

Vehicle-Grid Integration に対応した車両システムの開発

Development of Vehicle System Supporting Vehicle-Grid Integration

貞 野 計*

Hakaru SADANO

金 澤 紘 行*

Hiroyuki KANAZAWA

丸 山 豊*

Yutaka MARUYAMA

工 藤 純*

Jun KUDO

新 崎 知**

Satoru SHINZAKI

藤 野 健*

Takeshi FUJINO

要 旨

社会貢献とユーザベネフィットの両立を目的に、電力網と連携して充放電することで電力需給の安定化をおこない、その対価としてユーザベネフィットを得ることが可能なプラグイン電動車を製作した。米国モデルのアコード・プラグイン・ハイブリッドをベース車両に、電力網と連系可能な車載型双方向 AC-DC コンバータユニット、および充放電設備と車両との間で双方向通信が可能なデジタル通信ユニットを搭載した。また充電制御をベースとして給電制御機能を新規に追加した制御アプリケーションを搭載した。本車両を使って米国デラウェア州で実施されている Vehicle-Grid Integration の技術実証実験 eV2G Project を通して周波数応答制御市場に参加し、構築した技術の実証とユーザ価値の定量化をおこなった。実証実験の結果から、自宅および勤務先で 1 日あたり 18 時間 Vehicle-Grid Integration へ参加可能なユーザの場合、3 年間で 3,000 ドル以上の収入が得られる見通しを得た。

ABSTRACT

With the aim of achieving a balance between contribution to society and benefit to users, Honda has fabricated a plug-in electric vehicle that can help to stabilize electric power supply and demand by performing charge-discharge in collaboration with the power grid and obtaining a user benefit as compensation for that collaboration. The Accord Plug-In for the U.S. market was used as the base vehicle. It was equipped with an on-board bi-directional AC-DC converter unit that is capable of interconnection with the power grid and a digital communication unit that is capable of bi-directional communication between charge-discharge facilities and the vehicle. It was also equipped with a control application that has new power supply control functionality added to a base of charge control. This vehicle was used to participate in the frequency regulation market by means of the eV2G Project, a demonstration of Vehicle-Grid Integration technology conducted in the state of Delaware in the United States. The developed technology was demonstrated and the value to users was quantified. The results of the demonstration indicated that users able to participate in Vehicle-Grid Integration at home and at work for 18 hours per day can expect to receive an income of 3,000 dollars or more over a three-year period.

1. 背景

ますます進行する地球温暖化への対応として、2007 年に開催され 187 か国以上が参加した COP3 では CO₂ 削減を目指した気候変動枠組条約（地球温暖化防止条約）が締結された。この会議では、温室効果ガス（Greenhouse Gas: GHG）排出削減量の目標と年次が設定され、各国が GHG 排出削減に向けて取り組んでいる。

また、米国カリフォルニア州では州大気資源局

（California Air Resources Board: CARB）の定める ZEV 法によって、州内で販売されるプラグイン電動車（Plug-in Electric Vehicle: PEV）は増加する見通しである。州公益事業委員会（California Public Utilities Commission: CPUC）の推定⁽¹⁾によると 2022 年時点で 350 万台の PEV が普及し、搭載されるバッテリーは 30 GW にのぼる⁽¹⁾。

一般的な自家用乗用車は統計的にライフタイムの 96% が停車状態とされている。この停車中の PEV のバッテリーを分散電源として電力網に接続し、電力バッファとして利

* 四輪 R&D センター

** AMERICAN HONDA MOTOR CO., INC.

用することで系統電力の安定化に貢献できると考えられるが、PEV バッテリーの利用は実験レベルでしか語られたことはなく、実使用を想定した車両での検証はなされていない。現在のユーザ使用環境下で運用されている分散電源は、専用の大型バッテリーや企業や病院が所有する非常用発電設備が充当されている。

PEV と電力系統を接続する機能は Vehicle-Grid Integration (VGI) と呼ばれ、PEV が搭載するバッテリーを分散電源として活用する機能である。VGI は再生可能エネルギーの拡大を可能とし GHG 排出削減にも貢献できるだけでなく、その報酬として PEV ユーザは金銭収入を得られる可能性がある。CPUC は VGI の実用化と社会的仕組み作りに向けた取り組みを提案している⁽¹⁾。

