

電気二重層キャパシタ, ニッケル水素電池および低転がり抵抗タイヤによるソーラーカーのエネルギー効率改善

Improvements of Energy Efficiency of Solar Car
Using EDLC, Ni-MH Batteries and Low Rolling Resistance Tires

木村 英樹*¹
Hideki KIMURA

星野 博司*²
Hiroshi HOSHINO

松前 義昭*³
Yoshiaki MATSUMAE

高本 慶二*⁴
Keiji TAKAMOTO

平岡 克己*⁵
Katsumi HIRAOKA

内田 裕久*⁶
Hirohisa UCHIDA

渡辺 真一郎*⁷
Shin-ichiro WATANABE

高橋 昌宏*⁸
Masahiro TAKAHASHI

Abstract

1998 World Solar-car Rally in Akita (Japan) was held from 30th July to 2nd August at "Solar Sports Line" in Ogata village. In this race, the Tokai University Solar Car Team has tried to test new devices and obtained some experimental data. For the purpose of the increase in energy efficiency, "hybrid electric-energy storage system" consists in the Ni-MH batteries and the "Electric Dipole Layer Capacitors (EDLC)" has been developed and mounted on the solar car. The rated capacitance of this EDLC was 120V - 6F (120V - 10F at the preliminary race). Since the peak of battery current was decreased by the EDLC, the charge-discharge rate also decreased. Therefore, the efficiency of electric energy will be improved by tested hybrid electric-energy storage system. Further, it was confirmed that new tires having the low rolling resistance coefficient decreased in the running power of the solar car.

Key Words: Solar car, Electric Dipole Layer Capacitor (EDLC), Ni-MH battery, Hybrid electric-energy storage system, Low rolling resistance tire, Solar Energy, Electric vehicle

1. はじめに

化石燃料消費によって深刻化している、「地球温暖化」、「化石燃料枯渇」、「大気汚染」などの環境問題を根本的に解決することを目的として、東海大学では1991年よりソーラーカー開発に着手し、1992年以来、秋田県大潟村で行われるワールド・ソーラーカー・ラリー・イン・アキタ (WSR) やオーストラリア大陸を縦断するワールド・ソーラー・チャレンジ (WSC) などに出場してきた。

ソーラーカーは太陽電池の発電エネルギーが小さいため、その実用化は電気自動車やハイブリッド車よりもさらに将来の話である。しかし、ソーラーカーは一

度製作してしまえばガソリンを消費することなく、太陽光がある限り半永久的に走り続けることができるので、究極の環境車といえる。一方、ソーラーカーの研究の成果は電気自動車やハイブリッド車など他の分野へも応用できるものも数多い。そこで、ソーラーカーの開発を通じ、走行エネルギーの低減などによる総合的なエネルギー利用効率を向上させることを目的として研究活動を行っている。¹⁻¹⁰⁾

ここでは、1998年7月下旬から8月上旬にかけて、秋田県大潟村のソーラースポーツラインにおいて行われた98WSR (図1) で得られた研究成果について述べる。

*1 会員 東海大学工学部電子工学科 (〒259-1292 平塚市北金目1117)

*2 会員 東海大学工学部電気工学科

*3 東海大学総合科学研究所

*4 東海大学工学部動力機械工学科

*5 東海大学工学部航空宇宙学科

*6 東海大学工学部応用物理学科

*7 東海大学大学院工学研究科応用理学専攻

*8 株式会社シーシーアル

(原稿受付 平成10年11月24日)

Dept. of Electronics, School of Engineering, Tokai Univ.

Dept. of Electric Engineering, School of Engineering, Tokai Univ.

Research Institute of Science and Technology, Tokai Univ.

Dept. of Prime Mover Engineering, School of Engineering, Tokai Univ.

Dept. of Aeronautics and Astronautics, School of Engineering, Tokai Univ.

Dept. of Applied Physics, School of Engineering, Tokai Univ.

Course of Applied Science, Tokai Univ. Graduate School

CCR Co.



