



家庭から宇宙まで、エコチェンジ



# 三菱電機技報

3

2016

Vol.90 No.3

安全で快適なクルマづくりを支える先進技術



## 目次

### 特集「安全で快適なクルマづくりを支える先進技術」

安全で快適なクルマづくりを支える

先進技術特集号に寄せて ..... **巻頭言** 1  
加古 一

車社会の将来展望と技術動向 ..... **巻頭論文** 2  
見玉誠樹

運転支援系コンセプトカー“EMIRAI3 xDAS” ..... 7  
熊谷太郎・橋本孝康

ADAS向けスマートコックピット情報提供技術 ..... 11  
吉田道学・対馬尚之・蛇川雅浩

マルチボンディングディスプレイ ..... 15  
奥村貴典・熊谷太郎・藤野俊明・佐竹徹也

自動運転向け高精度車両制御技術 ..... 19  
栗重正彦・家澤雅宏・田中英之・沖本行弘・北野弘明

自動運転に向けた車両制御システム ..... 23  
一杉和夫・北野弘明

前方監視用ミリ波レーダ ..... 27  
野田晋作

誤発進抑制及び後側方死角警報機能搭載ソナーシステム ..... 31  
鈴木涼太郎・花崎泰将・井上 悟・松井崇浩

車載向け高精度ロケータ ..... 35  
入江崇志・大木秀彦・石上忠富・小高康志

車載マルチメディアヘッドユニット向け  
インターネット経由ソフトウェア更新機能 ..... 39  
太田浩祐

IoT機器のLSI個体差を利用したセキュリティ技術 ..... 43  
鈴木大輔

ベルト駆動式モータジェネレータ ..... 47  
藤田暢彦

アイドリングストップシステム向け  
エンジン再始動制御技術 ..... 51  
和知 敏

### Advanced Technologies for Safe and Comfortable Automobiles

Contribution to Special Issue on Advanced Technologies for Safe and Comfortable Automobiles  
Hajime Kako

Prospective Stories and Engineering Trend in Automotive Society  
Seiki Kodama

Assisted-driving Concept Car "EMIRAI3 xDAS"  
Taro Kumagai, Takayasu Hashimoto

Information Providing Method in Smart Cockpits for ADAS  
Michinori Yoshida, Naoyuki Tsushima, Masahiro Abukawa

Multi Bonding Display  
Takanori Okumura, Taro Kumagai, Toshiaki Fujino, Tetsuya Satake

High-Fidelity Autonomous Vehicle Control Technologies  
Masahiko Kurishige, Masahiro Iezawa, Hideyuki Tanaka, Yukihiko Okimoto, Hiroaki Kitano

Vehicle Control System for Autonomous Driving  
Kazuo Hitosugi, Hiroaki Kitano

Millimeter-wave Radar for Forward Sensing  
Shinsaku Noda

Sonar System for Pedal Misapplication Prevention and Blind Spot Warning  
Ryotaro Suzuki, Yasumasa Hanazaki, Satoru Inoue, Takahiro Matsui

High Precision Vehicle Locator  
Takashi Irie, Hidehiko Oki, Tadatomi Ishigami, Yasushi Kodaka

Flexible Software Update via OTA for Car Infotainment Head Unit  
Kosuke Ota

Security Technology by Using Individual Differences of LSIs for IoT Devices  
Daisuke Suzuki

Belt-drive Motor Generator  
Masahiko Fujita

Control Technology of Engine Re-start for Idling-stop System  
Satoshi Wachi

### 特許と新案

「後側方警報装置」「帯域分割時間補正信号処理装置」 ..... 55

「車載情報提供装置」 ..... 56



### 表紙：安全で快適なクルマづくりを支える先進技術

三菱電機は総合電機メーカーとして培った広い分野の先端技術を結集し、より良いクルマ社会の実現に取り組んでいる。

表紙は先端技術を搭載した2015年11月発表のコンセプトカーである。①及び②は進化する運転支援機能を具現化したコンセプトカー“EMIRAI3 xDAS”の外観及びコックピット（運転席）である。新開発のHMI(Human Machine Interface)技術、ドライバーセンシング技術、テレマティクス技術、灯火制御技術などを搭載した。③は自動運転の実現に必須となる技術を搭載したコンセプトカー“EMIRAI3 xAUTO”である。準天頂衛星を活用した高精度ロケータ、物体との距離を測るミリ波レーダ及び超音波センサ、夜間でも人物を検知できる赤外線カメラなどを搭載した。

# 巻/頭/言

## 安全で快適なクルマづくりを支える先進技術特集号に寄せて

Contribution to Special Issue on Advanced Technologies  
for Safe and Comfortable Automobiles

加古 一  
Hajime Kako



自動車は、人々の安全・安心に対する意識の高まりや、尽きることのない快適性の追求、更なる環境性能向上の要求を受け、常に進化を続けています。この進化で、車載電気電子機器が果たす役割はますます大きくなっており、その性能向上や新機能開発は欠かせません。

安全・安心に関しては、近年、衝突被害軽減ブレーキや車線維持支援装置などの予防安全システムの装着率が高まっています。このような予防安全機能を将来の自動運転に向けて拡張していくなかで、機能の信頼性を更に高めるには、カメラやレーダなどの各種センサが検出する車両周辺の障害物や道路区画線などのオブジェクトについて、その位置をより正確に計測し、属性もより詳細に把握する必要があります。また、居眠りやよそ見といったドライバーの状態を監視し、その状況に応じた警報や制御も必要となります。三菱電機は、物体識別可能なミリ波レーダや、ドライバーの視線や体調を検出するモニタ装置などの開発によって、これらの要求に応えていきます。さらに、自動運転を実現するうえでは、高精度な自車位置の把握、ダイナミックマップとの連携、道路交通インフラとの協調などによって、車両からは直接見えない車両周辺状況も把握しなければなりません。当社では、準天頂衛星を利用した自車位置の高精度測位によって、センサの情報からだけでは道路の走行可能領域を把握・予測しにくい状況でも自動運転を可能とするシステムの開発を進めています。

情報化・快適性の面では、自動車が多くの情報を持つようになるにつれ、ドライバーに対して安全にかつ分かりやすく情報提供することが求められるようになってきます。ドライバーが扱う機能の表示・操作は、これまでは機能ごとに進化、複雑化してきましたが、今後は最適配置・統合化が進んでいきます。表示については情報の緊急性に応じて、ヘッドアップディスプレイ、計器パネル、センターコンソールへの最適配置がなされます。操作については、安全かつ自然に行えるよう、クラウド上の音声認識機能とも連携させた自由な音声による操作や、視認に頼らない空間

ジェスチャー操作などのニーズが高まります。このような将来のコックピット（運転席）を具体的に示すため、当社は先の東京モーターショー2015で、高度なHuman Machine Interface技術を搭載した安全で快適な運転を実現するコンセプトカーを展示・提案しました。ここではさらに、曲面ディスプレイとタッチセンサを組み合わせることで、意匠と操作性を向上させ、クオリティの高い車内空間も実現しています。

環境への対応では、ハイブリッド車や電気自動車のように車両の電動化が進んでいます。当社では、次世代のパワー半導体材料である炭化ケイ素が持つ低オン損失、高温動作、高速動作の特性を活用することで、車載パワーエレクトロニクス機器の更なる小型高効率化、冷却系の簡素化に努めています。一方、従来のエンジンは高効率化が進められており、簡易で低コストの電動化システムの市場も拡大しつつあります。従来エンジン車ではアイドリングストップシステムが普及していますが、当社は、オルタネータからの置き換えで、より静粛で迅速なエンジン再始動を実現し、加えて車両のアシスト駆動が可能なベルト駆動方式モータジェネレータを世に出し、車両カテゴリーを問わず広範囲のクルマの電動化に貢献しています。

これからの自動車は、移動体通信を介してクラウドにつながり、路車間・車車間通信でインフラや他車とつながることによって、更なる環境・安全性能の向上、利便性・快適性の向上が図られます。ここで重要となるのは、車載情報や制御システムを不正アクセスから守るセキュリティ機能ですが、当社は高い認証・暗号化技術でこれを実現し、安心して利用できるシステムを提供していきます。

このように、自動車は人々の暮らしを豊かにする移動手段としてますます進化していきますが、この特集号では、安全で快適なクルマづくりに向けて、当社が総合電機メーカーとして培った広い分野の先端技術を結集して開発した車載機器の最新事例を紹介します。



児玉誠樹\*

# 車社会の将来展望と技術動向

Prospective Stories and Engineering Trend in Automotive Society

Seiki Kodama

## 要 旨

現在、私たちの社会では車は必要不可欠な道具になっているが、環境負荷や交通事故等、解決していかなければならない課題も多く併せ持っている。

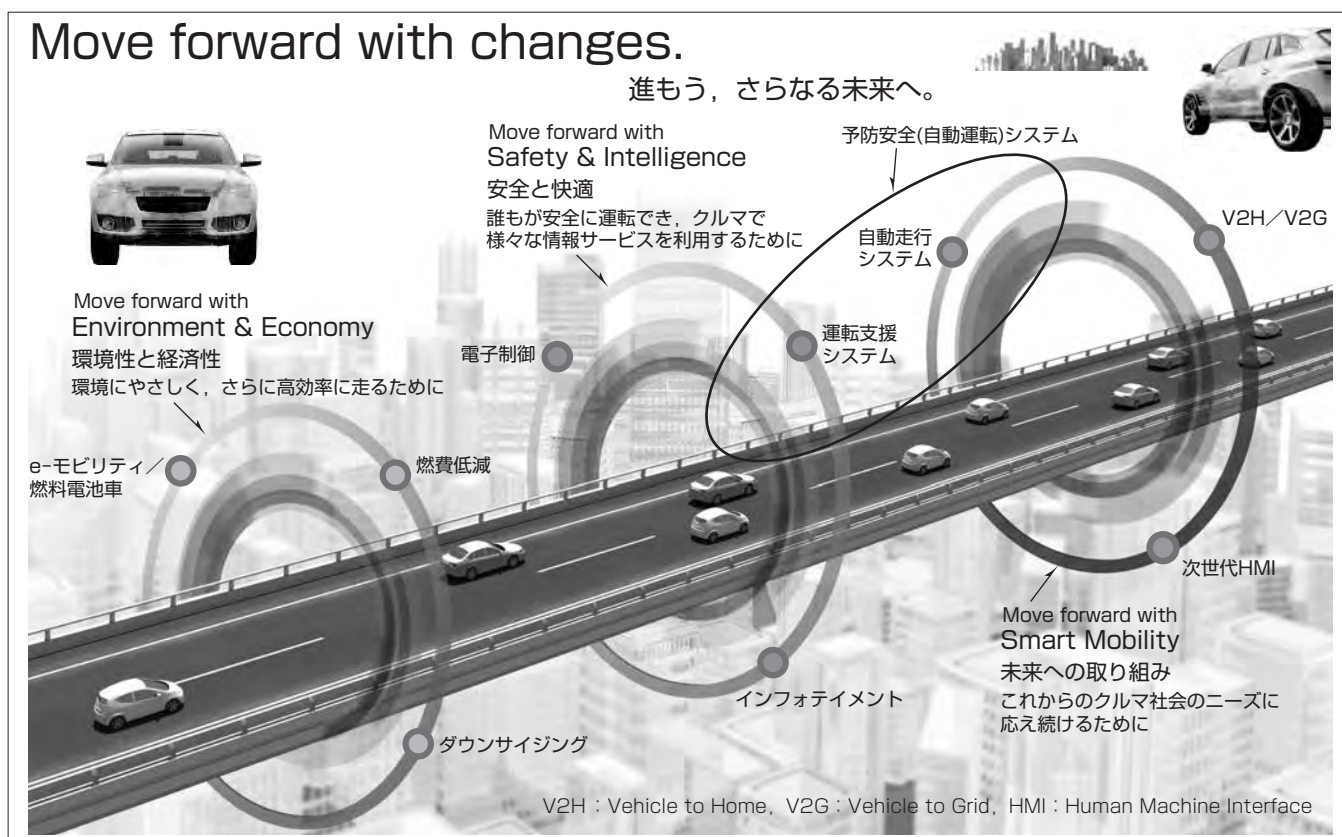
環境面では、自動車は温室効果ガスである二酸化炭素を排出するため、地球温暖化への影響が大きいとされている。自動車業界ではゼロエミッションを目指して電気自動車(Electric Vehicle: EV)の開発・普及に取り組んでいるが、様々な課題から当面は化石燃料に頼らざるを得ない。

安全面では、交通事故による死者や負傷者の発生が問題となっている。日本国内では、様々な安全機器の進歩や法規制の強化、インフラの整備に伴い減少傾向であるが、いまだ改善すべきレベルにある。グローバルでは、車の普及

に対して安全対策とインフラ整備が追い付いていない状況にある。将来の自動運転を見据えた予防安全技術を進歩させて、日本をモデルケースとしてその技術を世界に普及させることで交通事故の削減に取り組まなければならない。

車載情報機器は、パソコンやスマートフォンが普及しているインターネット社会で車の利便性・快適性を決定づけるものであり、世の中の通信技術の進歩に対応していく必要がある。また、車の環境負荷低減や安全面の向上との関わりも深いことを忘れてはならない。

三菱電機は、総合電機メーカーとしての技術力を結集して車の進化に貢献するとともに、“低炭素社会”“循環型社会”の実現を目指して、より良き社会づくりに貢献していく。



## Move forward with changes

当社は、環境ビジョンで“低炭素社会”“循環型社会”の実現に貢献することを定めている。総合電機メーカーとして、環境、安全、情報の各分野の技術力を結集して自動車の進化に貢献し、環境にやさしく経済性と両立させて、安全で快適な運転を実現し、未来の車社会のニーズに応え続けて、その実現を目指していく。



## 1. ま え が き

自動車の定義は“発動機の動力で軌道なしに走る四輪車”（角川国語辞典）とされ、1700年代のフランスの蒸気式自動車を起源とするといわれている。ガソリンが燃料となるのは1870年ごろ、その大衆化は1907年のT型フォードから始まったとされるため、我々は実に100年以上もの車社会を過ごしてきたことになる。一方、車が生活必需品となるモータリゼーションが日本で始まったのは1970年ごろであり、我々は、この個人的な移動手段を手に入れることで様々な利益を享受すると同時に、大気汚染や交通事故等による人的影響にとどまらず、温暖化に伴う自然破壊など負の側面も発生させている。現在、そのモータリゼーションの波は中国を始めとした新興国に押し寄せており、世界で生産される車の数は2015年で8,900万台に達し、2020年には1億台を超えると予想されている（図1）。これに伴い、環境や安全への脅威に対する国際社会の改善要求は強まり、一方で個々の消費者の利便性・快適性への要求もますます高くなってきている。

本稿では、これからの車社会での課題と、その解決に向けた自動車機器の技術動向について、環境、安全、情報の3つの視点から述べる。

## 2. 環 境

我々が住む地球の最大の環境問題は、温室効果ガスによる温暖化現象である。温暖化の影響は、生態系の変化による感染症の拡大や、海面上昇、異常気象などが考えられ、人類の存続を脅かす重大な問題である。温室効果ガスの主なものには二酸化炭素、メタン、代替フロン等があり、その中でも二酸化炭素は環境中での寿命が長く温暖化への影響が大きいとされている。人為的に発生する二酸化炭素の多くは火力発電や工場、自動車の排気ガスによるもので、全体の排出量の20%が自動車を含む運輸関係によるとされ、その抑制が求められている。

この対策として世界各国では燃費規制を行い、2015年時点での中国（14.5km/L）、北米（16.0km/L）、日本（16.8km/L）、欧州（17.8km/L）から、2020年時点では欧州の24.3km/Lを筆頭に各地域が20～30%減の規制値を制定している。特に、世界最大の車市場である中国では、新エネルギー車（NEV）（PHEV（Plug in Hybrid Electric Vehicle）、EV、FCV（Fuel Cell Vehicle）が含まれる）を戦略産業として育成する方針であり、2020年以降にクレジット方式の中国版ZEV（Zero Emission Vehicle）規制を導入して罰則金を補助金に充てることで、NEVの普及を図ろうとしている。

このような国際環境に対応して、各国の自動車メーカーは後に述べる様々な対策に取り組んでいる。

## 2.1 低 燃 費 化

自動車のパワートレインは電動化の方向にあるものの、2025年時点でもHEV（Hybrid Electric Vehicle）を含めた普及率は15%程度と予想されており（図1）、依然としてガソリン／ディーゼル車の低燃費化技術の進化が求められている。代表的なガソリンエンジンのJC08Cモードでの分析ではエンジンの正味仕事量は30%に過ぎず、冷却や排気による熱損失が60%、エンジンやポンプの摩擦損失が10%あるとされている。このため、車両の軽量化やタイヤの転がり抵抗の低減などによる走行エネルギーの低減、希薄燃焼化や高圧縮化による燃焼の改善などのベーシックな試みに加えて、過給機との組合せによるエンジンの低排気量化（ダウンサイジング）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ポンプ損失の削減、無段変速機の適用による伝達損失の低減等も拡大している。最近ではアイドリングストップ機能の普及が顕著であり、2020年以降には半数以上の車に適用されとの予想もある。スタータのピニオンギヤを常時噛合い（かみあい）又は同期噛合いとすることで再始動を容易にして、比較的低価格でアイドリングストップ機能を実現したことが普及につながった。スタータ方式以外にも、シリンダ内への燃料噴射で再始動させるもの、発電機に電動機能を持たせて再始動させるものなど、様々な方式のアイドリングストップシステムが実用化されている。

## 2.2 電 動 化

電動化の究極はEVであるが、バッテリーの容量に依存する航続距離の短さや充電時間の長さ、充電施設の問題などがあり、当面は急速な普及が望めない。近年、Li（リチウム）イオンバッテリーの容量を現行の2倍以上にするための研究・開発開始が相次いで発表されているが、その実用化

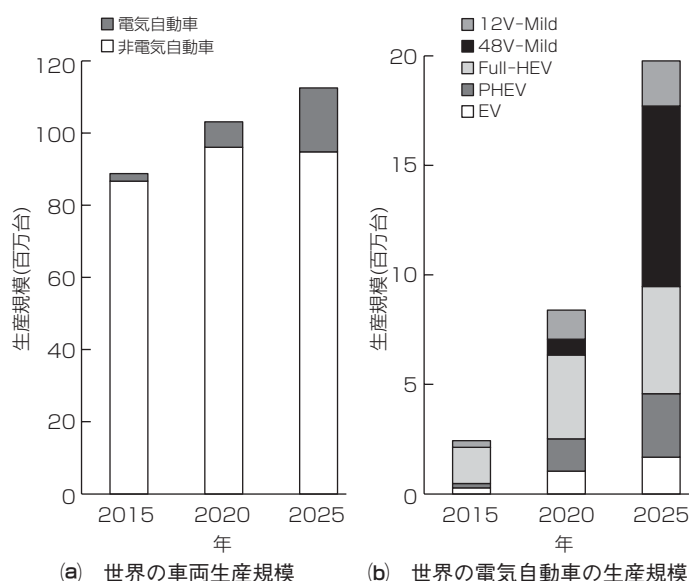


図1. 車両と電動化の規模トレンド

は2020年以降とされており、それまでの補完技術として期待されているHEVは次のような方式で既に実用化されている。

先に述べたアイドリングストップシステムの発電機兼用の電動機能を拡大して低速走行を可能にしたものがMild-HEVである。この方式は、減速時のエネルギー回生が可能で優れた低燃費技術と目されており、欧州の主要カーメーカーでは、この48V-Mild方式の採用拡大を計画している。

これに対して、搭載する内燃機関とほぼ同等の出力の電動機を持って、定常的な電動走行を可能にしたものがFull-HEVである。また、EVと同様に、直接外部電源でのバッテリー充電を可能にしたものがPHEVであり、家庭用電源でも充電できるものが実用化されている。PHEVは、夜間の長時間充電を前提とすれば急速充電インフラが不要なこと、近距離使用だけに限定すればガソリンを使わないEV相当の環境性を持つことから、EV普及までの有力なHEVと見られている。構造は複雑になるため、コスト低減も課題の1つとなっている。

また、EVの欠点を補う他の技術として、バッテリー充電専用の内燃機関を搭載するRE-EV (Range Extender EV) や、内燃機関の代わりに燃料電池を搭載したFCVがある。燃料電池は水素を燃料に発電してバッテリーを充電するか直接電動機を駆動するが、燃料の水素と外部から導入した酸素(空気)の化学反応で発電して、生成される水だけが排出物となるため究極の環境適応車ともいわれている。燃料の水素の安全性確保や水素生成工程の効率化などの課題があるが、2015年には初の量産車が販売された。

近年、EVの欠点である航続距離の短さを運用面の工夫で補うことで、その普及を図る試みも始まっている。一人乗り又は二人乗りの小型EV車を近距離専用のレンタカーとして配置する構想である。一般的な車の用途のかなりの範囲をカバーできると考えられることから、EVとしての環境性に加えて、車の供給過剰に伴う渋滞問題や駐車場問題への解決にもつながる可能性があり、今後の普及状況が注目される。

## 2.3 ネットワーク化

住宅や工場が電力ネットワークとつながってエネルギー効率の向上を目指すスマートグリッド構想と同様に、車も情報ネットワークや電力ネットワークとつながることでエネルギー効率を改善することが可能と考えられている。EVやPHEVは、HEMS(Home Energy Management System)とつながって電力を供給されるだけでなく、蓄電池として家側に電力を供給することで電力ネットワークの効率化に貢献することが期待されている。また、情報ネットワークにつながることによって道路工事や事故、新しい道路情報、更には地理的条件(起伏や曲率)を考慮した自動運転が可能になれば、エネルギー効率を向上させることも可能である。車社会の環境負荷低減では、次に述べる安全や情報が密接に関係してくる。

## 3. 安全

### 3.1 日本と世界の交通事情

環境問題に加えて、交通事故による死傷者の増加は車社会の発展に伴って生まれたもう1つの大きな問題である。

世界保健機構(WHO)の調査では、2012年時点での世界の交通事故による死者は年間120万人以上と報告されており、2020年には200万人を超えるとの予想もある。

また、車の普及が急速に進んでいる中国やインドでは、人口当たりの死亡率が日本の4倍程度との試算もある。一方、日本国内では、交通事故による死者数が1970年に16,765人に達した。この低減対策の1つとして、1991年に国土交通省が事務局となって産学官共同の新技术開発と普及の促進を目的としたASV(Advanced Safety Vehicle)推進会議を設立してASV推進計画を立案・推進しており、現在第5次計画が進行中である。また、国土交通省所管の独立行政法人自動車事故対策機構で1995年から自動車アセスメント(自動車の安全装置の性能評価とランク付け)が行われている。これは、安全な車の指標として衝突安全性の評価結果を一般ユーザーに公表することで、自動車メーカーの開発を促進させることを意図したものである。

このような対策の効果や、危険運転や飲酒運転に対する刑罰の厳格化やシートベルト装着の義務化等の法規制の影響もあり、2014年の交通事故による死者数は4,113人と14年連続の減少を記録しているが、その減少幅は鈍化傾向にある。また、近年、死者に占める高齢者の割合が増加しており、2014年では65歳以上の死者が2,193人と半数を超えている(“平成26年中の交通事故発生状況”警察庁交通局 2015年3月19日)。

日本政府として“2018年を目途に、交通事故死者数を2,500人以下とし、世界一安全な道路交通の実現を目指す”(2010年1月 内閣府特命担当大臣談話)という目標を掲げており、その実現に向けて、高齢者や若年者を含むドライバーへの交通教育などの人的対策、道路交通環境の整備などのインフラ対策、車自体の安全性向上などの車両対策に加えて、人・インフラ・車の連携による安全性向上策が必要と考える。

### 3.2 車両の安全性向上

車両の安全性に関わるシステムは、利便性向上を主目的とした“運転支援システム”, 明らかな危険状態に際し警告を発して積極的に機能する“事故回避&被害低減システム”, 支援によってリスクを低減することを主目的とした“予防安全システム”の3つに分類できる。

#### 3.2.1 運転支援システム

運転支援システムの代表的な事例では駐車支援システムがある。超音波ソナーで近接物の存在を知らせる警告レベルの装置に始まり、カメラで後方の視認を可能にしたもの、



最近では前後左右の4つのカメラを使ってあたかも車の上方から見たような画像を表示する周囲監視システムが実用化されている。始動・発進時の支援システムとして超音波ソナーとブレーキシステムとの組合せで踏み間違い・誤発進防止システムが実用化されており、初心者や高齢者の事故低減への効果が期待されている。

### 3.2.2 事故回避&被害低減システム

事故回避&被害低減システムには、法規制の関係から既に必須又は標準装備となっているアンチロックブレーキや横滑り防止装置に加えて、エアバッグなどが含まれる。

エアバッグの進化型として、車内に設置したカメラで全ての乗員の体格や着座位置を判定して、衝突時のエアバッグ展開の箇所や速度を最適に制御する技術も研究されている。また、カメラと近赤外線レーザーの組合せで、車両や人・障害物を検出してブレーキをかける衝突被害低減システムも量産化されている。特に、時速30km/h以下の低速走行時を対象としたシステムは、街中や短距離の走行を繰り返すことが多い軽自動車を中心に適用が拡大している。

### 3.2.3 予防安全システム

予防安全システムには、カメラでの車線検出と電動パワーステアリングの組合せによる車線逸脱警報・予防支援システム、定速走行装置の発展型ともいえるミリ波レーダやカメラでの車両検出とアクセル・ブレーキの組合せによる前車追従装置、側方や後方の車両をソナーやミリ波で検出して警告を発する車線変更支援システムなどがある。これらはいずれも外部情報に基づくシステムであるが、最近では車内(内部)情報、つまり運転者の状態情報に基づく予防安全システムも注目されている。

既に実用化されている比較的簡便なものとして、電動パワーステアリングに内蔵されている角度センサでハンドルの動きを検出して、運転者の操舵(そうだ)パターンから疲労度を検出して休憩を進める疲労検出システムがある。また、最近開発が進められている事例では、運転者の顔画像から開眼度や瞬(まばた)きの頻度を検出して居眠り状態を検出することや、顔や視線の方向の情報とハンドルの操作状態を組み合わせることで集中力の低下を判定するなどの試みがなされている。

このような予防安全システムの普及を狙って、先に述べた自動車アセスメントのアイテムとして2014年から対車両の自動ブレーキと車線逸脱警報装置が採用され、今後、車両周辺視界提供装置や対歩行者の自動ブレーキのアセスメントへの導入が検討されている(2015年11月時点)。

### 3.3 人・インフラ・車の連携

このような車両単独での安全システムでは限界があることから、人(歩行者)・インフラ・車の連携による安全システムの開発・適用が進んでいる。代表的な事例は、DSRC(Dedicated Short Range Communication)路車間通信によ

る事故防止情報の配信であり、通信時間の短縮によってリアルタイムに前方障害物警報を提供すること、合流支援を行うこと、交差点での歩行者の存在を通知すること等が検討されている。また、このような通信システムを車車間通信にも発展させることで、急ブレーキや右折時の衝突防止、出会い頭の衝突の防止などへの応用も考えられている。最近ではスマートフォンの所有比率が上昇しているため、このスマートフォンと車両を通信でつなぐことで歩行者と車に相互の存在を通知して事故防止につなげることも検討されている。

### 3.4 自動運転に向けて

現在、自動車事故の大半が人の過失に起因するものであるため、車の自動運転が将来的な安全対策として期待されている。内閣府は戦略的イノベーション創造プログラムの1アイテムとして車の自動走行を選定し、米国運輸省国家道路交通安全局が定義した自動運転レベルに準じて、官民ITS(Intelligent Transport Systems)構想のロードマップでレベル3(表1)の実現時期を2020年として研究・実証を推進している。これに呼応して多くのカーメーカーが2020年に向けた自動運転の実用化に取り組んでいる。

自動運転では、先に述べた様々な運転支援・予防安全システムの組合せによる車両制御に加えて、高精細地図情報と高精度測位(自車位置推定)が必要となる。測位精度は、従来のGPS(Global Positioning System)レベルでは不十分とされており、自動運転に必要な精度の見極めと並行して補完・補正情報による様々な精度向上策が検討されている。

この測位情報を人工衛星から提供する場合、高角軌道に位置してビルや山岳などの影響を受けにくい準天頂衛星の利用が有力とされており、補正情報の提供が開始される2018年以降、具体的な開発の進展が見込まれている。高精度地図は、この高精度測位装置とレーザスキャンを搭載した車両で実際に走行して地形や構造物の3Dデータを取得することで作成される。

表1. 自動化レベル

分類	概要	左記を実現するシステム	
情報提供型	ドライバーへの注意喚起等	安全運転支援システム	
自動化型	レベル1：単独型	準自動走行システム	自動走行システム
	レベル2：システムの複合化		
	レベル3：システムの高度化		
	レベル4：完全自動走行		
		完全自動走行システム	

いずれのレベルにおいても、ドライバーは、いつでもシステムの制御に介入することができる。

出典：内閣官房ホームページ；

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20150630/siryou7.pdf>

自動運転レベル3の状態では、必要なときにはいつでも人が介入可能なことが求められる。したがって、運転者に対して、車の制御状態や行動予定を常に正確に知らせておくことや、運転者と車の間の権限委譲のプロセスでは、運転者側の必要な行動(操作)が適切なタイミングでわかりやすく提示されることが必要である。運転者や同乗者に安心をもたらすためにも、4章で述べる情報系の装置によるHMIの向上が求められる。また、運転者側が権限委譲可能な状態にあることを車側が認識できることも必要であり、自動運転レベル3では、予防安全システムの項で紹介した運転者の状態検出装置の搭載が必須と考えられている。

## 4. 情 報

車載情報システムが、従来のインフォテインメントの役割、つまり情報を提供することで快適性を維持することに加えて、環境負荷物質の低減や安全運転を支援する役割を担うことを求められていることは先に述べたとおりである。今、車載情報システムは人と車と社会をつなぐ役割を求められている(図2)。

### 4.1 人とつながる

車載情報機器は、従来のインフォテインメント機能の進化の過程で、運転中の人の操作負荷軽減のための直観的かつ簡便な操作性と認識性向上を目的とした様々なHMI技術の進歩を示してきた。音声認識や音声合成、液晶表示などが主なものであるが、電子機器の情報処理能力の向上に伴って音声認識率や映像表示速度が格段に進歩することで利便性が大幅に改善されている。複数の会話や雑音や音楽

等から特定の人の要求を抽出することや、反応型タッチパネルの採用、ジェスチャー操作が可能なナビゲーションシステムの2016年中での量産化が発表されている。表示機器は大型化・集中化するとともに、表示品質の改善に伴ってHUD(Head Up Display)などの新しい表示装置の普及が望まれる。

また、ウェアラブルデバイスとの連携など、スマートフォンの技術の応用も進みつつある。これらのHMI技術は、機械的深層学習の進歩に伴って更に急速に進化していくことが予想される。

### 4.2 車とつながる

運転支援システムの高度化が進むことで、車(制御系)と情報系との通信能力の向上が必要になっており、高速Ethernet<sup>(注1)</sup>の車載化が進みつつある。制御系との連携は車の基本機能である“走る・曲がる・止まる”との連携を意味するため、高速でかつ強固なセキュリティ技術が求められる。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス<sup>(株)</sup>の登録商標である。

### 4.3 社会とつながる

パソコンやスマートフォンによるインターネットへの接続が普及し、クラウド活用等が進んでいる。車載情報機器とスマートフォンの連携機能は既に実用化されており、自宅で検索した目的地を再入力することなくナビゲーションで指示・経路案内することができる。3章で述べたとおり、路車間や車車間の情報通信機能、自動運転につながる高精度地図情報や測位機能の搭載も進められる。

また、人が社会とつながるだけではなく、車が社会と直接つながる、いわゆるIoT(Internet of Things)への利用も検討されている。安全性や秘匿性などの課題は多いが、部品の品質状態を把握して整備情報として利用することなどが検討されている。

## 5. む す び

環境、安全、情報の3つの視点から自動車機器の技術動向を述べ、改めて自動車が地球環境や人間社会に深く関わっていることを確認した。当社の環境ビジョンでは、“低炭素社会”“循環型社会”の実現へ貢献することを定めている。当社は総合電機メーカーとしての技術力を結集して自動車の進化に貢献しつつ、環境ビジョンの実現を目指していく。

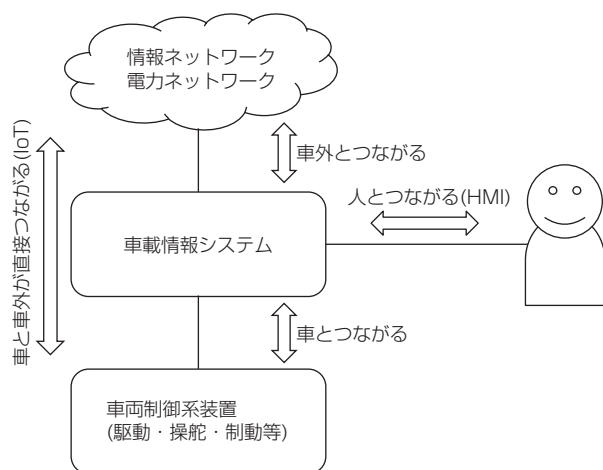


図2. 車載情報システムの役割



# 運転支援系コンセプトカー“EMIRAI3 xDAS”

熊谷太郎\*  
 橋本孝康\*\*

*Assisted-driving Concept Car "EMIRAI3 xDAS"*

*Taro Kumagai, Takayasu Hashimoto*

## 要 旨

三菱電機は、“Feelings come true(想いを叶える)”のコンセプトの下、次世代の運転支援機能を搭載したコンセプトカー“EMIRAI3 xDAS(イーミライ スリーエックスダス)”を開発して、第44回東京モーターショー2015に出展した。

