

2004 World Econo Move in 秋田の報告

高橋正則・寺尾裕二・土田茂雄

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, 化石エネルギーに代替する新エネルギーの一つとして燃料電池が注目されている。燃料電池は環境負荷が小さく, 出力密度が高いことから自動車用エネルギー源として期待されている。筆者らは競技用小型電気自動車^{1~3)}に燃料電池を搭載し, 2004年のWorld Econo Move in 秋田 (WEM) のFCクラス競技 (燃料電池部門) に出場した。これは, 燃料電池を電源とする電気自動車の2時間耐久レースで, 同一の水素ポンプを使用してどれだけ長い距離を走れるかを競うものである。大会で, 筆者らのチームは2時間で34kmを走行した。本稿では競技で使用した燃料電池車と競技結果について報告する。

2. 大会の概要

WEMは、「エネルギーの有効活用の追及」と「将来のエンジニアの育成」を開催主旨としている³⁾。秋田県南秋田郡大潟村の多目的走行スポーツ施設である「ソーラースポーツライン」を会場にして行われ, 鉛バッテリーを電源とする競技のほか, 2003年度大会から, 燃料電池を電源とするFCクラスが新設されている。FCクラスの競技コースは図1に示す平坦な直線を折り返す全長1.1kmのコースである。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が測定される。競技規程では, モーターおよび燃料電池の制限はないが, 車両は全長3.0m, 全幅1.2m, 全高1.6m以内と定められている。また, ドライバーの重量が70kg未満の場合は, 差分のバラストを搭載することが義務付けられている。大会側から水素60NLを充填した水素吸蔵合金ポンプが2本提供され, これを使

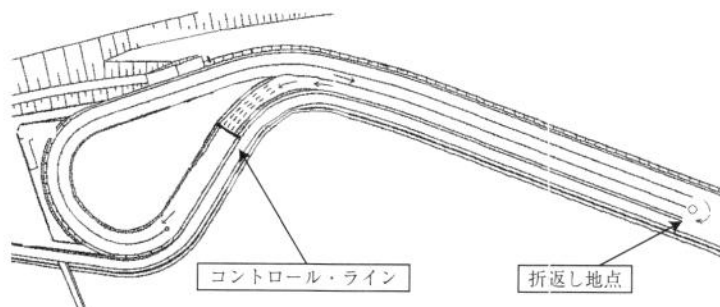


図1 大潟村ソーラースポーツライン FCクラス競技コース

用することが定められている。

2004年度大会は、5月3日、4日に行われ、FCクラスには14チームが出場した。WEM・FCクラス・エントリー・リストを表1に示す。表1のように燃料電池を自作したチームは殆ど無く、多くのチームが大同メタル社製の燃料電池HFC-1275を使用している。我々のチームも電源としてHFC-1275を使用した。また、競技車両には既存の電気自動車^{1)~3)}を使用した。HFC-1275の外観を図2に、その諸元を表2に、水素吸蔵合金ポンベの外観を図3に、その諸元を表3に、競技車両の外観を図4に、競技車両の諸元を表4に示す。

表1 WEM・FCクラス・エントリー・リスト

No	クラス	出場回数	チ ャーム	燃料電池
201	オープン	初出場	Team DAIDO (大同メタル工業)	HFC-1275
202	オープン	2回目	早稲田大学理工学部機械工学科永田研究室	HFC-1275
203	オープン	2回目	チーム”ヨイショット!” ミツバ (株式会社ミツバ)	HFC-1275
204	オープン	2回目	Team TGM Y Ashida (芦田 隆) HFC-1250×2個	HFC-1275×2個
205	オープン	初出場	NEO-EVER-BLUE (ホンダエンジニアリング)	HFC-1275×2個
206	オープン	初出場	中日本自動車短期大学	HFC-1275
207	オープン	初出場	武蔵工業大学 e- プロジェクト	自作燃料電池
208	オープン	2回目	育英高専はぐれ放送部	HFC-1250
209	オープン	初出場	東海大学FCプロジェクト	HFC-1275
251	ジュニア	初出場	宮城高専	HFC-1275
252	ジュニア	初出場	秋田工専エコレース部	HFC-1275
253	ジュニア	2回目	栃木県立宇都宮工業高校	HFC-1250×2個
254	ジュニア	2回目	秋田工業高校	HFC-1275
255	ジュニア	初出場	八戸工業高校定時制省エネ研究部	HFC-1275

