

# ハイブリッド電気自動車の 排出ガス、燃費計測方法に関する一考察

環境研究領域  
元環境研究領域

林田 守正 成澤 和幸  
鄭 四発

## 1. まえがき

ハイブリッド電気自動車は従来のガソリン車と異なり、主に駆動用電気エネルギーの一時的な蓄積に使用される大容量の二次電池等(以下、「主電池」という。)を搭載している。したがって運転の前後で主電池の内部エネルギーが増減する場合は、エンジン仕事量はその影響を受け、燃費や排出ガスの測定値が見掛け上増加したり減少したりすることが予想される<sup>(1)(2)</sup>。本報告では、様々な加減速パターン運転において主電池の電流収支が排出ガス・燃費測定値に及ぼす影響を調べ、ハイブリッド車の的確な評価を行うためにその影響を回避する二つの方法について考察した。

## 2. 実験装置および実験条件

### 2.1. 供試車両と測定装置

図1に、実験装置の概要を示す。供試車両は最大出力53kWのガソリンエンジンと最高出力40kWの電気モータを有するシリーズ/パラレルハイブリッド電気動力方式の小型乗用車である。四輪シャシダイナモメータ上に供試車両を設置し、路上走行と等価な負荷を与えて台上運転を行った。車両前方には車速比例送風機を置き、車速に応じた風速により送風した。

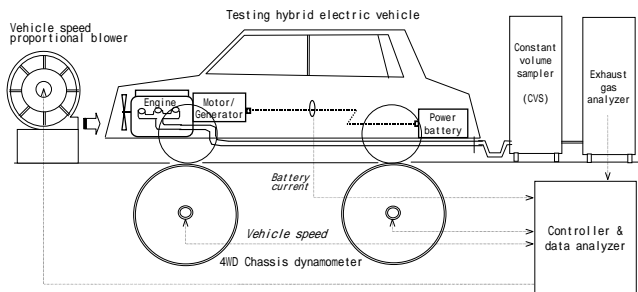


図1 シャシダイナモメータによる実車実験装置の構成

エンジンからの排気は排気管からCVSに導き、希釈して一部をバッグにサンプリングし、分析計によって一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、窒素酸化物

(NOx)および二酸化炭素(CO2)の排出ガス成分の濃度を測定した。CO等の排出量は濃度等のデータを演算して求め、燃費はそれら排出ガス排出量の計測値からカーボンバランス法により求めた<sup>(3)</sup>。供試車両の主電池の出入電流はクランプ式積算電力計で連続測定し、正負(放電側を正と定義する)別に積分して、電流収支(Ah、アンペア・アワー)を算出した。

### 2.2. 運転条件

車速パターンとしては、「10・15モード」<sup>(3)</sup>の他に、平成20年度から一部導入予定の「シャシベース用新試験モード」、および当研究所が路上走行実験により得た渋滞走行から高速走行までの三種類の実走行パターンを使用した。それらを図2～図6に示す。

