

アイシン技報

2019

VOL.23

AISIN
TECHNICAL
REVIEW

特集

壁を「打ち破る」

～常識やルールにとらわれない～



目次

巻頭言	常識を疑え ～革新をめざして～…………… 1 仕明 真人
特集 壁を打ち破る ～常識やルールにとらわれない～	空飛ぶクルマ“SkyDrive”の挑戦 …………… 3 福澤 知浩 佐藤 望美 自動バレー駐車開発の進展 …………… 9 水谷 友一 ドライバ注視領域推定システムの基礎的検討 …………… 13 小暮 俊介
トピックス	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 …………… 19 堀田 芳敬 國安 篤史 岡崎 亮 下川 渡 千野 大輔 新美 拓哉 岡本 明広 堀 喬 博士(工学) 被災地生活支援 寒冷地対応エネルギービークル …………… 23 杉浦 篤 伊藤 茂樹 保田 敬司 神谷 洋
技術論文	コンパクトSUV向けアルミバンパリアンホースメントの開発 …………… 27 宮崎 太平 高橋 克 サンルーフ空力騒音の予測技術開発 …………… 31 大江 健司 松井 智和 酒井 信治 森田 守 高橋 佑輔 加藤 由博 ドライバモニタカメラ技術と応用 …………… 36 大須賀 晋 内藤 剛 システムズエンジニアリングに基づく 機能安全リファレンスアーキテクチャの開発 …………… 43 稲垣 浩之 連続可変容量オイルポンプの開発 …………… 47 西田 裕基 小野 壽 寺島 宏仁 豊田 文彦 沼波 晃志
受賞	社外受賞テーマ 一覧(2018年1月～12月)…………… 52
社外発表論文・投稿	社外発表論文・投稿リスト(2018年1月～12月)…………… 53

常識を疑え ～革新をめざして～

専務役員

仕明 真人

Masato Shimei



自動車業界が100年に一度の大変革期といわれる今を乗り越え、更なる発展をめざすには何が必要か。

サプライヤーとして業界に身を置く皆さんも、危機感や先行き不安感を抱いてみえるのではないのでしょうか。この状況の中で革新をめざすには、これまでの延長線上の発想の応用や改良だけでなく、奇抜でユニークな発想への転換、つまり、「常識」に捉われない発想が問われているものと思います。

ここで、過去の「常識」を覆す発想の転換の事例を挙げてみましょう。

まずは、ダイソンです。扇風機の羽根を無くしてしまいました。実際には、羽根とモータの部分を柱の中に配置し、輪の内壁部分で負圧を生じさせることで、効率よく風を送る仕組みなのですが、まさに扇風機の常識を覆した画期的な発想によるものと言えます。ご存知の方も多いと思いますが、ダイソンは2020年の市場投入を目指しEV開発を進めています。EVにはエンジンと変速機が不要な点に発想の転換を集中し、自らの得意分野である電池とモータ技術の応用による自動車分野への参入を目指しています。

次に、パイロット社の消せるフリクションペン。特殊なゲルインキと摩擦熱の作用で、消せないとされてきたボールペンのイメージを覆す“修正が効くボールペン”としてヒットさせました。

富士フイルムは、写真のフィルム事業が衰退と見るや、自社のコア技術を応用して、異業種の化粧品や医療分野の開発にも乗り込んで、成功を収めています。

アップル社は、タッチパネル式のiPhoneを開発。タッチID(指紋認証)で簡単に繋が
り、指でなぞるだけで画面を操作できるという利便性や斬新なデザインを採用し、わくわ
く感でユーザの心を一気にひきつけました。技術に加えてユーザに対する購入前後の
サービス提供などのサポート体制や販売戦略も注目に値します。

ヤマト運輸は、不在による配達ロスを無くすため、お客様に配達時間を指定させる
という、逆転の発想でユーザ目線でのサービスを取り入れ、配達効率の大幅アップを
実現しました。

新しいモノ・コトは、全く何も無いところから生まれてくることは稀で、過去の「常識」
の上に成り立っていることが殆どであることを、私達は見過ごしてはなりません。

多くの発明は既存技術の組合せです。既存技術は「常識」を持ちます。この「常識」
を打ち破り新しい価値を生み出す為に、まず「常識」をよく知ること、そして「常識」を超える
“発想”を加えることが必要です。

「常識」は固定概念に捉われやすいために、簡単に無くせるものではありません。時に
は一度立ち止まって見つめ直し、疑ってみることも必要ではないでしょうか。それによ
って、今まで見えていなかったモノ・コトの新たな姿が見えてくるかもしれません。

また、革新をめざすには「壁を打ち破る」ことが必要になってきます。壁を打ち破るこ
とで、新たな視界が開け、予期せぬ展開や未知の化学反応まで起こり得るのです。

私達の回りに目を向ければ、アイシングループの融合、バーチャルカンパニーの始
動、更に枠を広げたトヨタグループ各社との協調・新会社設立など、まさに「壁を打ち破
る」取り組みが展開されています。

大変革期を乗り越え、更なるジャンプアップのためには、「常識を疑う」ことや「壁を打
ち破る」ことは必須です。しかし、これらに加えて“心をゆさぶる感動”が、人も未来も変え
ていくと思います。

我々は企業本位の活動だけではなく、ユーザの心をゆさぶり喜びを与える感動商品
を提供していきたいものです。

そのためには、日頃からアンテナを高く張って情報を取り込み、常に新しいモノ・コト
への関心を持ち、ユーザの心で“わくわく”を追い求めることも重要です。

皆様と共に、「常識」に捉われない発想や行動で、見えない壁を打ち破り、人々に感動
を与え、アイシンの明るい未来を切り開いていきましょう。

空飛ぶクルマ“SkyDrive”の挑戦

福澤 知浩 佐藤 望美
Tomohiro Fukuzawa Nozomi Sato

1. 空飛ぶクルマとは

1.1 空飛ぶクルマの分類

「空飛ぶクルマ」とはなにか、実は現状明確な定義はなく、エンジンの有無、垂直離着陸の可否、飛行可能距離の差異など、事業者ごとに製品仕様や事業のコンセプトはさまざまである。一方で、1~5人程度の少人数の移動を対象とした新たなモビリティサービスという方向性については各事業者もほぼ一致し、各社さまざまな機体の開発・製造に取り組んでいる。切り口はいろいろあるが、ここではわれわれの考える三つの切り口で「空飛ぶクルマ」の分類を紹介したい。

1.1.1 垂直離着陸の可否

一つ目の切り口は、垂直離着陸が可能かどうかである(図1)。一般的に垂直離着陸が可能な航空機をブイトール(Vertical Take-Off and Landing : VTOL)と呼んでおり、代表例としてはグーグル(Google)社のラリー・ページが出資している米キティホーク(Kitty Hawk)社の機体コラ(CORA)がある。この機体は左右の固定翼にロータ(回転翼)が合わせて12個ついているため、垂直に離着陸ができ、飛行時には滑空できることが大きな特徴である。一方で、固定翼があるため機体サイズが大きく、一般道の走行は不可能である。垂直離着陸が不可能な機体の例としては、米テラフジア(Terrafugia)のトランジション(Transition)がある。折り畳み型の固定翼を備えており公道を走るがプロペラがないため、垂直離着陸が不可能となっており、飛行時には滑走路が必要である。



図1 垂直離着陸の可否



1.1.2 固定翼の有無

二つ目の切り口は、固定翼の有無である(図2)。先ほどのコラ(CORA)は固定翼がある関係で機体のサイズが大きくなり、着陸可能な場所にある程度の制限がかかる。その分、一度浮上すれば固定翼があるため燃費の節約となり、航続距離を伸ばすことが可能である。中国のイーハン(Ehang)社のイーハン184(Ehang 184)のような固定翼のない機体は機体サイズが小さくなるため、より多くの場所への離着陸を可能とするが、常にプロペラを回し続けることになるため燃費が悪く、航続距離は短くなる。



図2 固定翼の有無

1.1.3 地上走行の可否

三つ目の切り口は、地上走行の可否である(図3)。



図3 地上走行の可否

オランダパルブイ インターナショナル(PAL-V International)社のパルブイリヴァティ(PAL-V Liberty)は、走行系があるため飛行のほか走行も可能であるが、走行ユニットが搭載されることによりペイロード(搭載可能重量)が減ることになる。一方でイーハンのような走行系ユニットがないものは地上走行ができないため、地上走行時にモビリティを乗り換える必要がある

壁を打ち破る

常識やルールにとらわれない

というデメリットはあるものの、ペイロードが大きくなり、一度により多くのものを選べるという利点がある。

1.2 スカイドライブ(SkyDrive)の分類

われわれカーティベーター (CARTIVATOR) の目指す空飛ぶクルマ スカイドライブ (SkyDrive) は、この三つの切り口で分類すると、垂直離着陸可能、固定翼なし、地上走行可能な機体である。

われわれの空飛ぶクルマのコンセプトモデルがこちらのエスディエックスエックス (SD-XX) である。

世界最小クラスのコンパクトサイズでありながら垂直離着陸機能を備えることで、車道を走行し、そのまま飛び立てるような機体を実現したいと考えている (図4)。

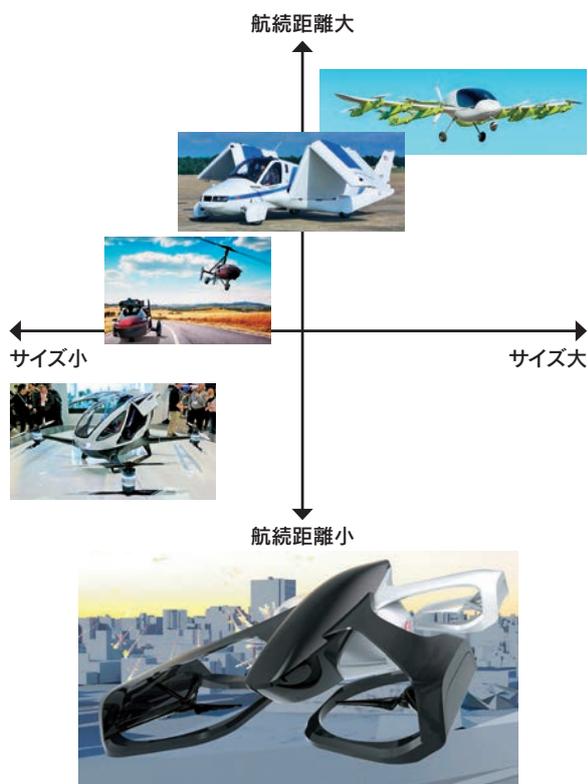


図4 スカイドライブの分類

2. 空飛ぶクルマの動向

空飛ぶクルマに対する期待は近年高まりを見せている。その証拠に、2013年には世界で5社程度だったプレイヤーも、2014年以降加速度的に増え、現在では無人飛行または有人飛行をすでに実現させているプレイヤーは10社ほど、構想段階のメーカーを含めると、グローバルで70社以上が存在している (図5)。また、米ウーバー・テクノロジーズ (Uber Technologies) をはじめとしたサービス事業者も登場してきた。ウーバーは機体を保有せずに、運行管理システムをライドシェアサービス用のアプリケーションとして提供する形で利用者数を伸ばすことを目指しており、地上と空間の移動をサービスでつなぐことを考えている。現在では米キティホーク社が

2017年10月よりニュージーランドで試験飛行を実施し、エアタクシーの商業化を目指している。また、ドバイのさまざまな会社 (ボロコプター社等) が連携し、タクシー事業実現に向けた試験飛行を実施している。空飛ぶクルマの飛び回る世界は決して遠い未来ではない。

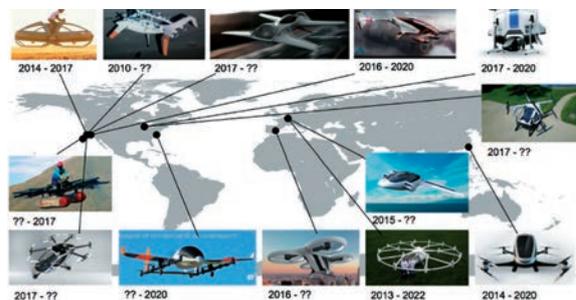


図5 世界のメーカー

3. 実現を支えるキーテクノロジー

3.1 コスト低下をもたらすキーテクノロジー

なぜ空飛ぶクルマが近年になって盛り上がりを見せているのか。それにはコストの低下をもたらす四つのキーテクノロジーの進化が関係している。

3.1.1 電動化

まず一つ目は電動化である。電動化のメリット・デメリットは、いわゆるエンジン駆動の自動車に対する電気自動車のそれと類似する点が多い。電動化することで空の世界にはどういった影響があるのだろうか。固定費と変動費に分けてヘリコプターと比較してみたい。まず固定費の観点では、現在のヘリコプターはエンジン駆動のため部品点数が多く、コストが増す原因となっている。これが電動化しモータ駆動になることにより、部品点数が大幅に減り、コストが下がる。量産化が進めば、開発費が圧縮されることでさらにコストが下がることが期待できる。最終的には、高級車と同等、もしくはそれ以下になる可能性があると考えている。また、変動費、つまり運航コストの観点では、電動化することによりエンジンや駆動部のメンテナンスが減り、コストが下がることが期待できる。

3.1.2 自動操縦技術の進化

二つ目は自動操縦技術の進化である。既存の垂直離着陸機であるヘリコプターの操縦で一番難しいのは、ホバリングであるといわれている。安定して同じ位置にとどまることは、熟練したパイロットでないと容易ではないことだが、複数のプロペラの回転数を制御するマルチコプターであれば制御の自由度があるため、より高精度な姿勢制御、運動を実現できる可能性がある。ホバリングを自動で制御できれば、ユーザは行きたい方向に舵を切るだけで進むことができるようになる。さらに操縦の自動化

が進めば、人が舵を切ることすらなく、機体が自動で目的地まで向かうようになるだろう。実際、すでに大型の航空機はほぼ自動操縦化している。空は陸と比べても障害物が少ないため、空飛ぶクルマの将来的な自動化が実現しやすいと考えている。また、2018年になり4機体制に入った準天頂衛星システム「みちびき」のおかげでGlobal Positioning System (GPS)の精度が飛躍的に向上し、安定した高精度測位が可能になった。このようにして自動制御の精度が上がり、自動操縦が実現すると、パイロットの件数も削減することができ、最終的に既存のタクシーと同等、もしくはそれ以下の運航コストになるのではないかと考えている。

3.1.3 携帯電話やスマートフォンの普及

三つ目は携帯電話やスマートフォンの普及、高機能化である。これによりGPSや加速度・ジャイロセンサなどセンサ類の性能が上がり、価格は大きく低下した。安価に手に入るモバイル向けプロセッサの性能は向上し、低価格で高性能なプロセッサが入手できるようになった。同時に電源を供給するバッテリーは小型・高密度化しながらも低価格で入手できるようになった。これら半導体とバッテリーの価格の低下と高性能化は、いわゆるドローンと呼ばれる民生品としてのマルチコプターを生み出し、一般に普及させる要因となった。

3.1.4 IT技術の進化

四つ目はライドシェアサービス等を支えるInformation Technology (IT)技術の進化である。シェアリングという考え方は昔からあったものだが、ITインフラの普及とソフトウェアの進歩により、スマートフォンのアプリケーション一つで簡単にサービスを利用できるようになり、利便性が上がったことが爆発的な普及につながった。シェアリングサービスは、利用者がものを所有せずシェアすることで、比較的低いコストでサービスを利用できるという利点がある。空飛ぶクルマにおいても、こういったシステムの活用による低コストでの運用が期待される。

4. 空飛ぶクルマの提供価値と活用方法

4.1 空飛ぶクルマの提供価値

そんな空飛ぶクルマの社会への提供価値はなんだろうか、われわれは「空間」「時間」そして「資本」の有効活用が可能になるという点において価値があると捉えている。

4.1.1 空間の有効活用

まず一つ目は「空間の有効活用」、通常われわれは鉄道や道路、空路といった既存のインフラ上でルートを選択して移動しているが、空中を自由に飛び回れるように

なることで、上空の空間を活用し、より効率的な目的地までの移動が可能になる。これは、発展途上国で起こり始めている人口爆発と、それに伴う都市部への人口集中による交通渋滞の回避にもつながる。

4.1.2 時間の有効活用

二つ目は「時間の有効活用」、例えば、現状のインフラでは飛行機に乗るために空港まで行く必要があるため、目的地に対して遠回りをしなければならない。また、目的地までの道が渋滞していて思う通りの時間でたどり着けないといった状況がある。これに対して、Door-to-Doorを空飛ぶクルマでつなぐことで、目的地まで最短の時間で移動が可能になる。移動時間を削減することで、人はより生産的な時間を確保することができる。

4.1.3 資本の有効活用

三つ目は「資本の有効活用」、日本国内では移動手段の限られた離島や、陸の孤島と呼ばれる交通に不便な地域、国外ではインフラ未整備の地域が存在する。発展途上国では送電線などの膨大なインフラ整備が必要な固定電話が普及することなく、携帯電話が普及したという現象にもあるように、空を活用した新しい移動手段の提供によって、道路や鉄道など莫大な資本の投資を必要とする物理的な移動インフラの設置・維持費の削減につながる。この節約した資本を、例えば教育や福祉に活用することも不可能ではないことから、社会的意義があると確信している。

4.2 空飛ぶクルマの具体的な運用方法

では具体的にどういった運用方法が考えられるのか。前述のように自動制御技術の発展により、特別なライセンスを持たず特別な技術のない一般人が自ら空を移動できるということは、大きな付加価値になると考えているものの、すぐに多くの人の日常ユースが可能になるということは考えづらく、われわれは下記三つの運用方法を実現しながら、将来的な日常ユースにつなげていくことを考えている。

4.2.1 物輸

一つ目は物輸への利用である。私有地、山間、離島での荷物配送に始まり、都市部における荷物配送が想定される。特に、近年離島への移動人口が減っているため、航空機ビジネスでの収益がとれず、多くの離島間交通網が廃止になっている。比較的少人数で利用可能な空飛ぶクルマであれば、低コストでの物輸、ひいては人の移動が可能になると考えている。

4.2.2 緊急時の支援

二つ目は災害など緊急時の支援や医療ユースである。救助、避難誘導、消火活動等の支援や、いわゆるドク

ターヘリの代わりとして、ドクターヘリよりもさらにコンパクトで地上も走れ、狭い場所にも着陸できる、機動性で勝る空飛ぶクルマの利用が考えられる。

4.2.3 エンターテイメント利用

三つ目は観光地などのエンターテイメント利用である。観覧車を一つ設置するのには数億円の費用がかかるが、空飛ぶクルマを使った飛行体験アクティビティであれば、機体のみの費用で済むためかなりの費用削減が考えられる。低空飛行、水上等の限定条件からスタートし、区域限定のエンタメ活用から始めることが、特定ルートにおける移動飛行、将来的な自由移動飛行への足がかりになるのではないかと考えている。

5. われわれの目指す未来

ここまでで「空飛ぶクルマ」の飛び回る未来のイメージが湧いただろうか。ここからはわれわれカーティベーターの話をしていきたい。

まずカーティベーター (CARTIVATOR) という団体名の由来だが、これは車のカー (CAR) に開拓者という意味のカルティベーター (CULTIVATOR) をあわせてできている。ロゴではCARTIVATORのアイ (I) の文字が「!」になっているが、その理由は多くの人が驚くような、画期的なモビリティを作りたいという想いからきている。

「車」ではなく「クルマ」と表記するのは、従来の「車」の概念を覆す新しいモビリティを作りたいという想いからである。

そんなわれわれが目指す未来とは何か、われわれは、「2050年には誰もがどこでもいつでも空を飛べる時代に」をビジョンとして掲げている。

そのビジョン実現のためにわれわれのミッションとして、「モビリティを通じて次世代の人達に夢 (=能力の拡張) を提供する」を掲げている。メンバーの多くは幼い頃からモビリティが好きで憧れがあり、大人になった今、自分たちの手で新たなモビリティを作りたいという気持ちがある。そして今の子供たちにもモビリティを通じて夢を持ってもらいたいと思っている。夢のある新たなモビリティとはなにか? 例えばドラえもんに出てくるタケコプターやタイムマシン、タイムマシンは時空間を超えるため現代の技術ではまだ難しいが、ではタケコプターなら? 空を自由に飛び回る制約のない自由な移動ができたらなんて素敵だろうか。

前述した諸外国のプレイヤーの動きを考えても、2050年頃にはSF映画でもおなじみの、車が空を飛ぶ世界は現実にやってくるだろう。そのとき、日本発の空飛ぶクルマ“スカイドライブ”をわれわれの手で提供していきたいと考えているのである。

6. 将来ロードマップ

ビジョン実現に向けて、われわれが描くロードマップはこうだ。まずは2020年の東京オリンピック開会式での聖火点灯デモフライトを一つのマイルストーンとしている。2020年10月のドバイ万博で中国のイーハン、北米のウーバーが空飛ぶクルマのデモフライトを予定しているが、その前に世界に先駆けて東京オリンピックでのデモフライトを実現したいと考えている。開会式で、聖火ランナーが空飛ぶクルマに乗り、地上走行から飛行に転じ、直接聖火につなげる。インパクトのあるお披露目をするので、われわれの目指す「モビリティを通じて次世代の人達に夢 (=能力の拡張) を提供する」の実現の第一歩とするとともに、世界に日本発のテクノロジーをアピールしたいと考えている。そして試験および改良を重ね、2023年には有人機の販売を開始し、2026年には先進国モデルの量産開始、2030年には新興国向けモデルの量産開始を目標としている。

7. 有志団体カーティベーターの特徴

7.1 機体の特徴

まずは機体であるスカイドライブの特徴について、われわれの目指す機体は世界最小サイズである。公道を走りDoor-to-Doorの移動を可能にするスカイドライブに欠かせない飛行ユニットの仕組みは、「二重反転ロータ」である。通常、駆動系のある400kgサイズの機体を飛ばそうとすると、六つから八つのプロペラが必要になる。だが回転翼を増やせばその分機体サイズが増し、離着陸や走行に制限が生まれる。プロペラを二重反転とし前後左右の4カ所に留めることにより、世界最小クラスの機体サイズでありながら十分な揚力を得ている。

また、現在検討している技術として可変ピッチコントロールが挙げられる。プロペラの回転数制御と可変ピッチコントロールによる揚力の制御、二つを駆使することにより、姿勢制御の自由度が増し、より容易に安定した飛行が可能になることを期待し、実験と検討を繰り返している。

走行ユニットの工夫としては、フロント2輪、リア1輪のリバーストライク構成とすることで軽量化を図った。

また、機体のデザインコンセプトは“構え”からの“一瞬の早さ”2020年に開催される二度目の東京オリンピックに向けて、「子供たちにもわかりやすい近未来スタイルのクルマ」を提案する。子供にも直感でわかりやすいカッコよさとして「変形 (空飛ぶ乗り物→クルマ)」を魅力的に見せるスタイリングを目指した。東京オリンピックで日本らしさを国内外に向けて発信するため、日本文化の競技にもヒントを得て、カルタや相撲の立会いのように

「集中して“瞬間を待つ”状態から、無意識のレベルで“素早く動く”」、その構えをスタイリングテーマに取り入れた。浮遊感と素早い動きを併せ持つ「あめんぼ」にスタイリングのヒントを得て、今回のカタチとなっている。

7.2 組織の特徴

次に、組織の特徴について説明する。われわれは有志で活動を行っており、メンバーは皆、本業務外の時間を使って活動している。特に、自動車会社や航空のエンジニアを中心とした各分野の専門家が集まり、本業で得たスキルを発揮している。現在メンバーは100名ほどで、技術メンバーが60名ほど、事業メンバーが40名ほどの内訳になっている。

拠点は愛知県と東京都の2拠点で運営している。愛知県には自動車会社や航空系の会社など幅広く産業が集まっており、主に技術スキルを持ったメンバーが集まり、東京都には主にベンチャー企業や広告代理店などのビジネスを推進するメンバーが集まっている。2拠点に分かれての活動はコミュニケーションの観点などを踏まえても難しいが、昨今のITツールの普及により、オンライン会議などがやりやすくなってきているため、週に一度、オンライン会議で進捗の共有、またはSNSによる情報共有により活動を進めている。活動時間帯は主に平日の夜と土曜となっている。

活動拠点について、愛知県豊田市から小学校の廃校をお借りして、飛行試験などを行っている。また、豊田市にある「ものづくり創造拠点センタン (SENTAN)」という施設のガレージを借り、機体の組付けや、施設内部の工作機械を使った機体の加工を行ったり、会議室を借用してミーティングもさせていただいている。東京では、富士通株式会社様よりテックショップ東京 (Tech Shop Tokyo) というものづくりのスペースをお借りし、活動している。

2017年9月にはオリンピックに向けたモデル、エスディエックスエックス (SD-XX) の設計を公開し、2018年9月には無人試作機の飛行試験を行い、まずは2020年という目標に向けて急ピッチで開発を進めている。

8. 未来実現に向けた課題

空飛ぶクルマ実現に必要な要素は主に四つある。一つ目は機体の開発、二つ目はインフラの開発、三つ目はビジネス開発、四つ目は法規・ルールの整備である。

われわれは、まずは物がなければ話は始まらないと考えており、有志団体として機体の開発に重きを置き、要求仕様の明確化、基本設計、詳細設計、制作、飛行試験を行っている。

しかし、未来実現に向けて一番重要となるのは、パブ

リックアクセプタンス (社会が空飛ぶクルマを受け入れられるか) であるとも考えている。技術的に飛行が可能だとしても、新しいルールや社会基盤が整っていなければ一般のユーザは受け入れない。まずは、空飛ぶクルマに安心して乗れる (衝突や墜落が発生しないなど)、できる限り100%に近い安全性の担保、また周辺環境という点では、住宅地を飛行する際に許容できる騒音レベルであること、交通システムとしていかに環境にとけこみ、受け入れられるものを作るかが重要である。

社会基盤という観点では、どのような規制・ルールを設けるかも重要になる。製品化や、その後の産業化を見据えると、やはり新たなモビリティとしてのカテゴリをしっかりと作っていく必要がある。既存のヘリコプターよりも安全で静かで効率の良いもの、かつ新しい産業となりえるということで、米国や欧州などではすでにカテゴリを新設する議論が進められている。

また、空飛ぶクルマを事業として推進する環境も重要である。欧米ではすでに分野や専門領域を超えてオープンな場でさまざまなディスカッションが行われている。そこには研究者や技術者だけでなく、航空局など規制当局も議論に参加し、空飛ぶクルマの社会実装に向けてすでに具体的な話を進めている。日本では、2018年の序盤までそのような具体的な議論がなかったが、2018年の内閣府発行の未来投信に空飛ぶクルマのロードマップ作成が盛り込まれ、9月から官民協議会が開催されている。このような、分野を超えた交流、議論ができる場を活用し、安全かつ確実な、空飛ぶクルマの社会到来へ働きかけていきたい。

9. おわりに

空飛ぶクルマが実現すれば、現在の常識とはまったく異なる世界がやってくる。産業構造を大きく変革するイノベーションが起きると考えている。

われわれが一番大切にしているのは、ただ機体を作ることではなく、「モビリティを通じて次世代の人達に夢 (= 能力の拡張) を提供する」という想いである。有志団体という形態を生かし、“想い”を共有するさまざまなメンバーをオープンに受け入れ活動することで、叡智を集結し、夢の実現を確度の高いものにできると考えている。

われわれの想いに共感し、夢の実現を応援してくれる若手技術者と全ての方々のご協力を願うとともに、夢の実現に向けてさらに邁進していくことをここに宣言します。

参考文献

製造業を巡る現状と政策課題

～Connected Industriesの深化～

(平成30年3月産業構造審議会 製造産業分科会(第6回))

