

国内ソーラーカーレース参加チームの 車両製作とレース活動

Vehicle production and race activities of teams competing in domestic solar car races.

坂本佳隆*

1. 実践的学び場としてのソーラーカーレース

1.1 ソーラーカーレース参加者

ソーラーカーレースは、他のモータースポーツと異なり、ベースとなる車両やシャシが市場には存在せず、各々のチームが製作した車両を用いてレースが行われる。ゆえに、ソーラーカーチームには車両整備やピット作業、レースマネジメントなどのレーシングチームとして必要な能力とともに、車両開発および製作技術も必要となる。ソーラーカーの要素技術は、自動車工学、電気電子工学、情報工学など幅広い分野にまたがっており、ソーラーカーチームにはそれらを総合的にまとめ、車両として完成させる能力が必要となる。これには、技術的要素だけでなくチームとしての適切な目的や目標の設定、チーム員同士の意思疎通といった組織力も重要となる。

現在のソーラーカーレース参加者は、その大半が大学のサークル活動や高校の部活動を主体とした学生チームである。また、企業の社内サークルチームも多く参加している。このため、ソーラーカーレースは、工学系学生や若手エンジニアが、車両製作やレース、チームマネジメントを通じて、様々な経験を積める実践的な学びの場となっている。

1.2 学生チームの車両製作と目的

前述のとおり、ソーラーカーレースではレース車両を製作する必要があるため、多くの資金を必要とする。しかしながら学生チームでは、その活動予算も限られている。主要部品である太陽電池、モータ、シャシ、ボディカウルは大きなコストを占めるものの、数年にわたって使用できるため、多くのチームが車両を製作した後は、数年にわたりその車両に改良を加えてレースに参加している。

また、このようなチームでは車両製作とレース活

動を通して、チームメンバーのスキルアップを図り、キャリア形成に生かすことがチームの目的の一つとなっている。このため、高価な材料や工法を採用して、高性能な車両を製作するのではなく、入手性が良く安価な材料を使用し、工法を工夫して車両を製作することが多い。また、後々の改良を見越した車両構成をとる。これはチームのレベルアップに合わせて、車両の性能を向上させ、日々の活動が成果に直結することを経験させることが肝要となるためである。

本稿では、ソーラーカーレースを工学教育の一環と捉え、各々の目標に向かって日々活動する多くのソーラーカーレース参加者の車両製作について、国内最大規模のソーラーカーレースである、ソーラーカーレース鈴鹿の参加車両を題材として紹介する。

2. ソーラーカーレース鈴鹿と技術規則の変化

三重県の鈴鹿サーキットで行われるソーラーカーレース鈴鹿は、国内で行われるレースとしては最大規模であり、約50チームほどが参加する大会となっている。レースは国際格式の5時間耐久レースと、国内格式の4時間耐久レースに分かれて開催されており、どちらのレースも、FIA（国際自動車連盟）発行の“カテゴリI&オリンピッククラス車両の技術規則”に適合する車両のみ参加が認められている。

参加車両は、主として太陽電池の定格出力ごとに、Olympia, Dream, Challenge, Enjoyの4クラスに分けられており、車両最大寸法や駆動用蓄電池が異なる。表1に各クラスの比較表を示す。

競技用ソーラーカーは車両の性能向上に伴って年々高速化しており、安全対策のためこれまで一般

* (株) PUES 技術部

表1 各クラス比較表

	Olympia	Dream	Challenge	Enjoy
車体寸法	全長:4.5m 全幅:1.8m 全高:1.6m		全長:5.0m 全幅:1.8m 全高:1.6m	
車輪	4輪		3輪以上	
太陽電池	貼付面積 6m ² 以下	480Wを 超え 無制限	480Wを 超え 800W 以下	480W 以下
蓄電池	自由		鉛(制御弁式)	

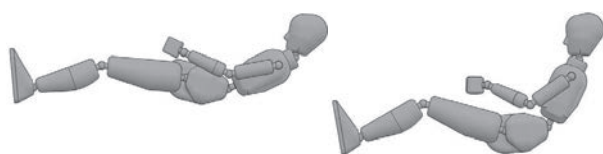
表2 技術規則の主たる変更点

	旧技術規則	新技術規則
車輪	3輪以上	4輪
制動	制動輪:2輪以上 減速度:4.5m/s ² (3輪車) 減速度:5.8m/s ² (4輪車)	制動輪:全輪 減速度:5.8m/s ²
乗車姿勢	不問 視界による制限	シート角度規定 (27deg以内) 視界による制限
乗員保護	前後ロールバー	前後ロールバー (乗員との空間確保)

