

ISSN 1880-7410

KYB TECHNICAL REVIEW

カヤバ技報

OCT. 2024 No.69

KYB
Our Precision, Your Advantage

カ
ヤ
バ
技
報

KYB TECHNICAL REVIEW No. 69 OCT. 2024

カヤバ株式会社

KYB

カヤバ技報

第69号 2024-10

目次

巻頭言

Powering Mobility for All：ロボット義足の開発

孫 小軍 1

技術紹介

モデル解析活用による治具共振低減手法

藤掛 光彦 4

キャンピングカー向け電子制御サスペンションの開発

遠藤 朋貴
稲満 和隆 10
倉田 峻平

技術解説

AI技術を実装したSA減衰力計算の高精度化とAI運用管理基盤の構築

萬谷 浩章 16

AIを用いた刻印検査技術の開発とMLOps基盤の構築

提箸 良太
光尾 崇 26
鈴木 健斗
宮内 悠樹
菊池 貴好

紹介

全社技術発表会，バーチャル展示会2023の開催

橋本 有奈 33

カヤバ史料館 展示リニューアル

小牟田久美 37
藤澤 杏子

随筆

中国駐在記

後藤 孝志 42

用語解説

①モデル解析

藤掛 光彦 47

②積層リーフバルブ

萬谷 浩章 48

③MLOps

光尾 崇 49

編集後記

KYB TECHNICAL REVIEW

No. 69 OCT. 2024

CONTENTS

Foreword

Powering Mobility for All: Development of Robotic Legs	Xiaojun Sun	1
--	-------------	---

Technology Introduction

Method for Reducing Jig Resonance Using Modal Analysis	FUJIKAKE Mitsuhiro	4
	ENDO Tomotaka	
Development of Electronically-Controlled Suspension for Motorhomes	INAMITSU Kazutaka	10
	KURATA Ryohei	

Technology Explanation

Enhancing the Accuracy of SA Damping Force Simulation Implemented with AI Technology and Building an AI Operational Management Platform	MANTANI Hiroaki	16
	SAGEHASHI Ryota	
Development of Stamp Inspection Technology Using AI and Construction of MLOps Platform	MITSUO Takashi	26
	SUZUKI Kento	
	MIYAUCHI Yuuki	
	KIKUCHI Takayoshi	

Introduction

Company-wide Technical Presentation Holding of Virtual Exhibition 2023	HASHIMOTO Yuna	33
KYB Museum Exhibit Renewal	KOMUTA Kumi	37
	FUJISAWA Kyoko	

Essay

Essay from Expatriate in China	GOTO Takashi	42
--------------------------------	--------------	----

Glossary

1. Modal Analysis	FUJIKAKE Mitsuhiro	47
2. Laminated Leaf Valve	MANTANI Hiroaki	48
3. MLOps	MITSUO Takashi	49

Editors Script

巻頭言

Powering Mobility for All：ロボット義足の開発

孫 小 軍*



1. はじめに

この度、「カヤバ技報69号」の巻頭言執筆の機会を頂き、大変光栄です。私たちBionicM株式会社はロボット義足の研究開発を行っているベンチャー企業です。2023年よりカヤバ株式会社技術本部基盤技術研究所様と共同研究を実施させていただいております。この巻頭言をお読み頂いている方は、義足についてご存じない方も多いと思われるので、弊社の紹介に加え、ロボット義足とその開発について、簡単にご紹介させていただきます。

2. BionicM株式会社の使命

私が義足の開発を志したのは、私自身が義足との出会いによって人生を大きく変えることができたからでした。私は元々健常者として中国・貴州省の農家に生まれましたが、骨肉腫が原因で、9歳の時に右膝から上を切断しました。切断してからは、松葉杖を使う生活が始まり、それまでの生活から大きく変化しました。例えば、雨天時に学校へ登校することですら、通学時に何度も滑って転んでしまいました。また、松葉杖は両手が拘束されるため非常に不便で、かつて日常生活をおくる際に一人で出来ていたことが出来なくなりました。中国で15年間松葉杖生活を送った後、初めて義足に出会ったのは、日本に留学していた大学院生の時でした。1年近いリハビリ等の期間を経て、初めて義足で街に出た時の喜びは今でも忘れられません。雨天時には傘をさして外出ができ、また食堂では自分でトレーを持ち運びできるようになりました。15年ぶりに松葉杖から両手が解放され、文字通り、人生が変わった瞬間でした。

モビリティと申しますと、自動車や電車といった移動手段を思い浮かべる方も多いかと思いますが、私は「足」こそが人類の根源的な移動手段、モビリティであると考えております。これまで様々な経済活動において、ヒトやモノを長距離でも迅速に移動

させるモビリティが求められてきました。機械工業の発展に伴い、その要求に応えるように開発された自動車や電車等のモビリティは、天候や地形等の環境に左右されにくく、効率的な時間管理を可能にして経済発展に大きく貢献してきました。他方、足というモビリティは、体力に依存するため、移動距離や速度に限界があり、長距離かつ迅速な移動には適していません。健常者にとって二足歩行による移動は自明であるため、欠点にばかり焦点が当たりやすいですが、足は非常に細かい運動制御に基づき、狭路や坂道といった様々な環境に逐次適応してくれています。足は他のモビリティと比較したときに、経済発展に対する貢献度は明示的には小さいかもしれませんが、しかし、足によって実現される二足歩行は人類の根源的な運動であり、人間の活動の土台となる身体的な健康はもちろん、精神的な健康にも大きく寄与すると、私はこれまでの経験から確信しています。自分の足で行きたい場所に歩いていける、その支えとなる技術を提供したい、それが弊社の使命“Powering Mobility for All”にかける私の想いです。

3. 義足とその変遷について

義足は、ご存知の通り下肢切断者の欠損部位を代替する器具です。義足は主に「大腿義足（膝上切断用の義足）」、「下腿義足（膝下切断用の義足）」に大別され、大腿義足は一般的に図1に示すようなソケット、膝継手、足部の3つの部品を組み合わせることによって構成されます。弊社が開発したロボット膝継手Bio Leg[®]は膝継手に相当し、膝関節の機能を代替します。

市販されている多くの膝継手は、バネや油圧ダンパといった機械要素を活用することにより、歩行時の膝の屈曲・伸展運動を支援します¹⁾。これらの機械要素は受動部品であり、主に制動装置とし利用者の歩行に寄与するため、利用者は体幹や股関節の運動によって「(膝継手を含む)義足を振る」必要があります。歩行におけるこのような代償動作は腰痛

*BionicM株式会社 代表取締役CEO



図1 大腿義足

の一因となることが知られています²⁾。他の運動においても代償動作は利用者への身体的な負担となることが確認されており^{3), 4)}、大腿義足利用時の大きな課題の一つとなっています。

大学等の研究機関では、電動モータを内蔵した動力付膝継手を開発することで、従来の市販膝継手で生じる問題の解決が試みられてきました。弊社製品であるBio Leg[®]も動力付膝継手に相当し、私の博士後期課程における研究が起点となっています。動力付膝継手は、電動モータに代表される能動部品により駆動装置としても活用されるようになりました(生理学的には遠心性・等尺性収縮に加えて求心性収縮も可能となり、人体の筋肉の基本機能がようやく膝継手に付与されたと概ね言えるかと思います)。その結果、階段上り動作支援といった従来の膝継手では困難であった動作支援が実現されるようになりました。直近の共同研究では、動力付膝継手が椅子からの立ち上がりにおける膝の伸展運動を支援することで、利用者の両足荷重対称性が向上するという実験結果が得られております⁵⁾。このように動力付膝継手は利用者の身体的な負担を軽減する可能性が示唆されており、将来的には健常者と同程度まで下肢切断者の機能が回復されると信じております。

4. 動力付膝継手の開発

動力付膝継手の利用者へのメリットが示唆される一方で、動力付膝継手は未だ人体の膝関節とは大きな隔たりが存在し、動力付膝継手の設計開発には様々な課題が残っています。例えば、動力付膝継手の重量の問題です。人体は大腿と下腿が様々な靱帯

により強固に接続されていますが、大腿義足の場合、ソケットの内部を陰圧に保つことで断端(下肢切断における残存部位)と接続されます。したがって、利用者は膝継手の重さを断端部で受けることから、膝継手は可能な限り軽量であることが求められます。一方で、動力付膝継手は膝関節周りにおいて比較的大きな出力が求められます。動力付膝継手は、立脚時(義足側に荷重した状態)には利用者の体重を支える程の関節トルクが必要であり、遊脚時(義足側を懸垂した状態)には早歩きに対応できるほど比較的高い関節角速度での駆動を実現しなければなりません。電動モータと減速機の組み合わせにより駆動する市販の膝継手で、動力付膝継手の重量および出力の要求仕様を両方満たす製品は、私が把握している限りでは存在しません。私の博士研究において、この出力重量比を改善するために膝継手に特化した可変減速機の研究開発を行ってきましたが⁶⁾、まだ改善の余地があると感じており、筋肉や関節の機構といった人体のすごさを感じつつ、人体にいかになら近づけられるかが動力付膝継手開発の面白さであり、やりがいを感じるところです。

5. 企業連携への期待

私のこれまでの経験から、ベンチャー企業の強みは、柔軟に製品開発を行えることだと感じております。上述の通り、動力付膝継手を設計するには、機械や電気といったメカトロニクスだけでなく、バイオメカニクスといった異分野を横断した総合的な知見が必要となります。そのため、弊社では製品開発において様々な視点が必須だと考え、エンジニアはもちろん、義肢装具士や理学療法士といった医療関係者の方々からも助言をいただきながら設計開発を進めてきました。約5年間(研究期間を含めると約8年間)の試行錯誤の結果、ようやく製品を上市する準備が整いました。

経営的な視点から振り返ってみますと、製品の開発期間が長いことは今後の課題だと感じております。近年、大学や企業から新たな膝継手が続々と発表されております。膝継手も以前と比べて競争が激しくなっているように感じており、製品開発期間を短縮することが求められます。一方で、膝継手は欧米では医療機器扱いであり、毎日使用されるものであるため、性能以上に安全性が求められます。開発期間の短縮と高い安全性というトレードオフを解決する手段として、私は企業連携に期待しております。Bio Leg[®]の開発を進める中で、利用者は膝継手の動作の感覚を重要視していることがわかってきました。これは、歩行の際に膝継手が利用者の思い通りにつ

いてきているか、感触が良いかなどに代表される主観的な感覚であり、自動車の乗り心地に非常に近いものであるという知見が得られました。日本は高い安全性が要求される自動車という工業製品の輸出大国であると理解しています。自動車の製造で培われた技術や安全性に関する知識を、二足歩行という異なる「モビリティ」に応用できれば、より安心・安全かつ高性能な膝継手の開発を短縮された開発期間で実現できると考えております。

2022年に日本政府は第二の創業ブームを実現するため「スタートアップ育成5カ年計画」を策定したこともあり、スタートアップやベンチャーという単語は耳慣れた言葉となってきました。しかし、ブームで終わらせることなく、新たなモビリティの市場を開拓するには、市場に合わせて動くことのできるベンチャー企業の柔軟さと大企業のロバストなハードウェア技術の融合が必要だと考えております。弊社の使命である“Powering Mobility for All”のもと、新たなモビリティ市場開拓のために尽力致しますので、引き続きご協力いただけましたら大変嬉しく思います。

最後に、本稿執筆におきまして、弊社技術部金石・小牟田ならびに技術部の社員の皆様に多大な協力をいただいたことに感謝します。

参 考 文 献

- 1) 奥田正彦, “膝継手の歴史的変遷と今後の課題”, 日本義肢装具学会誌, 27(1), 2011.
- 2) Devan H., *et al.*, “Physical activity and lower-back pain in persons with traumatic transfemoral amputation: a national cross-sectional survey”, *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 49(10), pp. 1457–1466, 2012.
- 3) Highsmith M.J., *et al.*, “Kinetic asymmetry in transfemoral amputees while performing sit to stand and stand to sit movements”, *Gait & Posture*, 34(1), pp. 86–91, 2011.
- 4) Wolf E.J., *et al.*, “Comparison of the Power Knee and C-Leg during step-up and sit-to-stand tasks”, *Gait & Posture*, 38(3), pp. 397–402, 2013.
- 5) Hobara H., *et al.*, “IMPROVED LOADING ASYMMETRY DURING SIT-TO-STAND MOVEMENT IN UNILATERAL TRANSFEMORAL AMPUTEES USING POWERED-PROSTHETIC KNEES”, *American Academy of Orthotists and Prosthetists (AAOP) 50th Annual Meeting and Scientific Symposium*, Chicago, Illinois, USA, 2024.
- 6) Sun X., *et al.*, “Variable Transmission Series Elastic Actuator for Robotic Prosthesis”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Brisbane, QLD, Australia, 2018, pp. 2796–2803.

技術紹介

モーダル解析活用による治具共振低減手法

藤 掛 光 彦 ・ 遠 藤 朋 貴

1 はじめに

近年、BEV（Battery Electric Vehicle）、HEV（Hybrid Electric Vehicle）の普及により車両静粛性が大幅に向上している。車室内の暗騒音低下に伴い周辺部品の騒音が顕在化することで、一段と厳しいNVH^{注1)}低減要求が予想される。今後の製品開発において低騒音・低振動化は、必要不可欠であり高精度なNVH評価が求められる。

従来のベンチ評価方法では、試験治具に製品を取付けるため、製品と試験治具による共振が発生し、製品本来のNVH特性を把握することが非常に困難であった。そこで、実稼働時の振動モードの把握ができるように、モーダル解析を活用し治具共振を排除した設計手法を構築した。本報ではその手法を紹介する。

注1) Noise, Vibration, Harshness（騒音、振動、ハーシェネス）の略。

2 製品紹介

電気自動車の普及により主機モータやバッテリーを冷却・潤滑する電動オイルポンプの需要が高まっている。機電一体となった電動オイルポンプはエンジン回転数に依存しないため、使用用途が広い。カヤバでは、これまでのポンプ設計技術を活用することで小型化・高効率な電動オイルポンプの開発を行っている。図1に冷却潤滑用電動ポンプの一例を示す。

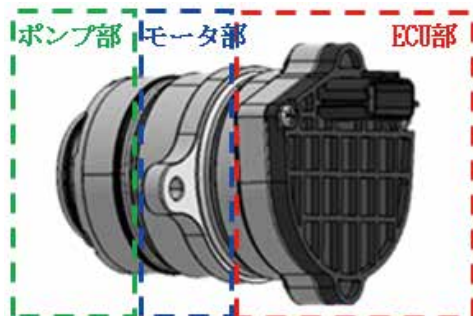


図1 冷却潤滑用電動ポンプ

3 NVH評価設備の課題

従来の評価設備では、実車を模擬した評価環境を構築しておりベルト駆動やスプロケットを介してのチェーン攪拌など、複雑な治具構成により外乱を含んだ状態で評価を実施してきた（写真1）。しかし純粋なポンプのNVH評価をする上では、外乱要素が多く含まれるため、振動改善アイテムの信頼性の評価、ばらつき把握など困難な状況も発生していた。

外乱要素の主な影響は、以下3要素に分類される。

- ①チェーン駆動による駆動側振動の伝達
- ②作動油の攪拌によるポンプ内部エア混入
- ③試験治具共振

これらの外乱を排除することで純粋なポンプのNVH評価が可能になると考え、直結仕様の性能試験機をベースとした新たなNVH評価設備を製作した（写真2）。従来のチェーン駆動方式から直結駆動方式となり3要素の内、①と②の2要素は排除されたが、③の試験治具共振は改善されなかった。理由として、ポンプは要求される流量に合わせて回転数を変化させるため、発生する振動周波数も数Hzから数kHzと幅広く、試験治具の固有振動数との共振が発生しやすい。共振が発生するとポンプの振動レベルが大幅に増加するため、純粋なポンプのNVH特性を把握することが難しくなる。そこで試験治具共振対策としてモーダル解析を活用した解析技術の

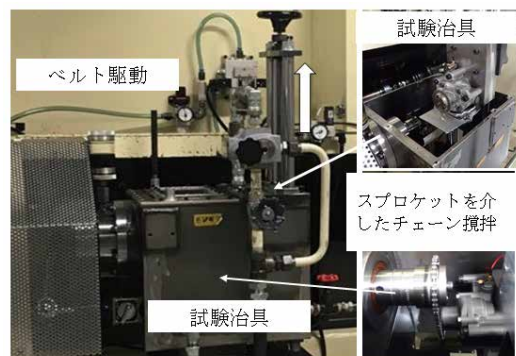


写真1 従来のベルト駆動評価設備

構築，共振を排除した試験治具の設計を行った。

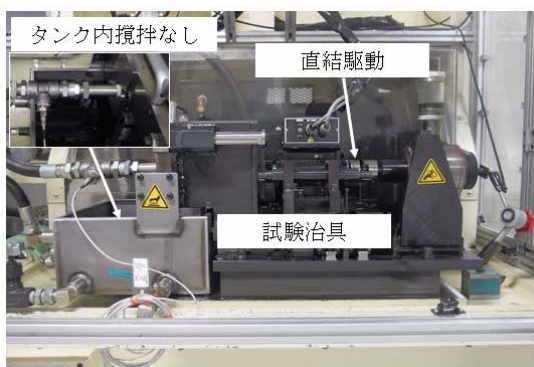


写真2 直結駆動評価設備

4 共振周波数，共振試験治具の特定

4.1 試験治具共振周波数の特定

図2に示すカラーマップは直結駆動評価設備でポンプNVH評価を行った結果である。横軸に周波数，縦軸にポンプ回転数，色彩はポンプ振動の大きさを表している。放射状に伸びる線は，ポンプの回転次数成分であり，ポンプ回転に依存しない一定の周波数帯で大きく振動している赤枠箇所は試験治具共振が発生している周波数帯である。共振周波数は1.3kHz～1.6kHz，3.5kHz～4.5kHzの2箇所である。ポンプ周りのいずれか（もしくは複数）の試験治具が有している固有振動数がポンプ次数成分^{注2)}と重なることで共振が発生し，ポンプ振動に影響を与えている。

注2) ポンプ次数成分

ポンプ1回転あたりを1周期として1回発生する現象をポンプ回転1次成分，そのn倍をn次成分という。

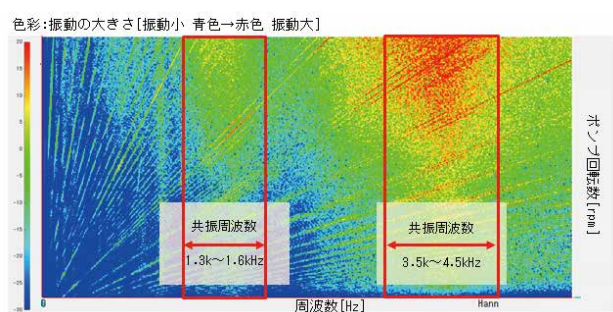


図2 ポンプNVH評価時のカラーマップ

4.2 試験治具の細分化

共振治具の特定にあたり，各試験治具をポンプ含め9つの治具に細分化した（図3）。

実験による固有値解析によって共振治具を特定するために各試験治具及びポンプに3軸加速度センサを取付け，加振させたときの周波数応答を計測・解析する。実験による固有値解析精度向上に向けて実稼働モード解析，実験モード解析の2通りの計測・

解析を実施し共振治具特定の高精度化を図っている。

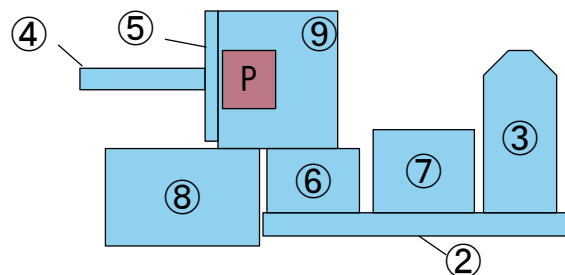


図3 各試験治具をポンプ含む9治具に細分化

4.3 実稼働モード解析

実稼働モード解析は，ポンプNVH評価時の振動モードを解析する手法である。実際の試験条件で計測できるため実環境に沿った解析結果が得られる。各試験治具のパワースペクトル^{注3)}及びクロススペクトル^{注4)}を計測し共振周波数帯での振動モードを可視化した試験治具モデルを図4，図5に示す。色彩は，カラーマップ同様振動の大きさを表しており，振動大が赤色となっている。