EMIRAI3 xDASでは、想(おも)いが伝わるHMI(Human Machine Interface)技術、想いを察するドライバーセンシング技術、想いをつなげるテレマティクス技術、人を思いやる灯火制御技術の4つの技術で運転支援機能を訴求している。HMI技術では、走行時の車載機操作における運転者の視線移動量を低減したHMIや、従来品と比較して運転中の視点・注意位置をより遠くに向けることが可

能な3D-HUD(Three-Dimensions Head-Up Display)を搭載した。ドライバーセンシング技術では、顔向きや心拍などの情報から運転者の要求を先読みして運転支援を行う機能を搭載した。テレマティクス技術では、クラウドサーバを介してヒヤリハット地点を運転者間で共有して事前に注意を促す機能を提案した。さらに、灯火制御技術では、路面ライティングで乗車時に足元を照らすなど複数の思いやり機能を提案した。

EMIRAI3 xDASのこれらの次世代運転支援機能は、人と車との意思疎通を円滑化して、車載機が人の想いを叶(かな)える未来のカタチを提案したものである。



## EMIRAI3 xDASの全体像

“EMIRAI3 xDAS”は当社の次世代運転支援技術を搭載したコンセプトカーで、HMI技術、ドライバーセンシング技術、テレマティクス技術、灯火制御技術を訴求している。

## 1. ま え が き

EMIRAI3 xDASは、“Feelings come true(想いを叶える)”のコンセプトの下、次世代の運転支援機能を持つコックピット(運転席)を搭載したコンセプトカーである(図1)。EMIRAI3 xDASでは、想いが伝わるHMI技術、想いを察するドライバーセンシング技術、想いをつなげるテレマティクス技術、人を思いやる灯火制御技術の4つの技術で運転支援機能を訴求している。

本稿では、これらの技術の具体的な内容について述べ、安全・安心・快適な車社会の実現に向けた当社のコンセプトと提案を示す。

## 2. 想いが伝わるHMI技術

EMIRAI3 xDASは、快適かつ安全な情報の入出力を実現する次世代のHMI技術を搭載している。この章では、新たに開発した特徴的なHMI技術である“マルチボンディングディスプレイ”“3D-HUD”“視線移動低減HMI”について述べる。

### 2.1 マルチボンディングディスプレイ

速度メータ部とセンターコンソール部には、複数の液晶パネルを液晶保護カバーにオプティカルボンディングしたマルチボンディングディスプレイを搭載した。具体的には、図2に示すとおり、速度メータ部とセンターコンソール部の各1枚の異形保護カバーにそれぞれ3枚、2枚の液晶パネルを貼合(てんごう)している。その特徴は、オプティカルボンディングと当社の光学設計技術によって高い視認性で運転者へ情報を伝えることができる点と、保護カバーの異形化で車内インテリアへの調和や操作性を考慮したデザイ



図1. EMIRAI3 xDASのコックピット(運転席)



速度メータ部 センターコンソール部

図2. マルチボンディングディスプレイ

ンが行える点、また、画面間の幅を狭めることで2画面を跨(また)いだ大画面表示を行える点である。

### 2.2 3D-HUD

3D-HUDでは、両眼視差を利用した裸眼3D液晶パネルの技術を応用してHUDで立体視コンテンツを視認できる。つまり、通常の液晶パネルを用いたHUDと同じサイズで、虚像表示位置が運転者から数m先である場合でも、表示コンテンツの視差を変化させることで運転者から10m以上離れた位置にあるように立体視表現を行うことができる。これによって、従来品と比較して運転者の視点や注意をより遠くへ向けることが可能であり、また、状況に応じて表示コンテンツの位置を変化させることで実環境と連動した直感的に分かりやすい情報伝達も実現できる。

例えば、EMIRAI3 xDASでは、図3のように10m先の交差点上に立体視表示で右折矢印を提示することで、右折地点を直観的に運転者に伝えるコンテンツを搭載している。そのほか、高速道路のサービスエリアやパーキングまでの距離を視差映像で表示することで、各場所の位置関係を直観的に捉えることができるコンテンツも搭載している。

### 2.3 視線移動低減HMI

2.1節で述べたマルチボンディングディスプレイを含め、車載ディスプレイの大画面化、複数画面化が進んでいる。特に、センターコンソール部の表示・操作部(タッチパネル)が大画面化して従来ボタンやノブで行っていた操作がタッチパネルに含まれると、手元に視線を移した状態での操作が必要になってしまう。そこで、EMIRAI3 xDASでは、運転中でも前方から視線を移動させずに音量やエアコン温度の調整が行えるHMIを搭載した。

具体的には、図4に示すように、マルチタッチ操作とHUDへの表示を利用して実現している。例えばエアコン



図3. 交差点上での立体視表示イメージ



図4. マルチタッチとHUDを利用した視線移動低減HMI

の温度調節を行う場合、通常、運転者はノブに触って回転動作を行う。この動作と同様の感覚で、図4のように3本指でディスプレイをタッチしたまま回転動作を行うことで、当社マルチタッチジェスチャエンジンがその動作を検出して温度の調節を行うことができる。操作状況はHUDにも表示するため、車両前方からの視線移動も不要である。この操作はタッチパネル上の任意の場所で行うことができるため、手探りで場所を特定する必要があるボタンやノブと比較して、目的を早く達成できる。なお、3本指でタッチしたまま上下方向に移動することで温度調整モードから音楽の音量調整モードへ変更する等、複数の操作目的への対応も可能である。

### 3. 想いを察するドライバーセンシング技術

EMIRAI3 xDASでは、状況に応じた運転支援の実現を目標に、運転者の要望や状態を察するためのドライバーセンシング機能を搭載した。運転者の要望や状態を的確に察するためには、ドライバーセンシング情報に加えて、車両情報や地図情報等の様々な情報を統合して判断する必要がある。そこで、それら情報の統合で実現した“見通しの悪い交差点検出を用いた支援機能”と“運転者の状態変化検出を用いた支援機能”について述べる。

#### 3.1 見通しの悪い交差点検出を用いた支援機能

見通しの悪い交差点など前方左右の状況が通常の走行姿勢で確認しづらい場合、運転者は視(のぞ)き込み動作を行って左右の確認を行う。EMIRAI3 xDASでは、この覗き込み動作を含めた運転者行動、車両情報、地図情報を基



図5. 見通しの悪い場所での覗き込み動作



図6. 生理情報の表示画面例

に運転者状態推定エンジンで状況を察して運転者支援を行う機能を提案した。具体的には、地図情報と位置情報から交差点付近であることを判断して、低速な状態で図5に示すような覗き込み動作を車載カメラで検出した場合に、運転者にとって見通しの悪い交差点と判断して車載ディスプレイに前方左右の映像を表示する。なお、次に同じ場所を通る場合には、履歴情報を用いて、覗き込み動作を行うことなく見通しの悪い交差点直前で映像を切り換えることができる。

#### 3.2 運転者の状態変化検出を用いた支援機能

3.1節で示した車載カメラを用いたドライバーセンシング機能のほか、EMIRAI3 xDASでは、非接触の心拍検出装置(九州工業大学との共同研究)も座席部に搭載しており、リアルタイムで心拍数を表示することが可能である(図6)。この心拍検出装置での検出結果や視線、ハンドル舵角(だかく)などの車両情報を時系列的に分析して運転に適切な状態と比較することで、“不適切な運転状態”を検出でき、警告や休憩を促す等の支援を行うことができる。

### 4. 想いをつなげるテレマティクス技術

EMIRAI3 xDASのテレマティクス技術では、車からインターネットやクラウドサーバなどの車外ネットワークにアクセス可能となることで実現できる新たなアプリケーションを提案した。車外とつながることで走行時の安全性を高める“ヒヤリハット地点情報共有”と、車外とつながることで快適性を高める“車外連携先読み支援”について述べる。

#### 4.1 ヒヤリハット地点情報共有

多くの運転者は、事故の加害者又は被害者となるおそれのあるヒヤリハットを経験している。ヒヤリハットが生じる回数が多い場所ほど、安全上危険な因子が潜む場所であり、運転者がより注意して走行すべきヒヤリハット地点である。

EMIRAI3 xDASでは、図7に示すように、ヒヤリハット地点情報(GPS(Global Positioning System)情報など)をクラウドサーバにアップロード・蓄積して運転者間で共有することで、初めて通る場所でも走行に注意すべきヒヤリハット地点が分かり、事故の加害者となる可能性を低減させることができる。ヒヤリハット地点情報は運転者間で日々更新されるため、最新かつ信頼性の高い情報が供給でき、また、時間帯や天候別のデータを用いることで更に信頼度の高い情報を供給することも可能である。

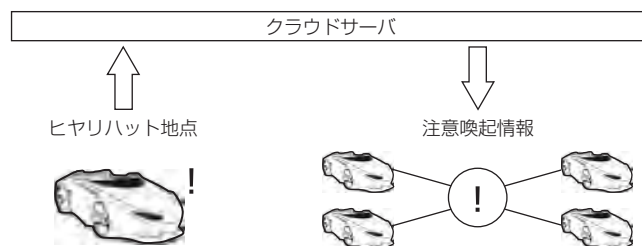


図7. ヒヤリハット地点情報共有





図 8. 車外情報を用いた先読み提案画面の例



図 9. 後退を知らせる投影例

## 4.2 車外連携先読み支援

4.1節で述べたヒヤリハット地点情報共有のほか、車外につながることで、他者の行動傾向を利用した先読みHMIや、車と家とを連携させたIoT(Internet of Things)技術による先読み支援が実現できる。

前者は、例えば、各運転者が目的地設定した場所や立ち寄った場所をクラウドサーバで収集して、施設Aに立ち寄った運転者の多くは施設Bにも立ち寄っているといった行動パターンを解析する。この解析結果を用いて、運転者Aが疲労していると車側が判断した場合、運転者Aがよく立ち寄る休憩場所(例：喫茶店)がない場合にクラウドサーバに存在する同様の傾向を持つ運転者が立ち寄る店を図8のように提案できる。傾向の似た情報を用いるため、運転者の想いを叶えることができる可能性を高めることができる。

また、後者は、車の位置情報をクラウドサーバを介して家と共有することで、帰宅前に家電を起動するといった機能が実現できる。具体的には、帰宅時に車が家に近づいたことをクラウドサーバで判断すると、クラウドサーバから家側にその旨を通知して、家側は玄関の照明やリビングのエアコンをONにすることで帰宅時の快適な空間を実現できる。

## 5. 人を思いやる灯火制御技術

EMIRAI3 xDASの灯火制御では、光で車の動きを示す図形を道路に描くことで、車とその周囲とのコミュニケーションを促進させて事故を未然に防ぐ、“路面ライティング”コンセプトを提案した。車の動きを周囲の人に伝えることで、安全・安心を提供する“周囲と車のコミュニケーション”と、車が運転者に対しておもてなしを演出することで快適性を提供する“運転者と車のコミュニケーション”について述べる。

### 5.1 周囲と車のコミュニケーション

路面ライティングによって、運転者の顔が見えない状況



図10. 運転者を迎え入れる演出例

でも車の動きが理解でき、周囲の迷いやいら立ちを低減することができる。例えば、図9に示すように、車が後退することを表現する図形やアニメーションを投影することで周囲は一目で車の動きを把握でき、車の進路への飛び出しを未然に防ぐことができる。

### 5.2 運転者と車のコミュニケーション

路面ライティングによって、車外へ情報を伝える表現力が向上することで、運転者と車のコミュニケーションに様々な演出が可能になる。例えば、図10に示すように、乗車時に運転者の足下を照らして迎え入れるモーショングラフィックスを投影することで、おもてなしを感じるような快適な乗車体験を提供できる。

## 6. む す び

運転支援系コンセプトカーEMIRAI3 xDASに搭載した運転支援技術について述べた。これらの次世代運転支援機能は、人と車との意思疎通を円滑化し、また、運転者の想いに沿った支援が行えるように工夫したものである。今後は、これらの技術開発を更に進め、運転者の想いを察し、伝え、叶えることに寄与できる車載機の実現に向けて取り組んでいく。

# ADAS向けスマートコックピット情報提供技術

## Information Providing Method in Smart Cockpits for ADAS

Michinori Yoshida, Naoyuki Tsushima, Masahiro Abukawa

### 要 旨

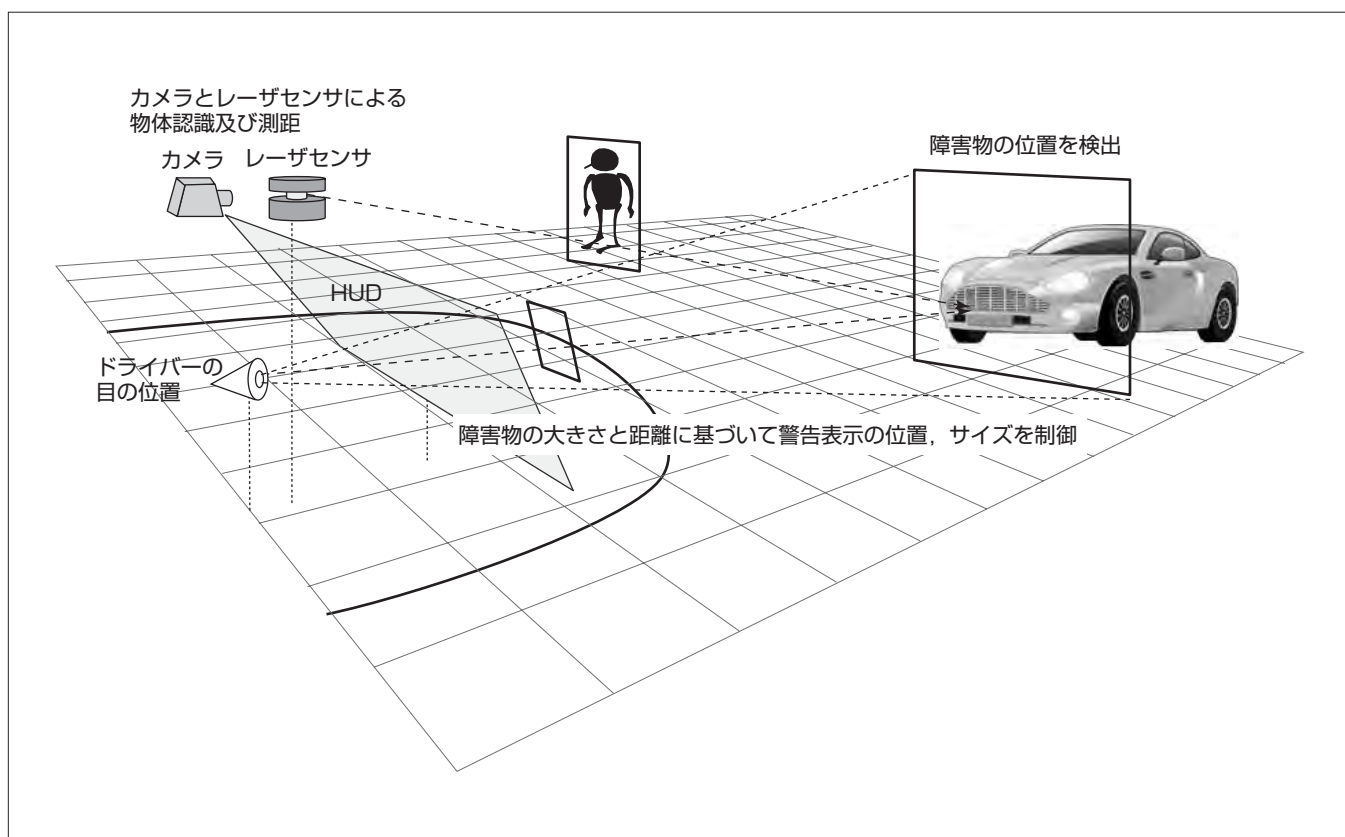
車線逸脱警告システムなど先進運転支援システム(Advanced Driver Assistance System: ADAS)が普及しはじめている。この効果もあって事故数は減少しているが、安全への要求は強く、更に高度な支援技術が求められている。三菱電機は、ADASの1つとして、半透過のディスプレイであるヘッドアップディスプレイ(HUD)を利用して、安全運転を支援する情報を提供するシステムを研究している。

車載センサで車前方の障害物を認識してHUD上に強調表示することで注意喚起する警告表示システムを開発しているが、その実現には障害物を遅延なく高い精度で認識する技術と視認性の高い表示技術が必用である。しかし、障害物の認識には視野をカバーする大きな画像が対象となる

ため処理量が極めて大きくなり、処理に時間がかかる。また、認識した障害物をドライバーの姿勢に関係なく表示すると、ドライバーから見たHUD上の表示と実際の障害物がずれて違和感を与えるという問題があった。

そこで、前者には、障害物が存在する可能性がある領域をレーザセンサを利用して抽出し、画像認識の対象領域を絞ることで処理を高速化した。その結果、処理時間が45%削減できることを確認した。後者には、ドライバーの目の位置を検出して障害物、警告表示を常に一直線上に配置する方式を開発し、ドライバーに違和感のない警告表示を実現した。

今後は、視認性の定量的な評価を行い、実用化を図る予定である。



### HUDを利用した警告表示システム

半透過のディスプレイであるHUD上に、ドライバーへの障害物の警告を表示する。HUD上の表示位置を決定する際に目の位置の推定を導入することで、ドライバーから見た障害物と警告表示が一直線上になって違和感のない表示が実現できる。また、障害物検知の高速化のため、レーザセンサで認識範囲を抽出してカメラ画像の認識範囲を絞ることで、高速に障害物を検出できる。

## 1. ま え が き

電子機器技術と情報処理技術に基づくADASの進展が目覚ましく、既に種々の製品が実用化されている。車線逸脱警告システム(Lane Departure Warning system:LDW)、自動緊急ブレーキ(Autonomous Emergency Breaking:AEB)がADASの代表例であり、既に商用車への設置義務化も決定している<sup>(1)</sup>。これらADASの効果もあって交通事故数は減少しているものの、ドライバーの安全志向は強く、ADASへの要求・期待は一層高いものとなっている。

ADASには種々の形態が考えられるが、本稿では、安全運転のために必要な情報をドライバーに提供するシステムの開発について述べる。一般に、ドライバーへ危険や警告を情報として提供する場合には警告音、音声を用いられる。これは、ドライバーにとって運転に最も重要な視覚情報を中断させることなく注意喚起できるためである。しかし、音声で注意させたい意味や内容を伝えようとすると把握に時間がかかり、必ずしも有効ではない場合も存在する。一方、半透過のディスプレイであるHUDは、従来型の車載情報ディスプレイやインストルメントパネルとは異なり、視線移動量を増加させることなく視野に直接情報を重畳させて提供できるので、活用が期待されている。このHUDの特長を活用して、運転する上で障害やリスクとなる障害物をカメラ映像から認識・抽出し、HUD上に障害物を囲む警告表示画像を提示することで注意喚起する警告表示システムを開発している。将来はウインドシールド自体がHUDとなることも予測されており、ドライバーへの有効な情報提供システムになると考えている。

この警告表示機能の実現には、障害物の検出技術と、その情報を効果的に表示する技術が必用である。障害物の検出には、映像から障害物を高精度に認識する実時間処理可能な低演算量の認識方式が求められる。また、表示する際には、検出した障害物を囲む警告表示がドライバーからずれて見えないことが重要である。前者に対しては、障害物の認識技術の開発とともにレーザセンサ情報を利用した演算量低減手法を、後者に対しては目の位置に着目した表示位置決定方法を開発した。

## 2. 障害物抽出方式

### 2.1 技術課題

障害物情報の提供を適切に行うためには、車両からの相対位置と障害物の属性(人、自動車、自転車などの分類)を抽出する必要がある。

一般に、人の視野は水平方向に対して120度程度と言われているが、更に広い領域から障害物を検出することで、ドライバーが見落としがちな横方向の障害物に注意喚起させるなど有用な情報提供ができる。

カメラ画像からの物体認識装置は商品化も進んでいるが、遠方の物体でも適切な解像度を維持できるように画角の狭いカメラが一般に用いられている。先に述べた要求を満たすためには、画角を広げ、かつ解像度を確保するために画素数の大きな画像を処理する必用がある。画像認識では、画像上の比較的小さな矩形(くけい)領域を認識対象物の存在範囲仮説として切り出し、全画面上を走査して認識処理を行う。この矩形領域、すなわち、物体の検出ウィンドウのサイズを変更して処理を繰り返すことで、画像上の任意の大きさの物体の認識が行われる。したがって、画素数が大きい場合は単に処理対象範囲が増加するだけではなく、検出ウィンドウサイズを検出対象に対応させて変化させる必用があるため、処理量は極めて大きなものとなる。

### 2.2 処理方式

2.1節の課題を解決して、少ない演算量で広い視野に相当する画素数の大きな画像認識を実現するため、レーザセンサを用いる方法を提案する。

カメラとレーザセンサを車両に設置して、同期させて車両前方の情報を収集する。レーザセンサは測定精度が高いという特長を持つ。運転に対する障害物が存在する一定の高さの水平面に対して、レーザセンサを垂直軸に対して回転させて走査を行い、一定角度ごとにサンプリングして物体までの距離を測定する。物体は、走査直線上の点群として検出される。

この点群データを用いて障害物の存在範囲を抽出し、全画面にわたって検出ウィンドウを走査することなく認識処理を行う。処理手順は次のとおりである。

#### (1) エッジの抽出

点群データの隣り合う点の距離がしきい値以上である場合、この点を通る垂直線をエッジとする。エッジ間、すなわち、連続した距離の点群の範囲に物体が存在すると仮定して画像を垂直方向に切り出した矩形領域を抽出する。

#### (2) 物体存在仮説領域の抽出

先に述べた矩形までの距離からその矩形と道路面の交線を推定し、道路面から矩形領域を物体存在仮説領域として検出する(図1)。

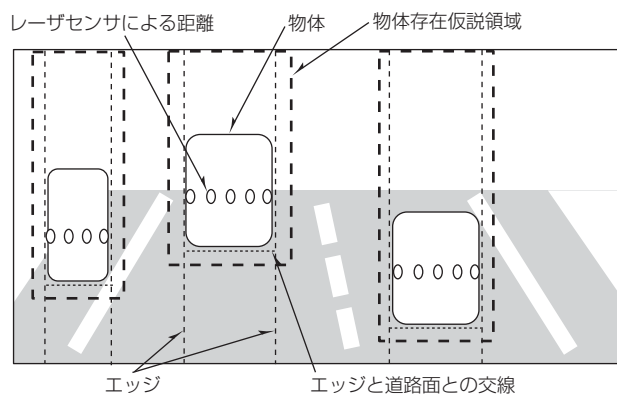


図1. 物体存在仮説領域の抽出



### (3) 画像認識

抽出した全ての物体存在仮説領域に対して画像認識を行い、障害物とその距離を検出する。

この処理によって得られた障害物は、自車位置を原点とする水平面上に認識結果である人、自動車、自転車などの属性を持つ矩形群として表現される。これを、オブジェクトマップと呼び、処理フレームごとに更新してドライバーへの情報提供に用いる。

### 2.3 評価

評価用の画像データ32枚を作成して画像認識処理時間を評価した。評価用画像データは、実際の利用状況での性能が推定できるように、障害物の数やその種類など認識の困難性を考慮した多様な運転状況が含まれるよう設計した。図2は、入力画像にレーザセンサで得られた点群を重畳表示した例である。汎用プロセッサ上で演算時間を実測して従来方式とこの方式での相対処理時間を計測した(表1)。この方式は、従来の検出ウィンドウ走査方式と比べて45%処理時間を短縮でき、演算量削減効果を確認した。また、レーザセンサによる物体存在仮説領域の抽出処理は全演算量の5%以内であり、認識処理に比べて十分に小さいことも確認した。

一方、認識性能に関しては、従来方式に比べて32画像中6画像に含まれる障害物で誤認識が発生した。この原因は、エッジで画像を単純に切り出したためエッジ付近で障害物の画像が一部欠落する場合があることと、切り出し画像から特徴量を抽出したためエッジ付近の特徴量が変化したことが原因であった。

この問題に対しては、物体存在仮説領域にマージンを持たせる手法と、この領域抽出方法から得られる画像データでモデルを学習する手法を採用することで、誤認識を解決できる見込みが得られている。



図2. 入力画像とレーザセンサ測定例

表1. 認識処理時間計測の結果

方式	検出ウィンドウ走査方式	今回の方式
相対処理時間	1.00	0.55

### 3. 目の位置を考慮したHUDへの表示方法

#### 3.1 技術課題

HUDは半透過のディスプレイであるため、視界に直接に警告表示を重畳提示することが可能である。注意を払うべき障害物を四角で囲む警告表示を行うことで、ドライバーに警告対象を伝える。しかし、ドライバーの目の位置を考慮せずに表示すると、警告表示位置と実際に見えている障害物にずれが生じてドライバーに違和感を生じさせ、認知負荷が高まることが想定される。

#### 3.2 処理方式

3.1節の課題を解決するため、目の位置を検出して警告表示位置を制御する方式を提案する。図3に、開発した警告表示処理フローを示す。

HUDでは、図4のように表示機の描画内容を反射して、ドライバーはHUDの向こうにある虚像を知覚する仕組みになっている。ドライバーに対して違和感のない表示にするため、警告表示が警告対象の障害物を適切に囲み、ドライバーの姿勢や顔の動きに対してずれを生じさせない必要がある。すなわち、図4に示すように、警告表示(虚像)が目の位置と警告対象の障害物との直線上に存在しなくてはならない。

そこで、ドライバーをモニタリングするカメラを用いて目の位置を推定し、これを用いた警告表示位置制御を行う。

目の位置の検出には、まずドライバーの顔検出をして両

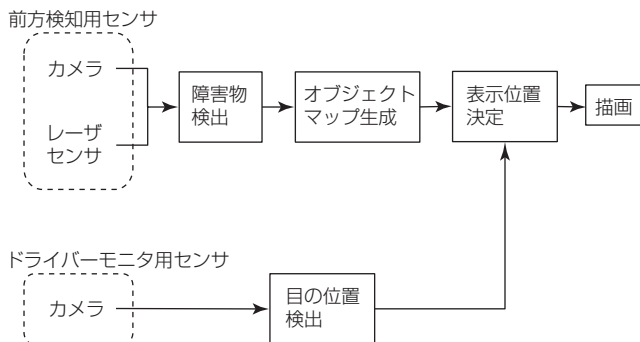


図3. 警告表示システムの処理フロー

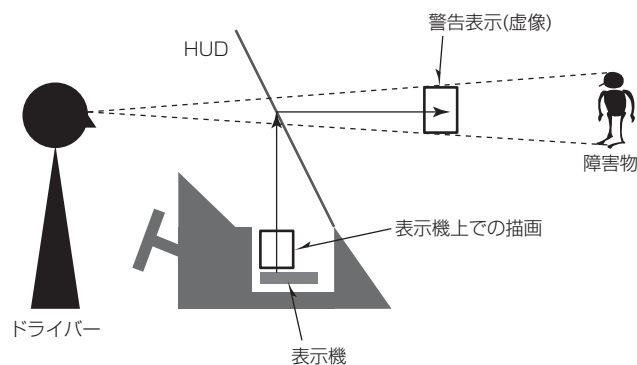


図4. HUDへの表示

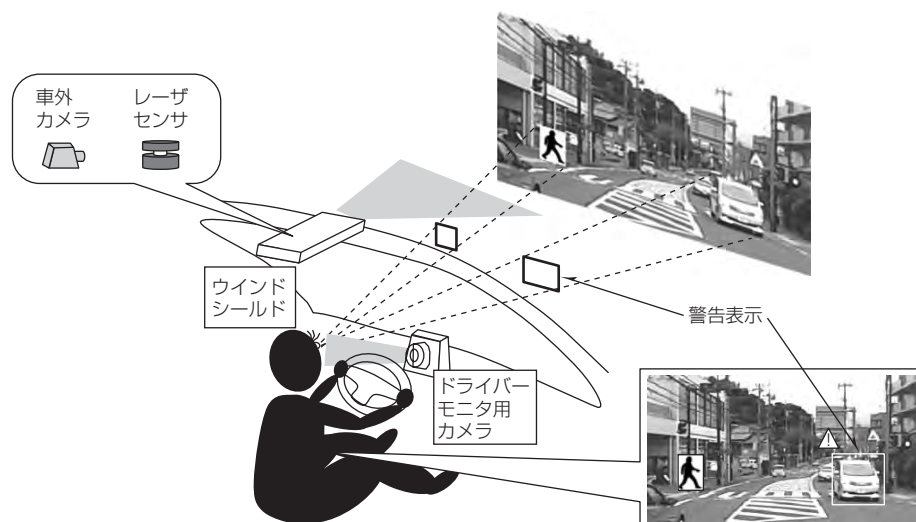


図5. 評価システム

目の位置を検出する。カメラ画像上での両目の間の距離と測定した実際の両目間の距離から、カメラから両目までの距離を推定して両目の位置の三次元座標を検出する<sup>(2)</sup>。このとき、顔の向きによって画像上での両目の距離が変化するが、顔検出時に顔の向きも推定して補正することで精度を高めている。

### 3.3 評価

実験室で評価を行うために図5に示すようにウインドシールド全体に表示可能なHUDを用いて評価システムを開発した。また、車両にカメラとレーザセンサを搭載した実走行で、オブジェクトマップとドライバ位置から収録した映像とを連動させて記録し、評価データとした。

評価実験では、被験者の前方スクリーンへ録画した映像を投影する。ドライバーモニタ用カメラ画像から目の位置を実時間推定してHUDへの表示位置を決定し、警告表示をドライバーに提示した。被験者には通常の運転動作をしてもらい、警告対象である障害物と警告表示位置の関係を主観評価してもらった。運転動作には、左右の安全確認、ナビゲーションや計器類を見る動作などが含まれ、実際の目の位置は大きく移動する場合も含まれている。

評価の結果、警告表示位置は障害物にほぼ固定されるように追従表示ができており、表示位置のずれによる違和感は少ないことが分かった。

今後、評価項目や被験者を増やして、警告表示の有用性や、表示の自然性、視認性に関して、定量的な評価実験を継続する予定である。

## 4. むすび

HUDを用いて障害物を囲む警告表示をすることで、ドライバーに注意を喚起するシステムについて述べた。障害物の検出では、レーザセンサを用いて物体存在仮説領域を抽出することで認識処理の演算量を削減した。また、誤認識の発生については、提案する領域抽出に適合する画像認識処理の改良で、解消する見通しを得た。また、表示では、目の三次元位置の検出でHUD上の警告表示位置を実時間で障害物位置に追従させる方法を提案し、動作検証した。今後は、定量評価に加えて、どのような障害物の情報を提供するか、またその状況依存性についても検討を進め、警告表示機能の実用化技術の確立を図る。さらに、カーナビゲーションなどの他のアプリケーションを含めた情報提供システムの開発を行ってドライバーの状況把握などの技術と統合することで、安全で快適なドライバー環境である“スマートコックピット”の実現を目指す。

## 参考文献

- (1) 国土交通省 車両安全対策検討会：更なる車両安全対策の可能性(効果予測)の検討－最終報告(案)－，18～20 (2015)  
<http://www.mlit.go.jp/common/001082379.pdf>
- (2) Ju, S.-H., et al.: Viewer's Eye Position Estimation using Single Camera, SID2013 DIGEST, 44, No.1, 671～674 (2013)

# マルチボンディングディスプレイ

奥村貴典\* 佐竹徹也\*\*\*  
 熊谷太郎\*\*  
 藤野俊明\*\*\*

## Multi Bonding Display

Takanori Okumura, Taro Kumagai, Toshiaki Fujino, Tetsuya Satake

### 要 旨

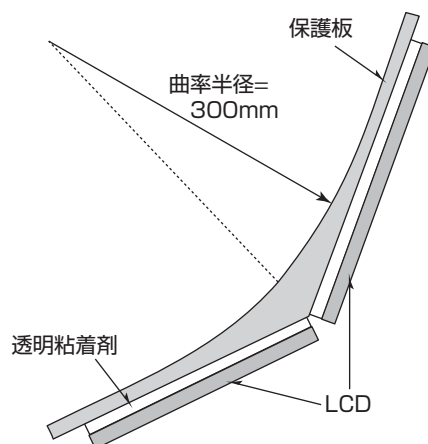
近年、自動車内でのディスプレイの役割が大きくなってきており、センターインフォメーションディスプレイ(Center Information Display：CID)だけでなく、インストルメントパネル、ルームミラー、後部座席用など、様々な用途への適用が広がりつつある。また、タッチセンサ機能の追加や大型化によって、これまでにない付加機能を持ったHMI(Human Machine Interface)になることも予測される。さらに、顧客調査結果や自動車メーカーからの要望として、CID向けディスプレイには、表示画面の大型化に加えて、インテリア空間にフィットする曲面形状や異形形状への要望が寄せられている。

