

FIT EV 用充電システムの開発

Development of Charging System for FIT EV

村上 友厚* 貞野 計*
Tomoatsu MURAKAMI Hakaru SADANO

要 旨

ABSTRACT

FIT EV の高効率プラグイン充電システムを開発した。システムの開発目的はEVの普及であり、EVの使い勝手を向上させるため、短時間充電、高効率充電、安全な充電を目標に開発をおこなった。

短時間充電は日米充電環境の配電設備能力を最大限引き出せるオンボードチャージャ出力を設定することと、その性能を最大限引き出す定電力充電制御の領域を広げることで実現した。さらに機器の作動時間を最小にすることができたため高効率充電も可能とした。その結果、開発したシステムは、最短で充電時間3時間以内という目標を達成した。

安全な充電については、充電コネクタ端子が想定した以上に使用環境下で劣化した場合に発生する異常過熱を保護するシステムを採用した。

充電リッド位置は、ユーザ宅のガレージや公共充電場の調査をおこない最適な位置に決定した。

A high-efficiency plug-in charging system has been developed for the FIT EV.

The goal of development of the system was to promote the more widespread use of EV. The development was conducted in order to increase the user-friendliness of EV with the aim of offering rapid, high-efficiency, and safe charging. The rapid charging was realized by setting the power of the on-board charger to maximize the capacity of the power distribution equipment employed in the Japanese and U.S. charging environments and expanding the range of the constant power charging control that maximizes the charger's performance. In addition, the minimization of the operating time of the charger has made it possible to realize high-efficiency charging. As a result, the developed system has realized the target of a minimum charging time of within three hours.

With regard to safe charging, the system employs protection against abnormal excess heat produced as a result of greater deterioration of the charge connector terminals under the conditions of use of the system than initially projected. The optimal positions for the charge lids were determined based on studies of the garages in users' homes and public charging stations.

1. まえがき

近年、地球的規模での環境意識の高まりと、原油供給不安定に起因するエネルギー安全保障の両面から、CO₂排出の20%を占める自動車のエネルギー効率向上の技術開発が活発になってきている。特にカリフォルニア州のZero Emission Vehicle (ZEV) 法への対応には動力のさらなる電動化が必要であり、ポスト Hybrid Electric Vehicle (HEV) として各社とも積極的なEV開発をおこなっていることは周知のとおりである。

EVは環境性能の高さだけでなく、内燃機関自動車(ICE車)に対して高い静粛性、低走行コスト等のメリットがある。Hondaは1997年に主要自動車メーカーとしては初の電

*四輪 R&D センター

気自動車EV Plusをリース販売した。EV Plusの充電システム⁽¹⁾にはプラグイン充電を採用し、4.2 kWの車載型充電器(オンボードチャージャ)を搭載した。プラグイン充電とは商用電源と車両を電氣的に接続して走行に必要なエネルギーをトラクションバッテリーに充電する方式である。FIT EVでは電費世界一と使い勝手向上を目指した。電費は充電開始からモード走行完了までに消費した電力を計測する。そのため、オンボードチャージャの高効率化が重要であり効率と出力を向上させ充電時間を短縮し、なおかつさらなる小型化を図った。

本稿では、新規開発充電システムのねらいと特徴を述べる。

2. 充電システムの課題と目標

EVに必要なプラグイン充電は、ICE車の給油に相当する。バッテリーは化石燃料よりエネルギー密度が小さいため、同等のエネルギー供給に必要な時間と回数は、給油の場合より多い。EVの普及を目指すには、この課題を解決しなければならない。

この課題を解決するため取り組むべき目標を定めて開発をおこなった。

(1) 短時間で充電できる

最短充電時間目標: 3時間以内

(2) 充電効率が高い

充電効率目標: 87%以上

(3) 安全に充電できる

3. 充電システムの概要

FIT EVに採用したシステムの概要を以下に示す。

3.1. FIT EVの充電環境

日本とアメリカの充電環境を以下に述べる。

3.1.1. 日本の充電環境仕様

日本の充電環境をFig. 1に示す。日本はCHAdeMO規格の急速充電網が整備されており、外出先での充電に十分利用できることからCHAdeMO規格に準拠した急速充電システムを採用した。50 kWでの急速充電の利用によりState Of Charge (SOC) 80%までの充電が20分で可能となった。

