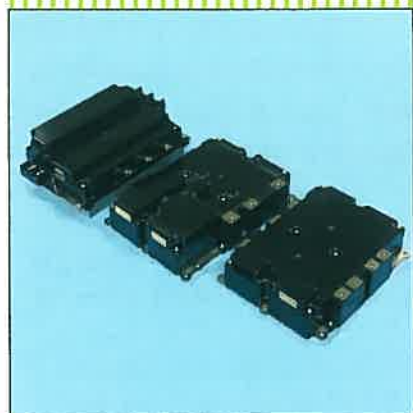


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.84 No.9

2010 9

特集「次世代の車づくりに貢献する先進技術」



目次

特集「次世代の車づくりに貢献する先進技術」

次世代の車づくりに貢献する先進技術特集に寄せて	1
中山栄治	
車社会の将来展望と技術動向	2
加古 一	
車載情報機器における新HMI	7
八木澤尚樹・崔 銀珍	
カーナビゲーション向け音声認識の新たな展開	11
成田知宏・岡登洋平・花沢利行・古本友紀・井上 譲	
車載ハイビジョンAVシステム技術	15
井戸 純・竹下伸夫・松本壮一郎・丸山清泰・矢次慶和	
デジタルプロセスセンター“DA-PX1”の高音質化技術	19
寺本浩平・仲田 剛	
圧縮オーディオ高音質化技術	23
三木智之・木村 勝・青柳貴久・谷口琢也	
第三世代HEV用パワーユニット	27
道中祐也・蔵本祐司	
軽四輪車用 小型・軽量・低消費電流 燃料ポンプモジュール	31
金丸茂樹・濱谷祐多郎	
駆動回路一体型電制ターボアクチュエータ	35
土井弘文・波多野健太	
DSSS車載システム	39
前田 崇・森田茂樹・伊川雅彦・津田喜秋	
電動パワーステアリングによる路面摩擦係数推定技術	43
高木史朗・竹家章仁・栗重正彦・藤岡宏司・佐竹敏英	
車載用組み込み込みソフトウェアの標準化	47
松井俊憲・馬場まどか	
4WD用電子制御装置のモデルベース開発	51
足立一幸・村富義徳・宇井信介	

Contribution to Special Issue on Advanced Technologies for Next Generation Automobiles
Contribution to Special Issue on Advanced Technologies for Next Generation Automobiles Eiji Nakayama
Prospective Stories and Engineering Trends in Automobile Society Hajime Kako
Advanced Concept of Human Machine Interface for Car Information Systems Takaki Yagisawa, Choi Eunjin
New Developments in Speech Recognition for Car Navigation System Tomohiro Narita, Youhei Okato, Toshiyuki Hanazawa, Yuki Furumoto, Yuzuru Inoue
In-car High Definition AV System Technology Jun Ido, Nobuo Takeshita, Soichiro Matsumoto, Kiyoyasu Maruyama, Yoshikazu Yaji
High Quality Sound Technology for Digital Process Center "DA-PX1" Kohei Teramoto, Tsuyoshi Nakada
Sound Enhancement Technology for Compressed Audio Tomoyuki Miki, Masaru Kimura, Takahisa Aoyagi, Takuya Taniguchi
Third Generation Power Unit for HEVs Takuya Michinaka, Yuji Kuramoto
Compact, Light Weight and Low Current Fuel Pump Module for Light Vehicle Shigeki Kanamaru, Yutaro Hamatani
Intelligent Type Electric Turbo Actuator Hirofumi Doi, Kenta Hatano
DSSS on Board Unit Takashi Maeda, Shigeki Morita, Masahiko Ikawa, Yoshiaki Tsuda
Estimation of Maximum Tire-road Friction Coefficient Using Electric Power Assist Steering Fumiaki Takagi, Akito Takeya, Masahiko Kurishige, Hiroshi Fujioka, Toshihide Satake
Standardization of Automotive Software Toshinori Matsui, Madoka Baba
Model Based Development of Electronic Control Unit for 4WD Kazuyuki Adachi, Yoshinori Muratomi, Shinsuke Ui

特許と新案

「ヘッドアップディスプレイ」	
「DSRC通信システムの車載端末」	55
「放電灯点灯装置」	56



表紙：次世代の車づくりに貢献する先進技術

次世代の車が育み・つくる明るい未来を、中央の写真でイメージした。窓に映る緑の木陰に流れる光の粒の中に、安心して笑う子供がまぶしい。次の世代もその次の世代もこの姿が見られるだろうか。

周辺の写真は、①情報・社会インフラ関連分野のETC(Electronic Toll Collection)、②カーナビゲーション、③環境・省エネルギー分野のIPU(Intelligent Power Unit)、④エンタテインメント分野のスピーカーである。三菱電機は、サステナブルな環境・省エネルギー特性、個の空間を安心して安全で快適に移動するための車文化を進化させる高度な技術開発に取り組んでいる。

巻/頭/言

次世代の車づくりに貢献する先進技術特集に寄せて

Contribution to Special Issue on Advanced Technologies for Next Generation Automobiles

中山栄治
Eiji Nakayama



2008年9月の金融危機に端を発した世界同時不況の影響を受け、自動車販売は全世界で大きく落ち込んだ。2009年後半から低燃費車に対する各国政府のインセンティブ施策の下支えもあり、2009年の全世界自動車販売は6,500万台と緩やかな回復基調となった。今後、日米欧といった先進国の自動車販売は伸び悩む一方で、中国やインドなどの新興国市場では大幅な伸張が見込まれる。特に中国の成長は著しく、今や米国を抜いて世界第一位の自動車販売市場となった。国内に目を向けるとスクラップインセンティブ、エコカー減税によってハイブリッド電気自動車(Hybrid Electric Vehicle：HEV)や小型低燃費自動車の販売は好調であるが、長期的に見ると少子高齢化、人口の都市部集中の傾向は変わらず、需要は今後も横ばい傾向で推移すると見込まれる。

このように自動車を取り巻く世界的な環境は大きく変化している。つまり、成熟した日米欧地域では数量の伸張は見込めないものの、省エネルギーや低炭素社会といった環境問題へユーザーの関心は高まっており、低燃費ニーズの増加を背景に大型車から小型車へ需要がシフトしていく。さらに、HEVや電気自動車(Electric Vehicle：EV)が一般的な言葉として市場に浸透しているように、新たなパワートレインが台頭して各メーカーが開発を加速し、市場に投入している。一方、新興国市場は急激な経済発展に伴って自動車購買層が飛躍的に増加し、超低価格な小型車の需要が大幅に伸びると期待される。

以上のような市場の変化の中で、新しい時代の車づくりのキーワードとして環境、安全・快適、安価がますますクローズアップされる。三菱電機の戦略として、環境ですでに2001年から量産しているHEV向け電力変換ユニット

の小型化、高機能化によってHEV普及の推進を行い、EV対応のバッテリー制御ユニット、統合制御ユニットを開発してEV普及にも貢献する。内燃機関向けには、ISS(Idle Stop and Start：アイドリングストップシステム)、オルタネータエネルギー回生、電動パワーステアリング、燃料ポンプモジュール、電制ターボチャージャーのアクチュエータでCO₂排出量削減につながる燃費向上に貢献している。

安全・快適は自動車業界において重要な課題であり、積極的に先進技術を取り入れて注力している。当社が得意とする電動パワーステアリングの制御が安全性を更に向上させ、アクティブステアリング制御やスタビリティコントロールシステムとの協調制御によって走行安定性も向上させる。さらにIT環境の普及と多様化に伴って情報・通信技術であるDSRC(Dedicated Short-Range Communication：専用狭域通信)の活用で前方の道路混雑状況や合流車両の情報提供に加えて、地図情報を基にしたルート案内に渋滞予測機能を追加したカーナビゲーションシステムを提供し、安全・快適なドライブの支援を行う。

最後のキーワードである安価に対しては、今後の規模拡大が期待される中国やインドでは、小型・軽量・高品質に加えて安価な自動車部品が不可欠となる。新興国市場向けの製品開発に当たっては、スペックの見直し、現地調達部品の活用、開発体制のあり方などあらゆる施策の検討が必要である。

今後の車づくりの目指すところは、持続可能な社会の構築に貢献する車であり、地球に優しい・人に優しい、また乗って楽しい車である。そのためには多様かつ高度な技術開発が必要である。当社はこれらの先進技術を活用し、次世代の車づくりに貢献していきたいと考える。



加古 一*

車社会の将来展望と技術動向

Prospective Stories and Engineering Trends in Automobile Society

Hajime Kako

要 旨

自動車は我々の生活に欠かせないものであるが、環境への負荷や交通事故といったネガティブな面を克服するとともに、車生活をより便利で快適なものにしたいという一般ユーザーの思いにこたえることが求められている。

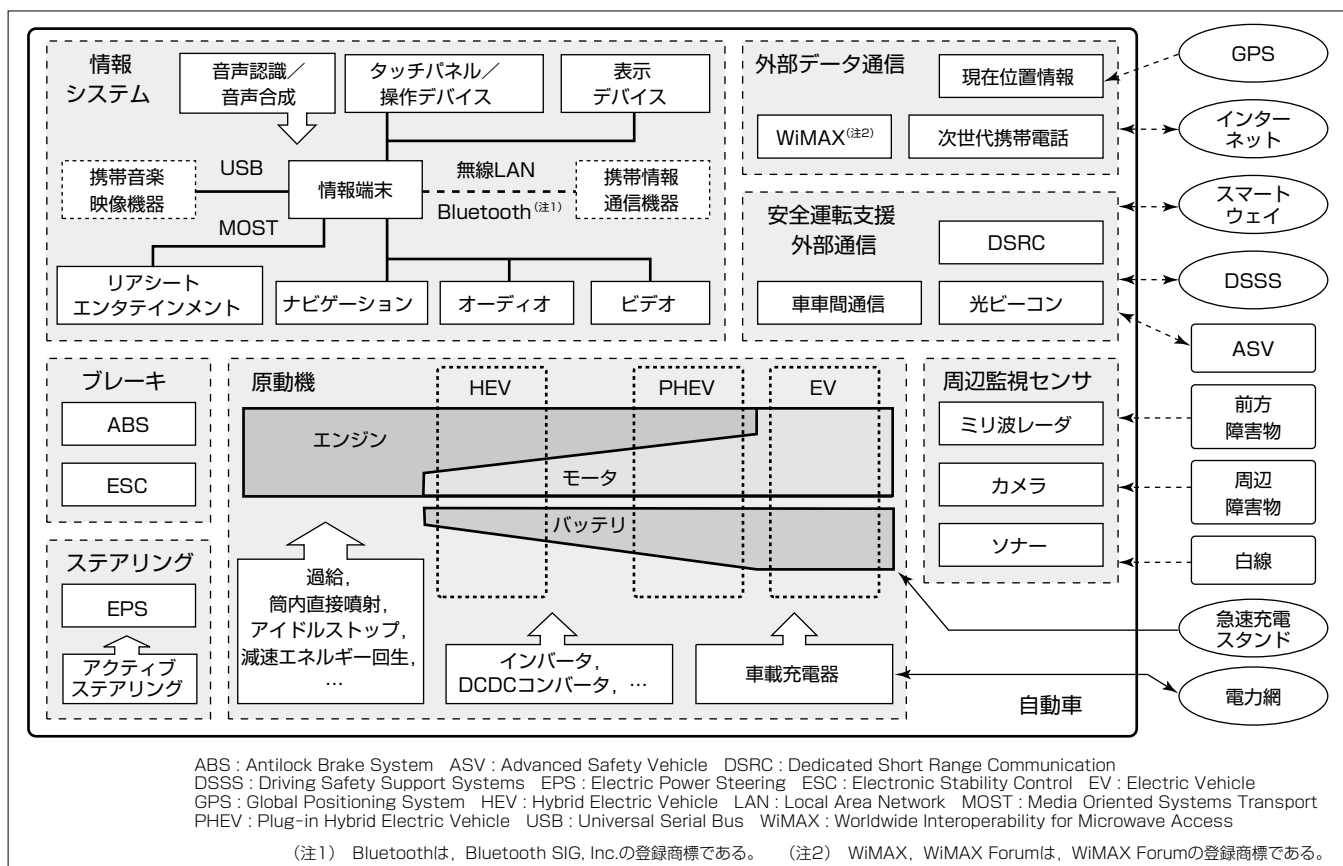
環境面では、これまで石油を消費し続けてきた自動車の原動機で、地球温暖化の防止と石油依存からの脱却に向けて電動化の動きが急進展しており、電気自動車の普及に不可欠な急速充電スタンドなどのインフラ整備が図られている。一方、当面はエンジンが原動機の主流であることに変わりはなく、エンジンの更なる燃費改善が進む。

交通事故死者数は日本では年々減少しているものの、事故件数や負傷者数は依然として高い水準にあり、安全対策

として、自律的に危険を回避又は事故影響を軽減する装置の充実とともに、無線通信を利用した路車協調による安全運転支援システムの実用化が進められている。

また、車に乗っている時間をいかに有効に使えるかが、車の利便性・快適性の基準の一つになってきているが、日常生活では携帯通信機器の普及によって欲しい情報をいつでもどこでも入手できる環境が整ってきており、車内でも同様の環境が求められるようになってきた。

このように自動車はインフラの充実とともに世の中の新しい技術を取り入れながら進化していくが、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、より良い車社会づくりに貢献していく。



インフラとの協調で環境・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、より快適な車内空間を目指して、自動車自体の機能・性能の進化に加え、急速充電スタンド、路車協調安全運転支援システム、次世代移動体無線通信などのインフラの充実に伴い、原動機の電動化による環境性能の向上、インフラとの協調による環境・安全性能の向上、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

1908年にフォードが自動車の量産を始めてからすでに100年が経過したが、経済発展とともに自動車の保有台数が増加するなかで、大気汚染や交通事故増加の問題を解決するため、規制の強化や対策技術の導入が進められてきた。その間、自動車は石油を消費し続けてきたが、地球温暖化防止に向けたグローバルな動きとともに、石油依存からの脱却、経済対策としての低燃費車購入奨励、石油高騰下での燃料費の節約といった、国・企業・一般ユーザーのそれぞれの思いのなかで、現在、原動機の電動化が急進展している。

自動車の保有台数は、今後も新興国を中心に増加していくが、地球温暖化、資源枯渇、交通事故といった課題に対処して、次の100年でも自動車が人・地球と共存し続けるために、二酸化炭素(CO₂)排出量削減、再生可能エネルギー利用、安全運転支援などを具現化する新たな技術を導入していかなければならない。そこでは、自動車自体の機能・性能の進化とともに、社会インフラとの協調も欠かすことができない。このような取組みは新興国では未だ十分ではないが、自動車保有台数の伸びとともに環境や安全への懸念は増大するため、先進国からの新技術の浸透は、国の経済発展に伴い短期間のうちに進むと考えられる。

本稿では、これからの車社会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

地球環境問題における最大の課題は、自動車、工場、火力発電所などからのCO₂排出による地球温暖化である。2007年に公表された“気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書”によって、地球温暖化に関する科学的知見の集約結果が周知され、早急かつ大規模な緩和策の必要性を強く認識させられたが、各国では、石油輸入依存度を下げる意図も込め、国策として自動車の燃費規制を強化してCO₂排出量削減を図っている。

日本では2015年度の燃費基準に基づく推定平均燃費を16.8km/ℓ(CO₂排出量138g/km相当)としており、更には2020年度の目標値を21km/ℓ以上(CO₂排出量110g/km以下相当)とする方向である。最も規制が厳しい欧州では、2020年のCO₂排出量の目標値として95g/kmを掲げており、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(HEV)や電気自動車(EV)のようにモータを使った原動機の導入が必要になってくる。

2008年のリーマンショック後の世界同時不況によって自動車の販売が不振となった。しかしその後、景気刺激策として各国で低燃費車購入を後押しする税制優遇策や購入補

助金が導入されたことと、一般ユーザーの環境意識の高まりによって、低燃費車は販売を伸ばした。

日本では、これらの優遇策と低価格のHEVの登場によってHEVの普及に拍車がかかったが、HEVは低CO₂排出であるものの石油のみを駆動エネルギーとする点では従来エンジン車と変わりはない。石油エネルギーは使い続けられ、いずれ枯渇するエネルギーであることから、各国で太陽光や風力などの再生可能エネルギーの比率を高める政策が進められている。これらのエネルギーを自動車で電気として利用するためには、モータ駆動だけで走行可能なEVやプラグインハイブリッド車(PHEV)を普及させていく必要があるが、まだ車両自体が高価であるため普及には購入補助策が必要であり、また航続距離が短いというEVの課題に対して急速充電スタンドなどのインフラ整備が急がれる。

2.2 原動機の電動化

EV、PHEVの将来の普及拡大の鍵(かぎ)を握るのが蓄電デバイスの性能とコストであるが、EV、PHEVに使われるリチウムイオン二次電池のコストダウンは、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が描いたロードマップ⁽¹⁾よりもむしろ速いペースを目標に進められている。ただ、二次電池の性能が向上しても必要以上に二次電池を積んで車重を増やすことはコストアップとエネルギーの無駄になるため、EVの航続距離はおのずと実用範囲に限られてくる。しかし、今後の急速充電スタンドの設置拡大や充電スタンド位置案内の充実によって、EVも不安なく乗れる交通手段になる。

また、エネルギー密度は小さいが大電流での充放電が可能で劣化がほとんどない蓄電デバイスとしてキャパシタがある。方式としては電気2重層キャパシタやリチウムイオンキャパシタが実用化されているが、自動車ではリチウムイオン二次電池と併用することで、減速エネルギー回生の効率化や電池寿命アップの効果が期待できる。

なお、太陽光、風力を使った発電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、電力網全体でインテリジェントに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いるが、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。

EV、PHEV、HEVといった電動車両の駆動用モータには、一般的に高効率な永久磁石同期モータが採用されており、その磁石にはネオジウム、ディスプロシウムといったレアアースが使用されている。これらは中国が世界産出量の95%以上を占めており、もし産出国の政策などによって供給面で支障が出れば、電動車両のコストを押し上げその普及に歯止めがかかりかねない。また、長期的に需要が拡大すれば資源量の制約を受ける可能性もある。そのため、レアアースを使用しない又は使用量を減らしたモータの研

究も進められている。

電動車両には、さらにインバータ、DCDCコンバータ、車載充電器といったパワーエレクトロニクス機器が必要になる。電気エネルギーを有効に利用するために、これらの機器には変換効率の高いものが要求されるが、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ている。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かして、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。

自動車の燃費向上には、車載機器類の小型軽量化も効果があるが、車体自身の軽量化の効果は大きい。低燃費車普及促進によって需要は小型車へシフトしているものの、毎日の通勤や買い物に使う車は一人乗りがほとんどであることを考えると、まだ無駄が多い。一人又は二人乗り専用の小さい車両であれば、動力に使うエネルギーだけではなく、空調用エネルギーなども少なく済む。近距離移動に限れば、車体の小型化に対しては、車載機器類のレイアウト自由度が高いEVが相性が良く、EVのメリットを更に活かすことができることから、この種のEVの位置付けも高まると考えられる。

2.3 エンジンの低燃費化

世界市場におけるEV、PHEVの年間生産台数は2020年でも200~400万台⁽²⁾⁽³⁾と予測されており、HEVを含めエンジンを原動機とする車両が未だ世界生産台数の90%以上を占めることから、エンジンのCO₂排出量低減の努力も怠ることはできない。

エンジンでは、燃料の持つエネルギーのうち正味仕事として取り出しているのは30%程度であり、約30%は排気損失、約30%は冷却損失、残りはポンプ損失や機械損失として捨てられていることから、エンジンの効率はまだ改善の余地がある。

これらの損失の低減と熱効率改善を実現する様々な手段を組み合わせることでエンジンの低燃費化が図られているが、特に欧州では、ターボチャージャーによる過給と排気量のダウンサイジングを組み合わせることでポンプ損失や機械損失を低減したエンジンが増えている。ターボチャージャーの欠点であるターボラグの抑制策として低慣性ターボチャージャーなどが実用化されているが、ターボラグ解消と電気エネルギー利用を目的に、電動チャージャーや電動アシストターボチャージャーといったモータによる過給技術も開発されている。

ガソリン筒内直接噴射による吸気冷却を利用したエンジンの高圧縮比化によって熱効率の改善を図ったエンジンも増えているが、高圧縮比化への対応として、燃焼によって

発生するイオンを電流として検出し、その波形からノッキング、異常燃焼を気筒ごとに検出してエンジンの持つ性能を最大限まで引き出す技術も実現されている。

ガソリン筒内直接噴射では過去に希薄燃焼によってポンプ損失を減らすエンジンが実用化されたが、窒素酸化物(NO_x)の後処理にコストがかかるなどの課題があり主流とはならなかった。最近では、希薄燃焼であるが圧縮自己着火によって燃焼温度を下げてNO_xの排出を抑制した予混合圧縮自己着火燃焼(Homogeneous Charge Compression Ignition: HCCI)エンジンの開発が進められている。

排気損失、冷却損失として排気ガスや冷却水によってエンジンから外部に排出される熱をエネルギーとして回収する排熱回生の試みもある。熱交換器を通して排熱を冷媒に吸収させて生成した高圧蒸気によって膨張機を回転させることでエネルギーを取り出す方式や、熱電変換素子によって熱を直接電気に変換する方式が研究されている。

アイドルストップと減速エネルギー回生を行うシステムをマイクロハイブリッドと呼ぶことがあり、エンジンをベースに燃費を向上させる技術としてHEVとともに普及が期待される。アイドルストップは以前から知られた技術であるものの、コスト高になることやユーザーに我慢を強いる部分もあって普及に至っていなかったが、燃費規制の強化と環境意識の高まりによってCO₂削減のキーシステムとして拡大しつつある。減速エネルギー回生については、減速時にオルタネータの発電能力を最大限に活かし、短時間にエネルギーを回収するために、電気二重層キャパシタやリチウムイオン二次電池を併用するシステムが検討されている。

エアコンコンプレッサや冷却水ポンプなどの補機類をエンジン駆動からモータ駆動に変更して効率の良い駆動とすることも燃費向上に効果がある。エンジン駆動のパワーステアリング油圧ポンプを廃止しステアリングの操作をモータで直接アシストする電動パワーステアリング(EPS)はすでに一般化した技術であり、新興国でも採用が拡大している。

太陽光や風力とともに再生可能エネルギーの一つでありエンジンで利用できるエネルギーとして、植物由来のバイオ燃料がある。石油燃料と混合して用いられるが、食料価格に影響することなくいかに原料となる植物を大量に生産できるかが課題である。

自動車の燃費については、燃費測定方法で定められたモード燃費が重要な指標になるが、実用燃費の向上も注目されている。一般ユーザーの運転では加速時のアクセルの踏み過ぎなどで実際の燃費がモード燃費と比較して悪いことが多い。そこで、実際のアクセル操作に対してドライバーに違和感を与えない範囲でスロットル動作を緩和させることによって実用燃費を向上させる機能が実用化されている。

また、ナビゲーションによって渋滞回避など効率の良い運転ができるルートを案内する機能も実用燃費の向上に寄

与する。将来的には、地形情報や信号機情報、先行車両の情報などに基づいて自動的に省燃費運転するシステムも有用と考える。

3. 交通事故のない社会を目指して

日本では、2012年末の交通事故死者数を2003年に対して半減し5,000人以下とする方針が出されていたが、死者数は毎年減少し、2009年には4,914人となって目標を前倒して達成したことから、新たに2018年をめどに更に半減の2,500人以下とする目標が掲げられている。

交通事故死者数が年々減少している要因として、シートベルト着用義務化などの交通規則の強化や自動車の安全機能向上があげられるが、事故件数や負傷者数は依然として高い水準を維持しており、車両単独での更なる安全対策とともに、路車協調によって安全運転を支援するインフラの整備と車載器の普及が待たれている。

3.1 車両単独での安全対策

車両単独での安全対策としては、すでに衝突時の乗員被害を軽減するエアバッグや制動力を安定させるアンチロックブレーキシステム(ABS)がほとんどの車両に装着されており、横滑り防止装置(ESC)も米国や欧州では装着義務化の方向にある。

また、ミリ波レーダやカメラなどの車載周辺監視センサからの情報に基づき自律的に安全性を高める予防安全装置として、衝突被害軽減ブレーキ(Collision Mitigation Brake : CMB)、車間距離制御システム(Adaptive Cruise Control : ACC)、車線逸脱警報装置(Lane Departure Warning Systems : LDWS)、ふらつき警報などが実用化されているが、交通事故削減に向け、自動車アセスメントの評価や法規制も変化してきている。米国では自動車アセスメントの評価の対象に、前方衝突警報装置(Forward Collision Warning : FCW)、ESC、LDWSが追加されることが決定した。欧州では2013年から大型車へのCMBとLDWSの搭載が義務化され、予防安全装置の普及促進を図っている。

ABSやESCはブレーキを制御するシステムであるが、ステアリングでも、EPSを活用したアクティブステアリング制御によって、滑りやすい路面や凸凹の激しい路面などでの車両姿勢を安定化させる機能が開発されている。

安全機能の実現のためには原動機、ブレーキ、ステアリングなどの制御機器やセンシング機器間の協調が不可欠であり、高速で信頼性の高い通信が必要になるため、タイムトリガー通信によるリアルタイム性保証などを特徴とするFlexRay^(注3)が本格的に採用され始めている。また、FlexRayなどの多重通信の拡大で大規模・複雑化するソフトウェアの開発効率化をねらい、標準化団体AUTOSAR(AUTomotive Open System ARchitecture)で規格策定が進められている。

また、電動車両の普及に伴う新たな課題として、モータのみでの走行時に歩行者が車の接近に気付かないという課題に対応するため、車の走行状態を想起させる音を発する装置の装備に関するガイドラインが示され、対策の早期普及が求められている。

(注3) FlexRayは、Daimler AGの登録商標である。

3.2 インフラ協調型安全運転支援

安全運転に必要な情報として、ドライバーから見える事象については、レーダ、カメラ、ソナーといった車載センサによって検知できるが、ドライバーから見えない又は見えにくい事象に対しては、外部からの無線通信による情報提供が不可欠である。

無線通信を利用した安全運転支援システムについて、最近では2009年2月に東京で開催された大規模実証実験“ITS(Intelligent Transport Systems)-Safety 2010”で各種システムの一般公開デモが実施された。システムとしては、電波を使った車車間通信によって出会い頭衝突などを防止する“ASV”、一般道での光ビーコンやDSRC電波を使った路車間通信によって右折時衝突や歩行者横断見落としなどを防止する“DSSS”、高速道路などでのDSRC電波を使った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“スマートウェイ”が検討されており一部実用化されている。

“スマートウェイ”で情報を提供するDSRCサービスの路側機は全国配備中であるが、このサービスを利用するにはDSRC車載器が必要となる。同じくDSRC電波を使うETC(Electronic Toll Collection System)は渋滞解消を主な目的としているが、2009年に実施された“1,000円高速”によって車載器は普及し、高速道路ゲートでのETC利用率は80%を超えた。今後はDSRCサービスの増加に伴いETC車載器からDSRC車載器へ置き換えられていく。

2009年の交通事故死者数を年齢層別にみると65歳以上の高齢者が49.9%で最も多く、また過失の重い“第一当事者”になるのも65歳以上の高齢者が他の年代より多い⁽⁴⁾。高齢者ドライバーは、視野が狭くなり周辺状況の変化に気付かない、複雑な情報を同時に処理することが難しいといった身体機能の低下によって事故を起こす可能性が高くなるが、高齢化社会でその高齢者ドライバーの数は増加している。特に公共交通機関が整っていない地方部では自動車は高齢者にとっても重要な交通手段であることから、近距離、パーソナル移動に適した新たな車両規格で、事故防止機能、運転能力向上機能を搭載した“高齢者にやさしい自動車”の開発が提案されているが、インフラ協調型安全運転支援やEVはこのニーズに適した技術と言える。

4. 快適な車内空間づくり

4.1 通信技術利用の拡大

自動車における利便性・快適性の追求は今後もとどまる

ことはなく、車に乗っている時間をいかに有効に使えるかが利便性・快適性の基準の一つとなってくる。そのキーとなる技術は無線通信である。日常生活では携帯通信機器の普及によって欲しい情報をいつでもどこでも入手できる環境が整ってきており、車内でも同様の環境が求められるようになってきた。

ナビゲーションについては、廉価なPND(Portable Navigation Device)に加え、携帯電話によってもその機能を実現できるようになってきている。一方、車載のナビゲーションシステムは多機能化が進んでおり、車載情報端末として、道案内だけではなく、オーディオ・ビデオ(AV)再生、安全運転支援、省燃費運転支援、有用情報を得るための情報通信、車載制御機器との協調など多くの役割を担っている。今後は、ドライバーからの要求に対して応答するだけでなくドライバーの意図を汲んで機器側から適時に有用情報を提供できるようになり、ドライバーの真のガイド役としての価値を高めていく。

また、携帯電話などの外部通信によるテレマティクスのサーバへの接続で、天気情報の提供、渋滞情報に基づく最適ルート案内、地図の更新、位置情報(Point Of Interest:POI)の検索などの情報サービスが実施されているが、一部では接続無料のサービスも登場してきており、車側から走行データを積極的にサーバに取り込みサービス向上を図っている。

今後、WiMAXや次世代携帯電話によって、インターネットに常時高速接続できるようになれば、車載情報機器は大容量データの保持と高度な計算をする必要はなくなり、最新の多彩な情報をオンデマンドでサーバ側から取り出すことができるようになる。例えばナビゲーションであれば、サーバ側で最新地図を基に最適ルート検索をして車載器側に表示することができる。さらに、車内に無線LANルータを備えることで、最近普及している無線LANを備えた携帯機器との接続が可能になり、これらの機器を家庭や車内を問わずにシームレスに利用できるようになる。

AVについては、普及が著しい携帯音楽映像機器とのシームレスな連携、膨大なコンテンツからの好みのコンテンツの簡単で素早い検索、シートごとの個別AV再生といった技術が要求されてくる。ビデオでは、地上デジタル放送、Blu-ray Disc^(注4)などのハイビジョンメディアの普及によって、それらを車内でも利用したいというニーズが広まるが、MOSTのような車内高速通信がハイビジョン画像の各シートへの伝送にも使われるようになる。

(注4) Blu-ray Discは、Blu-ray Disc Associationの登録商標である。

4.2 ユーザーインタフェースの進化

車載情報端末は多機能化・高度化によってその操作が複雑化する方向にあるが、携帯情報機器でタッチパネルを使ったユーザーインタフェースが一般化するなかで、ドライバーの操作負担を軽減する、瞬間認知、直感操作可能な使

いやすいユーザーインタフェースの実現に対する要求が高まっている。また、走行中の画面注視による操作は事故を誘発する可能性が高いため、操作内容は制限される方向にあるが、それを補うために音声による自然なインタフェースの向上や、視認に頼らない手の操作によるインタフェースの改良が進む。

音声合成では音質の肉声感、感情豊かな韻律など高品質化が進展し、車内でストレスなく聞けるようになり、メール、ニュース、交通情報など多様なコンテンツ読み上げの実用が進む。また、音声認識については、あいまいな内容からの検索、意図の類推やユーザーに合わせて言葉を覚えるなど、発声自由度が向上する。

手による操作は、停車中は、複雑な機能を簡便に操作可能なタッチパネル、手元操作デバイスの進化が進む。携帯電話などで好評の静電容量式タッチパネルの導入も加速すると予想される。走行中は、限定された機能を安全かつ確実に操作が可能な触覚フィードバックデバイス等の高度化が進む。

最近の“若者の車離れ”に関する調査結果⁽⁵⁾によると、その理由として、事故などのリスクや維持費用といった“車に対する負担”の意識が高まり、逆に利便性などの“車に感じる効用”が以前よりも小さくなったためと分析している。安全運転支援のインフラの充実や、通信技術利用の拡大による利便性・快適性向上によって、自動車が若者にとって魅力のあるものになることを期待する。

5. む す び

環境、安全、情報・エンタテインメントの切り口で自動車機器の技術動向を述べたが、路車協調安全運転支援システム、次世代高速無線通信、スマートグリッドといったインフラ側の充実とともに、自動車は世の中の新しい技術を取り入れながら進化していく。その進化の一端を担うべく、三菱電機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) NEDO技術開発機構 燃料電池・水素技術開発部 蓄電技術開発室：NEDO次世代自動車用蓄電池技術開発ロードマップ2008，9（2009）
- (2) ㈱野村総合研究所：2020年までのエコカー販売市場を展望，2010年3月15日付 NEWS RELEASE（2010）
- (3) ㈱富士経済：HEV，EV，PHEV世界市場を調査，PRESS RELEASE 第10033号（2010）
- (4) 内閣府 共生社会政策統括官：平成22年度交通安全白書，30～32（2010）
- (5) ㈱日本自動車工業会：2008年度乗用車市場動向調査—クルマ市場におけるエントリー世代のクルマ意識—，6～11（2009）