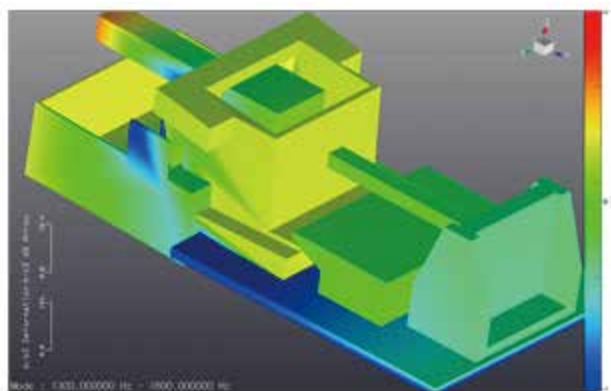


図4 1.3kHz～1.6kHzの試験治具振動モード

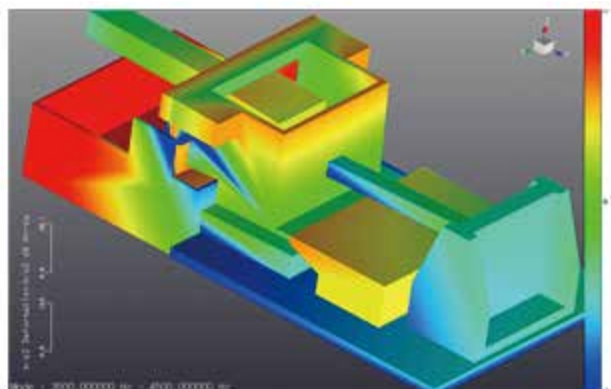


図5 3.5kHz～4.5kHzの試験治具振動モード

注3) パワースペクトル (power spectrum)

信号のパワーを一定周波数帯域ごとに分割し，その帯域ごとのパワーを周波数関数として表したもの。

注4) クロススペクトル (cross spectrum)

2 信号のスペクトルの周波数成分どうしを掛け合わせて平均したもの。

4.4 実験モデル解析

実験モデル解析は加振試験によって求めた周波数応答関数から振動モードを解析する手法である。試験治具を組付けた状態と単体の状態で異なる振動モードが出てくる可能性があるため、それぞれの状態で加振試験を実施し解析した。

表1は実稼働モデル解析と実験モデル解析の結果から、共振周波数帯に固有振動数を有している可能性がある治具をまとめたものである。解析結果を総合的に判断すると赤枠の試験治具番号⑦⑧⑨について共振対策が必要であると判断した。

表1 共振治具特定結果

治具番号	実稼働モデル解析 治具 ASSY	実験モデル解析	
		治具 ASSY	治具単体
②	×	○	×
③	×	×	×
④	×	×	×
⑤	×	×	×
⑥	×	×	×
⑦	○	○	○
⑧	○	○	○
⑨	○	○	○

○：共振周波数帯に固有振動数を有する可能性あり
×：共振周波数帯に固有振動数を有する可能性が低い

5 試験治具の最適化

5.1 試験治具形状検討方法

共振治具の特定により試験治具形状・材質などを変更し治具の固有振動数を変動させる、もしくは剛性を高め振動レベル（以下イナータンス）の低減を図る。また、コスト低減を目指し複雑な形状を避け、効率的な試験治具を設計する。対策治具の解析には FEMソフトである ANSYS® を使用し、シミュレーション（以下 SIM）によるモデル解析を実施、試験治具形状違いによる固有振動数を予測した。

しかしながら剛性の低い治具形状では、モデル解析結果に多くの固有振動数が算出されてしまうため、解析精度が低下する。解析精度を向上させるため低剛性治具には、実験モデル解析を実施し、実測の振動モードを把握して対策を講じた。図6に対策手順のフローチャートを示す。試験治具の剛性に合わせて解析手法が分かれ、最終的な試験治具形状に対し SIM モデル解析で対策効果を確認する。対策効果が不十分であれば、治具形状を変更し目標達成まで対策プロセスを繰り返す。SIM モデル解析にて目標達成後、対策治具を製作し実験モデル解析を実施。実測での対策効果を確認する。

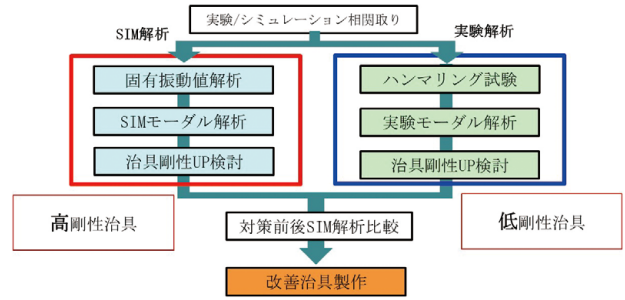


図6 対策手順フローチャート

対策効果の目標値として、試験治具共振周波数帯におけるポンプ吐出方向のイナータンスを50%低減する設定とした。次節より対策手順について、詳細を説明する。

5.2 実験/SIMモデル解析のコリレーション

図6で示したフローチャートの実験モデル解析及びSIMモデル解析の精度向上を図るため、両解析手法のコリレーション^{注5)}が必要である。コリレーションとして、比較的単純形状で高剛性な治具番号⑤をコリレーション対象とした（図7）。

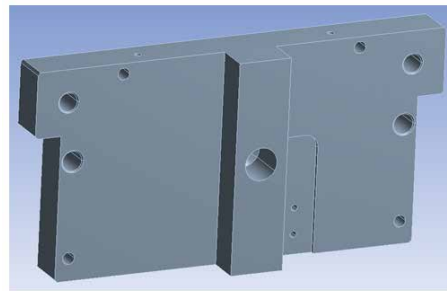


図7 治具番号⑤の形状

図8はコリレーション前の実験/SIMモデル解析で得られた周波数応答の結果である。コリレーション前の波形では、固有振動数の周波数は実験/SIMでおよそ一致しているが、そのイナータンスには大きな差異が見られる。原因として、実験/SIMモデル解析の解析条件の違いが考えられ、以下が挙げられる。

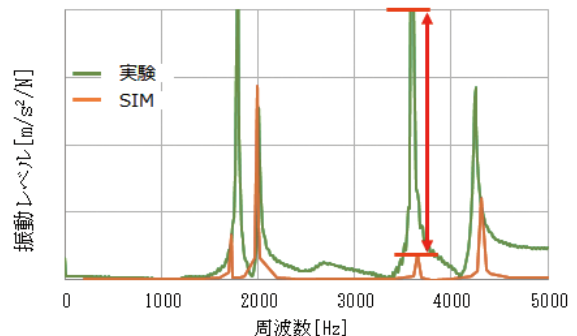


図8 コリレーション前の周波数応答

- ・治具の支持方法
- ・加振点、応答点の位置
- ・SIMモデル解析の減衰比設定

試験環境や試験方法、解析パラメータ条件を擦り合わせることで再度コリレーションを行った。図9に条件摺り合わせ後のコリレーション結果を示す。コリレーション前後を比較すると固有振動数の周波数に加え、イナータンスの値も同等となる。この結果から実験/SIM解析の高いコリレーションが確立され、高精度な解析が実現された。

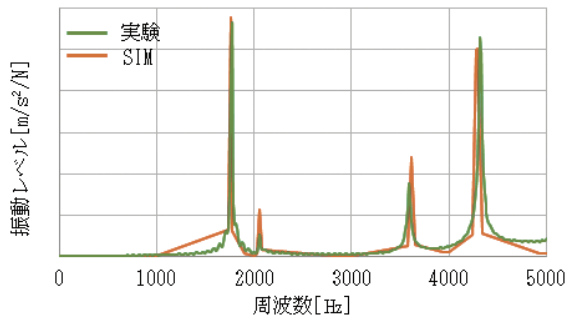


図9 コリレーション後の周波数応答

注5) コリレーション (correlation, 相関)

二つの変量や現象がある程度相互に規則的な関係を保って変化すること

5.3 SIMによる振動モード検証

図10は共振周波数である3.5kHz～4.5kHzの振動モードを可視化しており、治具横方向に波打つような振動モードである。特に上両側端が大きく振動しており、上側の治具剛性を高めることで、共振対策が望める。またSIMモデル解析において多数の固有振動数が算出された場合は、治具剛性が低い可能性がありSIM解析精度の低下が考えられる。その場合は、実験モデル解析へ解析手法を切り替える必要がある。

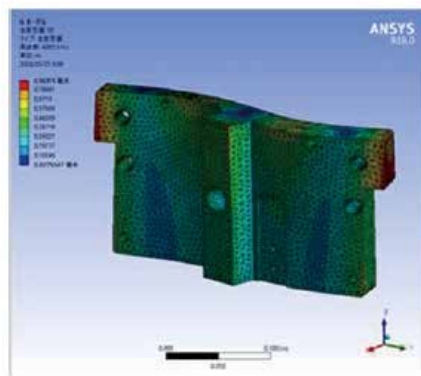


図10 治具番号⑤の振動モード解析

5.4 実験による振動モード検証

SIMモデル解析にて治具剛性が低い結果が得られた治具番号⑨に対し、実験モデル解析を行った。図11は、共振周波数である1.3kHz～1.6kHz及び3.5kHz～4.5kHzの振動モードを可視化した結果である。色彩は、カラーマップ同様振動の大きさを表しており、振動大が赤色となっている。いずれも開口面と背面の剛性不足により共振が発生している結果が得られた。このことから、各2面の剛性を高めた設計をすることで、共振対策が望める。特に開口面右上から対角線上の剛性向上が有効的であることが分かる。

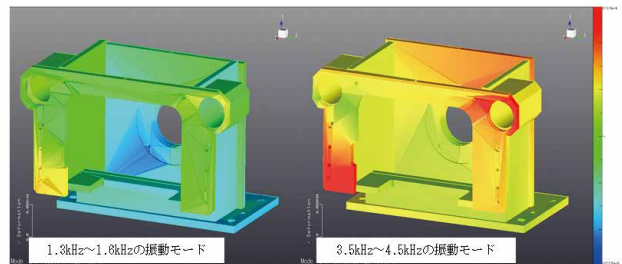


図11 治具番号⑨の振動モード解析

5.5 対策治具の検討

5.2項で得られた治具番号⑤の共振周波数3.5kHz～4.5kHzのイナータンスを低減するため、振動モードに対して変形を抑制する形状を検討した。設計検討では、試験治具製作時の加工可否やコスト、試験時の作業性を考慮した治具設計が重要であるため、上記を考慮し、治具番号⑤に対して図12に示すような治具横方向にリブを追加する形状とした。

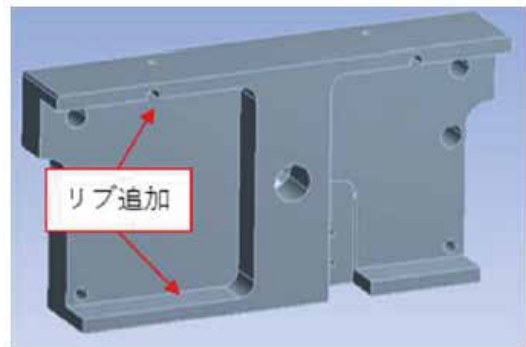


図12 対策検討後治具

5.6 対策治具モデルの解析

SIMモデル解析より、対策前後の周波数応答を比較した結果、対策前に対し対策後ではイナータンスが64%低減した。この段階で目標のイナータンス50%低減を達成。さらに解析ばらつきを考慮したイナータンス低減を目指し、リブ高さ・幅の変更を繰り返し行い、イナータンス低減とコストを両立するリブ形状を検討した。図13が検討した最終形状であ

り、イナータンスが97%の低減となった周波数応答結果を図14に示す。

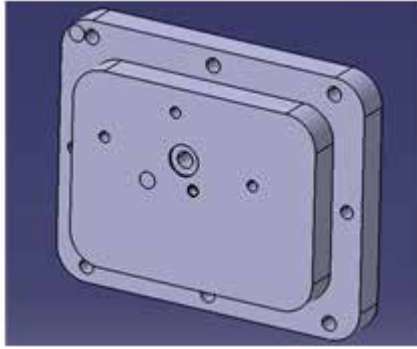


図13 治具番号⑤の最終形状

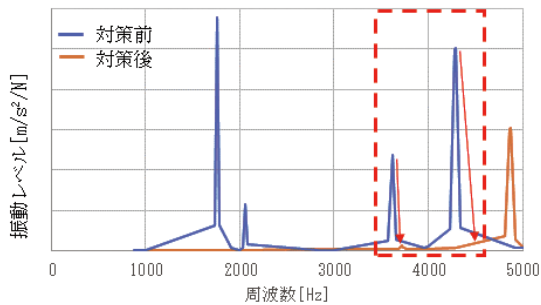


図14 対策前後のSIM周波数応答比較

5.7 実験モデル解析による対策治具検証

対策治具モデルより、治具設計に移行し対策治具を製作した。SIMモデル解析により治具共振が低減された対策治具にて実験検証を実施。SIMによるイナータンス予測低減率に対し、実験での実測低減率は93%でありSIM解析と同等レベル。実験/SIMの高いコリレーションも再検証された。実験/SIMによる周波数応答結果を図15に示す。

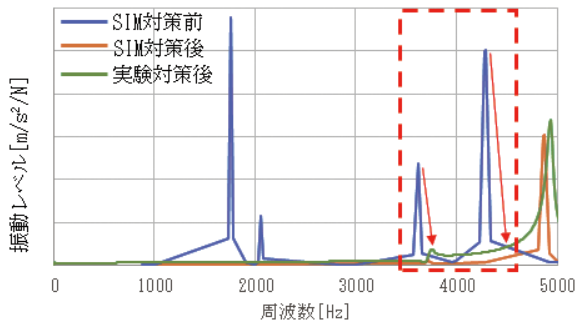


図15 対策後治具の実験/SIM周波数応答比較

次に実験モデル解析による、対策前後の周波数応答を比較した結果を図16に示す。対策前に対し対策後では、イナータンスが93%低減した結果が得られた。SIMモデル解析で得られた対策治具の固有振動数とそのイナータンスが実測においても、同等レベルであることが確認された。

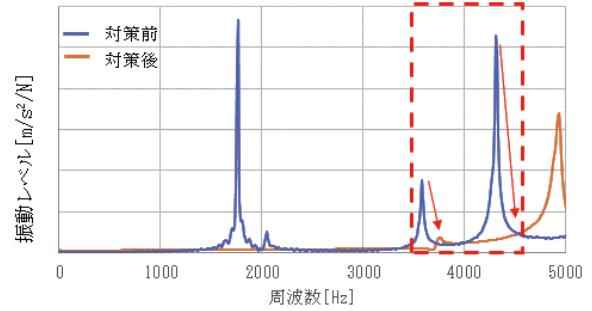


図16 対策治具前後の実験周波数応答結果

5.8 共振治具対策前後の試験治具比較

対策前後の試験治具形状を図17に示す。共振を抑え、複雑な治具構成を単純化したことで構成治具点数を減らし、高剛性な低コスト治具を製作することができた。

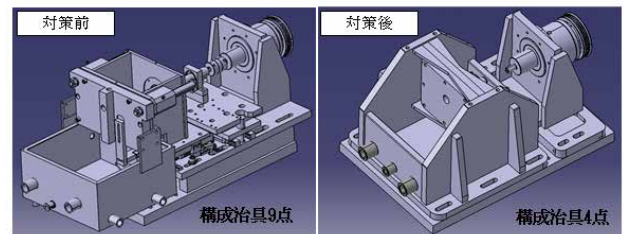


図17 対策前後の試験治具

6 共振対策治具の検証結果

共振対策前後での試験治具を使用したポンプNVH評価結果を図18に示す。対策後カラーマップより共振周波数帯であった3.5kHz～4.5kHzでは試験治具共振の発生はなく、1.3kHz～4.5kHzの周波数帯では、ポンプの次数成分振動が明確に確認できるようになった。この結果より試験治具の共振が改善さ

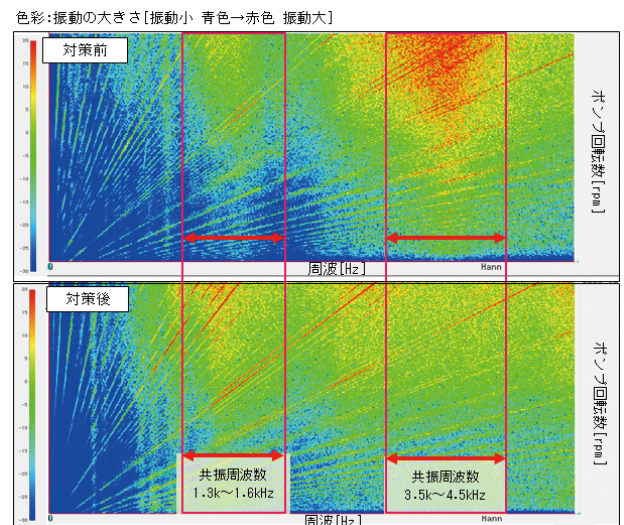


図18 対策前後のポンプNVH評価結果

れ、ポンプに影響を及ぼす外乱要因が全て排除されたため、高精度なポンプNVH評価が可能となった。

7 今後の展望

自動車部品開発において、NVH評価は必要不可欠であり車両静粛性が今後さらに向上していく中、高精度なNVH評価をするための環境構築が急務である。今回の解析手法及び技術知見を各製品へ水平展開することで、製品のNVH評価精度向上が図れる。また試験治具の設計段階から製品共振を変動させた治具を製作することで評価の手戻り、異常振動発生時の原因究明工数低減が期待できる。高い低騒音化が求められる電動ポンプ開発においても、今回の手法を活かしていく所存である。

8 おわりに

本報ではモーダル解析を活用した試験治具共振対策に取り組んだ活動を紹介した。これまでの実験/SIMモーダル解析に加え、実稼働モーダル解析を取り入れたことで、実際のNVH評価条件での試験治具振動モードが可視化された。このため共振治具の特定及び治具の共振部位が明確になり解析精度の向上に繋がった。また実験/SIM解析の高いコリレーションを確立したことで、精度の高い共振治具対策が実施できた。本取り組みにより共振治具対策プロセスが明確化され、より精度の高い試験治具解析技術の蓄積が期待される。更なる精度向上に取り組んでいくと共に、日々新しいNVH評価技術を高めることが重要である。

最後にモーダル解析技術構築にあたり、ご指導、ご協力をいただいた関係者の方々にこの場をお借りして厚くお礼申し上げます。

著 者



藤掛 光彦

2011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実験室に所属。電動ポンプの開発に従事。



遠藤 朋貴

2018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実験室に所属。電動ポンプの開発に従事。

技術紹介

キャンピングカー向け電子制御サスペンションの開発

稲 満 和 隆 ・ 倉 田 峻 平

1 はじめに

近年、国内の四輪新車販売台数は低下しており、保有台数も頭打ちとなっている。若者の自動車離れが叫ばれる中、純粋に運転を楽しむスポーツカーは時代とともに減少傾向にある。一方で、単なる移動手段としてのクルマではなく、様々な機能を有するクルマに対する需要は高まっており、その一つがキャンピングカーである。国内のキャンピングカー市場は、ファミリー層やシニア層を中心に需要は高く、近年のアウトドアブームも相まって増加している。2022年の国内のキャンピングカー販売売上（新車・中古車含む）は約762.5億円で、前年比約120%となっており¹⁾、用途についてもアウトドアだけでなく、災害時の住居やリモートワークのスペースとしての活用など、多種多様に広がっている。

カヤバはこの新たな市場に対して、油圧・振動・架装技術を活用し、快適な居住空間と走る楽しさの実現を両立させ、最大限の魅力を持ったキャンピングカーを提案すべく、様々な試行を行ってきた。

前号では、油圧・架装技術を活かした特装車両事業部の取組みを中心に紹介した。本報では、オートモーティブコンポーネンツ事業本部（以下AC事業本部）の取組みとして、キャンピングカーユーザの困りごとに対して、主に足回りの観点からのアプローチについて、展示会出展時のユーザの反応も交えて紹介する。

2 訴求ポイントと解決手段

キャンピングカーユーザの困りごとをシーン別にピックアップし、訴求ポイントを三つに分類した（表1）。

一つ目は高速走行時のふらつき、横風による揺れ等「安全性」に関する項目で、重心の高さや車格の大きさが影響している。二つ目は乗心地や、駐車時の車体の傾きなどの「快適性」に関する項目

である。コンビニエンスストアやガソリンスタンドへ入る際の段差によって、車体が大きく揺えられるシチュエーションに対してのユーザの不満の声は多く聞かれる。また、駐車して就寝する際に車体が傾いていたり、同乗者の動きによる車体の揺れも不快となる点である。三つ目は装備品の手動操作による煩わしさに対する「利便性」である。例えばダイヤル式の減衰力調整ダンパは、車両の状態に合わせてユーザが好みの減衰力に調整できるメリットがあるが、車両の下に潜り込み直接手動で調整するひと手間が必要となる。

それらを解決する手段として種々アイテムを検討した（表1）。走行時のふらつきなどの安全性と、乗心地などの快適性に関しては、「居住空間拡張（以下、空間拡張）」「セミアクティブサスペンション^{注1)}（セミアク）」や「フルアクティブサスペンション^{注2)}（フルアク）」で、駐車時のスペースの問題や、車両傾きや揺れに対しては「空間拡張」「車高調整」「サスペンションロック（サスロック）」で、利便性に対してはスマートフォンやタブレットの「操作デバイス（デバイス）」の活用を検討した。「フルアクティブサスペンション」に関しては、セミアクティブサスペンションと訴求する項目は同じだが、究極のサスペンションと呼ばれるフルアクティブサスペンションをキャンピングカーに適用し、パッセンジャー中心の新しい価値提供にチャレンジした。

なお、重心や車高、車幅に関わるキャンピングカーユーザの不満点に対しては、「居住空間拡張」にて訴求した。「居住空間拡張」によるアプローチに関しては前号を参照されたい²⁾。

