

# Honda Smart Home System の開発

## Development of Honda Smart Home System

津 野 康 一\*

Koichi TSUNO

小 出 文 隆\*

Fumitaka KOIDE

小 谷 尚 史\*

Takafumi KOTANI

福 重 貴 浩\*\*

Takahiro FUKUSHIGE

土 橋 学\*

Manabu DOBASHI

有 吉 斗紀知\*\*

Tokitomo ARIYOSHI

### 要 旨

家庭生活で排出される CO<sub>2</sub> に対し 2000 年比半減を目指した Honda Smart Home System を開発した。Honda Smart Home System は創エネルギー機器として太陽光発電パネルとガスコージェネレーションシステム、蓄エネルギー機器として次世代モビリティである電気自動車のバッテリーを利用し、熱と電気のエネルギーを統合マネジメントしている。

Honda Smart Home System では Honda 独自の通信システムであるインターネットシステムの車両バッテリー情報とナビゲータ情報を利用している。クラウドサーバはインターネットナビ情報と家の電熱情報を集結し、家の需要予測を算出する。需要予測結果に基づく運転指令により Smart e Mix Manager が動作し、CO<sub>2</sub> または光熱費を優先的に抑えるモードで高効率に運転できる仕組みを構築した。この仕組みにより車を使用した家庭生活から排出される CO<sub>2</sub> を 2000 年比半減達成の見込みを得た。

### ABSTRACT

The Honda Smart Home System was developed with the aim of reducing CO<sub>2</sub> emissions from household living down to one-half the 2000 level. The Honda Smart Home System conducts integrated energy management of heat and electricity by using a solar power generation panel and a gas cogeneration system as an energy creation mechanism and using the battery of a next-generation electric vehicle for energy storage.

The Honda Smart Home System uses vehicle battery information and navigation data from Honda's proprietary Internavi communication system. A cloud server assembles the Internavi information with household heat and electric power information to calculate household demand prediction. The Smart e Mix Manager functions according to operation planning based on the demand prediction results, and it was configured to allow highly efficient operation in modes that give priority to either CO<sub>2</sub> emissions reduction or utility cost reduction. This method is expected to yield a reduction of CO<sub>2</sub> emissions from a household using a car by one-half relative to the year 2000.

### 1. まえがき

世界経済の発展に伴い温室効果ガスの総排出量は年々増加の一途を辿っており、地球規模での気候変動やエネルギー問題が発生している。独立行政法人国立環境研究所による最新の統計データによると 2011 年度の国内における温室効果ガスの中で 90% 以上を占める CO<sub>2</sub> の総排出量は 1990 年（京都議定書の基準年）比 8.4% の増加となっており、その内家庭部門では 15.2%（48.1% の増加）、運輸部門では 18.6%（5.9% の増加）を占めている<sup>(1)</sup>。2013 年 11 月に開催された第 19 回国連気候変動枠組条約国会議（COP19）にて日本政府は 2020 年に 2005 年比で 3.8% 削減するという方針声明を打ち出した（2015 年 3 月末までに国連に提出）。この声明を達成するには家庭・運輸部門の CO<sub>2</sub> 排出量

削減が重要な課題である。

住宅業界では 2020 年までにネット・ゼロ・エネルギー・ハウスを標準的な新築住宅にすることを掲げている<sup>(2)</sup>。ネット・ゼロとは住宅の躯体、設備の省エネ性能の向上、再生可能エネルギーの活用等により、年間で一次エネルギー消費量が正味（ネット）でゼロまたはおおむねゼロとなることをいう。一方で、2011 年の東日本大震災による原子力発電所停止により電力不安が重なり、住宅に対する安心、安全への要望も高まっている。これらの要求を満たすために各社スマートハウス技術に取り組んでおり、近年普及が始まっている。

Honda では、家庭で生じる熱エネルギーの最適化と停電時の安心を両立するエコウィルプラス（エコウィルプラスは大阪ガス株式会社の登録商標）の構成要素である停電時

\* 汎用 R&amp;D センター

\*\* 基礎技術研究センター

自立運転機能付き家庭用コージェネレーションユニットを2012年に販売開始している<sup>(3)</sup>。また、バッテリー搭載の次世代電動化モビリティである電気自動車 (EV) やハイブリッド車 (HEV)、プラグインハイブリッド車 (PHEV) 等を販売している。これらの製品と自然エネルギー活用の太陽光発電 (PV) パネルを組み合わせたシステムを構築した。車を使用した家庭生活から排出される CO<sub>2</sub> に対し 2000 年比半減を目指し、安全性と利便性を備え持つ Honda Smart Home System (HSHS) を開発したので報告する。

