

プラグインハイブリッド制御ECUの開発

Development of Plug-in Hybrid Control ECU

釜 賀 隆 市	Ryuichi KAMAGA
森 口 広	Hiroshi MORIGUCHI
福 嶋 孝 章	Takaaki FUKUSHIMA
福 井 誠 志	Satoshi FUKUI
日比野 卓 也	Takuya HIBINO
鷹 取 剛	Tsuyoshi TAKATORI



要 旨

近年、環境規制への適合に向け、各自動車メーカーからハイブリッド車が投入されるのに伴い、ハイブリッド制御ECU（HV-ECU）市場も拡大基調にある。当社HV-ECUも、トヨタ自動車㈱のGSハイブリッド、LSハイブリッド、クラウンハイブリッド、プリウスに生産・納入を行っている。さらにハイブリッド車のなかでも、家庭用電源にて充電し、短距離は電気自動車として使用できるプラグインハイブリッド車（PHV）が特に注目されている。このPHVをトヨタ自動車㈱は、2009年12月にプリウスPHVとして既に限定販売を開始している。当社は、このプリウスPHV向けに、ハイブリッド制御およびプラグイン充電を制御するECU（プラグインハイブリッド制御ECU：PHV-ECU）を生産・納入しており、本稿ではその概要について紹介する。

Abstract

Recently, as a growing number of hybrid vehicles are commercialized by automobile manufacturers to comply with environmental regulations, the market for hybrid vehicle control ECUs (HV-ECUs) is expanding. FUJITSU TEN has been manufacturing HV-ECUs to deliver to TOYOTA MOTOR CORPORATION for its GS Hybrid, LS Hybrid, Crown Hybrid, and Prius. Among hybrid vehicles, attentions are especially focused on plug-in hybrid vehicles (PHVs) of which battery can be charged through a cable being plugged into a household electric outlet to use them as electric vehicles for short distance driving. TOYOTA MOTOR CORPORATION has already launched sales of a PHV in December 2009 under the brand name of Prius Plug-in Hybrid Vehicle (hereinafter referred to as Prius PHV). FUJITSU TEN has manufactured and delivered the ECU that controls hybrid driving and plug-in battery charge (plug-in hybrid vehicle control ECU or PHV-ECU) for Prius PHV. This paper explains the outline of the ECU.

1

はじめに

世界的な環境問題対応や原油価格高騰の影響により、燃費などの対環境性能に対するユーザの関心が高まっている。日本では、2009年度より適用されたエコカー減税の影響により、ハイブリッド車（HV）が注目されており、急激に販売台数を伸ばしている。また、各国政府も法規制を年々強化し、燃費向上、CO₂削減をメーカーに要求している。欧州では、CO₂規制値が設定されており、また、米国カリフォルニア州のCARBは、自動車メーカー各社に2012年からZEV（ゼロエミッションビークル）の発売を義務づけている。このような規制をうけ、2009年に複数メーカーが電気自動車（EV）を発表もしくは発売時期を公表している。

しかし、EVは対環境性能に優れる反面、電池の蓄電容量、コストの課題であり、現時点ではガソリン車並の航続距離と価格の実現が難しい状況である。このため、HVを短距離ではEVとして使用できるプラグインハイブリッド車（PHV）が注目されており、トヨタ自動車(株)では、2009年12月にプリウスをベースとしたPHVの限定販売を開始した。

当社は、本車両向けハイブリッド制御および外部電源からの充電（プラグイン機能）を制御するECU（プラグインハイブリッド制御ECU：PHV-ECU）を生産しており、本稿ではその概要について紹介する。

2

システム構成

2.1 ハイブリッド車（HV）について

先述したPHVに触れる前に、ベース車両となるプリウスHVのシステム構成について説明する。一般的にHVとは、2種類以上の動力源を持ち、状況に応じて単独もしくは2種類以上の動力源を用いて走行できる車両である。そのなかでプリウスHVは、ガソリンと電気の二つを動力源としており、アクセルで要求された駆動力を、エンジンおよびモータからまかなっている。