表1 シーン別困りごとと解決手段

訴求ポイント	シーン	困りごと	空間拡張	セミアクティブ	車高調整	サスロック	フルアク	デバイス
安全性	高速道路走行時	高速走行時のふらつき	●	●			●	
	トンネルの出口・橋上トラックに追い越される時	横風によるあおられ	●	●			●	
	高速道路ランプ逆カントの路面	車両転倒の不安	●	●			●	
快適性	高ばね定数のタイヤ使用 高い空気圧設定	乗心地が悪い		●			●	
	コンビニの出入り未舗装路の凹凸	車体ゆすられ・ねじれ		●			●	
	駐車時	車体の傾き 駐車スペース	●	●				
利便性	駐車時（乗員の動き）	車体の揺れ				●		
	装備品の操作	手動操作による煩わしさ						●

注1) 減衰力調整機構が盛り込まれており、伸縮速度に応じて発生する減衰力を任意の値に調整可能なサスペンション。

注2) 動力源をもち、路面状況に応じて加振・制振両方向に荷重を発生することができるサスペンション。

3 ニーズの具現化

ユーザの困りごとから抽出したキャンピングカーに求められる機能を実現する前述アイテムを、3台のキャンピングカーに振り分けて車両に実装した(表2)。

表2 キャンピングカーおよび機能割当

車両	車両外観	空間拡張	セミアク	車高調整	サスロック	フルアク	デバイス
デュトロ		●	●				●
ダイナ		●		●	●		●
ハイマー						●	●

3.1 走行時の乗心地・安全性の向上

3.1.1 セミアクティブサスペンション

キャンピングカーはその重心の高さや車格の大きさの影響で、乗心地や走りに対する不満が大きい。安全のために操縦性や安定性を優先すると、トレードオフの関係である乗心地が犠牲になってしまう。そこで、操縦性・安定性と乗心地を両立させるため

に、電子制御式のセミアクティブサスペンションの搭載を検討した。セミアクティブサスペンションはショックアブソーバに減衰力調整機構が盛り込まれており、車両走行状態に応じて減衰力を制御することで、相反する乗心地と操縦性・安定性の両立が可能となる。

ダンパはOEM向けに量産している比例ソレノイド式の減衰力調整ダンパをベースとし、ダンパ周りの搭載可能なスペース（特に長手）が狭かったため、別タンク式にするなど、量産ダンパの機能を搭載可能な空間内に分割し、スペースを節約した構造とした(写真1)。



写真1 セミアクティブサスペンション

3.1.2 制御開発（シミュレーション）

後述のキャンピングカー特有の走行シーンは実走行が難しいため、シミュレーションでその利用シーンを模擬し制御開発を行った。図1は、ガソリンスタンドの段差進入、図2は、トンネル出口での横風を受けた際のシミュレーションの様子である。本シミュレーションは一般ユーザ向けの展示にも使用するため、ユーザに対してわかりやすい3D車両モデル、アニメーションの作製を意識した。なお、サスペンション制御ソフトウェアは、量産品をベースにすることで、ソフトウェア開発の立ち上げに掛かる工数の削減と、評価環境の流用による効率化を実現した。



図1 ガソリンスタンドの段差侵入



図2 トンネル出口での横風影響

3.2 駐車時の車体の傾きや揺れの改善

3.2.1 車高調整機能付きダンパ

道の駅やオートキャンプ場などの地面は、水はけをよくするために傾斜がついていたり、あえて整地してないところもあり、キャンピングカーを駐車する際は車体の傾きが問題になることがある。例えば、調理する際の流しの排水性や、就寝時に傾いていることによる違和感である。レベラー^{注3)}をタイヤと地面の間に挿入し車体の傾きを補正するのが一般的だが、レベラーを使うにも場所を選んだり、手間がかかったりする。また、同乗者の移動による車体の揺れも不快に感じる点であり、特に就寝時は安眠の妨げになることがある。そこで、快適性を高めるために車高調整機能と車体の揺れを軽減する機能を付加することを検討した。

3.2.2 システム概要

ベース車両のサスペンション形式は板ばねであり、懸架ばね自体を持ち上げるジャッキ式車高調整機構が使用できないため、 hidroニューマチック方式を採用した(写真2、図3)。これは、油圧を力の伝達媒体として、ガスの圧縮性をばね作用として用いたものであり、電動ポンプユニットのリザーバから作動油を吸排出することで、ダンパの反発力を変え車高を調整できる(写真3)。また、アキュムレータの下部に設置した電磁切換弁は、ダンパのピストンロッド入退出時の体積補償油路を閉じることができるので、ダンパをロックさせ車体の揺れを低減させることができる。



写真2 車高調整システム外観

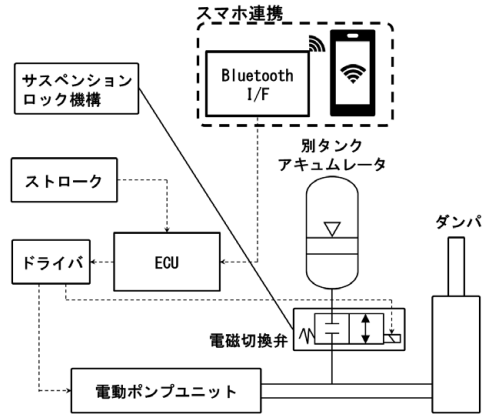


図3 車高調整システム概略図



写真3 車高調整前後比較

注3) 傾斜地などで車両が傾いている際に、タイヤと地面の間に挿入し傾きを補正するスロープ状の道具。

3.3 パッセンジャー中心の新しい価値提供

3.3.1 フルアクティブサスペンション

キャンピングカーは単なる移動手段のクルマではなく、パッセンジャーが主役となり得るクルマである。そこで、パッセンジャー中心の新しい価値提供として、究極の制振アイテムであるフルアクティブサスペンションを搭載した。フルアクティブサスペンションは究極のサスペンションと呼ばれ、路面からの入力に対して、受動的に力が出力される通常のダンパとは違い、独自にエネルギー源を持ってアクチュエータのように能動的に力を出力する機構を備えているため、乗心地と操縦性・安定性を高いレベルで両立できる。

3.3.2 システム概要

システム概略図を図4に示す。基本的な構造は当社が先行して製作した実験車両に搭載したアクティブサスペンションと同じである³⁾が、今回対象のキャンピングカーであるハイマーは車格が大きく、必要推力も増加している。そこで電動ポンプを2輪で1つのシステムから各輪1つずつにするなど、流量を増やし制御範囲を拡大するなど車格に合わせたシステム構成とすることでこの車両でもシステムを成立させた。また、モータ・バッテリーシステムにつ

いては、シミュレーションにより求めた必要ピーク推力を考慮したバッテリー持続時間等から48Vのものを選定した。車両に搭載した様子を写真4に示す。

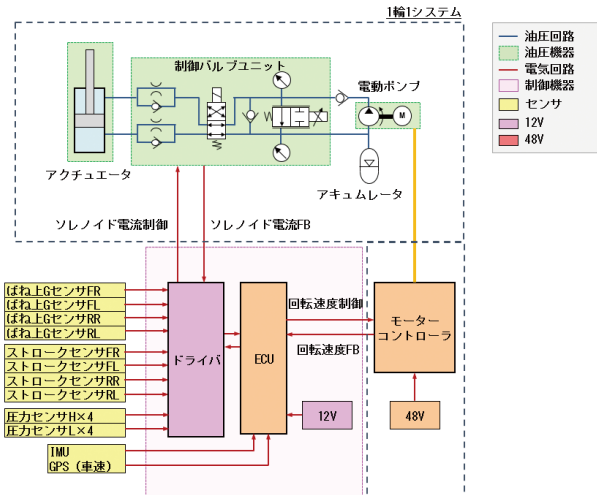


図4 ハイマーのシステム概略図

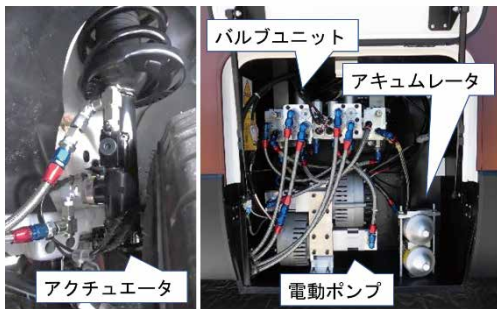


写真4 アクチュエータ（左）、油圧機器（右）

3.3.3 実車評価

製作した実験車両を当社テストコースにて走行評価した。評価は通常のパッシブダンパ^{注4)}（制御なし）と、アクティブ制御を行った（制御あり）状態との比較である。

姿勢変化の抑制効果を把握するために、スラローム走行を実施した。スラロームではロール角がパッシブ（制御なし）に対して、アクティブ（制御あり）で約54%抑制でき、車両転倒の不安なく安心した運転が可能となった（図5、写真5）。

上下振動の制振効果の評価は、スピードブレーカーにて行った。スピードブレーカー通過時のピッチ角、室内の様子を図6、写真6、7に示す。ピッチ角はパッシブ（制御なし）比で約40%抑制でき、乗り下げた際の振動の収束も早い。特に、ハイマーのようなアオーバーハングが長い車両に対しては、後方の居室やトランク位置での官能上の違いは非常に大きく、パッセンジャーが中心となるキャンピングカーに対しての訴求効果は大きいことが確認できた。

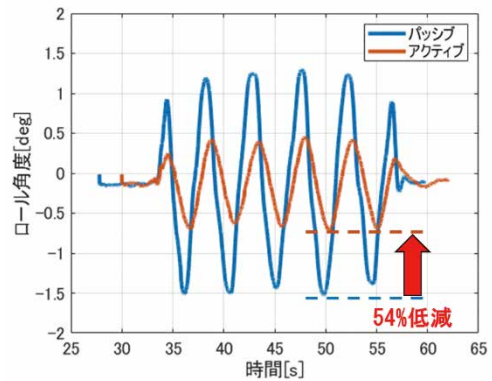


図5 スラロームでのロール角度

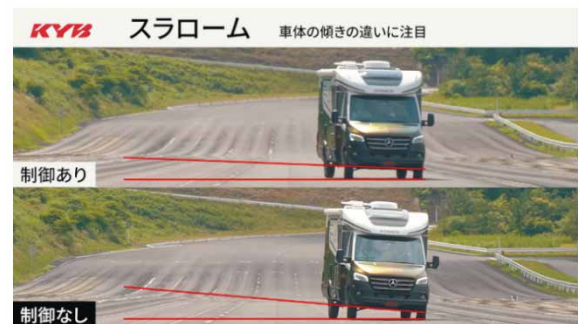


写真5 スラロームでの比較

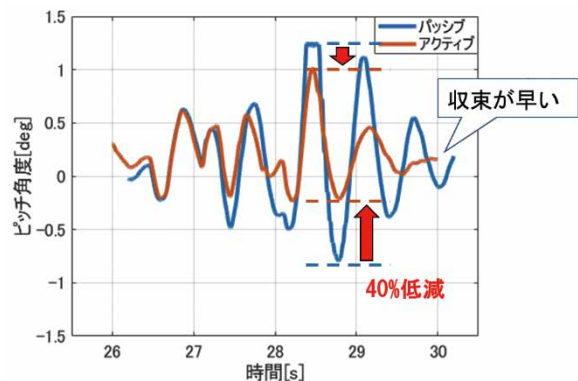


図6 スピードブレーカーでのピッチ角度



写真6 スピードブレーカーでの比較



写真7 スピードブレーカーでの比較（室内）

3.4 操作デバイス

キャンピングカーユーザの利便性を向上させるために、無線で遠隔から操作するためのスマートフォンやタブレット操作アプリを開発した。ECU（Electronic Control Unit）と操作デバイスとはBluetoothを用いて通信する仕様である。これによりユーザは各種アイテムを室内からでも気軽に操作できる（図7、図8）。



図7 タブレットアプリ画面（セミアクティブ）



図8 タブレットアプリ画面（車高調整）

注4）減衰力特性が入力速度によって一意的に決まっており、路面からの入力に対して、受動的に減衰力が出力される一般的なダンパ。

4 展示会への出展

製作した車両を東京オートサロン、東京キャンピングカーショー（写真8）に出展した。

一般ユーザにカヤバのキャンピングカーをより深く感じてもらうために居室空間拡張、車高調整およびフルアクティブサスペンションのデモンストレーションを実施し、テストコースで撮影した走行動画や、シミュレーションの様子を放映した。また、展示物としては、車両だけでなく体感機を設置し、ユーザに減衰力調整ダンパの効果やスマートフォンの操作を実際に体感していただいた。



写真8 東京キャンピングカーショー

また、展示会においてユーザからフィードバックとしてアンケート結果を得た（図9、図10）。

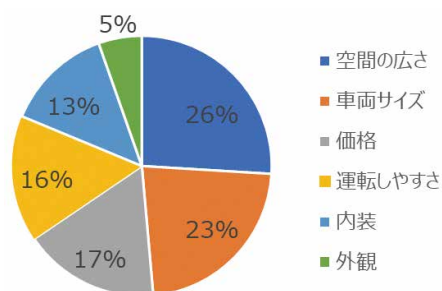


図9 キャンピングカーを選ぶ際に重視する項目

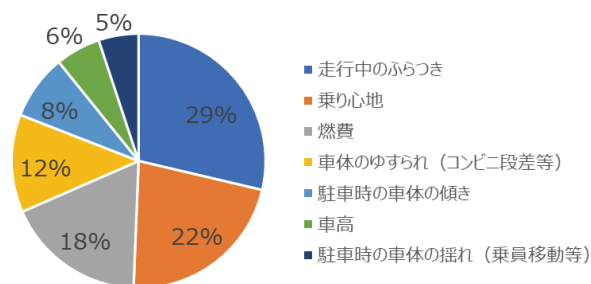


図10 キャンピングカーに対するニーズ

アンケート結果を分析した結果、ユーザがキャンピングカーを選ぶ際に重視する点として、「空間の広さ」、「車両サイズ」、「価格」などが挙げられる中、「運転しやすさ」の足回りにフォーカスした意見も16%あり、カヤバへの期待が込められていると感じた。また、ユーザニーズにおいて、「走行中のふらつき」、「乗り心地」、「車高」を挙げているユーザが多

く上位2位を占め、私たちが取り組んでいる居室空間拡張やセミアクティブサスペンション、車高調整等はユーザのニーズと方向性は合致していることが分かった。展示アテンドにおける来場者との対話により、インターフェースとしてスマートフォン・タブレットを利用したことは大変好評であることが分かった。フルアクティブサスペンションに関しては、ユーザから「期待が持てる」「早く市場に出してほしい」「実際に運転してみたい」などの前向きなコメントを多数いただいた。

展示会を通して分かった課題点もいくつかある。例えば、車高調整については、現状調整代が小さく、より大きな調整代が欲しいとの声があった。サスペンションロックに関しては、電磁比例弁一つで行えるメリットはあるが、ダンパストロックをロックする機構であるため、ダンパを支えるゴムブッシュやタイヤのたわみの変化分は動くことになる。車体を完全にロックさせるには、タイヤを介さずに直接支えるアウトリガー^{注5)}等が必要になると考えられ、車高調整手段としても今後検討していきたい。

展示会以外でも、日刊自動車新聞への掲載や、WBS（ワールドビジネスサテライト）やTOKYO MXなどのTVでも放映された。これらさまざまなメディアを通してカヤバのキャンピングカーと技術力をユーザに積極的にアピールすることができた。

注5) 駐車時に車体から地面に突っ張り棒のように接地させ、車体が揺れないよう安定させると同時に、傾斜地において車体を水平に調整する機能を有する機構

5 まとめと今後の展開

本報では、AC事業本部の取組みとして、キャンピングカーユーザの困りごとに対して、セミアクティ

ブサスペンション、車高調整、サスペンションロック、フルアクティブサスペンション、スマートフォンなどの操作デバイスを用いた訴求方法を検討し、ユーザニーズに沿ったクルマを製作した活動を紹介した。また、この活動は展示会やメディアを通じて紹介され、ユーザから多くの貴重な意見をいただき、ユーザニーズとの一致点や不足点を把握できた。

今後は、本活動を通して得られた知見を活かし、全社プロジェクトとしての事業横断活動を継続し、真にユーザに求められるキャンピングカーのカタチを模索していきたい。

6 おわりに

自動車業界は100年に1度の大変革期と言われている。今後CASE（Connected Autonomous Shared Electric）をキーワードとして、自動車は単なる移動手段ではなく、キャンピングカーをはじめとした様々な付加価値を備えたモビリティへと進化していくことが予想される。そのような社会に対して当社がどのように貢献していくか、全社を挙げた多角的な視点をもって取り組んでいきたい。

最後にこの活動を通し、通常業務では交流する機会の無い方々と関係を深めることができ、同時に多くの協力をいただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 日本RV協会：キャンピングカー白書2023
- 2) 田中：カヤバキャンピングカーコンセプト、カヤバ技報第67号、(2023年10月)。
- 3) 稲満、堀：KYBのアクティブサスペンションの開発、カヤバ技報第63号、(2021年10月)。

著 者



稲満 和隆

2005年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部開発センター製品開発室。専任課長。ショックアブソーバの開発に従事。



倉田 峻平

2017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製品開発室。ショックアブソーバの開発に従事。

技術解説

AI技術を実装したSA減衰力計算の高精度化と AI運用管理基盤の構築

Enhancing the Accuracy of SA Damping Force Simulation Implemented with AI Technology and Building an AI Operational Management Platform

萬 谷 浩 章 ・ 提 箸 良 太
MANTANI Hiroaki ・ SAGEHASHI Ryota

要 旨

AI (Artificial Intelligence: 人工知能) の将来動向として、AIとCAE (Computer Aided Engineering) を組み合わせた技術の産業利用が着目されている。AIとCAEを組み合わせることで、AIの学習のために現実世界では起こりえないデータをCAEにより獲得できること、FEM (Finite Element Method: 有限要素法) をAIに縮退化することでCAEの計算時間を短縮できること等のメリットがある。

また、近年、自動車業界ではMBD (Model-Based Development: モデルベース開発) の普及により、試作品の代わりにCAEのモデルを企業・部門の間で交換する“すり合わせ開発”が活発化している。

MBDを円滑に進めるために、当社の主力製品であるショックアブソーバの性能予測のCAEに機械学習を組み合わせることで、性能指標の減衰力を高速かつ高精度に予測できる技術を構築した。あわせて、機械学習モデルの運用管理を自動化するシステムも開発した。

本報では、機械学習を実装したショックアブソーバの減衰力計算と機械学習モデルの運用管理基盤について技術解説する。

Abstract

The future trend of Artificial Intelligence (AI) includes the industrial application of combining AI with Computer Aided Engineering (CAE). By integrating AI and CAE, several benefits emerge, such as the acquisition of data through CAE that would be impossible to obtain in the real world for training AI models, reducing CAE computation time by degenerating Finite Element Method (FEM) tasks for AI.

Additionally, in recent years, the automotive industry has witnessed an increased adoption of Model-Based Development (MBD), leading to collaborative development where CAE models replace physical prototypes between departments or companies.

To facilitate MBD and enhance the performance prediction of our flagship shock absorber products, we developed a technology that combines machine learning with CAE. This allows us to predict damping force performance metrics rapidly and accurately. Furthermore, a system was developed to automate the operation and management of machine learning models.

In this report, we provide a technical explanation of the implementation of machine learning for shock absorber damping force calculations and the construction of an operational management platform for machine learning models.