的であった3輪車両から4輪車両への転換が技術規則によってはかられている。また、ドライバー姿勢の制限や制動性能の向上が技術規則に盛り込まれた。その技術規則の主たる変更点を表2に示す。

新技術規則では、4輪車両であることが義務付けられ、ブレーキ性能もより高い制動減速度が求められた。旧技術規則に準拠した3輪車両では、前輪2輪のみに制動装置を装着すれば技術規則を満たしたが、新技術規則では、機械的な制動装置を4輪すべてに装着し制動できることが求められる。

また、ドライバーの乗車姿勢の規定も盛り込まれ、図1(b)に示すようにドライバーが着座するシートの背もたれ面が垂直面に対し、27deg以内となることが要求されている。これまでの車両では、図1(a)に示すように、ドライバーは寝そべった乗車姿勢をとることが一般的であったのに対し、新技術規則



(a) 旧技術規則 (b) 新技術規則

図1 ドライバー姿勢の例

則では、上体を起こした姿勢となる。このため、車両の前面投影面積の増加とそれに伴う空気抵抗の増加をいかに抑えることが、車両設計上の努力項目となっている。

現在は、4輪車両転換の過渡期にあたり、新規車両としてレースに参加する場合には4輪車両でなければならないが、旧技術規則を基準として製作された3輪車両は、過去に国際ソーラーカー競技に参加した車両のみ参加が認められている。

しかしながら、新技術規則に適合した車両を製作する場合、旧技術規則の車両に対して、どの程度の走行性能上の優位性があるか各チームが見極める必要があること、新規車両の設計と製作は数年程度の期間を要することから、現状では、新技術規則に適合した車両の参加はまだまだ少ない。

3. ソーラーカーレース参加車両と製作方法

3.1 ボディ形状

ソーラーカーレース参加車両について、代表的なボディ形状の車両を図2、図3および図4に示す。図2および図3に示す車両は、ともに旧技術規則に適合した3輪車両（前輪2輪、後輪1輪）、図4に示す車両は新技術規則に適合した4輪車両である。

これらの車両を比較すると、技術規則による車輪数とドライバー姿勢の変化が、ソーラーカーのボディ形状に大きく影響を与えることがよくわかる。

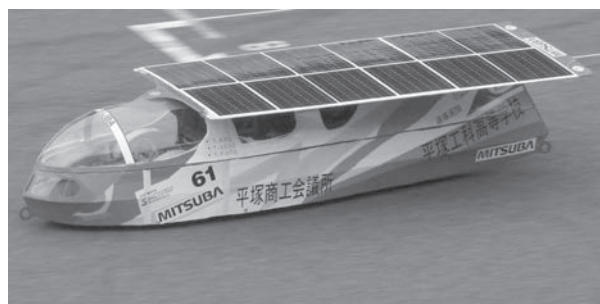
図2 従来型：紀北工業高等学校 KIHOKU-SOLAR
(旧技術規則適合車両 Challenge クラス)図3 平工型：平塚工科高等学校 平工コンセプト
(旧技術規則適合車両 Enjoy クラス)



図4 カタマラン型：TEAM RED ZONE Freedom
(新技術規則適合車両 Olympia クラス)

競技用ソーラーカーのボディ設計においては、太陽電池の貼付面積を確保しながらも、走行中の空気抵抗を小さくし、高速走行時の走行電力を極力小さくすることが求められる。

空気抵抗の低減には、車両の前面投影面積（進行方向から見た正面面積）とボディ表面積を小さくする必要があることから、図2に示す車両のように薄い翼形状のボディにドライバーを寝かせた姿勢で配置するボディ形状がこれまでの標準であった。ドライバーの目線高さは技術規則上、路面から700mm以上確保する必要がある、車両重心が高くなる傾向にある。このため、不適切に設計された車両の場合、旋回中に車両内側前輪が浮き上がることもある。

