

ISSN 1880-7410

KYB TECHNICAL REVIEW

カヤバ技報

APR. 2026 No. 72

カ
ヤ
バ
技
報

KYB TECHNICAL REVIEW No. 72 APR. 2026

KYB
Our Precision, Your Advantage

カヤバ株式会社

KYB



カヤバ株式会社

(2023年10月1日より、正式名称にカヤバ株式会社を採用いたしました)

2026年2月1日現在

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

基盤技術研究所	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎252-0328	☎(042)745-8111
生産技術研究所	岐阜県加茂郡川辺町鹿塩土白砂60番地	☎509-0206	☎(0574)26-1453
工場機械センター	岐阜県岐阜市見土田60番地	☎509-0307	☎(0574)52-1323
名古屋支店	愛知県名古屋市中区栄4丁目1番1号(中日ビル12階)	☎509-0206	☎(0574)26-5310
福岡支店	大阪府吹田市江坂町一丁目23番20号(TEK第2ビル)	☎460-0008	☎(052)228-3690
広島営業	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)	☎564-0063	☎(06)6387-3221
相模谷工場	福岡県福岡市東区光町一丁目12番16号(広島ビル)	☎812-0013	☎(092)411-2066
熊谷工場	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎732-0052	☎(082)567-9166
岐阜工場	埼玉県深谷市長在家2050番地	☎252-0328	☎(042)746-5511
岐阜工場	岐阜県岐阜市見土田2548番地	☎369-1193	☎(048)583-2341
岐阜工場	岐阜県岐阜市見土田505番地	☎509-0298	☎(0574)26-5111
岐阜工場	岐阜県岐阜市見土田60番地	☎509-0297	☎(0574)26-1111
三重工場	岐阜県津市雲出長常町1129番地11	☎509-0206	☎(0574)26-2135
長野工場	長野県長野市坂城町坂城9165番地	☎514-0396	☎(059)234-4111
岡山カヤバ(株)	岡山県下呂市金山町戸部4350番地130	☎389-0688	☎(0268)82-2850
山カヤバ(株)	岐阜県下呂市金山町戸部4350番地130	☎949-5406	☎(0258)92-6903
パターサイクルサスペンション(株)	岐阜県岐阜市見土田505番地	☎509-1605	☎(0576)35-2201
カヤバC S (株)	三重県津市雲出長常町1129番地11	☎509-0297	☎(0574)27-1170
タカカコ(株)	京都府相楽郡精華町祝園西一丁目32番地1	☎514-0396	☎(059)234-9260
知多鋼業(株)	愛知県春日井市前並町二丁目12番地4	☎619-0240	☎(0774)95-3336
ジャパン・アナリスト(株)	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎486-0903	☎(0568)27-7771
カヤボジスティクス(株)	神奈川県相模原市南区麻溝台一丁目12番1号	☎252-0328	☎(042)749-7512
けんしゅう	岐阜県岐阜市姫ヶ丘二丁目16番地	☎509-0249	☎(0574)26-6427
	岐阜県戸田市美女木北2丁目8番地4号	☎335-0038	☎(048)499-9336

KYB Corporation

Head Office

World Trade Center Building South Tower 28F, 2-4-1 Hamamatsu-cho, Minato-ku, Tokyo 105-5128, Japan Tel：(81)3-3435-3511

Overseas Subsidiaries and Affiliates

【Americas】 KYB Americas Corporation 2625 North Morton, Franklin, Indiana 46131, U.S.A. TEL: (1)317-736-7774	【Asia】 KYB Steering (Thailand) Co., Ltd. 700/829 Moo 6, T. Nongtamlueng Amphur Panthong, Chonburi 20160,Thailand TEL: (66)3-818-5559	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
Takako America Co., Inc. 715 Corey Road Hutchinson, Kansas 67504-1642, U.S.A. TEL: (1)620-663-1790	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 International America, Inc. 2625 North Morton, Franklin, Indiana 46131, U.S.A. TEL: (1)317-346-6719	KYB Asian Pacific Corporation Ltd. No. 4345 Bhiraj Tower at BITEC, Unit 1209-1211, 12th Floor, Sukhumvit Road, Bangnatai Sub-District, Bangna District, Bangkok 10260, Thailand TEL: (66)2-300-9777	【China】 凱達必(中国)投資有限公司 KYB (China) Investment Co., Ltd. No. 99, Xiyun Road, Dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhenjiang, Jiangsu, 212009, China TEL: (86)511-8558-0300
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-UMW Malaysia Sdn. Bhd. Lot 8, Jalan Waja 16, 42500 Telok Panglima Garamg, Kuala Langat, Selangor, Malaysia TEL: (60)3-3322-0800	凱達必機械工業(鎮江)有限公司 KYB Industrial Machinery (Zhenjiang) Ltd. No. 98, Xiyun Road, Dingmao, Zhenjiang New Zone, Zhenjiang, Jiangsu, 212009, China TEL: (86)511-8889-1008
KYB Manufacturing do Brasil Fabricante de Autopeças S.A. Rua Francisco Ferreira da Cruz, 3000, Fazenda Rio Grande-Parana, CEP 83820-293, Brazil TEL: (55)-41-2102-8200	PT. KYB Hydraulics Manufacturing Indonesia JL. Irian X blok RR2 Kawasan Industri MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia TEL: (62)21-28080145	無錫凱達必拓普減震器有限公司 Wuxi KYB Top Absorber Co., Ltd. No. 2 Xikun North Road, Singapore Industrial Zone, Xinxu District, Wuxi, Jiangsu, 214028, China TEL: (86)510-8528-0118
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. Kayaba Indonesia JL. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan Industri MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia TEL: (62)21-8981456	常州朗銳凱達必減振技術有限公司 Changzhou KYB Leadrun Vibration Reduction Technology Co., Ltd. No. 19 Shunyuan Road, New District, Changzhou, Jiangsu 213125 China TEL: (86)519-8595-7206
【Europe】 KYB Europe GmbH Margaretha-Ley-Ring 2, 85609 Aschheim, Germany TEL: (49)-89-5480188-0	PT. Chita Indonesia JL. Jawa Blok ii No. 4 Kawasan Industri MM2100, Cikarang Barat 17520, Indonesia TEL: (62)21-89983737	湖北恒隆凱達必汽車電動轉向系統有限公司 Hubei Henglong & KYB Automobile Electric Steering System Co., Ltd. 108 Shacen Road, Economic and Technological Development Zone, Jingzhou, Hubei, China. 434000 TEL: (86)716-416-7951
KYB Suspensions Europe, S.A.U. Ctra. Irurzun S/No. 31171 Ororbia Navarra, Spain TEL: (34)948-421700	KYB Manufacturing Vietnam Co., Ltd. Plot 1 10-11-1 12, Thang Long Industrial Park, Vong La, Dong Anh District, Hanoi, Vietnam TEL: (84)24-3881-2773	知多彈簧工業(鎮江)有限公司 CHITA KYB Manufacturing (Zhenjiang) Co., Ltd. No. 8 Building-1F, New Energy Industrial Park (North Park), No. 300, Gangnan Road, Zhenjiang New District, Jiangsu 212132, China TEL: (86)511-8317-2570
KYB Advanced Manufacturing Spain, S.A.U. Poligono Industrial Pergueta 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 Civice, 530 06 Pardubice, Czech Republic TEL: (420)466-812-233	永華機械工業股份有限公司 KYB Manufacturing Taiwan Co., Ltd. No. 493, Guang Hsing Road, Bade District, Taoyuan City, 33454, Taiwan TEL: (886)3-368-3123	
KYB CHITA Manufacturing Europe s.r.o. Prumyslova 1421, 53701 Chrudim, Czech Republic TEL: (420)469-363-302	LLC KYB Eurasia 117638 Odesskaya street 2 building A, Moscow, Russian Federation TEL: (7)495-7716010	

カヤバ(株)では、複写複製、転載複製およびAI利用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, reuse rights and AI ML rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (http://www.jaacc.org/en/) and confirm appropriate organizations to request permission.

カヤバ技報

第72号 2026-4

目次

巻頭言

構造センシングと応用事例の実装への期待

松本 幸大 1

論説

機械学習を用いた容量型近接センサによる非接触入力デバイス

柏尾 知明 4

技術紹介

AIによる制御設計の原理研究

芝原 杏奈 8

スマート道路モニタリングの事業化に向けた改良

長谷部敦俊 13

油圧機器向け状態監視システムのデータ分析・判定アルゴリズムに関する研究

首藤 悠 21

汎用性の高いAI外観検査ツールの開発

伊藤由希子 26

西垣 一弘

スマートモニタリングによる人の技量に頼らない加工ラインの構築

伊藤 祐介 30

自動車用ショックアブソーバ作動油に用いる化学合成基油の有効性

環境負荷低減と乗り味性能を両立した【サステナルフ®】

加藤 慎治 34

安河内直樹

石田 幸也

製品紹介

キャンピングカーの開発

新島 健之 41

二輪車向け単筒ガスRCU用Hydraulic Compression Stopの開発

秋本 政信 46

紹介

Japan Mobility Show 2025出展ストーリー

佐藤 洋輝 50

栗原 健太

随筆

中国駐在記

何 佳欧 61

用語解説

①ニューラルネットワーク

芝原 杏奈 67

②路面性状評価指標

長谷部敦俊 69

③摩擦レスポンス

加藤 慎治 70

編集後記

本号に記載の部署名は2026年3月1日時点の所属

KYB TECHNICAL REVIEW

No. 72 APR. 2026

CONTENTS

Foreword

Expectations for the practical application of structural sensing research	MATSUMOTO Yukihiro	1
---	--------------------	---

Editorial

Non-Contact Input Device Using a Capacitive Proximity Sensor with Machine Learning	KASHIWAO Tomoaki	4
--	------------------	---

Technology Introduction

Exploring the Potencial of AI for Control Design	SHIBAHARA Anna	8
Improvements for commercialization of smart road monitoring	HASEBE Atsutoshi	13
Condition monitoring for hydraulic equipment	SHUTO Yuu	21
Development of a Highly Versatile AI Visual Inspection Tool	ITO Yukiko	26
	NISHIGAKI Kazuhiro	
Skill-free Machining with Smart Monitoring	ITO Yusuke	30
Effectiveness of synthetic base oils for automotive shock absorber fluids	KATO Shinji	34
	YASUKOUCHI Naoki	
	ISHIDA Koya	

Product Introduction

Development of camper vans	NIJIMA Takeshi	41
Development of Hydraulic Compression Stop for Monotube Gas RCU	AKIMOTO Masanobu	46

Introduction

Japan Mobility Show 2025 Exhibition Story	SATO Hiroki	50
	KURIHARA Kenta	

Essay

Essay from Expatriate in China	HE Jiaou	61
--------------------------------	----------	----

Glossary

①Neural Networks	SHIBAHARA Anna	67
②Road surface condition evaluation index	HASEBE Atsutoshi	69
③Friction Response	KATO Shinji	70

Editors Script

巻頭言

構造センシングと応用事例の実装への期待

松本幸大*



1. はじめに

建設分野ではストック型社会への対応や高度成長期に建設された多数の構造物の劣化評価・診断の必要性の顕在化、また自然災害による被害を対象とした診断・補修・補強の必要性が増し、様々な研究開発が進められている。一方で、実験室実験や現場計測のためのセンシング・計測技術の進歩も顕著である。筆者は、建設構造分野における診断技術や補修・補強技術を専門分野としており、これまで幾つかのデバイス・手法を利用した構造健全性評価に繋がる計測・分析、接着接合や繊維強化複合材料による補修・補強法、また、本稿の終盤で紹介するボルト接合部の締付力評価のためのセンサに関する研究を進めてきた。これらの成果から、センシング技術の利用や力学分野への応用に関する展望について述べる。

2. 構造センシングと健全性評価

構造物の健全性評価を行うことを目的としたセンシングでは、評価のために必要な情報は何か・その情報がどのような物理現象に対応するか・その物理現象をどのような手法（計測デバイスなど）で取得するのかなどを整理することが重要である¹⁾。また、必要な情報が、所望の精度で（また、容易に、経済的に）取得可能かについての観点も必要となる。図1は、構造センシングにおける取得情報と対応する

手法の例を示したものである（筆者の独断であるので、項目の増減や対象物によって大きな違いが生じることはご容赦願いたい）。

ところで、近年のIoTインフラ・デバイスの整備・発展も目を見張るものがあり、構造センシングや健全性評価に組み込まれていることも少なくない。すなわち、評価のために必要な計測データの伝送手段として、各種の有線や無線システムを用いることで、遠隔かつ既存の通信インフラを活用したり、計測データの保管・処理のためにオンライン・ストレージを活用したりすることで、評価システムの使用性・安定性に繋がると考えられ、こうした通信インフラと一体となったシステムも各種産業分野のセンシングに広がる期待がある。

3. 繊維強化複合材による補強部のセンシング

繊維強化複合材の中でも鋼材と同等の弾性率や優れた強度を有する炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を用いた補修補強工法の技術開発が盛んに進められている²⁾。既存の構造物にCFRPによって補修補強を行う場合、接着接合によって応力伝達が行われることが多い。一方で、接着部分の剥離などを生じると応力伝達経路が喪失してしまうことから、接着接合強度やその健全性を適切に評価しなければならない。筆者は、繊維強化複合材料の損傷の

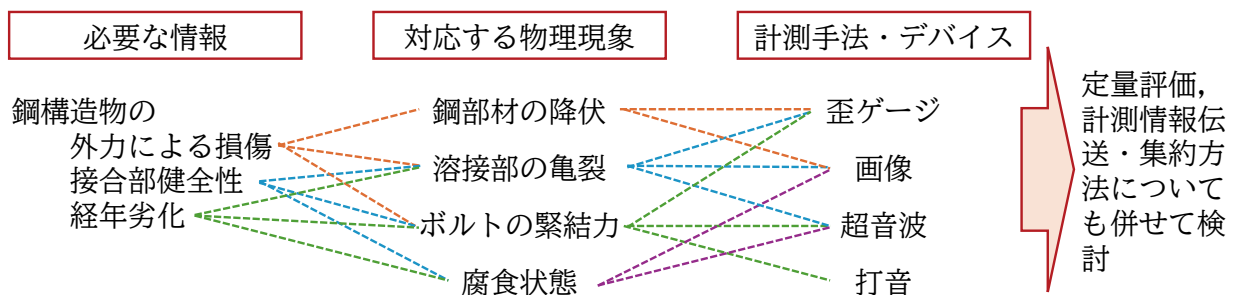


図1 構造センシングにおける手法の整理

*鳥根大学 学術研究院環境システム科学系 教授

メカニズムを考慮したセンシング手法の適用性検討を進め、光ファイバセンサを用いた損傷センシングの検証を進めている³⁾。光ファイバセンサの特徴は、通信用光ファイバと同様にノイズに強く長距離のデータ伝送が可能なることに加え、センサが直径0.2 mm程度の非常に細径のセンサであり、繊維強化複合材料の内部に設置（埋設）でき、それによる材料への影響もほとんどないことが明らかとなっている。光ファイバセンサには、その歪の検出メカニズムにいくつかの原理があるが、筆者が用いているFBG式では電気抵抗式歪ゲージ（以下、歪ゲージ）と同等以上の精度を有していること、1本の光ファイバの線上に複数の検出点を設けられるなどの特徴が挙げられる。このセンシング手法を用いた例を図2に示す。鋼材にCFRPを成形接着した補強試験体にFBG型光ファイバセンサを埋設したものであり、CFRP内の歪を検出できる。さらに、FBG型光ファイバセンサでは、センサ長さの範囲において歪に不均一性が生じている場合にも、計測結果として現れることから、CFRP内の微小な損傷も検出できる可能性があった。すなわち、内部に微細なクラックなどが生じた場合、クラック部分において局所的に歪が大きくなることを検出できる。

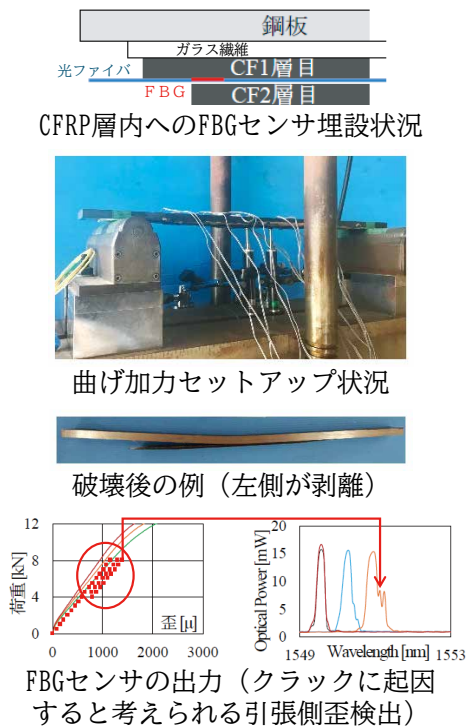


図2 FBGセンサによるCFRP接着補強のセンシング

結果として、図2に示すように、負荷除荷繰返し曲げ加力の過程において、複数の卓越歪成分が検出・増加する特性が検出でき、補強後の健全性評価の一

助となる可能性が示された。さらに、文献⁴⁾では、鉄筋コンクリート部材の鉄筋に僅かな溝を設け、光ファイバを埋設することで内部の歪（応力）状態を評価しており、被計測対象物への影響を最小限にするセンシングデバイスとして、発展が期待できる。なお、光ファイバセンサを使用した構造センシングについては、例えば文献⁵⁾で紹介されているので、ご覧いただければ幸甚である。

4. 画像相関法によるマクロ的挙動の把握

建築構造材として近年利用が進んでいるものとして木質系材料が挙げられる。天然の構造材として環境負荷も小さく、加工も容易で軽量であることから、小断面材を集成したり、薄い単板（ベニヤ）を積層したりして接着剤で大断面化したエンジニアリングウッドも盛んに使用されている。筆者らは、木質系材料の表面の変形前後の撮影画像の変化から得られる歪分布を検証し、破壊起点の推定を進めている⁶⁾。図3は単板積層材（LVL）に対して画像相関による歪分布の推定を行った例である。事前に、材料試験により歪ゲージと画像相関法による歪値の対応を検証したうえで適用しているが、クラックの起点となる歪の集中部位が適切に評価されており、損傷予測を含めた構造センシング手法として有用であると考えられる。特に、検出すべき点を事前に特定できない場合などは、マクロ的な把握が必要となることから、全体を把握する手法として有効であると考えられる。この種の手法は、相関性を取るために適切な画像パターンや解像度、長期的な評価などの課題もあると考えられ、本手法自体の研究成果の活用を含め発展させていく必要がある。

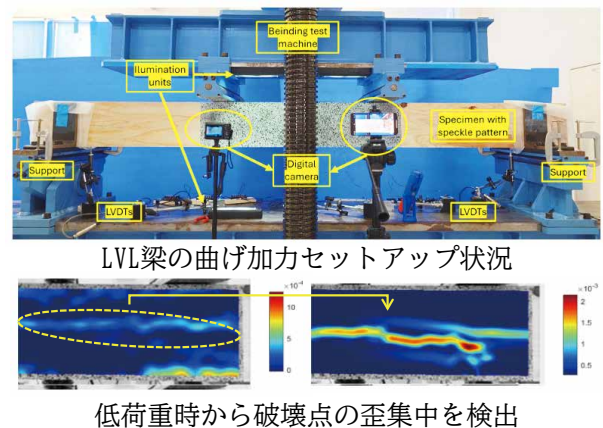


図3 木質系構造材の画像による損傷センシング

5. 歪ゲージ式および変換器の活用

材料の歪（応力）を検出するために最も普及していると考えられるのが歪ゲージであろう。扱いやす

く、デバイスも安価であることから、歪の計測結果を基に変位や荷重に変換する変換器も含め、多数の製品が市販化されている。歪ゲージは一般的な応力評価用のデバイスとして認知されており、検出範囲（ゲージ長や幅）や様々な表面・環境条件への貼付方法も確立されている。従って、ユーザーのアイデア次第で、様々な変換器への応用も可能であり、計測システムの発展の観点からも非常に有用であると考えている。筆者が本寄稿を拝命した経緯も、この点が契機となっているわけであるが、目的を定めてそれに対するデバイスの考案・実証はモノづくり分野である工学系に身を置く一人として貴重な経験となっている。

歪ゲージは変形量とそれに伴う抵抗値の変化の関係を求めておき、歪や応力、また変形や荷重を取得するものである。歪変換式の荷重計測を考える場合、曲げ成分を除去したり、曲げ成分のみを評価したりする場合もありうる⁷⁾。前者の場合は、歪ゲージの結線で、図4のように平均化することで、複数の歪ゲージから軸力成分のみを評価できる。歪ゲージを活用した変換器では、筆者らは建設・機械分野などに応用を想定したボルト軸力検出用座金を試作・評価している⁸⁾。歪ゲージは一般に局所的な歪を評価することに長けているが、大面積の平均歪の評価も可能となる。多くの読者にとって、釈迦に説法ではあると思うところではあるが、こうしたハンドリングの良さも長く蓄積された歪ゲージおよびその関連製品の利点であり、目的に応じた設置・評価により、構造センシングの可能性が広げられるものと確信している。

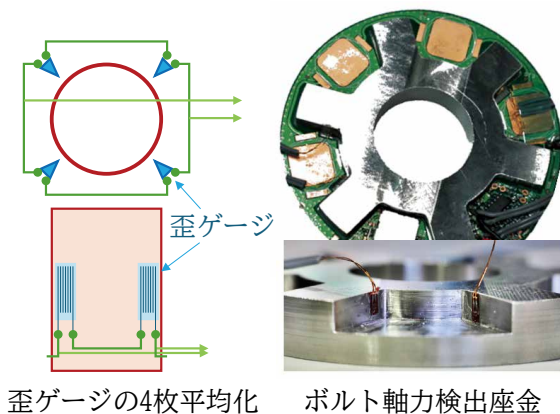


図4 歪ゲージ式変換器の例

6. おわりに

本稿では筆者の研究フィールドを主として、構造センシングに関連した内容を、その目的とデバイスの選択の経緯を踏まえて述べさせていただいた。人的リソースの減少や、ストック型社会への対応、また、予防保全の実現に向けて、各種デバイスの利点・欠点の理解と有効活用、さらには最新の情報関連環境の有効利用により、社会基盤のみならず経済活動に必要な多くの資産の維持管理保全に活用できることに繋がることを祈って、終わりの言葉とさせていただきます。

参考文献

- 1) 土木学会：構造工学シリーズ24 センシング情報社会基盤, 2015
- 2) 土木学会：複合構造シリーズ09 FRP 接着による構造物の補修・補強指針（案）, 2018
- 3) Genki Mieda, Hitoshi Nakamura, Takahiro Matsui, Yutaka Ochi, Yosuke Mizuno, Kentaro Nakamura, Yukihiro Matsumoto : Bond Strength of CFRP molded on Steel Surface by VaRTM Technology and Its Fiber Optic Sensing, 6th Asia-Pacific Conference on FRP in Structures, 2017
- 4) Murshalin Ahmed, Yukihiro Matsumoto, Rokhyun Yoon, Susumu Takahashi, Yasushi Sanada : Accurate measurement of the bond stress between rebar and concrete in reinforced concrete using FBG sensing technology, Scientific Reports 14(1), 2024
- 5) 光ファイバセンシング振興協会：ポイント型光ファイバセンサ建設分野向けマニュアル（改訂2版）, 2024
- 6) Annisa Prita Melinda, Shogo Higuchi, Fengky Satria Yoresta, Yosuke Yamazaki, Phan Viet Nhu, Pingkan Nuryanti, Yuji Takiuchi, Yukihiro Matsumoto : Digital image correlation (DIC) application to evaluate bending performance of timber beams strengthened with NSM-CFRP plate, European Journal of Wood and Wood Products 83(3), 2025
- 7) 東京測器研究所ホームページ : https://tml.jp/knowledge/strain_gauge/bridge_list.html (2026年1月12日閲覧)
- 8) Michail Sidorov, Phan Viet Nhut, Yukihiro Matsumoto, Ren Ohmura : LoRa Based Precision Wireless Structural Health Monitoring System for Bolted Joints in a Smart City Environment, IEEE Access 7, 2019

論 説

機械学習を用いた容量型近接センサによる 非接触入力デバイス

柏 尾 知 明*



1. はじめに

近年、COVID-19パンデミックを契機として、人が触れることなく操作可能な非接触インターフェースへの関心が社会的に急速に高まった。公共施設や産業設備において、不特定多数が接触する操作部は感染リスクの観点から課題として認識され、非接触による操作手段の必要性が広く共有されるようになった。このような社会的背景のもと、非接触入力技術は単なる利便性向上のための技術ではなく、安全性や衛生性を確保するための基盤技術として位置付けられるようになった。一方で、現場での実装を考えた場合、システム構成が複雑であったり、設置条件に制約を受ける方式は、必ずしも実用的とは言えない場合がある。

非接触入力技術としては、カメラを用いた画像処理方式や光学式センサなどが存在しているが、これらの方式は照明条件や視野制約、システム構成の複雑さ、高コストといった課題を有する場合がある。これに対し、容量型近接センサは、回路構成が比較的簡素で低コストであり、小型・低消費電力で実装できる点に特徴がある。容量型近接センサは、電極近傍に物体が接近することによって生じる微小な容量変化を検出する方式であり、人体のような導電体に対して高い感度を示す^{1), 2), 3)}。この特性を活かすことで、センサ表面に直接接触することなく、手の接近や移動を検出することが可能である。

一方で、容量型近接センサの出力は、対象物の位置や移動方向、速度、さらには個人差や環境条件の影響を受けやすく、センサ出力と動作内容の関係を解析的にモデル化することは容易ではない。特に、複数電極から得られる時系列信号を用いて動作を識別する場合、単純な閾値判定やルールベースの手法では十分な識別性能を得ることが難しい。

そこで本稿では、3電極構成の3次元容量型近接

センサを用いて、その構造および出力特性を整理するとともに、複数電極から得られる時系列信号を用いた動作識別の考え方について解説する^{4), 5), 6), 7), 8), 9)}。機械学習を用いることで、テンプレートマッチングでは対応が困難であった複雑な動作パターンに対しても、柔軟な識別が可能となる点を示す。なお、本センサユニットは出口幹雄名誉教授（新居浜高専）が設計し、共同研究として開発しているものである。

2. センサの構造と出力

2.1 センサユニットの構造

本稿で扱う容量型近接センサユニットは、3つの検出電極を円周上に配置した円形構造を有している（図1）。センサ基板の中心から放射状に配置された3電極は、正三角形を成すように配置されており、各電極が独立した検出チャンネルとして動作する。

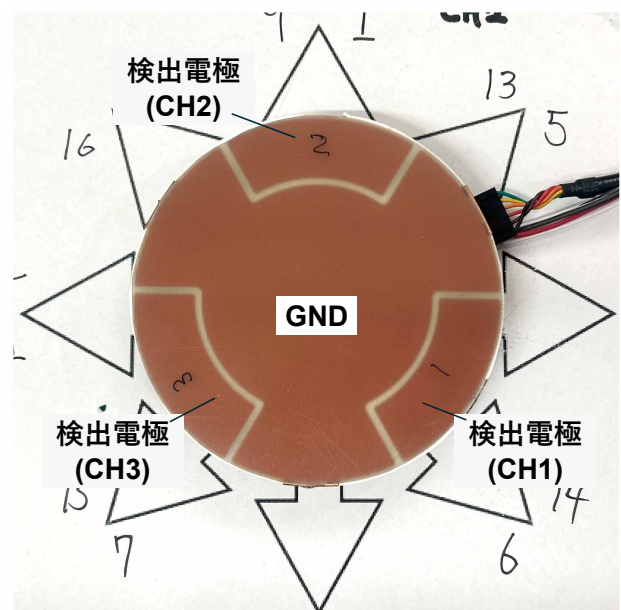


図1 センサユニット

*近畿大学 理工学部電気電子通信工学科 准教授

各検出電極は、周囲の空間に形成される電界の変

化を通じて、近傍物体の接近を検出する。人体の手がセンサ上方に近づくと、電極と手との間に形成される浮遊容量が変化し、その結果として各チャンネルの検出信号に変化が生じる。3つの電極を用いることで、単一電極では得られない方向性を持った情報を取得できる点が特徴である。

また、センサユニットは比較的少数の汎用電子部品によって構成されており、小型化やシステムへの組み込みが容易である。このような構造は、産業用途において重要となる実装性や拡張性の観点からも有利である。

2.2 センサ出力

本センサユニットは、約10cm以内を通過する手や物体を検出するように調整している（図2）。



図2 センサユニット

図3は、全16パターン（図4）の手の動き（約2秒間）に対する、センサユニットの3つの検出電極に対応した3チャンネルの出力信号の平均値を0-1で正規化したグラフである。各チャンネルの出力は、手の接近・移動に伴う容量変化を反映したものであり、動作方向や移動速度に応じて異なる波形形状を示す。例えば、手が特定の電極方向から接近した場合、その電極に対応するチャンネルの出力が先行して変化し、他のチャンネルは遅れて応答する。この応答タイミングや振幅の差が、動作方向を推定するための重要な手掛かりとなる。また、移動速度の違いは、出力波形の時間的な変化量として現れる。

一方で、これらの出力波形は必ずしも単純な形状を示すわけではなく、手の大きさや姿勢、移動のばらつき、さらには周囲環境の影響によって変動する。そのため、出力波形をあらかじめ人が定義したルールによって分類することは難しく、時系列データ全体の特徴を考慮した処理が求められる。本研究では、出力波形の動作パターンへの分類に機械学習を用いた。複数チャンネルの時系列信号を入力とし、データから特徴を自動的に学習できる機械学習手法を用いることで、動作識別の性能とともに、柔軟性および

拡張性を高めることができる。

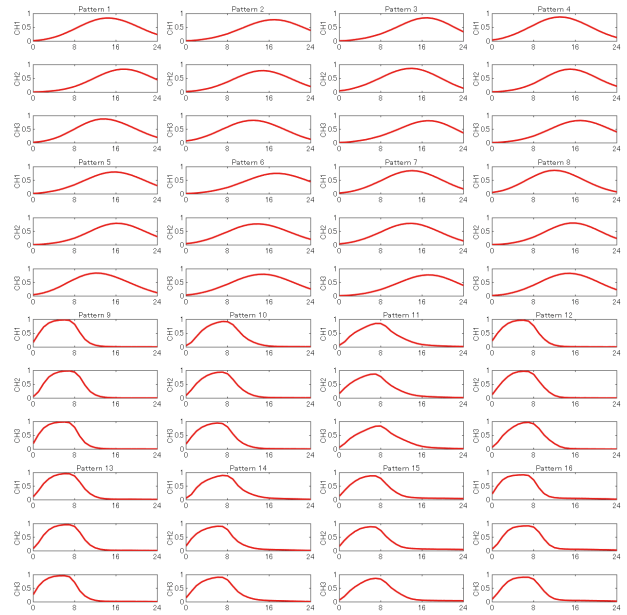


図3 センサ出力

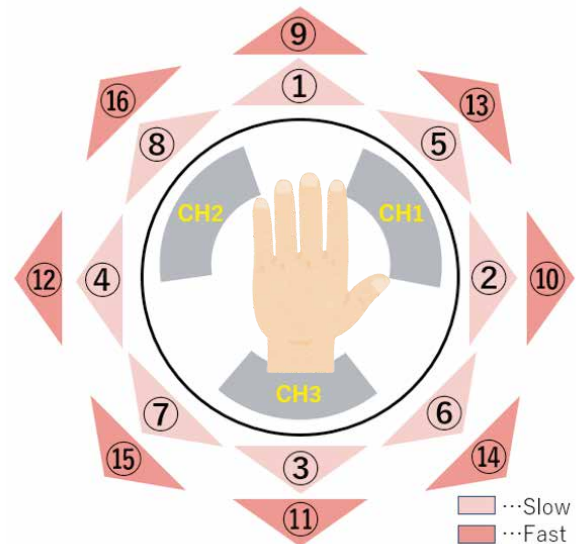


図4 センサユニット上での手の動きのパターン

3. 機械学習

3.1 分類モデル

前章で述べたように、本センサユニットから得られる出力は、3チャンネルの時系列信号として観測される。これらの信号には、手の移動方向や速度に関する情報が含まれている一方で、個人差や動作のばらつき、環境条件の影響も重畳しており、センサ出力と動作内容の関係は非線形かつ複雑である。

