

ソーラー電池動力自動車

Development of a Solar Powered Vehicle

岩田 孝 弘*

Takahiro Iwata

宮野 英 世*

Hideyo Miyano

臼田 政 史*

Masafumi Usuda

高橋 俊 樹**

Toshiki Takahashi

石野 康 治*

Yasuharu Ishino

五十嵐 和 夫***

Kazuo Igarashi

要 旨

1990 年 11 月にソーラーカーレース、“World Solar Challenge”の第二回大会が開催された。これはオーストラリア大陸を北から南に縦断する、全行程3000kmの過酷なレースである。これに出場するにあたって、ホンダで製作した“Dream 号”は、初回大会の優勝車の記録や現地コースの走行条件を基に目標性能を設定し、各コンポーネントごとに目標を達成する方法で車の総合目標性能を確保してレースに臨んだ。レースでは、悪天候や日中の高い温度の影響で目標時間内でのゴールは実現できなかったが、技術内容と共にチャレンジテーマとし学ぶところが大きかった。

ABSTRACT

In November 1990, the 2nd World Solar Challenge was held in Australia. This was a gruelling race for solar cars, in a course stretching for 3000 km and crossing the continent from north to south. Honda's solar car 'Dream' was designed to meet requirements based on the performance of the winner in the 1st World Solar Challenge and the local course condition.

In the process of achieving the total performance of the vehicle as required, each component was intended to meet a specific requirement in accordance with the requirements of the vehicle.

The Dream ended up finishing the race exceeding the targeted time due to the weather condition – in particular, very high daytime temperatures. Still, it was a significant experience, given the opportunity to lay the foundation for the challenge ahead.

1. ま え が き

太陽光エネルギーだけを動力源とする車両（以下ソーラーカー）による競技が世界の各地で開催され、その中で最も過酷で、距離の長いものが、オーストラリアの“World Solar Challenge”である。このレースはオーストラリア大陸の北端ダーウィンの町をスタートし、3000km南下した町アデレードを目指すもので、第一回大会は1987年に開催され、1990年は第二回にあたる。（図1）

本報告では第二回大会に向けてホンダで製作した“Dream 号”の目標設定から、性能を得るために行った技術内容、結果について述べる。



図1 スケジュールとコース

* 和光研究所

** 栃木研究所

*** 三ツ葉電機製作所

2. レギュレーション

レースの基盤となるのがレギュレーションであり、その中でも要点となるものを以下にまとめる。

(1) エネルギー源

エネルギー源は日の出から日の入りまでの太陽エネルギーとする。また、補助電力用として、5 kWh 以内の蓄電池を搭載することができ、ソーラー発電電力のみにより充電できる。

(2) 走行時間

走行可能時間は朝8時～夕方5時。

(3) 車体、太陽電池のサイズ

車体サイズは、全長 6m、全幅 2m、全高 1～1.6m の箱に収まる事。また、1 人乗りの場合には、車体上の全長 4m、全幅 2m、全高 1.6m の箱に収まる範囲に太陽電池を張りつけることができる。

(4) ドライバーの体重

ドライバーの体重は 80kg とし、不足分はバラストで補う。また、ドライバーの登録は 4 名で、他に 1 名につき 600 ドルで予備ドライバーを登録することができる

(5) クラス分け

クラス分けは表 1 の分類に従って、12 通りの組み合わせに分かれ、各クラス 3 台以上の参加で成立する。

(6) 走行性能テスト

ブレーキは時速 30km/h から 22m 以内の距離で停止出来る事。また、3 連の大型トレーラーとすれ違って、走行安定性を失わない事。これらの項目は、予選を兼ねたレース前の走行性能テスト

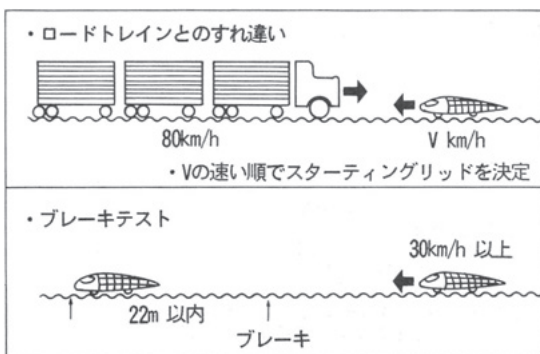


図2 走行性能テスト（予選）

表1 クラス分け分類

ソーラーパネル	ガリヒ素系
	シリコン系
	アモルファス系
蓄電池	銀系
	鉛系
乗員	1人乗
	2人乗

各項目の組み合わせで12通り

(図2)にて確認を受ける。

3. ねらいと目標設定

1987年に開催された第一回大会では、General Motors社のサンレーサー号が優勝し、3004kmを平均速度66.9km/h、所要時間44時間54分の記録を残した。