図3に示す車両は、旧技術規則に則って製作された車両であるが、比較的新しいボディ形状であり、平工型またはイモムシ型とも呼ばれる。ドライバー姿勢は図1(b)のように上体が起きた姿勢をとり、ボディサイズを小さくするため狭いトレッドを採用した車両である。太陽電池は車両上部の板状部分に一樣に張り付けられているため、ボディの影や太陽電池の傾斜角の違いによる発電量低下を排除することができる。また、太陽電池定格出力が小さく、技術規則上、最も重い蓄電池重量となる Enjoy クラスでは、車両最上部に太陽電池を配置したとしても、重心高さに対する影響は小さい。このため、同クラスには、同様形状の車両が数台参加している。

図4に示す車両は、カタマラン（双胴船）型と呼ばれ、4輪車両である。左右に分けた船体をつなげた構造となっている双胴船と同様に、左右にわけた船形状の胴体があり、胴体同士をつなげた構造となる。タイヤやドライバーは左右の胴体内に収められるため、ドライバー配置は車体の左右どちらかに一方に寄せたものとなる。

また、胴体同士をつなぐボディ中央部分は、図2に示す車両と同様に薄い翼形状として、前面投影面

積の低減を図っている。太陽電池の出力を最大限確保したい Dream クラスや Olympia クラスでは、図3に示すボディ形状は、太陽電池貼付部が大型化するため採用しにくい。また、これらのクラスはレース速度も高速であることから、広いトレッドを確保した上で、太陽電池張付面積と前面投影面積の低減を図れるカタマラン型が採用される。

3.2 ボディ材料とボディ成型

トップチームでは、3次元形状のボディを高い寸法精度で製作し、かつ軽量化を達成したいため、ボディ材料には、複合材料である CFRP（炭素繊維強化プラスチック）が用いられる。これはボディ形状が CFD（数値流体力学）シミュレーションソフトウェアを活用して設計されることや、ボディを CFRP 製のシャシを接着し一体部品とすることで、高いシャシ剛性と軽量化を両立できるためである。一方、CFRP 製のボディは、材料として使用されるカーボンプリプレグやアラミドハニカムコアの材料価格が高いこと、成型時に FRP 型を必要とすることから、製造コストが高くなる。

このため、多くの一般チームでは、形状は型を必要としない2次曲面形状とし、安価なガラス繊維と硬質発泡体を用いて成型した GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）製の板材を用いてボディを成形する方法がとられている。これは CFRP 製のボディと比べ剛性は劣るものの、ボディ上面に搭載される太陽電池を支え、走行中の空力的荷重に対して必要な剛性を確保できる。また、シャシとボディを別とする車体構成をとれば、チームのレベルアップに応じて、ボディまたはシャシのみ変更して車両を改良できることも利点である。

ボディ材料となる GFRP 板は、ポリ塩化ビニルまたはポリプロピレン製の硬質発泡体を芯材として、表面に部材となるガラス繊維を置き、母材となるエポキシ樹脂を含浸し硬化させたものが利用される。この方法はハンドレイアップ法と呼ばれ、特別な設備を必要としないものの、人の手によって余分なエポキシ樹脂を絞り出すため、作業者の熟練度に



図5 GFRP 製2次曲面ボディ

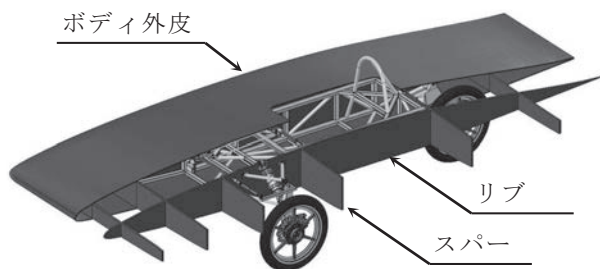


図6 ボディ構造

より成型後の品質が大きく変わってしまう欠点がある。

ボディの構造としては、飛行機の翼の桁構造と同様の構造（図6）がとられる。ボディ左右方向に渡るスパーと、ボディ前後方向に渡るリブによってボディの基本形状をつくり、スパーとボディに沿ってボディ外皮となる板材を曲げながら接合することでボディを成型する。

3.3 シャシ

駆動用蓄電池や、ボディ等の重量物が取り付けられ、走行中にはサスペンションを介して路面からの荷重を受けるシャシには、高い強度と剛性を保ちながら軽量化も求められる。また、競技用ソーラーカーにおいては、空気抵抗の低減が最優先されることから、シャシ設計においては、限られたスペース内で、ドライバーの居住空間、ステアリング機構、サスペンション、電装部品をレイアウトし車両として成立させる必要がある。

