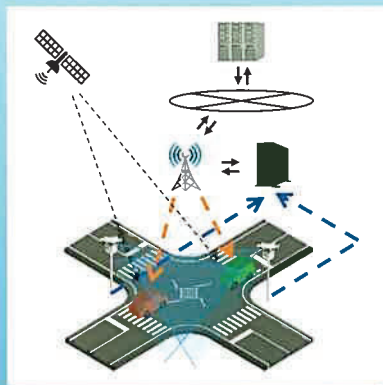


三菱電機技報

7 | **2021**
Vol.95 No.7

人と環境に優しい快適なモビリティ社会を支える先進技術



表紙：人と環境に優しい快適なモビリティ社会を支える先進技術



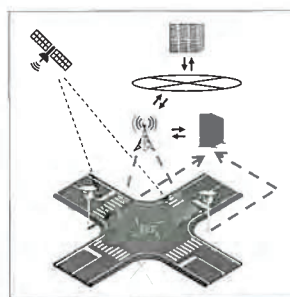
クルマ社会を取り巻く環境は大きな変革期を迎えており、三菱電機は人々が安心・快適に暮らせて環境に優しいモビリティ社会の実現に取り組んでいる。

- ①高精度測位(センチメートル級精度)を実現するために当社が開発した高精度ロケータ(HDL)の製品写真である。自車位置情報と高精度地図データからADAS(Advanced Driver Assistance Systems)データを生成して自動運転ECU(Electronic Control Unit)向けに出力する。
- ②より高度な自動運転の実現に向けて、各種センサを用いた自律型の自動運転に、準天頂衛星による高精度測位や高速通信による路側センサ+ダイナミックマップ情報を活用したインフラ協調型自動運転を組み合わせたシステム概念図を示している。
- ③排出ガス改善(燃費向上)を目的として2017年に業界で初めて^(注1)開発・量産化したエンジン出力軸直結型48V-ISG(Integrated Starter-Generator)システムに搭載している、第2世代のインバータの製品写真である。小型・軽量・低コスト・高機能化を推進した。

(注1) 2017年10月26日現在、当社調べ



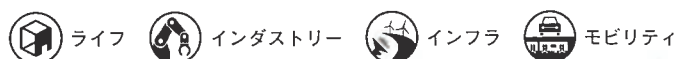
①



②



③



特集 人と環境に優しい快適なモビリティ社会を支える先進技術

Advanced Technologies to Support Human and Environment-friendly Mobility Society

巻頭言

“人と環境に優しい快適なモビリティ社会を支える先進技術”の特集号に寄せて 4
 藪 重洋

Foreword to Special Issue on Advanced Technologies to Support Human and Environment-friendly Mobility Society
 Atsuhiko Yabu

巻頭論文

モビリティの進化とそれを支える技術の動向 6
 田中昭二

Development of Mobility and its Engineering Trends
 Shoji Tanaka

CLAS対応車載向け高精度ロケータ 11
 石上忠富・境田裕志・佐藤友紀・元岡純純・上原晃斉

High Accuracy Vehicle Locator Using Centimeter Level Augmentation Service
 Tadamichi Ishigami, Hiroshi Sakaida, Yuki Sato, Norizumi Motooka, Akinari Uehara

自動バレー駐車のための車両制御システム 15
 四郎園政隆・松本隆史・明石陽平

Vehicle Control System for Automated Valet Parking
 Masataka Shirozono, Takashi Matsumoto, Yohei Akashi

車載レーダ向け歩行者・路側物識別方式 19
 高柳 俊・小西響介・影目 聡・亀田洋志・諏訪 啓

Pedestrians and Roadside Objects Classification Method for Automotive Radar
 Yu Takayanagi, Kyosuke Konishi, Satoshi Kagame, Hiroshi Kameda, Kei Suwa

小形ループアンテナを用いた
 非接触心拍センサの基礎検討 23
 和田紗希・西本研悟・西岡泰弘・稲沢良夫

Fundamental Study on Contactless Heartbeat Sensor Using Small Loop Antenna
 Saki Wada, Kengo Nishimoto, Yasuhiro Nishio, Yoshio Inasawa

インフラ協調型自動運転向け車両間調停システム 27
 竹原崇成・西脇剛史・前田 崇・伊藤益夫・濱田悠司

Behavior Arbitration System between Vehicles for Infrastructure-based Autonomous Driving
 Takayoshi Takehara, Takeshi Nishiwaki, Takashi Maeda, Masuo Ito, Yuji Hamada

車載用製品による燃費向上及び
 環境負荷物質の排出量低減への貢献 31
 加藤裕彦・三浦 武・藤井智彦・西守裕也

Contribution to Improvement of Fuel Efficiency and Reduction of Emissions of Environmentally Hazardous Substances by Automotive Products
 Yasuhiko Kato, Takeshi Miura, Tomohiko Fujii, Yuya Nishimori

集中巻モータの非対称ロータ構造による出力密度向上 35
 高橋朋平・北尾純士・深山義浩

Power Density Improvement of Concentrated Winding Motor Using Asymmetric Rotor Structure
 Tomohira Takahashi, Junji Kitao, Yoshihiro Miyama

第2世代48V-ISG用インバータ 41
 北村保彦・林 亮兵・原田信吾

Inverter for 2nd Generation 48V Integrated Starter-Generator
 Yasuhiko Kitamura, Ryoshei Hayashi, Shingo Harada

次世代車載充電器&DC-DCコンバータ 45
 大宮佑貴・青木浩一・勝元秀和・加藤正幸

Next-generation Charger and DC-DC Converter Unit for Vehicles
 Yuki Omiya, Koichi Aoki, Hidekazu Katsumoto, Masayuki Kato

搬送サービスロボットシステム 50
 山崎 航・住本勝之

Delivery Servicer Robot System
 Wataru Yamazaki, Katsuyuki Sumimoto

くらしのエコテクノロジー 52

Webサイト紹介(自動車機器サイト) 54

新型コロナウイルス感染症で亡くなられた方々に謹んでお悔やみを
 申し上げますとともに、罹患(りかん)された皆さまとご家族及び
 関係者の皆さまに心よりお見舞い申し上げます。

巻頭言

“人と環境に優しい快適なモビリティ社会を支える先進技術”の特集号に寄せて

Foreword to Special Issue on Advanced Technologies to Support
Human and Environment-friendly Mobility Society



藪 重洋 Atsuhiro Yabu

常務執行役 自動車機器事業本部長

Executive Officer, Group President, Automotive Equipment

100周年を迎えた三菱電機での自動車機器の歴史は、1933年に最初の製品として発売した軸回転マグネットから始まりました。以降、1955年にはカーラジオ、1988年には電動パワーステアリングシステム(EPS)、1990年にはGPS(Global Positioning System)搭載ナビゲーションシステムを生産開始するなど、時代のニーズに合わせた最先端の技術を搭載した製品を開発してきました。最近では未来のクルマ社会を創造するために、コンセプトカー“EMIRAI”の発表を通して様々な先端技術を組み合わせる形で、新たな価値を生み出す提案を進めています。車両制御製品／パワートレイン製品／情報系製品を、世界中の顧客からの多様な要求に応じて供給し、クルマがより安全で環境に優しく、人々の暮らしを豊かにする便利なモビリティとして進化していくことに貢献しています。

ここ数年、クルマ社会を取り巻く状況は大きく変化してきました。CASEという言葉で表される四つのトレンド“Connected(コネクテッド)、Autonomous(自動運転)、Shared & Services(シェアリングとサービス)、Electric(電動化)”に沿って、新たな技術やサービスが誕生している一方で、従来は重要とされていた専門技術や部品がコモディティ化し、必要とされなくなったりするケースも発生しています。目まぐるしく進化・拡大していく技術や市場の変化に対応するため、まさに“100年に一度”と言われる大変革の時代に突入しています。

“C”(コネクテッド)によって、自動車は外部ネットワークとのつながりを拡大しています。今後5G(第5世代移動通信システム)などによる高速通信環境が普及すると様々

な新サービスが可能になってきます。従来は快適性や利便性を良くする手段として使われるのが主流でしたが、大量のデータが高速で遅延なく処理できる技術やインフラが整備されることによって、例えば車両単独では検知できない前方の事故情報や道路の不具合情報などが、先読み情報としてリアルタイムで提供が可能になります。また、車両自体の不具合や緊急状態を通報する仕組みや、それを利用した保険商品なども出てきており、安心・安全につながるサービスへと展開されています。完全自動運転を実現するには、外部と常時つながっていることが重要なポイントであり、コネクテッドは自動運転を実現する手段としても大変重要な位置付けにあります。当社では、5G時代の自動運転を見据えて、車車間／路車間通信による周辺路側情報の取得処理システムの開発・検証を始めとした“インフラ協調型”の走行技術と、カメラやミリ波レーダ、ソナー等の各種センサ類を活用した“自律型”の走行技術とを組み合わせることで自動運転技術の開発を進めています。

“A”(自動運転)の実現には、自車位置を車線レベルで正確に特定する高精度な測位技術が必要です。当社では日本独自の衛星測位システムとして2018年11月からサービスが開始された、みちびき(準天頂衛星システム)による高精度な位置補正情報と高精度地図情報を組み合わせて、センチメートル級の精度で自車位置を把握できる測位技術を持っています。この技術は自動運転にとどまらず、交通管制、IT農業、情報化施工等の様々な分野での新しいサービスに活用が期待されています。“自律型”の走行技術に必要なセンサ技術では、レーダやカメラなどの各種センサを

連携させて判断をする技術が重要になってきます。センシングとコネクテッドで収集される膨大なデータ(情報)から必要な情報を効率的に選択してリアルタイムで判断するためには、単にデータ処理能力を高めるだけではなくエッジ側で処理・判断する技術やAIを活用した技術が有効な手段になるため、当社のAI技術“Maisart”を活用した統合制御システムとして応用していくことで、コンパクトなシステムが実現できます。

自動運転は、将来的には人の助けを必要としない完全自動運転に向かいますが、現段階ではまだまだ人と機械が共存しながら制御するHMI(Human Machine Interface)が必要です。車が走行する周辺の状況情報と車両側で進行しているリアルタイムの情報とを組み合わせ、人から車、車から人に、運転制御を移譲する判断(プロセス)が重要になります。この運転者切替えの判断をする最も重要なポイントの一つは運転者の状態を見守って状況を判断することです。当社は、ドライバーの顔を認識することで安全運転の状況を見守り、ADAS(先進運転支援システム)をサポートする技術を開発・提供しています。

“S”(シェアリングとサービス)によって、自動車を所有することから、カーシェアリングやライドシェアリングなど共有をして利用する形態に代わっていきます。技術革新やライフスタイルの変化によって、様々なモノの価値観が変化してきたことによって、家電などの製造業が大きく影響を受けてきましたが、クルマ社会もそのような段階に突入しています。日本では都市部での過密化や高齢化が進む社会の中で、移動手段の課題解決の一つとして注目されています。目的が所有することではなく移動の手段と捉えられるようになれば、鉄道、バス、タクシー、航空機といった複数の移動サービスと連携したMaaS(Mobility as a Service)の世界が広がります。また利用されるサービスによっては、例えばセンシング技術で得られた情報と利用者の属性とを紐(ひも)づけて判断できるシステムを提供することによって、利用者の好みにあった車室内空間やサービスの提供が可能になり、利便性や快適性の向上につながります。様々な技術がシームレスに連携してサービスの新展開や向上へとつながっていきます。

“E”(電動化)については、近年の異常気象の増加に伴い、地球温暖化への影響を排除する脱炭素社会の実現という動向と連動して世間の関心も高くなってきています。2015年に合意されたパリ協定(地球温暖化対策の国際的な枠組み)

の批准に向けて、各国では様々な目標設定や規制が発表されている状況に後押しされる形で、電気自動車(EV)の開発がここ数年で急速に拡大しています。電動化が最も進んでいる国が北欧のノルウェーです。水力発電によって国内電力の95%以上を賄っており、LCA(ライフ・サイクル・アセスメント)の視点から見ても理にかなった政策を進めている同国では、2020年の新車販売台数で50%以上が純粋なEVになっています。2025年までには新車販売でのEV/ハイブリッド車の割合を100%にするという目標を掲げてインフラの整備が進んでいます。自動車の販売台数が年間2,500万台(2020年)を超えるという巨大な市場を持つ中国も電動化が進んでいます。商業的に大きな影響を持つ市場だけに、欧米の主な自動車会社もそれに呼応して開発が加速している状況です。日本はというと、経済産業省が地球温暖化対策の一環として、2030年代半ばに内燃機関だけで動く車については、国内での新車販売を禁じる目標を掲げています。この目標の達成は、ハイブリッド車や燃料電池車などを含む電動車が主体で、純粋なEVの割合は、その時点でも5%程度にとどまるとの予測があり、先述のノルウェーとは異なった時間軸と政策で動き出しています。

このように、世界的に見てみるとそれぞれの国の事情があり、様々なレベルで段階的に脱炭素化が進む方向性がありますが、その移行期間中でも内燃機関はなくなるのではなくハイブリッド車にも搭載されるなど、一定の需要が見込まれます。これらに関係する従来型の製品に対しても、環境負荷を低減していくという視点から継続的な改善取り組みが必要です。当社では内燃機関の排ガスを削減する技術開発や、より効率の良い内燃機関を実現するためのハイブリッド関連技術の開発として、車載向けパワー半導体デバイスとそのパワーエレクトロニクス機器への応用、モータと組み合わせた電動化システムの小型化・効率化に貢献しながら、地球に優しい環境づくりに取り組んでいます。

当社は、持続可能な社会の実現や安心・安全・快適性の提供などをCSR(Corporate Social Responsibility)の重要課題として、国連が定めた2030年に向けた、17の持続可能な開発目標SDGs(Sustainable Development Goals)の達成に貢献することを経営理念としています。今回の特集では、この目標の実現に向けて、人と環境に優しい快適なモビリティ社会を支える技術や取り組みを紹介します。

モビリティの進化とそれを支える技術の動向

Development of Mobility and its Engineering Trends



田中昭二*
Shoji Tanaka

要 旨

自動車業界は変革の中にあり、CASE(Connected(コネクテッド), Autonomous(自動運転), Shared & Services(シェアリングとサービス), Electrification(電動化))の各領域の進展が、これまでのクルマの価値観を変えようとしている。

自動運転は交通事故ゼロを目指して、進化している。2021年にはアイズフリーが可能になるレベル3(条件付運転自動化)の自動運転車が市場投入された。また、新たなモビリティサービス提供での前提として自動運転車両の実証実験も行われている。これらの車両は通信で外部と接続・制御されて、さらにそのデータ活用による新サービスが検討されている。ドライバーの状態を検出するDMS(Driver Monitoring System)技術や高精度測位技術によ

る自車位置推定、V2X(Vehicle-to-everything)によるインフラ等との通信技術も自動運転・運転支援を支えている。

一方、自動車の電動化は、地球温暖化への影響が大きいCO₂の排出を低減する有力な手段として期待されている。電動化システムは、バッテリーだけで走行するEV(Electric Vehicle)の普及だけでなく、内燃機関と電動モータを組み合わせたハイブリッド車の市場拡大が見込まれて、さらには水素を燃料とする燃料電池車(Fuel Cell Vehicle: FCV)の実用化も進んでいる。バッテリー自体も改善されてEV車の航続距離やコスト削減に寄与するとみられる。

エンジンの改善・進化も求められており、希薄燃焼化、高圧縮比化や可変圧縮比化など様々な技術によって燃料消費率の改善が図られている。



社会課題の解決を目指すCASE

三菱電機は、環境ビジョン2050の中で、“大気、大地、水を守り、心と技術で未来へつなぐ”を環境宣言として掲げている。また、“持続可能な社会と安心・安全・快適性の両立”を始めとする価値創出への取組みをより一層推進することを経営戦略とし、社会課題の解決を目指して、CASEの変化の各領域で自動車の未来に向けて必要になる技術開発を進めている。

1. ま え が き

自動車業界は“100年に一度とも言われる変革期”を迎えている。自動運転や電動化への大きな流れや新たなモビリティサービスも次々と提案されている。

交通事故の多くはヒューマンエラーによるものとされており、それを補うものとして“運転支援”技術が発展してきた。さらに進化した“自動運転”技術を快適性の機能として位置付けて、オーナーカーへの高度運転支援機能搭載による運転時のハンズオフが可能な車両が発売された。自動運転機能搭載車両は外部との通信によって制御に必要な情報をやり取りしており、また得られたデータを様々なサービスに活用することも可能になっている。一方で、公共交通機関や物流業界でのドライバーの確保や事業継続が大きな社会課題になっている。それを自動運転車両によって解決するモビリティサービス(Mobility as a Service : MaaS)の提供が検討されてきた。

温暖化抑制のためにCO₂排出量の規制は世界的に厳しくなっており、それに伴って自動車の電動化シフトが顕著になっている。一方で電池だけで走行するEVには短い走行距離や長い充電時間、それを補うインフラの貧弱もあり、内燃機関を搭載したハイブリッド車の継続は必要不可欠なため、内燃機関の改善も依然として重要な課題である。

本稿では、これらの自動車業界を取り巻く状況と、その問題解決に向けたモビリティの進化について、自動運転・運転支援及び環境規制対応の視点から述べる。

2. 自動運転・運転支援

日本での自動運転と運転支援の方向性は、“官民ITS(Intelligent Transport Systems)構想・ロードマップ”の中で情報共有されている。2020年版⁽¹⁾の資料では、日本でのモビリティ分野の将来課題とニーズを踏まえて、2030年頃に目指すべき将来像が示されている。日本は、2030年までに“世界一安全で円滑な道路交通社会”を構築・維持することを目指している。

少子高齢化や都市部への人口集中などの社会構造の変化を背景として、地方部では移動手段を確保する必要性があり、都市部では交通渋滞を軽減するような効率的な移動が求められる。人流・物流事業者は輸送の効率化を高めつつ、このようなニーズに応じるために、自動運転車の活用を含めたモビリティサービスを提供していくことが想定される。

安全運転を実現する観点からは、高齢ドライバーの運転をサポートするための安全運転支援機能を搭載した自家用車が普及すると見込まれる。また、コネクテッドカーがイ

ンフラ等で検知した周辺車両や歩行者の情報を通信で受けることによって安全性が向上する。

自動運転車の実用化に向けては、新たな技術基準の整備が必要になる。グローバルな取組みとして、国際連合欧州経済委員会の自動車基準調査世界フォーラム(WP. 29)は、2019年6月に自動運転のフレームワークドキュメント⁽²⁾を合意し、レベル3(表1)以上の自動運転車の国際基準として優先的に取り組む項目を示した。システムの安全性、フェールセーフ対応、HMI(Human Machine Interface)、対象物・事象検知、走行環境条件、システムの安全性確認手法、サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート、EDR(Event Data Recorder)とデータ記録装置である。今後、自動運転に係る国際基準が順次制定されていく。日本を含めて各国は、国際基準を自国の基準に適用させていくことになる。

2.1 ハンズオフ対応とアイズオフ対応

2021年初め時点の自動運転の実用化段階は、市販車でハンズオフ対応が増加中で、アイズオフ対応が出始める時期と位置付けられる。

ハンズオフ技術は、走行中にドライバーがハンドルから手を放しても走行を可能にする。一方、アイズオフ技術は、ドライバーが走行中に前方から目を離すことができ、運転とは関係ないセカンドタスクが可能になる。ドライバーがアイズオフできるのは、システムが操縦の主体になるレベル3以上での走行中である。ハンズオフ対応であってもアイズオフ対応でない場合、操縦の主体は常にドライバーなので、レベル2を超えることはない。

表1. 自動走行レベルの定義⁽³⁾

レベル	概要	操縦 ^(注1) の主体
運転者が一部又は全ての動的運転タスクを実行		
レベル0	・運転者が全ての動的運転タスクを実行	運転者
レベル1	・システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
レベル2	・システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
自動運転システムが(作動時は)全ての動的運転タスクを実行		
レベル3	・システムが全ての動的運転タスクを限定領域において実行 ・作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に応答	システム (作動継続が困難な場合は運転者)
レベル4	・システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行	システム
レベル5	・システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に(すなわち、限定領域内ではない)実行	システム

(注1) 認知、予測、判断及び操作を行うこと

2.2 レベル3対応

自動運転システムが作動する前提になる走行環境条件は、ODD(Operational Design Domain)と呼ばれる。レベル3対応車は、ODDとして設計された特定の条件に限定してハンズオフとアイズオフに対応する。レベル3対応の実用化は、ODDが高速道路での渋滞走行時だけに限定されたものから始まる。

レベル3以上の自動運転機能に対応した車両は、システムが操縦の主体になることがあるので、安全性を確保するために冗長性を持たせた設計が必要になる。1か所の故障で機能停止することを防ぐため、外界を監視するセンサ群、駆動系、電源系等を冗長化する。

また、レベル3では、ODD以外ではドライバーが操縦主体になるため、操縦をシステムからドライバーに引き継ぐ機能が必要になる。このため、ドライバー状態を監視する機能(DMS)も必要である。

このようにレベル3は、レベル2に比べて大幅なコストアップになる。レベル3が普及するためには、コストアップを抑えつつ、レベル3として動作可能なODDを広げていくことが必要と考えられる。

2.3 無人自動運転サービス

国内では、無人自動運転サービスの実現に向けて産学官が一体になって取り組んでいる。国土交通省と経済産業省による有識者会議の自動走行ビジネス検討会は、2020年5月に「自動走行の実現に向けた取組報告と方針」Version4.0⁽⁴⁾を発表している。

小型モビリティを用いた無人自動運転サービスは、閉鎖空間(施設の敷地内等)、限定空間(廃線跡・バス高速輸送システム専用区間等)、混在空間(生活道路等)での実用化検討が進められている。ドライバーが乗車しないため、モビリティが単独で対処できない状況では遠隔操作を行う。また、インフラとの協調で、信号情報や道路側に設置されたセンサ情報をV2Xで受信することによって、安全かつ効率的な運行を行う。このように、国内ではインフラ協調型の無人自動運転サービスの実用化検討が進められている。

一方、米国や中国では、自律型の無人自動運転サービスを実用化するための試験が活発化している。米国や中国の都市では、ロボットタクシーによる無人自動運転サービスの試験が行われている。これらの国では、安全係員の乗車なしに、ロボットタクシーが一般客を乗せて公道を走るパイロットプログラムのサービスが始まっている。

2.4 DMS

DMSは、ドライバーの開眼度や顔向き、視線といった

情報から、運転時のドライバーの状態を検出し、脇見・居眠り運転防止支援を行うことができる。高度な安全支援を行うレベル2車両の普及やレベル3車両の市場投入に伴い、DMSを搭載する車両も増えてきている。DMS搭載車両の拡大は法規制とも連動した動きであり、EU(European Union)域内での自動車の型式認証についての要件をまとめた規則であるGSR(General Safety Regulation)⁽⁵⁾では、2022年に眠気検知やドライバーが運転できる状態か否かを判断できるシステムの搭載義務化、2024年にドライバーが交通状況に注意を払っているか否かを検出するシステムの搭載義務化を規定している。

近年はドライバーだけではなく、その他乗員検知を行うシステムを各社が開発しており、その一つが幼児置き去り検知である。2022年にEuro NCAP(European New Car Assessment Programme)の安全性評価項目に盛り込まれることから、カメラやレーダを使ったシステムの開発がなされている。

2.5 高精度ロケータ

自動運転では、車線上の場所までの精度で自車位置を把握する必要があるが、車載カメラやセンサ類で対応できない場合もある。このため、衛星測位の活用が期待されている。従来の全地球航法衛星システム(Global Navigation Satellite System: GNSS)では車線を判定できる精度が得られないが、測位補強情報を用いることで高精度化が可能になる。日本では高精度測位端末(ロケータ)を搭載して準天頂衛星システムのセンチメートル級測位補強サービスを利用できる⁽⁶⁾。

高精度測位は部品メーカーだけではなく、通信キャリアやサードパーティもセンチメートル級の測位サービスを提供しているため、サービスを提供するカバレッジや機能安全の観点でどの程度その精度を保証できるかということが差別化要素になってきている。

2.6 V2X

V2Xは、様々な用途が検討されており、車載センサで検知されない道路上の注意情報等を周囲の車やインフラ等から通知することによって、走行時の安全性を高めることができる。V2Xの通信方式は、ITS用帯域を利用するDSRC(Dedicated Short Range Communication)とセルラ系のC-V2Xがある。C-V2Xは、セルラ網を経由する通信と直接通信モードが規定されている。後者は、5.9GHz帯のITS用帯域を用いて機器間で直接通信するので低遅延であり、DSRCと同様に車車間通信などで緊急性のある情報の送信にも利用できる。

国際的にはDSRCよりもC-V2Xが優勢になってきてお

り、米国の連邦通信委員会は2020年11月に5.9GHz帯の用途からDSRCを外して、Wi-Fi^(注2)とC-V2Xの用途に変更すると発表した。また日本でも総務省が2020年11月に発表した周波数再編アクションプランで、2023年度中に5.9GHz帯をV2X用通信に割り当てるとしている。

(注2) Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標である。

3. 環境規制対応

3.1 規制動向

地球の重大な環境問題の一つは、温室効果ガスによる温暖化現象である。この対策として世界各国で自動車のCO₂排出量規制を行っている。最も積極的な欧州では、2021年に乗用車1台が排出するCO₂のEU全体の平均値を95g/kmに制限して、2030年には更に削減する罰則を伴う規制を計画している。欧州以外でも規制が強化されている。

世界最大の車市場である中国は、世界トップのEV市場でもある。新エネルギー車(New Energy Vehicle: NEV)と称してPHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)、EV、FCVを戦略産業として育成し、2035年の新車販売の半分はNEVにするロードマップを描いている。この2035年時点では、NEV以外で新車として販売される車両は全てHEV(Hybrid Electric Vehicle)等の省エネルギー車にする方針で、従来型のガソリン車などは販売が停止される予定である。日本でも2035年までに新車を全てEVやHEV等の電動車に切り替えて、従来型のガソリン車などを販売できなくする方針が出された。同様の動きは欧州でも見られる。欧州では、EVやFCVなどのZEV(Zero Emission Vehicle)を2030年までに数千万台普及させる目標を掲げている。また、内燃機関車の新車販売禁止を計画する国もある。英国では2030年、フランスは2040年までに実施する予定である。そのほか、デンマークやスウェーデン、ノルウェー等の国々も同様の方針を出している。ただし、中国や日本と異なるのは、HEV等の省エネルギー車であっても内燃機関車は禁止するということである。米国ではカリフォルニア州が2035年までに乗用車の販売を全てZEVにする計画で、他の州も追随すると予想される。

各国ともCO₂を減らすためにEV等の電動車を普及させる計画であるが、バッテリーがまだ高額なことや充電インフラの整備が不十分という背景もあり、補助金なしでEVやPHEV等の電動車を購入しようとするユーザーは少ない。中国では補助金を削減した際にEVの販売が減少したため、補助金を見直した経緯もある。電動車を普及させるためには補助金が必要であることを各国が認識しており、政策に織り込まれている。例えば欧州では、ドイツなど

がEVやPHEVを購入する際に補助金を支給する仕組みを設けている。ノルウェーでは、高速道路を走る際にEVならば通行料金を免除又は減免するという政策が実施されている。米国、例えばカリフォルニア州では米国政府の補助金だけでなく、更に上乘せられて補助金が支給される。そのほか、コロラド州やオレゴン州など10州以上でも同様の仕組みがある。日本でもEVやPHEV、FCVの購入に対して補助金が設定されている。さらにEVに限っては、再生可能エネルギーで充電するという条件を満たす場合は補助金が増額される。このように各国でEVやPHEVの車両購入に対する補助金の制度があるが、一般家庭に設置するEV充電器に補助金を支給する制度も一部ではあるが実施されている。

3.2 市場動向

各国が電動車を規制と補助金で普及させることを計画しており、各自動車メーカーも対応を迫られている。EVはテスラや日産など一部のメーカーに限られていたが、近年ではフォルクスワーゲンやトヨタ自動車など、世界販売がトップクラスのメーカーも相次いでEVを発表している。また、PHEVも増加している。このような背景から、EVとPHEVを併せた年間の生産規模は2030年に数千万台規模に増加すると予測されている。

3.3 技術動向

自動車の電動化はモータだけで駆動するEV及びFCVと、エンジンとモータを併用するHEVに大別される。EVは、バッテリーのコストやサイズに起因する航続距離の短さや充電時間の長さ、充電施設の普及の問題などがある。現在の主流であるリチウムイオンバッテリーは高エネルギー密度化が進展し、コストも減少傾向にある。バッテリーコストの大部分を占めると言われるのがコバルトである。ただ、コストだけではなく採掘での社会問題も背景にあり、各バッテリーメーカーはコバルトの低減又はコバルトフリーのバッテリー開発を進めている。今後、航続距離やコストの問題が改善され、2020年代後半には補助金なしで従来型のガソリン車と競える可能性もある。さらに安全性が高く、高エネルギー密度化も期待される全固体電池の開発も進んでいる。ダイムラーは、電動バスの一部の車種ではあるが、全固体電池を搭載したモデルの販売を開始した。ダイムラー以外でも全固体電池の開発は進められており、2020年代後半には複数の自動車メーカーが全固体電池を搭載した電動車の本格的な量産を始めるという予測もある。充電時間の短縮のため、充電器の高出力化が進んでいる。従来の充電施設は普通充電器が多数であったが、今後は急速充電器の設置も増える見込みである。

FCVは、バッテリーに蓄えられたエネルギーを使用してモータを駆動させるという仕組みはEVと同等である。ただし、EVのような大容量バッテリーではなく容量が少ないバッテリーを搭載している。EVとは異なり燃料電池を搭載し、水素タンクから水素を燃料電池に供給し、発電してバッテリーを充電するシステムである。排出されるのが水だけであるため、EV同様に空気を汚さない。課題は、燃料電池を構成する部品のコストや水素を供給する水素ステーションの整備などが挙げられる。EVの課題である航続距離の短さや充電時間の長さをFCVは解決できるため、主に長距離大型トラックなどEV化が難しい車両で検討が進められている。

エンジンを主動力に使用し、発進時のトルクアシストと減速時の発電をモータで行う方式がMild-HEVである。この方式は、追加するモータ、制御装置、バッテリーが比較的小型であるため、大規模な機器レイアウトの変更がなく実現可能である。特に欧州の主要カーメーカーを中心に低電圧で安全対策コストが安い48Vのバッテリーを使用したMild-HEV方式の採用が拡大している。エンジンとモータをベルトで連結する形式やエンジンと変速機の間に薄型モータを挟み込んで直結する形式の採用が拡大している。

これに対して、エンジンが停止した状態で電動走行を可能にした方式がFull-HEVである。また、車外からバッテリー充電を可能にしたものがPHEVである。PHEVは電動走行が可能で近距離使用だけに限定すれば燃料を使わないので環境性能が高く、航続距離は燃料によるエンジン走行なので長い。Full-HEVやPHEVでは電動走行と発電を別々のモータで行うと、更なる低燃費が実現できる。

モータやそれを制御するインバータ、減速させるギヤが電動車には必須になるが、これらも小型軽量化が求められている。これらの部品を統合して小型軽量化を実現した機電一体ユニットの普及が進んでいる。インバータにはパワー半導体が搭載されており、現在はシリコン(Si)が主流である。今後は、インバータの更なる小型高効率化を狙ってシリコンカーバイド(SiC)を採用するメーカーが増加す

ると予想されている。

自動車のパワートレインは電動化の方向にあるものの依然としてガソリンやディーゼル車の低燃費化技術の進化も求められている。車両の軽量化やタイヤの転がり抵抗低減に加えて、エンジンの高圧縮比化による熱効率改善、希薄燃焼による熱損失低減が進められている。また、電動パワーステアリングの適用による補機損失の削減、変速機が多段化や無段化技術で車両の燃費向上が実現されている。

