

ISSN 1880-7410

KYB TECHNICAL REVIEW

KYB技報
OCT. 2019 No.59

K
Y
B
技
報



KYB TECHNICAL REVIEW No. 59 OCT. 2019

KYB

KYB 株式会社

KYB株式会社

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

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

基盤技術研究所	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎252-0328	☎(042)745-8111
生産技術研究所	岐阜県可児市土田60番地	☎509-0206	☎(0574)26-1453
KYB開発実験センター	岐阜県加茂郡川辺町鹿塩白砂1185番地の4	☎509-0307	☎(0574)52-1323
工機センター	岐阜県可児市土田60番地	☎509-0206	☎(0574)26-5310
名古屋支店	愛知県名古屋市市中村区名駅三丁目11番22号 (IT名駅ビル)	☎450-0002	☎(052)587-1760
大阪支店	大阪府吹田市江坂町一丁目23番20号 (TEK第2ビル)	☎564-0063	☎(06)6387-3221
福岡支店	福岡県福岡市博多区博多駅東二丁目6番26号 (安川産業ビル)	☎812-0013	☎(092)411-2066
広島営業所	静岡県浜松市中区神明町315番地1 (浜松しみずビル)	☎430-0931	☎(053)454-5321
相模工場	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎252-0328	☎(042)746-5511
熊谷工場	埼玉県深谷市長在家2050番地	☎369-1193	☎(048)583-2341
岐阜北工場	岐阜県可児市土田2548番地	☎509-0298	☎(0574)26-5111
岐阜南工場	岐阜県可児市土田505番地	☎509-0297	☎(0574)26-1111
岐阜東工場	岐阜県可児市土田60番地	☎509-0206	☎(0574)26-2135
カヤバシステムマシナリー株式会社	東京都港区芝大門二丁目5番5号 (住友不動産芝大門ビル)	☎105-0012	☎(03)5733-9441
KYBトロンデュール株式会社	新潟県長岡市浦3909番地	☎949-5406	☎(0258)92-6903
株式会社タカコ	京都府相楽郡精華町祝園西一丁目32番地1	☎619-0240	☎(0774)95-3336
KYB金山株式会社	岐阜県下呂市金山町戸部字舟野4350番地の130	☎509-1605	☎(0576)35-2201
KYB-Y S株式会社	長野県埴科郡坂城町坂城9165	☎389-0688	☎(0268)82-2850
KYBモーターサイクルサスペンション株式会社	岐阜県可児市土田2548	☎509-0298	☎(0574)27-1170
KYBエンジニアリング	東京都港区芝公園一丁目6番7号住友不動産ランドマークプラザ	☎105-0011	☎(03)6895-1260
アンドサービス株式会社	岐阜県可児市土田505番地	☎509-0226	☎(0574)26-1110
KYBシステムリット株式会社	岐阜県可児市姫ヶ丘二丁目16番地	☎509-0249	☎(0574)26-6427
KYBロジスティクス株式会社	東京都港区浜松町二丁目9番3号 (NBC浜松町ビル)	☎105-0013	☎(03)3436-5660

KYB Corporation

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

Head Office

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

Overseas Subsidiaries and Affiliates		
【Americas】 KYB Americas Corporation 2625 North Morton, Franklin, Indiana 46131, U.S.A. TEL: (1)317-736-7774	KYB CHITA Manufacturing Europe s.r.o. Prumyslova 1421, 53701 Chrudim, Czech Republic TEL: (420)469-363-302	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
Takako America Co., Inc. 715 Corey Road Hutchinson, Kansas 67504-1642, U.S.A. TEL: (1)620-663-1790	LLC KYB Eurasia 117638 Odesskaya street 2 building A, Moscow, Russian Federation TEL: (7)495-7716010	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 International America, Inc. 2625 North Morton, Franklin, Indiana 46131, U.S.A. TEL: (1)317-346-6719	【Asia】 KYB Steering (Thailand) Co., Ltd. 700/829 Moo 6, T. Nongtamlueng Amphur Panthong, Chonburi 20160,Thailand TEL: (66)3-818-5559	KYB-Conmat Pvt. Ltd. 702-703, Beside N. H. No. 8, Por, Vadodara 391243, Gujarat, India TEL: (91)960-1551608
KYB Mexico S.A. de C.V. Circuito San Roque Norte #300 Santa Fe II, Puerto Interior, Silao Guanajuato, CP 36275, Mexico TEL: (52)472-748-5000	KYB (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 Corporation Chennai Branch No. 408, Height 1, Temple Green Project, Mathur Village, Sriperumbudur Taluk, Kancheepuram District, India 602105 TEL: (91)2568-0501
KYB Latinoamerica, S.A. de C.V. Blvd. Manuel Avila Camacho 32 Int. 403, Col. Lomas de Chapultepec, I seccion, Del. Miguel Hidalgo, Distrito Federal, C.P. 11000, Mexico TEL: (52)55-5282-5770	KYB Asian Pacific Corporation Ltd. No. 4345 Bhiraj Tower at BITEC, Unit 1209-1211, 12th Floor, Sukhumvit Road, Bangnatai Sub-District, Bangna District, Bangkok 10260, Thailand TEL: (66)0-2-300-9777	KYB Middle East FZE Office No. 2010 20th Floor, Tower-A JAFZA One, Jebel Ali Free Zone, PO.BOX:261819, Dubai, UAE TEL: (971)4-887-2448
KYB Manufacturing do Brasil Fabricante de Autopeças S.A. Rua Francisco Ferreira da Cruz, 3000, Fazenda Rio Grande-Parana, CEP 83820-293, Brazil TEL: (55)41-2102-8204	KYB-UMW Malaysia Sdn. Bhd. KYB-UMW Steering Malaysia Sdn. Bhd. Lot 8, Jalan Waja 16, Telok Panglima Garang, 42500 Kuala Langat, Selangor, Malaysia TEL: (60)3-3322-0800	【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, Zhenjiang, Jiangsu, 212009, China TEL: (86)511-8558-0300
Comercial de AutopeÇas KYB do Brasil Ltda. Rua Cyro Correia Pereira, 2400 Suite 07-Cidade Industrial, Curitiba-PR, 81460-050, Brazil TEL: (55)41-3012-3620	PT. KYB Hydraulics Manufacturing Indonesia JL. Irnan X blok RR2 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia TEL: (62)21-28080145	凱達必機械工業(鎮江)有限公司 KYB Industrial Machinery (Zhenjiang) Ltd. No. 38, Wei 3 Road, Dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhenjiang, Jiangsu, 212009, China TEL: (86)511-8889-1008
【Europe】 KYB Europe GmbH Fritz-Vomfelde-Str. 20, 40547 Düsseldorf, Germany TEL: (49)211-538-059-0	KYB Kayaba Indonesia JL. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia TEL: (62)21-8981456	無錫凱達必拓普減震器有限公司 Wuxi KYB Top Absorber Co., Ltd. No. 2 Xikun North Road, Singapore Industrial Zone, Xinxu District, Wuxi, Jiangsu, 214028, China TEL: (86)510-8528-0118
KYB Suspensions Europe, S.A.U. Ctra. Irurzun S/No. 31171 Ororbia Navarra, Spain TEL: (34)948-421700	PT. Chita Indonesia JL. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia TEL: (62)21-89983737	常州朗銳凱達必減振技術有限公司 Changzhou KYB Leadrun Vibration Reduction Technology Co., Ltd. No. 19 Shunyuan Road, New District, Changzhou, Jiangsu 213125 China TEL: (86)519-8595-7206
KYB Steering Spain, S.A.U. Poligono Ipertegui No. 2, nave 12, CP-31160, ORKOIEN Navarra, Spain TEL: (34)948-3121004	KYB Manufacturing Vietnam Co., Ltd. Plot I 10-1 11-1 12, Thang Long Industrial Park, Dong Anh District, Hanoi, Vietnam TEL: (84)24-3881-2773	知多彌養工業(鎮江)有限公司 CHITA KYB Manufacturing (Zhenjiang) Co., Ltd. No. 8 Building-1F, New Energy Industrial Park (North Park), No. 300, Gangnan Road, Zhenjiang New District, Jiangsu 212132, China TEL: (86)511-8317-2570
KYB Advanced Manufacturing Spain, S.A.U. Poligono Industrial Perguita Calle B, No. 15, 31210 Los Arcos Navarra, Spain TEL: (34)948-640336	Takako Vietnam Co., Ltd. 27 Dai Lo Doc Lap, Vietnam Singapore Industrial Park, Thuan An District, Binh Duong, Vietnam TEL: (84)274-378-2954	
KYB Manufacturing Czech, s.r.o. U Panasonicu 277, Stare Cvice, 530 06 Pardubice, Czech Republic TEL: (420)466-812-233		

KYB株式会社では、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.

KYB技報

第59号 2019-10

目 次

巻頭言

油機は円筒形!? 風間 俊治 1

技術解説

ショックアブソーバにおける動的摩擦特性を特徴づける評価指標の検討 加藤 慎治 2

佐々木信也

水圧用容積式圧力変換装置に関する開発と応用 吉田 太志 9

EPSシステム解析技術の開発 北村 佳彬 17

技術紹介

品質工学を活用した円筒型リニアモータのパラメータ設計 永溝 喜也 25

製品紹介

移動体向け小型通信端末 (KTDC17) の開発 原田 勝幸 30

用語解説

移動体通信ネットワーク 梶澤 亮一 34

製品紹介

軽自動車CVT用ベーンポンプの開発 萩原 隆広 36

進藤 翔太

技術紹介

ミキサ車部品へのジルコニウム化成処理の適応 西田 竜一 41

山崎 寛史

用語解説

KYBで行なっている塗装 川添 敏行 46

技術紹介

油圧ショベル用走行モータ組立ラインの構築 菊池 達也 48

製品紹介

コンパクトトラックローダ用コントロールバルブKVML-120の開発 澤田 千種 52

紹介

KYBにおける技術情報漏えい防止活動の取り組み 佐藤 晃彦 56

随筆

モスクワ駐在記 手塚 宏美 61

インドネシア・タイ駐在記 瀧 圭司 65

(表紙写真 (表) : 開発した軽自動車CVT用ベーンポンプ外観とKVML-120外観 [P.36, 52参照], (裏) : KTDC17 [P.30参照])

KYB TECHNICAL REVIEW

No. 59 OCT. 2019

CONTENTS

Foreword

A Cylindrical Hydraulic Machine !? KAZAMA Toshiharu 1

Technology Explanation

Study of Evaluation Index Characterizing Dynamic Friction Characteristics in Shock Absorber
KATO Shinji 2
SASAKI Shinya

Development and Application of Active Charge Accumulator for Water Hydraulics
YOSHIDA Futoshi 9

Development of Simulation Technology for EPS System KITAMURA Yoshiaki 17

Technology Introduction

Cylindrical Linear Motors that Utilize Quality Engineering Parameter Design
NAGAMIZO Yoshiya 25

Product Introduction

Development of Miniaturized Communication Terminal (KTDC17) for Vehicles
HARADA Katsuyuki 30

Glossary

Communication Standards for Mobile Phones KABASAWA Ryoichi 34

Product Introduction

Development of Vane Pump for Light Car CVT
HAGIWARA Takahiro 36
SHINDO Shota

Technology Introduction

Adaptation of Zirconium Chemical Conversion Treatment to the Mixer Truck Parts
NISHIDA Ryuichi 41
YAMAZAKI Hiroshi

Glossary

The Painting Used in KYB KAWAZOE Toshiyuki 46

Technology Introduction

Configuration of Assembly Line for Traveling Motors (for Hydraulic Excavators)
KIKUCHI Tatsuya 48

Product Introduction

Development of Control Valve KVML-120 for Compact Track Loader SAWADA Chigusa 52

Introduction

Technical Information Leakage Prevention Activities at KYB SATO Akihiko 56

Essay

Moscow Expat Experience Report TEZUKA Hiromi 61

Indonesia and Thailand Experience Report TAKI Keiji 65

(Cover Photograph: Appearances of Developed Vane Pump for Mini Vehicle CVT and of KVML-120 [see P.36, 52], KTDC17 [see P.30])

巻頭言

油機は円筒形!?

風 間 俊 治*



油圧シリンダは、油圧アクチュエータの筆頭といえましょう。その基本構造は、円筒状のシリンダ、ピストン、ロッドおよび各部のシールとなり、その基本形は紛れもなく円筒です。ポンプもモータもバルブも、取り分けて作用要素となるピストンやスプールは、筒状であることに気がきます。これは偶然でしょうか、必然でしょうか。あるいは、先達の経験則でしょうか、基本的な論理則でしょうか。別の形は取り得ないのでしょうか。

基礎に立ち返って考えてみると、油圧機器の第一仕様は、高圧液体を取り扱うことにあるといえます。すなわち、基底は圧力容器を呈することになります。それでは、なぜ円筒になるのでしょうか。

円筒の断面は円であり、同一の断面積で最短の周長となることや距離が等しい点の集合から成る曲線であることと等価です。工学的には、富塚清先生が論じられておられるように、摺動面と密封面の寸法が最小で摩擦とシールの両面で有利に働くこと、発熱による熱変形や高圧による弾性変形が生じて軸対称性を保ち易く変形の影響を最小限に抑えられること、さらには旋盤やフライス盤をはじめとした汎用工作機械を用いて回転切削により高い精度で加工製作できることにまとめられます。

ふと本稿のタイピングを止めて手を眺めてみると、指は円柱形であることを了します。腕や足、首や胴も例外ではなく、私たちの体は円柱形が組み合わされて作られています。ヘビやミミズなどは体全体が円柱形とも捉えられますが、実のところ、大抵の動物は円柱の組合せです。しかるに草木の莖や根も円柱形であり、S.A. Wainwright先生や本川達雄先生が見出しておられるように、生きものは円柱形に帰することになります。なぜ生物の基本形状が円柱になるのかとの問いに対して、地球環境の中で生物の形が進化する過程では力学的な作用の影響が非常に大きく、内外力に対して円柱形が最も有利である故

と述べられておられます。つまり、生物は風船のように内圧が掛かって膨らんでおり、加えて運動に伴う圧縮力やモーメントにより座屈や曲げが生じ易いために、それに耐え得る形状を要する訳です。

円筒は、少ない材料で大きな容器を形作ります。ところが、同一形状の円筒を立てて敷き詰めた集合体では、隙間ができて嵩が増えてしまいます。空間を有効活用するためには密着させることになり、その断面形状は、正三角形と正四角形と正六角形の三つ以外には存在しません。この中で外周長を等しく置く条件では、正六角形が最大の面積になります。生物の世界の、営巣効率が高く力学的強度も高い、蜂の巣に見られるハニカム構造が想起されます。

自然界の六角形となれば、中谷宇吉郎先生の「雪は天から送られた手紙である」を懐きます。雪の結晶の形成には、エネルギーが小さくなるように氷結する現象が関与します。レオナルド・ダ・ヴィンチは、あらゆる自然の行動はその自然によって可能な限り短い方法と時間とでなされるとの言葉を残したそうです。自然の摂理を再認識します。

なおも多面体に目を移してみましよう。すべての面が合同の正多角形で構成される正多面体は、プラトンの立体と呼ばれるシンメトリカルな美しい多面体ですが、正四面体、正六面体、正八面体、正十二面体、正二十面体の五つに限られます。いま、すべての面を合同とする、との条件に緩和すると、アルキメデスの立体(半正多面体)となり、サッカーボールの基本形ともいえる切頂二十面体が現れます。

さらに形について思い巡らしてみます。古代ギリシャの哲学者で自然について説いたパルメニデスは、究極の形を球と考えたようです。球は回転対称性を有しており、将に均整や調和の極限美とも申せましよう。なお、同一球で囲むとき、中心球には最大十二点で接することになります(最密充填)。

油圧機器の基本形状として、円筒形は未だ満足解に留まっているのかもしれませんが、将来、油機に対する究極的な最適解が求まることを夢見ています。

*室蘭工業大学大学院 教授

ショックアブソーバにおける動的摩擦特性を特徴づける 評価指標の検討

Study of Evaluation Index Characterizing Dynamic Friction Characteristics in Shock Absorber

加藤 慎治・佐々木 信也*
KATO Shinji・SASAKI Shinya

要 旨

自動車の操縦安定性や乗り心地といった運動性能に対し、サスペンションの構成部品であるショックアブソーバの動特性が及ぼす影響は大きい。ショックアブソーバの制振力は、流体の圧損による油圧減衰力とオイルシールなどのしゅう動部で発生する摩擦力が合算されたものである。この摩擦力は、油圧減衰力と比べて発生力が小さいものの応答性が高いため、制振機能に果たす役割は大きい。

ショックアブソーバにおける摩擦部位の潤滑状態は多様に変化し、作動油添加剤の効果も複雑に影響するため摩擦挙動は動的かつ複雑に変化する。これまで工業的な観点から十分な解明は行われておらず、ショックアブソーバ特有の作動に着目し、基礎的な観点より動的摩擦特性について研究された例はない。

今回、着目する摩擦の速度特性では、静摩擦から動摩擦へ動的な状態変化が繰り返されるため、従来の測定方法では実際に必要な特性を得ることが困難であった。そこで、ショックアブソーバに適した動的摩擦特性の把握を目的に、摩擦の速度依存性を高精度で計測可能な装置を開発し、測定方法を確立した。その測定データの解析から、従来の平均摩擦力のみによる評価では不十分であるため、動的摩擦特性の特徴を抽出する方法として評価指標の創出を試みた。

本報では、新たに提案した3つの評価指標を用い、その有効性を検討した結果、それぞれの特徴を定量化できることが確認された。

Abstract

The dynamic characteristics of shock absorbers, as components of the suspension, have a large effect on dynamic performance, i.e., on automobile maneuverability, stability, and ride comfort. The damping force of a shock absorber is the sum of the hydraulic damping force due to pressure loss of the fluid and the frictional force generated at the oil seal and other sliding parts. This frictional force plays an important role in damping function because its response is quick, even though the generated force is smaller than the hydraulic damping force.

Since the lubrication state of the friction part of the shock absorber changes in diverse ways and the effectiveness of the hydraulic fluid additive also has complex effects, friction behaviour changes in a dynamic and complex way. This has never been adequately elucidated from an industrial perspective, and there are no cases of fundamental research on dynamic friction characteristics with a focus on the behaviour typical of shock absorbers.

This paper focuses on the speed dependence characteristic of friction. In this case, there are repeated dynamic state changes between dynamic and static friction, and therefore the conventional measurement method was not sufficient for obtaining the actually needed characteristic. Therefore, in order to ascertain dynamic friction characteristics suitable for shock absorbers, we developed a

*東京理科大学 教授

device that can measure the speed dependence of friction at high accuracy, and thereby established a measurement methodology. Based on analysis of the measurement data, the previous evaluation using only the average friction force was inadequate, and thus we attempted to create evaluation indices for extracting features of the dynamic friction characteristics.

Validity was examined by using the three newly proposed evaluation indices, and as a result it was confirmed that the features of friction are quantifiable by using the indexes.

1 緒言

自動車の操縦安定性や乗り心地といった運動性能に対し、サスペンションの構成部品であるショックアブソーバの動特性が及ぼす影響は大きい。運動性能の決め手となるショックアブソーバの制振力は、バルブ部で発生する油圧減衰力とピストンロッドとオイルシールやピストンとシリンダのしゅう動部で発生する摩擦力が合算されたものである。これまで、ショックアブソーバのしゅう動部に対しては、摩擦を極力下げることが要求されてきた¹⁾。しかしながら、必ずしも摩擦力を小さくすることが運動性能の向上に対して良いとは限らないということが、実車試験におけるテストドライバーの指摘により明らかとなりつつある。

サスペンションが作動する際、ショックアブソーバのピストンが移動することにより制振力が発生するが、大きな油圧減衰力が立ち上がるまでには時間差が生じてしまう。一方でショックアブソーバにおける摩擦力は、発生力そのものは小さいものの応答性が高いため、サスペンションの作動に対して有効な制振力を発生させる上で重要な役割を果たすと考えられる。ショックアブソーバにおける摩擦部位の潤滑状態は、1 mm以下の微小振幅から数十mmの大振幅までの様々な速度域における往復運動において多様に変化し、作動油の添加剤の効果も複雑に影響する。そのため、摩擦挙動は動的かつ複雑に変化するため、これまで工業的な観点からは十分な説明は行われてこなかった。また、ショックアブソーバ特有の作動に着目し、基礎的な観点より動的摩擦特性について研究された例はない。そこで本研究では、ショックアブソーバに適した動的摩擦特性を把握することを目的として、往復運動状態での摩擦の速度依存性を高精度で計測可能な装置を開発し、その測定データから動的摩擦特性の特徴を抽出する方法と

して評価指標の創出を試みた。本報では、新たに提案した3つの評価指標を用い、摩擦データを解析することによってその有効性について検討した結果を報告する。

2 動的摩擦特性の測定方法

2.1 ショックアブソーバにおける動的摩擦特性

摩擦の速度特性 (μ - V 特性) は、図1に示すように一定摩擦速度における摩擦係数を測定し、各速度における摩擦係数をプロットすることで求められることが一般的である²⁾。また、静止摩擦特性は、長時間の停止状態から動き出す瞬間の最大摩擦力を測定することによって評価されることが多い。しかし、往復動摩擦の場合には、静摩擦から動摩擦への動的な摩擦状態の変化を繰り返すため、十分な静止状態を置かずに、動き出す瞬間の最大摩擦力の大きさを評価することになる。

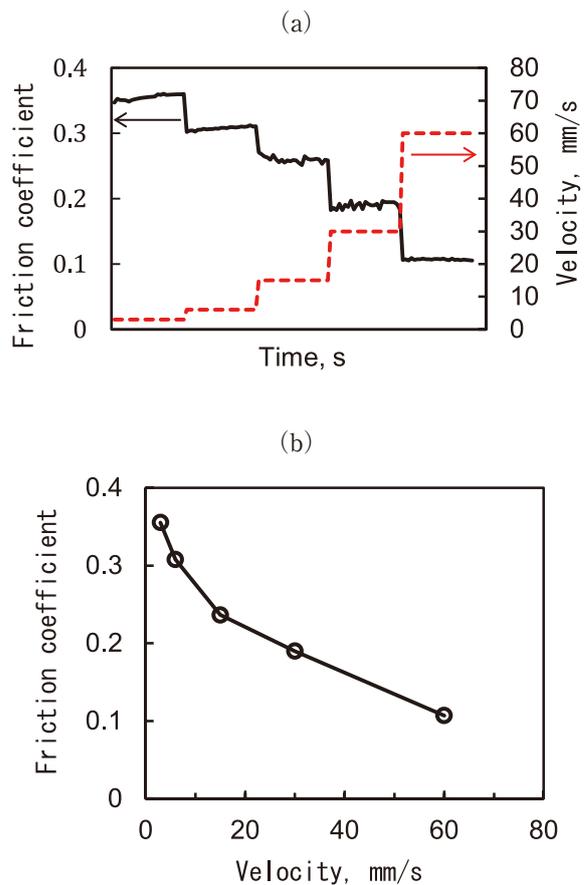


図1 Conventional friction monitoring data (a) experimental data, (b) μ - V characteristic chart

ショックアブソーバにおける往復動摩擦では、図2に示すように静摩擦から動摩擦への動的な摩擦状態変化が繰り返されるため、従来の μ - V 特性測定方

法では実際に必要とされる動的摩擦特性は得られない。具体的には、微小振幅での往復動の場合には、摩擦界面から潤滑油が排除され易いため、十分な油膜形成が難しいなど特殊な潤滑状態となっている可能性がある。そのため、実際のショックアブソーバにおいては、行程切り返し時の停止や動き出し時にスパイク状の摩擦変化が生じたり、 μ - V 特性に往復周波数依存性などが見られたりするが、これらの挙動を計測・評価するためには、新たな動的摩擦挙動計測システムの開発が必要となる。

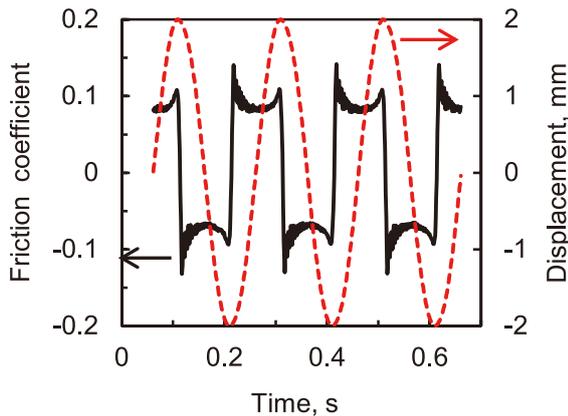


図2 Example of dynamic friction behavior

2.2 動的摩擦計測システム

往復運動においては、速度方向反転時に静摩擦から動摩擦への移行が繰り返される。これを摩擦試験装置で実現する場合は、変位の時間依存性を正弦波関数とすることが一般的である。また、実際のショックアブソーバにおける変位の時間変化も、正弦波関数に近いことが知られている³⁾。そこで、本研究で使用する往復動摩擦試験装置においては、変位の時間変化を正弦波関数で与え、振幅と周波数を変化させることにより動的摩擦特性を計測・評価することとした。開発した往復動ピン・オン・ディスク型の摩擦試験装置概略図を図3に示す。スライドベアリング上に固定したディスク試験片を電磁加振機によ

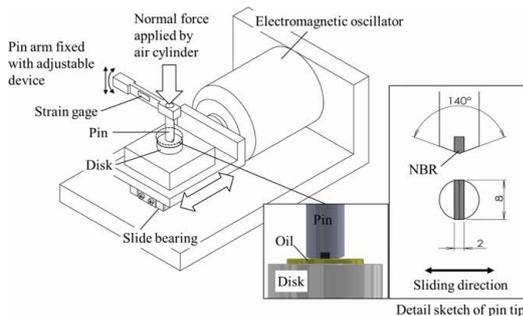


図3 Schematic of reciprocating tribo-tester

り往復運動させ、これにピン試験片を押し当ててしゅう動させる仕組みとなっている。摩擦力は、ピン試験片固定軸に取り付けたひずみゲージを用いて計測した。摩擦部の温度は、温調器により一定温度に制御する構造となっている。

2.3 計測方法

ショックアブソーバにおいて、摩擦力が運動特性に大きく影響を与えるのは、上下死点近傍の微低速領域や微振幅状態にあると考えられる。そこで、摩擦測定条件は表1に示すように、微低速から60mm/s程度までの摩擦速度域において、振幅 $\pm 0.1\text{mm} \sim \pm 2.0\text{mm}$ 、周波数5.0Hzと設定した。測定に際しては、振幅を $\pm 2.5\text{mm}$ で300回(60sec)の予備摩擦を実施することにより、定常状態となるように作動油と摩擦面をなじませた。また、摩擦状態を安定させるため、測定前には試験片を一度持ち上げてしゅう動界面に作動油が存在する状態とし、150回(30sec)の予備摩擦後に摩擦力の測定を開始した。

表1 Sliding test conditions

Normal force	20 N
Temperature	30 °C
Amplitude	$\pm 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0$ mm
Frequency	5 Hz
Oscillating mode	Sine wave
Maximum velocity	3.14~62.8 mm/s
Pin sample	Nitrile Butadiene Rubber (NBR) Edge angle: 140° Contact length: 8 mm
Disk sample	Hard chromium plating Surface roughness Ra 0.01 μm

2.4 評価サンプル

ショックアブソーバの摩擦特性は、作動油とオイルシールの組合せによって大きく変化する⁴⁾。そこで本実験では、オイルシール材料として、ショックアブソーバに使用されているアクリロニトリル・ブタジエンゴム (NBR) を用いた。摩擦実験には、オイルリップ形状を模擬して先端を140°の角度となるようにカットしたものを、ピン試験片として供試した。ディスク側試験片には、ピストンrod表面に使用されている硬質クロムめっき膜を用いた。ディスク表面には研磨仕上げを施し、表面粗さを $Ra=0.01\mu\text{m}$ 以下とした。潤滑油には、4種類のショックアブソーバ用作動油を用いた。作動油の粘度と元素分析結果を表2に示す。4種類の作動油はほぼ同じ動粘度を示しているが、Oil-1, 2, 3にはり

表2 Properties of test oils

	Density at 1°C (g/cm ³)	Viscosity at 40°C (cSt)	Chemical composition		
			Sulfur (ppm)	Phosphorus (ppm)	Zinc (ppm)
Oil-1	0.86	10.9	121	1090	0
Oil-2	0.86	11.3	77	526	0
Oil-3	0.86	11.2	204	347	0
Oil-4	0.85	12.6	1900	896	690

ン系添加剤, Oil-4にはZn系添加剤が添加されている。

3 実験結果および考察

3.1 動的摩擦挙動の測定結果

動的摩擦特性には、作動油およびしゅう動条件による違いが見られた。これらの中から代表例として振幅±2.0mmにおける動的摩擦挙動を図4に示す。Oil-1の場合は、速度の影響を受けず一定の摩擦力を示した。また、動き出しや停止時も摩擦力に変化は見られなかった。Oil-2の場合は、動き出し時に摩擦力にスパイク波形の発生が見られた。ただし、摩擦力の速度依存性は見られなかった。Oil-3の場合は、動き出しと停止時の両方において、スパイク波形が確認された。また、摩擦力は変位0mm付近の最大速度時において最小値を示した。Oil-4の場合は、変位0mmの最大速度時において摩擦力が最大値を示した。また、摩擦力は速度に対して正勾配を示した。

各作動油にて振幅を変化させた場合の摩擦挙動を図5に示す。この図は、各振幅の波形を重ねたものである。Oil-1の場合は、振幅を変えても摩擦力に変化は見られなかった。Oil-2の場合には、振幅の増加とともに摩擦力も大きくなる傾向を示したが、最大振幅±2.0mmでは摩擦力が低下し、振幅±0.2mmと同等の値を示した。Oil-3の場合は、振幅が小さいほど摩擦は大きくなる傾向を示した。一方で、Oil-4の場合は、振幅が小さいほど摩擦力も小さくなる傾向を示した。

3.2 往復しゅう動における動的摩擦特性の指標

4種類の作動油による摩擦挙動の特徴を整理すると、①行程切り替わり時の停止や動き出しに発生するスパイク波形、②動摩擦領域における摩擦の速度特性、③振幅に伴う摩擦力の変化に特徴的な違いが現れることがわかった。これより、ショックアブソーバの特性に及ぼす摩擦の影響を検討するに際しては、従来の平均摩擦力のみによる評価では不十分であることは明らかである。そこで、動的摩擦挙動の特徴を抽出し定量化するため、ショックアブソーバにお

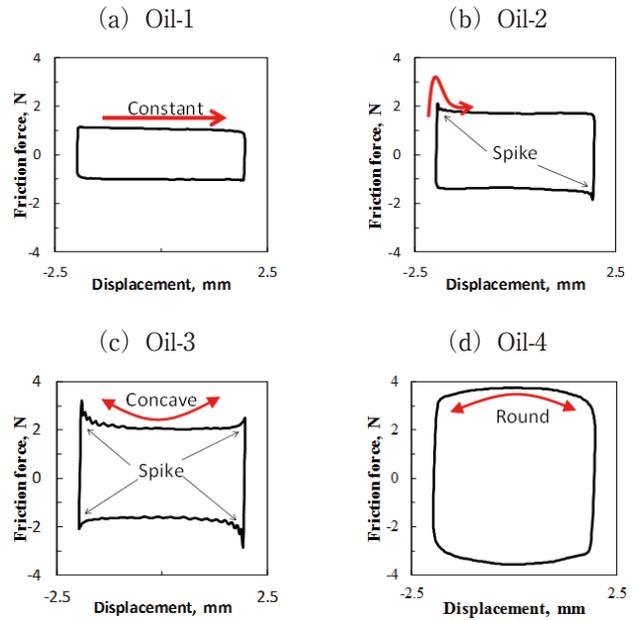


図4 Dynamic friction patterns measured by using each lubricant at an amplitude of ±2.0 mm

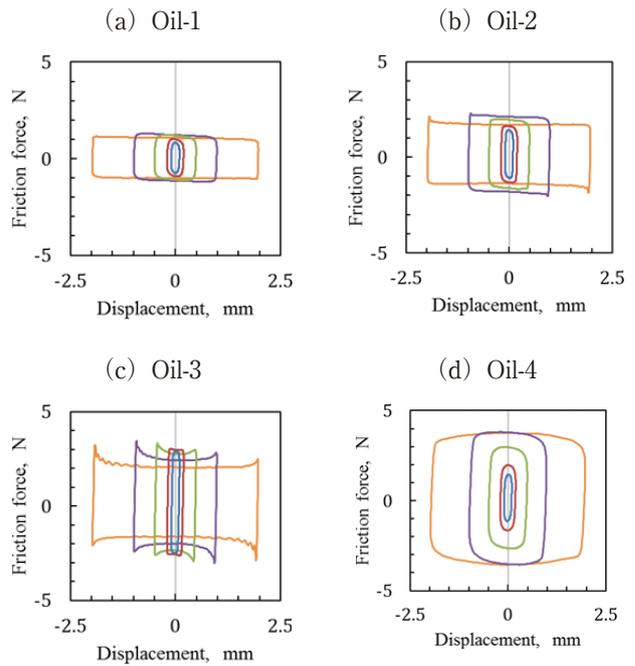


図5 Friction characteristic in different amplitude

ける特性との関連付けを行うことを目的に、新たに次の3つの評価指標を提案し、動的摩擦特性の解析に用いることとした。

3.2.1 計測方法

行程切り返し時の停止や動き出し時に生じるスパイク波形を定量化するため「スパイク指標, SI」を定義した。なお、止まる直前に発生するスパイク波形と行程が切り替わり動き出す瞬間に発生するスパ

イク波形は必ずしも同じとならないため、加速側と減速側とを区別し評価することとした。図6に変位と摩擦の時間波形におけるスパイク指標を抽出する区間を示す。加速側のスパイク指標は、動き出してから位相が $\pi/4$ rad進んだ区間、すなわち正弦波形の上下死点 $\pi/2 \sim 3\pi/4$ radの最大値を F_{sa} とし、これと平均摩擦力の差を平均摩擦力で除することで一般化し、式(1)を用いて算出した。同様に、停止時の挙動は $5\pi/4 \sim 3\pi/2$ の区間とし、式(2)を用いて SI_d を算出した。

$$SI_a = (F_{sa} - F_{ave}) / F_{ave}, \quad \pi/2 \leq \theta \leq 3\pi/4 \quad (1)$$

$$SI_d = (F_{sd} - F_{ave}) / F_{ave}, \quad 5\pi/4 \leq \theta \leq 3\pi/2 \quad (2)$$

ここで、 SI_a は加速側のスパイク指標、 SI_d は減速側のスパイク指標、 F_{sa} は動き出し（加速側） $\pi/2 \sim 3\pi/4$ rad区間の最大摩擦力、 F_{sd} は停止時（減速側） $5\pi/4 \sim 3\pi/2$ rad区間の最大摩擦力、 F_{ave} は $3\pi/4 \sim 5\pi/4$ rad区間の平均摩擦力、 θ は変位の位相である。

このスパイク指標は、正に大きくなるほど大きなスパイク状の摩擦を発生し、負の場合には摩擦力の立ち上がりが遅いことを意味する。

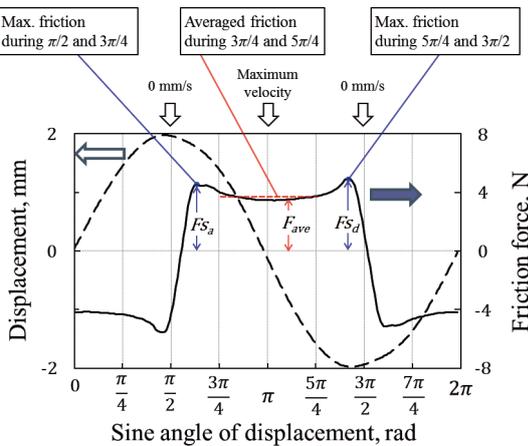


図6 Calculation concept of the spike index

3.2.2 丸さ指標

動摩擦領域における摩擦の速度特性を定量化するため「丸さ指標、 RI 」を定義した。なお、加速側と減速側で速度特性の特徴が異なる場合があるため、区別して評価することとした。図7に変位と摩擦の時間波形における丸さ指標に用いる区間を示す。最大速度に達するまでの $3\pi/4 \sim \pi$ rad区間を加速側、 $\pi \sim 5\pi/4$ rad区間を減速側とした。変位の変化に対する摩擦力の傾きは最小二乗法により、式(3)ならびに(4)より算出した。また、加速及び減速側ともに速度に対して μ - V 特性が正勾配になる場合を正とするために、減速側の傾きは符号を反転させた。

$$RI_a = \frac{\sum (F - \bar{F}) (\theta - \bar{\theta})}{\sum (\theta - \bar{\theta})^2}, \quad 3\pi/4 \leq \theta \leq \pi \quad (3)$$

$$RI_d = -\frac{\sum (F - \bar{F}) (\theta - \bar{\theta})}{\sum (\theta - \bar{\theta})^2}, \quad \pi \leq \theta \leq 5\pi/4 \quad (4)$$

ここで、 RI_a は加速側の丸さ指標、 RI_d は減速側の丸さ指標、 F は摩擦力、 \bar{F} は平均摩擦力、 θ は変位の位相である。

この指標は正に大きくなるほど正勾配速度特性であり、負の場合には負勾配速度特性を示す。0となる場合は摩擦の速度特性依存性がないことを意味する。

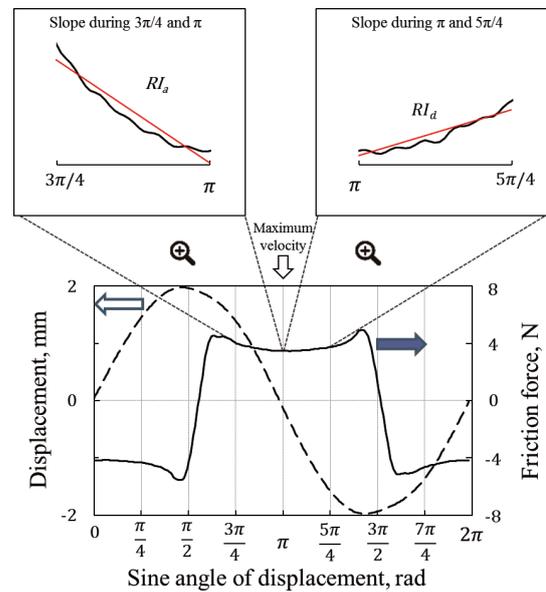


図7 Calculation concept of the roundness index

3.2.3 振幅依存指標

図8に示すように振幅の変化による摩擦力の変化を定量化するため、微振幅時 (± 0.1 mm) の最大摩擦力を ± 2.0 mmの平均摩擦力で割った値を「振幅依

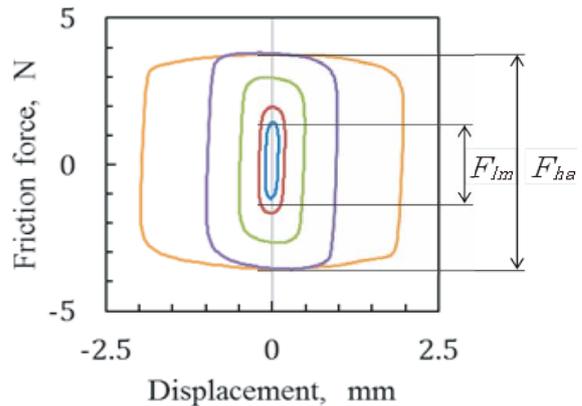


図8 Calculation concept of the amplitude index

存指標, AI] と定義式(5)より求めた.

$$AI = (F_m - F_{ha}) / F_{ha} \quad (5)$$

ここで, AI は振幅依存指標, F_m は微振幅時 ($\pm 0.1\text{mm}$) の最大摩擦力, F_{ha} は振幅 $\pm 2.0\text{mm}$ の平均摩擦力である. AI は, 微振幅時 ($\pm 0.1\text{mm}$) と $\pm 2\text{mm}$ の振幅の摩擦力が同じ場合 0 となり, 微振幅時の摩擦力が大きくなる場合は正, 小さくなる場合は負の値となる.