1 緒言

1.1 対象製品

本報で対象とする図1の自動車用緩衝器のショックアブソーバ（以下SA）について紹介する。SAには車両の振動を減衰させる役割がある。路面の凹凸や車両姿勢の変化によってSAは伸び縮みし、作動速度に応じて容器内で押しのけられた作動油の流れを小さな面積のオリフィスや積層リーフバルブで絞ることで生じる圧力差として減衰力を発生させる。SAの性能は、減衰力-速度特性で評価する。中でも重要な構成部品である積層リーフバルブは、作動中の圧力によって油路面積を変化させるために取り付けられる薄い鋼板で、その積層方法（外径、板厚、枚数）を変えることで車両に合った減衰力にチューニングされる。

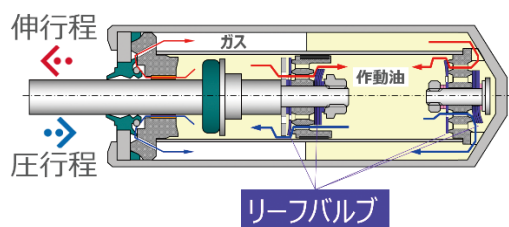


図1 ショックアブソーバの構造

1.2 カヤバのCAEの取り組み

カヤバ（以下、当社）では、1968年にCAEを導入して以来、図2に示す様々な予測技術を導入し、製品・技術の開発を支援してきた。CAEには、企画段階で製品の機能を検討する1DCAE^{注1)}（システムシミュレーション）と製品形状を詳細に検討する3DCAE^{注2)}（FEM^{注3)}）があり、双方の予測技術を培ってきた。1985年に運用を開始した技術計算を容易に行う当社独自の仕組みであるCAE標準実行システム¹⁾では、1DCAE・3DCAEを問わず様々なアプリケーションで入力方法・実行方法・出力方法を統一することで、高度な予測技術をどこからでも簡単に利用できる。現在、このシステムには約2,000個のプログラムが登録されている。

本報で対象とするSAの減衰力計算は、当社の基礎理論が1981年に確立されて以来、CAE標準実行システム上で計算する数式ベースの1DCAEとして取り組んできた。

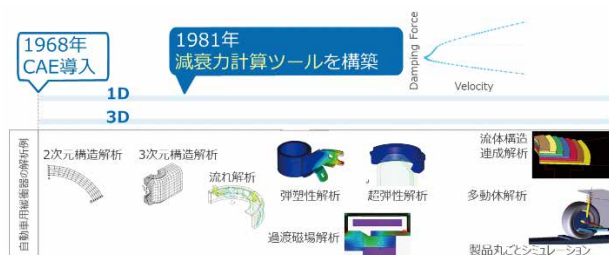


図2 自動車用緩衝器の解析一例

1.3 概要

昨今では、モデルベース開発（以下MBD^{注4)}）の普及に伴って、製品開発の上流で機能と形状の検討サイクルを回すために、1DCAEと3DCAEを行き来する製品開発を実現する必要がある。また、社内の関係部署や会社間で試作品の代わりにモデルを流通させるニーズが高まっている。MBDに取り組む中で解決すべきと考える技術課題を以下に示す。

- ① シンプルで見通しの良いモデルを扱う1DCAEと実機をより忠実に再現する3DCAEではモデリングに対する考え方や必要なスキルが異なることからCAE専任者の中でも分業化がされており、システム検討と形状検討で連携がうまくとれていない場面がある。
- ② 3DCAEによる形状検討では、解析コストが高くなりがちで、形状検討に多大な時間を要している。
- ③ 関係会社や他部署とのモデル流通では、製品の代わりをモデルが担うため、詳細度が高くても高速に計算できるモデルが要求される。

これらの技術課題を解決してMBDを円滑に進めるために、詳細な形状を扱える3DCAEを機械学習モデルに縮退化して1DCAEに実装する技術構築に取り組む（図3）。

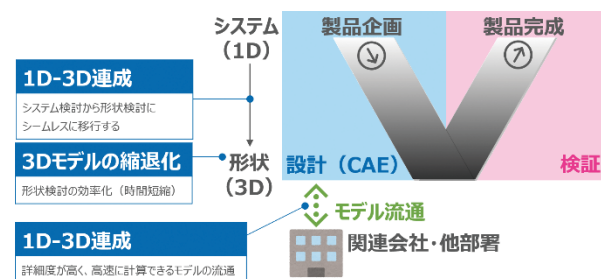


図3 MBDの技術課題

高精度・高速にSAの減衰力を予測できる技術を構築するために、SAの積層リーフバルブのFEMモデルを縮退化した機械学習^{注5)}モデルを1DCAEのシミュレーションツール（以下1D-CAE^{注6)}）に実装す

る技術を構築したので、概要を図4に示す。



図4 積層リーフバルブでの技術構築

- 注1) 数式ベースのシステムシミュレーションを用いて製品性能を見通すCAE分野。
 注2) FEMを用いて製品形状を詳細に検討するCAE分野。
 注3) 製品形状を要素（メッシュ）で分割することで、複雑な形状を扱うことができる数値解析手法の一つ。
 注4) モデルを用いたシミュレーションを活用して設計および開発を行う手法。
 注5) データから規則性やパターンを学習し、コンピュータが現状判定や将来予測をする技術。
 注6) 1DCAEのためのシミュレーションツール。ハイフンを使ってCAE分野とツールを差別化して表現される。

2 FEMモデル

技術構築で対象とする積層リーフバルブのFEM解析（図5）の特徴を以下に示す。

- ①組立時（ねじ締結による軸力負荷）と作動時（オリフィス等の油圧抵抗による圧力負荷）の積層リーフバルブの変形量・応力を評価できる
- ②SAの減衰力計算に用いている円板剛性の理論計算では考慮できない締結軸力による初期変形や積層リーフバルブ間の部分接触を考慮できる
- ③微小変形理論のみならず、大変形理論での構造解析ができる
- ④計算時間が長いため、SAの減衰力計算には敬遠され、主に積層リーフバルブの周辺部品の形状検討に利用されてきた

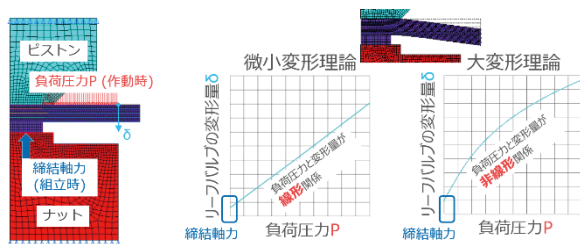


図5 積層リーフバルブのFEM解析

3 データセットの作成

SAの設計ラインナップの一部を対象に、積層リーフバルブの積層方法（外径、板厚、枚数）、負荷圧力を変えてFEM解析を連続実行することで、機械学習モデルの学習に必要なデータセットを作成した（表1）。このデータセットでは、積層リーフバルブに高低差を設けて初期変形によるプリロードを付加することで高い減衰力を発生させる図6のプリロードバルブと呼ばれる複雑な積層リーフバルブも計算対象とした。

連続計算にあたり、FEMのプログラムコードをPython[®]で文字列処理をすることで、積層リーフバルブの積層方法（外径、板厚、枚数）をランダムに変更したプログラムを事前に作成し、当社のCAE標準システムを用いて、夜間・休日を問わず連続して自動で計算を実行した。

表1 学習データセット

積層リーフバルブの外径	5水準以上
積層リーフバルブの板厚	4水準以上
積層リーフバルブの枚数	3水準以上
プリロードバルブ	2水準（あり/無し）
負荷圧力	21条件
変形理論	大変形理論
データ数	1,045,380

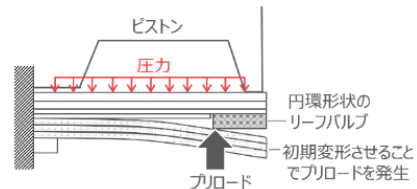


図6 プリロードバルブ

4 機械学習モデルの構築

様々な機械学習のアルゴリズムの実装を試した結果、Microsoft Corporationが近年リリースしたPython[®]のライブラリであるFLAMLを用いることで、FEMの解析結果を高精度に推論できる機械学習のモデルを構築できた。構築した機械学習モデルの未知データに対する推論精度を図7に示す。機械学習の推論結果（縦軸）とFEMの計算結果（横軸）が傾き1（45度）の直線上にプロットされており、機械学習で高精度な推論ができていることが確認できる。

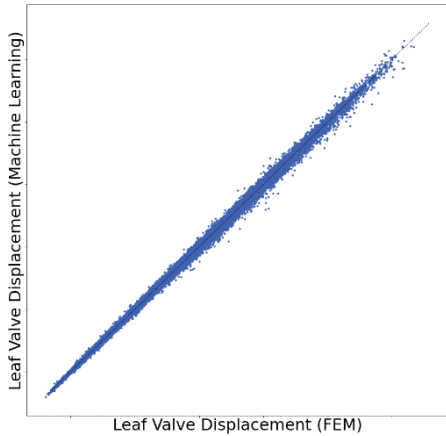


図7 機械学習モデルの推論精度

FLAMLは、決定木^{注8)}の機械学習のアルゴリズムとハイパーパラメータ（モデル作成者がアルゴリズム制御のために学習前に設定するパラメータ）を自動で選択できるAutoMLである。FLAMLを用いた結果、最終的にLightGBMのアルゴリズムを使用することとした。LightGBMは軽くて高速であることが特徴的な決定木のアルゴリズムで、近年、機械学習のコンペなどで広く活用されている。

5 機械学習モデルの1D-CAEへの実装

1D-CAEのSimulationX[®]を対象に、ニュートンワークス株式会社と共同で、Python[®]の機械学習モデルをSimulationX[®]に実装する方法について調査した結果、実装が容易な通信による連成解析を採用することとした。SimulationX[®]とPython[®]の間で通信を行う連成解析のデータ授受の流れを図8に示す。図8では6章で述べる機械学習モデルを実装したSA減衰力計算の有効性を検証するために同一PC内でアプリケーション間の通信を検討しているが、関係会社や他部署とのモデル流通での利用が難しいため、最終的には7.4節に示すクラウドとの通信を採用している。



図8 SimulationX[®]とPython[®]のデータ授受

積層リーフバルブの外径・板厚・枚数などの時間によって変化しない変数は計算開始直後に一度だけSimulationX[®]からPython[®]に変数情報を渡し、負荷圧力のような時間によって変化する変数は通信を用いて通信時間ステップごとに変数情報をPython[®]に渡すこととした。Python[®]ではSimulationX[®]から受け取った変数情報から積層リーフバルブの変形量を推論し、通信でSimulationX[®]に返すこととした。

通信を用いて、SimulationX[®]とPython[®]の連成解析を計算実行するにはSimulationX[®]とPython[®]の2つのツールを起動してそれぞれのツールで計算実行をする必要がある。そこで、SimulationX[®]のみで計算を完結させるために、SimulationX[®]の計算実行と同期して機械学習モデルのPython[®]コードを実行するSimulationX[®]のカスタマイズブロックを自作した（図9）。カスタマイズブロックの作成にはModelica言語^{注9)}を用いた。カスタマイズブロックの特徴を以下に示す。

- ①機械学習モデルのパラメータの設定ができる
- ②SimulationX[®]とPython[®]の間で通信計算（図8）ができる
- ③通信計算で動作させるPython[®]の仮想環境、Python[®]コードを設定できる

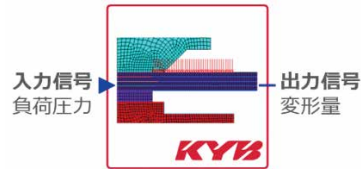


図9 SimulationX[®]のカスタマイズブロック

注7) Pythonは、Python Software Foundationの商標です。

注8) データをツリー構造で条件分岐する機械学習のアルゴリズム。非線形の関係をとらえることができる。

注9) マルチドメインの物理モデリング言語。

6 SAの減衰力計算

4章で構築した機械学習モデルを図9のSimulationX[®]のカスタマイズブロックに実装することで、構築した機械学習モデルがSAの性能指標である減衰力-速度特性の予測精度におよぼす影響について検証する。検証のために、Modelica言語で作成した当社独自の油圧ライブラリと機械学習モデルを接続して減衰力-速度特性を計算するSimulationX[®]のモデルを構築した（図10）。このモデルでは、油圧ライブラリで計算したリーフバルブの負荷圧力から積層リーフバルブの機械学習モデル

で積層リーフバルブの変形量を計算し、油路の開口面積に換算して油圧ライブラリに戻す計算とした。

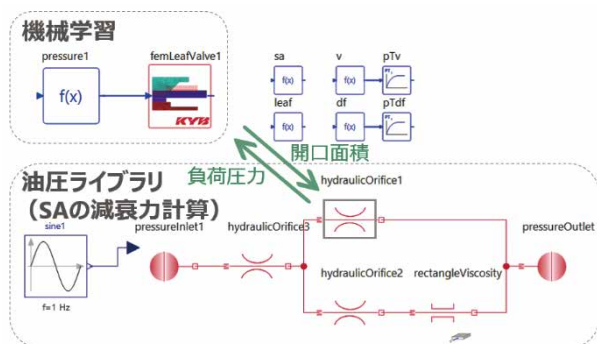


図10 SAの減衰力-速度特性の計算モデル

実験に対する減衰力-速度特性の予測精度検証の一例として、図6のプリロードバルブを対象に予測精度を検証した結果を図11に示す。この結果より、従来手法である理論計算に対して、機械学習モデルを組み込むことで、減衰力-速度特性を高精度に予測できることが確認できた。

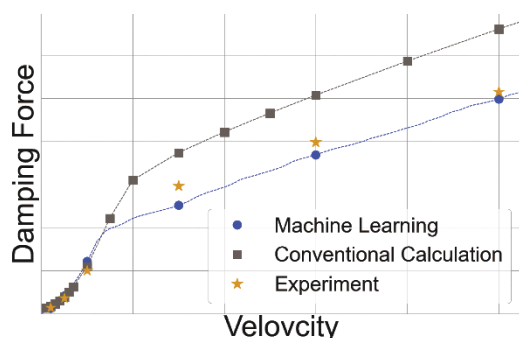


図11 減衰力-速度特性の予測精度

積層リーフバルブのFEMの計算時間93s(圧力条件23点) に対して、FEMモデルを機械学習モデルに縮退化することで計算時間3 s(圧力条件1000点・SAの減衰力計算処理を含む) にでき、計算時間を大幅に短くできた。

7 機械学習モデルの運用管理基盤の構築

7.1 機械学習モデルの運用管理システム

前章までで技術構築した機械学習モデルを運用管理する上で、大きく以下の3つの課題が顕在化した。

- ①環境構築の複雑さ・技術漏洩の懸念
- ②機械学習モデルの運用管理工数の肥大化
- ③機械学習モデルの品質管理の難しさ

①の“環境”とは、機械学習モデルの利用環境を指している。通常、機械学習モデルを個人のPC上で

利用するためにはPython®のプログラミング環境を構築する必要があり、機械学習のモデルデータに加えてPython®のプログラムコードの提供が必要となる。このため、関係会社や他部署とのモデル流通において、技術漏洩の懸念が生じる。また、プログラムコードにはサードパーティ製のライブラリも含まれており、動作するPC環境によっては、対象となるバージョンのライブラリが利用できない可能性も考えられる。このようなトラブルが生じる可能性も含め、環境構築は複雑になりやすく、モデル利用者の工数負担が大きくなる懸念が生じる。②について、機械学習モデルの運用は、一度モデル生成すれば終わりではない。機械学習モデルの精度は、環境の変化などにより、時間経過に伴って次第に劣化していく可能性がある。具体的には、積層リーフバルブの使われ方（設計のトレンド）が変化することで予測精度が低下する可能性がある。こうした問題に対処するため、安定した機械学習モデルの運用にはモデル再学習の工程が必要不可欠となる。機械学習モデルを継続的に再学習する作業は、機械学習モデルの管理者の工数負担が大きく、こうした運用工程がワークフロー化されていない場合は工数の肥大化が懸念される。③については、再学習によって機械学習モデルを更新しても、前述した①の利用方式では、機械学習モデルの管理そのものが利用者個人に依存してしまい、機械学習モデルの品質管理が困難であることが懸念される。

これらの課題を解決するために、管理された高品質な機械学習モデルを関係者で共有して利用できるシステムとして、MLOps^{注10)}を実現する機械学習モデルの運用管理基盤を自社開発した。図12にその概略図を示す。

開発したシステムでは、機械学習モデルの元となる学習データの収集から加工、可視化、分析だけでなく、機械学習モデルの学習、精度の確認、作成したモデルのAPI^{注11)}化による、SAの減衰力計算に活用可能なAIサービスの展開等、機械学習モデルに関連する工程を一元的に管理でき、機械学習モデルの管理者が従来行う必要のあった作業を大幅に削減することができるようになる。また、システムの構築には、オンプレミス^{注12)}と比較して機能拡張性や、耐障害性に強みのあるAmazon Web Services[®]のクラウドを活用した。また本システムの開発は、部門横断で機械学習やシステム開発に見識の深い社員が集まる社内のAIコミュニティ²⁾で担当し、1年間でPoC^{注13)}を完了させた。

注10) 機械学習 (Machine Learning) と運用 (Operations) を組み合わせた造語。機械学習モデルの開発、分析、

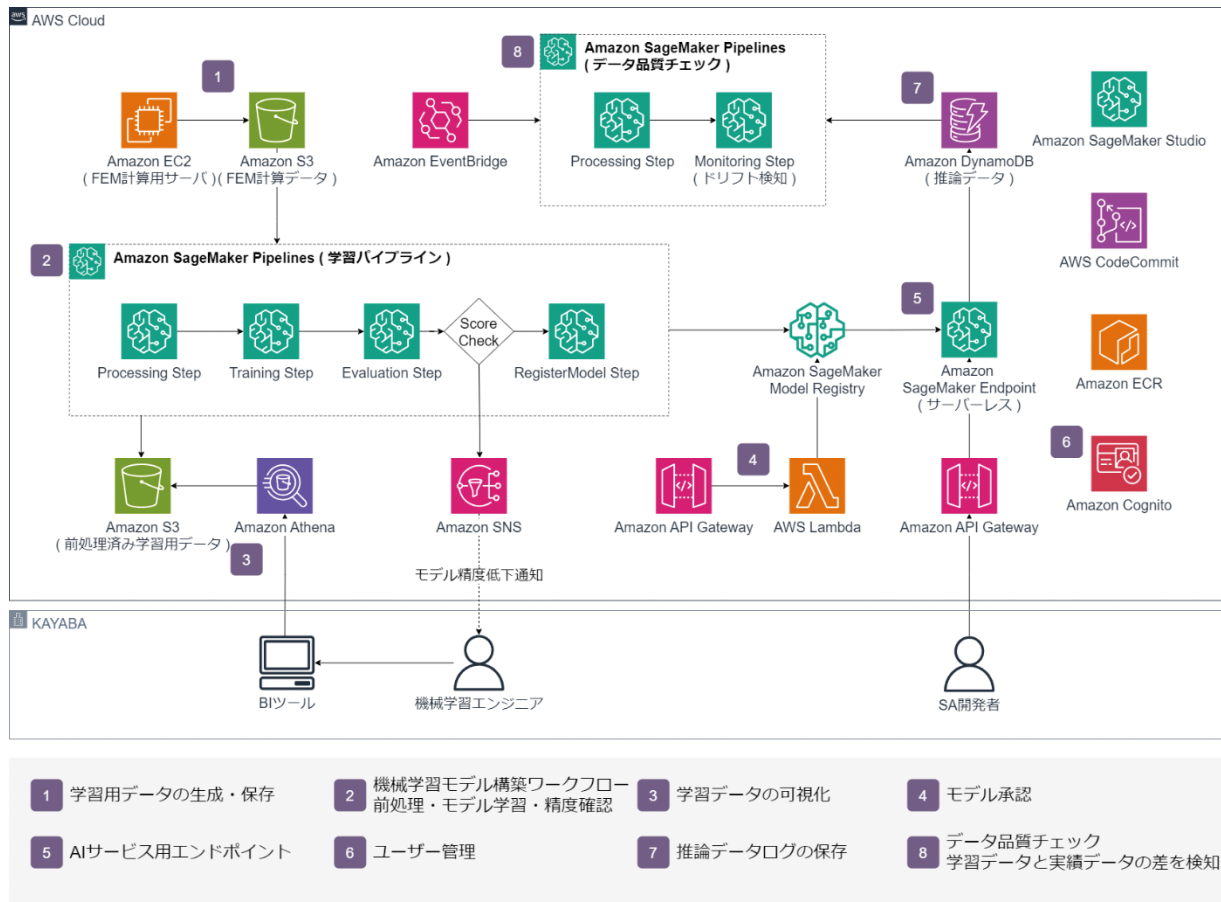


図12 機械学習モデルの運用管理基盤概略図

運用を効率化するための手法や考え方。

注11) ソフトウェアやプログラム等システム同士を繋ぎその機能を共有できる仕組み（インターフェース）。

注12) インフラの構築に必要なサーバやネットワーク機器などを自社で保有し運用するシステムの利用形態。

注13) Proof of Concept（概念実証）の略でありサービスや製品に用いられるアイデアや技術が実現可能かを確認する一連の検証作業。

7.2 データ収集・管理・可視化

本システムを活用することで、学習データの生成からアップロードまでの一連の工程をスクリプトで自動化することによって、作業者は最小限の操作で作業を実施することができる。学習データの元となるFEM解析データは、当社のCAE専任者によってモデルの再学習が必要と判断された時に、学習データ生成スクリプトによって、CAE部門が管理するクラウド上の計算サーバに生成されるようになっている。このスクリプトによって、FEM解析データは機械学習モデルの学習データとして利用できるようデータ加工され、本システムのAmazon S3^{注14)}へ自動的に転送される仕組みとなっている。

また、転送されたデータはBI^{注15)}ツールの

Tableau^{®注16)}を用いて可視化することができる仕組みとなっている（図13）。当社は、全社横断的にTableau[®]を使ったデータ分析環境を提供しており、社内で活用しているBIツールとの親和性を高めている。これによって社内の機械学習モデルの管理者やデータサイエンティストが素早くデータ分析を行える仕組みを実現した。

