

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は、大会側から同一性能のFT4L-BS (12V - 3 Ah / 10HR) (図2) が4個支給される。また、規定バッテリ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、ドライバ一体重に差がない同条件となり、車両性能、エネルギー・マネージメント、運転技術などが勝敗を左右することになる。

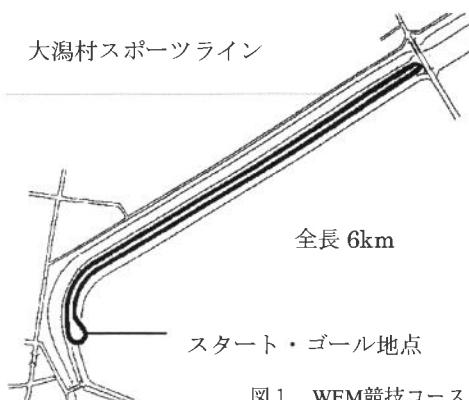


図1 WEM競技コース



図2 バッテリ

3. バッテリ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使用方法に重点を置いた。EVの諸元を表1に示す。

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	FT 4 L-BS (3.0Ah/10h) 4個

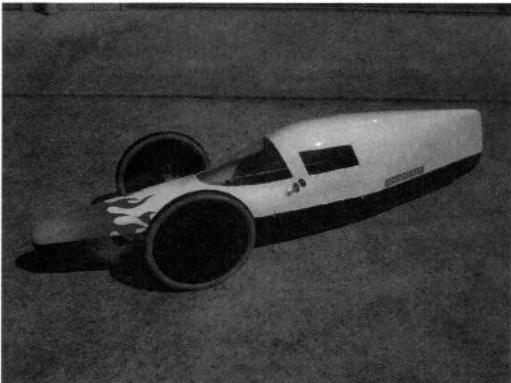


図3 電気自動車

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

(1)時間率

バッテリは、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、バッテリを50~60°C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に示すバッテリ電圧放電特性のように、EVを走行させバッテリを放電させていくとバッテリ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。

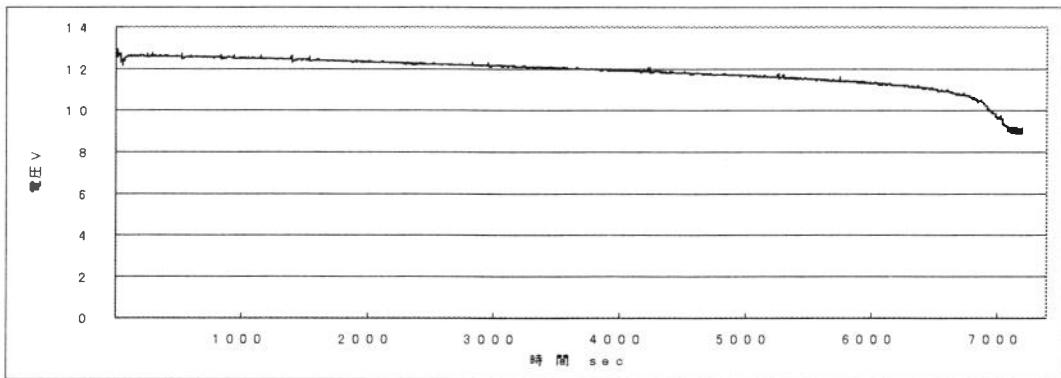


図4 走行時バッテリ電圧放電特性

4. 電 気 回 路

前述したように、競技時間全体を通して、バッテリを保温し、平均的にバッテリから電気を取り出すことと、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のバッテリには充電ができない。そこで、回生電力はバッテリに充電せずに、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、バッテリ電圧が低下していく競技後半に、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

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

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ため、キャパシタ電荷ゼロ点検の直後に、バッテリ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。



表2 電気二重層キャパシタの諸元

品名	DLA400F (日本ケミコン)
サイズ	ø 35 × 55Lmm
重量	80g
静電容器	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

図5 電気二重層キャパシタ

(2)バッテリの直・並列切替えによる昇圧

競技終盤では、バッテリ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、バッテリ容量の低下と、バッテリ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。

