

車両の運動状態に着目した 電気自動車のエコドライブに関する検討

光安 皓¹・大口 敬²・林 誠司³・金成 修一⁴

¹正会員 東京大学 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)
E-mail:mittsu@iis.u-tokyo.ac.jp

²フェロー会員 東京大学 生産技術研究所
E-mail:takog@iis.u-tokyo.ac.jp

³非会員 日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間2530)
E-mail:shayashi@jari.or.jp

⁴非会員 日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部
E-mail:skanari@jari.or.jp

自動車分野における二酸化炭素の排出対策の1つとして、エコドライブがよく知られている。これまでガソリン自動車の車両の運動と燃料消費量の関係については理論的および実証的検討がなされてきたが、近年普及が進みつつある電気自動車については、未だ十分な検討がされていない。その理由の1つとして、電気自動車特有の回生エネルギーを考慮した検討が十分になされていないことが挙げられる。

本論文では、まず、ある車種についてシャシダイナモ試験を行い、車両が任意の運動状態にあるときの駆動力を網羅的に算出し、それを電力量マップとして定義化することを行った。次にその結果を元に、都市におけるショートトリップを想定した走行について、消費電力量の推計を行い、電気自動車のエコドライブ方法についての検討を行った。

Key Words : Electric Vehicle, Eco-driving, Estimated Electric Energy

1. はじめに

近年、化石燃料の大量消費等に伴う温室効果ガスの増加を背景として、エネルギー問題や地球温暖化問題など様々な環境問題が深刻化してきている。これらに対して、省エネルギー政策を推進する取り組みや、地球温暖化の原因の1つである二酸化炭素排出量の削減を後押しする取り組みがあらゆる分野において行われている。特に、国内における二酸化炭素排出量の約20%を占める運輸部門ではその対策が急務とされる。

自動車分野における二酸化炭素の排出対策の1つとして、エコドライブがよく知られている。エコドライブについてはエコドライブ普及推進協議会が「エコドライブ10のすすめ」(表-1)として具体的な対策を示すなど、各方面で様々な対策が行われている。これまでガソリン自動車の車両の運動と燃料消費量の関係については数々の理論的および実証的検討がなされてきた¹⁾。しかし、近年普及が進みつつある電気自動車については、未だ十分な検討がなされていない。その理由の1つとして、自動

車が走行時に消費する電力量のうち、電気自動車特有の回生エネルギーを考慮した検討が十分になされていないことが挙げられる。

表-1 エコドライブ10のすすめ
(出典：エコドライブ普及推進協議会HP)

①	ふんわりアクセル「eスタート」
②	車間距離にゆとりをもって、加速・減速の少ない運転
③	減速時は早めにアクセルを離そう
④	エアコンの使用は適切に
⑤	ムダなアイドリングはやめよう
⑥	渋滞を避け、余裕をもって出発しよう
⑦	タイヤの空気圧から始める点検・整備
⑧	不要な荷物はおろそう
⑨	走行の妨げとなる駐車はやめよう
⑩	自分の燃費を把握しよう

2. 研究目的

本論文は、電気自動車のエコドライブ方法について、理論式とシャシダイナモ試験の結果を用いて明らかにすることを目的としている。

具体的には、1) まず、シャシダイナモ試験の結果から電気自動車が任意の運動状態(加速度・速度)にあるときの駆動力を算出し、さらにその時の消費電力量を網羅的に算出することで電力量マップを作成した。2) 次に電力量マップを用いて、電気自動車の電力消費特性を考察した。3) 最後に、市街地におけるショートトリップを模した数種類の走行パターンを想定し、当該運動状態に対応する消費電力量を、作成した電力量マップから求め、電気自動車のエコドライブについての具体的な検討を行った。

3. 電力量マップの作成

(1) 試験概要

本研究における対象車両は、三菱自動車の電気自動車 i-MiEV である。検討に用いた車両の諸元を表-2に示す。

今回のシャシダイナモ試験では、JARIMEC (JARI Model Emission Cycle) モードという走行パターンを用いることとした。JARIMECモードとは、燃費測定試験として一般的なJC08モードより幅広い走行領域(速度・加速度)の消費電力量データを得るための走行モードである。JARIMECモードとJC08モードの差異がわかるよう両者を重ねた上で、時間-速度グラフおよび速度-加速度グラフをそれぞれ図-1、図-2に示す。