## 2. 開発のねらい

HSHS の開発にあたっては、「自由な移動の喜び」と「豊かで持続可能な社会の実現」をコンセプトにモビリティを含めた家庭内のエネルギーマネジメントシステムの構築を目的とした。Fig. 1 に 2011 年度に家庭から発生された CO<sub>2</sub> 排出量の内訳を示す<sup>(4)</sup>。CO<sub>2</sub> 半減を達成するには熱と

電気だけではなくモビリティも含めたすべての要素で低減させる必要がある。

本開発では下記二点をねらいとし、電動化モビリティと創蓄エネルギー機器 (創蓄エネ機器) が効率的に家と融合することを提案する。

- (1) 電動化モビリティとエネルギー機器を家と繋げる統合パワーコンディショナを構築する。モビリティとしての機能を損なうことなく蓄エネルギー機器 (蓄エネ機器) として EV のバッテリーを適用可能な技術を構築する。
- (2) インターナビ情報と家の電熱需要から家の需要予測をおこなう技術を確認する。予測に基づきエネルギー機器の運転計画を決定し、必要なエネルギーを家で作り出すようにすること (家産家消) で CO<sub>2</sub> 半減を達成するシステムを構築する。

## 3. HSHS システム概要

Fig. 2 に HSHS のシステム図を示す。HSHS を構成している創蓄エネ機器、Smart e Mix manager (SeMM)、クラウドサーバはそれぞれ以下のような役割を果たしている。

### (1) 家庭用コージェネレーションシステム (MCHP)

ガスエンジン発電機にて電気を創り、エンジン排熱を回収して給湯器タンクで蓄熱可能なシステムである。発電出力 1 kW、熱出力 2.5 kW、総合効率 92% を家庭で活用できる。ガスエンジンを動力としているため、オンデマンドに発停することが可能である。熱に起因する CO<sub>2</sub> 排出量が多い家庭部門において効果的な熱と電気の創エネルギー機器 (創エネ機器) となる。

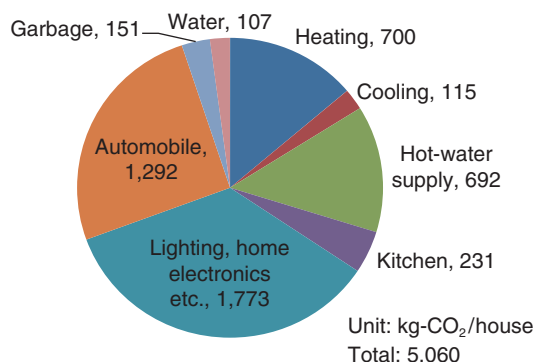


Fig. 1 CO<sub>2</sub> emissions from households (fiscal 2011)