HVの特徴は、一般的にも知られている通り、優れた静寂性と低燃費である。機能的な特徴としては、「アイドリングストップ」、「加速時のモータアシスト」、「モータのみで走行するEV走行」、「制動時に電気の回収を行なう回生ブレーキ」が代表的である。

次に、これらの機能を実現するために必要なシステムと役割を説明する。HVではガソリン車に対して、以下のシステムが追加されている（図1）。

- ①モータ、発電機、動力分割機構を備えたトランスアクスル
- ②パワーコントロールユニット（PCU）
- ③高電圧バッテリー
- ④ハイブリッドシステムを制御するコンピュータ（ハイブリッド制御ECU：HV-ECU）

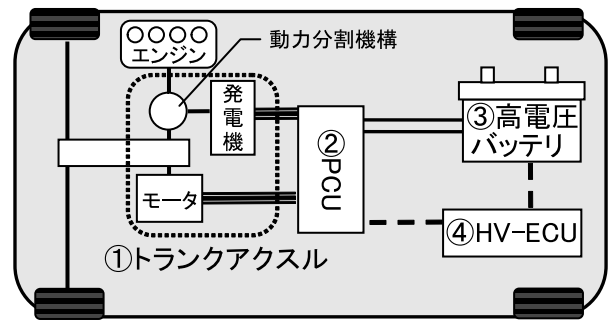


図1 プリウスHVのシステム構成

Fig.1 System Configuration for Prius HV

HVでは発電機をエンジンスタートとして使用することにより「アイドリングストップ」を可能にしている。また高電圧バッテリーを動力源としてモータを駆動し、「加速時のアシスト」や「EV走行」を実施している。さらに運動エネルギーをモータで電気に変換する「回生ブレーキ」やエンジンによる発電機駆動により、高電圧バッテリーに充電を行なっている。これらの電気はPCUで調整され、動力の配分は動力分割機構により行われており、HV-ECUにおいて各種入力信号を基にシステム全般の制御を実現している。

2.2 プラグインハイブリッド車（PHV）について

次に、プリウスPHVのシステム構成について説明する。HVでは、高電圧バッテリーへの充電は、走行やアイドル中など、運転中に行なっているが、PHVは駐車中に外部電源からの充電を可能にしたHVである。外部電源からの充電は家庭用のコンセントを使用することが可能で、車両に搭載された充電器を介して高電圧バッテリーに充電を行う。

PHVの特徴は、EVとHVの双方の機能を兼ね備えていることである。近距離は充電した電力を用いてEVとして使用することによりCO₂削減および燃料コストの低減、長距離や高速走行は従来のHVとして使用が可能のため、充電インフラが整っていない場所においても使用が可能となっている。

プリウスHVとプリウスPHVとの違いは次の5点である（図2）。

- ①左フェンダー後方に充電ケーブルを差し込むための充電インレットを追加
- ②右前席の下に、家庭用の交流電流を、直流電流に変換し、高電圧バッテリーを充電するためのインバーターを追加
- ③ラゲッジ下の高電圧バッテリーをニッケル水素電池からリチウムイオン電池に変更し、電池容量を拡大
- ④充電機能の追加に伴い、ハイブリッドシステムを制御するコンピュータをプラグインハイブリッド制御ECU（PHV-ECU）に変更
- ⑤メータ表示変更や充電インジケータ追加などユーザへの通知機能の追加