3.3 各指標による動的摩擦挙動の解析結果

4種類の作動油による動的摩擦挙動について, 各指標を用いて解析した結果を図9に示す. Oil-1の場合は摩擦力は小さいが, 動き出し時にスパイク波形がわずかに発生し, 停止時には摩擦力が若干下がる特徴がスパイク指標 (図9(d)) に反映されている. また, 動摩擦の速度依存性がない特徴は, 丸さ指標の SI_a と SI_d とともに 0 となることに表れている. Oil-2の場合, 摩擦力はOil-1より大きく速度依存性がないが, 動き出し時にのみにスパイク波形が表れている. これらの特徴は, SI_a が大きく SI_d と RI_d が 0 となることに表れている. Oil-3の場合, 摩擦力はOil-1, 2より大きく, 停止と動き出しの両方にスパイク波形が生じた. 動き出し時に平均摩擦に対し約60%大きいスパイク波形が発現する特徴は, 解析により SI_a が約+0.6として数値化されている. また, 加速と減速時の速度特性が負勾配となる特徴は, RI_a と RI_d の値が負の値となって示されている. さらに, 微振幅時に摩擦が大きくなる特徴は, AI が正の値となることに示されている. Oil-4の場合, 摩擦力はOil-1, Oil-2, Oil-3の中で最も大きく (図9(a)), スパイク波形が現れない特徴は, SI_a と SI_d の値がともに負となって示されている. また, 他の作動油と異なり摩擦の速度特性が正勾配となる特徴は, RI_a と RI_d が正の値となることに示されている.

以上のように, 提案した3つの指標を用いることにより, それぞれの動的摩擦挙動の特徴を定量的に抽出できることが確認された. この指標を動的摩擦挙動の解析に適用することにより, 実車におけるショックアブソーバの特性との相関を定量的に検討することが可能になると考えられる.

4 結言

ショックアブソーバの性能に及ぼす動的摩擦特性の影響を把握することを目的として, 摩擦の速度依存性を高精度で計測可能な装置を開発し, 動的摩擦特性の特徴を抽出するための評価指標について検討した.

- (1) 往復しゅう動における動的特性を評価するため, 正弦波形変位制御による動的摩擦挙動を計測す

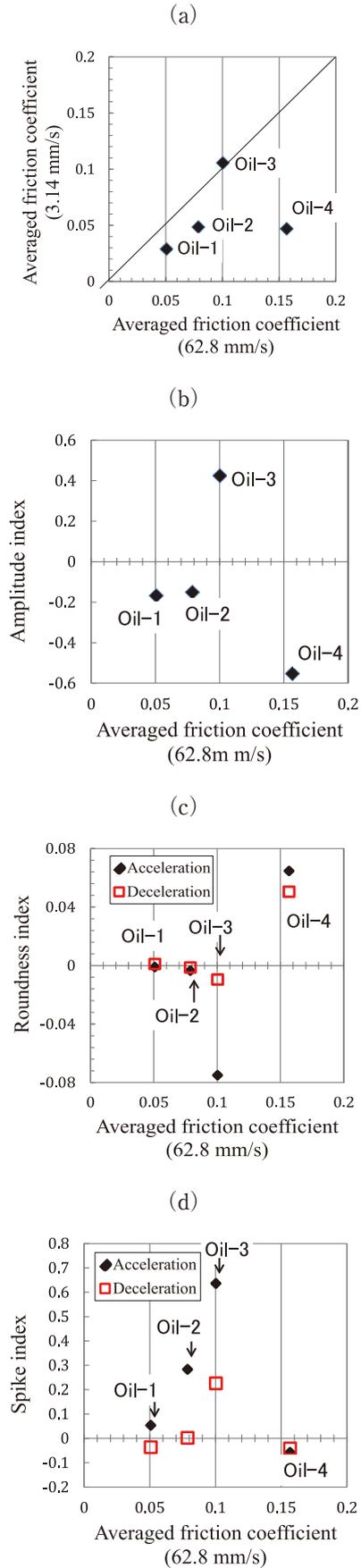


図9 Correlation between each index and the friction index at 62.8mm/s
(a) Friction index, (b) Amplitude index,
(c) Roundness index, (d) Spike index.

る装置を製作して4種類の作動油を評価した結果、動的摩擦挙動に特徴的な動摩擦挙動が発現することが確認された。

- (2) 動的摩擦挙動より特徴的な摩擦特性を抽出して定量化するため、新たに3つの指標（スパイク指標、丸さ指標、振幅依存指標）を提案した。
- (3) 3つの指標を用いて作動油の動的摩擦挙動を解析した結果、それぞれの特徴を抽出して定量化できることが確認された。

参 考 文 献

- 1) 中西: ショックアブソーバの技術動向とトライボロジー, トライボロジスト, 54, 9, P. 598 (2009)
- 2) H.Spikes: The history and mechanisms of ZDDP, Tribology Letters, 17, 3, P.469 (2004)
- 3) A.Simms & D.Crolla: The influence of damper properties on ehicle dynamic behavior, SAE Technical Paper 2002-01-0319 (2002)
- 4) 加藤: ショックアブソーバのトライボロジー, KYB technical review, 46, P.8-12 (2013)

著 者



加藤 慎治

1987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専任部長基盤技術研究所 材料研究室長を経て現職.



佐々木 信也

東京理科大学 工学部 機械工学科教授 佐々木研究室 (トライボロジー研究室教授)

水圧用容積式圧力変換装置に関する開発と応用[※]Development and Application of Active Charge Accumulator
for Water Hydraulics吉田 太志
YOSHIDA Futoshi

要 旨

水圧用容積式圧力変換装置（以下、ACA：Active Charge Accumulator）は、水道水を作動流体として、ひとつの圧力源から複数の異なる圧力へ圧力調整弁を用いずに増圧・減圧することが可能なシステムである。ACAのアプリケーションとして、搬送や把持等を主体とする基本の回路圧力が5MPa程度のシステムの中で例えば食肉加工におけるプレス、切断等の特殊機能の駆動に10MPa程度を要するシステムを想定している。本報では、特にACAを用いた増圧過程に着目した基本特性の実験と解析による比較検証、及び実際の産業機械への応用を想定してACAでシリンダを動作させる実験を行った結果を報告する。更に、基本特性での実験と解析の結果から数式モデルの妥当性を示した。また、ACAから増圧力を供給しながら、シリンダの伸縮の制御が可能であることを示した。加えて、実験と解析結果の比較から、増圧過程とシリンダ動作を制御する切換弁の開閉タイミングがシリンダの伸縮回数に影響を及ぼすことを明らかにした。

Abstract

The Active Charge Accumulator (ACA) enables fluid pressure conversion from a single pressure source into different pressure levels (upper/lower) without using a pressure-regulating valve in a water hydraulic circuit which uses 'Tap water' as a working fluid. The ACA is assumed to be utilized in a system that requires approximately 10MPa pressure to drive several special machines and tools such as pressing and cutting for meat processing, among systems that require approximately 5MPa of basic circuit pressure mainly for conveying and holding functions. This study reports an experiment in which an ACA was used to drive a load cylinder, focusing on the basic properties of ACA pressure-boosting process, envisioning its application to real-world industrial machinery. An analytical model for predicting these properties and comparative verification have been proposed. Experimental and analytical results demonstrated the mathematical model's validity. It is also showed that extension and retraction strokes of the load cylinder can be controlled as the ACA supplies the boosting pressure. Comparison of our empirical and theoretical findings revealed that the cycle number of the load cylinder is influenced by the open/close timing of the directional control valves that govern the boosting process as well as by load-cylinder behavior.

*The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power, (FUKUOKA2017), 福岡 (2017年10月) にて発表

1 諸言

作動流体に水道水を使った駆動技術は、従来の油圧、空気圧、電気駆動に次ぐ、第4の新しい技術である。水圧技術は、液圧の特長である高出力、高速制御を実現するとともに安心・安全・衛生という付加価値をもつことから、医療・医薬、食品・飲料、半導体製造分野での応用が期待されている。その将来の展望として、水道水圧に相当する1MPa以下から高圧の14MPa程度までを視野に入れた市場展開が進んでいくと言われている¹⁾。このような展望のもと、水圧技術が狙う市場で使用されている機器の駆動方法として、油圧、空気圧、電気が混在している。これらの駆動力を液圧レベルに換算すると、高圧から低圧まで幅広いことがわかる。液圧システムにおいて圧力を調整するためには、一般的に圧力調整弁が使われる。しかし、前述のように異なる液圧レベルが混在するシステムでは、複数の圧力源を必要とするため、装置の大型化や消費電力の増大、また減圧弁を用いることによるエネルギー損失の発生等の課題がある。その解決策として一つの圧力源からの液圧を複数の異なる圧力に減圧・増圧することが可能なActive Charge Accumulator (ACA) が提案されている²⁾。

ACAに関する従来の研究としては、油圧用ACAを対象としており、これを用いてシリンダの位置制御や力制御の制御性、ACAを用いない場合と比較して消費電力の削減が可能であること等が明らかにされている^{3),4),5)}。一方、作動流体を油よりも粘性が低い水にした場合、乏しい潤滑性を起因とするスティックスリップ現象による振動の発生、油に比べて体積弾性係数が高いことによるサージ圧の発生等油圧とは異なる現象が水圧用ACAの性能を左右することが懸念される。そのため、ACAを水圧システムに応用することを念頭に、その減圧過程に着目した基本特性に関して実験と解析による研究が行われている^{6),7)}。その結果として、ACAを水圧システムに適用するうえで特に重要だと考えられる負荷流量、および配管等での圧力損失がACAの減圧過程における動作特性に与える影響について報告されている^{6),7)}。

本報では、増圧過程における基本特性を実験的に明らかにするとともに、その特性を予測するための数学モデルを構築し、解析結果と実験結果の比較から数学モデルの妥当性を検討する。更に、実際のアプリケーションを想定して、ACAによる水圧シリンダの動作実験を行い、その動作特性に関して解析的考察を加える。

2 ACAによる増圧過程の動作原理

図1は本研究で対象とする二段式ACAの構造を模式的に示している。ACAの内部は、二段のピストンとシリンダにより圧力室A, B及びC (Chamber A, B, C) に区切られ、圧力室Cにはアキュムレータが接続されている。ACAのピストン変位 x_p は、ピストンが最下端にある状態を原点($x_p=0$)として鉛直上向きを正とした。

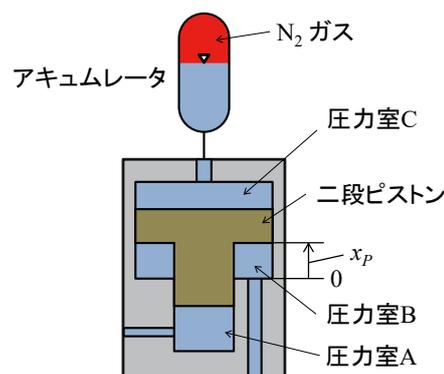


図1 二段式ACAの構造

図2は、ACAの増圧過程の動作モードを説明している。(a)~(c)は、それぞれ充填、待機、放出のモードを示している。本システムは、2ポート2位置切換弁 V_{L1} , V_{L3} 及び V_{L2} (以下、切換弁 V_{L1} , V_{L3} , V_{L2}) を介して上流側から低圧部、圧力変換部、高圧部の三つのセクションを持つ。低圧部はポンプから切換弁 V_{L1} , V_{L3} までで、供給圧の調整弁、フィルタで構成される。切換弁 V_{L1} , V_{L3} はそれぞれ圧力室A, Bと導通する。圧力変換部は切換弁 V_{L1} , V_{L3} 及び V_{L2} の間とし、圧力室Aは、切換弁 V_{L1} と V_{L2} が導通している。圧力室Bは切換弁 V_{L4} を介してタンクラインと導通している。高圧部は切換弁 V_{L3} から下流でアクチュエータの負荷抵抗を模擬するためのニードル弁 V_{L5} を取り付けた。負荷抵抗はニードル弁 V_{L5} の開口量により調整した。表1は増圧過程の動作を制御するための切換弁 V_{L1} ~ V_{L4} の開閉状態を示している。表2にACAの主な諸元を示す。増圧過程の動作は、切換弁 V_{L1} ~ V_{L4} の開閉タイミング、高圧部の圧力 P_L とその閾値及びピストン変位 x_p の値に基づいて制御される。充填モードでは、 $P_A \leq P_{min}$ かつ $x_p \leq x_{pmin}$ のときに切換弁 V_{L2} , V_{L4} を閉、 V_{L1} , V_{L3} を開として、低圧部から圧力室A, Bに水を充填する。ピストン変位が $x_p = x_{pmax}$ になると切換弁 V_{L1} , V_{L3} の両方が閉じて待機モードとなる。放出モードでは、先に切換弁 V_{L4} を開くことで圧力 P_B が大気圧まで低下すると同時に、圧力 P_A が圧力室Cに接続したアキュムレータのガス圧 P_g に増圧比 R_{rp} を乗じた圧力まで増圧される。その後、切換弁 V_{L2} を開くことで、高圧部に増圧され

た水が放出される。 $P_A \geq P_{\min}$ の間、 切換弁 V_{L2} は開き続ける。 高圧部の圧力 P_L は、 放出モード中は圧力 P_A と同じになる。 その後、 $P_A = P_{\min}$ になると切換弁 V_{L2} と V_{L4} が閉じて前述の充填モードに戻る。 これらの3つのモードが自動制御により断続的に繰り返される。 高圧部の圧力 P_L は、 負荷絞りの通過流量と切換弁 $V_{L1} \sim V_{L4}$ の開閉タイミングに依存する。

以上の動作原理からわかるようにACAは容積式の流体機器のため、 ピストン変位量に制限があり、 適当

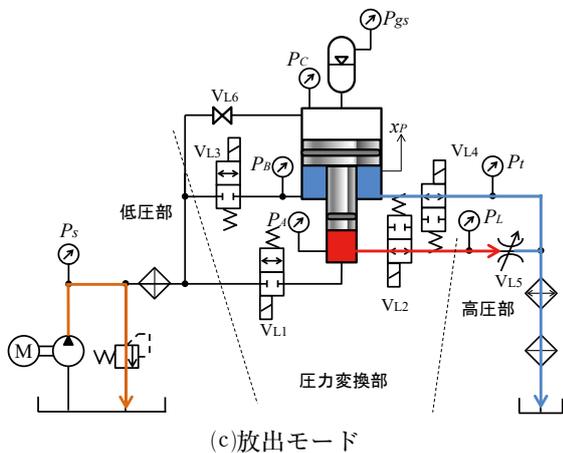
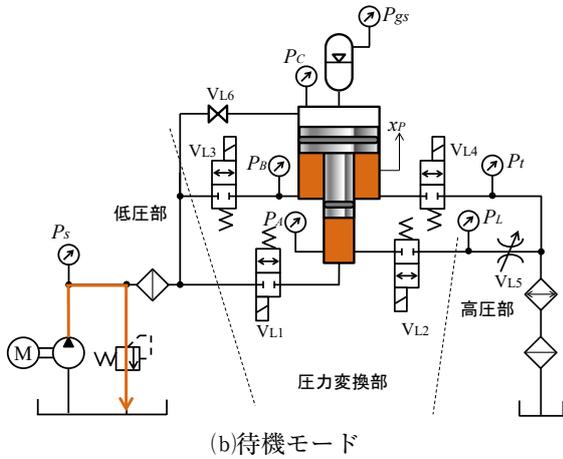
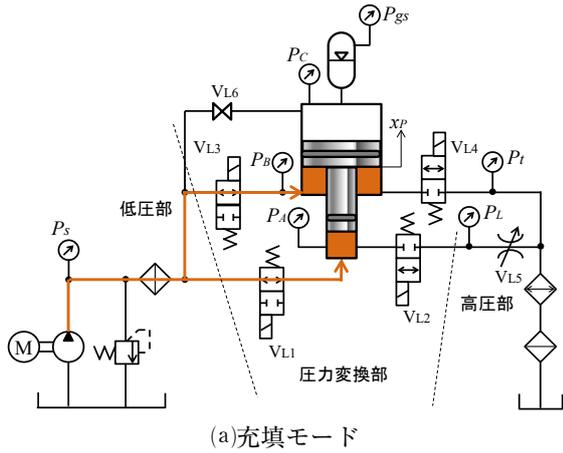


図2 増圧過程の動作原理

表1 増圧過程の切換弁動作条件

モード	V_{L1}	V_{L2}	V_{L3}	V_{L4}
充填	開	閉	開	閉
待機	閉	閉	閉	閉
放出	閉	開	閉	開

表2 ACAの主な仕様

項目		仕様
シリンダ	ピストン径	250mm
	ロッド径	150mm
	ストローク	100mm
理論増圧比 R_{TP}		2.78
圧力室Cに接続したアキュムレータのガス容量		20L

な周期で水の充填と放出が行われる。 この理由により、 実際のアプリケーションとしては、 間欠運転で一時的な増圧を必要とするプレス機や切断機等が対象となる。

3 ACAを用いたシリンダ制御への応用

図3にACAを用いたシリンダ制御実験の水圧回路図を示す。 表3にシリンダの主な諸元を示す。 シリンダのピストン側の圧力室は、 切換弁 V_{L2} と V_{C2} を介してACAの圧力室A、 切換弁 V_{C4} を介してタンクラインにつながる。 シリンダのロッド側の圧力室は、 切換弁 V_{C1} を介してポンプラインと、 切換弁 V_{C3} がタンクへつながっている。 この回路構成により、 シリ

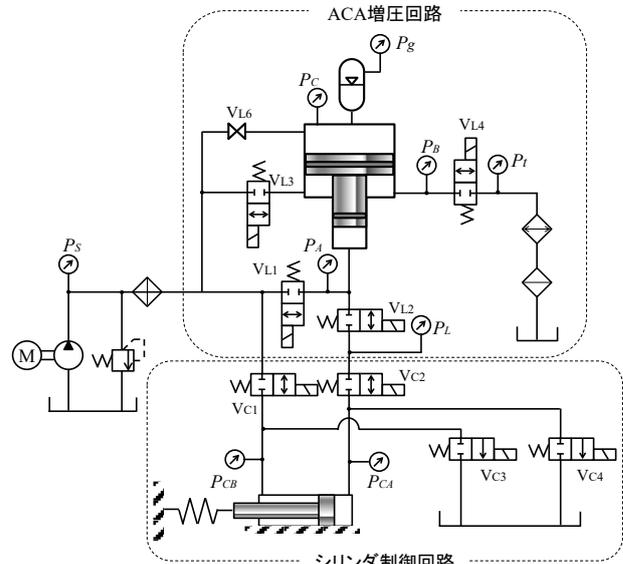


図3 ACAを用いたシリンダ制御

ンダの伸び動作にはACAの増圧力、縮み動作にはポンプ圧力が供給されるため、増圧力を有効に使うことができる。また、シリンダの動作切換は手動スイッチにより行った。

前述のとおり、ACAは容積式の流体機器であり、これを用いた増圧過程でシリンダを動作させる際に、その伸縮回数はACAの圧力室Aの容積とシリンダのピストン側の圧力室の容積とのバランスで決まる。同時にアキュムレータのガス圧すなわち増圧力はこれに伴うACAの圧力室Cの容積変化に依存する。表2及び表3のACAとシリンダの仕様から伸縮可能な回数を試算すると8回となる。

表3 シリンダの主な仕様

項目	仕様
形式	片ロッドシリンダ
ピストン径	40mm
ロッド径	28mm
ストローク	100mm
定格圧力	14MPa
推力 at 14MPa	17.6kN

4 解析モデル

4.1 ACAを用いた増圧過程のモデル化

図4にACAの増圧過程における数式モデルのパラメータ定義図を示す。ここでは、負荷抵抗を固定絞りとしたモデル化について説明する。モデル化は以下の仮定のもとに行った。

- (i) 作動流体の密度、粘度及び体積弾性係数は一定とする。
 - (ii) ACAの圧力室Cの作動水の圧縮性は無視する。
 - (iii) ACAの各室間での漏れはない。
- 負荷流量 Q_{out} は式(1)のオリフィス流れで表現する。

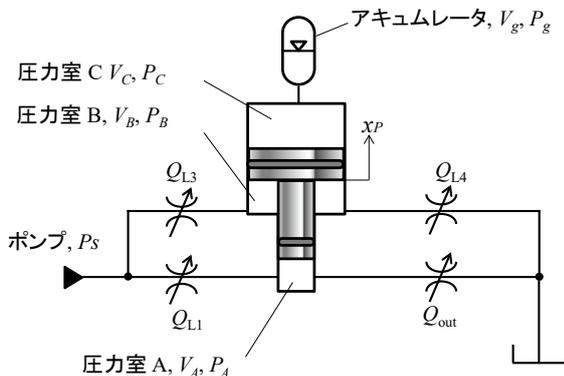


図4 増圧過程の解析モデル

$$Q_{out} = \text{sign}(P_A - P_t) \cdot C_{V_{out}} \sqrt{\frac{2|P_A - P_t|}{\rho}} \quad (1)$$

ここで、 P_A は圧力変換部の圧力、 P_t はタンク圧、 $C_{V_{out}}$ はバルブフローファクタ（以下、Cv値）とする。

切換弁 V_{L5} と V_{L2} は圧力室Aからタンクの間に直列に配置している。ここで、負荷抵抗を調整するニードル弁 V_{L5} は固定絞りではあるが、切換弁 V_{L2} が開くところでの圧力損失が少ないため、負荷抵抗は V_{L5} における絞りの抵抗が支配的になる。従って、直列に配置している V_{L5} と V_{L2} は、一つの切換弁が開閉していると仮定して等価的に一つのバルブと見なしてモデル化した。

切換弁 V_{L1} を通過する流量 Q_{L1} は式(2)で表す。

$$Q_{L1} = \text{sign}(P_S - P_A) \cdot C_{L1} \sqrt{\frac{2|P_S - P_A|}{\rho}} \quad (2)$$

ここで、 P_S はポンプからの供給圧力、 C_{L1} は切換弁 V_{L1} のCv値である。

切換弁 V_{L3} を通過する流量 Q_{L3} は式(3)で表す。

$$Q_{L3} = \text{sign}(P_S - P_B) \cdot C_{L2} \sqrt{\frac{2|P_S - P_B|}{\rho}} \quad (3)$$

ここで、 P_B は圧力室Bの圧力、 C_{L3} は切換弁 V_{L3} のCv値である。

切換弁 V_{L4} を通過する流量 Q_{L4} は式(4)で表す。

$$Q_{L4} = \text{sign}(P_B - P_t) \cdot C_{L4} \sqrt{\frac{2|P_B - P_t|}{\rho}} \quad (4)$$

ここで、 C_{L4} は切換弁 V_{L4} のCv値である。

圧力室Aの圧力 P_A は式(5)、(6)から算出する。

$$\dot{P}_A = \frac{K}{V_A + \Delta V_A} (Q_{out} - A_A \cdot \dot{x}_p) \quad (5)$$

$$\Delta V_A = [A_A \cdot \dot{x}_p] dt \quad (6)$$

ここで、 V_A は圧力室A及び切換弁 V_{L1} 、 V_{L2} を接続する配管から分岐して圧力室Aに導通するまでの容積である。 ΔV_A はACAのピストン移動に伴う容積変化である。

また、 \dot{x} は変位 x に対する時間の1階微分である。

同様に、圧力室Bの圧力 P_B は式(7)、(8)から算出する。

$$\frac{dP_B}{dt} = \frac{K}{V_B + \Delta V_B} (Q_{L3} - A_B \cdot \dot{x}) \quad (7)$$

$$\Delta V_B = [A_B \cdot \dot{x}_p] dt \quad (8)$$

ここで、 V_B はACAの圧力室B及び切換弁 V_{L3} 、 V_{L4} を接続する配管から分岐して圧力室Bに導通するまでの容積である。

圧力室Cに満たされている水は非圧縮性と仮定すると P_C はアキュムレータのガス圧 P_g と同じとなる。従って、 P_C は、気体の断熱変化に従うとして式(9)で表す。

$$P_C = (P_{gs} + P_{atm}) \left(\frac{V_g}{V_{gs} + \Delta V_C} \right)^N - P_{atm} \quad (9)$$

ここで、 N はポリトロプ指数 ($N=1.4$)、 P_{gs} 、 V_{gs} はアキュムレータの封入ガス圧及びガス容積である。アキュムレータの容積の変化量 ΔV_C は式(10)のようにピストン速度と圧力室Cの断面積で決まる。

$$\Delta V_C = [A_C \cdot \dot{x}_p \, dt \quad (10)$$

ピストンの運動方程式は式(11)で表す。

$$M\ddot{x}_p = P_A \cdot A_B + P_B \cdot A_B - P_C \cdot A_C - F_f \quad (11)$$

ここで \ddot{x}_p は x_p に対する時間の2階微分、 F_f はACAのシリンダの摩擦力である。

4.2 ACAを用いたシリンダ制御モデルへの拡張

ここでは、前述の数式モデルに対し、ACAの増圧過程でシリンダを動作させるための数式モデルについて説明する。図5に示すようにシリンダのモデルを追加する。

Q_{Cout} は圧力室Aからシリンダのピストン側の圧力室に供給される流量である。 Q_{Cout} によりシリンダの伸び動作が行われる。従って、式(1)を式(12)のように変更する。

$$Q_{Cout} = \text{sign}(P_L - P_{CA}) \cdot C_{CA} \sqrt{\frac{2|P_L - P_{CA}|}{\rho}} \quad (12)$$

ここで、 P_{CA} はシリンダピストン側の圧力、 C_{CA} はシリンダのピストン側の圧力室に流入する際の C_v 値である。

Q_{L5} はシリンダの縮み動作において、ポンプラインからシリンダのロッド側の圧力室に供給される流量であり、式(13)で表す。

$$Q_{L5} = \text{sign}(P_S - P_{CB}) \cdot C_{CB} \sqrt{\frac{2|P_S - P_{CB}|}{\rho}} \quad (13)$$

ここで、 P_{CB} はシリンダピストン側の圧力、 C_{CB} はシリンダのロッド側の圧力室に流入する際の C_v 値である。

Q_{L6} はシリンダのロッド側の圧力室からタンクラインに流れる流量であり、式(14)で表す。

$$Q_{L6} = \text{sign}(P_{CB} - P_t) \cdot C_{CBt} \sqrt{\frac{2|P_{CB} - P_t|}{\rho}} \quad (14)$$

ここで、 C_{CBt} はシリンダのロッド側の圧力室からタンクラインに流出する際の C_v 値である。

同様に Q_{L7} はシリンダのピストン側の圧力室から

タンクラインに流れる流量であり、式(15)で表す。

$$Q_{L7} = \text{sign}(P_{CA} - P_t) \cdot C_{CAt} \sqrt{\frac{2|P_{CA} - P_t|}{\rho}} \quad (15)$$

ここで、 C_{CAt} はシリンダのピストン側の圧力室からタンクラインに流出する際の C_v 値である。シリンダのピストン側の圧力室の圧力 P_{CA} は式(16)で表す。 ΔV_{CA} はシリンダのピストンの移動に伴う容積変化であり式(17)で表す。

$$\frac{dP_{CA}}{dt} = \frac{K}{V_{CA} + \Delta V_{CA}} (Q_{Cout} - Q_{L7} - A_{CA} \cdot \dot{x}_C) \quad (16)$$

$$\Delta V_{CA} = [A_{CA} \cdot \dot{x}_C \, dt \quad (17)$$

シリンダのロッド側の圧力室の圧力 P_{CB} は式(18)で表す。 ΔV_{CB} はシリンダのピストン移動に伴う容積変化であり式(19)で表す。

$$\frac{dP_{CB}}{dt} = \frac{K}{V_{CB} - \Delta V_{CB}} (Q_{L5} - Q_{L6} + A_{CB} \cdot \dot{x}_C) \quad (18)$$

$$\Delta V_{CB} = [A_{CB} \cdot \dot{x}_C \, dt \quad (19)$$

シリンダのピストンの運動方程式は式(20)で表す。

$$M_C \ddot{x}_C = P_{CA} \cdot A_{CA} - P_{CB} \cdot A_{CB} - k_C \cdot (x_C - x_{C0}) - F_{fC} \quad (20)$$

x_{C0} はシリンダが伸び始めてからばねと接触するまでの距離、 F_{fC} はシリンダの摩擦力である。 k_C は、ばね定数とし、ばねのたわみ量40mm以上で10kN以上の推力を発生するような仕様を設定した。これは、食肉加工機械の一つであるフットカッターへの応用を想定している。

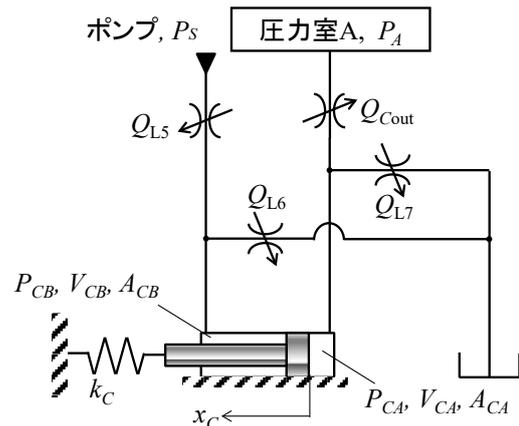


図5 ACAを用いたシリンダ制御への拡張モデル

5 結果と考察

5.1 基本特性の検証

図6は、図3で示した固定負荷における増圧過程の実験結果と解析結果の比較例である。図中、赤線は解析結果、黒線は実験結果を示している。(a)~(c)

