

1. プラグインハイブリッド車の特徴とその評価に対する課題について

環境研究領域 ※新国 哲也 河合 英直

1. はじめに

プラグインハイブリッド車は、従来の自動車と同様に走行エネルギーとしてガソリンなどの化石燃料を使用することに加え、家庭などの商用電源から供給する電気エネルギーを用いることができる。この技術は、商用発電に化石燃料以外のエネルギー源が占める割合の多い日本などの国においては、well to wheelでのCO₂排出量の低減にも有望な技術の1つである。

一方で、自動車の排ガスや燃費性能評価という観点に立つと、化石燃料と電気という2種類のエネルギー源を走行に利用することや、走行距離に応じて燃費が大きく変化するというプラグインハイブリッド車の特殊性には現状の排ガス・燃費試験法では対応できず、新しい試験方法の早急な策定が望まれている。

さらに従来の自動車では電気エネルギーは補機の駆動のみに使用されていたのに対し、プラグインハイブリッド車を含めた電動車では走行そのものに使用されるため、電気エネルギーを蓄えるバッテリーの性能が排ガス、燃費に直接的に影響する。したがって、これらの影響を公正に評価してユーザーに情報提供することも必要である。

本講演では、現在検討中であるプラグインハイブリッド車の排ガス・燃費測定方法に関する課題と共に、その走行性能を大きく左右する主要電気部品であるバッテリーが、実車で想定されるストレスに対しどのような劣化特性を示すのか、また、その劣化が排ガス、燃費に与える影響を明らかにするために我々が行っている研究の一部を紹介する。

2. 研究背景

2. 1. プラグインハイブリッド車の特徴

2. 1. 1. ハイブリッド車との違い

ハイブリッド車とプラグインハイブリッド車の違いについて述べる。ハイブリッド車は、従来の自動車ではブレーキ熱として捨てていた走行エネルギーの一部を回生電力と

して車載のバッテリーに一時保管し、次の走行エネルギーとして利用する。これにより燃料消費を抑制する。図1に示したように、燃料に関しては車外から供給するのはガソリンなどの化石燃料のみであり、従来の自動車と変わらない。また、バッテリーの充電状況(SOC:State of Charge)については、回生で得るエネルギー以上に走行に使用できないので、ほぼ一定に保つ制御が行われる。

プラグインハイブリッド車は、ハイブリッド車の利点である減速時のエネルギー回生機能に加え、走行エネルギーのすべてを担っていた化石燃料の一部を車外から供給された電気エネルギーで代替することができる。

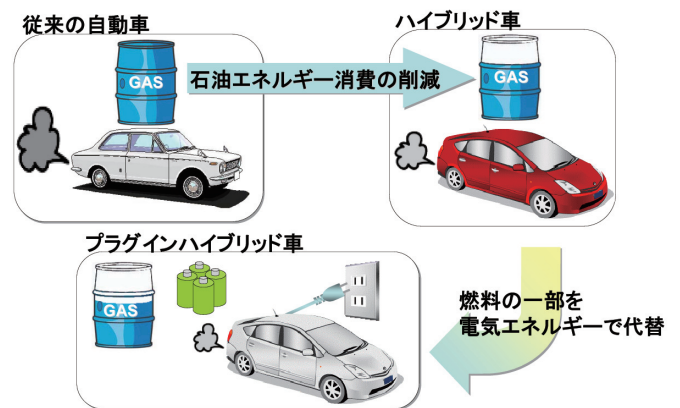


図1 従来の自動車からハイブリッド車、プラグインハイブリッド車への使用エネルギー源の変遷

2. 1. 2. 外部電力による走行

外部から供給した電気エネルギーによる走行を、以下においてプラグイン走行と表記する。図2にこのプラグイン走行とバッテリーSOCの関係性を模式的に示す。この図で、商用電源などから充電した電力を使い切る、すなわちSOCがその車両において設定される最低レベルであるa%まで低下すると、その後は化石燃料によるエネルギー主体の走行、すなわちハイブリッド車と同じくSOCを一定とする走行に切り替わる。プラグイン走行できる距離には限界があり、その限界はバッテリー性能に強く依存する。

