

ISSN 1880-7410

# KAYABA TECHNICAL REVIEW

カヤバ技報

APR. 2022 No. 64

カ  
ヤ  
バ  
技  
報

KAYABA TECHNICAL REVIEW No. 64 APR. 2022

**KYB**

*Our Precision, Your Advantage*

カヤバ株式会社

**KYB**

# カヤバ株式会社

(2022年4月1日より、通称名称にカヤバ株式会社を採用いたしました)

2022年1月1日現在

本社・営業 東京都港区浜松町二丁目4番1号世界貿易センタービルディング南館28階 ☎105-5128 ☎(03)3435-3511

基盤技術研究所	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎252-0328	☎(042)745-8111
生産技術研究所	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎509-0206	☎(0574)26-1453
機センタ	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎509-0307	☎(0574)52-1323
工機セ	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎509-0206	☎(0574)26-5310
北関東支店	埼玉県戸田市美木北2丁目8番地4号	☎335-0038	☎(048)449-0859
名古屋支店	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎252-0328	☎(042)746-5587
大阪支店	大阪府吹田市江坂町一丁目23番20号(TEK第2ビル)	☎450-0002	☎(052)587-1760
福岡支店	福岡県福岡市博多区博多東二丁目6番26号(安川産業ビル)	☎564-0063	☎(06)6387-3221
広島営業所	広島県広島市東区光町一丁目12番16号(広島ビル)	☎812-0013	☎(092)411-2066
熊谷工場	埼玉県深谷市長溝台一丁目12番1号	☎732-0052	☎(082)567-9166
岐阜工場	岐阜県岐阜市土田2548番地	☎252-0328	☎(042)746-5511
岐阜工場	岐阜県岐阜市土田505番地	☎369-1193	☎(048)583-2341
岐阜工場	岐阜県岐阜市土田60番地	☎509-0298	☎(0574)26-5111
岐阜工場	岐阜県岐阜市土田60番地	☎509-0297	☎(0574)26-1111
三重工場	岐阜県岐阜市土田60番地	☎509-0206	☎(0574)26-2135
KYBステージエンジニアリング株式会社	三重県津市雲出長常町1129番地11	☎514-0396	☎(059)234-4111
KYBトロンデュール株式会社	東京都府中市祝園浦一丁目32番地1	☎514-0396	☎(059)234-9260
KYB金山株式会社	岐阜県下呂市金山町戸部4350番地130	☎949-5406	☎(0258)92-6903
KYBモーターサイクルスパンション株式会社	岐阜県埴科郡坂城町坂城9165番地	☎619-0240	☎(0774)95-3336
KYBロジスティクス株式会社	岐阜県岐阜市土田2548番地	☎509-1605	☎(0576)35-2201
ジャパン・アナリスト株式会社	岐阜県岐阜市土田2548番地	☎389-0688	☎(0268)82-2850
けんしゅう	岐阜県岐阜市土田2548番地	☎509-0298	☎(0574)27-1170
	岐阜県岐阜市土田2548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	☎252-0328	☎(042)749-7512
	埼玉県戸田市美木北2丁目8番地4号	☎335-0038	☎(048)499-9336

## KYB Corporation

KYB Corporation adopted the common name of KAYABA Corporation on April 1, 2022.

### Head Office

World Trade Center Building South Tower 28F, 2-4-1 Hamamatsu-cho, Minato-ku, Tokyo 105-5128, 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 Interi-or, Silao Guanajuato, CP 36275, Mexico  
TEL: (52)472-748-5000

###### KYB Latinoamerica, S.A. de C.V.

Blvd. Manuel Avila Camacho No. 32, Int. 403, Col. Lomas de Chapultepec, Del. Miguel Hidalgo, DF, 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 83820-293, Brazil  
TEL: (55)41-2102-8200

###### 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

Langfeldstrasse.11 80939 Munich, Germamy  
TEL: (49)-89-5480188-0

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

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

###### 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 Cívce, 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 1 10-1 11-1 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 Hsing 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

##### [China]

###### 凱達必(中国)投資有限公司

###### KYB (China) Investment Co., Ltd.

No. 121, Wei 3 Road, Dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhenji-ang, Jiangsu, 212009, China  
TEL: (86)511-8558-0300

###### 凱達必機械工業(鎮江)有限公司

###### KYB Industrial Machinery (Zhenjiang) Ltd.

No. 38, Wei 3 Road, Dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhen-jiang, Jiangsu, 212009, China  
TEL: (86)511-8889-1008

###### 無錫凱達必拓普減震器有限公司

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

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

###### 常州朗銳凱達必減振技術有限公司

Changzhou KYB Leadrun Vibration Reduction Technology Co., Ltd.

No. 19 Shunyuwan Road, New District, Changzhou, Jiangsu 213125 China  
TEL: (86)519-8595-7206

###### 湖北恒隆凱達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 Develop-ment Zone, Jingzhou, Hubei, China. 434000  
TEL: (86)716-416-7951

###### 知多彈簧工業(鎮江)有限公司

###### CHITA KYB Manufacturing (Zhenjiang) Co., Ltd.

No. 8 Building-1F, New Energy Industrial Park (North Park), No. 300, Gangnan Road, Zhenjiang New District, Ji-angsu 212132, China  
TEL: (86)511-8317-2570

カヤバ(株)では、複写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.

---

# カヤバ技報

第64号 2022-4

## 目次

### 巻頭言

高付加価値ものづくりのすすめ 厨川 常元 1  
(究極の形状創成から機能創成へ)

### 論説

鋳鉄の組織と機械的性質 平塚 真人 3

### 技術解説

新時代のMESサービスの基礎構築 雪吹 研斗 7

ガブリエラアナマギン

油圧作動液中の気泡含有量コントロール技術の研究 北村 佳彬 16

小寺 康大

### 技術論文

粒状体ダンパの研究 豊内 敦士 23

### 技術紹介

ピストンポンプ用ケース加工ラインの構築 伊藤 祐介 37

### 製品紹介

スノーモービルレース用ショックアブソーバの開発 田中 信 41

### 随筆

チェコ駐在記 野村 典史 47

### 用語解説

①カヤバが構築しているIoTプラットフォーム 瀧野 慎介 52

②キャビテーション 長島 碧 53

### 編集後記

---

# KAYABA TECHNICAL REVIEW

No. 64 APR. 2022

## CONTENTS

### Foreword

Future of High Value Manufacturing KURIYAGAWA Tsunemoto 1

### Editorial

Microstructure and Mechanical Properties of Cast Iron HIRATSUKA Sadato 3

### Technology Explanation

Building the Foundation for MES Services in the New Era YUBUKI Kento 7

Research on Technology to Control Air Bubble Content in Hydraulic Fluid  
GABURIELLA Anak Magin

KITAMURA Yoshiaki 16

KODERA Yasuhiro

### Technical Article

Research on Particle Assemblage Damper TOYOUCHI Atsushi 23

### Technology Introduction

Construction of Case Machining Line for Piston Pump ITOU Yuusuke 37

### Product Introduction

Development of Shock Absorbers for Snowmobile Racing TANAKA Shin 41

### Essay

Account of Residence in Czech Republic NOMURA Norifumi 47

### Glossary

(1) KYB-IoT Platform TAKINO Shinsuke 52

(2) Cavitation NAGASHIMA Midori 53

### Editors Script

## 巻頭言

## 高付加価値ものづくりのすすめ

(究極の形状創成から機能創成へ)

厨 川 常 元\*



## 1. はじめに

“ものづくり”は我が国の産業基盤であり、将来ビジョンについて議論することは重要である。

これまで我が国の繁栄を支えてきた大量生産・大量消費対応型の“ものづくり”は終焉を向かえ、これからは様々な価値観に対応する“ものづくり”に変革せざるを得ない状況に直面するだろう。

例えば、カーボンニュートラル社会や超高齢化社会に対応するための新しい技術開発が喫緊の課題として国際的に議論されているのは一例である。

そして技術イノベーションのみならず経済や社会のイノベーションも不可欠であり、そのためには人文社会科学から自然科学までの幅広い知見が必要である。近年ではコアリションによる産官学が対話する異分野融合イノベーション・エコシステム構築の試みが活性化している。これらの議論の中で、ものづくり分野からはどんな貢献ができるであろうか？その一つは、海外の技術では到達できない、より高い精度と付加価値を持った製品の開発があげられる。そのために、これまでの単なる“形状創成”だけにとどまらず、その表面あるいは内部に機能を発現する構造を作り込む“機能創成”が重要になる。筆者はこれを“機能創成加工”と呼び、“高付加価値ものづくり”を目指す技術の一つとして研究開発を行っている。

## 2. 機能創成加工とは

通常、加工部品の加工精度評価基準は形状精度と表面粗さの二つである。近年、この加工精度の要求は益々厳しくなり、今やナノ精度を卓越し、ピコ精度に達するものも出てきた。現在、このような究極の加工精度を得るために、加工原理、工具、工作機械、評価測定法、材料、組み立て法、設計論など、総合的な研究開発が始まっている。機能創成加工は、このようにして得られた超精密加工表面上に微細構

造体を創成したり、あるいは加工表面近傍の結晶構造を制御したりすることにより、新たな機能を発現させるための加工法である。

このように“形状創成+機能創成”により高付加価値創成を目指した“ものづくり”が機能創成加工である。すなわちこれまでの単なる形状創成から、機能創成を加味した新しいものづくりへの融合、発展である。

そのためには分子原子レベルでの加工現象の科学的解明と、ピコ精度加工を実現するための新規加工プロセスの構築が必要不可欠である。すなわちピコ精度加工を支援し、デバイスやシステムにまで完成させるためのピコ・ナノ・マイクロ・マクロにわたる、いわゆるマルチスケールの機械システム設計論、さらには工具設計技術、ピコレベルでのその場計測・評価技術、加工シミュレータと加工システムの連動技術、微小構造体を精緻に組み立てるためのピコ実装技術、安全安心を保証するための材料創成技術や強度信頼性評価技術等を駆使した総合技術として確立する必要がある。

## 3. 解決のキーワードは“複合”

機能創成を実現するためには、製品の構造自体が複合構造となっているものが多い。例えば、非球面レンズ表面に $\mu\text{m}$ オーダーの回折格子が形成され、さらにその上に数百nmピッチのモスアイ構造が形成されていれば、無反射機能を有する高機能屈折・回折複合光学素子となる。このような複合構造体を製造するためには、種々の加工法を単独で使用せず、複合させて使用することにより、大幅な効率アップや特殊機能を発現できることが多い。例えば、超音波加工と研削加工を複合させた超音波援用研削や、レーザ加工と切削加工を複合させたレーザ援用マイクロ切削、超音波加工と研削加工と電解作用の3つを複合させた超音波振動援用電解研削などがある。さらに近年では、加工液にUFB（ウルトラファインバブル）を援用することにより、加工性能向上や

\*東北大学 教授

表面改質を同時に行うことができる技術も開発されている。このような加工においては、切りくず自体もナノオーダとなるため、材料の除去メカニズムに関しても化学的な要素が強く影響してくる。特に電解作用や放電現象、レーザ、UFB援用プロセスを複合させた場合には、ナノ領域における物理化学現象を単に機械工学的な視点で捉えるだけでなく、化学的かつ量子力学的視点で捉えることも必要不可欠となる。

#### 4. さいごに

本報では、これからの“ものづくり”を考える上で重要となる“高付加価値ものづくり”を目指す加工方法として、機能創成加工について紹介した。これからの“ものづくり”のための加工技術実現のためには、「ナノの世界の現象の本質を把握した科学的な合理性を持ったものづくり」を実現することが必要不可欠である。

また、革新技術の創出、すなわちハードウェアの高度化に偏重してはならない。ハードウェアの開発

はもちろん重要であるが、それらを如何に組み合わせ、使いこなしていくのかといったソフトウェアの開発も必要不可欠である。さらにもものづくりの根幹は、生産から廃棄、さらにはリサイクル（リユースも含む）までを考慮した“循環型ものづくり”でなくてはならない。このような“もの”の一生の流れの中で発生するCO<sub>2</sub>など温室効果ガスを最小化する、ライフサイクルアセスメントを設計、満足することも必要である。

最後に、新技術の社会実装における種々の困難、いわゆる「魔の川」、「死の谷」、「ダーウィンの海」を飛び越えるための能力と気概を持った人材育成が重要であるのはいくまでもない。このような人材育成を企業の中でも行うように環境を整えることが強く望まれる。また同時に、若手技術者に期待するのは、未知の領域に飛び込んでいくアントレプレナーシップの醸成と実行である。これからのものづくり技術の進展が非常に楽しみである。

論 説

# 鑄鉄の組織と機械的性質

平 塚 貞 人\*



## 1. はじめに

鑄鉄は、我が国では2020年には、年間約300万トン生産されている重要な鑄造用構造材料である。その生産量の63.7%は輸送機械用（自動車用、鉄道用、船舶用など）、23.7%が一般・電気機械用（産業機械器具用、建設機械用、金属工作・加工機械用、電気機械用など）、7.8%が鑄鉄管、残り4.7%がその他用（継手、厨房品、工芸品など）として使用されている<sup>1)</sup>。

図1にカヤバ株式会社製ショベル・ミニショベル用油圧機器の一例<sup>2)</sup>を示す。小型油圧ショベルのコントロールバルブのボディは、鑄鉄製である。

鑄鉄と鋼はともに鉄 (Fe) と炭素 (C) から構成されるFe-C系合金である。鑄鉄と鋼の違いは、それぞれのC含有量で区別されている。C含有量が約2mass%（以下mass省略）までが鋼、それ以上が鑄鉄として分類されている。実用鑄鉄のC含有量は3～4%と多く、さらにケイ素 (Si) が1～3%程度含有されているので、鑄鉄はFe-C-Si系合金として扱われている。C含有量が2%を越えるとCは黒鉛としてFe中に現れる。したがって、鑄鉄は種々の形状の黒鉛と鋼が組み合わせられた複合材料と見なすこともできる。



図1 ショベル・ミニショベル用油圧機器の一例

鑄鉄は鋼に比べてC含有量が高いため、凝固温度（融点）が著しく低く、流動性が良い。また、凝固時に黒鉛が晶出することで体積膨張が起こり、凝固収縮が少なく、つまり引けが少なく、鑄造しやすい材料である。さらに、黒鉛の存在と高Siであるため、振動吸収能、切削性、耐摩耗性、熱伝導性、耐食性、耐酸化性などの工業的に優れた特性を有している。

本稿では、鑄鉄の特性に影響を及ぼす鑄鉄の組織と機械的性質について論説する。

## 2. 鑄鉄の組織

鑄鉄の組織は溶湯の化学組成、凝固条件や熱処理などによって大きく変化する。鋼は凝固後、圧延などの塑性加工や熱処理が施されるので、凝固組織はそれほど問題にされないが、鑄鉄はほとんどの場合鑄放し状態で使用されるので、凝固組織は極めて重要である。鑄鉄の組織は黒鉛組織及び基地組織に大別され、鑄鉄の機械的性質、物理的・化学的性質はこの両組織の組み合わせに大きく依存している。

### 2.1 黒鉛組織

図2は鑄鉄中に現れる黒鉛形態を分類したもので、1962年アメリカにおける国際鑄物会議技術委員会で提案された分類図である<sup>3)</sup>。

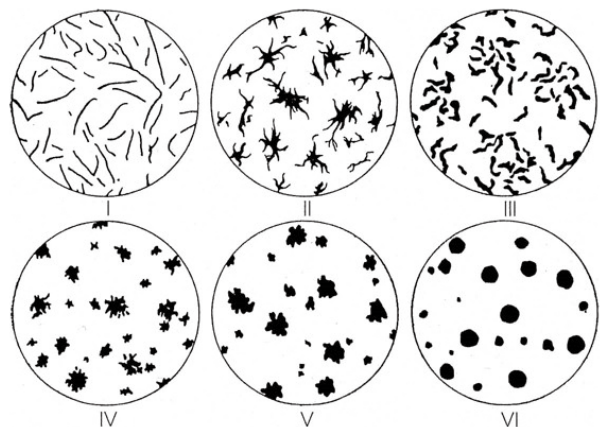


図2 黒鉛形態の分類

\*岩手大学 教授 鑄造技術研究センター

形態Ⅰは、片状黒鉛で、片状黒鉛鑄鉄はこの黒鉛が現れた鑄鉄でJIS規格 (G5501) ではねずみ鑄鉄品として分類している。形態Ⅱは、球状黒鉛鑄鉄を製造した場合にマグネシウム (Mg) などの黒鉛球状化剤が過剰に添加されたときに現れやすい先端の尖った黒鉛である。形態Ⅲは、黒鉛球状化剤が不足したときに現れる擬片状黒鉛であり、CV黒鉛鑄鉄はこの黒鉛が現れた鑄鉄である。形態Ⅳは、可鍛鑄鉄や黒鉛鋼に現れる塊状黒鉛である。形態Ⅴは、球状に近い擬球状黒鉛である。形態Ⅵは、完全な球状黒鉛で、球状黒鉛鑄鉄に多く現れる黒鉛組織である。これらの黒鉛形態の中でⅡ～Ⅵまでの形態は鑄鉄の中ではほとんどの場合常に均一で、無秩序な分布を示す。しかし、形態Ⅰの片状黒鉛は鑄鉄の化学成分、溶解履歴及び凝固時の冷却速度などの影響を受けて変化するので、図3に示すようにASTM A247では、A型からE型までの形態に分類している。A型は無秩序で均一な分布で、片状黒鉛鑄鉄では最も望ましい分布である。B型はバラ状黒鉛と呼ばれている。C型は過共晶成分の場合で、粗大な初晶黒鉛が現れたものである。D型は共晶状黒鉛と呼ばれ、チタン (Ti) を添加した溶湯や過冷された溶湯に現れやすい黒鉛である。E型は樹枝状晶間けき黒鉛と呼ばれる黒鉛分布である。

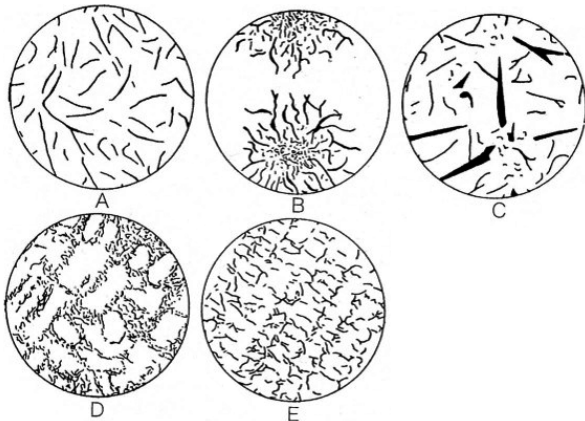


図3 片状黒鉛の分布状態 [ASTM A247]

## 2.2 基地組織

鑄鉄の基地組織は凝固時の冷却速度及び合金元素含有量や熱処理によって変化する。ここでは代表的な3つの基地組織を記述する。

### (i) フェライト

$\alpha$ -Feあるいは $\alpha$ 固溶体とも呼ばれ、極微量のCを含み、密度7.9、引張強さ200～400MPa、ブリネル硬さHB90～150程度の体心立方晶の軟質Feである。鑄鉄中のフェライトはSiを固溶しているので、シリコ・フェライトと呼ばれ、Si量が多いほど引張強さ、硬さは大きくなる。

### (ii) セメントイト

Fe原子3個とC原子1個で構成された斜方晶の化合物で、密度7.7、ブリネル硬さHB550である。鑄鉄組織の中で最も硬く、脆い組織である。

### (iii) パーライト

準安定系共析変態でオーステナイトはフェライトとセメントイトに分解 (変態) するが、この両相は立体的に板状に交互に重なって生成し、光学顕微鏡下では層状、縞状に見える。密度7.8、引張強さ800～900MPa、ブリネル硬さHB200～240程度の極めて強靱な組織である。

球状黒鉛鑄鉄では、通常図4に示すようにブルスアイ組織と呼ばれるフェライトとパーライトが共存している組織となっている。

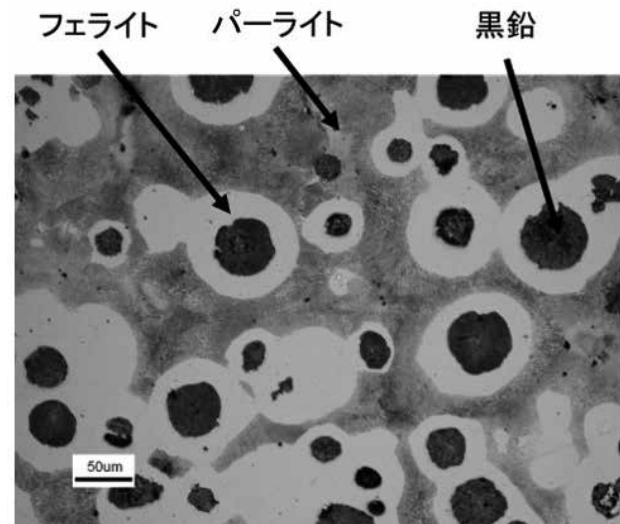


図4 球状黒鉛鑄鉄のブルスアイ組織

## 3. 鑄鉄の機械的性質

材料の引張強さ、硬さ、伸び、疲労強度などの機械的性質を総称して、広義の「強さ」あるいは「強度」という。これらはいずれも「変形と破壊による抵抗の尺度」である。

金属材料の強度はその組織によって決まる。鑄鉄の場合も強度は、黒鉛組織と基地組織、その他の組織に支配される。

### 3.1 片状黒鉛鑄鉄の強度

黒鉛の引張強さは20MPa程度であって、基地に比べて極めて小さい力で破壊する。このため、鑄鉄の強度は黒鉛を除いた基地部の強度とその形態、連続性で決まる。

細かいA型あるいはE型黒鉛が高強度を実現する。長いA型やB型、C型の黒鉛は、基地の連続性が低いために低強度である。

図5は、片状黒鉛鑄鉄の基地が延性的な場合(a)と



脆性的な場合(b)の引張荷重での破壊の進行の模式図である<sup>4)</sup>。(a)の基地が延性的な場合は、基地部の延性き裂、部分的な破断が多数生じ、黒鉛片沿いにこれらが連結することによって破壊が進行する。

一方、(b)の基地が脆性的な場合は、黒鉛片端からの脆性き裂の発生と伝播で破壊が進行する。

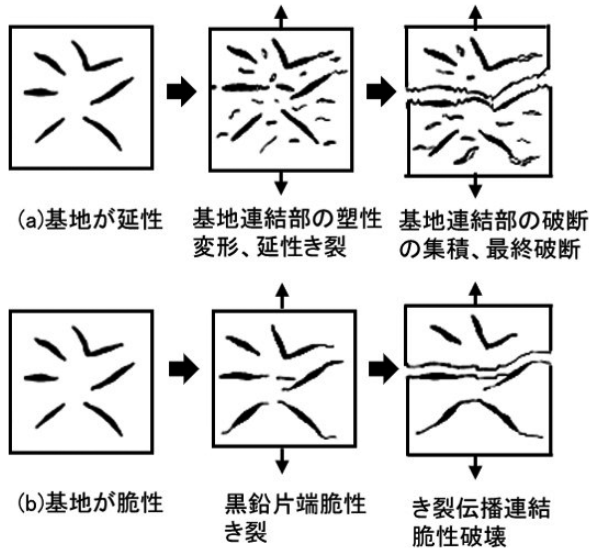


図5 片状黒鉛鑄鉄の引張破壊の進行

図6に片状黒鉛鑄鉄の応力-ひずみ曲線を示す<sup>5)</sup>。曲線は連続的に湾曲した形状で、明瞭な降伏挙動を示さない。片状黒鉛鑄鉄では、0.2%降伏点(耐力)を求めても意味がなく、0.05%などより小さいひずみによる耐力を定義する必要がある。

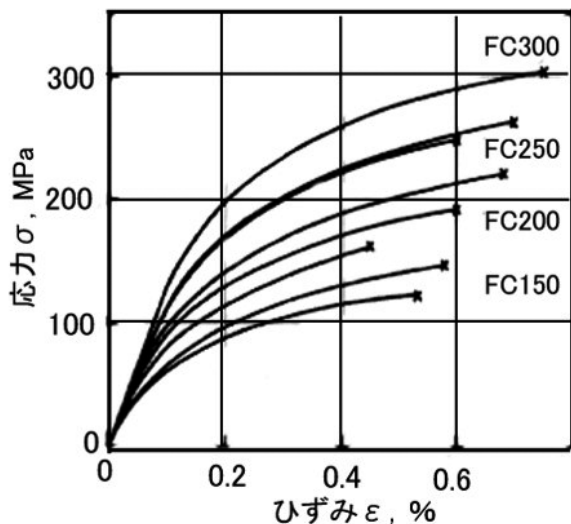


図6 片状黒鉛鑄鉄の応力-ひずみ曲線

### 3.2 球状黒鉛鑄鉄の強度

球状黒鉛鑄鉄では基地部の連続性が片状黒鉛の場合よりはるかに高い。また、球状化率が一定以上(お

おむね0.7以上)であれば、連続性の程度は黒鉛の僅かな形状(球状化率)や寸法の差によってほとんど変化しない。

図7は、球状黒鉛鑄鉄の基地が延性的な場合(a)と脆性的な場合(b)の引張荷重での破壊の進行の模式図である<sup>6)</sup>。

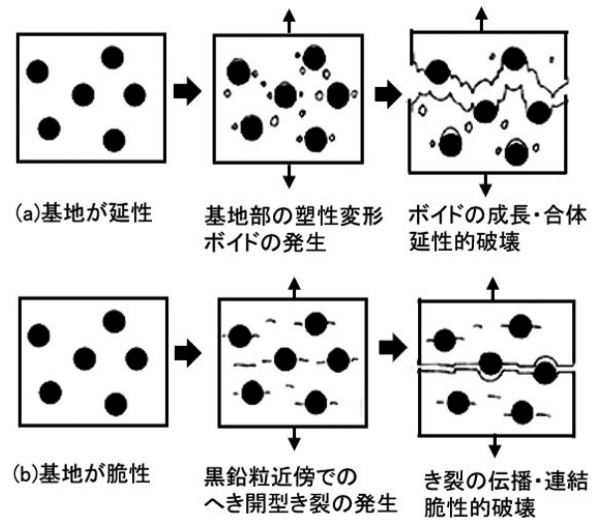


図7 球状黒鉛鑄鉄の引張破壊の進行

(a)の基地が延性的で十分に塑性変形を伴う場合、黒鉛粒近傍に生じたき裂が変形の進行に伴ってポイドとなる。また、基地内の粒界部、介在物のまわりにもポイドが生じる。これらがお互いに連結、合体して最終的に破断に至る。

破壊の経路は、近傍の最も近接した、あるいは最も大きな黒鉛粒などの弱い部分をジグザクにたどることになる。

(b)の基地が脆性的な場合、黒鉛粒近傍に生じたへき開型のき裂が成長し、最終破断はき裂の急速伝播によって生じる。

図8に、球状黒鉛、CV(芋虫状)黒鉛及び片状黒鉛鑄鉄の引張強さとCE値の関係を示す<sup>7)</sup>。片状黒鉛鑄鉄の強度はCE値により大きく変化するが、球状黒鉛鑄鉄の引張強さはCE値にほとんど依存しないこと、CV(芋虫状)黒鉛鑄鉄は、両者の中間となることがわかる。これは、片状黒鉛鑄鉄の強度は、基地の連続性(基地が分断されずに連続する割合)すなわち黒鉛片の形態や分布状態に大きく依存しているからである。しかし、球状黒鉛鑄鉄では球状黒鉛(体積率で約10%)が互いに独立、分散しているので、残りの90%が基地であるので、基地の連続性は片状黒鉛鑄鉄に比べてはるかに大きい。そのため球状黒鉛鑄鉄では基地組織に大きく依存し、CE値にはほとんど影響されないことになる。