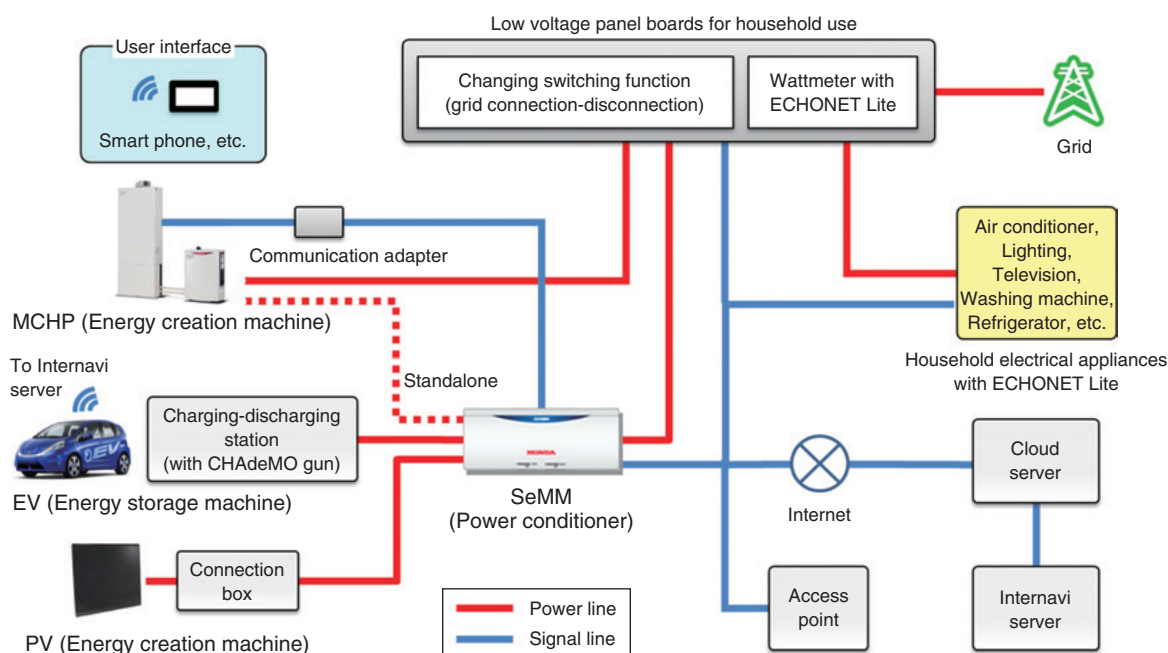


Fig. 2 System configuration of HSHS

## (2) 太陽光発電 (PV) パネル

自然エネルギーである太陽エネルギーで発電する電気の創エネ機器となる。自然エネルギー起源のため CO<sub>2</sub> 削減効果大きい。売電することも可能であり、経済性メリットを有する。

## (3) 電気自動車 (EV)

モビリティとしての使い方に加え、SeMM を利用することにより、在宅時には電気の創蓄エネ機器として有効活用する。深夜電力や家庭内負荷電力が少ないときの MCHP の余剰電力の蓄電が可能であり、家庭内または系統で電力が不足、停電している時に家庭内へ安定して給電することもできる。

在宅時間が不定期であるため、創蓄エネ機器として適用するためには正確な家への在宅時間予測と車両バッテリー情報が必要となる。

## (4) SeMM

前述した三つの創蓄エネ機器を組み合わせたときに個々の特徴を最大限引き出すようにエネルギーのベストミックスをおこない、熱と電気を統合制御しているのが SeMM である。SeMM により系統連系し、発電、充放電、売電を制御することで家庭内のエネルギーマネジメントを実現している。機器の運転計画はクラウドサーバにて計算された運転計画により MCHP の運転時間と EV への充放電量を制御する。

停電時は SeMM と分電盤の組合せ動作により MCHP、PV パネル、EV の三つの創エネ機器を連携した電気を家庭内へ供給する。SeMM は常時系統状態を監視し、停電になった場合は自動的に自立発電に切り替わる。SeMM が分電盤に内蔵している連系 / 自立切り替えスイッチを開閉操作することでコンセントを挿し換えることなく使用することが可能である。自立発電出力を単相 3 線式 100 V/200 V とすることで停電時にも通常時同様の家電製品を使用することができる。

## (5) クラウドサーバ

創蓄エネ機器の動作を最適化するためにクラウドサーバにて家庭内の熱と電気の需要予測、PV 発電量予測および EV の在宅時間予測を実施している。予測結果を元に MCHP の運転時間と EV バッテリーへの充放電量を制御することでシステム高効率化を実現している。HSHS では家庭内の電力情報は分電盤から、熱情報は給湯器から、気象情報と車両情報およびナビゲーション情報をインターネットサーバから入手し、すべての情報をクラウドサーバへ蓄積している。SeMM は常時インターネットに接続し、Energy Conservation and Homecare Network (ECHONET) Lite<sup>(5)</sup> による家電との連携、ユーザインタフェースによる見える化を実現している。

本稿では、HSHS の特徴である SeMM による EV との連携技術および需要予測と最適制御によるシステム効率向上技術を紹介する。

## 4. 開発技術の紹介

### 4.1. HSHS の EV 連携技術

HSHS では SeMM を用いることでモビリティの機能を損なうことなく EV のバッテリーを蓄エネ機器として利用している点に特徴がある。定置型蓄電池の代替となるため、ユーザの初期投資を軽減することができる。以下の項で EV 連携システム概要、インターネット通信による家と EV との連携技術について記述する。

