

2002 World Econo Move in 秋田の報告

高橋 正則

1. はじめに

筆者は、Electric Vehicle (以下EV) を試作し、EVエコラン競技に出場する機会を得た。EVエコラン競技は「同一バッテリーで制限時間内にどれだけ長い距離を走れるか」を競うものである。

2002年度は学生と共にWorld Econo Move (以下WEM) in秋田, WEM in 豊田, Econo Power in GIFU, エコデンレースの4つのEVエコラン競技に出場した。中でもWEM in 秋田は2回目の参加であり、前回参加時に対して、電気回路を改良することにより記録を伸ばすことができた。その内容を中心に報告する。

2. 大会の概要

全国各地でこのようなEVエコラン競技が行われているが、WEM in秋田は参加台数、コース距離ともに最大規模の大会である。今年度は5月4,5日に開催された。コースレイアウトは平坦な直線路を折り返す全長6kmのコースである(図1)。競技は各車一斉にスタートし、2時間の競技終了後に走行距離を実測する形で行われる。競技に使用するバッテリーは、大会側から同一性能のFT4L-BS (12V-3Ah/10HR) (図2) が4個支給される。また、規定バッテリー以外の電池は搭載が認められない。ドライバーの体重は70kg以上でなければならず、体重が不足する場合にはウェイトの搭載が義務づけられる。よって、電力、ドライバー体重に差がない同条件となり、車両性能、エネルギー管理、運転技術などが勝敗を左右することになる。

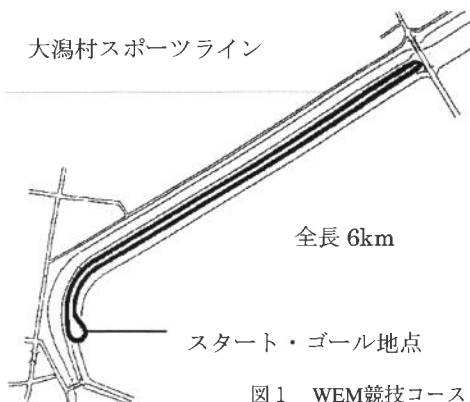


図1 WEM競技コース

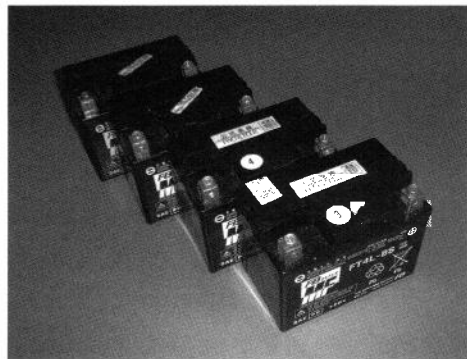


図2 バッテリー

3. バッテリーの特性と競技の攻略

WEMにおいて走行距離を伸ばすには、車両の走行抵抗を少なくすること、バッテリーからより多くの電気量を取り出すこと、そして、効率の高い電気回路にすることが重要となる。今大会では図3に示す既存のEV²⁾を使用することとし、電気回路の改良並びにバッテリー使用方法に重点を置いた。EVの諸元を表1に示す。

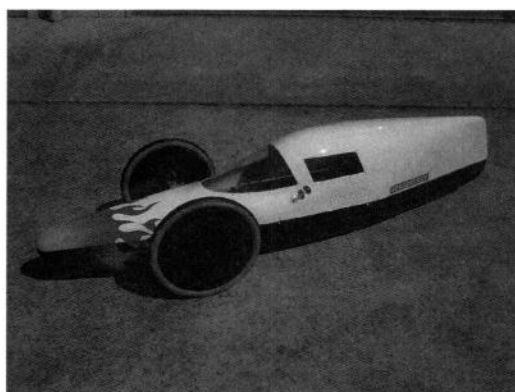


図3 電気自動車

表1 車両諸元

全長	2540mm
全幅	700mm
全高	590mm
ホイール・ベース	1300mm
トレッド	650mm
車両重量	22kg
フレーム	アルミ・スペースフレーム
ボディ	GFRP
タイヤ	競技用スリック20×1.75
ステアリング機構	アッカーマン・ジャント式
ブレーキ装置	自転車用キャリパ2系統
モーター	DCブラシレス 12V-60W (ミツバ製)
速度制御	PWM制御
回生制動	有
駆動機構	ダイレクト・ドライブ
バッテリー	FT4L-BS (3.0Ah/10h) 4個

