

小型電気自動車用シミュレータ及び高効率制御の実験

Simulator for small EVs and Experiments of High Efficient Control

○栗野 潤, 江村 超, 王 磊

○Jun Awano, Takashi Einura, Lei Wang

東北大学大学院

Graduate School of Tohoku University

キーワード : 電気自動車 (electric vehicle), ドラム式パワーシミュレータ (power-simulator with drums), PWM方式 (pulse width modulation), 回生 (regeneration), 運動方程式 (equation of motion), エコラン in SUGO (ECORUN in SUGO)

連絡先 : 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉01 東北大学大学院 工学研究科 機械電子工学専攻 江村研究室
栗野 潤, Tel.: (022)217-6969, Fax.: (022)217-6967, E-mail: awano@emura.mech.tohoku.ac.jp

1. はじめに

近年, 大気汚染などの環境問題の深刻化に伴い, 排気を出さない電気自動車への関心が高まりつつある。電気自動車は, 無排気のいわゆるZEV(Zero Emission Vehicle)であるだけでなく, 通常走行において駆動力を発生しているモータを発電機として使用することにより, 下り坂などで必要以上に大きくなった運動エネルギーを電気エネルギーとして電力源に回生することができるという大きな特徴をもっている¹⁾。航続距離が大きな問題となっている電気自動車にあつて, この回生という技術はそれを打開するためのひとつの重要な要素となると思われる。また, ギア比の選択などによっても同じエネルギー消費での走行距離は大きく変化する。さらに, 電力源からのエネルギーの利用方によっても利用できるエネルギーが変化してしまう。したがって, 電気自動車の高効率制御を実現するにはそれ

らの要素についてよく研究するため多くの走行試験を繰り返す必要がある。しかし, それを実路に行なうには大きな手間やリスク, そして多くの人員を要する上, 天候などの影響も受けてしまう。また, 走行試験に望まれる地形が近くにあるとは限らない。しかし, 高精度なシミュレーションによりこれを行なうことが可能であれば, それらの問題は回避できる。よつて本論文においては, 電気自動車の高効率制御を実現するための走行試験を効率よく行なうことを主な目的としたドラム式パワーシミュレータを考案, 製作し, それを用いて走行データを測定した。

2. 当研究室の電気自動車

スポーツランドSUGOでは, 電気自動車のレースが毎年開催されている。スポーツランドSUGOのコースは, 最大勾配差が70m, 最大勾配8.37%と

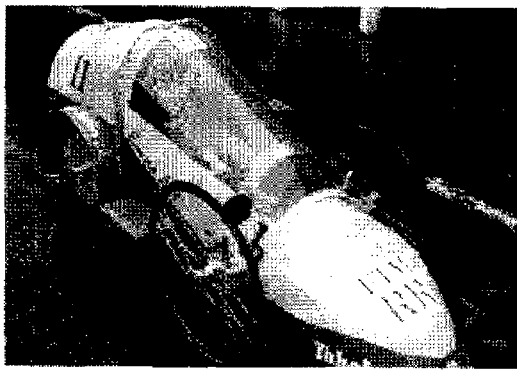


Fig. 1 当研究室の電気自動車 (ETM-RR)

起伏が激しく、都市部近郊の丘陵地に開発された住宅地からの通学、通勤、買い物をイメージした道路状況に比較的近似している。そのため、この大会への参加は、電気自動車の高効率制御についての技術の向上に有効であると考え、この大会への出場をふまえた全幅0.8m×全長2m程度の Fig. 1 に示す小型の電気自動車を製作した。

この車両の特徴としては、2つの駆動輪を持ち、おのおのについて 500WのDCモータを用いている。このモータへの電流を効率のよいPWM (Pulse Width Modulation) 方式によって制御し、モータのトルクをドライバの操作による指令トルクへと追従させている。バッテリーとして 12Vの鉛蓄電池を4個直列にして用いている。また、24個を直列に繋いだ大容量電気二重層コンデンサ (1個あたり 2.2V, 470F) を搭載している。駆動モータを発電機として用いることによるエネルギーの回生は双方に対して行なうことができる。回生によりコンデンサに蓄えられたエネルギーは、鉛蓄電池と直列に繋いで利用することができるようにしている。これを当研究室では、ブーストアップと呼んでいる。

ブーストアップには、登坂性能の向上のほかにもバッテリーのみによる走行のときと同じ車速で走行した場合には、バッテリー電流を低く抑える効果があり、バッテリーの負担を軽減したり、モータ駆動用インバータの効率を改善するなどの利点がある。さらに電磁クラッチを用いて、ギア比 1:5 (以下 Hiギア), 1:13.9 (以下 Lowギア), ニュートラ

