

MITSUBISHI
Changes for the Better

家庭から宇宙まで、エコチェンジ



三菱電機技報

8

2013

Vol.87 No.8

スマート社会に向けた自動車機器の先進技術



目次

特集「スマート社会に向けた自動車機器の先進技術」

スマート社会に向けた自動車機器先進技術特集に寄せて … 1	大橋 豊
車社会の将来展望と技術動向 …… 2	足立克己
車載情報システムにおける省エネルギー走行支援技術 … 9	大田優子・伊川雅彦・菅原 永・森田茂樹・小野政好
ヘッドランプ用LEDドライバ …… 13	貫里康博・牧野宏和・井上 優・岸 直央
階調制御方式による車載充電器向け 高効率絶縁AC/DCコンバータ …… 17	金山隆志・栗根和俊・瀧北 守・近藤亮太・山田正樹
EPS用次世代モータコントローラユニット …… 22	浅尾淑人・金原義彦・阿久津 悟
アイドリングストップ用始動装置 …… 26	亀井光一郎・水野大輔
中・大型二輪車用第四世代燃料ポンプモジュール …… 30	光藤英雄
PFIエンジンにおける噴霧壁面衝突時の 燃料付着挙動に関する検討 …… 33	米澤 崇・川尻和彦
熱伝導性グリースの信頼性評価技術 …… 37	柳浦 聡・廣井 治
テレマティクス対応セキュリティ技術 …… 41	小林信博・坂上 勉・泉 幸雄・三澤 学
車載メディアプレーヤー …… 46	安田光宏・中村好孝・荒木芳尚・成木研一
“DIATONE SOUND.NAVI”の高音質技術 …… 50	寺本浩平・橋本和彦

Advanced Automotive Technologies & Components Toward Smart Society

Contribution to Special Issue on Advanced Automotive Technologies and Components Toward Smart Society	Yutaka Ohashi
Prospective Stories and Engineering Trends in Automobile Society	Katsumi Adachi
Eco Driving Assistance Technologies for in-Vehicle Information System	Yuko Ohta, Masahiko Igawa, Hisashi Sugawara, Shigeki Morita, Masayoshi Ono
LED Driver for Head Lamp	Yasuhiko Nukisato, Hirokazu Makino, Yu Inoue, Naohiro Kishi
High Efficiency Isolated AC/DC Converter with Gradationally Controlled Voltage Inverter for On-Board Charger	Takashi Kaneyama, Kazutoshi Awane, Mamoru Takikita, Ryota Kondo, Masaki Yamada
Next Generation Motor Control Unit for EPS	Yoshihito Asao, Yoshihiko Kimpara, Satoru Akutsu
Starter for Idling Stop System	Koichiro Kamei, Daisuke Mizuno
Fourth Generation Fuel Pump Module for Middle & Large Class Motorcycle	Hideo Mitsudo
Study of Adhesion Fuel Behavior Formed by Spray Wall Impingement in PFI Engine	Takashi Yonezawa, Kazuhiko Kawajiri
Reliability Evaluation Technology of Thermally-conductive Grease	Satoshi Yanaura, Osamu Hiroi
Applying Information Security Technology to Telematics Systems	Nobuhiro Kobayashi, Tsutomu Sakagami, Yukio Izumi, Manabu Misawa
In-Car Media Player for Rear Entertainment System	Mitsuhiko Yasuda, Yoshitaka Nakamura, Yoshihisa Araki, Kenichi Naruki
High Fidelity Sound Technology for "DIATONE SOUND.NAVI"	Kohei Teramoto, Kazuhiko Hashimoto

特許と新案

「始動電動機のスイッチ制御装置」	
「路車間狭域無線通信システム、路側車載狭域無線通信装置、および車載狭域無線通信装置」 …… 55	
「電力変換装置」 …… 56	

スポットライト

DIATONEスピーカー“DS-G20”



表紙：スマート社会に向けた自動車機器の先進技術

自動車機器は、環境・燃費・安全分野や、スマート社会に向けた情報・エンタテインメント分野に、タイムリーに対応する新製品開発に取り組んでいる。

①は、電動パワーステアリング(EPS)の次世代MCUである。モータとECUを一体型としたブラシレス方式のモータコントローラユニット(MCU)を量産しているが、モータとコントローラを同軸上に配置することで、世界最小・最軽量クラスの次世代MCUを実現した。

②は、自動車用ヘッドランプ用LEDドライバである。省電力・長寿命のLED(Light Emitting Diode: 発光ダイオード)は、今後、LEDチップの進化と共に、更なる普及拡大が見込まれる。

③は、中・大型二輪車用(第四世代)燃料ポンプモジュールである。アルコール含有燃料の吸込みフィルタの寿命低下対策として、小型・軽量でフィルタの高ライフを実現した中・大型二輪車用(第四世代)燃料ポンプモジュールを開発した。

巻/頭/言

スマート社会に向けた自動車機器先進技術特集に寄せて

Contribution to Special Issue on Advanced Automotive Technologies and Components Toward Smart Society

大橋 豊
 Yutaka Ohashi



世界の自動車販売台数は、リーマンショックによる落ち込みから回復して、今後も新興国を中心に伸長が続くものと予想される。自動車が更に世界中の人々の生活に浸透するなかで、安全で快適な移動手段であり続けるためには、前提となる低炭素社会、循環型社会、安全・安心社会の実現の妨げとなる要因を自動車そのものから減らし続ける活動が強く求められる。それに加えて自動車利用者からは、近年の高度情報化社会において乗車中にもさまざまな情報・サービスを利用できることが求められ、さらに高齢化社会では、高齢者が安全に運転できることが求められる。このような社会の要請に応える上で、自動車機器の果たす役割は大きく、その性能向上や新機能開発は欠かせない。

まず環境面では、省エネルギー・化石燃料消費削減と温室効果ガス削減を目的とした燃費規制強化や、世界的な需要拡大による原油価格高騰を背景に、電気自動車やハイブリッド車に代表されるような原動機の電動化が進んでいる。三菱電機でも、電気エネルギーを有効利用できる高効率なモーターやインバータ、車載充電器等の電動化車両対応機器を、当社の強みであるパワーエレクトロニクス・モーター技術を活用して開発している。

一方、従来エンジンが、まだまだ世の中の中原動機の大部分を占めることに変わりではなく、従来エンジン搭載車両での更なる低燃費化が求められている。最近では、その対応策として、アイドリングストップシステムや減速エネルギー回生システムを搭載した車両が増加しているが、当社では、アイドリングストップ直後の再始動要求に対しても違和感の少ないスムーズな始動ができるスタータや、減速エネルギーを効率よく電気エネルギーとして回収するための大出力・高効率オルタネータの開発を進めている。また、油圧式パワーステアリングに比べてエンジンのエネルギー消費を抑えることができる電動パワーステアリングは、大型の車両にまで装着されるようになってきたが、当社では、従来よりも大幅に小型軽量化したモーターとコントローラの一体型ユニットを開発し、燃費の向上に加えて搭載性の向上を達成している。さらに、電気エネルギー消費を抑える方策のひとつとして、家庭やオフィスで急速に普及し

ているLED (Light Emitting Diode) を光源に採用した自動車用ヘッドランプの採用が近年拡大してきており、省エネルギーとデザイン性の向上を実現している。

また、カタログに記載されるモード燃費だけではなく実用燃費の向上も重要視されるなか、カーナビの持つ情報を活用し燃費が最小となるルートを検索する機能や、運転操作の省燃費運転度がわかる機能等によって、運転者の省燃費運転を支援する仕組みが登場してきているが、将来に向けて、道路交通インフラとの通信連携による更なる省燃費運転支援の開発も進められている。

安全面では、シートベルト着用義務化やエアバッグの普及等による衝突時の被害軽減や、アンチロックブレーキシステムや横滑り防止装置等の操縦安定性を向上させる装置の装着率増加によって、死亡事故、負傷者数は年々減少しているが、更なる事故抑止のためは、レーダーやカメラ等を使った車両周辺監視による予防安全システムが重要となる。なかでも、自動停止まで行う衝突防止装置が低価格で提供されるようになってきたため、その装着率は高まっており、歩行者被害を含めた交通事故の減少に寄与することが期待されている。

利便・快適面では、車内で利用する時間が長い機器のひとつであるオーディオにおいて、当社では、長年培った電子回路技術・音声処理技術等の独自技術を盛り込み、運転者や同乗者が自動車の中で高級機の高音質を享受できるオーディオ一体カーナビ装置を開発し、高い評価を得ている。また近年、特にスマートフォンが急激に普及する中で、車載情報機器が、スマートフォンと連携することで、その中の各種情報やクラウドの中の最新の情報サービスを乗車中に利用できるようになってきているが、今後は、不正アクセスなどの脅威から車載情報・制御システムを守り安全・安心を保障するためのセキュリティ技術が重要となってくる。

三菱電機は、以上のような社会が求める自動車機器を、自社の持つ先端技術を結集して具現化することで、低炭素と安全で豊かな生活が両立するスマート社会の実現に向けた車づくりに貢献していく。



足立克己*

車社会の将来展望と技術動向

Prospective Stories and Engineering Trends in Automobile Society

Katsumi Adachi

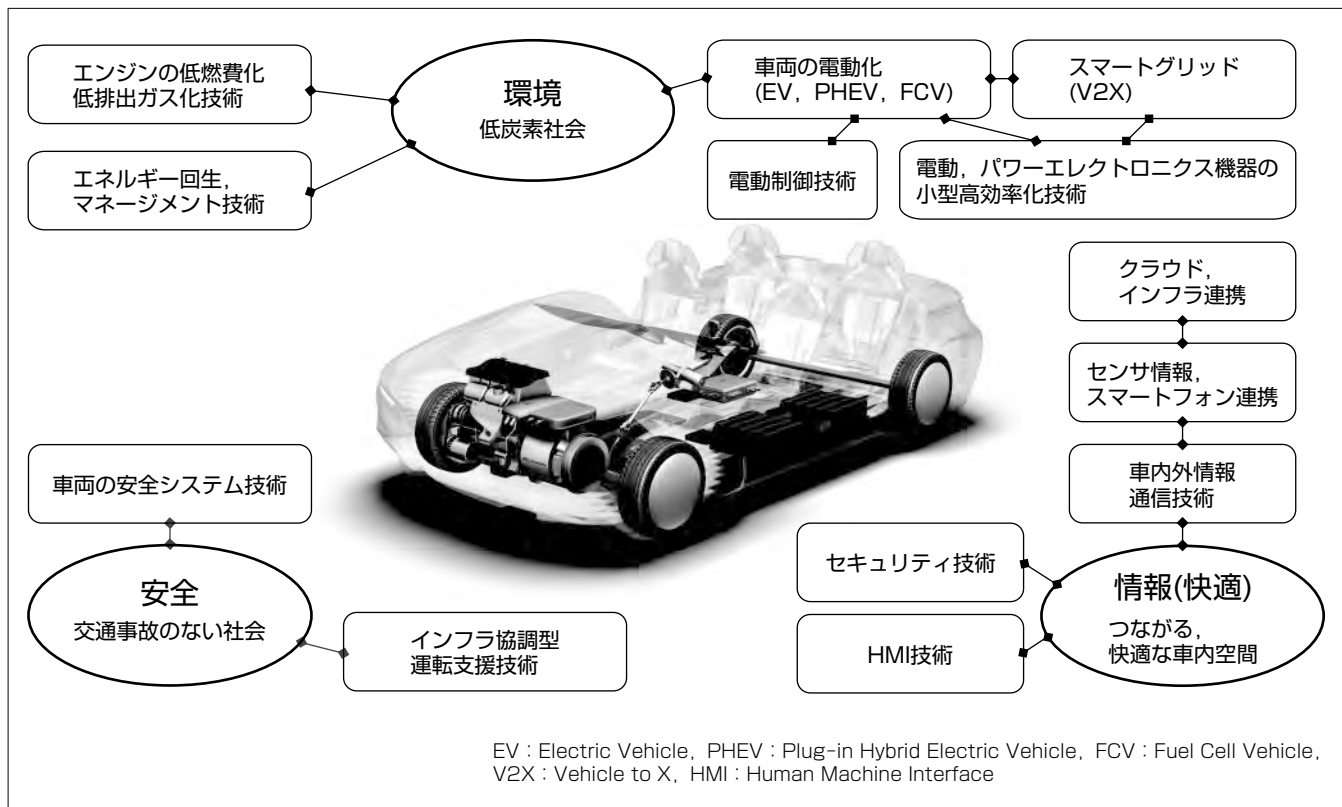
要 旨

人類は、自動車という大変便利でより速い移動手段を得た一方で、環境問題に加え交通事故に対する安全面でも世界全体の問題として取組みが必要となってきた。また、情報通信技術(Information and Communication Technology: ICT)を駆使し人と車と地域社会を相互につなぐことでスマート社会を目指す便利で豊かな生活システムの一部に、車が進化していくものと期待されている。

環境面では、しばらくは、ガソリンを始めとする化石燃料を使用したエンジン車両が大部分を占めることから、低炭素社会を実現していくためには、エンジン車両の低燃費化、低排出ガス化技術は欠かすことのできないものとなっている。また将来的に、車両を駆動する原動機が電動化され電気モータに置き換わっていくことによって、パワーエレクトロニクス機器の小型高効率化、冷却系の簡素化が期待されている。

2018年をめどに、交通事故死者数を2008年基準半減の2,500人以下とする日本政府目標を達成するためにも、高齢者や危険運転者を含めたドライバーに対する交通安全教育の推進、安全かつ円滑な道路交通環境の整備とともに、車両の安全性確保へ向けた更なる取組みが求められている。

環境や安全技術を含め、高度な情報通信技術などを駆使し、資源やエネルギーの効率的な活用、水や食料の確保、交通機関の最適化、社会インフラの整備、安心・安全な社会の確立、高齢者の安全で健康な暮らし、住宅医療や疾病予防の実現、より豊かな生活に向けたサービスの充実など、人類にとってより便利で豊かな生活を送れる進化した理想的なスマート社会を目指して、三菱電機は自社の持つ先進技術を結集した製品づくりによって“グローバルで、豊かな社会構築に貢献する環境先進企業”として、より良い車社会づくりにも貢献していく。



スマート社会を目指し、環境・安全・利便性を高めたこれからの自動車

これからの自動車は、低炭素社会、交通事故のない社会、より便利で豊かな生活を送れる進化した理想的なスマート社会を目指して、自動車自身の機能・性能の進化や、エンジン車両の低燃費化、低排出ガス化技術とともに、原動機の電動化に伴うパワーエレクトロニクス機器の小型高効率化などによる環境性能の向上、車両の安全性確保へ向けた更なる取組み、高度な情報通信技術利用の拡大による利便性・快適性の向上が進む。

1. ま え が き

我々が住む地球が誕生してから約46億年、生命誕生から約40億年、そして人類の先祖となる霊長類が出現してから約6500万年という長い期間をかけて人類は独自の進化を遂げ、多様な道具を使い、そしていろいろな文化、技術を得て、18世紀末からの産業革命などの歴史を経て、10億台以上の自動車の保有台数を持つ今の自動車社会に至っている。

その歴史の中で、長い期間をかけて生成された限りある地球の化石エネルギーを、我々、人類はここ約100年の間に自動車を含め、大量に消費拡大してきていることを認識する必要がある、ようやくここ10年で、二酸化炭素(CO₂)による地球温暖化や、最近話題に上がっている微小粒子状物質(PM2.5)を代表とする大気汚染などの環境問題に対し、地球規模の対策として、取組みが加速しつつある。

このように人類は、自動車という大変便利でより速い移動手段を得た一方で、これらの環境問題に加え自動車による交通事故の発生で、世界保健機関(WHO)によると、2012年の世界の交通事故被害は、死亡者数で年間130万人、負傷者数で年間2,000～5,000万人と言われており、2030年には死亡者が240万人に達するとの予想もあり、安全面でも、交通事故低減へ向けた取組みが加速しつつある。

また最近、“賢い”“頭が切れる”“気の利いた”“粋な”“高性能な”等を意味する、スマート(smart)という形容詞を頭に冠した言葉が流行している。

スマート社会は、環境や安全技術を含め、高度な情報技術などを駆使し、資源やエネルギーの効率的な活用、水や食料の確保、交通機関の最適化、社会インフラの整備、安心・安全な社会の確立、高齢者の安全で健康な暮らし、住宅医療や疾病予防の実現、より豊かな生活に向けたサービスの充実など、人類にとってより便利で豊かな生活を送れる進化した理想的な社会であり、当社は“グローバルで、豊かな社会構築に貢献する環境先進企業”として、そのスマート社会実現を、推し進めていく必要がある。

本稿では、そのスマート社会に向けた車社会への課題とそれに向けた自動車機器の主な技術動向について、環境、安全、情報の3つの視点から述べる。

2. 地球環境維持に向けて

2.1 低炭素社会の実現を目指して

まず、地球環境問題に対しての最大課題は、地球全体で化石エネルギーを燃焼することによって排出されるCO₂による地球温暖化である。国際エネルギー機関(IEA)の発表によると、2011年の世界CO₂排出量は、前年比3.2%増の316億トンに増え、過去最高を記録した。世界最大の排出国である中国は前年比9.3%増で、次いで米国、欧州連合(EU)、インド、ロシア、日本と続いた。

全体の排出量のうち、自動車を含む運輸部門のCO₂排出量は約5分の1を占めることから、世界各国で、自動車の燃費規制を強化し、CO₂排出量削減を図ろうとしている。

日本の現行燃費規制は、2015年度基準相当平均値(JC08モード値)17.0km/Lとしているが、新たに2020年を目標達成年度とした規制で、企業別平均燃費規制方式(CAFE方式)に変更され、質量区分ごとの出荷台数比率が2009年度と同じと仮定した場合、2015年度基準比19.6%、2009年実績(16.3km/L)比24.1%の燃費向上が必要となり、JC08モードで20.3km/L相当が必要となる。

米国の現行燃費規制は、2016年までに35.5マイル/ガロン(約15.1km/L)にすることを求めているが、オバマ大統領のグリーンニューディール政策によって、新たに2025年までに、乗用車とライトトラックには、平均54.5マイル/ガロン(約23.2km/L)の燃費規制が課せられる。これは、現状の約12km/Lから平均燃費を約2倍に燃費を上げるという内容である。加えて、カリフォルニア州では、連邦政府に先駆けて新規制を導入する権限を持つ大気資源局(California Air Resources Board: CARB)が、自動車メーカーに対して、EV、PHEVやFCVなどの走行時のCO₂排出量をゼロにすることができる無公害車(Zero-Emission Vehicle: ZEV)の販売比率を2025年までに15.4%まで引き上げるよう求める新政策を導入すると発表した。

欧州では、EUとして早い時期から地球温暖化問題に高い関心を寄せており、欧州委員会の原案として、2020年までに、すべての乗用車とライトトラックに、平均CO₂排出量を現行の2015年規制130g/km(ガソリン燃費換算で約17.8km/L)から、95g/km(ガソリン燃費換算で約24.3km/L)への強化案を発表した。

これらの目標を達成するためには、従来エンジンの更なる燃費改善に加え、ハイブリッド車(Hybrid Electric Vehicle: HEV)、PHEV、EVやFCVのように電気モータを使った車両の導入も必要になってくる。

2.2 エンジン車両での低燃費化と低排出ガス化

2012年の世界新車販売台数は8,250万台であったが、その内EV、HEVの比率は約2.5%であり、EVは0.1%の普及にとどまっている。今後の動向としても、2013年3月の調査機関の試算では、2020年でもEV、HEVは5.2%に過ぎず、EVに関しては0.8%と予想されており、まだなおガソリンを始めとする化石燃料を使用したエンジン車両が大部分を占めるものと予想されている。

このような状況の中で、低炭素社会の実現を目指していくためには、エンジン車両での低燃費化、低排出ガス化技術は欠かすことのできないものとなっている。

代表的なガソリンエンジン車両を例にとり、JC08モードにおける、ガソリン燃料の持つエネルギーフローを図1に示す。燃料の持つエネルギーのうちエンジンとしての



また化石エネルギーに代わって、資源の枯渇、地球温暖化の対策として注目される、太陽光、風力、波力・潮力、

流水・潮汐(ちょうせき)、地熱等に代表される再生可能エネルギーの中には、成長過程で光合成によって大気からのCO₂吸収によって、全体としてCO₂を増加させないカーボンニュートラルの考え方を適用できる、トウモロコシなどの植物から精製されるバイオ燃料がある。これは低排出ガス化アイテムの一つとして、エタノールの形で石油燃料と混合して一部エンジン燃料として用いられつつあるが、食料との競合や生産のための森林破壊等の問題など、拡大に当たっては、課題も少なくない。

自動車の燃費の指標は、国ごとに実走行を模擬したモード燃費の測定方法が定められているが、各ユーザーが使用する際の実用燃費は、加速時のアクセルの踏み方や渋滞、道路状態などによって大きく左右され、公表されたモード燃費と比較して悪いことが多い。そこで、ナビゲーションなどによって渋滞回避や起伏の多いルート避けるなど燃費効率のよい運転ができるルートを案内する機能が実用化され、将来的には、信号機などのインフラからの情報や、先行車両の情報などに基づいて推奨速度をドライバーに知らせるシステムも省燃費運転に寄与していくものと考えられる。

2.3 原動機の電動化(EV, PHEV, RE-EV, FCV, etc.)

排出ガスゼロ化を目指して、車両を駆動する原動機を、エンジンから電気モータへ変えたEVが登場し、一部で普及しているが、既に述べたように、近年のEV販売は伸び悩んでおり、しばらくは大きな販売台数を期待できない状況となってきた。これは、EVの航続距離の短さや充電時間の長さなどから普及が進んでいないことによる。そのEVの電池におけるこれらの欠点を埋めるのが、エンジン駆動の発電機を搭載したPHEVやレンジ・エクステンダー付EV(Range Extender-EV: RE-EV)などであり、しばらくは、電池のみを電源とする純粋なEVは市内循環の乗り合いバス、観光地の市内観光バス、郵便集配や宅配便などの商用車がメインで、乗用車の電動化車両の主流は、PHEVやRE-EVになるものと予想されている。

また最近注目されているFCVは、EVをベースにして、電池の欠点である短い航続距離、長い充電時間を補うために、EVのリチウムイオンなどの二次電池の代わりに、水素などの燃料を酸素と反応させることによって電気を取り出す燃料電池を使った電動化車両で、水素を使った場合、その電気を取り出す際に水しか排出せず、CO₂などの環境汚染物質を出さないことから、次世代環境対応車と本命視されている。

このように、将来の環境対応車は、電気を産み出す方式が技術の進歩やコストのバランスで変わっていくものの、車両を駆動する原動機は電動化され、電気モータに置き換わっていくことは、紛れもない事実であり、車両が電動化されていくことによって、インバータ、車載充電器、DCDCコンバータといったパワーエレクトロニクス機器が

必要となる。さらに電気エネルギーを有効に利用するためには、これらの機器の変換効率を高める必要があり、半導体やパワーエレクトロニクス回路技術の進歩に伴い小型高効率のものが実現されつつある。また、将来のパワー半導体としてSiC(Silicon Carbide)を適用したSBD(Schottky-Barrier Diode)やMOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)の開発が活発であるが、低オン損失、高温動作、高速動作といった特性を活用して、機器の更なる小型高効率化、冷却系の簡素化への寄与が期待されている。

このように車両が部分的又は全面的に電動化されていくに当たって、その大容量電池などの電源を別の用途に活用しようとする動きも付随的に起こってきている。

家庭や工場などで使用する商用電源は、火力、水力、原子力などを使った発電所から電力網によって配電されているが、一昨年の東日本大震災に伴う福島原発の事故以来、原発運用の見直しなどによって、再生可能エネルギーとしての、太陽光、風力等の発電がより一層拡大しつつある。ただし、この太陽光や風力といった自然エネルギーは、電力供給が不安定になることから、供給が多い場合はそれを蓄電装置に充電し不足時に放電することで、電力網全体で系統電圧の安定化を図るスマートグリッドの取組みが開始されており、住宅に接続されるEVの二次電池はその蓄電装置としての活用が期待されている。

先に述べたように、EVには、航続距離の短さや充電時間の長さなどの短所があるものの、近距離移動の通勤や買物用途に限った場合、1人又は2人乗り専用の小型EV(コミュータEV)車両は、EVの短所を出さず、長所のみをうまく引き出せるセカンドカーとして、又は高齢者用の小回りの利く車として、又は中国市場ニーズとしての低速電気自動車(Low Speed EV: LSEV)として、新たな市場が生まれつつある。

3. 交通事故のない社会を目指して

3.1 交通事故死者数の半減を目指して

日本の交通事故死者数は、警察庁の発表によると、2012年では、過去最悪であった1970年の16,765人から、約4分の1の4,411人にまで減少し、昨年と比べても201人減(-4.4%)で、12年連続の減少となった。減少が続いている理由は、飲酒運転や最高速度違反といった悪質な事故の減少やシートベルト着用率の向上等と分析されている。

また事故発生件数も665,133件とまだ高い水準にはあるものの、8年連続で減少してきているが、65歳以上の高齢者については、4人に1人が65歳以上という人口構成もあり、死者数の構成比では半分以上の51.3%と過去最高を記録した。

交通事故死者数を、2008年実績5,155人に対し2018年をめどに半減の2,500人以下とする政府目標を達成するため

には、高齢者や危険運転者を含めたドライバーに対する交通安全教育の推進、安全かつ円滑な道路交通環境の整備とともに、車両の安全性確保へ向けた更なる取組みが求められる。

3.2 安全かつ円滑な道路交通環境の整備 (インフラ協調型安全運転支援)

交通事故削減に向けた取組みの中で、安全かつ円滑な道路交通環境の整備に関して、高規格幹線道路を始めとする道路ネットワークの整備、及び自動車専用道路から一般道にわたる道路情報システムの整備が進められている。また歩行者及び自転車利用者に係る交通事故が多発する生活道路では信号灯器のLED(Light Emitting Diode)化や道路標識・表示の高照度化による認識度の向上、交通環境全体では高度道路交通システム(Intelligent Transport Systems: ITS)の推進が挙げられている。

ITSでは、自動車専用道路でDSRC(Dedicated Short Range Communication)路車間通信によって合流支援や前方障害物情報提供などを行う“ITSスポットサービス”，一般道で光ビーコンやDSRCなどの路車間通信によって、信号見落としや右折時衝突などの防止を支援する“DSSS(Driving Safety Support Systems)”，車車間通信によって、出会い頭衝突などの防止を支援する“ASV(Advanced Safety Vehicle)”など、官公庁の取りまとめのもと安全運転支援システムが開発されている。

これらを含めた安全運転支援システム等の実現・普及・発展に向け、関連省庁と民間のITS Japan等とが連携・構成したITS推進協議会が主体となり、2009年2月に東京で大規模実証実験“ITS-Safety2010”を開催し、インフラ協調による安全運転支援システムの一般公開デモ、及び効果検証評価が行われた。“ITS-Safety2010”の成果として、2011年に、ITSスポットが全国的高速道路を中心として約1,600か所に設置され、ITSスポット(DSRC)対応車載器・カーナビゲーションも多くメーカーから発売され、搭載する車両も増えてきており、本格的な普及拡大が期待されている。

同様に2011年からDSSSも東京・神奈川の一般道から順次インフラが整備され、DSSS対応のカーナビゲーションを新車購入時に装着できるメーカーも増えてきている。

3.3 車両の安全性確保

広い意味で、車両の安全性に関するアイテムとしては、図2に示すように、“(A)駐車支援”から、事故を未然に防ぐ“(B)予防安全”，事故の被害を軽減する“(D)衝突安全”，そして事故発生後の“(E)救助”があり、近年新たに、予防安全と衝突安全の中間的な位置付けで、両方の意味を持つ“(C)衝突回避・被害軽減”が定義され、適応車種が広がりつつある。

駐車支援システムは、現在、バンパーに埋め込まれた超音波センサを使った障害物検知システムや、後方カメラに

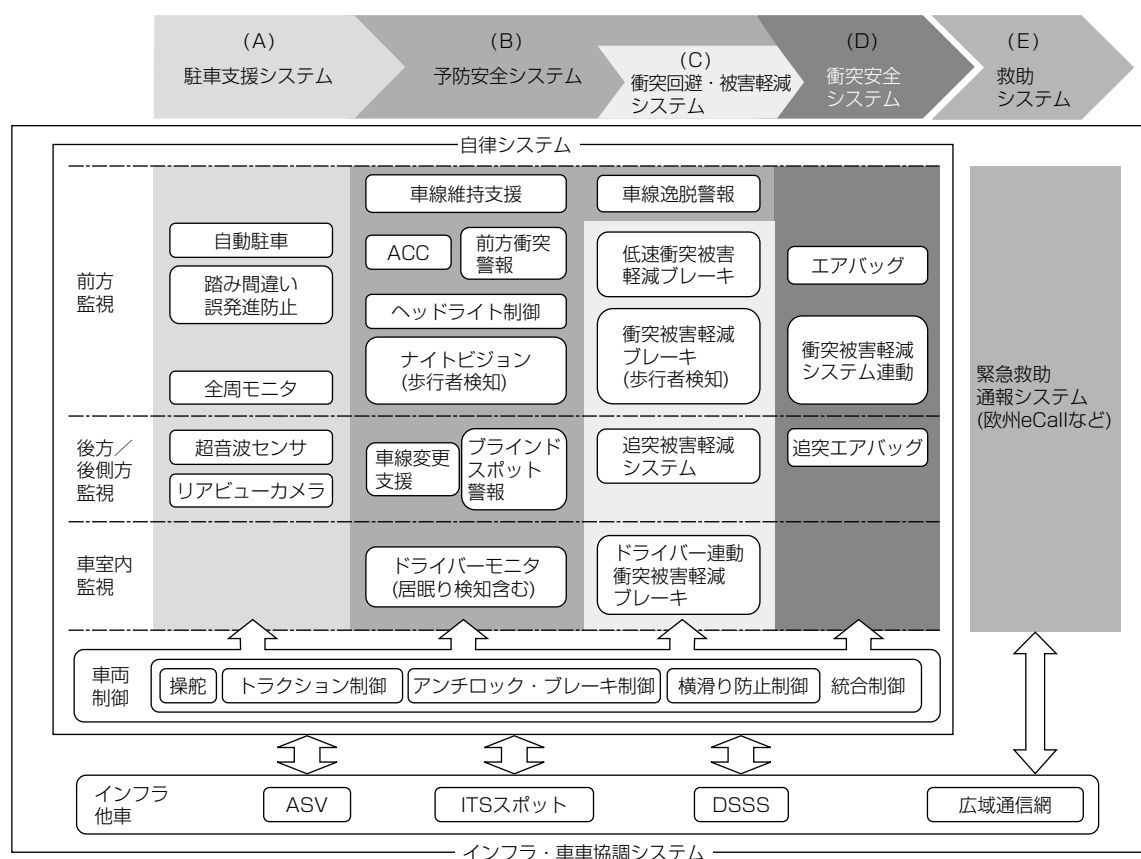


図2. 車両に関する安全システム

よるバックモニタなどが普及してきているが、一部では車の周辺を複数のカメラ画像を合成して真上から見たように表示する全周モニタや、踏み間違い衝突防止システムなどが実用化され、更に赤外線レーザ(Light Detection and Ranging : LIDAR)やカメラなどの複数のセンサなどと組み合わせ、駐車支援をする半・全自動駐車などの研究も進んでいる。

予防安全システムは、ドライバーをサポートして、危険な状態に至らないようにして事故を未然に防ぐシステムで、前方監視に関しては、カメラなどを使った車線を逸脱したときに警報する車線逸脱警報システム(Lane Departure Warning System : LDWS)や、ミリ波レーダセンサなどを使った前方衝突警報装置(Forward Collision Warning : FCW)や、前方の車を認識し、自動的にスピードを調整し車間距離を一定にキープするACC(Adaptive Cruise Control)等が一部の車両で実用化されてきている。また夜間の運転時に、対向車の有無によってヘッドライトのハイビームとロービームを切り替えるシステムや夜の歩行者を検知して知らせるナイトビジョンなどが一部の車種に採用されている。後方や後側方監視に関しては、車線変更する場合に、見えにくい後側方の車両などを検知して知らせる車線変更支援や、ブラインドスポット警報も一部の車両に採用されてきている。車室内監視に関しては、ドライバーの状態を監視して、居眠り状態などを検知し警報するシステムも研究されている。

また車両制御するシステムとして、車両の駆動力や制動力を安定させる、トラクション制御、アンチロックブレーキシステム(Antilock Brake System : ABS)なども予防安全機能として普及してきており、横滑り防止装置(Electric Stability Control : ESC)は、米国、欧州や日本などで装着義務化の方向にある。

衝突安全システムは、交通事故の乗員及び歩行者などの被害を軽減するシステムで、最も先行して進められた安全システムであり、衝突吸収ボディと高強度キャビンの両立ボディ構造やシートベルト、各種エアバッグによって乗員を保護するシステムが該当する。