バッテリーの特性を踏まえて、以下のように競技におけるバッテリーの使用方法を検討した。

(1)時間率

バッテリーは、時間率が大きいほど取り出せる電気量が大きくなる。よって、EVエコラン競技では、制限時間一杯を使って一定に電流を取り出す方が、時間率を大きくすることになり有効であると言える。

(2)温度特性

バッテリーは温度が高いほど取り出せる電気量が増加する傾向にある。これは、温度が上昇すると電解液の拡散が良好となり、極板活物質内部まで浸透が容易となり内部抵抗が減少するためである。しかし、必要以上に温度を上げると、電解液の気化や、バッテリーケースの軟化にともなう極板の損傷により、総容量が減少する。以上のことから、バッテリーを50~60℃に湯煎し、競技中はカイロで保温することにした。

(3)電圧放電特性

図4に示すバッテリー電圧放電特性のように、EVを走行させバッテリーを放電させていくとバッテリー電圧は時間と共に降下していく。更に放電末期の状況では急激に電圧降下をする。

DCモータの回転速度は電圧の高さに比例する。よって電力消費により端子電圧が降下してくる競技終盤には、急激に車速が低下していく傾向にある。記録を伸ばそうとするには、単純に最高速度を上げることを考えるが、一時的な速度の上昇は空気抵抗を増加させることになり、結果として

時間当たりの電力消費が増加する。これは前述した「時間率を大きくすること」に反する。バッテリーの特性を考慮すると競技時間全体を通しての一定速度で走行し、平均速度を上げる方法が有効であると言える。そのためには競技終盤の電圧降下を補う工夫が必要となる。

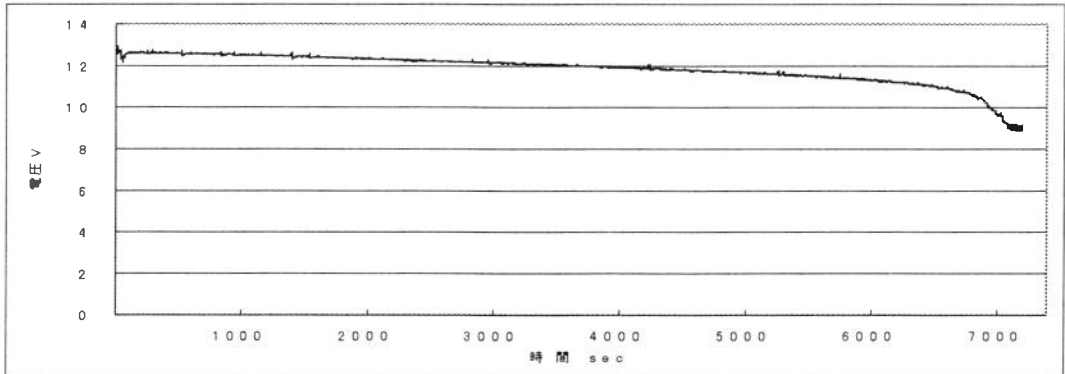


図4 走行時バッテリー電圧放電特性

4. 電気回路

前述したように、競技時間全体を通して、バッテリーを保温し、平均的にバッテリーから電気を取り出す事と、一定速度で走行することが重要である。

一定速度で走行する方法は幾つか考えられるが、今回は、競技終盤の著しい速度低下を改善するため、バッテリー電圧降下時に、図6に示す電源回路により、スイッチを切り替えて供給電圧を昇圧することを試みた。その内容を以下に示す。

(1)電気二重層キャパシタを使用した回生制動と電源の昇圧

WEMではコースに折返し地点があり、旋回するためには減速が必要となる。減速をする際に回生制動を行いエネルギーの回収をする。しかし、平地における回生制動は、モータの無負荷回転数以下の状況であるため、電源電圧以下の発電電圧となる。このため昇圧回路を設けない限り、電圧12Vのバッテリーには充電ができない。そこで、回生電力はバッテリーに充電せず、低い電圧に設定した電気二重層キャパシタに充電することとした。充電された電力は、バッテリー電圧が低下してくる競技後半に、図6中のSW1・SW2を操作することにより、バッテリーに直列に接続することで電源電圧を高める使用方法とした。