車載情報機器における新HMI

八木澤喬樹*
崔 銀珍*

Advanced Concept of Human Machine Interface for Car Information Systems

Takaki Yagisawa, Choi Eunjin

要 旨

自動車内でのユーザーの機器操作は、運転操作にとどまらず、ナビゲーションやエンタテインメント、通信など種類・量ともに増加傾向にある。一方で、現在の車内情報機器の操作インタフェース(Human Machine Interface: HMI)は、コストと限られた車内空間のために、運転席と助手席の間への一箇所集約型が主流となっている。しかし、一箇所集約型の操作インタフェースでは、運転者と同乗者が別々の機能を操作することはできず、それぞれに合わせた操作インタフェースを提供することもできないという問題がある。既存のインタフェースでは、ボタンを押せば機能が即座に実行されるため、同乗者にとっては、素早くメニューを進めることができる反面、操作部を注視できない

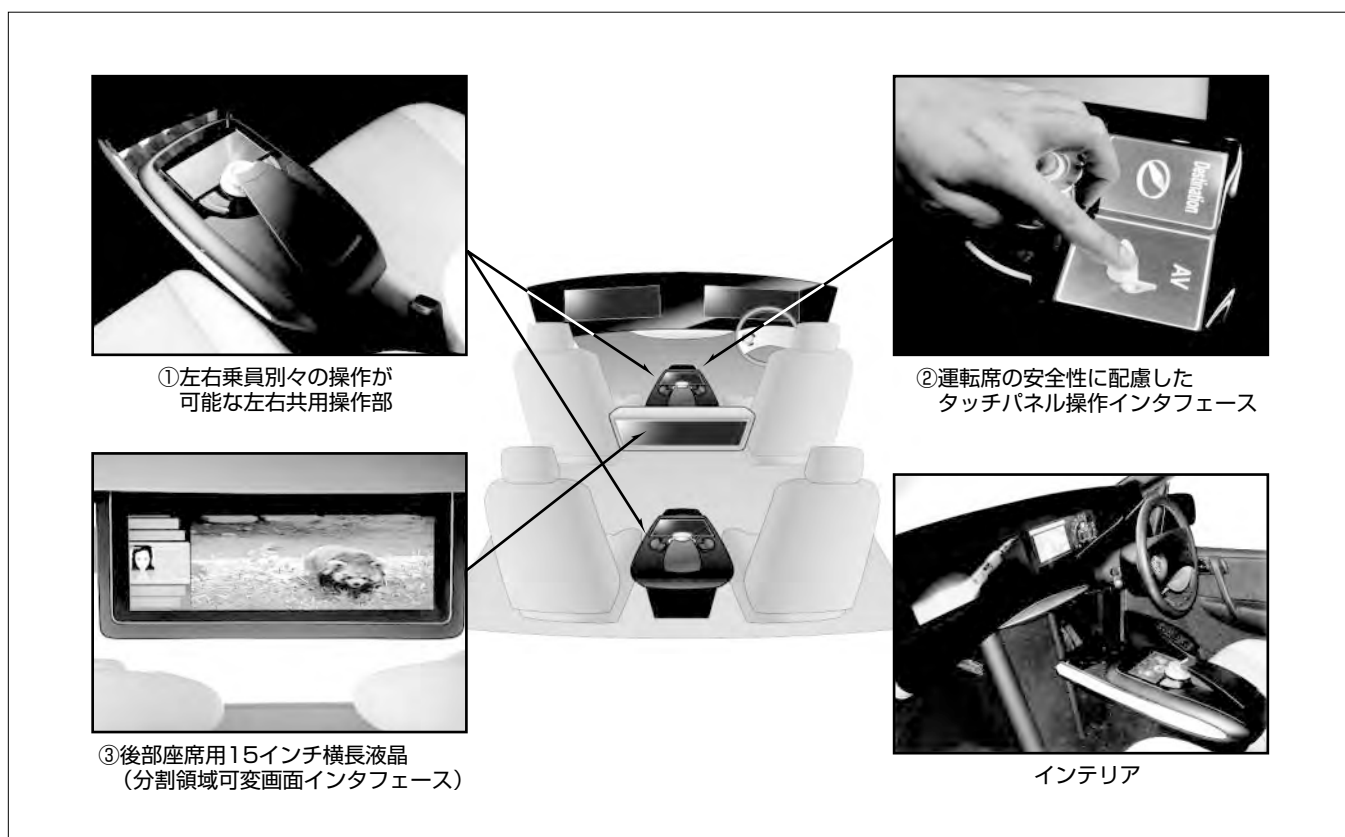
運転者にとっては誤操作の要因となり、安全上の懸念がある。

そこで、三菱電機は、一箇所集約型のインタフェースでありながら、運転者と同乗者それぞれが個別に快適かつ安全に情報を操作できる、操作インタフェースを開発し、これを搭載したコンセプトカーを作成した。

操作インタフェースの特徴を次に示す。

- (1) 1つの操作部で左右乗員別々の操作が可能な左右座席共用操作インタフェース
- (2) 安全性に配慮した運転者用操作インタフェース
- (3) 各席個別エンタテインメント操作インタフェース

本稿では、これらの操作インタフェースの特徴と概要について述べる。



車載情報機器における新HMI

- ①人と座席の間の静電結合を利用して左右席の操作者を識別する機能によって、1つの操作部で左右乗員別々の操作が可能な左右座席共用操作部
- ②運転中でも操作部を注視することなく、より安全に操作できる運転者用タッチパネル操作インタフェース
- ③後部座席用に設置した横長の液晶画面の分割領域を、左右乗員が視聴するコンテンツの種類によって自動的に可変させ、最適な映像環境を実現する画面インタフェース

1. ま え が き

自動車内の操作インタフェースは、コストと車内空間の有効活用のために、運転席と助手席の間のセンターコンソール部への一箇所集約型が主流になっている。しかし、一箇所集約型では、運転者と同乗者が個別の機能进行操作することができず、それぞれに合わせた操作インタフェースを提供することもできないという課題がある。また、既存の操作インタフェースでは、ボタンを押せば対応する機能が即座に実行されるように設計されており、同乗者にとっては素早く目的を達成できる反面、運転中に操作部を注視できない運転者にとっては誤操作の要因となり、安全性への配慮という点でも不十分であった。

これらの背景から、当社は一箇所集約型でありながら、運転者と同乗者それぞれが個別に安全かつ快適に情報を操作できる操作インタフェースを開発し、実際の操作環境(自動車内)での検証を目的としたコンセプトカーとして具現化した(図1)。

本稿ではこれらの操作インタフェースの内容と特徴について述べる。

2. 車載情報機器用操作インタフェース

2.1 左右座席共用操作インタフェース

運転者がカーナビゲーションの操作をしているときに助手席同乗者が音楽を選曲するなど、運転者と同乗者の双方で異なる操作ができる左右座席共用操作インタフェースを設計した。

人と座席の間の静電結合を利用して操作者を識別する操作者識別機能と、運転席と助手席の間に設置した、左側から見る映像と右側から見る映像を1枚の画面で別々に表示できるタッチパネル付液晶との組み合わせによって、これまで困難であった、1つの操作デバイスでの左右乗員の個別操作が可能となった(図2)。

コンセプトカーでは前席に加え後部座席にも同様のインタフェースを設置し、すべての乗員それぞれに最適化された個別の操作インタフェースを提供している。

操作部のデザインでも利便性と安全性を両立させる取組



操作インタフェースのプロトタイプを市販車両を改造して搭載しており、実際の室内サイズでの検証など、より現実的な研究開発が可能

図1. 検証用コンセプトカー

みを行った。共用操作部は運転席と助手席の間に設置されるため、双方から自然な動作で操作できることが要求される。そのため、実車環境下での身体計測などを行った。特に運転者は走行中でも左手を伸ばすだけの、無理のない動作でスムーズに操作が可能ないようにアームレスト(肘置き)を設置するなどの配慮を行い、安全で確実な操作性を実現した。

操作部(図3)は、“タッチパネル”“大きい回転ダイヤル”“左右ボタン”“戻るボタン”の簡単構成となっており直感的に判断、操作ができる。クレードル上の“戻るボタン”は手のひらの中に収まる位置にあり、必要時には手を握る動作で操作できる構造になっている。また、暗い車内でも操作ができるようにすべてのボタンに照明を設け、視認性を高めた。

2.2 安全性に配慮した運転者用インタフェース

2.2.1 運転者用タッチパネル操作インタフェース

走行中に操作部を注視することができない運転者には、運転中に、より安全に操作できるように“運転者用タッチパネル操作インタフェース”を開発した。

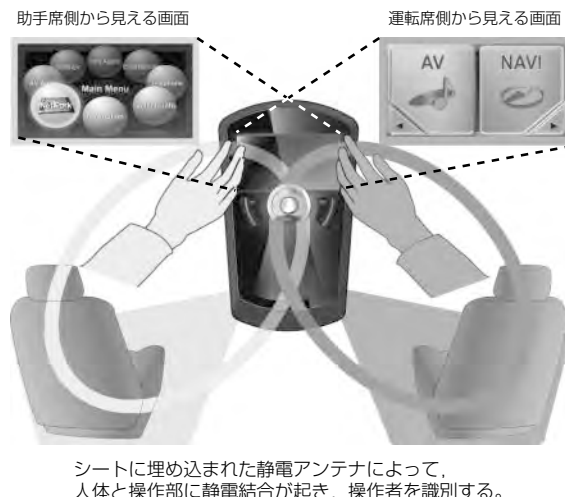


図2. 操作者識別システム



図3. 左右座席共用操作部の構成

運転者が、タッチパネルに表示された大型ボタンに触れると、選択内容が音声ガイダンスで提示され、確認したあとに決定ボタンを押すと、実行される。このように確認して決定する2段階の操作(図4)によって、運転中でも画面を注視せずに誤操作の少ない操作が可能となった。一方で、同乗者の操作は、静電結合で運転者と同乗者の操作を区別できるため、通常のタッチパネル操作と同様に1回で実行される。

2.2.2 ハンドルリモコンと音声トークバックによる安全性に配慮したインタフェース

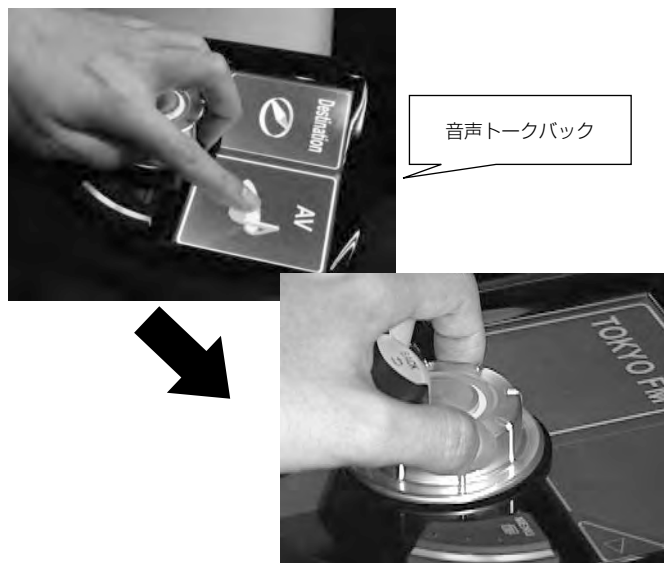
運転席には先に述べたのタッチパネル操作インタフェースに加え、ハンドルリモコン(図5)と音声トークバック(音声応答)による操作インタフェースを提供する。ハンドルリモコンには、指で操作した感覚がより確実に伝わるようにクリック感のある入力デバイスを採用しており、ダイヤルを回転することで候補の項目を音声でガイドする。これによって、運転者は指に伝わる操作感と音声ガイダンスを手がかりに、画面を見ることなく安全に操作することができる。

また、この操作方法は、先に述べたタッチパネル操作インタフェースで操作可能な機能のすべてを操作できるように設計されている。そのため、運転者は走行状態によって異なる操作負荷の状況に応じて、2つの操作方法を使い分けて操作をすることができる。

2.3 乗員識別システム

携帯電話やキーレスエントリーなどに搭載されたICタグ(小型情報チップ)を利用して、あらかじめ登録された乗員のだれがどの座席に座っているのかを乗員識別する。

①選択操作：左右2択の大型ボタンのタッチ操作による音声ガイダンス



②決定・実行操作：回転ダイヤル部の押下

図4. 運転席用タッチパネル操作インタフェース

乗員識別システムによって乗員それぞれの嗜好(しこう)や、乗員情報に応じた音楽コンテンツ、電話帳などのデータを自動的に提供する環境を実現した。これによって乗員各人に自分だけの使いやすい操作環境を提供することが可能となった。機器側が自動的に各乗員に適合した状態に切り替わるという仕組みは、今後、空調環境や音響環境など、自動車内の様々な機器へ応用することも可能である。

2.4 各席個別エンタテインメント操作インタフェース

車内の限られた空間で乗員それぞれが、快適に情報機器を楽しめる環境の実現のために、各席には個別エンタテインメントシステムを設置した。先に述べた乗員識別システムによって、乗員の好みに合わせたコンテンツが提供できる。

2.4.1 1つの画面を左右の乗員が快適に使用できる分割領域可変型画面インタフェース

後部座席用に設置した横長の液晶画面の分割領域を、左右乗員が視聴するコンテンツの種類によって自動的に可変させ、最適な映像環境を実現する画面インタフェースを開発した(図6)。これまでは左右別々に設置した画面で映画などのコンテンツを視聴していたが、一つの大画面を後部座席で共用することによって、コストを抑えるとともに、15インチ(32:9)の大画面視聴を可能にした。乗員の各々が視聴するコンテンツの種類によって液晶画面の分割領域が自動的に可変されるので、画面を共用する二画面状態の視聴でも、迫力ある映像を楽しめる環境を提供できる。

2.4.2 各席個別ヘッドレスト内蔵スピーカー

各シートに搭載されているヘッドレスト内蔵スピーカーは乗員の身長や姿勢に合わせて角度の調整が可能である。子供から高齢者までだれにでも最適にエンタテインメントシステムを楽しめるように配慮した(図7)。

2.5 インテリアデザイン

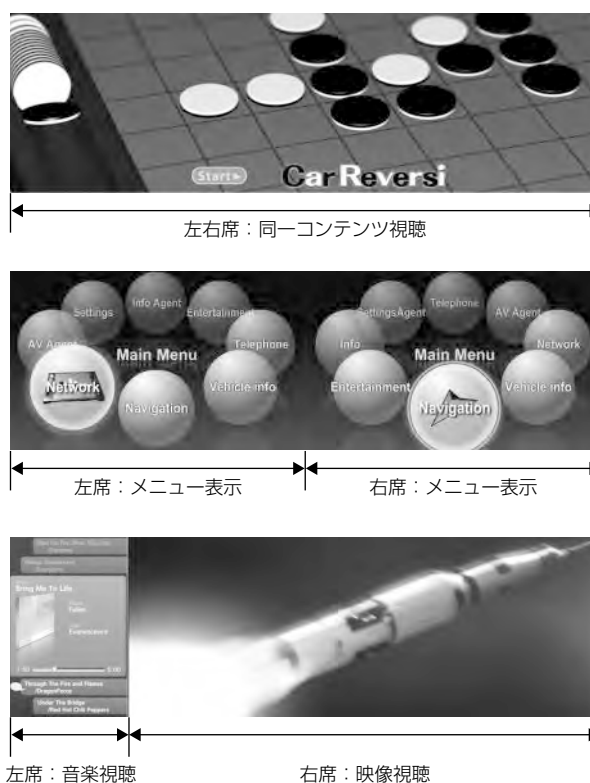
前面のダッシュボードは表示部以外の存在感を押さえて、車内インテリアとの統一感を図りつつ、必要な情報だけが認識できるようにしている。また、左右座席共有操作部やハンドルリモコンの操作スイッチなどの配置は、エリアの区分けを行い、ボタンの視認性を高めた(図8)。



図5. ハンドルリモコン



後部座席用15インチ横長液晶



左右席の操作画面の表示内容を自動的に判別し、その表示内容が必要とする表示面積に応じて、左右席の表示領域を分割・可変する。一つの表示装置で左右席それぞれの乗員個別に最適な表示を提供できる。

図 6. 分割領域可変インタフェース



図 7. 個別ヘッドレスト内蔵スピーカー



図 8. コンセプトカーのインテリア

3. む す び

今後は、自分で持ち込む音楽や映像などのデータだけではなく、地図更新に加えて音楽配信・映像配信など、通信を利用した情報提供が自動車内でも行われるようになり、それによって自動車のIT化が更に加速していくものと想

像される。その中で情報量の増大に対応した、個別操作環境の確立や安全操作の実現など、多種多様な情報・音楽・映像に適合したインタフェースの確立が急務となる。

これからも継続して各種の操作インタフェースやデバイスの研究開発を進め、車載情報機器の操作インタフェースの向上を図ることが重要と考える。

カーナビゲーション向け音声認識の 新たな展開

成田知宏* 古本友紀***
岡登洋平** 井上 譲***
花沢利行*

New Developments in Speech Recognition for Car Navigation System

Tomohiro Narita, Youhei Okato, Toshiyuki Hanazawa, Yuki Furumoto, Yuzuru Inoue

要 旨

三菱電機では安全・安心な操作を実現するために、2001年からカーナビゲーションに音声認識機能を搭載している。2004年に発売した“CU-H9000”では、施設名のあいまい認識を導入することで省略、語順の入れ替え、同義語を含む言い換え語による施設名の認識を実現した⁽¹⁾。しかし従来の音声認識方式では、認識語彙(ごい)数が増加するにしたがって演算量が大幅に増加するという問題があり、次の点でユーザーの利便性が低下していた。

- (1) 施設件数を10万件程度に制限するため、音声認識対象が駅や遊園地等のランドマーク的な施設に限定される。
- (2) 操作コマンドはマニュアル記載の表現(“近くのコンビニ”等)しか登録されていないため、異なる表現の発話は認識できない。

そこで当社では、どの音に近いかという音響的な探索と、どの言葉に近いかという言語的な探索を分離するアプローチを採用した。単純な文字列変換処理としての音声認識部

と、音声認識のポスト処理としての検索部に分離することで、語彙数が大幅に増加した場合でも演算量の増加を抑制することができる。具体的には(1)の課題に対して、統計言語モデルを用いた音声認識と高速テキスト検索技術を適用し、100万件規模の超大語彙の音声検索を実現した。(2)の課題に対しては、ユーザーが用いる操作コマンドの多様な表現を収集し、統計言語モデル及びキーワードとコマンドの対応関係を学習することで、認識結果に含まれるキーワードからコマンドにマッピングする手法を開発した。

このように音声認識とポスト処理を組み合わせることで、従来にない機能を実現することは、カーナビゲーション向け音声認識の新たな展開を示している。今後は、意味理解処理や対話処理を組み合わせた音声ヘルプ機能や、ユーザーの嗜好(しこう)性分析処理を組み合わせた知的な情報検索・提示機能の実現を進めていく。



HDDカーナビゲーション “NR-HZ001VDT”

全国の主要施設約1,000万件を簡単に検索できる新開発の“超大語彙音声認識技術”を搭載したほか、うっかり不要な言い回しをつけて発話しても音声コマンドを抽出できる“キーワード抽出”を搭載している。更に、音声認識・タッチパネル・リモコンが連動して動作するマルチリレーオペレーションを搭載することで操作性を大きく向上させている。

1. ま え が き

当社では、カーナビゲーション向け音声認識機能のユーザー満足度向上のため、発話タイミングや語彙外発話などの問題点の改善を継続的に行っている。現状の大きな課題の一つとして、ユーザーが認識対象外の語彙を発話してしまう語彙外発話がある。この問題に対しては、あいまい認識⁽¹⁾を搭載することで対応しているが、認識対象ジャンル(デパート、レストラン等の分類)を拡大すると認識語彙数の増加に伴い、言い換え語の追加・整備コスト及び演算量が増加するという問題がある。また操作コマンドについては、マニュアル記載の表現しか登録されていないため、異なる表現の発話は認識できないという問題がある。

これらの問題に対して当社では、どの音に近いかという音響的な探索と、どの言葉に近いかという言語的な探索を分離するアプローチを採用した。単純な文字列変換処理としての音声認識部と、音声認識のポスト処理としての検索部に分離することで、語彙数が大幅に増加した場合でも演算量の増加を抑制することが可能になった。

本稿では開発した音声認識技術とポスト処理技術、及び製品に搭載した音声インタフェースについて述べる。

2. 音声認識とポスト処理技術

2.1 統計言語モデルを用いた音声認識

言語モデルとは、認識対象語彙の情報を保持するデータである。音声認識は言語モデルに登録した語彙の中で、入力音声に対するもっともらしさ(認識スコア)が一番高いものを認識結果として出力する。このため、施設名として正式名称の“東京国立近代美術館”だけを言語モデルに登録すると、“東京近代美術館”のように“国立”を省略した発話は認識できない。対策として先に述べたあいまい認識では、施設名を“東京”“国立”“近代”“美術館”というように単語に分割し、各単語とともに単語間の接続規則を言語モデルに登録している。例えば“国立”は省略可能という規則を登録すれば、“東京近代美術館”という正式名称以外の発話も認識可能となる。しかし、多様な呼称をカバーする規則を整備するのは困難でコストが大きいという問題があった。

これに対して今回開発した音声認識方式では、単語間の接続のしやすさを言語スコアと呼ぶ数値で表す統計言語モデルを用いた。例えば施設名の場合、“東京”という単語の次に“国立”や“近代”が続く言語スコアがそれぞれ7、2等と登録されており、各認識候補の認識スコアには、この言語スコアが加算される。言語スコアは大量の施設名から自動的に算出が可能のため、小コストで言語モデルを作成できる。また正式名称に出現しない単語接続に対しても、近似的な言語スコアを与える方法を開発しており、正式名称以外にも認識可能である。

ただし施設名が数十万語の規模になると、施設名に含まれる単語数も数万語のオーダーとなるため、従来のあいまい認識と同様に音声認識時の演算量とメモリ量が問題となる。そこで、各単語をより小さな単語に分割して表現する。例えば“美術館”は、“びじゅつ”と“かん”という単語で表現する。単語の総数は施設名中での出現頻度の高い上位5,000個程度に制限する。単語の連鎖で表現できない場合は、音節の連鎖で表現する。例えば“近代”は、“き”“ん”“だ”“い”という音節の連鎖で表現する。このように音節を言語モデルの単位とすることで、検索対象語彙数が増加しても認識単語数を一定数に保ち、リソースに制限のあるカーナビゲーション上での大語彙認識を可能にしている。

2.2 高速テキスト検索手法による施設名検索

開発した施設名検索は図1に示すとおり、音声認識部とテキスト照合部で構成される。音声認識部では2.1節で述べたとおり、検索対象語彙を単語と音節に分割して認識する。認識結果は登録語彙と完全一致しない場合が生じるので、テキスト照合部で認識結果の音節列と最も良くマッチする施設名を検索する。具体的には図2に示す転置インデックスを用いて、各施設名に対する検索スコアを算出し、スコア最大の施設名を検索結果とする。索引語としては図2に示すとおり2音節の連鎖を用い、索引語ごとに、その索引語を含む施設名のID番号を保持する。

例えば、認識結果の音節列が“しいばら”の場合、“しい”

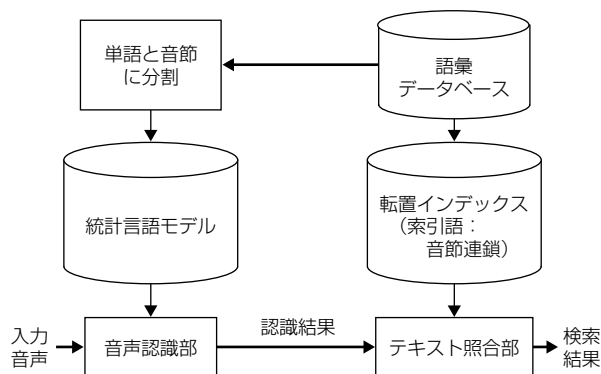


図1. 施設名検索方式

語彙データベース	
語彙ID	語彙の音節列
0	よこはますらしあ
1	よこはまぎんこう
2	しいばらだいず

↓ 自動生成

転置インデックス	
索引語: 音節連鎖	語彙ID
よこ	0,1
こは	0,1
はま	0,1
しい	2
いば	2
ばら	2
...	...

図2. 転置インデックス

“いば”“ばら”の3種類の音節連鎖が存在する。次に転置インデックスを参照して、これらの音節連鎖を含む施設名に対し、音節連鎖1個ごとにスコアを1点加算する。図2の例では、施設ID=2“しいばらだいす”のスコアが3となり、検索結果の第一位として出力される。このように転置インデックスを参照することで、高速にスコアを計算することができる。なお音節連鎖を索引語とする利点は、単語や単語連鎖と比較して音声認識誤りに頑健なことである。例えば“東京近代美術館(とーきょーきんだいびじゅつかん)”という発話に対し、音声認識部の出力結果が“東京近代美術館(とーきょーきんだいぶじゅつかん)”となった場合、単語単位では誤認識した“美術館”が“美術館”とはマッチせずスコアに寄与しないが、音節単位なら“じゅつ”“つか”“かん”の3個の音節連鎖が“びじゅつかん”とマッチするため、正解の“東京近代美術館”のスコアに寄与できる。

2.3 キーワード抽出型コマンド

施設名検索と同様の手法を適用し、音声コマンドに対するユーザー発話の受容性を高めたキーワード抽出型コマンドを実現している。

キーワード抽出型コマンドの処理を図3に示す。音声認識部は、入力音声音声認識して単語列を出力する。テキスト照合部は、認識結果に含まれるキーワードに基づいて文例データベースを読み出すとともに、文例ごとのスコアを計算する。それぞれの文例には、該当するコマンドが対応付けられており、スコア上位のコマンドを出力する。フィルタ部は、現在のナビゲーション状態に応じて有効なコマンドを抽出し、結果を確定する。図3の例では、入力発話“コンビニ近くにある”を音声認識し、テキスト照合部はキーワードの長さ、入力発話の長さ、文例の長さを考慮したスコアを算出する。この例では2件のコマンド候補を抽出している。フィルタ部は、ナビゲーションの状態を考慮して最終的なコマンド“周辺検索(コンビニ)”を決定する。この方式ではキーワードを単位とした照合を行う。このため、表現の追加(例えば“～して下さい”などの丁寧表現)、助詞の欠落、語順の入替えが生じててもコマンドを推定可能

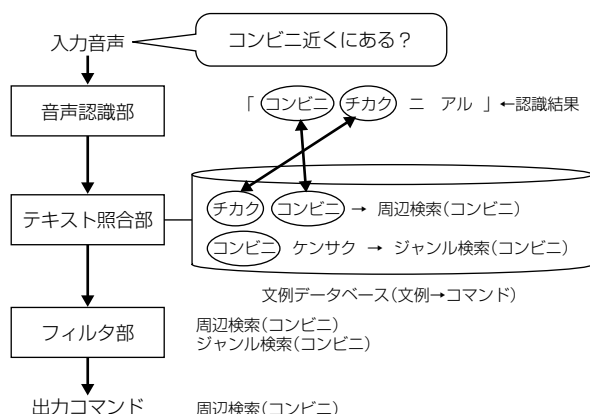


図3. キーワード抽出型コマンドの処理

であり、従来方式と比べて受容性が拡大する。

一方、コマンド表現で学習した統計言語モデルを用いると、待ち受け対象外の発話をコマンドに誤る可能性が高くなる。予備調査の結果、カーナビゲーション地図表示画面における待ち受け外発話の8割は施設名であった。そこで、リジェクト用として、施設名に類出するキーワードと音節列を統計言語モデルの学習データに追加した。さらに、施設名キーワードの検出時に、施設名検出を通知する特別なコマンドを出力するようにした。これによって、後述する施設名リジェクト機能を実現している。

3. 市販カーナビゲーション“NR-HZ001シリーズ”への適用

2章で述べた音声認識とポスト処理を適用した、HDD(Hard Disk Drive)カーナビゲーションの音声インタフェースについて述べる。

3.1 音声50音検索

音声50音検索とは、検索したい施設名の読みを手操作で一文字ずつ入力する代わりに、施設名を声で入力し検索を行う機能である。50音パレット(図4)で入力する場合と比較して、極めて高速な入力が可能となり、ユーザーの利便性を大幅に向上させる機能である。前述の統計言語モデルを用いた音声認識処理と、高速テキスト検索技術の採用によって、手入力による検索が対象とする全国1,000万件の施設に対する音声施設検索を可能としている(同時に検索対象とする施設は同一都道府県内に限定し、最大100万件である)。

この機能の動作を“梅田スカイビル空中庭園展望台”が検索対象である場合を例に説明する。

50音検索画面(図4)で、“声で入力”をタッチすることで音声認識処理が起動する。そして、ユーザー発話“スカイビル”を認識した時の画面が図5である。ユーザーがシステムの動作を把握できるよう、音声認識処理の結果“1>スカイビル”が表示されている(同時に音声出力も行われている)。またテキスト検索処理の結果として、自車位置の都道府県内にある施設の中で“スカイビル”を名称の一部に



図4. 50音検索画面(50音パレット)

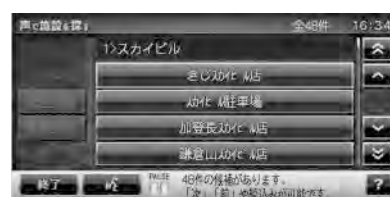


図5. 検索結果リスト画面

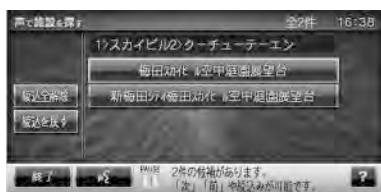


図 6. 検索結果リスト画面(絞り込み時)



図 7. 都道府県切替え画面

含むものが48件検索され、その一部がリスト表示(“きじスカイビル店”“スカイビル駐車場”など)されている。

このリストが表示されたところで、ユーザーは手操作又は“次”“前”の発話によって、施設を選択することができる。また、施設名を音声入力で追加することで候補を絞り込むこともできる。図 6 は“クチュウターエン”を追加で発話して、検索候補の絞り込みを行った場合の画面である。検索対象を別の都道府県の施設に切り替える場合は、図 7 の都道府県切替え画面で、手操作又は音声操作で希望する都道府県を選択することができる。

3.1.1 検索対象施設の拡大と都道府県別検索

従来の音声施設検索は、手操作による検索より大幅に少ない施設しか検索対象としていなかった。そのため、手操作で検索できる施設が音声では検索できない場合があり、音声施設検索に対するユーザーの信頼度を低下させる原因の一つとなっていた。

音声50音検索では、手操作による50音検索と同じ全国1,000万件の施設を検索対象とすることで、この問題を回避している。しかし全国の施設を検索対象とした場合は、同一又は類似した名称を持つ施設が大量に検索されるため、逆にユーザーが希望する施設を見つけ難くなるという別の問題が生じる。そこで検索対象を自車位置の都道府県に限定し、別途対象都道府県切替えの操作画面を用意することで対応している。検索対象とする施設数を制限することで、音声認識精度と検索速度の向上にも貢献している。

3.1.2 音声認識結果の表示

音声認識の問題点の1つに、ユーザーが同じように発話しても、声の調子や背景騒音の影響で常に同じ認識結果が得られるわけではないという不安定さがある。そのため音声認識結果がそのまま検索結果となっていた従来の音声検索では、音声検索のたびに表示される施設が異なることがあった。

今回開発した音声50音検索では、2.2節で示した認識誤りに頑健なテキスト検索技術を用いているため、この問題に起因する使いにくさが低減されているが、極端に間違っ

た音声認識結果からは正しい検索結果を得ることはできない。また音声認識結果が正しくても、ユーザーが希望する施設が検索対象に含まれていない場合もある。そこで自分の発話がどのように音声認識されたか、どのような認識結果(読み)でテキスト検索されたかをユーザーが把握できるように、ユーザー発話に対する認識結果の表示・ガイダンスを行っている(図 5, 図 6)。これによってユーザーは、音声検索の結果に対するその後の対応(再度音声検索をやり直すのか、絞り込みを行うのかなど)を適切に決定できる。

3.2 施設名リジェクト

カーナビゲーションにおける音声認識では、表示画面やナビゲーションの内部状態、ユーザーの操作などに応じて、認識対象となる語彙が設定されている。しかし、ユーザーはどのような語彙が認識されるのか分からないため、しばしば認識対象外の語彙を発話してしまう。このような発話は正しく認識されず、ユーザーの期待するナビゲーション動作も行われなため、音声操作に対するユーザー不満の原因の一つとなっていた。

