

EV 用バッテリートレーサビリティシステム開発

Development of Battery Traceability System for EV

武 政 幸一郎*
Koichiro TAKEMASA
富 永 由 騎*
Yuki TOMINAGA

内 田 翼*
Tsubasa UCHIDA
佐 藤 圭 嗣**
Keiji SATOH

鶴 谷 泰 介*
Taisuke TSURUTANI

要 旨

EV 市場の拡大が予想され、今後本格普及期に入ると大量のバッテリーが使用されることになる。バッテリーは使用や経年劣化等により容量低下した場合は航続可能な距離が短くなってしまい、そこでユーザ利用時のバッテリー見守りをはじめ、中古車転売時や、定置型への転用等 2 次利用時のバッテリー性能評価が重要になってくることが予想される。Honda が 2012 年夏にリース販売を開始した FIT EV には走行時や充電時に主にバッテリー関連のデータを定期的にサーバへ送信するシステムが装備されており、お客様の承諾を頂き日本の Honda R&D のサーバにて日米のデータを収集している。本システムでは、バッテリー性能把握、バッテリー劣化推定モデルの構築を目的として、データ分析や可視化を実現するための基盤を構築した。

ABSTRACT

The EV market is expected to expand, and as this happens, battery usage will increase. Batteries deteriorate with time and usage, and when battery capacity declines as a result of age-related deterioration, the cruising distance over which a vehicle can travel decreases. Therefore, it will be important mainly to monitor batteries during use but also to assess the performance of batteries during the resale of used cars and during secondary usage such as conversion to stationary batteries. Honda has equipped the FIT EV first leased in the summer of 2012 with a system that regularly sends mainly battery-related data to a server when the vehicle is travelling and when the battery is charging. Customer consent is obtained to collect data from Japan and the U.S. on the Honda R&D Japan server. The goal of this system was to determine battery performance and to build a model for estimating battery deterioration, so that a foundation for successful data analysis and visualization could be built.

1. はじめに

バッテリーは時間や使用（充電や放電の繰り返し）とともに劣化していく。劣化には主に容量低下と出力低下があるが、特に EV 向けバッテリーの場合には容量低下により走行可能距離が短くなってしまい、これはバッテリー性能低下が車両性能低下を意味することになる⁽¹⁾。このような理由から、バッテリーの正確な性能評価ができることがユーザ利用時、中古車市場、バッテリー 2 次利用時等において、必要になると考えられ、また、今後の EV 市場において市場適応力のあるサービスを展開していく上で重要な要因となることが予想される (Fig. 1)。

* 四輪 R&D センター

** 日本アイ・ピー・エム株式会社

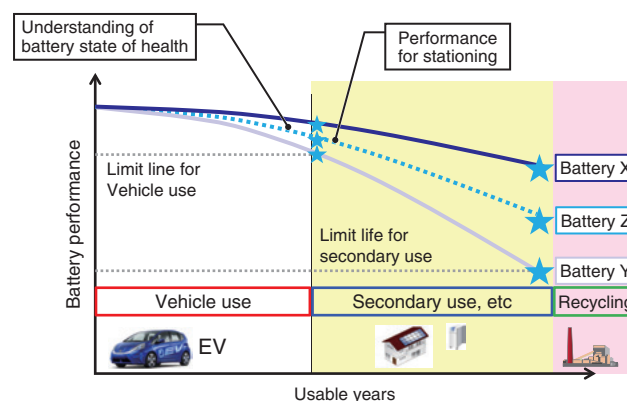


Fig. 1 Importance of battery performance understanding (EV)

今回開発したEV用バッテリートレーサビリティシステムは、個々の車両から走行時や充電時に主にバッテリー関連のデータを収録し定期的にサーバへ送信する仕組みを装備している。つまり、リース販売されるすべての車両からバッテリーに関連するデータが本システムに集約されることになり、トレーサビリティデータ（以降、トレースデータと記す）が蓄積されることになる。このトレースデータは、バッテリー状態、および車両状態を把握するための重要なデータである。このデータをリアルタイムに解析し、バッテリーの開発、およびビジネス展開やサービス展開に有効活用することが求められている。

