

2012 Ene-1 GP Suzuka KV-40チャレンジの参加報告

高橋正則・横井隆治・清水啓司・平石康仁・西側通雄

1. はじめに

資源エネルギーの枯渇，地球温暖化などの環境問題から，化石燃料に代替する新エネルギーが注目され，クリーンな次世代自動車として電気自動車が浸透しつつある。

鈴鹿サーキットでは，内燃機関を動力とする自動車競技に対し，環境に配慮したエネルギーによる自動車競技として，2012 Ene-1 GP（エネ・ワン・グランプリ）が開催されることとなった。

このEne-1 GPは，「モビリティ」「エネルギー」「挑戦」をテーマに，走行中の排気ガスがなく，省エネルギー性に優れた電気自動車の性能を競うものである。筆者らは競技用小型電気自動車で，2012 Ene-1 GP Suzuka KV-40チャレンジに参加した。本稿では競技の攻略と競技結果について報告する。

2. KV-40チャレンジの概要

2012 Ene-1 GP Suzuka KV-40チャレンジは，充電式単三形電池（図1．表1）40本を電源として，鈴鹿サーキットフルコース1周（5.807km）のタイムアタックを3回行い，その合計タイムで順位を決定する競技である。競技スケジュール中の電池への充電は禁止されているので，電池40本の電力で，サーキット3周分の17.42kmの走行をすることになる。

表1 充電式単三形電池の諸元



図1 充電式単三形電池

品名	Panasonic 充電式EVOLTA
品番	HHR-3 MVS/2B
タイプ	ニッケル水素電池
電池容量	1.950mAh
電圧	1.2V
寸法	約Φ14.5×50.5mm
質量	約29g

参加規定では，グループカテゴリーが設けられ，表2示すKV-1，KV-2に分れ，その中でもa.一般部門，b.大学，高専，専門学校部門，c.高等学校部門に分かれる。筆者らは，KV-1 クラスb部門に出場した。

表2 競技のグループカテゴリー

KV-1	KV-2
車両重量制限なし ドライバー重量55kg以上（装備品を含む）	車両重量制限35kg以上 ドライバー重量55kg以上（装備品を含む）
a 一般部門 b 大学、高専、専門学校部門 c 高等学校部門	a 一般部門 b 大学、高専、専門学校部門 c 高等学校部門
キャパシタ等の蓄電装置搭載を不可とする。	

車両規定では、競技車両は、全長3.5m、全幅1.8m、全高1.8m以内と定められているほか、トレッド0.38m以上、ホイールベース1.0m以上と定められている。動力となるモータについての規制はなく、図2に示す安全に関わる規定が設けられている。

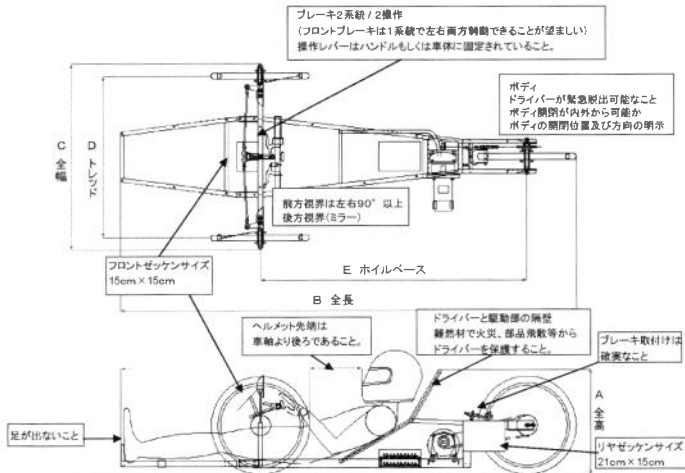


図2 安全に関わる車両規定 [KV-40車両規定より抜粋]

3. 競技の攻略

KV-40チャレンジは、車両作りのノウハウに加え、アップダウンに富んだサーキットにおいて、エネルギーをいかに配分するかが勝敗を分けることになる。競技では、3回のタイムアタックを完走しなければ、結果が得られないため、まずは完走するための要件を考察し車両の設定を行うこととした。筆者らの競技用電気自動車について、車両の外観を図3に、その諸元を表3に示す。

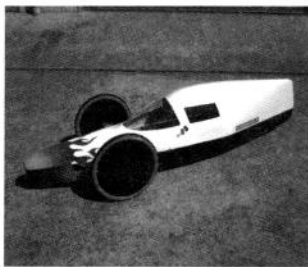


図3 競技用電気自動車

表3 競技用電気自動車の諸元

全長	2540 mm
全幅	700 mm
全高	590 mm
ホイール・ベース	1300 mm
トレッド	650 mm
車両重量	28kg
フレーム	アルミ・スバースフレーム
ボディ	GFRP+CFRP
タイヤ	3輪 20×1.75
ブレーキ装置	自転車用キャリパ
モータ	DCブラシレス
速度制御	PWM制御
駆動機構	チェーン・ドライブ+ハブ内装ギヤ