そこで、2面の平面液晶ディスプレイと厚みが連続的に

変化する透明な保護板とを透明粘着剤で貼り合わせて画面を大型化すると同時に、疑似曲面化技術を適用した大型で曲面表示可能なマルチボンディングディスプレイを開発した。試作機を用いて疑似曲面化構造による曲面表示を確認し、低曲率半径で大画面を実現できる見込みを得た。また、疑似曲面化に伴って明らかになった表示性能の課題について原因を調査するとともに対策を実施した。この構造を採用したマルチボンディングディスプレイは、東京モーターショー2015に出展した三菱電機のプロトタイプカーにも搭載した。今後、デザイン性と大型化の要望が強い車種への搭載を目指した開発を進めていく。



マルチボンディングディスプレイ試作機



マルチボンディングディスプレイ試作機の断面構造

マルチボンディングディスプレイ試作機の仕様

項目	仕様
サイズ	12.1型×2台
解像度	SVGA(800×600)×2
タイプ/曲率半径	縦型凹面/300mm
液晶モード	インプレーンスイッチング方式

LCD : Liquid Crystal Display  
 SVGA : Super Video Graphics Array

### マルチボンディングディスプレイ

マルチボンディングディスプレイは、大型化かつ曲面表示を実現しており、タッチセンサ機能を付加することでハードキーをなくして表示部と操作部を一体化し、これまでにない付加機能を持ったHMIを実現している。



## 1. ま え が き

近年、自動車内でのディスプレイの役割が大きくなってきており、CIDだけでなく、インストルメントパネル、ルームミラー、後部座席用など、様々な用途への適用が広がっている<sup>(1)</sup>。また、タッチセンサ機能の追加や大型化によって、これまでにない付加機能を持ったHMIになると予測される。例えば、ハードキーをなくして表示部と操作部を一体化することで、操作性の向上だけではなく、必要なタイミングで情報を画面内で分かりやすく配置して表示することも可能になる。さらに、顧客調査結果や自動車メーカーからの要望として、CID向けディスプレイには、表示画面の大型化に加えて、インテリア空間にフィットする曲面形状や異形形状への要望が寄せられている。

本稿では、これらの要望に対応するための新たなHMIの1つとして提案する、大型で曲面表示可能なマルチボンディングディスプレイの実現のために開発・適用した技術を中心に述べる。

## 2. 平面LCDの疑似曲面化技術

### 2.1 ディスプレイ曲面化手法の検討

液晶ディスプレイ(LCD)を用いた曲面ディスプレイを実現する方法については、LCDを薄型化して湾曲させる方法が一般的である<sup>(2)</sup>。しかし、製造プロセスの増加で低価格化が難しいこと、LCDの基材であるガラス板を薄くするため破損の可能性があること、湾曲させることで発生する応力の影響や大型化・高精細化によって表示むらが発生することなど、特に、低曲率半径化する場合に多くの課題がある。このため、2面の平面LCDと厚みが連続的に変化する透明な保護板とを透明粘着剤で貼り合わせ、画面を大型化すると同時に擬似的に曲面表示する疑似曲面化技術を適用したマルチボンディングディスプレイを開発した。

### 2.2 疑似曲面化技術

図1及び図2は、疑似曲面化技術を適用してCID向けに試作したマルチボンディングディスプレイ試作機の外観と断面構造である。主な表示部と、タッチセンサを使ったエアコン温度調節や音量調節のためのキースイッチなどの操作部を配置することで、車内のインテリアにフィットし、なおかつ操作性が高い、曲率半径が300mmの縦型凹面湾曲形状になっている。

図3は、保護板中央部の屈曲部を画面横方向に切り取り、保護板の裏面に貼り付けた平面LCDの画像を右斜め方向の視野角度から見た状態を示す模式図である。この試作機では、平面と曲面からなる保護板を用いており、光の屈折効果で保護板の厚みに応じてLCDの虚像が浮き上がって見える。すなわち、画面上下方向に厚みが連続的に変化する形状の保護板を用いると、保護板の厚い中央部付近の虚



項目	仕様
サイズ	12.1型×2台
解像度	SVGA(800×600)×2
タイプ/曲率半径	縦型凹面/300mm
液晶モード	インプレーンスイッチング方式

図1. マルチボンディングディスプレイ試作機の外観

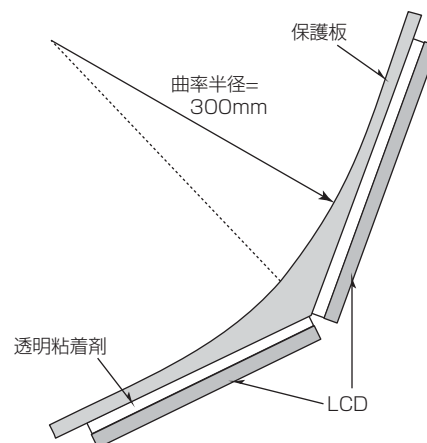


図2. マルチボンディングディスプレイ試作機の断面構造

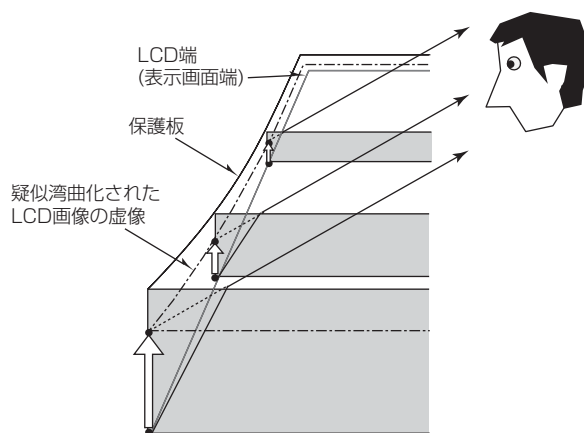


図3. 右斜め方向の視野角度から見た状態を示す模式図

像が保護板の薄い部分の虚像よりも浮き上がって見えるため、湾曲した画像として視認される。

### 3. マルチボンディングディスプレイ

#### 3.1 マルチボンディングディスプレイの構造

マルチボンディングディスプレイの開発では、LCDと保護板を貼合(てんごう)しない構造(エアギャップ構造)と、透明粘着剤を用いてLCDを保護板に貼合する構造(ボンディング構造)を検討した。エアギャップ構造では、隣接した2つのLCDの境界付近でLCDの画像が重なって見えてしまう隣接画像の写り込み現象が発生し、表示品位を著しく低下してしまう問題があった。図4は、保護板の最も厚い部分付近で、上面LCDの画像が下面LCDに写り込んでいる様子を示している。写り込みが生じる原因は、上面LCDの画像が保護板最表面と空気との界面で反射し、さらに、反射した画像が保護板裏面と空気との界面でも同様に反射して画像が保護板を伝搬することで、下面LCDの表示領域まで到達してしまうためである(図5)。一方、ボンディング構造では、隣接したLCDの画像が保護板最表面と空気との界面で反射してLCDに到達し、偏光板等のLCD部材に光が吸収されて写り込みはほぼ視認されない程度にまで大幅に低減され、同様の問題は生じない(図6)。

このことから、マルチボンディングディスプレイにはボンディング構造を適用することにした。

#### 3.2 マルチボンディングディスプレイの表示品位

2面のLCDのマルチボンディングディスプレイでは、LCDを近接させて設置するため、駆動回路基板を避ける必要があるなど配置に制約があり、上下面LCDを180度回転させて配置している。180度回転させて配置することから、上下面LCDの表示を運転席視点で見ると、上面LCDはLCDの上側から、下面LCDはLCD下側からそれぞれ視認することになり、LCDの輝度やコントラスト比などの視野角特性が視認性に影響する。このため、このマルチボンディングディスプレイでは、広視野角であるインプレーンスイッチング方式のLCDを使用することで、運転席視点からの均質な視認性を実現した。また、このマルチボンディングディスプレイでは金属配線を用いたタッチセンサを配置している。タッチセンサ配線を金属配線とすることで、大型化しても配線抵抗による信号遅延が生じずタッチ感度を犠牲にすることがない。一方で、金属配線は光を通さないことなどから表示品位を低下させる要因になるが、LCDパターンとタッチセンサ配線パターンの干渉によるモアレ等の表示品位が低下しない配線パターン設計技術も適用している<sup>(3)</sup>。

#### 3.3 構造に起因する課題と対策

図7に示すように、マルチボンディングディスプレイでは、水平に近い角度から見た場合に、2面のLCDが隣接した境界付近で下面LCDの表示領域に画像が視認されない暗部不良が見られる。暗部不良は、視認する画像の出射

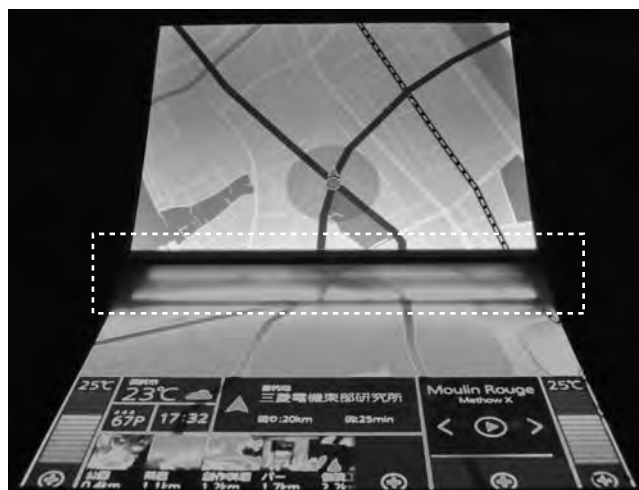


図4. 上面LCDの画像が下面LCDに写り込んでいる様子

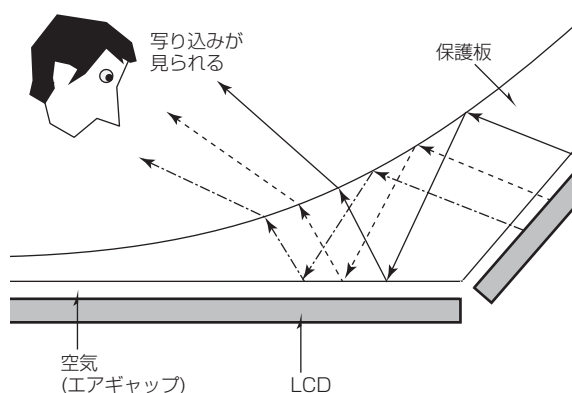


図5. エアギャップ構造の写り込み現象を示す断面模式図

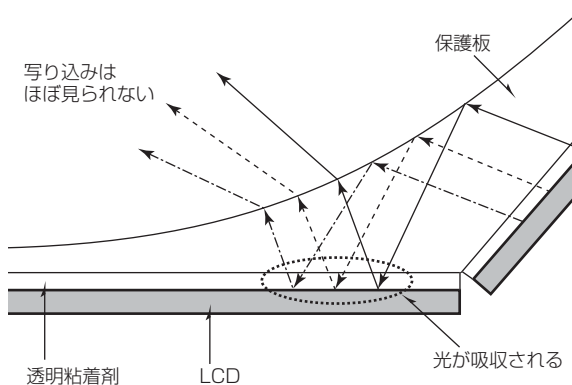


図6. ボンディング構造の写り込まない現象を示す断面模式図

面となる保護板の最表面が、LCDの垂直方向を基準にして角度 $\theta$  ( $> 0$ 度)を成しているために生じる。すなわち、図8の実線で示すように、LCDの垂直方向を基準に角度 $\phi_1$ でバックライト光が液晶パネルに入射すると、スネルの法則( $n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$ )に従って屈折率の異なる界面で光が屈折して $\phi_2$ の方向に進行し、LCDの垂直面に対して角度 $\theta$ 傾いた界面から出射するときに更に屈折して $\phi_3$ の方向に出射する。 $\theta = 0$ 度(LCDと保護板が平行)であれば、LCDや保護板の屈折率によらず本来 $\phi_1 = \phi_3$ である。しかし、この試作機の保護板中央部では、LCDに対向する保

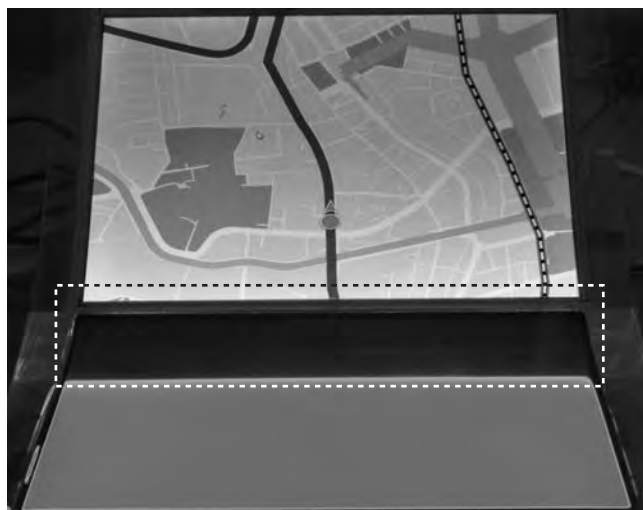


図7. 暗部不良の様子

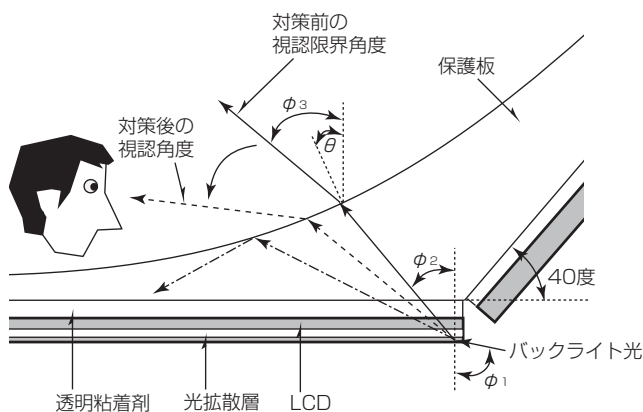


図8. 暗部不良対策前後の視認角度

保護板後面の上面LCDが下面LCDに対して40度傾いており、保護板の前面が凹面形状のため、 $0 < \theta < 20$ 度となる。バックライト光の入射角度はLCDの垂直方向に対して $0 \leq \phi_1 < 90$ 度であり、保護板、透明粘着剤、LCD等を全て屈折率 $n=1.5$ と仮定すると、 $0 \leq \phi_2 < 42$ 度、 $0 \leq \phi_3 < 63$ 度となり、63度以上の視認角度方向にはバックライト光が出射されず、暗部として画像が視認されない領域が発生する。

そこで、暗部対策として、LCD内部から保護板最表面までのいずれかの位置に光拡散層を導入することを検討した。保護板最表面から出射するまでの光の進行方向を、例えば20～30度程度広げることで最大出射角度63度を80～90度まで広げることが可能である。光拡散層の導入は、例えば、LCDのバックライト側のガラス基板に貼り付ける偏光板の表面に凹凸を設けて広い角度でバックライト光が入光する構造を形成することや、図8のようにLCDの内部に光拡散機能を持つ微粒子を含んだ層を配置するなどの方法で実現する。図9に、バックライト側の偏光板の粘着剤に微



図9. 光拡散機能を付与した試作機の点灯状態

粒子を混合する方法で光拡散機能を付与した試作機の点灯状態を示す。暗部不良が見られず、広い視野範囲で高い表示品位の画像を視認できる曲面表示が可能なマルチボンディングディスプレイを実現した。

#### 4. む す び

2面の平面LCDと厚みが連続的に変化する透明な保護板とを透明粘着剤で貼り合わせて画面を大型化すると同時に、疑似曲面化技術を適用した大型で曲面表示可能なマルチボンディングディスプレイを開発した。試作機を用いて疑似曲面化構造による曲面表示を確認し、低曲率半径で大画面を実現できる見込みを得た。また、エアギャップ構造とボンディング構造を比較し、写り込みが生じないボンディング構造が有効であることを実証した。さらに、疑似曲面化構造特有の課題である暗部不良に関して、原因を調査するとともに光拡散機能を付与する対策を実施して有効性を確認した。このマルチボンディングディスプレイは東京モーターショー2015の三菱電機運転支援系コンセプトカー“EMIRAI3 xDAS”にも搭載して好評を得た。

今後、デザイン性と大型化の要望が強い車種への搭載を目指した開発を進めていく。

#### 参 考 文 献

- (1) 日経BP社：車載ディスプレイ増殖中 課題はデザイン性の向上，日経エレクトロニクス2013年10月14日号，55～62（2013）
- (2) 中川直紀，ほか：湾曲ディスプレイ，三菱電機技報，85，No.6，370～373（2011）
- (3) Ono, T., et al.: High Performance Large Area Projected Capacitive Touch Screen Using Double Layered Metal Mesh Electrodes, Euro Display 2013, 241～244（2013）



# 自動運転向け高精度車両制御技術

栗重正彦\* 沖本行弘†  
家澤雅宏\*\* 北野弘明††  
田中英之\*\*\*

High-Fidelity Autonomous Vehicle Control Technologies

Masahiko Kurishige, Masahiro Iezawa, Hideyuki Tanaka, Yukihiro Okimoto, Hiroaki Kitano

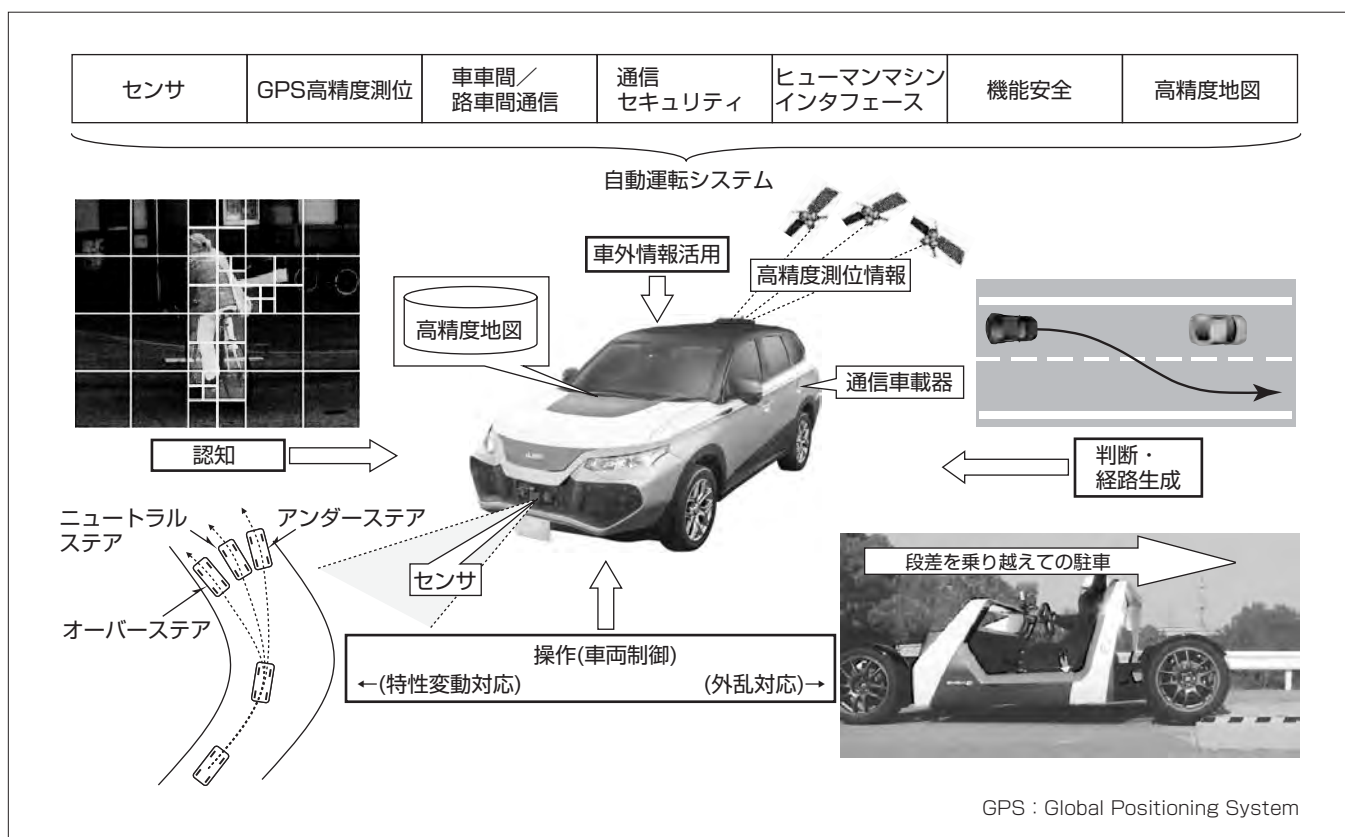
## 要 旨

自動運転は、加速・制動・操舵(そうだ)のどれかの操作をドライバーに代わって車両システムが行うものであり、自動化の度合いに応じてレベル1から4までの段階に分類されている<sup>(1)</sup>。レベル3以上では、これら3操作全てを車両システムで対応するものと定義付けられている。

ドライバーの運転行動は認知・判断・操作の3ステップで構成されることが知られており<sup>(2)</sup>、自動運転ではその全てをシステムで実現することが求められる。具体的には、車載センサや車外との通信などから得られた信号を基に車両の周辺状況を認識し、認識結果を判断して適切な目標走行経路を生成し、これに追従するよう加速、制動及び操舵の制御を行うものである。

自動運転は高い信頼性が不可欠であるため、広い領域の技術の結集が必要となる。また、これらの技術を性能面で向上させるだけでなく、高速走行から駐車にいたる全車速域で様々な走行環境に対応させる必要がある。三菱電機では、電動パワーステアリングなどの量産を通じて蓄積してきた様々な走行環境に対応させる技術も有効に活用して、自動運転の早期実用化を目指して開発を進めている。

認知・判断・操作のステップのうち、走行環境の影響が車両走行軌跡や快適性に直接現れる操作のステップ、すなわち車両制御に関しては、走行環境の例として、積載などで発生する走行時の車両の旋回特性の変化と駐車時の段差など外乱に対応した高精度車両制御技術を開発した。



## 自動運転を実現する技術

自動運転の実現には、ドライバーの運転行動である認知・判断・操作の基本3ステップに直接関わる技術と、センサや機能安全等の幅広い関連技術が不可欠である。さらに、自動車は広い走行環境で使用されるため、これらの技術を性能面で向上させるだけでなく様々な走行環境に対応させる必要がある。例えば、操作で車両特性変動や外乱などへ対応していくことでユーザーメリットが向上して早期の普及を助ける。

\*先端技術総合研究所(博士(情報学)) \*\*同研究所(博士(工学)) \*\*\*自動車機器開発センター †三田製作所

††先端技術総合研究所

## 1. ま え が き

車両システム側で加速・制動・操舵の全ての操作の対応が求められるレベル3以上の自動運転は、従来の車載制御システムと同様に、極めて広い走行環境で使われる。そのため、実用化するには各々の技術を、視界良好で無風かつ道路が平坦(へいたん)といった理想的な走行条件での性能向上にとどまらず様々な走行環境に対応させる必要がある。すなわち、人間の運転行動である認知・判断・操作の各ステップに対応した個々の技術の高度化に加えて、対応できる走行環境を拡大させる技術開発の両面が重要となる。

本稿では、走行環境の影響を直接受ける場面が特に多い操作のステップ、すなわち車両制御に焦点を当てて2つの例を述べる。1つ目は、車両の旋回特性に対するロバスト性向上に関するもので、具体例として、積載量に伴う車両挙動の変化を走行時に推定する手法を述べる。2つ目は、段差などの走行外乱に対するロバスト性向上に関するもので、具体例として、駐車時に障害物を乗り越える車速制御を述べる。

## 2. 操舵に対する車両旋回特性の推定

### 2.1 自動運転での旋回特性変動の影響

自動運転の操舵では、まずレーンチェンジ等での目標走行経路が定められ、その経路に追従するようにフィードフォワード及びフィードバック制御が行われる<sup>(3)</sup>。車両の旋回特性モデルに基づいて制御が行われるため、車両旋回特性が変動すると理想の走行経路からずれが生じて乗り心地の低下につながる場合も想定される。車両旋回特性モデルの変動を定量化できれば、制御ゲインを調整するなどの手法で変動の影響を抑制できる。したがって、車両の旋回特性変動に対応した高精度車両制御を実現する上でのキー技術は、車両旋回特性モデルの変動を走行中に定量化する技術であると言える。

### 2.2 車両旋回特性の変動及びその指標

車両制御に適用される旋回特性モデルとして、ハンドル角 $\theta_s$ (タイヤ角換算)に対するヨーレート(旋回速度) $\gamma$ の応答を定める二輪モデル

$$\gamma = \left( \frac{1}{1 + A v_x^2} \right) \frac{v_x}{l} G_d \cdot \theta_s \dots\dots\dots (1)$$

が広く知られており、本稿でもこれをベースに議論を進める。式(1)の $l$ はホイールベース、 $v_x$ は車速である。右辺の括弧内は定常値、 $G_d$ は定常値に達するまでの過渡応答特性を示す。 $A$ はスタビリティファクタと呼ばれるパラメータであり、負の場合はオーバーステア特性となつて、同一ハンドル角の場合に車速が高速になるほど旋回半径が小さくなる。正の場合はアンダーステア特性となり、高速になるほど旋回半径が大きくなる。運転のしやすさから、一般

に正の値となるよう車両は設計されている<sup>(4)</sup>。

制御モデルのスタビリティファクタの値と実際の車両挙動の値が異なった場合、式(1)のとおり車速が高速なほど目標走行経路への追従精度が低下しやすくなる。

### 2.3 車両旋回特性の変動要因とその影響

車両旋回特性を決定する主要パラメータであるスタビリティファクタの変動要因は様々あるが、影響の大きなものとして、重心位置(図1のC.G.)の前後方向への移動が発生して、ホイールベース $l$ の重心から前輪までの長さ $l_f$ と後輪までの長さ $l_r$ が変化することがある。

トランク部分等の車両の端に重量物を積載すると重心位置の前後方向への移動と、これに伴うスタビリティファクタの変動が大きくなる傾向があり、例えば質量1,000kgの車両の後輪軸上に200kgの積載を行うとスタビリティファクタが20%以上オーバーステア側に変化する。このようなスタビリティファクタの変化は、旋回半径を変化させるだけでなく操舵に対する車両の位相遅れにも影響を与えるので、図2に示すように障害物回避等の急なハンドル操作に対する安定性に影響を及ぼすが、この位相遅れを補償することで容易に安定性を回復できる<sup>(5)</sup>。

### 2.4 車両旋回特性の推定手法及び評価

スタビリティファクタの推定手法について述べる。式(1)

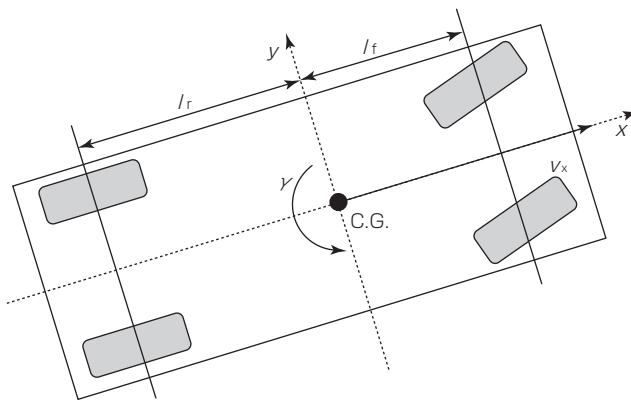


図1. 車両重心と前後輪からの距離

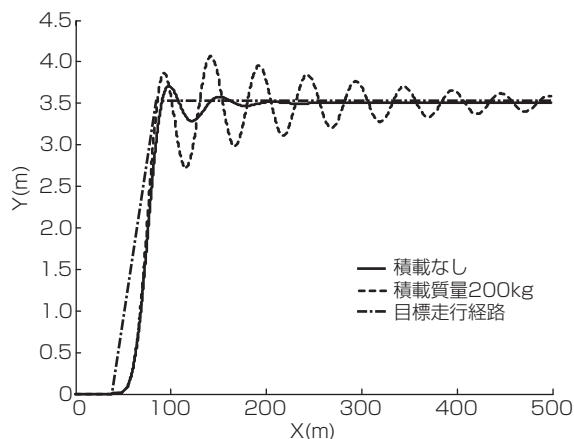


図2. 積載質量による障害物回避操舵時の応答の変化

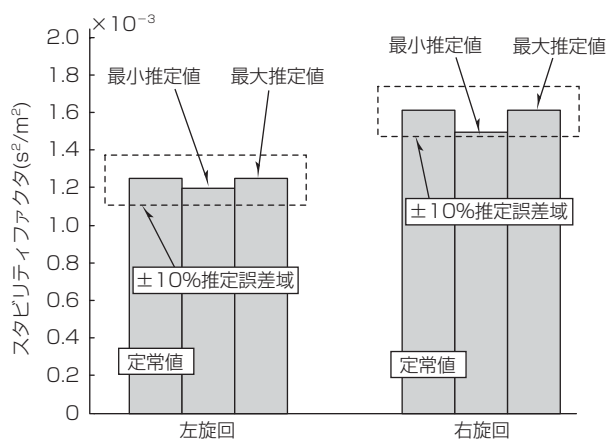


図3. スタビリティファクタの推定誤差

の $G_d$ が1，すなわち一定の半径の道路を旋回している定常状態では，ハンドル角などのセンサ信号やホイールベースなどの既知の定数から，

$$A = \frac{\frac{v_x \cdot \theta_s}{l \cdot \gamma} - 1}{v_x^2} \dots\dots\dots (2)$$

に基づいてスタビリティファクタを容易に推定することができる。しかし，実際の走行ではこのような走行条件は少ないので，レーンチェンジなど頻度の高いハンドル操作で定常状態に近いとみなして，式(2)でスタビリティファクタ推定を行っても十分な推定精度が得られる条件を明らかにして<sup>(5)</sup>実車で有効性を検証した。

なお，実験車両では左右の旋回でスタビリティファクタが異なったため，各々についてこの推定手法を評価した。図3は0.2Hzでレーンチェンジを行った際の推定結果であり，左右両方ともスタビリティファクタの推定誤差が10%以内に抑制されることを確認した。

### 3. 自動駐車における外乱ロバスト制御

#### 3.1 自動駐車におけるロバスト性の課題

自動運転での駐車動作は，駐車可能スペースを認識・判断して適切な駐車経路を設定し，それに沿うようにハンドル及び加速・制動を制御するものである。ところが，駐車場には坂道での縦列駐車や駐車スペースと車道の間に段差がある場合もあり，より広い条件に対応できるようにロバスト性を向上させることが自動運転システムの商品性向上に重要である。

ロバスト性向上制御として，当社が開発した自動駐車における前後方向制御について述べる<sup>(6)</sup>。

図4は，外乱の影響を示すために，実験用の電気自動車を用いてドライバーが段差を乗り越えて適正な位置に駐車させようとした実験結果である。図4(b)にドライバーの加速・制動操作のみで停止しようとした場合，図4(c)にロバスト性を向上させる制御を行った場合の結果を示す。ドライバーによる操作では，段差を乗り越える際に強い加速操作を行うため，目標停止位置を超えやすくなる。



(a) 自動駐車制御の実験



(b) 制御なしでの停止位置



(c) 制御ありでの停止位置

図4. 駐車時の段差による停止位置の変動

#### 3.2 自動駐車におけるロバスト性向上制御

先に述べたとおり，外乱は目標走行経路への追従性に影響が大きく，自動運転でも外乱ロバスト化を考慮した制御を開発しなければ，目標位置への到達時間の遅れを招くなど快適性が低下する場合がある。

このような課題に対応するため，図5に示す目標車速を設定して，それに追従させるPI(Proportional-Integral)制御を開発した。

このPI制御の開発に当たって鍵となるのが，パワートレイン系のモデルである。PIゲインの増大で目標車速への追従性は向上できるが，制御系の発振を招いてしまう場合があるため追従性向上と発振抑制の両立が必要となるからである。

そこで，図6のようにコンプライアンスを持つパワートレインの両端に車両と電気自動車のモータの2つの慣性体が接続されるモデルを構築して，これに基づいて周波数特性が適切になるようにPIゲインの設定を行った。

#### 3.3 自動駐車におけるロバスト性向上制御の評価

目標車速に追従させるPI制御の有効性を示すために，実



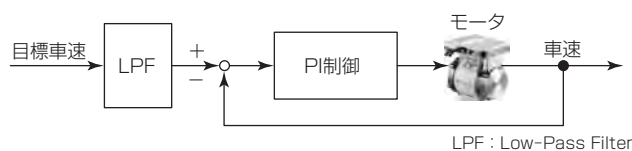


図5. 駐車時車速制御方式

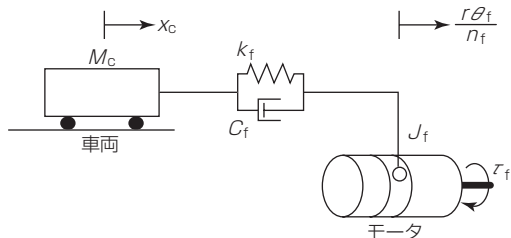


図6. パワートレイン系の剛性を考慮したモデル

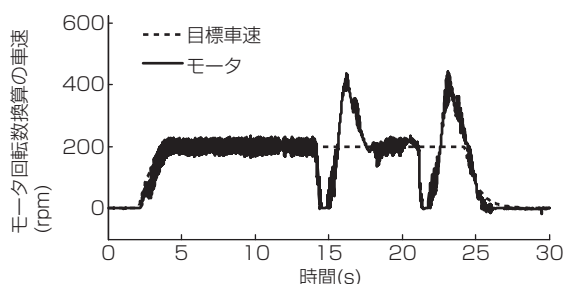


図7. 物体乗り越え時の車速応答

車試験を実施した。外乱として、直径10cmの筒状の物体を前後輪が各々乗り越えて、その直後に停止させる設定にした。

前後輪が各々物体を乗り越える際に車速変動が生じるが、乗り越え後、速やかに目標車速に追従して停止できている（図7）。追従性は更に向上させることもできるが、実際には乗り心地等、乗員への快適性も考慮した調整が望ましい。