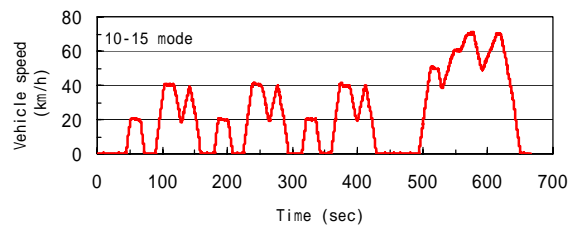


図2 10・15モード

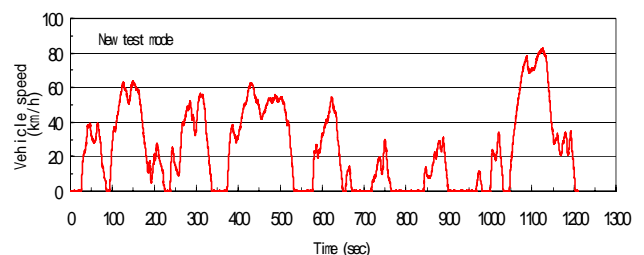


図3 シャシベース用の新試験モード

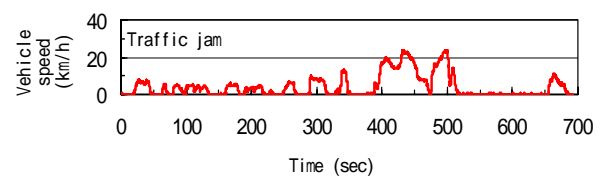


図4 渋滞走行パターン

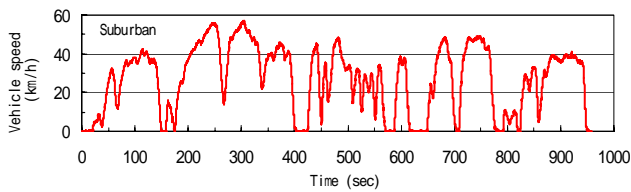


図5 郊外走行パターン

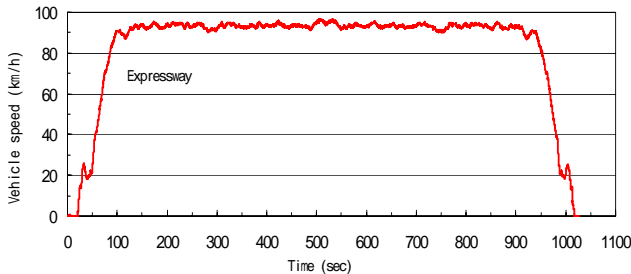


図6 高速走行パターン

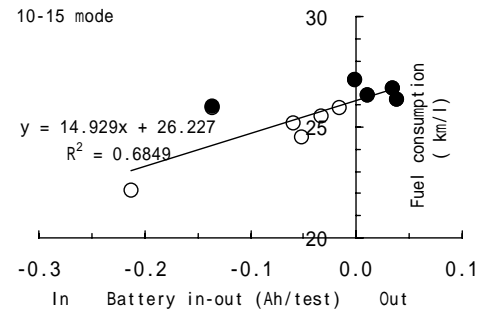
供試車両の初期条件としては以下の二通りを設定した。測定前に 60km/h・15 分間の暖機運転、およびダミーの 15 モード運転 1 回 (10・15 モードのみ) を行う場合<sup>(3)</sup>を「予備運転有」と定義した。これに対し、前の測定終了直後などで車両やダイナモメータが適当な暖機状態にあれば前述の暖機運転等を省略する場合を「予備運転無」と定義した。

### 3. 実験結果および考察

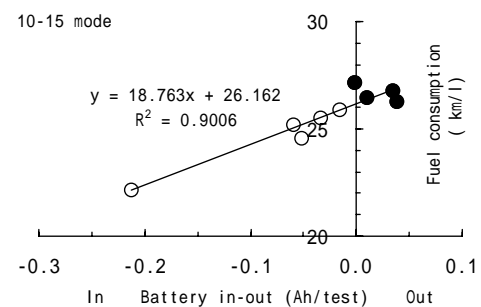
#### 3.1 10・15 モード運転における電流収支と燃費

一般的に、ハイブリッド電気自動車においては、運転の前後を通じた主電池の電流収支が正、すなわち主電池内部エネルギーの一部が運転に利用された場合は燃費が見掛け上向上し、主電池の電流収支が負、すなわちエンジン出力の一部が主電池充電に使われた場合は逆の傾向が現れることが予想される<sup>(1)(2)</sup>。そこで、まず電流収支と燃費測定値の相関性を調べた。図7に、供試車両で 10・15 モード運転を繰り返した場合の電流収支 (Ah) と燃費測定値 (km/liter) の相関性を示す。(a)は、予備運転有/無の全測定値をプロットしたものであり、電流収支と燃費は正の相関を示すが、相関係数はあまり高くない。(b)は(a)の結果から、最小自乗法で求めた一次回帰直線を大きく離れた一点(予備運転有)を特異値として除外したもので、電流積算値と燃費の相関係数は  $R^2=0.9006$  と高い値を示し、回帰式の傾きも二割以上大きくなる。(c)は予備運転有りの測定値のみをプロットしたもので、燃費は電流積算値に関わらずほぼ一定の値を示す。(d)は(c)からその回帰直線を外れた一点を除外したもの