は、それぞれ、ピストン変位 x_p 、圧力室Aの圧力 P_A 、アキュムレータのガス圧 P_g である。(a)、(c)より、ピストン変位及びガス圧の波形は解析結果と実験結果でほぼ一致している。(b)において、増圧力は、実験結果で13.4MPa、解析結果で12.9MPaとなり、誤差4%でほぼ一致している。充填モードから放出モードの切り替わり時は、同様に圧力室Aの圧力は実験値で5.0MPa、解析値は5.3MPaとなり、ずれは6%程度とおおよそ一致している。しかし、充填モードの間は、解析結果と実験結果に差異がある。放出モードから充填モードの切り替わりの時に、圧力室Aの圧力は実験結果で2.9MPa、解析結果で4.4MPaであり、40%程度のずれがある。この原因について以下に説明する。

数式モデルでは圧力室Aに流入する流量は式(2)で表しており、供給圧 P_s を一定としている。これに対し、実験では、ポンプ回転数が一定、言い換えると供給流量が一定となっているため、充填モードでは、供給流量の不足により供給圧が低下していることが考えられる。

以上の結果から実験と解析について、ACAの圧力室A、ガス圧 P_g の波形にずれが見られるが、ピストン変位については解析結果と実験結果はほぼ一致、

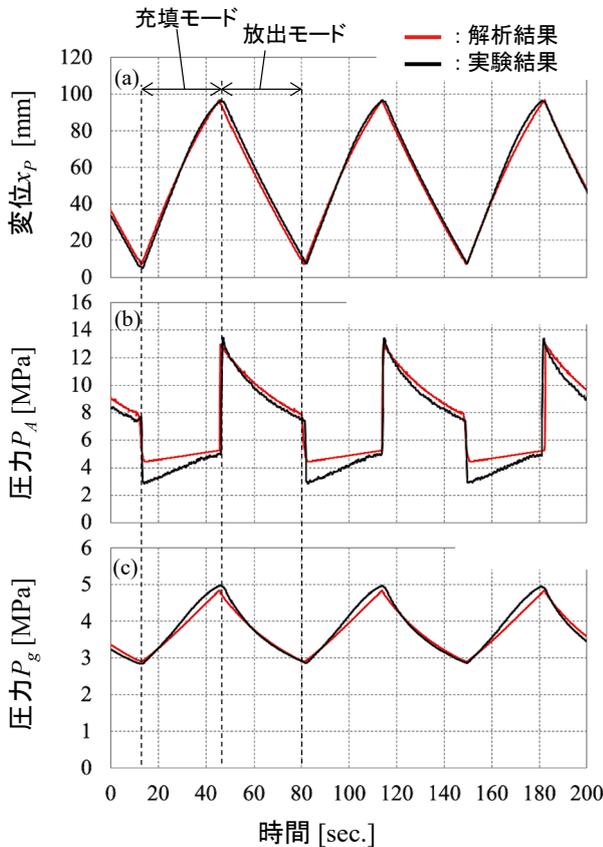


図6 実験と解析結果の比較
(a)ACAのピストン変位、(b)圧力室Aの圧力、
(c)アキュムレータのガス圧

圧力室Aの圧力については、放出モードの間では実験結果と解析結果の誤差が4%程度であることから、提案した数式モデルの妥当性が示された。

5.2 シリンダ制御の実験結果

図7にシリンダ制御の実験結果を示す。(a)~(d)はそれぞれ、(a)ACAとシリンダのピストン変位 x_p 、(b)シリンダ推力 F 、(c)圧力室A、Bの圧力 P_A 、 P_B 及び切換弁 V_{L2} と V_{C2} の間の圧力 P_L 、(d)アキュムレータガス圧 P_g と供給圧 P_s を示している。

(a)のシリンダのピストン変位 x_c を見ると、待機モードから放出モードに切り替わった後、伸縮動作が始まっていることがわかる。この時、シリンダの伸び動作においてのみACAピストンが階段状に変化しているもわかる。また、(b)からは目標の10kN以上の推

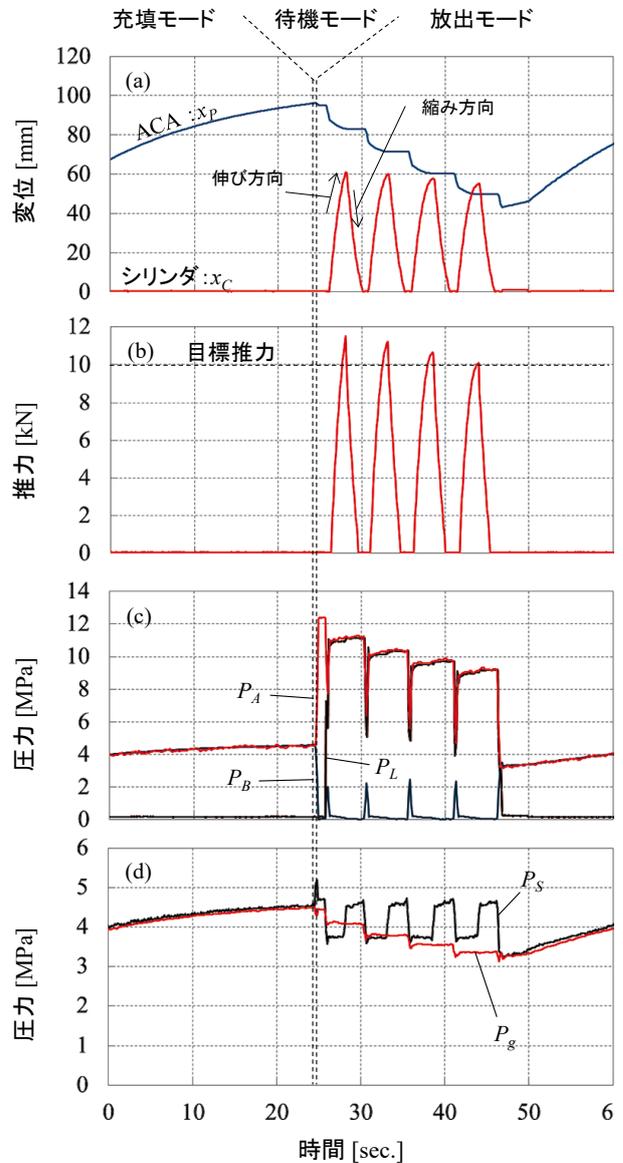


図7 ACAを用いたシリンダ制御実験結果
(a)ACA及びシリンダのピストン変位、
(b)シリンダ推力、(c)圧力室A,B及び高圧部の圧力、
(d)供給圧及びアキュムレータのガス圧

力が発生していることが確認できる。更に(c)より、伸び動作において圧力室Aの増圧力 P_A が階段状に減少していることがわかる。(d)からは縮み動作時には供給圧 P_S がシリンダに供給されていることがわかる。

以上の結果から、ACAとシリンダを組合わせたシステムにおいて、シリンダの伸び動作ではACAの増圧力、縮み動作ではポンプラインからの圧力の供給でシリンダの伸縮動作が可能であることが示された。

次に、シリンダの伸縮回数に着目すると図7(a)からその回数は4回であることがわかる。前述のとおりACAとシリンダの仕様から、その伸縮回数は8回と試算しているが、実験結果とは異なっている。この伸縮回数の差の原因について考察する。

①圧力室A、Bの圧力の影響

図7(c)よりシリンダの伸び動作の開始時に、圧力室Aの圧力が一時的に低下、同時に圧力室Bの圧力

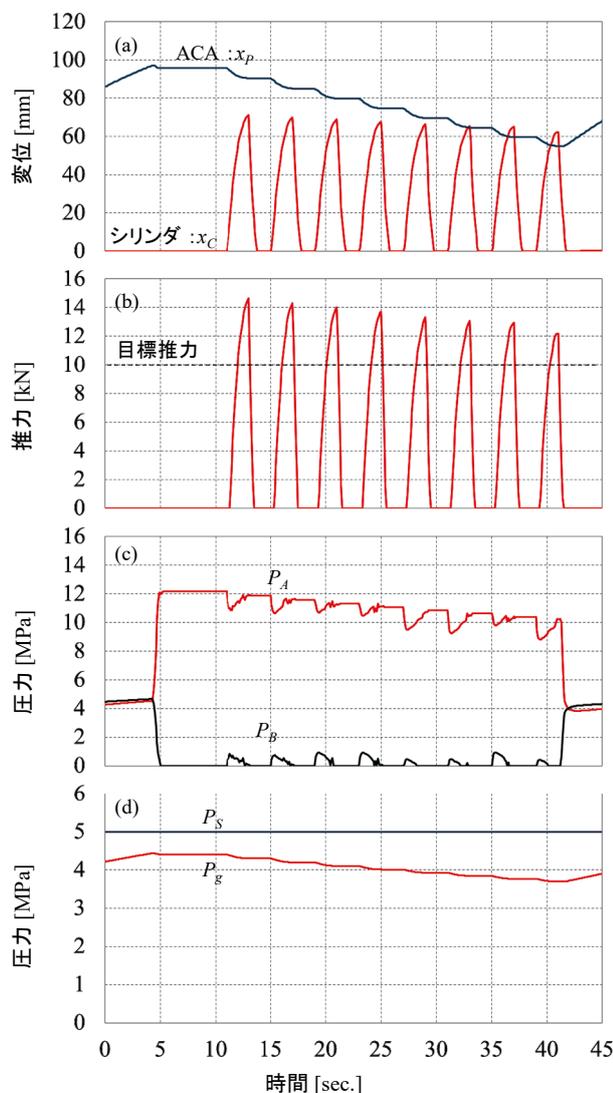


図8 切換弁VL4の圧力損失の影響
 (a)ACA及びシリンダのピストン変位、
 (b)シリンダの推力、(c)圧力室A、B、
 (d)供給圧及びアキュムレータのガス圧

は上昇している。この原因として、圧力室Bからタンクラインの間の切換弁 V_{L4} における圧力損失が大きいことが考えられる。この確認として切換弁 V_{L4} の C_v 値を小さくした場合の解析結果を図8に示す。この結果からシリンダの伸び始めに圧力室Bの圧力が上昇して、同時に圧力室Aの圧力は下がっていることから、傾向としては実験結果と一致する。しかし、サイクル回数は8回と変化がなく、他に原因があると考えられる。

②切換弁の開閉タイミングの影響

図7(a)より、シリンダの4回の平均ストロークは58.3mmであり、このときのACAのピストン変位量は平均11.4mmである。それぞれの受圧面積を考慮するとシリンダが4回の伸び動作に要した流体の体積は、290mm³、圧力室Aで減少した体積は810mm³であり、その差520mm³となる。これは圧力室Aから流出する流体がシリンダの伸び動作に使われずに減少していることを意味する。図3に示すように、シリンダの伸縮動作をするために4個の2ポート2位置切換弁でブリッジ回路を構成している。伸縮動作時において切換弁 V_{C2} 、 V_{C3} の開・閉及び切換弁 V_{C1} 、 V_{C4} を閉・開のタイミングはすべて同時に行うことが理想である。しかし、実際にはソレノイドの励磁の遅れ、弁構造の違い等を起因とする開閉動作の遅れが発生する。これにより圧力室Aとタンクラインが一時的に導通することで増圧力が逃げていたことが考えられる。この理由として、切換弁の開閉タイミングの影響が考えられる。上記の現象を考慮したシミュレーション結果を図9に示す。

伸び動作時において切換弁 V_{C2} 、 V_{C3} を開いてから V_{C1} 、 V_{C4} の閉じるタイミングを1秒遅らせることでシリンダの圧力室がタンクラインと導通する状況を模擬している。この結果より、伸縮回数が実験結果と同じ4回にまで減少することが確認できた。また、ACAのピストン変位が、シリンダの伸び動作時において約10mmずつ減少していることも模擬できおり、実験結果と同じ傾向を示している。

以上の結果から、シリンダの伸縮回数は、切換弁の開閉タイミングに影響を受けることが解析的に明らかになった。

6 結言

ACAの増圧過程における基本特性の実験及び解析的検証を行った。実際の産業機械への応用を視野にACAとシリンダを組合わせたシステムを構築し、実験及び解析結果の比較から、その動作特性について考察した。その結果、以下の知見を得た。

1. ACAの増圧過程の特性予測及びシリンダの動作を考慮した数式モデルを構築し、実験と解析の結果からその妥当性を確認した。
2. ACAから増圧力を供給しながらシリンダの伸

縮の制御が可能である。

3. シリンダを伸縮させる切換弁の開閉タイミングが伸縮回数に影響を及ぼしている可能性があることを解析により示した。

参考文献

- 1) S. Miyakawa, New applications of water hydraulics (Aqua-Drive-System), Proc. SICFP'11 Int. Conf. on Fluid Power, vol. 2, no. 4, pp. 27-34 (2011).
- 2) 北川 能, 留 滄海, 宮田貴之, 佐藤裕作, 芦 金石, アキュムレータおよびそれを用いた油圧源, 特許第5439135号 (平成25年12月20日).
- 3) LU, J., LIU, C., KITAGAWA, A., SAITO, M., OSAKA, K., and OBA, K., Study on N-level Pressure Hybrid Power Supply Hydraulic Servo System with High Efficiency and High Response, 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, 1A3-1, pp. 79-84 (2011).
- 4) Jinshi LU, Changhai LIU, Ato KITAGAWA, Study on Highly Efficient Valve-controlled Hydraulics Servo System Using Active Charge Accumulator (ACA), The 4th TIT-BIT Joint Workshop on Mechanical Engineering, pp. 121-127 (2012)
- 5) Y. Yoshizawa, J. Lu, C. Liu, A. Kitagawa, Improvement of hydraulic servo system efficiency using active charge accumulator for pressure convertor (in Japanese), in Proc. 13th SICE Symp. pp. 87-90 (2012)
- 6) Futoshi Yoshida, Shouichiro Iio, Kenji Ito, Ato Kitagawa, Experimental and Theoretical Analysis of Active Charge Accumulator for Water Hydraulics System, IEEE Access, Vol. 5, pp. 881-890 (2017)
- 7) Futoshi Yoshida, Kenji Ito, Shouichiro Iio, Ato Kitagawa, EFFECT OF PARAMETER ON CHARACTERISTICS OF ACTIVE CHARGE ACCUMULATOR FOR WATER HYDRAULIC SYSTEM, Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference, No. 11456, pp. 959-963 (2015)

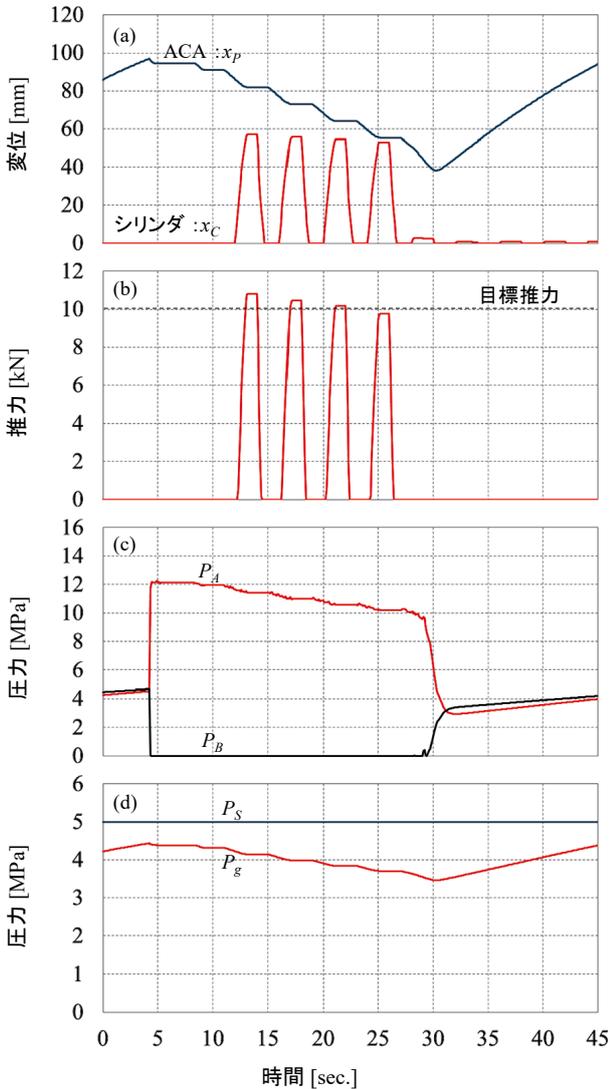


図9 切換弁の開閉遅れの影響
 (a)ACA及びシリンダのピストン変位,
 (b)シリンダの推力, (c)圧力室A, B,
 (d)供給圧及びアキュムレータのガス圧

著者



吉田 太志

1998年入社。技術本部生産技術研究所主幹研究員。博士(工学)。基盤技術研究所、事業開発推進部にて水圧技術開発を担当した後、2019年より現職。

EPSシステム解析技術の開発

Development of Simulation Technology for EPS System

北村佳彬

KITAMURA Yoshiaki

要 旨

自動車用パワーステアリングは、運転者の操舵をアシストする機構を備えた装置であり、特に本報で対象とする電動パワーステアリング（以下EPS）は、モータを電気制御することでアシスト力を付加するものである。

近年、自動車の快適性向上の要求が高まる中、EPSにおいてはより良い操舵フィーリングを提供することが重要となる。多くの機械部品で構成されるEPSの操舵フィーリングは、その動力伝達系で生じる摩擦抵抗等の特性と密接に関わる。このため、操舵フィーリングの向上を図るためには、その発生メカニズムを明確化し、そしてコントロール（設計）する技術が必要である。

そこで、種々のEPS特性を設計段階で予測可能とするため、1D-CAEツールを用いたEPSシステムモデルを開発した。特にEPS特性を司る機械伝達系において、性能寄与度の高いウォームギヤやラック&ピニオン（以下R&P）といった構成要素については、3D-FEM解析も用いてメカニズムを解明し、1Dモデルの高精度化を実施した。最終的に、各構成要素の挙動を観測可能な実機計測装置を構築し、実現象との比較によりモデルの妥当性を確認した。また、機械伝達系モデルと制御モデルとを連成することで、実使用条件下でも高精度な操舵特性予測が可能な設計ツールとしての有用性も確認した。

今後、本モデルを活用することで、求められるEPS性能に対し、最適な設計が可能となる。

Abstract

The power steering in a vehicle can assist drivers behind a wheel. Electric Power Steering (EPS) focused in this article, in particular, has an electrical controlled motor.

In these days, it is more important that the EPS contributes to get a better steering feel, because comfortability of driving vehicles is required. Steering feel has close relationship to characteristics of power train of EPS, e.g., mechanical friction, composed of many mechanical components. Thus, the design method which can analyze and control characteristics of EPS is needed, in order to improve a steering feel.

An analysis model of EPS as mechanical powertrain, thus, has been developed by means of the 1D-CAE method, which can predict the characteristics of EPS at the beginning of design. In particular, the 3D-FEM analysis for worm gear and rack and pinion (R&P), which have close relationship to characteristics of EPS, can help to clarify dynamics of these components and to predict performances precisely. Finally, we developed an actual machine measurement device which is able to observe dynamics of components, and verified the model by comparing with experimental results. And then, we verified that the model of mechanical powertrain coupled with electrical control model can precisely predict the performances of EPS under actual conditions in a vehicle.

This analytical model will be able to contribute the optimal design for high performance EPS.

1 緒言

ステアリングは、自動車の基本機能の1つである「任意の方向に曲がる」ための舵取り装置である。車が曲がるためにはタイヤの向きを変える力、即ちタイヤ接地面の抵抗力に勝る力が必要であるが、ドライバーがステアリングホイールを回す力だけでは困難なため、油圧や電動モータによるアシスト力を付加させている。

このうちEPSは、長年市場の主力であった油圧式に比べ、電子制御による操舵性能のコントロール性の高さに加えて、燃費軽減にも貢献できる等の理由から、需要は今なお増加傾向にある。

EPSの構成例（ピニオンアシスト方式）を図1に示す。ステアリングホイールからの入力をトルクセンサが検知し、その値に応じてアシストモータがトルクを発生させる。このアシストトルクは減速機（ウォームギヤ）を介して入力トルクに付与され、その合力がR&Pを介してラックの推力に変換されることで、タイヤに旋回方向へ曲がるための力が伝達される。

このように、EPSは多くの部品で動力を伝達しているため、部品間の相対運動（摺動）や軸受の回転抵抗といった内部摩擦が介在している。

近年の自動車においては、乗り心地や操縦快適性が追及されており、EPSもより良い操舵フィーリングを提供することが重要となる。ここで、操舵フィーリングは上述した摩擦等の力学的伝達特性と密接に関わるため、その発生メカニズムを明確にする必要がある。そして、最適な設計をする上では、そのメカニズムをコントロールできる技術が必要となる。

そこで、今回は設計段階でEPSの性能をシミュレーション可能とするため、その有効な手段の一つとしてモデルベース開発（以下MBD）の要素技術を開発した。なお、本技術では、摩擦損失が大きく性能寄与度が高いウォームギヤやR&Pといった歯車による伝達要素について、3D-FEM解析を併用して詳細なメカニズムを解析することで、モデルの高精度化を図った。本報では一例として、ピニオンアシスト方式を対象に開発技術について解説する。

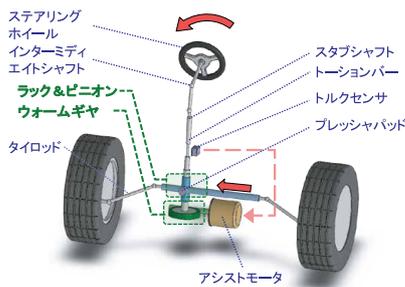


図1 EPS構成例（ピニオンアシスト方式）

2 EPS機械伝達系基礎モデル

2.1 モデル概要

モデル化の対象は、図1におけるステアリングホイールから、タイヤに推力を与えるタイロッド間にある図2のような各構成要素とした。

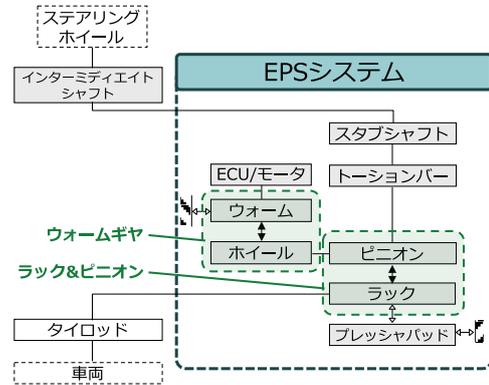


図2 EPS物理モデル図

2.2 機械伝達系基礎モデル

EPS機械伝達系のモデリングツールとして、1D-CAEツールであるSimulationX（ESI ITI社）を採用した。本ツールは、制御モデルで広く採用されているMATLAB/Simulink（Mathworks社）との連携が容易であり、MBDモデリングツールとして一般に多用される物理モデリング言語Modelicaに準拠している。

SimulationXを用いて、EPS機械伝達系の基本要素のみをモデル化した基礎モデルを図3に示す。各要素のパラメータとして、慣性モーメントや質量、剛性等を設定した。なお、本基礎モデルではウォームギヤやR&Pには標準ライブラリを利用しており、ここでは歯車の歯当たり起因するトルクの変動といった詳細な特性は考慮していない。

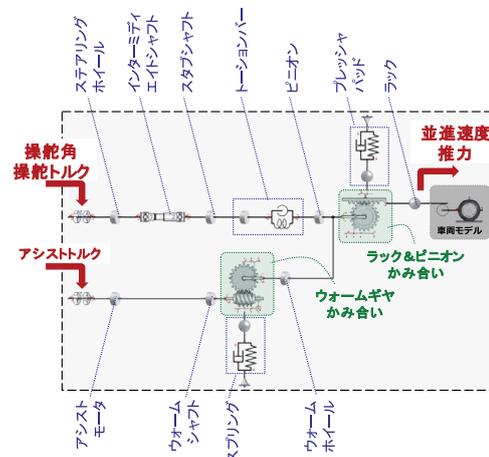


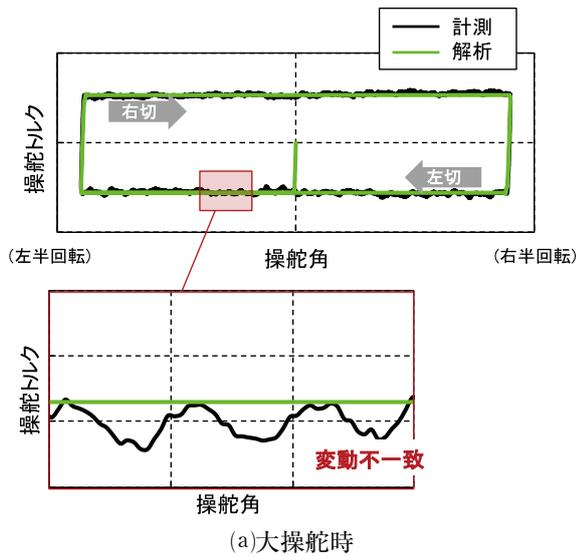
図3 EPS機械伝達系（基礎モデル）

2.3 解析結果

まずは一般的なEPSの特性として、ステアリングホイールを右切／左切と繰り返したときの操舵角-操舵トルクの関係（以下、操舵特性）を評価する。

解析条件の一例として、EPS単品でモータアシスト制御をOFFとしたときの解析結果と実機計測結果との比較を図4に示す。波形全体としては、解析結果は計測結果と相似しているが、(a)図のように大きく操舵した（以下、大操舵）時の計測で見られる操舵トルクの変動が表現できていない。また、(b)図の微小な操舵（以下、微操舵）時におけるトルクの立ち上がりも、滑らかに変化する計測に対し、不連続な解析結果といった傾向の不一致がみられた。

以上のように、基礎モデルでは実現象を正確には再現できておらず、モデルの改良が必要であることがわかる。そこで、主要因と考えられるウォームギヤ、R&Pのモデル改良について次章以降に述べる。



(a)大操舵時

(b)微操舵時

図4 操舵角-操舵トルク特性

基礎モデルにおける歯車要素だけでは、トルクの変動特性が考慮できていなかった。そこで、3次元的に変化するギヤの噛み合い特性が考慮可能な3D-FEM解析との連成によって課題の解決を図ることとした。

ウォームギヤの噛み合い解析には、非線形接触解析が可能な汎用FEMソフトを使用した。図5に解析モデルを示す。ここで、ノンバックラッシ機構（以下NBL機構）とは、歯車の噛み合いを良好に保ち円滑な動力伝達を維持するシステムである¹⁾。

入力軸およびホイールの芯金はビーム要素とした。境界条件としては、ホイール3方向およびシャフト軸方向には軸受を想定したガタを与え、その他NBL機構部のスプリング押し付け方向以外は全て拘束した。接触面をシャフト／ホイール歯面に設定し、摺動部はクーロン摩擦とした。材料物性値として、ピニオンおよびシャフトは鋼相当、ホイールは弾性体とし、ホイールの芯金は剛体要素とした。

以上の条件設定を行い、入力としてホイールに強制回転を与えた時の反力トルクを出力した。

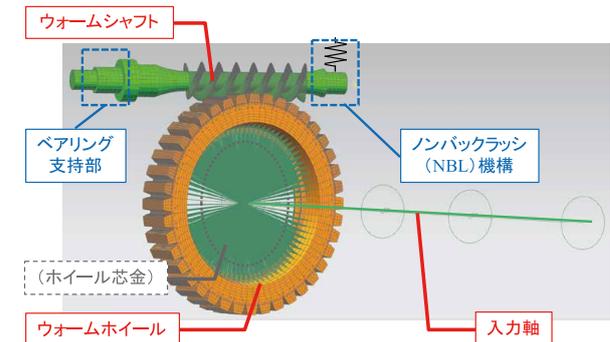


図5 ウォームギヤFEMモデル

3.2 ウォームギヤ噛み合い解析結果

操舵トルクの変動とウォームギヤの噛み合い特性との関係を検証するため、トルク変動の振幅値とウォームギヤの設計パラメータとの要因分析を実施した。設計パラメータは、トルク変動に影響すると考えられる7つの因子（A～G）を定義し、各設計値を2水準としたL16直交表に割り付けることで、実験計画法に基づいた分析を実施した。

分析結果として、トルク振幅について図6に示す要因効果図が得られた。一例として、因子Aは2水準間でトルク振幅に大きな差があるため、パラメータ変更に対する振幅への影響が大きいことが示された。このように、赤枠の3つの因子はいずれも、歯車の噛み合い抵抗変化と関係が深く、トルク振幅とも有意な関係性を持つパラメータであることも確認できた。

3 ウォームギヤモデルの検討

3.1 FEM解析モデル

ウォームギヤに関し、1D-CAEツールで作成した

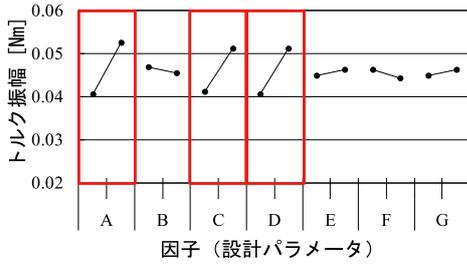


図6 要因効果図

3.3 1Dウォームギヤモデルの改良

以上の解析結果を踏まえ、図3で示した基礎モデルのウォームギヤモデルを図7のように変更した。前述したNBL機構の実挙動を再現できるように、ウォームギヤの噛み合い抵抗変化に影響のある設計パラメータをモデルに追加した。これにより、3D-FEMモデルを1Dに落とし込む（縮退化）ことができた。

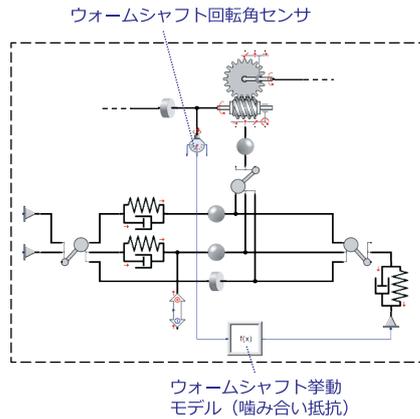


図7 改良後のウォームギヤモデル

1Dウォームギヤモデル改良後の解析結果を図8に示す。図6の要因分析で有意であった因子の設計値（水準）を小さくした条件ではトルク変動が殆ど無く、一方でトルク振幅が大きくなる水準の場合には、振幅や周期が実験値と比較的良好に一致する波形が得られた。この結果から、改良後の1Dウォームギヤモデルの妥当性が検証できた。

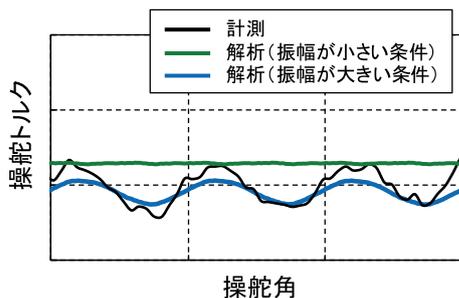


図8 ウォームギヤ改良効果

4 ラック & ピニオンモデルの検討

4.1 FEM解析モデル

前章ではウォームギヤを検討したが、ここではR&P機構について述べる。R&Pには図9のように、ラックの支持部品であるプレッシャパッド¹⁾を介した、ウォームギヤと同様なNBL機構が組み込まれている。プレッシャパッドには機能上、ハウジングとの間にクリアランスが設けてあるが、基礎モデルではプレッシャパッドにはラック支持方向にのみ自由度を与えており、クリアランスによる径方向挙動の影響を考慮していなかった。そこでウォームギヤと同様に、ギヤ噛み合い特性に加え、プレッシャパッド挙動も考慮した3D-FEMとの連成を行った。

また、R&P噛み合い解析にも汎用のFEMソフトを使用した。図10に解析モデルを示す。ピニオン・ラックおよびプレッシャパッドは、それぞれ軸心とするビーム要素に剛体の接触面を結合した。

境界条件としては、ピニオンは軸回転以外を拘束し、ラックはプレッシャパッドとブッシュの面接触により支持した。そして、プレッシャパッドの径方向はクリアランス分のガタを付与し、線形ばね要素で拘束した。また、接触面の摺動には、同様にクーロン摩擦を設定した。

以上の条件設定を行い、ピニオン軸心への強制回転を入力として、反力トルクを出力した。

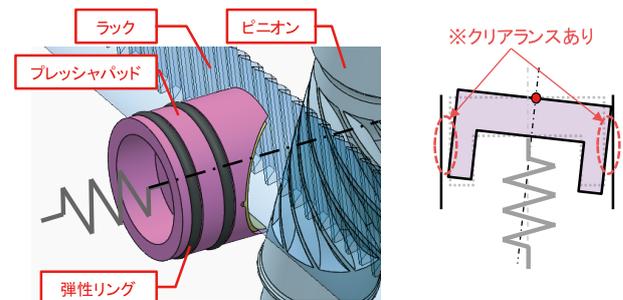


図9 プレッシャパッド詳細

4.2 R&P噛み合い解析結果

FEM解析の結果、R&Pのトルク伝達特性（操舵特性）は図11のように、プレッシャパッド径方向のクリアランスの有無によって、左右切返し時の操舵トルクの傾向に差が生じた。この理由は、切返しによりラックが逆方向に動き出す際の摺動抵抗によるプレッシャパッド挙動（径方向）の影響と推定した。この考察については、5章にて解析的な結果に基づき詳述する。

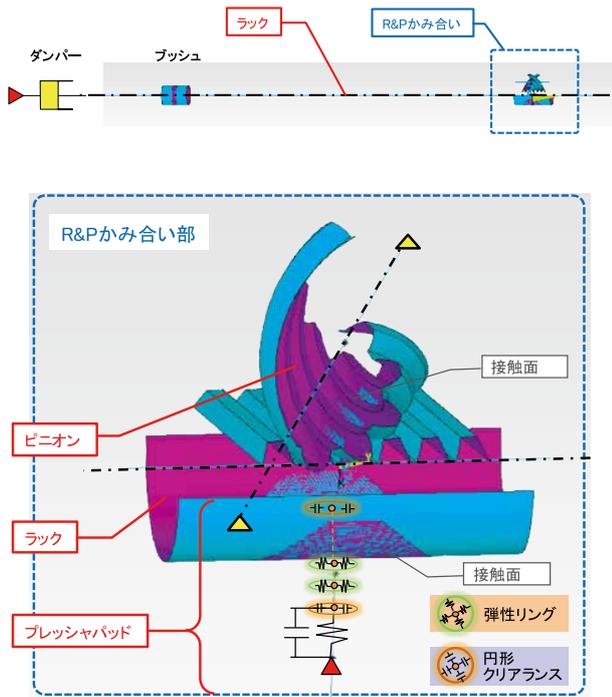


図10 R&P FEMモデル

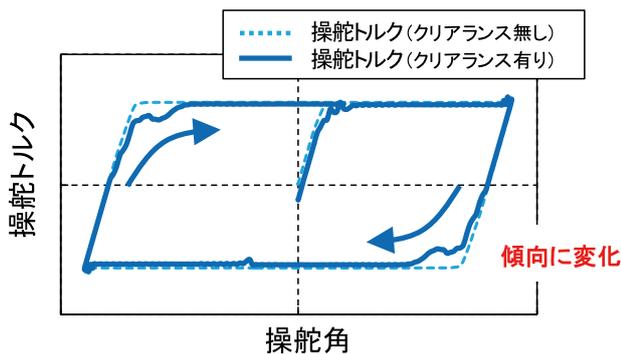


図11 R&P FEM解析結果

4.3 1D R&Pモデルの改良

以上の検証結果を踏まえ、SimulationXで作成したR&Pモデルを図12のように変更した。プレッシュパッドに径方向自由度を与え、FEMモデルと同等な円形クリアランスと弾性リングを設けた。これにより、FEM噛み合い解析を1Dに縮退化できた。

