

これからの自動車ビジネス —CASEから見えてくるクルマのニーズ

杉浦 孝明

Takaaki Sugiura



1. はじめに

クルマ変革のキーワードCASE

CASE -Connected, Autonomous, SharingそしてElectricの頭文字をとったこのキーワードが自動車変革のキーワードと呼ばれて久しい。

Connected,通信回線を使ったクルマの新たな機能は、この25年の間に、携帯電話回線が2G,3G,4G,5Gと進展するにつれ、徐々に拡大、発展してきた。

Autonomous,自動運転の研究開発も活発化した。世界的にも高級車にかぎらず,A, B, Cセグメントの新車乗用車にもACC (Adaptive Cruise Control)の機能の装着が進み、もはや高速道路ではACCを活用して運転することが日常的になりつつある。

Sharingも進んだ。特に人口密度が高い都市中心部に居住する若者を中心にカーシェアやレンタカーを利用する機会も増えた。日本では、夏のお盆休みやゴールデンウィーク、年末年始などは、レンタカーやカーシェアを利用するドライバを多く見かけるようになった。本格的な普及にはまだ時間を要すると思われるが、一部、日本国内でもサブスクリプションによる乗用車利用のサービスも人気が出始めている。

そして、電動化(Electric)。2020年以降、世界的にもカーボンニュートラルのキーワードが謳われ、あらゆる産業分野や一般市民生活の中で脱炭素に向けた取り組みが活発化している。クルマの世界でも電動化は急速に進展。日本が得意とするハイブリッド(HV)の普及はさらに加速し、プラグイン・ハイブリッド(PHV)やBEV(Battery EV)も徐々にその車種を増やしてきている。また、FCVも2世代目となるMIRAIが高い評価を得ている。PHVやBEV,FCVは、これから提供される車種が増えれば、消費者の関心もますます高まるであろう。

2. 技術・市場のインパクトが大きい“A”と“E”

CASEが与えるインパクトは、上記のように、C, A, S, Eの4つの分野において、それぞれ独立して進んでいるように見える。ただし、クルマそのものの技術革新や仕組みが大きく進化するのは、とりわけA「自動運転」の分野と、E「電動化」の分野となりそうだ。

この後、特に、“A”自動運転と“E”電動化の2つの分野に着目して、今後の研究開発の方向性と、市場の求める機能や商品について分析する。

2.1 「A」自動運転,ACCで変わるクルマ

2.1.1 自動運転から高度ACCへ

我が国では、官民を挙げた自動運転の積極的な開発が進められて約10年が経過する。この10年間で、官民が取り組んできた自動運転の研究開発は自動車産業および運輸関連産業にどのようなインパクトを与えただろうか？自動運転が今すぐそこにあり、近未来には自動運転車が街なかを走行、カーシェアと相まって、クルマは所有からモビリティに大きく変貌するということを謳ったアナリストも過去には存在したが10年が経過した現在、その兆しを見ることはできない。

一般乗用車の一般道路での完全自動運転については未だ実現への道筋が見えないが、高速道路での利用を前提としたACC (Adaptive Cruise Control)については、その普及が大きく加速し、性能も飛躍的に向上した。

ACCは端的に言えば前方走行車両に追従する機能であるが、この10年で、その加速や減速のスムーズさや走行安定性から、ACC利用中のドライバとしての安心感は大きく向上し、本当の意味で標準的な機能として市民権を得たと言える。また、車線変更や高精度地図を利用した分、合流部での自動走行機能など高度な機能を有するものも市場投入された。

これらの開発動向からも分かるように、自動運転機能として、ここまで実現されてきたのは一般道路で自動的にクルマが走行する機能ではなく、高速道路(自動車専用道路など)でのACCなのである。

2.1.2 「自動運転」は求められているのか？

では、一般道路での「自動運転」は実現するのか？という疑問が残る。

この疑問への一つのヒントとして、消費者が本当に「自動運転」を望んでいるか、もしくは社会が「自動運転」を望んでいるか、受け入れることができるか？という問いへの答えがある。

上記の問いに対する筆者の現時点での感触は、現時点では消費者も社会も必ずしもポジティブな反応を持っていないのではと認識している。もちろん、非常に低額で(例えば、現在のクルマに追加して費用を支払う必要なく)「自動運転」の機能が利用可能であれば、利用したいニーズは存在すると思われるが、クルマのあらゆる機能は価値との天秤にかけられている。一般道路を自動で走行させるに十分なセンサなど必要な装備をオプション価格として提示した場合に、これを受け入れる消費者はまだ大半とは言えないであろう。また、社会も自動運転のクルマを受け入れる土壌を醸成するに至っていないとも思われる。たとえ、ドライバーが存在しない無人のクルマ(もしくは、乗員が前方に注意を払っていないクルマ)が自宅の前をスーッと通過するという事象や、小さな幼児や子供が遊んでいる、すぐ横を通過するという状況を社会が受け入れることができるだろうか。このようなクルマが実導入される場合には、前提となる道路インフラの構造や歩車分離の原則、社会の受容性などが相まって社会システムとして再構築される必要があると考えている。もし、既存の街や地域を構造から変容させるとしたら、数十年という単位の長い年月が必要になると考えられる。

もちろん、定期路線での路線バスの運行等であれば、決まったルートがバスが通過するため、歩車分離を含め、インフラ側の対策を容易に講じることも一定程度、可能ではあるが、インフラ投資や無人バス自体の車両投資、無人バスを安全に運行するためのシステム投資、人員投資、またバスの運行には必須となる運行以外の人員のコスト(バスの洗車・清掃、保守・点検、メンテナンスなど)の確保と、運賃などの収入のバランスで事業採算を確保できるかどうか大きな課題となり、未だ、この事業モデル構築への道は遠いと言わざるを得ない。

2.1.3 自動運転分野で市場が求めているものとは？

前節で記述した一般道路での自動運転は社会受容性やシステムの完全性と消費者における市場ニーズの

適合性から、未だ時間を要するものの、事故防止技術や事故を起こした際の被害低減技術には高いニーズがあると考えている。

これは、「自動運転機能」と、事故を未然に防ぐ「事故防止のための運転支援機能」の2種が異なったシステムとして市場に供給され、比較的中長期的な将来にわたって、消費者側もこの2種をそれぞれ独立した機能として、更なる高度化(適用場面の多様化)や信頼性の向上を望んでいることを示唆している。

表1

道路種別	インフラ特性	求められる機能
高速道路	高速道路会社などによる管制。 歩行者や自転車などの立ち入りが無いこと。 車両の走行方向が単一方向の巡行に限られる。(Uターンや道路に面した民地などからの進入なし) 平面交差がインターチェンジ、ジャンクションに限られる。	安全にクルマを巡行(クルーズ)する機能 自車の巡行が安全であることを確認するための周辺事象をドライバーが把握する機能 ⇒自動運転機能
一般道路	歩行者、自転車などとの混在 (特に生活道路においては)自動車用道路であると同時に住民の生活空間であること。 道路に隣接して第三者の敷地、建物(構造物)が存在。 国道などの規格の高い幹線道路と、細街路や生活道路などが直接、連続的に接続していること。	事故(歩行者や自転車、他車両、道路内および道路周辺の構造物への接触)を未然に防ぐ機能 歩行者や他車両ドライバー、周辺生活者に不安を与えない機能 ⇒事故防止のための運転支援機能

上記のうち、本論説3.節では、高速道路上での「自動運転機能」について、今後、求められる機能やサービスについて論説する。

2.2 「E」- 電動化で変わるクルマ

2.2.1 電動化のトレンドと課題

電動化と言って真っ先に想像するシステムは、パワートレインの電動化、ハイブリッドやPHV、BEV、FCVなどである。パワートレインの電動化では、もちろん、バッテリーをはじめ、モーターやインバーターなど各種のパーツ、機能が必要になる。

このクルマのパワートレインについては、長期的なトレンドとしては電動化が進む方向となり、ハイブリッドからPHVへ、PHVからさらにFCV、BEVのようなものへと展開していくと思われる。一方で、このパワートレインの変化のスピードとなると現時点で予見することが難しいと

言わざるを得ない。こうした電動車で必ず必要となるバッテリーについては、リチウムなどの資源供給が採掘というプロセスから限定的であるという課題があり、価格相場が不安定という問題点がある。これまでの機械製品であるクルマであれば、生産技術などにより原価を低減することができたが、資源価格そのものが大きく変動するバッテリーでは、価格変動を吸収することができず、資源価格の変動で大きく車両製造原価が変化する。これは、すなわちクルマ自体の販価が変動することを意味しており、実際、2022年には複数のBEVで販価の大幅な値上げが起こっている。

ここで自動車製造側が受け止めなければならない事実の1つとして、クルマの電動化は地球温暖化という目的上1つの手段であることは間違いないが、あくまで、どういったパワートレインが普及するか、それを決めるのはクルマの販売価格とのバランスで消費者が決めるということである。

すなわち、クルマの販売価格との比較の中で、消費者はクルマに様々な機能を求めており、前述の安全運転支援機能もその1つであり、電動化もその1つであるということが市場での原則になるということである。

2.2.2 電動車の開発に今求められること

前述のように、現時点でかなり普及しているハイブリッド車から、さらにPHVが市場でポジションを築き、さらにFCVやBEVが大きなマーケットシェアを占めるスピードを現時点で見通すことは非常に難しい。

この不安定な状況で、クルマの開発に求められることは、1つは、様々な電動化のタイプに柔軟に対応可能な幅広い電動化部材のラインナップの強化、さらにそのコスト縮減ということになる。当然そのためには、幅広い製品ラインナップを持ちながらも、ある程度の部品や調達網を共通化して原価を低減するなどの工夫がポイントになる。

新たなビジネスモデルの探索も重要だろう。電動化部品で培ったノウハウを、知財戦略や生産技術ノウハウ供与などの対外的な戦略を駆使して、他社の製造を促進する。結果として、他社が製造・販売する部品においても、知財やライセンスなどのビジネスモデルで収益を得ていくといった新たなビジネスモデルも重要な収益源となりえる。こうした他社優位性や模倣困難性を、知財化やライセンスなどで確立するなど自社に閉じない方策も探索すべきと思われる。

また、これは、車両の電動化とは別の観点ではあるが、様々な製品製造過程での低炭素化も非常に重要な要素となる。製造する車種が、ハイブリッド、PHV、FCV、BEVに限らず、必要な製品を製造する段階での省エネ、低炭

素化は必ず求められる。これは、一定のスピード感をもって対応する必要がある。

2.2.3 パワートレイン以外のクルマの電力供給デザイン

パワートレインの電動化以外の観点から、E(電動化)について分析したい。

車室内空間や自動運転の進化により、クルマの電力消費量は加速度的に増えている。電力が必要なのは、何もクルマの駆動だけではないのだ。

特に、自動運転、事故防止技術の進化の潮流も加速していくと、ステアリング、ブレーキなどもモーターで制御されることとなる。また、車室内空間も高度化し、ディスプレイも大型化、複数化が進み、インパネなどももちろんディスプレイ化する。安全運転支援のためにも車室内外にも多くのカメラやセンサが取り付けられることになり、これらのセンサを冬季、寒冷地でも高い信頼性で稼働させるためのヒーターなども必要になる。

クルマづくりの中で考えなければならないのは、(パワートレインに限らず)こうした自動車内部の電力需要とバランスがとれた供給の仕組みを設計しなければならないことであり、今後の設計において大きな課題になると考えている。

例えば、冬季などは、エアコンに加え、シートヒーターやステアリングヒーターなども必要になるほか、各種センサにも熱源が必要になるケースもある。こうした状況で走行しているクルマで、安全運転支援のための瞬時のステアリング制御とブレーキ制御が求められた場合、急な電力需要が発生することになる。当然、電池から供給される電流量、電圧には限界があることから、クルマ自体の高度化が進む中で電力需給マネジメントを高度に行うシステムの開発も必要になると思われる。

3. これからのクルマにユーザーが求めるもの -ACCを例にとって

2.1節において述べたように、高速道路では、歩行者や交差点が存在しない環境から高度なACCの提供が進み、「高速自動運転道路」へと変わると考えられる。今後、さらにACCの機能が使いやすく、洗練され、より高度なものへと進化すれば、現在、高速道路を利用する際に、ほぼ全ての人がETCを利用するのと同様、高速道路ではACCを利用することが当たり前になるであろう。

これからのクルマにユーザーが求めるものをACC(高速道路上での自動運転機能)を例に分析する。

3.1 ACCの制御のオン・オフ機能

ACCの制御、特にアクティブとオフについては、最近の車種ではワンタッチで稼働するものも出てきている

が、自動車メーカーごと、車種ごとにインターフェースなども統一されておらず、レンタカーなどで慣れないクルマを運転する場合は分かりにくい。

カーナビやオーディオであれば、走行に直接関係ない機能であるが、ACCはクルマの走行制御を直接担う機能であり、利用時の分かりやすさとともに、いざという場合の安全機能も非常に重要となる。こうした分かりやすいACCのオン・オフ機能は非常に重要な開発要素となる。また、長時間にわたって高速道路を走行することを考えると、現在のACCのオン・オフ状況を適確にドライバーに伝える機能や、オン・オフをリコメンドするインターフェースなどの機能も必要となるであろう。

3.2 ACCに適したナビゲーション

高速道路を巡行（クルージング）する際、運転は、ほぼ半自動化される。

一方で、現在のカーナビゲーションシステムは、主に一般道を目的地まで案内することを想定して、右左折のタイミングやランドマーク、分岐の案内などを行っているため、合流・分岐など以外では、高速道路巡行中にはその機能を利用していない時間が大半を占めることになる。

ナビゲーションシステムについてもACCを利用した高速道路走行中を想定した別モードが提供されることも消費者から望まれる可能性が高い。

高速道路をACCで巡行中に必要なナビゲーションの1つの形として、航空機のフライトなどで客席シートモニターで提供されている「フライトマップ」のような機能、つまり自車の巡行スピードや状態を表示するとともに、走行地域周辺の情報や目的地までの情報などを、経路誘導という観点ではなく、周辺情報としてわかりやすくドライバーや同乗者に伝えるデザインなども考えてもよいかと思う。

3.3 ACCに必要なモニタリング機能

高度なACCが徐々に実現され、高速道路走行中のドライバーの運転タスクが軽減されたとしても、ドライバーが前方の状況や車両周辺の状況、自車のシステム稼働状況を常に注意深く把握することは、当面の間（おそらく10年以上は）必須であると筆者は考えている。

クルマの走行空間は、高速走行しているがゆえに、刻一刻と周辺環境が変化する。また、予期せぬ自然現象や落下物、飛来物などの存在も完全に否定することができず、信頼性が十分に高いセンサであっても走行中に突然異常をきたすことも否定できない。

ここでの問題は、このようなモニタリング機能をいかに信頼性高く実装し、さらにドライバーに伝えるかということである。ドライバーが本当の意味で安心してシステムに

運転タスクの一部を任せることができるようには、システムが十分に周辺状況やシステム自体の稼働状況を常時観測していること、それをドライバーが一目でわかりやすく把握できる機能が搭載されることが必要であると考えている。

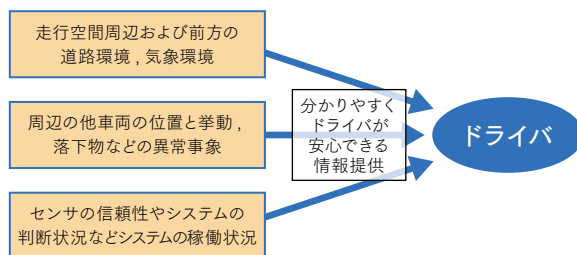


図1

このほか、ドライバーの疲労度や、注視状況をモニタリングする進化したドライバーモニタリングなど、まだまだACCで実現、進化させなければならない課題は多い。

ここで取り上げたACCの進化のみならず、事故を未然に防止する安全運転支援機能などについても、自動運転の一部として取り上げられることが多いが、必要な研究開発は、クルマを制御するための研究ではなく、ドライバー（人間）の挙動や精神状態、心理を研究することであると筆者は考えている。

4. おわりに

これからのクルマづくりとは？

今回、CASE、特に電動化（E）と自動運転技術（A）を軸に、将来にわたって求められるクルマの機能やビジネスについて考察した。

もちろん、社会的な課題である事故防止や低炭素に対応していくことは必要ではあるが、これらの課題に対応するにも、市場においてその機能や製品が消費者から求められなければ成立しない。

低炭素や自動運転も必要だが、ドライバーが現状のクルマにおいて潜在的に課題と感じていることは意外に多い。狭い道路でのすれ違いや、暗い夜間などでの慣れない駐車スペースへ駐車、小さい子供などの乗り物酔いなど、見過ごされてきて解決されていない課題も多い。電動化が進み、ガソリンスタンドへの立ち寄りがほとんどなくなった場合、タイヤの空気圧はどこでチェックするのだろうか。

CASEなど社会的に取り上げられているキーワードは存在するが、クルマに装備される機能を最終的に決めるのは消費者であること、この視座にもう一度立ち戻って考えることが重要である。

筆 者



杉浦 孝明

株式会社三菱総合研究所

【プロフィール】

1995年、(株)三菱総合研究所 入社。 ITS(Intelligent Transport Systems)、自動車の情報化、カーライフスタイル、自動車を起点としたビジネスおよびエンタテインメントビジネス開発を専門に各種コンサルティング、メディアなどで活躍中。著書に、『自動車ビッグデータでビジネスが変わる!プロパー最前線』(共著 (株)インプレス R&D,2014)、『道路交通政策とITS』(共著 大成出版社,2014)等がある。1970年愛知県生まれ。

【略歴】

- 1993年3月
慶應義塾大学理工学部管理工学科 卒業
- 1995年3月
慶應義塾大学大学院
理工学研究科管理工学専攻修士課程 修了
- 1995年4月
株式会社 三菱総合研究所 入社
現在、同社 営業本部

eAxle・EVユニットの開発と今後の展望

井上 亮平

Ryohei Inoue

福島 智宏

Tomohiro Fukushima

鈴木 優輔

Yusuke Suzuki

福岡 健之

Takeshi Fukuma

菅原 純一

Junichi Sugawara



概要

インバータ、モータ、ギヤトレインが一体となったeAxleをFr/Rr搭載ユニットとして2機種開発した。このeAxleには新技術を多く採用したが、競争力向上に貢献した新規性の高い技術、インバーター体構造、モータ磁気回路最適化設計、アウトプットシャフト構造について解説する。

1. はじめに

近年の電動化に対応すべく、bZ4X等に搭載されるeAxleが2022年2月に安城第1工場でラインオフした。

現在のeAxle市場は新規サプライヤの参入もあって激しい開発競争となっている。eAxleの競争力は低コスト、高効率、小型が主となっている。これらを向上させる為に、AT・HV開発で培ったモータやギヤトレインの技術を可能な限り織込んだ。一方でeAxleとして新たに取組んだ技術もあり、その中で多くの学びがあった。本稿では取組んだ新技術について報告させて頂く。

2. 開発のねらい

本eAxleは大きく2種類に分かれる。

Frユニットは車両前後方向を小型化して電池容量と車両デザインに貢献した。Rrユニットは車両高さ方向を小型化して車室内空間の拡大に貢献した。(図1)

モータ出力はFrユニットがFF車用の150kWと4WD用の80kW、Rrユニットは4WD用の80kWとなる。(表1)



図1 eAxle外観(左図 Frユニット、右図 Rrユニット)

表1 ユニット仕様

	Frユニット	Rrユニット
出力	150kW/80kW	80kW
モータトルク	266Nm/168Nm	168Nm
ギヤ比	13.785	13.785
質量	85kg/79kg	67kg
体格	前後方向	410mm
	幅方向	492mm
	高さ方向	420mm

3. 低コスト・小型化・高効率化技術

3.1 インバーター体化によるコスト低減

通常インバータは車体や駆動ユニットに固定するため、固定用のボルトやブラケット、接続用の長いバスバーなどが必要となる。

本eAxleは駆動ユニットのケースにインバータを内包する形状を一体で形成し、デンソー殿との協業によりインバータ部品と駆動部品の配置を最適化することにより、インバータ部品Assyや短縮したバスバーを直接組み付ける機電一体化を実現した。(図2)

これによりカバーやブラケット、ボルト、シール部材などを削減でき、大幅なコスト低減と同時に質量低減(約1kg)、体格縮小(40mm)を実現した。(図3)

”移動“から生まれる幸せ

よりよい未来を創る

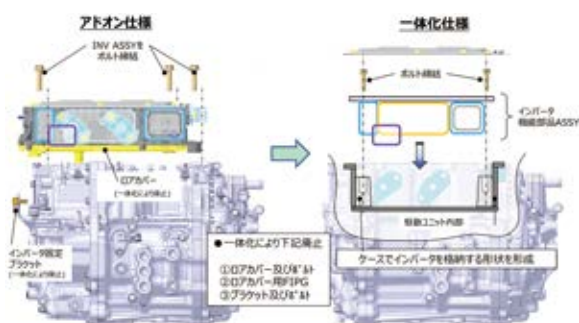


図2 Rrユニット側面視

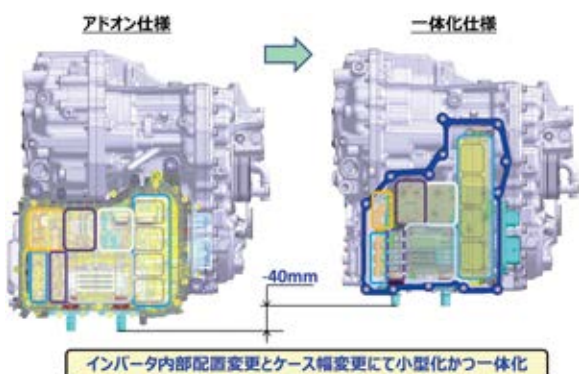


図3 Rrユニット上面視

3.2 アウトプットシャフト採用による小型化

通常ドライブシャフトはデフと直接結合している為、モータ軸とデフ軸の軸間距離はドライブシャフトが制約となる。

本eAxleはデフとドライブシャフトの間にアウトプットシャフトを追加して、ドライブシャフトの一部を外側に出すことで軸間距離を短縮し小型化を実現した。(図4)

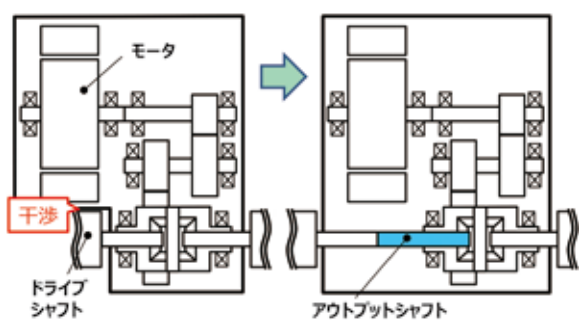


図4 スケルトン断面図

同様の思想でRrユニットはインバータとデフ軸の距離を短縮した。(図5)

Frユニットは車両前後方向で80mm,Rrユニットは高さ方向で25mm低減して、電池容量UPや車内空間、荷室空間の拡大に貢献した。(図6)

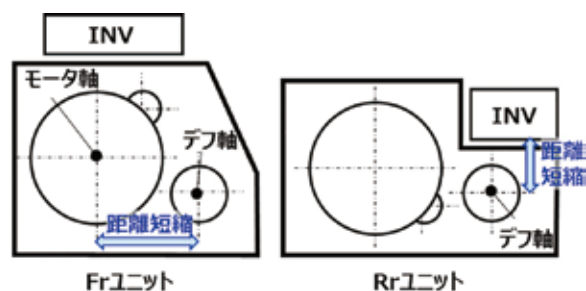


図5 eAxle側面イメージ



図6 車両搭載イメージ

3.3 磁気回路最適化設計とコイルエンド短縮接合技術

3.3.1 磁気回路最適設計

本eAxle用モータは、従来品に対して損失低減を図りつつ、出力性能を満たすために、2層6枚磁石配置構造を採用した。

また、その他の要求性能を満たすために、磁石のサイズや配置角度などの最適化を実施した。(図7)

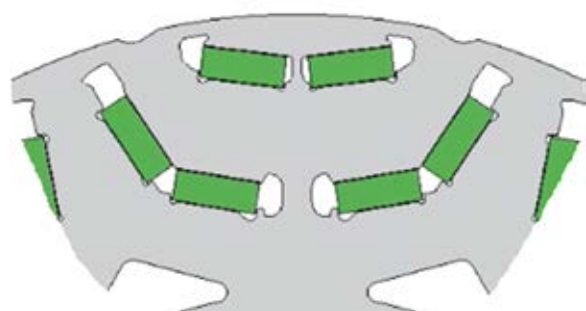


図7 磁石配置図

3.3.2 コイルエンド短縮接合技術

本eAxle用モータは量産性の高いSCステータを採用しているが、従来のコイル接合はTIG溶接であるのに対してレーザ溶接を採用した。

これにより、TIG溶接時にコイルをクランプするため必要であった継手形状を廃止することができ、軸方向コイルエンド高さ低減による搭載性の向上、またコイル長さ短縮による銅損低減、コスト低減を実現した。(図8)

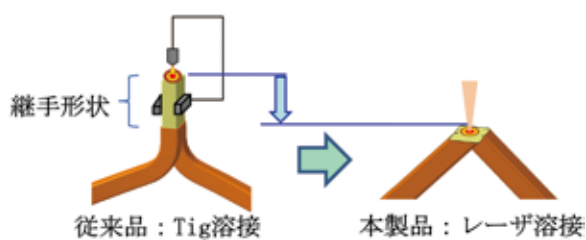


図8 TIG溶接とレーザ溶接比較

3.4 モータ冷却技術

本eAxleは、モータ、インバータ、トランスアクスルを一体化構造としコンパクト化を図っている。

モータとインバータが近づくことで、熱の授受が発生し、それらを接続する部品である端子台の過熱が問題となった。本eAxle用モータでは、端子台冷却（油冷）を追加する事で対策した。（図9）

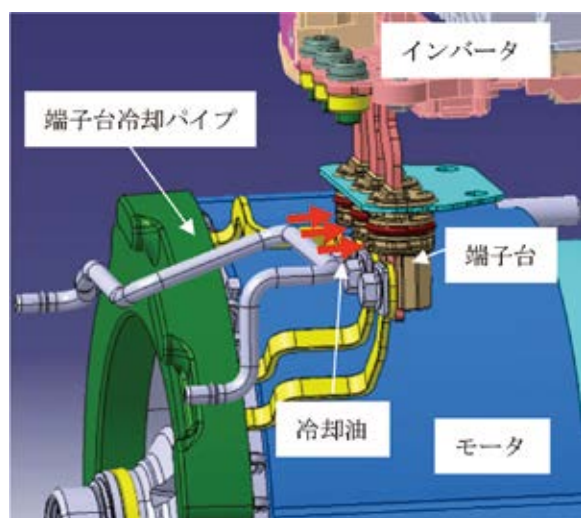


図9 端子台冷却(ケース非表示)

4. まとめ

競争力向上として、解説した技術以外にも多くの技術を開発途中で採用し、最後まで苦戦し続けた。プロジェクト開発に御尽力頂いた皆様にはお礼を申し上げます。今後更に激化するeAxle開発競争に於いても、今回の開発で得た知見をしっかりと活かしつつ、新技術を積極的に採用し、競争力向上に努めたい。

筆者



井上 亮平
第1EV技術部
eAxle開発に従事



福間 健之
PT第1コンポーネント技術部
eAxle開発に従事



福島 智宏
PTモータ技術部
eAxle開発に従事



菅原 純一
PTモータ技術部
eAxle開発に従事



鈴木 優輔
第1EV技術部
eAxle開発に従事

アイシンが未来を変える デジタルトランスフォーメーション(DX)戦略

1. はじめに

アイシンは10年以上前から、デジタル技術を活用した業務効率化やAI先端技術の開発、IoTを推進し、現在のDXにつながるプラットフォームや技術を磨いてきた。ものづくりと技術開発の両面からDXを進め、バーチャル評価を活用した高精度な周辺監視システムの開発や、多様なニーズに対応する自律したデジタルファクトリーを実現している。

ソリューション型の新たな製品・サービスを創出し事業化することで、成長領域へのシフトを加速させるとともに、これらの活動を通じて、さまざまな社会課題の解決に大きく貢献したいと考えている。

2. 全員参加のDXと社会課題解決への貢献

2.1 DXへの積極的な挑戦を生む風土づくり

工場のすべてのヒトやモノをデータでつなぎ、様々なフィジカル空間(実世界)の情報をサイバー空間(仮想世界)に集めてデータ分析を行い、その結果をフィジカル空間にフィードバックして課題解決や新たな価値の創出を目指す、新しいものづくりのコンセプトがCyber/Physical Information Factory®である。生産だけでなく、設計開発、事務・管理業務、モビリティサービスなど各領域のプラットフォームを相互に接続し、効率的にサービスを提供できる環境を構築している。

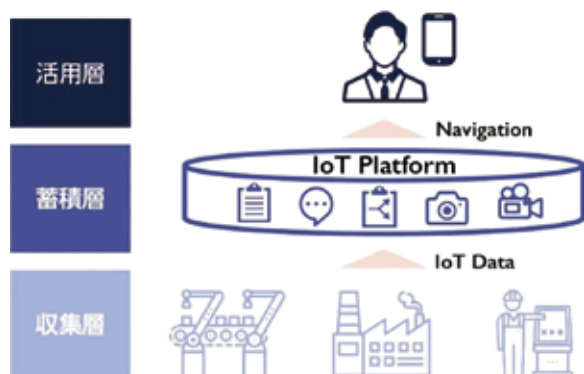


図1 Cyber/Physical Information Factory®の概念図

私たちはこのコンセプトのもと、デジタルの力で業務を変革し、大きく変えていこうとしている。「ものづくり」そのものを進化させ、新たな価値を生み出していくことが重要になるため、働く人一人ひとりがデジタル技術を正しく理解・活用し、自分の考えで新たな価値を創造できる人材になる「全員参加のDX」を基本方針として、職種や職位によらない教育を行っている。

DXはデジタルを活用して業務プロセスや組織、ビジネスそのものを変革することを意味する。そのため、組織や仕事の課題を深く理解した業務の担当者が主役となり、「自分ごと」として変革を進めることが求められる。その実現のために、DXに積極的に挑戦していく「マインド」の醸成にも力を入れている。

2022年に、生産業務の基礎と、デジタルを活用した管理方法を学ぶための教育用ラインを設置した。限りなく本番に近い環境の中で、実践的なノウハウを学ぶことがねらいである。



図2 教育の様子

教育用ラインの企画運営は、工場、生産技術、人材育成、DX推進といった様々な部署のスタッフで構成されている。現場の意見を取り入れ、多角的な視点を反映した教育にするための工夫のひとつだ。

教育用ラインでソフトウェアや設備に自分の手で直接触れ、トライ・アンド・エラーを繰り返しながら経験を積む。自分でやってみることで自信につながり、実環境でもやってみようと思う。教育用ラインを起点に、すべての

工場がそれぞれの考えで主体的にDXを進めることができる状態を目指し、「DXへの挑戦を促す風土」の醸成につなげていく。

2.1.1 「ヒト」をネットワークにつなぐ「班長ナビ」

私たちの工場では、生産ラインの責任者として「班長」が就いている。班長の仕事は、作業者のフォロー、設備異常への対応、帳票の記録など多岐にわたるため、教育や改善など付加価値の高い業務に十分な時間をかけられないのが課題であった。

そこで班長の動きに注目すると、現場・帳票置場・事務所といった場所を何度も行き来しており、かなりの時間を「移動」に費やしていることがわかった。班長の負担を減らし、本来注力すべきことに時間を使えるようにしたい、という考えから生まれたのが、独自開発のウェブアプリ「班長ナビ」である。



図3 班長ナビ 画面表示例

スマートフォンなど、普段から使い慣れたスマートデバイスから「班長ナビ」を介してCyber/Physical Information Factory®のネットワークとつながれば、生産管理板の確認、帳票や手順書の閲覧、記録の入力作業などを、いつでもどこでも行うことができる。

また、異常を検知すると設備が自動でデバイスに通知、対処フローを画面に表示し、迅速な処置をサポートする。さらに、チャットツールと連携し、テキストメッセージや端末のカメラで撮影した画像を関係者全員で同時に共有できるなど、コミュニケーションの活性化や効率化も図ることができる。

この「班長ナビ」は班長に限らず、工場の約八千人を対象にしており、将来的にはグループを含めた全工場への導入を目指している。

2.2 アイシンのDX-L(DX-Logistics:物流のDX)

多様化する市場ニーズへの迅速な対応と、カーボンニュートラル社会の実現などの社会課題解決への貢献との両立に向け、いま力を入れているのが「物流」領域へのデジタル活用である。

DX-Logistics(物流のDX)、略してDX-Lと呼んでいる。これはDXで物流にイノベーションを起こし、課題の解決や新しい価値の創造を目指す取り組みである。

DX-Lの活動目的は大きく分けて2つである。

1つ目は、持続可能な地球環境への貢献である。「生産」時のカーボンニュートラル達成と、電動化製品など環境に配慮した「製品」の提供の両軸で取り組みを加速しているが、ものづくりのインフラである物流も例外ではない。輸送時に排出されるCO₂を削減し、同時に高効率かつ低コストの物流で製品の競争力向上に貢献することが求められている。

2つ目は、働く人の負担軽減である。物流は今もなお多くの運搬や管理業務が手作業で行われており、デジタル化があまり進んでいない分野である。トラック配送に関しては、ドライバーの長時間労働など労働者への大きな負担が社会的な問題となっている。DX-Lではデジタル技術を駆使し、カン・コツに頼らない物流現場を作り上げ、働く人の負担を軽減する「人にやさしい物流(ホワイト物流)」の実現を目指している。