筆者



福澤 知浩

有志団体CARTIVATOR
代表理事



佐藤 望美

有志団体CARTIVATOR

自動バレー駐車開発の進展



水谷 友一
Yuichi Mizutani

概要

将来の自動運転時代の到来を見据え、自動バレー駐車システムの開発を行っている。本稿では、開発中のシステムの特徴と実現に向けた取り組み内容について紹介する。

1. はじめに

近年、日米欧を中心に自動車業界のみならず、IT業界や電機業界も参入し、自動運転技術の開発が加速してきている。自動運転は周辺監視も含めた運転の権限をドライバとシステムがどのように担うかでレベルが定義されている。SAEのレベル定義を表1に示す。レベル1やレベル2ではドライバが運転権限を保有しており、前車自動追従や衝突回避緊急ブレーキなどOEM各社による製品化が進んでいる。一方、レベル3以上になると徐々にシステムが保有する運転権限の領域が拡大していき、レベル5になるとシステムが全ての運転権限を保有する完全な自動運転となる。レベル3以上の自動運転を実現するためには安全性と機能性を両立する技術と法規の整備などが必要不可欠となってくる。

本稿では将来の自動運転を実現するために現在開発を進めている自動バレー駐車システム(レベル4)について紹介する。

2. 自動バレー駐車システム

2.1 システム概要

バレー駐車とはホテルなどで係員に車を預け駐車してもらったり、帰りに車をエントランスまで移動してもらうサービスのことである。このバレー駐車を自動運転で行おうというのが自動バレー駐車である。アイシンの自動バレー駐車システムの構成を図1に示す。本システムはインフラ設備と車両の2つに大別される。インフラ設備は車両の動きを管理する駐車場管制、走行中の車両や歩行者を認識するためのインフラカメラ、車両が現在の位置を推定するためのマーカで構成される。車両は駐車場内の走行および駐車を自動で行うために必要なセンサ(ソナー×12、カメラ×4)と駐車場管制から目標駐車位置までのルート情報や歩行者、他車両など安全に関する情報の受信や駐車場管制に対し走行速度、制御状態の送信を行うための通信機で構成される。

表1 自動運転のレベル定義

レベル	名称	運転操作の主体	走行環境監視	緊急時のバックアップ	システム制約
0	非自動化	運転者	運転者	運転者	あり
1	運転支援	運転者+システム	運転者	運転者	あり
2	一部自動化	システム	運転者	運転者	あり
3	条件付自動化	システム	システム	運転者	あり
4	高度自動化	システム	システム	システム	あり
5	完全自動化	システム	システム	システム	なし



図1 自動バレー駐車システムの構成

2.2 アイシンの自動バレー駐車システムの特徴

自動バレー駐車を行うためには駐車場地図配信、目標位置決定、走行ルート生成、車両位置推定、走行経路生成、車両制御、場合によっては障害物認識に基づいた運行判断といった基本タスクが必要である。これらの基本タスクをインフラと車両でどのように分担するかについては国際標準を決めるISO/TC204/WG14の場でも議論が進められており、図2に示すような3タイプが挙げられている。

インフラ重視型では駐車場地図配信から走行経路生成までをインフラ側で行い、経路に追従する制御のみを車両側で行う。この方式はBenzとBoschが開発を行っており、Benzミュージアムで行われている実証実験では駐車場に5m置きにLiDARを設置し、車両の位置推定を行っている。

一方、車両重視型では駐車場地図配信のみをインフラ側で行い、それ以外のタスクは車両側で行う。この方式はAudiが開発を行っており、Audiの開発車両では車両に搭載されたLiDARで高精度な地図生成を行い、インフラから配信された地図と照合することで車両位置推定と走行経路生成を行っている。

これらの方式に対し、現在開発中のシステムはその中間の方式を採用している。今後、自動駐車システムの普及が見込まれ、車両側で走行経路生成や車両制御を行うセンサ、ECU等の搭載が進むと考えられる。車両側は従来の自動駐車システム構成を前提とし、駐車場地図配信～走行ルート生成はインフラ側、車両位置推定や障害物認識はインフラ側と車両側の双方、走行経路生成～車両制御は車両側で行うことで、インフラ設備と車両設備にかかるトータルコストを抑え、早期の普及を目指している。また、車両側で行う車両位置推定はあらかじめ駐車場に配置されたマーカを用いて行う方式を採用しており、GPSの使用できない立体駐車場や地下駐車場でも高精度な車両位置推定が可能となっている。マーカは非常に安価であるため、インフラ設備にかかるコストを抑制できる。

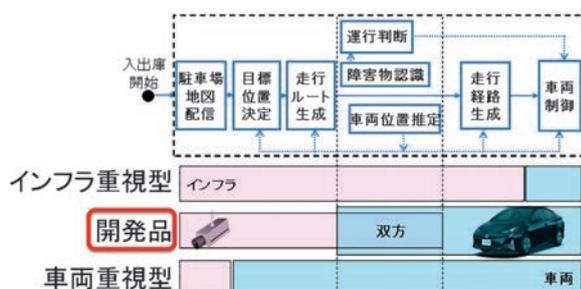


図2 自動バレー駐車システムのタスク分担

3. 自動バレー駐車システムの要素技術

3.1 駐車場地図配信、目標位置決定、走行ルート生成

駐車場管制は駐車場地図情報（マーカ位置も含む）を保有し、場内の駐車状況を踏まえ、車両が最終的に到達する目標位置（駐車位置もしくは出庫完了位置）、走行可能なエリア、目標位置までの通過点を決定し、車両に対し、駐車場地図情報とセットでこれらの情報を配信する。

3.2 走行経路生成

駐車場管制から配信された情報に基づき、自動走行制御するために必要となる走行経路生成を行う。

走行経路は車両の最小旋回半径や最大舵角、走行する際の車速などを考慮し、駐車場管制から送られてきた走行可能なエリアの範囲内で通過点のできるだけ近くを通過するように車両が生成する。なお、走行経路として駐車場の地図上におけるX座標、Y座標、曲率、上限車速が生成される。

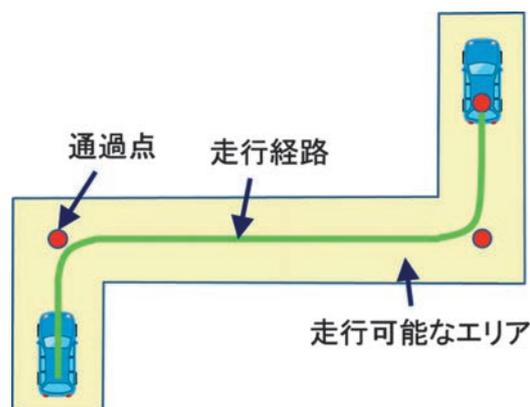


図3 走行経路

3.3 車両位置推定

車両位置推定は車両側とインフラ側の双方で行う。

車両側では加速度・角速度センサと車輪速センサ情報に基づいた自律航法に車載カメラによるマーカ認識を利用した補正を組み合わせることで高精度な車両位置推定を行う。

自律航法では、加速度・角速度センサと車輪速センサの情報に基づき算出した方位変化量と移動距離を用いて相対移動量を算出することで車両位置を推定している。しかし、自律航法による車両位置推定は走行距離が長くなるにつれて誤差が蓄積されていってしまうため、マーカ認識を利用した補正を行う。マーカは通路に任意の間隔で配置され、そのマーカを車載カメラで認識する。マーカは駐車場地図上の座標と紐づいており、この情報に基づいて車両位置推定の補正を行う。

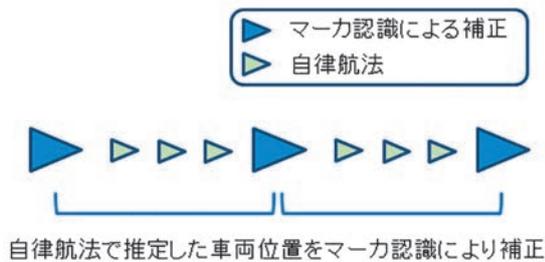


図4 車両側の車両位置推定方法

インフラ側では駐車場に設置されたインフラカメラを用いて車両の認識および、車両位置座標を特定。また、自動走行車両とそれ以外の車両との切り分けも行っている。

3.4 車両制御

車両は目標経路に沿って走行し目標位置に到達するように舵角と車速を制御する。

舵角制御は目標経路上を追従走行できるように舵角の制御を行う。目標曲率に基づいてフィードフォワード(以下、FF)舵角を算出するFFコントローラと目標経路と車両位置との横位置誤差、ヨー角誤差を抑制するためのフィードバック(以下、FB)舵角を算出するFBコントローラで構成される。

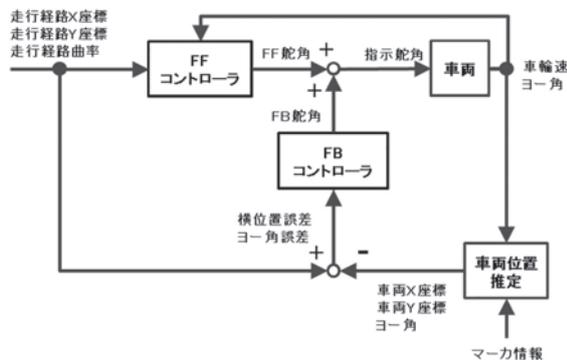


図5 舵角制御構成

車速制御は目標経路上における現在の車両位置に基づいて最適な加速/減速/停止を行うために目標車速生成を行い、この目標車速に車速を追従させる。目標車速生成にて算出される目標加速度に基づき指示制駆動力を算出するFFコントローラと目標車速と車速との誤差を抑制するように指示制駆動力を調整するFBコントローラで構成される。

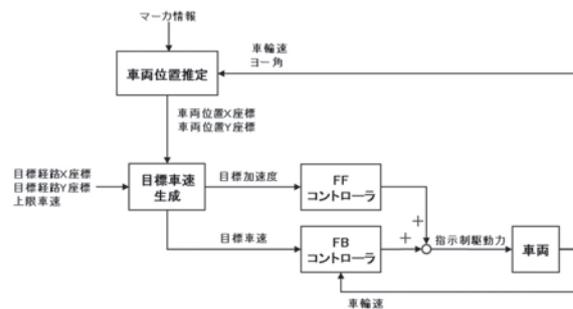


図6 車速制御構成

3.5 障害物認識

障害物認識はインフラ側と車両側の双方で行う。

インフラ側ではインフラカメラを用いて車両や歩行者の認識を行い、状況に応じて自車両の停止や回避行動などを行う(3.4節で記述)。この際ディープラーニングにより障害物が車両であるか歩行者であるかの切り分けを行うと同時に、時系列の検出結果から障害物の移動速度や移動方向を算出する。障害物が歩行者であり、自車両に近い位置に存在する場合は停止して待機、障害物が車両であり、前方から近づいてくる場合は路肩に回避するなどの指示を車両に対して行う。

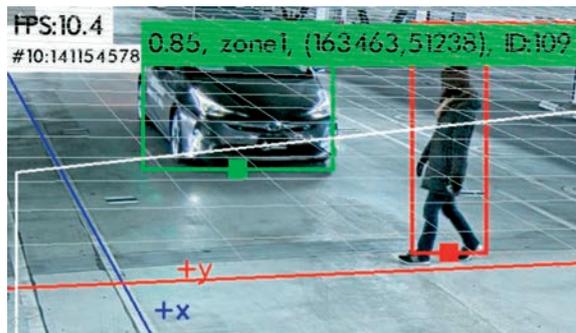


図7 インフラカメラによる障害物認識

車両側では車体に取り付けられたソナーを用いて車両や歩行者に加え、駐車場内の壁や柱などの認識も行い、距離に応じた警告および衝突の危険性がある場合には緊急停止を行う。

4. 実証実験

本システムを運用する際に想定されるシーンにおける課題を抽出するために2018年6月と12月に名古屋市営金城ふ頭駐車場で実証実験を行った。両実験とも安全面を考慮して運転席には人が乗車したが、ハンドル、シフト、アクセル、ブレーキなどの操作は全て車両が自動で行った。

6月の実証実験では駐車場管制～車両間で通信を行い、駐車場管制から指示された目標駐車位置と走行ルートに従って自動走行および駐車を実施した。自動走行の途中でインフラカメラにより歩行者を検出した場

合にはドライバに注意を促す警報を鳴らすというような動作の検証を行った。

12月の実証実験ではより実際に遭遇するシーンを想定し、自車両と歩行者との接近、他車両との交差点交互通行、他車両の入出庫待ち、他車両とのすれ違いなどの動作検証を行った。歩行者や他車両が接近するようなシーンでは自動で停止を行ったり、対向車とのすれ違いでは対向車に道を譲る形で路肩に寄せるなどの動作確認を行った。

両実験を通じて市場駐車場で使用される際の走行性能および安全性の確認を行い、走行経路への追従精度やインフラカメラによる認識精度などの課題も抽出できた。



図8 実証実験の様子

5. おわりに

今日までの開発により自動バレー駐車の実現に必要な要素技術の構築および実際の使用環境での課題出しができた。今後は現状の課題を解決してよりよいシステムに仕上げ、一日でも早く便利で快適な駐車システムを世の中の皆様に提供できるように尽力していきたい。

参考文献

- 1) Society of Automotive Engineers International: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems J3016(2014)

筆者



水谷 友一

走行安全第一制御技術部
自動駐車システムのロジック開発に従事

ドライバ注視領域推定システムの基礎的検討

小暮 俊介
Shunsuke Kogure



概要

自動車の安全機能や運転マナーの向上により交通事故死亡者数は低減傾向にある。その内訳を見ると漫然運転、不注意といったドライバの状態に起因するものが一定数存在する。こうしたドライバ要因の事故低減のため、ドライバの状態が運転に適しているか、適切な行動が取れているかをモニタリングする手法が提案されている。ここでは視線及び顔情報を用いて、ドライバがどこに注意を払っているかを判断するのに有用な、注視エリアを推定するための基礎的検討について紹介する。

1. はじめに

ドライバ状態のモニタリング手法は一般に2つに大別される。1つ目はドライバの状態が運転に適しているかを判別する手法である。古くは車両の挙動(運転動作のばらつき)からドライバの運転への適正度を判別する手法や心拍や呼吸といった生理情報から漫然、眠気を推定する手法がある。2つめはドライバが運転に注意を払っているかを直接確認する手法である。主にカメラを用いてドライバの顔画像からドライバが車両の進行方向に注意を払っているかを確認するものである。

現在アイシン精機では後者の直接ドライバの注視行動を計測するシステムに注力をしている。これは安全確認行動を直接計測するため、明示的な運転行動をシステムへのフィードバックできるからである。車載用ECUへの実装を考慮すると判定アルゴリズムの演算負荷を抑えた上で高い精度を実現する必要がある。このためドライバの目及び顔情報を用いて注視エリアを判別する基礎的な検討を行った。

2. ドライバ注視領域の推定

2.1 ドライバモニタシステムについて

当社では以前よりドライバモニタリングシステム(DMS)の開発を行っており、わき見検出システムや眠気検出システムを発表している。ここでは上記のカメラシステムに改良を加えたドライバモニタカメラ(DMC)を用いた(図1)。

このカメラは、太陽光の影響を最小限に抑えていること、カメラ内に信号処理基板を備えた一体型であることを特徴としている。このカメラを車両ステアリング上に設置(図2)し、ドライバの上半身画像を取得し、その画像から顔向きや視線角度を算出する。

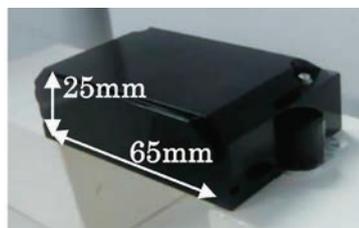


図1 DMC外観

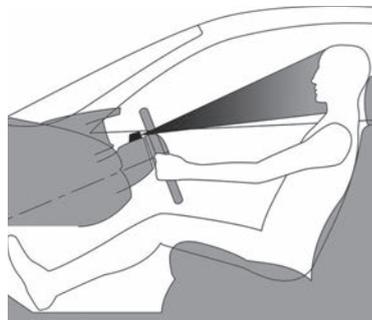


図2 カメラ位置とモニタリング角度

取得された映像に認識結果を重ねた画像を図3に示す。横を向いた際にも顔の各部位の移動に追従できていることが確認できる(図4)。



図3 顔認識結果例(正面)



図4 顔認識結果例(右向き)

2.2 注視領域推定アルゴリズム

安定した撮影環境下では顔向き視線が取得できるが、車両の走行環境下では光環境が大きく変化し、安定した画像を取得するのが難しい。その影響を受け、DMCの信号に大きなノイズが重畳する。また、検出対象の被験者についても様々な身体的特徴を持っており、カメラ内に写りこむ位置や大きさが異なることや、運転中の動作に人それぞれの特徴があることなどバラツキが大きい。これらを考慮し、ここではドライバの注視エリアを判別する手法として確率的グラフィカルモデルの1つである隠れマルコフモデル(HMM)を用いた。

HMMは様々な入力値に対して、判別対象の状態を確率的に離散値として判断することができる。基本的な性能把握を目的とし、図5に示す4つのエリアの判別がどの程度の精度で可能であるかを評価した。これらのうち“左”、“右”は左右の死角を含む。“下”は運転席でスマートフォンを注視する領域を想定している。ここでは図示された領域を注視した際に判別可能かを評価しており、それ以外の部分を注視している区間は評価より省いている。



図5 エリア判別4領域

3. 隠れマルコフモデル

HMMでは隠れ状態として離散状態を規定する。モデルを可能な限り単純化するため、4つのエリアを左右方向及び上下方向の2つのHMMで推定することとした。すなわち1) 正面・左・右を判断するHMM, 2) 正面・下を判断するHMMに区別して構築した。左右方向の状態遷移図を図6に示す。

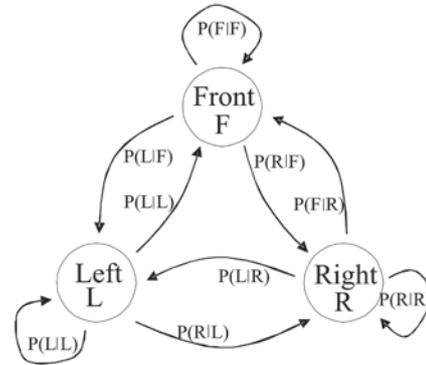


図6 状態遷移図(左右方向)

HMMの判別性能を最も特徴付けるのは学習データセットである。今回、ドライバの自然な行動をモデル化するため、17名のドライバがそれぞれ1時間程度走行した際のデータを学習データとして用いた。運転シーンにも幅を持たせるため表1に示す市街地、郊外、高速道路等の経路を持ったデータセットとした。各データは解像度VGA、フレームレート10fpsの動画である。データセットの正解値は動画内のドライバの顔向き、視線向きを判定者が判断して付与している。

表1 運転シーンと学習データ

Driving Route	Number of Subject	Total Frames	Total Time (min)
Center City	5	220415	367.4
Outer City	3	151996	253.3
Arterial Road	5	109508	182.5
High way & Mountain road	4	161782	269.6
Total	17	643701	1072.8

DMCの出力で用いることができるのは顔に関する情報であり、具体的には顔向き角度、視線向き角度、目の開度、顔位置(前後左右上下)である。このうち、視線向き角度と顔位置は使用しているDMCの解像度の低さや、単眼カメラであることから現時点では精度が十分高いとはいえない。そのため、検出精度の高い顔向き角度を主たる判断基準としてモデルを組むこととした。しかし、運転中の顔向き変化は視線のそれと比べ非常に小さい。特に上下方向の動きは左右の動きに比べ1/10程度とより小さく、下方向注視時にほとんど顔を動かさないケースも多い。1例として、あるドライバが左右及びステア

リング下,ミラーを見た際の顔向き角度(ヨー・ピッチ)を図7に示す.この図からも左右エリア注視時に比べ下側エリアの注視時の顔向き角度が小さいことが確認できる.この小さな動きを正しく状態遷移に結び付けられるかが大きな鍵となる.

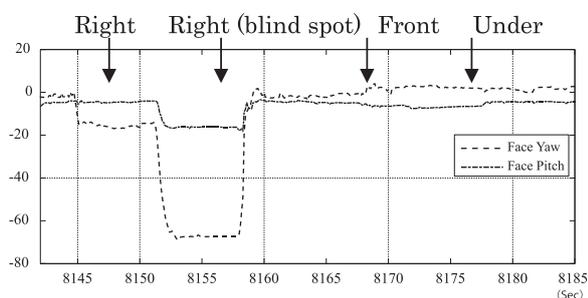


図7 顔向き角度(ヨー・ピッチ)

4. 隠れマルコフモデルの修正

上記の変動を正しく状態遷移に結びつけるため,状態遷移の計算に顔の角速度を変数とする状態遷移確率を用いた.一般に隠れマルコフモデルでは状態遷移は固定の状態遷移確率(P_a)と観測値に基づく出力確率(P_b)から求められる(式1).

$$P_t(F) = P_{t-1}(L) \times P_a(F|L) \times P_b(F|L: Face, Gaze) + P_{t-1}(F) \times P_a(F|F) \times P_b(F|F: Face, Gaze) + P_{t-1}(R) \times P_a(F|R) \times P_b(F|R: Face, Gaze) \quad (式1)$$

ここで

P_a : transition probability

(the probability that the state changes in the next frame)

P_b : output probability

(the probability that the DMS will output an angle that is in the changed State)

F : Front area

L : Left area

R : Right area

本研究では注視領域が変わる際の,小さな顔向き角度変化を状態遷移に反映する為, P_a を顔向き角度の動きに応ずる変数(P_{at})に置き換えた(式2)を検証に用いた.この P_{at} は注視領域推定に影響を与える.例えば,現在の視線領域が“右”でYaw角の現在角度が30 degree,視線角度変化が-10 degree/frameとすると,次,あるいは数フレーム後にはどの領域を見ている可能性が高いだろうか.ここで“+”は右方向,“-”は左方向とする.あるいは,視線角度の変化が+10 degree /

frameであったらどうだろうか.前者であれば,注視領域は“右”よりも“正面”の方が確率が高いだろうし,後者であれば“正面”よりも“右”の方が確率が高いことは容易に想像がつく.この違いを P_{at} が作り出すのである.

$$P_t(F) = P_{t-1}(L) \times P_{at}(F|L: Face, Gaze) \times P_b(F|L: Face, Gaze) + P_{t-1}(F) \times P_{at}(F|F: Face, Gaze) \times P_b(F|F: Face, Gaze) + P_{t-1}(R) \times P_{at}(F|R: Face, Gaze) \times P_b(F|R: Face, Gaze) \quad (式2)$$

ここで

P_{at} : Variable transition probability

この遷移確率は前述の学習データにおける角速度(フレーム間の角度変化)を基に計算する.左右判定時における遷移確率計算のための角速度マップを図8に示す.この変数を導入することで,顔を動かしている際に顔の移動方向へ状態遷移が発生し易くなる.

この状態遷移確率(P_{at})は,学習データセットにおける,状態遷移時の角度変化から算出する.これらの角度変化分布を図8に示す.この角度変化分布はそれぞれの状態遷移毎に異なっていることがわかる.“Front”(Xt-1)から“Front”(Xt)への遷移における分布は,ほぼ0度軸についての対称である(図8の中心にある分布).しかし,“左”(Xt-1)から“左”(Xt)への分布は,0度と-35度に2つのピークが存在する(図8の左上の分布).これらのピークは,この分布が2つの注視条件を含むことを意味する.1つは1点(例えば左サイドミラー)を注視し続け,もう1つは注視点を左サイドミラーからさらに左側の死角に移す条件である.“右”(Xt-1)から“右”(Xt)への分布(図8の右下の分布)でも同じ傾向が見られる.

計算の仕方を紹介する.現在の状態が“左”であり,HMMに入力される顔Yaw角変化が30度であると仮定する.“左”(Xt-1)から“左”(Xt)”と“左”(Xt-1)から“前”(Xt)”の分布図から,30度顔Yaw角における密度(Pr)は,それぞれ0.03と0.15と算出される.これらの値に状態遷移確率をかけることで P_{at} を求める(式3).その結果,Xtでの正面視の可能性が高くなる.これは,顔が動いたとき,状態遷移は顔の動きの方向に生じる可能性が高いことを示している.

$$P_{at}(F|L: Face, Gaze) = P_a(F|L) \times P_r \quad (式3)$$

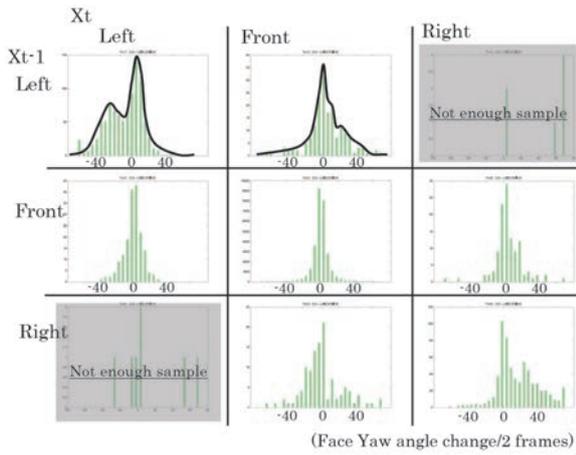


図8 顔向き角速度マップ

今回のモデルは1次のマルコフモデルとし、リアルタイムでの判断を想定し、1フレームの入力毎に前回値を基にその時の視認方向を出力する。つまりHMMでよく用いられるバックフォワード的な経路探索は行っていない。

入力パラメータとしては顔向き角度のYaw, Pitch, 視線角度のYaw, Pitch, 開眼度を用いた。

5. システムの評価

モデルの判別性能を検証するため、日本人の男性55名、女性55名、計110名のデータを取得した。被験者の分布を図9、図10に示す。

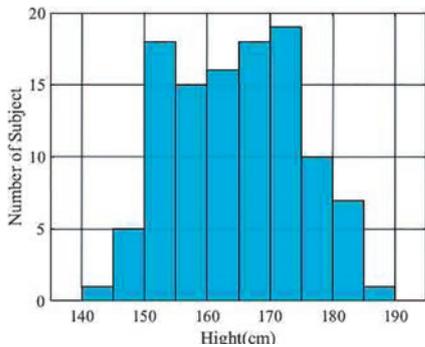


図9 被験者身長分布

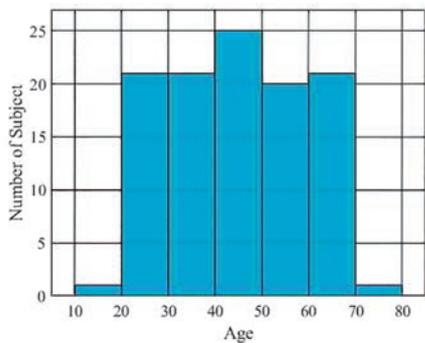


図10 被験者年齢分布

停止した車両の中で、これらの被験者にガイダンスに

従って正面・右・左・下の各エリアを注視してもらい、その注視した際のデータを評価用データとして利用した。

評価指標として注視点毎のPrecision及びRecallを求めた。

それぞれの定義は(式4)および表2のとおりである。

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{式4}$$

$$F - measure = 2 \times \frac{precision \times recall}{precision + recall}$$

ここで、TP, FN, FPは表1による。この表は混同行列(Confusion Matrix)と呼ばれ、評価結果のクラス分類に用いられる。

表2 confusion matrix

		Predicted	
		Positive	Negative
Actual	Positive	TP (True Positive)	FN (False Negative)
	Negative	FP (False Positive)	TN (True Negative)

HMMの出力結果例を図11に示す。グラフ上側のカラーバーが正解値である正面・右・左といった状態を示している。グラフ下側のラインはHMMから出力された各状態量の確率である。この値は上限1であり、最も高い確率の状態がHMMの判定状態として出力される。つまり赤いラインの正解値部分で赤いラインが最も高ければ、HMMの出力は正しいと判断される。

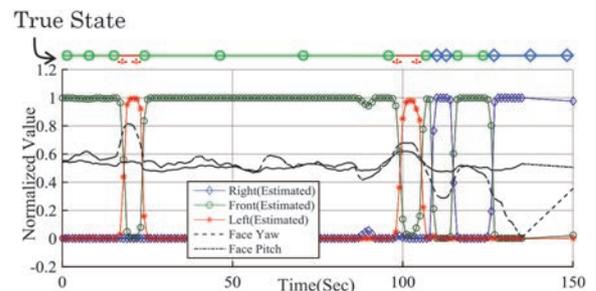


図11 HMM出力結果例

110名分の結果を表3、4に示す。下方エリアの判定は若干精度が落ちるものの、左右判定は精度良く判別ができています。

表3 推定結果(混同行列)

(estimated number of flames)

		Estimation				
		Front	Right	Left	Under	Not track
Actual	Front	2265	0	0	129	26
	Right	85	1077	0	0	48
	Left	4	0	1086	0	120
	Under	83	0	0	1092	35

表4 被験者110名のデータ集計結果

	Precision(%)	Recall(%)	F-measure
Front	92.9	94.6	94.6
Right	100	92.7	92.7
Left	100	99.6	99.6
Under	89.4	92.9	92.9

下方エリアはやはり顔向きの変化量が小さいことが判別性能がやや低くなった要因と考えられる。

6. まとめ

ここではドライバモニタカメラで得られた映像から算出された顔向き角度や視線角度を隠れマルコフモデルの入力とし、左右・下エリアの注視を判別できるかの基礎的検討を行った。その結果、各パラメータの変化速度を変数として取り込むことで比較的高い精度で判別できることを示した。

今後、実際の運転時のデータでも同様な判定が可能かの検証を進める予定である。また、アプリケーションを想定した場合、運転行動で判別が必要なミラーやナビ、メータといった各エリアが判別できるよう、より詳細な判別アルゴリズムの構築を行う予定である。

7. おわりに

自動運転実用化が差し迫る中、車と搭乗者のインタラクションの重要性が増してくる。

本技術を発展させることで、新しいインターフェースとして活用できることを期待している。

本研究に取り組むにあたり、DMC及びデータ提供を頂いた走行安全第一制御技術部の大須賀氏に感謝する。

参考文献

- 1) National Police Agency of Japan, Traffic accidents situation (2015). ; <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/ListE.do?lid=00001150519>
- 2) Guo, Q. and Liu, B., "Simulation and Physical Measurement of Seamless Passenger Airbag Door Deployment," SAE Technical Paper 2012-01-0082, 2012, doi:10.4271/2012-01-0082.
- 3) Kunkel, S., Zimmer, T., and Wachtmeister, G., "Friction Analysis of Oil Control Rings during Running-In," SAE Technical Paper 2011-01-2428, 2012, doi:10.4271/2011-01-2428.
- 4) Morgan, R., Scullion, P., Nix, L., Kan, C. et al., "Injury Risk Investigation of the Small, Rear-seat Occupant in Side Impact," SAE Technical Paper 2012-01-0092, 2012, doi:10.4271/2012-01-0092.
- 5) Kimura, Y. and Murakami, M., "Analysis of Piston Friction - Effects of Cylinder Bore Temperature Distribution and Oil Temperature," SAE Int. J. Fuels Lubr. 5(1):1-6, 2012, doi:10.4271/2011-01-1746.
- 6) SAE International Surface Vehicle Recommended Practice, "Laboratory Measurement of the Composite Vibration Damping Properties of Material on a Supporting Steel Bar," SAE Standard J1637, Rev. Aug. 2007.