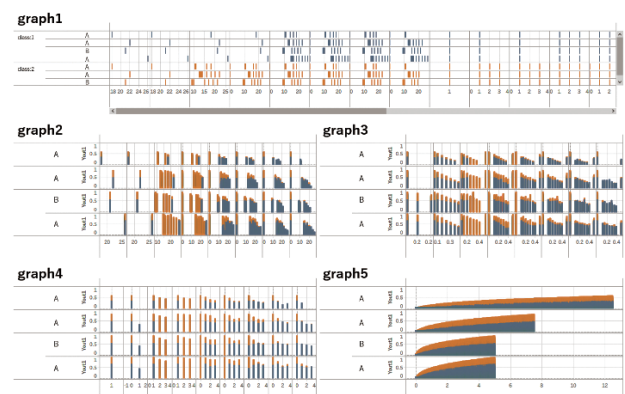


図13 学習データ分析画面

注14) 高い耐障害性を持ち、タイプや容量に制限を受けることなくデータを保存、保護するクラウドストレージ。

注15) Business Intelligence：大量に蓄積しているデータ

から必要な情報を集約・分析し、企業の経営や業務に活用できるようにする技術や手法。

注16) Salesforce社が提供するBIツール、Tableau[®]はSalesforce社の登録商標です。

7.3 学習パイプライン

本システムでは、機械学習モデルの開発者が、少ない工数で機械学習モデルを開発できる学習パイプラインを構成している。この学習パイプラインは、Amazon SageMaker^{注17)}の機能を用いて、データ前処理^{注18)}、モデル学習、モデル精度検証、推論エンドポイント^{注19)}化の一連の工程を統合し、ワークフローとして自動化する仕組みとなっている。

Amazon SageMakerを活用することで、処理に必要なスペックを兼ね備えた仮想コンピューティング環境でワークフローを実施することができる。このため、過剰なスペックの物理的な計算サーバを導入することなく、処理に最適なリソースを素早く展開でき、コスト最適な処理を実現できる。

機械学習モデルは、特定の計算条件によって複数のモデルに分割する構成としている。これによって、モデルの設計変更が容易となり、需要の変化に強い柔軟な開発を実現できる。加えて、モデル再学習によって起こり得る予測精度の劣化についても、その原因となるデータを特定しやすくする効果も期待できる。

機械学習モデルの開発者は、機械学習モデルの条件を指定するコマンドを1行実行するだけで、対象のモデルを学習するパイプラインを起動することができる。さらにこの学習パイプラインは、機械学習モデルの新規作成と、再学習による更新の両方に対応しており、長期的な運用を見越したモデル開発に関わる全ての工程を単一のパイプラインに集約した。一方で、パイプラインに入力されるデータから機械学習モデル新規作成のワークフローか、再学習のワークフローかを自動的に判定することができる設計になっている。また、モデル開発に関わる基本的なパラメータは、事前に調査した最適な値を定義しておくことで、パイプラインの実行毎に本来必要な煩雑な項目設定を排除した。こうした工夫により、モデル学習の再現性を高めつつ、機械学習モデルの開発者の工数削減を達成するパイプラインを構築することができた。

機械学習モデルの学習が完了すると、生成された学習モデルが自動的にAmazon S3に保存され、モデル性能を評価したレポートが社内でも活用しているコミュニケーションツールを介して機械学習モデルの管理者に通知される仕組みとなっている（図14）。

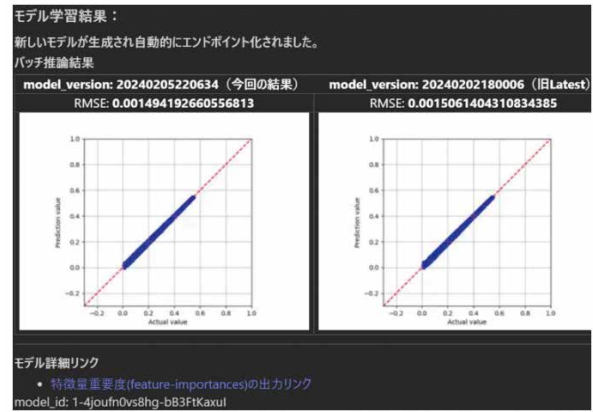


図14 機械学習モデル結果の通知画面

学習結果の通知画面では、生成されたモデルのテスト結果に対するRMSE^{注20)}や特徴量重要度^{注21)}を参照することができる。加えて、再学習によって更新された機械学習モデルの場合は、前回のモデルとの比較結果を自動的に表示するようになっており、一目で学習結果を確認できる工夫を取り入れている。

また機械学習モデルの詳細についてはAmazon SageMaker上でも確認することができる。機械学習モデルの開発者はAmazon SageMaker Experiments^{注22)}の機能を活用して、学習中のモデル精度の推移や、学習アルゴリズムに必要な各種パラメータの最適値の推移、最終的なモデル精度の可視化に加えて、任意の過去のモデルとモデル性能を比較することができる（図15）。

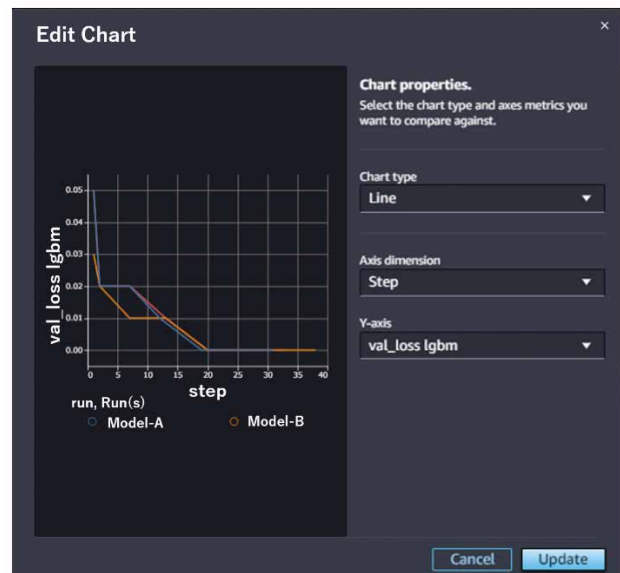


図15 機械学習モデルの学習精度推移の可視化

注17) 機械学習モデルを高速に開発、展開するための実装環境を提供するクラウドサービス。

注18) 学習データ生成スクリプトによるデータ加工後に

生成される学習データと過去の学習データを統合する処理。

注19) 機械学習モデルを外部から利用できるようにするためのインターフェース。

注20) 予測誤差の二乗値の平均に対する平方根を算出する関数。回帰問題を扱う機械学習モデルの一般的な評価関数。

注21) 学習データの各特徴量がモデル精度の改善にどれだけ貢献したか示す指標。

注22) モデルの学習記録を追跡できるAmazon SageMakerの機能の一つ。

7.4 AIサービス化

学習パイプラインを経て生成された機械学習モデルは、自動的に推論エンドポイントとしてデプロイされ、エンドユーザがリアルタイムに機械学習モデルを利用することができるようになっている。

本システムでは、主に社内のSA開発者が社内で普段利用しているSimulationX[®]から直接的に機械学習を用いたSAの減衰力計算を行える仕組みとして、SimulationX[®]に組み込むカスタムライブラリを独自開発した。このカスタムライブラリをCAEツールにインポートすることで、カスタムライブラリはクラウド上の推論エンドポイントに対してWebAPI^{注23)}で通信を行うことができる。

WebAPIはWebサイトなどのバックエンド処理^{注24)}に用いられる一般的な仕組みであり、これを活用することにより、モデルデータやプログラムコードの要素を含む具体的な処理内容を秘匿化することができる。この仕組みを活用することで、1D-CAEから直接的に推論エンドポイントと通信することができ、そこから取得した機械学習モデルの推論結果を1D-CAEに反映させた、高精度なSAの減衰力計算を行うことができる。

本仕組みを用いたSAの減衰力計算では、クラウド上の機械学習モデルで推論処理を行うため、インターネット通信が発生する。このため、シミュレーション時間を短縮する方法として、機械学習モデルとの通信回数を最適化する独自の通信アルゴリズムを考案した。機械学習を活用したSAの減衰力計算にこのアルゴリズムを適用した結果、図11の減衰力-速度特性の計算時間について、このアルゴリズムを適用する前と比較しておよそ1/10の通信時間に抑えることができた。以上のことから、本仕組みを活用することにより、エンドユーザは個人で機械学習の環境構築を必要とせず、簡素な手順で機械学習モデルを利用でき、高速・高精度なSAの減衰力計算を行うことができる。

また、開発した機械学習モデルは本システムで全

てバージョン管理されており、システムによって再学習しモデルが更新された後でも、引き続き旧モデルを利用できる仕組みとなっている（図16）。

これによって、機械学習を用いたSA減衰力計算の計算結果について、再現性を担保することができる。

カスタムライブラリはFMI規格^{注25)}のデータ形式へ変換出力できるようになっており、FMI規格をサポートする他種のCAEツールにおいても互換性をもって活用することができる。具体的には、独自開発したカスタムライブラリを含むSimulationX[®]で作成したモデルをライセンスフリーのFMU^{注26)}に変換することができる。これによって、他種のCAEツールを利用する社外のSA開発者でも本仕組みを利用することができる。本システムでは、主に社外のエンドユーザを想定したユーザーアカウント管理の機能も実装しており、サービス利用範囲の拡大を狙いつつ、セキュリティ性の高いAPIの提供を検討している。予め登録された社外のエンドユーザは、本システムで提供するユーザーログイン画面から、各ユーザーアカウントへのログインを実施することができ、ログインに成功すると認証トークンを取得することができる（図17）。

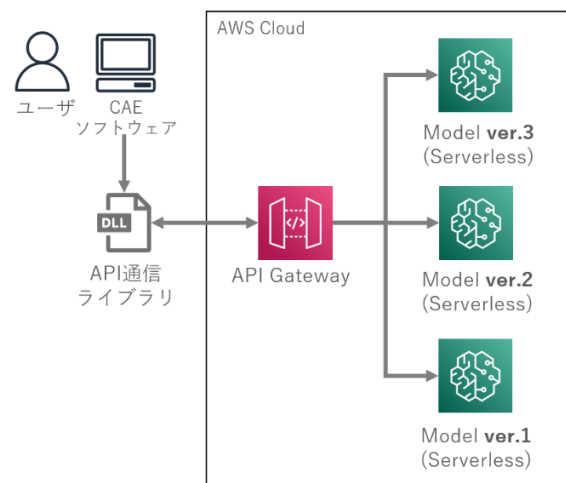


図16 機械学習モデルのバージョン管理モード図

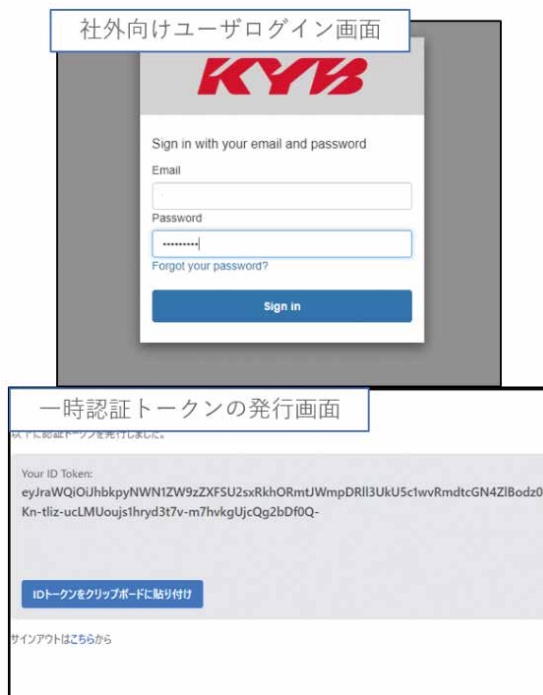


図17 社外向けユーザーログイン画面と認証トークン発行画面

社外のエンドユーザは、事前に提供されるFMUをCAEツールにインポートすることで、CAEツールを介して認証トークンを入力することができる。このFMUを利用すると、認証トークンを利用した通信のみが許可され、システム側でアクセスが認可された場合にのみ、機械学習モデルとの通信ができるようになる。この機能により、社内外問わず全てのエンドユーザが同じように、機械学習モデルを活用したSAの減衰力計算を行うことができるようになる（図18）。

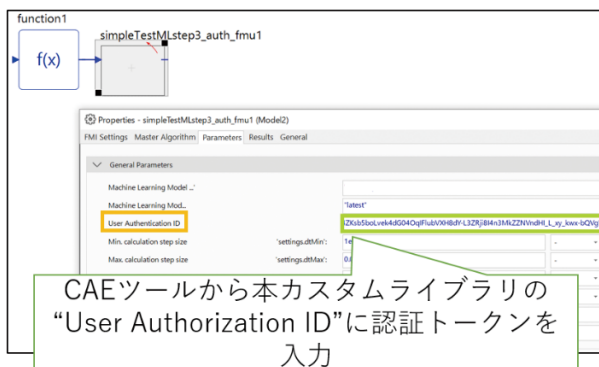


図18 一時認証トークンを使ったAPIリクエスト画面

また、認証トークンの不正利用のリスクを低減させるため、ユーザーログインから一定時間経過すると認証トークン自体を無効化するように設定されている。仮に認証トークンが外部流出したとしても、

一定時間で無効化された認証トークンを使ったAPIへのリクエストがシステム側で拒否されるようになる。さらに、こうしたアクセス履歴は常時システム側で記録され、不正が疑われる場合にはシステムの管理者に警告する機能も有している。

注23) インターネット上で提供されるAPI。

注24) ユーザから見えないサーバーサイド領域の処理。

注25) Functional Mock-Up Interface: 標準化された形式が異なるツール間で動的なシミュレーションモデルを交換・接続するためのオープンな規格。

注26) Functional Mockup Unit: FMIに基づいた実行モジュールで、モデルを秘匿化した上でCAEツールの種類に依存せずにモデルを利用できる。

7.5 学習データ品質のモニタリング

本システムにおける機械学習モデルの精度を確認するには、機械学習モデルの推論結果と実際のFEM計算結果を照らし合わせる必要がある。エンドユーザから諸元情報が入力されれば推論エンドポイントから機械学習モデルの予測結果が出力される。これに対する正確なFEM計算値の算出には時間とコストを要し、運用中の機械学習モデルの精度を確認することは難しい。そこで本システムでは、モデルの精度に影響を与える学習データの品質に注目した。

AIサービスの利用時に入力されるSAの諸元情報は、機械学習モデルの利用履歴として本システム上に記録される。本システムでは、機械学習モデルが学習してきたデータ分布と実際に利用されているデータ分布を比較することができる。各統計量は自動計算され、定期的に比較検証される仕組みとなっている。比較結果は社内のコミュニケーションツールを介して機械学習モデルの管理者に自動的に通知され、モデル再学習の検討材料として活用することができる（図19）。

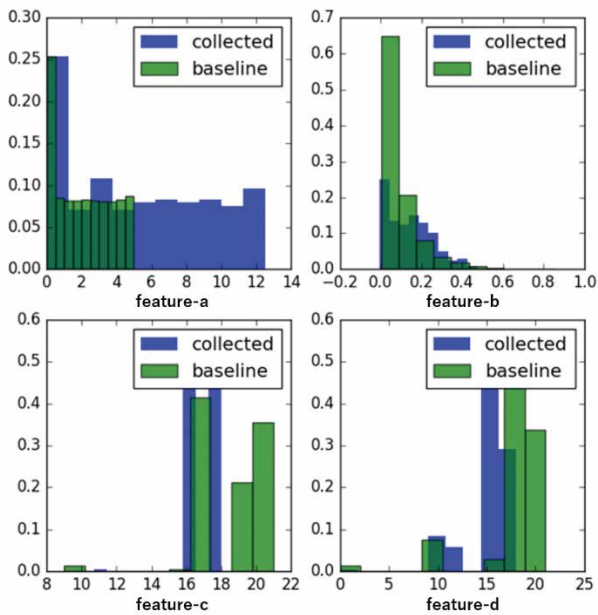


図19 学習データと推論データにおける特徴量別データ分布比較例

8 結言

モデルの詳細度が高く計算時間の長いFEMモデ

ルを機械学習モデルに縮退化することで、高精度でありながら計算時間を短くして1D-CAEに実装する計算基盤を構築した。更に、管理された高品質な機械学習モデルを皆で利用するために、機械学習モデルの運用管理基盤も構築した。

これらの構築した技術により、図3で述べた全てのMBDの技術課題（1Dのシステム検討から3Dへのシームレスな移行、3Dの形状検討の効率化、関係会社・他部署とのモデル流通）に貢献できると考える。社内外のモデルベース開発に積極的に本技術を適用し、モデルベース開発の効果を最大化できるよう努めたい。

最後に本取組に際しご協力をいただきましたCAEソフトウェアやクラウドのベンダー様、ならびに社内関係部門の皆様にはこの場をお借りして厚く御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 島田実, 満嶋弘二, 渡辺博仁: カヤバ工業におけるCAEの導入と定着, カヤバ技報, 第24号 (2002年4月).
- 2) 宮内悠樹, 井指諒亮, 瀧野慎介: デジタル人財育成の取組み, カヤバ技報, 第66号 (2023年4月).

著 者



萬谷 浩章

2009年入社。技術本部 CAE推進部（岐阜分室）。主に自動車用緩衝器の性能予測のためのCAEに従事。



提箸 良太

2019年入社。デジタル変革推進本部 デジタル戦略室（相模駐在）。データ分析関連のシステム開発に従事。

技術解説

AIを用いた刻印検査技術の開発とMLOps基盤の構築

Development of Stamp Inspection Technology Using AI and Construction of MLOps Platform

光 尾 崇 ・ 鈴木 健斗 ・ 宮内 悠樹 ・ 菊池 貴好
MITSUO Takashi ・ SUZUKI Kento ・ MIYAUCHI Yuuki ・ KIKUCHI Takayoshi

要 旨

製品外観の目視検査の自動化においては、近年、ルールベース（人間が設定した特定のルールや条件に従って判断すること）のアプローチからAI（Artificial Intelligence：人工知能）を活用した技術へ移行している。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の開発を目指している。

当社の主力製品であるショックアブソーバー（以降、SA）では、刻印検査を全数目視で実施しているため、検査作業の省力化や検査ミス防止による品質保証度向上が求められていた。そこで、AIを適用することでロバスト性の高い刻印検査技術を開発し、省力化や品質保証度向上を目指す。

AIを用いた検査ではモデル構築後の時間経過に伴った環境変化によって、AIモデル（データを分析し、予測や判別を行うための仕組み）が劣化し、検査精度が低下する。精度維持には定期的な再学習が必要となる。日々の結果の集計、AIモデルの再評価などをすべて手作業で行う手法では、管理者の負担が大きい。また、検査データやAIモデルの管理方法が標準化されていないため、結果の一貫性や再現性に問題があった。そこで、管理者の負担軽減とデータ運用・管理の効率化を目的としたシステムを新たに構築した。

本報では、開発した刻印検査技術および新たに構築したシステムについて解説する。

Abstract

In recent years, the automation of visual inspection of product appearance has transitioned from a rule-based approach to a technique utilizing AI (Artificial Intelligence). Kayaba aims to utilize AI to develop inspection technology that is robust against individual differences in products and changes in the inspection environment.

Shock absorbers, our main product, are inspected visually for all stamps, so there is a demand for labor-saving inspection work and improved quality assurance by preventing inspection errors. Therefore, by applying AI, we aim to develop a highly robust stamp inspection technology, thereby reducing labor and improving quality assurance.

In inspections using AI, changes in the environment over time cause the AI model to deteriorate and inspection accuracy to decrease. Regular re-learning is necessary to maintain the system, but doing it manually places a heavy burden on administrators. In addition, there have been problems with the consistency and reproducibility of the results. Therefore, we have newly built an operation management system aimed at reducing the burden on developers and improving the efficiency of data management and operation.

This paper describes the development of the stamp inspection technology and the newly constructed system.