このような特徴を持つデータに対して、あらかじめルールを定めた判定や単純なテンプレートマッチングを適用すると、識別性能が動作条件に大きく依存してしまう。特に、動作パターンが増加した場合や、

類似した動作を区別する必要がある場合には、設計者がルールを逐一調整することは現実的ではない。

そこで本研究では、機械学習を用いてセンサ出力と動作クラスの間をデータ駆動的に学習する方法を採用した。機械学習モデルを用いることで、複数チャンネルの時系列信号に内在する特徴を自動的に抽出し、動作の違いを識別することが可能となる。

本稿では、次の4種類の代表的な機械学習モデルを用いて分類手法を行った。

- ①Linear Regression (LR)
- ②k近傍法 (kNN)
- ③Support Vector Classifier (SVC)
- ④Random Forest (RF)

いずれの手法においても、3チャンネルの時系列信号を特徴量として入力し、動作パターンをクラスとして出力する構成とした。モデルの詳細な構造やパラメータについては割愛するが、比較的少ないセンサ数でも高い識別性能が得られる点が、本方式の特徴である。機械学習を用いる利点は、識別精度の向上だけでなく、動作パターンの追加や変更に対応できる点にある。新たな動作を定義した場合でも、学習データを追加することでシステムを拡張できるため、用途に応じたカスタマイズが容易である。

3.2 分類の評価

本研究では、提案手法の分類性能を定量的に評価するため、混同行列 (confusion matrix) を用いて評価を行った。混同行列は、実際のクラス (パターン) と推定されたクラスの対応関係を集計したものであり、各クラスに対する分類の正否を視覚的に把握することができる。混同行列は、以下の4つの要素から構成される。True Positive (TP) は、対象クラスに属するデータを正しく当該クラスとして識別できたサンプル数を示す。一方、False Positive (FP) は、他クラスに属するデータを誤って対象クラスと判定したサンプル数である。また、False Negative (FN) は、対象クラスに属するデータを他クラスとして誤分類したサンプル数を示し、True Negative (TN) は、他クラスに属するデータを正しく他クラスとして判定できたサンプル数を表す。これらの値に基づき、以下の評価指標を算出した。

Accuracy (正解率) は、次式で表される。

$$\text{Accuracy} = (\text{TP} + \text{TN}) / (\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN})$$

全サンプル数に対して正しく分類された割合を示し、システム全体の分類性能を表す指標である。ただし、クラス数が多い場合やクラス分布に偏りがある場合には、Accuracy のみでは性能を十分に評価

できない場合がある。

Precision (適合率) は、次式で表される。

$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP})$$

あるクラスと判定されたサンプルのうち、実際にそのクラスに属していた割合を示す指標であり、誤検出 (FP) の抑制性能を評価するのに有効である。

Recall (再現率) は、実際にそのクラスに属するサンプルのうち、正しく検出できた割合を示し、見逃し (FN) の少なさを評価する指標である。

$$\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN})$$

F1_score は、次式で表される。

$$\text{F1_score} = (2 \cdot \text{Recall} \cdot \text{Precision}) / (\text{Recall} + \text{Precision})$$

Precision と Recall の調和平均であり、誤検出と見逃しの両方を考慮したバランスの取れた評価指標である。本研究のように、多数のジェスチャパターンを扱う多クラス分類問題では、単一の指標だけでなく、混同行列と複数の評価指標を併用することで、分類器の特性や誤分類傾向をより詳細に把握することが可能となる。実際に、類似した動作方向や速度の異なるジェスチャ間では誤分類が生じやすく、これらは混同行列上で隣接クラスへの誤判定として確認された。この結果は、単純なテンプレート照合手法では捉えきれない非線形性や時間的歪みが存在することを示唆している。

4. 実験結果

センサユニットの出力と動作パターンを組み合わせた15,308 (学生4名分) のデータセットを学習用10,715、テスト用4,593に分割し、各機械学習モデルに学習させた。各学習済み分類モデルの有効性を確認するため、学習用データの作成に関わっていない学生8名 (各学生10回/パターン) のパターンの分類を行った。被験者には、センサ上方で各パターンに定義された方向および速度の動作を行ってもらい、その際のセンサ出力を記録した。

取得したデータに対して機械学習モデルを適用した結果、複数の動作パターンを安定して識別できることを確認した (表1)。特に、単一方向の動作だけでなく、斜め方向や速度差を含む動作についても、センサ出力の時系列的な違いを捉えることで識別が可能であることが示された。

表1 各モデルによる分類結果

モデル	評価指標			
	accuracy	precision	recall	F1_score
LR	0.8184	0.8183	0.8204	0.8177
KNN	0.9323	0.9284	0.9231	0.9317
SVC	0.9645	0.9649	0.9648	0.9647
RF	0.9251	0.9258	0.9252	0.9254

一方で、識別誤りが生じるケースも確認された。誤判定の多くは、動作方向が近接している場合や、動作速度の違いが曖昧な場合に集中しており、これはセンサ出力波形が類似した形状を示すことに起因すると考えられる。この結果は、容量型近接センサが人の動作の微妙な違いを敏感に反映する一方で、動作定義や実行方法のばらつきが結果に影響を与えることを示唆している。

これらの結果から、本方式は非接触での動作入力技術として十分な可能性を有している一方で、実用化に向けては動作定義の整理や学習データの充実が重要であることが明らかとなった。

5. おわりに

本稿では、3電極構成の3次元容量型近接センサユニットを用いた非接触動作入力技術について、その構造、出力特性、および機械学習を用いた動作識別の考え方を紹介した。容量型近接センサは、簡素な構成で人体の接近や移動を検出できる点に特徴があり、複数電極を用いることで方向性を持った情報を取得できる。

近年非接触インターフェースへの社会的要請が顕在化した背景のもと、単なる物理量検出に留まらない入力手段としてセンサを活用することが求められている。本研究で示したように、複数チャンネルの時系列信号を機械学習により処理することで、従来手法では対応が難しかった複雑な動作パターンに対しても柔軟な識別が可能となる。すなわち、機械学習技術を導入することで、センサは単なる検出素子から、人の意図を入力として扱える入力デバイスへと機能を拡張できる。

本方式は、センサ構成が簡素であるため、装置への組み込みや拡張が比較的容易であり、産業用途における非接触操作インターフェースへの応用が期待される。今後は、動作定義の最適化や学習データの拡充を通じて識別性能および汎化性能のさらなる向上を図るとともに、実際の使用環境を想定した評価を進めていく予定である。

参考文献

- 1) M. Deguchi: A simple method for detecting very small changes in capacitance or inductance, *Microelectronics Journal*, vol. 101, p. 104802, 2020.
- 2) M. Deguchi: Expansion of detectable area by floating electrodes in capacitive three-dimensional proximity sensor, *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, vol. 14, pp. 1-11, 2021.
- 3) M. Deguchi, T. Kashiwao, M. Hiro, and K. Hayashi: 3D proximity sensing frame for non-contact operation panel, in *proceedings of the 8th IEEJ international workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON2022)*, vol. 14. Saitama University, Japan: The Institute of Electrical Engineers of Japan, 2022, pp. 252-256.
- 4) M. Hiro, K. Hayashi, T. Kashiwao, and M. Deguchi: Machine-learning based prediction of two-dimensional position coordinates for a proximity sensor, in *proceedings of 8th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON2022)*, vol. SS4-1, 2022, pp. 257-260.
- 5) T. Kashiwao, M. Hiro, K. Hayashi, and M. Deguchi: Machine-learning- based prediction of the three-dimensional (3d) position coordinates of 3D proximity sensing frames, *IEEJ Journal of Industry Applications*, vol. 12, no. 4, pp. 800-807, 2023.
- 6) K. Hayashi, T. Kashiwao, M. Hiro, and M. Deguchi: Hand motion classification in the 3D proximity sensors unit using machine learning, in *Proceedings of 9th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON2023)*, vol. TT7-1, 2023, pp. 579-582.
- 7) T. Kashiwao, K. Hayashi, M. Hiro, R. Ogino, and M. Deguchi: Machine learning-driven classification of hand motion for the 3D-proximity-sensors unit, *IEEJ Journal of Industry Applications*, vol. 13, no. 2, pp. 165-170, 2024.
- 8) R. Ogino, T. Kashiwao, K. Hayashi, Y. Yamamoto, K. Higeshiro, and M. Deguchi: Hand-motion classification based on machine learning for the 3D-proximity-sensors unit, in *Proceedings of SICE Festival with Annual Conference 2024*, 2024, pp. 438-441.
- 9) K. Higeshiro, R. Ogino, Q. Li, M. Deguchi, and T. Kashiwao: Hand-motion classification based on machine learning in three-dimensional capacitive proximity sensors, in *Proceedings of 11th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON2025)*, 2025, pp. 7-10.

AIによる制御設計の原理研究

芝原 杏奈

1 はじめに

昨今、ヒューマノイドロボットの制御や自動車の自動運転などに見られるように、世間ではAI(Artificial Intelligence)^{注1)}を用いた制御が急速に普及している。AIブームのスタート直後である約10年前、AIによる制御に関するPoC(Proof of Concept)の結果が様々な会社や団体から発表されたが、当時はシンプルで単機能のものがほとんどであった。例えば、ロボットアームによる多様な物体の把持などがあり、それらの多くはそれ以前の技術では難易度が高いが、その機能単体では製品やサービスとして成立し難いタスクであった。

その後、AIによる制御は高度化、複雑化が進み、現在では既に製品化やサービス化も始まっている。以前は実現困難であった様々な処理が現実的になりつつあり、例えば、産業用ロボットに対して少ない手間で作業内容を学習させて現場に投入することや、自動車の自動運転において、人間による制御設計の

みでは網羅が困難な多様なエッジケースに対する処理能力を高めることなどが可能になってきている。このように、近年目覚ましい速度で発展しているAIによる制御設計の技術をカヤバも獲得・応用し、制御開発の高度化や効率化につなげる必要があると考える。

そこで本研究ではAIによる制御設計の技術獲得のため、当社製品のひとつである四輪車向けセミアクティブサスペンション(以下セミアク)を対象とした原理研究を実施した。本報はその取り組み内容について紹介する。

注1) ここではAI=機械学習として説明する。

2 本研究の実施内容

本研究の実施内容の概要を図1に示す。AIとの比較対象となる手法にはスカイフック制御を用いた。よって、これ以降は既存のセミアク制御をスカイフック制御として説明する。セミアクで発生させる

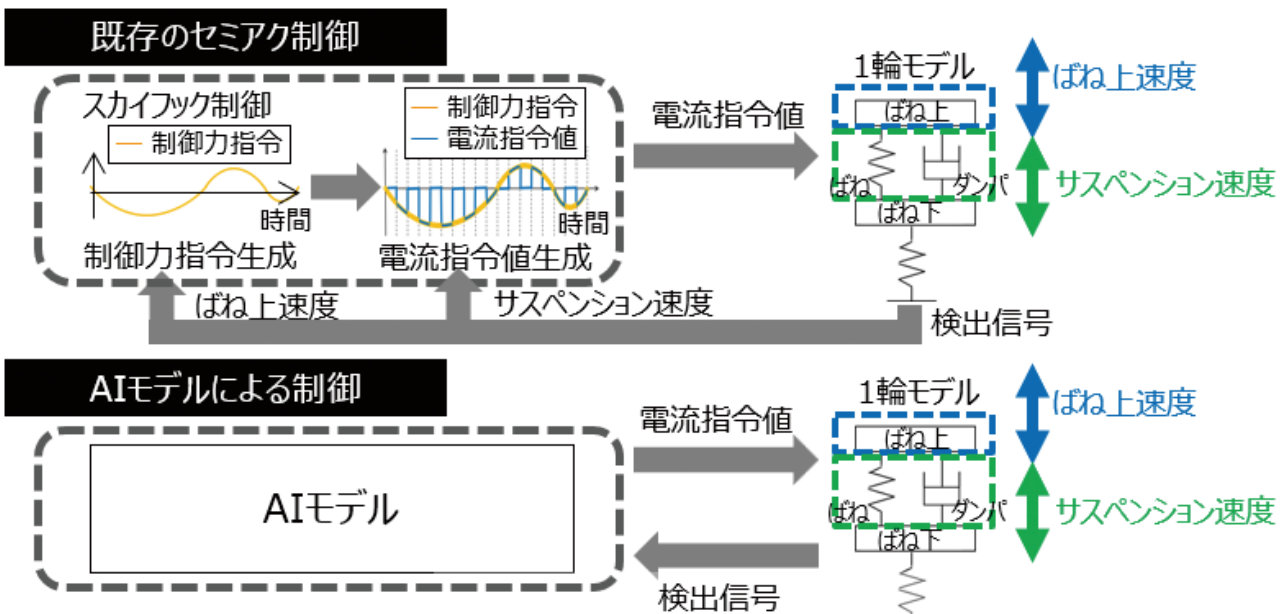


図1 本研究の実施内容

ことができる力はダンパの伸縮に対する抵抗力（減衰力）のみである。そのため、ばね上を制振する方向に力を出すことができないタイミングが存在し、そのようなタイミングにおいては最小の減衰力に制御することが望ましい。このように、セミアク制御は非線形な制御であるため、制御開発の難易度が高く、AIを導入するメリットを享受し易いと考えられる。更に、難易度の高い制御設計をAIで実現できるということは、それ以外の制御設計もAIで実現できる可能性が高いと見込まれる。

本研究ではAIによる制御設計の実現可能性を、スカイフック制御と同程度かそれ以上の性能をAIによる制御設計（AIモデル）で得られるかという観点で評価した。今回の取り組み内容は全てシミュレーション上で実施し、制御を行う対象は1輪モデル、制御が1輪モデルに与える制御値はセミアクのダンパに与える電流指令値とした。電流指令値とは、セミアクのダンパの減衰力を決定する電流の値である。

スカイフック制御の検出信号にはサスペンション速度とばね上速度を用いる。ばね上速度を用いて制御力指令を生成し、制御力指令とサスペンション速度から電流指令値を生成する。その電流指令値によって制御対象である1輪モデルを制御する。

これに対し、AIモデルによる制御は、スカイフック制御の点線で囲った範囲をAIモデルが担うものとなる。つまり、AIモデルは制御対象（1輪モデル）から検出信号を受け取り、電流指令値を返す。このAIモデルによる制御の性能を既存のセミアク制御と比較することによって評価する。

わる手法である。

このような手法に該当する代表的なAI手法群としては教師あり学習が挙げられる。教師あり学習においては、学習用データセットによって学習を行うことにより、AIモデルへの入力データに対応するべき値を出力することができる。教師あり学習に必要な教師データを用意するには多くの場合、人手を介する必要がある。そのようなデータセットによって学習したAIモデルは、基本的には人手で設計した制御と類似した制御設計となり高性能化は困難である。更に、必要な作業プロセスの観点を考えると、人手での制御設計に加えてデータセット作成とAIモデルの学習の分だけ実施すべきプロセスが増えてしまう。このように、人手での制御設計を学習に用いると、AIを用いるメリットが見出しづらい可能性がある。そこで、本研究ではAIモデルの学習に人手による制御設計が関わらないAI手法として、強化学習に分類される手法を用いることとした。

強化学習の基本的な考え方は、試行錯誤を繰り返すことにより経験を蓄積し、その経験から最適な行動の方策（今回で言えば制御に相当する）を獲得するというものである。強化学習の大まかな仕組みを図2に示す。

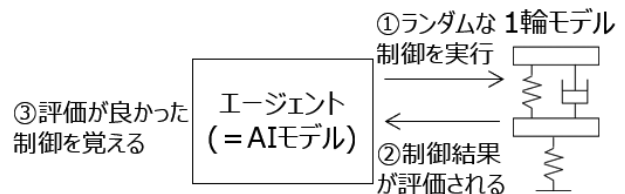


図2 強化学習の仕組み

3 AI手法

3.1 強化学習

AIには様々な手法が存在し、手法によって前提となる問題設定や用途が異なる。この問題設定に対応する手法群を学習のパラダイムと考えると、AI手法は3種類の学習パラダイムに大別することができる。3種類はそれぞれ、教師あり学習、教師なし学習、強化学習と呼ばれる。各学習パラダイムに属する手法群には制御を学習することが可能な手法も複数含まれており、2章にて示したAIモデルを実現するためのAI手法には、学習によって制御を獲得することが可能な手法を用いる必要がある。しかし、制御の獲得が可能であればどのようなAI手法であっても良いわけではなく、実用化を見据えると使用するAI手法には向き不向きが存在すると考えられる。不向きな手法とは例えば、AIモデルの学習に用いる何らかの要素に人手による制御設計が関

今回対象とするセミアク制御という問題設定に対応する強化学習用語は次のようになる：

- (1)制御 = 方策
- (2)制御結果の出力（今回の場合は電流指令値） = 行動
- (3)制御対象（プラント、今回の場合は1輪モデル） = 環境
- (4)環境を観測して得られる検出信号（今回の場合は1輪モデルのシミュレーション結果から得られるばね上速度とサスペンション速度） = 状態

ここからは強化学習の仕組みについて説明する。強化学習において行動を実行する主体となるものをエージェントという。学習の流れとしては、はじめにエージェントがランダムな方策による行動を実行し、次にその行動を環境に適用した結果として得られる状態を評価する。この評価結果を報酬という。エージェントは可能な限り報酬が多く得られる方策

を覚える。覚えた良い方策とランダムな方策を織り交ぜながら学習を続けることで、方策が洗練されていく。良い方策とランダムな方策はそれぞれ探索と利用と呼ばれる。探索とは試行錯誤を実現するための動作であり、一方の利用はその時のエージェントにできる最も良い制御を行うための動作である。この探索と利用は同時に実行することはできずトレードオフの関係にあるため、これら2つをバランス良く実行しながらより良い方策を獲得する。

この強化学習の仕組みを実装するために必要な学習プログラムの概念図を図3に示す。学習プログラムとして設計すべき事項は3つ存在する。1つ目はエージェントの行動結果を評価する部分であり、報酬関数と呼ばれる。この報酬関数の設計によってどのような制御が学習されるかが決まる。2つ目はエージェントへの入力であり、特徴量抽出（入力信号の種類を選定と、エージェントが学習しやすいように信号を加工する）を設計する必要がある。3つ目はエージェントである。今回は強化学習手法の中でも方策の表現にニューラルネットワークを使用する手法である深層強化学習を利用した。ニューラルネットワークの構成によって学習の進み易さや性能の限界が決まるため、これを決定する必要がある。

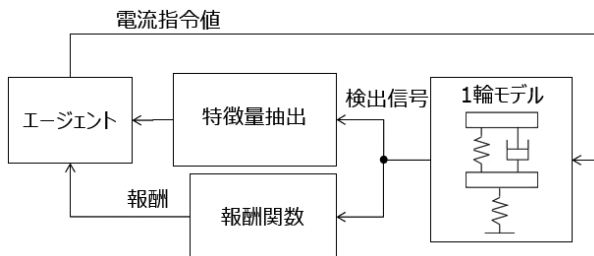


図3 強化学習の学習プログラムの概念図

3.2 開発環境

本研究を実施するに当たり、実装が必要となる要素は1輪モデルのシミュレーションと強化学習である。これらは全て制御モデルの構築に用いられることの多いソフトウェアであるMATLAB[®]とSimulink[®]によって実装した^{注2)}。

注2) MATLAB[®], Simulink[®]はMathWorks社の登録商標である。

3.3 使用した学習アルゴリズム

学習アルゴリズムには深層強化学習の一種であるPPO¹⁾ (Proximal Policy Optimization) を使用した。PPOとは2017年にOpenAIが発表した、学習の安定性と効率性を両立させるために設計されたアルゴリズムである。

PPOはActor-Critic法という手法に基づいている。

これは行動を実行するためのモデル（ここではニューラルネットワーク）であるActorと、行動の価値（ある状態においてその時の方策で行動した場合の累積報酬の期待値）を評価しActorに提供するモデルであるCriticの2つのモデルを用いる手法である。そのため、アルゴリズムにPPOを用いる場合にはエージェントは2つのニューラルネットワークを持つ。

今回、行動空間（取り得る行動の集合を定義するための数学的構造としての空間）は連続とし、Actorの方策はガウス分布に従うとした。

3.4 学習プログラムの設計

3.1節にて説明した3つに関して様々な設計を試した結果、次のようになった。

3.4.1 報酬関数

報酬関数は直近の固定区間長のばね上加速度値群の最大値が小さくなれば高い報酬となるような関数とした。

3.4.2 特徴量抽出

エージェントへの入力となる特徴量にはばね上速度とサスペンション速度を使用する。これら2つの値のスケール調整を行い、更にそれらの過去の値を追加してエージェントに入力することとした。

3.4.3 エージェント

エージェントのネットワーク構成はActorとCriticどちらも同じ構成とし、中間層3層（要素数は128, 64, 32）とした。

4 学習の実施と性能評価

4.1 学習の進捗結果

学習時の収益（1エピソード^{注3)}の報酬の合計）の推移は図4のようになった。このグラフより、収益は安定的に向上した後、収束に近い状態となったことが分かる。よって、学習は安定的に進捗したと言える。

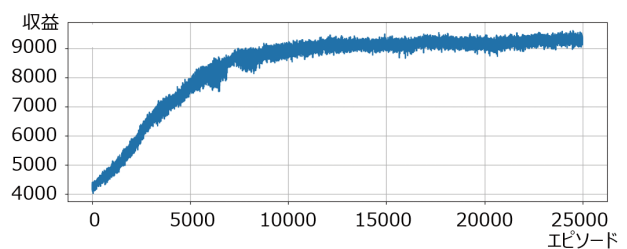


図4 学習時の収益の推移

注3) エピソード：強化学習において学習の反復数を表す単位。

4.2 評価方法

4.1節にて示した進捗を経た際の学習によって学習済みAIモデル（3.1節で説明したエージェントに相当）が得られた。本研究においては、この学習済みAIモデルによって推論^{注4)}した結果、得られるデータ（ばね上速度値群）を用いてAIモデルの性能を評価する。本研究におけるAIモデルの評価方法を図5に示す。本研究では、特定の周波数帯域における振動の大きさの総和を表す値であるPOA (Partial Over All) を用いて性能評価を実施した。評価の実施手順としては、まずシミュレーション上で評価用路面を走行しつつ、学習済みのAIモデルで推論する。その結果として得られるばね上速度値群から周波数ごとの振動の大きさであるPSDを求める。また、AIモデルと性能比較するために、スカイフック制御と電流指令値固定（制御を行わない）の条件で同様にシミュレーションを実施し、その結果に対してもPSDを求める。このようにして得られたPSDから低周波領域、中周波領域それぞれのPOAを求める。得られたPOAを低周波と中周波の2軸でプロットして性能比較する。図5の右側に記載しているPOAプロット図において、赤色で示した領域が電流指令値固定のPOA、青色で示した領域がスカイフック制御のPOAである。電流指令値固定はソフト減衰力、ハード減衰力、ソフト減衰力とハード減衰力の中間の3点をプロットしており、スカイフック制御はスカイフック制御ゲインを変化させて12点（ゲイン-3000, -5000, -10000, -20000, ……,-100000）プロットしている。POAプロット図の左下になるほど高性能となるため、AIモデルは評価結果のPOAが可能な限り左下に位置するように学習プログラムを設計している。

注4) 推論：ここでは、方策更新・探索を行わずにセミアクを制御すること。

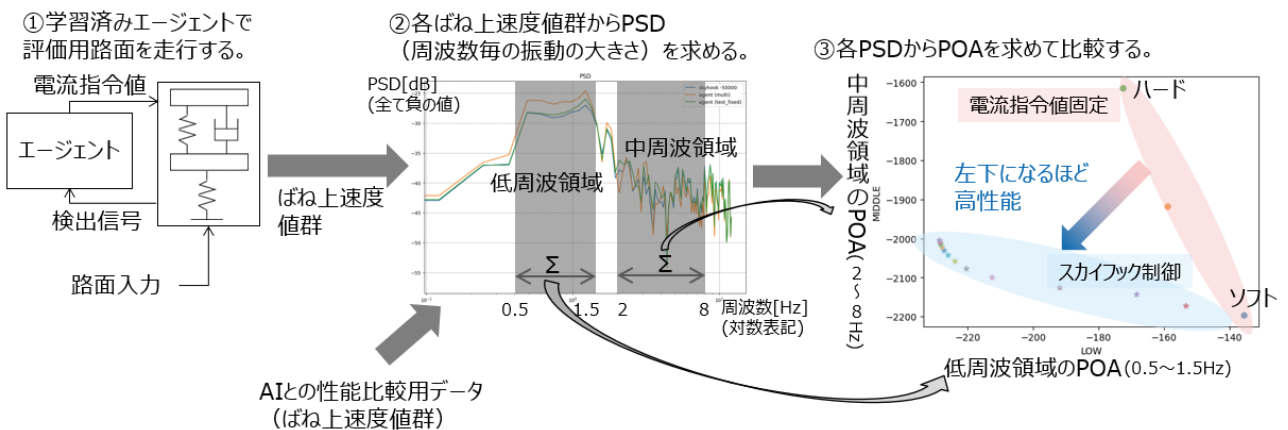


図5 AIモデルの評価方法

4.3 評価結果

AIモデル、スカイフック制御、電流指令値固定のばね上速度のPOAを図6、AIモデルと最もPOAが近かったスカイフック制御（ゲイン-30000）とAIモデルの電流指令値の推移を1秒分抜粋したものを図7に示す。AIモデルのPOAは比較対象であるスカイフック制御のPOA値群の内、ゲイン-30000の場合のPOAとほぼ同等となっていることがわかる。また、AIモデルが出力した電流指令値はスカイフック制御に近い推移を取るといった結果となった。この結果より、AIモデルは制御性能、電流指令値の推移ともにスカイフック制御に類似した制御挙動を示したと言える。すなわち、AIによる制御設計は既存のセミアク制御と比較して十分な性能の制御を実現可能な見通しが立ったと考える。

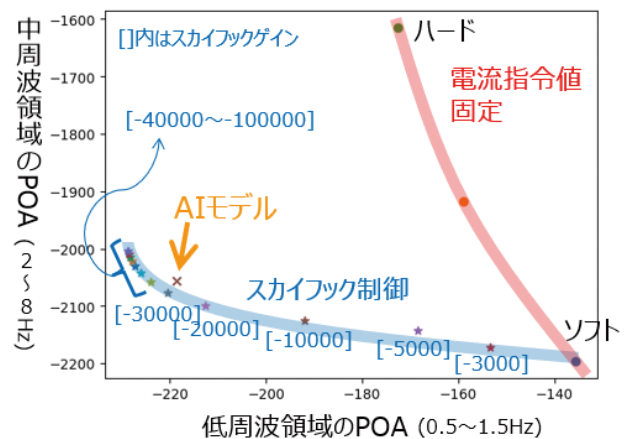


図6 AIモデル、スカイフック制御、電流指令値固定のばね上速度のPOA

なお、今回の取り組みにおいては1種類の路面のみを使用しているため過学習となっている懸念があるが、その点に関しては今後の取り組みにて制御の

電流指令値

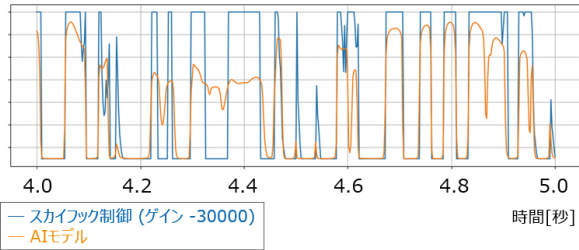


図7 スカイフック制御とAIモデルの電流指令値推移

適用対象に応じた多様なシーンへの対応を行う予定である。

5 おわりに

セミアク制御設計を対象として、AIによる制御設計の原理研究を行った。その結果、比較対象であるスカイフック制御とほぼ同等の性能かつ、スカイフック制御と類似した電流指令値を出力するAIモデルが得られた。この結果より、AIによる制御設計の基本的な技術獲得ができたと考えられる。

今回の取り組みは限定的な範囲のものであったが、今後はより実用的な取り組みに移行し、実際の制御設計への本技術の活用を目指す所存である。

参考文献

- 1) 論文投稿サイトarXivのPPOに関する文献掲載ページ
<https://arxiv.org/abs/1707.06347>

著者



芝原 杏奈

2015年入社。技術本部基盤技術研究所運動制御研究室。AIによる制御の研究開発に従事。

スマート道路モニタリング[®]の事業化に向けた改良

長谷部 敦 俊

1 はじめに

我が国の道路インフラは広範であり、継続的な維持管理における労働力不足と費用制約が顕在化している。これらに対処するためには人力中心のアナログ管理からシステムによるデジタル管理（DX化）が必要である。そこでカヤバは、コア技術である振動解析の技術を応用して、自治体、もしくは道路維持管理業務事業者のパトロール車両に各種センサと記録用ロガーを搭載し、走行時の車両挙動データから路面性状を診断して業務を効率化するスマート道路モニタリング[®]を開発してきた¹⁾。研究開発用途として製作した初期システム（以下Version1）では、2019年以降の試験運用を通じて、データ収集、転送、診断の3つのサブシステムを構築しサービスの有効性を確認した。本報では、事業化を見据えた改良版システム（以下Version2）における改良点を示し、計測システム、診断システム、および新規開発した診断結果提供用のWEBアプリケーションについて報告する。また、ブランド認知のために様々なプロモーション活動を実施してきたので、その成果もあわせて報告する。

バのストローク量など多様な値の計測が可能であった一方で、センサ台数が多く設置・保守工数が高い、電源取り出しが車両仕様に依存するなど、事業化の観点で改善余地があった。Version2では、路面性状評価指標の診断結果に対する寄与度から必要センサの取捨選択を行い、取得センサを左右前輪ばね下^{注1)}加速度とばね上^{注2)}のIMUセンサ^{注3)}に限定することで、サイズとコストの低減を行った。ばね下加速度センサについては無線化・モジュール化設計と通信・電源の標準化により、保守性と拡張性を向上させた。写真1にロガーの外観を、図1に基板の概要を、表1に仕様を、図2にVersion1とVersion2のロガー比較を示す。



写真1 Version2ロガー外観図

2 計測システム (Version2)

Version1における計測システムは基礎技術を確立するための研究開発用途として制作し、詳細な情報を計測するために、社内で一般的に行われている実車計測時のシステム構成を参考に設計を行った。これに対しVersion2の開発では、ユーザ環境における実運用を想定してセンサの合理化による数量低減や加速度センサの無線化による配線コスト低減、車載ロガーの小型化により、設置容易性とメンテナンス性の向上を図った。

2.1 Version2ロガー

Version1のロガーは、多チャンネルセンサ接続を可能としており、加速度だけでなくショックアブソー

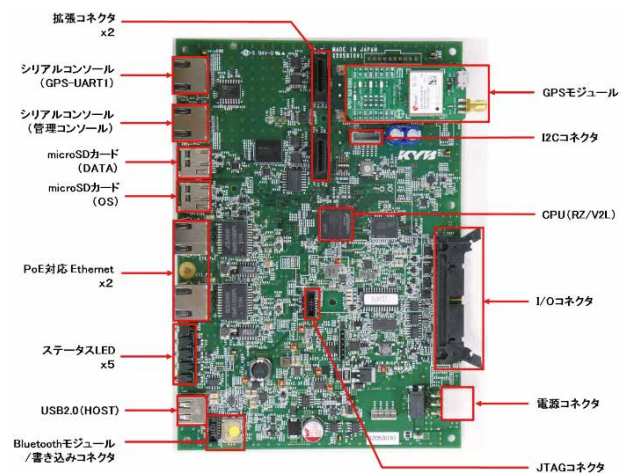


図1 Version2ロガー基板概要図



図2 ロガー構成比較図

表1 Version2ロガー基板仕様

項目	仕様項目	仕様
CPU	型名	RZ/V2L
	クロック	1.2GHz (Max)
	メモリ	4GB
I/F	Ethernet	PoE対応×2ch
	USB2.0	Host×1ch
	SD	microSD×2
	GPS	ZED-F 9 P-04B
	ODB2	ELM327
	シリアル	RJ-45×2
LED	Battery	緑×1
	KeyOn	緑×1
	Logging	緑×1
	WiFi Link	緑×1
	ERROR	赤×1
電源	電圧	+12V
	消費電流	0.5A
動作温度		-40℃～85℃
外形サイズ		200mm×140mm t=1.6mm