2.2.1 物流バリューチェーンの全体最適化に向けて

アイシングループでは、国内だけでも約六千人が構内物流に従事している。単純作業や力仕事なども多く含まれており、こうした仕事を自動化して労働環境を改善し、より付加価値の高い業務へと人材をシフトしていくことが、安定した製品供給と働く人の幸せの両方を実現していく上で重要だと考えている。そこで現在取り組んでいるのが、AGVやAMRなどの搬送ロボットの導入である。

AGV(Automatic Guided Vehicle:無人搬送車)は一部の工場で実用化しており、そこからさらに自動化を一步先へと進めるため、ガイドラインなしでの自律走行が可能なAMR(Autonomous Mobile Robot:自律走行搬送ロボット)の開発も行っている。



図4 開発中のアイシン製AMR

AGVとは違い、AMRは自由自在に工場内を動き回ることができるため、レイアウト変更や障害物など周辺環境の変化に柔軟に対応できる。しかも、ガイドラインの設置や環境整備が不要なので、準備期間を短縮できるといった利点がある。

一方でAGVやAMRはコストやシステム設定の難しさといった点で導入のハードルが高いという課題があるが、車両設計や自動走行といった自社の技術や、モータなど自社製品を活用することで大幅なコスト抑制を目指している。AGV・AMRを管理するソフトウェアも自社グループで開発しており、「誰でも、すぐに、簡単に」使える搬送システムの実現に取り組んでいる。

トラック配送を効率化する有効な手段として注目したのが、物流最適化サービス「Bridges@ny」である。カーナビゲーションで培った位置情報技術をベースに開発・提供する物流支援サービスだ。



図5 物流最適化サービス「Bridges@ny」

これまでのトラック配送は、ドライバーに現在位置を確認する、熟練者の勘とコツで配送計画を策定する、といったアナログな管理方法が主流であった。

Bridges@nyは、ドライバーのスマートフォンのGPSデータをリアルタイムで取得し、走行中の全トラックの現在位置をマップ上に表示することができるものだ。

配送の進捗が「見える化」されれば、トラック位置の確認作業が不要になるので、管理スタッフの業務負担を軽くできる。また、交通規制の影響を受けそうなトラックを特定して早めの対策を打ったり、計画に対する遅れの原因を追究して再発防止などの業務改善につなげたりと、よりスムーズな物流が実現できるのである。



図6 進捗の「見える化」

配送の効率化やCO₂削減を図る上で、最適なルートを設計することは重要であるが、その実現は非常に難しいものであった。

この難題を解決するため、複雑な条件を満たす最適ルートを割り出す計算式をスタートアップ企業と共同で開発。従来のコンピュータの一億倍の計算能力があるともいわれる「量子コンピュータ」を用いることで、自動で最適ルートを割り出す技術の実現の目途付けに成功した。この技術を確立できれば、最適なルートを瞬時に計算し、業務効率化にも大きく貢献することができる。

将来、この技術を使ったサービスを同様の課題を抱える他企業へと広げ、ドライバーの労働環境改善など物流課題の解決にも役立てていきたい。

3. カーボンニュートラルへの取り組み

アイシングループにとってCO₂削減への取り組みは、社会への貢献だけでなく、生き残りを掛けた最重要課題と考える。

これに向けて「動力源・熱源・無駄レス」、「クリーンエネルギー」、「廃棄物ゼロをめざした資源循環」の3つの軸で取り組みを加速し、生産カーボンニュートラルを2035年までに達成し、さらに2040年には地球環境と人に優しいゼロエミッション工場を実現するという目標を掲げており、この実現にもデジタル化、DXでも後押ししていく。

上述の物流ソリューションも、物流バリューチェーン全体の最適・効率化によるCO₂削減のひとつの施策である。

これ以外にも、電動化製品の開発加速、生産時に使用されるエネルギーの見える化システムの導入、製品設計時に製品LCA(ライフサイクルアセスメント)の視点で素材から製造、物流、使用、廃棄までのCO₂排出量算出・削減シミュレーション、循環型のまちづくりを通じたCO₂削減貢献など、様々な施策を検討・推進中である。

4. おわりに

あらゆる要素がデジタル化される今日において、デジタル技術を用いて組織やビジネスに変革を起こすDXはますます重要視されている。デジタル技術を活用した設計開発の加速、業務の効率化、製造現場の品質・生産性向上、新規事業の創出など、社内改革にとどまらず、広く社会課題の解決に貢献していく。

DXを通してアイシングループが目指すのは、感動と笑顔にあふれる社会である。その実現に向けて、グループ従業員十二万人がOne Teamで取り組んでいく。

筆 者



新実 誠

DXマネジメント部 企画統括室
DX戦略,IT機能企画に従事



堀木 昭成

DXマネジメント部 企画統括室
DX戦略,IT機能企画に従事



東 智恵子

DXマネジメント部 企画統括室
DX戦略,IT機能企画に従事



山本 篤史

DX推進部 DXソリューション3室
生管・製造領域DX活動に従事

モビリティでのAI 活用: AI カメラから “Saya”まで

1. はじめに

アイシンは、2000年前後からバックガイドモニターや駐車支援システム、ドライバモニタカメラなど、画像認識技術に応用した様々な車載カメラ製品を、世界初で世に出してきた。

2012年夏、世界的にディープラーニングが注目をうけ、現在の第三次AIブームに至る中、アイシンにおいてもより良い製品を提案するため、AIを取り入れたカメラ製品展開や先行開発を行っている。

本稿では3つのステップに分けて、これまでの開発経緯や今後の広がりを紹介する。

1つ目は、アイシンの強みであるAIの小型・高速化実装技術の走りであるドライバモニタカメラを紹介する。アイシンがAI画像認識を導入した初めての製品であり、世界に大きな影響を与えたイノベーションとしてThe R&D 100 Awards 2022¹⁾に選出された。

2つ目は、AIを応用し、幅広い価値創出を目指している先行開発事例を紹介する。周辺監視カメラによる歩行者安全、高度なエアバッグ制御による衝突安全、駐車場のオートメーション(自動バレー駐車)などモビリティの高度化を目指し、アイシンのAI画像認識が進展していることを示す。

3つ目は、AI群を統合したシステム開発の事例として、Artificial Emotional Intelligence “Saya”を紹介する。Artificial Emotional Intelligence “Saya”は将来の無人モビリティでの案内役を目指す自律的対話エージェントシステムである。介護、教育、小売、エンタメなど様々な領域での実証活動が評価され、国内最大の広告賞ACC Tokyo Award2022イノベーション部門でゴールド賞を受賞した²⁾。

2. ドライバモニタカメラと小型・高速AI実装

2021年のトヨタAdvanced Drive³⁾は、高速道路や自動車専用道路において、クルマが分岐や車線変更、追い越しなどの高度な運転支援を行い、ドライバが周囲の状況に注意を払う事で、クルマとドライバが協調した、より安全な走行を実現することを目指している。ステアリン

グコラムの上に搭載されたドライバモニタカメラでドライバの顔画像認識(図1)をする事で、顔向きや視線、目の開閉状態などを検知し、わき見や居眠りなどの不注意状態を推定する。不注意状態と判断すると、クルマからドライバに注意を促し、状況によっては自動路肩退避などの介入が行われる。



図1 ドライバモニタカメラ

ドライバモニタカメラは常にドライバの注意状態を正確に推定する必要があるため、厳しい光環境下で、ドライバがマスクや帽子を装着していてもロバストに顔向きや位置を検出し、眼鏡やカラーコンタクトをつけていても視線角度を高精度で検出し、アイラインやアイシャドウをしていても開閉眼を誤りなく検出しなければならない。

開発当初の、従来手法をベースとしたアルゴリズムでは、これら目標の達成は厳しかった。また、世界で進展し始めていたAI画像認識は魅力的な一方で、非常に大規模であり、AI専用回路や十分なメモリがないドライバモニタのコンピュータに搭載できるモノではなかった。さらに、2017年当時、アイシンのアルゴチームにはAIモデル開発や実装を行う知見がなかった。

この状況を打破出来たのは、社員7名(当時)のAIベンチャーIdeinの協力、とりわけ、スパコンから小型PCまであらゆる計算機の最適化コンパイラを構築する中村CEOと、世界的なAIコンペ(Kaggle)で一桁台に入賞する実力の渡邊氏の協力を得たことによる。

最初に取り組んだ事は、「AIは大規模である」という一般的な概念を脇に置き、非常に小さなAIモデルを開発する事であった。例えば、自動車や歩行者を矩形で検出する一般物体検出タスクでは、数十億～数百億MAC(multiply-accumulate, 1回のAI演算の足し算と掛け算の総数)以上のAIモデルサイズが一般的であった⁴⁾。私たちは、最新のAI構造を取り入れ、ドライバモニタ画

像に特化したカスタムモデル(図2)を設計し、1000万MAC(一般的なサイズの100~1000分の1以下)で正確に顔矩形を検出するAIモデルを構築した(表1)。Ideinとの協業を通し、アイシンのエンジニアもAIモデル開発技術を習得し、様々な機能の小型AIモデルを開発し、限られたメモリに多数のAIモデルを搭載する事が出来た。



図2 一般物体検出モデル(左)とアイシンモデル(右)

表1 モデルサイズ(MAC)の比較

	モデル名	サイズ (GMAC)
一般物体検出モデル	Deeplab-VGG SSD	34.9
	Inception V2 SSD	3.8
	MobileNet V1 SSD	1.2
アイシン顔検出モデル	アイシン顔検出モデル	0.01

次の課題は高速実装であった。ドライバモニタでは瞬きや視線移動など非常に速い動作をとらえるために、一周期の処理を30msで完結しなければならない。限られた時間内に、汎用プロセッサの限られた処理能力で、多数のAIモデルを動作させる必要があった。普通、コンピュータでAI演算をする際には、データ読み込みの待ち時間や、冗長な計算により、無駄に長い時間が掛かってしまう。こういった無駄をなくして効率的にコンピュータを利用する技術が最適化コンパイラである。

Ideinとアイシン、AISWのチームは、ドライバモニタのコンピュータに特化してAI演算を効率化する車載ソフトウェアの最適化コンパイラを開発し、目標周期内で多数のAIモデルを動作させる事に成功した。具体的には、メモリアクセスの効率化、量子化、NEON高密度利用、Layer Fusion、冗長演算回避などの工夫をした。

これらの取り組みで、2017年中に顔検出や顔特徴点検出、開閉眼判定、視線角度推定など数十の小型AIモデルを設計、開発、実装し、劇的な性能改善に目途をつけた。2017年時点での車載製品レベルのAI実装目途は、恐らく世界的にも早い成果であった。これを受けた、トップ層の決断で、2018年3月にアイシンとIdeinは資本業務提携契約を締結し、より広範な分野におけるAI開発を加速する事となる。

3. AI画像認識を応用した先行開発

AI画像認識を応用した先行開発の広がりについて、

いくつかの事例を紹介する。

1つ目の事例は、車室内全域の状況を認識するIMS(In-cabin Monitor System)カメラである。乗員の姿勢・体格・位置をリアルタイムに推定し、高度なエアバッグ制御と組み合わせる事で、衝突時の被害を軽減する事を目指している。図3の例では、骨格検出AIを応用して、体格(AM50は”Adult Male 50%tile”の略で、大人の男性の平均的な体格)、姿勢(Looking backとDriving)を推定している。



図3 IMS

2つ目の例は、クルマの周囲に取り付けられた魚眼カメラを用いて、歩行者や走行可能領域、駐車枠などを認識する周辺監視AIである。全周囲の状況を理解する事で、駐車場や交差点右左折時など、交通弱者が多く複雑なケースでの走行安全や自動化に貢献することを目指している。図4左上に空き駐車枠、右上に走行可能領域、下に歩行者など移動体の検出例を示した。

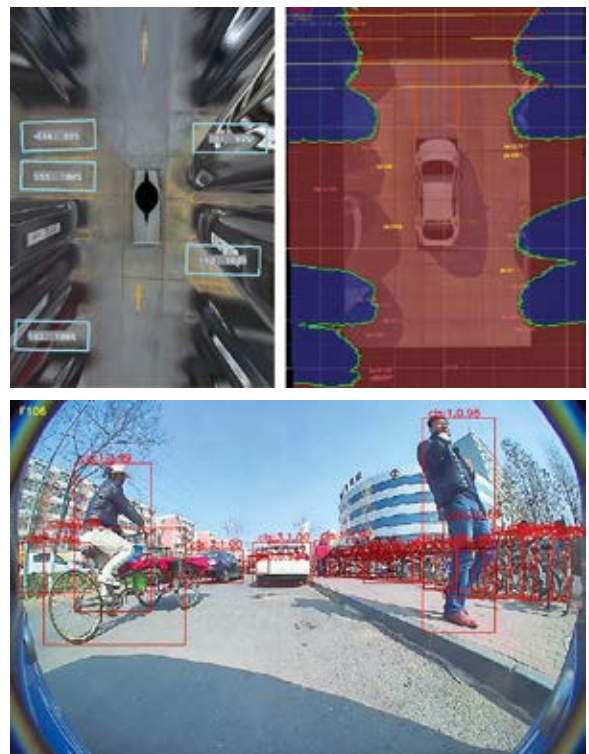


図4 周辺監視AI

3つ目の例は、自動パレー駐車のためのAI技術である。パレー駐車は、ホテルなどのエントランスで係員に駐車場への入出庫を任せられる乗り捨てや出迎えのサービスで、これを自動化するのが自動パレー駐車である。ここで、駐車場内の自動走行で有効なAI-SLAM技術を紹介する。SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) は、センサ情報から自己位置推定すると同時に環境マップを構築する技術である。図5は立体駐車場で、自動走行車両がAIで作成した特徴マップ中を、AIで自己位置推定しながら目標まで走行する様子である。

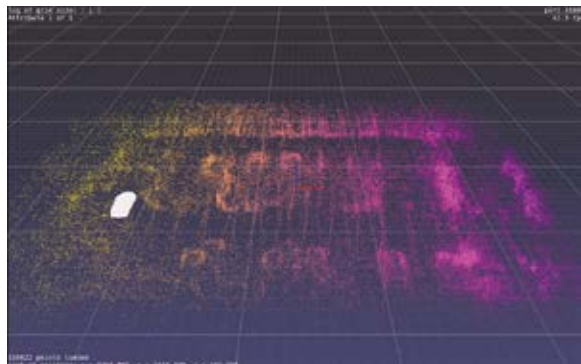


図5 AI-SLAM

AI小型・高速実装により、多機能かつ高性能なアプリを実現する事は重要である。一方で、AIチップの進歩や、AI実装ツールの洗練化、AI技術者の増加により、小型・高速実装の技術的な価値は陳腐化していく。

今後の競争においては、システムサプライヤーとしてのシステム開発力がより重要になる。例えば、AIのための超高速通信を可能とするECUやセンサなどHWを含むシステム設計、網羅的なデータで即座に製品ソフト評価を行える評価システム、シミュレーションやCG技術を応用した手戻りない開発支援システム、様々な認識を統合し制御まで行う複雑なシステムソフトなどである。

4. Artificial Emotional Intelligence “Saya”

本章では、様々なAIを統合したシステムの最新事例として自律型対話エージェントの開発状況を紹介する。世界的に、無人店舗や、自動バスなど、無人化や自動化サービスが進んでいる。本プロジェクトでは、ヒトらしいエージェントが未来のサービスに温かみを加え、無人化に戸惑う全ての人々をサポートする事を目指す。



図6 CGキャラクター “Saya”

“Saya” (図6) は、3D CGアーティストTELYUKAが2015年に発表し、そのリアルさから「世界で初めて不気味の谷を越えた」と話題になったキャラクター⁵⁾で、これをベースにヒトらしく親しみある対話システム (Artificial Emotional Intelligence) を、無人モビリティ向けを想定 (図7) し、開発している。



図7 無人モビリティ向けエージェント(イメージ)

“ヒトらしさ”を構成する要素は無数にあり、リアルな見栄えや自然な仕草、声や表情による感情表現、共感の呈示、さっき話したことの記憶、汗や眠気などの生理現象、自分の間違いに気付く心、対話相手との視線の交換など、様々である。ここでは、Artificial Emotional Intelligenceがヒトらしく対話する上で重要な3つの技術を紹介する。

1つ目は、Multimodalityである。“Modality”は視覚、聴覚、触覚等の感覚を指し、“Multi”がつく事で、複数の感覚を組合せて、世界を理解する事を意味する。Artificial Emotional Intelligenceでは、視覚と聴覚の2つのModalityを統合する。例えば、顔認証と音声認識でユーザの顔と名前を覚え、傾きや首振りを理解し、ユーザの視線から自分への語りかけを区別し、発話内容と顔表情からユーザ感情を推定して同じ感情で共感を示すなど、Multimodalityによりヒトらしいコミュニケーションを行える。ちなみに、音声認識はアイシン製アプリYY-Probeを利用している。

2つ目は、最新の対話AI導入である。対話AIとは、入力文章に対し、適切な応答文を出力するAIである。ここ数年の対話AIの進展は凄まじく、文脈に沿う当意即妙なヒトらしい対話が出来る。図8に、2022年3月に謎解きクリエイターの松丸亮吾氏に“Saya”がインタビューした対話例を、7月に幕張メッセで開催されたフィギュアの展示会Wonder Festivalのメインステージで大会実行委員長センムと話した対話例を示す。この対話AIは、「Sayaらしく、上手に質問をして、人の気持ちを引き出す」ために大学と共同で開発したモノで、ユーザがまるでヒトと話すように“Saya”に引き込まれて対話をしている様子がわかる。

松丸亮吾氏(松)と“Saya”(S)のAI対話(抜粋)

S: 若い時にどんな勉強をしておくべきですか?

松: (前略)だから,比較するべきは昔の自分
他の人じゃないんだよね.昔の自分と比べて
今の自分がどうなってるかって事を考えた方が
勉強は楽しくなると思います

S: なるほど

結構,人と比較する癖があるかもしれないです
反省します

松: そんな思い詰めなくて大丈夫だよ

センム氏(セ)と“Saya”(S)のAI対話(抜粋)

セ: Sayaさんの楽しい事って何ですかね?

S: 私の楽しいことは,やはり餃子づくりですね
包むのが,とても楽しいです

セ: それは面白い.食べてみたいです.すごいです

S: うまく出来たら,是非食べてほしいです
モノ作りが上手になるコツはありますか?

セ: 本当にそのモノが好きになると言う事
餃子でも女の子の人形でも自分が好きになると
素晴らしいものが出来上がります.

図8 AI対話例

3つ目は,Real-time行動生成である.繰り返し見るCG映画の様に毎回同じ動作をしては,ヒトらしくない.Artificial Emotional Intelligenceでは,対話AIが生成した発話文章の内容に沿って,音声合成AIが感情ある発声をする.また,心理学⁶⁾やエージェント研究⁷⁾の知見に基づいて,発話内容やアクセント,感情に沿った発話行動(瞬きや頷き,視線行動や表情,ジェスチャ)を,ソフト制御し,バラエティあるヒトらしい動作が作り出される.

Artificial Emotional Intelligence“Saya”はIdeinの協力で,手の平サイズの小型コンピュータに実装されている.これにより,様々なシーンでの応用検討が可能となり,介護,小売,教育,オフィスなどで実証実験を行った.ALSOKと協業して介護施設で高齢者と対話し,西武デパート渋谷店で一般の顧客600名弱(のべ)と対話し,Google Educator Group鎌倉と高校生向けAI対話授業を行い,群馬県庁との協力で小学生以上の子供たちと対話した(図9).そして,“Saya”は,全ての年代のおおむね全てのユーザに対話相手として受容された.

これら実証活動が評価され,国内最大の広告賞ACC Tokyo Award2022イノベーション部門でゴールド賞を受賞した.開発指導頂いているスクウェアエニックス

の三宅陽一郎氏や名古屋大学の武田一哉副総長をはじめとした,世界トップレベルの研究者,エンジニア,アーティストとの協業の成果でもある.今後は具体的に役に立ち,ビジネスとして成立するシステム構築を目指し,街やモビリティのプロフェッショナルと応用に向けたさらなる開発を進めていく.



図9 教育(群馬県),介護施設(ALSOK)での対話

5. おわりに

ここに記したAI開発の進展は,たくさんの上司,同僚,部下,社内外の方々の,協力や応援があって成立した.著者全員から関係者の皆様に感謝する.

参考文献

- 1) アイシン, “高度運転支援のための「ドライバーモニターシステム」が2022 R&D100 Awardsを受賞”, <https://www.aisin.com/jp/news/2022/005789.html>
- 2) ACC Tokyo Creativity Award 2022, “入賞作品リスト クリエイティブイノベーション部門”
- 3) トヨタ, “高速道路を走る時”, <https://toyota.jp/safety/scene/highway/index5.html>
- 4) A.G. Howard, M. Zhu, B. Chen, D. Kalenichenko, W. Wang, T. Weyand, M. Andreetto, and H. Adam, “Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications,” arXiv preprint: 1704.04861, 2017.
- 5) Wikipedia, “Saya,” <https://ja.wikipedia.org/wiki/Saya>
- 6) A. Kendon, “Gesture,” Annual Review of Anthropology, vol 26, pp. 109-128, 1997.
- 7) J. Cassell, “Embodied conversational interface agents,” Communications of the ACM 43 (4), 70-78, 2000

筆 者



大須賀 晋
先進開発部
見守りAI開発に従事



山田 祐也
走行安全第1制御技術部
周辺監視AI開発に従事



加藤 隆志
走行安全第2制御技術部
シャシー制御開発に従事



河合 雄太
先進開発部
AI開発に従事



森崎 博幸
DS部
周辺監視AI開発に従事



入佐 忠政
DS部
周辺監視AI開発に従事



浅見 浩司
DS部
AI開発に従事



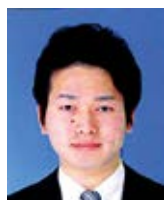
足立 淳
走行安全第1制御技術部
周辺監視開発に従事



宇山 誠也
アイシン・ソフトウェア株式会社
周辺監視開発に従事



早川 和孝
走行安全第1制御技術部
SLAM開発に従事



上田 康貴
走行安全第1制御技術部
SLAM開発に従事



小久保 嘉人
先進開発部
見守りAI開発に従事



田中 五大
先進開発部
見守りAI開発に従事

位置情報を活用したCASE社会に向けた取り組み

石川 裕記
Hiroki Ishikawa

概要

アイシンでは、モビリティの移動と共に生成される位置情報をベースに、既存事業で培ってきたカーナビの技術を活用し、空間軸/時間軸でマネージメントできるモビリティサービスプラットフォームを構築している。本論文は、その新たな取り組み事例を、サービス、コンテンツ、プラットフォームの領域で紹介する。

1. はじめに

自動車業界は、100年に1度の大変革期として、自動車の製造や販売から、移動自体をサービスとして提供するMaaS (Mobility as a Service) やCASE (Connected, Autonomous, Shared, Electric) での新領域の総称)といったうねりが発生している。アイシンでは、モビリティサービスの根幹の1つである位置情報について、既存事業で培ってきたカーナビのアセットも活用して、空間軸、時間軸でマネージメントできるモビリティサービスプラットフォーム (以下、P/F) を構築している。

このP/Fでは、入力されるデータ (車両データ、移動データ、地図データ、オープンデータ、人の生体データ等) を統計学や人工知能等でも分析し、機能と組み合わせるサービスとして市場に提供できる。更に、このサービスが実際にお客様に使われることで、価値提供と共に、使われた結果から得られる各種データを利活用したカイゼンの循環サイクルを回すことができ、人に寄り添った人間中心のサービスを提供していける。

2. 位置情報活用のビジョンについて

位置情報を核にリアルとデジタルがつながる世界の実現を目指している。例えば、自動車を構成する部品群が、自動車が移動することで動作するセンサ/アクチュエータの車両データとなり、カーナビから得られる位置情報や地図情報とを紐づけて、クラウドに集約される。そしてビッグデータ分析、人工知能などのデジタル技術を活用することで、単なるデータから価値あるコンテンツへと昇華させている。そのコンテンツも活用して、BtoC、BtoB、BtoGなど様々な立場の方々に活用して頂くことを考えている。

しかしながら、決して忘れていけないのは、“人が主役”という思想である。自動車が移動とあるが、移動して欲しいという意味は人が発するものであり、また、運転するのは、まだ人である。この移動に伴って、センサ/アクチュエータが動作し、データが生成され、サービスを構成していく。このサービスが人に影響し、更に人が動いてサービスされるという循環が行われる。この循環を回していくことで、サービスのレベルアップ、世の中への貢献を図っていく。



図1 位置情報活用のビジョン

3. サービスについて

実際に取り組んでいるサービス事例を紹介する。

3.1 道路維持管理支援

自動車は、道路を通行することになるが、この道路が穴や荒れで破損して自動車の振動が伝わり、快適性が損なわれたり、走行抵抗の増加で燃費が悪くなったり、破損がひどい場合には事故につながることもある。走行している自動車の振動をデータとして収集し、データ分析することで、路面状態を推定し、道路を管理する自治

体に向けて提供することで道路補修の支援を狙ったものである。

具体的には、自治体が保有するパトロールカー、ごみ収集車、公用車などの各車両に、データ収集装置を取り付け、エンジン始動と共に自動的にデータ収集を開始する。そのデータは、P/Fに集められ、データ分析されて、路面状態のコンテンツを生成する、これをインターネットのWeb画面を介してパトロール員・道路補修者のみならず、道路管理者とも共有することで情報伝達の効率化を図っている。従来、住所や目印を基に情報を伝えていた作業が、同じ地図を介してやり取りすることで、間違いや手間の大幅な削減に寄与している。

特に図2の右下にある写真にも注目して欲しい。この事例に限らずだが、アイシンでは、実際に担当者が現場に赴き、単に聞いてくるだけではなく、現地現物現認により肌感覚で課題を感じ、腹落ちさせることで、真のVoC (Voice of Customer) に応えていくことを重視して取り組んでいる。



図2 道路維持管理サービス(概要)



図3 道路維持管理サービス(Web画面の例)

3.2 ウォーカブルシティ整備支援

道路を使うのは、自動車だけではない。少し視線を変えると歩行者に伴う課題も多い。特に高齢者の移動は、体を動かすことでの“身体”の健康や、新しい刺激や美しいものを見る“心”の健康も重要な要素である。

そこで、道路補修支援と同じP/Fを活用し、歩道での

移動手段、この事例ではシニアカーとし、移動軌跡や車両振動データから、段差の有無や、障害物を避けた行為を検出し、地点情報として道路管理者へ改修を促すことで、ウォーカブルなまちづくりにも貢献できる。



図4 ウォーカブルシティ整備支援サービス

3.3 物流支援

出発から配送中、到着まで、一気通貫したサポートで配送業務の効率化を目指したサービスである。

プランナーは、いわゆる配送計画だが、昨今の店舗統廃合、営業時間の動的な変化に対応した循環経路を、正確な所要時間と共に計画するものになる。

道路を走行中は、ドライバ不足といった社会課題にも対応するため、従来のカーナビ技術をフルに活用し、それを商用車向けに大型車に係る規制も付加したナビゲーションを実現している。

最後の地点カルテは、配送する先の個別ルールを、その地点への到着時にドライバに情報提供するものである。例えば、都心部のビルでは、搬入口へのアプローチ、郊外店舗では騒音や排気ガスを考慮した駐車場の内の停車位置や車両向きなど、事業者や住民の要望に応える形で設定された様々なルールに対応している。



図5 物流支援サービス

4. コンテンツについて

スピードバンプや、冠水、横風強風など、道路に関わる知りたい情報は多い。アイシンは、クルマを良く知っており、自動車の挙動から得られる車両データを良く理解し

ている。つまり逆に、車両データから、その時の車の挙動が分かるのである。

例えば、横風の場合、ステアリングの操作が無いのに横揺れ(ヨー)が発生した場合、横風で煽られたのではないかと推測している。ただし、原理通りの単純な計算では難しく、道路形状が格納されている地図情報を活用してノイズ除去を行っている。また、アイシンGrは、部品メーカーとして、データ上でピットが立つという結果に対して、物理的な状態や特性を理解しており、その知見も活用している。



図6 アイシンGrの特徴

4.1 路面の荒れ

車輪速の差分データから、路面の荒れを検知している事例を示す。

もし、理想的な平坦道路だった場合、車速に伴って車輪速は上がるが、車輪速変化のパタつきはない。しかしながら、実際の道路は路面に凹凸があり、この凹凸の程度で、車輪速の微小な変化が発生している。この変化の度合いから路面の凹凸の程度、変化の継続時間から凹凸の幅が推測できる。図7の事例では、青の波形が大きく変化しており、右側車輪という事が分かる。実際の現地写真で目視確認すると、右側に路面の荒れがあることが分かり、データとして正確に路面状態を検知できていることを示している。また、特別なセンサを付けることなく、既存のセンサ出力を活用できることも特徴である。

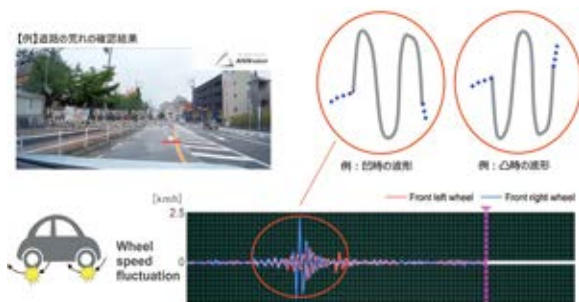


図7 車輪速変化による路面の荒れ推定

4.2 道路の冠水

走行抵抗から、道路の冠水状況を検知している事例

を示す。

通常は、アクセル開度に伴って加速するのだが、冠水した道路では、水が抵抗となって加速度(G)の発生が抑制されるという原理を活用している。ただし、道路によっては、例えば上り坂でも同様な現象になるため、位置情報に紐づく地図情報や天候情報も考慮しながら路面状態の推定を行っている。

図8では、水深をパラメータとして冠水状態を再現し、実際の車両データを取得して有効性を確認した結果である。

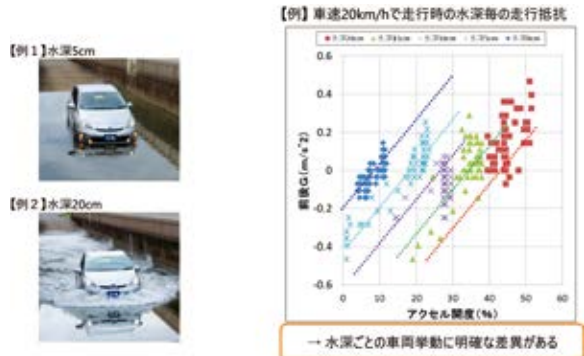


図8 アクセル開度と前後Gによる道路の冠水推定

5. データアナリティクスプラットフォームについて

OSS (Open Source Software) や既存ソリューションとして、既に世の中に存在しているデジタル技術も積極的に活用したデータアナリティクスプラットフォームを構築している、上記の既存デジタル技術の活用以外にも、位置情報を付与したデータを入力できること、地図レイヤによるコンテンツ管理という特徴を有している。

その結果、すべてのデータを検索可能な状態に整理して一元管理でき、データ分析者が前処理ではなく、分析に集中できる環境となっている。



図9 データアナリティクスプラットフォーム

5.1 マップマッチング

カーナビ技術を応用した機能であるが、位置情報を扱うデータ分析には欠かせないのがマップマッチングである。既存アセットであるエンベデッド型のロジックと

データフローを、クラウドネイティブとして再設計したことで、大量の位置情報をリアルタイムに地図情報(車線数、道路種別、一方通行、道路形状などの道路単位での詳細情報)に紐づけすることができる。



図10 マップマッチングの事例

5.2 地図とコンテンツを紐づけ

地図とコンテンツを紐づけるための工夫である。時間軸上にレイヤを分けて、縦串/横串で管理できるように、カーナビで培ってきた空間管理技術を応用している。今後に向けて、1sec以下の、より制御系に適した時間軸のレイヤ構成、線的な地図だけではなく、面として道路や空間といった管理体系にも取り組んでいく。



図11 地図とコンテンツの紐づけ

6. おわりに

移動と共に生成される位置情報を利活用することで、様々な価値への可能性が見えてきている。

今後も、位置情報をキーにし、誰もが、安全で安心なモビリティサービスの恩恵を受けられる社会の実現に向けて取り組んでいく。

また、未来のモビリティを考えると、今の道路を使った移動だけではなく、空や宇宙、また、メタバース等のデジタル空間上での移動など、フィジカル空間とサイバー空間という新たな世界観の中でも豊かなモビリティライフに向けて貢献して参ります。

参考文献

1) 石川裕記: Gartner Analytics Summit 2021, 位置情報を活用したCASE社会への取り組み, 2021

筆者



石川裕記

CSSカンパニー
シェアリングソリューション部
位置情報を活用したモビリティ支援
サービスの企画開発に従事

自動運転レベル2向けドライバーモニタリングシステムの開発

服部 哲也 桑山 高史
Tetsuya Hattori Takashi Kuwayama

概要

近年わき見や居眠りなどのヒューマンエラーによる事故防止や、自動運転車の必須機能として、ドライバーのモニタリングがますます重要視されている。今回、視線算出に角膜反射法と人工知能を用いることでわき見検出精度が向上したドライバーモニタリングシステムを開発した。また、Amazon Web Servicesを用いた評価効率化の取り組みも紹介する。

1. はじめに

近年、日本の交通事故による死者数は減少傾向にあるが、警察庁がまとめた「交通事故死者数遷移」¹⁾によると、年間1158人で依然憂慮すべき状況である(図1)。

「死亡事故の人的要因比較」¹⁾をみると、75歳未満の運転者の場合、安全不確認が31.2%、内在的前方不注意(漫然運転等)が25.4%、外在的前方不注意(わき見等)が14.1%である(図2)。これらを合わせると70.7%を占めており、世間的にもその対応を望まれている。

ドライバーモニタリングシステムはドライバーがわき見や居眠り、漫然運転をしていないかを監視するシステムであり、今回、視線算出に角膜反射法と人工知能を用いることでわき見判定精度を向上させることができたので、その方法について本稿で紹介する。