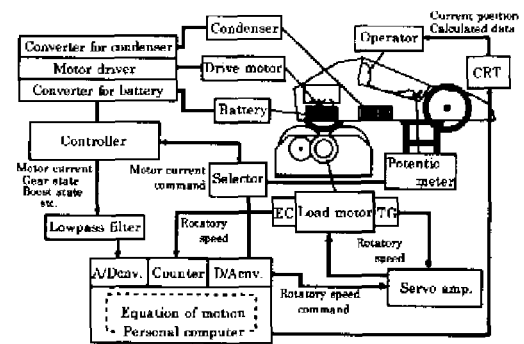


Fig. 2 システム全体の概略図

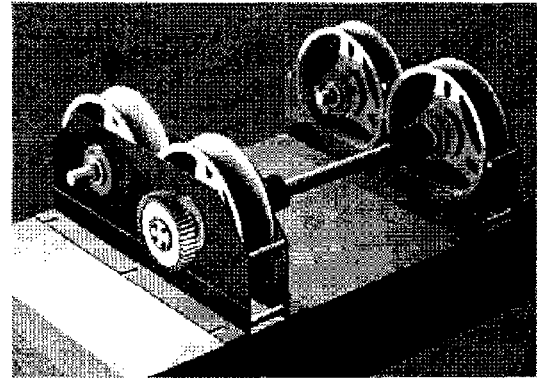


Fig. 3 ドラムユニット図

ルの状態での走行を可能としている。コントローラには、走行中のデータを読み込むことを目的としたコネクタが装備され、モータ電流やバッテリー電流などの走行データの採取が可能となっている。これにより、駆動および回生をどの様に行なったか、また、ギアシフト、ブーストアップの様子などを記録することができる。

3. ドラム式パワーシミュレータ

今回製作したシミュレータのシステム全体の概略図を Fig. 2 に示す。以下において、まず Fig. 3 に示すドラムユニットについての説明を行ない、次に、シミュレータの原理の説明やそれについての解析を行なう。

3.1 ドラムユニット

今回製作したシミュレータによるシミュレーションは、Fig. 3 に示すドラムユニットの2つのドラムの上に車両の駆動輪を落とし込むことによって

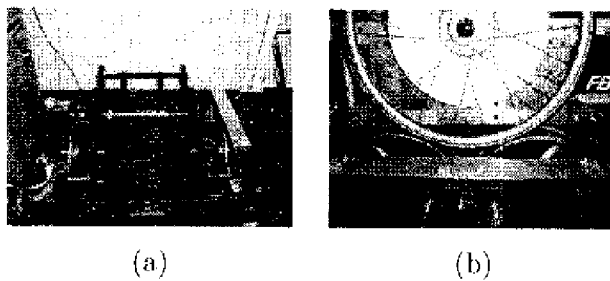


Fig. 4 ドラムユニット写真

行なう (Fig. 4 (b)). このとき、一方のドラムは動力伝達用として用い、他方はアイドラーとしている。動力伝達用とした方のドラムは、平歯車により接続されたロードモータにより、速度指令にしたがった速度で回転させられる。ドラムの回転面にのせた車両の駆動輪は、このドラムの回転に合わせて強制的に回転させられることとなる。駆動輪に大きな駆動力が生じている際に、このドラムの回転面との間にスリップが生じないようにするため、ドラムの回転面にはゴムが貼り付けてある。また、駆動輪が最大の駆動力および制動力を発生している際にも、ロードモータのアンプへの速度指令に十分な速度で追従できるようにロードモータとのギア比が選択されている。これにより、このシミュレータでシミュレーションできる範囲はおおよそ時速 52km までとなっている。このドラムユニットは、電気自動車の駆動輪が 2 つである場合は 2 つのドラムユニットを用い、双方の動力伝達用ドラムの軸を中継軸で接続して使用するが、この軸の長さを変えたり単独のドラムユニットのみを使用することで、車幅や駆動輪の違いに対して高い汎用性を実現している。

3.2 シミュレータの原理

シミュレーションシステムでは、まず、電気自動車のコントローラからモータ電流やギアの状態などシミュレーションを行なう際に必要となるデータを A/D コンバータを介してコンピュータへと読み込む。このときのサンプリングは 20ms として

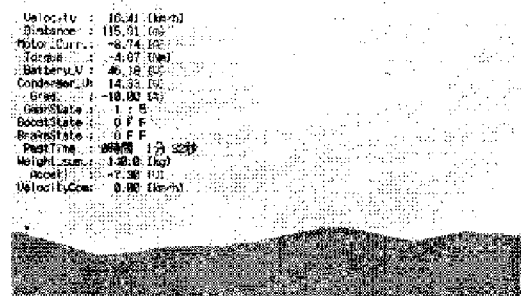


Fig. 5 シミュレーション中の画面

いる。次に、実路での走行モデルを表わした、 $[\text{駆動力}] = [\text{慣性抵抗}] + [\text{空気抵抗}] + [\text{勾配抵抗}] + [\text{転がり抵抗}]$ という運動方程式から車速を計算し、Fig. 3 に示すドラムの回転面がその算出速度となるように回転させることで、その上に設置した車両の駆動輪に対し、電気自動車が実際に路上を走行している際に生じる走行抵抗を仮想的に負荷することを実現している。