また、Version2ではVersion1と比較してセンサ数を低減したが、詳細な計測サービスへの応用や社内における実車計測への適用を見据えて事業化用の最小構成に対して拡張可能な構成とし、Version1と同等の機能を維持できるようにした(図3)。

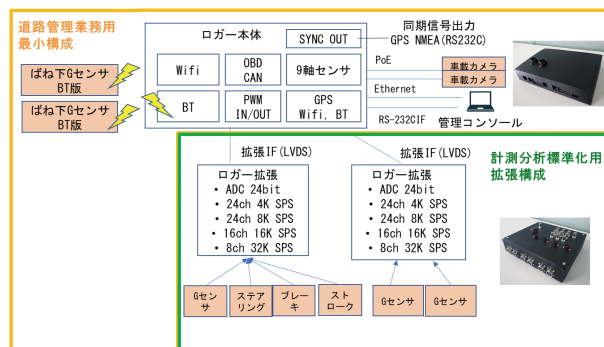


図3 Version2ロガー用差別構成図

- 注1) サスペンションの Springs やショックアブソーバより下側にある、路面に近い部分
- 注2) サスペンションの Springs やショックアブソーバより上側にある、車体に近い部分
- 注3) Inertial Measurement Unit: 慣性計測ユニット

2.2 Bluetooth加速度センサ

Version1でのばね下加速度センサは市販のアナログセンサを採用しており、車両ロアアーム部から車室内に設置したロガーまで有線で接続していた。そのため設置時の配線難易度が高く、車両依存性も高いためVersion2においては無線化を行うこととした。しかしながら、Version1の加速度センサと同等の性能を有しつつ、無線接続可能な市販の加速度センサは存在しなかったため、独自で新規開発を行うこととした。写真2に開発したBluetooth加速度センサの外観を表2に仕様を示す。通信方式はBLE (Bluetooth Low Energy) を採用し、基板を樹脂モールドングすることで防水対応を行った。



写真2 Bluetooth加速度センサ外観図

表2 Bluetooth加速度センサ仕様

項目	仕様	
1	入力電圧	DC4.5~8V
2	サンプリング周波数	2k/1k/500/250Hz (SW選択)
3	計測レンジ	±10/20/40G (SW選択)
4	分解能	16bit
5	接続方式	Bluetooth通信
6	使用温度	-40~85℃
7	保護等級	IP67

また、センサの取り付け位置に関しても従来のロアアーム部では取り付けのために専用取付具の設計が必要であり、かつ車両によって取付具の形状変更が必要、またはそもそも取り付けられるスペースがない車両もあるなど課題が多かった。そのため取り付け位置をショックアブソーバ円筒部へと変更し、金属バンドによる固定方法により、車両依存性を低減させた。写真3に新方式の固定方法を示す。



写真3 Bluetooth加速度センサ取付図

2.3 電源BOX

ばね下加速度センサの無線化に伴い、センサとロガーを接続する配線が廃止されたため、新たに車室外にてセンサへの電源供給を確保する必要が生じた。そこで電源BOXを新規開発し、車両仕様差を吸収するため独立モジュール化した。写真4に開発した電源BOXの外観を、表3に仕様を示す。



写真4 電源BOX外観図

表3 電源BOX仕様

項目	仕様	
1	入力電圧	DC6~16V
2	出力電圧	5±0.5V × 2回路
3	出力電流	200mA × 2回路
4	使用温度	-30~120℃
5	保存温度	-40~120℃
6	保護等級	IP67

加速度センサの無線化に伴い、センサとロガーの電源が分離されたため、エンジンON/OFFによる電源の供給開始/停止が連動されないという課題が新たに生じた。加速度センサの暗電流は車のバッテリーから見たら僅かではあるが、取り付けしている車両へのダメージを最小化すべく、エンジンON/OFFに連動した電源供給機能の開発に取り組んだ。この機能は車両のバッテリー電圧がエンジンON/OFF時にオルタネータの影響で変動することに着目し、電圧変動と経過時間に基づいてセンサへの電源供給を制御するものである(図4)。

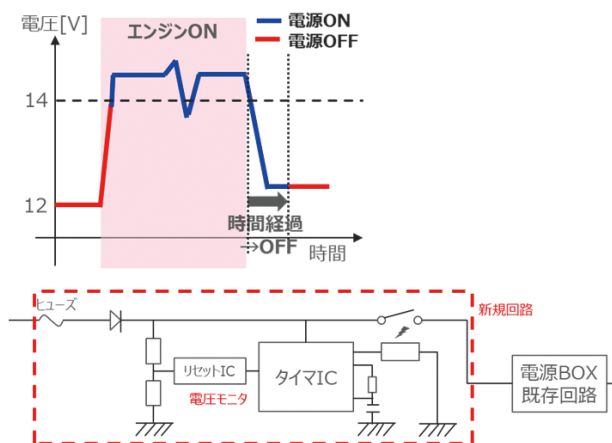


図4 センサ供給電源制御機能の概要図

2.4 外付けIMUセンサ

スマート道路モニタリング®では主にばね上とばね下の振動から路面の性状推定を行う。Version1ではサスペンション上部に取り付けた加速度センサ及びロガー本体に内蔵されたIMUセンサにてばね上振動を計測していた。この方式ではロガー本体を車体に強固に固定する必要がある。Version1を導入した益田市の車両は幸いにもSUV (Sport Utility Vehicle) タイプであり搭載スペースや固定部分に余裕があったため、問題なく固定が可能であった。しかし、追加導入した自治体の車両は軽自動車であることが多く、これらの車両では余剰スペースや締結可能な露出部品に乏しいため、ロガー本体を強固に固定することが困難であることが判明した。Version2では、ばね上振動計測をロガー内蔵のIMUセンサのみに限定したため、IMUセンサのデータが正しく計測できる必要がある。これに対応するためにIMUセンサを外付けにし、ロガー本体とケーブルで接続する方式に設計変更を行った。図5に変更したIMUセンサの概要を示す。このIMUセンサのみを車体に固定することで、ばね上の振動を正確に計測できることに加えて、ロガー本体を強固に固定する必要がなくなったため、設置位置の自由度が高まった。

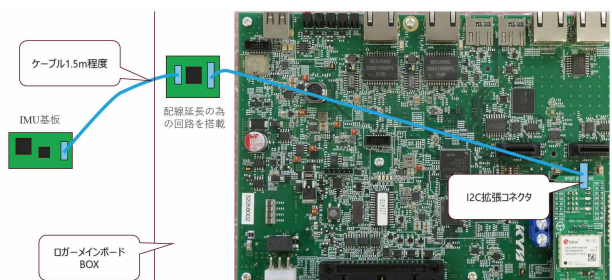


図5 IMUセンサ概要図

3 診断システムの改良

Version1の診断システムは益田市データのみを処理していたため、構築や維持管理の手軽さからオンプレミスサーバ上で動作していた。しかし、実サービスを考えると、ユーザ数の増加に伴う処理負荷の増加やユーザ毎のパラメータ管理、データの管理など柔軟なシステム構築が必要となる。そこでVersion2では検証自治体数を増やし、診断処理のクラウド化によってスケーラビリティを確保するとともに、機能分割によるマイクロサービス化を行うことより、メンテナンス性を向上させた。

3.1 クラウドへの移行

前処理、特徴量抽出、モデル推定、データベース登録からなる診断機能の各ステージをクラウド上のマイクロサービスとして分離し、個別でアップデートが行えるようにした。図6にクラウド診断システムの概要を示す。

プラットフォームにはカヤバのIoTプラットフォームや油状態診断システムで実績のあるAWS (Amazon Web Service) を採用し、診断処理の各ステップの実装にはコンテナ技術であるdockerを用いてステップ毎の環境管理を容易にした。

3.2 路面性状診断処理

路面性状診断処理 (図6の処理実行マシン部) は大きく分けて4つのステップで構成され、それぞれが独立したコンテナとして実行される。

3.2.1 センサ処理

ロガーで計測されるセンサ情報はあらかじめ設定したフォーマットでバイナリデータ (「0」と「1」の2進数で表現されるデジタルデータ) としてファイルに記録され、クラウドストレージへアップロードされる。その後診断処理にかけられるが、データの加工を容易にするため、バイナリデータを一旦テキスト形式のcsvファイルに変換した上で、その後の処理を実施する。テキスト形式に変換されたデータはその後、路面性状評価指標のIRI (International Roughness Index: 国際ラフネス指数) を算出するための路面プロファイル (凹凸情報) とわだち掘れ量 (道路の車輪が通る部分が沈み込む深さ) を算出するための特徴量に加工され、結果ファイルとして出力される。

3.2.2 推論処理

このステップではセンサ処理にて算出された路面プロファイルと特徴量を基にIRIとわだち掘れ量の算出を行う。IRIは定義式に対して路面プロファイルを入力として算出を行い、わだち掘れ量は事前に学習した推論モデルを用いて値の推定を行う。

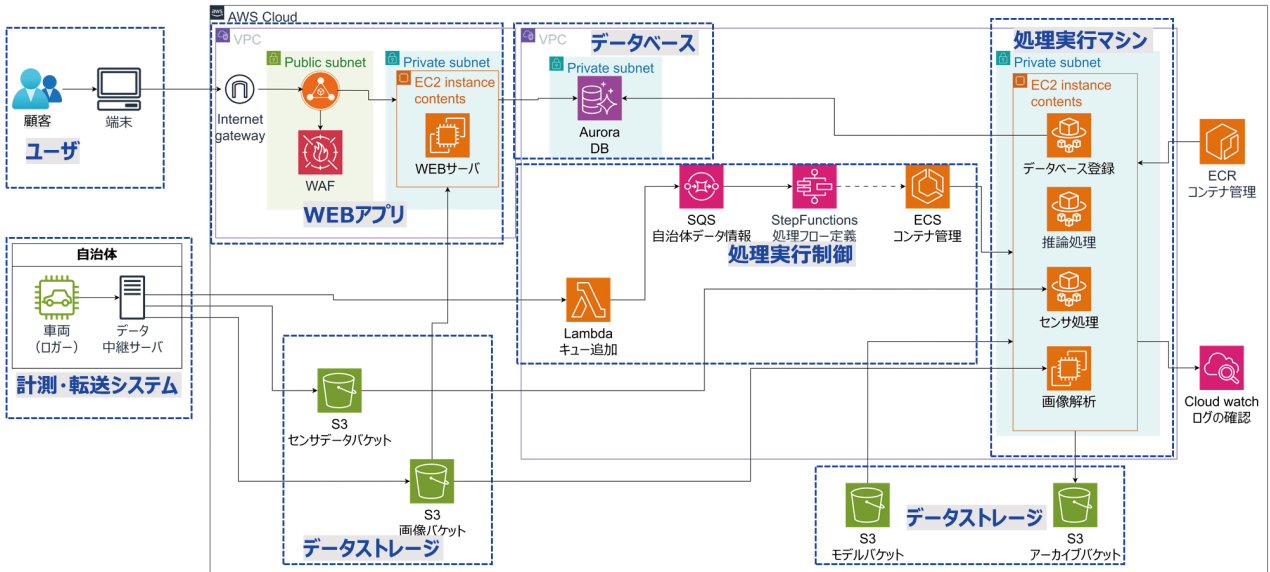


図6 クラウド診断システム概要図

3.2.3 画像解析処理

このステップではロガーに搭載された記録用カメラの画像から路面性状評価指標のひび割れ率（同路面の任意調査区間においてひび割れが占める割合）の算出を行うとともに、道路支障物として植生（樹木・雑草）の繁茂状態判定を行う。ひび割れ率の算出は事前に学習した深層学習モデルを用いてひび割れ部を検出し、鳥瞰変換を行って「舗装調査・試験法便覧」で定義されたメッシュに基づく方法にて算出を行う。植生の繁茂状態については深層学習モデルを用いて植生部と道路部を検出した後に相対位置関係から道路部への植生の侵食を判定するアルゴリズムを新規開発して判定を行っている。

3.2.4 データベース登録処理

このステップでは推論処理結果および画像解析処理結果を統合し、自治体の管理道路台帳と突き合わせた上でクラウド上のデータベースへ登録する処理を実施する。

を用意しており、一つが地図上への表示である。算出された診断結果はGPS座標が紐づいており、あらかじめデータベースに登録した道路管理台帳の路線データと突き合わせ、路線の結果として表示を行う。地図への結果表示例を図7に示す。路線データは管理のため100m毎にメートルポストとして区切り登録しているが、より細かい管理のために変更することも可能である。診断結果の地図表示には使用者のニーズに合わせた地図を制作することができるSaaS（Software as a Service）型地図開発プラットフォーム「Mapbox」を採用した。

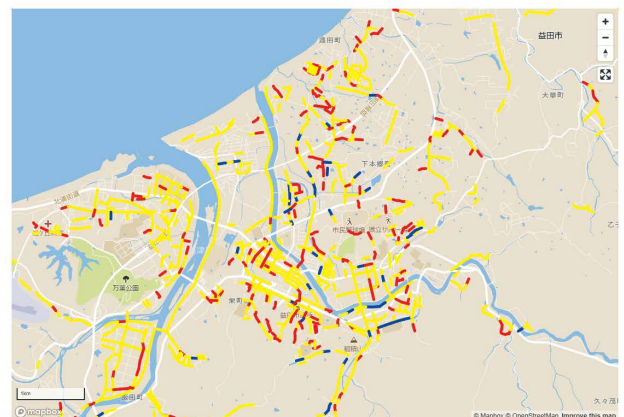


図7 診断結果地図表示例

4 WEBアプリケーションの開発

Version1では診断結果を可視化するために市販の地図ソフトを活用するなどしていたが、表示するデータの範囲や条件を柔軟に変更できないという問題点があった。またユーザが可視化のための地図ソフトを導入している必要があるためユーザビリティの観点でも問題があった。そのためVersion2では、診断結果を提供するためのWEBアプリケーションを開発し、ユーザへ提供することとした。

4.1 診断結果地図表示

路面性状評価指標の診断結果は2通りの表示形式

4.2 詳細結果ポップアップ表示

地図表示機能ではメートルポスト毎のレベル判定結果が三段階の色分け（青：損傷レベル小，黄：損傷レベル中，赤：損傷レベル大）で表示されるのみであるが、各指標の具体的な値や結果に紐づいた画像を確認したい場合には任意のメートルポストをク

リックすることで指標の統計量（最悪値，最良値，平均値，中央値）をポップアップ形式で確認することや結果に紐づいた画像を一覧で確認することができる。図8に詳細結果表示例を示す。

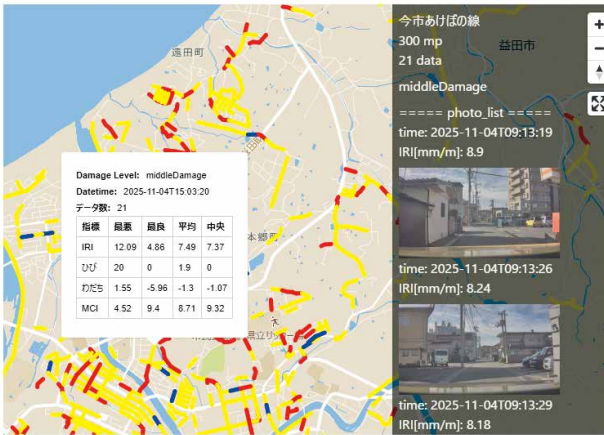


図8 詳細結果ポップアップ表示

4.3 診断結果リスト表示

診断結果のもう一つの表示形式としてリスト形式を用意した。これはメートルポスト単位の結果を表形式で表示し、計測日や診断結果の損傷度に応じて並べ替えができるようになっている。表示内容は地図表示と同じく指標の統計量（最悪値，最良値，平均値，中央値）を確認できるようにした。また結果はcsvに出力することができるので、各種帳票や補修計画策定へ活用を容易にしている。表4にリスト表示結果の例を示す。

表4 診断結果リスト表示例

路線名△	管理番号△	メートルポスト	指標	最悪値△	最良値△	平均値	中央値△	最新計測日△	損傷度(最悪値)
あけぼの有明線	2-260	0	IRI	15.85	3.32	7.52	3.38	2025/10/15	高
あけぼの有明線	2-260	100	IRI	5.92	3.39	4.37	4.0	2025/10/15	中
あけぼの有明線	2-260	200	IRI	5.36	2.84	4.35	4.43	2025/10/15	中
あけぼの有明線	2-260	300	IRI	15.65	7.85	11.93	11.82	2025/10/15	高
あけぼの有明線	2-260	400	IRI	16.08	3.97	12.24	12.96	2025/10/15	高
えびす丘団地線	2-212	0	IRI	15.85	3.31	12.07	12.3	2025/10/31	高
スクモ塚線	2-236	100	IRI	15.85	8.61	10.88	9.59	2025/10/31	高
スクモ塚線	2-236	200	IRI	15.85	8.41	14.24	15.85	2025/10/31	高
万福寺門前線	1-63	0	IRI	15.85	8.41	11.35	9.74	2025/10/30	高
三宅板倉線	1-66	0	IRI	15.85	4.03	7.8	5.49	2025/10/30	高

4.4 道路台帳表示

データベースに登録した道路台帳は自治体が管理する情報をもとに機械的に抽出・登録されるが、抽出の過程で欠損や誤登録が発生する可能性がある。また、道路は不定期に増減するため、情報の更新も必要である。そのため、登録されている路線データを表示する機能を作成し、メンテナンスを可能とした。道路台帳表示例を図9に示す。

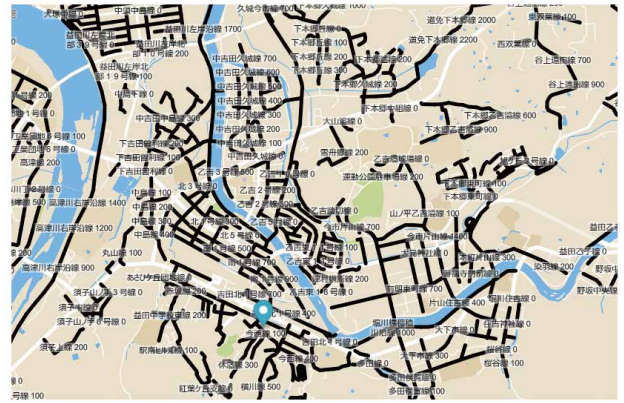


図9 道路台帳表示例

4.5 マップマッチング

診断結果に紐づいているGPSの座標情報は数～数十mの誤差を含む可能性があり、そのままメートルポストとの一致を判定すると、本来紐づくべき路線以外の路線として誤登録されてしまう可能性が大いにある。このためMapboxが提供するマップマッチングAPI (Application Programming Interface) を用い、実際の路線上の座標へと補正を行う。座標のマッチングはオープンソースの道路ネットワークデータであるOpenStreetMap上に登録されている路線データに対して行い、補正後の座標を用いてメートルポストとの一致判定をする。なお、自治体より提供のあった道路台帳データに対しても同様にマップマッチングを行い、道路ネットワークデータ上の座標に補正したうえで登録を行っている。図10にマップマッチングの概念図を示す。



図10 マップマッチングイメージ図

4.6 グリッドロケータ

マップマッチングの導入に伴い、診断結果一点一点に対し、どのメートルポストに属するかを判定する必要があるが、一日分の診断結果は平均で数千点におよび、メートルポストも自治体によっては数万点に上る。このように大量なデータ同士の一致を判定するためには膨大な計算コストがかかるため、効率化のためにグリッドロケータを導入することとした。グリッドロケータは、主にアマチュア無線で使われる位置情報の表記方法で、世界を緯度・経度に

基づいて格子状（グリッド）に分割し，その区画をアルファベットと数字の組み合わせで表す．これにより，簡潔なコードで地理的な位置を示すことができる．具体的には，地球全体を大きな領域に分け，それぞれに2文字のアルファベットを割り当てる．次にその領域を細かく分割し，2桁の数字で表す．これを繰り返すことでより詳細な位置を特定していく．通常6桁で数キロメートル単位の精度を持つが，本システムではこれを10桁に拡張し，数十メートル単位の精度で位置を特定できるようにした．これをメートルポストと合わせてデータベースに登録することにより，高速なメートルポスト検索ができるようになった．グリッドロケータの例として相模工場付近の位置を図11に示す．



図11 相模工場周辺のグリッドロケータ例

5 PR活動

事業化に向け，スマート道路モニタリング®の商標を整備し，ロゴタイプとシンボルを作成し，画面・筐体・配布資料における使用規定を定めた．

5.1 商標登録

スマート道路モニタリング®のブランド認知に当たり統一した呼称・名称の定義を行い，社内外に周知していくため商標登録を行った．これに伴い社外資料・画面・筐体での®表記運用を統一した．登録した商標の一覧を表5に示す．

表5 商標登録一覧

	名称	登録番号
1	スマート道路モニタリング	第6637121号
2	スマ道	第6637122号
3	SUMADO	第6637123号

5.2 ロゴの作成

商標と同じくブランド認知を目的としてロゴタイプとシンボルを作成した．ロゴの作成にあたっては同じ相模原市内に拠点を構える女子美術大学^{注4)}に協力を依頼し，美術専攻の学生にロゴシンボルおよび車両ステッカをデザインしていただいた．図12に作成したロゴデザインを，図13に車両ステッカを示す．ロゴデザインは数キロメートル離れた仲間の呼び声，足音，さらには差し迫った危険（例：捕食者や嵐）による地面の振動を足で捉えられるといわれる象をモチーフにSUMADOの“S”，“U”をそれぞれ鼻と耳に見立て，鼻は道路舗装，鼻先には検出をイメージしたエクスクラメーションマークを採用した．



図12 スマ道ロゴ

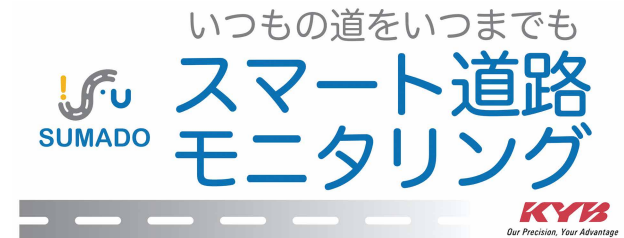


図13 車両ステッカ

作成したステッカは実証実験に協力いただいている自治体，企業の実装車両に貼り付けていただき，スマート道路モニタリング®の認知向上を図っている．

5.3 受賞履歴

対外PRの場として展示会への出展や社外の表彰制度，学会への発表を行ってきた．その中でいくつか表彰を受けたものがあるので，それらについて紹介する．

5.3.1 MCPCアワード

MCPC（モバイルコンピューティング推進コンソーシアム）が主催する「MCPCアワード」は，モバイルコンピューティング技術を活用した優れたソリューションやサービスを表彰する制度のことで，企業や団体が取り組む革新的な事例を広く紹介し，モバイル技術の普及・発展に寄与することを目的と

している。スマート道路モニタリング®は2021年のアワードに応募してAI&ロボット委員会特別賞を受賞することができた。

5.3.2 日本道路会議

日本道路会議は道路の行政、建設、維持管理、都市計画および道路交通に取り組んでいる全国の関係者等が参画して、道路に関する広範な問題について研究成果を発表し、意見を交換する日本最大の会議である。2025年に開催された第36回大会にて、前田道路株式会社^{注5)}が東京都府中市で行っている包括的道路等包括管理事業へのスマート道路モニタリング®適用事例を発表し、優秀賞を受賞することができた。

性を満たす見通しを得た。また積極的なPR活動などにより、ブランド整備も進めることができた。今後は有償サービス展開に向けて、自治体向けの実証実験を継続する中で路面性状評価指標の精度やユーザビリティの向上を図るとともに、道路舗装だけでなく地盤調査や道路周辺構造物の診断など付加価値の向上も推進していき、道路維持管理のトータルサービスとしての確立を目指していく。

最後に、本開発にあたり最初期からご協力いただいた島根県益田市の関係者様、追加の実証実験にご協力いただいた各自治体の関係者様に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

注4) 神奈川県相模原市南区麻溝台1900(相模原キャンパス)

注5) 東京都品川区大崎1丁目11番3号

6 おわりに

スマート道路モニタリング®のVersion2は、計測システム、診断システムの各要素を統合的に改良するとともに、WEBアプリケーションの新規開発を完了し、事業化の要件である信頼性、保守性、拡張

参考文献

- 1) 高松, 首藤: スマート道路モニタリングシステムの開発. KYB技報第61号, (2020年10月)

著者



長谷部 敦俊

2009年入社。技術本部基盤技術研究所情報技術研究室。主にスマート道路モニタリング®の研究開発に従事。

油圧機器向け状態監視システムのデータ分析・判定アルゴリズムに関する研究

首 藤 悠

1 はじめに

近年、油圧機器市場において劣化・故障予知による保守・保全効率化の要求が高まっている。世の中の油圧機器トラブルの半分以上は作動油の汚染劣化が原因となっている（図1）。本来、機器故障が起きる前に正常な油に交換したいが、一般に油の汚染劣化状態の管理に課題が多いと言われている。このような背景から、「作動油のセンシングによる油圧機器保全課題の解決」を優先課題にカヤバの油状態診断の取組みが開始された。

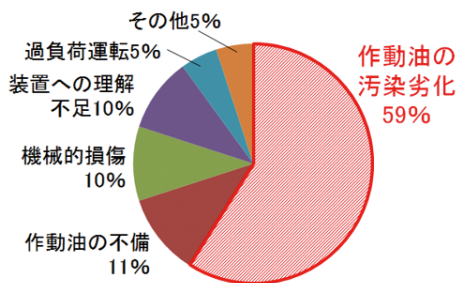


図1¹⁾ 油圧機器トラブルの原因

従来の油圧機器保全では事後保全やTBM（時間規準保全）が多く行われている。事後保全では故障後対応するため機器のダウンタイムによる損失が発生し、TBM（時間規準保全）ではタイミングにより利用可能にもかかわらず油を交換してしまうといった不要なコストが発生するといった課題がある。

そこでカヤバは、センシングによるリアルタイムモニタリングによるCBM（状態基準保全）の実現を目指し、油状態センサの自主開発、並びにIoT技術を用いた油状態診断システム（後述）の開発を推し進めてきた。そして更に最適化されたトータルメンテナンス実現のため、システムへのAIの開発・実装に取り組んでいる（図2）。

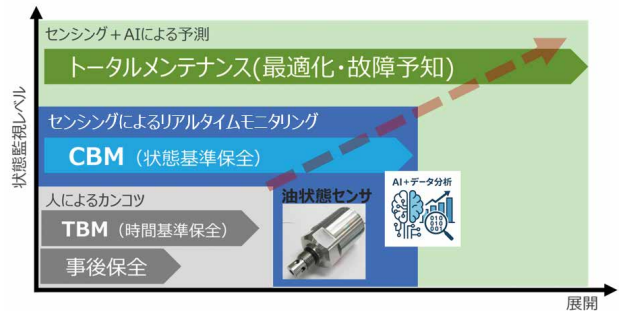


図2 カヤバの目指す油圧機器保全

本報では、カヤバが新たに立ち上げる油状態診断システムに実装予定である、AI技術を用いたデータ分析・判定アルゴリズムについて、本研究内容を紹介する。

2 油状態診断システム

油状態診断システム（図3）は、HC事業本部：ハイドロリックコンポーネンツ事業本部により開発され、2026年4月よりサービスリリースされるシステムである。現場に設置した油状態センサからのデータを収集端末で取りまとめ、クラウドに転送して解析・判定を行う構成である。今回紹介する判定アルゴリズムは図3中のトレンド診断サービスが実装対象となる。

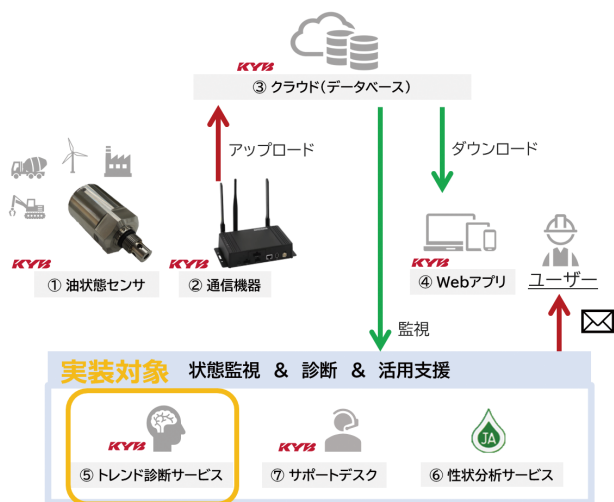


図3 油状態診断システム

3 目的

カヤバ独自の状態監視システムのビジネス化に向けたデータ分析・判定アルゴリズムの構築。

4 目標

異常判定精度・性状推定精度の目標値は表1のように設定した。目標値の設定根拠として、油の異常発生を捉える異常判定アルゴリズムには、AI分野において一般的に良い判定精度とされるF1値^{注1)} 0.7以上に加え、異常を見逃すと機器故障等によりダウンタイムを招き大きな損失を生むという観点から、異常を極力取りこぼさない指標として再現率^{注2)} 0.9以上を目標値として設定した。また、油の性状推定には、発生している異常の概要を把握し、メンテナンス箇所の特定や処置内容を提案するため、本来必要となる分析機関による性状分析に対し、相関係数0.8以上（一般的に強い相関とされる数値）を目標値として設定した。

表1 目標値

項目	目標値
異常判定精度	再現率：0.9以上 F1値：0.7以上
性状推定精度	真値と推定値の相関係数：0.8以上

注1) 分類モデルがどれだけ正確かつ見落としなく判定できているかを一つの数値で表す指標

注2) 実際に正であるもののうち、モデルが正と判定できた割合を示す指標

5 油の異常判定^{2),3)}

判定アルゴリズムの学習・評価には、過去のテーマおよびHC事業部により収集を進めている社内外のフィールドデータを活用した。表2にデータ収集先一覧を示す。

社内開発の油状態センサの計測データ項目を表3に示す。データと異常ラベル付けの例として図4にカヤバ相模工場の油の計測データグラフを示す。油の劣化や汚染、温度変化によりセンサ値（比誘電率・導電率）が変動する。外的要因でセンサ値が大きく変動している箇所を異常、それ以外を正常と定義した。

表2 データ収集先一覧

対象拠点	データ収集設備
①A社	廃プラスチック プレス設備 (タンクの送り・戻り 計2ヶ所)
②B社	建設機械 テスト車両 (タンクの戻り 計1ヶ所)
③カヤバ相模工場	組立ライン オフラインフィルタ (フィルタ前後 計2ヶ所)

表3 油状態センサの計測データ項目

項目	説明
油温	作動油や潤滑油の温度
比誘電率	物質が電界中でどれだけ電気エネルギーを蓄えられるかを表す指標
導電率	物質が電界中で電荷をどれだけ移動させやすいかを示す電氣的指標

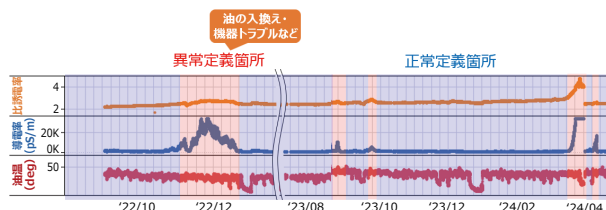


図4 油の計測データ（カヤバ相模工場）

現場データは異常ラベルが極めて稀で、かつ運転条件が多様であるため、異常クラスを十分に網羅した教師あり学習が困難である。このため本研究では、正常データの分布を学習して外れ挙動を検出する、いわゆる教師なし（もしくは半教師なし）系に近い枠組みを選択した（図5）。

一定の窓幅ごとに最大・最小・平均・標準偏差・

中央値・最頻値・範囲・分散・歪度・尖度などの基本統計量を特徴量として抽出し、さらにスケール処理と外れ値処理を施した。また、温度は特徴量として併合し、温度依存性をモデルが適切に学習できるように配慮した。

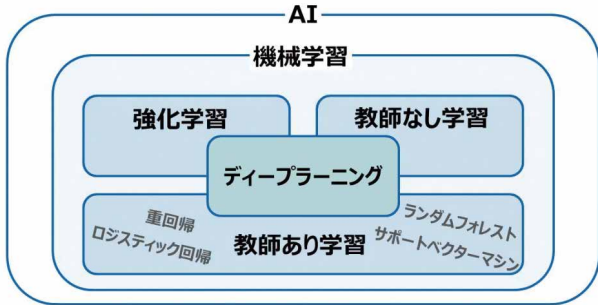


図5 AIモデルの選定

判定手法にはOne-Class SVM (OCSVM)^{注3)}を採用した。OCSVMは正常データのみを用いてその領域を学習し、そこから外れた挙動を異常と判定できるため、異常の多様性やラベル不足に強い特性を持つ(図6)。比較対象としたAutoencoder(図7)や閾値法と比べ、学習の安定性・運用時の負荷・判定精度のバランスが最も良好であった。

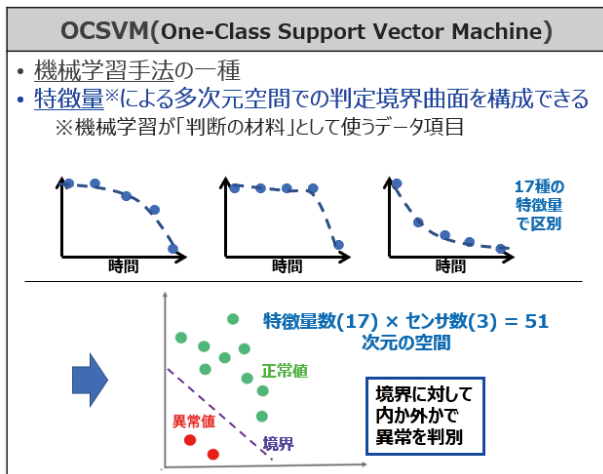


図6 OCSVMの概要

注3) One-Class Support Vector Machine.