4. む す び

自動運転・運転支援及び環境規制対応の観点からモビリティの進化とそれを支える技術の動向を述べ、大きく変化する自動車を取り巻く状況を述べた。自動車は今後、安全性・利便性を高めると同時に、地球温暖化を抑える取り組みが求められている。

当社はそれらニーズを捉えて、人と環境に優しい快適なモビリティ社会を支える先進技術によって、全ての人が移動で喜びを得られて豊かに成長する次世代社会の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：官民ITS構想・ロードマップ2020 (2020)
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20200715/2020_roadmap.pdf
- (2) United Nations : Economic Commission for Europe : Revised Framework document on automated/autonomous vehicles, ECE/TRANS/WP.29/2019/34/Rev.1 (2019)
<https://unece.org/DAM/trans/doc/2019/wp29/ECE-TRANS-WP29-2019-34-rev.1e.pdf>
- (3) 公益社団法人 自動車技術会：自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義, JASOテクニカルペーパー, JASO TP 18004 (2018)
- (4) 経済産業省：自動走行ビジネス検討会報告書「自動走行の実現に向けた取組報告と方針」Version4.0 (2020)
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jido_soko/20200512_report.html
- (5) Regulation(EU)2019/2144 of the European Parliament and of the Council, Official Journal of the European Union, L 325/1 (2019)
- (6) 廣川 類, ほか：準天頂衛星システムのセンチメートル級測位補強サービスが拓く高精度測位社会, 三菱電機技報, 92, No.2, 105~108 (2018)

石上忠富*
Tadatomi Ishigami
境田裕志*
Hiroshi Sakaida
佐藤友紀†
Yuki Sato

元岡範純†
Norizumi Motooka
上原晃斉‡
Akinari Uehara

CLAS対応車載向け高精度ロケータ

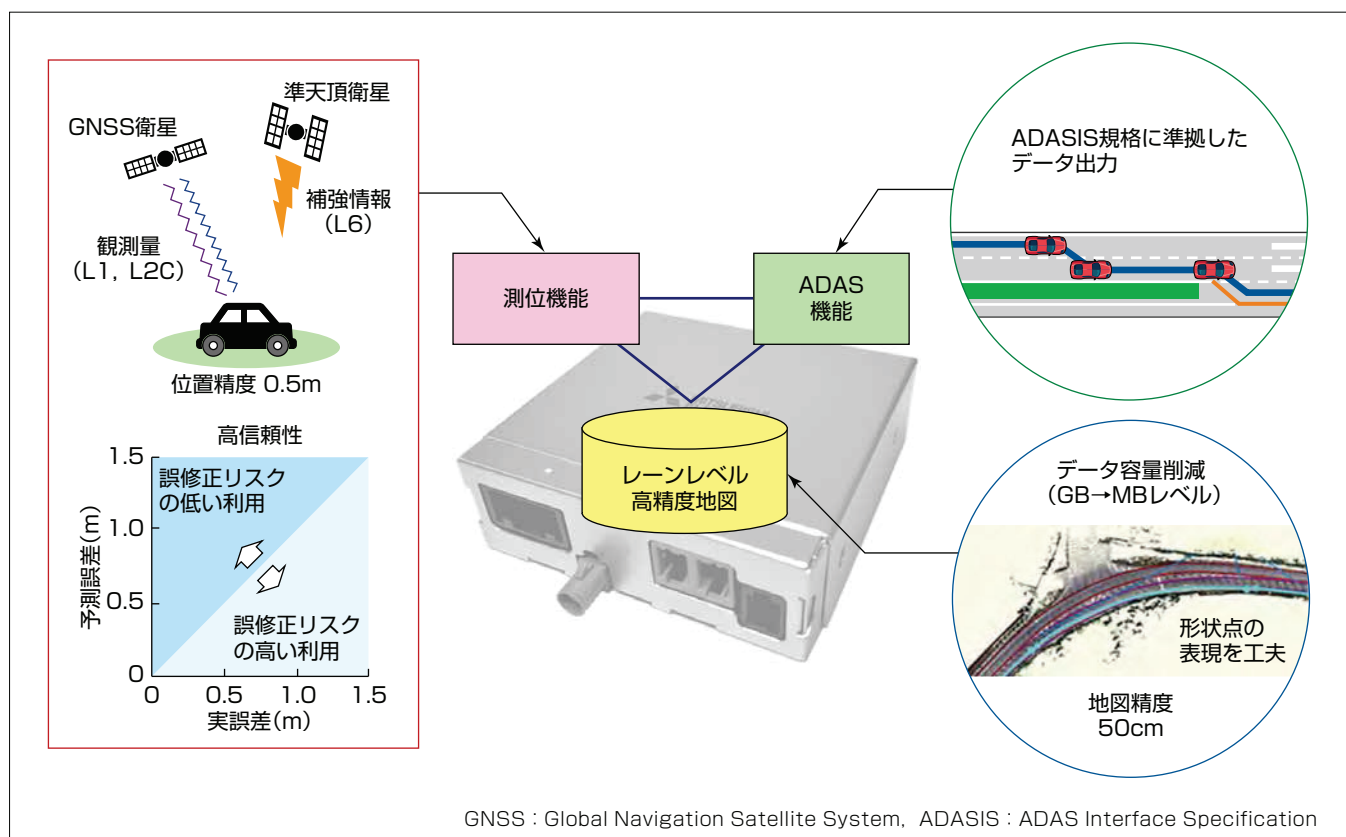
High Accuracy Vehicle Locator Using Centimeter Level Augmentation Service

要 旨

安心・安全に車に乗ることができる事故のない社会の実現に向けて、先進運転支援システム(ADAS: Advanced Driver Assistance Systems)と自動運転への期待が高い。事故を起こさず、運転を支援・代行するためには、レーン内の自車位置を高精度に測位する機能が求められる。三菱電機は、このニーズに対して、高精度な地図データと自車位置情報を自動運転ECU(Electronic Control Unit)に提供する高精度ロケータを開発している⁽¹⁾。50cm精度のレーンごとの高精度地図データを備えて、レーン特定に必要な1.5m精度(95%値)で測位する高精度ロケータを国内外に供給できる体制を整えている。さらには、これをベースにして、準天頂衛星による無償のセンチメートル級測位補強サービス(CLAS: Centimeter Level Augmentation Service)⁽²⁾を

用いて、レーン内の自車位置を50cm精度(95%値)で測位するCLAS対応車載向け高精度ロケータを世界に先駆けて^(注1)開発した。CLASの利用については、アプリケーションの開発をサポートするCLASLIB(CLAS test LIBrary)が公開されており、補強情報を扱う処理とオープンスカイ環境下でセンチメートル級精度の衛星測位を行う処理が実装されている。しかし、CLASLIBには、車載利用環境で有効に動作する上で改善の余地があり、また廉価な車載用CPUで処理可能な演算量に制限されていない課題があったため、今回の開発でこれらの課題を解決した。これによって、事故のない社会の実現に向けて大きく前進した。

(注1) 2017年9月19日現在、当社調べ



準天頂衛星によるCLASを用いた車載向け高精度ロケータ

準天頂衛星から放送されるCLASを用いて衛星測位した位置に対して誤差予測を行い、精度低下箇所を自律航法との複合測位で補完することで全国の高速道路上で50cm精度(95%値)で測位する。また50cm精度で制作されたレーンごとの形状等を備えた三次元高精度地図データを用いてレーンマップマッチングを行い、自車位置と高精度地図データからADASデータを生成して自動運転ECU向けに出力する。

1. ま え が き

事故を起こさないADASと自動運転の実現に向けて、自車位置情報に求められるものは、高精度だけでなく、高信頼性とリアルタイム性である。また、これらを廉価なハードウェアで実現することが普及を決める鍵になる。日本では、高精度測位を行う国家インフラとして、電子基準点と準天頂衛星を用いたセンチメートル級測位補強サービス (CLAS) が無償で利用できる。当社は、このCLASに対応した高精度ロケータの開発を世界で初めて行い、センチメートル級精度を達成できない箇所を自律航法との複合測位で補完することで50cm (95%値) の測位精度を達成した。

本稿では、CLAS、CLAS対応車載向け高精度ロケータの主要技術である衛星測位及び複合測位について述べる。

2. CLAS対応車載向け高精度ロケータ

2.1 CLAS

準天頂衛星システムは2018年11月1日に実用サービスが開始された。そのサービスの一つに、従来のカーナビゲーション等で数メートルであった精度をセンチメートル級の極めて高い測位精度を実現する補強サービスとして、CLASがある。CLASでは、衛星測距データに含まれる各種誤差を補正するデータを準天頂衛星のL6信号を用いて配信され、高い測位精度 (静止体水平：6 cm以下 (95%)) を実現する。CLASは、GNSSとしては初になるセンチメートル級の測位を可能にする補強情報を送信するサービスで、日本全国及びその近海に配信される。衛星からの補正情報の送信は、携帯電話やWi-Fi^(注2)等の地上インフラでの送信とは異なり、衛星の可視性が保持できる環境で一律にサービス提供が可能であり、IT農業や全国の高速自動車専用道路での自動走行・次世代安全運転支援システムなど、本格的な高精度位置情報利用時代での利活用が期待されている。CLASが配信する補強情報の内容とセンチメートル級の位置情報を取得するまでのフローを図1に示す。また、CLASのユーザーインターフェースやサービス性能は、準天頂衛星システムサービス(株)(QSS：Quasi-Zenith Satellite System Service Inc.)が運用するウェブサイト⁽³⁾で公開されている。主な仕様を表1に示す。CLAS仕様は2020年11月30日から、補強情報のフォーマットが見直された。具体的には、大気圏の擾乱 (じょうらん) に応じて電離層補正量の情報量 (ビット数) を動的に最適化 (圧縮化) する方式を適用することで、情報圧縮率を最大30%向上させ、誤差を補正する補強対象衛星を従来フォーマットの最

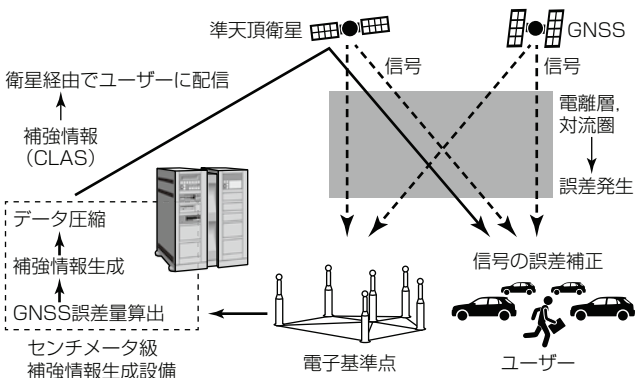


図1. センチメートル級位置情報の取得フロー

表1. CLASの主な仕様

項目	仕様
補強対象信号	GPS : L1C/A, L1C, L2P, L2C, L5 QZS : L1C/A, L1C, L2C, L5 Galileo : E1B, E5a
サービスエリア	日本及び領海 (約80万km ²)
位置精度 (オープンスカイ, 95%)	静止 : 水平 6 cm / 垂直 12 cm 移動 : 水平 12 cm / 垂直 24 cm
初期化時間 (95%)	60秒以下 (補強情報取得時間含む)

GPS : Global Positioning System, QZS : Quasi-Zenith Satellite

大11機から、新フォーマットでは最大17機に増加することを可能にした。補強対象衛星が時系列的に一様に増加することで、CLAS適用範囲を (特に非オープンスカイ環境で) 飛躍的に向上させるとともに、電離層擾乱の時間帯でも測位精度を大きく改善するものである。CLASは今後も継続した安定的なサービスの提供に向けて、サービス品質の維持に取り組んでいくとともに、ユーザー利便性向上に向けた施策の検討を進めて、高精度測位社会の実現に貢献する。

(注2) Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標である。

2.2 CLAS対応車載向け高精度ロケータの構成

CLAS対応車載向け高精度ロケータの構成を図2に示す。衛星測位の観測データと処理結果及び自律航法の処理結果を用いて2種類の複合測位を行う。予測誤差が小さい方の複合測位の処理結果に基づいて、走行レーンを推定してレーン内の自車位置と車の向きを同定するレーンマッチングを行う。ADASデータ生成/送信は、先進運

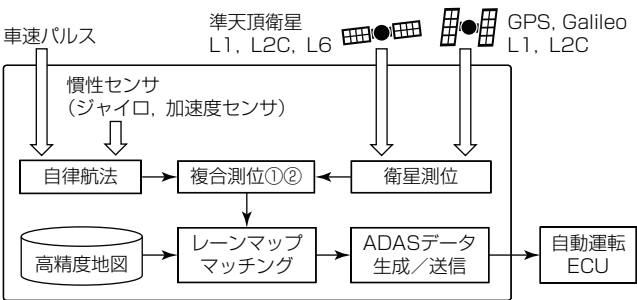


図2. CLAS対応車載向け高精度ロケータの構成

転支援システムインタフェース仕様(ADASIS)規格に基づいて、自車前方のルート沿いの高精度地図データの配信などを行う。

2.3 CLAS対応車載向け高精度ロケータの衛星測位

2.3.1 CLASLIBのカスタマイズ

電波受信環境が多様に変化する車載利用環境下で、目標とする50cm精度(95%値)を高頻度に得られるよう、CLASLIBに対して次の(1)~(4)の改良を行った。

(1) マルチパス影響軽減策(低品質の観測データ棄却)

マルチパス環境下では、擬似距離観測量に大きなバイアス誤差が生じる。そこで、擬似距離観測量について、カルマンフィルタによる予測値と実測値との差分の統計値から、棄却を判定する独自のアルゴリズムを追加した。カルマンフィルタによる予測値の計算には、慣性センサの出力値を利用して求めた自車位置を用いた。図3に示すように、擬似距離観測量の予測値と実測値の差分は信号補足直後に大きく、時間経過とともに減少する傾向にあることが分かる。GNSS受信機が出力するマルチパス・インディケータの値とも整合しており、棄却の判定に有効と考えられる。

(2) マルチパス影響軽減策(観測誤差共分散行列)

棄却されずに採用された観測量に対して、図4に示すカルマンフィルタで、重み(観測誤差共分散行列Rの値)を適応的に調整するために、カルマンフィルタでの観測更新後の観測残差を利用して、観測誤差共分散行列の値を時間の経過とともに更新する独自のアルゴリズムを追加した。

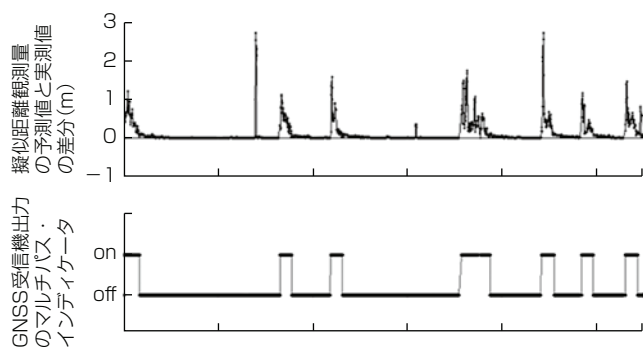


図3. 擬似距離観測量の予測値と実測値の差分の例

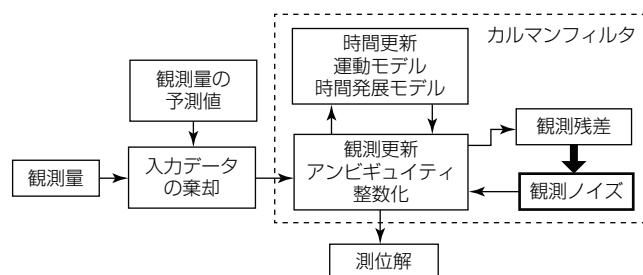


図4. 衛星測位アルゴリズムの主な改良箇所

(3) CPU使用率低減(観測データ数の上限設定)

可視衛星数が多いオープンスカイ環境下では、先に述べた差分値の統計値に基づいた衛星選択によって、測位に利用する観測データ数を削減するロジックを追加した。

(4) 測位結果の信頼性向上

測位誤差と処理内部データの関係性を事前に学習することで、リアルタイムにFix解(センチメートル級精度と期待される測位解)、Float解(精度不定と言われている測位解)の誤差予測を行うロジックを追加した。

2.3.2 パラメータチューニング

試験車両で取得した多数のコースの走行データと別に計測したリファレンスデータ(座標値の真値)を用いて、パラメータチューニングを行った。パラメータを変更して測位した結果を、リファレンスと比較して時刻ごとの測位誤差を求め、その統計値を評価指標にした。チューニングには、品質(各コースでの測位精度)のばらつきを抑えるパラメータと、特性(水平方向の測位誤差の95%値)が高感度変化するパラメータの探索に適しているタグチメソッドを用いた。観測データの棄却ロジック、適応フィルタに関するパラメータ、運動モデル、観測モデル、搬送波位相アンビギュイティの整数化に関するもの等、全27のパラメータを調整した。

この調整によって、パラメータとしては、カルマンフィルタでの観測誤差モデルの標準偏差値と搬送波位相アンビギュイティの状態量に対するプロセスノイズ値には大きな値が選択され、搬送波位相アンビギュイティの整数化では危険率(整数値を誤る確率)を下げる値が選択された。この結果、電波受信環境の悪化による測位誤差の増大を抑えられるようになった。

2.4 CLAS対応車載向け高精度ロケータの複合測位

慣性センサ、車速パルス、衛星測位を用いた複合測位では、次を考慮したアルゴリズムを用いた。

(1) Float解の利用

車載利用環境では高いFix率を望めないため、センチメートル級精度目的では使用されないFloat解も複合測位に利用した。

(2) 冗長化

Fix解とFloat解が得られない状況が間欠的に生じることを想定して、特徴の異なる二つの複合測位を実施した。前段の複合測位は測位率と軌跡形状を重視したもので、単独測位解を使用した。後段の複合測位は精度と信頼性を重視したもので、Fix解とFloat解を使用した。また後段の複合測位が前段の複合測位の誤差を管理することで、前段の複合測位に切り替えた際の精度低下・変動を最小化した。

3. 評価

CLAS対応車載向け高精度ロケータの精度を確認するために首都高速湾岸線を走行し、精度評価を行った。評価対象にした道路の総距離は約26kmであり、評価コースを図5に示す。評価コース上には立体交差や防音壁などの遮蔽物もあり、マルチパスの影響が大きい環境も含まれている。

このコースで評価した結果、CLAS測位の各測位解の割合は表2のとおりになった。Fix解の割合は54.6%、Float解も合わせると99.8%になっており、大半の走行区間でCLASの測位解が得られている。また、各測位解の精度(95%値)は表3で示した値になった。複合測位解は42.9cmであり、目標の50cmを達成できている。Fix解の精度は13.5cmになっており、移動体でもCLASがターゲットにしているセンチメートル級の高精度な測位解が得られている。

Float解はFix解ほど高精度ではないため、複合測位ではその精度を予測した上で使用している。その予測した誤差(予測誤差)と実際の誤差(実誤差)の関係を図6に示す。正の相関があり、ある程度誤差を予測できていることが分かる。ただし、実誤差が1mを超える低精度の測位解の中には、予測誤差が50cmを超えているものの実誤差と乖離(かいり)しているものもある。これらの測位解では軌跡の異常検出と組み合わせ、複合測位の精度を維持している。その一例を図7に示す。衛星測位の軌跡の乱れに影響されずに、複合測位の軌跡は正しく直進できていることが分かる。

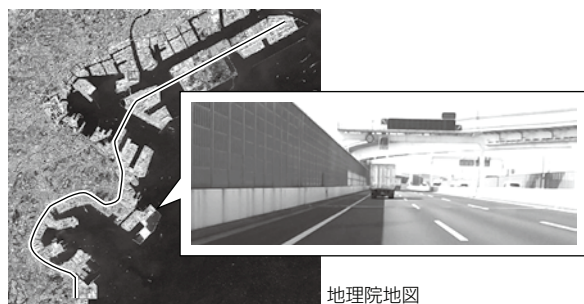


図5. 精度評価コース

表2. CLAS測位解の割合

	Fix	Float	単独測位	非測位
割合(%)	54.6	45.2	0.1	0.0

表3. 測位解別精度

	複合測位(全測位)	衛星測位(Fix)	衛星測位(Float)
95%値(cm)	42.9	13.5	112.9

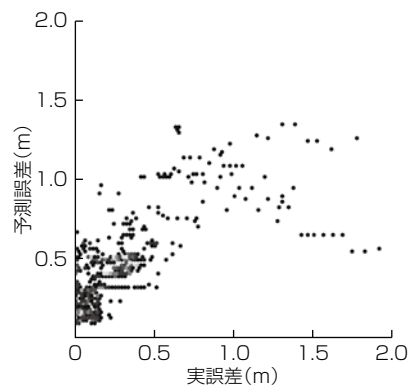


図6. 予測誤差と実誤差の関係



図7. 軌跡による異常検出

4. むすび

準天頂衛星が放送する補強情報を用いて、高速道路上で50cm精度(95%値)を実現するCLAS対応車載向け高精度ロケータを開発した。特に工夫した点は、次の三つである。

- (1) 車載利用環境に合うようCLASLIBを改良したことで、マルチパス影響軽減を図ることができ、Fix解、Float解の精度低下を抑止できた。
- (2) 独自の測位誤差予測によって、Float解が複合測位で使用可能になり、Fix解とFloat解を合わせた割合が90%以上を狙えるまで高精度測位を継続できた。
- (3) 補強情報を使用しない単独測位解を用いた複合測位についても、Fix解、Float解と連携して誤差管理することで、精度低下を抑止できた。

今後は、衛星測位が難しい道路でも高精度測位を行うために、自転車周辺対象との相対位置を計測するセンサとの連携を図るほか、海外の測位補強サービス対応も進める。レーン内の自転車位置を高精度に測位するだけでなく、高い信頼性をも兼ね備えた高精度ロケータを通じて、当社は事故のないモビリティ社会の実現に貢献する。

参考文献

- (1) 入江崇志, ほか: 車載向け高精度ロケータ, 三菱電機技報, 90, No.3, 187~190 (2016)
- (2) 廣川 類, ほか: 準天頂衛星システムセンチメートル級測位補強サービス, 三菱電機技報, 91, No.2, 101~104 (2017)
- (3) 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局: みちびき(準天頂衛星システム)技術情報
<https://qzss.go.jp/technical/download/ps-is-qzss.html>

自動バレー駐車のための車両制御システム

Vehicle Control System for Automated Valet Parking

要 旨

自動運転社会での駐車の実便性向上や駐車場内での事故低減を目的として、乗降場所から指定された駐車場所への入出庫を自動で行う自動バレー駐車(Automated Valet Parking: AVP)が注目されている。AVPを実現するためには、自動駐車車両(以下“車両”という)、駐車場インフラ、駐車場管制センタ(以下“管制センタ”という)の3者がバランス良く協調して適切に機能分担する必要がある。

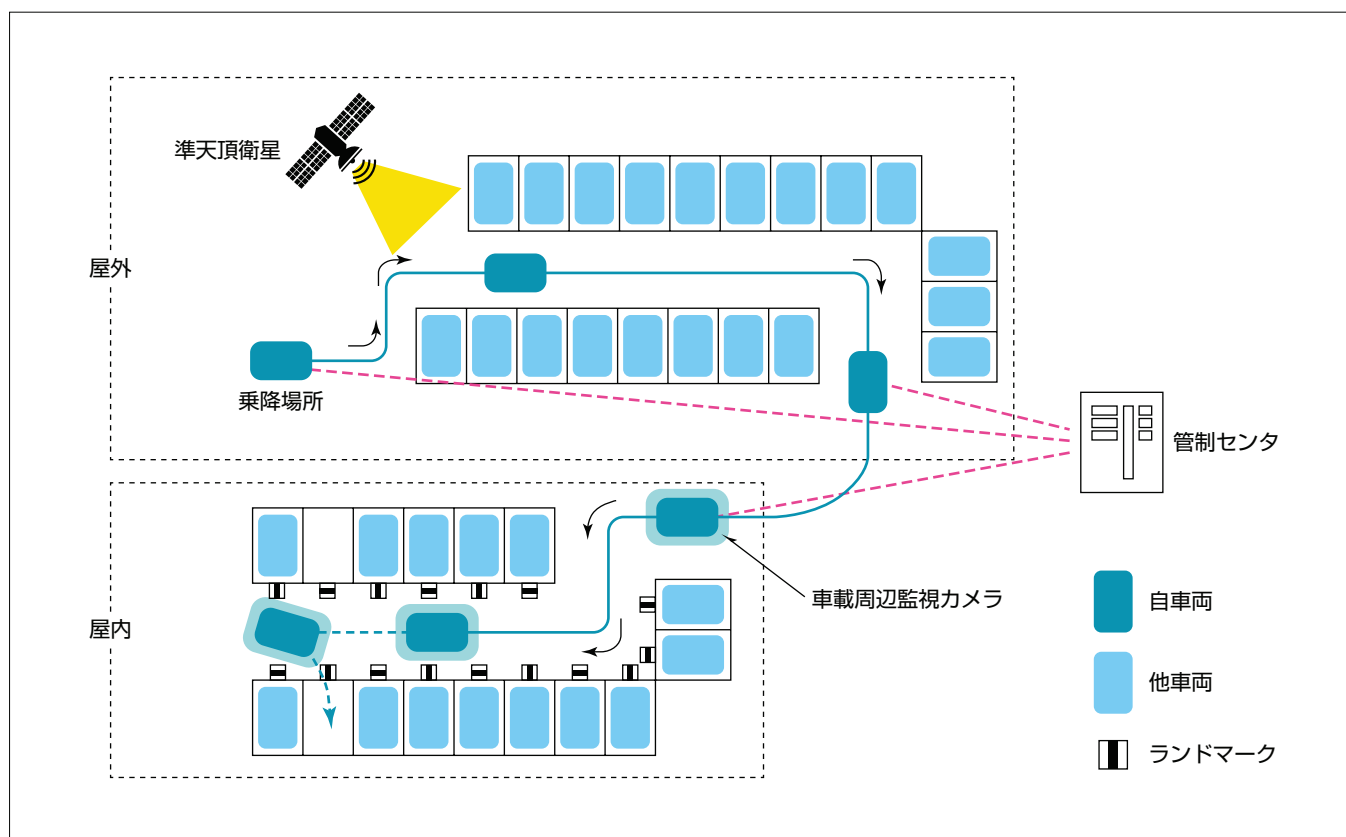
三菱電機では、既存の自動駐車機能を最大限に活用しつつ、駐車場インフラや管制センタへの投資を抑えることが可能な車両&インフラ協調型AVPのための車両制御システムを開発している。

車両制御システムでは、準天頂衛星による測位と自律系センシング(車載周辺監視カメラ)による測位にそれぞれの

特性があることを考慮し、屋外と屋内に対してその特性を自車位置推定に利用することで、様々な状況に対応する自動走行/駐車を行うことが可能な自車位置推定技術を開発している。

自車位置推定技術は準天頂衛星の受信状況や路面上に設置したランドマークの検知状況から自車位置推定処理の切替えを行い、真値に近い自車位置を推定している。自車位置推定の切替え処理については、ソフトウェア実装及び実車試験を行い、各自車位置推定モードの切替え等、意図どおりに動作していることを確認した。

今後は実用化に向けて開発を進め、安全で快適な交通社会の実現に貢献していく。



屋内外の様々な状況に対応したAVP

屋外では準天頂衛星による高精度な測位情報(衛星航法)、屋内では車載周辺監視カメラによる路面上に設置したランドマークを検知する測位情報(地文航法)を組み合わせた自車位置推定技術によって、屋内外を問わず指定された位置へ正確に自動走行して駐車するAVPを実現可能である。

1. ま え が き

自動運転社会での駐車の利便性向上や駐車場内での事故低減(安全性向上)の観点から、乗降場所から指定された駐車場所への入出庫を自動で行うAVPが注目されている。特に、駐車場所から目的地入り口まで距離がある駐車場(郊外のショッピングセンターやテーマパーク等の平面式や立体駐車場)での活用が期待される。

当社では準天頂衛星による測位情報と自律系センシングによる測位情報とを組み合わせた自車位置推定技術によって、屋内外を問わず指定された位置へ自動走行して駐車するAVPのための車両制御システムを開発している。

本稿では、AVPと屋内外の様々な状況に対応したAVPのための車両制御システムについて述べる。

2. AVP

AVPとは、AVP対応駐車場へ行き、駐車場の中でも隣接施設等にアクセスが便利な位置で降車し、ユーザーがスマートフォンなどの端末を使って自動駐車のリクエストをすると、ドライバーが立ち会うことなく、無人で自動的に駐車してくれるサービスである。また逆に、出庫の際も同様にユーザーのリクエストによって、乗車場まで自動的に出庫してくれるサービスである。このAVPを実現するためには、車両だけによる安全確保は困難なため、図1に示すように“車両”“駐車場インフラ”“管制センタ”の3者が協調しあって、限定空間内でのSAE(Society of Automotive Engineers)の自動運転レベル4を実現する必要がある⁽¹⁾。

3者の機能分担は、図1のように車両のセンシングで安全確認しながら自律走行して駐車する車両依存型、車両、駐車場インフラ、管制センタの3者がバランス良く協調して適切に機能分担する車両&インフラ協調型、自動駐車車両のセンシングに頼らず駐車場内監視カメラ等の駐車場インフラで自動駐車車両の位置と方位を常時測定し、車両は管制センタの指示で駐車するインフラ依存型が考えられる。

3. 車両&インフラ協調型AVPシステムの構成

管制センタはユーザー端末からの入出庫リクエストを受信し、地図情報を利用して車両の誘導経路を設定する。管制センタと車両は無線通信で接続され、管制センタから地図情報や誘導経路、ランドマーク情報等が車両に配信される。車両は管制センタから配信された情報を基に自車位置を補正しながら自動走行/駐車を行う(図2)。次章から車両&インフラ協調型AVPのための車両制御システムについて述べる。

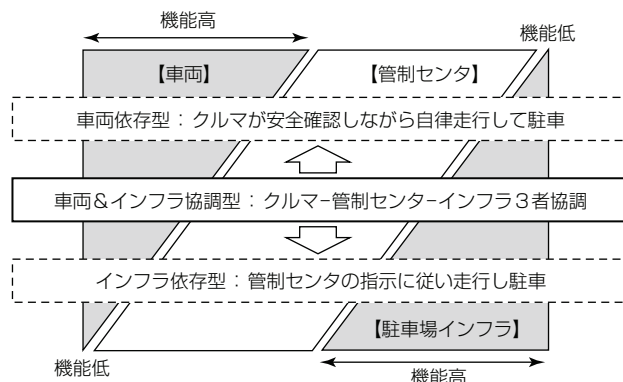


図1. AVP機能分担の概念図(1)