筆者



小暮 俊介

TRI-AD(出向)
ドライバモニタ、
乗員検知システム開発に従事

超短パルスレーザーを用いたピストンスカートの低フリクション化技術

1. はじめに

近年の地球温暖化問題において、CO₂排出量の削減は重要な課題の一つとなっている。自動車用エンジンにおいても、各種新技術の導入による機械損失の低減により、大幅な燃費改善が図られてきた。なかでもピストンスカートの形状は、エンジン内の主要な摺動部であり、その部分での機械損失の低減は、エンジンの燃費改善に大きく寄与する。

ピストンスカートの表面粗さの平滑化は、シリンダーボアとの摺動の低フリクション化により、機械損失の低減に有効である^{1)3)~6)}。しかしながら、ピストンスカートの平滑化により耐スカッフ(焼き付き)性は悪化する。したがって、低フリクション性と耐スカッフ性を両立できる技術の開発が望まれていた。

この課題に対して、我々は鏡面化したピストンスカート面に超短パルスレーザーを用いて、スカートのアルミ素地部に油溜まり用の微細な溝(図1)を設けることで、摺動部の低フリクション性と耐スカッフ性を両立できる技術を開発したので報告する。

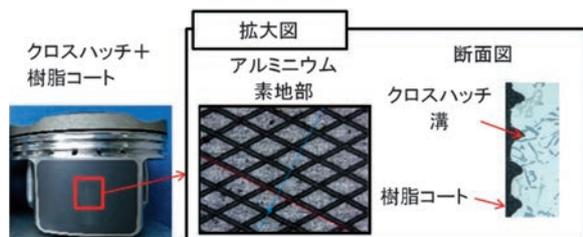


図1 スカートの微細溝のイメージ

2. スカートの表面の面性状

ピストンスカートの表面は、保護用の樹脂コーティングが施されているが、エンジンの長期間の稼働後に摩滅する可能性がある。したがって、従来のピストンスカートでは、耐スカッフ性の確保のため、スカートのアルミ素地部に条痕形状等を採用している。これは、条痕の谷部に油溜まりを設けることを目的としているが、条痕の山部の形状によってはボアとの間の油膜を発生しづらいことから、固体接触となりフリクションは悪化する。

図2にピストンスカートの表面粗さ(Ra)と摩擦平均有効圧力(Friction Mean Effective Pressure: 以下

FMEPと称す)の関係性の一例を示す。表面粗さを低減することで、FMEPが低減することがわかる。

そこで、我々は鏡面化された面に油溜まり用の微細な溝を設けて摺動部の油膜切れを防ぐことで、低フリクション性と耐スカッフ性を両立させることを検討した。

ピストンスカートの形状は、運転時のスカートの焼き付き・異音の防止等のため、上下方向にバレル形状、周方向に楕円形状のプロフィールが設けられている。このような複雑な形状を維持したまま、バリを発生させず微細な溝を形成する加工方法として、超短パルスレーザーによりアルミを昇華させて微細な溝を形成する方法を採用した。

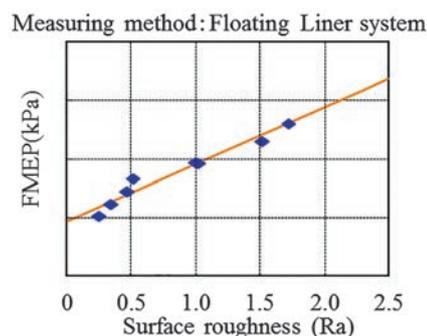


図2 スカートの表面粗さとFMEPの関係¹⁾

3. レーザ加工

3.1 超短パルスレーザー

一般にレーザーは、途切れなく連続的にレーザー光を出射する連続波(CW)レーザーと、一定の時間間隔でレーザー光を出射するパルスレーザーに大きく分類される。加工用レーザーにおいては、CWレーザーは溶接、溶断などの加工に多く用いられるのに対し、パルスレーザーは比較的微細な加工などに多く採用されている(図3)。さらにパルスレーザーの中でも、パルス幅が数ピコ秒からフェムト秒の時間オーダーのレーザーは、超短パルスレーザーと呼ばれる。

パルスレーザーの加工は、レーザー光のパルス幅によって加工品質、特徴が大きく異なる(図4)。パルス幅がナノ秒オーダーのレーザーにおいては、被加工物に対して熱影響が大きく、溝周辺部のバリ、および被加工物の堆積

物が発生しやすい。それに対して、超短パルスレーザーによるレーザー加工は、材料への熱伝導に要する時間(数ピコ秒程度)よりもパルス幅が短いため、被加工物に対して熱影響が小さく、より高い加工面性状品質が求められる加工などに利用されている。

我々は、この超短パルスレーザーの技術をピストンの加工に採用することで、シリンダーボアとの摺動に悪影響を及ぼすレーザー加工部周辺のバリ、被加工物の堆積を抑制して加工面性状品質を確保するとともに、他の工法では必要とされている加工後の洗浄・バリ取りなどの工程をなくせることでの製造コストの低減も期待できると考えた。

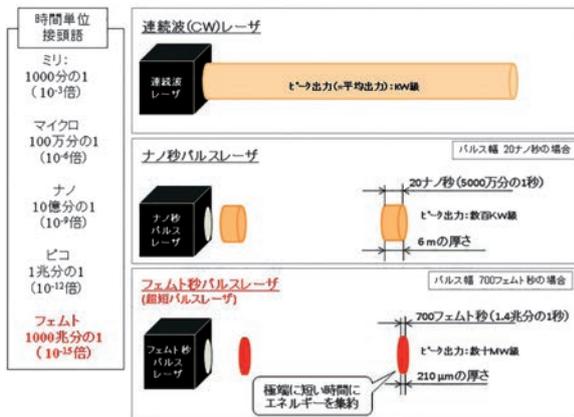


図3 各種レーザーの時間軸イメージ

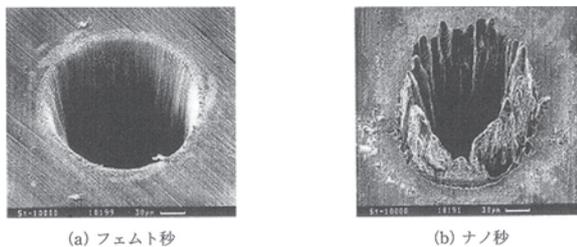


図4 レーザのパルス幅の違いによる加工品質の比較⁷⁾
(穴開け加工の例、直径約150 μ m)

3.2 レーザ加工方法

加工に使用したレーザーは、表1の仕様のIMRA America製のフェムト秒ファイバーレーザーである(図5)。このレーザーは2018年のノーベル物理学賞の受賞対象となったCPA(Chirped Pulse Amplification)技術を用いており、発振器、パルス伸長器、増幅器などのレーザーの主要部品を光ファイバーで構成することにより、高いビーム安定性と環境耐久性を有している。

図6にレーザー加工光学系の概要を示す。レーザー光源から出射したレーザービームは、中間光学系により適切なビーム調整を経て、集光レンズにより加工するピストンスカート部に照射される。そして、ガルバノスキャナによりレーザービームをピストンスカート面上で高速走査することで微細溝を形成した。

表1 レーザ仕様

中心波長	1040 nm
平均出力	> 30 W
パルス幅	700 fs
繰り返し周波数	1~5 MHz



図5 使用したレーザー光源(IMRA America製)

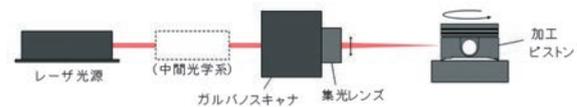


図6 レーザ加工光学系の概要

3.3 溝形状

スカート上に形成する溝形状は、上下左右から摺動面にオイルを供給するため、クロスハッチ状の溝を採用した。溝形状の拡大図、および仕様を図7に示す。溝深さは3 μ m、溝ピッチは45 μ m、クロスハッチ角度は30°である。図8に加工溝の断面形状の測定結果を示す。超短パルスレーザーによる加工の特徴が現れ、溝周辺に、バリ・盛り上がりがなく、平面部からきれいに切り下がっていることがわかる。

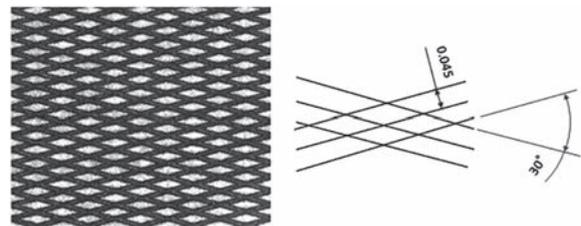


図7 溝形状の拡大図/仕様

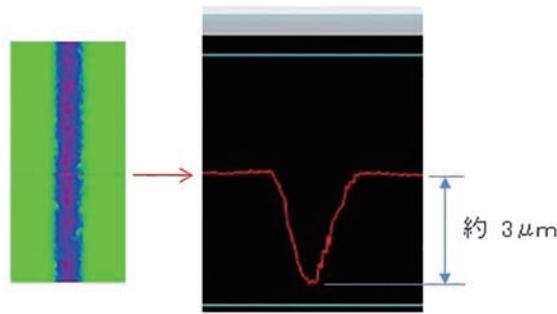


図8 溝の断面形状

4. 実機性能 評価結果

超短パルスレーザーにより得られたクロスハッチ状の溝加工（以下、クロスハッチ）と従来工法による条痕の2種類の性能比較試験結果⁸⁾を以下に示す。

4.1 摩擦力測定

浮動ライナー方式により、実働時のピストンスカートの摩擦力測定を実施した²⁾。表2に、本試験に供試したピストンのスカート表面性状を示す。

表2 テスト用ピストンスカートの表面性状

表面形状	拡大図	表面性状(樹脂コート後)
条痕 (Ra 2.4μm)		
クロスハッチ (レーザー) (Ra 0.5μm)		

スカートには加工後に樹脂コーティングを施した。スカート部の形状、ピストンクリアランス等は同一にし、表面粗さ以外の影響を極力排除した。

図9にFMEPを比較した結果を示す。クロスハッチは条痕と比較し測定全域でフリクションが低減しており、2000rpm中負荷ではFMEPが25%低減していることが判った。

図10は運転時に発生しているフリクション波形である。クロスハッチは条痕に対し上死点付近のフリクションが低減していることがわかる。クロスハッチは、鏡面化により貧潤滑な上死点付近においても油膜を維持することでフリクションが低減したと考えている。

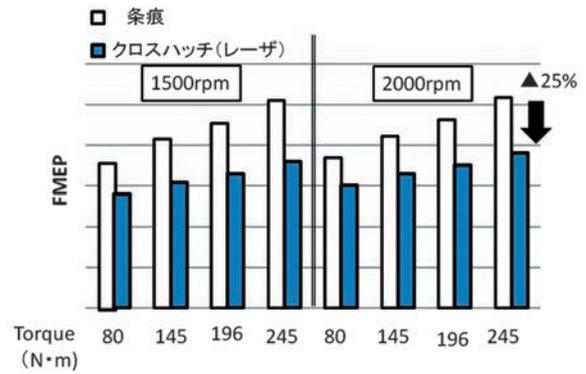


図9 実働時のピストンスカート部FMEPの比較

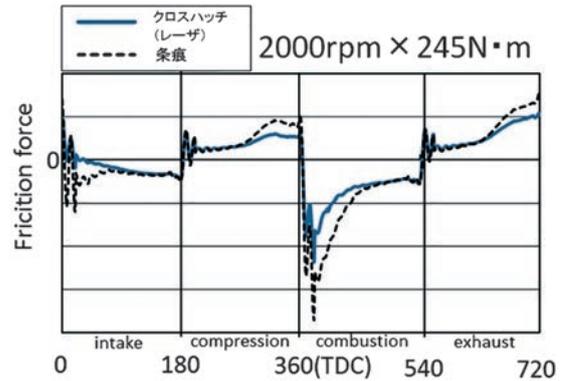


図10 運転時のフリクション波形

4.2 耐スカッフ試験

図11にエンジンを使用して耐スカッフ性を比較した試験結果を示す。

試験は、スカートプロフィールとピン穴オフセットを変更することで条痕がスカッフする運転条件を事前に見出し、その条件で実施した。また、クロスハッチの耐スカッフ性を確認するため、供試したピストンは樹脂コーティングを施さずに試験を実施した（比較用の条痕のピストンは樹脂コートあり）。スカートのアルミ素地仕様は、条痕とクロスハッチ共にフリクション評価品と同じ仕様である。

結果としては、条痕は試験開始3分後にスカッフが発生したのに対し、クロスハッチは樹脂コートが無いにもかかわらず、80分間運転してもスカッフは発生しなかった。条痕では山部の面圧が上昇し油膜を切断するのに対し、クロスハッチでは、スカートの鏡面化により面圧が低下するとともにクロスハッチの溝がオイルを保持していたと考えられる。



図11 試験後のピストンスカートの外観

5. おわりに

鏡面化したピストンスカート上に超短パルスレーザーによりクロスハッチ状の微細溝を形成することで、これまで課題とされていた低フリクション性と耐スカッフ性の両立を実現した。

超短パルスレーザーによるピストンの加工では、シリンダーボアとの摺動に悪影響を及ぼす溝周辺部のバリ、被加工物の堆積を抑制でき、レーザー加工工程以降に洗浄、バリ取り等の工程が不要であるため、製造コストの低減も期待できる。

本技術は、ピストン以外の製品の機械摺動部に対しても、溝形状などをその製品に最適化することで適用できる可能性があるため、アイシングループ内に展開していく予定である。

参考文献

- 1) 金井昌二 他:ピストンのフリクション低減技術について, 自動車技術会 学術講演会前刷集, 20055041, (2005)
- 2) Shoich Furuhashi, et al. : Measurement of Piston Frictional Force in Actual Operation Diesel Engine, SAE Technical Paper Series, 790855, (1979)
- 3) 金澤裕一朗 他:ピストン用低フリクション樹脂コーティングの開発, 自動車技術会 学術講演会前刷集, 20166293, (2016)
- 4) 金井昌二 他: ガソリンエンジン用ピストンの摩耗低減技術, 自動車技術会2011年秋季大会学術講演会前刷集, 20115575, (2011)
- 5) 荻原秀実 他: 表面改質によるエンジン摺動抵抗低減技術, HONDA R&D Technical Review, 12, 2, pp. 93 (2000)
- 6) 荻原秀実 他: 内燃機関用ピストンスカート部への固体潤滑剤付与技術とその効果, HONDA R&D Technical Review, 14, 1, pp. 85 (2002)
- 7) 新井武二: レーザ加工の基礎工学, pp. 426, 丸善, (2007)
- 8) 國安篤史 他: クロスハッチ形状を用いたピストンスカート部低フリクション化技術の開発, 自動車技術会 学術講演会講演予稿集, no.92-18, (2018)

筆者



堀田 芳敬

IMRA America, Inc. 日本支店
フェムト秒ファイバーレーザーを用いた
レーザー加工技術の開発に従事



國安 篤史

第二機関技術部 電動ポンプグループ
エンジン用ウォーターポンプの
開発設計に従事



岡崎 亮

Aisin Automotive Casting
Tennessee Inc.
ピストン製品の生産業務に従事



下川 渡

ユニット生技部
西尾機関生準グループ
ピストン製品の生産準備
および生産設備開発に従事



千野 大輔

アート金属工業株式会社
加工生技部
ピストン製品の生産技術開発に従事



新美 拓哉

アート金属工業株式会社
製品技術部 製品設計室
ピストン製品の設計に従事



岡本 明広

ユニット生技部
西尾機関生準グループ
ピストン製品の生産準備
および生産設備開発に従事



堀 喬 博士 (工学)

IMRA America, Inc. 日本支店
フェムト秒ファイバーレーザーの
開発に従事

被災地生活支援 寒冷地対応エネルギービークル

1. はじめに

日本は地震や台風など自然災害が多い国である。災害によってインフラ（電気、都市ガス、水道）が停止した場合、それらが復旧するまで被災者やボランティアの方々は、電気が使えないだけでなく、入浴などで清潔を保てないといった不自由な生活を送らざるを得ない。そこで被災地の復興を支援するため、当社独自技術を使った移動式自立型コージェネ利用システム（通称エネルギービークル）を開発し、東日本大震災や熊本震災の際に出動させた。避難所へ電気とシャワーを提供し、利用した方々からは喜びの声が多く集まった一方、課題も多く見つかった。そこで今回、これらの課題を解決した『新エネルギービークル』を開発した。

2. エネルギービークルとは

エネルギービークルとは、プロパンガスを燃料として「電気とお湯をつくるコージェネレーションシステム」「つくったお湯を貯めるタンク」「貯めたお湯を利用する男女別の脱衣シャワールーム」「給湯ポンプや排水ポンプ、バッテリーの充放電をコントロールする制御盤」で構成され（図1）、災害発生時、トラックへ積載し被災地へ移動できるようユニット化したシステムである。現在、刈谷本社グラウンド、西尾工場、新豊工場、藤岡試験場の各拠点に1台ずつ配備されている（図2）。



図1 エネルギービークル システム図



図2 エネルギービークル 西尾工場設置状態

3. 課題

3.1 被災地の声

2016年4月の熊本震災発生時、エネルギービークルは被災地へ出動した。しかし到着後、冬季保管時の凍結によりシャワー水栓が破損していたため修理に時間を要し、被災者には「まだ使えないのか」「本当に使えるのか」という不安や不満を感じさせてしまった。

3.2 【課題1】積み降ろしに時間がかかる

現在、アイシンの各拠点配備されているエネルギービークルは地上に保管され、運搬トラックの積載許容重量とエネルギービークルの重量の関係上、被災地でのシャワー利用の際も地上で使用する。出動指示から被災地でのシャワー利用までの工程は図3の通りとなる。トラックへの積み降ろし工程は、拠点にてユニック車で1ユニットずつトラックへ積み込み、被災地へ到着後、再びユニック車で1機ずつ降ろす（図4）。この作業に約5時間を要した。

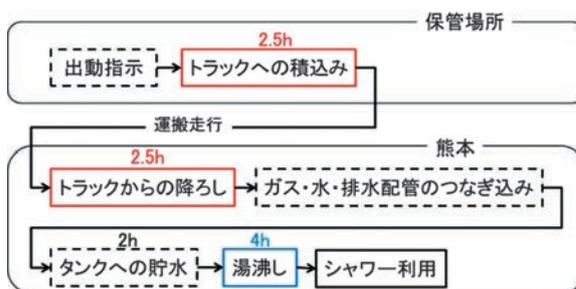


図3 出動指示からシャワー利用までの工程



図4 トラックへの積み込み作業

3.3 【課題2】湯沸しに時間がかかる

シャワーに使用のお湯は、図1に示すようにタンクへ2tの水を給水し、コージェネでお湯用タンクの水を沸かした後、シャワー水栓でブレンドしてつくられる。コージェネの発生熱(定格9.6kW)と電気ヒータ(1kW)で、お湯用タンクの水を65℃へ昇温するには現行4時間程度必要であった(図3)。

3.4 【課題3】水配管の凍結

冬期にエネルギーピークルを使用した後、配管の水抜き処理をしてから保管していたが、水が完全には抜けない構造になっていたため、シャワー水栓や水ポンプが凍結し、破損した。

4. 改善活動

4.1 開発の目標の設定

【目標1】出勤指示からシャワー利用までの時間短縮

即座に出勤し、到着後すぐにシャワーを利用できるよう、積み降ろし、給水、湯沸し時間の目標を1時間以内とした。

【目標2】寒冷地で使用できる

北海道や東北地方でもエネルギーピークルを保管し、使用できるよう、使用可能環境温度を-10℃以上と設定した。

4.2 システムの見直し

上記目標を達成するため、エネルギーピークルのシステム構成や保管方法、運用方法を見直した。

4.2.1 トラックに載せたまま保管・利用を可能に

ロングトラックの荷台スペースL6,200×W2,360×H2,700に収まるよう構成機器を見直した。また車上で利用できるよう固縛方法も再検討。さらに、被災地到着後スムーズな準備とトラブルに備えるため、初動用部材や予備ポンプの収納用スペースも確保できるよう大幅な小型化に向けた搭載設計を行った。

(1) コージェネ機器の小型化

省スペース化を狙い、従来の業務用コージェネ(停電対応タイプ:4kW)から家庭用コージェネ(標準タイプ:1.5kW)へ変更。家庭用コージェネの停電モードでの発電出力は半減の0.75kWと少なくなるため、標準機2台を連係モードで使用し発電出力を3.0kWとした(表1)。通常、家庭用コージェネは系統電力と連系していれば最大1.5kWの出力が可能であるが、停電時には停電時専用出力として最大0.75kWの発電電力となる(図5)。新エネルギーピークルでは、12Vのバッテリー電力をDC-ACインバータを使いAC200Vとすることで、系統

電力を模擬し、2台で最大3.0kWの発電電力出力を確保した。この工夫によりコージェネの占める体積を56%、重量を52%低減できる。

表1 コージェネの仕様比較

項目	現行採用機		候補機	
	業務用コージェネ		家庭用コージェネ	
タイプ	停電対応		停電対応	標準
外形寸法	H1500×D660×W1300		H1018×D400×W700	
体積	1.3 m ³		0.29 m ³	0.58 m ³
定格発電出力	6.0 kW		1.5 kW	3.0 kW
停電モード発電出力	4.0 kW	0.75 kW	—	—
定格熱出力	11.7 kW		3.7 kW	7.4 kW
重量	523 kg		126 kg	252 kg

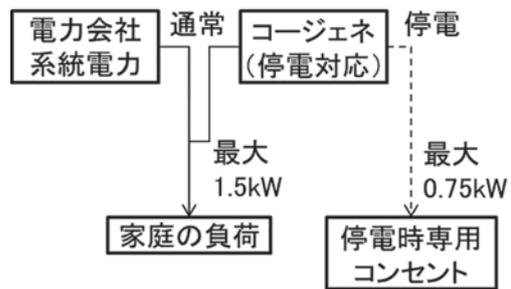


図5 家庭用コージェネの発電電力

(2) タンクの容量の適正化による小型化

一般的な100人規模の避難所において、1日の利用者を調査すると、1日25人程度であることが分かった。また、水は給水車により比較的容易に入手できるため、タンク容量を2tから1tへ変更。これにより、タンクの占める体積を50%、重量(水除く)を30%低減した。

(3) ユニット数の低減による小型化

図1と図2に示すようにシャワーユニット、タンクユニット、コージェネユニットの3ユニットで構成していたが、タンクユニットとコージェネユニットを統合することでユニット間の隙間スペースを削減した。これは(1)(2)でコージェネとタンクを小型化することで一体化できるものである。以上の構成要素の体積削減の結果を図6に示す。現行機は収納スペースを確保するとロングトラックの積載有効体積を超えるが、今回の開発機は余裕を持った積載体積となる。

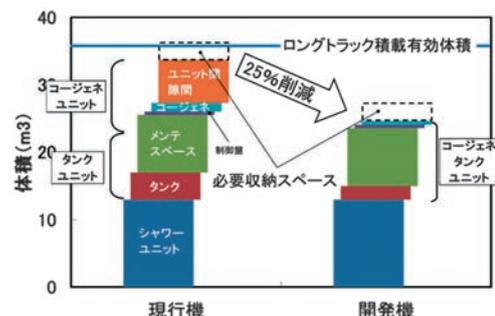


図6 エネルギーピークル構成要素の体積削減

(4) 固縛の強化

現行機はトラックから降ろして利用するため、運搬の際、簡易的にラッシングベルトでトラックへ固縛していたが、トラックに載せたまま利用するため、より強固な固縛方法に変更。コンテナを運ぶ際に使われるツイストロックという固縛装置を採用した(図7)。



図7 ツイストロックによる固縛方法

4.2.2 即湯システムへの変更

コージェネの発生熱と電気ヒータによる貯湯式にガス給湯器を追加することで、タンクへ給水すれば即座にシャワーが利用できるようにした。また、コージェネの発生熱は、タンクへの蓄熱だけでなく、後述するユニット内の暖房へ利用できるよう工夫した。