この問題への対応策として、市販カーナビゲーション(2009年秋以降のモデル)には、キーワード抽出型コマンドを応用した施設名リジェクトの機能を導入している。これは地図が表示されている場合や、施設名の音声認識が実行できない状況で、ユーザーが認識対象外の施設名を発話したことを検知すると、施設名発話が現在認識対象ではなく、50音検索画面で認識可能であることを伝える機能である。この機能によって、施設を検索したいユーザーを音声50音検索画面に誘導することができる。

4. む す び

音声認識とポスト処理を組み合わせることで新機能を実現する、カーナビゲーション向け音声認識の新たな展開を示した。音声は人間にとって最も自然な入力インタフェースであるが、音声認識だけでは単なる入力手段に過ぎない。カーナビゲーションの操作性向上のためには、本稿で述べたように、ポスト処理を組み合わせた利便性の高い機能を実現することが必要である。今後は、意味理解処理や対話処理を組み合わせた音声ヘルプ機能や、ユーザーの嗜好性分析処理を組み合わせた知的な情報検索・提示機能の実現を進めていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 岩崎知弘, ほか: カーナビゲーションシステムの音声インタフェースー現状と将来展望ー, 三菱電機技報, 78, No.9, 613~617 (2004)
- (2) 花沢利行, ほか: 統計言語モデルによる音声認識とテキスト照合に基づく大語彙音声検索, 日本音響学会研究発表会講演論文集, 61~62 (2009)

車載ハイビジョンAVシステム技術

井戸 純* 丸山清泰**
竹下伸夫** 矢次慶和**
松本壮一郎**

In-car High Definition AV System Technology

Jun Ido, Nobuo Takeshita, Soichiro Matsumoto, Kiyoyasu Maruyama, Yoshikazu Yaji

要 旨

近年、地上デジタルTV放送やブルーレイディスク (Blu-ray Disc^(注1): BD) など、高品質な映像 (以下“ハイビジョン映像”という。) を楽しむためのインフラ整備やメディアの普及が急速に進んでいる。家庭用途では薄型TVやBDレコーダ/プレーヤーなどの製品が浸透しており、車載用映像情報機器でも、今後ますます増加するこれらのハイビジョンコンテンツを車の中で安定して視聴できる環境を作り出すことが重要な課題である。

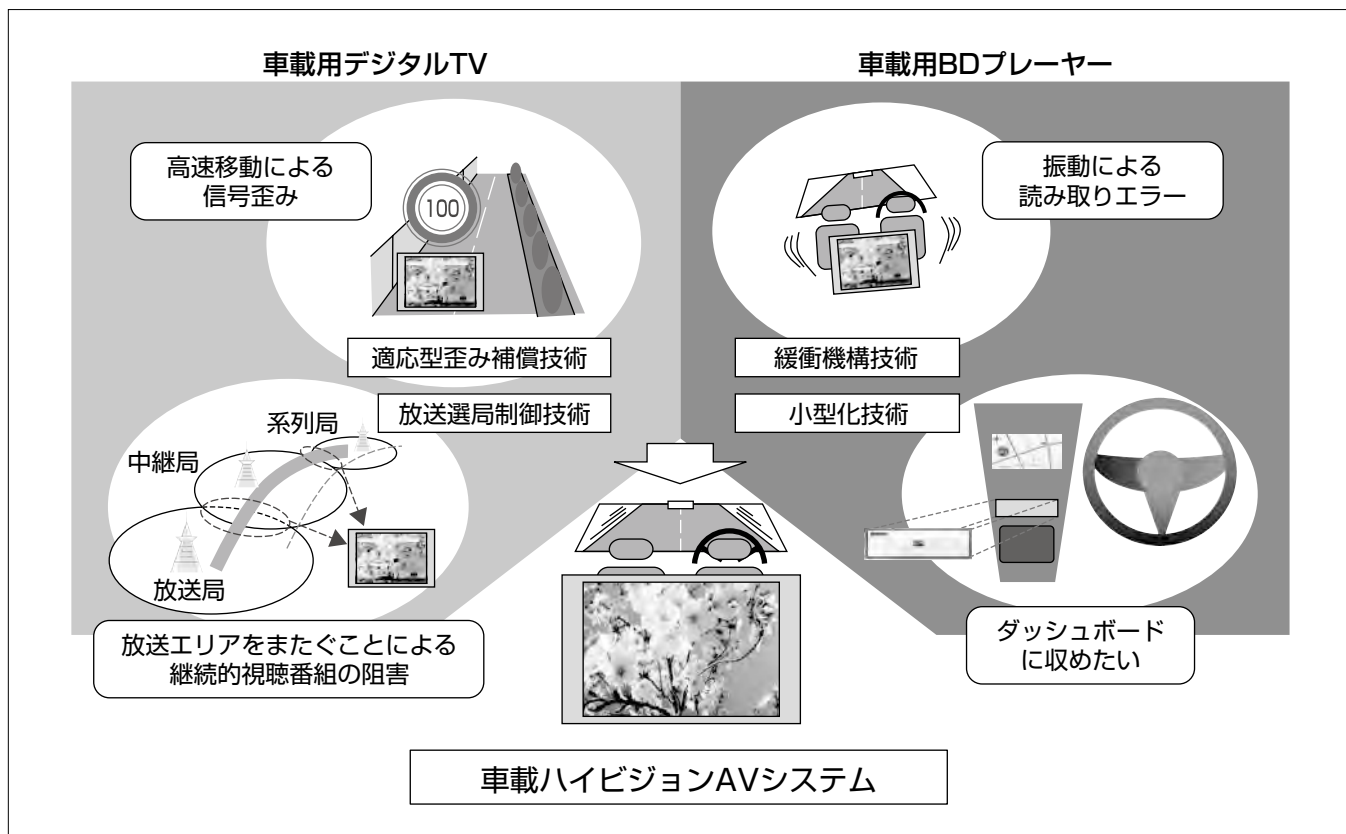
そこで今回、三菱電機は車載用デジタルTVと車載用BDプレーヤーを中心とする“車載ハイビジョンAV (Audio Visual) システム”を実現するための各種コア技術を開発した。

車載用デジタルTVでは、ハイビジョン放送を安定受信するため、高速走行時の受信性能を向上させる適応型歪

(注1) Blu-ray Discは、Blu-ray Disc Associationの登録商標である。

(ひず)み補償技術を開発し、許容限界車速を1.3~1.5倍 (当社従来比) に高めることができたことを確認した。また、放送エリアをまたがって走行した場合でも番組を継続して視聴するための放送選局制御技術を確認し、ソフトウェアで実現した。

一方、車載用BDプレーヤーでは、車の振動に対する耐性を強化して安定した映像再生を実現する緩衝機構技術、信号再生部の小型化技術及び映像信号処理部の基板小型実装技術を開発した。さらに、BDだけではなく、DVD (Digital Versatile Disc) やCDなど複数のメディアフォーマットを再生するソフトウェア技術を開発し、車のダッシュボードの規格である1DIN (Deutsche Industrie Normen) サイズ (高さ50mm×幅178mm) に格納可能な試作機を実現した。



“車載ハイビジョンAVシステム”を実現する各種コア技術

車載用デジタルTVでは、高速走行時の受信性能を向上させる適応型歪み補償技術、放送エリアをまたいだ場合に継続的に番組を視聴するための放送選局制御技術が必要である。また、車載用BDプレーヤーでは、振動による読み取りエラーを低減する緩衝機構技術、ダッシュボードに収めるための小型化実装技術が必要であり、これらの要素技術を確認することで“車載ハイビジョンAVシステム”を実現することが可能となる。

1. ま え が き

地上デジタル放送対応TVやBDなど、高精細な映像コンテンツを視聴できる家庭用AV機器や記録媒体が急速に普及しつつある。地上デジタル放送受信機器は、2011年7月のアナログTV放送終了やエコポイント制度の導入を背景に2009年度の年間出荷台数が2,400万台を越え、2008年度の約1.5倍、累計7,363万台に達している⁽¹⁾。また、国内のBDタイトル数は2008年夏以降急激に増加し、2009年10月に累計1,500以上に達しており⁽²⁾、ハイビジョン映像を楽しむためのインフラが着実に整備されつつある。

一方、車載用映像情報機器でも、車載モニタの大画面化や後部座席でAVを観賞するシステムの普及に見られるように、ハイビジョン映像を安定して視聴できるカーマルチメディアに対する期待が高まっており、これを実現するための要素技術の確立が急務となっている。

そこで当社では、地上デジタル放送やBDの高精細な映像コンテンツを車内で楽しむための“車載用ハイビジョンAVシステム”実現に向け、地上デジタルTVの車載向け移動受信技術及び1DINサイズ(高さ50mm×幅178mm)車載用BDプレーヤー(試作機)を開発した。

本稿では、それらの要素技術のうち、車載用デジタルTVの適応型歪み補償技術及び放送選局制御技術、車載用BDプレーヤーの信号再生部の小型化技術、緩衝機構技術、映像信号処理部の小型化技術について述べる。

2. 車載用デジタルTV

2.1 ハイビジョン対応適応型歪み補償技術

我が国の地上デジタル放送方式(Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial: ISDB-T)は、受信形態に合わせて1チャンネルあたり最大3種類の放送を同時に送信できるBST-OFDM(Band Segmented Transmission-Orthogonal Frequency Division Multiplexing)が採用されており、現在、固定受信機向けハイビジョン放送と移動体端末向けのワンセグ放送による2階層伝送が主に運用されている。このうち、ワンセグ放送は、所要C/N(Carrier to Noise Power Ratio)が小さい伝送パラメータを使用することで移動受信環境での安定受信を可能とする反面、伝送可能な情報レートが低いため高精細な映像を楽しむことができない。したがって、車載用ハイビジョンAVシステムを実現するには、所要C/Nが高い固定受信機向けの放送を安定受信するための技術が必要である。

車は、地形や建物に反射した多数の電波によって生じる多重波伝搬路を移動するため、車載用デジタルTVはフェージングの影響を受けた放送波を受信する。したがって、受信性能は固定受信機に比べて劣化しやすく、その劣化量は車の移動速度が速いほど大きくなる。そこで、高速移動

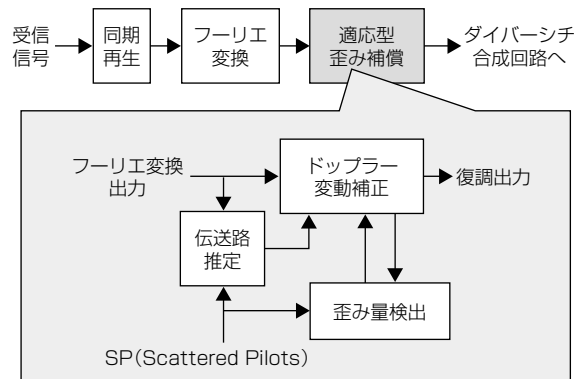


図1. 適応型歪み補償技術の機能ブロック図

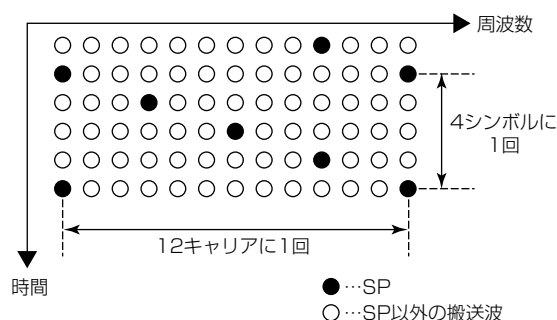


図2. ISDB-TにおけるSP配置

時の受信性能を向上させる適応型歪み補償技術を開発した(図1)。

ISDB-Tでは、図2に示すとおり、副搬送波の周波数方向に12キャリアに1回、時間方向に4シンボルに1回の割合でSP(Scattered Pilots)が挿入されており、受信側ではこれらをもとに伝送路特性を推定して受信信号を復調する。しかし、高速走行時は、時間方向のSP挿入間隔に対して伝送路特性の時間変動周期が短くなるため伝送路推定誤差が増大し、受信性能が著しく劣化する。適応型歪み補償技術は、SPをもとに復調信号に残留した歪みを検出し適応的に補正する技術であり、許容限界車速を1.3~1.5倍(当社従来比)に高めることができることを試作受信機で確認した。

2.2 放送選局制御技術

車が放送エリアをまたがって移動するときに同一の番組を継続的に視聴できるようにすることは車載用デジタルTVの課題である。これを解決するために、ユーザーが選局操作することなく自動的に同一番組を放送している他の局にシームレスに切り替える放送選局制御技術を開発した。

受信電波が弱くなり番組の視聴が困難になる放送のサービスエリア境界付近で、受信状態が良い同一サービスを見つめる手段として有効な機能が系列局サーチである。系列局サーチ機能は、放送波に重畳されている放送局情報を抽出して中継局と系列局をデータベース化し、①中継局、②系列局、③全チャンネルを総当たりの順に候補となる送信所の物理チャンネルをサーチして切り替える放送局を決定する。放送番組を継続的に提示する別の手段として、ハイ

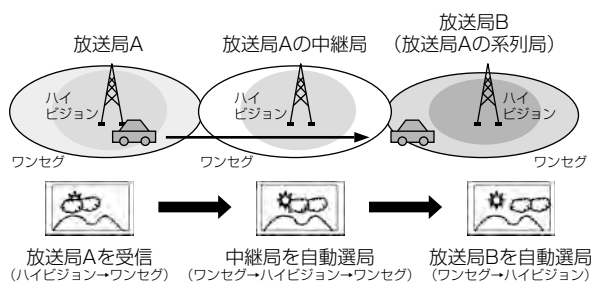


図3. 自動選局例

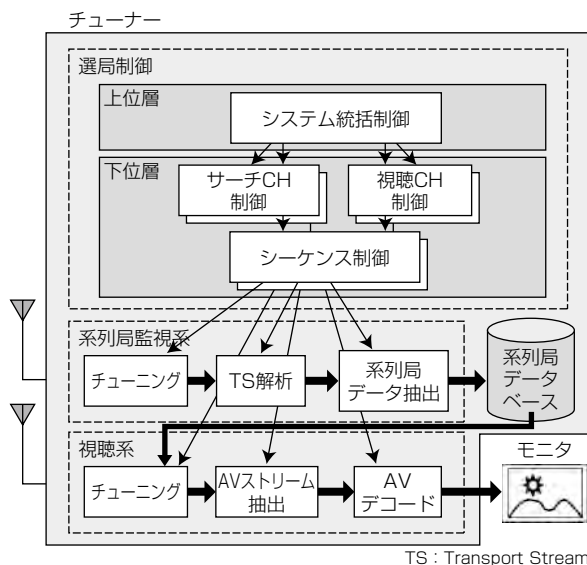


図4. 選局制御ソフトウェアの構成

ビジョン放送に比べて受信可能エリアが広いワンセグ放送への自動切替え機能がある。これは、多くの放送局がハイビジョン放送とワンセグ放送で同じ番組を放送している現状では有効な機能であり、ワンセグ放送を同時デコードしておくことでシームレスに切り替えることができる。これら2つの機能を組み合わせることによって図3のような自動選局が実現でき、長距離ドライブでもユーザーに操作させることなく同じ番組を提供し続けることが可能になる。

系列局サーチは候補となる複数の局を順番にサーチするため時間を要するという問題がある。4本のアンテナとチューナーを搭載したモデルでは、任意のチューナーで受信を行いながら、残りのチューナーで受信可能局の監視を行うことでサーチ待ち時間をなくす機能を実現した。この機能を実現するために、2系統の放送チャンネルの独立制御を可能とするデジタルTV選局制御ソフトウェアを開発した。放送受信システム全体の統括制御を担う上位層と、個々の放送信号の受信制御を行う下位層で構成され、下位層の制御ロジックを必要な数だけ複製することで放送信号数の増減に対応できる構造としている（図4）。

3. 車載用BDプレーヤー

3.1 ディスクの高密度化と信号再生部の小型化

BDはDVDやCDと同じ直径12cmの光ディスクであり、1層あたりの記録容量は25GBであり、DVD(4.7GB)と比



図5. 車載用BDプレーヤーの試作機

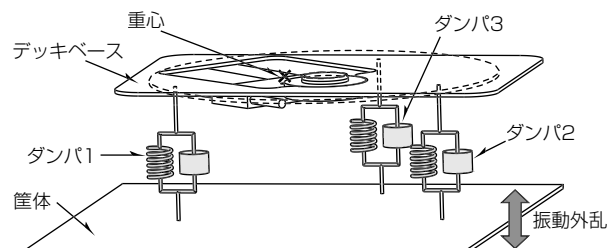


図6. BDプレーヤー再生部の概念モデル

較して約5倍強の大容量情報が記録可能である。BDでは半導体レーザーの波長をDVD用の650nm（赤色）から405nm（青紫色）に短波長化するとともに、対物レンズの開口数をDVD用の0.6から0.85に上げ、集光スポットを微小化することによって高密度化を実現している⁽³⁾。今回、このようなBDを車載環境でも再生でき、車のダッシュボードの規格である1DINサイズに格納可能な車載用BDプレーヤーを開発した（図5）。

信号再生部は、高精度シミュレーションによって機構部品の小型化・最適配置を行い、さらに、ディスクをローディングする小型の搬送機構を新規に開発することでディスク信号再生部の容積を従来の家庭用BDレコーダ／プレーヤーの約3分の1に小型化した（当社比）。

3.2 緩衝機構技術

車載用プレーヤーでは、走行振動が再生部に加わるため、信号読み取り制御（Focusing, Tracking制御）に偏差が発生する。BDでは、Focusing制御の許容偏差量がDVDの約1/4であるため、ダッシュボード内にほぼ水平に設置された再生部への上下方向の走行振動に対して十分考慮した設計が必要となる。この振動対策として、図6に示すような筐体（きょうたい）とデッキベース間に設けられた複数のダンパ群からなる緩衝機構が広く実用化されている。この方式は、デッキベース質量とダンパ群とからなる共振系を構成し、共振周波数より高い帯域の振動の伝達を抑制する機能を持つ。しかしながら、機構配置制約によって、ダンパ群の荷重配分を均等にできないため、各ダンパをすべて同一とした場合、振動に対するデッキベースの挙動が不均一になり姿勢が乱れ、不要な振動成分が発生する問題があった。

この問題に対し、緩衝機構を詳細にモデル化した機構解析によって、各々のダンパ特性の最適化を行った。

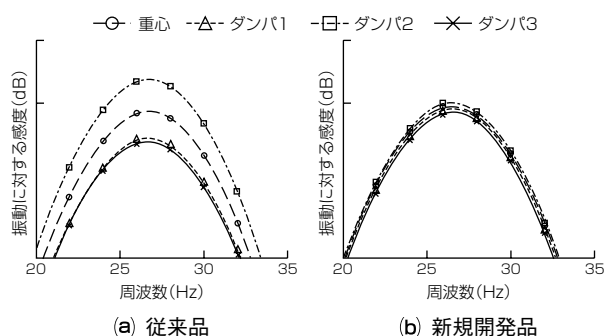


図7. 緩衝機構の改善例

図7に、緩衝機構を改善した結果を示す。この図は、振動外乱に対する各ダンパ群支持点の感度の周波数特性であり、(a)はダンパ群特性を同一にした従来品、(b)は新規開発品の特性である。従来は、デッキベースの各点の感度が異なり暴れていたが、新規開発品では姿勢変動がない、安定な挙動を実現している。

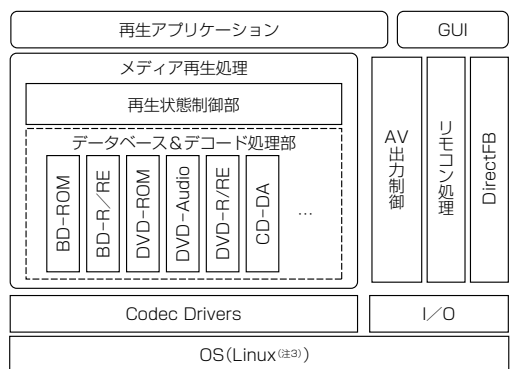
この試作機は、BD/DVD/CDの3種類のディスクに対応した小型光ピックアップを搭載しており、BD系はBD-ROM/R/RE、DVD系はDVD-ROM/R/RW、CD系はCD-ROM/R/RWに対応している。

BDの場合、ディスクの情報記録面に照射されるレーザー光の波長が短い、対物レンズの開口数が大きいためといった理由から、大きな球面収差が発生する。そこで、球面収差をなくすために、先に述べたBDにおける再生波形を基にコリメータレンズの位置を最適化する。これによって、BDの再生性能を向上させ、温度変化の激しい車載環境下でも安定した再生を行うことができる。

3.3 映像信号処理部の小型化

BD-ROMから読み出されたビットストリームを映像信号に変換するのが映像信号処理部である。映像信号処理部では、ハイビジョン映像/HD(High Definition)オーディオのデコード処理、BD用Java^(注2)の実行処理、及び高解像度グラフィックス処理など、DVDに比べ高いパフォーマンスが必要とされている。これらの処理には映像音声デコーダや高速なCPU(Central Processing Unit)を内蔵する高性能SoC(System on Chip)と、高速かつ広帯域な大容量メモリが必要である。特にBDでは、2つのH.264映像を重ねて表示する場合や、複雑なJavaコンテンツを実行している場合などに、瞬間的に発生する電流供給不足や、SoCが発生する熱が問題となっている。さらに、カーオーディオの一般的なサイズである1DIN内に収める必要がある。よって、基板設計で、①高速メモリアクセス実現のための等長配線、インピーダンスコントロール、②安定的な電源供給、③量産化を想定した8層基板での実現、④SoCの放熱対策に留意した設計を行った。特に、限られた基板層構成と実装面積制約の中で、電源パターンのクリアランスを確

(注2) Javaは、Sun Microsystem, Inc. の登録商標である。



(注3) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

GUI : Graphical User Interface
 CD-DA : Compact Disc Digital Audio

図8. ソフトウェア構造

保するとともに、電源供給源の見直しを実施することで小型化を達成した。さらに基板配線解析を用いて、メモリへアクセスする信号波形の品質の確保を図った。

今回開発した車載BDプレーヤー向けソフトウェア構造を図8に示す。車載BDプレーヤーでは、BD-ROMだけでなく、BD-R/REや各種DVD/CDなど多彩なメディアフォーマットの再生が必要とされている。多くのメディアフォーマットの再生要件に対して、開発工数と実装の効率化を行うために、ソフトウェア設計の前段階で機能分析を実施した。これによって、メディアフォーマット単位で異なるデータベース及びデコード処理部と、複数メディアフォーマットで共用する再生状態制御部に分けてソフトウェアを実装する方式を採った。これによって設計及びデバッグ期間の短縮化を実現することができた。

4. む す び

車載用映像情報機器は、電波環境の変化や車の走行速度の変動、外形寸法の制約や劣悪な動作環境(温度、振動)など、車特有の厳しい条件下での安定動作が要求される。本稿で取り上げた各要素技術は、これらの課題を克服するための主要技術であり、計算機シミュレーション、試作機開発などによってその有効性を確認した。

参 考 文 献

- (1) 社電子情報技術産業協会 統計情報：2010年3月地上デジタルテレビ放送受信機国内出荷実績
<http://www.jeita.or.jp/japanese/stat/digital/2010/03.html>
- (2) Blu-ray Disc Association：ブルーレイディスクアソシエーション ニュースレター、13、2009年11月
<http://www.blu-raydisc.com/assets/Downloadablefile/200911-BDA-13-final-16824.pdf>
- (3) 小川博司、ほか：図解 ブルーレイディスク読本、オーム社(2006)

デジタルプロセスセンター “DA-PX1”の高音質化技術

寺本浩平*
仲田 剛*

High Quality Sound Technology for Digital Process Center "DA-PX1"

Kohei Teramoto, Tsuyoshi Nakada

要 旨

デジタルプロセスセンター“DA-PX1”は車載用の最高級デジタルオーディオを目指して製品化した。しかし搭載技術や目標とする音質は、車載用のみならず、ハイエンドピュアオーディオでも最高領域を目指しており、コンテンツに含まれている情報をできるだけ加工せずに極限までストレートに再現するという“DIATONE”の設計思想のもと、開発を行った。

今回命名したデジタルプロセスセンターとは“リニアPCM(Pulse Code Modulation)メモリプレーヤー・デジタルプロセッサ内蔵D/A(Digital/Analogue)コンバータ”と定義した。つまり主体としてはあくまでDIATONEオリジナルの高音質のD/Aコンバータであり、そこに高音質デジタル信号処理による様々な音質調整機能を搭載、さら

に非圧縮のCD音源をそのまま再生できるメモリプレーヤーを装備した。

高音質化のため、①超高精度でデジタルノイズの影響を受けにくいD/A変換部、②デジタル信号処理部からD/A変換部へのジッターやデジタルノイズの伝播(でんぱ)の阻止、③クロックが外乱の影響を受けずに高い精度を確保すること、を同時に満足させる必要があり、それを具現化するための様々な新技術開発を行った。これらの技術によってハイエンドホームオーディオを凌駕(りょうが)する高音質を実現しており、2008年オートサウンド誌で最高位グランプリを受賞するなど、市場でも高い評価を受けている。

DA-PX1の新技術は多岐にわたるが、本稿では高音質化技術に絞ってその一部について述べる。



“DA-PX1”の外観及び取付け例

デジタルプロセスセンターDA-PX1は、メインユニット、サテライトユニット、ディスプレイユニット、コンパトリモコンの4構成からなる。装着は専門の取付け技術を持つプロショップで実施する必要がある。図の取付け例ではルームミラー近くの天井にディスプレイユニットを埋め込んで、メインユニットは他のアンプ類とともにトランクルームに設置している。

1. ま え が き

DIATONE DA-PX1は三菱電機独自の音響技術を結集した車載用高音質オーディオ製品である。開発目標として自動車の車室内で家庭内のリスニングルーム以上の高音質実現を目指した。その中核技術がCDやUSB (Universal Serial Bus) などのデジタル音源を高精度でD/A変換するDIATONEオリジナル方式のD/Aコンバータである。また、クロックの高精度化とデジタルノイズ低減の徹底化を図り、独自のジッター低減回路やデータ伝送時のノイズの影響を受けにくくする機器内差動伝送を徹底化し、さらに音質劣化のない独自の音量調整機能を採用するなど、デジタルオーディオの高音質化のためにあらゆる手段を尽くしている。加えて理想的な位置にスピーカーが配置できない車載特有の音場環境の補正機能についても、高音質化に向けての数々の独自技術を搭載している。

本稿では、高精度D/A変換技術を中心にこれら高音質化技術の一部について述べる。

2. システム構成

図1に示すように、デジタル・アナログセクタ部、A/D (Analogue/Digital) 変換部、デジタル信号処理部 (Digital Signal Processor : DSP)、D/A変換部を内蔵したメインユニット、2系統のUSBメモリプレーヤーを内蔵したサテライトユニット、独立表示部のディスプレイユニット、コンパクトリモコンの4ユニットでシステムは構成されている。

車載ではスペースに制約があるため、メインユニットはトランクルームに、サテライトユニットは運転席近くに、ディスプレイユニットはダッシュボード付近の前面に配置する。USBのメモリ音源はメインユニットからクロック信号をサテライトユニットに伝送して同期を取り、最も理想的な双方向ツインリンク方式を実現しており、これを“DIATONEリンク”と命名した。

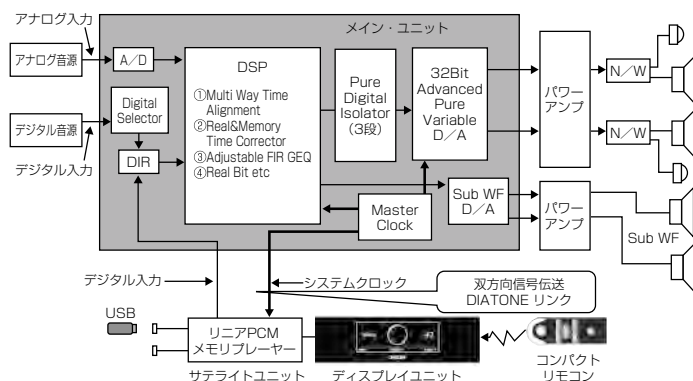


図1. システム構成

3. 高音質D/A変換技術

DA-PX1ではデジタルコンテンツに含まれている音楽情報や情感をくまなく再現することを目標に、その心臓部であるD/A変換技術に徹底的にこだわった。ボーカルを聴いたときに唇の動きが見えて目の前に歌手がいるような空気感や三次元的音場感、スイングすると一緒に体が動いてしまうようなリズム感、そして“こぶし”や“タメ”，さらにオーケストラのアーティキュレーションが手に取るようにわかる臨場感。これら音楽の“もっともおいしい部分”の再現は並大抵ではできない。しかも少しでも追求の手を緩めると、この“もっともおいしい部分”がなくなるのがオーディオの奥深さである。デジタルオーディオではその鍵(かぎ)を握るのがD/A変換技術で、徹底したデジタル音源の磨き上げと高精度なD/A変換へのこだわりによって通常は埋もれてしまっている“もっともおいしい部分”が聴こえてくる。ちょうど都会の夜空が山奥の吸い込まれるような満天の星空に変わるような、まさに“音の天の川”が聴こえてくるのである。

通常D/Aコンバータはマルチビット型と1ビット型に大別される。マルチビット型は可聴帯域外の量子化雑音が可聴帯域内と同レベルなので、マスタークロックがジッターでゆすられても可聴帯域に変換される影響が極少のため、クロック変動に対して強いメリットがある。しかし高精度化は製造上難しく高価となる。一方1ビット型はデジタル回路のみで構成するため、ばらつきが少なく容易に高精度化が図れる反面、可聴帯域外に大量の量子化雑音が存在し、クロックがジッターでゆすられると、この雑音成分が可聴帯域内に変換され、S/N (Signal to Noise) 比や音質を劣化させる。このため、最近のD/Aコンバータはこのマルチビットと1ビットを組み合わせたマルチレベル型がほとんどである。これは、粗調をマルチビットで、微調を1ビットで行うもので、高精度と耐ジッター性の両立が図れる。マルチレベル型の構成は各社スイッチドキャパシタや電流源の切り替えで行っており、各方式で特有の音質を持っている。しかもこれら方式に限らず、一体にIC化されたD/Aコンバータ内部ではデジタル信号とアナログ信号が混在しており、シリコン上での電源・グランド・サブストレートなどを介してデジタルのノイズがアナログ系に微量とはいえ混入している。

音楽情報や情感を再現するために、“もっともおいしい部分”を再現するために、DIATONEでは3つの要素を同時に満足させることが必要と考えた。それは①超高精度でデジタルノイズの影響を受けにくいD/A変換器、②デジタル信号処理部からD/A変換部へのジッターやデジタルノイズの伝播(でんぱ)の阻止、③クロックが外乱の影響を受けずに高い精度を確保することである。この実現のため

次の3つの新技術を開発した。

3.1 32ビットアドバンスド・ピュアバリアブルカレントD/Aコンバータ

当社では、1991年に1ビットDAC(Digital Analog Converter)の波高値が電源電圧変動の影響を受けないピュアバリアブルカレントD/Aコンバータを搭載したデジタルAVセンター“DA-P7000”を製品化した。今回開発した32ビットアドバンスド・ピュアバリアブルカレントD/Aコンバータはさらにジッターの影響の低減と高精度化を図り、加えて増幅回路を撤廃した電流/電圧変換を実現した。

純粋な1ビットDACの出力波形は、波高値を決定している電源電圧と出力パルス幅密度の積で作られるが、波高値は供給電源電圧そのものなので電源を介して混入したノイズがそのまま出力波形に重畳され、音質の大きな劣化要因となっていた。図2にピュアバリアブルカレントD/Aコンバータの原理を模式的に示す。

ピュアバリアブルD/Aコンバータでは超高速で動作するメカ式的リレー(実際にはECL(Emitter Coupled Logic)電流スイッチ)が模式的に存在するとして、1ビットDAC信号を生成するDACドライバを制御信号にリレーを開閉制御する。一方で極めてクリーンな定電流源を用意し、電流をリレーで開閉した後に電流/電圧変換して出力電圧とする。DACドライバの出力信号に電源・グラウンドからノイズが乗っても、開閉タイミングさえ正確ならリレー以降には一切の影響を与えない。1ビットDACの波高値は定電流源に依存し、この定電流源をクリーン化することで外乱の影響を除去できる。さらに電流源の値を可変すると波高値を制御できるので、ピュアバリアブルカレントD/Aコンバータ単独で、しかもデジタルボリュームのようなビット欠落を発生することなくボリューム機能を実現し、微小音量でも情報欠落のない高音質を可能とした。これによってボリュームを絞り込んだ微小音量でも極めて高い情報量密度を確保した。