キャパシタの構成は以下のように設定した。

総重量100kg（ドライバ体重70kg+車両重量）の電気自動車が時速30km/hから20km/hまで減速した時を仮定し、その時の運動エネルギー E を求めると

$$E = \frac{1}{2} m (V_0^2 - V_1^2)$$

より、概算で1929Jのエネルギーである。競技時間の前半1時間で5回の回生制動を行うと仮定して、1Vに充電されているキャパシタに2.5Vまで充電する場合、必要なキャパシタ容量Cは、

$$E = \frac{1}{2} C (V_0^2 - V_1^2)$$

$$C = \frac{2E}{V_1^2 - V_0^2}$$

より約3674.3Fである。

しかし、このキャパシタ容量値は回生制動時の車両に掛かる走行抵抗を考慮していないため、実際に必要なキャパシタ容量ではない。仮にキャパシタが満充電の状態になった場合は、その都度キャパシタ電力を消費することで解決ができると判断し、キャパシタの構成は2.5V-400Fを5並列とした2.5V-2000Fとした。

競技での電気二重層キャパシタの使用は規定で認められているが、スタート前に競技オフィシャルにキャパシタ電荷がゼロであることを証明しなければならない。しかし、キャパシタ0Vに回生制動時の大電流を充電するのは効率が悪いので、キャパシタ電荷ゼロ点検の直後に、バッテリーからスイッチング回路を用いて、5Aの一定電流で電圧1Vになるまで予充電をすることにした。



図5 電気二重層キャパシタ

表2 電気二重層キャパシタの諸元

品名	DL400F (日本ケミコン)
サイズ	φ35×55Lmm
重量	80g
静電容量	400F
蓄積エネルギー量	1250J
定格電圧	2.5V
内部抵抗	9 mΩ
漏れ電流値	8 mA

(2) バッテリーの直・並列切替えによる昇圧

競技終盤では、バッテリー電圧が更に低下してしまう。そこで、図6中のSW3を操作してバッテリー4並列を、2直列2並列に切り替えて、電源電圧を更に上げる方法とした。

計算上は12Vから24Vに電圧が上昇することになる。電圧を切り替える時期を誤ると高電圧によりモータドライバを損傷する恐れがある。しかし競技終盤においては、バッテリー容量の低下と、バッテリー内部抵抗の増加から、直・並列切替え時に15V程度までにしか電圧は上がらない。

以上の回路によって、競技時間全体を通して電源電圧をできるだけ高く保つことでモータ回転速度を維持し、平均速度を上げる方法を取った。

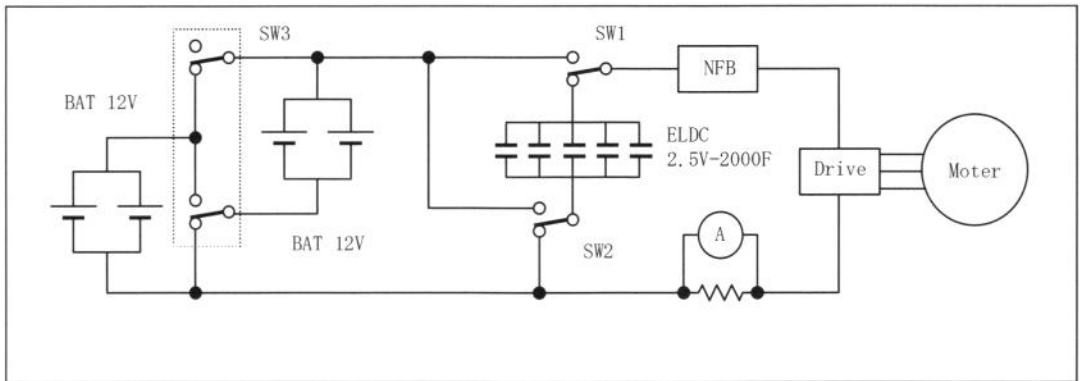


図6 電気自動車電源回路図

5. 大会結果

今回のWEMは、5月4日が豪雨のため、決勝グリッドを決める公式予選が中止となり、5月5日の決勝のスターティング・グリッドはゼッケン順となった。スターティング・グリッドが最後尾の付近であったため、スタートゲートを通るまでにかかなりの時間を要した。スタート後は順調に周回を重ねることができた。周回のラップタイムを図7に示す。