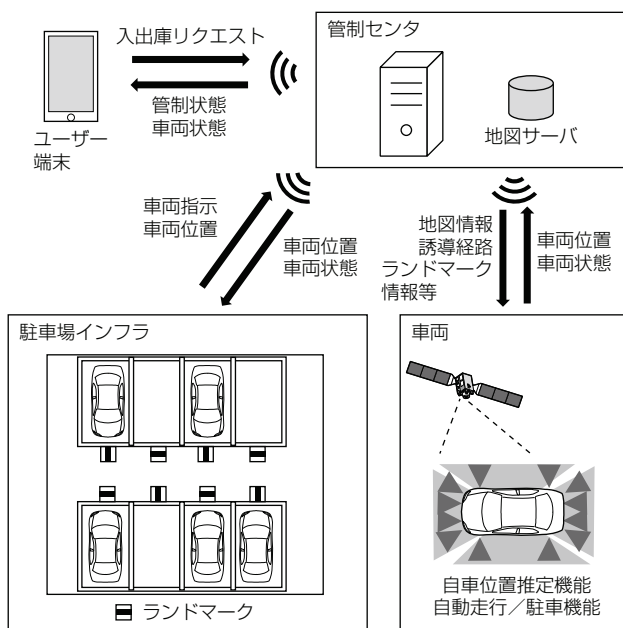


図2. 車両&インフラ協調型AVPシステム構成の一例

4. AVPのための車両制御システム

AVPのための車両制御システムは大きく分類すると、“センサ部”“自車位置推定部”“車両制御部”の三つに分かれる(図3)。“自車位置推定部”“車両制御部”に関してはADAS-ECU(Advanced Driver Assistance System-Electronic Control Unit)に実装を行っている。

センサ部は、準天頂衛星、GPS(Global Positioning System)等のGNSS(Global Navigation Satellite System: 全地球測位衛星システム)を利用して高精度測位(衛星航法)を実現する高精度ロケータや自律系センシングによる測位(周辺監視カメラによるランドマーク検知(地文航法))を実現する周辺監視カメラシステム、慣性センサ(車両状態量)、超音波センサ等の自律系デバイスを指す。

自車位置推定部は高精度ロケータと周辺監視カメラシ

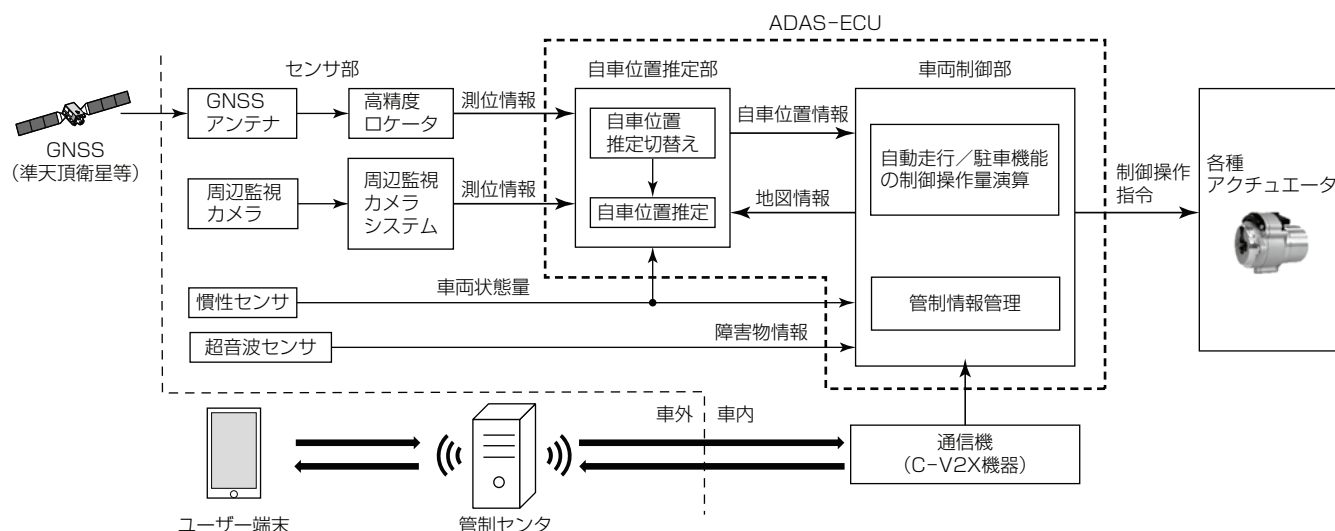


図3. AVPのための車両制御システム

テムによる測位情報と慣性センサによる車両状態量を組み合わせることで、配信地図上の自転車位置を推定し、自転車位置情報を出力する。

車両制御部は、自車位置推定部からの自車位置情報と慣性センサによる車両状態量、超音波センサによる障害物情報等から自動走行／駐車機能のための制御操作量（ステアリング制御量、車速制御量等）を演算し、車両の各種アクチュエータに制御操作指令を出す。また、通信機（C-V2X機器）を介して、管制センタから地図情報や車両指示状態（入出庫、停止指示等）を取得し、自車位置推定部に地図情報を出力する。

5章では、屋内外を問わずAVPを実現するために重要である自車位置推定技術について述べる。

5. 車両制御システムの自車位置推定部

車両制御システムの自車位置推定部は、準天頂衛星と周辺監視カメラによる測位情報を組み合わせて自車位置推定を行っている。

5.1 準天頂衛星による測位技術

準天頂衛星による測位は準天頂衛星システムのセンチメートル級測位補強サービス(Centimeter Level Augmentation Service : CLAS)⁽²⁾を活用する。従来のGPS等のGNSS測位信号だけ(単独測位)の精度は数m程度である。しかしながらCLASは、国土地理院が設置している電子基準点網を活用して衛星が持つ誤差(衛星軌道・衛星クロック・衛星信号バイアス誤差)と測位する地域による誤差(電離層・対流圏遅延誤差)とを補正する測位補強信号を準天頂衛星経由で配信することでセンチメートル級の測位精度を提供する(図4)。

5.2 自律系センシングによる測位技術

自律系センシングによる測位は周辺監視カメラで路面上のランドマークとして設置された座標を特定(ランドマーク検知)し、管制センタから配信される地図情報とマッチングを行い、特定した座標を基に3点測位によって自車位置を推定する。本稿で述べるランドマークは図5に示す経済産業省事業成果報告書⁽¹⁾で示された物理的仕様に基づいている。

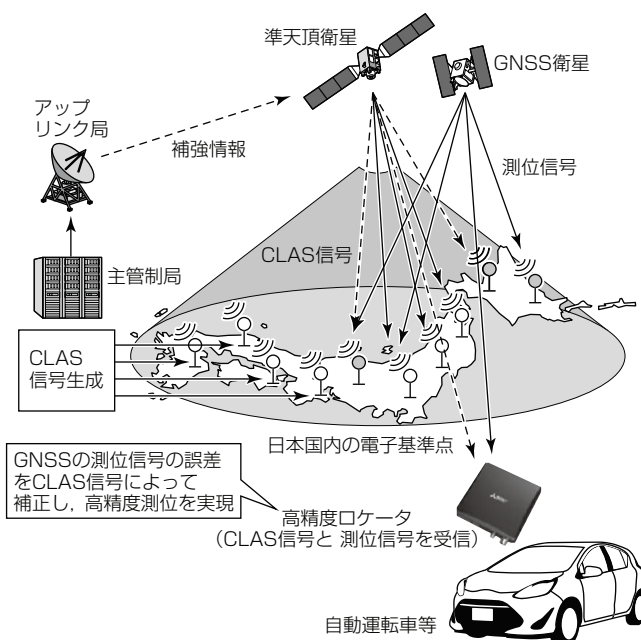


図4. センチメートル級測位補強サービス

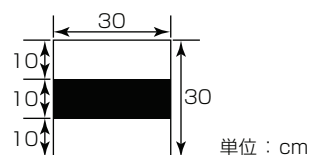


図5. ランドマークの物理的仕様⁽¹⁾

5.3 適用可能な状況

高精度ロケータと周辺監視カメラ(ランドマーク検知)にはそれぞれの特性があり、屋外と屋内に対してその特性を考慮して組み合わせることで、様々な状況に対応する自動走行/駐車を行うことが可能になる。表1に高精度ロケータ及び周辺監視カメラの特性(適用可能な状況)を示す。

5.4 自車位置推定切替え

自車位置推定切替えはGNSS受信状況やランドマーク検知状況から推定方法の切替えを行う処理である(図6)。推定方法の各モード(ロケータモード、カメラDR(Dead Reckoning)モード、車載センサDRモード(車速、ヨーレート等))間の切替えはロケータ信頼度やカメラ信頼度を基に行う。ロケータ信頼度は、高精度ロケータから出力される測位状態、HDOP(Horizontal Dilution Of Precision: 水平精度低下率)値等から決定する。カメラ信頼度は、ランドマークの検知信頼度から決定する。切替え優先度は、①カメラDRモード、②ロケータモード、③車載センサDRモードの順になっている(図7)。カメラ信頼度が低く(精度が低く)なった場合はカメラ切替え区間にロケータ信頼度が高く(精度が高く)なっているとロケータモードに切り替わり、ロケータモード中にカメラ信頼度が高く(精度が更に高く)なるとカメラDRモードに切り替わることで自車位置推定は真値に近いモードを使用する。また、カメラ/ロケータ切替え区間が一定時間継続した場合は車載センサDRモードに切り替わる。

表1. 適用可能な状況		
	高精度ロケータ	周辺監視カメラ (ランドマーク検知)
屋外(オープンスカイ)	○	○
屋外(マルチパス)	△	○
屋外(荒天)	○	△/×
屋内	×	○

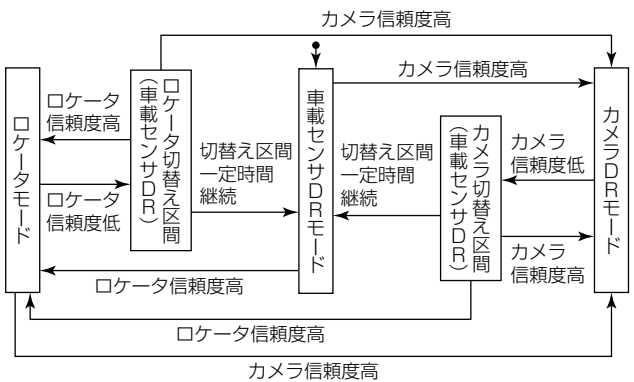


図6. 自車位置推定切替えの遷移図

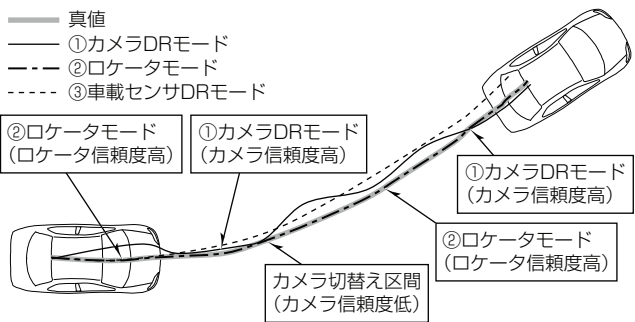


図7. 自車位置推定切替え

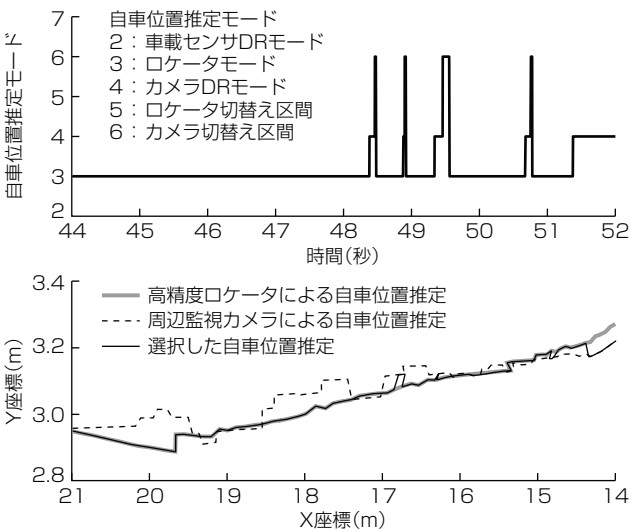


図8. 自車位置推定切替えの試験結果

自車位置推定切替えを実装して試験を行った結果を図8に示す。カメラDRモードからカメラ切替え区間、ロケータモードと切替え、ロケータモードからカメラDRモードの切替え等、意図通りの動作を確認した。

6. む す び

自動バレー駐車のための車両制御システムの開発について述べた。準天頂衛星と周辺監視カメラによる測位情報を組み合わせて自車位置を推定することによって、屋内外問わず指定場所までの自動走行/駐車を行う自動バレー駐車を実現している。今後は実用化に向けて開発を進め、安全で快適な交通社会の実現に貢献していく。

参 考 文 献

(1) 一般財団法人 日本自動車研究所: 平成30年度高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業: 自動バレーパーキングの実証及び高度な自動走行システムの実現に必要な研究開発, 経済産業省事業成果報告書 (2019) https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H30FY/000350.pdf

(2) 廣川 類, ほか: 準天頂衛星システムセンチメートル級測位補強サービス, 三菱電機技報, 91, No.2, 101~104 (2017)

車載レーダ向け歩行者・路側物 識別方式

高柳 優*
Yu Takayanagi
小西響介†
Kyosuke Konishi
影目 聡*
Satoshi Kagame

亀田洋志‡
Hiroshi Kameda
諏訪 啓*
Kei Suwa

*Pedestrians and Roadside Objects Classification Method
for Automotive Radar*

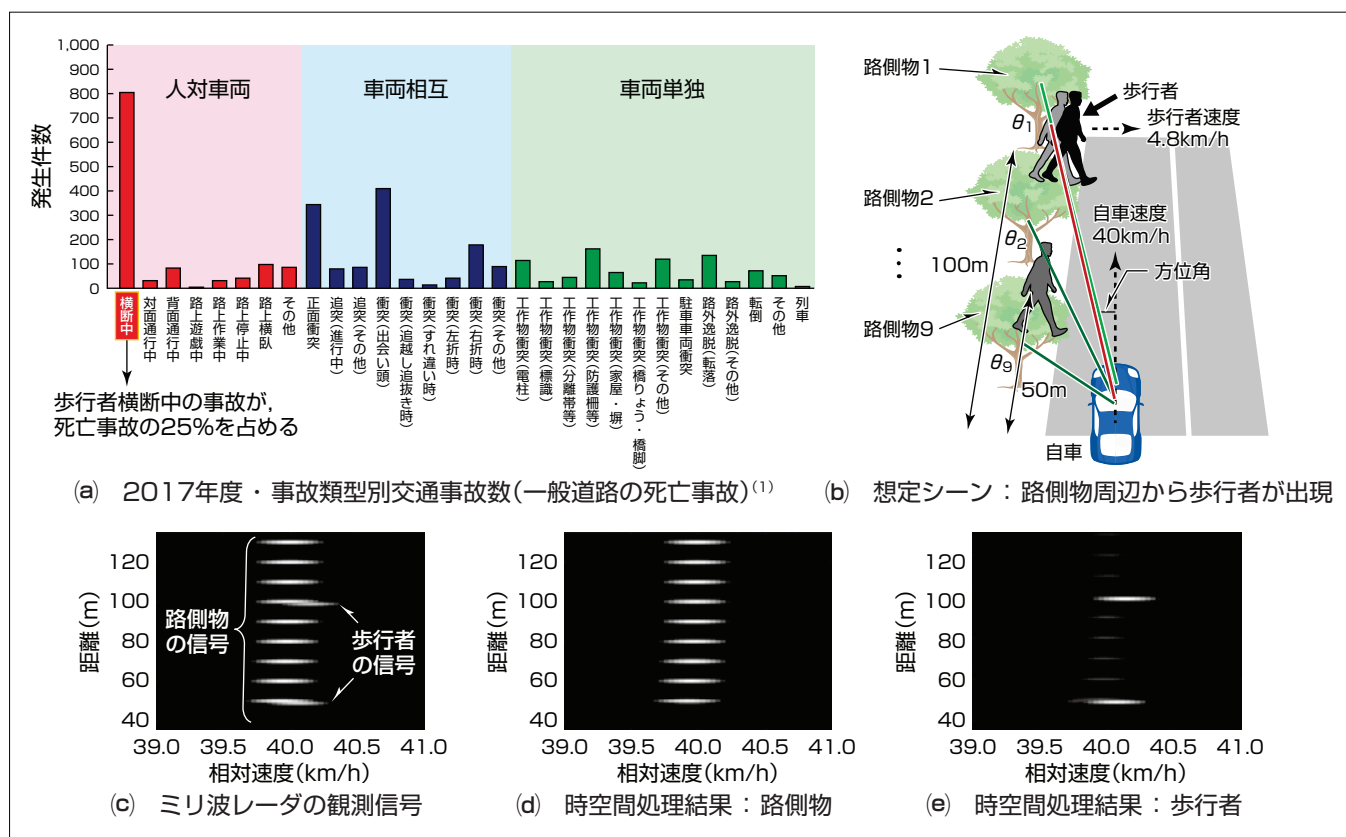
要 旨

2021年3月、自動運転レベル3(条件付運転自動化)が商用化された。2040年頃と言われるレベル5の完全自動運転の実用化に向けて、センサ性能の向上は重要な課題の一つである。例えば、一般道路での死亡事故全体の25%を占める横断中の歩行者と車の事故⁽¹⁾を回避するためには、路側から現れた歩行者を早期に検知できるセンサが必要である。夜間や悪天候下でもこれを実現するセンサとしてはミリ波レーダが有望であるが、現在実用化されているミリ波レーダでは分解能が低く、歩行者の早期検知は極めて困難である。

そこで、三菱電機では、安全かつスムーズな自動運転を

実現するために、ミリ波レーダの角度分解能の向上と、高分解能なミリ波レーダのための信号処理技術の開発に取り組んでいる。

今回、ミリ波レーダで、路側から横断を始める歩行者を周囲の路側物の中からいち早く検知・識別するための、時空間処理による信号識別方式と、識別した歩行者の信号に対して遅滞なく追尾を開始するための分離目標向けLMBフィルタ(Labeled Multi-Bernoulli filter)を応用した追尾開始方式を開発した。これらの方式によって、横断中の歩行者と車の事故低減への貢献が期待される。



ミリ波レーダによる横断歩行者の早期検知方式

図(a)は2017年度の一般道路の死亡事故発生件数である。横断中の歩行者と車の事故が最も多く、全体の25%を占めている。このような事故を回避するためには、図(b)のように路側から歩行者が横断を開始する場面で、歩行者をいち早く検出して追尾することが必要になる。このような場面で観測されるミリ波レーダの信号は図(c)に示すようになり、歩行者の信号は路側物からの反射信号に埋もれて検出が困難である。時空間処理を適用することによって、図(d)と図(e)に示すように、路側物と歩行者の信号を分離することが可能になる。

1. ま え が き

近年、自動運転の技術は目覚ましい勢いで進化を遂げており、2021年3月には自動運転レベル3が商用化され、レベル5の完全自動運転も2040年頃までには実用化が始まるとみられている。完全自動運転に向けては、まだクリアすべき技術課題も多く、中でもセンサ性能の向上は重要な課題の一つである。例えば、一般道路での死亡事故全体の25%を占める横断中の歩行者と車の事故を回避するためには、路側から現れた歩行者を早期に検知できるセンサが必要である。夜間や悪天候下でもこれを実現するセンサとしてはミリ波レーダが有望であるが、現在実用化されているミリ波レーダでは分解能が低く、歩行者の早期検知は極めて困難である。このような課題認識の下、当社では、安全かつスムーズな自動運転を実現するために、ミリ波レーダの角度分解能の向上を進めるとともに、高分解能なミリ波レーダのための信号処理技術の開発に取り組んでいる。

本稿では、角度分解能の高いミリ波レーダを用いて、路側物と歩行者の信号を識別して歩行者を検知する信号識別方式及び検出された歩行者の信号に対して遅滞なく追尾を開始する追尾開始方式について、それぞれ、方式と計算機シミュレーションによる評価結果例について述べる。

2. 歩行者・路側物の信号識別方式

路側物と歩行者の信号を識別する方式について述べる。想定する場面として、図1に示すように、50mと100m先の路側物(樹木等)の間から歩行者が横断を開始する状況を考える。自車速度は40km/hとし、表1に想定するレーダ諸元を示す。また、路側物9点を10m間隔で並べて、歩行者はどちらも道路を横断する方向に4.8km/hで移動するものとした。このような場面で、従来のミリ波レーダで観測される観測信号は図2に示すようなものになる。図2の縦軸はレーダから目標物までの距離、横軸は目標物の相対速度を表している。図2から、路側物の相対速度は40km/h付近で、距離によってわずかに異なることが分かる。また、歩行者の相対速度も距離によって異なり、50m先の歩行者の相対速度と、120m先の路側物の相対速度はほぼ一致している。つまり、相対速度の情報だけから路側物と歩行者を分離・識別することは不可能であるということがこの図から分かる。

そこで、路側物の相対速度と方位角の関係を利用することを考える⁽²⁾。路側物と自車の相対速度 $v_{obj}(\theta_t)$ (m/s)は、自車の速度 v_{car} (m/s)と、自車の移動方向に対する路側物の位置の方位角 $\theta_t(^{\circ})$ と式(1)の関係を満たす。

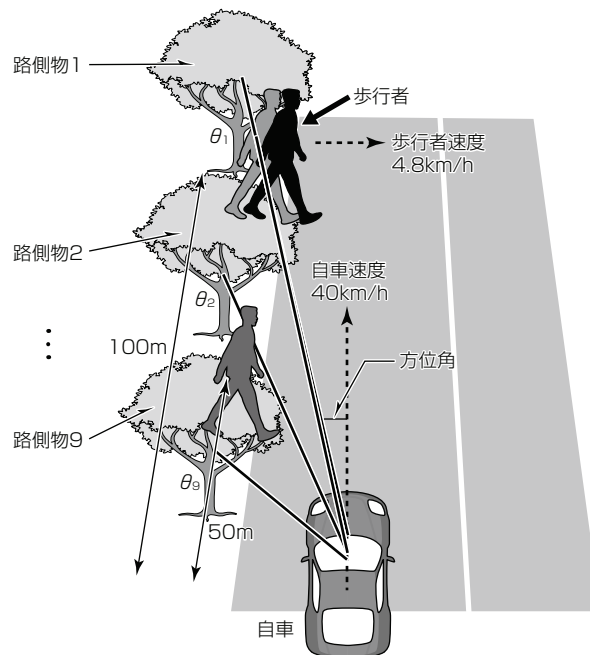


図1. 想定する場面

表1. レーダ諸元

パラメータ	設定値
MIMO方式	時分割
変調方式	FMCW
中心周波数	76.5GHz
帯域幅	200MHz
サンプリング周波数	20MHz
チャープ変調時間	50μsec
速度分解能	0.071km/h

MIMO : Multiple-Input Multiple-Output
FMCW : Frequency Modulated Continuous Wave

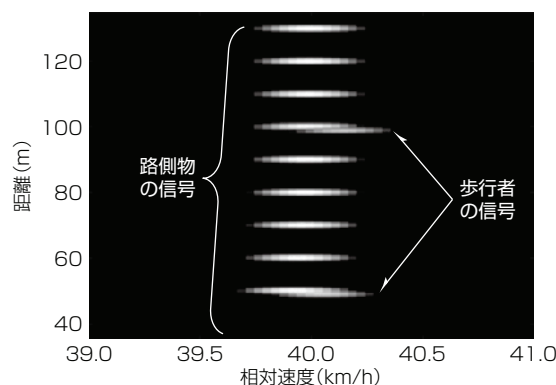


図2. ミリ波レーダの観測信号

$$v_{obj}(\theta_t) = v_{car} \cos \theta_t \quad \dots \dots \dots (1)$$

一方、歩行者の相対速度は、歩行者の速度分が加算される。例えば、歩行者の速度を自車の進行方向に対して直角に(道路を横断する方向に) v_{ped} (m/s)とすると、自車との相対速度は路側物の相対速度に対して $v_{ped} \sin \theta_t$ (m/s)だけ加算された値になる。

$$v_{ped}(\theta_t) = v_{car} \cos \theta_t + v_{ped} \sin \theta_t \quad \dots \dots \dots (2)$$

図3に、受信信号の相対速度と方位角の関係を示す。路側物の方位角は $1 \sim 4^\circ$ 付近に分布しており、方位角と相対速度が式(1)の関係を満たす曲線に沿って現れている。また、歩行者の信号は、この曲線から外れたところに発生していることを確認できる。式(1)の関係は自車速度によって一意に決まるため、自車速度が既知であれば、方位角-相対速度の図上で路側物の信号が現れる場所を特定できる。開発方式では、この関係を利用して路側物と歩行者の信号を識別する。

図4と図5に、開発方式によって分離・識別された路側物と歩行者の信号をそれぞれ示す。図4は、受信信号の中

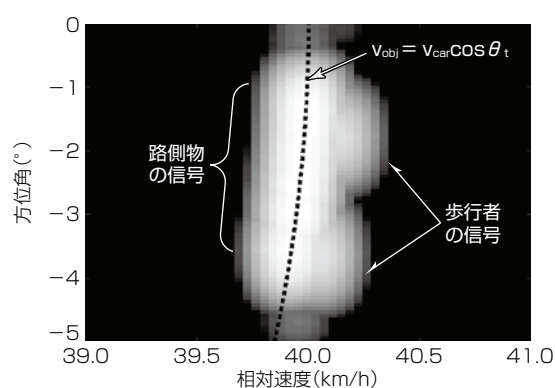


図3. 相対速度と方位角の関係

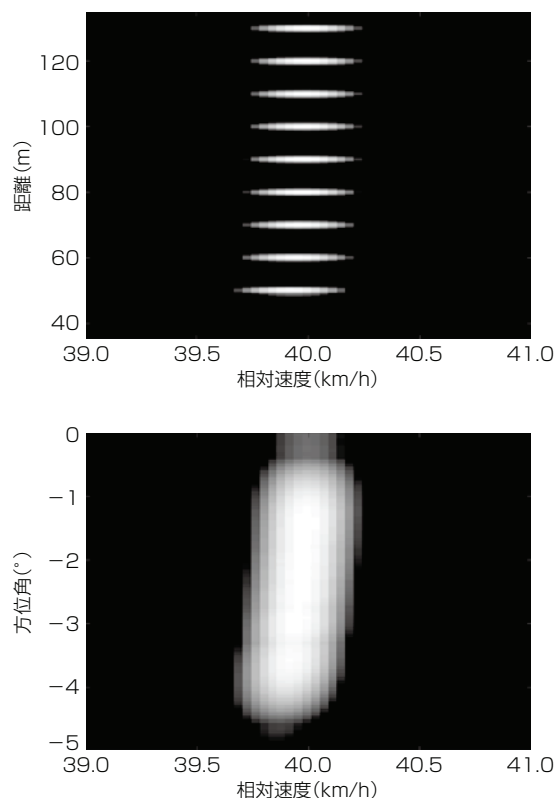


図4. 路側物の信号

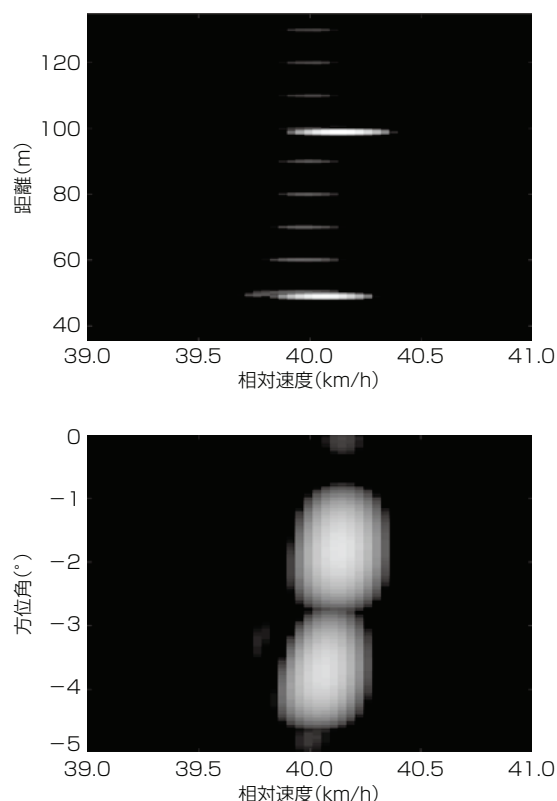


図5. 歩行者の信号

で、方位角-相対速度関係が式(1)の関係を満たすものを抽出した結果である。一方、図5は、受信信号から図4に示す静止目標信号を時空間処理によって差し引いた結果である。図4を図2及び図3と比較すると、路側物の信号が正しく抽出され、歩行者の信号が消滅していることが確認できる。また、図5を図2及び図3と比較すると、路側物の信号が抑圧され、歩行者の信号が残っていることを確認できる。このように、時空間処理によって歩行者の信号を検出することが可能になる。

なお、図5では、路側物の信号が若干消え残っている様子も観察されるが、これは路側物の反射強度を相対的に大きく設定したことに起因している。路側物の反射は歩行者よりも大きい傾向があるため、検出段階では路側物も検出されることは不可避である。この問題は追尾処理を工夫することで解決する。

3. LMBフィルタによる 歩行者・路側物の追尾開始方式

路側物付近から現れる歩行者を検出したら、周囲に残った路側物の信号と歩行者の信号を素早く識別して遅滞なく追尾を開始する必要がある。そこで、より少ない観測回数で路側物と歩行者を識別して個別に追尾を開始するために、分離目標向けLMBフィルタを用いた追尾開始方式を開発した。

追尾開始が最も難しいのは、路側物のすぐ脇から歩行者が出現するようなケースである。開発方式では、このような場合に備えて、近接する路側物と歩行者を早期に追尾開始するために分離目標向けのLMBフィルタ⁽³⁾を用いる。分離目標向けのLMBフィルタでは、1個の目標(第1目標)から別の目標(第2目標)が分離出現する過程をモデル化した状態遷移モデルを用いる。第1目標及び第2目標が存在する場合／存在しない場合の計4状態間の遷移を予測する機能を設けたことで、従来のLMBフィルタに比べて少ない観測回数で子目標の出現が推定可能になる。路側物周辺から出現する歩行者を追尾する場合、路側物が第1目標、歩行者が第2目標に該当する。さらに、開発方式ではドップラー速度の観測値も入力として、二次元位置及びドップラー速度の合計三次元の状態空間内で、目標の個数を推定する。これによって、静止している路側物の近傍から移動している歩行者が出現した際に、路側物と歩行者の相対距離が車載レーダの位置分解能以内であっても、ドップラー速度の違いによって歩行者の追尾開始が可能になる。

開発方式の性能を100試行のモンテカルロシミュレーションによって評価した。観測時間0.00～3.00秒のうち、第1目標(路側物)は時刻1.00秒に観測領域内に現れ、第2目標(歩行者)は時刻2.00秒に第1目標の周辺から現れるとする。また、観測間隔は0.05秒とし、分解能は0.73m(距離)、0.0078rad(方位角)、0.115km/h(ドップラー速度)とした。各目標の検出確率は0.75とし、誤検出確率は 1.0×10^{-7} とした。なお、比較対象として従来方式のLMBフィルタ⁽⁴⁾の性能も併せて評価した。

シミュレーション評価の結果として、各時刻での目標個数推定値(100試行平均)を図6に示す。追尾開始性能としては、目標個数推定値の増加が早いほど望ましい。時刻1.00秒に出現する第1目標(路側物)に関しては、従来方式と開発方式の結果に相違はなかった。これは、どちらの方式も追尾開始する過程が同一であることに由来する。一方、時刻2.00秒に出現した第2目標(歩行者)に関しては、従来方式よりも開発方式の追尾開始時間が短縮している。目標個数推定値が1.98を超えるまでの時間(100試行中98回で追尾開始するまでの時間)で比較すると、従来方式の0.8秒に対して、開発方式は0.25秒で0.55秒短縮した。この結果から、従来方式に比べて、分離目標向けLMBフィルタが、路側物周辺から出現する歩行者に対する追尾開始に優れていることが確かめられた。

これによって、分離目標向けLMBフィルタによって路側物周辺から出現する歩行者の追尾開始性能が向上することを示した。今後は、実験データによるこの開発方式の検証、及び3目標以上を対象とする方式拡張の検討を行う。