一方、普通充電は自宅での夜間充電が主になるため200 V充電で帰宅から外出までの間で6時間以内に満充電となる、出力3.3 kW仕様を設定した。

車載充電ケーブルは推奨充電電圧に対応した200 V仕様に加えて、緊急充電用として100 V仕様も標準搭載した。

3.1.2. アメリカの充電環境仕様

アメリカの充電環境をFig. 2に示す。現在のアメリカには急速充電網がほとんど整備されていないため急速充電シ

ステムの適用を見送った。そのかわり、普通充電の出力を可能な限り大きく設定して、充電時間を短縮した。

家屋に標準的に設置されている配電設備の能力は、32 A連続定格である。よって既設の配電設備能力を最大限に利用できる6.6 kW出力に設定し、3時間以内での充電を可能とした。

車載充電ケーブルはNEC(National Electrical Code) Article625規格の規定により、車載可能な120 V仕様のみを搭載した。

3.2. 充電システム構成

プラグイン充電システムの基本構成をFig. 3に示す。点線範囲は日本仕様の急速充電システムを示す。また、車載配置図をFig. 4に示す。

トラクションバッテリーの両極にはメインコンタクタを配置している。メインコンタクタを介してその二次側にはトラクション系統と補機系統が接続されている。

トラクション系統はトラクションインバータを介し送電

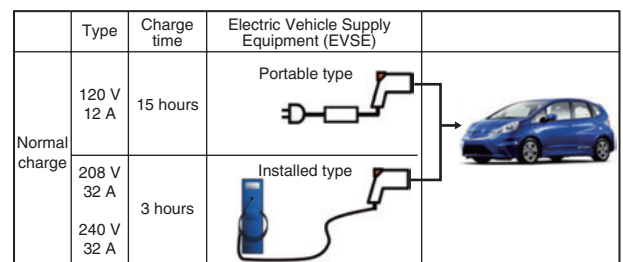


Fig. 2 Overview of charging (USA)

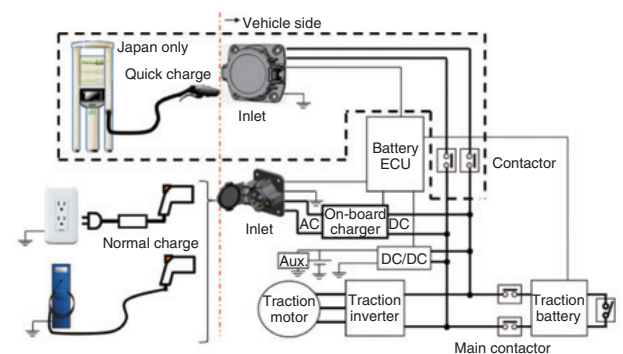


Fig. 3 Charging system

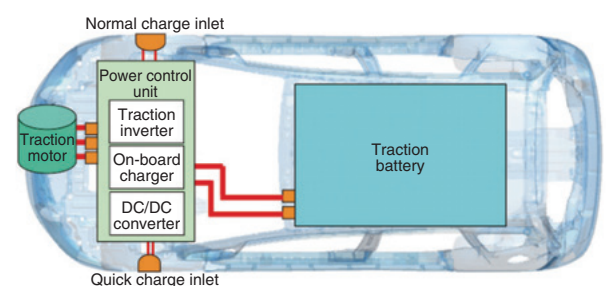


Fig. 4 Vehicle layout for FIT EV (Japan)

	Type	Charge time	Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE)
Normal charge	100 V 12 A	23 hours	Portable type
	200 V 15 A	6 hours	Portable type
			Installed type
Quick charge	DC 50 kW MAX	20 min.	