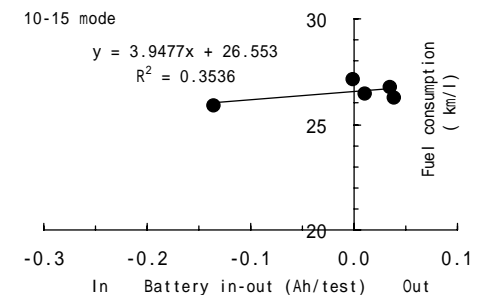
で、相関係数は大幅に向上する。このように電流収支と燃費の相関係数ならびに回帰式は、同一の運転パターンにおいても、予備運転の有無や測定点数の採り方によって大幅に変わることが明らかになった。



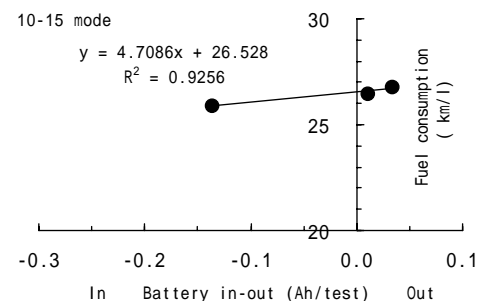
(a) 全測定値による回帰



(b) 全測定値から一点を除外した場合



(c) 予備運転有りの測定値のみによる回帰



(d) 予備運転有りの測定値から二点を除外した場合

図7 10・15 モード運転における電流収支と燃費測定値の相関

(○ : 予備運転有      ● : 予備運転無)

#### 3.2 電流収支に基づく燃費測定値の補正

燃費測定値と電流収支の相関性が高い場合は、燃費測定値を一次回帰式に基づいて電流収支ゼロ相当の値に補正する手法が考えられている<sup>(1)(2)</sup>。数点の測定値全てから一つの代表値を求める場合は回帰直線のy切片を採ればよいが、本報では認証試験等の場合を考慮して一点の測定値を既知の回帰式の傾きに従って補正することを想定し、次式を補正式とした。

$$FC_{CORR} = FC_{MEAS} - K \cdot C_{MB} \dots (1)$$

但し、 $FC_{CORR}$  は燃費補正值 (km/liter)、 $FC_{MEAS}$  は燃費測定値 (km/liter)、 $K$  は回帰式の傾き、 $C_{MB}$  は電流収支 (Ah) である。図 8 に、10・15 モード運転における補正無しの燃費測定値 (予備運転有) と、その補正值を比較して示す。補正無しの場合、燃費測定値五点の最大値と最小値の間には 4 % 程度の差が生じる。図 4 (b) の回帰式 (傾き : 18.763) に従って測定値四点を補正した場合、補正值はさらにバラツキが大きくなる。しかし図 7 (d) の回帰式 (傾き : 4.7086) に従って三点を補正した場合、それらの値はほぼ等しい。このように、測定値を補正するか否か、また補正する場合は回帰式の y 切片や傾きによって計測値は異なってくる。したがって回帰式を導くため測定を数回繰り返すに当たっては、予備運転条件や測定点数、補正の採否を決める相関係数のしきい値 (例えば 0.9 以上) 等を予め明確にしておく必要があると考えられる。

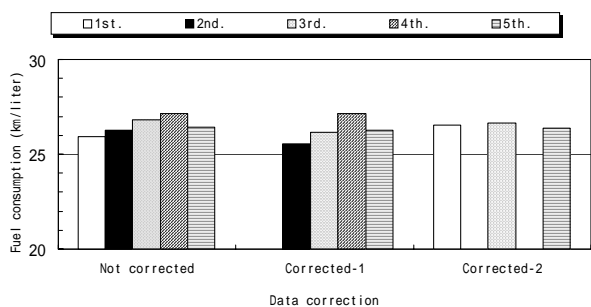
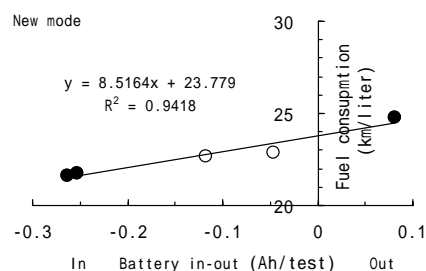