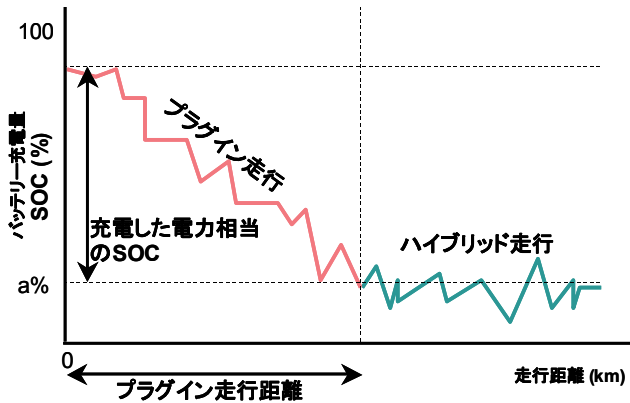


図2 プラグイン走行の概念図

2. 2. プラグインハイブリッド車の評価の課題

新車時におけるプラグイン走行距離や、その走行時の低排出ガスや燃費性能を、使用年数を重ねた後にも維持するためには、バッテリーが安定して能力を提供し続けられることが重要な要件になる。具体的には、バッテリーの容量が減少すれば、プラグイン走行距離はその分だけ短くなり、プラグイン走行中の燃費はバッテリー容量の減少率に応じて悪化することになる。

バッテリーの劣化は一般的に知られており、使用の状況に応じて劣化の進行度合いは変化する。SOC の変化幅が大きいという点で、プラグインハイブリッド車におけるバッテリーの使用条件はハイブリッド車よりも厳しくなり、バッテリーの劣化が進行しやすと考えられる。そこでプラグインハイブリッド車の評価では、プラグインハイブリッド車としての使用条件におけるバッテリーの劣化がどの程度顕著に現れるのか、またそれが外部電力による走行距離、排ガスおよび燃費等の車両性能の悪化にどの程度影響しうるのかを把握することが必要である。

3. 研究の目的

本研究はプラグインハイブリッド車という複数のエネルギー源を持つ新しいカテゴリーの自動車を正しく評価することを目標としている。

本稿では、プラグインハイブリッド車におけるバッテリーの充放電パターンを求め、この充放電パターンを繰り返して供試バッテリーに加えることにより、どのように供試バッテリーが劣化するかを把握することを目的とする。

4. 実験方法

4. 1. バッテリー充放電電流波形の計算

現在市場で入手可能なハイブリッド車では前述の通り $\Delta SOC=0$ での運転となるため、プラグインハイブリッド車とは根本的にバッテリーの使い方が異なる。したがって、市販のハイブリッド車を用いても目的のバッテリー充放電電流波形を得ることができない。

そこで、任意の車体を想定し、この車体を図3に示すJC08の車速パターンで運転したときの仕事量からバッテリーの電流を計算した。以下に計算式を示す。

$$\Delta E(t) = (m\alpha + F_r) \times v(t)\Delta t \quad \dots (1)$$

$$\alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \dots (2)$$

式(1)、(2)において、 ΔE : 単位時間の仕事量[J]、 m : 質量[kg]、 α : 加速度[m/s²]、 F_r : 走行抵抗[N]、 v : 速度[m/s]である。

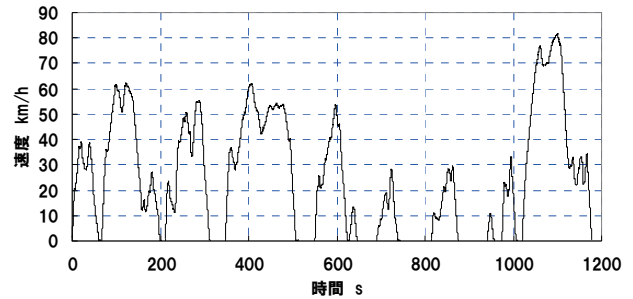


図3 JC08の車速パターン

4. 2. 車両諸元

現状ではプラグインハイブリッド車の市販モデルは存在しないので、車両重量や走行抵抗などの諸元を仮定した。車両のサイズについては、ハイブリッド車としては最も一般的な中型のサイズとした。表1に車両の諸元を示す。走行抵抗は図4の特性を用いた。また加速度には図3に示すJC08モードの時間微分値を用いた。なお、プラグイン走行においてはエンジンを利用せず、電力のみで走行(AER = All Electric Range)する制御を前提とした。