1 緒言

カヤバでは、SAにおいて製品を識別するための刻印品番を全数目視検査しており、品質保証の向上と省力のために自動化が求められている。ルールベース方式による自動化では、製品の個体差や検査環境の変動による画像の輝度（明暗）の変動などにより、一貫した検査性能を維持することが困難だった。この問題を解決するためにAIを適用し、ロボаст性^{注1)}の高い刻印品番認識技術を開発した。

AIを用いた検査技術を工場に展開後、効率的に運用するためには、AI実行サイクル（データ収集・学習・精度評価・モデルデプロイ^{注2)}）の効率化やデータの管理・運用を適切に行い、AIの品質を高水準に保つことが必須である。そこで、MLOps^{注3)}を実現するための基盤を構築した。

各章では開発した刻印検査技術およびMLOps基盤について解説する。

注1) 外的要因による変化に対して特性が安定していること

注2) 機械学習モデルを既存の本番環境（設備）へ統合すること。

注3) 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 刻印検査技術開発

2.1 検査対象

検査対象はSAの円筒外周上に刻印されている品番文字である（写真1）。刻印された番号に誤りがないか、かすれがないかを確認するために、塗装後の最終工程で検査を行う。



写真1 検査対象

2.2 刻印検査機構成

開発した刻印検査機の構成を図1に示す。検査対象を回転させながら、ラインセンサカメラ（ライン状に連続撮影し、処理することで写真2のような画像が取得できる）にて撮影を行う。取得した画像か

ら刻印品番を認識し、刻印の可否を判定する機構となっている。

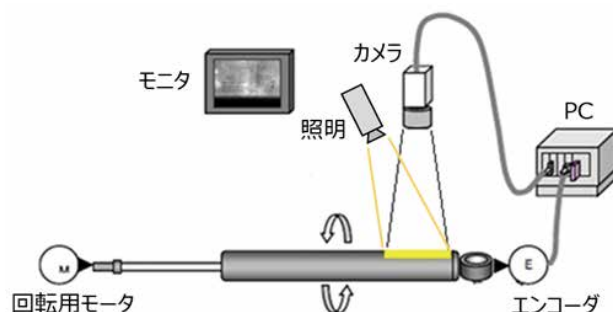


図1 刻印検査機構成



写真2 撮影画像

2.3 要件

効率的かつ精度の良い刻印検査技術を開発するための要件を以下に示す。

- ①効率的な学習画像の準備方法の確立
- ②不正解率を低く抑える文字認識アルゴリズムの確立

2.4 刻印検査技術概要

2.4.1 効率的な学習画像の準備方法の確立

高い文字認識精度を有するAIモデルの構築にあたっては、製品の個体差や検査環境の変動を含んだ様々な特徴を持った画像を学習させる必要がある。これら学習画像を開発初期段階で収集するにあたり、以下、2つの問題があった。

- ①認識させる文字は数字・アルファベット・記号を合わせて全36種類あるが、実製品の刻印品番には偏りがあるため、36種類の学習画像を短期間で均等に収集することが難しい
- ②塗装の表面状態による画像の輝度や刻印ピース（刻印品番を打刻する際に使用する治具）の摩耗状態による文字太さが異なる画像を短期間で収集することが難しい（写真3）

これら問題点を解決するために、CADで描画した図面（図2）に対して、文字の太さや色ムラ等の様々なノイズを加えた架空の品番画像（以降、人工画像）（図3）を36種類の文字に対して均等に生成した。これにより、数万枚の人工画像と、実製品を撮影した少量の画像を組み合わせた学習画像で高精度なAIモデルの作成が可能となり、初期の開発期間の短縮を図る効率的な学習画像収集方法を確立した。



写真3 刻印品番の見え方が異なる画像

1 2 3
A B C

図2 フォントデータ (サンプル)



図3 人工画像 (サンプル)

2.4.2 文字認識アルゴリズム

単一のAIモデルによる刻印品番識別結果では、再学習^{注4)}手法を取り入れても工場側と取り決めた目標を満足することができなかった。そこで、再学習に加えてアンサンブル手法も取り入れた。アンサンブル手法とは、図4のような複数のAIモデルを使用して得られた結果の多数決によって、最終的な結果を出力する手法である。今回はYOLO^{注5)}・CNN^{注6)}・作業者の目視確認による多数決判断を行う。(図5)。

判定方法は、YOLOとCNNにて刻印品番を認識し、与えられた正解刻印品番と一致するかで判断する。AIモデルの認識した文字がどちらも正しい場合は良品 (OK品)、どちらも認識間違いがある場合は異常品 (NG品)、どちらか片方に認識間違いの場合は作業者による目視確認 (Gray品) を行い、良否を判定する。このアルゴリズムによって、異常品を見逃すことなく、不正解率を低く抑える方法を確立した。

注4) 過検出した製品の画像を学習データに加えて再度学習する手法

注5) You Only Look Onceの略で、「画像内に何がどこに写っているのか」を特定する用途で使われるア

ルゴリズム。

注6) Convolutional Neural Networkの略で、「画像内に何があるのか」を特定する用途で使われるアルゴリズム。

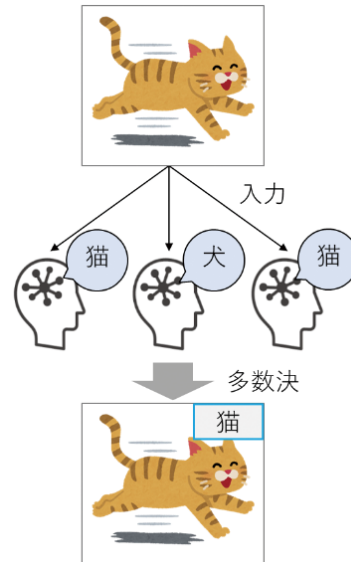


図4 アンサンブル手法

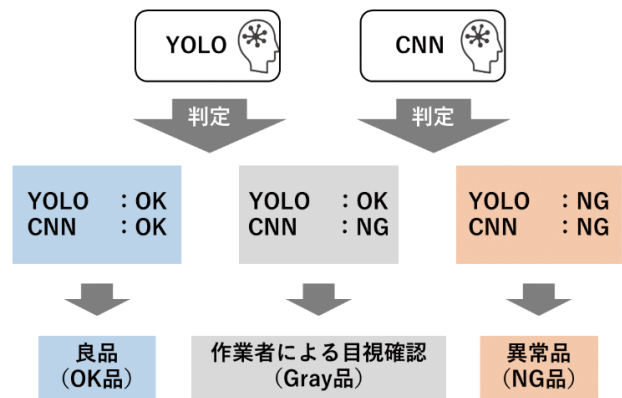


図5 文字認識と判定のフロー

3 MLOps基盤の構築

3.1 MLOps基盤の必要性

前章までに技術構築した機械学習モデルを運用管理する上で、機械学習を行うために必要なプログラミング環境の構築といった「環境構築の複雑さ」、機械学習モデルの管理が利用者に依存してしまい、機械学習モデルの品質管理が困難になるといった「品質管理の難しさ」、機械学習モデルの運用管理における管理者の工数が大きくなるといった「運用管理工数の肥大化」などの課題が挙げられた。これらの問題を解決するために、機械学習を取り入れたシステムを効率的に運用できるMLOps基盤が必要となった。

また、MLOps基盤を構築する上で、大きくオンプレミス^{注7)}とクラウドの選択肢がある。これまで、オンプレミスで運用をしていたが、検査結果の集計やAIモデルの再評価といった「モデル精度の維持管理工数の増加」、結果の一貫性や再現性が担保できないといった「データやAIモデルの管理方法の不明確さ」といった点が課題となった。これらを踏まえ、機能の拡張性や保守管理、今後の展開性や運用性などの面からクラウドにてシステムを構築するほうが優位と考え、データ収集～モデルデプロイまでMLOps一連の仕組みをAWSクラウド上に構築した。図6に構築したMLOps基盤の概略図を示す。

注7) ソフトウェア・ハードウェアを自社で保有・管理し、システムを自前で構築する運用方式。

3.2 要件

MLOps基盤を運用するための要件を以下に示す。

- ① 刻印検査機以外への展開を見据えた柔軟性のあるシステムであること
- ② 人間の判断が不要な定型作業を自動化し、運用工数を大幅に低減すること
- ③ 次ステップへの移行を判断する担当者への承認プロセスが自動化されていること

3.3 エッジ推論～データ保存

本基盤では再学習に必要なデータ（AIモデルによって認識間違いが発生した推論画像）、推論ログ等様々なデータを使用する必要がある。それらのデータは画像やcsvなどデータフォーマットが多種多様である。加えて本基盤は刻印検査機以外への展開も見据えており、将来的には現時点で収集していないフォーマットのデータ収集を行う可能性がある

ことから拡張性も求められる。これらの背景を考慮し、データ保存には多様なフォーマットを保存できるAmazon S3^{注8)}を採用することとした。

エッジ端末^{注9)}側で発生したデータは直接Amazon S3へアップロードするのではなく、中継サーバを経由することとした。理由としては以下の2点となる。

- ① 社外ネットワークへの通信懸念（不安定さ）
- ② エッジ端末の動作安定性（生産に未影響）

この際、中継サーバにはAmazon S3へのアップロードに必要な権限を付与する必要がある。権限管理にはAWS IoT Core^{注10)}を使用する形式とした。これにより、AWS上に登録されたデバイス（中継サーバ）のみが一時的な権限を使用してセキュアにデータアップロードすることを可能としている。

注8) タイプや容量に制限を受けることなくデータを保存、保護可能なストレージサービス。

注9) ネットワークに接続され、データの収集や処理を行う端末装置のこと。刻印検査ではカメラでの撮像～AIモデルでの刻印判定といった一連の処理を担う。

注10) IoTデバイスをAWSの各種サービスに接続するサービス。

3.4 データ処理～性能監視

従来はAIモデルの再学習要否判断を管理者が定期的に手動確認する形で運用していた。この運用では管理者負担が大きく、加えて今後対象設備が増えていくことで運用が回らなくなる恐れがある。そこで、AIモデルの性能低下を自動判定する仕組みを構築した。判定単位は以下2つとしており、設定した閾値を下回ったかを判定する。①は突発的なAIモデルの性能低下、②は時間推移に伴うAIモデル

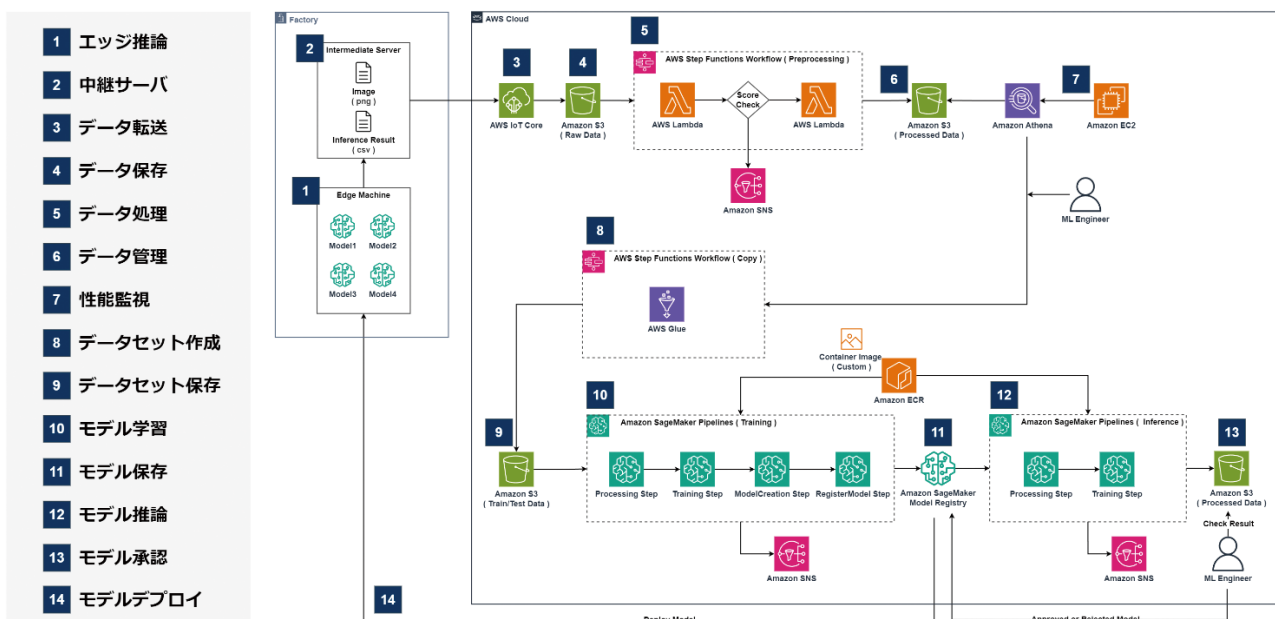


図6 MLOps基盤の概略図

の性能低下を検知する目的がある。

①処理日のモデル性能評価（日次判定）

②直近5稼働日のモデル性能評価（週次判定）

判定結果はAmazon SNS^{注11)}を経由し、Microsoft Teamsのチャットに通知される（図7）。管理者は本通知で再学習要否を把握することができるようになり、運用負荷を大幅に低減することができる。

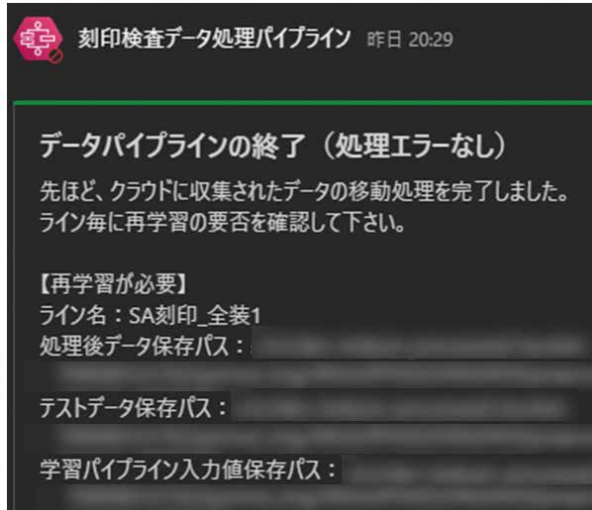


図7 データ処理完了時の通知例

更に、日常的なAIモデル性能や稼働状況把握を目的とし、BIツール^{注12)}を用いたダッシュボードを作成した（図8）。BIツールは全社横断でデータ分析環境として提供しているTableau^{注13)}を使用しており、構築したダッシュボードを用いることで前述したAIモデルの性能や稼働状況把握はもちろん、簡易的なアドホック分析^{注14)}を行うこともできる。



図8 AIモデルの性能監視ダッシュボード

注11) アプリケーションとAWSの各種サービス間でメッセージを送受信することができるサービス。

注12) 企業に大量に蓄積しているデータから必要な情報を集約・分析し、経営や業務に活用できるようにするツール。

注13) 複雑かつ大量のデータをビジュアル化することにより

特化したアプリケーション。

注14) 分析項目や内容が決まっておらず、その都度、単発的に実施されるデータ分析のこと

3.5 データセット作成～モデルデプロイ

MLOps基盤の肝となるデータセット作成～モデルデプロイについては大きく以下の流れで実施する。

①学習/テストデータセットの作成

②モデルの再学習および承認

③モデルのデプロイ

3.5.1 学習/テストデータセットの作成

3.4節の機能でモデルの再学習が必要と判断した場合、データセット作成処理を実行する。データセットの作成には作成元となるデータセットに人の手によるアノテーション^{注15)}作業を実施したデータを追加する必要があった。これを実現できるように、作成元となるデータセットの準備までを自動化し、完了したことをMicrosoft Teamsのチャットに通知する。通知を受けた管理者が、アノテーション作業を実施したデータを追加するだけで、データセット作成の処理が完了するような仕組みを構築した。

注15) AIモデルを学習させる際に必要な正解となる情報を付与する作業。

3.5.2 モデルの再学習および承認

実装環境としてはフルマネージド^{注16)}かつ高速に学習・推論が行えるためAmazon SageMaker^{注17)}を活用している。また、今回はMLOps基盤を構築して管理者の運用負担を低減することが目的であることから、Amazon SageMakerの一機能であるAmazon SageMaker Pipelines^{注18)}を採用し、MLパイプライン^{注19)}を構築することとした。パイプライン化することにより、モデルの学習、テスト、登録、デプロイといったMLOps一連の処理フローを比較的簡単に自動化することができる。

刻印検査システムは前処理含め、全部で4つのAIモデルを用いたシステムとなっている。本システムではMLパイプラインによって、4つあるモデルのうち、1つでも再学習された場合は、システム全体の推論結果を確認する必要があるため、図9のように推論パイプラインの中で4種類の性能評価を行うこととした。これによって、AIモデル単体の性能改善だけでなく、システム全体としての評価が可能とする仕組みを構築できた。

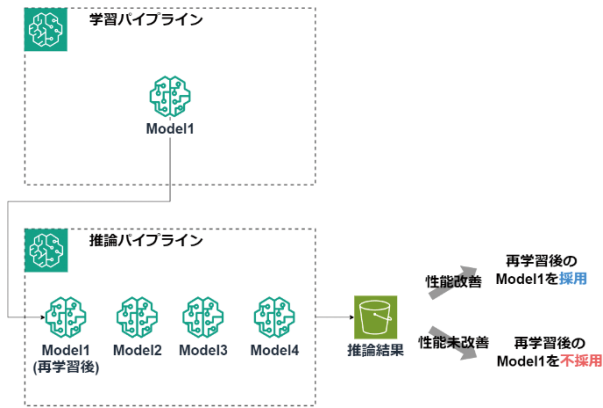


図9 学習および推論パイプラインの処理フロー

推論結果の出力まで完了すると、Microsoft Teamsのチャットに推論結果の確認依頼を通知する様に構築している(図10)。これにより、性能改善された場合は「再学習モデルを採用」、改善されなかった場合は「再学習モデルを不採用」を選択といった様にMicrosoft Teams上のUI操作のみでAIモデルの採否を決定することができる。採用されたモデルはAmazon SageMakerの一機能であるAmazon SageMaker Model Registry^{注20)}上に登録され、その後Amazon S3へ保存され、エッジデバイスへのモデルデプロイが可能な状態となる。

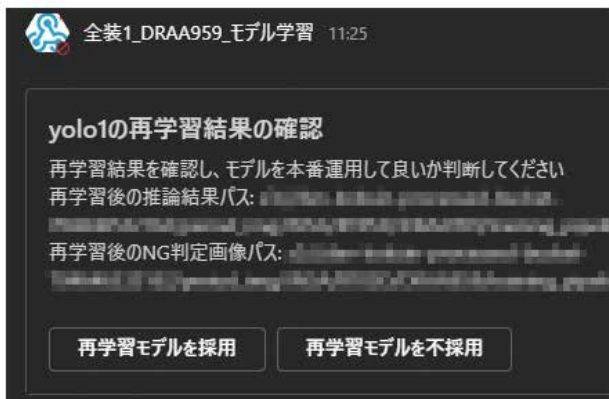


図10 推論結果の確認依頼通知

注16) ユーザがサービスを利用する際に、「コンピュータ障害監視・バックアップ・ソフトウェアのバージョンアップ」など「運用に関わる作業」を業者が行ってくれる形態。

注17) AIモデルを高速に開発、学習、配布するための環境を提供するサービス。

注18) MLOpsの各ステップを自動化するワークフローオーケストレーションサービス。

注19) データの前処理からモデルのトレーニング、評価、デプロイメントまでの一連の手順やプロセスをワークフロー化したもの

注20) AIモデルの管理とデプロイを支援するサービス。

3.5.3 モデルのデプロイ

3.3節に記載したデータアップロードの懸念と同様の理由で、モデルのデプロイも中継サーバを経由して適用させることとした。日次で中継サーバ側からAmazon S3上のモデル保存先を確認し、最新モデルが存在した場合は一時的に中継サーバにダウンロード、生産に影響がないタイミングでエッジ端末へデプロイという仕組みで実装している。

3.6 再学習時の手順

3.5節にて解説した再学習の流れを実施するには、管理者がAmazon S3からデータのダウンロード等をコマンドベース(CUI^{注21)})で実行する必要があった。それらの作業を簡略化するため、図11のようなGUI^{注22)}上で操作可能なアプリケーションを作成し、容易に再学習を実施することを可能とした。これにより再学習に必要な手作業工数を低減することができた。



図11 再学習用GUI

これらの仕組みを構築し、AWSクラウドを利用することで、AI実行サイクルの効率化やデータの運用・管理を適切に行い、AIの品質を高水準に保つことが可能となった。

注21) ユーザがテキストコマンドを入力してコンピュータと対話(操作)する方法。

注22) ユーザがアイコンやメニューなどの視覚的な要素を使用してコンピュータと対話(操作)する方法。

4 今後の展望

刻印番番識別技術は、2024年6月1日時点で1拠点、4つの量産ラインに導入している。加えて、刻印番番を全数目視で読み取る量産ラインは多数存在

するため、今後も本技術の水平展開を実施し、作業者の省力や品質保証の向上に貢献していく。

AIモデルの維持管理システムを構築したことで、AIモデルの再学習に費やす工数の削減や稼働状況を容易に確認することができる。現時点では、運用期間が短く、大きな成果は今後の期待だが、量産運用を重ね、信頼性が得られてきた。本システムを効率的に展開していくためには、工場の各部署との協力が必要不可欠である。本システムの運用面について導入部署と協議し、導入を推進していく。

刻印検査以外の工程についてもAIを用いた検査

技術を採用予定であり、それら工程へMLOps基盤の展開を推進し、生産性向上や品質向上に貢献していく。

5 結言

本開発により、刻印検査における省力および品質保証度向上を実現することができた。

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

著 者



光尾 崇

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



鈴木 健斗

2016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。



宮内 悠樹

2017年入社。デジタル変革推進本部 デジタル戦略室所属。クラウドを活用したシステム構築に従事。



菊池 貴好

2014年入社。デジタル変革推進本部 デジタル戦略室所属。クラウドを活用したシステム構築に従事。



全社技術発表会 バーチャル展示会 2023の開催

橋 本 有 奈

1 はじめに

2023年12月にカヤバ社内で「全社技術発表会 バーチャル展示会 2023」を開催した。

新型コロナウイルス感染症（以下COVID-19）の流行により従来の会場で開催する展示会から形を変えたWeb上での展示会である。107テーマのエントリーがあり、とても見応えがある展示会となった。

今回はそのバーチャル展示会の経緯から効果について紹介する。

2 会場での展示会からバーチャル展示会へ

2.1 全社技術発表会

当社では毎年全社技術発表会を技術の水平展開、情報共有および開発意欲の高揚を図るために開催している。生産技術、油圧エレクトロニクス、自動車の3分野の発表会（ブロック発表会）にて選考を行い、各発表会の上位2テーマを全社技術発表会で披露している。