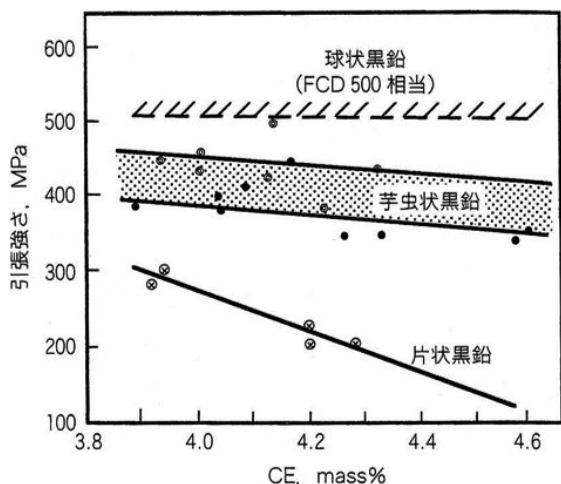


図8 各種鋳鉄の引張強さに及ぼすCE値の影響

図9に、基地組織が異なる4種類の球状黒鉛鋳鉄の応力-ひずみ曲線を示す<sup>8)</sup>。曲線1はフェライト基地、曲線2はフェライト+パーライト基地（ブルスアイ組織）、曲線3はパーライト基地、曲線4はベイナイト基地のオーステンパ球状黒鉛鋳鉄（ADI）である。曲線1のフェライト基地の場合、大きな伸びを示す。曲線2、3になるに従ってパーライト面積が増加するので、応力-ひずみ曲線全体は高応力側に移動する。

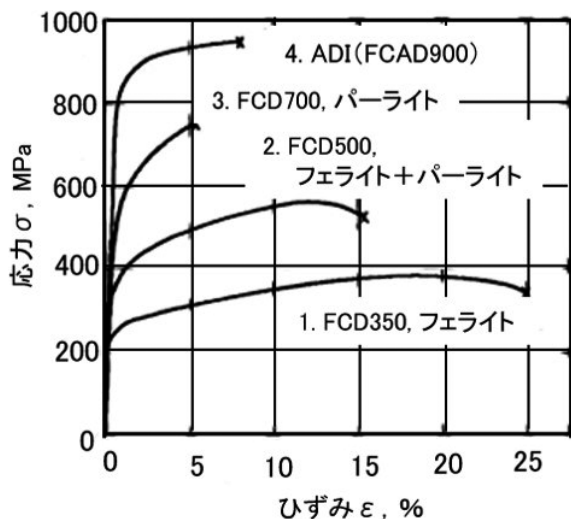


図9 球状黒鉛鋳鉄の応力-ひずみ曲線

図10に、球状黒鉛鋳鉄のパーライト面積率と引張強さ、伸びの関係を示す<sup>9)</sup>。パーライト面積率が増加すると引張強さは増加し、伸びはパーライト面積率が少し増えると急激に減少し、その後、緩やかな減少傾向を示す。

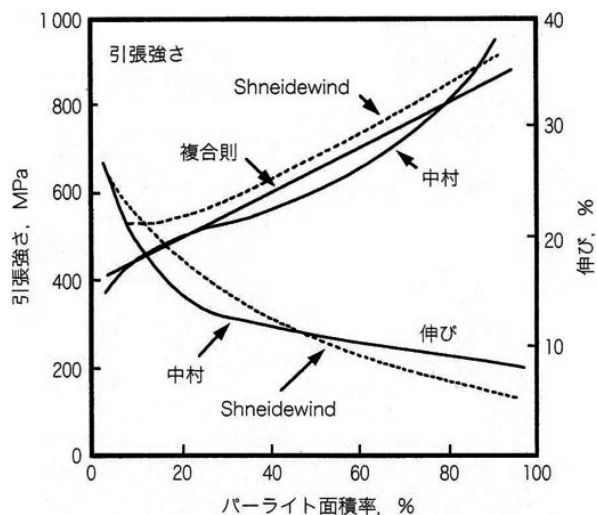


図10 球状黒鉛鋳鉄のパーライト面積率と引張強さ、伸びの関係

#### 4. おわりに

鋳鉄は、黒鉛と鋼が組み合わされた複合材料と見なすことができる。また、鋳鉄の強度は黒鉛組織と基地組織、その他の組織に支配されている。

片状黒鉛鋳鉄の強度は、第1に黒鉛片の形態つまり黒鉛片間の基地の連続性が影響し、第2に基地組織が影響している。

一方、球状黒鉛鋳鉄の基地の連続性は片状黒鉛鋳鉄に比べてはるかに大きい。そのため球状黒鉛鋳鉄の強度は、基地組織に大きく依存することになる。

鋳鉄の機械的性質、物理的・化学的性質は、黒鉛組織及び基地組織を制御することにより優れた特性を発現するので、組織制御された高強度・高機能鋳鉄は、様々な用途の工業製品への適用が期待される。本稿がそのための一助となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 令和2年の素形材産業年報：素形材62（2021）8
- 2) KYB油圧機器総合案内（詳細版）カタログ（建設機器・産業車両・農業機械・産業用）
- 3) A.B. Everest: Trans. Amer. Foundrym. Soc., 70（1962）210
- 4) 野口徹：鋳造工学, 77（2005）794
- 5) 野口徹：鋳造工学, 76（2004）333
- 6) 原田正治, 野口徹：球状黒鉛鋳鉄の強度評価, アグネ技術センター（1999）52
- 7) 日本鋳造工学会編：鋳造工学便覧（丸善）（2002）254
- 8) 原田正治, 野口徹：球状黒鉛鋳鉄の強度評価, アグネ技術センター（1999）50
- 9) 中村幸吉, 炭本治喜：鋳物, 39（1967）480

## 新時代のMESサービスの基礎構築

### Building the Foundation for MES Services in the New Era

雪 吹 研 斗 ・ ガブリエラ アナ マギン  
YUBUKI Kento ・ GABRIELLA Anak Magin

#### 要 旨

デジタル技術の進歩に伴い、製造業のデジタル化が進んできている。世界中の企業がIoT（Internet of Things：モノのインターネット）技術を活用し、工場の各設備をインターネットに繋げて、製造プロセスの改善や稼働の効率化を実現する「スマートファクトリー」の構築を目指している。

一方、日本の製造業では経験や勤による改善活動、作業教育など、人による取り組みで高い品質を保ってきたため、デジタル化の取り組みが遅れている。しかし近年では、労働人口の減少や世界経済の急速な変化が起きており、今まで以上の生産性や柔軟な生産体制が求められている。そのため、製造工程のデータを分析し、生産性向上や作業支援などに活用するシステムの「MES」や、設備や機器のデータを監視し、必要に応じて自動制御するシステムの「SCADA」が注目されている。

カヤバでもMESやSCADAに関する取り組みを進めており、生産ラインや設備から様々なデータを取得して利活用するシステムがいくつか稼働している。また、あらゆるデータを収集・保存・分析・利活用するためにIoTプラットフォームを自社開発した。しかし、従来から稼働しているシステムはIoTプラットフォームと連携できていないため、各々のシステム内で限られた分析しか実施できておらず、全体的なデータ利活用が実施できていない。

そこで本開発では、まずは1つの生産データ収集システムを対象にIoTプラットフォームを連携させることで、これらの課題を解決する先駆けとなる新たなサービスを構築した。本システムはIoTやクラウドの技術を活用して、データ収集・保存・可視化の機能を構築している。本報では製造工程のデータ利活用を実現するためにIoTプラットフォームと連携する仕組みと、開発した各要素機能について解説する。

#### Abstract

With the advancement of digital technology, the manufacturing industry is becoming increasingly digitalized. Companies all over the world are using the Internet of Things (IoT) to build “smart factories” where each device in the factory is connected to the Internet to improve the efficiency of the manufacturing process.

Japan’s manufacturing industry has maintained quality through improvement activities and worker training. For this reason, there has been little progress in digitalization efforts. However, in recent years, with the decline in the working population and rapid changes in the international market, production systems need to be more productive and flexible than ever before. This is why MES, which analyzes data from manufacturing processes to improve productivity and support workers, and SCADA, which monitors and automatically controls equipment data, are attracting attention.

KYB is also working on MES and SCADA, and has several systems in operation to acquire and utilize data from production lines and equipment. In order to collect, accumulate, analyze, and utilize data, an analysis platform called “IoT Platform” has been developed in-house. However, the systems that have been in operation for a long time are not linked to the IoT Platform, so only limited analysis can be done within the systems, and they are not being fully utilized.

Therefore, in this development, we have developed a new service that solves these problems by first linking the IoT Platform to a single production data collection system. This system utilizes IoT and cloud technologies to build its functions. This paper describes the integration with the IoT Platform and the functions we have developed to utilize data in the manufacturing process.

## 1 緒言

近年、デジタル技術の急速な進歩によって、世界の製造業が大きく変化してきている。あらゆる設備や機器がインターネットを介して繋がるIoT<sup>注1)</sup>技術を活用し、「スマートファクトリー<sup>注2)</sup>」を構築するために、積極的にデジタル技術の導入を進めている。製造工程からデータを収集・蓄積し、AI<sup>注3)</sup>などの先端技術を用いて分析することで、以下の効果が期待される。

- ・ 製造工程の非効率な部分を洗い出し、課題解決することで生産性・品質向上や低コスト化
- ・ 熟練の技術やノウハウをデータ化し、自動化や技術者の技能継承
- ・ 蓄積したデータを用いた需給予測や予知保全などの予測

一方、日本の製造業ではデジタル化の取り組みが遅れている。これまでの日本のものづくりは、熟練の技術や経験による改善活動や、規律を遵守する教育など、人による取り組みで高い品質を保ってきた。デジタル化の取り組みに対して多額の投資をする企業は少なく、品質維持は技術者のノウハウに頼る属人的な方法が主流となっている。しかし、近年では少子高齢化による労働人口の減少、世界経済の急速な変化などに対応しきれず、日本の競争力が低下している。そのため、日本の製造業でもデジタル化の取り組みが目目されている。

企業のデジタル化を推進するシステムは数多く存在しているが、製造業で重要とされているシステムは以下の3つである。

- ・ ERP (Enterprise Resource Planning)
- ・ MES (Manufacturing Execution System)
- ・ SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

ERPは統合基幹業務システムと呼ばれ、企業のヒト・モノ・カネ・情報等の経営資源を一元管理するシステムである。ERPは財務管理や顧客管理、在庫管理、人材管理など企業経営に必要な情報を管理・蓄積するためのシステムが一通り揃っており、企業の意思決定を支援する役割がある。

MESは製造実行システムと呼ばれ、製造工程の把握・管理・支援をするシステムである。生産設備や生産管理、品質などのデータを活用し、生産性・品質向上や作業者の支援などをする。ERPは企業全体の管理システム、MESは製造工程に特化した管理システムという違いがあり、MESを上位システムのERPと連携させることで、リアルタイムの製造工程のデータを用いた意思決定が可能となる。

SCADAは製造工程の監視や制御をするシステム

である。生産設備の稼働状況や計測データを監視し、必要に応じて制御を行う。MESは生産関係のデータを分析し活用、SCADAは製造工程の状況をリアルタイムで監視という違いがあり、SCADAを上位システムのMESと連携させることで、製造工程の管理と異常時の自動制御が可能となる。

これらのシステムを連携すると、経営陣を含めた全従業員が上流から下流までデータを俯瞰して、意思決定や改善活動、新規ビジネス創出など、データに基づいて様々な活動を行うことができる。

カヤバでも生産ラインや設備から収集したデータを活用する取り組みは以前から行われており、代表的なシステムとしてPOPICS (Point of Production Information Collection System) やラインモニタリングシステム (以下ラインモニタ) がある (各システムの詳細は次章に記載)。これらのシステムは、生産ラインや設備から稼働データを収集し活用するシステムで、生産システムの中で図1のような位置付けと考えられている。POPICSについてはERP、MES、SCADA間でデータ連携できているが、ごく限られたデータしか連携できていない。ラインモニタについては、SCADA領域において新しい技術を使いながら様々な機能拡大を図っているが、MESやERPといった上位システムの検討がされておらず、全体として製造工程のデータ活用が不十分である。

そこで、ラインモニタで構築したSCADAをMESに連携させ、今後も機能拡大可能な新たなMESサービス (図1) を構築したので、その詳細と関連するシステムについて解説する。

注1) Internet of Thingの略で、直訳するとモノのインターネット、あらゆるモノをインターネットに繋ぎ、活用する試み全般のことを示す。

注2) 工場内の各設備がインターネットを介して繋がっており、製造プロセスの改善や稼働の効率化を実現する工場のこと。各設備から取得したデータを高度に分析し活用することで、工場 (生産) や経営の最適化を図る。

注3) Artificial Intelligenceの略で、人工知能のこと。

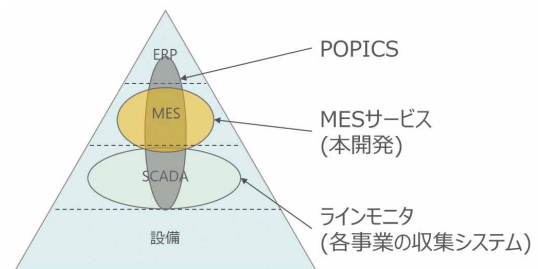


図1 社内の取り組みと役割

## 2 カヤバでの取り組み

### 2.1 POPICS (図2)

カヤバではPOPICSという生産ラインのデータ収集システムを20年以上前<sup>1)</sup>に開発し、導入している。

POPICSはラインに設置したパネルコンピュータを通して、生産指示といった上位側からのデータ転送、設備のI/Oを利用したサイクルタイムの収集、作業による不良実績報告などの下位側からのデータ収集など実施している。また、収集したデータを生産性などのKPI<sup>注4)</sup>として集計し、管理者などに見える化アプリケーションとして提供している。

上位システムとの連携も一部できており、原価情報や在庫管理情報などを管理するシステムからデータを参照することも可能となっている。

しかし、データ収集単位がライン単位であるため、設備の不具合対策や改善活動などへの利用に対応できず、ユーザのニーズに対応できないシステムとなっていた。

注4) Key Performance Indicatorの略で、目標の達成度を評価するための主要業績評価指標のこと。

ライン Aライン										E1A	10/30	11:02:11
No	背番号	ロットNo	計画	投入	良品	不良	実績CT	人員	進捗	良品累計		
1	KYB1	LOT1	1	1	1	0	0.0	4.00	●	43		
2	KYB2		50	47	42	0	15.2	4.00	▲			
3	KYB3		4	0	0	0	0.0	4.00				
4	KYB4		66	0	0	0	0.0	4.00				

図2 POPICSの画面例 (データはサンプル)

### 2.2 ラインモニタ

現在、主力製品であるショックアブソーバ生産工場の生産ラインを中心に、「革新的モノづくり」の推進に取り組んでいる。この活動では、AIやIoT技術を積極的に活用し、設計から生産までのモノづくりシステムを再構築することで以下の目標達成を目指している。

- ①生産性2倍
- ②設計～生産リードタイム1/2
- ③不良ゼロ化

そこで生産ラインにIoT技術を投入し、高い生産性と品質の確保のために、製造工程の見える化システムのラインモニタを開発した。本システムは前節

で述べたPOPICSの改良版の位置づけとして2017年に開発され、順次導入が進められている。従来システムのPOPICSはライン単位のデータしか収集できなかったが、ラインモニタは設備単位のデータ収集が可能となり、各設備のリアルタイム監視ができるようになっている。

ラインモニタは各設備のPLC<sup>注5)</sup>が稼働データを収集し、各ラインに設置されている統括PLCにデータを集約し、ライン内サーバに構築したデータベース(以下DB)でデータの保存をしている。また、ライン内サーバで稼働している見える化ソフトによって、大型モニタでのデータの見える化を実現している(システム構成は4.3節に記載)。

見える化画面は図3のようになっており、生産情報のKPIや設備毎の稼働状況、計測値などの品質情報、加工条件の情報などが閲覧可能である<sup>注6)</sup>。これらの情報をリアルタイムで見える化できるようになり、設備単位の異常を即座に把握して対策できるようになった。

しかし、現状のラインモニタでは複数ラインの比較や長期的なデータ分析には至っておらず、多角的な分析が課題となっている。

注5) Programmable Logic Controllerの略で、リレー回路の代替装置として開発された制御機器。生産設備の制御に用いられることが多い。

注6) 一部の情報は非公開とし、意図的に消去またはぼかしを入れてある。

No	背番号	計画数	投入数	良品数	不良	実績CT
1	WRS	112 pcs	14 pcs	10 pcs	0 pcs	15.6 sec
2	WRS	56 pcs	56 pcs	56 pcs	0 pcs	16.0 sec
3	WRS	28 pcs	28 pcs	28 pcs	0 pcs	16.3 sec

図3 ラインモニタの画面例 (データはサンプル)

### 2.3 KYB-IoTプラットフォーム (図4)

カヤバでは社内のあらゆるデータを分析・利活用するために、2020年にKYB-IoTプラットフォーム<sup>注7)</sup>というデータ分析基盤を自社開発した。KYB-IoTプラットフォームは「誰でも、いつでも、どこでも簡単にデータ分析や利活用ができる」というコンセプトのもと開発されており、収集データの保存やAIやBI<sup>注8)</sup>

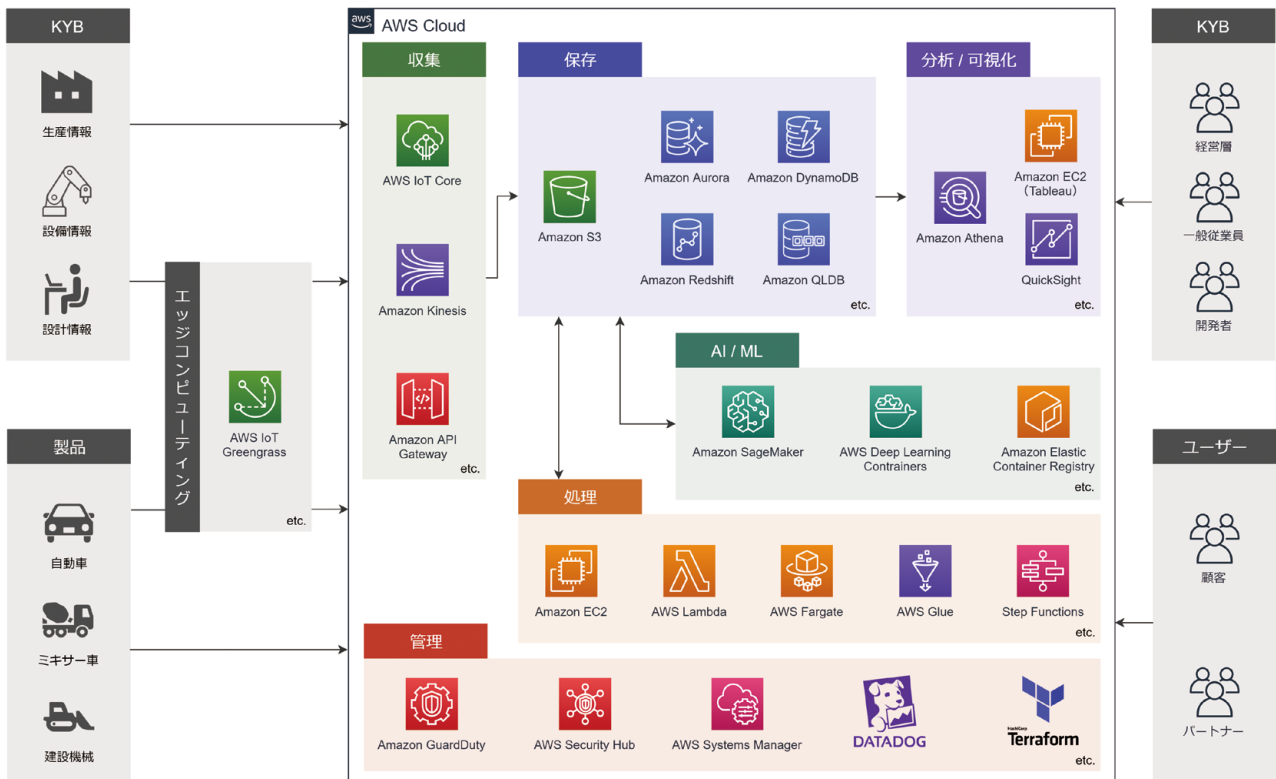


図4 IoT-Platformの概略図

でのデータ分析・利活用を簡単かつスピーディに開始できる。

KYB-IoTプラットフォームはパブリッククラウドのAWS (Amazon Web Services) 上に構築されており、データ量や処理量に合わせてストレージ容量や処理能力をスケールすることができる。また、クラウド上に構築されているため、場所を問わずに使うことができ、グローバル展開がしやすい。開発面でも豊富なクラウドサービスを活用し、サービスの新規開発、機能追加などを効率的に進めることができる。

KYB-IoTプラットフォーム上で稼働しているシステムとして設備予知保全システム<sup>2)</sup>について紹介する。設備予知保全システムでは振動や温度のような設備の状態を特定するためのデータを収集し、AIで分析することで故障の兆候を予知している。その結果をBIツールで可視化し、ユーザ部署で確認することで予知保全を実現している。

この事例では、収集したデータの保存やAI分析、BIツールでの可視化をKYB-IoTプラットフォームで実現している。他にも故障度が閾値を上回ったら通知を出す機能の実装や可視化画面の改良もされており、システムの機能追加や改良も随時行われている。

注7) ネットワークに接続されたIoTデバイスから大量のデータを収集し、可視化や分析、制御を行うためのシステム基盤のこと

注8) Business Intelligenceの略で、データを収集・蓄積・

分析し企業活動の意思決定を支援すること。

## 2.4 社内システムの現状の課題

社内には図5のように多くのシステムが存在しているが、それらのシステムが密に連携されているとは言えず、カヤバ全体の最適化にはなっていない。他システムとデータを連携できれば、今まで見てこなかった現象や会社の状況が、より正確に見えるはずなので非常にもったいない状態である。

生産関係のシステムには、2.2節に記載したラインモニタや、2.3節に記載したKYB-IoTプラットフォームの開発や展開が進んでいるが、それぞれのシステム間連携が進んでおらず、データの利活用が不十分である。

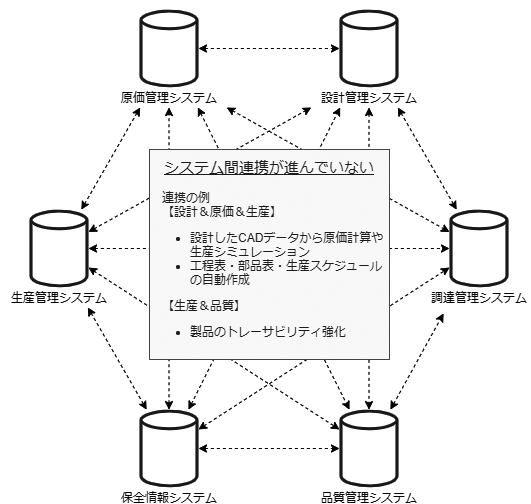


図5 社内システムの現状

また、ラインモニタをはじめとする各拠点で検討・開発されているデータ収集システムを見ても、各システムで収集するデータフォーマットが統一されておらず、それぞれでデータ保存環境や見せ方が異なっている状況である。そのため、システム間でのデータ連携が難しくなっている。

これらの課題を解決するために、データをKYB-IoTプラットフォームに集約することを検討している。また、各拠点のシステムから収集されるデータが異なるため、どの拠点でも収集でき、分析に活用できる「CT<sup>注9)</sup>・MT<sup>注10)</sup>・異常時間」などの標準的なデータを使ったデータ収集フォーマットを決める必要がある。

本開発では製造工程のデータをKYB-IoTプラットフォームに集約し、他システムと連携する仕組みの基礎構築を実施したので次章にて詳細を解説する。

注9) Cycle Timeの略で、1つの作業が完了してから次の作業が完了するまでの作業サイクル時間のこと。

注10) Machine Timeの略で、機械の加工時間のこと。

### 3 要件

本システムを運用し、生産関係のデータを利活用していくための要件を以下に示す。

- ①収集するデータを標準化し、KYB-IoTプラットフォームにデータの保存ができるようにすること。
- ②データの収集漏れがなく、収集データがすべてKYB-IoTプラットフォームに保存されていること。
- ③設備単位の分析や長期的なデータを使った分析ができるようにすること。
- ④設計情報や原価情報など、他の社内システムとの連携ができるようにすること。
- ⑤グローバルで使えるシステムにすること。
- ⑥水平展開や機能追加などが容易なこと。

## 4 MESサービスの開発

### 4.1 システム概要

本開発は前章で述べたKYB-IoTプラットフォームとラインモニタを連携させ、製造工程のデータを分析・利活用するシステム構築が目的で、将来的にはグローバル拠点含めた全社的な展開に向けて進めている。

構築したシステムの概略図を図6に示す。ラインモニタで各設備からデータを収集し、決められたフォーマットでデータを保存する。データはすべてKYB-IoTプラットフォームに保存し、全社の生産に関するデータを一元管理することが可能である。保存されたデータは瞬時に可視化され、データ分析が可能となる。

データが一元管理されていることで他システムと

連携がしやすく、他システムのデータを使った多角的な分析も可能である。

本開発の実施事項を大きく分けると以下の4つに分けられ、詳細は次節より解説する。

- ・データ収集フォーマット標準化
- ・データ収集
- ・データ保存
- ・データ可視化・分析

### 4.2 データ収集フォーマット標準化

データ収集システムからKYB-IoTプラットフォームに書き込むデータが拠点毎に異なると、統一した指標のデータ利活用ができないため、あらかじめ収集が必要なデータを標準化した。収集するデータは、改善活動する上でどの拠点でも必要となる重要なデータを選定し、データ収集タイミングやデータの内容毎にまとめた結果、表1に示す4種類に分類した。分類した各データに対してデータフォーマットを定めることで、収集データの標準化を実現した。

1つ目は、生産実績（実績CTやMT、段替時間など）をKYB-IoTプラットフォームに保存するフォーマットである。本フォーマットでデータを保存すると、CT/MTや段替時間、可動率を同時に見ながら生産性悪化の原因追跡などが可能となる。

2つ目は、設備アラーム（アラーム発生日時やアラーム種類、停止時間など）をKYB-IoTプラットフォームに保存するフォーマットである。本フォーマットでデータを保存すると、優先的に対処すべき設備アラームの絞り込みや、設備アラームの発生ログ確認などが可能となる。

3つ目は、ジグや工具の交換データ（交換日時や残りの使用回数）をKYB-IoTプラットフォームに保存するフォーマットである。本フォーマットでデータを保存すると、ジグや工具を交換した原因追及などが可能となる。