#### 4. む す び

自動運転では、システムが対応できずにドライバーに運転権限を移譲する頻度を減らしていく必要があり、天候や車両特性の変化等、より広い走行環境に対応させていく必要がある。入力側である車載センサや、それに基づく周辺状況の認識改善は、レベル1の段階で既に試行錯誤がなされている<sup>(7)</sup>。

本稿では、走行環境の影響が車両走行経路や快適性に直接現れる出力側である操作のステップに焦点を当てて、当社の研究開発の一端について述べた。

また、車両制御の対象としては滑りやすい路面<sup>(8)</sup>や横風・路面勾配<sup>(9)</sup>などもあり、システムの適用可能範囲の更なる拡大、さらには、一部の部品の故障が発生しても安全を損なわないなど信頼性の強化も重要である。

さらに、当社は車両制御以外でも、経路判断の最適化技術<sup>(10)</sup>、準天頂衛星<sup>(11)</sup>、路車間通信・車車間通信のセキュリティ<sup>(12)</sup>、道路インフラ維持管理関連の技術<sup>(13)</sup>等様々な分野の技術開発も遂行しており、将来の本格的な自動運転システムの実現に向けて、継続的に技術を進化させていく。

#### 参 考 文 献

- (1) 内閣府政策統括官：SIP「自動走行システム」研究開発計画（2015）
- (2) 大須賀美恵子：人間の特性を考慮した運転支援システムに向けて、IATSS Review, **28**, 増刊号, 49～54（2003）
- (3) Yakub, F., et al.: Automomous ground vehicle of path following control through model predictive Control with feed forward controller Proc. of AVEC14, 603～610（2014）
- (4) 安部正人：自動車の運動と制御，東京電機大学出版局，3.3節（2008）
- (5) Kitano, H., et al.: An Online Estimation Method of Stability Factor of a Vehicle for Steering, SAE paper 2009-01-0045（2009）
- (6) Yokoyama, K., et al.: Speed Control of Parking Assist System for Electrified Vehicle, SAE paper 2015-01-0316（2015）
- (7) 小川計介：トヨタの安全戦略，2015年にレーザーを復活させミリ波と共存へ，日経テクノロジーonline，（2014）
- (8) Nakajima, K., et al.: A Vehicle State Detection Method Based on Estimated Aligning Torque Using EPS, SAE Paper 2005-01-1265（2005）
- (9) 栗重正彦，ほか：車両の横外乱推定及びEPS直進性向上制御への適用，自動運転，先進運転支援システムの最新動向とセンシング技術 5 章第 1 節，技術情報協会，277～282（2015）
- (10) ジェセフ カッツ，ほか：スマート社会を支える先進最適化技術，三菱電機技報，**89**, No.7, 415～418（2015）
- (11) 瀧口純一，ほか：準天頂衛星システムによる都市部での衛星測位の可用性の拡大，三菱電機技報，**89**, No.3, 162～165（2015）
- (12) 小林信博，ほか：テレマティクス対応セキュリティ技術，三菱電機技報，**87**, No.8, 471～475（2013）
- (13) 木村友則，ほか：車社会の安全を支える超音波センシング技術，三菱電機技報，**87**, No.6, 329～332（2013）

# 自動運転に向けた車両制御システム

一杉和夫\*  
北野弘明\*\*

Vehicle Control System for Autonomous Driving

Kazuo Hitosugi, Hiroaki Kitano

## 要 旨

三菱電機は、2018年から正式にサービスが開始される準天頂衛星を活用した将来の自動運転(レベル3：通常時はシステムが車両を制御)に向けた開発に取り組んでいる。近年では、自動運転への取り組みは自動車メーカーを始め、各種サプライヤー、IT (Information Technology) 業界にもわたっており、自動運転の開発競争が激化している。

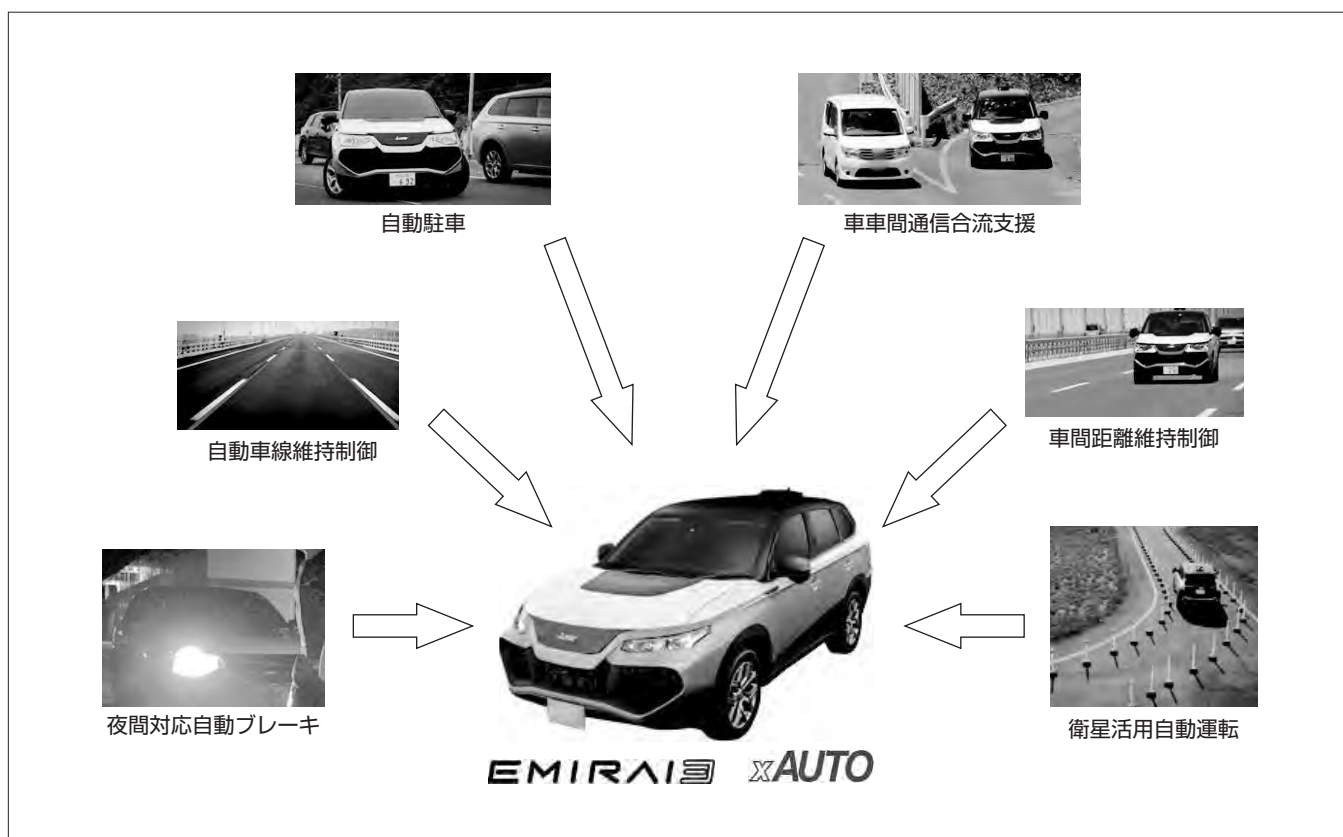
衛星から得られた高精度な自車位置情報、及び高精度地図を用いて目標走行経路を演算して、目標走行経路に沿ってドライバーがハンドル操作、アクセル操作、ブレーキ操作することなく自動走行可能な車両制御システムを開発した。

当社のテストコースでの動作確認では、目標走行経路に

対して平均誤差10cm以下(直進時)の高精度な車両制御を実現していることを確認した。

この衛星情報を活用した自動運転は、東京モーターショー2015コンセプトカー“EMIRAI3 xAUTO(イーミライスリーエックスオート)”にも適用しており、狭路でも自動走行可能である。

今後、自律的な予防安全システムに加えて、インフラとの関係(路車間通信、車車間通信等)を深めることで、更なる自動運転のレベルアップを図っていくとともに、ドライバーに安心感を与えつつ、より信頼性の高い自動運転システム構築に貢献していく。



## 東京モーターショー2015コンセプトカー“EMIRAI3 xAUTO”

EMIRAI3 xAUTOは、“大切にしたいのは、どんな時でも人を想(おも)うこと”のテーマの下、当社の技術力を結集した“あなたを想う三菱電機の予防安全技術“Diamond Safety””の搭載によって、近未来のクルマに求められる安全と快適を実現する実走行可能な自動運転コンセプトカーである。

## 1. ま え が き

当社は、2018年から正式にサービスが開始される準天頂衛星を活用した将来の自動運転(レベル3：通常時はシステムが車両を制御)に向けた開発に取り組んでいる。近年では、自動車メーカーを始め、各種サプライヤー、IT業界にわたって自動運転の開発競争が激化している。

本稿では、レベル3の自動運転に向けた取組みとして、衛星情報を活用した自動運転に焦点を絞って述べる。

## 2. 自動運転のレベル

内閣府主導の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)<sup>(1)</sup>で自動運転レベルが設定されている。設定されている自動運転レベルの定義を表1に示す。レベル1は、“加速・操舵(そうだ)・制動のいずれかをシステムが行う状態”であり、緊急ブレーキやクルーズコントロール等が当てはまり、既に実用化され始めている。レベル2は、“加速・操舵・制動のうち複数の操作をシステムが行う状態”である。2017年までにインフラ情報を活用した準自動走行システムの市場化を国として目指している。レベル3は、“加速・操舵・制動を全てシステムが行い、システムが要請したときはドライバーが対応する状態”である。2020年の東京オリンピック・パラリンピックでは、東京でレベル3を実用化すると明記されている。レベル3の実現には、高精度な自車位置情報、高精度地図、インフラ連携等が必要となる。

## 3. 準天頂衛星システム

準天頂衛星システム<sup>(2)</sup>は、日本のぼぼ真上を通る準天頂軌道の衛星“みちびき”が主体となって構成されている日本の衛星測位システムである。“みちびき”初号機は2010年に打ち上げられ、2018年度から4機体制(準天頂軌道2機、静止軌道1機を追加打ち上げ)となってサービスが開始される(図1)。さらに、2015年1月に策定された新たな“宇宙基本計画”で、“2023年度をめどに持続測位可能な7機体制での運用を開始する”ことが決定された。

準天頂衛星システムには、次のようなサービスがある。

### (1) 衛星測位サービス

GPS(Global Positioning System)と同一周波数・同一時刻の測位信号を送信することで、GPSと一体となって使用して高精度な測位をすることができる。

### (2) 測位補強サービス

GPSによる単独測位精度は10m程度であるが、準天頂衛星から送信される独自の補強信号を利用することでサブm級、cm級の測位精度を可能にすると同時に、信頼性が向上する。

### (3) 災害・危機管理通報サービス

政府機関からの災害情報、危機管理情報、避難勧告など

表1. 自動運転レベル<sup>(1)</sup>

自動運転レベル	概要	実現するシステム	
レベル1	加速・操舵・制動のいずれかをシステムが行う状態	安全運転支援システム	
レベル2	加速・操舵・制動のうち複数の操作をシステムが行う状態	準自動走行システム	自動走行システム
レベル3	加速・操舵・制動を全てシステムが行い、システムが要請したときはドライバーが対応する状態		
レベル4	加速・操舵・制動を全てシステムが行い、ドライバーが全く関与しない状態	完全自動走行システム	



図1. 準天頂衛星

の発令状況を準天頂衛星から送信する。

レベル3の自動走行に向けて、自律的な予防安全システムに加えて準天頂衛星からの高精度位置情報(cm級)を活用することで、安全精度を向上させて車単独では把握できない情報を付加した高度な自動運転を実現できるとともに、信頼性の高い車線維持・変更等の車両制御が可能となる。

## 4. 車両制御システムの構成

図2に、開発した車両制御システムの構成を示す。

大きく分けて衛星情報受信部、高精度な自車位置情報や高精度地図を用いて目標走行経路を演算するロケータ部、状況判断をして各種アクチュエータへの制御を行うADAS-ECU(Advanced Driving Assistance Systems-ECU)部に分かれる。

衛星情報受信部では、衛星情報を受信するためのアンテナ、及び受信機を備えている。

ロケータ部では、得られた衛星情報から高精度な自車位置情報を演算する。衛星情報の受信タイミング間、及び受信遅れ分はジャイロ情報を用いて自車位置補完演算をしている。演算された自車位置は車両重心位置としているため、アンテナ位置が重心位置と異なる場合は、その距離誤差分も補正演算している。また、自動走行するエリアに関する高精度地図をあらかじめ取得して内部に備えている。高精度な自車位置情報と高精度な地図データから自車の目標走行経路を演算する。地図データは点群として取り扱い、目標走行経路は近似曲線処理を実施している。ロケータ部で演算された自車位置情報や目標走行経路、速度制限情報等をADAS-ECU部へ展開する。



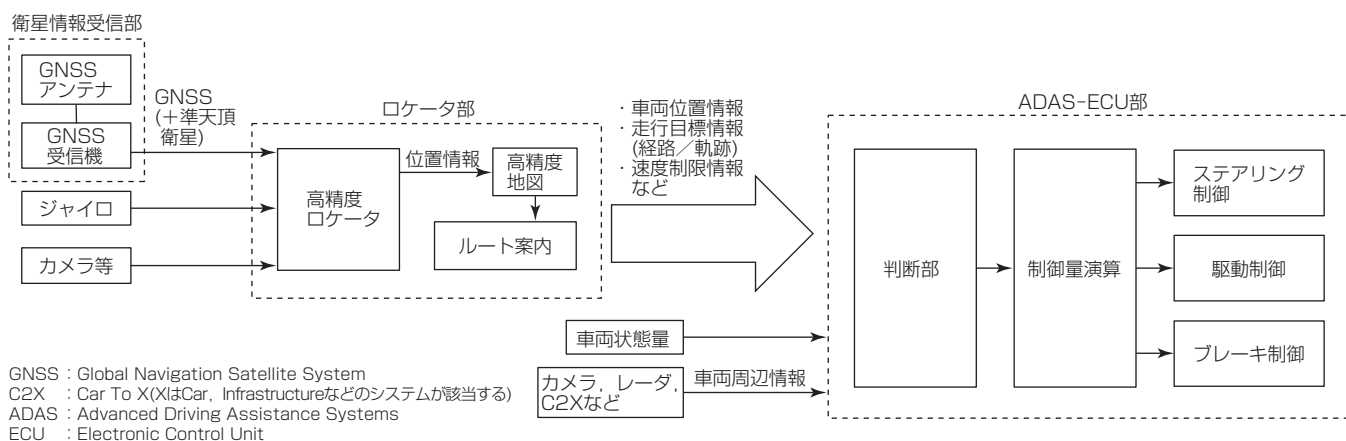


図2. 車両制御システムの構成

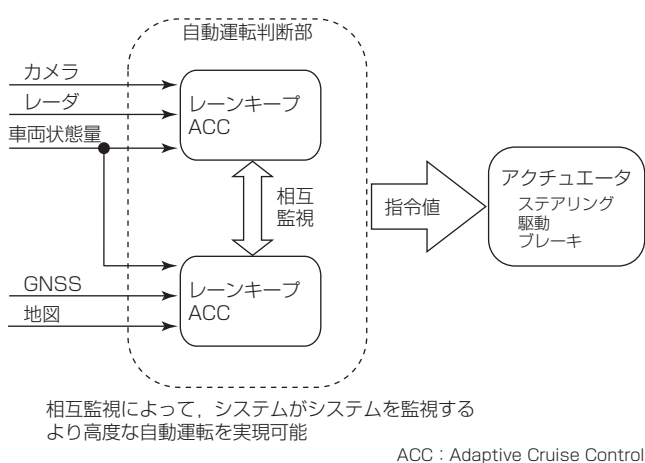


図3. システム相互監視例

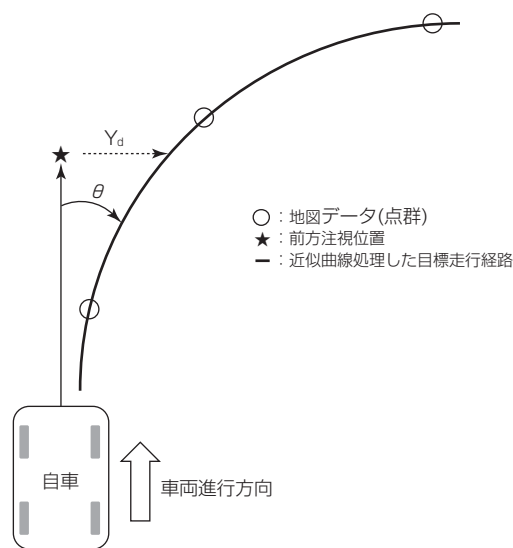


図4. 車両の横方向制御

ADAS-ECU部では、状況を判断して各アクチュエータに対する制御量を演算して指令する(ステアリング制御、駆動制御、ブレーキ制御)。

レベル3の自動走行実現に向けて、判断部でシステムがシステムを監視することが求められる。システムで相互監視することによって、より高度な自動運転を実現できる(図3)。

## 5. 車両制御

車両の横方向の制御には前方注視モデル<sup>(3)</sup>を使用する。その概略を図4に示す。数秒後の自車位置となる前方注視位置と近似曲線処理された目標走行経路に対しての横偏差 $Y_d$ 、及び角度 $\theta$ 、並びに車両状態量を用いてステアリング制御を実施している。

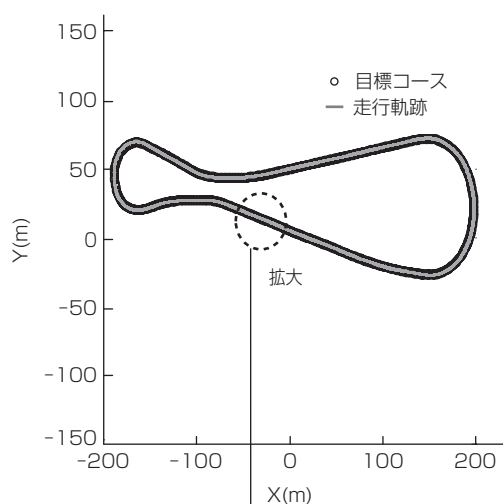
車両の縦方向の制御は駆動制御とブレーキ制御であり、駆動制御では自車の走行速度と地図情報から得られる速度制限情報を比較して速度制御を行う。ブレーキ制御では、緊急時を除いて急減速とならないように(スムーズに減速するように)減速指令値を設定している。また、地図情報に基づいた一時停止動作にも対応している(図5)。



図5. 交差点での一時停止動作

## 6. 実機動作確認

当社のテストコースで衛星を活用した自動運転走行結果を図6に示す。図の左側はテストコースを9周走行した全体結果であり、目標コースに沿って走行していることが分かる。図右側は直進走行箇所を拡大した結果である。平均誤差10cm以下の高精度な車両制御を実現していることが確認できる。



平均誤差10cm以下を実現

図6. 衛星を活用した自動運転走行結果(9周)



図7. 東京モーターショー2015コンセプトカーEMIRAI3 xAUTO

実機動作確認に当たり、2018年度から準天頂衛星システムのサービスが開始されるため、衛星測位補強信号を準天頂衛星から実際に受信するのではなく、補正情報配信会社から移動体通信網を利用して受信した。

開発した衛星情報を活用した自動運転は、東京モーターショー2015コンセプトカーEMIRAI3 xAUTO(図7)にも適用しており、図8に示すような狭路や図9に示すような雪道でも自動走行することが可能である。



図8. 狭路での自動走行風景



図9. 雪道での自動走行風景

## 7. む す び

レベル3の自動運転に向けた取組みとして、衛星情報を活用した自動運転システムの構成や車両制御に関して述べた。今後、自律的な予防安全システムに加えて、インフラとの関係(路車間通信、車車間通信等)を深めることで、更なる自動運転のレベルアップを図っていくとともに、ドライバーに安心感を与えつつ信頼性の高い自動運転システムの構築に貢献していく。

## 参 考 文 献

- (1) 内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当)：SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)自動走行システム 研究開発計画 (2015)  
[http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6\\_jidousoukou.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf)
- (2) 内閣府：準天頂衛星システムについて  
<http://www8.cao.go.jp/space/qzs/qzs.html>  
<http://qzss.go.jp/index.html>
- (3) 安倍正人：自動車の運動と制御 第2版－車両運動力学の理論形成と応用，東京電機大学出版局，252 (2012)

# 前方監視用ミリ波レーダ

野田晋作\*

Millimeter-wave Radar for Forward Sensing

Shinsaku Noda

## 要 旨

自動車の予防安全システムや自動運転の実現に向け、自動車メーカーや部品メーカーでは周囲の状況を監視するセンサや車両制御技術などの開発が急速に進められている。既に標準搭載化が進んでいる自動緊急ブレーキ (Autonomous Emergency Braking : AEB) ではNCAP (New Car Assessment Program) に基づいた安全テストが導入されており、ヨーロッパのEuro NCAPでは、2018年から夜間の歩行者、及びサイクリスト (自転車) に対するAEB性能の評価が導入される予定である。従来は、対象物が歩行者であるか否かの識別は別途搭載されているカメラだけで行われていたため、AEBの動作は夜間の歩行者への対応が

制限されていた。

そこで、三菱電機は、夜間や悪天候時でも検出性能が劣化しないミリ波レーダで対象物の識別を行う技術を開発した。

開発した識別技術では、対象物である人が手足を動かさずに止まっている場合でも“人”と識別可能であることが特長である。

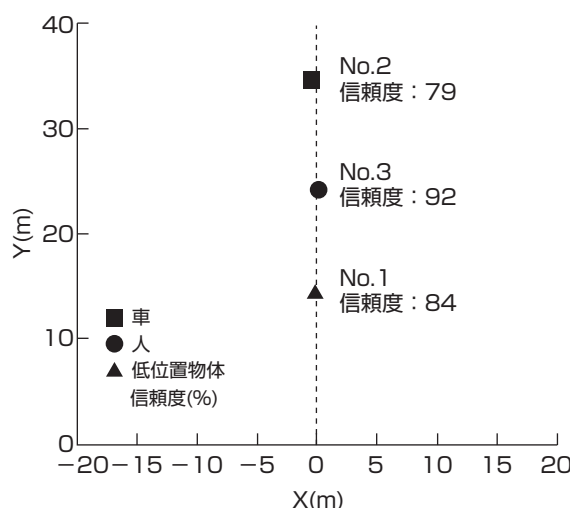
また、従来ミリ波レーダは高コストな電波透過性エンブレムの裏に搭載されていたが、このようなエンブレムが不要なバンパー部などの低位置に搭載した場合でも、AEBの誤作動の原因となる“低位置物体”を識別することで誤作動を防止できる。



ミリ波レーダ(試作品)



物体識別機能の試験風景



物体識別機能の試験結果

## ミリ波レーダによる物体識別機能の試験結果

上の図は、開発したミリ波レーダ試作品の外観を示す。車両前部に搭載されることを前提に設計し、さらに、高コストな電波透過性エンブレムを必要としないバンパー部などの低位置への搭載も可能にした。下の2つの図は物体識別機能の試験風景 (車載カメラ映像) 及び試験結果を示す。車と人と低位置物体 (空き缶) をそれぞれ正確に識別できることを確認した。



## 1. ま え が き

自動車の予防安全システムや自動運転の実現に向け、自動車メーカーや部品メーカーでは周囲の状況を監視するセンサや車両制御技術などの開発が急速に進められている。前方自動車との車間距離に応じて自車速度を制御するACC(Adaptive Cruise Control)が既に普及車に装着されはじめており、AEBも標準搭載化が進んでいる。なお、AEBはNCAPに基づいた安全テストが導入されており<sup>(1)</sup>、自動車の安全性能が一般的に認知される風土が醸成されつつある。現在、ヨーロッパのEuro NCAP、日本のJNCAP(Japan NCAP)では前方自動車に対するAEB性能を評価しているが、2016年からは新たに歩行者に対するAEB性能の評価も導入される。さらに、Euro NCAPでは2018年から夜間の歩行者、及びサイクリスト(自転車)に対するAEB性能の評価が導入される予定である。このような背景を踏まえると、夜間、又は雨や濃霧等の悪天候時でも有効な前方監視センサとして電波を媒体に対象物までの距離、方位角、相対速度を測定するミリ波レーダはキーデバイスと位置付けられる。

一方で、先に述べたように前方監視センサに求められる性能が高まる中、複数のセンサを組み合わせる相互に補うセンサフュージョン技術の開発も進められている。道路上の白線や信号認識、又は標識の認識などに欠かせないカメラとミリ波レーダとを組み合わせるものが代表的<sup>(2)</sup>であるが、対象物が歩行者であるか否かの識別はカメラだけで行うため、カメラの検出性能が劣る夜間や悪天候時の歩行者対応AEBの動作が制限される。そこで、当社では、ミリ波レーダでも対象物の識別を行う技術を開発して、システムの動作シーン拡大への寄与に取り組んでいる。

本稿では、当社が開発中のミリ波レーダの構成、測定原理、及び物体識別機能について述べる。

## 2. ミリ波レーダ

### 2.1 構成、仕様

図1にミリ波レーダ試作品の外観を、表1にミリ波レーダの仕様を示す。レーダ方式はFMCW(Frequency Modulation Continuous Wave)方式を採用した。

また、図2にミリ波レーダの構成を示す。電波の送受信はVCO(Voltage Controlled Oscillator)、送信MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)、受信MMICで構成されるフロントエンド部と、送信アンテナ、及び受信アンテナで行われる。さらに、受信信号を増幅するベースバンドアンプ、及び各種信号処理を行うMCU(Micro Control Unit)で構成される。

### 2.2 距離測定と相対速度測定の原理

このミリ波レーダで採用したFMCW方式の基本原理を

述べる。FMCW方式は、図3に示すとおり、時間に対して周波数が上昇、及び下降する三角波状の周波数変調が施された信号を送受信して、対象物との距離を電波が往復す



図1. ミリ波レーダの試作品

表1. ミリ波レーダの仕様

項目	仕様(目標)
中心周波数	76.5GHz
レーダ方式	FMCW
距離測定範囲	0.5~200m
相対速度測定範囲	-260~+100km/h
角度測定範囲	-34~+34°
寸法	W99×H80×D40(mm)

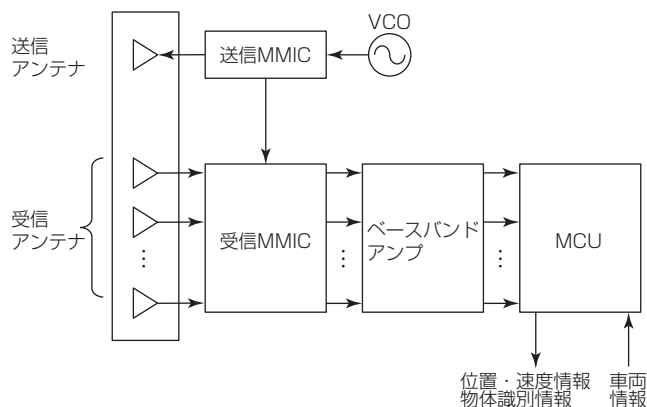


図2. ミリ波レーダの構成

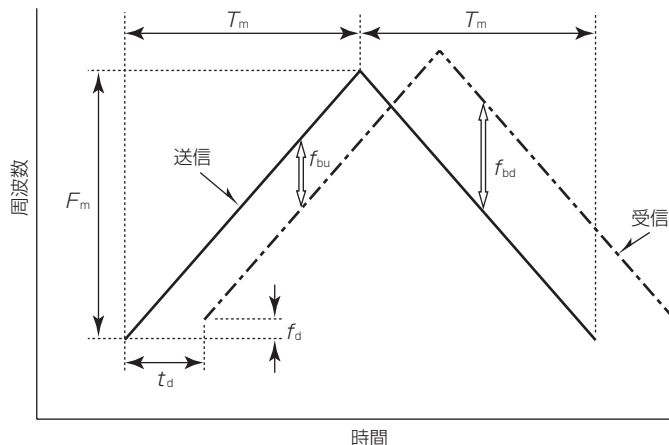


図3. 送受信信号の変調波形

るのにかかった遅延時間、及び相対速度に応じたドップラー効果を利用して対象物との距離及び相対速度を測定する方式である。

周波数が上昇する区間をUpチャープ、下降する区間をDownチャープとする。図3に示すように、送信された変調信号は対象物との距離を往復するのにかかる時間 $t_d$ だけ遅延して受信される。また、対象物との相対速度に応じたドップラー効果によって $f_d$ だけ周波数が変化する。これらによって、送信信号に対する受信信号の様子は図3に示すとおりとなる。

受信MMICでは送信信号と受信信号が混合されて、各チャープにおける送受信信号の差の周波数(ビート周波数) $f_{bu}$ 及び $f_{bd}$ を持つビート信号が出力される。

このようにして得られたビート信号は、ベースバンドアンプで増幅された後にMCUでA/D(Analog/Digital)変換して取り込まれる。MCUでは、各ビート信号に対してFFT(Fast Fourier Transform)が行われてビート周波数が観測される。これらのビート周波数から、図3に示す関係を用いて対象物との距離、及び相対速度を算出する。

### 2.3 方位角測定原理

このミリ波レーダは、複数の受信アンテナで対象物からの反射波を受信して、各アンテナで受信する信号の位相差から対象物の方位角を測定する方式に基づいている。図4に方位角測定の原理を示す。アンテナ間隔 $d$ だけ離れた2つの受信アンテナで、方位角が $\theta$ の対象物から到来する信号をそれぞれ受信する。このとき、図4に示すように受信アンテナ1と受信アンテナ2とで受信する信号の各位相は、対象物からの経路差 $d \sin \theta$ によって位相差が生じる。したがって、MCUによる各アンテナの受信信号ごとのFFT結果から位相差を抽出することで、方位角 $\theta$ を算出できる。

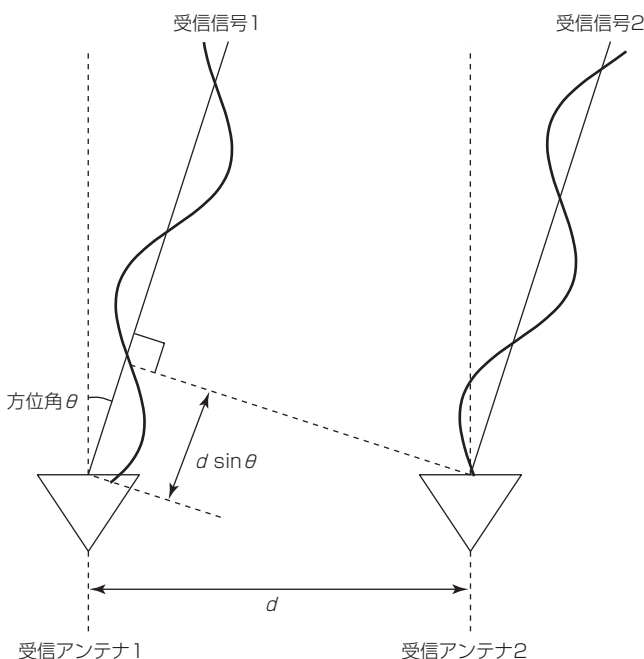


図4. 方位角測定の原理

## 3. 物体識別機能

### 3.1 ミリ波レーダによる物体識別技術

対象物が何であるかの識別を行うに当たり、カメラなどの画像センサでは対象物の形状に基づくパターンマッチングによる方式が代表的である。一方で、ミリ波レーダは波長に対するアンテナサイズの制約から、物体識別を行うための形状抽出が可能なほど十分に放射ビーム幅を狭くすることができない。

そこで、対象物の種類によって反射電波の振る舞いが異なることに着目して、受信信号から反射強度など特徴となる物理量(特徴量)を複数抽出して独自の推論アルゴリズムを用いて対象物の種類を識別する技術を開発した。図5に物体識別方法のイメージを示す。今回は、識別対象として車、人、及び低位置物体の3種類とした。

このアルゴリズムは対象物によって異なる受信信号の特徴に基づいて識別を行うため、対象物が動いているか静止しているかに関わらず識別が可能である。したがって、対象物である人が手足を動かさずに止まっている場合でも、“人”と識別可能なように設計されている。