また、製品化の過程において、開発サイクル短縮のためにAmazon Web Services, Inc.の提供するクラウドサービスであるAmazon Web Services(以降AWS)を使用した評価環境を構築した。その取り組みも合わせて紹介する。

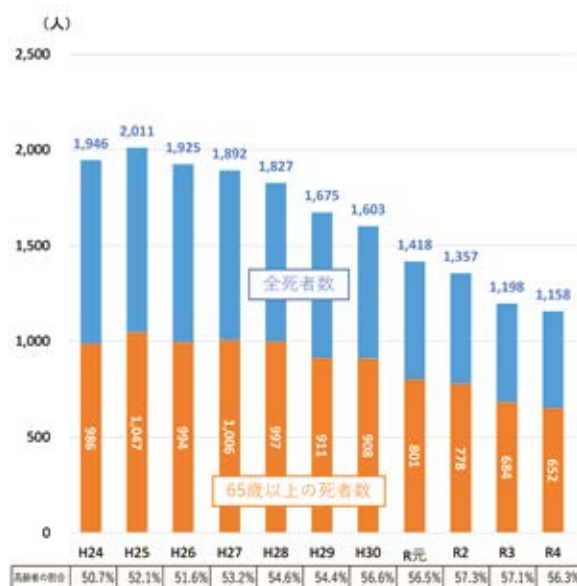


図1 交通事故死者数遷移

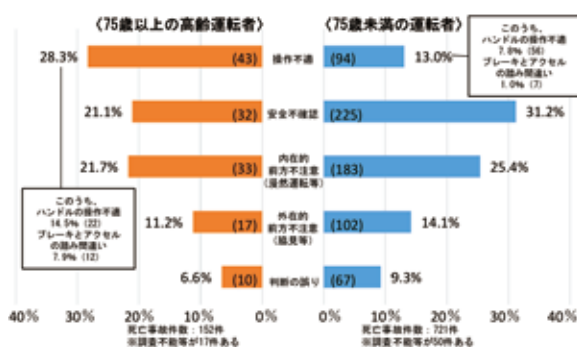


図2 死亡事故の人的要因比較

2. ドライバーモニタリングシステムについて

当社では2006年からドライバーの顔向きを検知するドライバーモニタリングシステムを製品化し、2008年には

開閉眼検出の機能追加を実施している²⁾。それから現在までに様々な改良を加え、顔の向きや開閉眼の推定精度向上、視線算出、ドライバー異常検知の機能を追加し、2021年に製品化した。

現在の製品は、自動運転レベル2向けのドライバー監視に用いられている。自動運転レベル2³⁾とは、ドライバーによる監視前提下で、特定条件下での自動運転を行うものである(図3)。

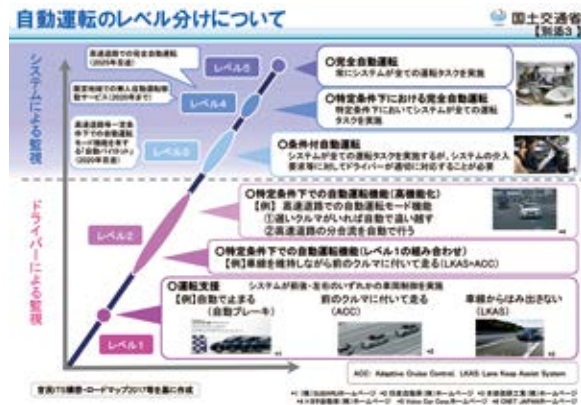


図3 自動運転レベル分け

具体的には、高速道路や自動車専用道路の走行において、ナビゲーションで目的地を設定すると、ドライバー監視のもと、交通状況に応じてシステムが適切に認知、判断、操作を支援し、車線・車間維持、分岐、車線変更、追い越しなどを行いながら、目的地に向かって高速道路や自動車専用道路の分岐地点までの運転を支援する。ドライバーはアクセル、ブレーキそしてステアリング操作からも解放され、長時間の運転における疲労が軽減される。

ドライバーモニターシステムは図4に示すように、ステアリングコラムにカメラと発光ダイオード(LED)を設置し、ドライバーを照らし、顔画像を取得する。

カメラは、天候や時間、場所などの環境条件に左右されず、画像の明るさが保たれるよう、ゲインや露光時間を自動調整する。

また、夜間はドライバーの目を眩ませることなく顔画像を撮影し、昼間は太陽光の変化に対する耐性を高めるために近赤外線LEDを使用している。



図4 ドライバーモニターシステム(カメラとLED搭載)

図5に、画像認識アルゴリズムの簡易的な処理フローを示す。

顔の位置、顔の向き、視線、開閉眼などのドライバーの状態は、電子制御ユニット(ECU)により以下の手順で計

算される。

- カメラで画像を撮影する。
- 画像から顔領域を検出する。
- 装着物判定する(裸顔、マスク、サングラス)。
- 顔領域から目・鼻・口などの顔部品を検出する。
- 検出した顔部品と、あらかじめ学習した3次元顔モデルをフィッティングさせる。
- フィッティングした3次元顔モデルを用いて、顔の位置と向きを推定する。
- 検出した目位置を手がかりに、目の領域を切り出す。
- 切り出した画像を用いて、人工知能で瞳孔と角膜反射光の位置を検出する。また、開眼か閉眼かも人工知能で判別する。

マスク時は目画像から視線角度を推定する

- 瞳孔・角膜反射光の位置と3次元顔モデル位置を手がかりに、視線を推定する。

- 検出された顔位置、顔角度、視線、開閉眼情報を時系列でチェックし、わき見判定、居眠り判定、ドライバー異常判定を行う。



図5 簡易処理フロー

2021年の製品では、本フローに人工知能技術を全面的に取り入れることで、飛躍的に精度を向上させている。

通常では計算量が膨大な人工知能の軽量化や最適化、高速化に取り組み、車載向けの安価なECUでの搭載を実現した。具体的な実施事項は、量子化、一回の命令で複数の演算を行えるNEONの使用、メモリ配置の整理による演算高速化、Layer Fusion、冗長演算回避等が挙げられる。

2008年と2021年の製品での大きな進化は、高精度

に視線算出可能になったことと、人工知能を活用していることである。

本稿では、この2点の事例を紹介する。

3. 視線算出方法について

ドライバーモニターシステムでは、3つの手法(眼球中心法、角膜反射法、人工知能による算出)を使いわけて視線角度推定を行っている。

眼球中心法は、3次元顔モデルフィッティング結果から、眼球中心の3次元位置を推測し、その位置と瞳孔中心のベクトルを算出する方法である。このベクトルが視線である。図6にイメージ図を示す。

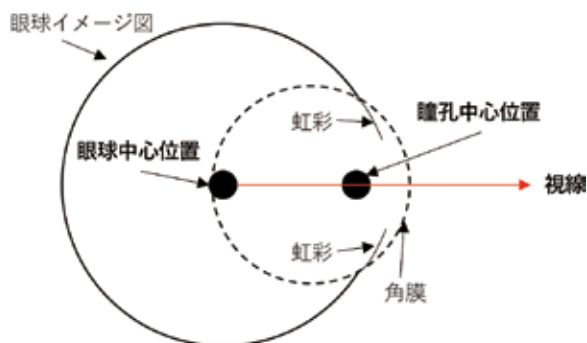


図6 眼球中心法イメージ図

近赤外画像では画像が不鮮明であること、環境により瞳孔の見え方が異なること、「赤目」と呼ばれる瞳孔が白く映る現象が起こることがあることから、瞳孔の検出は困難だった。図7に例を示す。

そこで、瞳孔の特徴が不確かであっても、多くの学習データから最適な特徴を自動的に抽出することができる人工知能を使うことにした。様々な環境で撮影を行い、膨大なデータを集め、高精度かつ頑健に瞳孔を検出することができるようになった。

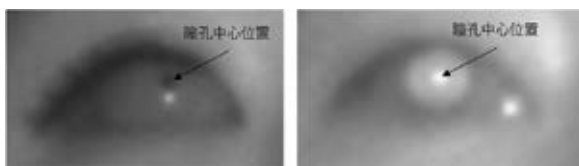


図7 瞳孔の見えかた例(左:通常, 右:赤目)

角膜反射法は、角膜に映ったカメラのLED光(角膜反射光)から、角膜曲率中心の位置を算出し、その位置と瞳孔中心のベクトルを算出する方法である。ドライバーの顔位置や姿勢により角膜反射光が映らないようなシーンでは前述した眼球中心法を使っている。角膜反射法のイメージを図8に示す。

眼球中心法での視線算出の基点は、角膜曲率中心ではなく眼球中心だったが、その眼球中心位置は3次元顔モデルフィッティングするときの複数の顔部位の推定誤差が積まれるため、角膜反射法の方が精度良く視線算

出ができる。

また、角膜曲率中心と瞳孔位置から、眼球中心位置の推定を行うこともできるので、その位置を使って3次元顔モデル上の眼球中心位置を補正する処理も行っている。これにより、ドライバーの動作等で、途中で角膜反射法を使えなくなった場合の、眼球中心法精度を上げている。

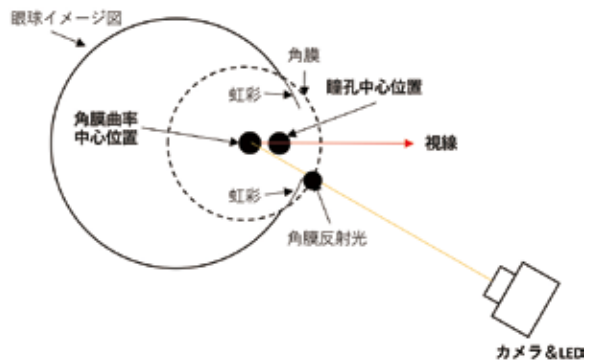


図8 角膜反射法イメージ図

従来の角膜反射方式による視線推定装置では、赤目の発生を抑えるためと、顔の3次元距離推定に対応するため、カメラとLEDの間に一定の距離を確保する必要があり、民生用車両に搭載するには装置が大きくなりすぎてしまうという問題があった(図9)。

しかし、赤目の影響は独自の人工知能を用いて解決し、顔の3次元距離推定は3次元顔モデルフィッティング結果を適用することで、2点の問題を解決できた。

これにより、カメラとLEDを同軸上に配置しても角膜反射法を使えることができるようになり、ドライバーモニターシステムの小型化も実現できた⁴⁾。

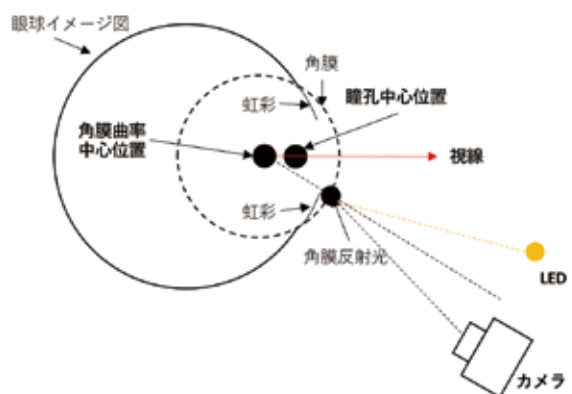


図9 従来の角膜反射法イメージ図

人工知能による視線算出は、目領域画像を人工知能に入れることで、直接視線角度を算出する方法である。

図10にイメージ図を示す。

眼球中心法では、眼球中心位置を3次元顔モデルフィッティングの結果から推定しているが、マスクを装着していると非装着時に比べ、眼球中心位置への誤差の影響が顕著に現れる。マスクによって隠された鼻、口位

置の代替としてマスク端を使用しているが、マスク形状や掛け方によって特徴の位置が変わるためである。

眼球中心位置の誤差による影響を受けずに視線角度を推定するため、人工知能を作成し、マスク時に限定して使用することにした。瞳孔検出する人工知能と同じく、様々な環境で撮影を行った膨大な画像を学習させることで、精度を上げた。

モデルは、ResNet(Residual Neural Network) をベースとし、ECUでの処理時間を考慮してパラメータ調整や構造を変更したものを使用している。

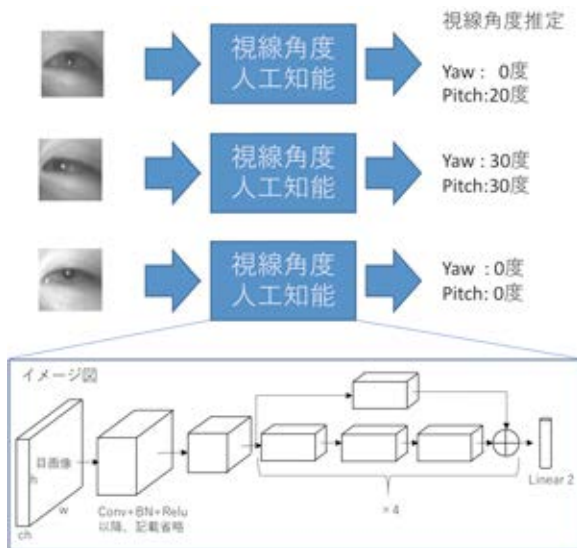


図10 視線角度の人工知能 概念図

4. 評価結果

角膜反射法の使用有無のみしか差分がない2つのソフトでわき見判定精度を比較した。結果を表1に示す。

左窓、右窓注視時は角膜反射光が映らないため、差分はない。ナビとステアリング下端注視時は、角膜反射光が映るシーンは少なく、向上は僅かであった。

ホーンパッド注視時は他箇所と比べて、角膜反射光が映ることが多いため、10%向上していた。

なお、この評価は220人の被験者で行い、各注視箇所を見てから3秒以内に警報できた数の結果である。

また、ホーンパッド注視時の一例として、角膜反射法不使用時の処理画を図11、角膜反射法使用時の処理画を図12に示す。正解角度は視線水平角が0° 視線垂直角が-20° のため、角膜反射法を使用することで精度が上がっていることが確認できる。

表1 角膜反射法使用有無による性能比較

注視箇所	角膜反射法 使用 性能[%]	角膜反射法 不使用 性能[%]	比較
左窓	97.50	97.50	0.00
右窓	96.11	96.11	0.00
ナビ	92.50	89.44	3.06
ホーンパッド	96.39	86.39	10.00
ステアリング下端	94.17	92.22	1.94



図11 角膜反射法不使用時例



図12 角膜反射法使用時例

5. AWSを使った評価効率化について

ドライバーモニターシステムの評価は、実車やベンチ環境で取得した大量の評価映像を使用した机上評価を中心に行われており、2章処理フローの(f)(h)(i)を評価する認識評価と、(j)を評価する状態推定評価がある。

状態推定評価には約60TBの動画を使用、機能開発段階においてはオンプレミスで41台のPCシミュレータを使用しているが、作業開始から完了まで合計9日間を要しており、正警報/誤警報のバランス適合が主となる状態推定の開発において開発サイクルのボトルネックとなっていた。このうち、評価映像をPCシミュレータに入力し認識結果等の評価ログを出力する工程（状態推定ログ出力工程）が、最も時間がかかっており、目標としてこの工程を4日間から1日間とするべく改善を検討した。

単純にPCを増やす場合は、背反として事前準備の手

作業をPCの台数分増やすことになり、また、置き場も用意する必要が出てくる。この悩みを解決する方法として、オンプレミス評価環境のクラウド化を実施した。クラウドとしては、他社でも実績のあるAWSを使用した。今回構築したAWS状態推定ログ出力評価環境の構成を図13に示す。

本環境によって、計算機（クラウド上の仮想PC）の上限を気にせず使用でき、また手作業も大幅に削減できたことにより、状態推定ログ出力工程1日間を達成した。またこれに加えて、推定結果の合否を判定する工程をクラウド化することで、状態推定評価に要する期間は9日間から2.5日間と短縮でき、開発サイクル短縮に大きく貢献した。

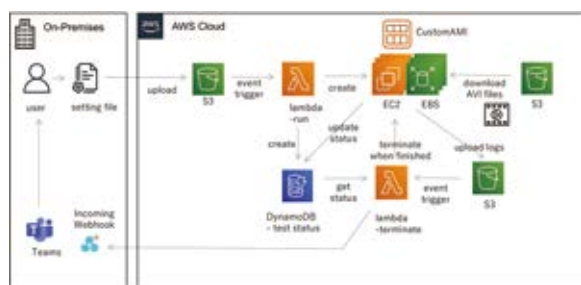


図13 AWS状態推定ログ出力環境

6. おわりに

本稿では、視線算出に角膜反射法と人工知能を用いてわき見判定精度を向上させた取り組みを紹介した。カメラとLEDを同軸に置き、角膜反射を用いて視線算出する民生用ドライバーモニターシステムは世界初である。これらの取り組みを経て、高精度にわき見判定を行うことができるようになった。

また、AWSを用いることで、評価期間を短縮できた事例についても紹介した。

最後に、これまでのドライバーモニターシステム開発にあたりご協力をいただきました、トヨタ自動車株式会社、株式会社豊田中央研究所、ウーブン・コア株式会社、Idein株式会社の皆様方をはじめ、関係者の方々に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 警察庁:令和4年の交通死亡事故の特徴について、令和4年7月28日公表https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/jiko/R4kamihanki_bunseki.pdf
- 2) J.Adachi et al.: “Development of a Sensor Detecting Eyelid Positions,” 15th World Congress on Intelligent Transport System, 2008.
- 3) 国土交通省:自動運転のレベル分けについて <https://www.mlit.go.jp/common/001226541.pdf>
- 4) 小島他: “Driver Monitor System for Advanced Drive”, The R&D 100 Awards, 2022.

筆者



服部 哲也

走行安全第1制御技術部
ドライバーモニターシステム開発に従事



桑山 高史

走行安全第1制御技術部
ドライバーモニターシステム開発に従事

技術論文

高精度及び高フレームレートな
End-to-End多人数姿勢推定

戸部田 雅一
Masakazu Tobeta
高 椋 佐和
Sawa Takamuku

鄭 澤
Ze Zheng
澤田 好秀
Yoshihide Sawada

概 要

人の行動を認識するために必要不可欠な技術である多人数姿勢推定を高フレームレートで実現するため、本稿では一般的なピラミッド特徴生成部と独自のヘッドからなる新たなモデルを提案する。このモデルを用いることで、他の手法で採用されている2段階推定や複雑な後処理を排除したアルゴリズムが実現できる。

COCOデータセットを用いた実験の結果、高い精度を維持しつつ、高いフレームレートを達成できたため報告する。

1. はじめに

多人数姿勢推定は、群衆とロボットのインタラクションに不可欠な技術であると考えられており、モビリティ分野を含め、広く研究がなされている。しかし、これらの研究の多くは高い精度を実現するため、推論時にも大規模な計算機環境が必要となる¹⁾²⁾³⁾。そのため、リソースの限られた安価なエッジデバイスでリアルタイム処理が必要となる場合に、これらの研究手法を組み込むことは困難である。とくに車載ECUは、コストのみならず高い省電力性が求められるため、大規模な計算を必要とする多人数姿勢推定を車両へ搭載することは難しい。

多人数姿勢推定は大きく2つのアプローチに分類される。1つは物体検出器⁴⁾と関節点（例えば、鼻、左肩、右肩などの）尤度マップ推定器の2つのモデルを用いるトップダウン手法であり³⁾、もう1つは関節点尤度マップと関節点間の関連度マップを一括推定するボトムアップ手法である²⁾⁵⁾。

トップダウン手法では2つのモデルを用いるため、中間処理のオーバーヘッドと検出人数に応じた回数の関節点尤度推定が必要であり、ボトムアップ手法では関節点尤度マップと関節点間の関連度マップ統合のため複雑な後処理が必要となる。そのため、これら2つのアプローチはリアルタイム処理が困難であった。

本研究では、軽量の多人数姿勢推定の為の独自ヘッド、End-to-End Pose estimation Head (E2PH)を提案する。E2PHは軽量な畳み込みニューラルネットワーク(CNN)で構成され、2段階推定や高負荷な後処理を行わず複数人数の関節点座標値と尤度値を直接推定することが出来る。加えて、ResNet⁶⁾などの

BackboneとFeature Pyramid Network (FPN)⁷⁾を用いることで、安価なエッジデバイスでも高い精度と高いフレームレートを維持できる。本モデルをEnd-to-End lightweight Pose estimation model (E2Pose)と呼ぶ。本稿ではまず関連研究について述べ、次に提案手法について説明する。

2. 関連研究

2.1 トップダウン手法

トップダウン手法では、物体検出器で生成したバウンディングボックス内に存在する1人の関節点尤度マップを推定する。これらの手法では、バウンディングボックスに基づく画像切り出しによって全ての人物をほぼ同じスケールに正規化でき、画像上の人物サイズばらつきに対して堅牢となる。そのため、様々な多人数姿勢推定ベンチマークにおいて高い精度を実現している³⁾。しかし、検出人数に応じた回数の関節点尤度マップ推定が必要とされるため、人数が多くなるとフレームレートが低下する傾向がある¹⁾。

2.2 ボトムアップ手法

ボトムアップ手法では、画像内全ての人物に対する関節点尤度マップを推定し、このマップを人物毎にグループ化する。例えばOpenPose¹⁾やPifPaf⁵⁾では関節点2点間を結ぶベクトルマップを用い、グループ化する。これらの手法では1回の推論演算で画像内全ての人物を検出できるため、特に人数が多い場合に高いフレームレートを実現できる。しかし実際には、正確な関節点を得るためには十分大きな関節点尤度マップと複雑な後処理が必要とされるため、全体の計算量が多くなる傾向がある。

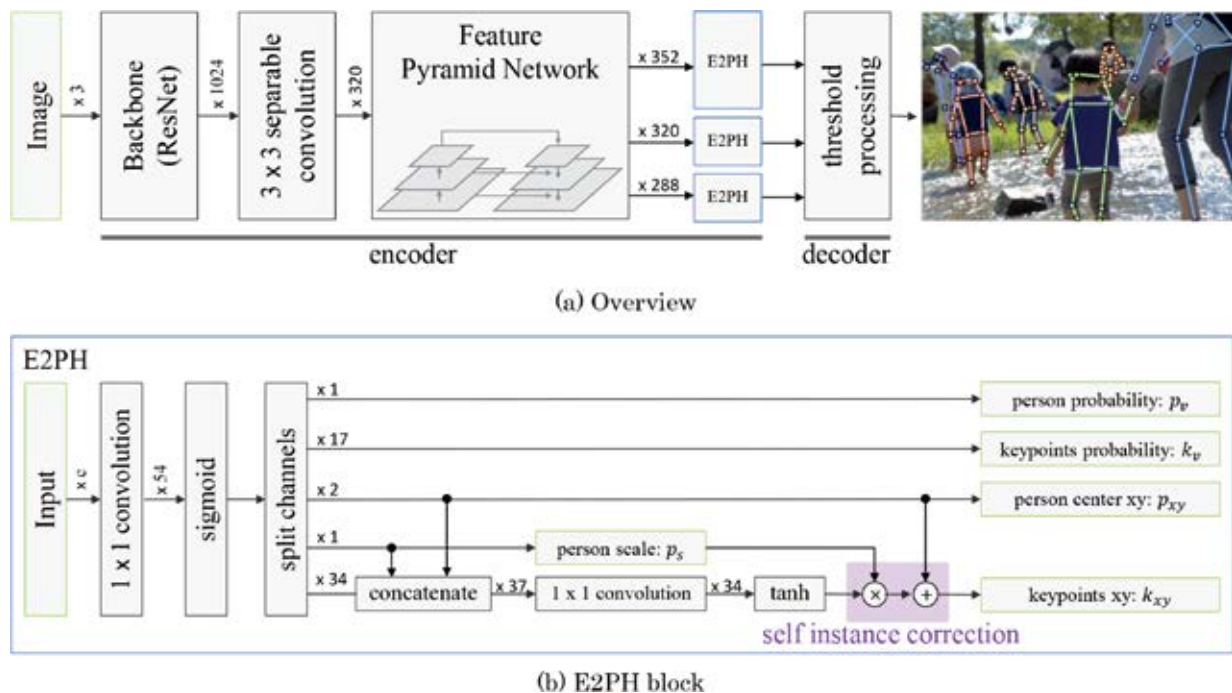


図1 (a): エンコーダは、Backbone, Separable convolution, FPN, E2PHブロックで構成され、デコーダはインスタンスの閾値処理を行う。(b): E2PHブロックは、次元変更, セルフインスタンス補正, 活性化処理を行い、人物インスタンスを出力する。

2.3 End-to-end手法

End-to-end手法では、画像内全ての人物についてキーポイントを含む人物インスタンスを推定する。これにより後処理を大幅に削減できるが、先行研究のPOET⁸⁾およびPETR⁹⁾ではTransformer¹⁰⁾を使用することに加え、検出人数に対するデコード演算を必要とするため、高フレームレートが実現できない。

3. 提案手法

本稿では、安価なエッジデバイスでリアルタイム実行可能な軽量の構成を用い、後処理を大幅に削減したEnd-to-end手法を提案する。図1(a)に我々のモデルの全体像を示し、以降で各ブロックの詳細を説明する。尚、本稿では人物インスタンスの正解を p 、人物インスタンスの数を N_p とする。人物インスタンスは、人物存在尤度 p_v 、人物中心座標 p_{xy} 、各関節点 $k=(k_v, k_{xy})$ から構成される。 k_v は関節点の存在尤度、 k_{xy} は関節点の座標とし、関節点数は N_k で表現する。なお、モデルの予測値は添え字ハットで表現し、例えば $\hat{p}$ は予測された人物インスタンスを表す。

3.1 特徴抽出

提案手法では、画像から特徴マップを得るために3つのブロックを使用する。まず、ImageNet¹¹⁾によって事前学習されたResNet⁶⁾をBackboneとして用いる。次にカーネル=(3,3)のSeparable Convolution、最後に高効率な多解像度特徴マップが得られるFPNを用いる。こ

れらにより得られた特徴マップを後述するE2PHブロックへ供給する。

3.2 E2PHブロック

人物インスタンス $\hat{p}$ を出力するため、図1(b)に示すE2PHブロックを用いる。E2PHブロックは特徴マップを入力とし、次元変更を行った後、POET⁹⁾を参考に導入したセルフインスタンス補正と活性化処理を行う。

3.3 後処理

予測された全ての人物インスタンスに対して $\hat{p}_v \geq 0.5$ と $\hat{k}_v \geq 0.5$ の閾値処理を行い、無効なインスタンスを除却し、最終的な出力 $\hat{p}$ を得る。即ち、他の手法で必要となる複雑な後処理は実施しない。

3.4 学習方法

E2Poseは固定数の人物インスタンス $\hat{p} = \hat{p}_{(i)1:N_p} = (\hat{p}_{(i)xy}, \hat{k}_{(i,j)1:N_k})_{1:N_p}$ を出力する。ここで $\hat{p}_{(i)}$ は i 番目の人物、 $\hat{k}_{(i,j)}$ は i 番目の人物の j 番目の関節点を表す。学習の際には、 $p_{(i)1:N_p}$ と $\hat{p}_{(i)1:N_p}$ の誤差行列を作成し、ハンガリー法¹²⁾を用いた最小2部マッチングを求めることで、 $p_{(i)}$ と $\hat{p}_{(i)}$ を1対1で紐づけて学習する。これにより、E2Poseは複数の人物インスタンスを重複なく出力できるようになる。なお、存在尤度 p_v および k_v は誤差関数にFocal loss¹³⁾を用い、座標 p_{xy} および k_{xy} は誤差関数に2乗誤差を用いる。

表1 COCO test-devセットに対する各モデルの性能比較.括弧内の精度は原著論文からの引用である.

Model	Detection image size	Pose image size	FPS ($\hat{N}_p=4$)	FPS ($\hat{N}_p=13$)	AP	AR
Top-down (the top 3 of speed):						
YOLOv3-D53 + ShuffleNetV2	320×237	256×192	13.3	5.3	49.0	57.5
YOLOv3-D53 + ShuffleNetV1	320×237	256×192	13.2	4.8	48.0	56.5
SSD-MobileNetV2 + ShuffleNetV2	320×320	256×192	12.1	5.1	45.2	52.4
Bottom-up:						
PifPaf (with the best AP)	None	512×512	5.4	4.1	58.6	61.8
PifPaf (with good AP/time ratio)	None	320×320	16.3	10.3	36.3	38.7
HigherHRNet-W32	None	512×512	0.6	0.3	66.4	71.3
End-to-end:						
POET-R50	None	512×512	6.3	6.1	(53.6)	(61.4)
(Ours)E2Pose-R50-512	None	512×512	19.5	19.5	54.3	60.5
(Ours)E2Pose-R101-512	None	512×512	18.9	19.2	59.6	65.1

4. 実験結果

4.1 実験設定

実験には,COCO keypoint estimation challenge (以降,単にCOCOと記す)のデータセットを用いた.COCOでは1画像あたり最大13人の人物インスタンスと,各人物に対する17個の関節点が設定されている.学習にはtrainセットを,検証にはvalidationセットとtestセットを用いた.BackboneはImageNetで事前学習された値で初期化し,その他のモジュールは乱数で初期化した.また,PifPafを参考に,画像の回転,切り抜き,左右反転,明るさ,コントラストのランダム増減を行った.さらに,A. Bochkovskiyらにより提案されたMosaic augmentation⁴⁾を適用した.入力画像サイズは512×512とし,その際に出力される人物インスタンス数は $N_p=314$ とした.なお,これらのハイパーパラメータは実験によって適切に決定したものである.本稿では,多人数姿勢推定タスクにおいて標準的指標であるCOCO keypoint metricsのaverage precision (AP)を用いて評価した.評価の為のハイパーパラメータはCOCOで定義されている標準値を利用した.また,速度評価としてCOCO評価セットに含まれる全ての画像に対して,Jetson AGX XavierとTensorRT¹⁴⁾を用いて推論時間を測定した.

4.2 実験結果

COCO validationセットの精度とフレームレートのベンチマーク結果を図2に示す.

この図は,提案手法を含む複数手法のネットワーク構造や入力画像サイズを様々に変更して作成しており,右上に位置するほど良いモデルであることを表している.この図から,E2Poseは精度を維持したまま高いフレームレートが実現できていることが分かる.これらの検証結果をもとに,速度面で優れたトップダウン手法3つ,精度面で優れたボトムアップ手法3つ,精度辺りの速度面で

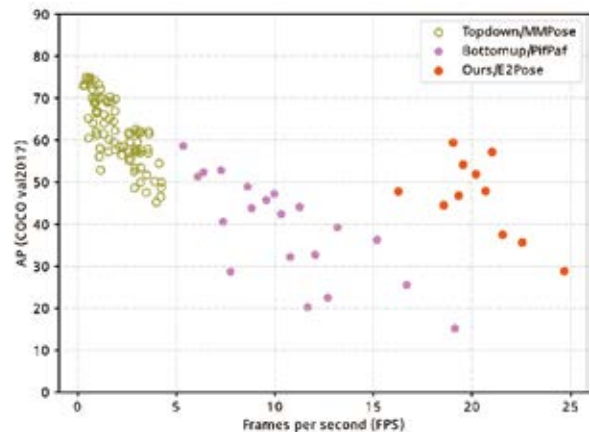


図2 精度(AP)と速度(FPS)のトレードオフ関係. FPSは検出人数枚に速度を平均し,その中央値を使用した.実験にはJetson AGX Xavierを用いた.

優れたボトムアップ手法,提案手法についてCOCO testセット(test-dev)を用い評価した.結果を表1に示す.APおよびARが認識精度,FPSは1画像につき4人検出($\hat{N}_p=4$)された際と13人検出($\hat{N}_p=13$)された際のフレームレートを示す.提案モデルは他の手法と比較し高い精度を維持したまま高いフレームレートを達成していることが確認できる.図3に提案モデルを用いた際の予測結果例を示す.

図3(a)は車両所有者の姿勢認識するために設定されたカメラ,図3(b)は車両周辺を監視するために設定されたカメラ,図3(c)は車室内を分析するために設定されたカメラをそれぞれ用いた予測結果である.提案モデルを用いることで,身体の一部が隠れている状況であっても人物姿勢を予測し,狭い空間で重なり合う人物も正確に推定できることが見て取れる.



(a) 車両所有者姿勢認識



(b) 車両周辺歩行者認識



(c) 車室内乗員認識

図3 車載カメラ画像に対する予測結果の例.モデルにはE2Pose-R101-512(COCO)を用いた.