(2) 電力量マップ

(1)の条件で作成した電力量マップを図-3に示す。車両がある速度・加速度で走行している時の駆動力を算出す

るにあたって、式(1)の運動方程式を用いた。その時の電力量については、MCU (モーターコントロールユニット) に入力する電力と電圧を直接測定したのを用い、算出することとした。その算出式は式(2)に示す通りである。

表-2 試験車両の諸元(出典：i-MiEVカタログより)

主要諸元		i-MiEV
車両重量 (kg)		1100
モーター	最高出力 (KW (PS) /rpm)	47(64)/3000~6000
	最大トルク (Nm (kgm) /rpm)	180(18.4)/0~2000
駆動用バッテリー	形式	リチウムイオン電池
	総電圧 (V)	330
	総電力量 (kWh)	16
10・15モード交流電力量消費率 (Wh/km)		125
10・15モード充電走行距離 (km)		160

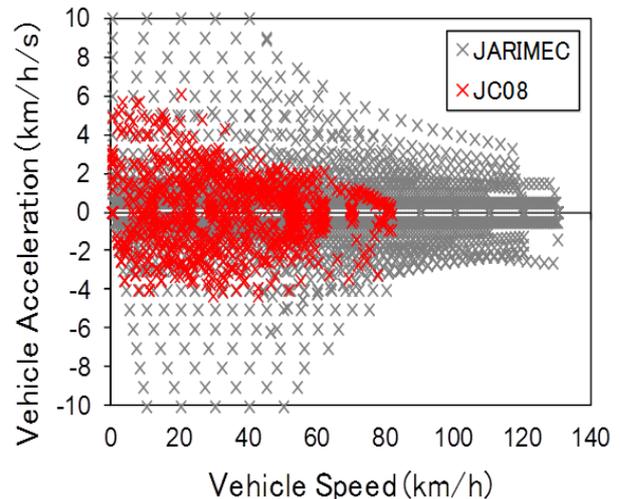


図-2 JARIMECモードとJC08モードの比較(速度-加速度グラフ)

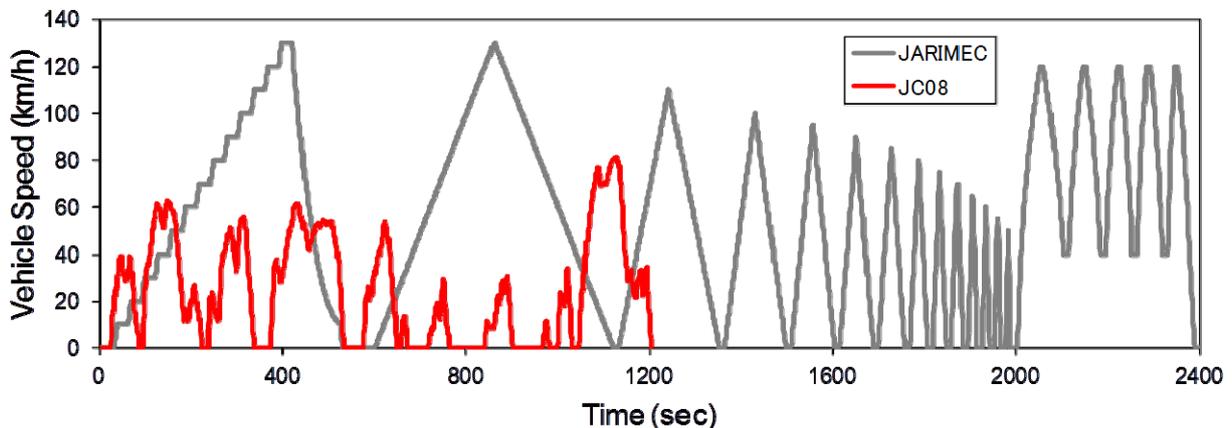


図-1 JARIMECモードとJC08モードの比較(時間-速度グラフ)