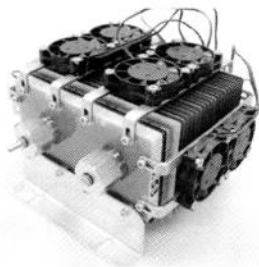


図2 燃料電池

表2 燃料電池の諸元

品名	HFC-1275
メーカー	大同メタル工業
定格出力	DC12V / 85W
水素供給圧力	0.07MPa ±0.01MPa
寸法	60×120×110mm
重量	2000 g
使用環境温度	5 ~ 35 °C
送風ファン	1.08W×10個使用
水素消費量	約1000 mL/min (85W)

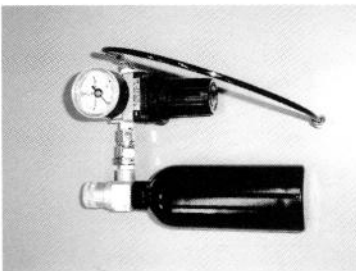


図3 水素ポンベ

表3 水素ポンベの諸元

品名	水素吸蔵合金ポンベ
メーカー	大同メタル工業
容量	60 NL
圧力	0.5MPa
寸法	Φ50mm×200mm
重量	0.9kg
レギュレータ	SMC社製
圧力調整範囲	0 ~ 0.2MPa
配管	Φ4 mm ポリウレタン

表4 競技用電気自動車の諸元

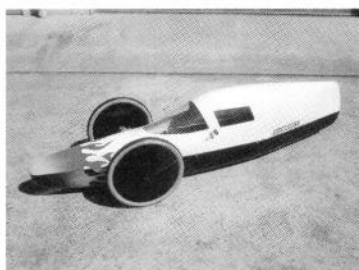


図4 競技用電気自動車

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	22 kg
フレーム	アルミ・スペースフレーム
ボディ	GFRP
タイヤ	20×1.75
ブレーキ装置	自転車用キャリパ
モータ	DCブラシ（マクソン社製）
速度制御	PWM制御
駆動機構	ギヤ+チェーン・ドライブ

3. 燃料電池の安定動作と電気回路の改良

WEMのFCクラスにおいて走行距離を伸ばすには、燃料電池を安定作動させること、効率の高い電気回路にすることが重要となる。筆者らは以前に競技用小型電気自動車に燃料電池を搭載して走行実験を行い、燃料電池の安定動作と電気二重層キャパシタ（以下キャパシタ）による負荷分散について報告した⁴⁾。今大会では以下の項目について更なる改善策を試みた。

(1) 水素ポンベの温度低下対策

水素ポンベの水素放出圧力は水素吸蔵合金の温度に依存するため、安定的に水素を供給するには、水素ポンベの保温が必要となる。燃料電池の反応エネルギーの一部が熱として放散されるため、これまでは、その熱をアルミニウム製伝熱板によって水素ポンベに伝えていたが、これを熱伝達特性の優れた銅製伝熱板に変更した。伝熱板を取り付けた燃料電池を図5に示す。

(2) 燃料電池の過熱対策

燃料電池への酸素供給と冷却に使用する送風ファンは発電電力で駆動される。そのため燃料電池の電圧が低下すると、ファンの回転速度が低下する。燃料電池の電圧が降下した場合でも、送風ファンの安定した回転速度を得るため、燃料電池出力にDC・DCコンバータ（V-In 8～16V、V-Out 12V）を介して送風ファンを接続した。また車体内部に設置された燃料電池に外気をあてるため、車体カウリング下部に約10000mm²の開口部を設けた。

(3) 回生制動と負荷分散

競技コースの折返し地点では、減速、再加速をすることになる。減速によって失われるエネルギーの回収と再加速時の負荷分散のために図6に示すキャパシタ（2.5V-600F、6直列）を並列接続

する回路とした。

減速時の回生電力は、モータードライバーによって昇圧され電気二重層キャパシタに蓄電される。キャパシタに蓄電された回生電力は、再加速時には燃料電池電力と共にモーターに供給される。しかし、燃料電池に逆電圧が加わると燃料電池の破損につながるため、燃料電池とキャパシタの間に逆流防止用ダイオードを設けた。