我々にとってソーラーカー作りは初めての経験であって、各コンポーネントが一般の乗用車のものとは大きく違っている事や、希薄な太陽光エネルギーをうまく集めて車を走らせる技術など、魅力のあるチャレンジテーマであった。そして、サンレーサー号の44時間54分の記録を破る事の出来る車作りを第一目標において開発を進めた。

(1) ソーラーカーの性能

ソーラーカーの性能は巡航速度で代表でき、その巡航速度は発電量と走行抵抗とのバランスで決

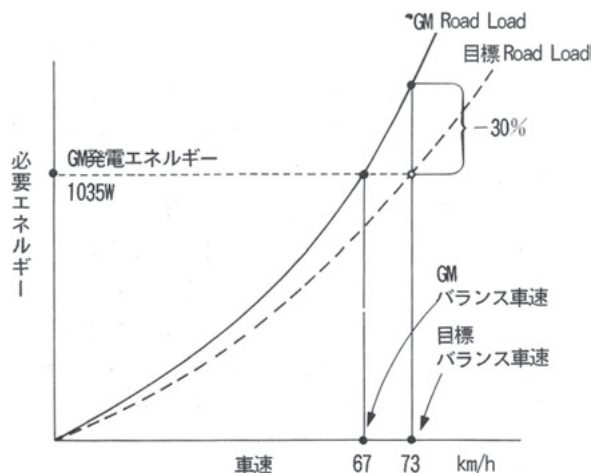


図3 車速と必要エネルギー

まる。(図3)

(2) 性能目標の設定

所要時間の記録は1987年のものであり、仮にサンレーサー号が3年間の技術進化を経て、1990年に出来ていた場合に年率10%、合わせて30%性能が向上することを想定して目標を決めた。ソーラーカーの性能を向上させる(バランス車速を上げる)方法には発電量の増加と走行抵抗の低減の2通りあるが、発電量についてはサンレーサー号のガリウム砒素製に対して、シリコン単結晶の効率向上を主体に同等レベルをめざす事にした為、走行抵抗を30%低減する事を実際の目標設定とした。

(3) 各要素の目標設定

図3に示す車速と必要エネルギーの関係は以下の式で与えられる。

$$W = R \times \underbrace{\frac{1}{\eta e}}_{\text{走行抵抗}} \times \underbrace{\frac{1}{\eta m}}_{\text{伝達ロス}}$$

$$R = \mu r \times Wt \times 9.8 \times V + \frac{1.203 \times Cd \times A \times V^3}{2}$$

		目標値
入出力バランス車速	→ V	73km/h
発電入力	ソーラー発電量	→ W 1035W
	ソーラー電池効率	18 %
	貼付仕様(かち・みつど・かくだ) → 面積	7.7m ²
走行抵抗	走行抵抗	空力
		係数Cd 0.12
		投影面積A 1.1m ²
		ころがり
伝達ロス		係数μr 0.006
		車重Wt 140kg
		電気系効率ηe 92 %
		機械伝達効率ηm 97.5 %

4. コースの先行調査

走行コースの諸条件は目標達成の為の基盤となる重要な要素である。今回はソーラーカーの性格上、コース走行中の〔車両に対する太陽光の向き〕〔日射量〕〔路面勾配〕〔路面あらさ〕の実測定と現地の標準的な天候、気温、風向、風力などのデータの収集を行った。

レースが開催される1990年11月の1年前に、図4に示す様な角度毎の日射量を測定する為の、水平から後、左右の色々な角度に標準太陽電池を張りつけた装置を一般乗用車に設置し、ダーウィンよりアデレードまでの全行程を走行し、測定した。

