

HEV 用 Li-ion バッテリーシステムの バッテリーコントロール技術

Battery Control Technology of Li-ion Battery System for HEV

丸 野 直 樹*
Naoki MARUNO

小 茂 田 訓*
Satoru KOMODA

西 田 義 一*
Yoshikazu NISHIDA

要 旨

ハイブリッド車 (HEV) のバッテリーとして、高出力なリチウムイオンバッテリー (LIB) を用いることにより車両性能の向上が期待されるが、車両搭載する上で、長期使用に耐えうることが必要となる。

本稿では、LIB システム用に開発した耐久性確保のためのバッテリーコントロールシステムについて報告する。確実性を重視した電圧検知に基づく過充電防止システムと高効率な充電状態制御による劣化コントロールシステムを用いることにより、バッテリー性能を最大限に生かしつつ耐久性を向上させることができた。

ABSTRACT

The use of high-output lithium-ion batteries (LIB) is expected to enhance the vehicle performance of hybrid electric vehicles (HEV). However, LIBs are required to withstand long-term use when mounted in HEV.

This paper reports on a battery control system developed to help achieve LIB system durability. The use of an overcharge prevention system based on reliable voltage detection and a deterioration control system based on efficient charge state control enabled enhancement of durability while obtaining the maximum battery performance.

1. はじめに

近年、世界規模での低炭素化社会の実現に向けて、あらゆる産業分野からさまざまな提案がなされているが、そのうちの一つに自動車の低燃費化のための HEV のさらなる高効率化と普及拡大が求められている。HEV 性能向上に向けて期待されるデバイスの一つがリチウムイオンバッテリー (LIB) である。それは、LIB がニッケル水素バッテリー (Ni-MH) に対して、高出力かつ軽量という特徴を有するからである。

我々は 2011 年モデル CIVIC HYBRID 向けに 40 セルの角型電池セルからなる LIB システムを開発し、小型軽量なパラレルハイブリッドシステムに適用した^{(1), (2)}。モータはエンジンと CVT の間に配置され、走行アシストおよび減速時の回生をおこなう。Fig. 1 にパラレルハイブリッドシステムの構成図を示す。LIB の採用により、アシスト、回生出力を従来の 15 kW から 20 kW に 33% 増加させ、さらなる燃費の向上を実現した。従来に比べ 30% の軽

量化と 20% の容積削減を実現したバッテリーボックスは、Intelligent Power Unit (IPU) に内蔵される。本 IPU はシステム出力を向上しつつ、従来同等レベルの容積を実現している。Fig. 2 に開発した IPU の構成および寸法を示す。

LIB を車両搭載する上で、長期使用に耐えるためには、確実に過充電を防止できるシステムと高寿命化のための劣

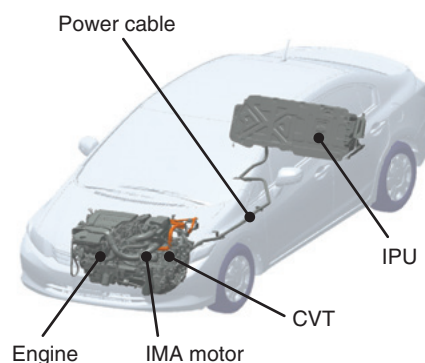


Fig. 1 Construction of Honda hybrid system

*四輪 R&D センター

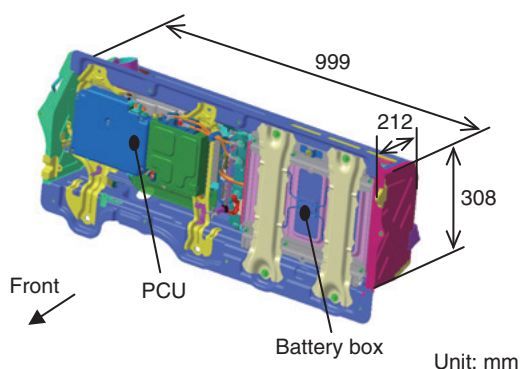


Fig. 2 Construction of IPU

化コントロールが必要であり、本稿では、そのシステム開発について報告する。

2. システム構成

2.1. バッテリーボックス仕様

開発したバッテリーボックスの諸元を Table 1 に示す。LIB の適用により、33% の出力向上と約 10 kg の軽量化を実現した。バッテリーボックスは、10 セルにより構成されたモジュール四つで構成される。Fig. 3 にバッテリーボックスおよびモジュール構造を、Fig. 4 にバッテリーシステムダイアグラムを示す。すべてのセル電圧は電圧センサにより常時監視され、バッテリー ECU により制御される。また、ボックスの電気的中性点には機械的スイッチとヒューズを有し、高電圧出力部にはコンタクタを有している。バッテリー ECU にて、バッテリー不良状態を検知するとコンタクタを作動させて高電圧を遮断する。