4.2.3 ユニット全体を暖房することによる凍結防止

水配管の凍結防止策として、今回全ての水配管は5度以上の勾配を付け、バルブ操作で水が抜けるよう設計した。また利用時の凍結防止策は、ユニットを高断熱パネル構造とし、コージェネの発生熱を利用した温水暖房機でユニット内を暖房する仕組みにした。

4.2.4 発電電力と電力負荷の検討

業務用コージェネ1台から家庭用コージェネ2台へ変更するにあたり、発電電力が4kWから3kWになるが(表1)、エネルギーピークルの内部消費およびエアコンの消費電力を考慮しても0.8kW程度の電力を使用できるため、数十台のスマートフォンの充電や外灯照明の電力を賄うことができる(図8)。また、新エネルギーピークルの負荷電力はコージェネの発電電力で賄うが、電力負荷が急変した場合や、不平衡な負荷ある場合は系統電力を模擬した12Vバッテリーで電力を補う(図9)。よって、バッテリー電力が減少した場合に予備バッテリーに切り換え、充放電の交番運転ができる仕組みを追加した(表2)。

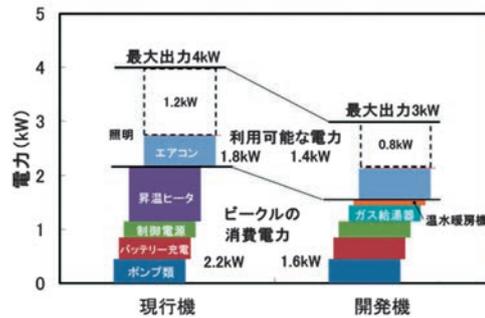


図8 最大発電出力と消費電力の関係

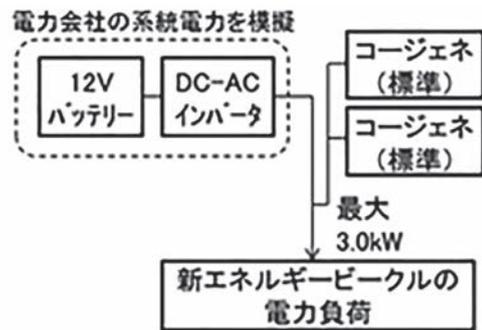


図9 新エネルギーピークルの発電電力

表2 バッテリーの充放電交番運転

時間帯	朝～夜	深夜～翌早朝
バッテリーA	系統電力を模擬する放電	コージェネによる充電
バッテリーB	コージェネによる充電	系統電力を模擬する放電

5. 結果

1次試作機の仕様を表3にまとめる。

表3 1次試作機の仕様

1次試作機 仕様			
コージェネ タンク ユニット	発電	出力方式・電圧	単相3線式 100V/200V
		定格出力	3.0kW(1.5kW×2)
	熱出力	家庭用コージェネ	7.4kW(3.7kW×2)
		ガス給湯暖房機	給湯:41.8kW 暖房:14.0kW
ガス消費量	家庭用コージェネ	11.6kW(5.8kW×2)	
	ガス給湯暖房機	60.7kW	
バッテリー容量	472Ah(鉛蓄電池59Ah×4:2セット)		
シャワー ユニット	設置設備	シャワー室×2	
		脱衣室冷暖房(エアコン、パネルヒータ、床暖房)	
		外部電源コンセント(100V/200V)、ユーティリティ水栓	
外形寸法	8t車車載時	W2,350×L8,250×H3,780	
	コージェネ・タンク ユニット	W2,200×L3,300×H2,690	
	シャワー ユニット	W2,200×L2,700×H2,690	
質量	8t車車載時	9.2t	
	コージェネユニット	許容重量13.4t(6.4t車:10.5t)	
	シャワーユニット	2.9t	
使用温度範囲	-10～35℃(発電機起動:-25℃)		

5.1 出動指令からシャワー利用までの時間を短縮

構成要素の体積の削減により、ロングトラック1台へシャワーユニットとコージェネタンクユニット、収納庫を搭載することが可能となった。これにより、トラックへ載せたまま常時保管し、出動指示後、即座に避難所へ出動し

車上で利用できる(図10)。よって、給水のための準備となり、目標である1時間以内を達成した(図11)。



図10 新エネルギービークル外観

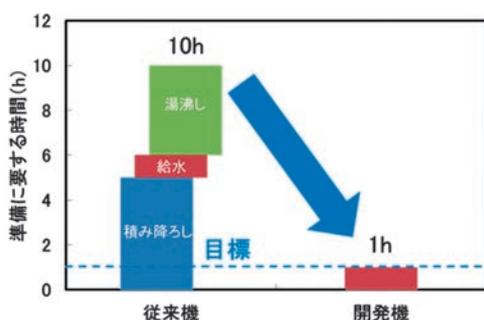


図11 準備に要する時間の推移

5.2 寒冷地(-10℃)で使用できる

藤岡試験場内環境試験室にて低温環境評価を実施。-10℃環境下において、エネルギービークル起動後1hでシャワーユニットの脱衣室内は20℃以上、コージェネタンクユニット内は5℃以上に昇温可能であることを確認。一方、配管の水抜き処理後、残水が凍結し、一部通水不良が発生。また脱衣室の床が冷たく不快であるといった官能的な課題もあった。

今後はこれらの課題を解決した後、豊頃試験場屋外でのモニター評価、課題対応を行い設計を完了する。

6. おわりに

今回の新エネルギービークルの開発終了後、最初の設置拠点は豊頃試験場になる。新エネルギービークルを使用する状況が発生しないことを切に祈るが、そのような状況が発生した場合には「すぐに駆けつけ」「すぐに使える」という機動力を生かし、被災地の生活支援に役

立つと確信している。今回の開発に対し協力頂いた社内関連部署の総務部、信頼性技術部、デザイン部、PE環境推進部、社外ではアイシン開発殿、エフティテクノ殿、光南工業殿の皆様にご感謝申し上げます。

筆者



杉浦 篤
L&E先行開発部
エネルギーシステム開発



伊藤 茂樹
L&E先行開発部
エネルギーシステム開発



保田 敬司
L&E先行開発部
エネルギーシステム開発



神谷 洋
L&E先行開発部
エネルギーシステム開発

技術論文

コンパクトSUV向け アルミバンパリインホースメントの開発

宮崎 太平 高橋 克
Taihei Miyazaki Masaru Takahashi

概要

近年、地球温暖化問題から自動車の軽量化ニーズが高まる一方、コンパクトクラスでのアルミバンパの採用事例は少ない。そこでコンパクトクラスへ対応し、競争に対し優位性のある提案を行うため、製品開発・材料開発・生技開発・解析技術が協業で開発を行い、SQC手法とCAE技術を連動させることで、効率的・効果的な開発設計を進め、コンパクトクラスでのアルミバンパ受注を実現した事例である。

1. はじめに

当社は、アルミ材のダイカスト・押出工法により自動車部品や住宅、福祉製品の開発、製造を行っている。また技術開発研究所では「継続的成長に向け利益確保を踏まえ、つくりを考慮した魅力・競争力ある新製品の開発」を方針に活動を展開しており、著者は自動車安全部品であるバンパリインホース（以下、バンパR/F）の開発を担当している。

本報告は、当社コア商品であるバンパR/Fの拡販・売り上げ充当を目的とし、コンパクトクラスに必要な端末潰し技術を実験計画法により確立したので報告する。

2. テーマの選定

近年、地球温暖化問題の高まりから先進国を中心にCO₂排出規制が進んでいる。自動車のCO₂排出量を削減する代表的な方法としては、パワートレインの高効率化や空力改善の他、車体の軽量化が挙げられる。当社の主力製品のアルミバンパR/Fも軽量化を目的として、従来の鉄製からの置換が進んでいる。

バンパR/Fは車両前端のバンパカバーの内側に位置している。バンパR/Fは車両が衝突した際に乗員やラジエータ等の高額部品を保護する衝突安全が主な役割である。アルミバンパR/Fが採用されるためには、高強度で軽量のバンパR/Fを開発しなければならない。

現在アルミバンパR/Fの採用が進んでいるのは大型～中型車を中心であるが、さらに小さいコンパクトSUVへの受注活動を行っていく。しかしコンパクトクラスは、他クラスに比べ搭載スペースの要件が厳しい。特に車両前部のコーナーが丸く、衝突要件から周辺部品のアブソーバやクラッシュボックスのスペースを差し引くと、一定幅の断面を車両中心から端末まで通すことができ

ない(図1)。そのためこのスペース要件を満たすバンパR/Fの開発が必要である。

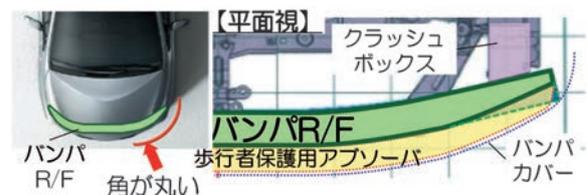


図1 コンパクトクラスのスペース要件

3. 現状の把握

3.1 バンパR/Fの要求品質

要求品質を表1に示す。設計として重点となる単品の要求項目は曲げ強度である。軽量かつ高強度なバンパR/Fとスペースは背反項目であるため、それらを両立させる必要がある。

表1 要求品質

	項目	目標
Q	55km/h 正面衝突	バンパの 破断なきこと
	64km/h オフセット衝突	バンパの 破断なきこと
	固縛強度	曲げ強度 6.5kNm以上 25.2kNで亀裂無し
C	質量	3.0kg以下
	コスト指数	100以下

3.2 要求を満足する形状の方策検討

形状を机上で検討した(表2)。従来技術の一定断面やパッチ等では質量・コストが不利であった。それに対しバンパR/Fの端末を潰した徐変形状とする案は、端末潰し技術の新規確立は必要であるが質量・コストで優位性があるため、この案を採用した。

表2 バンパR/F形状の方策検討

	狭断面一定	端末カット+パッチ	センター別体	端末潰し
斜面視				
曲げ強度	○	○	○	○
質量指数	100 ×	40 ○	60 △	40 ○
コスト指数	100 ×	70 △	60 △	30 ○
実現性	○	○	×	△ (潰し技術確立要)

3.3 端末潰しバンパR/Fの詳細形状検討

端末潰し形状を成立させるために、以下3点の形状を織込み形状を決定した。

- ① 潰し形状のきっかけとなる凹形状
- ② 稜線割れ防止のための角部の肉盛り
- ③ 断面剛性向上のためにFR側に稜線追加

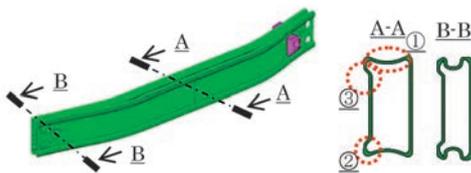
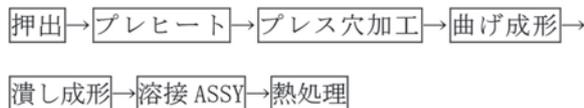


図2 バンパR/F形状

3.4 工程概要

今回の端末潰しバンパR/Fの工程を示す。



これら工程の内、プレヒート工程と潰し成形工程が今回追加する新しい工程である。

3.5 プレヒート工程

プレヒート工程は潰し工程での割れの抑止を目的としている。7000系アルミは人工時効前は室温で徐々に硬度が増す自然時効という現象を有しており、強度が高くなった材料は伸びにくく割れが生じやすい。そこで7000系アルミを短時間熱処理した時の復元効果を利用したプレヒート処理により材料を軟化させる。復元効果の概略を図3に示す。このプレヒートは他のバンパR/Fで既に採用している工程で、今回はその量産条件を横展することにした。

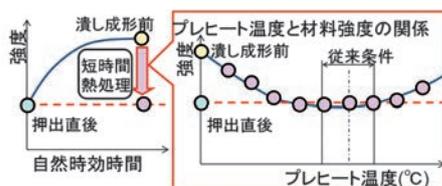


図3 プレヒート工程の概要

3.6 潰し成形工程

端末潰し成形はプレスで行う。潰し成形に伴い車両上下面が断面内側に折りたたまれる。その際、バンパR/Fを車両に取り付ける際のソケットツールのスペースの確保が必要のため、これを拘束する中子を設定した。その概略を図4に示す。本構造で試作品を製作し、性能評価を実施した。

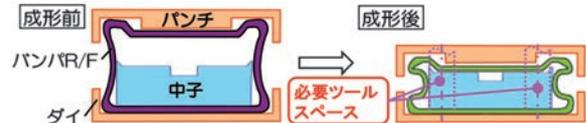


図4 型構造

3.7 性能評価結果

試作品で性能評価を行った。3点曲げ評価では曲げ強度目標6.5kN・mに対して7.0kN・mで目標を満足していることが確認できた。その他項目についても同様に確認試験を行い、性能の目処付けができたため、量産トライによる成形性の確認を実施した。

3.8 量産トライによる成形性の検証

量産型を製作し、量産トライを行った。結果、試作では起こらなかった割れ不良が12%発生した。割れは潰し量が多い端末のFR側に起こっていた(図5)。



図5 割れ不良部位

3.9 割れ不良の要因調査

割れた要因を材料物性と形状のそれぞれの観点から調査を行った。

まず材料物性については、割れ不良品のピッカース硬度を測定したところ、ねらいの硬度がHv70に対しHv89.6と高かったため、これが一因と推定した。

次に試作品の潰し形状をねらい形状と比較すると、潰しによる変形がFR側に集中しており局所曲げが発生し割れたと予想した。

これを成形CAEでモードを確認したところ粗材と中子が干渉した後、干渉部が滑らずそのまま潰しが進行し局所変形していることがわかった。割れをひずみ率で評価すると、1.48となっていた(図6)。なお、ひずみ率は材料固有の許容ひずみに対し発生ひずみの比率を表しており、1.00以上で割れの恐れがあると判断している。

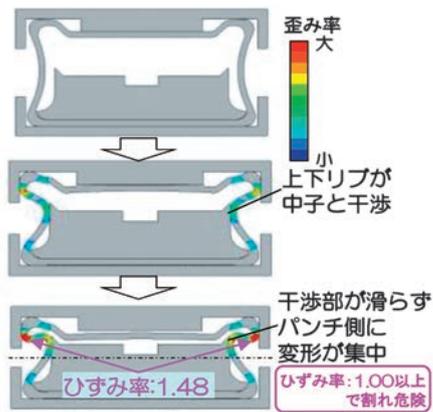


図6 潰し成形CAE

以上の調査により、割れ不良を0にするため、CAEのひずみ率を1.00以下となるように、材料と変形をねらいに近づける対策を行うことにした。

4. 目標の設定

目標を表3に示す。

表3 バンパR/F形状の方策検討

何を	現状	目標	いつまでに
潰し成形時のひずみ率	1.48	1.00以下	'17/3

5. 要因解析

系統図を用いて要因解析を行った結果、①プレス中に中子を移動させる、②材料を柔らかくするをひずみ率を低減する要因として抽出した(図7)。



図7 系統図

①の中子移動案は潰し成形で中子と干渉後材料がすべらないことを利用したもので、中子ごと変形ポイントを適正位置に移動させることをねらいとしている。②の材料を柔らかくする案は、プレヒート条件が今回材料に合致しておらず過熱状態となり硬化していると推測されることから、プレヒート条件を緩和し材料硬度を下げることを目的としている。

6. 対策の立案

中子移動案の妥当性を検証するために、成形CAEで現状の中子を強制的に移動させ変形やひずみ率を確認した。結果、ねらい通り中子によって強制的に変形ポイントが移動した。ひずみ率も現状1.48から1.11に改善した。しかしその一方、クラッシュボックスに取り付けるRR側の面が変形し平面確保ができなくなった。

そこで今回、中子を曲げポイント移動用の可動中子とRR側押さえ用の固定中子の2分割とすることにした。その型構造を図8に示す。

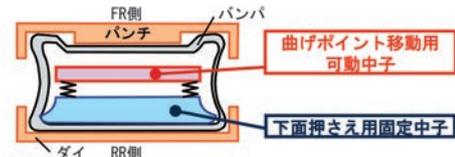


図8 分割中子構造概要

分割中子構造において、CAEでのひずみ率を低減する因子の検討を実施した。また取り上げた因子の水準幅の検討も合わせて行った(図9)。

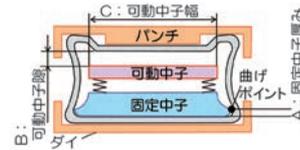


図9 各因子の寸法位置

因子A 固定中子厚み:

潰しのきっかけとなる曲げのポイント位置を制御。水準は現状の8.4mmと中子の最小板厚の5.0mm。

因子B 可動中子隙:

中子による変形ポイントの移動量を制御。水準は移動量最小となる9.7mmと最大の2.0mm。

因子C 可動中子幅:

潰し後の縦壁の曲げ角度を制御。現状水準の88mmとツールスペース確保限界の83.5mm。

因子D プレヒート温度(図10):

材料硬さを制御。水準は現状の180℃と極小推定値の140℃に設定。

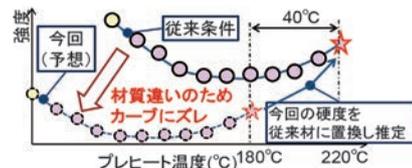


図10 各因子の寸法位置

以上抽出した4因子について最大水準幅で効率的に実験すべく、L8直行表に割り付けて実験することにした。またその実験は成形CAEで実施した。

線点図への割り付けは図11のように行った。交互作用が予想されないA×B、A×Cは誤差に割り付けた。

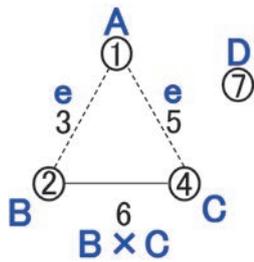


図11 線点図への割り付け

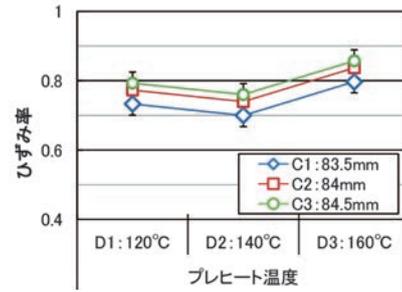


図13 二元配置実験結果の推定値プロット

7. 対策の実施

L8直交実験の結果から分散比の低いB×Cをプーリングし表4を得た。また要因効果図を図12に示す。

表4 L8直交実験の分散分析表(プーリング後)

因子	平方和	自由度	分散	分散比	検定
A	0.003	1	0.003	1.061	
B	0.018	1	0.018	5.983	
C	0.054	1	0.054	18.05	*
D	0.08	1	0.08	26.519	*
誤差	0.01	3	0.003		
計	0.165	7			

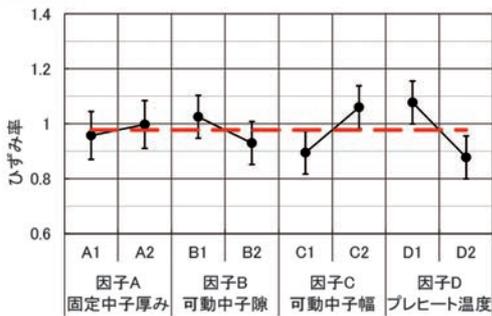


図12 要因効果図

有意でなかった因子A・Bは型強度を考慮しA1:8.4mm,B2:2mmを採用とした。

さらに因子C・Dは最適条件の追求のため二元配置実験を行った。水準は直交実験の範囲内で表5に示す通りとした。

表5 二元配置実験の水準

	水準1	水準2	水準3
C 可動中子幅	83.5mm	84mm	84.5mm
D プレヒート温度	120°C	140°C	160°C

得られた分散分析表を表6に示す。因子C・D共に有意であった。実験結果より得られた推定値プロットは図13に示す通りとなり,C1D2が推定値0.70±0.032で最少となったため最適条件とし実機で効果の確認を行うこととした。

表6 二元配置実験の分散分析表

因子	平方和	自由度	分散	分散比	検定
因子C	0.0056	2	0.0028	12.2	*
因子D	0.01447	2	0.00723	31.4	**
誤差e	0.00093	4	0.00023	-	
合計	0.021	8	-	-	

8. 効果の確認

対策で得られた最適条件で量産トライをn=25で行い、割れが発生しないことを確認した。またその後の量産でも割れ不良率0.1%以下を維持しており目標を達成することができた。

これにより要求品質を全て満足することができ、コンパクトSUVの受注につなげることができた。

9. 歯止め(標準化・管理の定着)

以下2件の標準化を行った。

項目	件数
技術指導書 (プレヒート条件)	1件
設計標準 (端末潰し形状)	1件

10. 反省と今後の計画

SQC手法を活用しながら開発を進めたことにより、効率的に課題を解決することができ、端末徐変技術の確立を通して新規受注を獲得し、売上充当することができた。

今回の知見を活用して、今後の開発業務への展開を図っていきたい。

筆者



宮崎 太平

アイシン軽金属(株) 技術開発研究所
バンパ製品の開発に従事



高橋 克

車体生技部
外装製品の生技開発に従事

サンルーフ空力騒音の予測技術開発

大江 健司
Kenji Oe
森田 守
Mamoru Morita

松井 智和
Tomokazu Matsui
高橋 佑輔
Yusuke Takahashi

酒井 信治
Shinji Sakai
加藤 由博
Yoshihiro Kato

概要

近年、CO₂排出規制の強化によって、パワートレインの電動化が進んでいる。従来の音源が低下し、車両周りの音源が車室内騒音として知覚されることが多くなるため、より高いレベルの空力騒音対策が必須となる。本稿ではサンルーフを題材に、設計初期段階における空力騒音予測技術について紹介する。

1. はじめに

自動車動力の電動化に伴い、パワートレインから発生する騒音が低下する傾向にある。その結果、パワートレインよりも比較的良かった車両周りの空力騒音が顕在化すると考えられる。本稿では、Computational Fluid Dynamics (CFD) を用いた空力騒音予測技術について紹介する。

2. サンルーフの概要

2.1 サンルーフシステムの構成

図1にサンルーフが搭載された車両状態を示す。サンルーフは採光、換気、開放感を得るために自動車の屋根に取り付けられる開口装置である。図2にサンルーフシステム詳細を示す。車両前側に配置されたモータからの駆動力をギア、ベルトを介して左右レール内にあるシューが前後にスライドし、ガラスの開閉を行う。サンルーフが開くと同時に開口前縁に格納されていたデフレクタ(図1)が上方に展開し、空力騒音を抑制する構造となっている。



図1 サンルーフ搭載状態 図2 サンルーフ詳細

2.2 サンルーフ周りの空力騒音

サンルーフが開状態で走行すると、様々な騒音が生じる。その代表的なものに風切音やウィンドスロップ音がある。風切音は空気の流れによって生じる音の総称として呼ばれる事もあるが、本論文ではサンルーフの開口前

縁の剥離流によって生じる、図3のように特徴的なピークを持たない、1~6kHzの広帯域騒音を風切音と呼ぶ。一方ウィンドスロップ音は、開口部で生じる周期的な圧力変動周波数と、車室内体積から決定されるヘルムホルツ共鳴周波数が一致した際に生じる気柱共鳴現象である。図4のように人間の可聴限界に近い周波数10~30Hz周辺に強いピークを持ち、耳を圧迫するような不快な騒音として対策を迫られる。

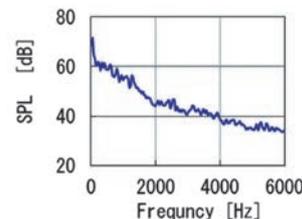


図3 風切音の例

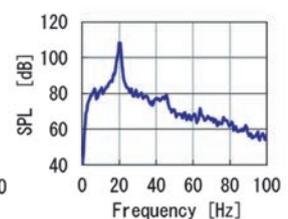


図4 ウィンドスロップの例

2.3 サンルーフの空力騒音対策

サンルーフの空力騒音対策として、開口部前縁に設置するデフレクタがある。代表的なデフレクタ形状を図5, 6に示す。一般的に、デフレクタを高い位置に設置するほど気流の向きが大きく変化し、ウィンドスロップ音の低減効果が高くなるが、風切音は悪化する傾向にある。近年は高い開放感を狙った開口量の広いサンルーフが増加しており、より強い気流変化が無ければウィンドスロップ音が低減できなくなっている。その対応として、アッパフレーム下側に空気を透過する布を設置し、変化が大きい気流を意図的に作り出すメッシュタイプのデフレクタ(以降メッシュデフレクタ)が増加している。

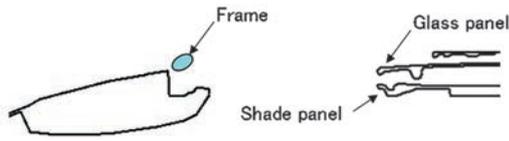


図5 コンベンショナルタイプの例

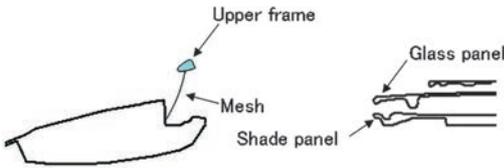


図6 メッシュタイプの例

3. 風切音予測手法の構築

3.1 風切音の計測

メッシュデフレクタ展開状態を模擬した簡易模型に、車速100km/h相当の風を当て、風切音を計測した。風洞設備への模型設置状況を図7に示す。デフレクタと風洞ノズルの間には車両のルーフ傾斜部を模擬した板を設置した。圧損の違う3ケースの布パターン拡大図を図8に示す。(a) (b) (c)の順に圧損が高くなっており、(c)のケースは空気が通過できないものとした。騒音計測結果を図9に示す。

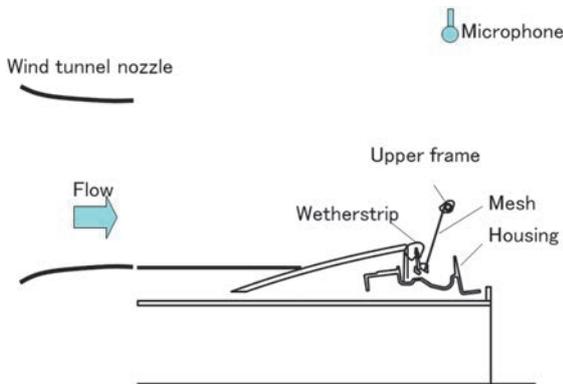


図7 風洞実験

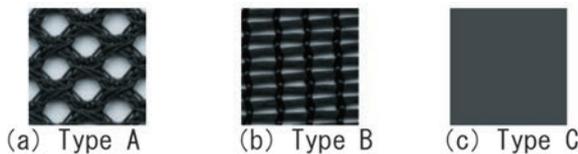


図8 メッシュパターン

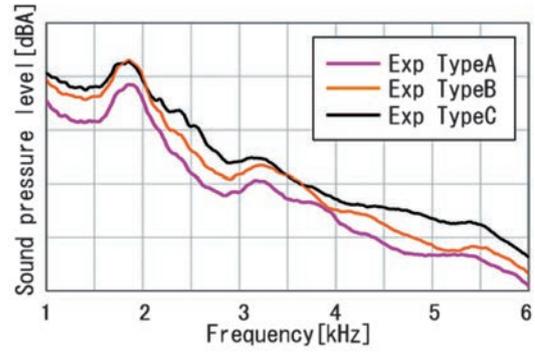


図9 風切音実測結果(スムージング処理後)