また、ビッグデータと呼ばれる膨大なデータ（大データサイズ、複数データソース、非構造化データ、大量トランザクションなど）に対するデータ収集、およびデータ解析手法が提起されている。ビッグデータの活用とは、これまで収集されていても十分に解析されていなかったデータや解析処理に時間を要していたデータを、高速かつリアルタイムに処理することである。これによって膨大なデータの中からビジネス、サービスに活用することができる情報の可視化、分析、抽出を可能にし、さまざまなものが電子化されていく市場環境変化や価値観の多様化への迅速な対応、アクションの策定を実現する手法として注目されている。トレースデータについても、ビッグデータの一部として捉えることが可能と考える。

上記の背景のもと、本システムでは、EV車両におけるバッテリー性能把握、バッテリー劣化推定モデルの構築を目的として、収集されるトレースデータを基にしたデータ分析や可視化を実現するためのシステム基盤を構築した。

2. システム構成

2.1. コンセプト

バッテリーの使用状況は道路交通環境の差異や充電インフラの違いにより左右される。バッテリーの情報に関しては走行地域や使用状況の差異を見るために、一箇所に集約した上で解析をしていくべきと考える。よって各地域でのデータ収集後は社内イントラネットを介して日本のHonda R&D内のサーバへ集約し、逐次データ解析をおこなっている。

2.2. 車両システム

トレーサビリティ機能の搭載車両となるFIT EVは、スマートフォンアプリケーションによりエアコンのタイマー操作や充電のコントロール、充電状況の把握を可能にするための車載通信ユニット等を有している。本システムとしてはこのシステム基盤をベースに、データ収集する機能を追加できるようにした（Fig. 2）。

車載通信ユニット（TCU）より発信された車両情報は、既存の通信型カーナビ用インフラを使ってリアルタイムに

地域サーバにて受信と収集がおこなわれる。本システムでは、拠点サーバ間通信にはイントラネットを採用し、送信される車両情報は、車載通信ユニットにてバイナリデータの圧縮ファイル化がおこなわれ定期的にデータアップロードを実行している（Fig. 3）。

車両からのデータ送信に関しては、走行中をはじめ充電中もデータを送信するようにしている。

2.3. サーバシステム

バッテリートレーサビリティサーバの構成は、ブレードサーバアーキテクチャおよび仮想化プラットフォームを使用している。また、カーナビ用サーバとの拠点間通信には、Web サービス技術（SOAP over HTTP）を用い、受信サーバにてデータ受信と受信したバイナリデータのテキスト化が実施されデータ解析が可能な情報としてデータベースへ蓄積される。

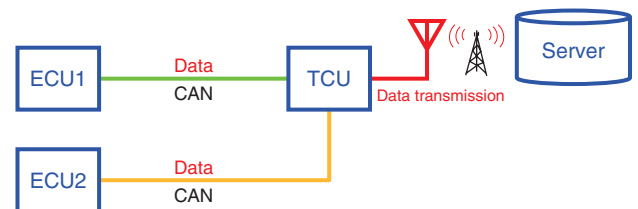


Fig. 2 Vehicle system composition

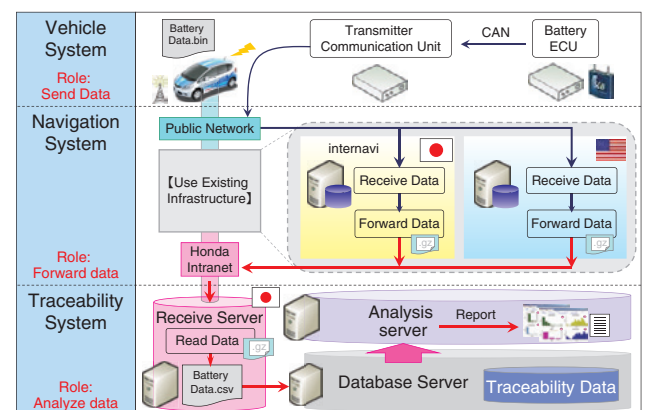


Fig. 3 Transmitting system configuration

3. バッテリー劣化推定モデルの構築

バッテリーは使用された期間や温度、充電状態（State of charge: SOC）などの履歴によって保有する容量（容量維持率）が大きく異なり、かつ、同じ容量維持率を有するバッテリーにおいても、それまでの履歴が異なると、その後の余寿命に差異が生じることがこれまでの研究で明らかになっている（Fig. 4）⁽²⁾。