5. おわりに

本稿では、リソースが限られたプラットフォームで高速かつ高精度な多人数姿勢推定を行うため、新しいEnd-to-end多人数姿勢推定フレームワークを提案した。軽量のE2PHブロックおよび後処理の大幅な削減により、COCOデータセットに対して高い精度(59.6AP)を達成しつつ、高いフレームレート(18.9FPS)を実現した。今後は、FPNやBackboneの改良による計算負荷の更なる削減と精度の向上を目指す。

本稿執筆にあたり社内外の関係者皆様より多くの協力が頂けたことに対し深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Z. Cao, G. Hidalgo, T. Simon, S. Wei and Y. Sheikh: "Realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields," 2017
- 2) B. Cheng, B. Xiao, J. Wang, H. Shi, T. S. Huang, L. Zhang: "Higherhrnet: Scale-aware representation learning for bottom-up human pose estimation," 2020
- 3) R. Khrodar, V. Chari, a. Agrawal, A. Tyagi: "Multi-Instance Pose Networks: Rethinking Top-Down Pose Estimation," 2021
- 4) A. Bochkovskiy, C. Wang, H. M. Liao: "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection," 2020
- 5) S. Kreiss, L. Bertoni, and A. Alahi: "PifPaf: Composite fields for human pose estimation," 2019
- 6) K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun: "Deep Residual Learning for Image Recognition," 2016
- 7) T. Lin, P. Dollar, R. Girshick, K. He, B. Hariharan, S. Belongie: "Feature Pyramid Networks for Object Detection," 2017
- 8) L. Stoffl, M. Vidal, A. Mathis: "End-to-end trainable multi-instance pose estimation with transformers," 2021
- 9) S. Dahu, W. Xing, L. Liangqi, R. Ye, T. Wenming: "End-to-End Multi-Person Pose Estimation with Transformers," 2022
- 10) A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. Kaiser, I. Polosukhin: "Attention Is All You Need," 2017
- 11) J. Deng, W. Dong, R. Socher, L. Li, K. Li, L. Fei-Fei: "ImageNet: A Large-Scale Hierarchical Image Database," 2009
- 12) H. W. Kuhn: "The Hungarian method for the assignment problem," 1995
- 13) T. Lin, P. Goyal, R. Girshick, K. He, P. Dollar: "Focal loss for dense object detection," 2017
- 14) H. Vanholder: "Efficient inference with tensorrt," 2016

筆者



戸部田 雅一

DS部
車両周辺監視関連の技術開発に従事



鄭 澤

DS部
MaaS/車室内監視関連の技術開発に従事



高橋 佐和

DS部
MaaS/車室内監視関連の技術開発に従事



澤田 好秀

DS部
人工知能に関する基礎・応用研究に従事

技術論文

ADC12材向け電解硫酸法による
高耐食陽極酸化技術の開発酒井 尚樹
Naoki Sakai

概要

ADC12材へ陽極酸化処理する際、10%強含有されているケイ素が皮膜形成を阻害し耐食性能が低下するため、現状膜厚を厚くして対応している。陽極酸化に電解硫酸技術を適用することで、皮膜硬度が従来比7倍の緻密な酸化皮膜を形成し、薄膜でも要求品質を満足する高い耐食性能を有することができた。

1. はじめに

自動運転レベル4「特定条件での完全自動運転」以上に対応するため、シフト切り替えの電動化に向けパイワイヤ化が進められている。シフトパイワイヤ（以下SiBW）製品については、軽量・高剛性を目的とし筐体にADC12材を用いており、腐食環境への適用のため陽極酸化処理により耐食性能を向上させている。

しかし、ADC12材は溶湯の流動性向上のためケイ素を10%以上添加しており、陽極酸化処理を行うと、アルミニウム合金中のケイ素が電気抵抗として作用し、皮膜の生成を著しく阻害する。その結果、処理時間が長くなるだけでなく耐食性能が低下する。

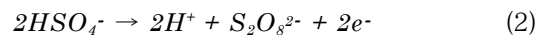
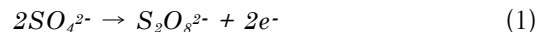
膜厚を厚くすることで耐食性能の保持は可能であるが、それに伴い処理時間が長くなってしまふ。また、処理時間を短くするため電流密度を高めると、電圧も上昇しバリア層で発生するジュール熱により、「焼け」と呼ばれる不具合が生じる。そこで従来より、陽極酸化処理時の電流波形を変更する交流法、パルス電解法などで電解が行われているが¹⁾、成膜速度重視の従来技術では、要求する耐食性能が得られず、また電源設備が高価であるなど課題がある。

以上の理由から、膜厚を厚くすることなく高い耐食性を保持できる陽極酸化皮膜の形成技術が求められており、今回高い酸化還元電位を有する電解硫酸技術の適用を検討した。

2. 電解硫酸技術

電解硫酸技術とは、iPhoneなどで使用される半導体の回路製造過程で、フォトレジスト除去剤として適用された実績がある。ホウ素のドーパされた化学的耐性が高

い導電性ダイヤモンド電極を用いて硫酸を電気分解し、強酸化剤であるペルオキソ二硫酸（以下過硫酸）を得る技術である²⁾³⁾。その反応は式(1)及び式(2)に示す通り、硫酸イオンまたは硫酸水素イオンが電子を放出して過硫酸となり、表1に示すように、+2.01 V と強い酸化力を有する。過硫酸よりも高い電極電位を有する物質はフッ酸もしくはオゾンであり、いずれも人間にとって毒性がある。過硫酸は工業的に安心して使用できる最も高い電位を有する酸化剤として以前より注目されていた。



一方、アルミニウム陽極酸化とは、通電する電流値で決まるアルミニウムの溶解速度と、アルミニウムの酸化速度のバランスで成立するため、酸化速度を速めることが緻密な皮膜を形成し耐食性能の向上につながると考えた。そこで、酸化速度を速めるには、処理溶液の酸化還元電位を高めることが有効であり、高い酸化還元電位を有する電解硫酸技術を検討した。

表1 標準電極電位

Species & Reaction	E ⁰
$F_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons 2HF \text{ (solution)}$	3.06
$F_2 + 2e \rightleftharpoons 2F^-$	2.87
$O_3 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons O_2 + H_2O$	2.07
$S_2O_8^{2-} + 2e \rightleftharpoons 2SO_4^{2-}$	2.01
$Co^{3+} + e \rightleftharpoons Co^{2+}$	1.82
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons 2H_2O$	1.77
$MnO_4^- + 4H^+ + 3e \rightleftharpoons MnO_2 + 2H_2O$	1.70
$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons PbSO_4 + 2H_2O$	1.69
$Au^+ + e \rightleftharpoons Au$	1.68
$HClO_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons HClO + H_2O$	1.64
$HClO + H^+ + e \rightleftharpoons 1/2Cl_2 + H_2O$	1.63
$Ce^{4+} + e \rightleftharpoons Ce^{3+}$	1.61

3. 実験装置および方法

3.1 実験装置

図1に実験装置の概略を示す。陽極酸化処理用の硫酸溶液を電解セルで電解処理し、過硫酸を生成した。

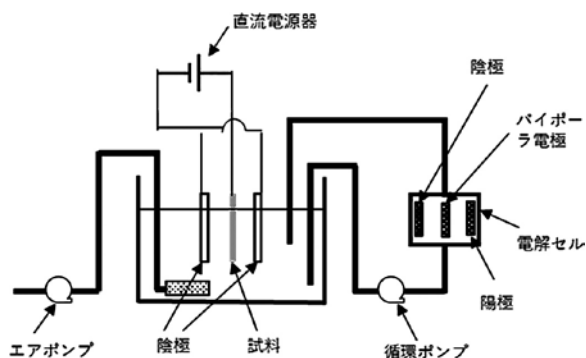


図1 実験装置の概略

3.2 実験方法

ADC12材の筐体を過硫酸浴または硫酸浴を用いて膜厚6μm狙いで陽極酸化処理し、ニッケル塩封孔および沸騰水封孔処理を行った。

3.3 評価方法

耐食性評価として、陽極酸化処理を施した筐体を製品組み付けした後、塩水噴霧⇒強制乾燥⇒湿潤⇒強制乾燥⇒自然乾燥（合計24hrs）の組合せを1サイクルとする複合サイクル試験を90サイクル実施した。この複合サイクル試験後、製品組み付けた状態で圧力-50kPaにてエアリーク評価を実施した。

酸化皮膜中のアルミニウムと酸素の結合状態を表面から深さ方向に分析するため、X線光電子分光測定装置（PHI社製VersaProbe）を用いて、C60+ 10.0kV、速度1.5nm/minでエッチングし、検出領域φ100μm、検出深さ4nmで測定した。

断面形態観察とケイ素含有量の測定については、クロスセクションポリッシャー（日本電子社製 09010型）で試料を作製し、走査型電子顕微鏡（日本電子社製

JSM-7800F型）を用い、加速電圧5.0kVで観察後、EDXにより元素分析を行った。

皮膜の硬度については、微小硬度測定装置（Keysight Technologies社製Nano Indenter G200）を用い、連続剛性測定法により圧子を深さ5μmまで押し込み、押込み深さ1~2μmのデータを平均し算出した。

4. 結果および考察

4.1 耐食性評価

図2に90サイクル試験後の製品評価結果を示す。過硫酸浴により処理したサンプルは、腐食が少なくエアリーク漏れはなかった。それに対し、陽極酸化皮膜なしおよび硫酸浴により陽極酸化処理したサンプルでは全体的に腐食が見られ、エアリーク漏れが発生した。これは腐食が筐体内部まで進行したことによるものと推測される。



図2 複合サイクル試験後の製品評価結果

4.2 XPSによる構造解析

表2に示したAlとOの元素比Al/Oより、過硫酸浴で処理した封孔層のAl/O比は0.32であることからAl₂O₃・3H₂O（以下バイヤライト）、陽極酸化層のAl/O比は0.70であることからAl₂O₃であると推定される。一方、硫酸浴で処理した封孔層のAl/O比は0.48、陽極酸化のAl/O比は0.53であることから、皮膜構造はAl₂O₃・H₂O（以下ペーマイト）であると推定される。

図3に得られた各スペクトルから化学結合状態を解析するために波形分離を行った結果、Al/O比から推定される構造と同様のピークが見られた。

表2 原子数濃度比

層	処理浴	Al	O	Al/O	皮膜組成(Al/O)
封孔層	過硫酸浴	18.2	57.7	0.32	Al ₂ O ₃ ・3H ₂ O(0.33)
	硫酸浴	26.3	55.1	0.48	Al ₂ O ₃ ・H ₂ O(0.50)
陽極酸化層	過硫酸浴	38.5	54.8	0.70	Al ₂ O ₃ (0.67)
	硫酸浴	32.7	61.3	0.53	Al ₂ O ₃ ・H ₂ O(0.50)

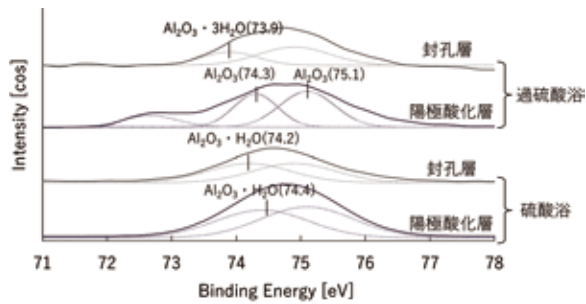


図3 XPS解析結果

次いで、化学構造の違いによる腐食挙動について検討する。まず封孔層について、図4のアルミニウム腐食図に示すように、ペーマイトの不動態域はpH4.8~6.3であることから、pH6.5の塩水噴霧下では溶解が始まる。一方、パイヤライトの不動態域は、pH4.3~7.8であり、塩水噴霧下ではペーマイト構造と比較し安定である⁴⁾。

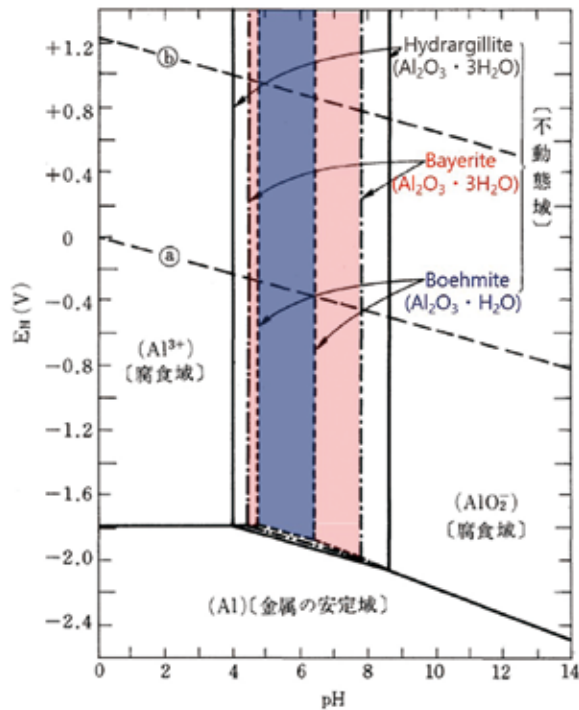


図4 アルミニウムの腐食図

また、ペーマイトの溶解度は $10^{-7.0}$ mol/L as Alであるのに対し、パイヤライトの溶解度は $10^{-8.5}$ mol/L as Alと低く溶解し難い⁴⁾。

陽極酸化層について、過硫酸浴では Al_2O_3 の結合が見られ安定であるのに対し、硫酸浴で形成される皮膜構造はペーマイトであることから水和物を形成している。皮膜を酸に溶解させた際の溶解速度は、ペーマイトが24nm/minに対して、 Al_2O_3 は3.6nm/minであることから、過硫酸浴で形成される陽極酸化層は、溶解速度が遅い⁵⁾。すなわち過硫酸浴の方が、封孔層および陽極酸化層の構造が安定であるため、耐食性能が高い。

硫酸浴から得られた陽極酸化において、ペーマイトと本報では推測したが、酸化度が低く Al_2O_3 に達していな

い不安定な状態であるため、陽極酸化皮膜の形成途中に水和が進んだと推測する。詳細については今後継続して検討する。

4.3 断面形態とケイ素含有量

図5にSEM画像およびEDXによるケイ素含有率測定結果を示す。

過硫酸浴で形成される皮膜は二酸化ケイ素がわずかに存在するのにに対し、硫酸浴は皮膜全体に二酸化ケイ素が存在している。また、EDXによるケイ素含有率測定結果より、過硫酸浴により形成した皮膜のケイ素含有率は硫酸浴と比較しおよそ半分以下であった。

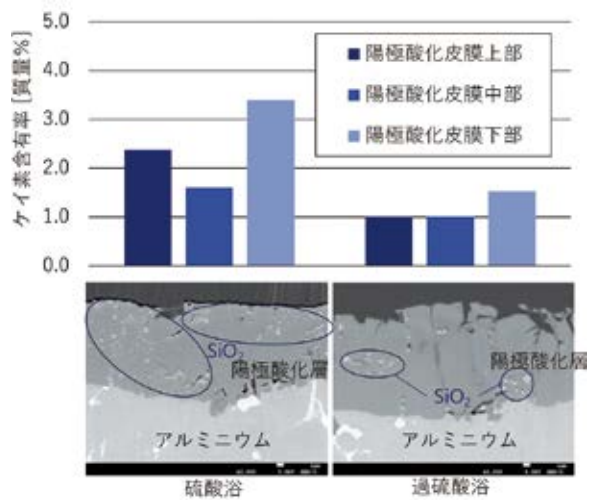


図5 ケイ素含有率測定結果

図6にバリア層で生じる化学反応の模式図を示す。陽極酸化皮膜が生成する領域は、バリア層/アルミニウム素地界面の1箇所のみであり、そこでアルミニウムの溶解と酸化とが釣り合い、皮膜が形成される⁶⁾。

前述の通り、過硫酸浴では酸化速度が速いため、溶解後すぐに酸化されることから、一つは、過硫酸浴の方が硫酸浴よりもバリア層/アルミニウム素地界面のアルミニウム溶解量が少ないと推測する。もう一つの側面として、過硫酸浴または硫酸浴のpHは0程度であり生成した陽極酸化皮膜表面は徐々に溶解し始めることから、処理時間の短い過硫酸浴の方が、陽極酸化皮膜表面のアルミニウム溶解量も少ないと推測する。

以上から、アルミニウム溶解量の少ない過硫酸浴の方が、皮膜内のケイ素含有率を相対的に減らすことができ、緻密な皮膜形成により耐食性能が高い。

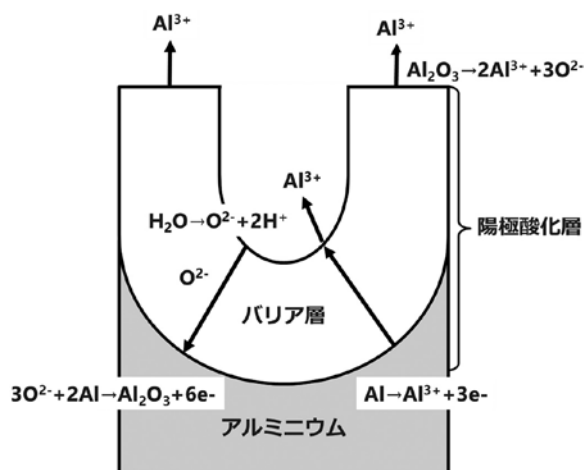


図6 バリア層で生じる化学反応の模式図

4.4 皮膜硬度と耐食性能

図7に過硫酸浴と硫酸浴の処理条件を変更し形成したサンプルの硬度と腐食率の関係について示す。ここで、腐食率とは耐食性試験後表面に発生した腐食面積を全面積で割った数値であり、条件AからDについては開発途中の検討条件である。

図7より、硫酸浴で形成される皮膜は硬度200MPa以下であるのに対し、過硫酸浴では700MPa超の硬度が得られた。また、硬度と耐食性に関係性がみられ、硬い皮膜の方は耐食性能が優れるといえる。

前述のXPSによる皮膜構造解析結果および断面形態より、過硫酸浴で形成される皮膜は安定且つ緻密な皮膜構造であるため、皮膜硬度が高くそれに伴い耐食性能が高いと考えられる。

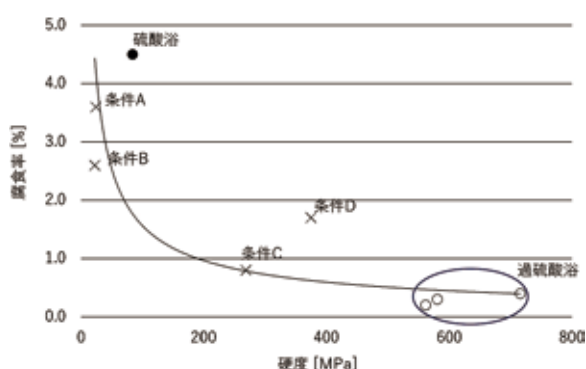


図7 硬度と腐食率の関係

5. おわりに

電解硫酸技術を用いた陽極酸化処理により、膜厚を厚くすることなく、耐食性能に優れた陽極酸化皮膜を得ることがわかった。この耐食性能の向上には、まず酸化速度が速いため緻密な陽極酸化皮膜となること、次に封孔層および陽極酸化層の構造が耐食性能に優れることが起因する。前者より、過硫酸浴の方が高い皮膜硬度を

有し、また酸化速度が速いため、バリア層/アルミニウム素地界面および陽極酸化皮膜表面のアルミニウム溶解量を抑えることで、二酸化ケイ素含有量の少ない緻密な皮膜形成が可能となる。後者より、過硫酸浴は封孔層でパイライト構造が形成され、陽極酸化層で Al_2O_3 構造が形成されることから、硫酸浴で形成する皮膜構造と比較して溶解速度が遅く安定である。

また、過硫酸浴を用いることで、耐食性能の向上だけでなく、成膜速度も速くすることができ、陽極酸化処理時間を硫酸浴と比較し半分に短縮することができた。そのため、処理時間を短くすることによる処理コストの低減が図れると考える。

現在SiBWの筐体向けに適用検討を進めているが、今後その他ADC12材を用いたアルマイト製品への適用検討に向け取り組んでいく。

謝辞

本研究を進めるにあたり、共同研究頂いたマイクロエ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) 大久保敬吾:電流反転法によるアルミニウムの陽極酸化とその応用技術,日刊工業新聞社,106-108(1994)
- 2) 永井達夫,山本裕都喜,坂本幸弘:材料の科学と工学,Vol.53, No.2,64-67(2016)
- 3) 永井達夫,山本裕都喜,坂本幸弘:材料の科学と工学,Vol.53, No.3,94-99(2016)
- 4) 伊藤伍郎:アルミニウムの腐食,軽合金基礎講座,Vol.31, No.10,683-696(1981)
- 5) 甲田満,高橋英明,永山政一:多孔質アルミニウム・アノード酸化皮膜と熱水との反応I. 水と度および酸溶解特性に対する膜厚と反応時間の影響,金属表面技術,Vol.33, No.5(1982)
- 6) 菊地竜也,岩井愛,中島大希,夏井俊悟,鈴木亮輔:アルミニウムのポーラス型アノード酸化皮膜,特集/金属・半導体のアノード酸化研究の最前線,Vol.69, No.12(2018)

筆者



酒井 尚樹

材料技術部 モビリティ材料開発室
表面処理材料開発に従事

技術論文

電動式可変バルブタイミングシステム開発

池田 憲治
Kenji Ikeda
久枝 雄介
Yusuke Hisaeda

西垣 篤史
Atsushi Nishigaki
田邊 滋弘
Shigehiro Tanabe

概要

世界的にカーボンニュートラルに向けた機運が高まる中、エンジンには更なる性能向上が求められる。そのため、VVT作動への要求は年々高くなってきており、この要求を達成するために、今回「マツダ CX-60」に採用されたアイシンとして初のVVT電動化に取り組んだ新製品「電動VVT」を開発したので紹介する。

1. はじめに

近年、環境保護の観点から世界的にカーボンニュートラルに向けた機運が高まり、自動車の燃費・排ガス規制の強化が進んでおり、クルマの電動化も加速している。我々の携わる「VVT (Variable Valve Timing : 連続位相可変動弁機構)」は、エンジンの回転数等の運転状況に合わせてバルブ開閉タイミングを調整することで最適なタイミングで吸排気を行い、エンジンの効率を高め、車両の燃費向上や排ガス低減に貢献する。

その作動への要求は年々高くなってきており、アイシンとしては油圧VVTを長く量産してきたが、世の中のニーズを捉え、高機能なVVTの電動化に新たに取り組むこととした。

2. 開発の狙い

現在、世の中で量産化されている電動VVTに対し、優位性を出すため、アイシン製の開発コンセプトを次の3つにおいた。

1つ目は、「高速・高応答で作動でき、極低温でも作動可能なこと」。これは、VVTの電動化のうれしさである、「油圧式では作動が難しかった油温が低い状態やエンジン回転数の低い状態（エンジン停止時やエンジン始動時）においても作動することができる」ことで様々な走行状態での燃費向上、排ガス低減やエンジン再始動時の振動低減に繋がると考えたためである。

2つ目は、「簡単な制御」。エンジン側ECUから位相指示がもらえればVVT側で位相制御を行うことで、電動VVTの後発メーカーとして参入していくため、カーメカへの開発負担を軽減し、採用のハードルを下げることを狙った。

そして3つ目は、「コンパクトな設計」である。前述のシステムをコンパクトに設計することで、搭載制約のあるエンジンルームに対し、様々なエンジンへの搭載を可能にすることを目指した。



図1 アイシン製電動VVT(モータ+変換部)

3. 電動VVTシステム

電動VVTはエンジンのカムシャフト端部に取り付けられ、タイミングチェーンを介してクランクシャフトの回転力をカムシャフトに伝え、同時に回転位相を連続的に可変する機能を持つ。

図3に電動VVTのシステム図を示す。VVT位相変換部（モータの力を減速させカムトルクに対し位相を変換する機構）とVVTの位相を制御するECU一体型のモータから構成される。

ECU一体型のモータは、エンジンECUから運転状況に応じた指示により、適切なモータ回転数になるよう制御し、位相変換部を介しクランクシャフトに対するカムシャフトの位相を下記のように制御する。

位相保持時は、モータの回転速=カムシャフト回転速

度となるように制御し、進角時はモータの回転速度をカムシャフト回転速度より早くする。逆に遅角時はモータ回転速度をカムシャフト回転速度よりも遅くする。

アイシン製の特徴としては、モータ制御ドライバをモータと一体にすることで、別体のVVT制御用ECUハードボックスの搭載が必要なく、エンジンECUから位相指示が来ればそれに合わせてVVTを制御可能なため、エンジンECU側の負担は軽減される。

また、ECU含むモータと位相変換部のシステムを社内にて開発/生産しているのもアイシンの特徴である。

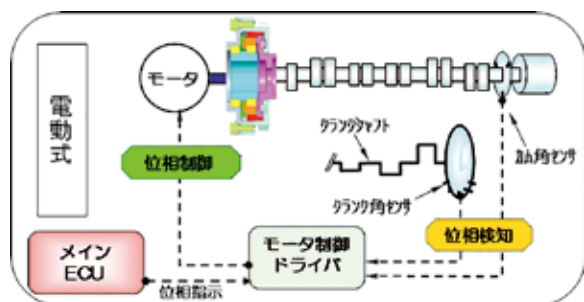


図2 電動VVTシステム構成

4. 電動VVTの本体(位相変換)機構

4.1 位相変換部

位相変換部は、モータの回転数に応じてカム位相を進角・遅角する役割を持つ。

減速機構にオルダム継手構造を採用することで小型・軽量を実現している一方、低減速な1段減速ギヤを採用することで高速化、搭載性と高応答性能を両立させている。

4.2 位相変換部の作動原理

VVTの基本性能である位相変換を行う機構である減速機の構成としては図3で示すように、モータの回転入力を位相変換部の中心にある、偏心シャフトに伝達し、その回転により外歯ギヤを内歯ギヤに対し偏心回転させることでモータのトルクを減速させ、カムシャフトのトルクに対し位相変換が可能となる。その際、外歯ギヤの自転運動を制限し、公転運動のみにすることでカムシャフト(内歯ギヤ一体)とチェーンプロケット(ハウジング一体)の相対位相動きに変換するのがオルダムプレートの役割である。

高速・高応答な作動の実現と、コンパクトな体格にするため、ギヤはハイポトロコイドギヤを選定し、設計の自由度を持たせることとした。また、出来るだけ低減速かつ低温でも作動可能なトルクの保持のため、減速比を53に設定した。

アイシン製の特徴であるオルダムプレートと1段減速ギヤの採用により、低減速/高効率なギヤ構成とすること

が出来、その結果開発目標であった温間での応答速度500℃A/s以上(エンジン回転数:1000rpm 油温:100℃)を達成することが可能となった。

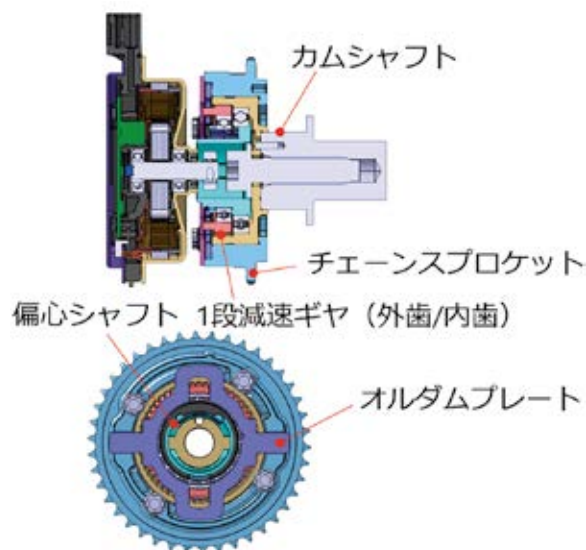


図3 電動VVT位相変換部

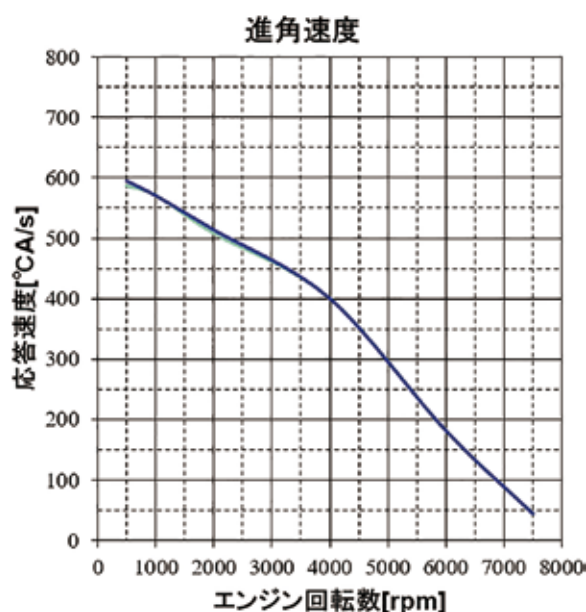


図4 温間応答速度

5. エンジン性能への影響

電動化のうれしさの1つは、エンジン停止時または極低温時オイルの粘度が高い場合でも作動出来ることにあり、これによりエンジンの環境に左右されず、最適なバルブタイミングを選択することが出来る。

5.1 デコンプレッション位相での始動

始動時のVVT位相をレイトIVC下死点後90℃A以上にする事で、減圧始動が出来る。エンジンは空気と燃料を圧縮して混合気を作り、点火することで出力を得ている。IVCを遅角側にすることで、一度吸った空気を吐き出し、あえて空気の圧縮を抑える減圧を行っている。そうす

ることで始動時のクランキング中の空気圧縮損失を減らすことが出来、EV走行中のエンジン再始動時、起動ショックを低減出来る。また、スタータおよびハイブリッドモータのクランキングによる必要トルクを減らすことも可能である。

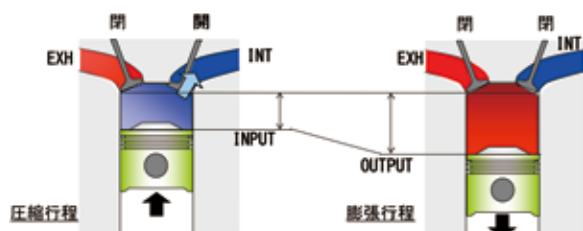


図5 吸気/排気行程

しかしながら、エンジン始動時および温間時においては有効だが、極冷間での着火時に減圧してしまうと筒内圧縮が高まらず燃料の霧化が促進されないため、失火してしまう恐れがある。

そのため、理想的な始動1圧縮目と着火時の最適なバルブタイミング位相は異なる。

図6に示すように従来の油圧式においては、着火性を重視し最遅角位置を着火位相に設定するか、もしくは中間ロックVVTのように最遅角位相はレイトIVCに置くが、始動時のロック位相を着火バルブタイミングに設定するという対応がとられてきた。

これに対し、電動VVTではエンジン停止時および極冷間始動時に作動可能なためロック機構を持たず、極冷間においても起動トルクが必要な1圧縮目はデコンプ位相に設定し、クランキング中にVVTの位相を進角させ、着火時には適切な圧縮の位相へ変更することが出来、双方のうれしさを両立することが可能となる。

	出力向上				冷間始動時HC低減				アイドル安定				燃費向上			
IVC (ABDC° CA)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
電動VVT																
中間ロックVVT																
コンベンショナル油圧VVT																

図6 ロック位相の違いと狙い

5.2 効果

図7に、アイシンにて実施した高応答を活かした使い方の実施例を示す。エンジン始動時、①VVTを最遅角に設定し、デコンプ位相にて負荷の高い1圧縮目を減圧しクランキング開始。②クランキング1圧縮目を過ぎた時点で電動VVTは初爆のタイミングまでに進角作動させることで圧縮圧を高め、燃焼温度を上昇させることで、燃焼中のHCを低減することが出来る。

従来の油圧VVTは低温での作動が困難なため、始動時から初爆までの間は着火性を優先しアイドル安定の位相にロックされている。

この動きの差により、油圧VVTに対しWLTCで約9.5%のHC低減が可能となる。

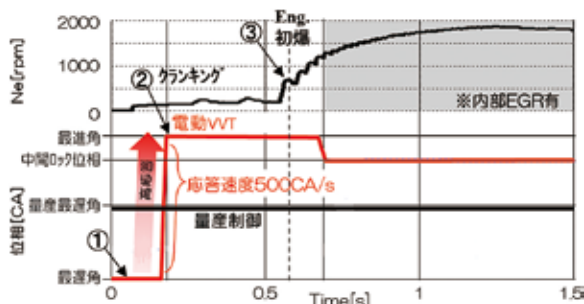


図7 電動VVT評価

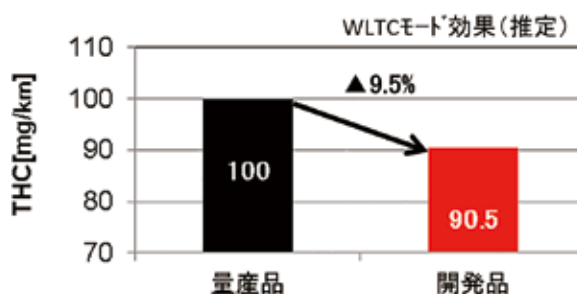


図8 HC低減効果

6. おわりに

アイシン初となる電動VVTを開発し、量産が開始され、次第に機種展開されている。

アイシン製の電動VVTの特徴としては、「高速・高応答」、「簡単な制御」、「コンパクトな設計」を目指し開発を行い、狙った性能により、従来の油圧VVTでは達成出来ない冷間始動時のデコンプ要求と燃焼要求を両立することが出来た。

これからも市場ニーズに応えるべく、品質を確保した製品の開発を進めていきたい。

最後に、いち早くアイシン電動VVTに興味を持って頂き、製品化に導いて頂きましたマツダ株式会社の皆様には深く感謝致します。

参考文献

- 1) 小林 昌樹 他: AISIN TECHNICAL REVIEW VOL.18 2014 P.9-13

筆 者



池田 憲治

PT電動アクチュエータ技術部
電動VVT開発に従事



西垣 篤史

PT電動アクチュエータ技術部
電動VVT開発に従事



久枝 雄介

PT電動アクチュエータ技術部
電動VVT開発に従事



田邊 滋弘

PT電動アクチュエータ技術部
電動VVT開発に従事

アルミ溶解炉の最適燃焼制御技術

村松 慶亮
Keisuke Muramatsu
小林 秀章
Hideaki Kobayashi

深見 尚男
Hisao Fukami
野島 哲男
Tetsuo Nojima

概要

地球環境への負荷「ゼロ」をめざして、西尾ダイカスト工場では、CO₂排出量の多い溶解工程に対して多様な省エネルギー技術開発に取り組んでいる。本稿では、タワー型アルミ溶解炉の溶解バーナーを、従来のON/OFF制御から設備状況に応じた可変出力制御としたことで溶解効率が向上し、CO₂排出量削減が実現できたため報告する。

1. はじめに

2015年に採択された、よりよい世界を目指す国際目標SDGs(Sustainable Development Goals:持続可能な開発目標)において、当社では7つの優先課題を選定している。その課題の一つに目標12「つくる責任つかう責任」がある。この目標の目指す姿は、地球環境への負荷「ゼロ」をめざしたCO₂排出量の削減により、循環型社会への移行に貢献することである。この目標に対し、当社では2035年までに生産カーボンニュートラル達成を掲げており、西尾ダイカスト工場では、2030年までに▲50%以上(2013年度比)のCO₂削減を目標値として掲げている。西尾ダイカスト工場におけるCO₂排出量の内、アルミを溶かす溶解工程での排出が4割を占めている。中でもLNG(Liquefied Natural Gas:液化天然ガス)を使用するバーナーの燃焼時に発生するCO₂の影響が大きく、西尾ダイカスト工場には全18基の溶解炉があるため、この工程のCO₂排出量削減は上記目標達成のためにも必須である。