4つ目は、計測データ（計測値や計測項目）をKYB-IoTプラットフォームに保存するフォーマットである。本フォーマットでデータを保存すると、管理図を使った日々の傾向管理やアラーム情報と紐付けた異常原因追跡などが可能となる。また、設備によっては一度に複数の計測項目を計測し、その計測データを保存する場合がある。その際のデータを縦持ち<sup>注11)</sup>にすることで、設備や測定項目を変更する対応の簡易化や、データ分析時の使い勝手を向上している。

一方、拠点によっては前述したフォーマット以外のデータも収集したい場合がある。そこで本開発では、拠点個別のデータはファイル形式で保存することにした。そのファイルでは、ライン・設備・収集日時・収集データタイプなど、対象データを識別す

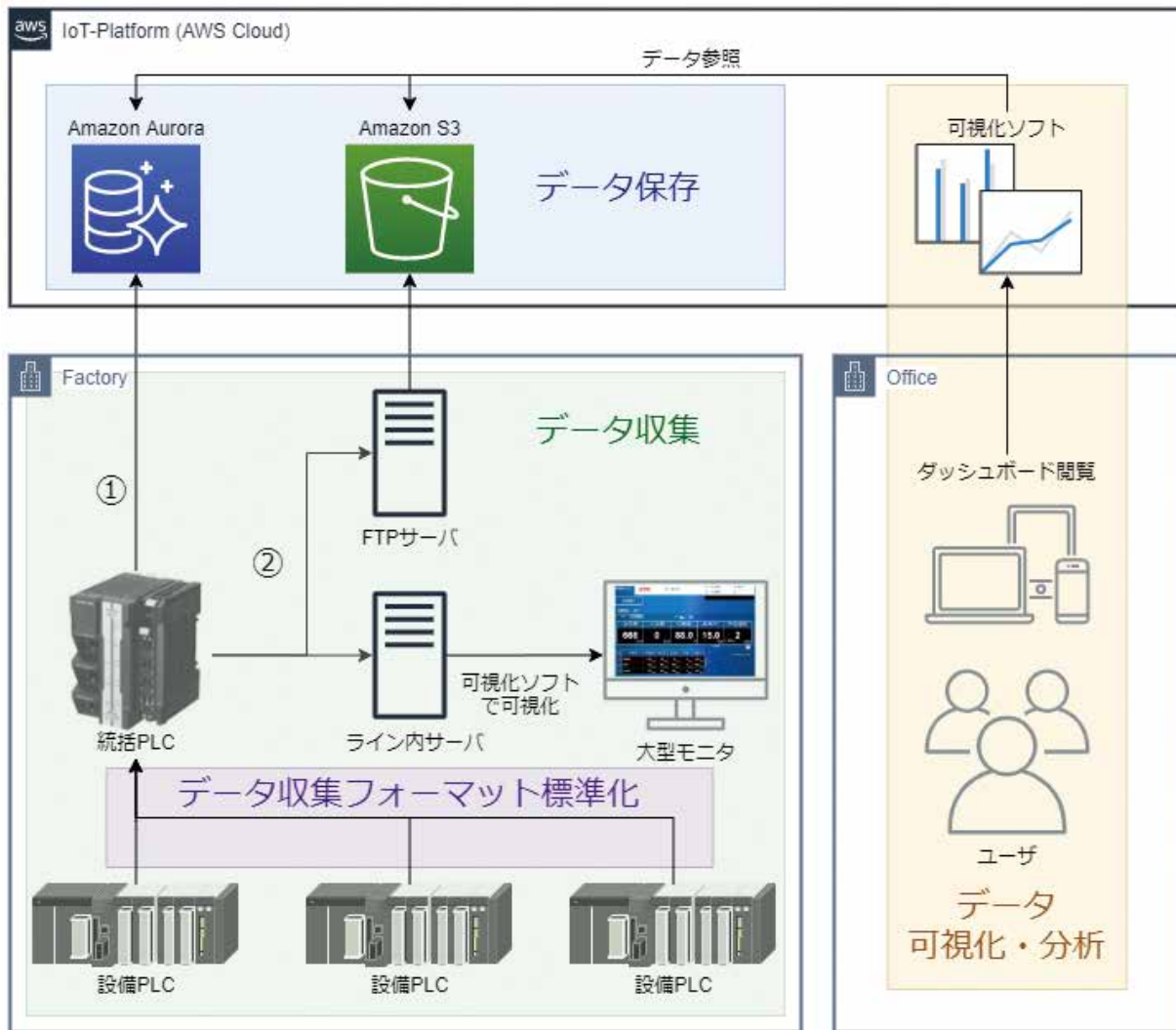


図6 MESサービスの構成図（概略図）

るための情報を共通項目として、拠点によって変わってくる具体的なデータを共通項目の後に保存させるようにした。データ収集対象によってデータ項目や件数は異なるが、KYB-IoTプラットフォーム側でデータを識別し、その後の処理（前処理の実施やDBに保存など）を実行できるようにしている。

注11) データ構造の一種で、縦（行）方向にデータを追加していく構造のこと。

表1 データ収集フォーマット

データ分類名	収集データ
生産実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>実績CT</li> <li>実績MT</li> <li>段替時間</li> </ul>
設備アラーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生日時</li> <li>アラーム種類</li> <li>停止時間</li> </ul>
ジグ交換実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>交換日時</li> <li>交換時の残り使用回数</li> </ul>
計測データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測項目</li> <li>計測値</li> </ul>

### 4.3 データ収集

データ収集システムに関しては各拠点で検討が進んでいるが、本節ではラインモニタについて解説する。注意書きとして、ラインモニタと同じ構成のデータ収集システムでないとKYB-IoTプラットフォームと連携ができない訳ではないことをここに明示しておく。

ラインモニタの構成図は図6のデータ収集の部分に該当する。ラインモニタは、各設備のPLCが持つ稼働データを統括PLCに集約し、各ライン内サーバに構築されているDBでデータ保存をしている。そして、ライン内サーバ上で稼働している可視化ソフトを使って大型モニタ上にデータをリアルタイムに表示している。また、統括PLCからKYB-IoTプラットフォームに対して以下の2パターンのデータ転送を行って、データの保存をしている（図6 ①、②）。

- ①統括PLCからKYB-IoTプラットフォーム上のDBに直接書き込む方法
- ②統括PLCで作成されたCSVなどのファイルをFTP通信で転送する方法



①の方法はデータが構造化<sup>注12)</sup>されており、データの発生頻度が少なく(数秒単位)、保存されたデータの活用頻度が高い(=データのアクセス頻度が高い)場合に選択する。具体的にはCT/MTや設備アラームなどを、設備のサイクル完了時やアラーム解除時に1件ずつDBに書き込んでいく。こちらの方法についてはDB書き込みに対応したPLCでないとは対応できないため、あらかじめ対応するPLCを準備する必要がある。

②の方法は統括PLCで収集したデータをファイル形式で保存し、FTP通信で社内FTPサーバに転送してから、KYB-IoTプラットフォーム上のストレージにデータを保存する。ミリ秒単位といったような単位時間あたりに大量のデータが発生する場合や非構造化データの場合など、DBで取り扱うことができない場合にこちらの方法を選択する。具体的には計測データや設備の加工条件(電流や温度)などのデータ、ある一定サンプリングでPLC内に随時記録しておき、段替や生産終了のタイミングで複数のデータがまとまった1つのファイルを生成し、それを定期的にFTP通信で転送している。ファイルに保存されたデータを閲覧する場合、DBに比べるとデータの検索スピードが遅くなるが、データの活用頻度(データのアクセス頻度)がそこまで高くない想定であり、運用上の大きな問題にならないと認識している。こちらの方法は幅広いPLCに対応していることを確認している。それぞれの保存方法の詳細については次節で解説する。

注12) データ項目の形式や順序など事前定義し、定められた構造となるように整形すること。

#### 4.4 データ保存

前節でも述べた通り、データ保存の方法を2種類構築した(図6)。

図6の①の方法では、取得したデータを保存するために、KYB-IoTプラットフォーム(クラウド)上にDBを構築した。DBはAmazon Auroraという、AWS完全マネージド型<sup>注13)</sup>の高性能なRDB<sup>注14)</sup>サービスを使用しており、性能・拡張性・安全性・可用性が高い特長を持つ。データ読み込みのパフォーマンスも高いため、SQL<sup>注15)</sup>を使って複数のデータを関連付けながら高速にデータの検索が可能である。

図6の②の方法は、統括PLCでファイル化したデータを保存するために、Amazon S3(以下S3)というクラウドストレージサービスを使っている。このサービスは、耐久性・安全性・可用性が高く、容量は実質無制限で、Amazon Auroraと比べても低コストで運用できるなどのメリットが多い。しかし、S3のデータを検索するサービスは、RDBと比べると複雑な

データ検索が難しく、検索速度が遅くなってしまう。大量のデータを保存する場合は表2のようにデータ保管コストの面で差があり、データ活用頻度によって保存先を変更することでコストを抑えることができる。データの発生頻度と利活用の頻度を考え、2つの方法を使い分けることが重要である。

表2 保存方法の比較表

	Aurora	S3
データ量	少ない	多い
活用頻度	高い	低い
保管コスト <sup>注16)</sup>	0.12USD/毎月のGBあたり	0.025USD/GB <sup>注17)</sup>

注13) AWSがサーバやOSの管理、障害の対応などを代行するサービスのこと。ユーザはサービスの使用に注力できるため、開発効率の向上や運用コストの低減ができる。

注14) Relational Data Baseの略で、データを複数の表として管理し、表と表の関係を定義することで複雑なデータの関連性を扱えるようにしたデータベースの表式のこと。

注15) Structured Query Languageの略で、RDBの管理ソフトウェア操作・制御する国際標準のデータベース言語のこと。

注16) 2021年12月21日現在の東京リージョンにおける価格。Auroraについてはデータ保管に関するコストのみに限定して記載している。

注17) S3は保管するデータ容量に応じて段階的に価格が安くなる。本表には50TB/月の利用料を記載している。

#### 4.5 データ可視化・分析

収集されたデータを可視化・分析するためにBIツールのTableau<sup>注18)</sup>を使った画面を開発した。

可視化・分析画面はKYB-IoTプラットフォームのデータを参照しており、データが保存されたら瞬時に閲覧が可能となっている。本開発で作成した可視化画面一覧を図7に示す。図7に示す画面は全拠点を対象にした標準的な画面であり、現状では18画面提供している。中には複数のデータを組み合わせた画面もあり、多角的な分析を可能にした。また、各画面間は連携されており、画面を操作しながら詳細な分析画面へ移動し、分析を深めていくことができる。本節では開発した画面の一部を解説する。

注18) 業界トップのBIツールで、データの可視化や分析を簡単に行うことができるツール。KYBでも導入・展開が進められている。

##### 4.5.1 生産全体の俯瞰画面(TOPページ)

図8は生産の実績を俯瞰して閲覧できる画面である。設備毎のCT・MT・段替情報・可動率・設備アラーム情報・ジグ交換情報を横並びで表示し、生産性悪

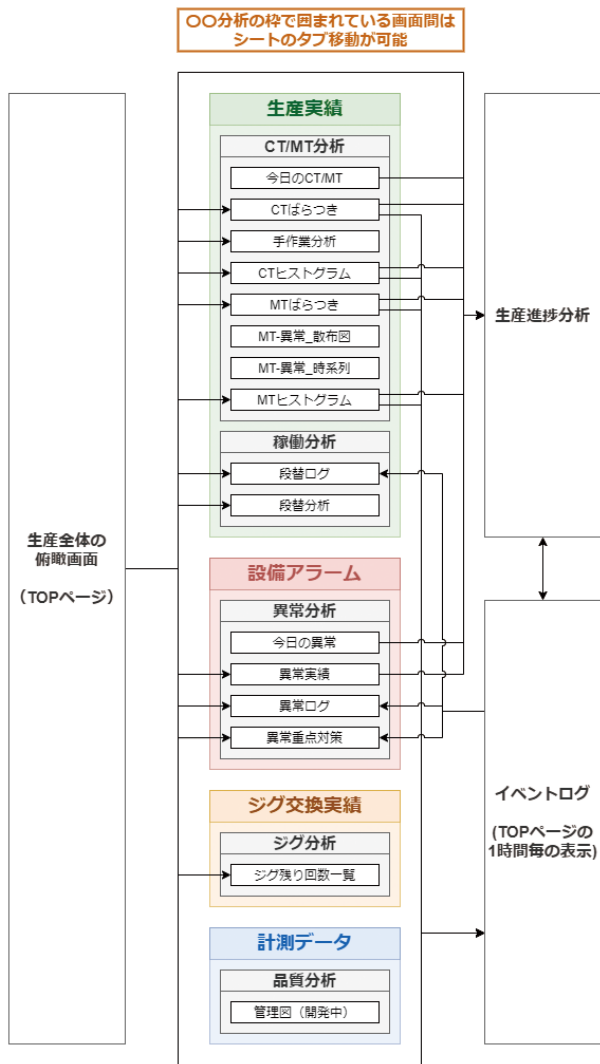


図7 可視化・分析画面間の連携

化について様々な角度から要因の絞り込みをすることができる<sup>注19)</sup>。本画面は1日毎に集計したデータの推移を表示しており、各グラフを見て問題となっているデータ（例えば基準よりCTが長い、異常が多いなど）の有無を把握する。問題があれば連携されている他の分析画面へ移動し、深堀調査が可能である。

注19) 一部の情報は非公開とし、意図的に消去またはぼかしを入れてある。

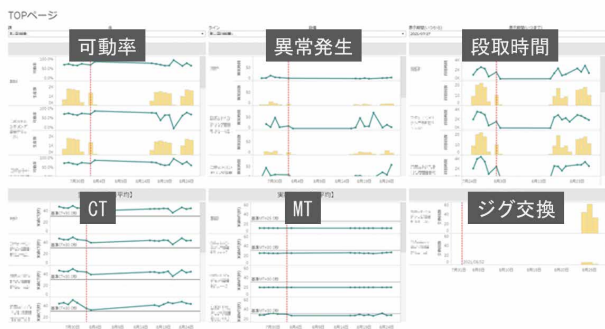


図8 生産全体の俯瞰画面（TOPページ）

#### 4.5.2 CTヒストグラム画面

図9は指定期間内の実績CTについて、時間軸を考慮した2次元ヒストグラムの形式で確認できる画面である。画面上側が指定期間全体のCTヒストグラムで、グラフ横軸はCTを1秒単位で区切ったビン、縦軸は度数である。画面下側が1日毎のヒストグラムを色の濃淡で表現したグラフで、色が濃い部分は度数が多いことを表している。縦軸は1日単位の日付（上側から下側へ時系列表示で、一番下側が最新の日付）となっており、日々のCTばらつき（分布）を閲覧できる。期間全体のヒストグラムで通常時のCTを把握し、1日毎の表示を確認することで普段よりCTが悪化している原因が突発なのか慢性的なのか把握することができる。突発で発生している場合は、前項の画面で要因の絞り込みを実施し、その対処をすることが効果的である。慢性的に発生している場合は、作業や加工プログラムの見直し、慢性的に発生している異常がないかなど確認すると効果的である。

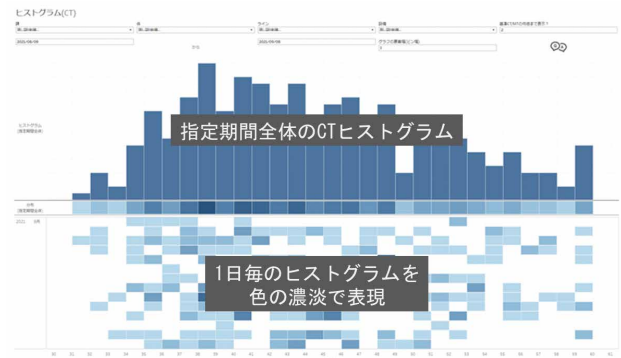


図9 CTヒストグラム画面

#### 4.5.3 アラーム重点対策画面

図10は指定期間内の設備アラームをパレート図で確認することができる画面である。パレート図は設備アラームの発生回数（画面左側）と停止時間（画面右側）の観点で作成しており、発生回数が多く、停止時間が少ないと頻発停止が多く発生していると考えられ、停止時間が多く、発生回数が少ないとドカ停が発生していると考えられる。基本的には発生回数や停止時間が多いうアラームについて重点的に対応していくと、生産性向上の効果が出やすい。生産性悪化の要因になっている設備アラームを絞り込むことができたなら、その後は設備の調整や、作業改善などの改善活動に繋げることができる。



図10 アラーム重点対策画面

#### 4.5.4 画面のカスタマイズ

本開発で作成した可視化画面は、全拠点を対象にした標準的な画面である。標準画面だけでも基本的な分析は可能としているが、拠点によってはより詳細な分析を実施したいことが想定される。その場合はユーザーがTableauを使って必要な可視化画面を作成できる環境を提供している。また、作成した可視化画面は簡単にWeb共有でき、他部署の人が作成した画面をダウンロードして、自部署で使いやすいようにカスタマイズすることもできる。

画面の作成方法（Tableauの使い方）については、人材<sup>注20</sup>育成の体制を整え、本システムの展開が進むにつれてユーザー側が自走できるようにしている。

注20) カヤバでは「人材」を「人材」としている。

## 5 今後の展望

本開発により製造工程のデータを利活用するシステムの基礎構築が完了した。現在はKYB-IoTプラットフォームにデータ収集しているラインについてユーザーのフィードバックをもらいながらシステムの改良や機能追加を進めている。また、ラインモニタ以外のデータ収集システムとの連携も進めており、古くから稼働している既存設備からのデータ収集やデータ利活用が進んでいる。

今後は本システムのグローバル展開を進めながら、

システムの改良や機能追加を進めていく。展開を進める上でいくつか課題があり、展開が進むと収集されたデータを保存する回数が増えるので、処理能力の再検討やデータ収集端末からの書き込み方法の再検討が必要となる。可視化画面についても読み込むデータの増加に伴い、画面表示速度の低下や操作性の悪化が考えられるため、都度検討が必要となる。

他システムとの連携も検討を進めていく予定である。すでに運用され、データを収集しているシステムについては、データをKYB-IoTプラットフォームに集約していき、これから構築・導入するシステムについては、連携する仕組みを順次開発する。

最終的には全社のデータが一元管理され、それらが密に連携されており、必要な時にデータの利活用やデータに基づいた意思決定ができる体制を目指す。それにより、部門間の連携強化・生産リードタイムの短縮など、エンジニアリングチェーンの強化や、製品の信頼性向上・生産体制の柔軟化などサプライチェーンの強化を目指していく。

## 6 結言

本開発によって、製造工程のデータを利活用する仕組みができた。MESは製造業のデジタル化を進めるうえで、上位システムと下流の各設備を繋ぐ存在である。本開発機能は生産管理システムにおけるMESの一部であり、今後も改良や機能追加、他システムとの連携を進めていき、生産性向上や品質向上に貢献することを目指していく。

最後に、本開発にあたり多大なるご支援、ご協力を頂いた関係部署の方々に、この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 山本：工程管理システムの構築。カヤバ技報第14号（1997年4月）。
- 2) 古川・井指：設備予知保全システムの開発。KYB技報第63号（2021年10月）。

## 著者



雪吹 研斗

2016年入社。技術本部DX推進部。BIツールを用いた分析画面開発に従事。



ガブリエラ アナ マギン

2015年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部SA生産技術部第二生産技術課第2係。生産準備業務に従事。

## 油圧作動液中の気泡含有量コントロール技術の研究

## Research on Technology to Control Air Bubble Content in Hydraulic Fluid

北村佳彬・小寺康大  
KITAMURA Yoshiaki・KODERA Yasuhiro

## 要 旨

自動車の無段変速機（Continuously Variable Transmission（以下CVT））等に用いられる油圧ポンプにおいては、油圧回路自体の振動により空気が油圧作動油表面から混入し、また作動油からもキャビテーションにより気泡として析出する。CVT用ポンプにおいては、その使用環境で油圧回路内の作動油に10%から多いときには30%以上の気泡が混入しているといわれている。こうした気泡はポンプの吐出性能低下や、振動・騒音、耐久性の低下等の不具合発生の原因ともなる。

したがって、ポンプ開発においては気泡含有量を考慮した実使用条件下での性能評価を行う必要がある。しかしながら、一般的に気泡含有量を安定的に調整することは困難である。

そこで、作動油中の気泡含有量を制御する装置および手法を開発している。まず油中の気泡除去技術として旋回流を用いた方式<sup>1)</sup>に着目し、気泡分離装置を作製した。この装置の気泡分離効果については、解析的・実験的に十分であることを確認した。さらに、気泡分離装置を実機ポンプ試験装置に取り付け、気泡除去効果が得られるかを検証した。最後に、気泡含有量を自動制御させるため、気泡分離装置の放気口側の弁の開閉を制御することで、任意の気泡含有率を得られるかを検証した。本報では以上の内容の検証結果について解説する。

## Abstract

In hydraulic pumps used in Continuously Variable Transmission (CVT) of automobiles, air is mixed from the surface of hydraulic fluid due to vibration of the hydraulic circuit, and also the dissolved the air appears in the working oil due to the cavitation. In CVT pumps, 10% to more than 30% of air bubbles are contained in the hydraulic fluid in the hydraulic circuit under the operating environment. These bubbles cause many problems such as pump discharge performance reduction, as well as degradation related to vibration, noise, and durability.

Therefore, when developing a pump, it is necessary to evaluate its performance under actual operating conditions, taking into account the bubble content. However, in general, there are no devices or methods to stably adjust the bubble content.

To solve this problem, KYB has developed a device and method to control the bubble content in the hydraulic fluid. First, we focused on a method using a swirling flow as a technique for removing bubbles from oil, and fabricated a bubble separation device. Second, we analytically and experimentally confirmed that the bubble separation effect of this device was sufficient.

Furthermore, we installed the bubble separator in the actual pump test equipment and verified whether the bubble removal effect could be obtained. Finally, to automatically control the bubble content, we verified it was possible to obtain the desired bubble content ratio by controlling the opening and closing of the valve on the outlet side of the bubble separator. In this report, the results of the above verification are described.

1 緒言

油圧作動油には、大気圧下で数%の空気が溶解しており、写真1のような油圧ポンプ等の内部においては、油路の局所的な圧力低下により、いわゆるキャビテーションの気泡が発生する(図1)。これにより析出した小さな気泡は作動油中に一定時間停留し、再び溶解したり、浮上して消泡したりするには時間を要する。また油圧回路やタンク自体が振動することによる巻き込み(スロッシング)によっても空気は作動油表面から混入する。このような形態から、空気の混入機会が多い自動車のCVT用油圧回路内の作動油では、10%から多いときには30%以上の気泡が混入しているといわれている。多くの気泡が混入した作動油は写真2のように気泡含有率が低いときと比べ白濁した状態となる。こうした作動油中の気泡は機器のトラブルの原因となる油中の固形微粒子や水分に継ぐ第3のコンタミネーション<sup>2)</sup>とも呼ばれており、振動・騒音や機器破損の原因ともなる。また、作動油中の気泡は油の見かけの剛性を低下させるため、システムの応答性も損なう。過去の研究<sup>3)</sup>では、積極的に油中の気泡含有量を低下させると、結果として作動油中への溶解空気の量を減らすことができるため、キャビテーションの発生量を抑制できることが確かめられている。油圧要素機器の故障の主原因の一つはキャビテーションによる壊食であることから、作動油中の気泡含有量を低下させることは機器の故障を防ぐことにもつながる。



写真1 カヤバ製油圧ポンプ一例

キャビテーション発生

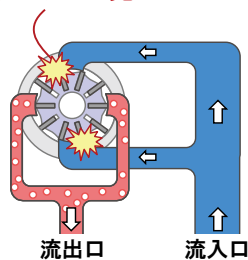
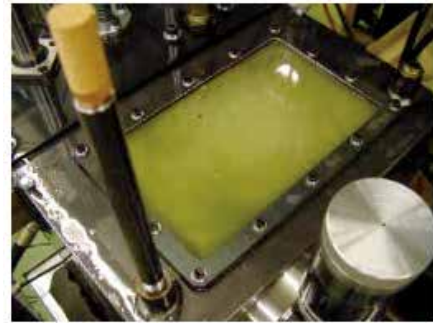


図1 キャビテーション発生例



(a) 気泡含有率0%



(b) 気泡含有率10%

写真2 油圧回路内タンクの気泡

しかしながら、作動油中にどの程度の気泡量が含有していると機器の性能を損ない故障に至るかの定量的な指標は明らかとなっていない。これは現状では、作動油中の気泡含有量を実時間で精度よく測定したり、調整したりすることが極めて難しいためである。一方、従来までの油中気泡の除去としては油タンクからの自然放気や作動油への消泡剤の添加など消極的な方策が主な技術であった。

こうした中で、最近の自動車では、燃費向上のためエンジン停止も含めた間欠運転させる頻度が増大し、エンジンに接続する油圧ポンプにも頻繁な起動停止が要求されるため、作動油中の気泡が油圧回路の各所で停留・合体し、起動初期の騒音や油圧システムの不安定性の原因ともなり、油中の気泡含有量による影響の解明やその対策も急務となっている。

以上の状況から、まずは油中の気泡含有量を安定的に調整可能とする技術開発をしている。本報では、旋回流を用いた気泡分離装置に流入する気泡を含んだ油に対して、装置の放気側の弁の開閉を制御することにより、装置から流出する油中の気泡量を調整する手法を提案し、その手法の妥当性を実験的に検証した結果について報告する。

## 2 気泡分離装置の設計と製作

### 2.1 旋回流を用いた気泡の分離装置

図2は旋回流を用いて作動油中に分散している気泡を集合合体させ、簡易な機構で分離除去する気泡分離装置の構造原理図である。この装置は、作動油中に分散する気泡を旋回流により、およそ100msの短い時間で中心軸上に集合・合体させ、流出口と放気口とのわずかな圧力差により、放気口より集合気泡を分離することができる<sup>4)</sup>。したがって、この放気口の下流に開閉のための弁を設け、その開閉の時間やタイミングを制御することにより、油から分離除去する気泡量を調整することができると考えられる。今回は、この原理を利用すれば、装置の流出側における作動油中の気泡含有量を制御調整するシステム構築ができると考え装置製作に着手した。

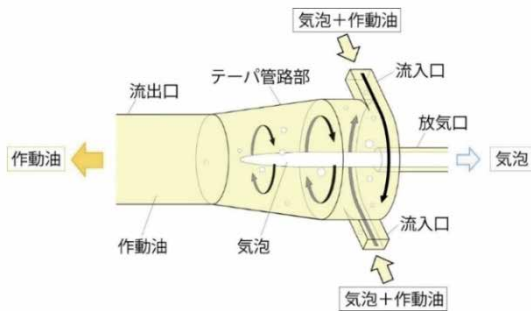


図2 気泡除去装置の原理と構造

### 2.2 気泡分離のシミュレーション

本研究で検証する手法の目標は、気泡含有率を1～40%の気泡含有率範囲で調整することとした。そのためには、まずは気泡分離装置の除去性能がこの気泡含有率の範囲で十分に確保されている必要がある。ここで、装置の性能は流入口の形状寸法や放気口径に大きく依存するため<sup>5)</sup>、装置設計において流れの条件に対するパラメータの選定は極めて重要である。

原理確認および最適な形状パラメータの選定としてまずは、数値流体解析 (CFD) による気泡分離シミュレーションでの検討を実施した。解析における流体および気泡の流路を図3に、諸条件を表1に記す。気泡含有率としては対象とする範囲のうち一例として20%、30%、40%の条件で解析した場合を記す。