3.1. 従来のバッテリー寿命推定方法

一般的に使用されているバッテリーの寿命推定の容量維持率は時間の平方根に比例する式 (1) (ルート則) で表現される。この式を用いた場合、使用履歴違いによるバッテリー容量の低下速度の違いを表現することができない。なぜなら、ルート則式は、容量維持率の変化速度 [劣化速度: 式 (1) の微分式] は式 (2) となり、使用条件とその時の容量維持率で表現されるため、Fig. 4 で示したような同じ容量維持率で異なる履歴を持つバッテリーをその後同じ使い方をした場合、その後の容量維持率を同じと判断してしまう。これでは個々のバッテリーの劣化速度に対応することの推定ができない。

$$y = 1 - a \times t^{0.5} \quad (1)$$

$$y' = -\frac{0.5}{1-y} a^2 \quad (2)$$

y : 容量維持率

y' : 容量維持率の変化速度

a : 使用条件によって決まる劣化係数

t : 使用積算時間

3.2. 使用履歴を加味した寿命推定方法

過去のバッテリー使用履歴を推定式に加えることで、上述の差異を表現可能になると考えた。過去の使用履歴の中から将来の劣化を左右する因子を明確化できれば、Fig. 1 に示す使用時、中古車市場、2 次利用における残価値の指標化、および資源有効利用の観点から検討が必要なバッテリーモジュールやセルの再中古製品化 (リマニファクチュアリング) 時の分類基準の指標化が可能になるからである。使用履歴を加味したバッテリーの寿命推定式を式 (3) と式 (4) に示す。

$$y' = -\frac{0.5}{1-y} (\alpha + b \times \beta) \quad (3)$$

$$y = 1 + \sum_{t=0}^T y' \quad (4)$$

b : これまでの使用履歴によってきまる補正係数

α, β : 使用条件によって決まる劣化係数

T : バッテリー製造日からの経過時間

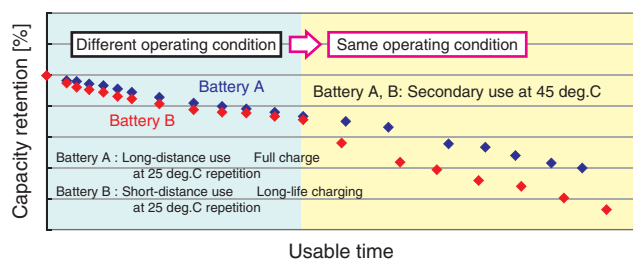


Fig. 4 Capacity retention variation by specification operating condition

式 (3) に示すように、式 (2) の劣化係数 a^2 を、使用履歴による補正係数 b を加えた 1 次式 $(\alpha + b \times \beta)$ に置換した。これにより使用履歴による劣化速度の差異を表現可能になり、式 (4) に示すように、その積算値により容量維持率の低下を推定することが可能となる。使用履歴はトレーサビリティシステムにより収集したトレースデータを用い、このデータから補正係数 b を導出する。補正係数 b は使用履歴により値が異なるため、劣化速度 y' も使用履歴により変化する。本手法を用いることにより、さまざまな使用履歴を持ったバッテリーにおいても容量維持率を推定することが可能となる。