次に計算における簡略化について述べる。式(1)で得られた仕事量を電力に換算するが、バッテリーモーター間の電機効率を90%、モーター車軸間の機械効率を90%のようにそれぞれ仮定した。さらに計算では、バッテリー電圧を180V一定とした。また、回生については、減速トルクに比例する電力を回生するものとした。

なおバッテリーの内部抵抗があることや、モーター駆動回路の平滑コンデンサでは取りきれないリップル電流がバッテリー電流として重畳されることにより、実際の回路と今回の計算の間には差が生じる。これについ

表1 仮定した車両の諸元

質量	1500kg
バッテリー電圧	180V (一定)
バッテリー容量	15Ah

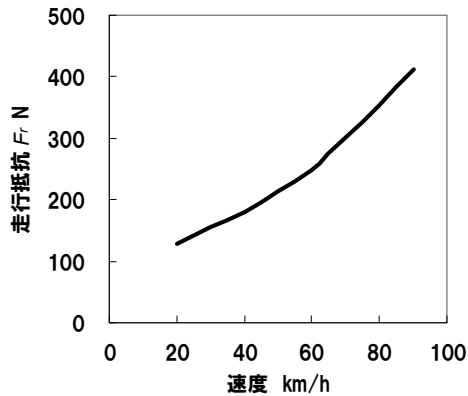


図4 仮定した車両の走行抵抗

では今後の実車の測定結果を得た時点で検討する必要がある。

4. 3. バッテリー劣化試験

4. 3. 1. 供試バッテリーの選択

現状では、車載用の大容量バッテリーとしてニッケル水素バッテリーやリチウムイオンバッテリーが考えられる。また電気二重層キャパシタも重量車などに利用されている。そこで、これらを比較するためにエネルギー密度、出力密度を軸として図5に整理した。

図5において、電力により長距離を走行できれば、その分 CO₂ 排出量の低減に貢献できることから、今回は横軸方向にポテンシャルのあるリチウムイオンバッテリーを供試体とすることにした。

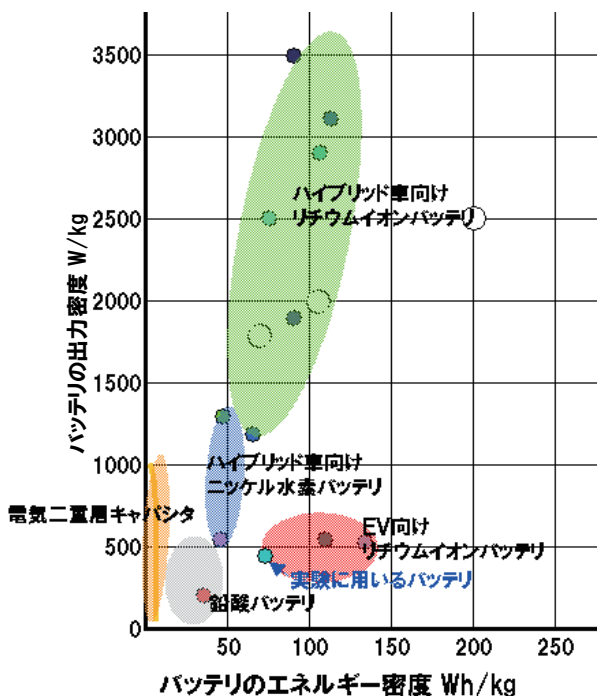


図5 各種バッテリーのエネルギーおよび出力密度⁽²⁾

4. 3. 2. 供試バッテリーの諸元

図2に示したように、プラグインハイブリッド車では、ハイブリッド車と比較してバッテリーを広範囲の

SOC で繰り返し使用することになるため、これに対する耐性が必要である。

リチウムイオンバッテリーでは、充電時にリチウムイオンが負極表面材料に充填されるが、この際に電極表面材料の膨張が生じる。この膨張度合いは図6に示したように負極の材料の種類により異なる。