(1) 電池の使用方法

充電式単形電池EVOLTAは、電圧1.2Vで約2Ahの容量があると考えられ、1本当たりのエネルギーは2.4Whで、これを40本に使用するため、計算上の総エネルギーは96Whとなる。

この96Whのエネルギーを放電する際、短時間で大電流を流すと電池が発熱する恐れがあるため、規定では、図4に示す電池1直列あたり5A容量のサーキットブレーカの取付けが義務付けられている。

これに対して電池40本の組合せ方には規制はない。この電池の組合せ方がチームの作戦とも言えるが、現実的な組合せ方としては、

- ① 40直列のDC48V仕様（5A制限）
- ② 20直2並列のDC24V仕様（10A制限）
- ③ 10直4並列のDC12V仕様（20A制限）

の3方法がある。

筆者らは、登坂時には電流を多くしてトルクを稼ぎ、平坦路では、高い電圧でモータ回転速度を上げて車速が伸ばせるようにするため、図5に示す電源回路図のように、20直列2並列のDC24V仕様と40直列のDC48V仕様を切り替えできる回路構成とした。また、実際の電池を搭載した状態を図6に示す。

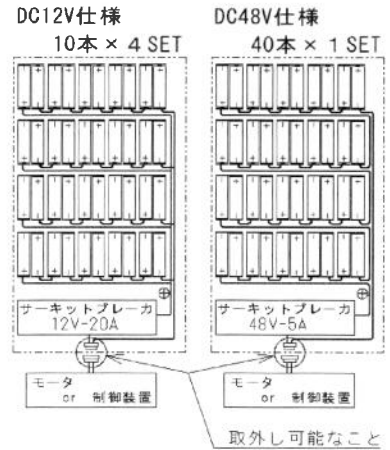


図4 サーキットブレーカに関する規程 [KV-40車両規定より抜粋]

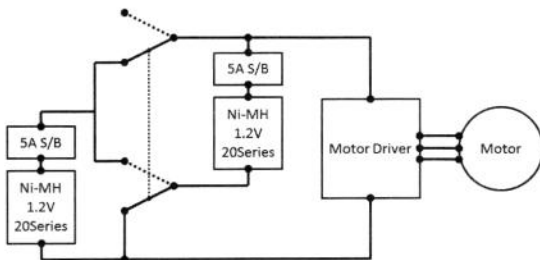


図5 電源回路図

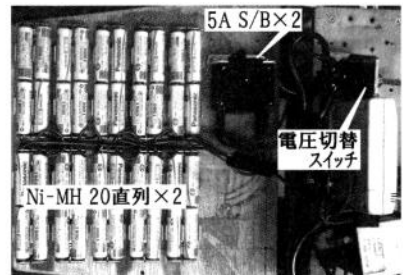


図6 電池の搭載状態

計算上の総エネルギー約96Whは、20℃で5時間の放電時間としたときに取り出せる放電エネルギーであるため、競技の短時間においては96Whよりも放電エネルギーは小さくなる。そこで、実際の競技時間にどの程度電力が取り出せるのかを見積もるため、放電試験を行った。

放電試験では、電子負荷装置を用い電池10直列（12V）を定電流放電し、電圧特性を観測することとした。放電試験の結果を図7に示す、1セル（1直列）あたりの最大電流である5Aで放電試験を行ったところ約21分で、3A放電の場合は約36分で放電終止電圧の8Vに達することが

分かった。

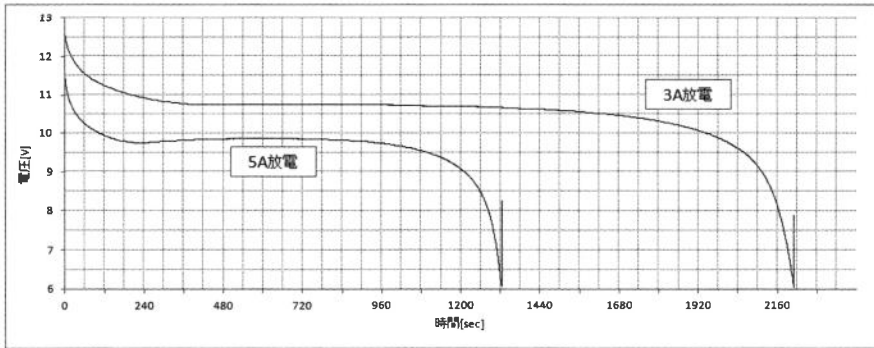


図7 電池の放電試験結果

このことから、競技中の平均電圧を1セルあたり1.0Vとし、5Aの放電電流の場合、5W程度の放電電力が得られ、40本に換算すると約200Wの最大電力が得られると考えた。また、競技コースはアップダウンがあるため、電流値も刻々と変化するので、1セル（1直列）あたり3A～5Aの範囲の放電で30分前後が限界と考えた。30分で約5.8kmのコースを3周することを考えると平均速度は34.8km/hとなるので、この値を速度の目標値とした。

