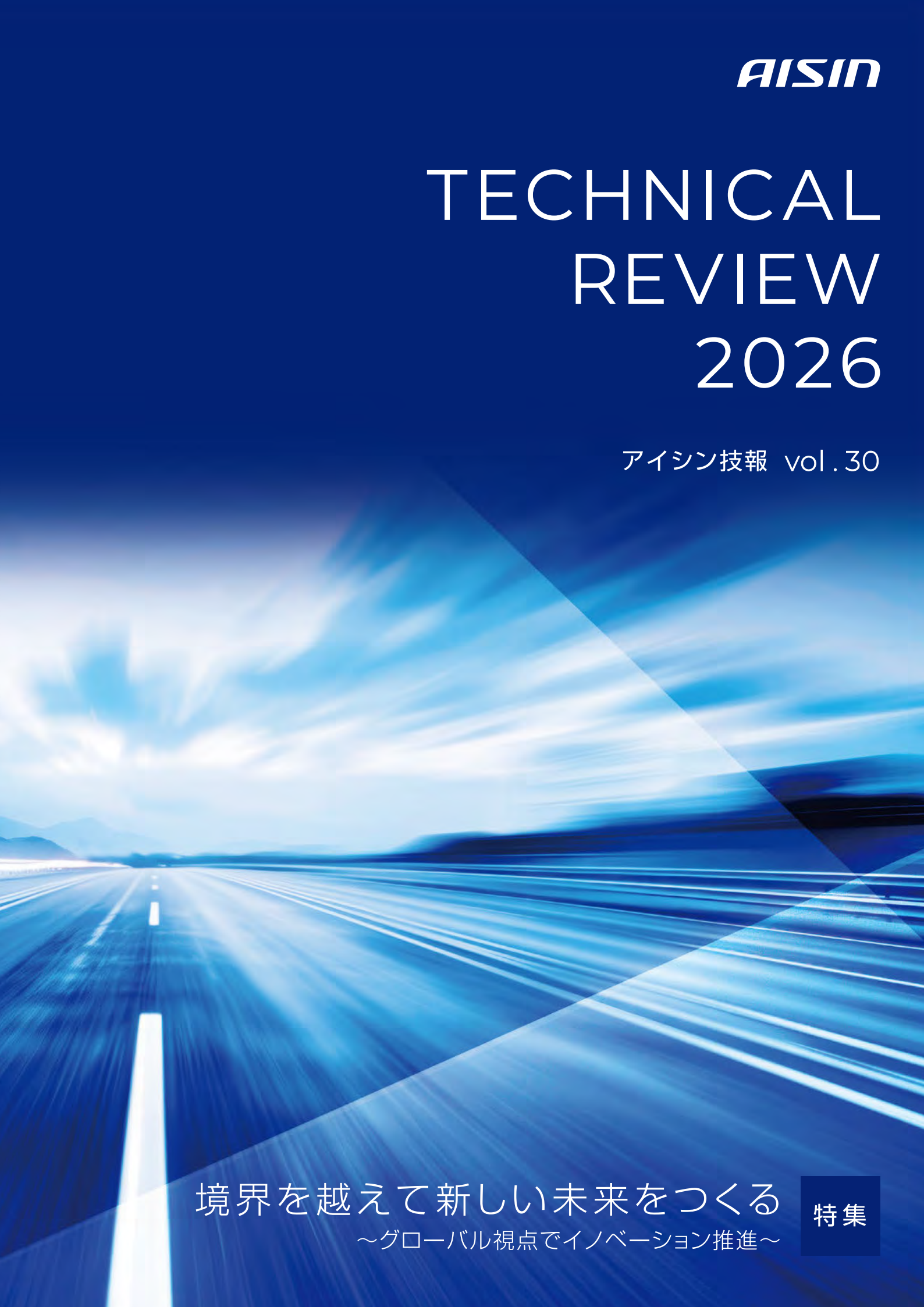
AISIN

TECHNICAL REVIEW 2026

アイシン技報 vol.30



境界を越えて新しい未来をつくる

～グローバル視点でイノベーション推進～

特集

目　次

巻頭言

―魅力ある商品のための製品と技術―　1
山本　義久

トピックス

小型モビリティの未来を切り拓く「リーン制御」技術の開発　5
堀口　宗久　松井　徳仁　神谷　斉　水野　晃　荒木　敬造

世界最高の性能を示す固体冷媒開発への挑戦　9
沖本　友子　元土肥　計彦　籾木　崇

振子式加速度低減システムを活用したペット向け価値探索活動について　13
三嶋　啓介　信時　正嗣　髙柳　渉　石田　直也

“人を育て技術を磨く”全日本ラリー参戦を通じた技術開発　18
平井　政希　松嶋　光明　森　敦之　成瀬　健太郎　浅井　一晴　野田　祐利

可搬型FC発電機「H_2 LIFE GEAR」の開発
～水素発電をもっと身近に,ストレスフリーな暮らしへ～　22
梶尾　克宏

ポスト人間中心設計としてのUXデザイン
～HCIが導く人・技術・環境の関係性デザイン～　25
福井　彩貴　寺尾　見識妙　鄒　梦婷　向井　有莉　浅見　浩司

技術論文

機電一体型・電動ポンプの熱シミュレーションのモデル開発と運用　33
青山　泰崇　平塚　裕太　服部　修二

車載機器におけるEMC解析とAI活用事例の紹介　38
菅　翔平

電解硫酸法による主機モータ向け銅リサイクル技術の開発　43
酒井　尚樹

量子ネイティブな未来へ：
ゲート式量子コンピュータによる実規模輸送ルート最適化　47
齊藤　岳穂　森山　英二

電動化車両における,モータ,インバータの各設計変更に伴う
CN（Carbon Neutral）の相互影響予測　53
岩月　健　黒川　顕史　桂田　竜児

カーボンニュートラル実現に向けた水素SOFCシステム技術開発・実証　59
加藤　憲二　渡邉　秀貴　上山　浩司　早川　浩二朗　高橋　宗裕

説明性向上マルチモーダルAIによるMOCの潜在的異常見える化　63
中井　淳一　藤村　拓弥　浅野　憲司　若松　智之　戸田　智基

鋳造CAE技術の精度向上　67
道岡　裕也　日野　健太郎

海外法人便り

インド市場動向とＡＨＬ Ｒ＆Ｄの取り組み
INDIA Market Trend and AHL R&D Activity　71
山田　勝久

社外発表論文・投稿

社外発表論文・投稿リスト（2025年1月～12月）　75

巻頭言

―魅力ある商品のための製品と技術―

執行役員　CTSO
（Chief Technology Strategy Officer）
山本義久
Yoshihisa Yamamoto

創刊から

このアイシン技報第1号が1997年に発行されて今年で29年になります.四半世紀を超えて脈々と一つのことが続けられていることは誇れることと思います.そして本号も含めると448件もの記事が掲載され,アイシンの技術者たちに読まれていると思うと感慨深いものがあります.その間,2021年のアイシン・エィ・ダブリュとアイシン精機の統合による“新”アイシンの誕生,2025年のアイシン化工とアイシンの統合などアイシン自身の環境は大きく変化してきました.この変化は,個社が独自で頑張る分社化経営から,グループ一丸となって新たな課題,チャンスやニーズに対して,今までの枠に捉われないでグループ総力を挙げて取り組むためのものであったと理解しています.自動車業界は「100年に一度の大変革の時代」と言われて久しいものがあり,電動化,知能化の新技術,新商品が毎年のように市場に出てきています.アイシン技報が発行された時代と比べ,競争環境が劇的に変わり,新たな知見,異なる取り組みが求められる時代となっております.

より魅力ある商品のために

さて,私たち技術者集団では日々,技術開発,商品開発,生産技術開発あるいは品質・工程改善,原価低減そして生産現場の工夫など多岐に渡って取り組まれていることと思います.ところで,我々技術者の目指すところは何なのでしょうか？私自身は,より良い商品,魅力ある商品をお客様に提供することだと思っております.もちろん,それは技術部署だけでできるものでなく,生産技術,調達,仕入先,製造,品質部署など会社全体で取り組むものだと思います.

それではその“商品”とは何か？それは“商いする品物”という意味になるはずです.それでは“良い商品”とはどんなものを指すのだろうか？それは機能・性能だけでは決まりません.社内のある技術者がこう言っていました.「この○○商品,性能良いんだけど,なぜ売れないんだろう？」.答えは簡単です,それは“良い製品”かもしれないが“良い商品”ではないからです.結論を言えば“良い商品”とは,売れる商品あるいは売れた商品です.それはお客様が魅力的と感じて,購入したいと思うかどうかで決まります.その魅力は性能だけで決まるものでなく,価格,品質,サービス,見栄え,顧客への対応力,さらには工場現場の雰囲気,従業員の真摯さや会社のイメージなど多種多様です.つまり会社とその活動とその結果のすべてが“商品”なのです.だから,商品の価値を高めるのは経営層はもちろん技術部署だけでなく社内のすべて

の部署が一致団結しないと実現しないのです.ただ,価格と機能・性能のバランスはもっとも大事な要素なのは間違いないのですが.

それでは“製品”とは何か？それは“作る品物”,“作った品物”を指します.工場で製造され,出荷されるものです.しかしながら,その品物には値札が付いていません.商流として会社機能の営業を通じることで価格が付き,商品となります.しかしながら,その商品の真の価値のほとんどを決めるのはこの製品であり,それに携わる人たちです.技術,生技,仕入先(調達),製造と品質管理などが主役です.

そうすると我々技術者集団は何をすべきだろうか？そう,設計はより良い商品を追求してその“設計図”を描き,生産技術は優れた生産工程を築き,工場は仕入先様から納入いただいた製品も含めて最終製品に仕上げることが使命で,その要,司令塔は我々技術者集団です.それを基に,社内の一連のプロセスが動き,優れた製品を作り出し,商品として顧客に出荷されエンドユーザーであるお客様の手に届くはずです.我々技術者自身はモノを作りません.モノは仕入先と製造の現場の方々に作って頂いております.しかしながら,その源流は我々の図面,工作図,作業要領書や検査規格といった広義の“図面”による指示です.すべてはここが起点です.技術者と製造者の双方の協力によって初めて優れた製品が世に産み出され商品となって顧客とその先のお客様の手に届くのです.だから,その源流ともいえる我々技術者の描く“図面”とその部署はきわめて大事だと私は常々思っています.

イノベーションとは

それでは,良い商品を生み出すための源流である我々技術者は何をすべきだろうか？イノベーションを起こしたいと思っておられる方もいるかもしれない.ではイノベーションとは何か？ヨーゼフ・シュンペーターによれば,イノベーションには5種あると言われております.1.プロダクト・イノベーション,2.プロセス・イノベーション,3.マーケット・イノベーション,4.サプライチェーン・イノベーション,5.オーガニゼーション・イノベーションです.この中の2,3,5はビジネスプロセス・イノベーションとも言われています.これに関する詳しい説明は省きますが,我々技術者はとかくプロダクト・イノベーションばかりに注目する傾向があります.もちろん,その代表例であるスマートフォン,ウォークマンや液体洗剤さらにはアイシンGのボイスナビゲーションやスプリット・ハイブリッド・システムのような優れた発明品もありますが,イノベーションはそれだけではないのです.ちなみにスマートフォンは,新技術というよりも今ある技術をつなぎ合わせて新たな価値ある製品を生み出したとも言え,まさにスティーブ・ジョブズ伝説のスピーチの「点と点をつなげる」の具現化ともいえます.

ですから我々技術者集団は視野を広く持ちましょう.自らの技術にこだわり過ぎ,顧客とお客様を見失い,自身の自己満足に浸ってはいけません.商品の良し悪しを決めるのは,我々技術者ではなくお客様,エンドユーザーなのだから.技術者のエゴに走って作ったものは,「学ランの裏地の刺繍」と言えます.ちなみに,美味しくなくて家族に喜ばれない野菜を一生懸命作る家庭菜園は私の趣味です.我々技術者のアウトプットは,商品として世にお届けし,お客様に喜んでいただくと同時に事業としても成立させなければなりません.それが科学者ではなく技術者たる者の使命であり,決してボランティアではありません.そうしない限り長続きしません.

未来に向かって

ところで,欧州が中心に進めてきた「2035年CO_2排出ゼロ＝ICE車廃止」政策を昨年末,実質的に撤

回,修正する案が出されました.このことからもCO_2排出ゼロとお客様のニーズの両立は大変難しいものだと分かります.市場を形成するのはお客様＝ユーザーであって,その集合体が市場という大きな波を作り出すはずなので,その点をしっかり考えていきたいと思います.

このように我々を取り巻く環境は変化し続けており,まさに諸行無常の様相を呈しております.そのような環境においても変わらないものがあると信じております.それは,“より良い商品,魅力ある商品をお客様に提供する”ことが生命線であって,その源流の“遺伝子”ともいえる広義の“図面”を描くのは我々技術者しかいないし,ある意味,それは特権です.なぜなら苦しみと達成感の両方を存分に味わえるからです.そしてお客様のニーズに応えるためには,まず,その前工程のカーメーカー様に代表される我々の顧客の期待に応えることが必要です.顧客の期待をほんの少しでも上回るものを提案,提供することで,顧客の共感を得て,心に響いてもらうことができ,初めて買っていただけます.そう,売るではなく,買っていただくのです.我々の取り組む技術,技術開発,生産技術開発,工場技術は,商品に展開され,お客様の手に届いて初めて価値が生まれます.常にお客様を意識し,何が求められているか,何をすべきかを自ら問い続けていきましょう.その道筋は一つではありません,富士山登山道のように複数あるはずです.

一緒に頑張りましょう,お客様の期待に応え,顧客の信頼を得るために,同じ技術者として.

トピックス

小型モビリティの未来を切り拓く「リーン制御」技術の開発

1. はじめに

免許返納後の高齢者や交通手段が限られた地域の新たな移動手段として,1人乗りの小型モビリティが注目されている.これまでになかったモビリティを創造していく段階にあるため,その形や乗車姿勢は多種多様であるが,「小型モビリティの姿勢安定性向上」に対してさまざまな技術開発が行われている.

アイシンが東京大学生産技術研究所須田研究室(当時)と共同開発した,小型モビリティ制御のキーとなる「リーンステア制御」は,その中でもひときわ注目を集める技術である.2024年6月には小型モビリティを手掛けるglafit株式会社と共同で本技術を搭載したプロトタイプ車両(WAKUMOBI)を開発し,実証実験を開始した.さらに,2025年8月にはリーンステア制御を応用した新技術である「リーンアシスト制御」を開発し,シェアリングサービスを提供する株式会社Luupと共同で本技術を搭載したプロトタイプ車両(Unimo)を開発し,2026年度中を目途に実証実験を開始する予定である.本稿では,この2つの「リーン制御」技術の開発ストーリーを紹介する.

図1　リーンステア制御を搭載したWAKUMOBI
(glafit社共同開発)

図2　リーンアシスト制御を搭載したUnimo
(Luup社共同開発)

2. リーン制御とは

小型モビリティは全幅が狭く,車幅方向にタイヤを二輪設けても転倒しやすいという課題があり,これを解決する技術が求められる.仮に車幅が1/2となった場合,同じ段差高を片輪のみ乗り越えた際の車体の傾きは2倍となり,車両の安定性は1/4に低下する.「リーン制御」とは,路面の傾き,車速,ハンドル角等の情報に基づき,車体の傾斜角をアクチュエータによって制御することで,二輪車並の幅の狭い車両においても高い姿勢安定性を実現できる技術である.

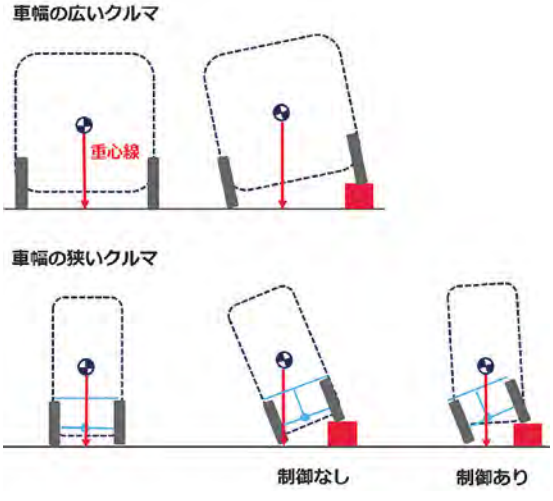


図3　リーン制御の効果

3. 小型モビリティへの挑戦の歴史

「小型モビリティ」が話題となっているのはここ数年の出来事であるが,アイシンが小型モビリティ制御のキーとなる技術を完成するまでには,20年以上の研究の歴史がある.本技術の基となった1人乗りの小型車が初めて形となったのは2004年.アイシンの技術開発に長年携わり,このプロジェクトでも数々の場面でサポートを行った堀口は当時をこう振り返る.「もともとはアイシンの研究所である『株式会社エクォス・リサーチ』で,1985年に生まれた『馬のようなクルマをつくりたい』という構想から企画が始まりました.このプロジェクトでは様々な研究開発が行われたのですが,電気自動車やインホイールモータといった技術も含まれていました.そのとき得た知見や技術を使って未来に1人乗りの乗り物があったらどうなるか?と考え作ったのが1人乗りの小型車『Uni car(ユニカー)』でした.」(堀口)

この小型車は二輪の上にシートを載せた一見すると非常にシンプルなモビリティで,センサを用いた制御技術によりシートを前後に移動させ,乗員をバランサとして機能させることで,転倒を防いでいた.

図4 開発の変遷

3.1 一度お蔵入り寸前までいった技術を,別のメンバーが再研究

その後,1人乗り小型車の商用化を目指して前輪を追加し,トライク(三輪の乗り物)のような形状にした『e-Trike(イートライク)』へと発展させたが,最終的に商用モデルとして販売されるには至らず,小型モビリティのプロジェクトはお蔵入りになるかと思われた.しかし「この技術は面白い」と感じ,さらなる研究を続けたのが水野であった.

「この小型モビリティの転倒抑制技術に興味があり,開発が中断されるのはもったいないと思い,2014年頃に開発車両を譲り受けて研究を進めました.ジョイスティック※で後輪の傾きだけを制御する開発車両へと進化させたのですが,これが想定よりもスムーズに動いて可能性を感じました.」(水野)

※レバーを傾けることで方向操作を行うもの

アイシンには,頭の中や机上の検討にとどまらず,実際に試作を行いながら案や方策を検討する「手で考える」という信条がある.水野の行動は正に「手で考える」を体現していたと言える.他業務と並行した研究ではあったものの,興味のあるものづくりの研究開発に取り組みやすい環境こそが,時代をリードする新技術を生み出してきたアイシンの強みである.

しかし,そんな水野のチャレンジも順風満帆とはいかなかった.可能性を感じた開発車両の商用化を見据えた試験段階で,途端に上手く走行できなくなってしまったのである.「狭いスペースでも駐車できるよう車体の幅を狭めたらロール振動(横揺れ)が止まらなくなってしまったのです.これにはとても悩まされました.」(水野)

そこで,共同研究先の東京大学生産技術研究所教授の須田義大先生(当時:現東京大学名誉教授,東京工科大学教授)の助言を得ながら前輪の二輪化をはじめとする車両構成の見直しを行った.これらの改善によりロール振動の問題は解消され,安定した旋回走行が可能となった.その結果,開発パートナーからも評価を得て,他社メーカーとの共同開発へと発展した.

3.2 新たに加わった制御開発担当は,理想を実現するため東大の博士課程へ

途中,他社メーカーとの共同開発などもあったが,アイシンの考える小型モビリティを実現するため,原点に立ち返って幅の狭いモビリティを独自に研究開発する方針となった.この段階で,安定して走行可能な小型モビリティの実現に向けてキーマンとなったのが,新たにプロジェクトリーダーとなった荒木である.

「2015年からこのプロジェクトに参加したのですが,先に水野が説明したようにロール振動に悩まされていました.そこで以前からアイシンとして共同研究を進めてきた東京大学生産技術研究所教授の須田義大先生に相談しました.」(荒木)

図5 東京大学生産技術研究所教授 須田義大先生
(写真右,現東京大学名誉教授,東京工科大学教授)

ここから明らかになったのは,全幅やホイールベースをはじめとする各種設計数値によって,横方向の傾きであるロール方向の揺れ(横揺れ)とステアリングの揺れが共振する条件が存在し,これがロール振動に影響を及ぼしているという点であった.荒木はロール(横揺れ)とステア(旋回)の共振が生じない設計数値の設定や前

輪機構の見直しを行うことで,ロール振動を回避することを可能とした.その後,荒木は東京大学の博士課程において車両運動制御の研究に専門的に取り組み,リーンステア制御を完成させ,博士号を取得した.

「車両運動制御を究める為,アイシンで会社員を続けながら東京大学の博士課程に進みました.そこで見えてきたのは,幅が狭くて背の高いクルマをどんな車速でも安定して走行させるためには,リーン(車体の傾き)とステア(旋回)の統合制御が必要であることでした.」(荒木)

3.3 「手で考える」を実践し,リーンステア制御技術の最後のピースがはまる

ただし,リーンとステアを統合制御するためには,一般的にはステアリング機構に何かしらの電子制御を付加する必要があり,その結果として製品コストへの影響が大きくなることから,小型モビリティとしての需要が低下してしまう懸念があった.そこで荒木は,アイシンの「手で考える」という考え方を実践し,本課題を解決した.

「リーンステア制御の一部を簡単に説明すると,幅の狭い車両を安定して走行させるためには,リーン(車体の傾き)に対してステアリングが少し逆方向に操作されるのが正解なのです.乗員の操作に対してステアリングを逆方向に操作するには,コンピューターなどの制御が必要と思いますが,機械的な仕掛けで適切に操作することができるのでは?と思いすぐに試してみました.これが思った以上にうまくいきました.」(荒木)

3.4 リーンステア制御を応用した新技術,リーンアシスト制御

こうして完成したリーンステア制御であるが,シェアリングサービスでの利用においては,まだ課題が残されていた.

リーンステア制御は,通常の4輪車両と同様に,行きたい方向にハンドルを操作することで旋回できるという利点がある.一方で,車体が旋回方向に傾斜するため,4輪車と2輪車の両方の特性を併せ持つ乗り物となり,運転に際して一定の慣れが必要となる.シェアリングサービスでは,アプリ等で予約した車両に初めて乗車し単独で目的地まで移動することが想定されるため,従来から存在するシェアリング車両(電動キックボードや電動アシスト自転車)と同様の運転感覚で乗れる運転特性にする必要があった.

そこで,2輪車と同様の運転特性を実現できるよう制御を変更し,新たにリーンアシスト制御として完成させた.本制御技術により,シェアリングサービスを提供している株式会社Luupとの共同開発につながり,Unimoを誕生させることができた.今後,2026年度中を目途に,複数地域にまたがる実証実験を実施予定である.

4. おわりに

実現の可能性が見えてきた「幅が狭くても安定して走行できる小型モビリティ」,その背景には社会的な変化も味方している.特定小型原動機付自転車という新たな車両区分が法改正により設けられ,2023年から施行されている.この新制度は車両サイズが190㎝×60cm以内で電気駆動,かつ時速20㎞以下の車両であれば免許不要で運転することが可能となっている.今後,高齢者の免許返納問題などから,地方を中心に小型モビリティが必要となる社会文化が根付くと捉えている.車幅が60㎝以内という条件は我々が長年研究してきた技術と正に整合しており,続けてきた研究が社会に出るチャンスを迎えたと感じている.高齢者でも安心して乗車することができる本技術が,多くの人の移動の自由や喜びに貢献できると考えている.特定小型原動機付自転車には本技術が必須だと感じてもらえるよう,今後さらにこの新しい価値の社会実装の推進に取り組んでいきたい.

最後に,東京大学生産技術研究所須田研究室(当時),株式会社エクォス・リサーチ(当時),glafit株式会社,株式会社Luupをはじめ多くの方々のご協力によりリーン制御技術の実現に至りました.多大なご尽力を賜りましたすべての関係者の皆様に深く御礼申し上げます.

参考文献

1) Araki,K.,Gwak,J.,Sugimachi,T.,Kubo,N.,& Suda,Y.Control method to improve posture stability of narrow tilting vehicles,International Journal of Intelligent Transportation Systems Research,Vol.20,pp.204-211,(2022)
2) Gwak,J.,Cho,J.,Araki,K.,Sugimachi,T.,Kubo,N.,& Suda,Y. Effects of Tilting Mechanism of Narrow Vehicle on Psychophysiological States of Driver, International Journal of Automotive Engineering,Vol.11,Issue 3,pp.123-128,(2020)
3) Tan,J.T.C.,Arakawa,H.,Suda,Y.,Araki,K.,Mizuno,A.,& Horiguchi,M.A Study on Steering Stability of a Passive Front Wheel on Tilting Narrow Track Vehicle,SEISAN KENKYU,Vol.71,Issue 2,Pages 63-67,(2019)

筆　者

堀口　宗久
IMRA EUROPE S.A.S.
社長

松井　徳仁
第1先行開発部　企画統括室
リーン制御開発に従事

神谷　斉
第1先行開発部　企画統括室
リーン制御開発に従事

水野　晃
第1先行開発部　企画統括室
リーン制御開発に従事

荒木　敬造
第1先行開発部　企画統括室
リーン制御開発プロジェクトリーダー
博士（工学）

トピックス

世界最高の性能を示す固体冷媒開発への挑戦

1. はじめに

現在,発電所で発電される電力の約20%は,空調機器や食品冷蔵設備等の冷却エネルギーとして利用されている.そのほとんどの冷却技術では圧縮・膨張を利用して加熱・冷却を行うガス冷媒が用いられている.これらのガス冷媒には地球温暖化の原因となる物質を含むものも多く環境に悪影響を与えうることが知られている.持続可能な開発目標(SDGs)やグリーントランスフォーメーション(GX)の観点から,代替材料として,熱量効果を示す固体冷媒が注目されており,なかでも私たちは圧力を印加したり開放したりすることで大きな熱量効果を発揮する圧力熱量(バロカロリック)効果材料に着目し,新材料の開発を進めている.本稿では,プルシアンブルー類似体の一種である,ルビジウムシアノ架橋マンガン-鉄-コバルト無機化合物(以下,RbMnFeCoプルシアンブルー)という粉末材料(図1)において,従来の値を超える巨大な可逆的バロカロリック効果を発揮する固体冷媒の開発について報告を行う.

図1　固体冷媒(RbMnFeCoプルシアンブルー)

2. 固体冷媒

2.1　固体冷媒について

ガス冷媒はフロンなどの気体⇔液体の相転移を利用したものが一般的であり,この相転移をするときに熱エネルギーを吸放熱する原理を利用している.一方,固体冷媒は相転移を起こしても常に“固体”の状態を保った冷媒であり,固体内の分子構造の変化により,熱エネルギーの吸収と放出を行うことができる原理となっている.この分子構造の変化は“圧力”や“磁力”といった外力によっても変化させることが可能と分かっており,これを繰り返し制御することで冷媒として機能させることができる.

2.2　アイシンの取り組み

私たちは2017年末から東京大学 大越 慎一教授の研究チームと固体冷媒の共同研究開発を進めてきた.これまでは一般的に固体冷媒の吸収・放出の熱エネルギー量を効率的に発現させる方法が確立されていなかったが,材料組成の見直しや測定方法の改善を重ね,2023年末には圧力印加による断熱冷却及び,断熱加熱の熱量効果が世界最高性能を誇る固体冷媒の開発を共同発表した.

2.3　商材としてのうれしさと課題

RbMnFeCoプルシアンブルーの圧力熱量効果は,算出理論値で560 MPaにおいて85 K,340 MPaで74 Kという可逆的変化をする.一度で得られる温度変化量が大きく,常温域に近い温度での効果が見込めることから,実用化できれば高効率な固体冷媒としてエアコンや冷凍機といった民生品にも広く普及できる可能性がある.また,PFAS規制等によるガス冷媒からの置き換えが,環境課題(温暖化・オゾン層破壊など)の解決手段としても期待されている.理論的には大きな熱量効果が得られる分子構造だが,実用化には大きなハードルがある.この分子構造は粉末状の固体粒子で,製品や試験サンプルとして扱うには圧縮成形する必要がある.開発当初は成型後に加圧による放熱測定を実施すると,理論値から熱量効果が大きく劣る結果だが,改良を進めた現在では加圧による放熱温度が44 Kと大きく上昇(図2)し,他の固体冷媒材料による世界記録であった18 Kを大幅に更新して,史上最高の性能を安定的に発現することに成功し,実用化に向けて大きな一歩を踏み出した.

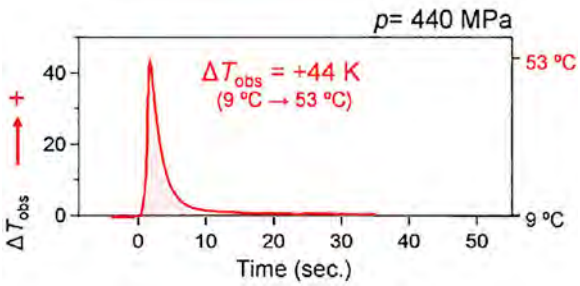


図2　固体冷媒において世界トップの放熱温度を観測
[Adapted with permission from Nature Communications, 14, 8466 (2023) ©2023 Springer Nature]

3.　RbMnFeCoプルシアンブルーの開発～評価

3.1　分子構造

RbMnFeCoプルシアンブルーは,シアノ基(–C≡N–)のN原子がMnイオンに,C原子がFe(またはCo)イオンに配位した三次元ネットワークを構築し,Rbイオンはその隙間に位置した構造となっている(図3).RbMnFeCoプルシアンブルーの温度依存性を調べると,冷却過程と加熱過程で相転移が起こる温度が異なる現象が観測できる.この時の温度差を,温度ヒステリシスと呼ぶ(図4).モル磁化率と温度の積(χMT,スピン数に比例)は冷却すると192 Kで急激に減少し,加熱すると248 Kで元の値に戻る.これは,温度変化によって,Mn(II)–NC–Fe(III)相(高温相)とMn(III)–NC–Fe(II)相(低温相)の間で電子の移動により起こる電荷移動相転移に由来している.

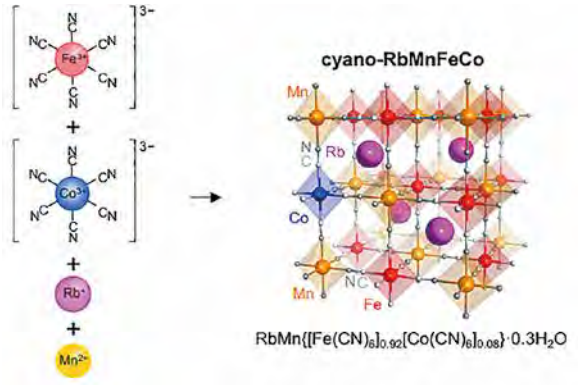


図3　RbMnFeCoプルシアンブルーの分子構造
[Adapted with permission from Nature Communications, 14, 8466 (2023) ©2023 Springer Nature]

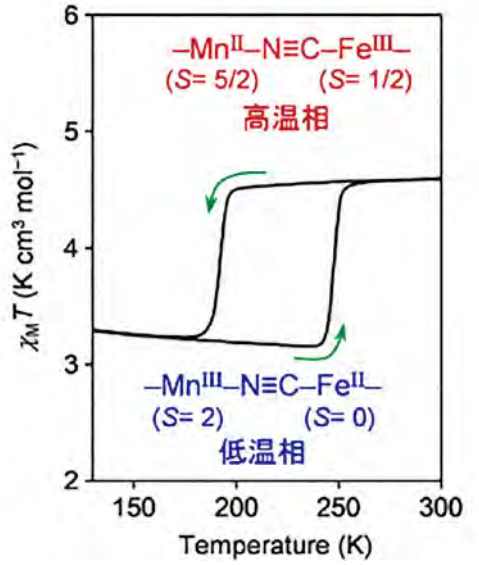


図4　RbMnFeCoプルシアンブルーの温度ヒステリシス
[Adapted with permission from Nature Communications, 14, 8466 (2023) ©2023 Springer Nature]

示差走査型熱量計(DSC)を用いて,電荷移動相転移に伴う相転移エントロピーを実験的に評価した.

冷却過程では 196 Kにおいて発熱ピークが,加熱過程では251 Kにおいて吸熱ピークが観測できる(図5).

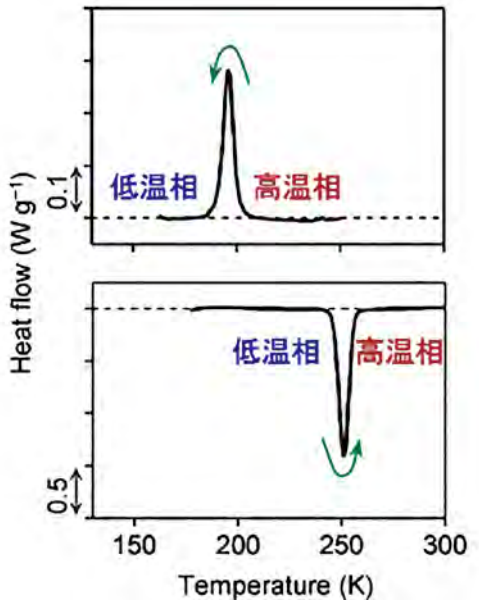


図5　RbMnFeCoプルシアンブルーの吸放熱ピーク
[Adapted with permission from Nature Communications, 14, 8466 (2023) ©2023 Springer Nature]

3.2　温度ヒステリシスの圧力依存性

電荷移動相転移に対する圧力効果を超伝導量子干渉計(SQUID)による磁化測定にて調べたところ,圧力によって温度ヒステリシスが大きく変化することが分かる(図6).

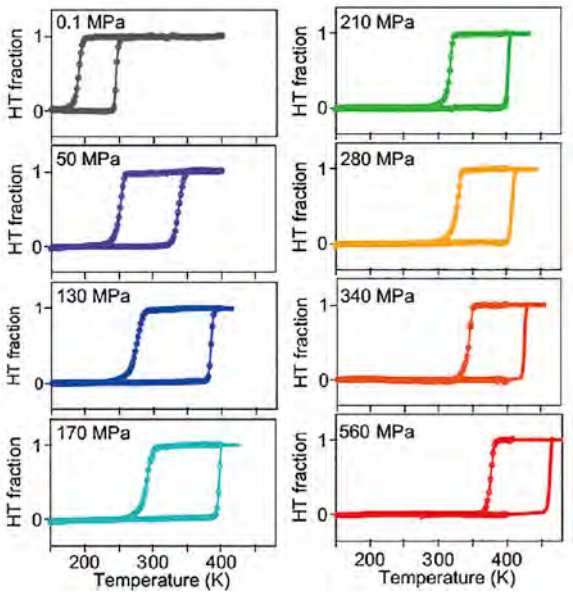


図6　温度ヒステリシスの圧力依存性
[Adapted with permission from Nature Communications, 14, 8466 (2023) ©2023 Springer Nature]

圧力に対する転移温度の変化量(dT/dp)を調べると,90 MPa以下で線形フィットしたdT/dp値は,1100 K GPa^{-1}と非常に大きな値を示した(図7).この値は,他のバロカロリック効果材料の値を大きく上回っており,圧力に高感度に反応して吸放熱を行うことができる可能性を示唆している.

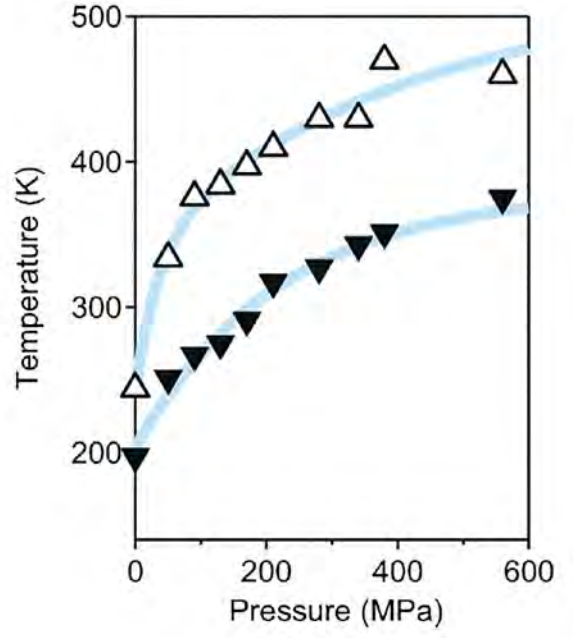


図7　圧力に対する転移温度の変化量(dT/dp)
[Adapted with permission from Nature Communications, 14, 8466 (2023) ©2023 Springer Nature]

3.3　圧力印加による温度変化の直接測定

圧力の印加および解放に伴う温度変化(ΔT_{obs})を実際に測定するため,熱電対を用いた自作評価装置(非断熱系)を構築した(図8).このシステムでは,有機バインダーと混合した粉末試料を圧力セルに充填し,恒温槽内に設置し,油圧ポンプにより一軸圧力を印加する.セル内部には熱電対を取り付け,試料の中心温度を測定した.図9に雰囲気温度9℃(282 K)で操作した結果を示す.圧力印加(440 MPa)により温度は上昇し,ΔT_{obs} = +44K(9℃ → 53℃)を観測,その後,圧力解放により温度は低下し,ΔT_{obs} = −31 K(9℃ → −22℃)を観測した.

吸放熱1サイクルでの温度変化量は75 K(= +44 K + |−31 K|)となりこれまでの材料にない顕著な温度変化を記録した.

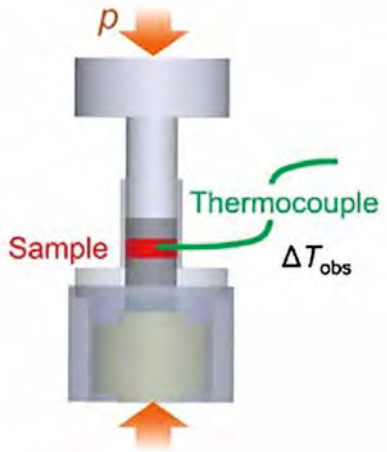


図8　温度変化の実測に用いた自作装置
[Adapted with permission from Nature Communications, 14, 8466 (2023) ©2023 Springer Nature]

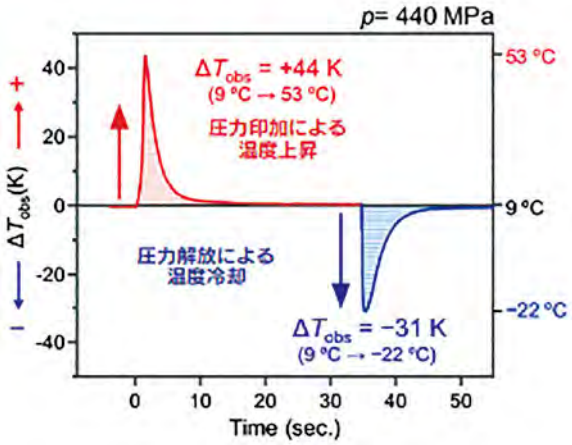


図9　RbMnFeCoプルシアンブルーの実測温度変化
[Adapted with permission from Nature Communications, 14, 8466 (2023) ©2023 Springer Nature]

固体冷媒におけるもう一つの重要な要素として,圧力の印加および解放に対するサイクル耐久性がある.

評価装置を用いて100サイクル以上の繰り返し圧力印加試験を行い耐久性の確認を行った.結果,圧力解放時の平均温度変化は,最初の3サイクルで −30.5 ± 0.2 K ,最後の7サイクル(97～103サイクル)で−30.9 ± 0.2 K となり,ほとんど変化していないことか

ら,100回の圧力印加・解放サイクルでは性能に影響を与えないことが確認できた(図10).RbMnFeCoプルシアンブルーが相転移による構造変化で分解・破損しにくい理由の一つとして,シアノ基が金属イオンを三次元的に連結していることが要因と考えられる.

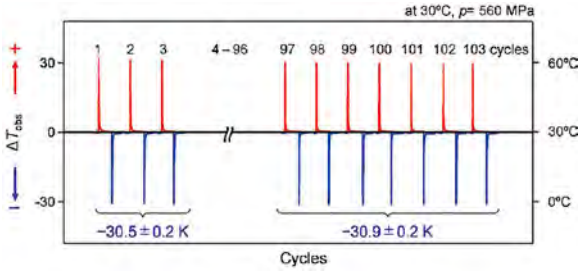


図10　圧力印加による103サイクル耐久性評価
[Adapted with permission from Nature Communications, 14, 8466 (2023) ©2023 Springer Nature]

4. おわりに

2017年,先行技術探索活動として参加した展示会にて,東京大学 大越教授の発表内容に注目し議論させて頂いたところが本開発の始まりである.当初,BEVの効率アップアイテムとして検討を進めていたが,当時の材料スペックではシステム重量がボトルネックとなり,商品化するにはとても厳しい状況であった.その同時期に,材料合成の過程で材料自体の相転移温度を変化させられることを発見し,室温以下での相転移が可能となったことで,冷媒用途での検討へピボットした.開発当初は温度変化の理論値に対して,実測値の温度変化が12 Kとかなり小さかったが,効率改善のためにFTAを駆使してひとつずつ要因を深掘りし,大越教授の研究チームと連携して,潰し込みの実験を繰り返し行ってきたことが,今回の報告へと繋がった.2023年12月の東京大学殿との共同プレスリリースでは山本CTSO自らプレス対応頂き,長年の基礎研究成果がようやく社会に貢献できる可能性が見えた喜びを強く感じた.実際に世の中のお客様へ喜びを提供し,社会課題を解決するため,まだまだ歩みを続けていく.本格的な実用化に向けた実証システムの作製に取り掛かっている.