1DのR&Pモデル改良後の解析結果を図13示す。改良前は計測結果のような操舵トルクの滑らかな変化を表現できなかったが、改良後は段階的に操舵トルクが変化し、より計測結果に近いトルク勾配変化を再現できている。この結果から、改良後のR&Pモデルの妥当性も検証できた。

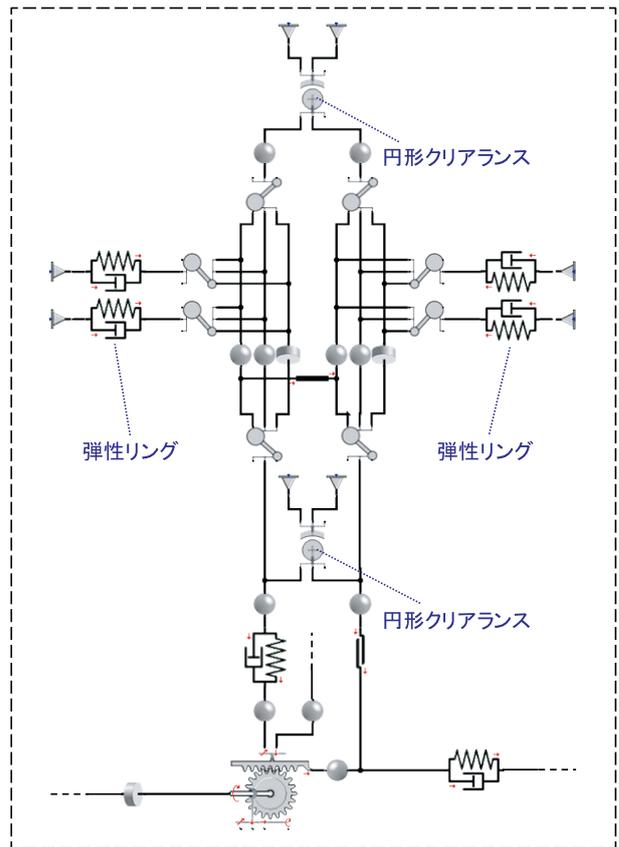


図12 改良後のR&Pモデル

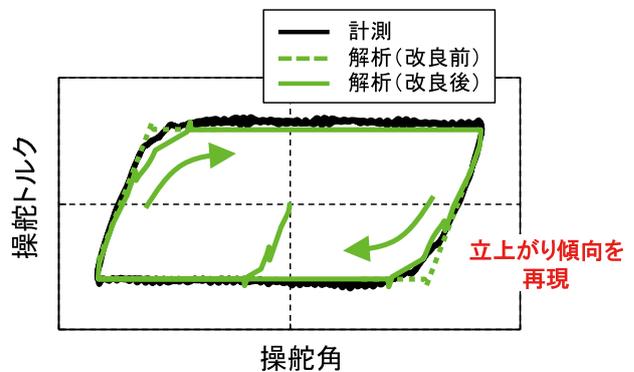


図13 プレッシュパッドモデル改良効果

5 シミュレーションモデルの妥当性検証

5.1 EPS構成要素挙動計測装置

これまでに、主要部品であるウォームギヤとR&Pモデルの改良を行い妥当性が検証できたので、ここではシステムモデル全体としての検証を行う。

機械伝達系モデルの妥当性を確認するため、写真1のような実機計測装置を構築した。次節より詳細を述べるが、この装置は操舵特性に影響を与えることなく、構成要素の3次元挙動の計測が可能である。

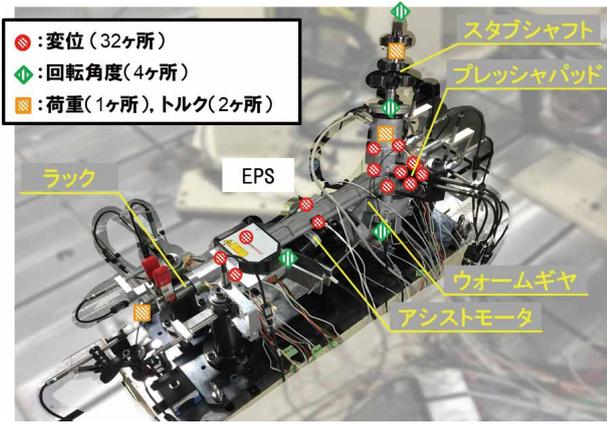


写真1 要素挙動計測装置

5.2 挙動計測方法

挙動計測した構成要素は、これまでの解析と照合するため、図14に示すようにウォームシャフト、ピニオン、ラックおよびプレッシャパッドとした。

各構成要素の挙動計測箇所を図15および図16に示す。図15に示す構成要素については、軸方向変位に加え、径方向変位を複数点計測し歯車機構の噛み合い位置の変位を幾何学的に算出した。図16に示すプレッシャパッドは、ラック支持方向変位を計4点測定し、対角2点の変位から幾何学的に傾き、およびラックとの接触面の径方向変位を算出した。

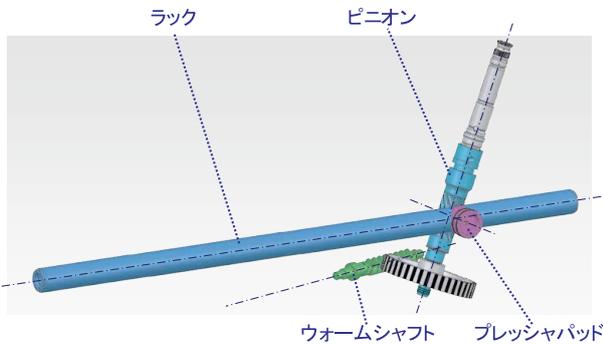


図14 計測対象とした構成要素

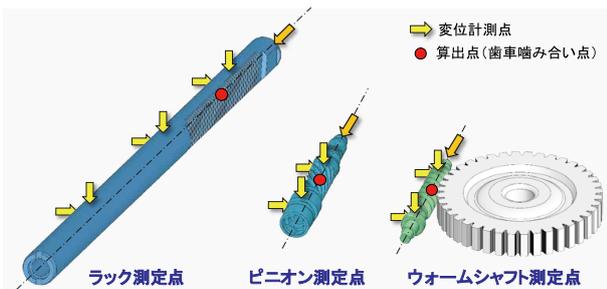


図15 構成要素3点挙動計測箇所

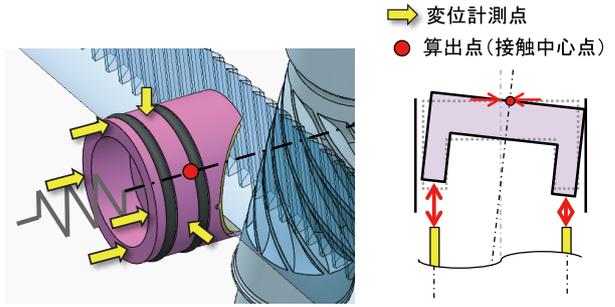
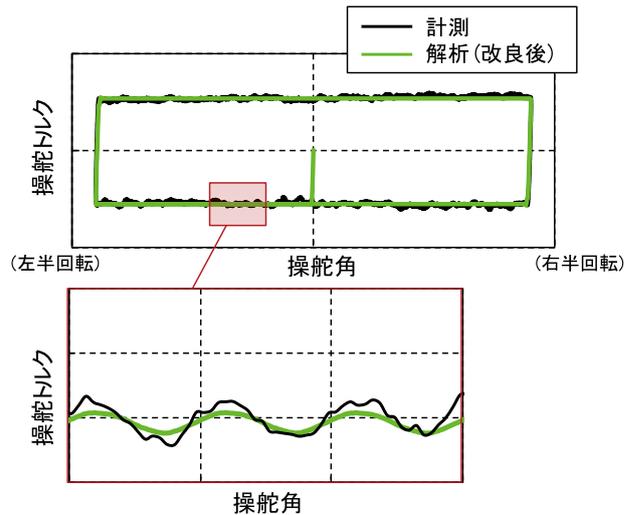


図16 プレッシャパッド挙動計測箇所

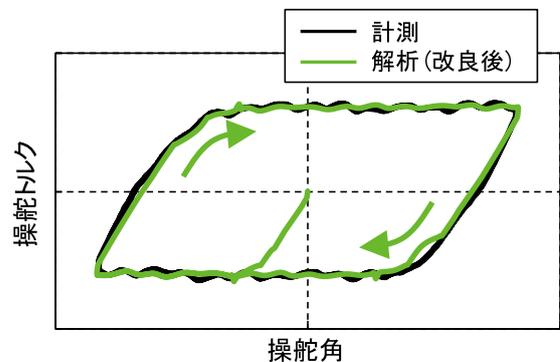
5.3 操舵特性の計測・解析結果比較

操舵特性について、改良後の機械伝達系モデルの解析結果と計測結果との比較を図17に示す。基礎モデルで差異のあった(a)図のような操舵トルクの変動や、切返し時の(b)図のような操舵トルクの立ち上がり傾向は良く一致しており、機械伝達系を高精度にモデル化できていることが分かる。

次節より、構成要素挙動も含めてモデルの妥当性を詳細に検証する。



(a)大操舵時



(b)微操舵時

図17 機械伝達系の計測/解析比較

5.4 挙動計測結果

まず、3章にてウォームギヤの噛み合いに起因するとした操舵トルクの変動に着目し、図18のように変動成分をFFT分析すると、特に①と②の変動周期成分の影響が大きかった。そこで、解析的に大きな影響が確認されたウォームシャフトの実機挙動を参照すると、操舵トルク変動と周期成分が一致した。さらに、2つの周期成分については図19に示す通り、他の構成要素と比べても、ウォームシャフトの挙動が卓越していることも明らかになった。

以上のことから、操舵トルクの周期変動は、主にウォームギヤの噛み合いによる影響が強く、3章で述べた解析的検討が妥当であることが確認できた。

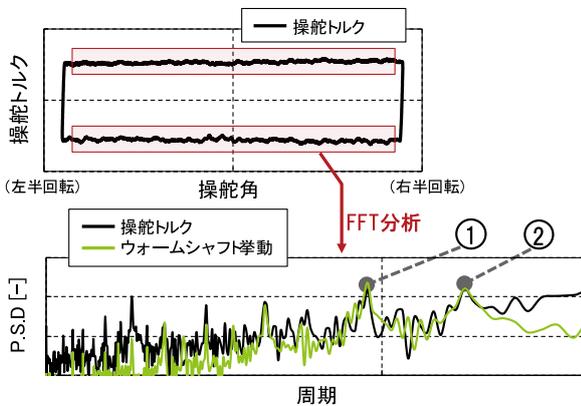


図18 計測結果 (FFT分析)

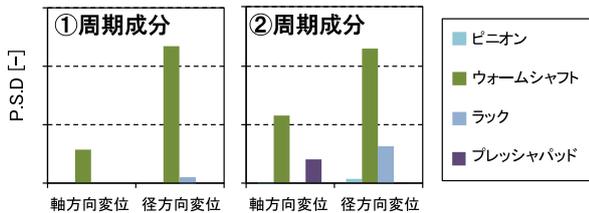
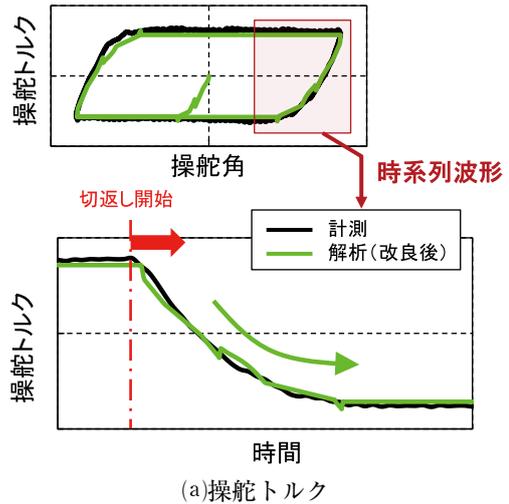


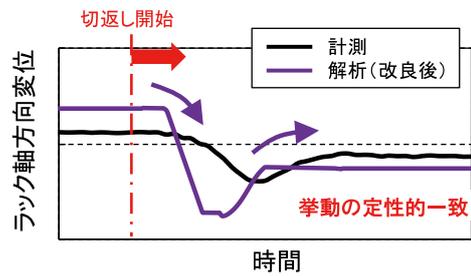
図19 構成要素の挙動変動周期

次に、操舵トルクの立ち上がりについては、4章でラック摺動にともなうプレッシュパッド挙動が要因と推定した。ここで、切返し時の操舵トルクとプレッシュパッド挙動の関係について、図20に時系列波形を示す。図中(a)で操舵トルクが定常値になる前に、(b)図のようにプレッシュパッドがラック軸方向(クリアランス径方向)に動き出しており、モデル改良後の解析結果においても定性的な傾向は一致していることが確認できた。

以上のことから、操舵トルクの立ち上がりには、主にR&Pのプレッシュパッドの挙動による影響が強く、解析的検討が妥当であることが確認できた。



(a)操舵トルク



(b)プレッシュパッド挙動

図20 時系列による計測/解析比較

5.5 動力損失比率の算出

機械伝達系解析モデルの妥当性が確認できたため、次に本モデルを使用して、設計ツールとしての各種検証を行った。

一例として、EPS内部の摩擦抵抗について、各構成要素の寄与度を確認するため、動力損失比率を算出し計測/解析で比較した。結果は図21のように、計測ではR&P損失が最も大きく、次いでウォームギヤやモータでの損失が大きかった。この傾向は解析でも一致しており、ツールとしての妥当性が確保されていることが確認できた。

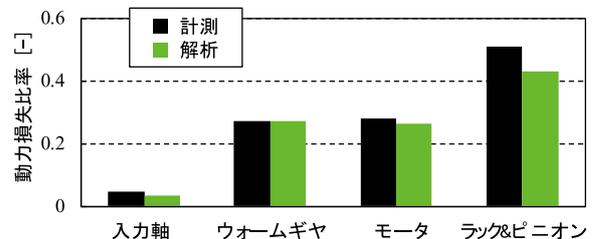


図21 損失の内訳

5.6 制御モデルおよび車両モデルとの連携

これまではステアリングの負荷が無く、モータアシストを無視した仮想条件でのEPS特性を検討してきたが、さらに実車走行時を想定したEPS操舵シ

シミュレーションを実施するため、構築した機械伝達系モデルに制御モデルを連成させた。

制御モデルについては、過去に当社で開発したモデル²⁾を使用した。図22に示すように、機械系モデルと制御モデルは異なるツール・言語で作成されているため、今回はTCP/IPによるデータ相互通信により連成させた。EPSへの負荷としては、微操舵時においてラックにかかる反力を実車で計測し、線形ばねで模擬したモデルとした。

操舵特性の計測結果および同条件での解析結果を図23に示す。操舵トルクについて最大-最小値誤差は5.0%、操舵方向によって生じるヒステリシスの誤差は4.7%であり、解析結果は計測と定量的に良好な一致を得た。また、操舵トルクの立ち上がりに着目しても、滑らかな勾配変化が生じている計測結果をよく再現しており、高精度で実現象を模擬できた。

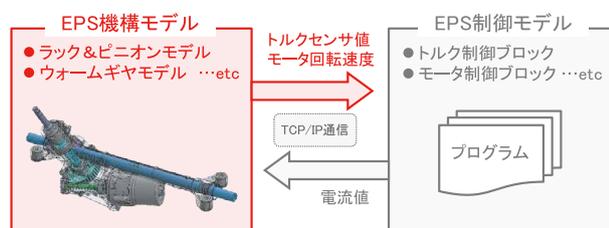


図22 シミュレーションモデルの連成

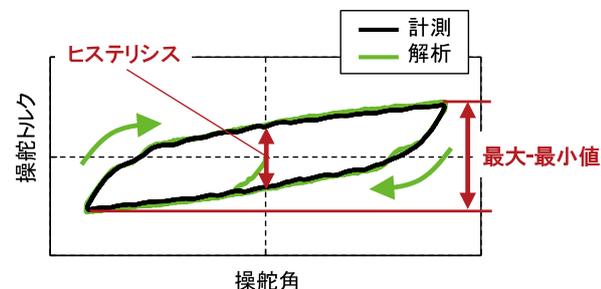


図23 操舵角-操舵トルク特性

6 結言

EPSの操舵特性メカニズムの明確化、さらにそのメカニズムをコントロールするため、1D-CAEツールを用いた機械伝達系シミュレーションモデルを開発し、以下の結論を得た。

- (1)主要構成要素であるウォームギヤおよびR&P機構について、3D-FEMと1D-CAEを連成した高精度モデルを構築し、詳細な実現象を予測可能とした。
- (2)各構成要素の挙動を観測可能な実機計測装置を構築し、EPSモデルの妥当性を確認した。
- (3)構築した解析技術（モデル）は、EPS各部の動力損出や、また実使用条件における特性予測が可能であり、設計ツールとしても有効であることが確認できた。

なお、本誌ではEPSの一例としてピニオンアシスト方式を一例として挙げたが、同様に他のアシスト方式についても展開可能である。

7 謝辞

本研究は、ニュートンワークス(株)ならびに社内関係部門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。

参考文献

- 1) 松村：次世代要求に応える電動パワーステアリングの開発, KYB技報第56号, (2018年4月)
- 2) 小林：EPS用ECU試作開発におけるMBDの適用, KYB技報第52号, (2016年4月)

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。EPSの操舵特性解析技術の研究に従事。

品質工学を活用した円筒型リニアモータの パラメータ設計

永 溝 喜 也

1 はじめに

民間航空機では欧米を中心にエンジンや装備品の電動化が積極的に進められており、機体内の2次エネルギーはこれまでの空圧力、油圧力、電力、回転力の4形態から電力の1形態に集約する傾向がある。しかし、機体運用に重大な影響を及ぼす脚系統、操縦系統では現在も油圧アクチュエータが使用されている。その理由の一つとしてボールスクリーを用いた電動アクチュエータではジャミング^{注1)}が発生することが挙げられる。ジャミング対策として(株)島津製作所殿のクラッチ構造を備えた電動アクチュエータ¹⁾、Messier-Bugatti殿の2重スライド構造を備えた電動アクチュエータ²⁾などが考案されているが、コンパクトでシンプルな構成とは言い難い。そこでKYBではジャミングの原因となるボールスクリーを使用しない円筒型リニアモータに着目し、油圧アクチュエータに置き換え可能で剛性と耐コンタミ性を有する円筒型リニアモータの開発を行っている³⁾。

円筒型リニアモータは2003年頃から本格的に市場投入されている。近年では大手電機メーカーの参入も見られ、新しい形式のリニアモータとして民生品市場で拡大傾向にある³⁾。

次に、円筒型リニアモータの作動原理を説明する。円筒型リニアモータはリング状巻線（以下コイルと言う）が装着されたモータケースと永久磁石が挿入されたシャフトから構成される。永久磁石で形成される磁束はN極からシャフトのラジアル方向に流出し、S極に流入する。その磁束と鎖交するコイルに電流を流すと、フレミングの左手の法則に従いシャフトの軸方向に推力が発生する（図1）³⁾。

KYBでは円筒型リニアモータに関する知見や解析技術が不十分なため、推力特性と磁路形状の関係が不明確な部分が多い。今後、円筒型リニアモータの仕様を満足するような磁気回路設計を進めていく場合、推力特性と磁路形状の関係を適切に把握して

おくことが望ましい。

そこで本報では、円筒型リニアモータの推力特性を予測する磁場解析プログラムを開発し、品質工学を活用したパラメータ設計を実施することで、推力特性と磁路形状の関係性を把握した。

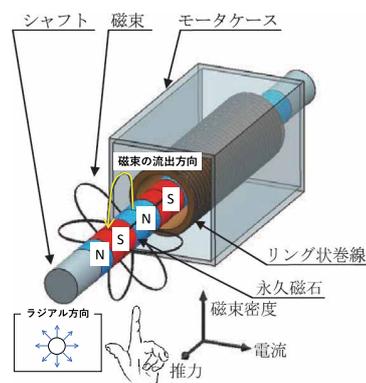


図1 円筒型リニアモータ³⁾

なお、本報で用いる円筒型リニアモータの基本構造は、電動リニアアクチュエータの推力密度向上に関する研究で協力いただいた大同大学加納善明准教授が考案されたもので、最終的な構造設計はKYBで実施し実現化した。

注1) ボールスクリー、減速機などの噛み込み現象で、冗長系を構成する航空機用途では特に障害となる。

2 推力特性予測プログラムの開発

2.1 解析対象

本プログラムの解析対象は電動リニアアクチュエータの磁路形状に影響する円筒型リニアモータ部とした。図2に円筒型リニアモータの内部概要を示す。

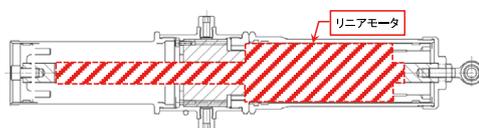


図2 円筒型リニアモータの内部概要

2.2 解析モデル

円筒型リニアモータの磁場解析モデルを、汎用有限要素法解析プログラムのスクリプト言語を用いて作成した。図3に解析モデルを示す。

解析モデルは2次元軸対称モデルで作成し簡略化するとともに、メッシュは磁気特性の影響に合わせて適正化することで計算時間の短縮を図った。

開発したプログラムはコイルに通電する電流値と寸法値を入力することで、任意のストローク刻みごとに静磁場解析を行い、各ストローク位置における推力を計算する。その推力計算をシャフトが1ピッチ分移動するまで繰り返す仕組みとなっている。

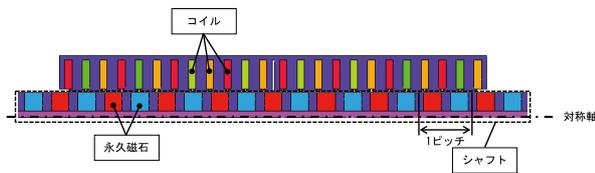


図3 円筒型リニアモータ解析モデル

2.3 試験結果との比較

開発したプログラムの妥当性を確認するため、試験結果との比較を行った。図4に1ピッチあたりのストローク-推力特性（以下St-F特性と言う）、図5に電流-1ピッチ間の平均推力特性（以下I-F特性と言う）の比較結果をそれぞれ示す。比較した結果、解析結果と試験結果は良好に一致しており、今回開発したプログラムの解析精度は問題ないことが確認できた。

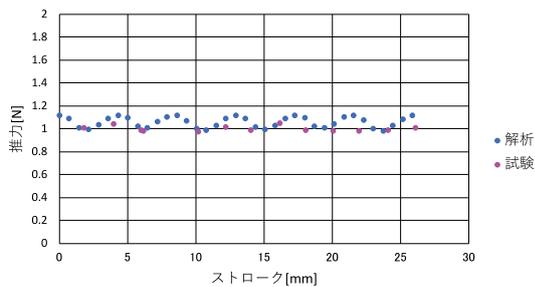


図4 St-F特性比較結果
(試験の平均推力を1とした場合)

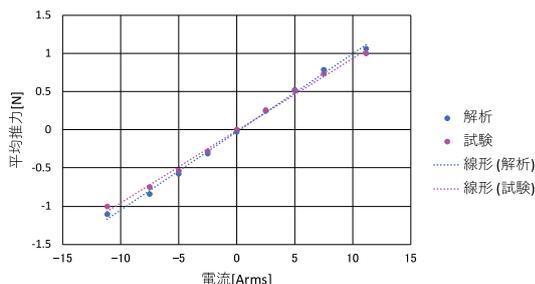


図5 I-F特性比較結果
(電流11.2Armsの試験平均推力を1とした場合)

3 品質工学を活用したパラメータ設計

パラメータ設計は品質工学の手法の1つで、設計パラメータである制御因子を最適化することで、ばらつきの原因となる誤差因子の影響を受けにくい最も安定する出力条件を実現する手法である。誤差因子に対する安定性を評価する尺度としてSN比、出力の平均値を評価する尺度として感度を用いる。

近年、製品開発を効率良く実施するために開発そのものを机上段階で実現するモデルベース開発（以下MBDと言う）の重要性が高まっており、MBDを適用し様々な条件下でロバスト性の高い製品開発を行うためにも品質工学の活用は有効な手段と言える⁴⁾。

今回適用したパラメータ設計手順を図6に示す。対象は2.1節で説明した円筒型リニアモータとし、図6に示す(1)~(9)のステップでパラメータ設計を行い、推力特性と磁路形状の関係性の把握を試みた。以下にステップごとの手法の説明を示す。

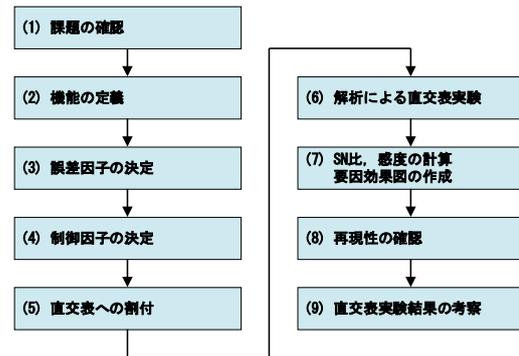


図6 パラメータ設計手順

3.1 課題の確認

初めに対象製品の課題の確認を行った。今回、円筒型リニアモータの推力特性と形状寸法の関係が不明確という課題がある。そのため、不明確のまま磁気回路設計した場合、モータの推力が低下するもしくはシャフトがストロークした際の推力のばらつき（以下推力脈動と言う）が大きくなることが懸念される。また、推力脈動を低減させても推力自体は低下させたくないという制約もある。以上のことから、課題をシャフトがストロークした際の推力脈動の低減、1ピッチの推力が向上するような制御因子を明確にすることとした。

3.2 機能の定義

次に、課題を解決するために入力と出力の関係を明確にし、機能を定義した。機能とは製品本来の目的を達成するための働きのことである。本活動における円筒型リニアモータの基本機能を「コイルに通電した電流により磁界

を発生させ推力を出力する」とし、入力のコイルに通電する電流値、出力は1ピッチ間の推力とした。

また、入出力の関係の他に誤差因子と制御因子を設定する必要がある。誤差因子は設計者側で制御できないパラメータであり、制御因子は設計者が自由に変更可能なパラメータである。誤差因子については3.3節、制御因子については3.4節で説明する。図7にシステム図を示す。評価特性は出力が正の一定値の場合に用いる望目特性を用いた。

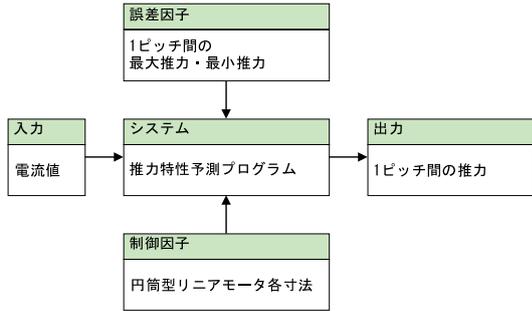


図7 システム図

3.3 誤差因子の決定

本来であれば誤差因子には環境条件や材料の劣化等の市場における様々な要因を取り上げるが、今回の円筒型リニアモータの場合、市場の様々な要因による推力のばらつきよりも推力脈動が大きいことが予想されたため、今回は推力脈動に着目した。

円筒型リニアモータにおいてモータケースとシャフトの相対位置によって磁束の流れやすさは変化し、推力も変化する。つまり、推力脈動は磁束の流れやすさの変化により起こる推力のばらつきと考えることができる。そこで、推力脈動の最大推力・最小推力の2因子を誤差因子として採用した(図8)。

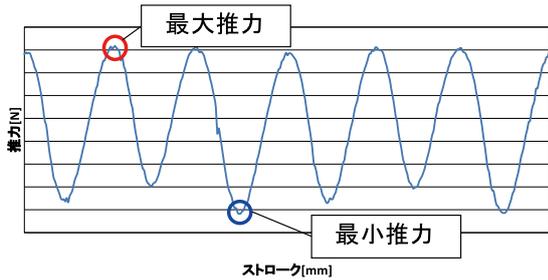


図8 最大推力・最小推力

3.4 制御因子の決定

解析による事前検討から磁路形状に影響を与え、製品として調整可能な円筒型リニアモータの各寸法17因子(因子A~Q)3水準を制御因子に採用した。

3.5 直交表への割付

3.3節、3.4節で選定した誤差因子及び制御因子と信号因子である入力電流を直交表に割付けた。直交表にはL54直交表を使用し、入力電流は最大電流

1水準とした(表1)。以上より、総実験数は54(制御因子)×1(信号因子)の54ケースとなる。

表1 L54直交表

別No.	制御因子																	信号因子	
	因子A-Q																	N1, N2	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	N1	N2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
6	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
8	1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1	2	2
10	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	1	1	1
11	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	1	1	1
12	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
13	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
14	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	1	3	3	3
15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	1	3	3	3
16	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3
17	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2
18	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3
19	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	1	1	1
20	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	1	1	1
21	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
22	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1
23	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2
24	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2
25	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3
26	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3
27	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3
28	1	1	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3
29	1	1	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3
30	1	1	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3
31	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
32	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
33	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
34	1	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2
35	1	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2
36	1	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2
37	2	1	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3
38	2	1	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3
39	2	1	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3
40	2	2	3	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
41	2	2	3	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
42	2	3	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
43	2	3	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	1	2	2	2
44	2	3	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	1	2	2	2
45	2	3	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	1	2	2	2
46	3	1	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2
47	3	1	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2
48	3	1	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2
49	3	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
50	3	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
51	3	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
52	3	3	2	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
53	3	3	2	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
54	3	3	2	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1

各実験条件における最大推力・最小推力

3.6 解析による直交表実験

3.5節の直交表に基づき直交表実験を行った。解析は2章で説明した推力特性予測プログラムを用いた。さらに、総実験数54ケースの解析条件の設定及び解析実行の一連の作業を自動で実行するツールを構築し直交表実験を実施した。

3.7 要因効果図の作成

直交表実験結果より要因効果図を作成した。要因効果図とは実験した因子の要因効果をグラフ化したもので、各水準の実験平均値の差分を算出することで水準を変更した際に得られる効果を見ることができる(図9)。

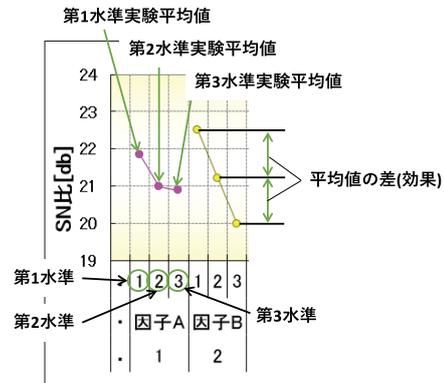


図9 要因効果図の見方

図10にSN比，図11に感度の要因効果図をそれぞれ示す。SN比は推力脈動，感度は推力を表す。今回、現行条件を円筒型リニアモータの図面中央値と定義し、2つの要因効果図から改良案を2案それぞれ決定した。改良案1は推力の向上を重視したもので感度の要因効果図から感度が大きくなる水準を選択し、SN比の要因効果図は無視した案である。改良案2は推力脈動の低減を重視したもので感度を落とさず、かつSN比が大きくなる水準を選択した案である。図10，図11の結果をまとめると以下のことが言える。

- (1) 因子A，因子B，因子NはSN比と感度の傾向が相反する関係にある。その中でも因子BはSN比と感度両方に及ぼす影響は大きい。
- (2) 因子J，因子PはSN比と感度の傾向が両立する関係にあり、今回のパラメータ設計において有効な因子であると言える。
- (3) 因子C，因子D，因子E，因子K，因子LはSN比のみに影響する因子である。その中でも因子KはSN比に及ぼす影響は大きい。
- (4) 採用した因子の中に感度のみに影響する因子はない。

3.8 再現性の確認

次に、直交表実験結果の信頼性を確認するため、直交表実験結果からの推定値と現行条件，改良案1，2それぞれの条件で解析し、求めた確認値を比較し再現性の確認を行った。一般に推定値と確認値の利得差が小さければよく、±3db以下であれば再現性があるとされている。表2に改良案1の再現性確認結果，表3に改良案2の再現性確認結果をそれぞれ

表2 改良案1再現性の確認結果

	条件	推定値	確認値
SN比 [db]	改良案1	18.69	19.80
	現行条件	20.50	20.84
	差 (利得)	-1.81	-1.05
	差 (再現性)	-0.76	
感度 [db]	改良案1	70.86	70.75
	現行条件	68.76	68.86
	差 (利得)	2.10	1.89
	差 (再現性)	0.21	

表3 改良案2再現性の確認結果

	条件	推定値	確認値
SN比 [db]	改良案2	27.90	25.91
	現行条件	20.50	20.84
	差 (利得)	7.39	5.07
	差 (再現性)	2.33	
感度 [db]	改良案2	69.00	68.85
	現行条件	68.76	68.86
	差 (利得)	0.24	-0.01
	差 (再現性)	0.24	

示す。確認した結果、改良案1，改良案2共に利得差は±3db以下となり、利得の再現性は高く、結果は信頼できると考える。

3.9 直交表実験結果の考察

図12に現行条件と改良案1，2の最大電流時のSt-F特性比較結果を示す。比較した結果、改良案1は現行条件より推力は向上しているが、推力脈動

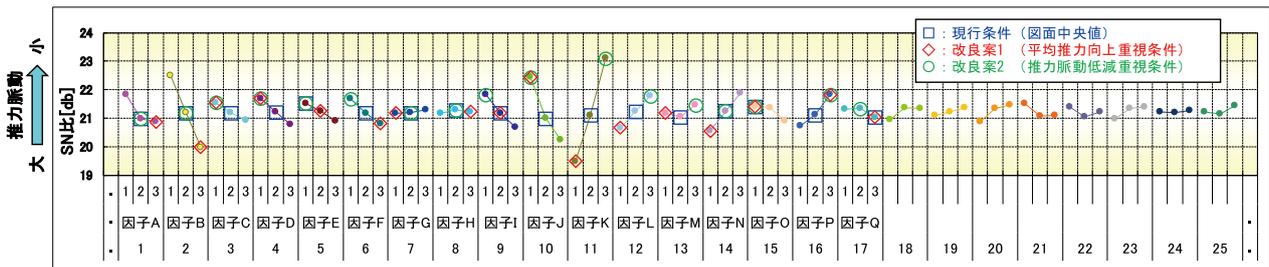


図10 SN比の要因効果図

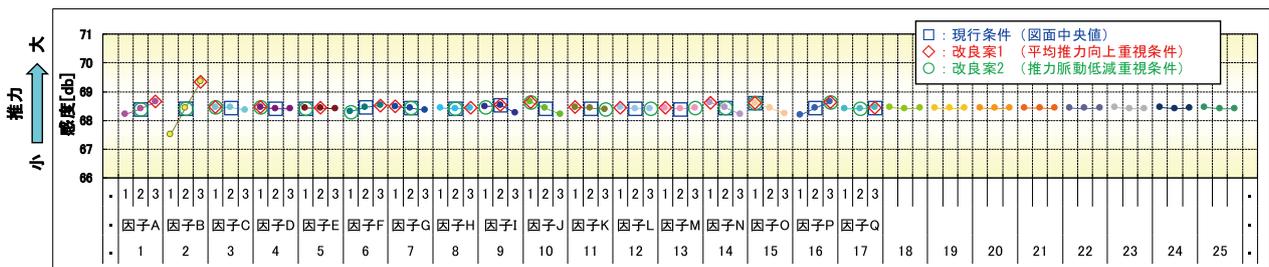


図11 感度の要因効果図

は悪化している。これは3.7節で述べたように因子A、因子B、因子NはSN比と感度の傾向が相反する関係にあることが影響している。改良案1では上3因子の水準は感度が向上する側を選択したことで、SN比は悪化した方に働き推力脈動が悪化したと考えられる。また、因子Kは感度がわずかに向上する水準を選択したが、その水準はSN比が大きく悪化する水準であったことも推力脈動が悪化した要因だと考えられる。次に、改良案2は現行条件と比べて推力は同程度で推力脈動は低減している。こちらは概ね想定通りの結果となった。

