

競技用ソーラーバイシクルの設計製作

会員 ○木村英樹(東海大学)

初井基之(ホンダエンジニアリング)

立脇 修(日本精工)

Design and Manufacture of Solar Bicycle for
Competition and Its Performance

Hideki Kimura*, Motoyuki Momii**,
and Osamu Tatewaki***

*Tokai University

1117, Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa, 259-1292, Japan

Fax: +81-463-50-2031

**Honda Engineering

***Nihon Seiko

ABSTRACT

In this study, the design and the production of a solar bicycle for the competition were carried out. The solar bicycle was designed to decrease in the rolling resistance and the aerodynamic drag. The body and the wheels were fabricated by aramid fiber honeycomb +CFRP. In this paper, the running performance and the solar generation of the solar bicycle manufactured actually in the "1999 WSBR in Akita" have been described.

1. はじめに

地球温暖化、化石燃料枯渇などの問題に対処するために太陽エネルギーをはじめとしたクリーンエネルギーの利用が進んできている。特に、公共施設や住宅などの固定された場所での太陽光発電は国からの助成などもあり、年々発電量が増加している。しかし、乗用車などの移動体への太陽エネルギーの応用は、設置面積や重量などの制限を強く受けるため非常に困難な状況となっている。したがって、ソーラーカーやソーラーバイシクルに関する研究開発¹⁻⁷⁾は、より多くの太陽エネルギーを得るだけでなく、より少ない走行エネルギーでどれだけ移動できるかという点が重要なポイントとなっている。このような研究開発の成果を発表する場として、国内外でソーラーカーやソーラーバイシクルの大会が開催されており、毎年のように性能が向上している。本発表では、1999年7月に秋田県大潟村ソーラースポーツライ

ンで行われたワールド・ソーラー・バイシクル・ラリー(World Solar Bicycle Rally: WSBR) イン・アキタに出場することを目的として設計製作された競技用ソーラーバイシクルについて報告する。

2. 設計のポイント

2.1 設計のための条件

競技用車体を設計するにあたって、最初に配慮しなくてはならない点は、大会のレギュレーションに記載されている車両規則である。

WSBR には、市販自転車をベースとした A、自作など大幅な改造が許された B、人力を使わない S の3つのカテゴリーが存在する。本研究では、工学的な取り扱いをする上で、人力という不確定な要素を含まず、ミニソーラーカー的性格を有するカテゴリー S を選択した。このカテゴリー S は、セル面積合計が 0.15 ~ 1.2m² (セル間ギャップを含まず)、シール鉛蓄電池を合計 14kg 以下搭載、フルカウル化(車体全体を風防化)可能、全長 3000mm、全幅 1200mm、全高 1600mm 以内に収まることと規定されている。ドライバーの体重は 70kg とし不足分はバラストで補うこととされている。なお、鉛バッテリーを 14kg 搭載できる。(ニッケル水素電池やリチウムイオン電池など他の種類の電池は、このカテゴリーでは認められていない。)この車体で1周 31.256km のコースを3周し、それに要した走行時間を競う。

次に、限られた電力で走行できる車体を設計するための必要な基本式を示す¹⁾。この式は平地を巡航する車体の走行電力を表している。

$$P=(\mu m g v + C_d A \rho v^3 / 2) / (\eta_e \eta_m)$$

ここで

P: 走行電力(W)

μ : 転がり抵抗係数(ミシュランエコラン用)

m: 車体質量(35kg + ドライバー 70kg = 105kg)

g: 重力加速度(9.8m/s²)

v: 速度(m/s)

C_d: 空気抵抗係数(0.08 期待値)

A: 前方投影面積(0.3m²)