#### 4.1.1. SeMM による EV 連携システム概要

Fig. 3 に SeMM の簡易機能ブロック図を示す。PV パネルで発電したクリーンな電力を高効率に EV へ充電可能とするために DC リンク方式を採用した。独立した PV システムとの AC リンク方式と比べてインバータと整流器の二つの電力変換器を省略できるため高効率化が望める。さらに停電時も PV パネルの発電電力を最大限に利用することができるメリットもある。MCHP の自立発電出力を入力できるため、停電時に PV パネルが発電していない時間帯にも MCHP を動作させることで EV 充電が可能であり、緊急時の移動手段としての電気を蓄積することができる。

EV とのインタフェースは 2013 年 5 月に一般社団法人自動車両用電力供給システム協議会 (EVPOSSA) から公開された Vehicle to home (V2H) ガイドライン DC 版および CHAdeMO<sup>(6)</sup> に準拠し、他社との整合性を図り汎用性を高めている。V2H 対応車両が接続された時は V2H モードとなり充放電動作する。また、EV に接続するコンバータ部を絶縁型とすることで 2012 年 6 月に改訂された「電気設備の技術基準の解釈 199 条の 2<sup>(7)</sup>」に適合している。

#### 4.1.2. インターナビ通信による家と EV との連携技術

Fig. 4 に通信接続図を示す。定置型蓄電池と異なり EV バッテリーをモビリティとしての機能を阻害しないように創蓄エネ機器として利用するには EV バッテリーの残充電量 State of Charge (SOC) 情報とナビゲーション情報が必要となる。SOC 情報は家に接続している時は SeMM と EV 間の通信により取込み、外出時は EV からインターネットサーバを介して取込む。これによりクラウドサーバで SOC

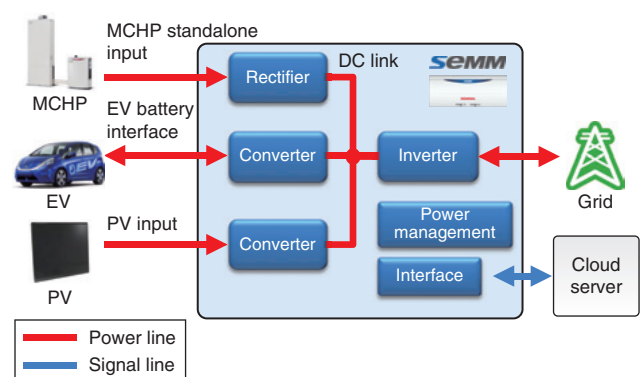


Fig. 3 Simple function block diagram of SeMM

を常に監視可能な仕組みとしている。EV のナビ情報はインターネットサーバ経由で、クラウドサーバに取込む。クラウドサーバにおいて家と EV の情報を一元管理することで最適なエネルギー機器の運転計画を算出する仕組みを構築した。

HSHS は自動制御を基本とするシステムであるが、突然の外出時などに自由な移動の喜びを阻害しないようにユーザの意思により移動手段を優先する充放電モードも設定した。

#### 4.2. エネルギー需要予測, 運転計画技術

HSHS では構成される創蓄エネ機器の高効率化と同時にエネルギー需要を予測し、予測に基づく機器の運転計画で動作させることで更なる CO<sub>2</sub> の削減を図っている。SeMM は運転計画に基づいて動作するが、実際の需要が予測からずれた場合は家庭毎の契約電力量によって家庭の契約ブレーカを落とさないように瞬時値制御する。現行の法規制では EV 放電時は系統に逆潮流することが禁止されているため、急峻な負荷変動に対して逆潮流防止機能も持つ。以下の項では基本的な運転パターンである需要予測による運転計画に特化し、構築したシステムの概要、エネルギー需要予測の計算手法と性能評価およびエネルギー需要予測に基づく運転計画について述べる。

##### 4.2.1. システム概要

Fig. 5 にエネルギー需要予測, 最適制御システムの概念図を示す。現在の家のエネルギー需要状況を SeMM からインターネットを介しクラウドサーバに送信する。クラウドサーバでは、将来のエネルギー需要を予測し、機器の運転計画を生成する。生成された運転計画は、インターネット、SeMM を介し各機器の運転を制御する。本システムの特徴として、エネルギー需要データを常に Data Base (DB) に蓄積し、そのデータを用いて予測することにより家族構成や家庭内の電化製品の変化にも対応しながら、継続的な CO<sub>2</sub> の削減効果が得られることが挙げられる。需要予測と実需要の差を検知し、差が大きい場合は再予測を実施すること