今回開発した32ビットアドバンスド・ピュアバリアブルカレントD/AコンバータはDACドライバとDAC信号生成ユニットとで構成されている。DACドライバはFPGA(Field Programmable Gate Array)で新規に専用設計し、32ビッ

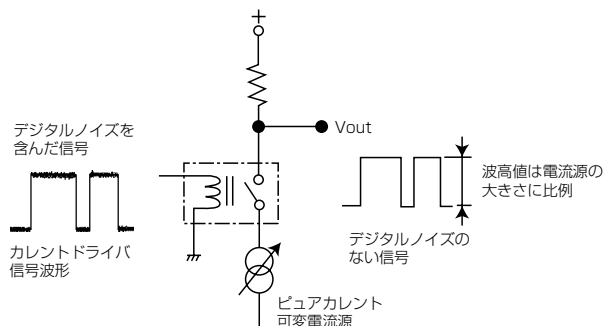


図2. ピュアバリアブルカレントD/Aコンバータの原理

ト精度で1ビットのOn/Off制御信号を生成する。ノイズシェイパは5次、量子化器は32ビットレベルで互いに相補的な2種類の信号を出力する。またロールオフ(スローロールオフかシャープロールオフ)と対称性(位相直線の対称かブリエコーレスの非対称)との組合せで計4種類のD/Aフィルタを装備し、切り替え可能とした。一方DAC信号生成ユニットは、DACドライバとは電源・グラウンドもすべて分離されたディスクリット構成となっている。図3に示すように、等電流値でかつペア構成の超低雑音電流源と2基のECL高速電流スイッチを装備し、それぞれのECL電流スイッチをDACドライバでOn/Off制御する。相補的なペア構成の制御信号は無信号時に50%デューティでしかも逆相関係となるため、2つのECL電流スイッチの合成電流は常に完全に一定となる。このため50%デューティの信号に仮にジッターが重畳してデューティ比が乱れてもジッター成分はキャンセルされ出力信号には現れず、波形歪(ひずみ)への影響を最大16分の1にまで低減した。基準電流源は電源、グラウンド、さらに振動と、あらゆる経路からの外乱の混入を排除し、徹底的なピュア化を図った。またこの定電流源の値を可変することで-80dBまでのリニアなボリューム制御を実現した。さらに定電流源の値を十分に大きくすることで、ECLスイッチ通過後の合成電流の電圧変換は増幅回路を一切使用しないパッシブ回路で構成し、極めてダイレクトで鮮度感の高い音質を実現した。

図4が電流/電圧変換パッシブローパスフィルタ回路で、3次のLCRフィルタで構成している。

インダクタには専用設計のパーマロイコアを用い徹底的な高音質化を図った。

3.2 ピュアデジタル・アイソレータ

デジタルオーディオ機器では通常同一のプリント基板上にデジタル信号処理ブロックとD/Aコンバータブロックが配置されており、デジタル信号処理ブロック以前で発生するデジタルノイズやジッターが電源やグラウンドラインを

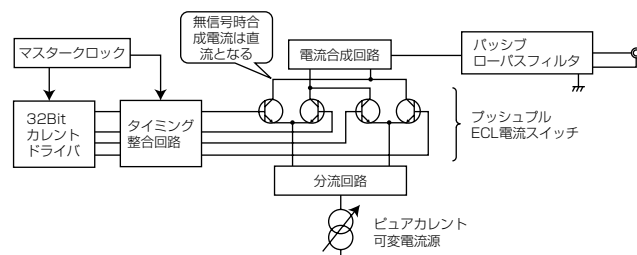


図3. ピュアバリアブルカレントD/Aコンバータの構成

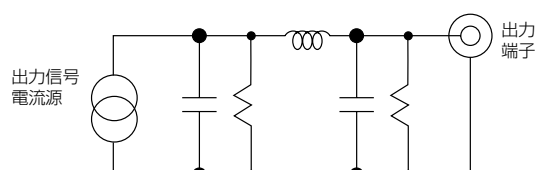


図4. 電流/電圧変換パッシブローパスフィルタ回路

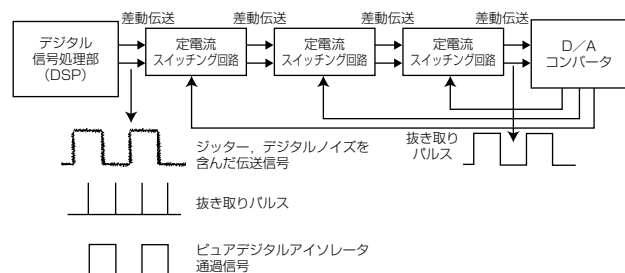


図5. ピュアデジタル・アイソレータ

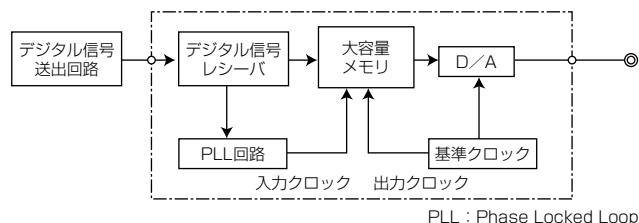


図6. メモリタイムコレクタ

介してD/Aコンバータブロックへ混入するのを阻止することが極めて困難であった。波形整形を施したりメモリによるジッター吸収を行っても、その効果が十分に現れない理由はここにあった。そこでDA-PX1では回路ブロックごとにトランス巻線から電源とグラウンドを完全に分離した上で“ピュアデジタル・アイソレータ”によってDSPからD/Aコンバータへのデジタルノイズとジッターの伝播を徹底的に阻止した(図5)。

動作時に電源やグラウンドに影響を与えない定電流スイッチを用い、さらにD/Aコンバータブロックとの間に伝送に伴うデジタルノイズの伝播を阻止するデジタル平衡差動伝送を使用して、回路動作による回路周辺への影響を徹底的に阻止した。またD/Aコンバータのマスタークロックから作った基準パルスで信号データを抜き取り、デジタルノイズとジッターがD/Aコンバータブロックへ伝播され混入するのを徹底的に排除した。さらに“ピュアデジタル・アイソレータ”を3段シリーズで使用し、より確実な対策を実施した。

3.3 2種類のタイムベースコレクタ

3.3.1 メモリタイムコレクタ

送信側と受信側のクロックのずれが100ppm程度(10,000サンプルに1回程度)以下と非常に少ない頻度であることから、例えば1秒間分のメモリによる時間遅延を行えば、約2.8時間分に相当する送信側のクロックと、受信側のクロックの誤差を吸収できる。これによって、DAC部では、送信側と切り離してジッターの影響を受けないマスタークロックで動作させると同時に、送信側のデータをそのまま使用できるため、非同期デジタル伝送でありながら理想的な同期伝送と同等の性能・音質を実現できる。ハイエンドホームオーディオではすでに一部で大容量のメモリを配置し、送信側のクロックと、受信側のクロックの誤

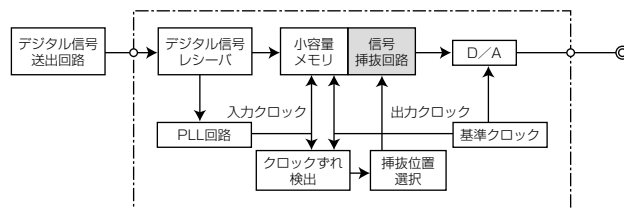


図7. リアルタイムコレクタ

差を吸収する方式が採用されているが、今回車載用としては初めて“メモリタイムコレクタ”として搭載した(図6)。

3.3.2 リアルタイムコレクタ

メモリタイムコレクタは非同期のデジタル伝送としては最も理想に近い方式であるが、送信信号と再生信号とで時間ずれが発生し、時間遅延の許されないAVシステムなどへは適用できない。そこで送信側と受信側のクロックのずれが100ppm程度以下と非常に少ない頻度であることに着目し、D/Aコンバータ部では、送信側と切り離してジッターの影響を受けないマスタークロックで動作させると同時に、大半のデータは送信側のデータをそのまま使用し、クロックずれに相当するわずかな量のデータを挿抜する非同期リアルタイムジッター吸収技術“リアルタイムコレクタ”を開発した(図7)。挿抜するデータは、聴感上、最も音質劣化が知覚されない音声データを独自の“自動検出アルゴリズム”によって選択し、高品質を維持している。これによって、伝送系ジッターの回避とリアルタイム性の両立を実現した。

4. む す び

デジタルオーディオはCDの登場から四半世紀以上経過したが、いまだ同一データであるにもかかわらずトランスポーターで音に変化したり、CDをCD-Rにコピーすると音が変わったりする。またその種類によっても音に変化することが現実として生じている。また特性上はアナログより圧倒的に優れているのに、CDからLPへ高音質を求めて回帰しているマニアも少なくない。DA-PX1では従来に比べて同一データ上でのメディアなどの違いによる音質差を圧縮することに成功した。また音質のデジタル臭さもほぼ消し去ることを実現した。デジタルオーディオは改善すべき点がまだ多々残っているが、DA-PX1がその改善の一旦(いったん)を担えればと考えている。

参 考 文 献

- (1) 柴崎 功：デジタルオーディオ30年の歩み 43回 D/Aコンバーター偏(その8) 高い音質の評価を得た定電流型1ビットDAC、無線と実験、No.1043, 108～115 (2010)
- (2) 脇森 宏：カーオーディオに大革命! ダイヤトーン DA-PX1, オートサウンド, 68, 56～59 (2009)

圧縮オーディオ高音質化技術

三木智之* 谷口琢也***
木村 勝**
青柳貴久***

Sound Enhancement Technology for Compressed Audio

Tomoyuki Miki, Masaru Kimura, Takahisa Aoyagi, Takuya Taniguchi

要 旨

MP3(MPEG Audio Layer 3), AAC(Advanced Audio Coding)^(注1)など圧縮オーディオ技術の進歩に伴い、カーオーディオの世界では、HDD(Hard Disk Drive)やiPod^(注2)接続による圧縮オーディオ再生機能を搭載した機種が増加している。圧縮オーディオでは、聴覚特性を利用することで、大きな聴覚的な音質劣化なしに、大幅な情報量圧縮を行っている。しかしながら、限られた容量内で多くの楽曲を楽しむために圧縮率を高めると、聴覚特性の範囲を超えて音の情報量が削減される傾向があり、クリア感や奥行き感がオリジナルソース(非圧縮のCDなど)に比べて劣化することがある。そこで、圧縮率の高い楽曲でも良い音質で楽しむために再生時の信号処理で音質補正を行う技術が開発されてきている。

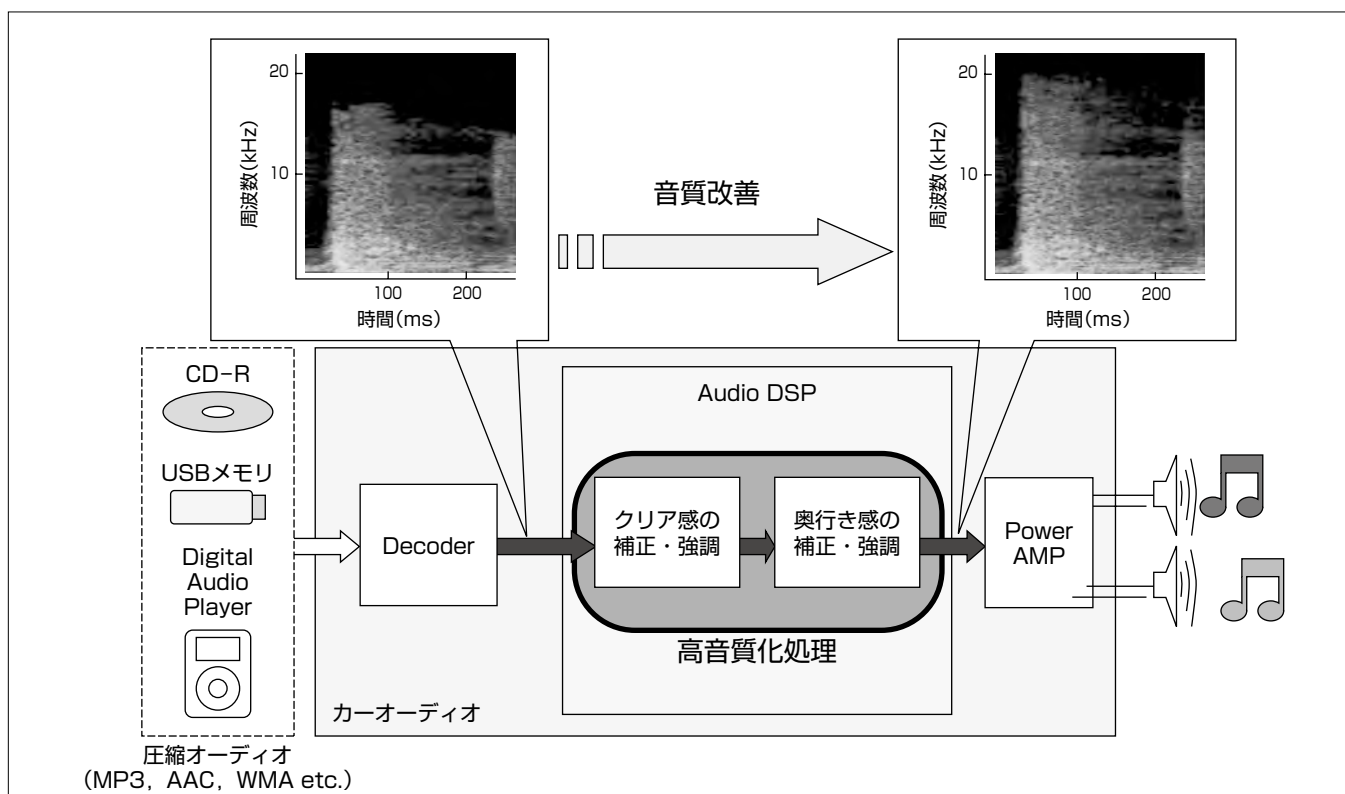
(注1) AACは、Dolby Laboratories Licensing Corp. の登録商標である。

(注2) iPodは、Apple Inc. の登録商標である。

三菱電機では、新たな独自の高音質化技術によって、クリア感、奥行き感を補正・強調することで圧縮オーディオの再生でもオリジナルソースに匹敵する音質を実現した。この技術の特徴は、高域成分の補正だけでなく、すべての帯域の劣化した音成分を補正・強調することであり、自然で臨場感のある音の再現が可能である。

これらの音質改善効果は、この技術による処理前後の周波数スペクトルの時間変化を比較することで確認している。さらに、試聴による主観評価でも高い評価を得ることができた。

また、車載製品への搭載を容易にするため、この技術を実装した小型・廉価な専用ICと、自動車内でこの技術の音質のチューニングを行うためのチューニングツールを開発した。この技術と専用ICは2010年6月に発売になった市販カーオーディオ製品へ搭載しており、今後ほかの機種にも展開を進める予定である。



圧縮オーディオ高音質化処理のブロック図

圧縮オーディオ高音質化技術をカーオーディオに搭載した場合のブロック図である。当社独自のクリア感、奥行き感の補正・強調処理を、カーオーディオに搭載された専用ICで処理することによって、CD-RやUSB(Universal Serial Bus)メモリ内の圧縮オーディオの再生でもオリジナルソースに匹敵する音質を実現している。

1. ま え が き

近年、MP3、AAC等圧縮オーディオをより高音質で楽しみたいというニーズが高まってきており、圧縮オーディオ向けに音質補正を行う技術が開発されてきている⁽¹⁾。

当社では、新たに独自の高音質化技術を開発し、カーオーディオ製品への展開ができるよう、小型・廉価な専用ICの開発を行った。高音質化アルゴリズムについては、当社情報技術総合研究所で開発を行い、専用ICへの実装については当社自動車機器開発センターで行った。実際のカーオーディオ製品への展開は、これらの2部門の協力のもと、当社三田製作所で行った。この技術の特徴は、高域成分の補正だけでなく、すべての帯域の劣化した音成分を補正・強調することであり、これによって自然で臨場感のある音の再現が可能である。

2. 圧縮オーディオ技術

2.1 圧縮オーディオ技術の種類と特徴

近年、圧縮オーディオの方式として、MP3形式⁽²⁾と、AAC形式⁽³⁾が最も広く普及している。表1に、主な圧縮オーディオ技術の種類と一般的なビットレートの範囲をまとめる。また、MP3、AAC形式以外にもマイクロソフト社が開発したWMA(Windows Media Audio)形式、ソニー(株)が開発したATRAC 3+(Adaptive Transform Acoustic Coding 3 plus)^(注3)も普及しているので、参考として記載する。

これら圧縮オーディオの方式は、オリジナルソース(非圧縮のCDなど)から人が感知しにくい音を削るという非可逆圧縮を施すことで音楽データの大幅な圧縮を実現しており、音楽データサイズを大幅に小さくできる利点がある反面、一般的には気がつきにくい範囲で音質が劣化してしまうことが特徴となっている。

しかし、高音質を求める顧客にとっては、これまで使われてきたオリジナルソースの音と比較して劣化していることに不満があり、音質の向上が求められている。

(注3) ATRAC 3は、ソニー(株)の登録商標である。

2.2 圧縮オーディオの音質劣化傾向

圧縮オーディオは、よく利用されている128kbps以上のビットレートを確保していれば、オリジナルソースと比較しても、その音質差に気がつきにくい。しかし、圧縮によって、聞こえにくい高い周波数の音やごく小さな音を削減

しており、オリジナルソースの音質と比較すると次のような音質劣化の傾向がある。

- (1) 音のクリア感が劣化する。
- (2) 音の奥行き感が減少する。

2.3 圧縮オーディオのスペクトル分析

図1に非圧縮の音楽と、AAC及びMP3圧縮を施した音楽の周波数スペクトルの時間変化を示す。色の濃淡は音の強さを示しており、濃い色ほど音が強いことを示す。非圧縮の音楽に比べ、圧縮された音楽では、次に示す傾向が確認できる。

- (1) 高い周波数の音が消されている。
- (2) 中域から高域の周波数帯域にかけて、小さな音(微小信号成分)が消されている(色の薄い部分が増えている)。

一般的に高域成分が不足するとクリア感が不足するため、2.2節の圧縮オーディオの音質劣化傾向(1)は、高域成分が圧縮によって消されてしまうこと(上記(1))が原因であると考えられる。

微小信号は、再生音像の立体感や奥行き感に関係しているため、2.2節の圧縮オーディオの音質劣化傾向(2)は、中域から高域にかけて、微小信号成分が失われてしまっていること(上記(2))が原因であると考えられる。図1では高域成分の劣化ほどは顕著にあらわれていないが、圧縮オーディオ方式及びビットレートによっては立体感や奥行き感が明らかに不足してしまうことを試聴によっても確認している。

3. 圧縮オーディオ高音質化技術

より高音質な圧縮オーディオ再生を行うために、当社は、圧縮オーディオの音質を向上することができる新たな技術を開発した。この技術は、デコード後の圧縮オーディオの信号成分をデジタル信号処理によって補正・強調し、オリジナルソースの音質に匹敵する高音質化を実現した技術である。この技術の処理ブロックを図2に示す。

この処理は、クリア感の補正・強調処理と奥行き感の補正・強調処理から構成されている。次に、各処理ブロック

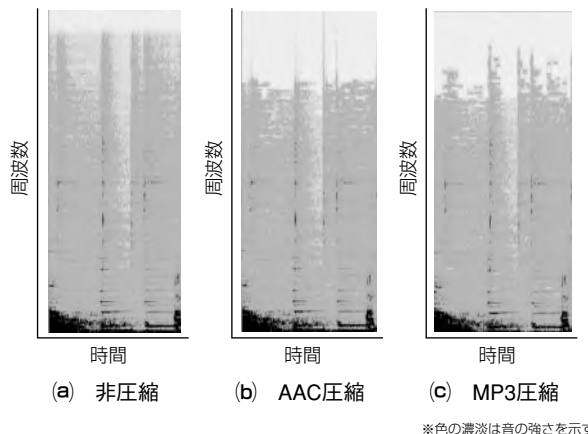


図1. 非圧縮と圧縮の周波数スペクトルの時間変化

表1. 主な圧縮オーディオ技術の種類

種類	一般的なビットレートの範囲
MP3	128~320kbps
AAC	48~320kbps
WMA	48~192kbps
ATRAC3+	48~352kbps

の特徴について述べる。

(1) クリア感の補正・強調処理

定常性が高く処理の際に元の音信号との連続性を保ちやすい成分と、非定常で処理の際に連続性が保ちにくい成分(音の立ち上がりなど)に分離し、別々の方法で欠落した周波数成分を補正・強調することで、自然な高周波数帯域成分を生成した。また、サンプルごとに処理を行う時間軸処理を採用することで、位相特性が良く歯切れの良い高周波数帯域成分の補正・強調に成功した。

(2) 奥行き感の補正・強調処理

圧縮によって失われた微小な信号成分を推定・生成することで、奥行き感を補正・強調した。これによって、オリジナルソースに匹敵する奥行き感を実現した。

4. 評価

圧縮オーディオ高音質化技術の効果を評価するために、補正・強調前後の周波数スペクトルの比較と試聴による主観評価を実施した。

4.1 周波数スペクトルの比較

図3にこの技術による補正・強調前と補正・強調後のAAC圧縮オーディオの周波数スペクトルを示す。補正・強調処理を施す前の周波数スペクトルと比較すると、高い周波数の音が生成されていることがわかる。また、高い周

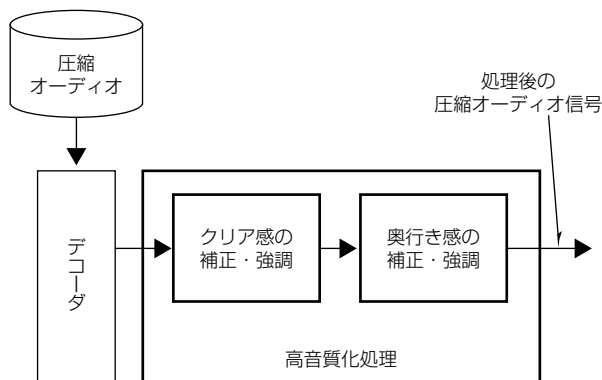


図2. 処理ブロック

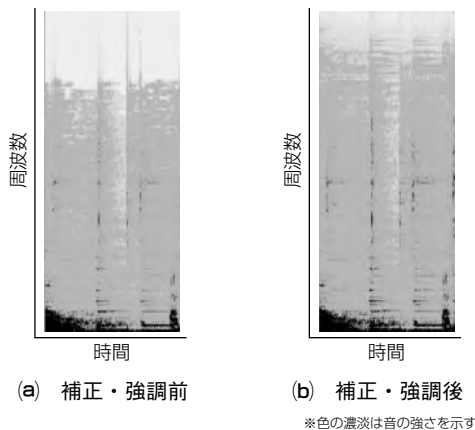


図3. AAC圧縮オーディオの周波数スペクトルの時間変化

波数領域を中心に、中域から高域にかけて消えてしまった小さな音も生成できていることが確認できる。この結果から、図1で示した非圧縮音楽とほぼ同等の周波数スペクトルを実現していることがわかる。

4.2 主観評価

次に、この技術による高音質化の効果を明らかにするため、試聴による主観評価を実施した。評価方法は、一般的なオーディオの評価で使われる方法⁽⁴⁾を基本としており、被験者は、評価音が基準音よりも良ければ50点以上の評点を、悪ければ50点以下の評点を0~100の範囲で採点する。オリジナルソースを基準音とし、それと同程度であれば50点と採点する。今回の評価に使用した圧縮オーディオは、MP3及びAACのビットレート128kbpsのものをを用いた。

評価結果を図4に示す。図中には統計学的検定法であるt検定に基づく95%信頼性区間も示した。処理音は、元のMP3、AACの圧縮オーディオと比較してスコアが高くなっており、10ポイント近くの大きな改善効果があることが認められる。また、同時に処理音は、オリジナルソースと同等の50以上のスコアを得ている。特にAACの場合は、オリジナルソースよりもスコアが高くなっており、その分散も比較的小さく、被験者が全般的に良い評価をしたと言える。

5. 車載向け専用ICの開発

車載製品へこの技術を搭載することを目的として、小型かつ廉価な専用ICの開発を行った。専用ICのスペックを表2に示す。この専用ICは、DSP(Digital Signal Proces-

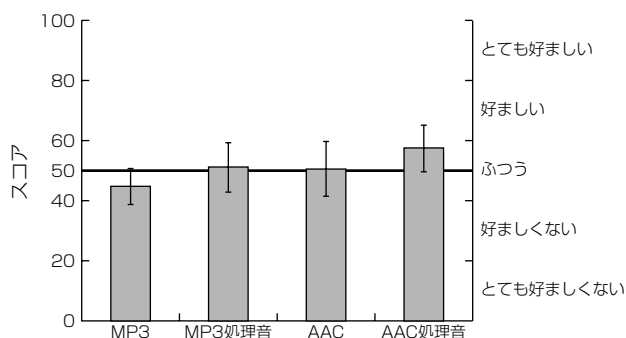


図4. 主観評価結果

表2. 専用ICのスペック

DSPコア	演算方式	固定小数点(32ビット)
	動作速度	73.728MHz
	演算部けた数	56ビット(32ビット×24ビット演算可)
内蔵RAM	データ	768×32ビット
	係数	384×24ビット
I/O (1組搭載)	I ² Sポート	44.1/48kHz, 16/20/24ビット
	I ² Cポート	入力1(4入力切替式), 出力1
Clock部	PLL, OSC内蔵	
Package	QFP 48pin (7.0mm×7.0mm)	

QFP: Quad Flat Package

sor) コア及びデータ、係数メモリ用内蔵RAM(Random Access Memory)を搭載している。これに加えI/O(Input/Output)インタフェースとして、I²S(the Inter-IC Sound bus)音声出力ポート、DSP制御用のI²C(Inter Integrated Circuit)データ入出力ポートとClock部としてPLL(Phase Locked Loop)、OSC(Oscillator)などをそれぞれ一つ備えるほぼ最低限度の構成となる。ただし、I²Sポートの入力側には、セレクトが具備されており、4つの入力を切り替えて使うことができる。また、I²Cポートを利用して補正処理のパラメータ調整を可能としており、圧縮方式の種類やビットレートに応じて最適な補正処理をさせることも可能である。演算方式は固定小数点となるが、オーディオ信号を32ビットで扱えるので、一般的な32ビット浮動小数点演算方式のDSPと比較して演算精度の差は少ない。

この専用ICへの高音質化技術の実装には、DSPコアを約30MHz、内蔵RAMを約300k Word使用した。残りのコア、メモリはほかの音響技術の搭載に利用した。専用ICから抽出したオーディオデータと浮動小数点演算処理したオーディオデータを比較し、ほとんど差のない高音質が得られていることを確認した。

また、カーオーディオにこの専用ICを搭載するにあたり、車室内という特殊な環境で最適な音質を実現するためには、実際の車室内でのチューニングが必要となる。それを可能とするために、パソコンから専用ICにパラメータを送信し、リアルタイムに音質の調整を行えるチューニングツールを開発した。このツールの構成としては、高域の補正量などのパラメータを入力すると、専用ICのパラメータ値を自動で計算しパソコンのシリアルポートに送信することができるアプリケーションと、パソコンからのシリ

アルデータをカーオーディオのマイコンが受け取れるシリアルデータに変換するインタフェース基板からなる。

6. む す び

より高音質な圧縮オーディオ再生を行うために、圧縮によって失われた高周波成分や微小信号成分を補正・強調する高音質化技術を開発した。この技術によって、圧縮オーディオで、高域だけの補正でなくすべての帯域を補正・強調し、クリア感・奥行き感のある自然な音質を実現した。また、この技術を実装した小型・廉価の専用ICと、音質のチューニングを行うためのチューニングツールの開発を行った。これらの技術とIC、チューニングツールを使用し、2010年6月発売の当社市販カーオーディオ製品に圧縮オーディオ高音質化機能を搭載した。今後ほかのカーオーディオ製品に対してもこの技術の展開を進めていく予定である。

参 考 文 献

- (1) 藤山晃治, ほか: サンプル値制御理論を用いた圧縮オーディオ向け高域補正技術, システム制御情報学会論文誌, **20**, 1, 31~38 (2007)
- (2) Information technology-Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1, 5Mbit/s-Part3: Audio, ISO/IEC 11172-3 (1993)
- (3) Information technology-Coding of audio-visual objects-Part3: Audio, ISO/IEC 14496-3 (2009)
- (4) 渡辺 馨: オーディオ信号の劣化の評価法, 音響学会誌, **63**, 11, 686~692 (2007)

第三世代HEV用パワーユニット

道中拓也*
蔵本祐司*

Third Generation Power Unit for HEVs

Takuya Michinaka, Yuji Kuramoto

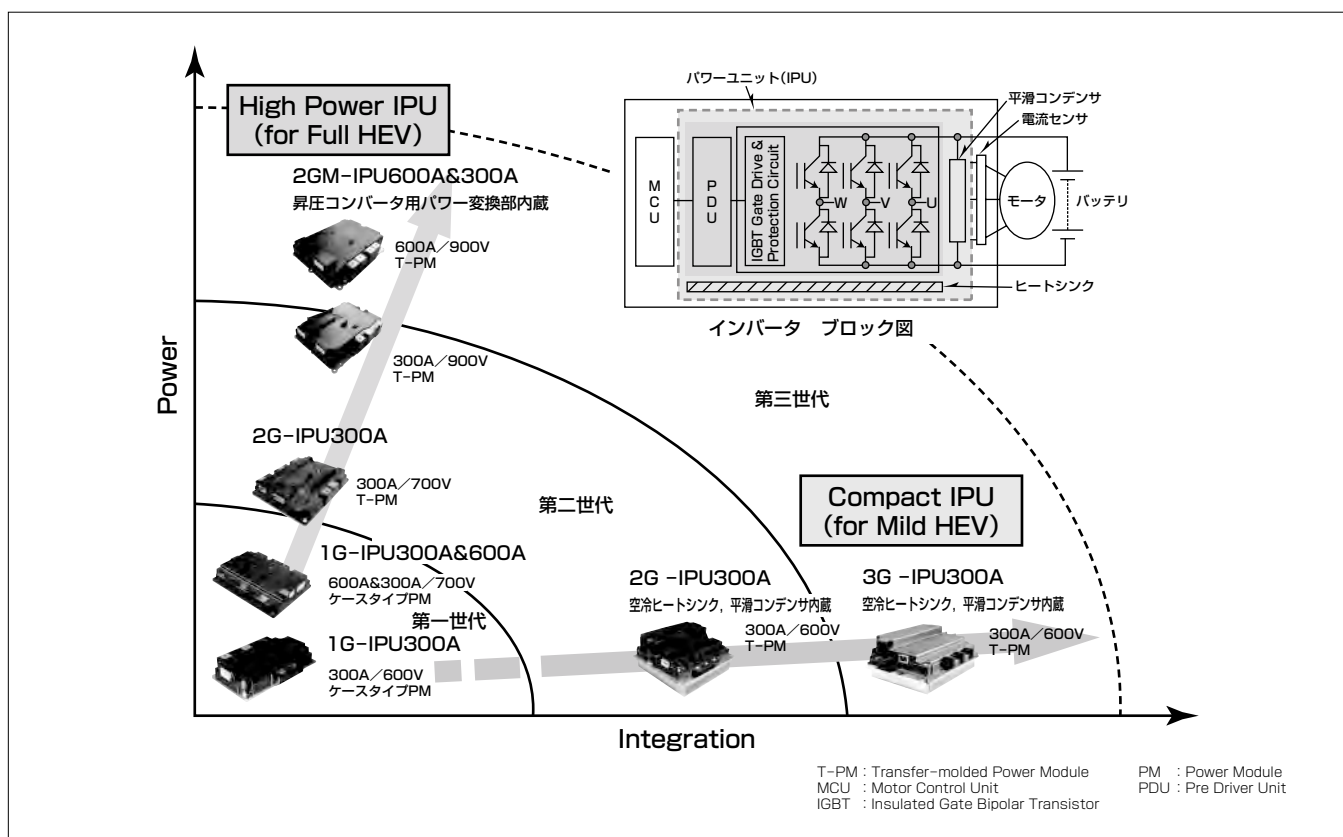
要 旨

三菱電機は、2001年に世界に先駆け、ハイブリッド電気自動車(Hybrid Electric Vehicle：HEV)用パワーユニットとして、半導体パワーモジュールに駆動回路、保護回路及び通信回路を一体化し、小型・軽量・低コスト・高機能をコンセプトとした第一世代IPU(Integrated intelligent Power drive Unit)を量産化した。