図1 98WSRを走る Tokai Spirit 号

2. 主な研究課題

ソーラーカーや電気自動車に関する研究分野は数多く残されている。その中で、ソーラーカーの研究課題として、次の3点を選んだ。

- (1) 世界初の電気二重層キャパシタ搭載
- (2) 新設計低転がり抵抗タイヤの装着
- (3) ニッケル水素電池の開発

これらの課題は、いずれも自動車の環境負荷低減に貢献できるものである。

2.1 電気二重層キャパシタ (EDLC)

電気二重層キャパシタ (Electric Dipole Layer Capacitor: EDLC) とは、大容量パワーコンデンサのことである。この基本原理は、活性炭の持つ広大な表面上に生じる非常に薄い電気二重層に蓄えられる電荷を利用するものである。今回は日本ケミコン(株)開発中の電気二重層キャパシタ (定格 120V 6F, 予選時 10F) を世界で初めてソーラーカーに搭載した。この電気二重層キャパシタは、従来パワーコンデンサとして広く使用されているアルミ電解コンデンサと比べて、飛躍的に容量を大きくしたものである。また、電池に比べて特に瞬間的な充放電を得意とする。したがって、たとえば加速時には電池からの放電電流を補助し、回生ブレーキ時には電池への充電電流を緩和させるような使い方が考えられる。そこで、電気二重層キャパシタを電池と組み合わせて実際にソーラーカーへ搭載することにより、ハイブリッド電力貯蔵システムを構成した。これにより電池の充放電レートを引き下げることが可能であり、電池の性能をより一層引き出すことができる。また、電池と異なり化学的な反応を伴わない

ため、電気二重層キャパシタは長寿命、高信頼、低エネルギー損失などの優れた性質を持つ。

電気二重層キャパシタの仕様は、97年時点での東海大学ソーラーカーのデータをもとに決定した。主な開発ポイントは等価直列抵抗 (Equivalent Series Resistance: ESR) の低減である。そのため、単位重量あたりの容量を稼ぐことができる有機系電解液をやめ、今回は水系電解液として硫酸水溶液を選定した。また、電極に用いた活性炭は孔径を調節することにより ESR が低下するよう配慮した。1バンクの定格電圧および容量は 60V 6F であり、重量は 2.3kg である。これを2直2並列することで 120V 6F, 9.2kg とした。また、予選の 0-400m タイムトライアル時にはさらに強いエネルギー補助効果を得るために、並列数を増やして2直3並列とした。並列数が増加することで測定上容量が増加し 120V 10F, 13.8kg となる。開発された電気二重層キャパシタを図2に示す。

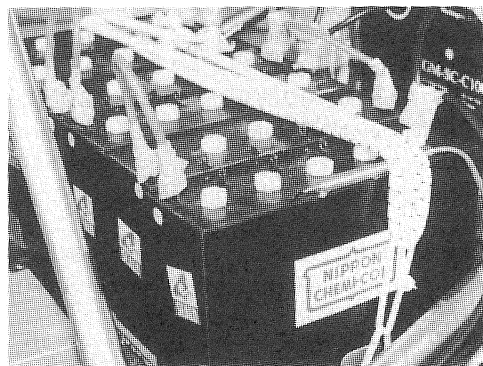


図2 開発した電気二重層キャパシタ

2.2 低転がり抵抗タイヤ

平地を定常走行している場合、走行エネルギーは転がり抵抗と空気抵抗の和として表せる。空気抵抗を抑えたソーラーカーの場合、日常的な走行速度であっても、転がり抵抗の低減は重要課題となる。実際には、東海大学のソーラーカーでは、35km/h 以下では転がり抵抗成分の方が支配的である。転がり抵抗を低減させるためには、車体の軽量化とともに、転がり抵抗係数の小さいタイヤが必要不可欠となる。東海大学では96、97年度は、IRC社製のタイヤを装着していたが、従来から性能が高いとされている横浜ゴム(株)のソーラーカー専用タイヤ (50/560-18) をさらに改良したものを装着することにした。このタイヤは外径

560mm（幅 50mm，リム径 18 インチ）とソーラーカー用のタイヤとしては大きい方に分類される。またこれと同時に、専用のマグネシウム合金鍛造ホイールを設計製作し装着した。