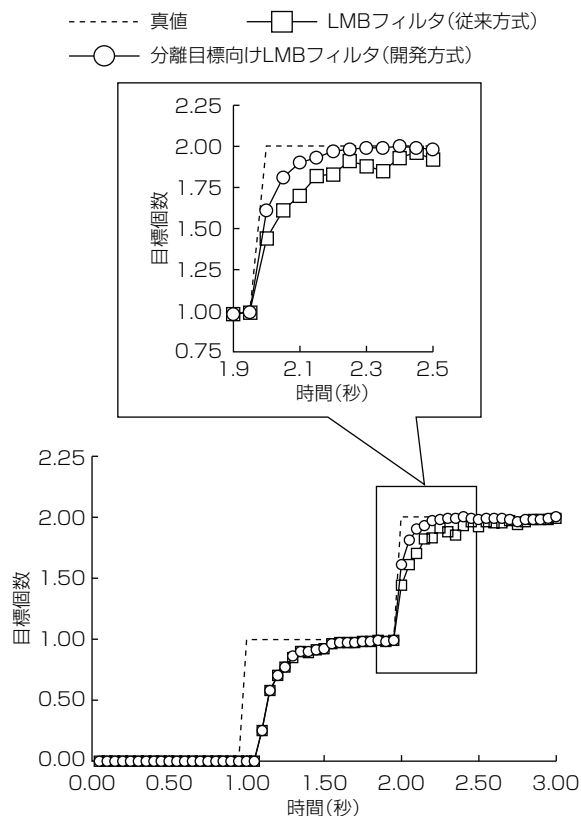


図6. シミュレーション評価結果

4. む す び

角度分解能の高いミリ波レーダを用いて、路側物と歩行者の信号を識別して歩行者を検知し、遅滞なく追尾を開始するための信号処理方式について述べた。時空間処理によって路側物の周辺から4.8km/hで横断を開始する歩行者と路側物の信号を分離し、分離目標向けLMBフィルタによって追尾を開始する。計算機シミュレーションによる評価の結果、100m先で路側から現れる歩行者と路側物を識別・検知し、100試行中98回について、0.25秒で追尾を開始できることを確認した。

参 考 文 献

- (1) 警察庁交通局：平成29年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について(2018)
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000031674176&fileKind=2>
- (2) 一般財団法人 日本自動車研究所：ITS車載機器標準化のための要素機能と試験方法に関する調査研究【車両周辺障害物の電波反射特性に関する調査研究】(2005)
<http://www.jari.or.jp/Portals/0/ja/kankohbutsu/hokoku/its/hyojyun/abstract/archi87.htm>
- (3) 小西響介，ほか：LMBフィルタによる小型分離目標検出アルゴリズム，2017年電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会，B-2-13(2017)
- (4) Reuter, S., et al.: The Labeled Multi-Bernoulli Filter, IEEE Trans. on Signal Processing, **62**, No.12, 3246～3260 (2014)

小形ループアンテナを用いた非接触心拍センサの基礎検討

和田紗希*
Saki Wada
西本研悟†
Kengo Nishimoto
西岡泰弘†
Yasuhiro Nishioka

稲沢良夫†
Yoshio Inasawa

Fundamental Study on Contactless Heartbeat Sensor Using Small Loop Antenna

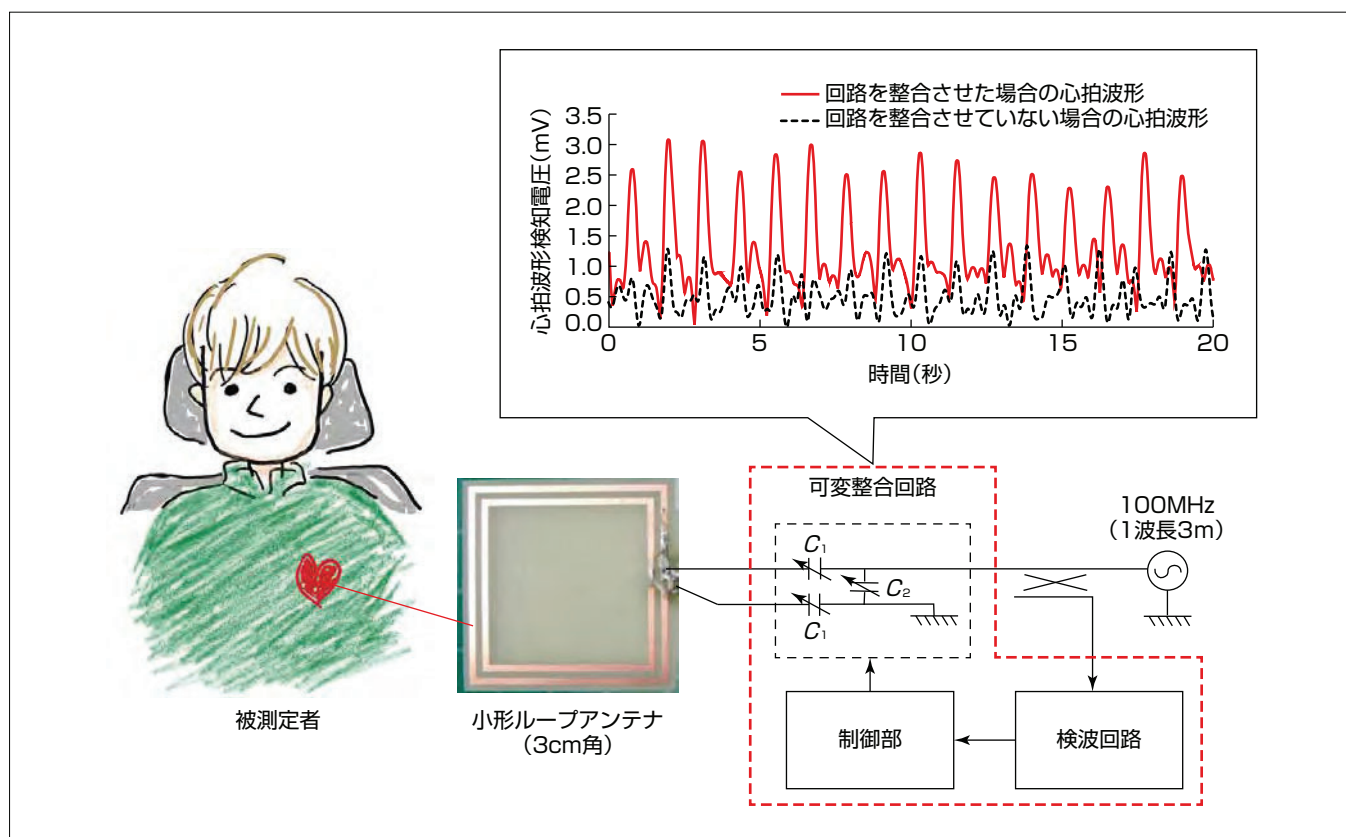
要 旨

心拍の波形及び心拍のピーク間隔から、体調や健康状態を推定する方法が知られており、ストレス度合いや病気の予兆をセンシングできるとされている。標準的な心拍の測定方法に心電図計があるが、被測定者の肌に電極を貼り付ける必要があるため、拘束感や不快感を与えることがある。日常的にセンシングする場合には非接触・非拘束であることが望ましく、近年、電波センサが注目されている。しかし、電波センサを用いて心拍を取得するには、①周囲の電波の反射や外来ノイズの影響が大きい、②体形などによる個人差が大きく心拍波形が取得できない場合があるという二つの大きな課題がある。

これらの課題を解決するために、まず、遠方への放射が

小さい低放射効率の小形ループアンテナを採用して近傍の電磁界だけを検知する方式にすることで、周囲からの電波の反射と外来ノイズの影響を低減させる。さらに、個人差を含む設置条件の変化に適応してアンテナ給電部の可変整合回路を制御することで個人差を低減し、高感度に心拍波形の測定が可能になる方法を提案する。基礎検討を実施した結果、提案方法を適用することで4名の被測定者に対して心拍のピーク間隔の計測精度が35%以上向上した。

この心拍センシング方法は、将来的にドライバーの心拍計測／体調推定にも適用可能と考えている。今後、センサ設置位置に対するロバスト性の向上等を検討し、実用性を高める予定である。



非接触心拍センサ

被測定者の胸部近傍に低放射効率の小形ループアンテナを設置し、センサ近傍の電磁界の変化だけを検知する方式にすることで、周囲からの電波の反射及び外来ノイズの影響を低減させる。さらに、服装や体形など個人差を含むセンサの設置条件に対して適応的に可変整合回路の制御が可能な構成を示す。この構成を用いることで、個人差によらず高感度に心拍波形及び心拍間隔の取得が可能なセンサを実現する。

1. ま え が き

心拍の波形を測定することで、体調や健康状態を推定する方法が知られており、心拍のピーク間隔の時間変動からストレス度合いや眠気、病気の予兆をセンシングできるとされている⁽¹⁾⁽²⁾。心拍の測定方法として心電図計(Electro-CardioGram: ECG)や、活動量モニタリングを目的としたウェアラブル端末にみられる光電脈波センサ⁽³⁾の普及が目まじしい。しかし、これらの装置は被測定者の肌に接触させる必要があるため、拘束感や不快感を与えることがある。被測定者の状態を推定するセンサとしては非接触・非拘束であることが望ましく、このため電波センサが注目されている。しかしながら、電波センサの課題として、①周囲の電波の反射や外来ノイズの影響が大きいこと、②体形などによる個人差が大きくて心拍波形が取得できない場合があることが挙げられる。

本稿では、まず、上記課題を克服し、高感度に心拍波形の取得が可能な心拍センシング方法について述べる。次に、この方法の基礎検討を実施し、4名の被測定者に対して有効性を確認した結果を示す。

2. 提案する心拍センシング方法

2.1 提案方法の原理と特徴

心臓の収縮に伴って図1の点線内に示す心尖(しんせん)が胸壁に衝突し、体表面が変位する。人体を誘電体と考えるとき、心臓近傍にアンテナを設置すると、体表面(拍動部)とアンテナとの距離が変化することで、アンテナの入力インピーダンスもまた誘電体の位置の時間変化に伴って変化する。この入力インピーダンスの変化は、心尖拍動と強い相関があると考えられる。したがって、アンテナを心臓拍動部近傍に設置し、そのインピーダンスの時間変化、すなわち反射係数の時間変化を測定することで心拍波形が取得可能になる。

1章で示した二つの課題に対して、①遠方への放射が小さい低放射効率の小形アンテナを採用して近傍の電磁界だ

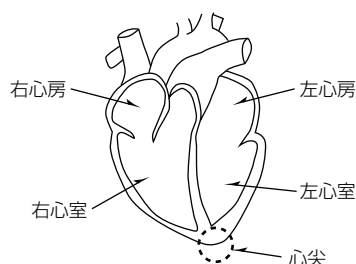


図1. 心臓の構成と心尖部位

けを検知する方式にすることで、周囲からの電波の反射と外来ノイズの影響を低減させる。また、電氣的に小形のアンテナを使用する場合、アンテナを設置する被測定者、着用衣服、測定位置などの設置条件によって入力インピーダンスが変化する。そこで、②設置条件の変化に適応してアンテナ給電部の可変整合回路を制御することで個人差を低減し、高感度に心拍波形の測定が可能になる方法を提案する。

2.2 周波数の選定と提案センサの回路構成

総務省によれば免許不要な微弱無線局の条件として、アンテナから3m離れた地点での電界強度の基準は周波数に対して段階的に定められている。送信機の実行輻射(ふくしゃ)電力EIRP(Equivalent Isotropically Radiated Power)(W)と、送信機からR(m)だけ離れた点の電界強度E_r(V/m)との換算式は、

$$EIRP = \frac{|E_r|^2 R^2}{30} \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。Rを3mとすると式(1)から送信機のEIRPは、

- ・ -41.2dBm以下(322MHz以下の場合)
- ・ -64.3dBm以下(322MHz~10GHzの場合)

になる。アンテナへの入力電力を大きくするほど感度高く波形を取得できるため、周波数は322MHz以下が望ましい。本稿では、使用周波数を100MHzにした。

また、拍動部位の大きさに合わせて、アンテナのサイズは一辺30mm(0.01波長)の正方形にする。図2に試作アンテナを示す。小形ループアンテナを基板(材質:FR-4(Flame Retardant Type 4), 1.2mm厚)上に形成した。

次に、提案センサの回路構成を図3に示す。アンテナは送受信共用で、図2の小形ループアンテナを用いて、アンテナの給電部には、可変容量ダイオードC₁、C₂から成る可変整合回路を設置する。信号発生器から100MHzの連続信号を発生させて、アンテナに入力する。人体で反射した信号は、送信信号をローカル波として直交検波されて互いに90度位相差のあるV_I、V_Qの二つの信号として電圧検知部に入力する。制御部では、検知された信号を用いて後述するアルゴリズムに従って可変容量ダイオードC₁、C₂の値を制御する。

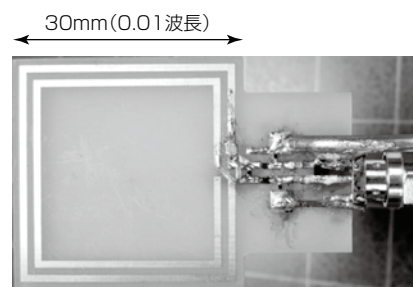


図2. 試作アンテナ

2.3 整合回路の制御アルゴリズム

図3で検知電圧の複素表示 $V_I - jV_Q$ は、受信信号を送信信号でミキシングして得ているため、参照面 t_1 から見たアンテナの複素反射係数 Γ_m に参照面 t_1 から直交検波器までの通過特性を加味したものと等価である。したがって、心拍による検知電圧の変化を大きくしてセンサ感度を高めるためには、反射係数の時間変化を大きくできればよい。図4に示すように整合回路がない場合には不整合損が大きいため反射係数の時間変化が小さくなるが、整合回路がある場合には反射係数の時間変化が大きくなる。すなわち、反射係数の実部と虚部の時間平均が0になるように整合回

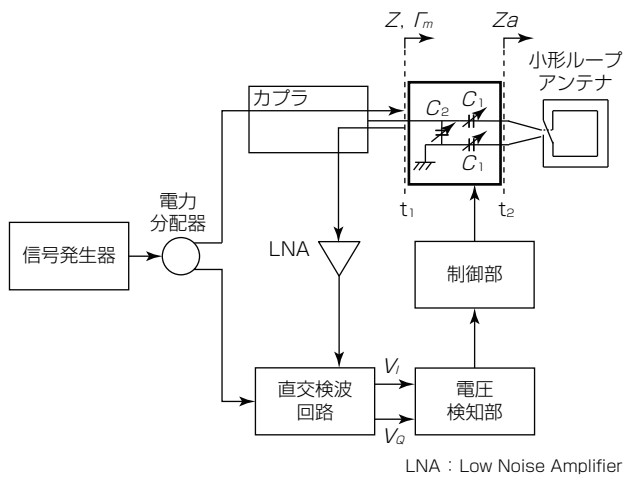


図3. 提案センサの回路構成

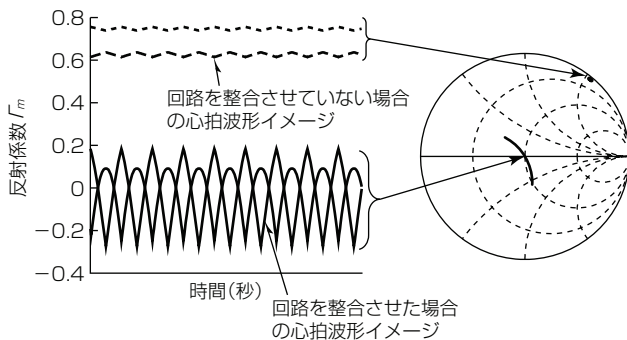


図4. 心拍による反射係数 Γ_m の時間変化のイメージ図

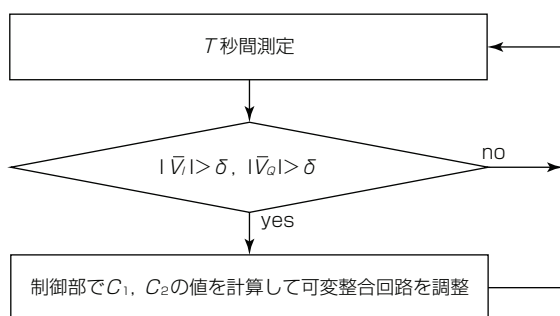


図5. 可変整合回路の制御フローチャート

路を調整すれば、平均的に不整合損が小さくなるために反射係数の時間変化が最大になると考えられる。したがって、 V_I , V_Q の時間平均 \bar{V}_I , \bar{V}_Q が0に近づけばよい。制御部での可変整合回路の制御フローチャートを図5に示す。 \bar{V}_I , \bar{V}_Q の絶対値が十分小さいしきい値 δ を超える場合に、 $|\Gamma_m|$ が0になるように可変整合回路の定数 C_1 , C_2 を計算し、定期的に更新する。このアルゴリズムを、心拍波形を測定する時間 T 秒ごとに繰り返すことで、常に感度の高い状態で心拍のセンシングが可能になると考えられる⁽⁴⁾。

3. 提案センサを用いた心拍測定

3.1 測定方法

測定に用いた回路構成を図6に示す。この測定では、心拍波形検知電圧 V_I , V_Q をオシロスコープで取得し、可変容量ダイオードへの印加電圧を手動で更新する。参照面 t_1 でのアンテナへの入力電力は -22.5dBm とし、アンテナの不整合損を含まない最大利得 -28.4dBi から $EIRP$ は -50.9dBm になり、微弱無線局の条件を満足する。図7にセンサの設置位置を示す。被測定者A(男性)の衣服は軽装、安静な状態で椅子に着座し、被測定者の胸部にセンサを装着して測定した。また、参照解として心電波形を取得するために被測定者の胸部に直接ECGセンサの電極を貼り付けて、提案センサと同一のオシロスコープで同時に取得している。心拍の測定時間 T は、 $T = 20$ (秒)とした。

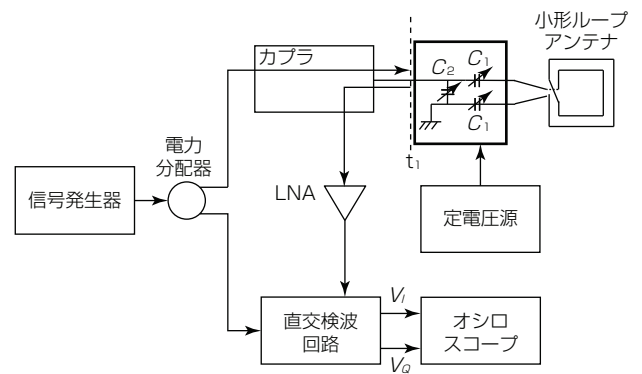


図6. 測定に用いた回路構成

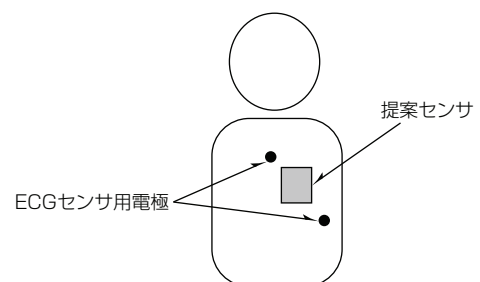


図7. センサの設置位置

3.2 測定結果

図8に提案アルゴリズム適用前後の検知電圧の時間変化を示す。ここで、検知電圧 V_I , V_Q で、検知電圧の振幅 V_a を式(2), V_a の T 秒間での最小値 V_{min} を式(3), 検知電圧の V_{min} からの変位量 V_r を式(4)とする。

$$V_a = \sqrt{V_I^2 + V_Q^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$V_{min} = \sqrt{V_{Imin}^2 + V_{Qmin}^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$V_r = \sqrt{(V_I - V_{Imin})^2 + (V_Q - V_{Qmin})^2} \dots\dots\dots (4)$$

図8は式(4)で求めた V_r に帯域通過フィルタ (BandPass Filter : BPF) を適用した波形である。BPFは、通過振幅が -1 dB以上になる帯域を $0.8 \sim 5$ Hzとし、低周波成分である呼吸成分と高周波成分のノイズを除去している。提案アルゴリズム適用前と比較して、振幅が2倍以上に増加することが確認できる。図9に提案センサとECGセンサによって取得したRRI(RR Interval : 心拍のピーク間隔)の時間変化を示す。図9はBPFで処理した波形に対して、心拍の周期である約1 Hzごとに最も振幅の大きい値をピークとし、隣接するピーク時間間隔を算出したものである。提案アルゴリズムを適用することで、提案センサのRRIがECGセンサのRRIに近づいて取得誤差が低減することが分かる。次に、ECGセンサのRRIを基準にし、提

表1. 提案方法適用前後のRRI検出誤差

被測定者	適用前(ms RMS)	適用後(ms RMS)	誤差低減率(%)
A	80.0	33.3	58
B	138.0	74.3	46
C	219.0	78.9	64
D	264.0	171.0	35

RMS : Root Mean Square

案センサで検出したRRIの検出誤差を $RMSE$ (Root Mean Square Error) で求めた。 $RMSE$ は式(5)から求める。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 x_i , \hat{x}_i はそれぞれ提案センサ及びECGで測定したRRIの時系列データ、 n は測定時間内のRRIの数である。 $RMSE$ は提案アルゴリズム適用前では 80.0 ms, 適用後では 33.3 msになり、提案アルゴリズムを適用することで検出誤差が低減することを確認した。

続いて、被測定者3名(女性1名, 男性2名)を追加して同様の測定を実施した。被測定者Aを含む4名のRRIの検出誤差を表1に示す。表1から全ての被測定者で検出誤差が改善されており、誤差の低減率は35%以上になることが分かる。

4. む す び

高感度に心拍波形の取得が可能な心拍センシング方法として、低放射効率の近傍電磁界検知型の小形ループアンテナを心臓に近接させて設置し、周囲からの電波の反射や外来ノイズの影響を低減する非接触心拍センシング方法を提案し、さらに、設置条件の変化に適応してアンテナ給電部の可変整合回路を制御するセンサ構成を提案した。次に、4名の被測定者による検証実験を行い、ECGセンサによる測定値を真値とし、提案アルゴリズム適用前後での心拍のピーク間隔の検出誤差を評価した結果、個人差を含む設置条件によらず心拍のピーク間隔の計測精度が35%以上向上することを実証した。この心拍センシング方法は、将来的にドライバーの心拍計測/状態推定にも適用可能と考えている。

参考文献

- (1) 南谷晴之：＜特集＞疲労とストレス，バイオメカニズム学会誌，21，No.2，58～64（1997）
- (2) 川原健資：心拍変動解析の臨床，バイオフィードバック研究，26，1～7（1999）
- (3) Dubey, H., et al. : Harmonic sum-based method for heart rate estimation using PPG signals affected with motion artifacts, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 9, No.1, 137～150 (2018)
- (4) 和田紗希，ほか：VHF帯小形ループアンテナを用いた心拍センサにおける整合回路の適応制御アルゴリズム，電子情報通信学会技術研究報告，119，No.480，11～16（2020）

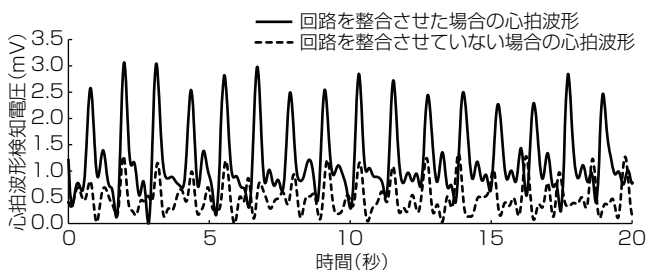
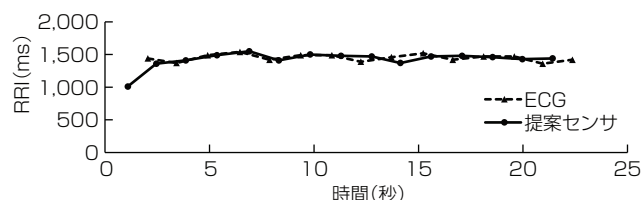
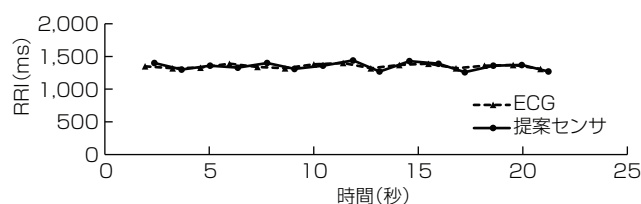


図8. 提案方法適用前後の検知電圧波形



(a) 提案方法を適用する前のECGと提案センサのRRI



(b) 提案方法を適用した後のECGと提案センサのRRI

図9. 提案方法適用前後でのECGと提案センサのRRIの時間変化

インフラ協調型自動運転向け 車両間調停システム

竹原崇成*
Takayoshi Takehara

西脇剛史†
Takeshi Nishiwaki

前田 崇†
Takashi Maeda

伊藤益夫‡
Masuo Ito

濱田悠司§
Yuji Hamada

Behavior Arbitration System between Vehicles for Infrastructure - based Autonomous Driving

要 旨

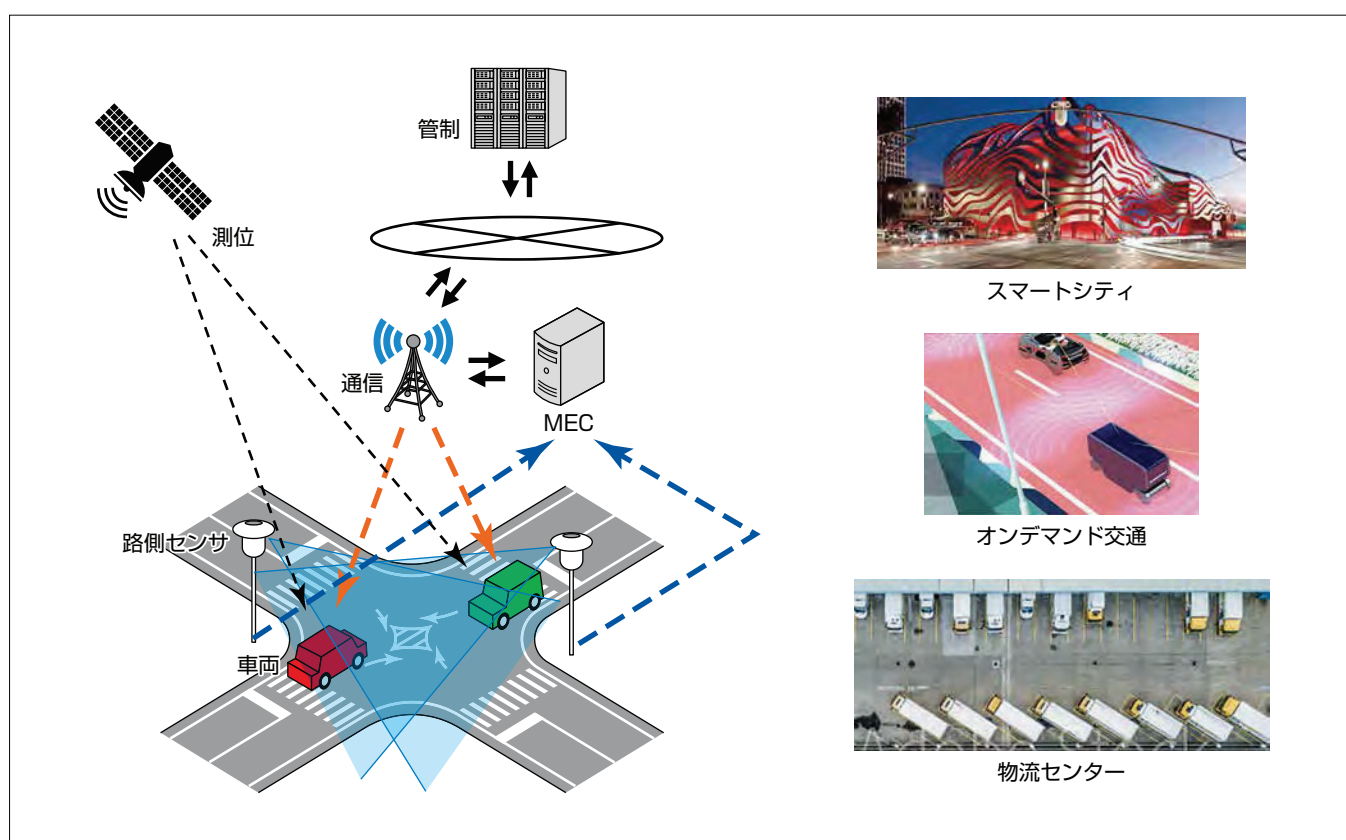
近年、レベル4以上の高度な自動運転システムの実現に向けた開発が進められている。三菱電機では、レーダやカメラ等の車載センサを用いた自律型の自動運転に加えて、準天頂衛星による高精度測位や路側センサ、ダイナミックマップを活用したインフラ型の自動運転を組み合わせたインフラ協調型自動運転システムの開発を推進している。

インフラ協調型自動運転では、準天頂衛星から測位補強情報を受信してセンチメートル級の高精度な自車位置の測位を実現する。さらに、路側センサが検出した自車周辺の車両や歩行者の位置を高精度地図上にマッピングしたダイナミックマップ情報を、車両が路車間通信によってリアルタイムに受け取ることで高度な自動運転を実現する。この

ダイナミックマップ情報は、インターネット上のクラウドサーバではなく、車両に近いエリア内に設置されたエッジサーバ(MEC: Multi-access Edge Computing)で演算することで処理の遅延を小さくしている。

今回、このMECと路車間通信を用いて複数車両で走行経路の調停を行う機能を開発した。複数車両が同時に車線変更しようとするユースケースについて、高速な5G通信とMECを用いて調停を行う実証実験を実施した。

今後、インフラ協調型自動運転の社会実装を目指して様々なユースケースで実証実験を進めて、スマートシティを始めとする安全で快適なモビリティ社会の実現に貢献していく。



インフラ協調型自動運転システムとそのアプリケーション

インフラ協調型自動運転システムは、エリア内の車両や歩行者を検知する路側センサや、路側センサ情報からエリア内のダイナミックマップを生成するMECなどを配置することによって、限定エリア内での高度な自動運転を実現できる。スマートシティ、オンデマンド交通や物流センターなどへの展開が期待される。

*自動車機器開発センター(博士(情報科学)) †同センター

‡通信システムエンジニアリングセンター §先端技術総合研究所

1. ま え が き

政府がまとめた官民ITS(Intelligent Transport Systems)構想・ロードマップ2020⁽¹⁾によれば、2025年をめどに高速道路や限定地域でシステムが全ての運転タスクを実施する自動運転レベル4の普及が期待されている。このような状況下、当社では、レーダやカメラ等の車載センサを用いた自律型の自動運転と、準天頂衛星による高精度測位や路側センサ、ダイナミックマップを活用したインフラ協調型自動運転システムを開発している。

インフラ協調型自動運転システムでは、車載センサで得られる情報に加えて、衛星測位やダイナミックマップなどインフラから得られる情報を用いて自動運転を行う。これによって、夜間や積雪時等の視認性の悪い条件や死角の多い環境でも、安定した自動運転を行うことが可能になる⁽²⁾。

本稿では、当社が取り組んでいるインフラ協調型自動運転の開発での路車間通信を活用した複数車両に対する車両間調停機能について述べる。

2. インフラ協調型自動運転システム

インフラ協調型自動運転システムでは、路車間通信を使って車両とインフラが連携しながら自動運転を行う(図1)。インフラ側には車両の配車・走行経路の作成を行う管制システム、エリア内の車両や歩行者を検知する路側センサ、路側センサ情報からエリア内のダイナミックマップ情報を