Table 1 Comparison of battery box specifications

	Developed	Previous
Voltage/Number of cells	144 (V)/40	158 (V)/132
Weight	21.7 (kg)	31.3 (kg)
Volume (Battery module)	14.4 (L)	15.4 (L)
Maximum output	20 (kW)	15 (kW)

2.2. バッテリーセル仕様

Fig. 5 にセルの構造図を、Table 2 にセルの諸元を示す。電池構成材料は、熱安定性が高く、耐久性が高い材料であることを基準に選定した。

Fig. 6 に DSC (Differential Scanning Calorimetry) ⁽⁴⁾ 試験による正極の材料種違いでの熱安定性検証結果を示す。開発したバッテリーは三元系正極材料を採用して熱安定性の高い仕様とした。

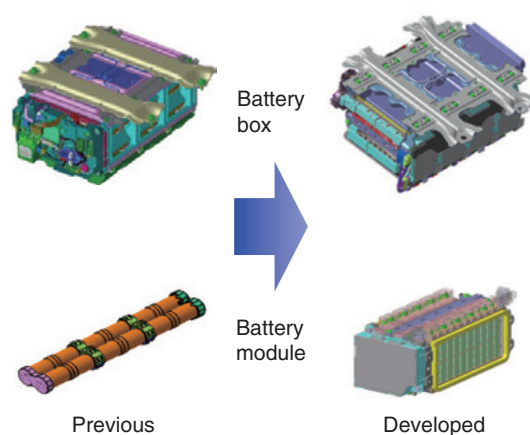


Fig. 3 Comparison of battery box and module construction

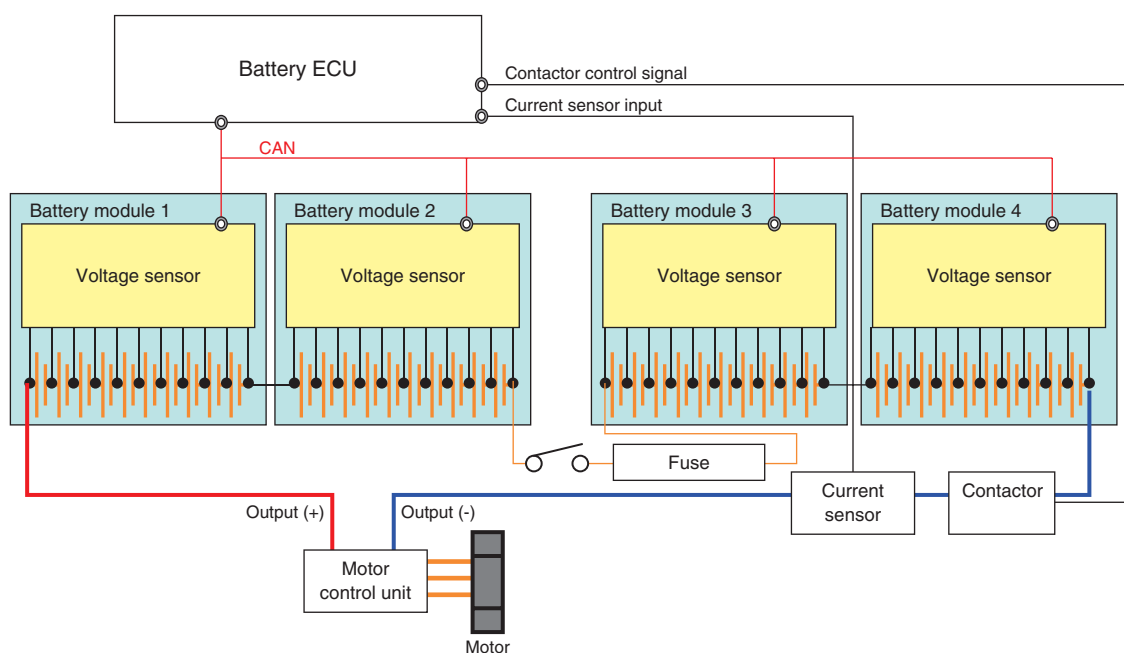


Fig. 4 System diagram of developed battery

Table 2 Battery cell specifications

Item	Description
Voltage	3.6 (V)
Volume	0.136 (L)
Weight	279 (g)
Positive electrode	LiNiCoMnO ₂
Negative electrode	Hard carbon
Case material	A3003 ⁽³⁾