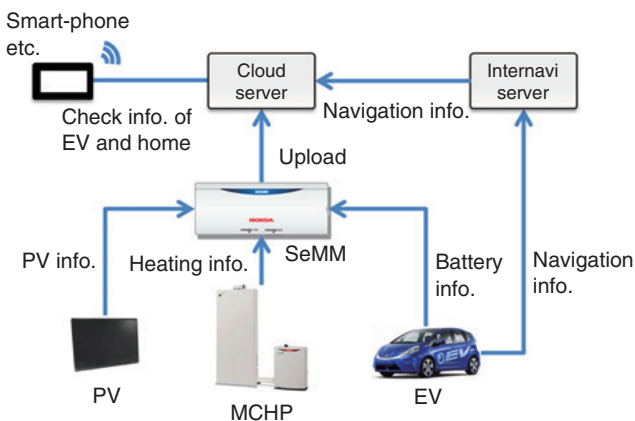


Fig. 4 Simple network configuration of SeMM

により、予測精度を高めている。

##### 4.2.2. エネルギー需要予測

Fig. 6 にエネルギー需要予測の概念図を示す。将来のエネルギー需要は、過去のエネルギー需要を機械学習させることにより生成した近似モデルにて予測する。HSHS では予測精度向上のために、エネルギー需要を自動カテゴリライジングし、カテゴリライジングされた領域ごとに近似モデルを生成する手法<sup>(8)</sup>を採用している。

以下に近似モデル、カテゴリライジングおよび性能評価の詳細を示す。

- (1) 近似モデル エネルギー需要予測の近似モデルは、過去のエネルギー需要時系列データを入力値として将来のエネルギー需要を出力する関数である。その近似モデルには複数のパラメータが含まれており、それらの値は DB 内データを用い機械学習によって推定される。エネルギー需要予測では、近似モデルに高い汎化性能を有する Support Vector Regression (SVR)<sup>(9)</sup>を用いている。
- (2) カテゴリライジング エネルギー需要データのカテゴリライジングは、K-means 法<sup>(10)</sup>を使用した。K-means 法は、データを入力するだけでアルゴリズムが自動的

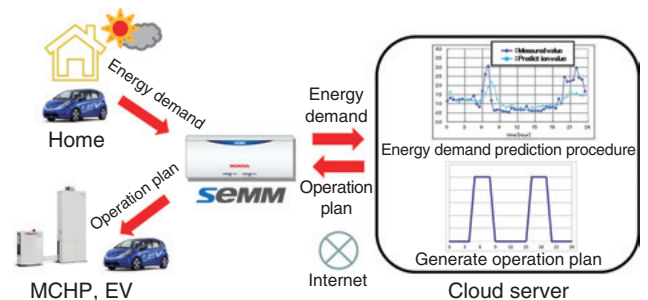


Fig. 5 Conceptual figure of prediction energy demand and operation plan

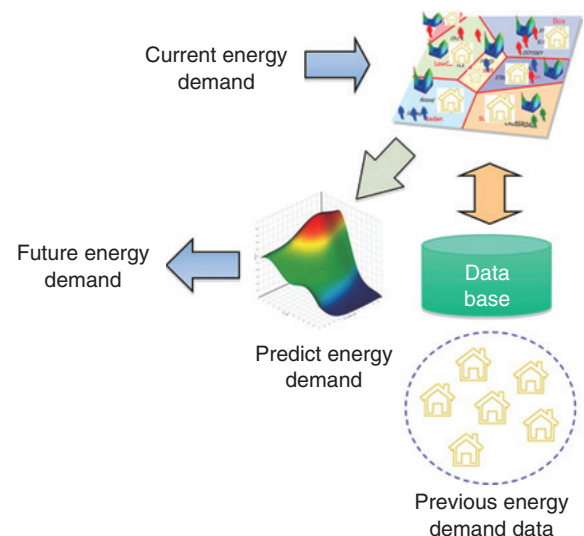


Fig. 6 Energy demand prediction procedure

Table 1 Prediction accuracy results

| Item        | Average<br>3 days | w/o<br>clustering | w/<br>clustering |
|-------------|-------------------|-------------------|------------------|
| RMSE        | 0.267             | 0.225             | 0.215            |
| Correlation | 0.069             | 0.591             | 0.647            |