救助システムに関しては、緊急事態発生後にすみやかに通報をして障害軽減や二次災害や渋滞防止に寄与できるシステムで、一部の車両に採用されてきている。

また最近、適応車種が増加してきている衝突被害軽減ブレーキ(Collision Mitigation Brake : CMB)を代表とする衝突回避・被害軽減システムは、事前に衝突などの事故を予知し、事故を防止、又は被害を軽減するシステムで、ミリ波レーダ、赤外線レーザやカメラなどを使って、進路上の障害物を認識して衝突する可能性が高いと判断した場合、警報ブザーなどでドライバーに知らせるとともに、ブレーキの制動力を高めたり、衝突不可避と判断した場合は、ブ

レーキが自動的に作動して衝突回避又は衝突速度を軽減するとともに、シートベルトなどでドライバーを拘束して、被害を軽減するシステムである。

またこれらの予防安全システムの発展とともに、安全な車選びの指針にするため、NCAP(New Car Assessment Program)と呼ばれる、公的な自動車衝突テストが世界中で行われきており、欧州のEuro-NCAPのように、衝突被害軽減や歩行者検知など予防安全システムが評価対象に追加されるようになったり、これらの予防安全機能の搭載などによって、車両保険の掛金などが軽減されるようになり、予防安全装置の普及促進が図られてきている。

4. つながる快適な車内空間づくり

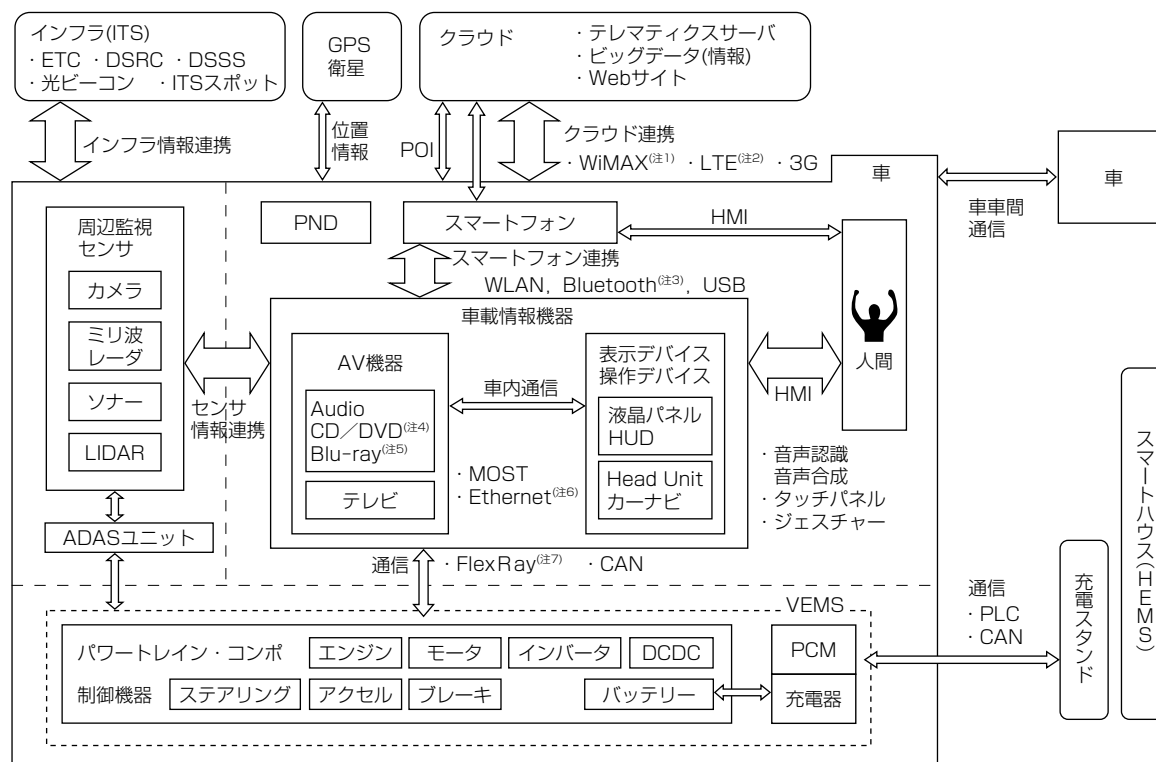
4.1 情報通信技術利用の拡大

スマート社会の実現で、欠かすことができない技術がICTであり、その高度な情報通信技術を駆使することによって、電力を始めとしたエネルギーの効率的利用や、環境にやさしく、便利で安全快適な生活が送れるスマート社会を実現することができる。自動車に関しても、そのICTを駆使して、人と車と地域社会を相互につなぐことで、従来の移動手段としての車の枠にとどまらず、便利で豊かな生活システムの一部として進化していこうとしている。

車両に搭載されている情報車載機器は、情報を得るラジオに始まり、音楽などを楽しむエンターテインメント機能として、カセットテープを始めとした記録媒体を使ったオーディオシステムが追加され、そして走行ルート案内をするナビゲーションシステムとの統合とともに、その記録媒体もCD/DVD/HDD/メモリと進化を遂げ、多機能型AV(Audio Visual)一体型ナビゲーションへと進化してきた。

さらに車載情報端末として、ルート案内だけではなく、オーディオ・ビデオ再生、安全運転支援、省燃費運転支援、車外情報通信によってテレマティクスのサーバへの接続による天気情報の提供、渋滞情報など外部から有用情報を得るためのインフラやクラウドとの連携、車両制御機器との協調など多くの役割を担ってきた。

ただし、廉価なPND(Portable Navigation Device)に加え、スマートフォンによってもそれらの機能の一部を実現できるようになってきており、図3に示すように車載情報機器は、ナビゲーションや音声認識などの機能を持ったスマートフォンとの連携や、先進運転支援システム(Advanced Driver Assistance System : ADAS)などに使用されるカメラなどのセンサ類とのセンサ情報連携、そしてパワートレイン系制御機器と協調するための高速車内通信、また液晶パネルに代表される表示機器、HMI(ヒューマンマシンインタフェース)を含めた操作機器などと統合した統合的な情報制御ユニットなど、ニーズに応じて様々な姿に変わっていくものと思われる。



ETC : Electronic Toll Collection System, GPS : Global Positioning System, POI : Point Of Interest, LTE : Long Term Evolution, USB : Universal Serial Bus, WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access, HUD : Head-Up Display, WLAN : Wireless Local Area Network, VEMS : Vehicle Energy Management Systems, MOST : Media Oriented Systems Transport, PLC : Power Line Communications, CAN : Controller Area Network, PCM : Power Control Module, HEMS : Home Energy Management Systems, 3G : 3rd Generation Mobile Network, DCDC : DC/DC converter

(注1) WiMAXは、WiMAX Forumの登録商標である。(注5) Blu-rayは、Blu-ray Disc Associationの登録商標である。
(注2) LTEは、European Telecommunications Standards Inst.の登録商標である。(注6) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。
(注3) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標である。(注7) FlexRayは、Daimler AGの登録商標である。
(注4) CD及びDVDは、オリエントコンピュータ㈱の登録商標である。

図3. 車両に関する情報通信とHMI

また情報通信が進むことによって、欠かすことができないものとなってくるのがセキュリティであり、情報通信技術の進化とともに要求が高まってきている。

4.2 HMIの進化

車載情報機器は進化し、多機能化・高度化してきており、操作が複雑になる方向にあるが、スマートフォンを代表とする携帯情報機器でタッチパネルや音声認識が普及する中で、安全面における運転中のドライバー操作負荷軽減や、より快適な操作性を実現するために、認知性、直感操作性の高い高度なHMIに対する要求が高まっている。

音声HMI技術である音声認識や音声合成に関しては、自動車用HMIの中では早くから開発が進み、多くのナビゲーション等に採用されており、音声認識率の向上やユーザーに合わせた言語の記憶や、合成音質の肉声感、感情豊かな韻律など高品質化が進んでいる。

操作系HMI技術の一つである、タッチパネル操作は、これも既に多くのナビゲーションに使用されているが、地域ごとの方言を含む多言語を使っている国などでは、音声認識HMIより、タッチパネルHMIによる文字認識が望まれている場合もあり、地域に応じた利便性の良いHMI展

開や、より良い操作性を目指し、パネルに触れることなくモーションやジェスチャーによる操作HMIなどへも進化しつつある。

5. む す び

環境、安全、情報の3つの視点で自動車機器の進化とその技術動向を述べたが、スマート社会を目指す便利で豊かな生活システムの一部として、自動車は、資源やエネルギーの効率的な活用、交通機関の最適化、社会インフラの適合、安心・安全な社会の確立、高齢者の安全で健康な暮らし、より豊かな生活に向けたサービスの充実などへのかわりには多く、新しい技術とともに進化していく自動車が担う役割は大きなものがある。その進化の一端を担うべく、当社の持つ先進技術を結集した製品づくりによって、より良い車社会づくりに貢献していきたい。

参 考 文 献

- (1) 平成24年交通統計, 警察庁 (2012)
- (2) 乗用自動車の新しい燃費基準(トップランナー基準)に関する最終とりまとめについて, 経済産業省 (2011)

車載情報システムにおける 省エネルギー走行支援技術

大田優子* 森田茂樹***
伊川雅彦** 小野政好***
菅原 永***

Eco Driving Assistance Technologies for in-Vehicle Information System

Yuko Ohta, Masahiko Igawa, Hisashi Sugawara, Shigeki Morita, Masayoshi Ono

要 旨

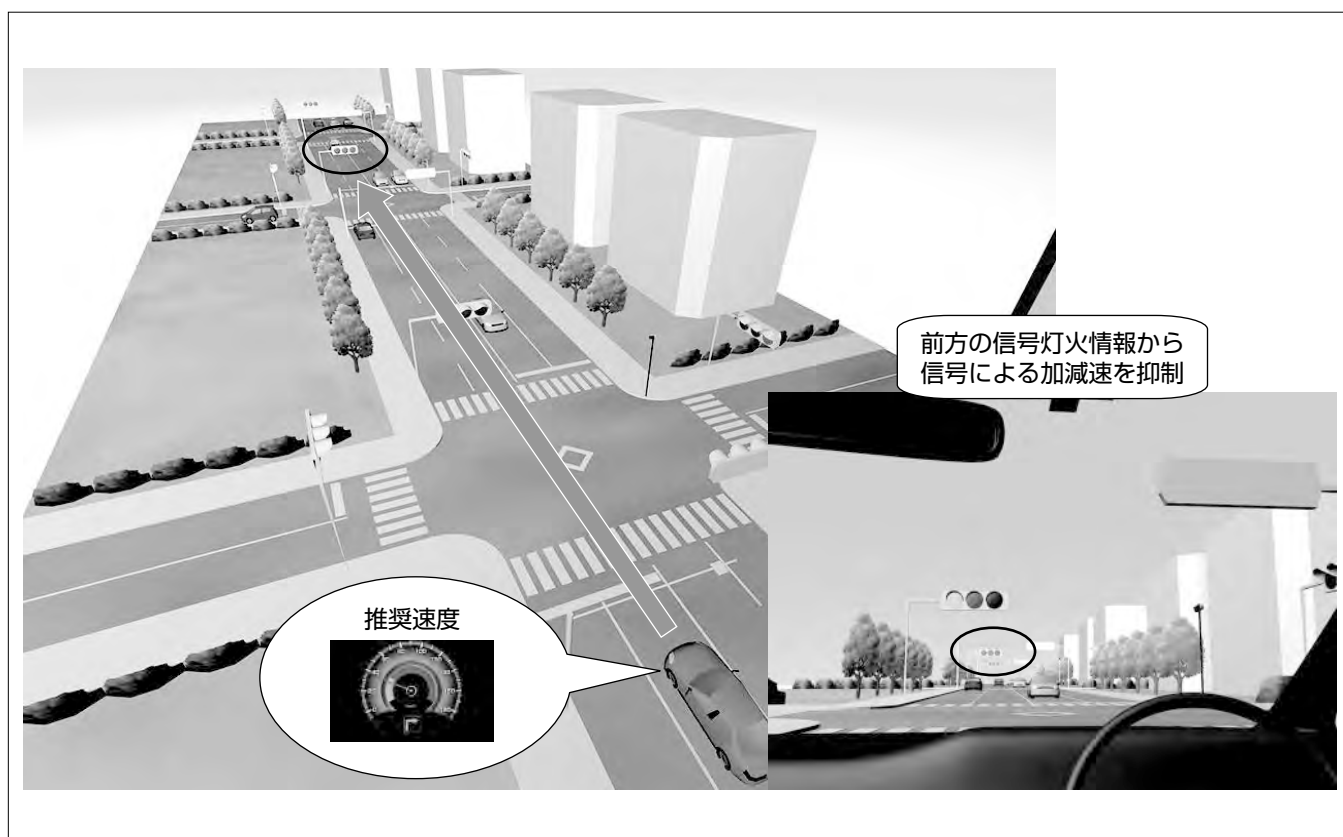
車両の走行における燃費の改善としては、エンジンの改良や空気抵抗の考慮等、モード燃費の改善だけでなく、早めのアクセルオフ、ふんわり加速等の省エネルギー走行と呼ばれるドライバー自身の運転操作による実用燃費改善が注目されている。しかし、このような省エネルギー走行は走行速度の低下による走行時間の増加の原因となり、周辺交通に影響を与えることも懸念されている。

三菱電機はカーナビに代表される車載情報システムの持つ情報を活用して、周囲の交通に対する影響の少ない省エネルギー走行に対する支援を実現することを検討した。要旨の図はその一例であり、車載システムを搭載した車両が道路側から交通情報を取得する、交通インフラと連携した省エネルギー走行システムである。この例では車両は信号

情報を通信から取得し、最適な走行速度をドライバーに提示することで省エネルギー運転を促している。

本稿では、省エネルギー走行としてエネルギー消費の最適化だけでなく走行時間を考慮に入れた走行パターンを提案し、その燃費削減効果の有効性、周辺交通に対する影響を、計算機による交通シミュレーションと実走行試験による評価によって示した。

計算機シミュレーションの結果、省エネルギー走行が混入することによる交通全体の燃費削減効果を確認した。さらに、平均速度の低下も僅かなことから、周囲の交通に対する影響も少ないことが確認できた。また、実際に信号情報を取得できることを前提とした実走行試験を行った結果、省エネルギー走行による燃費削減効果を確認した。



省エネルギー走行運転支援

車載情報システムの持つ情報を活用し、燃費向上を促すとともに円滑な走行をドライバーに対して支援する。

1. ま え が き

車両の走行における燃費の改善に、エンジンの改良や空気抵抗の考慮など、モード燃費を改善する研究開発だけでなく、早めのアクセルオフ、ふんわり加速などの省エネルギー走行と呼ばれるドライバー自身の運転操作による実用燃費改善が注目されている⁽¹⁾。省エネルギー走行はドライバーの経験や技量によってその効果は一様ではなく、また、ふんわり加速や走行速度の低下によって省エネルギー走行が周辺交通に影響を与えることも懸念されている⁽²⁾。

そこで、カーナビに代表される車載情報システムの持つ情報を活用して、このような省エネルギー走行に対する支援を実現することを検討した。

本稿では、車載情報システムにおける省エネルギー走行パターン生成及びその効果を、計算機シミュレーションと実走行による評価によって示す。

2. 車載情報を活用した省エネルギー走行

2.1 車載システム

この節では、車載情報システムの持つ情報を活用した省エネルギー走行について述べる。車載システムは、カーナビから提供される地図情報など、様々な情報に基づいて加減速を抑制した省エネルギー走行に最適な速度(推奨速度)を求めて提供する図1の車載システムを想定する。この車載システムは、①走行予定経路に関する地図及びインフラ情報を提供するカーナビゲーション、②提供された情報に基づき自車が走行予定の道路形状、信号スケジュールに応じた省エネルギー走行パターンを算出する、推奨速度算出装置、③算出された推奨速度を音声、視覚情報としてドライバーへ提供する表示装置で構成する。

2.2 省エネルギー走行パターン

省エネルギー走行は周囲の交通状況や信号スケジュールなどに依存し得るため、場合によっては想定通りに走行できなかったり、逆に周囲の交通にも影響を及ぼす可能性がある。したがって、省エネルギー走行の算出の際には、エネルギー消費の最適化だけでなく、走行時間を考慮する必

要がある。省エネルギー走行パターン生成では、各走行ポイントにおける通過予想時刻の遅延を小さくすることで周辺交通への影響を最小化する。算出された省エネルギー走行パターンの例として、図2及び図3を示す。各図における下方のグラフは省エネルギー走行(実線)と通常走行(破線)の速度遷移を表している。

図2は道路形状に基づく速度制約下での消費エネルギーの抑制を目指した省エネルギー走行の例であり、地図情報から得られる減速が必要な停止線やカーブ等の各地点の安全速度を考慮して、緩やかなアクセル操作による加速及びエンジンブレーキを用いた減速によって滑らかに走行できる速度をドライバーへ提供する。ただし各ポイントでは、安全を考慮した上で、通過時刻の遅延を小さくする速度で走行するものとする。

次に図3における省エネルギー走行は、信号交差点手前の加速を抑制することによって、走行中の消費エネルギーを削減することを目指している。加速は車両の走行燃費に大きく影響することが知られているため⁽³⁾、その量を削減することで燃費の向上が期待できる。図の例では、1つ目の信号では、一定速度をキープすることによって赤信号手前での無駄な加速を抑制する。また、2つ目の信号では信号の切替えタイミングを予測して、交差点通過時刻が遅れない範囲で走行速度を抑制することで、交差点前後における加減速量の削減を行う。

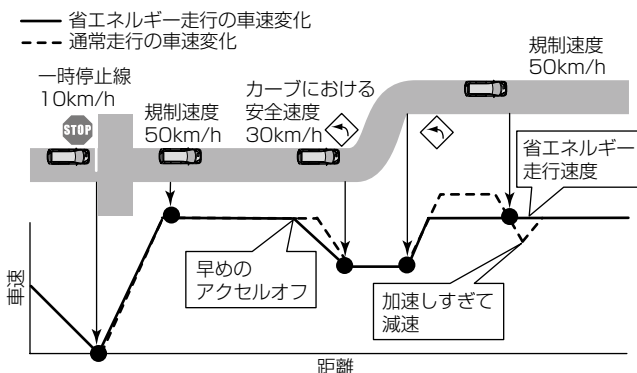


図2. 地図情報を利用した省エネルギー走行パターンの例

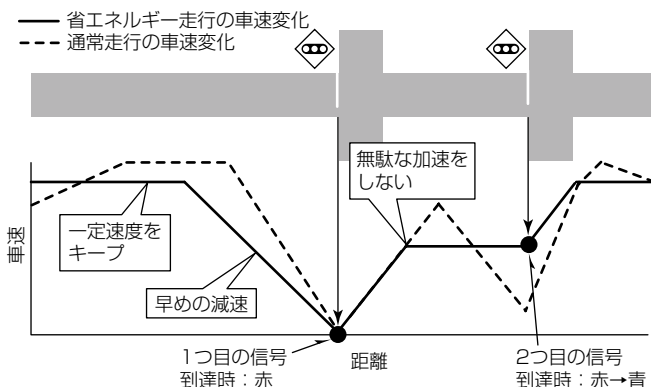


図3. インフラ情報を利用した省エネルギー走行パターンの例

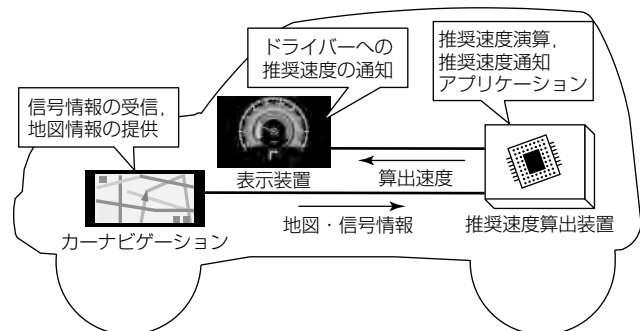


図1. 車載システムの構成イメージ

3. シミュレーションによる評価

2.2節の省エネルギー走行の効果と周囲の交通への影響を評価するため、まず計算機による交通シミュレーションを行った。交通シミュレータ⁽⁴⁾はノードとリンクで構成された道路ネットワーク上を車両が自律的に走行するものである。また、このシミュレータでは交通量や車両の流入タイミングなどの交通状況を繰り返し再現することが可能である。図4にシミュレーションの様子を示す。

3.1 シミュレーション条件

3.1.1 道路ネットワーク・信号スケジュール

シミュレーションで用いる道路ネットワークを図5に示す。道路ネットワークには9個の信号交差点が存在し、内2か所の交差点では車両の流入が存在する。レーン数は片側1車線、制限速度は50km/h、各信号のサイクル長は100秒固定、1サイクルの時間配分(スプリット)は青信号50%とし、交差点間の距離によって青信号開始時間(オフセット)は同時式又は交互式に設定した。

また、このシミュレーションでは交通量を60~840台/hと変化させ、閑散から混雑までの状況を再現した。

3.1.2 走行車両

シミュレーションでは省エネルギー走行車と、一般的な走行を行う通常走行車の2種類が混在する状況を想定し、全車両数に対する省エネルギー走行車の割合は0~100%まで変化させて評価を行った。

シミュレーションで、通常走行車は道路の制限速度とドライバーの個性から決定される速度を目標として走行し、前方車両と現在の信号状態によって減速・停止を行う。一方、省エネルギー走行車は前章で述べた省エネルギー走行で与えられる推奨速度を上限として、それ以外は通常走行と同様に加減速を行う。

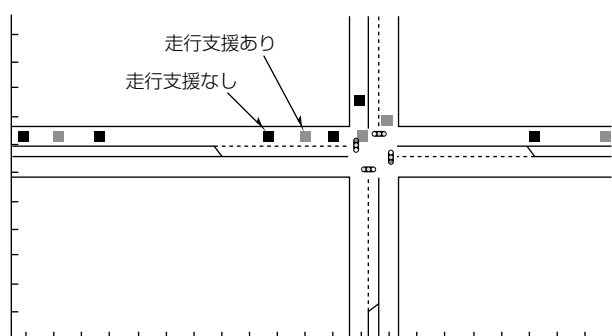


図4. 交通シミュレータ

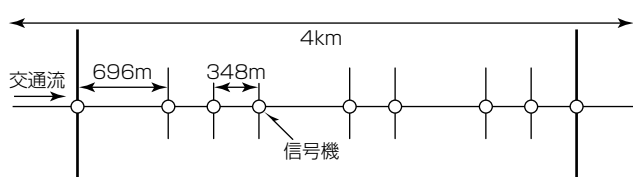


図5. 道路ネットワーク

3.2 シミュレーション結果

3.2.1 省エネルギー走行車の走行例

図6で示すグラフは車両1台に対して、省エネルギー走行支援があった場合と、同条件で省エネルギー走行支援がなかった場合の走行速度、及び各走行の燃料消費量を示している。全体の交通量は720台/h、省エネルギー支援対象車の割合は80%となっている。この例では、走行支援あり／なしにかかわらず走行時間が同一であり、省エネルギー走行による到着時間の遅延は発生していない。また、省エネルギー走行では、早めのアクセルオフによって走行速度を抑制した上、信号の停止回数を減らすことで加速を削減することによって、燃料消費量が約18%削減された。

3.2.2 交通システム全体としての燃費削減効果

交通システム全体としての評価のため、走行車両全てが通常走行車であった場合と、通常車両に省エネルギー走行車が混入した場合における、燃料消費率(総燃料消費量/総走行距離)の改善率を図7に示す。

このグラフから省エネルギー車両の割合が増加するにつれて、交通システム全体での燃費削減も大きくなっていくことが分かる。またこの燃費削減効果は交通量が少ないほど大きく、交通量が増加するにつれて小さくなる。

今回のシミュレーション評価では最も削減効果が大きい条件(省エネルギー車両の割合100%、交通量60台/h)で、交通全体で約13%の燃料消費が削減された。

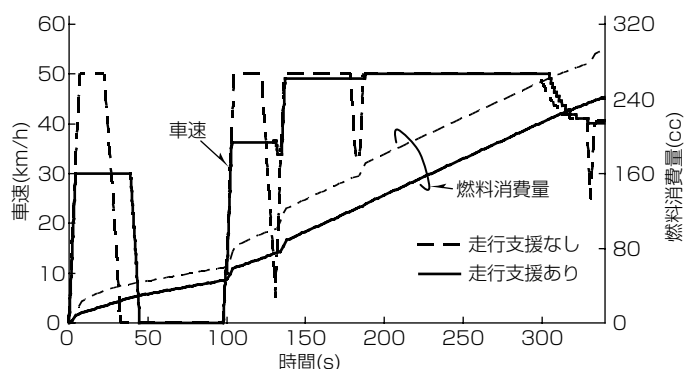


図6. 省エネルギー走行車の走行

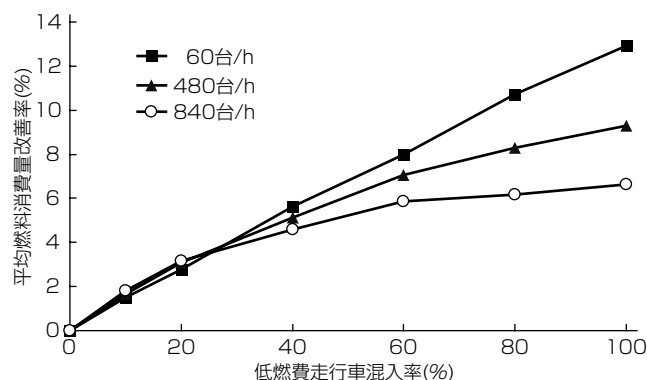


図7. 全車両の燃料消費改善率

3. 2. 3 省エネルギー走行の交通への影響

省エネルギー走行が交通に与える影響について考察するため、省エネルギー走行車が混入する場合と混入しない場合のシミュレーション間の平均速度を比較する。

図8は省エネルギー走行車が交通に混入することによる交通全体の平均速度の変化を、交通量別に示したグラフである。交通量が720台/hまでは変化率が1%程度であった。ただし、交通量が840台/hで、省エネルギー走行車の割合が80%の場合では約3～4%の平均速度の低下が見られはじめた。

この結果から、本稿における遅延時間が最小になるような省エネルギー走行が周囲の交通に影響が小さいことを確認できた。さらに交通量が増加し、省エネルギー走行車の混入率が高い場合は、この省エネルギー走行方法でも交通に対して影響を与える可能性があることを示唆している。

4. 実走行試験による評価

次に実環境における省エネルギー走行の効果を確認するため、図1の車載システムを構築し、実走実験を行った。

表1に郊外環境と都市環境での走行結果を示す。どちらの環境でも燃費改善の効果を確認することができたが、郊外環境の方が省エネルギー走行の効果が高い結果となった。

図9は走行支援がない場合(a)とある場合(b)における走行例の一例である。(b)における省エネルギー走行は走行支援を受けた場合、通常走行は同等の状況下で支援なしの場合の走行を表している。(a)(b)ともに走行時間は368秒と同等であるが、走行支援ありの走行では巡航速度を抑えることで時速15km以下となる大きな減速の回数が3回に減少している。さらに、停止時におけるゆっくり加速、早めのアクセルオフの効果も加わり、この例では、支援がない場合と比較して約25%の燃料消費量が減少した。

5. む す び

車載情報システムの持つ情報を活用した省エネルギー走行の燃費削減効果を調査するために、計算機による交通シミュレーション及び実走行試験で評価を行った。

計算機シミュレーションでは交通状況を変化させながら評価を行った結果、省エネルギー走行によって最大で13%の交通システム全体の燃費削減効果を確認した。

さらに、実走行試験でも、省エネルギー走行による燃費削減効果を確認できた。実走行試験でも交通量の少ない郊外における燃費削減効果が大きく、平均11.5%の燃費削減となった。なお、実走行試験のデータは、一般社団法人UTMS(Universal Traffic Management Systems)協会で

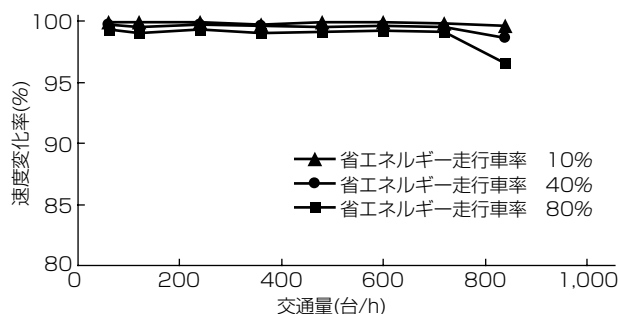


図8. 省エネルギー走行車混入による平均速度の変化

表1. 郊外環境と都市環境の平均燃費比較

	支援なし	支援あり	効果
郊外環境	7.45km/l	8.25km/l	11.5%up
都市環境	8.08km/l	8.51km/l	5.3%up

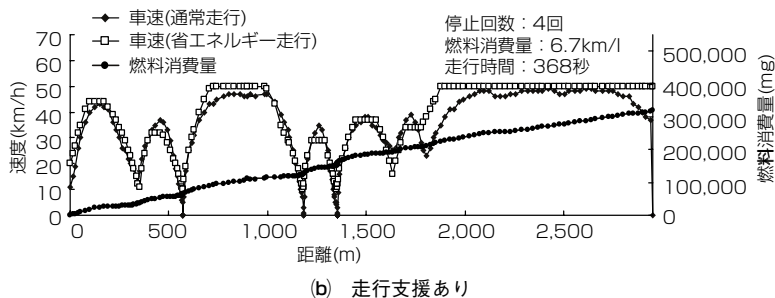
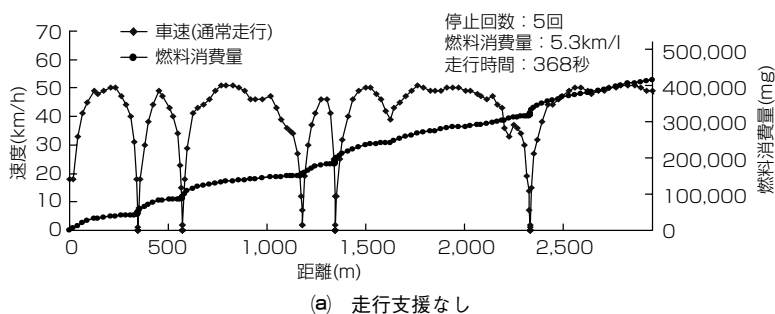


図9. 走行支援有無の走行パターンと燃料消費量

実施したグリーンウェーブ走行支援システムの実験に参加して得たものである。

参考文献

- (1) チャレンジ25キャンペーン：エコドライブ10のススメ
<http://www.challenge25.go.jp/practice/carlife/10advice/index.html>
- (2) 北朴木祥吾, ほか：エコドライブが信号交差点の交通容量に及ぼす影響評価, 第11回ITSシンポジウム2012, 2-A-05 (2012)
- (3) 大口 敬, ほか：都市部交通道路における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル, 土木学会論文集, 695, No.54, 125～136 (2002)
- (4) 後藤幸夫, ほか：自律的車両モデルによる道路交通シミュレータの開発, 電気学会論文集D, 116, No.5, 569～577 (1996)

ヘッドランプ用LEDドライバ

貫里康博* 岸 直央***
牧野宏和**
井上 優*

LED Driver for Head Lamp

Yasuhiro Nukisato, Hirokazu Makino, Yu Inoue, Naohiro Kishi

要 旨

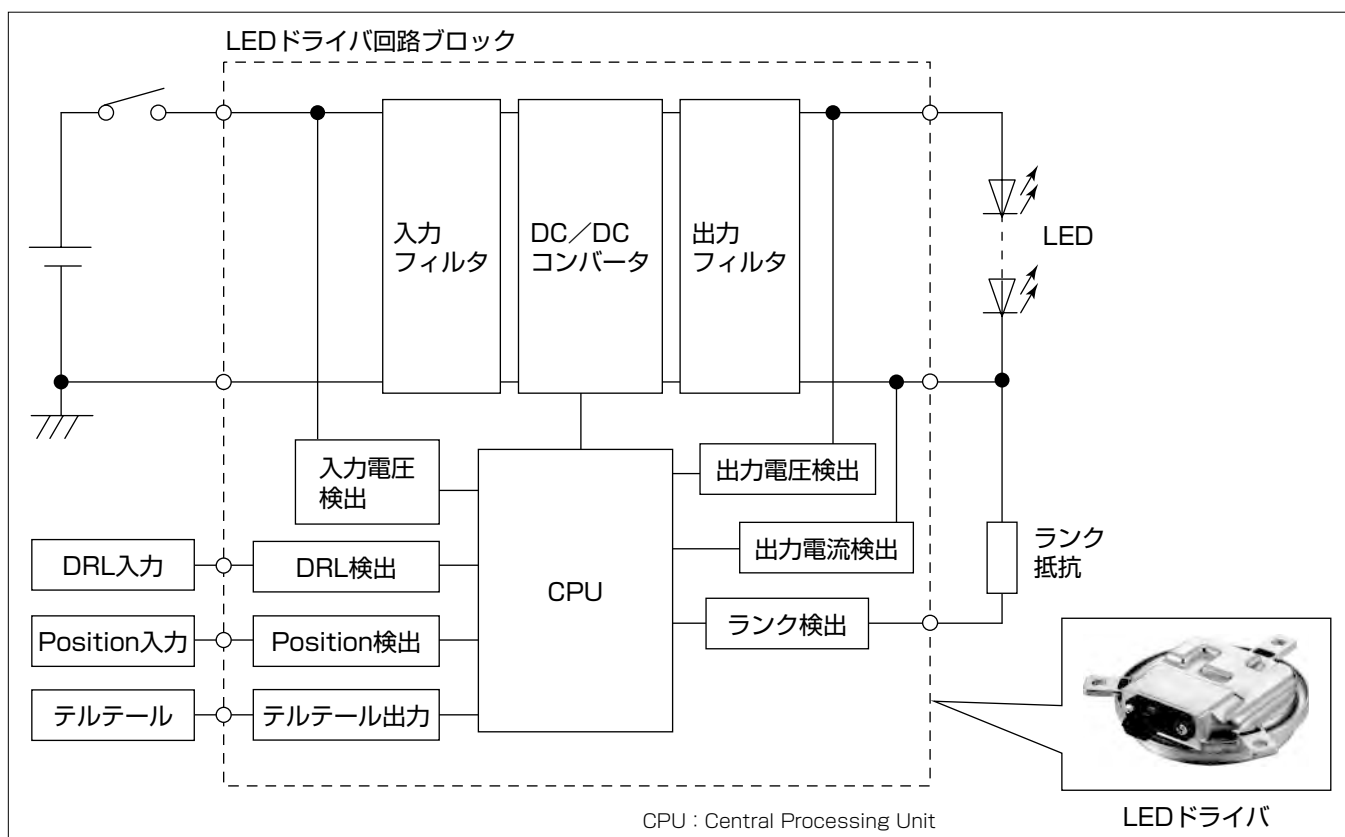
家庭や公共施設用照明の光源として省電力・長寿命のLED(Light Emitting Diode：発光ダイオード)が注目される中、自動車用ヘッドランプにもLEDが採用され始めている。現在は、一部の高級車やEV(Electric Vehicle)などの環境対応車への搭載が中心だが、今後LEDチップの進化とともに、“省エネルギー”と“デザイン性向上”を目的とした一般車への普及拡大が見込まれる。