これにより、大きな手間や人員を必要とせず、また天候にも左右されることなく走行試験を行なうことが可能となる。また、コンピュータに入力した地形データファイルを差し替えることにより、走行試験に望まれる地形を自由に作り出し、その地形でのシミュレーションが可能となっている。このシミュレーションを行なう際に、オペレータは、シミュレーション中の様々なデータや想定している地形での現在地点などを Fig. 5 に示す。モニタにより確認しながら、駆動力指令やギアシフトなどの操作を行なうことができる。

今回製作したシミュレータは、高効率制御の実現に向けての走行データを採取することを主な目的としているが、実車を用いてのシミュレーションであることにより、電気自動車の駆動や回生、ブーストアップ、また、各制限回路などの動作確認や登坂性能などの性能評価用としての利用することができる。さらに、ドライバのための走行練習用として利用することも可能である。製作したシミュレータの写真を、Fig. 6 に示す。



(a) (b)

Fig. 6 シミュレータ全体写真

3.3 シミュレーションモデルの解析

今回製作したシミュレータでは、運動方程式により計算された車速となるようロードモータを制御することで、想定した走行モデルでの走行抵抗が駆動輪に負荷されるようにしている。しかしながら、このシミュレータにおいては駆動輪とドラムの回転面の間には実際に転がり摩擦力が生じる。また、ギアや駆動輪などの回転体には実際の慣性モーメントが存在する。ここでは、それらの要素がシミュレーションに与える影響の考慮、および原理についての確認のための解析を行なう。 \ddot{x}' を実際の駆動輪周の加速度、 \ddot{x} を想定モデルでの車両の加速度とする。また、 F'_r を、シミュレーションの原理に基づいてドラムにより負荷される仮想的な走行抵抗、 F'_c を、転がり摩擦抵抗などの駆動輪に加わる力、 F'_e を駆動輪が発生している駆動力とすると、駆動輪とドラムの接触面において実際に成り立つ運動方程式は、

$$F'_e - \frac{J}{R^2} \ddot{x}' + F'_c + F'_r \quad (1)$$

となる。一方、 F_e を、モータ電流を読み取ることにより計算した駆動力、 F_s を、慣性抵抗、空気抵抗、勾配抵抗、転がり抵抗以外の走行抵抗成分とすると、実路での走行を想定したモデルの運動方程式は、

$$F_e = (M + \frac{J}{R^2}) \ddot{x} + \frac{\rho C_d A}{2} \dot{x}^2 + Mg \sin \theta + \mu Mg \cos \theta + F_s \quad (2)$$

となる。なお、式(2)の右辺第一項は慣性抵抗を表し、 M はドライブを含めた車両の総重量、 J は

駆動輪やギアなどの回転体の慣性モーメント、 R は駆動輪の半径である。また、第二項は空気抵抗を表しており、 ρ は空気密度、 C_d は C_d 値、 A は基準面積である。第三項、第四項はそれぞれ、勾配抵抗、転がり抵抗を表す。

式(1) 式(2)より、

$$F'_e - F_e = M \ddot{x} + \frac{J}{R^2} (\ddot{x}' - \ddot{x}) - \frac{\rho C_d A}{2} \dot{x}^2 - Mg \sin \theta - \mu Mg \cos \theta - F_s + F'_c + F'_r \quad (3)$$

測定したモータ電流より F_e を算出しているの、 $F'_e - F_e \sim 0$ となる。また、 $\dot{x}' \simeq \dot{x}(v)$ より、 $\dot{x}' - \dot{x} \sim 0$ となるので、式(3)は、 F'_e についてまとめると、

$$F'_e = M \ddot{x} + \frac{\rho C_d A}{2} \dot{x}^2 + Mg \sin \theta + \mu Mg \cos \theta + F_s + F'_r \quad (4)$$

このとき、駆動輪に加わる抵抗成分の総和は、

$$\frac{J}{R^2} \ddot{x}' + F'_c + F'_r = (M + \frac{J}{R^2}) \ddot{x} + \frac{\rho C_d A}{2} \dot{x}^2 - Mg \sin \theta + \mu Mg \cos \theta + F_s \quad (5)$$

となる。よって、ドラムと駆動輪の接触面に負荷される転がり摩擦や、回転体の慣性モーメント、その他実際に負荷される成分の影響を受けず、運動方程式により表された想定モデルでの走行抵抗が駆動輪に加わることがわかる。

4. パラメータの同定

これまで、今回製作したシミュレータを用いることにより、想定した走行モデルを表す運動方程式にしたがった走行シミュレーションを行なうことが可能であることを説明したが、実路での走行に近似した走行データを得るにはこの運動方程式のパラメータを実際のものに近づける必要がある。そこで、以下では運動方程式のパラメータを同定する方法と、その結果決定されたパラメータを用いて算出された車速と実際の車速とを比較した図を示す。

