

B-55 交通需要の地域特性に適合した運輸部門の環境効率向上策とその普及促進策に関する研究
(2) 運輸部門における消費エネルギーの総量の低減手法に関する研究

独立行政法人 産業技術総合研究所

エネルギー利用研究部門 クリーン動力研究グループ 清水 健一、二瓶 光弥、岩月 徹

平成12～14年度合計予算額 13,740千円
(うち平成14年度予算額 4,065千円)

[要旨]	62
1. はじめに	62
2. 研究目的	62
3. 研究の内容と成果	63
3. 1. 従来の燃費試験法の概要と対象とするHEVs	63
(1) 従来の燃費試験法との差違	63
(2) 対象とするハイブリッド車	63
3. 2. 再充電可能エネルギー蓄積要素の影響とその排除方法	64
(1) 再充電可能エネルギー蓄積要素の影響	64
(2) SOC計測の困難度	65
(3) 繰り返し走行による平均値の推測	65
3. 3. SOCの影響の除去方法	66
3. 4. 試験精度に影響を与える要素	67
(1) 試験方法の概要	67
(2) 線形範囲について	67
(3) 試験モードによる△SOCの感度の差	68
(4) 冷間時スタート試験結果のばらつき	69
(5) 車両の模擬機能の利用の是非	71
3. 5. 精度確保方法の検討	73
(1) 手順の概要	73
(2) 使用したデータの収集条件	73
(3) 良好な精度を保証するパラメータについて	74
3. 6. 精度推測方法の検討	75
(1) 誤差についての検討	75
(2) 精度推測手順	75
(3) 処理例	76
(4) 回帰式の検討	76
4. まとめ(本研究で得られた成果)	77
5. 引用文献	77
6. 国際共同研究等の状況	77
7. 研究成果の発表状況	77
8. 成果の政策的な寄与・貢献について	79

[要旨]

ハイブリッド自動車は従来の内燃機関自動車の概ね2倍の燃費が確保できることから、開発と普及が盛んで、短期の高効率車両として期待されている。運輸部門でのこれら新種高効率車両の消費エネルギー削減量を検討するために、そのエネルギー効率を他の一般車両と同じスケールで精度よく評価できる、汎用性の高い燃費評価基準が必須である。

ハイブリッドEVのエネルギー効率を評価する場合、一般の内燃機関自動車と比較する意味で、一般の内燃機関自動車と同様のモード燃費試験を行うことが必要となる。しかし、ハイブリッドEVにはエネルギー蓄積要素としてモーター駆動用のバッテリーがあり、燃料と電気エネルギーの双方で走行することから、試験時の燃料消費量から燃費を推計するためには、試験前後で電池のエネルギー状態が同一であることが条件となる。そこで電池の状態変化をキャンセルする三つの方法のうちから、複数回の燃費試験結果から電池の状態変化がゼロの際の燃費を推測する方法について、市販のハイブリッド車を用いて詳細な検討を行った。

その結果、電池の状態変化と燃費が比例状態にある範囲の検定方法、電池の電気量変化の測定精度と試験の総合精度の確認方法等、試験精度を大きく左右する要素を把握することができた。

また、米国規格の、始動直後の燃費を評価するいわゆる「コールドスタート燃費試験」では、冷えた状態で一回だけしか試験ができないため、複数回の試験を実施することがきわめて困難であるが、この際の一つ一つの試験の精度が温間時のデータより大幅に悪化することが判明した。この精度悪化の原因が車両状態が変化することにあることを確認し、データ処理を工夫することで温間時に近い精度を確保できることを確認した。

[キーワード] 燃料消費率、ハイブリッド車、燃費試験法、エネルギー蓄積用電池、モード燃費

1. はじめに

地球温暖化防止の一環として、全エネルギー消費量の2割近くを占める自動車の省エネルギー化が世界的な課題となっており、都市内走行時の低公害性と高効率性の確保が可能で、かつ、電気自動車のような一充電走行距離の制約がないハイブリッド電気自動車 (Hybrid Electric Vehicles、HEVs) の開発が盛んになっている。究極の無公害・高効率車両と目されている燃料電池車 (Fuel Cell Electric Vehicles、FCEVs) も、燃料電池の内部抵抗が大きいので大出力域で効率が悪化する欠点があり、自動車の全出力域を燃料電池のみでカバーするのが不利であることと、燃料電池には回生できないことの2点から、現状ではハイブリッド技術の併用が必須とみられている。

このような背景から、HEVsの技術は都市内走行車両用として重要なものとなると考えられている。HEVsの燃費試験法や排ガス試験法は、これらの低公害・高効率車両の普及を図る上で重要であり、現在、ISOや国連の認証関連機関での検討が行われている。

2. 研究目的

ハイブリッドEVのエネルギー効率を一般の内燃機関自動車に準じた方法で評価するための試験基準を作成するために、現在、ISOで検討中の3方法の中から、それらの基本になる線形回帰法を

中心に、その精度を左右する要素や、車両の形式による問題点等を、市販車両を用いて明らかにする。特に、エネルギー蓄積要素の影響を除去する具体的な手段と、現実には少数回のモード試験のみから、得られた個々のデータの信頼度と採用／排除基準、及びそれらから得られた結果の総合精度の把握方法を明らかにする。

3. 研究の内容と成果

3. 1. 従来の燃費試験法の概要と対象とするHEVs

(1) 従来の燃費試験法との差違

一般の内燃機関自動車 (Internal Combustion Engine Vehicles、ICEVs) の燃費試験は、シャシーダイナモメータ (CHassis DYnamometer、CHDY) 上で都市内走行を模擬したモード走行試験を行い、少数回のモード走行試験の試験結果から求められる。これに対し、電気自動車は電池の状態によって特性が変化することと、一回の充電で走行できる距離が大きな評価関数であることから、一充電走行距離試験 (満充電状態から走行不能に至るまでモード走行を繰り返し、一回の充電で走行可能な距離を求める) を実施し、試験後に再度満充電状態にするのに要した電力量と一充電走行距離から、平均的な電力消費率を求める方法が採られている。この方法は試験に長時間を要することが問題であったが、特に最近の高性能電池の出現によってこの問題がいっそう顕著になっている。

内燃機関は低出力域で効率が大幅に低下する傾向があり、HEVsはこの低出力域で内燃機関に代わって、効率が高い電動機／発電機を使用することによってこの低下を改善するものである。すなわち、内燃機関を効率の良い範囲で運転し、その余剰電力や制動時の回生エネルギーを一時蓄積し必要時に電動機駆動用エネルギーとして使用するもので、このためのエネルギー蓄積要素 (電池、ウルトラキャパシタ等) が必須となっている。

このように、HEVsが従来のICEVsと異なる要素や設計思想に基づく部分が多いため、HEVsをICEVsの試験法に準じた試験で評価するにはいくつかの問題がある。主な課題は、次の2点である。

- ・) エネルギー蓄積要素とのエネルギー授受の影響で、単純に燃料消費量を測定できないこと
- ・) 従来のICEVsの試験では無視できたが、HEVsでは無視できない要素が多いこと

ここでは、・)に関するものを中心に検討する。

(2) 対象とするハイブリッド車

表1はパワートレインの構成と外部充電の可否、純粋な電気自動車モードでの走行可能距離の大小などによって車両を分類したものである。ハイブリッド自動車としては種々の形式のものが考えられるが、燃費試験の観点からは、電気自動車と同様に、①外部充電が可能なものであるか、② (燃料補給だけが可能で) 外部充電が不可能 (不要) なものであるかが重要である。

前者は、一回の充電で走行可能な距離 (一充電走行距離) を求める試験を行い、その際消費した燃料量と、電気自動車に準じて満充電に要した電力量を求める方法が検討されている。これに対し、後者は電池の充電状態に変化がない状態での燃料消費量を求める、一般のガソリン車と同等の試験法が検討されている。