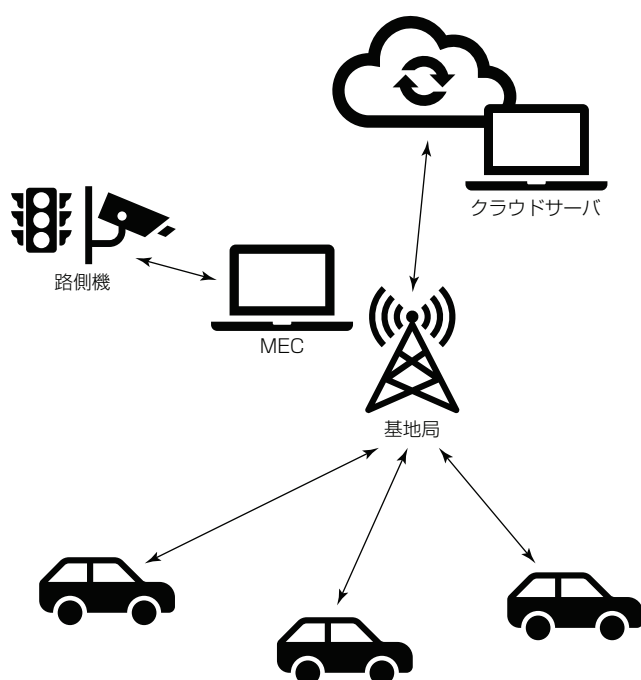


図1. インフラ協調型自動運転システムの構成

生成し、エリア内での車両間調停を行うMECが配置されている。路車間通信を用いてMECから車両にダイナミックマップ情報や経路情報が配信される。

このシステムでは、交差点等で自車から死角になる領域にいる車両や歩行者についても路側センサで検知できるため、その検知結果をダイナミックマップ情報に反映し、検知した情報を車両へ配信することで、より安全な自動運転を実現できる。また、複数車両の経路が輻輳(ふくそう)するような場合には、MECで当該車両間の経路を調停し、その調停結果を車両に配信することで、よりスムーズで効率的な自動運転が可能になる。

路車間通信としては、2020年に国内でも商用サービスが開始された5G通信を活用したC-V2X(Cellular-Vehicle to X)技術が注目されている。5G通信では、キャリアの基地局やコアネットワークの中に配置されたMECを活用することで、MECと車両との間で低遅延の通信が可能である。国内外で、MECを活用した自動運転の実証実験が進められている⁽³⁾⁽⁴⁾。

3. 車両間調停機能

3.1 機能構成

本稿では、インフラ協調型自動運転システムでのMECを活用した機能の一つとして、車両間調停機能を取り上げる。

図2(a)に車両間調停機能の検証システム構成を示す。自動運転車両(以下“車両”という)、基地局を含むセルラネットワーク(5G)及びMECから構成されている。MECは基地局の近くに設けられており、車両との間で低遅延な通信を行うことが可能である。車両は衛星測位によって自車位置を把握する。そして、現在地から10秒先の走行ルート(以下“目標中期パス”という)を生成する。MECでは、各車両の目標中期パスを受信し、各車両間で衝突する、又は車両が過度に接近する可能性を算出する。そして、衝突、又は車両が過度に接近すると判断した場合、MECは該当する車両に対して調停を開始する。そして、MECが算出した調停後の走行ルート(以下“調停中期パス”という)を該当車両に送信する。

図2(b)は従来システム構成の一例である。従来システム構成ではMECではなく、基地局、インターネットを介してクラウドサーバへと接続する。また、セルラネットワークとしてはLTE(Long Term Evolution)通信を用いる。

3.2 ユースケース

図3は車両間調停機能の評価で用いたユースケースを示している。今回の想定は、片側2車線の道路で、交差点の

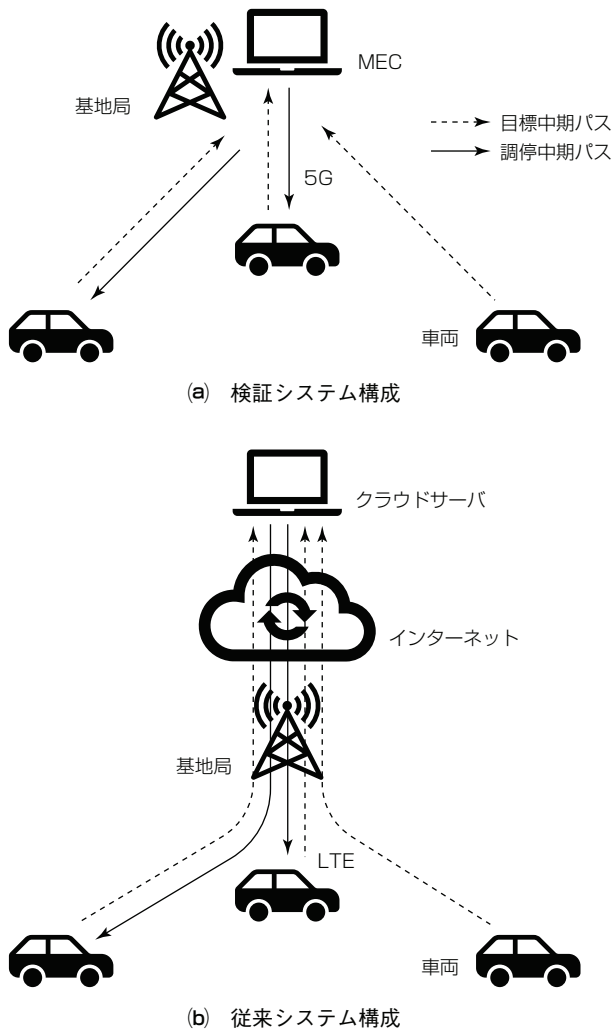


図2. 車両間調停機能のシステム構成

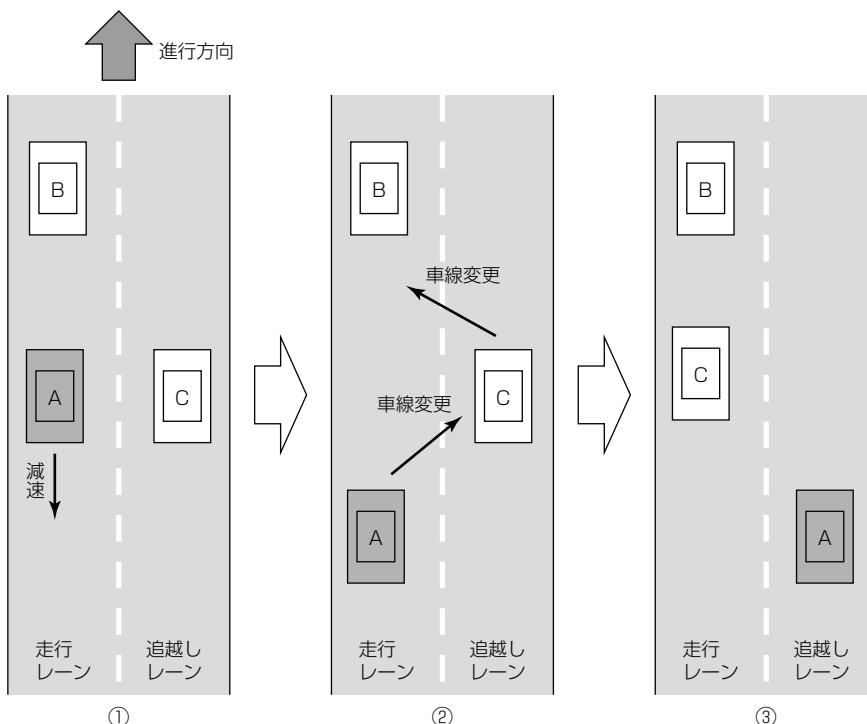


図3. ユースケース

手前で3台の車両が並走している状況である。車両Aと車両Bが走行レーンを走行しており、車両Cが追越しレーンを走行している。図3の①は、初期の位置関係を示しており、車両B及び車両Cは、前方に迫る交差点で左折することを予定している。しかし、この状態のままでは、車両Cは左折できない。そのため、車両Cは走行レーンへの車線変更を計画し、車両Aは交差点を通過するために追越しレーンへの車線変更を計画する。なお、車両Aと車両Cの速度は等速と仮定する。

続いて、このユースケースで、車両間調停機能によって調停された各車両の挙動を述べる。図3の①で、図中の矢印で示すとおり、車両Aには一旦減速を指示し、車両Bとの車間距離を空ける。次に、図3の②では、図中の矢印で示すとおり、車両Aには追越しレーンへ、車両Cには走行レーンへ車線変更を指示する。そして、図3の③のとおり、車両Bと車両Cには走行レーンを走行させ、追越しレーンには車両Aを走行させる。これによって、車両Bと車両Cは、先の交差点で予定どおり左折可能になる。

3.3 システムシーケンス

図4は、今回のユースケースでの、ウィンカー情報や調停中期パスの通知タイミングを示したシステムシーケンス図である。車線変更を調停するための処理時間を測る指標として、図4に示す調停時間を定義した。調停時間の開始時刻は、調停に関する車両の中で最後にウィンカーを出した時刻、終了時刻は調停結果の車両への配信が最後に届いた時刻である。

なお、今回のユースケースでは車両Bは調停に関係しない車両であり、定期的に目標中期パスをMECへ送信しているが、MECから車両Bには調停中期パスは配信されない。

3.4 評価結果

図3に示したユースケースについて、自動運転車両3台を用いた車両間調停の実証実験を行った(図5)。実車でも、調停結果を踏まえてスムーズな車線変更が行えることを確認した。

図6に調停時間の評価結果を示す。5G通信とMECの検証システム構成と、LTE通信とクラウドサーバの従来システム構成について、それぞれ3回ずつ繰り返して評価した結果である。その結果、検証システム構成での調停時間の方が、従来システム構成に比べて、

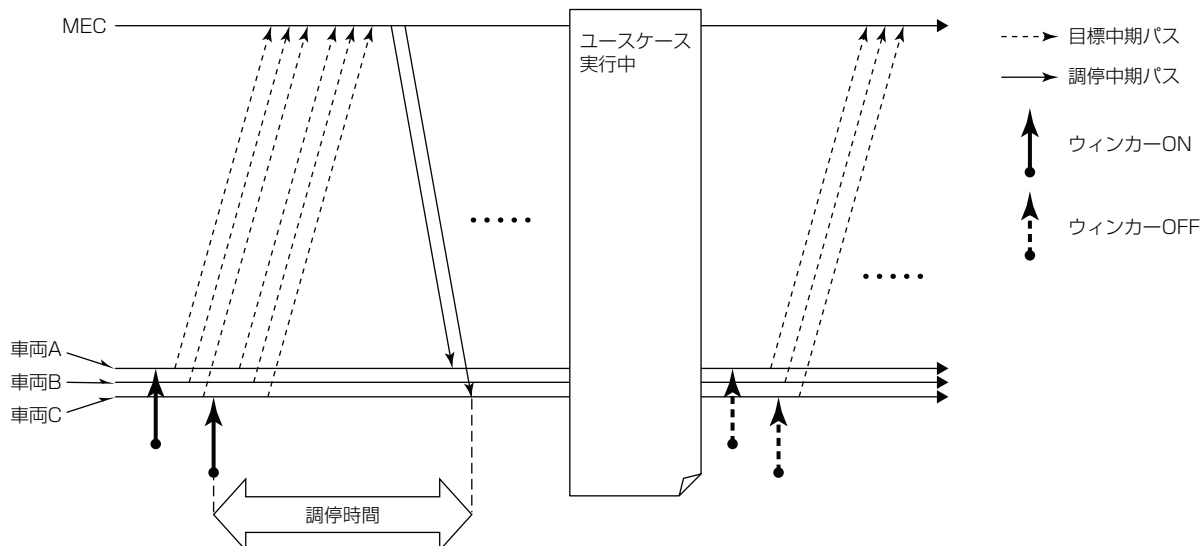


図4. 車両間調停機能のシステムシーケンス図



図5. 車両間調停の実証実験の様子

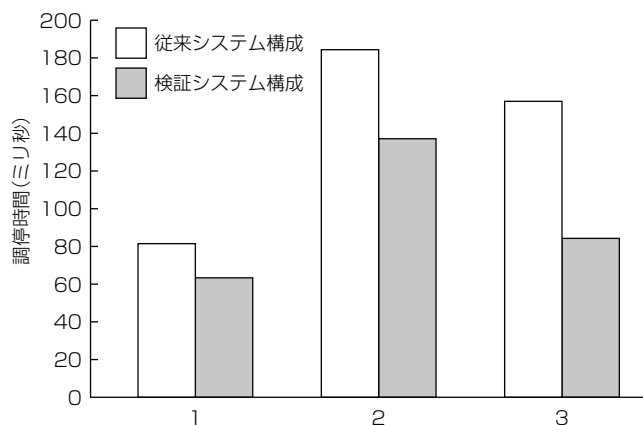


図6. ユースケースの調停時間

20～50%短縮されることが分かった。これは、今回MECとクラウドの処理性能に差はなかったため、5GとLTEの通信速度の差及び通信経路の違いに起因するものである。

多数の車両が存在する中で調停を実施する場合には、調

停の対象ではない車両による目標中期バス送信の輻輳によって、調停対象の車両のバス送受信に干渉が起こり、調停に時間がかかることが懸念される。調停時間が短縮されることによって、調停に関係のない車両の目標中期バスの送信と、調停中期バスが干渉しにくくなるため、MECと車両間で双方向のバスの送受信に遅延が起こりにくく、調停の不成立を低減できると考えられる。

4. む す び

インフラ協調型自動運転システムでの車両間調停機能の開発について述べた。複数車両が同時に車線変更しようとするユースケースに関して、5G通信とMECを用いて調停を行う実証実験を実施した。従来のLTE通信とクラウドサーバの構成に比べて、調停時間を短縮できることを確認できた。

今後、インフラ協調型自動運転の社会実装を目指して、様々なユースケースでの実証実験を進めて、スマートシティを始めとする安全で快適なモビリティ社会の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：官民ITS構想・ロードマップ2020 (2020)
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20200715/2020_roadmap.pdf
- (2) 角谷文章，ほか：予防安全・自動運転の開発と実証実験の取組み，三菱電機技報，**93**，No.5，280～283 (2019)
- (3) ソフトバンク(株)：ソフトバンクとSUBARU，自動運転車のユースケースに関する実証実験を実施 (2020)
https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2020/20201124_01/
- (4) ボッシュ(株)：ボッシュ，市街地の自動運転において車両とインフラを連携 (2020)
<https://www.bosch.co.jp/press/group-2007-05/>

車載用製品による燃費向上及び 環境負荷物質の排出量低減への貢献

加藤裕彦*
Yasuhiko Kato
三浦 武*
Takeshi Miura
藤井智彦*
Tomohiko Fujii

西守裕也*
Yuya Nishimori

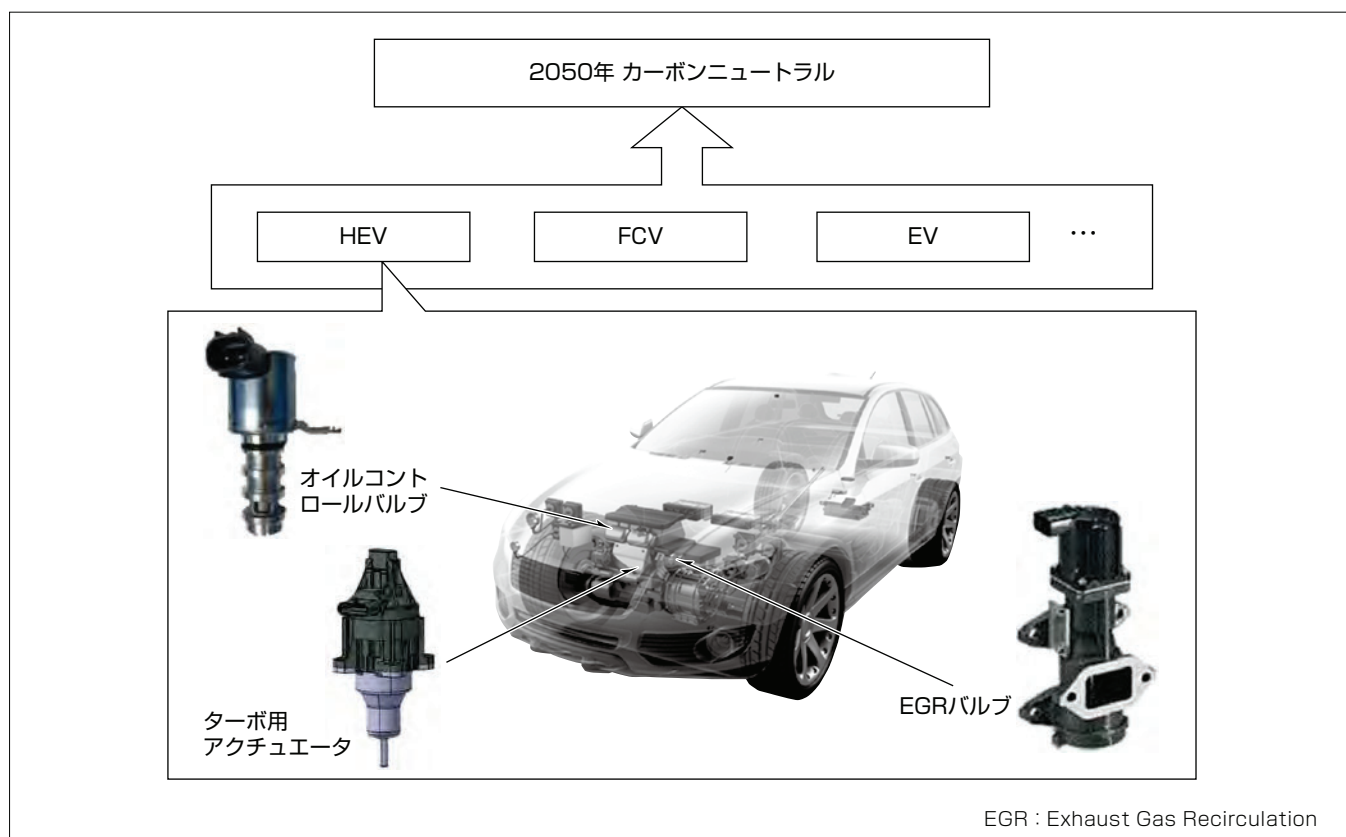
*Contribution to Improvement of Fuel Efficiency and Reduction of Emissions
of Environmentally Hazardous Substances by Automotive Products*

要 旨

世界各国でカーボンニュートラルがうたわれる中、日本政府は2050年の実現を宣言した。カーボンニュートラルとは二酸化炭素(CO₂)の排出と吸収が差し引きゼロになるエネルギー利用の仕方を指す。運輸部門では車両から排出されるCO₂量低減に取り組んでおり、電動化が目ざされている。HEV(Hybrid Electric Vehicle：ハイブリッド車)、FCV(Fuel Cell Vehicle：燃料電池車)、EV(Electric Vehicle：電気自動車)を主な選択肢とした市場展開が予想されている。HEVは一定割合で活用され、内燃機関は使われ続けるため、効率を高めて、単位走行距離当たりの燃料消費量を低減し、CO₂排出量を減らすことが求められる。車両メーカーは内燃機関の燃焼効率を高める開発を続けており、50%に達する熱効率も現実的と言われている。また

モータ併用によって、従来活用機会が少なかった運転領域を積極的に使うなど、運用の工夫でも燃費向上を狙っている。それに加えて、内燃機関を補完する機器の損失を低減させたり、新しいシステムを追加したりして効率を高めて、車両全体での摩擦抵抗を減らす等、燃費を向上させる取り組みも行っている。

三菱電機のオイルコントロールバルブ、ターボ用アクチュエータ、EGRバルブ等の車載用製品は従来の用途で使用される範囲や頻度を拡大し、燃費向上及びCO₂等の環境負荷物質の排出量低減に役立つ働きをするのに加えて、使い勝手の良さから新しいシステムに適用される機会が増えている。



カーボンニュートラルに向けた自動車の選択肢と当社車載用製品

2025年のカーボンニュートラルの実現に向けて、車両はHEV、FCV、EVが主な選択肢になる。当社のオイルコントロールバルブ、ターボ用アクチュエータ、EGRバルブ等の車載用製品はHEVに搭載され続けて、内燃機関の効率を向上させる役割を担うことで、CO₂等の環境負荷物質の排出量低減に貢献する。

1. ま え が き

2050年のカーボンニュートラルに向けて、運輸部門で、各車両メーカーは実用化可能技術の研究・開発を行っている。既に様々な種類の動力源を持つ車両が市場に投入されているが、車両コストや発展途上国を含む世界各国での利便性の面から、特定の種類の自動車ではなく、HEV、FCV、EV等、幾つかの選択肢を採ることになると言われている。この中で、内燃機関を持つHEVに関しては、CO₂の排出量低減には燃料消費率の向上が必要であり、エンジンの燃焼効率を今以上に高める研究が進められるとともに、車両全体でのエネルギー効率を高めるため、装着部品の稼働効率向上や損失を低減させる工夫が行われている。具体的にはエンジンに装着する機器の抵抗を小さくして効率を上げて少ないエネルギーでその性能を発揮させる、稼働するタイミングを限定する、稼働時間を少なくすることでエネルギー消費を抑える工夫を行っている。

当社のオイルコントロールバルブ、ターボ用アクチュエータ、EGRバルブ等の車載用製品もその一端を担って、カーボンニュートラルに向けて貢献していくことになる。

本稿では、当社の車載用製品による車両の燃費向上及びCO₂等の環境負荷物質の排出量低減への貢献について述べる。

2. 燃費向上と環境負荷物質の排出量低減に貢献する車載用製品

2.1 オイルコントロールバルブ

エンジンの低回転域から高回転域にわたって、負荷に応じてカムの回転位相を変えることでエンジンの吸排気弁の開閉時期を早めたり遅くしたり変化させることで吸排気効率を高めて、エンジンの出力を効率よく引き出すことを可能にするシステムがVVT(可変バルブタイミング)である。VVTはエンジンオイルを使って制御されるが、そのオイル量と方向を切り替えるために使用されるのがオイルコントロールバルブである。このエンジンから出力を効率よく引き出す点からVVT用途でもオイルコントロールバルブは燃費向上に貢献しているが、近年、このオイルコントロールバルブはオイルポンプとピストンクーリングジェットの制御用途にも活用されるようになってきた。VVTを含めてこれらの制御システムは、更なる燃費向上を目的に、乗用車(ガソリン、ディーゼル、HEV)だけでなく商用車(ディーゼル)にも採用が広がっている。

オイルポンプは、オイルパンから吸い上げたエンジンオイルを循環させ、各種油圧式制御装置への供給や機器類の冷却、及びエンジンの様々な摺動(しゅうどう)部を潤滑さ

せる役割を担う。近年、燃費向上を目的にした油圧システムが増えるに従って、エンジンのある特定の回転数領域でエンジンオイルの必要量が増加するため、大型のオイルポンプが採用されるようになった。一般にオイルポンプを大型化するとオイルポンプの摩擦損失もまた大きくなるため、オイル吐出量を変えることができる可変容量オイルポンプが主流になっている。この容量変化を制御するのがオイルコントロールバルブである。先に述べたとおり各種油圧システムが必要とするオイル量はエンジン回転数に比例するわけではなく、オイルポンプは運転状態に応じた必要最小限のエンジンオイルを吐出することが望ましい。オイルコントロールバルブはオイルポンプのアウトロータの位置を適宜変化させることで、オイルポンプの吐出量を調整し、その結果オイルポンプの摩擦損失を低減させ、燃費向上とCO₂排出量低減に貢献している(図1)。

ピストンクーリングジェットは、内燃機関の出力増加に伴うピストンの熱負荷増大に対して、エンジンオイルをピストンに噴射することで冷却と潤滑をする役割を担う。オイルコントロールバルブはピストンクーリングジェットの噴射/停止を内燃機関の運転状態に応じて調整し、ピストン過冷却を回避してエンジンの始動性を改善し、暖気時間短縮をもたらす。また噴射するエンジンオイル量を必要最小限に調節する機能も持っており、ピストンの摺動抵抗を低減させ、ポンピングロス(吸排気損失)を低減することに加えて、先に述べたオイルポンプの摩擦損失をも低減させ、燃費向上とCO₂排出量低減に貢献している。

油圧を用いた各種制御システムの拡大に対して、当社は

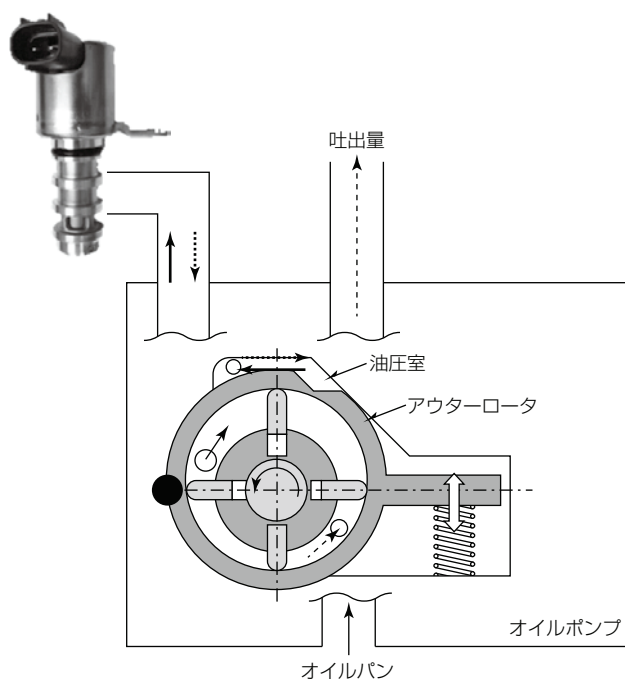


図1. オイルコントロールバルブ

各システムに適したオイルコントロールバルブを開発し、市場に投入してきた。今後も車両の燃費性能向上のための油圧システムが必要とされる市場で、オイルコントロールバルブの需要が期待できるため、システム用途に合わせた製品を開発していく。

2.2 ターボ用アクチュエータ

ターボチャージャー(ターボ)による過給システムは、2005年頃から燃費向上策として着目され、導入が拡大してきた。エンジンを小型化させ、大きなエンジン出力が必要な条件ではターボ過給システムで出力を補うという原理に基づく。ターボ過給システムの中で、過給の緻密な調整を担っているのが、ターボ用アクチュエータであり、当社は電気制御式のターボアクチュエータを開発・量産し、ターボメーカー経由で、多くの車両メーカーに納入している。

従来のシステムは、排気温度が高温になるガソリン車ではウェストゲート(WG)ターボシステム(図2)、排気温度が低いディーゼル車では可変ジオメトリ(VG)ターボシステムが主流になっている。

VGターボシステムでは、エンジン低回転域すなわちターボを働かせる排気ガス量が少ない条件下では、排気ガスの流路を狭く絞ることで流速を上げてターボを高速に回転させることで高過給を可能にし、燃費を改善できる。近年では構造や材質を工夫することでガソリンエンジンの高温排気下でも使用できる、ガソリン車用VGターボも開発され、各ターボメーカーが着目している。

また、従来のターボシステムの構成を残して、タービンとコンプレッサの間に電動モータを取り付けた電動ターボシステム(E-Turbo)も開発された。エンジン低回転域から電動モータによってタービンを回転させることで過給を可能にし、定速巡行のときは電気回生によってバッテリーの充電ができるシステムとして欧州の高級車に採用されている。

また、加速する脱炭素の動きの中で、燃費向上技術を備えた車両需要は更に高まっており、内燃機関と電動機を組み合わせたシステムにもターボシステムが活用されている。例えば、発電専用のためにエンジンを使用するシリーズHEVでは、エンジンを一定の回転数とトルクで動作させる定点運転に対して、ターボを活用している。ターボに備えられたターボ用アクチュエータは、システムのON/OFF切替え動作／保持のために使用されている。

その他、回収CO₂と水素(H)で生成される液体合成燃料のE-Fuelもターボ搭載のガソリン／ディーゼルエンジンに使用できるポテンシャルがあり、現状のインフラ活用やCO₂排出量を低減できる技術として着目されている。

このように今後も継続的な需要が期待されるターボシステムの中で、当社は図3に示すように、内包ねじ機構を備えて、モータの根幹である巻線工程を内製化した電気制御式のターボ用アクチュエータを開発し、その改良によって、①安定した過給圧のための位置保持性と大きな出力を持ち、②タービンという発熱源近傍でも使用可能な耐熱性を備えて、③エンジンスペース狭化に沿った小型化設計をし、市場に投入してきた。

大きな振動や被水の下で使用されるため、当社のターボ用アクチュエータは厳しい環境耐性を持っている。アクチュエータ出力が大きいため、今後電動化が加速する中で、車載用のモータとしてターボシステム以外でも需要が期待されている。

2.3 EGRバルブ

排気ガスの一部を吸気通路に再還流させるシステムがEGR(排気ガス再還流)システムであり、その再循環ガスの流量を調節する弁がEGRバルブである(図4)。エンジンでのEGRシステムの役割には次の二つがある。