今回、西尾ダイカスト工場の最新工場である南棟を対象として、溶解炉の溶解バーナー燃焼制御により、溶解効率が向上し、CO₂排出量削減が実現できたため報告する。

2. アルミ溶解炉の概要

ダイカストとは、溶けた金属(溶湯)を高速高压で金型へ充填し、製品を成形する工法である。溶解炉はこのダイカスト工程の一部であり、インゴットや成形時に発生する端材を材料として溶湯を生成している。

図1に南棟の概要図を示す。南棟には、溶解炉7基、ダ

イカストマシン(DCM)14台がある。溶解炉2基でDCM4台を対応しており、材料を溶解炉で溶解し、配湯樋で各DCMに自動で溶湯を供給するシステムとなっている。

南棟の溶解炉は、図2に示すようなタワー型アルミ溶解炉であり、材料を溶解室上方から投入し、下方にある溶解バーナーで加熱溶解する。溶解されると隣接する保持室へ溶湯が流れ、保持バーナーで一定温度に保たれる。

本溶解炉の特徴は、溶解バーナー燃焼時に発生する排ガスが材料間を流れることで、排ガス熱が材料の予熱に有効に利用できる点である。

また従来、溶解バーナーは、保持室の溶湯量が満湯となったときや排ガス温度が設定値を超えたとき、材料が溶解室上方から投入されるとき以外は常にON(100%出力)で燃焼するON/OFF制御であった。

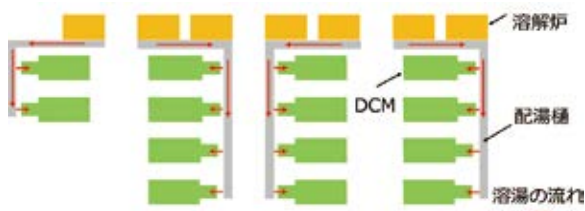


図1 南棟の概要図

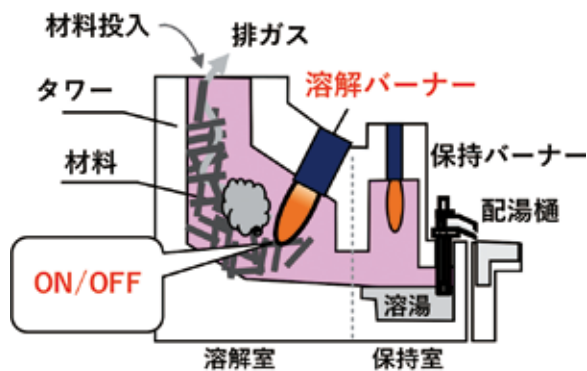


図2 タワー型アルミ溶解炉概要図

3. 目標値の設定

CO₂排出量削減の指標として溶解原単位という数値を設定した。この指標の単位は、Nm³/t-Alと表記され、アルミ1tonあたりの溶解に必要なLNG量を表している。このLNG量を低減できれば、その燃焼によって発生するCO₂排出量も削減できることになる。溶解原単位の目標低減率を設定するため実績を調査した。図3は2018年9月の南棟の溶解原単位の推移である。月平均値(Ave)に対し、日ごとにバラツキがあるが、最も良い最小値(Min)を目指し、溶解原単位の目標低減率を▲10%とした。



図3 南棟の溶解原単位実績

4. 仮説

タワー型アルミ溶解炉では、排ガス熱が材料の予熱に使用されるが、その後流れ出た排ガス熱はロスとなる。そのため、排ガス熱をいかに効率的に利用できるかが溶解原単位低減において重要と考えられる。図4に直当りの材料投入量と溶解原単位の分布を示す(1日を昼勤、夜勤の2つに分けたときの各勤務帯を直としている)。材料投入量が8,000kg/直以下のとき、溶解原単位のばらつきが大きくなっていることがわかる。このうち、同程度の材料投入量において溶解原単位が悪いときと良いときのLNG流量の推移の一部を抜粋したものが図5,6である。図5では、溶解バーナーのON/OFFが頻発しているのに対し、図6では、OFFしない状態(5~38min)が確認できる。溶解バーナーがOFFする条件と

して、“保持室の溶湯量が満湯となったとき”、“排ガス温度が設定値を超えたとき”の大きく2つがあるが、ON/OFF制御でのONのときは100%出力で燃焼するため、必要以上の溶解による満湯や、投入量に対して過度な燃焼による排ガス温度の過昇温が発生しやすく、OFFが誘発されやすくなる。そして、OFFしたことで予熱された材料温度が下がり、予熱効果が低下し、溶解原単位が悪くなったと推測した。

そこで、ONのとき100%出力で燃焼するON/OFF制御では効率が悪いと仮説を立て、検証を実施した。

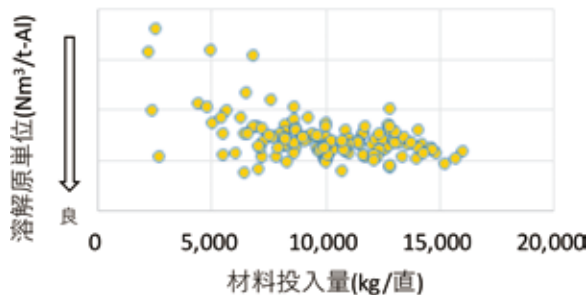


図4 材料投入量と溶解原単位の分布

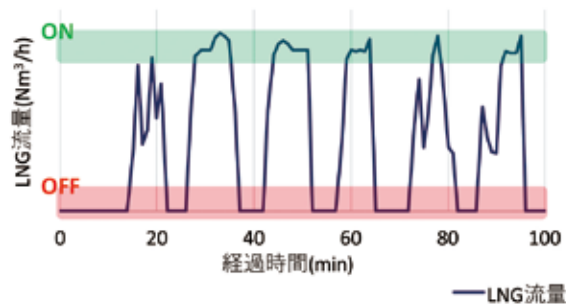


図5 溶解原単位が悪いときのLNG流量の推移

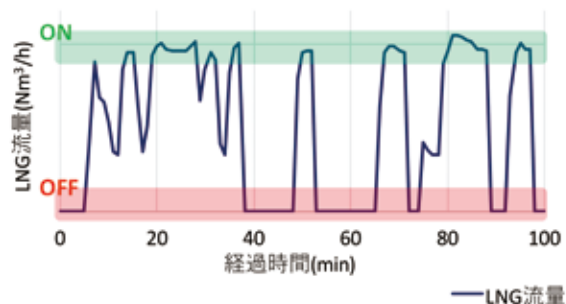


図6 溶解原単位が良いときのLNG流量の推移

5. 検証

5.1 仮説検証

バーナー出力を変化させることでON/OFF状態とOFF抑制状態を再現し、溶解原単位の評価を実施した。表1は出力変化の条件である。少量の溶解量に対して条件①では100%出力とすることで従来のON/OFFを、条件②では75%出力とすることでOFF抑制状態を再現している。なお、溶解量は500kg、各条件N=3で実施し平均値にて評価した。

図7に各条件の溶解原単位の結果を示す。条件①を100としたときの指数で表している。図7から条件②の方が溶解原単位は低減し、溶解効率が良いことが分かる。この点について図8,9に示した各条件のLNG流量および溶解量の推移を確認すると、条件①では、図8から12minにバーナーがOFFし、15minに再びONしているが、図9から溶解量の増加は15min以降停滞していることが分かる。一方、条件②では、図8からバーナーがOFFすることなく燃焼し続け、図9から停滞することなく溶解量が増加しており、20min時点で溶解量が条件①よりも多いことが分かる。以上より、条件①はOFFによって材料温度が低下し、再昇温に熱が消費されたため効率が悪化したが、条件②のように低出力でOFFすることなく燃焼し続けると材料温度の低下を抑制でき、効率が良くなると考えられる。

つまり、ONのとき100%出力で燃焼するON/OFF制御はバーナーOFFを誘発するため、仮説の通り効率が悪くなることが分かった。

表1 出力変化の条件

条件	出力(%)	バーナー状態
①	100	ON/OFF
②	75	OFF抑制

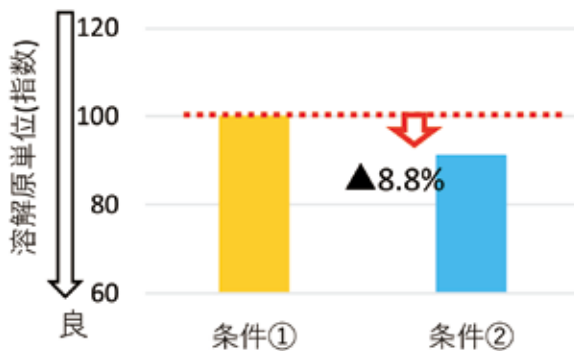


図7 溶解原単位の結果

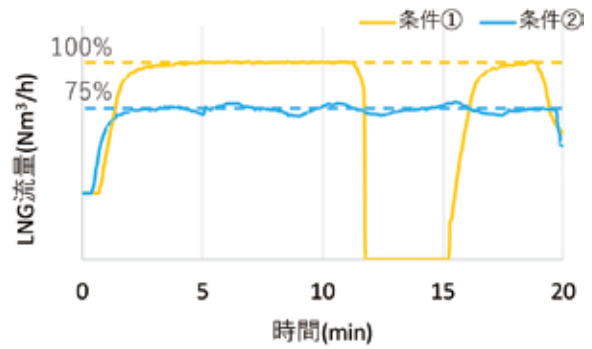


図8 LNG流量の推移

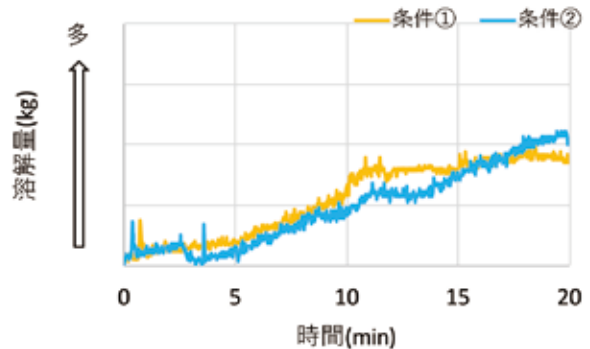


図9 溶解量の推移

5.2 設備状況による出力制御

バーナーOFFを抑制するために制御因子の検討とその因子による検証トライを実施した。

まず制御因子の検討を満湯防止と排ガス温度過昇温防止の観点から行った(図10)。満湯防止は、後工程であるDCMの生産状況に合わせて溶解することで抑制できると考え、DCMの「稼働台数」を因子の一つ目とした。排ガス温度過昇温防止は、「排ガス温度」と「材料充填信号」を2つ目、3つ目の因子とした。「排ガス温度」では高温に推移し始めたLNG流量を抑えることで過昇温防止を狙い、「材料充填信号」では、タワー内の材料が少ないときにLNG流量を抑えることで排ガス熱のロスを抑え、過昇温防止を狙っている。

次に上記で挙げた因子による制御検証を行った。検証は、従来および各条件にて1時間溶解し、溶解原単位の変化を確認した。表2に各因子の制御条件を示す。流量出力は100%と75%の2段階とし、因子①では4台のときと3台以下のときで変化させ、因子②では500℃を境に、因子③ではタワー内の材料充填信号のON/OFFによって変化させた。なお、因子②,③ではDCM稼働台数が4台のときに検証を実施した。

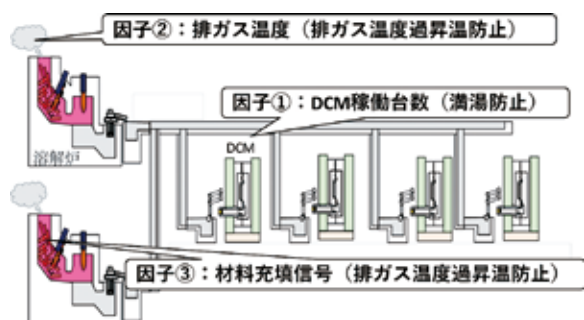


図10 制御因子の検討

表2 各因子の制御条件

因子	従来	①DCM稼働台数		②排ガス温度		③材料充填信号	
制御	—	4台	3台以下	500℃未満	500℃以上	ON	OFF
条件	100%	100%	75%	100%	75%	100%	75%

※因子②、③はDCM稼働台数4台の時に実施

図11に従来の溶解原単位を100としたときの各因子の検証結果を示す。全ての因子において溶解原単位が低減する結果となった。2段階制御ではあったが排ガス温度過昇温防止の点では狙い通り検証中一度も過昇温することがなかった。また、満湯防止の点では、数回発生したもののバーナーOFF時間が短縮する傾向が見られ、これらが溶解原単位低減に寄与したと考えられる。

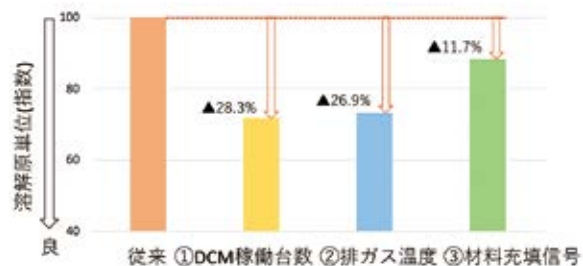


図11 検証結果

5.3 制御方法の検討

5.1及び5.2の結果を踏まえて、制御方法を検討した。大前提として、時間当たり溶解量が少なくなり、DCMへの溶湯供給が不足してはならず、また満湯状態も抑制する必要があるため、DCMの全台稼働したときの最大生産量から必要なLNG流量の見極めを行った。

そして、排ガス温度過昇温を防止するため、同じ稼働台数でも排ガス温度やタワー内材料充填信号の状況に応じて出力を変化させた。

この考え方の下、図12（数値は例）のように各因子を組み合わせることで40パターン（例）の出力を割り付け、設定した。パターンは稼働台数を基本とし、排ガス温度条件は実績値から算出した。

パターン	稼働台数	排ガス温度	材料充填信号	出力
1	4	***~	ON	80
2			OFF	65
3		***~***	ON	90
4			OFF	85
5		***~***	ON	80
6			OFF	75
7		***~***	ON	70
8			OFF	60
9		~***	ON	50
10			OFF	40
20	20	***	ON	***
30	30	***	ON	***
40	40	***	OFF	***

図12 制御パラメータイメージ

6. 効果

図13に制御なし、制御ありで溶解した時の溶解原単位を示す。燃焼制御により溶解原単位が▲17.1%低減したことが確認でき、当初の目標値を達成することができた。この低減効果による年間のCO₂排出量は、▲156t-CO₂/基、南棟溶解炉7基で▲1,092t-CO₂/年となる。そして、図14に燃焼制御したときの直当りの材料投入量と溶解原単位の分布を示すが、図4と比較し、投入量が8,000kg/直以下でもばらつきが小さくなっており、溶解原単位が低減できたことが分かる。

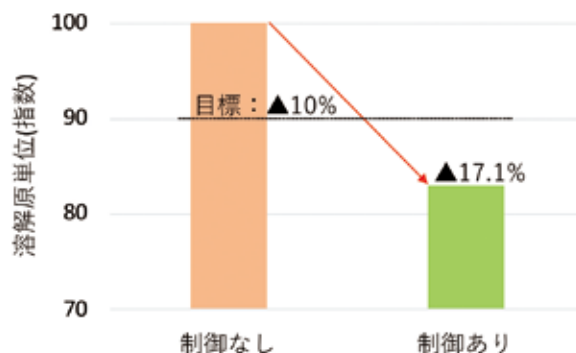


図13 溶解原単位の比較

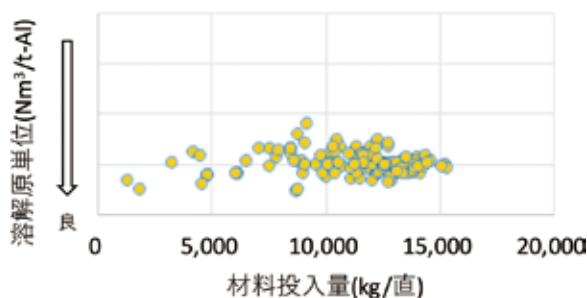


図14 材料投入量と溶解原単位の分布

7. 技術の展開

図15に従来工場の概要図を示す。従来工場では、溶解炉2基でDCM11台を対応しており、溶湯の供給システムは南棟と同様である。また、溶解炉2基のうち1基が図2に示したタワー型アルミ溶解炉であるため、本技術の展開を実施した。

南棟と同様にデータ収集網の構築から実施し、2022年4月に導入が完了した。本技術の適用の結果、CO₂排出量▲165t-CO₂/年の削減効果を確認できた。

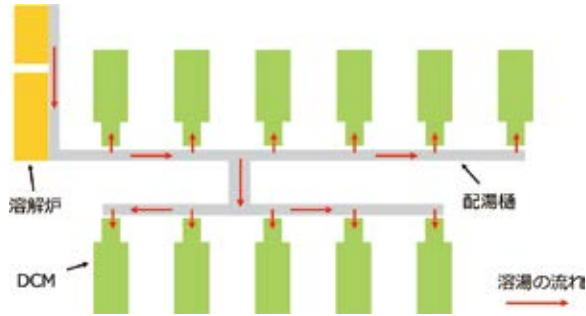


図15 従来工場の概要図

8. おわりに

溶解炉の溶解バーナー燃焼制御により、CO₂排出量の削減に貢献することができた。現在、溶解炉に材料のIH予熱制御を盛り込んだハイブリッド溶解の開発が進行中であり、本制御も並行して技術のアップデートを進めていく計画である。

今後も循環型社会への移行に向けて、さらなるCO₂削減に継続して取り組んでいく。

筆者



村松 慶亮

軽合金生技部 開発推進室
CO₂削減技術開発に従事



深見 尚男

軽合金生技部 第2铸造計画生準室
CO₂削減技術開発に従事



小林 秀章

軽合金生技部 開発推進室
CO₂削減技術開発に従事



野島 哲男

軽合金生技部 開発推進室
CO₂削減技術開発に従事

高耐久性を付与した1液熱硬化エポキシ 接着剤の水劣化抑制メカニズムの推定

坂口 和優

Kazumasa Sakaguchi

概要

接着剤の信頼性向上を目的に、70℃100%RH 14日間の熱水劣化促進試験に暴露しても加水分解が発生せず、強度保持率、凝集破壊率が100%を維持する1液熱硬化エポキシ接着剤を開発した。接着剤に高耐久性を付与した因子と、それら因子が吸水劣化を抑制したメカニズムを推定したため報告する。

1. 緒言

1液熱硬化エポキシ接着剤は高い接着強度を持ち、熱的、化学的に安定であるため構造用接着剤としてしばしば用いられる。自動車用途においては面接合によって車体剛性、NVH性能が向上すること、異種材接合が可能であることから、車体軽量化の一環として今後も構造用接着剤の適用は拡大すると予想される。

一方、高い耐久性を持つと言われる熱硬化エポキシ接着剤であっても溶接と比べるとその接合信頼性は十分であるとは言えず、長期間の機能保証が課題となっている。中でも、吸水による経時劣化は接着剤の最も大きな劣化要因のひとつである。接着剤の吸水は、樹脂の水酸基濃度、あるいは自由体積に依存するとされており^{1,2,3)}、吸水した接着剤の強度低下メカニズムについては接着界面へ水が浸入することで生じる接着強度の低下や、接着剤が吸水することで発生する加水分解による凝集力の低下が原因であると報告されている^{4,5)}。そこで、本研究ではこれら報告を参考に、吸水による劣化が極めて発生しにくい高耐久性接着剤を設計し吸水劣化が抑制されるメカニズムの推定を行った。

2. 試験条件

樹脂としてビスフェノールA型エポキシ樹脂、ブロックウレタン樹脂、フィラーとして平均粒径20 μ mの重質炭酸カルシウム及び1 μ mの疎水性表面処理を施した炭酸カルシウム、硬化剤、促進剤としてジシアンジアミド、ウレア系触媒、添加材としてマイカ、アクリルゴム、チキソ材としてフュームドシリカ、吸湿材として酸化カルシウムを用いた。これら材料を任意の割合で配合した混合物を、60分間脱泡混合し、接着剤を作成した。接着剤の硬化条件は、155℃ x 15分とした。

せん断引張試験片はJIS K6850、ダンベル試験片はJIS K6251に基づき作成した。接着剤の劣化促進条件は、70℃×100%RH環境下で14日間暴露とした。

3. 結果と考察

3.1 接着剤の設計

各サンプルの概要は表1に示す。本研究においては接着剤の信頼性を吸水劣化前後で強度が低下しないこと、接着剤の破壊が常に凝集破壊であることと定義した。界面破壊が発生すると、接着剤-基材の界面接着力や、基材のばらつきがパラメータとして追加される。今回は常に接着剤のみが破壊され、基材に左右されない凝集破壊を高信頼性接着剤の要素の1つとして考えた。

表1 Sample Composition(Vol%)

Conditions	Sample				
	A	B	C	D	E
Resin / Filler filling rate	6:4	5:5	6:4	6:4	5:5
Addition rate of Mica	0%	0%	6%	0%	6%
Addition rate of CaCO ₃ (20 μ m)	24%	38%	18%	0%	0%
Addition rate of CaCO ₃ (1 μ m)	0%	0%	0%	24%	32%

性能比較基準としたサンプルAは弊社の最もスタンダードな1液熱硬化エポキシ接着剤を参考に作成した。

サンプルBは、接着剤の吸水源は主に樹脂であり、吸水源が少ないほど接着剤の耐吸水特性が向上すると考え、フィラーの充填率を高めた。サンプルCとDは、接着剤の凝集破壊を促す目的で、層構造を持ち、容易にへき開が発生するマイカと、粒子の凝集が発生しないよう脂肪酸による表面処理を施した微粒の炭酸カルシウムを添加した。また、これらすべてを適用したサンプルEを作成した。

3.2 セン断引張試験

せん断引張試験の結果を表2に示す。

表2 Tensile shear strength / CF rate

Sample	exposure days	Lap shear strength (MPa)	CF rate (%)
A	0	27.9	100
	14	17.7	5
B	0	25.8	100
	14	23.8	70
C	0	24.6	100
	14	20.1	70
D	0	25.1	100
	14	18.5	20
E	0	20.3	100
	14	20.5	100

Aに対し、フィラー充填率を上げたBとマイカを添加したCは劣化促進後のせん断強度の保持率、凝集破壊率がともに大きく改善した。微粒炭酸カルシウムを添加したDについても若干の改善がみられる。Eはせん断強度保持率、凝集破壊率がともに100%であり、接着性能が低下していないことがわかった。一方、せん断強度はAが最も高い値、Eが最も低い値を示した。

3.3 フィラー充填率と耐久性

フィラーの充填率を高めたBは、劣化促進後のせん断強度保持率が92%、凝集破壊率が70%と、Aと比べ大きく耐久性が改善した。Bの吸水特性を調査するためダン

ベル状試験片を劣化促進条件に曝して吸水させ、吸水率を比較した。結果を表3に示す。

表3 Water absorption / Modulus

Sample	Water absorption (%)	Elastic modulus (GPa)	Strage modulus at Tg+40K (MPa)
A	9.9	4.1	28
B	8.1	4.8	62
C	9.3	3.6	57
D	9.0	3.6	27
E	7.6	4.9	60

フィラー充填率を高めたBとEは、Aと比較し吸水率が2%近く低下している。これは、3.1で述べた絶対的な吸水源を削減することで接着剤の吸水特性が改善するという予想と合致する。また、弾性率、DMAで測定したゴム領域の貯蔵弾性率、吸水試験後のせん断試験片の破断面に特徴が見られた。結果を表3及び図1に示す。BとEは、弾性率、ゴム領域の貯蔵弾性率で著しく高い値を示した。さらにSEM像を観察すると、Aは樹脂-フィラー間に多数の空孔が存在するが、Bは空孔が小さく、少なくなっている。これは、樹脂が硬化、収縮する際に、高充填されたフィラーが高分子鎖に拘束されることで、樹脂とフィラーが強く密着したためと考える⁶⁾。この空孔の有無により、Aは樹脂による吸水の他、空孔への水の浸入が発生するが、Bには水が浸入する空孔が存在しないというメカニズムで吸水率に改善が見られたと予想する⁷⁾。

さらにSEM像を比較すると、Aは樹脂が占める面積の割合が大きく、Bは平滑な破断面として露出しているフィラーが占める面積の割合が大きい。水分子は樹脂を透過する際にフィラーを迂回し拡散すると考えられるため、Bはフィラーによって水の拡散経路が長くなっている。したがってBは、フィラーの高充填化によって、そもそもの吸水源を削減すると共に、フィラーを高分子鎖で拘束し、樹脂フィラー間の密着性が向上する、さらに、そのフィラーによって水の拡散に必要な水分透過断面積を減少させることで耐吸水性が向上したと推定した。

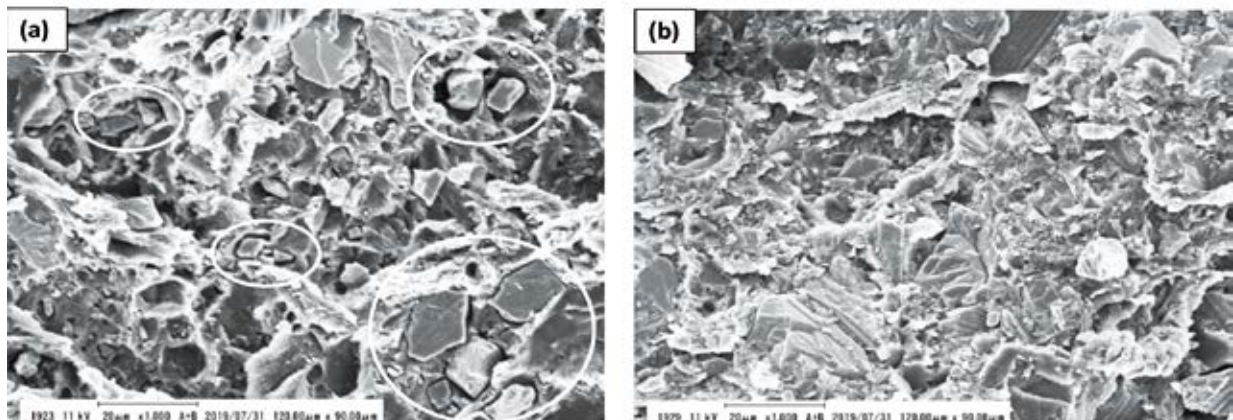


図1 SEM image(x1000) of adhesive fracture surface. (a) Sample A and (b) Sample B.

3.4 マイカと耐久性

マイカを添加したCも、Bと同様に高いせん断強度保持率、凝集破壊率を保っている。マイカを添加したことによる物性への影響を解析するため弾性率と貯蔵弾性率を測定した。結果を表3に示す。

Cはガラス領域の弾性率においてAよりも低い値を示した。これは平面状のマイカとその表面上に配向するマトリクス間にずり応力が発生することで応力が緩和されたためと推測した⁸⁾。応力の集中と緩和の程度を推測するため、AとCの、せん断引張試験時に接合部に生じる応力の分布を解析した。応力分布はVolkersenモデル(式1-4)を用いて解析した。結果を図2に示す。

$$\tau_A = a \cosh \sqrt{k} x \quad (1)$$

$$k = \frac{G_A}{t_A} \left(\frac{2}{Et} \right) \quad (2)$$

$$a = \frac{\sqrt{k} F}{2w \sinh \sqrt{k} (L/2)} \quad (3)$$

$$\tau_{Amax} = \frac{\sqrt{k} x}{2w} \coth \sqrt{k} (L/2) \quad (4)$$

- τ_A : Shear strength
- G_A : Modulus of adhesive
- t_A : Adhesive Thickness
- E : Modulus of adherend
- t : Adherend thickness
- L : Lap length
- w : Adherend Width
- F : Load

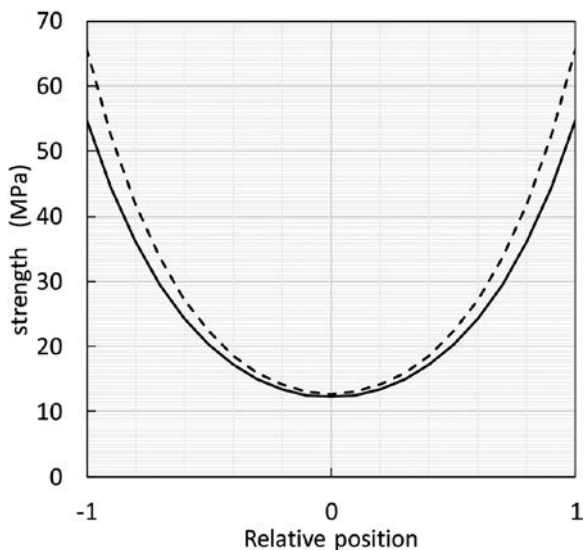


図2 Stress distribution by Volkersen model.
Dotted line : A, Solid line : C

A及びCを塗布したせん断試験片にせん断破壊が起こる際、接合部の中心にかかる応力には差が見られない。一方、接着剤端部に集中する応力は、Aは66MPa、Cは55MPaと、10MPa以上の応力の差が見られた。この結果から、接合部破壊前の段階でも、Cは接着剤硬化収縮時に生じる応力を緩和していると予想できる。接着接合部への水の浸入は、残留応力を緩和するように端部から界面へと拡散する⁹⁾。したがって、Cは、マイカと配向したマトリクスの間にせん断応力が発生することで、接合端部に集中する残留応力が緩和され、水の拡散速度に差が発生していると推定した¹⁰⁾。

一方、Cはゴム領域の貯蔵弾性率において高い値を観測した。フィラー単体が作用することで貯蔵弾性率が発現する場合はガラス領域の弾性率も同時に向上すると考える。しかし、Cのガラス領域の弾性率はAよりも低下しているため、この値はマトリクスの三次元構造に起こった化学的変化が要因だと予想できる。マイカのような平滑な面を持ち、高アスペクト比である材料を添加した系では、エポキシ樹脂は加熱硬化過程においてフィラー界面との弱い分子間相互作用により分子鎖の形態配位に束縛を受けながら重縮合が進行し、高分子鎖が配向したトランスクリスタル領域が生じるという報告がある⁸⁾。この樹脂-フィラー界面の相互作用と高分子鎖の配向から、Cがゴム領域で剛直な構造を形成したことが説明できる。

さらに、FT-IRを用いて接着剤の加水分解の度合いを測定した^{9,11)}。FT-IRは、せん断試験片の破断面の中心からサンプルを採取し測定した。加水分解度は、接着剤中のウレタンの加水分解物が持つカルボキシル基由来のピークをマーカーとして利用した。吸水試験前のサンプルの1730cm⁻¹の吸光度をAbs₀、吸水試験後のサンプルの1730cm⁻¹の吸光度をAbsとし、式(5)に従って加水分解度を算出した。結果を表4に示す。

$$\text{Degree of hydrolysis} = \left(\frac{\text{Abs}}{\text{Abs}_0} - 1 \right) \times 100 \quad (5)$$

表4 FT-IR spectral data

Sample	exposure days	Absorbance (1730cm ⁻¹)	Degree of hydrolysis
A	0	0.29	45
	14	0.42	
B	0	0.26	22
	14	0.32	
C	0	0.26	0
	14	0.26	
D	0	0.30	27
	14	0.38	
E	0	0.25	0
	14	0.25	

IRスペクトルを解析すると、式(5)より算出した加水分解度は、Aが45、耐吸水性を持つBが22なのに対し、CとEは加水分解度が0になっている。マイカやモンモリロナイトのような高アスペクト比を持つ層状フィラーはガスバリア性や耐水分子透過性を持つことで知られている¹²⁾。拡散分子はマトリクス中に面配向した非透過性の高アスペクトフィラーを迂回する。これにより水分子の拡散経路が長くなり、分子の透過に大きな抵抗を発現する¹³⁾。

サンプルBでもこれと類似のメカニズムで耐久性が発生している。マイカが持つ分子バリア性はすでにガスバリアフィルムなどで実用化されている。今回は、このメカニズムが接着剤においても発現するか検討するため、平面方向のアスペクト比が異なるマイカをそれぞれ添加した接着剤を作成し、せん断引張試験により相関を解析した。結果を図3に示す。

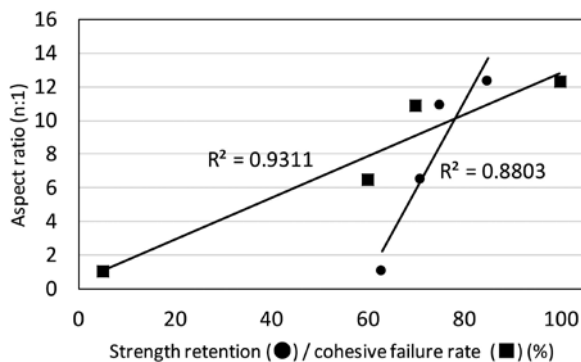


図3 Strength retention and cohesive failure rate of adhesives with changed aspect ratio.