本報告では、現時点で市販車として実際に使用されているハイブリッド電気自動車のほぼ100%を占める、後者の外部充電不可能なものについて検討する。

Table 1. Vehicle Category Classified by Power Train Configurations

Pure EV	Hybrid Vehicles				Thermal Engine
	EV + Extender	Charge capable HEV	Not charge capable HEV	Thermal Engine + Booster	
Off vehicle charge capable			Not off vehicle charge capable		
Pure EV operation for urban & high way		Pure EV operation for urban		Not Pure EV operation	

3. 2. 再充電可能エネルギー蓄積要素の影響とその排除方法

(1) 再充電可能エネルギー蓄積要素の影響

HEVsには、電動機と内燃機関の双方を通過するエネルギーパスがあり、再充電可能エネルギー蓄積要素 (Re-chargeable Energy Storage System、RESS) はエネルギーの一時的なバッファーとして使用される。

電池のSOC(State Of Charge)と燃料残量が図1に示すような状態から試験を開始し、試験終了時の両者の状態が同図のa)、b)、c)

の3ケースの場合を考えてみる。a)は試験終了時に電池のSOCが上昇しており、燃料が充電にも使用されている。一方、c)はSOCが低下しており、電池に蓄積されたエネルギーも使用して走行していることになる。b)は電池のSOCの変化がなく、燃料だけで走行した場合に相当する。10. 15モード走行時の Δ SOCの変化例を図2に示す。

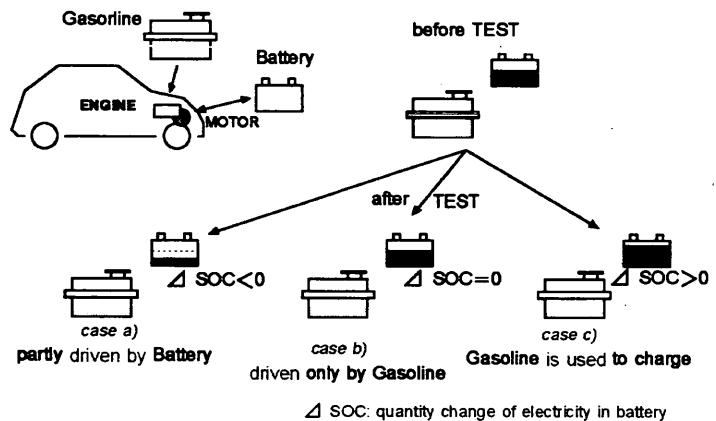


Fig. 1. Status of energy storage system before/after test

したがって、何らかの方法でb)の状態が得られるように電池の初期状態をセットできれば燃費の計測には理

想的であると考えられる (最適な初期条件のセット)。この方法は後述するコールドスタート (冷間時始動) の試験に有効であるが、現実にはそのような初期条件をセットすることは非常に難しい。

RESSの影響を受けない燃費評価が可能なもう一つの方法が満タン法 (燃料タンクがFullの状態「満タン」から、充分長い距離を走行した後、再度満タン状態まで補給した際の燃料の体積を計測し、走行距離とこの補給量から燃料消費率を計算するもの) によるものである。走行距離が充分長い場合は、走行に要した総エネルギーに比べて電池から取り出し得るまたは充電し得るエネルギー量 (電池の動作可能な「最大SOC」マイナス「最小SOC」相当のエネルギー量) が充分小さいため、RESS内エネルギー量の変動の影響は無視できる。しかし、この方法は前述の電気自動車の電力消費率試験と同様、試験時間が非常に長くなるため、実用的でない。したがって、ICEVsと同格の試験を行うためには、少数回のモード走行試験で結果を求めるためにこれとは別の解決方法が必要になる。

(2) SOC計測の困難度

電池の充電状態を把握するためには、電池のSOCの計測が必要となる。しかし、電池のSOC評価は一般的に困難な作業の代表の一つに数えられており、HEVsの場合はさらに難しい要素がある。HEVsでは電池の充放電の繰り返し回数が非常に大きいため、充放電サイクル寿命を一般のEVsなどのそれに比べて飛躍的に向上させる必要がある。そのため、比較的浅い部分充放電（50～60%のSOCの範囲で充放電を繰り返す例が多い）を行っている。

したがって、SOCの把握には10%以下のSOCを精度良く計る必要が生じ、SOCを如何に精度よく測定するかが、一つの課題になる。SOCの計測は、一般的には充放電時の電流値を時間積分することで電気量の変化を把握する方法が採られている。この方法は、充放電時の効率が100%であることを前提としており、さらに鉛酸電池で顕著な、放電電流の大きさによって取り出しうる電気量に差が生じる現象も無視している。

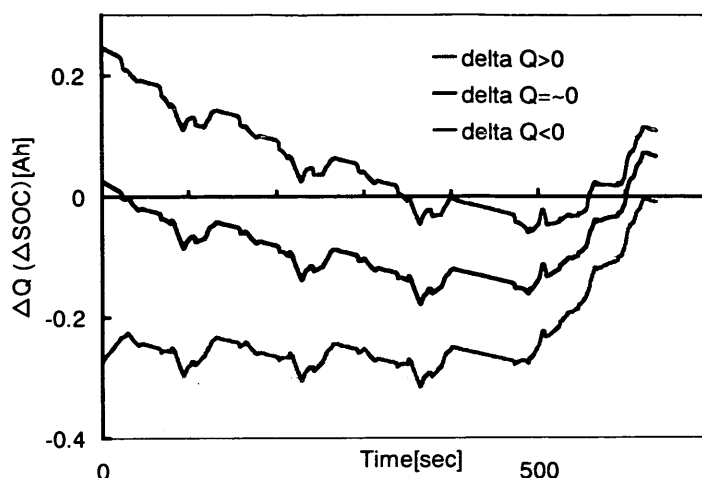


Fig. 2 SOC Variations during 10.15 mode tests

(3) 繰り返し走行による平均値の推測

図3は、10・15モードで繰り返し走行した際の試験前後のSOC変化分（ ΔSOC ）と、燃料消費率の履歴である。 ΔSOC 、燃料消費率とともに走行回数とともに一定の値に漸近している。しかし、 ΔSOC はゼロに漸近するのではなく、わずかに充電側の値に漸近している。これは供試電池システムの電池電流として、物理的な制約からシステム内の電池管理システムで消費される電流を除外したものしか測定できないことが主因で、電池システムのエネルギー効率が100%とならないためと考えられる。

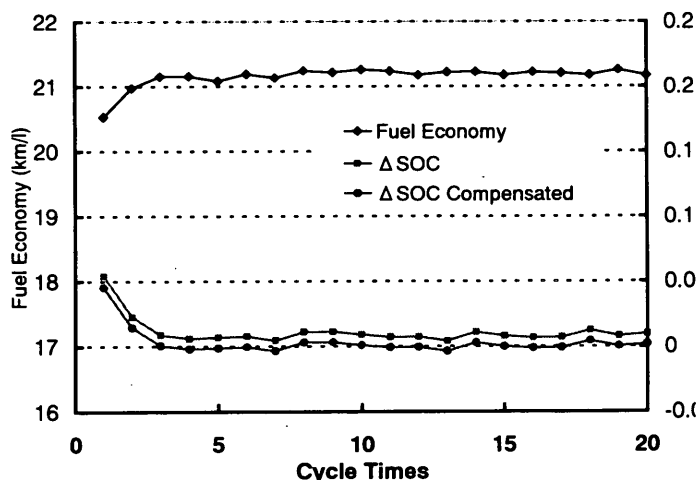


Fig. 3 Effect of charging efficiency

そこで、前述の繰り返し走行試験時の充電電気量と放電電気量の比で充放電効率を求めた。その結果、試験に使用した供試車両の充放電効率は通常98%程度であった。充電した電気量のうち、この効率に相当する分が実際に出力