3.3. 新しいバッテリー寿命推定方法の検証結果

バッテリー単セルを用いて、放置試験やサイクル試験などの一般的なバッテリー特性のパラメータスタディにより取得したバッテリー特性データから、先述した式 (3) 式 (4) 中の一次式係数 $(\alpha + b \times \beta)$ を導出し、推定式を構築した。この推定式の精度検証を充電、走行、放置を組み合わせる実機負荷を模擬した耐久試験で実施している。バッテリー容量の実測値と新しい寿命推定方法で導出した推定値のプロットを比較した結果、両プロットは近い推移を示すことが確認できた (Fig. 5, Fig. 6)。

また、実験車両に搭載したバッテリーを使った検証も実施している。本データは酷暑地域にて耐久走行試験を実施した際のバッテリー容量維持率の実測値と予測値をプロットして比較したものである。バッテリー単セル試験同様に容量推移が実測値と近い推移となっていることから、推定方法の確からしさを実証することができたといえる (Fig. 7)。

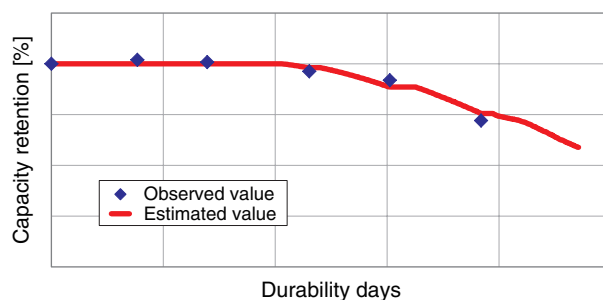


Fig. 5 Normal 200 V charge SOC limit 100% at 55 deg. C

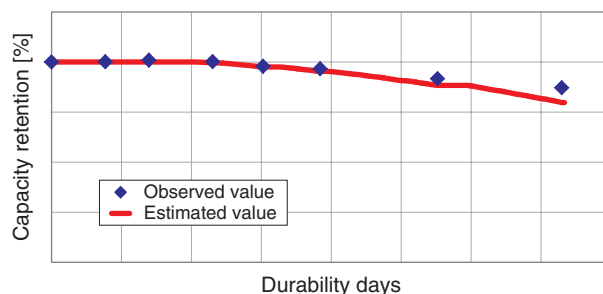


Fig. 6 Quick DC charge SOC limit 100% at 55 deg. C

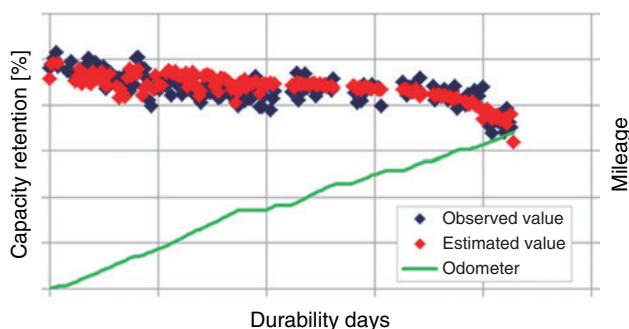


Fig. 7 Verification of life estimation method

4. 実証実験データの分析検証

Honda は EV の本格的普及に向けた課題の抽出と対応のため、また、実際の交通環境下や充電器等のインフラストラクチャにおいて、将来のパーソナルモビリティのあり方や CO₂ 低減効果の検証のために、熊本県、埼玉県、さいたま市と共同で実証実験をおこなっている。2011 年 12 月からは本システムを装備した車両を実際に投入し、自治体職員や一般ユーザによる実験走行を開始した。現在はパークアンドライドやカーシェアリング、ライドシェアリングなど地域に密着した実証実験をおこなっている (Fig. 8)⁽³⁾。

本システムはこの実証実験から運用を開始し、さまざまな検証をおこなってきている。

4.1. データの分析可視化機能の構築

本システムでは、車両からのトレースデータを、人手を介することなく自動でデータ分析、可視化をおこなうレポートシステムとした。この仕組みでは、事前に設定した加工、分析、抽出処理をおこない、結果を Web ブラウザ上に表示できるようにしている。