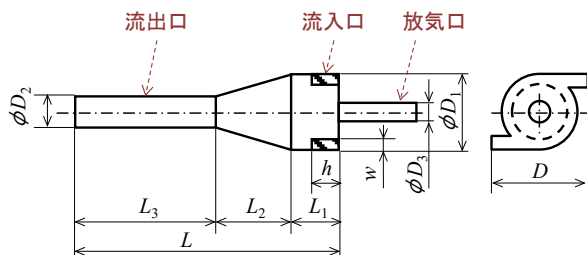


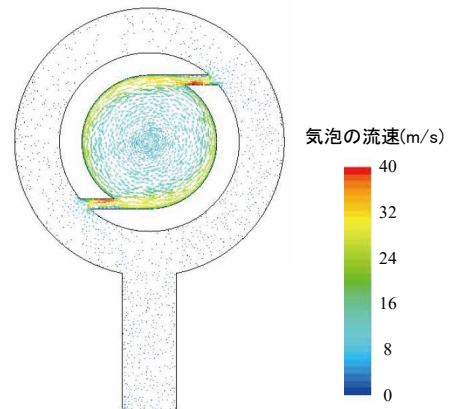
図3 数値シミュレーション流路

表1 数値シミュレーション諸条件

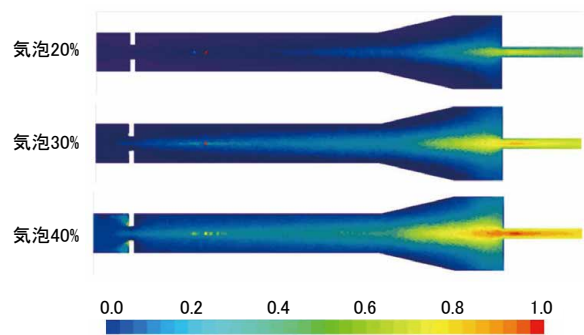
項目	数値	
流入流量 (L/min)	30	
気泡粒子径 (mm)	0.1	
作動油物性	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.8474
	動粘度 (mm <sup>2</sup> /s)	9.189
気泡含有率 (%)	20, 30, 40	

流入口から混入された気泡は図4(a)のように流速が外周側が速く中心側が遅くなっており、旋回流が発生している事が確認できる。また気泡含有率が20%、30%、40%の条件における気泡の体積分率は図4(b)のようにいずれの条件でも管路の中心側が高く、気泡は放気口側に効率的に流れ、分離除去されていることが確認された。

数値解析の結果、気泡分離としての最適な形状パラメータを表2に記す。流入口の幅と高さがそれぞれ2.18mm×4.35mm、放気口径がφ4.4mm、流出口径がφ16mmのとき、気泡含有率が20%、30%、40%での気泡除去率を図5に示す。ここで気泡除去率は流出口・放気口から流出した気泡のうち流出口側から出た気泡の割合としている。いずれの条件においても90%以上の高い性能を確保できていることが明らかとなり、この結果を実験用気泡分離装置の設計パラメータとして採用した。



(a) 気泡の流速分布 (気泡含有率40%時)



(b) 気泡の体積分率

図4 気泡流れの数値シミュレーション

表2 最適形状パラメータ

形状パラメータ	数値 [mm]
テーパ管路内径 $\phi D_1$	30.0
流出口内径 $\phi D_2$	16.0
放気口内径 $\phi D_3$	4.4
全長 $L$	150.0
流入口部管路長さ $L_1$	20.0
テーパ部管路長さ $L_2$	30.0
流出口部管路長さ $L_3$	100.0
流入口幅 $w$	2.18
流入口高さ $h$	4.35

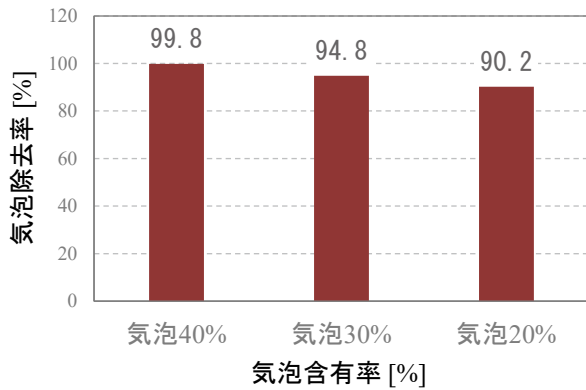


図5 気泡分離シミュレーション結果

2.3 装置設計と製作

前節での解析的検討を基に、油中気泡量の調整実験に用いるために設計製作した気泡分離除去装置の構造を図6に示す。流入口径や流出口径、放気口径などの形状パラメータを実験条件に応じて後で調整できるように、装置を分割して設計し、筐体内に挿入して両側から固定することで一体化する構造とした。また、流れの様子を可視化できるようにするため、外周筐体と挿入部品は透明アクリルで製作した。

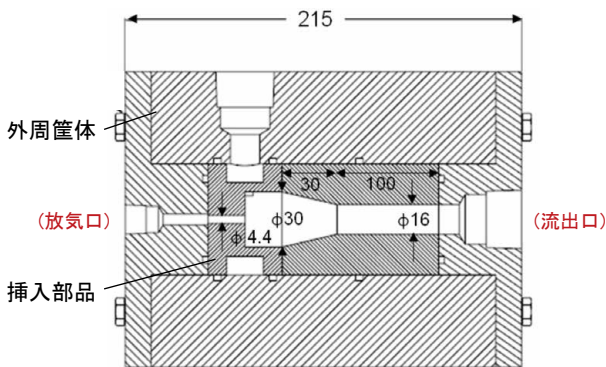


図6 気泡分離装置の設計・製作

3 気泡分離装置の性能評価

製作した装置の気泡分離性能を確認検証するため、まずは予備実験を実施した。

図7に予備実験に用いた油圧回路構成を示す。油の循環回路内に気泡分離装置を設置し、装置の放気口側にマニュアル操作式のニードル弁、流出口側にコリオリ式流量計を設置した。油中への気泡は、その混入量を調整するため、ポンプ吐出側から空気圧コンプレッサで強制的に吹き込んだ。空気を混入させながら、ニードル弁を手動で調整し、その開度に対する流出口側の作動油密度を測定し、気泡含有率を算定した<sup>6)</sup>。このとき流入口側の圧力は0.5MPa一定となるよう設定した。

予備試験における気泡分離装置内部の様子を写真3に示す。放気口を完全に閉じた状態では写真3気泡分離の様子(a)のように流路全体が多量の気泡によって白濁した状態となる。放気口を完全に開いた状態では写真3 気泡分離の様子(b)のように、流入口から混入した気泡は放気口に即座に流れていき、装置内に滞留し流出口に流れていく気泡は殆ど無くなっていることが視認できる。

予備実験の結果としてニードル弁の開度と流出口側の気泡含有率の関係を図8に示す。使用したニードル弁の仕様の都合で、弁開度による放気口への流量の精密な調整が難しく、放気口の弁をわずかに開くだけで気泡分離装置の気泡除去効果が大きく働いてしまい、結果として流出口側の気泡含有率が大幅に低下した。しかしながら、放気口側に設置した弁の開度を調整することで、流出口側の気泡量を調整できることが確認された。

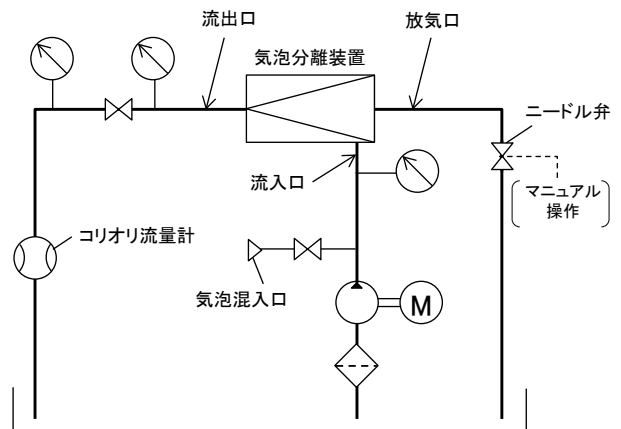
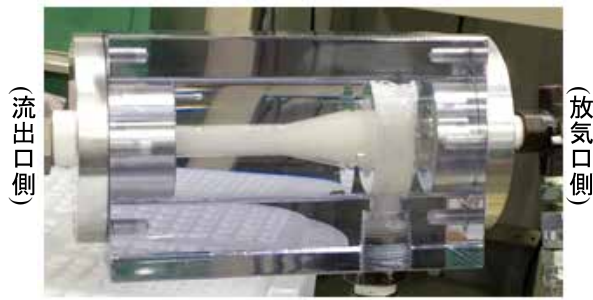
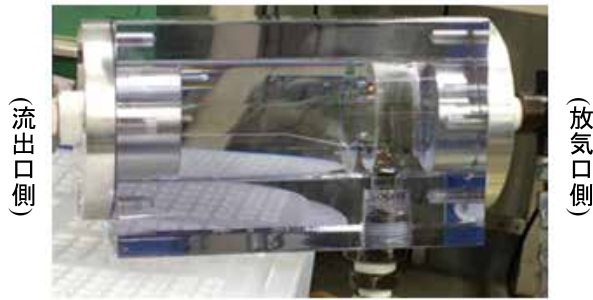


図7 手動での気泡量制御試験の油圧回路



(a) 放気口close時



(b) 放気口open時

写真3 気泡分離装置内部の様子

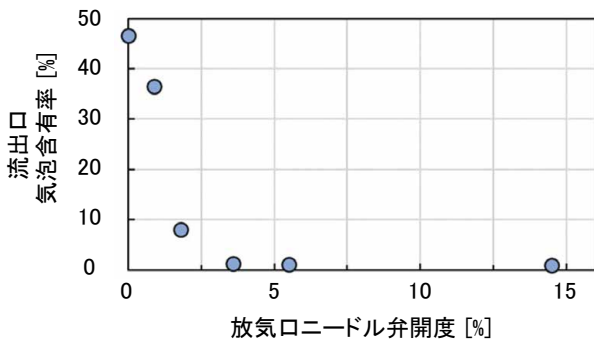


図8 手動制御による気泡含有率

式気泡含有率測定器を配置することでリアルタイムに気泡含有量を測定した。油温は回路内にクーラーおよびヒーターを配置して100℃一定とした。

気泡分離効果検証の一例として、タンク内気泡混入量一定、流出口側径 $\phi 10$ 、ポンプ吐出流量18L/minである時の気泡含有率推移を図10に示す。0sでは放気口を閉じており、油路内は攪拌タンクにより気泡含有率30%程度と十分に気泡混入した状態である。放気口を開くと、その直後から気泡含有率は低下し、約4分後には数値安定し10%程度となった。

この値はタンク内の気泡混入機構と気泡分離装置を共に作動させた場合の結果であるため、混入量の強さや気泡分離装置の放気量とを調整することで、任意のエア含有率に調整できると考えられる。

以上より、実機ポンプ評価試験ユニットに気泡分離装置を導入することで、素早く安定的に油圧回路内の気泡含有率を調整できることを確認した。

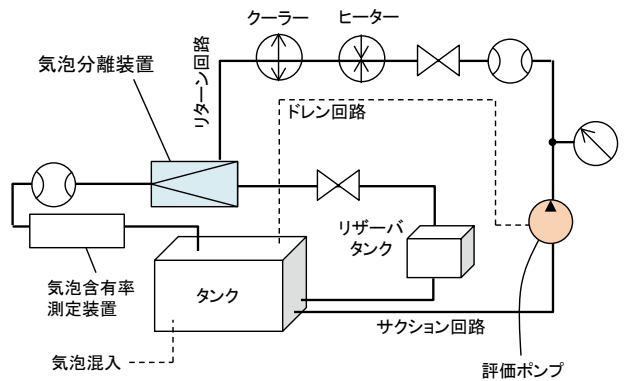


図9 実機実験装置の油圧回路

#### 4 実機を用いた気泡分離性能評価

設計した気泡分離装置を実機ポンプの評価にも適用できるか確認するため、本装置をポンプ評価試験ユニットに導入して実験を実施した。なお本試験においては、気泡分離装置は金属製として改めて製作した。

図9に実機試験装置の油圧回路構成を示す。気泡量によるポンプへの影響を検討することを目的として、油中への気泡混入量増加のため、評価ポンプ上流のタンク内作動油に空気を混入させる機構を設置してある。尚、この混入機構は制御によりその混入量の強弱を調整可能な機器である。気泡分離装置は評価ポンプ下流側に設置し、放気側は予備試験と同様にニードル弁を設け任意に開閉可能とした。流出口側には背圧調整として任意円形状のオリフィスを設置し、その下流にインライン型のインピーダン

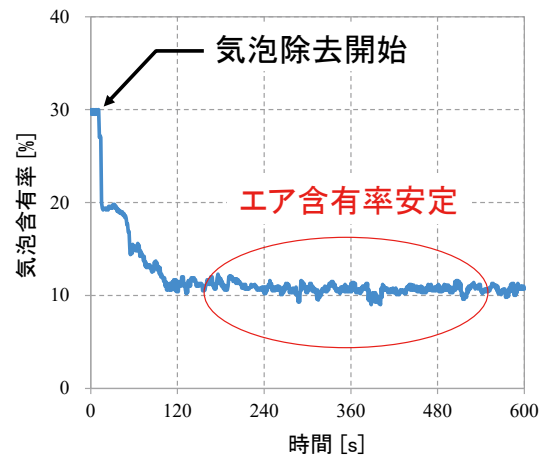


図10 実機での気泡含有率



## 5 自動気泡量制御の性能評価

気泡分離装置の放気口を開閉することで、油圧回路内の気泡量を調節可能であることが確認できたため、任意の気泡量に自動制御できるか検証するため、放気口側にオンオフ電磁弁を設置し、その切替時間やタイミングを制御することで流出口側の油中の気泡含有量を調整する実験を行った。

図11に調整実験に用いた油圧回路構成を示す。図7と同様な循環回路内に気泡分離装置を設置し、その流入側側にコリオリ式流量計、流出口側に気泡含有率測定器を設置し、それぞれの気泡含有率を実時間で測定した。油への気泡の混入はポンプ吸込み側を大気開放にすることで実現した。気泡分離装置の放気口側にオンオフ電磁弁を設置し、流出口側の気泡含有率測定器の値と気泡含有率の目標値との偏差に応じて、その開閉をリレーによりシーケンサで制御した。

図12に気泡含有率の調整結果の一例を示す。流入側の気泡含有率はおよそ9%、放気口を閉じているときの流出側の気泡含有率はおよそ28%、目標値を18%に設定し、オンオフ電磁弁を開閉する周期を1s、Duty比を10%～100%に設定し、その調整の様子を測定した結果である。表3は気泡含有率が目標値付近に落ち着いてからの一定区間（19.2s～25s間）の各Duty比毎の気泡含有率平均値、および気泡含有率目標値に対する相対誤差を記す。Duty比が小さいと調整精度や応答性は低下するが、各Duty比において目標値に対する相対誤差は9.4%以下に収まっており、一定の調整精度があることを確認した。

ただし、Duty比の設定によっては目標値に安定せず微量に変動し続けてしまう場合がある。これは気泡分離装置の分離性能の応答性が高いのに比べ、放気口側のオンオフ電磁弁の応答が遅いためである。そのため応答が高速な比例弁を用いるといった対策を施すことで改善すると考えられる。

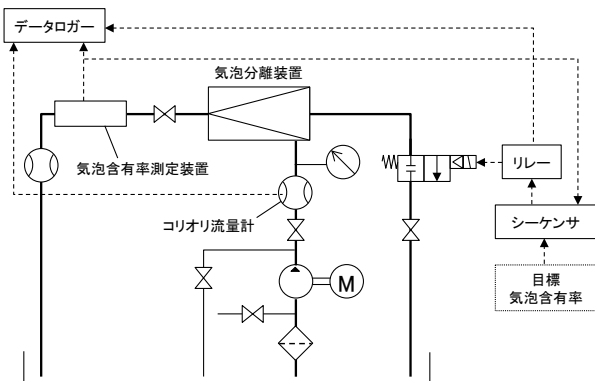


図11 自動気泡量制御試験の油圧回路

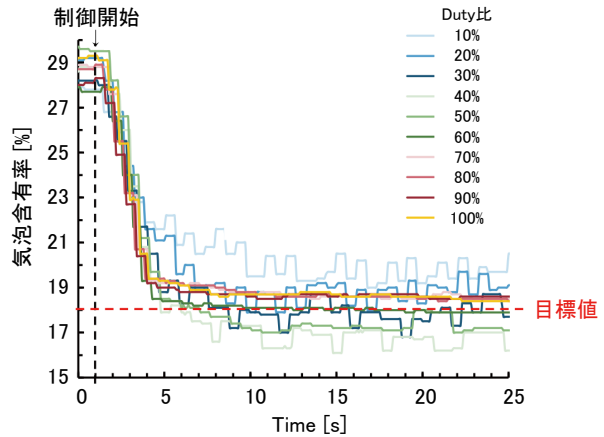


図12 自動制御による気泡含有率

表3 Duty比別の気泡含有率

Duty比 [%]	平均値 [%]	相対誤差 [%]
10	19.7	9.4
20	18.8	4.4
30	17.9	0.5
40	16.8	6.7
50	17.3	3.9
60	18.0	0.0
70	18.6	3.3
80	18.6	3.3
90	18.6	3.3
100	18.6	3.3

## 6 今後の展望

調整安定性に未だ課題があるが、開発した油中気泡量調整技術を用いて、実使用条件下でのポンプ評価を実施することでより高機能・高品質な製品を開発していく。

また他方で、冒頭でも述べたように第3のコンタミネーションとも称される作動油中気泡をコントロールする技術を活用し、CVTを始めとするポンプ製品の性能向上を成し得る技術展開を目指す。

以上のような開発能力の向上により、更に高効率なポンプを展開し、例えば自動車における燃費改善を実現し得ると考える。これによりカーボンニュートラル社会実現への貢献や、SDGs目標の達成への一助となることが期待できる。

## 7 結言

本報では旋回流を用いた油中気泡の分離除去技術を使って、作動油中の含有気泡量を任意に調整できる気泡量制御システムの確立へ向けて、その手法の妥当性を検証し以下の結論を得た。

- (1)油圧回路内の気泡を含有率1～40%の範囲で十分に分離可能な気泡分離装置を開発・製作した。
- (2)気泡分離装置を実機ポンプ評価ユニットに取り付けることで、素早く安定的に油圧回路内の気泡含有率を調整できることの確認が出来た。
- (3)放気口側の流量を調整することにより、装置の流出口側の気泡含有量を調整できることを実験的に確認できた。

本研究は、旋回流による気泡分離装置を設計頂いた法政大学田中豊教授、ならびに各種要素実験を実施いただいた青山学院大学坂間清子先生（現国立研究開発法人産業技術総合研究所）の協力を得て実施されたものであり、紙面を借りて感謝の意を表します。

## 著者



北村 佳彬

2013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パワーステアリングの研究開発に従事。



小寺 康大

2009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開発センター開発実験室。油圧ポンプの開発に従事。

## 参考文献

- 1) S. Sakama, et.al.: Air Bubble Separation and Elimination from Working Fluids for Performance Improvement of Hydraulic Systems, Proc. IFPE 2014, Paper No. 27. 1, (2014).
- 2) 関戸麻紀子, 水村彰志: フィルタの選び方・使い方とトラブル事例, 油圧技術基礎講座—周辺機材の選び方・使い方—, 日本工業出版, (2016).
- 3) H. Goto, S. Sakama, R. Suzuki, Y. Tanaka: Reduction of Cavitation Damage by Elimination of Bubbles in Oil Reservoir, Proc. FLUCOME2013, OS1-02-4, (2013).
- 4) Y. Tanaka, et.al.: Visualization of Flow Fields in a Bubble Eliminator, J. of Visualization, Vol. 4, No. 1, pp. 81-90, (2001).
- 5) 坂間清子, 田中豊, 鈴木隆司: 気泡除去装置の設計と評価に関する研究 (第2報), 日本フルードパワーシステム学会論文集, 45巻, 5号, pp. 79-84, (2014).
- 6) 五嶋裕之, 坂間清子, 田中豊: コリオリ流量計を用いた油中気泡量の測定, 日本機械学会2015年度年次大会講演論文集, No.15-1, S1150302, (2015).

## 粒状体ダンパの研究

## Research on Particle Assemblage Damper

豊内 敦士  
TOYOUCHI Atsushi

## 要 旨

ダンパは乗り物や建築物等に害を及ぼす振動を抑制する装置であり、用途により様々な種類のもが存在する。しかし、それぞれに課題があり、その代表的な例として、オイルダンパでは液漏れの発生や減衰力の温度依存性がある。粒状体ダンパはオイル等の代わりに粒状体を用いて抵抗力を発生させ振動を抑えるものであり、これらの課題に対する解決案の1つとして挙げられている。本研究では、簡素な構造でこれらの課題を解決できる可能性がある、粒状のエラストマ<sup>注)</sup>を用いた二室セパレート型片出し粒状体ダンパの発生力特性および力の生成要因を明らかにするための調査、考察を行った。

本研究で用いるダンパはシリンダ内の粒子室をピストンで二室に仕切っており、このダンパの片室に粒子を充填した場合には、発生力はヒステリシスを持つ漸硬型の特性を有し、法線方向の弾性力と接線方向の摩擦力が大きく影響を及ぼすことがわかった。この時の弾性力は粒子が圧縮されることで生じる圧縮反発力が主体的であり、摩擦力はシリンダと粒子間の滑り摩擦により生じている。また、特に充填率や材質に影響するヤング率が最大発生力、ヒステリシスに与える影響が大きいことがわかった。

両室に粒子を充填した場合には、片室充填と異なる点として、摩擦力はシリンダおよびロッドと粒子との滑り摩擦により生じており、ロッドの摩擦により、発生力の波形が原点に対して非対称になっていることがわかった。

また、これらは個別要素法による発生力と粒子挙動のシミュレーションおよび実験にて検証しており、シミュレーション結果は実験結果と定性的および定量的に良く一致し、シミュレーションは実験で生じている現象を良く再現できていることを確認した。

注) エラストマは弾性を持つ高分子の総称である。

## Abstract

Dampers are devices which suppress vibrations that cause harm to vehicles, buildings, and the like. There are various types of dampers, depending upon the application. However, each type of damper comes with its own problems. Typical examples of such problems are that in the case of oil dampers, liquid leakage may occur, and the damping force may be dependent on temperature. Particle dampers suppress vibrations by generating resistance force through the use of particles in place of oil or the like. These dampers can be exemplified as a possible solution to the abovementioned problems. In this study, an investigation and examination were carried out in order to clarify the generative force characteristics and force generation factors of a separated dual chamber single rod-type particle damper which employs a particulate elastomer\*. This type of damper holds the possibility of solving these problems by means of a simple structure.

With regard to the damper used in this study, a particle chamber within the cylinder was divided in two by a piston. It was found that when one chamber of the damper was filled with particles, the generative force had the characteristic of being gradually hardening with hysteresis, with great influence exerted by elastic force in the normal direction and frictional force in the tangential direction. The elastic force in this case was mainly accounted for by repulsion force under compression generated by the compression of the particles, and the frictional force was generated by sliding friction between the cylinder and the particles.

Furthermore, it was found that in particular, the packing fraction and Young's modulus, which affects the material, exerted a large effect on the maximum generative force and the hysteresis.

When both chambers were filled with particles, contrary to the findings of single-chamber filling, it was found that the frictional force was generated by the sliding friction between the cylinder and rod and the particles, whereby, due to the friction of the rod, a waveform of the generative force was asymmetrical with respect to the origin.

These results were demonstrated by means of

simulations of generative force and particle behavior using the distinct element method, as well as by experiments. The simulation results and the experimental results were in good agreement with one another both qualitatively and quantitatively, and it was confirmed that the simulations were able to reliably reproduce the phenomena which occurred in the experiments.

\*“Elastomer” is a generic term for a polymer having elasticity. Rubber and the like correspond to this term.