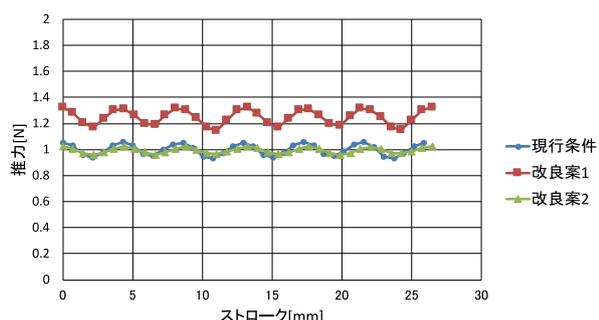


図12 現行条件・改良案のSt-F特性比較結果
(現行条件の平均推力を1とした場合)

最後に、電動アクチュエータの単位質量あたりの推力を表す推力密度の比較を行った。航空機にとって推力密度は重要な指標であり、アクチュエータとしては小型・軽量で高出力、すなわち高推力密度なものが望ましいとされている。今回実施したパラメータ設計で推力特性と磁路形状の関係性は把握できたが、磁路形状が変わるとリニアモータの質量も変わるため、推力が向上しても推力密度が向上するとは一概に言えない。そのため、推力特性とは別に推力密度で比較する必要がある。図13に現行条件と改良案1、2の推力密度の比較結果を示す。比較した結果、改良案1、2の推力密度は現行条件より向上した。向上した要因を考察したところ、改良案1と2それぞれ異なる要因で推力密度が向上していることが分かった。向上要因は以下の通りである。

- (1)改良案1の場合、推力は現行条件より向上し、副次的な効果としてリニアモータの質量が現行条件より増加したが、推力の向上率が質量の増加率を上回ったため推力密度が向上した。
- (2)改良案2の場合、推力は現行条件と同等だが、副次的な効果としてリニアモータの質量が現行条件より低減したため推力密度が向上した。

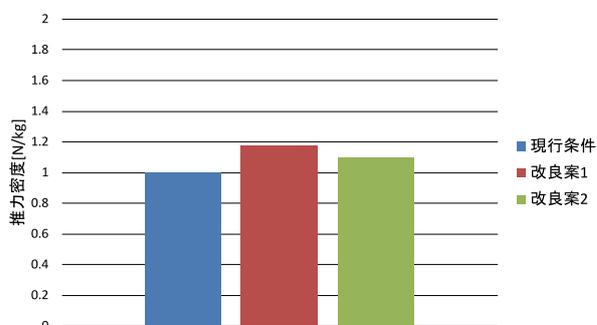


図13 現行条件・改良案の推力密度比較結果
(現行条件の推力密度を1とした場合)

4 おわりに

円筒型リニアモータの推力特性予測プログラムを開発し、品質工学を活用したパラメータ設計を実施することで、推力特性と磁路形状の関係性を把握することができた。

最後に磁気回路及び磁場解析についてご指導いただいた大同大学加納善明准教授に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 株式会社津製作所：電動アクチュエータ，公開特許公報，特開2008-8470，2008年1月17日。
- 2) メシエーブガッティ：アクチュエータ及びこれを使用するための方法，公開特許公報，特開2007-170668，2007年7月5日。
- 3) 佐藤：円筒型リニアモータを用いた航空機向け電動アクチュエータの開発，KYB技報第50号，(2015年4月)。
- 4) 徳光文広：MBDと品質工学の連携による設計諸元と工程の最適化，マツダ技報No. 34，pp. 64-69，(2017年)。

著者



永溝 喜也

2012年入社。技術本部CAE推進部相模分室。各種製品の解析業務に従事。

移動体向け小型通信端末（KTDC17）の開発

原 田 勝 幸

1 はじめに

近年、ビッグデータ、IoT、機器の遠隔操作、自動運転などの普及に伴い、通信が不可欠な環境になっている。しかし、KYBが通信端末の開発を開始した2000年代初頭は、まだ業務用トラック向けの動態管理システムが登場し始めた程度であり、通信端末の需要は多くなかった。近年は稼働情報把握、盗難防止を目的に通信端末も徐々に普及してきた。通信端末は建設機械や特殊車両をはじめとする移動体に搭載し、母機の各種稼働データ、アラーム情報、センサから取得したデータ等を収集し、位置情報と日時を付加してサーバにデータを送信、またサーバからの指令を受信し母機のエンジンカットやジオフェンス機能、業務指示を実現可能とする装置である。2002年よりKYBトロンデュールで開発を開始し、大手建設機械メーカー向けに供給してきた。この間、インフラ変化への対応、海外通信対応と様々な製品を開発供給し、累計20万台超を供給している。2018年にKYBへ事業移管を行い、開発供給を継続している。

以下に開発してきた機器が対応する通信方式を紹介する。

- ・DoPa通信（DoCoMo Packet通信）
- ・衛星通信（ORBCOMM衛星）
- ・GSM^{注1)}通信（2G）
- ・W-CDMA^{注2)}通信（3G）

注1) Global system for mobile communications

注2) Wideband Code Division Multiple Access

2 製品概要

当社の通信端末標準品KTDC14（写真1）の開発については、既報（KYB技報、第51号）において報告した。その後、お客様からミニショベル（7トン以下）用に、KTDC14をダウンサイジング及び低価格化した製品の要求があり、KTDC14の主要性能

を確保しながらも、小型軽量化した移動体向け小型通信端末KTDC17（写真2）を開発した。本報では、小型化施策として採用した、当社として初の試みとなるビルドアップ基板、及び筐体超音波溶着接合法について紹介する。



写真1 KTDC14



写真2 KTDC17

KTDC14及びKTDC17の特徴を以下に示す。

- ①建設機械の厳しい振動、塵埃、温湿度環境に耐える高い信頼性
- ②車体通信：CAN、RS232Cシリアル接続が可能
- ③技適マーク取得済み
- ④携帯電話通信：カードSIM対応（KTDC14）、チップSIM対応（KTDC17）
- ⑤ソフトウェア開発キットによるアプリケーションソフトウェア開発支援
- ⑥OTA（無線）によるソフトウェアの更新機能
- ⑦12V/24V車対応
- ⑧携帯通信：内蔵アンテナ（KTDC14）

⑨GPS/携帯通信：一体型アンテナ（KTDC17）

KTDC14及びDTDC17の筐体サイズ比較を図1に、製品仕様を表1に示す。

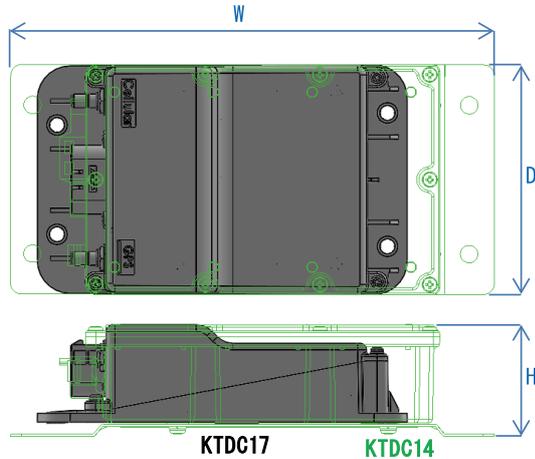


図1 筐体サイズ比較

表1 製品仕様

		KTDC14	KTDC17
通信方式・帯域		W-CDMA/GPRS/GSM (850~2100MHz)	
動作電圧範囲		DC+8V~+32V	DC+8V~+32V
通信用アンテナ		内蔵	外付け
GPS アンテナ		外付け	外付け
IFコネクタ		34ピン防滴	14ピン防滴
インタフェース	CAN	2 ch	1 ch
	UART	3 ch	2 ch
	DI	6 ch	1 ch
	DO	6 ch	1 ch
防水性		JIS D 0203 S1 準拠 (IP64相当)	
防塵性		JIS D 0207 F1 準拠	
耐振性		JIS D 1601 準拠	
サイズ (mm)	W	220 (*)	170
	D	105	105
	H	45	45
重量		900g以下	450g以下
保存温度範囲 (**)		-30℃~+85℃	-30℃~+85℃
動作温度範囲 (**)		-20℃~+80℃	-20℃~+80℃

(*) ブラケット含む

(**) RTCバックアップキャパシタ除く

「とにかく小さく」というお客様の要求に応えるため、以下の施策を実施した。

①入出力インタフェース数を必要最低限に抑えてコネクタを小型化

②小型部品、BGA採用による実装面積低減

③ビルドアップ基板の採用による高密度実装プリント基板設計

④電磁波遮蔽性能向上による空間距離制約の解消

⑤筐体分割と接合設計の見直しによる小型化

3 ビルドアップ基板の採用

KTDC14では、貫通基板2枚の構成を採用していたが、KTDC17では、小型化要求に対応するため部品配置及び配線の高集積化が可能なビルドアップ基板（図2）を採用し基板1枚構成にすることで、基板を重ねた組立を不要とした。そのことで組立部材・工数削減、基板間接続コネクタ廃止、製品厚み低減を実現した。

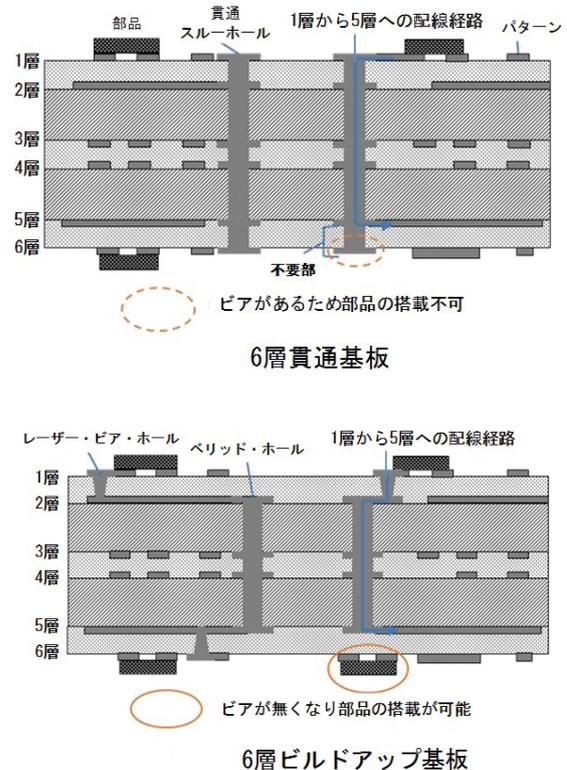


図2 貫通基板（上）とビルドアップ基板（下）断面図

基板設計実施に際し、ビルドアップ基板の特徴を生かすべく、回路ブロックを極力片面で組み、裏表で異なる回路ブロックを配置していく手法で部品レイアウトを行った（写真3）。ビア配置による裏面への影響がなく、ビア自体も小型なことで各々のブロックを詰めて配置することが可能である。

ビルドアップ基板の採用及び最適な基板設計により、KTDC17の部品占有率はKTDC14の約1.7倍に向上した。（表2）なお、部品占有率の算出方法は

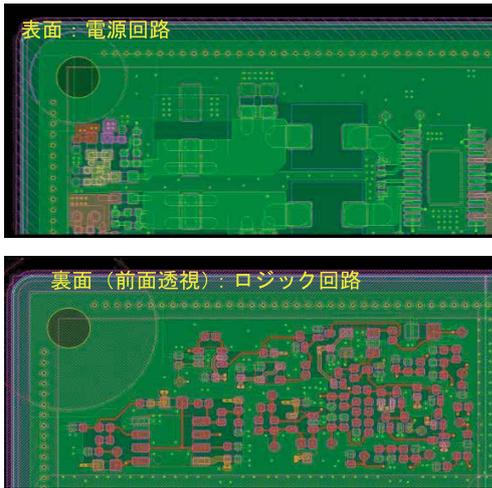


写真3 レイアウト事例

下記の通りである。

$$\text{部品占有率} = \frac{\text{部品総面積}^{\text{注3)}}}{(\text{基盤面積} - \text{禁止エリア}^{\text{注4)})}$$

注3) 基板に実装される電子部品の個々の面積を合計した面積のこと。

注4) 基板製造や実装工程，機構部品の干渉などから部品実装ができないエリアのこと。

表2 KTDC14とKTDC17の基板毎の部品占有率

基板名		部品占有率 (%)		
		表面	裏面	平均
KTDC14	電源基板	53.9	15.8	34.9
	制御基板	38.1	34.3	36.2
KTDC17		65.8	55.3	60.6

ビルドアップ基板の採用により従来の貫通基板よりも高密度な基板設計が可能となり，製品小型化のための基板1枚化を達成できた。(写真4)

近年では車載品への採用が増えてきたため，今後は建機向け製品だけでなく，2輪や乗用車向けの製品への展開も可能と考える。

4 超音波溶着工法の採用

KTDC17の主な形状要件を表3に示す。

KTDC17では，組付け用の余剰スペース削減のため，筐体を斜め分割とした。(図3)

また，筐体分割部の接合を超音波溶着にすることで，ねじ留め箇所を削減でき，更に，パッキンも不要となることで小型化・低コスト化を実現した。

超音波溶着とは，超音波振動と加圧で樹脂同士の

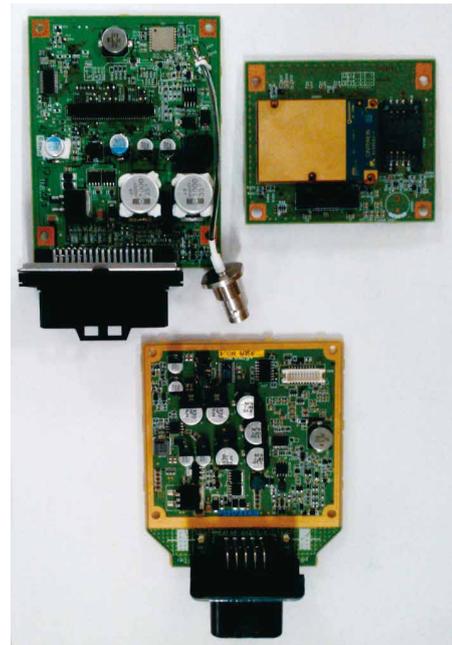


写真4 KTDC14基板(上)とKTDC17基板(下)

表3 主な形状要件

No.	項目	要件
1	筐体サイズ	車体取付部を含めてKTDC14以下
2	コネクタ配置	コネクタは筐体長手方向に配置
3	車体取付穴	筐体と一体構造 穴位置は筐体長手方向に設定



図3 超音波溶着箇所(青枠部分)

接合面に摩擦熱を発生させ，熔融・溶着が行われ，溶着後の樹脂は分子結合され強力な溶着が得られる工法である。

超音波溶着機を写真5に示す。樹脂筐体を受け治具で固定し，ホーンを上から押し当てて加圧し，縦方向に振動させることにより樹脂筐体の接合部を発熱させて熔融溶着させる。

KTDC17の斜め溶着面形状は超音波溶着工法には不向きなため，安定した気密性と強度を得るための

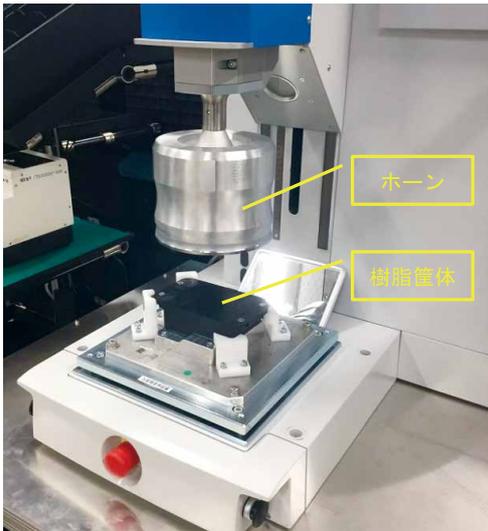


写真5 超音波溶着機

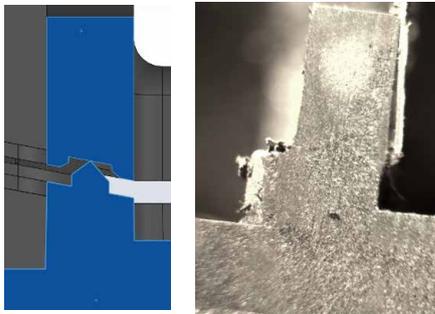


写真6 溶着前のCAD図(左)と同部位の溶着後の接合部断面(右)

溶着条件の最適化が課題となった。

超音波溶着機の設定項目の加圧力、ホーン振幅、発振周波数、保持時間、沈み込み量(溶着前後の沈み込み寸法差)などのほか、樹脂筐体の接合面(ジョイント)の形状、寸法の精度、樹脂材料などが溶着に影響するため、これらについて逐一検証し、最適な溶着条件を見出した。最適条件での溶着の様子を写真6に示す。

超音波溶着はジョイント部の寸法管理が重要で、超音波振幅の伝達に適した形状は円柱形状で、ホーンに対して垂直な溶着平面が適していることから、

樹脂成型部品のサイズ・形状・材質、それに伴う引け・反り・撓みが気密性や溶着強度に影響が出るので、製品の使用温度範囲や防水、防塵などの要求仕様を明確にすることが必要である。

また、溶着後は筐体分解が困難なことから、試験後の内部確認が非常に手間取り、分解の際に内部部品にダメージを与えてしまう可能性もあるので、設計段階から分解方法を検討しておくことも重要である。

今回確立した手順で装置側の治具・ホーン的位置とレベル調整を確実に行うことにより、斜め溶着面筐体でも安定した超音波溶着が可能となった。また、溶着時間も1秒未満であることから、開発目標である組付け時の余剰スペース削減による小型化及び筐体締結部品やパッキン等の部品点数削減、組立工数削減に貢献できた。

また、超音波振幅による電気部品への影響も、建設機械に適用する信頼性評価試験を実施したが破損は発生しなかった。

この要素技術は、今後小型軽量化が要求される樹脂筐体を有する製品へ展開を図りたい。

5 おわりに

新たな技術を取り入れることで、お客様から要望された小型低価格を実現することができ、採用いただけることになった。また、ミニショベルメーカーに採用いただけたことで、他の建設機械メーカーよりお引合いをいただき、拡販に貢献できた。

今回採用したビルドアップ基板は、他の製品にも流用可能な高密度化技術であり、製品の小型化が可能である。また、超音波溶着工法はねじの削減・組み立て時間低減が可能となるため、樹脂筐体を採用する製品の低価格化に有効である。

今後は今回開発した技術を活用して4G(LTE)対応通信端末の開発に取り組んでいく。

最後に、本開発にあたりご指導、ご協力下さいました社内外関係者の皆様に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

著者



原田 勝幸

2018年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部事業企画部新事業推進室専任課長。通信端末・コントローラの企画開発に従事。

「移動体通信ネットワーク」

「移動体向け小型通信端末（KTDC17）の開発」（p. 30）に記載

KYB技報編集委員 梶 澤 亮 一

1 移動体通信ネットワーク

通信端末が無線通信により遠隔地のサーバーとデータのやり取りをするためには、通信システムを運用するための回線、通信機器、施設、サービスなどの総体である通信インフラが必要です。通常の電子機器はハードとソフトで構成されますが、通信端末は、それに通信インフラが加わらないと成立しません。

車両・建設・船舶などで使用する通信インフラは、大雑把な分類をするならば、携帯電話やスマートフォンなどの電気通信事業者が提供するセルラー通信網を使ったサービスと、商業向け衛星運用事業者が提供する衛星通信網を使ったサービスのいずれかになります。（図1）

2 セルラー通信

セルラー通信は、コストやデータ量、つながりやすさの面での優位性から地上用途では主流となっていますが、通信規格が約10年毎に世代交代し、古い世代は使えなくなります。また、同じ世代でも地域や電気通信事業者ごとに採用する通信方式が異なります。（表1）通信端末を、いろいろな国で継続的に使っていただくためには、世代及び地域に応じて対応していかなければなりません。

2020年運用開始予定の5Gでは、超高速データ通信、多数接続、低遅延といった特徴を活かして、新たな機能を持つ移動通信システムが期待されます。

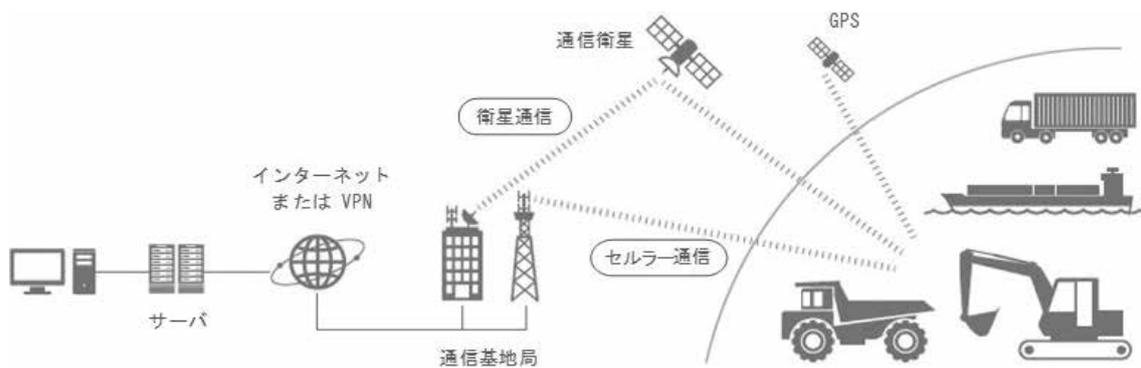


図1 移動体通信ネットワークシステムイメージ図

表1 セルラー通信

世代	運用開始年代	最大通信速度	方式（抜粋）		用途例
			国内	国外	
1G	1980年代	データ通信なし	NTT N-TACS	AMPS（米） NMT（欧） TACS（欧）	自動車電話
2G	1990年代	2.4k～28.8kbps	PDC（DoPa） cdmaOne	D-AMPS（米） cdmaOne（米） GSM（欧）	メール SMS
3G	2000年代	64k～384kbps	cdma2000 W-CDMA	cdma2000（米） W-CDMA（欧）	スマートフォン
3.5G		3.6M～14Mbps	HSPA EV-DO		
3.9G	2010年代	37.5M～150Mbps	LTE WiMAX		
4G		110Mbps～1Gbps	LTE-Advanced WiMAX2		高画質動画配信
5G	2020年代	10Gbps	—		IoT 自動運転

注：世代、方式については、商業的または技術的な側面から異なる分類及び名称となる場合があります

3

衛星通信

山岳・僻地・海上・島嶼部といった携帯電話がつかないところでは、自前で通信網の整備をする場合もありますが、有線ネットワーク回線の敷設が困難な場合は衛星通信網を使用することになります。

衛星通信は国ごとの規制や、サービス提供地域、衛星数、基地局数などが衛星運用事業者依存であること、通信データ量やコストの面で課題がありましたが、近年では、特定の衛星に縛られずに運用ができたり、セルラー通信とのハイブリッド運用により、セルラー通信網につながらない場所は衛星通信といった状況に応じた使い方をすることもできるようになりました。衛星通信は災害に強いことから注目されています。

4

IoTとM2M

IoTとM2Mという言葉が最近よく聞きます。IoTはInternet of Thingsの略で、日本の法律で「インターネットに多様かつ多数の物が接続され、及びそれらの物から送信され、又はそれらの物に送信される大量の情報の円滑な流通が国民生活及び経済活動の基盤となる社会の実現」と定義されています。

M2Mは、Machine to Machineの略で、機械同士がデータの送受信を行うシステムを指します。IoTとは概念が異なるほか、インターネットへの接続が前提ではないことと、機械以外との通信は対象としていない点が異なります。

いずれも、通信技術の向上と通信インフラの普及が下支えしています。

参 考 文 献

- 1) 「第5世代移動通信システムについて」総務省
http://www.soumu.go.jp/main_content/000579865.pdf
- 2) 「移動衛星通信システムの現状」総務省
http://www.soumu.go.jp/main_content/000432704.pdf



写真2 CVT用ベーンポンプ外観

表2 開発ベーンポンプ仕様

形式	平衡型ベーンポンプ
基本吐出量	12.0cm ³ /rev
使用回転数	~7600rpm
使用圧力	~6MPa
使用温度	-40~140℃

表3 原価低減アイテム

原価低減アイテム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現有設備の有効活用 ・ アルミダイカストボディ2個取り化 ・ フタ廃止 ・ 共用部品化 ・ 他7件
----------	---

4 原価低減および小型化アイテムの紹介

4.1 現有設備の有効活用

現有設備を有効活用するには、現有設備に取り付け可能なユニット取付け穴位置と穴数、及び流量制御弁配置を合わせる必要があった。しかし、開発当初は上記要件を満たしていなかった(図1)。ユニット側とポンプ側双方の要件を幾度も擦り合わせ、最終的に現行品と同様にユニット取り付け穴の3点化及び、共通加工基準穴を追加することで、現有設備の有効活用が可能となった。ユニット取り付け穴の3点化に伴い、高負荷時のポンプボディの変形が懸念される。

さらに、ユニット側の原価低減案として、ユニットとベーンポンプ間の吐出油路受け渡し部のガスケットが廃止された。アルミ加工面同士のメタルシールになるため、高負荷時のポンプボディ変形による

シール面の口開き(隙間が発生)への対策が必要であった。シール面の位置および形状を図2に示す。

シール面の変形量を限りなく小さくするため、取り付け点の配置・高負荷時のシール面形状変化・肉抜き形状についてFEM解析を用いて最適設計し、シール面の変形量を大幅に低減することができた(図3)。これにより、ユニットの原価低減にも貢献した。

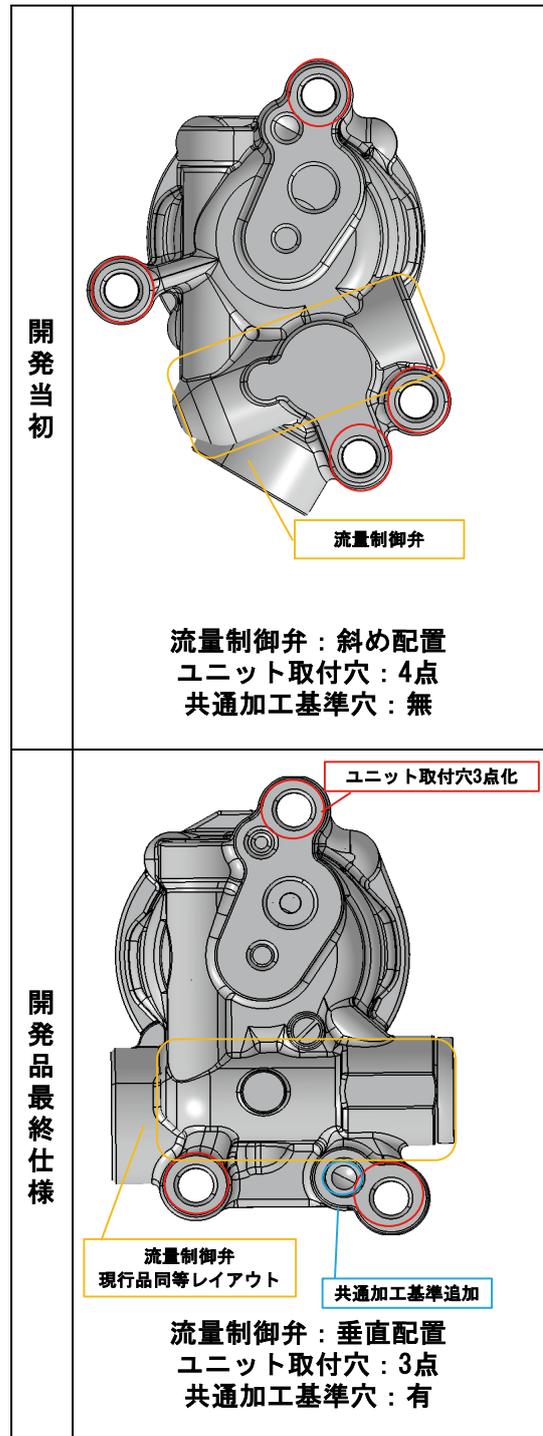


図1 現有設備有効化のための変更内容

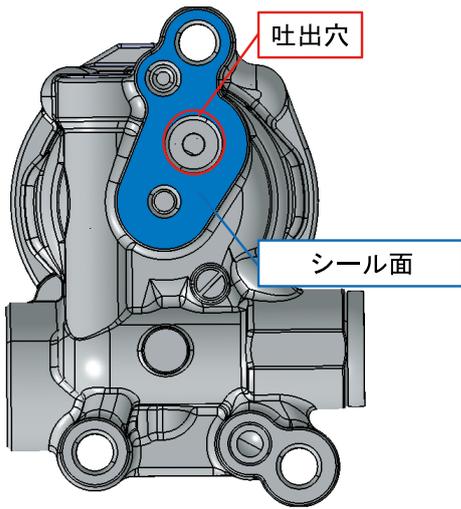


図2 シール面の位置および形状

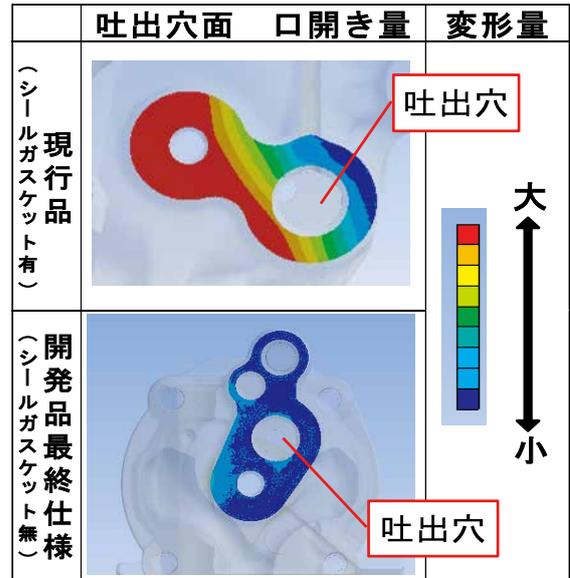


図3 FEM解析結果

4.2 ダイカストボディの2個取り化・フタ廃止

アルミダイカスト工程において生産効率向上のために、ダイカストボディの2個取り化を実施した。2個取り化を実施するにはボディを金型上で並列に配置する必要があるが、現行品のダイカストボディは油路形成のための鋳抜き用スライド型が6方向のすべてに設定されており、金型構造上ボディの並列配置が不可能だった。開発品では鋳抜き穴の削減によってスライド型を1方向廃止し、ボディの並列配置を可能としたことで、2個取り化を実現した(図4)。さらに、鋳抜き穴削減によって、その穴をふさぐためのフタも廃止することができた。

課題として、2個取り化のために削減した穴形状

は吸込み油路を拡大する役割があり、開発品は現行品に対して吸込み性低下による耐キャビテーション性能低下が懸念される。その対策として、カムリング切り欠き追加(図5)による油路拡大や流れ解析を用いたボディ吸込み油路最適化(図6)によって吸込み圧損を低減し、耐キャビテーション性能を確保した。

4.3 部品共用化

図7に現行品に対する開発品の部品比率を示す。部品共用化により新規の設備投資を最小限に抑え、さらに部品削減によってコスト低減に貢献した。

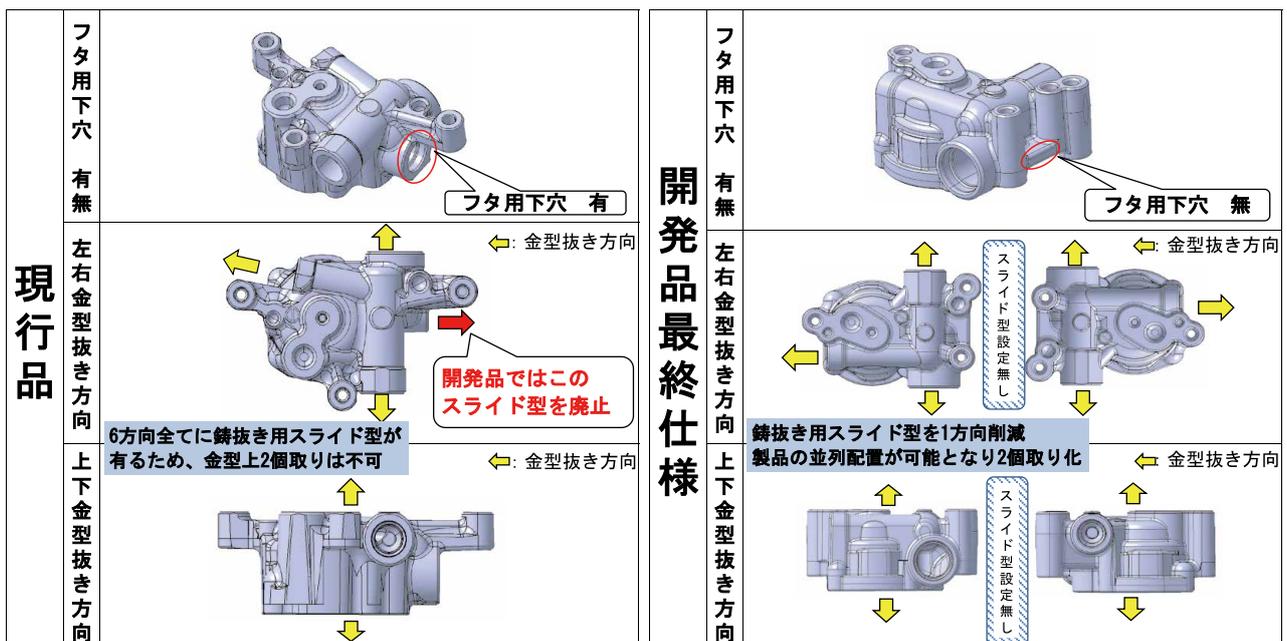


図4 ダイカストボディ2個取り化

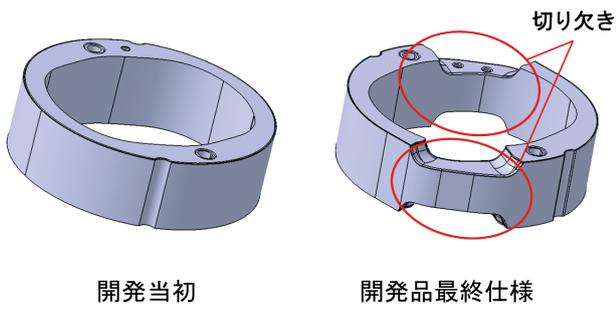


図5 カムリング形状

4.4 小型化

現有設備の有効活用を前提に、可能な限り肉抜きや形状最適化を行ったことで、現行品に対し体積比29%の小型化をすることができた(図8)。

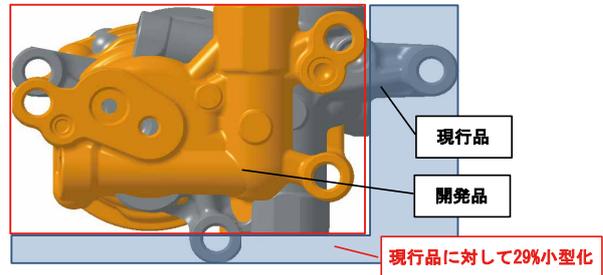


図8 現行品と開発品の外観比較

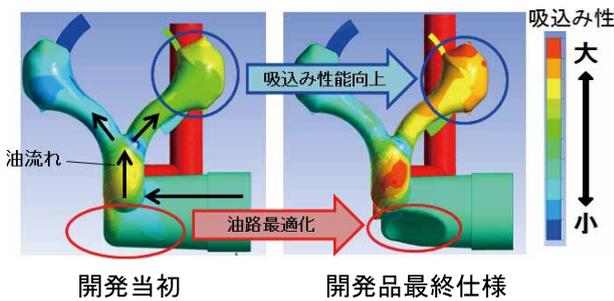


図6 ボディ吸込み油路の流れ解析

5 まとめ

本開発品は現行品に対し、下記の開発成果により原価低減を実現した。

- ① 現有設備の有効化による新規設備の投資抑制
- ② ボディ2個取り化による鋳造の生産効率200%
- ③ 現行品に対し10%部品点数削減
- ④ 現行品に対し74%部品共用化
- ⑤ 現行品に対し29%小型化