2004年には、トランスミッションに直付け可能な高耐振性を特長とするFull HEV用第一世代IPU(1G-IPU)並びにインバータ装置として重要部品である平滑コンデンサ及びヒートシンク内蔵を特徴とするMild HEV用第二世代IPU(2G-IPU)を量産化した。

一方、HEVの更なる普及のためには、インバータ装置の更なる小型・軽量・低コスト・高性能・高出力化を追及する必要がある。この背景の下、次に示す技術を新たに開発し、第三世代IPUとして、Full HEV用(2GM-IPU)並びにMild HEV用(3G-IPU)を2008年から開発量産化した。

- (1) パワーモジュール端子の溶接技術(Full HEV用)
- (2) パワーモジュール並列駆動技術(Full HEV用)
- (3) 高耐振性構造の採用(Full HEV用)
- (4) 過電圧保護動作の高速化(Mild HEV用)
- (5) DLB(Direct Lead Bonding)方式パワーモジュールT-PM(Transfer-molded Power Module)の適用



第三世代IPU

HEVシステムの多様化にあわせて、IPUへの要求仕様もMildからFullと多岐にわたる。これらのニーズにこたえるため、第三世代のMild HEV用高機能型IPUとFull HEV用高出力型IPUを開発した。Mild HEV用IPUは平滑コンデンサ、空冷ヒートシンクを内蔵し、機能統合・小型化を進めた。一方、Full HEV用IPUは電源電圧の昇圧や高出力モータへの適用を可能とする高電圧・大電流定格に対応する。

1. ま え が き

当社は2001年にHEV用パワーユニット1G-IPUを世界に先駆け量産開始した。2004年には、高耐振性を特長とするFull HEV用1G-IPU、平滑コンデンサ及びヒートシンクを内蔵し高機能・小型・軽量化を実現したMild HEV用2G-IPUを量産化した。

さらに、3G-IPUでは次のことを目標として開発を行った。

- (1) Full HEV用：高出力対応と出力密度の向上
- (2) Mild HEV用：小型・軽量・低コスト化

本稿では、今回開発した3G-IPUにおける取り組みについて述べる。

2. Full HEV用IPUへの適用技術

Full HEV用IPU(2GM-IPU)は昇圧コンバータ用パワーモジュールを内蔵し、Full HEVシステムへの適用を目指した製品であり、サイズの小型化は当然ながら、高電圧・大電流(900V・600A)対応があげられる。このIPUの構成を図1に示す。300A定格のT-PMを並列使用することで600A定格を実現している。また、トランスミッションにIPUを内蔵するため、従来機種と同一の高い耐振性が必要である⁽²⁾。

これらの要求に対し、課題を次に示す。

- (1) T-PMの並列駆動と端子接続
- (2) 外形小型化と高耐振構造

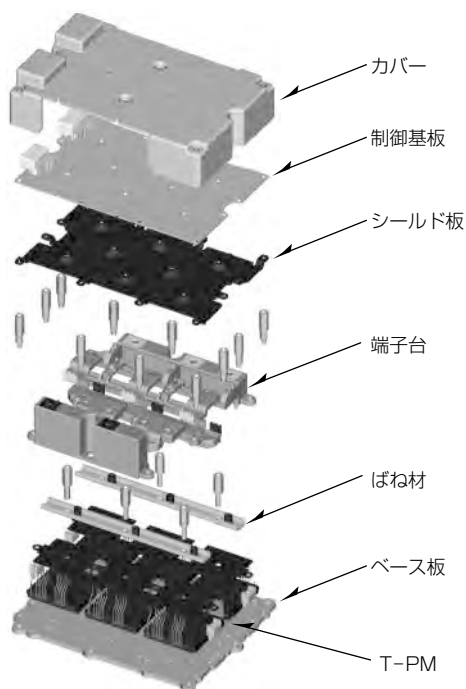


図1. Full HEV用IPUの構成(2GM-IPU600A)

2.1 端子の溶接接合

外形小型化のため、T-PM端子固定方法としては、従来の平面的なねじ固定ではなく、溶接を採用する。

図2に示すように、IPU主端子は客先取り付け部位であり、腐食防止のためNiめっきが不可欠となる。一方、T-PM主端子は制御端子と同一フレームで同時めっきとなるが、制御端子は基板はんだ付けのためSnめっきが必要となり、主端子もSnめっき不可欠となる。一般的に溶接は同種の金属を接合するが、T-PM端子はSnめっき、IPU端子はNiめっきとなるため、これら端子の溶接では母材のCuにSn、Niの異種金属が溶け混ざった状態となる。この異種金属が接合部に与える影響を検証した。

図3に評価結果を示す。Snめっき厚が大きい場合は外観不良が発生し、Niめっき厚が大きい場合は溶接強度が低下する。前述のとおり端子のめっき仕様は変更できないため、接合強度と溶接外観を考慮しためっき厚を設定し、異種金属の混合をコントロールすることで十分な強度を確保することができた。

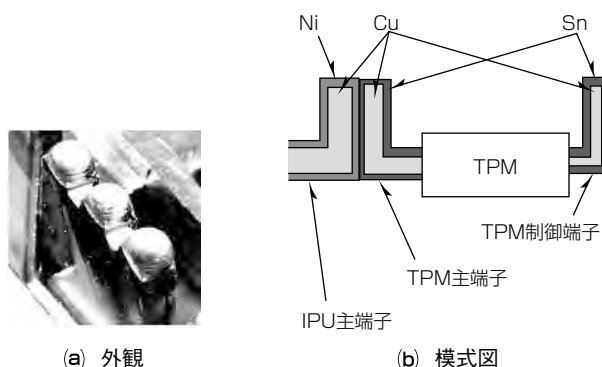
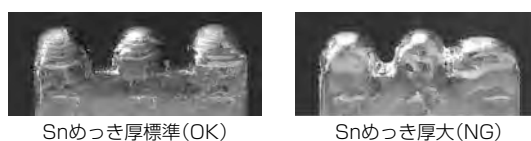
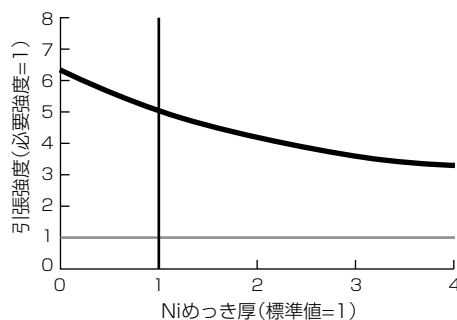


図2. 溶接端子



(a) Snめっき厚と溶接外観



(b) Niめっき厚と溶接強度

図3. 溶接結果

2.2 T-PMの並列駆動

各T-PMのパワーチップを並列駆動する場合、電流アンバランスが課題となるため、並列駆動チップの特性のマッチング、低インダクタンスと配線の対称性を考慮した主回路・制御基板の最適設計が必要である。

このIPUでは、図4(a)に示すとおり、並列駆動回路の駆動ICを制御基板の中央に配置し、配線パターンを並列駆動する各T-PM制御端子へ対称に配置した。また、主回路バスバーをT-PM上に広い並行平板部を確保するように配索することで低インダクタンス化を実現した。

これらによって、図4(b)に示すとおり、並列駆動する各T-PMの通電電流を均等に配分することができた。

2.3 高耐振構造

このIPUはトランスミッションに内蔵されるため、高周

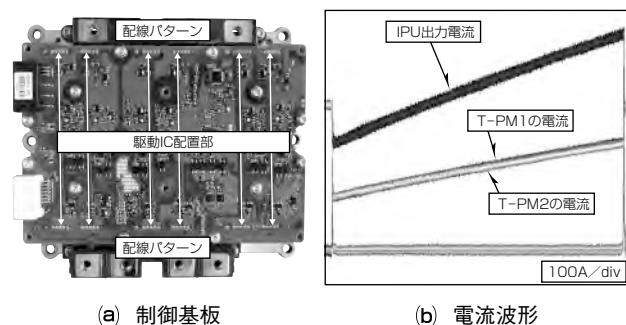


図4. 並列駆動回路(2GM-IPU600A)

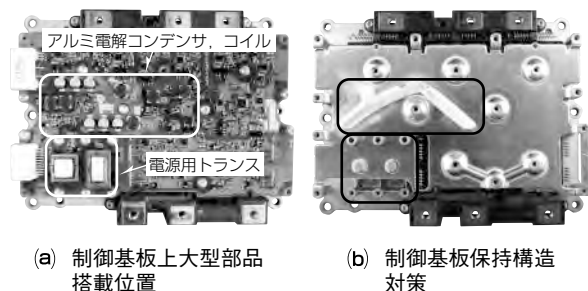


図5. 耐振対策実施内容(2GM-IPU300A)

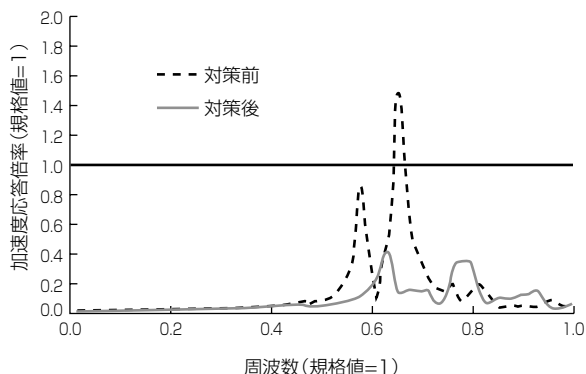


図6. 耐振対策による効果(2GM-IPU300A)

波域までの耐振性能が要求される。しかし、制御基板保持にホルダによる多点締結構造を採用したにもかかわらず、共振によって高い加速度が印加される結果となった。対策として、スペックに対し必要な信頼性を確保できる許容加速度を部品ごとに求め、耐振性の低い部品(主に大型部品)は、搭載位置の保持構造を強化する対策を実施した。その内容を図5に示す。

電源用トランスが搭載される位置には、制御基板をベース板から直接補強する専用ホルダを設け、アルミ電解コンデンサ、コイルの搭載位置は、制御基板をシールドプレートに接着することによって振動減衰比を高めた。

対策箇所について、対策前後の共振波形を図6に示す。対策によって加速度応答倍率を約1/4に低減でき、搭載部品の許容値以下とすることができた。

3. Mild HEV用IPUへの適用技術

Mild HEV用IPU(3G-IPU)は、Mild HEVシステムへの適用を目指した製品であり、システムの性質上、小型・軽量・低コストを追求した。

図7にこのIPUの構成を示す。2G-IPUと同様に、インバータ装置として必要な平滑コンデンサ及びヒートシンクを内蔵し、組み立て作業を容易にするためにビルドアップ構造とした。

表1にその達成手段、関係部材及び効果の関係を示す。

3.1 過電圧保護動作高速化

三相モータからの異常回生電力による平滑コンデンサ両

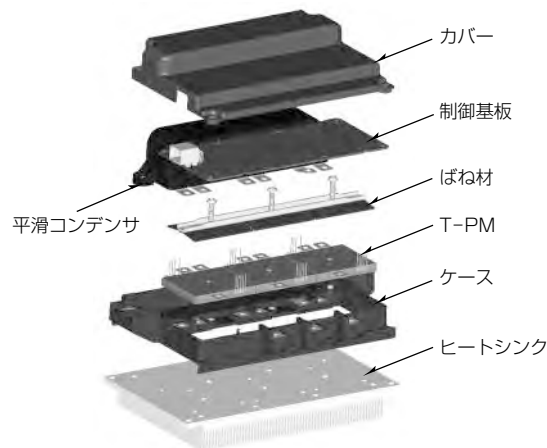


図7. Mild HEV用IPUの構成

表1. Mild HEV用3G-IPU開発効果

達成手段	関係部材	効果	小型	軽量	低コスト
過電圧保護	平滑コンデンサ	静電容量低減	○	○	○
動作高速化	ヒートシンク	質量低減	○	○	○
DLB構造採用	T-PM	チップ縮小			○
		生産性向上			○

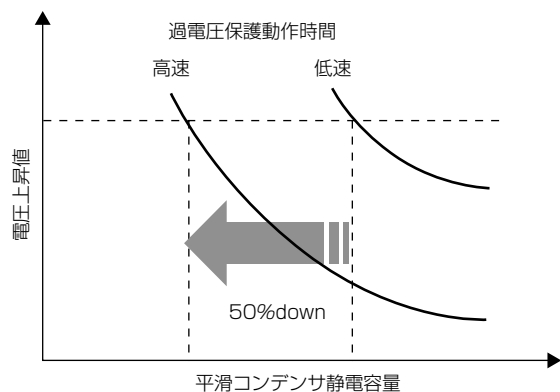


図 8. 過電圧保護協調範囲

端に発生する過電圧からIPUを保護するための過電圧保護機能を持つ。図 8 に過電圧保護動作時間に対する平滑コンデンサ静電容量の低減率を示す。過電圧保護動作時間はIPU内部のマイクロプロセッサの電圧検出時間に依存し、電圧上昇値は平滑コンデンサ容量に依存する。

クロックアップによるマイクロプロセッサの高速化とサンプリング方式を工夫することで、過圧保護動作時間が50%に低減でき、平滑コンデンサ容量を50%に低減した。平滑コンデンサは容量低減に伴いその体積も低減し、平滑コンデンサを搭載するヒートシンクの質量も60%に低減できた。

これらの効果によって、2G-IPUと比較して、-30%の小型化、-40%の軽量化、-40%以上の低コスト化を実現した。

3.2 DLB方式T-PM

3G-IPU全製品に搭載するT-PMは、図 9 に示すように、パワーチップへの配線接続方法として、2G-IPUのワイヤボンディング(WB)に代わりDLB構造を採用した。

その結果、配線の電流密度が向上しパワーチップの小型化及び生産性の向上によって低コスト化を実現した。あわせて、内部インピーダンスの低減及び信頼耐久性の向上と高性能化を実現するとともに、Full HEV用は高出力化を、Mild HEV用は小型化を志向し開発量産化を実施した。

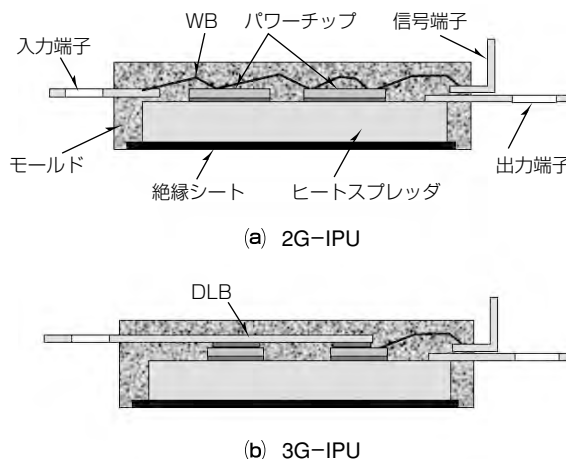


図 9. T-PM内部構成比較

4. む す び

3G-IPUは、次の効果によって、多様化するHEVシステムの普及に貢献する製品である。

Full HEV用として、2G-IPUとほぼ同一サイズで高電圧・大電流対応のIPUを開発した。従来機種同様、トランスミッション内蔵を実現する高耐振タイプであり、車両搭載時のレイアウト設計に高い自由度を与える。

Mild HEV用として、2G-IPUと比較して、-30%の小型化、-40%の軽量化、-40%以上の低コスト化を実現した。

参 考 文 献

- (1) 藏本祐司，ほか：HEV用第二世代IPU,三菱電機技報，**81**，No.9，581～584（2007）
- (2) 赤澤彰則，ほか：トランスミッション内蔵型IPUの開発・量産化，三菱電機技報，**78**，No.9，569～572（2004）
- (3) 多田和弘，ほか：パワーモジュール封止技術，三菱電機技報，**78**，No.11，743～746（2004）

軽四輪車用 小型・軽量・低消費電流 燃料ポンプモジュール

金丸茂樹*
濱谷祐多郎*

Compact, Light Weight and Low Current Fuel Pump Module for Light Vehicle

Shigeki Kanamaru, Yutaro Hamatani

要 旨

燃料ポンプの重要なニーズとして、低消費電流化、小型・軽量化がある。近年、軽四輪車でも、環境性能向上とともに安全性や快適性といった商品性向上のために電子制御製品の搭載数も増加傾向にあり、車重増加や充放電バランスの悪化が生じており電装部品メーカーへの対応が求められている。

三菱電機では、この状況に適応できる小型・軽量で消費電流の低い軽四輪車用新型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) 燃料ポンプ本体への高効率インペラ採用による低消費電流化
- (2) 燃料フィルタの濾材(ろざい)形状(折り幅)最適化と、フランジとの一体化による小型・軽量化
- (3) プレッシュレギュレータホルダと燃料ポンプホルダの一体化による小型・軽量化

この結果、従来品に対して消費電流36%減、体積40%減、質量27%減を達成した。



軽四輪車用 小型・軽量・低消費電流 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。今回開発した燃料ポンプモジュールは、燃料ポンプ本体やモジュール構成部品装置の仕様改良によって、従来品に比べ大幅な小型・軽量化・低消費電流化を実現し、車両の燃費向上・軽量化に貢献している。

1. ま え が き

近年、軽四輪車でも、環境性能向上とともに安全性や快適性といった商品性向上のために、電子制御製品の搭載数が増加し、車重増加や充放電バランスの悪化を引き起こしている。

当社では、この状況に適応できる小型・軽量で消費電流の低い軽四輪車用新型燃料ポンプモジュールを開発し、出荷を開始した。

本稿では低消費電流化のキーとなった“T33型”燃料ポンプと、それを内蔵し、小型・軽量化と低騒音化を両立した燃料ポンプモジュールについて、その特長と達成手段を述べる。

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、車両の燃料タンク内に設置され、タンク内燃料を吸い上げ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、及び高圧側フィルタ、燃料配管内圧力を一定に保つプレッシャレギュレータ、残燃料計測用のセンダーゲージ、タンク内圧調整用の2ウェイバルブ、及びこれらを保持して燃料タンクへ組み付けるためのフランジ等によって構成され、これら近接する燃料系の機能部品を集約一体化することで、部品点数削減による軽量化と車両組立ての効率化を実現し付加価値向上を実現したものである(図1)。

2.2 低消費電流化

燃料ポンプは、燃料を吸入・圧送するためのインペラ(羽根車)を収納したポンプ部と、インペラを駆動するためのロータ及びマグネットからなるモータ部、ロータに電源を供給するための電源供給部から構成される(図2)。

軽四輪車用新型燃料ポンプモジュールに搭載したT33型燃料ポンプには、従来の外羽根式インペラからインペラの外周に外輪を設け羽根の薄型化と回転方向に傾斜したBSCP(Both Side Channel Pump)タイプを採用し(図3)、同時にケーシングに設けた流路溝も、従来台形であったものを流体の旋回にあわせた滑らかな円弧形状とした(図4)。

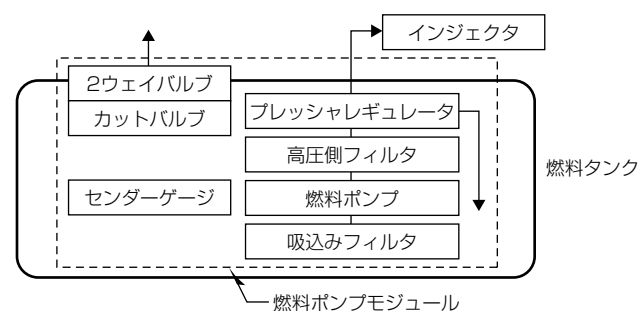


図1. 燃料ポンプのモジュール構成

従来のポンプ部では、インペラの回転によって生じる羽根間の旋回流と固定ケーシングの内壁との間に生じる流体摩擦による損失が生じており、特に締め切り部を有する径方向で顕著であった(図5)。

BSCPでは羽根間に生じる旋回流が流路外壁と同期して回転することにより、流体と流路外壁との流体摩擦抵抗に起因する損失を低減し、ポンプ効率の向上を図った(図6)。

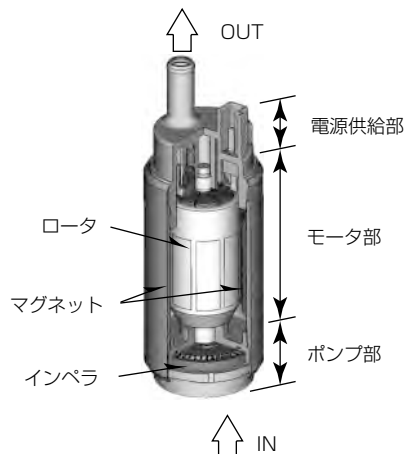


図2. 燃料ポンプ

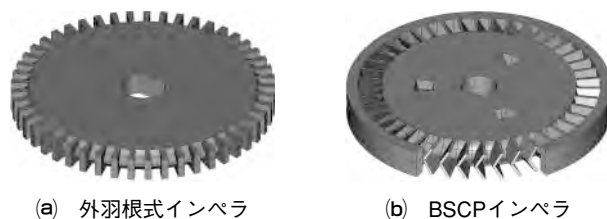


図3. インペラ

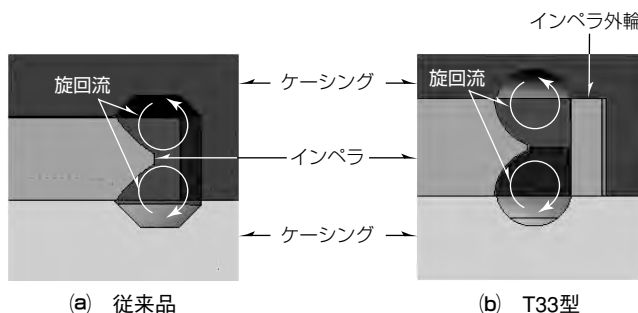


図4. ポンプ部(断面図)

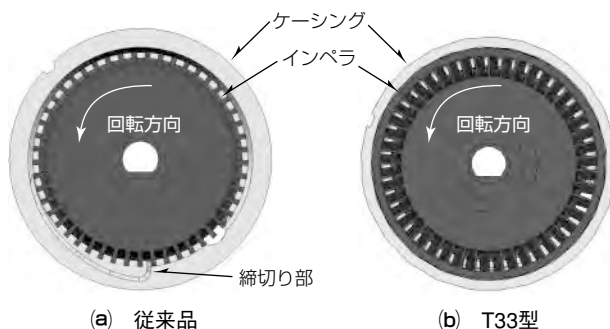


図5. ポンプ部(平面図)

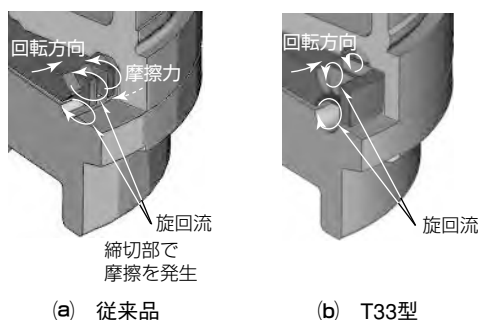


図 6. ポンプ部(斜視図)

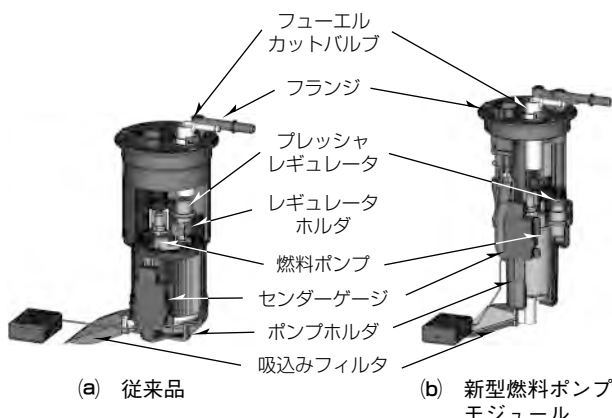


図 7. 燃料ポンプモジュール

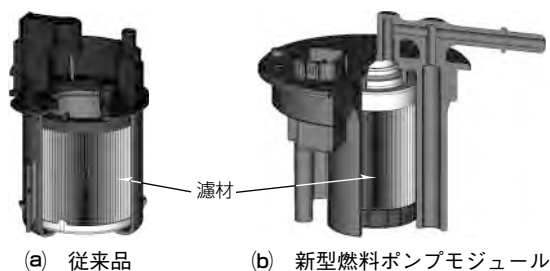


図 8. 高圧側フィルタ

また、同時に、マグネットの高磁力化によるモータ効率の改善により、従来品に対して消費電流36%減のポンプを実現した。

2.3 小型軽量化

軽四輪車用新型燃料ポンプモジュール(図7)では、濾材(ろざい)の折幅を最適化し、従来ドーナツ形であった高圧側フィルタを円柱形とすることで、フィルタの外径を小型化し、フランジへ一体化するとともに、燃料ポンプの上方に配置した(図8)。これによって製品の占有体積の低減と軽量化を図り、更に燃料タンクへの組付け性の向上を実現した。

また、これらの部品レイアウトの見直しにあわせて、従来、高圧側フィルタの上方に配置していたプレッシャレギュレータを、高圧側フィルタの下部に設置し、燃料ポンプに近接させることで、従来は別部品であったポンプホルダとレギュレータホルダを一体化し、部品点数の削減と軽量化を図った。

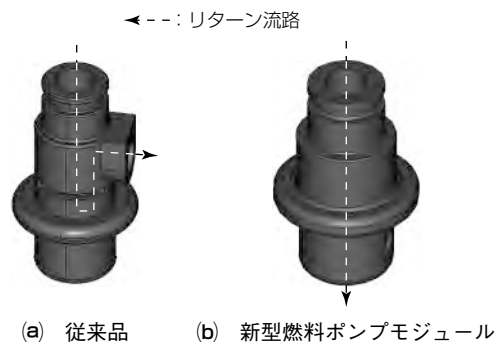


図 9. プレッシャレギュレータ

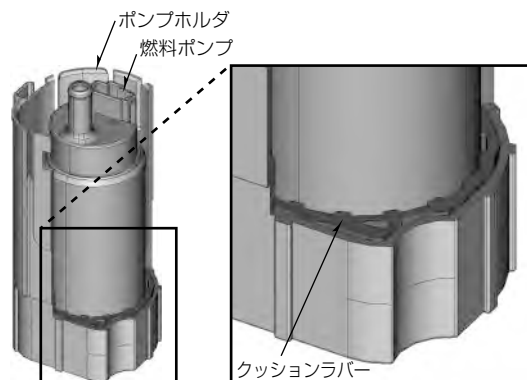


図10. クッションラバー構造

さらに、プレッシャレギュレータのリターン流を軸方向に対して直角に排出していたが、軸方向に排出するよう内部流路の取り回しを見直すことにより、部品の簡素化と軽量化を図った(図9)。

これらの取組みにより新型燃料ポンプモジュールでは従来品に対し、体積40%減、質量27%減を達成した。

2.4 低騒音化

近年、車内居住性向上のため、軽四輪車でも高い静粛性を求められるようになった。

一方で、新型燃料ポンプモジュールでは軽量化のため徹底した樹脂肉厚の低減を行ったため、従来品に対して、騒音の発生源となる燃料ポンプ本体、及びプレッシャレギュレータに対する樹脂部品での囲い込み効果が薄れ、遮音性の低下が懸念された。開発に際しては軽量化と静粛性との両立が課題であり、次の作動音低減策を講じた。

燃料ポンプ内のモータ振動に起因する低周波音に対しては、ポンプとポンプホルダ間に介在するゴム部材(クッションラバー)のリブ形状を千鳥配列とし、接触面積を最小限とすることで、振動伝達を抑制し、騒音低減を図った(図10)。

余剰燃料がプレッシャレギュレータの弁部の狭小流路を通過し排出される際に発生する流動音(減圧沸騰音)に対しては、リターン燃料の流路となるバルブシートにオリフィス形状を設け、背圧をかけることにより流路内の圧力差を

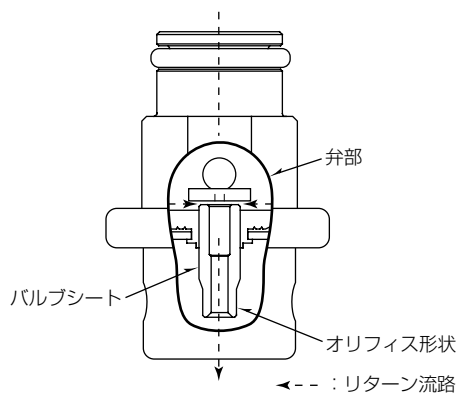


図11. プレッシャレギュレータ弁部構造

低減し、騒音発生を抑制した(図11)。

これらにより、作動音を大幅に低減し、軽量化と静粛性向上の両立を達成した。

3. む す び

燃料ポンプモジュールに求められる機能・性能は、従来小型・軽量・高効率である。これは近年の燃料価格高騰、環境保護指向の社会的高まりにより更に厳しくなる車両の



図12. 新型燃料ポンプモジュール

排出ガス規制、CO₂排出削減規制対応に密接に関係する課題である。

消費電流と質量でクラスNo.1を達成した新型燃料ポンプモジュール(図12)は、車両の燃費向上に貢献できるとして高い評価を受けている。

今後も更に小型・軽量・低消費電流化を追求した燃料ポンプモジュールを世に送り出していく所存である。

駆動回路一体型電制ターボアクチュエータ

土井弘文*
波多野健太*

Intelligent Type Electric Turbo Actuator

Hirofumi Doi, Kenta Hatano

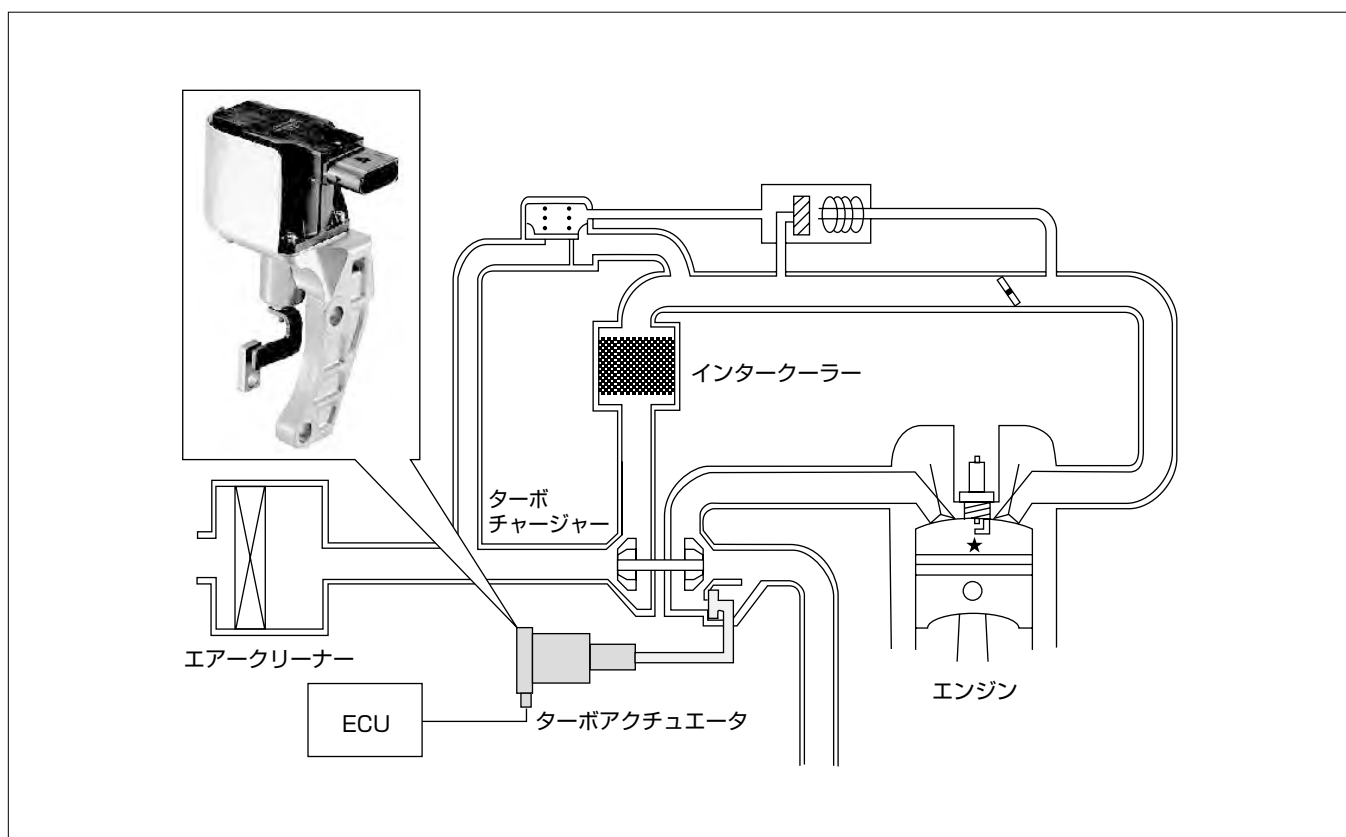
要 旨

自動車(エンジン)の開発で、地球温暖化の原因となる二酸化炭素排出量削減のための燃費向上は重要なアイテムであり、一つの対応策としてターボチャージャー(Turbo Charger: T/C)の採用が増加している。ウエストゲート型や可変容量型のように、バルブやノズルなどの開閉部分を持ち、その開閉によってタービンの回転速度をより緻密(ちみつ)に制御することが可能なT/Cが主流となっているが、さらに過給圧制御の高精度化、エンジン運転状況にかかわらず制御が可能となる任意性が要求されている。