として取り出しうる電力量であるので、積算する際の充電電流をこの効率で補正すれば、常に取り出しうる電気量で把握していることになる。図3の充電時の電流値にこの補正をして再計算したものは同図中に破線で示すとおり・SOCがゼロに漸近していることがわかる。したがって、試験終了時のSOCの把握に当たっては、充放電効率による補正が不可欠であることがわかる。

電池システム内で電池管理システム等電池システムそのもののために消費される電流がある例が多いので、電池システムユニットの外側ではこの電流を含んだ電池の実際の充放電電流が把握出来ない例が多い。電池の状態を把握するにはこの電流を含んだ充放電電流を測定する必要がある。電池システム内の活線で測定することが好ましい。(一般は、電池を高圧側低圧側の二つのブロックに分け、これらのブロック間をつなぐサービスプラグを車両の整備時に取り外すことで電池を無効にする方法が採られている。このサービスプラグの位置は電池システム内で消費される電流も含んだ電流が測定できるので、この部分で電池電流を測定出来れば、前述の不都合は解消できる。しかし、鉛酸電池等、電池の充放電効率そのものが低い電池では、測定位置を考慮しても解決できない。)

供試車両はシリーズハイブリッドシステムとパラレルハイブリッドシステムの双方の動作を行ういわゆる複合型ハイブリッドシステムであるため、エネルギー蓄積電池の充放電は、20%程度の狭いSOCの範囲内を小さな電気量で頻繁に繰り返される。そのため、燃料消費率は比較的短時間に一定値に漸近するので、繰り返し走行時の平均値を推測する方法も実用的と考えられる。

しかし、ハイブリッドシステムの設計によっては、エネルギー蓄積電池が授受する電気量の設定によって、このSOCが一モード走行分に比べて比較的緩やかに変動するものもある。このような場合は、定常状態でも数モードでの平均を取らない限り燃費が安定しないので、安定を確認するには数モードの試験を数組収集するといった多数回のモード走行を繰り返す必要が生じ易い。

したがって、実用的に許容できる回数モード試験内で漸近度合いの評価を実施し、この範囲で安定した結果が得られない場合は他の方法を採用すべきである。

3. 3. SOCの影響の除去方法

電池の充電状態(SOC)を直接把握することは計測方法そのものが難しいため、試験中の電池の充・放電電流の積分値である電気量変化を、「試験終了時のSOC－試験開始時のSOC」として用いる方法がとられており、本検討でもこの方法を採用し、この電気量変化を $\Delta SOC(Ah)$ と表す。

米国自動車技術会(SAE)で、HEV車が実在しない時点で作成したHEVの燃費試験法規格であるSAE J1711では、 $\Delta SOC \geq 0$ になるように試験開始時の電池状態を調整して試験をすることを規定しており、車両メーカーが申告した仕様を車両が満たしているか否かを確認する認証試験としては妥当であるが、真値を求める試験法としては精度的に疑問点もある²⁾。

これに対して、電池状態が異なる状態で複数回のモード走行試験を実施し、これから得られた複数の「 ΔSOC 、燃費」データの組から燃費の ΔSOC 上の回帰式を求め、これから ΔSOC がゼロでの燃費を求める方法(ここでは、直線回帰法と呼ぶ)が実用的であるとされている。

この方法は次の様に理解できる。モード走行時の車を動かすエネルギーに関して、次式が成り立つ。

$$\alpha E_0 = \alpha E_g + \beta E_e \quad (1)$$

ここで、

α 、 β : ガソリン、電気走行時の平均効率
 E_g 、 E_e : ガソリン、電気の消費エネルギー
 E_0 : ガソリン単独走行時の消費エネルギー

ここで、ガソリンの体積エネルギー密度を γ とし、単独走行時およびガソリン、電気双方で走行時のガソリンの消費量を、各々 CF_0 、 CF_m とすれば、(1)式は、

$$\alpha \gamma CF_0 = \alpha \gamma CF_m + \beta E_e \quad (2)$$

この両辺を走行距離 L で除し、対応する燃料消費率 FC_0 、 FC_m と電力消費率 $PCM(m:measured)$ を導入すれば、式(2)は、

$$\alpha \gamma FC_0 = \alpha \gamma FC_m + \beta PCM \quad (3)$$

となり、ハイブリッド走行時の燃費計測値は、

$$FC_m = FC_0 + (\beta / \alpha \gamma) PCM \quad (4)$$

となる。これから、試験時の燃費計測値がガソリン単独走行時の燃費を y 軸切片とする直線上にあり、この直線の傾きが電気、ガソリン走行時の効率比(β / α)に依存することがわかる。

3. 4. 試験精度に影響を与える要素

(1) 試験方法の概要

直線回帰法でHEVsの燃費を求める際の試験精度を左右する要素について検討するため、市販のHEVs(シリーズ/パラレル複合型)を用いて種々の試験を実施した。

試験は四輪駆動車用シャシーダイナモメータをベースにした電気自動車用シャシーダイナモメータ上で行い、車両は通常の使用状態で行った(回生制動、ABS、TRC等は動作可能)。試験温度は25℃とし、最低でも8時間のソーク時間を確保し、モード運転は運転用ロボットによる自動運転で行った。

米国では、より現実の使用条件下に近い状態での燃費を知る意味で、冷間時からのスタート時の燃費や、エアコンディショナ使用時の燃費、異なる走行環境を複合して走行した際の燃費等が求められている。これら種々の要素に対応することを前提に、種々の要素の試験結果への影響度の把握を行う必要がある。この第一ステップとして、温間時の10・15モード試験を車両が通常の状態で行ったのを基準として、冷間スタート試験、LA4モード、車両の整備モードの是非等について検討した。

(2) 線形範囲について

回帰法で求める場合、各組のデータの質が均一であるとともに、適度の範囲にデータが分散している必要がある。したがって、 ΔSOC を変化させる範囲についての検討が必要である。

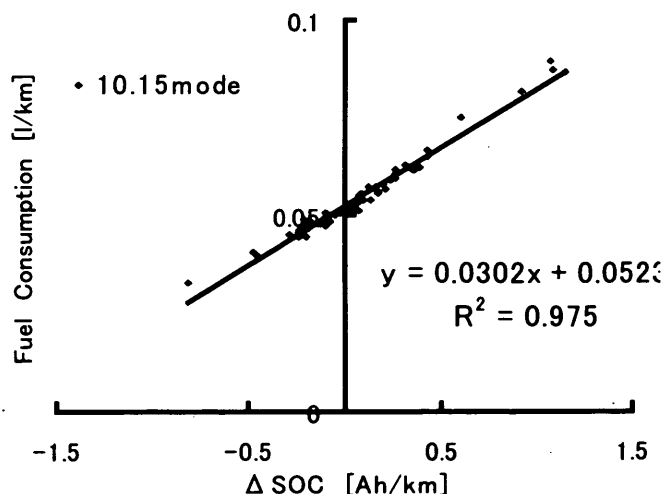


Fig. 4 Linearity of fuel consumption on ΔSOC

図4に、 Δ SOCを比較的大きく変化させた際の試験結果を示す。車両の動作に影響のない範囲で試験開始時の電池状態を放電または充電方向にできるだけ大きく変化させ、ホット状態の車両を10・15モード走行させたものである。

Δ SOCが0.5Ah以上および-0.5Ah以下の範囲では、燃費がより悪くなる方向に偏在している。この原因は過充電時には、本来回生電力を受けるべき時に電池側が受け入れを拒否し、逆に過放電時には、電気量不足のため、電気による適切なアシストを得ることができずに効率が悪化したと考えられる。

したがって試験時の Δ SOCの範囲は、燃費と Δ SOCの直線性が確保できる範囲に限定する必要がある。しかし、この範囲を正しく把握するには多数回の試験を実施する必要がある、現時点では設計者からの情報に頼るのが最適な方法である。今後、この範囲を求める手法についての検討が必要である。