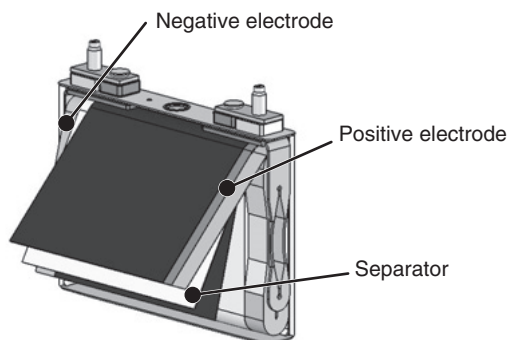


Fig. 5 Construction of battery cell

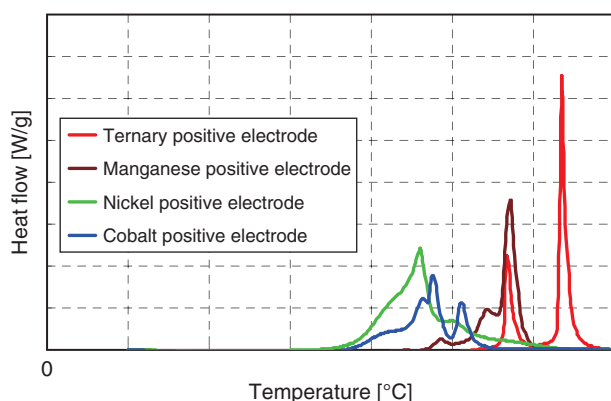


Fig. 6 Comparison of thermal stability among different positive electrode materials

3. 耐久性確保技術

3.1. 過充電防止システム

State Of Charge (SOC) に対するバッテリー電圧挙動を Fig. 7 に示す。左図は Ni-MH、右図は LIB の電圧特性を示す。Ni-MH の場合、高 SOC 領域では充電効率が低下するため、充電をしても電圧が上昇しない SOC 領域がある。一方、LIB は高 SOC でも充電に伴い電圧が上昇する特性を有している。また、セル電圧は入力される充電電流値によって変化することから、電圧値と電流値を用いて SOC を検知することができる。今回のシステムでは過充電を確実に検知するために、限界 SOC 時の Open Circuit Voltage (OCV) の電圧値で過充電状態を検知するシステムとした。

検出される電圧値の精度をあげるために、Fig. 7 に示す

ように、Ni-MH では電圧検出を 12 セル単位でおこなっていたが、LIB では、各セルに個別電圧センサを設けてセルの電圧値を監視するシステムとした。また、Fig. 8 にあるように、一つのセルに対して同じ性能の電圧検出回路を並列に接続して両者の値を常時比較監視し、Fig. 9 にあるように二つの電圧検出回路の電圧差を元に故障を検出するシステムとした。さらに、二つの電圧検出回路で測定された電圧値を比較して高い方の電圧値を選択することにより、過充電に対する確実性を高めている。

3.2. バッテリー状態推定と劣化コントロール

バッテリーは劣化するに従い、使用できる容量や出力が低下するので、車両で必要なバッテリー性能を確保するには、バッテリーの劣化に応じて、精度よく SOC およびセル容量を把握する必要がある。算出方法として、適応型バッテリー状態推定システムを構築した。バッテリー ECU に入力された電圧センサ、電流センサ、温度センサ情報をもとに電池