2.3 ニッケル水素電池

自作したニッケル水素電池を 97 年度にソーラーカーに電池メーカー以外では初めて搭載した。¹⁷⁾ 98 年度も引き続き基礎研究を継続し、搭載することにした。ニッケル水素電池はニッケルカドミウム電池や鉛蓄電池に比べて小型軽量化できる。また有害金属を含有していないことから、廃棄したときの環境負荷も小さく各方面への応用が進んでいる。さらに、近年ではリサイクルプロセスの研究も行われている。¹⁸⁾ リチウムイオン二次電池と比べても、内部抵抗が小さく、パワー密度も大きいことから、電気自動車用をはじめとし、ノートパソコン、シェーバなどへの搭載があらためて見直されている。しかし、現在もソーラーカー用に使われるニッケル水素電池は市販されていないため、研究開発することにした。

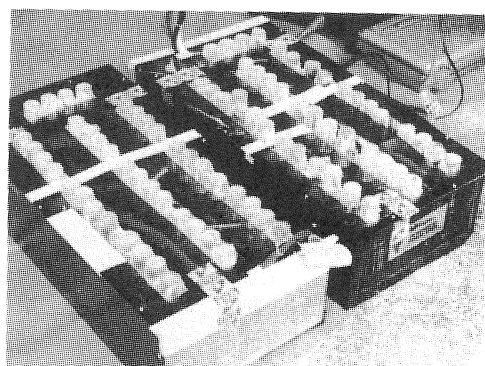


図3 製作したニッケル水素電池

98 年度に製作したニッケル水素電池を図 3 に示す。97 年度の電池には、大きいリーク電流、設計値よりも低い電池容量という 2 つの問題が存在していた。このため電池容量は設計値の半分近くにまで減少し、放置しておくだけで電池のエネルギーがリーク電流により失われていった。そこで 98 年度は大幅に改良を行うことにした。まず、水素吸蔵合金 (MmNi₅ 系) の初期活性を促進するためにアルカリ処理を行ったものを使用した。¹⁹⁾ さらに電極形成の際には、水素吸蔵合金に添加する導電助剤として比重が軽いカーボン粉体を

使用し、配合比などを工夫し最適化を行った。97 年度は 8 セルを 1 モジュールとした定格 9.6V の電池を 10 直 2 並列にして使用していた。これに対して、98 年度は外形寸法は同一のまま 1 セルの大きさを倍にして定格 4.8V の電池とする代わりに 20 直列とし並列接続をやめた。これは特性が揃っていない電池を並列接続したときの充電電流の偏りをなくすことと、電極の充填密度を上げるためである。さらに、正極と負極の枚数の再調整、セパレータ材質および構造の変更、電解液封入法の改良などを行った。その結果、ほぼ設計通りの電池容量 (96V 14Ah) を確保し、実用レベルのリーク電流に抑えることに成功した。製作したニッケル水素電池の放電特性を図 4 に示す。

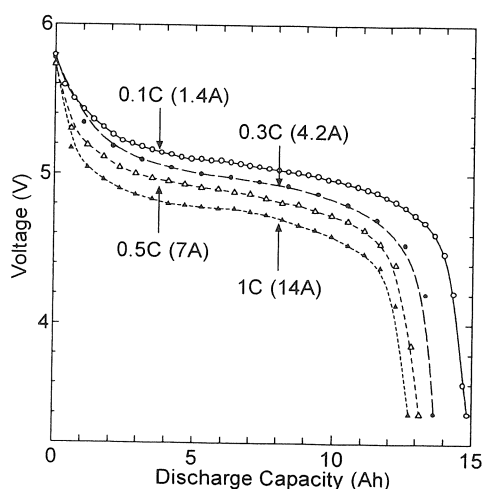


図4 製作したニッケル水素電池の放電特性

0.1C (1.4A) 放電で 14.5Ah, 1C (14A) 放電で 12.5Ah の放電が可能である。さらに、電池の内部抵抗についても昨年の 1/2 程度まで低下させることができた。なお、重量は 97 年度が 32.0kg であったのに対して、98 年度では 30.6kg と 1.4kg ほど軽量化できた。

3. ハイブリッド電力貯蔵システム

ここでは、98 年度に搭載した電力貯蔵システムの動作状況を調べた結果について述べる。

今回は、ニッケル水素電池と電気二重層キャパシタを組み合わせることによって、ハイブリッド電力貯蔵システムを構成した。キャパシタのエネルギーを有効に取り出すためには、DC-DC コンバータなどによる結合を行った方がよいという考えもあるが、重量増や電

