

東海大学ソーラーカー”Tokai Spirit 2001”の開発

木村英樹*¹, 平岡克己*², 星野博司*³, 松前義昭*⁴, 高本慶二*⁵

Development of Tokai University's Solar Car “Tokai Spirit 2001”

by

Hideki KIMURA*¹, Katsumi HIRAOKA*², Hiroshi HOSHINO*³, Yoshiaki MATSUMAE*⁴
and Keiji TAKAMOTO*⁵

(Received on Sept. 30, 2002 & accepted on Jan. 27, 2003)

Abstract

In the body design of a solar car, the aerodynamic performance and the solar array power are very important. In Tokai University, the new solar car “Tokai Spirit 2001” was designed and manufactured. This paper reports on the design of cowl, aerodynamic performance, specifications of chassis, design of solar array, electric characteristics and so on. The coefficient of drag based on the frontal projection area is 0.14 that is in good agreement with the value obtained by the low speed wind tunnel testing. Further, the generated solar array power reached 1150W, so that the cruising speed of solar car increased to about 70km/h.

Keywords: Aerodynamic Design, Solar Module Design, Energy Conversion, Energy Storage, Energy Management, World Solar Challenge

1. はじめに

地球の大気環境問題は年を追うごとに深刻化し、酸性雨による森林破壊や、幹線道路の周辺住民が呼吸器障害などを引き起こしている。一方では、石油資源の枯渇などのエネルギー資源の枯渇問題も存在し、日本ではとくに省エネルギー対策などが行われてきた。今後、これらの問題の進行をスローダウンさせる手段として、燃料電池やマイクロガスタービンなどによる、コージェネレーション発電が期待されている。これらは、地域に密着した発電が可能であり、運転時に生成された熱を近隣の住居等で温水や暖房等に利用することでエネルギー効率を高めることができる。また、天然ガス等の埋蔵量に余裕がある資源を使用し、炭酸ガス放出も少なくすることができるとされている。しかし、有限なエネルギー資源を消費することには変わりなく、未来永劫にわたって持続可能な社会を築くことは難しい。

固定されたコージェネレーションシステムに対して、移動する自動車では、走行中に振動を受けるとともに、廃熱の利用機会が少ないため、高効率運転が難しいとされている。また、移動するという条件があるため、高効率化のためにシステムの重量を重くすることができないという技術的制約がある。近い将来、燃料電池車を登場させようと、自動車メーカーは開発を競い合っている。しかし、生産されると思われる自動車の質量は、ガソリンエンジンやガソリンタンクよりも、燃料電池や水素ボンベが重くなることから、1.2~1.5 倍程度増加すると思われる。したがって、転がり抵抗、勾配抵抗、加速抵抗はいずれもガソリン車よりも悪化する。

これに対して、我々は走行抵抗を限りなく小さくした車体に、太陽電池アレイを搭載し、様々な高効率デバイスを組み合わせた電気自動車であるソーラーカーの開発を行ってきた。ここでは、

特に車体の空気抵抗低減と発電電力増加をねらった「Tokai Spirit 2001」の開発について述べる。

2. カウルの空力設計およびその性能

2.1 カウルの空力設計

ソーラーカーの空力設計では、速度に比例する転がり抵抗による動力損失と速度の3乗に比例する空気抵抗による動力損失を少なくすることが重要である。転がり抵抗の低減のためには、カウルを含めた車体全体の軽量化とタイヤの高性能化が必要である。Tokai Spirit 2001 では、軽量化と加工性を考慮に入れてシャーシはアルミフレーム構造とし、カウルはカーボンハニカム製とした。ソーラーカーのような流線型物体の空気抵抗を低減するためには、圧力抵抗と粘性抵抗の低減が必要である。圧力抵抗は、流れの剥離を抑えることで低減でき、粘性抵抗は、表面を滑らかに仕上げることで表面積を小さくすることで低減できる。