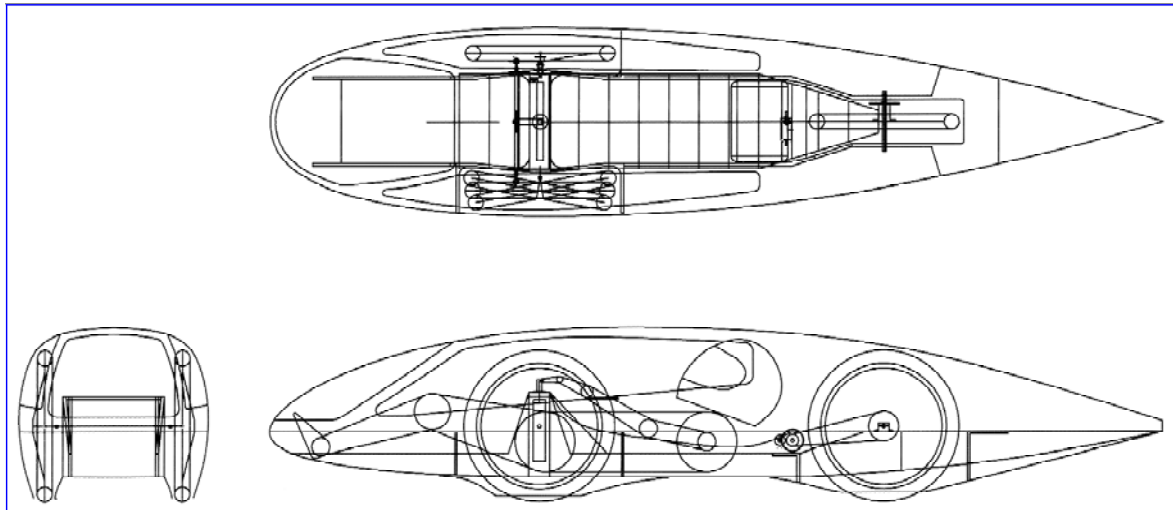


Fig.1 設計したソーラーバイシクル

ρ : 空気密度(1.203kg/m³)

η_e : 電気効率(約 90% 特殊電装社製モータ)

η_m : 機械効率(約 90% チェーン 2 段減速)

である。

このうち、設計できる変数は μ 、 m 、 C_d 、 A 、 η_e 、 η_m である。ここで、転がり抵抗係数についてはタイヤが事実上ミシュランのワンメイクでありこと、車重についてもドライバー重量が 70kg と全体に占める割合がとても大きいことなどから、設計によって改善することが困難であると考えた。したがって、設計段階においては第1項の転がり抵抗成分はもちろん考慮したが、第2項の空気抵抗成分の低減をより重要なポイントとして位置づけ開発を行った。



Fig.2 製作したソーラーバイシクルの外観写真

2.2 空気抵抗の低減

Fig. 1, 2 に設計した車両の図面および外観を示す。また、Table 1 に主な車両仕様を示す。

設計の際に、最も重要視したのは空気抵抗の低減であり、特に理想的な翼形をイメージすると同時に、濡れ

Table 1 製作したソーラーバイシクルの仕様

全長×全幅×全高 (mm)	2980 × 630 × 580
ホイールベース (mm)	1150
トレッド (mm)	460
車重 (kg)	35+70(ドライバー)=105
前面投影面積 (m ²)	0.3
転がり抵抗係数	0.0025
空気抵抗係数	0.08 (期待値)
太陽電池	シャープ NT360Y
セルサイズ (mm ²)	97.5 × 25
セル枚数	143
アレイ面積 (m ²)	0.35
アレイ変換効率 (%)	16
最大出力点電力 (W)	50.9 (曲率減少分を含む)
鉛バッテリー	古河電池 FPX1275
バッテリー定格出力 (Wh)	60V(12V × 5)-7.5Ah
車体材質	CFRP ハニカム
タイヤ	ミシュラン エコラン用
タイヤサイズ (inch)	20
ホイール材質	CFRP ディスク+アルミ
ブレーキ	前輪 油圧ディスク
モータ	特殊電装 DC ブラシ
モータ定格出力 (W)	250
減速機構	2 段掛けチェーン

面積を最小にし、空気抵抗係数 C_d が小さくなるよう留意した。そして、ほぼ仰向けに寝た乗車姿勢をとることで、車高を低くして前面投影面積 A を可能な限り小さくした。一方、タイヤについては、カウル外に出すオープンホイールタイプ(コンベンショナルカウルタイプ)、あるいはカウル内に格納するフルカウルタイプ(エンベロープカウルタイプ)の2つの方法がある。これについては、

後者の方が空気抵抗が小さくなるとともに、太陽電池アレイの面積をより大きく、よりフラットに搭載しやすいという報告がある⁹⁾。本研究では、Aの増加を抑えるために、トレッドを460mmとフルカウルタイプとしては比較的狭く設定した。以上を考慮した結果、 C_d 値を優先的に減少させる形状にしなが、Aの増加を $0.3m^2$ と最小限に抑えることができた。なお、このときのハンドルの切れ角は折り返し点での旋回性を確保できる程度にしている。この車体のサイズは、1リットルのガソリンあたりの走行距離を競うエコランや、規定された電気エネルギーでの走行距離を競うエコムーブに出場しているものと同様である。