しかしながら、VGI の実用化にあたっては、VGI 利用によるバッテリー耐久性能の低下、電力充放電の電氣的信頼性および安全性の確保、自動車としての機能確保と VGI の両立などの課題をクリアしなければならない^{(2), (3)}。これらの課題は自動車メーカだけでなく、数多く存在するステークホルダーとの協調が重要であり、VGI 実現に向けては官民および産学が協調して、実現に向けた仕組み作りに取り組む必要がある⁽⁴⁾。

本稿では、再生可能エネルギーの導入と VGI 実現に向け積極的である米国カリフォルニア州に主眼をおき、VGI に対応した車両システム開発と検証結果について述べる。

2. 米国の電力取引市場

カリフォルニア州では 2006 年に Global Warming Solutions Act of 2006 を立法化し、州内から排出される GHG を 2050 年までに 1990 年比で 80% 削減する目標を設定した。同法の達成に向けた取り組みとして州政府機関であるカリフォルニアエネルギー委員会 (California Energy Commission: CEC) は Renewable Portfolio Standard (RPS) によって、2020 年に州内で発電される再生可能エネルギー比率を 33% まで高めることを決定した。

しかし GHG を排出しない太陽光発電や風力発電に代表される再生可能エネルギーは、発電量や発電可能時間が天候に左右されるため、需要と供給のバランスを安定させることが容易ではなく、ベースロード電源としては不向きである。また、電力の需給バランスが崩れると電源周波数の変動や交流電圧波形のひずみなどの電力品質の低下を招き、さらに低下した場合には大規模な停電につながる恐れがある。

州政府は、電力の需給バランス安定化のために Independent System Operator (ISO) と呼ばれる電力系統運用会社を設置して、電力網の需給バランスを常時監視するとともに需要予測をおこなっている。ISO は電力需要の予測をもとに、発電会社への発電指示や卸電力取引市場を開

Table 1 Examples of wholesale power markets

Ancillary service market	Frequency regulation market
	Primary reserve force market
	Secondary reserve force market
Energy market	Day-ahead electric power market
	Real time market
Transmission rights market	
Capacity market	

設して電力の市場調達をおこなうなど、電力需給バランスの安定化に努めている。

2.1. 電力の市場取引としくみ

カリフォルニア州の電力市場は発電会社、送電会社、配電会社、および ISO によって運営されている。

ISO は電力需要予測に基づいて、最長 3 年先の電力を市場調達するが、発電所の稼働計画は一定期間ごとに精度を上げて再計画され、確定するのは運用前日である。稼働計画が確定するとさらに、予期せぬ発電所停止等に備えるために一日前電力市場とよばれる運転予備力の取引がおこなわれる。一日前電力市場では稼働計画に基づいて運転予備力が入札を通じて調達される。

この電力取引には分散電源を集合させて制御する企業 (アグリゲータ) が応札し、最も低価格をつけたアグリゲータが落札の権利を得る仕組みとなっている。アグリゲータは落札価格を収入として得ると同時に ISO の指示によって運転予備力を行使する義務が生じる。運用当日はこれら確保された供給力をもとに ISO が指令を修正しながら、需給バランスの維持をおこなう。

著者らは VGI 検証の市場として、短時間で高出力の電力を出し入れ可能な PEV バッテリーの特性を活かすことができる、Table 1 に示した周波数応答制御市場を選択した。周波数応答制御は、ISO からの指令後 10 分以内で起動し、その後 4 秒ごとに更新される指示信号に従って電力を入出力する必要がある。一方、単位時間に入出力される電力の収支は安定しており、バッテリー SOC の変動も小さいため、バッテリーに及ぼす劣化影響も小さいと考えられる。

Fig. 1 に本研究に関わったステークホルダーの相関を示す。VGI は現在、周波数応答制御市場で運用中のステークホルダーとその役割をそのままに、分散電源を VGI 対応車両に置き換えたものである。ISO は電力網の需給バランスに応じて市場調達した電力の実行指示をアグリゲータに対しておこない、アグリゲータは VGI 参加車両に需給制御信号を送信する。車両は需給指示に従って受電または送電を実行する。これにより送電網の電力が調整され、車両ユーザはその対価として収入を得る仕組みである。