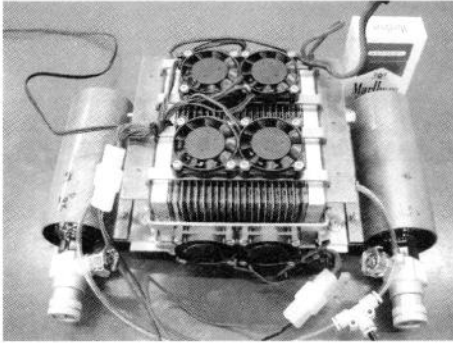


図5 伝熱板を設けた燃料電池

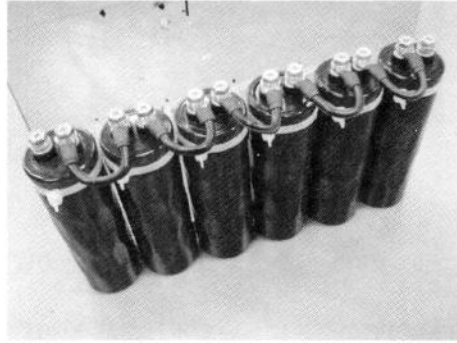


図6 電気二重層キャパシタ

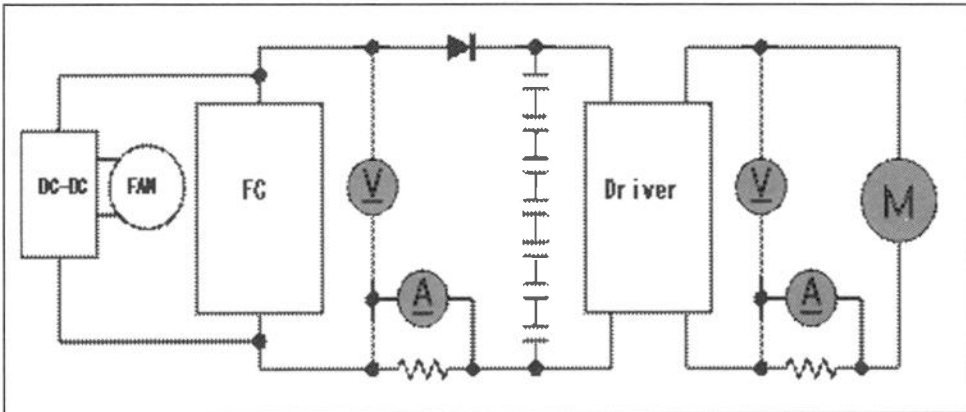


図7 電気回路図

4. 大会結果

5月3日は公式予選が行われた。これは5月4日の決勝のスターティング・グリッドを決めるものであるが、決勝さながらに2時間の競技を行う。天気は曇天で冷涼・多湿の気候で、燃料電池には好条件であるが、水素ポンベの温度低下が心配された。

グリッド・インのアナウンスがあると早々にスターティング・グリッドに着きドライバーに乗車してもらった(図8)。オフィシャルにキャパシタ電圧が0Vであることの確認(規定に定められている)を受けた後、燃料電池の暖機を兼ねてキャパシタの予充電を行った。

午前11時45分に2時間の競技がスタートした(図9)。しかし、グリッドからコントロール・ラインに向かっては少々上り坂になっており発進ができない車両もいた。我がチームの車両は順調にスタートし、一周目のコントロール・ラインを通過した時点ではトップと5秒差の2位を走行する好位置につけ、2分台前半のラップ・タイムで走行した(図10)。

その後、順調に周回を重ねると思われたが4周目にコントロール・ライン手前で停止してしまった。原因は、チェーン外れとギヤの取付けに緩みが生じたためと判明した。規定により、競技中はドライバー以外の者が車両に触れることができず、修理はドライバーが行わなければならない。何とか修理を終え競技に復帰したものの約36分間の大きなタイム・ロスとなった。

走行を開始すると再び、2分台前半のラップ・タイムで周回を重ねるが、25周目にギヤの取付け緩みが再発し、約15分間のタイム・ロスをしてしまった。

2回のトラブルが発生したものの、諦めずに走行し2時間の競技を終え、30周で5位の結果となった。この公式予選で駆動機構の構造に不具合があることが判明したので、翌日の決勝に備えて対策を行った。