4.2. トレースデータ分析可視化処理

本システムにおけるトレースデータの分析、可視化処理は、以下の二つに大別される。

- (1) 現時点のバッテリー性能や車両状態等を把握することを目的とした処理
- (2) 車両 (バッテリー) ごとや過去の走行データ等を加味した統計処理

(1) に関しては、車両から送信されるデータをリアルタイムに処理し、現時点の走行、充電、放置などの走行モード分析、車両状態、累積走行情報サマリ抽出、バッテリー容量遷移抽出、およびバッテリー異常検知等を可視化するレポートシステム (コックピット) を構築した。下記に、開発した実証実験向け車両データを基にしたコックピットレポートを示す [Fig. 9(a), Fig. 9(b)]。

コックピットシステムでは、実証実験車両の総累積走行距離の表示、車両ごとのバッテリー温度、SOC、バッテリー電

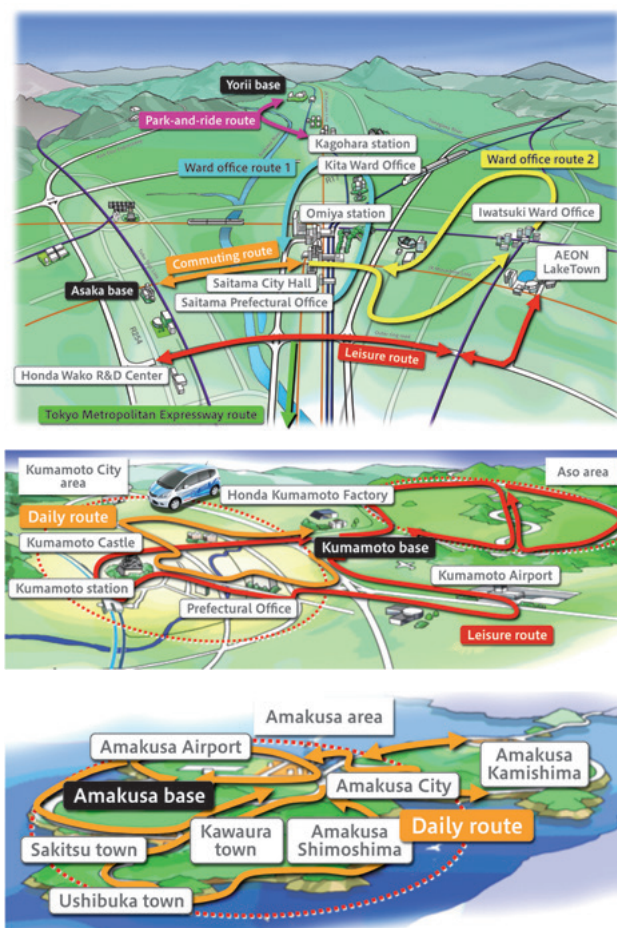


Fig. 8 Honda electric vehicle demonstration program operation area

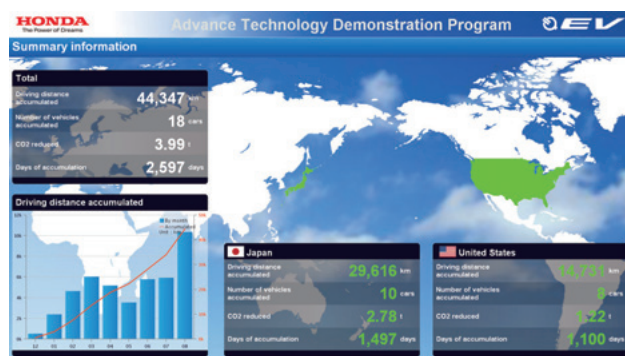


Fig. 9(a) Cockpit report: Vehicle information summary



Fig. 9(b) Cockpit report: Battery state information

流等をヒストグラム表示し、他の車両平均と比較して表示することが可能である。これによって実験車両の変化を容易に把握することが可能となっている。

(2)に関しては、車両から送信されるトレースデータ内各項目を指標とした分析レポートシステムを構築し、バッテリー性能評価、およびバッテリー劣化分析に起因する因子の抽出を目的とした定形レポート、非定形レポートを含めたさまざまな分析レポートを開発した (Fig. 10(a), Fig. 10(b)). Fig. 10(a) では、車両が継続的に運用されており、約9ヶ月の運用で総走行距離が7700 kmを超えたという状況がリアルタイムに把握できる。また、Fig. 10(b) では車両ごとの使われ方の違いが把握可能であり、1日の走行距離を分析することで、車両 A は車両 B に比べて1日あたりの走行距離が長い車両であることがわかる。