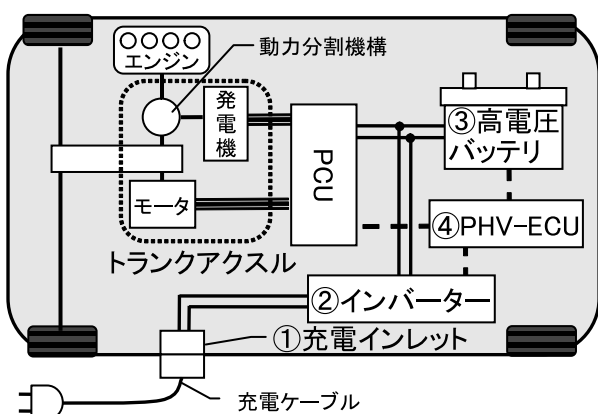


図2 プリウスPHVのシステム構成
Fig.2 System Configuration for Prius PHV

これらのシステム変更により、プリウスPHVではモータによるEV走行可能距離をベースのプリウスHVから大幅に拡大し、23.4kmとしている。

EV走行可能距離の拡大のみであれば、従来のHVに充電器を搭載しバッテリーを大きくすればPHVが実現できるように思われるが、新たな制御の織り込みや規格への対応が必要となる。このため全体のシステムを制御するPHV-ECUにおいても従来のHV-ECUに比べ、さまざまな工夫を行っている。

3

ECU構成

3.1 従来ECU構成との違い

前述の通り、プラグインハイブリッド制御ECU (PHV-ECU) は、従来のハイブリッド制御ECU (HV-ECU) にプラグイン充電機能が追加されている。これに伴い制御ソフト容量が大幅に増加しており、従来構成の2CPUでは対応できないため、3CPU構成とした。

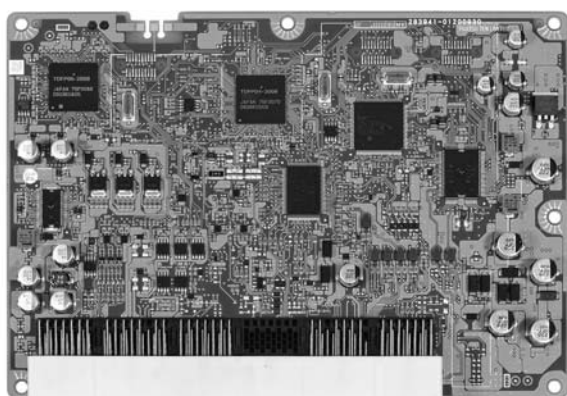


図3 PHV-ECU構成
Fig.3 PHV-ECU Configuration

3.2 従来ECU設計資産の活用

PHV-ECUの開発は、2007年から検討を開始し、約3年間の量産という短期開発を行う必要があった。また、システムの新規性が高く、スクラップアンドビルドで開発が進む可能性が高かった。そのため、従来のHV-ECUの設計資産を活用した効率的な開発ができる構成を第一として検討を進めた。