ソーラーカーを高速仕様とするためには、効率よい発電ができるようになるべく広い同一面の太陽電池モジュールの貼り付け面を確保しつつ、力学的なエネルギー損失を低減できる形状にすることが最重要課題となる。また、前面投影面積は、レギュレーション内で最小化するとよい。Tokai Spirit 2001 では、ドライバーの居住性や内部空間の確保を考えて、前面投影面積を $A=0.87\text{m}^2$ 程度とした。流線形をしたソーラーカーに働く空気抵抗の中では粘性抵抗が最も大きく、これを低減するには層流領域を長く保つ必要がある。そのため、表面を滑らかにし、圧力減少領域を長くして流れの剥離の始まりを遅らせればよい。しかしながら、後縁での圧力損失による圧力抵抗を減少させるために、後縁で鋭いくさび形状に戻すことも必要である。そのため、Tokai Spirit 2001 では縦断面型に層流翼型の改造形を採用した。以下に具体的な設計・計算方法を述べる。

*1 電子情報学部エレクトロニクス学科助教授

*2 工学部航空宇宙学科助教授

*3 電子情報学部電気電子工学科助教授

*4 第二工学部情報システム学科教授

*5 工学部動力機械工学科教授

2.1.1 カウル上面

層流翼型は、通常の翼型よりは翼厚が厚く、最大翼厚位置が比較的後ろにあるものをいう。最大厚さは正面投影面積をなるべく小さくするために、車体長比で 8.5%とした。車幅は 1800mm であり、車体長は 5000mm である。最大厚さ位置は、太陽電池モジュールの長さどドライバーの乗車空間を考慮して、車体長比で 46%程度とした。層流翼型では最大翼厚位置より少し後方まで層流領域になることが知られているが、ここでは前縁から最大厚さ位置までを層流領域とし、最大厚さ位置から後縁までを乱流領域として粘性抵抗を求める。層流領域では摩擦応力係数を $C_f=0.0025$ 、乱流領域では $C_f=0.0045$ とする²⁾。ソーラーカーの平面投影面積は $A_p=9m^2$ であるので、カウル上面の粘性抵抗は $C_d A_p=0.031m^2$ となる。ただし、 C_d は摩擦抵抗係数である。

なお、太陽電池モジュール内における太陽光の入射角度差を抑えるために、水平面に対して可能な限り 20°以上の傾斜を設けないようにした。

2.1.2 揚力と誘導抵抗

前縁半径は居住性を考慮して 180mm とし、カウル下面は平面とした。車体の迎え角は 0°で最大キャンバは車体長比で 4.26% とした。ソーラーカーのアスペクト比は 0.34 で非常に小さいため、揚力線理論で揚力係数や誘導抵抗係数を求めることができないが³⁾、ここでは大雑把な見積もり値を求める。アスペクト比が非常に小さいので横方向の流れの影響が大きく、ソーラーカーの揚力傾斜は翼型の値 2π の 1/6 程度になる³⁾。したがって、矩形翼と見なされるソーラーカーの揚力は、ゼロ揚力迎え角が -3.2° になるので、 $C_L A_p=0.52m^2$ となる。ただし、 C_L は揚力係数である。循環分布の修正係数を 1.0 として誘導抵抗を求めると、 $C_{di} A_p=0.028m^2$ となる。ただし、 C_{di} は誘導抵抗係数である。

2.1.3 カウル下面

カウル下面は前縁から 2/3 程度までを水平にし、後輪より後部は斜めに持ち上げた。ここでは、地面効果や後流渦を無視して下面の粘性抵抗を大雑把に求める。層流領域は臨界レイノルズ数を 5×10^5 とすると、前縁から 0.32m の位置までになる。したがって、走行速度を 85km/h と想定すると、カウル下面の粘性抵抗は、 $C_d A_p=0.040 m^2$ となる。

2.1.4 キャンピとタイヤフェアリング

キャンピの抵抗は、正面投影面積 $A_c=0.03 m^2$ を基準にすると、 $C_d A_c=0.0045 m^2$ 程度である。ただし、抵抗係数 C_d を 0.15 とした⁵⁾。タイヤフェアリングの抵抗は、正面投影面積 $A_f=0.038 m^2$ を基準にすると、3カ所合計で $C_d A_f=0.017m^2$ 程度である。ただし、抵抗係数を 0.15 とした⁵⁾。

ここで求めた抵抗を全て足し合わせると、カウルの全抵抗が求められる。抵抗を走行速度に対応する動圧で割って表すと、抵抗係数×代表面積が $0.12m^2$ となる。ソーラーカー全体の正面投影面積 $A=0.87m^2$ を基準にすると、抵抗係数は $C_d=0.14$ となる。

2.2 カウルの空力性能

東海大学工学部航空宇宙学科の大型低速風洞を用いて風洞実験により空気抵抗の設計値を確認した。また、横風の影響による直進走行安定性や直進走行時の浮き上がりおよびダウンフォースの強さについても検討した。車の走行状態を模擬した

風洞実験では、地面の影響と車輪の回転を考慮することが重要であるが、今回は簡単にするために固定地面板と固定タイヤを用いて実験した。1/5 模型を用いて行った風洞実験の様子を Fig.1 に示す。



Fig.1 Wind tunnel test.