CFRP製のボディを採用するチームでは、シャシもCFRP製とし、ボディと一体部品とすることでシャシ剛性を向上させているが、GFRP製のボディを採用する場合はアルミ合金パイプを溶接したスペースフレーム構造とし、ボディとシャシは別部品とすることが一般的である。高い寸法精度でシャシを製作するためには溶接冶具が必要となることや、溶接作業者の熟練を要するものの、破損時の補修や

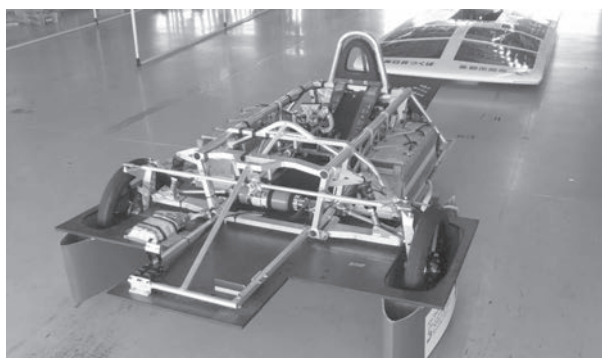


図7 アルミ合金製シャシ

改良を行いやすい利点があり、構造をよく検討して設計することで十分軽量のシャシを製作できるため、広く採用されている。

3.4 サスペンション

過去には、サスペンションがない車両も参加していたが、現在は、ほとんどの車両が、サスペンションを備えている。これは、車両性能の向上にとともに、旋回速度も向上したため、路面からタイヤを介してシャシに加わる荷重が増加したこと、サスペンションを持たない車両では、増加した荷重に耐えるシャシを製作した場合、重量増となることが理由と考えられる。

3輪車両では前輪側に、4輪車両では前後ともにダブルウィッシュボーン形式（図8）を採用している車両が一般的である。適切に設計すれば、サスペンションアームやシャシに余計な曲げ応力がかからないため、軽量のサスペンションを製作できる。また、走行抵抗を低減し、走行電力を抑えるため、サスペンションが上下にストロークした際に生ずる、タイヤのトー角変動およびスカッフ（タイヤ接地面の横移動）が最小となるように設計される。また、カタマラン型の車両では、サスペンションアームを前後方向に伸ばしたダブルウィッシュボーン形式としたものが見受けられる。

ソーラーカーのモータには、モータをタイヤに直接取り付けて駆動するダイレクトドライブ方式が一般的である。モータが車軸を兼ねるため、3輪車両の後輪側にはオートバイと同様にトレーリングアーム形式（図9）が広く採用されている。

3.5 発電システム

ソーラーカー用の太陽電池は、ソーラーカー用に

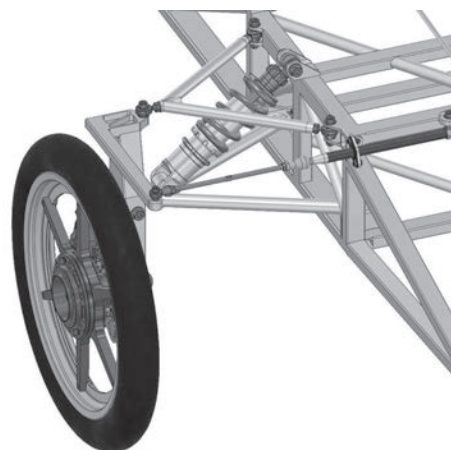


図8 ダブルウィッシュボーン形式

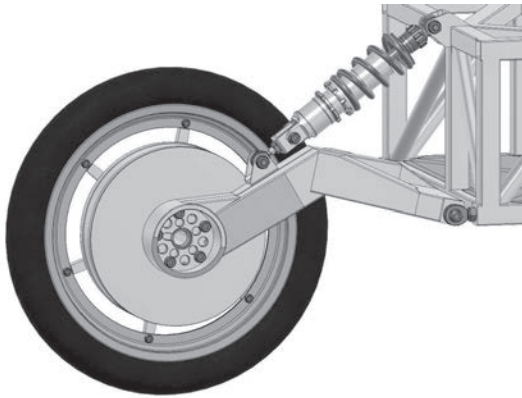


図9 トレーリングアーム形式

モジュールリングされた単結晶シリコン型のものがいくつか市販されている。市販品の太陽電池を採用した場合、太陽電池モジュールの寸法によって、ボディデザインが制限されてしまうものの、太陽電池の故障時や、事故による破損の際に、交換部品を入手しやすく、レース車両としての保守が容易であることや、幹旋販売品などもあり安価であることから、多くのチームが採用している。特に、太陽電池出力に制限があり、技術規則上の車両寸法内でも十分に太陽電池出力を得られる Challenge クラス、Enjoy クラスにて採用率が高い。