(2)モータの選定

動力源となるモータには、株式会社ミツバより販売がされているDCブラシレス型のモータ・キット（図8）を採用した。このモータは18スロットあるモータコアに、自らコイルの巻線を行うことで、表4に示す範囲で必要な特性を得ることができる。同社製品のモータ・ドライバ・キットと組合せることで、広い電圧範囲に対応ができる。

モータ巻線の仕様は、三相U、V、Wの各相にΦ1.1mm×20T×6直列の巻線をし、それをスター結線した。また、モータドライバについては、コントロール基盤用の安定化電源として24～48V入力12V出力のDC/DCコンバータを使用することで、電源電圧の範囲を24～48Vの範囲で対応で

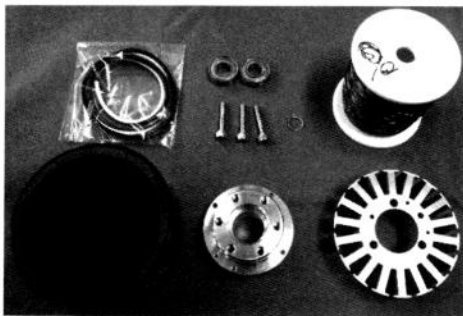


図8 DCブラシレス・モータ・キット

表4 DCブラシレス・モータ・キットの諸元

入力電圧	12V～48V
定格出力	50～3000W (入力電圧と巻線により任意)
回転数	1000～10000min-1 (入力電圧と巻線により任意)
最高効率	89%
寸法	φ115.6×102.7mm
重量	約2.4kg

きる仕様とした。

モータの巻線作業は、図9に示すように、両手でコアを持ち、銅線ボビンを足で踏んだ状態にし、巻線にテンションを掛けながらコイルを巻いていく。作業が不慣れであるため何度か失敗をしたが、図10のように巻線作業を行えた。また、完成したモータを図11に示す。



図9 モータ巻線作業

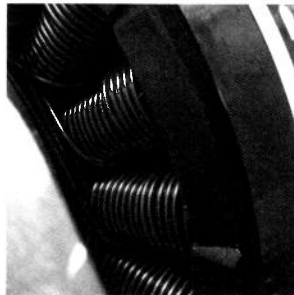


図10 巻線の状態

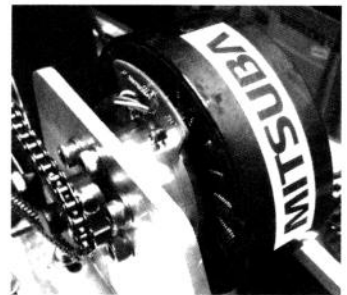


図11 DCブラシレス・モータ

今回のモータ巻線仕様（ $\Phi 1.1\text{mm} \times 20\text{T} \times 6$ 直列スター結線）については、24V駆動時（図12）と48V駆動時（図13）のモータ特性が提供されている。特定電流値でのトルクと回転数より登坂に必要な減速比、その時の速度を概算で求めることができた。