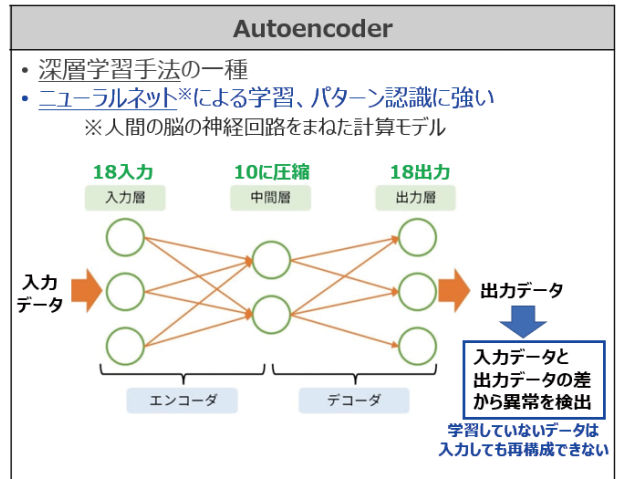


図7 Autoencoderの概要

学習期間を定義して正常境界を学習し、既知の異常期間をラベルとして評価した。指標は再現率とF1値であり、再現率0.9以上、F1値0.7以上を目標とした。それぞれの指標の内容を表4に示す。

表4 評価指標の定義(再現率・適合率・F1値)

指標	意味	備考
再現率	異常データのうち異常と判定できた割合	見落とし抑制
適合率	異常と判定した中で実際に異常であった割合	誤検知抑制
F1値	再現率と適合率の調和平均	バランス指標

表2の対象3件の収集データを用いてOCSVMモデルを学習し精度評価を実施し、すべての対象で目標を達成した。

これにより、油交換・清掃・汚染進行・機器トラブル等の通常動作外の異常を検知できることが示された。図8に示す油状態診断システム上の運用を想定した際、運用上の有効性があることが確認された。

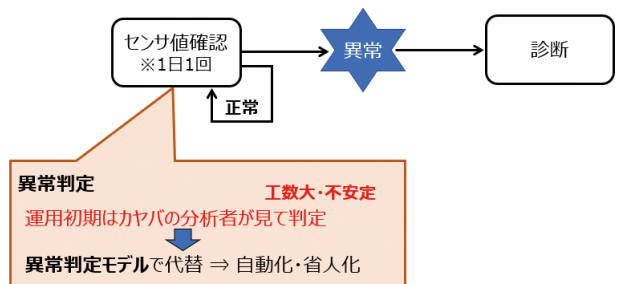


図8 油状態診断システム上の運用

6 油の劣化推定⁴⁾

油状態センサの計測データから油の劣化推定を試行した。油の性状項目を表5に示す。今回対象とした性状は全酸価・水分量とした。

表5 油の性状項目

性状項目	内容
全酸価	油中の酸性成分量であり、酸化劣化度合いの指標
水分量	油中の水分量
汚染度	油中の固形コンタミの数量 (ISO: 4, 6, 14 μ m以上の粒子の数量)
金属元素量	油中の金属元素量であり添加剤の内容や金属部品の摩耗状態の指標 (対象元素はFe, Pb, Cu, Cr, Al, Ni, Ag, Sn, Si, B, Na, P, Zn, Ca, Ba, Mg, Mo)

事前検討により、油の時系列変動より得られる温度特性（油温に対する導電率/比誘電率の変化）により異常と正常を層別できる可能性を見出した。図9に横軸に油温、縦軸に導電率を取り異常データと正常データをプロットしたグラフを示す。

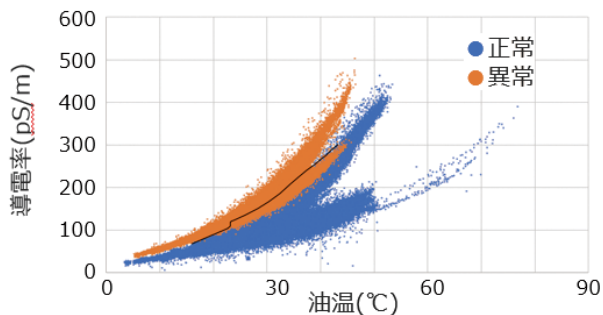


図9 異常データ・正常データのプロット

続いて導電率の温度特性係数および補正比誘電率の温度特性係数から、全酸価と水分量の推定可能性を検討した。生分解性油の検証では、全酸価と導電率温度特性係数に高い相関が確認され、水分量は補正比誘電率の温度特性係数から推定可能である見通しを得た（表6）。上記分析手法をもって生分解性油の性状推定値を算出し分析機関による性状分析に対しての相関係数を求めた結果、相関係数0.8以上の相関があることが確認された。

表6 温度特性係数と全酸価・水分量の関係

項目	指標	傾向
全酸価	導電率の温度特性係数	高相関（生分解性油で確認）
水分量	補正比誘電率の温度特性係数	推定可能(要油種拡張)

7 まとめ

本報では、カヤバの油状態診断システムへ実装予定の異常判定アルゴリズムを紹介した。

当アルゴリズムで採用したOCSVMによる異常判定の判定精度では再現率0.9、F1値0.7の目標を達成した。また、全酸価・水分量の劣化推定については、数式的アルゴリズムにより推定値と真値との相関係数0.8の目標を達成した。

今後は、各対象へのアルゴリズム適用に向け、判定モデルの構築手順の標準化、並びに性状推定手法の油種拡張を進めていく。また将来的な実現に向け、油種・設備への依存なく導入初期から稼働可能な汎用的な異常判定アルゴリズムの研究を推進していく。

8 おわりに

本活動では、油状態診断システムの高付加価値化に向けた有益な知見と成果を得ることができた。本活動を進めるにあたり、多大なるご支援とご協力を賜りました関係部署の皆さまに、ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本フルードパワーシステム学会：フルードパワーシステム July, 2026 Vol. 4 No. 4
- 2) 社内報告：データ収集・判定構築・油圧テストベンチ・机上評価 (2024-2025)。
- 3) 社内報告：判定手法比較 (OCSVM/Autoencoder/閾値)。
- 4) 社内報告：全酸価・水分推定 (温度特性係数)。

著者



首藤 悠

2016年入社。技術本部基盤技術研究所情報技術研究室。主に油圧機器向け状態監視システムの判定アルゴリズムの研究開発に従事。

汎用性の高いAI外観検査ツールの開発

伊藤 由希子・西垣 一弘

1 はじめに

生産ラインでは、製品外観の良否を目視で検査している工程があり、検査作業の省力化や検査ミス防止による品質保証度の向上が求められている。目視検査の自動化においては、近年、ルールベース方式（人間が設定した特定のルールや条件に従って判断する手法）から、AI（Artificial Intelligence：人工知能）を活用した技術への移行が進んでいる。これまでカヤバでは、AIを活用し、製品の個体差や検査環境の変化に強い検査技術や、AIモデル精度の維持・管理を効率的に実施する仕組みであるMLOps^{注1)}の開発と導入を進めてきた¹⁾。しかし、これまでは専門スキルを有する人材による対象特化型のシステム開発であり、生産ラインにおける様々な外観検査自動化の要求にタイムリーに応えることが困難であった。この課題解決のために、工場の担当者が検査対象に応じて検査システムを構築できる汎用性の高い外観検査ツールを開発した。

本報では、当社の生産ライン向けに開発したシステムと適用事例について紹介する。

注1) AIを円滑に進めるための取り組み。AI Machine Learning (ML) と、ソフトウェア分野での継続的な開発手法であるDevOpsとを組み合わせた造語。

2 開発の概要

2.1 検査対象に応じた柔軟なシステム構築

検査対象に応じて柔軟に検査システムを構築するため、検査ソフトウェアの各機能を独立したモジュールとして設計し、Docker^{注2)注3)}を用いて実装した。Dockerを利用することで、アプリケーションと実行環境をコンテナとしてパッケージ化できるため、開発から運用までの環境構築が不要となり、開発期間の短縮が可能となる。また、各モジュールは独立した環境で動作するため、相互の依存関係が解消され、維持管理の容易化を実現している。

開発したモジュールは以下の2種類に分類される。

①デバイスモジュール

カメラやPLCなどのデバイスを制御する機能を提供する。デバイスモジュールは一度、開発すれば、様々な対象に転用可能な汎用性を備えている。工場のニーズに対応するため、カメラは廉価なWebカメラからFA用途の高性能カメラまで幅広く対応可能とした。また、PLCについては、工場で使用される複数メーカーの通信方式に対応できるよう設計している。

②検査モジュール

カメラから取得した画像に対して、前処理、AI処理、後処理を行う機能を提供する。検査モジュールはハードウェアモジュールと異なり対象に応じて個別開発が必要である。しかし、図1に示す検査フローのように、共通性の高いフローはテンプレート化し、導入時には必要な設定を編集することで対応可能とした。今後は、適合しない検査についても、随時テンプレートを拡充していく。

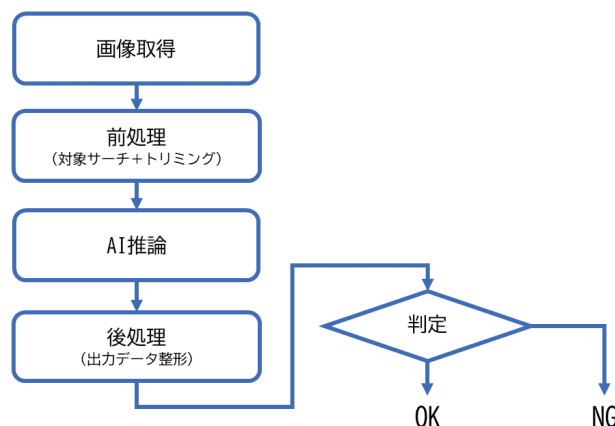


図1 検査フロー

以上、開発したモジュール群から検査対象に応じて、必要な機能を選択し、Docker Compose^{注4)}を用いて検査システムを構築する（図2）。これにより、従来は開発者が一から検査システムを構築していた場合

と比べて、構築時間の80%以上の短縮を実現した。

注2) DockerはDocker, Inc.の登録商標。

注3) アプリケーションをモジュールとしてパッケージ化し実行するためのプラットフォーム。

注4) 複数のモジュールを連携、管理するためのツール。

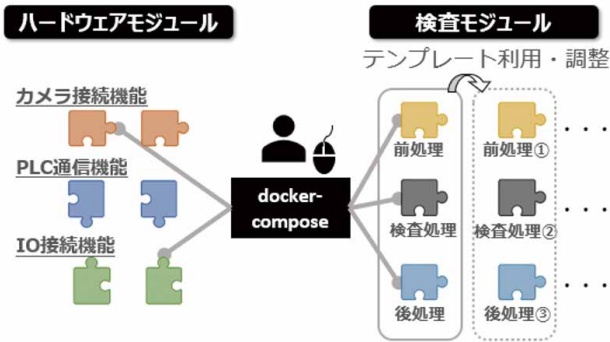


図2 検査システム構築方法

2.2 ノーコードツール

AI判定モデルは、検査対象の画像データ収集、学習、精度評価の手順を経て作成される。要求精度を達成した場合、モデルは検査機に組み込まれる。これらの作業は検査機の導入時のみならず、運用過程で製品や環境の変化によりデータ分布が変化した場合にも実施が必要である。

従来は、開発者が対象に応じて専用の学習プログラムや精度評価プログラムを準備し、試行錯誤を重ねながら対応していた。本開発では、工場の担当者にて同品質の作業を実現できるよう、画像データの前処理、学習、精度評価、モジュールに読み込み可能なモデル変換までを一つのツールに統合し、マウス操作のみで実行可能なノーコードツールを開発した。以下に、本ツールの機能について説明する。

2.2.1 利用可能なAI手法

本ツールでは、工場における様々な外観検査の要求に対応するため、図3に示す4種類のAIモデルをサポートしている。また、近年はAI性能の競争が激化し、継続的に新しいモデルがリリースされている。この状況を踏まえ、当社の生産ラインにおいて性能向上が期待されるモデルに対しても、ツールで対応可能となるよう機能のアップデートを継続的に実施している。

画像分類	物体検出
何が映っているか 部品A or 部品B	いくつ、何がどこに映っているか
領域検出	異常検知
どの範囲に映っているか	いつもと違いはあるか OK or NG

図3 対応しているAIモデル

2.2.2 モデル精度向上の機能

高精度なモデルを作成するため、以下の3つの機能を実装した。

①画像拡張

元画像に対して意図的にノイズを付与し、人工的に画像を生成する機能。学習データの多様性を確保することで、生産ラインの様々な変動に対してロバスト性の高いAIモデルを構築可能。

②ファインチューニング

事前学習済みモデルを基に、対象の画像データを用いて再学習する方法。少量の学習データでも高精度なモデルの作成が可能。

③学習パラメータ最適化

学習時のハイパーパラメータ設定はAIモデルの判定精度に大きく影響する。本機能では、様々なハイパーパラメータの組み合わせを効率的に探索し、最適なモデルを獲得可能。

図4に開発したノーコードツールの画面を示す。本ツールを利用することで簡単に高精度なAIモデルの作成が可能となり、工場での展開が容易になる。



図4 ノーコードツールの画面

3 事例紹介

開発したツールを当社の生産ラインに適用した事例を以下に示す。その中から本報では③について紹介する。

- ①製品に組付ける部品の有無や種類の判別
- ②製品に貼付ける仕様ラベルの有無や種類の判別
- ③加工機や治具へのワークのセット良否の判別

3.1 背景

当社の主力製品であるショックアブソーバの構成部品であるピストンロッドには、耐摩耗性および耐食性を確保するため、図5に示す範囲に硬質クロムめっきが施されている。

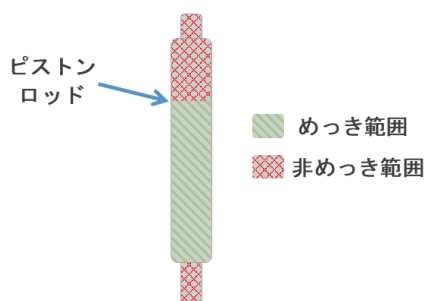


図5 ピストンロッドのめっき範囲模式図

図6に示すようにピストンロッドは、コンベヤに連結された「めっきハンガ」と呼ばれる治具に自動機でセットされ、めっき処理工程まで搬送される。セット時の動作は、ピストンロッドの上部をクランプした後、マスクング治具が上昇し、ロッド下部の非めっき範囲を覆う機構となっている。

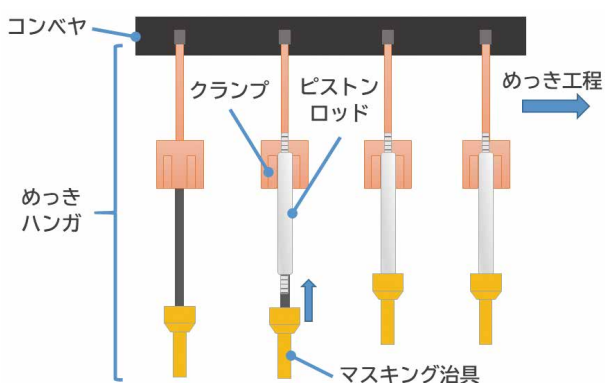


図6 めっきハンガへのピストンロッドの取付方法

しかし、図7に示すようにマスクング治具が上昇する際、ロッド下部と治具の接触抵抗によりピストンロッドのクランプ位置がずれる不具合や、マスク

ング治具が所定の高さまで上昇しない不具合がある。このような不具合が発生すると、めっき範囲が製品仕様を満たさず、不良品となる。

現状では、近接センサによるセット不良検知システムは導入されているものの、セット不良を完全に検出することができず、めっき処理後に全数目視検査で保証している。検査本数が非常に多く、検査員の負担が大きいと、自動化による省力化と品質保証レベルの向上が強く求められていた。

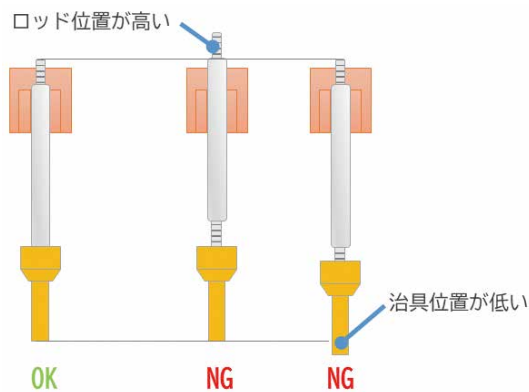


図7 ピストンロッドセット状態の良否

3.2 システム構成

システム構成を図8に示す。本システムは、2.1節で説明した機器モジュールに対応したハードウェアで構成されている。検査機の使用環境を考慮し、カメラにはFA用カメラを採用した。また、バー照明を利用することで、対象物の明るさ変動による影響を抑制している。

検査機でセット異常と判定された場合、めっき設備制御用PLCに信号を出力し、設備を停止した上で、ラインオペレータにより処置を行う。

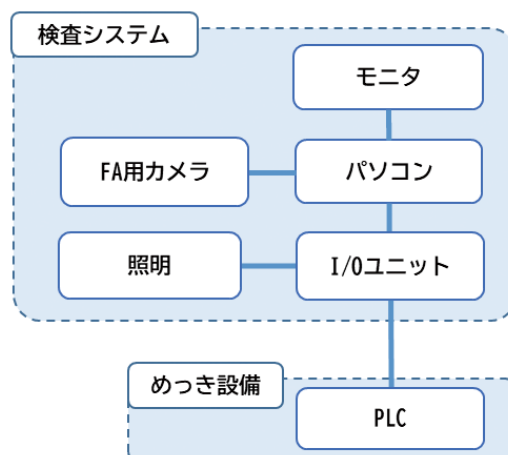


図8 システム機器接続構成

3.3 検査方法

図7に示したようにピストンロッドの上端とマスクング治具の下端を正確に測定することで、セット状態の良否判定が可能である。しかし、マスクング治具はめっき液に曝されることで徐々に変色や劣化が生じ、治具ごとに使用期間が異なるため、外観は様々である。したがって、マスクング治具の外観個体差に影響されず、端点座標を正確に検出する必要がある。

従来のルールベース方式では、安定した端点検出が困難であった。そこで、本開発では端点検出の前処理として領域検出AIを活用し、使用レベルの異なるマスクング治具画像を学習させることで、検出の安定化を図った。さらに、AIが検出した領域を白黒画像に変換することで、ルールベース方式による端点検出を容易にした(図9)。

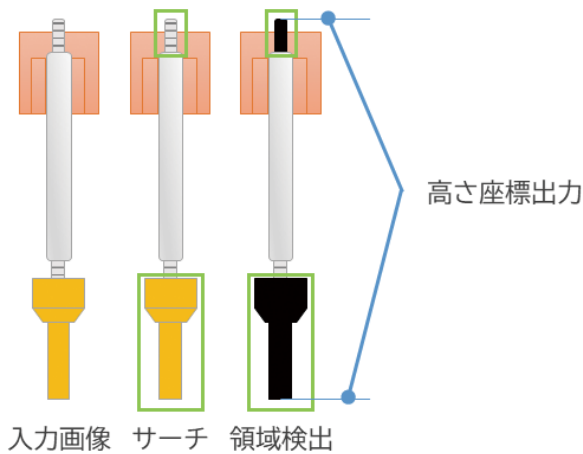


図9 AIによる領域検出模式図

3.4 結果

量産ラインに導入し、通常稼働状態での連続運転を対象に評価を実施した。

不良品を良品と判定する確率である誤判定率は0%、良品を不良品と判定する確率である過検出率

は0.1%未満となった。本システムは量産ラインにおいて安定稼働し、品質保証度向上に有効であることが確認できた。

4 まとめ、今後の展望

工場の担当者が検査対象に応じて柔軟にシステム構築が可能な汎用性の高い外観検査ツールを開発した。さらに、内製化により市販のAIセンサと比較して低コストで導入できる環境を整備し、工場での適用性を向上させた。

一方、検査精度の向上には、AIモデルの性能だけでなく、学習に用いる画像データの品質が重要である。例えば、対象に応じた撮影条件の最適化や学習データの多様性確保などが挙げられ、これらには高度なノウハウが求められる。

今後は、検査機の導入・運用を通じてノウハウの蓄積とツール活用人材の育成を進め、誰でも容易に高性能な検査機を構築できる環境を整えることで、品質保証レベルのさらなる向上を目指す。

5 おわりに

本開発により、モジュール化による柔軟なシステム構築と、ノーコードツールを活用したAIモデル開発を実現し、品質保証レベルの向上と工場全体への迅速な展開を可能にする検査基盤を構築することができた。

最後に、本開発にあたり多大なご支援とご協力を賜りました関係部署の皆様へ、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 光尾, 鈴木, 宮内, 菊池: AIを用いた刻印検査技術の開発とMLOps基盤の構築, カヤバ技報第69号, (2024年10月)

著者



伊藤 由希子

2018年入社。技術本部生産技術研究所第二研究室所属。検査、計測技術の開発に従事。



西垣 一弘

2023年入社。技術本部生産技術研究所第二研究室所属。検査、計測技術の開発に従事。

スマートモニタリングによる 人の技量に頼らない加工ラインの構築

伊藤 祐介

1 はじめに

カヤバの油圧機器生産拠点のひとつである相模工場では生産スペースの拡張余地が少なく、更なる生産増加に対応することが難しい状況にある。対策として加工、組立、塗装一貫ラインを構築し運搬、在庫、作業の極小化 (Ship'30)^{注1)}によりムダのないラインづくりを目指している (図1)。一方で一貫ラインを止めずに生産するためには設備故障、品質不良といった、ロスをなくすことが重要である。

これらの課題と実現に向けて自動計測、モニタリングシステムといった要素技術を活用し、第一段階として加工ラインから作業の極小化に取り組むことで将来の生産体制の準備を進める。

注1) Self handling innovation plant 2030の略。2030年までに自己完結革新工場を目指す取り組み。

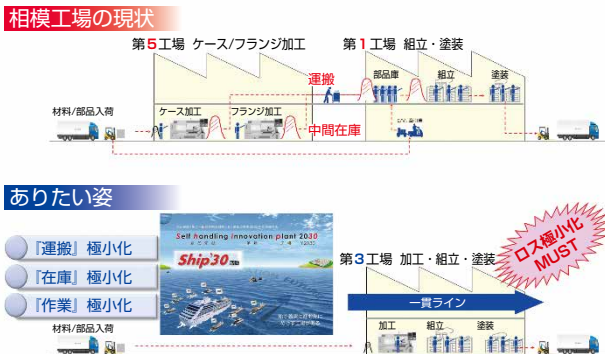


図1 将来のありたい姿

2 背景

相模工場で生産するピストンポンプ (図2) は、2030年までに生産数の増加が見込まれている。

この生産数増加で利益を確保するために高い目標原価が割付けられており、社内加工費も必達を求められている。しかし従来のやり方では生産ライン内の精密測定、工程内不良により人作業に大きな工数

がかかり社内加工費は目標未達となってしまう。

これら課題を解決するために、精密測定の自動化、測定結果を監視、表示、警告を行い人の技量に頼らない加工ラインを構築する。

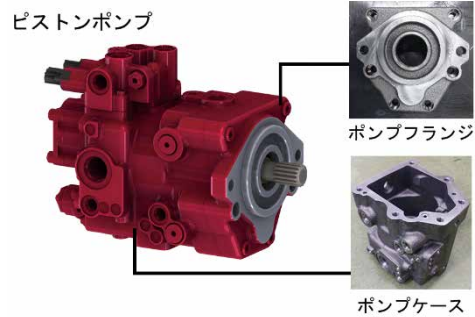


図2 ピストンポンプと内製部品

3 目的

作業を極小化したライン構築を行い相模工場の利益に貢献する。

4 目標

目標値を表1に示す。

表1 目標値

項目	従来	目標
工程内不良	BM	25%低減
労操設コスト	BM	36%低減
サイクルタイム	BM	29%低減
可動率	BM	11%向上
CO2排出量	BM	36%低減

5 要件

- ①不良未然防止を図ること
- ②自動測定で作業軽減すること

6 実施内容

6.1 スマートモニタリングとは

スマートモニタリングは以下（図3）の言葉を掛け合わせた造語である。データから予知技術を構築し見える化をすることで、ロスの極小化ができないかを考え、本テーマでは品質不良未然防止、作業の極小化に取り組んだ。

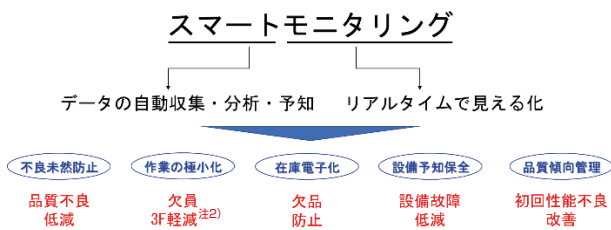


図3 スマートモニタリング概要

注2) 負担, 不安, 不満の頭文字として3Fと表現している。

6.2 スマートモニタリングの構築

従来の工程内不良ではミクロン公差の寸法が外れて不良となることがあった。

ミクロン単位の加工においては、切削工具（写真1）が摩耗すると著しく寸法が変化するため管理が難しく、従来は作業者による全数測定を行っていた。全数測定はサイクルタイムに影響するとともに、技量が不足している作業者の場合、寸法変化に追従できず不良を発生させてしまうことがあった（図4）。

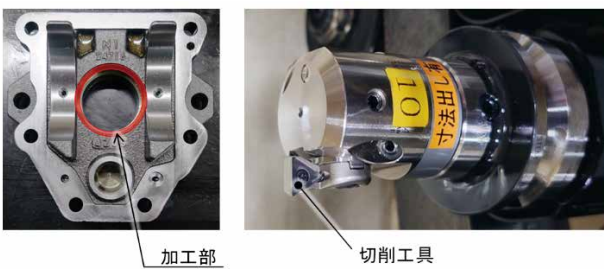


写真1 切削工具

これらの問題を解決するためにリアルタイムで加工寸法が分かる仕組みを考案した。これはマシニングセンタで測定した結果をモニタにグラフ表示し、寸法変化を常時確認できるようにした（写真2）（図5）。

また、寸法不良直前に生産指示画面に警告が表示

され、作業者は不良が発生する前に異常に気付くことができ工程内不良の削減につながる（図6）。

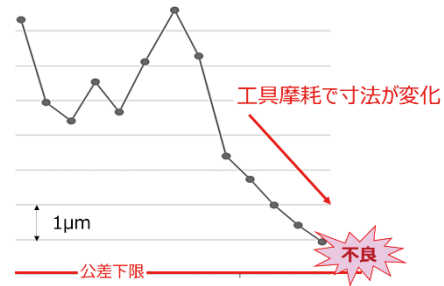


図4 寸法の変化



写真2 生産ライン外観



図5 リアルタイムで寸法の見える化



図6 警告画面

これらの仕組みはマシニングセンタの標準機能と設備メーカーの既存のクラウドサービスを組合せることで構築することができた（図7）。測定された結

果は設備に記録され、クラウドサービスは常時設備を監視する。クラウドサービスには測定値をグラフ化する機能があり、測定結果が変わるたびにグラフに最新の測定値がプロットされる。このグラフを作業エリアのモニタへ表示させ作業者が寸法の変化を確認できるようにした。

今後は蓄積された測定データをAI分析に掛けることで、工具寿命の最適化につなげ、品質の安定化を図っていく。

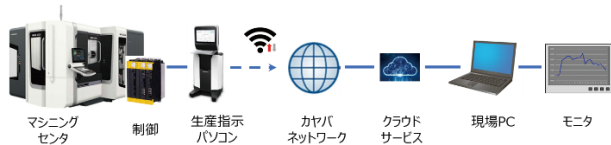


図7 モニタリングシステム

6.3 マシニングセンターによる測定技術確立

見える化の仕組みはできたものの、設備による測定では三次元測定機のようなマイクロレベルの信頼性を確保することが難しい。

生産した同一ワークを従来の手動測定と工作機械の中でワークを測定する機内測定で比較したところ、最大で8 μ mの差があることがわかった(図8)。

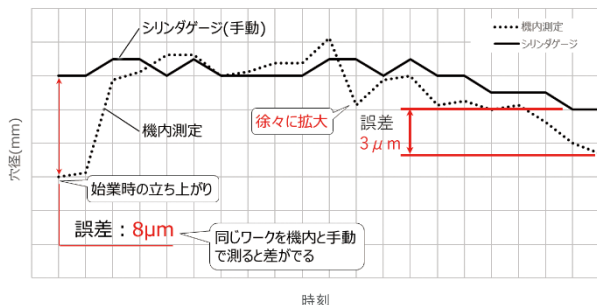


図8 手動測定と機内測定の違い (対策前)

測定誤差を発生させる主な要因の一つとして、朝と夕方の外気温の変化があげられる。外気温の変化はマシニングセンター自体の熱膨張、収縮を引き起こし、測定誤差を発生させる(写真3)。