## 1 緒言

粒状体ダンパはオイルダンパ等の流体の代わりに銅球やエラストマの球をダンパ内に充填したもので、ピストンによりこれらの粒子を流動させることで抵抗力を得るものである<sup>(1,2)</sup>。既存のオイルダンパは液漏れの発生や減衰力の温度依存性等の課題があるが、粒状体ダンパはこれらの課題の解決案の1つである。粒状体ダンパでは、ダンパ摺動部より粒子径の大きい粒子を使用すれば漏れは発生せず、エラストマ球（以下、エラストマ粒子とする）を使用した場合も、耐熱性やガラス転移温度の低い耐寒性の良い材料を使用すれば、発生力の温度による変化を小さくすることができる。

本研究では、エラストマ粒子を使用し、シリンダ内をピストンで二室に仕切った二室セパレート型片出し粒状体ダンパについて、片室にのみ粒子を充填した場合と両室に粒子を充填した場合の発生力特性および力の生成要因を明らかにするための調査を行った。粒子の材質は、粒子の弾性変形を利用し、粒子の充填率を高めることで大きな発生力を得ることを狙いとし、エラストマにしている。調査としては、個別要素法を基本とした理論の構築および発生力と粒子挙動のシミュレーションを行い、実機での実験結果と比較することで、発生力特性および力の生成要因の明確化と構築した理論の妥当性の検証を行った。

なお、ダンパという言葉から、流体の圧力損失や粘性抵抗による減衰力が作用することで振動を抑制するものとイメージされるかも知れないが、本ダンパで発生する力は弾性力と粘性力を併せ持つ力である。そのため、本ダンパで生じる力は減衰力ではなく発生力と呼ぶこととする。

## 2 片室に粒子を充填した場合の発生力特性

### 2.1 ダンパ構造

シミュレーションおよび実験で使用するダンパの概略構造を図1に示す。図1より、ダンパ内部はピストンによって二室に分けられており、ロッドが無い側の部屋にのみ球形の粒子が充填されている。ピストン外径部とシリンダ内径部の隙間は非常に小さくなっており、各部屋間を粒子が移動することはない。摺動部の摩擦力は本ダンパの発生力と比較して非常に小さい値であるため、無視できるものとしている。また、以下のダンパの変位は図1のz軸方向の移動を指す。

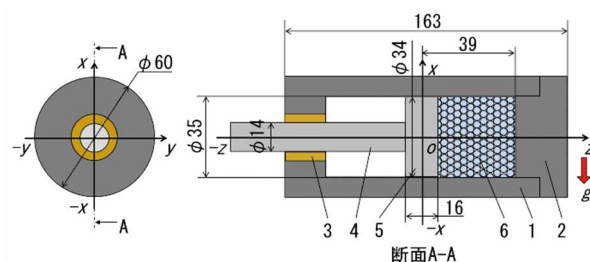


図1 ダンパ構造

1. シリンダ, 2. エンドカバー, 3. ベアリング,
4. ロッド, 5. ピストン, 6. エラストマ粒子, 単位: mm

### 2.2 シミュレーション・実験

#### 2.2.1 個別要素法

シミュレーションでは、粒子の挙動や発生力の特性および構成成分を明らかにするため、個別要素法 (Distinct Element method, 以下DEM) を使用した。DEMは、粒子間の接触を考慮し、各時刻において粒子の並進と回転に対する運動方程式を逐次計算することにより、粒子の挙動を計算する手法である。

#### 2.2.2 基礎方程式

DEMでは、個々の粒子に対して接触力を考慮し、

式(1)で表される運動方程式と式(2)で表される角運動方程式を解くことにより、粒子の速度や位置を求めることができる。

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = \mathbf{F}_i \quad (1)$$

$$I_i \frac{d\boldsymbol{\Omega}_i}{dt} = \mathbf{T}_i \quad (2)$$

ここで、式中の*i*は粒子番号、*t*は時刻、*m<sub>i</sub>*は粒子質量、*r<sub>i</sub>*は粒子の位置ベクトル、*F<sub>i</sub>*は接触力の総和ベクトル、*I<sub>i</sub>*は慣性モーメント、*Ω<sub>i</sub>*は粒子の角速度ベクトル、*T<sub>i</sub>*は粒子に作用するトルクの総和である。また、*F<sub>i</sub>*と*T<sub>i</sub>*および*I<sub>i</sub>*については以下の式(3)から(5)で表される。

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{F}_{cn} + \mathbf{F}_{ct} + m_i \mathbf{g} \quad (3)$$

$$\mathbf{T}_i = \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_{ct} \quad (4)$$

$$I_i = \frac{8}{15} \rho \pi r^5 \quad (5)$$

式中の接触点における法線方向を添字*n*、接線方向を添字*t*で表しており、*F<sub>cn</sub>*、*F<sub>ct</sub>*は法線方向および接線方向の接触力となっている。また、*m<sub>i</sub>*は粒子質量、*g*は重力加速度、*ρ*は粒子密度、*r*は粒子半径である。接触力はCundallとStrack<sup>(3)</sup>によって考案された、図2のスプリング、ダッシュポット、摩擦スライダの要素で構成されるモデルを用いており、式(6)、(7)で表される。また、図3は法線方向に加わる力と接線方向に加わる力のイメージ図である。

$$\mathbf{F}_{cn} = \left( -K_n \delta_n^{1.5} - C_n \mathbf{V}_{ij} \cdot \mathbf{n}_i \right) \mathbf{n}_i \quad (6)$$

$$\mathbf{F}_{ct} = -K_t \delta_t - C_t \mathbf{V}_{fij} \quad (7)$$

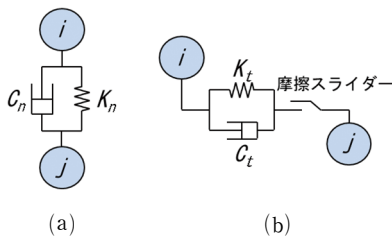


図2 接触モデル (a) 法線方向, (b) 接線方向

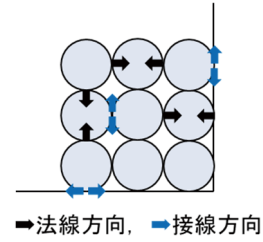


図3 法線方向の力, 接線方向の力のイメージ図

式中の*K<sub>n</sub>*、*K<sub>t</sub>*は法線方向および接線方向の弾性係数、*C<sub>n</sub>*、*C<sub>t</sub>*は法線方向および接線方向の粘性係数、*δ<sub>n</sub>*は接触点に対する法線方向の変位量、*δ<sub>t</sub>*は粒子*i*の粒子*j*に対する接触点における接線方向の変位ベクトル、*n<sub>i</sub>*は接触点に対して粒子*i*から粒子*j*に向かう法線方向の単位ベクトル、*V<sub>ij</sub>*は粒子*i*の粒子*j*に対する相対速度ベクトル、*v<sub>i</sub>*、*v<sub>j</sub>*は粒子*i*、*j*の速度ベクトル、*V<sub>fij</sub>*は接触点における粒子*i*の粒子*j*に対する接線方向相対速度ベクトルである。*V<sub>ij</sub>*、*V<sub>fij</sub>*、*δ<sub>t</sub>*は式(8)から(10)で表される。

$$\mathbf{V}_{ij} = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j \quad (8)$$

$$\mathbf{V}_{fij} = \mathbf{V}_{ij} - (\mathbf{V}_{ij} \cdot \mathbf{n}_i) \mathbf{n}_i + 2a(\boldsymbol{\omega}_i - \boldsymbol{\omega}_j) \times \mathbf{n}_i \quad (9)$$

$$\delta_t = \Delta t - \mathbf{V}_{fij} \quad (10)$$

ここで、式中の*a*は粒子半径、*ω<sub>i</sub>*、*ω<sub>j</sub>*は粒子*i*、*j*の角速度ベクトルである。また、法線方向の弾性係数については、Hertzの接触理論を用いた式(11)から(14)で表される。

$$K_{nij} = \frac{4}{3\pi} \left( \frac{1}{2\delta_i} \right) \sqrt{\frac{a\delta_n}{2}} \quad (11)$$

$$K_{niw} = \frac{4}{3\pi} \left( \frac{1}{\delta_i + \delta_w} \right) \sqrt{a\delta_n} \quad (12)$$

$$\delta_i = \frac{1 - v_i^2}{E_i \pi} \quad (13)$$

$$\delta_w = \frac{1 - v_w^2}{E_w \pi} \quad (14)$$

式中の添字*w*は壁面に関する量であることを表す。*K<sub>nij</sub>*は粒子同士の接触時の弾性係数*K<sub>n</sub>*、*K<sub>n<sub>iw</sub></sub>*は粒子と壁面が接触する際の弾性係数*K<sub>n</sub>*で、*E<sub>i</sub>*、*E<sub>w</sub>*は粒子お

よび壁面の縦弾性係数,  $\nu_i, \nu_j$ は粒子および壁面のポワソン比である. 接線方向の弾性係数については, 接触点でのすべりがないと仮定し, Mindlin<sup>(4)</sup>の理論に基づいた式(15), (16)で表される.

$$K_{ij} = \frac{2\sqrt{2a}G_i}{2-\nu_i}\delta_n^{0.5} \quad (15)$$

$$K_{iw} = \frac{8\sqrt{a}G_i}{2-\nu_j}\delta_n^{0.5} \quad (16)$$

式中の $K_{ij}$ は粒子同士の接触時の弾性係数,  $K_{iw}$ は粒子と壁面が接触する際の弾性係数である.  $G_i$ は粒子の横弾性係数で, 式(17)で表される.

$$G_i = \frac{E_i}{2(1+\nu_i)} \quad (17)$$

また,  $C_n, C_t$ については式(18), (19)で表される.

$$C_n = \alpha\sqrt{m_i K_n}\delta_n^{0.25} \quad (18)$$

$$C_t = \alpha\sqrt{m_i K_t}\delta_{ct}^{0.25} \quad (19)$$

$$\alpha = 2.2\sqrt{\frac{\ln(e)^2}{\ln(e)^2 + \pi}} \quad (20)$$

$\alpha$ は粘性力の大きさを決定する無次元定数であり, 式(20)で表される. 式(20)の $e$ は粒子の反発係数である. 摩擦力については, 接触粒子表面での接線方向相対速度ベクトルが0より大きい場合, または接線方向の接触力が摩擦力より大きい場合に接触粒子表面で滑りが発生したとみなし, 以下の式(21)から(23)で表している.

$$|V_{fij}| = 0 \text{ の場合, } F_{ct} \leq \mu_f |F_{cn}| \text{ の時,} \\ F_{ct} = F_{ct} \quad (21)$$

$$\text{また, } F_{ct} > \mu_f |F_{cn}| \text{ の時,} \\ F_{ct} = -\mu_f |F_{cn}| t_i \quad (22)$$

$$|V_{fij}| > 0 \text{ の場合,} \\ F_{ct} = -\mu_f |F_{cn}| t_i \quad (23)$$

$$t_i = \frac{V_{fij}}{|V_{fij}|} \quad (24)$$

ただし,  $t_i$ は粒子の $V_{fij}$ 方向の単位ベクトルであり, 式(24)で表される. また,  $\mu_f$ は粒子の摩擦係数である.

以上から, 解析モデルは, 法線方向は弾性力と粘性力が考慮され, 接線方向はそれに加え摩擦力が考慮されたモデルとなっている. また, 本解析での変位, 速度, 角速度の時間進行には, 2次精度のアダムス・バッシュフォース法を用いた.

### 2.2.3 シミュレーション・実験条件

実験装置の概略を図4, シミュレーション条件を表1, 実験条件を表2, 実験に用いた粒子を写真1に示す.

表1 シミュレーション条件

粒子材質	シリコンゴム (モメンティブ・パフォー マンス・マテリアルズ(株)製, TSE3466), ニトリルゴム (イナバゴム(株)製, NBR)
粒子径 [mm]	3, 5
充填率 [-]	0.60, 0.70
粒子数	1,339, 1,562
ストローク量 [mm]	10
加振周波数 [Hz]	1, 5
時間刻み [s]	$5.0 \times 10^{-9}$
加振波形	Sin波
粒子密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	$1.10 \times 10^3$
粒子ポアソン比 $\nu_i$	0.5
摩擦係数 $\mu_f$ (壁面-粒子)	0.5
摩擦係数 $\mu_f$ (粒子-粒子)	0.5
ヤング率 $E_w$ [GPa] (壁面)	210
ヤング率 $E_i$ [MPa] (粒子)	4.08 (TSE3466), 17.6 (NBR)
粘性係数 $\alpha$	0.5311

表2 実験条件

粒子材質	シリコンゴム (TSE3466), ニトリルゴム (NBR)
ヤング率 $E_i$ [MPa] (粒子)	4.08 (TSE3466), 17.6 (NBR)
粒子径 [mm]	3, 5
充填率 [-]	0.60, 0.70
ストローク量 [mm]	10
加振周波数 [Hz]	1, 5

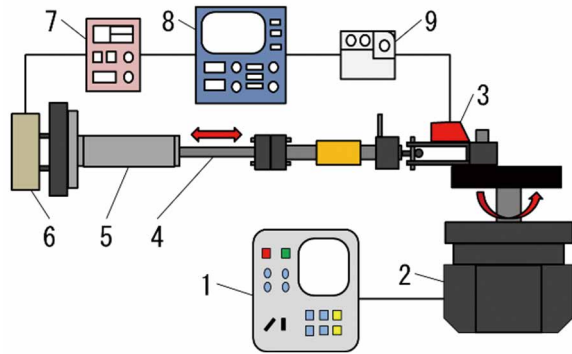


図4 実験装置

1. コントローラ, 2. モータ, 3. レーザ変位計,
4. ロッド, 5. ダンパ, 6. ロードセル,
7. 動ひずみアンプ, 8. オシロスコープ,
9. 変位計アンプユニット

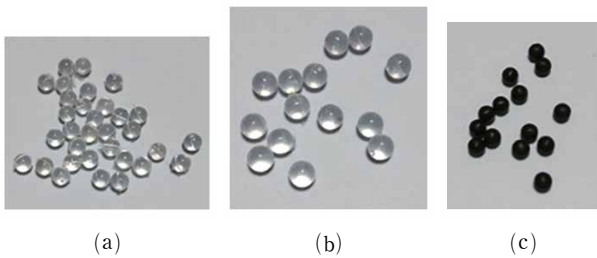


写真1 使用粒子

- (a) シリコンゴム, 粒子径 3 mm,
- (b) シリコンゴム, 粒子径 5 mm,
- (c) NBR, 粒子径 3 mm

表1の摩擦係数は、一般的なゴム-ゴムの摩擦係数の値である0.5を採用した<sup>(5)</sup>。表1, 2で複数パラメータが存在する条件については、赤字で示しているものを基準条件としている。また、条件中の充填率については、粒子室内に存在する粒子の割合であり、全粒子の体積を粒子室の体積で割ったものとなっている。

## 2.2.4 発生力の算出方法

片室充填でのシミュレーションでは、図5のように、ピストンが粒子を圧縮した時にシリンダ底面に伝わる $z$ 軸方向の圧縮力と、粒子とシリンダ壁面との間の $z$ 軸方向の摩擦力の合計値を発生力としている。この時、発生力の法線方向成分の力は粒子の圧縮変形により生じる粘弾性によるものであり、接線方向成分の力は粒子のせん断変形による粘弾性と、シリンダ壁面と粒子間での滑り摩擦によるものとなる。

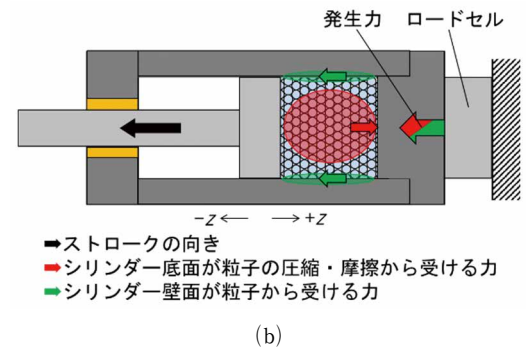
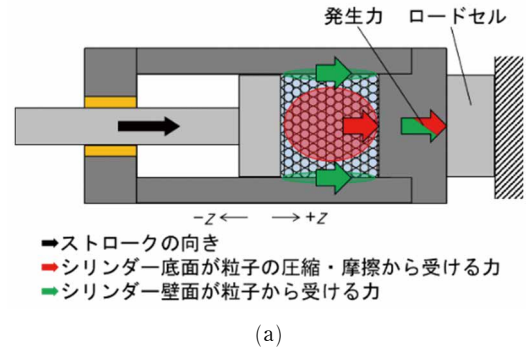


図5  $z$ 軸方向に生じる発生力  
(a) 正の変位, (b) 負の変位

## 2.2.5 発生力および法線・接線方向力

シミュレーション結果として、図6に基準条件での発生力および発生力の法線方向成分（以降、法線方向力）、接線方向成分（以降、接線方向力）-変位曲線、図7に同条件での速度曲線を示す。以降、データは1周期分をプロットし、変位はピストン変位、波形の時間進行は変位曲線では時計回り、速度曲線では反時計回りとなっている。

図6から、発生力は粒子を圧縮する向きに変位が進む（以下、圧縮過程とする）につれて大きくなる漸硬型の特性を示しており、ピストンが粒子の圧縮と逆の向きに変位が進む（以下、戻り過程とする）際は、発生力にヒステリシスが生じているのがわかる。漸硬型の特性を示すのは、粒子の圧縮により生

じる弾性反発力の影響が考えられ、ヒステリシスが生じる原因としては、エラストマ粒子の変形による粘性や、粒子間および粒子壁面間の摩擦による影響が考えられる。

続いて法線方向力と接線方向力について考察する。法線方向力は主に粒子が圧縮されるときに生成される抵抗力が影響し、接線方向力は粒子間および粒子壁面間で生成されるせん断力と、粒子が移動する際に発生する粒子間および粒子壁面間の抵抗力が影響する。

図6から、圧縮過程では法線方向力と接線方向力は漸硬型の特徴となっている。また、法線方向力は接線方向力より最大値は大きいがヒステリシスは小さくなっている。この時、図7で法線方向力が概ね速度0 m/sで最大となっていることから、法線方向の粒子の圧縮変形による粘性成分の影響が非常に小さいため、漸硬型でヒステリシスが小さくなったと考えられる。これは、法線方向力は粒子の圧縮による弾性力が主体であると言い換えることができる。接線方向力も漸硬型だが、ヒステリシスが大きく、戻り過程では負の値となり、変位の進行と共に力は小さくなっている。ヒステリシスに影響を与える粘性成分は速度に依存するが、図7から速度0 m/s付近で力が最大となっているため、接線方向力は粘性の影響が小さいと考えられる。また、力が圧縮過程の開始点である変位 - 5 mmで0 Nに収束していることから、接線方向力は法線方向力が垂直抗力として影響する摩擦力が主体となっており、摩擦力は変位の向きで正負の符号が切り替わるため、戻り過程では負の値となり、ヒステリシスが大きくなっていると考えられる。ここで生じる摩擦力は、粒子とシリンダ壁面との間で生じる滑りによる摩擦力である。

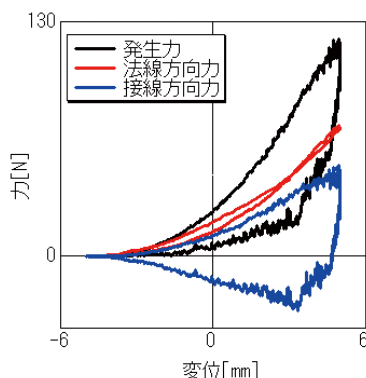


図6 発生力・法線・接線方向力-変位曲線

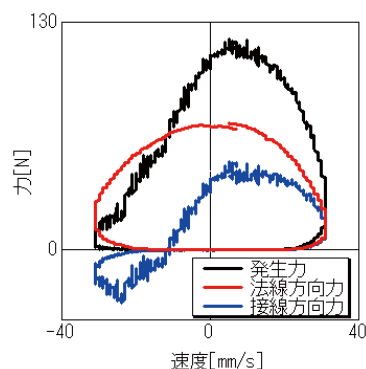


図7 発生力・法線・接線方向力-速度曲線

### 2.2.6 法線・接線方向の弾性力・粘性力

前項で示した、法線方向力は弾性力が主体であり、接線方向力は摩擦力が主体である、という考察を検証するため、それぞれの力を弾性力と粘性力に分けて検証する。図8は法線方向力を弾性力、粘性力に分離した曲線、図9は図8の粘性力を拡大した曲線、図10は接線方向力を弾性力、粘性力に分離した曲線である。

図8から、法線方向力は弾性力と概ね一致しているため、粒子の圧縮変形による弾性反発力が支配的であることがわかる。ただし、粘性力の値は0ではなく、図9のように拡大すると微小だが力が発生していることがわかる。また、図10から、接線方向力では粒子とシリンダ壁面との間で粒子のせん断変形による弾性力と粘性力は生じておらず、粒子とシリンダ壁面間の摩擦力のみで構成されており、常に滑りが生じていることがわかる。

以上より、発生力には粒子の圧縮変形により生じる法線方向の弾性力と、粒子とシリンダ壁面間との接線方向の摩擦力が大きく影響していることがわかった。

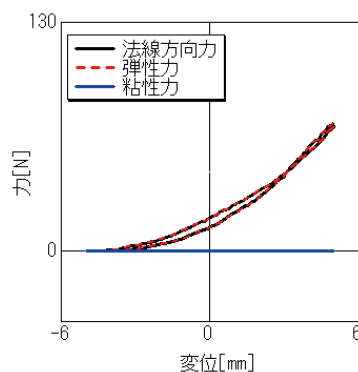


図8 法線方向力・弾性力・粘性力-変位曲線



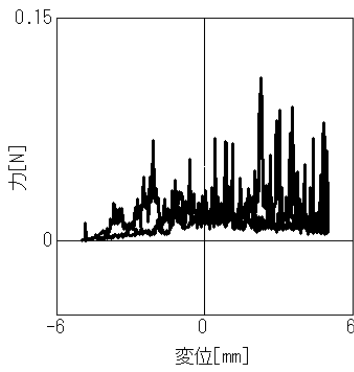


図9 法線方向粘性力-変位曲線拡大

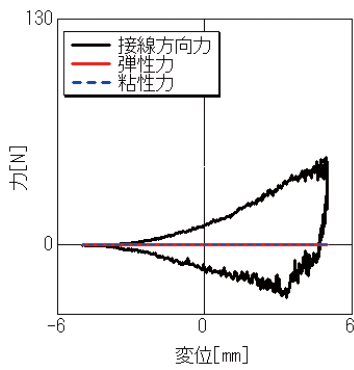


図10 接線方向力・弾性力・粘性力-変位曲線

### 2.2.7 粒子の圧縮力分布

発生力には法線方向の弾性力が大きな影響を与えるため、基準条件でのダンパ内の各粒子に働く圧縮力の影響を確認した。図11の(a)から(d)は図1のA-A断面から見たダンパ内のピストンおよび粒子の位置と、粒子の圧縮力の分布であり、図中の粒子に加わる圧縮力は法線方向の弾性力である。

図11(a)から、圧縮過程ではピストン周辺に圧縮力の大きい粒子が多く、粒子の圧縮によってピストンに加わる反発力が強くなるのがわかる。ただし、シリンダ底側は圧縮力の小さい粒子が多いため、ピストン側の粒子の圧縮力はシリンダの底側に十分に伝達されていないと考えられる。また、図11(c)から、戻り過程ではピストン周辺に圧縮力の小さい粒子が多く、粒子からピストンへの反発力が小さくなる。ただし、シリンダ底面側は圧縮力の高い粒子が多いため、シリンダ底面側の粒子の圧縮力はピストンに十分に伝達されていないと考えられる。これらから、ピストンの強制加振に対して粒子の変形による力の伝達に遅れが生じていると考えられる。

圧縮過程では粒子間の圧縮力および粒子をシリンダ壁面に押し付ける力、これらの力が垂直抗力として作用する摩擦力が増加し、シリンダ底面に作用する力が増加する。一方、戻り過程では粒子間の圧縮

力や粒子が壁面に押し付けられる力が小さくなり、摩擦力も小さくなる。このとき、シリンダ底面に加わる力は、粒子の圧縮反発力と摩擦力を足したものであり、摩擦力は圧縮過程と戻り過程では正負の符号が反転するため、圧縮過程と戻り過程では同変位において発生力に差が生じることとなる。以上から、力の伝達の遅れと摩擦力は発生力がヒステリシスを持つ原因の一つであることがわかる。

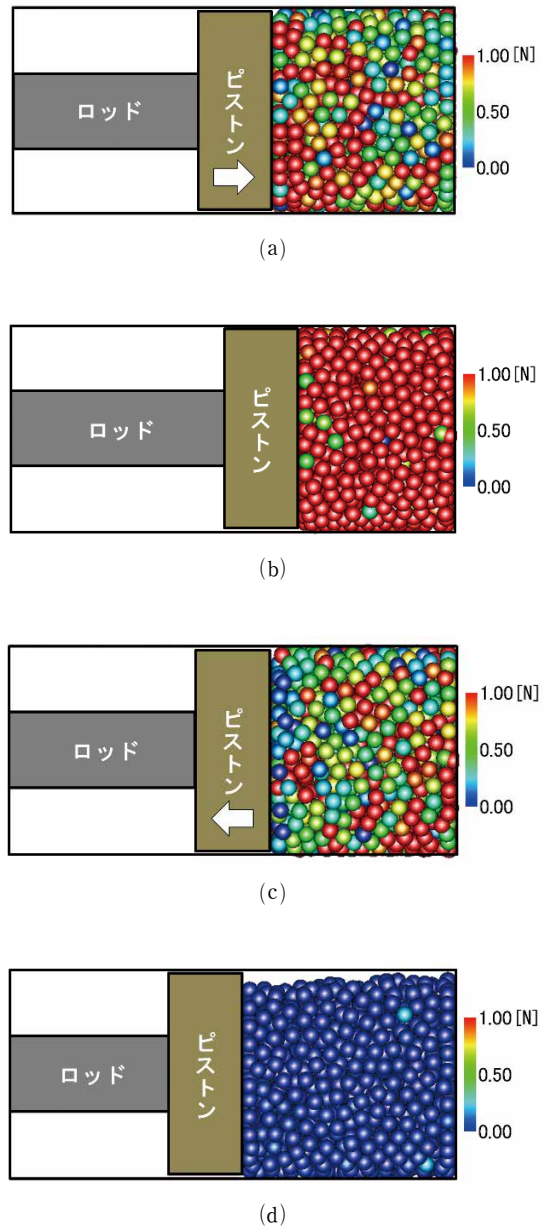


図11 圧縮力分布

- (a) 圧縮過程,  $z = 0$ ,
- (b)  $z = 5$ ,
- (c) 戻り過程,  $z = 0$ ,
- (d)  $z = -5$

### 2.2.8 実験・シミュレーション結果比較

シミュレーションの妥当性の検証および条件を変更した場合の発生力の特徴を確認するため、条件違

いでの実験および実験結果とシミュレーション結果の比較を行った。図12から図16に基準条件および基準条件から充填率、加振周波数、粒子材質、粒子径を変更した場合の発生力-変位曲線の実験結果とシミュレーション結果を示す。粒子材質の条件では、粒子のヤング率のみ変更している。

図12から図16より、各条件でシミュレーション結果は実験結果と定性的、定量的に良く一致しているのがわかる。また、発生力は充填率や加振周波数、粒子材質、粒子径に関係なく、基準条件と同様に圧縮過程では漸硬型で、圧縮過程から戻り過程に切り替わると、ヒステリシスが生じているのがわかる。

各条件での発生力の変化の度合いとしては、図12から図16より、充填率、材質に影響するヤング率により最大値やヒステリシスは大きく変化し、加振速度や粒子径では変化の度合いは小さいことがわかる。加振速度の影響が小さい理由は、シミュレーション結果より粘性力の影響が非常に小さいためである。粒子径の影響が小さい理由としては、粒子径を大きくすると変位による粒子の変形量は大きくなるが、粒子数が減少しシリンダと粒子間の摩擦が小さくなるため、発生力の変化が小さくなったと考えられる。

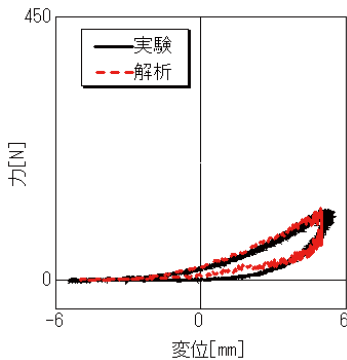


図12 発生力-変位曲線 実験・シミュレーション比較  
基準条件 (充填率0.60, 加振周波数 1 Hz,  
ヤング率4.08MPa, 粒子径  $\phi$  3 mm)

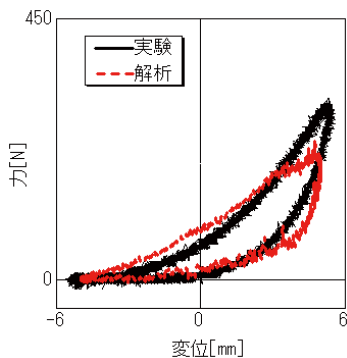


図13 発生力-変位曲線 実験・シミュレーション比較  
充填率変更 (0.70)

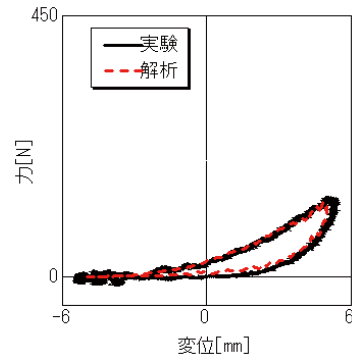


図14 発生力-変位曲線 実験・シミュレーション比較  
加振周波数変更 (5 Hz)

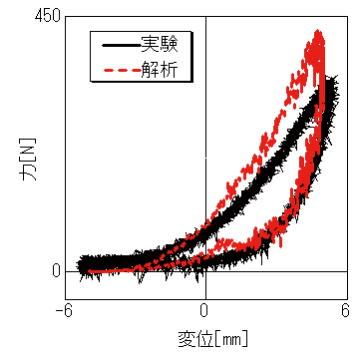


図15 発生力-変位曲線 実験・シミュレーション比較  
材質変更 (ヤング率17.6MPa)