圧変換ロスを引き起こすので、今回は単純に電池と並列に接続することにした。

加速時における速度、電池電圧(=キャパシタ電圧)、モータ電流、電池電流、キャパシタ電流を測定した結果を図5に示す。ここで、モータ電流は電池電流、キャパシタ電流、およびソーラー電流の和となる。なお、これは98WSR予選(0-400m タイムトライアル)時に測定したデータであり回生制動は使用していない。

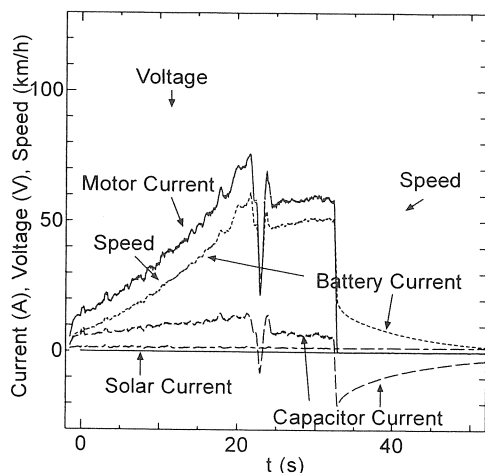


図5 0-400m タイムトライアル時の各電流、電圧、速度の変化

スタート直後からモータ電流が増加していき、それらを電池電流とキャパシタ電流がそれぞれ分担している。モータが電池から電流を多く持ち出そうとする時にはキャパシタからの電流で補われる。また、図中右側の加速を止めたときには、モータ電流がゼロになり、その際には電池からキャパシタに電流が流れ込んでいることがわかる。このことから、電気二重層キャパシタによって、従来のパワーコンデンサでは考えられないような規模で、電池電流の平均化が行われていることが確認された。一般に、電池は図4にも示したように充放電率が高くなることで実効的な容量が低下する。したがって、この結果は等価的に電池容量を増加させたような効果を生じる。また、並列接続によりESRを減少させるので、小型電池であってもより大きいサイズの電池に匹敵する瞬発力を持たせることも可能である。このようなシステムは回生制動のような一時的な電力貯蔵に適していると考えられ、電池搭載量が少ない目のハイブリッド車などへの応用が期待される技術となりそうである。なお、途中でモータ電流が減少して

いる部分があるが、これは本戦直前ででありドライバーが大電流放電によって電池がダメージを受けないように調節したためである。

次に、回生制動時の電気二重層キャパシタの効果を見るために、本戦第1日目タ方の11Lapにおいて減速区間を通過する際、予選時と同様な計測を行った結果を図6に示す。なお、このとき電池残量は1/4程度しか残っておらず、比較的弱った状態にある。もし、電気二重層キャパシタが搭載されていない場合、電気二重層キャパシタによって補助された電流量に相当する分は、電池が負担することになる。

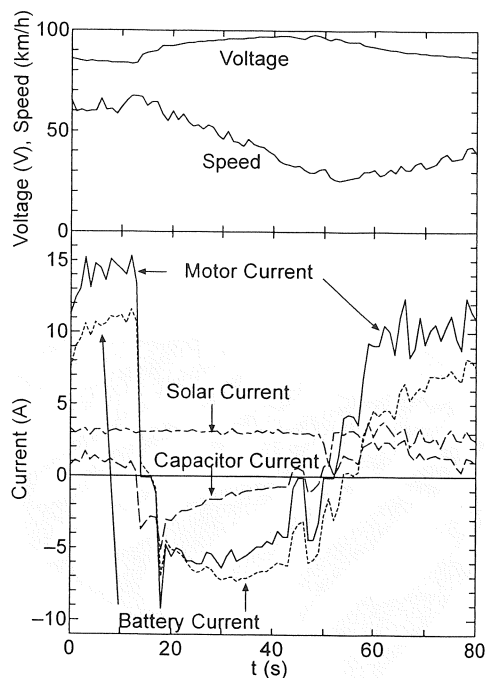


図6 減速区間通過時の各電流、電圧、速度の変化

0～12sまでの区間は巡航状態にあり速度を維持している。12sを過ぎたところから減速区間に入進するためにモータ電流をカットし、16s付近から回生制動を始めている。このとき、キャパシタへは5A程度の電流が流れ込み、その分電池電流出力のピークをカットすることに役立っていることが確認された。42s付近から減速区間に突入した。52s付近から速度を維持し始め、60s付近から加速を始めている。このときにも、キャパシタが電池電流をアシストしていることがわかる。246kgの車体が65km/hから30km/hに減速すると $3.2 \times 10^4 J = 8.7 Wh$ のエネルギーを放出する。ここ