(1) 燃費向上

吸気時のポンピングロスに関して、EGRガスを供給す

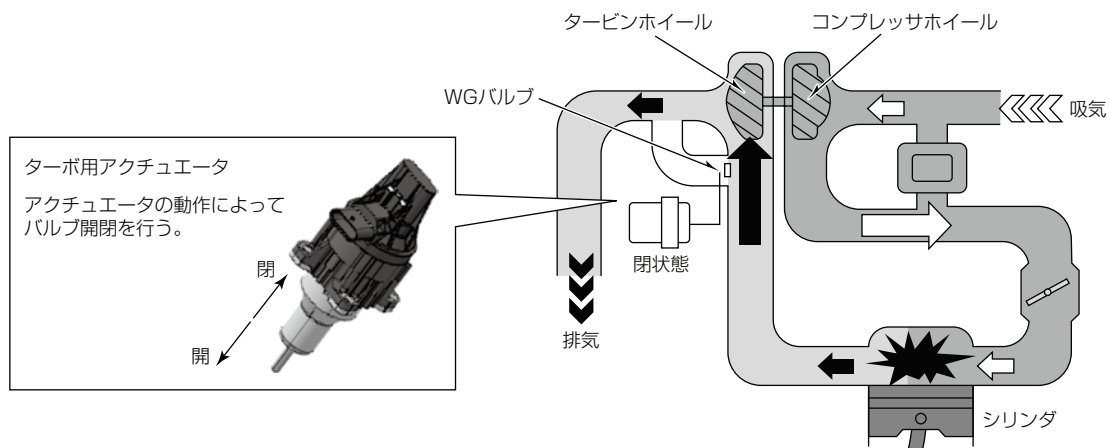


図2. WGターボシステム

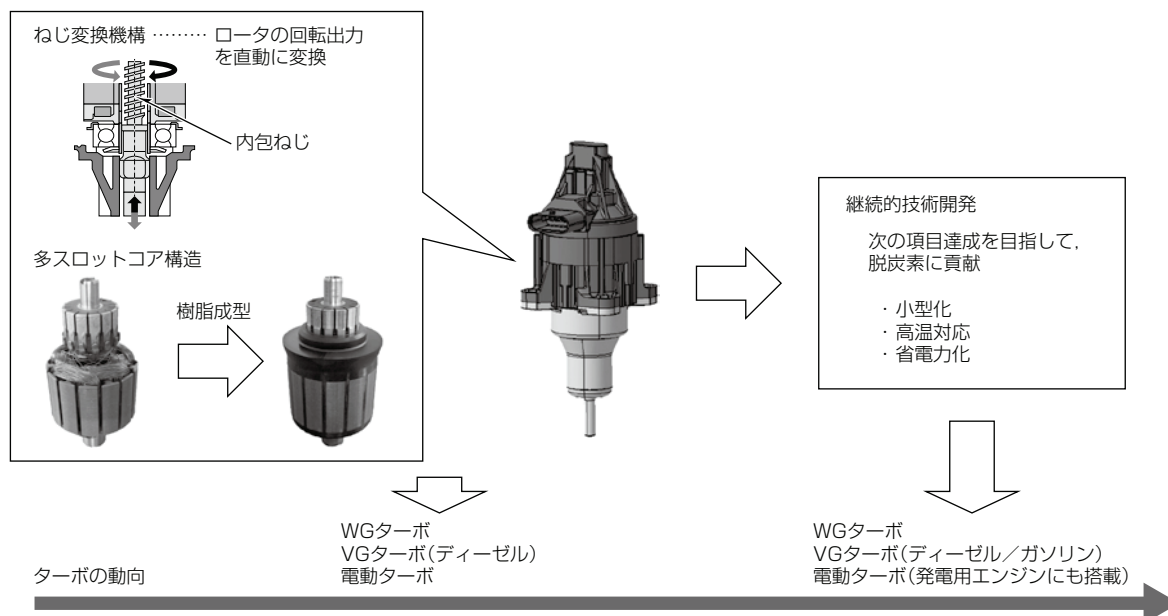


図3. 電気制御式のターボ用アクチュエーター

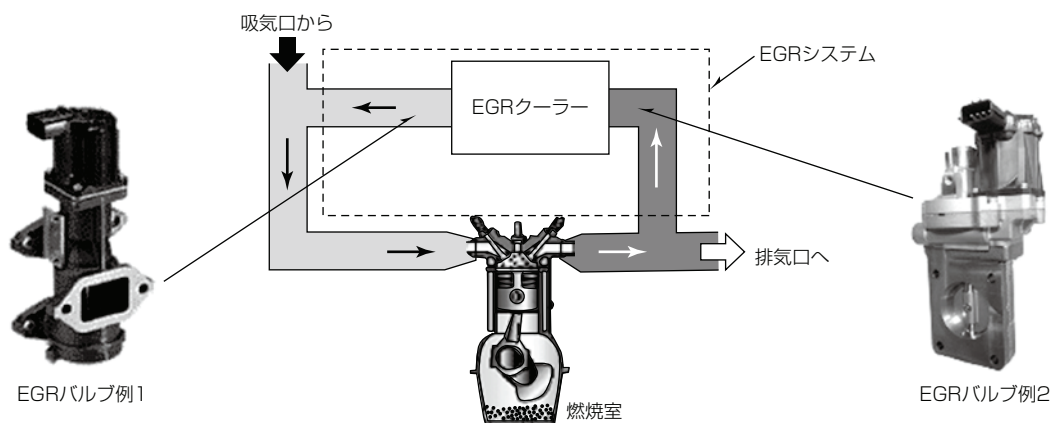


図4. EGRシステム及びEGRバルブ

ることで抵抗を低減し、燃費を向上させる。

(2) 窒素酸化物の低減

不活性のEGRガスをエンジン燃焼室内に供給し、吸気ガスの熱容量を大きくすることで燃焼室内の温度を下げて、窒素酸化物（NOx）の生成を低減させる。

各国の排気ガス規制強化に対して双方の役割が重要である中、近年自動車業界へのカーボンニュートラルの要求が高まっており、燃費改善効果が注視されている。特に商用車では、将来に向けてEVやFCVの開発が各社で行われ、一部HEVが実用化されているが、本格的に市場投入されるまでは、まだ内燃機関だけを搭載する車両に頼ることになる。中国を主とする地域では、ディーゼルエンジンに比べてCO₂の排出量を低減できるCNG(Compressed Natural Gas：圧縮天然ガス)エンジン車両の利用が増加しており、当社のEGRバルブの採用機会も増加している。2020年から施行された中国の国6排出ガス規制ではCO₂だけでなく他の環境負荷物質、特にPM(Particulate Matter)2.5に代

表される微粒状物質の排出量に関しても厳しく制限されており、CNGエンジン車両はこの微粒状物質の排出量が極めて少ないことが利用拡大の理由である。

3. む す び

今後のカーボンニュートラル達成に向けた車両電動化の流れの中、乗用車や商用車で採るべき道は一つではなく、多様な方式が提案されると予想される。車両メーカーも社会の求めに沿うように、最適な投資で最大の効果が得られる車両を開発し、提案してくるであろう。当社はこれまで各車両メーカー、部品メーカーと一緒に歩んできた経験を基に、彼らが必要とする機能を備えた製品を提供し、目標に向かっていく考えである。既存技術の応用や性能を向上させて適用範囲を拡大したり、開発中の新規技術を提案して新たな用途に活用したりすることで、環境負荷低減に貢献していく。

集中巻モータの非対称ロータ構造による出力密度向上

高橋朋平*
Tomohira Takahashi
北尾純士†
Junji Kitao
深山義浩†
Yoshihiro Miyama

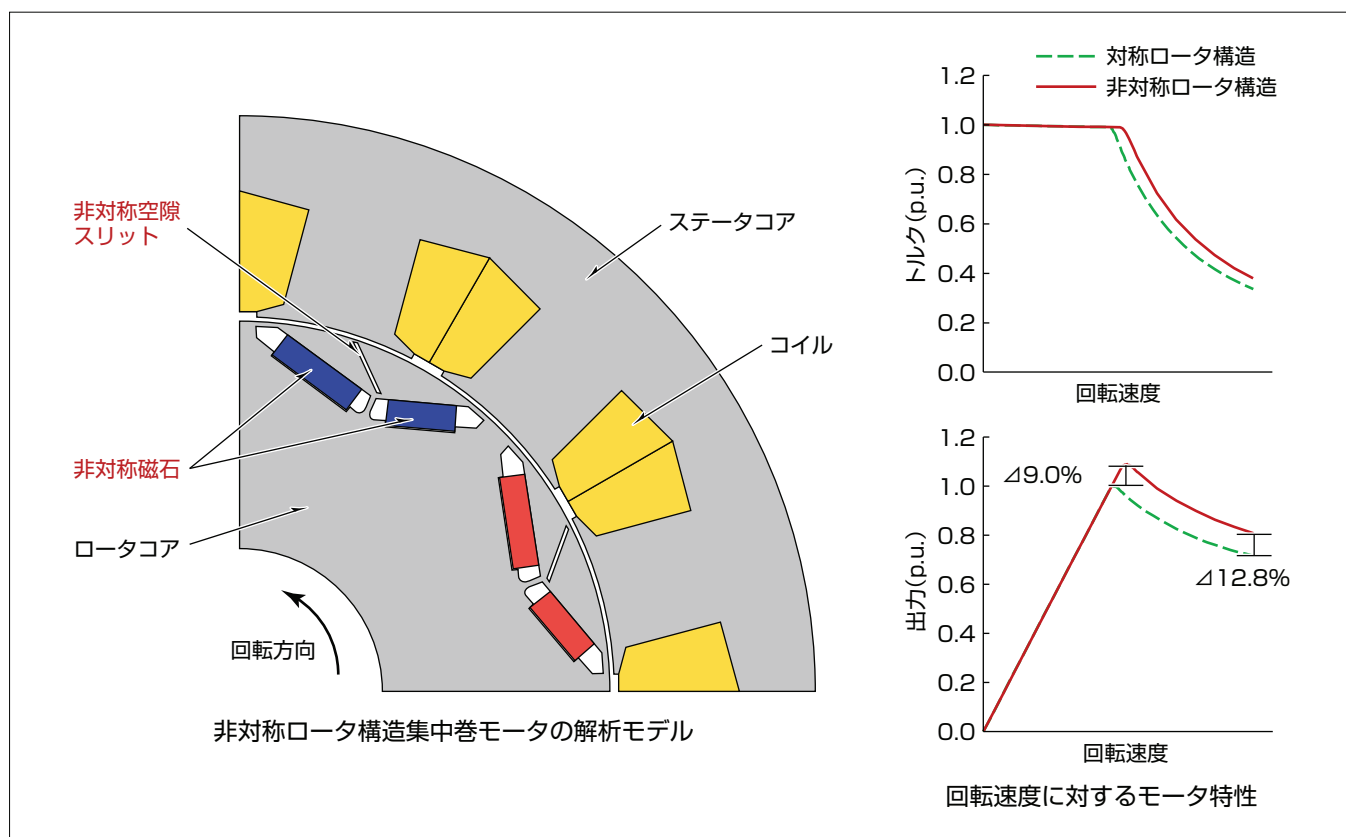
Power Density Improvement of Concentrated Winding Motor Using Asymmetric Rotor Structure

要 旨

モータは、産業機器、自動車、鉄道、家電等の様々なアプリケーションに適用されている。また、どのアプリケーションでも、モータに要求する出力密度(体格に対する出力の大きさ)は年々増加傾向にある。しかしながら、そのようなアプリケーションの中でも、両回転方向に同等のモータ出力密度を要求するアプリケーションがある一方で、一回転方向にだけ高いモータ出力密度が要求されるアプリケーションもある。

今回、後者のアプリケーションの要求に対応するため、

一回転方向の出力密度向上に特化した非対称ロータ構造のモータを開発した。独自の非対称空隙スリットを設けることによって、特定の回転方向で、対称ロータ構造に比べて高いトルクを発生させる磁気回路を実現した。さらに、油-水熱交換器を備えた油を用いた高効率な冷却構造によって、磁気特性が高いものの高温での使用ができなかった磁石の使用を可能にした。結果として、世界最高クラスのモータ出力密度23kW/Lを達成した。



非対称ロータ構造

様々なアプリケーションに適用されるモータの中には、一回転方向だけの特性が求められるモータが存在する。三菱電機は特定の回転方向で出力性能を特化させた非対称ロータ構造のモータを開発した。この構造はロータコアの中に非対称空隙スリットを設けることで、対称ロータ構造に比べて高いトルクを発生させる磁気回路を構築し、世界最高クラスのモータ出力密度を実現した。

1. ま え が き

モータは、産業機器、自動車、鉄道、家電等の様々なアプリケーションに適用されている。どのアプリケーションでも、アプリケーション自体を小型化・軽量化するため、モータに要求する出力密度(体格に対する出力の大きさ)は年々増加傾向にある。しかしながら、そのようなアプリケーションの中でも、両回転方向に同等のモータ出力密度を要求するアプリケーションと、一回転方向にだけ高いモータ出力密度が要求されるアプリケーションがある。

本稿では、後者のアプリケーションの要求に対応可能である、一回転方向にだけ高いモータ出力密度を実現する非対称ロータ構造の検討内容について述べる。初めに、出力密度を向上させるために重要な、モータのトルクと誘起電圧について述べる。次に、従来の集中巻構造を持つ埋込磁石同期モータ(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor: IPMSM)について、分布巻構造のモータと比較しながら、巻線構造の違いによるトルクの特徴について述べる。最後に、トルクの特徴から考案した集中巻構造を持つIPMSM向け非対称ロータ構造と、その出力密度特性について述べる。

2. 出力密度とトルク・誘起電圧の関係

モータの出力は、モータのトルクと回転速度を用いて次式で表される。

$$P = T \cdot 2\pi \cdot N / 60 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 P ：出力(単位：W)

T ：トルク(単位：Nm)

N ：回転速度(単位：r/min)

出力はトルクに比例するため、出力向上のためにはトルクの増加が効果的であることが分かる。IPMSMが発揮可能なトルクは“マグネットトルク”と“リラクタンストルク”の2種に大別できる。マグネットトルクはロータ内に埋め込まれた磁石とステータが吸引・反発することによって発生するトルクであり、その大きさは磁石から発生する磁束に比例する。一方、リラクタンストルクは、ロータ内にある磁気的な突極とステータが吸引することで発生するトルクであり、ロータ形状に強く依存する。

このように、マグネットトルクはロータ内磁石から発生する磁束に比例するため、その磁石磁束を増やすことで総合トルクの向上が可能である。しかし、モータの“誘起電圧”も磁石磁束に影響される点に留意しなければならない。

通常、モータに接続されるインバータなどの駆動装置は、パワーモジュール等に素子耐圧が設定されているため、

モータ設計側では、最高回転速度運転時の誘起電圧が素子耐圧を超過しないように制約を設ける場合が多い。

モータの最高誘起電圧は、磁石磁束と最高回転速度から次式で表される。

$$V_{\max} = \Phi \cdot 2\pi \cdot N_{\max} / 60 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 V_{\max} ：最高誘起電圧(単位：V)

Φ ：磁石磁束(単位：Wb)

N_{\max} ：最高回転速度(単位：r/min)

このとき、最高誘起電圧は磁石磁束に比例する。仮にマグネットトルク向上のため磁石磁束を増加させると、最高誘起電圧も併せて増加してしまうため、仕様としての最高回転速度を低下させるか、駆動装置の耐圧設計を見直す必要がある。

したがって、このような仕様変更を加えないことを前提にすると、磁石磁束を増やすことができないため、このような条件で出力を向上させるためには、リラクタンストルクを向上させる必要がある。

3. 集中巻構造と分布巻構造のトルク特性比較

3.1 集中巻構造と分布巻構造について

この章では、リラクタンストルク向上のため、モータの巻線構造の違いによるトルク特性に着目し、検討した内容について述べる。

一般的に、IPMSMの巻線構造は、集中巻構造と分布巻構造の2種類に大別できる。集中巻構造は、一つのステータティースだけにコイルを巻回する単純な構造であり、コイルエンドを小さくしやすい長所がある。そのため、コイルエンドを含めた軸長が制約される用途で有利である。一方、分布巻構造は複数のステータティースにわたってコイルを巻回する複雑な構造であり、コイルエンドは大きくなりやすい。しかし、ステータで発生する回転磁界を正弦波に近づけることが可能で、高調波鉄損やトルクリプルの抑制を行いやすい。

次節から、両巻線構造のトルク波形やリラクタンストルク特性などを、二次元有限要素法解析の結果から述べる。

3.2 解析モデルの説明

図1に、検討に使用する集中巻構造IPMSM(以下“集中巻モータ”という。)と分布巻構造IPMSM(以下“分布巻モータ”という。)の解析モデルを示す。また表1に、両解析モデルの諸元を示す。

ロータ構造は8極のV字磁石型IPM(Interior Permanent Magnet)ロータで、両解析モデルで共通である。集中巻モータのステータは12スロット、分布巻モータのステータ

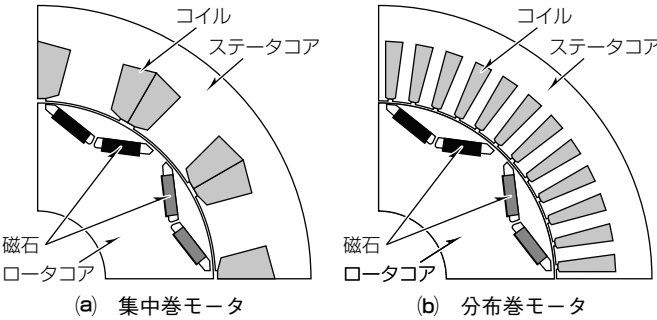


図1. 解析モデル

表1. 解析モデルの諸元

	集中巻	分布巻
極数	8	
スロット数	12	48
コイル巻数/スロット	60	15
直列導体数	60	
ステータコア直径	200.0mm	
ロータコア直径	129.0mm	
ギャップ長	0.5mm	
コア積厚	100.0mm	
磁石種類	ネオジム焼結磁石	
コア材料	積層電磁鋼板	
定格電流	150Arms	

タは48スロットである。その他直列導体数，ステータコア直径，ギャップ長，コア積厚などは全て共通にした。

3.3 トルク波形の比較

図2に，集中巻モータと分布巻モータの解析モデルでのトルク波形を示す。電流の大きさは定格電流値，電流位相角 β は 30° とした。また，集中巻モータの平均トルクの大きさを1として規格化した。トルク波形の最大値に注目すると，両モータの間に差はない。しかし，最小値に注目すると，分布巻モータの方が大きい。分布巻モータは，どのロータ回転角度でも，比較的安定してトルクを発揮できていることが分かる。一方で集中巻モータは，瞬時的に分布巻モータと同等の最大トルクを発揮できるが，回転角度によってはトルクが大きく低下することが分かる。結果として，平均トルクに大きな差になって表れている。

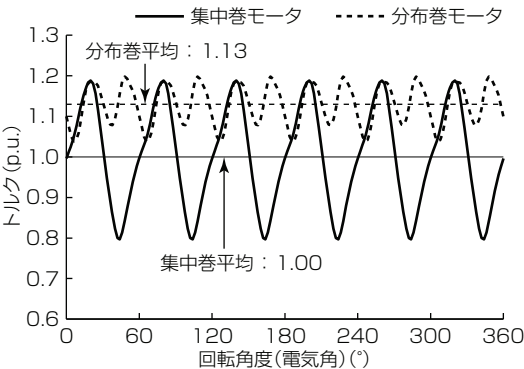


図2. 解析モデルでのトルク波形

3.4 リラクタンストルク波形の比較

図3に，図1の各解析モデルから磁石を取り除き，空隙とした“磁石なし”解析モデルを示す。この解析モデルの場合，ロータ内に磁石が存在しないためマグネットトルクは発揮されず，リラクタンストルクだけが発揮される。図4に，“磁石なし”解析モデルでのトルク波形を示す。電流の大きさは定格電流値，電流位相角 β はリラクタンストルクが理論上最大になる 45° にした。磁石ありの場合と同様に，最大値は集中巻モータと分布巻モータで差異が小さい一方で，最小値は分布巻モータの方が大きい。結果として，平均トルクは分布巻モータの方が大きくなっている。

これらの解析結果から，集中巻モータのトルクが分布巻モータより低くなる原因は，特定の回転角度でリラクタンストルクが瞬時的に低下するためと推測できる。

図4に示すとおり，集中巻モータでリラクタンストルクが最小になる回転角度は電気角で 30° である。そのときの磁束の流れから，リラクタンストルクが低い理由を検討する。図5に，集中巻モータと分布巻モータそれぞれの“磁石なし”解析モデルでの，回転角度 30° のときの磁束密度分布と磁束線図を示す。まず，図5(a)に示す集中巻モータの結果に注目すると，片方のロータ極が二つのステータティースの中心に位置していることが分かる。このとき，ステータからロータに流入する磁束は，V字磁石の内

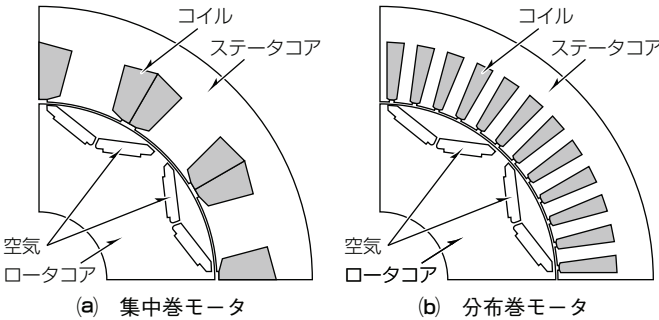


図3. “磁石なし”解析モデル

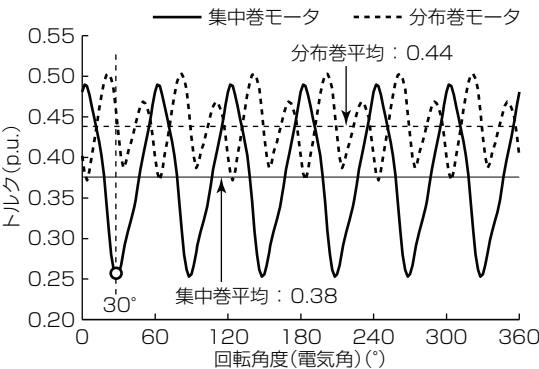


図4. “磁石なし”解析モデルでのトルク波形

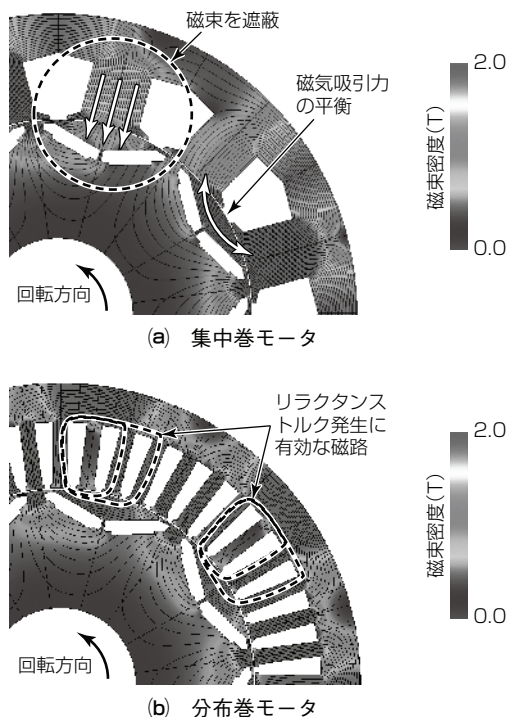


図5. “磁石なし”解析モデルでの磁束密度分布と磁束線図

側のコア領域を通過する経路を形成している。しかしながら、ロータコアの中心がステータティースの中心と一致しているために磁気吸引力が平衡し、トルクに寄与していないことが予想できる。さらに、もう片方のロータ極は、残り一つのステータティースと正対している。ステータからロータに流入しようとする磁束が、磁極の空隙に遮蔽されて、トルクに寄与していないことが予想できる。

一方で、図5(b)に示す分布巻モータの結果に注目すると、V字磁石の内側を通る磁束が非対称になっている。磁気吸引力が不平衡になり、トルクの発生に寄与していることが予想できる。さらに、隣接するロータ極でも同様の磁束経路が発生しており、全ての極で安定してリラクタンストルクを発揮できる構造になっていることが分かる。

この解析結果から、集中巻モータで特定の回転角度でリラクタンストルクが低下する理由は、ロータ・ステータ位置関係の対称性に起因する、磁気吸引力の平衡であることが明らかになった。

4. 非対称ロータ構造の検討

4.1 解析モデルの説明

3章で述べた磁気吸引力の平衡を解消するため、非対称ロータ構造に着目した。図6に、提案する非対称ロータ構造を備えた集中巻モータ解析モデルを示す。対称ロータ構造のトルク最小点での磁束経路の対称性を解消するため、

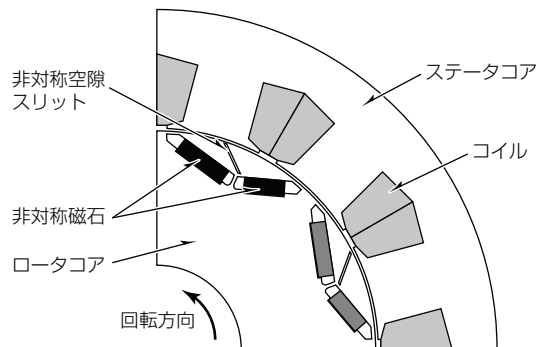


図6. 非対称ロータ構造集中巻モータの解析モデル

V字磁石の内側部分に斜めに傾斜した非対称空隙スリットを設置した。さらに、ステータからロータに流入する磁束を効率的にリラクタンストルクに寄与させるため、V字を構成する磁石辺の幅も非対称になるよう調整を加えている。

4.2 非対称ロータ構造のトルク特性

図7に、提案する非対称ロータ構造の“磁石なし”解析モデルでのトルク波形を示す。図4の解析と同様に、電流の大きさは定格電流値、電流位相角は 45° とした。

図8に、対称ロータ構造と非対称ロータ構造の“磁石なし”解析モデルでのトルクの平均値・最大値・最小値を比

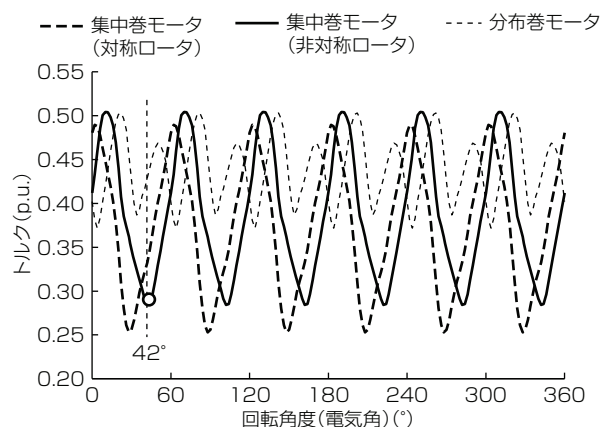


図7. 非対称ロータ構造の“磁石なし”解析モデルでのトルク波形

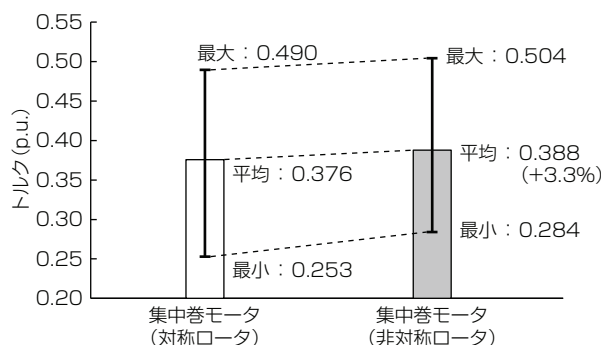


図8. 対称／非対称ロータ構造の“磁石なし”解析モデルでのトルク特性比較

較したグラフを示す。非対称ロータ構造は、従来の対称ロータ構造に比べて最小値が大きくなっていることが分かる。最大値も微増しており、結果としてトルクリプルは7.0%低減し、平均トルクは3.3%向上した。提案した非対称ロータ構造は、リラクタンストルクの向上に効果的であることが分かる。

図9に、提案する非対称ロータ構造の“磁石なし”解析モデルでの磁束密度分布と磁束線図を示す。図9(a)は対称ロータ構造でトルク最小値になる回転角度30°の図を、図9(b)は非対称ロータ構造でトルク最小値になる回転角度42°の図を示している。まず回転角度30°の様子に注目すると、対称ロータ構造で磁束経路が対称になっていた箇所、非対称空隙スリットによって変化が生じて、リラクタンストルクの発生に有効な磁路が形成されていることが分かる。この磁路によって、従来では発生していなかったトルクが発生していると推測できる。次に、回転角度42°の様子に注目すると、回転角度が進んだことによって、空隙スリットと片方の磁石辺で新たに作られたV字領域で、磁束経路が対称になっていることが分かる。このロータ極では、リラクタンストルクの発生は少ないと推測できる。しかし、もう片方のロータ極に注目すると、回転角度が進んだことによって、ロータ極とステータティースの正対関係が解消されて、リラクタンストルクの発生に有効な磁路が形成されていることが分かる。従来は、隣接する極が同時にトルクを発揮できない状態に陥っていたが、非対称空隙スリットによってトルクを発揮できないタイミングをずら

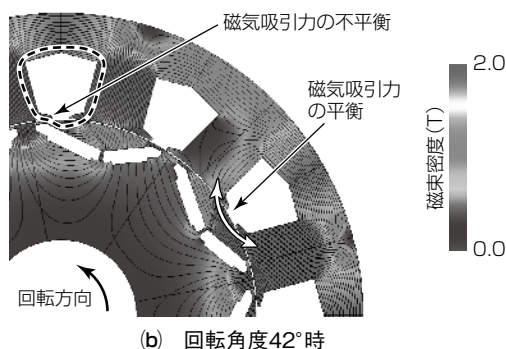
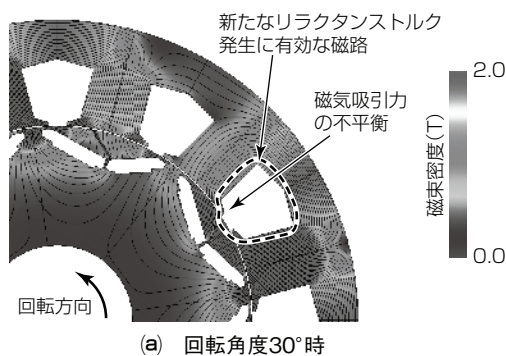


図9. 非対称ロータ構造の“磁石なし”解析モデルでの磁束密度分布と磁束線図

すことが可能になり、トルク最小値を向上させることが可能になった。

図10に、集中巻モータの“磁石なし”解析モデルでの電流位相角 β と平均トルクの関係を示す。最大トルクは非対称ロータ構造の方が大きく、リラクタンストルクの向上を達成している。

図11に、提案する非対称ロータ構造の“磁石あり”解析モデルでのトルク波形を示す。図2の解析と同様に、電流の大きさは定格電流値、電流位相角 β は30°とした。図12に、対称ロータ構造と非対称ロータ構造でトルク平均値・最大値・最小値を比較したグラフを示す。磁石がある場合

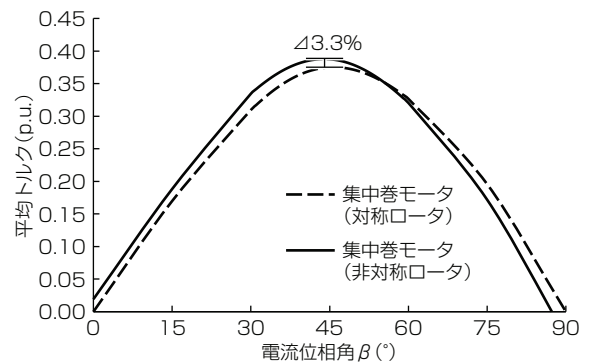


図10. “磁石なし”解析モデルでの電流位相角 β と平均トルクの関係

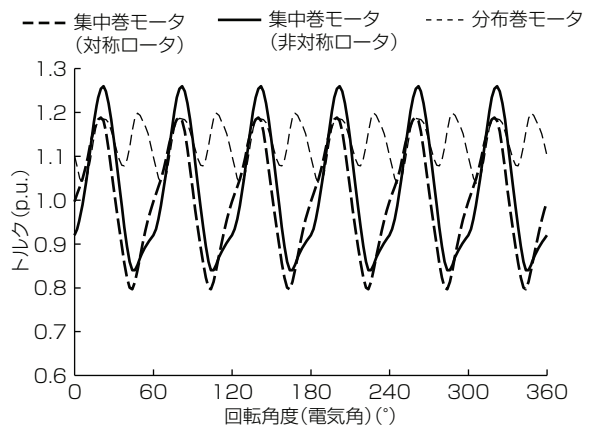


図11. 非対称ロータ構造の“磁石あり”解析モデルでのトルク波形

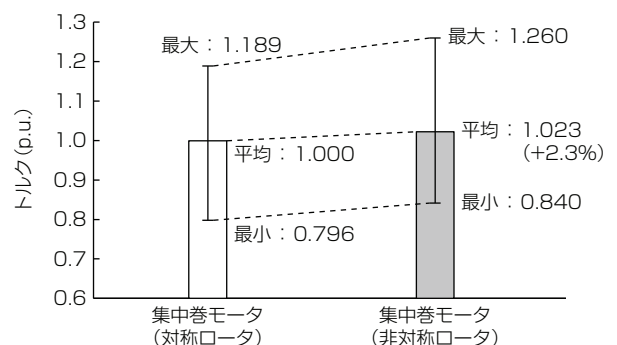


図12. 対称／非対称ロータ構造の“磁石あり”解析モデルでのトルク特性比較

でも、非対称ロータ構造は対称ロータ構造に比べてトルク最小値・最大値が大きくなっており、平均トルクは2.3%向上した。

図13に、集中巻モータの“磁石あり”解析モデルでの電流位相角 β と平均トルクの関係を示す。“磁石なし”解析モデルと同様に、最大トルクは非対称ロータ構造の方が大きくなっている。提案した非対称ロータ構造は、通常のトルクの向上にも効果的であることが明らかになった。また、図13には非対称ロータ構造の逆方向回転時の特性も併せて示している。逆転時は非対称空隙スリットがリラクタンストルクを減少させる働きを持つため、対称ロータ構造よりも低いトルクになっていることが分かる。