また、現行品と開発品の傾斜展開図に今回の開発で検討を行った内容を図9に示す。

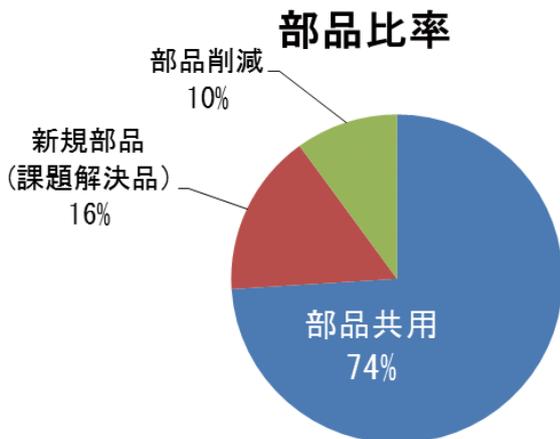


図7 開発品・現行品 部品比率

6 おわりに

本開発品に対して開発初期段階から生産・技術・販売一体で行った活動を、今後の開発品へも水平展開をしていき、さらなるコスト競争力向上に貢献していきたいと思う。

本開発にあたって協力頂いたジャトコ(株)殿、関連協力業者、社内関係部門の皆様には深く感謝申し上げます。

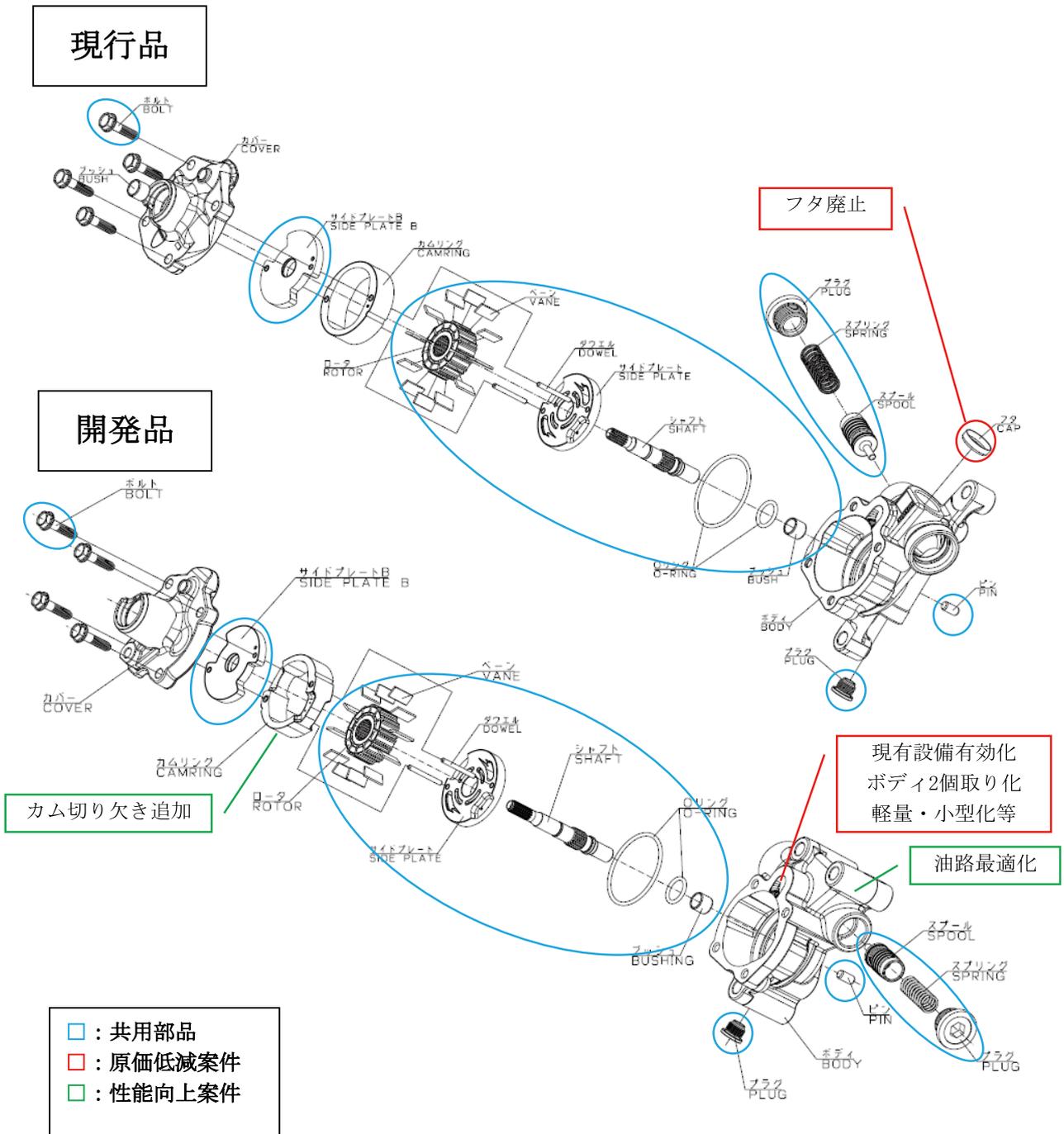


図9 現行品と開発品の傾斜展開図

著者



萩原 隆広

2010年入社 オートモーティブコンポーネンツ事業本部ステアリング事業部ポンプ技術部
ベーンポンプの設計に従事



進藤 翔太

2014年入社 オートモーティブコンポーネンツ事業本部ステアリング事業部ポンプ技術部
ベーンポンプの設計に従事

ミキサ車部品へのジルコニウム化成処理の適応

西田 竜一 ・ 山崎 寛史

1 はじめに

KYB熊谷工場は、特装車両事業部（以下特装）とHC事業部熊谷駐在の生産拠点であり、特装はミキサ車（写真1）の架装物を製造・架装、そしてお客様の要望に応じて塗装まで施し、世界中のメーカ及びディーラに販売している。

近年、工事現場などで使用されているダンプ車を始め、ミキサ車などは、お客様のイメージを重要視する傾向にあり、普通乗用車と比べて過酷な環境下で使用されている車両にもかかわらず、外観も普通乗用車と変わらない状態を維持しようとする傾向にある。そこでミキサ車の架装物に下地塗装を施すために使用しているのが、カチオン電着塗装設備である。

本報はその設備を更新するにあたり、突発補修費を無くし、塗装剥がれクレームゼロ立ち上げを目標として実施してきた内容について紹介する。



写真1 主力モデルのミキサ車

2 電着塗装とは

電着塗装（以下、電着）とは、液状の塗料や樹脂が入った浴槽に電極と被塗物（以下、ワーク）を入れて直流電流をかけ、ワークの表面に塗膜（以下、塗膜）を作る塗装方法の一種である。

電着は大別すると、カチオン電着（以下、カチオン）とアニオン電着（以下、アニオン）がある。カチオンは、ワークを陰極（-）とし、電極を陽極（+）

にして塗膜を作るのに対して、アニオンはワークを陽極とし、電極を陰極とする方法である。両者とも下地塗装として使用されることが多い。

3 設備更新の背景

特装では約25年前から8割強の部品に下地塗装をカチオンで実施してきた。

特装で扱っているワークは重量物が多く、ワークとワーク搬送用ハンガを合わせると最大で800kgにもなるため、それらを搬送する装置への負担も、長年の蓄積により大きかった。

さらに、設備の老朽化に伴い、突発の補修費が増大傾向にあり、設備で使用しているポンプや電装部品などの代替品もなくなりつつあった。

今回の設備更新に合わせて電着工程のレイアウト（図1）及び、塗装品質向上のため、前処理方法の検討も行うこととした。

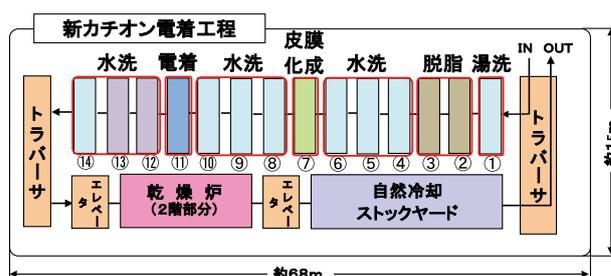


図1 新カチオン電着工程レイアウト

4 前処理方法の選定

電着前処理の化成処理の方法として、特装で使用していたリン酸鉄処理のほかに、自動車材料塗装下地としてリン酸亜鉛処理やジルコニウム処理などがある。

今回の選定目標としては、近未来型の環境にやさしくスラッジ発生量も極少のジルコニウムを本命と

し、比較対象としてリン酸亜鉛のテストも同時に行うことにした。

テストを実施する材料は特装で使用している黒皮材、酸洗材とした。材料の強度違いや板厚違いにより購入先も異なるため、それらによる違いも考慮した上で、さらに前処理液業者所有のテストピース(基準板：冷延鋼板)を含めることで、計4種の板材を使用し比較評価を実施することにした。

ここで、それぞれの処理方法のメリット及びデメリットを紹介する(表1)。

表1 メリット、デメリット比較表

	メリット	デメリット
リン酸鉄	処理液の管理項目が少ない 排水処理の手間がほとんどない	屋内用の処理 耐食性が低い
ジルコニウム	重金属フリー 耐食性はリン酸亜鉛同等 マルチメタル対応 (鉄、アルミ、Znメッキ等)	リン酸亜鉛と比較し 実績が少ない
リン酸亜鉛	リン酸鉄に対し耐食性が高い	複製物(スラッジ) が大量発生

5 性能評価確認試験

今回の設備更新にあたり下記の評価試験を実施した。

5.1 耐衝撃性

客先での使用条件を想定し、デュポン式を採用(重り1kg、高さ500mm)。

(JIS K5600に準拠、写真2、写真3)

本テストでは、電着後上塗り塗装を施したワークの塗装剥がれ度合い(凹凸の表裏)を確認する。



写真2 デュポン試験機

評価基準は下記に示す。

- 凹部(重りを落とした表面), 評価点4以上
- 凸部(重りを落とした裏面), 評価点3以上

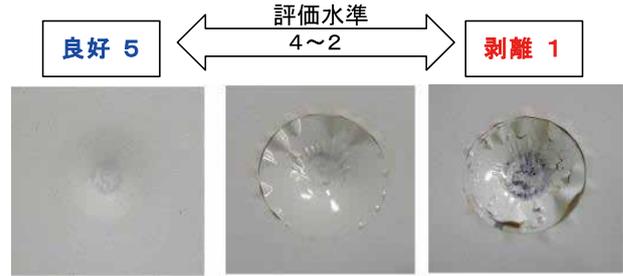


写真3 デュポン式 評価基準(凹部)

5.2 耐SST性

中性塩水噴霧試験(Neutral Salt Spray Test)により耐食性の促進試験(600時間)、クロスカットからの最大錆幅、最大膨れ幅を測定(JIS Z2371に準拠、写真4)。

本テストでは、クロスカットした切り口の錆の進行度合いを確認する。

自社内評価基準は下記に示す。

- クロスカット部の片側さび幅, 3mm以下
- クロスカット部の片側膨れ幅, 6mm以下

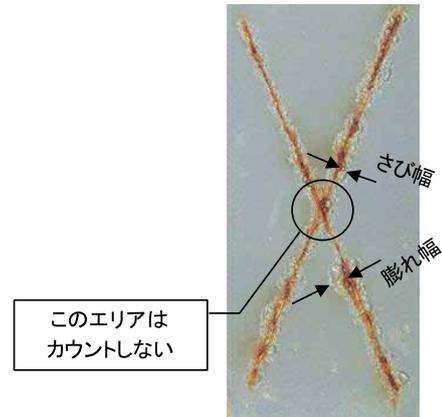


写真4 クロスカット例

5.3 密着性

一次(初期)の2mm碁盤目(100*100マス)評価と二次(耐湿後:50℃, 98%, 120時間)の2mm碁盤目評価。(JIS K5600に準拠、写真5)

本テストでは、電着後上塗り塗装を施したワークの下地塗装剥がれ度合いを確認する。

評価基準は下記に示す。

- 一次, マス目残り100/100
- 二次, マス目残り100/100

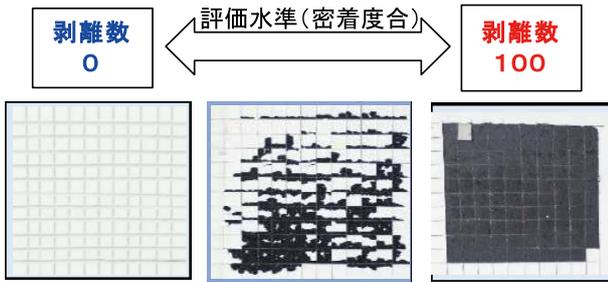


写真5 基盤目 評価基準

5.4 耐CCT性

複合サイクル腐食試験 (Combined Cycle corrosion Test) により耐腐食性の促進試験 (200 サイクル)。この試験は耐SST性の試験よりも自然環境に近い条件で行い、かつ塩水噴霧、乾燥、湿潤等を含んだサイクル試験。

本テストでは、自然環境に近い条件下でのクロスカットした切り口の錆の進行度合いを確認する。

6 評価ステップ

それぞれの評価基準を基に4回にかけて評価テストを実施した。各回の内容は下記の通り。

1回目： メーカー標準の皮膜化成処理液を使用。

塗装に対する条件が厳しい部品を製作してジルコニウムとリン酸亜鉛の処理をし、市場モニタを実施した。市場モニタの実施については、沿岸部や離島など使用条件が厳しい場所にて使用されている顧客を選択。

結果として、どの場所においても両者共に、現行リン酸鉄と比べ、塗膜剥がれの現象も見られずモニタ品の状態は良好であった。

2回目： モニタの経過が良好であることから、ジルコニウム及びリン酸亜鉛の処理条件を変更した計7種 (表2) にて再処理をし、性能評価確認試験を実施。

表2 2回目の処理条件表

水準No	前処理種	条件
1	ジルコニウム	標準 (AZ濃度: 11.0pt)
1UU		上々限 (AZ濃度: 14.0)
1U		上限 (AZ濃度: 12.5pt)
1D		下限 (AZ濃度: 8.0pt)
1DD		下々限 (AZ濃度: 5.0pt)
2	リン酸亜鉛	標準
3		結晶粒径調整

結果として、標準よりもAZ濃度をワンランク上げた“1U”及び“1UU”が高評価であった。

3回目： 2回目で高評価であった水準を中心に条件をさらに変動させ、新たに黒皮ハイテン材とアルミ材を追加し、計6種にて処理を実施。

結果としてどの材料に対しても塗装性能が良好な管理値を見い出せた。

4回目： 最終仕様の皮膜化成処理液を使用して、熊谷工場の新設備でも同じ結果となることを実証する試験を実施。

結果として、熊谷工場の新設備でも同じ結果が出るのが証明された。

全4回の評価試験より、ジルコニウムはリン酸鉄以上の性能を持ち、リン酸亜鉛と同等であることがわかった。以上のことから熊谷工場としてカチオン電着工程で使用する皮膜化成処理液をジルコニウムとすることに決めた。最終的な新設備での評価を含めた結果は下記の通りである。

7 性能評価確認結果

7.1 耐衝撃性 (デュボン式評価 表3, 表4)

凹部ではそれぞれの平均で、リン酸鉄は3.92、ジルコニウムは4.95、リン酸亜鉛は4.77となり、凸部ではそれぞれ平均で、3.34、4.62、5.0となった。結果として、ジルコニウムが一番優れている結果となった。

表3 凹部塗装剥がれ度合い (重りを落とした表面)

処理内容	化成条件	黒皮 国内材 SS400	黒皮 海外材 SS400	酸洗 国内材	アルミ A5000系	黒皮 590 ハイテン材	SPC 標準板
リン酸鉄	M社製	3.3	2.0	5.0	未実施	4.3	5.0
ジルコニウム	P社製	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
リン酸亜鉛	P社製	未実施	5.0	5.0	未実施	4.3	5.0

表4 凸部塗装剥がれ度合い (重りを落とした裏面)

処理内容	化成条件	黒皮 国内材 SS400	黒皮 海外材 SS400	酸洗 国内材	アルミ A5000系	黒皮 590 ハイテン材	SPC 標準板
リン酸鉄	M社製	2.0	3.7	4.0	未実施	5.0	2.0
ジルコニウム	P社製	3.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7
リン酸亜鉛	P社製	未実施	5.0	5.0	未実施	5.0	5.0

7.2 耐SST性 (表5, 表6)

最大錆幅及び最大膨れ幅のそれぞれ平均は、リン酸鉄は2.06mm及び8.0mm、ジルコニウムは1.98mm及び2.22mm、リン酸亜鉛は1.7mm及び3.37mmとなった。

表5 耐SST性 最大錆幅 試験結果 (600時間後)

処理内容	化成条件	黒皮 国内材	黒皮 海外材	酸洗 国内材	アルミ	黒皮 590	SPC
		SS400	SS400	SS400	A5000系	ハイテン材	標準板
		最大錆幅 (mm)	最大錆幅 (mm)	最大錆幅 (mm)	最大錆幅 (mm)	最大錆幅 (mm)	最大錆幅 (mm)
リン酸鉄	M社製	2.8	2.3	1.7	未実施	1.6	1.9
ジルコニウム	P社製	1.8	2.3	2.1	0.0	1.8	1.9
リン酸亜鉛	P社製	未実施	2.3	未実施	未実施	1.3	1.5

表6 耐SST性 最大膨れ幅 試験結果 (600時間後)

処理内容	化成条件	黒皮 国内材	黒皮 海外材	酸洗 国内材	アルミ	黒皮 590	SPC
		SS400	SS400	SS400	A5000系	ハイテン材	標準板
		最大膨れ幅 (mm)	最大膨れ幅 (mm)	最大膨れ幅 (mm)	最大膨れ幅 (mm)	最大膨れ幅 (mm)	最大膨れ幅 (mm)
リン酸鉄	M社製	11.0	11.3	3.7	未実施	10.0	4.0
ジルコニウム	P社製	3.0	6.1	0.0	0.0	1.3	0.7
リン酸亜鉛	P社製	未実施	5.7	未実施	未実施	3.8	0.6

7.3 密着性 (表7, 表8)

一次密着は全て問題なし。二次密着はリン酸鉄以外全て問題なし。

表7 密着性結果 (一次密着)

処理内容	化成条件	黒皮 国内材	黒皮 海外材	酸洗 国内材	アルミ	黒皮 590	SPC
		SS400	SS400	SS400	A5000系	ハイテン材	標準板
リン酸鉄	M社製	100/100	100/100	100/100	未実施	100/100	100/100
ジルコニウム	P社製	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100
リン酸亜鉛	P社製	未実施	100/100	未実施	未実施	100/100	100/100

表8 密着性結果 (二次密着)

処理内容	化成条件	黒皮 国内材	黒皮 海外材	酸洗 国内材	アルミ	黒皮 590	SPC
		SS400	SS400	SS400	A5000系	ハイテン材	標準板
リン酸鉄	M社製	2/100	19/100	100/100	未実施	68/100	99/100
ジルコニウム	P社製	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100
リン酸亜鉛	P社製	未実施	100/100	未実施	未実施	100/100	100/100

このテストを始めた当初は実施していなかったが上記の評価結果が出た後から、リン酸鉄とジルコニウムのみではあるが、耐CCT性(複合サイクル試験 表9, 表10)を200サイクルまで実施した。この試験の200サイクルは、6~7年の年月相当を想定した試験となる。

200サイクルの結果は下記の通り、リン酸鉄では測定不能もあり、結果は芳しくなかった。ジルコニ

ウムは平均で最大錆幅2.52mm, 最大膨れ幅11.2mmとなり想像以上の良い結果となった。

表9 耐CCT性 最大錆幅 試験結果 (200サイクル)

処理内容	化成条件	黒皮 国内材	黒皮 海外材	酸洗 国内材	アルミ	黒皮 590	SPC
		SS400	SS400	SS400	A5000系	ハイテン材	標準板
		最大錆幅 (mm)	最大錆幅 (mm)	最大錆幅 (mm)	最大錆幅 (mm)	最大錆幅 (mm)	最大錆幅 (mm)
リン酸鉄	M社製	5.5	測定不能	2.5	未実施	3.8	測定不能
ジルコニウム	P社製	2.4	1.9	2.3	0.0	3.6	2.4

表10 耐CCT性 最大膨れ幅 試験結果 (200サイクル)

処理内容	化成条件	黒皮 国内材	黒皮 海外材	酸洗 国内材	アルミ	黒皮 590	SPC
		SS400	SS400	SS400	A5000系	ハイテン材	標準板
		最大膨れ幅 (mm)	最大膨れ幅 (mm)	最大膨れ幅 (mm)	最大膨れ幅 (mm)	最大膨れ幅 (mm)	最大膨れ幅 (mm)
リン酸鉄	M社製	全面膨れ	全面膨れ	全面膨れ	未実施	17.2	全面膨れ
ジルコニウム	P社製	11.4	18.5	7.9	0.5	7.2	11.0

8 管理項目

塗装品質を確保するには以下の管理が重要である。

8.1 処理液の管理

処理液の測定は、午前午後の計2回/日を実施している。前処理は管理できるすべての項目を実施しているが、塗料の管理は計測器等の追加投資が必要となるため、現段階では塗料メーカーに一任している。前処理工程の管理7項目を以下に示す。

- 1) 予備脱脂 (遊離アルカリ度):
管理値15.0~30.0pt
- 2) 脱脂 (遊離アルカリ度): 管理値15.0~30.0pt
- 3) 第三水洗 (汚染度): 管理値2.0pt以下
- 4) 化成 AZ濃度: 管理値8.0~33.0pt
- 5) 第六水洗 (電気伝導度): 管理値50μS/cm以下
- 6) 純水シャワ (電気伝導度):
管理値2.0μS/cm以下

8.2 浴槽の処理時間

メーカー推奨値が60秒~120秒という基準がある。搬送装置の上昇下降時間も浸漬していることを考慮して浸漬時間を決定した。

8.3 カチオン電着乾燥炉の条件

乾燥炉の条件は、焼付けMAP (被塗物保持条件、図2) と数種類のワークの物温測定結果 (写真6) から、乾燥炉内の設定を190℃ 48分とすることで、物温を焼付けMAP範囲内 (MAP内の六角形の内側) でキープできることがわかった。

焼付けMAP

焼付け条件範囲

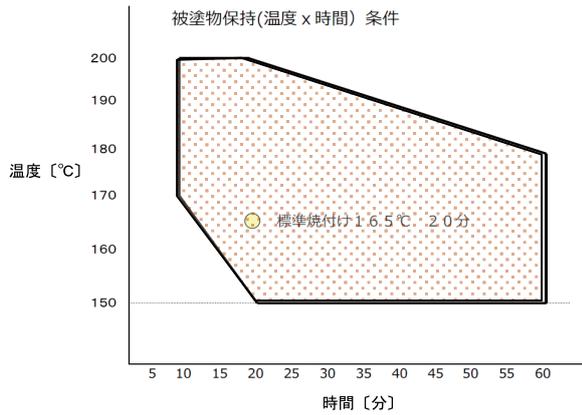


図2 焼付けMAP (被塗物保持条件)

9 残された課題

カチオンを実施している部品で、CO₂レーザーにて切断を行っているのは7割ほどあり、現状はコンプレッサの圧縮空気をアシストガスとして使用している。そのために切断面に酸化被膜が生成されてしまう。従って、レーザー切断面でカチオンが施される面に対しては、カチオンを施す前にグラインダにて削り、酸化被膜を除去している。この作業を廃止するために、アシストガスの窒素化の検討もしくはCO₂レーザーに代わる加工方法の検討が必要である。

10 おわりに

品質安全宣言も完了し、2019年6月より量産を開始した。今回の設備更新にあたり、ご指導ご協力頂いた社内外関係者の方々に、この場を借りて心よりお礼申し上げます。



写真6 物温 (フロントフレーム) 測定実施例

著者



西田 竜一

1994年入社。特装車両事業部製造部製造係を経て、2017年4月より製造部生産技術課。ミキサ車生産関連業務に従事。



山崎 寛史

2007年入社。特装車両事業部製造部生産技術課課長。ミキサ車生産関連業務に従事。

「KYBで行なっている塗装」

「ミキサ車部品へのジルコニウム化成処理の適応」(p. 41) に記載

KYB技報編集委員 川添敏行

1 塗装の役割

金属部品はそのままでは錆びるので、耐食（耐腐食）性を確保するために塗装をします。また、製品の外観を彩り付加価値を与える役割もあります。図1に2コート塗膜のイメージ図を示します。



図1 2コート塗膜のイメージ図

2 塗装の種類

KYBで行なっている塗装は、大きく分けて、以下の二つに分類することができます。

①電着塗装（カチオン塗装）

カチオン塗装とは、電着塗装の一種で、陽イオン（カチオン）となった塗料が入ったタンク中で、被塗物（ワーク）を陰極、対極を陽極として通電させることで、塗料を被塗物に引き寄せ表面に塗膜を析出させる方法です。模式図を図2に示します。電着塗装は、複雑な形状にも均一な塗装が出来る特徴があります。また、高い耐食性も期待でき、下塗り塗膜や単膜（1コート）として用いられます。

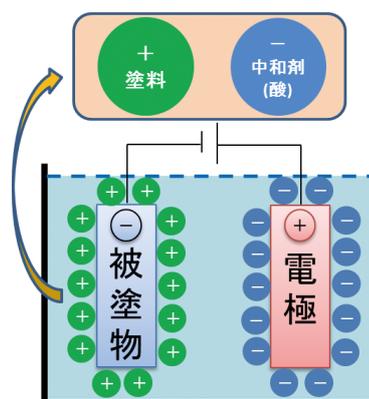


図2 カチオン塗装の模式図

②噴霧塗装及び静電塗装

噴霧塗装とは、塗料をエアと一緒に吹き付ける（エアスプレー）、又は、塗料を高圧でノズルから噴出させる（エアレススプレー）等の方法により、塗料を霧状にして被塗物に吹き付ける塗装方法です。静電塗装とは、噴霧塗装の一種で、塗装機に陰極の高電圧を印加し、被塗物をアース状態（塗料からみると陽極）に保つことにより、両極間に静電界が形成されます。スプレーガンによって霧化された塗料粒子は陰極に帯電し静電界に乗り、陽極の被塗物に塗着されます。模式図を図3に示します。静電塗装は上塗り、下塗り塗膜どちらにも用いられます。また、静電塗装以外の噴霧塗装に比べ被塗物への塗着効率が高く、ほとんどの塗料に適用可能なため、様々な分野で広く用いられています。

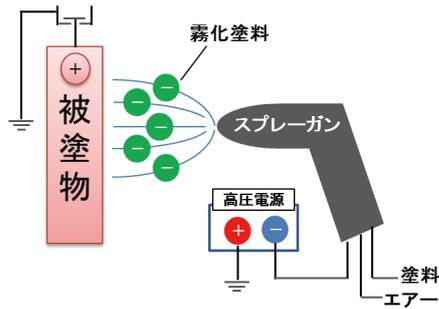


図3 静電塗装の模式図

3

化成処理の種類

化成処理とは、金属素材に処理剤を作用させて化学反応によって素材上に皮膜を生成させる方法です。化成処理の目的は塗膜と素材の密着性および耐食性を向上させることにあります。処理方法は浸漬、スプレーのどちらも可能です。

①リン酸塩系化成処理

リン酸塩系の化成処理は、主に鉄系素材や亜鉛めっき鋼板に適用されます。KYBでは、リン酸亜鉛処理とリン酸鉄処理の2種類の化成処理が用いら

れています。リン酸亜鉛処理は、高耐食性が要求される製品に適用します。一方、リン酸鉄処理は、高耐食性は期待できませんが未処理よりは優れ、安価に処理ができます。

しかしながら、近年では、リンの排出規制が世界的に強化されており、リンを含まない化成処理が注目されています。

②クロム系化成処理

クロム系の化成処理は、主にアルミ系素材や亜鉛めっき鋼板に適用されます。六価クロムを使用したクロメート処理がもっとも有名ですが、現在では六価クロムの有害性が問題視され、六価クロムを含有しない三価クロムを用いた処理や後述するジルコニウム処理に置き換えられています。

③ジルコニウム系化成処理

リンや六価クロムの環境規制に伴い、近年注目されているのがジルコニウム系の化成処理です。ジルコニウムはチタン族で非常に高い耐食性を持ちます。また、アルミや鉄、亜鉛鋼板など幅広い素材に適用できる為、リン酸亜鉛処理やクロメート処理の代替としての適用事例がKYBでも増えています。

油圧ショベル用走行モータ組立ラインの構築

菊池 達也

1 はじめに

大手油圧ショベルメーカーより20ton, 36ton油圧ショベル用走行モータMSF-140 (図1) と170^{注1)}を受注した。従来の組立ラインでは、お客様の要求台数と要求品質（主に作動油清浄度^{注2)}）に対応できない。

品質の向上と、人の技量に頼らない組立ラインを新規構築し、お客様要求を達成する。

注1) MSF-140, 170は走行用モータの型式

注2) 作動油清浄度：製品戻り回路の清浄度

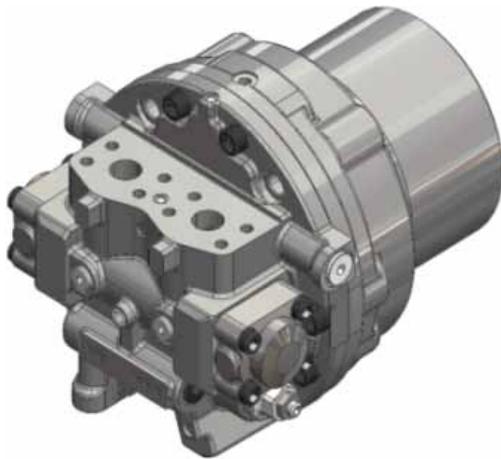


図1 MSF-140

2 目的

お客様要求品質を満足し、MSF-140と170を安定供給できるラインの構築

3 目標

出来高生産性：10%向上

生産可動率：85%以上の維持

作動油清浄度規格：ISO4406 Code=-/16/13以下

4 要件

- 1) 作動油清浄度のインライン測定と維持管理
- 2) 内製加工部品と組立完成品のトレーサビリティ
- 3) 組立作業教育期間の短縮と可動率の維持

5 ライン概要

走行モータの組立ラインは、メイン組立工程、サブ組立工程からなっており、サブ組立をした部品をメイン組立ラインに後方投入するラインとなっている (図2)。

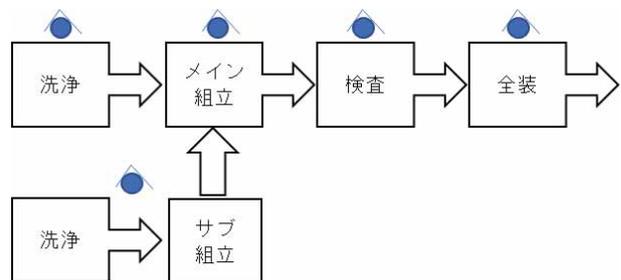


図2 組立ラインブロック図

6 実施内容

6.1 作動油清浄度のインライン測定と維持管理

走行モータの検査は、性能試験機に設置されている油圧ポンプから、作動油を走行モータへ送り、回転させることで実施する。

走行モータは、回転運動時にスワッシュプレート、バルブプレートとシリンダブロック Assy間で初期摩耗が発生し、モータ内の作動油清浄度が低下する (図3)。

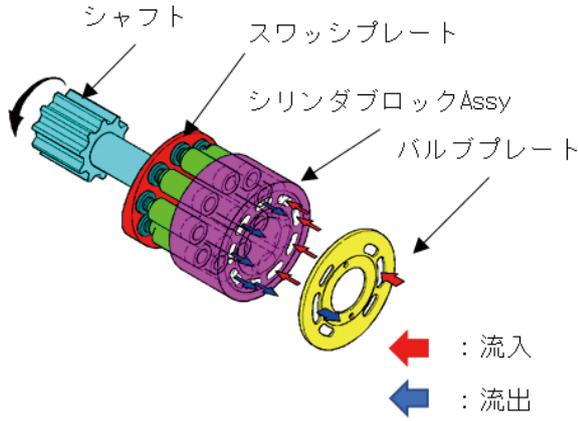


図3 走行モータの摺動面

作動油清浄度が低下すると、走行モータの早期摩耗・故障のリスクに繋がるため、作動油清浄度の維持管理は重要である。従来の作動油清浄度の管理方法は、製品に入るタンクの作動油清浄度を維持、管理していた(図4)。