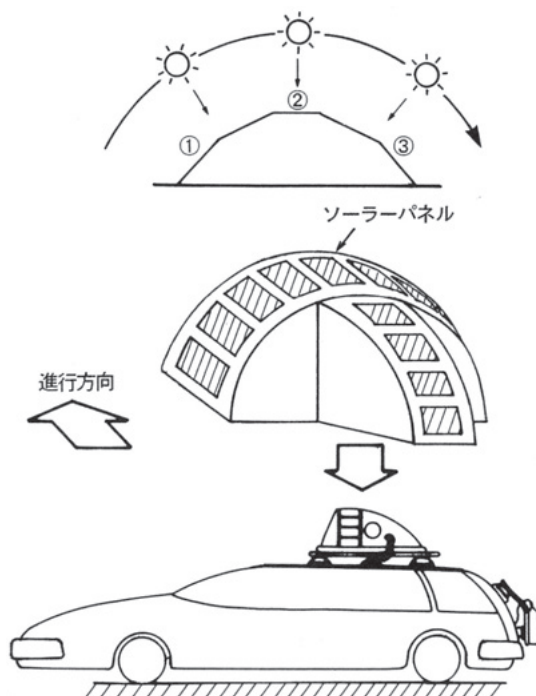


図4 日射量測定装置

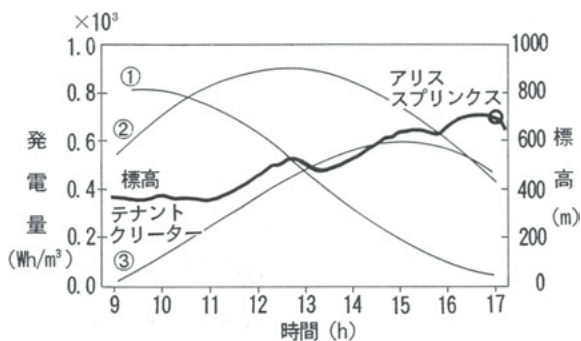


図5 1日の発電量と標高データの例

表2 走行テストから得られた情報

発電量 (晴天日)	標準太陽電池(効率17.5%) で平均発電量は1000W 程度
風の条件	最大 8 m/s (コース後半) 横風に備え、安定性重要
路面条件(1)	全域が粗いピチュメン路で 要タイヤの対パンク性
路面条件(2)	グリッド 118箇所 鉄道用レールを並べた溝

走行条件はなるべくレースの時と同じにする為、朝8時より夕方5時までとし、走行速度もサンレーサー号の平均速度の約 67km/h とした。データの取り込みはスタート地点を起点に数秒間隔で行い、経過、時間、距離、各角度の標準太陽電池の発電量、外気温度、太陽電池温度、車の方位および傾斜角度をそれぞれ記録した。その一例としてコース中間地点にあるアリスプリングスを通じた日の発電量と標高データを示す。(図5)

調査の結果得られた情報を表2に示す。

5. 車の製作

レギュレーションと先行調査結果から得られた条件のもとで、各要素毎に目標値の達成を目指したが、その内容を説明する。

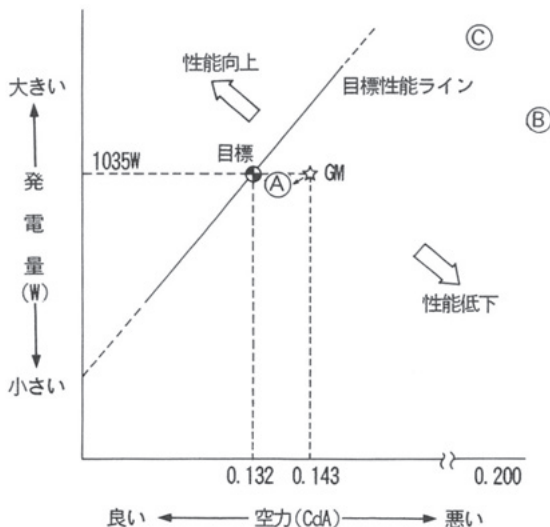


図6 発電量とCdAの関係

表3 発電量と空力のバランス

重体形状	発電量比	CdA	バランス車速比
(A)	100	0.138	100
(B)	120	0.228	65
(C)	140	0.200	83

5.1. ボディデザイン

(1) デザインと発電量

競争力が期待できるタイプA～Cの発電量、CdA、バランス車速をそれぞれ求めて、表3に示した。

Aタイプ; 空気抵抗重視型

Bタイプ; 発電量重視型

Cタイプ; 双方向走行型

図6で示す様にAタイプが性能向上に対して最も優れていたためAタイプを選択した。

(2) CdとAのバランス

スタイルは空気抵抗に有利なソーラーパネルとボディ本体の一体型とした。次に空気抵抗を下げる手段であるCdの低減と前面投影面積Aの減少のバランス点を求めた。図7に示すタイプ①～④の風洞モデルを製作、空気抵抗測定をし、図8の結果から最もバランスの良い③タイプに決めた。

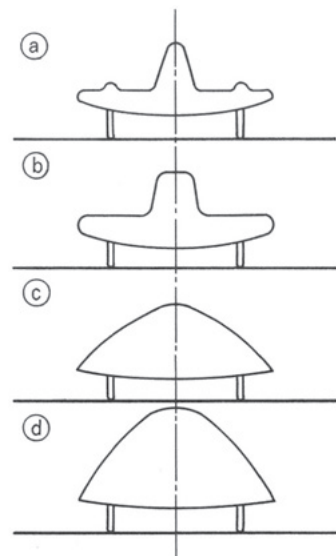


図7 各種風洞モデル

(3) 細部設定

図9に示す①～④の4項目を設定し、空気抵抗の低減を進めた。

- ①サイド幅を後方で絞る(効果5%)
- ②水平断面をティアドロップ化(直進性)
- ③ホイールにストレイキを装着(効果5%)
- ④後端部を極薄化6mm厚(効果3%)