マイカのアスペクト比は、せん断強度保持率、凝集破壊率のどちらも強い相関を示した。マイカのアスペクト比とせん断強度保持率の相関は、接着剤においても高アスペクト比材料が拡散分子の透過を阻害していることを示唆している。また、アスペクト比を上げることで凝集破壊率が向上したのは、後述する犠牲粒子効果が要因である。さらに、バリア効果を発現するために必要なマイ

カのマトリクス中での配向を観測した。引張試験前のせん断試験片を垂直方向に切断した面のSEM像を図4の(c)に、マイカ粒子をマーキングしたSEM像を図4の(c')に示した。

すると、マトリクスから相分離している樹脂が存在している部分を除き、マイカが面方向に配向していることを観測できた。せん断引張試験片を作成する際は片方の鋼板上に接着剤を塗布し、その上にもう片方の鋼板を乗せて圧力をかけ、接着剤を所定の厚さに調整する。その際にマイカが配向していると考えられる。さらに、Cのせん断引張試験片の破断面のSEM像を図5に示す。図5の(d)より、配向したマイカが面方向に広く分布していることがわかる。また、(e)より、そのマイカに沿うように層状に接着剤の破壊が発生している。この破壊形態はマイカ表面に高分子鎖が配向しているという前述の仮説と一致する。したがってCの耐久性向上メカニズムは①接着剤が押しつぶされる際にマイカが配向する。②接着剤硬化時にマイカ界面と樹脂間で相互作用が発生し樹脂が配向する。③マイカと配向する樹脂との間で硬化収縮時発生した応力集中の緩和が発生する。④接着剤端部からの水の吸収が阻害される。⑤水分子は一部接着剤端部から接着界面へと浸入するが面方向に広く分布したマイカのバリア効果によって樹脂中への拡散が阻害される。というステップによって発現していると推定した。Cの吸水率にこのメカニズムが適用されないのは、ダンベル試験片においては接着剤の圧着を行っていないため、マイカが配向していないのが原因だと考える。図5の(e)を観察すると破断面上のマイカにへき開が発生していることがわかる。マイカはその特徴的な結晶構造に由来する層剥離が発生しやすいことで知られている。この層の結合力は接着剤の凝集力や、接着剤-基材界面の接着力よりも弱いと考えられる。そのため、接着剤中に分散するマイカが結晶格子単位で破壊起点となり、接着剤

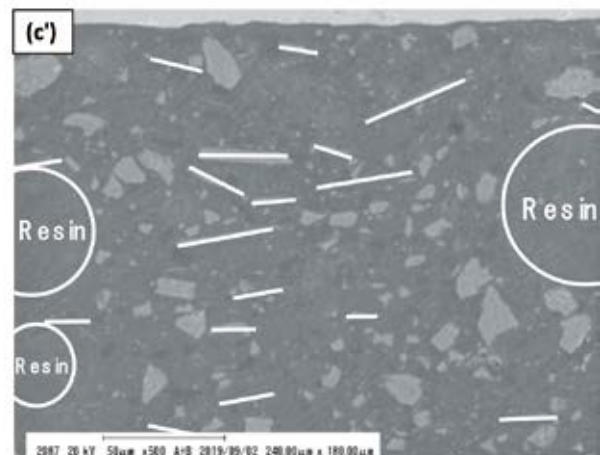
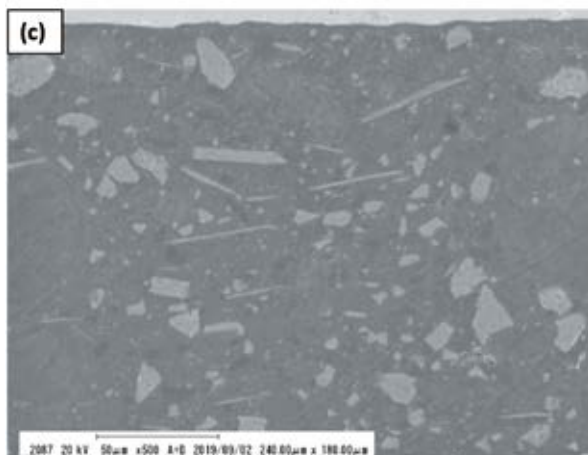


図4 SEM image(x500) of cut surface of adhesive. (c) Sample C (c') Mica marking image of C.

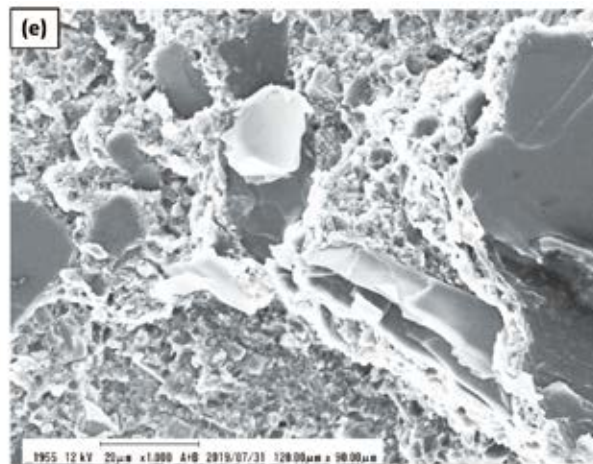
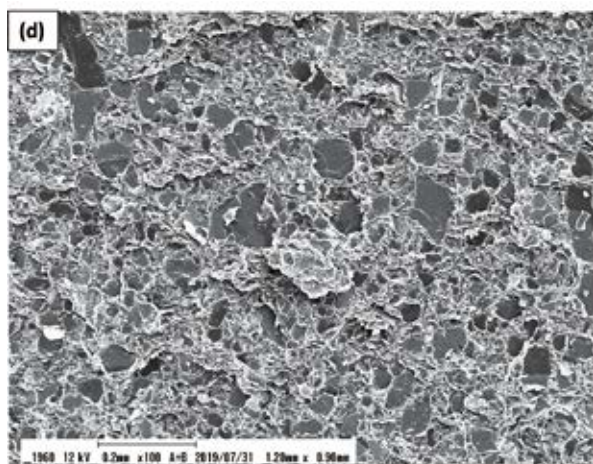


図5 SEM image of adhesive fracture surface of C (d) x100 (e) x1000

や基材-接着剤界面が破断する代わりに層間剥離を起こし凝集破壊を促すようにふるまう。本研究ではこの作用を犠牲粒子効果,このようなふるまいを起こすフィラーを犠牲粒子と定義した。Cはマイカの犠牲粒子効果によって高い凝集破壊率を発揮すると推定した。

3.5 疎水性微粒炭酸カルシウムと耐久性

サンプルDは,主の充填剤である $20\mu\text{m}$ の炭酸カルシウムを微粒子の凝集を防ぐため表面処理を施した $1\mu\text{m}$ の炭酸カルシウムに置換した接着剤である。Dの信頼性への寄与はB,Dと比べると小さいが,凝集破壊率が向上している。せん断試験片の破断面を観察するとAは破断面が粗く,樹脂の延性破壊が多く発生していた。一方Dは平滑な破断面を持っていることから,Dは接合部が破断する際に脆性破壊が多く発生していると予想した^[4,15]。この仮説を確認するため接着剤厚さを $50\mu\text{m}$ に調整した接着剤硬化物を試験片とし,その試験片に予亀裂をいれ左右から引っ張ることで亀裂を進展させる亀裂伝搬試験を実施した。AとDの亀裂伝搬試験片のSEM像を図6に示す。Aの試験片に発生した亀裂は屈折するように進展しており,円で囲んだ部分にある炭酸カルシウムに沿うように亀裂が進展していることがわかった(図6-f)。さらに,亀裂の断面を拡大すると,Aは表面に延性破壊が多く発生しており破断面も粗いため亀裂の進展距離が長くなっている。Dは平滑な面が多く観測されるため,接着剤が脆性的に破壊されスムーズに亀裂が進展していると予想される^[16]。Dはこの微粒炭酸カルシウムによるクラック起点の増加と亀裂伝播性の向上が,凝集破壊の促進に寄与していると推定した。

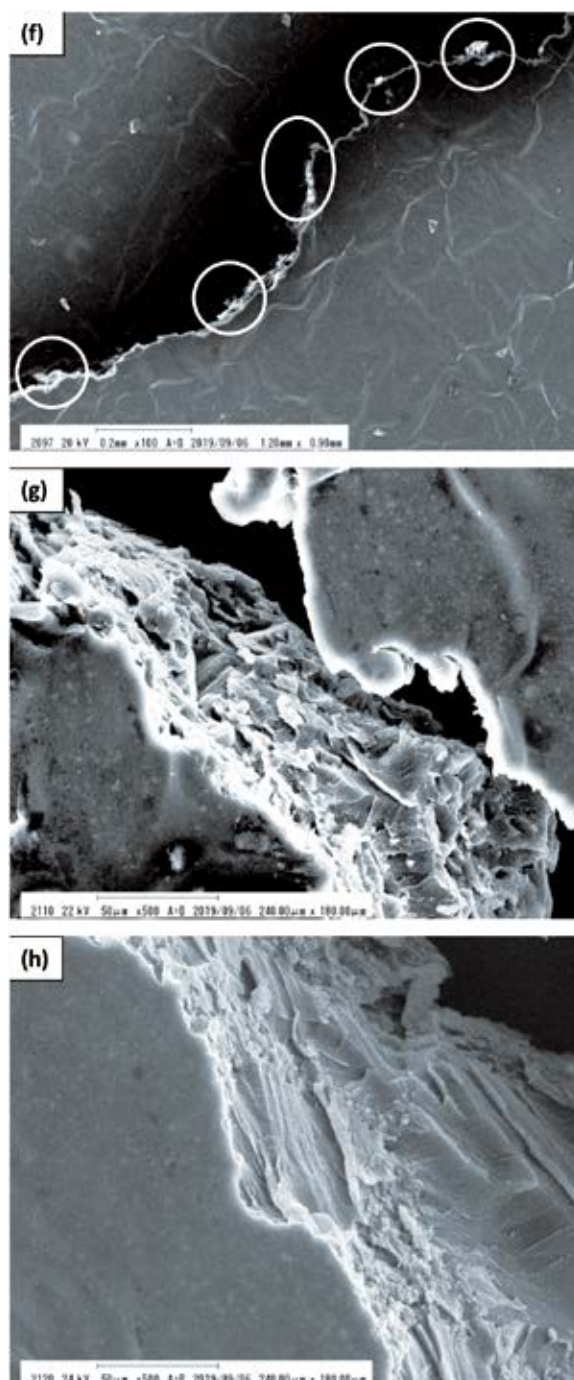


図6 SEM image of Crack propagation test. (f)Ax100 (g) Ax500 (h) Dx500

4. 結論

1液熱硬化エポキシ接着剤に対しフィラーの高充填化、マイカの添加、疎水性微粒炭酸カルシウムの添加を行うことで、高耐久性接着剤を作成し、そのメカニズムを推定した。

高耐久性接着剤のせん断引張試験片を70℃100%RHに14日間暴露した後、引張試験を行い、せん断強度の保持率、凝集破壊率が共に100%であることを確認した。また、FT-IRにて、高耐久性接着剤は、劣化促進後も加水分解が発生していないことを観測した。

フィラーの高充填化は接着剤の吸水源の削減と、高充填化に起因する高分子鎖によるフィラー拘束から、フィラー-マトリックスの界面接着性が向上し、吸水源となる空孔が発生しないことで耐吸水性を発現する。

マイカは、マイカ平面上の高分子鎖の配向に起因する応力緩和と配向した高アスペクト材料によるバリア性によって接着剤の吸水、加水分解を抑制している。さらに、マイカの層剥離によって生じる犠牲粒子効果が凝集破壊率の改善に寄与している。疎水性微粒炭酸カルシウムは微粒によりクラック起点を増加させることで亀裂伝播性を向上し、接着剤に凝集破壊を起こしやすい環境を与えていると推定した。

本研究での耐久性向上メカニズムの推定が、接着剤の信頼性向上に寄与できることを期待する。

参考

- 1) M.Nakazawa. Nippon Steel tec.reports. 1994, 353, 16.
- 2) A.Matsumoto et al. Thermosetting resin. 1994, 15, 1.
- 3) I. Ogura. DIC Technical Review. 2001. 7. 1.
- 4) C. Sato. et al. The Journal of Adhesion. 2007. 43. 236.
- 5) H. Yamabe. et al. The Journal of Adhesion. 2007. 43. 81.
- 6) K. Sato. Sikizai. 1981. 54. 490
- 7) T. Kumazawa. et al. Dengakuron A. 1992. 112. 321.
- 8) K. Shibayama. et al. Kobunshi Ronbunshu. 1974. 31. 56.
- 9) K. Yamamoto. et al. JSAE Ronbunshu. 2012. 42. 542.
- 10) K. Nakamae. Hyomengijutu. 2015. 66. 338.
- 11) K. Yamamoto. et al. Mazuda Tec. Reports. 2012. 30. 219.
- 12) T. Matuoka. Toyota Central R&D Labs Review. 1994.29.49.
- 13) T. Ota. Clay Science. 2011. 50. 12.
- 14) Y. Nakamura. The Journal of Adhesion. 2006. 42. 513.
- 15) Y. Nakamura. The Journal of Adhesion. 2011. 47. 354.
- 16) A. Ohmori. et al. JFE Tec. Reports. 2014. 33. 55.

筆者



坂口 和優

アイシン化工株式会社
化成品技術部 防錆接合材G
接着剤開発に従事
1月～BEV領域推進
モータ領域プロジェクトに従事

内燃機関用ピストンについて摩擦発生メカニズム解明

小林 邦彦
Kunihiko Kobayashi

概要

内燃機関の熱効率向上に貢献するピストンスカート部の摺動摩擦抵抗の低減のために、摩擦発生メカニズムの把握が重要となる。本研究では、エンジン実働中の摩擦発生の原理原則となるピストンスカート部の潤滑状態を把握し、発生摩擦力との関係性を明確にした。

1. はじめに

地球温暖化対策が近年世界的に加速しており、2050年までにカーボンニュートラルをコミットした国々は123カ国1地域に及んでいる¹⁾。日本でも2020年12月に政府から「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が打ち出され、CO₂排出量の大きな割合を占める自動車産業では電動化の強力推進が示されている²⁾。これに伴い電動化に即したエネルギー効率の非常に高いエンジン開発が求められている。図1にエンジン熱効率の推移を示す³⁾。熱効率は2010年頃に40%程であったが、SIP(戦略イノベーション創造プログラム)革新的燃焼技術による研究が2014年から5年間取り組まれ、ガソリンエンジンにおいて51.5%を達成した⁴⁾。この高熱効率達成にはエンジンの機械摩擦損失の低減も大きく貢献している。図2にエンジンの摩擦損失割合の例を示す⁵⁾。摩擦損失の中でピストン・リング系の占める割合は約40%に達する。

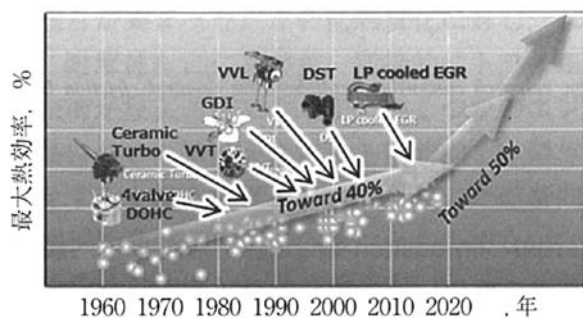


図1 熱効率の推移〔出典:文献3〕

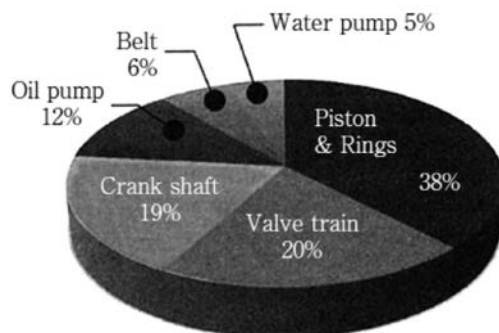


図2 ガソリンエンジンの摩擦損失〔出典:文献5〕

ピストンスカート摩擦低減には摺動状態の把握が重要となるが、以下の3点を考慮する必要がある。第一に摺動速度の変動の大きさである(一般的なガソリンエンジンでは0~約40m/s)。第二に摺動面における垂直荷重の変動が大きく(一般的なガソリンエンジンで0~約8kN)、またピストン挙動が随時変化することによる摺動面の荷重面圧の変化である。最後に摺動面に付与されるエンジンオイル温度が低温(氷点下レベル)から高温(100℃超)となることによる粘度変化の大きさである。この3点の環境を単体試験レベルで再現するのは難しく、実働エンジンを用いた確認が必要になる。

本研究ではエンジン実働中のピストンスカートの潤滑観察、また摩擦計測の計測を行い、ピストンスカートの摩擦発生メカニズムについて報告する。

2. 潤滑観察、摩擦計測方法

エンジン実働中のピストンスカートの潤滑観察、摩擦計測について、簡単に方法を紹介する。

図3にピストンスカート形状(スカートプロファイル)の例を示す。エンジンシリンダ内で摺動するピストンで

は、油膜形成を促進するスカートプロファイルが形成されている。図4にエンジン実働中のピストン傾き角度推移の例を示す。スカートプロファイルによってシリンダ内摺動時のピストンには2次運動が発生する。これにより摺動中にスカートとシリンダ間には様々な接触状態が発生する。また摺動方向に往復動を行っているため、摺動速度も時間的な変化が発生する。

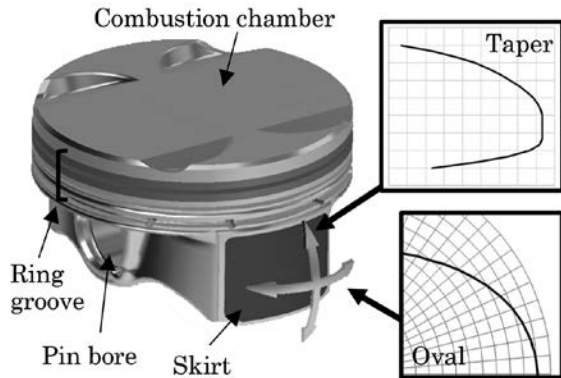


図3 スカートプロファイル

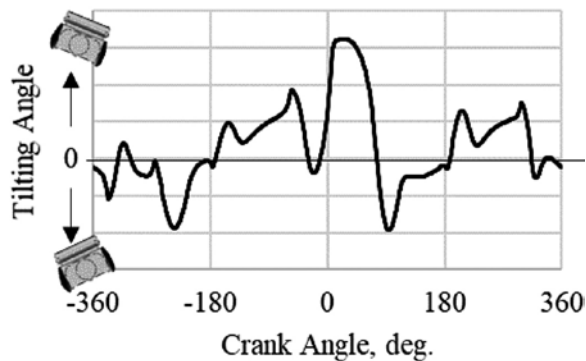


図4 ピストン傾き角度の推移

図5に膨張行程時ピストンスカート部摩擦仕事のEHD(Elastic HydroDynamics,弾性流体力学)解析結果の例を示す。時間的に摩擦仕事の変動だけでなく任意の時間で境界摩擦と流体摩擦が混在し、また混在する割合も随時変化しており空間内で潤滑状態が変化していることがわかる。そのため空間的、時間的な潤滑、摩擦の変化を捉えることが可能な観察、計測方法が必要になる。

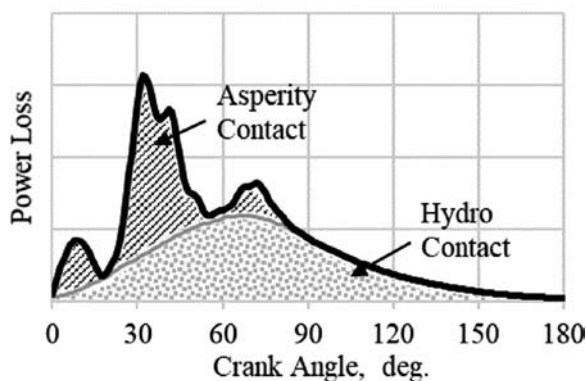


図5 摩擦仕事の推移

2.1 潤滑観察方法

本研究では、LIF(Laser Induced Fluorescence, レーザー誘起蛍光)法を用いたピストンスカート油膜厚さ測定⁶⁾を行った。

計測装置の概要を図6に示す。本計測エンジンではシリンダをサファイア製とし外部からカメラを用いてピストンスカート全体撮影が任意の時間で可能となっている。エンジンオイルには蛍光剤が混合されておりYAGレーザーの照射によりオイルを蛍光させ発光輝度を撮影する。発光輝度と油膜厚さには相関があるので、別途取得したキャリブレーションデータを用いて油膜厚さへ変換を行う。これにより空間的、時間的なピストンスカートの油膜厚さの把握が可能となる。

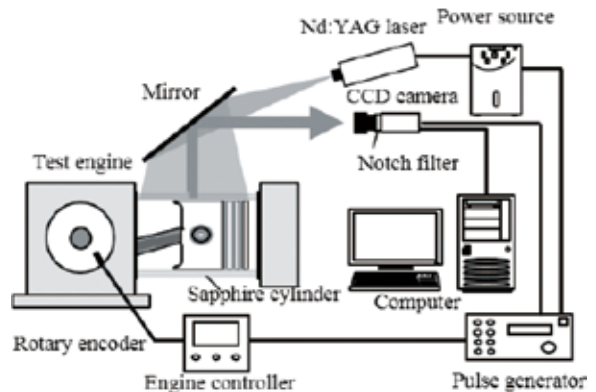


図6 油膜厚さ計測装置概要 (出典:文献6))

2.2 摩擦計測方法

本研究では、浮動ライナー法によるピストンスカート摩擦測定⁷⁻⁹⁾を行った。

計測装置の概要を図7に示す。シリンダブロック下端に設置されたロードワッシャーを介して浮動状態のライナーを締結している。ピストン摺動時の抵抗がライナーを介してロードワッシャーに伝わることでピストンスカートの摩擦力を測定する。これにより時間的なピストンスカートの摩擦の把握が可能となる。

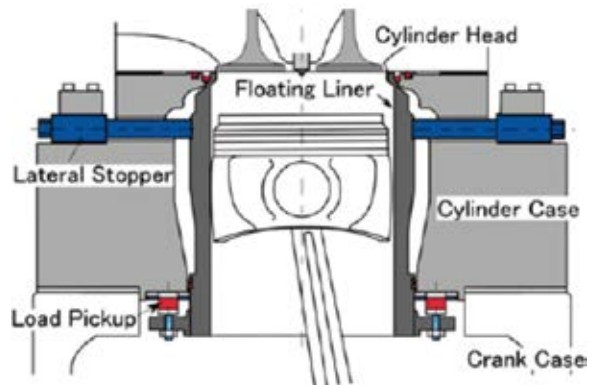


図7 摩擦計測装置概要 (出典:文献9))

3. 潤滑状態と摩擦の関係

3.1 摺動速度,摺動面垂直荷重による影響

図8にエンジン回転1500rpm,モータリング,スロットル全開運転における,ATDC (After Top Dead Center) 0deg.,ATDC60deg.,ATDC120deg.のピストンスカート 油膜厚さ分布を示す⁶⁾.

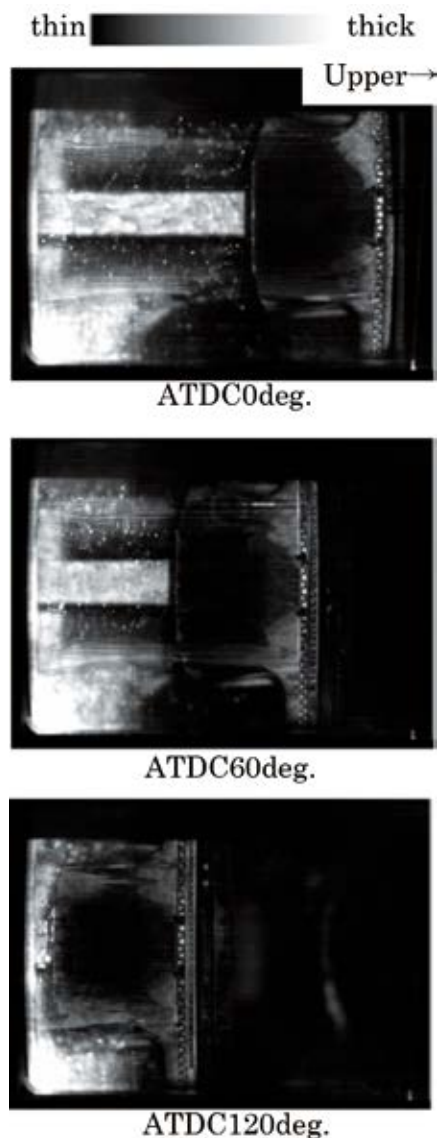


図8 スカート油膜厚さ分布 [出典:文献6)]

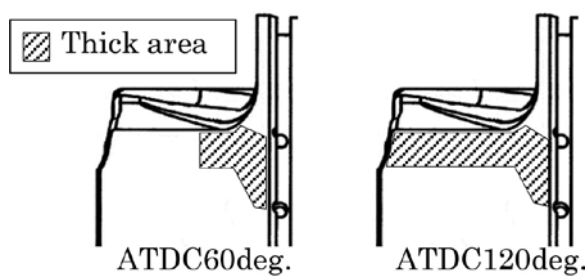


図9 油膜厚さの厚い領域

クランク角度の変化に伴い油膜厚さ分布は変化しており,空間的な潤滑状態の変化が発生していることがわかる.

また図8の結果から,ATDC60deg.とATDC120deg.について相対的に油膜厚さの厚い領域を抽出した結果を図9に示す.ATDC60deg.に比べATDC120deg.は油膜の厚い領域がスカート下部まで広がっていることから,油膜形成が促進されていることがわかる.これは摺動速度と摺動面垂直荷重が影響していると考えられる.図10に今回の運転条件における摺動速度と摺動面垂直荷重の推移を示す.ATDC120deg.では,摺動速度が遅くなるが摺動面垂直荷重も低いいため結果油膜形成が促進される.このようにクランク角度変化,つまり時間的な変化に対し潤滑状態も変化している.

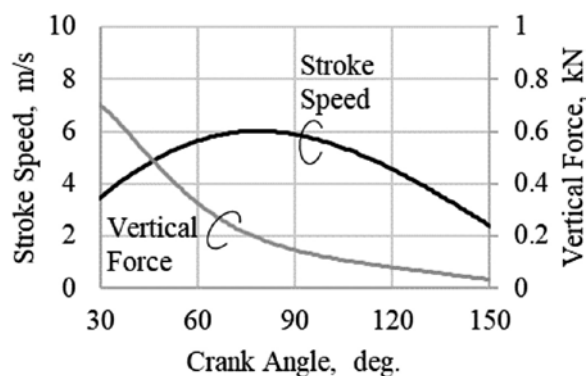


図10 摺動速度,垂直荷重の推移

図11に今回に近い運転条件であるエンジン回転1000rpm,モータリング,スロットル全開における平均摩擦係数(摩擦力から垂直荷重を除いた値)の推移を示す.先ほど時間的に油膜形成に変化が見られたATDC60deg.とATDC120deg.を見ると,より油膜が形成されているATDC120deg.の平均摩擦係数が小さいことがわかる.

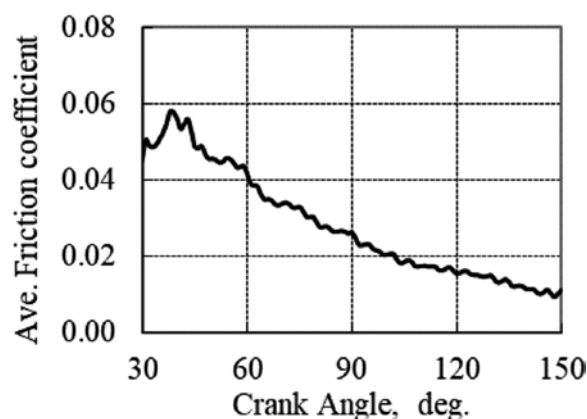


図11 平均摩擦係数の推移

3.2 表面性状による影響

図12にエンジン回転1000rpm,モータリング,スロットル全開運転における,クランク角度ATDC20deg.時の表面性状3種類についてピストンスカート油膜厚さ分布を示す¹⁰⁾.ここで各表面性状仕様は,Standard:量

産ピストンで使用される標準的な条痕仕様,FPB (Fine Particle Bombarding Process,微粒子衝突法) 処理¹¹⁾を施した仕様,Smooth:鏡面加工を施した仕様であり,各仕様の表面粗さはStandard:Ra3.8,FPB:Ra1.6,Smooth:Ra0.5となっている.また図12左側のAは $0\mu\text{m}$ から $40\mu\text{m}$ レンジの油膜厚さ分布,右側のBは $0\mu\text{m}$ から $1\mu\text{m}$ レンジの油膜厚さ分布を示している.

図12Bから,Standardはピストンスカート中央部に油膜厚さ $0\mu\text{m}$ となる領域が存在し,この領域は境界または混合潤滑状態となり粗さの先端が接触していると考えられる.Standardに対して低粗さとなるFPB及びSmoothは油膜厚さ $0\mu\text{m}$ が発生しておらず,ピストンスカート全体が流体潤滑状態であった.

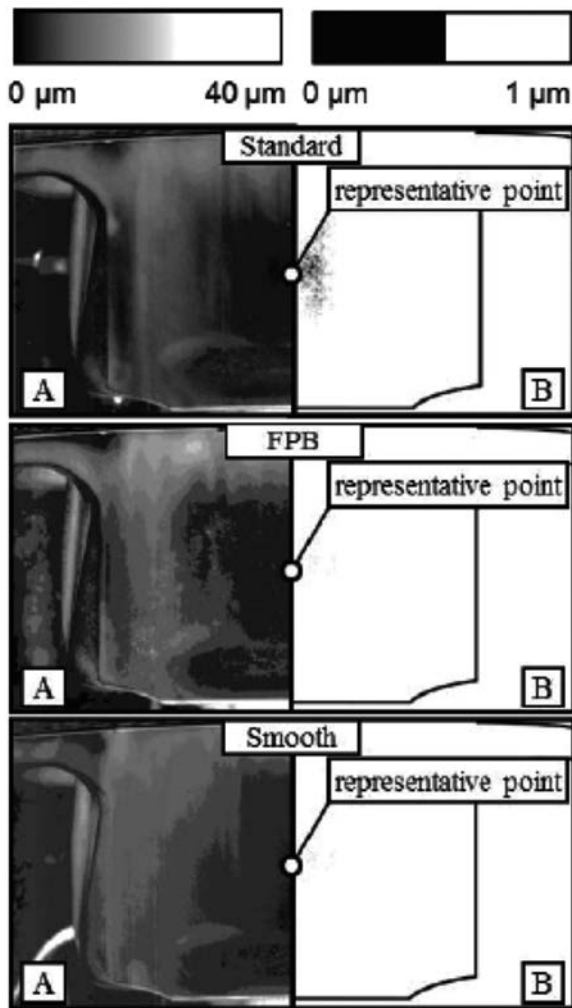


図12 表面性状3種のスカート油膜厚さ分布 (ATDC20deg.) [出典:文献10)]

また図12の結果から,ピストンスカート中央部を代表点としたStandardに対する各仕様の油膜厚さ変化率を図13に示す.ピストンスカート中央部の油膜厚さは,Standardが最も薄く,続いてFPBがStandardに対し24%厚くなり,SmoothがStandardに対し43%厚くなっており,表面粗さが細かくなると油膜厚さが厚くなる傾向が示されている.

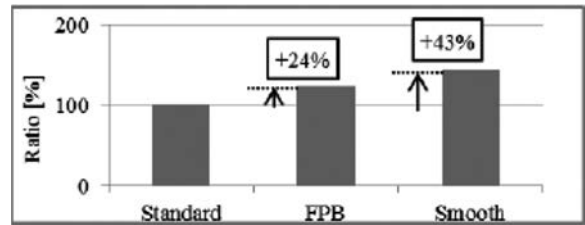


図13 表面性状3種のスカート油膜厚さ変化率 (ATDC20deg.) [出典:文献10)]

更に図14にクランク角度ATDC80deg.におけるピストンスカート中央部を代表点とした Standard に対する各仕様の油膜厚さ変化率を示す.表面粗さが細かくなると油膜厚さが厚くなる傾向はATDC20deg.と同様だが,SmoothではStandardに対し74%油膜厚さが厚くなっており,ATDC20deg.に比べ大幅に増加している.ATDC80deg.ではATDC20deg.に比べ摺動速度が速くなるため,油膜形成にくさび効果の影響が強い状態となっている.本結果から,表面粗さが平滑化された状態ではくさび効果がより促進されていると考える.

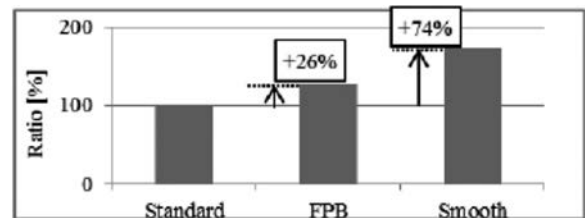


図14 表面性状3種のスカート油膜厚さ変化率 (ATDC80deg.) [出典:文献10)]

また図15にエンジン回転1000rpm,モータリング,スロットル全開におけるStandard,FPB,Smoothの摩擦力の推移を示す.先ほどの油膜厚さを計測したATDC20deg.とATDC80deg.について着目すると,ATDC20deg.では摺動面垂直荷重が大きくなることで摩擦力も大きくなり表面性状3種類の差が大きく表れ,また油膜厚さとの相関も見られる.対してATDC80deg.では摺動面垂直荷重が小さくなることで摩擦力が小さくなり表面性状3種類の差も小さくなった.このことからピストンスカートの潤滑状態の変化は,摺動面垂直荷重が大きい時に摩擦へ大きく影響することがわかる.