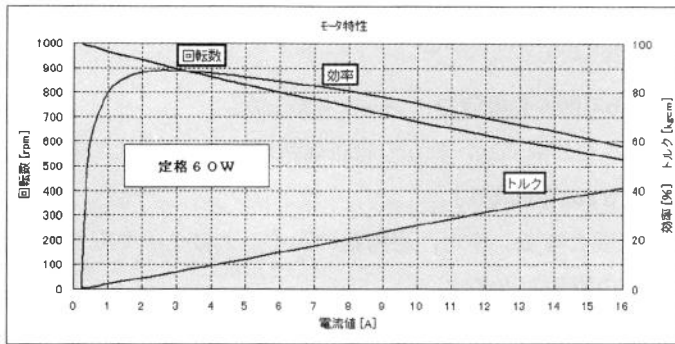


図12 24V駆動時のモータ特性

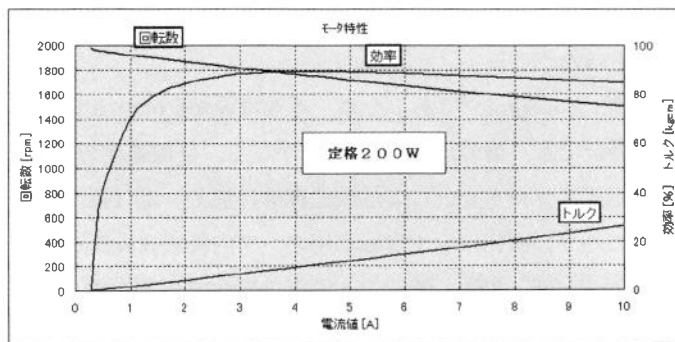


図13 48V駆動時のモータ特性

(3) 競技コースについて

競技コースである鈴鹿サーキットは、図14に示す1周5.807km、高低差約40mのアップダウンに富んだコースである。最大上がり勾配は約8%（ダンロップコーナー）であり、下り高低差約22m（スタート～1コーナー）という下り坂も存在する。競技では、約200Wの電力で約8%勾配を登坂しなければならないこと。高低差約22mの長い下り坂で車速が伸びた後に、R100m、60mのコーナーを曲がれるだけの車両性能が求められる。

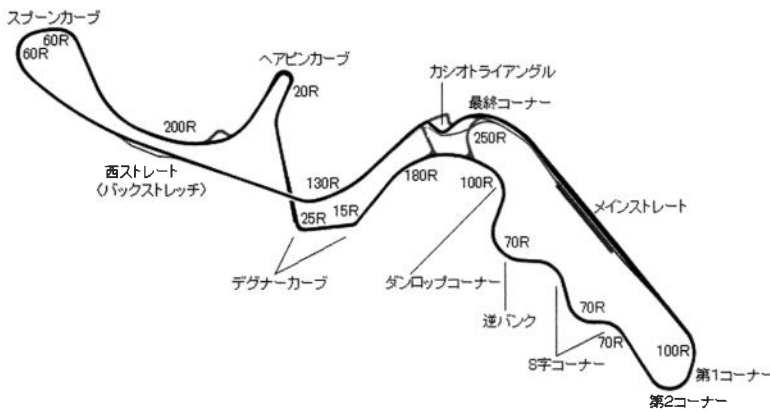


図14 鈴鹿サーキット

最大の難所である8%勾配の登坂能力について考察した。

車両重量28kg, ドライバ体重55kg, 転がり抵抗係数は0.03と仮定した場合の走行抵抗は

$$F(\text{kgf}) = M[\mu \cos \theta + \sin \theta]$$

より、約9.13kgfが必要となる。また、駆動輪に20インチのタイヤを使用しているため、有効半径25.4cmとした場合の駆動トルクは、

$$T(\text{kgf} \cdot \text{cm}) = F(\text{kgf}) \times r(\text{cm})$$

より、駆動トルクは23kgf・cmとなる。競技を完走するためには、この8%勾配を登坂しなければならないため、モータ・トルクは、24V-10Aで約26kgf・cm、機械効率を90%として、必要な総減速比を7.29と見積もった。

この時のモータ回転数は、 680min^{-1} であるため、車速は僅か6.6km/hである。この値では電源電圧を48Vに昇圧した場合でも、倍の13.2km/hでしかなく、目標速度の34.8km/hには遠く及ばない。そこで、図15に示すスプロケットによる減速機構に加え、走行条件に応じて減速比が変えられるように、駆動輪のハブに図16に示す自転車用のハブ内装式3段変速機を使用することとした。これにより、減速比が1.36, 1.00, 0.733の3段階で変化できるため、計算上ではあるが48V-5Aでの車速を29.7km/hまで上げることができる。また、このハブには、フリーホイール機構が付いている。降坂時にモータ無負荷回転数以上の回生制動が掛からず、慣性による走行がで

きることから、車速の伸びが期待される。



図15 スプロケットによる減速機構

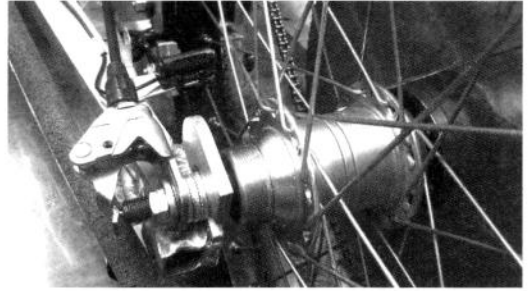


図16 ハブ内装式3速変速機

4. 競技結果

8月5日は快晴で、ドライバーにとっては過酷な条件となることが予想された。早朝6時より車検（図17）が行われ、競技用バッテリーは、この時点で大会側に保管されることとなる。