LEDは電流に対する明るさに個体差があるため、光束でランク分けされる。そのため、光束ランクごとに対応した定電流制御を行い、どのLEDに対しても同じ明るさで制御する必要がある。また、LEDは過電流によって破壊する可能性が高いため、過電流に対する配慮が必要である。

三菱電機では、最大で6種類の光束ランクに対応し、

LEDドライバへの急峻(きゅうしゅん)な入力電圧の変動でもLEDへの過電流を抑制したLEDドライバを開発した。オプション機能として、同一光源に対して、LOW beam点灯、Position点灯、DRL(Daytime Running Lights)点灯の各点灯モードに応じた調光機能をPWM(Pulse Width Modulation)制御によって実現した。

キーポイントになるDC/DCコンバータは、ヘッドランプ用HID(High Intensity Discharge)バラストの開発で確立したZVS(Zero Voltage Switching)制御及びシートトランスを採用し、最適な部品レイアウトによって片面実装を実現、基板の多面取りによって実装コストを抑制し、低価格で高性能なLEDドライバを開発した。



LEDドライバ

LEDドライバは、LEDの光束ランク(ランク抵抗、最大6種類に対応)に応じて、定電流制御を行う。オプション機能として、同一光源の調光機能をPWM制御によって対応した。DC/DCコンバータはZVS制御を採用し、電源電圧の急激な変動によるLEDへの過電流制御として、フィードフォワード制御を採用した。

1. ま え が き

“省エネルギー”と“デザイン性向上”を目的として、省電力・長寿命の白色LEDが自動車用ヘッドランプにも採用され始めている。現在は、一部の高級車やEVなどの環境対応車への搭載が中心だが、今後LEDチップの発光効率の進化とともに、一般車への普及拡大が見込まれる。

当社では、HIDバラストで開発したDC/DCコンバータ制御を流用し、低価格で高性能な自動車ヘッドランプ用LEDドライバを開発した。

本稿では、LEDドライバの特長を述べる。

2. ヘッドランプ用LEDドライバ

2.1 定電流制御

LEDの V_f (順方向電圧)には温度特性があり、1チップのLEDで約2～4Vになる。LOW beamに使用する場合は、一般的に複数のLEDを直列で使用する(10チップの場合は約20～40V)ため、DC/DCコンバータによって電源電圧を昇圧して電力を供給する必要がある。

LEDは電流に対する明るさに個体差があるため、光束でランク分けされる。そのため、どの光束ランクでも同じ明るさになるように、各光束ランクに対応して定電流制御を行う必要がある。

2.2 テルテール出力

入出力の異常状態を検出して動作を停止するとともに、LOW beamにLEDを使用する場合は、正常/異常状態を車両側に報知する(テルテール)ことが、法規で規定されているため、対応する必要がある。

2.3 調光機能

LOW beam点灯、Position点灯、DRL点灯等のシチュエーションに合わせて、出力電流を変更することによって、LEDの明るさを変化させる必要がある。

3. LEDドライバの技術要素

3.1 光束ランクに応じた定電流制御

各光束ランクに対応した抵抗(ランク抵抗)は、LEDチップが実装された基板に実装されており、点灯開始前にランク抵抗を検出することで各光束ランク(最大6種類)に応じた定電流制御を行っている。

3.2 フィードフォワード制御

LEDドライバに供給される電源電圧は、変動することを前提に設計する必要がある。通常、出力電流の制御はフィードバックによって定電流制御を行っているが、急激な電圧変動が発生した場合、フィードバック制御だけではLEDへ過電流が流れることになる。

具体的には、低電圧(9V)から高電圧(16V)に電源電圧が急激に増大した場合は、DC/DCコンバータ1次側FET

(Field Effect Transistor)のON時間を一気に小さくする必要があるが、フィードバック制御の場合は、実際に過大な出力電流が流れてからFETのON時間を小さくするため、LEDへの過電流は避けられない。LEDの過電流は、LEDの寿命低下や破壊に至る可能性があるため、これを避けるための配慮が必要になる。

このため、急激な電源電圧の変動(電源電圧の上昇)が発生した場合は、フィードフォワード制御によって、LEDへの過電流を抑制している。

図1は、フィードバックだけの制御で、電源電圧を9Vから16Vに急激に増加させた場合の波形である。電源電圧9V時のFETのON時間は大きく、このON時間で電源電圧が16Vになるため、LEDに過電流が流れ始める。LEDに過電流が流れてからFETのON時間を小さくするため、LEDへの過電流は抑制できない。

図2は、フィードフォワード制御を追加した場合の電源電圧変動の波形である。急激な電圧上昇を検知した場合、過電流が流れないように検知時の電源電圧に応じた最小ON時間(図3)でFETを制御するため、LEDへの過電流を抑制することができる。

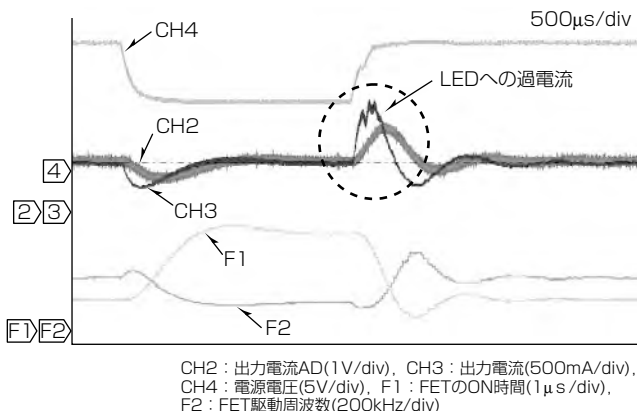


図1. 9V→16V電源電圧変動(フィードバック制御だけ)

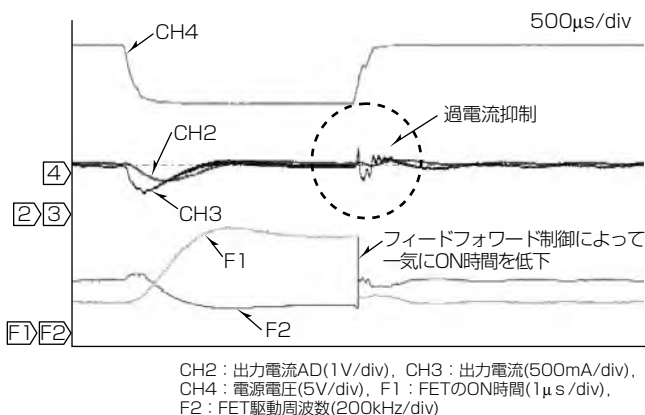


図2. 9V→16V電源電圧変動
(フィードバック+フィードフォワード制御)

3.3 調光制御

LEDドライバは、点灯シチュエーションに合わせて同一光源のLEDに対して調光機能(LOW beam, DRL, Position)を設定している。

PWM制御によって調光機能を実現しており、LOW beam点灯時はduty100%(DC点灯)、DRL点灯時はduty80%、Position点灯時はduty10%で制御を行う。いずれも周波数は400Hzである。DC/DCコンバータの動作/非動作によってPWM動作させ、400Hz(2.5ms周期)のうち、DRL点灯時は2.0ms間、Position点灯時は0.25ms間DC/DCコンバータを動作させている。

PWM制御では、出力電流を矩形(くけい)波に近づけるため、早く定格電流に到達するように制御する必要がある。そこで、図4のように、DC/DCコンバータ1次側FETのON時間を前回点灯時と同じON時間で動作開始している。

なお、動作開始から一定期間はフィードバックしないようにマスク期間を設定している。このマスク期間は、目標とする出力電流と実際に流れている出力電流の差分が大きくなると、フィードバックゲインが大きくなり出力電流がオーバーシュートするため設定している。

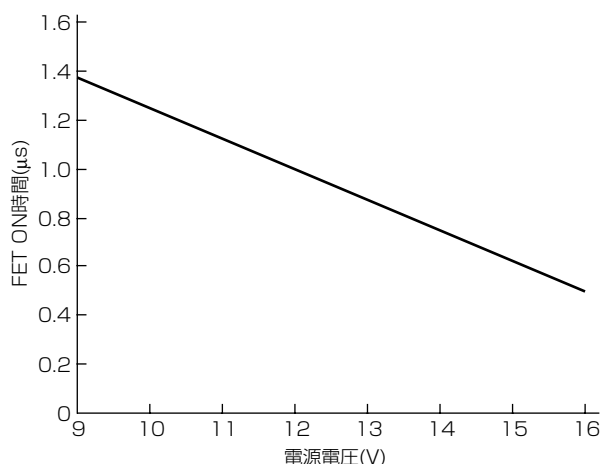


図3. 電源電圧とFET最小ON時間

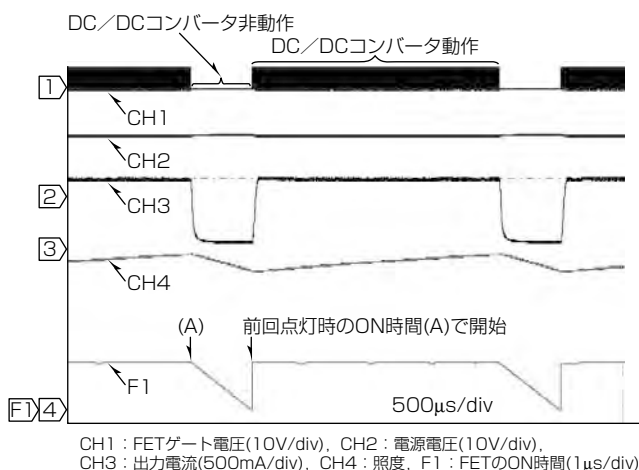


図4. DRL点灯時(duty80%)の動作波形

DC/DCコンバータ非動作中に電源変動した場合は、前回点灯時のON時間ではなく、オーバーシュートしないように動作開始時の電源電圧に応じた最小ON時間(図3)で動作開始し、マスク期間後からフィードバック制御を開始するが、この間、LEDは暗くなる。PWMのdutyが小さいPosition点灯で、電源変動時の照度変化が顕著に現れるが(図5)、電源変動が発生した場合は、dutyを大きくすることで対応した(図6)。

3.4 DC/DCコンバータ制御

LEDのVfは温度特性によって広範囲な値をとる。Vfが最大でも定電流制御が必要なため、DC/DCコンバータとしては17~40Wの広範囲な出力電力が必要になる。

出力電力が高くなるため、DC/DCコンバータ1次側FET及び2次側ダイオードのスイッチング損失も大きくなる。そのため、HIDバラストで開発したZVS制御を採用することによって、FET及びダイオードのスイッチング損失を抑制した。また、HIDバラストでは効率悪化要因であったイグナイタやインバータがLEDドライバでは不要となること、パワー系部品を最適化することによって効率88%を達成した(図7)。

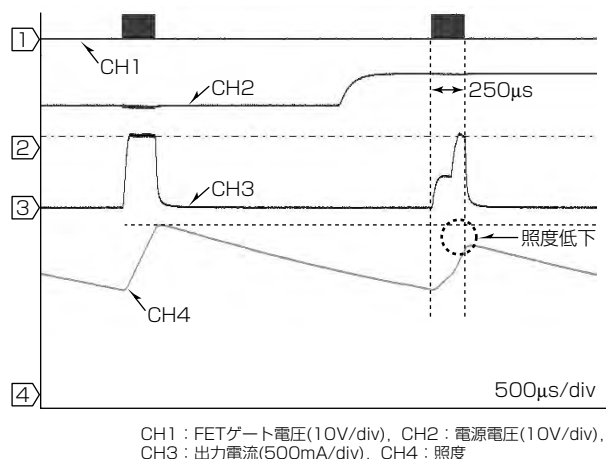


図5. Position点灯時(duty10%)の電源変動

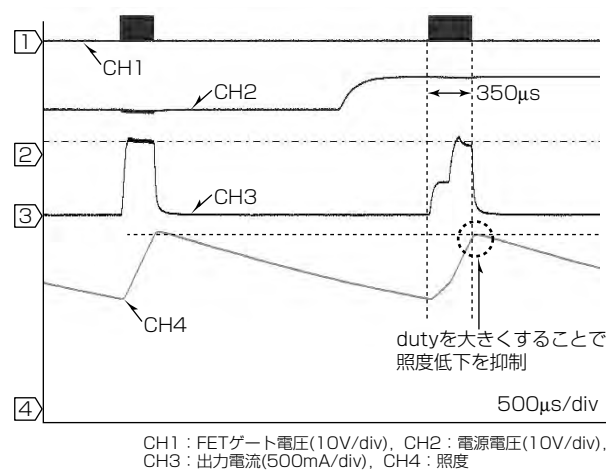


図6. 改善後のPosition点灯時(duty10%)の電源変動

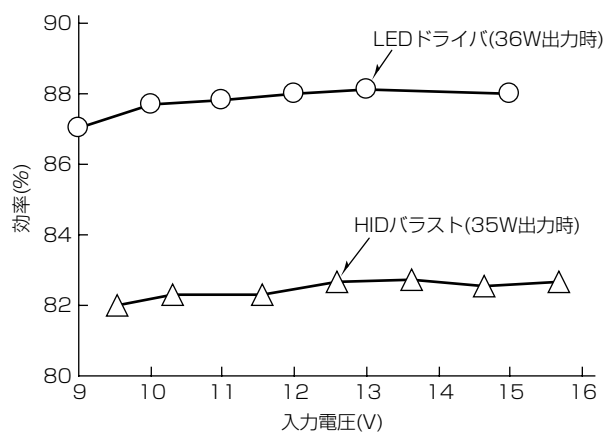


図7. LEDドライバの効率

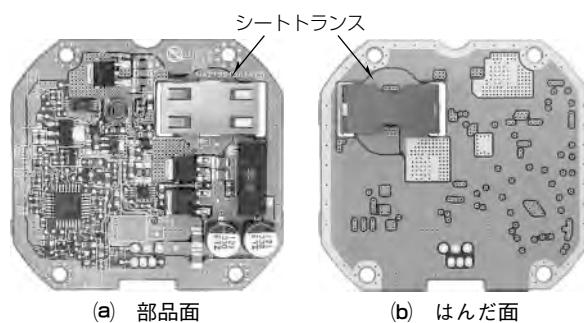


図8. シートトランス

3.5 シートトランス及び片面実装

部品コスト抑制のため、シートトランスを採用した(図8)。シートトランスに採用しているコアは、HIDバラストで採用しているコアと同一品を使用し、調達コストを抑制した。また、自動設備でシートトランスを組み立てているが、生産設備も流用して生産コストを抑制するため、基板に対する配置もHIDバラストと同一になるようにレイアウトした。

実装コスト抑制のため片面実装を採用し、更なるコスト抑制のため、基板取り数を従来の3枚/シートから9枚/シートに増やして実装効率を向上させた(図9)。

片面実装に伴い、DC/DCコンバータ1次側と2次側のスイッチング素子と平滑コンデンサは同一面での配置が可能となり電流ループを最小限とし、EMI(ElectroMagnetic Interference)性能の抑制にも寄与した。

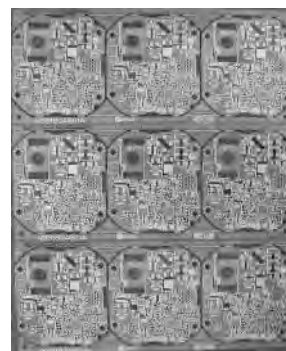


図9. 基板外形(9枚取り/シート)

4. む す び

これまで自動車用ヘッドランプにはHIDシステムが普及してきたが、今後はLEDチップの発光効率の進化、デザイン性向上、省電力をキーワードにLEDシステムの普及加速が想定される。また、Position, Turn, DRL等の専用のLEDも設定され、これらを1つのLEDドライバで制御するため高機能化が進むことも想定される。

今回のLEDドライバの開発で得た知見を活用し、LEDシステムの普及加速に遅れることなくタイムリーな製品開発を進め、広く社会に貢献する製品を市場に送り出していく。

階調制御方式による車載充電器向け 高効率絶縁AC/DCコンバータ

金山隆志* 近藤亮太**
 栗根和俊* 山田正樹**
 瀧北 守*

High Efficiency Isolated AC/DC Converter with Gradationally Controlled Voltage Inverter for On-Board Charger
 Takashi Kaneyama, Kazutoshi Awane, Mamoru Takikita, Ryota Kondo, Masaki Yamada

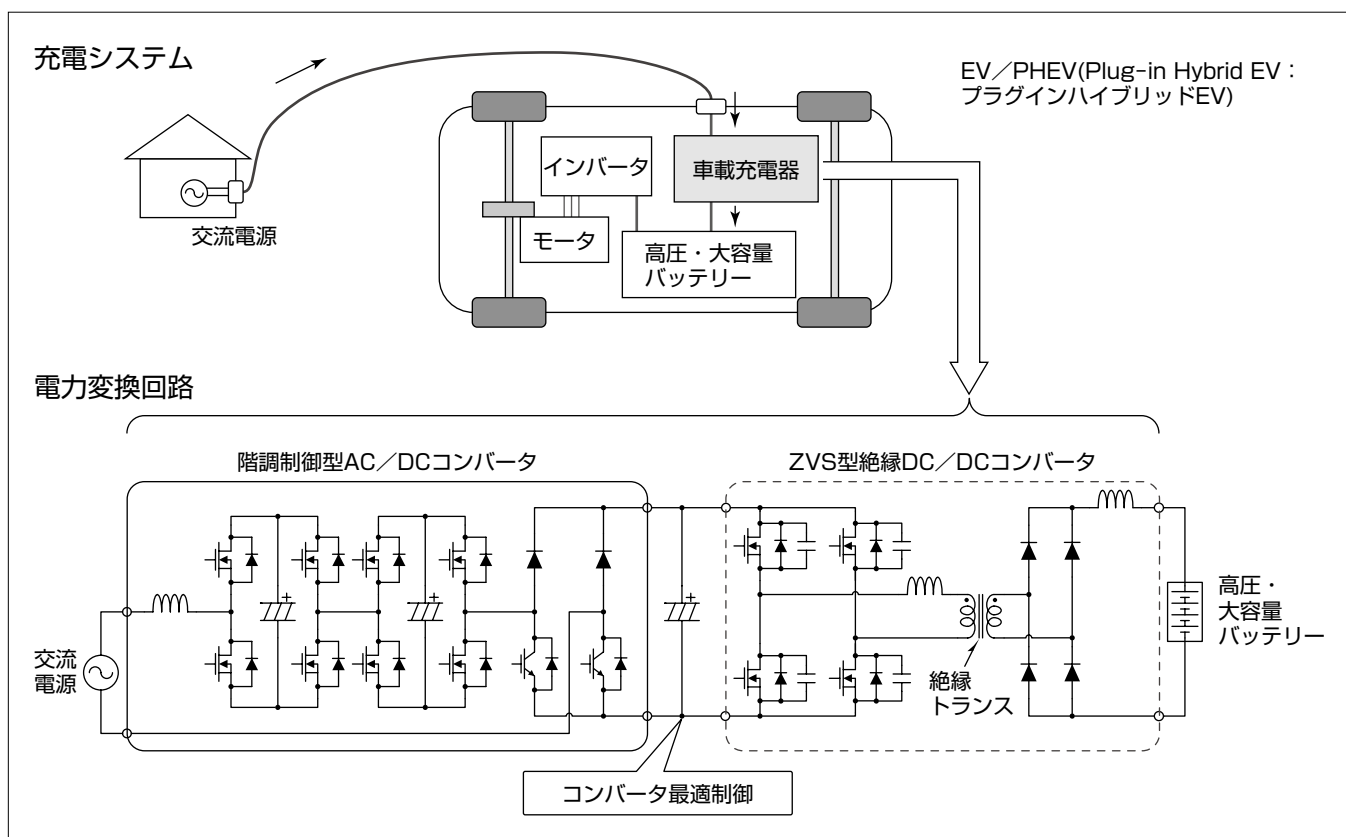
要 旨

近年の各国の排出ガス規制強化を背景に、ZEV (Zero Emission Vehicle：無公害車)として各社でEV (Electric Vehicle：電気自動車)の開発が加速されている。

家庭の交流電源からEVの高電圧・大容量バッテリーを充電する普通充電では、交流を直流に変換する車載充電器をEVに搭載する方法が一般的に採用されている。EVで、商用電源での充電にかかる充電電力量と走行距離との割合で算出される交流電力量消費率は走行性能を示す上で重要な尺度であり、車載充電器には高効率化が要求されている。車載充電器はAC (交流) からDC (直流) への電力変換機能を備え、さらに、感電及び火災事故防止のために入力と出力を絶縁する必要があるため、AC/DCコンバータと絶縁DC/DCコンバータの組合せで構成する。この2段のコン

バータで生じる損失は大きく、電力変換効率の向上が課題となっている。

今回、車載充電器の高効率化のために、AC/DCコンバータとして三菱電機独自の高効率マルチレベルインバータ技術である階調制御方式を採用し、ZVS (Zero Voltage Switching) 型絶縁DC/DCコンバータと組み合わせ、各コンバータを高効率に動作させるためのコンバータ最適制御技術を開発した。また、開発した車載充電器では、力率99%以上の高い入力電流制御性と、広い電圧範囲で効率92%以上、最大効率94%以上の高効率を実現している。これによって、交流電力量消費率が向上し、単位充電時間あたりの走行距離延長が可能となる。



EVの充電システム及び車載充電器の電力変換回路

EVに搭載される車載充電器のシステム構成と、車載充電器の電力変換回路を示す。EVと家庭の交流電源を接続することによって、車載充電器を介して高電圧・大容量バッテリーが充電される。車載充電器は階調制御型AC/DCコンバータとZVS型絶縁DC/DCコンバータから構成され、各コンバータを高効率に動作させるために開発したコンバータ最適制御によって、高効率な充電動作を実現する。

1. ま え が き

近年の各国の排出ガス規制強化を背景に、ZEVとしてEVやPHEVが注目されており、各社でEV開発が加速されている。EVにはモータを駆動するための高電圧・大容量バッテリーが搭載され、このバッテリーの充電機能は不可欠である。バッテリーを充電する方法は、家庭の交流電源から低電力で充電する普通充電と、直流電源から高電力で充電する急速充電の2種類がある。普通充電に関しては、ユーザーの利便性を考慮し、交流を直流に変換する車載充電器をEVに搭載する方法が一般的に採用されている。EVで、商用電源での充電に必要な充電電力量と走行距離との割合で算出される交流電力量消費率は走行性能を示す上で重要な尺度であり、車載充電器には更なる高効率化が要求されている。

車載充電器はACからDCへの電力変換機能を備え、さらに、感電及び火災事故防止のために入力と出力を絶縁してバッテリーを非接地系とする必要がある。このため、AC/DCコンバータと絶縁DC/DCコンバータの組合せによって、車載充電器用の絶縁AC/DCコンバータを構成する。本稿では、高効率な絶縁AC/DCコンバータ開発における主要技術について述べ、車載充電器へ適用した結果を示す。

図1は、開発した車載充電器のコンバータ構成及び適用技術を示す。入力段のAC/DCコンバータ回路には階調制御方式を採用する。階調制御方式は、電圧の異なる複数のインバータを直列に接続して所望の電圧を階段状に出力する当社独自のマルチレベルインバータ技術であり、損失や電磁ノイズの低減が可能である。従来、階調制御方式は瞬停補償装置⁽¹⁾、UPS(Uninterruptible Power Supply)⁽²⁾、太陽光発電システムのパワーコンディショナ⁽³⁾といったインバータ機器に用いられてきたが、コンバータ回路への応用を検討し⁽⁴⁾、今回初めて車載充電器への適用を実現した。出力段の絶縁DC/DCコンバータには、スイッチング損失を低減可能なZVS型のソフトスイッチング方式⁽⁵⁾を採用する。さらに、これらのコンバータ回路を広い入出力電圧/電力条件で高効率に動作させることができるコンバータ最適制御技術を開発した。この技術は図1の構成で特に効果的に働き、従来製品にはない新規手法である。

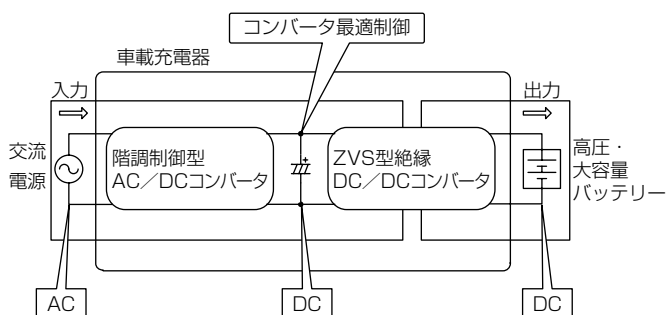


図1. 車載充電器のコンバータ構成及び適用技術

2. 適用技術

2.1 階調制御型AC/DCコンバータ

2.1.1 階調制御型インバータ

階調制御型インバータの概略構成を図2(a)に示す。階調制御型インバータは、ダイオードが逆並列接続されたMOS-FET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)などの半導体スイッチ素子とコンデンサから構成されるインバータユニットを、直列多段に接続して構成される。各インバータユニットのコンデンサ C_1 、 C_2 の電圧を2倍ずつ異なる値、例えば V_0 、 $2V_0$ とすることで、図2(b)に示すように各インバータユニットの駆動パターンの組合せによって $-3 \sim 3V_0$ の7通りの電圧を発生させることができる。

階調制御型インバータの出力論理テーブルは表1となる。インバータユニットの出力電圧と電流が同極性の場合、表中で正極性ならばコンデンサから電荷が放電され、負極性

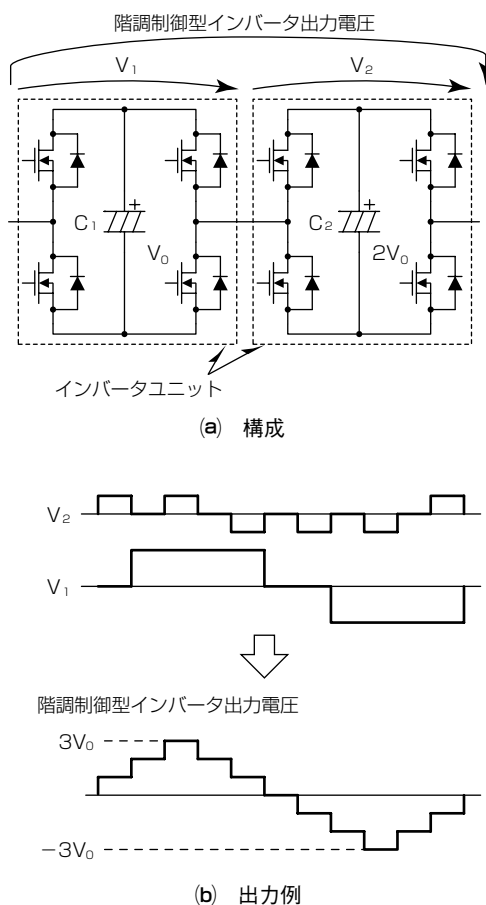


図2. 階調制御型インバータ

表1. 出力論理テーブル

	階調制御型インバータ出力電圧								
	$-3V_0$	$-2V_0$	$-V_0$	0	V_0	$2V_0$	$3V_0$		
V_1	$-2V_0$	$-2V_0$	0	$-2V_0$	0	0	$2V_0$	$2V_0$	$2V_0$
V_2	$-V_0$	0	$-V_0$	V_0	0	V_0	$-V_0$	0	V_0

であればコンデンサに電荷が充電される。逆に、インバータユニットの出力電圧と電流が反対の極性の場合、コンデンサの電荷の充放電の関係は反転する。ここで表1から分かるように、階調制御型インバータが V_0 、 $-V_0$ を出力する場合、それぞれ2通りのパターンが存在する。

図3は、表1の階調制御型インバータ出力電圧 V_0 を実現する2通りのパターンを示す。 V_0 を保持するインバータユニットは出力パターンによってコンデンサ C_1 の充放電を選択でき、コンデンサ電圧を制御可能である。これによって、コンデンサ C_1 、 C_2 の電圧が2倍の比率となるようパターンを選択することで、電圧の関係を調整する。

2.1.2 コンバータの動作原理

階調制御型AC/DCコンバータの回路を図4に示す。この回路は一般的な昇圧チョッパ型AC/DCコンバータの交流母線に対し、階調制御型インバータを直列に接続して構成される。

階調制御型インバータはPFC(Power Factor Correction：力率改善)動作を実現するため、AC電圧 V_{ac} と同位相の正弦波をAC入力電流目標として電圧を出力し、AC入力電流を制御する。階調制御型インバータの出力電圧を振幅

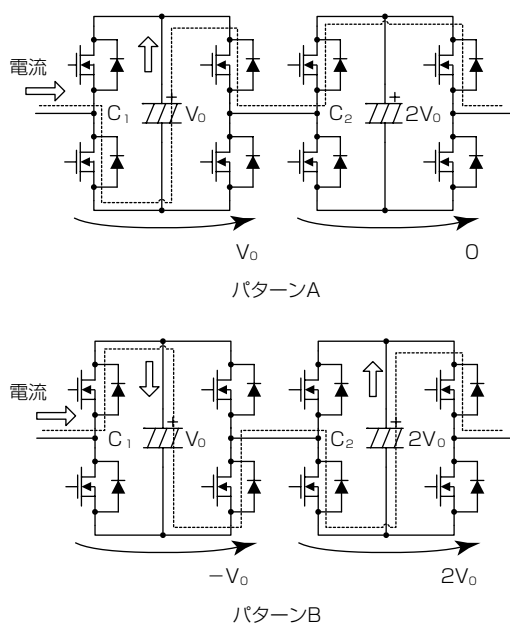


図3. 階調制御型インバータ出力電圧 V_0 での出力パターン

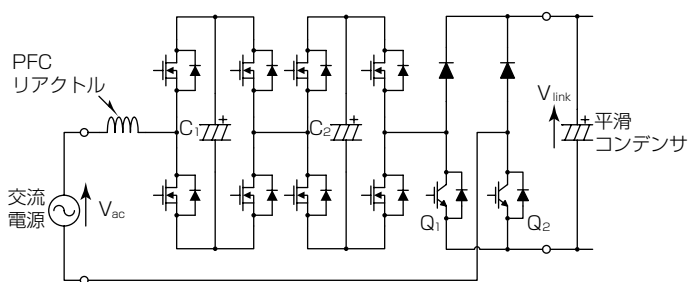


図4. 階調制御型AC/DCコンバータの回路

V_0 でPWM(Pulse Width Modulation：パルス幅変調)制御することによって、スイッチングで生じる電流リプルが低減し、電流制御性が向上する。これによって、部品として比較的高価なPFCリアクトルの小型化や、スイッチング周波数の低減が可能となる。また、各インバータユニットは直列接続され電流制御に必要な電圧が分散されるため、各インバータユニットのスイッチング電圧は通常の昇圧チョッパ型AC/DCのスイッチング電圧(AC/DCコンバータ出力電圧と等しい)よりも低く、スイッチング損失と電磁ノイズは低減する。これはノイズフィルタの小型化にもつながる。さらに、各インバータユニットは低耐圧素子を使用でき、導通損失も低減可能である。