更にボディ上部はソーラー電池を張りつける為に、曲率を小さくし、前影形状は丸みを帯びた五角形となった。

(4) 最終形状の結果

こうして決定した最終形状の風洞テストの結果を表4に示す。

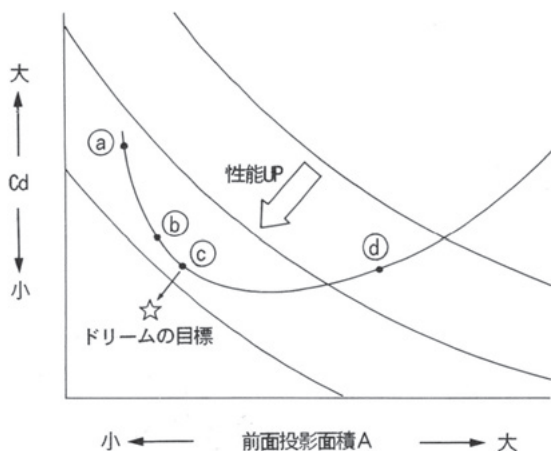


図8 風洞テスト結果

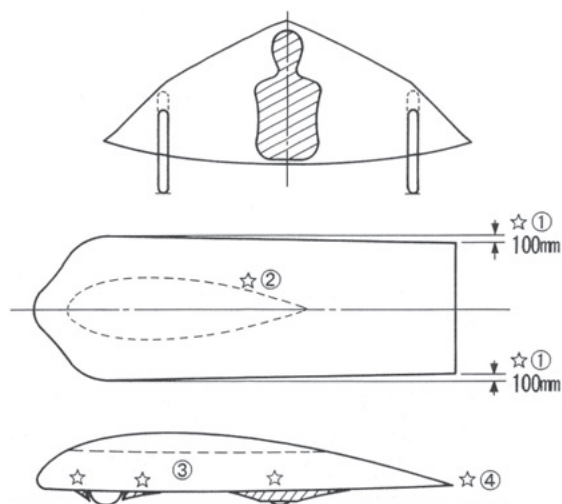


図9 車体細部形状

表4 最終仕様の風洞テスト結果

	目標値	達成値
空力係数 C_d	0.12	0.112
前面投影面積 A	1.1 m^2	1.116 m^2
$C_d \times A$	0.132	0.125

5.2. 発電量の確保

ボディデザインが出来上がる毎に、先行調査で測定した各角度毎の発電量データに基づき、1日の推定発電量をシミュレート計算し、デザインの修正を進めた。

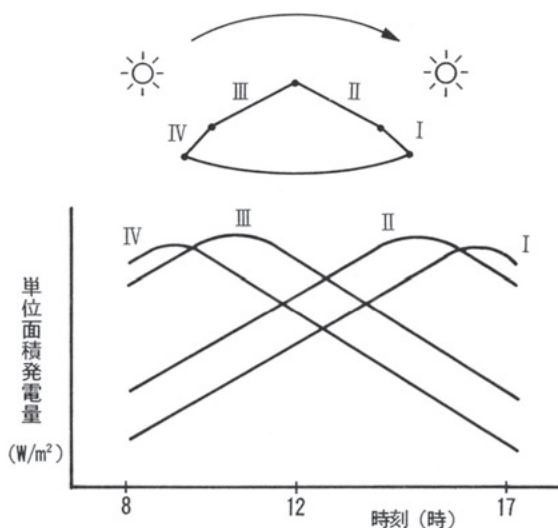


図10 各パネル面での発電量

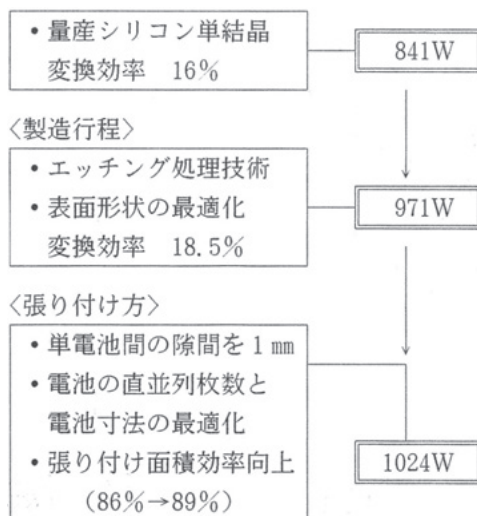


図11 仕様適性化による発電量の増加

(1) 最終デザインでの発電量

各パネル面Ⅰ～Ⅳの発電量は図 10 のようになり、1 日平均の発電量はトータルで 841W となる。

(量産太陽電池)

(2) 発電量の増加

シリコン単結晶太陽電池の製作過程における技術の向上や、ボディへの張り付け方法の適性化により発電量を増加した。(図 11)

(3) 1 日の発電量

1 日の発電量は日の出から 8 時までと、夕方 5 時から日の入りまでの発電量を一旦蓄電池に蓄え、走行中の 9 時間の発電量に上乗せして消費できる。

(図 12)

総計の発電量はほぼ目標値となった。

5.3. ボディ構造

ボディはドライバーの安全を確保する剛性を第一とし、ドライバーが長時間運転することが可能なことを考慮して、3000km 走破の為の耐久性や軽量化を考えた。

(1) メインフレーム

試作的にサンドイッチパネルの組立型で製作したところ、全体剛性、寸法精度等に問題があり、足廻り取り付け部の補強にも有利なオートクレーブ製法によるバスタブフレーム型にした。(図 13)