三菱電機では、ディーゼルエンジンに主に使用される可変容量型T/Cのノズルを開閉させるアクチュエータとし

て、その駆動回路をDC(Direct Current)モータに一体的に構成した駆動回路一体型電制ターボアクチュエータを製造している。DCモータは、長寿命が要求される商用車への採用を考慮してブラシレスモータとし、その回路には、モータを駆動する機能に加えてアクチュエータとしての位置制御機能も持たせている。

また、その駆動回路は、エンジンコントロールユニット(Engine Control Unit: ECU)内への設置にかかわる負荷低減のため、エンジン、T/Cへの搭載性を大幅に悪化させることがないよう小型化してDCモータに一体的に構成し、さらに高精度化のために分解能を向上させている。



駆動回路一体型電制ターボアクチュエータ

電制ターボアクチュエータとは、T/Cの過給圧を制御するために、T/Cの外部からリンク機構を介してウエストゲートやノズルの開閉を行うDCモータを駆動源としたアクチュエータであり、駆動するために必要な専用回路をDCモータ本体に一体的に構成することによって、大幅なサイズアップを招くことなく電気配線や電気コネクタの削減を可能としている。

1. ま え が き

地球温暖化防止のため、自動車の排気ガス中の二酸化炭素排出量削減が急務であり、エンジンのダウンサイジング、及びその出力補完のためのT/Cの採用による燃料消費量低減策が図られている。ウエストゲート型や、図1に示すタービンの外周に複数のノズルを設置してその開閉によって排気ガスの流速を調整する可変容量型のような、タービンの回転速度をより緻密に制御することが可能なT/Cが主流であり、近年では、さらに高精度制御、及びエンジンの運転状態にかかわらず制御が可能となる任意性の要求が高まっている。当社では、可変容量型T/Cのノズルを高精度に開閉させるDCモータ駆動の駆動回路一体型電制ターボアクチュエータ（以下“電制アクチュエータ”という。）を製造している。

2. 駆動回路一体型電制アクチュエータ

2.1 電制アクチュエータの製品概要

アクチュエータは、可変容量型T/Cのタービンハウジングの外側に設置されたレバー先端を押し引きしてリンク機構を揺動させることで内部の複数のノズルを一斉に開閉しており、要求される機能は以下が挙げられる。

- ①高出力→T/Cからの反力に打ち勝って駆動
- ②高速応答性→過給圧の高速制御（ターボラグの改善）
- ③位置保持性→一定位置保持時のふらつき低減
- ④任意性（エンジン運転状態に関係なく駆動可能）
- ⑤高寿命

これらの要求を満たすためには、反力や内蔵スプリング荷重とのバランスで動作する既存の圧力駆動のダイヤフラム式では困難であるため、当社では、DCモータのトルクを駆動源として、モータの内部のねじ機構によって回転運動を直動運動に変換するコンパクトな電制アクチュエータを開発、製造している（図2）。

ねじ機構は、回転するロータの内部に雌ネジを構成し、その雌ネジと嵌合（かんごう）する雄ネジを出力軸に構成することで両者は噛み合っている。出力軸は、軸受によって直動運動が支持されるとともに、回転止め形状によってロ

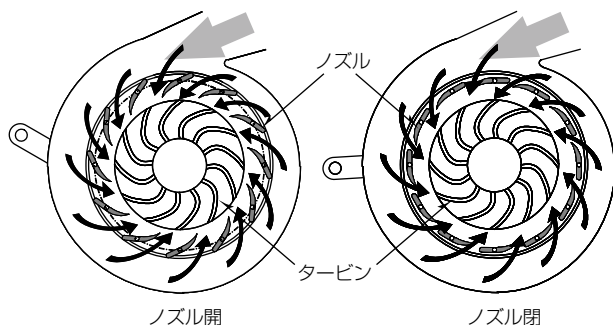


図1. 可変容量型T/C

ータ内部のねじ嵌合による回転運動が規制され、直動運動に変換されている。

2.2 ブラシレスモータ

当社のブラシレスモータは一般的なブラシレスモータ同様、ロータマグネット回転型であるが、3相のコイル巻線部は当社固有技術である“ボキボキモータ”構造（図3）を採用しており、高効率で生産性に優れたモータを実現している⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

また、ロータマグネットの軸方向長さをほぼ1/2にしたスモールタイプも設定し、省スペースのエンジンルームへの搭載性を確保している。

2.3 駆動回路

ブラシレスモータを駆動し、その性能を十分に発揮するためには、回転するマグネットの位置を検知してコイルへの通電切り替えを適切なタイミングで行うことが重要である。

そのため、回転するロータマグネットの位置検出方法として、センサ用マグネットを設置し、磁極の切り替わりを磁気的に検出して電気信号を出力するホールICを使用している。ホールIC設置基板には、ホールIC検出信号入力I/F回路、ECUとの通信回路、モータをPWM（Pulse Width Modulation）制御するための駆動デューティを演算する制御回路、モータ駆動回路を一つの基板上に搭載して小型化を図り、大幅なサイズアップを招くことなくブラシレスモータ本体に一体的に構成した。

また、アクチュエータとして要求される目標位置への駆動や位置保持を高精度に行うためには、アクチュエータが

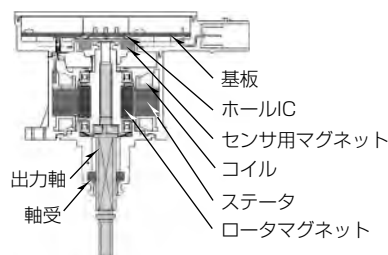


図2. 電制アクチュエータの構成

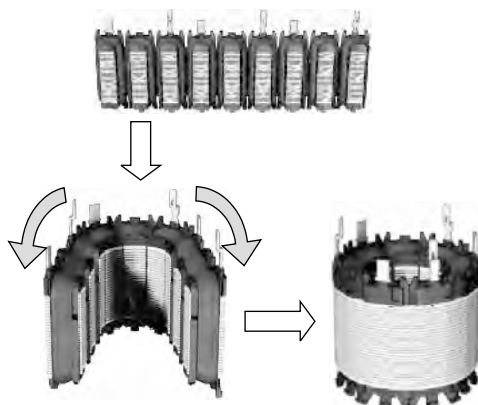


図3. ボキボキコア構造

現時点での位置にいるかを検出する位置センサが不可欠であるが、ロータマグネットを回転させるための3相コイルへの通電切り替えタイミングを検出するホールIC信号をアクチュエータの位置検出センサとして兼用し、ホールICの信号切り替わり数をカウントすることでアクチュエータがどれだけ動いたかを検出しており、別のセンサを追加することなく位置検出を行っている。

3. 電制アクチュエータの特性

電制アクチュエータには表1に示す特性が要求される。

推力はモータの発生トルクと回転運動を直動運動に変換するねじ機構部のリードによって決まり、その関係はねじの軸力とトルクの関係式である以下の式(1)で求められ、モータ自体の回転速度とトルクを基に、ねじ機構部のリードを式(1)によって最適化している。

$$T = 0.5 F d \tan \{ \tan^{-1} (\mu s / \cos a) + \tan^{-1} (L / \pi d) \} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 T はモータトルク、 F は軸力、 d はねじ有効半径、 μs はねじ山摩擦係数、 a はねじ山の半角、 L はリードである。

また、応答性もモータの回転速度とねじ機構部のリードから式(2)によって算出される。

$$t = s / (NL/60) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 t は応答性(時間)、 s は応答性の規定距離、 N はモータ回転数(rpm)、 L はリードである。

このように、推力、応答性ともにねじ機構部のリードの設定によって決定され、ねじ機構部のリードを短くすれば、推力は増加するが応答性は遅くなり、長くすれば推力は低下するが応答性は速く設定できる。つまり、ねじ機構部のリードは電制アクチュエータの重要な設計要素の一つであると言え、ねじのリードを調整することによって推力と応答性のバランスを最適化し、要求にマッチした性能を確保している。

4. 電制アクチュエータの分解能向上

4.1 機構的分解能向上

電制アクチュエータが動かすT/Cのレバーは、T/Cの性能上、又は内部構造上、回転角度が規制されている。そのため、高精度に制御するためには、このレバーの回転角度を細かい分解能で制御することが重要である。

電制アクチュエータの推力はレバー先端に印加されてトルクとして伝達されるため、レバーの長さや回転角度の関

係から電制アクチュエータへの要求特性が決まり、レバーが長ければ低推力で長いストロークが必要であり、レバーが短ければ高推力だが短いストロークが要求される。つまり、電制アクチュエータのねじ機構部のリード設定は、モータの回転速度とトルクのみならず、T/Cのレバー長さや回転角度を考慮しなければならない。ただ、ブラシレスモータを回転させるための回転位置検出用ホールICをアクチュエータとしての位置検出センサとして使用しているため、ねじのリードが決定すれば分解能も決まってしまう。そのため、分解能は、より高精度な制御をするために可能な限り細かいことが要求される重要な特性であり、ねじ機構部のリードを短くすることで分解能向上が図れるため、推力と応答性の両立する範囲内で極力短く設定している。

4.2 位置検出センサの分解能向上

4.2.1 ロータマグネット回転の分解能

図4に示すように、3相コイルへの通電パターンは6パターンであり、必然的に通電切り替えタイミングを検出するホールIC信号切り替えも少なくとも6回は行われなければならない。一般的なブラシレスモータを駆動する場合、センサ用マグネットの磁極数はロータマグネットの磁極数と同数であり、ホールICの信号が切り替わるたびにコイルの通電が切り替えられ、図5に示すようなパターンとなる。

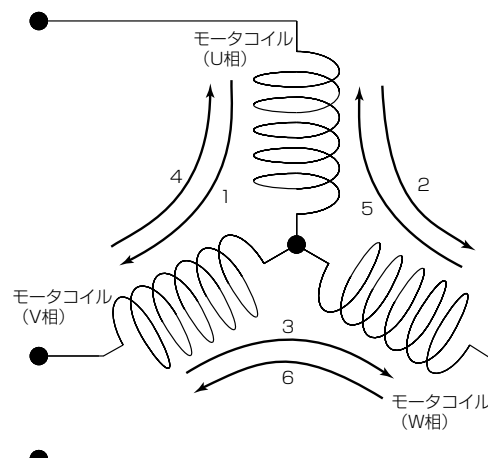


図4. ブラシレスモータの3相コイルへの通電

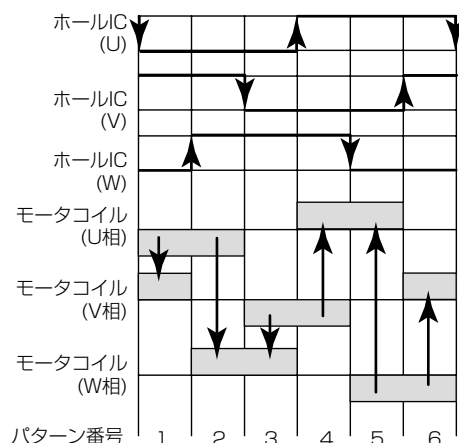


図5. ブラシレスモータ通電パターン

表1. 電制アクチュエータの要求特性

特性	内容
推力	T/Cの反力に打ち勝って駆動する
応答性	指示位置への素早く到達する
ストローク	T/Cのレバーを回転させる
分解能	ストローク内の位置を細かく検出する

る。ステータのティース数、及びロータマグネットの磁極数の関係によって、ロータマグネット1回転あたりの通電切り替え回数は異なるが、当社のブラシレスモータではロータマグネット1回転あたり36回通電切り替えが必要であり、 360° の $1/36$ である 10° が回転位置検出可能な最小分解能である。

4.2.2 位置検出センサの分解能向上

前述のとおり、センサ用マグネットの磁極数がロータマグネットの磁極数と同数で、ホールICの信号が切り替わるたびにコイルの通電を切り替える場合は、ねじのリードの $1/36$ がアクチュエータとしての分解能となる。さらには高精度にT/Cを制御するために、位置信号として検出しているホールICの信号切り替わり数を増加させて高分解能化を図った。具体的には、通電切り替え位置の中間で位置検出が可能となるよう、センサ用マグネットの磁極数をロータマグネットの磁極数の2倍とし、その位置ではコイルへの通電は切り替えずに駆動デューティを調整して位置保持が行えるように制御を行っている。この結果、図6に示すように、ホールICの信号切り替わりの2回に1回のタイミングで3相コイルへの通電切り替えが行われ、6パターンの3相コイルへの通電パターンを変更することなく、12回のホールIC信号の切り替えが行われ、分解能を2倍に向上させることが可能となった。つまり、ロータマグネット1回転あたりの位置検出分解能は、 10° から 5° に向上し、ねじのリードの $1/72$ の分解能を得ている。

5. その他の高精度化

ホールICを使用した位置検出方式は、あくまで相対的にアクチュエータの位置を検出しており、実使用では、まず基準となる位置を初期化制御によって定義し、その位置からの移動距離を求めて絶対位置センサとして使用することが必要であるため、初期化は、アクチュエータの内部、又はT/Cのレバー部の機械的ストッパなど、その位置が摩耗などによって経時変化し難い部位にアクチュエータの

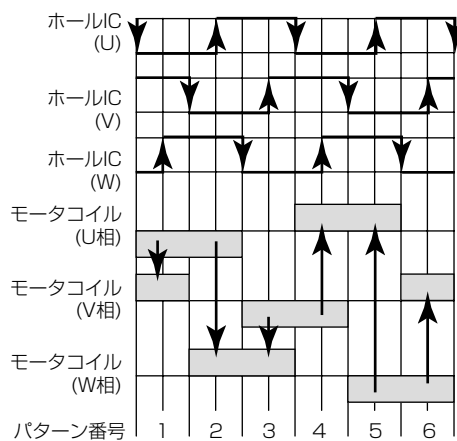


図6. ブラシレスモータの高分解能通電パターン

シャフトを押し当てて、その位置を基準位置として定義している。

6. む す び

今後も、燃費改善のためのT/Cの採用は増加し、より高精度な制御をするためにも電制アクチュエータのニーズは、乗用車や商用車も含めて増加するものと想定される。自動車メーカーやT/Cメーカーからのコストパフォーマンスに優れたアクチュエータの要求にこたえるために、より高性能な電制アクチュエータの開発を進め、T/C用アクチュエータの事業の維持拡大を図る。

参 考 文 献

- (1) 三好帥男，ほか：DCモータ駆動式EGRバルブとその制御，三菱電機技報，**78**，No.9，589～593（2004）
- (2) 三宅俊彦：ブラシレスモータのEGRバルブへの応用，電気学会 自動車研究会資料 JN:L4570A，**VT-04**，No.13-14，16-21，9-13（2004）
- (3) 三宅俊彦，ほか：EGRバルブ用DCモータの電磁駆動技術，三菱電機技報，**79**，No.11，723～726（2005）

DSSS車載システム

前田 崇* 津田喜秋***
森田茂樹*
伊川雅彦**

DSSS on Board Unit

Takashi Maeda, Shigeki Morita, Masahiko Ikawa, Yoshiaki Tsuda

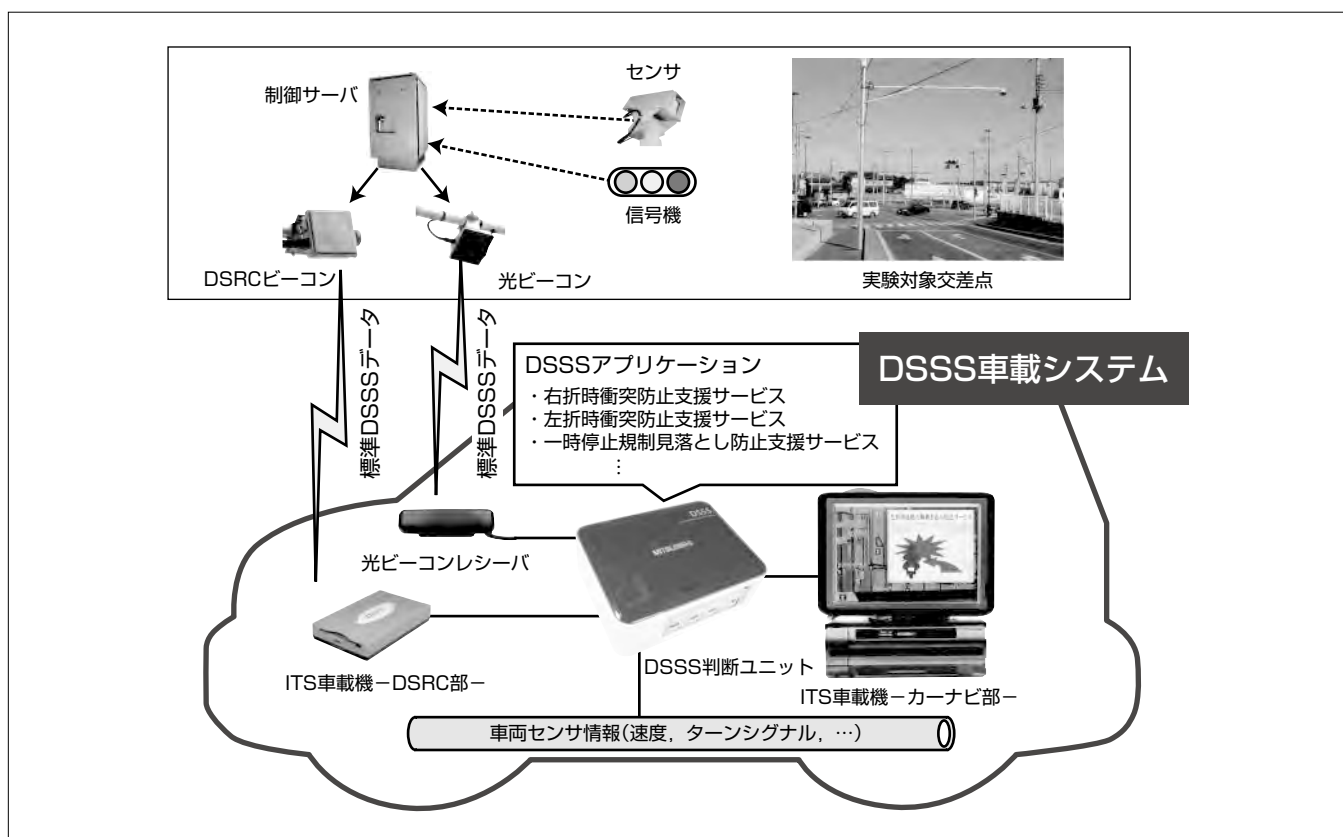
要 旨

2006年1月に政府が策定したIT新改革戦略の“世界一安全な道路交通社会”実現を目指し、官民連携して路車協調による安全運転支援システムの実現に取り組んでいる。路車協調安全運転支援システムとは、自動車と路側インフラとで行われる路車間通信などによって、ドライバーの安全な運転を支援し、交通事故の削減を目指すシステムである。

三菱電機では国土交通省道路局が推進する5.8GHz帯DSRC(Dedicated Short Range Communication)を使ったスポット通信サービス(DSRCサービス)による安全運転支援に対応するITS(Intelligent Transport Systems)車載機を開発するとともに、UTMS協会(Universal Traffic

Management Society of Japan)の安全運転システム作業部会で、警察庁が推進する光ビーコンを使った安全運転支援システム(Driving Safety Support Systems：DSSS)の開発を行っている。

光ビーコンに加え、DSRC路側機からセンサなどを通じて得られるリアルタイムな情報を高速で処理可能なDSSS判断ユニットを使ったDSSS車載システムを2007年度に試作し、実証実験を実施した。2008年度には同車載システムを拡張して、2009年2月の大規模実証実験で行われた各種の安全運転支援システムに対応させた。



実証実験における試作DSSS車載システムの構成

DSSS車載システムは、光ビーコン路上機から車線情報やDSSSデータを受信する光ビーコンレシーバ、DSRC路側機からリアルタイムにDSSSデータを受信するDSRC車載器、自車両及び道路状況をもとに危険度を判断するDSSS判断ユニット及びドライバーへの注意喚起を出力するカーナビ部とから構成される。

1. ま え が き

当社が参加しているUTMS協会の安全運転システム作業部会では、実用的なDSSSシステムの開発を行っている⁽¹⁾⁽²⁾。

本稿では、2009年2月実証実験用に試作開発したDSSS車載システムの機能、安全運転支援サービスの動作事例、1つの車載システムで多数の安全運転支援サービスに対応するための制御方法及び大規模実証実験について述べる。

2. DSSSとは

DSSSとは、路車間通信を基本とした安全運転支援システムであり、車両から直接見えない、又は見落としのおそれのある交通事象を、路側機器から光や電波を使った無線通信によって車両に送信し、車両側では、自車の走行状態と受信した情報を基に、表示や音声、喚起音などによって、ドライバーへの安全運転支援情報の提供を必要に応じて行うものである。2009年2月に行った大規模実証実験では8つの安全運転支援システムの実験が行われた(表1)。

3. DSSS車載システムの機能仕様

この実験では、路車間通信データとしてUTMS協会で作成された標準DSSSデータを使用し、右折時衝突防止支援、左折時衝突防止支援、一時停止規制見落とし防止支援など様々なDSSSサービスが、光ビーコン単独及び光ビーコン/DSRC連携システムによって提供される。既存システムで使用されている光ビーコンを用いることで、既存システムとの互換性を確保しながら、規制情報や信号情報、特定地点における車両接近情報など、光ビーコン通過時点で確定している交通事象を用いた基本的なサービスを提供するとともに、数十メートルの通信エリアを持ち、サービス区間全域にわたって、リアルタイムな連続無線通信が可能なDSRC通信規格を併用することによって、接近する車両の位置・速度などの時々刻々変化する交通事象を用いた高度なDSSSサービスを実現する。

図1に、今回開発した車載システムの構成を、図2にこのシステムの通信プロトコルスタックを示す。

この車載システムでは、特に100ms周期で情報が配信されるDSRCを用いたシステムで、高速なリアルタイム処理を可能とするため、DSSS判断ユニットとよぶ拡張機器をITS車載機におけるDSRC部とカーナビゲーション部の間に配置し、DSSS判断ユニットがブレーキやターンシグナルなどの車両内センサの情報と光ビーコンやDSRCで配信されたインフラ情報から安全運転支援判断を行い、カーナビゲーション部のHMI(Human Machine Interface)を用いてドライバーへの情報提供を行う構成としている。

光ビーコン・DSRCの両通信メディアへの対応に関しては、DSSS路車間通信データが通信メディアに依存しない

表1. 安全運転支援システムの種類

1	一時停止規制見落とし防止支援システム
2	信号見落とし防止支援システム
3	追突防止支援システム
4	出会い頭衝突防止支援システム
5	右折時衝突防止支援システム
6	左折時衝突防止支援システム
7	歩行者横断見落とし防止支援システム
8	出会い頭自転車衝突防止支援システム

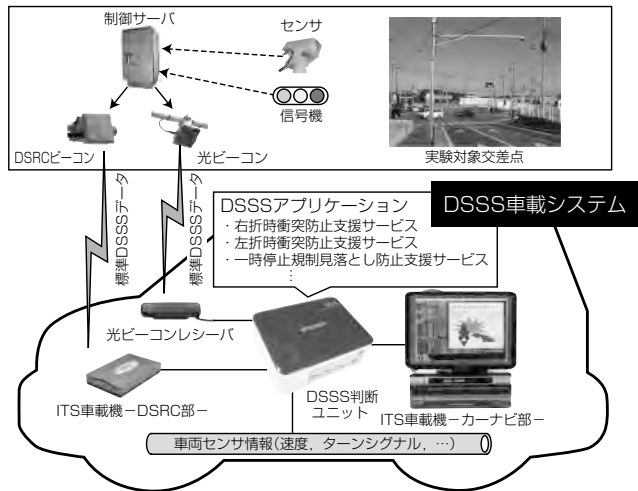


図1. DSSS車載システムの構成

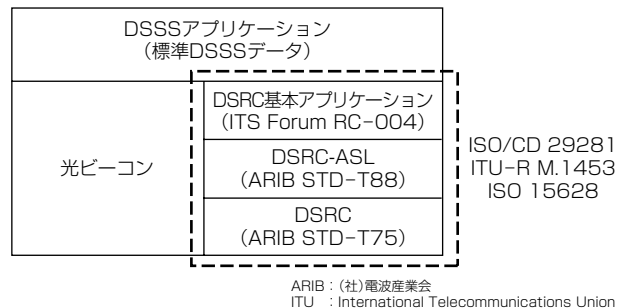


図2. 通信プロトコルスタック

共通のフォーマットとして定義されていることから、DSSS判断ユニット内のDSSS路車間通信データ解析・管理処理とDSSSアプリケーション処理を分離し、光ビーコンとDSRCで、DSSS路車間通信データ解析・管理処理を共通化することによって実現している。

また適切な位置やタイミングで情報提供が可能となるよう、DSSS車載システムには、交差点内での自車位置を正確に同定する機能が必要となる。この位置同定機能については、光ビーコンから受信する道路線形情報と光ビーコン受信位置からの相対位置計算によって実現している。

4. DSSS車載システムの動作例

運転支援の例として、左折時衝突防止支援システムを図3に示す。車両側のDSSS判断ユニットでは、標準DSSSフォーマットで配信されるインフラ配信情報と、車速パルスやターンシグナルなどの車両挙動情報から主に2つの判断

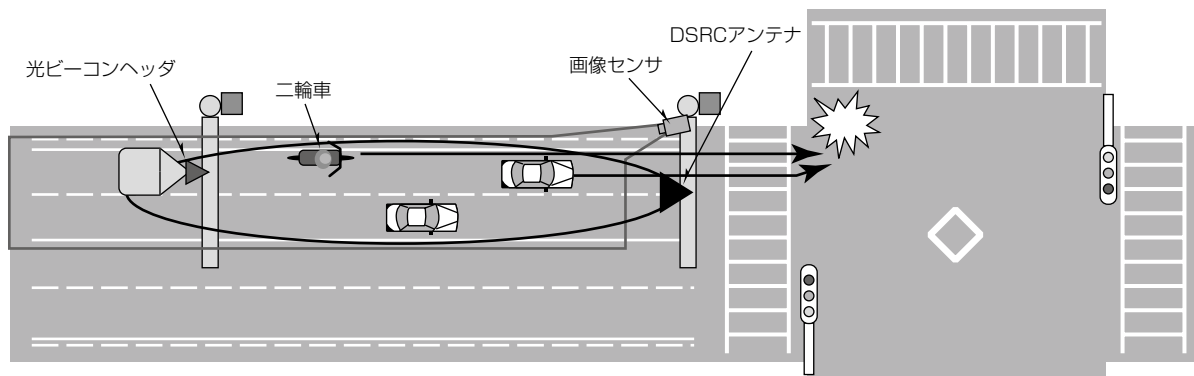


図3. 左折時衝突防止支援システム

処理を行い、ドライバーに対する注意喚起の有無と注意喚起のタイミングを判断する。

(1) サービスの種類とサービスの必要性の判断

次の条件が成立した場合に左折時衝突防止支援が必要な状況と判断し、サービスを行う。この判断を行うことで、直進する車両など、サービスの必要性がない車両に対して、誤った情報提供が行われることを防ぐことができる。

- ①インフラ配信情報のデータ種類から、左折時衝突防止支援サービスが提供されている。
- ②光ビーコン通過時に自車の走行車線を確認し、左折可能な車線を走行している。
- ③左折のターンシグナルが動作している（ドライバーに左折の意思がある）。

(2) 障害物との危険性の判断

次の手順で自車と障害物との危険性の判断を行う。この判断手順によって、二輪車が自車と接近する可能性が低い場合に、不必要な情報提供が行われることを防ぐことができる。

- ①光ビーコンから受信する道路線形情報によって、光ビーコン設置地点から交差点までの距離を入手する。
- ②光ビーコン受信位置からの移動距離を測定し、現在の自車位置を同定する。
- ③画像センサによって検出された二輪車の交差点までの距離と速度の情報が、光ビーコン又はDSRCによって配信される。
- ④光ビーコン又はDSRCから受信した二輪車の交差点までの距離と速度と、自車の交差点までの距離と速度から、自車と二輪車が接近する可能性が高いかを判断する。
- ⑤自車と二輪車が接近する可能性が高くなったときに、ドライバーに対し、注意喚起を行う。

5. DSSS車載システムのマルチアプリケーション対応

DSSS判断ユニットは、複数のサービスを1つのユニットで実現する必要があるため、対応サービスも将来的に増加することが見込まれる。そこで、DSSS車載システムでは図4

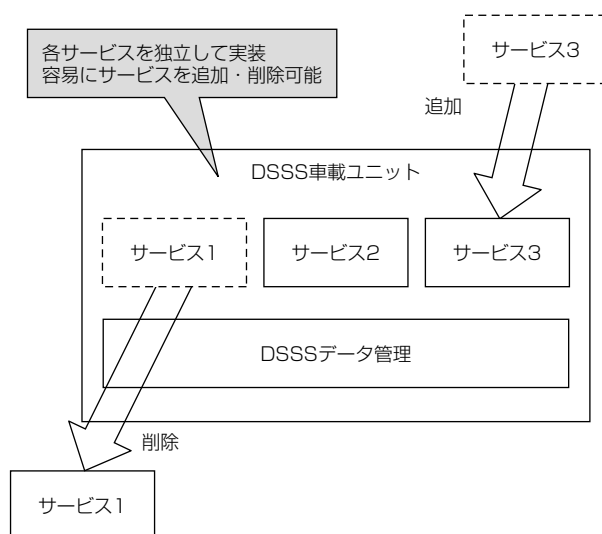


図4. DSSS判断ユニットのソフトウェア構成

のように各サービスを独立したソフトウェアとして実装する構成を取っている。これによって個々のサービスの追加・変更が容易に実現可能となる。

また、カーナビ部への注意喚起HMI出力を制御するHMI制御部を各サービスソフトウェアとは独立させて実装する。1つの交差点で複数のサービスが運用される場合、DSSS判断ユニットの複数のサービスソフトウェアが各々、HMI制御部に対して注意喚起出力を行う。HMI制御部が、サービスの種別及び注意喚起の緊急度に応じて、ドライバーへ提供する注意喚起HMIの順序を適切に制御することによって、複数サービスへの対応が可能となる（図5）。

6. 大規模実証実験

2009年2月に東京臨海副都心で実施された大規模実証実験及びUTMS協会主催公開デモンストレーションに参画し、開発したDSSS車載システムを用いて、光ビーコン単独及び光ビーコン／DSRC連携システムの実車試験を実施した（図6）。第3章及び第5章で説明した車載機の機能及び構成によって、複数の実験システムに対応することができた。また、当社が開発したシミュレータ⁽³⁾を活用して事前に検証を行うことによって、効率的な開発を行うことができた。

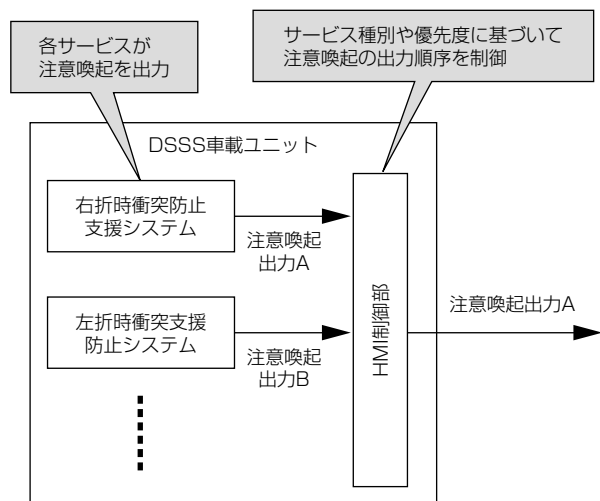


図5. マルチサービスに対応したソフトウェア構成

7. む す び

2009年2月の実証実験用に試作開発したDSSS車載システムは、UTMS協会で制定した標準DSSSフォーマットに対応し、光ビーコンを基点とする自車位置同定機能を備え、左折時衝突防止支援システム等の高度化に貢献するとともに、実証実験で実施される多数の走行支援サービスに対応するための制御機能を設けた。UTMS協会の指導下で参加した大規模実証実験において、この車載システムを使ったDSSSシステムを稼働・評価し、その有効性を確認した。