図9は外気温と主軸の位置を確認したデータである。外気温の上昇とともに主軸が下向きに変化していることがわかった。

そこで測定誤差を自動的に検知し、キャリブレーション^{注3)}を行うことで測定誤差を修正するプログラムを開発した。

まず加工治具に基準となる穴を開けておく。加工1サイクルごとに基準穴を測定し、誤差が2 μ m以上の場合、キャリブレーションが自動で行われる(図10)。

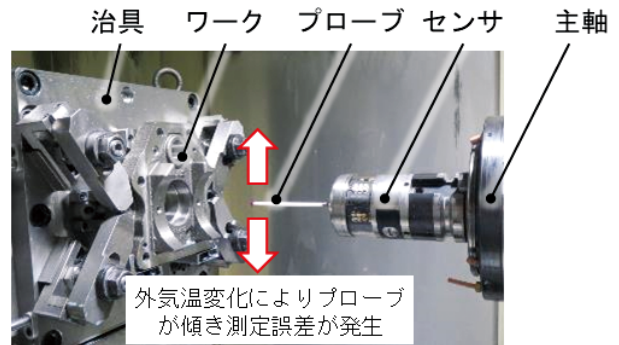


写真3 外気温変化による主軸位置の変化をともなう測定の様子

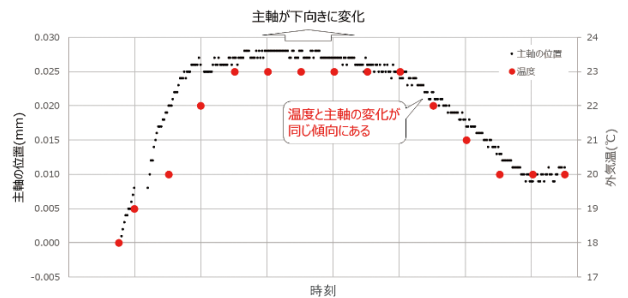


図9 主軸位置と外気温の関係

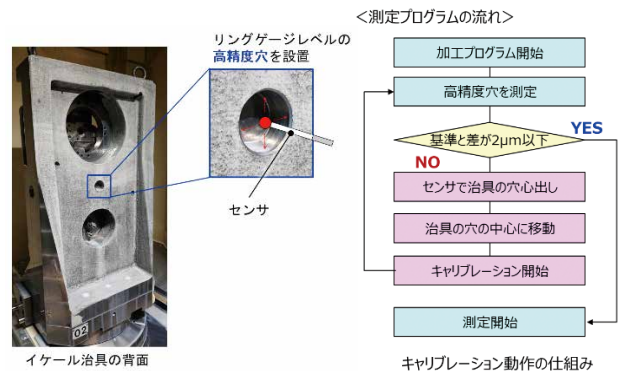


図10 キャリブレーションの仕組み

このプログラムを導入したことで、手動測定と機内測定の違いは2 μ m以下となった(図11)。

これらの測定技術により全数測定、初物終物測定の代替をマシニングセンターで行えるようになり、手扱い時間削減、及び可動率を向上させることができた。
注3) 基準と比較し差を補正すること。

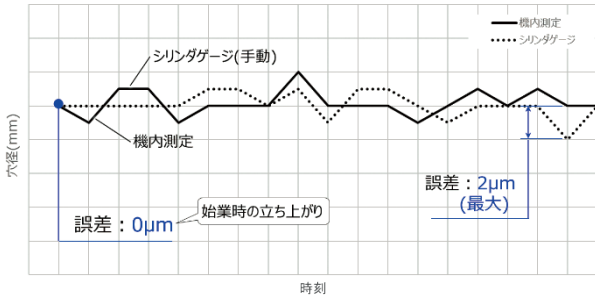


図11 手動測定と機内測定の違い (対策後)

7 結果

実施結果を表2に示す。

表2 実施結果

項目	結果	判定
工程内不良	25%低減	○
労操設コスト	36%低減	○
サイクルタイム	29%低減	○
可動率	11%向上	○
CO2排出量	36%低減	○

8 まとめ

加工、組立、塗装一貫ラインを見据えたムダの無いライン作りに向けて、作業を極小化した加工ライン構築を実現した。

特に信頼性の高い測定技術が確立でき、人の技量に頼ることなく工程内不良を低減することができた。

またスマートモニタリングの実現にあたり、今回は加工データの自動収集、警告、リアルタイムでの見える化を実現した。将来はこの仕組みを足掛かりとして不良予知の技術構築へつなげていく(図12)。

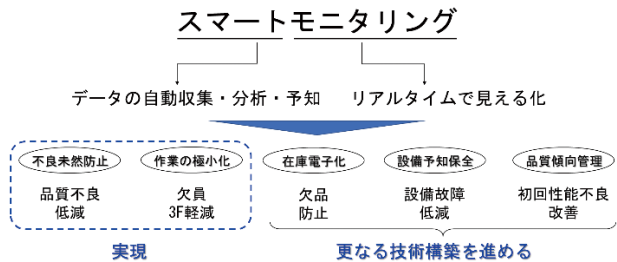


図12 スマートモニタリングの実現

9 おわりに

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

著者



伊藤 祐介

2017年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部相模工場生産技術部。ピストンポンプの工程設計に従事。

技術紹介

自動車用ショックアブソーバ作動油に用いる 化学合成基油の有効性 環境負荷低減と乗り味性能を両立した【サステナルブ®】

加藤 慎治 ・ 安河内 直樹 ・ 石田 幸也

1 はじめに

近年、カーボンニュートラル（以下CN）の推進やSDGsへの対応が社会的に注目され、自動車部品にもいっそう高い環境性能が求められている。本報はカヤバの事例報告として、合成エステル基油（配合詳細は非開示）を用いた環境負荷低減の取り組みと、その走行性能検証について述べる。当社では、生物由来および循環由来の原料（例：植物油・藻類油・回収油脂由来の脂肪酸）を活用した基油設計を進めており、以下、これらを「循環由来原料」と総称する。現状は植物由来脂肪酸を主原料とする合成エステル基油を対象とするが、将来的には藻類油や回収油脂由来モノマー等への置換にも適用可能な拡張性を備えている。

環境負荷低減の具体策としては、循環由来原料の活用、製造時のCO₂排出量を抑制し得る化学合成基油（本報では合成エステル基油）の採用、さらには万が一漏出した際の生分解性向上などが挙げられる。これらはライフサイクル全体の環境影響を低減し得る一方で、作動油としての基本性能の確保と両立させる必要があり、その設計と検証が課題である。

一方、ショックアブソーバの作動油（写真1）はサスペンションの摩擦特性に直接関与し、車両の乗り心地や操縦安定性に大きな影響を与える。なかでも、摩擦レスポンス特性の調整は路面入力に対するショックアブソーバの応答性を左右し、乗員の快適性や車両の安定性に直結するため、乗り味の質的向上に向けた重要な技術課題である^{1),2)}。本報では、合成エステル基油を用いた新たな作動油設計技術について、摩擦レスポンス特性の定量評価および実車試験による乗り味改善の検証を通じてその有効性を示す。環境性能と走行性能の両立を目指す作動油設計の一例として、将来の実用化に向けた有効な技術



写真1 ショックアブソーバ作動油

的アプローチであることを示す。

2 技術開発の背景と目的

従来の作動油は石油由来基油を主成分としており、生分解性やCO₂排出量の観点から環境負荷が懸念されてきた。そこで、循環由来原料を用いた合成エステル基油を採用することで、OECD 301Fの判定基準を満たすことを目標とし、CNにも貢献し得る作動油の開発を目指した（図1）。

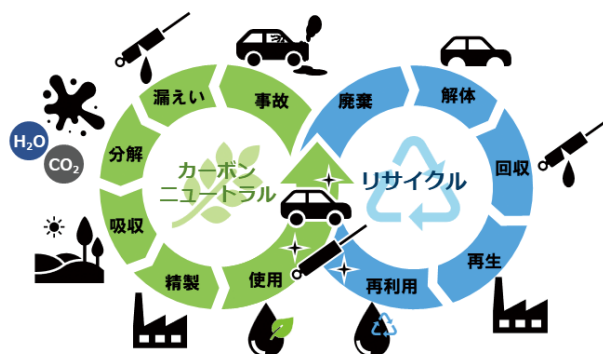


図1 作動油の環境負荷低減の取り組み

乗り味に関しては、微小入力領域（良路でしばしばピストン変位 $\pm 1.5\text{mm}$ ・ピストン速度 $\pm 30\text{mm/s}$ 以下）での応答が支配的であり、この領域では作動油の圧縮性に起因する油柱剛性の影響により、運動反転直後の油圧による減衰力が立ち上がりにくく、ヒステリシスを伴って減衰力が加速側に偏りやすい。したがって、極低速・微振幅域では全減衰力に占める摩擦の寄与が大きく、サスペンションの初期応答は「摩擦の立ち上がり方」に強く依存する^{1),6)}。（図2、図3）

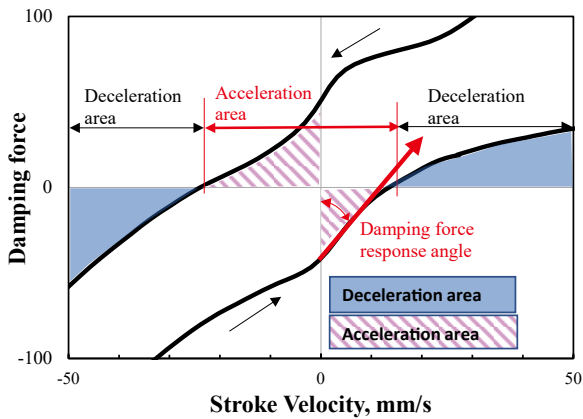


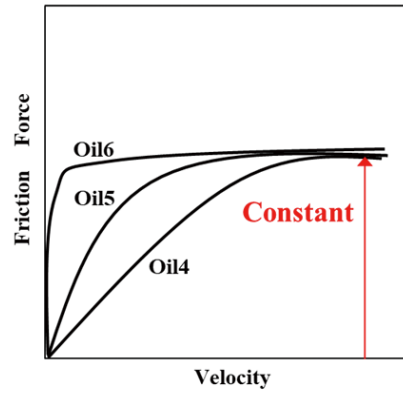
図2 ショックアブソーバ速度ゼロ近傍のF-V波形

以上のメカニズムを踏まえ、本報では環境性能と乗り味の両立を目指し、摩擦の「量」ではなく反転直後の立ち上がり勾配＝摩擦レスポンス（図3 (b)）に着目した作動油設計指針を採用した^{4),5)}。すなわち、摩擦の大きさをほぼ保持したまま勾配のみを調整し、油圧減衰が働きにくい微小入力域での初期応答を最適化することで、乗り心地の悪化を招かずに操縦安定性の向上を図る。従来の静特性中心の減衰力評価では捉えきれなかったこの過渡領域の改善を、ベンチおよび実車で定量的に検証する¹⁾。さらに、氷上（低 μ ）における実走評価も実施し、微小入力・低速度域での体感傾向を確認した。

3 要素試験と評価指標

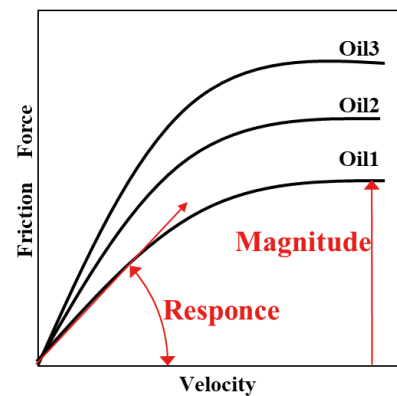
要素試験には往復動ピン・オン・ディスク型摩擦試験装置を用い、正弦波変位制御において、振幅 $\pm 0.1\sim 2.0\text{mm}$ 、最大速度 62.8mm/s の往復運動条件下で微小振幅領域における摩擦挙動の変化を高精度に捉えた。

摩擦力はピン軸に取り付けたひずみゲージで計測し、油温は 30°C に制御した（図4）。



Friction response adjustment

(a)摩擦の大きさを変える技術



Friction force adjustment

(b)摩擦の応答性を変える技術

図3 摩擦調整技術

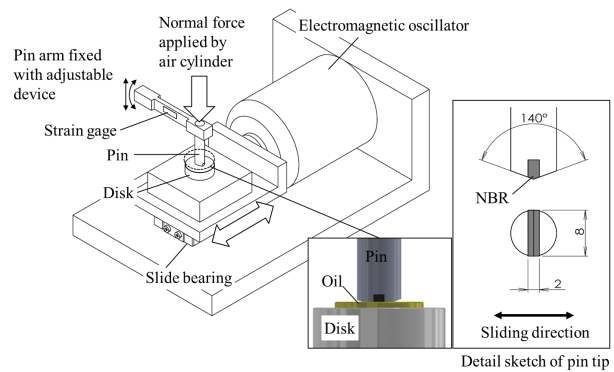
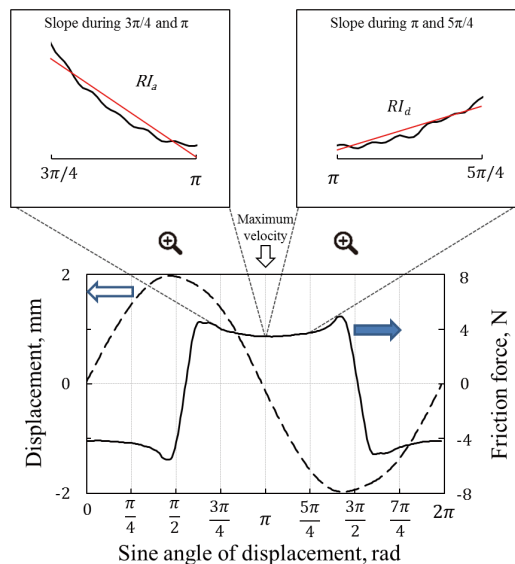


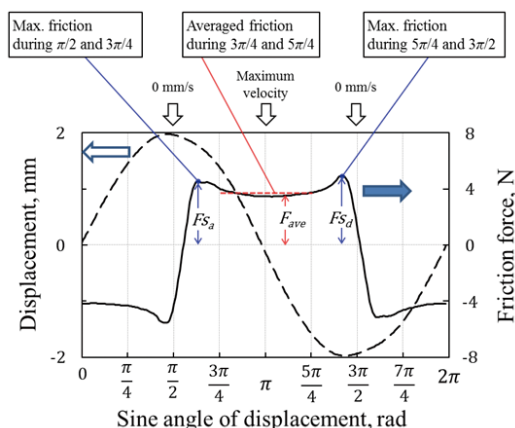
図4 動的摩擦計測システムと試験片形状の概略図

ショックアブソーバ用作用油の摩擦特性は、次の4指標で定量化した^{3), 4)}(図5)。

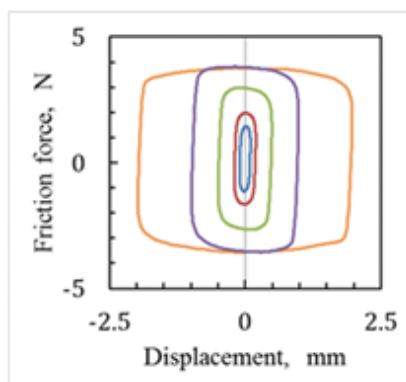
μ_{RMS} (平均摩擦), SI (摩擦レスポンス), RI (丸さ指標), AI (振幅依存性)



SI (摩擦レスポンス)



RI (丸さ指標)



AI (振幅依存性)

図5 動摩擦特性を評価するための指標

これらにより、摩擦の「量」(μ_{RMS})だけでなく、「摩擦レスポンス」(SI)他、動的摩擦特性が乗り味に影響する要素を設計軸として捉えることが可能となる。参考文献の知見を踏まえ、本報では特に乗り心地との相関が強いとされる平均摩擦(μ_{RMS})と摩擦レスポンス(SI)に焦点を絞って検討した。 SI は反転直後の摩擦立ち上がりを定量化する指標であり、乗員が感じる「初期応答の素直さ」や「接地感」に強く影響することが実験的に確認されている^{4), 5)}。

なお、摩擦調整技術(摩擦調整剤の化学種・配合量、設計手順等)の詳細および指標の導出・算出方法の詳細は参考文献1)~8)に譲り、本報では評価指標の結果と実車評価を中心に述べる。

これらの指標を用いることで、従来の減衰力評価では捉えにくかった微小入力領域での応答性を設計に反映でき、乗り味の質的向上に向けた作動油設計の新たなアプローチが得られる^{4), 5)}。

4 実車試験方法と解析技術

実車試験では、評価用路面を30km/hで定速走行する条件でショックアブソーバに加速度センサを装着し、高サンプリングレートでデータを収録した。収録データにFFTフィルタ処理を施した後、数値微分により速度・変位を算出し、サスペンションの応答挙動を評価した。(以下、ウェーブレット解析)

この手法により、従来の減衰力評価では捉えにくかった運動反転直後の高周波振動を抽出でき、摩擦レスポンスの違いが乗り味に与える影響を定量評価するための解析基盤を構築した。なお、本解析は微小入力領域における応答性の差異を高精度に把握することを目的としており、とくに SI との相関検討に有効である^{1), 6)}。

5 実車試験結果と体感評価

同じ減衰力特性でも、作動油の摩擦特性 SI の違いだけで、車両の応答や接地感に明確な差が出ることを確認した。 SI は「大きければよい/小さければよい」といった単純な指標ではなく、適正範囲に合わせ込むことが重要となる。

5.1 試験概要

本検討では、車両・ダンパ・バルブ仕様を固定し、作動油のみを変更した3処方(①②③)を比較した。各処方の平均摩擦(μ_{RMS})および摩擦レスポンス(SI)を表1および図6に示す。

ウェーブレット解析(CWT, アスファルト)では①・

②・③の3処方を比較した。

条件：アスファルト舗装テストコース／30km/h(定速)／車両：トヨタ・カローラ スポーツ. 変更点は作動油のみとした。

実走官能評価（氷上・低 μ ）では②・③の2処方を比較した。

条件：車両：トヨタ・ヤリス（同一仕様・各一台）／外気温：-5℃／天候：晴れ／路面：氷上（低 μ ）。

表1 実車評価用作用油の摩擦特性

記号	基油・処方	平均摩擦 (μ_{RMS})	摩擦レスポンス (SI)
①	鉱油・従来処方	低	低
②	鉱油・最新処方	中	高
③	合成エステル基油 + 摩擦調整剤	低	中

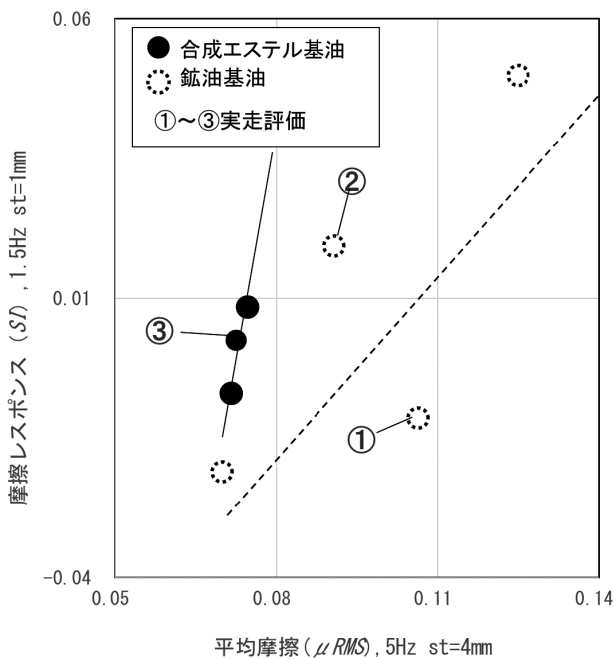


図6 平均摩擦 (μ_{RMS}) と摩擦レスポンス (SI) の関係

5.2 解析結果

図7にウェーブレット解析 (CWT, アスファルト, 30km/h, カローラ スポーツ) の結果を示す。①従来処方に対し、②最新処方および③合成エステル基油+摩擦調整剤では、100-250Hz帯域の高周波成分が低下する傾向を示した。これは運動反転直後の加速度ピークが摩擦特性、とくに摩擦レスポンス (SI) の最適化により抑えられたためと考えられる。以上より、摩擦の「量 (μ_{RMS})」と「立ち上がり方 (SI)」の設計が実走応答に反映されることが示された。

また、①②③の100-250Hz帯域を比較することで、摩擦レスポンスの最適化前後における特徴を整理した。

5.3 官能評価結果

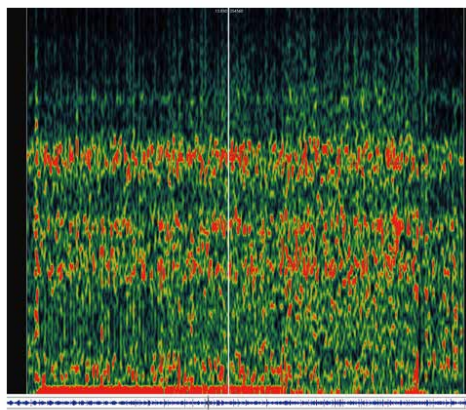
氷上は路面摩擦係数 (μ) が小さく、接地性能の差が官能評価に出やすい。微細な凹凸やスリップグリップの繰り返しにより高周波入力が生じる一方、ピストン速度がゼロ近傍に滞在する時間が相対的に長く、油圧減衰の立ち上がりが弱くなりやすい。結果として、反転直後の摩擦レスポンス差が表れやすい条件となる。

評価結果

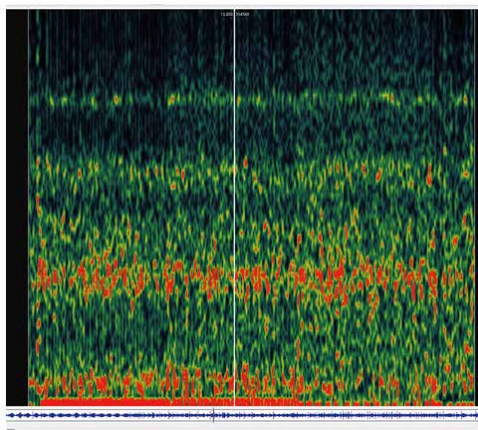
官能評価（定量計測は未実施）では、プロドライバーから「初期応答が素直」「接地感が向上」「まるで違うタイヤを履いているようだ」との評価が得られた。一般ユーザーからも「ガタガタ道がまるやか」「操作性が良い」「安定感がある」との声が得られ、摩擦レスポンス差が明確な体感差として現れた(表2)。

5.4 まとめ

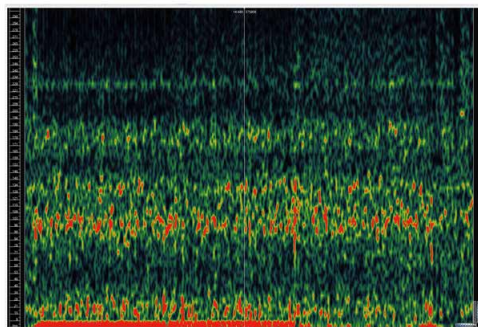
- (1)SIは「ほどよい範囲」がある：過大だと乗り心地が悪化し、過小だと接地感が薄れる傾向を示す。最適点の探索には実走での微調整が欠かせない。
- (2)平均摩擦 (μ_{RMS}) は「下げれば良い」だけではない： μ_{RMS} 低減は乗り心地に寄与する一方、摩擦レスポンス (SI) との同時最適化が鍵となる。
- (3)③（合成エステル基油+摩擦調整剤）の意義：低平均摩擦・中レスポンスという特性は、本組み合わせで初めて狙える設計領域である。従来は到達しづらかった摩擦レスポンスの「量×立ち上がり方」のバランス点を示し、環境面の利点に加えて走行性能面でも有意なメリットとなる。



① 鉱油 従来処方 (低平均摩擦)



② 鉱油 最新処方 (高レスポンス)



③ 合成エステル基油 (中レスポンス)

図7 実走ウェーブレット解析帯域比較 (SI 最適化前後の特徴)

表2 ドライバーコメントの整理 (低μ路)

対象	観点	代表コメント (引用)
プロドライバー (複数名)	滑らかな動き	「荷重がちゃんと移動してハンドルが効く」 「ゆっくり切っても滑らか」
プロドライバー (複数名)	応答性の向上	「初期の応答性が線形的に緩やかに出る」 「細かいところから動き始める」
プロドライバー (複数名)	タイヤ性能の向上感	「まるで違うタイヤ履いているみたい」
プロドライバー (複数名)	グリップ限界の改善	「グリップの限界をすぐ超えない」
一般ユーザー (複数名)	滑らかな動き	「ガタガタ道がまろやか」「ちゃんと反応する」
一般ユーザー (複数名)	応答性の向上	「軽く操舵した時にちゃんと反応」 「スラローム速度が上がる」
一般ユーザー (複数名)	操作性の向上	「操作性がいい」「思い通りにいく」
一般ユーザー (複数名)	振動の低減	「振動が落ち着いている」
一般ユーザー (複数名)	車両の安定感	「安定感がある」

(注: 個人名は非開示, 出典=社内評価スライド「ドライバーのコメント (低μ路での体験)」)

6 環境性能

開発したショックアブソーバ用作用油は、OECD 301Fに基づく評価において、生分解性を有することを確認した。基油を循環由来原料を用いた基油に置換することで、CNへの貢献が可能である。

さらに、レシピ設計段階から再生・再利用のしやすさを考慮することで、使用後の処理や再利用工程の効率化も図っており、環境負荷低減と資源循環の観点でも優位性を有する。

2024年のBAJA1000 (写真2) および2025年のRALLY HOKKAIDOにおける実車適用により、これらの環境性能を有しつつ、過酷な走行条件下でも安定した走行性能を維持したことから、実用性と持続可能性の両立が確認され、将来の社会実装に向けた重要なステップとなった。今後は作用油の普及と並行してリサイクルスキームの構築を進め、さらなるCNの実現に向けた技術基盤の確立を目指す。



写真2 BAJA1000参戦車両 (LEXUS LX600 “OFFROAD” TEAM JAOS 2024 ver.)

7 今後の展望

本技術は乗用車のみならず、建設機械・鉄道・船舶など多様な油圧製品への展開が可能である。摩擦レスポンス制御技術は、今後の予測モデル化や設計標準化に向けた基盤技術となり、持続可能なモビリティ社会の実現に貢献し得ると考えている。

また、油圧機器メーカーが自ら作動油の研究開発を進めることは、機械構造と材料特性の両面に通じた専門性を活かす取り組みであり、専門メーカーでなければ実現し得ない機械×材料の組み合わせ技術に基づいている。こうした背景を踏まえ、今後も環境対応と差別化技術を融合した作動油開発を継続し、製品性能と持続可能性の両立を図っていく。

8 おわりに

本報では、合成エステル基油を用いたショックアブソーバ用作動油の開発を通じ、摩擦レスポンス制御を中核とする設計指針を示し、乗り味と環境性能の両立を実現した。摩擦の「量」そのものではなく「立ち上がり方」に着目することで、微小入力領域の応答性を高め、実車試験でも高い評価を得ている。従来十分に解明されていなかった摩擦挙動の特性が、トライボロジー的アプローチにより明らかになりつつある⁷⁾。アスファルト舗装テストコースにおけるウェーブレット解析 (CWT, 30km/h, カラーラスポーツ) では、摩擦レスポンス (SI) を適正化した処方^{100-250Hz帯域の高周波成分が低減し、運動反転直後の加速度ピークが抑えられる傾向を確認した。これは、摩擦の「量」と「立ち上がり方」を設計パラメータとして扱うことが、周波数領域の評価にも明確に反映されることを示している。このことは高周波振動の低減を意味し、振動や騒音 (NVH) の低減にもつながる可能性がある。また、この特性はEV時代に求められる高い静粛性にも寄与しうると考える。}

一方、氷上 (低 μ) での実車走行 (トヨタ・ヤリス, 同一仕様・作動油のみ差し替え) では、入力が小さくピストン速度がゼロ近傍での滞在時間が長い条件下で、反転直後の摩擦レスポンス差が体感差として顕在化した。プロドライバーからは「初期応答が素直」「接地感が向上」「まるで違うタイヤを履いているよう」、一般ユーザからは「ガタガタ道がまるやか」「操作性が良い」「安定感がある」との評価が得られ、摩擦レスポンス差が明確な体感差として現れた。このような接地感の向上は、走行安定性の改善を通じて安全性向上にも寄与すると考えられる³⁾。あわせ

て、SIは大きければ良い／小さければ良いという単純な指標ではなく、適正範囲の設定が重要であること、さらに平均摩擦 (μ_{RMS}) の低減が乗り心地改善に効果的である一方でSIとの同時最適化が鍵となることが示唆された。

とりわけ、合成エステル基油と摩擦調整剤の組み合わせで実現した低平均摩擦・中レスポンス (③処方) は、従来の鉱油系では達成が難しかった摩擦レスポンスの「量×立ち上がり方」のバランス点を示し、乗り心地 (快適性) と接地性 (操縦安定性) の両立に資する新しい設計領域を切り拓いた。これは合成エステル^{の環境上の利点に加えて、走行性能面でも有意なメリットとなる。}

本技術はショックアブソーバの摩擦制御技術とその性能向上への貢献が評価され、2022年度日本トライボロジー学会技術賞を受賞した⁸⁾。

また、この技術に基づいて開発した新たなショックアブソーバ用作動油『サステナルブ[®]』は、環境性能と走行性能の両立を目指し、将来の実用化を見据えた技術開発の成果であり、当社ならではの技術思想を象徴するものといえる⁹⁾。

さらに社会実装と資源循環を見据え、レシピ設計段階から再生・再利用のしやすさを考慮しており、リサイクルスキームの確立を通じて一層のCN達成を目指す。今後は実装を加速し、持続可能なモビリティ技術としての展開を図り、自動車技術におけるトライボロジーの新たな可能性を切り拓いていく。

参考文献

- 1) 加藤慎治:「ショックアブソーバ作動油が車両の乗り心地と操縦性能に与える影響」, 月刊トライボロジー, 35(5), 27-31, 2021.
- 2) 中西博:「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), 598-603, 2009.
- 3) 加藤・佐々木:「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」, トライボロジスト, 64(1), 55-62, 2019.
- 4) S. Kato and S. Sasaki: Effects of hydraulic oil and lubricant additives on dynamic friction properties under various reciprocating sliding conditions, Friction, 8 (2), 471-480, 2020.
- 5) 加藤慎治:「緩衝器用潤滑油の摩擦特性に関する研究」, KYB技報, 45, 22-29, 2022.
- 6) S. Kato and N. Samadi: The Power of Oil-Influence of Shock Absorber Oil on Vehicle Ride and Handling Performance, 11th International Munich Chassis Symposium, 93-107, 2020.
- 7) 加藤慎治, 佐々木信也:「ショックアブソーバの摩擦特

性が及ぼす自動車の官能特性への影響」, 設計工学, 54(4), 253-264, 2019.

- 8) 加藤慎治:「トライボロジーによる自動車用ショックアブソーバの性能向上—動的摩擦特性評価技術とその制御技術—」, トライボロジスト, 68(11), 778-781,

2023.

- 9) 加藤慎治. (2024). トライボロジーをコア技術とする「カヤバ」: ショックアブソーバ油のカーボンニュートラル展開 カヤバ株式会社 加藤慎治氏に聞く. 潤滑経済/潤滑通信社 編, (706), 29-33.

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製品開発室専任部長, 基盤技術研究所材料研究室長を経て現職.



安河内 直樹

2006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製品開発室専任課長. ショックアブソーバ作動油開発に従事.



石田 幸也

2019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製品開発室. ショックアブソーバ作動油開発に従事.