Fig.2 に横風に対する抵抗係数の変化を示す。図には後述する形状改造モデルに対する抵抗係数も表してある。基準モデルの抵抗係数は設計値の 0.12 程度になり、設計計算の方法がソーラーカーの空気抵抗の見積もりに対して妥当であるということが言える。

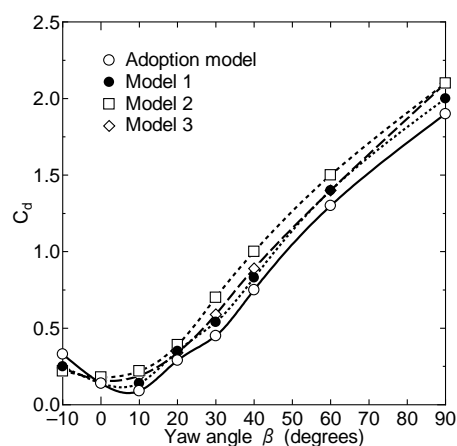


Fig.2 Drag coefficients of 1/5 model.

Fig.3 に横風に対する揚力係数の変化を示す。ヨー角がゼロの場合、設計上は若干揚力が発生しているが、実験では揚力係数が負になり、ダウンフォースが出ている。これはソーラーカーの後部下面を斜めに持ち上げているためと考えられる。

次に、空力性能の改善を目指して形状変更を行い、風洞実験をして性能測定をした。形状変更は、次の 3 通りを行った。

- (1)最大厚さ位置を変えないで、後部下面を水平にしたモデル (モデル 1)
- (2)最大厚さ位置を前縁から 25%に設定し、後部下面は変更しないモデル (モデル 2)
- (3)最大厚さ位置を前縁から 25%に設定し、後部下面を水平にしたモデル (モデル 3)

Fig.2 に改造モデルの抵抗係数を示した。抵抗係数は標準モデルすなわち実車の場合が全体的に小さく、走行抵抗の面から

は優れていることが確認できた。

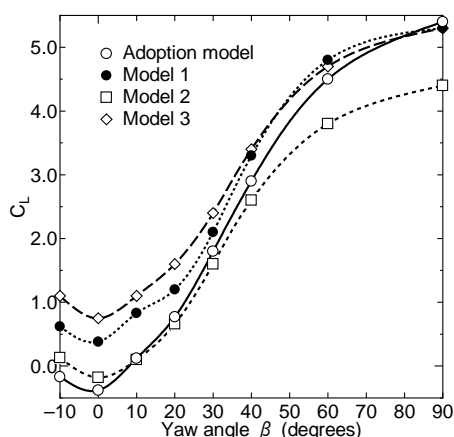


Fig.3 Lift coefficients of 1/5 model.

Fig.4 に横風に対するヨーイングモーメント係数の変化を示す。ヨーイングモーメントは小さいほどハンドルを取られにくい。実験では、標準モデルすなわち実車の場合が全体的に大きく、改良の余地があることが分かった。

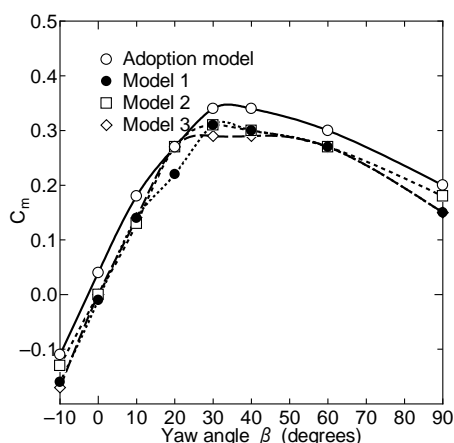


Fig.4 Yawing moment coefficients of 1/5 model.