で 6F のキャパシタが 84V から 97V に変化することで $7.1 \times 10^3 \text{ J} = 2.0 \text{ Wh}$ を回収し、電池の負担を減らしている。すなわち、予選時のような加速中だけでなく減速中の回生制動時にも、電気二重層キャパシタによって電池へ流れ込む充電電流のピークカット効果が得られることを確認した。このピークカットにより、充放電の両方のレートを低減させることで充放電率が改善される。そして、瞬間的な入出力に対しては電池の場合に比べて内部抵抗が低下する。これらの相乗効果によって、キャパシタ搭載によって充放電の際の抵抗損失を減らすという効果も期待できる。

この電気二重層キャパシタによって重量が 9.2kg 増加するのでソーラーカーの走行パワーは増加する。ハイブリッド電力貯蔵システムによって、この重量の影響以上にエネルギー利用効率を改善できればレース結果にプラスとして作用する。

4. 走行エネルギーの変化

98 年度に採用した横浜ゴム製のソーラーカー専用タイヤを図 7 に示す。このタイヤを用いて出場した 98 WSR において測定された東海大学ソーラーカーの速度に対する走行パワー（消費電力）を図 8 に示す。比較のために 95、97 年に測定したデータを図中に示す。図 8 を見ると明かなように、98 年において測定された走行パワーはいずれの速度領域においても、過去最少となるという結果を得た。



図 7 開発されたソーラーカー専用タイヤ

平地を無風状態の中で定常走行している際の車体の走行パワーは一般に次式で表される。⁹⁾

$$P = (\mu m g v + C_d A \rho v^3) / (\eta_e \eta_m)$$

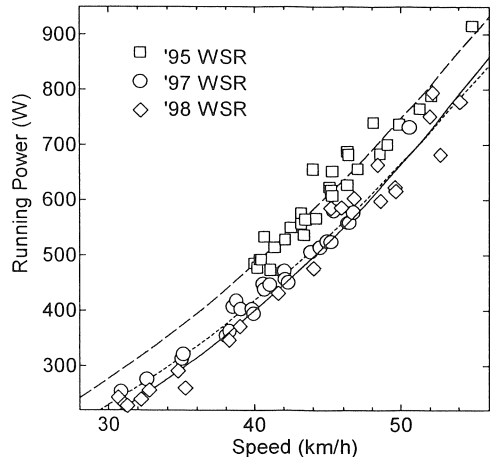


図 8 95、97、98 年の速度に対する走行パワー

ここで

P: 走行パワー (W)

μ : 転がり抵抗係数

m: 車体質量 (236kg ~ 246kg ドライバーを含む)

g: 重力加速度 (9.8 m/s^2)

v: 速度 (m/s)

C_d : 空気抵抗係数

A: 前方投影面積 (1.12 m^2)

ρ : 空気密度 (1.203 kg/m^3)

η_e : 電気効率 (86 ~ 85%)

η_m : 機械効率 (100% NGM 社製ホイールモータ)

である。右辺第 1 項は、転がり抵抗成分であり転がり抵抗係数の速度依存性を無視できるとすれば、速度に比例する。右辺第 2 項は空気抵抗成分であり速度の 3 乗に比例する。

まず、30km/h 付近の低速度領域において、平均して 7.6%ほど走行パワーが低減された。97 年と比べて、電気二重層キャパシタの質量 (+9.2kg)、ホイールを含むタイヤ質量の増加 (+1.2kg)、ニッケル水素電池の軽量化 (-1.4kg)、測定系仕様変更 (+1.0kg) などを考慮すると、車体質量 m は 236kg であった車体に対して 10kg (3.8%) 増加する。さらに、タイヤ径が大きくなったことでモータの回転数が低下し、電気効率 η_e は 86% から 85% へと約 1.0%悪化する。質量増加と電気効率減少の影響を考慮した結果、横浜ゴム製のソーラーカー専用タイヤによって転がり抵抗係数は、IRC 社製のそれよりもほぼ 13.0%ほど改善されていることがわかる。なお、測定台上での横浜ゴム製ソーラーカー専用タイヤの転がり抵抗係数はドラム (荷重 100kg) による計測で 0.0025 (40km/h)、0.0029 (60km/h)、0.0034