(3)試験モードによる Δ SOCの感度の差
供試走行モードによる試験精度の差を調査するために、10・15モードとLA4モードでの温間時試験を実施した。その結果を図5に示す。

この結果から、 Δ SOCに対する燃費の感度が二つのモードによって大幅に異なることがわかる。申告仕様を認証する試験での精度の確認では、試験前後での Δ SOCが一定の範囲に入っているか否かで試験の成否を決定するが、試験精度を与える Δ SOCがモードによって異なるため、モード毎にこの感度を把握する試験が必須となり試験が煩雑になる。さらに、最終的には試験に使用する測定器の要求精度までがモード固有の値になってしまう不都合が生じる。

この不都合の原因の一つとして、両モードの走行距離に大きな差があることが考えられる。そこで、 Δ SOCに代わって距離で正規化した Δ SOC/L (Ah/km)を導入した。結果は図6に示すとおり、両者の感度に大幅な差はなくなった。この妥当性は式4で確認できる。式4はx軸が電力消費率 $PCm(Wh/km)$ であり、これに対応する走行距離あたりの電気量変化 Δ SOC/Lが妥当

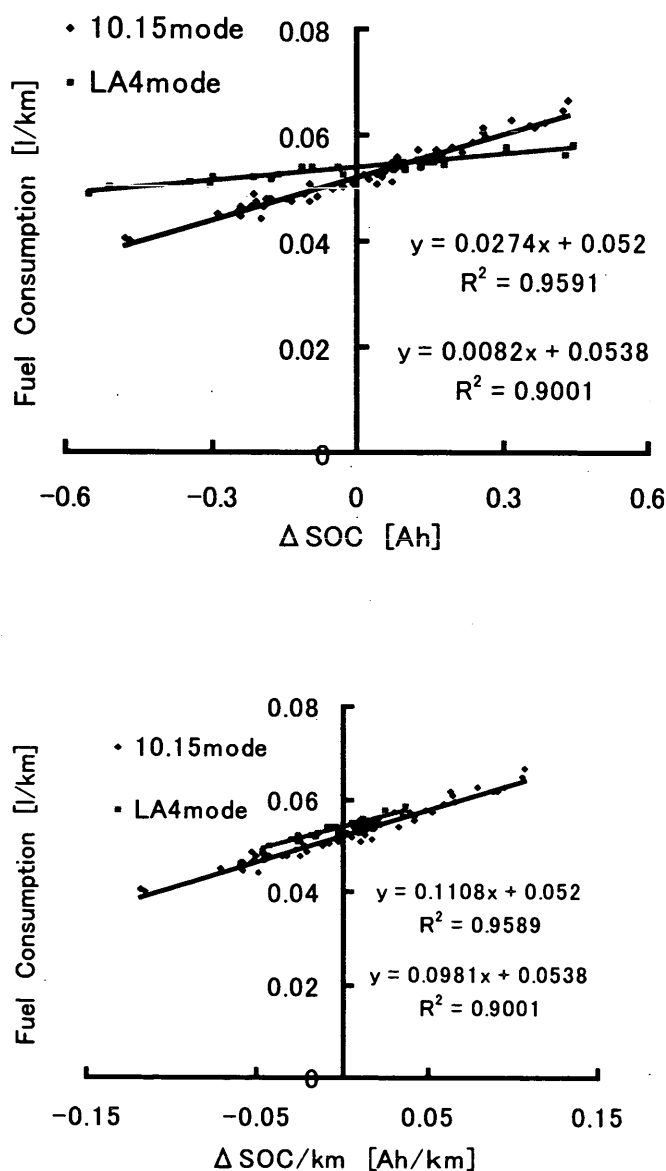


Fig. 6 Effect of normalization of Δ SOC on FC

であることを示している。以下、x軸はこの変数を採用する。

(4) 冷間時スタート試験結果のばらつき

排ガスに関しては、車両が冷えた状態からの使用時の性能が特に重要であるが、利用頻度の極端に少ないユーザには燃費に関しても意味を持つ。

図7に温間時(Hot)と、冷間時スタート時(Cold)の燃費と Δ SOCの相関を示す。①エンジン暖機のためにエンジン効率の悪い範囲でもエンジンを使用していること、②冷間時であるため機械損失が大きいこと、③電池温度がHot時より低いことによる電池効率の低下、などが起因して、Cold時の燃費はHot時よりも悪くなっている。

また、相関を示す決定係数 R^2 の値から、Cold時のデータはHot時のデータと比べて、全体的にばらつきが大きいことがわかる。冷間時試験は冷間状態の準備に時間がかかるため繰り返し試験には長時間を要するため、SAE J1711の方法や、これに準じた方法で得た「燃費、 Δ SOC」データを、事前に収集しておいた「燃費の Δ SOCに対する感度」を用いて補正する方法が検討されている。このため、試験回数の増加で精度を確保することが現実に不可な冷間時のデータの精度が、温間時のものに比べて極端に低下していることは問題である。

冷間時のばらつきの原因として、試験車両のシステムとしての効率が、車両の暖機状態と共に大きく変化することが考えられる。そのため、 Δ SOCに対する燃費の関係も同様に大きく変化していることが想像でき、ばらつきの原因は、異なる状態のデータを一括してしまったことにある可能性が高い。そこで暖機の程度毎の燃費と Δ SOCに着目し、各状態の燃費と Δ SOCについて検討

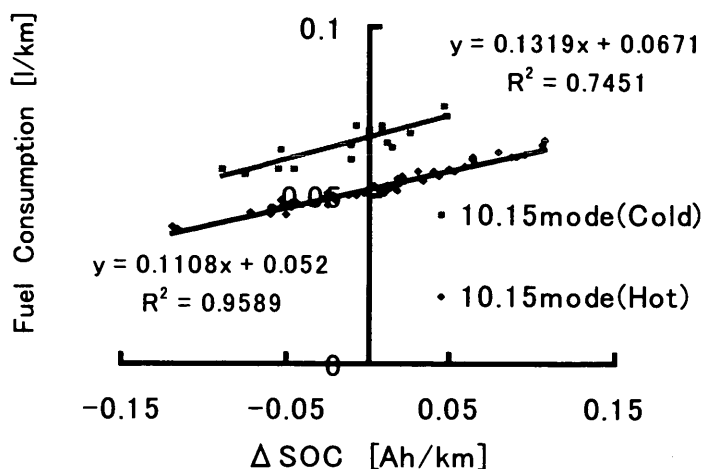


Fig. 7 Difference of FC result in Hot / Cold test

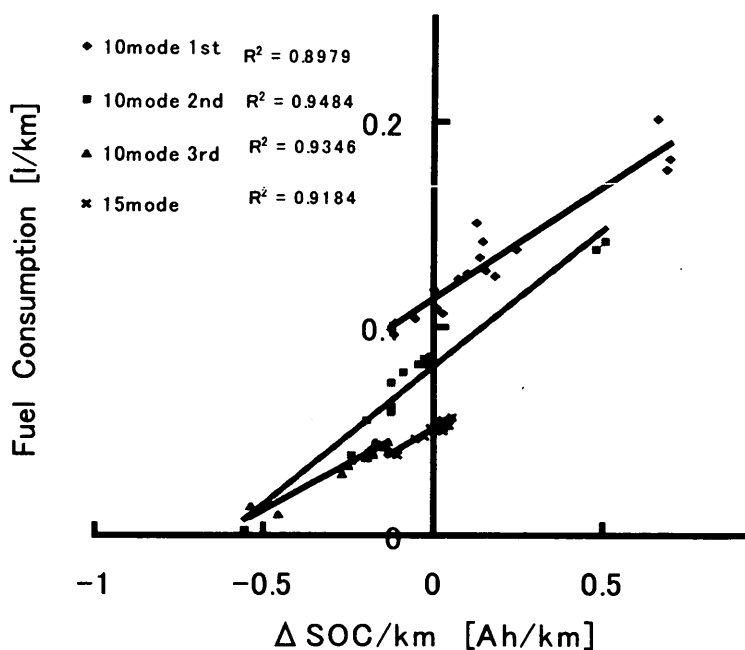


Fig.8 Effect of divided regression into sub-modes

した。簡単のために全試験モードを単位モード毎に分割して燃費と Δ SOCの関係を求めたものを図8に示す。

燃費は単位モード毎に大きく変化し、時間が経つにつれて向上していることがわかる。このことから、システムとしての効率の変化が燃費(FC)の値から推測することができる。(15モードは10モードと走行パターンが違うため、他のデータと一概に比較できないのは当然であるが)。また、車両の状態が似通ったデータの集合毎に Δ SOCと燃費の関係を整理したので、ばらつきが試験モード全体で近似した時に比べて小さくなり、安定したデータが得られていることがわかる。