3. 車体の仕様

(1)カウル

カウル上面は、5mmの紙ハニカムの両側をカーボン1層ずつで成形した。下面は10mmの紙ハニカムの両側をカーボン2層ずつで成形した。カウルの重量は、補強用の内部リブ材、キャノピ、タイヤフェアリング、タイヤハウスなどの重量を加えて420N程度となった。

(2)フレーム

これまでの東海大学のソーラーカーの車体構造を踏襲し、独立して走行できるフレーム構造とした。超々ジュラルミン A7075 をフライス加工で削り出した5カ所のクロスメンバと4カ所のサイドメンバをA7075製のボルトで締結している。車輪配置は、前2輪、後1輪であり、トレッドが1260mm、ホイールベースが2241mmである。重量は370N程度である。

(3)サスペンション

フロントサスペンションは、ダブルウィッシュボーンとし、車体の

上下動に対するトレッドの変化を極力なくしている。サスペンションスプリングのバネ定数は70.27N/mmである。フロントホイールの規定時のアライメントは、トーイン0mm、キャンバ角度0°、キャスタ角度3°とした。このセッティングによってソーラーカーレースで良好な走行結果を得た。リヤサスペンションでは、駆動モーターをホイールインタイプとしたため、トレーリングアームは十分な強度を持つ設計とした。また、モーターの交換によるモーター厚さの変化にも対応できるようにした。結果的に全体重量の配分が後輪に偏ってしまったため、リヤのサスペンションスプリングのバネ定数は151.02N/mmとした。

(4)ステアリング

ステアリングは、バーハンドルを介したピットマンアーム方式を採用した。本シャーシは、ステアリングの構造上、タイロッドの作動にワイヤとローラを用いているが、このローラの曲率半径が小さく、ワイヤの金属疲労により1500km程度の走行で破損することが分かった。

(5)ブレーキ

ブレーキは、メインブレーキ、サイドブレーキおよび回生ブレーキの3種類からなっている。メインブレーキは、自転車用のMAGURA製の油圧ディスクタイプとした。また、サイドブレーキはドラムタイプとした。

(6)タイヤおよびホイール

タイヤはこれまでの経験上、最も転がり抵抗の少ないMICHELIN製の65/80-16ラジアルタイヤを使用した。ホイールはこのタイヤ専用のGHクラフト製の16×2.0カーボンディッシュタイプを用いている。Fig.5に車体の外観を示し、Table 1に主な車体の仕様を示す。



Fig.5 Tokai Spirit 2001.

Table 1 Specifications of solar car ”Tokai Spirit 2001”.

Vehicle name	Tokai Spirit 2001
L×W×H (mm)	5000×1800×1000
Vehicle mass (kg)	159 (without battery)
Solar cell	SHARP NT0D248
Cell efficiency (%)	16.5 (15.2 original)
Array power (W)	1234
Battery	ENAX 20P24S
Battery cell type	LG-Chemi.18650 (Li-ion)
Battery capacity (Wh)	5435 (88.8V×61.2Ah)
Electric double layer capacitor	Nippon Chemi-con 5V-600F
Capacity	100V-30F (20 series)
Body material	CFRP
Tire	Michelin Radial
Tire size	65/80-16
Wheel	GH craft CFRP
Brake	Front Disk & Drum
Motor	NGM SC-M150
Motor efficiency (%)	93
Transmission mechanism	Direct Drive

4. 電気システム

4.1 太陽電池発電系統

太陽電池には SHARP 製単結晶シリコンセル(NT0D248)を使用した。初期の形状は 125mm 角であり、4 つの角がそれぞれ 21mm ほど斜めに切り落とされた形状(八角形)になっている。出荷状態における変換効率は定格で $\eta=15.2\%$ である。このセルの中央から 97.5×75mm の長方形を切り出したカットセルを今回使用した。このカットセルをモジュールリングすることで面積効率が向上した。この作業は同時に、一般に品質が落ちやすいセル周辺部を使わないことから、実質的なセル変換効率の上昇につながると考えられる。実際に AM1.5 (1000W/m²) のソーラーシミュレータでモジュール変換効率を測定したところ、セル換算で $\eta=16.2\sim 16.5\%$ の変換効率が得られた。さらに 99×75mm, 105×75mm といったサイズの異なるカットセルをモジュールリングし、翼厚が大きく弧状になった部分に使用することで、モジュールを貼り付けた際の空隙が少なくなるようにした。この方法により、モジュールレベルでの面積効率改善が達成された。Fig.6 に Tokai Spirit 2001 の太陽電池モジュールの配置図を示す。