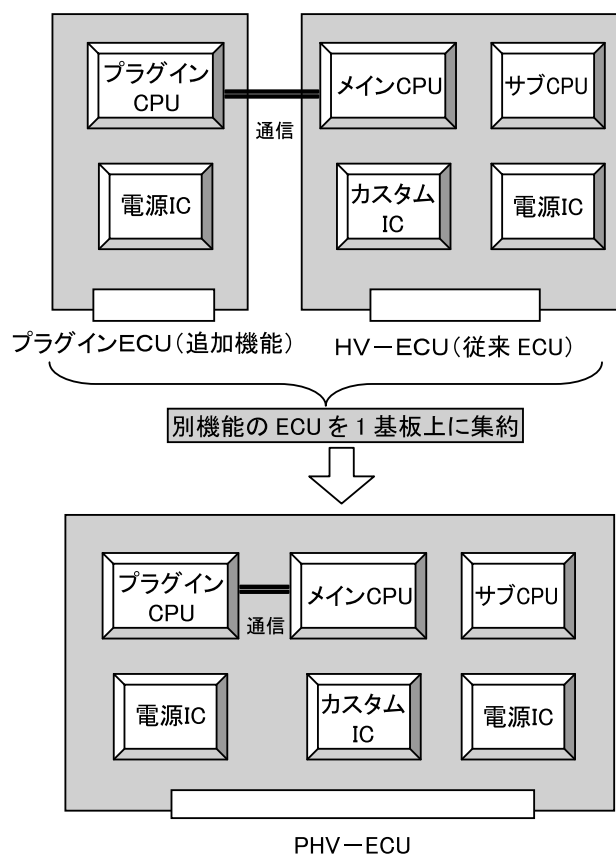


図4 ECU構成図
Fig.4 ECU Configuration

当初は、新機能分を従来のHV-ECUとは別に新規ECU (プラグインECU) として開発する構成が最も効率的な構成と考えていたが、通信データ量、必要速度の問題から、系統的にHV-ECUとプラグインECU間の通信が成立しなかった。このため、図4に示すように、従来のHV-ECUに新機能部分を追加し、1基板上に集約することで通信速度アップを図るとともに、HV-ECUの回路構成・基板構成の流用が可能で設計・評価資産の活用ができるECU構成を採用した。また、メイン・サブCPUとプラグインCPUが、同一基板上で構成されているという設計思想とすることで、制御仕様、フェールセーフなども従来ECUの思想からの変更点を最小限に抑えた。

3.3 ECUの起動／終了時の処理概要

従来製品では、プッシュスタートスイッチ操作にてシステム電源を投入するが、PHV-ECUではプッシュスター

トスイッチ操作以外に、ユーザの充電ケーブル挿入操作時にシステム電源を投入して充電制御を必要がある。そこで、図5のように、従来のプッシュスタートスイッチ起動経路に加え、充電ケーブル挿入を検出する入力 را けて、ケーブル挿入を検出するとシステム電源を投入するように機能追加した。

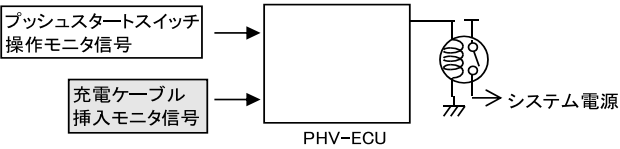


図5 充電起動構成

Fig.5 Flow Diagram of Battery Charge Activation

また充電終了時、システム電源をオフして、起動待機状態になる。

4

充電制御

4.1 充電ケーブル

プリウスPHVを家庭用電源にて充電する場合、専用の充電ケーブルを使用する (図6)。



図6 充電ケーブル

Fig.6 Battery Charge Cable

プリウスPHVの充電ケーブルと車両側のインターフェースは、SAE規格“SAEJ1772：SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler”に準拠している。充電ケーブル側のインターフェースは四角いケース (CCIDボックス) に内蔵されており、“車両との接続状態の検出”や“漏電検出”、“異常時に車両－家庭用電源間の切り離し”機能がある。