にカテゴリライジングする教師無し学習手法の一つである。

- (3) 性能評価 構築したエネルギー需要予測の性能評価を実施した。予測性能の評価データは、Hondaにて2012年4月から実施している実証実験ハウス<sup>(11)</sup>の実需要データ230日分を用い、過去72時間分のデータから将来の48時間を予想した。予測精度の評価手法として、需要データ230日分から1日分を評価データとし、残りを学習データとし評価した後に、すべての日が1回は評価日となるように検定を繰り返すLeave-One-Out法を使用した。予測性能評価指標として平均二乗誤差(RMSE)と相関係数(Correlation)の二つの指標を用いた。平均二乗誤差は値が大きいほど予測誤差も大きいことを示し、相関係数の値は1に近いほど相関が強く、モデルの再現性が高いことを示す。以上の評価指標を用いて予測性能を評価した。比較のために、以下の二つの手法と比較した。

- ・前日3日間の平均を予測データとする
- ・近似モデルのみで予測(カテゴリライジング無)

Table 1に評価結果を示す。平均二乗誤差、相関係数共に提案手法が優れていることが示され、本手法の有効性が確認された。

#### 4.2.3. 需要予測を用いた運転計画技術

前述した予測データを元にCO<sub>2</sub>最小または光熱費最小となるようにクラウドサーバ内で演算し、MCHP運転計画とバッテリー充放電パターンを決定する。SeMMはどちらもCO<sub>2</sub>削減量の目標値を満足できるように創蓄エネ機器を制御している。

Fig. 7に車を含めた運転計画の一例を示す。EVは8時から20時まではモビリティとして外出先で利用し、それ以外の時間帯は家に在りV2H可能な時間帯としている。MCHPは通常朝と夕方の熱需要ピークに合わせて運転する。朝方のMCHP運転(a)に合わせて充電動作することでMCHPの余剰電力を抑制する。夕方のMCHP運転(b)の際は家庭内消費電力が多いことから余剰電力は発生しにくいいため、EVが不在のときにも熱需要に合わせて運転している。EV帰宅後は深夜電力適用前の時間帯で家庭内負荷が大きい場合に放電動作となる。需要予測および運転計画技術によりシステム効率の向上が見込める。

CO<sub>2</sub>排出量が最小になるようにエネルギー機器を制御した場合に年間で得られるCO<sub>2</sub>削減量を算出した。Fig. 8にCO<sub>2</sub>最適化計算の結果を示す。Table 2に計算で用いた創

Table 2 Machine specifications for simulation

| MCHP   |             | PV panel | EV battery |
|--------|-------------|----------|------------|
| Heat   | Electricity |          |            |
| 2.5 kW | 1 kW        | 4.6 kW   | 20 kW·h*   |

\*EV battery can be used in V2H mode from 20:00 to 8:00.

Table 3 Assumptions regarding annual demand

| Number of people | Heat demand | Electrical demand | Mobility mileage |
|------------------|-------------|-------------------|------------------|
| 4                | 7028 kW·h   | 5250 kW·h         | 8000 km          |

- Calculation conditions -

Electric power consumption rate 0.69 kg-CO<sub>2</sub>/(kW·h), Gas consumption rate 2.31 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, Gasoline consumption rate 2.32 kg-CO<sub>2</sub>/L, EV efficiency (JC08 mode)106 W·h/km, Fuel efficiency 16.6 km/L

蓄エネ機器の諸元を示す。Table 3に年間の電熱需要および車の走行距離の前提条件を示す。創蓄エネ機器を使用せずガソリン車を使用する条件でのCO<sub>2</sub>排出量のベース値に対して、本システムおよび前述した制御技術を適用することでモビリティを含めて年間を通してCO<sub>2</sub>半減の見通しが示され、本手法の有効性が確認された。