図4の半導体スイッチ素子 Q_1 、 Q_2 は階調制御型インバータが保持するコンデンサ C_1 、 C_2 の電圧を制御するためにスイッチングされる。AC電圧 V_{ac} に対するスイッチ素子 Q_1 、 Q_2 のスイッチングタイミングを示した波形を図5に示す。スイッチ素子 Q_1 、 Q_2 がONのときは、電流制御のために階調制御型インバータはAC電圧 V_{ac} に対向する電圧を出力し、コンデンサ C_1 、 C_2 は充電される。スイッチ素子 Q_1 、 Q_2 がOFFのときは、階調制御型インバータはAC電圧 V_{ac} に加算するように電圧出力し、コンデンサ C_1 、 C_2 は放電される。このようにスイッチ素子 Q_1 、 Q_2 のON期間(位相 θ_1)を調整し、階調制御型インバータのコンデンサ電圧を制御できる。スイッチ素子 Q_1 、 Q_2 のスイッチング電圧はAC/DCコンバータの出力電圧 V_{link} に等しいが、スイッチング回数はAC1周期に4回であるため、スイッチング損失は無視できるほど低い。

スwitch素子 Q_1 、 Q_2 のON期間では、階調制御型インバータはAC電圧 V_{ac} と等しい電圧を出力する必要があるため、図5で示すようにスイッチ素子 Q_1 、 Q_2 をAC電圧 V_{ac} のゼロクロス前後でONすることによって、コンデンサ C_1 、 C_2 が保持する電圧目標値を低く設定できる。またスイッチ素子 Q_1 、 Q_2 のOFF期間では、階調制御型インバータはAC電圧 V_{ac} とAC/DC出力電圧 V_{link} の差分の電圧を出力する必要があるが、ピーク前後の高いAC電圧 V_{ac} に対して出力を重畳するため、低いコンデンサ C_1 、 C_2 電圧であっても昇圧動作が可能となる。図5の位相 $0 \sim \theta_1$ 、 $\theta_1 \sim \theta_2$ 、 $\theta_2 \sim \pi/2$ に

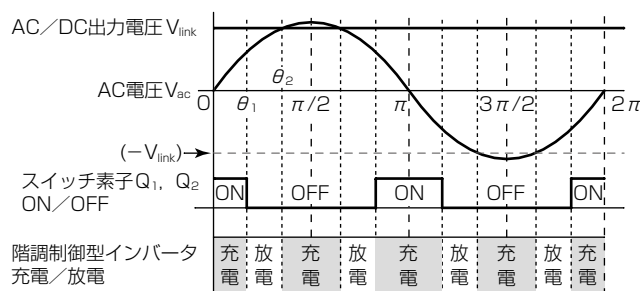


図5. スwitch素子 Q_1 、 Q_2 のスイッチングタイミング

ついて、階調制御型インバータが保持すべき電圧 V_{inv} (コンデンサ C_1 , C_2 電圧の合計) は次の式で表される。

$$V_{inv} \geq V_p \cdot \sin \theta_1 \quad (\theta : 0 \sim \theta_1) \quad \cdots \cdots (1)$$

$$V_{inv} \geq V_{link} - V_p \cdot \sin \theta_1 \quad (\theta : \theta_1 \sim \theta_2) \quad \cdots \cdots (2)$$

$$V_{inv} \geq V_p - V_{link} \quad (\theta : \theta_2 \sim \pi/2) \quad \cdots \cdots (3)$$

これらの式を全て満足するよう、コンデンサ C_1 , C_2 の電圧目標値を設定する。なお、 V_p は AC ピーク電圧である。

また図 5 に示すように、階調制御型 AC/DC コンバータは AC ピーク電圧 V_p よりも出力電圧 V_{link} を低く制御する降圧動作が可能という特長がある。そのため、階調制御型 AC/DC コンバータの出力からその後段の回路の入力にかけて、従来の AC/DC コンバータよりも低耐圧の素子を選定し、小型化や低損失化を図ることができる。階調制御型 AC/DC コンバータの動作中はコンデンサ C_1 , C_2 の充電と放電の電力が等しくなることから、次の式が成り立つ。

$$V_{link} = V_p \cdot \pi / 4 \cos \theta_1 \quad \cdots \cdots (4)$$

位相 $\theta_1 = 0$ のときは " $V_{link} = V_p \cdot \pi / 4$ " となり、これが降圧下限値である。一方、位相 θ_1 を $\pi/2$ に近づけるほど、すなわちスイッチ素子 Q_1 , Q_2 の ON デューティを大きくするほど、AC/DC コンバータ出力電圧 V_{link} を昇圧できる。

2.2 ZVS 型絶縁 DC/DC コンバータ

ZVS 型絶縁 DC/DC コンバータの回路概略を図 6 に示す。フルブリッジ型の絶縁 DC/DC コンバータ回路をベースとして、ZVS のためにスイッチ素子と並列に共振コンデンサ、絶縁トランスと直列に共振リアクトルを備える。この方式は一般的なソフトスイッチング手法である。

特長として、共振によってスイッチング電圧を 0 V とするため、スイッチング損失を大幅に低減可能である。また、絶縁トランスへの電圧印加時間が長くなるよう PWM デューティを制御することで、還流期間を短縮して導通損失を低減し、効率向上することができる。なお還流期間とは、絶縁トランス 1 次側電流がスイッチ素子と絶縁トランスの間をループし、電力が 2 次側に伝達されない期間である。

2.3 コンバータ最適制御

コンバータ最適制御は、ZVS 型絶縁 DC/DC コンバータの絶縁トランスへの電圧印加時間を長くするよう、階調制御型 AC/DC コンバータの出力電圧 V_{link} を制御することによって、各コンバータの特長を生かして高効率となる最適な電圧条件で動作可能とした当社独自技術である。

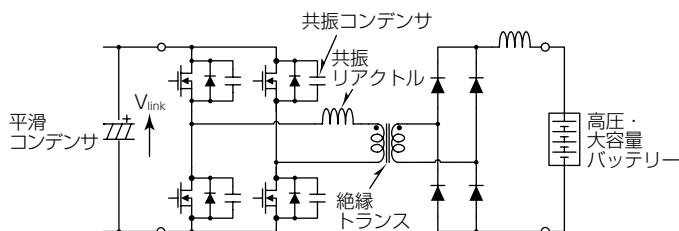


図 6. ZVS 型絶縁 DC/DC コンバータの回路

コンバータ最適制御は効率向上に対して 2 つの効果を持つ。1 つ目は、ZVS 型 DC/DC コンバータの還流期間が短縮されるため、導通損失を低減できる。2 つ目は、 V_{link} が低くなるよう制御されるため、ZVS 型 DC/DC コンバータで ZVS に必要な共振エネルギーが減少し、これによって ZVS が成立する動作範囲が拡大され、スイッチング損失を低減できる。ここで、車載充電器の入出力電圧範囲に合わせて設計した場合の V_{link} の動作範囲を図 7 に示す。階調制御型 AC/DC コンバータは V_{link} の下限を AC ピーク電圧以下に降圧可能であるという特長があるため、従来の AC/DC コンバータと比較して、ZVS の成立性が向上する。このように、ZVS 型 DC/DC コンバータは階調制御型 AC/DC コンバータと組み合わせることで、より高効率に動作可能となる。

3. 製品と性能

開発した車載充電器の外観及び仕様を図 8 に示す。また、開発した車載充電器を AC200V、バッテリー電圧 DC370V で動作させた場合の入出力波形を図 9 に示す。力率は 99% 以上であり、良好な制御を実現できている。さらに、最大電力で動作させた場合のバッテリー電圧に対する効率を図 10 に示す。バッテリー電圧 DC200~370V の範囲で効率 92% 以上、最大 94% 以上である。

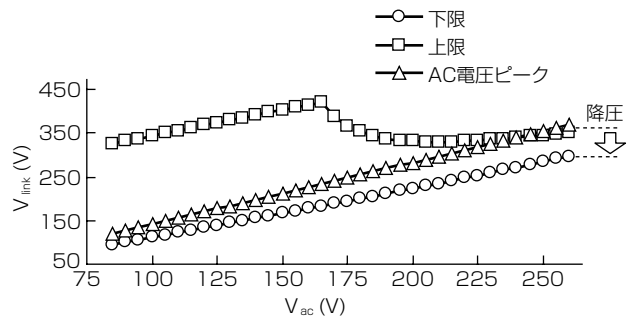


図 7. 階調制御型 AC/DC コンバータ出力電圧範囲



入力電圧	85~260V(AC)
出力電圧	200~370V(DC)
最大入力電流	15A(AC)
最大出力電流	12A(DC)
最大出力電力	3.5kW
外形	W235×D275×H143(mm) (注1)
質量	11.5kg (注1)

(注1) 12V 降圧コンバータ含む

図 8. 階調制御方式を適用した車載充電器

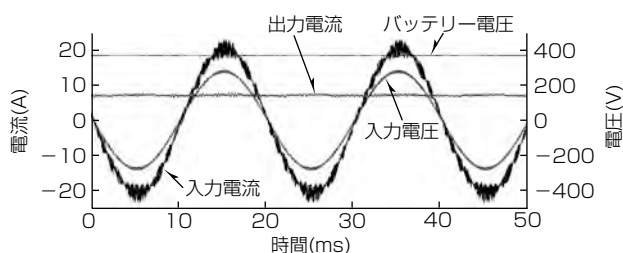


図9. 入出力波形(AC200V入力, DC370V出力)

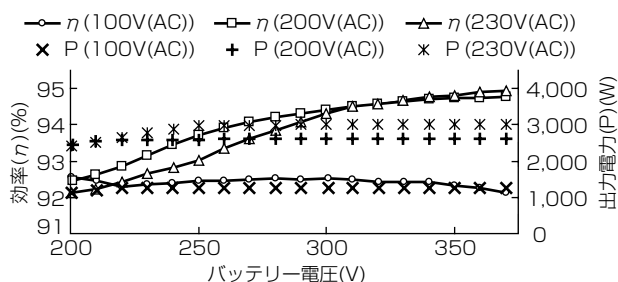


図10. バッテリー電圧対効率特性

4. む す び

当社独自の階調制御方式を用い、車載充電器向け高効率絶縁AC/DCコンバータを開発した。このコンバータでは、電力変換回路として階調制御型AC/DCコンバータとZVS型絶縁DC/DCコンバータの組合せを採用した。また広い入出力電圧範囲で高効率に動作させるためのコンバータ最適制御を開発し、適用した。さらに、開発した車載充電器で、力率99%以上の高い電流制御性と、広い電圧範囲で効率92%以上、最大効率94%以上の高効率を実現した。これ

によって、交流電力量消費率が向上し、単位充電時間あたりの走行距離延長が可能となる。

今回適用した技術は、定格電力の異なる車載充電器や、AC/DCコンバータと絶縁DC/DCコンバータから構成される別の製品に対しても応用可能である。

参 考 文 献

- (1) Yamada, M., et al.: A New Voltage Sag Compensator with a Gradationally Controlled Voltage Inverter, Proc. of Power Electronics and Applications, 2005 European Conference on, 1~7 (2005)
- (2) 森 修, ほか: 三進数階調制御型UPSの開発, 電子情報通信学会技術研究報告.EE, 電子通信エネルギー技術, **108**, No.308, 35~40 (2008)
- (3) Urakabe, T., et al.: High Efficiency Power Conditioner for Photovoltaic Power Generation System, Proc. of Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International, 3236~3240 (2010)
- (4) 村上 哲, ほか: 階調制御方式昇降圧高効率コンバータの開発, 平成22年電気学会産業応用部門大会講演論文集, I_421~I_424 (2010)
- (5) Torvetjonn, G.J. et al.: A DC-DC Converter Topology with Phase Shift Control and Lossless Snubbers for Use in a 200A Battery Charger Working on 400V Mains, Proc. of Telecommunications Energy Conference, 1995. INTELEC '95., 17th International, 489~495 (1995)

EPS用次世代モータコントローラユニット

浅尾淑人*
 金原義彦**
 阿久津 悟*

Next Generation Motor Control Unit for EPS

Yoshihito Asao, Yoshihiko Kimpara, Satoru Akutsu

要 旨

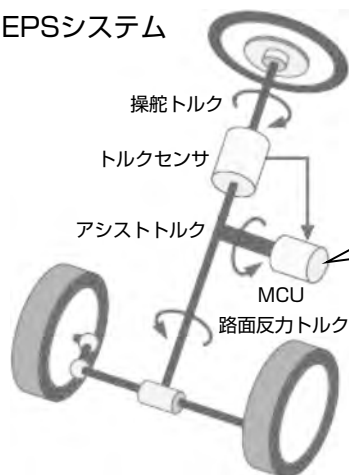
EPS(電動パワーステアリング)はドライバーの操舵(そ
 うだ)負荷トルクをモータでアシストするシステムで、従
 来の油圧式パワーステアリングに対して燃費が改善できる
 ため、その市場は急速に拡大している。現在、EPSは世界
 で新車の約60%に搭載されており今後も大型乗用車を中心
 にEPSの採用が拡大する見込みである。

三菱電機は、主に中・大型乗用車用EPS向けには、モータ
 とECU(Electronic Control Unit)を一体型としたブラシ
 レス方式のモータコントローラユニット(MCU)を量産し
 ている。今回、優れた操舵フィーリングと、さらなる燃費
 低減、搭載性向上のための小型・軽量化を目指し、MCU

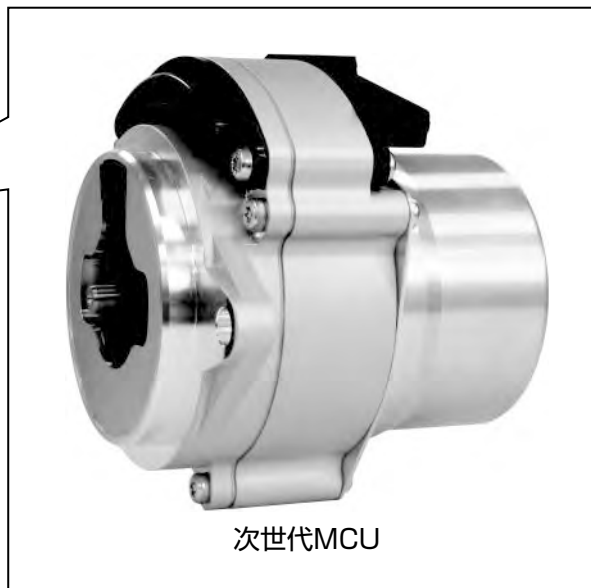
構造を一新した次世代MCUを新たに開発し、量産化した。

次世代MCUは、コントローラをモータの前方(出力軸側)
 に同軸上に一体配置するという、他に類を見ない構成とし
 たことで、世界最小・最軽量クラスを達成した。この構成
 は、コントローラ内部構造の最適設計、小型パワーモジュ
 ールの開発、ボキボキコアと電磁気設計の最適化、高出力
 化制御の開発によって実現したもので、同等出力の当社従
 来品に比べて体積を50%、質量を30%削減という大幅な進
 化を遂げている。さらに、制御アルゴリズムの革新によっ
 て、優れた操舵フィーリングと操舵安定性を実現した。

EPSシステム



トルクセンサで検出された操舵トルク信号を用いて
 精密な電流制御でモータの駆動力をコントロールし、
 運転状況に合わせてドライバーのハンドリングを
 きめ細かくアシストする。
 必要なときだけ電力を使用するため従来の油圧式
 パワーステアリングに対して省燃費が実現できる。



次世代MCU

EPSシステムで、MCUには優れた操舵フィーリングと燃費低減、搭載性向上のため小型・軽量化が求められる。これらのニーズに応えるた
 め、コントローラ内部構造の最適設計、小型パワーモジュールの搭載、ボキボキコアと電磁気設計の最適化、高出力化制御によって、同等出力
 の現行世代品に比べて体積を50%、質量を30%削減、さらに、制御アルゴリズムの工夫によって、優れた操舵フィーリングと操舵安定性を実
 現した。

1. ま え が き

電動パワーステアリング(EPS)はドライバーの操舵負荷トルクをモータでアシストするシステムで、従来の油圧式パワーステアリングに対して燃費が改善できるため、その市場は急速に拡大している。現在、EPSは世界で新車の約60%に搭載されており、今後も大型乗用車を中心にEPSの採用が拡大する見込みである。

当社は、主に中・大型乗用車用EPS向けには、モータ・ECUを一体型としたブラシレス方式のモータコントローラユニット(MCU)を量産している。MCUには優れた操舵フィーリングと、更なる燃費低減、搭載性向上のため、小型・軽量化が求められている。これらのニーズに応えるため、MCU内部構造の最適設計、電磁気設計の最適化、高出力化制御を駆使した次世代MCUを開発し、量産化した。

本稿では、その特長と概要について述べる。

2. 次世代MCUの特長

次世代MCUは、コントローラとモータを同軸上に配置することで、世界最小・最軽量クラスのMCUを実現した。コントローラ内部構造の最適設計、小型パワーモジュールの搭載、ボキボキコアと電磁気設計の最適化、高出力化制御によって、同等出力の当社現行世代品に比べ体積を50%、質量を30%削減することができた。さらに、制御アルゴリズムの工夫によって、優れた操舵フィーリングと操舵安定性を実現した。この章ではモータ、コントローラ、制御の各要素に採用した適用技術とパッケージングの特長を述べる。

2.1 モータの特長

次世代MCU用モータには、小型・軽量化と優れた操舵フィーリングを実現するため、ボキボキコア、10極12スロット方式、Δ結線方式、セグメント型磁石を採用した。次に、各要素について述べる。

2.1.1 ボキボキコア

ボキボキコアは当社の独自技術で、直線状に展開されたコアに巻線を施した後に円形状に成型するもので、高速・高密度巻線が可能、電磁気設計の自由度向上、材料歩留の向上という効果がある。次世代MCU用モータでは、現行世代品に採用していたものに更に改良を加え、コア、ロータの製造ばらつきを吸収できる構成・形状とし、操舵フィーリングに影響を与えるコギングトルクを低減した。

2.1.2 10極12スロット方式

磁石の極数とステータのスロット数の組合せを、現行世代品の8極12スロット方式に対し、10極12スロット方式とした。10極12スロット方式は、磁石の磁束の利用効率を表す指標となる基本波の巻線係数が高く、発生トルクに対する磁石量を低減できる効果がある。また、トルクリプルの

原因となる高調波(5次、7次)の巻線係数が低く、トルクリプルを低減できる効果があり、優れた操舵フィーリングの実現に寄与している(表1)。

2.1.3 Δ結線方式

モータの3相巻線の結線方式を、現行世代品のY結線方式に対し、Δ結線方式とした(図1)。Δ結線方式はコモンターミナル(図1(a))が不要なため、結線ターミナルの数を減らせる効果があり、MCUの小型・軽量・低コスト化に寄与している。

2.1.4 セグメント型磁石

現行世代品のリング型磁石(図2(a))に対し、セグメント型(カマボコ断面形状)磁石(図2(b))を採用した。セグメント型(カマボコ断面形状)磁石は、従来のリング型磁石では無効部分となっていた極間の部分を省くことができ、電磁気設計の最適化と合わせ、リング型磁石に比べ磁石量を約40%低減することができた。さらに、磁石形状(中央部厚さ、端部厚さ、磁石幅)を最適化することによって、トルクリプル、コギングトルクも低減することができた。

2.2 コントローラの特長

次世代MCUは、モータとコントローラを一体化して同軸上に配置することで、小型・軽量・低コストを追求した。

表1. 極, スロットの組合せと巻線係数

極数	8	8	10
スロット数	9	12	12
巻線係数(基本波)	0.9452	0.866	0.933
巻線係数(5次高調波)	0.1398	-0.866	0.067
巻線係数(7次高調波)	0.0607	0.866	-0.067

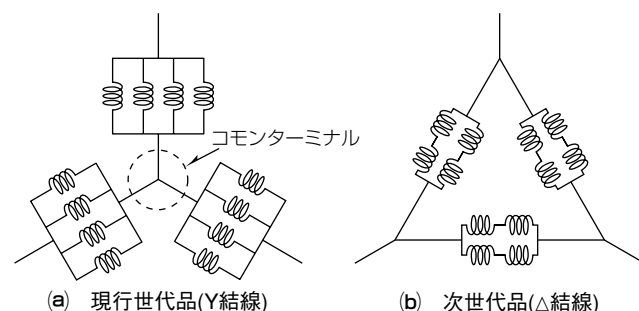


図1. モータ巻線の結線図

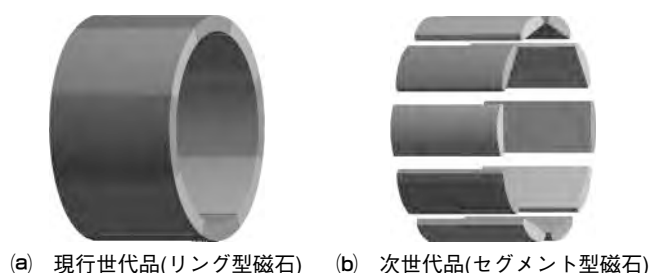


図2. 磁石の形状比較

図3に次世代MCUの内部構造を示す。ステアリングギヤハウジングへの取り付けフランジを持つヒートシンク上にコントローラの内蔵部品をコンパクトに実装している。

ヒートシンク上にはモータ駆動のためのインバータ回路を構成し、小型パワーモジュールとMCUと外部電源との遮断のためのリレーモジュールを実装している。パワーモジュールは3相各相単位で3個からなり、合計4個のパワーモジュールとリレーモジュールをヒートシンク上に同心円状に均等に配置している。また、これらモジュール間には、大型部品であるコンデンサとチョークコイル(EMC(Electro-Magnetic Compatibility)用)を同様に同心円状に配置している。これらの大型部品は、電気接続用ターミナルがインサート成型された樹脂製フレームに集約、一体に構成している。

このように、パワー及びリレーモジュール、大型部品を同心円状に配置、集約構成とすることで円筒形状のコントローラにコンパクトに納めることができ、金属基板実装している現行世代品と比較して約半分の実装面積、更には、接続配線抵抗の削減となっている。

パワーモジュールは、トランスファーモールド構造とダイレクトリード接合型(DLB)構造を採用した。これらの構成によって、配線抵抗及び配線インダクタンスの低減を図った。

また、コントローラの内蔵部品、モータのロータ、ステータまでビルトアップ構造とすることで、生産設備の自動化を容易にし製造コストの低減に寄与している。

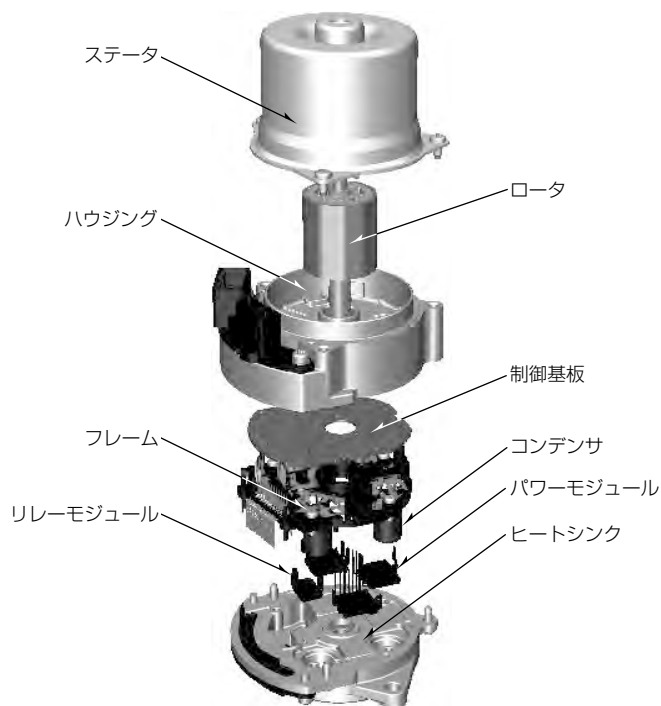


図3. 次世代MCUの内部構造

2.3 制御の特長

次世代MCUでは、優れた操舵フィーリングを実現するため、ダンピング性能を高めた安定化制御と高回転に適したモータ制御を開発した。次に、各制御について述べる。

2.3.1 安定化制御

路面からハンドルに伝わる振動を低減させるためのダンピング性能を高めた安定化制御について述べる。石畳などの路面を走行すると、ハンドルに不快な振動が伝わることがあるが、この安定化制御では、操舵トルクとモータ回転速度に基づいてモータを制御するソフトウェア・ダンパによって、このような振動の低減を実現している。モータによってハンドル振動を単純に抑えようとするとハンドル操舵が重くなり、操舵フィーリングを損ねてしまうが、この制御ではドライバーが操舵する周波数帯域は関与させず、それより高い周波数帯域の振動に対してダンピングを効かすことで、優れた操舵フィーリングを提供する。

図4は1.5mごとの凸凹路面に起因する振動が車速60km/hで発生しているときの波形である。図から分かるように、この安定化制御は振動を低減するダンピング性能を持っている。

2.3.2 モータ制御

素早いハンドル操作を実現する高回転化、すなわち、高出力化に適したモータ制御について述べる。ロータが回転すると、ロータの磁石磁束が変化し、ステータのコイルに電磁誘導によって起電力が発生する。この起電力はロータの磁石磁束の変化を妨げる電流を生じる向きに発生するので逆起電力と呼んでおり、ハンドル回転速度が高い条件ほど逆起電力が大きくなる。次世代MCUでは、ハンドル回転速度が高くなったと判断すると、ロータの磁石磁束を打ち消す電流をモータへ給電することで逆起電力を小さくする制御ロジックを採用している。

この制御のありとなしの差異を、図5に示す。市街地走行や交差点走行といった通常の操舵では制御の差異は現れないが、縦列駐車や回避走行時といったハンドル回転速度が高い条件では、従来制御よりも大きなアシスト力を発生することで素早い操舵を実現している。

2.4 パッケージングの特長

次世代MCUは、コントローラとモータを同軸上に配置し、内蔵要素部品の小型化、最適配置、接続部材の合理化

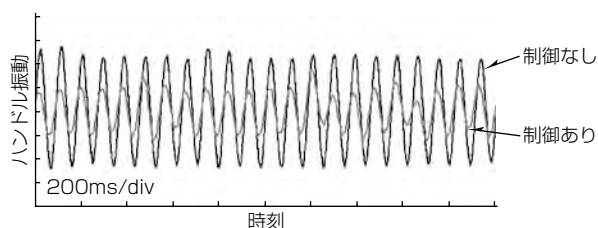


図4. 凸凹路面走行時のハンドル振動波形

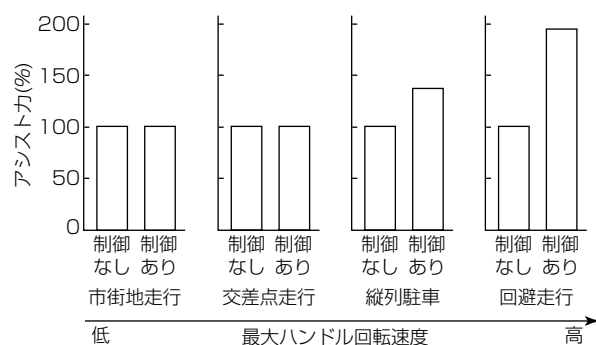


図 5. 最大ハンドル回転速度とアシスト力(制御なしを基準)

表 2. 次世代MCUの主な仕様

項目	仕様
コントローラ部外径	φ93mm(コネクタ部除く)
モータ部外径	φ80mm
全長	100~140mm
質量	1.8~3.3kg
定格トルク	2.2~6.8N・m

を図ることで、同等出力の現行世代品に比べて、体積で50%、質量で30%の削減が可能となった。車両における搭載性の向上と燃費低減に大きく貢献する。次世代MCUの主な仕様を表2に、同等出力の現行世代品と次世代品との外観比較を図6に示す。

現行世代MCUでは、体格が大きかったため、顧客要求である車両レイアウトやコネクタ仕様に応じて、コントローラ外形形状を向け先別に個別に専用設計していた。次世代MCUではコネクタ部(図6(b))をモジュール化し、コネクタ部のみを要求に応じて変更できる構造とした。これによって、新規及び専用設計部品が削減され、設計工数の削減や顧客への金型負担軽減に貢献できた。

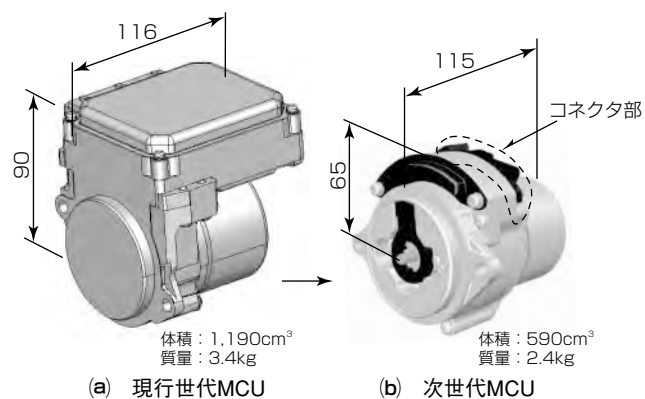


図 6. MCUの外観比較

3. む す び

次世代MCUは、コントローラとモータを同軸上に配置することで、世界最小・最軽量クラスのMCUを実現した。コントローラ内部構造の最適設計、小型パワーモジュールの搭載、ボキボキコアと電磁気設計の最適化、高出力化制御によって、同等出力の当社従来品に比べて体積を50%、質量を30%削減した。さらに、制御アルゴリズムの工夫によって、優れた操舵フィーリングと操舵安定性を実現した。

この次世代MCUを自動車メーカー、ステアリングメーカーへ提供することで自動車の低燃費化に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 児玉誠樹, ほか: ブラシレスEPSシステム, 三菱電機技報, 78, No.9, 573~576 (2004)

アイドリングストップ用始動装置

亀井光一郎*
 水野大輔**

Starter for Idling Stop System

Koichiro Kamei, Daisuke Mizuno

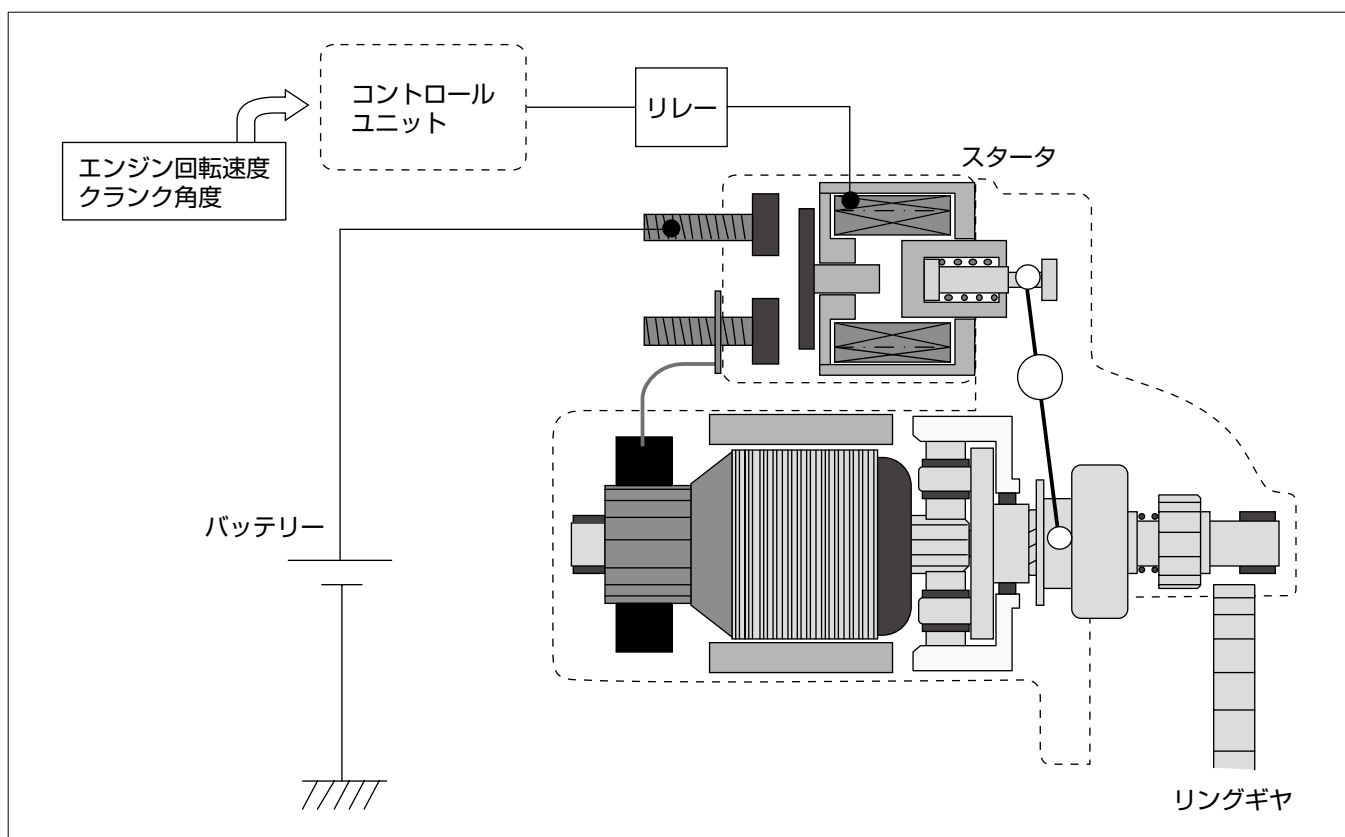
要 旨

自動車の燃費向上技術の1つとして、信号待ちや荷物の積み下ろしなどで、車両が一時的に停止しているときに、所定の条件が成立すれば自動的に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増加している。このアイドリングストップ車では、従来の車両に比べ始動回数が大幅に増加し、エンジンの始動装置には非常に高い耐久性が求められる。その要求に対し三菱電機では、各部に強化仕様を織り込んだ高耐久型スタータを生産している。