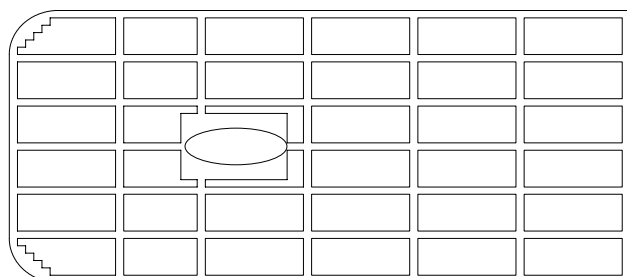


Fig.6 Layout of solar modules.

一方、オーストラリアの World Solar Challenge (WSC) ではダーウィンからアデレードへ南下するコースであるため、後方から太陽光が照射される時間が長い。このような場合には、フロント付近の太陽光入射角が大きくなりセルの角度差が大きく影響する。

そこで、48.75mm×75mm のハーフサイズセルを切り出し、1 系統あたりの面積をさらに低減するとともに、空力を考慮したために曲率が大きくなったフロント付近にも貼りやすくした。以上の工夫によって、モジュール面積で 8.54m²、セル面積で 7.94m² を搭載したことになる。

一方、1 枚あたりの起電力が 0.48V 程度と低い太陽電池は直列に接続して電圧を得ている。ところが、同一の発電系統に面内角度差がない場合の発電エネルギーを 1 と規格化すると、面内角度差がある場合は赤道付近において次式のように減衰する。

$$\frac{2 \int_{\alpha}^{\alpha-\frac{\pi-\alpha}{2}} \sin(\theta-\alpha) d\theta}{2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin(\theta) d\theta} = 1 - \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (1)$$

ここで θ は太陽光の入射角、 α は面内角度差である。例えば、20°の角度差がある場合は 83% に発電エネルギーは減少する。朝夕などの入射角が小さく α が無視できないときには上式の計算結果から、予想以上に発電量が低下することがわかる。そこで、2.1.1 項で述べたように太陽電池アレイ面の傾斜が大きくなりすぎないように考慮してカウルの形状を設計した。

最大電力点追尾装置(MPPT)は、太陽光発電から出力される電圧・電流を検出し電流を小刻みに変動させ、その前後の電力を比較し、出力が最大になるように制御する装置のことである。一つの発電系統内におけるセルの角度差をできる限り最小にしたいという立場から、アレイ内の分割数を細かく分けることにした。したがって、太陽電池電圧よりバッテリー電圧が高くなることから今回は、昇圧型 MPPT を設計製作することにした。この MPPT の基本部品である昇圧コイルには、日本ケミコン製の低鉄損で小型化されたアモルフラスチュークコイル BM10121XR を使用した。また、高速リカバリーダイオードには日本インター製 11DF4 を使用した。発電系統数=MPPT 数は 19 と多めに設定し、昇圧比を 1 に近くなるよう抑えて変換効率を稼ぐために、モジュール出力を 9 および 10 並列にまとめたものを、さらに 2 直列に接続して 19 系統とした。ルーフ形状の設計と、アレイの 19 分割によって、同一発電系統内の角度差は概ね 5°以内に収められた。

4.2 電力貯蔵システム

ソーラーカーにとって、小型軽量で多くのエネルギーを蓄えられるバッテリーは性能向上に大きく貢献する。そこで定格 3.7V-1.8Ah, 質量 43.5g, エネルギー密度 153Wh/kg の LG Chemical 製リチウムイオンバッテリー(LG ICR18650)を使用した。このリチウムイオンセル 816 本を ENAX 社により 34 並列 24 直列にパッケージすることで、88.8V-61.2Ah の組バッテリーとした。総エネルギーは 5.435kWh である。一般に直列に接続されたリチウムイオンバッテリーは、長く放置すると各段の電圧バラツキが徐々に大きくなるので、電圧モニタと調整充電を可能とする端子を設けてある(Fig.7)。しかしながら、レース中にチェックしたところ電圧バラツキは全く問題にならないレベルであったので、調整の必要はなかった。また、加減速がある国内レースにおいては電気二重層キャパシタを併用することで充放電効率を改善している。