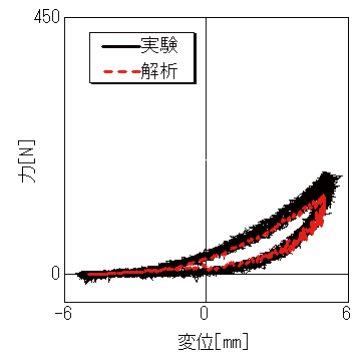


図16 発生力-変位曲線 実験・シミュレーション比較  
粒子径変更 ( $\phi$  5 mm)

各条件で発生力の特徴が定性的に同じであることから、ダンパ内の粒子の挙動も概ね同じであると考えられる。以上より、シミュレーションは実験での現象を良く再現できていると言える。

### 3 両室に粒子を充填した場合の発生力特性

#### 3.1 ダンパ構造

シミュレーションおよび実験で使用するダンパの概略構造を図17に示す。第2章との違いは、ピストンによって分けられた二室の両室に粒子が充填され

ていることのみである。また、両室に粒子を充填した場合には、ロッドが無い方の部屋をChamber A、ロッドがある方の部屋をChamber Bとしている。

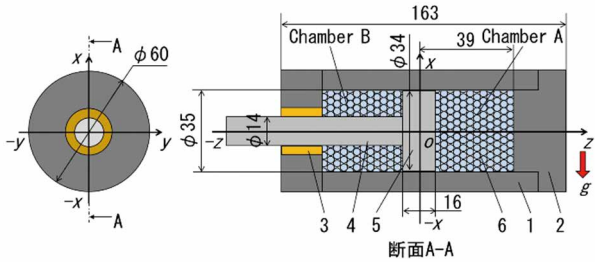


図17 ダンパ構造

1. シリンダ, 2. エンドカバー, 3. ベアリング,
  4. ロッド, 5. ピストン, 6. エラストマ粒子,
- 単位: mm

### 3.2 シミュレーション・実験

#### 3.2.1 シミュレーション・実験条件

シミュレーション条件を表3、実験条件を表4に示す。シミュレーションに用いた手法や基礎方程式、実験条件等は第2章と同様である。第2章で発生力の特性は概ね確認できているため、本章でのシミュレーションと実験は第2章での基準条件のみ行う。

表3 シミュレーション条件

粒子材質	シリコンゴム (TSE3466)
粒子径 [mm]	3
充填率 [-]	0.60
粒子数	2533
ストローク量 [mm]	10
加振周波数 [Hz]	1
時間刻み [s]	$5.0 \times 10^{-9}$
加振波形	Sin波
粒子密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	$1.10 \times 10^3$
粒子ポアソン比 $\nu_i$	0.5
摩擦係数 $\mu_f$ (壁面-粒子)	0.5
摩擦係数 $\mu_f$ (粒子-粒子)	0.5
ヤング率 $E_w$ [GPa] (壁面)	210
ヤング率 $E_i$ [MPa] (粒子)	4.08 (TSE3466)
粘性係数 $\alpha$	0.5311

表4 実験条件

粒子材質	シリコンゴム (TSE3466)
ヤング率 $E_i$ [MPa] (粒子)	4.08 (TSE3466)
粒子径 [mm]	3
充填率 [-]	0.60
ストローク量 [mm]	10
加振周波数 [Hz]	1

#### 3.2.2 発生力の算出方法

両室充填でのシミュレーションは、図18のように、ピストンが粒子を圧縮した時にシリンダ底面に伝わるz軸方向の圧縮力と、粒子とシリンダ壁面との間のz軸方向の摩擦力の合計値をシリンダ底面に加わる力 $D_z$ としている。また、図19のように、ピストンが粒子を圧縮した時にロッド端面に伝わるz軸方向の圧縮反力と、ロッド壁面と粒子とのz軸方向の摩擦力の合計値をロッド端面に加わる力 $R_z$ としている。この時、 $D_z$ と $R_z$ は力がつり合っている。

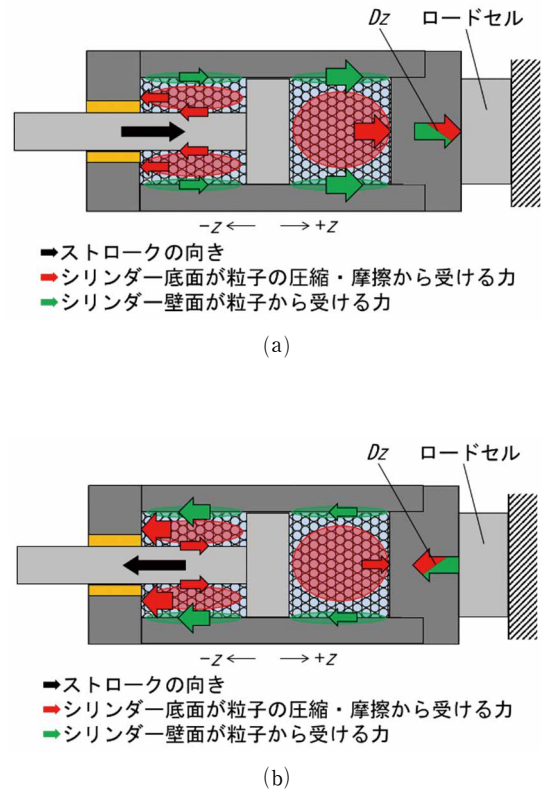


図18 シリンダ底面に加えられるz軸方向の力  
(a) 正の変位, (b) 負の変位

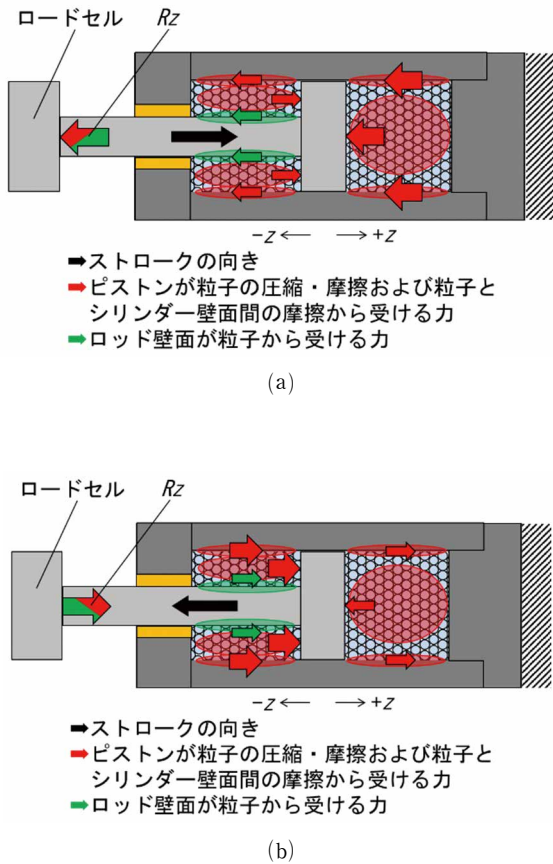


図19 ロッド端面に加えられるz軸方向の力  
(a) 正の変位, (b) 負の変位

発生力の法線方向成分の力は、粒子の圧縮変形により生じる粘弾性によるものであり、接線方向成分の力は粒子のせん断変形による粘弾性と、粒子とシリンダもしくはロッド壁面間での滑り摩擦によるものとなる。これにより、 $D_z$ は粒子とシリンダ壁面間の摩擦力、 $R_z$ は粒子とロッド壁面間の摩擦力を確認することができるようになっている。

### 3.2.3 発生力および発生力の分解

図18に示したように、シリンダの壁面に加わる力に着目し、シミュレーションを行った。シミュレーション結果として、図20に基準条件での変位に対する発生力 $D_z$ および $D_z$ のシリンダ壁面に加わる接線方向の力と残りの力、図21に同条件での速度に対する力を示す。残りの力とは、 $D_z$ からシリンダ壁面に加わる接線方向の力を引いた力である。図20から、発生力は硬化型を示し、変位の向きが切り替わるとヒステリシスを有することがわかる。また、主に Chamber B側の粒子が圧縮される負の変位で生じる最大発生力は、Chamber Aの粒子が主に圧縮される正の変位で生じる最大発生力よりも大きくなっており、発生力の波形は原点に対して非対称な形となっている。片室充填時と同様に、漸硬型の特性を示すのは粒子の圧縮により生じる弾性反発力の影響

が考えられ、ヒステリシスが生じる原因はエラストマ粒子の変形による粘性や、粒子間および粒子壁面間の摩擦による影響が考えられる。また、波形が非線形になるのは、Chamber Bにはロッドがあり、Chamber B側に変位が進むことでロッドと粒子の摩擦が大きくなっていくためと考えられる。

続いてシリンダ壁面に加わる力と残りの力を用いて発生力の特性を考察する。図20から、変位が各向きに進むとシリンダ壁面に加わる力と残りの力の両方が増加することがわかる。この時、シリンダ壁面に加わる力は変位の向きの切り替わりから急激に力が上昇し、ある変位からは緩やかに力が上昇する漸硬型の特性となるのに対し、残りの力は常に漸硬型の特性を示す。このため、ヒステリシスはシリンダ壁面に加わる力の影響が大きく、発生力の最大値はシリンダ壁面に加わる力と残りの力で同程度の影響度合いとなっている。ここで、図18のように、ロッドの無い側のシリンダ底面に加わる発生力は、ピストンが粒子を圧縮した際に受ける法線方向の圧縮力およびロッド壁面と粒子との接線方向の摩擦力と、シリンダ壁面と粒子との接線方向の摩擦力から成ると考えられる。発生力の波形が原点に対して非対称であることについては、Chamber Bにあるロッドと粒子の接触力による影響と考えられるが、これについては発生力 $R_z$ の結果にて検証する。

また、図21から、発生力および法線方向力、接線方向力の最大値が速度0 m/sから少しずれていることがわかる。粘性の影響が無い場合、力-変位曲線は速度0 m/sで最大となることや、式(6)と式(7)から速度の影響を受けるのは法線方向と接線方向の粘性のみであるため、粘性の影響で発生力の最大値が速度0 m/sから少しずれたと考えられる。

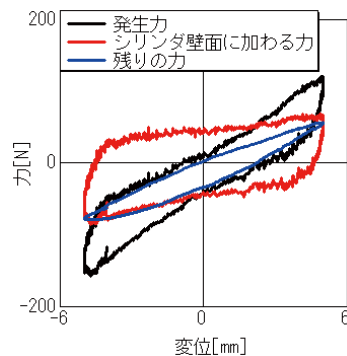


図20 発生力 $D_z$ ・シリンダ壁面に加わる力、残りの力-変位曲線

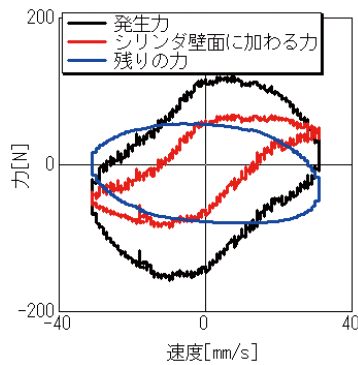


図21 発生力 $D_2$ ・シリンダ壁面に加わる力，残りの力-速度曲線

次に，図19に示したように，ロッドの壁面に加わる力に着目し，シミュレーションを行った．図22に基準条件での変位に対する発生力 $R_2$ および $R_2$ のロッド壁面に加わる接線方向の力と残りの力を示す．残りの力とは， $R_2$ からロッド壁面に加わる接線方向の力を引いた力である． $D_2$ と異なる点としては，図22のロッド壁面に加わる力は負の変位で漸硬型となり，正側に変位が進むとある変位までは上昇し，その後は概ね0Nになるまでなだらかに減少する．また，残りの力が発生力と概ね同じ特性で，変位量が負の領域で発生力とのずれが大きくなっている．ロッド壁面に加わる力は負側の変位によるChamber Bの粒子圧縮量の増加により，それが垂直抗力として作用するロッドと粒子間の摩擦力も大きくなっていくため漸硬型を示し，正側の変位ではChamber Bの粒子圧縮量が減少していくため，ロッドと粒子間の摩擦力も小さくなっていくと考えられる．さらに，このロッド壁面に加わる力の影響で発生力が原点に対して非対称になっていることがわかる．また，残りの力の漸硬型特性は粒子の圧縮反発力およびそれが垂直抗力として作用するシリンダと粒子間の摩擦力によるもので，ヒステリシスはシリンダと粒子間の摩擦力によるものと考えられる．

ここで，図20のシリンダ壁面に加わる力と図22のロッド壁面に加わる力を比較すると，ロッド壁面に加わる力の方が小さいことがわかる．これは，シリンダの内径よりロッドの外径の方が小さい，すなわちロッド外周部の表面積が小さいため，ロッドが粒子から受ける摩擦の影響はシリンダが受ける影響よりも小さくなるためであると考えられる．

以上より， $D_2$ と $R_2$ に関する考察をまとめると，発生力はChamber Aでは主にピストンが粒子を圧縮した際に生じる法線方向の反発力およびシリンダと粒子間で生じる接線方向の摩擦力から成り，Chamber Bではさらにロッドと粒子間で生じる接

線方向の摩擦力が加わることにより生成される．また，図21から発生力およびシリンダ壁面に加わる力と残りの力は最大値が速度0 m/sからずれているため，それぞれがエラストマ粒子が持つ粘性の影響を受けていることがわかる．

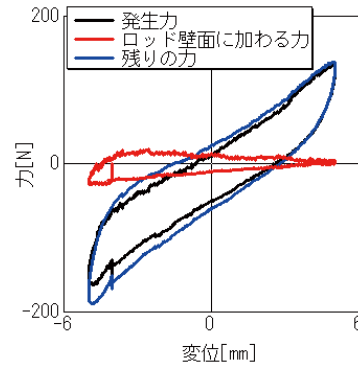


図22 発生力 $R_2$ ・ロッド壁面に加わる力，残りの力-変位曲線

### 3.2.4 発生力のシリンダもしくはロッド壁面に加わる力と残りの力の弾性力・粘性力

前項で示した，粘性の影響等を検証するため，発生力のシリンダもしくはロッド壁面に加わる力と残りの力を弾性力，粘性力に分離した．

図23は $D_2$ のシリンダ壁面に加わる力を弾性力と粘性力に分離した曲線，図24は $D_2$ の残りの力を弾性力と粘性力に分離した曲線，図25は図24の粘性力を拡大した曲線である．

図23から，シリンダ壁面に加わる力はシリンダと粒子間の摩擦力のみで構成されており，粒子のせん断変形における弾性力と粘性力は生じないことがわかる．これにより，片室充填の接線方向の場合と同様に，接線方向ではシリンダと粒子間は常に滑りが生じていることがわかる．図24から，残りの力は弾性力が支配的で，弾性力は漸硬型でヒステリシスを有する特性であり，残りの力と弾性力は概ね一致することがわかる．したがって，片室充填の法線方向力と同様に，残りの力は粒子の圧縮変形による弾性反発力が支配的であり，粒子が変形する際に生じる粘性力の影響は非常に小さい．ここで，片室充填の法線方向力と異なり，弾性力がヒステリシスを有しているのは，ダンパの各部屋での全充填粒子による弾性係数が異なるためと，図18よりロッドと粒子間の摩擦力を含んでいるためである．そのため，正確には弾性力ではないが，ここでは弾性力と呼ぶことにする．また，粘性力の値は0ではなく，図25より微小だが力が発生していることがわかる．

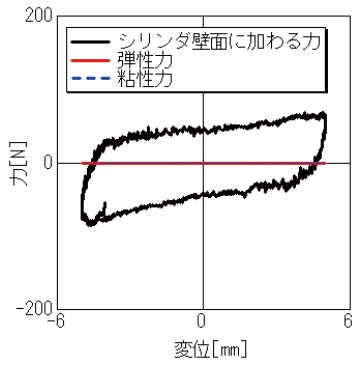


図23 発生力 $D_2$ のシリンダ壁面に加わる力・弾性力・粘性力-変位曲線

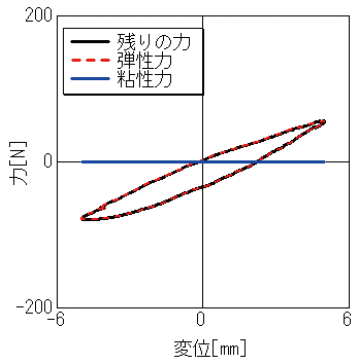


図24 発生力 $D_2$ の残りの力・弾性力・粘性力-変位曲線

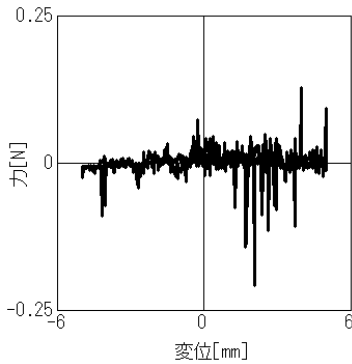


図25 図24残りの力の粘性力-変位曲線拡大

図26に $R_2$ のロッド壁面に加わる力を弾性力と粘性力に分離した曲線，図27に $R_2$ の残りの力を弾性力と粘性力に分離した曲線，図28に図27の粘性力を拡大した曲線を示す。

図26から，ロッド壁面に加わる力も $D_2$ と同様，ロッドと粒子間の摩擦力のみで構成されており，粒子の変形による弾性力と粘性力は生じないことがわかる。したがって，ロッドと粒子間は常に滑りが生じていることがわかる。図27から， $D_2$ と同様，残りの力は弾性力が支配的で，弾性力は漸硬型でヒステリシスを有する特性であり，残りの力と弾性力は概ね一致

することがわかる。ここで，図19から，図27の弾性力は粒子を圧縮変形した際の弾性反発力と，シリンダと粒子間の摩擦力で構成されるため，正確には弾性力ではないが，シリンダ壁面に加わる力と残りの力の場合と同様に，ここでは弾性力と呼ぶことにする。この弾性力がヒステリシスを持つ理由としては， $D_2$ と同様，ロッド有無の影響でそれぞれのChamberで異なる非線形の弾性係数を有することと，図19よりシリンダと粒子間の摩擦力を含んでいるためである。図28より，粘性力は $D_2$ と同様に微小だが生じていることがわかる。

ここで，円柱状等のエラストマの塊を圧縮する場合の反発力特性と本ダンパの発生力特性の違いを考察する。円柱状のエラストマは，圧縮すると発生力は変位に依存しヒステリシスを有する粘弾性特性を示すものが多い。これに対し，本ダンパではシリンダやロッドの壁面と粒子との摩擦が生じ，発生力に大きな影響を与える。これにより，同体積のエラストマの塊を圧縮した場合の特性と比較すると，本ダンパの発生力はヒステリシスが大きくなると考えられる。

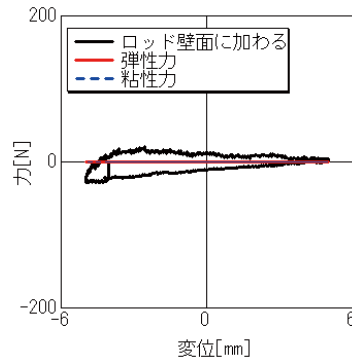


図26 発生力 $R_2$ のロッド壁面に加わる力・弾性力・粘性力-変位曲線

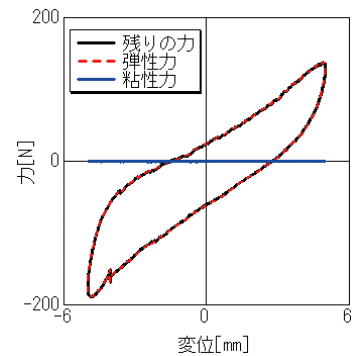


図27 発生力 $R_2$ の残りの力・弾性力・粘性力-変位曲線

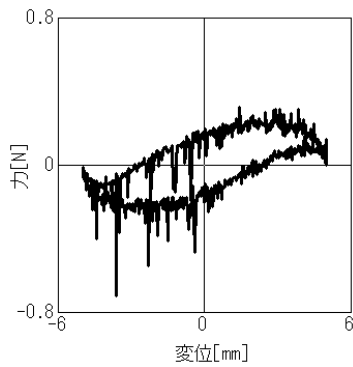


図28 図27残りの力の粘性力-変位曲線拡大

### 3.2.5 粒子の圧縮力分布

片室充填と同様、発生力 $D_2$ にはシリンダ壁面に加わる力以外の力、すなわち主に法線方向の弾性力が大きな影響を与えるため、ダンパ内の各粒子に働く圧縮力の影響を確認した。図29(a)から(d)は図17のA-A断面から見たダンパ内のピストンおよび粒子の位置と、粒子の圧縮力の分布であり、図中の粒子に加わる圧縮力は法線方向の弾性力である。

図29(a)から、ピストンが正側に変位すると、Chamber Aではピストン周辺で圧縮力の大きい粒子が多く、シリンダ底面側では圧縮力の小さい粒子が多いことがわかる。この時、Chamber B内ではピストン周辺で圧縮力の小さい粒子が多く、シリンダ底面側で圧縮力の大きい粒子が多い。これは、ピストンが正側に変位すると、Chamber Aの粒子がピストンに与える力が大きくなることを示しており、この時、Chamber Bはピストンに加わる力が低下している。これは、図29(c)から反対の向きでも同様の傾向であることがわかる。ただし、図29(a)と(c)を比較すると、図29(c)のChamber Bの方が図29(a)のChamber Aより圧縮力の大きい粒子が多く、図29(c)のChamber Aの方が図29(a)のChamber Bより圧縮力の小さい粒子が多い。このため、Chamber B側の負側に変位した時に粒子に働く圧縮力の影響の方が大きいことがわかる。Chamber Bの内容積がロッドの体積分だけChamber Aより小さいため、粒子の逃げ場がなく、粒子の圧縮がChamber Aよりも小さい変位で始まるためであると考えられる。また、片室充填の場合と同様に、粒子の変形による力の伝達に遅れも確認できる。

### 3.2.6 実験・シミュレーション結果比較

シミュレーションの妥当性を検証するため、実験および実験結果とシミュレーション結果の比較を行った。図30に発生力-変位曲線の実験結果とシミュレーション結果を示す。

図30から、シミュレーション結果は実験結果と定

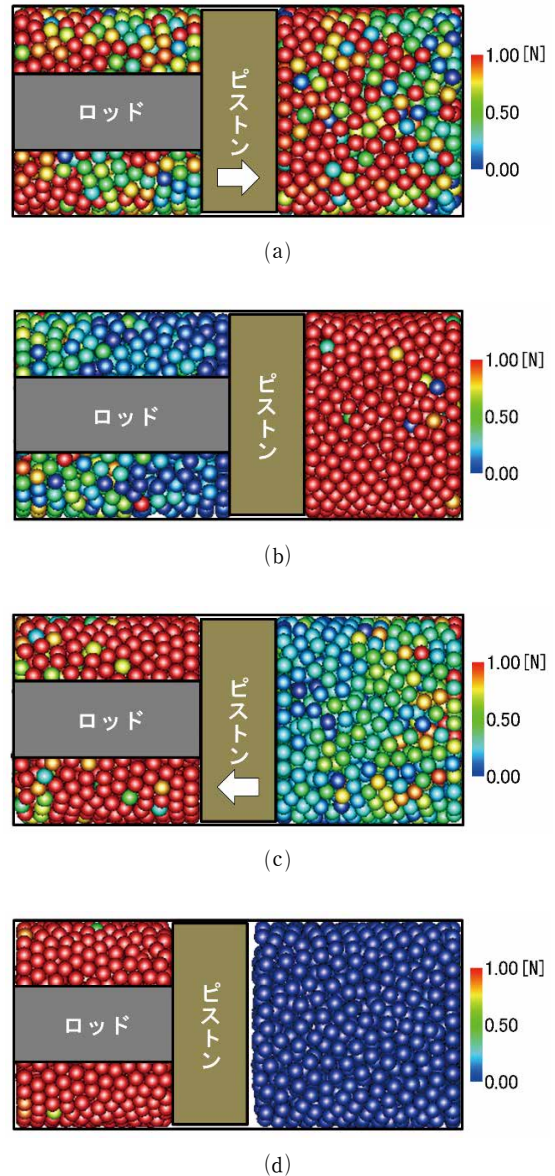


図29 圧縮力分布

- (a) 圧縮過程,  $z = 0$ ,
- (b)  $z = 5$ ,
- (c) 戻り過程,  $z = 0$ ,
- (d)  $z = -5$

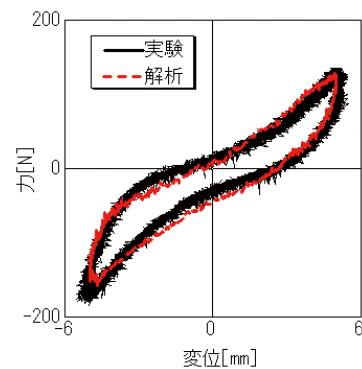


図30 発生力-変位曲線 実験・シミュレーション比較

性的、定量的に良く一致しているのがわかる。以上より、片室充填と同様、シミュレーションは実験での現象を良く再現できていると言える。

#### 4 結言

本報では、エラストマ粒子を用いた二室セパレート型片出し粒状体ダンパにて、片室および両室に粒子を充填した場合の発生力特性および力の生成要因を明らかにするため、調査、考察を行った。

片室に粒子を充填した場合は、発生力はヒステリシスを持つ漸硬型の特性を有し、法線方向の弾性力と接線方向の摩擦力の影響を大きく受ける。この時の弾性力は粒子が圧縮されることによって生じる圧縮反発力が主体的であり、摩擦力はシリンダと粒子間での滑り摩擦によって生じる。また、充填率、加振周波数、粒子材質に影響するヤング率および粒子径を大きくすると、最大発生力、ヒステリシスが增加する。特に充填率とヤング率の影響が大きい。

両室に粒子を充填した場合は、片室充填と同様、発生力はヒステリシスを持つ漸硬型の特性を有し、接線方向のシリンダおよびロッド壁面に加わる摩擦力とそれ以外の力に含まれる弾性力の影響を受ける。また、ロッド壁面に加わる摩擦力により、発生力の曲線は原点に対して非対称となっている。

片室および両室充填でのDEMによるシミュレーション結果は、実験結果と定性的および定量的に良く一致しており、シミュレーションは実験での現象を良く再現できている。

以上より、発生力特性および力の生成要因を明らかにすることができた。

今後の課題としては、本報では発生力の波形や粒子の圧縮力分布等による考察が主であるため、解析での粒子の弾性係数の変化量や粒子変形量等を追いつき、解析に使用した計算式と結び付けて検証することで考察の精度を高める必要がある。また、製品適用を検討する際には、ピストン径や粒子室長等のサイズによる発生力変化も把握し、他ダンパと比較した場合のメリット、デメリットを明確にする必要がある。

注) 本報は、名古屋工業大学2020年度博士学位論文『エラストマ粒子を用いた二室セパレート型片出し粒状体ダンパの生成力特性』を再編集したものである。

#### 参考文献

- 1) Y. Ido, K. Hayashi, Damping force of damper utilizing a spherical particle assemblage, Proceedings of 15th International Conference on Experimental Mechanics, 2012, Paper ref: 2714.
- 2) Y. Morishita, Y. Ido, K. Maekawa, A. Toyouchi, Basic damping property of a double rod type damper utilizing an elastomer particle assemblage, Advanced Experimental Mechanics, Vol. 1, 2016, pp. 93-98.
- 3) P.A. Cundall, O.D.L. Strack, A discrete numerical model for granular assemblies, Géotechnique, Vol. 29 Issue 1, 1979, pp. 47-65.
- 4) R.D. Mindlin, Compliance of elastic bodies in contact, Transaction of ASME, Series E, Journal of Applied Mechanics, Vol. 16 1949, pp. 259-268.
- 5) The Japan Society of Mechanical Engineers, JSME Mechanical Engineers' Handbook, Vol. 6, 1977, pp. 3-34, Maruzen Publishing Co., Ltd.