図6から、他の合金系負極表面材料に比べてカーボンでは膨張の度合いが低く、広範囲のSOCでの繰り返し使用には比較的耐性があるものと予想される。

そこで供試バッテリーとして、負極はカーボンを主体とする材料(LiC₆)、正極はスピネル型結晶構造のマンガン酸リチウムという構成のバッテリーを用いることにした。表2にこの供試バッテリーの諸元を示した。

4. 3. 3. バッテリー劣化試験方法

図7には実験回路を示す。バッテリー充放電装置(高砂製作所製)の最大電圧および最大電流は60V、700Aである。充放電立ち上げ/立ち下げ時間は(設定値の10~90%において)2msであり、車載バッテリーの充放電電力の再現には十分である。

またバッテリーはJEVS D708⁽⁴⁾を参考に、標準温度である25°Cの環境が得られるように恒温槽(エスペック社製WU-200)の内部に設置する。以上の実験装置を用い、計算で得られたバッテリーの充放電電流波形を再現するようバッテリー充放電装置をプログラムし、バッテリーに繰り返し負荷をかけ、バッテリー容量の変化を測定する。

表2 供試バッテリー(1セル)の諸元

容量	15Ah
体積	0.36L
重量	0.91kg
エネルギー密度	73Wh/kg
出力密度	470W/kg
許容電流	200A

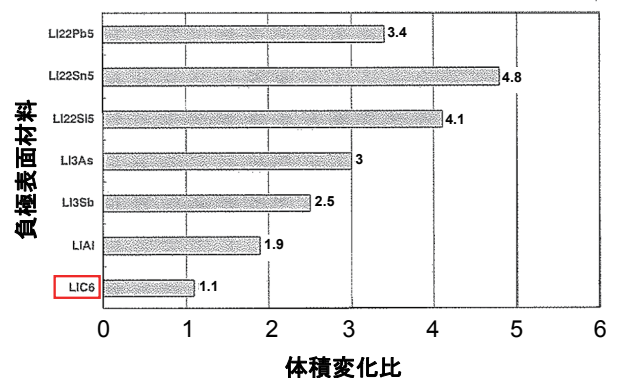


図6 各負極表面材料のリチウムイオンの充填による体積変化比(数値=充填後/充填前)⁽³⁾

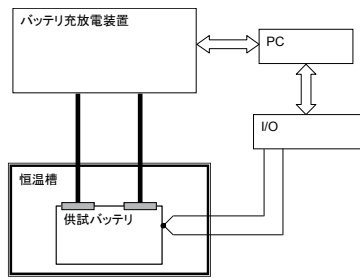


図7 バッテリー劣化試験回路

5. 結果

現在バッテリーの劣化試験については準備中であるため、ここでは計算結果についてのみ述べる。

図8に、車速の変化および、計算で得られたバッテリー電流の波形とバッテリーのSOCの変化を示した。たとえば、バッテリーSOCの上限と下限の20%は電池の保護のため使用しないとすると、充電によりSOCを80%まで上げた後、プラグイン走行を開始し、SOCが20%下回らないようにハイブリッド走行へと移行する。ハイブリッド走行において、バッテリーの充放電を ΔSOC が $\pm 10\%$ の範囲で管理するとすれば、結局SOCが80%から30%になるまでプラグイン走行できることになり、距離としては15km程度、JC08を単位とすると1.8回分相当のプラグイン走行になる。この数値の妥当性を評価するには、実車と比較することが望ましいが、現状では比較できる車両がない。