参考文献
1) Shin-ichi Ohkoshi, et al. Giant adiabatic temperature change and its direct measurement of a barocaloric effect in a charge-transfer solid. Nature Communications volume 14, Article number: 8466 (2023)

筆　者

沖本　友子
材料技術部 先行材料開発室
次世代向け先行材料開発に従事

元土肥　計彦
材料技術部 先行材料開発室
次世代向け先行材料開発に従事

籾木　崇
材料技術部 先行材料開発室
次世代向け先行材料開発に従事

トピックス

振子式加速度低減システムを活用したペット向け価値探索活動について

1. はじめに

第1先行開発部では,2035年頃までの市場実装を目標に技術テーマの活用による価値探索活動を推進してきた.今回,このトピックで紹介する振子式加速度低減システム(以降PARS:Pendulum Acceleration Reduction System)技術も,さまざまな価値探索を推進してきた技術テーマである.技術支援による顧客課題の直接的な解決を目指し,現場の視察や検証を通し,提供すべきソリューションの要件定義を様々な顧客に対し試みてきた.

「丁寧に運ぶ」という機能要件が,われわれの技術で提供しうる最大の提供価値ととらえて,2020年頃から物流を中心に,また近年ではさらに幅広い関連市場を対象にしたPoC(Proof of Concept)検証を実施してきた.今回は価値探索活動の中から,ペット向けの企画活動で得られた興味深い効果について紹介する.

2. 振子式加速度低減システム(PARS)について

2.1 PARS技術の開発経緯と技術概要について

まず基本の提案手段となるPARS技術(図1)の開発経緯と技術概要について説明する.2018年頃から自動車の領域は「100年に一度の大変革期」といわれる時代に突入し,MaaS(Mobility as a Service)という新たな概念のもと,乗用車の価値は「所有」から「共有」へと変化し,特に自動運転の環境では,移動中の車室内で行われる食事やその他の様々な作業支援,もしくは要介助者への移動支援などの付加価値が求められる時代になってきた.

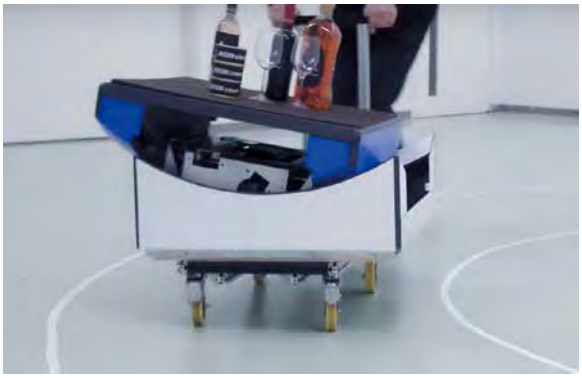


図1 振子式加速度低減システム(PARS)

われわれも当時から,移動中の車室内での「快適な空間の実現」をあるべき姿と考え,将来求められる新たな価値に着目してきた.しかし実際は,走行中の加減速や旋回による水平方向の加速度変化(=揺れ)の影響により,車室内の乗員に対する作業の困難さや不快感を与える要因となり,MaaSに求められる世界観を実現するためにはこれら揺れの影響を低減しなければサービス品質が向上しないことが判っている.

これらの課題を解決する手段として2019年に自動車技術会の秋季大会で提案[1]したのがPARS技術の基本構造である.ここでの詳細な説明は割愛するが,発生した揺れに応じて構造体(車室)が振子のように受動的に傾き,さらにモータ制御を連動させて揺れ発生時の傾斜角度の補正や「揺り戻し」を抑えることで,移動する車室内の揺れを低減できる画期的な技術である.それでも,安全面が重視される自動車の車室空間に採用するのは容易ではなく,適用先や効果の体感など継続的な周知活動によりその活用領域を拡大しようとしている.

2.2 様々な適用事例からようやく見出した価値

「丁寧かつ早く運ぶ」ことが顧客課題に直結する領域として,これまで物流を中心に価値探索を進めてきた.しかしながら物流には「送料無料」という言葉が当たり前の感覚が定着し「ものを運ぶ」こと自体は一般消費者にとっては価値が低い.物流事業者にとっても「早く,安く運べること」は機能的な価値でしかなく「丁寧に運ぶ」ことが大きな価値につながる場面はほとんど見つけられなかった.そこで,感情的な価値に訴求できる場面に焦点

を当て,輸送が「不安の軽減」に寄与するような可能性について検討した.具体的な対象としてペット,特に犬に着目した.

現在,日本における犬のペット市場は,約8割が小型犬であるが,その内の1～3割程度の個体は長時間の車移動が苦手と言われている.人間と同様に体質には個体差が大きく,犬種や年齢などで一概に層別できない.移動が得意な個体であれば,飼い主は車で日常的に大きな不安もなく外出することができるが,苦手な個体となると,たとえ近場であっても一緒に連れて行けない場合や,動物病院でのワクチン接種や定期健診など短距離の必須移動でもひどく酔ってしまう場合もある.こうした個体を愛犬として一緒に暮らしている飼い主とその家族にとっては,お出かけが相互につらい思い出になってしまうため,日常的にお出かけすることを諦めてしまう場合も少なくない.

以上のような背景において,こうした「移動が苦手な」個体であっても,日常的に飼い主と愛犬がお出かけできる日常を実現するために,われわれの技術手段がこれらの個体にどのような影響を与えるかを把握するため,次項に示す予備試験を計画した.

2.3　予備試験について

予備試験では図1の装置を車両に設置し,その上にクレートと呼ばれる収容器を載せてしっかり固定した.加減速や旋回の時に発生する揺れを計測できる加速度センサを設置して走行中の被験体の様子と合わせてデータを取得した(図2).なお今回の予備試験は,国土交通省が定める保安基準に適合した車両を使用し,車両改造にあたる行為は行わず,走行条件についても道路交通法が定める走行範囲で適切に実施した.

図2　予備試験時の車室内の状況

この試験では,片道93.9km(走行時間約2時間半)に対して「加速度軽減制御あり(以降,PARS制御ありとよぶ)」と「加速度軽減制御なし(以降,PARS制御なしとよぶ)」の2回に分けて往復移動を実施した.定性的な結果ではあるが,PARS制御ありでは山道の連続カーブでもゆったりとリラックスした様子で,移動先でも元気な様子で走り回ることができたのに対し,PARS制御なしでは,移動中に落ち着かず頻繁に向きを変えたり「ハァ,ハァ」という小刻みな呼吸や,クンクンとつらそうに鳴く様子が観察されたりした.日常の移動の様子を知る飼い主の視点からみても,被験体の挙動にもこれらの行動変化の差が確認できたようであった.そこでわれわれはより詳細に専門的,かつ定量的な情報から被験体に対する効果を把握するため,動物行動学専門の獣医師を帯同した走行試験(以下,本試験とよぶ)を計画し,複数の被験体に対して同様の試験条件での比較実験を実施した.

3.　本試験実施に向けた新たな課題について

本試験を実施するにあたり「移動が苦手」な被験体を集めること,個体差がある中で複数の被験体に対して効果が比較・実証できるような負荷強度をもった走行試験を計画すること,社内で人間以外の被験体を取り扱うことなど,多くの課題を解決する必要があった.これらについて,代表的なものを以下に紹介する.

①移動が苦手な被験体を集めた動物実験の実施

本試験では,通常の人に対する開発品評価と異なり犬という言葉でのフィードバックが得られない被験体に対して比較検証を行う必要がある.この対処として,動物行動学専門の獣医師との人脈を構築し,予備実験で観察されたような定性的な行動の分析と,ストレス状態と密接に関係していることが学術的に認められている心拍数の定量的な情報を取得し,総合的に被験体のストレス状態を推定・把握できる環境を構築した.

次に課題となったのが,車での移動が苦手な少数派にあたる被験体を集約することであった.この課題に対し今回は2つの手段を選択した.1つは,酔い止めを処方されるような個体の飼い主に対する動物病院の獣医師からの依頼,もう1つは社内イントラを活用した当社従業員への依頼である.結果として,すべての個体が「移動が苦手」な体質で統一することはできなかったが,効果を検証するには十分な合計11体のサンプルを得ることができた.日本のペット市場で7割を占めるトイプードルなどの小型犬を中心に,柴犬やイタリアングレーハウンドなどの中型犬が被験体となった.

同様に配慮が必要になったのは飼い主への同意であった.一般に,論文などに動物実験結果を論証する大学などの研究機関では,組織内に動物実験委員会を設立し,試験条件や評価内容の有効性の検証に加えて,被験体の倫理的な取扱いについても厳しく議論される.理想的には予備試験も本試験も,同様に動物実験委員会を設置して対処するのが望ましいが,まずは客観性や学

術的な立証よりも効果の確認を主目的とし,短期的な日程で帯同した獣医師に効果を認めてもらうことを目標とした.「被験体の倫理的な取扱い」の対応については,試験中は飼い主が被験体の状態を常に把握できる環境を提供し,被験体の保護を最優先事項とした.いつでも試験が中断できることを試験の詳細とともに事前に飼い主に説明して同意書を残し,さらに本試験に関しては,すべての試験を獣医師立会の下で実施することで,被験体に過度な負担を与えないように十分な配慮をおこなうことで倫理性を確保した.

②効果を立証するための同一の試験条件の設定

本試験において,効果を立証するデータを収集するには「移動が得意/苦手」が混在する被験体が「PARS制御あり/なし」によって有意な差によって層別できる必要があるが,これまで予備試験で一般道を道なりに走行したサンプルしかなく「この走行条件なら結果が得られる」という確証がない手探りの状況で走行条件を設定しなければならなかった.さらに今回は,本社技術センター内の試走路で走行試験を行う必要があった.藤岡試験場の設備を利用すれば,より自由度の高い走行条件が設定できるが,山の中のロケーションのために,試験場までの移動で体調変化が発生する可能性が考えられたためである.以上より,試走路に図3に示すようなシンプルな周回レイアウトを構成し,アクセル/ブレーキや旋回時の最大加速度を変数パラメータとして表1に示すような走行条件を設定した.具体的な加速度条件は,比較的「移動耐性」をもつ被験体に対する確認試験を実施し,被験体が定性的なストレス反応(落ち着きがなくなる,鼻をならすなど)を示し始める加減速を「最大負荷」条件として設定することにした.また,試験開始時の慣れない試験環境により生じるストレスを緩和させるため,最初の数周を「慣熟走行」条件として設定し,それらの条件の中間にあたる負荷強度を「中強度負荷」条件として設定した.

図3　試走路における周回レイアウト

表1　本試験の負荷条件(PARS制御あり/なし)

負荷条件		最大加速度	最大周回
Step 1	低強度(慣熟)走行	~0.10G以下	2周
Step 2	中強度負荷走行	~0.15G	6周
Step 3	高強度負荷走行	~0.25G	12周

4.　本試験について

4.1　実施日程と参加した被験体について

2025年2~3月にかけて,移動耐性に差がある合計11体の被験体に対して本試験を実施した.被験体の過去の体験や記憶が試験結果に影響することを抑えるため,試験順序は被験体に対する負担が少なくなると考える『PARS制御あり』の試験を先に行い,2週間以上あけてから『PARS制御なし』の試験を行った.また,各試験とも負荷条件はより軽いものから実施した.

4.2　取得データについて

本試験では,負荷条件ごとの実際の前後/旋回の加減速,周回ごとの被験体の定性的なストレス反応,および定量的な心拍数の計測を行った.加減速については,車両自体に発生するものと被験体が体感する軽減されたものとの差が比較できるよう,加速度センサを荷室床面と被験体が収容される装置天板上の2か所に設置して計測した.また被験体のストレス反応については,試験中の被験体の様子を動画で撮影し,獣医師による行動分析作業により詳細解析区間を特定し,そこでの加減速と心拍数の取得からストレススコアの変化から分析を行った.ストレススコアについては後述する.

4.3　得られた結果について

本試験で得られた結果の前に,試験装置による加減速の低減効果について簡単に説明する.図4(a)にPARS制御なしの場合,図4(b)にPARS制御ありの場合の旋回加減速の様子を示す.(a)と比較して(b)は装置上面が傾くことによって旋回加減速を打消すような力がかかるため,装置上面の被験体にかかる力を軽減することができる.

(a)PARS制御なし　(b)PARS制御あり
図4　旋回時に個体にかかる力の差

図5には，本試験の走行条件(表1)ごと最大加速度に対するねらい値との比較を示す.最も厳しい高強度負荷の走行条件の最大加減速に対しては約52%の低減をすることが見込まれる.これらの差によって被験体にどのような変化が見られたかを評価するため,各サンプルデータの解析と比較を実施した.次項ではこれらの結果について示す.

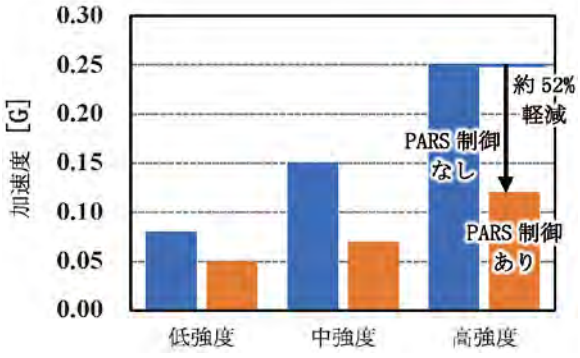


図5　旋回時にペットにかかる力の差(ねらい値)

なお11の被験体に対し,2体の被験体については今回の検証データから除外している.その理由は,1体については飼い主から離れた試験環境において試験開始直後から分離不安症を発症し,高い心拍数とストレス状態が継続したため獣医師の判断で中断し計測できなかった事例であり,もう1体については極度に移動が苦手な被験体のため試走路まで移動して頂くことも難しい状況だったため,飼い主様のご自宅付近の市街地コースを特設して計測を実施したためである.

こうして得られた9被験体のサンプルを用いて,以下の2点について比較検証を行った.1点目は,クレート内の被験体が座った状態(座位)と伏せた状態(伏臥位)とを変化させる『ポジションチェンジの回数』であり,2点目は,被験体の心拍数と密接な関係を示す『ストレススコア』である.

図6にポジションチェンジの回数を示す.図中,横軸のA～Iは9体の被験体を示す.各被験体に対し,左側にPARS制御ありの場合,右側に制御なしの場合の回数の総数をそれぞれ示す.被験体DとH以外のサンプルについては,個体差があるものの,PARS制御なしの場合よりもポジションチェンジの回数が増加する傾向であることが判った.

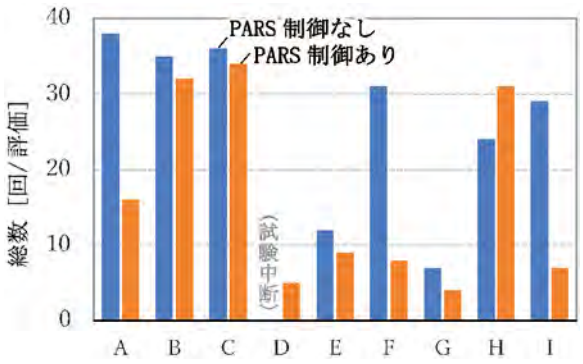


図6　ポジションチェンジ(座位と伏臥位)の総数比較

また,被験体Dについては,試験途中でドクターストップにより棄権して記録が残らなかったサンプルである.つまり,揺れ低減制御を行わなかったときは棄権し,制御を行った場合は完走ができた事例となった.また,唯一回数の大小が逆転した被験体Hに関しては,試験のようすを撮影した動画を確認したところ,クレートの壁にもたれて伏せたことで体が揺さぶられるような状況が発生しなかったことにより,ポジションチェンジの回数が少なくなったと考える.以上のことから,今回有効なサンプルの比較結果としては,クレート内で体勢が安定しない被験体はポジションチェンジの回数が多くなる傾向であり,揺れ低減制御を行わない場合よりも制御を行った場合の方がその総回数は減る傾向にあることが明らかとなった.

図7にストレススコアを示す.ストレススコアは参考文献[2)]に示される通り,心拍数と密接に関係していることが知られている.心拍数(HR:Heart Rate)に加えて,心拍間隔(R-R間隔)のゆらぎの程度を表す心拍変動(HRV:Heart Rate Variability)は,輸送による急性ストレスの反応と一致しており,交感神経と副交感神経のどちらが活性しているかを見ることによってストレス値として把握することができる.心拍数とストレススコアは,非侵襲でリアルタイムに計測できる汎用装置を用いて計測した.

ストレススコアは,PARS制御あり/なしともに,各被験体に対し負荷強度を変化させて計測を実施しているが,負荷強度ごとの全体傾向を把握するため,それぞれの条件における全被験体の平均値として比較した.またPARS制御あり/なしは各被験体で2週間以上の間隔をあけて実施したが,過去の試験の記憶により2回目に実施したPARS制御なしのストレススコアの方が低くなる傾向がみられた.このため,どちらの水準も同等のストレス状態となる『試験前』の平均ストレススコア値を100とした補正値で示している.

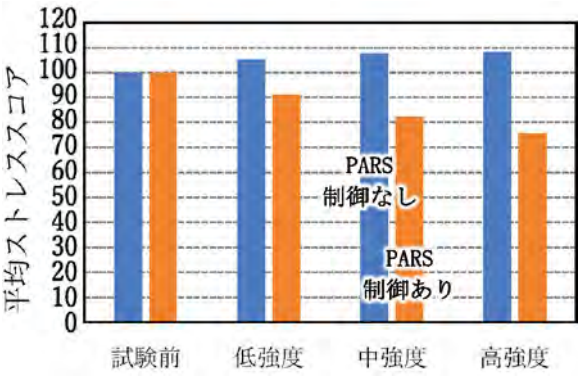


図7　走行前と各負荷強度の平均ストレススコア

PARS制御なしの場合,平均ストレススコアは負荷強度が上がるにつれて少しずつ増大していくのと対照的に,PARS制御ありの場合,負荷強度が上がるにつれて減少していく傾向があることが明らかとなった.この傾向についての獣医師の見解は以下の通りで,「PARS制御なし」の時は,負荷強度が上がるにつれて被験体の環境が自身でコントロールできない不安定な環境になっていったことでストレスが増大する結果につながったのに対し,「PARS制御あり」の時は,被験体が許容できる範囲の負荷強度に収まったことにより,自分を落ち着かせられる空間として認識し,リラックスできる状態を与えた結果であると推察された.

今回の結果を学術的に論証するためには,学会などでの客観的な検証結果が必要との認識であるが,自社の簡便な検証実験として,PARS制御装置が被験体にストレスの少ない落ち着いた移動空間を提供することが結論づけられたと考えている.

5.　おわりに

これらの結果を通じて2025年6月のインターペット大阪に出展し,愛犬を優しく運ぶだけでなく,飼い主と愛犬が日常的に一緒に過ごせる『生活の質(QOL)の向上』という提供価値を多くの飼い主に向けて提案することができた.肯定的なご意見や次の開発ステップにつながる人脈を築くことにつながり,近い将来の商品化に向けた意欲が非常に高まった.

今回の活動では,初めて挑戦する様々な取組みがあったが,特に大きな経験となったのは社内公募による被験体募集であった.社内のポータルに投稿して間もなくアンケートに続々と回答があり,募集開始から1日という短期間で移動が苦手な被験体を予定数集めることができた.多様性に富んだ会社の仲間と社内イントラのよい活用事例として実感することができた.

最後に本試験において被験体を提供いただいた社内外の飼い主の方に深く感謝する.また,本活動の計画,評価,分析,さらに展示会でのPR活動に至るまでに幅広い知見と協力を賜った株式会社モンパニエの茂木獣医師ならびに橋爪氏に謝意を表する.

参考文献
1) 信時 正嗣(自動車技術会):秋季大会(2019)
2) Søren Saxmose Nielsen, et al.(efsa JOURNAL):Welfare of equidae during transport, 20(9):7444(2022)

筆　者

三嶋　啓介
第1先行開発部 新事業企画1G
PARS事業企画・検証活動に従事

信時　正嗣
第1先行開発部 新事業企画1G
PARSプロジェクトリーダー
PARS要素技術開発に従事

髙柳　渉
第1先行開発部 新事業企画1G
PARS制御技術開発,UX開発に従事

石田　直也
第1先行開発部 新事業企画1G
PARSエレキ要素技術開発に従事

“人を育て技術を磨く”全日本ラリー参戦を通じた技術開発

1. はじめに

アイシンは,2018年より国内最高峰のラリー競技である「全日本ラリー選手権」に参戦している.

自社製CVT(無段変速機)を搭載した2ペダル車両での参戦は自動変速機の新たな挑戦であり,「人を育て,技術を磨く」をテーマに活動を続けてきた.

チームは4名の専任メンバーを中心に,設計・制御部門と連携し,ラリー競技を通じて製品の性能を鍛え,市販車へのフィードバックにつなげる取り組みを展開している.

2. 全日本ラリー選手権について

全日本ラリー選手権は年間8～10戦が全国各地で開催され,モータースポーツを通じた地域振興や町おこしに寄与しており,また,車両メーカーが参戦し,市販車開発へのフィードバックを目的とした車両鍛錬の場でもある.

車両クラスは排気量や駆動方式により分類され,自社CVT搭載車両はJN-5クラスに参戦している.アイシンは,愛知県長久手市に拠点を置く株式会社ラックとともに,「AISIN RALLY TEAM with LUCK」(以下アイシンチーム)として活動している.

図1　サービスパーク

図2　サービス風景

3. ラリー車両について

3.1 レギュレーション

全日本ラリー参戦車両は,車両規則に基づき安全装備,タイヤサイズ,ブレーキシステムなどが厳格に管理され,性能差が出ないように規定されており,その中で我々もより速く走るための製品開発をおこなっている.例えば,ラリー走行ではCVTオイル温度が上昇するため,冷却性能向上を目的にオイルクーラを追加するが,車両前面開口部の拡大は市販車状態を超えて許可されないため,限られた条件下で性能向上を図る必要がある.

3.2 車両の作りこみ

車両を自社で一から製作し,安全装備やラリー専用機材を搭載,操作性向上の工夫を施し,過酷なラリーを走り切るタフな車両を作り込んでおり,CVTも数々の技術課題を克服し,ラリーで勝てる性能へと進化させてきた.

図3　車両制作

図4　スペシャルステージ走行

さらに,ラリー競技ではクラッシュが避けられないため,安全装備としてロールバーやペダル取り付け部,サスペンション取り付け部の強化を行い,外観は市販車と同様でも内部は過酷な条件に耐える補強を施している.アイシンチームも過去に大きなクラッシュを経験したが,安全装備により乗員は無傷であった.車両は図5,図6に示すように通常なら廃車となる損傷を受けたが,致命的な破損はなく,わずか1か月で次戦に参戦できる状態まで復元させた.この様な厳しい状況下を克服することで,ラリーは「人を育てる」活動にもつながっている.

図5　コースアウト

図6　車両復元

3.3　勝つためのCVTの作りこみ

本報では,ラリー競技車両においてCVT(無段変速機)に適用した技術の一部を紹介する.ラリーでは「いかに壊れずに速く走り切るか」が最重要課題であり,車両の軽量化および高効率化が性能向上の鍵となる.一方で,量産車で重視されるNV(騒音・振動)や乗り心地といった要素は競技用途では優先度が低く,その分設計自由度が広がる.

また,量産化に伴うコストや法規制などの制約が少ないため,技術的なチャレンジが可能であり,従来の枠にとらわれない開発が行える環境が整っている.開発においては,設計や評価といった担当領域に縛られることなく,チーム全体で意見やアイデアを積極的に出し合い,課題解決と性能向上に向けた改善を推進した.

このような開発姿勢は,CVT技術の新たな可能性を切り拓くとともに,量産技術へのフィードバックにもつながっており,今後の技術展開においても重要な取り組みである.

3.3.1　エンジン最大出力維持変速制御

量産車では,乗り心地および燃費性能を重視し,アクセル開度に応じてエンジン回転数を制御する方式が一般的に採用されている.一方ラリー競技では,エンジン出力を最大限に活用することが要求されるため,アクセル開度に依存せず,常に最大出力が得られるエンジン回転数を維持する必要がある.

さらに,ラリー競技では急加速・急減速が頻繁に発生するため,アクセルオフ状態から再加速する際のレスポンスも重要となる.これらの要求に対応するため,エンジン回転数を一定に保持する変速線設定と安定して回転数を維持するためのベルト変速機構に対する油圧補正制御を開発した.

この制御により,どの車速においても最高出力点のエンジン回転数を維持したまま走行することが可能となり,走行性能は大幅に改善された.

このような走行は,有段変速機であるMT(マニュアルトランスミッション)やAT(オートマチックトランスミッション)においても同様な走行は可能ではあるが,CVTは無段階で変速比を連続的に変更できるため,エンジン回転数をより精密に制御して走行することが可能である(図7).

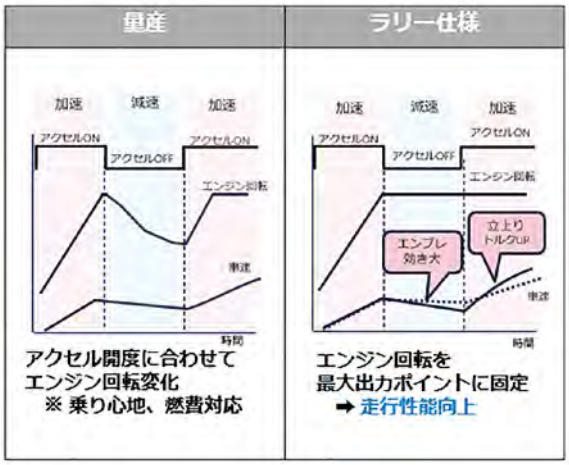


図7　概要 エンジン最大出力変速制御

3.3.2　ベルト挟圧リアルタイム補正制御

ラリー競技では,荒れた路面やジャンプ着地時におけるタイヤの空転や衝撃により,大きなトルクが発生する場面が多く,CVTではベルトの滑りが懸念される.量産車では,このような路面状況を検知すると,ベルト保護のために一定時間油圧を上昇させる制御が採用されている.しかし,ラリー競技においては高効率化が求められるため,油圧上昇による効率低下や損失を最小限に抑える必要がある.この要求に対応するため,必要なタイミングで必要な量のみ油圧を上昇させるリアルタイム補正制御を新たに開発した.本制御では空転を検知すると瞬時に油圧を昇圧し,ベルトの滑りを防止することで,耐久性を確保しつつ損失を最小限に抑えることが可能となった.

ラリーという厳しい環境で開発した本技術は,量産車へのフィードバックに繋げ更なる品質向上に貢献できた(図8).

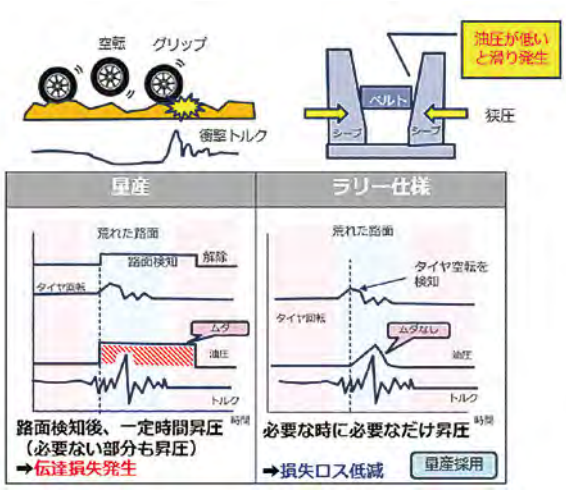


図8　概要　ベルト挟圧リアルタイム補正制御

3.3.3　CVTベルト伝達効率向上

量産車におけるCVTベルトは,ノイズ低減を目的として複数種類のエレメントを組み合わせることで,噛み込み周期の分散を図り,振動・騒音特性の最適化を実現している.一方,ラリー競技車両では伝達効率を最優先とするため,ベルトの内部滑り損失を最小限にする影響寸法の最良品を製造分布から選定し,その単一種類のエレメントでベルトを構成している.さらに,エンドプレーと呼ばれる回転方向のガタを極限まで低減するため,熟練技術者による手組付けを実施している(図9).

図9　概要　エレメント仕様

4.　参戦結果

GRヤリスRS(CVT搭載車両)での参戦4年間において,最高成績は2023年シーズンJN-5クラス2位,2024年シーズンJN-5クラス2位であった.惜しくも年間優勝には届かなかったが,全日本ラリーという大舞台においてCVTが高い戦闘力を発揮し,クラス上位に入ることが可能であることを証明した.

2025年シーズンより車両をGRヤリスDATへ変更し,ダイレクトATの速さを証明すべく,現在も全日本ラリーへの参戦を継続している.

5. おわりに

ラリーは「車を鍛える競技」と言われるが,同時に人を育てる場でもある.チームに関わるメンバーがそれぞれの役割を認識し,互いに助け合いながら進むことで成長が促される.あるドライバーは次のように語った.「大会結果はドライバーとコ・ドライバーが注目されるが,ラリーはチーム全員で結果を出すスポーツである.運営,技術,サービスメカニック,すべての人が役割を果たし,その積み重ねが順位として表れる.決してドライバーだけの成果ではなく,チーム全員の努力の結果である」.

この活動には多くの人が関わり,すべてが真剣勝負である.その経験を通じて得られる学びは非常に大きい.本稿を読んで少しでも興味を持たれた方は,ぜひ気軽に連絡いただきたい.

最後に,本活動を継続できたのは,多くのスポンサー企業様,職場のサポート,そして家族の理解があってのことである.この場を借りて深く感謝申し上げます.

筆　者

平井　政希
信頼性評価部評価統括室
アイシンラリーチーム
ゼネラルマネージャー
モータースポーツ開発に従事

松嶋　光明
信頼性評価部評価統括室
モータースポーツ開発に従事

森　敦之
信頼性評価部評価統括室
モータースポーツ開発に従事

成瀬　健太郎
T/M技術部 第1設計室
ハード開発に従事

浅井　一晴
T/M技術部 第2設計室
制御開発に従事

野田　祐利
T/M技術部 第2設計室
制御開発に従事

可搬型FC発電機「H_2 LIFE GEAR」の開発 ～水素発電をもっと身近に，ストレスフリーな暮らしへ～

1. はじめに

現在，カーボンニュートラル社会の実現が地球規模の課題となっており，解決策の1つである水素活用について30年以上前からアイシンにおいても，水素を燃料に発電する燃料電池の開発に取り組んできた．

トヨタ自動車の燃料電池車「MIRAI」や家庭用燃料電池「エネファーム」などの登場により，今では燃料電池は身近な存在となっている．

図1　燃料電池車「MIRAI」，家庭用燃料電池

2. アイシンのこれまでのFC（※1）開発の取り組み

アイシンでは1991年に自動車用燃料電池の研究開発をスタートした．開発当初は研究者3人，場所は2畳半のガレージを実験室替わりに設備や開発費用もままならない中，燃料電池をほとんどゼロから学び，電解質（固体高分子膜）や水素の供給装置である改質器の開発に心血を注いだ．

燃料電池スタックや燃料改質器など主要部品の開発を続け，藤岡試験場（愛知県豊田市）に新実験棟を建設し，1998年には悲願のメタノール改質式燃料電池自動車を自社開発し，テスト走行を実施するまでに開発を進めた．

1999年頃から，トヨタグループを挙げての燃料電池開発が本格化し，2002年トヨタ自動車から限定販売されたFCEV（※2）にはアイシンで開発した水素と空気の給排気系統用の制御バルブや加湿器等，多くの補機部品も搭載された．

※1：「Fuel Cell」（燃料電池）の略

※2：「Fuel Cell Electric Vehicle」（燃料電池自動車）の略

その後，市販された量産FCEVに於いて，アイシンは初代MIRAIから主要部品を，さらに第2世代MIRAIでは重要部品である「気液分離器」と「FCスタックケース」の供給を行っている．

気液分離器は，水素と酸素の化学反応で生成される水粒子を水素循環ガスから分離し，回収する役割を担っており，分離後の水素は発電用として再循環される．気液分離器内部で循環ガスを渦状に流し，水粒子の慣性力を利用して回収する仕組みで，分離率90％以上を達成している．回収した水はアイシン独自の排出弁の開閉により，循環系から外部に排出することができる．

また，FCスタックケースは，数百セルにも及ぶFCセルの積層体を5トン以上もの荷重で高精度に締結する部品で，1つ1つのFCセルの発電性能を確保する為には欠かせない重要な部品である．アイシンの最も得意とする技術の一つである大型アルミ鋳物を接合する技術を生かし，高い強度と小型化を実現し，発電出力密度向上や車両への搭載性向上に大きく寄与している．

また，アイシンの機能部品は乗用だけでなく，商用FCバスや，産業用FCフォークリフト向けにも開発，供給するなどFCシステム全般の普及に貢献している．

図2　気液分離器，FCスタックケース

図3　FCバス（SORA），FCフォークリフト

3. 可搬型FC発電機の開発

これまで培った技術を地球温暖化防止や昨今の地震等の災害対応に活かすことで社会に貢献するべく，未だ世の中で出回っていない小型のFC発電機に着目

し,2023年5月に新たに開発プロジェクトを発足させた.そこから生まれた可搬型FC発電機「H_2 LIFE GEAR」は,水素で発電する燃料電池を搭載しており環境に優しく,小型軽量で人手でも簡単に運ぶことが可能である.静かで排ガスが出ない為,夜間でも屋内でも必要な時に必要な場所で使える全く新しい発電機である.

開発着手して半年が過ぎた頃,2024年1月に能登半島沖地震が発生,FC発電機は未だ初期開発段階で完成していなかったが,完成していれば被災された方々の役に立ったかもしれないと歯がゆい思いをした.

本機の名称の由来でもあるが,水素で“人々の生活と命”(LIFE)を守るために役立つアイテムとして少しでも早く世に出せるよう製品化を目指し,開発を進めている(図4).

図4　可搬型FC発電機「H_2 LIFE GEAR」外観

燃料電池本体のセル(MEA)には“究極のエコカー”と言われるトヨタMIRAI(FCEV)と同じものを使用しているが,これによりクリーンで長寿命な発電システムを実現する.また制御の最適化と補機類の損失低減により高出力密度・低騒音を達成している.冷却方式には空冷式を採用することでコンパクト化を実現している.

可搬型FC発電機の詳細な採用技術を以下に記載する.

1. 気液分離器・エアバルブ:MIRAIに採用される技術の流用により,低温始動性/小型/長寿命
2. 水素ポンプ・水素インジェクター:エネファームに採用の要素部品を流用し,低コスト/高信頼性
3. FC-ECU:保有技術を応用し内製

ここで可搬型FC発電機とエンジン発電機との比較を図5に示す.

		AISIN製 可搬型FC発電機	Gasエンジン発電機	ガソリンエンジン発電機
	概観図			
	冷却方式	空冷	水冷	空冷
	出力(kw)	2.0	2.2	2.0
	外形W×L×H(mm)	496×654×512	480×547×618	527×419×461
	出力密度(kw/L)	0.0120	0.0133	0.0196
	定格連続発電時間(h) ※カセットガス燃料標準量	77 (水素:10kg使用時)	10 (プロパン:10kg使用時)	4 (ガソリン内蔵タンク容量:4.4kg時)
	質量(kg)	40 (燃料外付け)	56 (燃料外付け)	32 (燃料満タン時36.4)
①	排ガス	なし	あり	あり
②	騒音(dB@3/4負荷時)	67	88	87.5
	使用周囲温度(℃)	-10~40	-10~40	10~40
	使用燃料	水素ガス	プロパンガス	ガソリン(長期保管可)
	使用潤滑オイル	なし	エンジンオイル/定期交換要	エンジンオイル/定期交換要
③	耐久性(h)	10,000~	~1000	~1000

図5　発電機仕様比較

特に①排ガス,②騒音,③耐久性の各項目で他の発電機に対して優位性を確保している.

本技術については技術開発のみでなく,これまで各種展示会やイベントで自治体や企業への製品紹介や発電デモを行うなど積極的に水素利活用の訴求活動も行ってきた.

自治体では災害時の停電に備えてエンジン発電機を長期間保有している事が多いが,いざ使う時に使えないケースも少なくないという課題を抱えているとのことであった.また,一般的には燃料劣化等による故障を防ぐ為に点検を兼ねた試運転を高頻度で行っている.大規模自治体に於いては多くの発電機を出し入れする為,手間が掛かる.一方,FC発電機はガソリンやオイルを使用しない為,殆ど劣化する所がなく長期保管にも適している.

この可搬型FC発電機「H_2 LIFE GEAR」は,複数の発電機をスタッキング出来る構造である為,自治体倉庫保管や輸送時,避難所使用時の省スペース化も期待できる.

図6　メッセナゴヤ展示,収納・運搬・使用状態

4.　各種イベントでの技術周知活動

第65回中日クラウンズ試合会場の名古屋ゴルフ倶楽部和合ゴルフコース内のギャラリープラザに於いて開催されたトヨタ自動車による水素関連実証に共同参加させていただいた.会期中4日間に渡り可搬型FC発電機「H_2 LIFE GEAR」の社外初実証を実施した.2025年5月4日には愛知県大村知事が視察され,視察後のマスコミ取材では愛知県の水素活用の施策や関連企業と連携し,水素社会実現に向け取り組みを進めることを述べられた.

大阪・関西万博2025会場に於いて開催されたテー

マウィーク「水素パーク!!」に出展を行った.水素関連製品を開発している日本国内の企業が一堂に集結し,水素を身近に感じて頂く場を提供した.来場者からは防災意識の高まりも感じられ,FC発電機「H_2 LIFE GEAR」の早期販売を期待する多くの声を頂いた.

図7　各種イベントの様子

5. 今後の取り組み

5.1 開発における現状想定される課題

開発を始めてから間もない為,性能･コスト･品質などの課題もまだまだ多いが,可搬型FC発電機はこれまで培った技術を活用してしっかりと開発を進めれば必ず達成できると感じている.

ただし,発電には燃料となる水素が必要であるため,その水素をいかに安価に効率良く入手できるかが鍵となる.可搬型FC発電機の開発だけでなく,法改正や水素の供給方法もセットで考える必要がある.これからも水素関連の企業各社と連携しながら水素普及に向けた活動を進めていきたい.

5.2 課題の解決策

水素ガスは,研究用や工業用など特定の領域では普通に使われているが,暮らしの中では未だ身近に使われていない.既に研究機関や工場のように普段から水素ガスを使用している現場であれば,水素ガスを使う事に対する障壁も少ないと思われる為,先ずはそういった所から排ガスの出ないFC発電機を使い始めることで,すぐにでもCO_2排出量低減に貢献できると考える.

そして,徐々に水素ガスの需要が増え,例えばプロパンガスのように街や人々の暮らしの中で身近な存在になれば,FC発電機はきっと世の中で役立つものになると信じている.

5.3 商品展開等今後の展望

従来の電源がどのような環境や用途で使われているか,どのような課題があるかを調査するが,実際に使用している現場を巡ったが,エンジン発電機やポータブルバッテリーを思う様に使えない現場もあった.FC発電機は従来の電源が使えない所でも使える“第3の電源”と呼んでもらえるような,既存領域だけでなく,新領域でも使える新しい電源として作り上げていきたい.

また,内蔵するFC電源モジュールは,発電機としての用途だけでなく,将来的には産業車や小型モビリティ等に搭載する電源としても展開していき,地球全体のカーボンニュートラルに貢献していきたい.

図8　燃料電池技術将来展望

6. おわりに

2025年2月に開催されたH_2&FC EXPO2025での初公開以降,数々の展示会に出展してきたが,各種業界からの反響も大きく,可搬型FC発電機の可能性を強く感じている.

米国加州に於いては,自動車の排ガス規制と同様に,今後は小型エンジン機器の排ガス規制（草刈機,発電機等を対象としたCARB規制）が2028年から執行される.自動車のCO_2排出量は電動化シフトなどの努力により減少傾向であるが,エンジン発電機等はこれまで野放し状態で大量のCO_2を排出し続けているが,販売規制が掛かることで徐々に他の電源に置き換わっていくと思われる.

水素社会の到来には,まだまだ時間が掛かるかもしれないが,今,出来ることから取り組み,“水素”を地球温暖化防止のためだけでなく,人々の生活にもっと身近でもっと便利なものとして広め,色んな姿形の「H_2 LIFE GEAR」も提供することでストレスフリーな暮らしを現実のものにできるよう開発を進めていく.

筆　者

梶尾　克宏
先進開発部
CN化ソリューション開発室
燃料電池発電システム開発に従事

トピックス

ポスト人間中心設計としてのUXデザイン ～HCIが導く人・技術・環境の関係性デザイン～

1. はじめに

市場で高い技術力を持つアイシンであっても,技術だけでは十分に価値が伝わらない場面が近年増えてきている.現在の市場はモノにあふれ,ユーザが製品を選ぶ基準は「性能」だけではなく,それがどのように届けられ,どんな体験として受け取られるかへと広がっている.

LBSシステム開発部のUXデザイングループでは,技術の価値を最大限にユーザに届けるために,過去10年間にわたり試行錯誤を重ねてきた.その中で特に注目したのが,HCI(ヒューマン・コンピュータ・インタラクション)領域の視点である.HCIは成熟した研究分野だが,AI・自動運転・スマートデバイスの普及により,人と技術の距離や関係性が大きく変わった今の時代にこそ,再び大きな意味を持つ.技術が生活に深く入り込み,人の判断・感情・日常の動作と密接に関わるようになった現在,HCIで蓄積されてきた知見は,製品価値そのものを左右する視点になる.

本編は,アイシンと大学院大学のコーネル・テック(米国) との産学連携「HCI実践プログラム」で学んできた体系的な知識と,アイシンの実務の場で応用されたことをまとめたものである.UXデザイングループはHCIの最先端の知見を原動力に,開発や営業など仲間と肩を並べ,一丸となってアイシンのイノベーション事業を加速させる挑戦に全力を尽くしていきたい.