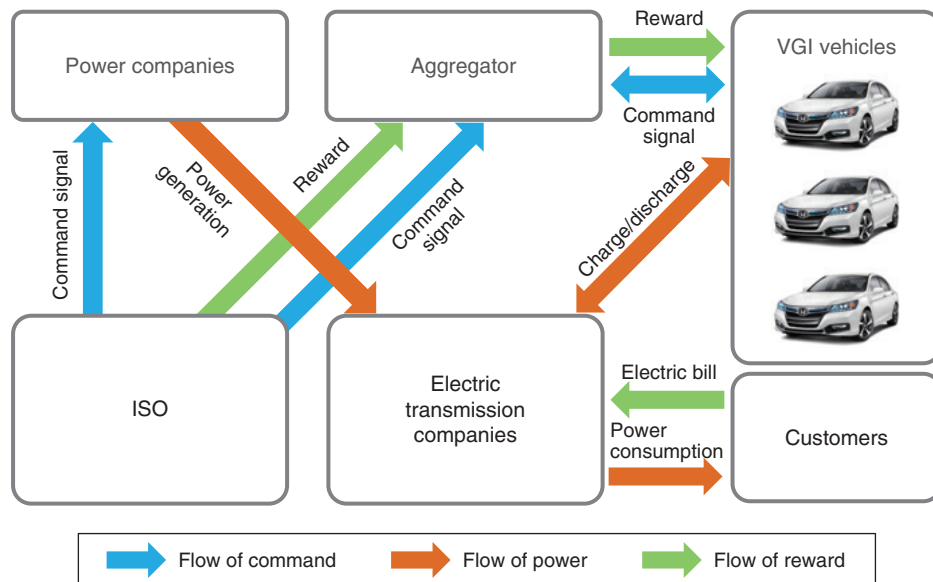


Fig. 1 Structure of VGI

3. 開発のねらい

VGIに対応したPEVを購入したユーザは、アグリゲータを通して卸電力取引市場に参加することで収入を得ることができる。一方、VGIは車両のバッテリーを利用することから、VGI利用によるバッテリーの劣化特性の把握、車両使い勝手とVGIの両立のための充放電制御の確立、系統電力品質に対する車両制御のロバスト性の確保、充放電要求に対する応答性と制御性の確保がシステム構築上の課題となる。

これらの課題に対応した制御とハードウェアを構築し、仕様の確からしさを実証実験車両を用いて検証する。

4. 車両システム構成

4.1. システムコンセプト

従来のPEVは電力網から充電する機能のみであるのに対し、VGIに対応したPEVでは電力網と車両バッテリー間で電力を出し入れするための双方向電力変換機能、電力の出し入れに必要な制御情報をアグリゲータとやり取りするための双方向通信機能、放電も含めてこれらを制御する機能が必要になる。

本研究ではVGIの実現に際し、ベースとなるPEVが持っている機能と性能、商品性を損なうことなくVGI機能を追加することをコンセプトに定めた。既存の車両構成システムへの変更を最小限としてシステムを成立させるために、双方向に電力変換が可能な機能と双方向通信機能のみを新たに搭載すること、車両としての価値を損なうことなくVGIで得られる価値を最大化できる制御システムの構築を目指した。

4.2. システム構成

VGIを実施する際の車両とグリッドの電氣的、通信的な接続の一例をFig. 2に示す。一般住宅を例とした場合、電力網と車両間には受電配電盤とElectric Vehicle Power System (EVPS)と呼ばれる充電と放電を制御するユニットが介在する。EVPSは電力の伝送と回路開閉だけではなく、アグリゲータがインターネット回線を利用して送受信するTCP/IPの充放電制御信号をSAE J2931⁽⁵⁾に定義されたEVPSと車両間通信の物理層であるHPGP (Home Plug Green PHY)方式のPLC信号に変換する機能も合わせ持つ。EVPSに接続されたVGI対応車両は、EVPSとSAE J1772⁽⁶⁾コネクタで接続され、アグリゲータとの通信と電力送受をおこなうシステムとなっている。

車両に組み込むハードウェアは従来のPEVシステムをベースに、先に述べた車外接続システムを前提にして構成した (Fig. 3)。車外と電力や信号をやり取りするコネクタは充電システムと共用した。電力変換ユニットは、電力網のAC電力をDC電力に変換して車載バッテリーに充電する車載型単方向コンバータユニット (On-board charger: OBC) に代えて、DC電力をAC電力に電力変換する機能も併せ持つ車載型双方向コンバータユニットを搭載し、自宅だけでなく外出先でのVGI接続を可能にした。また車両とEVPS