4.3 対称／非対称ロータ構造の出力特性比較

対称ロータ構造と非対称ロータ構造の諸特性解析結果を、それぞれ“①対称”“②非対称”として表2に示す。どの項目でも、対称ロータ構造の値を1として規格化した。

まず無負荷誘起電圧に注目すると、非対称ロータ構造は磁石とギャップの間に非対称空隙スリットを設置しているため、対称ロータ構造より無負荷誘起電圧が低くなっている。すなわち、非対称ロータ構造は磁石磁束が低下しているにもかかわらず、リラクタンストルク向上によって対称ロータ構造以上のトルクを発揮できていることが分かる。

次に最大出力に注目すると、非対称ロータ構造は最大トルクと同程度の割合で向上していることが分かる。ここで、最大トルクを対称ロータ構造と同等になるよう、コイル巻数を減らした場合の解析結果を“③非対称コイル巻数減”として表2に示す。これによって、モータの逆起電力を抑制し、より高い回転速度まで従来の対称ロータ構造と同等の最大トルクを発揮可能になる。さらに、コイル巻数を減じたことによって巻線1本当たりの断面積を大きくでき、電流密度が低下した。これに対して、電流密度を従来と同等とし、ステータのコイル領域を小さくしてロータ直径を増

表2. 対称／非対称ロータ構造の諸特性

	①対称	②非対称	③非対称／ コイル 巻数減	④非対称／ コイル巻数減／ ロータ直径増加
コイル巻数/スロット	60	60	58	58
ロータ直径(mm)	129.0	129.0	129.0	130.6
電流密度(p.u.)	1.00	1.00	0.97	1.00
無負荷誘起電圧(p.u.)	1.00	0.98	0.95	0.93
最大トルク(p.u.)	1.00	1.02	1.00	1.00
最大出力(p.u.)	1.00	1.02	1.05	1.09

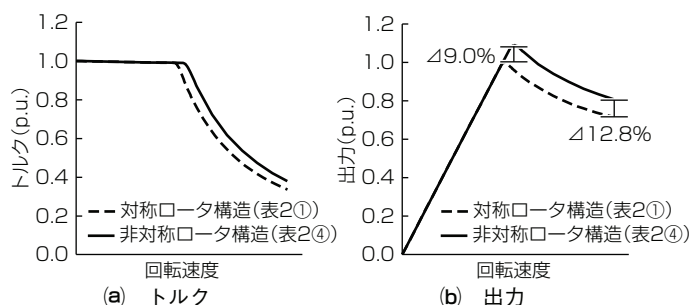


図14. 回転速度に対するモータ特性

加させた場合の解析結果を“④非対称コイル巻数減ロータ直径増加”として表2に示す。より大きなリラクタンストルクを発揮することが可能になり、9%の最大出力向上を達成した。

図14に、対称ロータ構造(表2①)と最終提案の非対称ロータ構造(表2④)の回転速度-トルク曲線及び回転速度-出力曲線を示す。低速域での最大トルク・出力は同等であるが、高速域では非対称ロータ構造の方が高く、最高回転速度での12.8%の出力向上を達成している。

最終提案構造では、依然として誘起電圧の制約に余裕がある。この提案モータに、油-水熱交換器を備えた油を用いた高効率な冷却構造を併用することで、磁気特性が高いものの高温での使用ができなかった磁石の使用を可能にした。結果として、更に出力密度を向上させて、世界最高クラスのモータ出力密度23kW/Lを達成した。

5. む す び

集中巻構造IPMSMのリラクタンストルクが分布巻構造IPMSMに比べて小さい理由を二次元有限要素法解析によって検討し、特定の回転角度で発生する磁気吸引力の平衡が原因であることを明らかにした。リラクタンストルクを向上させるため、磁石の前に傾斜した空隙スリットを設ける非対称ロータ構造を提案した。特定の回転角度での磁気吸引力の平衡を解消し、リラクタンストルクを向上させる効果があることを明らかにした。これらの技術と冷却構造の改善によって、世界最高クラスのモータ出力密度23kW/Lを達成した。今後は、更なる高出力密度化に向けて、技術開発を推進していく。

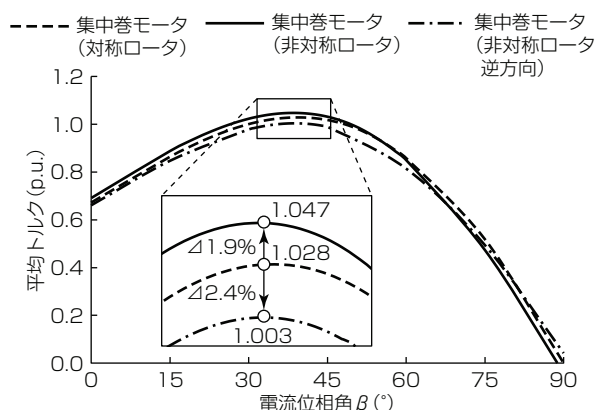


図13. “磁石あり”解析モデルでの電流位相角 β と平均トルクの関係

北村保彦*
Yasuhiko Kitamura
林 亮兵*
Ryohei Hayashi
原田信吾*
Shingo Harada

第2世代48V-ISG用インバータ

Inverter for 2nd Generation 48V Integrated Starter - Generator

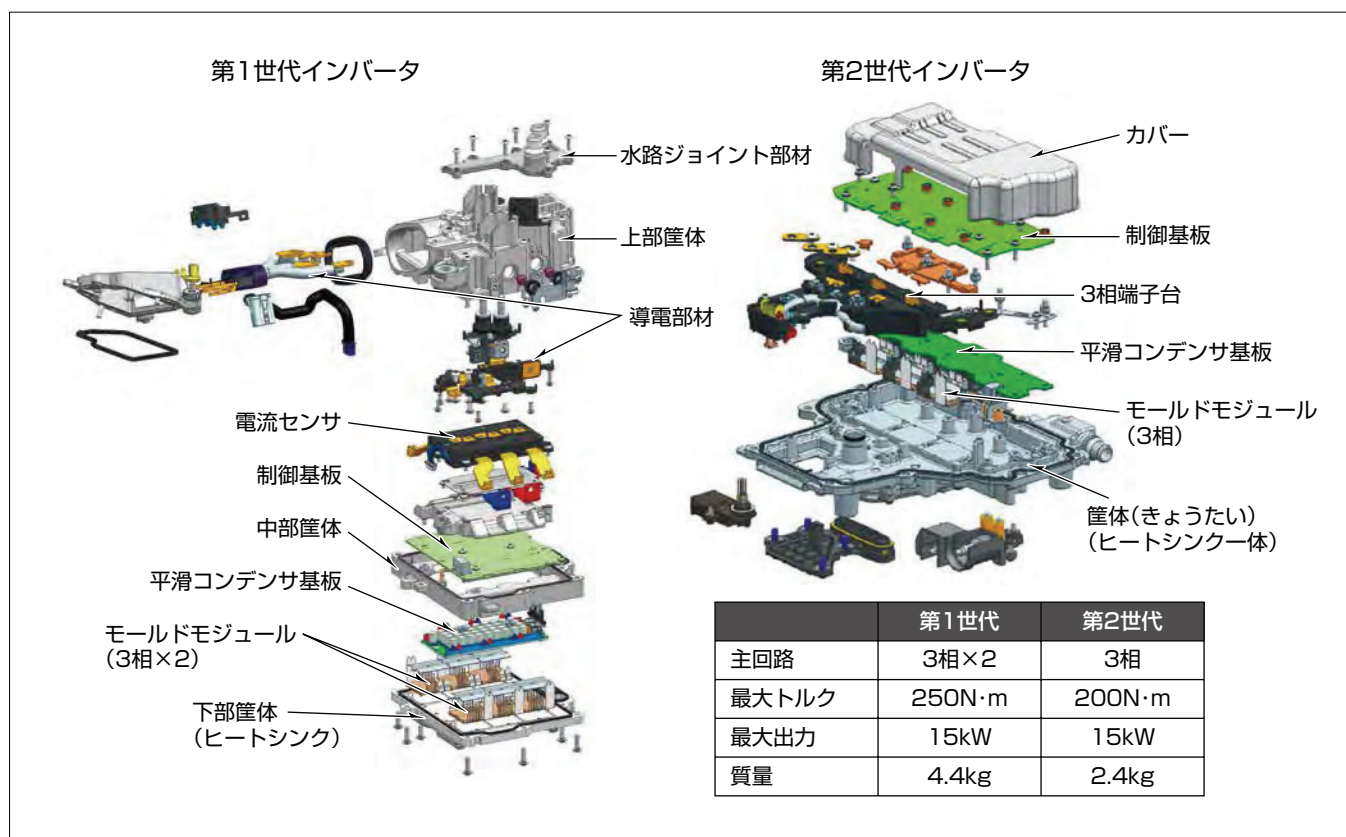
要 旨

近年、二酸化炭素(CO₂)の排出量増加が地球温暖化の一要因であると指摘されており、各国が車両の排出ガス規制強化を進めている。特に欧州では、2021年から欧州で販売する車両のCO₂平均排出量が95g/kmを1g超過するごとに95€(ユーロ)/台の罰金を科すという排出ガス規制強化が開始された。欧州各国政府はこの規制によってPHEV(Plug-in Hybrid Vehicle)やBEV(Battery Electric Vehicle)の導入促進政策を進めているが、大容量バッテリーの搭載による車両価格の上昇、急速充電のインフラ整備等の課題があり、普及拡大には時間を要することが予測されている。このため、比較的低コストで燃費向上を実現できる48Vマイルドハイブリッド車がこれらの車両の前に普及すると予

想されている。

三菱電機はエンジンのアイドリングストップ・スタート、車両減速時のエネルギー回収やトルクアシストを行うことで車両の燃費を向上させるエンジン出力軸直結型48V-ISG(Integrated Starter-Generator)システムを2017年に業界で初めて^(注1)開発・量産化した。今回、更なる適用車種拡大を狙って、第2世代48V-ISGシステムを開発した。その第2世代インバータでは冷却性能を向上させた高熱伝達フィン、水平磁場検出方式の電流センサ、ホールIC式回転角センサ及び当社独自の回転角演算等の新技術を採用した。

(注1) 2017年10月26日、当社調べ



48V-ISG用インバータの第1世代と第2世代の部品構成の比較

当社48V-ISGシステムの第1世代インバータでは主回路部の二重化によって大電流に対応しており、部品を多方向から組み立てる複雑な構造であった。第2世代では主回路部品の改良及びヒートシンクの冷却性能向上によって大電流に対応させ、複数部品を一つの部品に集約させることで第1世代に対して大きく部品点数を削減し、生産性の高いインバータを実現した。

1. ま え が き

近年、地球温暖化の観点から各国が車両の排出ガス規制を強化しており、PHEVやBEVなどの様々な電動車両の普及が今後見込まれている。その中でも比較的低コストで燃費向上が実現できる48Vマイルドハイブリッド車がこれらの車両よりも前に普及すると予想されている。

この背景から、当社は従来のエンジン出力軸にベルトを介して駆動力を伝達するBSG(Belt driven Starter-Generator)に比べてトルクと発電量の向上が見込めるエンジン出力軸直結型48V-ISGシステム⁽¹⁾を、2017年に業界で初めて製品化した。そして今回、適用範囲の拡大を狙った第2世代48V-ISGシステムを開発した。

本稿では第2世代48V-ISGシステム用インバータの特長と適用技術を述べる。

2. 第2世代48V-ISG用インバータの特長

48V-ISG用インバータの第1世代から部品配置・構成を変更して、第2世代インバータでは1方向からの積み上げ構造を採用することで組立性を改善した。また、モータとインバータ間の振動絶縁部品を廃止し、直接固定を達成した。また、一つの部品に複数の機能を集約化することで部品点数を削減した。

さらに、水路冷却フィンの改善によって半導体パワーモジュールや平滑コンデンサの冷却性能を改善した。

主回路部ではパワーチップの世代進化、平滑コンデンサの冷却方式の進化などの新技術を採用することで、第2世代では第1世代に対してインバータ最大電流を大きく向上させた。また電流センサでも拡大した電流範囲に対応するため、新規の電流検出方式を採用した。

同様にソフトウェアでも、車載ネットワークの高速・大容量化やセキュリティに対応した新ソフトウェア技術の導入を行った。さらに、レゾルバを置き換える新開発のホールIC式回転角センサに対応する回転角演算機能を搭載した。

3. 適用技術

3.1 構造設計技術

48V-ISG用インバータは、モータと直接接続する機電一体構造が特徴である。これによって3相電流給電ハーネスを不要にし、車両レイアウト性・組立性を大幅に向上させることができる。しかしながらモータに直接接続するためには、インバータは車両駆動部品へ搭載する必要がある。

駆動部品周辺の非常に厳しい環境温度や振動条件に対応することが課題になる。

高耐振化のため、第1世代ではインバータ内部の振動絶縁部品、モータとインバータ間で生じる相対変位を吸収する可撓(かとう)性(弾性変形のしやすさ)の電気接続部品及び筐体防水部品についても可撓性が必要であった。第2世代ではトルクコンバータハウジングとインバータ筐体との締結、インバータ内部部品の配置、及び冷却水経路を最適化することで高耐振性を実現した。これによってモータとインバータの直接固定を可能にし、これまで必要であった振動絶縁部品及び変位吸収用部品を廃止した。

また、部品一体化に関しては図1に示すとおり、第1世代の筐体は機能別に配置したヒートシンク・中部筐体・上部筐体・水路ジョイント部材・モータ接続部筐体や内部部品の保持部材で構成され、多方向から組み上げる必要があった。一方、第2世代の筐体ではベース部材を一体化することで1方向から積み上げ可能な構造にした。これによって、部品点数を6部品から2部品へ削減した。

次に図2に示すとおり、3相端子台は電流センサシールドプレートや12V電源・通信信号用ノイズフィルタ(フェライトコア)、モータ信号コネクタ、AC端子締結ねじの保持部材などを統合した構成にした。

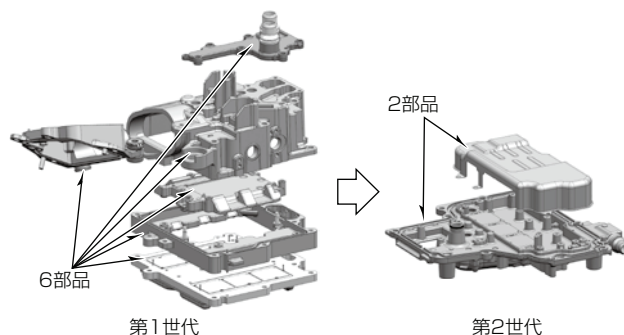


図1. 筐体の部品点数削減

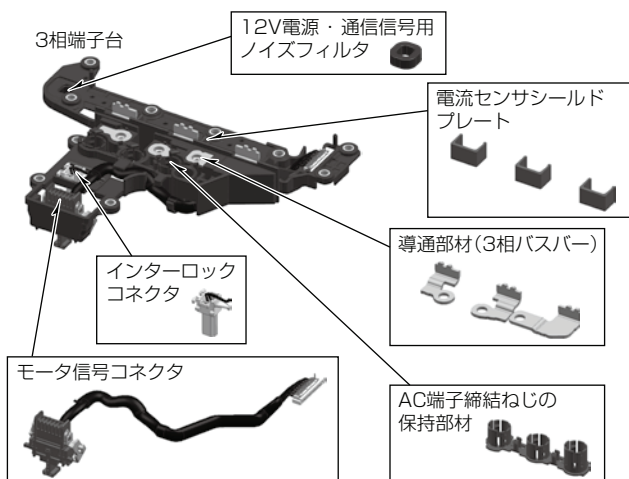


図2. 第2世代インバータ3相端子台の構成

また、ゲートドライブ基板とモータコントロール基板を一体化し、ホールICを実装することで電流センサを含めた制御系基板を集約している。第2世代では第1世代と比較して部品点数は半減し、質量を4.4kgから2.4kgへと40%以上の軽量化を達成した。

冷却系の進化については、第1世代ではアルミニウム押出材を切削することでフィンを製造しているが、第2世代ではより生産性に優れたアルミニウムダイカストで筐体との一体化を実現している。一般にダイカストに用いるアルミニウム材はアルミニウム押出材に比べて熱伝導率が低いことが課題であるが、フィン形状の最適化を図ることで鋳造性を犠牲にすることなく冷却性能を第1世代比で2倍以上向上させた。

3.2 主回路部

48V-ISGシステムで高回生電力、高トルク出力を達成するためには高電圧システムに比べて大電流が必要である。第1世代ではパワーモジュール、平滑コンデンサ、電流センサ等の主回路部を二重化することで実現したが、制御システムが複雑化するという課題があった。第2世代では主回路部を大電流対応させることで二重化することなくシンプルなシステム構成を実現できた。

パワーモジュールは第1世代で採用したスーパージャンクションMOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)から、Pカラム(柱状のP層)をより深くすることでオン抵抗を第1世代比で約40%低減でき、インバータの最大電流は40%増加した。

平滑コンデンサは48V-ISGシステムでは低電圧・大電流の対応が必要なため、高リプル耐量の特徴を持つ導電性高分子ハイブリッドアルミニウム電解コンデンサを採用している。また、コンデンサの温度上昇対策として、第1世代では図3に示すとおりコンデンサを金属基板と放熱グリスを介して冷却する方式を採用していた。これに対して第2世代ではコンデンサ天面を放熱コンパウンドを介して直接冷却する方式を採用し、放熱面積を大幅に増加させるこ

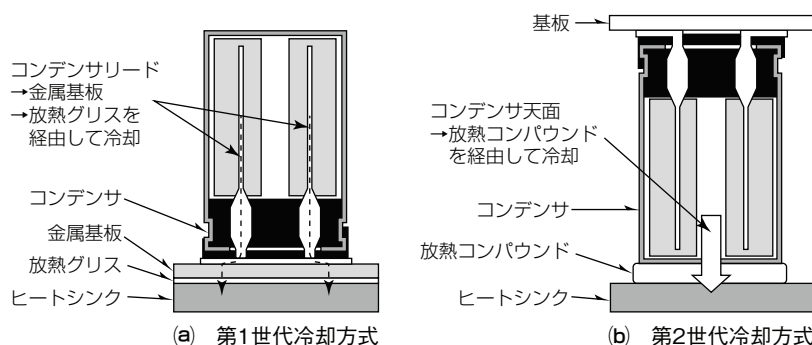


図3. コンデンサ冷却方式

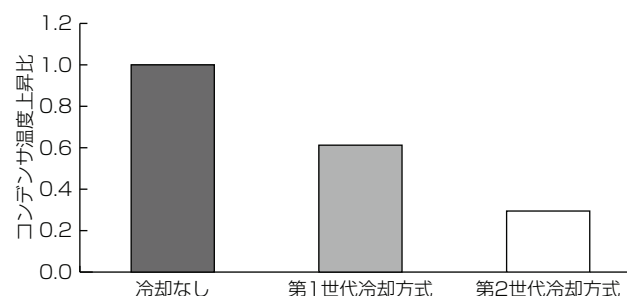


図4. コンデンサ冷却方式変更による温度上昇抑制効果

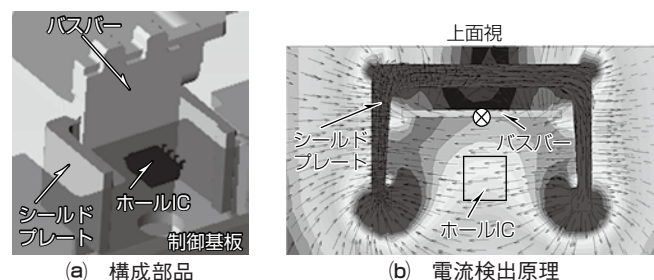


図5. 電流センサ

とで通電電流の増加に対応し、図4に示すように内部の温度上昇を抑制した。

第1世代では主回路部を二重化していたこともあり、電流センサは大型の6相用電流センサモジュールを採用し、インバータ内部スペースを大きく占有していた。第2世代では水平磁場検出タイプのホールICを制御基板に実装し、図5に示すようにホールIC周りにシールドプレートを配置することでホールIC部の磁束密度をコントロールする電流センサを開発した。

この方式の採用及び主回路部の簡素化に伴う電流センサ数の削減によって、インバータ内部スペースの電流センサが占める割合を第1世代に対して大幅に低減し、さらにシールドプレートの形状最適化による磁気特性の最適化によって、電流検出レンジ拡大を実現した。

3.3 ソフトウェア・制御技術

ソフトウェアでは、車載ネットワークの高速・大容量通信の要求を満たすために、新しくCAN FD^(注2)(Controller Area Network Flexible Data-Rate)に対応した。また、近年急速に必要性が増しているサイバーセキュリティに対して、機器認証などのセキュリティ機能を新たに導入した。これらの新ソフトウェア技術を導入し、次世代規格を満たした。

さらに、車載製品では回転角センサとしてレゾルバが一般に利用されるが、挟み込

みタイプのISGではレゾルバが大径化するためにコスト上昇や製造面での課題があった。そこで第2世代48V-ISGでは、ホールIC式回転角センサ(図6)を採用した。このセンサはモータのステータに固定されたセンサユニットとロータに固定されたセンサロータで構成される。センサユニットは主にホールIC、マグネット、コアで構成され、センサロータとの間で磁路が形成される。センサロータが回転すると磁路のギャップ長が変化し、ホールICで検出される磁界の強さが変化する。この磁界の強度変化を正弦波状にすることで、センサ信号を得ることができる。このセンサ信号を演算処理することでロータの回転角を得る。なお、検出信号を3信号にすることで、後述の回転角演算で3相2相変換を行い、モータコイルからの外部磁界の影響を相殺除去して信頼性を高めている。開発したホールIC式回転角センサでは、センサユニットがステータ全周を囲う必要がなく、レゾルバ信号を回転角に変換するRD(Resolver Digital)コンバータも不要になる。このホールIC式回転角センサを内製化して適用することでモータ・インバータシステムとして小型・低コスト化を実現した。

次に従来RDコンバータで行っていた故障検知・回転角演算・フィルタ演算などの処理をこのセンサ向けに適用・開発した。さらに、当社鉄道車両用インバータ及びFA機器製品で採用しているセンサレスベクトル制御技術⁽²⁾を当社車載製品として初めて適用することでセンサ信号欠落時にも運転継続可能にした。これらの技術によってセンサの低コスト化と制御機能及び信頼性の向上を両立させた。

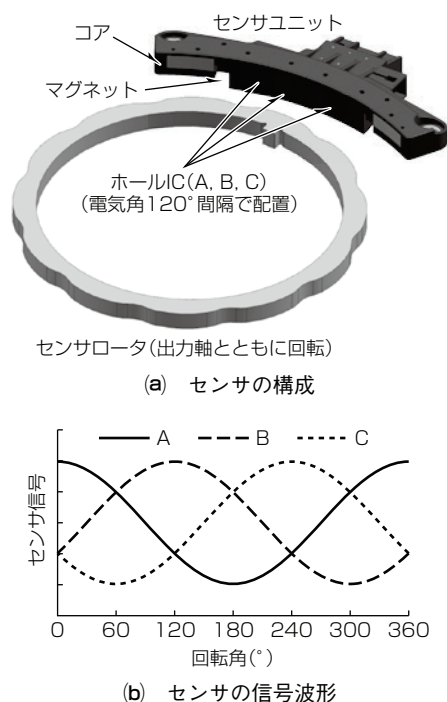


図6. ホールIC式回転角センサ

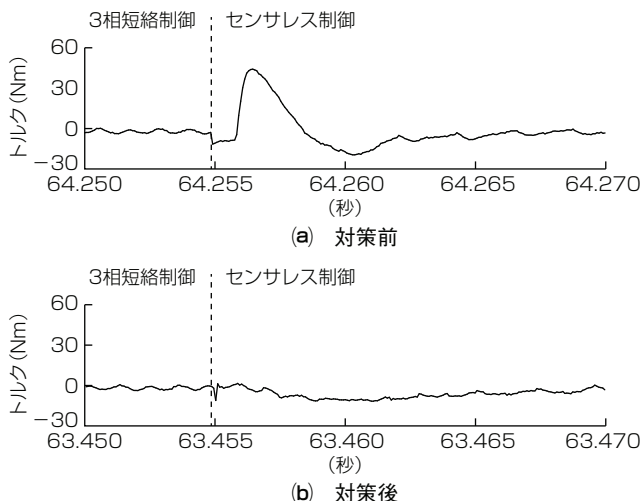


図7. 3相短絡制御からセンサレス制御に移行した際のトルク波形

センサレスベクトル制御を適用するため、課題であったセンサレス制御移行時のトルク変動抑制技術を開発した。回転角センサ故障時にはまず保護機能としてインバータの3相端子を全て短絡する3相短絡制御が働く。その後、センサレス制御に移行する際にインバータ出力電圧と3相短絡制御時のモータ電流に起因する電圧の不整合によるトルク変動が発生する(図7(a))。これを回避するため、センサレス制御に移行する際に、トルク指令に加えて3相短絡制御中の電流を考慮した指令値を設定することで適切なインバータ出力電圧を発生させ、トルク変動の抑制を実現した(図7(b))。この制御によってセンサ故障時にもトルク変動を発生させずに運転継続が可能になる。

(注2) CAN FDは、Robert Bosch GmbHの登録商標である。

4. む す び

2017年に業界で初めて開発・量産化した第1世代48V-ISGシステムを進化させ、複数機能の単一部品への集約、冷却性能向上を目指した高熱伝達フィン、平滑コンデンサの天面冷却、水平磁場検出方式の電流センサ、ホールIC式回転角センサ及びその回転角演算等の新技術を適用した第2世代48V-ISGシステム用インバータを開発した。当社は今後もインバータの小型・軽量・低コスト・高機能化開発を継続して電動車両の更なる普及と環境負荷低減に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) エンジンクランク軸搭載用48V-ISGシステム, 三菱電機技報, 92, No.1, 21 (2018)
- (2) 金原義彦: 回転座標上の適応オブザーバを用いたPM電動機の位置センサレス制御, 電気学会論文誌D, 123, No.5, 600~609 (2003)

次世代車載充電器 & DC-DCコンバータ

Next-generation Charger and DC-DC Converter Unit for Vehicles

大宮佑貴*
Yuki Omiya
青木浩一*
Koichi Aoki
勝元秀和*
Hidekazu Katsumoto

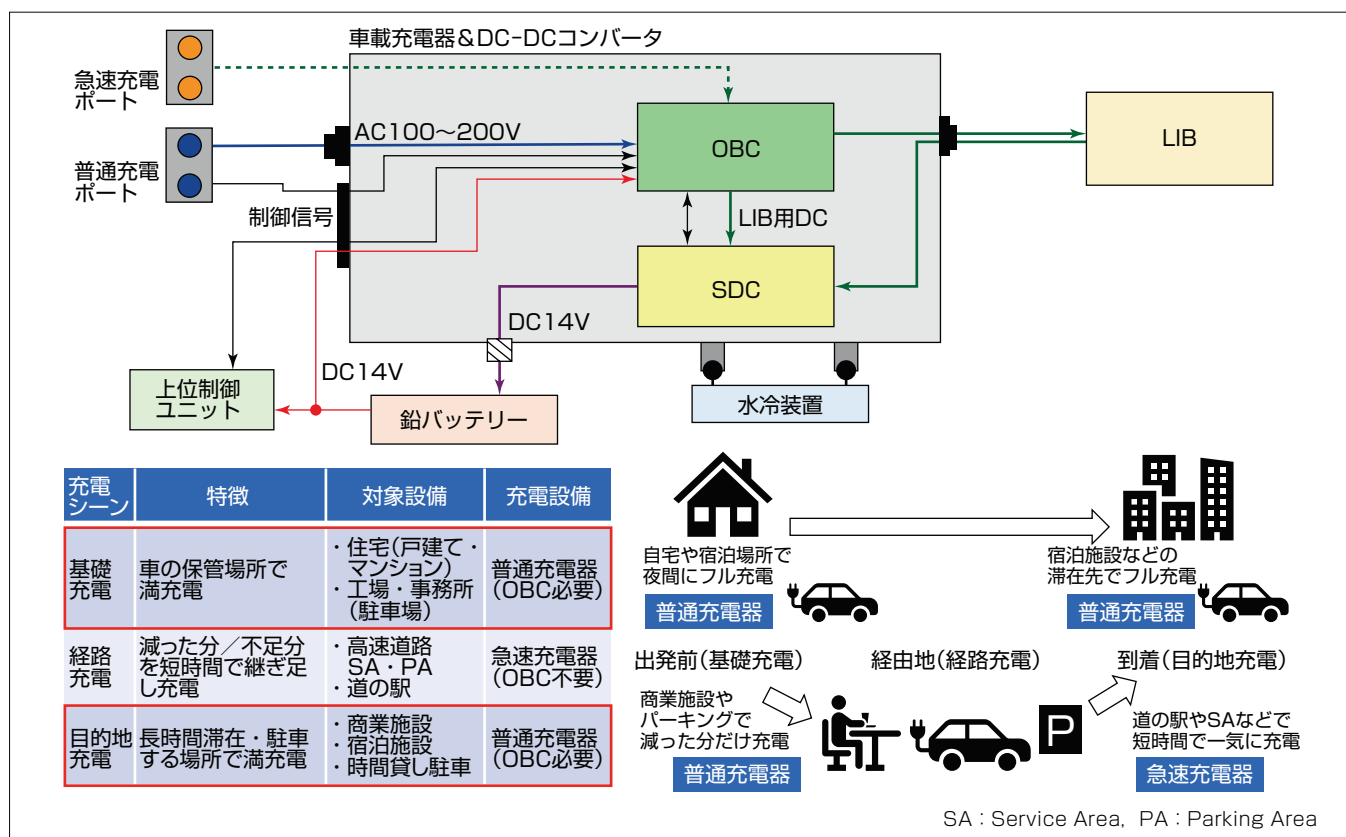
加藤正幸*
Masayuki Kato

要 旨

現在普及が進んでいる電気自動車(EV: Electric Vehicle)やPHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)には、充電器、インバータ、バッテリーなど複数の補機が搭載されている。三菱電機では、2013年にPHEV向けに商用電源(AC)をDCに変換してLi-ion(リチウムイオン)バッテリー(LIB)の充電を行うOBC(On Board Charger)と、OBC又はLIBから供給されるDCを鉛バッテリーに電圧調整して充電を行う降圧DC-DCコンバータ(SDC: Step Down Converter)を一体化した車載充電器&DC-DCコンバータ(以下“充電器”という。)を量産化し、EV/PHEVの普及を通じて、温室効果ガスの排出量削減といった環境問題の解決に貢献してきた。

車両レイアウト性向上のための小型化と高出力化の両立

が求められている中、現在量産中の2G充電器に替わる次世代の製品として、出力電力を維持したまま製品サイズの低背化を実現し、機能安全ASIL(Automotive Safety Integrity Level) Cに対応した2.7G充電器を開発して2021年末から量産する。複数の自動車メーカーへ同時展開するために、充電器内のAC系統部と高電圧部を共通設計、車両とのインタフェース部をカスタム設計にして、開発工数の削減と共通部品の数量規模増による原価低減を図った。OBC部とSDC部を個別の筐体(きょうたい)で構成して結合する構造を取ることで、顧客ニーズに応じた形状変更を可能にした。また、急速充電に対応し、製品の付加価値を向上させた。機能安全面では、出力監視機能を実装することでASIL Cを担保する製品を実現した。