1.1 HCIの歴史・背景・概念

HCIとは,人とコンピュータの相互作用,すなわち「人がテクノロジーをどのように使うか」「テクノロジーが人にどう見え,どう振る舞うべきか」を研究する学問領域である.ここでのコンピュータは狭義のパソコンだけではなく,マイコンを内包するあらゆる機器・サービスを含む広義の概念を指す.近年では,AIエージェントとの関係やそれに伴う倫理的課題も対象に含まれ,研究範囲はさらに拡大しつつある.

HCIの起源は,人が機械へ情報入力を行うようになった18世紀の機械操作研究まで遡れるが,Harrison, Tatar,Sengersが示した[2]ように,下記の3段階を経て変化してきた.

■認知科学・人間工学(1970～1980年代)

反応時間やミス率などの定量指標に基づき,キーボードやボタン配置,マウス操作を最適化する研究が中心で,人間は「効率的に扱うべき入力装置」としてモデル化されていた.

■文脈・実践・ユーザ中心設計(1990～2000年代)

コンピュータが家庭や車内に普及したことで,HCIは「人がどのような状況で,どのような意図で技術を使うか」を扱う領域へ拡張した.社会学や認知心理学を取り入れたユーザ中心設計が浸透し,エスノグラフィーやフィールドスタディが重視されるようになった.

■身体性・社会性・体験価値(2000年代後半～現在)

スマートフォンとIoTの普及により,技術は人の生活世界に深く入り込み,人の感情や価値観を構成する存在へと変化した.usability(使いやすさ)からUX(体験価値)へ関心が移り,身体性・社会性・倫理といった多様な視点がHCIの中心となっている.

1.2 アイシンにおけるHCIの始まり「HCI実践プログラム」

2000年頃,PCの普及とともにHCI研究が注目され,アイシンでも人間中心設計の必要性が認識され始めた.従来は安全性や技術競争力を重視していたが,1970年代から続くナビ事業は,2007年Googleスマートフォンナビの登場で大きな転換点を迎えた.鈴木SEA(当時アイシンAWの副本部長)は比較検討の中で,Googleナビの強みがビジネスモデルとUIにあり,特に社会心理学を基盤とした人間中心設計が鍵だと知る.スマートフォンUIの評価が車載より高まる中,自社ナビにこの考えを取り入れるべくHCI・UX導入プロジェクトを開始した.

その後,スタンフォード大学でWendy Ju(ウェンディ・ジュ)准教授と出会い(当時スタンフォード大学にてイグゼクティブダイレクターとして出会い,その後彼女がコーネルテックで助教授として着任し,現在は准教授となった),自動運転シミュレータや動くロボットの研究を通じ,HCIがUIに留まらず人の行動や反応を扱う広範な分野であると理解を深めた.彼女の研究は,日常物に意図

的な動きを与え,人の印象や反応を分析するもので,人と技術の関係が身体感覚や物体との距離によって変化することが示されている.この観点は,鈴木SEAに新たな発見をもたらし,ナビ事業における大きな転換点となる可能性を示唆した.そして、現行の「HCI実践プログラム」の起点となった.

1.3 Wendy Ju准教授のアプローチ

Wendy Ju准教授の研究は,1990年代の社会学や心理学を取り入れたアプローチを基盤にしながら,人と技術の関係が身体の姿勢・距離・視線・動きといった要素によって大きく変わるという,2000年代以降の身体的・社会的なインタラクション研究へとつながっている.特に自動運転の領域では,人が無意識に示す「暗黙的インタラクション(Implicit Interaction)」を読み解くことで,車がどのように人と関係をつくるべきかを探る研究を積み重ねてきた[3].

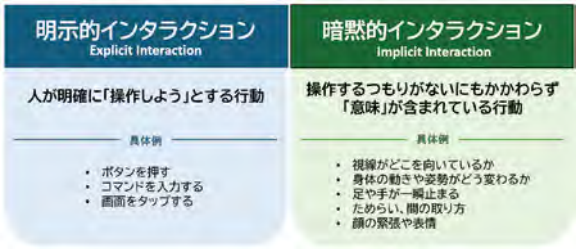


図1 インタラクションの図解

彼女の研究では主に下記の3つの観点が特徴となる[4].

1)暗黙的な身体シグナルの活用

- 姿勢の硬直,視線の停止,アクセル・ブレーキ操作の微細な揺らぎなど,本人が意識していない反応の検知.
- これらのシグナルを「車が話しかけるタイミング」や「制御移譲の判断」に活用する.

2)フィールドテスティングによる自然な観察

- 従来の静的な実験ではなく,実際の走行環境で人の注意配分や判断の揺らぎを記録.
- 「今話しかけてもいい?」という問いかけを通じて,自然な状況下で技術の受け取られ方を評価する.

3)車両のCANデータとの統合分析

- 観察データと車両のCANデータを統合的に分析することにより,車線維持やブレーキング中は認知負荷が高く,音声コミュニケーションに不適であることを示唆.
- この知見は,ナビ案内やAIエージェントの発話タイミング,制御移譲など車内インタラクション設計に応用可能である.

技術だけでは捉えきれない人の行動や心理を読み取ることにより,我々の技術をより多くの人に受け入れて貰える方法を見つけ出していくための具体的な視点と実践手法が,Ju准教授の研究では提示されている.暗黙的インタラクションを手がかりとするフィールドテスティングのアプローチは,車だけでなく,AIエージェント,ロボティクス,生産技術など,今後アイシンが向き合う多様な領域でも期待される.

2. 産学連携の研究事例

Ju准教授が強調する「プロトタイプという刺激を通じてインタラクションを生み,その観察結果から新しい価値を組み立てる」というアプローチは,単なる“使いやすさ評価”ではなく,新しい体験そのものを発見する手法として確立される.具体的にはどのようにインタラクションを生み,観察するのであろうか?本プログラムで実施された2つの事例を紹介する.

2.1 異なるモダリティのプロトタイプを用いた嗜好抽出法

一般的にエンジニアは,試作にほとんどの時間を費やすことが多い.一方でエスノグラフィー調査を起点とする人間中心設計アプローチでは,開発関係者がフィールドリサーチで出てきた多種多様かつ大量の情報に圧倒されることが少なくない.Ju准教授の研究では,上記の2つのアプローチの強みを生かし,仮説のもとに簡易的なプロトタイプを作成し,「アイディエーション」(Ideation)の段階で人々のインタラクションを見て,「課題定義」(Define)することに重点を置いている.「できるだけ開発の早い段階で,人と会話すること」がイノベーションを起こす最速かつ低コストな方法であると彼女は強調する.

2.1.1 異なる三つのプロトタイプの選択

本研究では,バンライフ(車内を生活空間として用い,移動と暮らしを一体化させるライフスタイル)を題材に,ユーザの嗜好や創造性がどのように引き出されるのかを検討した.単なる表現手法や技術の比較を行うためではなく,忠実性,身体性,選択肢の構造の観点が異なるプロトタイプが,ユーザの思考や語りに大きく左右されることを仮定し,異なるモダリティのプロトタイプを用いて比較研究を行った[5].

忠実度:見た目/構成がどれだけ完成形に近いか

身体性:身体の動きや感覚を使ったコンピュータとのやりとり

選択肢の構造:ユーザに提示される操作や決定の幅と自由度

具体的には,段ボールプロトタイプは実寸大で身体を使った検討を促し,動線などの身体的・想像的な思考を

引き出す.Vanspace 3Dはバンを含めて実際と同じ大きさのモデルを用いながら内装の設計を可能にすることにより,より具体的な創造や判断を促す.ARプロトタイプはその中間として,具体性のあるモデルを用いながら身体を使った設計を可能にすることにより,現実空間との対応関係を意識させながら,仮想的な配置や使い方を検討する思考を引き出すと想定した.

表1　各プロトタイプに期待される効果の仮説

プロトタイプ	忠実度	身体性	選択肢の構造		選んだ理由(仮説)
			選択肢の多さ	想像の余白	
実寸大の段ボール	低	高	少	大	身体的な行為を通じて生活の創造を引き出せる
Vanspace 3D	高	低	多	小	具体的な完成イメージを作り上げることを促す
ARアプリ	中	中	中	中	上記両者のメリットを兼ねる複合的なツール

2.1.2　異なるプロトタイプで見えたインタラクション

1)実寸大段ボールプロトタイプ

実寸大の段ボールプロトタイプは,見た目の忠実度は低いものの,身体を使って空間を理解できる点に大きな特徴がある.細部をあえて作り込まないことで,参加者は完成形を評価するのではなく,「どのように暮らすか」「どんな行為がここで行われるか」を起点に考え始める傾向が見られた.

例えば,「スープをよく作るから,この辺りに棚が欲しい」「ここに座って,後ろのドアから外を眺めながらコーヒーを飲みたい」といったように,具体的な生活シーンを想像しながら設計を進める発言が多く観察された.参加者は実際に身体を動かし,身振りを交えながら家具の使い方を説明し,研究者に自分の内装のアイデアを説明することで自分の考えを整理していく様子が見られた.

さらには,「レゴみたいで楽しい」といった声に象徴されるように,設計行為そのものを遊びとして捉える参加者も多かった.こうした遊び的な要素が,参加者の想像力を自然に引き出していたと考えられる.装飾や細部を省いた高い抽象度のプロトタイプだからこそ,参加者は空間を「自分の暮らしが起こる場」として捉えやすくなっていた.

この結果から,実寸大段ボールは,空間の細部を詰めるよりも,人の生活行為や価値観,優先順位を引き出すためのプロトタイプとして有効であることが示唆された.

図2　実寸大段ボールプロトタイプ(物理度高,抽象度高)

2)Vanspace 3Dプロトタイプ

Vanspace 3Dは,実際に販売されている内装設計用アプリであり,高い視覚的忠実度と豊富な選択肢を備えたCAD型のプロトタイプである.家具や設備を完成品に近い形で配置できるため,参加者は色や素材,装飾といった視覚的要素に強く注意を向ける傾向が見られた.たとえば,「壁には世界地図のアートを飾りたい」「照明は形の違うものを三つ置きたい」といった発言が多く,空間の機能性よりも「雰囲気」や「自分らしさ」を表現しようとする姿勢が顕著であった.

一方で,選択肢の多さや操作の複雑さは,設計の初期段階において高い認知的負荷を生み出していた.「どこから手を付ければよいかわからない」といった声が聞かれ,設計意欲が低下したり,操作の途中で手が止まってしまう参加者も確認された.参加者の発言も少なく,完成品に近いパーツを用いることで,設計行為そのものが淡々と進みやすくなる傾向があることが分かった.段ボールプロトタイプの時に見られた「考えながら作る」という創造的な過程が起こりにくい傾向も見られた.参加者の発言量は段ボール使用時より少なく,既存の選択肢の中から「選ぶ」ことが制作の中心となりやすかった.その結果,内装の構成が似通い,発想の幅が狭まる傾向も観察された.

また,精密な見た目によって装飾的な設計が中心となり,全体を俯瞰した機能的な設計視点が失われやすく,細部への過度なこだわりが空間全体の使い方を考える妨げになる場面も見受けられた.

これらの結果から,高い忠実度を持つプロトタイプは,完成イメージの具体化や審美的検討には有効である一方で,必ずしも創造性や探索的思考を促進するとは限らないことが示唆された.Vanspace 3D は,「どんな空間にしたいか」を仕上げていく段階には適しているが,「どんな暮らしをしたいか」を自由に考える初期段階の内装設計には向かないと考えられる.

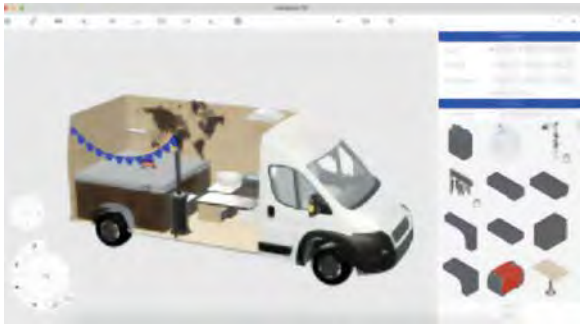


図3　Vanspace 3D（物理度低,抽象度低）

3）ARプロトタイプ

ARプロトタイプは,デジタルで作成したモデルを現実空間に重ねて表示できる点から,設計の初期段階でも手軽に利用できる有効な手法として期待していた.しかし本実験では,仮想モデルと現実世界を組み合わせることの難しさが明確に表れた.多くの参加者は,デジタル上では問題なく見えるモデルが,実空間に配置された途端に不自然に感じられる点を強く意識しており,「違和感が強い」「現実感がない」といった反応が多く見られた.その結果,三つの手法の中でARを最も好まないと回答する参加者が多く,他のプロトタイプに比べて使用時間も短かった.

特に印象的だったのは,ARを用いた制作の途中で,ツールの操作をやめ,口頭での説明やジェスチャーに切り替える参加者が複数見られた点である.これは,AR上の表現が現実世界と馴染まず,設計対象を考えること自体に集中しづらくなったためだと考えられる.デジタルモデルの位置ずれやスケール感の不一致,質感の簡略化などが,創作意欲を削ぐ要因となっていた.特に車室内は,外光が限られた角度から入り込み,時間帯や天候によって印象が大きく変化する特殊な環境である.このような要因により,参加者はバンの内装を検討する以前の段階で強い違和感を覚え,設計行為そのものに抵抗を感じていたと考えられる.

これらの結果から,ARは現実文脈と結びついた検討を可能にする一方で,表現の不自然さが思考を阻害するリスクも持つことが示唆される.空間や暮らしを想像する初期段階では,適用場面を慎重に選ぶ必要がある.

図4　ARプロトタイプの図（物理度中,抽象度中）

このようにプロトタイプは単なる「完成形の確認手段」だけではなく,人の考え方や価値判断を引き出すための道具であることが改めて示された.プロトタイプの特性によって引き出される思考は大きく異なるため,設計の目的や段階に応じて適切なプロトタイプを選ぶことが,ユーザ理解や新しいコンセプト創出において重要である.

2.2　簡易仮想環境を用いた検証環境

2つ目の事例では,急速に普及するマイクロモビリティの安全性およびユーザビリティの向上という課題に対して,“運転中の非運転タスクにおいて,人がどのようにインターフェースを扱い,どのような危険や行動特徴が生じるのか”を精確に捉えることを目的とする研究を行った.運転中の非運転タスク（ナビ操作/音楽操作等）,特に運転中のスマホ使用による事故が増加していることに着目し,Ju准教授の研究室で開発されたシミュレータプラットフォーム「StrangeLand」を活用し,どのインターフェースがより安全かについて検証を行った.Ju准教授の「観察したいインタラクションを適切に引き出す」手法を活用し,実環境では危険を伴う検証を,シミュレータ上で安全かつ効率的に検証した[6].

2.2.1　StrangeLandの特徴

インタラクションを基に新しいコンセプトの“価値の種”を引き出すために重要なのが,「観察したいインタラクションを適切に引き出すこと」である.もちろんバンの実験のように自然環境に近い状態での実験も有用ではあるが,インタラクションのポイントを適切に再現できれば,仮想環境であってもより効率的にインタラクション観察を行うことができる.この考えに基づき,Ju准教授が行っているのが,仮想環境プラットフォーム「StrangeLand」を用いたインタラクション分析である[7].

図5　StrangeLandシミュレータ（左：使用中、右：運搬時）

StrangeLand は観察したいインタラクションのポイントを押さえられるよう,運転中の注意配分,状況判断,身体的な緊張といった,ユーザが無意識に行う認知行動の構造を引き出すことに焦点を当てて設計されている.過度に視覚的リアリティを求めない等,インタラクションのポイント以外の無駄なところを省くことで,「人がどのように判断し,迷い,誤るのか」という本質的な行動特性を「ノイズの少ない環境」で観察できる点が特徴である.

2.2.2　StrangeLandを利用したマイクロモビリティのインタラクション研究

この研究では,StrangeLandを拡張して電動キックボードの運転環境を構築した.電動キックボード運転中の非運転タスクに関わるインタラクションの観察であるため,自動車や歩行者等の他の道路ユーザを排除した,極力シンプルな仮想環境を設計した.これにより,余計な刺激が少ない状態で,インターフェース使用時の視線の動き,触覚的操作感,片手運転時のバランス制御の問題等の,インタラクションの核心部分を明確に観察することができた.

図6　電動キックボードシミュレータ
（左:外観,右:仮想環境内での被験者の走行ルート）

これらのインタラクションを分析した結果,視線や物理ボタンの重要性に関しては,自動車のUX研究の知見が電動キックボードにも適用可能であることがわかった.一方で,マイクロモビリティ特有の課題として以下の2つが浮かび上がった.

1）バランス制御の重要性

二輪のマイクロモビリティ運転中に, ハンドルから手を離すインターフェースは転倒リスクに直結する

2）社会的快適性への配慮

車と異なり公共空間に属するため, 音声インターフェース等は使用時の心理的負担を考慮する必要がある

また,スマホは,視線の分散,タッチ操作,片手運転の必要性から,広く使われているにもかかわらず危険性が高いインターフェースであることが改めてわかった.これらの知見は,電動キックボード向け非運転タスク用デバイスの設計において,長年自動車領域で培われた経験を活かしながらも,物理的なバランス性と公共空間での使用を前提とする社会的快適性も考慮した独自の設計指針が必要であることを示している.

2.2.3　StrangeLandの特徴からみる,今後の製品開発への活かし方

StrangeLand を用いた今回の研究は,インタラクションを基に新しいコンセプトの「価値の種」を引き出すために「観察したいインタラクションを適切に引き出す」というJu准教授の方法論を実証した好例である.StrangeLandが他のシミュレーション環境と異なり彼女の研究に適しているのは下記の特徴があるからである.

1）技術的参入障壁が低い

UnityとC#のみで開発可能なため, 専用SDKや高度な物理エンジン/外部委託等の調整が必要ない.

2）認知的参入障壁が低い

シンプルな環境設計によりユーザの認知負荷を抑え,刺激と反応の対応を純粋な形で分析可能である.

3）運用的参入障壁が低い

車両やセンサ構成等を柔軟に変更できる高い拡張性により,様々なシナリオ（ドライバと歩行者/歩行者同士等）に対応が可能である.

新規製品開発においても,これら三つの参入障壁の低さを活かすことで,チーム内で設計変更・テスト・分析を迅速に繰り返すことが可能となり,UXデザインプロセスを効率的に進められる.つまり StrangeLandは,研究用プラットフォームにとどまらず,新規製品開発やコンセプト立案の初期段階でユーザ理解を深めるための有効なツールとしても活用できる.

このような環境を用いることで,アイシンのモビリティサービスや新規デバイス開発において,より深いユーザ理解にもとづくコンセプト創出が期待される.

3.　アイシン内でのHCI活用の動き

開始当初はナビ・インフォテインメント領域を中心に試行されていたが,HCIに基づくインタラクションデザインの考え方は,車載インフォテインメントだけでなく,AI エージェント,ドアシステム,自動運転,さらには生産技術まで,アイシンが展開する多様な事業領域に応用可能であることが次第に明らかになってきた.技術と人の関わり方を捉え直すというHCIのアプローチは,ア

イシン全体の価値創造に直結するテーマへと拡張しつつある.

3.1 「手法の習得から製品開発への適用」

HCI手法の学習が進む中で,次の重点領域として位置づけられたのが「AIと人のインタラクションデザイン」である.

AI開発では,これまで技術精度の向上が中心的テーマだった.しかし,近年の研究は,技術の高度さそのものが“心地よい体験”に直結しないことを示している.自然言語理解が洗練されていたとしても,ユーザがそのAIをどのように位置づけ,どのような関係を築きたいかは状況や文脈で大きく変わる.つまり,ユーザが受け入れやすいAIのあり方は,技術だけでは規定できないのである.

こうした課題意識の高まりから,DS部はHCIの知見を基盤とする本プロジェクトに参画し,AI技術の設計に“人間理解”を組み込む方法を模索し始めた.技術を起点としながらも,「人にどのように届くのか」を前提に開発するという発想が,両者を結びつける重要な接点となった.

研究領域では,声の調整や応答の間,社会的エチケットへの配慮,個人情報の扱いといった非言語的・社会的振る舞いが,AIへの安心感や受容性を左右することが報告されている.

さらにJu准教授の研究では,視線や沈黙といった暗黙的シグナルからユーザの状態を捉え,AIが介入すべきでないタイミングを設計する重要性が示されている.AIが生活空間に入り込む現在,自然言語理解の精度だけでなく,人とAIの関係性そのものを設計する視点が不可欠となっている.

3.2 「製品開発だけでなく組織全体を変えるHCIアプローチへ」

DS部での取り組みに象徴されるように,本プロジェクトが導入したHCIに基づくインタラクションデザインの考え方は,一つ一つの製品の改善にとどまらず,アイシンが抱えるより広い技術領域へ応用可能性が見えてきた.その代表的な展開が,生産技術領域への応用である.

アイシンの強みの一つは,グローバル的な高い品質を担保できる生産技術方式である.世界トップレベルのこの製造現場では自働化とデジタル化が急速に進み,機器構成も高度化している.しかし,その一方で,操作・点検・メンテナンスの難易度が上昇し,高齢化による人手不足と相まって,「より人にとって扱いやすい生産技術システム設計の最適化」が急務となっている.

こうした課題に対し,本プロジェクトでは製造現場におけるHCIの役割を改めて位置づけるため,国際学会CHI(CHI Conference on Human Factors in Computing Systems:人と情報システムの相互作用に関する国際会議)にてワークショップを開催した[8].テーマは,一貫して「人が生産技術をどのように使いこなすか」を中心に据えた設計である.ワークショップには,研究課題の抽出を目指すアカデミアと,現場の課題解決を求める企業が参加し,双方の視点を持ち寄る形で議論が進められた.

議論の結果,既存研究の応用可能性,操作負荷を軽減するための新しい可視化手法,プロトタイピングによる早期検証,さらには現場・設計者・研究者をつなぐエコシステム構築など,多角的な解決策が見えてきた.製造現場特有の課題を,人間中心設計とインタラクションデザインの観点によって整理し直すことで,生産技術システム設計の新たな方向性を提示できた点が大きな成果である.

図7 TRI,日立,アップル,コペンハーゲン大学など著名な業界から専門家に集まっていただいた

4. おわりに

本プロジェクトを通じて得られたHCIに基づくインタラクションデザインの知見は,車載LBS製品にとどまらず,デジタルサービス,さらには製造機器や社内DXへと幅広く展開可能であることが明らかになった.これは,HCIが単なる操作性向上の手法ではなく,アイシンが多様な技術領域において新たな価値を生み出すための思考の基盤となり得ることを示している.

ユーザの行動や心理を起点に体験を設計するというHCIの視点は,既存製品の体験の最適化にとどまらず,今後成長が見込まれるデジタルサービス領域や自動車の知能化が進む領域において,新しいインタラクションを前提としたUX設計や,新技術を社会に受け入れやすくするための倫理的・心理的配慮といった側面がイノベーション創出に貢献する.

とりわけ,音声やジェスチャー,視線といったインタラクションを前提とすることで,これまでグラフィックユーザーインターフェースを中心に設計されてきた車室空間の体験を再定義する余地が広がり,従来にはない価値の創出が期待される.

また,AIや自動運転,ロボティクスといった高度な技術が生活に浸透するほど,技術を「人が自然に使える形」

へと翻訳するデザインの重要性は増していく.情報提示の仕方や介入のタイミング,安心感や信頼感を生む振る舞いの設計など,技術だけでは扱えない領域において,HCIは人と技術をつなぐ枠組みを提供する.

アイシンが掲げる「“移動”に感動を,未来に笑顔を.」は,技術ではなく体験が価値を生むという方向性を明確に示している.HCIはその理念を製品へと具体化するための一つの重要な指針であり,アイシンが次の時代において価値を創造し続けるための柱となるのではないだろうか.

本プロジェクトで得られたのは,単なる手法ではなく,人のふるまいを手掛かりに,技術を体験へと翻訳するための思考そのものである.これは,アイシンらしい次世代の価値創出を構想するための,分野を横断する創造の出発点となるだろう.

参考文献

1) Stuart K.Card,Thomas P.Moran,Allen Newell:“The psychology of human-computer interaction”,1983
2) Steve Harrison,Deborah Tatar,Phoebe Sengers:“The Three Paradigms of HCI”,2007
3) Wendy Ju:“The Design of Implicit Interactions”,2015
4) Rob Semmens et al.:“Is Now A Good Time?:An Empirical Study of Vehicle-Driver Communication Timing”,CHI'19 Paper No.637,Pages 1-12 (2019)
5) Saki Suzuki et al.:“AdVANcing Design:Customizing Spaces for Vanlife”,AutomotiveUI'23 Pages 256-266 (2023)
6) Kenshikimyo Terao et al.:“Evaluating Interfaces for Non-Driving Related Tasks While Operating an E-scooter”, AutomotiveUI'25 Pages 149-151 (2025)
7) David Goedicke et al.:“Strangers in a Strange Land:New Experimental System for Understanding Driving Culture Using VR”,IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol.71,No.4,Pages 3399-3413
8) Saki Suzuki et al.:“Bridging HCI and Industrial Manufacturing”,CHI EA'25 Article No.772,Pages 1-6 (2025)

筆　者

福井　彩貴

LBSシステム開発部
UXデザイングループ
UXリサーチ,UXデザイン,HCIの研究に従事

寺尾　見識妙

LBSシステム開発部
UXデザイングループ
UX/UIデザイン,HCIの研究に従事

鄒　梦婷

LBSシステム開発部
UXデザイングループ
UX/UIデザイン,UXリサーチに従事

向井　有莉

DS部
AIエージェントの開発に従事,2026年からコーネルテックに出向,HCI研究に従事予定

浅見　浩司

DS部
AIエージェントの開発に従事

技術論文

機電一体型・電動ポンプの熱シミュレーションのモデル開発と運用

青山　泰崇 Yasutaka Aoyama
平塚　裕太 Yuta Hiratsuka
服部　修二 Shuji Hattori

概　要

電動ポンプは,ECU・モータ・ポンプで構成されるが,この3つの部位で発熱と放熱が発生し,複雑な熱の流れをする.さらに,ECUの設計では,小型の電子部品を採用するなど小型化を進めており,背反となる熱について,シミュレーションが求められている.今回は,機電一体型のECUの熱設計を目的に,そのデジタルツールとなる熱シミュレーションのモデル開発と運用の紹介をする.

1. はじめに

自動車への搭載をコンパクトにするため,自動車部品は機電一体型の製品が増えている.電動ウォータポンプ(以降,EWPと略称する)は,その1つである.EWPは,メカ式ウォータポンプを電動化したもので,従来はベルトで回されていたウォータポンプを電動化し,車両で必要な時に必要な流量の冷却水をポンプで供給する働きをする.電気で動かすために,制御ユニットである,ECUが必要になる.EWPは,ECU部・モータ部・ポンプ部で構成されるが,この3つの部位で図1に示す複雑な熱の流れをする.

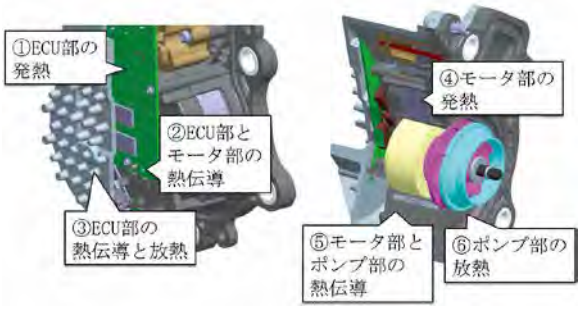


図1　EWPの熱の流れ

①ECU部では,電子部品が発熱する.
②ECU部とモータ部は,バスバーで熱伝導による熱のやりとりをする.
③ECU部は熱伝導シートを介して,アルミ筐体から空気に対流と輻射によって熱のやりとりをする.
④モータ部は,コイルの銅損とコアの鉄損で発熱する.
⑤モータ部とポンプ部は,樹脂筐体で熱伝導による熱のやりとりをする.
⑥ポンプ部は,冷却水を吐出し熱輸送する.

これら複雑な熱の流れに加え,車両ごとの仕様で雰囲気と冷却水の温度条件が変わり,熱の流れがひっくり返ることがある.そのため,製品開発の初期段階の熱設計で,ECUの電子部品の温度を見積もるのが難しい.また,製品設計では常に,小型・低コスト・機能向上を図っており,熱設計が年々厳しくなっている.小型では,ECU製品は開発の世代が進むごとに,小型の電子部品を採用し小型化の設計を行い,表面積が低下する.低コストでは,従来はアルミを使っていたところを,樹脂に変更しコスト低減をする設計で,熱伝導率が低下する.機能向上では,機能の追加や出力アップをする設計で,発熱量が上昇する.表面積の低下・熱伝導率の低下・発熱量の上昇を,式(1)から(4)に当てはめると,温度上昇が大きくなる[1].

伝導の熱抵抗=長さ/(面積×熱伝導率)　(1)
対流の熱抵抗=1/(表面積×熱伝達率)　(2)
輻射の熱抵抗=1/(表面積×輻射の熱伝達率)　(3)
温度上昇=熱抵抗×発熱量　(4)

機電一体型ECUでは,熱の流れが複雑で電子部品の温度の見積もりが難しいこと,ECUの熱設計が年々厳しくなっていることから,今回,熱シミュレーションの技術開発に取り組んだ.

2. 熱シミュレーションのモデル開発

熱シミュレーションの技術開発の目標値として,温度精度は実機の温度上昇に対して20%以内,計算時間は15時間以内と2つの観点で,製品開発で使える実用的な数値で目標設定をした.シミュレーション・ソフトは

Simcenter Flothermを使用した.モデル構築は,電子部品のモデリングから始め,次に基板をモデリングし,ECUのモデルを完成させ精度検証を行う.次に,メカをモデリングし,ECUのモデルを組み込み,機電一体のモデルを完成させ精度検証を行う.

2.1 ECUのモデリング

電子部品のモデリングを始めるにあたり,まずは選別を行う.選別とは,図2に示すように,選別前は80個ほどの電子部品から,選別後は12個にモデリングする電子部品を絞る作業である.絞ることで,モデルの規模を抑え,技術開発の目標値の観点の1つである計算時間を短縮する.一方で,もう1つの観点である温度精度を低下させないため,温度に寄与する電子部品は絞らないよう適切に選別する.EWPの熱シミュレーションでは,発熱量・表面積・熱流束・温度上昇のクライテリアの,4つの条件で選別した.選別の結果,モデリングする電子部品は,インダクタ・シャント抵抗・制御IC・FET・コンデンサの5種類となった.

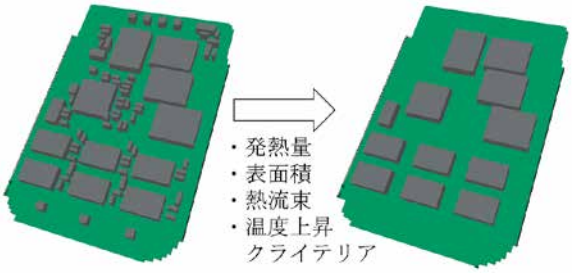


図2 電子部品の選別

ここから電子部品のモデリングを始めるが,我々は電子部品を作るデバイスメーカでなく,購入し使わせて頂くセットメーカである.一般的に,熱シミュレーションのモデリングは,形状のCADを用意し熱の物性値を設定する方法を用いる.しかし,セットメーカでは,電子部品の内部形状まで含めた詳細なCADや物性値の情報を入手するのが難しい.セットメーカの立場で電子部品をどのようにモデリングしているか,コンデンサを事例に説明する.

コンデンサは2つの実験で熱特性を同定してモデリングする.1つ目の実験では,輻射率を決める.実物のサンプルを入手し,図3に示すようにコンデンサの天面の一部に黒体テープを貼り,ヒーターを使ってコンデンサを温める.加熱後,サーモビューアを使って,輻射率を黒体テープの輻射率に設定し,コンデンサの天面の黒体テープの温度を測定する.次に,黒体テープを貼っていない天面の温度を測定し,同じ温度になる輻射率を探す.このとき,同じ温度になった輻射率を,コンデンサの輻射率として決定する.2つ目の実験では,熱伝導率を決める.1つ目の実験と同様に,ヒーターでコンデンサを温め,熱電対を使って天面とリード部の温度を測定する.この実験の状態を,熱シミュレーションのモデルで再現する.コンデンサは形状を円筒でモデリングし,熱伝導率はパラメータスタディで数値を振る.パラメータスタディでは,実験で測定した天面とリード部の温度を再現する熱伝導率を探索する.このとき見つかった数値をコンデンサの熱伝導率として決定し,コンデンサのモデルが完成となる.

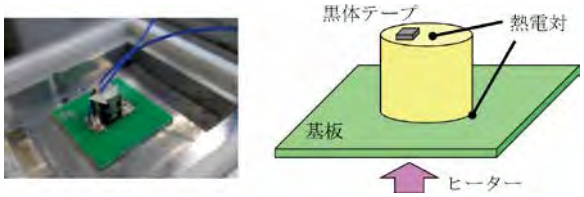


図3 コンデンサの熱特性の実験

電子部品のモデルが完成したら,発熱量を設定する.発熱量は,各電子部品の電圧と電流の波形を実機で取得し計算する.熱シミュレーションの技術開発の段階では,発熱量の誤差を小さくするため,実機の波形から計算するが,技術開発後の運用の段階では,回路シミュレーションやエクセルの設計計算で発熱量を計算する.

基板のモデリングは,配線パターンの形状のモデリングと,配線パターンを流れる電流のジュール発熱の計算を行う.配線パターンの形状は,シミュレーション・ソフトの機能を使い,基板CADから配線パターンを読み込み,基板全体を格子状に領域分割し,1つ1つの領域の銅箔の存在率に応じた等価熱伝導率でモデリングする.EWPで領域の分割数を検討した結果を図4に示す.グラフの横軸が領域の分割数,縦軸の左側の青色の棒グラフが計算時間,縦軸の右側のオレンジ色の棒グラフが温度精度を示す.熱シミュレーションの技術開発の観点の1つである温度精度としては50分割で十分と考えたが,もう1つの観点の計算時間に大きな影響が無く100分割を使うことにした.

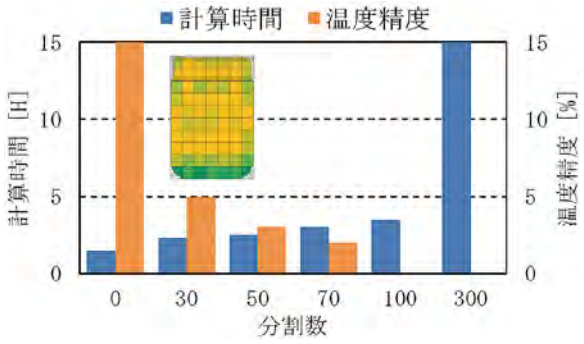


図4 基板の分割数

配線パターンを流れる電流のジュール発熱は,EWPの場合,電子部品の発熱量と比べて無視できない大きさのため,発熱量を計算して設定する.ジュール発熱を設定しない場合と設定する場合で,シミュレーション結果

の温度精度に4%の差が生じた.他に,実機の測定結果と比較する場合は,ハーネスなどの測定環境や熱電対をモデリングして,ECUのモデルが完成する.

2.2　メカのモデリング

メカ部品をモデリングし,完成したECUのモデルを組み込み,機電一体のモデルを作成する.メカ部品は情報が入手できるため,形状のCADを用意し熱の物性値を設定するという,一般的な熱シミュレーションのモデリング方法を用いる.モデリングでは,技術開発の目標である温度精度と計算時間が両立するように工夫する.例えば,モータ部のステータコアの積層鋼板は,設計のCADを使うと積層の1枚ごとにCAEでメッシュを作成する事になり,メッシュ数が多くなり計算時間が増加する.そこで,形状のCADを積層から一体に変更して,メッシュ数を削減し計算時間を低減する.一方で,積層から一体にすると,積層方向の熱伝導の再現性が悪化するので,一体の熱伝導率に異方性を持たせることで再現性を向上する.積層鋼板と絶縁層のそれぞれの厚みと熱伝導率を使って,一体の等価熱伝導率を計算すると,平面方向は,ほぼ積層鋼板の熱伝導率,積層方向は1～5[W/mK]程度になる.他にも,温度に影響しないメカ部品は省略するなど,温度精度と計算時間が両立するモデリングを行う.

ポンプ部の冷却水のモデリングは,流体解析を使って冷却水の熱伝達を求め,モデルに反映する.流体解析で得られた,ポンプ部の各面の熱伝達係数から熱抵抗を算出した結果を図5に示す.今回のEWPでは,モータの発熱量を考えると温度上昇が微小と分かったため,冷却水は各面を温度固定することでモデリングする.

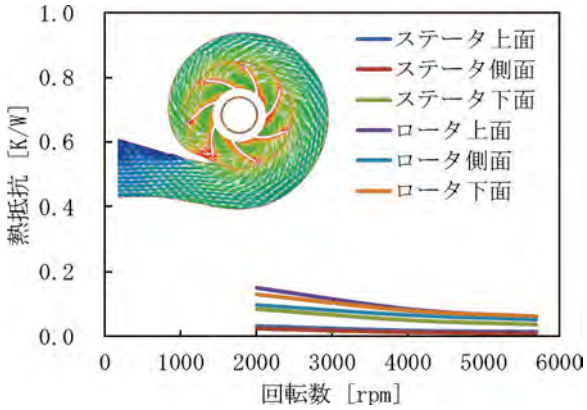


図5　ポンプの冷却水の熱抵抗

メカ部品のモデルが完成したら,発熱量を設定する.発熱量は,モータ部のコイルの銅損とステータコアの鉄損の2つを計算し設定する.コイルの銅損は,抵抗値の温度特性を考慮して電流波形からRI^2で計算し,ステータコアの鉄損は,磁界解析でシミュレーション計算する.完成したメカのモデルに,ECUのモデルを組み込み,機電一体のモデルが完成する.

2.3　モデルの精度検証

完成したECUと機電一体のモデルの精度検証をする.熱シミュレーションの技術開発の目標値として,温度精度は実機の温度上昇に対して20%以内を設定しているが,温度上昇は式(5)に基づき熱抵抗と発熱量の掛け算となり,この2つの精度に左右されるため,精度検証は,熱抵抗・発熱量・温度上昇の3つの観点で実施するのが良い[2].

温度上昇=熱抵抗×発熱量 (5)

ここでは,機電一体の温度上昇の精度検証の結果のみを図6に示す.グラフの横軸が温度測定した電子部品とメカ部品,縦軸の左側が温度上昇で,青色の棒グラフが実機の測定結果,赤色の棒グラフがモデルのシミュレーション結果,縦軸の右側のオレンジ色の棒グラフが誤差を絶対値で示す.

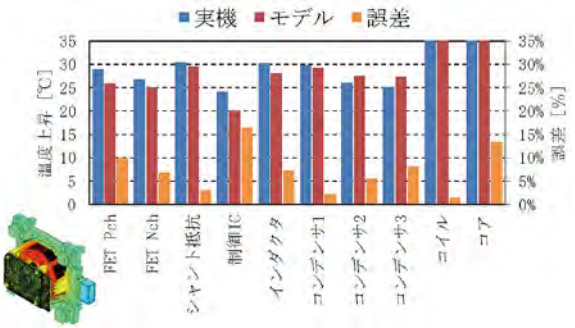


図6　機電一体の温度上昇の精度検証

機電一体の熱シミュレーションで,温度精度は実機の温度上昇に対して16%,計算時間は12時間となり,目標値である温度精度の20%以内と計算時間の15時間以内を満足し,技術開発が完了した.

3.　熱シミュレーションの運用

今回,技術開発した熱シミュレーションを,製品設計に技術運用した成績を示す.1年間の技術運用で,機種×条件×部品数の総数で178個の電子部品の温度上昇を熱シミュレーションで予測し,実機の温度上昇と比較した結果を図7に示す.青色の点が1つ1つのデータ,オレンジ色の線3つのうち中心の実線が実機とシミュレーションの温度上昇が一致,両側の点線が温度精度の目標の±20%を示す.

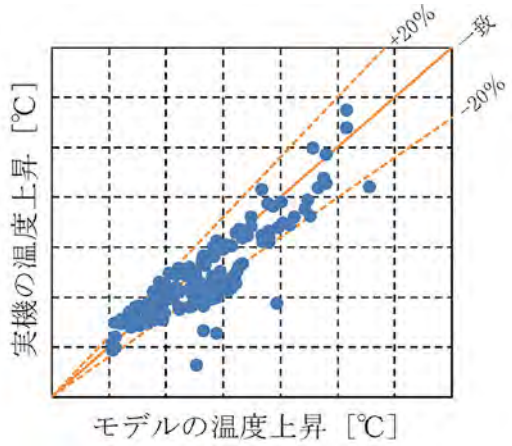


図7　技術運用の1年間の成績

温度精度の目標に入ったのは,118個の電子部品で勝率は66%の成績となった.

3.1　モデル精度の改善

技術運用の2年目からは,並行で敗因の分析とモデルの再検討を行った.敗因の分析では,図7のモデルと実機の温度上昇の比較結果を,電子部品ごとに分類したデータを使う.データの中で精度が大きく外れた結果に着目し,電子部品の変化点や設計の変化点を調べ,モデルの再検討をする.このやり方で,FETの発熱量,ICのモデリング,オイルのモデリングなどの見直しを行った.モデルの再検討後の結果を図8に示す.技術運用の1年間の敗因を分析しモデルの再検討を反映した結果と,その後も継続して技術運用した結果を合わせて示している.