Fig. 1 Overview of charging (Japan)

しトラクションモータへ接続され駆動力を得る構成となっている。

補機系統には DC/DC コンバータやオンボードチャージャが接続されている。DC/DC コンバータは 12 V バッテリへの電力変換をおこなない、オンボードチャージャは AC 商用電力の電力変換をおこなう。

トラクションバッテリーおよび DC/DC コンバータ、オンボードチャージャはバッテリー Electric Control Unit (ECU) により制御をおこなう。よって充電をおこなうのに必要な通信線は全てバッテリー ECU に接続されている。トラクションバッテリーの状態と充電制御には密接な関係があるため、フェール発生時には迅速なフェールセーフアクションが必要である。したがって、バッテリー状態検知と高電圧系配電制御の両機能を合わせ持つバッテリー ECU に充電制御機能をもたせた。

プラグイン充電の制御は、EV 用充電装置 (Electric Vehicle Supply Equipment: EVSE) と車両間の通信機能、充電出力指示および制御、充電系フェール検出およびフェールセーフアクションによって構成される。

3.2.1. 普通充電の構成

EVSE から入力された AC 商用電力は車両に設置されたインレットから、電力線を通してオンボードチャージャへ送電される。オンボードチャージャによって AC は DC に変換されトラクションバッテリーへ充電される。同様に EVSE とバッテリー ECU 間の通信もインレットの通信線を通り、バッテリー ECU へ接続される構成となっている。

3.2.2. 急速充電の構成

急速充電システムは CHAdeMO V0.9 に準拠するシステム構成である。

急速充電器から入力された DC 電力は、車両に設定されたインレットからコンタクトを介してトラクションバッテリーに接続し、充電される。同様に、充電器とバッテリー ECU 間の通信もインレットの通信線を通った後に、バッテリー ECU へ接続される構成となっている。

3.2.3. 充電リッドの位置

Table 1 に仕向地ごとの充電リッド位置を示す。

(1) 普通充電 普通充電は日本、アメリカともに自宅での充電が主になる。ユーザがガレージ駐車後にプラグイン充電操作をおこなうため、そのスペースを確保しやすいように、普通充電リッドはドライバ席側に設定した。

(2) 急速充電 高速道路のサービスエリアなどに設置されている急速充電スタンドは、路側帯への設置が多いため、急速充電リッドを助手席側に設定した。

4. 短時間充電の技術

短時間で充電をおこなうには、オンボードチャージャの出力アップが必要である。オンボードチャージャの外観を

Table 1 Location of charge lid

Sales area	Normal charge	Quick charge
Japan	Right side	Left side
USA	Left side	

Table 2 Comparison of on-board charger specifications

	EV Plus	FIT EV
Volume	8.6 L	8.1 L
Weight	11 kg	10 kg
Power	4.2 kw	6.6 kW
Cooling	Water	Water
Efficiency	84.4%	91.9%

Fig. 5 に示す。

Table 2 に、FIT EV と EV Plus のオンボードチャージャ仕様比較を示す。EV Plus に採用したオンボードチャージャよりも出力を向上させつつ小型化した。他社の 3.3 kW のオンボードチャージャより小さい体格で、6.6 kW 出力を得た。本チャージャの位置づけを Fig. 6 に示す。