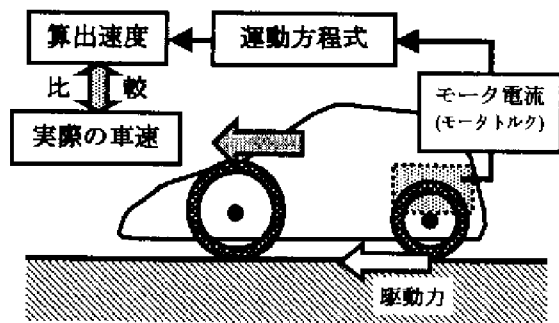


Fig. 7 パラメータ同定方法

Table 1 決定されたパラメータ

パラメータ	値	備考
全重量 M	140(59)kg	(ドライブ重量)
ギア比 G_r	1:5 1:13.9	
ギア効率 G_e	0.96 0.92	調整結果
駆動輪半径 R	0.23 m	測定値
空気密度 ρ	1.205 kg/m ³	101.3kPa, 20°C
C_d 値	0.4	調整結果
基準面積 A	0.6 m ²	測定値
トルク定数 K_t	0.278 N-m/A	山洋カタログ参照
制動定数 K_i	0.58 g-cm/rpm	山洋カタログ参照
転がり摩擦係数 μ	0.010	調整結果

4.1 同定方法

はじめに、シミュレーションの対象としている電気自動車により様々な条件で実路を走行し、そのときのモータ電流や車速の変化を測定する。次に、測定したモータ電流にモータのトルク定数をかけることでそのときのモータトルクがわかるが、それをを用いて運動方程式を解き、車速を算出する。この算出された車速と測定された実際の車速を比較し、両者ができるだけ近似するように運動方程式のパラメータを調節していく (Fig. 7)。

このとき、車重やトルク定数などの測定できるパラメータやカタログ値を用いることにより、調整が必要なパラメータをできるだけ減らすようにした。

その結果、決定しパラメータを、Table 1に示す。

4.2 走行実験との比較

以上のようにして同定したパラメータを用いた運動方程式により算出された車速と、走行実験で測定された実際の車速とを比較した結果をFig. 8～

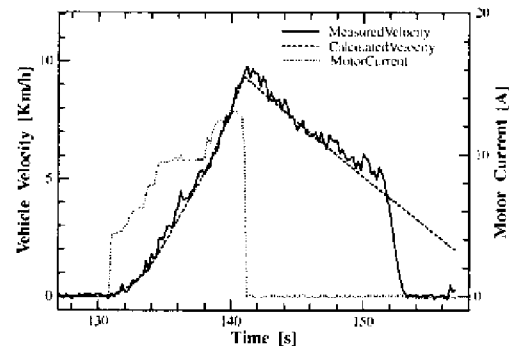


Fig. 8 加速のみの走行 (Hiギア)

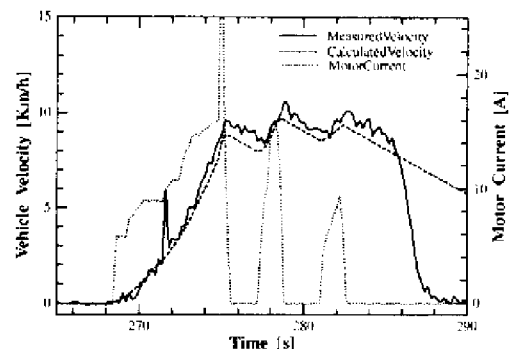


Fig. 9 加減速を含む走行 (Hiギア)

Fig. 13に示す。いずれの図においても、点線は測定されたモータ電流であり、実線は測定された車速、破線は算出された車速を表している。ここで比較を行なっているデータは、まずHiギアにしたときについては、加速のみの走行 (Fig. 8)、加減速を含む走行 (Fig. 9)、回生を含む走行 (Fig. 10)を行なったものである。次にLowギアにしたときについては、加速のみの走行 (Fig. 11)、加減速を含む走行 (Fig. 12)、ブーストアップを含む走行 (Fig. 13)を行なったものである。多少のずれを含むものもあるが、算出した車速と測定値は比較的よく一致しているといえる。これにより、運動方程式による想定モデルが実際の走行時のものに十分近づいたとみなし、ここで決定されたパラメータをシミュレーションを行うために用いる。なお、データの後半の方で、測定車速と算出車速が大きくずれているものがあるが、これはその時点において運動方程式では考慮していない機械的なブレーキによる減速を行なったためである。

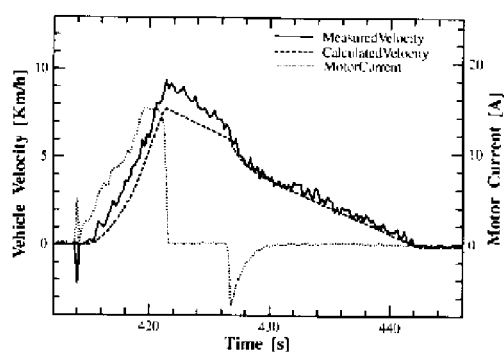


Fig. 10 回生を含む走行 (Hiギア)