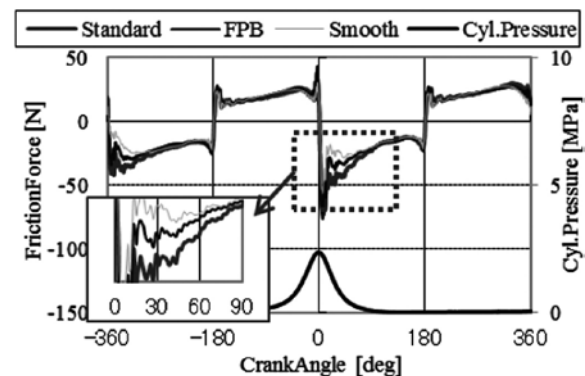


図15 表面性状3種の摩擦力推移 [出典:文献10)]

4. おわりに

エンジン熱効率を上げることは今後のカーボンニュートラルに大きく貢献でき、そのためには個々の要素技術の更なる開発が必要である。本研究では、ピストンスカート部の潤滑現象の観察と観察結果に紐づいた計測結果から摩擦発生メカニズムを明確にしたが、この結果を予測技術へ反映し要素技術開発を加速していくことが重要であり、現在取り組みを進めている。

最後に本研究遂行にあたり、油膜厚さ計測については、群馬大学大学院 理工学府 石間経章教授また鈴木秀和様、摩擦測定については、東京都市大学 理工学部 伊東明美教授に多大なるご協力を頂いた。ここに篤くお礼申し上げます。

なお本稿は、一般社団法人 日本トライボロジー学会発行 トライボロジスト 第67巻 第2号(2022)に掲載された解説記事「エンジン実働中のピストンスカートにおける潤滑状態と摩擦特性」を著作権者の許可を得て再編集したものです。

参考文献

- 1) 経済産業省:2050年カーボンニュートラルを巡る国内外の動き(2020).
- 2) 経済産業省:2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2020).
- 3) 三原:自動車のトライボロジーに関する産学連携研究のこれまでとこれから,トライボロジスト,65,6(2020) 329.
- 4) 科学技術振興機構:SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)革新的燃焼技術成果集(2019).
- 5) 山川:ピストンの摩擦抵抗技術の動向,トライボロジスト,62,12(2017) 754.
- 6) 藤田・加藤・石間・金井・鈴木・小保方:ピストンプロフィールが潤滑油膜挙動に与える影響,自動車技術会論文集,Vol.42,No.1,20174438(2017).
- 7) S.FURUHAMA & M.TAKIGUCHI:Measurement of Piston Frictional Force in Actual Operating Diesel Engine,SAE TRANSACTIONS,790855(1979).
- 8) 伊東:エンジンの低摩擦化を支える計測技術,トライボロジスト,65,7(2020) 431.
- 9) 伊東・山坂・岡本・森本:浮動ライナー法による各種ピストン摩擦力測定装置の比較,自動車技術会論文集,Vol.48,No.3,20174438(2017).
- 10) 垂澤・山口・山川・小田橋・石間・鈴木:ピストンスカート部の可視化による潤滑状態の研究,自動車技術会論文集,Vol.47,No.5,20164530(2016).
- 11) 金井・垂澤・藤原:ガソリンエンジン用ピストンのフリクション低減技術,自動車技術会論文集,Vol.44,No.2,20134192(2013).

筆 者



小林 邦彦

アート金属工業株式会社
研究開発本部 製品技術部
ピストン機能検証技術開発に従事

海外法人便り

イムラアメリカの最近の研究

Current Research Activities at IMRA AMERICA

大竹 秀幸
Hideyuki Ohtake

概要

イムラアメリカは1990年に設立以来、主にフェムト秒ファイバレーザの先端研究に注力してきた。ここから様々なテーマが派生し、研究の幅が広がりつつある。今回は通信にも応用可能な光集積化技術であるマイクロ光コムの紹介を行う。

1. はじめに

イムラの名前はフランス語のInstitute Minoru de Recherche Avancée がその由来となっており、1986年にフランスで設立されたイムラヨーロッパが最初のイムラを名乗る研究所であった。イムラアメリカは、イムラヨーロッパに遅れること4年、1990年5月にミシガン州アナーバー市というミシガン大学の大学街に設立された^{1,2)}(図1) 設立に際してはアイシントップの以下の3つの思想が取り入れられ、現在でもよりどころとなっている。

- ①海外の優秀な人材を活用した研究推進、
- ②科学・技術の調和的発展、
- ③開発を通して世界の信頼を得る

設立当時、4つの研究テーマが多国籍チームでスタートし、その後チーム間の競争により、「フェムト秒ファイバレーザ」に淘汰・集約されていった。競争に勝ち残ったチームは情熱を持って先端研究発表を行い、レーザに関連する国際学会ではイムラの名を知らない者は“もぐり”といわれるまでになった。知財権確保に注力し、言葉の壁や弁理士が先端技術を理解してくれないという課題を抱えながらも徐々に克服し、現在では創立以来累計400件を超える成立特許を持つまでになった。

2000年代後半に遭遇した課題はフェムト秒レーザをどのような用途に使用するのか、ということであった。既に一部の読者には周知かもしれないが、フェムト秒(femto second, fs)とは 10^{-15} 秒を意味するSI接頭語fで、100fsのフェムト秒レーザと呼ばれるものは 10^{-13} 秒だけONになり、そこから数十ns～数十 μ sのOFF時間の後に、再度 10^{-13} 秒だけONになる、ということを繰り返す

すレーザである。 10^{-13} 秒、つまり10兆分の1秒の時間に光子を閉じ込めることができるため、高精度な計測や精密な加工が可能となることが大きな特長であった。さらにすべての光路をファイバで構成することができるファイバレーザの強みを活かし、外乱に強く、かつコンパクトに構成できるフェムト秒ファイバレーザが開発された。この特長により、超高速計測機器である光サンプリングオシロスコープ、白色LED生産用のレーザ、近視矯正治療機向けレーザ応用などへ展開されているが、この内容は11年前の創立20年時に吉田睦氏が詳しく寄稿されているので、割愛する¹⁾。その後、2013年から2016年にかけて高出力レーザの開発が行われ、同時にユニット生技部、機関技術部(いずれも当時)と連携したピストンの摺動抵抗低減を目指したクロスハッチ加工技術の開発も実施され、結果として30ワット級の高出力フェムト秒ファイバレーザが号口生産に利用されるようになった³⁾。詳細は堀田芳敬氏の寄稿を参照されたい。



図1 イムラアメリカの全景

2. 現在の研究テーマ概要

現在の研究テーマは、いずれも前出のフェムト秒ファイバレーザから派生した技術を基にしたものであり、以下に述べる4つの研究テーマを進めている。

・ファイバ光コム

フェムト秒レーザのパルスを高精度制御する位相制御技術から発展した技術で、高精度計測応用などに利用される。東京大学の香取先生が東京スカイツリーで行ったアインシュタインの相対性理論の実証実験にも利用され、「地上450mにある展望台の時間は地上よりも1日に4ナノ秒(nano second, ns: 10^{-9} 秒)だけ早く進む」という実証にも貢献している。^{4,5)} 相対性理論の実証実験に用いられた「光格子時計」は香取先生が発明された超精密時計であり、時間の標準ともなり得るため、香取先生はノーベル賞候補にも挙げられている。光格子時計は小型化も進められ、先進開発部と東京大学、理化学研究所の協業で車両搭載型の光格子時計が開発されるなど、高速、低遅延を目指す次世代通信の基幹クロックとしても期待されている。⁶⁾

・マイクロ光コム

ファイバ光コムを半導体基板上にチップ化する光集積化を目指して研究を開始。ミリ波帯域と呼ばれる300GHzで発振可能であるため、超高速無線通信の光源としても応用できる。⁷⁾ 現在、国プロ(総務省Beyond 5Gプロジェクト)を獲得しており、1秒間・1チャンネル当たり100ギガビットを超える無線通信に成功している。現在の5Gの平均下り速度は毎秒300メガビット程度なので⁸⁾、イムラアメリカのミリ波無線通信は5Gの300倍以上の通信速度を実現している。

・グリーンレーザ

レーザ発振媒質には通常、結晶が使われるが、セラミックは大量生産が可能で低コスト、さらに材料組成の自由度も高いためレーザ媒質として期待されている。他方でセラミックは内部に生成される気孔による散乱が多く不透明となるため、特に波長の短いグリーンやオレンジの可視光領域でレーザ発振は困難とされていた。イムラアメリカでは材料と製造技術の改良によるセラミック透過率の向上を進め、透明度の高い試料が作製できるようになってきた。さらに、この内製のセラミックに対してパルス光励起実験を行ったところ、可視光(オレンジ色)での

発振に世界で初めて成功した。

・マルチガスセンサ

フェムト秒レーザを水中で金属に照射するとナノコロイドと呼ばれるナノ粒子を生成することができる。このレーザナノ化技術は様々な種類の材料に適用できるため、材料選択自由度が高く、一般的にはナノ化が難しい酸化物半導体をナノ化することも可能となる。イムラアメリカでは様々な酸化物材料の評価を進めており、これらの酸化物半導体はそれぞれ固有のガス感度や応答時間を有しているため、複数の材料を用いてマルチセンサを構成すれば、ヒトの嗅覚細胞を模倣するようにガス選択性を実現することが可能となる。また、水素計測では濃度0.1ppmが計測可能なレベルまで達している。

今回は研究トピックとしてマイクロ光コムを紹介し、その特性と応用に関して解説する。イメージをつかんでいただくために、現象的な説明を行っているので、厳密性においては十分でないことを予め宣言しておく。

3. マイクロ光コム

3.1 マイクロ光コムの動作原理

マイクロ光コムは図2(a)に示すように半導体基板上に作られた共振器で、円状導波路と線状導波路で構成される。動作原理は以下の通りである。

線状導波路(i)側から励起光が伝搬し、接合点(ii)で励起光の一部が円状導波路に入射する。円状導波路内に入った光は周上を回転するが、円状導波路内で光が定在波として存在しようとした場合、周長が波長の整数倍になる必要があるため、図2(b)の関係が必要となる。つまり、共振で許される周波数がとびとびの値となる。

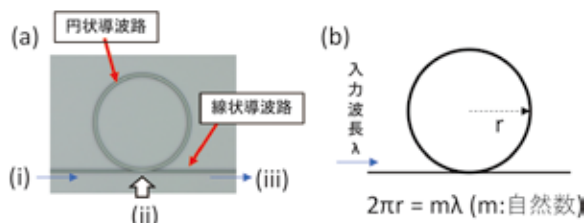


図2 マイクロ光コムの概略図

(a) 半導体基板上に作製されたマイクロ光コムの画像
(i) 励起光入射ポート、(ii)線状導波路と円状導波路の接点、
(iii) 出射ポート (b)円状導波路の寸法と共振周波数の関係
rは半径、λは波長を示す。

簡単化のために図2(b)の共振条件で許された周波数を ω_0 と仮定する。(蛇足ではあるが、 $\omega_0 = c/2\pi\lambda$ 、c: 光速、の関係である) ω_0 の光は接合点(ii)を通るたび、

一部が(iii)側へ出力される。さらに(i)側からの励起光強度を上げると、円状導波路の内部で非線形現象が発生する。この非線形現象は ω_0 とは異なる周波数の光を新たに創り出す「四光波混合」と呼ばれる現象で、同じ周波数の4つの光子が相互作用して、異なる周波数の光子を複数個創り出す現象である。簡単に述べると、元々 ω_0 であった光子2個が相互作用し $\omega_0 \pm \delta$ が生成され、次に $\omega_0 \pm \delta$ の光子が相互作用し、 $\omega_0 \pm 2\delta$ が生成される、という具合に異なる周波数が次々に発生していくことを意味している。⁹⁾ 重要な点は δ という周波数で離散的な値をもった周波数しか発生しないということである。 δ は円状導波路の長さで決まる周波数で、

$$\delta = c / (2 \pi r n), \quad n: \text{導波路の屈折率}$$

であり、 δ を300GHzにしたい場合はマイクロ光コムの直径を約10 μm にすればよい。こうして図3に示すような光コムの発生が可能になる。図3からわかるように、光コムのスペクトルはとびとびの値を取るため、櫛形状をしており、そのため英語の「櫛」という意味でComb(コム)と呼ばれている。

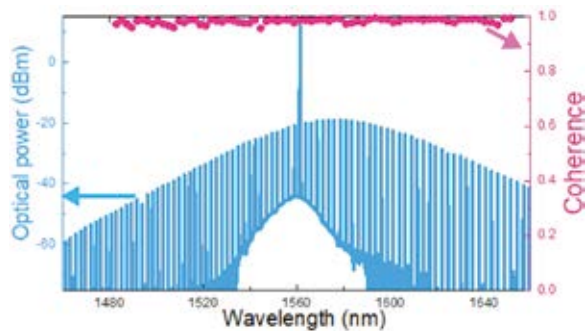


図3 光コムのスペクトル

光コムのスペクトルは離散的なピークをもつ。1560nm付近にある一番高いピークは励起光であり、このピークを中心に等間隔で光コムのピークが並んでいる。光コムの間隔は図2(b)の円形導波路の大きさに依存する。⁹⁾ 左の軸が出力、右の軸がコヒーレンスを示しており、位相が揃った光が出力されていることがわかる。

3.2 光の「集積回路」化

今までの光コムはファイバレーザで作製されており、図4左のような大きさであり、汎用性に欠けていた。しかし、マイクロ光コムは直径100ミクロンの導波路であり、しかも半導体基板上に作製できる。もし、この基板上に光源であるレーザダイオードや変調器、光学素子を同一に搭載することができれば、光コムレーザがワンチップで構成されることになる(図4)。これは真空管で構成されていたコンピュータがICに集約された事実と同じことが光領域でおこる可能性を示唆している。そうなれば、ワンチップのフェムト秒レーザも夢ではなくなるのである。マイクロ光コムは光集積回路化へのきっかけとなるデバイスと認識している。

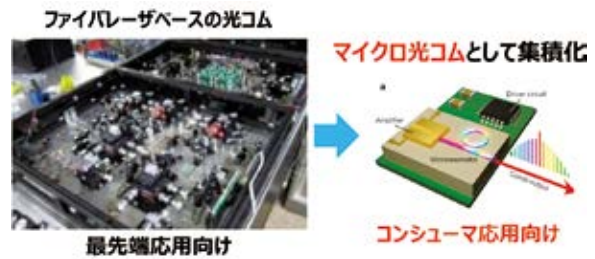


図4 光集積回路の概念

(左図)ファイバレーザで作製した光コム。定盤上に多くの光学部品が並んでいる。(右図)左図の光コムをマイクロ光コムを用いて集積化した概念図。すべての光学部品が基板上に作製され、導波路からは光コムの出力が得られる構造になっている。

3.3 ミリ波無線通信への応用

3.1で述べたように、マイクロ光コムは300GHz周辺のミリ波帯域で発振することが可能である。このスペクトルを図示すると、図5(a)のように波長1.5 μm 付近を中心に300GHzの間隔で周波数軸上に並んだ光が導波路の中を伝搬している状態、となっている。しかし、実際に無線通信を行う際にはすべての光コム信号を使う必要はなく、最低2本あれば通信が可能になる。そこで簡単化のため、この中から2本の成分だけを取り出し、図5(b)のような状態をつくることを考える。

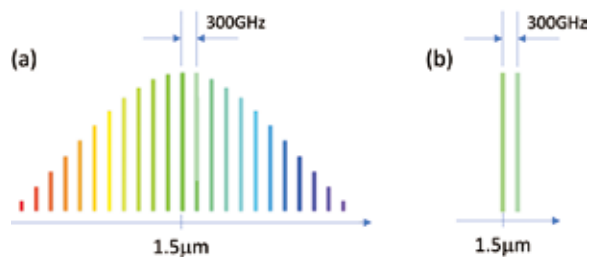


図5 マイクロ光コムで発生した光

(a)光コムの模式図。周波数軸上で300GHzの間隔で光コムが並んでいる。(b)2本の光コム成分を(a)から抜き出した状態の模式図。2本の光コムがあれば無線通信は可能になる。

この2本のコムを高速応答するフォトダイオードに入射させると、どうなるであろうか?(図6)結論から言うと、ミリ波が空中に放射される。フォトダイオードに入射する2本のコムは波長が1.5 μm 帯域で、周波数が300GHz離れた光である。このような光が入射すると「うなり」の現象が観測される。実際にフォトダイオードへ光が入射すると、伝導体へ励起される電子はうなりによる変調を受け、300GHzで高速に揺さぶられる。マックスウェル方程式によれば、電流の時間微分が電磁波の放射を発生させるのであるから、電子が300GHzで変調されれば、時間微分の項が発生し、結果としてフォトダイオードから300GHzの電磁波、つまりミリ波が放射される。これがミリ波の発生原理(送信過程)となる。¹⁰⁾

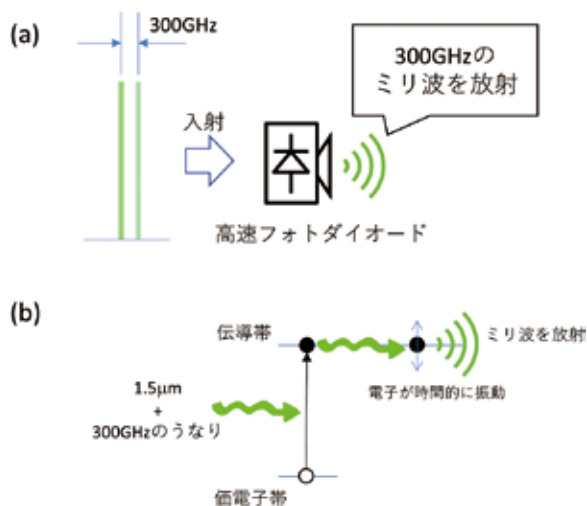


図6 ミリ波発生原理

(a)2本の光コムが高速フォトダイオードに入射すると、うなり成分である300GHzのミリ波が空中に放射される。このミリ波を用いて無線通信を行う。(b)ミリ波が発生する原理の模式図。300GHzで変調された光(1.5 μ m+300GHzのうなり)が価電子帯から伝導帯へ電子を励起し、その電子が300GHzで振動し、ミリ波を空間に放射する。

受信過程はこの逆過程となる。空間を伝搬してきたミリ波がアンテナを通じてフォトダイオードに照射され、内部の電子が300GHzの変調を受け、その信号は電気的な300GHzの信号に変換される。

この装置を実際の無線通信に利用する構成が図7である。通信形態はアナログ無線通信に似た形式で、セルフヘテロダインと呼ばれている。通常、変調と復調を同じ光源で行う構成をホモダインと呼ぶが、その場合、ミリ波を発生させた際に搬送波の片側にしかサイドバンドが存在しない。これを両方に存在させるには光源をオフセットさせる必要があり、そのような操作を行ったホモダインをセルフヘテロダインと呼んでいる。マイクロ光コムで生成された2本のコムは分波器で分岐され、上側が信号伝送、下側が復調に使用される。上側の信号は強度変調器(IM)に任意波形発生器からの信号を導入し、搬送波の両側にサイドバンドとして信号を乗せる。これを高速フォトダイオード(Uni-Traveling Carrier Photo Diode, UTC-PD)に入射し、ミリ波を発生させる。ミリ波はうなり成分であるので、300GHzの無線となり空間を伝搬していく。これを検出器であるミキサに導入する。他方で下側の復調用信号は到達距離調整を行う遅延を通過した後、同様に高速フォトダイオードに導入され、300GHzの電気信号を発生させる。¹⁰⁾

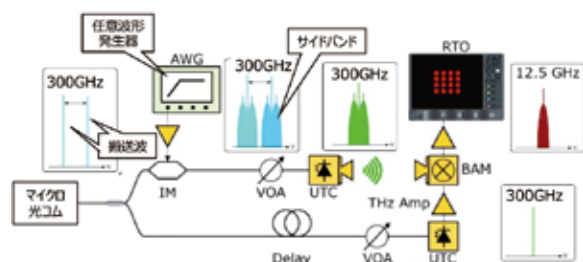


図7 無線通信機構の概要

IM:強度変調器,VOA:光学アッテネータ,BAM:バランスアンプミキサ,Delay:光学遅延回路,THz Amp:テラヘルツ領域の電気アンプ,UTC:単一走行キャリアフォトダイオード。

両者はミキサに導光されるが、ミキサは両者の差分をとる素子として機能する。つまり、上側信号から下側信号の差分を取ることで、搬送波成分である300GHzの成分が差し引かれ、先ほどIMで乗せたサイドバンドの成分だけ、つまり信号だけが低周波の電気信号として抽出される。実験ではこの低周波信号をオシロスコープなどで計測し、その信号品質をモニタし評価を行っている。

現在、図7に示した装置を用いた通信実験では1秒間、1チャンネル当たり100ギガビットを超える通信速度を実現しており、これらはマイクロ光コムを用いた世界記録となる通信速度に達している。今後は更なる高性能化を図り、2023年度末には1秒間、1チャンネル当たり200ギガビットを目指して研究を進めている。このような高速、高密度通信は通信の時間遅延(レイテンシ)が非常に小さくなるため、自動運転や隊列走行などのモビリティ応用だけでなく、車車間、車歩間、車路間の超多数同時接続を利用した新たなサービスの創出、少しの遅れが致命的となる遠隔手術などの医療応用など、様々な分野への応用が期待されている。このような期待はあるものの、ミリ波の物理的特性として遠くまでは飛ばないため、カバーできる領域が狭いというデメリットや、直進性が良いため電波のような回り込みができないなどのデメリットもある。上記のような特性をもった技術をどのようにに社会実装していくかということになると、様々な用途を俯瞰した開発が必要となるが、イムラアメリカ単体では実現が困難であるため、アイシンと一体となって用途開拓を進めている。また、通信で使われるデバイスは単体でもセンサとして機能するため、これらを応用する用途開拓も併せて行っている。

4. おわりに

現在までにお世話になっていた顧客、共同研究者、アイシン関連部署の方々、トップを含めた上司、イムラアメリカの研究者とその家族に深く感謝し、今後とも温かい目と叱咤激励をいただく事をお願いしたい。

参考文献

- 1) 吉田睦(アイシン技報):イムラアメリカ創立20周年を迎えて, pp.74-78(2011)
- 2) 戸嶋裕基(アイシン技報):イムラヨーロッパの近況, pp.53-55 (2020)
- 3) 堀田芳敬(アイシン技報):超短パルスレーザを用いたピストンスカート部の低フリクション化技術, pp.19-22(2019)
- 4) 大前宣昭, 久世直也, Martin E. Fermann, 香取秀俊(応用物理学会77回秋季学術講演会):光格子時計比較の安定度向上に向けた全偏波保持・単一ポートエルビウムファイバコムの開発および安定度評価, 15p-C32-12(2016)
- 5) Masao Takamoto, Ichiro Ushijima, Noriaki Ohmae, Toshihiro Yahagi, Kensuke Kokado, Hisaaki Shinkai and Hidetoshi Katori (Nature Photonics):Test of general relativity by a pair of transportable optical lattice clocks, Vol.14, pp.411-415(2020)
- 6) 牛島一朗 量子計測・センシング技術推進委員会若手インタビュー:https://qforum.org/topics/qms_young_interview02
- 7) Tomohiro Tetsumoto, Tadao Nagatsuma, Martin E. Fermann, Gabriele Navickaite, Michael Geiselmann and Antoine Rolland (Nature Photonics):Optically referenced 300 GHz millimetre-wave oscillator, Vol.15, pp.516-522 (2021)
- 8) 株式会社イード Automotive Media Response:<https://response.jp/article/2021/07/03/347336.html>
- 9) Amnon Yariv(丸善出版):光エレクトロニクス 展開編, pp.101-110(2014)
- 10) Thomas Kurner, Daniel M. Mittelman, Tadao Nagatsuma (Springer) :THz Communications, pp.299-316(2022)

筆 者



大竹 秀幸

イムラアメリカインク
社長 博士(理学)技術士(応用理学)

受賞

社外受賞テーマ一覧(2022年1月～12月)

* 受賞者の所属名は受賞時点のものです。

部署名	受賞日	受賞名	受賞テーマ	受賞者	協業部署
車体第1技術部	2022.1.1	トヨタ自動車プロジェクト表彰「技術の部」	スイングドアのeラッチシステム	車体第1技術部 松岡篤司	
走行安全第1制御技術部	2022.2.1	トヨタ自動車プロジェクト表彰「技術の部」	リモート機能付き自動駐車	走行安全第1制御技術部 第1システム開発室 田中 健太郎 走行安全第1制御技術部 第1システム開発室 第1グループ 友澤 元克	デンソー J-QuAD
車体第1技術部	2022.2.1	トヨタ自動車プロジェクト表彰「技術の部」	スライドドア連動格納式ユニバーサルステップ	車体第1技術部 野村 啓介	
車体第1技術部	2022.2.1	トヨタ自動車プロジェクト表彰「技術の部」	マニュアルバックドアの中間停止装置(中間ストッパー)	車体第1技術部 福田 貴行	
車体第1技術部	2022.2.1	トヨタ自動車プロジェクト表彰「原価の部」	PSDブラシレスACT	車体第1技術部 河北 哲	
走行安全第1制御技術部	2022.3.1	トヨタ自動車「技術開発賞」	シフト・バイ・ワイヤ	走行安全第1制御技術部制御開発室 松本 健 走行安全第1制御技術部制御開発室 荻野 淳人	先進開発部 第2開発室 走行安全技術部 第三シャシー開発室 第三グループ
車体第1技術部	2022.3.4	トヨタ自動車「技術開発賞」	スライドドア連動格納式ユニバーサルステップ	車体第1技術部 野村 啓介	
走行安全技術部	2022.3.4	トヨタ自動車「技術開発賞」	SBW(シフトバイワイヤ)	走行安全技術部 桑原 真也	走行安全第1制御技術部 ECU技術部
走行安全第1制御技術部	2022.6.17	愛知県発明協会 愛知発明表彰 発明奨励賞	発明内容 駐車支援装置 特許6915302号	走行安全第1制御技術部 第1システム開発室 加藤 雅也 走行安全第1制御技術部 第1システム開発室 第1グループ 今井 規夫	-
その他特記事項 発明奨励賞は社会性(安全性、環境保全等の社会的効果)に寄与					
走行安全第1制御技術部	2022.8.22	2022 R&D 100 Awards	Driver Monitor System for Advanced Drive	走行安全第1制御技術部 第2システム開発室 山田 善之 走行安全第1制御技術部 第2システム開発室 大須賀 晋 走行安全第1制御技術部 第2システム開発室 第2グループ 平槌 崇 走行安全第1制御技術部 第1システム開発室 第4グループ 山田 祐也 走行安全第1制御技術部 第2システム開発室 第2グループ 友末 和寛 先進開発部 第5開発室 河合 雄太 走行安全第1制御技術部 第2システム開発室 第2グループ 服部 哲也 走行安全第1制御技術部 第2システム開発室 清水 達皓	Co-Developers: Toyota Central R&D Labs., Inc.; Toyota Motor Corporation; Woven Core, Inc. Japan
その他特記事項 https://www.rdworlonline.com/rd-100-2022-winner/driver-monitor-system-for-advanced-drive/					
走行安全技術部	2022.10.1	トヨタ自動車プロジェクト表彰「技術の部」	大舵角DRSシステム開発	走行安全技術部 第1シャシー開発室第1G 走行安全技術部 品質・統括室評価第1G	走行安全第2制御技術部 ECU技術部
ECU基盤技術部	2022.10.4	日科技連・第51回信頼性・保全性・安全性シンポジウム「奨励発表賞」	QFN部品の熱衝撃事前評価レス検討～予測・判別式を用いた接合寿命予測～	ECU基盤技術部 先進要素開発室 林航平	
アイシン	2022.10.7	2022年度グッドデザイン賞	温水洗浄便座(シャワートイレ INAX KA/KB/RAシリーズ)	アイシン	LIXIL
その他特記事項 会社ホームページ、actより					
アイシン	2022.10.7	2022年度グッドデザイン賞	デリバリーサービス(めしクルー)	アイシン	
その他特記事項 会社ホームページ、actより					
走行安全第1制御技術部	2022.11.25	公益社団法人発明協会 中部地方発明表彰 発明奨励賞	発明内容 駐車支援装置 特許6915302号	走行安全第1制御技術部 第1システム開発室 加藤 雅也 走行安全第1制御技術部 第1システム開発室 第1グループ 今井 規夫	-
その他特記事項 発明奨励賞は社会性(安全性、環境保全等の社会的効果)に寄与					
第1ユニット生技部	2022.12.6	トヨタ自動車「技術開発賞」	THS5世代用 MG2ステータ高速SC成形機の開発	第1ユニット生技部 太田 貴憲	設備工機部

社外発表論文・投稿リスト(2022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。
 なお、海外での発表はNo.に※印が表記してあります。その他は国内での発表です。
 * 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	Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE)	MEMS2022	RECONFIGURABLE PLASMONIC PHOTODETECTOR INTEGRATED WITH ELECTROSTATIC ACTUATOR FOR SPECTROMETRY	イムラ・ジャパン	齋藤 史朗
※2	1月	Neural Networks (International Neural Network Society, European Neural Network Society & Japanese Neural Network Society)	Neural Networks	S2NN: Time Step Reduction of Spiking Surrogate Gradients for Training Energy Efficient Single-Step Neural Networks	DS部 先進開発部	(DS部) 澤田 好秀 池川 慎一 (先進開発部) 末武 一馬 齊院 龍二
※3	1月	Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE)	Compumag2021	2.5-D Multi-Phase Topology Optimization of Permanent Magnet Motor Using Gaussian Basis Function	走行安全技術部 先進開発部	(走行安全技術部) 佐藤 智宏 (先進開発部) 末次 恵久 藤岡 英二
4	1月	自動車技術会	自動車技術会 機関紙「宙舞」92号	今さら聞けない自動車の豆知識 仮題「Nレンジの正しい使い方」	T/M技術部	大村 雅洋
※5	2月	INSTICC, the Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication	VISAPP2022, the 17th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications	A Hardware-Oriented Algorithm for Human Detection using GMM-MRCoHOG features	先進開発部	山田 英夫
6	2月	QCサークル総合・交流大会	第6353回 QCサークル総合・交流大会	コーティング作業工数の低減 ～環境変化に対応した取組み～	試作部	長坂 雄太 山本 拓弥
※7	2月	Sensors(MDPI)	Sensors	Rethinking the role of normalization and residual networks for spiking neural network	DS部 アイシン・ソフトウェア	(DS部) 池川 慎一 澤田 好秀 名取 直毅 (アイシン・ソフトウェア) 齊院 龍二
※8	2月	コーネル大学	arXiv	Rethinking the role of normalization and residual networks for spiking neural network	DS部 アイシン・ソフトウェア	(DS部) 池川 慎一 澤田 好秀 名取 直毅 (アイシン・ソフトウェア) 齊院 龍二
※9	2月	Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE)	IEEE Access	Concept Bottleneck Model with Additional Unsupervised Concepts	DS部	澤田 好秀 仲村 佳悟
※10	2月	コーネル大学	arXiv	Concept Bottleneck Model with Additional Unsupervised Concepts	DS部	澤田 好秀 仲村 佳悟
11	2月	日本分析化学会 ガスクロマトグラフィー 研究懇談会	第376回ガスクロマトグラフィー 研究会特別講演会	ヒト皮膚から放散する 微量生体ガスの測定とその利用	先進開発部	山口 秀明 中沖 優一郎 末次 恵久
12	2月	関東経済産業局	水素セミナー	家庭用燃料電池「エネファーム Type S」の紹介と新規参入の期待	ES技術部	坂本 和教
13	2月	つばさ会会員	つばさ会企画部会活動報告	つばさ会 企画部会活動報告講演	生産革新推進部	佐藤 雅則
14	2月	アイシングループ	第72回オールアイシン 研究発表会	ピストン向け 遮熱表面処理材料の開発	PTモータ技術部 アート金属工業	(PTモータ技術部) 田口 陽介 (アート金属工業) 山川 直樹 山野井 亮子

No.	発表月	発表先(主催)	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
15	2月	アイシングループ	第72回オールアイシン研究発表会	イベントセンサによる距離センシング技術	電子先行開発部	梶原 孝蔵
16	2月	新会社システム総合研究所	新会社システム総合研究所セミナー	カーボンニュートラルを目指した電動化の現状&課題と将来の見通し	パワートレインカンパニー	安部 静生
※17	2月	ASME-AMER SOC MECHANICAL ENG	Journal of Mechanical Design	Novel transmission mechanism combining self-excited vibrations and one-way clutches	先進開発部	遠山 智之 森 重文
18	2月	ウェーブフロント	ウェーブフロント ホームページ	SimericsMP+(旧称Pumplinx)を用いた電動ポンプのCFD解析	PT電動アクチュエータ技術部	畑 浩一
19	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	ユニバーサルステップ開発	車体第1技術部	野村 啓介
20	3月	精密工学会 画像応用専門委員会	DIA2022 (動的画像処理実利用 ワークショップ2021)	立体形状を有する大型金属部品の 外観検査DNN のための学習用 データセットに関する検討	DS部 生産革新推進部	(DS部) 武藤 功樹 (生産革新推進部) 宮永 裕介 市川 尋信
21	3月	画像の認識・理解 シンポジウム	MIRU2022	教師無し概念学習:Contrastive Self-Explaining Neural Net- work	DS部	澤田 好秀 仲村 佳悟
22	3月	JCF-RS: Japan Cold Fusion Research Society (日本常温核融合 研究会)	JCF22(第22回 JCF研究会)	・New MHE Experiments by D-System(D系装置によるMHE実験) ・Characteristics of Excess Power Generation in MHE Experiments by D-System(MHE評価装置Dシステムで の過剰熱発生の特性)	テクノバ	長谷川 雅彦 高橋 亮人 森 豊 蜂須賀 譲二
23	3月	日本音響学会	2022年春季研究発表会	音圧レベルの低い摩擦音の 検出性能改善	DS部	高部 晃好 宗戸 俊樹 伊藤 秀浩
24	3月	大阪商工会議所	水素関連産業技術ニーズ説明会	家庭用燃料電池コージェネレーション システムの新技术ニーズ	ES技術部	鈴木 吾朗
25	3月	日本金属学会	春期講演大会	熱電発電の希望と課題	ES技術部	小島 宏康
26	3月	日本物理学会	日本物理学会 第77回年次大会	新ラベス相超伝導体BaIr2の 高压合成と超伝導特性	イムラ・ジャパン	川島 健司
27	3月	電子情報技術産業 協会	JEITA熱設計セミナー(DX 時代 の熱設計-新たな半導体パッ ケージモデルの創出-)	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	解析技術部	青山 泰崇
28	3月	新エネルギー・ 産業技術総合開発 機構(NEDO)燃料 電池実用化推進 協議会(FCCJ)	SOFC/SOEC課題共有フォーラム	エネファームの普及拡大に向けた 取り組み	ES技術部	遠藤 聡
29	3月	応用物理学会	2022年 第69回応用物理学会 春季学術講演会	微粒子磁気配列による 細菌の定量的検出	イムラ・ジャパン	牛島 栄造
30	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	アイシングループの カーボンニュートラルへの取り組み	CN技術開発部	平塚 一郎
31	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	鋳鉄電気炉溶解のロス低減と 効率化によるCO ₂ 排出量削減	アイシン高丘	川端 祥敬 長山 真 青木 正輝
32	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	環境対応車向け電子制御 ブレーキシステムの開発	アドヴィックス	遠藤 亮祐 石田 康人
33	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	移動時の安心・安全・快適をサ ポートする「エントリー」「見守り」 システム	ボデー先行開発部 CSSカンパニー統括部	(ボデー先行開発部) 藤井 宏行 山本 武志 桐生 知仁 森岡 俊光 (CSSカンパニー統括部) 本多 浩一郎
34	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	低コストで乗降性を向上する スライドドア 連動格納ステップ: ユニバーサルステップ	車体第1技術部	風間 真司 森 健太 多田 武史 野村 啓介
35	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	機電一体、小型高出力で且つ 高位置制御可能な シフトパイワイヤの開発	走行安全技術部	桑原 真也 葛生 論史 鈴木 恵司 大橋 正和