レポートシステム構築にあたり、バッテリー性能に影響を与える、または影響を与える可能性がある因子を容易に選択し、分析結果を可視化、抽出することができる拡張性のあるレポートシステム基盤が求められる。そこで本システムでは、IBM 社製ソフトウェアである IBM Cognos[®]、および IBM SPSS[®] Modeler を用いて、上記の分析レポートシステムを実現した。これらのソフトウェアを活用することにより、Web 上の Graphical user interface (GUI) ベースで各種データの多様な分析やレポートングを実現するだけでなく、統計的なモデル解析を実施することも可能になった。

4.3. データ分析結果の活用

開発したデータ解析システムは実証実験車両、およびテスト車両から送信されてくるデータの分析結果を活用し

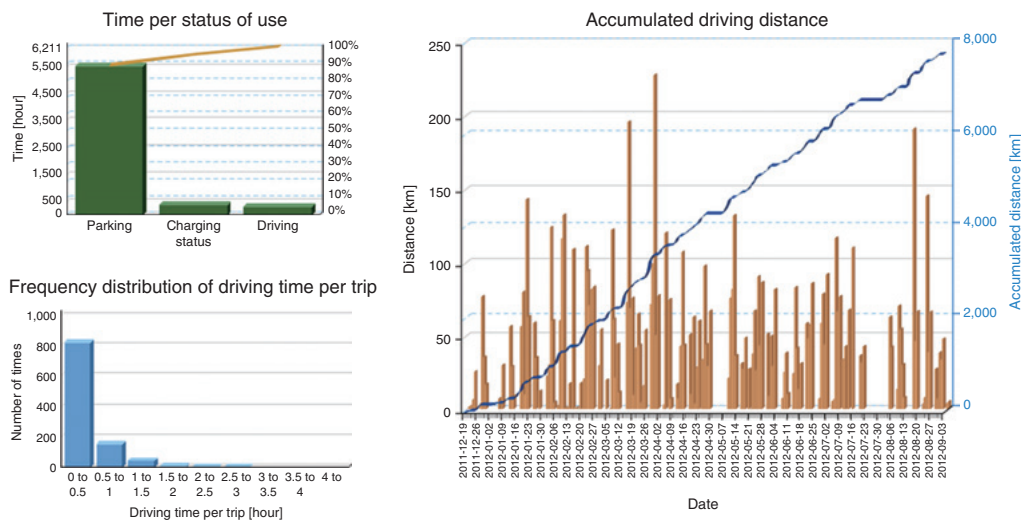


Fig. 10(a) Analysis report total mileage and operation state

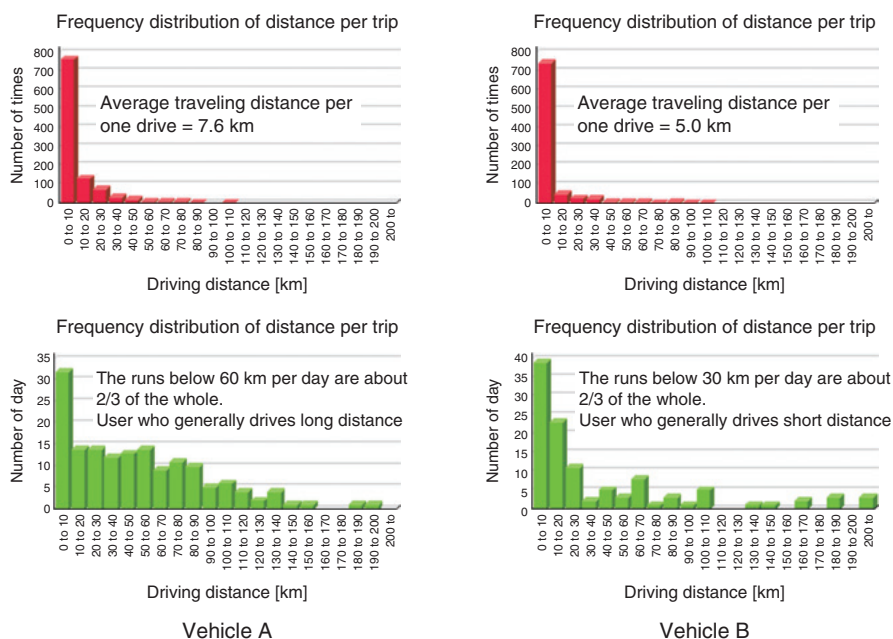


Fig. 10(b) Analysis report distribution of distance

てバッテリー劣化推定モデルの開発と検証をおこなっている。その他にもデータ分析結果の活用範囲は多くある。例えば、リアルタイムにトレースデータを収集、分析することで、走行中車両のバッテリー状況を逐次解析することが可能となる。その結果、不具合に対しての対策が可能となるだけでなく、対策実施後の経過も観察することができるようになった。具体事例として車両データのバッテリーセル電圧が想定以上にばらつく状態を早期に検知することができた。これを受けて実験車に対して、対策内容を反映したコントロールユニット用プログラムへ変更をおこなった。この対策効果に関しては、経過観察のように電圧推移を確認することができるため、対策プログラムの効果についての妥当性検証が可能となることが確認できた (Fig. 11)。