図8の単位モード毎の Δ SOC、燃費の回帰直線から、単位モード毎の燃費が各直線のy切片の大きさとして求まる。この単位モード毎の燃費から次の手順で総合的な燃費を求めた。

Table 2 FC calculation in divided regression into sub -modes

Unit mode	Distance [m]	FC [l/km]	CF [cc]	R ²
①10mode 1st	664	0.114	75.7	0.898
②10mode 2nd	664	0.0809	53.7	0.948
③10mode 3rd	664	0.0557	37.0	0.935
④15mode	2173	0.0504	109.5	0.918
Total	4165	0.0662	275.9	0.922

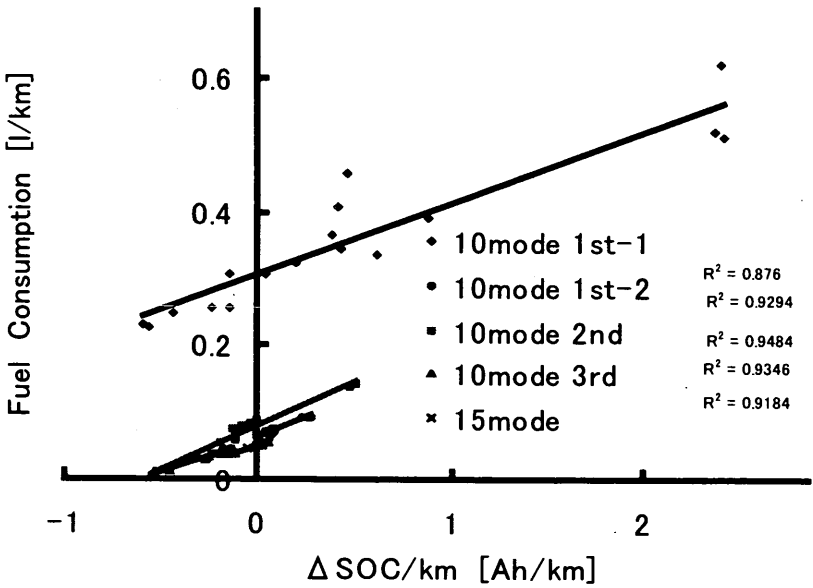


Fig. 9 Effect of divided regression into sub -sub-modes

- ・単位モード毎の燃費×その走行距離 ⇒ 単位モード毎の燃料消費量
- ・単位モード毎の燃料消費量の総和 ⇒ 総消費量
- ・総消費量／総走行距離 ⇒ 総合的な燃費

また、総合的な決定係数は、

- ・単位モード毎の決定係数から分散を求める。
- ・単位モード毎分散に走行距離の重み付けをし、
- ・加重平均した総合的な分散から総合的な決定係数を求める。

この手順で求めた総合的な燃費と決定係数を表2に示す。総合的な燃費の決定係数は0.92で、単純処理時の0.74に比べ大幅に改善することができた。また、総合的な燃費は単純処理時の値に比べ一割ほど向上している。これは、車両の状態が似通ったデータの集合毎にその状態での燃費を求めたため、各状態での推測の確かさが改善できたことが主因であると考ええる。

前述のような方法は10・15モードやECEモードのように比較的単純な走行モードであれば、速度が定常(例えば0km/h)のところで分割できる。しかし、LA4モードのような複雑な走行モードでは、速度が定常になるところが無く簡単に分割できない。そこで効率の変化の特に著しい最初の10モードを二つに分け、前述と同様の検討を行った(LA4モード等でも使用できるように加速途中の場所を選び分割した)。その結果を図9、表3に示す。

表2、3を比べると、両者の総合的な決定係数にはわずかな差しかないが、一回目の10モードを分割した表2の方が燃料消費量が多くなっている。これは分割したために、それぞれの区間における燃費の真値(FC)が変わったためで、より正確な燃費になると考えられる。この結果よりLA4などの複雑な測定モードでも同様な結果が得られると推測でき、機械的に分割する方法が、従来の方法ではばらつきが大きかった冷間時試験の精度向上に有効であることがわかる。

(5) 車両の模擬機能の利用の是非

燃費試験はシャシーダイナモメータ上で都市内走行を模擬したモード試験走行を行う方法が採られる。ハイブリッド車には、電気自動車と同様に回生制動があるため、一般に用いられている1軸シャシーダイナモメータを使用した場合は実際の路上を走行した場合に非駆動輪のブレーキで消費されるエネルギーが、シャシーダイナモメータ上では駆動輪のモータからの回生制動に上乗せして回収される可能性がある。

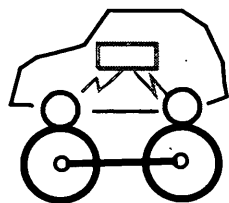
また、一部のハイブリッド車にはハイブリッド車の特長を生かして、滑りやすい路面上で駆動輪が空転した際にこれを抑制するトラクションコントロールや、制動時のスリップを防止するアンチスキッドブレーキシステム（ABS）機能を搭載しているものがあり、今後主流になるものと思われる。この機能のある車両を1軸型シャシーダイナモメータ上で走行させた場合、非駆動輪が回転しないためにこれらの機能が動作し車両が走行できない。このため、これらの車両には、これらの機能を解除して、駆動輪だけが回転するモードをもうけている。

ここでは、この機能を用いて1軸型シャシーダイナモメータで試験した場合と通常の走行状態と等価にするために2軸（4輪駆動用）シャシーダイナモメータを使用した場合の比較検討を行った。

Table 3 FC calculation in divided into sub-sub-modes

Unit mode	Distance [km]	FC [l/km]	CF [cc]	R ²
①10mode				
1st-1	161	0.3056	49.2	0.876
②10mode				
1st-2	503	0.0645	32.4	0.929
③～⑤2、3				
&15mode	See table 2	←	←	←
Total	4165	0.0677	281.9	0.925

- ・四輪駆動ハイブリッド
- ・二輪駆動（協調制御あり）



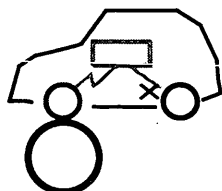
四輪駆動用シャシダイナモメータ



四駆用シャシーダイナモメータの問題点

- ・四輪シャシーダイナモメータの運用基準はオーソライズされていない

- ・四駆：制御系を修正して二駆に
- ・二輪駆動：協調制御を解除



二輪駆動用シャシダイナモ（通常）



二駆用シャシーダイナモメータの問題点

- ・四駆ハイブリッドの試験不能（車両を改造する必要がある）
- ・二駆ハイブリッドの場合も回生制動の模擬が不完全（回生電力量??）（ABSやトラクションコントロールなどその他の協調制御の模擬も不可能）