図6. 注意喚起画面の例(左折時衝突防止支援システム)

参 考 文 献

- (1) Ikawa, M., et al.: A COOPERATIVE DRIVING SUPPORT SYSTEM BASED ON ITS ON-BOARD UNIT: The Proceeding of 15th ITS World Congress (2008)
- (2) Ino, Y., et al.: EVALUATION OF DRIVER BEHAVIOR FOR VEHICLE INFRASTRUCTURE COOPERATIVE SYSTEM OF TOCHIGI DSSS: The Proceeding of 15th ITS World Congress (2008)
- (3) 五十嵐雄治, ほか: 路車間通信システム評価用ハードウェアインザループシミュレータの開発: 電子情報通信学会技術研究報告, **109**, No. 459, ITS2009-86, 7~11 (2010)

電動パワーステアリングによる 路面摩擦係数推定技術

高木史朗* 藤岡宏司***
竹家章仁** 佐竹敏英***
栗重正彦**

Estimation of Maximum Tire-road Friction Coefficient Using Electric Power Assist Steering

Fumiaki Takagi, Akito Takeya, Masahiko Kurishige, Hiroshi Fujioka, Toshihide Satake

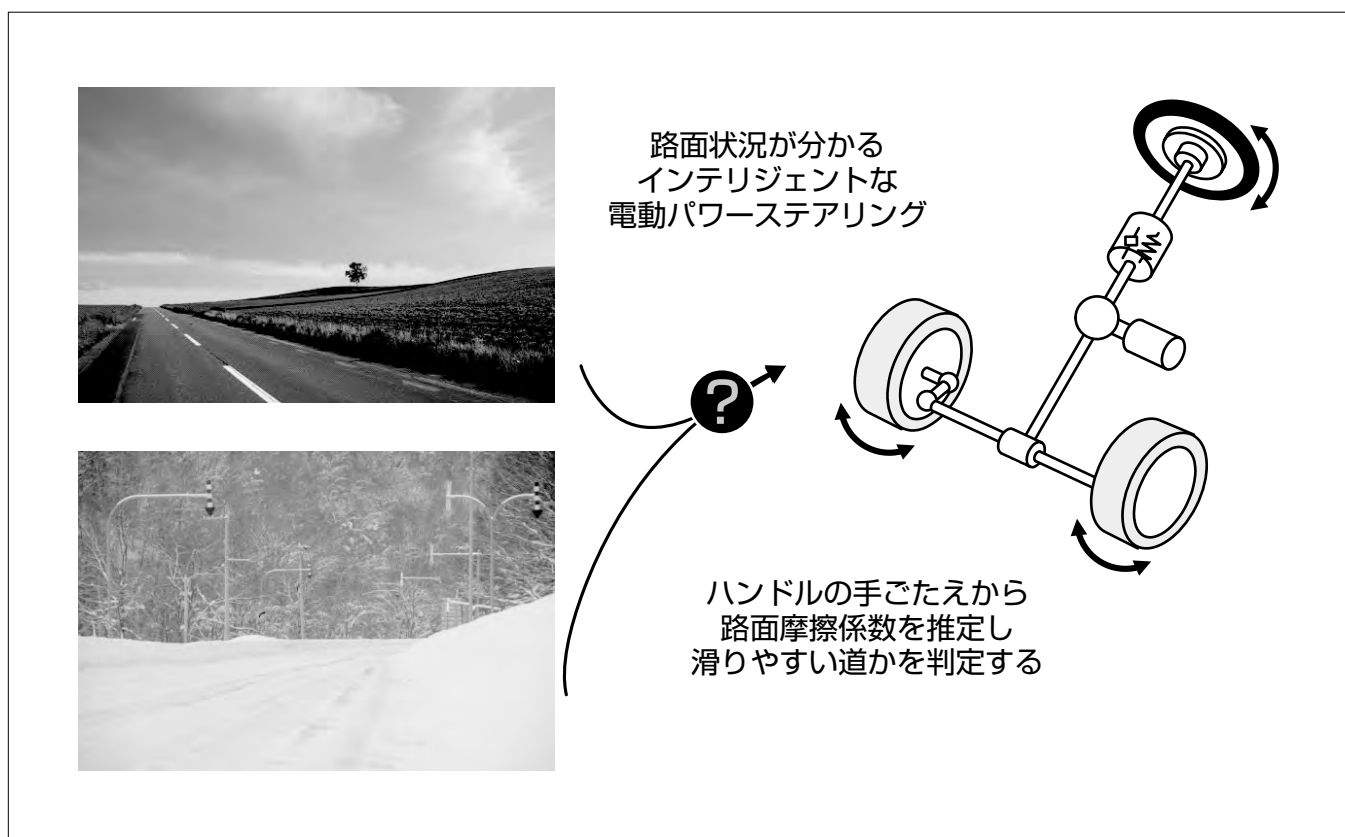
要 旨

一般に雪道のような滑りやすい路面では、急ハンドルによる車両挙動の不安定化や、車速超過による目標軌道からの逸脱が起こりやすい。このような路面状況を検出、すなわち、摩擦係数を推定することで、適切なブレーキを付与する横滑り防止装置や、ドライバーのハンドル操作による車両挙動の立て直しを補助するアクティブステアといった予防安全装置の性能向上を図ることができるが、低価格な自動車への浸透はまだ十分とは言えない。その理由の一つとして、従来の推定技術は高価なセンサ類を必要とするために、コスト増となる点が挙げられる。

三菱電機では、ハードウェア追加によるコスト増を避けるため、電動パワーステアリングが標準的に備えているセ

ンサ信号のみを用いて路面摩擦係数を推定する手法を開発した。その推定原理は、ハンドルを中央に復帰させようとするトルク(路面反力トルク)が、走行路面の摩擦係数に応じて異なるというタイヤの性質に基づくものである。

路面摩擦係数推定によって、路面が滑りやすい状態なのか、乾いたアスファルト等の通常状態なのかを判定可能となる。この判定結果に基づき、例えばエンジン出力やハンドルトルクを適正に制御することで、車速超過による逸脱や、不適正なハンドル操作による車両挙動の不安定化を抑制し、低コストで車両の操縦安定性の向上を図ることへの応用が期待できる。



路面状況を判定する電動パワーステアリング

一般にハンドルを切ってゆくにつれてハンドルの手ごたえが大きくなるが、この手ごたえは、通常走行するドライアスファルト路面と滑りやすい路面とで異なる。当社は、ハンドルの手ごたえと路面摩擦係数との関係を定式化し、電動パワーステアリングのコントローラ上に推定アルゴリズムを実装することで、路面状況が分かるインテリジェントな電動パワーステアリングを開発した。この路面状況情報は自動車の予防安全制御の高機能化への応用が期待できる。

1. ま え が き

一般に雪道のような滑りやすい路面では、急ハンドルによる車両挙動の不安定化や、車速超過による目標軌道からの逸脱が起りやすい。このような状況を検出して車両を安定化させる車両安定化装置の普及が進んでいるが、低価格な自動車への浸透はまだ十分とは言えない。その理由の一つとして、コストの増加が挙げられる。

本稿では、電動パワーステアリングが標準的に備えているセンサ信号のみを用いて、低コストに路面摩擦係数を推定する手法について述べる。

2. 路面摩擦係数の推定手法

ハンドルを切るときの手ごたえは、車速やハンドルの切れ角、そして路面によって異なる。この手ごたえのうち路面に起因する成分のみを電動パワーステアリングで検知することで、路面摩擦係数を推定できる。この原理について背景を踏まえて述べる。

2.1 Fialaのタイヤモデル

タイヤに働く横方向の力を説明するモデルとしてFialaのモデルが広く知られている⁽¹⁾。このモデルは、タイヤに働く横方向の力を説明するものである。タイヤの転動方向と実際の運動方向は一致しているように見えるものの、実際には、車がカーブを曲がっているときなどにはわずかにずれており、その角度差がタイヤに横方向の力を発生させると説明している。なお、この角度差をタイヤ横すべり角という。また、この横すべり角に対して、荷重の影響やタイヤ自身のグリップ性能などの影響を補正して無次元化したものを無次元化横すべり角 ψ という。

このFialaのモデルによれば、ハンドルを切り増すことで無次元化横すべり角 ψ を増加させると、図1に示すように、タイヤの横力 F は摩擦の限界まで漸増し、タイヤ中心軸に対してタイヤを回そうとするトルク M はある角度で飽和して減少する。

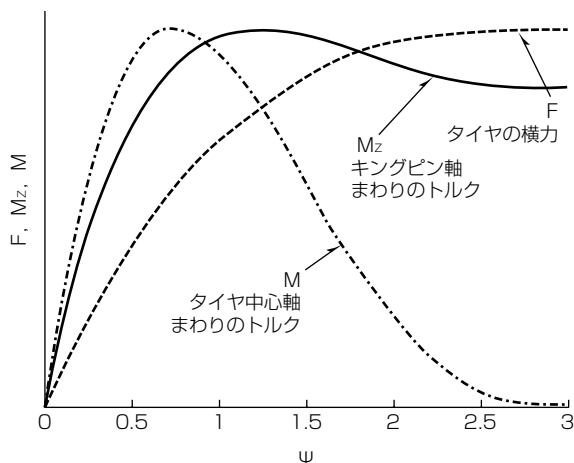


図1. Fialaのモデル

2.2 ステアリングの影響

ただし、Fialaのモデルによるトルク M 自体は、ハンドルの手ごたえには一致しない。実際のステアリングシステムは図2に示すように、キングピン軸がタイヤ中心軸に対して傾いているため、ハンドルの手ごたえに相当する路面反力トルク M_z はトルク M とは異なる。なお、キングピン軸とはステアリングによってタイヤが回される軸を指す。

そこで当社は、ハンドルの手ごたえを示すキングピン軸周りのトルク(路面反力トルク)について検討を加え、このトルクもタイヤのトルク M と同様に極大値を持ち、かつ、その極大値は路面摩擦係数 μ に比例することを示した(図3)。

この極大値を検出し、この比例関係から路面摩擦係数を推定することができる。

2.3 路面反力トルクの推定

路面反力トルクは、操舵(そうだ)系に働く力の釣り合いを考えて求める。すなわち、人間が操舵するトルクと電動パワーステアリングがアシストするトルクの和に基づいて路面反力トルク M_z を推定する。なお、その際にはノイズ等を除去するための信号処理を実施している⁽²⁾。

2.4 路面反力トルク極大値の検出

路面反力トルク M_z の極大値は、本来は無次元化横すべり角 ψ に対する極大条件で検出すべきだが、代わりにハンドル角 θ に対する極大条件で検出した。条件を代用することで使用センサを削減可能となる。ただし、路面外乱の影響による極大値の誤検出を避けるため、若干の補正処理を加えている⁽³⁾。

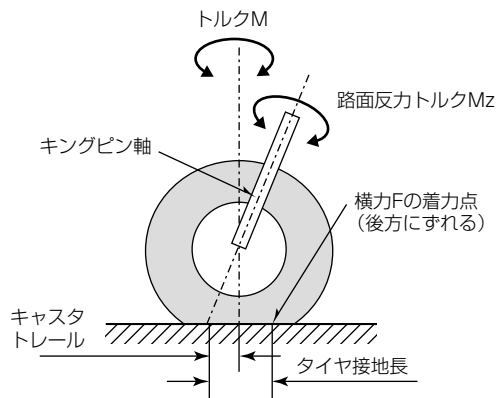


図2. 車体内側から見た車輪側面の模式図

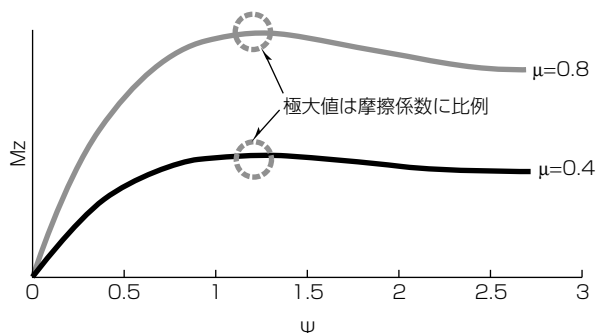


図3. 路面反力トルクの極大点

2.5 路面反力トルク変換係数の設定

この研究の結果、路面反力トルク極大値 M_{zmax} と路面摩擦係数 μ との比例関係は下記の式(1)で表される。

$$M_{zmax} = \frac{1}{512l^3} (l + 6\xi_c) (27l^3 + 134l^2\xi_c - 156l\xi_c^2 + 72\xi_c^3) W\mu \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 l はタイヤ接地長、 ξ_c はキャストトレール、 W はタイヤ垂直荷重の各タイヤパラメータを表す。ただし、これらの値を直接使用しても、路面摩擦係数は必ずしも高精度には求められない。パラメータの測定誤差やモデル化誤差が積み重なるためである。

そこで、図4に示す路面摩擦係数と路面反力トルクの極大値を測定し、複数回の測定結果から図5に示す回帰直線を引いて比例係数を求めた。具体的な手順としては、様々な摩擦係数の路面でJターン走行を行い、各走行での最大横加速度と先に述べた手法で求めた路面反力トルクの極大値を記録し、走行ごとに1点をプロットした。なお、走行した路面は、表1に示すとおり、ドライアスファルト路面、

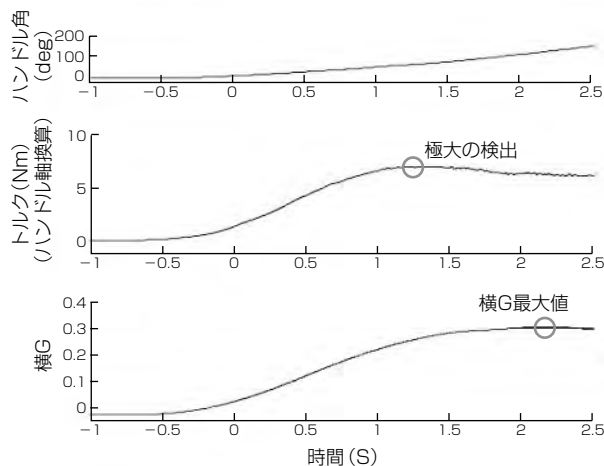


図4. 路面反力の時間履歴

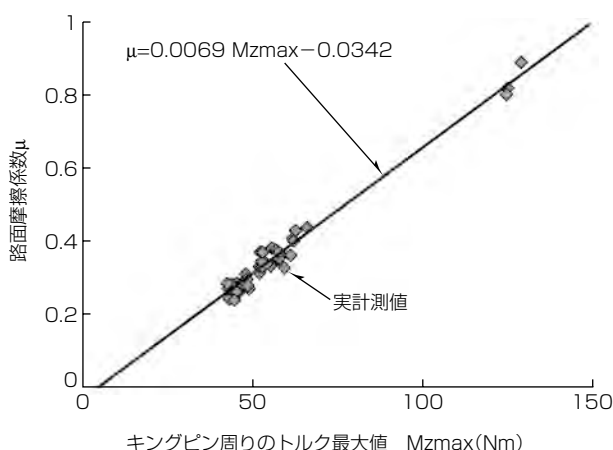


図5. 路面摩擦係数と路面反力トルクの相関

表1. 路面の公称路面μ値

	公称路面μ値	横加速度最大値(G)
ドライアスファルト路面	0.9	0.8~0.9
バサルタイル路面	0.4	0.3~0.45
磁器タイル路面	0.2	0.25~0.35

バサルタイル路面、磁器タイル路面である。

なお、求められた回帰直線は、定数項がゼロとはならず、式(1)に示した比例関係とは異なり原点を通らない、これは操舵系の摩擦成分の影響であり、 x 切片が摩擦トルク量に相当する。

2.6 推定精度の検証

先に述べた手法による路面摩擦係数推定法(図6)について、次の3項目の精度検証を実施した。

- (1) 変換係数の設定時と同じ条件での精度
- (2) 実際の圧雪路面での推定精度
- (3) 変換係数の設定時と異なる条件での精度

なお、変換係数の設定時とは、2.5節に示した手法で変換係数を求めたときのことであり、以降ノミナル時と呼ぶ。また、変換係数の設定時と異なる条件とは、2.6.3項で後述するとおり、車両の積載荷重とタイヤ空気圧とを変更したことを指す。

2.6.1 ノミナル時の推定精度

ノミナル時の推定精度検証として、2.5節に示した変換係数の設定時と同じ条件で走行し、路面摩擦係数推定を実施した。その結果を図7に示す。横軸は路面摩擦係数の実測値を示し、横加速度センサの最大値から求めたものである。縦軸はこの手法による推定値である。また各点は、判定ごとの値をプロットしたものである。図から明らかなように、推定誤差は±0.1以内であった。

2.6.2 実圧雪路での推定精度

次に、表1に示した路面だけでなく、実際の圧雪路面や氷盤路面でも推定精度を検証した。その結果は、図8に示すとおり、推定誤差は+0.1から-0.2の範囲内であった。

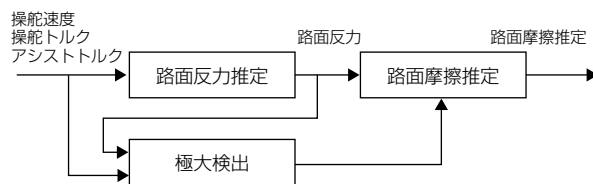


図6. 推定系の構成

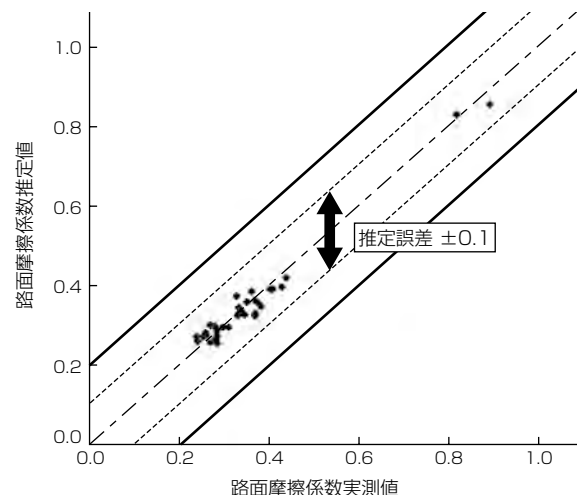


図7. ノミナル状態での推定精度

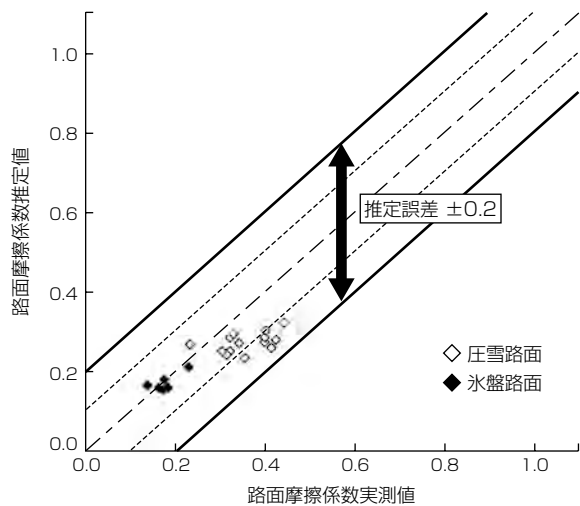


図 8. 圧雪路・氷盤路での推定精度

氷盤路面については精度 ± 0.1 であったが、圧雪路面では小さい側へと推定誤差が生じている。この原因として次の2点が考えられる。

- (1) 路面摩擦係数の推定値をJターン中の横加速度の最大値から求めているが、圧雪路面は一樣ではなく、部分的に μ の高いところを走行したため
- (2) 圧雪路面の凹凸によって操舵系が振動し、実質的な摩擦トルクが低下した結果、路面反力トルクが小さく推定され、路面摩擦係数も小さく推定されたため

2.6.3 車重・タイヤ条件が変動したときの推定精度

この推定手法はモデルパラメータとして、タイヤの接地長及びタイヤ垂直荷重を固定値としている。これらが変動した際には、推定精度の劣化が懸念されるので精度検証を実施した。これらのモデルパラメータが変化する現実的な条件として、具体的には表2に示すとおり、タイヤ空気圧や積載荷重を変更した。条件Aは路面摩擦係数の推定値が実値よりも小さくなる場合であり、条件Bは逆に推定値が実値よりも大きくなる場合である。

その検証結果を図9に示す。タイヤ空気圧や積載荷重を変化させることによって、タイヤモデルのパラメータ(タイヤ接地長やタイヤ垂直荷重)が変化するため、路面反力トルクと路面摩擦係数間の比例係数が変わり、ノミナル時よりも推定誤差が大きくなるが、 ± 0.2 程度に収まることが確認された。

3. む す び

路面摩擦係数推定手法として、路面反力トルクの最大値と路面摩擦係数の比例関係を利用する手法を提案した。

表 2. 精度試験の条件

	積載荷重	タイヤ空気圧
ノミナル条件	ドライバーのみ	220 (kPa)
条件A	ドライバーのみ	300 (kPa)
条件B	300 (kg)	150 (kPa)

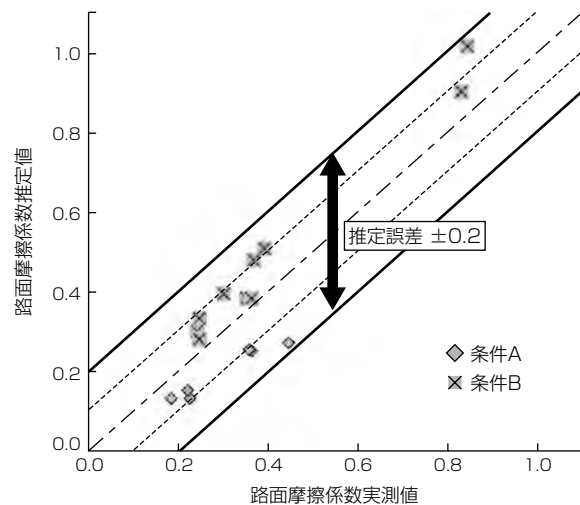


図 9. 車両条件変動時の推定精度

この手法では、路面反力トルクの最大値の検出には、加速度センサ、ヨーレイトセンサやハンドル角センサなどのセンサを別途必要とせず、電動パワーステアリング単体で検出可能であり、また必要な計算負荷も低い。このため、低コストで実現可能である。

また、先に述べた比例関係はFialaのタイヤモデルを用いて理論的に示されるが、このことを実験的にも検証した。この比例係数は、タイヤ垂直荷重やタイヤ接地長に依存するが、これらの条件が変化しても、路面摩擦係数推定値は横加速度の最大値に対して ± 0.2 の精度を持つことが分かった。

今後、この推定手法を応用した車両安定性向上システムへの発展が期待される。

参 考 文 献

- (1) Fiala, E.: Seitenkräfte am Rollenden Luftreifen, DI Zeitschrift, 96 (1954)
- (2) 田中英之, ほか: 路面反力推定を用いた電動パワーステアリングによる車両安定化制御の開発, 日本機械学会 交通・物流部門大会講演論文集, 2005, No.14 (20051206), 163~166 (2005)
- (3) Nakajima, K., et al.: A Vehicle State Detection Method Based on Estimated Aligning Torque using EPS, SAE Paper, No. 2005-01-1265 (2005)

車載用組み込みソフトウェアの標準化

松井俊憲*
馬場まどか*

Standardization of Automotive Software

Toshinori Matsui, Madoka Baba

要 旨

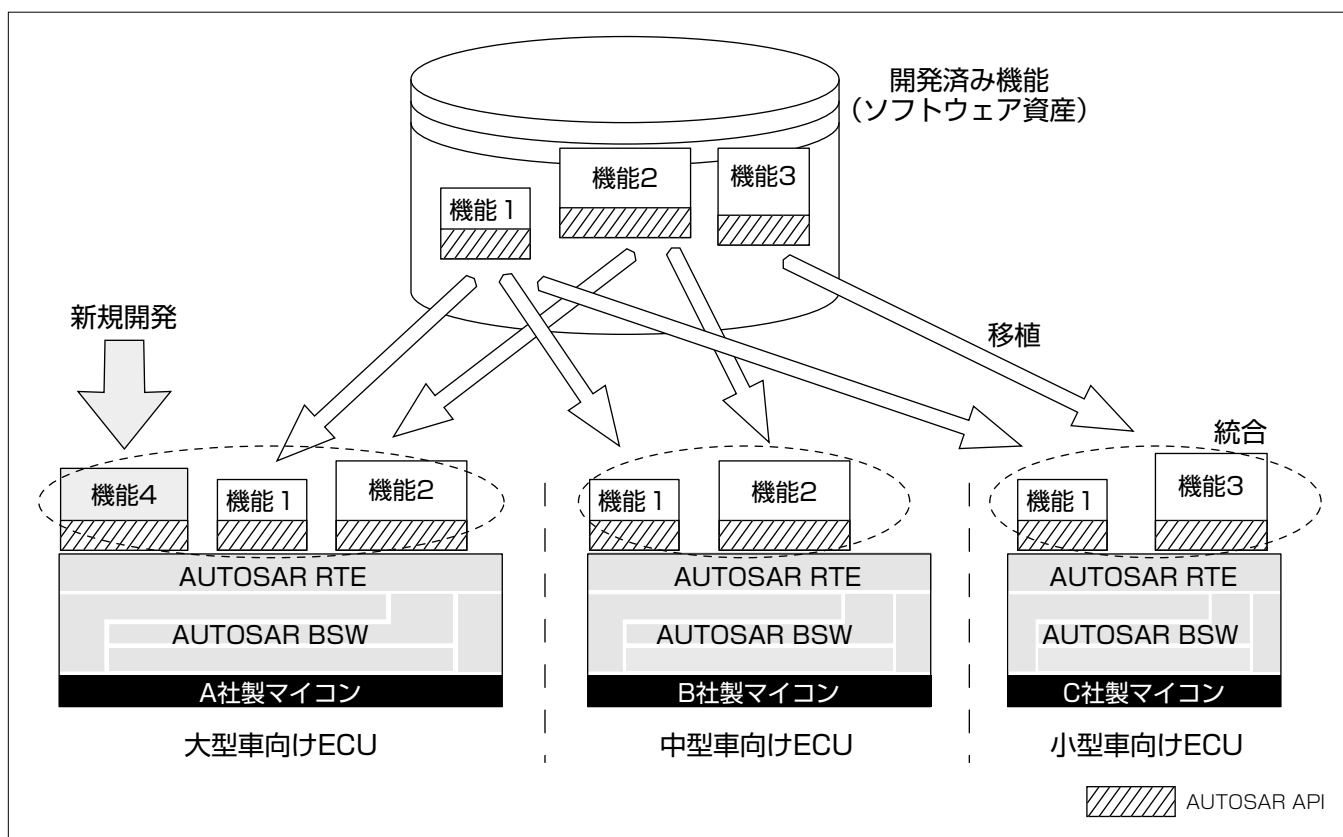
近年、二酸化炭素排出量削減など地球環境への対応や、安全性・快適性向上のため、車載システムの高機能化が進み、車載ソフトウェアが複雑化している。一方で、いち早く市場ニーズにこたえる製品を導入するための開発期間短縮が必要とされる。これらに対処するための車載ソフトウェアの開発効率化・部品化・共通化を目標に、欧州の自動車メーカーが中心となり2003年に標準化団体AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture)が設立された。AUTOSARによる標準化の車載ソフトウェア開発への影響として、使用マイコンの変更と選択範囲の制約、品質責任が不明確な状況での他社製アプリケーションとのECU (Electronic Control Unit)内共存、開発ツールに依存した

設計に陥る危険性などが考えられる。

一方、AUTOSAR以外にも注目すべき標準化として、次世代制御系通信プロトコルFlexRay^(注1)、国内における車載システムの標準化団体JasPar (Japan Automotive Software Platform Architecture)による標準化がある。

三菱電機では、これら標準化への準備として、AUTOSARに対してはツールベンダー製AUTOSAR BSW (Basic Software)の設定内容による機能面、性能面での課題を抽出し、その解決方法を確立するとともに、必要な機能だけに限定することで処理負荷と使用メモリ量を減少させた内製AUTOSAR BSWを開発した。

(注1) FlexRayは、Daimler AGの登録商標である。



AUTOSARのソフトウェア構成

向け先の異なるECUのソフトウェア構成を示す。各ECUの基盤ソフトウェア (Software Platform) にはAUTOSAR BSWを実装している。各アプリケーションでは、AUTOSAR API (Application Interface) をもつ開発済みの機能1、機能2、機能3と新規開発の機能4を統合し、異なる仕様を実現させている。このようにAUTOSAR BSWとAUTOSAR API、この間を接続するAUTOSAR RTE (Runtime Environment)を使用することで、機能の統合と移植が容易となる。

1. ま え が き

近年、自動車部品の電子化は加速の度合いを強めている。二酸化炭素排出量削減など地球環境への対応や、より高度な車両制御を実現して安全性・快適性を向上させるために、複数のECUがネットワークを介して接続され、車載システムは複雑化の一途をたどっている。車載システムが複雑化するに伴い、自動車の開発コストや品質などに与えるソフトウェアの影響が高くなっている。例えば、自動車におけるECUのコストは約2割、ハイブリッド車では約4割を占めると言われている。このうち一般に組み込み機器開発の約6割がソフトウェア開発費とも言われている⁽¹⁾。また複雑化したことは、ソフトウェアの十分な検証が難しいといった品質低下に結びつく要因となる恐れもある。さらに、複雑化によって開発規模が増える中でも、いち早く市場ニーズにこたえる製品を導入するために開発期間の短縮が必要とされている。そこで、自動車業界では、自動車メーカー／部品サプライヤー／ツールベンダー／半導体メーカー／ソフトウェアハウスなどの関連する会社が団体を結成し、次世代の車載システム開発にかかわる標準仕様を作成することと標準仕様の適用を推進することにより、こうした状況に対応する動きが見られる。

本稿では、欧米の主要自動車メーカーを中心に広がりを見せる標準化団体AUTOSARの活動と標準仕様の内容とともに、車載ソフトウェア開発に与える影響について述べる。そして国内外でのAUTOSARに関連する標準化の動き、及び当社での標準化への準備状況について述べる。

2. AUTOSAR⁽²⁾

2.1 AUTOSARの活動内容

欧州ではドイツを中心として標準化に対する活動が盛んであり、様々な規格が策定されてきている。AUTOSARもこのうちの1つで、欧州の自動車メーカー、サプライヤーを中心として2003年に設立された車載システムの標準化団体(開発パートナーシップ)である。

2.1.1 登場の背景

AUTOSAR登場の背景として、車載システムを取り巻く次の問題が顕著になってきたことが挙げられる。

- (1) 車載システムの複雑化が進むことで、ソフトウェアの開発工数と費用が増加するとともに、品質が不安定となりやすい。
- (2) 各社独自基盤ソフトウェアを使用しているため、サプライヤー(ECU)間でのアプリケーション移植が困難である。

2.1.2 目 標

2.1.1項に挙げた問題への対処としてAUTOSARでは、“容易な機能統合と機能移植性”“柔軟なメンテナンス性”“拡大縮小できる機能性”“高基準なシステム信頼性”“ソフ

トウェアのハードウェア非依存性”を実現する車載システム／ソフトウェア開発の標準化を目標としている⁽³⁾。AUTOSARの標準化では、車載ソフトウェアのアプリケーションにはAUTOSAR API、基盤ソフトウェアにはAUTOSAR BSW、AUTOSAR APIとAUTOSAR BSWの接続部にはAUTOSAR RTEを用いる。これによって、各社独自の基盤ソフトウェアを用いた開発、マイコンやハードウェアに依存した開発から、共通の基盤ソフトウェアを用いた開発、マイコンやハードウェアに依存しない開発へ移行できる。また、これら以外にもAUTOSARの標準化には、車載システムからソフトウェア開発までを通して使用される設計データの表現形式も含まれる。

2.1.3 組織体制

AUTOSARの組織体制は、組織運営と仕様策定活動に分類される。参画企業は表1に示す五段階のメンバーシップに分類され、与えられる権利や、課せられる義務が異なる。

AUTOSARには、仕様策定活動PhaseⅡ終了時(2010年3月)には約160社、PhaseⅢ開始時(2010年4月)には、約110社が参画している。参画している会社は、欧州だけではなく全世界におよんでいる。

2.1.4 仕様策定活動

AUTOSARでは、Phaseと呼ばれる仕様策定活動を実施している。PhaseⅠ(2003～2006年)では、AUTOSAR仕様の基礎となるRelease 2.0(2006年6月)仕様が策定された。PhaseⅡ(2007～2009年)では、PhaseⅠ仕様の拡張と新規仕様を追加したRelease 3.0(2007年12月)／3.1(2008年8月)／4.0(2009年9月)仕様が順次策定された。PhaseⅢ(2010年1月～)では、PhaseⅡ仕様の更なる拡張とメンテナンス、新規コンセプトの追加が実施されている。