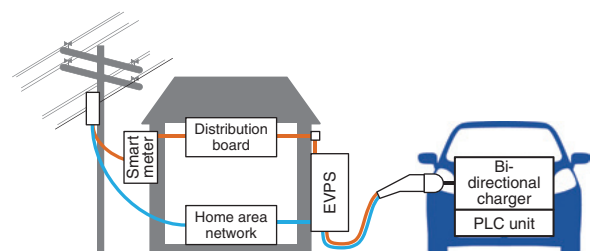


Fig. 2 VGI connection system

の間の通信には、SAE J2931 に定義された大容量データを高速かつ双方向に通信ができる HPGP 方式の PLC 通信を採用し、専用の PLC ユニットの設置した、PLC 通信は充電制御の信号であるコントロールパイロット (Control Pilot Line: CPL) に重畳されるため、専用の接続を必要としない。

4.3. VGI 制御

4.3.1. バッテリー制御

先に述べた周波数応答制御市場において、より多くの価値を創出するには電力網への接続時間を長くし、かつ高出力で VGI を実施する必要がある。しかしそれは同時に充電時間の不足、あるいは SOC の恒常的な低下、バッテリーの劣化を促進する要因である。VGI は停車中の PEV のバッテリーを利用する技術である、ユーザの走行要求に応えつつ VGI で得られるベネフィットを最大化することがバッテリー制御に対する要求となる。

本研究においては VGI 中のターゲット SOC の設定に際して以下 3 点を考慮した。

- (1) VGI により得られるベネフィットの最大化
- (2) ユーザ要求の EV 走行距離の確保
- (3) VGI によるバッテリーの劣化影響の抑制

一般的にリチウムイオンバッテリーは高温、高 SOC 状態で劣化が促進される傾向がある。VGI 中は満充電状態よりも SOC が低下するため劣化率の増加はないと考えられるが、SOC 80% 以上など満充電付近で VGI による通電を続ける状態を想定すると、通電発熱によりバッテリー温度が外気温よりも高く保持されることがあり、劣化率の増加が懸念される。そこで VGI の利用時のバッテリー劣化への影響をバッテリー等価回路と冷却時の熱シミュレーションを統合したバッテリー劣化シミュレーションにより予測し

Table 2 Battery deterioration simulation with VGI operation

VGI use case	Simulation condition
Area	LA, California
SOC	90%
Peak power	±4 kW
Effective power	2.4 kW
Operating time	8:00 p.m. - 6:00 a.m. 10 hr/day (36500 hr)
Simulation period	10 yrs, 100,000 miles

Table 3 Result of battery deterioration ratio with VGI working

Battery pack capacity	Capacity retention		Deterioration ratio
	Without V2G	With V2G (Used for 10 yrs)	
20 kWh	78%	75.9%	-2.1%

た (Table 2, Table 3)。シミュレーションは、VGI 車両のユーザ使用環境での利用を想定したものであり、温度等の環境や走行用電力の入出力に加え、周波数応答制御市場で得た VGI の電力入出力データを反映した。その結果、VGI 中に保持されるバッテリーの温度増加は車両停止時間に一日 10 時間 VGI を実施すると仮定すると、車両生涯平均で 1.5°C 程度の影響があり、20 kWh のバッテリーを搭載する PEV では 10 年間で 2% の低下が推定された。

4.3.2. 充放電制御

充放電制御は前述したバッテリー制御を実現するために、バッテリーの状態に応じた制御を実施できるよう構築した。

周波数応答制御市場への参加を目的とした VGI ではアグリゲータが電力網に接続されている複数台の車両に対して充放電の要求を出すことで電力コントロールをおこなう。

先に述べたとおり、現在運用されている周波数応答制御市場は、固定発電設備や定置バッテリーを使っているため電力網に常時接続され、入出力可能な電力も保証されている。一方 VGI は車両搭載されたバッテリーを利用するため、電力網に常時接続されるわけではない。また電力網に接続されていたとしても夏季の酷暑状態と冬季の厳寒状態などでバッテリーが高温あるいは低温になり、充電と放電に利用できる電力が車両ごとに異なることが想定される。

このような状態ではアグリゲータが調整電力を算出できず、周波数応答制御が成立しない。そこで車両が自身のリミット電力値をアグリゲータに送信することにより、バッテリー状態に応じた充放電要求値を受信できる仕組みとした。これによりアグリゲータ側で個々の車両の電力の充電と放電能力を把握し適切に分配することが可能となり、バッテリーの劣化影響がない制御が構築できた。