以降に、出力を向上させつつ小型化を可能とした手法を示す。

4.1. 冷却構造

オンボードチャージャは Power Control Unit (PCU) 内

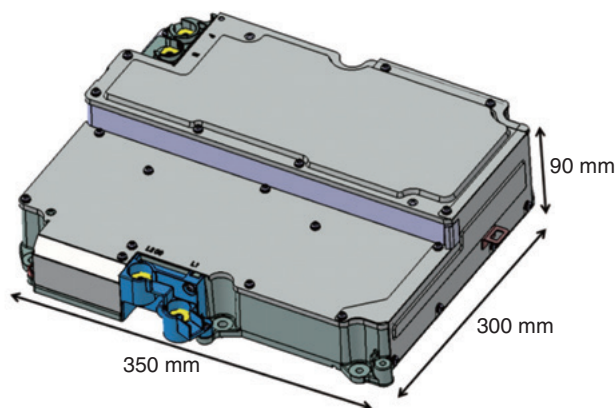


Fig. 5 External view of 6.6 kW on-board charger

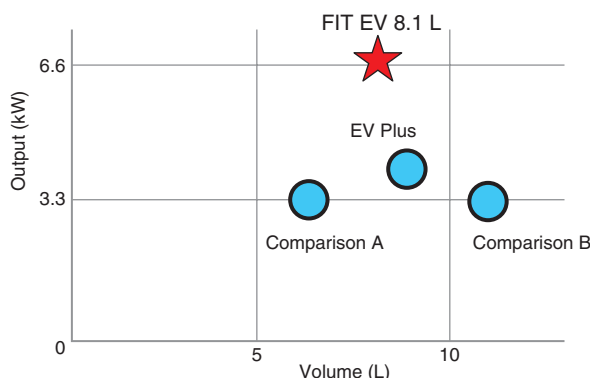


Fig. 6 Volume-power ratio

部に搭載されている。PCU は水冷用のウォータジャケットを搭載しており、オンボードチャージャはウォータジャケットに取り付けることにより冷却をおこなう。構造については Fig. 7 および Fig. 8 に示す。

4.2. 力率改善 (PFC) 回路出力電解コンデンサ削減

オンボードチャージャの回路ブロック図を Fig. 9 に示す。

力率改善 (Power Factor Correction:PFC) 回路に使用される電解コンデンサは、オンボードチャージャ内部の DC/DC コンバータ回路が正常に動作するために必要なリップル電圧と、最低電圧を確保する機能を持つ。その容量を極限まで削減することにより小型化を図る、という課題に対し以下の手法で解決した。

4.2.1. リップル電圧の増加の対策

電解コンデンサ容量を削減すると商用電源の正弦波に重畳しているリップル電圧が大きくなる。この成分は計測時

に平均値化することで打ち消されるため、商用半周期ごとに平均値化する計測手法を採用した。

4.2.2. 入力電圧急変に対する電圧変動増加の対策

電解コンデンサ容量を削減すると商用電源電圧の急変に対し変動の吸収が弱くなる。その場合でもオンボードチャージャが過電圧保護動作による充電停止に至らないように、過電圧保護よりも低い電圧にて動作を一旦停止し電圧の上昇を防ぐ構成とした。

4.3. スイッチング周波数の引き上げ

スイッチング周波数 90 kHz を採用することによりトランスなどの巻き線類に対し磁束密度を下げるができるため、コアの小型化を実現した。

また、巻き線類の電流のリップル成分が減るため、平滑コンデンサも小型化することができた。

5. 高効率充電の技術

EV 車両のエネルギー効率 (電費) は ICE 車での tank-to-wheel 効率 (燃費) になぞらえて、plug-to-wheel で評価される。電費の中の充電効率とは、コンセント出力端からトラクションバッテリー入力端までの電力入出力比である。また充電時間とは、充電残量警告灯点灯状態から満充電状態までの充電所要時間である。

したがって、プラグイン充電領域が担う電費向上対策には、コンセントからトラクションバッテリーまでの電力損失をゼロにすることが理想である。

FIT EV 用の充電システム開発では、以下に示すように、充電に関わる損失の徹底的な低減を図った結果、充電効率は 87.9% に達することができた。

5.1. 充電時間の短縮による損失低減

充電時間の短縮はユーザーメリットが大きいだけでなく、充電効率にも大きく影響する。

プラグイン充電中は、オンボードチャージャ、バッテリー冷却システム等が作動する。充電時間が長いと、これらのエネルギー損失のため、ワンチャージ当たりの充電効率が低下する。

充電時間短縮にはオンボードチャージャ出力向上に代表されるハードウェア対策と、チャージャ能力を最大限引き出す充電制御を可能にするソフトウェア対応をおこなった。

ハードウェアは、法規規格への適合と、オンボードチャージャ出力アップの観点から出力を決定した。

ソフトウェアは、バッテリー ECU が充電時の電圧特性と SOC の関係を精度よく予測することにより、ハードウェアの性能を最大限に引き出せる定電力充電の領域が最大となる制御仕様とした。充電最終ステージは定電圧充電に切り