2.3 転がり抵抗の低減

車重 m を低減するために車両構造はカーボン FRP + アラミド繊維ハニカム材を多用したモノコック構造とした。サスペンションは軽量化のためリジットとし、さらに剛性の向上と軽量化を目的としてカーボンディスクホイールを自作した。タイヤは転がり抵抗係数が小さいとされているミシュラン社のエコラン用タイヤ(サービスクロス 20 × 1.75)を採用した。製作したカーボンディスクホイールにエコラン用タイヤを装着した様子を Fig.3 に示す。

一般にタイヤの空気圧は高いほど転がり抵抗が小さくなるとされているが、リジット構造であることから、タイヤの跳ねを抑えるために、空気圧はあえて高くせずに推奨空気圧の $5kg/cm^2$ とした。その結果、タイヤの転がり抵抗係数では若干不利になるが、総合的な転がり抵抗は実質的に減少できると考えている。



Fig.3 カーボンディスクホイールと20インチタイヤ

2.4 太陽電池アレイ

ソーラーバイシクルの走行性能には、太陽電池出力も影響する。しかし、空力性能を重視したため太陽電池は C_d 値を悪化させない面積とし、レギュレーションによ

って制限されている上限値よりも相当に余裕を残した $0.35m^2$ とした。さらに、曲面上に張り付けたセル角度のバラツキを減らすために、 $97.5mm \times 25mm$ と比較的小さいサイズのシャープ製セル NT360Y を 143 枚直列接続しモジュール化した。ソーラーバイシクルの屋根部分に太陽電池アレイを装着した状態を Fig.4 に示す。太陽電池セルが発生する電力の単純合計は $55.8W$ であるが、モジュール化の影響と曲率の影響を考慮すると、 $50.8W$ 程度の電力が発生すると考えている。なお、発電規模が少ないため MPPT は搭載していない。動力源には特殊電装製 DC ブラシモータを使用した。

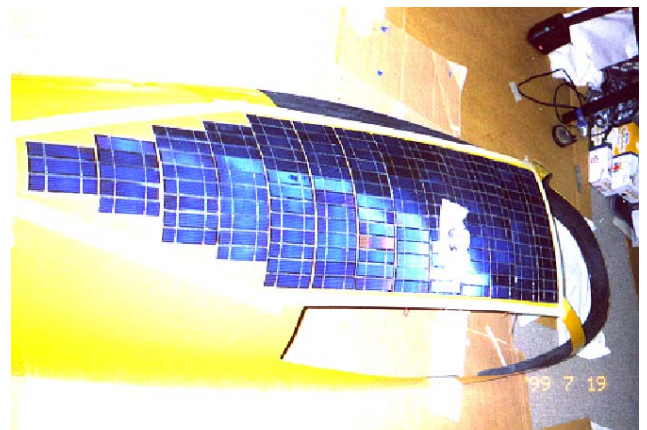


Fig.4 装着された太陽電池アレイ

3. 走行性能の検討

ここでは、1999 WSBR in Akita において得られたデータをもとに、製作したソーラーバイシクルの走行性能について検討する。

まず本戦の記録として、走行距離 $93.8km$ を 1 時間 49 分 23 秒で走破することができた。レース終了後にバッテリー残量を調べたところ、 $0.5C$ 放電(2時間率)で $0.75Ah$ の電流量が残っていた。20時間率で $7.5Ah$ の放電容量を持つ FPX1275 の $0.5C$ における放電容量は $7Ah$ 程度である。したがって、 $375Wh$ の電力をバッテリーから持ち出したことになり、レース中にさらに電力を投入できたことになる。なお、平均車速は $51.43km/h$ であった。

太陽電池の発生電力は、天候が快晴では無かったので少な目であった。予想された発生電力 $50.8W$ に対して、実際には $30 \sim 40W$ 程度得られており、雲の切れ間から太陽光が入射したときには瞬間的に $54W$ 程度とかなり大きめの電力を発生した。この太陽電池からのピーク電力は、雲による散乱光成分が加わり、「入射光が $1000W/m^2$ 以上に達した可能性」と、「角度差を持った太陽電池アレイにおいて発電特性が悪化する影響が解消された」ことで説明できると考えている。走行中に

得られた太陽電池からのエネルギーが 65Wh 程度であると推定できるので、レース中の走行に要したトータルのエネルギーは 440Wh となる。1999年に開催された WSBR において走行電力を実際に観測したところ、65km/h 巡航時に 4.8A (約 288W) であったことから、タイヤの転がり抵抗係数を 0.0025 および速度項を 0.0502 とすると C_d 値は 0.11 程度であると考えられた。一方、転がり抵抗係数の速度項を無視した場合には、転がり抵抗係数および空気抵抗係数は、それぞれ 0.0035、0.14 となった。これらの結果から得られる走行特性を Fig.5 に示す。