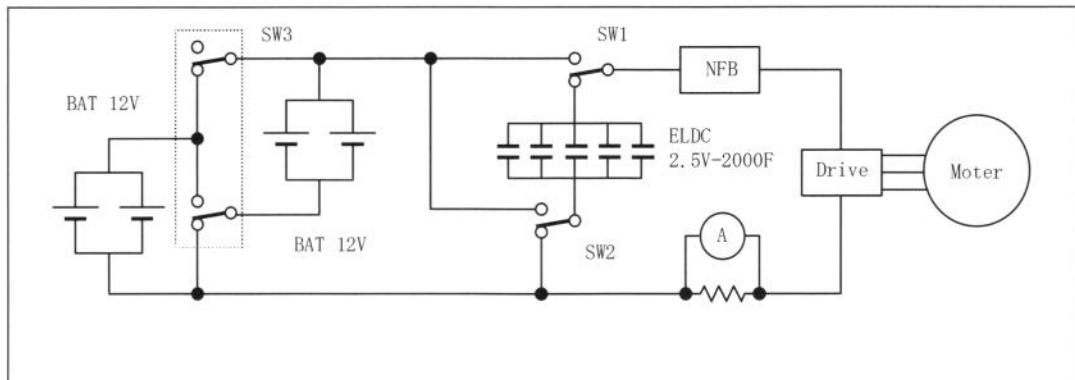


図6 電気自動車電源回路図

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日の決勝のスタートティング・グリッドはゼッケン順となった。スタートティング・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過するまでに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。

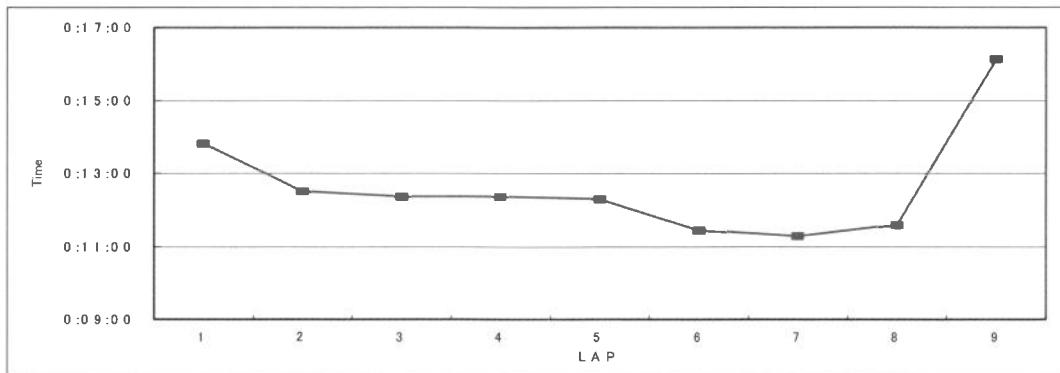


図7 ラップタイム

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／2 hに対して56827.20m／2 hと記録を伸ばすことができた。