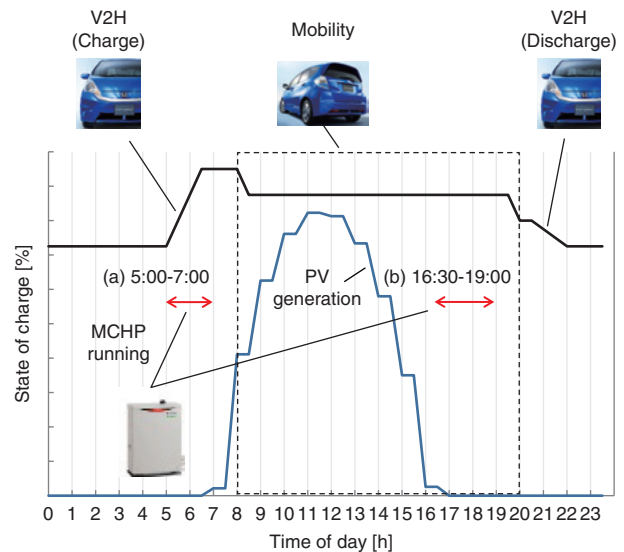
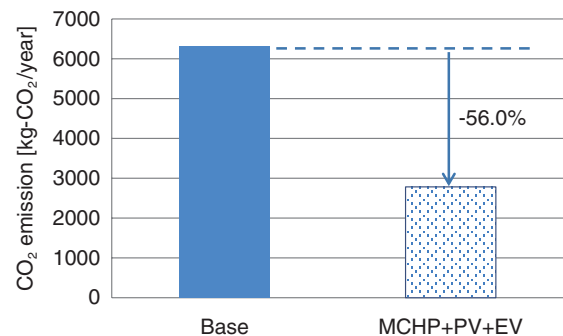


Fig. 7 Example of vehicle and MCHP operation plan

Fig. 8 Simulation result of annual CO<sub>2</sub> reduction rate

## 5. まとめ

モビリティとエネルギー機器 (MCHP/PV パネル) が家と融合するトータルエネルギーマネジメントシステムの HSHS を開発した。主要技術の達成により以下の結論を得た。

- (1) SeMM とインターナビとを連携することで EV を定置型蓄電池の代替として創蓄エネ機器として活用することを実現した。電動化モビリティの付加価値利用によりユーザの初期投資の軽減の見込みを得た。
- (2) インターナビ情報と家の電熱情報を基に家の需要予測を算出し、需要予測結果に基づく高効率な最適制御技術を確認した。将来的に本技術を適用し、予測に基づく運転計画で SeMM が動作することにより従来機器に対し CO<sub>2</sub> 半減の見込みを得た。

## 参考文献

- (1) 独立行政法人国立環境研究所, <http://www.nies.go.jp/whatsnew/2013/hrfba300000ar23o-att/honbun.pdf>, 2011 年度 (平成 23 年度) の温室効果ガス排出量 (確定値) について, 2013/4/12
- (2) 経済産業省, <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004657/energy.pdf>, エネルギー基本計画, (2010)
- (3) 武石正憲, 中川義徳, 直井専, 佐々木信行: 停電時自立運転機能付きコージェネエコウィルプラスの紹介, Honda R&D Technical Review, Vol.25, No.2, p.58-63
- (4) 独立行政法人国立環境研究所, <http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>, 日本の温室効果ガス排出量データ (1990~2011 年度) 確定値 xls: 1.6MB, 2013/4/12
- (5) <http://www.echonet.gr.jp/>, 2013/10/15
- (6) <http://www.chademo.com/wp/japan/>, 2013/10/4
- (7) 経済産業省原子力安全・保安院電力安全課, [http://www.meti.go.jp/policy/safety\\_security/industrial\\_safety/oshirase/2012/06/240629-1-2.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2012/06/240629-1-2.pdf), 電気設備の技術基準の解釈第 199 条の 2, p200-201, (2012)
- (8) 福重貴浩, 有吉斗紀知, 宇田有佑, 大熊友貴, 岡部達哉, 山本幸一, Lars GRAENING, Stefan MENZEL, Markus OLHOFFER: リアルタイム空力デザインシステムの構築, Honda R&D Technical Review, Vol.24, No.2, p.102-110
- (9) Vapnik, V.: The Nature of Statistical Learning Theory, 2<sup>nd</sup> edn, Springer, New York, p.123-170(2001)
- (10) MacQueen, J. B.: Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press, MR0214227, p.281-297(1967)
- (11) <http://www.honda.co.jp/hshs/introduce.html>, 2013/7/8

## ■ 著 者 ■



津野 康一



小谷 尚史



土橋 学



小出 文隆



福重 貴浩



有吉斗紀知