図 8 補正の有無による燃費計測値の差異 (10・15モード)

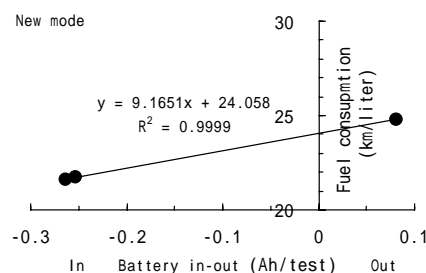
### 3.3 各種パターン運転における電流収支と燃費

図 9 に、新試験モード運転を繰り返した場合の電流収支と燃費測定値を示す。(a)は、予備運転有り/無しの全ての測定値を示したものであり、(b)は予備運転無の点を除外したもので、ともに非常に高い相関性を示し、特に後者での相関係数はほぼ 1 に近い値である。図 10 に、上記の新試験モード運転における予備運転有りの燃費測定値を、そのまま計測値として採用した場合と、図 9 (b) の一次回帰式 (傾き : 9.1651)

にしたがって補正した場合とを比較して示す。補正值は測定値に対し最大 10% 程度増減する。三点の補正前の測定値では、最大値と最小値の間に約 13% の差が生じているが、補正後の値はほぼ等しい値を示す。



(a) 全測定値による回帰



(b) 予備運転有りの測定値のみによる回帰

図 9 新試験モード運転における電流収支と燃費測定値の相関 ( : 予備運転有 : 予備運転無)

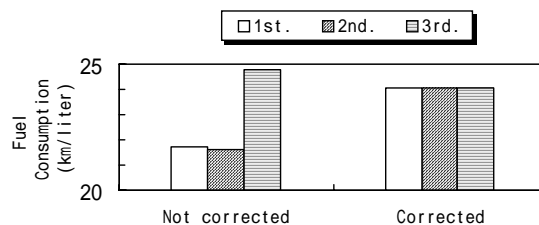


図 10 補正の有無による燃費計測値の差異 (新試験モード)

図 11 ~ 図 13 に、渋滞、郊外、高速の各実走行パターン運転を繰り返した場合の、主電池電流収支と燃費測定値を示す。

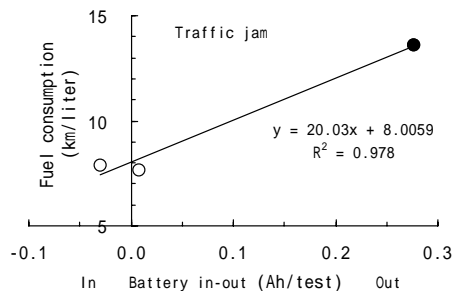


図 11 渋滞運転における電流収支と燃費測定値の相関 ( : 予備運転有 : 予備運転無)

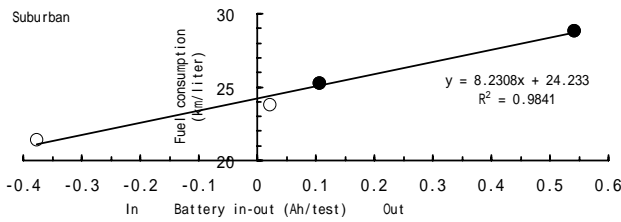


図 12 郊外パターン運転における電流収支と燃費測定値の相関  
(● : 予備運転有 ○ : 予備運転無)

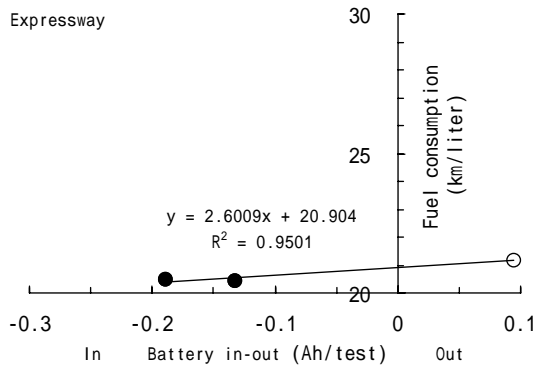


図 13 高速パターン運転における電流収支と燃費測定値の相関  
(● : 予備運転有 ○ : 予備運転無)