4.3 モーター

今回モーターには、高効率な NGM 製 DC ブラシレス DD モーター(SC-M150)を使用した。このモーターは、エアギャップを広めることで多くの電流が流れて高回転型となり、エアギャップを縮めることでトルク型になる。そこで、目標速度やコースのアップダウンの状況など判断しエアギャップを変えることで、より効

率の良い走行ができるように心がけた。

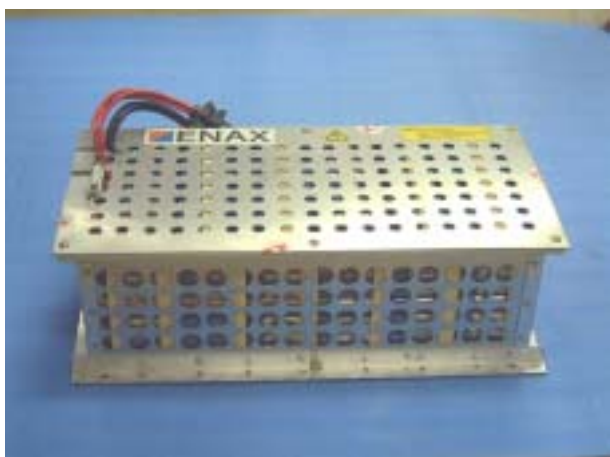


Fig.7 Lithium ion battery pack (20P24S).

4.4 電装(保安系機器)および計測系

ウインカーランプには Agilent Technology 製の HLMP-EL25-TWK00(輝度 8300mcd, 視野角 23°), ブレーキランプには台湾オアシス製の TOL-50aURsCEs(輝度 12000mcd, 視野角 20°)といった超高輝度, 広視野角の発光ダイオードを CMOS 回路で駆動した。これにより, 走行中のドライバーの安全を高め, 低消費電力化が達成された。また警笛には自動車用に対応可能な音量が出せる低消費電力圧電ブザーを使用した。

車体状態を計測するにあたって, 発電電流, バッテリ電流, モーター電流を 1mΩ のシャント抵抗を用いて検出し, 計装アンプ(BURR BROWN 社 INA128)で感度を上げたのちにデータロガー(キーエンス社 NR-1000)を用いて計測した。発電電流量, 消費電流量を計測する電流積算計には, 反転増幅を行うために低消費電力高精度オペアンプ(Analog Devices 社 OP-97)を用いて感度を上げ計測した。

2001 WSC では, 走行支援のために衛星情報を利用した。天候に左右されやすいソーラーカーにとって日射量予測は重要である。そこで気象衛星ひまわりによる赤外光および可視光による雲の画像を, 代々木にある東海大学情報技術センターで WSC 用に自動編集しサーバに登録した。これを, 64kbps でのインターネット接続が可能な通信衛星インマルサット M4 を用いて, オーストラリア中央部の砂漠地帯において受信し, その日の走行計画に反映した(Fig.8)。Fig.9 にレース期間中に受信したひまわりの画像を示す。走行中は GPS 衛星電波を利用し, 現時点での位置を求め, あらかじめ準備したルート情報マップから勾配の変化や, 目標地点までの距離を計算した。この計算結果はコントロール・ストップまでの所要時間や, キャンプ地点決定に使用され, 効率的なエネルギーマネージメントに役だてた。

5. 走行結果

今回の WSC は比較的天候に恵まれ, 太陽光をエネルギー供給源とするソーラーカーにとってはかなり良いコンディションであった。Tokai Spirit 2001 の公式記録は平均速度 67.7km/h, 走行時間 44 時間 21 分と前回と比べて巡航速度が約 1.5 倍となる大幅な改善が達成された。総合順位は 43 チーム中 13 位であり, 今回はガリウム砒素系太陽電池を採用したチームが多かったこともあり, 目標としていた 1 桁以内には届かなかった。

レース中の走行データを Table 2, 最も発電したレース 3 日目の発電電力カーブを Fig.10, 時間に対する速度を Fig.11, ソーラーカーの速度に対する走行電力を Fig.12 にそれぞれ示す。ま

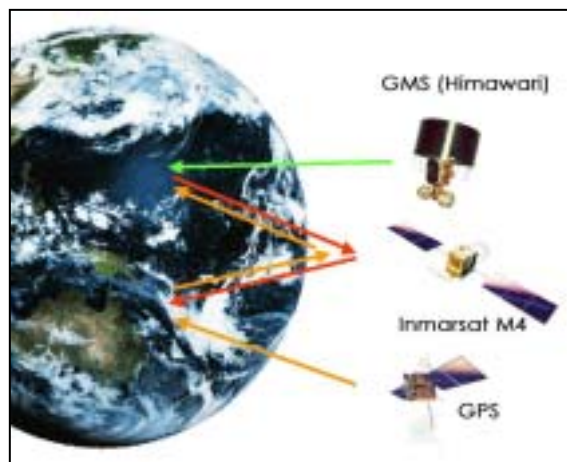


Fig.8 Information channel for the solar car management.