また温度や SOC といった諸条件より、車両の充放電ができない (アグリゲータからの要求に対応できない) 場合に

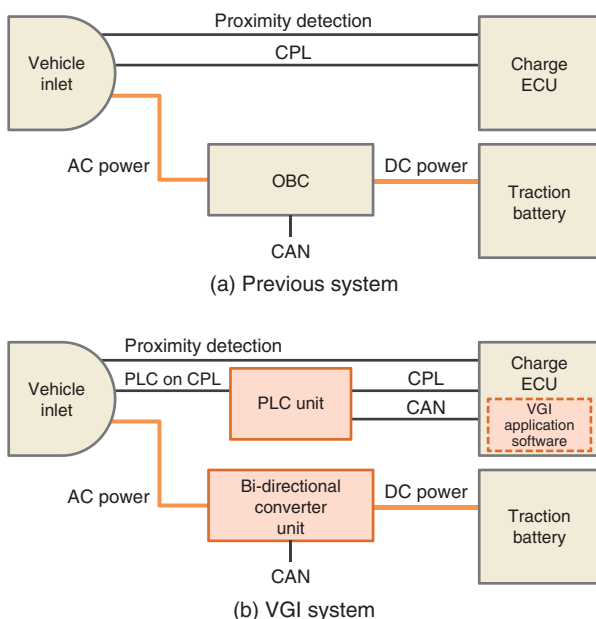


Fig. 3 Comparison of charging system

は車両の充放電を停止させ待機状態にした。

これら制御の実施のために必要になる車両とアグリゲータ間の代表的な通信内容を Fig. 4 に示す。

ベース車両の性能を損うことなく VGI を実施するために、バッテリー SOC の下限を設定することで、最低保証走行距離を確保する制御とした。さらにユーザによる充電タイマー設定時間に満充電となるように、充電可能出力から満充電までの時間を逆算推定して VGI 放電停止時間を決定し、その後は充電のみを実施する制御とした (Fig. 5)。

4.4. VGI 対応車載型双方向コンバータユニット

4.4.1. 回路構成

VGI 対応車載型双方向コンバータユニットには、OBC の機能である電力網の AC 電力を DC 電力に変換して車載バッテリーを充電する機能に加え、車載バッテリーの DC 電力を AC 電力へ変換して電力網に放電する機能が必要になる。これら二つの機能を車載するには、OBC に加えて放電専用の AC-DC コンバータユニットを追加搭載する手法と、AC と DC の双方向に電力変換が可能な回路を持つ双方向コンバータユニットを搭載する手法が考えられる。本研究では、車両空間の縮小と走行燃費への影響を抑えるため、ユニットのサイズと重量の増加とコストの上昇を最小限にする

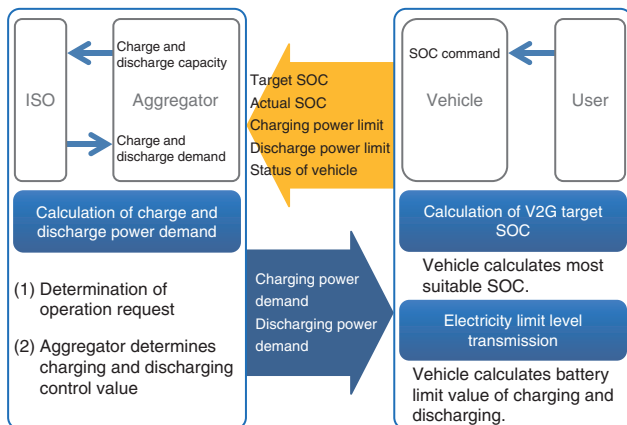


Fig. 4 Communication between aggregator and vehicle

Table 4 Design target of bi-directional converter

Item	Design target	Note
Volume	≤ 10 L	Equal to or less than 2013 model
Efficiency	Charge $\leq 90.6\%$ (240 VAC)	Equal to or more than 2013 model More than power conditioner for facilities
	Discharge $\geq 87\%$	

ことのできる双方向コンバータユニット方式を選択した。双方向コンバータユニットは、OBC を構成する整流回路部と力率改善 (Power Factor Correction: PFC) 回路部を、AC-DC 変換回路に変更することによって製作された⁽⁷⁾。