郊外パターンやパターンでは 10・15 モードの場合よりも電流収支の幅が大きくなっているが、いずれも予備運転の有無を含めた電流収支と燃費測定値は高い正の相関性 ( $R^2 > 0.9$ ) を示しており、一次回帰式による補正の対象となると考えられる。

### 3.4 相対的な主電池エネルギー変化の限定について

一方、パターン運転前後の主電池内部エネルギー変化が、エンジンが消費した燃料のエネルギーに対して十分小さければ、燃費測定値をそのまま計測値として採用するという方法も考えられている<sup>(4)</sup>。ここでは、主電池の出入エネルギー相対値を次式で定義する。

$$SOC = E_{FUEL} / (C_{MB} \times V_{MB}) \dots (2)$$

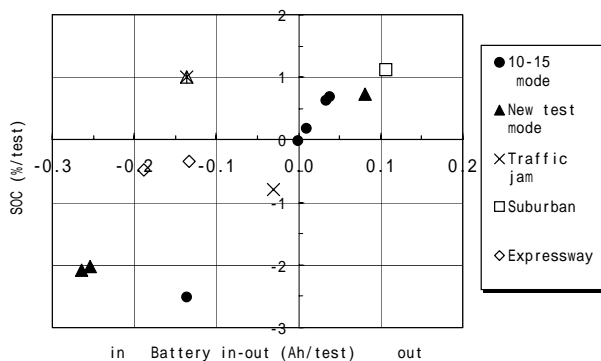


図 14 パターン運転時の電流収支と出入エネルギー相対値(予備運転有)

但し、SOC は出入エネルギー相対値(%),  $E_{FUEL}$  はエンジンが消費した燃料のエネルギー(kWh),  $C_{MB}$  は電流収支(Ah),  $V_{MB}$  は主電池公称電圧(V)である。

図 14 に、各種パターン運転時の主電池の電流収支と出入エネルギー相対値を、予備運転有りの全測定値について示す。出入エネルギー相対値はいずれのパターンでも概ね  $\pm 2\%$  以内に収まっている。この結果から、上記の考えに立って、仮に出入エネルギー相対値の許容範囲を  $\pm 2\%$  とし、予備運転を前提とすれば、本実験の供試車両の場合にはどのような運転パターンでも燃費測定値をそのまま計測値として採用し得るものと考えられる。

### 3.5 主電池電流収支とガス排出量測定値の相関

図 15～図 26 に燃費の場合と同様に、各種パターン運転における主電池電流収支と、CO、HC、NOx の排出量測定値の関連について調べた結果を示す。大半の場合、CO 等の有害ガス排出量測定値は主電池電流収支との相関係数は低いため、補正する必要は無いものと考えられる。

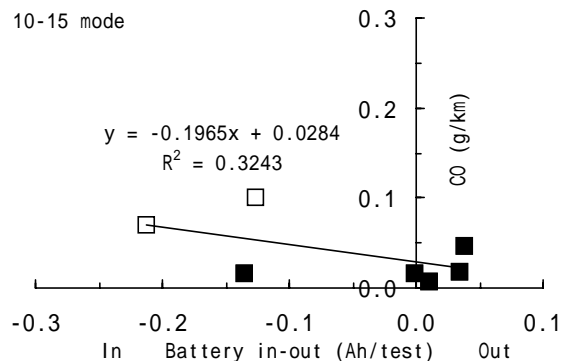


図 15 10・15モード運転における電流収支とCO排出量の相関  
(● : 予備運転有 ○ : 予備運転無)