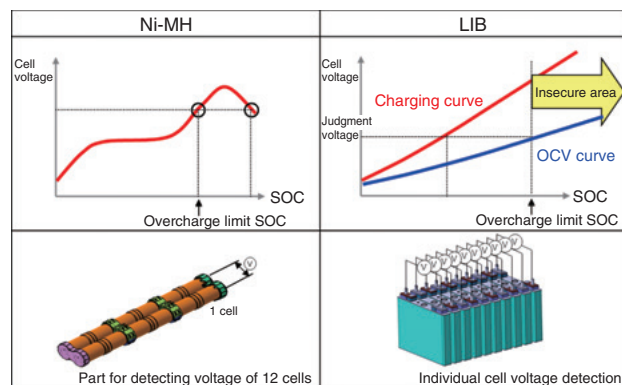


Fig. 7 SOC characteristics and voltage monitoring unit

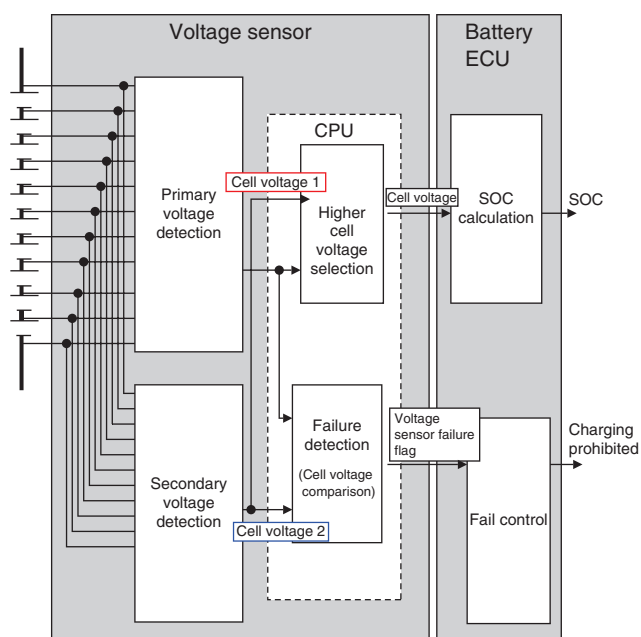


Fig. 8 Diagram of cell voltage sensor system

内部抵抗の推定を逐次的におこない、バッテリー SOC およびセル容量の算出をおこなっている。

バッテリー状態推定システムは内部抵抗のリアルタイム同定器と OCV オブザーバと SOC 算出部およびバッテリー容量推定器で構成されている (Fig. 10). OCV オブザーバは内部抵抗同定器により同定されたバッテリー内部抵抗値を基にして、OCV の推定を逐次的におこなっている。SOC 算出部は推定された OCV から SOC の算出をおこなっている。バッテリー容量推定器は電流センサ情報から算出された電荷の変化量と、OCV の変化量を逐次処理して、バッテリー容量の推定および劣化状態のモニタリングをおこなっている (Fig. 11)。

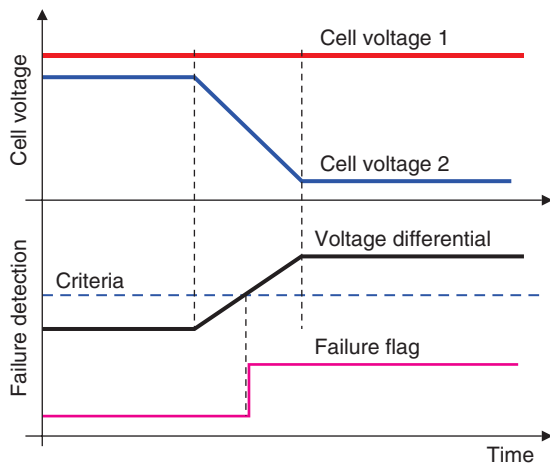


Fig. 9 Detection of cell voltage sensor failure

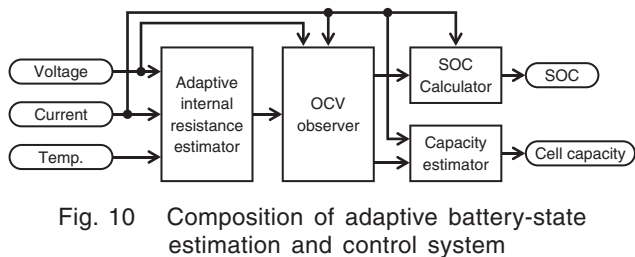


Fig. 10 Composition of adaptive battery-state estimation and control system

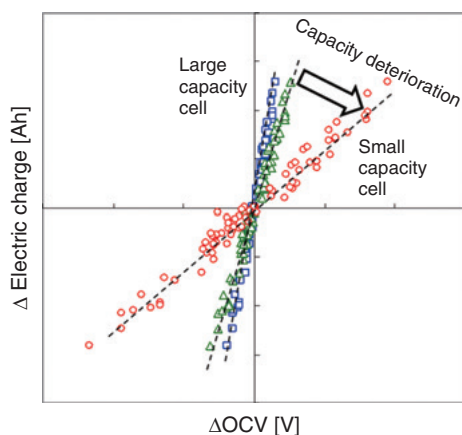


Fig. 11 XY plots showing characteristic change by battery capacity deterioration

今回のシステムによる SOC およびバッテリー容量の推定結果と実測の結果との比較検証結果を Fig. 12 に示す。このシステムにより、精度良く SOC が推定可能となり、バッテリー容量は初期およびバッテリー劣化後においても精度良く算出可能となった。