しかし、翌日はコースに水が溜まる程の豪雨のため、予定されていた決勝レースは中止となり公式練習の結果が今大会の公式結果となった。公式結果を表5に示し、参考として巻末に競技中のラップ・タイム表を掲載する。



図8 ドライバーが乗車する様子



図9 スタート直前の様子

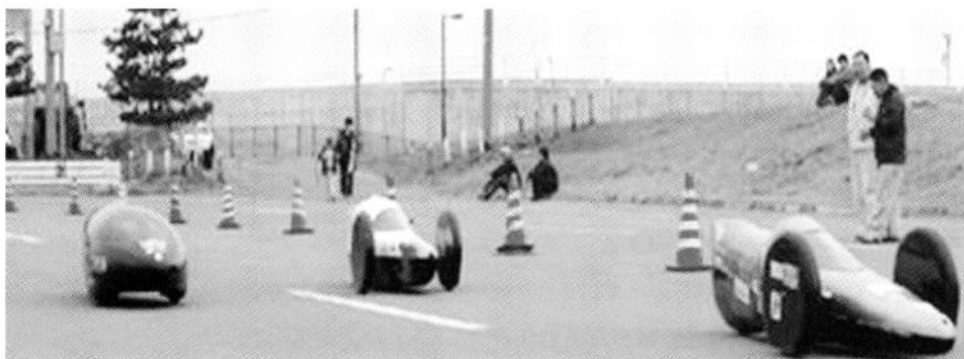


図10 競技中の走行の様子(左:201大同メタル, 中:206中日本, 右:203ミツバ)

表5 WEM FCクラス公式結果

	No	チーム名	周回	完走距離 (m)	Ep値	消費量 (NI)
1	203	ヨイショット! ミツバ元祖 USO800	50	56,059.50	3,492.79	103.89
2	205	NEO-EVER-BLUE Aqua	50	55,813.50	3,477.46	87.89
3	201	team DAIDO WING 04	44	49,254.50	3,068.80	100.33
4	253	栃木県立宇都宮工業高等学校UK-hope 04	36	40,000.80	2,492.25	97.78
5	206	中日本自動車短期大学マンボースマッシュ	30	34,045.20	2,121.19	75.22
6	251	宮城高専NURSERY	25	27,887.70	1,737.54	90.44
7	252	秋田工専 エコレース部颯	23	26,201.40	1,632.48	88.78
8	204	team TGMY Ashida TGMY 2004	23	25,586.59	1,594.17	105.22
9	202	早稲田大学 永田研究室Zephy ranthes	20	22,255.20	1,386.61	50.22
10	255	八戸工業高等学校定時制 EBI GO (FC)	16	18,633.50	1,160.96	67.44
11	207	武蔵工業大学 e-Project 武蔵E.E.	11	13,041.65	812.56	71
12	209	東海大学FCPJ 飛燕 7	7	7,966.50	496.35	104.22
13	254	秋田工業高校秋工インフィニティー 100	3	3,424.43	213.359	41
R	208	育英高専はぐれ放送部Jentle Breeze Final	0	0	0.00	

5. 考 察

今大会では、温度、電圧、電流記録用データ・ロガーを車両に搭載して競技に臨んだ。各データから競技中の走行状態と種々の改善策の効果について考察する。

競技中の燃料電池と水素ポンベの温度変化を図11に示す。競技当日は冷涼な気候であったため水素ポンベの温度低下が懸念されたが、車両が順調に周回し燃料電池の温度が上昇してくると水素ポンベの温度が徐々に上昇していく傾向にある。銅製の伝熱板により水素吸蔵合金の吸熱反応に対して十分な熱伝達が行われていたことが確認できる。

競技中の燃料電池電力とモーター消費電力を図12に示す。この波形では、折返し地点での回生制動と再加速によってモーター消費電力が大きく変動しているが、燃料電池の出力は約56W付近での動作をしており、キャパシタによる負荷分散の効果があったことが確認できる。尚、波形の途切れている時間は車両が停止した時間帯である。