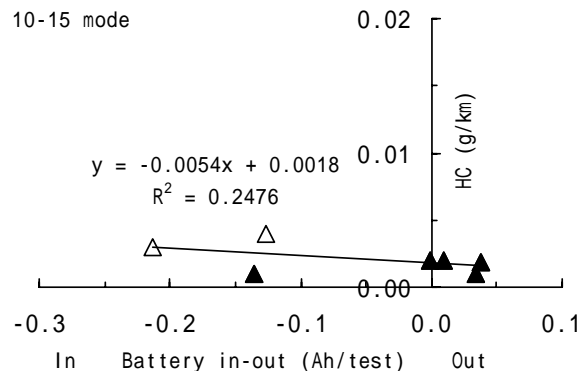


図 16 10・15モード運転における電流収支とHC排出量の相関  
(● : 予備運転有 ○ : 予備運転無)

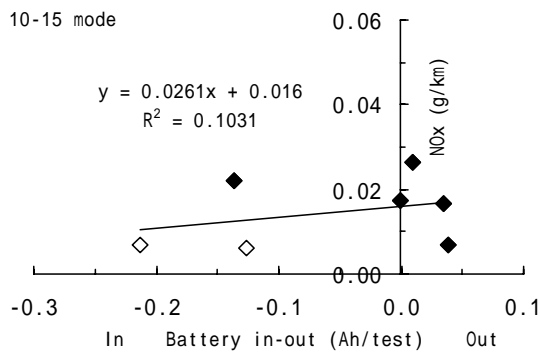


図 17 10・15モード運転における電流収支とNOx排出量の相関  
( : 予備運転有 : 予備運転無)

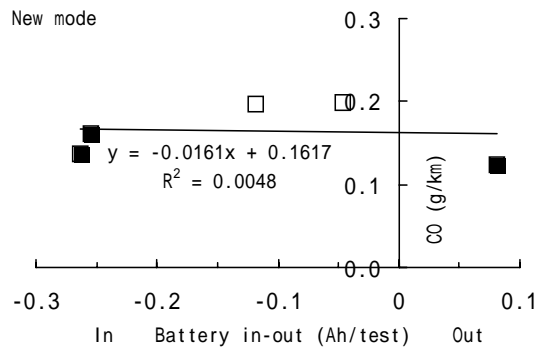


図 18 新試験モード運転における電流収支とCO排出量の相関  
( : 予備運転有 : 予備運転無)

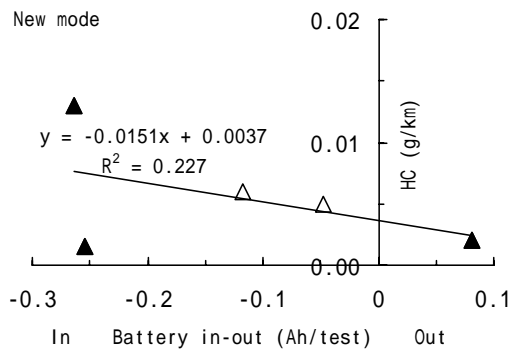


図 19 新試験モード運転における電流収支とHC排出量の相関  
( : 予備運転有 : 予備運転無)

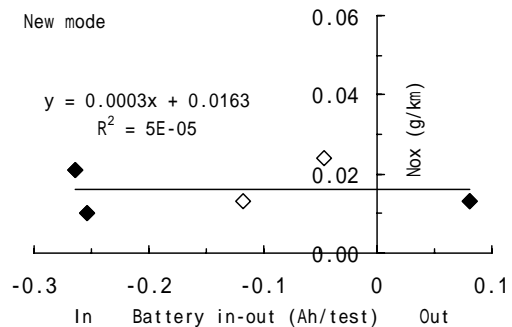


図 20 新試験モード運転における電流収支とNOx排出量の相関  
( : 予備運転有 : 予備運転無)

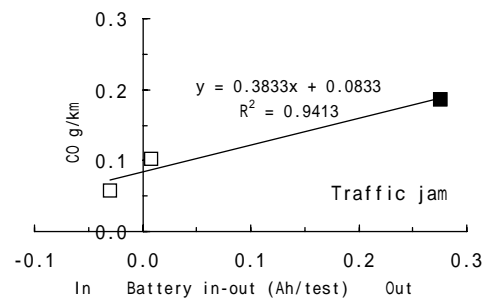


図 21 渋滞パターン運転における電流収支とCO排出量の相関  
( : 予備運転有 : 予備運転無)