しかしながら最近では耐久性だけでなく、始動時間や音など、フィーリングや車両の商品性向上への要求も強まっている。従来の始動装置では、アイドリングストップ開始直後、エンジンが惰性で回転している期間は、ピニオンを

リングギヤに噛(か)み合わせることができなかった。そのため、もしこの期間中に運転者が再び車を発進させようとした場合は、エンジンが完全に停止するのを待ってからスタータを駆動しエンジンを始動するため、始動できるまでの時間が長くなり、違和感を与えていた。

そこで、停止過程のエンジンの回転速度を検出しながら、所定の条件が成立したところでスタータを駆動する制御と、リングギヤが回転しているにもスムーズにピニオンをリングギヤと噛み合わせられるスタータを組み合わせることで、アイドリングストップ開始直後でも、エンジンが完全に停止するまで待つことなく迅速に再始動が可能となる始動装置を開発した。



アイドリングストップ用始動装置

アイドリングストップ用始動装置は、バッテリーの電気エネルギーで回転しエンジンを始動するスタータ、クランクシャフトに固定されスタータのピニオンと噛み合って動力を伝達するリングギヤ、車両の状況に応じスタータのON/OFFを制御するコントロールユニットで構成している。さらに今回はエンジンの回転速度、クランク角度等の情報も使い、エンジンが完全停止前の惰性回転中でも再始動可能とした。

1. ま え が き

近年、地球環境への関心の高まりから、自動車の燃費向上への要求が非常に厳しくなっており、その有効な手段の1つとして、信号待ちや荷物の積み下ろしなどで車両が一時的に停車した際に、所定の条件が成立すれば自動的にエンジンを停止し、運転者が車を発進させようとするとき再び自動的にエンジンを始動する、アイドリングストップシステムを搭載した車両が増えてきた。

当社では、1995年に路線バス用、さらに、1998年には乗用車用のアイドリングストップ用始動装置の生産を開始した。その後、原油価格の高騰や燃費規制の強化などの影響を受けて2007年頃から急速に拡大を続けている。ところが、規模の増加に伴い、耐久性や始動時間、音等、性能に対する要求もますます厳しくなり、特に始動時間に対しては、フィーリングに影響し、車両の商品性にかかわることから、迅速始動への要求が高まってきた。

2. アイドリングストップ用始動装置

2.1 高耐久性への取組み

アイドリングストップ車では、最初に運転者がキースイッチをONにしてエンジンを始動した後も、車両が一時的に停止し、アイドリングストップの条件が成立すると、エンジンを自動的に停止する。その後、運転者の操作に伴い、再びエンジンを始動しなければならないため、始動装置では、従来装置に比べ、桁違いの耐久性が求められる。これに対応するため、アイドリングストップ用始動装置として使用される高耐久型スタータでは、図1に示すように軸受

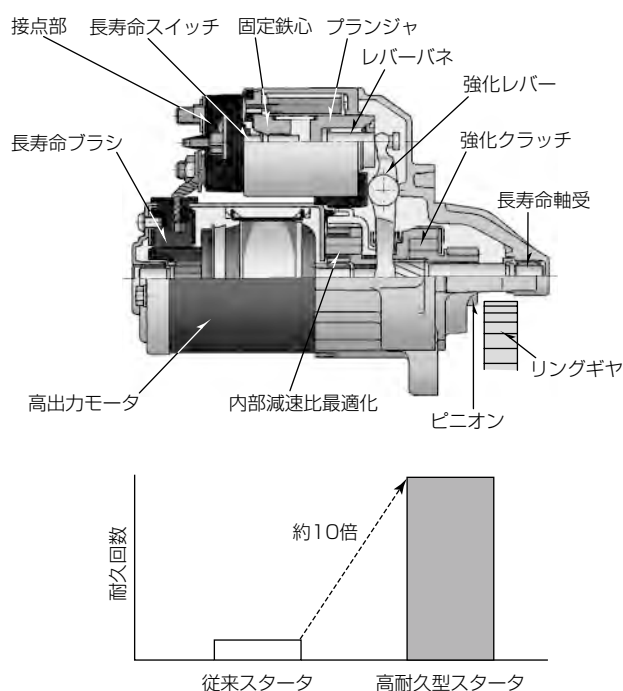


図1. 高耐久型スタータの主な仕様

部、モータ部のブラシ、及びスイッチの接点周り等、エンジン始動の動作を繰り返すことによって、磨耗や疲労が生じる部位に対し強化仕様を織り込み、従来スタータに比べ、耐久性を約10倍とした。

さらに、先に述べたとおりアイドリングストップ時の再始動では、迅速性も強く求められており、これに対応するために従来スタータよりも高出力モータの採用や、スタータ内部の減速比の最適化で、スタータによるエンジンのクランキング回転速度を高める対策を織り込んでいる。

2.2 Change of Mind対応

アイドリングストップによってエンジンが自動的に停止した直後に運転者がブレーキから足を離して再発進しようとした(このようなシーンのことを“Change of Mind”という)際に、従来の始動装置ではエンジンのリングギヤが回転しているところへ、スタータのピニオンを噛み合わせることができず、完全に停止するのを待ってから再始動する必要があった。そのため、このようなシーンでは、運転者の意思表示(例えばブレーキOFF)から、エンジンが再始動するまでに1~1.5秒程度かかり、運転者にストレスを与えることになってしまう(図2)。

そこで、このChange of Mind時のエンジン惰性回転中でも迅速に再始動できる始動装置の開発を行った。今回、開発した始動装置では、アイドリングストップ開始直後、減速するエンジンの回転速度を検出しながら、ピニオンが移動を開始しリングギヤ位置に到達したときに、リングギヤの回転速度が所定の範囲(ピニオンが安定してリングギヤに噛み合うことができる範囲)となるようにスタータの駆動タイミングを制御する。また、スタータでは、より広い回転速度範囲で噛み合えるよう噛み合い機構の改良を行った。

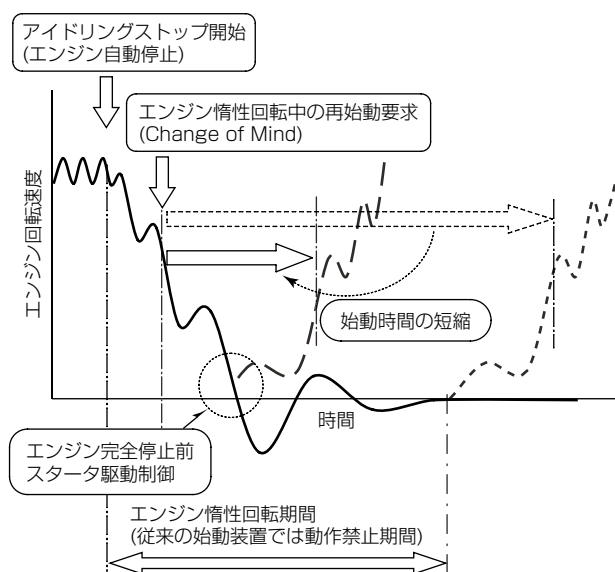


図2. Change of Mind対応

2.3 リングギヤ回転中のピニオン噛み合い動作

スタータでエンジンを始動するとき、スタータをONすると、まずスイッチコイルに電流が流れ、磁化されたプランジャが電磁石となり固定鉄心の方へ吸引される。このプランジャには、クラッチ、及びピニオンを移動させるためのレバーが連動しており、プランジャが吸引されることで、ピニオンがリングギヤ方向へ押し出される。

ピニオンが移動を開始し、リングギヤ位置に到達すると、レバーバネでピニオン、及びクラッチをリングギヤ方向へ押し付けながら、プランジャは更に移動を続け、スイッチ内部に構成される可動接点で、それぞれバッテリー、及びモータに接続される2つの固定接点間を閉路することで、バッテリーからの電気がモータ部へ供給されモータが回転を開始する。同時にレバーバネで押し付けられたピニオン部がバネ荷重で軸方向に加速し、リングギヤと噛み合いモータの動力をリングギヤへ伝え、エンジンを始動する。このときのピニオンとリングギヤの動作を示したのが図3である。(a)で押し出されたピニオンが(b)でリングギヤの対向面に衝突する。その後(c)のようにピニオンの歯がリングギヤの歯間へ誘い込まれ、(d)から(e)に進んで噛み合いが完了する。この初期噛み合いの段階で、どれだけ軸方向に深く入っているか(=初期噛み合い深さ: Y_r (図3(d)))が噛み合い動作の重要なファクタとなる。

しかしながら今回のようにリングギヤが回転している場合、ピニオンの歯がリングギヤの歯間に誘い込まれ始めてから、次の歯の噛み合い面に当たるまでの時間が短く、従来スタータでは初期噛み合いが十分な深さまで、ピニオンが軸方向へ移動できない。そこで図4に示すピニオンバネ構造の採用を検討した。

ピニオンバネ構造の検討に当たっては、ピニオン、クラッチ、リングギヤ部を図5のような簡単なモデルで表し、従来スタータと今回のピニオンバネ構造の両方で、ピニオンがリングギヤの対向面に衝突し、噛み合う際の挙動のシミュレーションを実施し、回転中のリングギヤへの噛み合い性(初期噛み合い深さ)について検

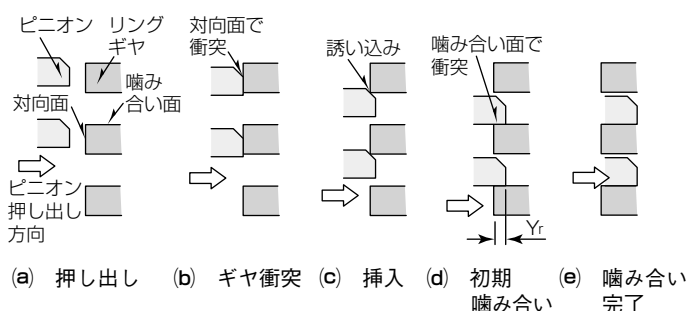


図3. ピニオン噛み合いイメージ

証を行った。

図6はこのシミュレーションの結果、及び実際に測定した結果である。この結果が示すとおり、ピニオンバネ構造を採用することによって、回転中のリングギヤでも、従来スタータで停止しているリングギヤに噛み合う場合と同等の初期噛み合い深さ以上とすることが可能となる。

2.4 ピニオン面取り形状

リングギヤが正回転方向に回転しているところへ、ピニオンを噛み合わせた場合、すなわちChange of Mindでエ

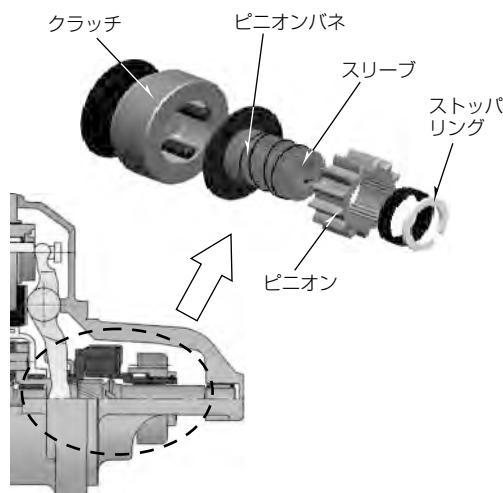
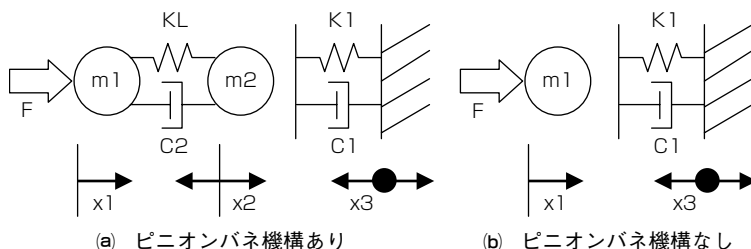


図4. ピニオンバネ構造



m1 : クラッチ質量
 K1 : 接触剛性
 C1 : 減衰項1
 x1 : クラッチ変位
 x3 : リングギヤ変位(強制変位)

m2 : ピニオン質量
 KL : ピニオンバネ定数
 C2 : 減衰項2
 x2 : ピニオン変位
 F : 押し込み力

図5. ピニオンバネ構造の噛み合いシミュレーションモデル

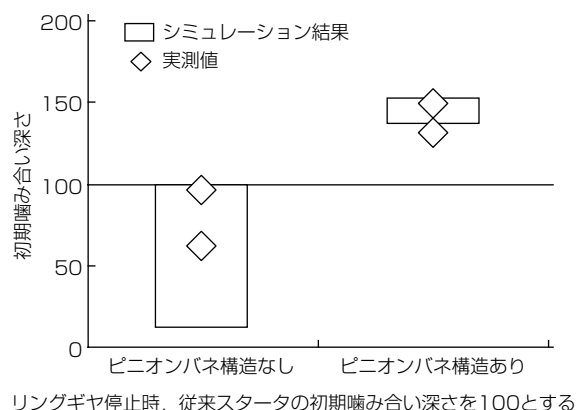


図6. リングギヤ回転時の初期噛み合い深さ

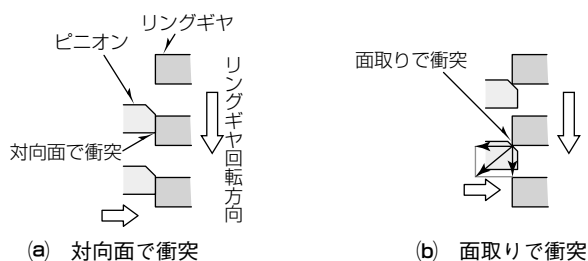


図7. ピニオン噛み合いイメージ
(リングギヤ：エンジン正転方向に回転)

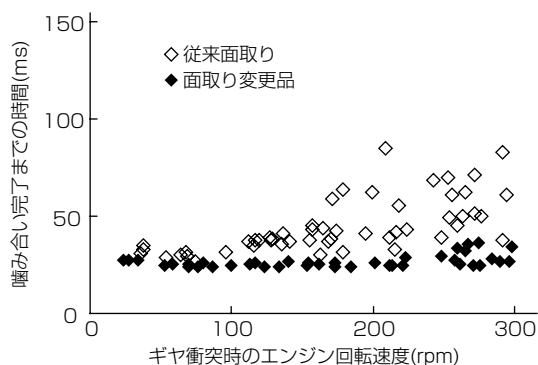


図8. ピニオン面取り変更による噛み合い性改善結果(噛み合い性)

エンジンの回転数がまだ高いところでスタータをONしようとした際に、図7に示すように、ピニオンがリングギヤの対向面に衝突した後、リングギヤのエッジ部(又は面取り部)がピニオンの面取り部に衝突し、ピニオンを押し戻す方向へ力が加わるケースがある。

そこで、面取りの形状の変更によって押し戻し方向の力を抑制し、リングギヤがエンジン正転方向に回転しているときでもスムーズな噛み合いを実現した。図8に実際のエンジンでエンジン回転がまだ高いところでスタータを駆動した場合の、ピニオンがリングギヤの対向面に衝突した時点のエンジン回転速度と、噛み合いにかかる時間の関係を測定した結果を示す。この結果のように回転速度が高いところでもスムーズに噛み合うことで、ギヤの対向面同士が擦れる時間も短くなり、ギヤの磨耗や、音の低減にも効果が得られる。図9に音測定結果の一例を示す。

3. Change of Mind時の始動性

図10は、従来のアイドルストップ用始動装置と今回開発した始動装置で、アイドルストップ開始直後のエンジンが惰性で回転中に再始動要求が発生(Change of Mind時)に、要求信号(ブレーキOFF)からエンジンの再始動が完了するまでの時間を比較したグラフである。

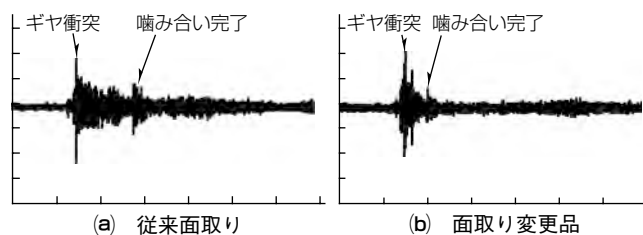


図9. ピニオン面取り変更による噛み合い性改善結果(音)

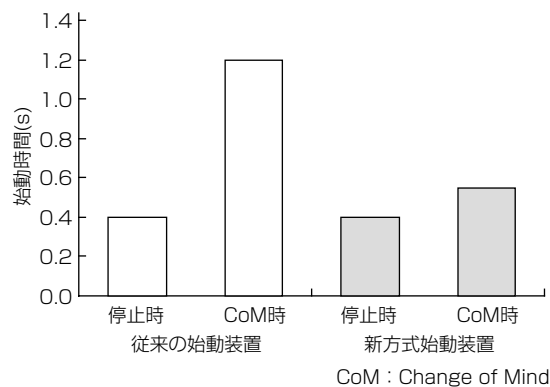


図10. Change of Mind時の再始動時間比較

今回、開発した始動装置では、Change of Mind時でも、停止へ向かうエンジンの回転速度を検出しながら、所定の条件が成立したところでスタータを駆動する制御と、リングギヤが回転していてもスムーズにピニオンをリングギヤと噛み合わせられる新開発のスタータを組み合わせることで、エンジンが完全に停止するまで待つことなく再始動が可能となる。そのため、従来装置では再始動要求のタイミングによって1秒以上の始動時間がかかっていたのが、非Change of Mind時(エンジンが完全に停止している状態)と同等の時間で再始動が可能となり、運転者にストレスや違和感を与えるのを防ぐことができる。

4. む す び

最近では、燃費を向上させるために、運転者がブレーキをかけて、車両が減速している状況で、完全に停車する前から燃料噴射を停止し、アイドルストップ状態とする方式も採用されつつある。このような方式では、再始動の際に迅速にしなければ、ブレーキから足を離してエンジンが始動するまでの間に車両が空走し、運転者に違和感を与えたり、加速が遅れ後続車に追突される危険が考えられ、安全性にも影響を与えてしまう。これに対し今回の新方式では、このような場合でも迅速に始動することが可能であり、車両の燃費向上に貢献できる。

中・大型二輪車用 第四世代燃料ポンプモジュール

光藤英雄*

Fourth Generation Fuel Pump Module for Middle & Large Class Motorcycle

Hideo Mitsudo

要 旨

二輪車用燃料ポンプモジュールに対して、車両へのレイアウト性(搭載性)向上のため、小型・軽量化の要求が高い。最近では、小型化のため高圧フィルタの簡素化を行い、吸込みフィルタに機能統合した製品が増えているが、アルコール含有燃料中では、吸込みフィルタの寿命が低下することが判明している。

三菱電機では、この状況に対応できるよう、小型・軽量化でフィルタの高寿命を実現した中・大型二輪車用第四世代燃料ポンプモジュールを開発した。主な特長は次のとおりである。

- (1) 燃料ポンプ本体は、“T35型燃料ポンプ”採用による小型・軽量・低消費電流化
- (2) 高圧フィルタのろ材形状(織り幅)最適化による、有効ろ過面積拡大
- (3) 燃料ポンプと高圧フィルタ下部のデッドスペースへのプレッシャレギュレータ配置による高集積レイアウトの実現

この結果、従来品に対して、全高12mm減、体積10%減、質量11%減を達成した。



中・大型二輪車用 第四世代燃料ポンプモジュール

燃料ポンプモジュールは車両の燃料タンク内部に設置され、エンジン作動中は常時燃料をエンジンに向けて圧送している。中・大型二輪車用第四世代燃料ポンプモジュールは、構成部品のレイアウトを最適化することによって、従来品(第三世代)に比べ、大型高圧フィルタを装着しているにもかかわらず小型・軽量化を実現し、アルコール含有燃料下でもフィルタの高寿命化に貢献した。

1. ま え が き

中・大型二輪車用に、小型・軽量で消費電流の低い、T35型燃料ポンプを使用した第三世代燃料ポンプモジュールを開発し市場投入していたが、小型化を達成するために高圧フィルタを簡素化し、吸込みフィルタにフィルタ機能を集約をしていた。最近の市場では、アルコール含有燃料の使用が増加しており、かつアルコール濃度も増えているが、高濃度のアルコール含有燃料では、燃料中のダストが沈殿しにくく長時間浮遊するため、燃料ポンプはダストを吸い込みやすくなり、その結果フィルタの寿命が低下する懸念があることが分かってきた。

当社は、この状況に対応できる小型・軽量でフィルタの高寿命を実現した中・大型二輪車用第四世代燃料ポンプモジュールを開発し、出荷を開始した。

本稿では、中・大型二輪車用第四世代燃料ポンプモジュールの特長と達成手段について述べる。

2. 燃料ポンプモジュール

2.1 概 要

燃料ポンプモジュールは、車両の燃料タンクに設置され、タンク内燃料を吸い上げてインジェクタへ圧送する燃料ポンプ、吸い上げた燃料をろ過する吸込みフィルタ、及び高圧フィルタ、燃料配管内圧力を一定に保つプレッシャレギュレータ、残燃料計測用の燃料ゲージ等と、これらを保持して燃料タンクへ組み付けるための取付けブラケットとで構成される。二輪車特有の急加減速や左右旋回時で、燃料残量が少ない場合でも確実に燃料吸入するために吸込みフィルタ周囲には燃料貯留部品を設置している。また、燃料タンクの取付穴の蓋になる取付けブラケットのプレート部は、燃料漏れを防ぐために、破壊荷重の高い金属材料を使用している(図1)。

2.2 フィルタ寿命

中・大型二輪車用第三世代燃料ポンプモジュールでは、小型軽量化を達成するために、高圧フィルタの有効ろ過面

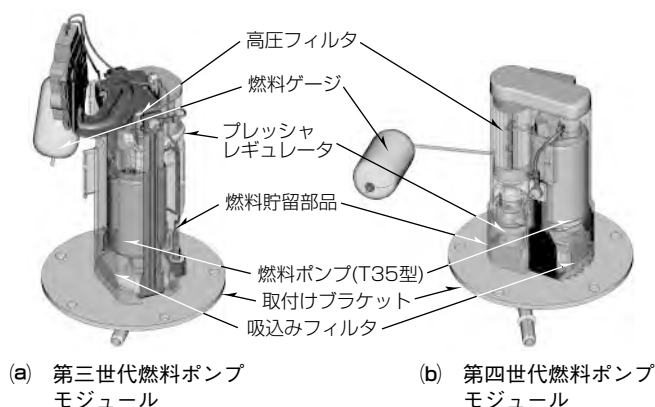


図1. 中・大型二輪車用燃料ポンプモジュール

積を小さくするとともに、金属メッシュろ材を採用したが、高濃度アルコール含有燃料(特にエタノールを25%以上を含む燃料)では、ダストが多い地域でフィルタ寿命が半分程度に低下することが分かってきた。

これは、エタノール含有燃料下では燃料中のダストが沈殿しにくく燃料中に分散し長時間浮遊しているため(表1)、燃料ポンプはダストが含まれた燃料を吸い続けることになる。その結果、フィルタ寿命の低下に至っている。

これを解決するために、第四世代燃料ポンプモジュールでは高圧フィルタのろ材をろ紙製に変更し、有効ろ過面積を第三世代の約20倍にすることによって、フィルタ寿命を確保した(図2)。

表1. エタノール含有燃料中のダスト分布

	ガソリン100% (エタノール 0%)	E30 (エタノール30%)
揺動前		
揺動直後		
10分後		
20時間後		

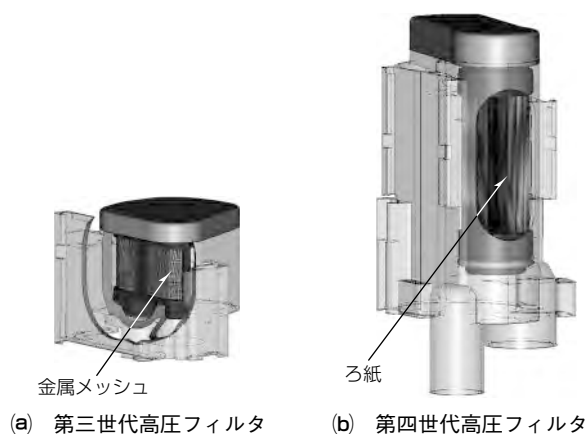


図 2. 高圧フィルタ

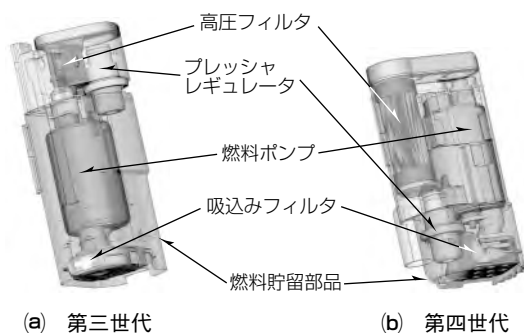


図 3. 全高抑制レイアウト

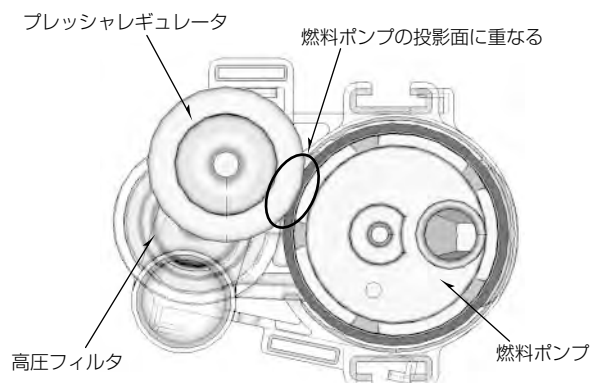


図 4. プレッシャレギュレータのレイアウト



図 5. 中・大型二輪車用第四世代燃料ポンプモジュール

2.3 小型・軽量化

中・大型二輪車用第三世代燃料ポンプモジュールでは、燃料ポンプの上部に高圧フィルタをレイアウトし、最大外径がφ64mmであった。第四世代燃料ポンプモジュールでは、燃料ポンプと並列に高圧フィルタを配置したが、径の縮小と全長の拡大によってフィルタの有効ろ過面積を拡大するとともに、モジュールの最大外径をφ64mmに維持しつつ、モジュール全高を短縮することができた。

また、プレッシャレギュレータの配置について、第三世代燃料ポンプモジュールでは燃料ポンプの上部へ配置しており、これも全高が高い要因であったが、第四世代燃料ポンプモジュールでは、吸込みフィルタを屈曲させることによって燃料ポンプと高圧フィルタの下部空間を拡大させ、その部分に配置することで全高を短縮できた(図3)。

なお、プレッシャレギュレータの最外径部が燃料ポンプと高圧フィルタの投影面に重なるように配置させることで、径方向への拡大が不要となったことも、第三世代燃料ポンプモジュールと同じ最外径を達成できた理由である(図4)。

これらの取組みによって、第四世代燃料ポンプモジュールでは第三世代燃料ポンプモジュールに対し、全高12mm減(第三世代の燃料ゲージ部は除く)、体積10%減、質量11%減を達成した。

特に全高を低くできたことによって第三世代燃料ポンプモジュールでは搭載できなかった扁平(へんぺい)タイプの燃料タンクにも対応できるようになり、スーパースポーツタイプからアメリカンタイプの二輪車まで、いままで以上に幅広く搭載可能となった(図5)。

3. む す び

市場環境の変化に対応するための製品となったが、高機能としつつも小型・軽量でフィルタの高寿命を達成した中・大型二輪車用燃料ポンプモジュールを開発することができた。今後も、小型・軽量化とあわせ高効率(低消費電流)を追究した燃料ポンプモジュールを開発し、二輪車の進化に貢献する所存である。

PFIエンジンにおける噴霧壁面衝突時の燃料付着挙動に関する検討

米澤 崇*
川尻和彦**

Study of Adhesion Fuel Behavior Formed by Spray Wall Impingement in PFI Engine

Takashi Yonezawa, Kazuhiko Kawajiri

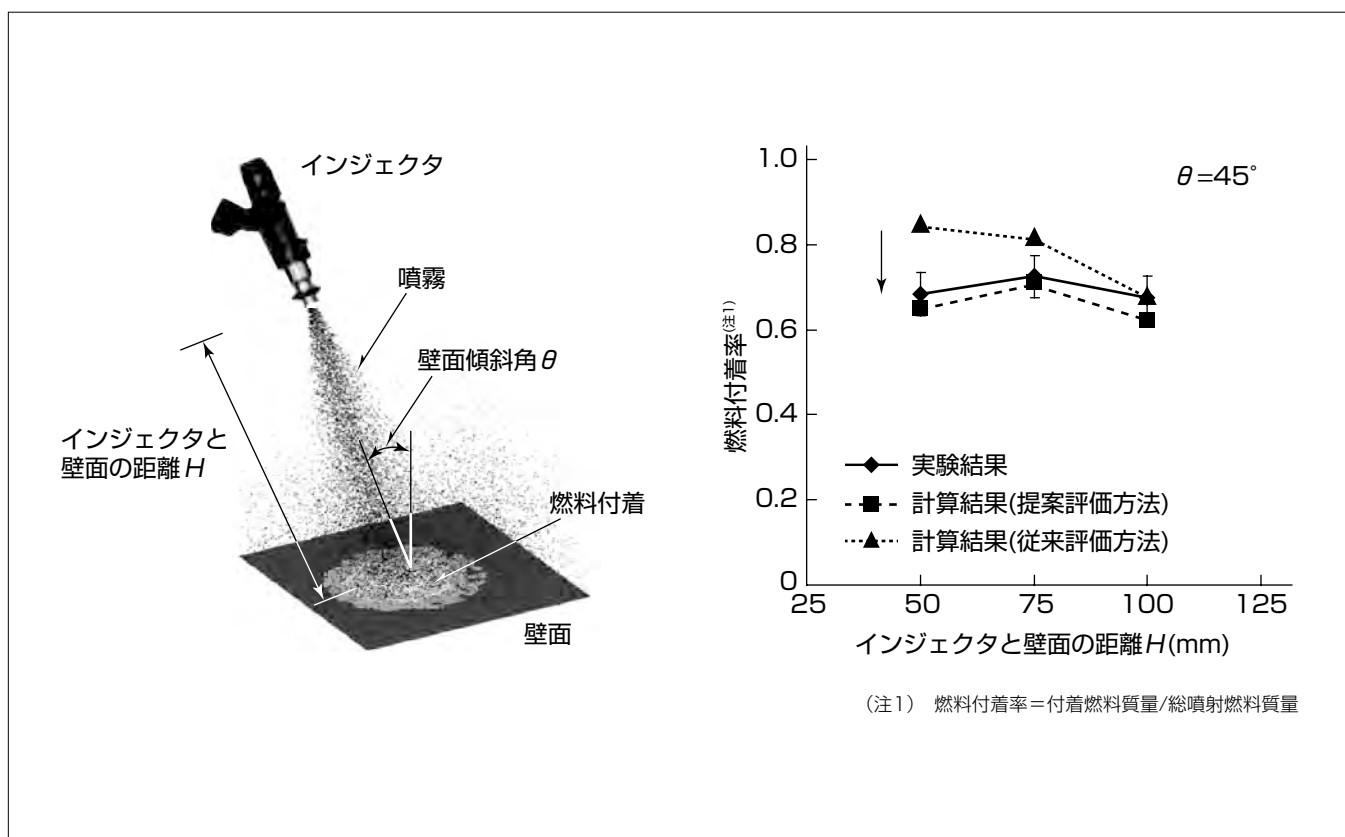
要 旨

近年、省エネルギー意識の高まりや地球環境保護の観点から、自動車の燃費向上、排ガス低減が強く求められている。PFI(Port Fuel Injection)エンジンでは、吸気ポート内に噴射した噴霧燃料の一部が壁面に衝突し、付着して蒸発を伴いながら流動する複雑な現象が生じる。壁面に付着した燃料は、燃費や排出ガス特性に大きく影響するため、その挙動を把握することが重要となる。

噴霧が壁面に衝突した際の燃料付着挙動は、壁面衝突時の噴霧液滴の速度や粒径等の条件によって複雑に変化する。このような現象に対してCFD(Computational Fluid

Dynamics)シミュレーションを活用することは、物理現象の把握だけでなく、開発設計期間の短縮や新機能の効果検証にも非常に有効である。

本稿では、自動車用インジェクタからの噴霧燃料の壁面衝突について、燃料付着量特性を数値シミュレーションによって評価する新たな方法を提案し、平板へ噴霧を衝突させる基礎実験と比較することによって検証した。その結果、提案した評価方法によって、従来のシミュレーションでは表現できなかった噴霧衝突角度と壁面燃料付着量の関係を表現できることを確認した。



噴霧壁面衝突時の燃料付着挙動

自動車用インジェクタからの噴霧燃料が壁面衝突した際の燃料付着量について、本稿で提案した数値シミュレーションを用いることによって、従来のシミュレーションでは表現できなかった噴霧衝突角度と壁面燃料付着量の関係を表現できることを確認した。