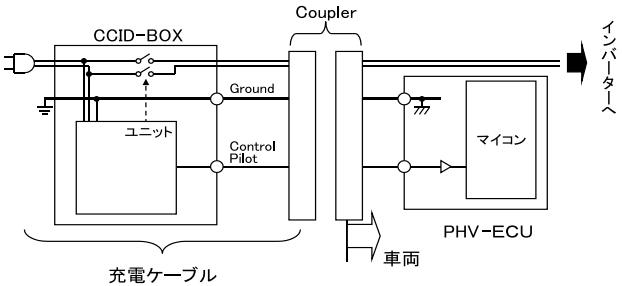


図7 充電ケーブルー車両間I/F

Fig.7 I/F between Battery Charge Cable and Vehicle



図8 車両側充電リッド

Fig.8 Battery Charge Case Lid on Vehicle

4.2 充電の手順

SAE規格で定められている動作は、次のようになる。

STEP1. 車両接続検出

充電ケーブル内のユニットは、Control Pilot信号電圧の変動（V1→V2）をモニタすることによりケーブルが車両に接続されたことを検出する。

STEP2. 電流定格の通知

充電ケーブル内のユニットがPHV-ECUへ電源設備（家庭用電源&ケーブル）の定格電流をControl Pilot信号（方形波）のDuty比で通知する。

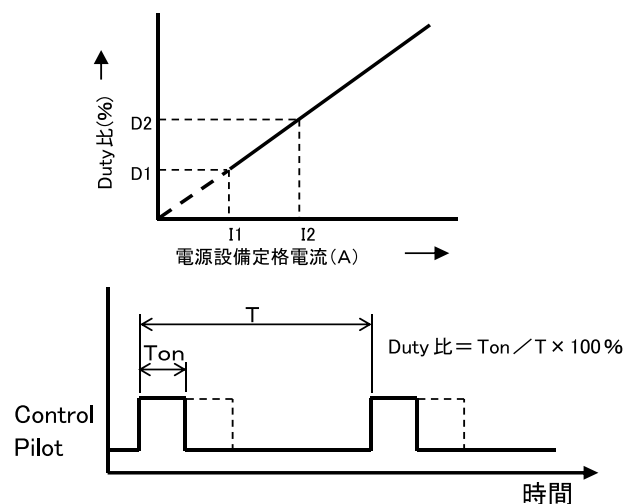


Fig.9 Wave Pattern of Control Pilot Signals

STEP3. 車両側充電準備完了の通知

PHV-ECUが充電ケーブル内のユニットへControl Pilot信号の電圧を変化（V2→V3）させることにより充電準備完了を通知する。

規格では電圧の変化量を大きく（V2→V4）することにより設備側に換気の必要性を通知する仕様もあるが、プリウスPHVの場合は換気の必要がないため使用していない。

STEP4. ケーブル内接点の接続

充電準備完了の通知を検出した充電ケーブル内のユニットは、車両へ給電するために接点を接続する。

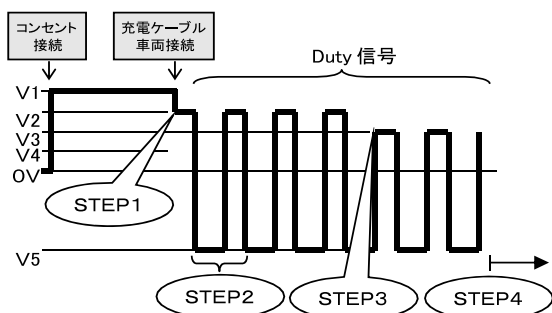


図10 充電ケーブルから見たControl Pilot 信号

Fig.10 Control Pilot Signals Monitored from Battery Charge Cable

その他、漏電や設備とのアース状況などの異常を検出した場合、充電ケーブル内ユニットは接点を遮断できる。

プリウスPHVは、充電中は助手席前ダッシュボード上にあるランプが点灯し、車両外側より充電中であることが分かるようになっている（図11）。

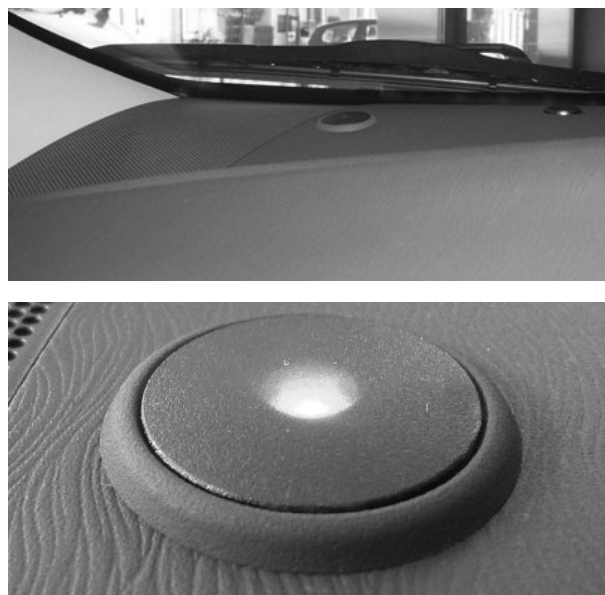