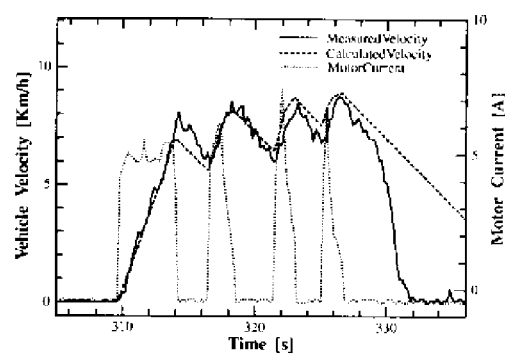


Fig. 12 加減速を含む走行 (Lowギア)

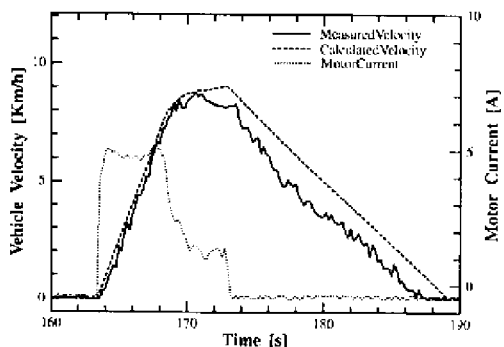


Fig. 11 加速のみの走行 (Lowギア)

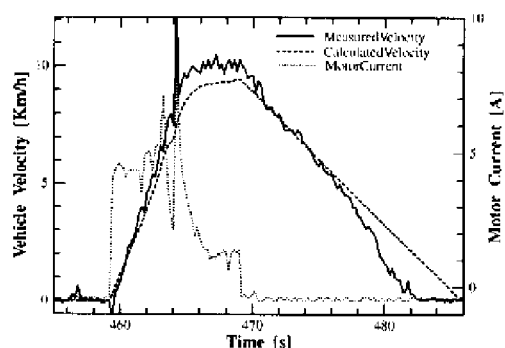


Fig. 13 ブーストアップを含む走行 (Lowギア)

5. シミュレータを用いた走行実験

5.1 シミュレータの動作確認

実際の走行データとの比較により同定したパラメータを用いた運動方程式をシミュレータに組み込みむことでシミュレータを構成した。ここでは、このシミュレータを用いることで運動方程式により算出した走行抵抗が原理の通り駆動輪に負荷されているかの確認を行なった。

地形を定斜度として、駆動モータの回転数が飽和した状態で走行することで定速走行を行ない、そのとき駆動モータの発生したトルクを測定した。この値と各斜度で定速時に駆動輪に加わる勾配抵抗などの走行抵抗を計算し、駆動モータへの負荷トルクに換算したものとを比較した結果をFig. 14に示す。原理において示した通り、運動方程式で想定している走行抵抗が駆動輪に負荷されていることがFig. 14により確認できた。よって、今回製作したシミュレータを用いることで様々な条件での走行試験ができ、また、その際のデータを採取

することができることとなる。

5.2 通常走行での走行試験

5.2.1 一定速度による登坂試験

Lowギアにおいて、異なる斜度を一定速度により登坂した際の登坂速度とバッテリー出力電力との関係をFig. 15に示す。この図より、登坂速度が高いほど、また、斜度が大きくなるほど走行する際に大きなバッテリーの出力電力を必要とすることがわかる。次に、この結果をもとに算出した単位距離あたりの消費エネルギーを、Fig. 16に示す。この図より、全ての斜度において、登坂速度が小さいほど単位距離あたりの消費エネルギーが大きくなるという結果が得られた。これは、今回測定した登坂速度範囲では、空気抵抗の影響がほとんどなく登坂時に要するモータトルク、すなわちモータ電流は登坂速度の変化に関わらずほぼ一定となる。このため、銅損などのモータ電流に依存する損失も車速の変化に関わらず一定となると考えられる。