また、現在のミリ波レーダはフロントグリル部のエンブレム裏に搭載されるのが一般的であるが、この場合、エンブレムは電波を透過させる必要があり、このような電波透

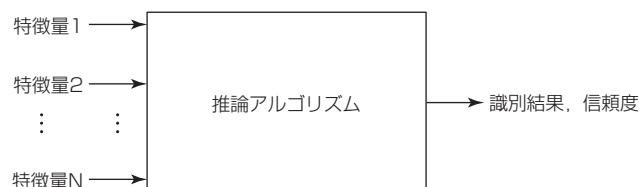


図5. 物体識別方法



図6. 試験の様子(車載カメラ映像)

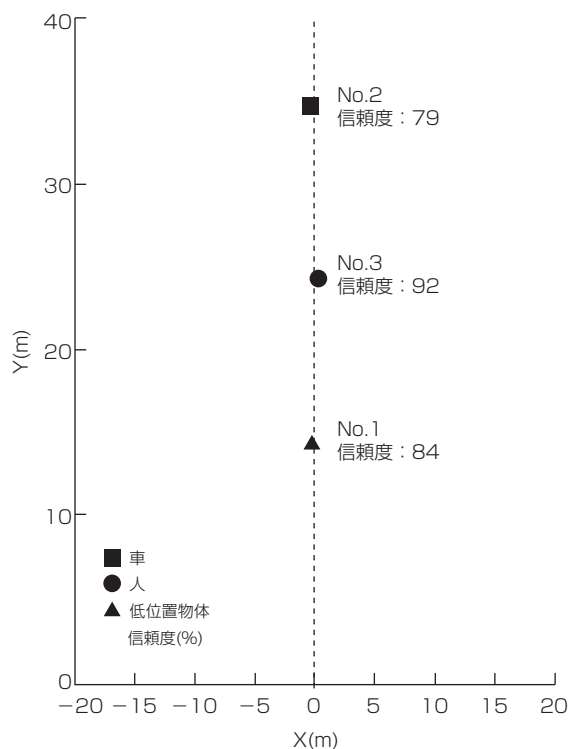


図7. ミリ波レーダの出力結果

過性エンブレムは通常のエンブレムに比べて高コストであることが課題となっている。今回開発した物体識別機能の“低位置物体”カテゴリーは、このような電波透過性エンブレムを必要としないバンパー部などの低位置に搭載された場合を想定した識別カテゴリーである。すなわち、ミリ波レーダが低位置に搭載された場合、路上の小さな落下物や路面電車のレールなど本来AEBの作動対象ではない低位置物体を障害物として検出してしまう懸念があるが、低位

置物体であることを識別することで、AEBの作動対象であるか否かを判定できるようになる。

さらに、識別結果の信頼度を推論アルゴリズムで算出して出力できるようにしている。これによって、AEBなどのシステムアプリケーションで柔軟な制御を実現可能とした。

### 3.2 評価結果

開発したミリ波レーダの物体識別機能を評価するため、図6に示すように車、人、及び低位置物体として空き缶を設置して、ミリ波レーダを搭載した車両で接近する試験を行った。なお、対象物の“人”は動かずに静止した状態で試験を行った。

図7にミリ波レーダの出力結果を示す。各対象物が正しく識別されていることが分かる。

## 4. む す び

ミリ波レーダを用いた当社独自の物体識別技術について述べ、それを搭載したミリ波レーダの良好な試験結果を示した。この技術を用いたミリ波レーダで、夜間歩行者に対するAEBを始めとして各種予防安全システムに貢献していく。

## 参 考 文 献

- (1) 宇治橋貞幸，ほか：予防安全性能の評価と自動車アセスメント事業への導入，自動車技術，**68**，No.12，12～18（2014）
- (2) 石田真之助，ほか：カメラとミリ波レーダのデータフュージョンによる事故低減技術の紹介，自動車技術，**68**，No.12，31～37（2014）



# 誤発進抑制及び後側方死角警報機能 搭載ソナーシステム

鈴木涼太郎\* 松井崇浩\*\*  
 花崎泰将\*  
 井上 悟\*

Sonar System for Pedal Misapplication Prevention and Blind Spot Warning

Ryotaro Suzuki, Yasumasa Hanazaki, Satoru Inoue, Takahiro Matsui

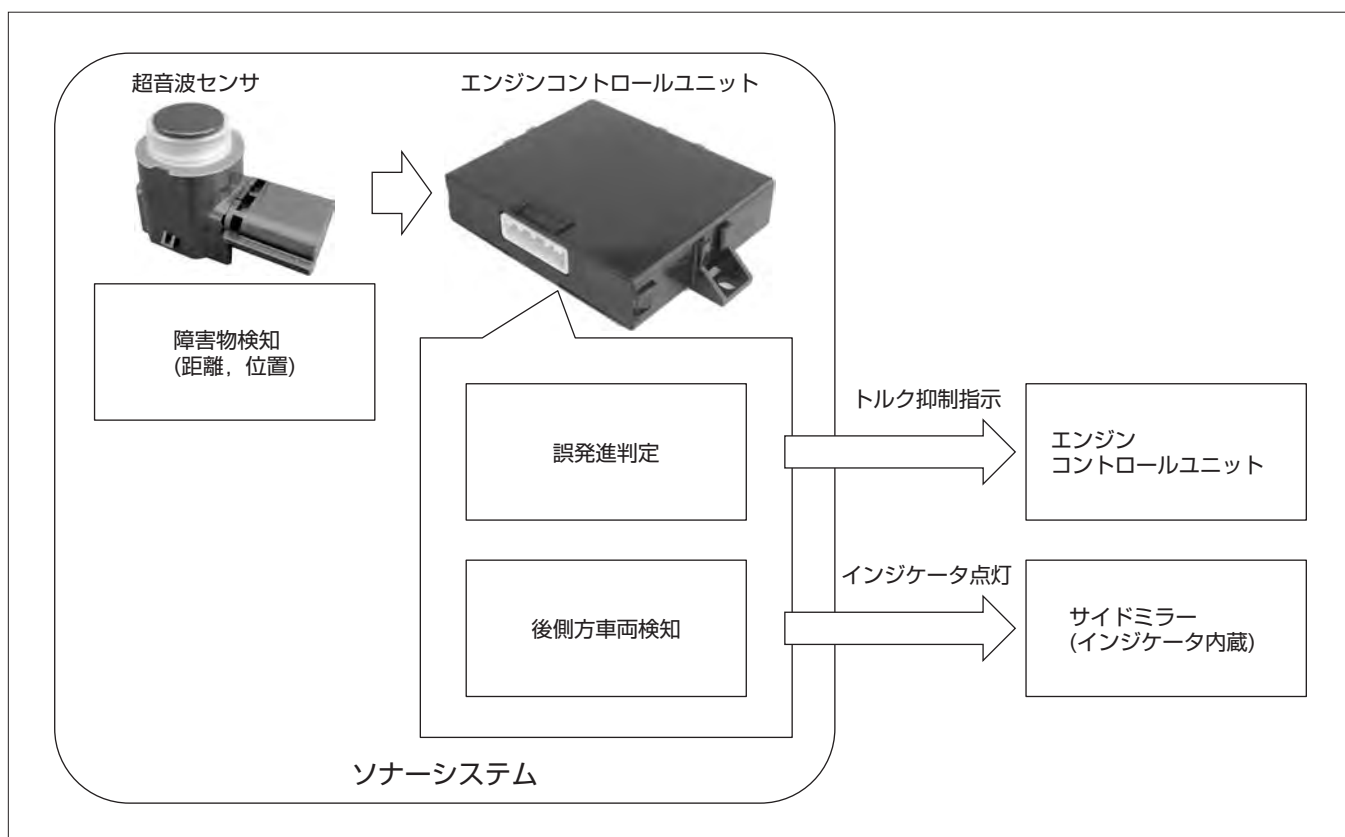
## 要 旨

超音波センサはカメラやレーダと比べて安価であることや、車載用途に関して法規制がなく、各国で自由に使用できる利便性を持ち、従来、駐車時等の障害物接近警報ユニットとして使われてきた。近年の衝突被害軽減機能に代表される予防安全システムの発展・普及によって、周辺監視センサの1つとして普及拡大が見込まれる。また、車載用ソナーシステムは、車両の前後バンパーに取り付けられた超音波センサを用いて、接触する可能性がある車両周辺の障害物を検出するものである。

三菱電機では、先進運転支援システム(ADAS)対応のシステムとして、誤発進抑制機能と後側方死角警報機能という2つの新規アプリケーションを搭載した次世代ソナーシステムを開発して量産化した。

三菱電機の誤発進抑制機能は、開口合成処理と独自の虚像除去処理によって高い分解能で確度の高い障害物の位置推定を行い、操舵(そうだ)で障害物を回避可能な状況を正確に判断して不要作動を抑えることができるのが特長である。

後側方死角警報機能では、従来の車載超音波センサ用途にはないノイズ環境の中でも障害物計測可能な信号処理ロジックを開発した。また、判定アルゴリズムの工夫で、不検知や瞬間的な不要検知が発生しやすい走行中の環境でも不検知が少なく、ロバスト性の高い追越し車両の検知性能を実現した。さらに、新規に採用した超音波センサ素子と指向性を高めるホーンタイプベゼルの開発で、検知性能の長距離化を実現した。



## 誤発進抑制及び後側方死角警報機能搭載ソナーシステム

誤発進抑制機能では、障害物とアクセルペダルの異常な踏み込みを認識した場合、エンジンコントロールユニットに対してトルク抑制の指示を行う。後側方死角警報機能は、高速走行時に自車後側方の追越し車両を検知してドライバーに注意を促す。これらの運転支援機能の実現のために、高い精度で障害物の位置を検出する開口合成処理、従来にないノイズ環境下でもセンシングできる技術及びロングレンジ対応センサを開発した。

## 1. ま え が き

ソナーシステムは、超音波センサで車両周辺の障害物を検知して警報音やインジケータでドライバーに危険を通知するシステムである。超音波センサはカメラやレーダと比べて安価であることや、車載用途に関して法規制がなく、各国で自由に使用できる利便性を持ち、従来、駐車時等の低速走行・近距離検知の場面で使われてきた。近年の衝突被害軽減機能に代表される予防安全システムの発展・普及によって、周辺監視センサとして普及拡大が見込まれる。

三菱電機では、ソナーシステムをベースにして、センサの検知距離性能及び耐ノイズ性能を向上させるとともに、アクセルとブレーキのペダル踏み間違いによる誤発進抑制機能、高速走行時の車線変更時に自車を追い越す車両に対してドライバーへ注意を促す後側方死角警報(Blind Spot Warning：BSW)機能を搭載した予防安全対応の次世代ソナーシステムを開発した。

本稿では、次世代ソナーシステムとその特長について述べる。

## 2. 誤発進抑制機能

誤発進抑制機能では、ソナーシステムが車両の走行経路上に障害物を検出している状態でアクセルペダルの異常な踏み込みを認識した場合、エンジンコントロールユニットに対して出力抑制の指示を行い、衝突の被害を軽減する。このような緊急時に作動してドライバーに取って代わって車両の動きを制御するシステムでは、通常時に不要作動しないことが特に重要となる。三菱電機の開発品では、高い分解能で障害物の位置を推定することで、操舵で障害物を回避可能な状況を正確に判断して不要作動を抑えることができる(図1)。次に、誤発進抑制機能の適用技術について述べる。

### 2.1 開口合成処理

超音波センサによる障害物検出では、TOF(Time-Of-Flight)方式でセンサから障害物までの距離を検出している。車載超音波センサは送受信一体型で、通常車両前後の



図1. 障害物位置推定による作動要否判定

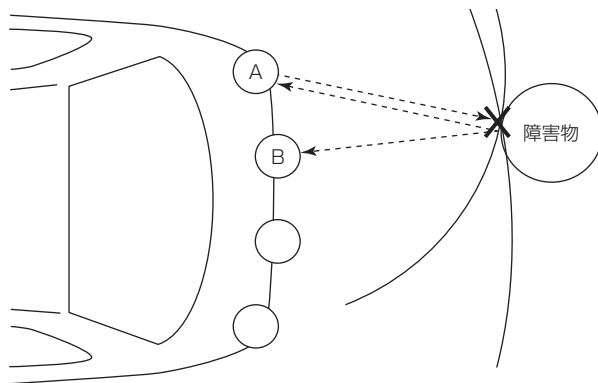
バンパーにそれぞれ複数個装着されて車幅全体又はバンパーコーナー部分の検知エリアをカバーする。そのため、一般的に水平方向の指向性は低く、従来のソナーシステムでは障害物の存在する詳細な位置までは分からなかった。

次世代ソナーシステムでは、コントロールユニット内の受信回路を追加して、送受信センサに隣接する他のセンサでも同時に反射波の受信を行えるようにした。これによって、障害物からの反射波を複数のセンサで受信して、各センサの位置と伝搬時間の差から障害物の存在する方位を計算する(図2)。装着されている各センサは順番に送受信センサとして測定を行うが、このとき隣接するセンサを受信用センサとして兼用することで装着センサ数を増やす必要がなく、システムコスト上昇を抑制している。また、障害物を検知したい方位角の範囲に比べて受信センサ間の距離が長くなるため、1つの送受信センサユニットに複数の受信素子を組み込む場合よりも高い方位分解能を実現している。

### 2.2 虚像除去処理

開口合成処理での障害物位置推定結果には、センサの測定距離誤差や、異なる物体からの反射波を開口合成することで、実際には物体が存在しない位置に障害物位置推定結果(虚像)が現れる場合がある。次世代ソナーシステムでは、測定に使用する複数センサのどのセンサからでも送信することができるという特長を活用した虚像除去アルゴリズムを開発した。先に述べた原因で現れる虚像は、送信するセンサを変えた場合に、センサの測定距離誤差や反射点が変わるため現れなくなったり、別の位置に現れたりするという傾向を持つ。そこで、バンパーに装着される各センサを送信センサとした複数回の測定結果を総合して、推定障害物位置の度数分布で障害物の存在位置と確度を判定する方法とした。

度数計算の基となる推定障害物位置の計算結果は、1つの送受信センサと別の受信センサの測定結果から求められ、各区分でこの計算結果の数をカウントする(図3)。さらに、同じ区分内に存在する2つの障害物推定結果が互いに双対



センサAで送信して障害物からの反射波を受信、センサBで反射波を受信して、伝搬距離から障害物の位置を得る

図2. 開口合成による障害物位置推定

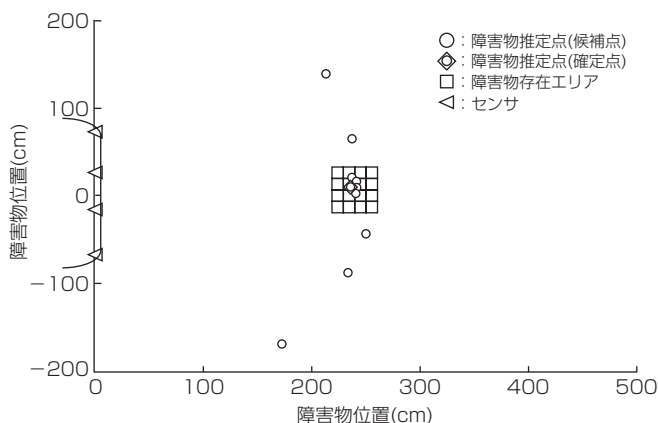


図3. 度数分布による障害物推定位置の評価

のセンサ組合せから求められたものであれば、確度が高い推定結果とみなして度数を追加することで、真の障害物位置と虚像との区別が付きやすくなるロジックとした。この方式も、先に述べた送信センサ位置を変えると虚像の出現有無、位置が変わるという特徴を利用している。

### 3. 後側方死角警報機能

後側方死角警報(BSW)機能は、高速走行時に自車後側方の追越し車両を検知して追越し車両が存在する場合には、サイドミラーに内蔵されるインジケータ及びブザー警報でドライバーに注意を促す。追越し車両を検知するため、超音波センサはリヤバンパーの斜め後方向きにこの機能専用のセンサとして装着される。また、追越し車両が自車真横に位置してドライバーが直接視認できる場合や、路上構造物等、警報対象でない場面及び物体を識別するため、フロントバンパーの自車真横方向にもこの機能専用のセンサが装着される。

この機能では、高速走行時に移動物を測定するという従来と全く異なる場面で超音波センサを利用している。そのため、従来の用途では想定されていないノイズ環境の中でも障害物計測可能であること、また、センサで検出した障害物の中から接近する移動物と警報対象外の物とを的確に識別することが重要となる。次に、BSW機能に向けて開発した技術について述べる。

#### 3.1 ノイズ除去と適応処理

高速走行中の超音波センサ測定での大きなノイズ要因は、風切り音と水しぶきや雪の巻き上げによるノイズである。また、従来のソナーシステムから想定されていたノイズ要因のうち、バイクや大型車のエンジン音、排気音、エアブレーキ音、ロードノイズについても、高速走行中はノイズが発生する頻度やレベルが上昇する。従来のソナーシステムでは、測定前に先に述べた外来ノイズを検出した場合、外来ノイズが収まるまで測定を一時停止していたが、この機能の動作環境ではこれらのノイズが発生する環境が通常的环境であるため測定を停止することはできない。そこで、

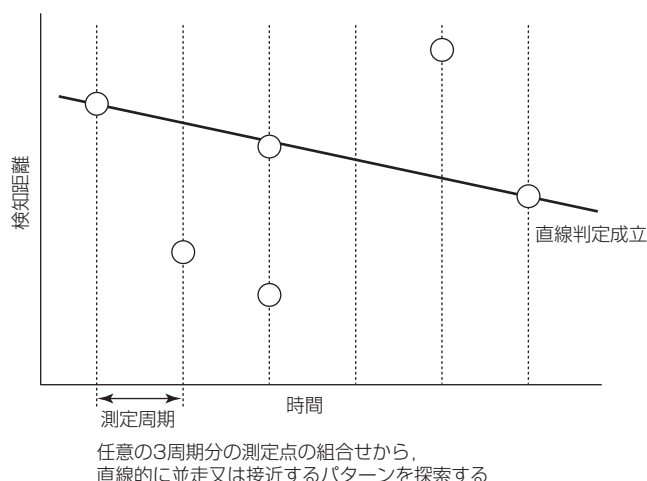


図4. 接近判定

BSWセンサでは他のセンサよりも受信ゲインを下げてノイズ信号の影響を受けにくくした。受信ゲインを下げることで障害物の検知性能が低下する分は、後に述べるロングレンジ化で適用した技術で補っている。風切り音や他車の発する音から受けるノイズでは、超音波受信信号のバックグラウンドレベルが上昇する。BSW障害物測定機能では、センサ測定前の外来ノイズ検出時にノイズのバックグラウンドレベルを測定して、その後の障害物測定で使用する検出しきい値がノイズレベルに対して一定以上の余裕を持つようにしきい値を補正することで、ノイズ信号の誤検知を抑えている。また、水しぶきや雪の巻き上げでは水滴や雪の粒がセンサ面に衝突するため、受信信号にスパイクノイズとなって現れる。先に述べた外来ノイズ検出処理でこのスパイクノイズのピークレベル及び発生頻度を検出して、ピークレベルに応じたタップ数の移動平均フィルタを受信信号に適用することでノイズの誤検知を抑えている。

これらのノイズ対策信号処理は障害物検知性能とのトレードオフとなるので通常は動作せず、外来ノイズ検出区間で検出されたノイズに応じて処理が適用される。さらに、ノイズのレベル及び頻度が高い場合にはS/N(Signal to Noise)比の低い遠方の障害物検出処理を停止して、次の段階では測定自体を停止する構成として、ノイズ環境下でも誤検知を抑えて段階的に機能を落としながらも可能な限り測定を継続できるようにした。

#### 3.2 障害物接近判定

BSW機能では、相対速度10km/h以内で後側方に接近する追越し車両を識別して警報を行う必要がある。追越し車両を判別するため、センサで検出された距離の履歴から、並走(傾き0 km/h)～接近(傾き10km/h)傾向を満たすパターンを探索する。過去の一定時間内に得られた検知距離情報の全ての組合せを探索することで、検知ロストや瞬間的な不要検知が発生しやすい走行中の環境でも不検知が少ないロバスト性の高い判定を実現した(図4)。



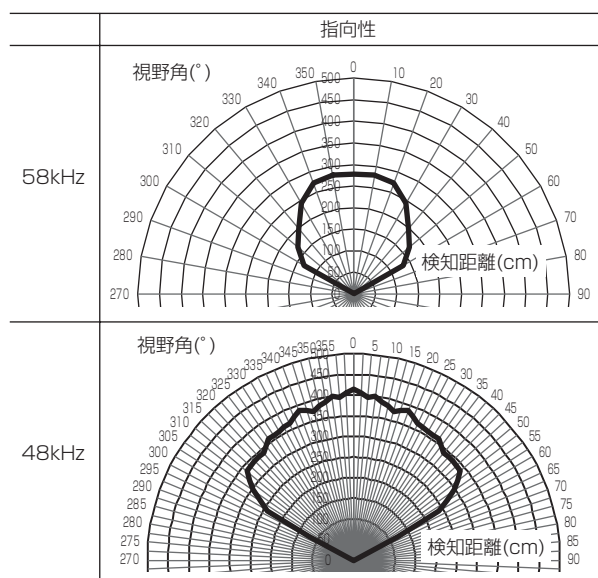


図 5. 48kHzと58kHzの検知距離性能比較



図 6. ホーンベゼル

#### 4. ロングレンジ対応センサ

誤発進抑制機能及びBSW機能では、ともにできるだけ遠方の障害物を検知できることが望ましい。今回開発したソナーシステムの目標値は最大検知距離4mであり、従来の超音波センサの検知距離約2mに対して大幅に性能を向上させる必要がある。遠距離検知達成のために適用した技術について次に述べる。

##### 4.1 48kHzセンサ素子

次世代ソナーシステムでは、従来機種で使用している共振周波数58kHzの超音波センサ素子に代えて、新設計の48kHzセンサ素子に変更した。この48kHzセンサでは、共振周波数の変更による空中伝播(でんぱ)時の減衰量減少、圧電素子の駆動耐圧を高くすることによる振動変位の増加、の2点の特長で超音波の送信音圧を向上させている(図5)。

##### 4.2 ホーンベゼル

BSWセンサは、移動物を検知するため、特に検知距離の向上が求められる。その際、音波が広く発信されると地面からの不要な反射が発生して障害物との分別が困難になる。そこで、センサをバンパーに固定する際に使用するベゼルの表面形状をホーン型にして(図6)、センサ指向性を

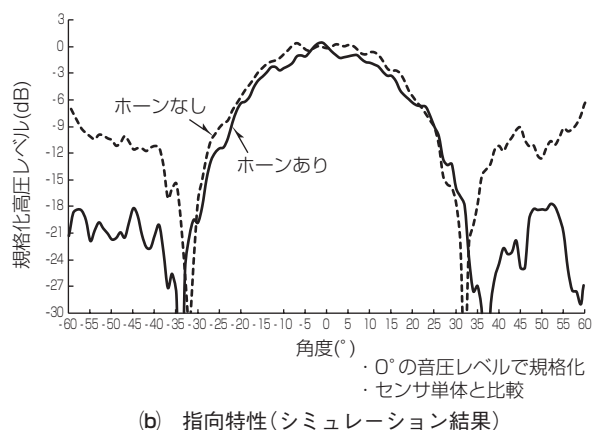
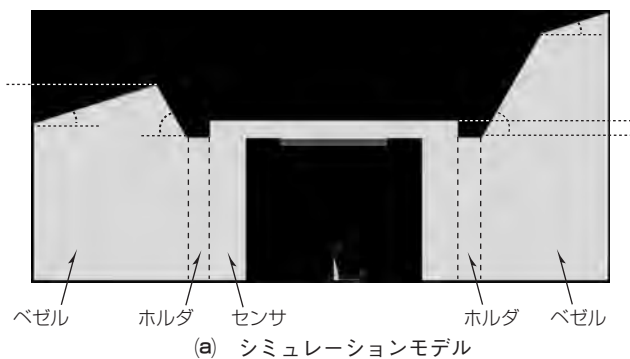


図 7. ホーンベゼル音圧シミュレーション結果

高めて障害物からの反射と不要反射とのS/N比を向上させた(図7)。

#### 5. む す び

次世代ソナーシステムでは、誤発進抑制機能と後側方死角警報機能という2つの大きな新規アプリケーションを搭載した。また、その要素技術として開口合成処理、ノイズ除去、適応的センシング及びロングレンジ対応センサを開発して多くの新規技術を盛り込み、従来の駐車時障害物接近警報ユニットの枠を超えたADAS機能を備えるソナーシステムを実現した。

近年、ADASシステムは急速に発展しており、各種センサユニットに求められる機能、性能、信頼性のレベルが大幅に上がってきている。今後も高機能化するADASシステムに合わせてソナーシステムも更に幅広い用途に用いられることが想定される。世の中のトレンドを的確に掴(つか)み、ニーズに合ったソナーユニットの開発を継続的に進め、車載安全・安心システムの発展に貢献していく。

#### 参 考 文 献

- (1) 井幡光詞, ほか: ロングレンジ超音波センサの低サイドロープ化の検討, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, A-11-1 (2015)

# 車載向け高精度ロケータ

入江崇志\* 小高康志\*  
大木秀彦\*  
石上忠富\*

High Precision Vehicle Locator

Takashi Irie, Hidehiko Oki, Tadatomi Ishigami, Yasushi Kodaka

## 要 旨

近年、究極の安全運転技術として自動運転に注目が集まっており、産学官で自動運転技術の検討、開発が盛んに行われている。三菱電機でも、自動運転の実現に向けた様々な取り組みを行っており、その1つとして、高精度な地図データと自車位置の情報を自動運転ECU (Electronic Control Unit) に提供する車載向け高精度ロケータの開発を行っている。

高精度地図データは、50cm未満の絶対精度を持つレーン単位の三次元形状情報を備えてレーンレベルでの自車位置同定や走行レーンパスを生成するために利用する。

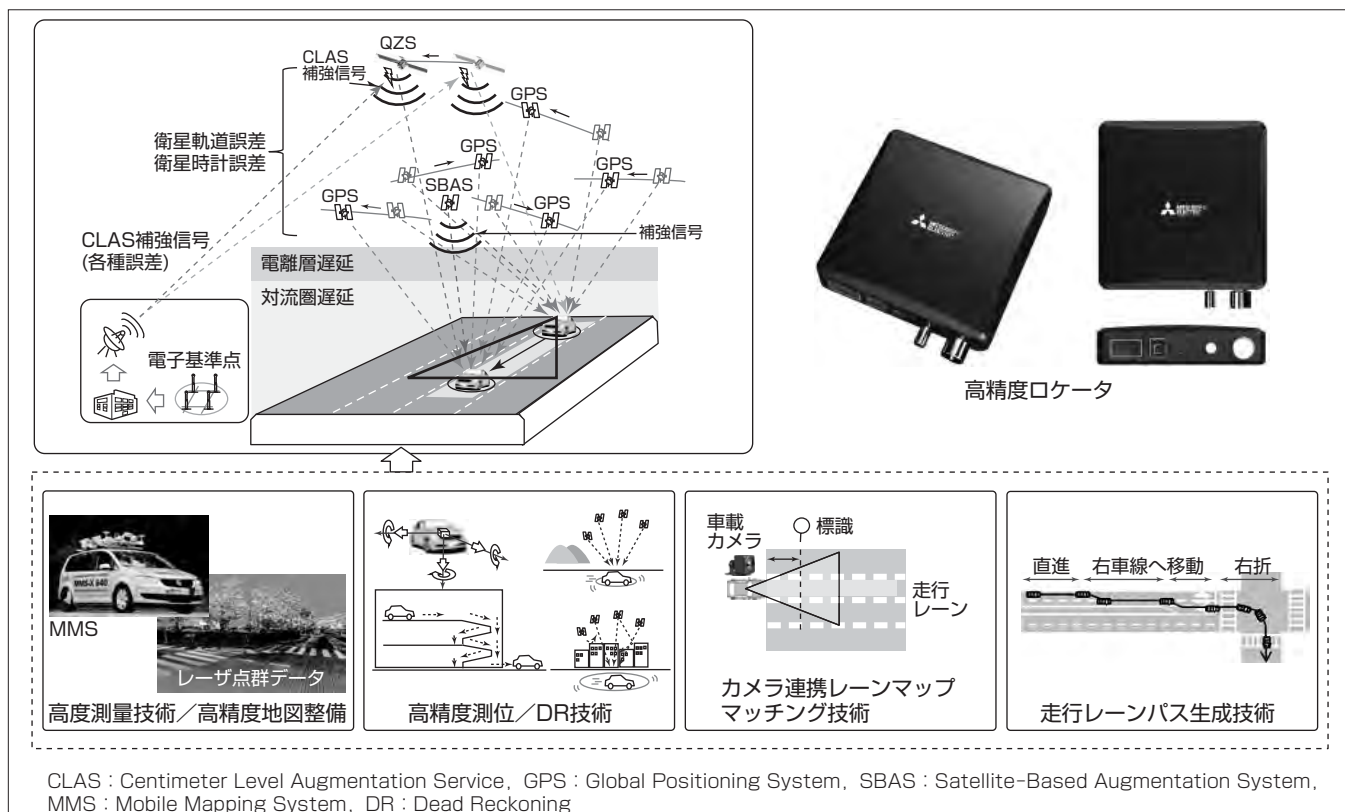
また、自車位置同定はカーナビゲーションで培った技術をベースに測量技術を適用して高精度化を図っており、準天頂衛星 (Quasi-Zenith Satellite : QZS) の測位補強信号<sup>(1)</sup>と搬送波位相を用いた精密単独測位とカメラを用いたレーンマップマッチングを行う。

ンマップマッチングを行う。

車載向け高精度ロケータを実現するに当たり、次の2つの課題を解決する必要がある。

- (1) 地図データのサイズ削減
- (2) 時計精度が低いGNSS (Global Navigation Satellite Systems) 受信機の使用と移動体の考慮

今回、これらの課題に対して、高精度地図データの圧縮と更新技術、また車載用GNSS受信機内蔵時計の誤差と電波遮断時の搬送波位相の補正技術を開発した。開発した補正技術を評価するために、実際の高速道路で高精度地図データを作成して補正技術を組み込んだ精密単独測位の精度を評価した。これによって、高精度化に向けたこの技術が有効であることを確認した。



## 準天頂衛星によるcm級測位補強信号を用いた高精度ロケータ

衛星測位だけで走行レーン特定するため、2018年4月にサービスが開始される4機体制の準天頂衛星 (QZS) からのcm級測位補強信号 (CLAS) を用いて高精度測位を実施する。また、カメラと高精度地図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情報からADAS (Advanced Driving Assistance System) 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

近年、自動ブレーキやレーンキーピングアシストなどの運転支援、予防安全システムの普及が進み、更なる安全な車社会を目指して自動運転の実現に注目が集まっている。国内では、2020年頃の自動運転システムの実用化に向けて、法整備の検討や技術開発が進められている。

自動運転では、通常ドライバーが行っている“認知”“判断”“操作”を車載システムで実行することが求められる。高精度ロケータは“認知”を行うセンサの1つと位置付けられ、正確な自車位置を求めて位置情報と関連付けられた地図情報を自動運転ECUに提供するシステムである。

本稿では、高精度ロケータの主要技術である高精度地図と高精度測位の最近の開発内容について述べる。

## 2. 車載向け高精度ロケータ

### 2.1 構 成

高精度ロケータの構成を図1に示す。高精度ロケータは、準天頂衛星から放射されるcm級測位補強信号を用いて高精度測位して、カメラを用いて走行レーン及びレーン上の自車位置を同定する。また自車位置に関連する高精度地図を用いてADASデータを作成して出力する。

### 2.2 特 徴

高精度ロケータの特徴は次のとおりである。

#### (1) 高精度地図データ

- ①三次元のレーン形状や信号機・標識の位置座標
- ②サブm級の座標精度
- ③車載機向けのコンパクトなデータ
- ④通信によるデータ配信が容易な更新方式

#### (2) 高精度自車位置演算(精度：50cm, 95%)

- ①準天頂衛星／SBAS衛星の測位補強信号と搬送波位相を用いた測位
- ②カメラを用いたレーンマップマッチング
- ③GNSSのRawデータを用いた精度評価及び精度指標の出力

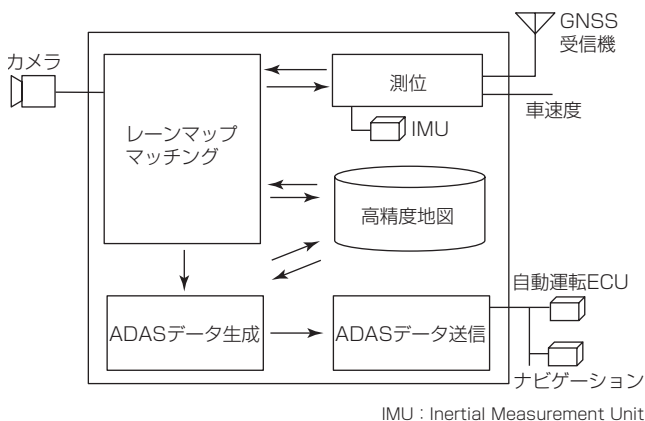


図1. 高精度ロケータの構成

### (3) ADASデータの出力

- ①ADASIS(Advanced Driver Assistance Systems Interface Specification)v2に準拠した予防安全向けデータの出力
- ②自動運転向けレーンレベル走行パスの出力
- ③高精度地図データコンテンツの出力