競技時間内のバッテリ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。

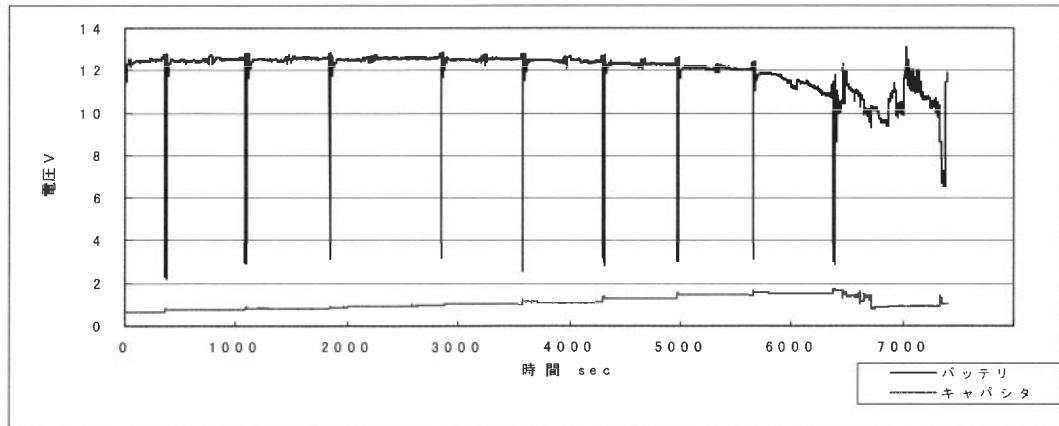


図9 バッテリとキャパシタの電圧波形

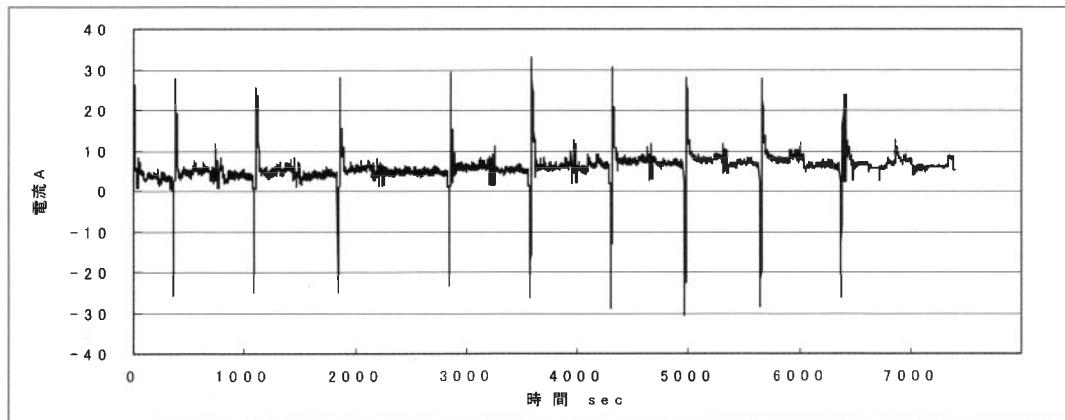


図10 電流波形

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 Economic Report



公式総合記録

名	種別	選手番号	選手名	回数		走行距離(m)	走行順位	GP記録
				走	飛			
1	5 チーム-9イシントン! ミシバ	Hyper USO 860		13	79,093.18	4,927.901	18	
2	3 ポルエンジニアリング EVER-BLUE	Aqua		12	78,962.14	4,863.662	13	
3	4 2 フランジエンジニアリング EVER-RED	スパー-モストラ		12	78,833.50	4,724.806	22	
4	1 チーム-3ベーエナジー	スパー-エナジー-Ver 5.3 spec 02		12	75,759.60	4,724.221	8	
5	2 フランジエンジニアリング EVER-RED	Superior		12	73,872.80	4,602.645	7	
6	7 肇慶大工競技部	NEVA TECH EV		12	73,893.30	4,580.059	6	
7	8 鹿児島工業高等学校	Zephyrathes		12	73,188.00	4,559.978	1	
8	9 鹿児島大工研究会	Super TECH+1号 C-Spec		12	72,612.50	4,524.422	4	
9	10 26 TEAM 黒潮-めつたづ-ずず田団	Super TECH+1号 C-Spec		11	70,097.30	4,367.412	3	
10	11 44 金沢工業大学考房	ハイテク-70号 四田七龍		11	70,022.70	4,362.766	2	
11	101 和歌山県立工業高等学校生徒技術部	Golden Eagle 01		11	69,738.83	4,345.078	1	
12	127 鹿児島県立工業高等学校	Spirit of 鹿北		11	69,743.31	4,223.647	1	
13	13 28 チームサンダーラッシュ	C3		11	67,236.30	4,189.158		
14	14 103 長野工業高等専学校	S.P. evolution		11	66,920.80	4,166.560		
15	126 鹿児島県立工業高等専学校	Breeze		10	66,277.72	4,129.433		
16	19 アソリゲーツ	タガランザーパー		10	66,167.45	4,122.565		
17	18 Team ENDLESS	Black bird EV		10	66,103.00	4,093.625		
18	16 名城大学コノハクラブ	CHALLENGER IV		10	66,193.38	4,061.874		
19	20 105 Scuderia 県立高	TKR 2001		10	65,913.50	3,985.815		
20	21 118 鹿児島県立工業高等学校研究会	ブレイブンバース2号		10	63,921.15	3,982.645		