3.2 風切音の計算

図10に風切音の計算モデル概要を示す。模型形状を車幅方向に100mm抜き出したモデルで計算を行う。計算条件を表1に示す。計算ソルバーは革新的シミュレーションソフトウェア研究開発プロジェクトの成果であるFront Flow/Blue-Ver8.1を用いた。初期計算として約865万格子の計算を行い、途中で約5.5億格子に細分化して計算を実施した。布部分は境界条件として圧損特性を与えた。計算には、理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」を利用した。

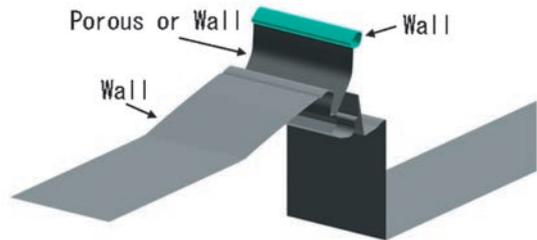


図10 風切音解析用モデル概要

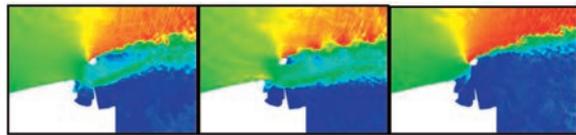
表1 計算条件

Item	Condition
Solver	Front Flow/Blue-Ver8.1
Turbulence model	LES(DSM)
Fluid	Incompressible
Cell type	Hexa, Prism mesh
Total number of cell	553 Million
Time Step	7.2×10^{-7} s

3.3 風切音計算の精度検証

メッシュデフレクタ布部分の圧損が違う3ケースの計算結果を図11に示す。圧損の変化に応じた流れ場の変化が確認できる。また、実測の騒音と、CFDのデフレクタ流体力変動からCurleの式を用いて算出した騒音を比較した結果を図12に示す。実測は暗騒音の影響を含むため実測と計算で絶対値の比較は出来ないが、定性的な傾向は捉えられているものとして音圧変化の比を比較する。格子細分化による騒音への影響を、メッシュタイプ

Aを基準として規格化し、6.3kHzの1/3オクターブバンドで比較した。その結果、粗い格子では傾向を捉えられていないが、細分化した格子では傾向を捉えることができた。



(a)パターンA (b)パターンB (c)パターンC

図11 瞬間流速分布

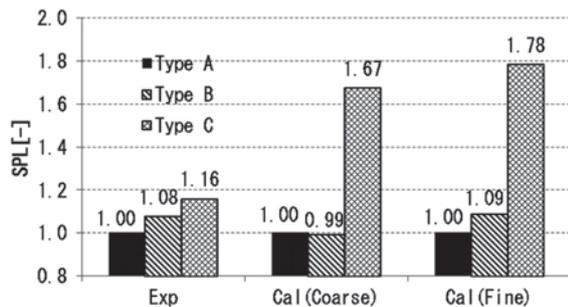


図12 風切音評価結果(6.3kHz 1/3oct)

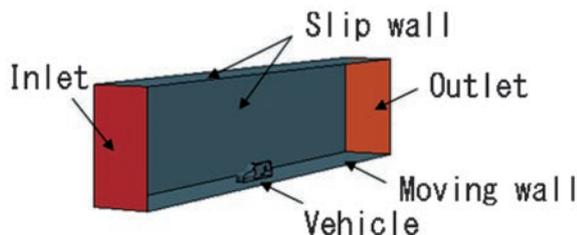
4. ウィンドスロップ音予測手法の構築

4.1 ウィンドスロップ音の計測

サンルーフを開いた状態で車速を20~50km/hの範囲で変化させ、ドライバ耳位置の圧力変動を測定し、騒音スペクトルを算出する。この時、10~30Hz近辺に生じるピークがウィンドスロップである。

4.2 ウィンドスロップ音の計算

ウィンドスロップ音計算に用いるモデルの概要を図13、計算条件を表2に示す。ピーク音圧レベルと車速の関係をデフレクタ高さ2ケースについて実測と比較した結果を図14に示す。実測と計算では音圧レベルが大きく乖離しており、デフレクタ高さを変えた時の音圧レベルの変化代も小さい。



※Not visible face is symmetrical wall

図13 ウィンドスロップ音解析用モデル概要

表2 解析条件

Item	Condition
Solver	STAR-CCM+
Turbulence model	DES
Fluid	Compressible
Cell type	Trimmed mesh
Total number of cell	8.0 Million
Time Step	1.0×10^{-4} s

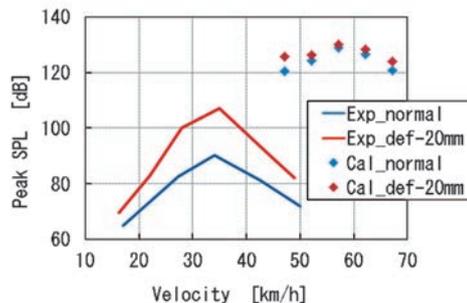


図14 速度毎の音圧レベル

4.3 ウィンドスロップ音予測の課題

ウィンドスロップは開口部で生じる周期的な渦放出と、車室を共鳴箱としたヘルムホルツ共鳴が連成した現象であり、剛体の3次元オープンキャビティモデルでは計算と実測で良く一致する事が知られている¹⁾。しかしながら、前述の結果より実車両形状では実測と計算でピーク音圧レベルに乖離が生じた。これは、実車両においては鉄板や樹脂パネルの構造振動、内装材に使われているウレタンや布の吸音効果、車室内の隙間からの空気漏れなどが影響していると推察される。そこで、実車両の音響減衰特性と計算の圧力減衰特性の差を用いて計算側のパラメータを補正する方法を試行する。

4.4 圧力減衰特性把握

実験と計算の圧力減衰波形を図15に示す。車室内の音響減衰は一般的な減衰波形の様相を示しており、減衰系の自由振動式で近似できると推測できる。実測と計算では減衰特性が合っておらず、ウィンドスロップ予測結果に差異が生じた原因と考えられる。

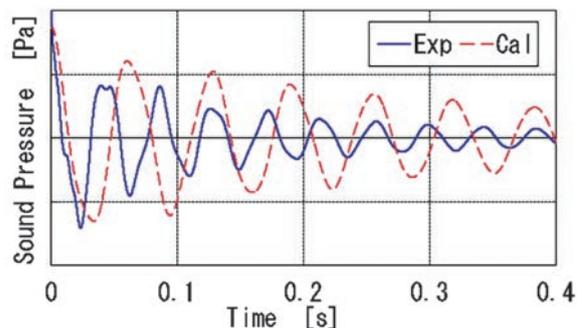


図15 実験とシミュレーションの圧力減衰波比較

4.5 計算の補正方法

粘性減衰を考慮した自由振動の式を(1)に示す。

$$p(t) = Me^{-\alpha t} \cos(\omega_n t) \quad (1)$$

ここで、 t は時間を、 $p(t)$ は音圧を、 M は減衰の初期レベルを、 α は減衰係数を、 ω_n は固有振動数を示す。実測と計算、それぞれの減衰波形を式(1)で近似できる減衰補正値を導出する。導出した補正値で計算モデルに補正を加え、再度計算を実施した結果を図16に示す。実測と計算では減衰初期に乖離はあるが、減衰の進行とともに良い一致を示している。

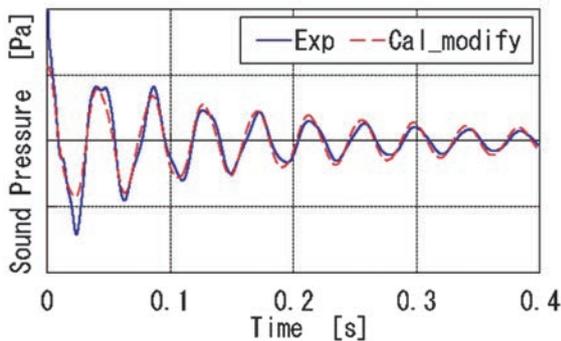


図16 修正後の圧力減衰波形比較

4.6 車室からの空気漏れ計測

実車両の空気漏れを計算モデルに盛り込むため、車室の到る所にある微小な隙間の総隙間面積を測定する。車両後席窓より車内外を連通するダクトを設置、軸流ファンによって車室内の空気を車外に排出、その時のダクト流速と車室内外の圧力差を測定することで車室の隙間面積の総和を求める。

4.7 計算の精度検証

減衰補正と車室からの空気漏れを再現した計算モデルを用いてウィンドスロップ音の計算精度を検証した結果を図17に示す。補正が無い場合、音圧レベル、音圧ピークとなる車速ともに実測と計算で大きく乖離している。しかし、音響減衰特性の合わせ込みと空気漏れを考慮した計算では実測と計算で良い一致を示した。

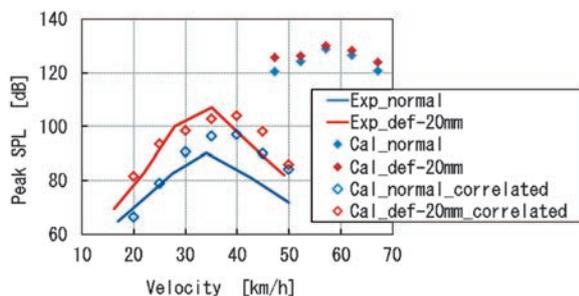


図17 速度毎の音圧レベル(改善後)

5. まとめ

サンルーフの風切音は、メッシュデフレクタの布部分を圧損でモデル化し、周波数に応じた渦が解像できる格子と車両断面を引伸ばした簡略モデルで実測との相関を得る事ができた。ウィンドスロップ音については車両固有の音響減衰特性から計算パラメータを補正する手法と、車両の空気漏れを計算モデルに盛り込む手法により、ウィンドスロップ音のピーク車速及び音圧レベルが実測結果に近づいた。

6. おわりに

最後に、本技術開発にあたり多大なご協力を賜りました(株)豊田中央研究所はじめ、関係者の方々に深く感謝いたします。本論分の一部は、理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」を利用して得られたものです(課題番号:hp150299他)。

転載文献

- 1) 稲垣昌英ら:低マッハ数流れにおける流体共鳴音の数値解析法, 日本機械学会論文集(B編), 66巻, 649号, p.2274-2281 (2000)
- 2) Fred G.Mendonca:CAD/CAE Combinations in Open Cavity Noise Predictions for Real Vehicle Sunroof Buffeting, SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. Volume 6, Issue 1(2013)
- 3) 宇都宮五郎ら:自動車ボディの気密性能測定に関する一実験, 自動車技術会論文集, Vol.22, No.8, p.763-765(1968)
- 4) 郡 逸平:自動車開発における空力騒音低減技術, Vol.33, No.6, p.549-555(2005)
- 5) 成田弘志ら:自動車のサンルーフで発生するウィンドスロップ音のシミュレーション, 第24回数値流体力学シンポジウム前刷集, F7-2, p.1-4(2010)
- 6) 堀之内成明ら:流体共鳴音解析技術の開発-ウィンドスロップ解析への適用, 豊田中央研究所R & Dレビュー, Vol.36, No.2, p.31-38(2001)
- 7) 炭谷圭二ら:自動車と流体力学-車体周り流れと空力特性, 日本流体力学学会誌(ながれ), 23(6), p.445-454(2004)
- 8) 奥津泰彦ら:数値流体解析を活用した空力騒音予測技術, 第24回数値流体力学シンポジウム前刷集, F7-2, p.1-4 (2010)

筆者



大江 健司

デジタルエンジニアリング部
(IHCAE技術部)CAE技術開発グループ
CFD技術開発に従事



松井 智和

デジタルエンジニアリング部
(IHCAE技術部)CAE技術開発グループ
CAE技術開発に従事



酒井 信治

第二車体技術部 ルーフG
サンルーフ設計に従事



森田 守

信頼性技術部 AR評価技術グループ
流体計測技術開発に従事



高橋 佑輔

デジタルエンジニアリング部
(旧信頼性技術部) CAE技術開発グループ
流体計測技術開発に従事



加藤 由博

(株)豊田中央研究所 機械1部
専門:流体工学, CFD

技術論文

ドライバモニタカメラ技術と応用

大須賀 晋
Shin Osuga内藤 剛
Takeshi Naito

概要

居眠りや脇見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、ドライバモニタリングがますます重要視されている。

安全機能としてのドライバモニタカメラ開発や、居眠り検知とその警報システムにかかわる研究、また利便機能としての読唇技術や自動運転HMIの取り組みについて紹介する。

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「平成26年中の交通事故の発生状況」¹⁾によると、年間4113人で依然憂慮すべき状況にある(図1)。交通事故件数を法令違反別にみると、安全不確認が約30%を占め最も多く、居眠りを含む漫然運転の事故件数は約8%で原因の4番目となっているが、事故件数を死亡事故に限定すると、1位は漫然運転の約18%となる(図2)。平成24年の関越自動車道高速バス居眠り運転事故など、居眠り運転は大きな事故に繋がる可能性が高く、社会的にもその対応が強く望まれている。

本稿では、居眠り運転防止への取り組みとして、ドライバモニタカメラ開発や、長時間閉眼による居眠り検知の考え方、ブザー警報による事故防止の有効性検証について紹介する。

また、近年では自動運転技術の隆盛に伴って、自動運転車とドライバ間での安全かつスムーズな運転権限移譲を行うためのドライバモニタ技術が注目を浴びている。ドライバに周辺監視義務が課される制限された自動運転車では、本やスマートフォン、景色などへの脇見や、ドライバの車両周辺への安全確認行動の有無を確認する必要があるため、ドライバモニタカメラによる注視方向推定技術についても紹介する。

さらに、ドライバの顔画像が含むあらゆる情報を分析できる可能性を持つドライバモニタカメラはヒューマンマシンインタフェース(HMI)分野での応用も期待されている。その例として顔画像処理技術を応用したマルチモーダル音声認識技術とマルチモーダル対話型自動運転について紹介する。

2. ドライバモニタカメラ

当社では、2006年からドライバの顔向きを検知するドライバモニタカメラを製品化し、2008年には瞼開度検出の機能追加を実施している。現状は、予防安全システムの付加機能として、ドライバの顔向きや瞼開度の情報によりドライバの注意力低下を判断し、前方車への衝突の可能性を知らせる警報タイミングを早めることで安全性を高めることに貢献している。現在、閉眼状態や脇見等を確実に検知できるよう、新規アルゴリズムの採用と光学特性の見直しによる性能向上を進めている。

開発中のドライバモニタカメラは、撮像部と画像処理部を一体化することで小型化を実現し、

図3に示すようにコラムカバー上面に配置され、常時ドライバの顔を撮影する。撮影された顔画像から、画像認識によってドライバの瞼開度を認識し、瞼の開閉を判断する。夜間など暗所でも撮影する為、近赤外照明を内蔵している。

交通事故発生状況の推移

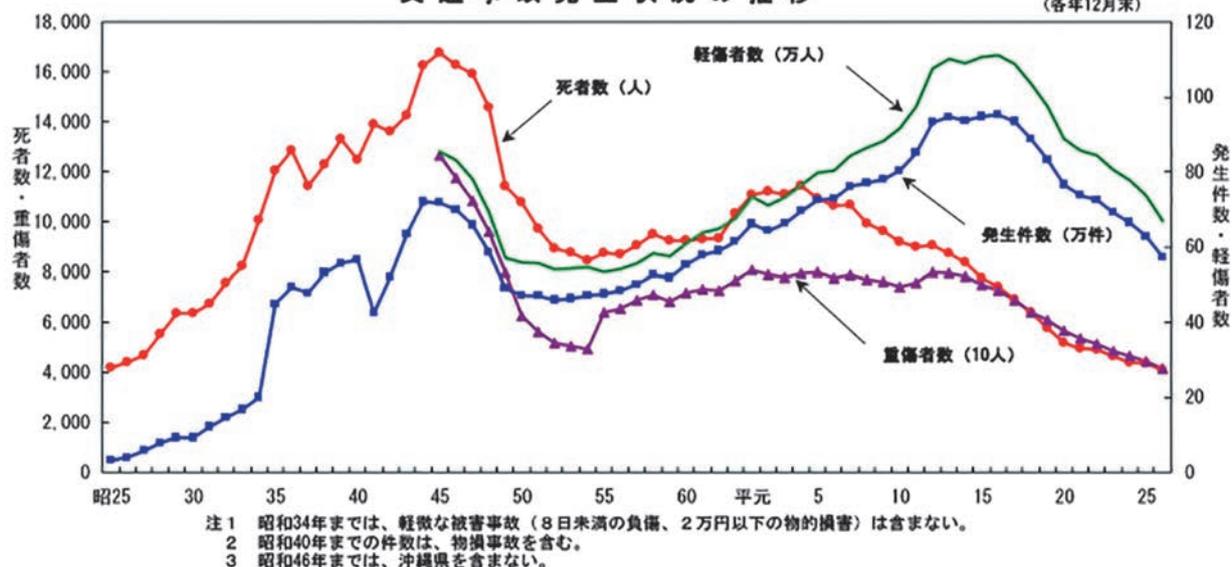


図1 交通事故発生状況

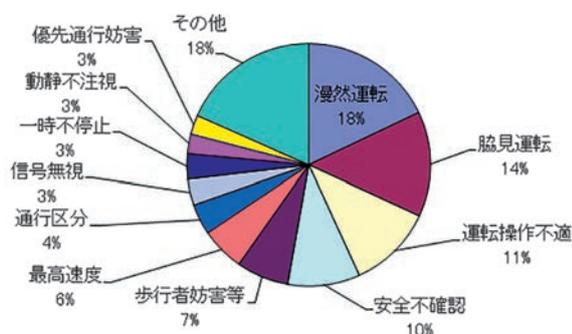


図2 交通事故発生状況

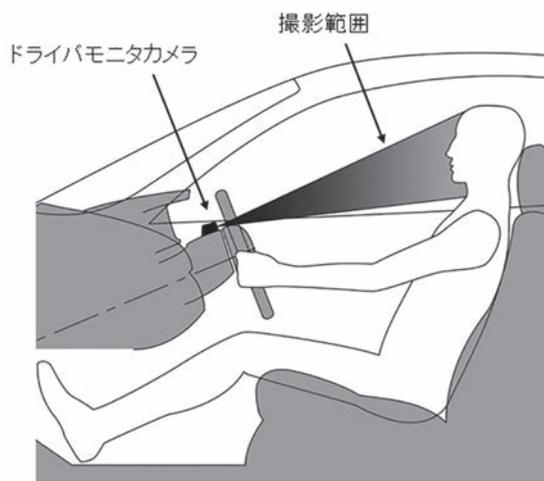


図3 ドライバモニタ搭載

図4に概略の構成を示す。

図5に画像認識アルゴリズムの処理フローを示す。まず、撮影された顔画像から顔の領域を特定し、その中から眼や鼻などの顔部品を検出する。次に、検出した顔部品と、あらかじめ学習した3D顔モデルをフィッティングさせることで、顔の移動や環境の変化がある状況でも確実に眼、鼻などの顔度を検出し瞼の開閉を判断すること

や、視線方向を推定して脇見や左右安全確認の有無を判断することができる。2020年向けに開発している画像認識アルゴリズムでは、本フローに人工知能技術を全面的に取り入れることにより、飛躍的に閉眼検出、顔・視線角度推定の性能を向上するだけでなく、写真を用いたドライバ成り済みの検出やカメラ汚れ検出などの新機能を追加している。通常であれば計算量が膨大な人工知能モデルを、車載向けの安価なCPUに搭載する為、モデルサイズの軽量化、組み込みソフトウェアの最適化や機械語まで踏み込む高速化をIdein社（2018年より当社と資本業務提携した人工知能開発のパートナー）と取り組む事で実現した。また、実車環境でのロバスト性向上のため光学特性の見直しも実施している。特に、様々な光環境の下で安定した画像が取得できるよう、近赤外照明の強度アップと、それに合わせた光学フィルタの最適化を行った。これにより顔に差し込む影や、眼鏡への風景の写りこみを低減し、認識性能を高めることができた。

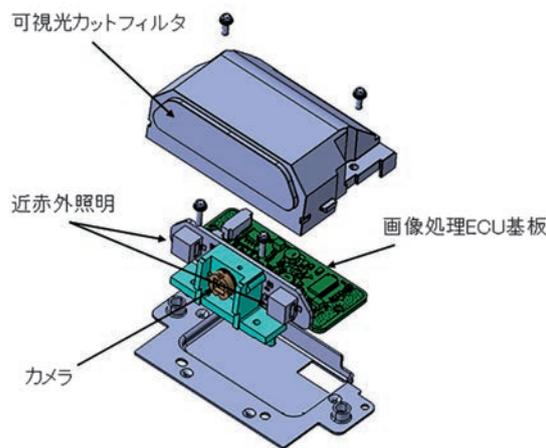


図4 ドライバモニタカメラ構成

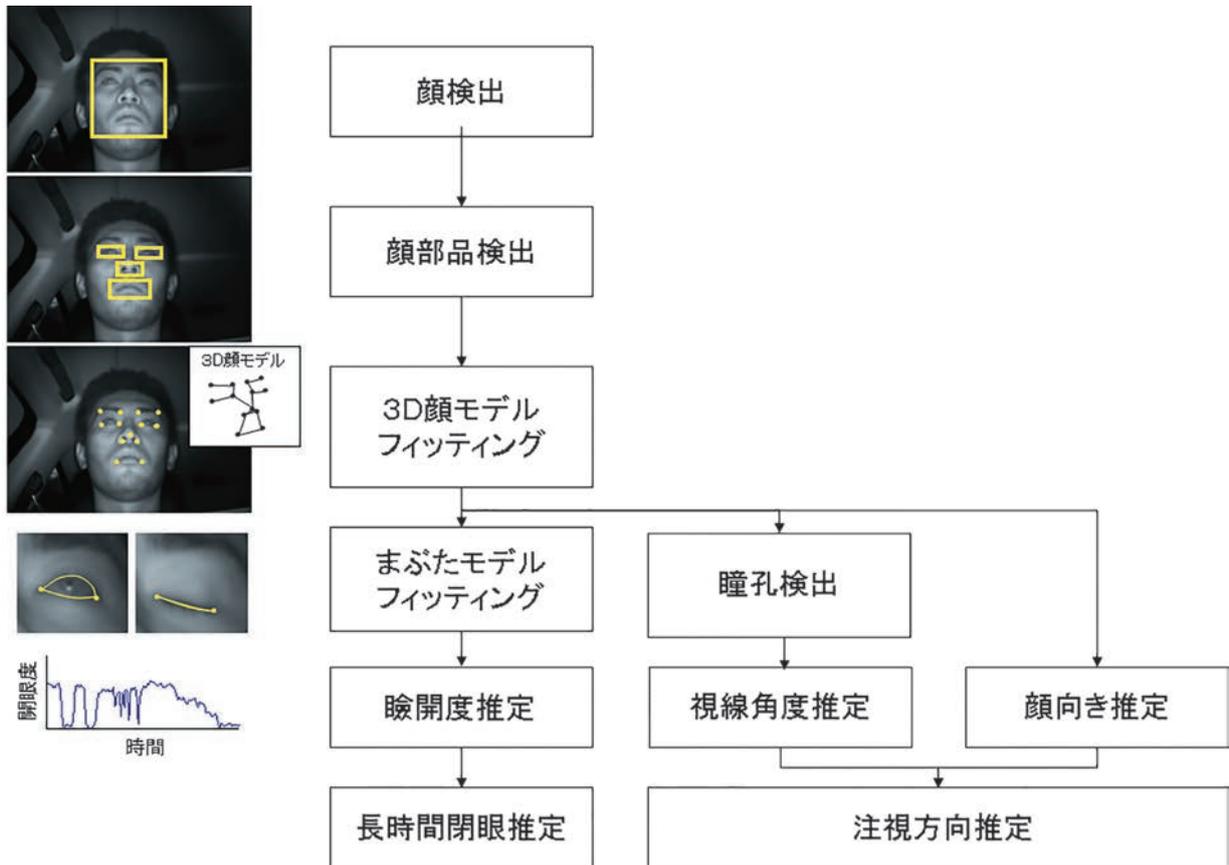


図5 処理フロー

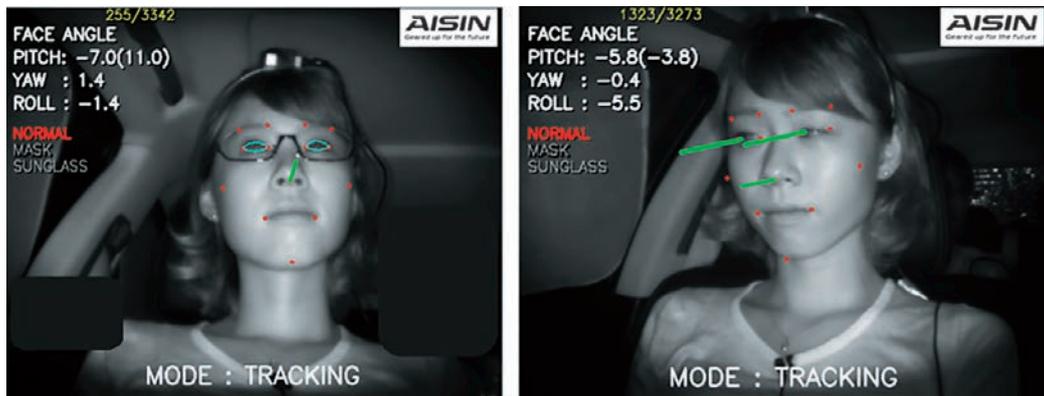


図6 正面タイプ,横方向タイプ

搭載自由度をまし,より市場にドライバモニタカメラを普及させることを目指し,従来のドライバ正面から顔を撮像するタイプに加えて,横方向(センターコンソールやAピラー等)から顔を撮像するタイプのドライバモニタカメラの開発も行っている(図6).

3. 居眠り検知

以前からドライバの眠気を脳波や心拍など,人間の生理指標から推定する手法が様々な提案されてきた(表1). 当社でも図7に示すような,圧電フィルムをシートに埋め込むことで,心拍や呼吸,体動などを検知するセンサの開発も実施しているが,近年では,ドライバの状態をカメラで撮影し眠気を推定する取り組みが活発になっている.