#### 著者



豊内 敦士

2009年入社。オートモーティブコンポーネツ事業本部技術統轄部開発センター製品開発室。  
粒状体ダンパの研究開発に従事。





# ピストンポンプ用ケース加工ラインの構築

伊藤 祐介

## 1 はじめに

カヤバ相模工場で生産しているPPM<sup>注1)</sup>製品の中にピストンポンプ(図1)があり、油圧ショベル用の部品である。このピストンポンプの構成部品の1つとして、ポンプケース(写真1)(以下ケース)があり、コア部品となっている。

昨今、市場での環境対策、省エネルギー要求が高まる中、ロードセンシング制御<sup>注2)</sup>を備えたピストンポンプの需要増加(図2)が見込まれており競争力のある製品づくりが求められている。その中でケース加工は原価割合が最も大きいため、原価低減が必須となっている。新規ライン構築に合わせ従来解決が困難だった品質安定化による可動率向上、及びサイクルタイム(以下CT)短縮を行い、原価低減につながる生産ラインを構築した。

注1) ピストンポンプモータの略。

注2) ポンプ吐出流量を制御し必要流量だけを供給するシステム。



図1 ピストンポンプ 写真1 ポンプケース

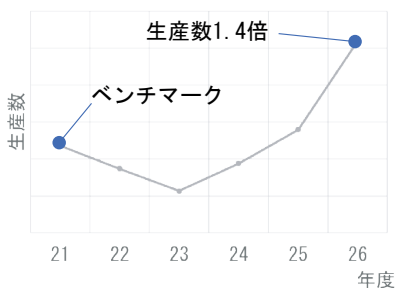
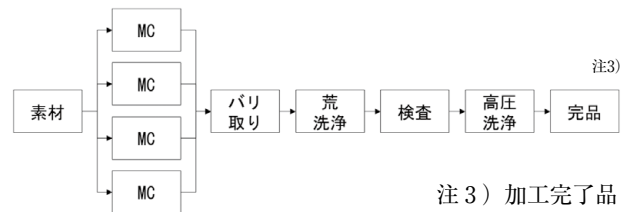


図2 ピストンポンプ生産数予測

## 2 ライン概要と課題

### 2.1 ケース加工ライン

ケース加工ラインはマシニングセンタ(以下MC)、バリ取り、荒洗浄、検査、高圧洗浄で構成されている(図3)。



注3) 加工完了品

図3 生産工程

### 2.2 課題

MC工程は工程集約<sup>注4)</sup>であり各設備で完了となるが、加工完了後の測定を設備毎で実施するため、CTが長くなっていた。その際、寸法修正が必要であれば都度調整作業を行っているため、可動率が低下していた。また、ケースは重量ワーク(18kg)をクレーン搬送で行っているため、危険作業となり手扱い時間が掛かる要因となっていた。

注4) 設備1台で全ての加工を行うこと。

## 3 目的

生産性を向上させ原価低減につながる生産ラインを構築する。

## 4 目標

目標値を表1に示す。

表1 目標値

項目	目標値 (従来比)
生産数	33%増加
可動率	6 %UP
CT	27%短縮
要員	1名削減

## 5 要件

- ①加工精度向上により人に頼らず品質を保証.
- ②加工高速化によりマシンタイム (以下MT) 短縮.
- ③搬送のクレーンレス化により危険作業廃止.

## 6 実施内容

### 6.1 機内計測による全数測定廃止

#### 6.1.1 従来からの品質の問題点

ケースの重要部位である表裏2穴(写真2)の同軸度(図4)が安定せず, 全数手動測定によるCTの増加, また寸法調整を実施しているため, 可動率が低下し生産性が悪化していた. 表裏の加工は加工テーブルを180度回転して行うため, 設備精度の影響を受ける. これは外気温変化と連続加工時の発熱が加わり設備自体が変位を起こし加工位置が安定しないことが原因とわかった(図5, 6). 温度変化による設備の変位に追従するためには, 温度センサや温調制御のシステムを追加する必要があり, 更に高額な設備投資となってしまう.



(a) 表 (b) 裏

写真2 内径

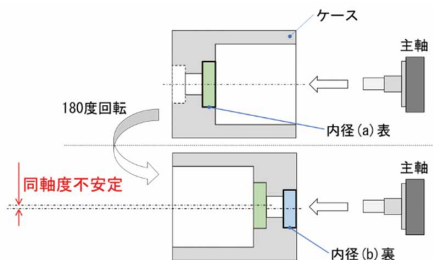


図4 ケース表裏加工概要

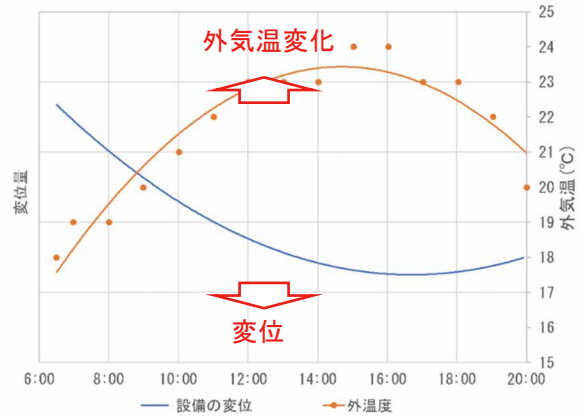


図5 外気温による設備の変位

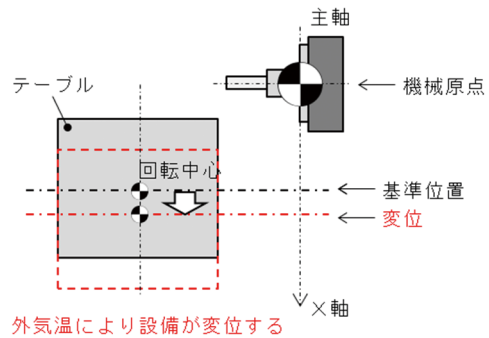


図6 変位のイメージ

#### 6.1.2 タッチセンサを用いた機内計測

高額な投資は原価上昇につながる. そこですでに設備に搭載しているタッチセンサを用いて変位量を計測し加工狙い値へ補正を掛けるプログラムを開発した(図7).

- ①設備導入時の初期設定として, ジグに設置された穴位置を計測し基準値をつくる.
- ②量産時は加工前にジグの穴位置を計測し, 基準値との差を加工の狙い値へ加算する.

量産時に設備が変位するとジグの穴位置が変化する. つまり初期設定の基準値との差が設備の変位量である.

この計測により表裏同軸度の工程能力を満足する加工が可能となった. これにより, 量産中の全数測定が廃止となりCTが短縮, 寸法調整廃止による調整ロスも無くなり可動率が向上した.

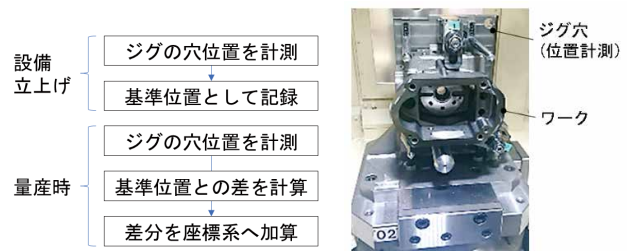


図7 プログラムフローと加工ジグ

### 6.2 フライスの最適軌跡の考案によるMT短縮

フライス加工はケース加工で最も時間が掛かる工程である(図8)。従来のフライスの加工軌跡は最短距離で移動させるが、フライス外周の50%を使い加工するため、ダウンカット、アップカットが混在し切削抵抗が一定とならずびびり易い(図9)。その対策として加工速度を落とすこととなり加工時間が伸びていた。

対策としてケースの複雑形状に最適な軌跡を考案した(図10)。ダウンカットのみで削ることで切削抵抗の方向が一定となりびびりの発生を抑制することができた。これにより加工速度を2倍に向上することができたため、MTを削減することができた。

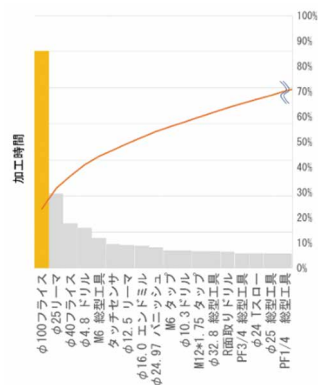


図8 工程毎の加工時間

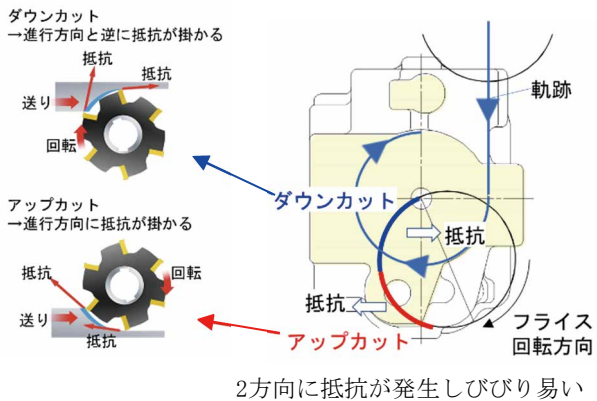
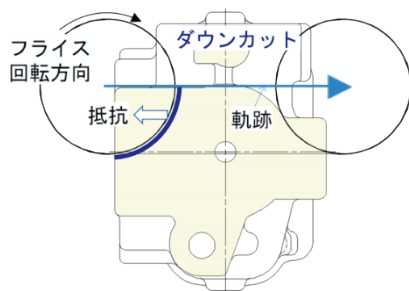


図9 フライス加工(変更前)



抵抗を一定にすることでびびりを抑制

図10 フライス加工(変更後)

### 6.3 ジグ取付け性向上による手扱い時間の短縮

横形MCのケース加工はイケールジグを使用するため、ワークを取付ける際は水平方向に取付け作業を行う(図11)。重量ワークを持ち上げるため、危険作業となる。また、クレーンを使用すると取付けの位置決めが難しいため、脱着時間が掛かり、目標の手扱い時間を満足できない。

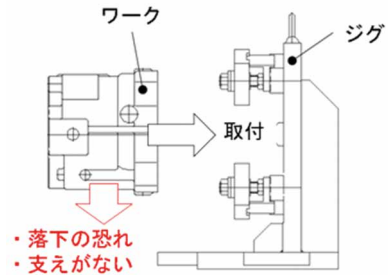


図11 従来のワーク取付け

対策としてイケールジグへ重量ワークを持ち上げずに取付けできるジグを考案した(写真3)。

ワーク投入時は搬送台車からジグへワークをスライドさせ、ジグの誘いで仮位置決めを行い、そのまま奥に押し込むとテーパピンにならい本位置決めができる(写真4)。ジグの取付けの作業性が向上したため、ワーク脱着時間が50%短縮、生産ライン全体の手扱い時間を20%短縮することができた。

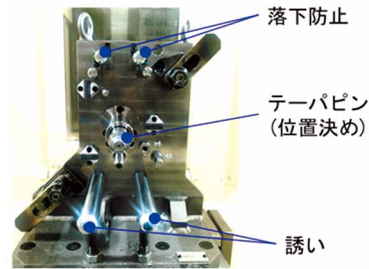


写真3 ジグ概要

ワークをスライドさせ投入

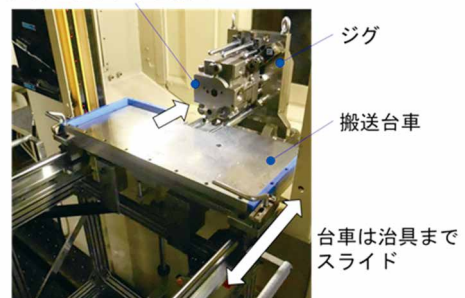


写真4 ワーク取付け状態

## 7 結果

目標を達成した。結果を表2に示す。

表2 結果

項目	実績（従来比）
生産数	36%増加
可動率	14.7%UP
CT	27%短縮
要員	1名削減

## 8 まとめ

新たな計測方法を考案し従来困難であった加工精度の工程能力を満足し、危険作業を廃止した人に負荷を掛けずに生産ラインを構築できた。

今後の新製品の原価低減に向けて本技術の展開を図る。

## 9 おわりに

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

## 著者



### 伊藤 祐介

2017年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部相模工場生産技術部生産技術課。主にPPM製品のポンプ工程設計を担当。

製品紹介

# スノーモービルレース用ショックアブソーバの開発

田 中 信

## 1 はじめに

KYBモーターサイクルサスペンション(株) (以下KMS)は、国内および海外のオートバイメーカーに製品を設計・製造している。一方で、スノーモービルや全地形対応車(以下ATV)といった特殊車両向けのショックアブソーバ(以下SA)の設計・製造も行っており、中でも、BRP Inc.社<sup>注1</sup>およびBRP Finland Oy.社<sup>注2</sup>とは30年以上にわたる取引がある。かねてより大きな市場シェアをもつ両社のスノーモービルブランドSki-DooおよびLynx<sup>注3</sup>は、2020年には世界市場の半数を超えるシェアをもっており<sup>1)</sup>、KMSは両ブランドの上級グレード車両に使用される高性能SAを設計・製造している。

スノーモービルの進化はめざましく、SAにも最先端の技術が多く投入されてきた。そのいずれもがレースで先行開発された技術であり、現在量産されているスノーモービル用SAにはその至るところにレースからフィードバックされた技術をみることができる。

本稿では、近年スノーモービルレース用SAとして先行開発された後、量産化された技術を中心に紹介する。

注1) Joseph-Armand Bombardier氏がカナダのケベック州ヴァルクールで世界初の雪上自動車を発明したことを起源とし、1942年にL'Auto-Neige Bombardier Limité 社として設立。その後、1959年にSki-Dooブランドが誕生。2003年にBombardierから分社化されBRPとなった。

注2) 北欧で唯一のスノーモービルメーカー。Nordtrac社を前身とし、2005年にBRP Finlandへ社名変更を経て、Lynxブランドを継続生産。現在も北欧で唯一のスノーモービルブランドである。

注3) Ski-DooおよびLynxはBRP社の商標です。

## 2 スノーモービルについて

### 2.1 車両ラインナップ

スノーモービルメーカーはユーザーが求める用途ごとに様々な車両を用意している。荷物の運搬などを目的としたSport/Utilityモデルのほか、ツーリング用のTouringモデル、高速で圧雪路を駆け抜けるTrailモデル、圧雪路に加えて非圧雪でも高い機動性をもつCrossoverモデル、非圧雪の雪山を駆け回ることに特化したDeep Snowモデルがある。それぞれのモデルには、さらに細かなグレードが設定されており、高度な吸収性・姿勢制御が求められるTrail・Crossoverモデルの最上級グレードには当社製のセミアクティブSA (KADS<sup>2)</sup>) が採用されている。また、雪山での良好な車両の取り回し性が求められるDeep Snowモデルには軽量なSAが採用されている。SAに求められる特性を吸収性・姿勢制御と重量の2軸で表すと、それぞれの用途に求められる特性は図1のようになる。

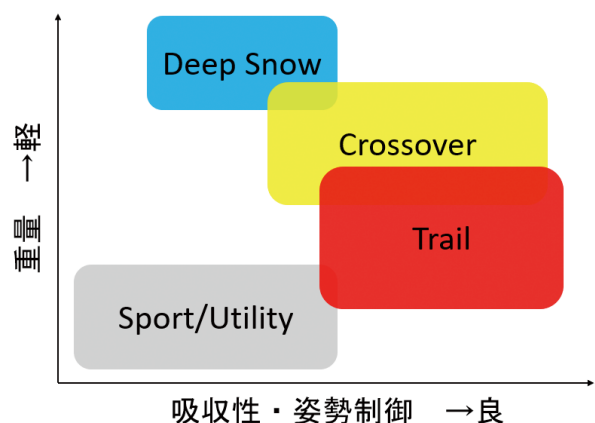


図1 用途によってSAに求められる特性

### 2.2 サスペンション構造

スノーモービルがオートバイやATVと大きく異なる点として、タイヤではなく、スキーやトラックで路面と接地していることが挙げられる(図2)。



図2 スノーモービルのサスペンション関連部品名称

スキーは、車体を雪上に浮かせながら、ハンドルの舵角と連動して車両の進行方向を決める役割をもち、ダブルウィッシュボーン形式のサスペンションに取付けられるのが一般的である。これは、大きなサスペンションストロークを確保しながら左右のスキーの間隔を広く配置でき、高い操縦安定性が得られるためである。左右のスキーはそれぞれ独立したサスペンションによって懸架されるため、フロントショックと呼ばれるSAが左右それぞれに装着される。

トラックは、広い接地面積を確保して車体を雪上に浮かせながらパドルで路面を掻いて前進させる役割をもつ。路面にトラックを押し付けながら追従させるレールの動きを制御するため、センターショックやリヤショックと呼ばれるSAが装着される。

### 2.3 SA構造

普及グレードの車両には、単筒の鉄またはアルミ製シリンダにガスを封入したショックアブソーバ（以下、ガスSA）が使用される。調整機能としては、スプリングのプリロードアジャスタに加えて、伸側減衰力調整機構（リバウンドアジャスタ）を備えるものもある（図3）。



図3 軽量アルミシリンダ単筒式ガスSA(左) とピギーバック式ガスSA(右)

上級グレードの車両には、より高度な吸水性・姿勢制御が求められるため、ベースバルブを備えた圧側減衰力調整機構（コンプレッションアジャスタ）付きのホース別タンク式ガスSA（後述）やピギーバック式SA（図3, 4）が使用される。

どのグレードに使用されるSAも、スノーモービル特有の使用環境に対応するため、専用に開発された部品を使用している。以下に一例を紹介する。

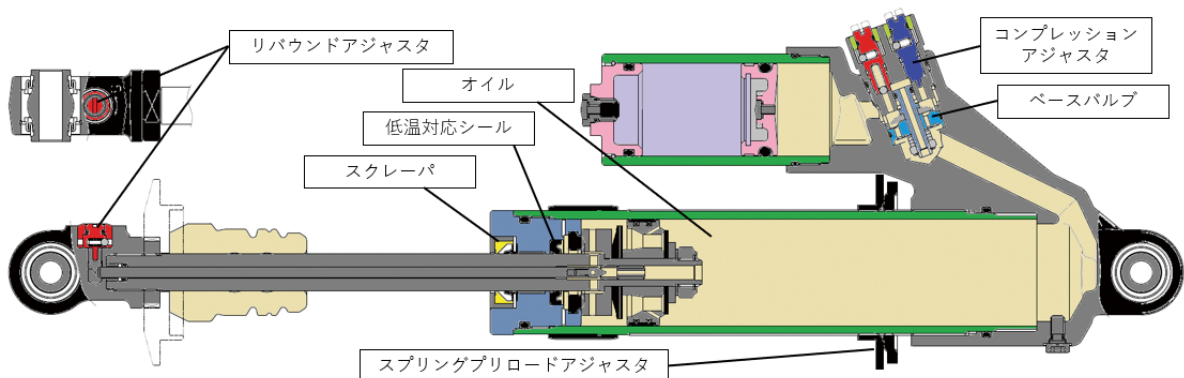


図4 ピギーバック式ガスSAの部品名称

- ・アイススクレーパー：  
シール部に内蔵することで、ロッド表面に付着した氷（図5）を掻き落とす
- ・オイル：  
専用の配合として氷点下での流動性を確保
- ・低温対応シール：  
氷点下でも密封性が維持できる材質に変更

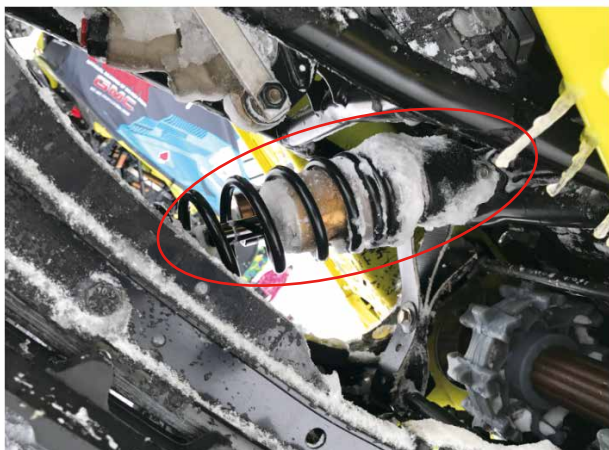


図5 SAに氷が付着した様子



図6 Ski-Doo MXZx 600RS<sup>注4</sup>



図7 Lynx Rave 600RS<sup>注4</sup>

注4) MXZx, Raveおよび600RSはBRP社の商標です。

### 3 スノーモービルレースの種類

スノーモービルを使ったレースにも、自動車やオートバイ同様に様々なカテゴリーが存在する。主なレースのカテゴリーについて説明する。

#### 3.1 スノークロス

オートバイのモトクロス競技をベースに発展したレースで、ジャンプやコーナー、バンクを人工的に作った周回コースを混走して順位を争う。

現在、スノークロスは北米および北欧の各地でシリーズ戦が開催されている。北米のコースはジャンプが連続しておりコーナーもタイトなため、加速・減速が多い傾向にある。一方、北欧のコースは自然の地形を活かしたコースが多くコース幅も広いいため、平均速度が高い傾向にある。北米の五大湖周辺で開催されるシリーズ戦のISOC Snocrossには北米だけでなく北欧からも有力選手が参戦しており、世界最高峰のレースライダーが、年間8会場、計17戦のレースでチャンピオンの座を争う。

Ski-Doo/Lynxはそれぞれスノークロス専用の車両をレースライダー向けに販売している（図6, 7）。いずれも、Trailモデルをベースに開発されており、排気量600ccの2ストロークエンジンを搭載し、サスペンションもスノークロスに特化した専用のリンク機構を採用した車両（以下、これらの車両を総称して600RSと呼ぶ）である。

当社はスノークロス用にファクトリーショックと呼ばれる先行開発品をBRP社へ供給しており、BRP社のレース活動に帯同し現地でのテクニカルサポートを通してSAの開発を行っている。

#### 3.2 ヒルクライム

スキー場の斜面を駆け上がり、タイムを競う。車両は、Deep Snowモデルをベースに改造した車両が用いられ、Jackson Holeで毎年世界選手権が行われる。

#### 3.3 クロスカントリー

Crossoverモデルを使用し、決められた目的地に向けて長距離を走りタイムを競う。アラスカで7日間にわたり4,000km以上を走破するIron Dogレースでは、雪のない路面や凍った川などを渡ることもある。

#### 3.4 その他

凍ったオーバルトラックを周回しながら順位を争うオーバルや、直線でのタイムを競うドラッグレース、水上で順位を競うウォータークロスなどがある。

## 4 スノークロス用SA開発

スノークロス用SAに求められる主な機能について、以下説明する。

#### 4.1 フロントショック

高速コーナリング中に車体のロールを抑えながらスキーを接地させるため、フロントショックは低速作動時から大きな減衰力を発生させる必要がある。また、近年大きくなっているギャップやジャンプに対応するため、より長いストロークが必要とされる。

## 4.2 センター・リヤショック

リヤサスペンション内に取り付けられたセンター・リヤショックは、激しい路面の起伏変化にレールを適切に追従させながら車体の姿勢を保つように制御している。車両前方にあるセンターショックは、常用域の減衰力を小さく抑えしなやかにストロークさせることで、レールを起伏変化に追従させやすくする必要がある。しかし、ジャンプ着地時には衝撃を吸収する役割も果たすため、高速作動時により大きな減衰力を発生するプログレッシブな特性が必要とされる。リヤショックは、フロントショックと同様の特性として車体のピッチングを制御することで、急激な加速や減速時の姿勢変化を抑えている。また、ジャンプ着地時の衝撃を吸収するため、他のSAよりも大きな減衰力と長いストロークが必要とされることから、SA自体の剛性確保も重要となる。

## 4.3 アジャスタ

スノークロスでは、昼間に行われる予選レースから夜に行われる決勝レースまで複数のレースに出走する必要があり、天候によってコース状況も刻々と変化する。あらゆる状況に素早く適応するため、SAには数多くのアジャスタが必要とされる。

## 4.4 600RS用SA開発の歴史

### 4.4.1 2000年初頭の開発

2000年代以前は、軽量な単筒アルミシリンダガスSAが使用されていたが、コース状況に合わせて伸側減衰力が調整できるリバウンドアジャスタを搭載するにとどまっていた。しかし、2000年以降に過激化するコースレイアウトに対応するため、ライダーの乗車姿勢は車両後方に座る姿勢から車両中央に立つ姿勢へと変化していった。これに対応した新たなシャシーやフロントサスペンションが開発される中、より大きな減衰力が得られるホース別タンクガスSAを開発し、衝撃吸収性を高めた(図8, 9)。



図8 2006年のレース用車両



図9 ホース別タンク式ガスSAフロントショック  
(コンプレッションアジャスタ付き)

2004年頃、タンク部を一体にしたピギーバック式ガスSAが開発されると、後にすべてのSAに採用された。また、さらなる吸収性向上のためピストンを36mmから40mmに大径化したほか、高強度・高剛性化のためにピストンロッドも大径化された。これらレース活動を通じて開発された技術は、後の量産モデル向けSAに展開され、現在も使用されている。

### 4.4.2 近年のアイテム開発

従来、スノークロスの最高峰クラスに使用するレース車両は、エンジンの出力を上げるなど大幅な改造が許されていた。しかし、2018年のレギュレーション変更により車両の改造範囲が制限されたことで、ベース車両の開発に一層力が注がれることになった。中でも、サスペンションの性能向上が重要課題とされ、リンク機構・構造の見直しやSAの性能向上などといった開発が積極的に行われた。その結果、サスペンション周辺部品は年々変更されており、600RSに使用されるSAも2018年以降毎年改良が加えられてきた。

スノークロス用ファクトリーショックで先行開発されたアイテムのうち、600RSに採用されたものについて以下に紹介する。

#### ①センター・リヤショックのピストン大径化

前述のレギュレーション変更を機に、当時の課題であったリヤサスペンションの衝撃吸収性向上のため、2013年頃より開発されていた大径ピストンの評価が本格化した。大径ピストンを使用したセンター・リヤショックをレースに投入したところ、大きなジャンプでも着地時の衝撃が軽減できたため、ライダーから高評価が得られた。600RSには、2018年モデルからセンターショックに、2019年モデルからは



リヤショックにそれぞれ採用された。

②スノークロス用インテグラルアジャスタ

タイトなレーススケジュールの中でライダーが要求する特性にSAを微調整出来るよう、モトクロスのレースで使用されているインテグラルアジャスタを投入した。インテグラルアジャスタの特徴として、通常は分解を伴う作業が必要となる伸高速減衰力の調整を、外部から素早く調整できることが挙げられる(図10)。レースに投入しながら、スノークロス用にチェックバルブの特性を最適化することで、ライダーから要望が多かったジャンプ着地後の車両姿勢の制御を容易に調整できるようになった。従来のアジャスタに対してより自在に調整できるようになったことが評価され、2020年モデルの600RSより全てのSAへ一斉に採用された。