(2) 外皮

外皮は図 14、表 5 の仕様にて製作した。

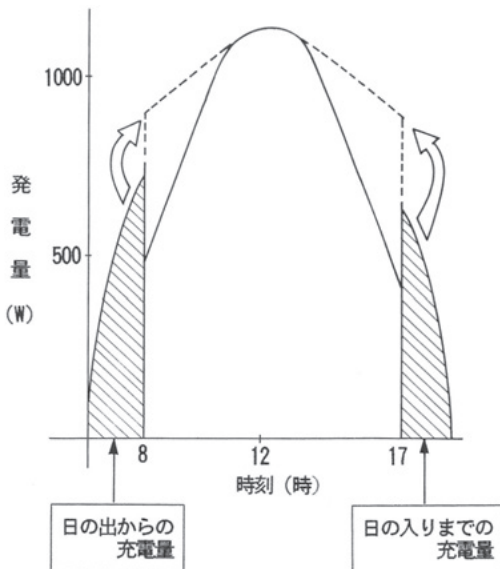


図 12 1 日の発電量

表 5 外皮仕様

部 位	仕 様	
ピラー・カウル類	最 外 皮	カーボン、ケブラーの2~4PLY
	ハニカム	3~10tをサンドイッチする。
	内 皮	カーボン、ケブラーの2~4PLY
ウインドシールド	2.4tポリカーボネート (クロム蒸着による熱反射、透過率30%)	
止 め 具	ズースファスナー (9ヶ所固定)	

(3) 軽量車体

図 15 に示す様な 7 項目の特徴を持つ軽量化パッケージングにより、ボディ本体は 47kg を実現できた。

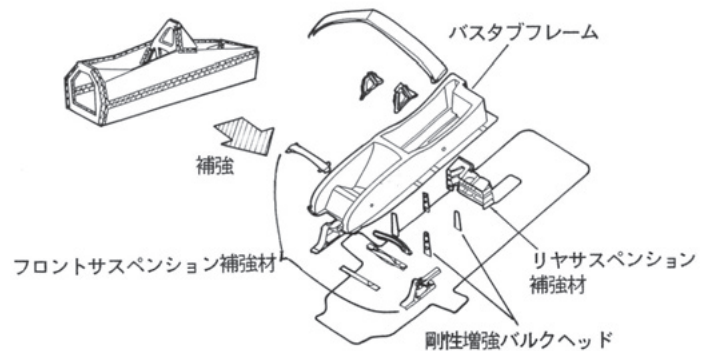
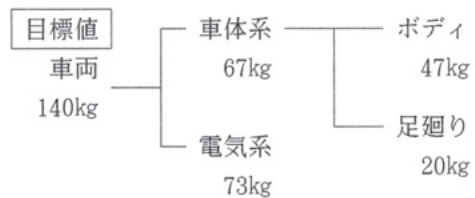