21	21 129 和歌山県立工業高等学校	EV-2002-鶴工		10	63,508.76	3,986.913		
22	114 鹿児島県立工業高等専学校	Knuthbird (カサセミ)		10	62,229.03	3,871.180		
23	23 16 名城大学コノハクラブ	MEV-2001		10	61,342.35	3,821.915		
24	25 25 Virgin-Cina Racing	か-5-く-く		10	60,315.70	3,776.661		
25	53 TEAM ブーン-そとの仲間たち	YOSOFIJIMARU-T92 EV		10	60,359.50	3,773.186		
26	25 57 TEAM Aishida	TGTY AHISHIDA EV キヤンチャーハー		10	60,427.37	3,764.948		
27	41 真備大学研究会	フアーダ-マーベック		10	60,342.00	3,759.608		
28	28 115 鹿児島県立工業高等専学校B	blue-and-white fly catcher		9	62,229.35	3,752.602		
29	54 三ツ星工業高等専学校	二風谷三ツ星の魔術		9	59,894.83	3,719.286		
30	22 22 三ツ星工業高等専学校	エニグモ電音号		9	59,379.00	3,689.609		
31	32 116 青森県立高校競技部	HOP-E		9	59,341.70	3,687.285		
32	31 119 鹿児島県立鹿児島工業高等専学校	ブルーインパルス4号		9	58,974.30	3,674.394		
33	33 128 和歌山県立工業高等専学校	EV-9903-鶴工		9	58,934.80	3,644.456		
34	31 成蹊大学	SEIKI 005		9	58,201.80	3,626.263		
35	10 新潟市立工業高等専学校	鏡子02		9	57,951.60	3,610.674		
36	47 Team DDW	DDW 020		9	57,144.40	3,580.382		
37	50 中日本自動車専門大学	達也魔羅		9	56,327.20	3,540.619		
38	44 チームシナモン	Vertex VII (振り物)		9	56,029.83	3,490.876		
39	21 Team こ-ざい with Norton Racing	J-1		9	55,925.65	3,484.460		
40	58 AT-E			9	55,230.90	3,459.853		
41	51 ベヘローティーン & Asuna	あかねー隊III		8	53,982.50	3,357.785		
42	40 COET	CG40 Avenue		8	53,124.06	3,309.895		
43	45 チームカクシノク2002	魔法のカクシノク		8	51,082.58	3,182.700		
44	30 須賀	E-Max III		8	3,109.311			
45	45 20 大阪府立工業高等専学校	バカラト-トウチ		7	48,104.05	2,987.123		
46	130 大阪府立工業高等専学校 自動車	MacL 2002		7	47,175.40	2,987.955		