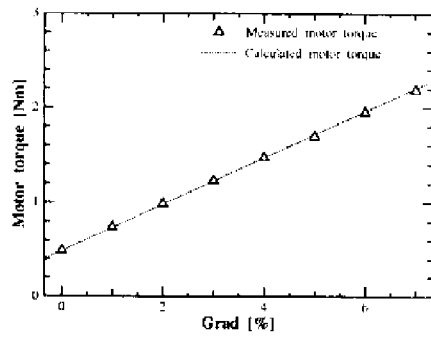


Fig. 14 モータトルクの実測値との比較

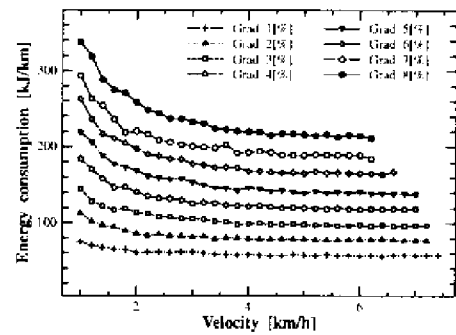


Fig. 16 単位距離あたりの消費エネルギー

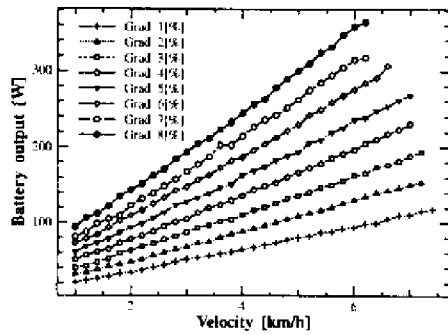


Fig. 15 登坂速度とバッテリー出力電力の関係

一方で、車速が小さいほど単位距離を走行するのに大きな時間を要することになるので、その分損失エネルギーが大きくなりこのような結果になったと考えられる。

5.2.2 バッテリシミュレータでの航続距離の推定

車速が高いほど単位距離あたりの消費エネルギーは小さいという結果が得られたが、この結果を受けて走行速度が高いほど効率のよい走行、つまり長距離走行ができると直ちに結論づけることはできない。それは、バッテリーとして使用している鉛蓄電池は、電流の大きさによって取り出せる電気量が大きく変化してしまうからである。したがって、その関係を調べるには各傾斜、また各速度において航続距離を実験により測定しなくてはならない。そのためには膨大な時間と労力を要するので、当研究室の五十嵐により製作されたバッテリーのエネルギー収支についてのシミュレータを利用してこれを行なうこととした²⁾。バッテリーの残量は電気量[Ah]で表されるため、シミュレーションはバッテリー電流値を用いて行なうこととなる。しかし、パッ

テリが消費するにつれて、その電圧が低下し同斜度を同速度で走行する場合においてもバッテリー電流は変化していくので、各斜度、各速度でのバッテリー電流の測定値を用いてシミュレーションすることはできない。そこで、Fig. 15に示したバッテリーの出力電力値を用いてのシミュレーションを行なった。このとき、バッテリー電流は、バッテリーの出力電力をシミュレータにより計算されたバッテリーの両端電圧で割ることで求めた。制御回路や電磁クラッチにより消費されるバッテリー電流(0.73A)もここでは考慮にいれている。なお、ここで用いたバッテリーシミュレータは、バッテリーの容量やバッテリー電流値などから、バッテリーの両端子間電圧、開放電圧、および内部抵抗を算出することが可能である。シミュレーションの終了条件を、バッテリーの一個あたりの電圧が9V以下の状態が15秒間持続する(エコランルールに準ずる)こととしたときのシミュレーション結果を、Fig. 17に示す。このシミュレーション結果から、斜度が大きいとき、航続距離は走行速度にあまり影響をうけないということがわかる。また、航続距離がもっとも長くなる速度は斜度が小さいほど高くなっていくということも図から読み取ることができる。