(80km/h)であるが、アスファルト路面上では一般にこれよりも悪くなる。さらに実際には、走行速度のバラツキ、アライメントの変化などで発生する抵抗なども含まれているため、転がり抵抗係数はドラム計測値よりも大きくなる。

一方、60km/h 程度の巡航速度では、重量の影響を受けない空気抵抗成分はおおよそ 72%を占めるため、キャパシタの重量増(+9.2kg)による転がり抵抗成分の増加によって全体の走行パワーは 1.08%程度増加する。1 周の加減速時間を延べ 8 分とし、その間に充放電レートの低下による電池容量の増加およびキャパシタによる充放電効率上昇により 6.3%のエネルギー利用率の改善を行ったとすると、図 6 のデータを取ったときの Lap タイムは約 35 分であったことから、大雑把な計算ではあるが 1.4%程度エネルギー利用効率が向上したと考えられる。この結果は、大潟村のコースに対して、ハイブリッド電力貯蔵システムは 0.35%プラスとなり、それほど大きいものとはならなかった。しかしながら、アップダウンや減速ポイントが多いコースあるいは都市部を走行している時など、エネルギーの出し入れが頻繁に行われるような状況下においては、数倍の効果を発揮できる可能性があることを示している。またキャパシタの性能も年々着実に進歩してきているので、さらなるエネルギー利用効率の改善が可能となるであろう。

走行データには空気抵抗など各種成分が含まれるためデータの転がり抵抗成分と空気抵抗成分の分離が難しい。そこで、図 8 からシミュレーション計算により、レース時の転がり抵抗係数の値を求めたところ μ 値は 0.0047 ~ 0.0054, C_d 値は 0.220 ~ 0.227 という範囲に収まることがわかった。 μ 値を 0.0050, C_d 値を 0.225 したときの走行シミュレーション結果を図 9 に示す。

図 9 のシミュレーション結果を見ると、実際に得られたデータとよく一致していることがわかる。ただし、高速側のデータには減速区間を通過する際速度調節が含まれ、エネルギー損失の影響が多くなること、およびタイヤの転がり抵抗係数の速度依存性を無視したなどの影響があるため、実際には C_d の値はこれほど悪くはないと考えられる。なお、他のタイヤメーカーのソーラーカー用タイヤの転がり抵抗係数 μ の値としては、ミシュラン 0.0025 [3m ドラム], 0.0036 [ホンダ：トラックテストデータ], 0.0056 [ビール工科大 (スイス) : WSC 実測値], プリジストン 0.0039 ~ 0.0049 [1.7m ドラム 80kg 加重], ダンロップ 0.003 (20km/h) ~ 0.005 (80km/h) [ダンロップ：カタログ値], 0.007 ~ 0.008 [実測値], I R C 0.004 [ホンダ：トラック