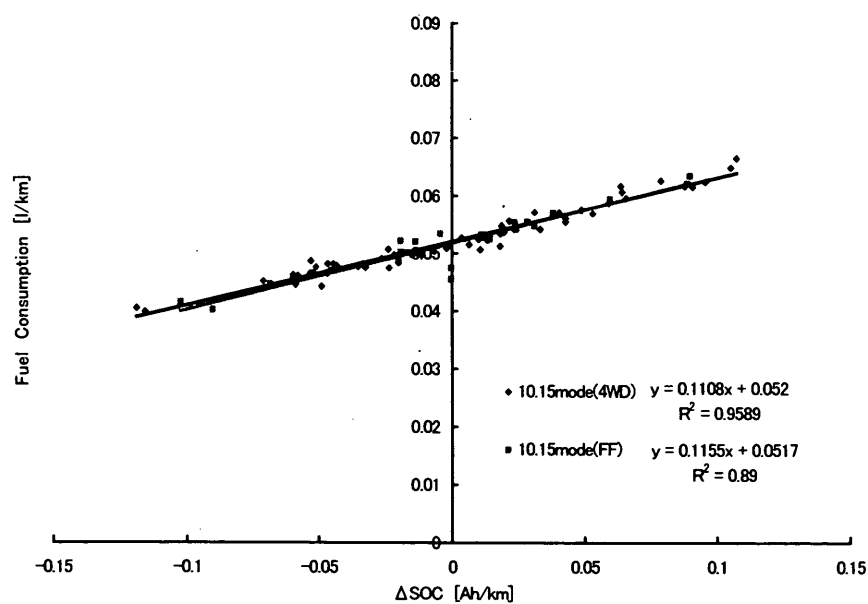


Fig. 10: Resultant Fuel Consumption in Different Chassis Dynamometer Control

一般には、シングルローラーシャシダイナモメータ上で試験を実施するため、非駆動輪の機械制動力の模擬が無視され、車両側のトラクションコントロールを解除するための車両側での制御アルゴリズムの修正が必要で、この意味では正確な模擬運転は期待できない。そこで今回の四輪駆動用シャシダイナモ上でのフル模擬の状態と、車両の制御を変更して二輪駆動用試験機上で実施して際の相違を確認した。

結果としては、燃費（y切片）が0.6%、燃費の Δ SOCに対する感度が0.2%と、ともに誤差範囲の差しかなく、供試車両に関する限りでは簡易的な試験による誤差はないことが確認できた。しかし、これは供試車両が10・15モードの減速度の範囲では機械制動が稼働しない設計であること等によるもので、他の条件では新たな確認が必要なことは言うまでもない。

3. 5. 精度確保方法の検討

以上の結果を考慮して、数回程度の少数回のモード燃費試験で得られた“ Δ SOCに対する燃費”のデータをもとに線形回帰法で求めた燃料消費率の測定精度の推測を試みた。また、得られた“ Δ SOCに対する燃費”の素データ群の中から測定誤差の大きいものを排除する際の判断基準についても検討した。

(1) 手順の概要

本来ならば、実際にモード燃費試験を実施しながら、その結果を試行的に処理すべきであるが、ここでは簡単のために事前に収集した素データを利用して、処理方法のみの検討を行った。使用したデータは、同一の車両の試験結果で、連続した2日間と1週間後の連続した4日間の計6試験である。

このデータ群の1日分毎に、試験の順番に従って5組のデータを処理し、処理結果についての精度の推測と構成するデータのうちから誤差の大きなものを排除する基準について検討した。

また、様々なデータの組み合わせに対応出来るかを確認する目的で、これらのデータ群から任意の数個をランダムに取り出して処理することも試みた。

(2) 使用したデータの収集条件

試験は四輪駆動車用シャシダイナモメータをベースにした電気自動車用シャシダイナモメータ上で行い、供試車両の市販HEVs（シリーズ／パラレル複合型）を通常の道路走行時に使用する動作モード（非整備モード：回生制動、ABS、TRC等は動作可能）で行った。試験温度は25℃とし、最低でも8時間のソーク時間を確保し、モード運転は運転用ロボットによる自動運転で行った。試験の組み合わせを表4に示す。

Table 4: Basic/additional factors for experimental test

Factors	Driving cycle	Hot/Cold	Vehicle mode	CH DY mode
Base condition	10.15 mode	Hot	Normal / 4WD mode	
Additional condition	LA 4 mode	Cold	Maintenance mode / 2WD mode	

試験としては、温間時の10・15モード試験を車両が通常の状態で行うのを基準として、冷間スタート試験、LA 4モード、車両の整備モードの是非等について検討した。

線形回帰法で求める場合、各組のデータが Δ SOCに関して適度の範囲に分散している必要があるので、1モード走行毎に登坂／降坂走行状態を再現して初期SOCを調整する操作を行った。

(3) 良好な精度を保証するパラメータについて

6日間に実施された総計57組の温間時のモード燃費試験の Δ SOCと燃費の関係は図6に示すとおりで、全体の回帰式から、 Δ SOCがゼロでの燃費は約52cc/kmで、“燃費の Δ SOCに対する感度”は約3cc/Ahであることが推測できる。後者の“感度”は、次の理由で重要なデータのの一つである。すなわち、冷間スタート試験では長時間のソーク時間を要するため、多数の試験結果から線形回帰法によって燃費を求めるこ

とは現実的ではない。そこで、認証試験等では一回の試験で求められた結果を、事前に収集しておいたこの“感度”をもとに修正して Δ SOC=0での燃費を推測する方法が検討されている。

この57組のデータ中の5組のデータから線形回帰で求めた際の燃費推定値の精度を左右する要素について、次の方法で検討した。すなわち、小数組

のデータから求めた際にも良好な結果が得られる条件を把握するため、57組から5組のデータを順次取り出し、この組について燃費の推定値を求め、この推定結果とデータ組の種々のパラメータとの相関を調査した。

パラメータとしては、回帰分析時の分散、決定係数などと、設定した Δ SOCの

平均値やそのばらつきの程度など幅広く検討したが、単独で精度の良否を判定できるパラメータを見いだすことは出来なかった。決定係数対燃費の関係と、 Δ SOCのばらつきに対する“感度”の関係の例を図11、12に示す。これらは特に特徴のある相関がないだけであるが、決定係数が低い場合のみよい結果が得られると言った矛盾した結果になってしまうパラメータもある。したがって、別の評価関数による実用的な評価基準が不可欠であることがわかる。