表1 ドライバ眠気推定の研究事例

生理指標	推定手法
脳波	覚醒低下, 快適, リラックスでα波増大
心拍	覚醒低下や快適でLF/HF低下
血流	覚醒低下で血流量低下
呼吸	疲労や覚醒低下で増加
脈拍	覚醒低下や快適でLF/HF低下
皮膚温	覚醒低下で皮膚温上昇
皮膚抵抗	覚醒低下で皮膚抵抗上昇
瞬き	疲労や覚醒低下で増加
眼球運動	覚醒低下で移動速度低下
瞳孔	覚醒低下で瞳孔縮小
体動	緊張や疲労で増加

一般的に、脳波や心拍などの計測には、電極式や振動検出式といったドライバとの接触が必要であるのに対し、カメラは非接触で計測可能であることが最大のメリットと考えられる。運転中のドライバへの負担を考えると、センサは非接触、非拘束が重要と考え、我々もカメラを使った眠気推定の検討に注力してきた。

カメラで検知可能な生体指標として、視覚運動系の瞬目や眼球運動などが挙げられるが、特に瞬目の変化は眠気との関連性が高いことが知られている。瞬目と眠気の関係性を明らかにするため、瞬目の速度や間隔、閉眼時間などの物理量と眠気の実験的に検証した。実験では、車両にドライバを撮影するカメラを搭載し、被験者9名が1周7.9kmのコースを80分、クルーズコントロールの下、時速60kmで走行した。撮影した映像から、表2に示すNEDOの評定手法²⁾で眠気レベルを判定するとともに、表3に示す瞬目の物理量が眠気とともに変化するかを調査した。

評定した眠気レベル間で、調査した物理量に有意差があるか検証した結果、運転に支障があると考えられる眠気レベル4以上とそれ以外で、閉眼時間最大値、閉眼時間積算値、閉眼及び開眼速度平均値、瞼位置平均値で差があることを有意水準0.1%で確認できた。また、瞬き間隔や瞬き周波数では有意差が見られなかった³⁾。

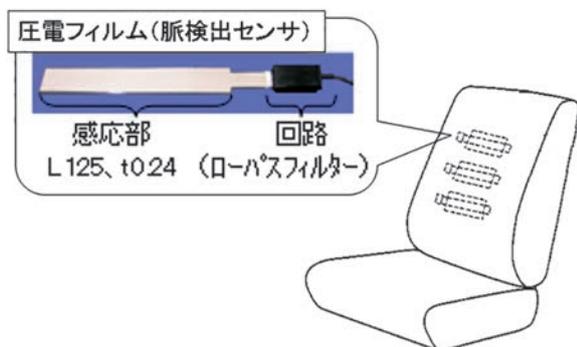


図7 脈拍検出センサ

この結果から、眠気レベルと相関の高い物理量の中で、比較的安定して検出可能と考えられる閉眼時間最大値を居眠り運転の判定指標として選定した。居眠り判定時にドライバに警報することを考えると、あまり早いタイミングではドライバに煩わしさを与えるため、眠気レベル3以下で警報しないような閉眼時間を設定した。実験より、眠気レベル2での閉眼時間最大値の3σが0.93秒となることから、閉眼時間1秒以上を居眠り運転の判定基準とした。

表2 顔面表情評定レベル

レベル	基準	特徴
1	全く眠くなさそう	・視線の移動が早く頻繁である ・瞬きは2秒に2回位の動きが活発で身体の動きを伴う
2	やや眠そう	・唇が閉じている ・視線移動の動きが遅い
3	眠そう	・瞬きはゆっくりと頻発 ・口の動きがある ・座り直し有り ・顔に手ぎやる
4	かなり眠そう	・意識的と思われる動きがある ・顔を揺る・肩の上下動などの無用な身体全体の動きがある ・あくが頻発し深呼吸も見られる ・瞬きも視線の動きも遅い
5	非常に眠そう	・瞼を開ける ・顔が前に傾く ・顔が後ろに倒れる

表3 眠気との関連を調査した物理量

眠気増加での変化	物理量
瞬き間隔が短くなる	・瞬き間隔
瞬き周波数が増加	・瞬き周波数
閉眼時間が長くなる	・閉眼時間平均値 ・閉眼時間最大値 ・閉眼時間積算値
瞬き速度が遅くなる	・閉眼速度平均値 ・開眼速度平均値
瞼開度が狭くなる	・瞼位置平均値

4. 居眠り警報

開発したドライバモニタカメラを使って居眠り警報の有効性を確認した。

ドライバの眠気を解消する手段として、音や光、振動などの刺激をドライバに与える手法が提案されている。今回、覚醒刺激として最も簡単に実現可能なブザー警報の有効性を実車で確認した。

実験では、セダンタイプの車両に自社で開発した閉眼状態を検知する装置を搭載し、被験者10名が1周7.9kmのコースを2時間、クルーズコントロールの下、時速60kmで走行した。実験時の開眼、閉眼の検出状況を図8に示す。

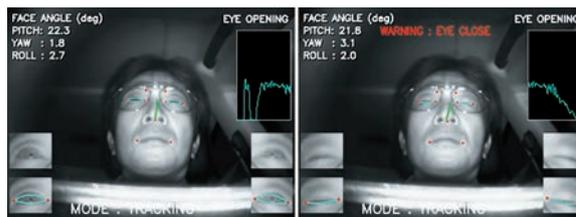


図8 画像処理で瞼の開閉を検知した様子

実験では、居眠り警報の有効性を検証するため、運転中の長時間閉眼（1秒以上の閉眼）をドライバに警報する場合としない場合の2パターンでそれぞれ1回ずつ走行してもらい、長時間閉眼の発生回数を記録した。また車線維持能力に対する効果も評価するため、タイヤが車線を踏んだ回数も記録した。実験結果を図9に示す。

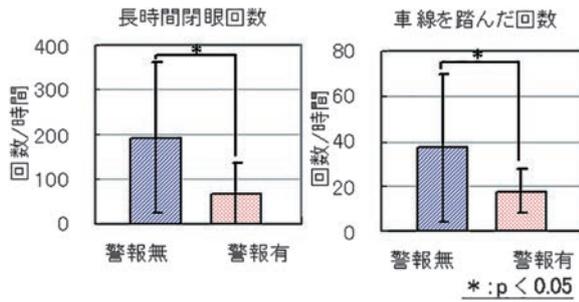


図9 居眠り警報実験結果

警報を行うことで長時間閉眼の回数および車線を踏んだ回数共に減少することを有意水準5%で確認できた。加えて試験走行中、警報無しでは起きていられずに眠ってしまい、運転の継続が不可能であった被験者が、警報有では2時間の試験を走りきることができたなど、警報が有効である事例が認められた。

これらのことから閉眼時間をトリガとしたブザー警報による居眠り運転防止の有効性が示唆された。今後もドライバの高齢化が進む中でドライバのヒューマンエラーに起因した事故は更なる増加が予想される。居眠り実験において、長時間閉眼を伴わず反応時間が遅れる事例や、ブザー警報だけでは覚醒しない事例も認められるため、他の生理指標の活用や振動刺激による覚醒など、引き続き検討を進め交通事故ゼロ社会の実現に貢献していきたい。

5. 注視方向推定

脇見や左右安全確認を検知するためには注視方向の推定が有効である。ドライバの注視方向は視線角度を推定することで検出することができる。

開発中のドライバモニタカメラでも瞳孔などを検出することにより視線角度を推定することができる(図6センチタイプ)。画像処理技術を用いた視線角度推定技術として、暗瞳孔法、明瞳孔法、眼球モデル法、角膜反射法など様々な手法が提案されている。しかし、実環境ではいずれの手法を利用したとしても、目の開き具合、直射光など光環境の厳しさ、赤外線をカットする眼鏡やサングラスの装着、顔とカメラの相対位置関係などの様々な要因で、視線検出が困難になるケースが多い。そこで、視線や顔向きの角度を含む様々な顔情報を入力とし、注視方向を推定することができる多変量時系列モデルを構築した。これにより、瞳孔位置が検出できないケースでも顔向きなどの時系列的な変化を利用して注視方向をシームレスに推定することができるようになった。

例えば、スマートフォンの利用などドライバモニタカメラから相対的に下方向に脇見をする際には、カメラ画像としては目が非常に細く映るため瞳孔位置及び視線検

出が難しいケースが発生する。先の変量時系列モデルを利用してこのようなケースでも9割以上の成功率で下方向への注視行動を検出できるようになった。

6. マルチモーダル音声認識

ドライバの顔画像が含むあらゆる情報を分析できる可能性を持つドライバモニタカメラはヒューマンマシンインタフェース(HMI)分野での応用も期待されている。例えば顔画像を用いた個人認証、感情推定、性別・年齢推定やジェスチャ認識など様々な応用が幅広く提案されている。ここではドライバモニタカメラのHMI応用に関する取り組みの1つとして、顔画像処理と連携した音声認識技術の開発について紹介する。

近年、携帯電話での検索機能、カーナビゲーションシステムの音声操作などで、音声認識技術が利用されている。音声による操作や情報検索の最大の利点は、ユーザのリテラシーに関係なく、誰でも簡単にそれらの機器を扱うことができる点にある。しかし、実環境では、周囲の雑音が大きき場所で音声認識が利用されることが多い。そこで、音声情報と画像情報を用いたマルチモーダル音声認識による、雑音環境に頑健な音声認識が研究されている⁴⁾。当社においても顔画像処理を用いた読唇技術を応用し、厳しい雑音下にある実車環境でも利用できる音声認識技術を開発している。

被験者がカメラの前で指定された単語を音読したデータを収集し、音楽やロードノイズなど実車環境の雑音を印加した上で、単語認識性能を評価した結果を図10に示した。画像のみを用いた音声認識(読唇)での単語認識率は70%弱となった。音声のみを用いた音声認識では雑音を印加しないクリア音声で98%以上となったが、SN比が低下するにつれ認識率が低下し、-5dBではほぼ単語を認識できなくなってしまった。音声と画像を組み合わせたマルチモーダル音声認識では単語認識率がSN比低下による影響をあまり受けず、-5dBでも75%程度の単語認識率となった。これにより、実車の非常に厳しいノイズ環境下におけるドライバモニタカメラを用いたマルチモーダル音声認識技術の有効性が示唆された。

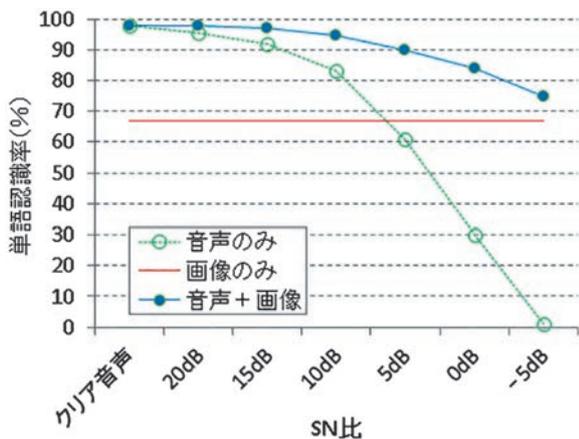


図10 マルチモーダル音声認識性能

7. マルチモーダル対話型自動運転

自動運転車の研究開発は急速に進展し、周囲センシングや車の制御などの技術は進展している一方で、実際に一般の人が、どのように「自動運転車を操作する」のかについての検討は、社会的にあまり行われてこなかった。そこで、新しい自動運転車とのやり取りを提案するため、名古屋大学、徳島大学らと共同で、「人対人のコミュニケーション」から発想を得た世界初の『マルチモーダル対話型自動運転車』(図11)の開発に取り組み、実証実験を成功した(図12)。「モダリティ/モーダル」とはそれぞれの感覚入力の種類(視覚や聴覚など)を指す言葉で、複数の入力を統合理解することをマルチモーダルシステム、特に音声対話を含む場合にマルチモーダル対話システムと言う。

今回開発した自動運転車においては、ドライバーの音声、ジェスチャ、口動作、視線などが、音声認識、深度センサ、顔画像処理を用いて認識され、かつこれらが統合理解されドライバーの意図がくみ取られる。



図11 自動運転車両



図12 実験風景

実現したマルチモーダル対話の1つとして、ドライバーがある建物を見ながら「あれは何?」と尋ねれば、「あれ」と言いながら見ているモノが何かを教えてほしいという意図をくみ取り、システムが建物名称を教える(図13)。この際、自動運転車側は、内部に持っている3Dマップ上の建物と視線方向のマッピングを行い、注視されている建物名をピックアップして、音声合成技術を用いて建物名を教える。本技術の発展として、「あそこに停めて」とドライバーが訪ねた際に自動で駐車をする機能も開発した。他の動作例として、「速度を上げて」という発声に対し音声認識で発話者の意図をくみ取ると同時に、画像処理を用いた口動作検出で指示の主体がドライバーであることを確認し、実際に自動車は運行速度を上げる(図14)。

このように、研究レベルではあるが複数のモダリティを統合的に理解し、実際に自動車の制御を行いながら応答するマルチモーダルインタフェースを備えた自動運転車を開発することができた(図15)。2018年10月末に名古屋大学、徳島大学と当社の3者共同で本成果のプレスリリースを実施し、複数のメディアに紹介を頂き、クルマとドライバーのコミュニケーションをつかさどる眼としてのドライバーモニタシステムの更なる応用を世の中に提案することができた。本実証実験の様子は、動画としてインターネットにアップロードされている。(日本語版：<https://www.youtube.com/watch?v=EkVdZUEEFM>、

英語版：<https://www.youtube.com/watch?v=Mesx4qgONqs>)



図13 マルチモーダル情報案内



図14 対話によるスピード制御

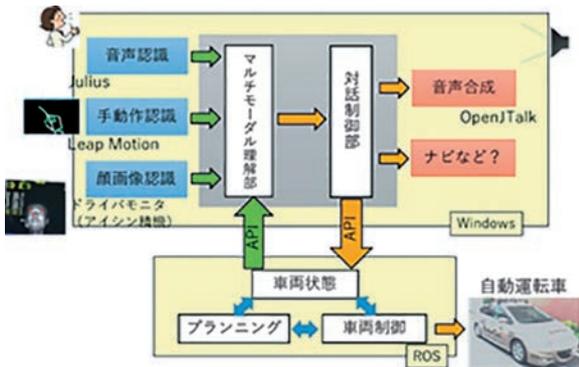


図15 システム構成図

- 3) 河野貴士ほか: Relationship Between Drowsiness and Eyelid Movements in Real Car Environment. 16th World Congress on ITS, 2009
- 4) 田村哲嗣ほか: 尤度比最大基準によるストリーム重み最適化を用いたマルチモーダル音声認識の性能評価. 日本音響学会春季講演論文集, pp.123-124, 2004.

筆者



大須賀 晋
走行安全第一制御技術部



内藤 剛
走行安全第一制御技術部

8. おわりに

本稿では、ドライバモニタカメラ技術やその応用として、走行安全や自動運転に貢献するための居眠り検知技術と注視方向推定技術、HMIの利便性向上のためのマルチモーダル音声認識技術や自動運転HMI実証実験を紹介した。今後、自動車にはますます多様なセンサや人工知能技術が搭載され、ヒトにとって最も身近なロボットとして発展することが予想される。そのようなセンサの中でドライバモニタカメラはヒトと自動車間のコミュニケーションにおける重要なキー技術となる。

私たちの視知覚は、安全な移動を担保するために障害物や道などを特定する環境認識機能を担っている一方で、ヒトとヒトとのコミュニケーションを成立させるために他者の気持ちや意図を理解する“心の理論”機能も担っている。今後、我々と同様のレベルでヒトの状態、気持ちや意図を正しく理解するセンサ開発を目指し、スムーズな機械とのコミュニケーションを実現し、より安全な交通社会や心の通うようなロボットカーの実現に貢献してゆく。

参考文献

- 1) 警察庁交通局:平成26年中の交通事故の発生状況. 平成27年3月19日掲載.
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001132129>
- 2) 人間感覚計測マニュアル 第一編(人間感覚評価指標・ガイドライン). 産業科学技術研究開発プロジェクト「人間感覚計測応用技術」.

システムズエンジニアリングに基づく機能安全リファレンスアーキテクチャの開発

稲垣 浩之
Hiroyuki Inagaki

概要

自動車に搭載される制御システムが大規模・複雑化する中で、機能安全設計を効率的に行い、安全論証を効果的に実施できる方法論が求められている。本論文では、限られた開発リソースで安全設計と安全論証を効果的かつ効率的に行うため、以下の特徴を有する機能安全リファレンスアーキテクチャを提案する。このリファレンスアーキテクチャは、ナレッジマネジメント、設計の不雑性回避、相互運用性、設計ミスリスク回避の4項目の効果を十分に発揮させるための3次元モデルとして構成されている。さらに、システムズエンジニアリングの方法論に基づき、最適なデザインパターンを導出するプロセスを提供し、機能ビューのパターンを基に物理ビューの例も提示する。これにより、異なる抽象度のシステムアーキテクチャ設計への適用をサポートすることで、実設計への適用性をさらに改善することができる。最後に、本提案手法を適用して有効性を検証したケーススタディを紹介する。

1. はじめに

ISO 26262で求められている機能安全において、アーキテクチャ設計は、安全性を論証する上で重要な枠割を果たすため、戦略的に開発されることが必要となる。過去には安全システムアーキテクチャ設計のノウハウの再利用を目的として、セーフティクリティカルなシステムへの適用を前提とした安全設計パターンと安全設計戦術がいくつか提案されている[3][4]。また、近年では複雑なシステムを開発する際にリファレンスアーキテクチャが用いられるようになってきている[1][2]。しかしながら、実際の開発現場においては、機能安全設計に効果的に活用できているとは言い難い。このことは、以下に示す4項目の効果が十分に発揮できていないことに起因すると考えられる。

ナレッジマネジメント

安全設計の高い知識と過去実績に基づいた良い設計ノウハウを再利用する。

設計の複雑性回避

システムチェックフォルトに繋がりがやすい設計の複雑化を回避する。

自動車業界内の共通理解

良く信頼されたデザインパターンを採用することで、安全設計の論理的根拠を明示し、自動車業界における共通理解を図る。

リスク低減

良く信頼されたデザインパターンを適用することで、新たなリスク発生を抑制する。

筆者がリーダーを務めたJASPAR機能安全ワーキング・デザインパターンチームでは、この問題を自動車業界の共通課題として捉え、2016年～2017年の2年間にわたり本活動が実施された。この活動では、上記4項目を精査し、リファレンスアーキテクチャを適用したシステムズエンジニアリングの観点で体系化するアプローチを採用した。この体系化された機能安全リファレンスアーキテクチャを活用して最適なデザインパターンを選定し、機能安全開発の効率化と安全論証に役立てていくことを業界共通の成果とすることが狙いである。

2. 機能安全リファレンスアーキテクチャ

本論文で提案する機能安全リファレンスアーキテクチャは、以下の3つのレイヤー構成で成り立っている。¹⁾ Static Layer：冗長設計パターンを用いたアーキテクチャの設計戦略など静的なデザインパターン目標を達成する。²⁾ Dynamic Layer：故障検出、安全状態への遷移など動的な設計目標を達成する。³⁾ Physical Layer：実装レベルの安全機構のセットからなる。

それぞれのレイヤーでは、再利用可能かつ信頼性が

高いセーフティクリティカルなデザインパターン,及びそれらの要素の相互関係をj提供する.同時に,構成要素であるセーフティデザインパターンを品質と設計制約の情報に基づき最適に選択できるように安全設計判断を各レイヤーにてサポートする.これにより,提案するリファ

レンスアーキテクチャにより示されたシステム設計プロセスは,効果的な機能安全システム設計を可能にする.全体構成を図1に示す.

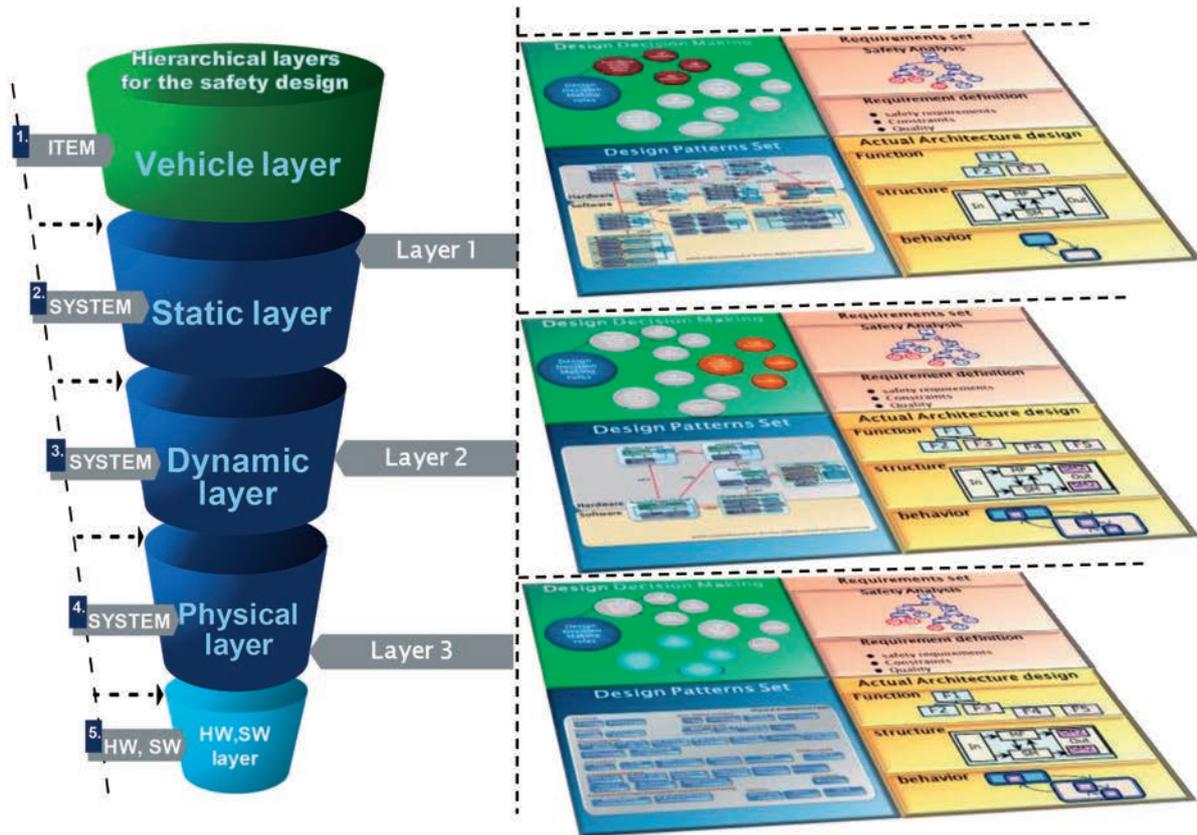


図1 機能安全リファレンスアーキテクチャ

2.1 レイヤー構成

ナレッジマネジメントとはベストプラクティスから得られた設計ノウハウをデザインパターンとしてどのように管理し,設計戦略に基づいて実際の設計に再利用できるかを意味する.図2にセーフティデザインパターンセットの階層構造を示す.システムズエンジニアリングのアプローチにより,抽象度を静的レイヤー(Static Layer),動的レイヤー(Dynamic Layer),物理レイヤー(Physical Layer)の3階層に分けている.さらに,それぞれのレイヤーにてFDIR(fault detection, isolation and recovery)に従い分類され,一般的な概念や原則ではなく,具体的な設計課題の解決策としてリファレンスアーキテクチャの中で提示される.

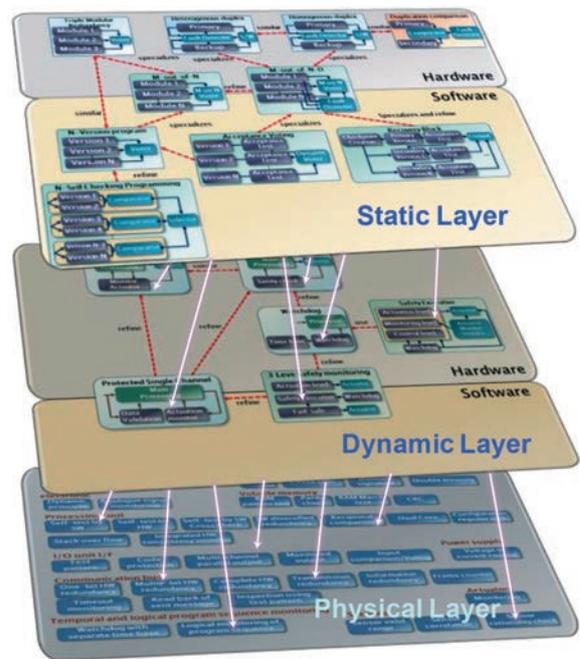


図2 セーフティデザインパターンセットのレイヤー構成

2.2 構成要素

2.2.1 安全設計戦略 (design strategy)

提案するリファレンスアーキテクチャのレイヤー内部構成を図3に示す。機能安全プロセスに適合させるため、安全要件を定義した後に最適なデザインパターンを選定できるようにディシジョンツリーを用いて設計ノウハウを明示的にルール化している。これにより、品質要求と設計制約が設計レベルで考慮され、かつ安全目標が達成できるように、各パターンがリファレンスアーキテクチャの要素として構成されている。これら2つのアクティビティをソリューション空間として定義し、機能安全の設計アクティビティを設計空間として定義する。

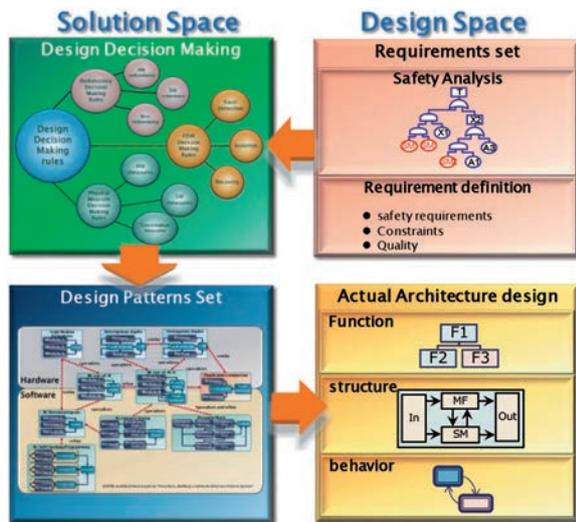


図3 各レイヤーの内部構成

3. ケーススタディ

3.1 Fail Operationalの機能安全設計

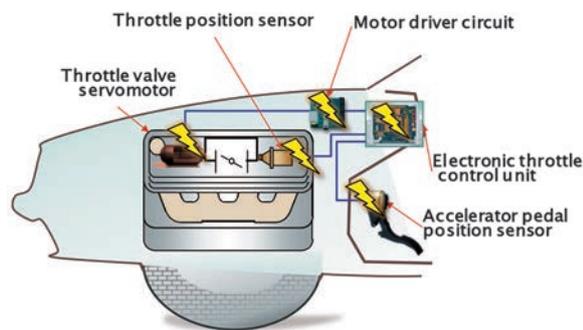


図4 Drive-by-Wire System

ケーススタディとして、Drive-by-Wire システムを対象に本提案手法を検証した結果を紹介する。以下に、構成例と安全アーキテクチャを示す。安全要求として単一故障に対して主機能を継続することを設定し、フェイルオペレーショナルのケーススタディとした。想定faultをセンサ入力系、プロセッサ系、モータ駆動回路系に分けて、それぞれの故障に対してFDIR (fault detection,

isolation and recovery)の考えに基づき安全機構を機能要求として定義した。設計制約としては、コスト制約条件、サイズ制約条件、CPUリソース制約を設定し、品質要求としては、ダイアグカバレッジ、演算効率を設定した。機能安全リファレンスアーキテクチャに基づき、セーフティデザインパターンを導出した結果、Triple Modular Redundancy Pattern, Heterogeneous Redundancy Pattern, Actuator Monitor Patternが選択され、アーキテクチャにこれらパターンを組み込んだ。この時、Redundancy Patternを物理レベルで実現するため2台のECUそれぞれに故障自己診断を持たせた2ECU構成としている。これにより、1つのセンサ故障、ECUの故障とモータ駆動回路含めた制御系の故障に対して主機能を継続させるフェイルオペレーショナルの安全アーキテクチャとして確認することができた。このケーススタディを通して、Redundancyのような規模が大きいパターンを実設計に適用する場合は、変更を加えることで実装できる。また、他のパターンを内装するためアーキテクチャが多階層になる傾向がある。今後、より実用性を向上させるため実装時のノウハウをガイダンスへ反映したいと考えている。

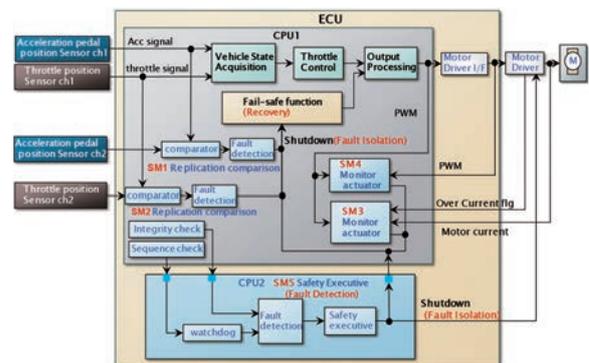


図5 デザインパターン適用結果

4. まとめ

本アプローチは、システムズエンジニアリングに基づく機能安全リファレンスアーキテクチャの開発と、その構成要素とその関連を定義することである。提案する機能安全リファレンスアーキテクチャは、機能安全システム設計を行う上で、安全性と、そのトレードオフとなる品質特性と制約条件をシステムティックに関連付けることで、実設計への適用性の向上に有効であることが確認できた。また、JASPARのワーキング活動を通して自動車業界内でノウハウを共有し有効活用する目的に対しても、機能安全リファレンスアーキテクチャは効果的な手段であると言える。さらに対処する問題領域として、今後の自動運転開発での安全設計を見越し、フェイルオペレーショナルに焦点をあて、FDIR (Fault-