③フロントショックのピストン大径化

前述の通り、センター・リヤショックともに採用された大径ピストンにより高評価が得られていたことから、フロントショックにも大径ピストンを採用してほしいとの要求が生まれた。しかし、フロントショックは限られた車体スペースに配置する必要があったため、各部品の形状を再検討する必要があった。新たに開発された新形状のガイドシリンダやベアリングは、2018-2019シーズンよりレースに投入され(図11)、特にジャンプ着地時の衝撃吸収性が大幅に向上した。その結果、レース中のライダーへの負担が軽減され、大きなアドバンテージを築くことができ、高評価が得られた。その後も信頼性を高めるべく開発を継続した結果、2021年モデルより全ての600RSに採用されたほか、LynxのTrailモデルの量産最上級グレード(図12)にも採用された。



図11 2018-2019シーズンに投入された新型大径ピストンフロントショック



図12 大径ピストンフロントショックを初採用した量産Trailモデル

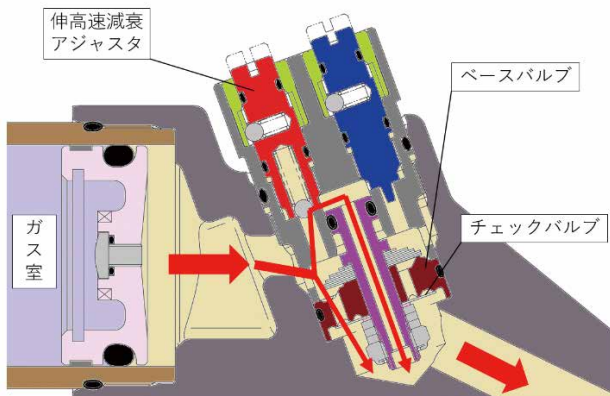


図10 インテグラルアジャスタの伸高速減衰力調整機構の模式図

4.4.3 現在の開発

北米および北欧で開幕した2021-2022シーズンもスノークロスのサポートを通して、開発を継続している。今季のファクトリーショックにも、次世代レース用SAへの採用が期待されるアイテムを複数投入しており、その効果が確認できている。

5 主な成績 他

2020-2021シーズン  
#200 Elias Ishoel選手  
ISOC Proクラス 3年連続チャンピオン獲得(図13)  
FIM World Championship Race 1優勝(総合6位)



図13 3年連続チャンピオンを獲得したElias Ishoel選手と現地テクニカルサポート担当のTim氏（左）とGilles氏（右）

## 6 おわりに

開発にあたりご協力をいただきましたBRP社、BRP Finland社のレースエンジニア、および20年以上に渡りレースに帯同し当社SAのテクニカルサポートを担当していただいているテクニシャンにこの場を借りて感謝を申し上げます。

最後に、これまでレース用SAの開発および量産化に携わり、今日の礎を築いていただいた先輩方に敬意を表すとともに、ご協力いただきました社内関係部門の皆様にも厚く御礼申し上げます。今後も、ユーザーにとってより魅力的な製品を開発し、当社の技術力を世間にアピールしていく所存です。

### 参考文献

- 1) Power Sports Business, 2020 Market Data Book, p. 61  
Worldwide Snowmobile Market Share
- 2) 植村, 小島, 菅原: 二輪車用電子制御サスペンションシステム“KADS”の開発, KYB技報 第63号. (2021年10月)

## 著者



### 田中 信

2015年入社。KYBモーターサイクルサスペンション(株)技術部第二設計室第2係。モトクロスレース用SAの設計・開発に従事した後、スノーモービル/ATV用SAの設計・開発に従事。

随筆

## チェコ駐在記

野村典史

## 1. はじめに

私は2016年4月から2021年4月迄の5年間KYB Manufacturing Czech s.r.o (以下KMCZ) に赴任していました。赴任前はSA関係の海外拠点へ品質支援業務を行っており、赴任準備を行っていた当時からアセアンの案件を担当していました。実は過去のKMCZへの出張は無くあまり情報のない中での赴任スタートでしたが、住めば都、色々な経験をして成長できた5年間でした。

駐在を振り返りそこでの生活の一部を紹介します。チェコ駐在の先人方々が名所、料理等々紹介していますが、まだまだ良い所、面白い話ありますのでお付き合いください。

## 2. チェコ共和国について

ご存じだと思いますがチェコは正式名チェコ共和国といい1993年以前は隣国スロバキアと一つの国でチェコスロバキアという国でした。私の子供の頃は、大相撲の千秋楽に在日大使が「ひょーしょーじょーあんたはえらい」と日本語で読み上げ、大きなボヘミアグラスを優勝者に渡していたのを記憶しています。そのボヘミアグラスは今もチェコの有名な特産品でその特徴は高い透明性と硬度があり、古くは教会のステンドグラスにも使われている。現在では花瓶やグラスなど幅広い用途で人気がある。

チェコの立地は西にドイツ、北にポーランド、南にオーストリア、南東にスロバキアに囲まれた海の無い国である。ちょうどヨーロッパの真ん中に位置していて緯度は北海道くらいなので冬はとても寒く、2月の中旬には氷点下10℃を下回る日が何日か続く。室内はセントラルヒーティングのため快適でしたので、冬場の週末は買い物以外ずっと家に籠っていました。逆に夏場は湿度も低く過ごし過ごしやすいため、窓を開けていればクーラー要らずで過ごせます。

そんな夏は、ビールを飲むには最高の季節で各レストランの前にはテーブル、椅子、パラソルが置か

れ皆好みのビール片手に家族、友人と話を楽しむ。ビールと言えば一人当たりの年間ビール消費量が毎年世界一である。国別ビール消費量(総量)は小さな国なので他国に敵いませんが一人当たりとなるとチェコ人の消費はダントツで1位である。早朝レストランやバルの前を通るとビールを詰めたタンクローリーが横付けされていて、給酒している光景に出くわすと、前夜に飲み干されたビールの補充量がすごい量だと分かり、改めてチェコ人のビール好きを認識出来る光景です。

また、チェコといえば古い街並みで世界文化遺産がいくつもあります。プラハだけでなく我々が住んでいたバルドビツェ近くにもクトナーホラという観光地がある。昔は銀の採掘で富をもたらした街で豪華な建造物が点在している。

有名なのが聖バルボラ教会やセドレツ納骨堂で聖バルボラ教会は13~15世紀にみられるゴシック建築様式の教会で教会内部には様々な像や絵画が飾られています。建物は中心に3つの屋根があり、その周りに先の尖った柱がいくつも立っている。

セドレツ納骨堂は約1万人の人骨を使って内装が装飾されていて中に入ると夏でも涼しく、少し埃っぽい感じがします。入り口には紋章があり、中に入るとシャンデリア、壁にはいくつもの装飾が全て人骨で組み立てられており、日本では考えられない人骨の使い方にびっくりします。

工場のあるバルドビツェは東ボヘミア地方でプラハから東に100kmくらいの場所にあり、有名なのはヴェルカパルドツカという障害競馬が毎年10月に行われる事、開催時にはヨーロッパ各地から多くの観光客が訪れ、ワイン片手に競馬を楽しんでいる。

駐在中の住まいはバルドビツェ市中心にあり市庁舎のある広場で食事をしたり、お城に行ったりしました。市庁舎も昔の建物を改装されたもので季節毎のイベント時には外装を飾られ、ライトアップされてきれいな建物で市民に親しまれた建物である。

その他にもチェコには色々な観光地はありますが、

日本からみえる方々の旅行ツアーはプラハからチェスキークルムロフを経てオーストリアへ行かれるのが定番である。



写真1 パルドビツェ市庁舎

### 3. KMCZ

2016年当時のKMCZは2015年に西側へ工場拡張(15千㎡から約2倍の35千㎡)、組立ライン等の追加があり2015年度からは増産開始をしていた時期であった。この頃からチェコは好景気で設備投資や個人消費も毎年増加していました。それに呼応するように失業率の低下、賃金の上昇が毎年進み、少しでも条件の良い職場に移るため退職する従業員の代わりを確保するのが駐在中の課題となった。

KMCZでは2016年8月に単筒ガスSAと標準SAを組立てられる手動ラインを導入、2017年12月には3本目となるST溶接、組立ライン導入と生産体制を着々と整えて工場拡張前の2014年370万本/年であった出荷高は増加して18年には570万本/年となる工場となっている。その後19年、20年はコロナ影響もあり出荷高が減りましたが、生産を年々伸ばしてきた。

現在のKMCZは工場西側にトラックドックがあり、完成品やチューブ等の入出庫を行っており、すぐ傍に完成品置場がある。西南にチューブやロッドの加工ライン、部品庫があり、拡張した部分は主に完成品置場と前加工の生産場所となっている。工場東側には内蔵部品のバルブ組立、標準SAの組立ライン、ストラット型SAの組立ラインが並んでおり、完成品は、また西側の完成品置場へ移動する生産の流れとなっている。

勤務は組立ラインが3グループ、前加工ラインは4グループ勤務で、従業員数700人程の会社となっています。日頃の生産では厳しい顔をしている従業

員も夏のオープンハウスや冬のクリスマスパーティーでは違う顔を見せみんな楽しんでもらいました。



写真2 KMCZオープンハウスの様子

### 4. チェコ人のお楽しみ

チェコの人たちは体を動かす事が大好き。週末には家族で山へ行ったり、自電車に乗ったり、インラインスケートをしたりしている。我々も週末にはゴルフをしましたが、ゴルフ場でよく見た光景はプレーをしている人は一人。奥さんと子供、犬はただ一緒に歩くといったものでした。家族と自然の中にいるのが好きな国民性だと感心しました。

スポーツ大好きなチェコ人ですが日本でも有名なのはテニスではないでしょうか。特に女子テニスは世界ランキングに何人かいます。クレイチコバ、プレスコバは知っている人も多いのではないかと思います。チェコでも毎日活躍をニュースで放映していました。少し前の事です。冬のオリンピックでスキーとスノーボードで金メダルを取った人がいましたが、彼女もチェコ出身で女性のスポーツ界での活躍はめざましいものがあります。



写真3 クネチスカゴルフ場

## 5. アイスホッケー

チェコの人気スポーツはアイスホッケーでプロリーグも盛んである。パルドビツェにもプロチームがあり試合の開催日になるとユニホームを着た人々が大勢アリーナに向かいます。勝っても負けても帰り路は大騒ぎ。外の歓声でホッケー開催日が分かるほど。何度か観戦に行きましたがパックを奪い合うところや選手同士がぶつかり合うところ、たまの喧嘩はすごい迫力です。不幸にも毎回得点シーンは見られず、ランプと音で得点が入ったのを確認してから喜ぶにわかファンでした。

チェコの人にとってホッケーは国技のような感覚で子供の頃からスケート場でプレーをしていますし、夏場もアイスホッケーと同じようなスティックを使ったグラウンドアイスホッケーのような競技を楽しんでいる。2018年の平昌五輪では準決勝でロシアと試合であった。最終的にチェコは負けてしまいましたが、チェコ人スタッフは試合経過を常にネット等で確認、互いに情報共有、仕事どころではなかったです。

チェコ人に日本から来たと言うと、たまに日本のどこから？と聞かれる事があります。長野オリンピックではチェコのホッケー代表が金メダルを取ったそうで、日本＝長野の記憶が残っています。ホッケー大国チェコもそれまでは銀メダルが最高で、またロシア相手に負ける事が多かったので、長野では決勝でロシアに勝って金メダルだったため喜びもひとしおだったようです。チェコ人にとっての重大事件が日本の長野でおきた訳で、長野オリンピックの話を出せば、すぐ仲良くなれると思います。



写真4 アイスホッケーの試合

## 6. チェコの食べ物

チェコの食べ物は？と聞かれますが会社の昼食によく出ていたのがシュニッツェルというカツレツで、鶏肉や豚肉など挟んで揚げている。味は日本のものとはほとんど変わらない。駐在員の人気はトンカツソースをつけてもらい、白米と一緒に食べるのが楽しみでした。チェコ近隣のオーストリア、ドイツなども同じ料理があり、シュニッツェルにジャガイモを添えて出されるのが定番である。

グラーシュというハンガリー起源の牛肉シチューも昼食の定番で、チェコのレストランに行けば、必ずメニューにある国民食である。日本のビーフシチューに比べ少し塩気がある味付けで、蒸しパンを添えて出されることが多い。個人的にはパンの器にスープ風に入っているのがお勧めです。

好き嫌いがあるかもしれませんが、次に紹介したいのがタルタル（タートル）ステーキで、我々日本人の発音が悪いのでレストランでの注文時苦戦しますが、牛肉のユッケで香辛料とニンニクなどで味付けされています。食べ方は良く焼いたパンに生ニンニクをスリおろしその上に適量載せていただきます。チェコ人はニンニクの匂いはお構いなして男女ともおいしそうに口に頬張ります。食べ過ぎると次の日のお腹の保証ができません。

飲み物にはコフラ（Kofola）という炭酸飲料があり名前の通りチェコ版コーラである。歴史は古くチェコスロバキア時代にコーラを真似して作ったと言われ、微炭酸でレモンの香りがほんのりする飲み物です。最初の内は気の抜けたレモン入りコーラと思っていましたが、癖になる味でビールと並び国民的な飲み物である。



写真5 タルタルステーキ

## 7. チェコ人の名前事情

チェコ人の苗字について教えてもらった事があり、日本人の苗字と似ていますので紹介する。いくつかの苗字の起因は自然等から付けられたものようでコペツキー (Kopecky) は丘、山、ノボトニー (Novotony) は新しいという意味で、日本でいう山本さん、新井さんみたいなものだなあと感じました。氏名も日本と同じで苗字名前の順という事も教えてもらい、ちょっと親近感の湧いた話題でした。

言い忘れましたがチェコでは男性の苗字、女性の苗字の語尾が少し違います。男性は語尾がkyとかyで女性はaで終わります。上記のコペツキさんも奥さんはコペツカ (Kopecka)、ノボトニーさんも女性はノボトナ (Novotona) になります。女性の苗字は男性の語尾にovaが付属されるのが多い。

KMCZの中で男性に多かった名前がヤンさん (Jan)、チェコ語では「Ja」を「や」と読みます。昔の偉人たちにもヤンさんは多いので人気のある名前なのだと思いますが愛称が変わっている。愛称はホンザ (Honza) という違う読みになる。駐在当初は意味が分からず誰に声をかけているのか周りを見渡していましたが、他にもアンナ (Anna) がアニチカ (Anicka)、エバ (Eva) がエヴィチカ (Evicka) というのもあり、愛称って短くするのではないの？と思ったものでした。

他にも名前に関する話としてチェコだけではないかもしれませんが、カレンダーに名前の日があり誕生日の様にお祝いします。1年に2回誕生日があるようで、はじめの頃は先月も誕生日だったのでは？と疑問に思ったものでした。

## 8. 欧州地区でのコロナ禍

日本ではダイヤモンドプリンズ号での感染が大きく報道された数か月前、イタリアやスペインでコロナウイルスがエピデミックな広がりをみせました。チェコでは対岸の火事と最初は見ていたようですが対象国からの帰国者が次々と発症し2020年3月には隣国との国境閉鎖や航空便の運航停止が始まりました。外国人の入国禁止など未知のウイルスに対し欧州各国が対策を取っていきました。

KMCZでも子供の冬休みに合わせてイタリアやクロアチアへ旅行に行った従業員がおり自主隔離の指示を出し、マスク、消毒液不足の懸念から事前に注文をしたり、出張者の出張期間を変更し、国際便の運航停止前に緊急帰国させたりしてコロナ対応をしました。

その後状況は悪化してロックダウン、顧客の工場

停止が計画され、4月はKMNAでの生産がありませんでした。ロックダウン中は食料品店、ガソリンスタンド、薬局以外は全て閉店。レストランがやっていない為、単身者にとっては食事の確保など苦勞が多く、他の規制では夜9時から翌日の6時迄外出禁止などもあり、店舗の照明は落とされ人通りもなくなって町が閑散とした状態でした。

その後、新規感染者数の推移をみながら規制は段階的に緩和されていき、規制解除と感染拡大、また規制といった状態を繰り返していきました。その間も海外からの観光等入国は禁止され続けていた為、観光業や飲食業の打撃は非常に大きい。

規制緩和時にプラハに所用があり訪れたことがありましたが、いつもなら観光客でいっぱいの街なのにその時は有名なカレル橋にも人はおらず、川向こうの道路にも人がいませんでした。風景はきれいでしたが、いつもと違う街に不思議な感じがした。

新規感染者が増えていた時期は会社内でも感染者が出たり、濃厚接触者として出勤ができなかったりして生産の人員を確保するのに大変な時期がありました。今も一進一退だと思いますが、早くコロナウイルスが終息する事を願う。



写真6 プラハ レトナー公園から

## 9. 終わりに

ちょうど5年の任期を終え日本へ帰国しましたが各国で駐在されている方々のご苦勞察します。

駐在中は管理や拠点長など日本で経験してきたこと以外での業務をさせてもらい、会社の運営をいろいろ学べた駐在期間であった。また、異文化の中での経験は今まで当たり前だと思ってきたことに対する見方を変える事が出来る良い機会であった。特に前回駐在したアメリカ、今回のチェコと2か国も経験させていただき、その国々での人、文化、経済を日本と比べ自分で考えることが出来、このような

機会をいただき感謝します。

今後海外に駐在される方々は、業務だけでなく海外の生活の中で異文化を吸収していただきたい。

末筆ですが駐在中にご支援戴いた方々に感謝いたします。微力ながら今後もKMCZの発展に協力させていただきたいと思っています。

---

著 者

---



**野村 典史**

1992年入社，品質本部品質管理部  
専任部長，SA品質保証部門，ア  
メリカ駐在，商品企画部，チェコ  
駐在を経て現職。

# 「カヤバが構築しているIoTプラットフォーム」

「新時代のMESサービスの基礎構築」(p. 7)に記載

DX推進部 瀧野慎介

## 1

### KYB-IoTプラットフォーム概要

近年、カヤバでもデータやデジタル技術を活用した案件が多く見られるようになってきました。

これらの増加に伴い、ビッグデータを継続的に収集・保管する「データ収集基盤」や、BI (Business Intelligence), AI (Artificial Intelligence) といったデータ活用を加速させるための「データ分析基盤」が必要となります。

そこでDX推進部では、カヤバ内で広く正しくデジタル技術を活用できるように、「データ収集・分析基盤」となるIoTプラットフォーム構築を進めています。KYB-IoTプラットフォームの概念図を図1に示します。

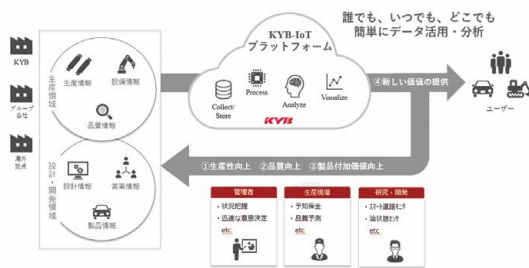


図1 カヤバが構築しているIoTプラットフォーム

雲の形をしている部分がKYB-IoTプラットフォームで、AWS (Amazon Web Services) 様のクラウドサービスを用いて構築しています。

カヤバや関係会社が持つ「生産」「設計・開発」領域 (例: 工場設備や開発中の実験) のデータを「収集、加工、分析、可視化」し、社外ユーザにあたるお客様へ「新価値の提供」、社内ユーザへ「生産性」「品質」「製品付加価値」の向上を図っています。

## 2

### KYB-IoTプラットフォームの主な機能

今後大きな効果を生み出していくための3つの技術的な機能を紹介します。

#### ①収集機能

収集に多くの工数をかけずにデータの分析や活用ができるように、部署ごとにあるデータ収集・保管の仕組みを構築、ビッグデータを継続的に集めて保管する機能となります。

#### ②改ざん防止機能

システムへの全操作ログを記録します。さらに万が一改ざんがあった場合でも、自動で履歴を残した上でアラートメールを送信する機能も備えています。これによって、社内でのデータ管理・アクセスの透明性を確保し、お客様に「安心」「安全」を提供します。

#### ③分析管理機能

AI開発は「ソースコード、データ、パラメータ」の3つ揃って初めて再現性を担保できます。

運用中にもデータは変化するため、それらをセットで管理し、継続的に再学習とモデル変更ができる基盤を構築することで長期運用を実現します。

また、KYB-IoTプラットフォームに保管された情報に対し、Webブラウザ上で様々な可視化や簡易的な分析を行える環境を提供することで、普段の業務の中で誰もが当たり前のようにデータ分析を行えるよう、データ活用人財育成も合わせて実施していきます。



# 「キャビテーション」

「油圧作動液中の気泡含有量コントロール技術の研究」(p. 16) に掲載

技術本部 基盤技術研究所 要素技術研究室 長 島 碧

## 1 キャビテーションとは

作動流体中の気泡には、攪拌により混入する気泡、油圧回路やタンクの振動により混入する気泡（スロッシング）、作動流体中に溶解している空気がある程度減圧された際に析出する気泡（エアレーション）があるが、管路内や機器内部の作動流体の流速増大などにより、圧力が飽和蒸気圧以下になった場合に作動流体が気化して気泡が発生する。この気泡が発生する現象をキャビテーションと呼ぶ（図1）。

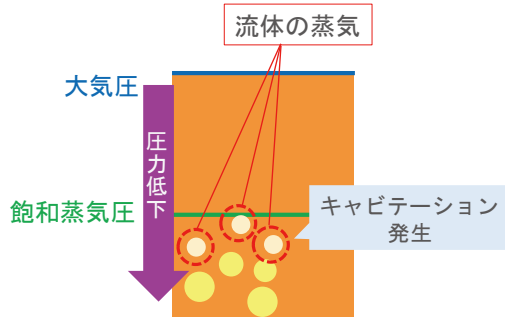


図1 キャビテーションの発生原理

## 2 キャビテーションが引き起こす問題

キャビテーションにより発生した気泡は、流体の圧力が再び上昇すると、急激に消滅（崩壊）する。その際に発生する衝撃圧により、管路壁面や機器の構成部品がダメージを受けて損傷するエロージョン現象（キャビテーション壊食）が引き起こされる場合がある。また、衝撃圧が繰り返し発生することで管路や機器の振動・騒音につながる場合もある。

このほか、キャビテーションは製品においても、品質低下などの問題を引き起こす要因になりうる。以下、2製品を例に挙げる。

### 2.1 油圧ポンプ

ポンプ回転数が増加すると、吸込み部の流速が増大する。回転数が一定の値を超え、吸込み部に局所的な圧力低下が生じると、キャビテーションが発生する。油中に多数の気泡が混入すると、その分だけ吸込み体積に占める油の体積が減少し、図2のように吐出流量が減少する不具合が起こる。

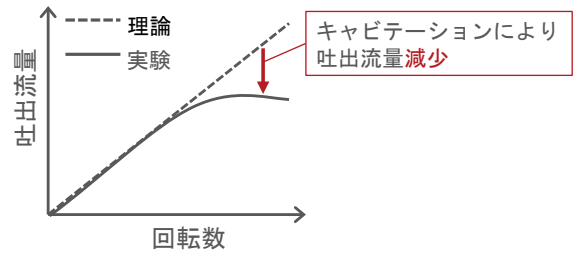


図2 吐出流量特性

### 2.2 ショックアブソーバ

自動車部品であるショックアブソーバ（図3<sup>(1)</sup>）は作動油が封入されたシリンダ内をピストンロッド（バルブ）が移動することで、路面から自動車に伝わる振動を減衰させる。このとき、ピストンロッドのストローク速度が急激に増大すると、キャビテーションが発生する場合がある。気泡の発生により、油の圧縮性などが変化することで、図4のように狙った減衰力特性が得られなくなってしまう。

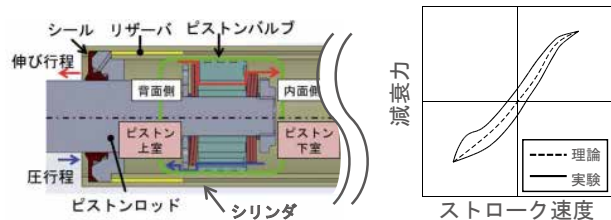


図3 ショックアブソーバ概要図 図4 減衰力特性

#### 参考文献

- 1) 佐野悠太：SAバルブ特性解析技術の開発，KYB技報第58号（2019年4月）。

## 編集後記

平成中期に立て続けに3回にわたり、記事の執筆をさせて頂いた。当時、文才の無い私は、なぜ連続で何回も記事を書かないといけないのか不満を漏らしながら、編集員からの指摘に校正を繰り返したものだ。15年の時が流れて、こうして皆さんの記事を読みながら改めて、前に一步進む、新しいものを生み出し、世に示し、育て、更に次の一步前へと進むことの必要性を再認識している。昔、上司に、停滞は退化と同じだ。改善・開発のスピードの差が利益の差だ。相手より早く進んでこそ初めて勝てると言われた事を思い出した。こんな時期だからこそ、執筆者を含め技術者一同の活躍を期待したい。(野口委員)

コロナ禍により生活スタイルは大きく変化した。仕事ではテレワークやWEB会議が当たり前となり、当編集委員会もWEB会議で開催されている。休日には密になりにくいことからキャンプが人気であった。かくいう私も、にわかキャンパーの1人である。デジタル化で利便性が向上する一方、ある意味不便さを楽しむニーズがあるというのは、少し複雑な感じである。カヤバ技報は、お客様や社内の様々なニーズに対応した成果でもあり、今後もカヤバの技術や魅力を広く発信していきたいと考えている。(早瀬委員)

自動車、建設機械等が自動運転や遠隔操作化の方向へ進んでいる。油圧部品メーカーとしてそれらに対応、追従していかなければならぬ日々悩んでいる中、自分が編集委員となり記事の確認、ここ最近のカヤバ技報を見てみるとそれらのヒントが多く掲載されている。コロナ禍で大変な状況ではあるが他拠点で様々な開発をし、様々な製品を生み出していると改めて感じ非常に心強い。そんなカヤバグループ全体の技術を活用し今後開発を進めていきたいと考えている。(小林委員)

## 編集委員

◎伊藤 隆	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
梶澤 亮一	技術本部基盤技術研究所	丸山 政一	航空機器事業部技術部
早瀬 知己	技術本部生産技術研究所	川島 茂	特装車両事業部熊谷工場技術部
周防 士朗	技術本部知的財産部	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
松村 亮一	経営企画本部経営企画部	岡村 和徳	KYBステージエンジニアリング(株)技術部
太田 康洋	AC事業本部技術統轄部	河野 義彦	(株)タカコ技術本部開発部
宮谷 修	AC事業本部技術統轄部	小林 弘孝	KYB-YS(株)設計部
佐々木和弘	AC事業本部技術統轄部	○小畑 宏	技術本部技術企画部
野口 洋一	AC事業本部PS事業部生産技術部	○大林 義博	技術本部技術企画部
齋藤 啓司	HC事業本部相模油機技術部		

◎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

### カヤバ技報 第64号

〔禁無断転載〕 〔非売品〕

発行 2022年4月1日  
編集発行人 カヤバ技報編集委員会  
発行所 カヤバ株式会社  
(2022年4月1日より、通称名称に  
カヤバ株式会社を採用いたしました)  
〒105-5128  
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ディング南館28階  
電話 03-3435-3511  
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、カヤバ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。

〈カヤバのホームページアドレス〉

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

(トップ画面からカヤバ技報バナーをクリックして下さい)