              | ○宮 能治  | 技術本部技術企画部                  |
| 伊藤 直樹 | KYBモーターサイクルサスペンション(株)技術部 | ○大林 義博 | 技術本部技術企画部                  |
| 渡辺 健二 | AC事業本部サスペンション事業部生産技術部    | ○村山 栄司 | 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61号

〔禁無断転載〕 〔非売品〕

発行 2020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)