図11 充電ランプ

Fig.11 Battery Charge Lamp

4.3 PHV-ECUの動作

プリウスPHVに搭載されるPHV-ECUの要件として下記の項目がある。

- ・家庭用電源停電時、PHV-ECUは待機すること。
- ・充電完了後、PHV-ECUは待機すること。

上記要件を満たすため、PHV-ECUの起動要因は前述のControl Pilot信号としている。Control Pilot信号のHiでマイコンがWakeupし、車両側システムの電源を投入する。またプリウスPHVのControl Pilot信号の動作については、次のような工夫がされている。

下記の図で、プリウスPHVのControl Pilot信号について説明する。

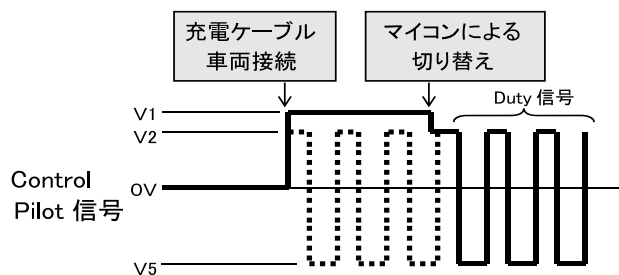


図12 PHV-ECUから見たControl Pilot 信号

Fig.12 Control Pilot Signals Monitored from PHV-ECU

工夫されていなければ車両に接続された時点のControl Pilot信号電圧は“V2”となり、図12の破線のように充電ケーブル内のユニットがDuty駆動を始めてしまう。プリウスPHVでは、車両接続時点での電圧を“V1”となるように回路を追加しており、電圧“V2”へは、PHV-ECUのマイコンがその回路を駆動させることにより切替えている。この変更により、起動時のPHV-ECUはControl Pilot信号が0VからDC電圧“V1”に変化したことを検出すればよいので、安定した起動が実現できている。

Control Pilot信号は、深夜電力待機中や停電待機中は充電ケーブルに家庭用電源が供給されないため0Vとなる。深夜時間や停電が終了した時は、充電ケーブルに電源が投入されControl Pilot信号が電圧“V1”となる。このためPHV-ECUは、Control Pilot信号が0Vの時待機し、電圧“V1”に変化したことにより起動し充電制御を開始できるのである。また充電終了後、PHV-ECUはControl Pilot信号を電圧“V1”に戻し、充電ケーブル内のユニットは、電圧“V1”を検出することによりDuty駆動を止める。これにより、充電制御終了後も安定した待機状態を保つことができる。