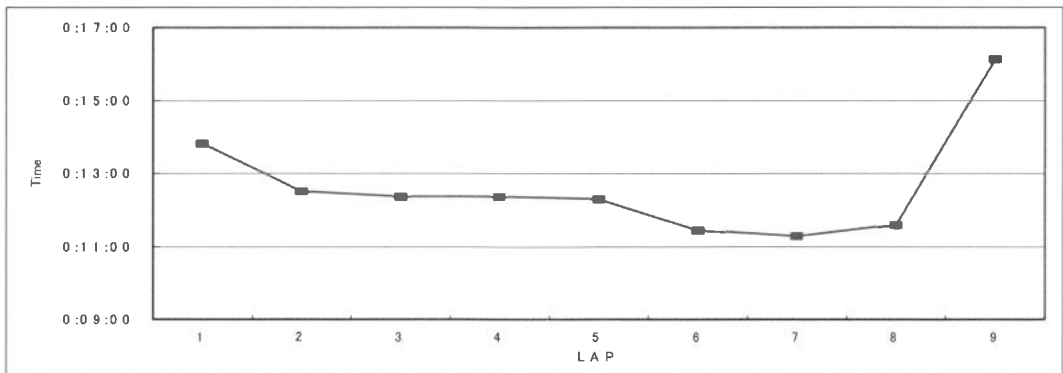


図7 ラップタイム

走行中のドライバーとは携帯電話で交信をした（規定で認められている）。ラップタイムとバッテリー電圧を確認しながら競技開始1時間経ったところでペースアップの指示を出した。しかし、それが裏目にでたのか、競技終盤にきて急激に速度が低下してしまった。今回の電源電圧を昇圧する回路でなければ競技時間途中で停止してしまったものと思われる。

競技時間終了間際、10周目の周回に入りピット前を通過していった。2時間の走行を終えると、走行距離の計測が行われる。我がチームのEVは2.3km付近に停止していた。ドライバーの話によれば、スイッチ類が多く操作が難しいものであったが、予定どおりの操作ができたとのことであった。

結果も昨年の49967.07m / 2hに対して56827.20m / 2hと記録を伸ばすことができた。

競技時間内のバッテリーとキャパシタの電圧波形を図9に示す。電流波形を図10に示す。電圧電流波形が示す通り、折返し地点において回生制動を行い、その後キャパシタ電圧が上昇している。競技後半になったところで、キャパシタ電圧をバッテリー電圧に上乗せし電源電圧を高めている。競技終盤には、バッテリーを4並列から2直2並列に切替えて再度電源電圧を昇圧させている。