製品紹介

キャンピングカーの開発

新 島 健 之



写真1 カヤバのキャンピングカーイメージ

1 はじめに

カヤバ特装車両事業部は、国内シェアトップを誇るコンクリートミキサ車を主力製品として長年市場をリードしてきた。しかし、国内の生コンクリート需要は中長期的に減少傾向にあり、2023年には過去最低を更新するなど、事業環境は大きな転換期を迎えている。この状況は、従来のミキサ車依存型の事業モデルを見直し、新たな成長戦略を模索する絶好の機会である。

一方で、キャンピングカー市場は右肩上がりの成長を続けており、2023年度には前年比138%増の規模に達した(図1、図2)。欧米に比べれば日本市場はまだ小規模であるが、今後の拡大が期待される有望分野である。特に「バンコン」^{注1)}と呼ばれるバンベースのキャンピングカーは高い人気を誇り、欧州車などの高付加価値モデルが市場を牽引している。

このような市場動向を踏まえ、カヤバはコンクリートミキサ車で培った製造技術や架装設計の知見を最大限に活かし、キャンピングカー事業への挑戦を本格化する。本報では、安全性・操安性・快適性

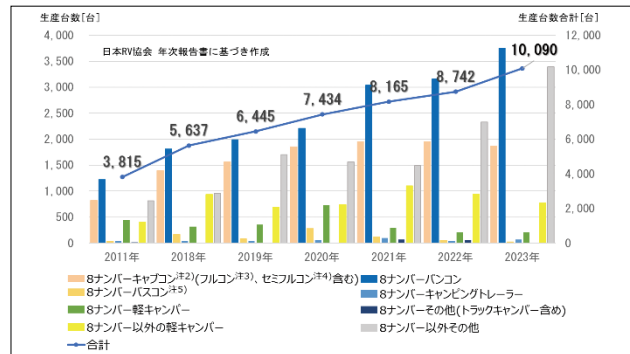


図1 キャンピングカー生産台数¹⁾

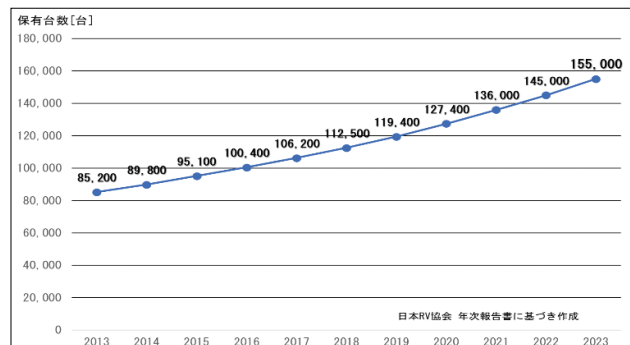


図2 キャンピングカー保有台数¹⁾

を兼ね備えた高品質な製品を開発し、アウトドアライフを楽しむ顧客に新しい価値を提供し、カヤバブランドとしての新たな可能性を切り拓くために模索した経緯を紹介する。

注1) バンをベースに内装をキャンピングカー仕様へ改造したキャンピングカーのこと。

注2) トラックの荷台に居住スペースを架装したキャンピングカーのこと。

注3) キャンピングカー専用設計された独自の車体を持つ一体構造のキャンピングカーのこと。

注4) バスをベースにベース部分や先頭のキャブ部分を残し、改造したキャンピングカーのこと。

注5) バスをベースに内装をキャンピングカー仕様へ改造したキャンピングカーのこと。

2 車両コンセプト

本開発では、全社的なキャンピングカープロジェクトの発足以来、継続的にユーザーズの収集と分析を行ってきた。具体的には、展示会でのアンケート調査や、ビルダーを通じた詳細なユーザーヒアリングを実施し、顧客が求める価値を抽出した。その結果、単なる移動手段としてのキャンピングカーではなく、「快適な乗り心地と操安性」と「居住空間としての快適性」という二つの要素を高次元で両立させることが、顧客満足度を最大化する鍵であると判断した。

従来のキャンピングカーは、居住性を重視する傾向にあり、走行性能や安全性が課題になるケースが多かった。

一方で、カヤバが国内外で培った乗用車および商用車のサスペンション開発技術、特装車両で培った架装設計技術を活かし、操安性に優れたバンベース車両を採用し、専用サスペンションや重量バランスの最適化を実施することで、「快適な乗り心地と操安性」を実現した。また、居住空間においては、天然木の質感や高断熱構造により高級感と機能性を兼ね備えた内装を採用することで、快適性を追求した。

さらに、オープンデッキや大容量バッテリーシステムなどの装備を搭載し、アウトドアライフをより豊かにする価値を提供している。

キャンピングカー市場には後発メーカーとして挑戦する立場であり、他社との差別化を明確に打ち出すことで、顧客体験の質の向上を目指し、キャンピングカー市場における新たなポジションを確立する挑戦である。

3 車両の構成

3.1 快適な乗り心地と操安性の実現

3.1.1 ベース車両の選定

本開発において、ベース車両（写真2）の選定は製品コンセプトを具現化するうえで最も重要な要素の一つである。本開発では、操安性に優れた欧州製のバン型車両を採用した。バン型車両は、キャブコンに比べて横風などによる煽られが少なく、走行安定性に優れるため、長距離移動や高速道路走行においても安全性が高い。また、事故率が低いという実績もあり、顧客に安心感を提供できる車両である。

さらに、欧州製のバン型車両は居室の広さ、特に頭上高に優れており、限られたスペースの中で快適な居住空間を確保することが可能である。外観デザインにおいても、スタイリッシュで注目度が高く、アウトドア志向の顧客に強い訴求力を持つ。欧州では高級キャンピングカーのベースとして広く採用されている。この車体を利用し、車両構築をすることで、「走行性能」と「居住性」という二つの価値を両立させることを目指した。

また、バン型車両はカスタマイズ性にも優れており、内装設計や装備の自由度が高いことから、顧客ニーズに応じた多様な仕様展開が可能である。これにより、単なる移動手段ではなく、快適な生活空間としての価値を提供するキャンピングカーの開発が実現できると考えた。



VILLATOR™

写真2 バン型ベースのカヤバキャンピングカー

3.1.2 サスペンションのチューニング

快適性と操安性の両立はキャンピングカーの価値を決定づける重要な要素である。そのため、カヤバが国内外で培った乗用車・商用車のサスペンション開発技術を最大限に活用し、専用設計のダンパを

チューニングした。従来のキャンピングカーは、重量増加や重心の高さにより、走行時の安定性や乗り心地に課題を抱えていた。特に高速走行や横風の影響を受けやすい状況では、操縦性が低下し、長距離移動時の疲労感を増大させる要因となっていた。

そこでテストコースでの走行・調整を繰り返し、減衰力特性を最適化することで、路面からの入力を効果的に吸収しながら、操舵時の応答性を確保するサスペンションを開発した。専用ダンパは、キャンピングカー特有の重量バランスに合わせて設計され、乗り心地の柔らかさと操安性を両立させることを目指した(写真3)。

この取り組みにより、従来のキャンピングカーでは得られなかった快適な乗り心地と操安性を高次元で両立させることが可能となった。結果として、長距離移動やアウトドアシーンにおいて、顧客に安心感と快適性を提供する車両性能を確保している。

ンドイッチパネル^{注6)}である。この構造は高い強度を維持しながら重量を大幅に削減できるため、車両の総重量を抑え、重量バランスの最適化に寄与している。

注6) 六角形のセルの集合体を表面材で挟んだ3層構造のこと。

3.2 快適な居住空間の実現

3.2.1 質感の高い内装デザイン

居住空間としての快適性を向上させるため、本車両ではインテリアデザイナーの監修のもと、質感に優れた内装デザインを採用した(写真5, 写真6, 写真7)。意匠面においては木目を精緻に揃えたデザインを導入することで、空間全体に統一感と高級感を付与している。天然木が持つ独特の風合いと暖かみを活かし、居住空間に落ち着きと安らぎをもたらすと同時に、長時間の滞在においても快適性を持続できる環境を構築した。



写真3 走行シーン



写真5 内装デザイン

3.1.3 専用シートの搭載

運転席・助手席に専用設計のシートを採用し、長時間運転時の快適性を向上させた(写真4)。



写真4 専用ダンパと専用シート



写真6 ベッド展開状態

3.1.4 重量バランスを考慮した内装設計

車両全体の重量バランスを最適化するため、収納や設備などの内装品の配置を検討した。これにより、走行時の安定性を確保している。さらに、操安性向上のため、内装材に軽量素材を積極的に採用した。その代表例がオープンデッキに使用したハニカムサ



写真7 リビング空間

3.2.2 上部収納

快適な居住空間の実現に向けて、限られた車室内スペースを最大限に活用しつつ、質感と機能性を両立する装備の設計・搭載を行った。特に収納スペースの設計においては、航空機のオーバーヘッドビン^{注7)}を参考にした構造を採用し、頭上空間を有効に活用することで収納力を確保しながら、居住空間の開放感を損なわない工夫を施した(写真8)。

注7) 航空機の客室上部にある手荷物収納棚のこと。



写真8 上部収納

3.2.3 バッテリシステム

快適な居住空間の維持に不可欠な電力供給システムとして、本車両には大容量LFPバッテリー^{注8)}を採用した。これにより、長時間の滞在や複数の電装品の同時使用においても安定した電力供給が可能となり、居住性の向上に寄与している。操作インターフェースには手元スイッチと併せて、タッチパネル式のコントロールユニットを採用し、電装品の操作を容易にした。

注8) 正極にリン酸鉄を用いるリチウムイオン電池のこと。

3.2.4 オープンデッキとリクライニング

車両後方には、屋内と屋外をシームレスにつなぎ、贅沢な空間利用を可能にする展開式オープンデッキ

を搭載した(写真9)。このオープンデッキは、キャンプやアウトドアシーンで大きな開放感を生み出し、自然と一体になった時間を楽しむことができる設計となっている。さらに、その魅力を最大限に引き出すため、室内にはリクライニング機能を備えたシートを配置した(写真10)。屋外の景色を眺めながら、ゆったりとくつろげる快適な空間を提供する。



写真9 オープンデッキ



写真10 リクライニング

2025年1月の東京オートサロン2025で「VILLATOR」として発表し、受注を開始した(写真11)。また、発表後にジャパンキャンピングカーショーなどの多数のイベントへ出展し、販売活動を実施している。



写真11 東京オートサロン2025での発表画像

4 おわりに

カヤバのキャンピングカー第1弾として市場投入へ一歩踏み出すことができた。一方で、高価格帯をターゲットにしたことにより、価格競争力に課題が見えてきた。コスト、販売チャネル、アフターサービスなど、総合的な体制整備に加え、ユーザーズに応じたラインナップ拡充など課題解決に向け進め

て行きたいと考えている。

最後に、キャンピングカー室内・外装をデザインいただきました有限会社ヴォイドをはじめ協力会社の方、社内プロジェクトメンバおよび展示会・取材など協力いただいた皆様に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 日本RV協会：年次報告書2023

著 者



新島 健之

2014年入社。特装車両事業部熊谷工場技術部、専任課長。特装車両設計を経てキャンピングカー開発に従事。

製品紹介

二輪車向け単筒ガスRCU用 Hydraulic Compression Stopの開発

秋本 政信

1 はじめに

昨今、二輪車市場では写真1のようなアドベンチャーモデルの販売台数が増加しており、車両メーカー各社は精力的に新型車開発に取り組んでいる。車高が高く荒れた路面も走行できるため長距離ツーリングでの人気が高い。そのためサスペンションには吸収性が良く、乗心地に優れたものが要求される。

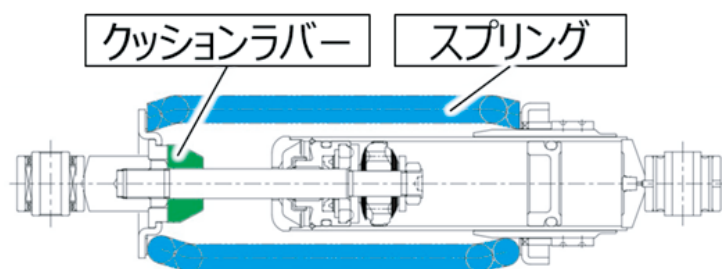
一方で積載時や二名乗車時に荒れた路面を走行すると、車体と後輪をつなぐリアサスペンション（以下RCU）がボトム^{注1)}しやすい状態となる。そのため従来構造ではボトムショックを吸収する多段スプリングやクッションラバーを使用していたが、吸収性向上には限界があった（図1）。開発時に吸収性が目標未達となる場合、常用域の減衰力を強めることで対策を行うが、乗心地が悪化するというトレードオフの関係となる。

今回、BMW F450GS向けに常用域の乗心地とボトムショック吸収性を両立させる新構造の製品開発を行ったので、その概要について紹介する。

注1) フルストロークし底付きすること



写真1 アドベンチャーモデル一例 BMW G310GS
※G310GSはBMW Motorrad社の商標です。



スプリング & クッションラバー特性線図

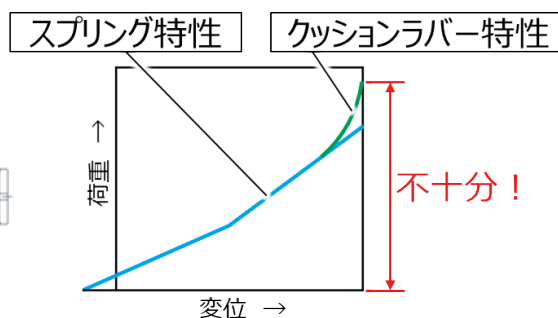


図1 従来型ガスRCU

2 開発背景

乗心地とボトムショック吸収性を両立させる機構として、Hydraulic Compression Stop^{注2)}（以下、油圧ストッパ）がある。二輪車向けでは古くからフロントフォーク（以下FF）に搭載されており、その一例を図2に示す。

FF用油圧ストッパはピストンロッドに装着されたピースが圧縮側ストロークにてケース内へ突入し圧力室を形成する。受圧面積はケース内径—ピストンロッド外径となり圧力室の内圧から油圧ストッパ荷重が発生する¹⁾。

また四輪車向けでは複筒ガスショックアブソーバに油圧ストッパ機構を付加した生産実績がある（図3）。こちらはピストンサポートとシリンダにて圧力室を形成する構造となっている²⁾。

今回、開発の対象となっているモデルは二輪車向けRCUの主力製品である単筒ガスRCUであり、油圧ストッパ機構の設定が無かった。

注2) ダンパ圧行程にて作動する油圧ストッパ

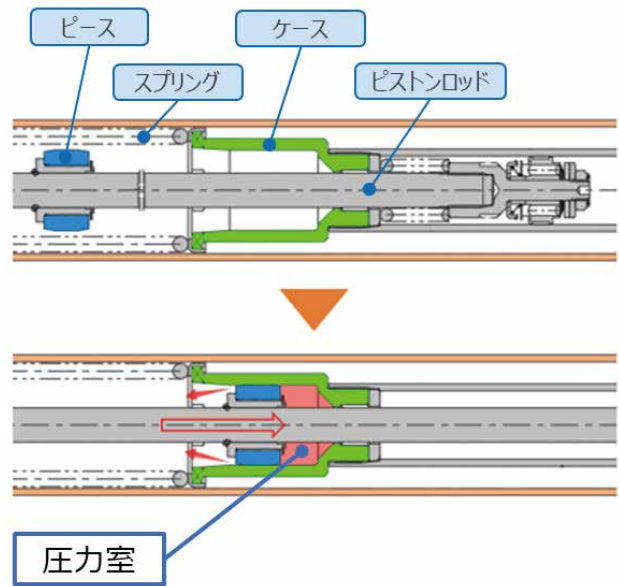


図2 既存FF用油圧ストッパ機構

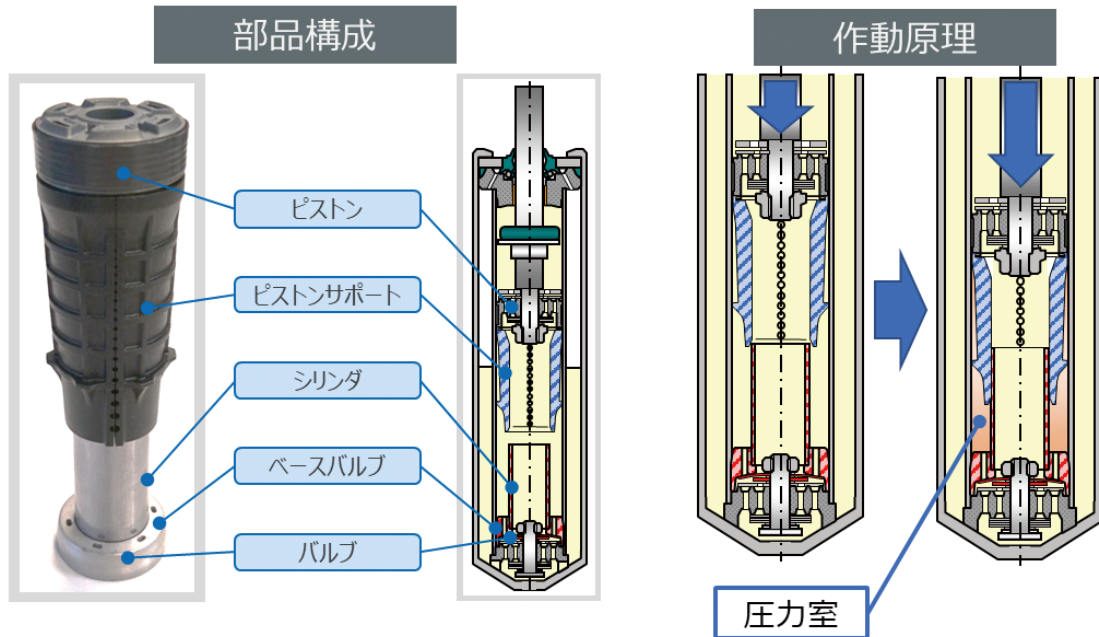


図3 複筒ガスショックアブソーバ用油圧ストッパ機構

3 市場品調査

単筒ガスRCU向け油圧ストッパを開発するにあたり、他社製品の調査を実施した。調査結果より、油圧ストッパ荷重が発生しており、常用域の乗心地とボトムショック吸収性の両立を確認した。

次に油圧ストッパ荷重の発生方法、すなわち圧力室の形成方法を確認した。ここで他社製品とカヤバ

既存油圧ストッパ構造（図2、3）では設計思想が異なることが分かった。

カヤバ製の既存油圧ストッパ構造はダンパ内の一部分に圧力室を形成する構造を採用している。こうすることで油圧ストッパ作動時の圧力がオイルシール等へ負荷しないように配慮している。

対して他社製品はダンパ内部全体を圧力室としており油圧ストッパ作動時の圧力がオイルシールへ負

荷する構造となっていた。このような圧力室の形成を行う場合、油圧ストップ作動時の高圧下でも使用できるオイルシール、もしくは作動圧力が規定値を超えないように配慮する必要がある。

4 開発構造

調査結果から目標油圧ストップ荷重を設定した。また油圧ストップ荷重の高荷重化にも対応可能なように受圧面積を最大限確保しつつ、作動圧力がオイルシールに負荷しない構造を考案した。

開発品の構造を図4に示す。

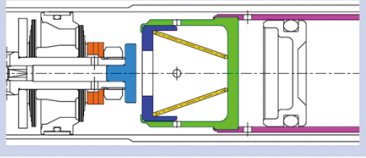
本開発品の構造は従来のダンパ内にインナシリンダを追加しケースをかしめて保持する。ケース内にはピース、スプリングを配置し、ケースをかしめることで抜け止めを行っている。また、ピストンロッド側にはストップを圧入し固定する。

作動原理は所定のストロークにて、ピースの中心に設けた穴をストップが塞ぐことにより圧力室を形成する。ケース内径とピース外径のクリアランスを変更することで、油圧ストップ荷重の調整が可能となり目標油圧ストップ荷重を達成した。

ピストンロッド進入分体積の作動油はインナシリンダ側面に設けたオリフィスよりフリーピストン側へ流入する。これによりメインピストンで発生する減衰力には影響を及ぼさない。

5 コスト

油圧ストップを追加するための部品点数は目標値10点に対し、開発品は6点まで抑えることに成功した。これによりコスト低減率32%を達成することができた。

項目	目標値	開発品
構造		
油圧ストップ部品点数	10点	6点
油圧ストップ追加コスト	目標値	目標値 -32%

6 まとめ

単筒ガスRCUに搭載可能な油圧ストップ構造を開発することができた。

本製品はBMW F450GS(写真2)に採用頂いており、通常走行での乗心地と、ボトムショック吸収性の両立ができています。この良さを体感して頂きたい。

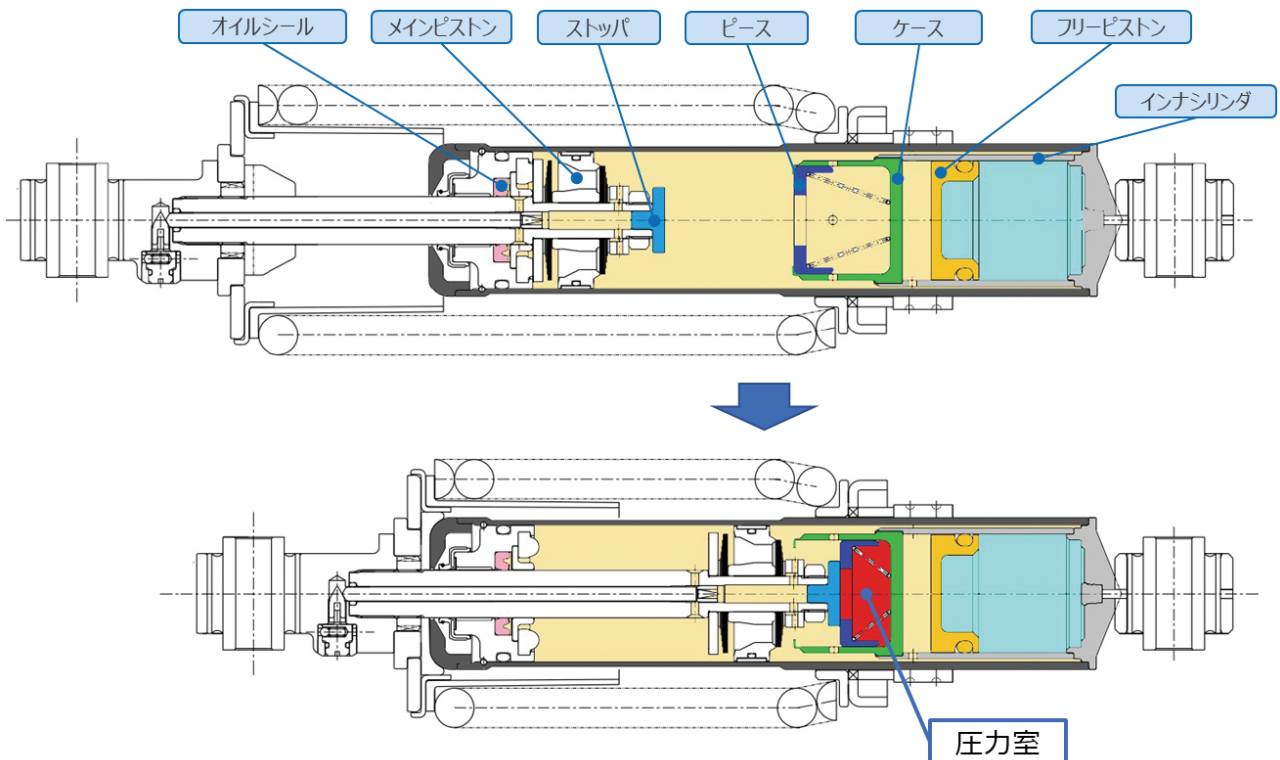


図4 単筒ガスRCU用油圧ストップ機構

7 採用状況, 今後の展望

本開発構造は量産を開始しており, 今後他機種への展開, 拡販を行っていく。また今回の開発構造は受圧面積を最大限確保することができるため, 小型車用RCUへの展開も計画している。採用車種・生産量ともに拡大が期待される。



写真2 開発品搭載車 BMW F450GS
※F450GSはBMW Motorrad社の商標です。

8 おわりに

最後に, 本製品の開発にあたり, ご支援いただきましたBMW Motorrad 様, TVS Motor Company Limited 様, 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。

参考文献

- 1) 須崎: $\phi 37$ 倒立フロントフォークの性能, 品質改善構造の開発, カヤバ技報第68号, (2024年4月)
- 2) Senar: Double Hydraulic Stop Suspensionカヤバ技報第58号, (2019年4月)

著者



秋本 政信

2008年入社。カヤバモーターサイクルサスペンション(株)技術部。二輪車用サスペンションの設計・開発に従事



Japan Mobility Show 2025 出展ストーリー

実施委員リーダー

佐藤 洋輝 ・ 栗原 健太

1 はじめに

約70年続いてきた「東京モーターショー」から、一昨年新たな姿へと生まれ変わった「Japan Mobility Show (以下JMS)」。それから3度目となるJapan Mobility Show 2025 (以下JMS2025) が、2025年10月29日から12日間、東京ビッグサイトで開催された (写真1)。

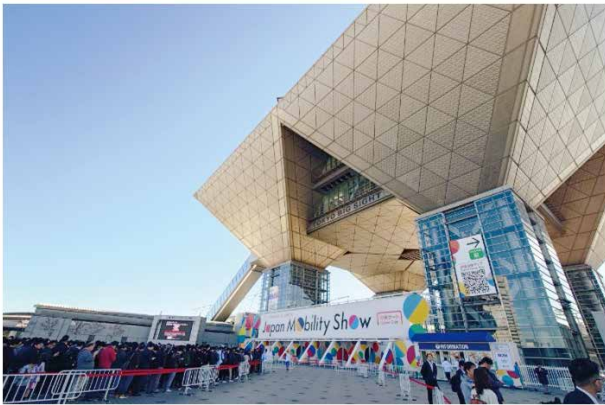


写真1 JMS2025@東京ビッグサイト

1.1 JMSとは

東京モーターショーは、完成車発表を中心としたイベントの印象が強かった。一方JMSは、“モビリティ”全体を対象とするイベントであり、ドローンやロボット、航空機なども含まれ、日本の未来を、多様な仲間と共に創り上げることを目的とした場である。また、JMSは「ショーケースイベント (モビリティの未来を感じる場)」と「ビジネスイベント (未来を創る企業連携を促進する場)」を毎年交互に開催し、2年間で1つのパッケージで構成され、2025年はショーケースイベントに当たる。

前回のショーケースイベントであるJMS2023では、全体コンセプトとして「乗りたい未来を、探しに行こう!」を掲げ、FUTURE, GREEN, DREAM, 3つの切り口で、自動車業界の枠を超えて、他産業

やスタートアップ、計475企業・団体が参加した。更に、日本自動車工業会が目標としていた100万人を上回る111万2000人が来場し、大盛況のうちに幕を閉じた。

1.2 JMS2025

JMS2025は、「ワクワクする未来を、探しに行こう!」を全体コンセプトに、FUTURE, CULTURE, CREATION, 3つの切り口を掲げ、自動車業界の枠を超えて計522の企業・団体が参加した。「みんながワクワクし、一緒に考え、未来を創り上げていく」という主催者の想いが込められた今回も、101万人が来場し大盛況となった。ショーケースイベントとしては2回連続の100万人超えを達成し、JMSに生まれ変わったことによる継続した活気が示された (写真2)。



写真2 JMS2025入場待機列

2 JMSとなって2度目の出展

カヤバはJMS2023に、2017年以来の久しぶりとなる出展を行い、当時はすべてが手探りの状況から準備を進めた。東京モーターショーからJMSへと生まれ変わり、ショーとしての方向性が変わったことも相まって、二重のプレッシャーがのしかかっていた。

そこで、クルマに固執せず、カヤバの強みである油圧技術を老若男女問わず知っていただきたいという想いをブースに込めた。ショックアブソーバだけではなく様々なカヤバの技術を、「カヤバのアソビバ」というコンセプトを掲げて体感できる展示とした。

その結果、狙い通りお子様からご年配の方まで幅広い来場者に楽しんでいただき、大成功を取めることができた。JMS2023カヤバブースの様子を写真3に示し、特設サイトのQRコードを図1に示す。



写真3 JMS2023 カヤバのアソビバ (左)

図1 JMS2023カヤバ特設サイトQRコード (右)

今回は、JMSとなって2度目の出展である。前回の出展にて全力を注いだがゆえに、「前回の方が良かった」、「今回のカヤバブースはつまらない」という声が出るのではないかと不安が真っ先に頭をよぎった。前回との比較を避けられない立場だったが、出展委員長と実施委員リーダーの初回三者面談で「絶対に前回は超える良い出展にしよう」と誓い合ったことを今でも鮮明に覚えている。

JMS2023実施委員は20名だったが、JMS2025では前回経験者4名を含む24名で発足した。リーダーである私たち2名も経験者である。なお、前回同様、メンバーは主に若手技術者で構成され、普段は製品設計や評価などを担う者が大半である。

前はすべてが手探りだったことに加え、日程も非常にタイトで苦しいものだった。今回の実施委員が始動できたのは2025年3月13日であり、前回同様に会期まで短い日程感だったが、「経験を活かし、苦しい準備期間にはしない」という強い想いを胸にスタートを切った。

3 上々な立ち上がり

カヤバがJMSに出展する主目的は、カヤバが持つ将来のモビリティに生きる技術の価値掲出、カヤバの認知度・好感度向上である。

この目的を達成するためには、コンセプトを核とし、それを体現する展示物やイベント、各種コンテンツを緻密に設計する必要があった。更に、それらの効果を最大限発揮するためのブース構成や運営準備、出展の成果を測るアンケート、そして前回は力を入れられなかった「ブースに足を運ばない方々への施策」まで、検討すべき項目は始動直後から次々と頭に浮かんだ。加えて、前回出展の課題を確実にフィードバックするべく、課題資料の読み込みと、前回リーダーへのヒアリングを重ね、要点を整理した。同時に、実施委員同士が意見を交わしやすい環境の重要性を前回の活動で実感していたため、今回はより一層、全員が気軽に発言できる雰囲気づくりにも強く意識した。

また、前回のカヤバブースを全面的にプロデュースいただいた株式会社クオラス様（広告代理店。以下クオラス 敬称略）に、今回も協力を依頼した。

3.1 コンセプト検討

3月13日の始動と同時に、最初の重要課題であるコンセプト検討を開始した。まずはJMS2025の全体コンセプトや3つの切り口、FUTURE、CULTURE、CREATION、を深く理解し、ショー全体の趣旨を把握することから始めた。ここを起点に、過去、現在、未来でモビリティとは人々にとってどのような存在か、カヤバとしては何を見せるべきか、前回の来場者アンケート結果を踏まえた出展の方向性、2025年はカヤバ創立90周年であることをどのように織り込むか、などを整理した。前回の大成功を経験しているからこそ、何を踏襲し、何を变えるべきか悩み抜いた。実施委員全員の考えを集約し、4月下旬にはカヤバの出展キーワードに落とし込むことができた。

モビリティとは、ツールでもあり生きがいにもなり得る存在で、人々と切っても切れない暮らしに寄り添うものである。カヤバが持つ技術もまた、人々の暮らしに寄り添うものである。縁の下の力持ちとして社会のあらゆるところで活きている。これらを直接的に表現し、「これからも暮らしに寄り添う」というキーワードを実施委員で導き出した。更に、創立90周年で培った技術を、老若男女問わず楽しく知っていただきたいという方向性も明確になった。コンセプト検討の流れを図2に示す。



図2 コンセプト検討

ここから先は、出展キーワードをキャッチーかつ来場者に興味を持ってもらえるコンセプトコピー・ロゴにすべく、クオラスにも検討いただいた。普段目に見えるところにも、見えないところにも、カヤバの技術が活かしている。このことを、フックのある言葉で単的に表現し、「カヤバのしわざ 見えないところにも、カヤバの技が活かしている。」をコンセプトとして出展していくことに決定した（図3）。



図3 出展コンセプトロゴ

3.2 ALLカヤバ

出展キーワードは今回の出展の核として揺るがないことを確認した後、コンセプトコピー・ロゴ検討と並行して展示物の検討にも着手した。お子様やカヤバを知らない一般の方も多く来場されることを念頭に、何に関わりのある会社なのか理解いただくため、モビリティが目に入るブースを考えた。また、前回アンケート結果を基に、より楽しく、深く、カヤバの技術を知っていただくため、体感展示をパワーアップさせることを前提とした。

また、実施委員の認識として、カヤバの強みは“多種多様なモビリティに技術・製品を提供している”ことである。どのモビリティもカヤバにとって大切なものであると考え、モビリティに優先順位を付けてどれかに絞ることはしなかった。

展示の方向性として行き着いた結論は、自動車の他、バギー（趣味のモビリティ代表）、パワーショベル・コンクリートミキサ車（働くクルマ代表）、鉄道、をモビリティとして分かる形で展示しつつ、ALLカヤバの技術を体感できるブースである。

一方で、この体感型ブースを実現するためには、現状の実施委員だけでは知見が不足していることも認識していた。

4 溢れる想い

ブースに盛り込む想いは、準備を進めるほどに更に膨らみ、形にしたいアイデアが次々と湧き上がっていった。

4.1 展示物構成

展示物を具体化するために、カヤバの強みである“多種多様なモビリティに技術・製品を提供している”を深掘りした。カヤバは創立当時からコア技術として振動制御技術、パワー制御技術を持っている。時代の変遷に沿って、それらを高次元に使いこなすためのセンシング・制御技術に磨きをかけてきた。カヤバの技術を掲出するに当たり、これら3つのコア技術を来場者に“感じてもらう”仕掛けをブース全体に織り込むことが必須だと考えた。

振動制御技術としては自動車用ショックアブソーバ、鉄道用の左右動ダンパが該当し、パワー制御技術としては、パワーステアリング、アクチュエータやポンプなどの油圧機器、コンクリートミキサ車が該当する。センシング・制御技術はそれらすべての高次元化に寄与するコア技術である。

来場者に分かりやすく伝えるため、ブース内は「振動制御ゾーン」「パワー制御ゾーン」「センシング・制御ゾーン」に分けた。更に、それらコア技術を融合し提案する「未来のモビリティゾーン」を設けることにした。