バッテリーの SOC に対する耐久性の関係を Fig. 13 に示す。Fig. 13 にあるように、バッテリーは使用される SOC が高いほど、劣化が促進される。この特性から、より低い SOC にコントロールすることでバッテリーの高寿命化が期待できる。しかし低 SOC ではバッテリーの劣化状態によっては車両で必要なエネルギーおよび駆動力を確保できないといった課題があることから、開発したバッテリー状態推定技術により、最適なバッテリーコントロールシステムを構築した。

初期状態において、バッテリーの容量と出力が十分にある

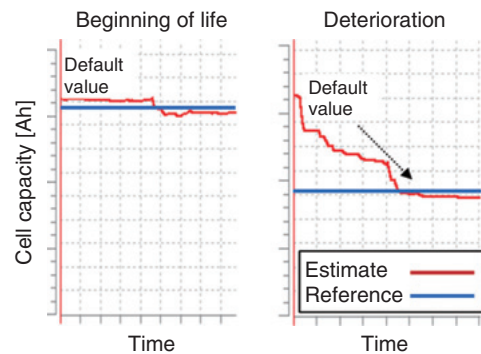
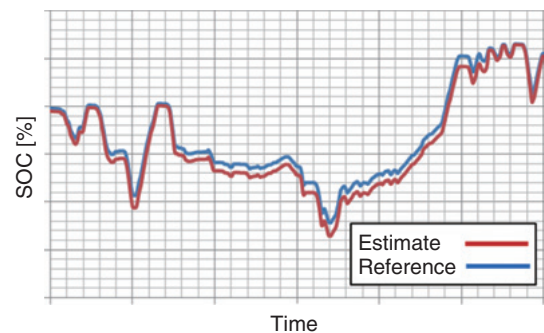


Fig. 12 Time charts of SOC calculation (upper) and battery capacity estimation (lower)

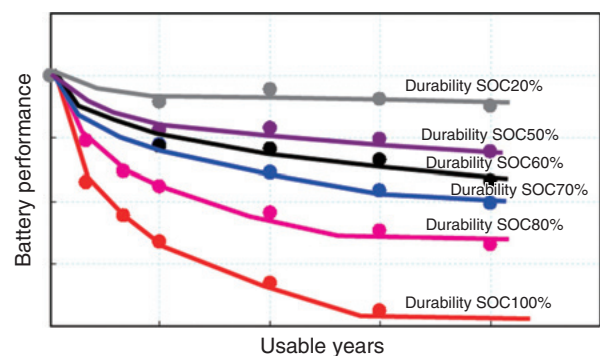


Fig. 13 Cell deterioration characteristics at different SOC

状態では、SOC を上昇させる制御はおこなわずに必要な SOC にて運用する。長期使用によって、バッテリーが劣化してバッテリーエネルギーが低下した状態を検知した場合には、必要に応じて SOC を高 SOC 側にシフトすることにより、車両に必要なバッテリー性能を確保する。このような手法により、車両に必要なバッテリー性能とバッテリー耐久性を確立した (Fig. 14)。この SOC コントロールシステムにより、Fig. 15 にあるように、バッテリー性能低下が抑制され、高長寿命化を達成した。

3.3. セル間 SOC コントロール

本 SOC コントロールシステムは各セルごとに SOC を算出している。耐久性を確保するために、個別セルの最大 SOC が上限の管理 SOC を超えないように、また最小 SOC が下限の管理 SOC を下回らないようにコントロールする必要がある。

使用状況によってセル間の SOC がばらついた場合には Fig. 16 上段にあるように、各セルの容量が低下していないにもかかわらず、異なるセルの上限 SOC および下限 SOC によって使用可能容量幅が制限されてしまう。その結果、バッテリーパックとして有効に充電できる容量が低下した

劣化状態となる。それを抑制するために、各セルに設けた個別放電回路を作動させて、SOC が高いセルを放電して SOC を平準化してバッテリーパックとしての充電可能容量幅を回復させる (Fig. 16 下段)。この技術により、バッテリーパックとしての性能を有効に使うことが可能となった。