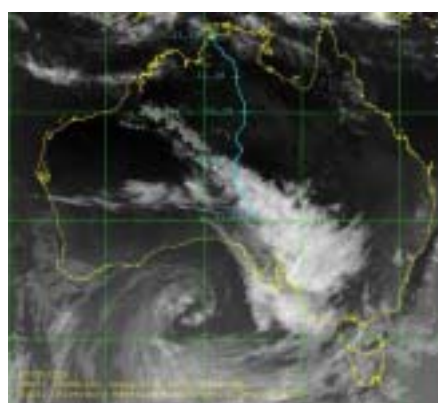


Fig.9 Typical image of GMS (Himawari).

Table 2 Daily data of 2001 WSC.

Day	Running distance	Running time	Average speed	Total generated energy	Total consumed energy
1	602km	8h38m	69km/h	6336Wh	8910Wh
2	414km	7h49m	52km/h	6513Wh	5638Wh
3	602km	8h27m	71km/h	8446Wh	9899Wh
4	650km	8h37m	75km/h	6635Wh	10081Wh
5	529km	7h58m	66km/h	5758Wh	6227Wh
6	200km	2h46m	72km/h	3322Wh	2995Wh

た, 比較のため Fig.10, 12 には 1996 年度のデータも示した。今回使用した太陽電池の発電電力は, Fig.10 から晴天であれば 1150W に達していることが確認できた。これは 4.1 節で述べたように面積効率を向上させるために周囲をカットした長方形セルのみを使い, 1 系統当たりのモジュールの角度差を減少させたことが発電電力の増加につながったといえる。これは, オーストラリアにおける気温上昇を考慮すると, 非常に良好な発電を行うことができたといえる。

Fig.12 を見ると, 今回のソーラーカーが 1996 年に比べ巡航速度が上がり, 消費電力が低減されたことが確認できる。朝方と夕方の発電エネルギーを走行時間中の発電エネルギーに加えると, 1 時間あたりの最大平均発電エネルギーは 938Wh に達し, Fig.12 より巡航速度約 70km/h で走行できることになる。このグラフを解析して得られた転がり抵抗係数および空気抵抗係数は, それぞれ 0.0045 および 0.18 となった。

実際には, 風や勾配, 路面状況などの影響を受けるため, 一般にこれらの値は設計値よりも悪くなる。しかしながら, これまでに報告されたオーストラリアでの実測値⁶⁻¹⁰⁾と, それほどかけ離

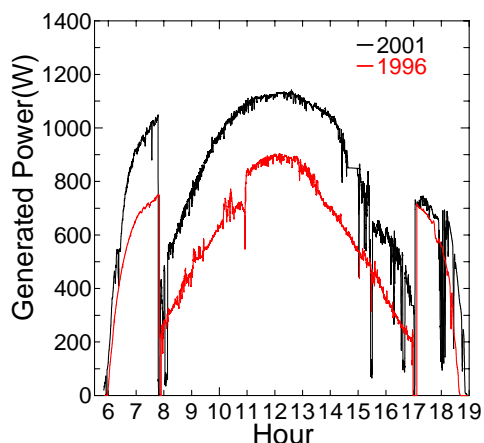


Fig.10 Typical solar generation characteristics.

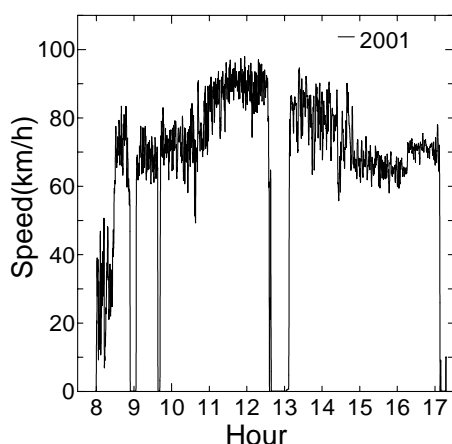


Fig.11 Change of speed.