発電システムの構成としては、太陽電池出力の小さい Enjoy クラスでは、太陽電池モジュールをすべて直列接続し、少数の MPPT（最大電力点追尾装置）を介して駆動用蓄電池と接続し、発電電力を得る構成（図10）とするチームも多い。この構成では、太陽電池モジュールの劣化による性能差や取付け角度の差、ボディの影等の影響による発電量の低下が大きいものの、システム構成として簡易であるため、レース前の動作確認も行いやすく、チームメンバーが少ないチームなどには扱いやすいシステム構成となる。太陽電池モジュールをすべて直列接続することから、多くの場合、MPPT に入力される電圧は駆動用蓄電池の電圧と比べ高いため、MPPT は降圧型のものが使用される。

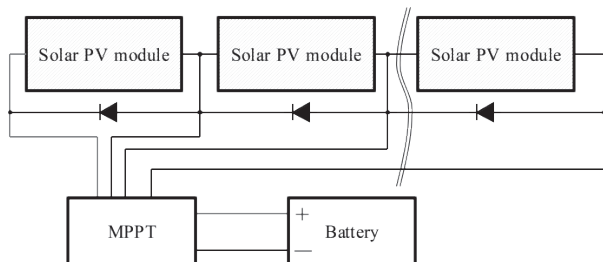


図10 発電システム構成例（直列型）

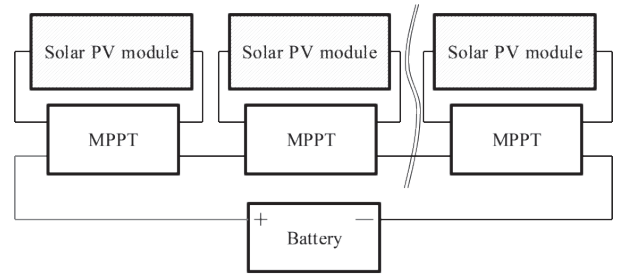


図11 発電システム構成例（分散型）

ボディの曲率が高く、太陽電池の取付け角度差が大きい車両では、MPPT の数を増やした MPPT 分散型の発電システム構成がとられる（図11）。太陽電池モジュールに対して個別に MPPT を接続することにより、太陽電池モジュールは MPPT によって各々の最適な動作点で動作することができる。このような分散型の発電システムにおいては、MPPT を直列接続することで高い電圧を得て、走行用蓄電池に充電している。このため変圧比が小さい構成をとりやすく、MPPT の効率を高めることができる。

3.6 計測システム

ソーラーカーレースでは、消費電力や発電電力、駆動用蓄電池の残量に応じてレースでの走行ペースが決定される。これはエネルギーマネジメントと呼ばれ、ドライバーはレース終了時に走行用蓄電池の残量がゼロとなるようにソーラーカーを走行させる。このため、ソーラーカーのパワーラインには、電圧センサおよび電流センサが挿入され、駆動用蓄電池電圧、インバータへの入力電流、MPPT の出力電流が計測される（図12）。

データロギング機能やテレメトリ機能を持たせた計測システムを自ら開発し、運用するチームもあるが、多くのチームがソーラーカー専用市販されているデータ表示機能付きの積算電力計または積算電流計を利用している。また、これらは走行中、ドライバーが車両情報を得るために利用される（図13）。