しかし今回、お客様要求の測定ポイントは製品の戻り回路で即時検出となっており従来の維持管理方法では対応できなかった(表1)。

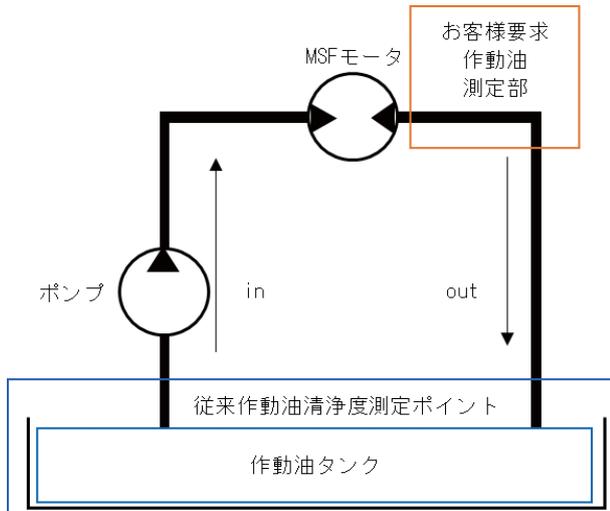


図4 作動油計測ポイント

表1 作動油計測方法まとめ

	計測リードタイム	計測頻度	計測箇所
従来	2日 (社内部署)	1回/月	タンク
本ライン	即時	1回/日	製品の戻り回路

そこで、性能試験機の回路上に検査中の作動油清浄度を計測する機器を新規に設置し、即時検出でき

るようにした(図5)。

さらに作動油清浄度の規格を満足するようフィルタ回路の追加と試験機のタンク構造の2槽化を行い、目標とする規格を満足することができた(図5)。

また、フィルトレーション回路のフィルタエレメントは、従来シミュレーション値をもとに選定していたが、実測値による最適フィルタの選定が可能になったとともに、最適化でエレメント寿命が延び、ランニングコストの低減にも繋がった。

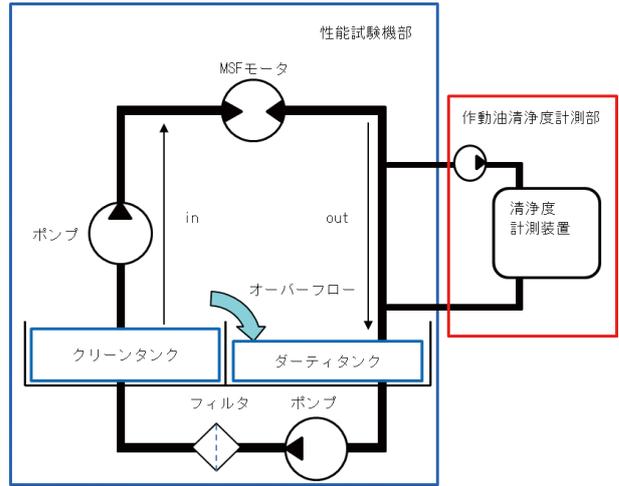


図5 清浄度計測回路図

6.2 内製加工部品と組立完成品のトレーサビリティ

本ラインで目標サイクルタイム内に、加工部品の製造番号を記録し、データの保存、管理ができる構成は、加工部品に製造番号を2次元コードでマーキングし、組立で2次元コードを読み込み、電子化して記録する方策が最も有効である。しかし、本方策を採用するためには、加工ラインの限られたスペースと予算内でサイクルタイム内に加工部品に2次元コードをマーキングすることが必要であった(表2)。

表2 主な2次元コードのマーキング設備

	レーザーマーカ	打刻	汎用加工機
装置価格※1	×	△	○※1
追加スペース	+3.0m ²	+3.0m ²	+0m ²

※1 装置価格はライセンス料のみ。

内製開発が完了していた汎用加工機で文字情報を2次元コードに変換し、マーキングする加工技術(ダイレクトパーツマーキング)を採用することで、加工ラインの専用設備費とスペースの低減を行い、2次元コードのマーキングが可能となった(写真1)。

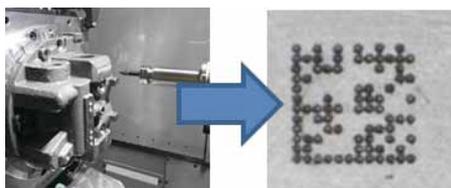


写真1 ダイレクトパーツマーキング

量産化にあたって、サイクルタイム内で読み込み可能なマーキング加工条件をトライ&エラーで求めた(写真2)(写真3)。

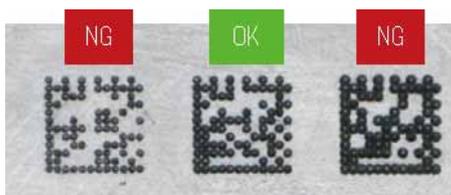


写真2 2次元コードマーキングトライ



写真3 2次元コードをマーキングした加工部品

2次元コードの読み込み忘れを防止するために、ポカヨケシステムの開発も行った。完成品と加工部品の2次元コードを確実に結びつけるために、2次元コードを読込まないと次工程へ進めない工程とした(図6)。

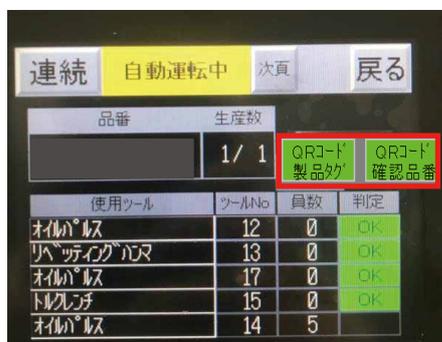


図6 開発したポカヨケシステム

読込んだデータは、データベースへ転送することで、不具合発生時に該当部品を組込んだ製品を早急に絞り込めるようになった。

データベースへの転送は、ポカヨケシステムの起動をトリガとし、データの収集を行う(組立日時、組立品番、完成品シリアル、2次元コードシリアル)ポカヨケ完了をトリガとし、収集した情報をデータベースに転送しているため自動収集、自動転送となっている(図7)。

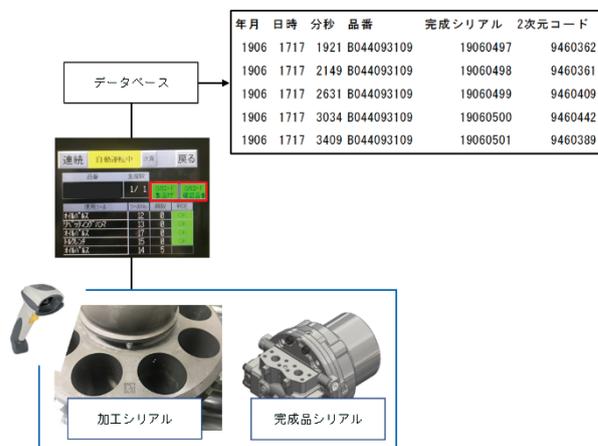


図7 データ転送システム構成図

6.3 作業教育期間の短縮と可動率の維持

走行モータの組立には部品の組込、締付作業があり、1人の作業者が1サイクル作業で76工程もの作業を行う。さらに部品点数、使用する治工が多く、作業の習熟が困難な状況であった。

従来は、熟練作業者が作業手順書を用いて新人作業者に教育を行っており、サイクルタイム通りに組立ができるようになるには10稼働日かかっていた(図8)。

そのため、新人作業者の技能ロス、速度ロスが原因で出来高生産性は熟練作業者と比べ2~3%低下しており、生産可動率は80%~85%となっていた。



図8 従来の作業教育ツール

本ラインでは内製開発した作業手順表示による検査支援システムに、作業順番ごとのポカヨケを連動させた組立支援システムを開発した。本システムは、作業に連動して、紙芝居方式で画面が切り替わる(図9)。

本技術により、組立経験が浅い作業員であっても画面を見ながら標準作業が可能となり、作業員教育期間は10稼働日が1稼働日となった。

その結果、速度ロス、技能ロスは最小限となり、出来高生産性は従来の組立ラインに比べ12%向上し、生産可動率85~89%となった。

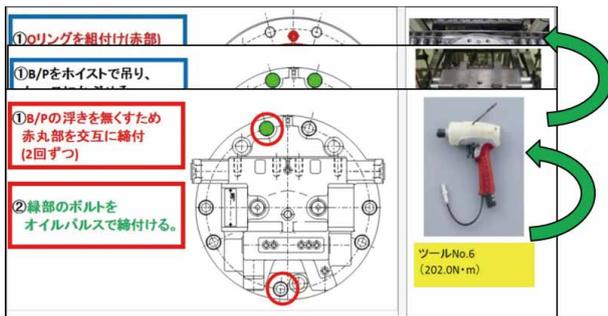


図9 組立支援システム

7 成果

ライン稼働より現在まで下記の通り目標達成中。
 出来高生産性：12%向上
 生産可動率：85~89%
 作動油清浄度：ISO4406 Code=-/16/13以下を維持

8 今後の展望

お客様の増産要求に対応すべく、同仕様のラインを海外工場へ水平展開する。本ラインの次ステップは、トレーサビリティで構築したシステムにさらなる改良を加えて、加工ラインの加工寸法と性能検査工程の検査結果を紐付けし、完成品シリアルから性

能検査結果、加工寸法の傾向管理が行えるシステムの開発を進めていく(図10)。



図10 傾向管理システム概要

9 おわりに

本ラインの構築にご協力頂いた関係部署ならびにご指導ご支援頂いた方々へ、この場をお借りしてお礼申し上げます。

著者



菊池 達也

2012年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部相模工場生産技術部生産技術課。主にピストンポンプ・モータの工程設計に従事。

製品紹介

コンパクトトラックローダ用コントロールバルブ
KVML-120の開発

澤田 千種

1 はじめに

コンパクトトラックローダ（以下CTL）とは主に北米で使用されている小型の建設機械である。多種多様なアタッチメントが装着可能なため、建築、インフラ整備、農業等で使用され、近年市場は拡大している。KYBではローダ用コントロールバルブ（以下バルブ）としてKVS-65、KVS-120等の生産販売を行っていたが、製品としてCTL専用バルブはなかった。

今回、当社初のCTL専用バルブとしてKVML-120「以下開発モデル（写真1）」の開発、製品化を行ったので、その概要を紹介する。

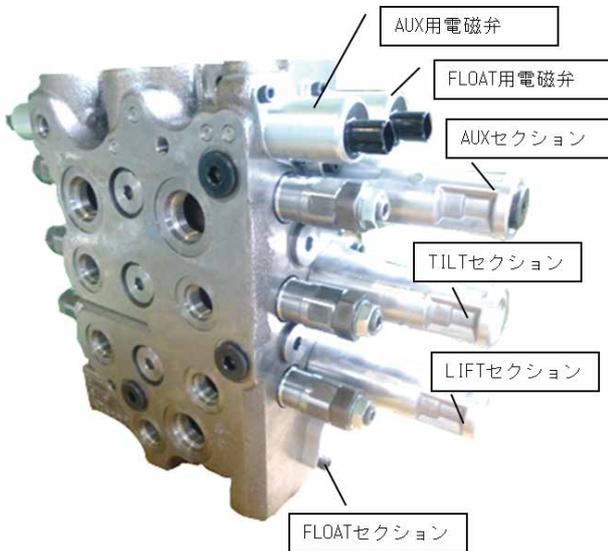


写真1 KVML-120外観

2 市場要求

本バルブを開発する際に、市場要求として以下の項目が挙げられた。

- ①同時操作時の操作性向上
- ②電子制御を用いたスプール制御
- ①について、CTLの操作には主にリフトとチル

トの二つのアクチュエータを用いる（図1）。そのため本バルブにはシリーズ回路（上流側優先で供給し、上流の戻り油を下流側のセクションに供給する回路）を採用しているが、回路の特性上、同時操作性の向上が要求されていた。そこで各セクションの戻り側にタンクと下流セクションへ分流させる回路を用いることで同時操作性の向上を実現した（図2）。

②については、当社の製品では既にスプール制御に電子制御を用いたバルブはあるが、本開発においてはお客様の要求に合わせた減圧弁スプールのマッチングを実施し、アクチュエータごとの用途に合わせた減圧弁スプールを製作した。

以下に、今回の開発モデルで要求された上記内容の反映状況を示す。



図1 CTLの部位と動作説明

3 開発モデルの概要

3.1 構成

写真1に開発モデルを示す。開発モデルではKVS-65,120とは異なり、4本スプールを内蔵した一体型のボディからなるモノブロック構造（複数のスプールをボディに集約した構造）を採用した。また、AUXセクション^{注1)}、FLOATセクション^{注2)}、acポート^{注3)}には電子制御を採用した。

注1) アタッチメント用セクション

注2) フロート（両側のシリンダポートとタンクを直通

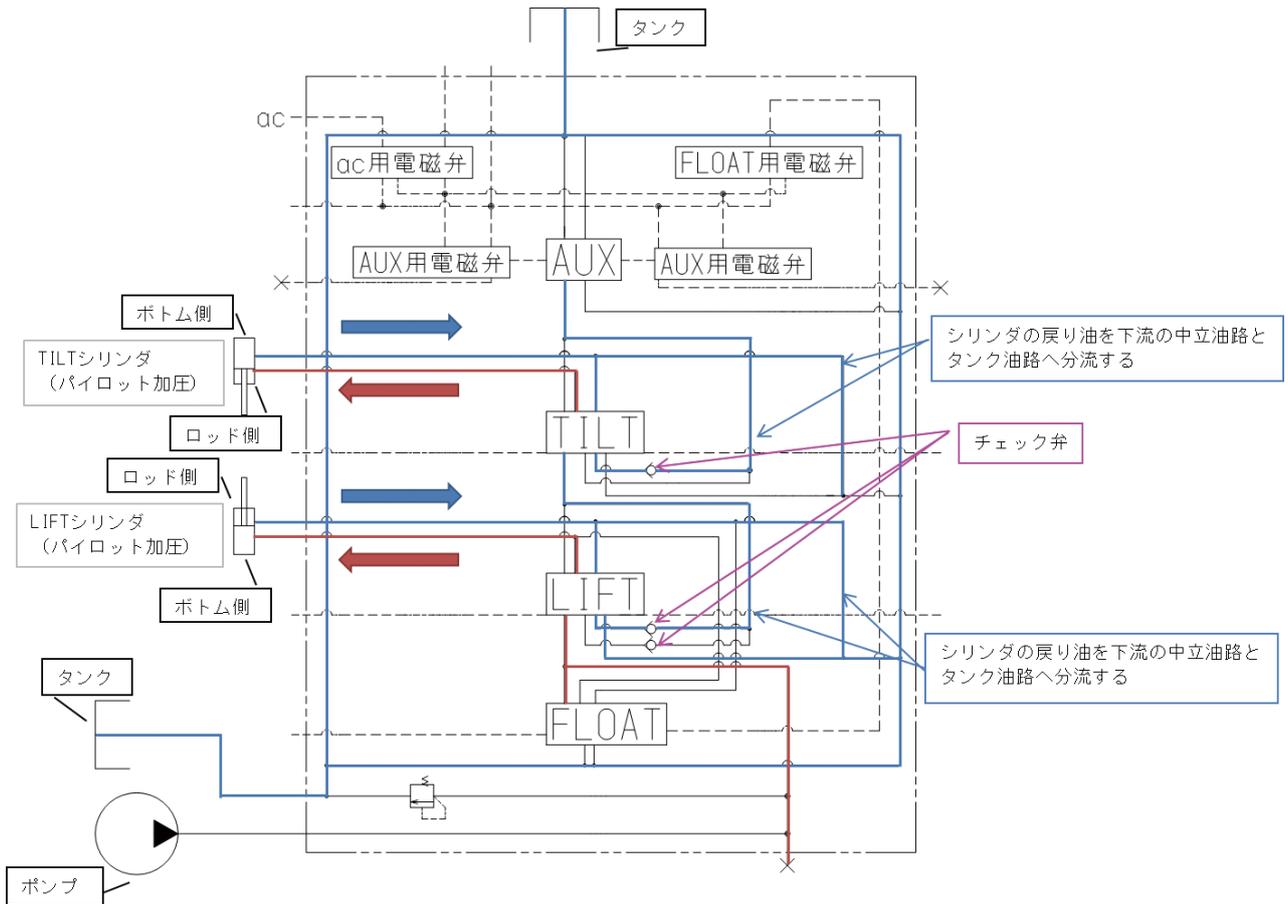


図2 開発モデル回路

させ圧力を逃がす機能)用セクション

注3) 二次圧をバルブ外へ供給するためのポート

電子制御の採用に際し、開発モデルではFLOAT機能を4ポジション構造ではなく独立のスプールにて作動させている(図3)。KVS-65, 120でのFLOAT機能は通常の3ポジション構造から4ポジション構造とし、メインスプールストロークエンド時に作動する仕組みとなっているが、電子制御が困難であること、またバルブサイズが大きくなってしまふことから独立スプールでの制御を採用した。独立スプールとすることにより電子制御が容易となり、バルブサイズも搭載性を考慮しFLOAT機能を備えたKVS-120と比較しスプール長手方向のサイズダウンを実現させた。

3.2 同時操作時の操作性向上

CTLはチルト、リフトの2セクションにて通常動作を行う。複合動作時において、下流側への供給バランスによりスムーズに複合操作ができないことがあった。そこで、スプール内で油路を分流させ、複合操作性を向上させた。

バルブ概略回路を図2に示す。スプールフルストローク時の油路は通常のシリーズ回路であれば全量が下流のセクションへ流れるのに対し、開発モデル

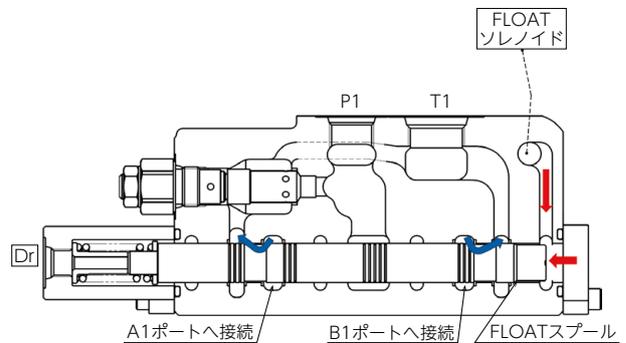


図3 FLOATセクション断面図

は戻り流量の一部をタンクへ流す。

シリーズ回路のセクション間にはチェック弁を設け、下流セクションからの逆流を防止

3.3 減圧弁スプールマッチング

AUX, FLOATセクション, acポートには電子制御の要求があった。開発時に各アクチュエータの使われ方に合わせマッチングを実施し用途に合わせた減圧弁スプールを製作した。

図4に減圧弁スプールの断面図を示す。FLOATセクションにはKYB標準減圧弁スプール(以下量産スプール)を採用している。

AUXセクション, acポートの減圧弁検討時には

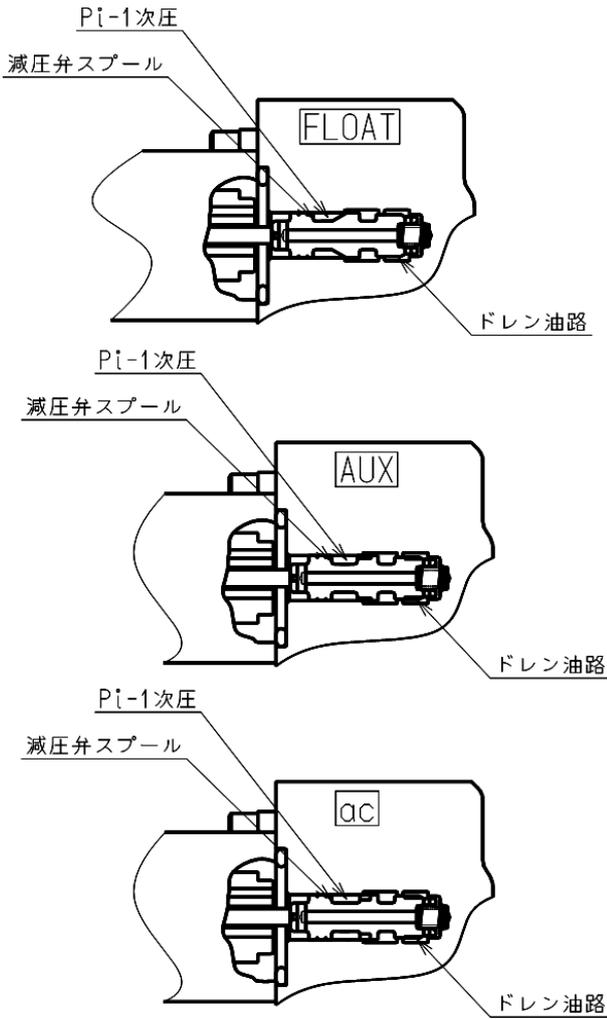


図4 減圧弁スプール断面図

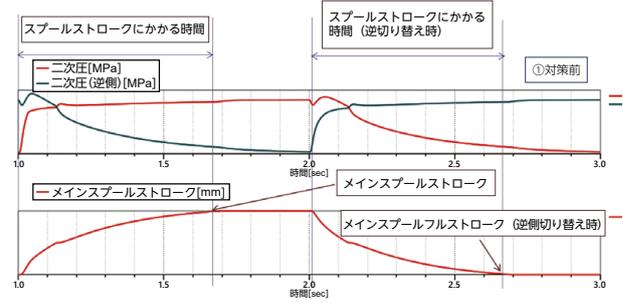
以下の項目について検討実施した。

- 1) 低温時のメインスプールストローク時間改善
- 2) 温度による二次圧低下対策
- 3) ボリュームによる応答性向上

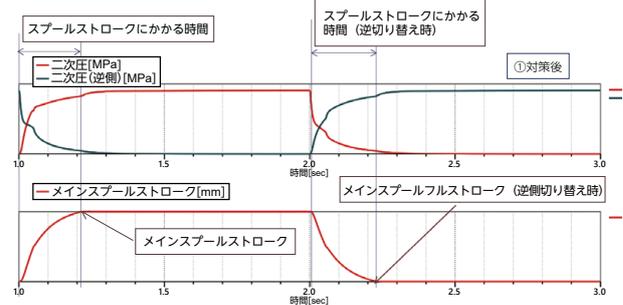
1) について、AUXセクション切り替え時、量産スプールの中立時におけるドレン開口が小さいため低温時はスプールストロークにかかる時間が遅くなってしまふ。そこで中立時におけるドレン開口面積を拡大し、低温時においてもスプールストローク時間を常温と同等にすることができた。本マッチングにおいては解析モデルを作成し事前に効果確認を行った(図5)。

2) について、1) にてドレン開口を拡大したことにより供給側の開口とのバランスが崩れてしまい、低温時に二次圧が低下してしまふ。

供給側の開口とのバランスを合わせるため、開口タイミングを見直したところ、供給側の制御がテーパ形状であり微小変化時のバランスが取れなくなっていたため、供給側の制御をノッチ形状へと変更し、



(a)量産スプール



(b)対策品スプール

図5 低温時のスプールストローク時間の変化比較 (解析結果)

低温時でも二次圧の低下のないスプールを製作した。

3) について、2) にて製作した減圧弁スプールは下流のボリュームが大きくなると二次圧供給が不足してしまう。acポートはAUXセクションよりも下流のボリュームが大きいため二次圧供給が不足してしまふ。二次圧供給側の開口面積を大きくすることにより、acポートの二次圧供給不足を解消させた(図6)。

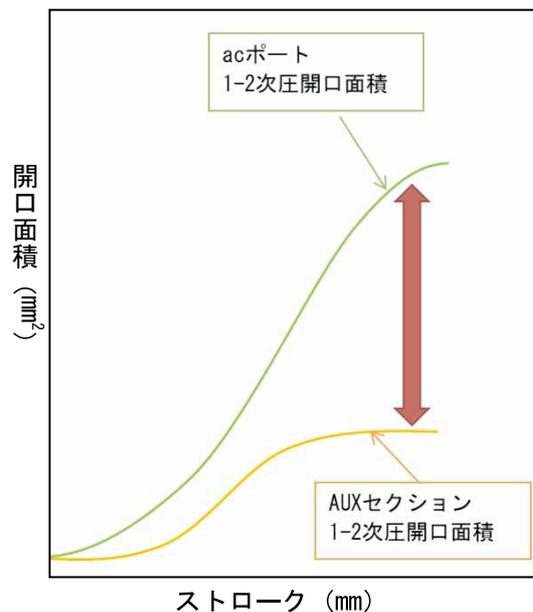


図6 二次圧供給側開口面積比較

4 おわりに

北米でのコンパクトトラックローダ市場は拡大しており、今後もまだまだ需要が続くと考えられる。それにより市場要求も多種多様なものとなると考えられるが、多様な要求に対して常に対応できるよう、製品開発に尽力していきたい。

また、この開発においてシミュレーションソフトの活用を行うことにより、より効果的に製品開発を進めることができた。

最後に、本製品の開発にあたり、ご支援いただきました関係部署の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

著者



澤田 千種

2015年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部技術統轄部上田油機技術部バルブ設計室。コントロールバルブの設計に従事。



KYBにおける技術情報漏えい防止活動の取り組み

佐藤 晃彦

1 はじめに

昨今、新聞やニュースで、故意による個人情報の流出やサーバへの不正アクセスによる仮想通貨の流出など、情報漏えいに関する事故が多く報じられている。もし、KYBで情報漏えい事故が発生し、新聞やニュースなどに取り上げられた時、お客様や取引先様にご迷惑、ご心配をおかけする事態になり得る。本報では、当社が取り組んでいる技術情報漏えい防止活動について紹介する。

2 本活動の背景

近年、IT化の進展、工場の海外進出、外部からの不正アクセスや内部関係者による不正な情報の持出しなど、情報を脅かすセキュリティリスクは多岐にわたっている。当社においてもパソコンや携帯電話などの紛失による社外へ情報が漏えいする可能性が懸念される。企業は様々な機密情報を取り扱っているが、製造業である当社は、大半が技術的な情報が書かれた資料（以下技術情報）を扱っている。技術情報は、「当社の技術的優位性を保つために有効で、関係者しか知り得ない技術的な情報」である。これは、関係者以外に非公開で、全従業員が会社として職場として守るべき情報である。

もし、技術情報の流出が発生した場合、お客様や取引先様からの信用失墜につながりかねない。更に、競合会社に対する競争力の低下を招く重大な事象となる。本活動は、国際規格であるISO27001に則り実施しているため、技術情報以外の個人情報や営業情報など当社が保有している全ての企業秘密に適用することができる。

3 ISO27001の概要

3.1 ISO27001の特徴

ISO27001は、当社で認証を取得しているISO9001（品質マネジメントシステム）やISO14001（環境マネジメントシステム）と同様のマネジメントシステムの規格である。ISO27001にもISO9001、14001と同じくPDCAサイクルの構築、適用範囲の決定、リーダーシップの関与、文書化の要求事項が定められている。しかし、ISO9001や14001との違いは、本文である要求事項の他に、情報セキュリティを実現するうえで必要な運用の具体的方策が、詳細管理策の附属書Aに示されている（図1）。

情報セキュリティマネジメントシステム ISO27001の構成	
本文 マネジメントシステム(要求事項)	附属書A 運用するためのルール(詳細管理策)
0 序文	A5 情報セキュリティのための方針群
1 適用範囲	A6 情報セキュリティのための組織
2 引用規格	A7 人的資源のセキュリティ
3 用語及び定義	A8 資産の管理
4 組織の状況	A9 アクセス制御
5 リーダーシップ	A10 暗号
6 計画	A11 物理的及び環境的セキュリティ
7 支援	A12 運用のセキュリティ
8 運用	A13 通信のセキュリティ
9 パフォーマンス評価	A14 システムの取得、開発及び管理
10 改善	A15 供給者関係
	A16 情報セキュリティインシデント管理
	A17 事業継続マネジメントにおける情報セキュリティの側面
	A18 順守

↓
管理体制の要求項目

↓
運用するための具体的方策を示した詳細管理策

図1 ISO27001の構成

情報セキュリティとは、情報の機密性^{注1)}、完全性^{注2)}及び可用性^{注3)}を維持しなければならないとISO27000：2014に定義されている。

注1) 機密性：情報を許可されていない第三者へ漏らさない、触れさせないこと

注2) 完全性：誤った情報にしない、させないこと

注3) 可用性：使いたいときにすぐに情報を使えるようにすること

3.2 情報セキュリティマネジメントシステム

情報漏えいリスクに対して、効果的かつ、効率的

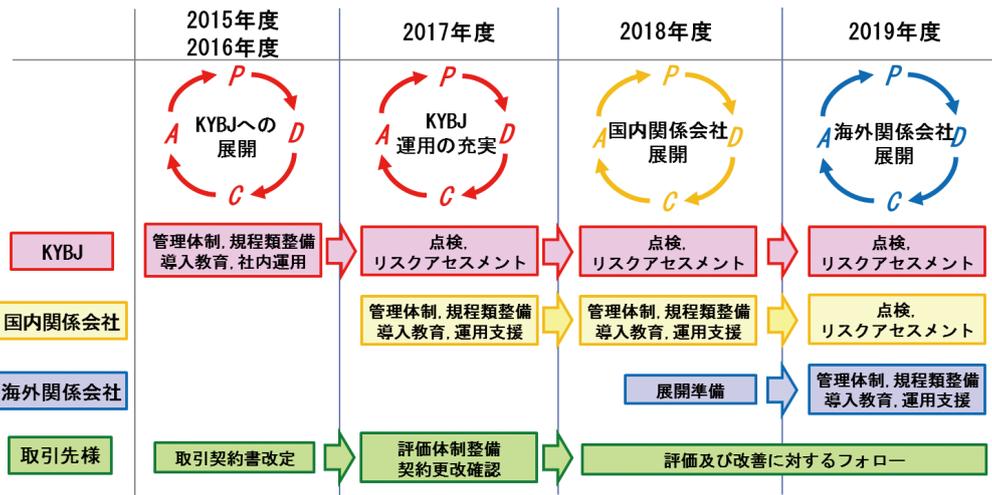


図2 KYBグループ各社への展開概要

に対処するためには、組織で情報セキュリティマネジメントシステム（以下ISMS^{注4)}を導入、構築することが不可欠である。これを具体的に言うと、会社として企業秘密を守ることを宣言する企業行動指針、PDCAサイクルを実行するための組織と仕組みを構築し、情報漏えいが発生しない状態を維持するために、ルールに従い運用を行い、適正に運用されているか定期的に確認、改善を実施し、新たなリスクの評価と対応をしていくことで、継続的に情報セキュリティのレベルを向上させることである。

注4) ISMS: Information Security Management System

3.3 情報セキュリティ体制を構築する要求事項

ISO27001の要求事項は、図3に示すように組織がPDCAサイクルを実行するためには何をすべきか示されている。

4 組織の状況 4.1 組織及びその状況の理解 4.2 利害関係者のニーズ及び期待の理解 4.3 情報セキュリティマネジメントシステムの適用範囲の決定 4.4 情報セキュリティマネジメントシステム	7 支援 7.1 資源 7.2 力量 7.3 認識 7.4 コミュニケーション 7.5 文書化した情報
5 リーダーシップ 5.1 リーダーシップ及びコミットメント 5.2 方針 5.3 組織の役割、責任及び権限	8 運用 Do 8.1 運用の計画及び管理 8.2 情報セキュリティリスクアセスメント 8.3 情報セキュリティリスク対応
6 計画 Plan 6.1 リスク及び機会に対する活動 6.1.1 一般 6.1.2 情報セキュリティリスクアセスメント 6.1.3 情報セキュリティリスク対応 6.2 情報セキュリティ目的及びそれを達成するための計画策定	9 パフォーマンス評価 Check 9.1 監視、測定、分析及び評価 9.2 内部監査 9.3 マネジメントレビュー
※1から3は本規格の適用範囲、引用規格、用語及び定義が記載されている。	10 改善 Act 10.1 不適合及び是正措置 10.2 継続的改善

図3 ISO27001要求事項の構成

3.4 情報セキュリティを運用するための管理策

附属書Aの詳細管理策は、組織が情報セキュリティを実現するために、組織的、人的、物理的、技術的な観点¹⁾から自社の管理策を決定し、実施するための具体的な方策が示されている。

(1)組織的安全管理策

技術情報に対して、従業員の責任と権限を明確に

定め、規程類や手順書を整備、運用し、その実施状況を確認し、必要に応じた改善を行うことである。

(2)人的安全管理策

従業員に対して、秘密保持契約の締結や教育、訓練を実施することである。

(3)物理的安全管理策

社屋や事務所への入退館（室）の管理、外部からの侵入による盗難防止などの措置を行うことである。

(4)技術的安全管理策

技術情報や、それを取り扱う情報システムへのアクセス制御、監視など技術的な対策を行うことである。

4 当社の技術情報漏えい防止活動

図2に示すように当社では本活動を2015年度から開始した。活動は当社国内拠点（本社、支店、各工場）を皮切りに、国内関係会社、海外関係会社の順に展開を進めている。また、当社の取引先様に対しても情報漏えい防止活動の展開を行っている。本活動の構築は表1に示す順で行う。

表1 本活動の構築

(1)	方針と活動体制の整備
(2)	決まりごとの構築と遵守の徹底
(3)	従業員教育体制の構築
(4)	決まりごとに基づいた運用とその確認
(5)	新たな脅威への対応とISMSの有効性評価
(6)	取引先様管理体制の整備と運用

4.1 方針と活動体制の整備

(1)方針の整備

技術情報漏えい防止活動を当社として取り組む姿

勢を社内および社外へ示すために、最上位の方針として、「技術情報セキュリティ方針」を整備した。

(2)活動体制の整備

技術情報漏えいに対する従業員の意識を高め、会社全体で活動を行うために、当社では図4に示すように技術情報管理組織を構築した。

技術情報管理委員会は、本社機能部門、各工場、国内関係会社から選出された委員で構成されている。

活動推進キーマンは、各部門から選出してもらい、部門への本活動の展開、啓蒙活動を行っている。

監査責任者と内部監査者は、独立性を担保するために技術情報管理委員会から独立した者を選出する。

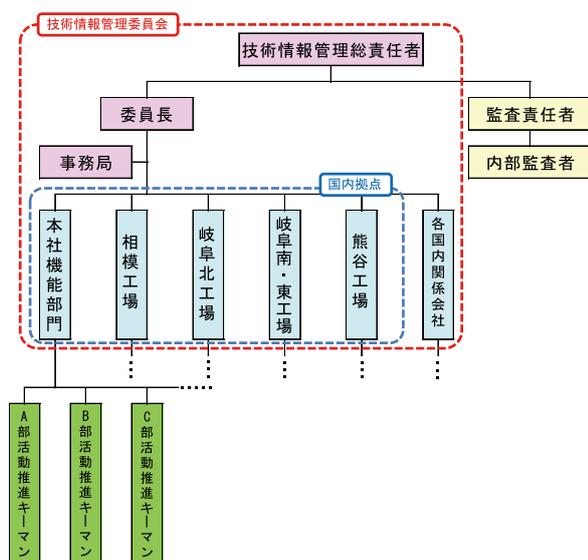


図4 技術情報管理組織

4.2 決まりごとの構築と遵守の徹底

当社で扱う技術情報の定義を行い、会社として、職場として遵守すべき技術情報取扱のルールを整備した。更に、ルールを違反した際の罰則を周知し、遵守を徹底した。

(1)技術情報漏えい防止規程類の整備

当社では、ISO27001の要求事項、詳細管理策（附属書A）と社内規程類を確認し、ISOに対応できていない部分に対して規程類の整備を実施した。

実施内容としては技術部門では、技術情報の管理体制についての規程と技術情報の取扱規則を制定し、その他機能部門である法務、総務、人事、IT部門では規程類を確認し、修正、追加を行った。