双方向コンバータユニットの設計目標値を Table 4 に示す。充電時の変換効率 は従来同等以上として充電性能を確保した。目標ユニットサイズは車載時のスペースユーティリティへの影響を検討した結果、回路部容積 10 L を目標として搭載性に配慮した。

単方向コンバータの回路構成と今回製作した双方向コンバータの回路ブロック構成を Fig. 6 に示す。AC-DC コン

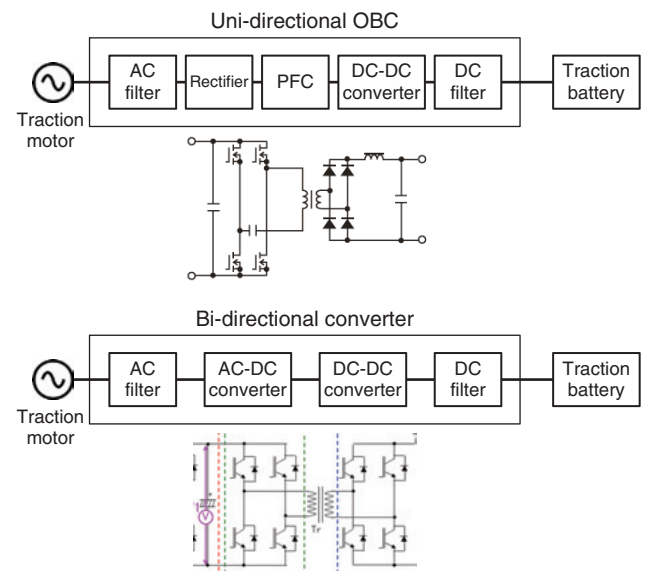


Fig. 6 Comparison between uni-directional and bi-directional converters

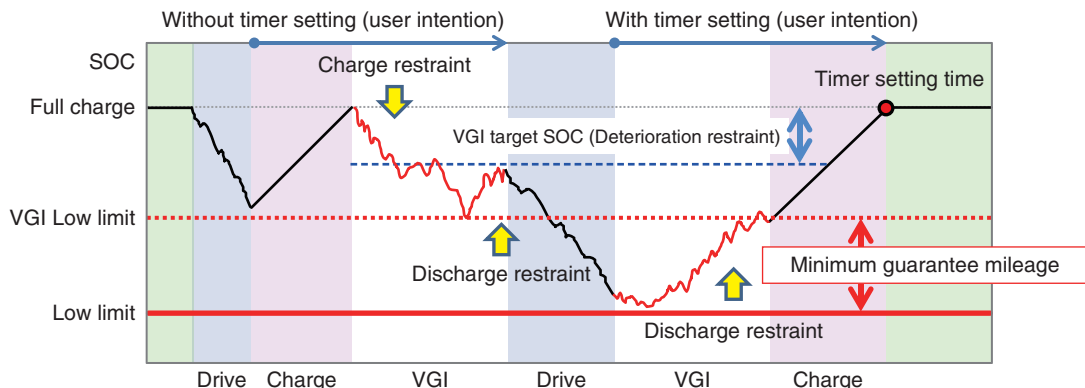


Fig. 5 VGI control for customer

Table 5 Standards related to VGI

	charge	VGI
OBC	AC charging compatibility for grid SAE J1772 SAE J2894 IEC 61851	discharge power quality leak intercept NEC 702 NEC 705
Grid connection	—	grid parallel off grid follow grid protection anti islanding operation automatic recovery IEEE 1547

バータ部は整流回路機能 (AC-DC 変換) と力率改善機能に加えて駆動用車載バッテリーの DC 電力を電力網の AC 電力へ変換する機能をもつ。また通過電力が双方向化することに伴い、DC-DC コンバータ部の 2 次側 (バッテリー側) もダイオード整流回路から半導体スイッチ素子に変更して双方向に電力を変換できる回路構成とした。

4.4.2. 適用規格

OBC は電力網からの電力受電のみの機能であったため、例えば北米仕様では車両内外の通信およびコネクタ等の互換性と安全性に関わる規格である SAE standard および IEC standard に準拠させることで対応してきた。しかし、双方向コンバータの場合は充電機能に加えて電力網に対して放電する機能を合わせ持つことから、電力網の停電を自己検出して発電を停止する機能に代表される安全機能と、電源波形整形能力や高調波印加等の電力品質維持に関する規格に準拠した設計をおこなう必要がある。準拠が必要な規格を Table 5 に示す。