2.2 AUTOSAR策定仕様

2.2.1 AUTOSAR BSW仕様

AUTOSARでは、AUTOSAR BSWと呼ばれる基本機能を実現するソフトウェアによって標準化された基盤ソフトウェア(ソフトウェアプラットフォームとも呼ばれる)が構築される。このAUTOSAR BSWを使うことでアプリケーションに対して、ハードウェアやECU構成の違いを抽象化することができる。AUTOSAR BSWは、図1に示す四つのレイヤで定義される。

(1) Service Layer

OS(Operating System)やスケジューラなどのシステムサービスを実施する部分

表1. AUTOSARのメンバーシップ

	組織運営	仕様策定活動への参加	仕様の早期入手 (会員向けリリース)
Core Partners	○	○	○
Premium Members	×	○	○
Associate Members	×	×	○
Development Members	×	○	○
Attendees	×	×	不明

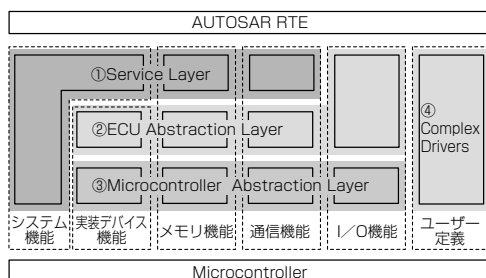


図 1. AUTOSAR BSWのレイヤ構成

(2) ECU Abstraction Layer

上位層へのECU構成を抽象化する部分

(3) Microcontroller Abstraction Layer

上位層へのマイコン機能を抽象化する部分

(4) Complex Drivers

マイコン固有機能、ユーザー定義仕様を実現する部分

AUTOSAR BSWは、機能分野ごとに分割することもできる。例えば、システム機能、実装デバイス機能、メモリ機能、通信機能、I/O(Input/Output)機能ごとに可能である。さらに、機能分野内は機能単位ごとに分割することもできる。例えば、通信機能(FlexRay, CAN(Controller Area Network), LIN(Local Interconnect Network)), メモリ機能(EEPROM(Electrically Erasable and Programmable ROM), Flash memory), I/O機能(汎用(はんよう)Port, A/D(Analogue/Digital)入力, PWM(Pulse Width Modulation)出力)等ごとに可能である。これらすべての機能を使う必要はなく、要求仕様や必要性に合わせて選択すればよい。

2.2.2 AUTOSAR API仕様

AUTOSARでは、各社の独自アプリケーション仕様を吸収するため、開発環境(Cコード, C++コード, モデル開発)の差異を包含するために標準化されたAUTOSAR APIが提供される。APIの種類として、機能名、機能への入出力名、使用するデータ型、データ単位などがある。適用されるアプリケーションの分野は、Release3.xまでは、ボディ系が中心であったが、以降の仕様ではシャシー系、パワートレイン系、情報系、安全系と適用範囲が広がられている。

2.2.3 AUTOSAR RTE仕様

2.2.2項で紹介したAUTOSAR APIを持つアプリケーションとAUTOSAR BSW間には、AUTOSAR RTEと呼ばれるレイヤが定義される。このAUTOSAR RTEでは、AUTOSARのシステム設計方法の基礎となるVFB(Virtual Functional Bus)による接続が具現化される。

AUTOSARでは、ECUという枠を意識せず、必要とされる機能をVFBで接続し、機能間のデータ送受信とサービス提供/要求を定義することでシステム設計が実施される。そして、機能をアプリケーションとして各ECUに割り当てる。ECUでは、機能を実現するとともに、VFBによる機能の接続先がECU内の機能であればRTEだけで実

現し、機能の接続先がECU外の機能であれば、RTEとAUTOSAR BSWによって実現する。このようにAUTOSAR RTEでは、VFBの具現化として、アプリケーションとして実装された機能間の接続、機能とAUTOSAR BSW間の接続、各機能の起動に要するタスク枠を提供する。

2.3 車載ソフトウェア開発への影響

AUTOSARによる標準化のソフトウェア開発への影響として、次の点が懸念される。

2.3.1 マイコンの選択

AUTOSAR BSWは、2.2.1項で述べたように複数レイヤ構成をなす。そのため、一つの処理の実施に、従来の基盤ソフトウェアよりも多くのレイヤが関連することになる。レイヤをまたぐ数が増えれば、処理のオーバーヘッド、メモリ使用量の増加につながり、従来使用してきたマイコンでは処理時間が間に合わない、メモリ容量が足りないといった点が懸念される。そのため、従来よりもワンランク上のマイコンを選択せざるを得ない可能性が高くなる。また、ツールベンダー製AUTOSAR BSWを使う場合は、AUTOSAR BSW最下層のマイコン依存性が強いMCAL(Microcontroller Abstraction Layer)のソフトウェアは、半導体メーカーから入手することになる。そのため、マイコン選択肢は、半導体メーカーがMCALを準備しているもの、開発するものに限定されてしまう。

2.3.2 AUTOSAR BSWの適用

AUTOSAR BSWを使う場合、既存ソフトウェアがアプリケーションと基盤ソフトウェアを切り離し難い構成では、ソフトウェア資産の大部分が使えなくなり、変更が必要になる可能性が高い。また、ツールベンダー製AUTOSAR BSWを使う場合は、ECUサプライヤーがソフトウェアの品質を確保する必要がある。しかし、ツールベンダー製AUTOSAR BSWは開発ツールで設定した情報から自動でコード生成される場合が多く、生成されたコードは可読性が高いとは言えない。品質確保に従来以上の手間が発生することが懸念される。

2.3.3 AUTOSAR APIの適用

AUTOSAR APIを適用することで、移植性が向上し、AUTOSAR RTE上に他社製アプリケーションを移植することも理論上可能となる。しかし、この共存した場合の品質責任の所在はAUTOSARでは明確にされていない。

2.3.4 ツールを使った開発環境

AUTOSARではAUTOSAR BSWごとに設定項目も標準化されている。その数、範囲は多岐にわたるため、開発には、AUTOSARに準拠した開発ツールが必要となる。しかし、ツールは、便利である半面、実際の動きを見えにくくする面もある。そのため、ECUとして本来実施すべき機能を実現させる設定よりもツールに規定された範囲内でのみ設定するといったツール依存の設計に陥る危険性がある。

3. 標準化団体の動向

3.1 FlexRay⁽⁴⁾

FlexRayは、タイムトリガー型の通信や二重系ネットワークなどを盛り込んだ通信プロトコルである。現在、制御系車載システムではCAN(Controller Area Network)が主流であるが、CANでは車載システムの進化に伴うネットワークへの要求を満たすことが困難となってきた。そこで、この要求を満たす通信プロトコルを開発するため、2000年に欧州の自動車メーカー、半導体メーカーが中心となりFlexRay Consortiumが設立された。2005年12月にはStep 1活動の成果として、高速(10Mbps)・高信頼性(2重系)を満たす通信仕様が公開された。2006年以降は、Step 2活動として仕様拡張を目指し、2009年12月に仕様を更新した。今後は、Step3活動として策定仕様のメンテナンスとISO(International Organization for Standardization)化が実施される。このFlexRayは、AUTOSAR BSWの通信機能の一つとして採用されている。

3.2 JasPar⁽⁵⁾

JasParは国内の自動車メーカー、サプライヤーを中心として2004年に設立された車載システムの標準化団体である。AUTOSAR発足を受けて、国内意見の海外標準化団体への反映と標準化活動への貢献を目的として結成された。設立当初から2008年までは、FlexRayの実用に向けた検証を主に実施してきたが、2009年以降は、AUTOSAR BSWの評価・検証や、情報系通信の実用に向けた検証、機能安全への取り組みなどに活動の主軸をシフトしつつある。

4. 当社の標準化への準備状況

4.1 参画状況

当社は、先に述べたAUTOSAR, FlexRay, JasParすべての標準化団体に会員として参画している。

4.2 開発状況

4.2.1 AUTOSAR

当社では、Release3.0/2.1のAUTOSAR BSWについて二つの側面からECUへの実装準備を完了している。一つは、ツールベンダー製AUTOSAR BSWを使う場合、もう一つは、内製AUTOSAR BSWを使う場合である。

ツールベンダー製AUTOSAR BSWを使った場合の準備として、仮想アプリケーションと組み合わせてECUに実装して評価を実施した。評価では、AUTOSAR設計ツールによるAUTOSAR BSWへの設定や生成されたコードの実装、ECUとしての動作などの一連の開発の流れを通して、機能面、性能面での課題を抽出し、設定内容、実装方法によって抽出した課題を解決する方法を確立した。

他方、内製AUTOSAR BSWに対する準備として、まずは必要性が高い通信機能に限定したAUTOSAR BSWを開

発した。開発は、既存基盤ソフトウェアの通信機能におけるインタフェース部分をAUTOSAR仕様に合わせることで、不足機能を追加することで実施した。ツールベンダー製AUTOSAR BSWには先に述べた評価結果から、必要とされない設定項目・機能が多く含まれ、余分な処理負荷とメモリ消費が発生していると考えられるので、内製AUTOSAR BSWでは、必要性が高い設定項目・機能だけに限定している。これによって処理負荷と使用メモリ量の削減が図れた。

今後は、Release 4.0以降の仕様に対応できるように準備を継続して実施する。

4.2.2 FlexRay

当社では、FlexRayについても通信設定、物理層、アプリケーション層からECUへの実装準備を完了している。通信設定では、FlexRayの特徴である100個近くある通信パラメータの通信への影響や、パラメータ間の相関性を把握するなど、基本性能を評価した。物理層では、ネットワーク形状、ECU回路構成、Bus Driver(通信インタフェース用ドライバIC)や他の構成部品による波形への影響を評価した。アプリケーション層では、既存アプリケーションの実行方法をFlexRayの特徴であるネットワークを通して同期された時間を使つての実行に変更して機能・性能を評価し、既存アプリケーションとFlexRay時間を同期させる方法を確立した。なお、FlexRayの評価では、JasParがFlexRay Consortiumに仕様追加を提案している低速通信仕様(5M/2.5Mbps)についても完了している。

5. む す び

車載システム/ソフトウェアには、AUTOSAR, FlexRay, JasParをはじめ様々な標準化の動きがあり、今後も新たな標準仕様が策定されると予想される。今後標準化が広がる中で、標準仕様に準拠できる柔軟性や、現行のソフトウェア資産と同等のソフトウェア信頼性を確保することは、変わらず重要な市場要求であると考ええる。

参 考 文 献

- (1) 経済産業省 商務情報政策局 情報処理振興課：2009年版組み込みソフトウェア産業実態調査報告書－プロジェクト責任者向け調査－，11（2009）
- (2) AUTOSAR
<http://www.autosar.org/>
- (3) AUTOSAR：AUTOSAR Media Release (LONG VERSION)－EN Munich, October 16th, 2006, 3（2006）
- (4) FlexRay Consortium
<http://www.flexray.com/>
- (5) JasPar
<https://www.jaspar.jp/>

4WD用電子制御装置のモデルベース開発

足立一幸*
 村富義徳*
 宇井信介*

Model Based Development of Electronic Control Unit for 4WD

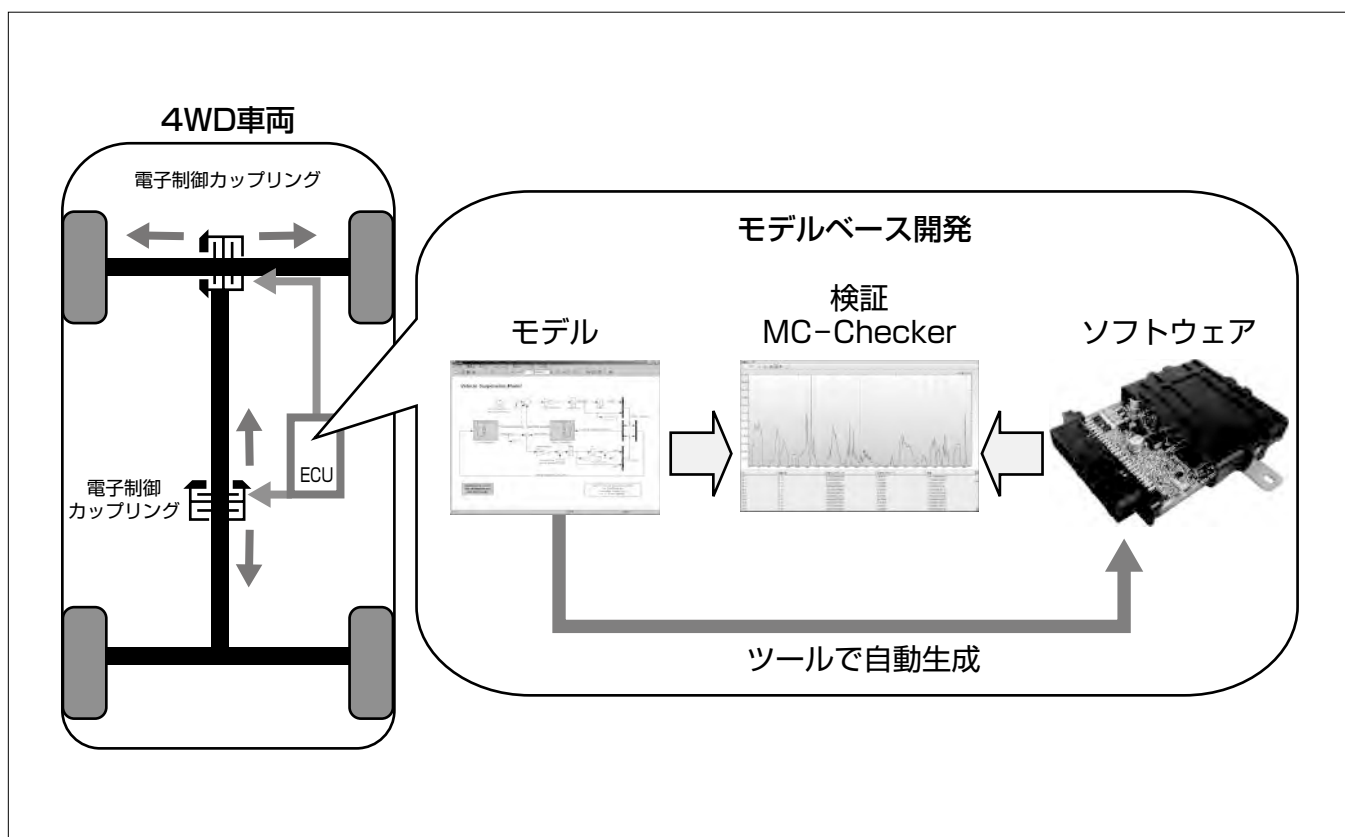
Kazuyuki Adachi, Yoshinori Muratomi, Shinsuke Ui

要 旨

モデルベース開発では、モデルと呼ばれる実行可能な制御フロー図で仕様を表現し、シミュレーションによって仕様の検証を行い、モデルからツールによってソフトウェアのソースコードを自動生成してソフトウェアを作成する環境が整いつつある。ツールによってソースコードを自動生成する環境は、従来のように要求仕様書を基に手作業でソフトウェアの作成を行う場合に比べて、大幅にソフトウェア作成工数を削減できるメリットがある。

しかし、増大するモデルの複雑さに比例して自動生成されるソースコードも増大し、その影響を受けてソフトウェアの検証工数は増大する一方である。今回、三菱電機はツールメーカーであるガイオ・テクノロジー㈱と共同でモデル

とソフトウェアの一致性検証ツール“MC-Checker”を開発した。“MC-Checker”を使用することで、パソコン上でシミュレーションによって容易にモデルとソフトウェアの出力を比較したり、許容誤差を超えるソフトウェアの出力を検出できる環境が構築できた。実際に“MC-Checker”を三菱自動車工業㈱向け4WD用電子制御装置(Electronic Control Unit：ECU)のモデルベース開発に適用し、ソフトウェアの問題点を検出して効果をあげることができた。今後、モデル設計時に使用したモデルの検証データをソフトウェアの検証に再利用することで、効率化が図れると考える。



4WD用電子制御装置のモデルベース開発

三菱自動車工業㈱向け4WD用電子制御装置 (ECU) は前輪左右の駆動力配分と前後輪の駆動力配分を行うための2つの電子制御カップリングを統合制御している。その電子制御装置の組み込みソフトウェア開発には、モデルベース開発を採用している。ガイオ・テクノロジー㈱と共同で開発したモデルとソフトウェアの一致性検証ツール “MC-Checker” を検証プロセスに適用して、モデルベース開発の課題であった検証プロセスの効率化を図った。

1. ま え が き

近年、環境問題に対する自動車の燃費規制や排ガス規制の強化、故障診断の高機能化などの要因によって、ECUの組み込みソフトウェア(以下“ソフトウェア”という。)は複雑化・大規模化し、その開発工数は増大する方向にある。この肥大化するソフトウェアの開発工数に対して、開発効率向上の目的で、モデルベース開発という開発手法を採用するカーメーカーが増えつつある。

モデルベース開発では、制御仕様をモデルと呼ばれる実行可能な制御フロー図で表現し、実車などでシミュレーションを実行して制御仕様の検証を行い、モデルからツールによって自動でソースコードを生成し、ソフトウェアを作成する環境が整いつつある。モデルの開発ツールとしては、MATLAB/Simulink^(注1)がよく知られている。ツールによってソースコードを自動生成する環境は、従来のように要求仕様書を基に手作業でソフトウェアの作成を行う場合と比べて、ソフトウェアの作成工数を大幅に短縮できるメリットがある。しかし、一方、ツールで自動生成したソースコードの信頼性を確認するための検証プロセスの工数は増大しつつあり、この検証プロセスの効率化をいかに進めていくかということが課題となっている。

本稿では、当社で取り組んだモデルベース開発の検証プロセス改善について、三菱自動車工業(株)向け4WD用ECUのモデルベース開発に適用した事例を通して述べる。

(注1) MATLAB、及びSimulinkは、The MathWorks, Inc.の登録商標である。

2. モデルベース開発の検証環境構築

2.1 検証プロセスの課題

モデルベース開発の検証プロセスでは、以下の内容についてソフトウェアの検証を行う。

(1) 制御仕様が正しく実現できているか

車両制御が記述されるモデルは、記述内容や規模など多種多彩であり、ツールがあらゆるモデルに対して誤りのないソースコードを生成できるかを事前に確認することは一般的に難しい。そのため、モデルからツールでソースコードを自動生成するたびに、生成されたソースコードに誤りがないか確認する必要がある。

(2) 固定小数点の使用による演算精度が十分であるか

当社のソフトウェアでは、固定小数点を1ビットあたりで表現する物理量とオフセットを設定した符号なし整数で表現する方法を採用している。ある一つの物理量を表現するのに、モデルでは倍精度浮動小数点を使用するため、メモリを8バイト使用するが、固定小数点を使用した場合のメモリ使用量は2バイト(4WD用ECUの場合)で済む。物理量を固定小数点で表現すれば、ソフトウェアのメモリ使

用量が削減でき、ソフトウェアをメモリ容量の少ない安価なマイコンにも実装しやすくなる。しかし、一方で物理量を固定小数点で表現することによって、ソフトウェアの演算精度を落とすことにつながる。そのため、ソフトウェアの制御仕様で要求される演算精度(以下“許容誤差”という。)に注意しながら、固定小数点を部分的に使用しており、その影響によって演算精度が許容誤差を逸脱していないか確認する必要がある。

また前述のとおり、モデルの規模が増大することに比例して検証プロセスの工数は増加する傾向にあり、検証プロセスの効率化をどのようにして進めるかということもモデルベース開発の課題となっていた。

2.2 “MC-Checker”の開発

モデルベース開発の検証プロセス効率化の取組みとして、当社では2007年からツールメーカーであるガイオ・テクノロジー(株)と共同で仕様設計を行い、モデルとソフトウェアの一致性検証ツール“MC-Checker”の開発を行ってきた。“MC-Checker”は、図1に示すように大きく分けて以下の2つの機能を持つ。“MC-Checker”を使用することで、検証がパソコン上で自動実行できるようになり、モデルベース開発の検証プロセスの大幅な工数削減が見込めるようになった。

(1) モデルとソフトウェアの出力を比較する機能

パソコン上で同一入力データをモデルとソフトウェアに与えて、それぞれシミュレーションを行い、モデルとソフトウェアの出力をグラフ表示して比較する機能である。

モデルはパソコン上でシミュレーションできるが、ソフトウェアは、本来ECUに搭載しているマイコン上で動作するものであり、パソコン上では動作しない。MC-Checkerでは、マイコンと同一の動作をパソコン上でシミュレーションできるマイコンエミュレータ上でソフトウェアを動作させることによって、ソフトウェアをECUに実装する形式のまま変更することなく、シミュレーションできるように構成している。

(2) 許容誤差を超えるソフトウェアの出力を検出する機能

(1)で実現した機能によってモデルとソフトウェアの出力を比較したグラフ上で、ソフトウェアの出力がモデルの出

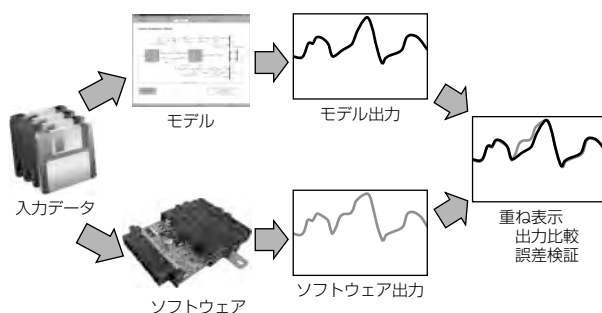


図1. MC-Checkerの機能

力を基準として、ユーザーが設定した許容誤差の範囲を超える箇所を検出し、マーカ表示する機能である。この機能によって、ソフトウェアの出力が許容誤差内にあるかどうかを視覚的に一目で確認できる。

2.3 4WD用ECUのモデルベース開発への適用

今回開発した“MC-Checker”を三菱自動車工業㈱向け4WD用ECUのモデルベース開発に適用した事例について述べる。

S-AWC(Super All Wheel Control)^(注2)と呼ばれるこの4WD制御システムは、図2に示すように、S-AWC用ECUと前後輪の駆動力配分を行う電子制御4WD、前輪左右の駆動力配分を行うアクティブフロントデフ(AFD)から構成される。S-AWC用ECUは、AFD用のフロント電子制御カップリング(F-ECC)と電子制御4WD用のセンター電子制御カップリング(C-ECC)を統合制御する。S-AWC用ECUは、各種センサや他のECUからCAN(Controller Area Network)通信によって操舵(そうだ)角、車輪速、前後加速度などの車両の運転状況に関する情報を入手し、運転状況に応じて電子制御カップリングの係合トルクを制御し、前輪左右の駆動力配分と前後輪の駆動力配分を行うことで、車両の高い運動性能を実現している。

図3は、“MC-Checker”を使用し、実車両でS-AWC用ECUで取得した各種センサなどのデータを、ある開発段階でのモデルとソフトウェアに入力して、F-ECCの出力比較を実施した結果である。一部でモデルとソフトウェアでF-ECCの出力が大幅に異なっており、ソフトウェアに問題があることが分かった。

原因を解析したところ、4WD制御の状態遷移を表す状態変数について、モデルとソフトウェアで扱いに差がある(注2) S-AWCは、三菱自動車工業㈱の登録商標である。

ことが分かった。この状態変数は、車両のオーバーステア、アンダーステア状態を識別するために用いている。オーバーステアとは、車両が旋回するときに、後輪が旋回時の円の外側に滑り出して、ハンドルをきった角度よりもさらに旋回時の円の内側に小回りしてしまう状態をいう。アンダーステアとは、その逆の状態を示し、車両が旋回するときに、前輪が旋回時の円の外側に滑り出して、ハンドルをきった角度よりもさらに旋回時の円の外側に大回りしてしまう状態をいう。問題となった状態変数は、モデルでは表1のように値の割り当てがされていた。

モデルでは、この状態変数が浮動小数点で表現されていたため、すべての車両状態が正しく識別できていた。しかし、ソフトウェアは、この状態変数をオフセット0(マイナス値が表現できない設定)の符号なし固定小数点で表現していた。そのため、ソフトウェアでは、この状態変数が、値“-1”となるときのオーバーステアの車両状態が正しく表現できず、モデルとソフトウェアの出力の差の原因となっていた。

この状態変数の扱いを修正した後、再度“MC-Checker”

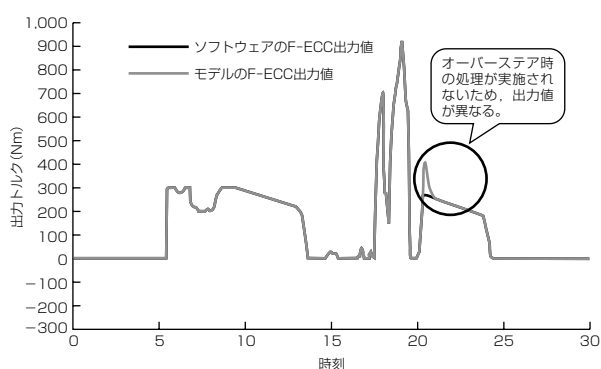


図3. F-ECCの出力比較(修正前)

表1. 車両の状態遷移を示す変数

車両状態	状態遷移を示す変数の値	
	モデル	ソフトウェア
アンダーステア	1	1
直進状態	0	0
オーバーステア	-1	—

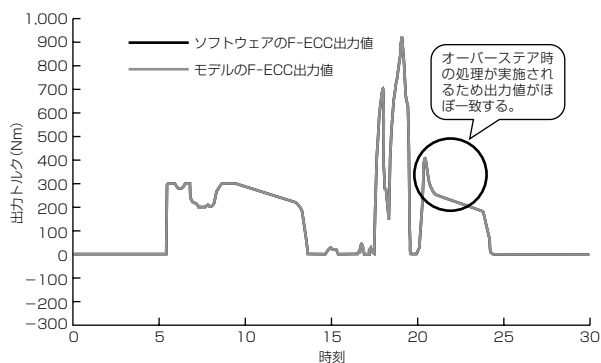


図4. F-ECCの出力比較(修正後)

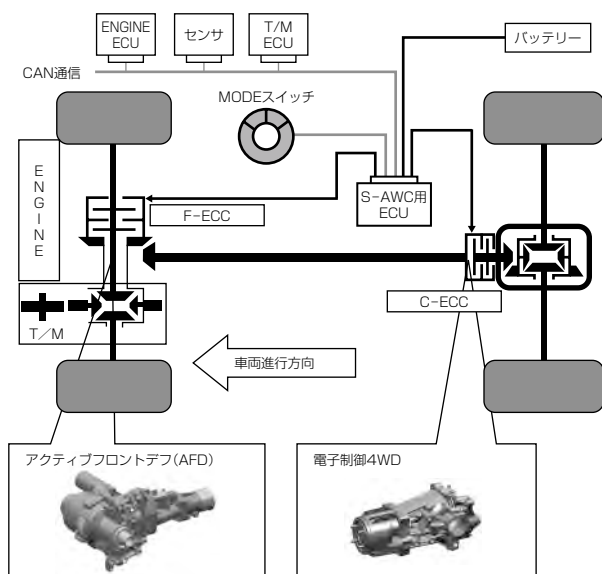


図2. 4WDトランスミッション

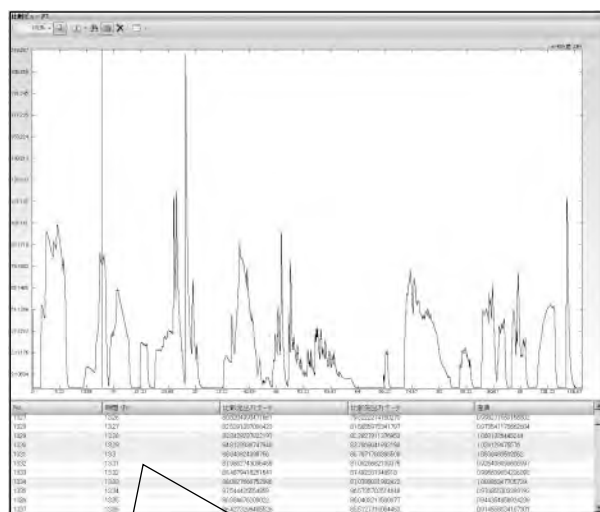


図5. 許容誤差を超えるC-ECCの出力検出(従来)

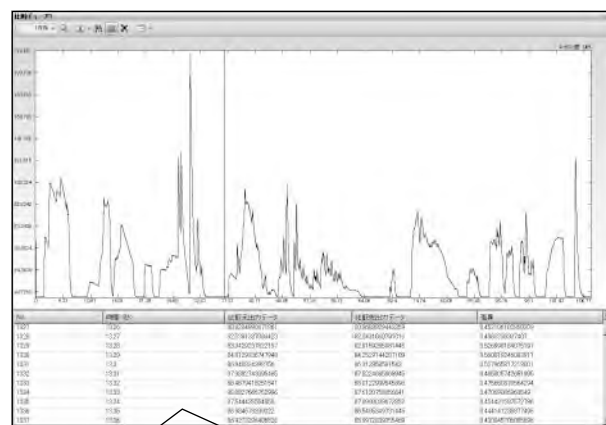


図6. 許容誤差を超えるC-ECCの出力検出(改善後)

を使用し、モデルとソフトウェアのF-ECCの出力比較を実施した結果を図4に示す。問題となっていた状態変数でオーバーステアの扱いが修正されたことによって、F-ECCの出力がほぼ一致し、ソフトウェアの動作に問題がないことが確認できた。

このように、“MC-Checker”を使用することで、モデルとソフトウェアの動作比較が容易に実施できる。

2.4 ソフトウェアの演算精度向上

“MC-Checker”を使用して、許容誤差を超えるソフトウェアの出力の検出を行った。図5に示すように、ソフトウェアでC-ECCの出力が許容誤差1 Nmを超える誤差を検出できた。ソフトウェアの入力から出力に至るまでの演算制御の結果を順を追って確認したところ、固定小数点マップの演算処理でモデルとソフトウェアの出力差が大きくなることが分かった。

固定小数点マップとは、入力と出力の物理量の関係を表すグラフから変曲点のみを取り出して、固定小数点の配列データとして表現したものである。固定小数点マップの演算処理では、入力が与えられたとき、どの変曲点の区間に存在するかを検索し、その区間内で補間演算によって出力を算出する処理を行う。

固定小数点マップの補間演算を行う区間で入力に対する出力の変動幅が大きくなっており、補間演算の演算精度が荒くなっていることが原因であると分かった。そのため補間演算を行う区間で入力に対する出力の変動幅が必ず出力の分解能未満になるように固定小数点マップの演算処理の改善を行い、再度モデルとソフトウェアの出力比較を行った。その結果を図6に示す。改善後、ソフトウェアでC-ECCの出力が許容誤差1 Nm以内に収まるようになった。

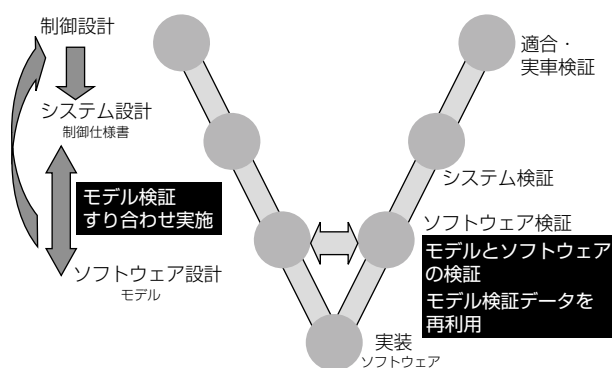


図7. モデルベース開発のプロセス改善

3. モデルベース開発のプロセス改善

モデルベース開発のプロセス改善について、図7に示す。図7は、一般的なソフトウェアの開発プロセスであるV字プロセスにモデルベース開発の各プロセスを当てはめたものである。制御設計からソフトウェア設計では、モデルのシミュレーションを繰り返し行うことによって制御仕様の検証が行われる。この制御仕様の検証で、モデルのシミュレーションに用いた入力データをソフトウェア検証で“MC-Checker”の入力データとして再利用することで、“MC-Checker”の入力データとして設計すべきテストケースの作成工数を削減でき、ソフトウェア検証の効率化が図れると考える。

4. む す び

“MC-Checker”の開発によって、モデルベース開発の検証プロセスの効率化を図ることができた。また、今後の課題として、“MC-Checker”に処理時間計測機能を追加するなど、メモリ容量以外のマイコン制約に関しても検討できるように開発を進めていきたい。