振動制御ゾーンでは、ショックアブソーバの乗り心地改善効果や鉄道左右動ダンパの働きを体感できる装置を設置し、環境対応として開発中のサステナブル（環境作動油）の動展示を行う構想とした。

パワー制御ゾーンでは、油圧の仕組みを理解できるパワーショベル型モックアップや、注射器ショベルによる体感展示、透明化したドラムで構造を示すミキサ車展示、更にバギー車両でパワーステアリングの効果を体感できる展示を計画した。

センシング・制御ゾーンでは、体感技術が街中で活用されていることを示し、高度な制御技術の基礎を理解できるジオラマを考案した。

未来のモビリティゾーンでは、カヤバの技術が描く未来像を可動モックアップ車両で表現し、来場者が「ワクワクする未来」を体験できる空間を創り上げ、JMS2025のコンセプトに応えることを目指した。

最終的に、ブースは8つのエリアに分け、計11個の展示を行うことに決定した。これらの名称は、開幕直前まで議論を重ねた末にようやく確定したものである。以下に、8エリアを代表する展示物の名称と概略を示す。また、ブースレイアウトイメージを

図4に示す。

- ①サステナブル×モータースポーツ
加振機上に乗せた車両模型の揺れ方を通して、サステナブルと従来油の違いを体感する動展示と、実際にラリー選手に試乗していただいたインプレッション動画の放映。
- ②乗って体感！ショックアブソーバ
車内をイメージした空間で椅子に座りながら減衰力の大小を実際に体感できる装置（以後、SA体感機）。
- ③鉄道にも！？カヤバのしわざを感じよう！
鉄道形の体感機で、実は鉄道でも活躍している左右動ダンパの役割を体感できる（以後、鉄道体感機）。
- ④見る！考える！カヤバのしわざ
ブース中央にカヤバの製品が搭載されたモビリティを配置したジオラマを展示。振動を検知して光るミニ四駆を走らせ、センシングの様子や、そのデータの活用方法を紹介。
- ⑤ミキサでポン！
コンクリートミキサ車の仕組みを学びながらカヤバグッズを配布。
- ⑥ショベルを動かすカヤバのしわざ
パワーショベルのモックアップを通してカヤバの実製品と動きのしづみを体感できる展示。動画や注射器ショベルもあり、お子様でも分かりやすく紹介。
- ⑦“曲がる”をアシスト！カヤバのしわざ
ATVに乗ってハンドルを操作し、EPSによるアシスト効果を体感できる展示。
- ⑧暮らしに寄り添う
コンセプトモビリティ『MOYORI』
フルアクティブサスペンションによる車体の下降・上昇や、四輪独立操舵アクチュエータによる前輪と後輪で独立した転舵のうれしさを紹介。更に、デモンストレーションも実施。



図4 ブースレイアウト最終版

4.2 ブース全体施策

JMS2023の経験を活かし、展示物以外でも来場者楽しんでいただくための施策を、ブース全体で考えた。代表して5つの施策を紹介する。

1つ目はスタンプラリーである。前述の体感展示は一見して繋がりがなく見えるが、実はカヤバのコア技術で繋がっている。そのため、スタンプラリーを通じて「コア技術で繋がっている」ことを感じられる工夫をした。また、スタンプラリー台紙にはカヤバの情報を集約し、広告を兼ねる工夫も施した。

2つ目はカヤバグッズである。スタンプラリーでは達成数に応じて、ミキサでポンではランダムでグッズ配布を行った。カヤバグッズ検討に当たり、JMS閉幕後にもカヤバを思い出してもらえよう、「記念品としてもらって嬉しいものや日常的に使えるものにしたい」というのが実施委員の当初からの総意だった。この想いに基づき、皆で意見を出し合った結果、元々カヤバで扱っていたグッズに加え、今回オリジナルのグッズを用意することにした。用意した計5種類のカヤバグッズを写真4に示す。



写真4 カヤバグッズ

3つ目はデモンストレーションである。ブースの目玉となるMOYORIを通して「ワクワクする未来」を感じていただくことまでは考えた。しかし、より多くの来場者に分かりやすく伝えるため、動きを見せるデモンストレーションを実施することにした。

4つ目はプレスブリーフィングである。JMS2025の性質上、具体的な製品PRは考えていなかった。一方で、創立90周年を迎えたカヤバの歩みと目指す未来を直接伝える場として、プレスブリーフィングにエントリーすることにした。

また、デモンストレーション、プレスブリーフィングを行うに当たり、カヤバの出展コンセプトを体現する動画、カヤバが考える未来を示す動画の製作も行うことにした。

5つ目は衣装である。ブースの世界観を一貫して演出するため、コンセプトロゴを基にクオラスで検討いただき、来場者の目を引く衣装でアテンドすることにした。

5 展示物製作

出展に向け、様々な部分に溢れる想いを盛り込み準備を進めた。そして、いよいよ最重要コンテンツである展示物の詳細検討に本格着手するフェーズを迎えた。

5.1 全チーム始動！！

展示物構成がおおむね固まったのは6月頃だった。ここから、前述の8エリア・11展示の詳細検討を進めるため、各実施委員の経歴や専門性を考慮し、リーダ判断で全員をチーム分けした。リーダは全チームの方向性を示しつつ、必要に応じてフォローに入れる柔軟な体制を構築した。さらに、各展示チームには、詳細検討を先導する役割としてチーム代表を任命した。

各展示チームは、リーダと共に、譲れないこだわりポイントを議論、抽出し、それらを実現すべく奮闘した。全ての展示物で数々のドラマが生まれたが、ここでは抜粋して2つ紹介する。

5.1.1 慣れないシミュレーション

SA体感機と鉄道体感機は、頭の中では今にも動き出しそうな構成に思えた。しかし、誰も類似品を製作したことがなく、頭の中にある動きを簡易的に再現して検証することすら難しく、やり直しの猶予もない日程であった。実際に体感できるかどうか全く分からない中で製作を進めるしかなかった。

一回の製作で成功を取める唯一の拠りどころは、シミュレーションソフトだった。SA体感機と鉄道体感機はどちらも動きは類似である。違いは、自由落下を振動のきっかけとするのがSA体感機、左右方向の強制加振と慣性を振動のきっかけとするのが鉄道体感機である。これら体感機の要となる、ショックアブソーバ／左右動ダンパの減衰力設定やばね乗数の最適化を短期間で実施した。来場者の体格や感じ方が千差万別であること、また、安全第一であることから、良い塩梅を見つけることは極めて難しかったが、シミュレーションを駆使し、部品要件に落とし込むことができた。

鉄道体感機については、左右動を実現するためのアクチュエータ選定にも苦戦していた。装置自体の再検討を行う余裕もない中、装置としての要件はもちろん、コストと日程も非常に厳しい制約があり、普段使い慣れていない社外品を使うこと自体がリスクだった。そんな中、カヤバの製品であるEPS (Electric Power Steering の略) もアクチュエータとして使えるのではないかと意見が挙がった。要件を満足し、取り付

け確認もスムーズで、何より社内に有識者が十分に在籍していることが心強かった。EPSは小型で推力もあり、アクチュエータとしても非常に優秀であることを改めて実感した。

SA体感機の初期構想を図5、鉄道体感機の初期構想を図6に示す。

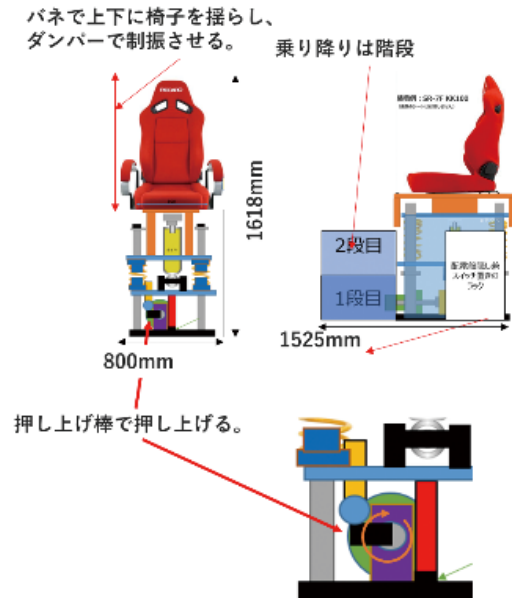


図5 SA体感機初期構想

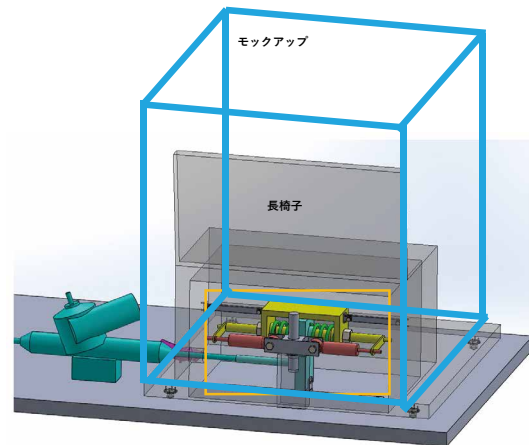


図6 鉄道体感機初期構想

5.1.2 モビリティのモックアップを作る

カヤバは自動車メーカーではないため、現時点でモビリティを販売するという事は考えていない。しかし、来場者にモビリティショーとして「ワクワクする未来」を感じていただくためには、技術単体ではなくモビリティを通して“コト”を伝えるべきという結論に至った。こうして、未来のモビリティに活かせるカヤバの技術を、モックアップへ搭載することに決定した。

更に、搭載技術によってモックアップが動くこと

で「その技術によって何が嬉しいのか？」を老若男女問わず実感いただきたいと考えた。非常に高い壁だったが、実際の動きをデモンストレーションすることに挑戦した。

最初の壁は、「未来のモビリティに活かせるカヤバの技術をどのように紹介すべきか」という展示コンセプトだった。議論を重ね、「全ての人が、気軽に、自由に、どこへでも行ける未来」を提示し、そのための技術を紹介する方針とした。乗降時は小さい段差の方が誰でも乗り降りしやすく、走行時の揺れは小さい方が快適で、駐車時や旋回時に小回りが利くと狭い場所にも進める。交通弱者と呼ばれる方はもちろん、あらゆる人にとって、シーンによらず快適な移動を提供したい。そのような想いを胸に、未来のモビリティに活かせるカヤバの技術として、フルアクティブサスペンションと、四輪独立操舵アクチュエータを織り込むこととした。また、来場者に嬉しさを実感いただくため、モビリティの動きを“魅せる”検討を重ねた。

次の壁は、モビリティのモックアップ製作の経験がないことだった。どのようにモックアップを動かすか、織り込む技術をどのように搭載するか、モビリティ自体のキャラクターや形状なども考えつつ、同時並行でモックアップ製作会社を探した。クオラスにも協力いただいたが、非常にタイトな日程のため、声掛けしても断られることが続いた。くまなく調査いただき、イメージするものを引き受けていただけのモックアップ製作会社に出会うことができた。首の皮一枚が繋がった状態で製作に移行できたのは8月末、会期まで残り2か月を切っていた。当時の実施委員がイメージしていた未来のモビリティ像を図7に示す。



図7 モックアップラフ構成

5.2 チーム再編

6月にさかのぼり、展示物構成が固まった段階で、現状の実施委員だけでは知見が不足していることを認識していた。ミキサ車、鉄道向け製品、パワーショ

ベル向け製品について、有識者の実施委員追加が必須と判断した。

各拠点・事業部へ、出展の方向性説明と協力依頼を出展委員長経由で行い、快諾を得て増員を取り付けることができた。実施委員は全員が本業を調整の上、兼務する形で活動している。各拠点・事業にとっては突然の依頼となったが、本業を調整しながら順次加入いただいた。全員が揃った8月上旬、岐阜地区に加え、相模工場、熊谷工場と、全事業にまたがるALLカヤバの実施委員、総勢28名体制が整った。

5.3 製作着手

展示チーム再編と社内有識者への度重なる相談を経て、溢れる想いが詰まった各展示の構成・構造検討から、部品手配に移行できた。当初の計画では7月末までに手配を終える想定だったが、約1か月遅れで進行。更に、MOYORIは8月末に製作会社様が決定し、会期まで残り2か月を切る中、1週間の猶予もないギリギリの日程で進めることになった。

6 ○○の秋♪

○○の秋と言えば何を思い浮かべるだろうか。読書、食欲、スポーツ…。楽しいことが多い印象の秋だが、私たちリーダにとって、今年“絶体絶命の秋”だった。9月に入っても、展示物、動画、デモンストレーションなどのイベント関係、ブース掲示物、平面図、運営マニュアル、カヤバグッズ、搬入出計画…。何一つ完成していない状況だった。こうならないために、実施委員発足当初からJMS2023の経験を活かし、前倒しで検討を進めてきたつもりだった。しかし、現実ほとんど毎日が何かしらの納期であり、息をつく間もない“JMSハイな秋”が始まった。感覚が麻痺し、とても楽しく日々追い込まれていた記憶がある。一方で、実施委員はどのような秋を過ごしたのだろうか…。大変恐縮である。

6.1 溢れすぎた想い

当初の計画では、バッファを持ちつつ9月中旬には全展示物、各展示に関わる動画、ブース掲示物をおおむね完成させ、残り期間はブラッシュアップと運営マニュアルやデモンストレーションなどのイベント準備に集中する想定だった。

しかし、私たちは全コンテンツに対して一切妥協するつもりがなかった。「やりたいことをすべて実現すれば、来場者は必ず楽しみながらカヤバを深く知ってくれる」——そう確信していた。

結果として、溢れる想いを漏らさず詰め込んだこ

とで、元々持っていた余裕をすべて食いつぶし、会期に向けて“余裕ゼロ”で進めることになった。

6.2 ラストスパート

9月後半、残りのやるべきことは明確で、あとは形にするだけだった。ただ、“形にするだけ”とは言え、慣れない作業の連続で非常に難しかった。どれも大苦戦したが、代表して4つ紹介する。

6.2.1 MOYORI

モビリティのモックアップを製作いただきつつ、フルアクティブサスペンションと四輪独立操舵アクチュエータに当たる部品の動きを干渉なく成立させる必要があった。それら部品を据えるため、シャシ設計、組立はカヤバ担当であり、未経験の中で非常に苦戦した。MOYORIシャシが組み立てられていく直前の様子を写真5に示す。

それ以上に苦戦したのが制御の最適化である。9月、10月で何度も300km離れたモックアップ製作会社を往復し、社内有識者にも度重なる協力を仰ぎながら調整を重ねた。会期に臨む準備が完了したのは10月23日だった。

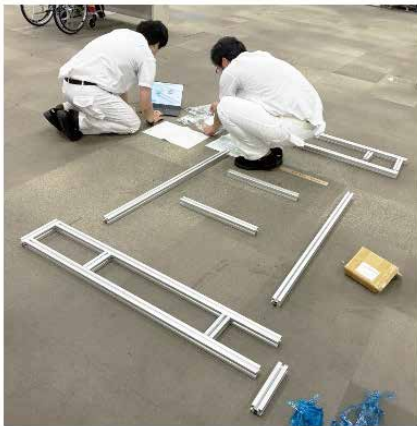


写真5 MOYORIシャシ 組立直前

6.2.2 ミキサでボン

ミキサでボンは、ミキサ車の構造を来場者に正しく理解していただくため、可能な限り実機と同様の構造とした。主な変更点として、ガラボン機能を持たせる、動力源を人にする、構造理解を促進するためドラム部分を透明にする——これらの変更点を成立させることは想像以上に難しかった。

上記要件の達成と、コスト、納期、仕上がりの調整しやすさから、3Dプリンタと透明塩ビパネルを多用することにした。頭の中では問題なく仕上げられる想定でいた。

実際に貼り付け作業を行って気づいたが、接着に

失敗すると接着剤の汚れがこびり付き、ブレードの取り付け位置が1mmでも狂えばブレード間にすき間ができて見栄えが一気に悪化するなど、非常に繊細な作業の連続だった。

メイン動線から最も目に付く場所に設置するため、見栄えは一切妥協できない展示物である。細心の注意を払い、とにかく工数をかけて作業を進めるしかなかった。確認しながら慎重に作業を進めている様子を写真6に示す。

ブレードやホッパーなど3Dプリンタで製作する部品は約70点にも及んだ。それらの設計にも時間を要し、残り3週間でプリントからフレームへの貼り付けまで行う日程になった。カヤバ内の3Dプリンタを片っ端から融通いただき、関係者総出で、なんとか出荷当日の10月24日に完成させることができた。



写真6 ミキサでボン！ 製作途中

6.2.3 SA体感機

構造検討後、以前からお世話になっている地元企業のご協力もあり、9月末には稼働できる状態に持ち込めた比較的計画通り進行した展示物である。

しかし、自由落下による振動の収まり方違いでショックアブソーバの効果を体感する装置のため、乗客の体重や座る位置などによって、効果を感じ取れないという声があった。出荷直前までチューニングを繰り返し、最適仕様を模索し続けた。

6.2.4 正しく理解していただく、ということ

表現を間違えると来場者に正しく理解されない。JMSには老若男女問わず来場するため、誰しものが正しく理解できる表現を選んで各コンテンツを製作する必要があった。実施委員の多くは技術者であるため、誰にでも分かりやすく表現することに苦労した。

会期まで残り1か月を切ってもなお、デモンストレーション、動画、ブース掲示物は未完成。展示エ

リアと展示物の名称もまだ決め切れていなかった。残り時間に一切余裕はなくてもなお、実施委員全員が、来場者の視点に立ち、興味をそそる表現や、分かりやすい表現を模索した。クオラスの助言も得て、満足できるものを完成させた。

7 ドキドキのモビショー

絶体絶命の秋は一瞬で過ぎ、出荷日である10月24日を迎えた。会場まで破損せずに輸送できるのか、無事会期を乗り越えることができるのか——不安を抱えながら、準備してきた展示物を車両に載せた(写真7)。



写真7 展示物出荷準備

10月27日午前、いよいよ会場設営が始まった。始発の電車内でも「運送中に破損しないか」、「忘れ物やトラブルは起きないだろうか」と漠然と不安だった。しかし、出荷品すべて無事に、会場で待ち構えていた私たちの下に届いた。展示物は会場で初めて完成形となるが、これまでの緻密な計画と、施工業者の腕によって、設営はおおむね順調に進んだ。

設営後、各展示物の稼働確認を行った。しかし、鉄道体感機とMOYORIの2つがうまく稼働しないトラブルが発生。どちらもカヤバ自作の稼働を伴う展示だが、制御不能状態に陥っていた。社内有識者にも会場へ来ていただき、サポートを受け、試行錯誤を繰り返した。夜遅くまで作業を続け、ようやく改善の目途が立った頃、周囲のブースは既に静まり返っていた。

10月28日、各展示物のアテンドロールプレイングや、デモンストレーション、プレスブリーフィングのリハーサルを行った。デモンストレーション中のMOYORIは時折不安定な動きを見せたが、昨日よりは改善。万全とは言えない状態に不安を残しつつも、考え得る対策を施して会場を後にした。

設営期間中の様子を写真8～10に示す。



写真8 設営中盤



写真9 設営終盤

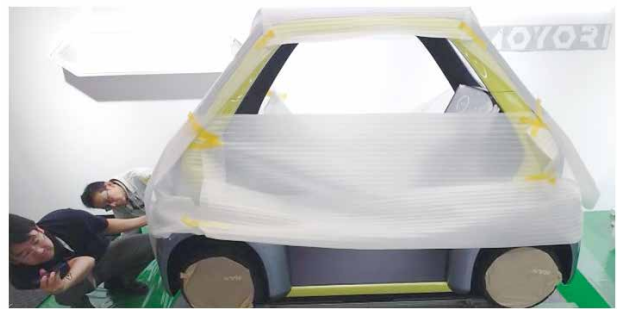


写真10 MOYORIの動きをチェックする実施委員と社内有識者

7.1 開幕

10月29日、JMS2025の開幕日である。西4ホールに足を踏み入れると、「カヤバのしわざ」と表示されたLED掲示板が遠くからでも映え、明るくポップなブースが目飛び込んできた。検討当初から描いていた“来場者を引き込むブース”が現実となった光景は感慨深かった。

この日はプレスデーで来場者は少なかったが、時間が経つにつれ、車両メーカーブースを後にした来場者が、次第に西4ホールへ流れてきた。他メーカーのブースとは一線を画し、カヤバブースは体感展示が大多数を占め、かつ、実施委員が各展示物のアテンドを行う体制である。前日のロールプレイングや運営マニュアルの作成・読み込みが功を奏し、慣れないアテンドながら大きなトラブルなく対応できてい

た(写真11)。業務での来場者も、体感を通じて笑顔になった——「楽しみながらカヤバの技術を知ってほしい」という当初の思いが実を結んだ。



写真11 会場風景（開場直後）

10月30日、カヤバはプレスブリーフィングを実施した。「はたして聴衆は集まるだろうか」と不安に感じていた時もあったが、MCの挨拶が始まると次第に人が集まり、出展委員長が登壇する頃にはブース外まで人だかりができていた。カヤバの歩みと未来への取り組みを多くの方に直接伝えることが出来、大成功を取めた(写真12)。

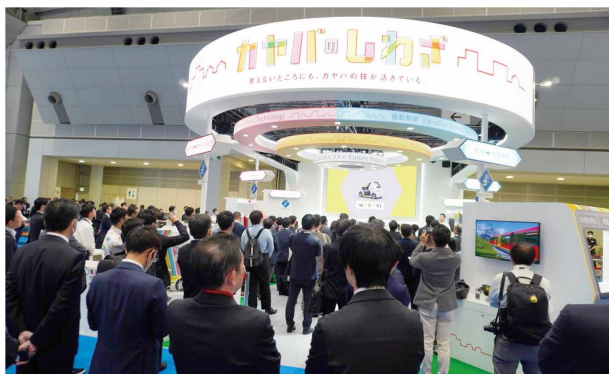


写真12 会場風景（プレスブリーフィング時）

10月31日午後からは一般公開、お子様から年配者まで多くの方がJMSに訪れる日々が始まった。カヤバブースはミキサでポンに30分待ちの行列ができたのを皮切りに、スタンプラリー対象の体感展示にも次第に行列ができてきた。クオラス側スタッフによる呼び込み効果も相まって、実施委員の想定をはるかに上回る大盛況ぶりだった。スタンプラリーをすべて周るため、カヤバブースに1時間以上滞在して下さる方も多く見受けられた。一方で、想定以上の反響により、カヤバグッズの準備数が不足し、急遽広報在庫の通常グッズを手配。更に、スタンプラリー台紙も数日で足りなくなることが判明し、会期中に再発注を行った。体感展示に加え、スタンプラリーの効果を実感する結果となった。一時的にスタンプ

ラリーを中断せざるを得ない場面もあり、その間に来場された方には申し訳なく思う。良い意味で想定外の状況が続く中、来場者に楽しんでいただくため、運営面では臨機応変な対応が求められた。会社に出勤しているアテンドシフト外の日も、遠隔で運営フォローに入るほどだった。

一方、ミキサでポンなど体感展示は、多くの方に体感いただくことで度々故障したが、実施委員の連携によりスムーズに復旧することができた。また、MOYORIの不安定な動きも、度重なる改善によって解消することができた。会期中ではあったが、展示物を万全な状態に維持管理する体制が整った。

その後もブースの勢いは衰えず、通常時は各体感展示に待機列が出来、デモンストレーションが始まれば大観衆が集まり、終了後には再び待機列に並ぶ——そんな流れが出来上がっていた。

混雑時の状況を写真13、デモンストレーション時の様子を写真14、スタンプラリー台紙を図8に示す。



写真13 会場風景（大混雑時）



写真14 会場風景（デモンストレーション時）



図8 スタンプラリー台紙

7.2 達成感

会期中も非常に大変だったが、アテンドしながら非日常を楽しむことができた。普段、工場では見ることのない一般の方々が驚く表情や、お子様が目を輝かせながら体感している様子を何度も目の当たりにした。こだわって製作した衣装は、来場者や他ブースの方から「売ってないんですか?」と聞かれるほどの人気ぶりだった。会期終盤、トヨタ自動車株式会社 佐藤 恒治 社長(現 副会長 2026年4月1日付)と役員の方が突然ブースを訪れ、真摯に話を聞いてくださり、笑顔でブースを後にされたことも良い思い出となった。

全コンテンツの検討、製作に当たり、一切妥協をしなかったことで、日を追うごとに首が締まっていく準備期間だったが、これまでに積み重ねてきた苦勞が一気に報われた。全員で真面目過ぎるくらい真剣に取り組んだことは無駄ではなかった。全員で積み重ねてきたからこそ、ブレることなく、しっかりとカヤバをPRできたのだと確信している(写真15)。



写真15 会場風景(アテンドの様子9枚)

7.3 閉幕

11月9日18時、蛍の光と共に、12日間に及んだJMS2025は無事閉幕した。長いようであるという間の非日常だった。閉幕するや否や、実施委員と施工業者で解体作業を行った。8か月にわたり全力で準備してきたものが、たったの3時間でほとんど解体された。JMSの儂さを感じつつ、それと同時に安堵感も込み上げた。無事に終わることができた。これが何よりであった。動力源を伴う展示だったが、来場者のもとより、実施委員も含めて事故は絶対に許されない。構造検討時から安全面を最優先してきたからこそ、今があるのだと感じた。

7.4 評価

会期を終え、各種集計結果などを通して今回の出展を評価した。スタンプラリー台紙は約9,200枚配布、デモンストレーション観覧者は2,231名、ブースに来場した方は最低でも1万人以上と推測され、多くの方に「カヤバのしわざ」を体感いただくことができた。

ミキサでポンの体感に紐づくアンケート数は2,981件、残りの約1,800件はSNSフォロー人数である。前回よりも件数は落ちたが、今回はノベルティ配布を体感に紐づけたことが要因と考える。一方でアンケート者の質は向上しており、85%の方が展示物を見てからのアンケートである。カヤバの認知度は63%と、前回から13%減少した。今回はブースの印象に惹かれて来場した方が63%であり当初の狙い通



りカヤバを知らない方に多く足を運んでいただけたと考えられる。更に、好感度は86%と、ブース効果も相まって非常に高い値だった。カヤバへの就職意向（学生）については、43%が働きたいと回答。どちらでもない49%と、約半数の学生に働きたいと感じていただけた。アンケート自由記述414件には、「大人も子供も楽しめるブース」、「体験型で楽しく学べた」、「見せ方がうまい」、「可愛いブース」など好印象なものに加え、カヤバに対する応援の言葉も多くいただくことができた。また、アテンド中には「こんなに色々な製品を扱っているんですね」、「とても分かりやすい」と感心のコメントを何度もいただいた。なお、待ち時間が長いという意見は数件いただいてしまった。来場者を極力お待たせしない運営を心掛けてはいたが、ブース全体で更なる工夫が必要だった。

これらを総括し、出展目的をきっちり果たすことができたと考えている。

8 おわりに

今回のカヤバブース出展に当たり、数々の壁に直面しました。多くの方々のご支援、ご協力がなければ、大成功で終えることはできませんでした（写真16、図9）。

キックオフからあらゆる面で先導いただいたオラスの皆様、溢れる想いを詰め込んだ展示物やブースを製作いただいた会社様、事業の垣根を越えて力を貸して下さったALLカヤバの皆様、適切な助言をくださった推進委員と出展委員長、そして数々の壁に直面しても付いて来てくださった実施委員と事務局の皆様——関係したすべての方々に、心から深く感謝申し上げます。

また、展示物輸送で大変お世話になりました興亜組 溝口様のご逝去に際し、この場を借りて謹んで哀悼の意を表します。

著者



佐藤 洋輝

2010年入社。
オートモーティブ
コンポーネンツ事業本部
技術統轄部 開発センター
開発実験室



栗原 健太

2015年入社。
オートモーティブ
コンポーネンツ事業本部
サスペンション事業部
技術部 第四設計室

最後に、JMS2025の実施委員リーダーを通して、「意思」を持つことの大切さを改めて学びました。意思を持って接し、会話を重ねたことで、普段関わりのない方との協力関係を築き上げ、その結果、ひとつの大きな目的を達成できたのだと思います。今回のように、ALLカヤバで共に協力し、創意工夫しながらベストを尽くすことで、創立100周年に向け、会社全体が更に成長していくと確信しております。

今回の活動と関係者の皆様が、その起爆剤となることを心から願っています。



写真16 会期終了後カヤ「バ」で集合写真撮影



図9 JMS2025カヤバブース特設サイトQRコード

追伸、次回以降のJMS出展委員へも、温かいご支援、ご協力をいただけますと幸いです。

随筆

中国駐在記

何 佳 欧

1. はじめに

2021年2月から2024年12月までの約4年間、中国江蘇省鎮江市にあるKYB Industrial Machinery (Zhenjiang) Ltd. (以下KIMZ) のHC事業部に赴任し、シリンダ設計業務に従事した。駐在期間中、数多くの経験を通じて自身の成長を実感した。本稿では、KIMZでの業務を通じて得た知見と、現地での生活について紹介する。

2. 13年ぶりに中国に戻った感覚

私は2008年に中国上海の大学を卒業後、日本に留学した。2年間、日本語学校で日本語を学び、その後、東京理科大学で機械工学を専攻した。修士課程を修了後、2012年にカヤバ(株)へ入社し、油圧シリンダの設計業務を担当してきた。

2008年から2020年までの約13年間、日本で生活を続けてきた。今回の赴任により、長期間中国で生活する機会を得て、この13年間で中国が大きく変化したことを強く実感した。

2.1 交通の利便性 (写真1)

2008年以前、中国では高速鉄道(以下、高鉄)がほとんどなく、遠方への移動は飛行機が主流であった。しかし、航空運賃は高額で頻繁に利用するのは難しく、車で移動する場合は長時間を要し、疲労も大きかった。

現在では状況が一変している。中国の高速鉄道網は2023年末時点で総延長約4.5万kmに達し、世界最長となっている。高鉄は乗り心地が良く、スピードも速く、まさに「どこへでも行ける」便利さを実現している。価格も安く、日本新幹線の値段の1/3程度のイメージである。

上海の地下鉄は21路線、総延長約898kmに及び、都市内移動も非常に快適である。無人運転の地下鉄も運行を開始し、利便性はさらに向上している。加えて、2025年4月時点で上海市の登録済み自動車総数は620万台を超えている。

このように、中国の交通インフラは過去十数年で

飛躍的に進化し、生活の利便性が大きく向上した。



写真1 上海外灘

2.2 中国ブランド品の輝き、世界への発信

①中国スマートフォン市場の変化と個人的体験

2008年以前、中国市場を支配していた携帯電話ブランドは、Nokia/Motorola/Samsung/Appleなど、ほとんどが海外ブランドであった。

しかし、2024年の中国市場を牽引しているのは、Vivo/Huawei/Apple/Honor/OPPO/Xiaomiである。Appleを除けば、すべて中国ブランドであり、この変化は非常に象徴的である。

私自身、過去はAppleのスマートフォンを使用していたが、現在はHuaweiとXiaomiを愛用している。特にHuaweiとXiaomiの魅力は以下の通りである：

- ・軽量で持ちやすい
- ・操作システムが優れており、使いやすい
- ・画面が大きく、文書や動画の閲覧が快適(折りたたみ式)

一度使うと、もう以前の機種には戻れない。現在、私はXiaomi MIX Fold 3を使用している。このモデルは折りたたみ式で、画面サイズは通常のスマートフォンの約2倍。それにもかかわらず、重量は一般的なスマートフォンとほぼ同じである。非常に便利で、生活が変わるほどの体験である。

②中国自動車市場の変化

2008年以前、中国市場を支配していたのは欧米や

日系の海外ブランドであった。

しかし現在、中国市場を牽引しているのは Tesla/BYD/Geely/Li Auto/Xiaomi などである。Tesla を除けば、すべて中国ブランドであり、この変化は非常に象徴的である。

中国ブランドの強みは、消費者ニーズを的確に把握し、要求に応じて迅速にモデルチェンジを行う点にある。その結果、車のデザイン、内装、スマート機能などは海外ブランドを凌ぐレベルに達している。