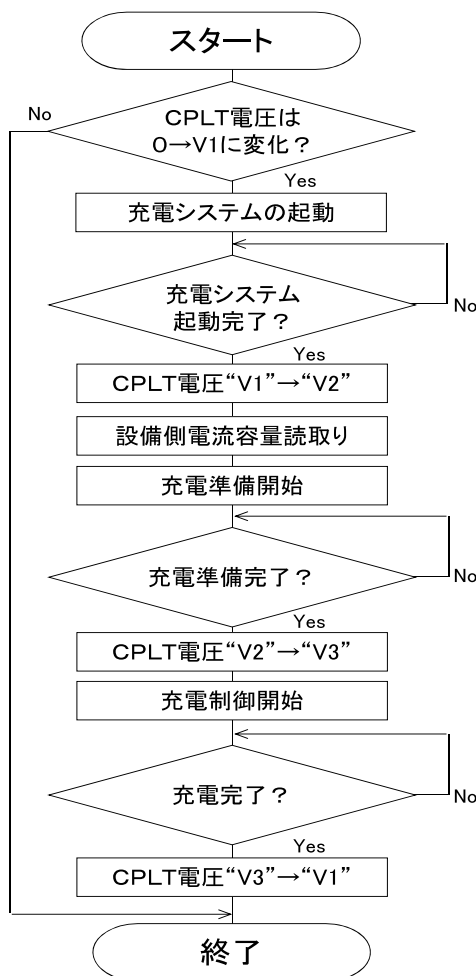


図13 プラグイン充電制御フローチャート
Fig.13 Flow Diagram of Plug-in Charge Control

4.4 車両状態のメータ表示

ユーザの車両操作（プッシュスタートスイッチ操作、充電ケーブル挿入など）のあらゆる場面を想定し、PHV-ECUにて危険回避制御、警告表示を行っている（図14）。

一例を挙げると、充電ケーブルを挿入中に車両が動き出すことにより充電設備を破損することを防止するために、引き摺り防止制御を行っている。具体的には、充電ケーブルが接続されているにも関わらず、ユーザによりプッシュスタートスイッチをおされた場合、走行可能状態（READY-ON状態）への移行を禁止し、メータパネル内に充電ケーブルを抜くように表示することによりユーザへ通知する。

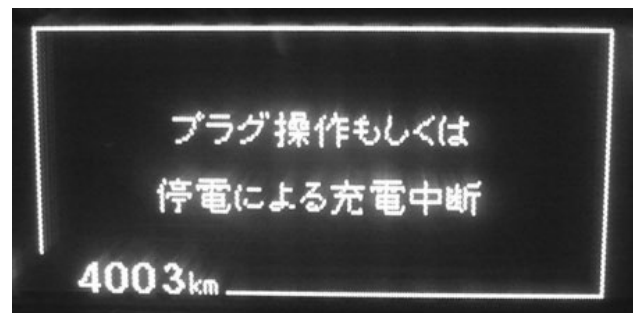


図14 車両側メータ表示
Fig.14 Message on Meter Panel of Vehicle

5

最後に

現行のPHV-ECUに残された課題は以下の項目があり、今後のECU開発において注力していく予定である。

①急速充電方式への対応

本稿で説明した製品では、家庭用電源からの充電にしか対応しておらず、日本国内では充電に約3時間必要である。この充電時間短縮、かつ今後増加していくEVへの対応のため、充電スタンドのインフラ整備が進み、充電スタンドへの対応が必要となってくる。充電スタンドは、高出力で急速充電できるようになっており、家庭用電源とは異なる制御が必要となるが、ユーザ利便性の面から対応が必要なアイテムである。

②ECUの小型軽量化

燃費向上および電池大型化に伴うECU搭載スペースの問題に対応するため、ECUの小型軽量化は必須となる。今回は、開発期間の問題から新規アイテムの投入を見送っているが、将来に向け小型集積化の検討を行っていく。

参考文献

SAE規格 “SAEJ1772 : SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler”

社外執筆者紹介



釜賀 隆市
(かまが りゅういち)

1989年トヨタ自動車株式会社。以来、ABS (Antilock Brake System) などの内製ECU開発、HV (Hybrid Vehicle) 制御電子システムの開発に従事。現在、第2電子開発部、グループ長。

筆者紹介



森口 広
(もりぐち ひろし)

1986年入社。以来、自動車用電子機器の開発に従事。現在、AE技術本部パワートレイン技術統括部 制御一部チームリーダー。



福嶋 孝章
(ふくしま たかあき)

2000年入社。以来、自動車用電子機器の開発に従事。現在、AE技術本部パワートレイン技術統括部 制御一部に在籍。



福井 誠志
(ふくい さとし)

1987年入社。以来、自動車用電子機器の開発に従事。現在、AE技術本部パワートレイン技術統括部 制御一部に在籍。



日比野 卓也
(ひびの たくや)

2002年入社。以来、自動車用電子機器の開発に従事。現在、AE技術本部パワートレイン技術統括部 制御技術部に在籍。



鷹取 剛
(たかとり つよし)

1993年入社。以来、自動車用電子機器の開発に従事。現在、ソフトウェア技術本部AEソフト統括部 第一ソフト技術部チームリーダー。