図 13 メインフレーム構造

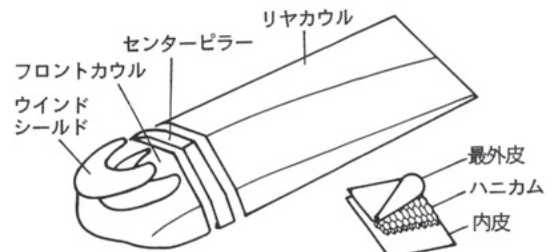


図 14 フレーム外皮

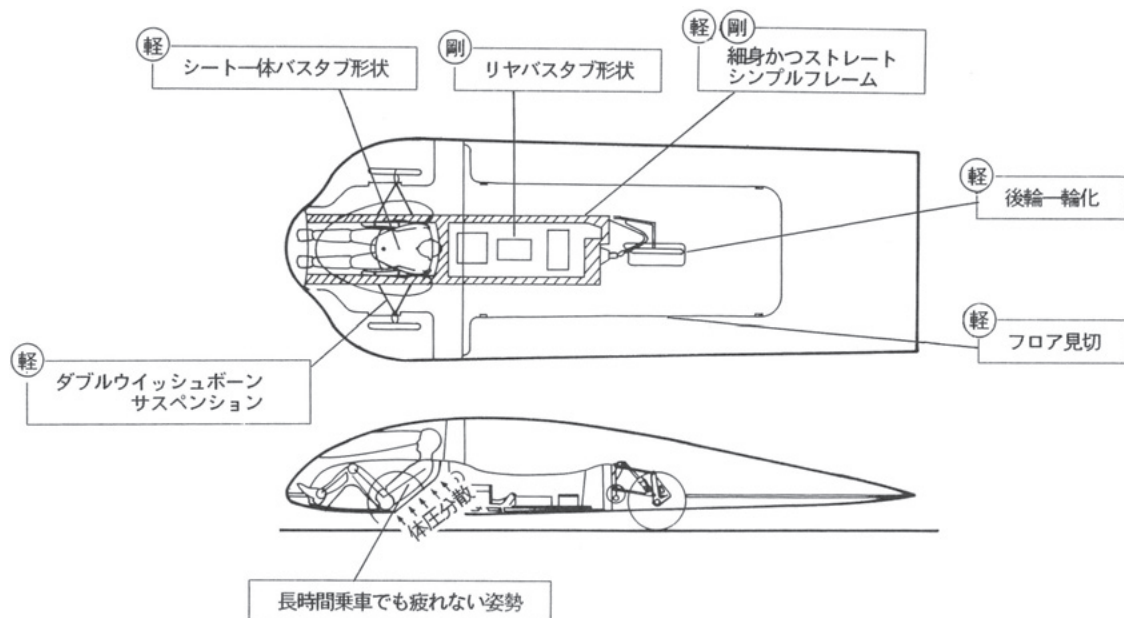


図 15 車体パッケージング

5.5. 足廻り

足廻りは〔軽量化〕〔低ころがり抵抗〕〔高伝達効率〕の3つを重点に設計、製作を進めた。

(1) 軽量化

フロント2輪、リア1輪のサスペンションはアルミ軽合金を主体に設計し、またダンパーを含めてコンパクト化を進めた結果、目標20kgに対し、19kgが実現できた。(フロント11kg、リア8kg)

(2) 低走行抵抗タイヤ、ホイール

ころがり抵抗低減の為に3輪を採用し、1輪あたりの負荷増大による耐久性の問題は、硬質ゴム層入りのタイヤ構造とテンションディスクホイールにより補い、低ころがりゴムの採用と高い空気圧での使用が可能となった。(784kPa) (図16)

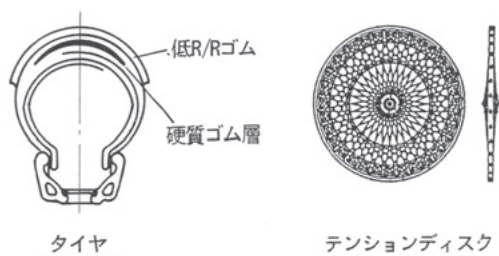


図 16 タイヤ構造

(3) 低走行抵抗ジオメトリー

ダブルウィッシュボーン方式のサスペンションを採用し、ホイールストロークに対するトー変化及び接地点移動によるサイドスリップを低減した。(図17)。(2)、(3)の結果よりころがり抵抗係数目標($\mu r = 0.006$)に対し、0.0058を実現できた。

(4) 高伝達効率

モータと後輪の軸間がどのホイールストロークに対しても同じ距離になるような情造をダブルトレーリングアームとマウントブラケットの設計に

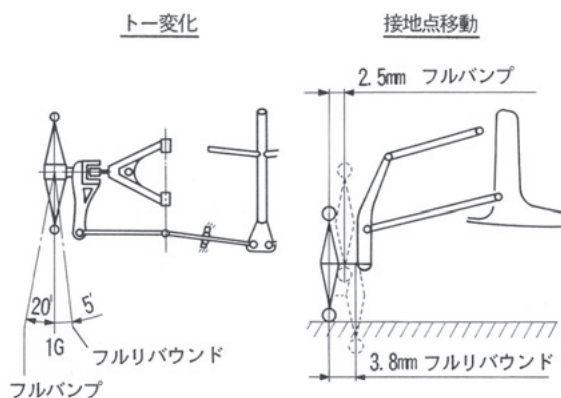


図 17 サスペンションジオメトリー

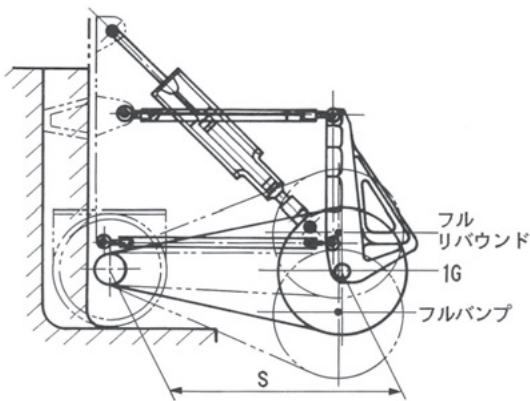


図 18 動力伝達系構造

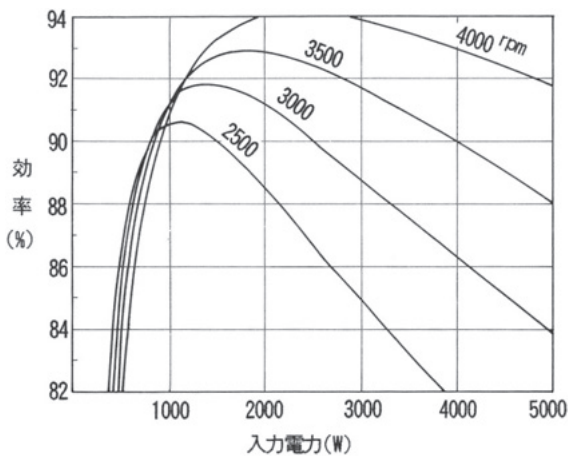


図 19 モータの効率特性

表 6 モーターシステムの仕様

	目 標	結 果
効 率	92%以上	92～94%
出 力	100V定格 1 kW	100V定格 1.2kW
	最大 4 kW以上	最大4.5kW
トルク	10.5Nm以上	14.7Nm
重 量	13kg以下	11.7kg
信頼性	高い信頼性を有すること。	レース中モータートラブル無し。