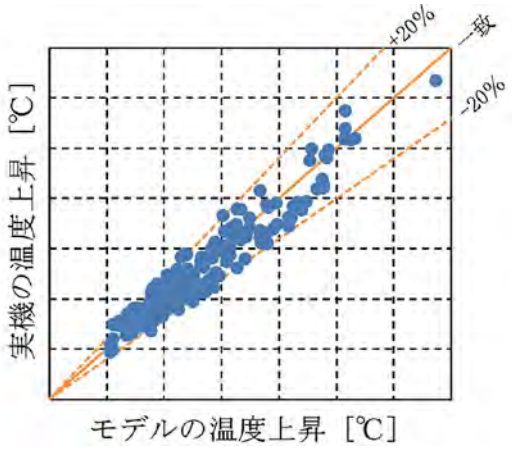


図8　技術運用の2年間の成績

総数で244個の電子部品の温度上昇を熱シミュレーションで予測し,温度精度の目標に入ったのは,218個の電子部品で勝率は89%に改善した.

3.2　解析リードタイムの改善

節2.1にて,コンデンサのモデリングは2つの実験で熱特性を同定する方法と説明した.技術運用の中で,実験データが貯まってきたので,予測式を作り電子部品のモデリング時間,およそ1日を削減できないかを検討した.説明変数として,容量・耐電圧・直径・高さの4つを使って,コンデンサの熱伝導率を,式で予測した値と実測値を比較した結果を図9に示す.オレンジ色の線が,実測値と予測値が一致となる.

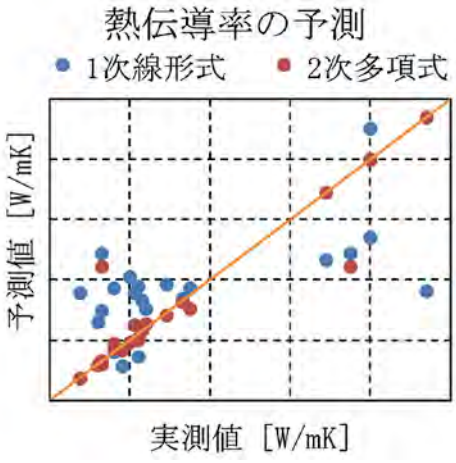


図9　コンデンサの熱伝導率の予測

青色の点のデータ,1次の線形の重回帰式では不十分となったが,赤色の点のデータ,2次の多項式では,それなりの予測ができている.この予測方法の検討は,コパイロットのGPT5を利用した.予測方法は,他にも決定木やランダムフォレストの提案があったが,利用性から2次の多項式の重回帰式を選択した.技術運用で解析リードタイムが厳しい場合は,実験無しの予測式でのモデリングを用いる.

4.　おわりに

今回,機電一体型の電動ポンプについて,ECUの熱設計を目的に,そのツールとなる熱シミュレーションのモデル開発と運用を紹介した.現在,我々の組織では,シミュレーションの布教活動を始めている.布教活動は,製品展開と人員増加の2本柱で,製品展開はECU製品をパターン分類して数を絞って行っている.今後,製品展開を進め,製品違いによるモデルの差分を解決する中で,熱シミュレーションの技術をレベルアップしていく.

参考文献
1) 国峯尚樹,中村篤(株式会社オーム社):熱設計と数値シミュレーション,p17-22,2015
2) 国峯尚樹(株式会社シーエムシー出版):最新の熱設計・熱対策手法,p209-212,2025

筆　者

青山　泰崇

解析技術部
第2モデルベース開発室
電子製品のシミュレーション技術開発に従事

平塚　裕太

ECU技術部　ECU第2設計室
電動ポンプドライバの企画・開発に従事

服部　修二

電動アクチュエータ技術部
電動ポンプ設計室
電動ポンプ設計,小型モータ設計に従事

技術論文

車載機器におけるEMC解析とAI活用事例の紹介

菅　翔平
Shohei Kan

概　要

電動化・自動運転の進展に伴い,EMC設計の重要性が高まっている.本稿では,マルチフィジックス解析の重要性を示し,課題となる計算工数の高いEMC設計に対して,AIを用いた冗長設計技術の適用例を紹介する.さらに,AI学習において課題となる訓練データの取得に関して,効率的なサンプリング戦略を検討する.

1.　はじめに

1.1　解析シミュレーションの戦略

近年,電動化や自動運転の実現に向けた技術革新が急速に進んでいる.図1に示すポートフォリオの成長領域では,特に統合化・高電圧化・知能化の分野における製品群の重要性が高まっている.これに伴い,EMC(Electromagnetic Compatibility:電磁両立性)設計の重要性がますます増している.また,OEMニーズの多様化や迅速な設計に対応するため,設計体制はさらなるスピードと柔軟性が求められている.これらの課題に対応するため,効率的かつ高品質な設計体制の構築が不可欠である.図2に示すように多くの企業ではこれら設計効率化に向け,解析シミュレーション・AI[1)-8)]・量子コンピュータ[9)]等を活用したフロントローディング設計による設計プロセスを実施している[10)-12)].しかしながら,モデル作成・計算に工数を要し,理想のプロセスにまで工数を低減できていない場合もあるため注意が必要である.

これまで当社では,ECU単体のEMC対策は設計現場において簡易解析(2.5次元解析)で実施し,システム構成を考慮した高負荷な3次元電磁界解析は専任者が担当する体制を整備してきた.しかし,図1に示すように統合化ECUや高機能ECU,さらに複数性能を統合したPT(パワートレイン)系ECUの登場により,EMCによる問題は一層複雑化を増している.この結果,従来の簡易解析のみでは現象の全容把握ができず,高負荷な3次元電磁界解析が必要となる.また図3に示すように電子設計における課題はEMCだけでなく,熱やSI/PI(信号品質/電源品質)などといった設計要件を満足する必要がある.しかし,これらのトレードオフを解消することは難しく,図4に示す解析フローAのように設計手戻りの発生により設計工数の増加が発生する.

このような背景から当社では一度の計算で複数の次元を同時に解析するマルチフィジックス解析(解析フローB)を推奨している.解析フローBを構築することで,異なる物理領域を同一の時間軸・空間軸で横並びに評価できる.これによる弱連成・強連成を通じた協調設計を通じて,設計者や専任者間の情報の非整合や手戻りを大幅に削減し,各性能を満足できる設計の効率化が可能となる[10)-12)].

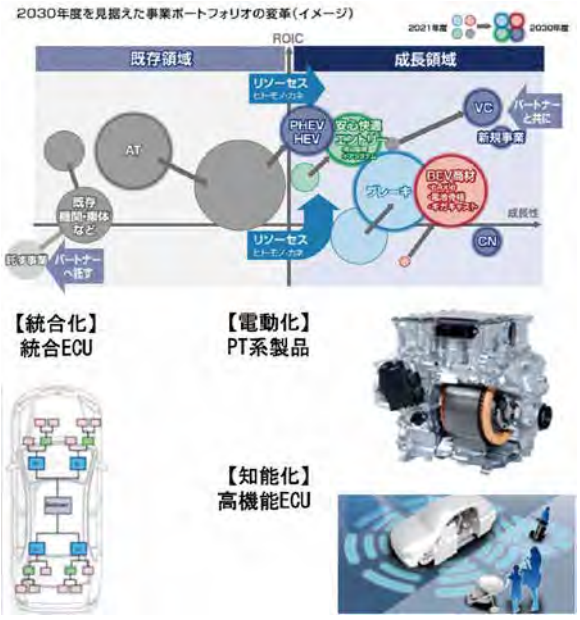


図1　事業ポートフォリオと成長領域の製品領域

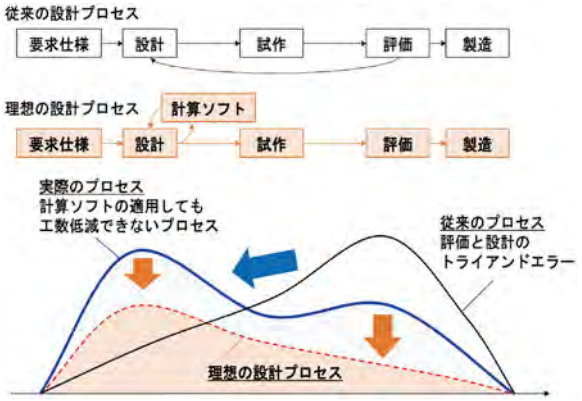


図2　理想の設計プロセス

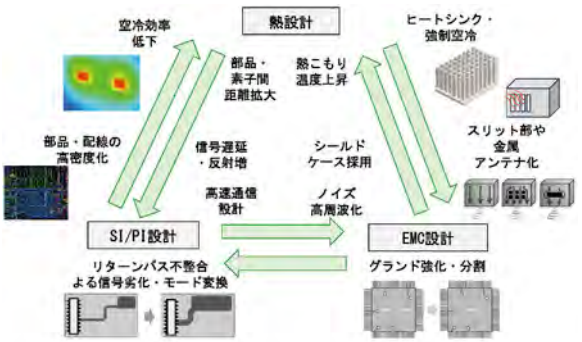


図3　電子設計における各解析のトレードオフ

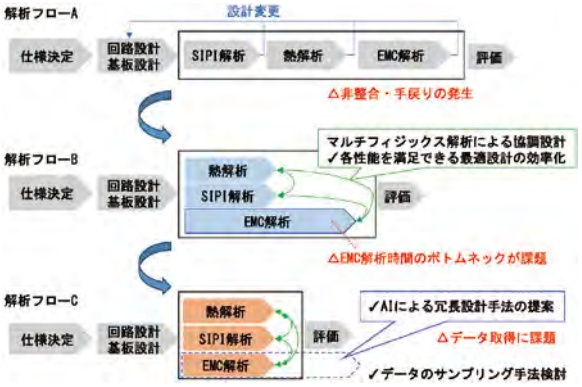


図4　現状の解析フローと理想の解析フロー

1.2　マルチフィジックス解析における課題

マルチフィジックス解析の課題の1つはEMC解析の計算工数が高いことである.EMC解析では,FEMやFDTDを用いた3次元電磁界解析や時間領域での過渡解析が必要となる.そのため,設計プロセスのボトルネックとなることも多く,マルチフィジックス解析における有効性が得られない場合がある.

この課題に対し,人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network:ANN)を用いたサロゲートモデルによる設計効率化が注目されている.解析や実測による訓練データを用いて,ANNに学習させることで,短時間での予測が可能となり,EMC解析にかかる時間を大幅に短縮できることが報告されている[1)-8),13)].

そこで,我々はEMC設計効率化を目指した,ANNを活用した冗長設計手法を確立したので紹介する.これは製品の横展開や急な仕様変更でも,目標を満足するように設計値を決定する手法であり,対策工数の削減が可能となる.それによりフローCのように他解析と同等,もしくはそれ以下の解析工数で設計できることが期待される.

2.　ANNを用いた冗長設計手法とその課題

冗長設計手法の有効性を,車体系製品などのブラシモータを用いたシステムを例に説明する.車体系製品はブラシモータ内部に用いているブラシ接触によるノイズがEMI(Electromagnetic Interference)問題を引き起こすため,EMIフィルタの設計(例:C_x(Xコンデンサ),C_y(Yコンデンサ),L(コイル))が重要である.この時,ノイズの目標値を達成する設計値の探索にはシミュレーションや実測を繰り返して一つの設計値を決める.この設計手法はポイントベース設計手法(図5(a))と呼ばれ,設計パラメータX_n(例:X_1,X_2…)の組み合わせを探索して要求を満たす一つの解を求める方法である.しかし,仕様変更やばらつきが発生する場合,この方法では目標を満たすことができない場合がある.例えば,図6に示すように,車両Aで合格とした設計値を車両Bなどに横展する場合,ケーブルの長さΛが変わるだけでノイズレベルが目標未達となり,設計の再検討が必要になる場合がある.

そこで,要求が満たされる範囲の中から設計値を選択できる手法(冗長設計,図5(b))を提案する.これにより,仕様が変更される場合や部品ばらつきなどが発生しても目標を満足できるため,対策工数の削減が可能となる.この設計思想は特に,今後増加の見込みがある統合化製品や高電圧,高機能製品などといった複雑なシステムではより効果が増してくると考えられる.

一方で,冗長設計の課題は,設計範囲内にある目標を満たす設計空間を広く探索するために,「時間のかかる計算or実測」を「設計空間を網羅できる分,サンプリング」する点である.

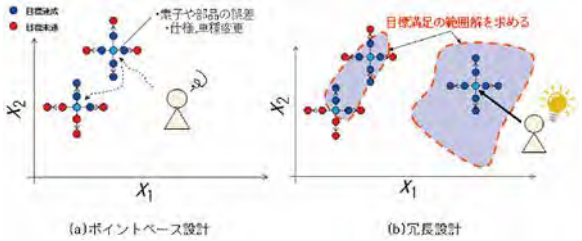


図5　ポイントベース設計と冗長設計手法

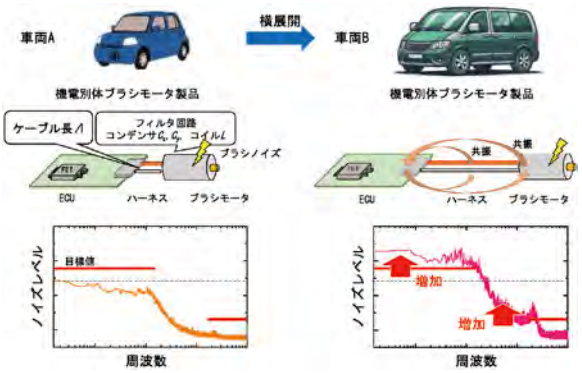


図6　仕様変更によるノイズレベルの変化

我々はこれらを解決するために,まず,計算時間を短縮する手法を検討する.これはシミュレーションをANNで代替させることで,短時間で結果を予測できるモデルを構築する.次に,実用性を鑑みて,設計変数が増加した場合を想定する.この時,膨大な設計空間を効率よく近似・網羅するために訓練データを効率的に準備可能なサンプリング戦略を検討する.

3.　車体系製品を対象としたAI活用

3.1　ANNを活用した冗長設計手法

ANNを用いた冗長設計手法を車体系製品のCISPR25[14]準拠の伝導エミッション試験(図7)で適用した例を紹介する.本手法の手順は図8を用いて説明する.

(i)設計パラメータX_nと目的関数Y_mを決定.
(ii)部分組合せの解析結果Yのデータを取得.
(iii)(ii)の組合せと結果からANNに学習
(iv)学習済ANNで全組み合わせを予測.
(v)合格結果から設計パラメータの範囲解を抽出.
(vi)複数の範囲解から一番広い範囲解を決定

ANNモデルの構造とモデル学習に用いたハイパーパラメータは図9に示す.ミニバッチ確率的勾配降下法を使用して,エポックごとに真値と予測値の差分から重みwとバイアスbを更新することで作成する.設計パラメータとノイズ電圧スペクトルを訓練データとしてANNモデルに学習させる際,組み合わせは設計パラメータ3水準(=3^4通り)とする.この入力変数と,これに対応する解析結果である出力変数を訓練データに用いた.よって,複数の要求性能を満たす,複数の設計パラメータを範囲解して得ること(冗長設計)が可能となる.

3.2　ANNを用いた設計手法の結果

まず,ANN予測結果と真値の比較を行う.図10にはノイズスペクトルV_Hの比較を行っており,最大で3dBの誤差で予測可能であることを確認した.

次に,ANN予測計算を約150万通りの計算を行う(iv).図11にはANNによる約150万通りのノイズスペクトルと目標を満たしたノイズスペクトルのみを抽出した.

最後に,アルゴリズムにより逆解析をすることで(v),複数の設計パラメータの範囲解を得た(例:C_x= 500～1500pF,C_y=2500～4000pF,L=1500～1800 nH,配線長Λ=1.7～2.3m).これは部品バラツキや配線長が最大0.6m変化しても目標を満足できる範囲解を得たことを意味している.さらに従来計算工数が約150時間であったのに比べ,本手法は1時間21分で得られたため工数の短縮化が図れた.ANNにより従来の設計工数を低減できる有効な手法であることが示された.

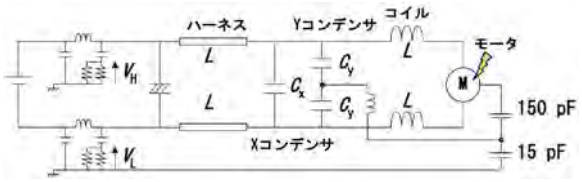


図7　車体系製品の伝導エミッション試験解析モデル

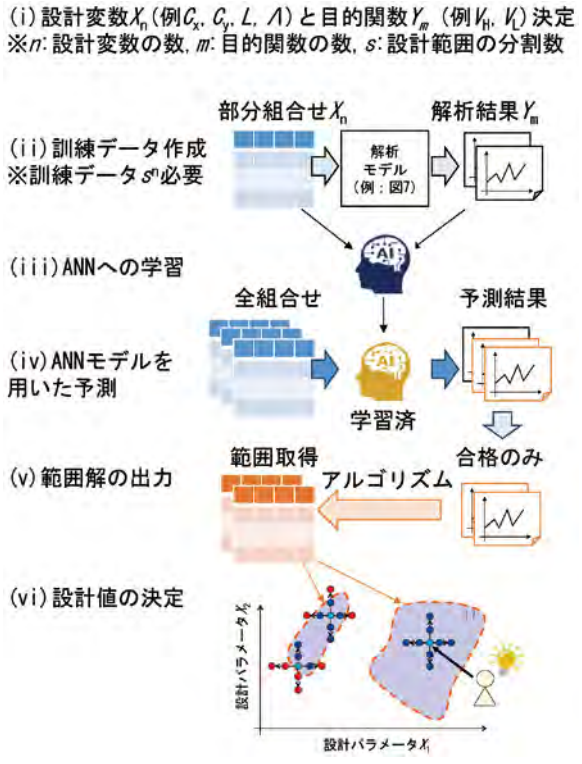


図8　ANNを用いた冗長設計手法の手順

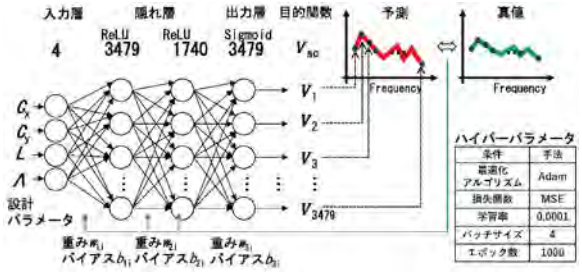


図9　ANNモデルとハイパーパラメータ

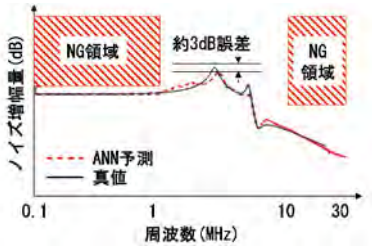


図10　ANN予測結果と真値の比較

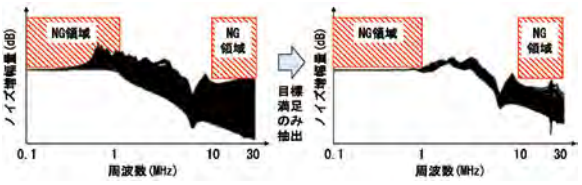


図11　予測結果150万通りから目標値を満足した結果のみを抽出したスペクトル

4.　PT系製品を対象としたAI活用

4.1　PT系製品におけるAI活用の課題

本節ではPT系製品への適用における課題を考える.PT系製品ではIGBTやMOSFETなどのスイッチング素子を含む非線形回路が含まれており,数100Vの変動でかつ100MHzを超えるノイズ波形を正確に予測する必要がある.そのため,計算工数の高い過渡解析が不可欠である.また回路規模やノイズ源の増加に伴い,設計変数は4変数から7変数に増加する.その結果,表1に示す通り車体系製品と同様の訓練データの取得には9ヶ月以上を要する見込みで非現実であり,訓練データに用いるサンプリング数の戦略を考える必要がある.

そこで少数の学習データでもANNの効率的な学習を実現することを目的に,既存のサンプリング法の評価を行う.この時,直交配列(Orthogonal Arrays:OAs)[15),17)]とラテン超方格サンプリング(Latin Hypercube Sampling:LHS)[16),18)]によって取得したデータを用いてANNモデルを学習し,ノイズ電圧スペクトルの予測精度を検討する.OAsは実験計画法に基づく手法であり,OAsは規則性を持つ均等なサンプリングを行う手法である.一方でLHSはランダム性を加えつつ設計空間全体にばらけた分布を持たせる手法である.また比較の基準として一般的なランダムサンプリングも含めた.

4.2　シミュレーションモデルとANNモデルの学習方法

図12に対象とするPT系製品の回路ブロック図を示す.この回路モデルは高電圧バッテリを電源とし,三相交流,交流100V,直流12Vを生成する車両用電源システムである.この時,設計パラメータX(この場合$C_x, C_{y1}, C_{y2}, L_{c1}, L_{c2}, L_{c3}, L_{c4}$)と目的関数$Y$(100VAC($V_{ac}$),DC12 V($V_{lv}$),高電圧バッテリ($V_{hv}$))を決定した.ANNモデルにおけるハイパーパラメータは3.2節と同様のモデルを用いる.

4.3　各サンプリング手法と予測精度評価法と結果

サンプリング手法比較のための訓練データセットを表2に示す.予測精度の評価指標には平均二乗誤差(Mean Squared Error: MSE)を採用した.表2に示す3種類のノイズ電圧スペクトル(V_{ac}, V_{lv}, V_{hv})の3種類の計算で予測精度の評価を行う.テストデータM=21組を用い,ANNモデルによる予測値とシミュレーションによる真値を比較する.MSEは図13に示すように各周波数における予測値と真値(シミュレーション結果)のスペクトル間におけるMSEを平均化することで計算した(式(1)(2)).

$$MSE_j = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2 \qquad (1)$$

$$Mean\ MSE = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M} MSE_j \qquad (2)$$

※N=300 はスペクトル点数,Y_{ij}はテストデータjの真値スペクトルの第i成分,$\hat{y}_{ij}$はANN予測値である.

表1　車体系と車両電源システムの比較

	車体系製品	PT系製品
設計変数	4変数	7変数
解析手法	周波数解析 (1分/1回)	過渡解析 (3時間/1回)
サンプル数	3^4(81)通り	3^7(2187)通り
解析時間	1時間21分	6561時間 (約9ヶ月)

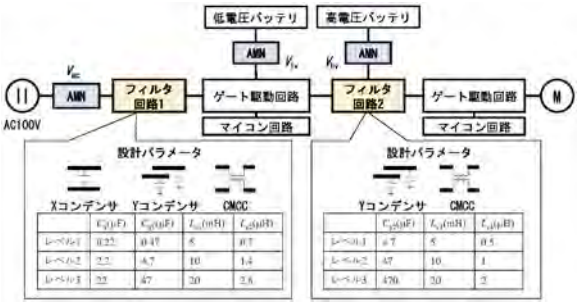


図12　PT系製品のブロック図と設計パラメータ

表2　訓練データに用いるサンプリング手法

サンプリング手法	サンプル数(呼称)	MSE結果		
		V_{ac}	V_{lv}	V_{hv}
OAs	18(OA18)	10.2	2.7	2.3
	27(OA27)	11.5	2.8	2.0
LHS	18(LHS18)	15	3.4	2.9
	27(LHS27)	13.2	3.1	2.7
ランダム	18(RND18)	11.8～15.8	2.6～3.9	2.0～3.4
	27(RND27)	11.2～15.3	2.6～3.4	1.8～2.6

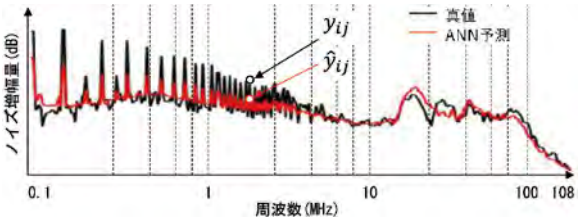


図13　シミュレーション結果とANN予測結果の比較

表2に,各サンプリング手法における予測精度MSEの比較結果を示す.評価対象は3種類のノイズ電圧スペクトル(V_{ac},V_{lv},V_{hv})である.またランダムサンプリング(RND18,RND27)の10セットの分布を表している.

全てのノイズ予測スペクトルにおいて,OAsはLHSやランダムサンプリングよりも低いMSEが得られた.これは,OAsがパラメータ空間に対して因子の水準を均等かつ系統的に配置できる特性を持ち,限られたサンプル数でも情報を効果的に抽出できるためと考えられる.ランダムサンプリング(10セット)は予想通り,ばらつきが大きく,最大で約5dBの差が確認された.以上より,少数の学習データであっても,OAsのような系統的なサンプリング手法は,ランダムサンプリングやLHSに比べて高い予測精度と安定性を実現できることが確認できた.

5.　今後の展望とまとめ

本稿では統合化・高電圧化・知能化の分野における製品群におけるマルチフィジックス解析の重要性に着目した.特にEMC解析では計算工数が高くなる傾向がある課題を示し,車体系製品を例にANNを用いた冗長設計手法を説明した.またPT系製品を対象とした場合での訓練データ取得の効率化を検討した.今後は,3次元電磁界解析におけるAIを用いた短縮化,マルチフィジックス自動解析と最適設計プラットフォームの作成を目指す.

参考文献

1) V.Devabhaktuni,C.F.Bunting,D.Green,D.Kvale,L.Mareddy, and V.Rajamani,“A New ANN-Based Modeling Approach for Rapid EMI/EMC Analysis of PCB and Shielding Enclosures,”IEEE Trans.on Electromagn.Compat.,vol.55, no.2,pp.385–394,2013.
2) A.Veluswami,M.S.Nakhla,and Q.-J.Zhang,“The Application of Neural Networks to EM-Based Simulation and Optimization of Interconnects in High-Speed VLSI Circuits,”IEEE Trans.Microw.Theory Tech.,vol.45,no.5,pp. 712–723,1997.
3) J.Xu.,M.C.E.Yagoub,R.Ding,and Q.-J.Zhang,“Neural-Based Dynamic Modeling of Nonlinear Microwave Circuits,”Proc.IEEE Trans.Microw.Theory Tech.,vol.50, no.12,pp.2769–2780,2002.
4) H. Chen and S.Ye,“Modeling and Optimization of EMI Filter by Using Artificial Neural Network,”Proc.IEEE Trans. Electromagn.Compat.,vol.61, no.6,pp.1979–1987,2019.
5) J.Gao,D.Lu,S.Ye, and H. Chen,“Modeling of EMI Filter by Means of Recurrent Neural Network with Encoding Layer,”Proc.2022 APEMC,pp.285–288,Sept.2022.
6) H.Suenaga,M.Nagata,“Prediction of Automotive Radiated Emission Using Machine Learning”,EMC Europe 2023,pp.1-5,Kraków Poland,Sep.2023.
7) H.Ikeda and A.Sakurai,“EMC design with machine learning,” Annual Meeting Record,I.E.E.Japan,S5-4, Mar.2022.
8) S.Kan,N.Takahashi,M.Himuro,A.Mashino,K.Iokibe,and Y.Toyota,“Multi-Objective Design of Filter Installed in Brush Motor by Artificial Neural Network Accounting for Cable Length,”Proc.2023 IEEE EMC+SI/PI,p.591,Grand Rapids,USA,July 2023.
9) J.M.Marinis et al.,“Quantum Supremacy using A Programmable Superconducting Processor,” Nature,vol.574,pp.505–510,2019.
10) P.Wu et al.,“Co Design Optimization For PI/SI When Considering Thermal Performance,”Semiconductor Engineering Manufacturing,Packaging & Materials,Apr.21,2025.
11) T.-Y.Wang and J.-L.Tsai,“Thermal and Power Integrity based Power/Ground Networks Optimization,”in Proc. Design,Automation and Test in Europe Conference and Exhibition(DATE’04),Munich,Germany,Mar.2004, pp.830–835.
12) R.Ciprian and B.Lehman,“Steady State Electro Thermal Modeling,”in Proc.IEEE COMPEL Workshop,Rensselaer Polytechnic Institute,Troy,NY,USA,July 16–19,2006,pp.289–294.
13) S.Maeta,R.Maekawa,S.Kan,T.Mikura,K.Iokibe,and Y. Toyota,“ANN-based EMI Filter Optimization with Limited Data in Vehicle Power Systems,”Proc. 2025 IEEE EMC+SI/PI,pp.164,Raleigh,USA,Aug.2025.
14) International Electrotechnical Commission,CISPR 25: Vehicles,boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers,IEC Standard 25,2021.
15) G.Taguchi,Introduction to Quality Engineering,Asian Productivity Organization,1986.
16) M.McKay,R.Beckman,and W.Conover,“A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code,”Technometrics,vol.21,no.2,pp.239–245,1979.
17) D.A.Abdaljabar and A.A.A.Al Khafaji,“Reducing cost and time by proposing methodology to fill Taguchi orthogonal array using prediction and neural network,”Procedia of Engineering and Medical Sciences,vol.10,no.1, pp.1–8,2025.
18) P.Borisut and A.Nuchitprasittichai,“Adaptive Latin Hypercube Sampling for a Surrogate Based Optimization with Artificial Neural Network,”Processes,vol.11,no. 11,pp.3232–3248,Nov.2023.

筆　者

菅　翔平
解析技術部 部付
電子系解析技術に従事

技術論文

電解硫酸法による主機モータ向け銅リサイクル技術の開発

酒井　尚樹
Naoki Sakai

概　要

EV車および再エネ技術の普及に伴い銅需要の拡大が見込まれる中,循環型社会の実現に向けリサイクル率の向上が求められる.そこで,廃棄されたマグネットワイヤを化学処理することで,高純度の銅材のみを歩留まりよく回収でき,且つ発生した廃液を外部に排出せず繰り返し利用できるリサイクル技術を提供する.

1. はじめに

銅は高い導電性を持ち比較的安価であることから,自動車,家電,産業用などの部品で多く使用されているが,銅枯渇の懸念や銅精鉱品位の低下が見られ,その採掘・製錬工程の負担は増していると言われている[1].

一方,銅精錬各社において廃棄銅を処理する取り組みが行われており,廃棄銅専用炉により銅線など各種銅材の原料となる電気銅へのリサイクルが行われている.しかしながら,国内では銅精錬設備が限られており,廃棄銅の長距離輸送が必要であることや銅精錬時のエネルギー消費が多く環境負荷が高いといった問題がある.また,再生銅活用量が正確に把握できない等トレーサビリティについても問題がある.

図1に日本の銅地金需要予測および政策の方向性を示す[2].EV車1台あたりの銅含有量はガソリン車の約4倍に達し,モータに使われるマグネットワイヤについても高出力化に伴う需要の増加から,供給源の確保に向けたリサイクル資源の活用が求められている.

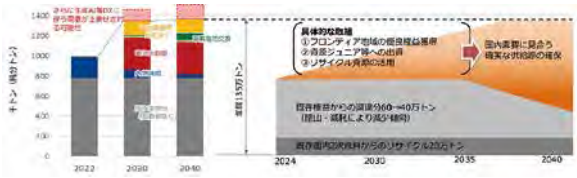


図1　日本の銅地金需要予測および政策の方向性

一般にマグネットワイヤに用いられる銅材の純度は99.99%以上であるが,銅材に絶縁膜が被覆されているため,97%程度と低くなる.そのため,図2に示す製造工程および廃棄銅フロー図[3]より,現状純度が低く電気銅製造工程から車載外へと流れていることから,絶縁膜を剥離し,荒引線の原料として利用するショートループなリサイクル技術が期待されている.

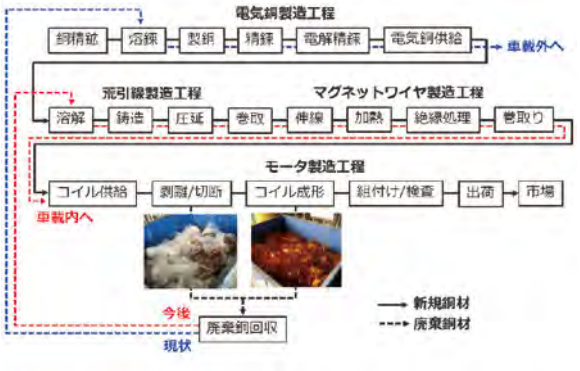


図2　製造工程および廃棄銅フロー図

2. 銅リサイクル方法検討

従来技術として,アルカリや酸による化学的な剥離除去技術はあるが,使用回数の増加による除去能力の低下や液交換費用,収集運搬費用などの廃液処理費用の増大およびそれに伴う環境負荷の増大が課題となっている.

当社の新技術として,従来技術の課題を解決するため,化学的方法の一つである電解硫酸技術の適用を検討した.本技術では,廃棄されたマグネットワイヤから高純度の銅材のみを歩留まりよく回収し,荒引線の原料としてリサイクルする.更に,剥離後の廃液については,溶液内に存在する絶縁材成分を分解除去し,外部に排出することなく,剥離溶液として繰り返し利用可能なクローズドシステムとすることで,エネルギー消費と環境負荷を低減できるリサイクル技術を提供する.

3. 実験方法

3.1 実験装置

図3に絶縁材の剥離除去方法および剥離溶液の再生方法についてのリサイクルフロー図を示す.処理工程としては,剥離溶液である硫酸溶液によりマグネットワイヤから絶縁材を剥離除去後,酸化膜が表面に形成しているため必要に応じ酸化膜を除去する工程と,剥離に使用した硫酸溶液を再生する工程からなる.

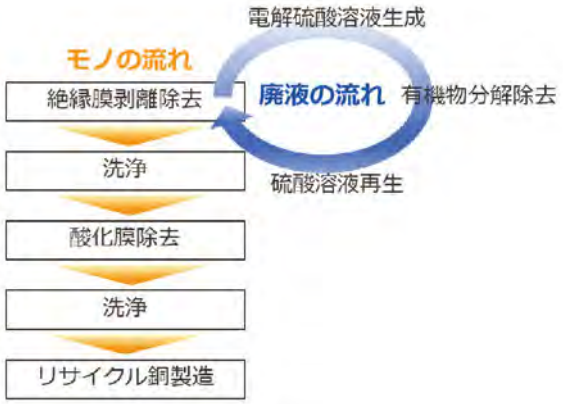


図3 リサイクルフロー図

図4に実験装置の外観写真を示す. 図内左側の破線で囲んだ部分はドラフトチャンバーで, その中に剥離除去槽があり, 剥離後使用した硫酸溶液をポンプでくみ上げ, 図内右側の電解硫酸装置内の電解セルに導入し電解処理することで, 電解硫酸溶液が生成される. そして, 電解硫酸溶液により絶縁材成分であるポリイミド樹脂を分解除去することで, 剥離除去用の硫酸溶液として再生することができる.

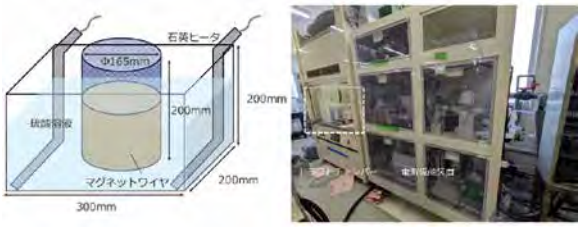


図4 実験装置

3.2 実験条件

モータから取り出したマグネットワイヤ1kgを145℃に昇温した濃度87.5wt%硫酸に60分浸漬させ,約20gの絶縁膜を溶解させた.一方,電解硫酸装置では,電解セル温度50℃,流量3～6L/min,電流密度40A/dm^2, 電圧25Vの条件下でホウ素をドーピングしたダイヤモンド電極を用いて電解し,硫酸溶液の再生を行った.

次に電解硫酸溶液について説明するため,図5に20℃における硫酸溶液でのイオン解離を示す[4].硫酸溶液内に存在する硫酸水素イオン(HSO_4^-)にセル電圧を印加し電気分解すると,高い酸化還元電位を有するペルオキソ二硫酸($S_2O_8^{2-}$)が生成される(式1).しかし,ペルオキソ二硫酸は不安定なため,式(2),(3)に示す通り,ペルオキソ一硫酸(HSO_5^-)や過酸化水素(H_2O_2)に自己分解することから,電解硫酸溶液内には3種類の酸化剤が存在する.

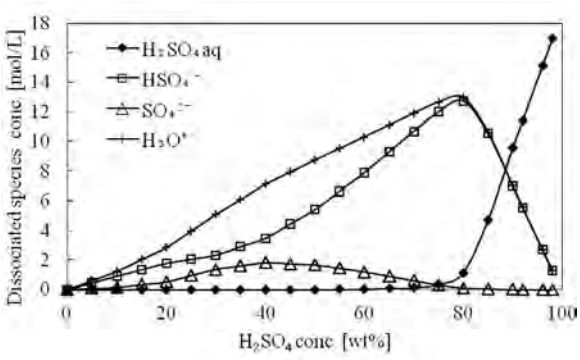


図5 硫酸の解離平衡(20℃)

$$2HSO_4^- \rightarrow 2H^+ + S_2O_8^{2-} + 2e^- \ (E^0=2.01[V]) \quad (1)$$

$$S_2O_8^{2-} + H_2O \rightarrow HSO_5^- + HSO_4^- \ (E0=1.81[V]) \quad (2)$$

$$HSO_5^- + H_2O \rightarrow HSO_4^- + H_2O_2 \ (E0=1.78[V]) \quad (3)$$

特にペルオキソ二硫酸は酸化還元電位＋2.01Vと高い酸化力を有しており, 半導体製造に使われるフォトレジストやシリサイド金属の残差などの分解技術として利用されている[5].

この高い酸化力に着目し, 剥離後使用した硫酸溶液を廃棄することなく分解除去することで, 繰り返し利用することに成功したため報告する.

3.3 評価方法

銅材の銅純度測定として,電解装置(松定プレシジョン製 PLE-18-2),電子天秤(ザルトリウス製ENTRIS224i-1S)および原子吸光分析装置(Agilent Technologies製 AA240)を用い,電解重量法により測定した.

銅材の酸素含有量測定として,酸素分析装置(LECO製ONH836型)を用い,JIS H 1067により測定した.また,銅材の表面酸化状態確認として,金属酸化膜測定装置(ECI TECHNOLOGY製 QC-100)を用い,SERA法により測定した.

銅残存率測定として,マイクロスコープ(KEYENCE製 VHX-7000)を用い,倍率80倍で観察後,銅材部分の縦横長さを測定し残存率を算出した.

最後に,剥離溶液内の全有機炭素量測定として,全有機炭素計(島津製作所製 TOC-L)を用い,NPOC法により測定した.

4. 結果および考察

4.1 剥離後溶液の観察結果

図6に剥離前後の外観写真を示す.剥離前無色透明であった溶液が,剥離後黒色へと変化し,マグネットワイヤの入った円筒ケースの上部に溶解した絶縁材が浮遊している.また,剥離溶液は使用回数の増加に伴い更に色が濃くなり,浮遊する絶縁材の量も多くなる.

剥離前　　剥離後

図6　剥離前後の外観写真

4.2 剥離後溶液内残留物の観察結果

図7に剥離後溶液内の残留物観察結果を示す. 剥離後10～200μm程度のポリイミド樹脂残留物が溶液中に存在する. そのため, 本剥離除去工程は, 疎水性を有する樹脂と疎水性の硫酸溶液との間での分子間相互作用により, 樹脂が徐々に崩壊する物理的な反応であり, 剥離後は樹脂が硫酸溶液中に分散し溶け混ざり合っている.

剥離溶液内残留物　　拡大画像

図7　剥離溶液内残留物観察結果

4.3 銅純度分析結果

表1にマグネットワイヤ(絶縁膜剥離前品),絶縁膜剥離除去品,絶縁膜/酸化膜除去品の外観写真および銅純度分析結果を示す.

表1　銅純度分析結果

サンプル	外観写真	銅純度
マグネットワイヤ(絶縁膜剥離前品)		97.1%
絶縁膜除去品		99.96%
絶縁膜/酸化膜除去品		99.99%

絶縁膜を除去することで,銅純度が無酸素銅同等レベルの純度(99.96%以上)となるが,表面に酸化膜を形成しており銅材表面の色が暗褐色となっている.絶縁膜除去後更に酸化膜を除去すると銅純度が99.99%となり,無酸素銅同様の金属光沢のある赤褐色となる.

4.4 酸素含有量および金属酸化膜分析結果

図8に酸素含有量分析結果および金属酸化膜測定結果を示す.絶縁膜除去品の酸素含有量は0.002%であり,無酸素銅(≦0.001%)と比較し酸素含有量が若干多いが,酸化膜を除去することで酸素含有量は≦0.001%となり,無酸素銅同等となる.

また,SERA法による金属酸化膜測定結果より,絶縁膜除去品は酸化膜厚が32.0nm(Cu_2O膜厚8.5nm,CuO膜厚23.5nm)であり,絶縁膜剥離時の加温により酸化が進みCuOの割合が多くなったと推測する.それに対して,酸化膜除去品の酸化膜厚は3.0nm(Cu_2O膜厚2.0nm,CuO膜厚1.0nm)とCu_2O,CuOともに大幅に減少している.

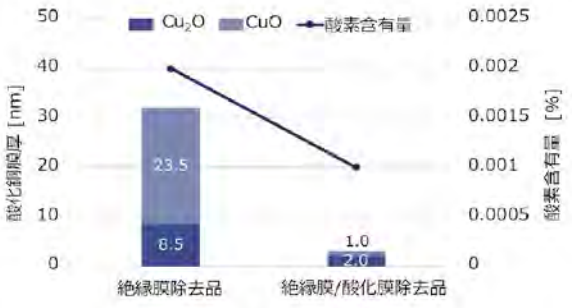


図8　酸素含有量および金属酸化膜分析結果

4.5 銅残存率測定結果

表2に銅残存率測定結果を示す. 断面観察結果より, 絶縁膜剥離前の銅材部分と比べ銅材表面が凸凹しているなど銅が溶解している形跡はみられない. また, 断面積より算出した絶縁膜除去品の銅残存率は99.73%, 酸化膜を除去しても99.22%となり, 回収する銅材が溶解することなく, 回収率99%以上の高い歩留まりを得る.