Detection, Fault-Isolation and Recovery Techniques)の概念を導入していることも特徴である。最後に、提案手法は、ケーススタディを実施して、実用性と有効性を確認することができた。今後、提案する機能安全リファレンスアーキテクチャは、JASPARにおける業界協調活動を通じて、各社の機能安全対応製品の開発、および、さまざまな組織による活用が期待できる。

5. おわりに

JASPAR機能安全WGでは、本活動成果として「機能安全デザインパターン活用ガイド」と、SysMLで記述したデザインパターンセットを公開することができた。この活動では、慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 白坂成功教授から、丁寧かつ貴重なご助言を賜りました。ここに感謝の意を表します。また、WG活動を通じて多くの知識や示唆を頂いた、2016年度と2017年度のJASPAR機能安全WGの皆様には感謝します。

参考文献

- 1) Robert Cloutier, Gerrit Muller, Dinesh Verma, Roshanak Nilchiani, Eirik Hole, and Mary Bone., "The Concept of Reference Architectures", Journal Systems Engineering archive Volume 13 Issue 1, February 2010 Pages 14-27
- 2) Preschem, C., Kajtazovic, N. and Kreiner, C. 2015. "Building a Safety Architecture Pattern System"., EuroPLoP '13: Proceedings of the 18th European Conference on Pattern Language of Program, Article 17 (July 2013), 55 pages.
- 3) Ashraf Armoush, "Design Patterns for Safety-critical Embedded Systems", EuroPLoP '13 Proceedings of the 18th European Conference on Pattern Languages of Program Article No. 17, 2010
- 4) Weihang Wu & Tim Kelly., "Safety Tactics for Software Architecture Design", COMPSAC '04 Proceedings of the 28th Annual International Computer Software and Applications Conference - Volume 01 Pages 368-375, 2004

筆 者



稲垣 浩之

ソフトウェア技術部
安全・セキュリティの企画、開発

連続可変容量オイルポンプの開発

西田 裕基
Yuki Nishida

小野 壽
Hisashi Ono
豊田 文彦
Fumihiko Toyoda

寺島 宏仁
Hirohito Terashima
沼波 晃志
Koji Nunami

概要

近年、環境保護の観点から自動車に課せられる燃費・排ガスの規制が強化されている。我々の携わっているエンジン用オイルポンプにおいても、ポンプの仕事量を減らして燃費向上への貢献が求められている。今回、内接ギヤ式としては世界初となる連続可変容量オイルポンプを開発した。この結果、ポンプの駆動仕事をコンベンショナルのポンプに対し63%低減、実測で1.2%燃費向上した。

1. はじめに

近年、環境保護の観点から自動車の燃費・排ガス規制の強化が進んでいる。我々の携わっているエンジン用オイルポンプにおいても、ポンプの仕事量を減らし燃費向上へ貢献することが求められている。

その一方で、エンジンの油圧デバイスの増加やオイルの低粘度化等で、ポンプの吐出量は増加傾向にあり、ポンプの仕事量は増えている。一般的なオイルポンプは高油温での要求流量からポンプサイズが決まり、エンジン回転数に比例して吐出流量・油圧が増加する。その為、エンジンの運転状況によっては過剰にオイルを吐出し不必要な仕事をしている領域も存在している。

この不必要な仕事を低減する為に、吐出容量の可変化によって仕事低減できるポンプがあるが、その主流はベーンタイプとなっている。

今回、内接ギヤ式としては世界初となる電子制御の連続可変容量オイルポンプを開発したので紹介する。

2. 開発の狙い

前述のように、現在流通する可変容量ポンプ方式の多くはベーンタイプである。しかし、次の理由から内接ギヤを選択し開発に取り組んだ。

1つ目は、内接ギヤは部品点数が少ないことから生産性に優れること。

2つ目は、ベーンタイプは素質的に脈動が大きいことが挙げられる。

1歯当りの吐出量が多いほど脈動が大きくなるが、ベーンは枚数を増やして脈動を下げると、摺動部位が増えてフリクションが悪化しトレードオフの関係にある。フリクションを優先すると1歯当りの吐出量を下げにくく脈

動が悪くなりやすい特徴を有する。

3つ目は、ベーンタイプは摺動部位が多く、異物に対し脆弱であると考えられる。

以上3点の理由より、内接ギヤ方式での可変容量ポンプを採用。

また油量・油圧の可変方式には、高圧/低圧の2段可変のもの、無段階の連続可変のものがある。

2段可変では、エンジンの要求油圧に対して、ポンプの構成部品などのばらつきを考慮し、余裕をもった可変油圧の設定が必要となる。

連続可変では、油圧フィードバック制御を併用することで、油圧センサのばらつき以外を取り除いた油圧に制御が可能で、より低圧に制御ができる(図1)。また供給圧は各デバイスの必要油圧最小限に設定が可能である。このため、今回は後者の連続可変方式での開発に取り組んだ。

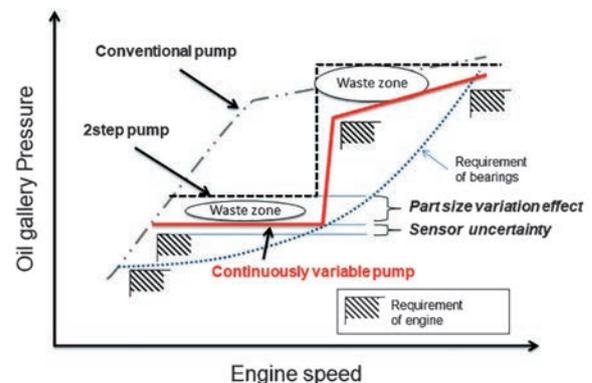


図1 油圧特性

3. 構造と機能

オイルポンプの仕事は大きく分けて、ロータが摺動するフリクションと、オイルを吐出するときに圧力と流量の積によって発生するポンプ仕事の2つから成る。

開発するにあたり、最初にロータの摺動フリクション低減に取組み、ポンプの素質を向上してから可変の2段階で開発に取組んだ。

またロータの開発にあたっては、異音の原因となる脈動の低減や、効率低下の原因となるポンプ内部のリーク量の低減にも着眼し開発した。

3.1 ロータの開発

ロータフリクションの主なものは、ロータ外周部と側面の摺動抵抗である。特に外周部のフリクションはロータ外径の3乗に比例し、ロータ幅に比例する。

同一理論吐出量であれば、ロータ外径を小さくし、吐出量はロータ幅でまかなう方がフリクション低減に効果的である。

しかし、ロータ幅を厚くすることの弊害として、高回転時のキャビテーション発生が挙げられる。ロータ歯間の拡張するスピードに、ロータ歯間の内部へのオイルの充填が間に合わず、大きな負圧が発生してキャビテーション発生を招くためである。

キャビテーションが発生すると吐出量の低下、エロージョンの発生が懸念される為にキャビテーション発生は最小限に抑える必要がある。

新しく開発した歯形では、従来は各歯が独立しているのに対して、吸込と吐出の境界以外では、各歯を連通させた。

ロータ回転角により歯間容積の拡張速度は異なるので、各歯が連通していることで拡張速度の速いところは、拡張速度の遅いところからオイルをまかなう事が可能になり、高回転時のキャビテーションの発生率を低減できた(図2)。

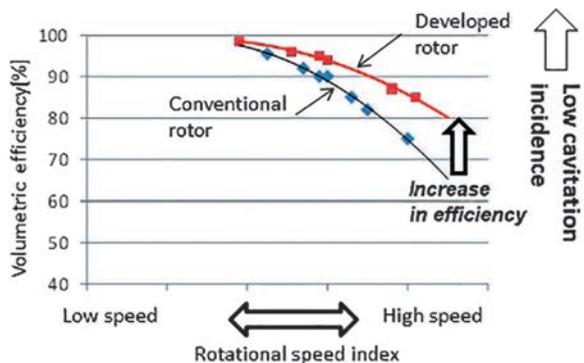


図2 容積効率

この結果、従来の歯形に対しロータ幅の許容範囲が広がりロータ径を小さく設計することが可能で、ロータ

の摺動フリクションを34%低減することができた(図3)。

	Conventional rotor	Developed rotor
Shape		
Qth	10.5cm ³ /rev	←
Size	φ57 × 13.2	φ46.5 × 19
Number of teeth	6	9
Friction (Calculation) 2000rpm 80°C 0W-16		 Δ34%

図3 油圧特性

オイルポンプは容積ポンプである為、ロータの歯数分の脈動が発生し、脈動が大きい場合には異音となることがある。脈動の低減には1歯当りの吐出量を小さくすることが有効であるが、従来歯形では歯数を増やすとロータ径が大きくなってしまいう課題があった。

新開発の歯形は、従来歯形をベースに歯を周方向に任意圧縮することが可能で、ロータ径の増加をすることなく歯数を増やすことが可能となり、この結果、従来歯形に対し脈動値を半減させることができた(図4)。

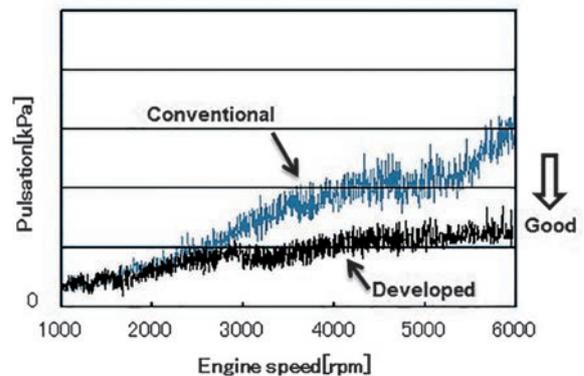


図4 油圧特性

内接ギヤはインナーロータとアウターロータの歯先に隙間を持った構造である。ロータ歯形の製造ばらつき等を吸収し、ロータが円滑に回転する為に必要な隙間である。

しかし、この隙間が吸込ポートと吐出ポートを連通させてしまうため、吸込ポート側へオイルのリークが発生し、吐出量が低下してしまう。

新開発の歯形では、図5のようにロータの歯先を径方向に圧縮することで先端を平らにしてシール長さを確保し、歯先のリーク量の低減を可能にしている。

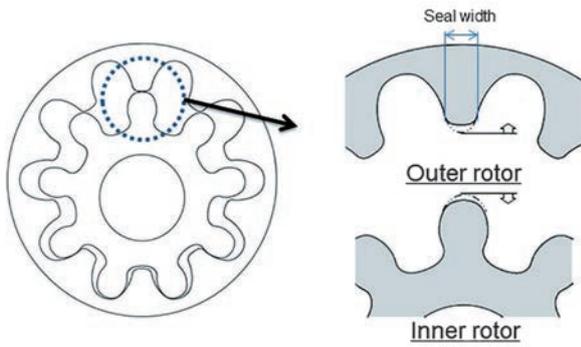


図5 ロータ歯形

3.2 可変機構の開発

内接ギヤはインナーロータとアウターロータが一定の偏心量を保ったままでないとは回転できない。その為、ベントタイプの様に偏心量を変えるのではなく、偏心方向を変えて流量を変える方策を採用した。

初期状態(従来と同じ)では、ロータの吸込・吐出の行程と、ハウジングの吸込・吐出ポートの位相が一致しておりロータの理論吐出量分のオイルを吸い込み、吐出することが可能である(図6)。

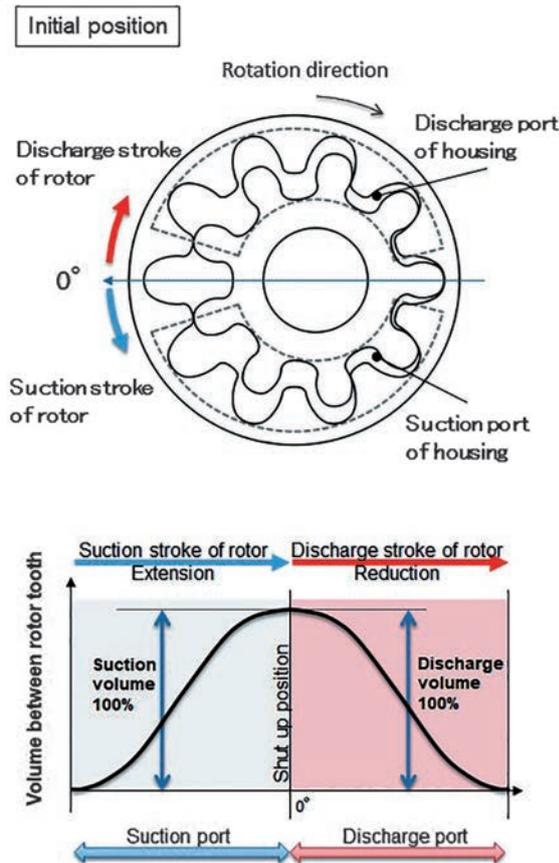


図6 初期位置のポンピング工程

可変時はロータの吸込・吐出の位相と、ハウジングの吸込・吐出ポートの位相をずらすことになる。

具体的には、初期位置ではハウジングの吸込・吐出ポートの境界に位置しているロータの偏心方向を、可変

時はハウジングの吸込方向に変える。

ロータの偏心方向より回転後方ではオイルを吐き出すので、ハウジングの吸込ポート内で吸ったオイルの一部は吸込ポート内に吐き出し、残ったものをハウジングの吐出ポートで吐き出す。このように、偏心方向の位相がロータとハウジングでずれることでポンプの吐出量を下げることが可能となる(図7)。

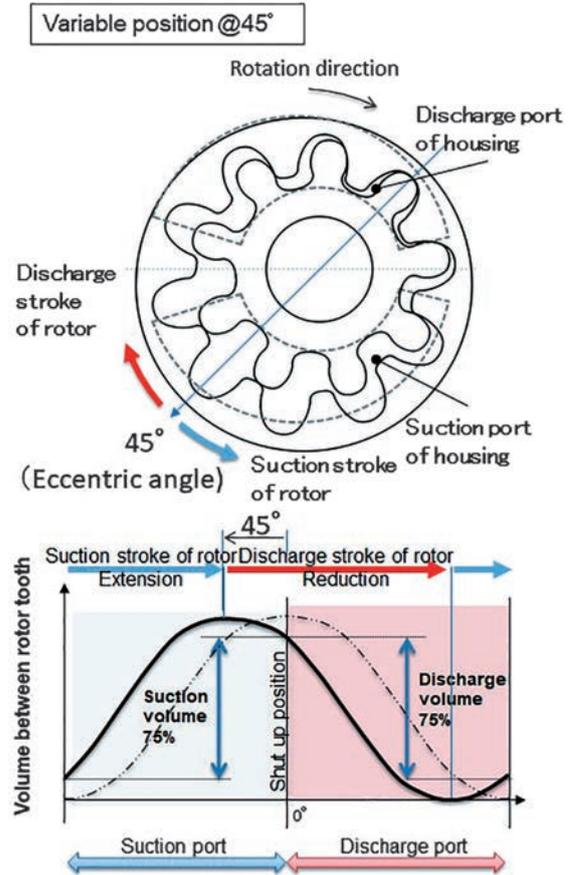


図7 可変位置のポンピング工程

この位相がずれたときに、吸込ポート内で吐き出すオイルに関しては、圧力差の無いところでオイルの出し入れを行うため、ポンプの仕事は発生せず、吐出ポート内で吐き出したオイルの分だけの仕事が発生する。偏心方向が初期位置から90°動くとも吐出量がゼロとなる。

この偏心量を一定に保ったまま可変させる方法として、アウターロータを偏心リングで保持し、偏心リングはハウジングに圧入された規制ピンで位置を規制している。

偏心リングにはロータの偏心量を一定に保ったまま動くことが可能なガイド溝が形成されていて、このガイド溝を規制ピンで支持する構造となっている(図8)。

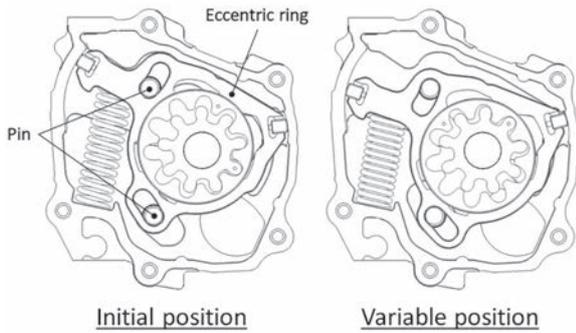


図8 リング保持方法

このようにエンジンに必要な油圧・油量を供給した上で可能な限り低油圧・低油量にすることで、ポンプの仕事量をより低減することが可能である。

一般的に可変ポンプは、偏心リングを可動させる力を発生させる制御室と、初期位置に戻す為のスプリング力の釣り合いで偏心リングのポジションを制御し、必要な吐出量にコントロールする。

このとき制御室にかかる油圧は、ポンプ自身が発生した油圧を元に、オイルコントロールバルブ(OCV)によって調圧されている。OCVである程度の調圧は可能であるが、可変するほど吐出圧が低くなる為、OCVへの供給油圧は低くなり偏心リングを押す力は低下する。一方で、スプリング力は可変するほどスプリングが圧縮されるので荷重が増加する。

この力関係では可変させていくにつれ、スプリング力に対し、制御室の油圧力が十分に得られなくなり、低い油圧まで可変させるのが困難となる。

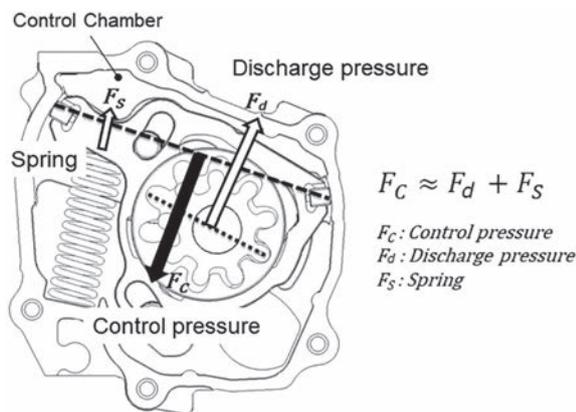


図9 リングにかかる力のバランス

そこで今回の開発品では、ロータの歯間にかかる圧力(吐出圧にほぼ等しい)をスプリングと同じ方向にかけられるように配置した。これにより可変させる力の制御室圧力(Fc)に対し、可変を戻す力は歯間内圧力(Fd)+スプリング力(Fs)の関係となる(図9)。

スプリング力(Fs)は歯間内圧力(Fd)のアシストで小さく設定でき、可変時は吐出圧とともに歯間内圧力(Fd)が

低下することで、制御室圧力(Fc)に対抗する力が小さく、油圧を80~100kPa程度の低油圧まで下げることが可能になった。また、規制ピンや制御室、スプリングのレイアウトは連続可変容量の為の制御性を考慮して適性化されている。

4. 効果

初めにOCVを用いて制御性の確認を行った。油圧の制御は汎用の制御装置でフィードフォワードとフィードバックを用いた構成とした。

フィードフォワードは、OCV電流と油圧の関係のマップを用い、その評価結果を図10に示す。ターゲットに対し、実際の油圧が十分に追従する結果を得られた。

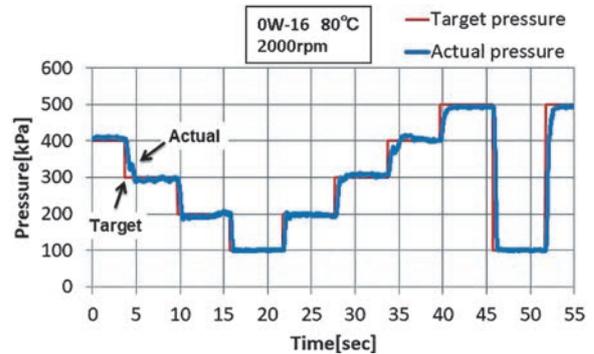


図10 油圧制御評価結果

次に、ロータの小径化によるフリクション低減と、可変化によるポンプ仕事の低減の試算を行った。試算の前提条件として中排気量の車両でのモード走行(LA#4)を想定している。

今回の取り組みの結果として、コンベンショナルのオイルポンプに対して、ロータのフリクションとして34%、ポンプ仕事として72%の低減、ポンプトータルで63%の駆動仕事を低減できた(図11)。

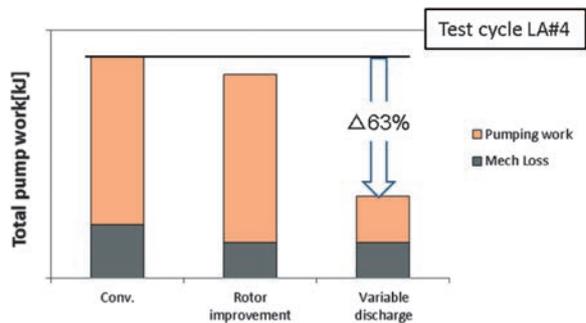


図11 ポンプ仕事量(計算値)

5. サマリ

1) ロータ歯形の改善により、外径縮小することができロータの摺動フリクションを34%低減することができた(0W-16 80°C 2000rpm)。

2) 偏心リングに独自のガイド溝を用いた可変構造と

することで、コンパクト可変ポンプを設計。

3)低油圧に制御により、モード走行時におけるオイルポンプの駆動仕事を63%低減(計算値LA#4)。また、実際の車両での搭載品評価ではLA#4モード走行で1.2%の燃費向上を確認できた。

6. おわりに

最後に、本開発を進めるにあたり、多大なご協力をいただいた社内外の関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 山本道隆 他:内接ギア式可変油圧オイルポンプを用いた潤滑システムの開発,自動車技術会20176330

筆 者



西田 裕基

第一機関技術部
オイルポンプの開発に従事



小野 壽

走行安全技術部
オイルポンプの開発に従事



寺島 宏仁

第一機関技術部
オイルポンプの開発に従事



豊田 文彦

第二機関技術部
オイルポンプの開発に従事



沼波 晃志

デジタルエンジニアリング部
オイルポンプの開発に従事

社外受賞テーマ 一覧(2018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
第一機関技術部	2018.2.23	トヨタ自動車技術開発賞	内接ギヤ式連続可変容量オイルポンプの開発	第一機関技術部(潤滑G)	第二電子技術部 CAE技術部
駆動技術部	2018.2.23	トヨタ自動車技術開発賞	正負可変ヒス構造ダンパ開発	駆動技術部(伝導第二G)	
駆動技術部	2018.3.1	日野自動車技術開発優良賞	デュトロ向けA460(6速AT)のスリップ制御追加による重量車燃費向上	駆動技術部(駆動第一G&制御G)	
第一車体技術部	2018.3.20	ホンダ優良感謝賞「開発部門」「サスティナビリティ部門」	樹脂パネル一体PSDモジュール	第一車体技術部(ドア第二G)	
駆動技術部	2018.3.27	豊田自動織機VA優良推進賞	フォークリフト向けパワーシフトT/Mにおける優良VA提案	駆動技術部(駆動第一G)	
軽合金技術部	2018.5.19	第171回日本鑄造工学会全国講演大会発表豊田賞受賞	ダイカスト金型における三次元冷却回路の実用化	深見 尚男(軽合金技術部)	
走行安全第二制御技術部	2018.5.24	自動車技術会浅原賞学術奨励賞	セミアクティブサスペンションにおける実用的な状態推定の検討	山本 彰人(走行安全第二制御技術部)	
第二車体技術部	2018.6.7	トヨタ自動車 カラーラプロジェクト表彰「CE特別賞」	後席用着座センサ	第二車体技術部	
エネルギー技術部	2018.6.14	日本ガス協会技術大賞	「エネファームTypeS」2016年度機の開発	アイシン精機(株)	
第二機関技術部 走行安全技術部	2018.6.15	愛知発明協会愛知発明賞	エンジンの油供給装置	加藤 博史(第二機関技術部) 小野 壽(走行安全技術部)	
走行安全第二制御技術部	2018.6.27	トヨタ自動車プロジェクト表彰「技術の部」	減衰力調整式アブソーバの開発	走行安全第二制御技術部	
第一車体技術部	2018.6.27	トヨタ自動車新型クラウンプロジェクト表彰「CE特別賞」	操縦安定性・握り性向上アウトサイドハンドル	第一車体技術部	
第二機関技術部	2018.7.31	General Motors Supplier Quality Excellence Award for the 2017	GM向けVVT生産	第二機関技術部AACT	第二機関技術部 第二電子技術部
第二機関技術部	2018.8.29	General Motors Supplier Quality Excellence Award for the 2017	GM向けVVT/OCV生産	西尾機関工場 半田電子工場	第二機関技術部 第二電子技術部
駆動技術部	2018.9.1	トヨタ自動車パワートレーンカンパニーVA表彰「優秀VA賞」	クラッチ海外現地連携VA活動	駆動技術部(伝導第一G)	AIAP AII iam
デザイン部	2018.10.3	グッドデザイン賞	家庭用マシン「PowerFab17」	伊村 拓見(デザイン部)	ライフ&アメニティ技術部
第二機関技術部 走行安全技術部	2018.11.20	中部地方発明協会発明奨励賞	エンジンの油供給装置	加藤 博史(第二機関技術部) 小野 壽(走行安全技術部)	
エネルギー技術部	2018.12.5	波紋President Choice	中性子イメージングを活量した蒸発器内における冷媒沸騰挙動の解明	上田 健(エネルギー技術部)	L&E開発部

社外発表論文・投稿

社外発表論文・投稿リスト(2018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	発表題目	所属 (協業先)	発表者
※1	1月	nanoGeAP-HOPV18	ペロブスカイト型太陽電池における改良フタロシアニン系ホール輸送材料の効果	アイシン・コスモス研究所 イノベーションセンター	安達 充浩 鈴木 晃 豊田 竜生
2	2月	電気学会 リニアドライブ研究会	自動車搭載用動吸振型エネルギーハーベスタに関する研究	パワートレイン先行開発部	戸嶋 裕基 東條 威士 高口 大樹 牛田 啓介
※3	2月	Association for Computing Machinery Augmented Human International Conference 2018	Telewheelchair : the Remote Controllable Electric Wheelchair System combined Human and Machine Intelligence	イノベーションセンター	笹木 隆一郎
4	2月	KEC関西電子工業 振興センター『KEC情報』 2018年4月号(No.245)	自動車・自動車部品に関するEMC規格の最新動向	信頼性技術部	前田 幸司
5	2月	第68回オールアイシン 研究発表会	ナイロン系樹脂材料の耐融雪剤性評価技術の標準化	材料技術部	山本 修也
6	2月	第68回オールアイシン 研究発表会	ピックアップトラック・商用車向け自動変速機の変速線モード自動切換え	HV・駆動技術部	二村 卓
7	2月	第68回オールアイシン 研究発表会	急速車高調整エアサスペンションシステムの開発	走行安全制御技術部	渡辺 健太
8	3月	計測自動制御学会 制御部門 MSCS制御部門 マルチシンポジウム	車両の質量変化に対する適応実用追従制御	走行安全制御技術部	芳川 達也 水谷 友一
9	3月	計測自動制御学会 制御部門 MSCS制御部門 マルチシンポジウム	自動駐車を目的とした操舵遅れをもつ自動車の位置制御	走行安全制御技術部	芳川 達也 水谷 友一
10	3月	日本金属学会 第162回日本金属学会大会	Adhesion and differentiation of mesenchymal stem cells on titanium with grid surface topographies formed by femtosecond laser	イノベーションセンター 安全衛生環境部	笹木 隆一郎 朝生 敏裕
11	3月	公益社団法人 空気調和衛生工学会 空気調和衛生工学会 北海道支部 第52回学術講演会	寒冷地における家庭用熱電併給システムによる次世代暖房制御システムに関する研究	L&E先行開発部	神谷 洋 岩見 昌志 長尾 泰気
12	3月	日本再生医療学会 第17回日本再生医療学会	フェムト秒レーザー照射によるチタン表面に形成した微細三次元周期構造が間葉系幹細胞の形態制御と分化誘導	イノベーションセンター 安全衛生環境部	笹木 隆一郎 朝生 敏裕
13	3月	アイシン技術会 アイシン技報Vol.22	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て(先進的な再生可能エネルギー活用モデル)	イノベーションセンター	河合 泰典 久城 款 水野 智公 ハサン カムル
14	3月	アイシン技術会 アイシン技報Vol.22	暮らしに寄り添い、移動を支えるパートナーモビリティ「ILY-Ai」	デザイン部	細井 広康
15	3月	アイシン技術会 アイシン技報Vol.22	薄型軽量かつ高い質感を実現するニューマチックシート	第二車体技術部 第二電子技術部	水野 量介 酒井 誠 藤井 雄輝 上館 芳信
16	3月	アイシン技術会 アイシン技報Vol.22	砂糖で発電する安全・無公害なバイオ燃料電池	アイシン・コスモス研究所	重森 康司