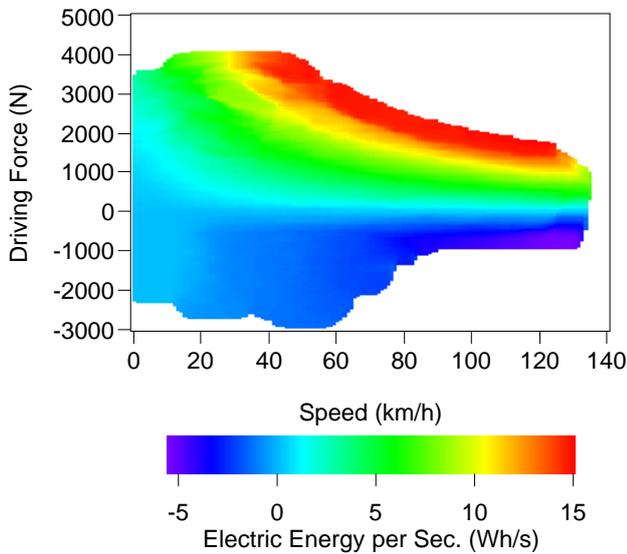


図-3 試験車両の電力量マップ

$$F = mA + \mu mg + mg \sin \theta + \lambda V^2 \quad (1)$$

$$EE = I \times E \times t \quad (2)$$

ここで、

F：駆動力 [N]

m：車両の重量 [kg]

A：車両の加速度 [m/s²]

μ ：転がり抵抗係数 [kg/kg]

g：重力加速度 [m/s²]

θ ：勾配 [rad] (上り方向を正)

λ ：空気抵抗係数 [kg/m]

EE：消費電力量 [Wh/s]

I：瞬時電流 [A]

E：瞬時電圧 [V]

4. 電気自動車の電力消費特性

(1) 結果

図-4に示すのは、試験車両が任意の加速度・速度で走行している時の単位時間あたりの消費電力量を、電力量マップの結果を元に算出したものである。消費電力量が負の場合、回生量が消費量に勝っていることを示す。

図-4より、車両の加速度が正の領域では加速度・速度に比例して消費電力量が増加する傾向にあることがわかった。また、車両の加速度が約-1m/s²以下になると速度のみに比例してほぼ一定の回生がはたらいっていることがわかった。

また、図-4を単位距離あたりに換算したものを図-5に示す。車両の加速度が正の領域では加速度が極端に大きくない場合に限り、走行距離1mあたりの消費電力量は加速度のみに比例して増加する傾向にあることがわかつ

た。この結果から、電気自動車が1m進むのに消費する電力量は車両速度の大小に関わらずほぼ一定であることがわかった。

(2) 考察

(1)の結果より以下のようなことが言える。

- A) 速度が比較的遅いときには、急激な加速を行ってもそれほど電気消費量は悪化しない。
- B) 速度が比較的速いときには、不要な加減速を抑え、できるだけ一定速度を維持することが重要。
- C) 約-1m/s²以下で回生エネルギーが消費エネルギーを上回り、約-2m/s²以下では車両の減速度とは無関係にほぼ一定のエネルギーが蓄積される。

A)について、表-1に示したエコドライブのすすめの“①ふんわりアクセル「eスタート」”とは異なる結果であることがわかる。この点はガソリン自動車と電気自動車の大きな違いとして今後も多面的な検討を進める必要があると考えられる。B)については、“②車間距離にゆとりをもって、加速・減速の少ない運転”と同様の傾向を示している。また、C)については、電気自動車特有の回生に関する事項であるため、従来(ガソリン自動車)のエコドライブ対策とは当然異なるものである。ガソリン自動車が減速するときのアドバイスには、“③減速時