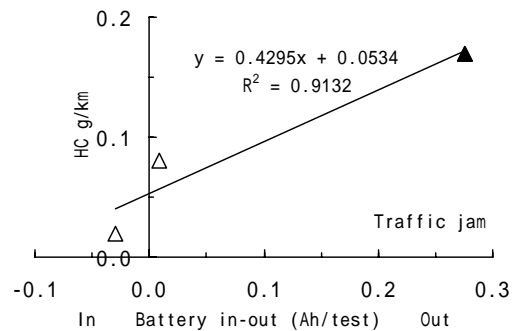


図 22 渋滞パターン運転における電流収支とHC排出量の相関  
( : 予備運転有 : 予備運転無)

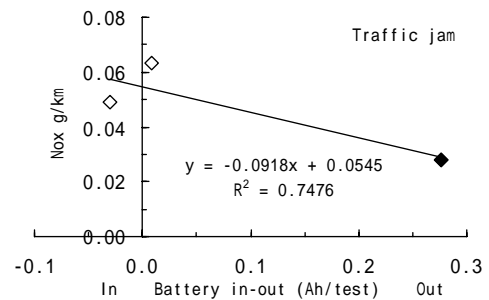


図 23 渋滞パターン運転における電流収支とNOx排出量の相関  
( : 予備運転有 : 予備運転無)

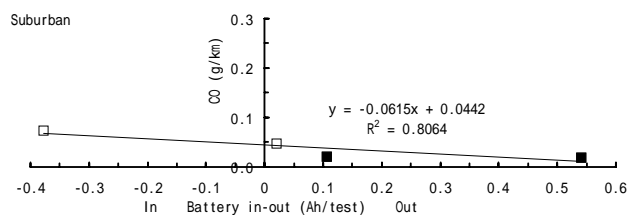


図 24 郊外パターン運転における電流収支とCO排出量の相関  
( : 予備運転有 : 予備運転無)

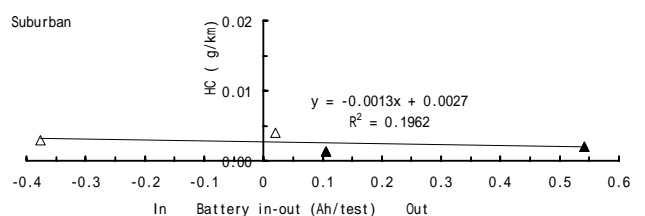


図 25 郊外パターン運転における電流収支とHC排出量の相関  
( : 予備運転有 : 予備運転無)

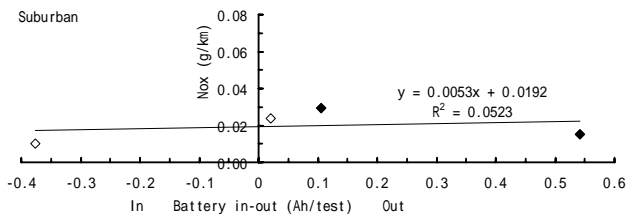


図 26 郊外パターン運転における電流収支と NOx 排出量の相関  
( ◊ : 予備運転有 □ : 予備運転無 )

しかしながら一部では図 21、図 22 の渋滞パターンにおける CO・HC、図 23 の高速パターンにおける NOx 等、相関性が高いケースが散見される。図 21 の渋滞パターンでは、電流収支が正でエンジン仕事量が少ない条件で却って CO 等の排出量が多いが、これはエンジン仕事量よりも始動回数増加による不完全燃焼が大きく影響したためと推定される。このように電流収支とガス排出量測定値の相関性が高いと認められる場合は、その理論的な根拠を十分に考察するとともに、図 7 等に例示したように測定値の点数や予備運転条件の妥当性を検討して、測定値を補正するか否かを判断することが重要であると考えられる。