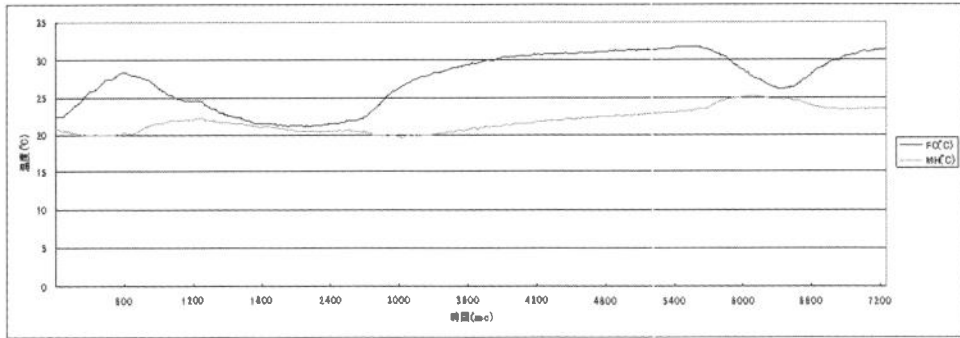


図11 燃料電池 (FC) と水素ポンペ (MH) の温度変化

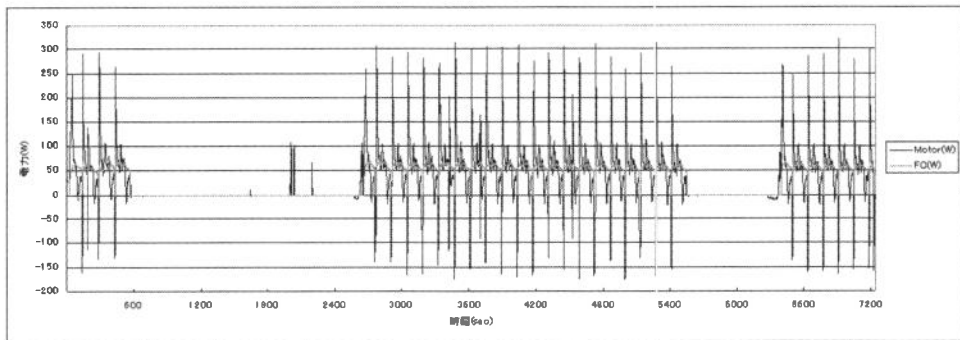


図12 燃料電池電力 (FC) とモーター消費電力 (Motor)

競技中の燃料電池とモーター電圧，電流を図13，14に示す。順調に周回した競技開始80分経過後の10分間の各波形である。モーター側の負荷変動によって燃料電池の電圧，電流とも連動して若干変化するが14V-4A付近で安定している。また，燃料電池側とモーター側との電圧差は逆流防止ダイオードや，モータドライバ内の半導体素子のON抵抗によるもので，この損失分の改善は今後の検討課題としたい。