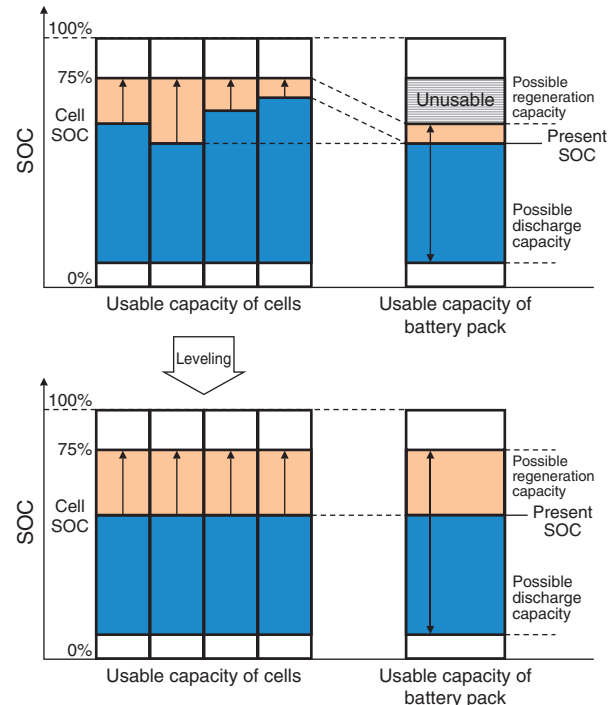


Fig. 16 Cell capacity leveling system

4. まとめ

HEV 搭載用 LIB システムにおいて、以下のようなバッテリーコントロール技術を開発した。

- (1) 過充電を防止するために、各セルに個別電圧センサを設けるとともに、電圧センサの故障検知をおこない、過充電を確実に検知できるシステムを構築した。
- (2) 各セルの SOC や容量といったバッテリー状態を常時算出して、最適に SOC をコントロールすることにより、車両に必要なエネルギーおよび駆動力と耐久性を両立する技術を確立した。
- (3) 各セルに放電回路を設け、各セルの SOC がばらついた場合に放電回路を作動させることにより、SOC のばらつきを抑制し、バッテリー性能が有効に使用できるようになった。

参考文献

- (1) 小茂田訓, 西田義一, 丸野直樹: HEV 用 Li-ion バッテリーシステムの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.107-11, p.1-4(2011)

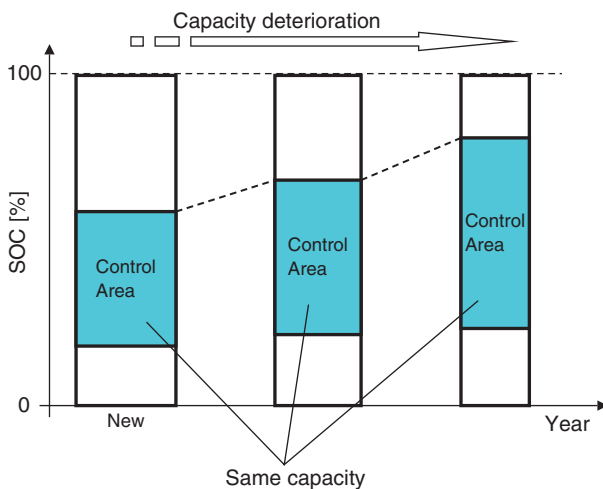


Fig. 14 Battery capacity deterioration

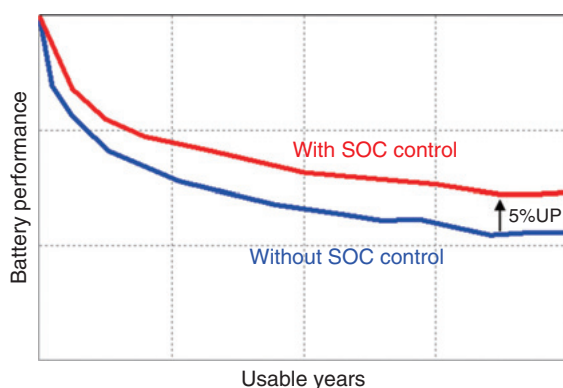


Fig. 15 Effect of deterioration control

- (2) 高橋良明, 井上克哉, 松岡俊之: ハイブリッド車両におけるバッテリ冷却技術, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.68-06, p.11-14(2006)
- (3) 国際規格 ISO 2107: 1983, Aluminium, magnesium and their alloys-Temper designations
- (4) 日本工業規格 JIS K0129: 1994, 熱分析通則

■ 著 者 ■



丸野直樹



小茂田 訓



西田義一