競技は、練習走行なしでのタイムアタックであるため、減速比の設定、走行の仕方など手探りの状態で臨むこととなる。スプロケットの設定をT21-T114とし、総減速比7.38とした。また、タイムアタック中以外は大会側にバッテリー保管されるが、3回のタイムアタック間隔は、車両整備に十分な時間が確保されている。そこで、走行中の電圧、電流、車速（GPSによる）をデータロガーで記録し、2nd、3rdアタックに備えて、減速比の設定、走行の仕方など作戦立てることとした。



図17 車検時の様子

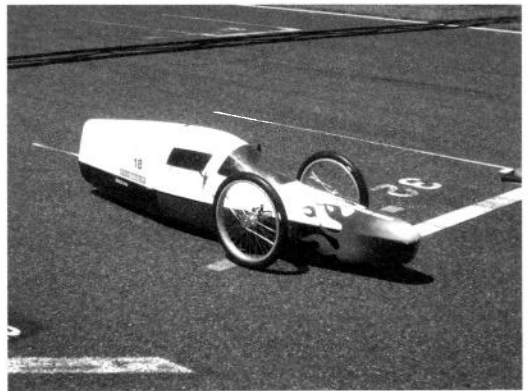


図18 タイムアタック中の車両

1stアタックでは、上り坂では24Vで、平坦路では48Vを使用し、電流計の数値が24V時は5～10Aの範囲で、48V時は0～5Aの範囲で走行することだけをドライバーと打合わせた。

走行が始まれば、ピットで待つしかない。1周を約10分程度で走行する期待をしていたのだが、10分を経過しても、なかなか最終コーナーに現れない。何かトラブルでもあったのかと心配した頃、ようやく戻ってくる姿が確認できて安堵した（図18）。結果は、12分12秒であった。

1stアタックが終わると、バッテリーを預けて2ndアタックに向けて車両を整備することとなる。1stアタック時の電圧・電流データを図19、車速データを図20に示す。データを見ると登坂時に24Vに切替えて走行していることが分かるが、その時の電流値は少なく、上限の10Aに達している時間が短いことが分かった。また、24V時には車速も低下し10km/h程度しか出ていない。サーキット・ブレーカが作動して走行できなくなることを恐れて、慎重になるあまり速度を乗せることができなかったと言える。

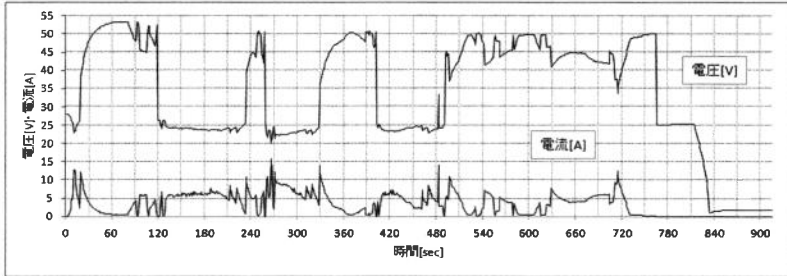


図19 1stアタック時の電圧・電流データ

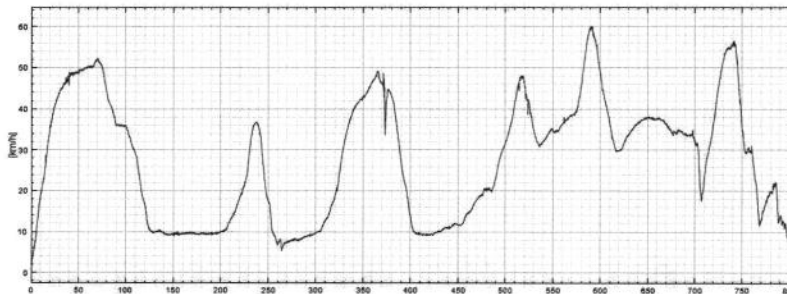


図20 1stアタック時の車速データ

2ndアタックでは、1stアタックが期待していたタイムには及ばなかったため、減速比を軽めの設定とし、走行パターンを変えることでタイムにどのような影響がでるか確かめることとした。そこで、スプロケットの設定をT18-T114とし、総減速比8.61で2ndアタックに臨んだ。