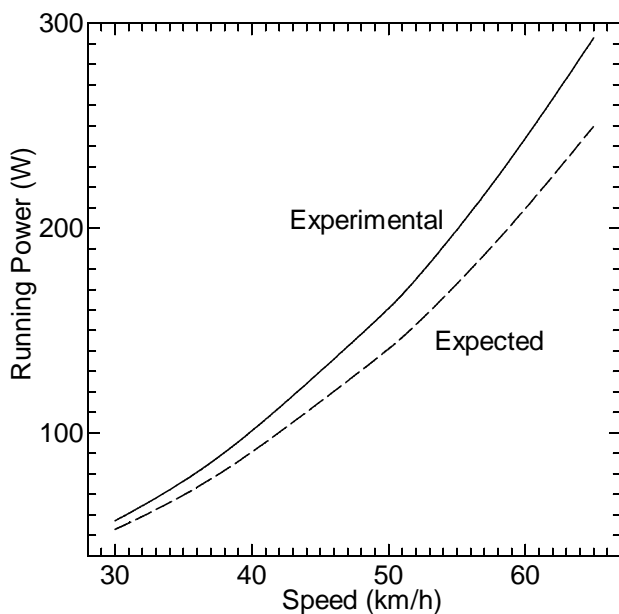


Fig.5 速度に対する走行電力

ただし、コースに設定されている減速区間において減速および加速という操作があるため、レース中の走行電力は上述した値よりもかなり多くなる。また、風などの影響も受ける。したがって、レース結果から平均車速 51.43km/h で走るための平均走行電力を計算すると、実に 241W を要している。この値は、想像していたよりもだいぶ大きい値となった。これは、予選の最高速度コンテストにおける順位をあまり気にしなかったため、スタート時の出遅れも大きく影響したことも一因にあると考えている。

4. まとめ

本研究では、競技用ソーラーバイクの設計、およびその製作を行った。

設計は、転がり抵抗と、空気抵抗が小さくなるように留意して行った。そのため、アラミド繊維ハニカム + CFRP によるボディおよびホイールを製作することにした。しかし、転がり抵抗を低減するマージンが小さいため、次

に、空気抵抗の低減を主な目的として、 C_d 値が小さくなるフルカウル型を採用した。このフルカウル型は太陽電池を比較的貼りやすい形状であり、50.9W の電力を発生することができる。実際に走行電力を観測したところ、65km/h 巡航時に電流値で 4.8A であり、電力換算で 288W であった。1999 年度の WSBR に出場した結果、カテゴリー S において 4 位という成績が得られた。このことから、相対的に高いポテンシャルを持つ車体を製作することができたといえる。

今後の課題としては、モーターや減速機まわりでの電気効率、機械効率の向上が残されており、インホイールモーターおよびそのコントローラーを設計製作することが重要な項目として挙げられる。

5. 謝辞

車体の製作に協力していただいた東京工業大学大学院生の鈴木康慎氏、および適切なアドバイスをいただいたヤマハ発動機の池上敦哉氏に感謝します。また、貴重な走行の場を与えていただいた WEM および WSBR 大会関係者各位に感謝します。

参考文献

- (1) 木村英樹, 星野博司, 松前義昭, 高本慶二, 平岡克己, 内田裕久, 渡辺真一郎, 高橋昌宏, 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, 太陽エネルギー, Vol. 25, No. 2 (1999) 45-52.
- (2) 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) 44-54.
- (3) 木村英樹, 下迫正博, 1999 ワールド・エコノ・ムーブの技術動向, 第60回応用物理学会学術講演会予稿集, No.1 (1999) 391, 神戸.
- (4) 鈴木康慎, 池上敦哉, 立脇修, 堺一佐武, 木村英樹, 小型ソーラーカーによるオーストラリア大陸縦断の可能性, 第60回応用物理学会学術講演会予稿集, No.1 (1999) 392, 神戸.
- (5) 齋藤武雄, 星朗, 安藤大吾, 蔵田和義, マイレージマラソンソーラービークルの最適設計とプロトタイプ車への応用, 太陽/風力エネルギー講演論文集 (1998) 321-324, 沖縄.
- (6) 藤田久和, 日野優志, 安藤友二, 競技用ソーラーカーの走行性能, 太陽/風力エネルギー講演論文集 (1998) 329-332, 沖縄.
- (7) 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, 沖縄.