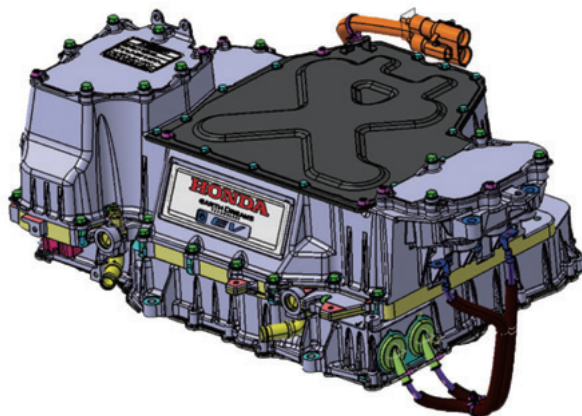


Fig. 7 External view of power control unit

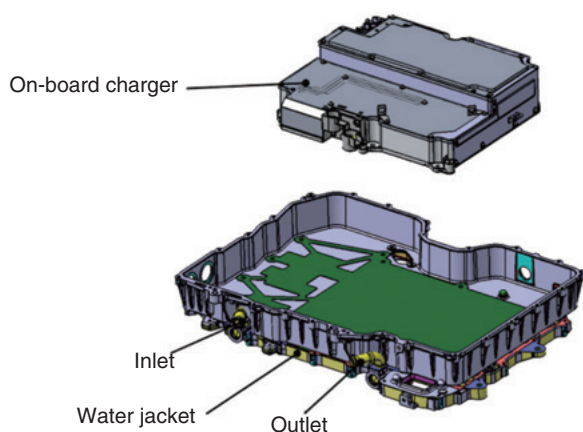


Fig. 8 Cooling structure of on-board charger

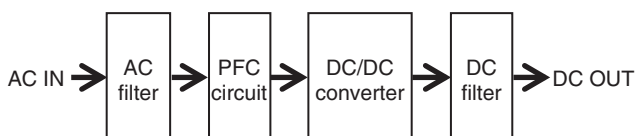


Fig. 9 Block diagram of on-board charger circuits

替え、バッテリー耐久性を低下させるオーバシュートを抑制するとともに満充電の精度を向上させた。SOC と充電電力の関係を図. 10 に示す。

5.2. オンボードチャージャの高効率設計

プラグイン充電システムにおいて、最も損失割合が大きいオンボードチャージャの損失の低減は、高効率化、小型化、軽量化、および冷却電力の低減に寄与する。

オンボードチャージャの出力電力ごとの効率を図. 11 に示す。

5.2.1. ソフトスイッチングの採用

ソフトスイッチングを採用することでスイッチング損失の低減を図った。FIT EV で採用したソフトスイッチング回路を図. 12 に示す。回路図に示すとおり共振用のチョークを回路に挿入しソフトスイッチングを実現している。