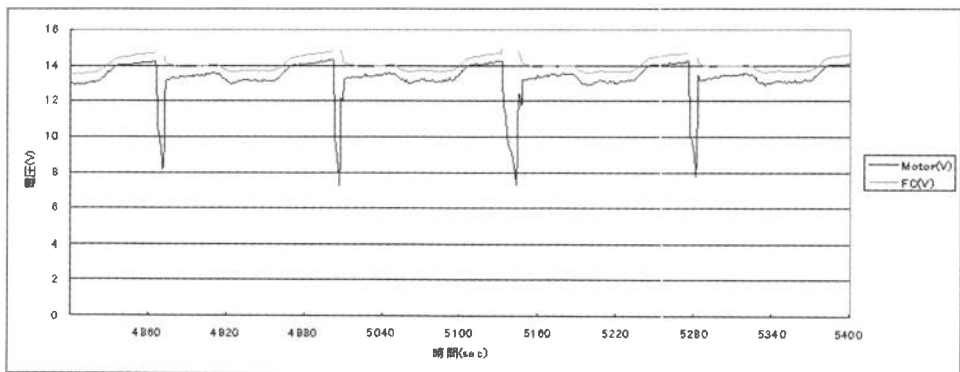


図13 燃料電池 (FC) とモーター (Motor) の電圧

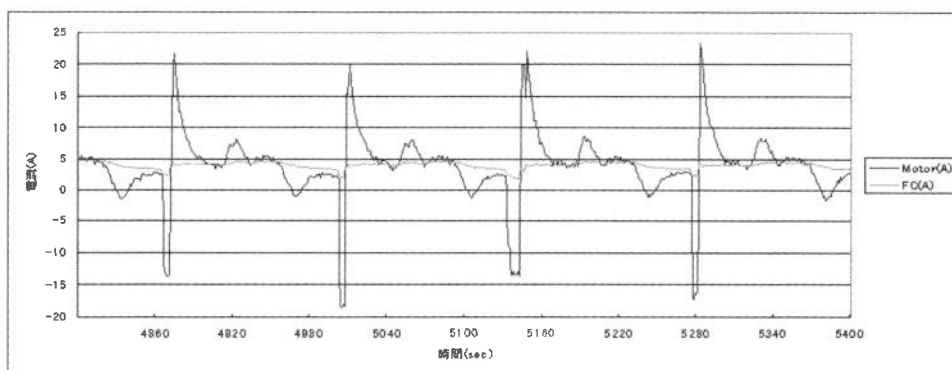


図14 燃料電池 (FC) とモーター (Motor) の電流

6. ま と め

今回のWEMのFCクラスに参加するにあたり、一年前から燃料電池の安定動作と電気回路に関して種々の対策を行って競技に臨んだ。その結果、走行中のラップ・タイムは満足できるものとなった。しかし、燃料電池や電気回路に重点を置くあまり、機械的な部分でのテストが不十分となり、予選で機械的トラブルを生じたのは残念である。

今後の課題として、燃料電池の温度、湿度管理、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。ドライバーを勤めてくれた専攻科1年生の松本芳和君、メカニックとして活躍した専攻科1年生伊倉正彦君には感謝をしている。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櫻谷教授、西側助教授をはじめ学内諸先生方に謝意を表するとともに、技術的なご指導を頂いた大同メタル工業(株)高木武久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) 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.
- 2) 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, p. 46-49.
- 3) 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.
- 4) 高橋正則, 土田茂雄: 燃料電池自動車の試作, 中日本自動車短期大学論叢, 第34号, 2004, p. 53-61.

WEM FC-class Lap

ゼッケン	車名	周回数	Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	Lap 7	Lap 8	Lap 9	Lap 10	Lap 11	Lap 12	Lap 13
203	元祖USO800	50	02:30.9	02:18.9	02:16.9	02:14.7	02:13.9	02:18.4	02:20.8	02:16.4	02:15.6	02:21.2	02:16.3	02:17.2	02:22.2
205	Aqua	50	02:38.8	02:28.4	02:25.6	02:25.3	02:24.9	02:24.5	02:27.2	02:25.3	02:24.1	02:28.1	02:23.0	02:25.9	02:22.7
201	WING04	44	02:59.5	02:52.9	02:43.4	02:37.0	02:40.6	02:37.9	02:32.9	02:35.5	02:25.9	02:28.1	02:31.8	02:34.6	02:39.7
253	UK-hope04	36	03:37.1	08:58.4	06:01.5	03:23.1	03:23.4	03:16.2	03:11.7	03:11.5	03:11.5	03:04.8	03:02.8	03:02.1	03:05.8
206	マンボースマッシュ	30	02:35.8	02:27.4	02:20.7	02:20.7	02:36.7	02:21.9	02:18.0	02:19.3	02:20.9	02:23.6	02:20.4	02:22.7	02:19.6
251	NURSERY	25	04:40.3	04:45.1	04:41.3	04:38.9	04:37.0	04:36.6	04:41.5	04:37.2	05:59.3	04:32.7	04:35.6	04:36.4	04:40.0
252	颯	23	05:11.8	05:12.1	04:59.0	05:10.9	04:52.5	05:09.5	04:44.8	06:40.8	05:34.3	06:41.2	05:51.8	04:39.7	04:29.0
204	TGMV2004	23	02:38.5	02:31.6	02:21.1	02:22.1	02:25.3	02:29.2	02:39.1	02:51.6	03:14.1	02:54.3	03:05.9	03:16.4	03:30.1
202	Zephyranthes	20	33:06.6	03:52.4	04:23.4	04:20.0	04:20.2	11:14.0	03:11.3	03:52.8	04:03.8	04:09.3	04:09.7	04:19.4	04:18.2
255	EBIGOF(C)	16	06:12.0	06:10.7	07:37.1	07:37.8	08:37.6	06:26.0	08:29.7	07:27.1	07:06.4	06:20.3	06:37.4	06:34.2	08:35.6
207	武蔵E.E.	11	03:16.0	03:00.1	02:58.9	02:54.7	02:53.5	02:58.5	03:31.0	04:30.7	08:53.0	26:01.0	23:33.1		
209	飛燕	7	06:35.7	18:24.1	15:06.1	20:57.6	11:28.5	15:40.9	19:30.1						
254	秋エインフイニティー	3	05:45.6	06:22.3	16:05.7										