(2)従業員や退職者からの漏えい防止の徹底

当社入社時に、新入社員へ社内の秘密を保持し、第三者に漏えいさせないこと、及びルールに違反した場合には罰則が適用されることを誓約書などで合意していることを確認した。

また、退職者からの情報漏えいを防止するために、

技術情報の返却と、退職後に当社の情報を漏えいしないことが記載されている誓約書への記入を確認した。

4.3 従業員教育体制の構築

(1)技術情報漏えい防止の基本的な考え方

自らが所有している技術情報を誰に対して伝える必要があるのか、誰から技術情報を隔離する必要があるのか、もし技術情報が漏えいしたときにどのような影響を及ぼすのかを考慮した上で、運用方法を決める必要がある。

(2)従業員向け教育内容の検討

前述の基本的な考え方に基づき、従業員が当社の技術情報を漏えいさせないように意識を高め、決まり事を理解、遵守してもらうために、技術情報漏えい防止規程類に従い、「技術情報保護9つのルール」を定義した（表2）。以下に各項目の実施目的とポイントを記載する。

表2 技術情報保護9つのルール

項目	内容
①	発行部門と受取部門の義務
②	機密分類および識別表示
③	技術情報の開示および回収管理
④	可搬記憶媒体の管理
⑤	持ち出し管理
⑥	クリアデスク・クリアスクリーンの実施
⑦	技術情報の保管・保存
⑧	技術情報の消去・廃棄
⑨	技術情報の流出が発覚したときは

①発行部門と受取部門の義務

技術情報を取り扱う役割に応じて、実施事項を明確にするために、文書を発行する人（部門）を「発行部門」、文書を受け取る人（部門）を「受取部門」として、それぞれの役割での実施事項を定義した。また、文書を他部門へ再配付する時に発行部門に確認することを明確化した。

②機密分類および識別表示

作成した技術情報を全ての従業員が同じように取扱を行えるようにするために、作成する文書に機密レベル、開示範囲により「社外極秘」、「関係者外秘」、「社外秘」、「公開情報」と機密分類を明確化し、文書に表示するように定義した。（表3）

③技術情報の開示および回収管理

社内、または社外関係者に開示した技術情報の所在を明らかにするために、技術情報を配付する

表3 識別表示と開示範囲

識別表示	開示範囲
社外極秘	当社内でも特に限定された従業員
社外秘	当社全従業員
関係者外秘	当社内関係者、秘密保持契約を締結した当社外関係者
公開情報	全ての者

時は配付先の記入を行うようにした。また、社外に配付した技術情報の配付・回収管理を徹底するようにした。

④可搬記憶媒体の管理

可搬記憶媒体から、意図せずに技術情報が流出することを防止するために、USBメモリなどの可搬記憶媒体の使用を原則禁止、個人所有のUSBメモリの使用を禁止した。また、やむを得ず使用する時は会社が許可したUSBメモリのみ使用することができることを明確に定義した。

⑤持出し管理

技術情報を社外へ持ち出した時に情報漏えいを防止するために、添付データがある電子メールを社外の関係者へ送付する時のパスワード付加や、社外の輸送業者を使い重要文書や試作品などを送る時の実施事項を定義した。

⑥クリアデスク・クリアスクリーンの実施

関係者以外に情報を不用意に見られないようにするために、従業員が帰宅、外出する時は、技術情報が記載されている書類を机上に放置しない、パソコンはシャットダウンすることを定義した。

⑦技術情報の保管・保存

保管、保存されている技術情報の盗難、紛失を防止するために、電子データや書類などの紙媒体など異なる形態の情報を、機密分類に基づき適切な場所と方法で保管、保存することを定義した。

⑧技術情報の消去・廃棄

技術情報を確実に廃棄、再利用できないようにし、漏えいを防止するために、作成した技術情報を廃棄時に情報を読み取られないようにシュレッダなどで破碎、破壊処分を行う。また、社外に廃棄を委託する場合は、廃棄証明書を取得するように定義した。

⑨技術情報の流出が発覚したときは

万が一技術情報漏えい事故が発生した時の対応を正確、かつ迅速に行い、同様の事故を再発防止するために、事故発生時は速やかに上司と事務局へ報告するようなルールを定義した。

(3)従業員教育の実施

前項で定義した、「技術情報保護9つのルール」を従業員へ周知、徹底させるために、当社に従事する全従業員へ教育を実施した。教育の方法は表4に示す方法で行い、ルールを周知徹底した。

表4 従業員への教育方法と対象者

教育方法	対象者
事務局が講義	活動推進キーマン、定期採用新入社員
eラーニング	【PC環境あり】幹部従業員、一般従業員、パート従業員、派遣従業員
紙資料（抜粋版）配付	【PC環境なし】一般従業員、パート従業員、派遣従業員
契約時誓約書の読み合わせ	日本語が理解できない外国人従業員
各工場人事部門から資料配付	中途採用従業員、不定期採用パート従業員、派遣従業員

4.4 決まりごとに基づいた運用とその確認

「技術情報保護9つのルール」が、各部門で実施されているか運用状況を確認するために、定期的に部門へ点検を実施している。点検は、情報の取扱状況について事前に被点検部門の活動推進キーマンが職場の点検を行い、その結果に基づき監査者は実際に事務所などの現場に向いて取扱状況の点検を実施する。もし、不適合事項や改善の機会が抽出された場合は、被点検部門は速やかに計画を立案し、改善を実施する。その中でも情報漏えいリスクが高く、不適合事項があれば、改善後に監査者による再点検を実施することもある。

4.5 新たな脅威への対応とISMSの有効性評価

(1)新たな脅威への対応

ルール運用時に、環境の変化による脅威や新たなリスクとなり得る項目を抽出して対応するために、リスクアセスメントを実施している。もし、新たなリスクが抽出された場合は、事務局でリスクに対して評価を行い、リスクを低減させる対策を行う。

(2)ISMSの有効性評価

会社として技術情報漏えい防止活動が有効に機能しているか、有効性評価と呼ばれる手法を用いて評価を実施している。有効性評価は、本活動を行う中で過不足（やりすぎな部分、足りない部分など）は無いのか、ISMSの運営に対する課題は無いかなどを抽出することである。これにより次年度以降に

ISMSが有効に機能していることを確認でき、部門での効率的な運用へつなげていくことができる。ここで課題が抽出された場合、有効に機能するように当社のISMSの改善を行う。

4.6 取引先様管理体制の整備と運用

図面や技術情報を開示している当社の取引先様から情報漏えいが発生しないように、取引先様にも技術情報漏えい防止活動の展開を行っている。これにより取引先様から情報が漏えいするリスクを低減させることができる。

(1)取引基本契約書の改定

既存の取引契約を確認し、情報保護の項目など一部不足部分があったので契約書の改定を実施した。

新規取引先様は改定した契約書で契約を行い、既存の取引先様は改定部分の覚書の締結を行った。

(2)情報の取扱状況に関する調査

当社取引先様の情報の取扱状況を把握するために、「機密情報の取扱に関する調査票」を取引先様へ配

付し、調査を実施した。この調査票で判定点が芳しくない取引先様に対しては、指摘と改善を依頼した。

5 おわりに

本活動を通して、従業員に当社の保有する技術情報が重要な財産であることを伝えることができた。2016年度より全従業員に対して教育を実施してから、現在のところ重大な情報漏えい事故は発生してなく、本活動が効果的に機能していると考えている。

今後は本活動を海外関係会社にも展開し、当社グループから情報漏えい事故を発生させないように引き続き活動を継続していく。

参 考 文 献

- 1) 個人情報保護委員会：個人情報保護に関する法律についてのガイドライン(通則編), pp 88-98, (2019年1月)。

著 者



佐藤 晃彦

2008年入社。技術本部技術企画部 技術標準化推進室、基盤技術研究所、電子技術センターを経て現職。技術情報漏えい防止推進業務に従事。

随筆

モスクワ駐在記

手塚 宏美

1. はじめに

私は2013年に入社して以来、海外販売会社向けの市販製品を取扱う市販統轄部に所属している。日本では海外販売会社からの引合いを受け、開発進捗や業績の管理さらに訪日來客アテンドを主に行っている。直接の顧客はグループ販売会社となるが、日本では販売会社の営業活動を把握するのに限界があり2016年9月から3カ月欧州販売会社の本部であるKYB Europe GmbH（以下KEUドイツ）で実務研修に参加した。

実務研修に参加する前は岐阜北工場で2年間、本社で2年間勤務しこの4年間のなかで製品知識や製造工程など製造業としての基礎知識を身に付けた。研修に参加することで、販売会社が客先の要求に対して効率良く対応し拡販活動を行っていることを学ぶことができた。その後の異動で2017年7月から約2年ロシアの販売拠点KYB Eurasia（以下KER）に駐在した。本報ではロシア駐在の体験をいくつか紹介する。

2. ロシアについて

国土面積は、日本の約45倍で国内時差11時間と世界最大であるロシアは、83の共和国や州で構成される連邦国家である。人口は世界第9位（約1億4600万人）民族構成は80%がロシア人、それ以外にタタール人など180を超える多民族が暮らしている。私の滞在していた首都モスクワは人口約1250万人と欧州で最も人口の多い都市として知られている。日本人は駐在員とその家族、留学生も含めて約2000人が在住している。大都市だけあって交通網は整理されているが、渋滞がひどく運転の荒いドライバも多いことから交通事故発生率は日本の5倍以上である。

ご存じのように旧ソ連の首都でもあり、街の中心に位置する赤の広場にはソ連の建国者であるレーニンが今でも防腐処理された状態で眠っている。ソ連崩壊後28年以上経過しているが、街中には共産主義を連想させるような建物が数多く残っている（写真1, 2）。

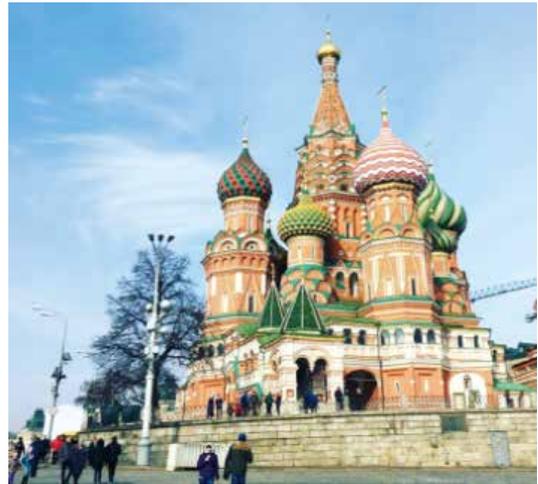


写真1 聖ワシリイ大聖堂



写真2 ロシア建設省（スターリン建築の1つ）

3. 業務と日常生活

KERはモスクワとウラジオストックの2拠点体制で日本人拠点長と私の他、ロシア人従業員30名で構成されている。私の業務はロシア及びCIS（旧独立国家共同体）5か国向け市販ショックアブソーバとコイルスプリングの購買および在庫管理である。主

な調達先はKYBのグループ生産拠点で、定期的にKYBSE (KYB Suspensions Europe, S.A) やKCME (KYB Chita Manufacturing Europe) また業務上関わりが深いKEUドイツへ出張し打ち合わせを行っていた。赴任から1年後ロシア人部下1名を持ち、初めて人をマネジメントする機会も与えられた。日本では外国人の部下を持つ機会はなかなかなく貴重な経験だったが、同時に人をマネジメントする難しさも痛感した。

日常生活の面では1年の半分以上が冬で寒さには次第に慣れてくるが、日照時間が短く暗いのは気が滅入ることであった。赴任後初めての12月は月間日照時間が僅か6分と歴史上最も暗い12月となり、1日中太陽の见えない日がほとんどだった。

オフィスを離れると英語が通じないため、週2回ロシア語のレッスンを受講していた。ロシア語は単語が多く表現も豊かな美しい言語であるが、独特の文法は非常に難解で習得に苦労した。

2018年のFIFAワールドカップはロシアで開催され、この期間は外国語が飛び交っており、これを機に英語表記が街中に急増したように見えた。日本代表の試合は見られなかったが、モスクワで予選リーグを2試合、サンクトペテルブルグで3位決定戦を観戦することができた。



写真3 ワールドカップ予選リーグ (チュニジアvsベルギー)



写真4 開催期間中の1ヵ月間はお祭り騒ぎ

4. ロシア芸術文化

ロシアの芸術と言えばバレエを真っ先に思い描く方もいるのではないだろうか。ロシアではバレエダンサーは公務員と見なされ、一流のダンサーは国から生活が保障されている。バレエ自体がとても身近で演目によっては子供達もおしゃれをして劇場に来ている。私も駐在期間中はボリショイ劇場(写真5)をはじめ、様々な劇場で延べ10回近くはバレエを鑑賞した。決して詳しい方ではないが、オーケストラの生演奏や躍動感あるダンサーの動き、華やかな劇場は別世界へと導いてくれる。バレエは冬がメインで、ロシア人も暗く寒い冬はバレエを鑑賞して楽しんでいる。



写真5 ボリショイ劇場内部

日本で人気のフィギュアスケートはロシアでも大人気で、一度グランプリシリーズも観戦に行ったが羽生結弦選手の知名度は圧巻だった。自信に満ちたパフォーマンスに加え、演技終了後には、くまのプーさんのぬいぐるみが雨のように降り注いでいた。

バレエやスケートと並び、ロシアではサーカスも人気である。世界のサーカスでは動物愛護の観点から動物をサーカスに使うことは控える傾向にあるが、ロシアのサーカスでは今でも動物がたくさん登場する。私が見に行ったサーカスでは何やら会場からは犬猫とは違う獣の臭いがしており、不思議に思っているとプログラム後半に6頭のライオンが登場し、臭いの元が判明した。6頭の繰り広げる巧みな芸はとても見応えがあった。今後ロシアでも動物の使用を控えるような動きになるかもしれないが、レベルが高いので一見の価値はある。

5. アクティビティ

運動不足解消のため、主に日本人駐在員のランニング好きが集まるマラソンサークルに所属していた。

毎週水曜日にモスクワ川沿いを一緒に走った後、栄養補給という名目で一緒に食事に行くことも多く、他の日本人の方々とも楽しく交流できる場だった。それまで長距離走は苦手だったが、練習を重ねモスクワのハーフマラソンに2回、フルマラソンに1回出場した。フルマラソンはもちろん人生初挑戦で緊張と不安でいっぱいだったが、モスクワの中心地を巡る素晴らしいコースで普段は渋滞の街中を走って回ることができたのはとてもいい思い出である。5時間かけて完走できた翌日は歩くのもままならなかった。

また、帰任間際にバイカル湖で毎年3月に行われるアイスマラソンにもエントリーした。「シベリアの真珠」と言われる世界遺産バイカル湖の東湖畔からリストビャンカまで走り切るフルマラソンだ。(私が出場したのはハーフの22km)氷点下の厳しい気温の下、凍結した湖面を走る厳しいマラソンのため、安全確保の観点から出場者は僅か130名に限定される過酷なレースである。今年はスタート直後に雪で足がすくわれ、強い横風も吹きつける厳しいコンディションだったが、幸い私が所属するサークルから参加した10名は私も含め全員無事完走し参加者全員での親睦会も大いに盛り上がった。



写真6 サークルのメンバーとブラックアイスの上で



写真7 湖面の移動はフォークラフトで

6. 旅行

もともと旅行好きだったが、日本からでは行きづらい場所であってもモスクワからだとアクセスがいいので時間を見つけては旅に出ていた。特に旧ソ連の国々ではロシア語が通じるので、現地の方と片言のロシア語でコミュニケーションが取ることができた。旧ソ連の国々を含めて印象的だった場所を3つ紹介する。

6.1 アゼルバイジャン (バクー, ゴブスタン)

モスクワから直行便で約3時間、バクー油田など天然資源が豊富であることから急速に発展した国で「第2のドバイ」と呼ばれている。北海道くらいの小さな国土に亜熱帯、日本のような温帯、コーカサス山脈などの寒冷帯という様々な気候帯が存在しているのが魅力である。首都のバクーは乾いた大地からの油田採掘が続いており、辺りは油の匂いが漂っている。一方、ゴブスタンはバクーから60km離れた半砂漠地帯で先史時代の遺跡が見事で、5000年以上前の人類や動物文様といった多彩なロックアートがある。これだけ貴重な遺跡はもう少し管理・保護した方がいいのではと思う程、間近で見学できた。岩の中には貝殻も多く見られ、昔はこの一帯が海でとても



写真8 風の街という意味の首都バクー

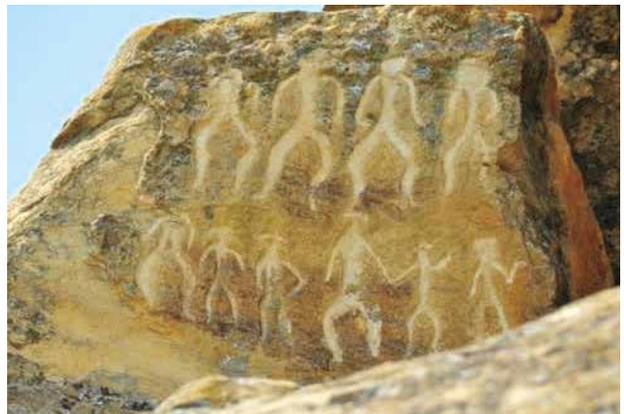


写真9 ゴブスタン遺跡のロックアート

恵まれた地域であることも実感できた。現地の特産品である赤ワインも絶品である。

6.2 ヨルダン（ペトラ遺跡）

ヨルダンのペトラ遺跡は世界遺産に登録されており、映画「インディージョーンズ最後の聖戦」の舞台として有名だ。このペトラ遺跡は2000年以上前にこの地に定住したナバテア人が岩壁を削り建てた大都市で、岩肌は光によって色が変わり、とても神秘的な雰囲気に包まれている。とても広大な遺跡で歩いて全てを見学するのは大変なため、途中ラクダに乗って移動する観光客も多い。ライトアップのイベントも行っているようで、いずれはライトアップしたペトラ遺跡も見てみたいと思っている。

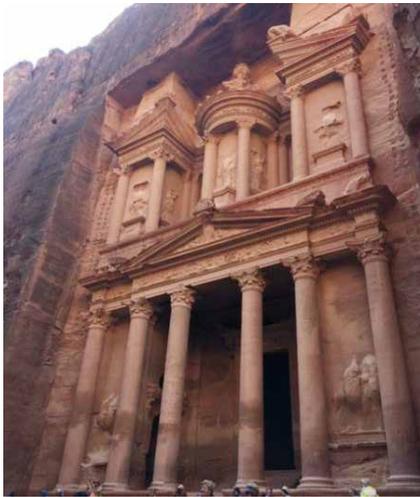


写真10 ペトラ遺跡 宝物殿

6.3 ロシア ムルマンスク

最後はロシア北極圏の最大都市だ。あまり聞き慣れないこの都市はモスクワから北に約2000km離れた人口30万人の都市で、フィンランドのすぐ傍である。冬は12月～1月は極夜、5月～7月は日が沈まない白夜という特殊な環境で、ムルマンスクにあるマクドナルドが世界最北のマクドナルドとしてギネスブックに登録されている。味は一般的だった。

この地を訪れた目的はオーロラを観に行くこと

だった。郊外の観測地点に向け、友人と食材を買い込み気合を入れ移動を試みたものの、大雪で道が通行止めとなり施設に行くことさえできなかった。3月では時期が遅く、1月～2月がベストシーズンのような。オーロラ鑑賞はカナダや北欧が人気であるが、ムルマンスクを訪れてみるのもいかがだろうか。私も是非リベンジしたい。



写真11 世界初の原子力砕氷艦レーニン号

7. おわりに

この約2年は仕事面、生活面でも非常に充実しており、倒れるのではないと思うくらい活発に動き回った日々だった。日本とは異なる仕事内容や環境に悩み戸惑うことも多々あったが、周りの人々にたくさんアドバイスを頂き助けてもらった。まさかロシアで生活するとは思ってもいなかったが、日本ではなかなか報じられないロシア人の日常を垣間見ることができ、多くの友人にも恵まれた。このような機会を与えてくれた関係者の方には感謝申し上げる。

ちょうど2018年は日露交流の年で、様々な交流イベントが開催された。今後さらに日露の関係が友好的なものになることを望んでいる。

Большое вам спасибо за вашу поддержку.

Я желаю вам всем всего наилучшего!

著者



手塚 宏美

2013年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業市販統轄部。KERを経て現職。

随筆

インドネシア・タイ駐在記

瀧 圭 司

1. はじめに

私は2016年5月から2018年12月までの2年7ヶ月間、インドネシアとタイで駐在生活を経験した。

インドネシア駐在はPT. Kayaba Indonesia (以下PT. KYBI) (写真1) に1年3ヶ月間、タイ駐在はKYB (Thailand) (以下KYBT) (写真2) に1年4ヶ月間の駐在であった。

同じASEAN地区での2ヶ国の駐在という貴重な経験をさせて頂いたので、その一部を紹介する。



写真1 PT. KYBI ロビーにて



写真2 KYBT事務所前にて

2. 言語

インドネシアの公用語はインドネシア語である。駐在前に前任者よりインドネシア語は勉強していった方が良いとアドバイスを受けていたため、赴任前の6ヶ月間でインドネシア語を学習してから赴任をした。

インドネシア語は日本人にとっては比較的覚えやすい言語と言われている。文字はアルファベットであり、発音はローマ字読みに近いいため、書いてある文章を読み上げることは比較的簡単であった。あとは単語を覚えていけば話せるようになるため、赴任前の6ヶ月間の学習と現地での会話で比較的インドネシア語は話せるようになっていった。

現地スタッフとのミーティングの時にマネージャーが面白いことを言ったのが印象に残っている。「PT. KYBIのミーティングの中では5つの言語が混在する」と言うのである。「何語があるのか?」と尋ねると、「インドネシア語、英語、日本語、ジャワ語、スンダ語の5つの言語だ」との答えが返ってきた。

インドネシア語は公用語であるが、それは独立の時にマレー語をベースに整備された言葉であり、民族の言語は未だに残っているとのことである。ジャカルタなどの大都市ではインドネシア語が母語となってきたが、地方の同郷同士の会話ではそれぞれの言語が使用されたりするとのことで、実際ミーティング中も時々わからない言葉が飛び交うことがあった。後からマネージャーに確認すると、スンダ語とのことで、単語を教えてもらったこともあったが、覚えるまでには至らなかった。

一方、タイの公用語はタイ語である。インドネシアからそのまま異動したため、タイ語を事前に学習することはなく、赴任してからタイ語に初めて触れることになった。

文字を見てもどう発音して良いのかもわからないため、タイ語を読むことは初めから断念した。

また、タイ語には5つの声調というものが存在し

ており、発音がとても難しい。「カイ」という発音でも声調の違いでそれぞれ意味が異なり、「鶏、卵、誰、近い、遠い」といった意味になる。1年4ヶ月という短い駐在期間ではこの違いを聞き分けるまでには至らなかった。

タイ駐在生活でタイ語は挨拶や数字、簡単な単語を使って話す程度の習熟であったが、現地スタッフとのミーティングにおいて、体験したことを一つ紹介する。

あるタイ人スタッフがタイ語で説明をした内容に対して、他のタイ人スタッフ達が全く理解できないと言っている中、私の認識を英語で確認したところ、内容は合っていた。他のタイ人スタッフからタイ語が分かるのか？と言われたが、もちろんタイ語を理解していたわけではなく、話の流れから言いたいことが分かったのである。

言語は相手との理解を深める中で重要なことであるが、相手の言いたいことを親身になって聞くことで、言葉はわからなくとも理解ができることを感じた体験であった。

3. 交通事情

インドネシアでの生活を語る上で欠かすことができないのが渋滞である(写真3)。一般的にタイのバンコクが渋滞で有名であるが、ジャカルタとバンコクの両方で生活をした私からすると、ジャカルタの渋滞の方が格段に酷いと感じた。

ジャカルタとPT. KYBIのあるMM2100工業団地(ブカシ県)は30kmほどの距離であるが、通勤時間は通常でも1時間半、酷い時には3時間以上かかることがある。

自動車の普及のスピードに対し、道路の整備が追い付いていないことが一つの原因である。ジャカルタとMM2100工業団地は高速道路を使って移動するが、高速道路に沿った一般道が無く、また迂回する高速道路も存在しないため、同一方向に移動する人はすべて同じ高速道路を利用することになる。そのため、渋滞を回避する術が無く、渋滞するのが当たり前という気持ちになってしまうようになった。

高速道路だけでなく、ジャカルタ市内でも渋滞はとても酷いものである。通勤は車での移動となるが、車やバイク以外の移動手段が発達していないため、プライベートでの移動も車かタクシーになってしまう。ジャカルタ市内で食事会の後、タクシーで自宅に帰る際、わずか4kmの道のりを1時間以上かかったことがある。

先日(2019年4月)、ジャカルタに地下鉄が開通したというニュースを目にした。これによりジャカ

ルタの渋滞が少しでも緩和されることを期待したい。



写真3 インドネシアの渋滞

タイの交通事情はインドネシアに比べると発達していると感じた。通勤時間での渋滞はあるものの、少し時間をずらせば比較的渋滞をかわすことができる。バンコクとKYBTが位置するチョンブリー県は70kmほど離れているが、少し早めに出勤したり、少し遅く帰宅することにより、高速道路を1時間~1時間半程度の通勤時間となるため、インドネシアほど渋滞を気にしながら生活をしなくても良いと感じた。

バンコク市内の移動手段としては、タクシーやトゥクトゥクと呼ばれる3輪タクシーに加え、BTSと呼ばれるバンコクスカイトレインやMRTと呼ばれる地下鉄も発達しており、タクシーを使わなくても市内を移動することができる。この点もジャカルタより発展している点であると感じた。

4. 食事

インドネシアもタイも同じ東南アジアということもあり、どちらも辛い料理が多い。私は元々辛い料理が苦手ではないため、どちらの国でも機会があれば現地の料理を食べるようにしていた。

インドネシアで有名な料理は、炒飯のようなナシゴレン、焼きそばのようなミーゴレンである。どちらも比較的日本人の口に合う料理であり、昼食に食べることも多かった。

現地スタッフとの食事会ではパダン料理(写真4)というものを何度か食べる機会があった。西スマトラ地方の料理の総称ということであるが、煮込み料理が10皿以上テーブルに並べられて、自分のお皿にはご飯が盛られている。自分が食べたいと思った料理を皿から取り、手を付けた料理の分だけ代金を払うというシステムである。現地スタッフが注文している様子もないのにどんどん料理がテーブルの上に並べられていくのを見たときは、どんなシステ

ムなのかと思ったが、説明を受けてなかなか面白いシステムだと感じた。スプーンとフォークが用意されており、それを使って食べても良いのだが、道具は使わず右手だけで食べるのが本来の食べ方とのことだった。試しに右手だけで食べてみたが、ご飯とおかずがなかなかまとまらず、上手に食べることができなかったため、ほとんどスプーンとフォークを使って食べた。



写真4 パダン料理

タイ料理はおいしい料理がたくさんあることで有名で、日本でもブームになったりしている。トムヤムクン、グリーンカレー、ガパオライスなどいろいろあるが、私が特においしいと思った料理はプーパッポンカレー（写真5）という蟹を使ったカレーである。

タイに滞在するまではプーパッポンカレーというものを知らなかった。現地スタッフとの食事会で出てきた時に初めて食べたが、ココナッツミルクを使用しているらしく、まろやかなカレーでその後の食事会で何度も注文してもらって食べた一品である。



写真5 プーパッポンカレー

5. 遺跡

インドネシア、タイともにそれぞれ1年3ヶ月前後という短い滞在生活であったため、あまり観光地に行く余裕がなかったが、両国の世界遺産の遺跡に行けたことは大変貴重な体験だった。

インドネシアではジャワ島中南部に位置するジョグジャカルタ特別州にあるボロブドゥール寺院（写真6）に行くことができた。ボロブドゥール寺院は世界最大級の仏教寺院であり、西暦800年前後に建てられた寺院である。切り出した石を積み上げて造られており1200年以上も前にこれほどの物を建築したという壮大さを感じることができる。



写真6 ボロブドゥール寺院

タイにおいては、アユタヤ遺跡（写真7）に行くことができた。アユタヤはバンコクから2時間程度で行くことができ、日帰りも可能な遺跡である。

西暦1351年から1767年に存在したアユタヤ王朝が作ったとされており、比較的新しい建造物であるにもかかわらず、ほとんどが瓦礫となってしまっているのは王朝の消滅とともに徹底的に破壊されてしまったからだと言われている。



写真7 アユタヤ遺跡

6. インドネシアとタイでの業務

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

主に品質保証、製造、製品技術、生産技術、メンテナンス、生産管理部門の現地スタッフに対して、仕事の進め方や不具合対処の指導、日本との情報のやり取りを行ってきた。

私は2001年にKYBに入社して以来、生産技術の仕事に従事してきた。日本においてもこれら各部門と仕事のやり取りをしてきたため、全く分からないわけでは無いが、深い知識を持ち合わせているわけでは無いため、現地スタッフからの相談に対し、的確なアドバイスができない日々が続いた。

特に品質関連の業務に関しては、苦勞の絶えない毎日であった。日本では直接お客様とやり取りすることはほとんどなかったが、駐在中は品質問題に関しては直接お客様とやり取りをしなければならず、報告の内容や報告の仕方を考えるのにとっても苦勞した。しかしながら、私が駐在していた間、日本から多くの方々に出張に来て頂き品質問題への対処、お客様への報告について支援を頂くことで、なんとか業務を進めることができ、出張者の方々には大変感謝している。

PT. KYBIでは様々な分野に関する仕事をするこ

とで、仕事の幅や視野を少なからず広げることができたのではないかと思う。

KYBTでは四輪用ショックアブソーバの生産技術のコーディネータという役職についていた。

生産技術の業務といっても、溶接工程、組立工程、加工工程など様々な分野があり、特に駐在中はピストンロッドの熱処理工程、研削工程の新規ラインの立ち上げの業務に多く携わった。

日本では組立工程、溶接工程の業務が主であり、このピストンロッドの熱処理工程、研削工程の知識と経験が少なかったため、日本の生産技術の専門の方々に支援をもらいながら立ち上げ業務を進めていった。残念ながら熱処理工程も研削工程もそれぞれ一つのサイズのみの立ち上げを完了したところで帰任となってしまったが、日本では経験していない工程の立ち上げに携わることができ、生産技術の業務の幅や知識も広げることができた。

7. おわりに

PT. KYBI, KYBTと一緒に仕事をした駐在員やローカルスタッフの皆様、業務で支援をくださった皆様、私が駐在員業務を遂行できたのは、皆様の数々のご協力があったの事と思います。この場をお借りして御礼申し上げます。ありがとうございます。

著者



瀧 圭司

2001年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部サスペンション事業部生産技術部第一生産技術課。PT. KYBI, KYBT駐在を経て現職。自動車用ショックアブソーバの工程設計に従事。

編集後記

東京2020オリンピック・パラリンピックの開催まで1年を切った。このビッグイベントはスポーツ競技の祭典であることは言うまでもないが科学技術イノベーションの機会でもある。1964年大会時は東京と大阪を4時間で結ぶ弾丸列車の実用化で世界を驚かせたがその所要時間は今や2時間25分となった。更にこれを1時間にまで短縮させようとしている技術者が沢山いる。彼らの飽くなき挑戦と情熱に心からの敬意を表したい。(星野委員)

編集委員であり、また一人の技報読者としては随筆として執筆頂いている駐在記を読むことは私なりの技報を読む上での一つの楽しみである。執筆者の方が、どのような環境で休日には何をして過ごされているのか、どんな料理があるのかなど興味津々で記事を読んでいる。執筆の大変さは承知しているつもりであるが、駐在されている方や駐在経験のある方には、今後とも楽しい記事の掲載にご協力頂けると嬉しく思う。(宮嶋委員)

今号で担当した製品紹介記事の製品については、開発にも携わっていたため、編集委員の仕事としては、通常よりも踏み込んだ取り組みとなった感がある。製品紹介や技術解説などは、お客様の承諾が無い情報や技術のコア部分に関わる情報を出すことはできないが、開発者・技術者からすると、どこに使われていて役に立っているか、成し遂げた成果や困難をどう乗り越えたか等が無いと、面白味の欠ける記事になってしまう気がする。KYB技報の記事として、書き手と読者の双方にとって良い記事とは何かを考える契機となった。技術力や成果をアピールでき、読者にとって面白くためになる。そんな記事を目指して、次号以降にも取り組んでいきたい。(椛澤委員)

編集委員

◎手塚 隆	執行役員技術本部長兼技術企画部長	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
椛澤 亮一	技術本部基盤技術研究所	中野 智和	HC事業本部岐阜南油機技術部
川添 敏行	技術本部生産技術研究所	村松 亮一	経営企画本部経営企画部
周防 士朗	技術本部知的財産部	渡辺 裕明	人事本部
星野 公輔	HC事業本部相模油機技術部	岡村 和徳	カヤバシステムマシナリー(株)三重工場技術部
丸山 政一	航空機器事業部技術部	宮嶋 勝昭	KYBエンジニアリングアンドサービス(株)技術部
川島 茂	特装車両事業部熊谷工場技術部	河野 義彦	(株)タカコ技術本部開発部
太田 康洋	AC事業本部製品企画開発部	齊藤 靖	KYB-YS(株)設計部
宮谷 修	AC事業本部電子技術部	○宮 能治	技術本部技術企画部
伊藤 直樹	KYBモーターサイクルサスペンション(株)技術部	○村山 栄司	技術本部技術企画部
渡辺 健二	AC事業本部サスペンション事業部生産技術部		

◎編集委員長

○編集事務局

HC事業本部：ハイドロリックコンポーネンツ事業本部

AC事業本部：オートモーティブコンポーネンツ事業本部

KYB技報 第59号

〔禁無断転載〕 〔非売品〕

発行 2019年10月1日
編集発行人 KYB技報編集委員会
発行所 KYB株式会社
(2015年10月1日よりカヤバ工業株式会社は商号をKYB株式会社に変更いたしました)
〒105-6111
東京都港区浜松町二丁目4番1号
世界貿易センタービル
電話 03-3435-6451
FAX 03-3436-6759
印刷所 勝美印刷株式会社/東京・白山

ホームページへの掲載のお知らせ

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

なお、冊子の発行は従来通り行ないますので、こちらをあわせてご利用下さい。

〈KYBのホームページアドレス〉

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

(トップ画面からKYB技報バナーをクリックして下さい)