## 3. 高精度地図データ

現在カーナビゲーションで使用している地図データでは、誤差が大きいところでは市街地では数m、それ以外の場所では十数mに及ぶこともある。また、レーンごとの形状や路肩などの情報は保持しておらず、縦横断勾配や道路標識などの情報も十分にデータ化されていない。そこで、ADASや自動運転の要求に応えるため、50cm未満の絶対精度を持ってレーンごとの形状、縦横断勾配や信号機・道路標識の位置等を備えた高精度な三次元高精度地図データの開発を行う。

### 3.1 高精度地図データの制作

50cm未満の絶対精度で地図データを制作するには、高度な測量技術が必要である。また、地図データの更新に鑑みると測量効率の良さも必要である。これらの条件を満たす測量システムとして、業界で優れた実績のあるモービルマッピングシステム(MMS)<sup>(2)</sup>を採用することにした。MMSは、走行しながらカメラ画像及び高精度な三次元レーザ点群データを取得して、これらを基に自動運転向けに必要な区画線の形状や道路標識の位置などを正確に取得する。現在、高速道路での自動運転の実現に向けて、地図会社及び測量会社と協力して高速道路の高精度地図のデータ整備を進めている。

### 3.2 車載向け高精度地図データの開発

高精度地図データでは、例えばレーンごとの詳細な三次元形状情報を保持するため、従来のカーナビゲーション向け地図データと比較してデータサイズが増加する。一方、自動運転で地図データを使用するためにはデータの鮮度を保つことが重要である。このため、通信を用いてサーバから更新データを直接車載機に配信する。そこで、更新データの配信が容易なコンパクトな車載向け高精度地図データの開発を行った。

まず、データサイズに最も影響が大きい区画線等の形状データには曲線表現を用いるなど、独自のデータ圧縮技術で大幅にデータサイズを削減した。この結果、日本全国の高速道路の高精度地図データのサイズを200MB程度に抑えることができた。次に、地図更新の際には現実世界で変化があった道路のデータだけを差分データとして提供する技術を開発した。

これらによって、例えば新規に高速道路の路線が開通した場合でも、数百KB程度のデータサイズで地図データの更新が可能であり、通信を用いたデータ配信が容易になる。



## 4. 高精度測位技術

一般的に車載向けに使用されるGNSS受信機では衛星が放射した電波の伝播(でんぱ)時間から算出した擬似距離を用いたコード測位方式を採用しているが、様々な誤差要因(図2)によって精度は10m程度である。近年は、SBAS衛星によるDGPS(Differential GPS)に対応したマルチGNSS受信機の利用が進んでおり、オープンスカイ環境の精度は2～3mが期待されている。

一方、自動運転では1m以下の精度が要求されており、現行の車載用GNSS受信機から更なる高精度化が必要になっている。そこで、カーナビゲーション開発で培った技術をベースに、次の測位技術を適用した高精度ロケータの開発を進めている。

- (1) QZS/SBASの測位補強信号と2周波の搬送波位相を用いた精密単独測位(Precise Point Positioning: PPP)
- (2) 精密単独測位と自律航法(DR)との複合測位

今回、PPPを車載向け高精度ロケータに適用する際の課題について解決を図った。

### 4.1 PPPの車載適用での課題

PPPの車載適用に当たって、移動体での測位、自車周辺の環境変化、安価な受信機とセンサの使用を考慮する必要

がある。特に、次の2つが課題である。

- (1) 受信機内蔵時計誤差の補正

測量用GNSS受信機と比べて車載用GNSS受信機は安価な時計を使用しており、温度補償がない水晶発振器を使用するGNSS受信機もある。このため、時刻を刻む基準タイミング信号の精度不足が懸念される。この精度不足に応じて、車載用GNSS受信機が観測したRawデータ(擬似距離、ドップラー、搬送波位相)全てに観測誤差が生じる。高精度化を図るためには、時計誤差の補正が必要である。

- (2) 搬送波位相の補正

測量分野では、擬似距離の雑音低減のために、搬送波位相を用いて擬似距離を平滑化するキャリアスムーシングが行われている。一方、移動体では、電波遮断時に搬送波位相が不連続になる問題(サイクルスリップ)と周辺建築物への電波反射で擬似距離に大きな誤差を生じる問題(マルチパス)があるため、車載に適したキャリアスムーシングが必要である。

### 4.2 課題解決策

これら課題について、高精度ロケータでは、車載用GNSS受信機から出力されるRawデータを用いた補正ロジックを導入することで課題の解決を図った。

## 5. 実験評価

高精度地図データを用いて、4章で述べた補正ロジックを適用したPPPの実車走行による実験評価を行った。

### 5.1 実験評価方法

中国自動車道の西宮北IC～神戸三田ICの区間で高精度地図データを作成して、高精度ロケータを用いて2015年10月30日に走行評価を実施した。西宮北ICから本線に合流後、右端の追越しレーンへ車線変更を行い、その間の測位結果を記録して精度評価を行う。

今回開発した補正ロジックは、SBAS補強1周波PPP方

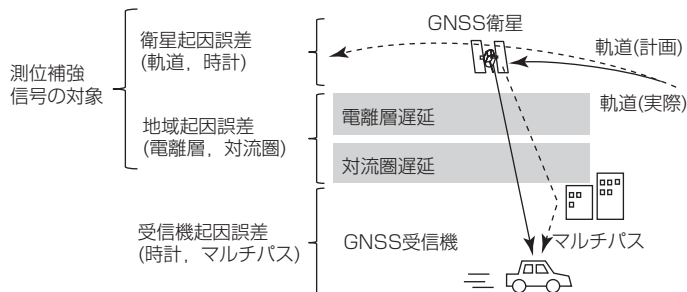


図2. GNSS測位の誤差要因

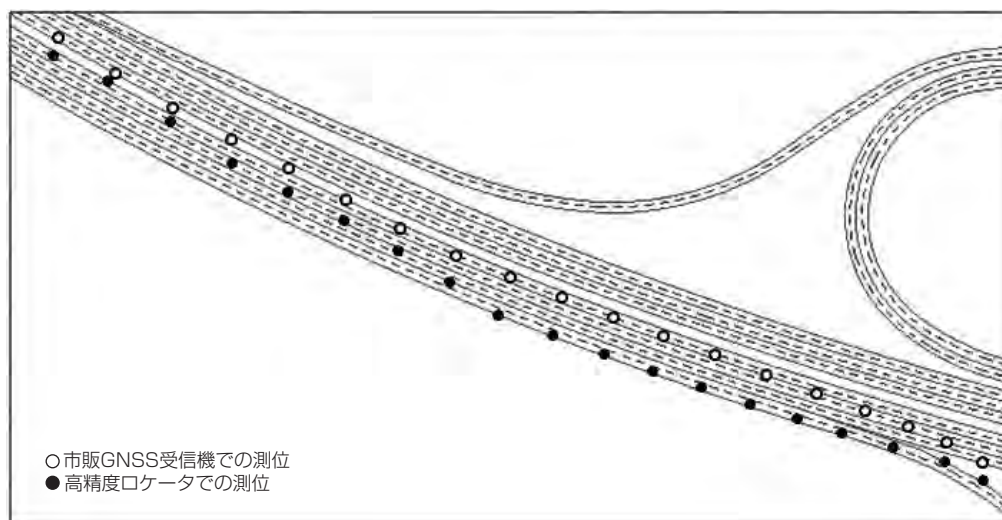


図3. 市販GNSS受信機での測位と高精度ロケータでの測位の比較

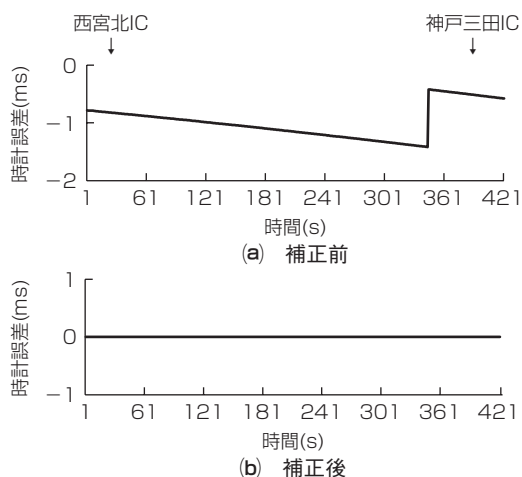


図4. GNSS受信機内蔵時計誤差

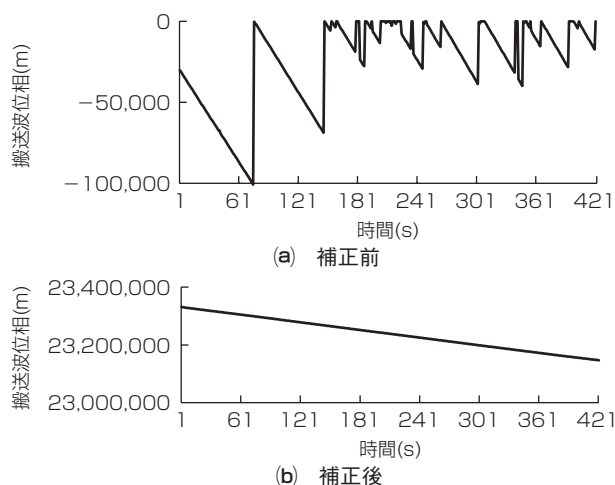


図5. 搬送波位相

式として高精度ロケータに組み込んでおり、比較のために同じ測位方式に対応した市販GNSS受信機での測位も同時に行った。

## 5.2 実験評価結果

市販GNSS受信機と高精度ロケータが測位した自車位置の軌跡を図3に示す。市販GNSS受信機での測位ではスムーズな軌跡が得られて精度のばらつきは抑えられているが、自車位置にバイアス誤差が生じて走行レーンから一定方向に外れる結果となった。一方、高精度ロケータでは走行レーンを比較的正しくトレースしており、精度のばらつきはなく、バイアス誤差が抑えられることが確認できる。また、車線変更時の軌跡形状が良好に計測できていることから、

精度自体も高いことが確認できた。

次に、今回開発した補正ロジックの有効性確認を行った。

課題の1つである受信機内蔵時計誤差の補正前、補正後の結果を図4に示す。グラフの縦軸は時計誤差を表しており、補正前は時間経過とともに $-1 \pm 0.5\text{ms}$ の範囲内に時計誤差が収まるようにステップ変化している。補正後は、この時計誤差が0ms近くまで(30ns以下)低減されている結果が得られた。測量用GNSS受信機と同じnsオーダーの誤差であるため、高精度に補正できたものと考ええる。

もう1つの課題である搬送波位相の補正前、補正後の結果を図5に示す。補正前はサイクルスリップが発生して波形が不連続になっているが、補正後は連続波形になって搬送波位相の復元が正しく行われることが確認できた。

これらのことから、今回開発した補正ロジックは正しく機能しており、市販GNSS受信機と比べて高精度の測位結果が得られたと言える。

## 6. む す び

車載向け高精度ロケータ用に、コンパクトかつ通信による更新データ配信が容易な高精度地図データの開発を行った。また、PPPの車載適用に向けて、使用上の課題である受信機内蔵時計誤差と搬送波位相の補正を行うロジックを開発して、高精度ロケータへ組み込んだ。

高精度地図データを作成した高速道路で走行実験を行い、補正ロジックが有効に機能して走行レーンを同定できる位置精度が出ていることを確認した。

今後、更なる高精度化に向けて、2周波PPP、CLAS方式のPPP(RTK(Real Time Kinematic)-PPP)にも対応して、それぞれDRとの複合測位化を図る。また、高速道路以外での自動運転の実現に向けて、高精度地図データの一般道路への適用についても検討を行う。

## 参 考 文 献

- (1) 瀧口純一, ほか: 準天頂衛星システムによる都市部での衛星測位の可用性の拡大, 三菱電機技報, **89**, No.3, 162~165 (2015)
- (2) 石川貴一郎, ほか: モービルマッピングシステムによる都市空間モデリング, 計測自動制御学会産業論文集, **8**, No.17, 132~139 (2009)

# 車載マルチメディアヘッドユニット向け インターネット経由ソフトウェア更新機能

太田浩祐\*

*Flexible Software Update via OTA for Car Infotainment Head Unit*

Kosuke Ota

## 要 旨

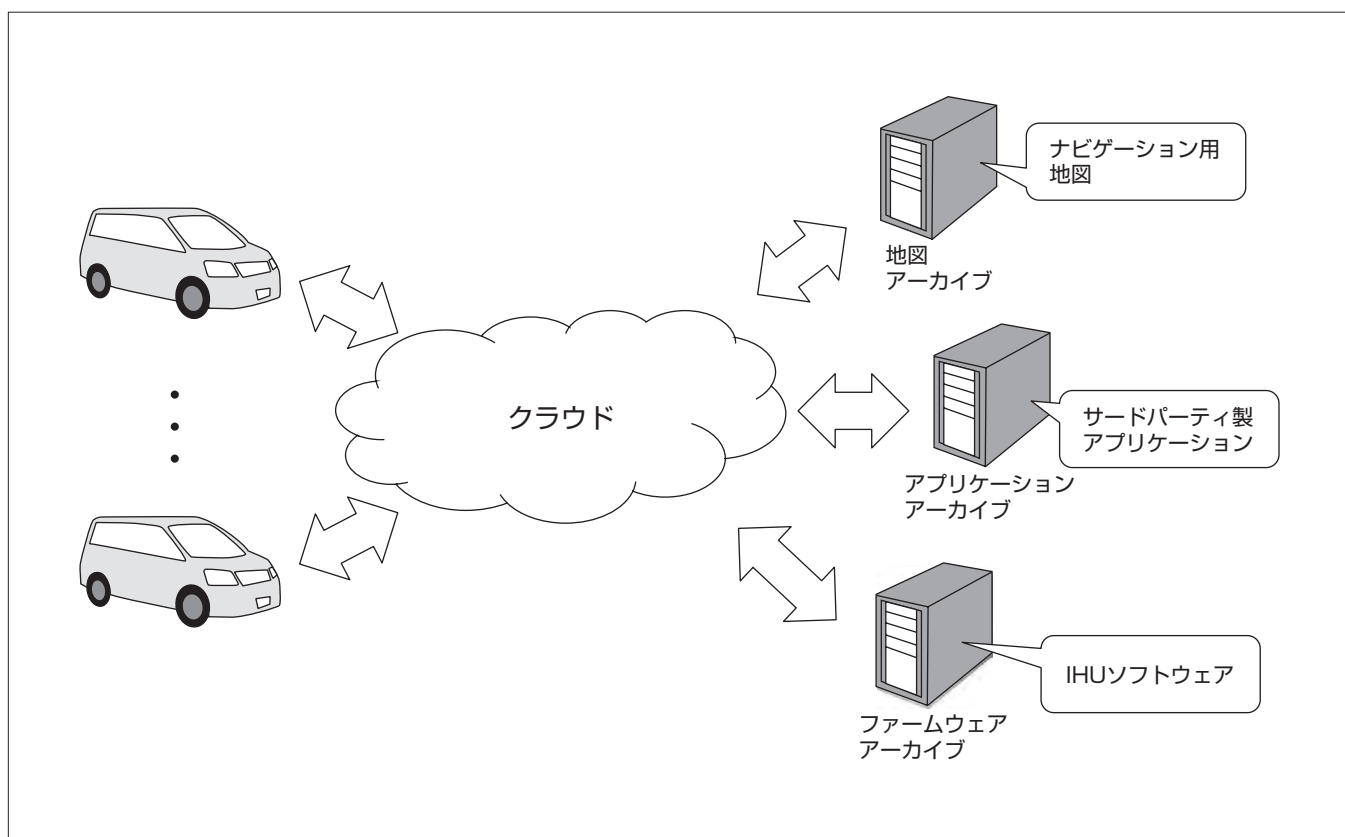
車両に搭載されるカーマルチメディア機器 (Infotainment Head Unit : IHU) 向けにOTA (Over The Air) 機能を開発した。OTAとは、インターネット経由でユーザー自身がソフトウェアなどのコンテンツを更新できる機能である。既に携帯電話・スマートフォンでは一般的になっているこのOTA機能を、今回、車載機器にも搭載した。従来、車載機器のソフトウェアを更新するには、ユーザーがディーラーに車両を持ち込んでディーラーが作業する必要があった。この機能を搭載することでユーザー自身によるソフトウェアの更新が可能になった結果、ソフトウェア更新作業の費用削減や更新ソフトウェアの迅速な市場投入が期待できるようになった。

その一方で、車載機器のソフトウェア更新に対して、不

特定多数のユーザーが関与可能となるので、従来のOTAへの対応に加えて次の課題への対応も必要となった。

- (1) ソフトウェア更新による走行中のIHU機能停止の防止
- (2) 動作保証されていない組合せのソフトウェア更新の防止
- (3) 第三者によるソフトウェアの改ざん対策

これらの課題を解決して、車載機器に対して便利かつ安全なソフトウェア更新機能を開発できた。今後、この機能を利用したIHUの新規サービス (機能) の投入増加が予想され、この機能の重要性はますます高まる見込みである。ユーザーニーズ、技術動向によって検討すべき課題は変化していくが、継続的にこの機能の改善・向上を図ることでユーザーニーズに適合したサービスを提供していく。



## OTA機能の全体構成

OTA機能の概念図である。自動車メーカーが準備したクラウド／サーバと各車両が無線通信することで、OTA機能を実現している。今回開発したOTA機能では、ナビゲーション用地図、サードパーティ製アプリケーション及びIHUのソフトウェアを更新することができる。



## 1. ま え が き

車両に搭載されるIHU向けにOTA機能を開発した。この機能は、無線通信によるインターネット接続を用いてナビゲーション用地図、サードパーティ製アプリケーション及びIHUのソフトウェアの更新を可能にする。この機能を搭載したことで、次の効果が期待できる。

- (1) ソフトウェア更新の費用削減
- (2) 更新ソフトウェアの迅速な市場投入

従来、ソフトウェアを更新するには、ユーザーがディーラーまで出向いて、ディーラーの作業で1台ずつソフトウェアを更新する必要があった。また、新サービスの追加によるソフトウェアの更新が生じた際でも更新できるタイミングが限られており、すぐに新しいソフトウェアを提供することができなかった。

しかし、OTA機能を搭載することでユーザー及びディーラーの手間を省き、かつ、新サービスの迅速な投入が可能となる。

本稿では、OTA機能の基本的な仕組み、及びOTA機能の実現に向けた課題と対策を述べる。

## 2. OTA機能

OTA機能は大きく分けて次の2つの機能で実現している(図1)。

- (1) ダウンロード(クラウドからのデータのコピー)
- (2) インストール(ソフトウェアの書換え)

基本機能には信頼のある既存ソフトウェアを活用し、車載特有の課題解決に注力した。それぞれの機能について、次に述べる。

### 2.1 ダウンロード

ダウンロードは、クラウドに格納されているソフトウェアをIHUの一時領域にコピーする。今回開発したOTA機能では、クラウドとの通信をIHUとは別の通信ECU(Electronic Control Unit)で実現しており、ソフトウェアのコピーもこの通信ECUで実現している。ユーザーの画面操作で通信ECUがソフトウェアのダウンロードを開始する。通信ECUはIHU内の一時領域にアクセスして、コピーしたソフトウェアを格納する(図2)。

### 2.2 インストール

インストールは、一時領域に格納したソフトウェアを実行領域に書き込む。今回開発したシステムでは、OTA機能以外にもUSB(Universal Serial Bus)メモリによる更新、Ethernet<sup>(注1)</sup>経由での専用ツールによる更新が可能である(図3)。OTA機能のインストールは、これらの更新機能を流用して開発した。インストールの仕組みを統一することで、後に述べる課題の解決にも効果を発揮した。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

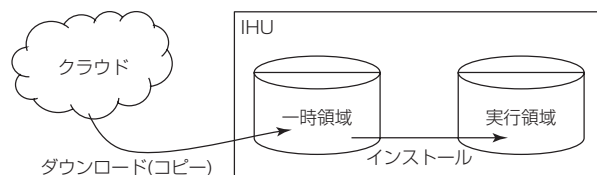


図1. OTAの基本的な仕組み

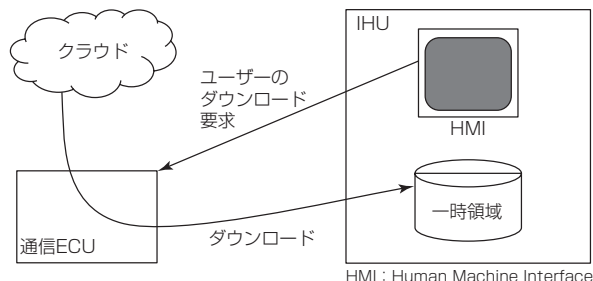


図2. ダウンロードの方法

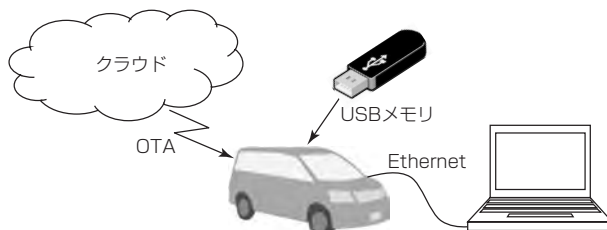


図3. ソフトウェア更新の3つの手段

## 3. 車載用OTAで実現した機能

ユーザー自身によるソフトウェア更新を可能にするOTA機能を安全に提供するために、次の課題の解決を図った。

- (1) ソフトウェア更新による走行中の機能停止防止
- (2) ソフトウェア更新中のシャットダウン対策
- (3) 動作保証されていない組合せのソフトウェア更新の防止
- (4) ソフトウェア更新の競合対策
- (5) 第三者によるソフトウェアの改ざん対策

それぞれの課題の解決策を、項目順に述べる。

### 3.1 実行領域の2面持ち

ユーザーが走行中にOTA機能を作動させることを想定して、IHUの通常動作中に並行してソフトウェアの更新を実行できる必要がある。しかし、IHUには車両の走行に密接に関連する機能も搭載されており、一時的であっても走行中のソフトウェア更新によるIHUの機能停止は許容されない。

この対策として、アプリケーション実行用と更新ソフトウェア書き込み用の2つの実行領域を用意することで、この課題を解決した(図4)。

図4の実行領域(A)でアプリケーションが実行されている状態でOTA機能によるソフトウェアの更新が要求された場合、更新ソフトウェアをソフトウェア書き込み用の実行領域(B)に書き込む。更新ソフトウェアの実行領域(B)への書き込みが完了するまで、アプリケーションは実行領域(A)で実行される。IHUが次に再起動するタイミングで

実行領域を切り換えて、新しくソフトウェアが書き込まれた実行領域(B)でアプリケーションを実行する。この対応によって、走行中にIHUの機能を損なうことなくソフトウェア更新することを実現できた。

また、ディーラーによるソフトウェア更新では走行中のソフトウェア更新を想定していないため、この対応は必ずしも必要ではなかったが、ソフトウェア更新の失敗時など不完全なソフトウェアでの実行による動作不具合を回避するために、この対策を適用した。

### 3.2 レジューム

先に述べたとおり、OTA機能はユーザーが走行中に実行することも想定している。そのため、他の機能の動作に影響を与えないようにOTA機能の処理優先度を下げる必要がある(バックグラウンドでソフトウェアを更新)。処理優先度を下げることで処理完了までに時間がかかり、ソフトウェア更新完了前にIHUがシャットダウンされる可能性が高まる。その際、ソフトウェア更新が中断されることで次回起動時に初めから更新が必要ということになれば、OTA機能のユーザビリティを著しく低下させる。

この対策として、レジューム機能を搭載して、シャットダウンによるソフトウェア更新の初めからのやり直しを回避した。レジューム機能とは、前回終了時に中断した箇所から処理を再開させる機能である(図5)。レジューム機能を搭載しない場合、前回終了時にどこまで処理したのかを判断できず、次の起動時に初めから処理を再開する必要があった。しかし、レジュームポイントを設定することで、シャットダウン前までにどのレジュームポイントまで処理したかを記憶して、前回終了時に中断したレジュームポイントからソフトウェア更新処理を再開できるようにした。

### 3.3 ソフトウェアの互換性チェック

IHUのソフトウェアは多数のソフトウェアモジュールで構成されており、様々なバージョンが存在するが、全てのバージョンの組合せによる動作保証は困難である。そのた

め、保証できないソフトウェアの組合せへの更新は避ける必要がある。

そこで、クラウドによる更新可能なソフトウェアの管理及びソフトウェア更新時のバージョンチェックを導入して、これらの課題を解決した。

それぞれの解決策の詳細を次に述べる。

#### (1) クラウドによる更新可能なソフトウェアの管理

動作保証されているソフトウェアのバージョンだけを、更新可能なソフトウェアとしてユーザーへ提供することで、動作保証されていない組合せのソフトウェアへの更新を防止する(図6)。

ユーザーがソフトウェア更新を実行すると、IHUは現状のソフトウェアバージョンをクラウドに通知する。クラウドは現状のソフトウェアバージョンを確認して、更新可能なソフトウェアのリストをIHUへ通知する。このように更新可能なソフトウェアだけを選択可能な形でユーザーへ提供することで、動作保証されていない組合せのソフトウェア

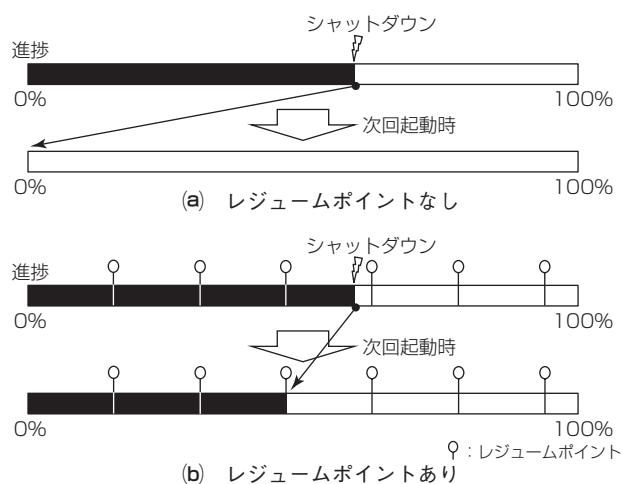


図5. レジュームポイント

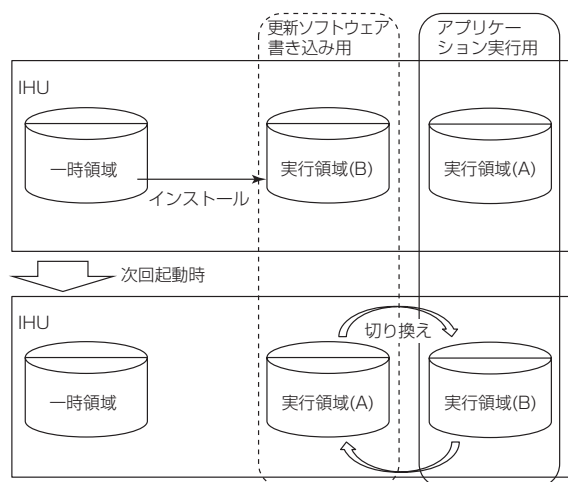


図4. 実行領域の2面持ち

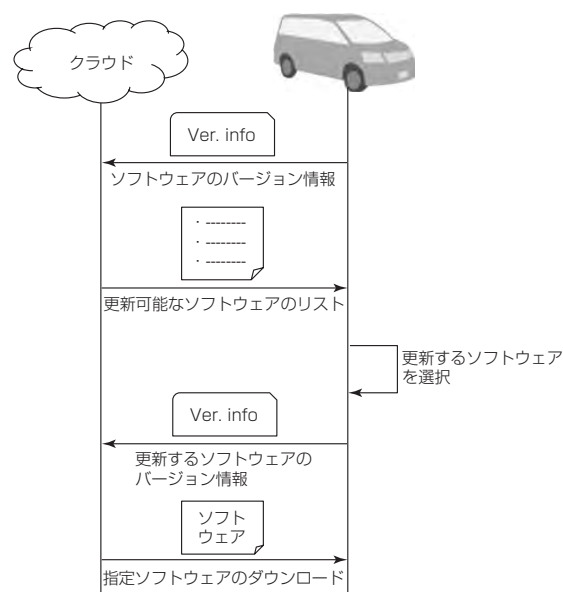


図6. ソフトウェアのバージョン管理

アへの更新を防止した。

## (2) ソフトウェア更新時のバージョンチェック

通常のソフトウェア更新の際、各ソフトウェアのバージョンチェックを実行する。IHU内に組み合わせ可能なソフトウェアのデータベースを保持しておき、更新予定のソフトウェアの組合せに問題がないかをこのデータベースで照合する。保証されていない組合せのソフトウェアが検出された場合は、そのソフトウェアの更新を中止する。しかし、この対応方法では、将来の更新ソフトウェアを考慮した場合に組合せが増大して管理が困難となることが予想される。この問題に対して次の方策を導入して、ソフトウェアの組合せ数を削減した。

確認する組合せのベースとなる更新頻度の高いソフトウェアを定義して、そのベースソフトウェアと更新頻度の低い他のソフトウェアとの組合せを確認することで組合せ数を削減した(この際、更新頻度の低いソフトウェア同士の組合せは確認しない)。なお、ベースソフトウェアではないソフトウェア間に依存関係がある場合は、そのいずれかをベースソフトウェア(サブ)として、階層化する必要がある(図7)。

このソフトウェアの組合せチェックは、OTA機能だけではなく他のソフトウェア更新にも適用することで、動作保証されていない組合せのソフトウェアの実行を回避した。

## 3.4 ソフトウェア更新の排他制御

複数の手段でのソフトウェア更新が可能であるため、異なるバージョンのソフトウェアが同時に書き込まれる可能性があり、異なる手段での同時ソフトウェア更新の防止が必要となる。

その対策として、ソフトウェアの更新権管理機能を導入した。この機能は、初めに選択された更新手段へソフトウェアの更新権を与えて、ソフトウェア更新が既に他の手段で実行されている場合は、後から選択された更新手段でのソフトウェア更新を禁止する。これによって、複数の手段で同時にソフトウェアが更新される事態を回避した。

## 3.5 ソフトウェアの改ざんチェック

第三者によって改ざんされたソフトウェアの更新で、IHUが意図しない動作に陥る可能性がある。各機種の構成によって検討すべきユースケースは異なるが、基本的には、ダウンロード時及びインストール時の対策が必要である。それぞれの対策を次に述べる。

### (1) ダウンロード時のチェック

OTA機能では、無線通信を用いてダウンロードを実施するため、クラウドからソフトウェアを受け取るまでの間にソフトウェアが改ざんされていないことを確認する必要がある。

この対策として、SSL(Secure Sockets Layer)/TLS(Transport Layer Security)による暗号化を採用することで、問題を回避した。この技術は、無線通信における一般的な技術である。

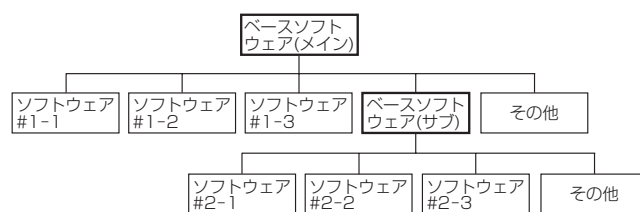


図7. 組合せチェック

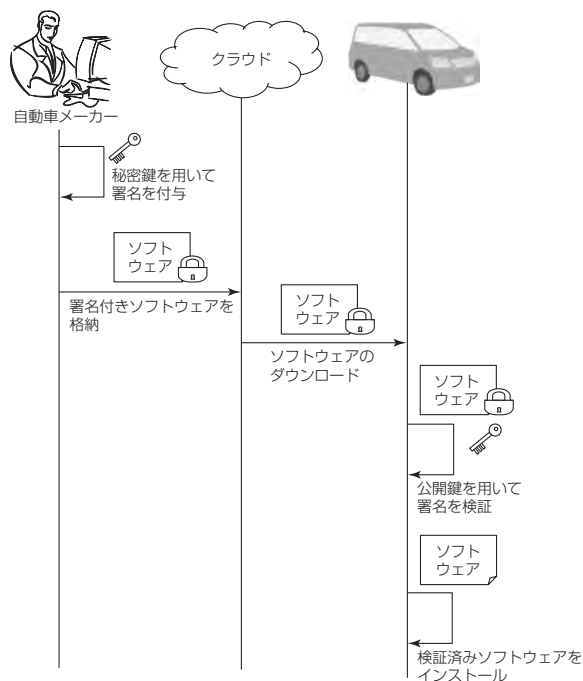


図8. 署名付与フロー

### (2) インストール時のチェック

ダウンロード前、又はダウンロード後にソフトウェアが改ざんされた場合、先に述べたチェックだけでは不正ソフトウェアの更新を抑止しきれない。そのため、インストール前にソフトウェア改ざんの有無を検出する必要がある。

この対応として、署名付きソフトウェアに対する認証方式を導入した(図8)。クラウドに格納する各ソフトウェアに対して署名を付与する。IHUはソフトウェアのインストール前に付与されている署名を検証して、ソフトウェアが改ざんされていないことを確認する。