本研究の対象地域が北米であることから IEEE 1547⁽⁸⁾ に準拠した設計とした。

4.4.3. 系統電力品質に対する制御のロバスト性

系統電力の品質は発電方法、環境条件、負荷等により変化することが知られている。そこで系統の電源品質を長期的にモニタした結果、電源品質規格を外れる品質の電源波形が存在することがわかった (Fig. 7)。このような電力網

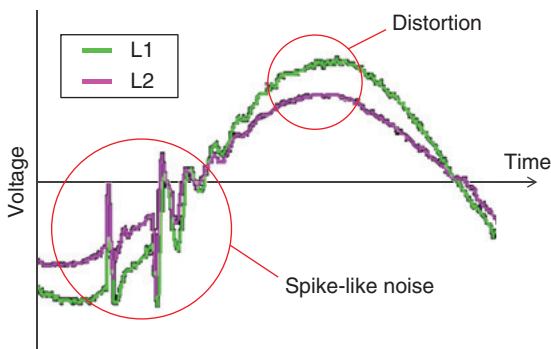


Fig. 7 Example of grid power quality

の電圧波形をユニット制御に利用する場合は、制御仕様に十分なロバスト性を持たせる必要がある。そこで、規格外の電源波形がユニットに与える影響をハードと制御の両面から検証し、異常波形の検出性能の向上と、保護動作の信頼性向上による対応をおこなった。

5. 実証実験結果

本研究で構築した基礎技術のロバスト性検証と価値の定量化を目的に、米国デラウェア大学が主催して VGI 実証実験 eV2G Project に参加した (Fig. 8)。この実証実験はアメリカ最大の ISO である PJM Interconnection と発電会社である NRG Energy, VGI アグリゲータであるデラウェア大学のコンソーシアムで運営されている。このプロジェクトでは PJM Interconnection が運営する周波数応答制御市場での VGI 適合性の実証実験をおこなっている。

実証車両は IEEE 1547 に準拠した系統連系可能な車載型双方向 AC-DC コンバータユニット (出力 ±2 kW) と、デラウェア大学から供与された装置と車両間のデジタル通信ユニット (VSL ユニット) を搭載した、米国モデルのアコード・プラグイン・ハイブリッドをベース車両とした。VSL ユニットは先に述べた PLC を CAN に代替したもので、同様に CPL に重畳させている。また制御アプリケーションは量産仕様の充電制御をベースとしながら、放電制御機能および放電時の故障検出機能、フェールセーフ機能を新規に追加した。

検証は 2013 年 11 月から 2014 年 11 月の 12 か月間実施し、VGI 制御性や SOC 成立性などのシステム適合性の確認、コンバータユニットに設定した系統連系に関する各設定値の妥当性の検証、およびユーザベネフィットの定量化をおこなった。

実証実験ではグリッド接続時間、電源品質、車両入出力電力データを得た。また、車両各部の動作およびフェール検出データの解析をおこない VGI 基礎技術の市場適合性評価とユーザベネフィットの定量評価をおこなった。

5.1. 系統電力品質に対する制御のロバスト性確保

系統の電源品質を長期的に観測した結果、規格値を大きく下回る品質の電源波形が存在することがわかった。車載



Fig. 8 VGI capable Accord participating in eV2G project

Table 6 SOC control responsiveness

Item	Expectation	Experimental data
SOC band	$\pm 10\%$	+4.1% -3.5%
Average output	± 0.5 kW	+0.55 kW -0.46 kW
Peak output	± 2.0 kW	+1.9 kW -1.5 kW

したオンボード型双方向 AC-DC コンバータは、ロバスト性を持たせた結果、実証試験終了まで正常に作動することを確認した。

5.2. 入出力要求に対する応答性と制御性

アグリゲータは各車両から VGI に利用できる SOC 下限値を受信しており、VGI 車両群全体の電力入出力の予測および管理と、各車両に対する充放電要求指示値の決定に利用している。車両内の SOC 管理制御とあわせて、Table 6 および Fig. 9 に示すように SOC 下限値を順守できる制御性を確保していることを確認した。また、充放電指示に対し車両の電力入出力が追従できていることを確認した (Fig. 10)。