2.2 展示会

コロナ禍以前、展示会は各ブロック発表会と同日に併催していた。技術者自らがエントリーし、研究・開発結果をまとめたパネルと、研究・開発の実物を展示して技術者同士で情報共有をしたり、来場者へ技術のアピールを行っている。毎年各ブロックで約100テーマ近く展示のエントリーがある。

展示会の最大のメリットは各展示ブースにて技術者がアテンドしているため、技術者から研究・開発の説明を生で聞くことができることである。また、普段は研究・開発品を見ることができないため、発表を聴くだけではイメージしきれない製品の特長などを実展示により確認することができる。アテンドする側も来訪の当社役員や他部門の部課長との意見交換やリアクションがもらえることにモチベーションを感じているようである。

毎回展示会場の通路には人があふれ、移動が困難

になるほど大盛況であった（写真1）。しかし、2020年冬にCOVID-19が流行し、社内のイベントは開催制限がかかり、全社技術発表会も規模を縮小しての開催となり、三密となる会場での展示会は中止となった。

2.3 展示会の復活

2020年度から2022年度の3年間、展示会が中止された中、日頃の研究・開発の成果を共有・披露する場を復活させたいという声があった。COVID-19が第五類に分類されたので展示会の再開を検討したが、再び感染者が増えている時期だったため、以前のような三密になる会場での展示会ではリスクが伴うため断念した。また、これまでの展示会は会場を各開発拠点で順番に開催していたので、展示を見るためには他拠点への移動が必須であり、更に開催日が1日だけなので業務上の理由などにより会場に行くことができなくなってしまうこともあった。そこで、環境さえ整っていれば社内のだれでも閲覧することができるWeb上での展示会を検討し、2023年度は「全社技術発表会 バーチャル展示会 2023」と題し、開催することにした。



写真1 展示会場の様子

3 バーチャル展示サイトの作成

バーチャル展示会の開催決定から開催まで準備期間は4ヶ月しかなく、社員全員がアクセスでき、かつ短期間で準備できる方法を検討した。

3.1 使用ツール

展示内容を公開する方法として、全社展開されているMicrosoft365[®]のSharePoint[®]を使用してサイトを作成した。Web制作会社にサイト作成を依頼する案もあったが、費用や作成時間、出来栄をSharePoint[®]と比較した結果、SharePoint[®]で作成するメリットの方が多いため、採用した。

SharePoint[®]はWebベースの情報共有ツールである。ファイルやスケジュールの共有、コミュニケーションを簡単に行うことができ、容易にWebサイトを作成することができる。Webサイト作成では一般的なWeb構成や機能を使用することができるが、自由に設定できることが限られているのが難点である。しかし、Webソースコード^{注1)}の知識がなくても短期間でかつ費用を抑えてWebサイトを作成することができる。

注1) Webサイトを構築するためのプログラミング言語。HTMLやCSSなどがある。

3.2 世間のバーチャル展示サイト

まずは世間の動向を把握するため、各イベントのバーチャル展示サイトを訪問した。COVID-19が流行していたため、バーチャル展示を行っている団体は多数あり、動画による製品説明を行っているもの、あらゆる方向から撮影した製品の画像を公開しているもの、展示アバター^{注2)}が製品の説明をしてくれるものがあった。なかには閲覧者がアバターとなり、3D空間を移動してその場にいるかのように展示物を閲覧できる展示もあり印象的であった。

展示会は私の中で“現地に見に行くもの”というイメージが強かったが、現地に足を運ぶ手間が省け、短時間で多くの展示を見られるというメリットを感じることができ、バーチャル展示のマイナスなイメージを払拭することができた。また、バーチャル空間で製品の概要を知り、気になった製品については個別にアポイントをとり現地に足を運ぶスタイルも良いと思った。

注2) デジタル空間におけるユーザの代理となるキャラクター。

3.3 バーチャル展示サイトの構成検討

SharePoint[®]で利用できる機能が限られている中でも、従来の展示パネルを使った展示の印象を崩さず、かつテーマの特徴を表現しやすい構成を検討した(図1)。また、従来の内容に追加して研究・開

発品紹介の動画、関連画像の掲載(数の制限なし)、リンク(各部署でサイトを公開している場合)も追加できるようにした。そして、閲覧者とのコミュニケーション方法として、SharePoint[®]の“コメント”と“いいね”機能を使用することとした(図2)。

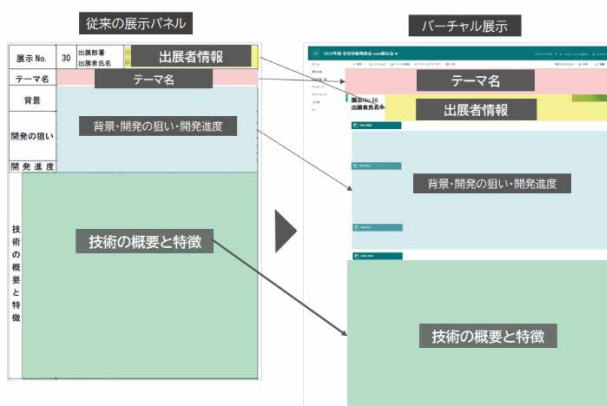


図1 従来の展示パネルとバーチャル展示の比較



図2 追加内容

3.4 バーチャル展示サイトの作成

メインページは試行錯誤した結果、少しでもバーチャル空間に近付けたかったため、SharePoint[®]スペース^{注3)}を使用して3D環境を作成した(図3、4)。また、各テーマの展示へは部門毎にカテゴリ分けを行い、そこから移動できるようにした(図4)。

エントリーがあった107テーマは、研究・開発内容をアピールするための動画や画像が盛沢山で展示者の個性が出ており、編集の期限が迫っているにも関わらず見入ってしまうほど、とても充実した内容の展示であった。

注3) SharePoint[®]の機能。3DオブジェクトのWebパーツ、360°画像、2Dの画像、テキストなどを同じ空間に配置することが可能。



図3 バーチャル展示会サイトメインページ①



図4 バーチャル展示会サイトメインページ②

4 バーチャル展示サイトの公開

展示ページの作成、事務局の編集・確認作業が終了し、バーチャル展示サイトが完成。社内で展示会の啓蒙活動をするためにポスターを作成して周知し（図5）、2023年12月13日に「全社技術発表会 バーチャル展示会 2023」を公開した。

Webサイトの閲覧期間は特に定めていないが（現在も社内の方であれば閲覧可能）、出展のいいね数やチャットでのコミュニケーションのやり取りは約2週間の12月28日まで公開した。

総閲覧者数は591名、期間累計アクセス数は5,557であった。



図5 バーチャル展示会 啓蒙ポスター

5 アンケートの実施

次回開催時の改善項目を洗い出すためにアンケートを実施し、展示者111人に対し、87名から回答をいただいた。アンケート結果の一部を紹介する。

展示者の意欲を調査するため、今回のバーチャル展示会にエントリーした理由を質問した（図6）。上司の指示でエントリーした方が多かったが、自身の研究や開発を積極的にアピールしたい方の数も多かった。

バーチャル展示にエントリーした理由を教えてください
(複数回答可)

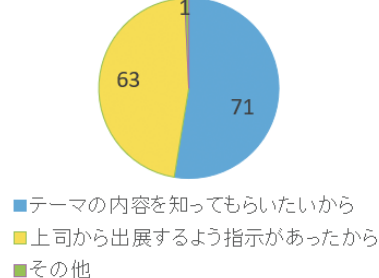


図6 アンケート結果（エントリー理由）

来年度開催する場合の人数把握のため、来年度もエントリーしたいかを質問した。また、その理由も質問した（図7）。約半数の方が来年度もエントリーしたいと回答があった。その理由は下記の通り。

- ・面白い体験ができた
- ・他部署の取組み内容がいつでも見ることができたので時間をかけて展示を読むことができた
- ・技術のアピールにつながる
- ・本年度くらいの自由度を維持して制限、制約を付けないで開催してほしい

来年度もバーチャル展示があったら
エントリーしたいですか？

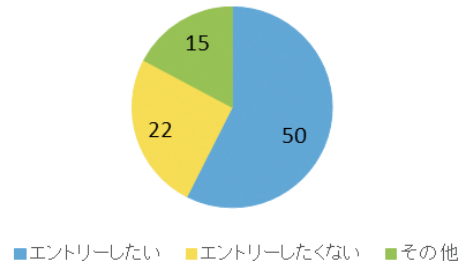


図7 アンケート結果（来年度のエントリー）

エントリーしたくない理由やその他改善点としては下記の通り。

- ・作成に工数がかかる
- ・展示会開催の宣伝をもう少し行ってほしい
- ・展示賞を用意してほしい

・閲覧者ともっとコミュニケーションをとりたい
今回の展示会では“いいね”機能を活用する方が少なかった。啓蒙不足もあるが、閲覧者が押したくなる仕掛け作りも必要だと感じた。また、展示物を頑張って作成したが、閲覧者からのフィードバックをあまり得られず、モチベーションがなくなってしまった方もいた。次回の最大の課題として、“展示者と閲覧者の双方向のコミュニケーション”が挙げられる。

改善意見を多く収集することができたが、好意的意見も聞くことができた。「いつでも見ることができるので、会場での展示よりもじっくりと時間をかけてみるのができた」、「自部門業務への展開をイメージすることができた」、「情報発信の参考になりそう」などといった嬉しい意見を聞くことができた。好意的意見を励みにしたいと思う。

6 次回のバーチャル展示について

2023年度のアンケート結果を踏まえて2024年度は展示者のモチベーションを上げることをテーマとし、

「展示会をきっかけに新たな製品のアイデアが浮かんだ」、「技術者同士の交流が盛んになった」という声がアンケートで聞けるような内容での開催を企画中である。

7 おわりに

Webでの展示会は当社初の試みであり、準備から公開まで慌ただしかったが、展示者をはじめとする多くの方々の協力や支援により公開することができた。

展示会期間終了後のアクセスを確認すると、1カ月に約130人前後の人がサイトに訪れており、情報共有の場として活用されていることを嬉しく思う。これからも研究・開発者が新しい発見や自開発に活用できる情報を得られるような活動の企画を継続していきたい。

著 者



橋本 有奈

2013年入社。
技術本部 技術企画部。
電気/電子開発プロセスの構築および技術管理の業務に従事。



カヤバ史料館 展示リニューアル

小牟田 久 美 ・ 藤 澤 杏 子

1 はじめに

カヤバ史料館は相模工場内（神奈川県相模原市）にあり、会社創立70周年記念事業の一環として2005年に完成し、今年で開館から19年目を迎える。当館は当初、社内での活用、人財育成の場とすることを目的として設立された。現在も社内活用はもちろんのこと、工場や研究棟に来訪されるお客様・お取引先様への見学を始め、リクルート活動や夏休み期間に小学生を対象としたイベント開催などにも利用され、交流の場になっている。

今回、カヤバの歴史や技術力の高さを、より伝わりやすくするよう、パネルや展示方法などを見直し、リニューアルしたので紹介する。

2 カヤバ史料館レイアウト

カヤバ史料館の大まかなレイアウトを以下（図1）に示す。フロアは2階構成であり、カヤバの歴史および開発品やグループ会社全体の製造製品を紹介している。

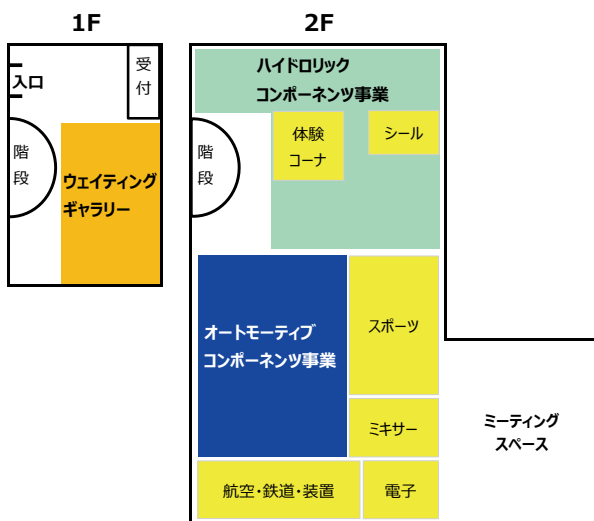


図1 カヤバ史料館レイアウト図

3 ウェイティングギャラリー

1Fは商談で訪れる方々のウェイティングギャラリーとして常時開放しており、新たに広報で制作した各工場の紹介動画等をデジタルサイネージとして積極的に放映している（写真1、写真2）。

尚、各工場紹介動画はYouTubeでも公開している。



写真1 ウェイティングギャラリー



写真2 デジタルサイネージ

壁面には『カヤバ主要製品年表』を設置しており、オレオ（油圧緩衝脚）をカヤバのDNA（写真3）とし、振動制御技術やパワー制御技術など、各製品群に受け継がれていることが分かるよう年表を展示している（写真4）。



写真3 カヤバDNA



写真6 オリジナル注射器ショベル

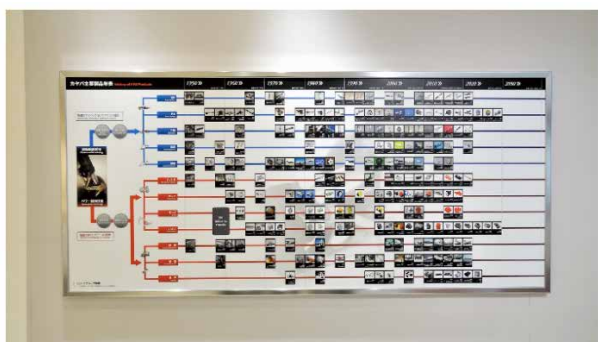


写真4 カヤバ主要製品年表



写真7 大小注射器によるパスカルの原理体験

現在、2023年までの製品を掲示しているが、創立100周年を迎える2035年も見据えて、主要製品を掲示しており、この年表をご覧になった来館者様より、カヤバの歴史と様々な事業展開に感嘆の声を頂いている。

4 油圧体験コーナー

史料館にはパワー制御技術の基礎となるパスカルの原理を体感していただける動展示（写真5）があり、油圧で何故大きな力を出せるのかを体感できるようになっている。

また、小学校の夏休み期間に合わせ、オリジナルの注射器ショベルの工作や、油圧・摩擦のちからを学ぶお子様向けイベントを開催している（写真6, 7）。



写真5 パスカルの原理体感器

5 油圧機器(ハイドロリックコンポーネンツ)

これまで、何がカヤバの凄さなのかを紹介できていなかったコア技術の一つに、ミクロン単位での研磨合わせ加工精度の技術がある。ピストンやスプールを手にとって触っていただけるよう工夫した。

また、コントロールバルブの鋳物の生産工程や、ピストンポンプのピストンの動き方を動画で見て頂くことで、口頭では伝えることが難しかった部分がよりご理解いただけるようになった（写真8）。



写真8 ポンプ・バルブコーナー

さらに、走行モータは分解展示することによって、これまで略図でしか見たことがなかった部分を実物で確認できるようにした。

新たに、カヤバの強みの一つであるミニショベルの油圧システムセットを配管接続した状態で展示することとした。ピストンポンプ→コントロールバルブ→走行モータ・旋回モータ・シリンダへの油の流れ方が伝えやすくなり、お客様のご理解頂けた表情を見ると嬉しく思う（図2、写真9）。

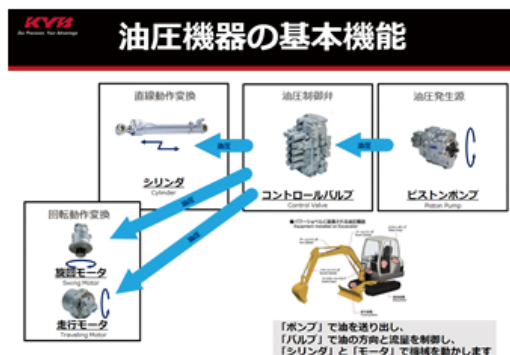


図2 油圧機器の基本機能



写真9 ミニショベル油圧システムセット

カヤバの特徴として、小型から超大型まで生産できるシリンダは是非ご紹介したい製品である。マイニングショベルのブームシリンダは大きさを体感頂

けるよう、実物大の模型で展示した。実物は重量などで断念したが（実物重量は約10t、全長約5m～10m）3Dモデルからカットサンプルを忠実に再現し、展示を実現している（写真10）。

6 自動車用機器 （オートモーティブコンポーネンツ）

カヤバがショックアブソーバ（以下SA）メーカーとなったきっかけ（図3）から、SAの種類、構造、変遷、最新技術までを一連の流れでご紹介できるコーナーづくりを展開している。

来館者様には、SAという言葉自体をご存じない方から、モノづくりに携わっている方まで、全方向に向けてのアプローチが必要であるため「減衰力」などの用語の説明から行っている。

図4や写真11のように段差を乗り越える車が、減衰力あり／なしのSAを装着して走ると、どのような動きをするか比較動画をご覧いただきSAの必要性をご理解いただいている。

写真12はSAを分解展示し、バルブ内のリーフバルブの積み上げ枚数などで減衰力が変わり、乗り心地が変わることを説明している。

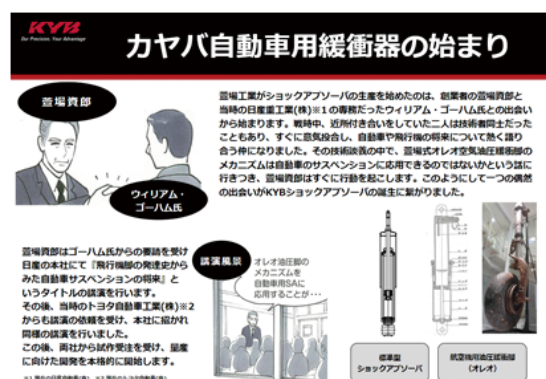


図3 SAメーカーになったきっかけのストーリー



写真10 マイニングショベルのブームシリンダ実物大模型



図4 SAの装着箇所と機能説明



写真13 トライボロジーコーナー

更に、この調合されたオイルをWRX（ワールドラリークロス選手権）のSAに封入したところ、チーム優勝やドライバーズ優勝という快挙を成し遂げるという成果があったことも紹介している（写真14）。



写真11 SAの減衰力有無の比較動画



写真14 WRCコーナー



写真12 SA分解展示、バルブ部の説明

最新技術としては、SwingValveやProsmooth®を展示し、極微低速度領域に特化した乗り心地までご提供できるメーカーであることを紹介している。

現在はSA内に封入するオイルの調合レシピを自社で開発できるようになり、環境開発油サステナブルTMを開発した。その開発には技術者・研究者たちのトライボロジーに対する思いがあることもお伝えしている（写真13）。

7 今後の課題

今回紹介できなかった他事業製品においても、パネルに統一感を出し、前述のように技術用語がわからない方から技術者までわかりやすい展示を目指していきたい。

また、コロナ禍後、様々な展示会が活発化してきているので、展示会後に展示品を史料館で活用させていただき、技術広報としてカヤバのコア技術の凄さを来館者のみなさまに伝えていくことが史料館の役目の一つと考えている。

神奈川県企業博物館連絡会への参加などからの学びにより、他社の史料館・科学館を参考にして、デジタル化についても見せ方の工夫を進めていきたい。

8 おわりに

カヤバ史料館は一般の方々への公開日も設けています。ご興味をお持ちの方は是非ご来館ください。

(木曜：14：00～16：00 詳細はカヤバHP)

また、社員の方も、ご家族に自身が働いている会社を知ってもらう一助となるので、是非ご利用ください。

最後になりましたが、各事業・各部門の皆様には日頃よりご支援・ご協力いただき深く感謝致します。

この場をお借りして御礼申し上げます。
引き続きご支援賜りたくお願い申し上げます。



カヤバHP内・カヤバ史料館



カヤバYouTube

著 者



小牟田 久美

2008年入社。技術本部カヤバ史料館。



藤澤 杏子

2008年入社。経理部（岐阜南駐在）。電子技術センター管理室。基盤技術研究所企画室を経て現職。

随筆

中国駐在記

後 藤 孝 志

1. はじめに

私は2018年12月から2023年5月までの約4年半、中国湖北省荊州市に電動パワーステアリング（以下EPS）製品で初めて設立した合弁会社の湖北恒隆凱迺必汽車電動轉向系統有限公司/Hubei Henglong & KYB Automobile Electric Steering System Co., Ltd.（以下HKE）に赴任した。前年2017年の設立から関わっており、延べ6年以上に及ぶ業務であった。

異国の文化、マイノリティ拠点での難しさ、初のEPS海外生産、新型コロナ（以下コロナ）対応等、色々な意味で貴重な体験することができたので、一部を紹介する。

2. 荊州市の紹介

コロナが最初に発見された場所である武漢市から約300km西に位置し、三国志で有名な関羽が拠点としていた街である。外周10kmの堀に囲まれ、荊州古城として残っており、高さ50mを超える像が聳え立っていた。しかし、違法建築ということで2021年に撤去されてしまった（写真1）。