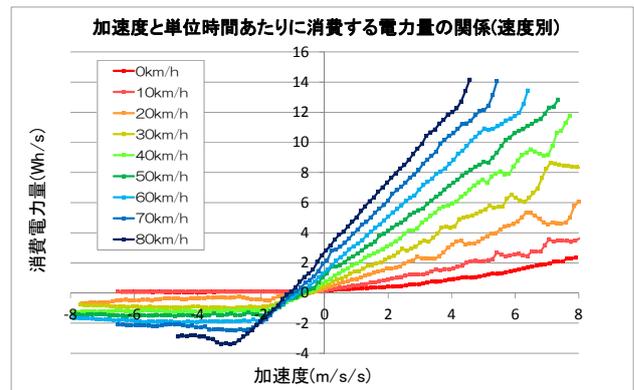


図-4 車両の加速度と単位時間あたりに消費する電力量の関係

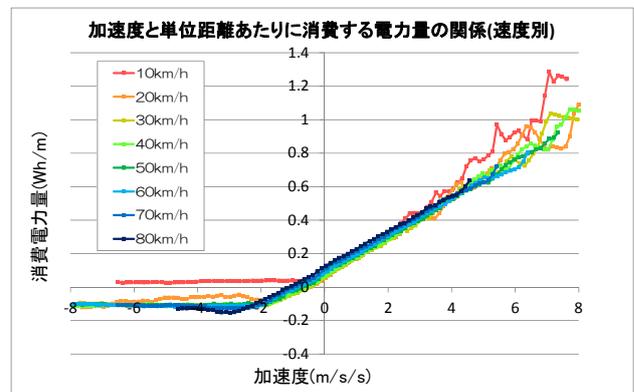


図-5 車両の加速度と単位距離あたりに消費する電力量の関係

は早めにアクセルを離そう” というものが該当するが、電気自動車の場合、約 -1m/s^2 以下の減速度が発生しないと回生が勝らないため、やはり両者の傾向は異なる。逆に、約 -2m/s^2 以下となると、減速度が強すぎて回生しきれない無駄なエネルギーが発生してしまう。よって、言うなれば、減速時は約 $-2\text{m/s}^2 \sim -1\text{m/s}^2$ という中くらいの減速度が良いということになる。以上より、エコドライブの10のすすめの内、車両の運動に関する項目①～③について、電力量マップの結果から検討することができた。

次章では、都市におけるショートトリップを想定し、電気自動車の電力消費特性について具体的な検討を行う。

5. 車両の運動状態と消費電力量の関係

(1) 走行パターン

電気自動車の様々な運動状態毎の消費電力量を、より具体的に推計するために、1) できる限り等速で走行する時間を長く設定した場合と2) 一定の加減速のみで走行した場合について、電力量マップより総消費電力量を算出した。

走行距離は100m, 200m, 400m, 3種類のショートトリップを想定し、それぞれについて20秒, 40秒, 80秒で走行した場合について消費電力量を算出した。以下に示す表-3は、上記走行距離と走行時間の組み合わせ時に車両が到達する最高速度(等速の場合一定速度)を整理したものである。なお、パターン③とパターン⑥の400mは試験車両の性能を考慮すると非現実的な加速度で加速する必要があるため、対象外とした。

本検討におけるその他の条件として、等速で走行する場合も発進・停止時の加減速は考慮した。その際の加速度および減速度は、市街地における常識的な加減速の値の範囲で設定することとした。具体的には、標準的な走行状態に近いJC08モードにおける最大加速度、および最大減速度の範囲(図-6)を確認しつつ、兵藤ら²⁾を参考にそれぞれ 2m/s^2 , -2m/s^2 とした。但し、走行距離と時間の制約上、表-3の等速の場合における加速終了間際と減速開始時の加速度は必ずしも最大値($\pm 2\text{m/s}^2$)とはなっていない。また、今回は簡単のため勾配は無しとして算出している。図-7～図-9に全ての走行パターンの、速度-時間グラフを走行距離別に示す。

表-3 走行パターン(単位はkm/h)

		距離			
		時間	100m	200m	400m
等速	パターン①	80s	4.6	9.2	18.6
	パターン②	40s	9.4	19.3	42.3
	パターン③	20s	21.1	64.8	
加減速	パターン④	80s	9.0	18.0	36.0
	パターン⑤	40s	18.0	36.0	72.0
	パターン⑥	20s	36.0	72.0	