5.2.2. 整流ダイオードの低損失化

ソフトスイッチングを採用することによりサージ電圧が

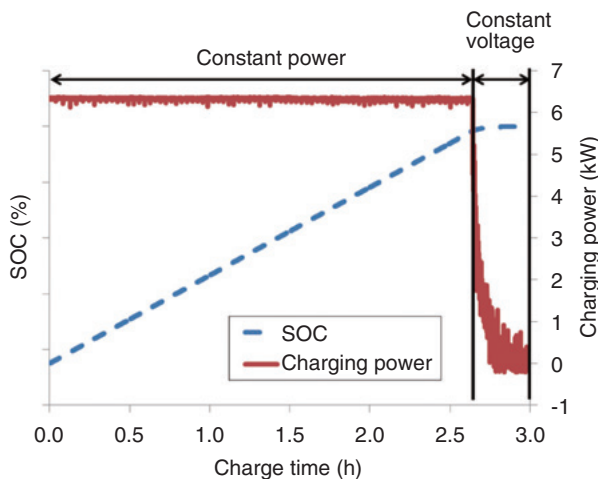


Fig. 10 Charging power control

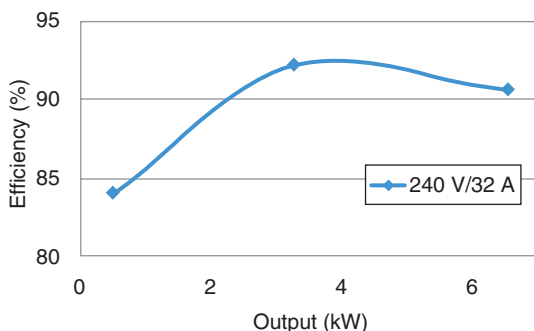


Fig. 11 On-board charger efficiency

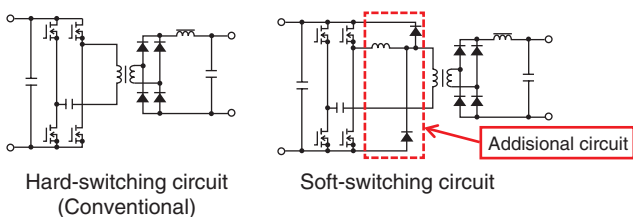


Fig. 12 Comparison of switching circuits

低減されるためダイオードの耐圧を 1200 V から 600 V に下げることができた。これによりダイオードのリカバリ電流を下げるのが可能となり、オンボードチャージャ内部 DC/DC コンバータ回路で約 1% 高効率化できた。スイッチング波形と損失を図. 13 に示す。

5.2.3. トランス、チョーク類の低損失化

(1) コイルの低損失化 高周波交流電流は表皮効果により表皮深さ分しか流れないため、交流抵抗を下げるためには電線の表面積を大きくすることが対策となる。したがってリッツ線をコイルに採用した。リッツ線の概要を図. 14 に示す。

また、コアについては総ギャップ長を変えずに個々のギャップ幅を狭め分散配置することにより、漏れ磁束がコイルと鎖交する量を減らし損失を下げた。

(2) コアの低損失化 ダスト系のコアを採用し低損失化した。ダストコアを使用した場合、ダストコアがトロイダル形状となるため気中放熱となり熱成立性が課題となる。よって、チョークを樹脂モールドすることが解決策として挙げられるが、重量が重くなってしまうためハーフモールドとした。

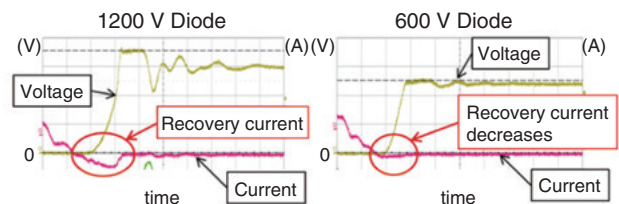


Fig. 13 Comparison of diode recovery current

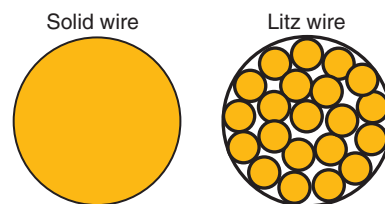


Fig. 14 Structure of solid wire and litz wire

6. 安全性向上の技術

車両に接続される充電コネクタが劣化すると、接続抵抗が大きくなり、過熱する可能性がある。そのため、インレット部の端子に過熱検出サーミスタを設け、設定した温度しきい値に達すると充電電流を絞り、充電コネクタの過熱を防止する。普通充電インレットのサーミスタ取付け構造を図. 15 に示す。

急速充電、普通充電ともに、本発熱対策仕様を採用した。充電コネクタ構成部品の耐熱温度を考慮しつつ、誤検出を起こさない値を、過熱保護のしきい値とした。

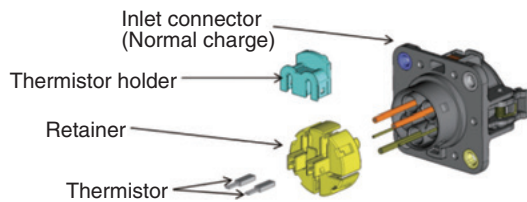


Fig. 15 Structure of inlet thermistor

7. まとめ

FIT EV のプラグイン充電システムのトータルでの高効率化、および最新技術を投入し小型軽量のオンボードチャージャを開発した。その結果、充電効率は 87.9% に達し、短時間充電、高い効率、高い安全性の目標を達成することができた。2012 年 8 月末時点の Honda 調べで世界最高の電費性能、および商品として十分競争力のある、最短で 3 時間以内という充電時間を達成した。

参考文献

- (1) 小椋正己, 鈴木茂, 松本謙次: 電気自動車 “HONDA EV PLUS” の紹介, HONDA R&D Technical Review, Vol.9, p.1-10

■ 著 者 ■



村上 友厚



貞野 計