表2　銅残存率測定結果

サンプル	外観写真	銅断面積	銅残存率
マグネットワイヤ(絶縁膜剥離前品)		4.310mm²	–
絶縁膜除去品		4.290mm²(▲0.012mm²)	99.73%
絶縁膜/酸化膜除去品		4.276mm²(▲0.034mm²)	99.22%

4.6　全有機炭素量分析結果

図9に①剥離溶液,②剥離溶液分解後の外観写真および全有機炭素量測定結果を示す.また,今回繰り返し安定性を評価するため,剥離および分解の一連の工程を1サイクルとし,2サイクル目を③分解後#2,3サイクル目を④分解後#3として示す.結果から,①剥離溶液の着色状態が黒色であるのに対し,分解することで無色透明となり,全有機炭素量も大幅に減少する.また,繰り返し安定性をみても,着色状態および全有機炭素量が変わらず安定した挙動を示している.

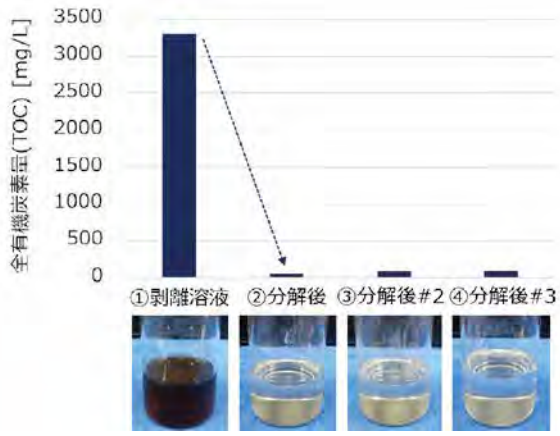


図9　全有機炭素量分析結果

剥離溶液中に残存するポリイミド樹脂を分解除去し再生するメカニズムについて説明する.ペルオキソ二硫酸($S_2O_8^{2-}$)と樹脂との反応は比較的遅い反応であり,また硫酸水素イオン(HSO_4^-)へと自己分解してしまうため,樹脂の酸化分解に対して有効に作用しない.そこで,式(4)より,ペルオキソ二硫酸に熱エネルギーを加えることにより分解し硫酸ラジカル($SO_4^{-}\cdot$)を生成する.そして,式(5)よりペルオキソ二硫酸の一部は,ペルオキソ一硫酸とヒドロキシラジカル($OH\cdot$)へと自己分解される.

ペルオキソ二硫酸の酸化還元電位＋2.01Vであるのに対して,硫酸ラジカルの酸化還元電位は＋2.5～3.1 V,ヒドロキシラジカルの酸化還元電位は＋2.7 Vとより高い酸化還元電位を有する.また,持続時間としては,硫酸ラジカルが30～40sであるのに対してヒドロキシラジカルは20nsであり,硫酸ラジカルの方が高い酸化力を有し,かつ持続時間が長いため分解においてより効果的であると思われる[6].この高い酸化力により,生成した硫酸ラジカルやヒドロキシラジカルは,樹脂から電子を奪うことで,安定な芳香族化合物や不飽和結合なども解裂させることができ,それぞれ式(6),(7)に示す通り,最終的には二酸化炭素や水などの無害な物質へと酸化分解され,溶液内から樹脂が除去される.

樹脂の酸化分解後の溶液については,硫酸濃度が変化することなく硫酸イオンへと戻るため,剥離除去工程にて繰り返し使用可能となる.よって,剥離溶液の長寿命化が図れるシステムを提案できる.

$$S_2O_8^{2-} \rightarrow 2SO_4^{-}\cdot \quad (4)$$

$$2SO_4^{-}\cdot + H_2O \rightarrow 2HSO_4^{-} + 2OH\cdot \quad (5)$$

$$C,H + 2SO_4^{-}\cdot \rightarrow 2HSO_4^{-} + xCO_2 + yH_2O \quad (6)$$

$$C,H + 2OH\cdot \rightarrow xCO_2 + yH_2O \quad (7)$$

5.　おわりに

本技術を用いることで,硫酸溶液により廃棄されたマグネットワイヤから高純度の銅材のみを歩留まりよく回収でき,無酸素銅同等レベルの品質を得ることがわかった.更に,廃液中に存在する絶縁材成分を電解硫酸溶液により分解し,外部に排出することなく,剥離溶液として繰り返し利用するシステムの提案ができ,この技術については特許登録となっている.

今後は,マグネットワイヤへのリサイクル銅材適応に向け取り組んでいく.

謝辞

本研究を進めるにあたり,共同研究頂いたミクロエース株式会社および社内外の関係者の方々に深く感謝いたします.

参考文献

1) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 銅ビジネスの変異
2) 経済産業省　METIJournal https://journal.meti.go.jp/policy/202510/41935/
3) 角　正臣;日本鉱業会誌/89 1022 ('73-4), p.281
4) Nobuko Gana, Yuichi Ogawa, Tatsuo Nagai, Toru Masaoka, Kurt Wostyn, Farid Sebaai, Frank Holsteyns, Paul W. Mertens：ECS transactions, Vol.69, No.8, p.p.277-284 (2015)
5) 永井達夫：表面技術協会, Vol.67, No.8,p.p.421-426 (2016)
6) Zhendong Li, Yanmei Sun, Dongfang Liu, Malan Yi, Fang Chang, Huiting Li & Yunyi Du.：Catalysts, Vol.12,No.1092,p.p.1-18(2022)

筆　者

酒井　尚樹
材料技術部
モビリティ材料第2開発室
表面処理材料開発に従事

技術論文

量子ネイティブな未来へ:ゲート式量子コンピュータによる実規模輸送ルート最適化

齊藤　岳穂　Takaho Saito
森山　英二　Eiji Moriyama

概　要

ゲート式量子計算を中核に,実規模の輸送ルート最適化を量子回路化し,量子機械学習による実問題適用の成立性を示した.選定した量子回路を量子シミュレータ上で運用し,輸送率100%を維持したまま,古典計算と比較して性能が改善することを確認した.

1. はじめに :量子技術への期待とアイシンの挑戦

1.1 量子技術の時代背景

量子技術は,基礎研究の成果が産業応用へ移行する転換点にある.国連総会は2025年を「国際量子科学技術年(IYQ)」と宣言し,量子科学の社会実装を国際的に推進している.2022年のノーベル物理学賞では量子もつれの実証が顕彰され,量子力学の正当性が決定づけられた.さらに2025年の同賞では,電気回路における巨視的量子トンネル効果とエネルギー量子化を手のひらサイズの系で示した成果が顕彰され,量子現象をハードウェアとして制御し活用する潮流が一層明確になっている.

1.2 なぜ今,量子コンピュータか

実社会の最適化問題は,選択肢が指数関数的に増大する「組合せ爆発」の壁に直面している.特に,時間や積載量といった厳格な制約条件を伴う輸送計画等は,規模が拡大すると従来コンピュータである古典コンピュータでは最適な答えを導き出すことが困難となる.これに対し量子コンピュータは,従来とは全く異なる量子力学に基づく新しいコンピュータであり,現在の計算能力の限界を突破する可能性を有している.現段階のハードウェアは発展途上ではあるが,実用化に向けては,現実の制約下でどの規模まで解けるかを実証することが重要である.

1.3 アイシンの狙い

我々は,量子コンピュータを将来の計算基盤の一つとして捉え,実問題での適用可能性を段階的に検証している.本稿では,「トラック輸送ルート最適化」を例題として取り上げる.データには実規模の19拠点データを用いて,量子計算を用いた解探索の成立性と効果を検討する.

2. 量子コンピュータの概要と検証アプローチ

2.1 計算原理の違い:ビットから量子ビットへ

1章で述べた「組合せ爆発」の課題に対し,量子コンピュータがブレークスルーとなり得る背景には,情報の持ち方が根本的に異なる点がある.古典コンピュータが「0」または「1」のいずれかの状態をとるビットで情報を処理するのに対し,量子コンピュータは「0」と「1」を同時に合わせ持つ量子ビットを用いる.この重ね合わせ等の性質により,探索空間が極めて大きい問題に対して,解探索や学習の一部を効率化できる可能性がある.本稿で扱うゲート式量子コンピュータでは,量子ゲートの並びを量子回路として設計し,実行・測定して結果を得る.以降,「量子回路化」とは,対象問題の解探索手順の全部あるいは一部を量子回路として表現可能な形へ変換することを指す.計算原理が異なるため,古典アルゴリズムをそのまま量子計算で実行することはできず,量子コンピュータの性能を活かすには,量子計算に適合したアルゴリズム設計が不可欠である.

2.2 ハードウェアの現在地

量子コンピュータの産業応用には,ハードウェアの成熟度を理解する必要がある.現在の量子コンピュータはNISQ(Noisy Intermediate-Scale Quantum)と呼ばれる段階にあり,数十～百数十量子ビット規模で利用可能である一方,計算過程でノイズが発生しやすい.この

ため,回路が深くなるほど結果が劣化しやすく,大規模問題をそのまま実機で扱うことは容易ではない.一方,将来像として,量子誤り訂正により誤り耐性を備えたFTQC(Fault-Tolerant Quantum Computer)が研究開発されている.FTQCの実現には大規模な量子ビット資源が必要とされ,到達には時間を要する.したがって現時点では,NISQの制約を前提に,「アルゴリズムのどの部分を量子回路化し,どの規模まで成立させるか」を設計することが要点となる.

2.3 実用化に向けた架け橋:量子シミュレータ

本研究で扱う19拠点規模の実データを,現状のNISQ実機で直接解くことは,精度・規模の観点から制約が大きい.そこで,アルゴリズム自体のポテンシャルを先行して検証する基盤として量子シミュレータを用いる.量子シミュレータは,古典コンピュータ上で量子回路の振る舞いを数値的に模擬する技術であり,ハードウェアに依存せずに量子回路の設計検討や動作確認を行える.厳密な模擬は量子ビット数に対して計算量・メモリ量が指数的に増大し,大規模回路では計算負荷が高いという制約もあるが,ノイズを含まない理想的な挙動を確認できるため,量子回路化の妥当性評価に適する.

3. 提案アプローチ

3.1 目標と全体像

本研究では,輸送ルート最適化を制約付きTSP(Travelling Salesperson Problem)として捉え,探索空間が大きく制約が複合する問題に機械学習を適用する.探索の枠組みは強化学習を基本とし,探索効率を高めるための手法を組み合わせる.また,グラフ構造データの特徴抽出にGNN(Graph Neural Networks)[1]や,複数の情報を同時に考慮しながら最適な意思決定を行うMHA(Multi-Head Attention)[2]を用いた.

3.2 量子×古典ハイブリッド方針

現在のNISQデバイスではエラー率や規模の制約が大きく,NN(ニューラルネットワーク)全体を量子回路化することは容易ではない.そこで本研究では,古典コンピュータが周辺処理と学習制御を担い,量子化の効果が期待できる計算要素に量子回路を適用するハイブリッド構成とした.

4. アルゴリズム実装

本章では,強化学習とActive Search[3]による解探索ループ,およびGNN・MHAによる意思決定構造を説明し,量子回路化する計算要素を明確化する.

4.1 解探索ループ

本手法は,エピソード(1日の輸送計画を最後まで作る1回の試行)を多数回反復し,良い解が出やすい方向へ探索を寄せる.図1に示すように,(1)同一NNで候補解を複数生成(バッチ),(2)輸送率に基づくスコアで評価,(3)ベスト結果を保存し,(4)スコアを用いてNNを更新する,という処理を繰り返す.

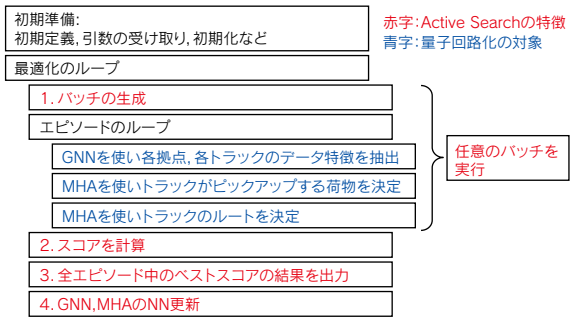


図1 処理フロー

4.2 強化学習

強化学習では,エージェント(輸送計画モデル)が環境(トラック・輸送拠点・荷物情報)を観測し,行動として「積荷の決定」と「移動先」を選択する.報酬は,全荷物に対して実際に輸送した荷物の割合である輸送率を最大化するよう設計した.

4.3 Active Search

Active Searchは,個々の入力である当日の輸送条件に対して,解探索ループのバッチ生成→評価→保存→更新を反復し,その入力に適した探索へ逐次調整する手法である.これにより,総当たりではなく,良い解が出やすい方向へ探索を誘導しながら改善を重ねることができ,局所的最適解に陥るリスクを低減できる可能性がある.

4.4 NN構造:GNNエンコーダとMHAデコーダ

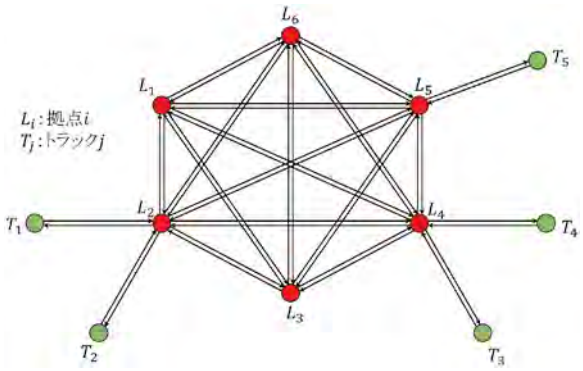


図2 輸送計画の状態を表すグラフの例

赤ノードL_iは拠点,緑ノードT_jはトラックを表す.拠点間エッジは移動関係(距離・時間等),トラック—拠点エッジはトラックの位置や到達可能性など,意思決定に必要な関係を表現する.

輸送計画の状態は,図2のように拠点とトラックからなるグラフとして表す.GNNはエンコーダとしてグラフ上

の情報を集約し,意思決定に用いる埋め込み表現へ変換する.得られた埋め込みを入力とし,MHAがデコーダとして(1)積み荷選択,(2)次の移動先選択を逐次的に行う.

4.5　量子回路化の対象

3章で述べた通り,規模やノイズのNISQ制約を踏まえ,本研究では古典処理と量子回路を用いるハイブリッド構成とした.具体的には,図3に示すGNNエンコーダと,2つのMHAデコーダの主要部を量子回路として実装する.入力特徴量を量子状態へエンコードし,量子回路でGNNによる特徴変換とMHAによる注意計算を行った後,測定により古典データとして読み出して後段処理に接続する.

なお,量子回路には複数の種類があり,計算コストや学習挙動への影響は重要であるため,量子回路3種類の比較を予備検証として6章にまとめて示す.

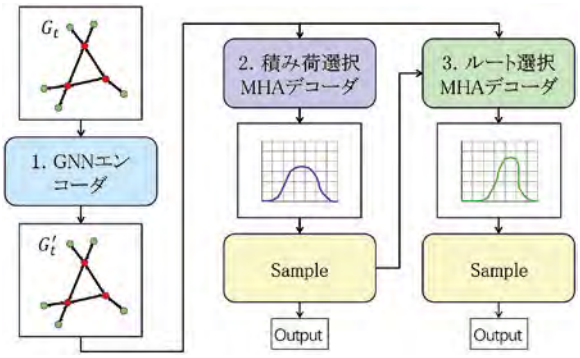


図3　提案モデルの処理フロー

時刻tの状態グラフG_tをGNNエンコーダで埋め込み表現G_t'に変換し,MHAデコーダにより(1)積み荷選択,(2)移動先選択を順に行う.本稿では,これらエンコーダおよびデコーダの主要部を量子回路として実装する.

5.　古典機械学習を用いた評価結果

本章では,量子回路化を伴わない古典機械学習アルゴリズムを用い,実規模(19拠点・1日分)の実データに対して輸送ルート最適化を行い評価した.

5.1　評価環境

評価環境はAWSのc7a.4xlargeを使用した.データは,各品番の箱総数・輸送先・箱サイズ・総重量,および各拠点の受入シフト(昼勤・夜勤)と拠点間移動時間を含む.制約条件として,受入シフト遵守,出発拠点への復帰,1シフト8時間(1日2シフト),各回40分の荷役作業時間を適用した.

5.2　最適化結果

古典機械学習を適用した結果,輸送率100%を満たす計画を,トラック5台・ドライバ9名で導出できた.これは,トラック6台・ドライバ10名の人手の計画に対し,輸送リソースを約16%削減しつつ輸送率100%を達成したことを意味する.

この結果から,実データ規模においても古典機械学習により(i)制約を満たした計画生成,(ii)輸送率100%の確保,(iii)輸送リソースの削減,が同時に成立することを確認できた.本結果は,7章で扱う量子機械学習の効果を評価する際の,比較基準として用いる.

表1　評価結果

		人	古典機械学習(量子回路化なし)	量子機械学習(量子回路化あり)
アルゴリズム	手法	手作業	・強化学習 with Active Search ・GNN ・MHA NN	・強化学習 with Active Search ・量子GNN ・量子MHA NN
	目的関数	−	運んだ荷物割合の最大化	
入力・制約	拠点数	19		
	1シフトのトラック稼働時間	8時間		
	1日のシフト数	2シフト		
	トラック輸送終了地点	開始地点と同じ		
	荷役時間	40分/回		
結果	輸送率	100%		
	トラック台数とドライバ人数	6台 10名	5台 9名	5台 9名
	トラック総稼働時間	80時間	69時間55分	63時間53分
	計算時間	−	6時間30分	4時間40分

6.　量子回路の予備検証:回路構造と採用回路の決定

本章では,7章で示す量子機械学習の本評価に先立ち,量子回路構造の違いが学習の到達度と目標到達までの計算コストに与える影響を整理し,量子機械学習で用いる回路を選定する.評価対象は,量子直交層(Quantum Orthogonal Layer)[4]を構成する代表的な3種類の回路Pyramid, Iks, Butterflyである.いずれもRBS(Reconfigurable Beam Splitter)ゲートにより直交変換(SO(n))を実装する量子回路として位置づけられる.

6.1　評価設計

回路差の影響を明確にするため,評価は「解探索として成立しているか」と「計算資源として現実的か」の2点に集約した.ただし,回路構造の比較で混乱が生じやすい点として,固定の学習回数で測る計算時間(単位計算時間)と,所定の性能に到達するまでに要する計算時間(総計算時間)を区別して扱う.

本章では,以下を記録し,回路の成立性と効率性を総合評価した.

(1) 学習終了時点のベスト輸送率
(2) 全バッチの平均輸送率
(3) 学習回数(学習の進み方の比較に使用)
(4) 計算時間(固定学習回数での単位計算時間,および必要学習回数を加味した総計算時間の推定に使用)

ベスト輸送率から輸送率100%であることを確認した上で,輸送率100%が得られる実行を複数回確保し,全バッチの平均輸送率と学習回数の傾向を比較した.計算時間については,単位計算時間の推移と,輸送率の到達挙動から推定される必要学習回数を合わせ,目標到達までの総計算時間として解釈した.

なお,目的関数には時間項を含まないため,トラック総稼働時間は回路性能比較の主指標からは外し,本章では回路構造が学習と計算コストに与える影響に焦点を当てる.

6.2　比較した3種類の量子回路

図4に,比較対象とした3種類の回路模式図を示す.Pyramid回路はSO(n)の次元に一致するn(n−1)/2個のパラメータを持ち,表現力が高い一方で深さが量子ビット数に対して線形となる.Butterfly回路はパラメータ数が(n log n)/2で,深さが対数オーダとなり効率的であるが,表現力と接続性の面で制約が生じ得る.Iks回路は,上記二者の中間的な設計思想として比較に含めた.

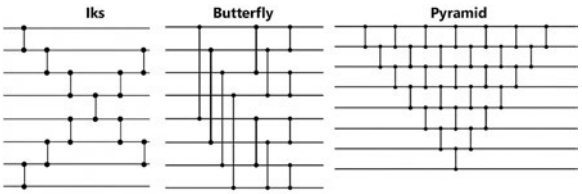


図4　量子直交層を構成する3種類の量子回路の模式図

いずれもRBSゲート列により直交変換を実装し,深さや接続性のゲート配置とパラメータ数が異なる.

6.3　量子回路の役割

本研究の量子回路は,古典ベクトルを量子状態へ写像し,直交変換を与えた後,測定により古典特徴量として読み出す「量子直交層」として機能する.入力は,n次元ベクトル x をユニタリ空間上で扱うため,単項基底上の振幅として符号化する.具体的には,以下のUnary basis encoding形式でエンコードする.

$$|x\rangle = \frac{1}{\|x\|}\sum_{i=1}^{n} x_i|i\rangle$$

直交変換はRBSゲートにより実装される.RBS(θ)は$\{|01\rangle,|10\rangle\}$部分空間で回転を与え,量子直交層の基本部品となる.また,量子状態から古典ベクトルを復元するには測定が必要であり,符号も含めた復元のためにトモグラフィ手順が導入される.これは追加の計算コストを伴い,要求精度が高いほどショット数が増える点に留意が必要である.

6.4　予備検証結果とPyramid回路採用理由

予備検証の結果,回路構造の差は主に(1)単位計算時間,(2)学習の進み方(到達挙動),(3)規模拡大への感度に現れ,(4)最適化の安定性に大きな差は現れなかった.以下に要点を示す.

6.4.1　単位計算時間(固定学習回数での計算時間推移)

固定学習回数(100,300,500,1000)に対する計算時間推移を図5に示す.単位計算時間は,概ね量子回路の深さ(量子ゲート数)に依存し,Pyramidは他方式に比べて長くなる傾向が確認された.これは,Pyramidが高い表現力を得る代償として回路が深くなる設計であることと整合している.

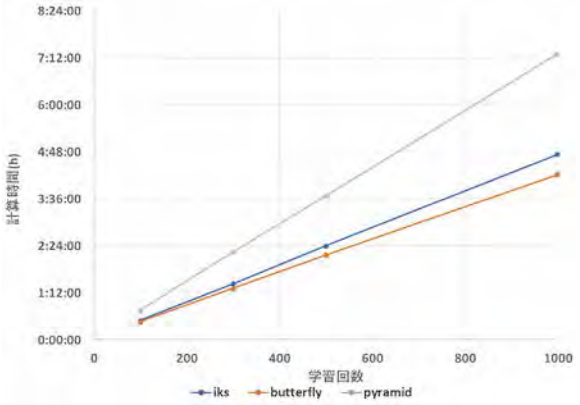


図5　学習回数と計算時間の推移(単位計算時間の比較)

6.4.2　学習挙動

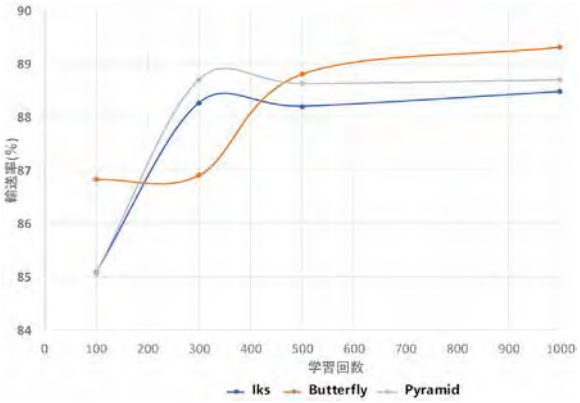


図6　学習回数と輸送率の推移

学習回数100〜300の区間で,Butterflyのみ学習が進みにくい傾向が確認された.一方で,輸送率の最終水準である到達点は3種類で概ね同水準であり,頭打ちの挙動自体は共通して観測された.

ここで重要なのは,単位計算時間が短い回路が必ずしも総計算時間で有利とは限らない点である.すなわち,単位計算時間が長いPyramidであっても,輸送率がより少ない学習回数で目標水準に到達するならば,目標到達までの総計算時間は抑えられる可能性がある.本章ではこの観点を採用理由に反映する.

6.4.3　規模拡大への感度

エンコーダ入力次元に対しては,Butterflyは頭打ち傾向が示唆される一方,IksとPyramidは検証範囲では規模が大きいほど性能が向上する傾向が確認された.デコーダ入力次元については,3種類で差はほぼ見られなかった.本研究では実データ規模への拡張を重視するため,規模拡大に対して性能が劣化しにくい傾向は,回路選定の重要な判断材料となる.

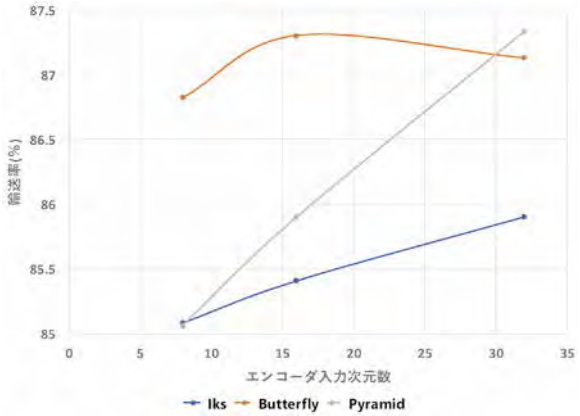


図7　エンコーダ入力次元と輸送率の推移

6.4.4　最適化の安定性

エンコーダとデコーダの組合せを変えた総当たり評価により,輸送率100%に達した回数が5回に到達するまでに「輸送率100%にならなかった回数」を失敗回数としてカウントし,最適化の安定性を比較した.どの量子回路も連続して5回輸送率100%に到達し,安定性に差のないことが確認された.

6.4.5　混合量子回路による補強評価

上述のとおり,固定学習回数での単位計算時間では量子ゲートが多いほど不利になり得るため,回路の総合的な効率を追加で確認する目的で,エンコーダとデコーダに異なる回路種を割り当てる混合量子回路の比較を学習回数固定で実施した.結果として,デコーダ側にPyramidを用いる組合せが高い輸送率を示す傾向が確認され,量子直交層の中でも特にデコーダでPyramidが有効に機能することが示唆された.

表2　混合量子回路の比較結果

		デコーダ		
		Iks	Butterfly	Pyramid
エンコーダ	Iks	86.722	86.75	88.586
	Butterfly	88.96	87.324	89.072
	Pyramid	87.08	87.464	89.826

以上を踏まえ,本研究の量子機械学習で用いる量子回路はPyramidとした.Pyramidは単位計算時間の観点では不利になり得る一方,(i)学習の到達挙動が良好で必要学習回数を抑えられる可能性が高いこと,(ii)規模拡大に対して性能が向上する傾向が確認されたこと,(iii)混合量子回路の比較においてPyramid(特にデコーダ側)の有効性が示唆されたことを総合し,目標到達までの総計算時間を抑えつつ,量子回路化を推進できる回路として採用した.これにより,量子回路化による解の成立と,実装上の計算資源に対する現実性の両立を優先した.

7.　量子機械学習を用いた評価結果

本章では,古典機械学習と同一条件の計算環境を用い,量子機械学習の性能を評価した.

7.1　評価環境

評価環境はAWSのc7a.4xlargeとし,19拠点の1日分の実データを対象とした.制約条件も同一とした.

量子計算は,同AWSインスタンス上で量子シミュレータを実行し,6章で選定したPyramid回路を用いて最適化を行った.

7.2　最適化結果

5章で述べた古典機械学習に対し量子機械学習でも,輸送率100%を維持したまま,トラック台数およびドライバ人数の必要リソースは古典機械学習と同等の5台・9名となった(表1).加えて,トラック総稼働時間が69時間55分から63時間53分へ約8.6%短縮し,運用面の効率が向上した.さらに,同一AWS環境上での計算時間も6時間30分から4時間40分へ約28%短縮し,解探索の実行効率の観点でも改善が確認できた.6章で述べた通りPyramid回路は学習の収束が早く,少ないエピソード数で解に到達したため,計算負荷の高い量子シミュレータを用いても計算時間が短縮されている.

8.　おわりに

8.1　成果の総括

本稿では,輸送ルート最適化を例題として,量子計算を組み込んだ機械学習による解探索の成立性と効果を検証した.量子回路化した特徴抽出および意思決定を含む量子古典ハイブリッド構成により,19拠点の実データ規模の制約付き問題に対しても解探索が成立し,100%の輸送率を維持したまま,トラック総稼働時間および計算時間の短縮を量子シミュレータ上で実行することで示した.これにより,量子技術を実務課題へ適用するためのアルゴリズム設計と検証基盤が整いつつあることを示した.

さらに,量子ハードウェア制約を考慮した3拠点という限定的な規模ではあるが,同一の制約条件の下で,127

量子ビットのIBM量子コンピュータ「IBM-Osaka」を用いた実機計算も実施した.誌面の都合上,本稿では詳細を割愛するものの,IBMが提供するエラー抑制[5]やエラー緩和[5]機能等を併用することで,実機環境においても量子回路が動作し得ることを確認している.

8.2 今後の展望

今後は,量子コンピュータ実機の成熟度を見極めながら,実機での検証を適切なタイミングで段階的に進める.実機検証ではFTQCの到来も視野に入れ,古典計算のみでは探索が困難となるさらなる大規模問題(例えば100拠点規模)への挑戦を検討する.加えて,本稿で得た量子機械学習の知見を,物流に留まらず材料開発やCAE等,製造業における製品設計の課題へ横展開し,課題解決への寄与を目指す.

8.3 謝辞

本研究はアメリカに本社を置くQC Ware社との共同研究として実施しました.同社からの技術的支援および有益な助言に対し,深く感謝の意を表します.

参考文献

1) T.N.Kipf,M.Welling:Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks,International Conference on Learning Representations(ICLR)(2017),https://openreview.net/forum?id=SJU4ayYgl
2) F.Sanches,et al.:Short Quantum Circuits in Reinforcement Learning Policies for the Vehicle Routing Problem, Physical Review A,Vol.105,p.062403(2022),https://doi.org/10.1103/PhysRevA.105.062403
3) N.Heess,et al.(Google DeepMind):Producing flexible behaviours in simulated environments, https://deepmind.google/discover/blog/producing-flexible-behaviours-in-simulated-environments/(参照2025.02.10)
4) I.Kerenidis,et al.:Classical and Quantum Algorithms for Orthogonal Neural Networks,arXiv:2106.07198(2021),https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.07198
5) IBM:Error Mitigation and Suppression Techniques,IBM Quantum Documentation, https://docs.quantum.ibm.com/guides/error-mitigation-and-suppression-techniques

筆 者

齊藤 岳穂
第1先行開発部
インフラ基盤技術開発室
量子技術開発に従事

森山 英二
第1先行開発部
インフラ基盤技術開発室
量子技術開発に従事

技術論文

電動化車両における，モータ，インバータの各設計変更に伴うCN（Carbon Neutral）の相互影響予測

岩月　健　Ken Iwatsuki
黒川　顕史　Akifumi Kurokawa
桂田　竜児　Ryuji Katsurada

概　要

本稿では,関連部品の特性およびMGの駆動状態が損失に与える影響を考慮した簡易MGモデルを構築し,車両モデルと接続することで,車両全体のCO_2排出量を定量的に算出可能な評価モデルを構築した.本モデルにより,部品構成,設計条件および制御条件の違いが,車両全体のCO_2排出量に及ぼす影響を車両視点で一貫して評価することが可能である.

本モデルは,車両視点に立脚したシステム検討を可能とし,OEMとの仕様最適化検討やシステム価値の定量的評価に活用できる.今回はその一例として,部品（モータ評価用インバータ向けパワー半導体）および制御の変更が車両全体のCO_2排出量に与える影響について示す.

1. はじめに

カーボンニュートラル実現に向け,あらたな価値を創造し,電動化を加速させることが求められている.電動化に対応するため,1人乗りの小型車両としては電動スクーターや超小型EV,大型車両としては電動バスやトラックなどが挙げられ,それぞれに数ワットから数百キロワットの駆動モータが搭載されている.車両の利用形態も多様で,通勤のような低・中速域を主とするケースから,長距離運送用の高速域を主とするケースまで存在する.また,PE要素部品（例：モータ・インバータなど）は,車両全体の性能および効率に多大な影響を及ぼす重要部品である.このため,出力や使われ方の異なるこれらの電動化システムの開発には多くの工数が必要となる.

これらの部品による車両全体への影響を開発初期段階で評価可能なマルチドメイン開発環境の構築が求められており,このような開発環境が整備されれば,CO_2排出量削減を目的とした車種ごとのモータ・インバータ設計や制御技術設計,ならびにシステム最適化の検討が実現可能となる.

図1　資源循環システム

2. 開発のねらい

マルチドメイン開発環境として,モータ,インバータの設計変更に紐づき,車両への影響（CO_2排出量）を可視化できるモデル環境を整備した.（図2参照）

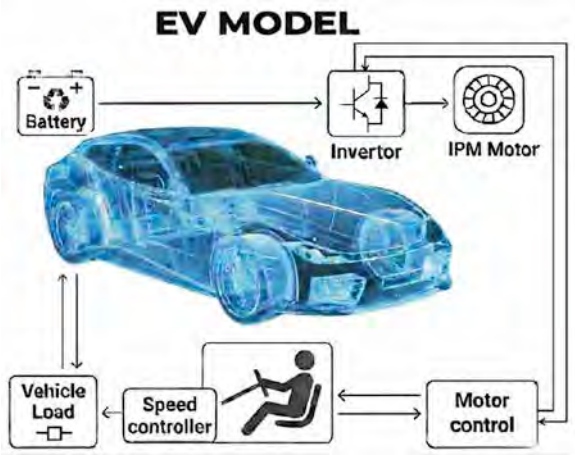


図2　EVモデル

本稿では,本モデルを適用したシステム最適化の実例として,インバータスイッチングに起因するスイッチング損失およびモータ損失に焦点を当てる.さらに,ハードウェア構成および制御手法の変更がCO_2排出量へ与える影響について詳細に考察する.

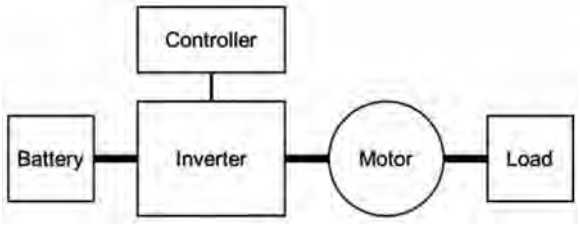


図3　制御モデル

電動車両において,モータ,インバータを駆動制御する際,バッテリ直流電圧を交流電流に変換する手法としてゲート信号をPWM制御することが一般的である.そのPWMスイッチング周期（周波数）が及ぼす影響は,図4で示すように,スイッチング周波数の高い場合,モータ損失（CO_2排出量）低減に有利になるが,インバータでは低い周波数の方がインバータ損失（CO_2排出量）低減に有利になる.両者の最適条件は異なるため,全体設計ではバランスを考慮する必要がある.

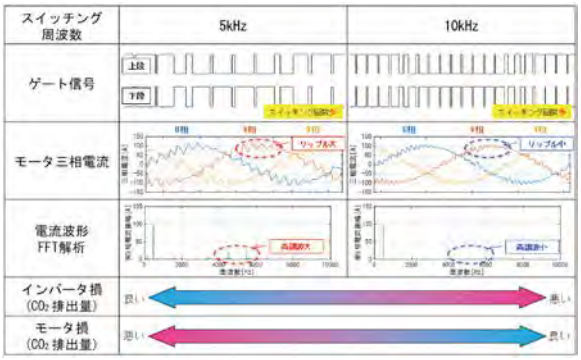


図4　スイッチング周期（周波数）が及ぼす影響

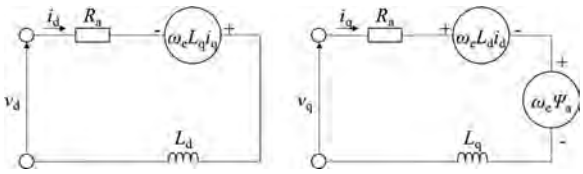
3. 電動主要部品とCN（Carbon Neutral）の相互影響

今回モデル化したモータとインバータの主要諸元を表1に示す. モータの種類はHEV, EV用のモータとして最も普及している埋込磁石形同期モータ（IPMSM）である.

IPMSMの主要特性（トルク, 三相電流入力時の端子電圧）はd-q軸座標系等価回路を用いると比較的簡単に導出できる. 図中の各記号は, v_d, v_q:d軸,q軸電圧[V], i_d, i_q:d軸,q軸電流[A], R_a:電機子巻線抵抗[Ω], ω_e:電気角速度[rad/s], L_d, L_q:d軸,q軸インダクタンス[H], Ψ_a:鎖交磁束[Wb]である.

表1　モータ仕様（試作品）

IPMSM/Inverter	
Phases	3 phases
Poles	4 poles
Max Power	150kW
Power Module	Si-IGBT/SiC-MOSFET



(a)d-axis equivalent circuit　(b)q-axis equivalent circuit

図5　IPMSMのd軸q軸等価回路

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} R_a & -\omega_e L_q \\ \omega_e L_d & R_a \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} L_d & 0 \\ 0 & L_q \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_e \Psi_a \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T = P_n \{ \Psi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \} \quad (2)$$

本項では,ハード面（パワー半導体の違い）と制御面（スイッチング周波数の違い）の2視点から,CO_2排出量への影響を全3事例で整理する(表2).

表2　CO_2排出量の影響事例

事例1	走行モードと各部品の特性を考慮した半導体の選定（ハード面）
事例2	インバータを駆動する際のスイッチング周波数による,CO_2排出量への影響（制御面）
事例3	CO_2排出量を最小化できる可変スイッチング方式の提案（制御面）

3.1　事例[1]パワー半導体と走行パターンによる,CO_2排出量への影響

3.1.1　検証パターンの説明

本事例は,以下の特徴のある市販品2種類のパワー半導体と2種類の走行パターンの組合せでCO_2排出量を算出する.

表3　パワー半導体（PE）の説明

項	名称	特徴
PE1	Si-IGBT※1	市場において多くのBEVで採用
PE2	SiC-MOSFET※2	高い耐熱性や省エネルギ性により,次世代電動化システムに期待

※1 Silicon-Insulated Gate Bipolar Transistor;
富士電機株式会社製:2MBI1800XXF170-50
※2 Silicon Carbide Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor;
三菱電機株式会社製: FMF1200DXZ-24B

表4　走行パターン（PT）の説明

項	名称	特徴
PT1	WLTC※3	都市部,郊外,高速道路の3つのセグメントで構成され,現実の運転条件を反映.低中高速バランスがよい
PT2	HWY※4	高速道路での連続した高速走行をシミュレート.60km/hが90%を占める

※3 Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle
※4 Highway Fuel Economy Test

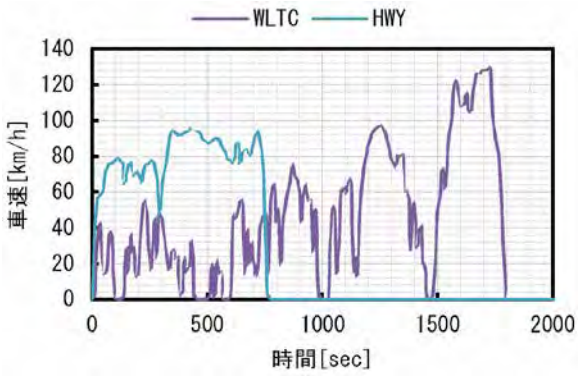
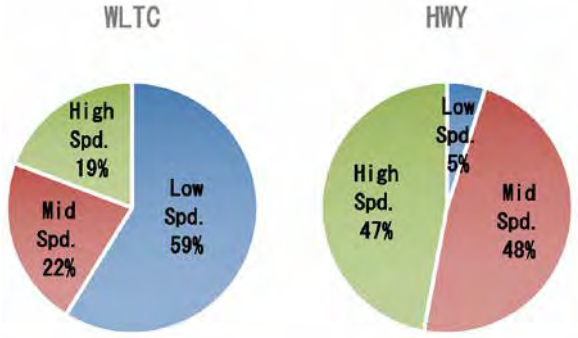


図6　WLTC,HWY走行パターン比較



項目	内容
Low Spd.	0 to 50 km/h
Mid Spd.	50 to 80 km/h
High Spd.	80 to 130 km/h

図7　WLTCとHWY走行パターンの速度割合

CO_2排出量を算出するために,それぞれの車両走行パターンから,モータトルク,回転数の関係を導出する.(図8,9)

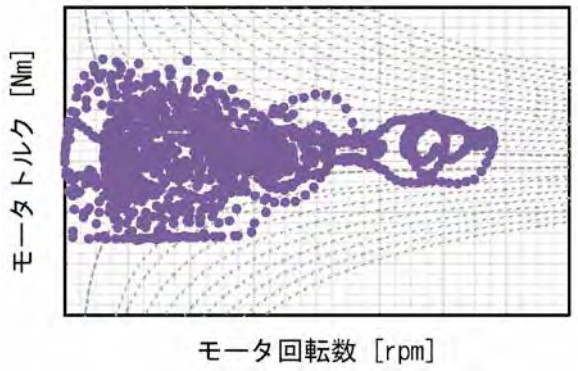


図8　WLTC(トルク－回転数軌跡)

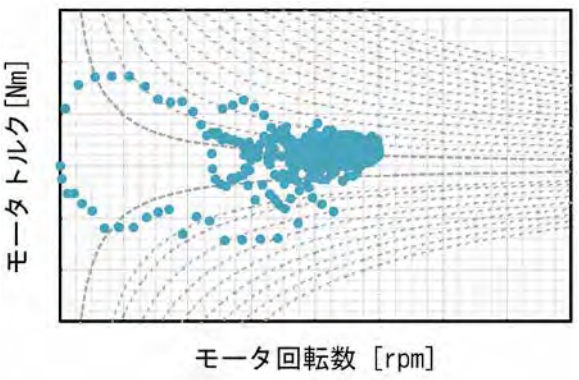


図9　HWY (トルク－回転数軌跡)

3.1.2　CO_2排出量比較結果

図10と図11にCO_2排出量のハード比較結果を示す.それぞれの走行パターン下で発生するCO_2排出量がSi-IGBTからSiC－MOSFETに変更することで低減していることがわかる.