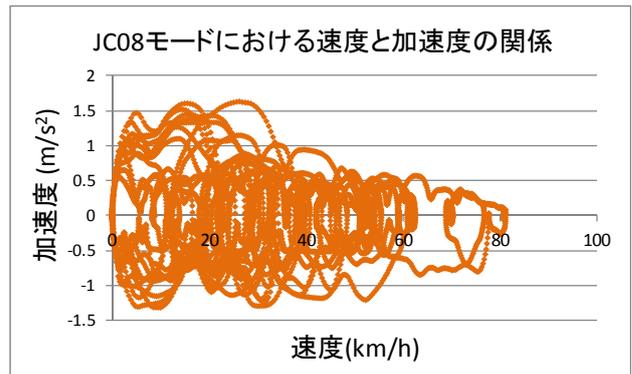


図-6 JC08モードにおける速度と加速度の関係

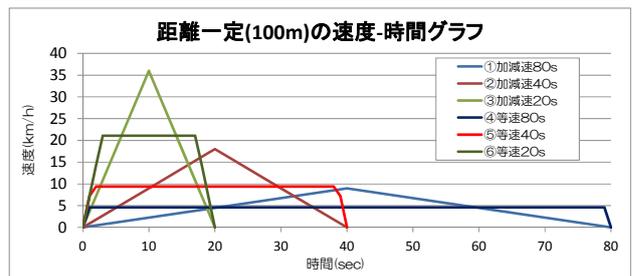


図-7 走行距離100mの場合の時間と速度の関係

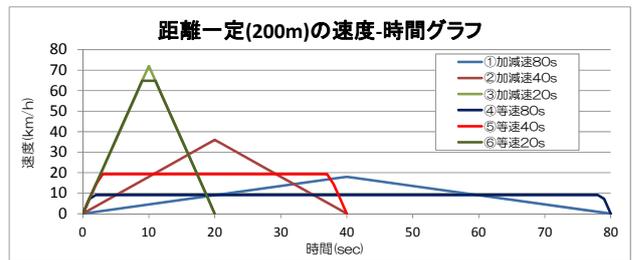


図-8 走行距離200mの場合の時間と速度の関係

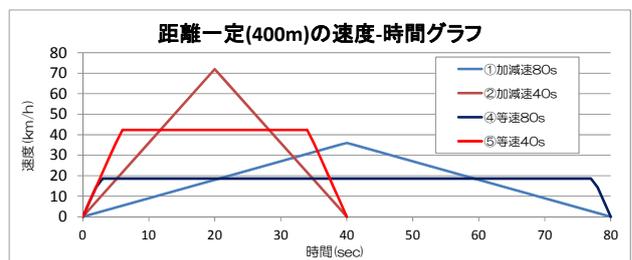


図-9 走行距離400mの場合の時間と速度の関係

(2) 消費電力量

図-10～図-12に、走行パターン毎の消費電力量の時間推移を示す。これらの結果から、等速走行時は加速走行時と比べて消費電力量が非常に少なくなっていることがわかる。また、加速走行時は速度が高くなるほど消費電

力量も多くなっていることがわかる。

次に図-13～図-15に、各走行パターンにおいて要した総電力量を示す。

走行距離100mの場合、走行時間80秒と40秒とを比較すると、加減速・等速共に80秒の方がやや大きな電力を要した。同じ走行時間で加減速と等速とを比較すると、消費電力量はほぼ等しい結果になった。また、走行時間40秒と20秒を比較すると、加減速の場合は20秒で走行した場合は40秒の場合と比べて約2倍の電力量を要した。一方、等速の場合は加減速の場合ほど大きな差とはならなかった。

走行距離200mの場合、走行時間80秒と40秒とを比較すると、加減速・等速共に、あまり大きな差は見られなかった。一方、走行時間40秒と20秒を比較すると、加減速・等速共に20秒で走行した場合に40秒の場合と比べて約4倍もの電力量を要した。