## 4. む す び

OTA機能を実現するために、ソフトウェア更新時のユーザー操作の検討に十分な配慮を必要とした。それらのユースケースを洗い出して1つ1つ検討していくことで、ユーザーにとって便利で安全なソフトウェアの更新機能を提供することができた。今後、この機能を利用したIHUの新規サービス(機能)の投入増加が予想され、この機能の重要性はますます高まる見込みである。ユーザーニーズ、技術動向によって検討すべき課題は変化していくが、継続的にこの機能の改善・向上を図ることでユーザーニーズに適合したサービスを提供していく。



# IoT機器のLSI個性差を利用したセキュリティ技術

鈴木大輔\*

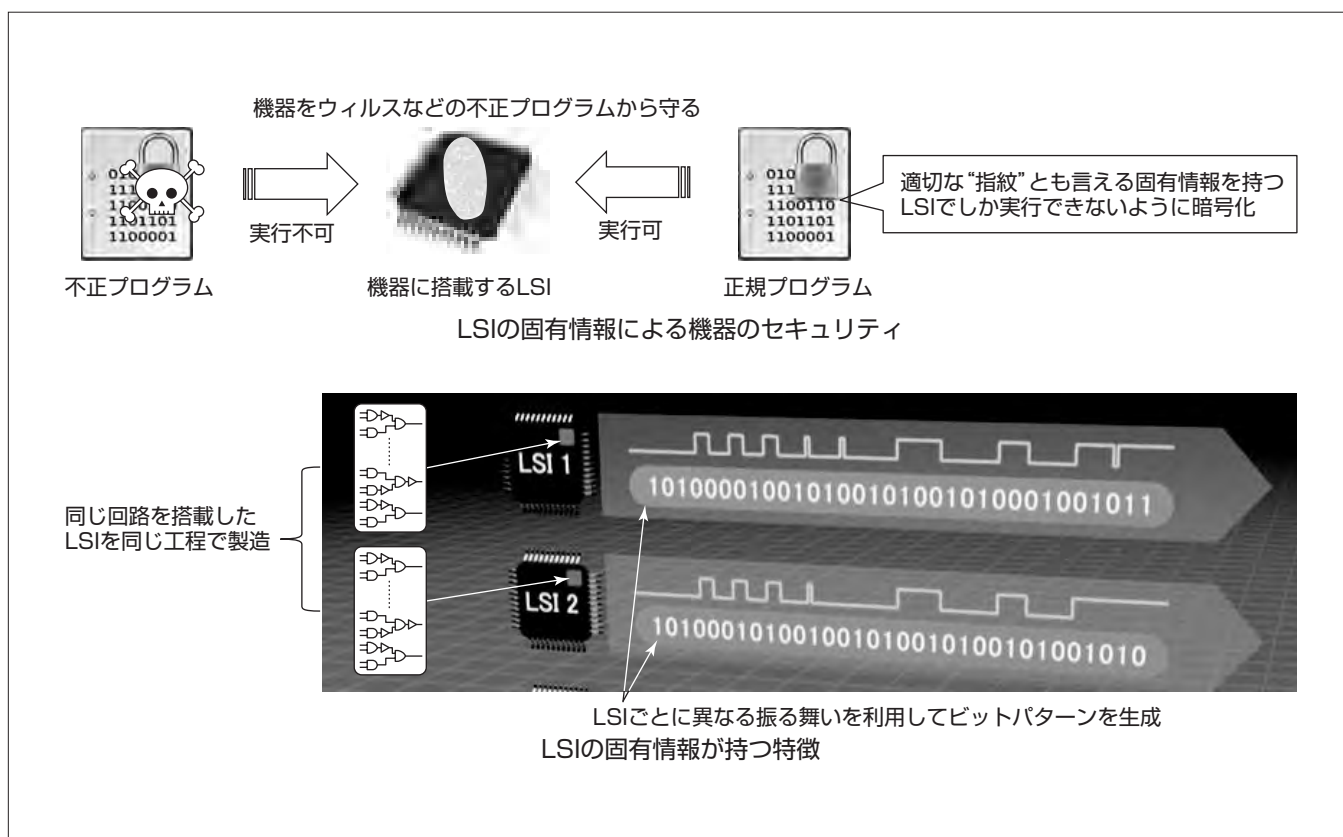
Security Technology by Using Individual Differences of LSIs for IoT Devices

Daisuke Suzuki

## 要 旨

パソコンなどの情報通信機器だけでなく、あらゆる機器がインターネットを介してつながるIoT(Internet of Things)の普及が本格化して、新しいサービスが次々と生まれる時代が到来している。一方で、これまでつながることを想定していなかった機器には、セキュリティ上の脅威への対策が求められている。特に、IoTが想定するサービスでは自動車を含めた様々なシステムがつながって自動化／無人化されていくため、セキュリティ事故は情報資産にとどまらず直接人命等に関わる可能性がある。現在、IoT機器は多くのセキュリティ課題を持つことで知られているが、その多くは暗号技術など既存のセキュリティ技術で解決することができる。

IoT機器に対して暗号技術を利用してセキュリティ対策を行う際に課題となる鍵管理の問題を解決する技術では、LSI(Large Scale Integration)の製造段階で生じる個性差からLSIの“指紋”とも言える固有情報をビットパターンとして生成することができる。生成された固有情報は回路が動作した瞬間だけ現れるため、LSIを分解・解析されても固有情報が漏れることはない。また、製造段階で生じる個性差から固有情報を生成しているため、回路が複製されても固有情報は複製されないという2つの特長を持つ。この固有情報を、機器で管理したい鍵の保護に利用することで、暗号技術を安心して利用できる。また、この技術を応用した機器認証やLSIの動作環境に関する異常検出が可能となる。



## IoT機器への不正プログラム混入防止

不正プログラムの混入防止は、正規プログラムとLSIを暗号技術によって紐(ひも)づけることで実現できる。その際、LSIの指紋とも言える固有情報を利用する。この固有情報は、機器やLSIを分解・解析されても盗み取られないセキュリティを達成している。また、実装が容易なので小規模の回路で実装でき、コストの厳しい組み込み機器に最適である。

# 1. ま え が き

IoTという言葉とともに、これまでネットワークに接続されていない機器がつながることで新しい機能やサービスを実現しようとする動きが活発化している。一般に、IoTのアーキテクチャは、機器(デバイス)、ゲートウェイ、クラウド(サーバ)の3つの構成要素で表現される。このIoTのアーキテクチャでのセキュリティは、それぞれの層で様々な視点から議論されている。例えば、ゲートウェイでは多様な通信プロトコルに対応した暗号化通信、クラウドでは集めた情報のプライバシー保護などが挙げられる。

本稿では、より多くの課題を抱えるIoT機器のセキュリティに焦点を当てる。

# 2. IoT機器のセキュリティ課題

ヒューレット・パッカード社が行ったIoT機器に対するセキュリティ調査<sup>(1)</sup>で、多くの機器がセキュリティ対策を実施していないことが示された。これら課題の多くは、暗号技術を含む既存の技術で解決することができる。例えば、機器内でのパスワード管理は、暗号アルゴリズムで平文での管理を避けることができる。ファームウェアの更新は暗号化とデジタル署名でリバースエンジニアリングや悪意ある改ざんから守ることが可能であり、通信路の保護についても同様である。典型的な例として、図1にゲートウェイと通信する機器に対してゲートウェイが認証を行うケースを示す。図1はISO/IEC(International Electrotechnical Commission)9798-2をベースとした単純な認証プロトコルで機器を認証するフローを表している。ゲートウェイと機器が認証鍵を事前に共有している点がポイントであり、認証鍵を持たない機器は接続させないという機能を実現できる。

暗号技術を利用する際の課題として、鍵管理の問題が挙げられる。暗号を含むセキュリティプロトコルをセキュアに利用する前提として、秘密情報である鍵情報は安全に管理される必要があり、図1の例では認証鍵を盗まれないよ

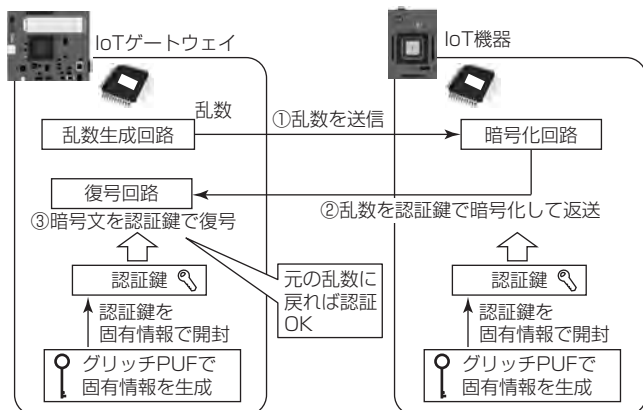


図1. 暗号技術を用いた機器認証

うにどのように管理できるかという問題である。一方で、実施可能な管理方法は機器の構成や実装に依存するため、場合によっては秘密情報を奪取されるリスクが残る。

そこで、機器の最小構成要素であるLSI内で安全に鍵を管理するための技術として“グリッチPUF(Physically Unclonable Function)”と呼ぶ技術を開発した。この技術では、LSIの製造段階で生じる個体差からLSIの“指紋”とも言える固有の情報を生成することができる。この情報は、LSIを分解・解析されても盗まれることはないため、装置の鍵管理の安全性を飛躍的に向上させることができる。さらに、IoTのセキュリティとして不可欠な機器の認証に用いる乱数生成や暗号化などの機能や、LSIの動作環境の異常を検出する機能をグリッチPUFの応用で実現した。

# 3. IoTを支えるセキュリティ技術

## 3.1 グリッチPUF

PUFはLSIに代表される個々の人工物が持つ物理的な特徴量に応じて、与えられた入力に対して出力を返すように設計されたセキュリティモジュールの総称である。その人工物が持つ製造ばらつきを特徴量に利用することで、同じ特徴量の人工物の複製が困難である根拠としている。論理回路を構成する各ゲートの遅延ばらつきを特徴量として、その入出力信号間の遅延関係から発生するグリッチと呼ばれる現象を利用したPUFの構成法“グリッチPUF”を開発した<sup>(2)</sup>。

次に、図2に示す簡単な論理回路でその原理を述べる。図2のような複数の入力信号に対してANDやXORなどの論理演算を行う回路では、各信号の遅延差によってグリッチと呼ばれる信号の過渡遷移が発生する。図2で入力信号( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ )が全て0から1に変化する場合、 $x_1$ ,  $x_2$ の信号変化の時間差でまずXORゲートの出力に凸状のグリッ

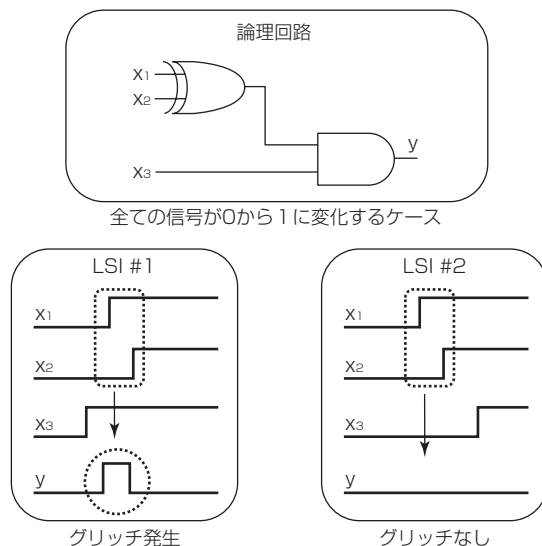


図2. 遅延の違いによるグリッチの有無

チが発生する。次に、 $x_3$ の変化がこのグリッチよりも早くANDゲートに到達すれば、グリッチはANDゲートの出力に伝播(でんぱ)する。逆に、 $x_3$ の変化がこのグリッチよりも遅くANDゲートに到達すれば、グリッチはANDゲートの出力には伝播しない。すなわち、遅延の違いでグリッチの有無が異なる。この現象を利用して、図2よりも複雑な回路のグリッチを用いてLSIごとに固有の情報を生成する。図3に固有情報を生成するフローを示す。図3に示すように、各LSIに実装された同じ回路に信号を入力して、その際に発生する電圧の上昇する回数を数え、その数が偶数個ならば0、奇数個ならば1のビットを与える処理を行う。さらに、入力する信号を変えて繰り返しビットに変換して長いビット列から成る固有情報を生成する。

グリッチPUFで生成される固有情報は次の2つの特長を持つ。1つ目は、回路が動作した瞬間だけ固有情報が現れるためLSIを分解・解析されても固有情報が漏れない。2つ目は、製造段階で生じる個体差から固有情報を生成しているため、回路を複製されても固有情報は複製されない。この2つの特長は、グリッチPUFで生成される固有情報がセキュリティ上強固な秘密情報であることを意味する。

### 3.2 鍵生成

グリッチPUFを含め、PUFで生成される固有情報は生成ごとに完全一致しない想定で設計される。これは、人工物が持つ製造ばらつきのようなわずかな特徴量を利用するため、現象の再現性を必ずしも保証できないためである。一方で、このようにノイズを含む情報から安定的に一意のビットパターンを生成する方法は古くから研究されており、その代表例であるFuzzy Commitment<sup>(3)</sup>の動作を図4に示す。

PUFで生成する情報をWとして、生成ごとに完全一致せず誤りが発生する状態を(W+E)と表現する。Fuzzy Commitmentの初期生成では、生成したWに乱数を符号化したデータCを排他的論理和して補助データSとして外部に記憶する。再生成時は、初期生成の情報と比較して誤りを含む(W+E)と外部に記憶したSを排他的論理和して、その結果に対して誤り訂正の復号を行う。これによって、初期生成時に符号化したデータCが復元される。Cが復元されたことで補助データSからWを抽出することができる

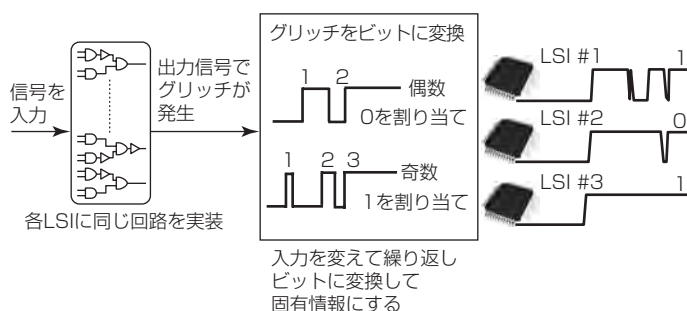


図3. グリッチPUFによる固有情報の生成

ため、同一の秘密情報が生成可能となる。なお、補助データSからWを復元できない安全性の根拠は、符号化に用いた乱数の分だけのあいまいさをSが持つためである。

### 3.3 物理乱数生成及び暗号化・復号

グリッチPUFでグリッチを生成する回路の深さと生成される情報の関係を図5に示す。生成する回路が浅いと通過する論理ゲートが少なく、個体差が生まれない。一方、深すぎると生成する固有情報のエラーが増大して、2.2節で述べた誤り訂正の能力を超えるエラーが発生する。これは、固有情報を生成する立場からは望ましくない性質であるが、暗号プロトコルで不可欠な“乱数生成”としては有用な現象である。そこで、米国標準暗号であるAES(Advanced Encryption Standard)の暗号化・復号回路を基本回路として論理段数を調整する機能を追加することで、グリッチ

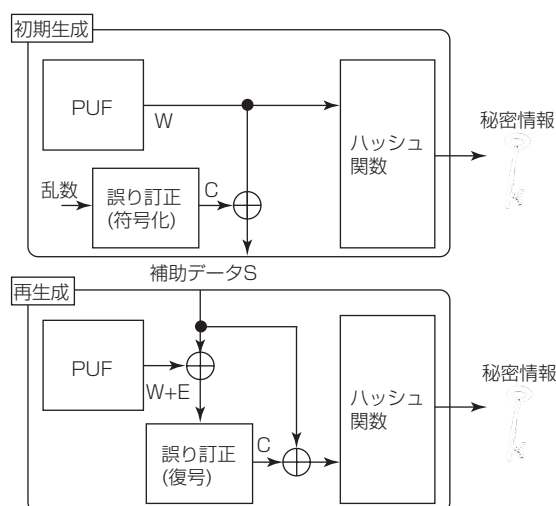


図4. Fuzzy CommitmentでのPUFによる鍵生成

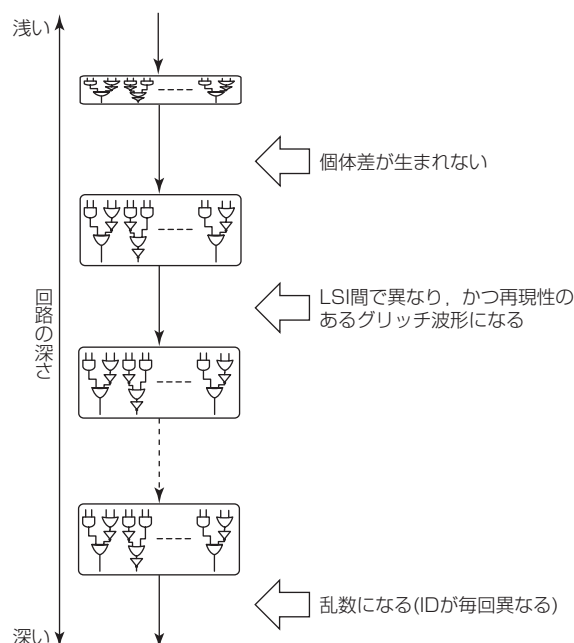


図5. グリッチとランダムロジックの関係



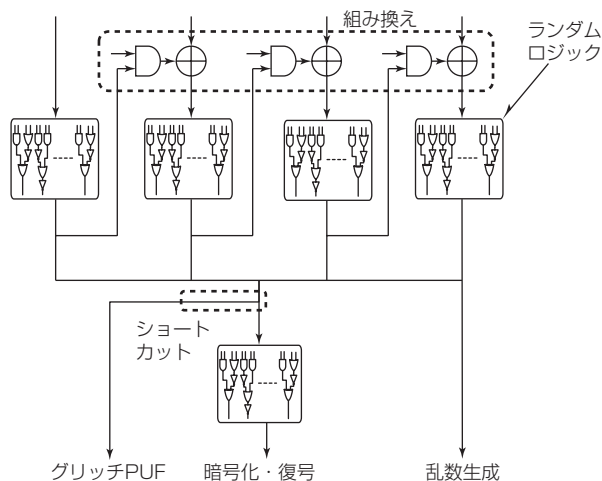


図 6. 回路の共有化

PUFの固有情報生成と乱数生成を統合する回路を開発した<sup>(4)</sup>。図 6 のように回路を暗号化・復号回路，グリッチPUF，乱数生成で共有することで，それぞれの機能を独立に実装するケースと比較して回路の大きさを約 3 分の 1 に削減することができ，3つの機能を約15Kゲートの論理回路で実装できる。

図 6 の点線の枠で示される回路や配線は，グリッチ PUF の固有情報生成と乱数生成のために追加した部分である。それ以外はAESの処理として必要な回路であり，追加分は非常に単純な回路であることが分かる。

暗号化・復号，グリッチPUF及び乱数生成による固有情報生成の3つの機能がそろうことで，図 1 に示した機器認証をセキュアに効率よく実現できる。図から分かるように，機器認証には暗号化・復号と乱数生成の機能が必要となる。また，認証鍵をグリッチPUFの固有情報で暗号化して保護し，認証時だけ復号して利用することで，安全な鍵管理が可能となる。

### 3.4 LSIの動作環境の異常検出

暗号技術だけでは防げないIoT機器に対する脅威として，悪意あるデバイスの取付けによるセンサへの攻撃<sup>(5)</sup>や，共振を利用したセンサの誤動作を誘発する攻撃<sup>(6)</sup>などが挙げられる。このような攻撃を防ぐ手段の候補として，PUFを利用したLSIの動作環境の異常検出を提案している<sup>(7)</sup>。先に述べたとおり，グリッチPUFを含めたPUFで生成される固有情報は生成ごとに完全一致しない想定で設計されるが，一般に温度や電圧変化などによってその誤りが増大する。鍵生成をするのであれば，LSIが許容する動作範囲では，その誤り率をFuzzy Commitmentで用いる誤り訂正符号の訂正能力内に抑える必要がある。逆に言えば，誤り率の急激な増大からLSIの動作環境の変化を検出できる。図 7 にその基本原理を示す。グリッチPUFが生成する固有情報の誤り率を定期的に監視することで，LSIの動作環境の異常を検出する。この方式の最大の特長は，非常に短

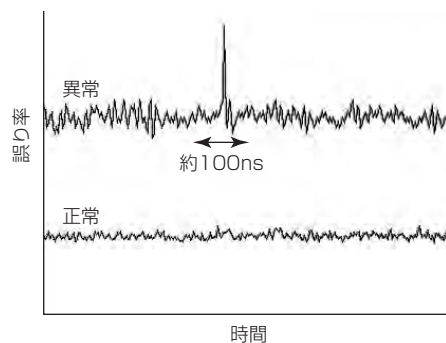


図 7. グリッチPUFによるLSIの動作環境の異常検出

時間での環境変化も検出できる点であり，およそ100nsで発生する瞬間的な電圧ドロップも検出することができる。

## 4. む す び

IoT機器のセキュリティ課題の解決には，暗号技術が不可欠である。本稿では，暗号を利用する上で課題となる鍵管理を解決する技術として“グリッチPUF”及びその応用技術について述べた。この技術は，機器の最小構成要素であるLSIにセキュリティ脅威を封じ込めるための技術である。今後は，事業化に向けて，上位アプリケーションとの連携やセンサなどの低コストデバイスへの適用などについて取り組んでいく。

## 参 考 文 献

- (1) Hewlett Packard Enterprise : Internet of Things Research Study (2015)  
<http://h20195.www2.hp.com/V2/GetDocument.aspx?docname=4AA5-4759ENW&cc=us&lc=en>, 2014.
- (2) Suzuki, D., et al. : The Glitch PUF : A New Delay-PUF Architecture Exploiting Glitch Shapes, CHES 2010, 366~382 (2010)
- (3) Juels, A., et al. : A Fuzzy Commitment Scheme, Proc. the 6th ACM Conference on Computer and Communications Security, 28~36 (1999)
- (4) Shimizu, K., et al. : Unified Coprocessor Architecture for Secure Key Storage and Challenge-Response Authentication, IEICE Transactions, E97-A, No.1, 264~274 (2014)
- (5) Shoukry, Y., et al. : Non-invasive Spoofing Attacks for Anti-lock Braking Systems, CHES 2013, 55~72 (2015)
- (6) Son, Y., et al. : Rocking Drones with Intentional Sound Noise on Gyroscopic Sensors, USENIX Security Symposium 2015, 881~896 (2015)
- (7) Shimizu, K., et al. : PUF as a Sensor, IEEE GCCE 2015 (2015)

# ベルト駆動式モータジェネレータ

藤田暢彦\*

*Belt-drive Motor Generator*

*Masahiko Fujita*

## 要 旨

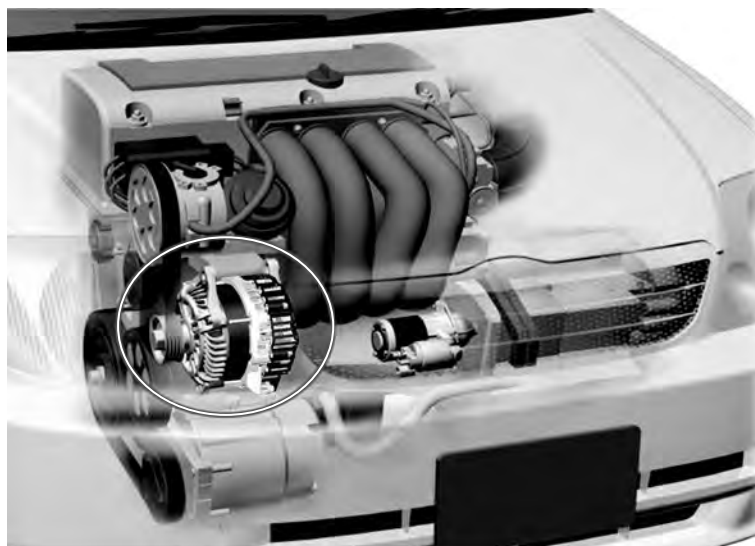
近年、世界的な排出ガス規制強化に対応して、自動車の燃費改善の主力技術としてアイドリングストップが標準装備となりつつあり、スタータによるアイドリングストップシステム<sup>(1)</sup>が普及している。しかし、年々厳しくなる排出ガス規制に対応するために、更なる燃費改善が必要となっている。一方で、100Vを超える高電圧電源システムを搭載したハイブリッド車は燃費改善効果が大きい反面システムコストが高く、適用できる自動車が限定的である。これらの背景から、アイドリングストップに12V電源システムを強化することで減速回生強化と走行時の電動アシストを加えた廉価版マイルドハイブリッドシステムが求められている。

三菱電機は、この要求に対応するため、インバーター一体型ベルト駆動式モータジェネレータ (Motor Generator :

MG) (以下“ベルト駆動MG”という。)を開発して、2014年に量産化した。

このベルト駆動MGは、従来の自動車用オルタネータに置き換えて使用され、ベルトを介してエンジンを始動させる方式であり、再始動時の静粛性に優れ、自動車の加速時にはトルクアシストすることも可能である。減速時には大電力回生発電が可能であり、トランジスタを用いた整流によって発電効率も大幅に改善している。

ベルト駆動MGを用いたシステムは、従来の自動車システムからの変更が小さく廉価で燃費改善が可能であり、なおかつ、始動時の騒音を低減することで快適性にも優れており、当社のベルト駆動MGの普及が期待されている。



## ベルト駆動式モータジェネレータ

排出ガス規制強化に対応してアイドリングストップを進化させた廉価版マイルドハイブリッドシステムが求められており、当社はその主要部品であるベルト駆動MGを開発した。モータジェネレータはオルタネータに置き換えて使用され、アイドリングストップ、走行時トルクアシスト、減速回生発電等への適用で自動車の燃費改善に貢献する。

## 1. ま え が き

近年、欧州を筆頭とした世界的な排出ガス規制強化を背景に、自動車のアイドリングストップが標準装備となりつつある。一方で、100Vを超える高電圧電源システムを搭載したマイルドハイブリッド車やストロングハイブリッド車はシステムコストが高く、自動車部品の大幅な変更を伴うこともあって、自動車全体に対する割合は限定的である。これに対して、12V電源システムの強化でアイドリングストップに減速回生強化と走行時の電動アシストを加えたマイルドハイブリッド車が注目されており、採用拡大が期待されている。当社は、この12V電源マイルドハイブリッドの主要部品であるベルト駆動MGを開発し、2014年夏に量産を開始した。本稿では、ベルト駆動MGとその特徴について述べる。

## 2. ベルト駆動MGシステム

### 2.1 ベルト駆動MGシステムの構成

ストロングハイブリッド車では、エンジンとトランスミッションの間にモータを設けてモータを駆動するインバータや高電圧バッテリーを搭載するなど、システム変更が大きく、コストと開発工数が課題となっていた。ベルト駆動MGは、図1に示すように従来の自動車のオルタネータと置き換えて使用され、従来の自動車システムからの変更をより小さくすることでこれらの課題を解決し、様々な自動車に適用が可能な廉価版ハイブリッドシステムとして普及する可能性を秘めている。図1はベルト駆動MGを適用したシステム事例であるが、鉛バッテリーは短時間に大電流で充電するには不向きなため、自動車の減速時に回生発電して大電力を蓄えるために充電電流の大きなリチウムイオンバッテリーを併用している。一方、エンジン始動時にはバッテリーから大電流を供給するが、放電電流特性は鉛バッテリーの方が優れるため、始動には鉛バッテリーを使用するのが有利である。2つのバッテリーの電圧差をなく

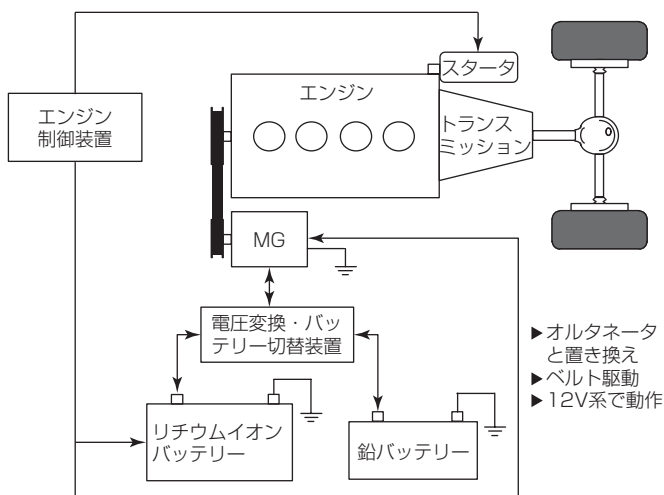


図1. ベルト駆動MGのシステム構成

すために、電圧変換装置及びバッテリー切替装置がMGと2つのバッテリーの間に入っている。

従来のアイドリングストップシステムではエンジンをスタータで始動しているが、ギヤが噛み合う音及び回転時のギヤの摩擦による騒音が大きいことが課題となっていた。また、スタータは氷点下でもエンジンを始動できるようにギヤの減速比を大きくしてエンジン低回転側でのトルクを大きくする仕様となっているため、エンジンを高回転まで回転させることができない。低回転ではエンジン吸気量が少なく吸気行程も長くなるためエンジン始動に時間がかかり、始動応答の悪さと自動車の発進遅れが課題となっていた。ベルト駆動MGシステムでは、ベルトを介して高回転までエンジンを回転させることで、静粛で応答の速いエンジン始動と自動車の発進が可能となり、運転者の満足度を向上できる。

### 2.2 ベルト駆動MGの適用事例

ベルト駆動MGシステムによる燃費改善技術として、自動車の走行時の適用事例を図2に示す。

各燃費改善技術の概要は次のとおりである。

- (1) アイドリングストップ：信号などで自動車が停車したらエンジンを停止する。MGは発進前のエンジン始動に使用される。
- (2) 電動クリープ走行：自動車が停車してアイドリングストップした後、発進時にエンジンを始動させずにMGでエンジンを回転させて自動車をクリープ走行させる。
- (3) トルクアシスト：アクセルを踏み込んで自動車を加速させる際に、MGでエンジンの動力をアシストして燃料消費を抑える。
- (4) 高効率発電：定速走行中に発電する際には、従来のオルタネータよりも高い効率で発電して、動力であるエンジンの負荷を軽減して燃料消費を抑える。
- (5) 惰性走行：高速道路などで自動車が高速走行している際にエンジンを停止して、自動車の慣性で走行することで燃料消費を抑える。慣性走行から通常走行に切換える際にMGでエンジンを始動する。
- (6) 減速回生発電：自動車が減速する際にMGで発電することで、エネルギーを回生してバッテリーに蓄える。バッテリーに蓄えられた電力は、トルクアシスト、電動クリープ

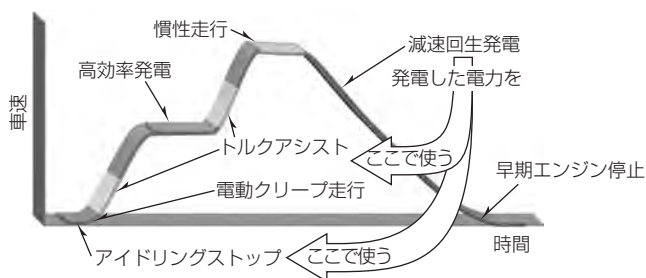


図2. ベルト駆動MG適用例<sup>(3) (4)</sup>



- ープ走行、アイドリングストップでの始動に使用される。
- (7) 早期エンジン停止：自動車が停車する際に車速がある状態でエンジンを停止することで、停車するまでの不要な燃料消費を削減する。停車する前に状況が変わって再加速する場合にはエンジンを再始動する必要があるが、ベルト駆動MGを使えば、エンジンが停止途中の回転状態でも短時間で再始動可能であり、加速するまでの応答性が良い。

スタータ式アイドリングストップ車をベースとして、ベルト駆動MGシステムに、これらの技術の中からトルクアシスト及び早期エンジン停止を追加して、小型車で燃費測定法JC08モードを走行した場合の燃費シミュレーション結果は約8%の改善であり、燃費改善への貢献は高いと言える。

### 3. ベルト駆動MGの特徴と技術

#### 3.1 ベルト駆動MGの構成

ベルト駆動MGは、オルタネータの整流器と電圧制御器をインバータに置き換えた構成で、モータ部分は最新型のオルタネータ<sup>(2)</sup>である“9G”“GXシリーズ”を母体としている。インバータは新規に開発したが、開発開始時にはインバータとモータは別体型であった。しかし、インバータ別体型MGはインバータ搭載場所を新たに設定する課題があり、また、インバータとモータを接続するための端子、コネクタ、ケーブル類が必要になるため、コストが高くなる課題があった。これらの課題を解決するために、インバータ一体型MGを開発し、小型・軽量、高出力・高効率のMGを玉成した(図3)。

インバータ一体型MGでは、インバータをエンジン近傍の高温雰囲気下で使用するようになるため、冷却性を改善する必要がある。このため、インバータの中央部に吸入口を設けて冷却風を導入することで、発電時の自己発熱による温度上昇を低減した。冷却性改善の事例を図4に示す。

さらに、発電時の電磁音低減のために3相を2個組み合わせたステータを採用して<sup>(2)</sup>、インバータも3相2個(6相)に対応することで静粛性の向上に成功した。