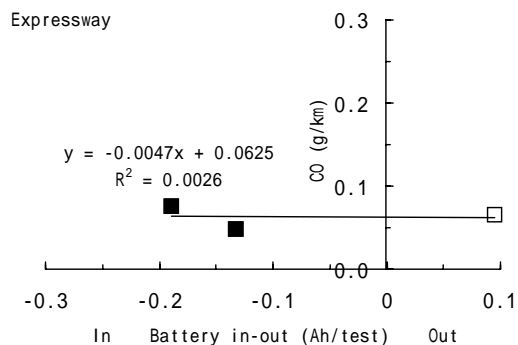


図 27 高速パターン運転における電流収支と CO 排出量の相関  
( ◊ : 予備運転有 □ : 予備運転無 )

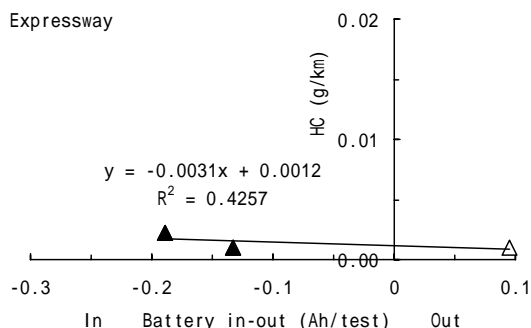


図 28 高速パターン運転における電流収支と HC 排出量の相関  
( ◊ : 予備運転有 ▲ : 予備運転無 )

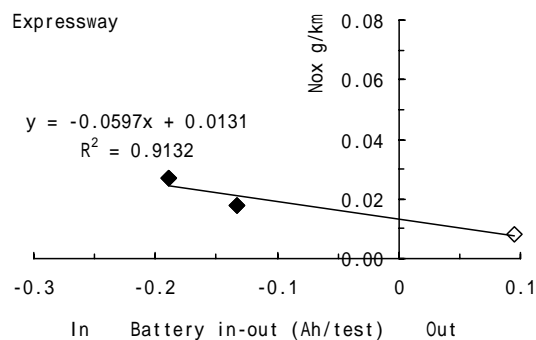


図 29 高速パターン運転における電流収支と NOx 排出量の相関  
( ◊ : 予備運転有 □ : 予備運転無 )

#### 4. まとめ

ハイブリッド電気自動車の台上運転により主電池の電流出入と燃費・排出ガス測定値の相関を調べ、電流収支に左右されずに燃費・排出ガス性能を適切に評価する手法について考察し、以下の結果を得た。

- (1) ハイブリッド電気自動車の加減速パターン運転における主電池電流収支と燃費測定値の相関性は、予備運転の有無やデータの点数によって大幅に変わる。
- (2) 燃費測定値を、主電池電流収支との一次回帰直線に従って補正すると、元の値に対し最大 10% 程度の増減が生じる。補正の有無や回帰式の傾きが計測値に大きな影響を及ぼすので、予め測定点数や予備運転条件、相関係数のしきい値等を明確にする必要がある。
- (3) 主電池出入エネルギー収支の、消費燃料エネルギーに対する比率は概ね 2% 以下である。したがって後者が前者に対し十分小さいことを必要条件として、測定値を補正無しで採用することも可能である。
- (4) CO 等の有害排出ガス測定に関しては、多くの場合、主電池電流収支とガス排出量測定値の相関性は低いため一次回帰直線による補正は必要無い。ただし両者の相関性が高い場合は根拠を考察し、補正の是非を検討する必要がある。

なお、本実験を行うに当たり御協力を頂いた関係各方面の方々に深く謝意を表します。

#### (参考文献)

- (1) 清水、他、「HEV の燃料消費率試験方法(第 2 報)」、自動車技術会学術講演会前刷集 No.2-02、P.5 (2002)
- (2) 森田、他、「ハイブリッド自動車の燃費・排出ガス測定法」、自動車研究第 21 巻第 9 号、P.15 (1999)
- (3) 国土交通省監修、新型自動車審査関係基準集第 7 次改訂版、交文社、P.523、P.1163、P.1614 (2001)
- (4) SAE J1711 Test Procedure (1999)