走行距離400mの場合、加減速・等速共に20秒で走行した場合は40秒の場合と比べて約2～3倍の電力量を要した。

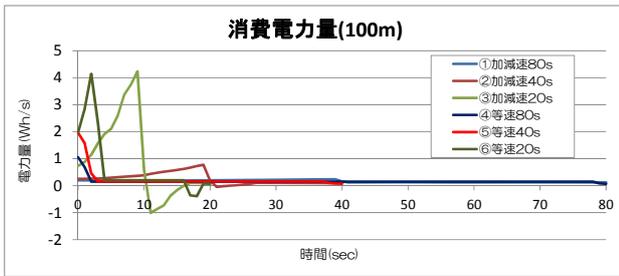


図-10 走行距離100mの場合の時間と消費電力量の関係

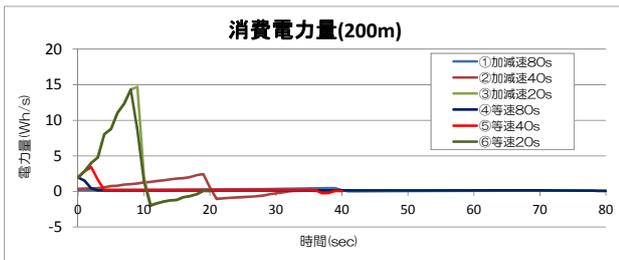


図-11 走行距離200mの場合の時間と消費電力量の関係

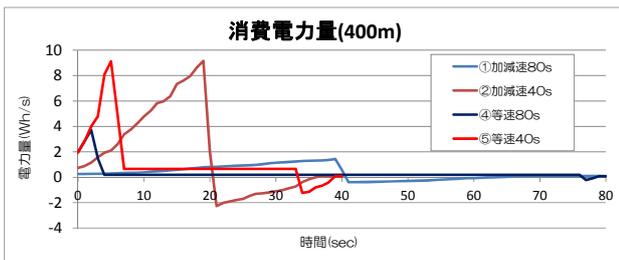


図-12 走行距離400mの場合の時間と消費電力量の関係

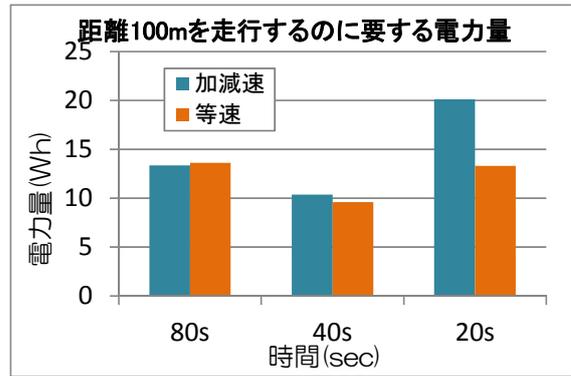


図-13 距離100mを走行するのに要する電力量

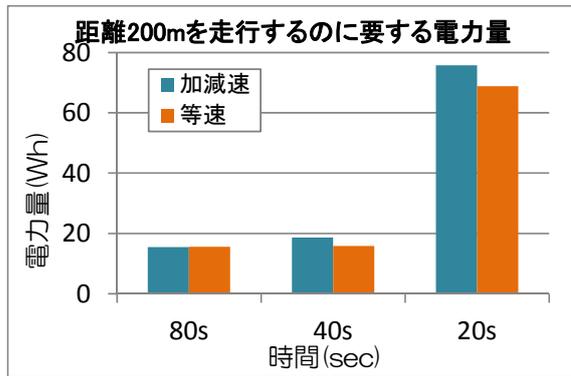


図-14 距離200mを走行するのに要する電力量

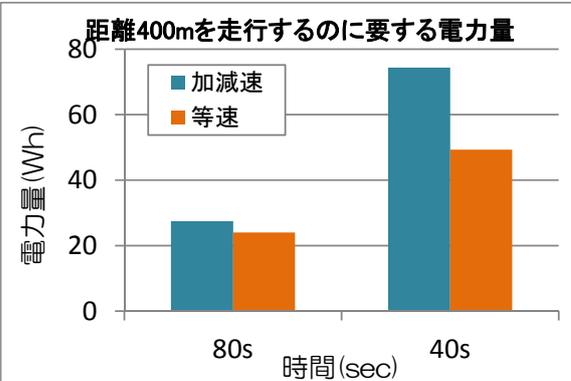


図-15 距離400mを走行するのに要する電力量

(3) 考察

(2)の結果より、

1. 到達速度が比較的遅い場合、加減速と等速の消費電力量にあまり大きな差は出ない(例：距離200m・80s等)。
2. 到達速度が比較的速い場合、加減速の消費電力量の方が等速のそれより大きくなる(例：距離400m・40s)。