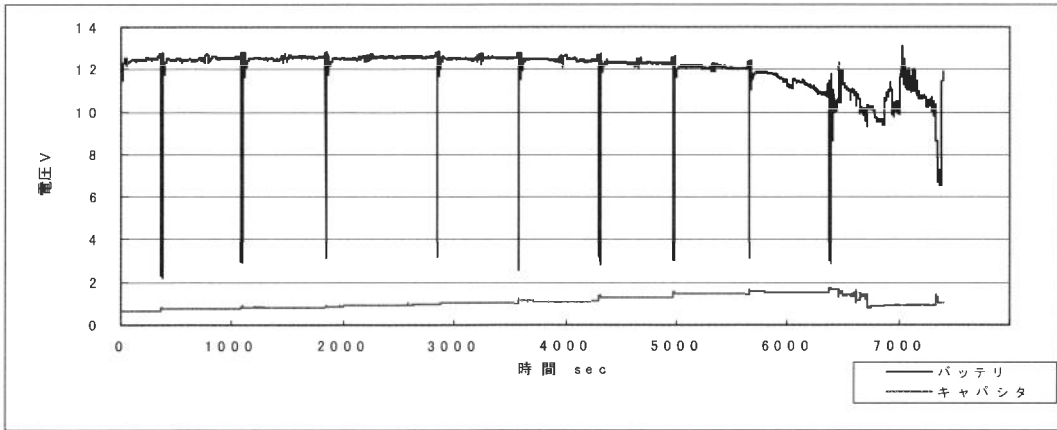


図9 バッテリーとキャパシタの電圧波形

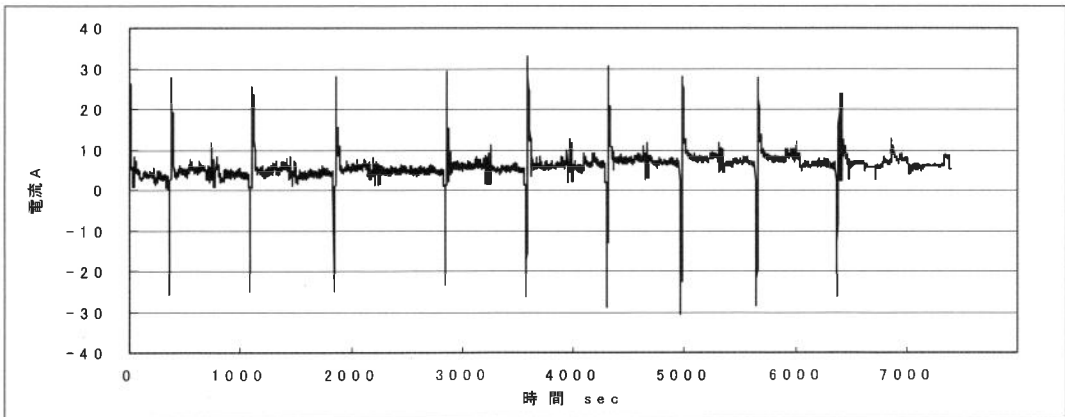


図10 電流波形

6. ま と め

今回のWEM in 秋田に参加するにあたって、回生制動やバッテリーの直並列切替えといった電気回路を工夫することで記録を伸ばすことができたが、上位のチームの記録とは大きな差がある。これは車両の基本性能とも言える空気抵抗や転がり抵抗の差ではないかと考えられる。60Wという小さな電力で人間一人を移動させることを考えたときに、わずかな抵抗でも記録として大きく変わることを痛感した。今後、大会で得た経験をもとに、より車両性能の高いEVを試作するとともに、

電気回路の更なる高効率化について研究していきたいと思う。巻末に大会公式記録を掲載する。

今年度のレース活動にあたり多くの学生諸君の協力を得た。WEM秋田，豊田の2大会にてドライバーを勤めた専攻科1年生の堀田耕平君，Econo power in GIFU，エコデンレースの2大会にてドライバーを勤めた本科2年生の古西健君，メカニックとして活躍した専攻科生1年生の鈴木英行君，本科2年生の西郷迪宏君，酒向優詞君，高谷寿夫君，本多康人君には心より感謝している。

最後に，大会参加にあたり多大なご協力とご理解を頂いた吉田豊彦講師，市川邦彦講師に謝意を表するとともに，技術的なご指導を頂いた西側助教授，(株)ミツバの柳原氏に謝意を表します。また，研究活動に助成を賜った小川科学技術財団に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 西側通雄，清水啓司，横井隆治，佐藤幹夫，高行男：“省エネEVの試作”中日本自動車短期大学論叢，第29号，1999，p.37-44.
- 2) 高橋正則，神谷伶，竹田修一郎，渡慶次直，仲野淳史，川島尚也，三浦貴志：FRPによる省エネEV用カウリングの試作，中日本自動車短期大学論叢，第31号，2001，p.37-42.
- 3) 高橋正則：電気自動車用電源回路の一考察，自動車整備に関する研究報告誌，第30号，2001年，p.46-49.
- 4) 岡村迪夫：電気二重層キャパシタと蓄電システム，東京，日刊工業新聞社，1999，237p
- 5) 株式会社CCR，日本ケミコン株式会社：電気二重層コンデンサ Technical Note，5p

2002 World Econo Move



Table with 5 columns: 順位, チーム名, 車名, 走行距離(m), 1st出走 GPポイント. Lists various teams and their performance in the 2002 World Econo Move.

2002 World Econo Move



Table with 5 columns: 順位, チーム名, 車名, 走行距離(m), 1st出走 GPポイント. Lists various teams and their performance in the 2002 World Econo Move.

公式総合記録

2002年5月5日 15:00 発表

スポンサー広告: 大澤村ソーラースポーツライン, Coca-Cola, CG, FB, 古河電池株式会社, 秋田銀行, 秋田朝日放送

スポンサー広告: 大澤村ソーラースポーツライン, Coca-Cola, CG, FB, 古河電池株式会社, 秋田銀行, 秋田朝日放送