車載充電器&DC-DCコンバータの構成イメージと必要になるシチュエーション

車載充電器は、EV/PHEVに欠かすことのできない重要な補機の一つであり、自宅や外出先での充電に必要となる。当社では商用電源をDCに変換してLIBに充電するOBCと、OBC又はLIBから供給されるDCを鉛バッテリーに電圧調整して充電を行うSDCを一体化した製品を開発し、量産している。現行の2G充電器に対して低背化を実現し、機能安全ASIL Cに対応した2.7G充電器を開発して2021年末から量産する。

1. ま え が き

当社は、2013年PHEV向けに、商用電源からLIBの充電を行うOBCとLIBから供給されるDCを降圧変換して鉛バッテリーに充電を行うSDCを一体化した充電器を製品化して以来、図1に示すように3.3kW出力充電器の開発を進めて、EV／PHEVの普及に貢献してきた。

近年、充電器には車両レイアウト性向上のための小型化と高出力化が求められており、これらのニーズに対応した製品として2.7G充電器を開発した。

本稿では、2.7G充電器の特長や構造と適用した技術について述べる。

2. 充電器の構成と2.7G充電器の特長

2.7G充電器は、量産中の2G充電器と比較して製品サイズを約26%低背化し、質量を約20%削減した。また、性能面でもOBCの出力電圧範囲の拡大とSDCの出力電流向上を図っている。

2.1 充電器の構成

当社で量産している充電器は、図2に示すようにOBC部とSDC部で構成されている。OBC部では、AC-DCコンバータと絶縁型DC-DCコンバータによって商用電源をDCへ変換し、LIBとSDC部へ供給する。SDC部では、OBC部又はLIBから供給されるDCを降圧し、鉛バッテリーへ供給する。AC-DCコンバータやDC-DCコンバータには大型の磁性部品を使用しており、2G充電器では筐体内部に立体的に部品を配置する構造を取っている。

2.2 次世代の充電器に求められるニーズ

EV／PHEVは、OBC、SDC、バッテリー、インバータ、

電動コンプレッサなど複数の補機が搭載されている。各補機間は車両ハーネスで接続されており、冷却用の不凍液を流すパイプが張り巡らされていることから、車両を構成する補機の数が増えると、車両ハーネス及び冷却水パイプの接続が複雑化するとともに、コストが増加する。そのため、複数の補機が一体化した製品や、補機と接続インタフェース、水路パイプなどが一体化した製品の需要が大きい。車両レイアウト性の観点から小型・軽量化も求められている。また、車両に搭載されるLIBによってOBCに要求される出力電圧範囲が異なることや、鉛バッテリーに接続される補機の駆動電流によって供給必要な電流が異なるため、OBC出力電圧範囲が広くてSDC最大出力電流が大きい製品が求められる一方、機能安全面ではASIL Cが要求されている。

2.3 2.7G充電器の特長

2.2節で述べたニーズに対応するために開発した2.7G充電器は次の特長を持つ。

- (1) 2G充電器と同様にOBCとSDCを一体化し、冷却水路を挟み込む構造
- (2) 出力電力を維持したまま製品サイズを低背・軽量化
- (3) 主機能は共通設計、車両とのインタフェース部をカスタム設計
- (4) OBC出力上限を約14%拡大
- (5) SDCの最大出力電流を約50%向上
- (6) 急速充電に対応
- (7) 機能安全ASIL Cに対応

また、図3に示すように、2Gと比較して37.5mm低背化することで製品の小型・軽量化を実現した。2G充電器と2.7G充電器の仕様変更項目の比較を表1に示す。

OBC出力電圧の上限とSDC最大出力電流を拡大し、LIBや車両補機の構成の異なる様々な車両に対応できる仕様にした。また、主機能を共通設計、車両とのインタ

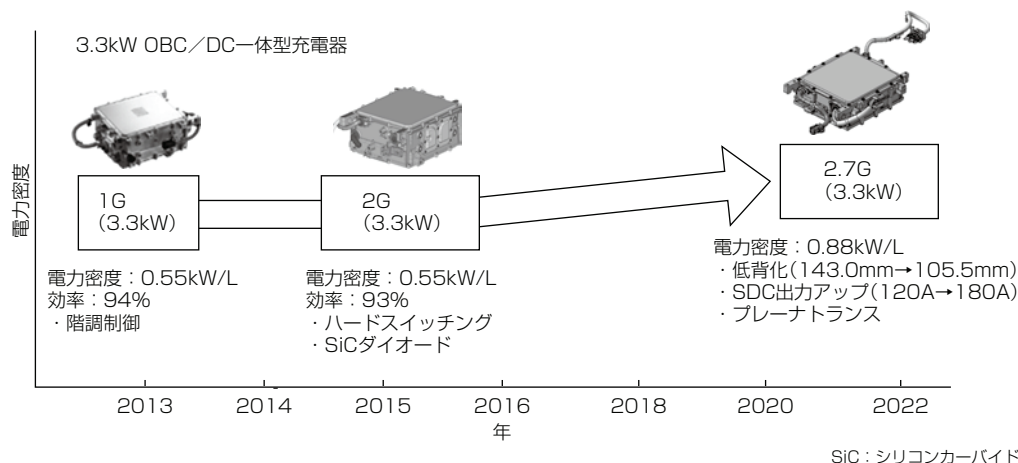


図1. 充電器開発ロードマップ

フェースに関連する部分をカスタム設計にして、複数の車両に展開するための工数を最小化した。自動車メーカーの要求に応じて急速充電に対応可能にすることで、製品とし

ての付加価値を向上させた。機能安全面では、ハードウェアでの出力監視機能を実装することでASIL Cを担保した。

3. 2.7G充電器での開発取組み

2章で述べた特長を実現するため、2.7G充電器では磁性部品を始めとする構成部品の小型化、内部構造の見直しによる冷却性能の向上などの様々な改良を行っている。次に、2.7G充電器の開発で検討・適用した技術の中からOBC部の小型化や共通設計と機能安全に焦点を当てて述べる。

3.1 磁性部品の小型化

製品の低背化実現に当たって、筐体サイズの小型化と同時に電力変換用の磁性部品も小型化する必要があった。小型化の対象になる部品には、OBC内部のAC-DCコンバータ内の力率改善回路や絶縁型DC-DCコンバータに使用されている入出力用共通モードチョークコイル、力率改善回路用コイル、メイントランス、平滑用コイル等があるが、特にメイントランスの高さ低減が大きな課題であった。従来の巻線型のままではトランスを所望のサイズまで低背化することが困難であったため、図4のようにトランスの構造を基板で巻線を構成するプレーナ構造にすることで0.41倍に低背化した。

同時にOBCの力率改善回路と絶縁型DC-DCコンバータの両回路の駆動周波数を2G充電器から1.5倍に上げることで、磁性部品の小型化を実現した。

3.2 部品配置と水路構造

3.1節で述べた駆動周波数の高周波化で、スイッチング損失増加によって部品の発熱量が増加するという課題があった。さらに、筐体小型化によって部品の発熱密度が増

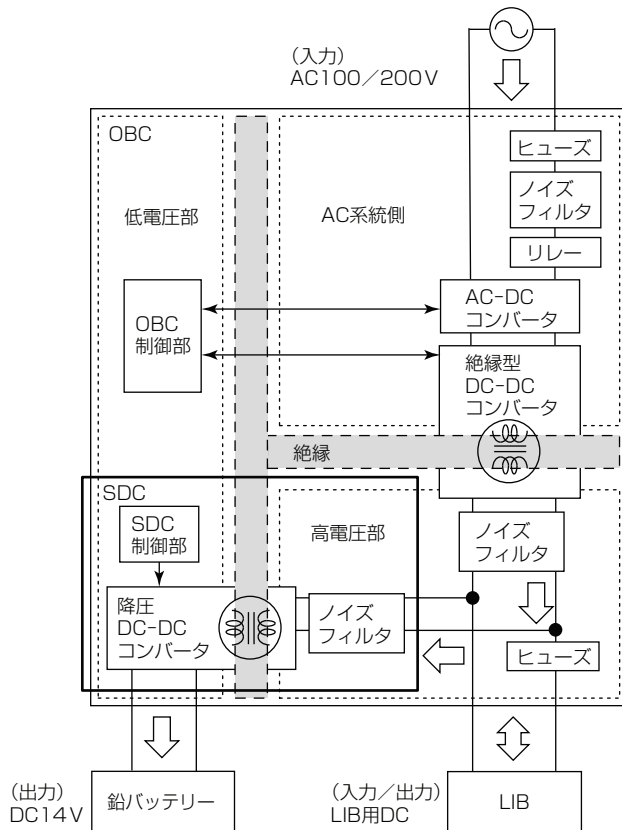
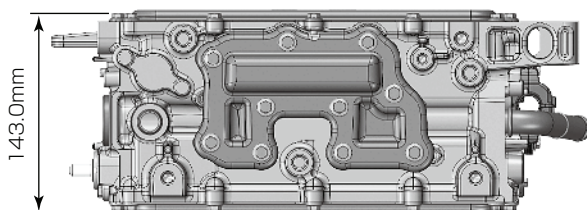
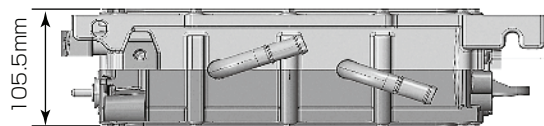


図2. 充電器の構成



(a) 2G充電器



(b) 2.7G充電器

図3. 充電器の外形比較

表1. 充電器の仕様変更項目比較

項目	2G充電器	2.7G充電器
OBC出力電圧(V)	200~370	出力上限を約14%拡大
SDC最大出力電流(A)	120	約50%向上
SDC最大出力(W)	1,764	約63%向上
外形(W×D×H)(mm)	270.0×240.0×143.0	37.5mm低背化
体積(L)	9.1	約26%低減
質量(kg)	12	約20%低減

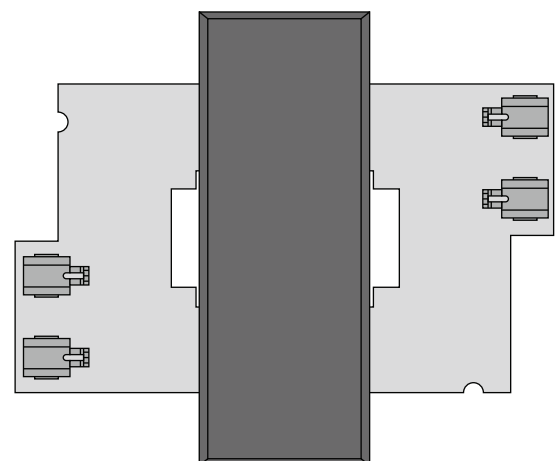


図4. プレーナトランス

大するため、2G充電器よりも構成部品に対する冷却性能の高い構造にする必要があった。

2G充電器では、図5及び図6に示すように内部部品が筐体に対して垂直及び立体配置され、OBC部、SDC部の両方の部品を冷却するために上下2段の水冷パイプが張り

巡らされている。低背化のためには水冷パイプを1段構造化した上で冷却性能を向上させる必要があった。そこで、内部部品の扁平(へんぺい)化と平面配置を行い、水冷パイプを1段構造化することで、広範囲で部品を冷却する構造にした。

3.3 一体化と共通設計化

2.7G充電器は複数の自動車メーカーから引き合いを得ることができたが、それぞれの車両システムに合わせてOBC/SDCの性能や急速充電機能の有無等の要求仕様が異なる製品を同時期に試作・量産するという課題があった。全項目を車両ごとの要求に合わせてカスタム開発を進めると、膨大な設計人工と工数が必要になる。そこで、主機能になるOBC/SDCのAC系統部と高電圧部を共通仕様とし、車両からの制御信号に応じてOBC/SDCをコントロールする制御回路及び充電器の車両取付けに関連するインタフェース部分だけを要求に応じてカスタム開発する方策を取った(図7)。これによって、最小の工数で複数のメーカー向けに製品を提供することが可能になり、開発費の低減と共通部品の数量規模増による原価低減を実現した。同時に、急速充電への対応といった特定の顧客からのニーズにも最小の工数で実現した。さらに、OBC部とSDC部を個別の筐体で構成して結合する構造を取って、顧客ニーズに応じての形状変更を可能にしたことで、カスタム性の面で海外競合他社との差別化を図った。

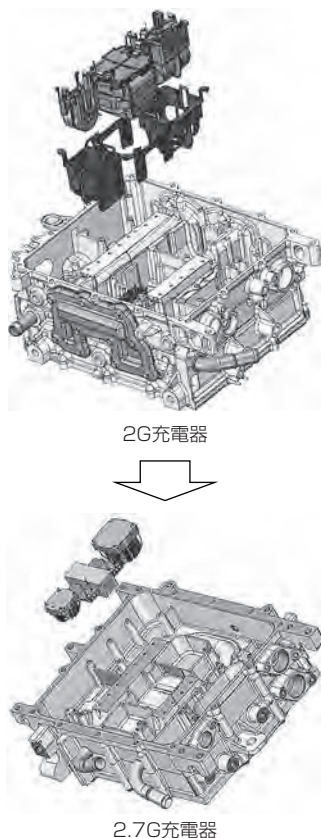


図5. OBC部品の扁平化と平面配置

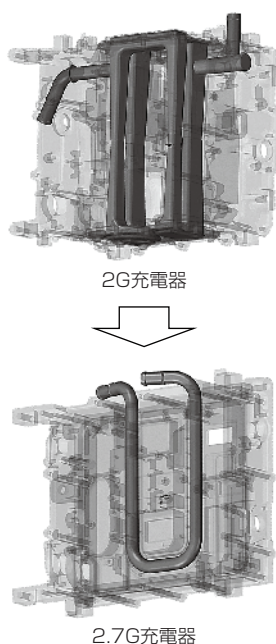
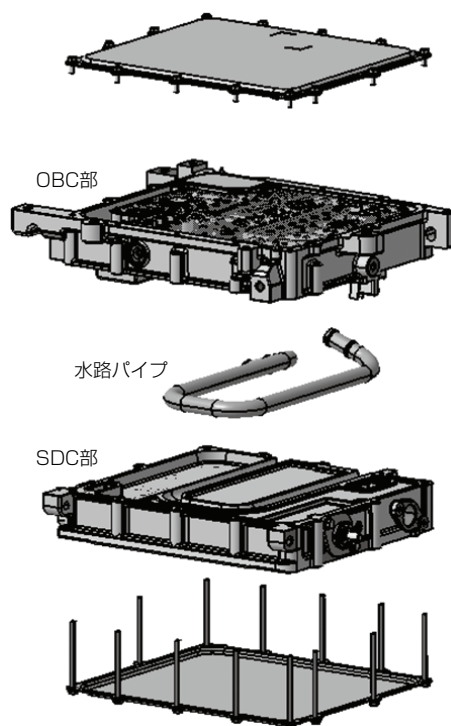


図6. 水冷パイプの1段構造化



OBC部やSDC部の内部回路は共通設計であり、外形の変更といった要求に対応可能である。

図7. 2.7G充電器の設計共通化

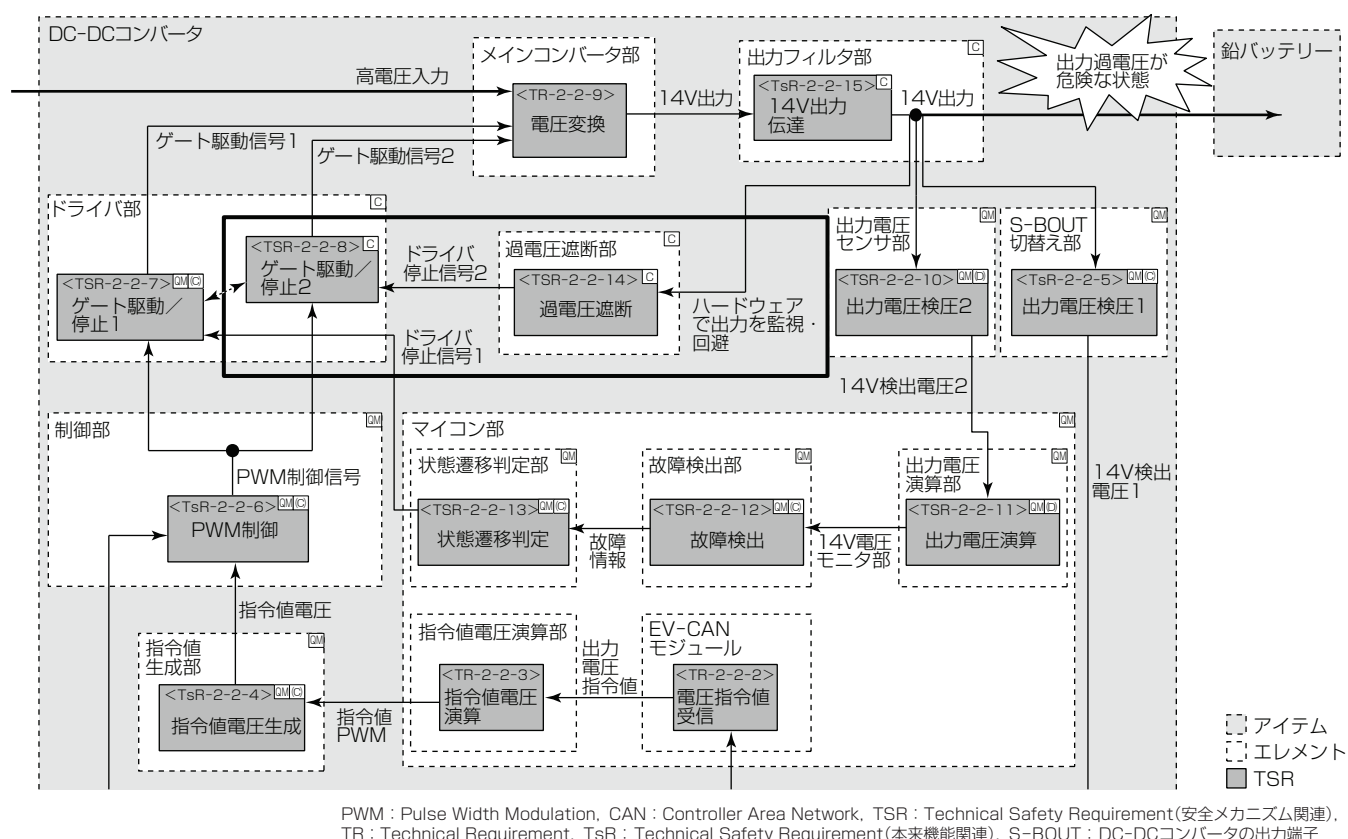


図8. 機能安全の考え方

3.4 機能安全

自動車に搭載されている製品に対して、機能不全のふるまい(誤動作)による危険・リスクを回避し、安全性を向上させるために、機能安全規格“ISO26262:2011”準拠を要求する車両メーカーが増えてきており、車載充電器はASIL Cが要求される製品である。

2.7G充電器では、モデリングツール(Enterprise Architect)と機能安全コンセプト記法(Safety Concept Description Language: SCDL)を使用して機能安全の効率的な開発を行った。

充電器に配置されるASIL Cの要求に対しては次のコンセプトで設計を行った。

(1) ASIL Cの要求

SDC出力過電圧を回避することで達成可能

(2) 安全コンセプト

ハードウェアで構成したSDC電圧監視機能を実装してASIL Cを割当て

図8に示すように、電圧監視機能をハードウェアで構成することで、ソフトウェアへのASIL割当てを回避し、機能安全の対応が必要なブロックを最小限に抑えた。

4. む す び

当社では、商用電源をDCに変換しLIBの充電を行うOBCと、OBC又はLIBから供給されるDCを電圧調整して鉛バッテリーに充電を行うSDCを一体化した充電器を開発・量産している。現在量産中の2G充電器に替わる次世代の製品として開発した2.7G充電器は、構成部品の小型化と冷却性能の向上を行い、出力電力を維持したまま製品サイズの低背化を実現した。OBC出力電圧範囲を拡大し、AC系統と高電圧部を共通設計、インタフェース部をカスタム設計にしたことで、他社との差別化を図りつつ、複数のメーカーに対応できる仕様になっている。2.7G充電器の量産・市場投入によって、EV/PHEVの普及を促進し、温室効果ガスの排出量削減といった環境問題の解決に貢献していく。

参考文献

- (1) DCDCコンバータユニット内蔵の第2世代車載充電器, 三菱電機技報, 91, No.1, 62(2017)
- (2) 車載充電器, 特許公開番号WO2019/180820

搬送サービスロボットシステム

Delivery Servicer Robot System

1. ま え が き

近年、EC(Electronic Commerce)の発展を背景にした搬送物の増加や人手不足によって、工場や倉庫等の環境を中心に、移動ロボットの活用が進んできた。また、人の多い病院や商業施設等での搬送、警備、清掃を行うサービスロボットの利用が拡大している。人の多い環境では、更に高い安全性と人とのインタラクションが求められる。三菱電機は音声・ライティング装置・タッチパネル等のHMI(Human Machine Interface)機器を備えたロボットのセンサによる自律走行に加えて、ロボットとそのHMI機器を制御する管制システムによって、更に安全な走行を実現する搬送サービスロボットシステムを開発した。

搬送ロボットは、搬送物を乗せるカート部分を脱着式にし、異なる種類の搬送物に対応でき、カート単体でも利用可能になるように設計することで、搬送作業の省力化にも貢献できる。管制システムは、複数ロボットの管理に加えて、エレベーターや入退室管理システム等の施設内設備と連携することで、単体のロボットでは実現が難しい縦横移動を含む搬送サービスを実現する。

2. システム構成

2.1 ハードウェア構成

図1は開発した試作ロボットのハードウェア構成を示している。ロボットは、基本的な走行を担う台車部、アプリ

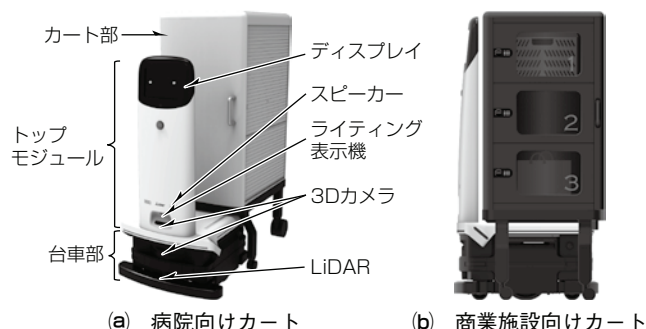


図1. 試作ロボットのハードウェア構成

ケーションのための機器を備えたトップモジュール、搬送物ごとに異なる形をしたカート部で構成している。走行のためのセンサはLiDAR(Light Detection And Ranging)と3Dカメラを備えている。あらかじめLiDARを用いて作成された地図を利用して自己位置を推定し、台車部、トップモジュールに複数配置した3Dカメラで、ロボット全周の障害物を検知しながら、基本的な自律走行は台車部で実行する。ディスプレイ部はロボットの状態を表情として表示するほか、利用者向けの表示・タッチ操作部としても利用される。また、スピーカー及びライティング表示機による音声や表示によって、利用者や周囲の人への注意喚起や情報提示を行う。

カート部は搬送物に応じたカートを脱着することが可能になっており、脱着部分にセンサを配置することで脱着状態の把握をして、カートの有無や種類に応じてロボットの走行特性を変えることを可能にしている。

ロボット以外には、ロボットを管理する管制システム、ロボットの呼出しや状態を把握するための端末(タブレット)によって、全体のハードウェアを構成している。

また、ロボットのカメラで映像を取得して管制システムで状況を記録し、必要に応じて映像を閲覧できる遠隔ドラレコ機能をオプションとして利用可能にした。

2.2 ソフトウェア構成

図2はソフトウェア構成を示している。台車部のソフトウェア、トップモジュールのソフトウェアはロボット内部では有線で、管制システムとは無線でそれぞれインターネットプロトコルを用いて接続する。アプリケーション層のプロトコルは、HTTP(HyperText Transfer Protocol)、

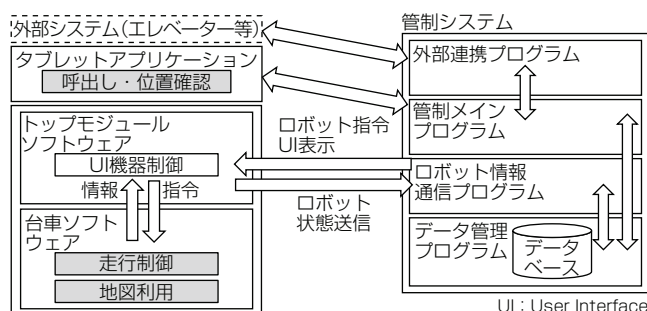


図2. ソフトウェア構成

MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)などを適宜利用している。

台車部のソフトウェアはROS(Robot Operating System)を用いて開発しており、作成した地図情報は、あらかじめ管制システム及びトップモジュールのソフトウェアと共有し、管制システムからの地点指定に基づいて走行する。台車部の位置情報と走行状態は定期的に管制システムにトップモジュール経由で送信する。管制システムはタブレットアプリケーションからの呼出しに対してロボットの行動計画を作成する。台車部は基本的には管制システムからの指示に基づき走行するが、冗長性確保の観点から、有線接続されたトップモジュールからの指示に対しても管制からの指示と同じ仕組みで動作可能にした。

トップモジュールのソフトウェアはアプリケーションごとに切り替えられ、管制から送信される表示情報に基づいて、画面表示するほか、管理するスピーカーやライティング表示機を制御する。音声、及びライティングの表示内容は基本的には管制システムからの指示に基づくようにしてアプリケーションの動作を管制システムで一元管理するように設計した。

管制システムのソフトウェアはロボットの情報を定期的に受信し、ロボットへの命令を送信する“ロボット情報通信プログラム”、地点情報やアプリケーションの遷移、ロボットの状態などを保存するデータベースを備えて各種データ変換を行う“データ管理プログラム”、スケジューリングを中心とした管理をする“管制メインプログラム”、エレベーター等設備や外部ソフトウェアとの連携を行う“外部連携プログラム”で構成している。これらのソフトウェアの動作による制御については、3章で述べる。

3. 管制システムによる制御

2章で述べたように、管制システムはデータ管理ソフトウェアに保持された情報に基づき、全体のスケジューリングを行う機能を備える。ロボットの行動計画は、データ管理プログラムのデータベースに格納された地点と、地点に紐(ひも)づけられたアクション、スケジューリング時点での動的な状況に基づくルールで決定される。

アクションには、一時停止、待機、エレベーター呼出しなどの設備との連携、音声出力、表示、イメージセンサの特性変更などに加えて、速度、走行特性、機体サイズ等のROSパラメータの変更、及び地図情報の変更がある。ROSパラメータの変更によって、カート部の有無・種類に応じた走行に変化させることや、場所に応じた速度の変更などを実現した。図3は地図情報の変更の例を示しており、事前に作成・共有された地図に動的に変更を加え

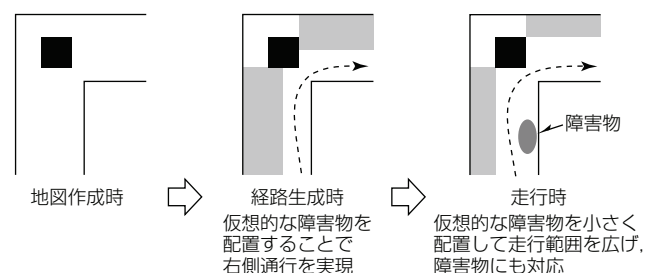


図3. 管制システムによる地図情報の変更

ることで、ある通路の片側通行や優先する通路での経路生成を行うことができ、これによって施設のルールに則した走行が可能になるほか、すれ違い、人の少ない場所を選択するなどのロボットの走行制御が可能になる。なお、このような走行制御を行うに当たっては、管制システムのデータベースの変更だけが必要であり、各ロボットのソフトウェアやデータの変更は必要ないことから、要望に応じたロボットの走行が容易に実現できる。また、これらのアクションは管制システムがロボットの行動計画を生成する際に用いて大域的なスケジューリングに反映させるだけでなく、任意のタイミングで行うことで、ロボット単体が局所的に用いるデータにも反映可能であるため、図3で示した例のように、“ロボットは基本的には右側通行を守る経路を想定しながら、障害物が置かれた場合には最小限左側を走行することを許す”などの柔軟な運用が可能になっている。

状況に基づくルールは、管制システムが全体スケジューリング時に動的な状況を反映させるための仕組みであり、動的な情報はロボットの状態と同様に2章に述べた“データ管理プログラム”で管理している。この仕組みによって、例えば、利用可能な複数の異なるロボットが存在する場合、ロボットの能力、充電状況、搬送距離・時間などに応じてロボットを選択すること等が可能になる。

このように、ロボット単体のセンシングに、さらに管制システムを加えることで、より安全な自律走行を実現した。

4. む す び

搬送サービスロボットシステムの構成、特長、及び実現に適用した技術について述べた。この搬送サービスロボットシステムは、多様化する搬送需要に対応するため脱着型のカート方式にしたこと、及び管制システムの制御によって、ロボット単体では実現が困難な設備連携や状況に応じたサービスの実現を目指すところに特長がある。

今後は需要の多い搬送物に対応したカートの拡充、連携可能な設備の拡大、既存のアプリケーションとの連携、現在は手動で行っているカート脱着の自動化等の機能拡張に加えて、屋外を走行するロボットへのシステムの拡大を行い、搬送サービスの省力化・効率化に貢献していく。



変わり続ける時代のニーズを捉えて、将来のモビリティ社会に貢献していきます

自動車機器サイト

日々変わる社会の中で、人にとってクルマが安全で快適な存在であり続けるために、自動車機器に求められる役割も常に変化しています。三菱電機では環境性と経済性、安全と快適など、様々な視点からニーズを捉えて、革新的な

製品づくりで更なる未来へ前進を続けます。

自動車機器サイトでは、将来のモビリティ社会に貢献する自動車機器事業をご紹介します。

<https://www.mitsubishielectric.co.jp/automotive/>

コンテンツ



トピックス

乗員の安全性や快適性の向上に貢献する次世代ドライバーモニタリングシステム(DMS)や、自動運転の実現へ向けて正確な自車位置情報を検知する高精度なロケータ(HDL)の開発者インタビューなど、旬の話題をお届けします。



私たちにについて

事業内容や当社自動車機器事業のあゆみ、国内外拠点など、自動車機器事業本部のアウトラインをご紹介します。



私たちの取組

“事業シナジーと製品開発”“生産技術”“品質保証”三つのキーワードで当社の自動車機器開発に関する取組みをご案内します。



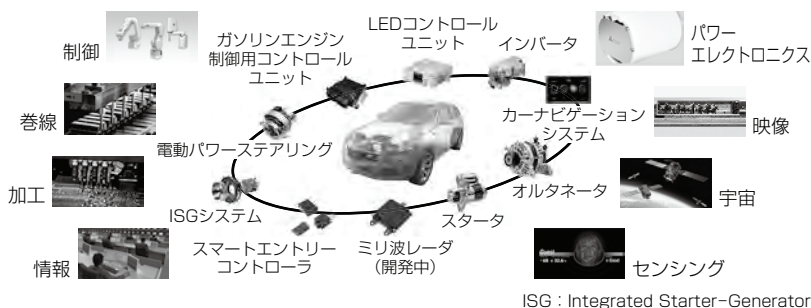
製品情報

当社が手がける自動車機器の製品群を“パワートレイン製品”“車両制御製品”“情報系製品”のカテゴリー別にご紹介します。



ニュース

イベント出展情報や新技術開発のお知らせを掲載しています。



様々な当社技術のシナジーによって成り立つ自動車機器事業

▶詳しくはWEBサイトでご覧いただけます。

三菱電機 自動車機器

検索