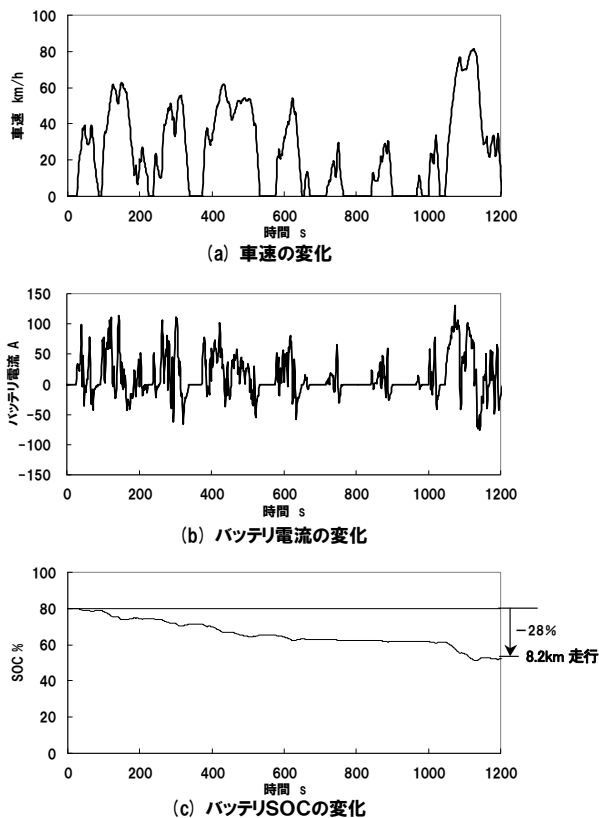


図8 JC08における車速、電流、SOCの変化

そこで、この数値がプラグイン走行距離として意味を持つかを検討するために、市場の平均トリップ距離の統計データと比較することにした。

首都圏での自動車ユーザーの1回あたりの平均走行距離(平均トリップ距離)の調査によれば平均トリップ距離が9.5kmという結果⁽⁵⁾がある。この数値と比較して今回の計算結果である15kmは平均トリップ距離をカバーでき、また実現性を考えても不合理なほど長い距離でもない。このことから、今回の結果はプラグインハイブリッド車のバッテリー劣化試験のための充放電パターンとして有用と考えられる。

6. 結論

プラグインハイブリッド車という、従来の化石燃料に加え外部からの電気エネルギーも活用できる新しいカテゴリーの自動車に対し、

- ・ 新たな排ガス・燃費測定方法の確立
- ・ 主要部品、特にバッテリーの劣化が排ガス・燃費に与える影響度の把握

を主眼に研究を進めている。

今回は、特に後者に関する取り組みのために、プラグインハイブリッド車に搭載されるバッテリーがどのような負荷を経験するかを計算により求めた。本稿に示した結果はバッテリー劣化試験のための負荷パターンとして有用と判断した。

7. 今後について

バッテリー劣化実験系を立ち上げ、今回計算したプラグインハイブリッド車のバッテリー充放電電流波形に基づいた劣化特性を得る。さらに、バッテリーの劣化が外部電力による走行距離、排ガスおよび燃費にどのように影響を及ぼすのか、検討していく予定である。

8. 参考文献

- (1) 市村雅弘, 小型リチウムイオン電池の寿命特性, 電子情報通信学会 (2005)
- (2) 嶋田幹也, 高耐久形高容量・高出力リチウム二次電池の研究開発, 次世代自動車用高性能蓄電池システム技術開発成果報告会予稿集 (NEDO) (2008)
- (3) 辰巳国昭, 次世代蓄電技術の課題と方向性, 自動車技術会夏季大会講演資料集 (2008)
- (4) 日本電動車両協会規格, JEVS D708 電気自動車用密閉型ニッケル・水素電池の寿命試験方法 (1999)
- (5) 財団法人省エネルギーセンター, 平成13年度新エネルギー等導入促進基礎調査(アイドリングストップ走行調査) 報告書 (2002)