2ndアタック時の電圧・電流データを図21、車速データを図22に示す。減速比を大きくした

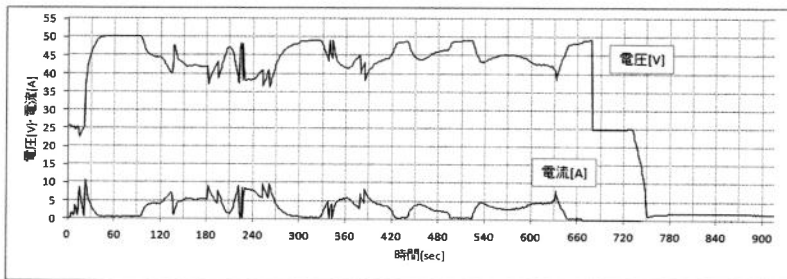


図21 2ndアタック時の電圧・電流データ

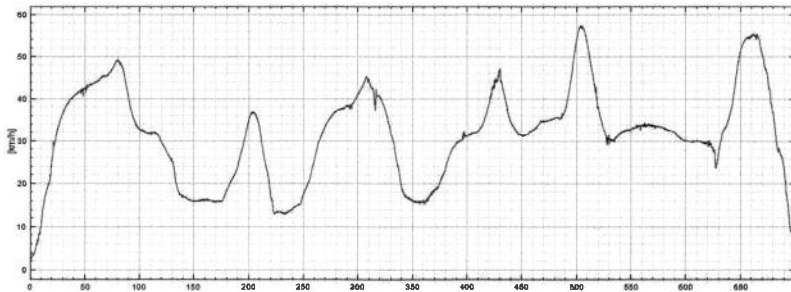


図22 2ndアタック時の車速データ

ことで、当初24Vで、8%勾配を登ることを想定していたが、その手前のS字カーブで速度を乗せることができ、48Vの状態でも8%勾配を登り切れるようになった。これにより、低い速度で走行する区間が少なくなり平均速度が上昇したため、タイムが10分50秒となった。

3rdアタックでは、2ndアタックの減速比のまま出走することも考えたが、バッテリーの残量に余裕がないことが想定されたため、安全策をとって更に減速比を大きく設定した。そこで、スプロケットの設定をT16-T114とし、総減速比9.69で3rdアタックに臨んだ。

結果は、12分45秒とタイムは今一つであったが、完走できたことで安堵した。3rdアタック時の電圧・電流データを図23、車速データを図24に示す。ドライバの話によるとバッテリーの電力は限界に近い印象で、ヘアピンカーブ後の登坂時で力がなくなり24Vに切替えたとのこと。

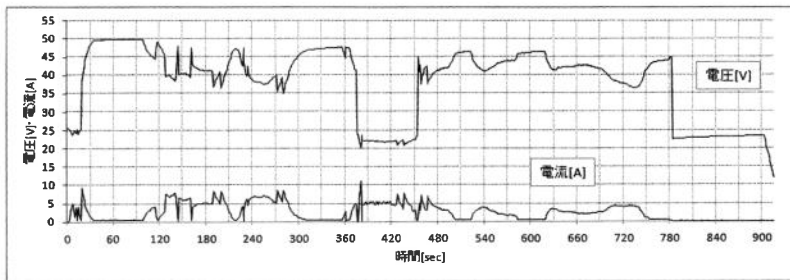


図23 3rdアタック時の電圧・電流データ

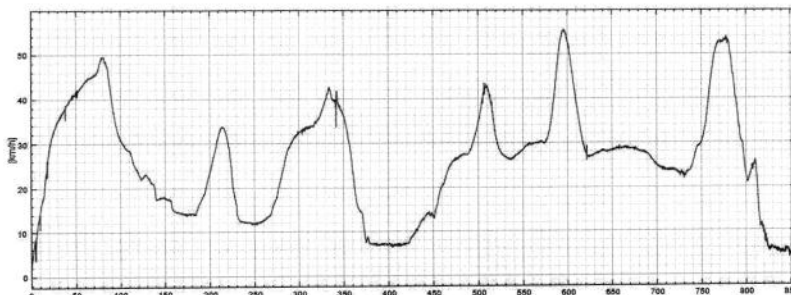


図24 3rdアタック時の車速データ

競技を完走し、何とかリザルトに載ることができた。競技結果を表5に示す。71台の出走中、3ndアタックまで完走した車両が30台というサバイバル競技となった。筆者らの車両は12位とまずまずの結果に見えるが、更に上位にはKV-2クラス(車両重量35kg以上)の車両が2台あり、努力が足りないといった印象である。