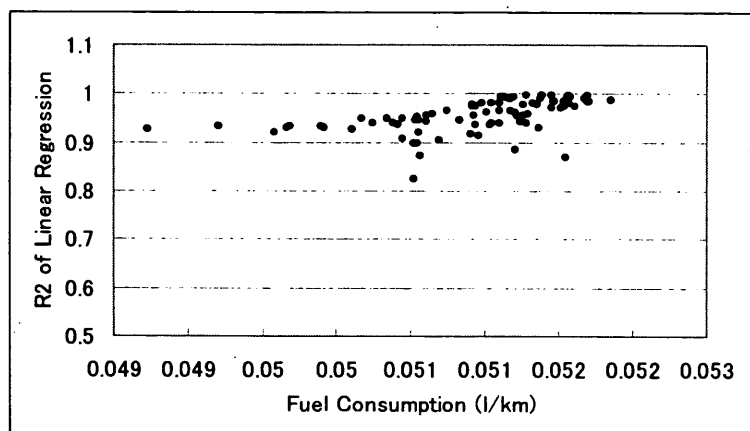


Fig.11. Relation between R2and Fuel Consumption

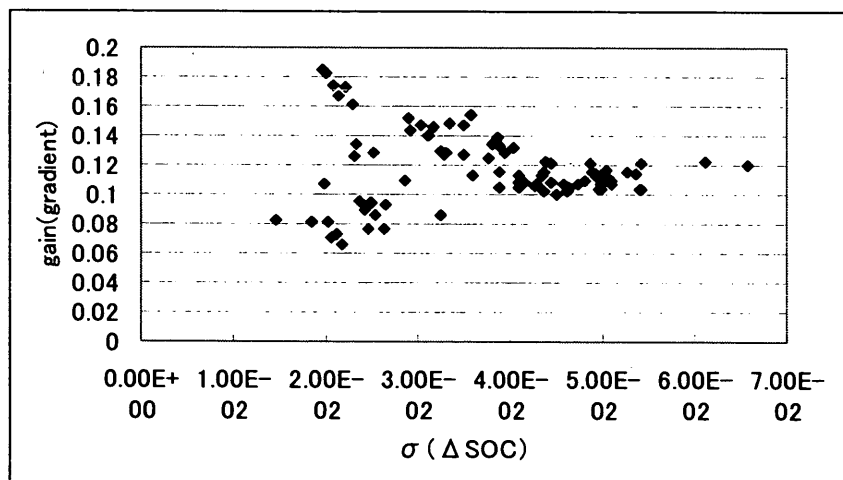


Fig. 12. Effect of Δ SOC variation on Gain

3. 6. 精度推測方法の検討

(1) 誤差についての検討

シャシーダイナモメータ上での一般ガソリンエンジン車の燃費試験の精度について考えると、シャシーダイナモメータの模擬誤差と燃費計測系の誤差等の総計として1%程度の誤差を見込む必要があるのが一般的である。HEVsの燃費試験ではこれに加えて、(1)数種の ΔSOC に対する燃料消費量測定結果から $\Delta SOC=0$ での燃費を推測する際の誤差と、(2) ΔSOC の計測誤差が加わることになる。

ΔSOC の計測誤差はHEVsの燃費計測特有の新たな誤差であり、この誤差の燃費への寄与度は“燃費の ΔSOC への感度”にも依存するので、これを考慮した上での検討が必要である。この誤差は、通常の燃費計測時の誤差に重畳するもので、精度を悪化させる。事実上、 ΔSOC の測定誤差の分離は難しいので、ここでは ΔSOC の計測誤差も燃費の計測誤差に重畳したものと扱う。

これに対し、燃費計測時の誤差は線形回帰による誤差が最小に抑えられれば重畳する誤差を無視できる可能性があり、各測定結果に含まれる誤差が一様であれば測定点 N を増加する効果によって誤差が N の平方根分の1の割合で減少することも期待できる。したがって、誤差の大きな測定点の排除と、回帰分析で生じる誤差の最小化がキーとなる。

(2) 精度推測手順

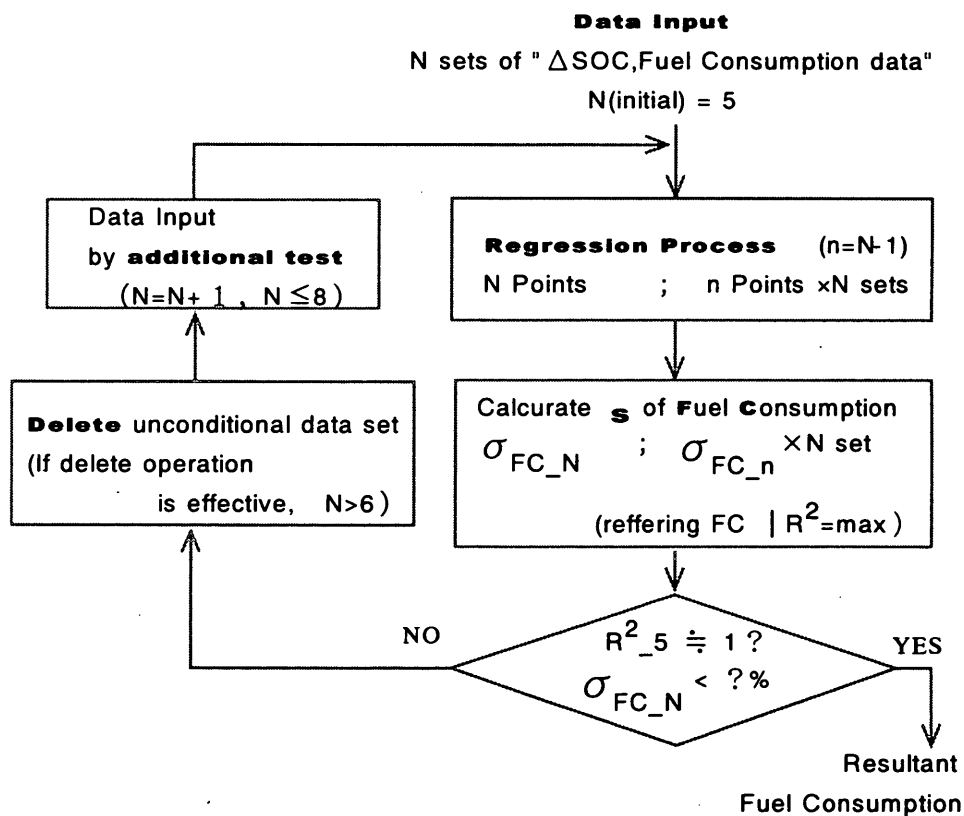


Fig. 13. Outline of processing algorithm

線形回帰を行う5点のデータの妥当性を確認するため、4点のデータで構成された5組のデータ群の燃費推測値（Y 切片）のばらつきを評価値とした。4点での回帰時の決定係数が最良の組は、最も誤差を含んでいると思われるデータを排除したものである。この Y 切片を基準に他の4組の Y 切片との差の3σが目標の誤差限度を超える場合は新たに6番目のデータを加えて5点の回帰6組で同様の比較を行う。処理アルゴリズムの概要を図13に示す。

(3) 処理例

既収集のモード燃費試験結果から順次5点ずつのデータを用いてこのアルゴリズムにそって処理した例を図14に示す。誤差が大きい場合は3点までの新たなデータを順次加えて処理し、7点以上の状態では場合によって不適当な点を排除する処理を行った。図中の小さいプロットは3σが燃費の1%以上の点で、1%以下のものを大きいプロットで表示した。推測した誤差が1%以下の場合も燃費の推測値はばらつきが多く真値が定かでないが、決定係数の低いものを排除することでばらつきの少ない燃費が推測できた。しかし、燃費の真値に近いものでも3σが1%をオーバーするとして採用されなかったものがあり、処理効率の点で難がある。

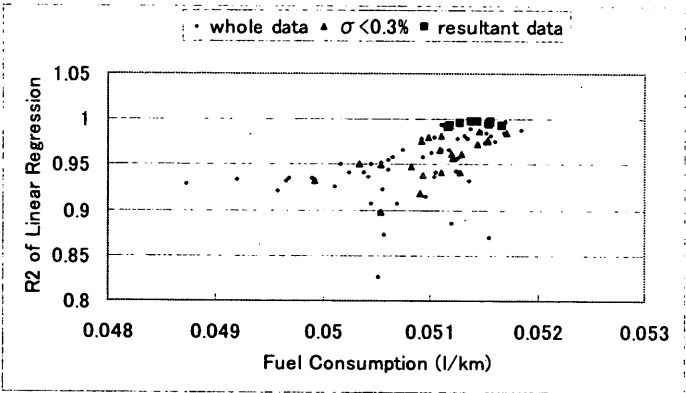


Fig.14. Resultant Fuel Consumption (Linear Regression)

(4) 回帰式の検討

図15は一連のモード燃費試験結果を、一次式と二次式の双方で回帰分析した例である。二次の方が決定係数が高く、燃費の推測値も小さいことがわかる。

図16は(3)の処理を二次式の回帰分析で行った場合の例である。処理結果の採用不採用の判断に不確定な部分がないと同時に、燃費の推測値は1%低くなっている。

式(4)はエンジン系の平均効率が、ガソリン単独での走行時とハイブリッド走行時で同一であるという前提で導いたものである。また、エンジン系、電気系の平均効率とも走行モードが同一なら一定であると仮定している。しか