より実現した結果、張力変動に弱い効率が良いチェーンを採用でき、伝達効率を向上できた。目標伝達効率 ($\eta_m = 97.5\%$) に対して 98% となった。(図 18)

5.6. モーターシステム

モータシステムは先行テストの要求出力に従い、〔高効率〕〔軽量〕〔高信頼性〕を目標に表 6 の様に仕様を設定した。またモータの効率特性を図 19 に示す。

上記目標を達成するため、モーターの種類を決定し、DC ブラシレスタイプを選定した。また、高温、砂塵に対する信頼性を確保することも必要なことから、プラセオジウム・鉄ボロンのマグネットを採用した。

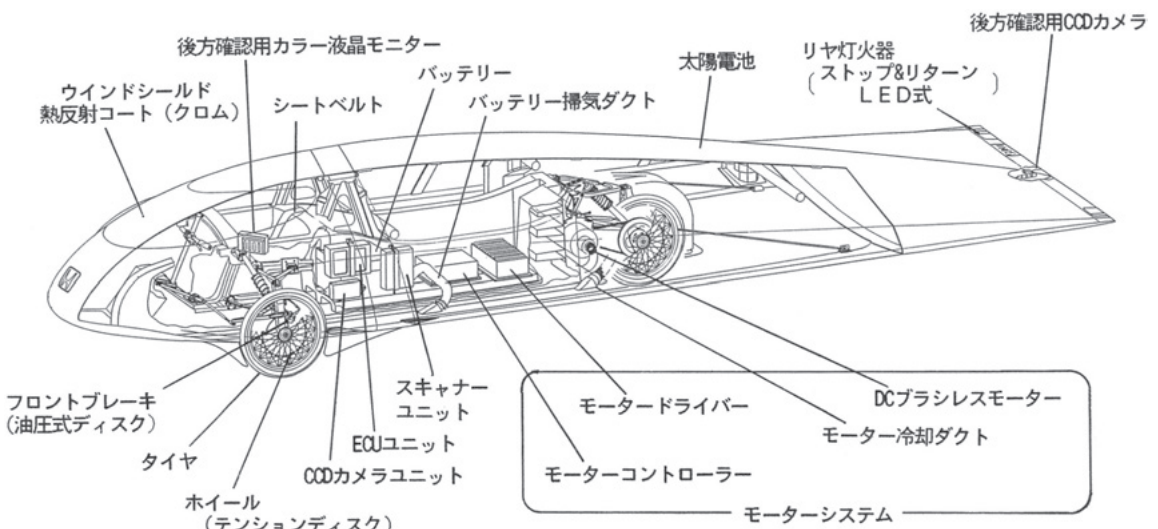


図 20 全体透視図

表7 主要諸元表

■ 寸法・重量

全全全 車車車 ホト ト車 定車 車最	イ 輪 ー レ 両 兩 小	ル 配 ベ ッ 重 總 回	一 重 半 轉	長幅高置 スト量員 徑		5,730 mm 2,000 mm 1,000 mm 前2輪・後1輪 2,375 mm 1,400 mm 140 kg 1名(80kg) 220 kg 9.9m(前輪軌跡)・10.2m(ボディ)
------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------	-------------------	--	--

■ 仕 様

☐車体系

ボデー	フレームカウルウインド	カーボンFRP+ノーメックスハニカム カーボン&ケブラーFRP+ノーメックスハニカム ポリカーボネート+熱反射コート(クロム)
サスペンション	フロントヤ	ダブルウィッシュボーン ダブルトレーニングアーム
タイヤ・ホイール	タイヤホイール	20 ^N × 1.75 ^N オープンサイドタイヤ ケブラー製テンションディスク+アルミ製リム
ブレーキ	フロントヤ	油圧式ディスク なし(回生ブレーキ)
ステアリング	形式ハンドル	ピットマンアーム式 バーハンドル
灯火類	方向指示器制動灯	バルブ方式(フロント)・LED方式(リヤ) LED方式
後方視認装置	形式	CCDカメラ+カラー液晶モニター

□動力系

太陽電池	セ 総 出 力	単結晶シリコン 1.2 kW
モーター	形 定 最 大 重 制 御 方 式	DC ブラシレスモーター 1.2 kW 4.5 kW 7.0 kg PWMコントロール
バッテリー	形 式	酸化銀-亜鉛電池
駆動	形 減 速 比	チェーンによる後輪駆動（変速機なし） 4 : 1