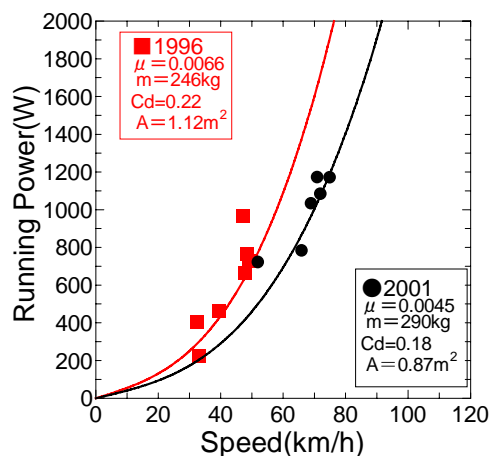


Fig.12 Dependence of running power on speed.

れたものにはなっていなかった。

5. まとめ

Tokai Spirit 2001 の車体に関しては、空気抵抗の設計値と風洞実験値は比較的良好に一致した。実車での空気抵抗の増加要因として、減速時の流れの剥離や高レイノルズ数による乱流領域の拡大、後縁の圧力損失、カウルの表面粗さ、タイヤフェアリングとカウルの干渉抵抗、タイヤ露出部の空気抵抗、外部アンテナの空気抵抗、車体の振動なども想定されるが、実地走行において

は横風や勾配の影響がかなり大きいと考えられる。また、カウルとシャーシの設計では、流体解析や構造解析で確認しながら限界設計をしていないので重量が大きくなっているうえにシャーシの剛性は若干低くなっていた。一方、発電に関しては、最大級となる 19 分割アレイにしたことで、曲面ボディーでありながら発電量を確保することに成功した。以上の成果を、実際に確認するために WSC に出場し新型ソーラーカーの走行性能評価を行った。前作のソーラーカーよりも、格段に性能が改善され、車体性能を十分に発揮できたことが確認できた。

謝辞

今回の WSC 遠征を実行するにあたり、ソーラーカー製作、チーム運営に協力していただいた東海大学関係者の皆様および研究スタッフに感謝します。また、電気二重層キャパシタ、アルミ電解コンデンサ、アモルファスチョークコイルなどを提供していただいた日本ケミコン、低転がり抵抗タイヤを提供していただいた日本ミシュラン、小型軽量なリチウムイオンバッテリーを提供していただいたエナックス、高温下のリーク電流を抑えた太陽電池モジュール用バイパスダイオードを提供していただいた日本インター、高性能コネクタを提供していただいたソルトン、バッテリーを通じ技術的なご指導をいただいた古河電池に深謝します。

参考文献

- 1) 高本慶二, 木村英樹, 星野博司, 松前義昭, 平岡克己, 内田裕久, 蒲地光久, 田口英生: 低転がり抵抗タイヤおよびドライバーによるソーラーカー走行エネルギーの低減, 東海大学紀要工学部 Vol.39, No.1 (1999) 180.
- 2) 西川進栄, 平岡克己: 「工科の物理 2 流体力学」培風館 (1994).
- 3) I. H. Abott and A. E. von Doenhoff: “Theory of Wing Sections”, Dover (1959).
- 4) J. Katz and A. Plotkin: “Low-Speed Aerodynamics”, McGraw-Hill (1991).
- 5) G. Tamai: “The Leading Edge”, Robert Bentley (1999).
- 6) 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", Photovoltaics Special Research Centre, University of New South Wales (1997).
- 7) 沼崎英夫:「ソーラーカー情報」2001 World Solar Challenge”, Solar Systems No. 87 (2000) 49.
- 8) 木村英樹, 池上敦哉, 堺一佐武, 初井基之, 木村聡海: 小型ソーラーカーの開発およびその性能, 太陽エネルギー Vol.26 (2000) No.6, 43.
- 9) 飯田昌盛, 松前義昭, 高本慶二, 押野谷康雄, 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 Vol.37, No.2 (1998) 9.
- 10) 木村英樹: ソーラーカー, 夢, 未来 -明日を拓く技術に挑む-, 技術と経済 No. 386 (1999) 44.