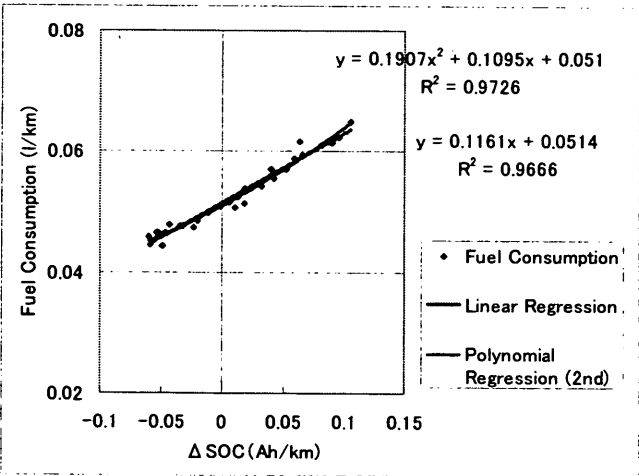


Fig.15 Difference in resultant Fuel Consumption obtained two different regressions

し実際の車両では走行状態によって効率が変化することが考えられる。例えば電池のSOCが動作可能範囲の上限の状態から走行すれば、回生時に通常受け入れるべき回生電力を受け入れることが不可能なためシステムとしての効率は低下する。逆に、電池のSOCが動作可能範囲の下限の状態から走行すれば、走行の初期段階では電気系のアシストが行われるべき局面で効率を度返ししてエンジンで走行するため、同様にシステム効率が低下する。これらの低下率は、そのような局面の生起率で決まるため、試験初期のSOCレベルによって連続的に変化する場合が多いと考えられる。これらのことから、式(4)が完全な形で成立することは少なく、一次式での近似は必須ではないと考えられる。むしろ、二次式の近似が妥当と考えることができる確率の方が高いと考えられる。

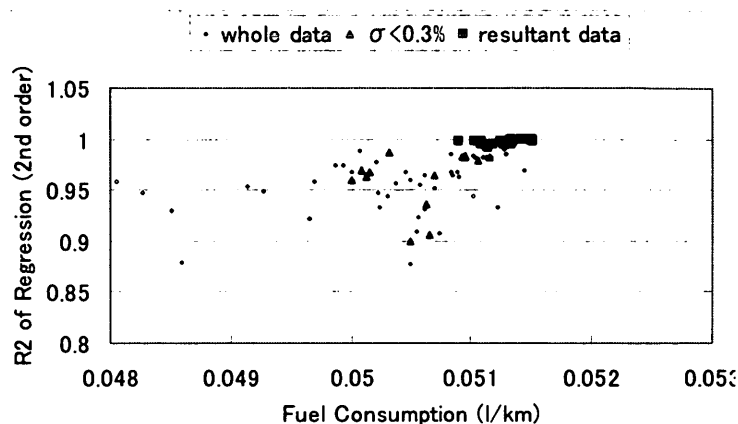


Fig.16. Resultant Fuel Consumption obtained by Polynomial Regression (2nd order)

4. まとめ（本研究で得られた成果）

外部充電のないハイブリッド自動車の燃費を、一般の内燃機関自動車の燃費試験方法に準じて実施する際に最も有効と考えられている線形回帰法について、実際の数点のデータで試験精度の確認と測定データの良否判定をする方法について検討し、簡単なアルゴリズムで精度の確認と良否判定が可能なことを確認した。また、試行的な処理をとおして、直線近似より二次式近似の方がより適切であることが判明した。

今回は Δ SOC計測の誤差を燃費計測時の誤差に含めて検討したが、正確には、 Δ SOC計測時の誤差の検討と精度を確保するための計測系の必要条件等を明らかにする必要がある。

5. 引用文献

- 1) 清水健一：HEVの燃料消費率試験方法（第1報）、自技会2001年春季大会前刷集、No.27-01、p17-22
- 2) 清水健一：HEVの燃料消費率試験方法（第2報）、自技会2002年春季大会前刷集、No.2-02、p5-8
- 3) 清水健一：HEVの燃料消費率試験方法（第3報）、自技会2002年秋季大会前刷集、No.82-02、p13-16

6. 国際共同研究等の状況

なし

7. 研究成果の発表状況

<学術誌（査読あり）>

- ① K.Morita, N.Iwai, K.Shimizu: Fuel Economy Test Procedure for Hybrid Electric Vehicles

-Correction of State Of Charge and Regenerative Energy-, Proc. of the 17th International Electric Vehicle Symposium, Montreal, Nov., 2000, on CD-ROM

- ② 清水健一：トライボジスト、46、3、209-215(2001)、「電気自動車の動向」
- ③ K. Shimizu and S. Seimiya: "Test Procedure to Evaluate Fuel Consumption of HEVs -Universal Procedure to Secure Accuracy-", Proc. of the 18th International Electric Vehicle Symposium, Berlin, Germany, on CD-ROM(2001)
- ④ K. Morita, K. Shimamura, N. Iwai and K. Shimizu: "Fuel economy and exhaust emissions test procedure for HEVs", Proc. of the 18th International Electric Vehicle Symposium, Berlin, Germany, on CD-ROM(2001)
- ⑤ K. Shimizu and S. Seimiya: "Test Procedure to Evaluate Fuel Consumption of HEVs - Accuracy Confirmation and Accuracy Improvement -", Proc. of the 19th International Electric Vehicle Symposium, Busan, Korea, on CD-ROM(2002)
- ⑥ K. Shimizu: "A few remarks on energy economy ability of the hybrid vehicle", Journal of Asian Electric Vehicles, Vol. 1, No. 1, 2003

<学術誌（査読なし）>

- ① 清水 健一：宙舞（自動車技術会中部支部報），2002-51，pp.67-70(2002):「環境対応自動車の現状と今後の展望」
- ② 清水健一：紙パ技協誌（紙パルプ技術協会），Vol. 56, No. 5, pp.3-12(2002):自動車の環境負荷低減手法 -ハイブリッド自動車を中心に-
- ③ 清水健一：自動車技術，Vol. 56, No. 9, 2002:「ハイブリッド制御技術の変遷と最新技術動向」

<書籍>

- ① 清水健一：電気自動車ハンドブック（第3章2節，純電気自動車），丸善，2001/03/15

<報告書類等>

- ① 清水健一：機械研ニュース，No.3, '01, 「ハイブリッドEVの燃費試験法-エネルギー蓄積要素の影響の除去方法-」
- （2）口頭発表
- ① 清水健一ほか；機械技研所内研究発表会，「ハイブリッドEVの燃費試験法-エネルギー蓄積要素の影響の除去方法-」
 - ② 清水健一、岩月徹：2001年度自動車技術会春季学術講演会(2001)，HEVの燃料消費率試験方法（第1報）-蓄積エネルギーの補正方法の妥当性について-
 - ③ 清水健一：第2回自動車技術講習会（（社）自動車技術会中部支部），名古屋，(2001)，「環境対応自動車の現状と今後の展望」
 - ④ 清水健一：第6回省エネセミナー（（社）紙パルプ技術協会），東京，(2002)，「自動車の環境負荷低減手法 -ハイブリッド自動車を中心に-」
 - ⑤ 清水健一、清宮茂：2002年度自動車技術会春季学術講演会(2002)，「ハイブリッド自動車の燃料消費率試験方法（第2報）」
 - ⑥ 清水健一、清宮茂：2002年度自動車技術会秋季学術講演会(2002)，「ハイブリッド自動車の燃料消費率試験方法（第3報）」

- ⑦ 清水健一，二瓶光弥，緒方一成：2003年度自動車技術会春季学術講演会(2003)，「ハイブリッド自動車の燃料消費率試験方法（第4報）」

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

8. 成果の政策的な寄与・貢献について

ISOで審議中のハイブリッド自動車の燃費評価試験法への日本案の検討資料として用いた。今後、詳細な審議にともなって詳細なデータを提供する予定である。

7