56

2002 World Econo Move



順位	キャラクター名	名前	属性		HP	ATK	DEF	SPD	EV	GPA
			属性	種族						
47	43 ものぐく大学	PATRIOT	スープヤード	人間	7	46,128.90	2,987.75	1		
48	39 なかむらZDP		スープヤード	人間	7	43,082.90	2,808.87	1		
49	23 Mr. FUJI ルー・カル	HIOOG/E	スープヤード	人間	7	43,541.70	2,712.96	1		
50	113 糸網工業高等専学校・カニカル技術部	工 MTC	スープヤード	人間	7	42,623.26	2,655.64	1		
51	107 骨海山高等学校自動車科	Fire Bird	スープヤード	人間	7	42,005.00	2,655.83	1		
52	15 チー☆ひなまつ	きくべシャツル	スープヤード	人間	6	37,788.40	2,554.46	1		
53	102 長野工業高等専学校	SKYLINE	スープヤード	人間	5	35,338.42	2,207.99	1		
54	105 岩手県立宮古工業高等専学校	宮古工業工科2号	スープヤード	人間	5	35,226.53	2,207.25	1		
55	59 国の木シンドーラブ	ひらっこ	スープヤード	人間	5	35,599.00	2,199.30	1		
56	112 奥美工業電子機器科	EM EVO 4	スープヤード	人間	5	34,860.56	2,153.29	1		
57	59 ガウランジンリー	LAKUD	スープヤード	人間	5	34,258.60	2,134.48	1		
58	112 学校法人 岩松学園・高等学校	若一客	スープヤード	人間	5	34,960.52	2,122.12	1		
59	37 Team GH	Co -Hau 1号	スープヤード	人間	5	33,524.17	2,068.73	1		
60	8 Team Carrorria	Stinver 2003 Proto	スープヤード	人間	5	32,815.24	2,050.78	1		
61	32 背高高等学校5年チーム	Galaxy	スープヤード	人間	5	32,215.55	2,044.57	1		
62	19 聖霊創価大学	Black Smiley	スープヤード	人間	5	32,654.40	2,022.69	1		
63	116 背高ウラガス送電網の情熱が物語るたち	Gentle Breeze (MK-II)	スープヤード	人間	5	31,937.17	1,989.84	1		
64	36 Dream Endless	Friend	スープヤード	人間	4	29,317.40	1,826.62	1		
65	111 僧系県立つかつ工業高等専学校	むつ工ム	スープヤード	人間	4	29,286.77	1,824.83	1		
66	120 新田工場運営	新エイブニアティ-	スープヤード	人間	4	29,111.40	1,813.78	1		
67	67 背高高等学校	がり風船くん	スープヤード	人間	4	29,031.50	1,809.18	1		
68	108 工場運営	候!刀魔くん	スープヤード	人間	4	28,642.14	1,784.54	1		
69	29 チームバーバラスター2002	ソーバーバー2002	スープヤード	人間	4	28,565.06	1,779.74	1		
70	33 背高農業高等専門校	新青BRUNNER Ver.0	スープヤード	人間	4	26,954.00	1,675.64	1		
71	121 田中工業学校	秋イブニティ-!!	スープヤード	人間	4	25,660.76	1,598.79	1		
72	124 活手県立宮古工業高等専学校工作部	富古工業工科1号	スープヤード	人間	3	24,011.55	1,497.28	1		
73	70 背高県立工業高等専学校	むつ工ム	スープヤード	人間	3	22,558.22	1,393.02	1		
74	56 濱海県五島合併	JUNK III (Ge)	スープヤード	人間	3	21,065.87	1,313.56	1		
75	55 ユーハーブラック	トライデヤ	スープヤード	人間	3	19,739.58	1,229.87	1		
76	52 チー・ト・カ・カ	乃ちキアプロト	スープヤード	人間	2	16,313.32	1,020.14	1		
77	35 背高高等実験チーム	愛するささきん	スープヤード	人間	2	14,022.49	923.51	1		
78	34 Uni Engineering	青英Gruver Kewwy	スープヤード	人間	2	13,318.20	829.79	1		
79	117 光風県立背高高等学校	Runner Bolt	スープヤード	人間	1	11,524.80	718.95	1		
80	48 Team MAX SPEED	スープヤード	人間	1	6,807.20	430.35	1			
81	46 佐倉・青大研究部	Show Starter	スープヤード	人間	0	3,757.17	234.09	0		
82	123 青葉県立向洋高等学校ハイテククラブ	ハイテククラブ EV-1	スープヤード	人間	0	3,985.70	210.94	0		
83	132 青葉県立向洋高等学校生徒会監督エヌ・エヌ研究部	EBI GO	スープヤード	人間	0	46.688	0			
84	133 神奈川立誠環境工業高等専学校	KUROFUNE	スープヤード	人間	0	0	0			
	-	Tk-R ev 2006	スープヤード	人間	0	0	0			
	-	Scouts 高山工高	スープヤード	人間	0	0	0			
	-	Students 高山工高	スープヤード	人間	0	0	0			