#### 3.2 ベルト駆動MGの特性

##### 3.2.1 発電特性

ベルト駆動MGは、ロータの巻線を変更することで、連

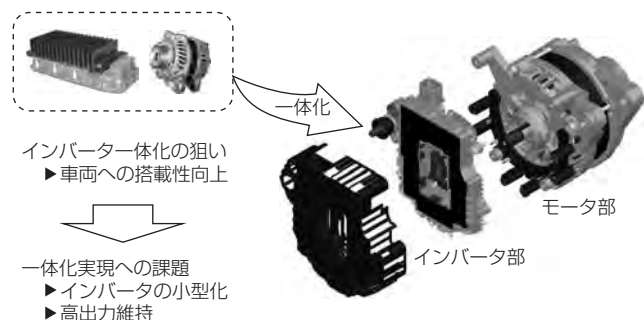


図3. ベルト駆動MGの構成<sup>(3) (4)</sup>

続発電出力がオルタネータと同等のままで短時間発電出力が50%向上している(図5)。

自動車の減速時間は連続ではないことと、バッテリーに蓄えられるエネルギーも有限であることから、減速回生発電は短時間でも実用上問題はない。大電力で発電できるこの特性は減速回生発電への適用を狙ったものであり、ベルト駆動MGシステムでの使い方に適したものとなっている。

##### 3.2.2 駆動特性

先に述べたとおり、スタータはエンジン低回転速度で大きなトルクが出せる仕様となっているが、MGは低回転速度でのトルクは低くても高回転速度でトルクを出せる仕様になっている。スタータとMGの駆動特性の比較とエンジン始動時の波形比較を図6に示す。MGでは高回転速度までエンジンを回すことが可能となり、エンジン始動時間の短縮が可能となる。

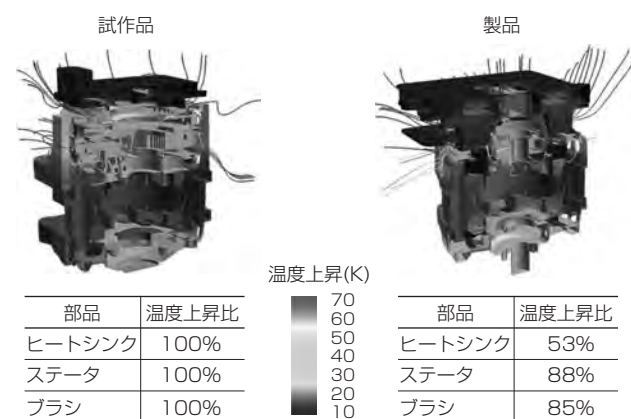


図4. 熱流体解析事例<sup>(3) (4)</sup>

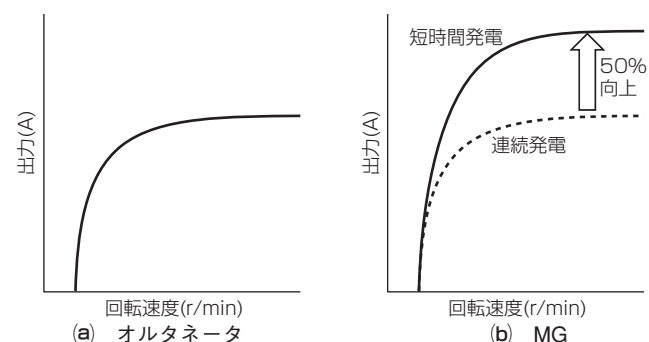


図5. 発電特性の比較<sup>(3) (4)</sup>

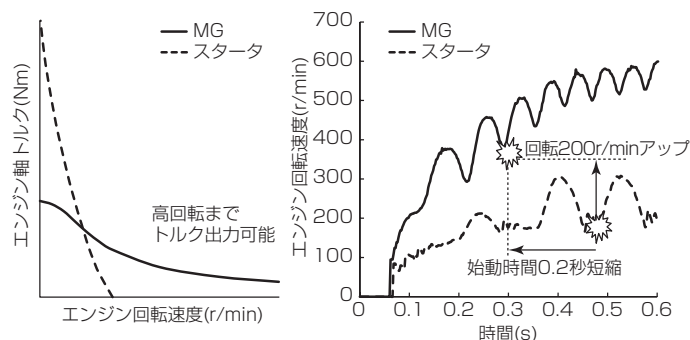


図6. 駆動特性の比較<sup>(3) (4)</sup>

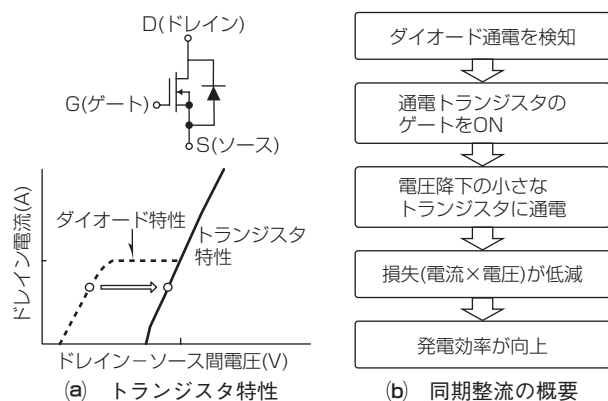


図 7. 同期整流 (3) (4)

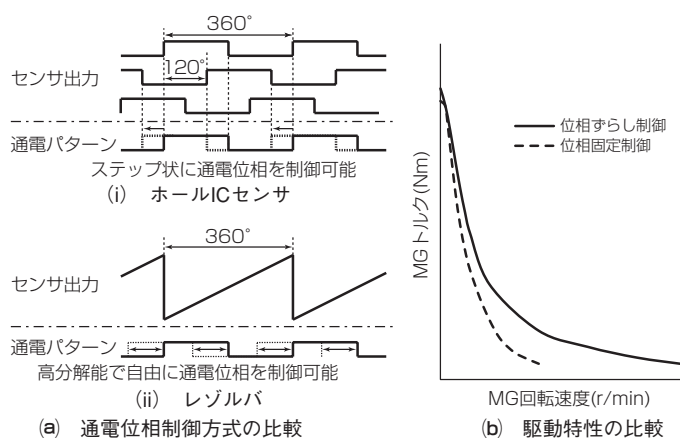


図 9. ステータ通電位相制御方式 (3) (4)

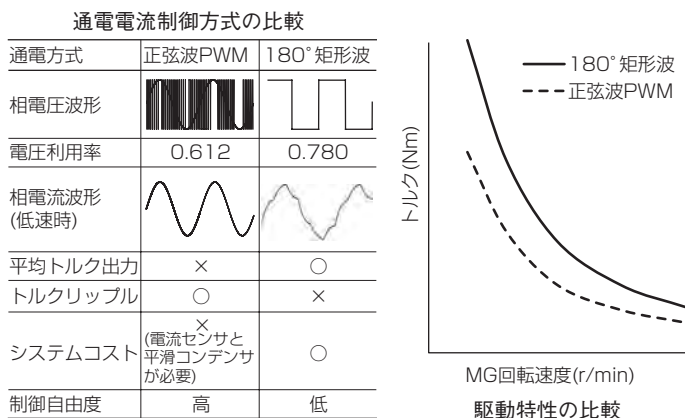


図 8. ステータ通電電流制御方式 (3) (4)

### 3.3 ベルト駆動MGの制御

#### 3.3.1 発電制御

オルタネータもMGも、発電時にロータに界磁電流を通電して回転磁束を発生させることで、ステータ巻線に鎖交する磁束変化で電圧を誘起させて発電している。オルタネータでは、ステータ巻線の誘起電圧がバッテリーの電圧を超えると整流器のダイオードに電流が通電し、外部に電流を出力する(ダイオード整流)。MGは、トランジスタに寄生するダイオードでオルタネータと同様にダイオード整流が可能である。ダイオードの通電を電圧回路で検知して、これに同期してトランジスタのゲートに電圧を印加することでON状態にして、電圧降下の小さなトランジスタに通電させる(同期整流)ことで損失を低減させて発電効率を向上させている(図7)。当社で開発したMGでは、同期整流を実施することで最大効率を7%改善することに成功した。

#### 3.3.2 駆動制御

駆動時のステータ通電電流制御方式として、ステータ電流を検出して正弦波となるようにパルス幅変調(Pulse Width Modulation: PWM)制御する方式がよく知られているが、今回開発したMGでは電圧が12Vと低いため、電圧を最大利用してトルクを最大化する180°矩形(くけい)波通電方式を採用した(図8)。これによって、電圧利用率がPWM制御に比べて27%向上し、トルクもほぼ電圧利用

率に比例して向上させることが可能となった。

駆動時は、回転速度が高くなるにつれてトルクが最大となる通電位相が変化するため、ステータに通電する位相を固定すると高回転速度でトルクが減少してしまう。このため、トルクが最大となるように通電位相をずらすことで、高回転速度までトルクを出力させることができる。そのためには、ホールICセンサなどの角度分解能が粗い回転角度センサを使わずに、角度分解能が細かいレゾルバを採用して位相ずらし制御を適用することで10,000r/minでもトルクを出力させることが可能となった(図9)。

## 4. む す び

ベルト駆動MGシステムの概要と適用事例、インバータ一体型MGの構成、発電特性と駆動特性の特徴、発電制御と駆動制御技術について述べた。これらの技術を適用することで、小型・軽量、高出力・高効率のMGを開発することができた。今後、ベルト駆動MGシステムの適用拡大に向けて、更なる小型・軽量化、高出力・高効率化を目指して技術開発を行っていくとともに、欧州を中心に拡大が予想されている48V高電圧ベルト駆動MGについても技術開発を推進していく。

## 参 考 文 献

- (1) 亀井光一郎, ほか: アイドリングストップ用始動装置, 三菱電機技報, **87**, No.8, 456~459 (2013)
- (2) 宮地若木, ほか: 新世代(9G)オルタネータ, 三菱電機技報, **81**, No.9, 577~580 (2007)
- (3) 藤田暢彦: ベルト駆動MGの技術動向, TECHNO-FRONTIER 2015 第35回モータ技術シンポジウム (2015)
- (4) 藤田暢彦: ベルト駆動式モータジェネレータ, 自動車技術会2015年度講習会「車体部品(要素技術)による低燃費技術」(2015)

# アイドリングストップシステム向け エンジン再始動制御技術

和知 敏\*

Control Technology of Engine Re-start for Idling-stop System

Satoshi Wachi

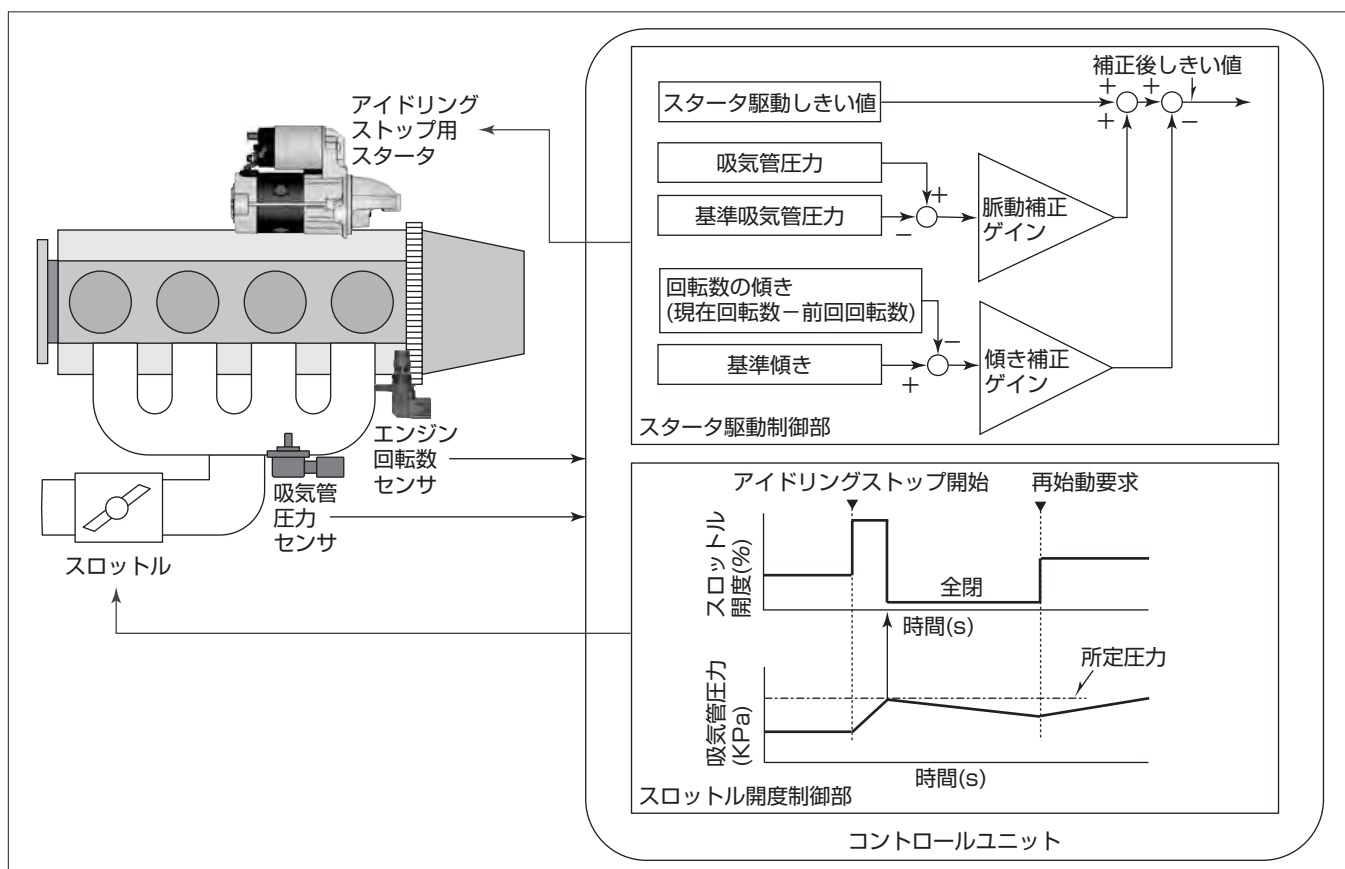
## 要 旨

自動車の燃費向上への要求が強まる中、信号待ちなどで車両が一時的に停止しているときに自動でエンジンを停止するアイドリングストップシステムを搭載した車両が普及している。更なる燃費向上への取組みとして、車両がまだ減速している状態でエンジンを止めるシステムも実用化されている。これに伴い、発進時などエンジンを自動的に再始動させる際に、従来よりも迅速に再始動する技術が強く要求されるようになった。

三菱電機では、この要求に応えるために始動装置であるスタータを改良するとともに、スタータを確実にエンジンに噛み合わせてクランキングを開始させること、再始

動時のエンジンの燃焼性を向上させることに取り組んできた。さらに、様々な条件下でも常に安定してエンジンを迅速に再始動する、いわゆるロバスト性の高い制御技術開発に取り組み、エンジン停止時に惰性で回転している状態でのスロットル開度の制御の改良と、エンジン回転数の状態に応じてスタータの駆動タイミングを変化させることで最適なタイミングでスタータを駆動する制御を構築した。

これらの制御によって、再始動に必要な時間を最大約50%短縮し、再始動時の燃焼不良や回転数上昇のもたつきがなく迅速かつ安定したエンジンの再始動を実現した。



## アイドリングストップシステム向けエンジン再始動制御システム

スタータでの再始動性能と再始動時のエンジンの燃焼性能を向上させ、なおかつ、ロバスト性の高い制御を実現するために、エンジン停止中のスロットル開度を制御することで、スムーズな停止と再始動時の燃焼性確保を両立させてエンジン挙動（エンジンの吸気管圧力と回転数）に基づいた最適なスタータ駆動制御を構築した。これらの制御によって、再始動時間を最大約50%短縮でき、再始動時の燃焼不良の発生もなくした。



## 1. ま え が き

燃費向上の手段として、車両停止中などでアイドリング状態にあるエンジンを自動で停止して発進前に自動でエンジンを再始動するアイドリングストップシステムが普及している。更なる燃費向上への取組みとして、車両が減速している状態でも条件が整えばエンジンを止めるシステムも実用化されている。このようなアイドリングストップ機能の拡大に伴ってエンジンを迅速に再始動させることの重要性が増し、アイドリングストップ実施直後の惰性でエンジンが回転している状態からでも再始動できるスタータが開発されている<sup>(1)</sup>。エンジンが回転している状態でスタータでの再始動を実現するには、エンジン回転数に応じてスタータの駆動タイミングを適切に制御することが重要であり、エンジン制御と協調したスタータの駆動制御を行うことが必要になった。

本稿では、アイドリングストップシステムでの、エンジンを迅速に安定して再始動させるエンジン制御とスタータ制御について述べる。

## 2. アイドリングストップからの再始動制御

### 2.1 エンジン再始動制御の重要性

アイドリングストップ車では、アイドリングストップを実施する条件が成立して車両が停止状態になるとエンジンを自動的に停止させて、運転者の発進操作に伴ってエンジンを自動的に再始動させる。エンジンを再始動させる際には、スタータを駆動してスタータの回転力でエンジンを回転させ、回転しているエンジンに適切な燃料と空気を供給して、その燃料と空気(混合気)に適切なタイミングで点火することでエンジン回転数を上昇させて車両を走行可能な状態にしている。つまり、アイドリングストップからの再始動の際は、スタータを適切なタイミングで駆動するとともに、エンジンへ供給する燃料と空気も併せて制御することが重要になる。現在のアイドリングストップシステムでは、車両の減速中でもそのまま停車する可能性が高いと判断した場合はエンジンを停止させるようになっており、特に、エンジンを停止させた直後に運転者がブレーキを離して再加速する場合などは、エンジンが完全に停止する前でも迅速にエンジンを再始動させる技術が必要である。

### 2.2 エンジン回転数低下中の脈動抑制

エンジンの惰性回転中にスタータでの再始動が可能なエンジン回転数は図1に示すような範囲となる。また、エンジン停止の際には逆回転が発生する場合もあり、この逆回転中にもスタータでの再始動ができない領域が有る。このため、再始動時にスタータを駆動する際は、エンジン回転数を測定して再始動可能な回転数の範囲でスタータを駆動することが求められる。さらに、スタータの駆動を指示し

てから実際に再始動可能な状態になるまでに数十msの動作時間がかかるので、エンジン回転数が再始動可能な範囲に入る前に駆動指示を出すが必要になるとともに、エンジンが逆回転して始動可能な範囲外に出てしまう場合は、スタータの駆動を中止することも必要になる。

エンジンは、図1に示すとおり回転数が上昇と低下を繰り返しながら(脈動しながら)停止する。このように脈動しながら低下していくエンジン回転数に合わせてスタータを駆動するタイミングを判断するのは難しく、脈動が大きい場合は特に難易度が高くなる。また、脈動が大きい場合は逆回転も大きくなる傾向があり、脈動の抑制が良好な再始動実現への有効な対策となる。エンジン回転数の脈動は、エンジンが吸入した空気の圧縮・膨張に伴って発生するため、スロットルを絞ってエンジンが吸入する空気を少なくすることでエンジン回転数の脈動を抑制できる(図2)。

実際にスロットルを閉じて脈動を抑制して回転数が低下するタイミングに合わせてスタータを駆動すると、図3に示すとおり再始動が可能な回転数の範囲内でスタータがエンジンに噛み合うという結果が得られた。このことから、良好な再始動性能の実現を期待できる。

### 2.3 エンジン再始動直後の良好な燃焼の実現

しかし、実際に再始動が完了するまでの時間を計測すると、再始動完了までにかかる時間が長い場合があった。エンジン回転数の挙動を見ると、スタータ駆動後のエンジン回転数が上昇する過程でもたつきが発生して、再始動完了が遅くなっていることが分かった。回転数の上昇がもたついている部分を更に詳細に調査した結果、スタータでエンジンを回転させた後の最初に燃料が燃焼するタイミングで燃焼不良が発生していることが判明した。回転数の脈動を抑制するためにエンジンの停止過程での吸入空気を少なくしたことで、再始動後の最初に吸気する気筒へ流入する混合気の量が不足して、点火してもうまく燃焼しない、又は、燃焼しても発生するトルクが不足して回転数が上昇しないという現象が発生していた。再始動後のエンジン回転数を素早く上昇させるには、スロットルを開いて空気量を増やして燃焼に必要な所定の吸入空気量を確保することが課題となる。つまり、一方ではスタータでの再始動性向上を目的にスロットルを閉じて空気量を少なくしてエンジン回転数の脈動を低減したい、他方では再始動後の良好なエンジン回転数の上昇を目的にスロットルを開けて空気量を増やして燃焼性を確保したい、という背反の課題を両立させる技術が要求される。

この課題に対して、図4に示すようにアイドリングストップ開始直後に一旦スロットルを開いて所定の空気量を確保した後、スロットルを閉じてそれ以上の空気の増加を防止するようにスロットルの開度制御を改良して、燃焼に必要な空気量の確保と回転数の脈動低減との両立を図った。

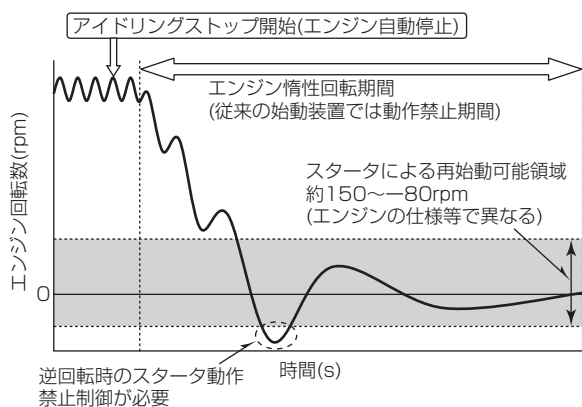


図 1. エンジン停止過程でのスタータ制御の課題

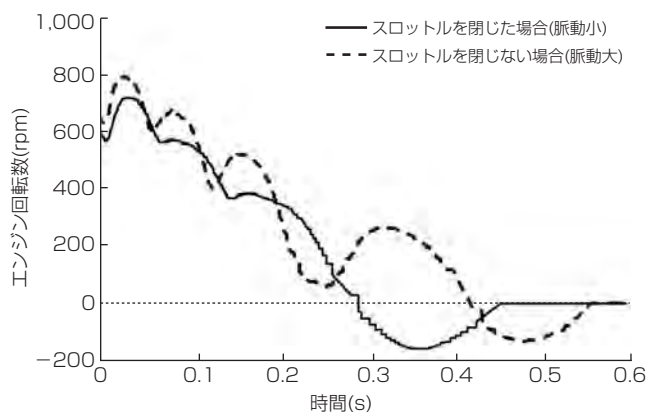


図 2. エンジン回転数脈動の抑制

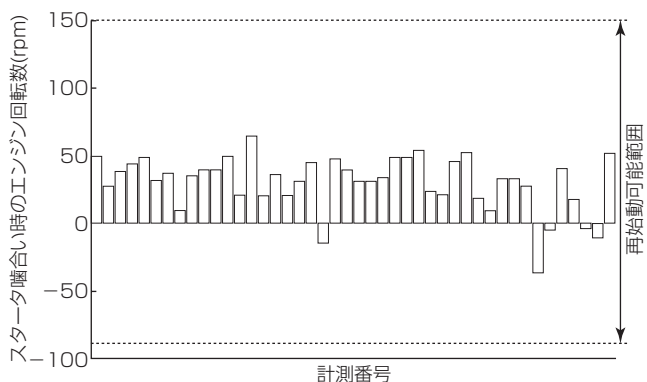


図 3. スロットル全閉時の再始動性確認結果

その結果、スロットルを全閉としたときに比べて若干の脈動増加が見られてスタータがエンジンに噛み合った時のエンジン回転数にばらつきが増加しているものの、再始動可能な範囲内となった(図 5)。また、再始動後の燃焼に必要な空気量も確保したことで燃焼不良の発生や回転数上昇のもたつきも見られなくなり、再始動性能が大幅に改善した。

#### 2.4 ロバスト性の向上

迅速な再始動のためには、スタータでの再始動を良好に開始させることと再始動直後の燃焼を良好に保つことの2つが重要であり、これらを両立させるスタータ制御とエンジン空気量の制御を実現した。これを量産車両へ採用するに

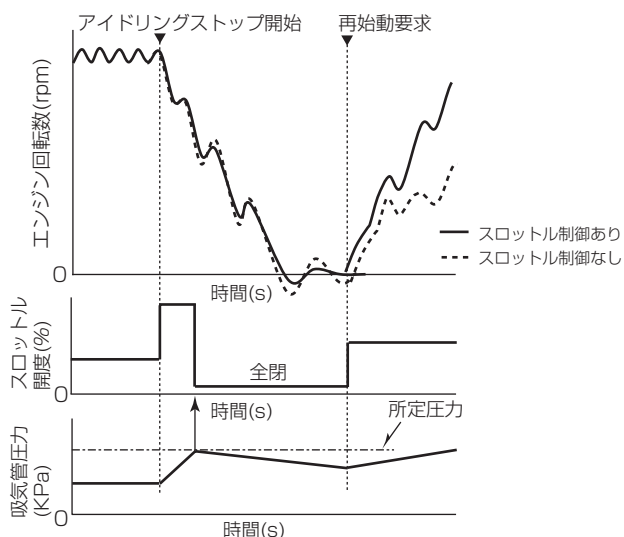


図 4. アイドリングストップ時のスロットル制御

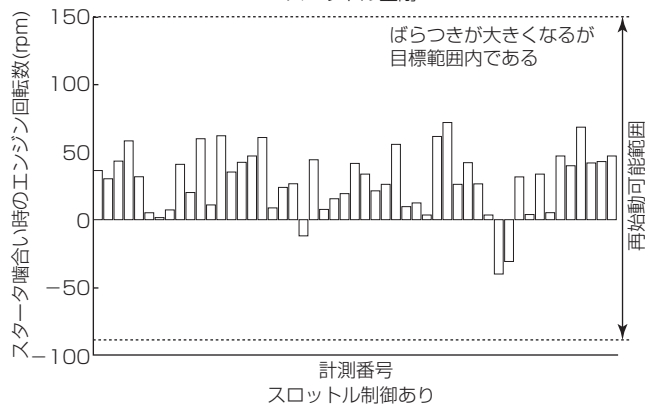
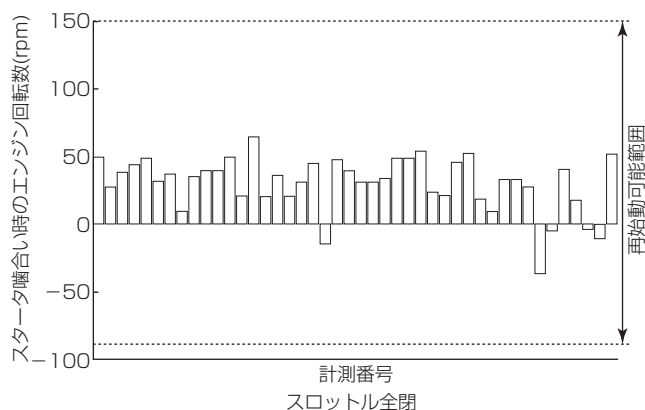


図 5. スロットル制御時の再始動性確認結果

は、いろいろな条件下でも常に安定して迅速に再始動する制御、いわゆるロバスト性の高い制御が必要となる。特に、エンジンが惰性で回転しているときは、エンジンの状態だけでなく車両の減速の強さなど様々な要因で回転数が変動することが分かっており、このような変動に左右されずに安定してスタータで再始動するにはスタータの駆動タイミングを制御することが非常に重要となる。この課題に対して、惰性回転中の挙動の変動を主に2つの要素に分解して、それぞれの要素が変動した場合の対策を実施するという方針で解決を図った。第1の要素はエンジン回転数の脈動の

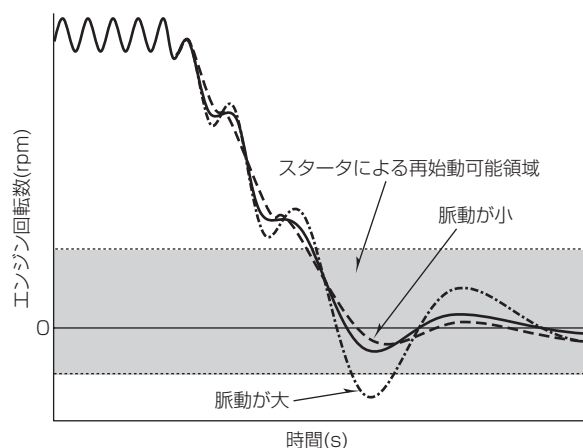


図 6. エンジン回転数脈動のばらつき

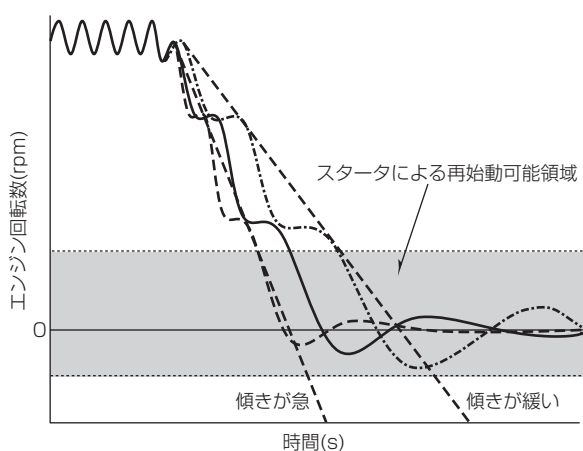


図 7. エンジン回転数低下の傾きのばらつき

大きさが変動することであり(図6)、第2の要素はエンジン停止過程での回転数低下の傾き変動することである(図7)。

エンジン回転数の脈動がエンジンの吸入空気量によって変化することは先に述べているとおりであり、脈動の大きさが変動する要因として吸入空気量の変化が大きく影響している。スタータの駆動を判定するしきい値を脈動の大きさに応じて補正することがスタータの駆動タイミング制御に必要であり、その補正量を決定するパラメータとして吸入空気量の指標となる吸気管圧力を使用することにした。スタータ駆動を判定するしきい値を設定した時の吸気管圧力を基準にして、実際の吸気管圧力との差分に応じてスタータ駆動を判定するしきい値の補正量を決定する構成として、吸入空気量の変動に伴ってエンジン回転数の脈動が変化しても適切なタイミングでスタータを駆動できるようにした(図8)。

エンジン回転数低下の傾きについては、エンジンの状態だけでなくエンジンで駆動しているオルタネータやエアコンなどの作動状態や車両の減速度など様々な要因があり、その中の特定の要因を指標として選定することが難しいので、エンジン回転数低下の傾きを算出して、傾きの大きさに応じてスタータの駆動タイミングを変化させるようにし

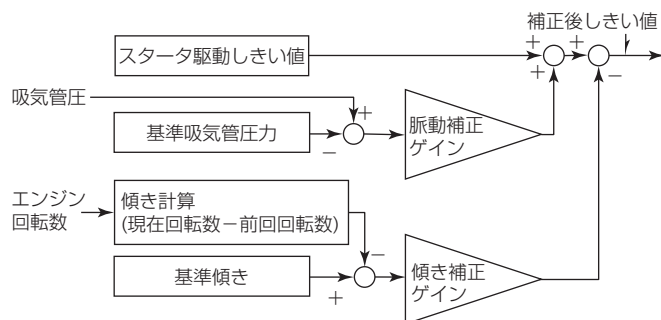


図 8. ロバスト性確保のための制御概要

た。脈動の変動への対策と同様に、しきい値を設定した時のエンジン回転数が低下する傾きを基準にして、実際の回転数低下の傾きとの差分に応じてスタータを駆動するしきい値の補正量を決定する構成として、エンジン回転数低下の傾きが大きい場合はスタータの駆動が早く、傾きが小さい場合はスタータの駆動が遅くなるように補正した(図8)。

### 3. 迅速で安定した再始動の実現

エンジンの停止過程で発生するエンジン回転数の脈動の抑制とエンジンの燃焼に必要な空気量の確保という背反する要求に対して、エンジンの停止過程で一旦スロットル開度を大きくして吸気管圧が所定の圧力に達した後にスロットルを閉じるという制御を行い、スタータでの再始動性能と再始動時のエンジンの燃焼性能とを向上させるという課題を解決した。また、停止過程のエンジン挙動(エンジンの吸気管圧力と回転数)に基づいてスタータを駆動するタイミングを補正するようにスタータの駆動制御を構成したことで、ロバスト性を向上させ安定して良好な再始動を実現した。これらの制御によって、再始動に必要な時間を最大約50%短縮して、再始動時の燃焼不良や回転数上昇のもたつきがなく良好なエンジンの再始動が可能になった。

### 4. む す び

自動車の燃費向上を目的としたアイドリングストップシステムの普及に伴い、従来よりも迅速にエンジンを再始動する技術が強く求められるようになった。これに応えるために、エンジン制御とスタータの駆動制御とを協調させることでアイドリングストップからの迅速で安定したエンジン再始動を実現して車両の燃費向上に貢献できるようにした。

### 参 考 文 献

- (1) 亀井光一郎, ほか: アイドリングストップ用始動装置, 三菱電機技報, 87, No.8, 456~459 (2013)
- (2) 亀井光一郎, ほか: アイドリングストップシステム用スタータとエンジン制御の紹介, 自動車技術会No09-14シンポジウム『ガソリンエンジンの進化を支える最新技術』