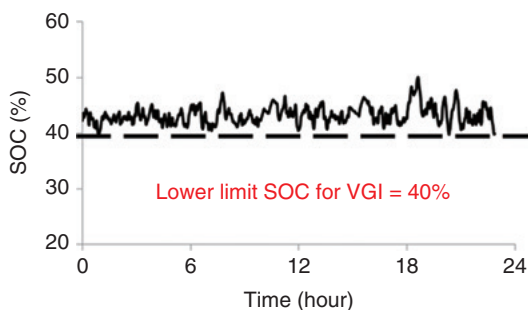


Fig. 9 SOC control performance

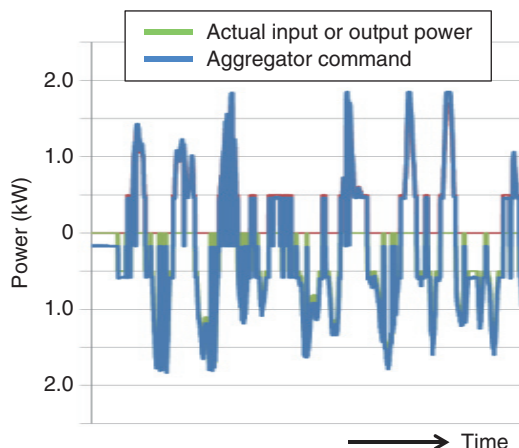


Fig. 10 Transient response performance of VGI system

Table 7 Incentive obtained through VGI

Connected time (hr/day)	Estimated value based on (Q1, 2013 – Q2, 2014) (\$)	Average (\$/month)	Estimated value in 3 years (\$)
18	1,733	91	3,276
12	1,065	56	2,016

5.3. ユーザ収入の定量化

実証実験中で周波数応答制御市場に参加して得られた接続時間データと、市場で実取引された電力単価をもとに、ユーザ収入相当額を計算した結果を Table 7 に示す。1 日あたり自宅でも 12 時間、勤務先でも 6 時間の合計 18 時間 VGI に参加するユーザの場合、月平均で 91 ドル、3 年間で 3,000 ドルの収入を得られることがわかった。VGI 参加時間が 1 日あたり 12 時間のユーザでも 2,000 ドルであり、十分なベネフィットが得られることを確認した。

6. まとめ

- (1) 車両と電力網を電氣的に接続してアグリゲータの指示に従い、精度良く充電と放電動作を実施する VGI 車両のハードおよび制御仕様の基礎技術が構築できた。不安定な系統電力と協調できるロバスト性を備えたオンボード型双方向 AC-DC コンバータのハードおよび制御仕様が確認できた。また、電力の入出力要求に対する追従性、バッテリー SOC 制御性についても適合可能であることが確認できた。
- (2) VGI 利用による車両バッテリーの劣化について、実証試験で得られたアグリゲータからの入出力要求波形をもとにバッテリー劣化シミュレーションによって検証した。バッテリー搭載量 20 kWh、充放電出力は ± 4 kW の PEV を想定した場合、10 年間で 2% の劣化促進レベルであると推定された。
- (3) 実証実験に参加して周波数応答制御市場で実運用した結果、自宅および勤務先で 1 日あたり 18 時間 VGI に参加するユーザの場合、3 年間の運用で 3,000 ドル以上の収入が得られる見通しを得た。

参考文献

- (1) Langton, A., Crisostomo, N.: Vehicle-Grid Integration, California Public Utilities Commission, R. 13-11-007, (2014)
- (2) Kempton, W., Udo, V., Huber, K., Komara, K., Letendre, S., Baker, S., Brunner, D., Pearre, N.: A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System, Results from an Industry-University Research

- Partnership, p. 32, (2008)
- (3) 蓮池宏, 新谷隆之: Vehicle to Grid の経済性と実現のための課題, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 27-14, p. 21-24, (2014)
 - (4) Shinzaki, S., Sadano, H., Maruyama, Y., Kempton, W.: Deployment of Vehicle-to-Grid Technology and Related Issues, SAE Technical Paper, 2015-01-0306, (2015)
 - (5) SAE J2931: 2011, Digital Communications for Plug-in Electric Vehicles
 - (6) SAE J1772: 2012, Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler
 - (7) 泉達也, 廣田将義, 畑中健一, 磯山芳一, 佐野勝彦, 高山浩一: V2X に対応した双方向充電ユニット SEI テクニカルレビュー第 185 号, p. 34-37, (2014)
 - (8) IEEE 1547: 2013, Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems

■ 著 者 ■



貞野 計



丸山 豊



新崎 知



金澤 紘行



工藤 純



藤野 健