特にXiaomiの車はスタイリッシュで価格も手頃。私自身、購入したいと思うほど魅力的である。

2.3 便利なネットショッピング

過去、中国で買い物をする際には、電気屋や大型ショッピングモールに足を運ぶのが一般的であった。商品の比較や購入には時間と労力がかかり、特に地方都市では選択肢が限られていた。しかし、現在では状況が劇的に変化している。インターネット通販の普及により、実店舗に行く必要はほとんどなくなり、スマートフォン一台でほぼすべての買い物が完結する時代になった。

中国のネット通販市場を牽引しているのは、アリババグループが運営する「淘宝（タオバオ）」「天猫（Tモール）」、そして「京東（JD.com）」である。特に京東は、アマゾンに似たビジネスモデルを採用しているが、サービス品質の面ではむしろアマゾンを上回っていると感じる。私自身、駐在中に京東を頻繁に利用したが、その利便性とスピードには毎回驚かされた。

京東の最大の特徴は、配送スピードの速さである。多くの商品が「当日配送」や「翌日配送」に対応しており、午前中に注文した商品が夕方には届くことも珍しくない。これは広大な中国において、物流網の整備と効率化が極限まで進んでいる証拠である。日本の通販サービスと比較しても、そのスピードは圧倒的で、初めて体験したときは本当に驚いた。

さらに、アフターサービスの質も非常に高い。保証期間内に商品が故障した場合、京東では新品交換が可能で、その手続きは驚くほど簡単である。アプリ上で返品申請を行うだけで、配送業者が自宅まで引き取りに来てくれる。面倒な書類や電話連絡は不要で、すべてがオンラインで完結する。このスムーズさは、消費者の利便性を第一に考えた仕組みであり、実際に利用してみると「ここまで顧客目線なのか」と感動した。

また、京東やアリババのプラットフォームでは、単なる物販にとどまらず、金融サービスや保険、旅行予約、医薬品販売など、生活に必要なあらゆるサービスが統合されている。これにより、ユーザは一つ

のアプリで買い物だけでなく、生活全般を管理できるようになっている。まさに「スーパーアプリ」の時代である。

このようなネットショッピングの進化は、単なる便利さにとどまらず、中国の消費文化そのものを変えている。実店舗での買い物は特別な体験になりつつあり、日常的な消費行動は完全にオンラインへ移行した。今後も物流技術やAIによる需要予測が進化することで、さらに迅速でパーソナライズされたサービスが提供されると予想される。

2.4 スマートフォン一台での生活

現在の中国では、スマートフォン一台で生活が成り立つ時代になった。どこに行ってもスマホ決済が可能で、現金を使う機会はほとんどない。この4年間、私が現金を使ったことはほぼゼロで、現金を見ることすらなかった。

さらに、中国のアプリは日本と異なり、一つのアプリに多機能が統合されている。例えば「アリペイ」では、

支払い

タクシー予約

電気代などの自動支払い

映画・イベントチケット購入

ホテル予約

航空券手配

など、ほぼすべてが可能である。「できないことは何か？」と考えるほど万能である。

加えて、顔認証による決済も始まっている。KIMZの自動販売機にもこの技術が導入されており、スマホや現金を持たなくても商品を購入できる。まさに「無感決済」。この技術の進化には感動した。

3. KIMZでHC技術部の立ち上げ（写真2）

3.1 立ち上げの背景

2004年、シヨベル用油圧KCHシリンダの生産を目的として江蘇省鎮江市にKIMZシリンダ工場（旧KYB Hydraulics Industry (Zhenjiang) Ltd.）を設立した。設立当初は技術部門が存在せず、生産機能のみで運営されていた。近年、中国国内メーカーの台頭により、シリンダ業界における価格競争が激化した。競争力の維持と利益確保のためにはコスト低減活動の加速が不可欠となり、その対応策として技術部の新設を決定した。相模工場からモータ関連担当者1名、幹部1名、私の計3名が赴任し、HC技術部の立ち上げを開始した。

3.2 立ち上げ時の課題

技術部の立ち上げはゼロからの構築であり、多くの困難を伴った。プリンタの購入、作図ソフトの導入、出図ルールの整備など、業務基盤を一から整え

る必要があった。その過程で、KIMZの関係部門および日本側技術部から多大な支援を受けた。



写真2 技術部食事会

3.3 HC技術部の業務内容

HC技術部が担当した主な業務は、KIMZで生産されるモータおよびシリンダ製品に関する技術対応とコスト低減活動の推進、KYBJ油圧製品に関する技術窓口業務、さらにこれら製品に関する実機計測対応である。

技術部は現地スタッフを含め8名体制で運営され、各メンバが専門分野に応じた役割を担いながら、現地での技術力向上と業務効率化に貢献した。技術部設立により、原価低減活動のスピードは従来比で約50%向上した。

3.4 原価低減活動のスピードを加速するための取り組み

①人財育成による業務効率化と組織力強化

シリンダ技術に関する業務を私一人で全て対応する体制は、短期的には可能でも、長期的には非効率であり、組織としての持続性に課題があった。そこで、現地品証部門から優秀な社員2名を技術部に迎え入れ、専門知識と問題解決能力を備えた人財へと育成することに注力した。教育は単なる作業手順の指導にとどまらず、「考え方の教育」を重視した。具体的には、

- ・ 日程表の作成と進捗管理の方法
- ・ 問題発生時の原因分析と論理的な解決策の立案
- ・ 部門間調整の進め方とコミュニケーション能力
- ・ 事実確認の重要性

最も強調したのは「事実確認の重要性」である。思い込みや曖昧な判断ではなく、何を確認し、どの根拠に基づいて結論に至ったのかを明確にすることを徹底した。これは品質保証やコスト改善において不可欠な姿勢である。

1年間の繰り返し教育により、彼らは自律して案件を推進できるレベルに成長した。現在では、複数

案件を同時に管理し、問題発生時には自ら解決策を提示できるまでになっている。人財育成は、技術部全体の生産性向上と原価低減活動の加速に大きく寄与した。

②会議運営の効率化による時間短縮と意思決定スピード向上

従来、KIMZ内での原価低減会議は週1回、KYBJ関係部署との会議は月1回開催しており、いずれも1回あたり約1.5時間を要していた。会議では各案件の進捗確認や課題共有に時間がかかり、参加者の工数負担が大きな課題となっていた。

この状況を改善するため、まずKIMZ内の週次定例会議を廃止し、KYBJ関係部署との月次会議の時間を30分以内に短縮した。技術部が「司令塔」として全案件の状況を事前に把握し、議事録を作成する体制を構築した。会議では進捗報告を簡潔にまとめ、問題点に絞った集中的な議論を行う形式へと変更した。

これらの取り組みにより、会議時間は従来比で約70%削減し、各部門の工数負担も大幅に軽減した。加えて、意思決定のスピードが飛躍的に向上し、原価低減活動の推進力を一段高めることができた。

③問題点の早期発見・早期解決の仕組み化

原価低減活動を加速するためには、問題を早期に発見し、迅速に解決する仕組みが不可欠である。そのため、以下のルールを導入した。各案件について必ず日程表を作成し、文書管理番号を付与して管理する。さらに、毎週日程表を基に進捗状況を確認し、問題の有無をチェックする。問題が発生した場合には、「何が問題か」「解決可能か」「他部署の支援が必要か」を即座に判断し、必要に応じてその場で相談・調整を行う。

このような地道な取り組みにより、遅延リスクを最小化し、案件を計画通りに進めることが可能になった。

人財育成、会議効率化、問題解決の仕組み化という3つの施策を同時に進めた結果、原価低減活動のスピードは従来比で約50%向上した。今後も、現地スタッフの能力強化と業務プロセスの最適化を継続し、さらなる競争力強化を目指す。

4. 中国・KIMZで得た学び

この4年間、中国KIMZで仕事をする中で、私は多くの優秀な現地スタッフや駐在員と共に業務を進めてきた。異なる文化や価値観を持つ人々と協働することで、単なる技術的な知識だけでなく、仕事の進め方や考え方においても多くの学びを得ることができた。ここでは、特に印象に残った学びを整理する。

4.1 チームワークの重要性

KIMZでは部門間の連携が非常に密であり、特にコスト低減活動においては各部門が積極的に協力する姿勢が際立っていた。私が担当した案件では、設計、調達、生産技術、品質保証など複数の部門が一体となり、20件以上の改善案件を同時進行することができた。これは、単なる業務分担ではなく、「共に課題を解決する」という強い意識があったからこそ実現したものである。

問題が発生した際、他部門が指摘するだけでなく、解決策を共に考える姿勢が非常に印象的であった。日本では「担当部門が責任を持つ」という文化が強い傾向があるが、中国では「全員で解決する」という協力体制がより強く感じられた。この経験を通じて、チームワークの本質は単なる協力ではなく、共通の目標に向かって主体的に動くことだと再認識した。

4.2 スピード感

中国企業、特にKIMZの対応スピードは非常に速く、明確な依頼に対しては納期通りの対応が徹底されていた。社内他部署への依頼も、当日中に回答が得られることが多く、意思決定のスピードは日本と比較しても圧倒的である。取引先においても、試作品製作から品確データ提出までの対応が迅速で、短納期案件でも柔軟に対応してくれる点が特徴的だった。

このスピード感は、単なる「早さ」ではなく、「決断力と実行力の高さ」に裏付けられている。日本では慎重な検討を重ねる文化があるが、中国では「まずやってみる」という姿勢が強く、失敗を恐れずに挑戦する風土がある。この違いは、業務効率だけでなく、イノベーションのスピードにも直結していると感じた。

4.3 新しいことへの挑戦姿勢

限られた設備投資の中で、多くの新しい改善活動を実施した。その一例がピッキングシステム（部品管理システム）の導入である。日本製の高価なシステムではなく、現地調達によるコスト削減を目指し、設備本体のみ購入し、配線やプログラムは自社で対応した。取引先と協力しながら知識を習得し、試行錯誤を重ねてシステムを構築した。

この取り組みは、単なるコスト削減にとどまらず、現地スタッフとの協力体制強化にも繋がった現場での改善活動を通じて、彼らの柔軟な発想や実行力に触れ、私自身も「完璧を求めるより、まず動く」という姿勢を学んだ。こうした挑戦は、組織全体の成長にも寄与していると強く感じる。

4.4 駐在員からの学び

海外駐在では、他拠点・他部門の優秀な人財と協働する機会が得られる。今回は、生技・技術・営業・

調達の先輩方と共に業務を行い、多くの学びを得た。特に印象に残った学びは以下の通りである：

①業務の可視化と管理

すべての業務をリスト化し、課題の明確化と抜け漏れ防止を実現する手法を学んだ。これにより、複数案件を同時進行する際の効率が飛躍的に向上した。

②困難な仕事こそ価値がある

「誰でもできる仕事には価値がない」という考え方を胸に、困難な課題に前向きに取り組む姿勢を習得した。この考え方は、キャリア形成において非常に重要だと感じる。

③冷静な対応の重要性

「怒っても何も解決しない」という姿勢から、感情を抑えて冷静に対応することの大切さを学んだ。冷静さが信頼関係構築の鍵となる。

5. 中国での生活

5.1 スポーツ（写真3, 4, 5）

仕事が終わった後、私はKIMZ社内の方々と定期的にバスケットボール、バドミントン、卓球を楽しんだ。スポーツは単なる娯楽ではなく、背景を持つ仲間とのコミュニケーションを深める貴重な機会であった。スポーツを通じてチームワークや信頼関係の構築に大きく役立った。

KIMZ社内では、定期的にスポーツ大会が開催されており、従業員の健康促進やモチベーション向上に寄与している。大会は単なる競技ではなく、部署間の交流を促進する場としても機能していた。私自身も積極的に参加し、特にバドミントン大会では男子シングルスで2位、男子ダブルスで3位という成績を収めることができた。この結果は、日々の練習と仲間との協力の賜物であり、非常に誇らしい経験となった。

スポーツを通じて学んだことは、「競争と協力のバランス」である。勝つことを目指しながらも、相手を尊重し、楽しむことを忘れない姿勢は、仕事にも通じる重要な価値観だと感じた。また、こうした活動は、駐在生活におけるストレス解消にも大きな効果があり、心身の健康維持に欠かせないものであった。

5.2 中国国内旅行（写真6, 7, 8, 9）

2024年8月、私は中国四川省の省都である成都市を訪れた。成都是中国西部を代表する大都市で、歴史と文化が豊かでありながら、現代的な都市としても発展している。街はとてにぎやかで、観光スポットやグルメが充実しており、旅行者にとって魅力的な場所である。

特に有名なのが成都ジャイアントパンダ繁殖研究基地である。ここは世界的に知られるパンダ保護施



写真3 バドミントン大会



写真6 成都ジャイアントパンダ繁殖研究基地



写真4 バドミントン大会



写真7 パンダ



写真5 バスケットボール

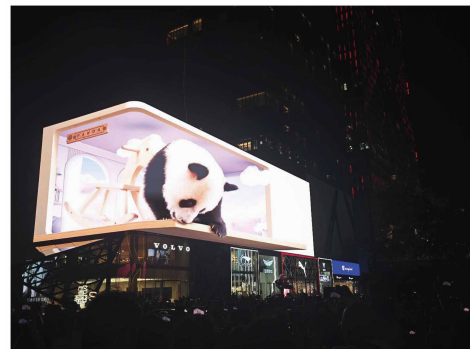


写真8 裸眼3D

設で、成都を訪れる観光客なら必ず立ち寄るべきスポットである。広大な敷地内には自然に近い環境が整備されており、パンダたちがのんびりと過ごす姿を間近で見ることができる。私が訪れた際も、複数のパンダが竹を食べたり、木の上で休んだりする様子を観察できた。その愛らしい姿は、写真や動画で見ると以上に心を癒してくれる。

さらに、成都はパンダだけでなく、歴史的な名所や四川料理の本場としても有名である。街中には古い寺院や伝統的な茶館が点在し、ゆったりとした時間を過ごせる。また、四川料理といえば「麻辣（マラー）」の辛さと香りが特徴で、火鍋や担担麺など、本場ならではの味を堪能した。辛さは想像以上だったが、その奥深い味わいに感動した。



写真9 四川火鍋

6. 終わりに (写真10)

KIMZで過ごした約4年間は、私にとって非常に貴重な経験となった。異なる価値観を持つ仲間との協働、そして急速に変化する中国市場を肌で感じる事ができたことは、私のキャリアにおいて大きな財産である。振り返ってみると、大きな問題もなく駐在を全うできたのは、共に汗を流し業務に取り組んだ現地スタッフや駐在員、さらには取引先やサポート部門など、多くの関係者の支えがあったからこそである。この場を借りて、心より感謝を申し上げる。

特に印象的だったのは、現地スタッフの柔軟な発想と実行力、そして駐在員の高い専門性と責任感である。彼らと共に課題を乗り越える中で、私は「スピード感」「挑戦する姿勢」「チームワークの本質」

といった重要な価値観を学んだ。これらは、単なる知識や技術以上に、今後の仕事において大きな武器になると確信している。

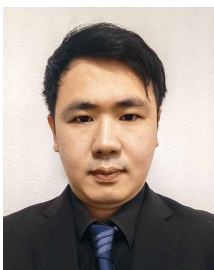
今後は、KIMZで学んだことを最大限に活かし、より難易度の高い技術課題に挑戦していきたいと考えている。特に、設計業務においてはコスト低減と品質向上の両立、そして新しい技術の導入に積極的に取り組みたいと思う。また、グローバルな視点を持ち続け、異なる文化や価値観を尊重しながら、世界に通用するエンジニアとして成長していくことが私の目標である。

この4年間で得た経験は、単なる過去の思い出ではなく、未来への大きなステップである。挑戦はまだ始まったばかり。これからも学び続け、成長し続けることで、より大きな価値を生み出していきたいと思う。



写真10 帰任時の記念写真

著者



何 佳欧

2012年入社、ハイドロリックコンポーネンツ事業本部 技術統轄部
岐阜南油機技術部 設計室、KIMZ
駐在を経て現職

「ニューラルネットワーク」

「AIによる制御設計の原理研究」(p. 8)に記載

技術本部 基盤技術研究所 運動制御研究室 芝原 杏奈

1 ニューラルネットワークとは

1.1 定義

AIにおけるニューラルネットワーク(以下NN)とは、生物の学習メカニズムを模倣した機械学習手法の一種である。生物の脳のニューラルネットワーク(神経網)の機能の一部をコンピュータ上で数理モデルとして模倣^{注1)}することにより、学習機能を実現する。

NNの構成には多数の種類が存在するが、ここでは順伝播型のNN(一方向のみにデータが流れるNN)のみを対象として説明する。尚、以降で説明する各種の要素の構成などは全て一例であり、これら以外の構成も存在する。また、概要の説明に焦点を当てるため、演算に関する一部の要素などを省略している。

注1) 実用的なNNは生物の脳の厳密な模倣ではない場合

が多い。ここでは生物の脳を厳密に考慮したNNではなく、実用的な数理モデルとしてのNNを対象に説明する。

1.2 NNの仕組み

ここでは2つのセンサ値を入力に取る制御システムの代用として働くNNを例として、NNの仕組みを説明する。NNは例えば図1のような構成を取ることができる。円で表現した要素はノードと呼ばれるものであり、これは演算ユニットである。ノードの縦方向の集まりは層と呼ばれる。層は先頭を入力層、最後尾を出力層と呼び、それらの間にある層は中間層と呼ぶ。中間層は任意の数を取ることができる。

入力層から入力されたセンサ値は中間層を通り、出力層から出力される。その際、通過する各ノード内でデータに対して演算が行われる。そのノード毎に繰り返される演算によって、出力層に到達したときには制御指令値となっている。

ノードでは、各入力に個別の重みを掛けたものを足し合わせ、その結果を活性化関数(NNの出力を

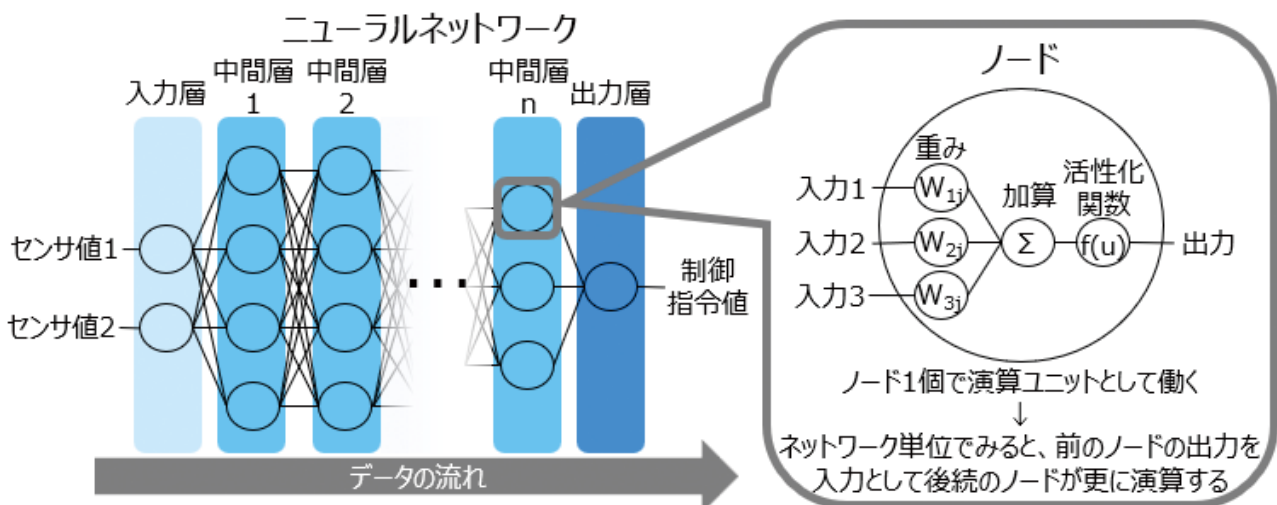


図1 NNの仕組み

決定するための関数)に通すという処理が行われる。活性化関数に非線形な関数を利用することで、入力に対して非線形なNNの出力を取ることができる。

1.3 学習

NNにおける学習とは、各ノードの持つ重みを更新する処理である。重みの更新には多くの場合、バックプロパゲーション（以下BP）という手法が使用されるため、ここではBPに関して説明する。BPとは、NNの各ノードの持つ重みを後ろの層から前の層へと順に更新する手法である。この手法により、NNは多数の中間層があっても学習することができる。

1.2節の例で説明すると、NNが出力した制御指令値が最適な制御指令値とどの程度乖離しているかを表す値を損失と呼ぶ。損失を元にして図2のように、各層に対する損失の影響の大きさを考慮しながら、その層の各ノードの重みを更新していくことによってNNは学習する。

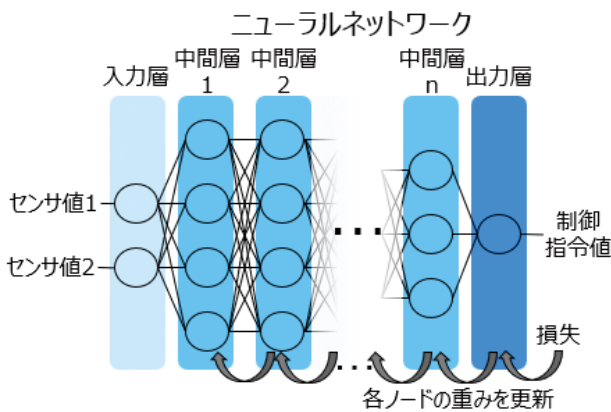


図2 NNの学習のイメージ

また、損失の算出方法はNNを適用する用途などによって異なり、算出方法によっては最適な制御指令値との直接比較ができなくても学習できる場合がある。そのような直接比較ができない例として、強化学習でNNを用いるケースが挙げられる。

強化学習でNNを用いる一例としてここでは、著名な強化学習アルゴリズムの一つであるDQN (Deep Q Network) の損失計算を取り上げる。DQNでは大まかには次のような式で損失を算出する。

$$E[(r + \gamma \max_a Q' - Q)^2]$$

($E[]$ は $[]$ 内の期待値, r は報酬, γ は収益を考慮する区間の長さを制御するパラメータ, $\max_a Q'$ は現在の入力から想定される収益の期待値の最大値, Q は最近の制御結果から想定される収益の期待値)

上記の式は説明を簡単にするためいくつかの要素を省略したが、このような考え方の式で損失算出することで、最適な制御指令値と直接比較せずともNNを学習することができる。

2 ニューラルネットワークの応用

2.1 機能の多様性

NNの構成には様々な種類が存在する。画像処理に向けたCNN (convolutional neural network) や時系列処理に向けたRNN (recurrent neural network) など、用途に応じた種類の層などを接続することでNNは多様な機能を実現することができる。

2.2 代表的な用途

NNは様々な用途に用いることができるが、代表的なものとしては次の用途が挙げられる：

- ①教師あり学習：分類問題, 予測問題
- ②教師なし学習：次元削減, クラスタリング, データ生成
- ③強化学習：制御, プランニング

これらは単独で使用することもできるが、組み合わせることで更に複雑な動作を実現することも可能である。

路面性状評価指標

「スマート道路モニタリング®の事業化に向けた改良」(p. 13) に記載

技術本部 基盤技術研究所 情報技術研究室 長谷部 敦 俊

1 路面性状評価指標とは

路面性状評価指標は、道路舗装の健全性を客観的に示すために国土交通省の舗裝修繕要領や各自治体の道路維持管理基準で定義されている指標群です。主なものとして、平坦性を示す「IRI (国際ラフネス指数)」, わだちの深さを示す「わだち掘れ量」, ひび割れの面積比率を示す「ひび割れ率」, これらを総合した「MCI」などがあり、路面の安全性・快適性・耐久性を定量的に把握できます。これらの指標は、道路管理者が補修の優先度を判断したり、維持管理計画を最適化したりするために活用されます。

1.1 IRI (International Roughness Index)

世界銀行が提唱した道路舗装表面の凸凹(平坦性)を数値化した指標で、クォーターカー(車輪1つモデル)が80km/hで走行した際の車両の上下変位量をシミュレーションした累積値です。数値が低いほど平坦で乗り心地が良く、高いほど道路が荒れていることを示します。単位は [mm/m] で表されます。

1.2 わだち掘れ量

車両の通行によって生じた“車輪の通り道の凹み”の深さを示す指標です。道路の横断方向断面において基準線から凹みまでの距離を [mm] で表します。

1.3 ひび割れ率

舗装表面に生じたひび割れの面積が、調査区間の総面積に占める割合を示す指標です。道路面を50cm四方のメッシュで区切り、各メッシュの中に含まれるひび割れの種類や本数によって定義された面積相当値を割り当てます。最終的に全部のメッシュの値を合計し、メッシュの面積に対する比率を [%] で表します。

1.4 MCI (Maintenance Control Index)

MCI は舗装の劣化状態を 0 ~ 10の数値で総合的

に示す指標で、国土交通省の舗装点検要領などで用いられています。主要な路面性状(わだち掘れ量, ひび割れ率, 平坦性など)から算出され、値が小さいほど舗装の状態が悪いことを意味します。

2 路面性状評価指標に基づく健全性判定

道路舗装の状態を客観的に評価するためには、ひび割れやわだち掘れなどの目視では分かりにくい損傷を数値化することが重要です。国土交通省の「舗装点検要領」では、舗装の健全性を判定するためにひび割れ率・わだち掘れ量・IRI(平坦性)を中核指標としており、それぞれに明確な数値基準が定められています。道路舗装の健全性はこの数値基準に従って、大まかに①健全(損傷レベル小), ②表層機能保持段階(損傷レベル中), ③修繕段階(損傷レベル大)の三段階に分類できます(表1)。

表1 路面性状評価指標に基づく判定基準

指標	健全	表層機能保持段階	修繕段階
ひび割れ率 [%]	≤20	20-40	≥40
わだち掘れ量 [mm]	≤20	20-40	≥40
IRI [mm/m]	≤3	3-8	≥8
MCI	≥7	4-7	≤4

「摩擦レスポンス」

「自動車用ショックアブソーバ作動油に用いる化学合成基油の有効性
—環境負荷低減と乗り味性能を両立したサステナブル®—」に関連する用語

オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部製品開発室 加藤 慎治

1 摩擦レスポンス

1.1 定義

摩擦レスポンスとは、ショックアブソーバの作動時において、ピストン速度が反転（ゼロ速度通過）した直後の摩擦力の立ち上がり挙動を示す特性である。ショックアブソーバの初期挙動を左右する重要なパラメータである。

2 技術的背景と重要性

2.1 微小入力域における影響

車両走行時の微小入力域では、ピストン速度が極めて低速となるため、油圧減衰力が十分に発生しない。その結果、摩擦力の寄与が相対的に増大する（図1）。

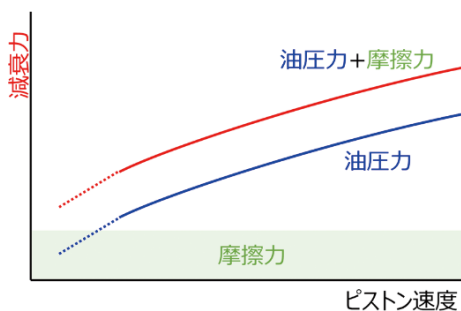


図1 油圧力と摩擦力の寄与概念図

2.2 乗り心地および操安性への寄与

摩擦レスポンスは、単なる摩擦係数の大きさだけでなく、反転直後の立ち上がり勾配が重要である。

この初期摩擦挙動は、操舵応答性・接地感・乗り心地など、車両の乗り味（乗り心地・操縦安定性の感性評価）に大きく影響する。

2.3 設計要素としての重要性

ショックアブソーバは、車両運動や路面入力によりピストン運動方向が連続的に反転するため、静摩擦から動摩擦へ至るまでの摩擦特性を狙い通りに設計することが重要である（図2）。

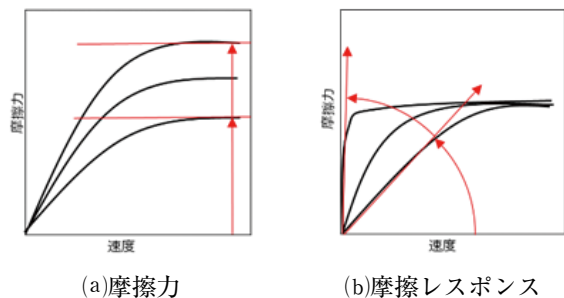


図2 摩擦力(a)と摩擦レスポンス(b)の概念図

3 摩擦レスポンスの指標化 (スパイク指標SI)

摩擦レスポンスを定量的に評価するため、カヤバが開発した指標がスパイク指標（SI）である。

3.1 指標の概要

スパイク指標（SI）は、静止状態から滑り状態へ移行する際に生じる摩擦係数の急峻な変化（スパイク）を抽出・評価する指標である。速度反転時の挙動から摩擦レスポンスの優劣を直接捉えられるため、乗り心地および操縦安定性の性能評価指標として有効である。

3.2 適用実績

この指標を用いた動的摩擦特性評価技術および制御技術は、2022年度 日本トライボロジー学会賞（技術賞）を受賞しており、関連技術は 特許第7156903号として登録されている。

編集後記

10年ほど前にも編集委員を仰せつかっていたことがあり、当時の思いとして技報に掲載する製品や技術・生産をはじめとする記事のジャンルの広さに驚いた記憶がある。現在では当時よりさらに広がっている。実はこの記事のひとつひとつに様々なドラマがあり、凝縮に凝縮を重ねて2～3ページの記事が集約されていることを考えると非常に貴重なものであると改めて思う。

(吉村委員)

各種シミュレーション技術や機械学習の進展により、近年はトライ&エラーの回数が大きく減り、研究開発のスピードも向上していると感じています。一方で、私自身は実験を繰り返す過程で、現象の本質に迫る深い理解が得られるような経験をしたことがあります。効率化が進む環境下においても、若手技術者が目の前の現象を丁寧に捉え、そのメカニズムを探究する姿勢を育むことが重要だと考えています。その姿勢を大切にしながら、今後も技術の深化に努めていきたいと思えます。

(小倉委員)

とあるOEMの方の話聞く機会があった。世の中のEV化についてである。自動車の生産能力は限られているので、儲かるガソリン車の生産を減らし、儲からないEV車の生産を増やさなければならぬ。EV車を作る事は2重に苦しいので本当はやりたくないが、世の中の流れは止められないだろうと。カヤバは世の中の流れに乗るべく電動化にも力を入れてきている。その実力と実績をもっと上手く、広く発信していければと思う。

(渡辺委員)

編集委員

◎伊藤 隆	技術本部基盤技術研究所	神谷 悟弘	HC事業本部技術統轄部
塚田 広隆	技術本部基盤技術研究所	米川 典秀	HC事業本部技術統轄部
小倉 翔吾	技術本部生産技術研究所	杉村 宗弘	HC事業本部技術統轄部
周防 士朗	技術本部知的財産部	吉村 光明	航空機器事業部技術部
天野 玄規	経営企画本部経営企画部	石黒 久栄	特装車両事業部熊谷工場技術部
太田 康洋	AC事業本部技術統轄部	松久 隆司	カヤバモーターサイクルサスペンション(株)
宮谷 修	AC事業本部技術統轄部	河野 義彦	(株)タカコ技術本部開発部
渡辺 浩司	AC事業本部MD事業部	○小林 隆	技術本部技術企画部
野口 洋一	AC事業本部MD事業部	○大林 義博	技術本部技術企画部
齊藤 靖	HC事業本部技術統轄部		

◎編集委員長

○編集事務局

AC事業本部：オートモーティブコンポーネンツ事業本部

HC事業本部：ハイドロリックコンポーネンツ事業本部

MD事業部：車載機器事業部

カヤバ技報 第72号

〔禁無断転載〕 〔非売品〕

発行

2026年4月1日

編集発行人

カヤバ技報編集委員会

発行所

カヤバ株式会社

(2023年10月1日より、正式社名に

カヤバ株式会社を採用いたしました)

〒105-5128

東京都港区浜松町二丁目4番1号

世界貿易センタービルディング南館28階

電話 03-3435-3511

FAX 03-3436-6759

印刷所

勝美印刷株式会社/東京・白山

ホームページへの掲載のお知らせ

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

なお、冊子の発行は従来通り行ないますので、こちらをあわせてご利用下さい。

〈カヤバのホームページアドレス〉

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

(トップ画面からカヤバ技報バナーをクリックして下さい)