5.2.3 一定速度での登坂する際の効率

バッテリー出力電力とインバータの効率の関係をFig. 18に示す。この図により、バッテリーの出力電力、つまりインバータの入力電力が200W程まで

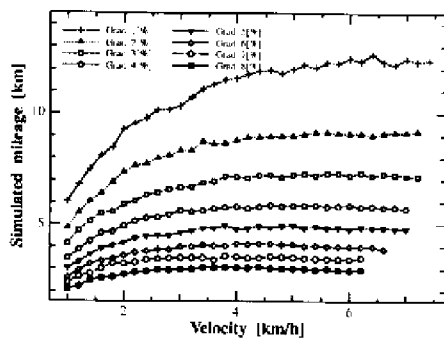


Fig. 17 航続距離の推定

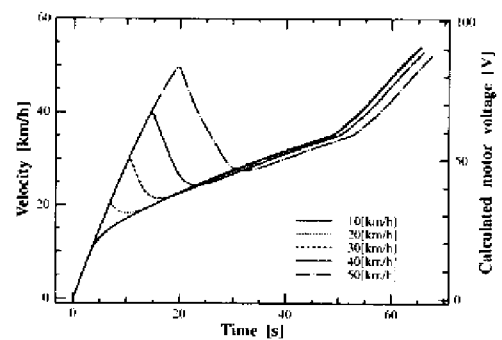


Fig. 19 回生時の速度変化

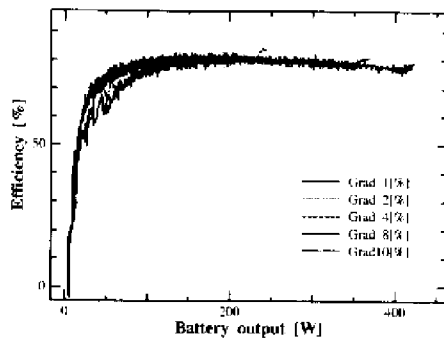


Fig. 18 バッテリ出力電力と効率の関係

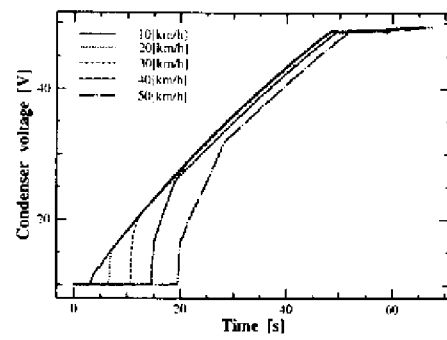


Fig. 20 回生時のコンデンサ電圧の変化

はインバータの効率は高く、それ以降では徐々に効率が低下していくことがわかる。これは、この速度範囲において定常速度での登坂時には、バッテリーの出力電力の変化に関わらずモータ電流は一定となっているため、モータと同じ電流が流れるインバータの出力段における損失もほぼ一定となると考えられる。しかし、バッテリーの出力電力が小さくなるほど伝達される電力が小さくなるため、相対的に損失の割合が大きくなり、その結果効率が低くなってしまったと考えられる。また、バッテリーの出力電力が大きく、インバータの効率が低下していく部分については、バッテリー電流の増加につれそれによる損失の影響が支配的になってくるからではないかと考えられる。また、Fig. 18において同じバッテリー出力電力であれば、斜度が小さいほどインバータの効率は高くなっている。これは、斜度が小さいほどモータ電流は小さくて済むためそれによる損失がより小さくなるためである。また、同じバッテリー出力電力であれば、斜度が小さいほど車速が高くなるため、モータの誘起

電圧も高くなっている。よって、インバータの入出力の電圧差が小さくなり、それにより生じる電流リップルによる損失やスイッチング損失³⁾も小さくて済むためであると考えられる。

5.3 回生に関する試験

5.3.1 回生開始速度を変えた際の試験結果

初期速度 0km/hで 10%の下り坂を下り、回生制動を開始した速度を変えた際の車速とコンデンサ電圧の変化をそれぞれ、Fig. 19, Fig. 20に示す。この走行実験においては、コンデンサの初期電圧を 10V、またギアは Hiギアを選択している。両図により、回生制動を行なうことで運動エネルギーをコンデンサの電気エネルギーへと変換できていることがわかる。回生制動を行なった直後は急激な減速がみられるが、あるところでなだらかな増速に変化している。これは、今回用いている回生用コンバータが降圧型であるため、モータの回転により生じる誘起電圧がコンデンサ電圧より大きくないと回生が行なえないためである。この部分にお

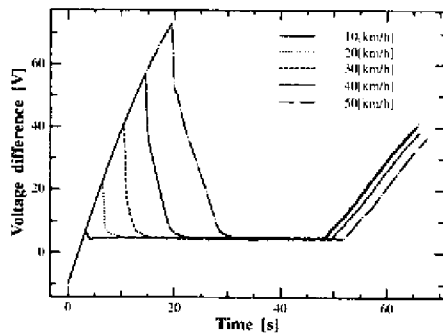


Fig. 21 コンバータの入出力電圧の変化

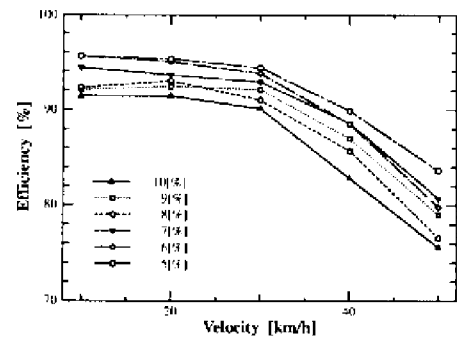


Fig. 23 コンバータの平均効率

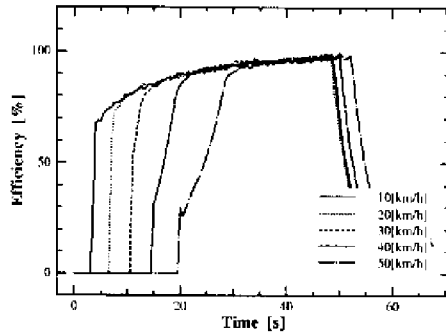


Fig. 22 回生時のコンバータの効率

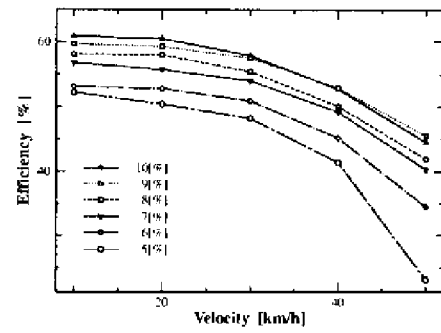


Fig. 24 位置エネルギーの有効活用率

いて、コンデンサ電圧と駆動モータの速度の増加は平衡状態となっており、コンバータの入出力電圧差は小さい状態で一定となっている (Fig. 21)。このときのコンバータの効率を Fig. 22 に示す。回生制動を開始した直後は、コンデンサ電流が大きく、Fig. 21 のようにコンバータの入出力間の電圧差も大きくなっている。したがって、コンデンサ電流による損失やコンバータの入出力電圧差により生じる電流リップルによる損失、さらにトランジスタのスイッチング損失のため、コンバータの効率は低くなっている。しかし、車速の増加とコンデンサ電圧の増加が平衡状態となった状態では効率が非常に高くなり、その後徐々に上昇している。これは、平衡状態においてはコンデンサ電流やコンバータの入出力電圧差が小さい状態で一定になっているため、それらによる損失も小さく、一定であると考えられるが、一方で車速の増加とともにコンバータが伝達する総電力は増加していくことにより、相対的に損失が小さくなっていくからだと考えられる。