といったことが示され、これらはそれぞれ4章(2)にお

けるA), B)の傾向と一致していることが確認できた。

また、その他の傾向として、速度があまりに低すぎると(10km/h 程度未満)、消費電力量は反って増加する(例：距離100m・80sと40s)ことも確認された。これは、低速度域(15km/h 程度未満)で減速しても回生がはたらかないことが一因であると考えられる。

6. まとめ

(1) 総括

本論文では、電気自動車のエコドライブ方法について、理論式とシャシダイナモ試験結果より作成した電力量マップを用いて検討を行った。

車両の走行速度が比較的遅いときには、急激な加速を行っても消費電力量はそれほど増大しない傾向にあり、ガソリン車の傾向とは異なることが示せた。

車両の走行速度が比較的速いときには、ガソリン車同様、不要な加減速を抑え、できるだけ一定速度を維持することが重要であることが示せた。

また、回生されるエネルギーは約 -1m/s^2 程度以下から消費エネルギーを上回るようになり、約 -2m/s^2 程度以下になると減速度と無関係にほぼ一定となることから、可能であれば減速時は約 $-2\text{m/s}^2 \sim -1\text{m/s}^2$ という中くらいの減速度を長く続けることが消費電力量抑制にはたらくことも示せた。

今回明らかとなった要素一つひとつが電気自動車の電力消費量の抑制、即ち電気自動車のエコドライブ方法として定着していくことで、より一層環境に優しい交通環境が実現していくものと考えられる。

(2) 今後の検討

本論文では、シャシダイナモ試験の結果から電力量マップを作成し、それを基に消費電力量を推計した。今後はさらに検討を進め、電気自動車の消費電力量をモデル化し、理論式の構築を検討していきたい。そのためには、勾配を考慮した消費電力量の算出、電気自動車のバッテリー性能に大きな影響を与えるとされる外気温・ヒーター使用有無等による違いにも着目しながら検討を進める必要があると思われる。

また、電気自動車特有の回生エネルギーであるが、車種依存性が高い要素であると考えられるので、他の車種や超小型EVへの適用可能性についても併せて検討することが重要であると考えられる。

謝辞

本研究はNEDOのIT融合による新社会システムの開発・実証プロジェクト「都市交通・エネルギー統合マネジメントシステムの開発および実証実験」の一環で遂行しているものである。また、研究に当たり、同プロジェクトにおける関係各位から貴重な助言等を得た。この場を借りて感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明: 都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル, 土木学会論文集, pp.125-136, 2002.
- 2) 兵藤哲朗, 渡部大輔, 橋本太夢: 電気消費特性からみた電気自動車エコドライブ方策の考察第 30 回交通工学研究発表会論文集, pp153-156, 2010.

STUDY ON ECO-DRIVING FOR ELECTRIC VEHICLE BASED ON VEIHCLE KINEMATICS

Akira MITSUYASU, Takashi OGUCHI, Seiji HAYASHI and Shuichi KANARI

Eco-driving is well known as an environmental program against the emission of CO₂ in the field of automobile. As the relations between kinematics and fuel consumption of gasoline-powered automobile have been discussed not only theoretically but also demonstrably, there is a little discussion about that of electric vehicle which is becoming more and more popular recently. One reason why is that there is a little discussion about regeneration energy that is specific for electric vehicle.

In this paper, at first, we tested an electric vehicle on chassis dynamometer in order to calculate driving force exhaustively in an arbitrary kinematic state and define the results as electric energy map. Next, we conducted the method of eco-driving by estimating power consumption of electric vehicle based on electric energy map on the assumption that electric vehicle might run a short distance in urban area.