また三国志以前では漫画キングダムに登場する春秋戦国時代の大国の一つであった楚の拠点でもあり、楚王の遺跡は一見の価値がある（写真2）。

今日では沿岸地域と比較して発展していないものの紀元前からの遺跡も多く、歴史が深い街である。



写真1 57.3mの関羽像



写真2 楚王の遺跡

人口は600万人以上いるが外国人は僅か10数人で、中国人でも上海等の大都市の方は名前も知らないことが多い。そんな田舎の街であるが外国人慣れしておらず、飲食店に行けば珍しいとのことで歓迎されることが多い。日本食レストランもあるが現地人向けにアレンジされており、期待する日本料理はまず食べられなかった。

中国で最大河川の揚子江（長江）が街中心に流れ、タンカー等の大型船の運航もできる。世界最大の三峡ダムのある宜昌市とも隣接している。2020年に豪雨による三峡ダム決壊危機のニュースが日本で話題になり、現地でも街中心部が洪水で水に浸かる等の被害は出たが、ダム決壊の心配はなかった（写真3）。

毎年マラソン大会も開催され、街の一大イベントになっている。参加者は2万人以上、コース沿いには多数の地元民が銅鑼を鳴らし、学生達からも応援の音が掛けられる。2019年と2023年の2回にハーフマラソンに参加できたことは良い経験となった（写真4）。



写真3 揚子江（長江）の砂浜



写真4 荆州市マラソン大会

3. 会社稼働開始、新工場設立とコロナ影響

2018年11月から新会社の稼働が開始した。団結力を高めるために、課外活動行事等もたくさん催され部署間の交流が多かった（写真5、6）。

翌2019年9月に新工場に引越しとなった。この時は駐在員・現地従業員が一致団結した大きな活動にもなった（写真7）。



写真5 課外活動



写真6 バスケットボール大会



写真7 新会社引越し時の昼食

2020年1月末にコロナが蔓延、武漢市近隣でもあり、交通が遮断されると情報もあったため、ロックダウンが始まる2日前に日本に帰国した。当初はコロナも数週間程度で収束し、直ぐに中国に戻れると安易に考えていたが、影響は全世界規模となり、中国に戻る目途が全く立たなかった。この時の駐在員全9名は、一緒に戻ることは叶わず、4回に分けて戻ることになった。私は第1陣として2020年7月に関西空港よりチャーター便で武漢に到着、その後2週間は武漢のホテル、もう2週間は荊州の自宅で、計28日の隔離生活を送った。武漢での隔離生活は近くのAEONから日本食が配達されたが、荊州市にある日本食レストランよりも遥かに美味しい日本食が食べることができたことは驚きであった。

駐在員全員が戻ったのは2020年11月で、戻るまでの期間はメール/Web会議でのやり取りがメインとなりコミュニケーションも段々悪くなり、またコロナ影響により中国国内で混乱が継続、合弁会社の業績も良くなく、駐在員と現地中国人との間に溝が生まれだした。当時はマイノリティ拠点かつ中国合弁先会社の既存ビジネスしか仕事がなく、新規受注も進まなかったこともあり、意見・文化の違いで、双方の対立も多かった時期でもあった。

また、マンションでコロナ患者が発生するとマンション全体・街のある区画が隔離となり、一般生活でも色々な苦勞が多かった。

4. 中国での業務

私は開発部（設計部）に所属し、カヤバ主力製品の2ピニオンEPSの拡販や、合弁先企業の主力製品であるコラムEPSの減速機部にカヤバ技術の展開と改善を主に担当した。

設立当初は、カヤバと合弁の強みを生かしたプレゼンテーションを、中国の国内OEM・サプライヤー何十社にも行った。合弁会社が稼働して1年、これからビジネス拡大を模索していた矢先、コロナが直撃して長い苦勞の期間が続く。

それでも2ピニオンEPSの初量産を立ち上げることができた。この製品はインド大手OEMに採用され、車両はその年のインドカーオブザイヤーにも選出された。1st車両のラインオフを祝うイベント（写真8）に参加させて頂き、HKEの技術力をアピールできたことは大きかった。

本量産品が立上り後、中国車両メーカー（以下OEM）向けにも2ピニオンEPSの受注が拡大、コラムEPSと合わせ年間生産数は100万台を超えた。一方、中国の開発スピードは速く、量産品でも1年、あるいは半年での立上げが必要になる時もあった。



写真8 ラインオフ祝勝会

5. 中国の食べ物、旅行

荊州市は内陸に位置しており、料理の味付けは辛いことが多い。また、中国特有のお酒である“白酒”を好む方が多い。大人数で食事をする際は回転テーブルを囲み、白酒で乾杯する（写真9）。乾杯には注意が必要で自分のペースで飲むのは基本ご法度、乾杯しながら飲む必要がある。白酒はアルコール度数が高く、飲み方には注意が必要だ。しかし酒を飲み交わすことで距離が縮まるのも事実である。

国土が広い中国は地域毎に色々な料理があるが、その中でも麺は面白い。イスラム文化と融合した料理もあり、日本人にもあう麺料理も多い。その中でも大連麺という荊州市発祥といわれる麺が、あっさりして美味しい（写真10）。中国では麺料理は朝食や昼食で食べることが多く、平日は会社地近くの食堂、休日の朝はアパートの近くへ良く食べに行った。また、豚肉よりも羊肉の方が一般的に多く食べられていて、会社の宴会では羊の丸焼きが出ることもあった（写真11）。

荊州市ではザリガニが有名料理の一つである（写真12）。味はエビに近く、普通に美味しい。また、ザリガニ料理を注文すると、ビールが飲み放題となる。

アルコールを含む飲料類は常温で出される場合が多く、冷えたビールを販売する店を把握したり、次から準備して欲しいと依頼することが大事である。



写真9 円卓



写真10 大連麺

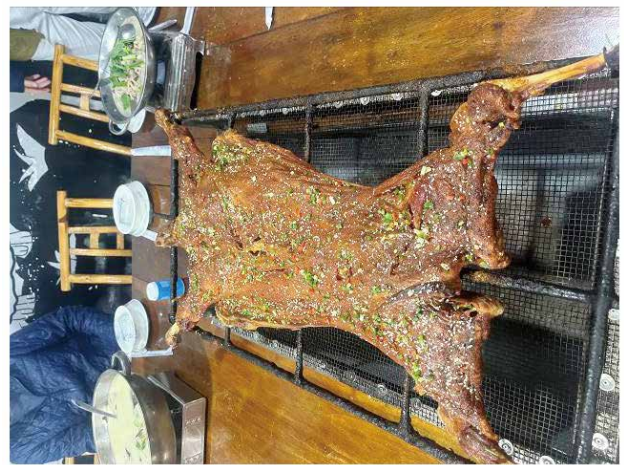


写真11 羊の丸焼き



写真12 蒸したザリガニ料理

コロナ影響で中国は毎日PCR検査が必要、陰性証明書は各都市で証明アプリも違うなど、外国人の旅行について厳しい時期が続いた。せっかくの赴任も行動制限されてなかなか移動できなかったのも、自転車を購入した。地元のチームにも所属し、1日100km以上を仲間と走ったり（写真13）、キャンプしたりと趣味が増えたことは意外であった（写真14）。



写真13 荆州市自転車チーム



写真14 揚子江でのキャンプ

コロナ影響でも旅行はできたが限定的で、秦の始皇帝の墓である兵馬俑は行けたが、それっきり遠出の観光はできなかった。

2022年12月になると中国全土で一気にコロナ患者が激増、私もコロナになり42度の高温がでた。ただ、その後は行動制限が完全に撤廃された。2023年1月～5月の間は連休や休日を利用し、できる限り色々な観光地を回った。アバターのモデルになった武陵源、西安のパンダ、敦煌のシルクロード遺跡、万里の長城、チベット等が観光できたことは本当に良い経験になった。その中で一番感動したのはチベットである。ここは自治区であり、入域許可証が必要となる。コロナ影響で外国人に入域許可証は発行されていなかったが、帰任直前の2023年4月から入域可能となり、5月の労働節に訪れることができた。

チベット自治区の区都ラサは標高4,000m弱で街中心が富士山級の標高（写真15）である。初日は何ともなかったが2日目以降は高山病にかかり、頭痛が収まらなかった。高山病の薬や、酸素の吸引もあり効果がなかった。

しかしチベット仏教や世界一高い場所にあるポタラ宮殿（写真16）、壮大な自然（写真17）は圧巻であり、感動の連続であった。



写真15 標高5190m地点、ヒマラヤ近く

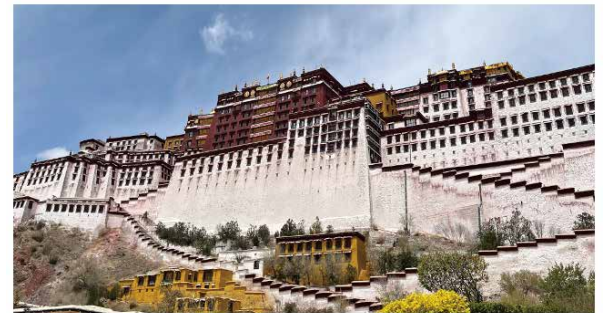


写真16 ポタラ宮殿



写真17 幻想的な空と湖

6. おわりに

終わってみれば、あっという間の4年半でした。色々な苦労もありましたが、経験したことを活かし、今後も会社に貢献していきたいと思います。

駐在中にお世話になった方々にはお礼を申し上げると共に、HKEの更なるご発展とご飛躍を心よりお祈り申し上げます（写真18, 19）。

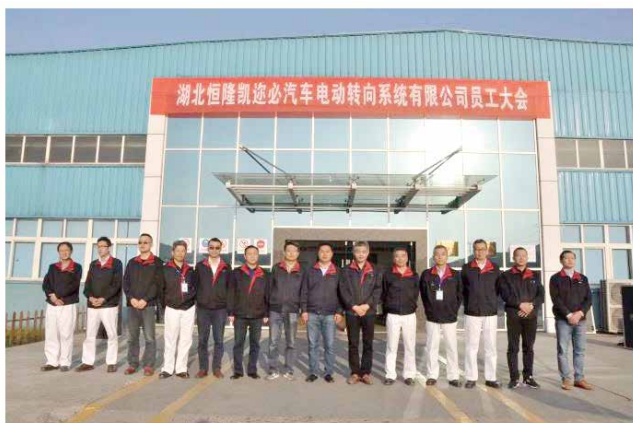


写真18 新会社設立時の記念撮影



写真19 帰任時の記念撮影

著 者



後藤 孝志

営業本部 グローバルビジネスユニット 海外営業部 専任課長。ステアリング技術部，商品企画部，経営企画部，HKEを経て，現職

用語解説

「モーダル解析」

「モーダル解析活用による治具共振低減手法」(p. 4)に記載

オートモーティブコンポーネンツ事業本部 技術統轄部 開発実験室 藤 掛 光 彦

1 モーダル解析とは

あらゆる物体や構造物は、振動する時にそれぞれ振動し易い固有振動数を持っている。モーダル解析とは、その固有振動数及びそれ以外の周波数においてどのように振動し、外力に対してどのような耐性があるかを把握する解析である。モーダル解析では、以下を把握することが可能。

- ①対象物の固有振動数と変形形状
- ②対象物の固有モード

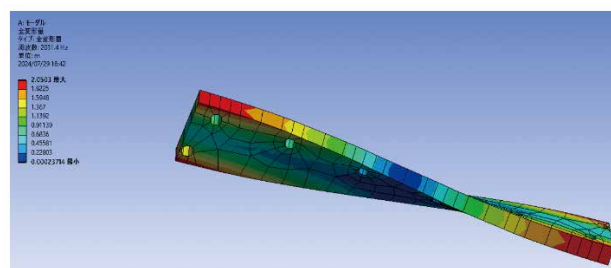
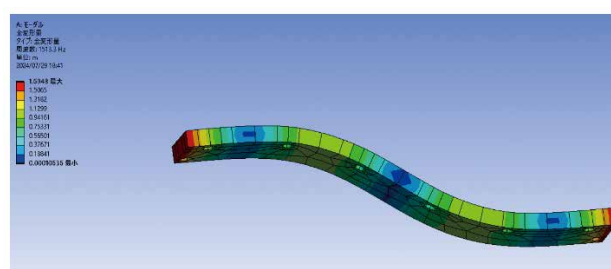
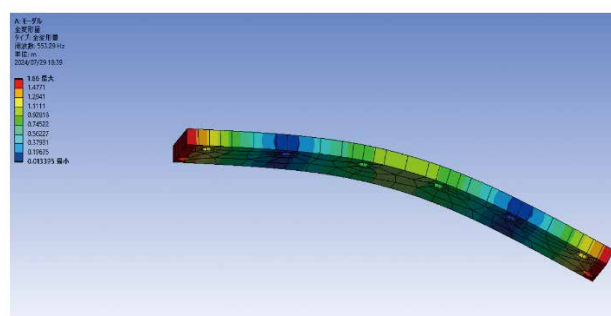
2 固有振動数と固有モード

固有振動数とは、ある物体が自由振動した際に現れ、その物体が揺れやすい固有の振動数のことである。振動の速さは、単位時間に起こる往復運動の回数で表されその回数を周波数という。全ての物体は、固有振動数を持っており外部から物体に振動を与えたときに、外部振動が固有振動数に一致すると物体は、共振して大きく振動する。共振が発生すると、物体から大きな異音が発生したり、最悪破損する可能性があるため、共振を回避することは必要不可欠である。固有振動数は、質量が大きくなるほど低くなり、剛性が高くなるほど高くなる特徴がある。

固有モードとは、固有振動数においてどのように振動するかを表す変形形状のことで、固有値における振動は決まった形をしている。固有モードは周波数の低い方から1次モード、2次モード、と呼ぶ。

3 シミュレーション解析による固有モード

例として平板の固有モードを抽出した解析結果を示す。



使用ソフトウェア
ANSYS®

「積層リーフバルブ」

「AI技術を実装したSA減衰力計算の高精度化とAI運用管理基盤の構築」(p. 16)に記載

技術本部 CAE推進部 岐阜分室 萬 谷 浩 章

1

積層リーフバルブの構造¹⁾

自動車用緩衝器のショックアブソーバでは、図1のようにショックアブソーバの作動速度に応じて流路面積を可変とするために、積層リーフバルブ（円形の薄い高張力鋼板）が設けられる。ショックアブソーバの作動速度がゆっくりの場合には積層リーフバルブは開弁せず、微小面積のオリフィスに作動油が流れる。作動速度が速くなると、積層リーフバルブが開弁し、その開口部に作動油が流れる。

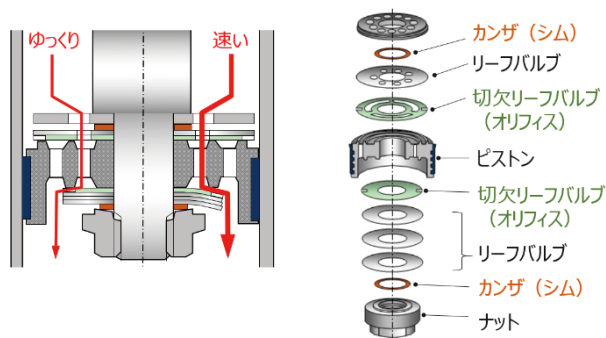


図1 積層リーフバルブの構造図

図1のような構造とすることで、図2の減衰力-速度特性を実現でき、作動速度が低い場合には減衰係数（減衰力÷速度の傾き）を大きくすることで車両の急な加減速やレーンチェンジ時の車両姿勢の変化を抑えることができ、作動速度が速い場合には減衰係数を小さくすることで路面からの振動伝達を低減して車両の乗り心地を確保できる。

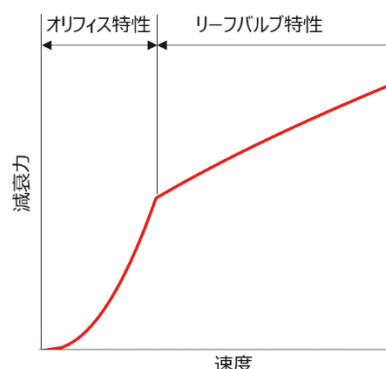


図2 減衰力-速度特性線図

2

積層リーフバルブの要求性能

積層するリーフバルブの外径、板厚、枚数は変更することができ、膨大な組み合わせにより微小な刻みで減衰力を調整できる。これにより、車両にあった乗り心地にチューニングすることができる。

車両の乗り心地のチューニングに加えて、積層リーフバルブには、一般の圧力制御弁と同様に、所定の圧力まで開弁しない密封性が求められる。更には、積層リーフバルブが破損すると減衰力不良を引き起こすことから、積層リーフバルブには繰り返し動作で壊れない、疲労強度が求められる。

参 考 文 献

- 1) カヤバ株式会社：自動車のサスペンション
—構造・理論・評価—（2024年1月）。

「MLOps」

「AIを用いた刻印検査技術の開発とMLOps基盤の構築」(p. 26) に記載

技術本部 生産技術研究所 第二研究室 光 尾 崇

1

MLOpsとは

MLOpsは、「機械学習(Machine Learning)」と「運用(Operations)」を組み合わせた造語です。機械学習モデルを効率的に開発、実装、および運用するための手法や概念のことで、製造現場への機械学習の導入・活用をよりスムーズにします。具体的には、以下のような特徴があります。

- ①開発と運用の連携：開発チームと運用チームが協力し、機械学習モデルの開発から運用までのプロセスをスムーズに進めることができます。
- ②自動化と効率化：データ処理などの作業を自動化し、手動での作業によるエラーや時間のロスを減らすことができます。
- ③継続的な改善：機械学習モデルは時間とともに性能が変化するため、モデルの性能を監視し、必要に応じて再学習や改善を行うことで、常に

最適な状態を維持することができます。

2

Machine Learningのサイクル

Machine learningとは、コンピュータが経験から学習して自動で改善するアルゴリズム、またはその研究領域のことです。具体的には、データを用いて学習し、その結果を活用して様々なタスク(画像認識、自然言語処理、予測分析、等)をこなす技術です。導入環境の変化や検査対象の変化、データ収集センサの劣化などにより、時間経過とともに機械学習モデルの品質(予測精度)が低下する場合があります。そのため、図1に示すMachine Learningのサイクルを定期的かつ継続して実行することでモデルの品質を高水準に保つことが可能となり、高精度な刻印検査を実現できます。

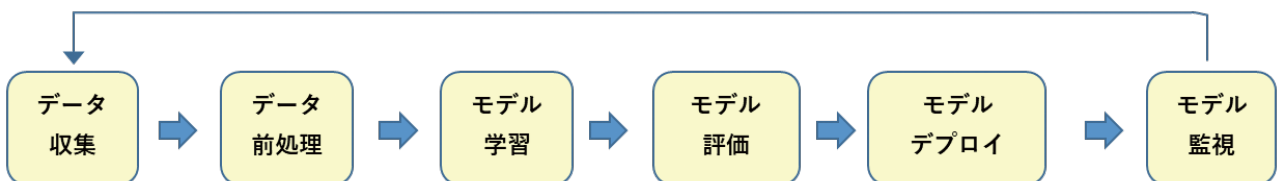


図1 Machine Learningのサイクル

編集後記

「1日1個新しいことを覚えよう。1年経てば数百の事が身に付き、千も覚えればプロになる。」この言葉は、研修中に先輩から頂いた言葉である。確かにいろいろ覚えると少し周りが見えるようになり、もっと良くできないかという気持ちが生まれる。そこから新しい発想が浮かび、実現したい“思い”となる。その“思い”を皆に共感して貰い、苦勞もするが、最後まで妥協せずやり切った成功体験はその人の自信と財産になる。カヤバ技報の全てのページには“思い”が詰められている。その“思い”を感じてお読み頂けると、大変幸甚である。(齊藤委員)

しばらく前に行われた東京都知事選挙で、ほぼ無名の候補が第2位の得票率を獲得して話題となった。原因としてはSNSに大量の動画投稿を行い、短期間で広範な人々に認識を得たからだと推測されている。投票行動に関する良し悪しはともかく、それは現在のインターネットを介した多様な情報媒体によって自身の行動も案外誘導されうる、と言う可能性の表出だったのではないだろうか。メディアリテラシーが昔からある大手マスメディアだけでなくSNSと言ったネットメディアにも向けられる必要があり、かつその対象はメディアの伝播に関する(アルゴリズム等の)技術特性にも注意が必要である、と言ったまるでウィリアム・ギブソンのSF小説の様な世界に、私達は既に生きている。(久保委員)

ここ数年、日本だけでなく世界各地で今までに経験したことのない異常気象による洪水や大雨、猛暑のニュースが当たり前になっている。十数年後はどんな世の中に激変しているのだろうかと思象するととても恐ろしい。そうした中、カーボンニュートラル(CN)に向けた動きが加速し、特にEV車(電動自動車)については将来、確実にエンジン車から切り替わっていくことが明白な事実にある。それが本当に人類にとって正しい選択なのかはまだわからないが、自分の関わった製品開発が将来の環境改善に貢献することを切に願いたい。(石黒委員)

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
桃澤 亮一	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
藤波 太郎	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	高橋 実志	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	久保 潔	カヤバモーターサイクルサスペンション(株)第二設計室
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
佐々木和弘	AC事業本部技術統轄部	○小畑 宏	技術本部技術企画部
野口 洋一	AC事業本部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69号

〔禁無断転載〕 〔非売品〕

発行 2024年10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)