表5 KV-40チャレンジ総合結果

2012 Ene-1 GP SUZUKA
KV-40チャレンジ 総合正式結果表

DATE:2012-08-05 WEATHER: Fine COURSE: Dry 国際レーシングコース 5.807km

Pos	No.	Cls.	Gr.	Team	Total Time	1st Sess.	2nd Sess.	3rd Sess.
1	9	KV-1	1	a チーム「ヨイショット」ミツバ	20'36.738	6'57.058	6'49.933	6'49.747
2	2	KV-1	2	a 四十番	21'16.036	8'12.189	7'02.018	6'01.829
3	32	KV-1	3	c 飯田工業高校原動機部A	21'41.210	7'13.032	7'04.086	7'24.092
4	8	KV-1	4	a MTB67	24'00.454	8'45.334	7'52.452	7'22.668
5	3	KV-1	5	a アヒルエコパレーシング東郷	25'11.643	8'17.432	8'33.021	8'21.190
6	7	KV-1	6	a #ちーむ悪い人+近大EV	27'56.144	10'00.906	9'14.607	8'40.631
7	72	KV-2	1	c 飯田工業高校原動機部B	28'39.724	8'09.192	11'36.129	8'54.403
8	44	KV-1	7	c 紀北工業高校 生産技術部 C	30'38.425	10'10.530	10'12.416	10'15.479
9	26	KV-1	8	c 宇都宮工業高校 科学技術研究部	32'28.758	11'52.295	11'17.883	9'18.580
10	68	KV-2	2	c チーム四中工	33'36.165	11'11.625	11'19.223	11'05.317
11	14	KV-1	9	b 大阪産業大学新エネルギーピークルPJ	33'41.980	10'52.976	11'34.960	11'14.044
12	18	KV-1	10	b 中日本自動車短期大学	35'48.749	12'12.271	10'50.485	12'45.993
13	34	KV-1	11	c 伊勢工業高校 電気技術部	36'47.566	12'40.964	11'35.057	12'31.545
14	27	KV-1	12	c 愛知工業高校 化学工業科	37'33.148	13'03.618	11'24.198	13'05.332
15	74	KV-2	3	c 堺市立堺高等学校 科学部	39'32.246	13'04.765	13'46.588	12'40.893
16	20	KV-1	13	b 鈴鹿高専エコープロジェクト	42'08.975	13'48.017	14'08.934	14'12.024
17	22	KV-1	14	c 静岡県立浜松城北工業高校 省エネ研究部	44'49.206	11'10.960	22'17.704	11'20.542
18	78	KV-2	4	d 附属長野中学校アペイロン	49'19.639	16'56.791	16'20.589	16'02.259
19	42	KV-1	15	c 紀北工業高校 生産技術部 A	49'20.455	18'50.182	16'20.923	14'09.350
20	30	KV-1	16	c team miyakou(宮崎工業高校)	51'41.299	26'49.157	13'05.631	11'46.511
21	43	KV-1	17	c 紀北工業高校 生産技術部 B	52'27.419	18'43.024	15'03.193	18'41.202
22	38	KV-1	18	c 松阪工業高校機械研究クラブ	53'17.258	25'26.171	15'18.620	12'32.467
23	51	KV-2	5	a OpenStar with Prince	54'58.389	16'24.292	19'40.557	18'53.540
24	24	KV-1	19	c 高知県立高知東工業高等学校自動車工作	1:02'04	26'19.786	21'23.331	14'20.983
25	59	KV-2	6	a DREAM CAR PROJECT	1:03'56	20'21.289	22'25.279	21'09.820
26	28	KV-1	20	c 市立関商工高等学校	1:07'55	24'29.394	22'08.312	21'17.940
27	25	KV-1	21	c 高知県立高知東工業高等学校自動車工作	1:09'34	17'52.181	18'30.345	33'12.115
28	41	KV-1	22	c 大阪府立西野田工科高等学校 機械研究部	1:10'12	21'01.889	22'54.043	26'16.631
29	29	KV-1	23	c 市立関商工高等学校 2	1:13'49	24'54.089	26'30.229	22'25.238
30	39	KV-1	24	c 呉港高等学校	1:18'17	22'40.934	17'37.174	37'59.119
31	31	KV-1	25	c 大阪市立生野工業高等学校 機械工作部		21'30.643	17'00.187	5400m
32	1	KV-1	26	a Team "K" Project EV		22'52.093	22'58.627	5200m
33	23	KV-1	27	c 富山工業高等学校		20'13.940	23'32.347	5000m
34	55	KV-2	7	a 東富士エコーン同好会~王子とにぎやかし		25'09.593	28'07.094	5000m
35	65	KV-2	8	c 大阪市立都島工業高校EK-2レーシング		13'31.160	13'35.938	4800m
36	66	KV-2	9	c 宇都宮工業高校 科学技術研究部		11'11.711	10'34.131	4200m
37	61	KV-2	10	b 長野県工科短期大学校		20'12.577	20'53.427	4200m
38	45	KV-1	28	c 福岡市立博多工業高等学校 博工A		19'04.952	15'21.692	4000m
39	17	KV-1	29	b 産業技術短期大学 Project 1		14'34.682	14'38.031	3400m
40	58	KV-2	11	a PROJECT MONO ◇ TTDC		10'03.043	9'37.298	3200m
41	76	KV-2	12	c 伊勢工業高校 機械部		12'50.378	14'27.209	1800m
42	69	KV-2	13	c 奈良朱雀Racing		17'53.400	18'46.475	1800m
43	63	KV-2	14	b ホンダテクニカルレッツ関西EV同好会		25'56.881	15'52.518	1800m
44	10	KV-1	30	a 金匠+プリン		11'48.921	11'18.962	600m
45	4	KV-1	31	a OSUtechnicalSession		7'16.174	33'06.135	0m
46	56	KV-2	15	a ARP ちびEV部		29'36.292		5200m
47	47	KV-1	32	c 三重県立桑名工業高等学校3年4組課題研		12'46.463	5000m	12'11.082
48	36	KV-1	33	c 大阪府立茨木工科高等学校機械研究部		23'54.997	3200m	1000m
49	62	KV-2	16	b 北陸能楽大 Team-KV		29'50.189	2000m	28'59.589
50	71	KV-2	17	c 大阪市立生野工業高等学校 電気科		21'48.415	1400m	17'37.008
51	75	KV-2	18	c Scuderia Nike		31'05.251	1200m	3200m
52	6	KV-1	34	a ちーむSBR		22'34.365	400m	1400m
53	70	KV-2	19	c 石川県立七尾東豊高等学校 メカトロ部		32'48.238	0m	
54	52	KV-2	20	a K2Families+M		5800m	4000m	
55	40	KV-1	35	c 刈谷工業高校		5400m	26'34.461	21'18.631
56	60	KV-2	21	b 松江高専電気工学科		4200m	30'13.952	1800m
57	13	KV-1	36	b 日本文理大学工学部武村研究室		4000m	26'19.304	3400m
58	64	KV-2	22	c 松本工業高校原動機部		4000m		1800m
59	11	KV-1	37	a ダイハツ工業(株)&大阪府立西野田工科高		3000m	27'27.491	27'56.168
59	15	KV-1	37	b Team 大阪工業技術専門学校		3000m		
61	21	KV-1	39	b とよこうWorks		1800m	5600m	
61	35	KV-1	39	c 大阪府立佐野工科高等学校		1800m	19'59.227	19'41.124
63	46	KV-1	41	c 福岡市立博多工業高等学校 博工B		1600m		
64	77	KV-2	23	c 愛知県立豊橋工業高等学校 機械部		1400m	1200m	1200m
65	19	KV-1	42	b 大阪工業技術専門学校 ばーと2		1200m	4600m	28'18.907
65	37	KV-1	42	c 愛知県立豊橋工業高等学校 機械部		1200m	10'37.770	10'31.315
65	67	KV-2	24	c 津工業高校 機械研究部		1200m	18'44.906	14'28.742
68	33	KV-1	44	c 岐阜第一高等学校		1000m	1000m	1000m
68	73	KV-2	25	c 愛知県立三谷水産高等学校 機関部		1000m	1800m	1800m
70	16	KV-1	45	b AITChallengeProject		800m		
71	79	KV-2	26	d 久居中学校技術部		0m	600m	