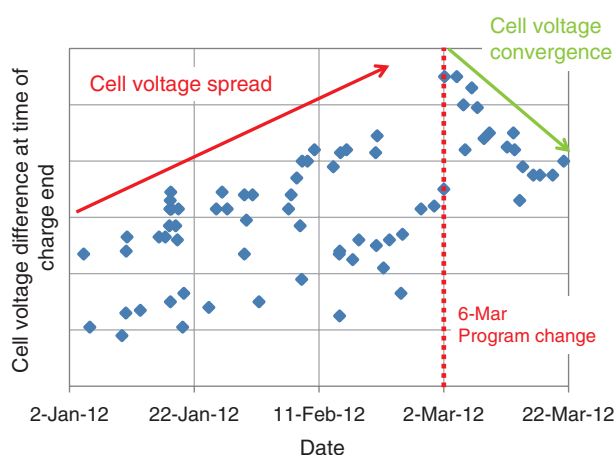


Fig. 11 Early detection and correspondence of vehicle condition

5. まとめと今後の展開

車両から送信されるトレースデータを分析、可視化することにより、現在の車両状態やバッテリー状態を把握することができた。また過去のデータや統計データを可視化することで不具合が顕在化する前に事象把握ができた。また把握だけでなく、データから特異点を抽出し、それに対する具体的な対策が可能となる拡張性のあるトレースデータの解析基盤を構築することができた。また、データ分析に併せてバッテリー劣化評価を加味することにより、バッテリー状況から容量低下等についての予兆を検知、発見することが将来的に可能となる。

2012年7月、アメリカを皮切りにFIT EVがお客様へリース販売が開始された。オーナーの同意の上でデータセンタへ集まってくるトレースデータについては、統計的に蓄積、解析をおこない今後の開発に生かし、バッテリーの性能に応じた制御や新しいサービス展開について検討をおこなっていく予定である。

参考文献

- (1) 本多啓三, 高見則雄: リチウムイオン電池 SCiB の特徴と車載電池性能, 自動車技術, Vol.66, No.9, p.23-27(2012)
- (2) 小島亮, 月森直子, 上田篤司: PHEV 用 10Ah 級リチウム二次電池の開発 (その 5), 第 53 回電池討論会論文集, 1A16 p.9(2012)
- (3) Honda 環境年次レポート 2012, EV/PHEV の実証実験, p.55

■ 著 者 ■



武政幸一郎



内田 翼



鶴谷 泰介



富永 由騎



佐藤 圭嗣