(損失からCO_2排出量への換算は環境省が提示している,CO_2排出係数を参考にした)

特に,図12からわかるように,WLTCとHWYの間には,26%のCO_2排出量に乖離が発生した.この結果から,高速巡行するような車両では,SiC-MOSFETの変更効果が低いことが推測できる.

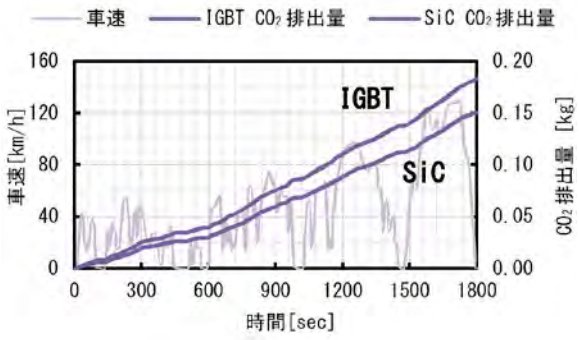


図10　WLTC(PE毎—CO_2排出量)

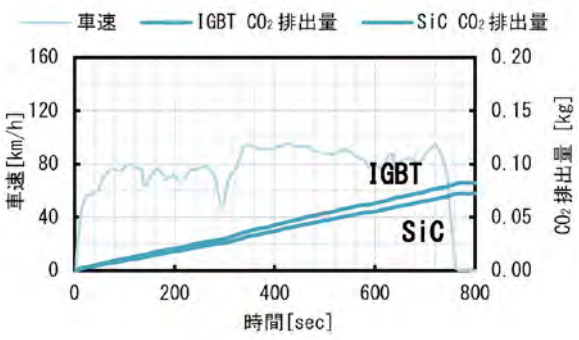


図11　HWY(PE毎-CO_2排出量)

図12　Si-IGBT vs SiC-MOSFET CO_2排出量の[kg]

3.2　事例[2]スイッチング周波数変更のCO_2排出量への影響

前節にて,CO_2削減量効果の高いWLTCに関して,さらなる考察をすすめる.

電動化システムでは,インバータでPWM制御を行い,モータに交流電流を流している.この電流には高調波が含まれており,発生する損失はスイッチング周波数によって変化する(図4).また,モータ損失は式(3)で表され,一般的に電流高調波が少ないほうが鉄損は少なくなる.

モータ損失=銅損※1+鉄損※2　(3)

(※1:$P_{cu}=I^2R$,※2:$P_{Fe}=k_hB^2f+k_eB^2f^2$).

I:モータ電流
R:モータコイル抵抗値
k_h:ヒステリシス損の係数
k_e:渦電流損の係数
B:磁束密度
f:磁束密度変動周波数
(電気角基本周波数＋PWM由来の高周波成分を含む)

3.2.1　CO_2排出量比較結果

電動駆動システムモデルにて,2種(5kHzおよび7.5kHz)のスイッチング周波数を設定し,WLTCパターンを走行させ,CO_2排出量を算出した(図13).

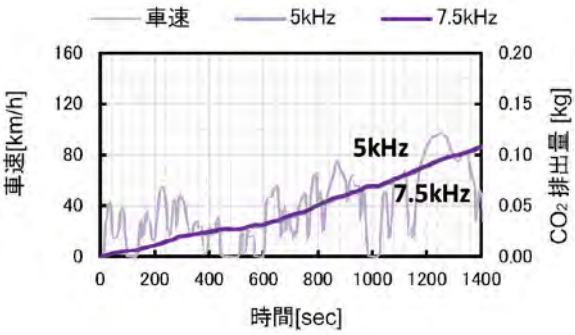


図13　WLTC下の2種のスイッチング周波数でのCO_2排出量

図14に示す比較結果から,7.5kHzスイッチング周波数は,WLTC走行パターンにおいては,30kg (0.33%)のCO_2削減に貢献できる仕様であることが明確となった.

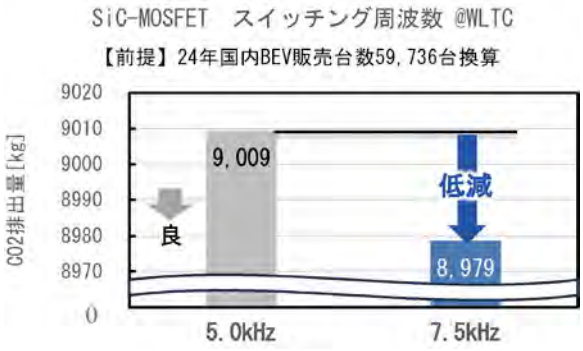


図14　2種のスイッチング周波数のCO_2排出量比較

3.3　事例[3]CO_2排出量を最小化できる可変スイッチング方式の提案

3.3.1　スイッチング周波数の改善可能性予測

本件は小型車両に着目し,より街乗りに近い走行パターンである“UDDS”(表5)を対象に,事例(2)で使用した2種のスイッチング周波数の結果を用い,動作点ごとにシステム損失の差分(7.5kHz時損失　－　5kHz時損失)を算出した.この結果が正負に振れることから,動作点ごとに最適なスイッチング周波数があると予測を立てることができる.

表5　走行パターンの説明

No	名称	特徴
PT3	UDDS※5	主に市街地走行を模擬しており,低速・頻繁な停止・発進が多い

※5 Urban Dynamometer Driving Schedule

例えば,図16内－①のような動作点では,システム損失低減量[W](右軸)が負を示す領域がある.このことから5kHzスイッチング周波数は,7.5kHzスイッチング周波数よりも,損失が大きいことがわかる.

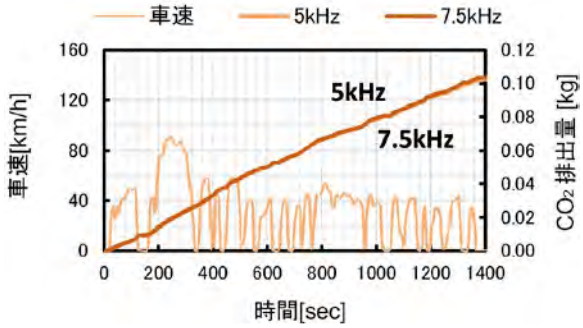


図15　UDDS下の2種スイッチング周波数CO_2排出量比較

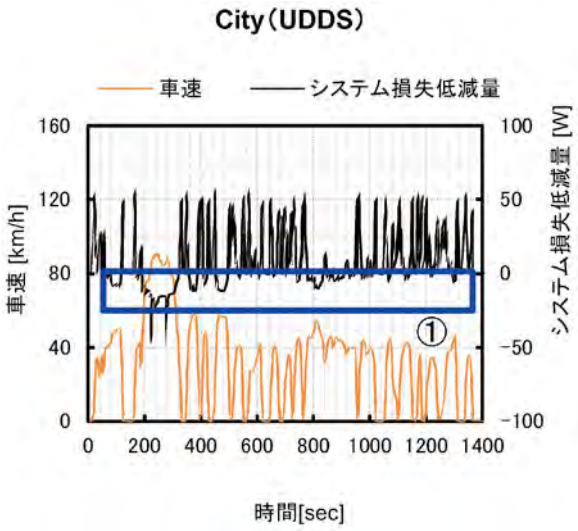


図16　UDDS（システム損失低減量）

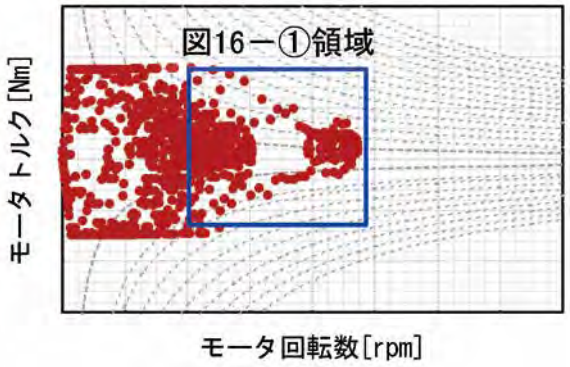


図17　UDDS（トルク－回転数軌跡）

3.3.2　可変スイッチング周波数の改善可能性予測

前述での予測を踏まえ，システム損失が最適となるよう図18のように動作点ごとに異なるスイッチング周波数を設定しCO_2排出量を算出すると，98kg（1.74%）のCO_2削減に貢献できる仕様であることが明確となった（図19）．

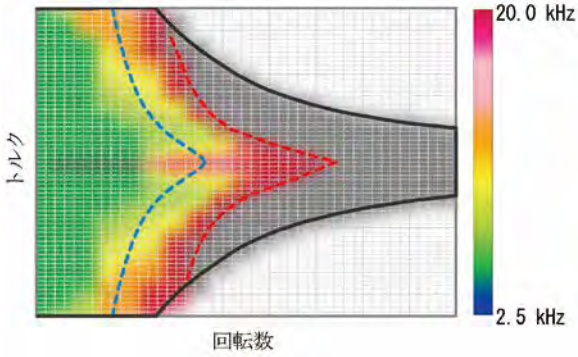


図18　可変スイッチング周波数マップ（トルク－回転数）

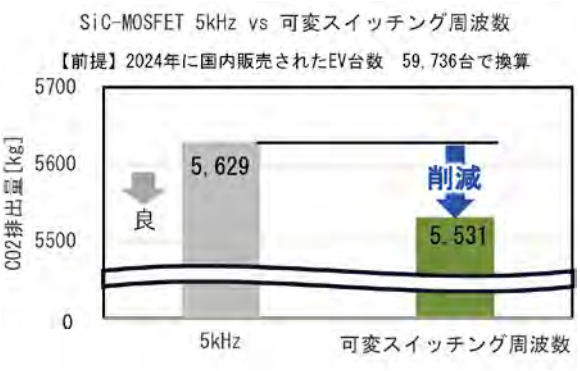


図19　5.0kHzと可変スイッチング周波数の比較

4.　まとめ

今回開発したモデル環境を用いてCO_2排出量を推定することで，OEMとの仕様検討時に数値によるメリット・デメリットの評価が可能になる．また，試作前の制御やハードウェア検討にも活用することができると考える．

本論文ではスイッチング周波数の変更影響について，CO_2排出量に注目して解析を進めたが，スイッチング周波数の変更は，熱マネジメント，NV，トルク応答性に関しても寄与を持つことが知られているため，システム最適設計のためにはマルチフィジックス環境が重要であると考える．

今後さらに激化するeAxle開発競争においても，今回の開発で得た知見を活かしつつ，新技術を積極的に採用し競争力向上に努めたい．

参考文献
1）株式会社アイシン　技術開発「電動化への取り組み」
https://www.aisin.com/jp/technology/electric/
2）株式会社アイシン ニュース「統合報告書2025」
https://www.aisin.com/jp/news/2025/010386.html
3）環境省　温室効果ガス排出量　算定・報告・公表制度
https://policies.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/calc.html

筆　者

岩月　健
第2先行開発部
第2先行制御開発室
モータ制御開発に従事

黒川　顕史
第2EV技術部
コンポーネント開発室
駆動モータ開発に従事

桂田　竜児
第2先行開発部
第2先行制御開発室
モータ制御開発に従事

加藤　浩一
第2先行開発部
第2先行制御開発室
モータ制御開発に従事

楳木　善徳
第2先行開発部
第2先行制御開発室
モータ制御開発に従事

新美　秀顕
第2EV技術部
コンポーネント開発室
MGハード電磁気設計に従事

技術論文

カーボンニュートラル実現に向けた水素SOFCシステム技術開発・実証

加藤　憲二 Kenji Kato
渡邉　秀貴 Hidetaka Watanabe
上山　浩司 Koji Ueyama
早川　浩二朗 Kojiro Hayakawa
高橋　宗裕 Munehiro Takahashi

概　要

カーボンニュートラル実現に向け,「エネファームtypeS」で得た知見を基盤にした,業務・産業用水素SOFCシステムの開発と実証の取り組みを報告する.

1. はじめに

地球温暖化対策としてカーボンニュートラルの実現は,国際社会における最重要課題であり,エネルギー供給構造の抜本的転換が求められている.日本政府は2050年カーボンニュートラルを宣言し,再生可能エネルギーの導入拡大と水素社会の構築を推進している.しかし,自然エネルギーは出力が不安定なため,系統安定化や高効率な利用に向けた補完技術が不可欠である.

その中核政策である水素基本戦略は,2017年策定以来,2023年改訂により,国内外での水素・アンモニア導入量を2040年までに1,200万トンへ拡大し,水電解装置導入15GW目標や2030年に水素コスト30円/Nm^3の目標を掲げている.本戦略は「S＋3E」(安全性＋エネルギー安全保障・経済効率性・環境適合)の視点で,水素を国家戦略として明確に位置づけ,技術競争力強化やグローバルサプライチェーンの構築を支える重要な指針となる.

さらに,水素社会推進法の施行は,低炭素水素のサプライチェーン構築に向け,長期助成や規制緩和を提供し,産業競争力の強化や地域分散型エネルギー体制の確立,GX(グリーントランスフォーメーション)基盤整備を通じて,水素社会への迅速な移行を後押ししている.

国際的には,2025年のCOP30で採択された「ベレン・パッケージ」により,気候資金の拡充や公正な移行メカニズムが明示され,脱炭素への協調体制と実行力が飛躍的に強化された.化石燃料段階的廃止には課題が残るものの,グローバルな連帯を重視する新たな潮流が確立されている.

こうした政策・国際動向を背景に,水素を直接電気に変換できる高効率発電技術であり,CO_2排出ゼロを実現できる,燃料電池が注目をされている.特に再生可能エネルギー由来のグリーン水素と組み合わせることで,完全なゼロエミッション型電源を構築できる.さらに,分散型電源として系統安定化に寄与し,産業用熱電供給によるエネルギー効率向上にも貢献する,カーボンニュートラル社会のコア技術となる.

2. SOFC(Solid Oxide Fuel Cell)の特徴

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は,他の燃料電池方式と比較して高い発電効率を有し,次世代エネルギーシステムとして注目されている.SOFCは高温で作動するため,排熱の有効利用が可能であり,コージェネレーションシステムとしても活用されている.

国内外では,SOFCを用いた家庭用・業務用システムの開発や市場展開が活発化しており,競争と技術革新が加速している.

アイシンは,2011年に家庭用コージェネレーションシステム「エネファーム typeS」(図1)を世界に先駆けて市場投入し,SOFC技術の実用化を牽引してきた.

現行のSOFCシステムは,都市ガスやLPガスを改質して水素を生成し,これを燃料として利用する方式が主流である.改質に必要な熱はシステム内部の排熱を活用することで賄われ,高効率な発電を実現している.

高効率な発電と排熱を温水として給湯に利用できることから,省エネルギー効果を備えた技術として評価されている.

図1　エネファームtypeS

一方,カーボンニュートラル社会の実現に向けては,さらなるCO_2排出削減を可能とする新技術の開発が不可欠である.政府は「水素基本戦略」に基づき,水素を原燃料とする燃料電池の開発加速を掲げており,今後は,高効率なエネルギー利用技術に加え,カーボンニュートラル燃料として期待される水素を用いたSOFCシステム,さらに水素製造に用いる固体酸化物形電解セル(SOEC)技術の社会実装が求められる.

アイシンでは,「エネファーム typeS」で培った熱マネジメントやシステム設計技術を活用し,小型・高効率・高耐久な水素SOFCシステムの早期実現を目指す.

3.　業務用水素SOFCシステムの開発

アイシンでは,純水素を燃料としたクリーンな電力をオンサイトで提供する業務・産業用SOFCシステムの開発・実証を進めている.本開発はカーボンニュートラルの実現に貢献する次世代エネルギーシステムの確立を目指し,以下のコンセプトに基づいて推進している.

- 純水素発電による世界トップクラスの発電効率の実現
- SOFC開発実績に裏付けされた世界トップクラスの耐久性能の確保
- 小規模から大規模施設まで柔軟に対応可能な連携運転機能の実現

3.1　SOFCシステムにおける高効率発電技術

燃料電池システムの発電効率は,燃料利用率,セルスタックの電圧,改質効率,システム作動のための補機動力ロスにより表現できる.炭化水素系の燃料を用いて発電するSOFCシステムでは,高い改質効率を有することで低温作動の燃料電池に比べ,高い発電効率を示している.

一方で,水素利用時は,改質効率の高さが活かせず,都市ガスに比べ水素は単位流量当りの燃焼時発熱量が低いこともあり,ホットモジュール内の温度を炭化水素系燃料使用時と同程度に維持するためには,都市ガスに比べ多くの水素を燃焼させる必要がある.そのため,一般的には炭化水素系燃料を用いた場合に比べ発電効率の低下を生じる.

発電効率を高める方法として,SOFCシステム内での水素利用率を上げ,水素利用時でも高発電効率を実現する高燃料利用化技術がある.燃料電池システムにおいて,これまでも効率的な燃料利用を実現するための技術として,多段化技術とアノードオフガスリサイクル技術が注目され,開発されている.

アイシンでは,現有のシステムと親和性が高く,よりシンプルな構成で高い効率が見込まれる,低温型アノードオフガスリサイクル技術の開発を行っている.

この方式では,アノードオフガスを一度ホットモジュールの外に取り出し,水蒸気成分を凝縮させ,取り除き,精製された高濃度の水素をシステムの原燃料ラインに戻し再利用する.そのため,高濃度の水素を循環させ,無駄にすることなく利用することが可能であり,循環したオフガスに相当する原燃料の導入削減が可能となり,発電効率が向上する.

アイシンの低温型アノードオフガスリサイクル技術の説明のため,図2に都市ガスを用いた際の「エネファームtypeS」と図3にアノードオフガスリサイクル搭載時の構成概要図をそれぞれ示す.

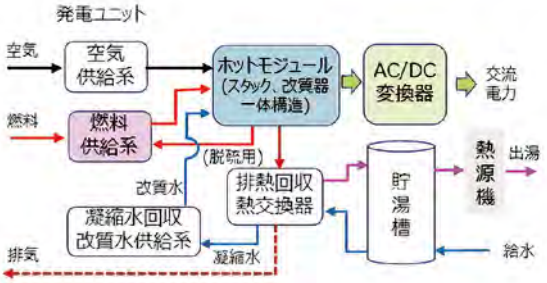


図2　エネファームの構成概要図

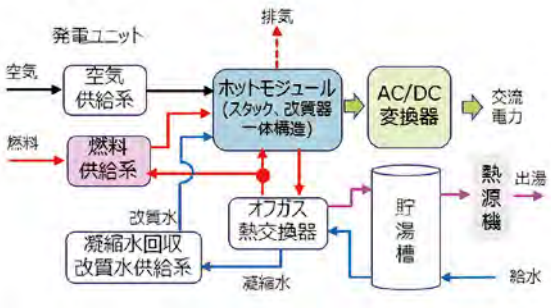


図3　オフガスリサイクルの構成概要図

図2において,「エネファームtypeS」は,ホットモジュールから排熱回収熱交換器へ排気が流れ,熱利用

が行われることで,排熱の有効活用が図られている.

図3の低温型アノードオフガスリサイクル技術を搭載したタイプでは,ホットモジュールからアノードオフガスが,オフガス熱交換器へ流れ,ここで二つの経路に分岐する.一つ目の経路は,燃料供給系への循環である.この経路では,アノードオフガスが,再度燃料として発電に利用される.これにより,未利用の燃料を有効に活用し,発電効率を向上させることが可能となる.二つ目の経路は,ホットモジュールへの再循環である.この経路では,オフガスがホットモジュールに戻され,燃焼に用いられる.燃焼によって発生した熱は,ホットモジュール内で利用され,発電温度維持の役割を果たす.最終的に,燃焼後の排気は,系外へ排出されるが,このフローにより,熱を無駄なく活用することができる.

低温型アノードオフガスリサイクル技術を活用したホットモジュールの試作を実施,都市ガスを用いた発電評価を実施した.この試作機では,従来の構成と比較して,アノードオフガスリサイクル技術を搭載したホットモジュールにおいて,発電効率の低下が確認された.

発電効率低下の主な原因は,アノードオフガスリサイクル技術の搭載による,ホットモジュール内の温度分布悪化であった.課題として,アノードオフガスリサイクル技術搭載時の熱マネジメントの最適化の検討が必要であった.

純水素による本開発は,水素基本戦略において,定置用燃料電池の2030年目標である発電効率60%を2025年に達成することを目標とした挑戦的な取り組みである.

この目標達成には,低温型アノードオフガスリサイクルにおいて,オフガス再循環率を大きく高めた条件にて,ホットモジュールの熱マネジメントを成立させることが必須の課題となる.

ホットモジュール内部のいくつかの熱交換器構造および熱交換器と断熱材のレイアウトの見直しを実施し,これらの熱交換器を使用して,アノードオフガスの温度を低温流体と効率的に熱交換させることにより,ホットモジュール内の温度分布を改善することに成功した.この改善により,性能向上が確認され,目標性能を達成し,アノードオフガスリサイクルによる発電効率の向上の検証がなされた.

3.2　SOFCシステムにおける高耐久化技術

「エネファームtypeS」販売11年間の市場実績を通じて蓄積した技術とノウハウにより,アイシンは,家庭用SOFCにおいてトップクラスの耐久性を達成している.

しかし,業務・産業用途では,使用方法やシステム規模,管理体制の違いから,家庭用とは,異なる視点での耐久性が求められる.また,高い耐久性の要求に加え,メンテナンスの容易性も重要な要件となる.

業務用途における耐久性・メンテナンス要求は,故障の未然防止,消耗部品の交換容易性,性能維持,日常管理の簡便性など多岐にわたるが,これらに共通するニーズは「予定外の発電停止を避けたい」「煩雑なメンテナンスを減らしたい」という点にある.

この課題に対し,アイシンでは,高耐久化技術として,高効率と高耐久を両立する運転を可能にするスタック長寿命運転制御,故障の前兆を早期に検出し進行を抑制する突発故障防止制御,さらに部品の劣化を計測してメンテナンス時期を通知する部品交換時期推定制御の開発を進めている.

特に,発電の中核であるSOFCスタックの故障予知技術開発は重点課題である.SOFCシステム搭載時に発生し得る多様な故障モードを対象に,故障に至るメカニズムを解明することが求められる.また,加えて,電圧・電流信号に対して高度な解析技術を適用し,故障状態を定量化して故障メカニズムと対応付けることが重要な開発テーマとなっている.

一部の故障モードに対して,故障メカニズムの解明と検知・定量化技術の関連付けが完了し,更なる開発を進めている.

3.3　実証

「エネファーム typeS」による炭化水素系燃料使用時の実験結果や市場データ,さらに開発・販売を通じて蓄積されたノウハウは,アイシンにおける重要な技術基盤となっている.

しかし,業務・産業用に設計されたSOFCユニットや水素燃料を用いた発電に関する耐久性の知見は限定的であり,水素発電に関する運転データも実験室レベルの評価段階にとどまっている.

両者には共通する技術要素が多いものの,水素発電に特化したデータの体系的な蓄積は不可欠である.

加えて,工場や事業所における実環境下での電力需要に対し,SOFCシステムを最適に運転するための指針,ならびに工場・事業所電源として,ユーザ要求に応じた電力構成を実現するためには,SOFCユニット連携運転を含む実用的な評価が求められる.

これらの課題に対応するため,アイシンでは10kW級SOFC実証ユニット(図4)を試作し,藤岡試験場においてユニット評価を開始した.

さらに,外部環境条件や他システムとの連携性,運転データ取得を目的として,京都府と連携して京都舞鶴港における実証評価を進めている.

図4　SOFCユニット

図5　社外実証評価の様子

加えて,実運転環境下で故障検知データを収集し,得られたデータを故障予知制御に学習させることで,故障予知技術の高精度化を図っている.これにより,業務・産業用水素SOFCシステムの信頼性向上と長期運用に向けた基盤技術の確立を目指している.

4.　おわりに

本技術開発により,業務・産業用水素SOFCシステムの早期社会実装を実現することで,カーボンニュートラルな電力供給に大きく貢献できる.さらに,これらのシステムが広く普及することで,持続可能なエネルギー利用が促進され,環境負荷の低減に加えて、エネルギー供給の安定性向上にも資することで,より豊かで持続可能な社会の実現に寄与することを期待する.

本研究の一部は,環境省の補助事業「地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業」の助成を受けて実施されています.

本研究の一部は,京都府の「グリーン水素を活用した純水素燃料電池普及に向けた実証事業」と連携して実施されています.

開発を進めるにあたり,ご協力いただいている社内外の関係者の方々に深く感謝いたします.

筆　者

加藤　憲二
CNエネルギー開発部
水素SOFCシステム開発業務に従事

渡邉　秀貴
CNエネルギー開発部
水素SOFCシステム開発業務に従事

上山　浩司
CNエネルギー開発部
水素SOFCシステム開発業務に従事

早川　浩二朗
CNエネルギー開発部
水素SOFCシステム開発業務に従事

高橋　宗裕
CNエネルギー開発部
水素SOFCシステム開発業務に従事

技術論文

アイシングループの技術論文　【株式会社アドヴィックス】

説明性向上マルチモーダルAIによるMOCの潜在的異常見える化

中井　淳一 Junichi Nakai
藤村　拓弥 Takuya Fujimura
浅野　憲司 Kenji Asano
若松　智之 Satoshi Wakamatsu
戸田　智基 Tomoki Toda

概　要

弊社では,主力製品であるMOC(Motor on Caliper)を題材にDX推進に向けた研究開発を行っている.MOCの複雑な機構から発生する複数の時系列データをマルチモーダルAIで処理し,異常の発生の予見を狙う.具体的には,異常の要因調査は,経験者(品管担当・設計者)の熟練したスキルが必要となるため,生産規模拡大時には経験者を増やさないといけない.しかし,経験者でも,MOCの異常の要因調査は,異常が増加してからでないと行えず,異常の兆候となる潜在的異常を捉えられていない.このような,広く自動車部品に共通する問題に対して報告する.この問題に対し,我々の提案手法は,AIならではの潜在的異常抽出を可能とし,異常の発生を予見する.

1. 背景

弊社では,主力製品であるMOC(Motor on Caliper)を題材に強力なDX推進に向けた研究開発を実施している.まずは,MOCの製造工程における最終工程の性能検査をその対象とする(図1参照).その検査で異常が見つかった場合,その要因調査が行われる.しかし,現状,MOCの異常の要因調査は,異常が増加してからでないと行えず,異常の兆候となる潜在的異常を捉えられていない.

本稿では,事後の要因調査では気づけないAIならではの潜在的異常を抽出できるようにすることを狙う.AIを用い,正常時の状態監視をすることで,異常の兆候となる潜在的異常の増加を検知,それを未然に捉えることで,異常が発生する前に異常に気づくことを目指す.具体的には,MOCの複雑な機構から発生する,様々な波形を含む,複数の時系列データから,変化の傾向を特徴として抽出し,傾向監視して,潜在的異常を増幅し,AIで見える化する.

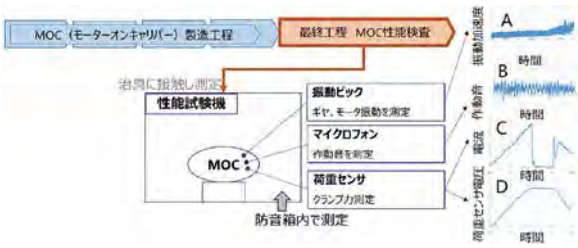


図1　MOCを題材としたAI活用

2. 提案手法

アーキテクチャは,基本的にデータ入力,クラスタリング,異常検知,データ処理で構成され,様々な種類の入力を扱えるマルチモーダルAIとなる(図2参照).まず,データ入力として,設備に設置された種々のセンサを使用し,作動音,振動加速度,電流,荷重センサ電圧(クランプ力)などの様々な波形の時系列データを取得する.これらが性能検査のための複数の時系列データとなる.クラスタリングの前などに必要に応じて,複数の時系列データ内の波形を時間周波数特徴量(メルスペクトログラム)に変換し,時間的,周波数的な情報を扱いやすくする.

次に,複数の時系列データにクラスタリングを適用し,特徴的な波形のクラスタを抽出する.その波形のクラスタ内に正常な波形とは異なる特徴的な波形が多いにもかかわらず,これまで異常として認識できていない波形の場合,潜在的異常の可能性がある.そこで,その特徴的な波形のクラスタを潜在的異常として異常検知器に学習させる.それにより,潜在的異常を異常として検知可能となる.

潜在的異常を学習した異常検知器に日々の複数の時系列データを監視させ,潜在的異常度のヒストグラムを求めることで,潜在的異常を見える化し,異常の発生を予見する.

2.1　クラスタリング

認識・推定系AIにおける状態変化検出のための,クラスタリング(教師無し手法)により,複数の時系列データ

から,似た波形データを同じグループとして検出でき,潜在的異常の特徴を抽出する(図3参照).それにより,潜在的異常の特徴を説明できるようになり,説明性が向上する.

本研究のクラスタリング手法は,PANNs[1]により波形データの特徴を抽出した後に,k-means[2]を使用している.まず,波形データをメルスペクトログラムに変換し,PANNsを用いることで,特徴量を抽出する.

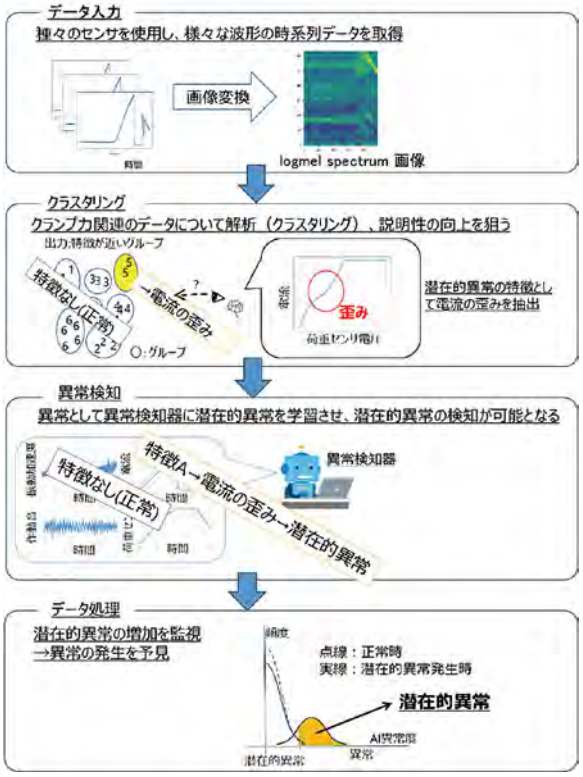


図2　構成フロー図
（データ入力+クラスタリング+異常検知+データ処理）

その特徴量にk-meansを使用し,得られたクラスタの中を目視で見て,特徴的な波形のクラスタを抽出する.このとき,正常の波形とは異なる特徴的な波形のクラスタが多くあるにもかかわらず,現状の検査閾値においては異常と判定していない波形が発見される場合がある.それらの波形を多く含むクラスタを,今まで気づいていなかった潜在的異常の波形のクラスタとする.検査閾値では正常だが,見た目は異常な波形となる.これは,潜在的異常の特徴抽出を意味する.

2.2　潜在的異常の検知

本研究では複数センサから得られる時系列データを監視するために,1次元CNN(Convolutional Neural Network)を用いて,潜在的異常検知器を作成する.この手法の流れとしては,まず,複数の時系列データの長さをアップサンプリングにより揃え,1次元CNNを用いて畳み込み,時系列情報を保持した特徴量に変換する.

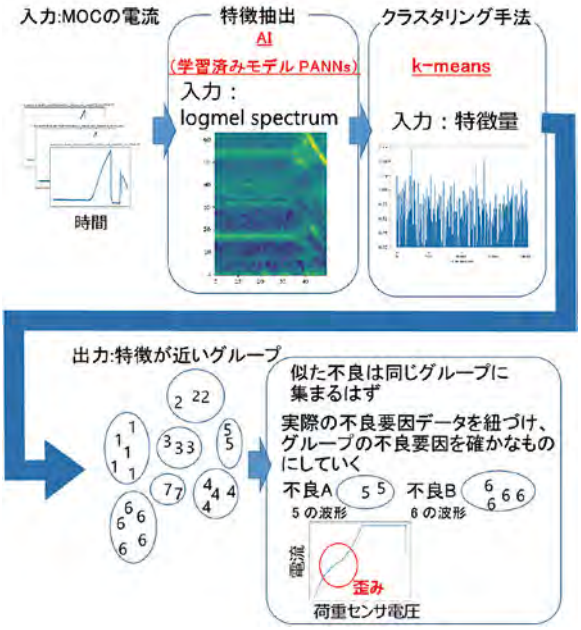


図3　提案手法（クラスタリング）

このとき,クラスタリングで抽出した潜在的異常の特徴を含む複数の時系列データに潜在的異常のラベルを付けて,データを識別する識別学習[3]を行うことで,潜在的異常を異常検知器に学習させた.また,正常品は正常として識別学習させているため,異常検知器は正常の中に埋もれた潜在的異常の検知が可能となる.この異常検知器の出力がAI異常度として,潜在的異常である確率を示す.

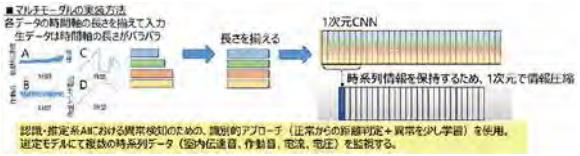


図4　提案手法（異常検知）

2.3　潜在的異常の分析

潜在的異常を学習した異常検知器に日々の複数の時系列データを監視させることで,潜在的異常の増加を監視できる.その監視のためにはそれらのデータをヒストグラム化する.

一例として,クランプ力を監視した場合を示す.クランプ力の異常が増加してからでないと,異常に気づけない.図5の上に横軸をクランプ力,縦軸をクランプ力の頻度とし,ヒストグラムの変化を監視した場合のイメージを示す.

潜在的異常を学習した異常検知器の出力されるAI異常度を監視することで,クランプ力の異常が増加する前に,潜在的異常の増加を捉えることができ,異常に気づける.図5の下に横軸をAI異常度,縦軸をAI異常度の頻度とし,ヒストグラムの変化を監視した場合のイメージを示す.

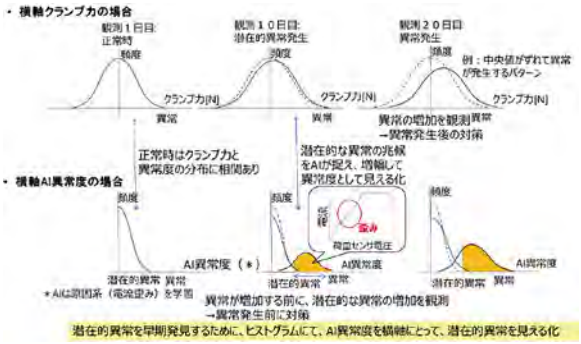


図5　提案手法（データ処理）

2.4　実験結果

図6に提案手法（マルチモーダルAI）を用い，実際の複数の時系列データのAI異常度を監視した結果を示す．異常度が高い所に正常の分布の山とは異なる分布の山が見られた．その異なる分布の山を強調し見やすくするため，横軸のlog scaleを取った結果を図6の右に示す．これにより潜在的異常の分布の山を見える化できる．この変化を監視することで，潜在的異常の増加を検知し，異常が発生する前に異常に気づける．

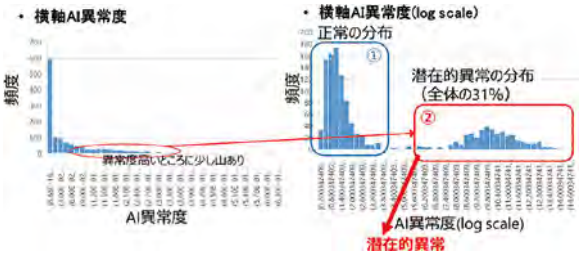


図6　提案手法（複数の時系列データを監視）

3.　提案手法の評価

3.1　潜在的異常検知精度

実際の波形データ(学習用1284個，検証用131個)の潜在的異常判定を行った場合のROC曲線(Receiver Operating Characteristic curve)を図7に示す．真陽性率（=TPR）と偽陽性率（=FPR）に基づきAIの性能を総合的に表現している．グラフの下の部分の面積をAUC（Area Under the Curve）と呼び，0（0%）から1(100%)の値をとり，1(100%)に近いほど判定精度が高い．潜在的異常のAI検知精度(AUC)は73%となり，潜在的異常の山を見える化する上では，実用できるレベルと考えられる．

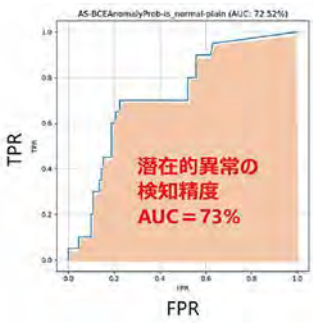


図7　潜在的異常の検知精度

3.2　考察

正常分布内（図6の①），潜在的異常分布内（図6の②）の電流荷重センサ電圧波形をそれぞれ確認した結果を図8に示す．正常分布内の電流荷重センサ電圧波形は歪みがないのに対し，潜在的異常分布内の電流荷重センサ電圧波形には歪みが見られる．したがって，異常度の高さが正しく潜在的異常の可能性が高いことを表していることが分かる．

また，今回発見された潜在的異常である電流の歪みが原因で検査閾値を下回り異常となる事例も観測された．その概要を図9に示す．潜在的異常が増加することで，その中の一部がこのように異常となるため，異常増加の傾向を表していると思われる．これまで気づいていなかった異常増加の傾向を表している潜在的異常にAIを用いたことで気づくことができたと考えられる．

但し実際には，クランプ力として荷重センサ電圧を監視した場合は電流関連の波形に歪みが確かに見られるが，複数の波形に跨いて，影響が現れる可能性もある．そのような事象も今後捉えられるように，対象を増やしていく．

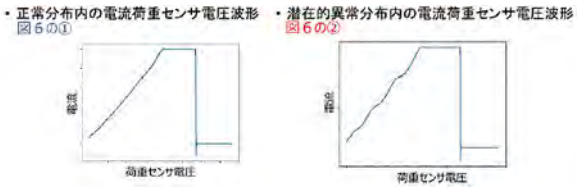


図8　潜在的異常分布内の波形

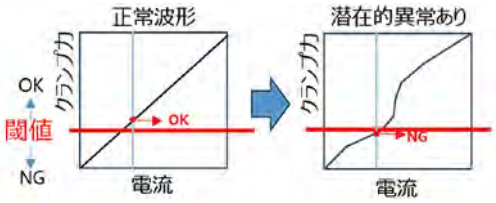


図9　潜在的異常（電流の歪み）による異常増加の傾向

4.　おわりに

MOCの製造工程における最終工程の性能検査において，異常が見つかった場合，その要因調査が行われ

る.しかし,現状,MOCの異常の要因調査は,異常が発生してからでないと行えず,異常の兆候となる潜在的異常を捉えられていない.

本研究では,提案手法により,人による要因調査では気づけないAIならではの潜在的異常を抽出できるようにすることを狙った.AIを用い,正常時の状態監視をすることで,異常の兆候となる潜在的異常の増加を検知,異常の発生を予見するための検討を行った.具体的には,MOCの複雑な機構から発生する複数の時系列データから,変化の傾向を特徴として抽出し,傾向監視して,潜在的異常を増幅し,AIで見える化した.

その結果,潜在的異常を検知し,強調,監視することで,見える化が可能となった.それにより,異常が発生する前に異常に気づくことができるようになった.潜在的異常のAI検知精度は73%となり,潜在的異常の山を見える化する上では,実用化できるレベルであると考えられる.

今後,AI側で異常の要因調査までたどり着けるように,新しい機能を追加していく(図10参照).具体的には,マルチモーダルAIに,言語情報も含めて異常の発生を予知する,新しい機能を追加し,本研究で見つかった潜在的異常も含む異常について,異常の要因と関連がありそうな言語情報を紐づけ,異常に関する要因を言語で説明可能とし[4)5)6)],要因調査を自動化する.さらに,そのAI内部で行われている判断の過程を見える化することで,異常と要因情報を因果グラフとして見える化し,通常FMEA, FTAなどを用いて行われる要因分析までも,マルチモーダルAIに機能を追加し,自動化していく.要因調査の負担が大幅に減少するため,有用であろう.