回生開始速度と、コンデンサがフル充電となるまでのコンバータの平均効率を Fig. 23 に示す。図より、下り斜度が小さいほどコンバータの平均効率が高くなっているのがわかる。回生開始速度については、できるだけ早く車速の増加とコンデンサ電圧の増加が平衡状態となるように、コンデンサ電圧とモータの誘起電圧が等しくなる車速から回生を開始するのがよいといえる。

5.3.2 位置エネルギーの有効活用率

回生開始速度を変えたときの位置エネルギーの有効活用率を、Fig. 24 に示す。ここで、位置エネルギーの有効活用率を、コンデンサがフル充電となるまでにコンデンサへ回生されたエネルギーに、その時点での運動エネルギーを加え、それをそれまで消費した位置エネルギーで割ったものと定義した。図より、回生開始車速が低いほど位置エネルギーの有効活用率は高くなっていることがわかる。一方、コンバータの効率は、下り斜度が大きいほど低くなっていたが、この有効活用率は、下り斜度が大きい

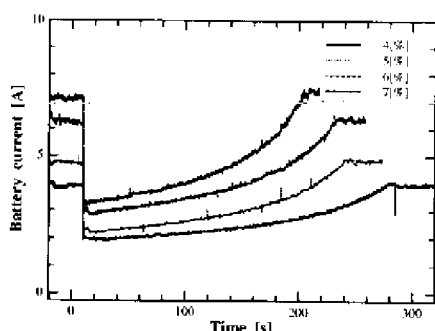


Fig. 25 ブーストアップ時の電流変化

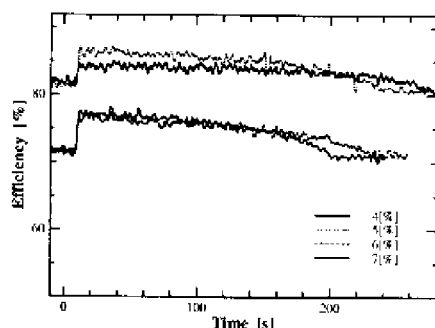


Fig. 26 ブーストアップ時の効率変化

ほど高くなっている。これは、下り斜度が大きいほどコンデンサは短時間でフル充電となるが、その分、空気抵抗や転がり抵抗などによる損失が小さくて済むからであると考えられる。

5.4 ブーストアップに関する試験

異なる斜度において、コンデンサはフル充電（約50V）の状態ブーストアップを行なった際のバッテリー電流とインバータの効率の変化をそれぞれFig. 25, Fig. 26に示す。このとき、ブーストアップの前後において車速を6 km/hのまま一定としているためインバータの出力電力も一定となるが、ブーストアップによりコンデンサがバッテリーと直列に接続されることで、電源電圧がおおよそ倍となるためバッテリー電流が約半分程度に抑えられる。そして、コンデンサのエネルギーが消費され、コンデンサの両端電圧が低くなるにつれバッテリー電流が元の大きさに戻っていく様子がFig. 25から読み取れる。また、バッテリー電流が小さくなることによりインバータの効率が改善されることがFig. 26

により確認できる。このとき、斜度が大きいほどバッテリー電流の減少が大きく、効率が改善される量も大きくなっていることがわかる。

6. おわりに

今回は、小型電気自動車についての走行シミュレーションを可能とするドラム式パワーシミュレータを製作し、それを用いて走行試験データを採取した。このシミュレータの原理は、一般の電気自動車のみならず駆動力の測定が可能であるものであれば、広く応用が可能であると考えられる。また、今回の走行試験の結果から次のことがわかった。まず、車速が高いほど単位距離あたりの消費エネルギーが低くなり、航続距離についてもおおよそ長くなると言える。コンデンサへ回生する際には、回生によるコンデンサ電圧の上昇と車速の上昇が平衡状態となる時、高い回生効率が得られる。したがって蓄えたエネルギーによって電圧が変化していくコンデンサの性質をうまく利用することで非常に効率のよい回生ができると考えられる。また、下り斜度が大きいほど、コンバータの効率は悪くなるものの、結果としてエネルギーを有効に活用することができる。ブーストアップについては、その前後において車速を一定に保つとき、登り斜度が大きくなるほど走行効率に大きな改善がみられた。

今後としては、さらに回生やブーストアップについての走行試験を行ない、それらの有効な運用法を研究したいと考えている。

参考文献

- 1) 田口雅典：あなたのクルマをEVに乗り換えよう，12/69，オーエス出版社（1996）
- 2) 五十嵐 和広：1997年度東北大学学士論文，15/31，（1998）
- 3) 原田 耕介：スイッチングコンバータの基礎，89/109，コロナ社（1992）