■ 性能

空氣抵抗係數 (Cd 値)	0.112
全面投影面積	1,116 m ²
転がり抵抗係數	0.00583
最速	120km 以上

5.7. 蓄電池

レースに使用する蓄電池は過酷な条件下で使用されるため、高い信頼性を持ち、しかもエネルギー密度、出力密度に優れ、かつ充放電効率の高い酸化銀・亜鉛電池を採用した。

6. ソーラーカーの主要諸元

ソーラーカーの主要諸元表を表7に、全体透視図を図20に示す。

7. レース

レースは1990年11月11日の朝9時、雨の為に1時間遅れてスタートした。走行方法は発電による入力と、モーターが消費する電力を一致させ、1000W以上が得られる日中は時速70kmを越えるスピードで走り、夕方は時速40km台、曇天時は時速15kmというように、発電電力を直接消費する事で効率運転に努めた。更に、朝の走行前と、夕方の走行後に充電した電池電力は、翌日の走行時に一定量、例えば100W、200Wを消費電力に上乗せし、夕方5時には目標の電池残容量となるよう慎重に制御した。ほとんど毎日が、このエネルギーマネージメントに神経を集中し、走行を続けた。

(1) レース状況(天候)

レースは全般に天候に恵まれず、初日、2日目、4日目、6日目と曇りがちの日が多かった。レースを通して発電量をモニターしたものを図21に示す。斜線部は、雲によりさえぎられて生じた晴天時の電力との差を示している。

(2) レース状況(太陽電池温度)

悪天候とは別の要因として、温度によると思われる発電量の低下があり、3日目は快晴であったが、

ピーク電力想定値 1200W → 1070W

平均発電量想定値 1024W → 908W

となった。

(3) レース状況(蓄電池の寿命)

初日、2日目の悪天候と、前半の1000kmに多い上り坂の為、蓄電池を予定以上に放電した事が原因で内部抵抗が上がりやすくなり、充電電圧が上昇して、5日目、7日目の朝の充電はほとんど出来なかった。

(4) レース結果と考察

“ドリーム号”は、スタートから7日目に所要時間“54時間59分”でゴールし、目標の“44時間54分”に対して10時間の遅れとなった。

- 晴天率59%が例年の平均値95%まで回復した場合

推定短縮時間 → 9.5時間

となり、ほぼ目標を達成する事ができたと判断している。

- 太陽電池温度が推定温度の55℃程度になった場合(実温度推定65℃)

推定短縮時間 → 2.7時間

となるが、これは設計上の問題であり、今後、温

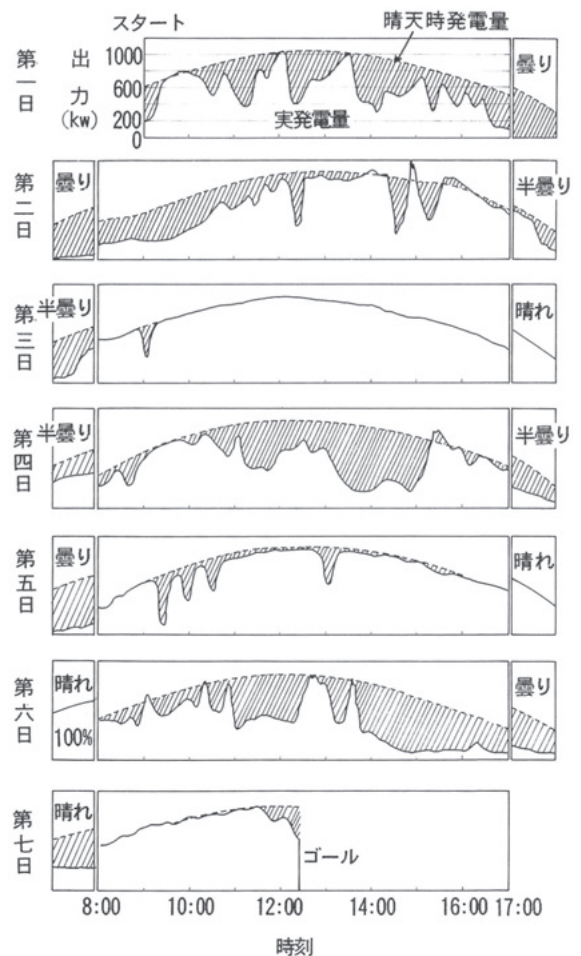


図21 レース中の発電量

度上昇による変換効率の低下をさらに詳しく把握し、仕様設定に反映すべき課題である。

- 蓄電池の容量については、悪天候に対するマージンや過充電状態を避ける為、容量を増加すべきである。

実容量 = 2 kWh

許容最大容量 = 5 kWh

謝 辞

“Dream 号”の開発にあたって、多大な御協力をいただきました方々に心から感謝の意を表します。

■ 著 者 ■



岩 田 孝 弘



宮 野 英 世



臼 田 政 史



高 橋 俊 樹



石 野 康 治



五 十 嵐 和 夫