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	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	外観検査における 画像全域監視技術	生産革新推進部	李 国鑫 吉田 和導 福田 明博
37	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	リッターカー及び 軽自動車用新CVTの開発	AW第2技術部 T/M技術部	(AW第2技術部) 西澤 泰樹 藤堂 穂 (T/M技術部) 大越 直樹 伊藤 正泰
38	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	駐車区画検知のための 『Unreal Engine』活用 ～次世代自動駐車システム実現に向けて～	先進開発部	小久保 嘉人
39	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	X線回折によるナノサイズ 水粒子の挙動解析	イノベーション センター	井上 慎介 田端 友紀 平野 明良
40	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	小型分散型バイオガス発電 システムによる循環社会の実現に 向けた事業化への取り組み	イノベーション センター	河合 泰典 土井 将一 久城 款
41	3月	アイシン技術会	アイシン技報2022VOL26	激しい変革の時代の中で 北米テクニカルセンターの取り組み	AISIN TECHNICAL CENTER OF AMERICA	岩附 龍矢 伊藤 功一
42	3月	日本化学会	第102春季年会	熱電発電の可能性と課題	ES技術部	小島 宏康
43	3月	高輝度光科学 研究センター	SPRING-8/SACLA利用 研究成果集	PEDOT:PSS[ポリ(4-スチレンスルホン酸) をドーパしたポリ(3,4-エチレンジオキシチオ フェン)]の階層的なナノ構造と吸放湿特性	イノベーション センター	田端 友紀
44	3月	自動車技術会 車室内環境技術部 門委員会	自動車室内環境2022 総合技術レビュー	第3章 空気質 3.3.4 ガス・においセンサー	電子先行開発部	鈴木 琴江
45	4月	QCサークル東海支部 愛知地区	第6439回QCサークルいきいき 事例研究大会	全員参加での挑戦! 自主保全活動による粉体残り撲滅	西尾ダイカスト 工場	久野 勝由 湯前 勝也
46	4月	エヌ・ディー・エス	モータにおける熱の発生と 解析・熱対策	電動スライドドア駆動モータの 熱シミュレーション技術	ボデー先行開発部 解析技術部	(ボデー先行開発部) 浅見 瞭 (解析技術部) 渡邊 寛隆 青山 泰嵩
※47	4月	Automotive Grade Linux/The Linux Foundation	Speaking Invitation for AGL Tech Day! 2022	Status update for Instrument Cluster EG.	アプリケーション デザイン部	山口 直人
48	4月	クリーク・アンド・リ バー社(C&R社)	ゲーム開発者、映像制作者の 為のノンゲーム分野における Unreal Engine事例紹介 ～自動車と映像業界～	何故、今ゲームエンジンなのか?	先進開発部	谷 昌樹
※49	4月	IWAENC2022	IWAENC2022	Semi-supervised Domain Adapta- tion for Acoustic Scene Classifica- tion by Minimax Entropy and Self- supervision Approaches	DS部	高橋 友紀子 高橋 佐和 名取 直毅
※50	5月	R&D World (WTWH Media, LLC社)	R&D 100 Awards	Driver Monitor System for Advanced Drive	走行安全第1制御 技術部	山田 善之
※51	5月	American Physi- cal Society	Physical Review A	Short Quantum Circuits in Reinforcement Learning Policies for the Vehicle Routing Problem	先進開発部 AISIN TECHNICAL CENTER OF AMERICA	井手 貴範 神谷 一光
※52	5月	Association of European Opera- tional Research Societies	European Journal of Opera- tional Research arXiv	Supply Chain Logistics with Quantum and Classical Annealing Algorithms	先進開発部 AISIN TECHNICAL CENTER OF AMERICA	井手 貴範 神谷 一光
53	5月	日本科学技術連盟	第6360回QCサークル全国大会 (札幌)	フレキシブルレースBrg切り出し器 モーター故障対策	設備工機部	永井 来美 中村 恭規 亀井 恵多
54	5月	日本科学技術連盟	第6360回QCサークル全国大会 (札幌)	異常ゼロヘトライ!～オールメンバーで 挑んだ搬送コンベヤUDUワーク確認 センサー異常撲滅～	安城第2工場	竹内 重久 廣瀬 兼史
55	5月	日本科学技術連盟	第6360回QCサークル全国大会 (札幌)	GFrCAライン インナーロケピン押込み ピン交換時間短縮による工数低減	岡崎東工場	山口 広輔 高橋 昌利

社外発表論文・
投稿

社外発表論文・投稿リスト(2022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
56	5月	日本科学技術連盟	第6360回QCサークル全国大会(札幌)	ECU実装ライン スプラッシング繋ぎ目停止撲滅 ～あきらめずに取り組んだ繋ぎ作業改善～	半田電子工場	丸山 兼 高木 大輔 杉崎 敏浩
57	5月	新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)	SOFC/SOEC 課題共有フォーラム	エネファームの普及拡大に向けた取り組み	ES技術部	遠藤 聡
58	5月	QCサークル東海支部愛知地区	第52回QCサークル愛知地区選抜大会	勇往邁進!体質改革に挑んだ3年間のあゆみ	西尾ダイカスト工場	守田 潤也 硯見 元
59	5月	QCサークル東海支部愛知地区	第52回QCサークル愛知地区選抜大会	羽ばたけヒカリサークル! ～チームで味わう達成感を求めて～	安城工場	梅澤 龍太
60	5月	日本鑄造工学会	第179回全国講演大会 YFE大会	ダイカストアルミ溶湯保持炉整流フィルタの浸食対策による寿命向上	西尾ダイカスト工場	長尾 健太郎 酒井 章年
61	5月	豊田中央研究所	CHUKEN EXPO	摺動面の高潤滑設計のための流体解析・計測技術 駆動部品の潤滑を促進する表面テクスチャリングと動作状態解析	材料技術部	阿部 唯人
62	5月	KEC関西電子工業振興センター	KECニュースレター	ISO 11452-9 2nd edition 2021-10解説	電子信頼性技術部	前田 幸司
63	5月	自動車技術会	2022年春季大会学術講演会	冗長系モータ制御システムのシミュレーション開発	走行安全第1制御技術部 走行安全技術部	(走行安全第1制御技術部) 石川 康太 荻野 淳人 (走行安全技術部) 大橋 佳史
※64	5月	American Chemical Society	Inorganic Chemistry誌	Hidden structural and superconducting phase induced in antiperovskite arsenide SrPd3As	イムラ・ジャパン	二宮 博樹 川島 健司
65	6月	日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2022(札幌)	白色光源を用いた表面プラズモン共鳴式光検出器による分光の研究	イムラ・ジャパン	齋藤 史朗
66	6月	日本皮膚科学会	第121回日本皮膚科学会総会	超微細水粒子を用いた尋常性ざ瘡の治療効果の評価ー薬剤、ビタミンC誘導体による併用効果の検討	イノベーションセンター	横山 慶子
67	6月	日本皮膚科学会	第121回日本皮膚科学会総会	放射光軟X線分光によるナノサイズ微細水の機能解明	イノベーションセンター	田端 友紀
68	6月	日本皮膚科学会	第121回日本皮膚科学会総会	ヒト皮膚角層内に浸透する水の透過挙動の解析	イノベーションセンター	田端 友紀
69	6月	ベルト伝導技術懇話会	総会	アイシンにおけるCVT技術の変遷	T/M技術部	石原 亘
70	6月	CVIM研究会	画像の認識・理解シンポジウム MIRU2022	E2Pose: 高精度及び高フレームレートなEnd-to-End 多人数姿勢推定	DS部	戸部田 雅一 鄭 澤 高椋 佐和 澤田 好秀 名取 直毅
71	6月	CVIM研究会	画像の認識・理解シンポジウム MIRU2022	SG4T1: Surrogate Gradient for T → 1 Spiking Neural Networks	DS部 アイシン・ソフトウェア	(DS部) 池川 慎一 澤田 好秀 (アイシン・ソフトウェア) 末武 一馬 齊院 龍二
72	6月	フレッシュ&チャレンジ大会	6223回フレッシュ&チャレンジ大会	全員参加で挑んだPR-107ラインの頻停低減	新豊工場	橋口 拓実 久保山 龍
73	6月	日本鑄造工学会 鑄造CAE研究部会	シンポジウム	焼付予測手法精度向上の取り組み	軽合金生技部	種田 翼
74	6月	中部圏社会経済研究所	農業の持続的生産とスマート農業研究会	新興国(インド)農村地域での小型バイオガス発電システムによるスマートVillage化	イノベーションセンター	久城 款
※75	6月	コーネル大学	arXiv	C-SENN: Contrastive Self-Explaining Neural Network	DS部	澤田 好秀 仲村 佳悟
76	6月	NVIDIA	NVIDIA AI DAYS	マルチモーダルエージェント“Saya”:対話AIによるヒトへのインタビュー	先進開発部	大須賀 晋
77	6月	NVIDIA	NVIDIA AI DAYS	Jetsonの活用と工場向けソフトのDevOpsの実現	生産革新推進部	萩尾 真二

No.	発表月	発表先(主催)	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
78	6月	車載組込みシステムフォーラム	2022年度第1回ASIFスキルアップセミナー	はじめてのCAN	ソフトウェア基盤技術部	古河 晃
79	6月	中部品質管理協会	2022年度 中部品質管理大会 QCサークル事例発表大会	水平ネジ締め機 空転異常の撲滅	安城工場	富永 典央
80	6月	自動車技術会 中部支部 人と車のテクノロジー展 名古屋2022	研究発表会	形状縞投影による光沢曲面上の欠陥検査技術	生産革新推進部	布田 健悟 高山 宗広
81	6月	自動車技術会 中部支部 人と車のテクノロジー展 名古屋2022	研究発表会	パワースライドドア用 画像認識システム	ボデー 先行開発部	梁井 慶一
※82	6月	Social Sciences & Humanities Open	Social Sciences & Humanities Open	Multilayered Installation Design: A framework for analysis and design of complex social events, illustrated by an analysis of Virtual Conferencing	AISIN TECHNICAL CENTER OF AMERICA	鈴木 崇文
83	7月	日本科学技術連盟	第6370回QCサークル全国大会(姫路)	～限りある資源を未来につなげ!!～ 全員参加で挑戦した油洩れ撲滅活動	城山工場	稲垣 茂 山下 浩和 永田 湊人
84	7月	日本科学技術連盟	第6370回QCサークル全国大会(姫路)	全集中!粗材搬送装置異常撲滅	吉良工場	鈴木 章仁 富田 祐也 古芝 耕三
85	7月	日本科学技術連盟	第6370回QCサークル全国大会(姫路)	エンジン用電動W/P DS20ライン生産性向上～ECRS活動で小改善を～	半田工場	新美 潤
86	7月	日本科学技術連盟	第6370回QCサークル全国大会(姫路)	AS1634 不明な停止時間0化による可動率95%の継続	新川衣浦工場	神谷 宙 小出 克成 深見 正和
※87	7月	DCASE2022 Workshop	DCASE2022 Workshop	A TRAINING SYSTEM THAT PRIORITIZES RARE LABELS IN OVERLAP FOR POLYPHONIC SOUND EVENT DETECTION	DS部	古賀 理恵 高橋 佐和 名取 直毅
88	7月	自動車技術会	自動車技術会フォーラム2022	アイシンのサイバーセキュリティに対する取り組み	ソフトウェア基盤技術部	間瀬 順一
89	7月	QCサークル 東海支部	第52回QCサークル本部長賞 東海支部選抜(運営事例)大会	勇往邁進!体質改革に挑んだ3年間のあゆみ	西尾ダイカスト工場	守田 潤也 石川 大使
90	7月	QCサークル 東海支部	第52回QCサークル本部長賞 東海支部選抜(運営事例)大会	羽ばたけヒカリサークル!～大縄跳びから学んだ達成感を求めて～	安城工場	梅澤 龍太
91	7月	QC Ware	Q2B Tokyo 2022	量子コンピュータが導く最適配送ルート	先進開発部	井手 貴範
92	7月	日本科学技術連盟	第51回信頼性・保全性・安全性シンポジウム	QFN部品の熱衝撃事前評価レス検討	ECU基盤技術部	林 航平
93	7月	宮城県産業技術総合センター	自動車部品サプライヤーにおける三次元デジタル測定と業務効率化	生産ラインの垂直立ち上げに向けた事前検証における実機ラインのデジタルデータ化	第5ユニット 生技部	大内 貴宏 八郷 隆盛
94	7月	海洋堂	ワンダーフェスティバル	Saya×センム AIスペシャルインタビュー	先進開発部	大須賀 晋
95	7月	International Conference on Condensed Matter Nuclear Science (国際凝集核科学会)	ICCF24 (第24回 国際凝集系核科学会)	・MHE Reactions in New Experiment by D-System (新実験DシステムにおけるMHE反応) ・Understanding of MHE power generation Patterns by TSC Theory (TSC理論によるMHE熱発生パターンの理解)	テクノバ	長谷川 雅彦 高橋 亮人 森 豊
96	7月	日本ダイカスト協会	日本ダイカスト協会 技術交流会	アルミ溶解炉の最適燃焼制御技術	軽合金生技部	小林 秀章 野島 哲男 泉 芳範 阿部 佑太
97	7月	NEDO	NEDO水素・燃料電池成果報告会2022	用途拡大を見据えた薄型・高効率 SOFCシステムの実用化開発	CN技術開発部	堀内 幸一郎
98	7月	日本人間工学会	日本人間工学会第63回大会	VR環境と深層学習を用いた自動運転酔いの推定	電子先行開発部	土谷 顕斗
99	8月	エアロゾル学会	第39回エアロゾル科学・技術研究討論会	微細水粒子の帯電計測について	イノベーションセンター	森 隆行 加藤 寛人 井上 慎介

社外発表論文・投稿

社外発表論文・投稿リスト(2022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
100	8月	エアロゾル学会	第39回エアロゾル科学・技術研究討論会	DMAを用いた空気電離イオンの生成特性に関する研究	イノベーションセンター	森 隆行 加藤 寛人 井上 慎介
101	8月	日本美容皮膚科学会	第40回日本美容皮膚科学会総会・学術大会	微細水粒子を用いた化粧品有効成分の皮膚浸透促進効果	イノベーションセンター	田端 友紀 平野 明良 井上 慎介
102	8月	日本美容皮膚科学会	第40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生成器の使用経験	イノベーションセンター	井上 慎介
103	8月	奈良先端科学技術大学院大学	2022年度 グリーン科学の産業展開	機械部品メーカーでのタンパク/酵素応用の研究開発	イノベーションセンター	重森 康司
104	8月	第29回低温物理学国際会議組織委員会	第29回低温物理学国際会議	High-Pressure Synthesis of Ca-Free Hg-Based Double-Layered Cuprate (Hg,M)(Sr,Ba)2SrCu2Oy	イムラ・ジャパン	二宮 博樹 川島 健司
※105	8月	Association of Asia Pacific Physical Societies	The 15th Asia-Pacific Physics Conference (APPC15)	Electronic structure of the superconducting ZrP2-xSex with having Dirac nodal lines	イムラ・ジャパン	川島 健司
106	8月	アイティメディア	ITmedia Virtual EXPO 2022 秋	自動車産業でのAI活用:ドライバモニタからエージェントSayaまで	先進開発部	大須賀 晋
107	9月	トヨタ自動車TQM推進部	トヨタグループ データ分析事例共有Web展示会	不具合品受付データ入力工数の低減VISIONシステム入力作業の自動化	品質保証部	山田 幸作
108	9月	トヨタ自動車TQM推進部	トヨタグループ データ分析事例共有Web展示会	制御設計工数予測による設備投資費(制御設計費)の低減	設備工機部	森永 悠司
109	9月	トヨタ自動車TQM推進部	トヨタグループ データ分析事例共有Web展示会	Jetson による検査PC 低コスト化～TensorRT、校対り、軽量アーキテクチャによるモデル実装最適化～	生産革新推進部	村瀬 王哉
110	9月	トヨタ自動車TQM推進部	トヨタグループ データ分析事例共有Web展示会	線状注記文字列の検出精度向上～文字検出技術のナビ評価試験適用～	電子信頼性技術部	中西 哲也
111	9月	組込みシステム技術に関するサマースタッフ実行委員会	組込みシステム技術に関するサマースタッフ(SWEST24)	最近のCとC++を振り返る	ソフトウェア基盤技術部	間瀬 順一
※112	9月	Polytechnic University of Valencia	ICEM2022 (International Conference on Electrical Machines)	コアレス共振モータの制御手法	技術統括部	大橋 隆宏
113	9月	日本生物環境工学会	日本生物環境工学会 2022年福岡大会	ナノサイズ微細水照射によるレタスおよびコウジカビの成長促進効果の検証	イノベーションセンター	田端 友紀
114	9月	日本冷凍空調学会	日本冷凍空調学会	排熱を吸収液で蓄熱する小型吸収冷凍機の開発	先進開発部	山本 翔也 坪内 修
※115	9月	NANOBUBBLE2022	NANOBUBBLE2022	Electronic structure of ultrafine water cluster deposited on hydrophobic and hydrophilic surfaces explored by soft X-ray emission spectroscopy	イノベーションセンター	田端 友紀
116	9月	日本音響学会	2022年秋季研究発表会	時間一周波数リッジ解析に基づく製品異音検査	DS部	甲斐 直登 宗戸 俊樹 伊藤 秀浩
117	9月	情報処理学会	第21回情報科学技術フォーラム(FIT2022)	製造現場におけるカメラ映像を用いた熟練技能者と非熟練者との作業差異の抽出方法	DS部	川合 亨剛 福本 剛
118	9月	日本科学技術連盟	第6250回QCサークル全国大会(富山)	全員参加での挑戦! 自主保全活動による粉体残り撲滅	西尾ダイカスト工場	久野 勝由 友國 将大 湯前 勝也
119	9月	日本科学技術連盟	第6250回QCサークル全国大会(富山)	3150(サイコー)ラインを掴み取れ! 防炭剤塗布ムラ撲滅による工数低減	岡崎東工場	広瀬 智哉 丸山 敏未 瀬戸 健太
120	9月	日本科学技術連盟	第6250回QCサークル全国大会(富山)	ハイブリッドライン搬送コンベア故障低減～全員参加で故障ゼロ化に挑戦～	小川工場	酒井 翔平
121	9月	日本科学技術連盟	第6250回QCサークル全国大会(富山)	改善技能のスキルアップ～NewB Frシャフト取出し時の工数低減～	安城第1工場	前田 裕太 牧村 昌哉 吉田 大志
122	9月	日本薬学会	日本薬学会 関東支部大会	微細水粒子放出装置を用いた水溶性化粧品成分の皮膚浸透促進効果	イノベーションセンター	田端 友紀

No.	発表月	発表先(主催)	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
123	9月	応用物理学会	秋季学術講演会	熱電発電モジュール開発について	ES技術部	小島 宏康
124	9月	組込みシステム開発技術研究会(CEST)	第264回技術交流会	MISRA-Cの紹介と量産製品への適用について	ソフトウェア基盤技術部	間瀬 順一
125	9月	アンシス・ジャパン	ANSYS Simulation World 2022	伝導エミッション予測精度と活用方法について	解析技術部	豊田 泰延 市橋 果
126	9月	自動車技術会 ガス燃料エンジン 部門委員会	第2回ガス燃料エンジン部門 委員会	アイシンのカーボンニュートラルへの 取り組み	ES先行開発部	森下 慎也
127	9月	全豊田知的財産講習会	第28回全豊田知的財産講習会	B1 発明の着想・権利化方法	知的財産部	大河内 暁人
128	10月	日本ボンド 磁性材料協会	日本ボンド磁性材料協会誌 「BM News」	会員会社めぐり	モータ第2生技先行 開発部	森本 光香
129	10月	全日本病院協会	第63回 全日本病院学会(静岡)	後方連携施設検索システム “My Re♡Life”の構築ならびに 使用経験～住みやすい場所への 退院支援～	先進開発部	田代 宗大
130	10月	生産技術研究 奨励会	ITSに関する研究懇談会	パーソナル移動の利便性向上を 目指して ～リーンステアピークルの開発～	先進開発部	水野 晃
131	10月	愛知産業大学	講演会	DXとAI ～AI研究者から見るDXとAI～	DS部	澤田 好秀
132	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大会	繋がりが生んだ一体感 プッシャー動作異常撲滅	蒲郡工場	牧野 雅 小林 拓実 伊藤 寿明
※133	10月	ACM International Conference on Multimedia 2022	ACMM 2022	Handling Data Imbalance and Feature Confusion for Im- proved Cross-Domain Facial Expression Recognition	DS部	高椋 佐和 名取 直毅
※134	10月	ACM International Conference on Multimedia 2022	ACMM 2022	Handling Data Imbalance and Feature Confusion for Improved Cross-Domain Facial Expression Recognition	DS部	高椋 佐和 名取 直毅
※135	10月	Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE)	IEEE-ECCE 2022 (Energy Conversion Congress and Expo.)	・New Experimental System and Procedure for On-line Insulation Life Testing of Stator Winding of Auto- motive Traction PMSM without using Dynamo System ・Comparative Study on Insulation Lifetime of Stator Winding of Dual Inverter Fed Open Winding IPMSM and Single Inverter Fed Star-Connect- ed IPMSM for EV Application	第1EV先行 開発部	サハ スプラタ
136	10月	自動車技術会	2022年秋季大会学術講演会	自然なフィーリングと 車両運動性能向上を両立した 大舵角後輪操舵システムの開発	走行安全 第2制御技術部	高橋 明良 土屋 義明 藤井 慎平
137	10月	自動車技術会	2022年秋季大会学術講演会	ニューラルネットワークを用いた ダイカスト装置の故障要因可視化 技術の検討	DS部	熊田 翔 稲垣 和也 小西 圭陸
138	10月	情報処理学会 北海道支部	情報処理北海道シンポジウム 2022	畳み込みニューラルネットワークを 用いた車載超音波センサーによる 歩行者認識に関する基礎検討	先進開発部	菅江 一平 井奈波 恒
※139	10月	Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE)	IEEE Transaction of Neural Networks and Learning System	Reinforcement Learning for Multi-Truck Vehicle Routing Problems	先進開発部 AISIN TECHNICAL CENTER OF AMERICA	井手 貴範 鈴木 崇文
140	10月	ACC	ACC TOKYO CREATIVITY AWARDS 2022	AI DIALOGUE with Saya	先進開発部	大須賀 晋
141	10月	東京工業大学 科学技術創成研究院 ゼロカーボンエネルギー 研究所 Tokyo Tech GXI事務局	Tokyo Tech GXI 第3回テックミーティング	アイシンググループの カーボンニュートラルへの取り組み	グループ技術開 発本部	筒井 洋
※142	10月	The 2022 IEEE/ RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems	IROS 2022	Fully Convolutional Networks for End-to-End Multi-Person Pose Estimation	DS部	戸部田 雅一 鄭 澤 高椋 佐和 澤田 好秀 名取 直毅

社外発表論文・
投稿

社外発表論文・投稿リスト(2022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
※143	10月	ECCV workshop	ECCV workshop:International Workshop and Challenge on People Analysis: From Face, Body and Fashion to 3D Virtual Avatars	Handling Data Imbalance and Feature Confusion for Improved Cross-Domain Facial Expression Recognition	DS部 AISIN AUTOMOTIVE HARYANA	(DS部) 高椋 佐和 名取 直毅 (AISIN AUTOMOTIVE HARYANA) Aditya Chepuri
144	10月	日本鑄造工学会	鑄造工学	ショットプラスト粉塵回収作業 時間低減	西尾ダイカスト工場	大田 昇宏
145	10月	人間工学会	人間工学会東海支部大会	VDT作業による疲労を対象とした 自動車室内における疲労回復 手法の提案	車体第2技術部	小木曾 隆
146	11月	日本金属プレス工業協会	第109回金属プレス加工技術研究会 どうなる・どうするこれからの自動車 「次世代自動車の展望とそれを実現 するための最新技術の紹介」	電動化に向けた塑性加工技術動 向	モータ第2生技 先行開発部	安立 毅彦
147	11月	トヨタ自動車 TQM推進部	第57回オールトヨタTQM大会	樹脂成形品の 外観検査技術開発	アフターマーケット 統括部 第5ユニット生技部	田中 怜奈 吉原 英二
148	11月	トヨタ自動車 TQM推進部	第57回オールトヨタTQM大会	チャレンジに一步踏み出せる 職場作り	知的財産部	石原 義幸
149	11月	トヨタ自動車 TQM推進部	第57回オールトヨタTQM大会	マイクロ抵抗溶接の開発と 爆飛不良ゼロ化	電子生技部	竹下 哲平
150	11月	そごう西武渋谷店	SIW2022	ハローアイデア、ハローフレンド (Saya)	先進開発部	大須賀 晋
※151	11月	Springer Nature社 The Shanghai Institute of Ceramics Chinese Academy of Sciences	npj Computational Materials誌	Flat-Band Ferromagnetism in Pb2Sb2O7 by Self-Doped Mechanism	イムラ・ジャパン	川島 健司
152	11月	日本科学技術連盟	クオリティフォーラム2022	全社のコンプライアンスを支える アサーティブな職場づくり	法務部	森近 正彦
153	11月	MathWorks Japan	Polyspace Advisory Board	自動コード生成に対する 静的検査ツールの活用について	ソフトウェア 基盤技術部	久保 孝行
※154	11月	Asia Oceania Forum for Synchrotron Radiation Re- search (AOFSSRR)	アジア・オセアニア放射光フォーラ ム2022	Effect of UFW treatment on the hydration of “the Artificial skin” surface	イノベーション センター	田端 友紀
155	11月	日本ダイカスト協会	2022 日本ダイカスト会議・展示会	ダイカストラインへの離型剤供給 不良撲滅	西尾ダイカスト工場	湯前 勝也 千本 亮
156	11月	Sky	Sky Technology Fair Virtual 2022	アジャイル開発に向けたシステム テスト自動化の取り組み	電子信頼性 技術部	中嶋 裕樹
157	11月	第33回太陽光発電 国際会議組織委員会	33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference	12-year outdoor working test of dye-sensitized solar cell modules using an ionic liquid electrolyte	先進開発部	中島 淳二
158	11月	組込みマルチコア コンソーシアム	EMC組込みマルチコアサミット (EMS2022)	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
159	11月	電子情報通信学会	第25回情報論的学習理論ワーク ショップ(IBIS2022)	Concept Bottleneck構造が線型 神経回路網におけるBayes汎化 誤差に与える影響の理論解析	DS部	林 直輝 澤田 好秀
160	11月	全豊田鍛造協議会	2022年度 鍛造協議会・ 第2回協議会活動 討論会	鍛造CAE条件最適化技術の 紹介	素形材生技部	加藤 健司
161	11月	JST CREST「Soci- ety5.0を支える革新的 コンピューティング技術」	2022年度 課題中間評価会	スピンエッジコンピューティング ハードウェア基盤	電子先行開発部	平沼 和彦
※162	11月	Neural Information Processing Systems Foundation	Thirty-sixth Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2022)	Towards Robust Monocular Depth Estimation: Transfer Knowledge via Online Domain Adaptation	DS部	チェン ガン チェン ズイ 名取 直毅
163	12月	高分子学会 高分子と水・分離に 関する研究会	第60回高分子と水に関する 討論会	放射光マイクロビームX線による毛 髪内水浸透挙動の可視化	イノベーション センター	井上 慎介 田端 友紀
164	12月	高分子学会 高分子と水・分離に 関する研究会	第60回高分子と水に関する 討論会	ナノサイズ微細水粒子の毛髪内 水浸透とキューティクル挙動の解析	イノベーション センター	松永 瑞希 井上 慎介
165	12月	JSOL	JMAGユーザー会	自動運転製品開発の取り組みに ついて	走行安全第1制御 技術部	荻野 淳人

No.	発表月	発表先(主催)	発表会・冊子	発表題目	所属	発表者
166	12月	日本科学技術連盟	第6420回QCサークル全国大会(宜野湾)	ウェス廃却作業リスク低減活動	蒲郡工場	本田 安衣子 福田 竜也
167	12月	日本科学技術連盟	第6420回QCサークル全国大会(宜野湾)	笑顔を取り戻し、期待に応えろ みんなで挑んだミニ加工機の製作	金型工機部	古池 康之
168	12月	日本科学技術連盟	第6420回QCサークル全国大会(宜野湾)	水平ネジ締め機空転異常の撲滅	安城工場	富永 典央
169	12月	日本科学技術連盟	第6420回QCサークル全国大会(宜野湾)	指示器平行出し改善による 測定精度向上活動	田原工場	與那覇 明菜 野村 浩
※170	12月	QC Ware	Q2B Silicon Valley 2022	Derivation of Optimal Delivery Route in Logistics Using Quantum Computer	先進開発部	井手 貴範
171	12月	東海畜産学会	令和4年度研究発表会	乳牛ふん尿固液分離後固分の 堆肥化特性	イノベーションセン ター	土井 将一
172	12月	磁性流体研究 連絡会	2022年度磁性流体連合講演会	粒度分布を考慮した平行平板間 MR流体単純せん断流れに 関する数値解析	生技先行開発部	中原 好友 永田 英理
173	12月	オールアイシン TQM推進委員会	第53回オールアイシンSQC 発表会	振動試験時の試験品破壊検知	電子信頼性技術 部	曾我 淳二
174	12月	オールアイシン TQM推進委員会	第53回オールアイシンSQC 発表会	E-WP 裏はんだ外観検査への深 層学習の適用	生産革新推進部	布田 健悟
175	12月	QCサークル 愛知地区	JHS選抜大会ステップアップ大会	ソルト槽バーナーチューブ失火故 障撲滅	小川工場	二橋 泰介 永井 等 田中 実
※176	12月	Springer Nature社 Tsinghua Univer- sity Press社	Journal of Advanced Ceramics	Synthesis of c-axis textured CaK- FeAs4 superconducting bulk by spark plasma texturing technique	イムラ・ジャパン	神谷 良久 川島 健司

2. 社外発表投稿リスト

No.	発表月	発表先(主催)	発表会・冊子	発表題目	所属(協業先)	発表者
1	3月	日本鑄造工学会 東海支部	非鉄鑄物研究部会	マイクロカプセル離型剤の開発	軽合金生技部	前原 一仁
2	12月	精密工学会	精密工学会誌	立体形状を有する大型金属部品の 外観検査DNNのための 学習データ収集方法の提案	生産革新推進部	宮永 裕介

編集後記

自動車の電動化/EV化をはじめとするモビリティ分野の大きな変革期の中、我々にとって大切なことは、未来社会のあるべき姿・ありたい姿を描き、失敗を恐れずに果敢に挑戦して行くことだと思っています。

今回の技報では、そのことを強く意識し、編集委員一同取り組んで参りました。

特別寄稿では、(株)三菱総合研究所の杉浦孝明様に、モビリティ社会の未来に向けての方向性や、カーボンニュートラルを目指して取り組むべきCASEの重点要素など、我々技術者へのメッセージを寄せて頂きました。

また、技術論文では、当社のみでなく、アイシングループであるアイシン化工(株)様とアート金属工業(株)様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、今後の開発の方向性や仕事の進め方を見直すきっかけとなれば幸いです。

なお、本号は(株)アイシンとして2刊目の技報となりますが、常に充実した内容を追求しつつ、技術の伝承/道しるべとして、未来永劫ご愛読頂ける技報を目指して参ります。

最後に、発刊にあたり、執筆者・関係部署・関連会社など大勢の方々にご協力を頂きましたこと、心より感謝致します。

(編集委員一同)

●アイシン技報編集委員会

編集委員	伊藤 雅幸	技術統括部
	松岡 司	先進開発部
	山口 弥	デザイン部
	林 誠治	知的財産部
	酒井 尚樹	材料技術部
	東田 憲太郎	解析技術部
	赤木 佳那子	CN技術開発部
	大坪 功	イノベーションセンター

事務局	高橋 泰史	技術管理部
	中根 直志	技術管理部
	林 弥生	技術管理部
	谷澤 伸治	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

※私たちが創る未来のモビリティを、スピード感と躍動感のあるイメージで描きました。
移動の先にある未来地球に美しさを運び続ける決意を表現しています。

アイシン技報

AISIN TECHNICAL REVIEW VOL.27 2023

発行 2023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 技術開発本部長 大下 守人
印刷 プリ・テック株式会社