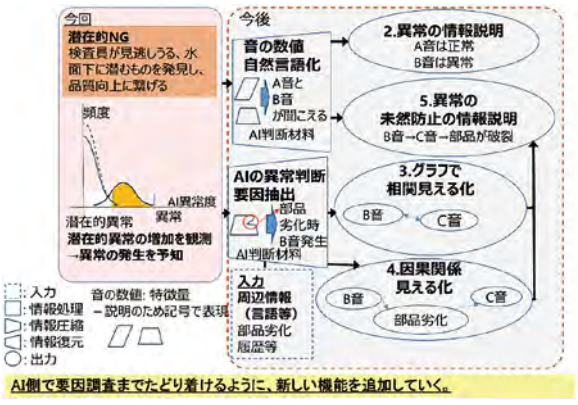


図10　マルチモーダルAIへの機能追加

参考文献
1) Kong,Q.,Cao.Y.,Iqbal,T.,Wang.Y.,Wang,W.,Plumbley.M.D.(arXiv):PANNs:Large-Scale Pretrained Audio Neural Networks for Audio Pattern Recognition,1912.10211,2016.
2) Steinley,D.,Brusco,M.(Journal of Classification 2007):Initializing K-means Batch Clustering:A Critical Evaluation of Several Techniques, Springer nature link, 2007.
3) Thoidis,I.,Giouvanakis,M.,Papanikolaou,G.(MDPI Electronics):Semi-Supervised Machine Condition Monitoring by Learning Deep Discriminative Audio Features,10(20),pp.2471,2021.
4) Gulati,A.,Qin,J.,Chiu,C.,Parmar,N.,Zhang,Y.,Yu,,J.,Han,W.,Wang,S.,Zhang,Z.,Wu,Y.,Pang,R.(arXiv):Conformer:Convolution-augmented Transformer for Speech Recognition",2005.08100,2020.
5) Ribeiro,M.T.,Singh,S.,Guestrin,C.(arXiv):"Why Should I Trust You?":Explaining the Predictions of Any Classifier",1602.04938,2016.
6) Kamble,M.,Krishna,M.V.S.,Pulikonda,A.K.S.,Patil,H.(PReMI 2019):Novel Teager Energy Based Subband Features for Audio Acoustic Scene Detection and Classification,Lecture Notes in Computer Science,pp.436-444,2019.
7) Chen,S.,Wu,Y.,Wang,C.,Liu,S.,Tromplins,D.,Zhuo,C.,Wei,F.(arXiv):BEATs:AudioPre-Training with Acoustic Tokenizers,2212.09058,2022.
8) Schlegl,T.,Seebock,P.,Waldstein,S.M.,"Schmidt-Erfurth,U.,Langs,G.(IPMI):Unsupervised Anomaly Detection with Generative Adversarial Networks to Guide Marker Discovery,2017.
9) Xu,K.,Ba,J.,Kiros,R.,Cho,K.,Courville,A.,Salakhutdinov,R.,Zemel,R.,Bengio,Y.(arXiv):Show,Attend and Tell:Neural Image Caption Generation with Visual Attention,1502.03044,2015.
10) Zenati,H.,Foo,C.S.,Lecouat,B.,Manek,G.,"Chandrasekhar,V.R.(ICLR):Efficient Gan-based Anomaly Detection,2018.

筆　者

中井　淳一
株式会社アドヴィックス
システム企画開発部
マルチモーダル説明AIの研究に従事

藤村　拓弥
名古屋大学
情報学研究科
音メディア情報処理の研究に従事

浅野　憲司
株式会社アドヴィックス
ビジネスプロセス革新部
DX推進,人材育成に従事

若松　智之
株式会社アドヴィックス
システム企画開発部
マルチモーダル説明AIの研究に従事

戸田　智基
名古屋大学
情報基盤センター
音メディア情報処理の研究に従事

技術論文

アイシングループの技術論文　【アイシン高丘株式会社】

鋳造CAE技術の精度向上

道岡　裕也　Yuya Michioka
日野　健太郎　Kentaro Hino

概　要

本論文では,鋳造CAEにおける不具合予測の精度向上を図るため,温度に着目した複数の取り組みについて紹介する.具体的には,基礎試験によってCAEパラメータを調整した事例,および実際の鋳造ラインにおける注湯工程を数値化しCAE条件へ適用することで精度向上を実現した事例を取り上げる.

1.　はじめに

アイシン高丘では,鋳造プロセスにおいて鋳鉄製の自動車部品を主に生産している.従来,鋳造における不具合対策は,経験と勘,および試行錯誤に頼る部分が大きかった.しかし,約30年前に鋳造CAE(Computer Aided Engineering)を導入して以降,不具合対策の強力なツールとして活用してきた.

近年,CAEはDX(デジタルトランスフォーメーション)推進による生産準備リードタイム短縮に向けた重要なツールとして位置付けられている.品質不具合による手戻りをなくすことを目的としてCAEを最大限に活用するためには,さらなる不具合予測の精度向上が必須となっている.

鋳造におけるCAE評価は,溶融金属を砂型へ流入させる「湯流れ」過程と,その後の冷却・固化に至る「凝固」過程を主な対象とする.これら二つの過程のいずれにおいても,温度を要因とした不具合(図1)が発生するため,実際の鋳造における温度変化をCAEで高精度に再現することが重要である.そこで,湯流れおよび凝固過程における温度を調査するために,オフラインでの基礎実験を行い,CAEパラメータの調整に取り組んだ.なお,鋳造CAEソフトはFLOW-3Dを使用した.

ユザカイ欠陥　　ガス欠陥

図1　温度を要因とした不具合例

さらに,実際の量産ラインへの適用においては,トリベ(図2)を用いて溶湯(溶融金属)を型に流し入れる「注湯工程」によって鋳型内の温度分布が形成される.このため,注湯状態を数値化しCAE条件に適用することで,量産におけるCAE精度向上に向けた取り組みを実施した.

本論文では,以上の背景に基づき,以下の3つの実施内容について報告する.

(1)湯流れ基礎実験による流動状態および温度の再現
(2)凝固基礎実験による冷却温度の再現
(3)量産注湯条件の数値化とCAE条件への適用

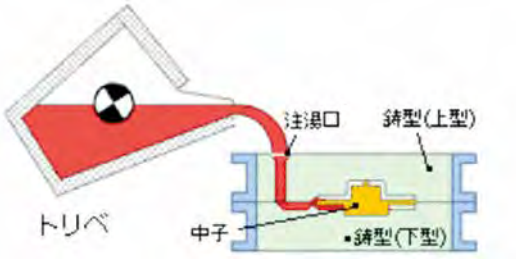


図2　注湯工程

2.　湯流れ基礎実験による流動状態および温度の再現

2.1　実験条件

湯流れCAEにおける温度精度向上のため,渦巻き試験片を用いて鋳造実験を行った.その際,熱電対を設置して溶湯の到達温度を測定するとともに,流動長を調査した.また,注湯時の注ぎ方によるばらつきを低減するため,注湯方法はストッパー方式を採用した.実験形状および条件を図3に示す.

図3　実験形状および条件

2.2　実験結果及びCAE比較

実験結果およびCAE結果（パラメータ調整前後）を図4に示す.実験では,測定点①および②において,溶湯の到達温度が液相線温度以上であった.その後,測定点②から③にかけては,温度が共晶凝固点付近に低下し,それに伴い流動性が低下したため,溶湯の到達時間が遅延していることが確認された.

一方,調整前のCAE結果では,各測定点における温度が実測値と比べて高い傾向が確認され,流動長も実験結果と比較して長くなる結果となった.

これらの結果に基づき,CAEにおける熱伝達係数等のパラメータを調整し,温度が実験結果と合致するように補正を行った.その結果,調整前と比較して実験結果と同様のCAE結果が得られるようになった.

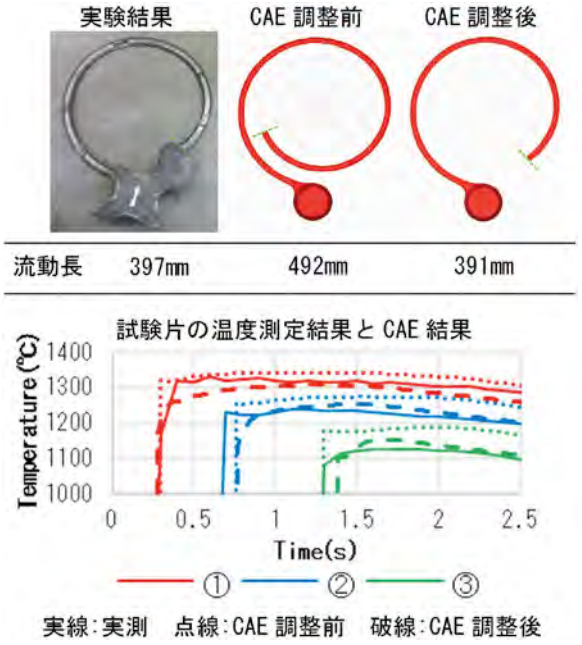


図4　渦巻試験片結果とCAE結果

3.　凝固基礎実験による冷却温度の再現

3.1　実験条件

凝固CAEにおける温度精度向上のため,当社の主力製品であるデフケースを模擬した円盤形状の試験片を用いて鋳造実験を行った.円盤の上下方向の2か所に熱電対を設置し,溶湯の湯流れ温度および凝固温度の測定を実施した.実験形状および条件を図5に示す.

図5　実験形状および条件

3.2　実験結果及びCAE比較

実験結果およびCAE結果を図6に示す.CAE解析には,前項の湯流れ実験で調整されたパラメータを適用した.実験では,湯流れ過程において,測定点①および②の順に溶湯が充填され,その到達温度は測定点①の方が高いことが確認された.その後,凝固過程においては,到達温度の高かった測定点①の方が先に冷却・凝固していることが確認できた.さらに,注湯完了後から共晶凝固に至るまで（溶湯の流動性が低下するまで）の期間において,測定点①と②の温度が逆転していることが確認された.

一方,CAE結果では到達温度の再現性は確認されたものの,その後の凝固過程においては測定点②が先に冷却・凝固するという,実験結果とは異なる結果となった.実験結果では,重力方向において,温度測定位置の上下で温度逆転（高温部と低温部の入れ替わり）が発生しており,対流の影響によるものと推察された.

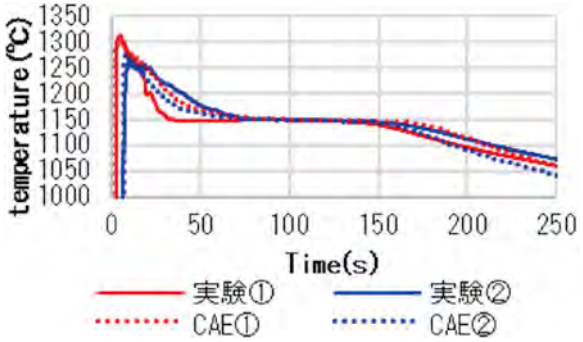


図6　試験結果とCAE結果

3.3　対流考慮によるCAE結果

鋳造CAEにおいては,小物の鋳鉄製品を対象とする場合,凝固までの時間が短いという特性から,計算時間の短縮と比較的良好な精度を両立できるため,流動計算を省略する手法が用いられている.しかし,今回得られた実験結果を再現するためには,凝固過程における流動の考慮が必要であると考えられた.

そこで,CAEモデルにおいて温度低下に伴う密度変化を設定し,対流を考慮した流動解析を凝固過程の計

算に適用した.その結果,実験結果とCAE予測が良好に一致するようになり,凝固過程における温度計算精度の向上が確認された(図7).一方で,この手法は従来手法と比較して計算時間が約2倍程度長くなるため,計算時間の短縮が今後の課題となる.

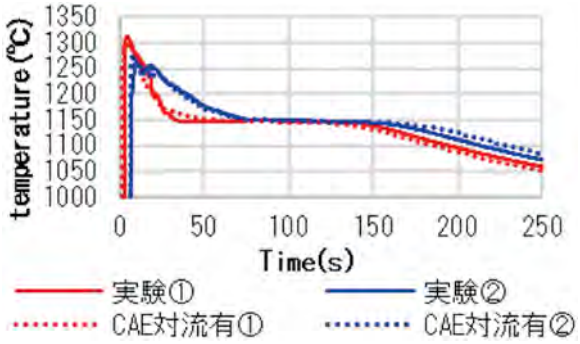


図7　対流考慮CAE結果

4.　量産注湯条件の数値化とCAE条件への適用

4.1　CAEの量産工程への適応

量産工程で発生しているユザカイ不良(主に温度影響による不良であり,溶湯が製品を低温度で充填した際にシワ状に発生する欠陥)を対象に,湯流れ過程のCAE予測精度の検証を実施した.CAE解析結果では,溶湯先端の合流時の温度が1250℃以上(液相領域)と予測され,ユザカイ不良の発生を予測できない結果となった(図8).

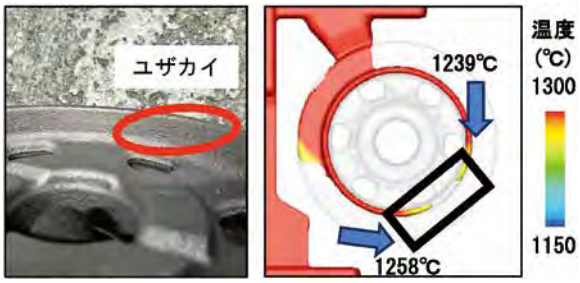


図8　実機-CAE結果

4.2　要因考察

鋳造工程においては,様々な条件が鋳造不良に影響を及ぼす.今回対象としているユザカイ不良は,温度に起因するものであり,量産工程において温度に大きな影響を与える因子として,注湯温度および注湯流量が挙げられる.

注湯温度については,注湯前に実測し,その値をCAEに適用している.しかし,注湯流量に関してはCAEに適切に反映されていない現状がある.これまでのCAEにおける注湯条件は,設備に入力される注湯時間と注湯重量から算出される平均流量を一定として扱っていた.一方,量産工程における実際の注湯状態では,時間経過とともに流量が変化することが知られており,この流量変動が溶湯の鋳型内への充填挙動や温度分布に影響を及ぼしていると考えられる.その結果,ユザカイ発生部位におけるCAE予測精度の低下につながっているものと推察される.

4.3　注湯状態の数値化

注湯流量の時間変化を詳細に捉えるため,まず設備から取得可能な時間-重量変化データ(図9)の活用を検討した.しかし,このデータを注湯条件として扱った場合,図9のa付近では実際の溶湯は排出されているにもかかわらず,取得データはマイナスの値を示していた.これは溶湯が逆流する現象を示唆しており,物理的に起こり得ない状態であった.また,図9のb付近では,傾動取鍋が湯切り動作を行う際に,注湯データが取得できないことも確認された.これらのことから,設備からの時間-重量変化データでは,注湯流量を正確に表すことは困難であると推定した.

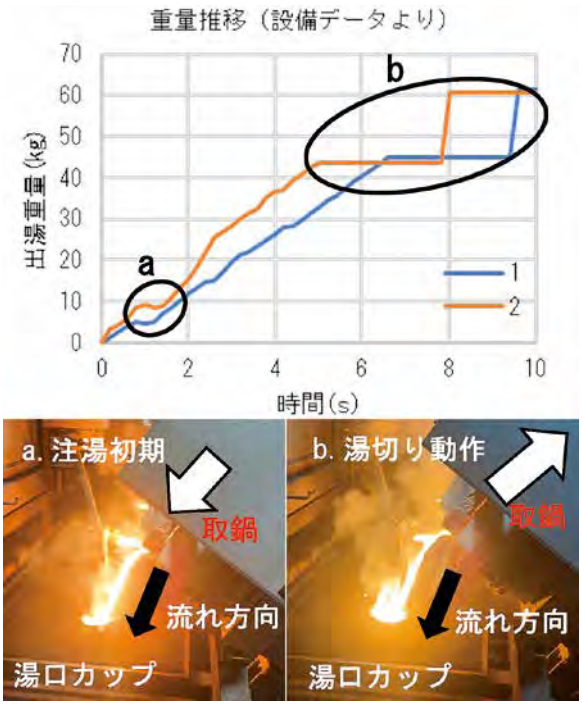


図9　注湯の時間-重量変化

そこで次に,溶湯を直接観察することで注湯流量の変化を捉える手法を検討した.様々なカメラの検証を行った結果,産業用カメラが注湯状態を詳細に捉えるのに適していると判断した(図10).得られた注湯動画を専用の分析ソフトウェアで解析することにより,流線の太さを自動で数値化することが可能となり,注湯流量を定量的に表現できるようになった.この手法により,注湯流量を直接的かつ精度良く表現できるようになったため,注湯中の流量変化をCAEの境界条件として組み込むことが可能となった.

図10　産業用カメラで撮影した注湯の様子

4.4　注湯条件の適合化とCAE比較結果

CAE解析に適用した注湯条件として,従来手法に基づく一定流量条件と,変動流量条件を図11に示す.一定流量条件(従来の条件)は,設定された注湯重量と目標とする注湯時間から平均流量を算出する方式を採用した.一方,変動流量条件は,実際の注湯重量および注湯時間を考慮し,前節で述べた産業用カメラによる画像解析から得られた注湯流量の時間変化データに基づいて設定した.

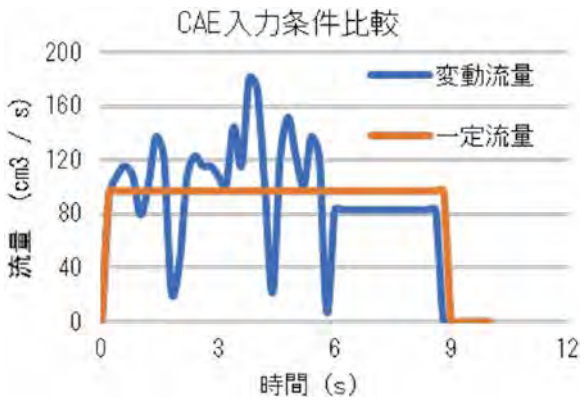


図11　注湯条件の比較

図12に,一定流量条件(従来の解析条件)と変動流量条件を用いて実施したCAE解析の比較結果を示す.まず,量産工程においてユザカイ不良が発生した部位に対して,変動流量条件を適用したCAE解析の結果では,ユザカイ不良発生部位付近での顕著な温度低下が確認された.具体的には,当該部位が約1200℃で充填されていることが示され,従来の一定流量条件でのCAE結果と比較して,充填時の温度が約50℃低い結果となった.この温度は,対象の材質における液相線を下回る温度であるため,変動流量CAEにおいてはユザカイ不良の発生を予測することが可能となった.これにより,量産工程の実際の注湯条件(流量の時間変化)をCAEに加味することで,CAEの充填挙動がより現実に合致するようになり,CAE上でのユザカイ不良の判定精度を大幅に向上させることができた.

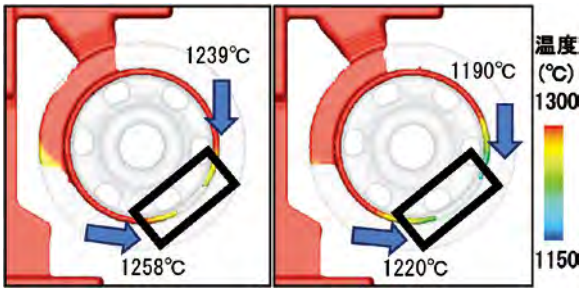


図12　CAE比較結果

5.　おわりに

鋳造解析におけるパラメータ調整と,実注湯条件(変動流量)のCAEへの適用により,温度計算精度の向上を実現した.これにより,ユザカイのような温度関連の不良に対する予測精度が向上し,その有効性が実証された.一方で,凝固中の対流現象をCAEで考慮した場合,計算時間が大幅に増加するという課題が明らかになった.この問題に対応するためには,GPUなどを活用した計算時間短縮技術の導入が不可欠であると考える.また,温度だけでなく複数の要因が複雑に絡み合って発生する鋳造不良に対しては,依然として予測精度に課題が残っている.CAEでは十分に考慮できていない物理現象の再現性を高めることが今後の重要な課題である.今後も,ソフトメーカーとの連携を強化しながら,CAE解析のさらなる精度向上に取り組んでいく所存である.

筆　者

道岡　裕也
アイシン高丘株式会社
鋳造生技部
鋳造生準G DET
鋳造CAE活用及びCAE精度向上に従事

日野　健太郎
アイシン高丘株式会社
鋳造生技部
鋳造生準G DET
鋳造CAE活用及びCAE精度向上に従事

海外法人便り

インド市場動向とAHL R&Dの取り組み

INDIA Market Trend and AHL R&D Activity

山田　勝久
Katsuhisa Yamada

概　要

インド市場は，世界で最も成長が期待される主要経済の1つでGDP成長率は約6%と顕著な内需と製造業の拡大やデジタル化など政府の「Make in India」政策による進展がすさまじい．このような市場動向の変化とアイシンの取り組みについて紹介する．

1. はじめに

インドは南アジアに位置する世界最大の民主主義国家で，人口は約14億人．急速な経済成長を続け，ITサービスや製造業，スタートアップ分野で世界的に注目されている．文化的にも多様性があり，映画・音楽・食文化などが豊か．政府の『Make in India』政策やデジタル化推進により，今後も投資やビジネスの大きな機会が広がる国である．そのため自動車生産トレンドも右肩上がりで増えていく市場である（図1）．

図1　インドでの生産予測台数

2. AHL R&Dの活動について

まずは全体としてインド市場の成長や顧客リクエスト（スピーディな現地設計・評価の対応や現地生産など）に応えるべく現地体制強化．

25年3月優秀な人材確保とモチベーションアップを目的にR&Dオフィス設置（図2,3）や現地品評価を行う評価棟も工場敷地内に設置（図4）．

また量産開発を行うR&D部門とは別に，現地ニーズ調査やベンチマークを行い現地ニーズにあった製品提案が行える先行開発部門を設立．顧客からのRFQを受領する前のフロントローディング活動を開始している．

図2　新R&Dオフィス外観

図3　新R&Dオフィスロケーション

図4　現地生産したPBDやグリルシャッターなどの評価を行う建屋を工場敷地内に設置

<車体>

現地顧客の車種適合設計する製品・プロジェクトが増加傾向にあり,プレゼンや受注活動・生産拠点への技術面サポートだけでなく,現地設計者による搭載検討や仕入先様とのSE活動,現地スタッフによる評価活動を推進している.

量産プロジェクトでは現地顧客M&Mやスズキと協力してインドで初めてBEV向けグリルシャッターをアイシンが搭載した.さらにスズキでグローバル初となるPBD(パワーバックドア)システムを25年に立ち上げることができた.今後の車種は現地スタッフが日本での研修を通じてスキルを高め,現地で設計できる体制を構築していく.さらに現調化への貢献が評価されマルチスズキからアワードを受賞した(図5).今後は他のシステム製品(サンルーフ,パワースライドドアなど)の拡販受注に向けメンバーの教育など行っていく.

図5　PBD現調化貢献で表彰された

<パワトレ>

従来の要素製品に加え,eAxle現地立上げに向けて生準サポート活動を実施.さらにユニット製品の現調化を進めるべくCVTについても顧客との大部屋活動を通して現地仕入れ先調査を行うなどして受注につなげた.

今後は現地スタッフの教育を行いながら現地立上げ支援と評価後品の分解調査に携われるよう環境整備を進めていく.

<LBS>

アイシン初のマルチスズキ向けIDS(インテグレーテッドディスプレイシステム)を現地製造し,ソフトアップデートを繰り返し,得意先様,仕入先様の協力のもと立ち上げることができた.今後は次SOP車両に向けたVAやEURO7対応によるソフト変更など日本連携で実施していく.

<走安>

ソナーやカメラ,ECUなど現地調達化に向け仕入先発掘や指導など調達と連携して活動推進している.また今後のEV車に向けたARSや電動コラムなど高級車向け商品を現地顧客にプレゼンを実施し拡販を目指していく.

<材技>

インド政策の現地生産に拘り,現地素材メーカーとも材料開発を行いコスト競争力強化を推進している.最近はユニット系製品のMGやMGワイヤーなど現調化活動を推進している.

3.　フロントローディング活動について

3.1　フロントローディング活動とは

前項でも述べたようにRFQ受領後からの開発スタートでは車両開発にあった製品提案ができず,ビジネスタイミングを逃すため,現地ニーズ調査やベンチマーク,原価企画活動を行い現地OEMに向けて商品提案を行い,アイシン商材の受注獲得を確実なものにしていきたい.

3.1.1　FL活動事例「オートステップ」

インド市場でのSUV比率が高まる中,民族衣装でもあるサリーを着た女性や高齢者の方の乗降性は難しく,乗降性を改善するオートステップのニーズは高いはずと企画を立案.年代,性別でサーベイ調査(図6)を行い必要なステップ高さを洗い出し,実車両を改造(図7).

さらにコストにも拘り現地仕入先とのSE活動や両サイドのステップを作動コントロールするECUを現地で試作.現地OEMへも改造車両を持ち込んで商品提案を実施して受注活動を行っている.

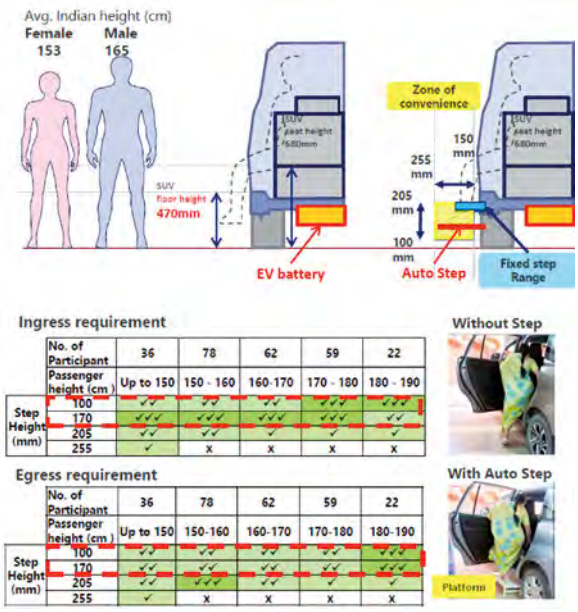


図6　乗降性確認サーベイ結果

図7　オートステップ改造車両

3.1.2　FL活動事例「サンルーフ」

インド市場で今後SUV車両の増加が見込まれる中アイシン商材のサンルーフに商機があると考え,インド特有の髪型や服装など現地ニーズや市場トレンドを調査.現地スタッフによる搭載検討を教育も兼ねて日本技術部で行い,まずはバーチャルモデルによるデモを実施して顧客の反応を確認(図8).

図8　ニーズ調査とバーチャルモデルによる体感

現地スタッフによる検討モデルの試作と車両改造を行い,エンドユーザによるサーベイ調査や調査結果を使った顧客へのプレゼンを行い,RFQ受領までできた(図9).今後は日本連携でテックレビューを行い受注に結び付けていく.さらには他モデルへの拡販へとつなげていく.

図9　車両改造とエンドユーザサーベイ活動

3.1.3　FL活動事例「Michi-log」

グローバル競争の激化を背景に,コスト競争力を確保しつつ,グローバルで開発リソース最適化とスピード向上を目的として,IT人材が豊富なインド企業と連携したソフトウェア開発を進めている.本取り組みでは,現地企業の技術レベル把握とパートナ企業発掘を目指している.この活動の第一歩として,インド版Michi-logのWebアプリケーション開発のPoC(Proof of Concept)を進めている(図10).

今後は単なる開発委託に留まらず,より戦略的なパートナシップへと発展させていく予定である.インド企業との協業を通じて,技術力のさらなる向上と業務効率化を図り,競争力強化につなげていきたいと考えている.

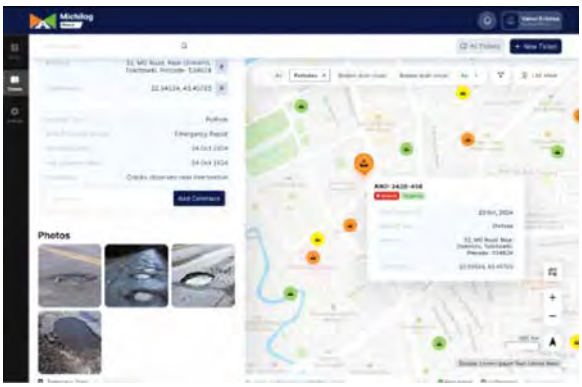


図10　Michi-logWebアプリケーション

3.1.4　FL活動事例「A/Tキャリブレーション」

過去インドで実施していたAMTプロジェクトで得た経験を活かし,A/Tキャリブレーション活動の現地化を9名のエンジニアで構成される専任チームで活動中である.

日本アイシンの出張者からOJTを受けながら,チームは現地顧客プロジェクトに携わってきた.エンジニアは技術のポイントをまとめ,車両評価をGARC,NATRAXなど現地テストコースでのトレーニングを通じて,キャリブレーションスキルを磨いてきた(図11).

これらの取り組みにより,AHLは28年までにB～Cランクのキャリブレーション活動を独自でできる体制を整えている.今後AHLは世界中のエンジニアに安価で強力なキャリブレーション専門知識を提供していけるよう目指していく.

図11　現地テストコースとエンジニア

3.1.5　FL活動事例「インドオープンイノベーション スタートアップEngagement」

インドのスタートアップ企業との連携を強化し,その柔軟性とスピードを活かして開発活動を加速させている.過去2年間世界最大のイノベーションハブでありスタートアップ・エコシステムの支援機関でもあるT-Hubと連携してきた.

25年度は6件の課題を掲げて,解決策を提供するスタートアップ企業54社から選定.その結果VRサンルーフデモとMichi-logダッシュボード2件の概念実証(PoC)を実施した.現在は人事採用活動にAIを活用したHRテクノロジーのPoCを1件実施中である.

26年度はアイシンのグローバルオープンイノベーションのターゲット分野を支援するため,有望なアー

リーステージのスタートアップ企業を発掘し,コア開発分野を加速させる予定である.

4. おわりに

今年はここインドの地にR&D事務所を開設できたことをご支援いただきました皆さまに心より感謝申し上げます.

伸び行くこの地で更なる拡販を目指して邁進していく所存でございますので,引き続きご指導のほどよろしくお願いします.

参考文献
1) IHSデータ(24年10月時点)

筆 者

山田 勝久
AISIN AUTOMOTIVE
HARYANA PVT.LTD
R&D VP

社外発表論文・投稿

社外発表論文・投稿リスト（2025年1月～12月）

＊本発表実績は当社から社外への新規発表を掲載しております．
＊発表者の所属名は発表時点のものです．

1. 社外発表論文リスト

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
1	1月	フロンティアソフトマター開発専用ビームライン産学連合体	FSBL第14回研究発表会	マイクロビームX線を用いたヒト毛髪内の水の動きの分析手法の開発	AIR事業推進部	田端　友紀 横山　慶子 加藤　寛人
2	1月	ACM	33rd ACM International Conference on the Foundations of Software Engineering (FSE25)	Improving Robustness of Semantic Segmentation for Autonomous Driving: A Case Study	DS部	Truong Vinh Truong Duy
3	1月	みずほリサーチ＆テクノロジーズ	J-クレジットオンライン説明会	IoTを活用したエネファームのJ-クレジット創出の取り組み	E－VC先行開発部	鵜飼　健司
4	1月	IEEE	32nd IEEE International Conference on Image Processing (IEEE ICIP 2025)	ULDepth: Transform Self-supervised Depth Estimation to Unpaired Multi-domain Learning	DS部	Phan Thi Huyen Thanh Truong Vinh Truong Duy
5	1月	表面技術協会	ライトメタル表面技術部会第334回例会	CO_2排出低減に向けた電解硫酸法による高耐食陽極酸化技術の開発	材料技術部	酒井　尚樹
6	1月	日本金属学会	日本金属学会誌	局所非磁性化のためのFe-3Si/SUS316積層造形体の組織制御と磁区構造	EV第2生技開発部	伴　美織 森本　光香
7	2月	特殊鋼倶楽部	特殊鋼 2025年3月号	Ⅲ．特殊鋼が使われている自動車部品 - 2．変速機	材料技術部	島田　久
8	2月	電子情報通信学会	電子情報通信学会	深層ニューラルネットワークのための疑似乱数による初期値設定方法の提案	コネクテッド基盤開発部	倉田　憲一
9	2月	QCサークル東海支部	QCサークル東海支部総合・交流大会	ずり込み作業改善によるやりやすさ向上	田原工場	伊藤　匠 足立　雅美
10	2月	John Wiley & Sons, Inc	ChemCatChem	One-Pot Production of Succinic Acid from Tartaric Acid in Water by Supported Rhenium Catalyst 担持レニウム触媒による水中での酒石酸からのコハク酸のワンポット製造	先進開発部	高野　一史
11	2月	毛髪科学技術者協会	毛髪科学研究発表会	ナノサイズ微細水粒子による毛髪及び頭皮への効果	AIR事業推進部	田端　友紀
12	2月	人工知能学会	2025年度 人工知能学会全国大会（第39回）	ひと中心の未来社会に求められるAI技術の展望	DS部	高椋　佐和
13	2月	人工知能学会	2025年度 人工知能学会全国大会（第39回）	ReLUネットワークにおける局所学習係数推定手法のモデル選択への応用	DS部	高椋　佐和
14	2月	World AI Cannes festival	World AI Cannes festival 2025	超低消費リアルタイム物体検出	IMRA EUROPE	中野　雄太
15	2月	日本科学技術連盟	第6610回QCサークル全国大会（北九州）	若手を導け！　回せLTPAサイクルゲージ購入費用低減活動	品質保証部	牧野　友隆 清水　一希
16	2月	日本科学技術連盟	第6610回QCサークル全国大会（北九州）	段取り時間の低減による生産性向上 ～全員参加でもえ尽きるまで戦った証～	半田工場	中野　萌 山村　笑子
17	2月	日本化学技術連盟	第6610回QCサークル全国大会（北九州）	アルミ剥離装置の設備停止時間低減	西尾ダイカスト工場	長尾　健太郎 阿部　隼弥 八代　勝弘
18	2月	日本科学技術連盟	第6610回QCサークル全国大会（北九州）	銅管の絶縁テープ巻き直し撲滅 ～eAxle第3世代開発に向けた自働化への挑戦～	ものづくり革新部	川合　浩司
19	2月	日本科学技術連盟	第6610回QCサークル全国大会（北九州）	エアー洩れ撲滅活動によるCO_2排出量の低減 ～みんなの知恵を集結させて進めた脱炭素への挑戦～	安城第二工場	堀　陽三
20	2月	低温工学・超電導学会	2nd International Workshop on Iron-based Super-conductors: Advances towards applications 2025	Homogeneous Supercurrents in a Large $CaKFe_4As_4$ Superconducting Bulk	イムラ・ジャパン	川島　健司 神谷　良久

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
21	2月	AICX協会	AI Agent Day 2025	Multimodal 対話エージェント “Saya”	先進開発部	大須賀　晋
22	3月	科学技術交流財団 あいちシンクロトロン光センター	第13回あいちシンクロトロン光センター成果発表会	広角・小角X線散乱を用いたPEDOT:PSS[ポリ(4-スチレンスルホン酸)をドープしたポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)]の温湿度依存性評価	材料技術部 AIR事業推進部	(材料技術部) 米沢　吹雪 山本　修也 木村　かおり (AIR事業推進部) 田端　友紀
23	3月	精密工学会	DIA2025	物流作業の実績収集の自動化に向けた一人称視点映像解析技術の開発	DS部 生産企画部	(DS部) 川口　雅典 岩屋　崇 福本　剛 (生産企画部) 喜友名　朝海 吉村　雄也
24	3月	トヨタ自動車	オールトヨタTQM大会	問題解決的な働き方の強化	TQM推進部	伊藤　雅哉
25	3月	トヨタ自動車	オールトヨタTQM大会	ワークショップを通じたデザインサイエンスの学び	技術統括部 LBS統括部	(技術統括部) 酒井　雅子 (LBS統括部) 椎窓　利博
26	3月	日本機械学会 北陸信越支部	2025年合同講演会	超変落差条件下で運転される縦軸マイクロペルトン水車の特性評価	先進開発部	野田　幸裕
27	3月	日本金属学会	2025年春期(第176回)講演大会	M(C,N)粒子添加によるL-PBFで造形したFe-3Siの結晶粒微細化	EV第2生技開発部	伴　美織 森本　光香
28	3月	新潟大学	新潟大学カーボンニュートラル融合技術研究センター2024年度第2回研究会	アイシンにおけるペロブスカイト太陽電池開発	先進開発部	中島　淳二
29	3月	電気学会	令和7年電気学会全国大会 COMPUMAG 2025	動的ガボールフィルタ法を用いたIPMモータのパラメータ・トポロジー最適化に関する検討	第1EV先行開発部 走行安全技術部	(第1EV先行開発部) 木戸　勇志 柴森　賢子 津田　哲平 (走行安全技術部) 佐藤　智宏
30	3月	電気学会	電気学会	電動パワートレインの駆動モータ・インバータの実用技術動向	第3EV先行開発部	岩月　健
31	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	アイシンエコトープでの取り組み～企業と自然との共生を目指して～	環境部	王子　達也 廣村　敏樹 蓑輪　泰己 山本　菜穂
32	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	アイシンならではのUXデザインの取り組みと挑戦	LBSシステム開発部 AISIN Technical Center of America	(LBSシステム開発部) 鄒　梦婷 國本　篤矢 谷野　亘 福井　彩貴 (AISIN Technical Center of America) 寺尾　見識妙
33	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	ナノサイズ微細水粒子AIRの肌領域への適応可能性	AIR事業推進部	井上　慎介 田端　友紀 横山　慶子 森　瑞希
34	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	アイシン技術会ロボット企画委員会活動報告～全日本ロボット相撲大会への挑戦～	解析技術部	松井　智和
35	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	アイシンにおけるペロブスカイト太陽電池開発	先進開発部	岡本　朋也 木村　豪 高橋　国男 遠山　智之 能地　康徳 鈴木　晃 市川　真也 日比野　洋 中島　淳二

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
36	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	皮膚ガスによる蓄積ストレス判定技術の開発と社会実装に向けた取り組み	先進開発部	山口　秀明 丸山　可那江 久田　伊織 長嶺　昇 佐藤　敦 藤岡　英二
37	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	車体スリップ角低減に着目した後輪操舵システム	解析技術部 走行安全第2制御技術部	（解析技術部） 福川　将城 （走行安全第2制御技術部） 土屋　義明 山本　拓哉
38	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	人工知能の説明性と不確かさの統一理解に向けて	DS部	仲村　佳悟
39	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	インド農村部のスマートVillage化を目指したサーキュラーバイオシステム技術構築への取り組み	新事業創出部 Aisin Automotive Haryana Private Limited	（新事業創出部） 久城　款 （Aisin Automotive Haryana Private Limited） B. Vengatesan Danush Kumaar
40	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	工場/事業所の未利用低温排熱を活用したSOECによる水素製造技術開発	CN技術開発部	大栗　延章 堀内　幸一郎 加藤　芳樹 杉田　吉隆
41	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	適応的実験計画法によるマテリアルズ・インフォマティクス	アイシン化工	坂口　和優
42	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	ブラシレスモータ用駆動回路の熱解析モデル	アドヴィックス	廣瀬　隼 赤尾　和哉
43	3月	アイシン	アイシン技報 Vol.29	超低消費電力を実現する次世代ニューラルネットワークに関する研究	IMRA EUROPE	中野　雄太
44	3月	IEEE	IEEE Applied Power Electronics Conference (APEC) and Exposition 2025	Investigation of electrical safety for non-isolated single-phase on-board chargers used in BEV/PHEV	先行技術開発部	中村　圭輔 Saha Subrata
45	3月	日本化学会	日本化学会 第105回春季年会(2025)	DFT計算による糖変換反応における触媒設計	解析技術部	津田　宗幸
46	3月	スズキ	テクニカルレビュー	新型「スイフト」に採用した新CVTの紹介	T／M技術部	登尾　昭彦
47	3月	IEICE-ISS	MVA2025	Magic for the Age of Quantized DNNs	DS部 アイシン・ソフトウェア	（DS部） 齊院　龍二 （アイシン・ソフトウェア） 末武　一馬 澤田　好秀
48	4月	軽金属学会	Materials Transactions	電流回復法を用いたアルミニウムアノード酸化皮膜の二層構造化	EV第2生技開発部	角　良平 藪井　博昭
49	4月	サイボウズ	kintonehive	DXはナカマーで加速！	走行安全第一制御技術部	三宅　彩菜
50	4月	日本人間工学会	日本人間工学会第66回大会	車両シートでの仮眠時における足部加温・保温の影響について	先進開発部	丸山　可那江
51	4月	QCサークル東海支部 愛知地区	いきいき事例研究会	ハーネス作製工程の導通チェック 3F撲滅！～ママたちだってできるじゃん～	岡崎電子工場	志賀　亜矢子 柴田　貴絵
52	4月	ITS Japan	International Journal of Intelligent Transportation Systems Research	Trajectory-Based Calibration of Ackermann Vehicles Using Wheel Encoder Data and Steering Wheel Angles	先進開発部 走行安全第1制御技術部	（先進開発部） 早川　和孝 （走行安全第1制御技術部） 上田　康貴 水谷　友一
53	4月	イオン移動度研究会	第13回イオン移動度研究会	ナノサイズ微細水粒子の計測手法の開発	AIR事業推進部	加藤　寛人
54	4月	CHI2025	CHI2025	Bridging HCI and Industrial Manufacturing	シェアリングソリューション部	福井　彩貴