1. ま え が き

近年、省エネルギー意識の高まりや地球環境保護の観点から自動車の燃費向上、排ガス低減が強く要求されている。PFIエンジンでは、吸気ポート内に噴射した噴霧燃料の一部が壁面に衝突し、付着して蒸発を伴いながら流動する複雑な現象が生じる。壁面に付着した燃料は、燃費や排出ガス特性に大きく影響するため、その付着挙動を把握することが重要となる。

噴霧が壁面に衝突した際の燃料付着挙動は、壁面衝突時の噴霧液滴の速度や粒径等の条件によって、全て付着、全て反射、一部が付着して残りが再飛散(以下“スプラッシュ”という。)といった異なる挙動を示す⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。噴霧燃料の壁面衝突挙動を計算する数値シミュレーション⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾では、衝突条件によって複雑に変化する壁面衝突挙動をモデル化するため、多くの仮定や基礎実験に基づく実験式、定数を用いている。この中で、スプラッシュ時の燃料の壁面付着量、再飛散量を計算するモデルは、液滴が壁面に垂直に衝突する数少ない基礎実験結果⁽¹⁾に基づいているものがほとんどであり、研究例も少ない。

本稿では、自動車用インジェクタからの噴霧燃料が壁面に衝突した際の付着挙動を、数値シミュレーションによって評価する新たな方法を提案し、平板へ噴霧を衝突させる基礎実験によって検証した結果⁽¹²⁾について述べる。

2. 噴霧壁面衝突時の壁面付着量評価方法の提案

従来の壁面衝突挙動シミュレーションでは、スプラッシュ時の壁面付着燃料と再飛散燃料の割合を、液滴衝突時の条件によらず一定としたり⁽⁵⁾⁽⁹⁾⁽¹¹⁾、壁面法線方向の液滴衝突速度が大きくなると再飛散燃料の割合が増加するように定義⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾したりしている。スプラッシュ挙動では、衝突液滴はそのエネルギーとともにいったん壁面上の液膜に取り込まれる。その後、取り込まれたエネルギーの一部が使用されて液滴が再飛散する(図1)。そのため付着燃料と再飛散燃料の割合は、液滴の衝突角度やエネルギーに依存すると考えられる。例えば、衝突液滴の壁面法線方向速度は同じであっても水平方向速度が異なれば、両者の割合は変化する。このような傾向は、液滴の壁面衝突角度を変化

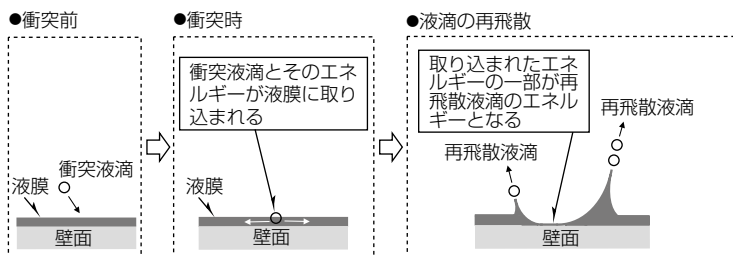


図1. スプラッシュ挙動

させた場合の再飛散液滴量を詳細に調べた基礎的な実験⁽¹³⁾でも報告されている。この実験では液滴衝突の絶対速度が同一であっても、液滴進行方向と壁面法線のなす角 α が 0° 、すなわち液滴が壁面の垂直に衝突する場合には衝突する液滴に対して体積比で数%程度しか再飛散しないが、壁面に斜めから衝突する場合は再飛散量が増加し、 $\alpha = 45^\circ$ では数十%となる。これに対して、従来のシミュレーションでは液滴の衝突角度が変化しても再飛散量は一定で変化しないか、斜めから衝突することによって壁面法線方向速度成分が小さくなり再飛散液滴量が減少し、噴霧液滴が壁面に衝突する角度が変化した場合の壁面燃料付着量を正確に評価することができない。そこで本稿では、噴霧が壁面に衝突する角度が変化した場合のスプラッシュ挙動における付着量特性を評価できる方法を提案する。

スプラッシュ時の壁面付着挙動には、衝突液滴の壁面法線方向だけでなく接線方向の速度成分も影響すると考えられることから、従来考慮されていなかった壁面接線方向速度成分も考慮する。入射液滴の衝突によって再飛散する液滴の質量割合を、入射液滴の壁面法線方向速度 V_{in-n} に基づくウェーバ数 We_{in-n} と接線方向速度 V_{in-t} に基づくウェーバ数 We_{in-t} を用い、式(1)のように表す(図2)。

$$\frac{M_{out}}{M_{in}} = C \times \{C_n \times We_{in-n} + (1 - C_n) \times We_{in-t}\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $We_{in-n} = \rho d V_{in-n}^2 / \sigma$ 、 $We_{in-t} = \rho d V_{in-t}^2 / \sigma$ 、 ρ : 密度、 d : 液滴径、 V : 液滴速度、 σ : 表面張力である。また、 C 、 C_n は係数で、 C_n は0～1である。

3. 噴霧平板衝突付着基礎実験による検証

3.1 基礎実験方法

提案したスプラッシュ挙動における付着量特性の評価方法を検証するため、噴霧壁面時の付着燃料量を測定する基礎実験を実施した。基礎実験に用いた装置を図3に示す。この実験では、吸気ポート噴射用マルチホールインジェクタからの噴霧燃料をアルミ平板に衝突させ、付着した燃料質量を電子天秤によって測定した。この際、インジェクタと平板の距離、衝突角度を変化させた。表1に実験条件を示す。実験には、10噴孔2スプレータイプインジェクタを用い、燃料は揮発性の低いドライソルベントを使用した。

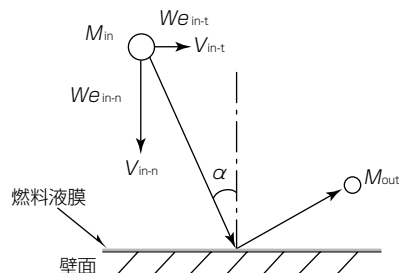


図2. 再飛散液滴の質量

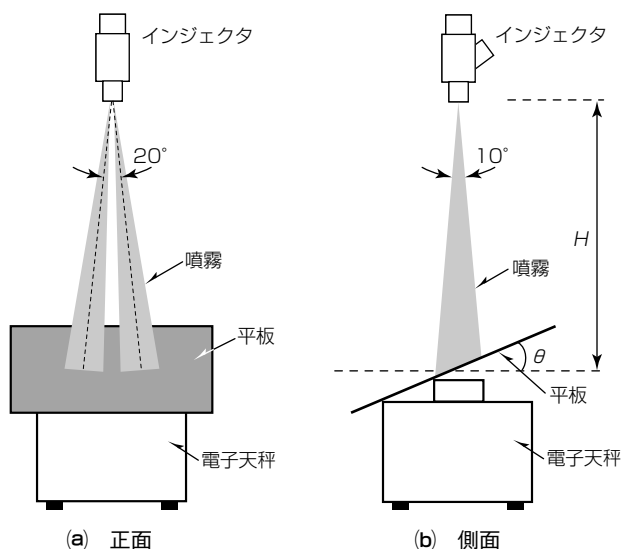


図 3. 検証実験装置

表 1. 実験条件

雰囲気圧力	0.1MPa
噴射圧力	0.37MPa
燃料	ドライソルベルト
雰囲気温度と壁面温度 T	296K
平板表面の粗さ R	Ra 10 μ m
インジェクタと壁面の距離 H	50, 75, 100(mm)
壁面傾斜角 θ	0°, 45°

3.2 基礎実験結果

図 4 に、インジェクタと壁面の距離 H と、壁面傾斜角 θ を変化させた場合の結果を示す。図中の縦軸は、燃料付着率 (= 付着燃料質量 / 総噴射燃料質量) を表す。インジェクタと壁面の距離 H を変化させた場合、壁面傾斜角 $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 45^\circ$ で傾向が異なった。 $\theta = 0^\circ$ では、 H が大きくなると付着量は単調に減少した。 H が大きくなると噴霧粒子の浮遊によって壁面に到達する燃料量が減り、その結果付着量は減少する。一方、 $\theta = 45^\circ$ では、 $H = 50\text{mm}$ より $H = 75\text{mm}$ の付着量が多くなり $\theta = 0^\circ$ の傾向と逆になった。 $H = 75\text{mm}$ に比べ $H = 50\text{mm}$ では噴霧粒子の壁面衝突速度が大きくなり、付着する液滴の増加より再飛散液滴の増加が大きくなり、燃料付着量が減少したと考えられる。これら H と θ の変化に対する結果は、先に述べた単一液滴での基礎実験結果⁽¹³⁾と傾向が一致している。

3.3 数値シミュレーション方法

噴霧液滴壁面衝突挙動は、2 章と同様に Bai⁽⁵⁾らの液滴衝突挙動モデルを用い、再飛散液滴質量割合の計算に式(1)を組み込んだ。比較のため、従来の壁面法線方向速度に基づいた評価方法⁽⁶⁾による計算もおこなった。式(1)の C 、 C_n は、噴霧液滴が壁面に垂直に衝突する際、計算される再飛散液滴質量割合が従来の評価方法と同等となるよう $C = 0.0015$ 、 $C_n = 0.13$ とした。噴霧液滴挙動は離散液滴モデル (DDM) によってラグランジュ的に計算した。液滴の分裂

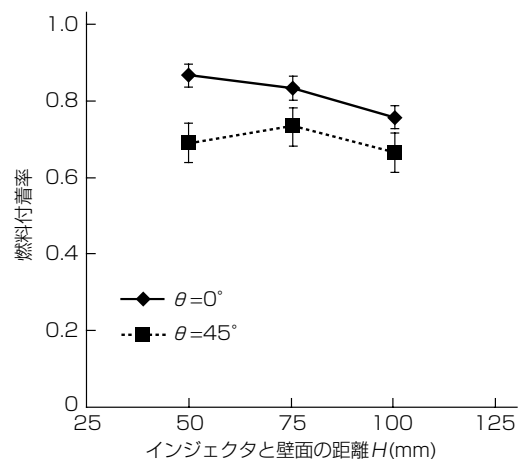


図 4. 基礎実験結果

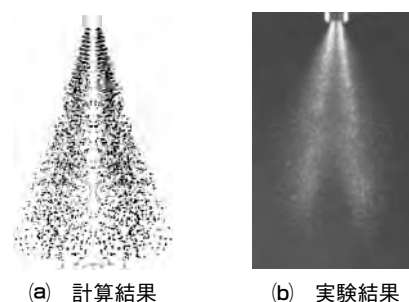


図 5. 噴霧形状の比較

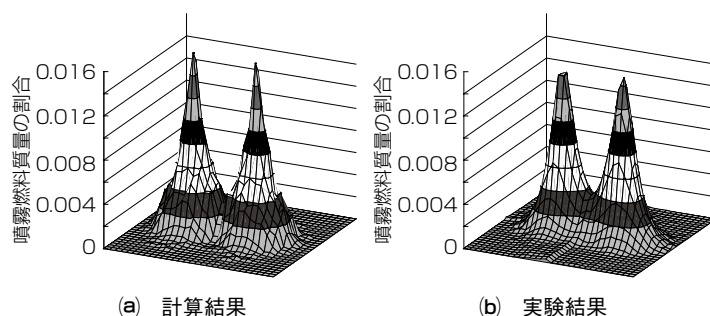


図 6. 噴霧分配の比較

モデルには Reitz らの“Bag and Stripping Breakup モデル”を用い、液滴同士の合体は考慮しなかった。このシミュレーションでは、基礎実験に用いたインジェクタ噴霧の噴霧形状、噴霧分配、ペネトレーション、ザウタ平均粒子径に一致するように噴霧液滴の粒子径、速度、方向をあらかじめ与えた。図 5 に噴霧形状、図 6 に噴霧分配の計算結果と実験結果の比較を示す。噴霧分配は、燃料噴射位置から 100mm 下流位置における噴霧燃料質量の二次元分布を示す。

3.4 数値シミュレーション検証結果

図 7 に実験結果と計算結果の比較を示す。従来の評価方法を用いた場合、壁面傾斜角 $\theta = 0^\circ$ では計算結果は実験結果と一致したが、 $\theta = 45^\circ$ ではインジェクタと壁面の距離 $H = 75\text{mm}$ 以下で一致しなかった。これに対して本稿で提案した式(1)を用い液滴の衝突角度によって再飛散量が変化する

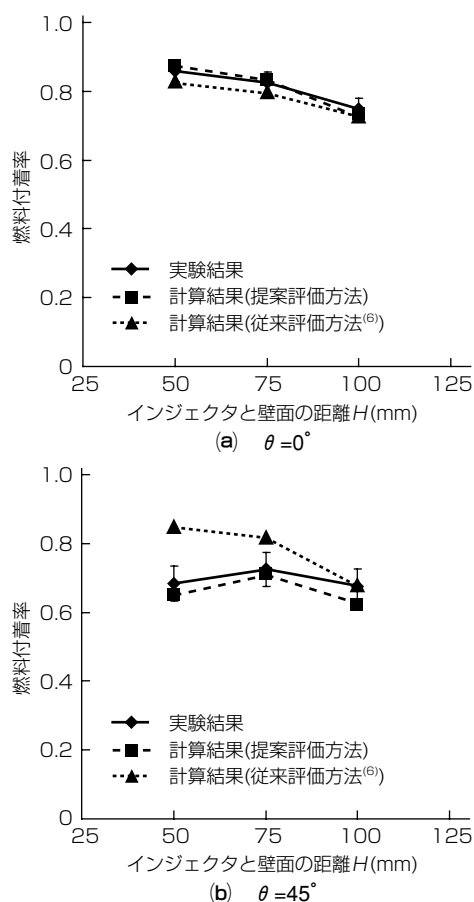


図 7. 液滴再飛散質量割合の比較

る影響を考慮することで、噴霧壁面衝突時の燃料付着挙動実験結果と一致した。なお、 $H=100\text{mm}$ 以上でスプラッシュ挙動がほとんど生じないため、両評価法での差が生じなかった。

この結果から、噴霧燃料が壁面衝突した際の燃料付着量について、本稿で提案した数値シミュレーションを用いることによって、従来のシミュレーションでは表現できなかった噴霧衝突角度と壁面燃料付着量の関係を表現できることを確認した。

4. む す び

自動車用インジェクタからの噴霧燃料が壁面に衝突する際の付着量特性を評価する新たな方法を提案し、平板へ噴霧を衝突させる基礎実験による検証をおこなった。得られた結果を、次に示す。

- (1) スプラッシュ挙動時に再飛散する液滴の質量割合について、液滴壁面衝突時の法線方向速度に加えて、接線方向速度を考慮する方法を提案した。
- (2) 提案した付着特性評価方法によって、従来のシミュレーションでは表現できなかった噴霧衝突角度と壁面燃料付着量の関係を表現できることを確認した。

今後、この評価方法を用いた数値シミュレーションを活用することで、燃費向上や排ガス低減を実現する次世代エンジンやコンポーネントの開発に寄与していく所存である。

参 考 文 献

- (1) Yarin, A.L., et al.: Impact of drops on solid surface: self-similar capillary waves and splashing as a new type of kinematic discontinuity, *Journal of Fluid Mech.*, **283**, 141~173 (1995)
- (2) Stow, C.D., et al.: An experimental investigation of fluid flow resulting from impact of a water drop with an unyielding dry surface, *Proc. R. Soc. Lond. A* **373**, No.1755, 419~441 (1981)
- (3) Levin, Z., et al.: Splashing of water drops on solid and wetted surface: hydrodynamics and charge separation, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* **269**, No.1200, 555~585 (1971)
- (4) Lindgren, R., et al.: Modeling Gasoline Spray-Wall Interactions and Comparison to Experimental Data, *SAE Technical Paper* 2004-01-3003 (2004)
- (5) Bai, C., et al.: Development of Methodology for Spray Impingement Simulation, *SAE Technical Paper* 950284, No.0096-736x, 550~568 (1995)
- (6) Han, Z., et al.: Spray/wall Interaction Models for Multidimensional Engine Simulation, *Int. Journal of Engine Research*, **1**, No.1, 127~146 (2000)
- (7) Stanton, D.W., et al.: Modeling Fuel Film Formation and Wall Interaction in Diesel Engines, *SAE Technical Paper* 960628 (1996)
- (8) Mundo, C., et al.: Numerical and Experimental Investigation of Spray Characteristics in the Vicinity of a Rigid Wall, *Exp. Therm. and Fluid Sci.*, **15**, No.3, 228~237 (1997)
- (9) Senda, J., et al.: Multidimensional Modeling of Impinging Sprays on the Wall in Diesel Engines, *ASME:Applied Mechanical Review*, **52**, No.4, 119~138 (1999)
- (10) Nagaoka, M., et al.: Modeling Fuel Spray Impingement on a Hot Wall for Gasoline Engines, *SAE Technical Paper* 940525 (1994)
- (11) 吉川康雄, ほか: エンジン吸気ポート内燃料液膜流解析シミュレーション, *日本機械学会論文集*, **B61**, No.590, 3432~3439 (1995)
- (12) Yonezawa, T., et al.: Study of Adhesion Fuel Behavior Formed by Spray-Wall Impingement in PFI Engine, *SAE Technical Paper* 2010-01-0782 (2010)
- (13) 森 敏昭, ほか: 液滴衝突後の液膜界面挙動に関する実験的研究, *混相流研究の進展*, **1**, 57~64 (2006)

熱伝導性グリースの信頼性評価技術

柳 浦 聡*
廣 井 治*

Reliability Evaluation Technology of Thermally-conductive Grease

Satoshi Yanaura, Osamu Hiroi

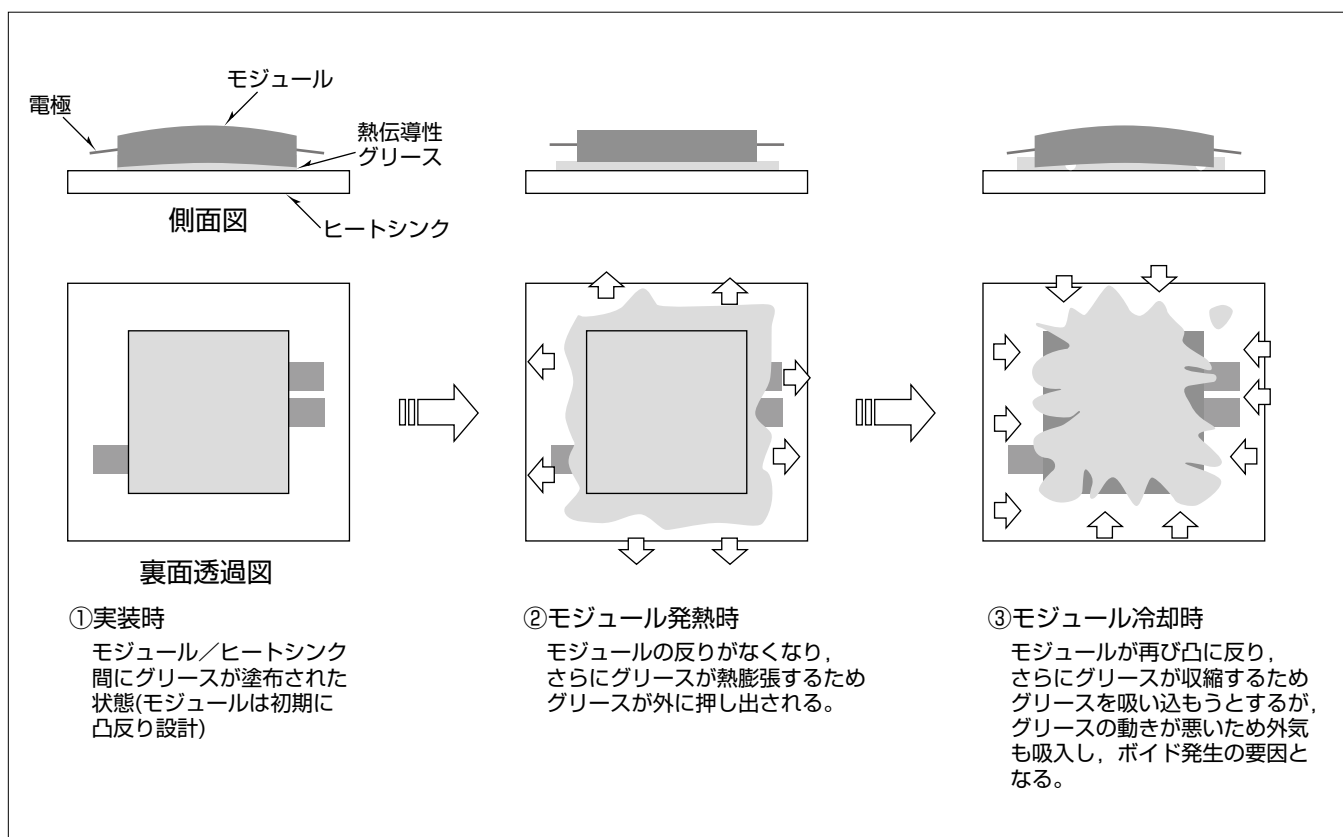
要 旨

車載機器におけるサーマルマネジメントの重要性はますます高まっている。動作に発熱を伴うモジュールの実装には熱伝導性のグリースを用いることが多いが、そのグリースに関する信頼性評価を十分行わないと、ポンプアウトや固化等によって熱抵抗が上昇し、モジュールに動作不良を引き起こす場合がある。三菱電機では放熱性劣化による製品の故障防止のため、熱伝導性グリースの信頼性評価に力を入れており、ここではその内容について述べる。

熱伝導性グリースに係る熱抵抗増加現象として“ポンプアウト”“基油抜け”“固化”“たれ落ち”等が挙げられ、ヒートサイクルと高温が大きく関与している。“ポンプアウト”

はグリースを基材に挟んだ状態でのヒートサイクル試験で評価した。“基油抜け”は磨(す)りガラスを用いたブリード試験で評価した。“固化”に関する耐熱評価は、温度加速試験結果から、アレニウス法を用いて寿命予測を行った。実装面を立てた状態で使用する場合に発生する“たれ落ち”は、ヒートサイクル下におけるたれ落ち長さを計測し、サイクル数に対しプロットすることで評価した。

当社ではこれらの評価に加え、モジュールの反りを模擬したメカニカル評価、熱抵抗信頼性評価を実施し、熱伝導性グリースの適材適所を図っている。



グリースのポンプアウトメカニズム

①実装初期のモジュールは室温で凸に反っており、モジュール中心部のグリース膜厚が厚い。②モジュールが発熱すると反りがなくなり、グリースが熱膨張するためグリースが外に押し出される。③モジュールが冷却されると、再び凸に反り、グリースが収縮するため、グリースを初期状態に戻そうと吸引するが、外気も一緒に吸入し、ボイドを形成する。②と③は繰り返され、更にボイドが増加する。

1. ま え が き

車の電子化によって動作に発熱を伴う電子部品が多用されるようになり、サーマルマネジメントの重要性が一層増してきている。その結果グリース、シート、ポッティング材等にも熱伝導性が要求される。熱伝導性グリースはその熱抵抗の低さ、形状への追従性から広く実装に用いられてきたが、近年ポンプアウト、基油抜け、固化、たれ落ち等の現象によって熱抵抗が上昇する現象が問題視されている。電子機器の長期信頼性を確保するためにこれらの現象の発現を長期にわたり防止する必要がある。

本稿では熱伝導性グリースの長期信頼性評価技術に関して検討した結果を述べる。

2. 熱伝導性グリースの劣化

熱伝導性グリースの劣化としては、次に挙げる現象／原因が考えられる。ここではグリース成分の化学的劣化だけでなく、形状変化などの機械的变化も含めている。

(1) ポンプアウト(ポンピングアウト)／ヒートサイクル

高温で熱膨張によってはみ出たグリースが低温収縮時に元の形状に戻れなくなるため、空気を取り込み、取り込んだ空気(ボイド)の熱膨張収縮によって、さらに、その現象が加速される現象である。発熱部品がヒートサイクルで反りを発生する場合はダイアフラム効果で更にその現象が加速される。

(2) 基油抜け／高温

熱伝導性グリースの主成分は熱伝導性フィラーとオイル成分であるが、基材面へのオイルの濡れ性が、フィラー表面に対する濡れ性より良い場合は、オイルはフィラー表面から基材表面に濡れ広がり(ブリード)、フィラーだけが取り残される状態(基油抜け)となる。

JIS K2220で離油度という試験法があるが、これは潤滑用グリース評価のためのものであり、熱伝導性グリースのように離油度を抑える設計になっているものは、ほとんどが離油度0%となるため、もっと厳しい評価法が必要である。

(3) 固化／高温

固化はオイル成分の揮発とオイル成分の架橋によって発生する。オイル成分が固化した場合、グリースが固体となるため、グリースがヒートサイクルで基材からの剥離、クラックを発生する可能性がある。一般的にシリコン系グリースは石油系グリースと比較して固化し難いため、耐熱性が必要な用途に多用される。

(4) たれ落ち／ヒートサイクル

たれ落ちはグリースを基材でサンドイッチし、立てた状態で使用する際に、グリースが塗布面からずり落ちる挙動のことを言う。

3. 熱伝導性グリースの評価方法

3.1 ポンプアウト

ガラスにグリースを印刷し、それをアルミ材に押しつけた状態でヒートサイクルをかけた(図1)。

3.2 基油抜け

基油抜けの主要因として、フィラーによって保持されていた基油の基材への染み出し(ブリード)がある。またブリードは“ポンプアウト”“たれ落ち”の要因の一つとしても重要である。このブリード現象の評価を次のように実施した。

ガラス中央に、ステンシルを用いて円形印刷し、その上から同サイズの磨りガラスを磨り面がグリースに接触するようにのせる。両ガラスは接触しないようにスペーサを挟んでクリップで止める。磨りガラス面を下向きにして一定温度下で放置し、磨りガラスの変色でブリード距離を測定した。

3.3 固 化

TGA(ThermoGravimetric Analysis)を用い質量減少とその時のグリースの状態を評価した。

3.4 たれ 落 ち

グリース実装面を立てた場合のたれ落ちのパラメータは、剪断(せん断)速度を変えて粘度を測定し、Casson式で降伏値を求める方法が考えられるが、実際は基材で挟み込まれたグリースは降伏によるたれ落ちの他に基材界面との滑りも考慮する必要がある。またフィラーサイズとグリース膜厚に依存したフィラーの引っかかりを考慮する必要があるため、実際の実装形状に近い形での評価が必要になる。

ガラス板にステンシルを用いてφ15mmの形状に印刷し、膜厚調整用のスペーサを挟んでアルミ板に固定し、ヒートサイクル後のたれ落ち距離を計測した。

4. 評 価 結 果

4.1 ポンプアウト評価

2種類のグリースに対するヒートサイクル(−40℃⇔125℃)後のポンプアウト評価結果を図2に示す。

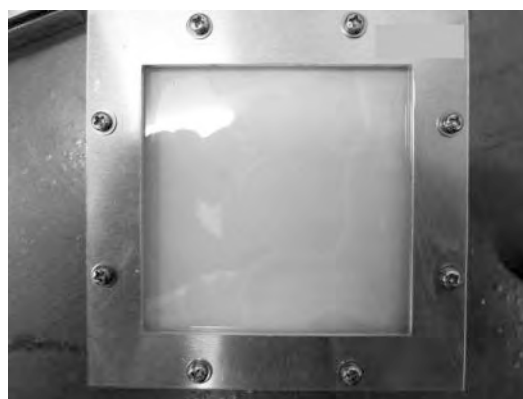
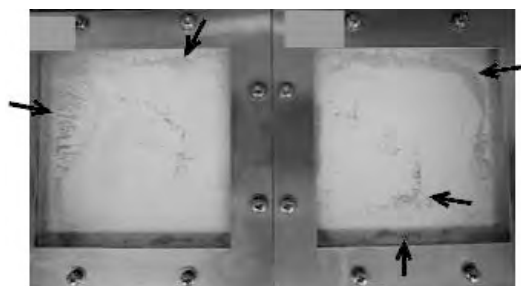


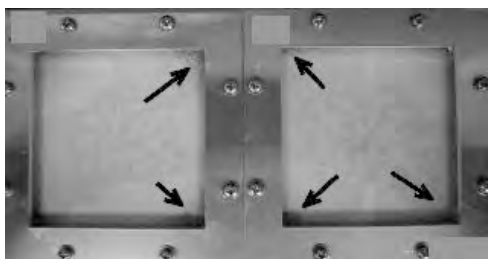
図1. ポンプアウト試験器具

図2で、ヒートサイクル後にグリースのない部分(隙間、ボイド等)は熱抵抗が高くなり、伝熱特性に支障をきたす要因となる。グリースがなく、基材が見える部分を図中、矢印で示した。

グリースAではグリースのない空隙部分が多く見られるが(図2(a))、グリースBはコーナー部に微細な空隙が見られるに留まった(図2(b))。

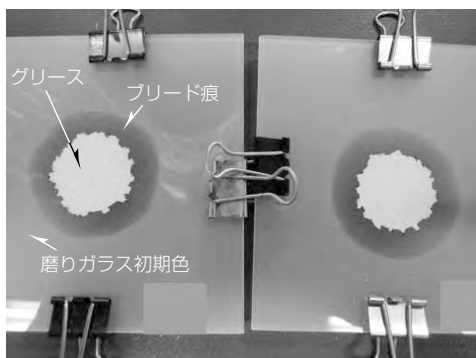


(a) グリースA

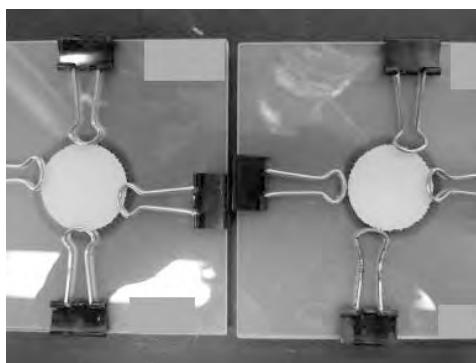


(b) グリースB

図2. ヒートサイクル後のポンプアウト評価結果



(a) グリースA



(b) グリースB

図3. ブリードの評価結果

4.2 基油抜け評価

2種類のグリースに対する基油抜けの主要因であるブリードの評価結果を図3に示す。

磨りガラスにオイル成分がブリードすると色が変わるため、その距離がブリードのしやすさの目安となる。グリースA(図3(a))のブリード量は、グリースB(図3(b))より多い。

4.3 固化(耐熱)評価

グリースの固化現象は2つのメカニズムが考えられる。1つは成分の揮発によるもの、もう1つはラジカルの発生に伴う架橋によるものである。ラジカルの発生は活性化エネルギーが高いが、固化に対する影響力が高いため、高温での加速試験は実使用より厳しい試験となる。ここでは耐熱性予測の一例について述べる。

TGAでの昇温速度から求めた反応速度に関するファクタと温度の逆数で、質量保持率が異なるグリースA、グリースB、グリースCの測定値をプロットした結果を図4に示す。グリースが固化したときの質量減少率をあらかじめ求めておくことで耐熱寿命予測が可能となる。

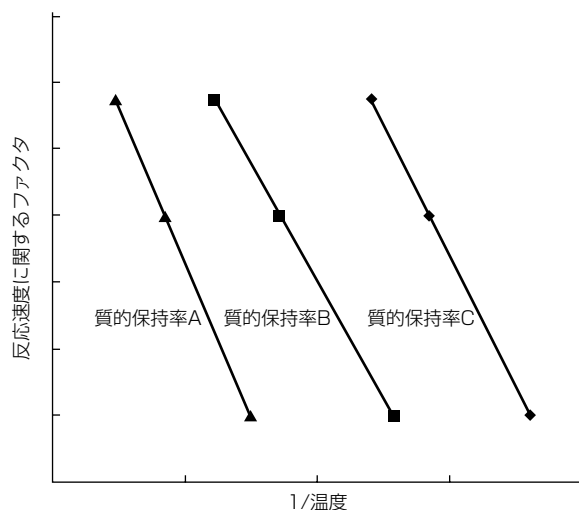


図4. TGA昇温速度と質量減少温度

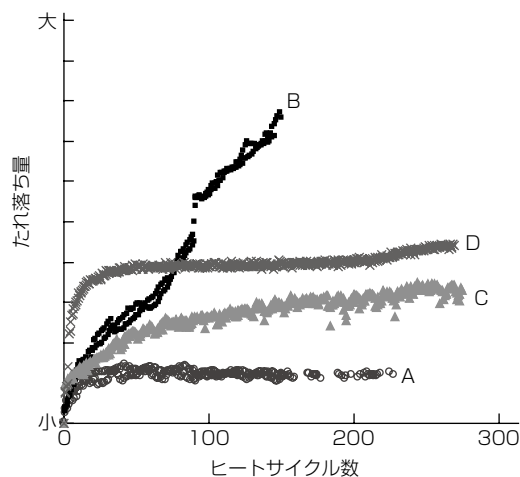


図5. たれ落ち量の測定結果

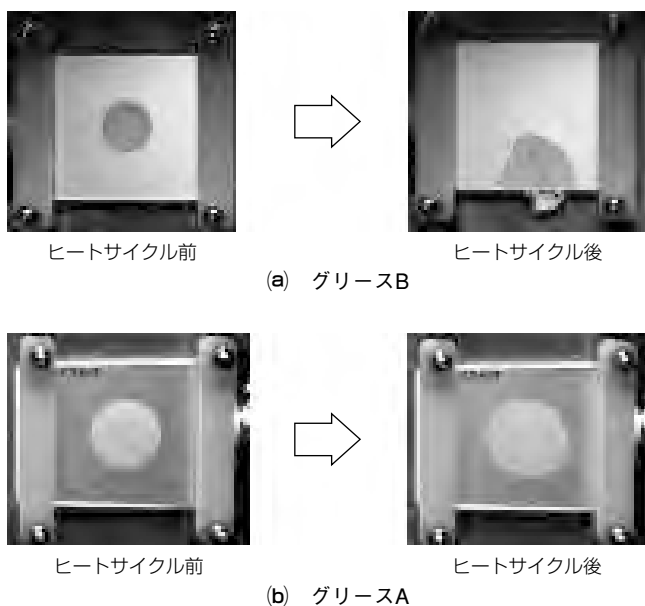


図6. ヒートサイクル前後のたれ落ち

4.4 たれ落ち評価

当社規定方法による4種類のグリースに対するたれ落ち量の測定結果を図5に示す。

図5から、たれ落ち量は、グリースB>グリースD>グ

リースC>グリースAの順で大きい結果が得られた。モジュールを水平以外で使用する場合はたれ落ち量の大きなグリースを用いるべきではない。図6(a)に見られるように、グリースBの場合は印刷形状を維持したままずり落ちており、グリースA(図6(b))の場合はたれ落ちが少なく、良好な結果が得られた。