ゼッケン	車名	Lap 14	Lap 15	Lap 16	Lap 17	Lap 18	Lap 19	Lap 20	Lap 21	Lap 22	Lap 23	Lap 24	Lap 25	Lap 26	Lap 27
203	元祖USO800	02:22.0	02:21.2	02:19.2	02:13.0	02:15.6	02:30.3	02:21.4	02:16.7	02:25.3	02:22.2	02:22.6	02:29.9	02:18.2	02:24.3
205	Aqua	02:22.9	02:23.0	02:21.6	02:21.8	02:24.2	02:23.1	02:22.2	02:22.9	02:22.3	02:24.6	02:21.7	02:21.0	02:20.3	02:20.8
201	WING04	02:43.8	02:38.2	02:39.5	02:42.7	02:45.0	02:43.6	02:41.8	02:42.4	02:41.1	02:41.4	02:43.8	02:38.9	02:45.8	02:42.1
253	UK-hope04	03:01.7	02:59.6	02:56.1	02:58.9	02:58.6	02:54.8	02:56.0	02:55.5	02:54.7	02:58.7	02:56.2	02:55.9	02:54.8	02:53.7
206	マンボースマッシュ	02:21.8	02:17.3	02:16.0	02:16.7	02:18.5	02:21.9	02:17.3	02:16.1	02:18.5	02:16.3	02:16.1	15:37.6	02:30.6	02:17.1
251	NURSERY	04:50.4	04:44.7	04:42.2	04:44.5	06:26.3	04:27.2	04:28.5	04:26.8	04:28.0	04:30.5	04:28.5	04:37.7		
252	颯	04:23.9	04:26.2	04:19.0	04:33.0	06:20.2	05:51.4	04:29.3	04:15.0	04:09.9	04:25.2				
204	TGMV2004	15:31.6	02:51.2	02:50.3	02:52.0	02:53.8	02:52.6	02:48.5	02:59.3	03:26.8	04:32.7				
202	Zephyranthes	04:13.3	04:11.7	04:15.3	04:13.0	04:15.0	04:12.8	04:10.6							
255	EBIGOF(C)	06:41.0	06:45.2	06:33.5											

ゼッケン	車名	Lap 28	Lap 29	Lap 30	Lap 31	Lap 32	Lap 33	Lap 34	Lap 35	Lap 36	Lap 37	Lap 38	Lap 39	Lap 40	Lap 41
203	元祖USO800	02:22.6	02:20.5	02:24.9	02:20.5	02:16.5	02:13.0	02:17.1	02:11.1	02:13.1	02:09.1	02:18.2	02:13.8	02:18.9	02:18.4
205	Aqua	02:51.8	02:20.2	02:19.4	02:21.0	02:21.0	02:18.5	02:18.0	02:17.0	02:17.3	02:16.9	02:17.4	02:17.8	02:16.9	02:19.8
201	WING04	02:45.3	02:53.7	02:47.4	02:44.6	02:40.9	02:38.7	02:47.6	02:40.7	02:43.0	02:41.1	02:45.8	02:44.7	02:39.1	02:41.1
253	UK-hope04	02:55.4	02:58.1	02:58.9	02:57.5	02:57.0	02:57.4	02:59.7	02:55.0	03:01.7					
206	マンボースマッシュ	02:16.4	02:16.3	02:15.9											

ゼッケン	車名	Lap 42	Lap 43	Lap 44	Lap 45	Lap 46	Lap 47	Lap 48	Lap 49	Lap 50
203	元祖USO800	02:23.6	02:19.0	02:20.5	02:14.2	02:23.7	02:26.9	02:29.2	02:37.6	03:05.3
205	Aqua	02:18.0	02:16.9	02:17.6	02:17.0	02:16.6	02:17.1	02:15.9	02:15.7	02:16.4
201	WING04	02:35.9	02:40.1	02:38.7						