社外発表論文・投稿リスト（2025年1月～12月）

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
55	5月	自動車技術会	自動車技術会会誌 2025年5月号	トラック配送ルートの 量子コンピュータによる最適化	先進開発部	齊藤　岳穂 森山　英二 三宅　範幸 川上　雄史
56	5月	IEEE	IEEE ECCE Asia 2025 Bangalore, India	A Single phase Single stage Integrated Onboard Charger for EV utilising Traction Motor drives and GaN Bi-directional Device	先行技術開発部	牛田　啓介 中村　圭輔 Subrata Saha
57	5月	日本薬剤学会	Journal of Drug Delivery Science and Technology (IF:4.9)	Function and mechanism of hydrophilic drug-penetration enhancement using ultra-fine water particles on skin treated	AIR事業推進部	重森　康司 井上　伸介 田端　友紀
58	5月	日本ビジネスプレス	AIエージェントの全貌	AIエージェントの全貌 パネルディスカッション	先進開発部	大須賀　晋
59	5月	日本伝熱学会	第62回日本伝熱シンポジウム	シミュレーションを利用した発熱量推定におけるモデルの高精度化	解析技術部	青山　泰崇
60	5月	The 36th British Machine Vision Conference	BMVC 2025	Events Meet Dynamic Mode Decomposition: Capturing the Spatiotemporal Dynamics of Moving Objects	DS部	杜　舟寧 Israr Ulhaq Thanh Thi Huyen Phan 吉村　裕一郎 Jigyasa Chand Truong Vinh Truong Duy
61	5月	Neural Information Processing Systems Foundation	The Thirty-Ninth Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2025)	Systematic Design of Deep Neural Networks in the Kernel Regime: Universal Scaling Laws at the Edge of Chaos	DS部	Truong Vinh Truong Duy
62	5月	日本ゴム協会	日本ゴム協会2025年年次大会	スチレン系ブロック共重合体熱可塑性エラストマーを含有した構造用接着剤の調製	化成品技術部	藤井　吉朗
63	5月	IDAJ	IDAJ SYMPOSIUM Online 2025	機電一体型・電動ウォーターポンプの熱シミュレーションのモデル構築と運用	解析技術部	青山　泰崇
64	5月	日本人間工学会	日本人間工学会 第66回全国大会	車両走行振動下での良質な睡眠の実現 －動的線形モデリングを用いた睡眠に影響する振動成分の推定―	先進開発部	山口　秀明 丸山　可那江 久田　伊織 藤岡　英二
65	5月	日本人間工学会	日本人間工学会 第66回全国大会	腰背部への押圧刺激による 腸蠕動運動の活性化が 心理状態に及ぼす影響	先進開発部	久田　伊織 山口　秀明 丸山　可那江 藤岡　英二
66	5月	Asia Pacific Neural Network Society (APNNS)	・32nd International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2025) ・arXiv	An Asymptotic Equation Linking WAIC and WBIC in Singular Models	DS部	高椋　佐和
67	5月	日本科学技術連盟	第6620回ＱＣサークル全国大会 （札幌）	全員参加で挑む！リフォーマー工程加振機挿入不良ゼロを目指して	安城工場	大橋　裕 生永　敏樹
68	5月	日本科学技術連盟	第6620回ＱＣサークル全国大会 （札幌）	ハーネス作製工程の導通チェック 3F撲滅！ ～ママたちだってできるじゃん～	岡崎電子工場	志賀　亜矢子 柴田　貴絵
69	5月	日本科学技術連盟	第6620回ＱＣサークル全国大会 （札幌）	検査の質とスピード向上への挑戦 ～リングギヤ測定工数の低減～	小川工場	幾田　将史
70	5月	日本科学技術連盟	第6620回ＱＣサークル全国大会 （札幌）	一人ひとりの違いを力に！みんなが主役の物語 ～ソレノイドAssy組立時の安全性向上～	岡崎工場	杉浦　清花
71	5月	日本科学技術連盟	第6620回ＱＣサークル全国大会 （札幌）	検査の質とスピード向上への挑戦 ～リングギヤ測定工数の低減～	小川工場	幾田　将史
72	5月	日本熱処理技術協会	熱処理	高濃度真空浸炭と高周波焼入れによる複合熱処理を施した肌焼鋼の曲げ疲労特性	EV第2生技開発部	岡田　一晃
73	5月	日本鋳造工学会	春季第185回全国講演大会	アルミ剥離装置の 設備停止時間低減	西尾ダイカスト工場	長尾　健太郎 阿部　隼弥
74	5月	日本品質管理学会	第137回研究発表会	実験計画法の活かし方	TQM推進部	角谷　幹彦 澤田　昌志
75	5月	人工知能学会	2025年度 人工知能学会全国大会 （第39回）	学会におけるスポンサー企業ブース展示：アイシンのAI研究	DS部	高椋　佐和
76	5月	人工知能学会	2025年度 人工知能学会全国大会 （第39回）	経路計画による管路形状生成と熱流体サロゲートモデルを用いたEV向け熱マネジメント製品の性能予測に関する研究	DS部	松村　直也 木佐貫　祥一郎 杉浦　卓也

社外発表論文・投稿リスト（2025年1月～12月）

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
77	5月	人工知能学会	2025年度 人工知能学会全国大会（第39回）	因果探索アルゴリズムSCOREへの事前知識の適応	DS部	稲垣　和也 伊藤　秀浩 大庭　孝之
78	5月	画像センシング技術研究会	第31回画像センシングシンポジウム	LiDARを用いたバスケットボール向けトラッキングシステムの提案と検証	DS部	中村　太一
79	5月	軽金属学会	TECH-Biz	革新アルミダイカスト工場とカーボンニュートラルへの取組み	EV第1生技開発部	小林　秀章
80	5月	日本皮膚科学会	第124回日本皮膚科学会総会	ナノサイズ微細水粒子適用によるアトピー性皮膚炎症状の改善効果	AIR事業推進部	森　瑞希
81	5月	日本皮膚科学会	第124回日本皮膚科学会総会	アトピー性皮膚炎における保湿・皮膚バリアの役割について	AIR事業推進部	森　瑞希
82	5月	日本皮膚科学会	第124回日本皮膚科学会総会	皮膚へのナノサイズ微細水粒子適用によるセラミド産生効果	AIR事業推進部	森　瑞希
83	5月	MDPI	The Journal of Carbon Research	In-silico exfoliation of graphite – temperature, speed, and angle dependence and the effect of gold overlayer	イムラ・ジャパン	鈴木　博紀 川島　健司
84	6月	シーメンス	Thermal Solution Conference 2025	機電一体型・電動ウォーターポンプの熱シミュレーションのモデル開発と運用	解析技術部	青山　泰崇
85	6月	QCサークル東海支部愛知地区	第6704回 フレッシュ＆チャレンジ大会	リングギヤセット時の災害未然防止 ～おまかせ活動からいきいき活動へ～	城山工場	山口　貴行
86	6月	サイバネットシステム	DesignProcess Innovation for TOYOTA Group	設計現場を変える！サロゲートAIによる革新的効率化への挑戦	解析技術部	松井　智和
87	6月	メッセフランクフルトジャパン	インターペット大阪	車載用クレートベース	先進開発部	信時　正嗣 三嶋　啓介 髙柳　渉
88	6月	愛知工業大学	プロジェクト共同研究シンポジウム	溶液中の二酸化炭素濃度の光学的面計測法の開発	解析技術部	山本　道彦 冨田　頌平 西川　雅喜
89	6月	日本分光学会	日本分光学会年次講演会	入射光角度幅変化を利用した回折格子型SPR分光器	イムラ・ジャパン	鈴木　博紀 齋藤　史朗
90	6月	大塚商会	一歩先への道しるべ Real Live 日本の活性化に向け新規事業の「一歩先」を探る	イントレプレナープレゼン：アイシン - PARS技術についてと新規事業課題の共有(5分間ピッチ)	先進開発部	信時　正嗣
91	6月	大塚商会	一歩先への道しるべ Real Live 日本の活性化に向け新規事業の「一歩先」を探る	加速度低減システム(PARS)技術について	先進開発部	信時　正嗣 三嶋　啓介 髙柳　渉
92	6月	アイシングループTQM推進委員会	第102回アイシングループQCサークル大会	IC溶接画像検査(壁溶け)NG低減	半田電子工場	濱地　知之 石垣　範仁
93	6月	日経BP総合研究所	激動するペロブスカイト太陽電池、主要プレーヤーが明かす秘策	アイシンのペロブスカイト太陽電池への取り組みと今後の事業戦略	先進開発部	中島　淳二
94	6月	TOPPERSプロジェクト	TOPPERSカンファレンス2025	車載制御系ECUの未来とマルチコア技術への期待	ソフトウェア基盤技術部	間瀬　順一
95	6月	中部品質管理協会	2025年度　中部品質管理大会	ダミーシャフト通過NG撲滅による不良廃却費低減	岡崎工場	川端　嘉子 市川　大樹
96	6月	自動車技術会	2025年EMC規格講習会	JASO TP 25001　自動車用電気電子部品のEMCシミュレーション手法に関するガイダンス	電子基盤技術部	古川　和樹
97	6月	電子情報通信学会	環境電磁工学(EMC)研究会	車両電源システム用EMIフィルタのANNを用いた最適設計のための少数データに対する既存サンプリング法の有効性評価	岡山大学	前田　壮洵
98	7月	International Society for Structural and Multidisciplinary Optimization	Structural and Multidisciplinary Optimization	Topology-Aware Deep Generative Model for Motor Shape Design in Electric Vehicles Using Conditional WGAN-GP	解析技術部	鈴木　圭介 近藤　慶長
99	7月	豊田中央研究所	CHUKEN EXPO 2025	深層学習を用いたモータ・ロータ温度推定技術	第1EV先行開発部	村上　聡
100	7月	豊田中央研究所	CHUKEN EXPO 2025	高速回転、高温下でのモータ・ロータ温度計測技術	第1EV先行開発部	村上　聡
101	7月	日本科学技術連盟	第6640回QCサークル全国大会（広島）	～お客様の満足を全員のアシストで～ コイル回収作業時の工数低減	安城第1工場	増山　真一
102	7月	日本科学技術連盟	第6640回QCサークル全国大会（広島）	～ボトムアップで行動から考動へ～ かまぼこ型電極の荒取り研磨時間低減	工具生技部	川口　孔太 三浦　一成

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
103	7月	日本科学技術連盟	第6640回ＱＣサークル全国大会（広島）	世界に羽ばたけ 星野治具 ～僕らのシャフト挿入異常 撲滅記～	西尾機関工場	山本　直義 廣山　泰佑
104	7月	日本科学技術連盟	第6640回ＱＣサークル全国大会（広島）	試験後分解作業時の異常処置撲滅	信頼性評価部	大木　隆史 杉浦　風太 村上　翔
105	7月	日本科学技術連盟	第6640回ＱＣサークル全国大会（広島）	『めんどくさい』に潜む影!? プレス加工機位置決めゲージ操作方法の簡易化改善	岡崎東工場	鵜飼　祐矢
106	7月	電気学会	電気学会誌 2025年10月号	ハイブリッドトランスミッションの技術変遷	先行技術開発部 モータ技術部 ＰＴシステム製品企画部	（先行技術開発部） 高見　重樹 （モータ技術部） 中川　善也 （PTｼｽﾃﾑ製品企画部） 高橋　充
107	7月	Automotive Grade Linux	Automotive Grade Linux All Member Meeting	A Case Study for the Storage Isolation to Avoid System Slowdown Propagating from Other Containers.	ＬＢＳソフトウェア開発部	山口　直人
108	7月	車載組込みシステムフォーラム	ASIF勉強会	CAN/CAN-FD通信	ソフトウェア基盤技術部	古河　晃
109	7月	Association for Computing Machinery	ACM MMSports 2025	BasketLiDAR: The First LiDAR-Camera Multimodal Dataset for Professional Basketball MOT	ＤＳ部	中村　太一 谷　昌樹
110	7月	豊田中央研究所	CHUKEN EXPO2025	高効率・高耐久ペロブスカイト太陽電池モジュールの実用化技術開発	先進開発部	遠山　智之
111	7月	Institute of Electronics, Information and Communication Engineers	IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems	Estimation of scale drift using multi-class object detection in 3D reconstruction from images	ＤＳ部	早川　和孝
112	7月	NEDO	NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025	高効率・高耐久ペロブスカイト太陽電池モジュールの実用化技術開発	先進開発部	中島　淳二
113	7月	NEDO	NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025（パネル）	高効率・高耐久ペロブスカイト太陽電池モジュールの実用化技術開発	先進開発部	遠山　智之
114	7月	NEDO	NEDO水素・アンモニア成果報告会2025	工場/事業所の未利用低温排熱を活用したSOECによる水素製造技術開発	ＣＮ技術開発部	堀内　幸一郎
115	7月	日本科学技術連盟	第54回　信頼性・保全性・安全性シンポジウム	自動組立ラインの予兆システム導入	小川工場	山﨑　要 二橋　泰介
116	7月	自動車技術会	自動車技術会フォーラム 2025年度	電動化車両における、インバータ、モータの設計変更に伴うCN（Carbon Neutral）の相互影響予測（共著）	先行技術開発部	岩月　健
117	7月	日本能率協会	テクノフロンティア2025 EMC設計・対策技術シンポジウム	SDV（Software Defined Vehicle）開発に向けたEMCシミュレーションの今	電子基盤技術部	清水　健人
118	7月	電子情報通信学会	テクノフロンティア2025	シミュレーションを用いたEMC設計の事例紹介	解析技術部	菅　翔平
119	7月	中部マーケティング協会	2025年度 商品企画研究部会 第2例会	「日本の再エネ拡大の切り札 次世代太陽電池の可能性」～共創で挑むペロブスカイト型太陽電池の普及拡大～	Ｅ－ＶＣ事業戦略部	堀　智
120	7月	IEEE	IEEE Access	Extending the Three-Sigma Limit for Non-Gaussian Data using Extreme Value Theory	ＤＳ部 ものづくり革新部 刈谷工場 アドヴィックス	（DS部） 中村　ちから （ものづくり革新部） 戸田　昌孝 （刈谷工場） 鈴村　徳宏 （アドヴィックス） 坂本　昌之 戸田　裕之
121	7月	画像の認識・理解シンポジウム	画像の認識・理解シンポジウム MIRU2025	車載3D物体検出用のデータ増強に向けた3DGSシーン編集の初期検討	ＤＳ部	髙橋　友紀子 髙濱　敦 加藤　雄大 横山　美優 光森　卓 高椋　佐和
122	7月	画像の認識・理解シンポジウム	画像の認識・理解シンポジウム MIRU2025	NVSによる車載3D物体検出器のカメラ高データ増強	ＤＳ部	髙橋　友紀子 髙濱　敦 加藤　雄大 横山　美優 光森　卓 高椋　佐和

社外発表論文・投稿リスト（2025年1月～12月）

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
123	7月	NEDO	第57回新産業技術促進検討会シンポジウム	「省エネAI半導体及びシステムに関する技術開発事業」成果報告会	電子先行開発部	成瀬　峰信 田中　広活
124	7月	シーエムシー出版	最新の熱設計・熱対策手法 －冷却デバイス・放熱材料・シミュレーション－	機電一体型・電動ポンプECUの熱設計とシミュレーション	解析技術部	青山　泰崇
125	8月	モータドライブ応用研究会	モータドライブ応用研究会	車両駆動モータの動向と基礎	モータ開発部	小栗　康徳
126	8月	日本磁気学会	第97回スピントロニクス専門研究会	CMOS/スピントロニクス融合技術の車載製品への応用	電子先行開発部	田中　広活
127	8月	IAHR-Asia	IAHR-Asia 2025	Performance Characterization of a Vertical Micro-Pelton Turbine under Hyper-Variable Head Conditions	先進開発部	野田　幸裕
128	8月	NEDO	長期エネルギー貯蔵ワークショップ	地理的制約条件のない揚水発電の実現に向けたLiquid Piston CAESの開発	先進開発部	野田　幸裕
129	8月	International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP)	30th International Conference on Low Temperature Physics (LT-30)	Superconductivity in $Ba_5Ir_7Ge_4$ derived from $MgCu_2$-type Laves phase $BaIr_2$	イムラ・ジャパン	越沼　輝成 川島　健司
130	8月	北海道大学	Hokkaido University – National Central University Joint Symposium on Materials Chemistry and Physics 2025	酢酸菌Komagataeibacter hanesnii由来セルロース合成酵素の構造解析	イムラ・ジャパン	榎原　真二
131	8月	日本美容皮膚科学会	第43回日本美容皮膚科学会総会・学術大会	ナノサイズ微細水粒子の肌適用の可能性 ～微細水粒子のポテンシャル：レーザー治療との組み合わせによるメリットの最大化～	AIR事業推進部	石崎　玲子
132	8月	日本美容皮膚科学会	第43回日本美容皮膚科学会総会・学術大会	ナノサイズ微細水粒子の肌適用の可能性 ～デリケートゾーンの肌適用の可能性～	AIR事業推進部	石崎　玲子
133	8月	日本美容皮膚科学会	第43回日本美容皮膚科学会総会・学術大会	ナノサイズ微細水粒子の肌適用の可能性 ～経皮水分蒸散量とバリア機能改善の可能性～	AIR事業推進部	石崎　玲子
134	8月	電気学会	産業応用部門大会	150kW/80kW eAxle（機電一体）	モータ技術部	中川　善也
135	8月	Springer LNCS	The 2nd International Symposium on Software Fault Prevention, Verification, and Validation (SFPVV 2025)	Data-driven and Scenario-based Risk Analysis Considering Uncertainty in Machine Learning Systems	DS部	Truong Vinh Truong Duy
136	8月	日本機械学会	Dynamics and Design Conference 2025 (D&D2025)	軌道切り替え型遠心振子動吸振器に関する基礎的研究	PTコンポーネント技術部	塩崎　太郎
137	8月	日本機械学会	Dynamics and Design Conference 2025 (D&D2025)	基礎実験装置による分数調波振動の過渡応答に関する研究	PTコンポーネント技術部	塩崎　太郎
138	8月	日本機械学会	Dynamics and Design Conference 2025 (D&D2025)	HVにおけるラトルノイズのモータートルク制御による低減対策	PTコンポーネント技術部	塩崎　太郎
139	8月	画像電子学会	2025年度 第53回 画像電子学会年次大会	深層学習を用いた車両走行雑音下における心拍波形信号の抽出に関する基本検討	電子先行開発部	中村　直樹
140	8月	日本エアロゾル学会	第42回エアロゾル科学・技術研究討論会	ファラデーカップDMAによるナノサイズ微細水の計測	AIR事業推進部	加藤　寛人 森　隆行 足立　謡子 田端　友紀
141	8月	日本エアロゾル学会	第42回エアロゾル科学・技術研究討論会	高分子吸湿剤から放湿された過飽和水蒸気による核生成過程の評価	AIR事業推進部	加藤　寛人 森　隆行 足立　謡子 田端　友紀
142	9月	経済産業省	2025年度第3回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 工場等判断基準ワーキンググループ	アイシンのCN活動とe-methaneの取組み	PE・CN生技部	柴　誠
143	9月	日本科学技術連盟	ICQ2025	アイシンの全社職場マネジメント質向上の取組み	TQM推進部	井上　友貴
144	9月	IEEE	2026 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)	A 65.7ms Quick-instant-on and 50.7mJ/frame Tiny-YOLOv3 based Object-detection 16nm-AI-SoC with 32MB-embedded-MRAM and Hybrid-Multiplication-Architecture	電子先行開発部	（電子先行開発部） 成瀬　峰信 （執行幹部） 山田　洋
145	9月	Gartner社	Nagoya Meet Up	生成AI時代をリードする人づくりとは?	DS部	加藤　浩明
146	9月	空気調和・衛生工学会	令和7年度空気調和・衛生工学会大会（高松）	大空間における部分空調システムに関する研究 その2 - 内部発熱および外乱が空調ゾーン形成に及ぼす影響の検証	生産体質強化推進部	稲熊　亮司

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
147	9月	光化学協会	2025年光化学討論会	$AgBiS_2$量子ドット／$Cs_2AgBiBr_6$ダブルペロブスカイト複合ナノ粒子の作製と光化学特性	イムラ・ジャパン	武藤　拓馬
148	9月	Intellect Japan	Intellectメンタルヘルスフォーラム	ストレス蓄積判定技術とその社会実装に向けた取り組み	先進開発部	藤岡　英二
149	9月	全トヨタ技術会議	オールトヨタTechTalk	AIによる人の行動認識とその情報を用いた乗車意図推定	DS部	毛利　和弥
150	9月	日本機械学会	2025年度年次大会	圧縮空気エネルギーを活用したタービンに関する基礎研究	先進開発部	野田　幸裕
151	9月	日本機械学会	2025年度年次大会	大規模言語モデルおよび設計知見の拡張検索生成を活用した流体機械の形状設計エージェントに関する研究	DS部	松村　直也 木佐貫　祥一郎 杉浦　卓也
152	9月	応用物理学会	第86回応用物理学会秋季学術講演会	A_3C_{60}(A =アルカリ金属)バルク超伝導体の臨界電流密度	イムラ・ジャパン	川島　健司
153	9月	応用物理学会	第86回応用物理学会秋季学術講演会	高圧力印加による軽元素超伝導体La_2C_3の特異なTc上昇	イムラ・ジャパン	吉川　雅章 川島　健司
154	9月	量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）	Q-STAR　WEBページ	量子コンピュータのユースケース_自動車部品の生産計画最適化/大規模トラック配送ルート最適化	先進開発部	齊藤　岳穂
155	9月	アスペンテック ジャパン	Aspenユーザ交流会	化学プロセスSim導入の苦労や工夫	解析技術部	樋口　賢一
156	9月	日本音響学会	2025年秋季研究発表会	時間周波数マスキングを用いた微小異音検出手法の検討	DS部	阿部　寛太郎 笠原　太郎 宗戸　俊樹 坂本　湧暉
157	9月	JAMBE	第1回Model-Based Engineering Summit	エネマネ提案モデル活動のご紹介	解析技術部	近藤　益生
158	9月	QCサークル東海支部	チャンピオン大会	ハーネス作製工程の導通チェック3F撲滅！～ママたちだってできるじゃん～	岡崎電子工場	志賀　亜矢子 柴田　貴絵
159	9月	日本睡眠環境学会	第34回日本睡眠環境学会学術大会	リクライニングシートでの仮眠時における足の不快感緩和効果に関する研究	先進開発部	丸山　可那江
160	9月	高分子学会	第74回高分子討論会	水素結合性ブロック共重合体熱可塑性エラストマーを含有する構造用接着剤の調製	化成品技術部	藤井　吉朗
161	9月	名古屋市工業研究所	サーマルマネジメントセミナ名古屋	機電一体型・電動ウォーターポンプの熱シミュレーション技術の開発と運用	解析技術部	青山　泰崇
162	9月	日本物理学会	日本物理学会第80回年次大会	新超伝導体(Rh1-xPtx)Sbの電子状態	イムラ・ジャパン	川島　健司
163	9月	日本金属学会	日本金属学会2025年秋期講演大会	LPBF における造形体の温度分布・履歴予測の数値解析	EV第2生技開発部 試作部 ものづくり革新部	（EV第2生技開発部） 伴　美織 （試作部） 榊原　正人 （ものづくり革新部） 小林　翼
164	9月	日本金属学会	日本金属学会2025年秋期講演大会	結晶粒微細化によるFe-6.5Si合金の積層造形性の向上	EV第2生技開発部	伴　美織 森本　光香
165	9月	日本金属学会	日本金属学会2025年秋期講演大会	DEDを用いたサブミリ深溝形状への局所的な異種材造形の検討	EV第2生技開発部	伴　美織 森本　光香
166	9月	新潟大学	新潟大学データサイエンス・AIシンポジウム2025	AIと自動車産業の進化～アイシンにおけるAI活用の実態～	DS部	加藤　浩明
167	9月	日本科学技術連盟	第6650回QCサークル全国大会（金沢）	冷却パイプボルト締付異常撲滅による頻発停止低減	田原工場	川治　賢矢 今別府　隼也
168	9月	日本科学技術連盟	第6650回QCサークル全国大会（金沢）	見て、触れて、感じ取れ！！～ナットランナー異常撲滅～	蒲郡工場	壁谷　喜登 白木　誠也 青木　淳哉
169	9月	日本科学技術連盟	第6650回QCサークル全国大会（金沢）	OSコンプレッサー油飛散防止による転倒リスク低減	西尾ダイカスト工場	谷中　智洋 中村　旭 酒井　章年
170	9月	日本科学技術連盟	第6650回QCサークル全国大会（金沢）	密閉はんだ工程はんだ不良の撲滅	半田工場	濱本　真輝 横井　郁弥
171	9月	日本科学技術連盟	第6650回QCサークル全国大会（金沢）	顧客ラベル取出し作業、CT短縮による工数低減	吉良工場	土井　春姫 北内　匡樹

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
172	9月	電子情報通信学会 信越支部	電子情報通信学会 信越支部大会	毛髪の赤外吸収スペクトルを用いた教師なし学習による毛髪構造分類手法の開発	AIR事業推進部	加藤　寛人 稲垣　あゆみ 横山　慶子 田端　友紀
173	9月	Automotive User Interface	Automotive User Interface	Evaluating Interfaces for Non-Driving Related Tasks While Operating an E-scooter	LBSシステム開発部	寺尾　見識妙
174	9月	ESAS(The European Society for Applied Superconductivity)	17th the European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 2025)	Critical current and trapped magnetic field properties of $CaKFe_4As_4$ superconducting bulk	イムラ・ジャパン	川島　健司 神谷　良久
175	9月	Springer Nature社	Nature Conference on Advancing Perovskite-Based Photovoltaics	HOLE TRANSPORT MATERIAL STUDY BASED ON REORGANIZATION ENERGY: IMPACT OF CONDUCTIVITY AND PEROVSKITE SOLAR CELL PERFORMANCE	イムラ・ジャパン 解析技術部	（イムラ・ジャパン） 澤本　尚典 Amrita Sana 荒木　俊紀 服部　貴則 Mareedu Sreenivasu Devoju Harinada Chary 清水　隆行 土本　勝也 渡邊　恒暁 （解析技術部） 津田　宗幸 中島　淳二
176	9月	S＆T出版	xEVパワートレインの構造・部品・材料と製造技術	モータコア性能の向上と加工技術	素形材生技部	安立　毅彦
177	9月	電子情報通信学会	第28回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2025)	WAICとWBICを結ぶ漸近的な方程式	DS部	高椋　佐和
178	10月	IEEE	IEEE Transactions on Industry Applications	GaN Based Modified Integrated On-Board Charger Configuration Using Minimum Additional Active and Passive Components	先行技術開発部 第2EV技術部	（先行技術開発部） 中村　圭輔 Subrata Saha （第2EV技術部） 田口　真
179	10月	ASTM international	ICAM2025 (International Conference on Advanced Manufacturing)	The prediction framework combining CFD and FEM for thermal analysis of part-scale fabrication using Laser Powder Bed Fusion	EV第2生技開発部 試作部 ものづくり革新部	（EV第2生技開発部） 伴　美織 森本　光香 （試作部） 榊原　正人 （ものづくり革新部） 小林　翼
180	10月	自動車技術会	モビリティ社会部門委員会	「リーンアシスト制御」技術について	先進開発部	荒木　敬造
181	10月	フロンティア太陽電池セミナー実行委員会	第7回フロンティア太陽電池セミナー	高耐久ペロブスカイト太陽電池モジュールの実用化技術開発	先進開発部 イムラ・ジャパン	（先進開発部） 木村　光佑 遠山　智之 岡本　朋也 （イムラ・ジャパン） Devoju Harinada Chary Mareedu Sreenivasu
182	10月	IEEE	IEEE Sensors Journal	Pedestrian Detection and Localization Using Deep Learning with Automotive Ultrasonic Sensing	先進開発部	菅江　一平 井奈波　恒
183	10月	経済産業省 NEDO	第7回カーボンリサイクル産官学国際会議2025	Strategic Initiatives by Aisin to Promote Regional CO_2 Circulation	E－VC先行開発部	鵜飼　健司
184	10月	米国エアロゾル学会	AAAR	Characterestics of airborne water cluster generated by polymer-based evaporation device	AIR事業推進部	加藤　寛人 森　隆行 足立　謡子 田端　友紀
185	10月	日本レオロジー学会	第73回レオロジー討論会	水素結合性熱可塑性エラストマーを含有する構造用接着剤の調製	化成品技術部	藤井　吉朗
186	10月	GPU UNITE 2025	GPU UNITE 2025	エンタメとAIのための3Dパラレルワールド構築	DS部	髙橋　友紀子
187	10月	型技術協会	型技術協会 第 146 回「技術交流会」	金型の組立・保全技能について	樹脂生技部	加藤　拓也
188	10月	日本機械学会	RC300分科会	アイシン　会社紹介	要素技術部	関　祐一

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
189	10月	自動車技術会	2025年秋季大会	変分オートエンコーダーとCADを連携した三次元形状生成技術による管路設計手法の構築	DS部	木佐貫　祥一郎 松村　直也 杉浦　卓也
190	10月	QCサークル東海支部　愛知地区	職場改善飛躍成果発表会	PC1123計量異常低減で目指せ可動率95%!!	新川衣浦工場	久田　翔平
191	10月	日本感性工学会	日本感性工学会論文誌	仮眠によるメンタルヘルス －リズム刺激による新しいアプローチ－	先進開発部	山口　秀明 久田　伊織 丸山　可那江 藤岡　英二
192	10月	自動車技術会	2025年秋季大会学術講演会	サロゲートAIを活用した解析プロセスの構築と実用化	解析技術部	上原　一人 吉澤　秀紀 中井　祥平
193	10月	IEEE	IEEE ECCE 2025 PHILADELPHIA, PA, USA	Single-Phase single-Stage three-Port on-Board Charger with Minimum Hardware Components for EV/PHEV Application	先行技術開発部	牛田　啓介 中村　圭輔 堀田　豊 Subrata Saha
194	10月	IEEE	IEEE ECCE 2025 PHILADELPHIA, PA, USA	A Novel Single Phase Single Stage Multiport Integrated Onboard Charger for EV Utilising Traction Motor Drives	先行技術開発部	牛田　啓介 中村　圭輔 Subrata Saha
195	10月	IEEE	IEEE Energy Conversion Congress & Exposition(ECCE) 2025 Philadelphia, PA, USA	Comparative study on non-isolated integrated on-board chargers fo BEV/PHEV	先行技術開発部	中村　圭輔 Subrata Saha
196	10月	MathWorks Japan	JMAAB Open Conference 2025	JMAAB活動報告2025	ソフトウェア戦略推進部	久保　孝行
197	10月	日本鋳造工学会東海支部	鋳物技術講演会＆技術交流会	鋳造ビッグデータ分析ツールの開発	素形材生技部	小花　光博
198	10月	浜松市カーボンニュートラル推進協議会	次世代エネルギー利活用研究会第3回セミナー	ペロブスカイト太陽電池の実用化に向けたアイシンの取組について	E－VC事業戦略部	堀　智
199	11月	American Physical Society	Applied Physics Letter	Rotational stability of a high temperature superconducting squirrel-cage rotor in a rotating magnetic field	イムラ・ジャパン	吉川　雅章 川島　健司
200	11月	American Chemical Society	Chemistry of Materials誌	Enhanced Superconductivity in the $Rh_{1-x}Pt_xSb$ Solid Solution	イムラ・ジャパン	川島　健司
201	11月	American Chemical Society	Chemistry of Materials誌	Sodium-Catalyzed Calcium Intercalation into Graphite at Room Temperature	イムラ・ジャパン	川島　健司
202	11月	日本顔学会	フォーラム顔学2025　招待講演	顔認識とMultimodal対話AIエージェント	先進開発部	大須賀　晋
203	11月	石油学会ジュニア・ソサイアティ(JPIJS)	2025年度 JPIJS講演会	活性金属種を制御した固体触媒の開発と二酸化炭素転換活性	材料技術部	沖本　友子
204	11月	ITMedia	@IT NETWORK Live Week 2025　基調講演	エッジAI最前線	先進開発部	大須賀　晋
205	11月	ITS国際会議	ITS国際会議2026	Flow design based on binary shuffling	コネクテッド基盤開発部	倉田　憲一
206	11月	ITS国際会議	ITS国際会議2026	Recognition on stripping ratio of white lines	コネクテッド基盤開発部	倉田　憲一
207	11月	ITS国際会議	ITS国際会議2026	Optimal route search based on deep neural networks supported by external memory	コネクテッド基盤開発部	倉田　憲一
208	11月	IDAJ	IDAJ SYMPOSIUM 2025	機電一体型・電動ウォーターポンプの熱シミュレーションのモデル開発と運用と製品展開	解析技術部	青山　泰崇
209	11月	IDAJ	IDAJ SYMPOSIUM 2025	日本のクルマ開発の現在地点とその先	解析技術部	荻野　淳人
210	11月	名古屋市工業研究所	自動車産業の未来を拓く脱炭素と循環型社会への挑戦	アイシンの工場を中心としたムダロス低減の取り組み	CN・CE企画部	神谷　彰

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
211	11月	中部化学関係学協会　支部連合協議会	第56回中部化学関係学協会支部連合秋季大会	アイシンにおける太陽電池開発への取り組み	先進開発部	遠山　智之
212	11月	PLATEAU イノベーション交流会	PLATEAU イノベーション交流会	AIを活用した3次元認識/3Dモデル生成技術	DS部	横山　美優
213	11月	ICFD	ICFD2025	Experimental Study on the Effects of Nozzle Diameter and Number of Buckets on Micro Pelton Turbine Performance	先進開発部	野田　幸裕
214	11月	prostepIVIP	TOKYO SYSTEMS ENGINEERING SUMMIT 2025	エネマネ提案モデル活動のご紹介	解析技術部	近藤　益生
215	11月	ELISA Project	ELISA Project workshop	AGL SDV SoDeV Insights	LBSソフトウェア開発部	山口　直人
216	11月	組み込みシステム技術協会	EdgeTech+2025	Compact Linux and MRAM:Achieving Performance and Efficiency on Resource-Constrained Systems	電子先行開発部	成瀬　峰信
217	11月	日本機械学会	Mechanical Engineering Letters	Effect of Austenite Grain Size on the Fatigue Strength of Vacuum Carburized Low Carbon Steel Sheets after Quenching	材料技術部	喜多　昭彦
218	11月	安全工学会	安全工学研究発表会	カイゼン支援AIエージェント搭載の作業負荷測定システム	DS部 製造統括部	（DS部） 磯部　真之介 福本　剛 （製造統括部） 岡部　正登
219	11月	低温工学・超電導学会	The 14th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Materials (PASREG 2025)	$CaKFe_4As_4$ superconducting bulk: reducing oxides to improve Jc	イムラ・ジャパン	神谷　良久 川島　健司
220	11月	トヨタグループバイオ情報交換会（TGABE）	バイオの力を結集！TGABE発表会2025	高バイオマス生産植物ジャイアント・ミスカンサスのカルス誘導・再分化系の構築	イムラ・ジャパン	後藤　平
221	11月	トヨタグループバイオ情報交換会（TGABE）	バイオの力を結集！TGABE発表会2025	高バイオマス生産植物ジャイアント・ミスカンサスの用途検討	イムラ・ジャパン	榎原　真二
222	11月	日本産業ストレス学会	第33回日本産業ストレス学会	皮膚ガスによるストレス蓄積判定技術の開発	先進開発部	山口　秀明 丸山　可那江 久田　伊織 長嶺　昇 佐藤　敦 藤岡　英二
223	12月	計測制御自動学会会	「計測と制御」第65巻第01号（2026年1月）	企業におけるモデルベース開発の実施例（組み込みソフトウェア開発領域の場合）	ソフトウェア戦略推進部	久保　孝行
224	12月	QCサークル東海支部　愛知地区	第6687回QCサークル愛知地区　ステップアップ大会	T/Aケース　洩れ部位特定工数低減	田原工場	大竹　綺音 澤本　翔
225	12月	ISS2025 secretariat	38th International Symposium on Superconductivity (ISS2025)	Enhancement of Tc in Na-substituted $BaBi_3$ with $AuCu_3$-type	イムラ・ジャパン	越沼　輝成 神谷　良久 川島　健司
226	12月	ISS2025 secretariat	38th International Symposium on Superconductivity (ISS2025)	Electronic Structure of $La(Be,N)_2$ with CaB_2C_2-type structure	イムラ・ジャパン	川島　健司 吉川　雅章 神谷　良久
227	12月	ニッペコ	トライボロジー技術セミナー	アイシングループのカーボンニュートラルに向けた技術開発の取り組み	CN技術開発部	平塚　一郎
228	12月	電子情報通信学会	電子情報通信学会英文誌	Statistical Period Prediction and Optimal Velocity: A Novel Approach	コネクテッド基盤開発部	倉田　憲一
229	12月	JSOL	JMAG Users Conference Japan 2025	磁石寸法と位置及び鉄配置の同時最適化	走行安全技術部	佐藤　智宏
230	12月	高分子学会	第34回ポリマー材料フォーラム	リサイクルポリマーを用いたガラス繊維強化プラスチックにおけるガラス繊維-樹脂界面の分析	樹脂生技部	石井　裕基

No.	発表月	発表先（主催）	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
231	12月	JSOL	JMAG Users Conference Japan 2025	パラメトリック最適化を活用したモータスキュー仕様検討	解析技術部	佐久間　義稀
232	12月	精密工学会 画像応用技術専門委員会	ViEW2025	異なる視点データを活用したアノテーション効率化手法	DS部	吉村　裕一郎 Ulhaq Israr Phan Thi huyen thanh 杜　舟寧 Truong Vinh Truong Duy
233	12月	自動車技術会	自動車技術会シンポジウム	接着強度に対する吸水および吸水後乾燥による影響調査	化成品技術部	服部　和男
234	12月	エレクトロニクス実装学会	一般社団法人エレクトロニクス実装学会誌小特集	車載部品におけるEMC設計の課題とAI活用の事例紹介	解析技術部	菅　翔平
235	12月	皮膚ガス研究会	第1回皮膚ガス研究会	メンタルウェルネスを支える新しい技術とサービスの展望	先進開発部	山口　秀明
236	12月	日本科学技術連盟	第6690回ＱＣサークル全国大会（宜野湾）	なくせ頻発停止！ ～洗浄ドラム識別の異常判定改善～	半田電子工場	竹内　美保
237	12月	日本科学技術連盟	第6690回ＱＣサークル全国大会（宜野湾）	リクライナー組付けラインにおける頻発停止時間の低減	新豊工場	山口　翔平
238	12月	日本科学技術連盟	第6690回ＱＣサークル全国大会（宜野湾）	イメージングIR測定工数低減への挑戦～任せきりからの脱却！電動化時代を支える若手の力～	材料技術部	林　慶明
239	12月	日本科学技術連盟	第6690回ＱＣサークル全国大会（宜野湾）	撮像結果ワーク取出し異常撲滅～異常0への挑戦～	安城第2工場	勝木　拓也
240	12月	日本科学技術連盟	第6690回ＱＣサークル全国大会（宜野湾）	銅管の分別作業における工数低減	ものづくり革新部	川合　浩司
241	12月	日本ゴム協会	第36回エラストマー討論会	非共有結合性スチレン系熱可塑性エラストマーを含有する構造用接着剤の調整	化成品技術部	藤井　吉朗
242	12月	中部経済産業局 中部地方環境事務所	中部エネルギー・温暖化対策推進会議	アイシンにおけるペロブスカイト太陽電池の取り組み	先進開発部	栗田　信明
243	12月	軽金属学会	軽金属	電流回復法を用いたバリア層の構造制御によるアルミニウム二層アノード酸化皮膜の膜厚均一化	EV第2生技開発部	角　良平 藪井　博昭
244	12月	日本化学会	Pacifichem 2025	Advanced structural adhesives composed of epoxy resins and hydrogen-bonded styrenic block polymer-based thermoplastic elastomers	化成品技術部	藤井　吉朗
245	12月	JAMBE	MBD活用実践事例報告会	eAxle熱モデル流通の事例紹介	解析技術部	舛久　達也
246	12月	SOFC 研究会	第 34 回 SOFC 研究発表会	空気極の改良による PCFC発電耐久性の向上	イムラ・ジャパン	岡　和輝 久保　敦 野尻　能弘 Hong Seoheun 白石　剛一 須賀　康裕
247	12月	九州工業大学	講座「車載向け信号処理技術」	車載向け信号処理技術	DS部	藤田　剛
248	12月	愛知県　環境局 地球温暖化対策課	あいち地球温暖化対策フォーラム	アイシンにおけるペロブスカイト太陽電池の取り組み	先進開発部	栗田　信明
249	12月	大阪公立大学	「MBSEを活用する宇宙アーキテクト育成プログラム」講演会	自動車部品メーカーでのMBSE・CAE・最適化活用事例	技術統括部	乙守　正樹

編集後記

1997年の創刊から29年を迎えたアイシン技報は,累計448件の技術記事を積み重ね,長く技術者の皆さまに支えられてきました.グループ統合を経て当社の体制が大きく変化する中でも,技術を共有し,未来につなぐという本誌の役割は変わることなく続いています.

自動車産業が大きな転換期を迎える今,掲載記事からは, 性能だけでなく価格や品質,サービスなど多面的な価値を備えた “良い商品”を生み出す視点の重要性が改めて感じられます. その源流となる広義の“図面”には技術者としての思想と責任が宿り, 最終的な商品価値を左右します.さらに,イノベーションは新技術だけでなく, 既存技術の組み合わせやプロセス改善など,多様な形で生まれることも示唆されています.

また技術論文では,アイシングループの中から株式会社アドヴィックスおよびアイシン高丘株式会社の取り組み紹介など今注目されているテーマを取り上げ,皆さまに興味をもって頂けるよう工夫を凝らしており,今後の技術開発の方向性や取り組み方の参考になればと考えています.

環境や市場が変化し続ける中でも,「より良い商品をお客様に届ける」という使命は揺らぎません.本誌が,技術者の皆さまがその使命を果たすうえでの一助となり,次の挑戦へのヒントとなれば幸いです.

最後に,本号の制作にご協力いただいた執筆者の皆さま,関係部署,関連会社の皆さまに心より感謝申し上げます.

(編集委員一同)

●アイシン技報編集委員会

編集委員	加納　涼子	技術統括部	
	丸山　数人	先進開発部	
	寺川　智充	先行技術開発部	
	市橋　果	解析技術部	
	山田　健太	材料技術部	
	太田　博重	知的財産部	
	藤田　誉之	デザイン部	
	天野　寛之	信頼性評価部	
	稲摩　直人	新事業創出部	
事務局	林　誠治	技術管理部	
	林　弥生	技術管理部	

●表紙・特集デザイン

株式会社アイシン　デザイン部

※境界を越えたその先に広がる新しい未来を,スピード感あふれるビジュアルで表現しました.
広い視野を持ち,加速する力で未来を自ら切り開いていく.
その力強い前進のエネルギーをデザインに込めています.

アイシン技報

AISIN TECHNICAL REVIEW VOL.30 2026

発　　行　2026年3月(禁無断掲載)
発 行 所　株式会社アイシン　技術管理部
〒448-8650
愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地
発 行 人　技術開発本部　筒井 洋
印　　刷　プリ・テック株式会社

ミックス
紙 | 責任ある森林管理を支えています
FSC® C022184