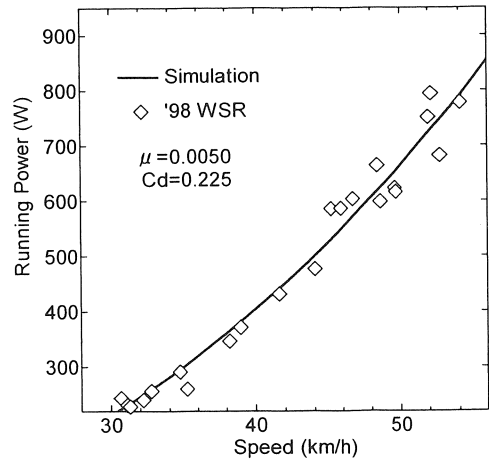


図 9 走行パワーのシミュレーション結果

テストデータ] 0.007 ~ 0.008 [北海道自動車短期大学：転がりテスト] などの報告がある。¹⁰⁾

次に、50km/h 付近の高速側では走行パワーは 97 年とそれほど変化は見られない。さらに速度を上げていくと、むしろ 98 年の方が悪そうでもある。高い速度領域では空気抵抗成分が支配的となるため、空気抵抗係数と前面投影面積の積である $C_d A$ 値が悪化したのではないかと考えられる。この原因について次のように考察する。第 1 に、以前は G H クラフト社製のディッシュタイプ (カーボン F R P 製、低空気抵抗タイプ) ホイールを使用していたが、今回は鍛冶社製 6 本スポークタイプ (マグネシウム合金鍛造) ホイールを採用した。このスポークによりタイヤまわりでウインドミル効果が発生し C_d 値が悪化したものと考えられる。第 2 に、タイヤ直径が大きくなったことから、タイヤまわりの開口部面積が増加し C_d 値が悪化したことが考えられる。なお、タイヤの直径が以前より 60mm 増加したことでシャシが全体的に 30mm 高くなり、地面効果も変化することも予想されるが、もともと 250mm という高めの最低地上高を有していたことから、ほとんど影響していないのではないかと考えている。

一方、図 7 をよく見ると 98 年では図中のプロットのバラツキが大きいことに気づく。走行エネルギーのプロットは、風の影響以外にも、制限速度区間における加速減速のパターン、追い越しの際の加速や速度調節の際のスロット開度など、各々のドライバーの運転テクニックによる省エネルギー効果も存在する。そこで、各ドライバーがどのような運転をしたのか調べるために、図 7 において 98 年度の各プロットに 4 人の

ドライバーA～Dを対応させたものを図10に示す。

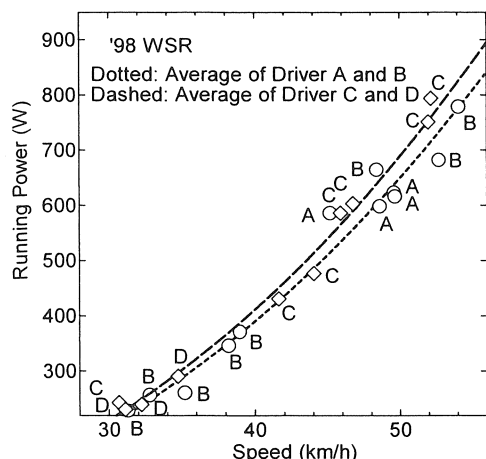


図10 ドライバーの違いによる走行パワーの変化

ドライバーAはソーラーカー運転歴7年のベテラン、ドライバーB～Dは初心者である。ただし、ドライバーBはソーラーカーのメカニズムに精通している。ここで、さらにドライバーをAとBおよびCとDの2つのグループに分離し、それぞれの走行エネルギーの平均を取ったものを図中に示す。2本の曲線に分離できることから明かなように、CおよびDのドライバーよりも、AおよびBのドライバーは走行パワーが低めに抑えられていることがわかる。以上のことより、ソーラーカーの特性はドライバーの違いにより変化し、特に減速区間通過など運転テクニックの影響が出やすい高速運転時には最大で約10%程度走行パワーの差が生じることがわかった。これより、人間がソーラーカーを操作するレースでは、電気効率や機械効率と並んでドライバー効率を考慮すべきであることがわかった。そしてソーラーカーを効率よく、さらに正確なデータを取得しながら走らせるためには、優秀なドライバーを揃えることが前提となることが改めて確認された。

5. まとめ

ここでは、ソーラーカーの走行エネルギー低減を目指し、改良を行った結果について述べた。

ニッケル水素電池のセル構造、電極材質、セパレータ、電解液の封入方法などの変更により、リーク電流を減らし容量を増加させたものを製作することができた。そして新しい電力貯蔵システムを開発するために、電気二重層キャパシタをソーラーカーに世界で初めて

搭載した。ソーラーカーという比較的大きな電力システムの中にあっても、実際に電池と電気二重層キャパシタを組み合わせたハイブリッド電力貯蔵システムにおけるキャパシタの電力補助効果が確認された。その結果、車全体のエネルギー利用効率の改善できる可能性を見いだした。

また、開発されたソーラーカータイヤ専用タイヤを装着することで転がり抵抗係数が低減されることを確認した。また、走行パワーを低く抑えるためにはドライバーの運転技術が必要不可欠であることが改めてわかった。

今後の課題としては、現在よりも C_d 値および A 値が共に小さく空気抵抗成分の少ない車体の開発が必要となること。さらに、蓄電池、電気二重層キャパシタ、モータ、タイヤなどの各デバイスのより一層の性能の向上などが求められる。