6. ま と め

今回の出場したKV-40チャレンジは、始まって間もない大会であり、各チームが様々な技術的チャレンジで競技に臨んでいる。つまり、アイデア次第では、まだまだタイムを向上させる余地が残っているものと思われる。

優勝したチームは、7分を切るタイムで3回のアタックを行っている。放電試験の結果からも1直列あたり5A一定放電の場合、21分程で放電終始電圧を向かえたわけなので、常に最大電流付近でタイムアタックを行ったことが想像される。

今回の大会で筆者らのチームは、3回のアタックそれぞれで減速比を変えて走行することになった。あたかもテスト走行をしたかのようであるが、今回得たデータから高精度な車両設定、最適な走行パターンが設定できるようになったと思う。

今後の課題として、競技中の定電流放電化、電気回路の高効率化、そして車両の高性能化など引続き研究活動を行い、上位を目指したいと考えている。

今回の大会参加にあたっては学生諸君の多大な協力を得た。猛暑の中、熱心にメカニックを勤めてくれたエコカー専攻科生の藤井大輔君、渡邊大之君、本科生の西尾明芳君に感謝の意を表します。

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諸先生方に謝意を表します。

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, 神谷侖, 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) 高橋正則: 2002 World Econo Move in Akita の報告, 中日本自動車短期大学論叢, 第33号, 2003, p.49-55.
- 5) 鈴鹿サーキット: 2012 Ene-1 GP KV-40 チャレンジ参加規定
- 6) 株式会社ミツバ: DCブラシレス・モータ・キット仕様書
- 7) Panasonic: 密閉型ニッケル水素電池 HHR-3 MVS 仕様書