5. む す び

当社で用いている熱伝導性グリースの評価方法について述べた。今回はポンプアウトの発生予測にはグリースにかかる温度、傾斜に主眼を置き、原因として熱膨張・収縮、ブリードを想定した評価を実施し、次の結論を得た。

- (1) 水平で実施したポンプアウト試験からポンプアウト耐性が評価可能である。
- (2) 磨りガラスを用いる方法でブリード評価が可能である。
- (3) グリースの耐熱性はTGAを用いて加速評価可能である。
- (4) ガラス板に塗布し、実装面を立てた試料で、たれ落ち量が評価可能である。

当社では、モジュールの反りの影響を模擬したメカニカルな評価も実施しており、その結果も合わせてグリース選択を実施している。

テレマティクス対応セキュリティ技術

小林信博* 三澤 学*
坂上 勉*
泉 幸雄*

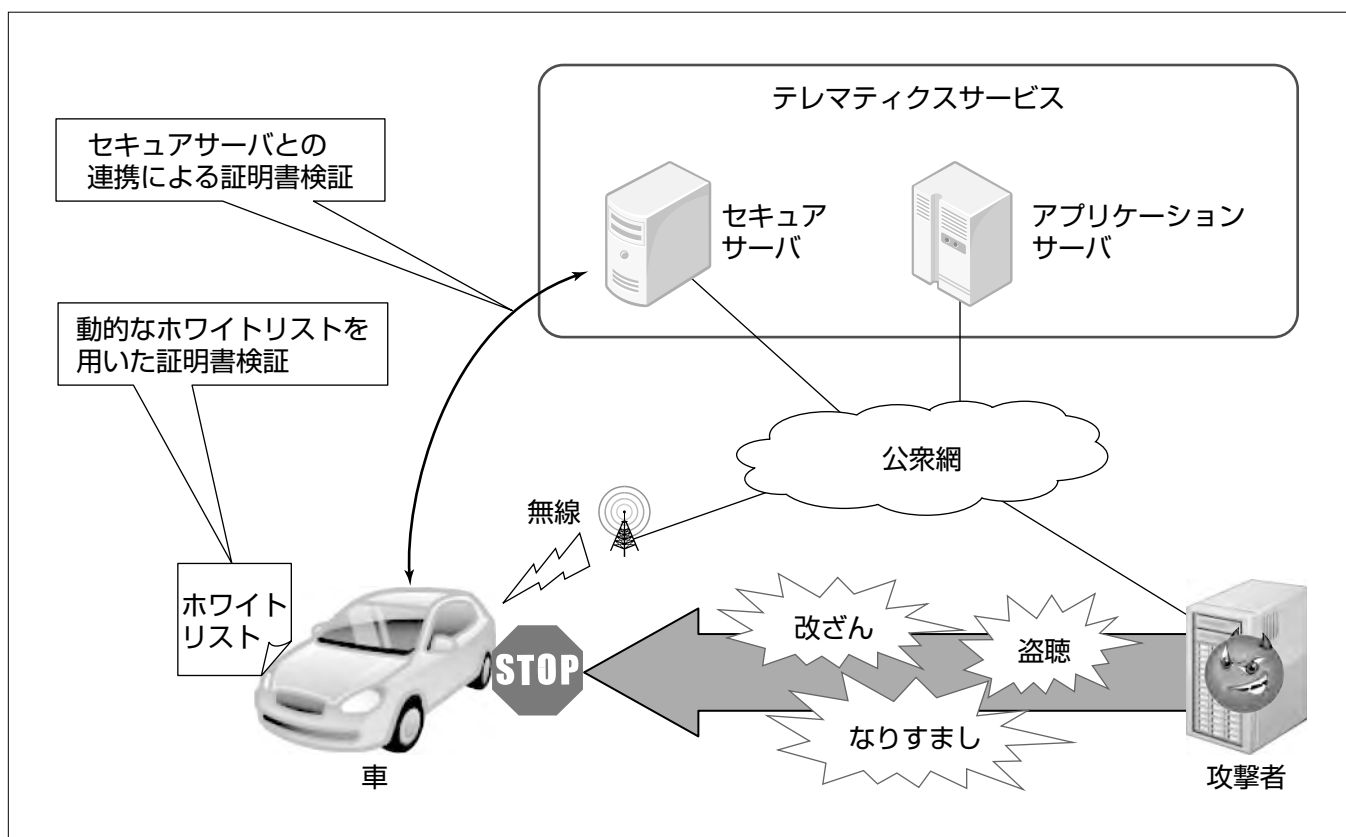
Applying Information Security Technology to Telematics Systems

Nobuhiro Kobayashi, Tsutomu Sakagami, Yukio Izumi, Manabu Misawa

要 旨

近年、車載情報システムの高度化が進み、車外のITシステムと通信・連携することでサービスを提供するテレマティクスが注目を集めている。一方、通信路を経由して外部から車載情報システムに侵入、攻撃する手法が報告されており、新たな情報セキュリティ対策が求められている。車載情報システムに適用する情報セキュリティ対策には、クルマの利用環境を考慮した、長期運用に対応可能であり、かつ、可用性を重視したセキュリティ機能の実現が必要である。また、車載情報システムの早期展開と各種サービスとの融合によるシナジー効果を発揮させるためにはインターネットで普及している認証方式を利用することが有利である。

本稿では、車載情報システム特有のセキュリティ要件と課題を整理するとともに、そのセキュリティ対策技術として、車載情報システムが証明書の失効状態を確認するため、豊富なリソースと信頼性の高い通信インフラを利用可能なセキュアサーバと連携する証明書検証方式と、セキュアサーバとの通信途絶時に可用性を確保するため、セキュアサーバで正当性が検証された証明書に関する情報を動的に生成してホワイトリストとして用いる証明書検証方式について述べる。この技術によって、インターネットで普及している認証方式を活用しつつ、車載情報システムへのコストインパクトを抑えた長期にわたるセキュリティ強度の確保が可能となる。さらに、通信途絶などの障害が発生した場合でも、セキュリティ機能の可用性を確保できる。



テレマティクス対応セキュリティ技術のシステム全体像

テレマティクス対応セキュリティ技術では、サーバ側の豊富なリソースと信頼性の高い通信インフラを利用することで、失効状態を含む証明書検証が可能となり、鍵長増加に伴う処理負荷を軽減できる。また、セキュアサーバで正当性が検証された証明書に関する情報をホワイトリストとして保持することで、証明書検証に要する車側のリソースの削減や処理負荷を軽減し、クルマ単独での安全な検証処理が可能となり高い可用性を維持できる。

三菱電機技報・Vol.87・No.8・2013

みとして普及している技術の一つに PKI(Public Key Infrastructure)が挙げられる。一般的なPKIでは、信頼できる第三者機関として位置付けられた認証局(Certificate Authority: CA)からX.509v3形式の証明書(証明書)が発行され、この証明書を利用することで身元の正当性を相手に証明することができる。証明書は、インターネット上で各種サービスを提供しているSSL(Secure Socket Layer)/TLS(Transport Layer Security)サーバの認証や、サーバとクライアント間のVPN(Virtual Private Network)接続を行うIPsec(Security Architecture for Internet Protocol)の認証に広く利用されている。したがって、クルマがテレマティクスのサービスを利用する場合にも、現在インターネット上で普及しているサービスと同様の認証方式を採用することが、早期展開ならび各種サービスとの融合によるシナジー効果を発揮する上で有利と考えられる。また、クルマの将来を見据えた場合にも、EV(Electric Vehicle)用車載充電装置と外部の充電スポットとの通信のセキュリティとして、SSL/TLSを利用するIEC 15118の標準化作業が進められている最中である。

一方、証明書には有効期間が定められており、証明書の所有者が秘密に保持するプライベートキーの意図せぬ漏洩(ろうえい)による被害の抑制や、計算量的な安全性に基づくセキュリティ強度の確保を、CAによる証明書の再発行によって実現している。また、プライベートキーの漏洩事故発生などの理由によって有効期間内に証明書を失効させるために、CAが定期的に証明書失効リスト(Certificate Revocation List: CRL)を発行し、CRLの発行時点における証明書の有効性が確認できる仕組みが導入されている。CAの階層構造によってスケーラビリティを確保できる。

2.1.2 長期運用に対応したセキュリティ強度の確保(要件2)

パソコンやサーバ等のIT機器とクルマとの特性の違いについて、運用期間、利用環境、用途の観点から比較する。統計によればクルマの平均使用年数は、普通乗用車で12.56年となっており、パソコンの使用年数6~8年よりも長期にわたる安全性の確保が求められると考えられる。したがって、開発期間の猶予も含めると20年先(2030年)を見越したセキュリティ強度の確保を、車載装置に対するコストインパクトを抑えつつ考慮する必要がある。

2.1.3 安全を第一に可用性重視のセキュリティが必要(要件3)

クルマの利用環境を考えると、屋内の整備された環境で稼働するIT機器と異なり、広域の屋外を高速に移動する。都市部でのトンネルや立体交差、地下駐車場、そして山間部や僻地(へきち)、さらに、離島では、テレマティクスの前提となる外部ネットワークとの通信品質の悪化や途絶が発生するおそれがある。同時に、外部ネットワークを提供・運用する通信事業者・回線事業者の事情、又はバック

ボーンとなるインターネットのベストエフォート型のサービス特性から、クルマと目的とするサーバとの通信不能状態が発生することも想定される。

さらに、クルマの用途を考えると、運転者や乗員、そして歩行者に対する人体・生命の安全確保を最優先事項として取り扱う必要がある。したがって、情報システムにおける機密性(Confidentiality)、完全性(Integrity)、可用性(Availability)の各セキュリティに対する優先度がC.I.Aの順となるのに対し、重要インフラの制御システムが可用性を最も重視していることと同様、A.I.Cの順番でセキュリティを考えていく必要がある。

2.2 セキュア化の課題

2.2.1 認証に用いる証明書の失効の検証が困難(課題1)

2.1節の要件に基づき、証明書を用いた認証を実現するためには、その認証機能の内部で証明書検証の処理が必要となる。一般的な証明書検証の検証項目を次に示す。

- (1) 証明書の有効期間内である
- (2) 証明書の拡張領域の内容が期待通りである
- (3) 証明書への上位CAの署名が正しい
- (4) 認証パスの検証に成功(信頼の連鎖が信頼点に到達)
- (5) 証明書が失効していない(CRLの入手と確認)

これらの項目のうち、(1)~(4)については、検証に必要な証明書が相手から提供される場合、クルマ内部で処理を完結することが可能である。一方、(5)の処理は、各証明書を発行したCAから発行されるCRLを入手し、そのCRL自身の正当性の検証を行う必要がある。

CRLは有効期限内に失効した全ての証明書が記載されるため、膨大なサイズになる可能性がある。また、CRLはCAごとに発行されることから、全てをクルマにダウンロードするための通信時間、通信トラフィックが発生する。

2.2.2 長期的な安全確保のための鍵長増加に伴う処理性能の低下(課題2)

クルマの長期運用に対応したセキュリティ強度を確保するためには、暗号アルゴリズムを適切に利用することが必要となる。セキュリティの根幹をなす暗号アルゴリズムは、素因数分解問題など、その安全性の根拠となる数学的な問題の困難性に依存する宿命を持ち、解読技術や計算機の処理能力の向上によって、長期的には危殆(きたい)化の必然性を持つことが指摘されている。既に我々は、暗号危殆化への対策の一つとなる鍵の更新に関する安全性について考察し、RSA(Rivest, Shamir, Adleman)暗号アルゴリズムの鍵長1,024ビットについて、2020年には現実的な更新間隔での運用が困難との結果を得ている。したがって、2030年を視野にセキュリティ強度を確保するには、それ以上の鍵長となる2,048ビット、4,096ビットが必要となるが、その場合には検証項目(3)の計算処理時間が増加することとなる。

2.3 要件と課題の対応

2.1節と2.2節で述べた要件と課題について、要件1を実現するためには課題1を、要件2を実現するためには課題2を、さらに要件3を実現するためには課題1と課題2を解決する必要がある。

3. 提案方式

2章で述べた要件と課題を考慮し、この章では、クルマがテレマティクスサービスの一つとなるセキュアサーバと連携して、証明書を用いた認証に基づくセキュアな車載システムを実現する方式について検討していく。次に、図2に示したこの提案方式における認証処理を基に述べる。

3.1 セキュアサーバとの連携による証明書検証

まず、課題1の対策として、失効確認を含む証明書の検証処理を、クルマのかわりにテレマティクスサービスの1つとなるセキュアサーバで実行することとする。このセキュアサーバは、クルマにとっての信頼できる第三者機関として取り扱う。証明書検証に必要な検証項目を、サーバ側で処理する既存のプロトコルとしては、OCSP(Online Certificate Status Protocol)、SCVP(Server-Based Certificate Validation Protocol)、DVCS(Distributed Version Control System)が知られている。このうち、OCSPは2.2.1項で挙げた検証項目(2)~(4)の処理には対応していない。一方、SCVP及びDVCSは、全ての項目をサーバ側で処理することが可能となり、クルマ側の処理を大幅に削減できることとなる。したがって、プロトコルのクライアント機能をクルマ側に、サーバ機能をセキュアサーバ側に搭載することとする。セキュアサーバは、豊富な計算リソ

スと高速で信頼性の高い通信インフラを備えていると想定されるため、失効状態を含む証明書検証を高い処理性能と信頼性を持って実施することができると考えられる。

また、長期的な安全性確保のための鍵長増加に伴う処理性能の低下という課題2に対しても、同様にサーバ側の高い処理能力を活用することで、カバーすることができる。さらに、サーバ側の処理として、証明書の検証結果から、クルマとセキュアサーバとの通信途絶時に利用する後述のホワイトリストに登録するW.L.(White List)情報を生成し、検証結果とともにクルマに提供することとする。

3.2 動的なホワイトリストを用いた証明書検証

2.1.3項の要件3に述べたように、テレマティクスのセキュリティ機能には通信途絶時の可用性が求められる。そこで、クルマが単独で証明書検証を実施可能とするためにホワイトリストを用いることとする。このホワイトリストには、セキュアサーバで正当性が検証された証明書に関する情報(W.L.情報)を登録する。W.L.情報には認証パス上の各証明書の有効期間やCRLの次回更新日時を考慮した有効期限を含めることとし、証明書検証処理とあわせてセキュアサーバ側で生成することによって、クルマ側の追加処理を不要とする。クルマに蓄積されたホワイトリストは、W.L.情報によって動的に更新され、常に最新の状態に保たれる。そして、セキュアサーバとの連携不能時には、クルマがこのホワイトリストと証明書のマッチングによって、2.2.1項で挙げた検証項目(1)~(5)に相当する処理を簡略化して行うことが可能となる。したがって、通信途絶時にも安全性の確認された証明書に基づく認証によって、セキュリティ機能の可用性が担保できる。なお、恒久的な信頼対

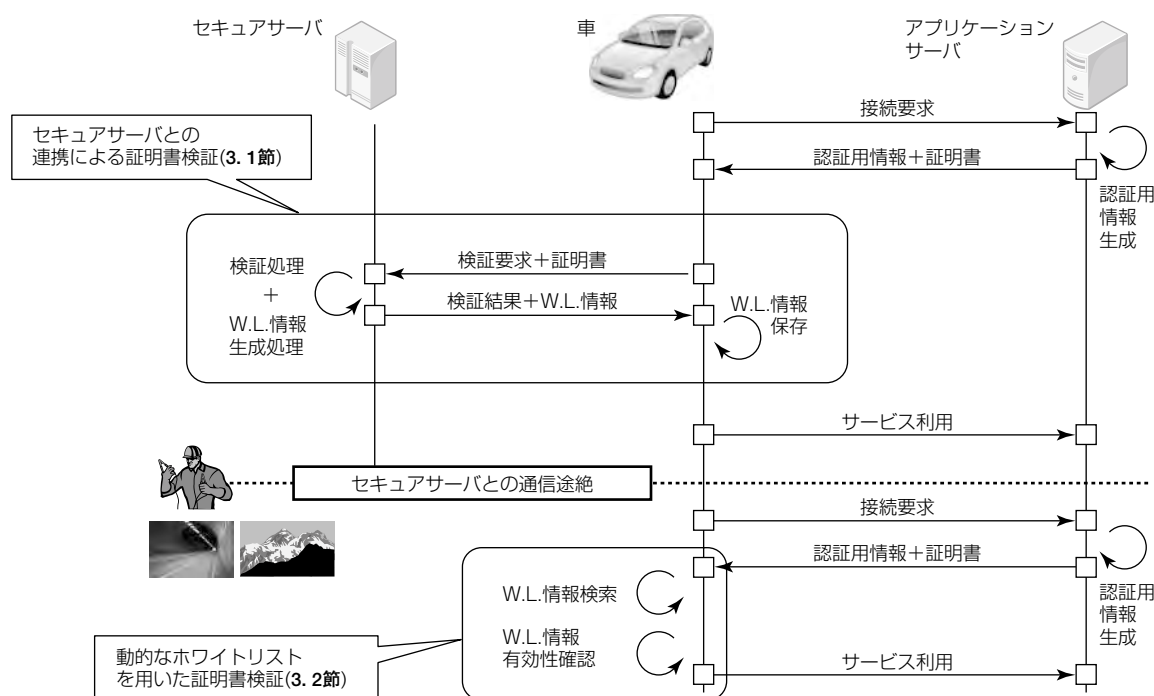


図2. 提案方式における認証処理

象としてカーメーカーなどのW.L.情報を事前にプリインストールしておくことで、セキュリティサーバを利用しないシステム構成の場合にも、クルマ側の処理負荷軽減のメリットを得る事が可能である。

3.3 ハッシュ値を用いた省リソース化

車載装置のマイコンは、その性能だけでなく搭載するメモリ量によってコストが増減する。メモリの使用量として支配的なW.L.情報として、証明書そのものを用いると、枚数に比例して記憶領域が必要となり、クルマの限られたリソースへの影響が懸念される。そこで、証明書のハッシュ値をセキュアサーバで生成し、W.L.情報として提供することとした。

省リソース化の効果について試算した結果を次に示す。なお、証明書に含まれる暗号・署名に関連する情報を除いた主体者名などの記載情報は1,000octetとする。また、試算用パラメータは次のとおりとする。

- (1) PKIにおける信頼モデル：CA 2 階層
- (2) 公開鍵暗号アルゴリズム：RSA 2048
- (3) W.L.情報算出用ハッシュアルゴリズム：SHA 256 (Secure Hash Algorithm 256bit)

試算の結果、暗号・署名に直接関係するデータは、19.7% (1,536octet→302octet) まで削減された。さらに、証明書3つ分の記載情報(1,000×3 octet)を加味したW.L.情報全体としては、6.7% (4,536octet→302octet) まで削減されることが確認できた。

このことから、この方式をリソース制限の厳しい車載装置へ適用することは十分可能であると考ええる。

4. む す び

クルマがセキュアサーバと連携して、証明書を用いた認証に基づくセキュアな車載システムを実現する方式について提案した。まず、クルマで認証に用いる証明書の失効状態の検証が困難であるという課題に対して、セキュアサ

バと連携することによって、サーバ側の豊富な計算リソース及び無線通信よりも高速で信頼性の高い通信インフラを利用して失効状態を含む証明書検証を実施することができるとした。また、長期的な安全性確保のための鍵長増加に伴う処理性能の低下という課題に対しても、同様にサーバ側の高い処理能力を活用することで、カバーすることができる。さらに、可用性の面からセキュアサーバとの通信途絶を想定し、証明書の検証結果を動的なホワイトリストとしてクルマ側に蓄積することで、クルマ単独での安全な検証処理を可能とした。加えて、ホワイトリストに登録するW.L.情報として、証明書そのものを利用するのではなく、証明書のハッシュ値、及び証明書の有効期間を踏まえた有効期限を利用することで、クルマの限られたリソースへの配慮と処理負荷の軽減を図った。試算によってデータを7%弱に削減できることが確認できた。今後は、提案方式に基づくシステムの試作と評価を行い、有効性を確認する予定である。

参 考 文 献

- (1) (独)情報処理推進機構セキュリティセンター：2011年度自動車の情報セキュリティ動向に関する調査(2012) <http://www.ipa.go.jp/files/000024413.pdf>
- (2) Stephen Checkoway, et al. : Comprehensive Experimental Analyses of Automotive Attack Surfaces, Proc. of the 20th USENIX conference on Security (2011) https://www.usenix.org/legacy/events/sec11/tech/full_papers/Checkoway.pdf
- (3) The Internet Engineering Task Force, Network Working Group RFC5280 : Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and Certificate Revocation List (CRL) Profile (2008) <http://tools.ietf.org/html/rfc5280>

車載メディアプレーヤー

安田光宏* 成木研一*
中村好孝*
荒木芳尚*

In-Car Media Player for Rear Entertainment System

Mitsuhiro Yasuda, Yoshitaka Nakamura, Yoshihisa Araki, Kenichi Naruki

要 旨

車室内の後部座席における快適性や娯楽性を高めるために、後部座席専用のテレビ、CD (Compact Disc) / DVD (Digital Versatile Disc) プレーヤーやゲーム機器を接続できるエンタテインメント機器 (リアシートエンタテインメントシステム) がオプションとして主に高級車種に搭載されている。

近年、デジタル化が進みCD / DVDといったディスクメディアに加えて、USB (Universal Serial Bus) メモリやメモ리카ードといったメディア、さらにはiPhoneやiPod^(注1)等に代表されるメディアプレーヤーを車内に持ち込み、乗客ごとに個別のコンテンツを楽しみたいというニーズがある。

リアシートエンタテインメントシステムは、各メディアの再生機能及びディスプレイへの出力機能等を担うメディアプレーヤーとディスプレイからなっている。リアシートエ

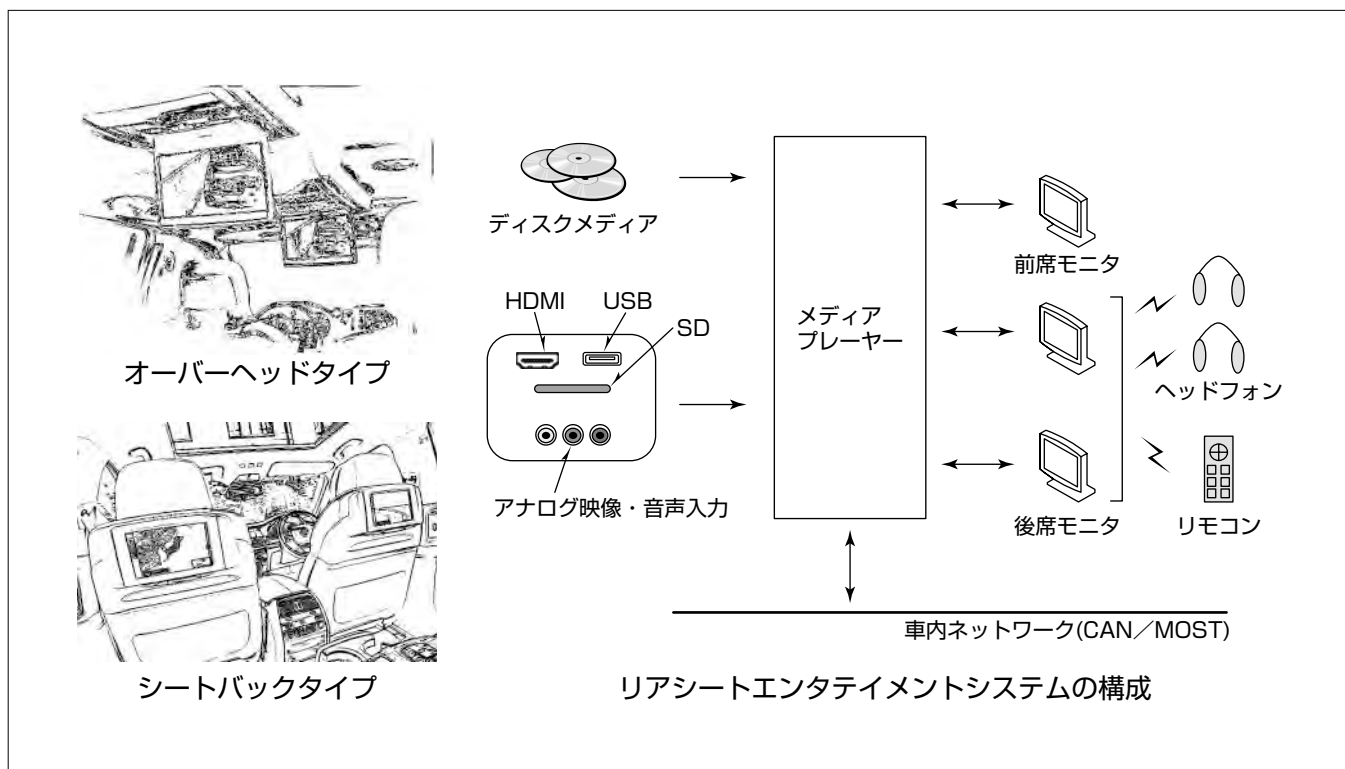
ンタテインメントシステム搭載用として、車載OEM (Original Equipment Manufacturer) 製品では三菱電機初となるブルーレイディスク (Blu-ray Disc^(注2) : BD) 再生対応のメディアプレーヤーを開発した。

本稿では、BD以外に様々な音声及び映像コーデックの対応、iPhoneやiPod等の音楽プレーヤーとの連携、後部座席用2画面独立再生、CAN (Controller Area Network) やMOST^(注3) (Media Oriented Systems Transport) で接続されたラジオチューナーなどとの連携といった多くの機能を持ったメディアプレーヤーについて、その機能及び技術について述べる。

(注1) iPhone, iPodは、Apple Inc. の登録商標である。

(注2) Blu-ray Discは、Blu-ray Disc Associationの登録商標である。

(注3) MOSTは、Standard Microsystems Corp. の登録商標である。



リアシートエンタテインメントシステムの種類と構成

リアシートエンタテインメントシステムにはディスプレイの設置場所によって、図に示すようなオーバーヘッドタイプ、シートバックタイプがある。また、このシステムのシステム構成は図のとおりである。大きくは様々なメディアの入力する部分、音声・映像を出力する部分、車内ネットワークと通信する部分から構成される。

1. ま え が き

近年、フラッシュメモリなどの大容量化に伴い、従来の記録メディアであったCD/DVDといったディスクメディアに加え、USBメモリやメモリカード、又はiPhone/iPod等に音声コンテンツだけでなく映像コンテンツを保存できる環境が整った。またインターネットの普及に伴い、ディスクによる供給以外にダウンロードによるコンテンツの配信も普及しつつある。ディスクメディアについては、画質の高精細化を目的としてBDの普及が進んでいる。

本稿では、このようなUSBメモリに保存された音声、映像コンテンツ及びBDに対応したメディアプレーヤーを車載OEM製品として開発したので、その製品紹介を中心に機能と技術について述べる。

2. リアシートエンタテインメントシステム

リアシートエンタテインメントシステムとは、車室内の後座席の乗客に対しエンタテインメントを提供するシステムであり、一般にはテレビ、DVDプレーヤーといった映像再生機能、またゲーム機器などを接続するための外部入力を備えたものが主流であった。近年ではこれらの機能に加え、BDといった高精細コンテンツの再生機能、USBメモリやメモリカードに保存された映像ファイルや音声ファイル(圧縮技術を利用)の再生機能、外部入力のデジタル化、さらには後席乗客ごとの嗜好(しこう)に合わせるために、画面ごとに独立したコンテンツを再生させるなどといった要求がある。

当社では、これらの要求にこたえるため、独立2画面再生のメディアプレーヤーを基本とし、次の機能を備えたりアシートエンタテインメントシステムの開発を行った。

- (1) BDプレーヤー機能
- (2) ファイル再生機能(音声及び映像コンテンツ)
- (3) 外部入力のデジタル化対応(HDMI(High Definition Multimedia Interface)^(注4)入力など)
- (4) iPod/iPhoneとの連携機能
- (5) HDCP(High-bandwidth Digital Content Protection system)によるコンテンツ保護を実施したLVDS(Low Voltage Differential Signaling)映像出力

(注4) HDMIは、HDMI Licensing LLCの登録商標である。

2.1 製品構成

ディスプレイごとに異なるコンテンツを再生させる場合、各ディスプレイにメディアプレーヤー機能を持たせる手法が一般的であるが、今回開発したメディアプレーヤーでは、1台のプレーヤーで2画面独立再生に対応し、さらに、前席のディスプレイでも走行停止時に後席画面を共有させる機能を備えており、独立した2つのコンテンツを車室内の3つのディスプレイで任意に再生可能である。

また、メディアプレーヤー機能を1台のプレーヤーに集約させ、各ディスプレイについては表示機能だけに簡素化させる事で、システム全体のコストを抑制することができた。

プレーヤーとディスプレイ間をつなぐLVDSは、デジタル化された音声・映像信号の他に、I2C(Inter-Integrated Circuit)^(注5)、GPIO(General Purpose Input/Output)制御線を重畳しており、プレーヤーが直接ディスプレイを制御する事が可能なため、ディスプレイのマイコンレス化を実現できた。

(注5) I2Cは、NXP B. V.の登録商標である。

2.2 製品機能

今回開発したこの製品の機能を次に列挙する。

- (1) 後席用2画面独立再生
- (2) 前席用画像出力(後席用2画面のいずれかを出力)
- (3) 映像ファイル再生機能(H.264, WMV(Windows Media Video)^(注6), DivX^(注7), RealVideo^(注8)他)
- (4) 音声ファイル再生機能(MP3, WMA(Windows Media Audio)^(注6), AAC(Advanced Audio Coding)^(注9), RealAudio^(注8)他)
- (5) iPhone/iPod音声、映像対応
- (6) MOST経由のラジオ音声入力
- (7) CD/DVD/BD再生機能
- (8) 外部映像/音声入力(アナログ、デジタルは機種による)

(注6) Windows Media(WMV/WMA)は、Microsoft Corp.の登録商標である。

(注7) DivXは、DivX LLCの登録商標である。

(注8) RealVideo, RealAudioは、Real Networks, Inc.の登録商標である。

(注9) AACは、Dolby Laboratories Licensing Corp.の登録商標である。

3. システム構成

3.1 ハードウェア

製品のハードウェアブロック図を図1に示す。車載ネットワーク制御と電源制御等をつかさどるシステム制御マイコン、メディア再生及びグラフィックス描画を行うSoC(System on Chip)の2チップ構成となっており、相互にI2Cで通信を行っている。

SoCの映像出力は2系統であるため、出力画像の切替えを行うAVセレクトをASIC(Application Specific Integrated Circuit)で構成し、ディスプレイ出力ごとにLVDS Serializer(Ser.)を配する。デジタル映像出力に採用したLVDS出力は、BDの要求仕様であるHDCPのコンテンツ保護に対応する。コンテンツ保護を掛けたデジタル映像出力はHDMIが一般的だが、ケーブルが太く(19芯)、大型のコネクタ(車載用HDMIコネクタ)が必要となる。それに比べてLVDSはケーブルの芯数が2芯であり、またコネクタの小型化が可能なため、車載機器のデジタル映像出力伝送としてはLVDSが適している。

BDドライブとの間はDVI(Digital Visual Interface)、及びATA(Advanced Technology Attachment)で接続して

おり、市販ディスクコンテンツについてはBDドライブでデコードされたものをDVI経由で映像として受け取り、ファイルを記録したディスクの対応はATA経由でデータを読み出し、プレーヤーのSoCでデコードする。

外部機器とのインタフェースは車載ネットワークであるCAN、又はMOSTに対応する。プレーヤーが対応するラジオ音声入力、システム内のチューナーからMOST経由で入力され、プレーヤーの1つのソースとして取扱いが可能である。

この基板の設計にあたっては、車載用機器に求められる限られたスペースで必要機能を実現するため、開発当初から差動信号線へのインピーダンスコントロールや、各高速配線へのシミュレーションを取り入れ、安定した動作を実現するように設計を行った。