No.	発表月	発表先	発表題目	所属 (協業先)	発表者
17	3月	アイシン技術会 アイシン技報Vol.22	摩擦機能を付加した ボデー剛性ビームによる 車両運動性能向上	走行安全技術部	坂柳 裕之 中島 延久 岩永 宗一郎 加藤 隆将 黒川 泰明
18	3月	アイシン技術会 アイシン技報Vol.22	セミアクティブサスペンションにおける 実用的な状態推定の検討	走行安全制御技術部	山本 彰人 田中 亘 榎野 貴文
19	3月	アイシン技術会 アイシン技報Vol.22	小型電気式リヤ駆動ユニットの開発	パワートレイン先行開発部 HV・駆動技術部	田原 安晃 小川 和己 野中 典昭 木村 豪 中森 幸典 服部 総一郎
20	3月	アイシン技術会 アイシン技報Vol.22	長時間着座時の むくみ低減方法の提案	先進技術開発部	小木曾 隆 藤岡 英二
21	3月	アイシン技術会 アイシン技報Vol.22	パーソナル温冷感寝床内 環境システム技術	L&E先行開発部 先進技術開発部	井上 慎介 末次 恵久 山口 秀明 山口 涼嘉
22	3月	ESD21ソフトウェアに関する ESD21のイベント	自動車ボディシステムにおける プロダクトライン開発の導入と実践	ソフトウェア技術部 (第二車体技術部)	浅野 雅樹
23	3月	公立大学法人兵庫県立大学 産学連携・研究推進機構 兵庫県ビームライン年報・成果集	ボリアミドにおける 成形条件プロセスによる 結晶変化の解明(仮)	第二生技開発部	舟本 三恵
※24	4月	SAE World Congress Expe- rience 2018	Development of Continuously Vari- able Discharge Oil Pump	第一機関技術部	西田 裕基
25	4月	科学技術情報出版月刊EMC	高信頼性が求められる 自動車とCISPR25	信頼性技術部	前田 幸司
※26	5月	The Association for Research in Vision and Ophthalmology (ARVO) ARVO 2018 Annual Meeting	定常性視覚誘発電位を利用した グレア知覚の定量評価	アイシン・コスモス研究所	廣瀬 秀頭
27	5月	公立大学法人兵庫県立大学 産学連携・研究推進機構 利用課題実験報告書	高分子における成形条件 プロセスによる結晶性変化の解明	ユニット生技部	舟木 三恵
28	5月	中性子学会誌 (波紋2018年5月号)	中性子イメージングを活用した 蒸発器内における 冷媒沸騰挙動の解明	エネルギー技術部	上田 健
29	5月	電子情報通信学会 信頼性研究会	Bootstrap法の車載ソフトウェアへの 適用及びその考察	第二車体技術部	佐野 圭太
※30	5月	American Physical Society(=APS) アメリカ物理学会 Physical Review Materials(PRM)誌	新しい鉄系超電導体 :(Ln,Na)Fe ₂ As ₂ (Ln=Ce,Pr)	イムラ材料開発研究所	川島 健司
31	5月	公益社団法人低温工学・超電導 学会 第96回低温工学・超電導学会 研究発表会	輸送機器用高温超電導誘導同期 モータの研究開発現状(2)～20kW級 プロトタイプ機の熱等価回路による 冷却特性評価～	L&E先行開発部	大橋 義正
32	6月	日本機械学会 ROBOMECH2018	ホームサービスロボットにおける 命令部中の単語意味ベクトルに 注目した最適行動識別	先進技術開発部	能勢 啓輔
33	6月	中部エレクトロニクス振興会 電磁環境委員会 EMC技術者教育入門初級編	EMC技術者教育入門基礎 EMC基礎編	信頼性技術部	山田 紘久
34	6月	グランド再生可能エネルギー 2018組織委員会 グランド再生可能エネルギー 2018	スプレーコーティングによる ペブスカイト太陽電池モジュールの開発	イノベーションセンター (アイシン・コスモス研究所)	佐野 利行
※35	6月	International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion(Speedam2018)	Experimental and Analytical Study on Torque Density Maximization of High Temperature Superconducting Induction/Synchronous Motor (高温 超電導誘導/同期モータのトルク密度 最大化の検討)	L&E先行開発部 (イムラ材料開発研究所)	大橋 義正
36	6月	日本骨形態計測学会 第38回日本骨形態計測学会	フェムト秒レーザー照射により形成した 三次元微細周期構造チタン表面での 間葉系幹細胞の骨分化誘導	イノベーションセンター 安全衛生環境部	笹木 隆一郎 朝生 敏裕

No.	発表月	発表先	発表題目	所属(協業先)	発表者
37	6月	中部品質管理協会 QCサークル事例発表大会	視野を広げてものづくりができる 人材へ	車体工機部 (TQM・PM・ISO推進部)	丸山 勝
※38	6月	Nature Publishing Group Scientific Reports誌	122型構造を持つ 鉄系超電導体:(La,Na,K)Fe ₂ As ₂	イムラ材料開発研究所	川島 健司
39	7月	一般財団法人 日本科学技術連盟 QCC全国大会 松山	全員参加でタラレバを無くせ! お客様も喜ぶインサートピン 組替え工数低減	車体工機部 (TQM・PM・ISO推進部)	山崎 樹
40	7月	日本睡眠学会 第43回定期学術集会	温冷感推定に基づく ヒータ制御の有効性評価	先進技術開発部 (L&E先行開発部)	山口 涼嘉
41	7月	自動車技術会 中部支部 研究発表会	急速車高調整 エアサスペンションシステムの開発	走行安全第二制御技術部	小久江 健
42	7月	一般財団法人日本科学技術連盟 第48回信頼性・保全性シンポジウム	ダイカスト金型 冷却水量の流量検知手法の確立	第二生技開発部 (軽合金技術部)	衛藤 大介
※43	7月	Biomaterials International 2018	Adhesion and differentiation of Mesenchymal Stem Cells response to Ti surface with multi-scaled to- pographies	イノベーションセンター 安全衛生環境部	笹木 隆一郎 朝生 敏裕
※44	8月	NTN Innovative Surfaces Biointerfaces International 2018	Multi-scaled Hierarchical Topogra- phy of Titanium Regulated Adhe- sion and Multi-differentiation of Mesenchymal Stem Cells	イノベーションセンター 安全衛生環境部	笹木 隆一郎 朝生 敏裕
※45	8月	The National Lab for Superconductivity, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences 12th Materials and Mechanisms of Supercon- ductivity and High-Temperature Superconductivity(=M2S2018)	1144型構造を持つ(La,Na) AF ₂ Fe ₄ As ₄ (A=Rb,Cs)の超電導	イムラ材料開発研究所	川島 健司
※46	8月	The National Lab for Superconductivity, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences 12th Materials and Mechanisms of Supercon- ductivity and High-Temperature Superconductivity(=M2S2018)	1144型および122型 構造鉄系超伝導体の最近の進展	イムラ材料開発研究所	川島 健司
※47	8月	フランス機械学会 (LAMCOS) International Gear Conference	Geometry Design of Pinion Cutters for Face Gears with Offset in Skiv- ing with 5Axis Machine	第二生技開発部	中原 好友 永田 英理
48	8月	情報処理学会 組込みシステム研究会組込み システムシンポジウム	自動車系ボディ系システム プロダクトライン開発の事例報告	ソフトウェア技術部 (第二車体技術部)	西浦 洋一 浅野 雅樹
49	8月	SWEST20	ソフトウェア開発上流工程における “抽象化”の重要性	ソフトウェア技術部 (第二車体技術部)	浅野 雅樹
※50	9月	ICM2018 XXII Ird Interna- tional Conference on Elec- trical Machines	電気自動車への適用を目的とした 24kW級誘導機の特性評価と最適化	パワートレイン先行開発部	馬 暁陽
※51	9月	JASIC、タイ王国国土交通省 第53回JASICエキスパート ミーティング タイ王国	車載部品のUN R10-5 EMC試験概要	信頼性技術部	前田 幸司
52	9月	公立大学法人兵庫県立大学 産業連携・研究推進機構 第15回Spring-8産業利用報 告会(2018年度)	樹脂成形品の結晶化度分布解析を 用いた変形予測精度向上(発表) 樹脂溶着界面の構造観察(ポスター)	ユニット生技部	舟本 三恵
※53	9月	UNIVERSITE COTE D'AZUR ACT-M 1ere Journée Matériaux UCA	電子顕微鏡による エネルギー変換材料の研究	イムラ・ヨーロッパ 技術企画・統括部	Radoslaw CHMIELOWSKI
※54	9月	ITS World Congress 2018	リアルタイム歩行者認識におけるLidar 反射強度と3Dジオメトリ情報の複合 効果	イムラヨーロッパ (技術企画・統括部) (走行安全制御技術部) (電子先行開発部)	Luc Mioulet Frederic Abad Daichi Mizushima Dzmitry Tsishkou Remy Bendahan
55	9月	公益社団法人応用物理学会 2018年第79回応用物理学会 秋季学術講演会	鉄系超伝導体CaKFe ₄ As ₄ 単結晶の 臨界電流特性と磁束ピンニング機構	イムラ材料開発研究所	川島 健司
56	9月	第53回全豊田研究発表会	連続可変容量オイルポンプ 油圧応答性予測ツール構築	CAE技術部	岩崎 省吾
57	9月	第53回全豊田研究発表会	急速車高調整エアサスペンション システムの開発	走行安全第二制御技術部	浅野 紘輝

No.	発表月	発表先	発表題目	所属(協業先)	発表者
58	9月	第53回全豊田研究発表会	導電性高分子材を用いた 微細水粒子生成・放出技術開発	ライフ&アメニティ技術部 L&E先行開発部	井上 慎介 平野 明良
59	9月	第53回全豊田研究発表会	ニューマチックシート高圧力高耐久 ブラダ対応溶着技術	第二車体技術部	酒井 誠
60	9月	第26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	倉知 伸幸
61	10月	電子情報通信学会 無線電力伝送研究会 (WPT研究会)	電界結合型2次元WPTに向けた 受電電極の最適構造	イノベーションセンター	相京 秀幸 早川 浩二郎 矢田 祐之
62	10月	一般社団法人 中部品質管理協会業務 改善事例発表大会	瞬間式温水洗浄便座の洗浄面積改善 ～ノズル形状の最適設計～	ライフ&アメニティ技術部 (TQM・PM・ISO推進部)	加藤 詔平
63	10月	日本金属プレス工業協会 第1回ホットスタンピング 研究会	高周波加熱のホットスタンピング	車体生技部	林 貴文
64	10月	九州経済産業局 水素ビジネス参入セミナー	燃料電池分野のニーズ紹介	エネルギー技術部	藪谷 元彦
65	10月	福岡水素エネルギー戦略会議 部品研究会2018～ エネファーム編	アイシン精機のエネファームの進化と コストダウンの取組み	エネルギー技術部	藪谷 元彦
66	10月	低温工学・超電導学会 冷凍部会 2018年度第4回 冷凍部会例会	遠心式極低温ポンプの概要と特性	L&E先行開発部	大橋 義正 野町 博康
67	10月	自動車技術会 2018年秋季大会	ハイテン材における延性亀裂進展の 予測技術に関する研究(第1報)	CAE技術部	末吉 真
68	10月	公立大学法人兵庫県立大学 産学連携・研究推進機構 利用課題実験報告書	高分子における成形条件 プロセスによる結晶性変化の解明	ユニット生技部	舟本 三恵
69	10月	日本プラントメンテナンス協会 からくり改善くふう展2018	PPスライダー	安城工場	本田 勲 伊藤 仁 平松 賢弥
70	10月	日本プラントメンテナンス協会 からくり改善くふう展2018	うちぬきちゃん	衣浦工場	今城 祐一
71	10月	日本プラントメンテナンス協会 からくり改善くふう展2018	昇降名人!	新豊工場	古川 利規
72	10月	日本プラントメンテナンス協会 からくり改善くふう展2018	セーフティー扇子シュート (ぶつからないシュート)	小川工場	一瀬 純
73	10月	日本プラントメンテナンス協会 からくり改善くふう展2018	金型バルブゲートスリーブ抜き 工具改善	新川工場	栗谷本 達利
74	10月	日本プラントメンテナンス協会 からくり改善くふう展2018	パレット載せ替え、手作業簡素化	西尾ダイカスト工場	朝長 佑介 一宮 祐樹
75	10月	日本プラントメンテナンス協会 からくり改善くふう展2018	ありの巣君	半田工場	鈴木 博敏 佐藤 和幸
76	10月	日本プラントメンテナンス協会 からくり改善くふう展2018	たつ巻くん	半田工場	鈴木 博敏 佐藤 和幸 石川 絢子 竹内 恵美
77	10月	日本プラントメンテナンス協会 からくり改善くふう展2018	鉄板キーリダス	設備工機部	只熊 伸梧 菅田 拓弥 上甲 海斗
※78	10月	Applied Superconductivity Conference Inc. Applied Superconductivity Conference(ASC2018)	青磁場着磁過程に生じる応力に 対するリング状REBaCuOバルク 超電導体の内径と高さの影響	イムラ材料開発研究所	柳 陽介 伊藤 佳孝
※79	10月	Torontouniversity Incorpo- rating the 68th Canadian Chemical Engineering Conference	家庭用コジェネシステムの 市場普及活動	エネルギー技術部	佐藤 敏行
※80	10月	International Journal of Refrigeration	Crystallization temperatures, vapor pressures, densities and viscosities of lithium bromide + lithium iodide + ethylene glycol + water system for absorption refrigerators	第一機関技術部	坪内 修

No.	発表月	発表先	発表題目	所属(協業先)	発表者
※81	10月	IoP Publishing Superconductor Science and Technology	補強したリング状REBCOバルクを 10Tからの磁場中冷却磁過程で破 壊させない固定方法	イムラ材料開発研究所	柳 陽介 伊藤 佳孝
※82	10月	IoP Publishing Superconductor Science and Technology	静磁場着磁過程における金属リングで 補強したREBaCuOバルク超電導体の 磁氣的,熱的応力の測定	イムラ材料開発研究所	柳 陽介 伊藤 佳孝
83	10月	公益社団法人日本鑄造工学会 鑄造工学	離型剤供給不良低減	西尾ダイカスト工場	久野 守
84	11月	財団法人日本科学技術連盟 クオリティフォーラム2018	心配される職場から 信頼される職場を目指して	車体試作部	益田 忠明
85	11月	一般財団法人 日本科学技術連盟 クオリティフォーラム2018	職場の活性化を求め 新たな改善活動への挑戦	新川工場	清水 裕孝
86	11月	トヨタ自動車(株) 第53回オールトヨタTQM大会	電流センサ用集積コアの最適設計	第二電子技術部	小泉 望守 津田 守
87	11月	トヨタ自動車(株) 第53回オールトヨタTQM大会	ドアロックFrボデー樹脂成形の ハイサイクル化に伴う 平面向上への取り組み ～3D冷却配管による型温のばらつき低減～	車体生技部 (TQM・PM・ISO推進部)	鴨下 文彦
88	11月	トヨタグループTQM連絡会 オールトヨタTQM大会	シャワートイレ リリーフバルブ組付機 ホース挿入異常撲滅	安城工場 (TQM・PM・ISO推進部)	平松 賢弥
89	11月	トヨタグループTQM連絡会 第53回オールトヨタTQM大会	意識調査結果に基づく 「人づくり・職場づくり」 ～部長自らのチャレンジとメンバーに 寄り添ったとりくみ～	経理部 (TQM・PM・ISO推進部)	福重 友治
90	11月	東レエンジニアリング(株) 3D-TIMONお客様交流会	異方性・分布を考慮した 予測制度の向上 ～固体域の線膨張係数の異方性～	ユニット生技部	加藤 和博
91	11月	電気学会東京支部新潟支所 平成30年度電気学会東京支部 新潟支所研究発表会	超電導バルク磁石を用いた 小型NMR用の挿挿超伝導円筒の 非接触評価法の検討	イムラ材料開発研究所	伊藤 佳孝 柳 陽介
92	11月	大阪府 大阪商工会議所 水素関連産業 新技術ニーズ説明会	エネファームの新技術ニーズ	エネルギー技術部	砂原 茂幸
93	11月	一般社団法人組込みシステム 技術協会 Embedded Technology 2018 マルチコアサミット	自動車機能安全でのマルチコア適用	ソフトウェア技術部	稲垣 浩之
94	11月	ファンクションベイ(株) Recur Dyn User's Conference 2018	アイシン精機における RecurDyn活用の事例	CAE技術部 (第一車体技術部)	今村 綾子
95	11月	大阪大学大学院 情報科学研究科 ソフトウェア開発論(講義名)	実践・ソフトウェア工学	ソフトウェア技術部	間瀬 順一
96	11月	電子情報通信学会 無線電力伝送研究会 (WPT研究会)	電界結合型2次元WPTにおける 送電部の設計法	イノベーションセンター	相京 秀幸 早川 浩二郎 矢田 祐之
97	11月	プラスチック成形加工学会 ・成形加工シンポジウム'18 ・成形加工学会誌	輝度による分散の定量値化	第二生技開発部	石川 勝啓
98	11月	日本高圧力学会 第59回高圧討論会	炭化イットリウムにおける 超伝導の圧力効果	イムラ材料開発研究所	川島 健司
99	11月	経済産業省関東経済産業局 水素・燃料電池市場参入セミナー	エネファームの新技術ニーズ	エネルギー技術部	西村 理
100	12月	日本電機工業会(JEMA) 機関誌「電機」	エネファームtypeSの普及に向けた 取り組み	エネルギー技術部	桑葉 孝一
※101	12月	Asia-Pacific Software Engineering Conference APSEC 2018	フィーチャ分析を活用した 構造再構築による車体系製品の ソフトウェアプロダクトライン開発への移行	ソフトウェア技術部 (第二車体技術部)	西浦 洋一 浅野 雅樹
102	12月	日本機械学会 第27回交通・物流部門大会	プレビューサスペンション 制御のための前方路面変位推定	走行安全第一制御技術部 走行安全第二制御技術部	荻野 淳人 橋本 介誠
103	12月	産業環境管理協会, 日本経済新聞社 エコプロ2018(第20回)	環境にやさしい 軽量インテークマニホールド	材料技術部 (第二機関技術部) (ユニット生技部) (第二生技開発部)	田中 一貴

No.	発表月	発表先	発表題目	所属 (協業先)	発表者
※104	12月	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST) The 31th International Symposium on Superconductivity(ISS2018)	空間反転対称性のない構造を持つ超電導体:Mg2Rh3Pの合成	イムラ材料開発研究所	川島 健司
※105	12月	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST) The 31th International Symposium on Superconductivity(ISS2018)	空間反転対称性のない構造を持つ超電導体:Mg2Rh3Pの電子状態	イムラ材料開発研究所	川島 健司
※106	12月	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST) The 31th International Symposium on Superconductivity(ISS2018)	REBaCuOバルク超電導体の静磁場着磁過程での応力におけるバルク-補強リング間の摺動による影響	イムラ材料開発研究所	柳 陽介 伊藤 佳孝
※107	12月	Nature Publishing Group Nature Physics誌	超電導体:CaKFe4As4のユニークな欠陥構造と特異な磁束ピンニング特性	イムラ材料開発研究所	川島 健司
108	2月	QCサークル本部事務局 第6100回 QCサークル全国大会	後世への贈り物 書く気にさせる技術報告書 作成マニュアル	走行安全技術部	星崎 逸斗 中斎 和幸 中野 勝文 多田 慶樹 光澤 邦秋 原口 尚斗
109	3月	リード・エグジジション・ジャパンFC-EXPO2019	アイシン精機の エネファーム普及に向けた取り組み	エネルギー技術部	桑葉 孝一
110	3月	公益社団法人日本化学会 日本化学会第99春季年会 (2019)	隔膜のプロトン伝導性とリーク性の バイオ燃料電池出力影響	アイシン・コスモス研究所	中沖 優一郎 伊勢崎 由佳
※111	3月	American Physical Society Physical Review Material誌	過剰エレクトロンドープ型鉄系超電導体: LaFe2A2の超電導	イムラ材料開発研究所	川島 健司

2. 社外発表投稿リスト

No.	発表月	発表先	発表題目	所属(協業先)	発表者
1	2月	近畿冷凍空調工業会 ガスセミナー	ハイブリッド空調システムの開発	エネルギー技術部	中司 貴大
2	3月	第5回計測自動制御学会 制御部門マルチシンポジウム	アイシン精機における自動車部品への 制御理論適用事例紹介	CAE技術部	小久保 聡 須貝 真也
3	3月	自動車技術会 CFD部門委員会	エンジン性能予測技術向上に向けた 取り組み紹介	CAE技術部	花浦 淳
4	3月	電気学会全国大会	自動車搭載用動吸振型 エネルギーハーベスタの開発	パワートレイン先行開発部	戸嶋 裕基 東條 威士 高口 大樹 牛田 啓介
※5	4月	Advanced Energy Materials (WILEY)	p型CuIを用いた固体色素増感 太陽電池の変換効率10%への改善	イノベーションセンター アイシン・コスモス研究所	水元 克芳
※6	7月	IPS-22	固体型色素増感太陽電池用の新規な ダブルポルフィリン有機色素で 構成された新しい多重色素	イノベーションセンター アイシン・コスモス研究所	水元 克芳
7	7月	技術情報協会	眼球運動を指標とした注意・覚醒度 状態の検知技術	先進技術開発部	和久井 秀樹
8	9月	“からくり改善くふう展事例集 2017”DVD	BOX LOVERS ～別れと再会～	半田電子工場	野尻 満弘 中山 伶
9	9月	空気調和・衛生工学会 全国大会	寒冷地における家庭用熱電 併給システムによる次世代暖房 制御システムに関する研究 -暖房制御システムの概要および実験結果-	L&E先行開発部	神谷 洋 岩見 昌志 長尾 泰気
10	9月	casting 工学会東海支部非哲 鋳物研究部会シンポジウム	ダイカスト金型における 三次元冷却回路の実用化	軽合金技術部	早藤 哲典
11	9月	全豊田研究発表会	放射線X線により樹脂成形品の 構造解析技術	ユニット生技部	舟本 三恵
12	10月	casting 工学会 第172回全国講演大会	ダイカスト金型における 三次元冷却回路の実用化	軽合金技術部	深見 尚男
13	10月	からくり改善くふう展2018	らくらく☆ハコピーターン	半田電子工場	鈴木 恭平
14	10月	からくり改善くふう展2018	落下防止バー改良による通箱取出し・ 収納作業の安全確保	試作工場	三浦 哲
15	12月	casting 工学会 ダイカスト研究部会	マイクロカプセル離型剤の開発	軽合金技術部	前原 一仁
※16	12月	NHSC-12 (12th Aseanian Confernce on Nano-hybrid Solar cells)	DEVELOPMENT OF LARGE SIZE PEROVSKITE SOLAR CELLS FABRICATION TECHNIQUE BY SPRAY COATING (スプレーコーティングによる ペロブスカイト太陽電池モジュールの開発)	イノベーションセンター	中島 淳二
※17	1月	AP-HOPV18	p型CuIと新規ダブルポルフィリンと 有機色素から構成される多色色素を 用いた固体色素増感太陽電池の 変換効率10%への改善	イノベーションセンター アイシン・コスモス研究所	水元 克芳
18	1月	ENEX2019 第43回地球環境と エネルギーの調和展	車両用小型吸収冷凍機	第一機関技術部	坪内 修
19	1月	コンバーテック1月号	13%の軽量化を目指した インテークマニホールド	材料技術部	田中 一貴
20	3月	アイシン技報 Vol.23	連続可変容量オイルポンプの開発	第一機関技術部	西田 裕基
21	3月	アイシン技報 Vol.23	システムズエンジニアリングに基づく 機能安全リファレンスアーキテクチャの 開発	ソフトウェア技術部	稲垣 浩之

編集後記

「100年に1度の大変革期」といわれる状況の中、私たちに求められるものは、これまでの常識やルールにとらわれない新たな発想、つまり発想の転換や、働き方の改革が一層必要になってきています。

今回の技報では、そのことを強く意識して委員一同編集を進めて参りました。

特別寄稿では、カーティベーターの代表理事福澤知浩様に、空飛ぶクルマの開発を通して、若手技術者へのメッセージを寄せて頂きました。

また、製品開発だけでなく、未来を見据えた研究の事例も取り上げ、皆さまに興味をもってもらえる工夫もして参りました。

本号が皆さまの仕事の進め方や取り組み方の見直しのきっかけになれば幸いです。

なお、本号から発行が従来のアイシン技術会から職制活動での発行と変わりましたが、引き続き皆さまの活躍のヒントになることを期待します。

最後に、発行にあたり、執筆者・関係部署・編集会社から大勢の方々のご協力を頂きましたことを、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

委員長 鈴木 義一 技術企画・統括部

副委員長 大澤 昌巳 駆動技術部

委員 岩瀬 由典 第一車体技術部

鈴木 崇士 走行安全第一
制御技術部

杉田 吉隆 エネルギー技術部

西川 友晴 デジタルエンジニアリング部

林 真由 材料技術部

渡邊 康頼 信頼性技術部

高田 陽介 電子先行開発部

小林 聡宏 先進技術開発部

村井 政朗 インベーションセンター

鈴木 隆志 知的財産部

保坂 龍彦 技術管理部

柴田真理子 デザイン部

事務局 岩田 裕司 技術管理部

谷澤 伸治 技術管理部

●表紙・特集デザイン

アイシン精機株式会社 デザイン部

※技報のテーマに着想を得て、常識やルールにとらわれず、アイシンの革新的な技術で壁を打ち破り、その先にある未来のモビリティ社会へ突き進む様を表現しました。

アイシン技報

AISIN TECHNICAL REVIEW VOL.23 2019

発行 2019年3月(禁無断掲載)

発行所 アイシン精機株式会社 技術管理部
〒448-8650
愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地
TEL (0566)24-9324

発行人 仕明 真人

印刷 プリ・テック株式会社



For a Better Tomorrow

AISIN GROUP