謝辞

ソーラーカー用に電気二重層キャパシタを開発、提供していただいた、(株)シーシーアール代表取締役社長古林學氏、主幹研究員竹田敏和氏、日本ケミコン(株)専務取締役藤原方之氏、いすゞ自動車(株)今井博之氏に感謝します。新開発ソーラーカー専用タイヤを提供していただいた横浜ゴム(株)モータースポーツ開発部に感謝します。ニッケル水素電池を製作する際に水素吸蔵合金を提供していただいた昭和電工(株)に感謝します。ソーラーカーのドライビングマネジメントに携わっていただいた東海大学研究推進部蒲池光久氏、メカニックとしてサポートしていただいた東海大学研究計画課田口英生氏に感謝します。また、ソーラーカー製作、チーム運営に協力いただいた東海大学工学部動力機械工学科技術員牧島良美氏、千葉頭氏に感謝します。ソーラーカーレースおよびニッケル水素電池製作に関わった学生諸君に感謝します。

参考文献

- (1) 田端寿晴, 森井清史, 大井慎二, 森合久美, 松村義人, 内田裕久, 星野博司, 中向宏幸, 木村英樹, ソーラーカー用ニッケル水素電池の作製と搭載実験, 第44回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 1 (1996), 373, 応用物理学会, 千葉.
- (2) 星野博司, 木村英樹, 松前義昭, 高本慶二, 渡辺真一郎, 内田裕久, ニッケル・水素電池の試作とソーラー自動車への応用, 太陽/風力エネルギー講演論文集(1998), 341-344, 沖繩.
- (3) 渡辺真一郎, 亀和田敏, 村垣正和, 木村英樹, 星野博司, 松村義人, 内田裕久, ソーラーカーへの試作 Ni-MH 電池搭載実験, 第45回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 1 (1997), 457, 応用物理学会, 東京.

- (4) 星野博司, 木村英樹, 高本慶二, 森井清史, 内田裕久, ニッケル水素電池の試作とソーラー自動車への応用, 水素エネルギーシステム, 23-1 (1998), 22-28, 東京.
- (5) 木村英樹, 松前義昭, 星野博司, 平岡克己, 押野屋康雄, 高本慶二, 内田裕久, 1997年東海大学ソーラーカーの改良, 第45回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 1 (1997), 456, 応用物理学会, 東京.
- (6) 星野博司, 渡辺真一郎, 木村英樹, 中野博昭, 内田裕久, ソーラーカー用 5V-14Ah Ni-MH 電池の製作と特性, 第59回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 1 (1998), 398, 応用物理学会, 広島.
- (7) 渡辺真一郎, 松本智宏, 松村義人, 木村英樹, 星野博司, 内田裕久, 導電助剤としてカーボンを用いた Ni-MH 二次電池, 第58回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 1 (1997), 410, 応用物理学会, 秋田.
- (8) 飯田昌盛, 松前義昭, 高本慶二, 押野谷康夫, 星野博司, 平岡克己, 木村英樹, 内田裕久, 1996年ワールド・ソーラー・チャレンジのための東海大学ソーラー自動車の特性改善と結果, 東海大学紀要工学部, 37-2 (1997), 9-19.
- (9) 松前義昭, 木村英樹, 星野博司, 平岡克己, 押野屋康雄, 高本慶二, 飯田昌盛, ソーラーカー用太陽電池パネルの配置法(1), 第44回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 1 (1996), 372, 応用物理学会, 千葉.
- (10) 木村英樹, 松前義昭, 星野博司, 平岡克己, 押野谷康雄, 高本慶二, 飯田昌盛, ソーラーカー用太陽電池パネルの配置法(2), 第44回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 1 (1996), 372, 応用物理学会, 千葉.
- (11) 吉田卓司, 小野浩, 白井良一, Ni-MH 二次電池の再資源化, 資源・素材'95(秋季大会) (1995) 5-8, 資源・素材学会, 静岡.
- (12) H.H. Uchida, Y. Watanabe, Y. Matsumura and H. Uchida, Effect of KOH Pretreatment on the Hydriding Properties of $\text{LaNi}_{5.5}\text{Co}_{0.5}$ Alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 231 (1995), 679-683.
- (13) D. M. Roche, A. E. T. Schinchel, J. W. V. Storey, C. P. Humphris and M. R. Guelden, *Speed of Light: The 1996 World Solar Challenge* (1997), Photovoltaics Special Research Centre, University of New South Wales, Sydney.