また、SoCやBDデッキの発熱に配慮するため、放熱設計にも留意した設計を行った。特にEMC(ElectroMagnetic Compatibility)設計についてはデザインレビューを繰り返し実施し、客先スペックをクリアした。

3.2 ソフトウェア

ソフトウェアの構成を図2に示す。システム制御を行うシステム制御マイコンにはOSEK^(注10) OS、メディアファイル再生やグラフィック制御を行うSoCにはLinux^(注11)を採用した。システム制御マイコンでは、次の管理を行っている。

- (1) CAN/MOSTによる車両/機器間インタフェース
- (2) 電源制御
- (3) 2つのディスプレイで表示すべき表示ソース(BDドライブ、USB、ラジオ等)

ユーザー操作に対する一連の振る舞いは、①各ソースに対応したりモコンからのユーザー操作やMOSTによる他機器からの要求/応答をシステム制御マイコンで取り込み、②SoCへマイコン間通信でイベントを送り、③SoC側で、HMI(Human Machine Interface)の画面を更新して、④ソースに応じたアクションを呼び出すことで、実現している。また、SoC内の状態の変化や動作に応じ、HMIに状態を通知することで状態に応じた画面の更新を実現している。さらに、SoC側での状態は都度マイコン間通信でシステム制御マイコンに送られ、状態の一致を保つようにしている。

HMIの開発では、内製のHMI自動生成ツールを使用し、画面イメージをパソコン上のエディタで作成し、コードを自動生成することで、開発/変更の容易化を実現した。

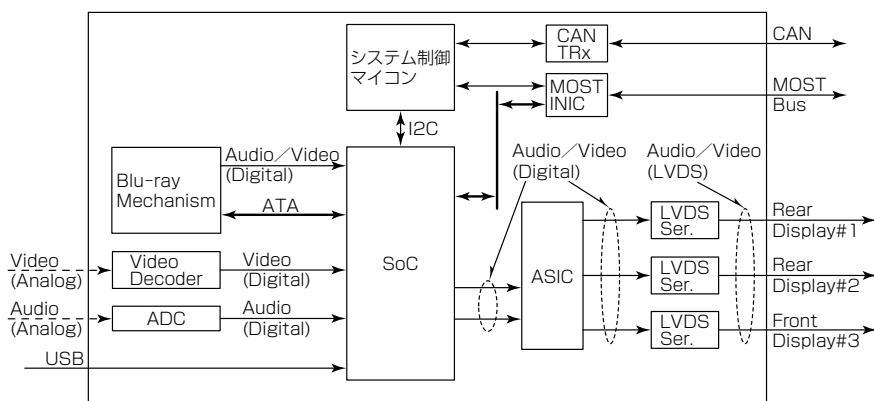


図1. ハードウェアブロック図

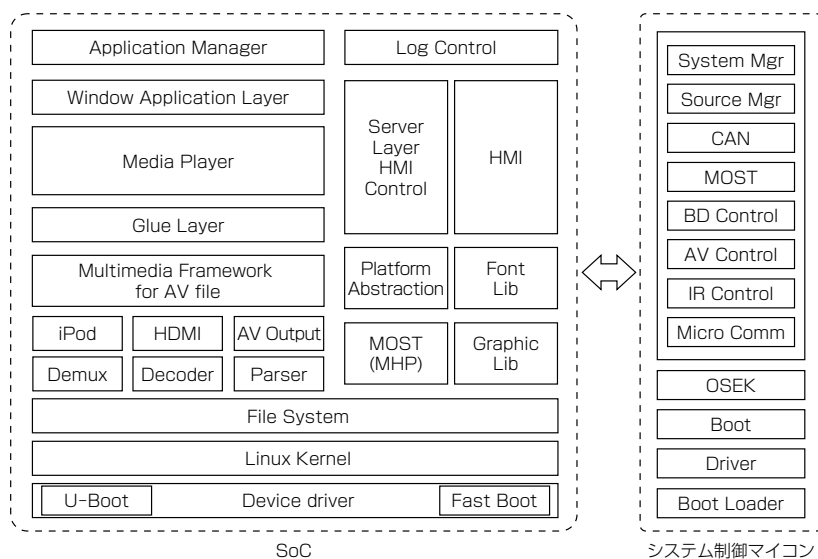


図2. ソフトウェア構成

また、SoCでは電源ON後、高速に表示する必要があるため、RAM(Random Access Memory)イメージをフラッシュメモリに保存し、そのメモリを直接ロードすることで、起動の高速化を実現している。

開発時に一番苦労した点は、このシステムの最大の特徴である2画面同時/独立再生の性能問題の解決である。AV機器であるので、ユーザーが知覚できる音切れ、動画停止やコマ落ちは許されない。SoCのCPU(Central Processing Unit)性能の制約で、最大負荷は、SD(Standard Definition)サイズのビデオ再生とHD(High Definition)サイズのビデオ再生時になる。この状態で、早送り/早戻しやトラック/ファイルのUP/DOWN操作やHMIのメニュー操作がなされても、常に滑らかに再生できるようにシステムの最適化が必要であった。次に性能問題解決のための手法を述べる。

(注10) OSEKは、Continental Automotive GmbHの登録商標である。
(注11) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

3.2.1 ディスクメディア再生最適化

データディスク上のメディアファイル再生で、ATA経由でデータの伝送を行い、SoCで再生を行っている。ディ

表 1. 現象発生時の各スレッドの状態

プロセス	スレッド	CPU占有率(%)		スレッドの変更回数(回/秒)		Wait Run時間(ms)	
		非発生時	発生時	非発生時	発生時	非発生時	発生時
idle		30.10	13.16	140	105	—	—
ksoftirqd		0.07	0.74	255	311	1	12
kworker		0.63	2.87	137	748	1	15
usb-storage		0.00	1.38	11	248	0	2
blkid		2.32	4.03	17	36	20	62
rse_app	ServiceMgr_transferAgentFxn	0.07	1.49	35	89	1	25
rse_app	ServiceMgr_rxThreadFxn	0.00	0.00	244	243	1	1
rse_app	runStub	0.07	2.44	29	130	1	28
rse_app	source_thread_proc	3.38	1.06	83	141	47	25
rse_app	audio_sink_processing_thread_proc	2.95	7.01	211	183	55	179
rse_app	video_sink_processing_thread_proc	0.00	0.21	129	308	1	10
rse_app	audio_dec_thread_proc	1.41	4.25	441	629	26	148
rse_app	video_dec_thread_proc	0.14	1.80	261	208	27	25
rse_app	CTN_ThreadLoop	1.55	4.78	121	217	6	0
rse_app	audio_srconverter_thread_proc	14.63	13.06	119	119	251	281
rse_app	subtitle_sink_processing_thread_proc	0.00	0.00	53	4	0	3
HMI Manager	ThreadProc ^(注12)	33.62	30.04	313	417	226	370
合計		69.90	86.83	3,309	4,678	841	1,466

(注12) 最もCPU占有率が高いスレッド

スクメディアは、メモリ上のファイルアクセスのようにランダムにアクセスすると、ドライブの物理的なシーク／サーチによって、多くの時間がかかり、音飛びやビデオ再生の停止が発生する。対策として、読み込み時のキャッシュサイズ／面数を最適化することによってこの問題を解決した。UDF(Universal Disk Format)のディスクとISO9660のディスクで、それぞれ最適なキャッシュサイズ／面数を設定することで音声／動画再生が途切れることなく実現できることが分かった。

3.2.2 画面再生中のユーザー操作

このシステムでは、SD+HDの2ビデオ再生中にHMIメニューからの操作ができる。この時、HMIのメニュー操作(スクロールバーの連続UP／DOWNなど)で滑らかなAV再生を維持する必要がある。しかしながら、AV再生優先でシステムを調整するとユーザー操作ができない状態が発生した。このため、2画面再生をしつつ、メニュースクロールができるようなシステムの最適化が必要となった。

表1は、スクロールが止まる問題が発生する時のSoCにおける①CPU占有率、②スレッドの変更回数、③スレッドの実行待ち時間(Wait Run時間)を示したものである。この結果から、次のことが分かった。

- ・USBの読み込み増加によって、メモリ割当て可能なページが枯渇し、解放可能なページを一旦解放する処理(ガベージコレクション)が高頻度で行われ、スレッドの変更頻度が増加する。その結果、CPUの待ち時間が長くなることで、描画処理が追い付けずにスクロール操作遅延が発生する。
- ・オーディオ再生時の各スレッドのCPU占有率が上がっており、音声系の処理に悪影響を与えやすい状況となっている。

更なる解析の結果、次のことが判明した。

- ・HD／SD動画の2画面再生時、USBからのファイル読み出し処理が高頻度で発生する。特に、ビデオファイルで小さなサイズ(8バイト)を断片的に読み込む処理が頻発する。
- ・2画面再生だけの時に比べて、ユーザーのメニュー操作が入った場合、電源、入出力割り込み、USBアクセス等のハードウェア部を制御するカーネルの処理負荷・動作頻度が高くなり、スクロール操作を行うHMI Managerの処理待ち時間が長くなる。

これらの結果として、描画更新処理が遅延し、スクロール動作が遅くなることが分かった。対策として、次の方法でシステムの最適化を実施し、この問題を解決した。

- ・HMI Managerの優先度を上げる。
- ・CPU占有率を下げる(コンソールログ／システムログの抑止、ファイル読み出し頻度見直し等)。
- ・ガベージコレクション時における回収単位を8分の1に変更することでCPUの待ち時間を短縮する。

4. む す び

近年ニーズが高まっているリアシートエンタテインメントシステムの高機能化について述べた。今後は、急速な普及の伸びを見せるスマートフォンとの連携機能を強化することで、更なる機能強化を模索中である。

また、リアシートエンタテインメントシステムは、走行中に操作が制限されるヘッドユニットに比べ、操作制限がないため、見やすさと、使いやすさを両立したユーザーインタフェースが求められている。

既に次世代向けとして、スマートフォンとの連携を視野に入れた無線LAN機能の導入要求などがあり、機能強化、操作性向上を柱に、ユーザーにとって更に魅力的な製品を開発していく。

“DIATONE SOUND.NAVI” の高音質技術

寺本浩平*
橋本和彦*

High Fidelity Sound Technology for "DIATONE SOUND.NAVI"

Kohei Teramoto, Kazuhiko Hashimoto

要 旨

カーナビゲーション市場は近年、ナビゲーション機能のコモディティ化と低価格化が進み、新しい価値提案による市場喚起が望まれている。一方でカーナビゲーションに内蔵されている各種機能の中で最も使用されているのは音楽再生機能で、実にナビゲーション機能以上に使用時間が長い。そこで、車室内での音質と音場の再生に徹底的にこだわり、ハイエンドカーオーディオ以上の音質と調整機能をカーナビゲーションに搭載したのがオーディオナビゲーションシステム“DIATONE SOUND.NAVI”である。三菱電機は2006年以来、国内車載機器市販市場にDIATONEブランドの高級スピーカーと、当社デジタルオーディオ技術の粋を集めた、デジタルプロセスセンター“DA-PX1”を投入した。全ての製品が権威ある賞を獲得し、高級市販市場ではDIATONEのブランドイメージも定着している。そこ

で、DA-PX1で培った高音質技術と設計思想を惜しみなくカーナビゲーションの中に盛り込んだのが、DIATONE SOUND.NAVIである。DIATONE SOUND.NAVIはカーオーディオ業界最高位の賞であるオートサウンドグランプリ・ゴールドエンアワードを獲得し、発売後も今までのカーナビゲーションの音とは次元が違くと各方面から高い評価を得ている。

本稿では、DIATONE SOUND.NAVIに搭載した多くの高音質技術について、(1)デジタル音源から余すことなく情報を引き出す“音源の正確な再現技術”，(2)音質劣化の元凶である“デジタルノイズの阻止技術”，(3)いびつな空間でしかも左右に偏った聴取位置の車空間で高音質を得る“音質・音場補正技術”の3つの観点から述べる。

DIATONE SOUND.NAVI



プレミアムモデル
NR-MZ60PREMI



スタンダードモデル
NR-MZ60



グラフィックイコライザー



タイムアライメント
サウンド調整画面



ネットワークシステム

“DIATONE SOUND.NAVI”とサウンド調整画面

DIATONE SOUND.NAVIは、特許技術を含む多くの高音質技術を投入し、従来のナビゲーションとは次元の違うハイエンドホームオーディオに匹敵する高音質を実現した。また、車室に合わせた詳細なサウンド調整によって、フロントガラスに音像が広がり、まるで目の前で演奏しているかのような立体的でリアルな音を再生する。

1. ま え が き

DIATONE SOUND.NAVIは従来市場に出回っている“高音質ナビゲーション”とは異なり、ハイエンドカーオーディオの音質・技術・機能をカーナビゲーションで実現するという、新しいカテゴリーを目指した製品である。今後カーナビゲーションはますますコモディティ化と価格下落が進むと予想される。さらにナビゲーション機能そのものがスマートフォンにとって代わられる可能性すら出てきており、ナビゲーション機能以外で付加価値が付いて他社と差別化できる技術の柱が必要である。一方、現在カーナビゲーションの中で最も使用されている機能は音楽再生であり、今後いかなる形態の変化があろうとも、カーマルチメディアから“音”がなくなることはない。このため“音”で他社を圧倒する市場ポジションの確保を目指したのが、DIATONE SOUND.NAVIである。その技術のベースとして当社は、業界最高峰音質と評価されているデジタルプロセスセンターDA-PX1(図1)⁽¹⁾を既に発売し、様々な独自技術と高音質達成のためのノウハウを確立している。DIATONE SOUND.NAVIはこの当社の高音質技術を惜しみなく投入することで、従来のカーナビゲーションの次元を超えた高音質を実現した。

カーナビゲーションの中で高音質を達成するには、大きく3つの課題を解決する必要がある。第一にCD、USB(Universal Serial Bus)、iPod^(注1)等からの音源をできる限り正確に、情報を失わずに再現することである。第二にカーナビゲーション内部の様々な回路が発する、音質に悪影響を与えるデジタルノイズの影響から回避することである。第三に車内はいびつな空間であり、しかも左右非対称なリスニングポイントで聴くため、高音質を得るためには適切な音質・音場補正が不可欠となることである。

これらの3つの観点から、DIATONE SOUND.NAVIの高音質技術について述べる。

(注1) iPodは、Apple Inc. の登録商標である。

2. 音源の正確な再現

2.1 32ビットD/Aコンバータ

デジタルオーディオの再生で最も音質に影響を与えるの



図1. デジタルプロセスセンターDA-PX1

はデジタル信号をアナログに変換するD/A(Digital/Analog)変換部である。DIATONE SOUND.NAVIでは現在主流の24ビットより256倍高精度な32ビットD/Aコンバータを採用した。2013年3月現在ハイエンド製品も含めてカーオーディオ製品で32ビットD/Aコンバータは唯一DIATONEのみが採用している。

今回採用した32ビットD/AコンバータはTIパルブラウン社のPCM5102である。このD/Aコンバータは図2に示すように、従来型D/Aコンバータに比較して、可聴帯域外の量子化雑音が少ないことから、ジッター(時間揺らぎ)やデジタルノイズの影響を受けにくい特長がある。またリニアリティについても図3に示すように、-150dBの極少レベルの信号まで確保されており、従来の24ビットD/Aコンバータとは明らかな優位性が認められる。

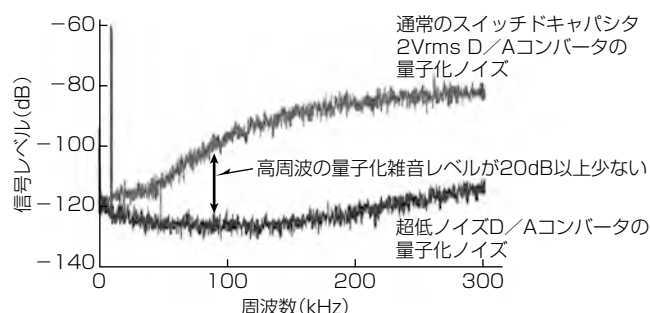
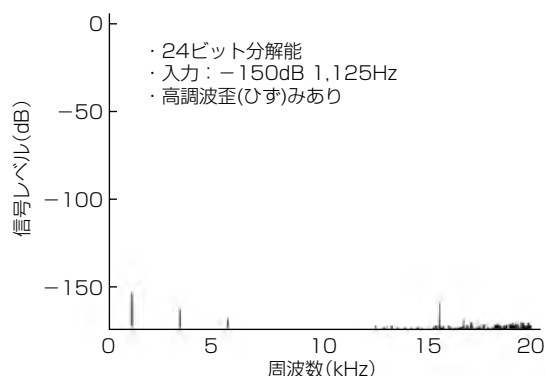
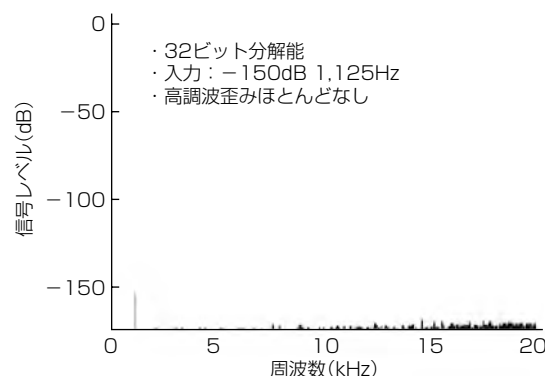


図2. 量子化雑音周波数特性の比較



(a) 24ビットD/Aコンバータ



(b) 32ビットD/Aコンバータ

図3. -150dB入力時、高調波スペクトラム比較

2.2 40ビット演算コアDSP

車室内で高音質を得るには、様々な音質補正が必要だが、この部分はDSP(Digital Signal Processor)によるデジタル信号処理によって実現される。具体的には加減乗算演算を繰り返して目的の特性を作り出すが、問題は信号を演算して加工することで、情報そのものは必ず劣化を伴うことである。信号ラインや乗算器のデータ幅は有限ビット数なので、演算を行うことで必ずビット幅に収まりきれないことに起因する丸め誤差を生じ、これが累積されることで大きな音質劣化を引き起こす。特に、周波数特性の補正には少ない規模で低域まで容易に周波数特性が変えられるIIR(巡回型)フィルタ(図4)が多く用いられるが、低域での演算回数は数千回以上に及び、音質に与える影響は極めて大きい。また音量調整を行うと、1/100程度まで音量を絞るので、これによって約7ビットのビット欠落を生じる。一方で、従来のカーナビゲーションに内蔵のDSPの演算精度はほとんど24ビットと少ない。またハイエンドカーオーディオでも32ビットが主流である。

DIATONE SOUND.NAVIでは特に音質に影響を与える乗算回路に40ビットの高精度演算コアを搭載した。これは24ビット演算に対して65,536倍、32ビット演算に対しても256倍の高精度を達成でき、演算による音質劣化を極少に抑えた。

2.3 D/Aマスタークロック方式

D/Aコンバータで32ビットを達成したとしても、デジタル信号の再生には、同時に正確なクロック精度が不可欠である。クロックがジッターを含むと、図5に示すように、D/Aコンバータとしては無歪みであったとしても、波形

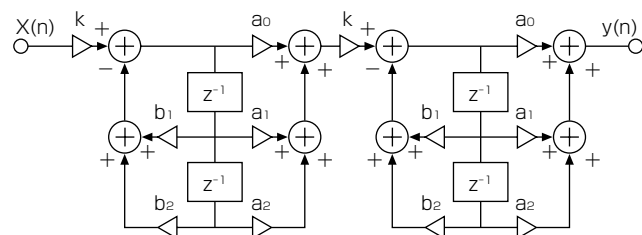


図4. IIRフィルタ

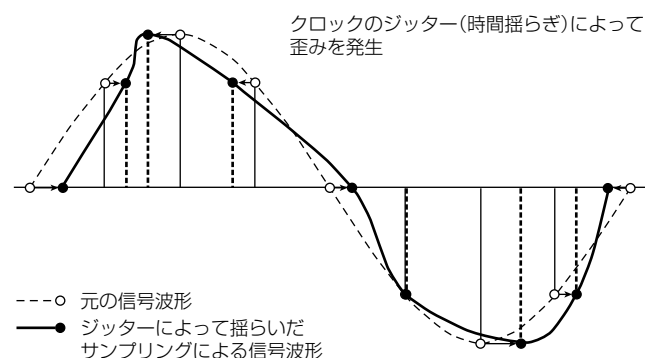


図5. ジッターによる音声歪み

が崩れて歪みを発生する。このクロック精度を徹底的に高めるには、クロック回路とD/Aコンバータのグランド間ノイズを減らすために、D/Aコンバータから最短距離にクロック基準となる水晶発振器によるマスタークロックを配置し、D/Aコンバータ以外の全てのオーディオ機器にこのマスタークロックを基準としたスレーブ動作をさせることが最良の方法であり、この考え方の徹底を図った。

3. デジタルノイズ混入の阻止

カーナビゲーションは高度に集積化が進んだデジタル機器である。オーディオ系以外のナビゲーション機能部やモニタ部や地上デジタルテレビチューナーからは、音質劣化の元凶であるすさまじいレベルのデジタルノイズが放出されており、この環境下での高音質達成は容易なことではない。これらデジタルノイズを“出さない対策”と“受けない対策”の両面からデジタル&アナログ回路技術、伝送技術、実装技術を駆使して対応し、従来のカーナビゲーションの次元を超えた高音質の実現に成功した。

3.1 アイソレーテッド・シャーシコンストラクション

“ノイズを出さない対策”としては各基板間を独立シャーシで遮断して、ノイズの流入を阻止するアイソレーテッド・シャーシコンストラクションを採用した。基板単位で独立シャーシによる分離構造を実現し、シャーシに流れる電流どうしの干渉まで防ぎ、さらに、各回路内では電流ループを最小化し、オーディオ系へのノイズ混入を徹底排除した(図6)。

3.2 メモリコレクター方式

“ノイズを出さない対策”を徹底的に施しても、CDやUSB音源のデジタル信号をD/Aコンバータまで伝送する間に、ジッターやデジタルノイズのある程度の混入は免れない。一方で、D/Aコンバータの直近に配置したマスタークロックと、CDなど音源の送出系とは非同期で、双方のクロックには若干のズレがあるため、通常は送出系からPLL(Phase Locked Loop)などを用いてクロックを抽出する動作を行っている。しかし、この抽出した信号には原理的にジッターが混入せざるを得ない。そこで、“受けない

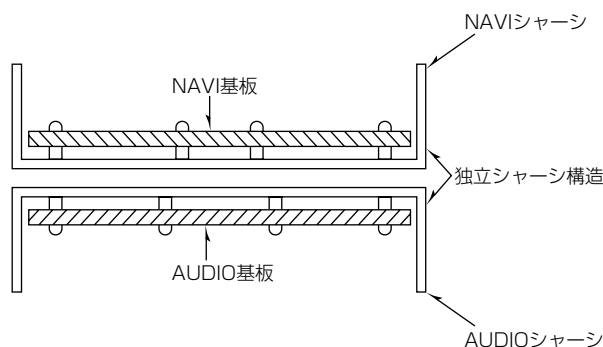


図6. アイソレーテッド・シャーシコンストラクション

対策”としてデジタル信号を一度大容量のメモリに記憶させ、D/Aコンバータ直近のクリーンなマスタークロックでメモリからデータを取り出すのが、メモリコレクターである。これによって、デジタル音源からメモリに入力される汚れたクロックの影響を受けずに、しかもデータは一切加工されることなく、正確なクロック間隔にデータを作り直すことができる(図7)。

3.3 ピュアデジタルアイソレータを搭載

D/Aコンバータに入力されるデジタル音声信号は、D/Aの前段回路とD/Aまでのプリントパターン内を伝送する間に、多少なりともジッターやデジタルノイズが混入する。これをD/Aコンバータに入力する直前にマスタークロックに同期の取れたピュアな信号に変換するのがピュアデジタルアイソレータである。図8に示すように、この回路を通過させることで、ピュアなマスタークロックと同期の取れたデジタル音声信号にたたきなおされ、デジタルノイズやジッターを取り除くことができる。

3.4 独立ローカル電源方式の採用

電源を介して混入するデジタルノイズの影響を阻止するため、2個のD/Aコンバータの各々に、しかも前段ロジック部とD/A変換部を独立させ、計4つの電源を配置し、電源を経由しての信号干渉を徹底的に排除した。電源と回路の距離が離れると、どうしても電源と回路のグラウンド間のノイズの影響を免れず、回路にクリーンな電源を供給できない。そのため、音質に最も影響を与えるD/Aコンバータの電源は、D/Aコンバータのグラウンドを基準として電圧を発生し、しかも各回路間の電源干渉も防止する、独立ローカル電源方式を採用した。

4. 適切な音質・音場補正

ホームオーディオとは異なり、車室内ではスピーカーの設置場所も様々な制約を受ける。通常低音用スピーカーは

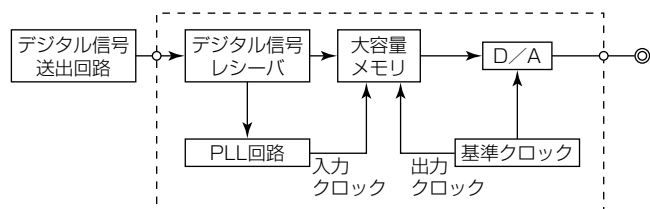


図7. メモリコレクター方式

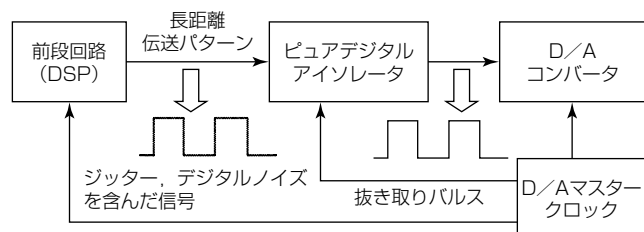


図8. ピュアデジタルアイソレータ

ドアの下の方に横向きに設置される。高音用スピーカーの設置場所は、ダッシュボード上(上向き)やドアの窓のコーナー等となる。さらに聴取位置は左右に偏ったシート位置となる。このような環境下での高音質の実現には、詳細な周波数特性補正や時間軸補正が不可欠である。

4.1 31バンドグラフィックイコライザ

ハイエンドカーオーディオに匹敵するフロント31バンド、リア10バンドの左右独立グラフィックイコライザを装備し、詳細な周波数特性補正を実現した。ゲインステップは0.5dBと細かく、また左右共通と左右独立の双方の調整を可能とし、調整性を大幅に改善した(図9)。

4.2 マルチウェイ・タイムアライメント

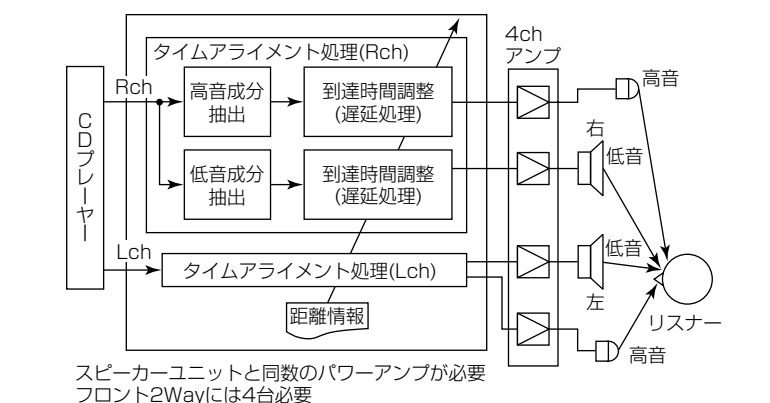
車室内では通常リスナーと各スピーカーユニットの距離が異なるため、同時にスピーカーユニットから出た音波が耳に到達したときには時間の不揃(ふぞろ)いを生じてしまう。この状態で音を聴くと、あたかも音像のピントがボケたように音像定位が定まらない不自然な音に聴こえる。そこで、各スピーカーユニットの音が出る時間をあらかじめずらしておき、リスナーの耳に同時に音波を到達させるのが、タイムアライメントである。ただし、従来のタイムアライメント技術では、スピーカーユニットごとにパワーアンプが必要なため、システム規模が大きくなることが不可避であった(図10)。

今回搭載したマルチウェイ・タイムアライメントは当社の独自技術で、スピーカーネットワークを使用したパッシブシステムでもスピーカーごとに独立にタイムアライメント調整が可能となる。これによって、最大3Wayシステムまでチャンネル当たり1台のパワーアンプで各スピーカー独立のタイムアライメントを実現した。原図を図11に示す。

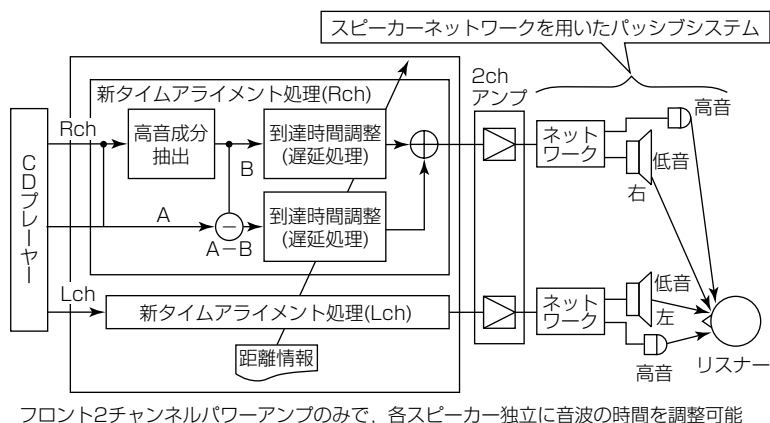
入力信号(A)をFIR型の急峻(きゅうしゅん)な肩特性のハイパスフィルタを通過させ高域成分(B)を抽出する。入力信号(A)から高域成分(B)を引き算した成分(A-B)は、低域成分に相当する。ここで得られた高域成分(B)と低域成分(A-B)を加算すると、 $B + (A - B) = A$ となって元の入力信号(A)に戻る。また高域成分(B)と低域成分(A-B)とは互いに排他的関係となっている。ここで高域用のスピ



図9. グラフィックイコライザ調整画面



(a) 従来方式タイムアライメント



(b) マルチウェイ・タイムアライメント

図10. マルチウェイ・タイムアライメント

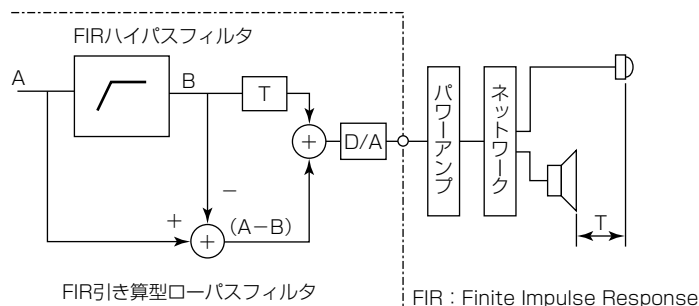


図11. マルチウェイ・タイムアライメントの原理

カーからの音波の方がリスナーに近く、T秒だけ低域用スピーカーに比較して速く届くとする。この場合は高域成分(B)をT秒だけ遅らせた後に、低域成分(A-B)と加算する。この信号をパワーアンプで増幅した後にパッシブネットワークを介して低域成分と高域成分に再度分け、それぞれの信号でスピーカーユニットを駆動する。これによってフロント2Wayの純正スピーカーシステムの場合でも配線はそのままに、カーナビゲーションを交換するだけで、左右の高音と低音のスピーカーごとに独立して到達時間を自由に調整することが可能となった。



図12. クロスオーバー・ネットワークの調整画面

4.3 最大4Wayクロスオーバー・ネットワーク

複数のスピーカーを組み合わせて全音域をカバーする、様々なマルチウェイ・スピーカーに対応したデジタルクロスオーバー・ネットワークを搭載、最大3Way+サブウーファの4Wayシステムまで対応した。またマルチウェイ・タイムアライメントと連動した、帯域分割調整と0.2dB/stepの詳細なゲイン調整も装備した。さらに、フロント用とリア用の計4台のパワーアンプをフロント用の高音と低音に振り分けた本格マルチシステムにも対応させ、ハイエンドカーオーディオ以上の幅広いシステムへの適用を実現した(図12)。

5. む す び

カーオーディオ市場は、カーナビゲーションがダッシュボード内の特等席を占拠したことから、オーディオヘッドユニットの置場を失って、衰退しつつあった。今回のカーナビゲーションの中にハイエンドカーオーディオを搭載してしまう、オーディオナビゲーションシステムの登場はカーオーディオの適用範囲を大幅に広げるとともに、コモディティ化が進むカーナビゲーションに新たな活路を見いだす可能性もある。また、純正スピーカーのままカーナビゲーションを変えるだけで手軽にハイエンドの高音質が得られるため、市場での評価は日に日に高まっている。今後、カーマルチメディアシステムがいかように変化しても“音”は決してなくならないため、DIATONE SOUND.NAVIの高音質技術は事業戦略上も大きな武器となり得るであろう。

参 考 文 献

- (1) 寺本浩平, ほか: デジタルプロセスセンター“DAPX1”の高音質化技術, 三菱電機技報, 84, No.9, 503~506 (2010)