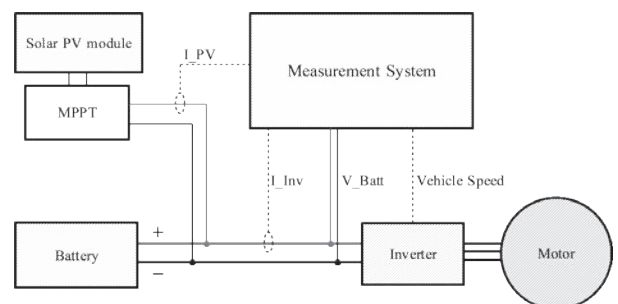


図12 計測システム（模式図）

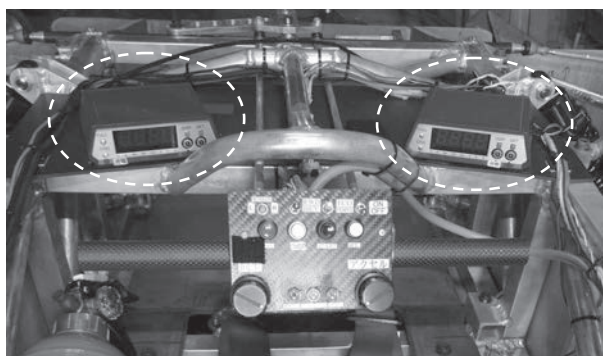


図 13 ソーラーカー用積算電流計 搭載例

また、車両の性能評価のため、小型の日射センサや加速度センサ、ヨー軸角速度センサを取り付けることや、GPS（Global Positioning System）ロガーを取りつけるチームもある。

4. レース活動

4.1 エネルギーマネジメント

ソーラーカーレースでは、走行中に計測された消費電力、発電電力から走行ペースを決定し、ドライバーはそれに応じて車両を走らせる。ワールドソーラーチャレンジ等の公道を利用するレースと異なり、サーキットで行われる周回レースの場合、路面状態が変わらなければ、サーキット1周にわたって同一条件で走行できることになる。このため、レース中のエネルギーマネジメントは比較的容易となる。

サーキット1周分ごとに積算消費電力量とラップタイムを測定すると、図14に示すプロットが得られる。エネルギーマネジメントの際には、このプロットから積算消費電力をラップタイムに対する2次関数ととらえ、あるラップタイムにて走行した際の積算消費電力を求め、走行ペースを決定する。

ソーラーカーに搭載される駆動用蓄電池の電力量

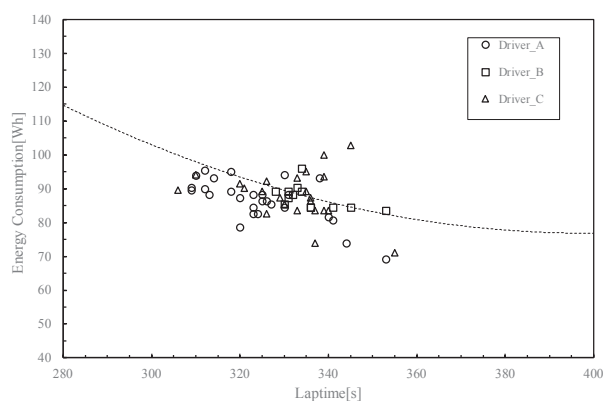


図 14 ラップタイムと積算消費電力量

は、レース前にあらかじめ放電試験を行い把握される。特に Enjoy クラス、Challenge クラス車両に搭載される鉛蓄電池は放電電流によって、取り出せる電力量が変わってしまうため、レース時間に応じた放電電流にて放電試験を行い、放電電力量の把握が行われる。

曲率を持ったボディに太陽電池が取り付けられているソーラーカーでは、太陽電池の発電量はボディの影の影響を受け、走行中はコース上の位置によって車両の方向が変わるため、レース中の発電量の推定は、計算が煩雑となり、困難である。また、レース中はドライバーとピットクルーの意思疎通や、他チームの動向の確認等、レースを進めるために必要な作業がある。このためレース中の発電量の把握は、簡易的なものが望ましい。

チームによっては、サーキット内に設置した全天日射量計によって日射量を把握し、エネルギーマネジメントに利用するチームもある。しかしながら多くのチームは、日射量計を持たず、ソーラーカーの発電電力から日射量を推定してエネルギーマネジメントを行っている。例として、本チームにて行っている手法を紹介する。図15はレース中の周回ごとの平均発電量と、発電量を模擬したサイン曲線である。この曲線は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が公開している年間時別日射量データベースである METPV-11 の8月4日の多照年の水平面日射量データをもとに、サイン曲線にてカーブフィッティングしたものである。

レース中のエネルギーマネジメントの際には、この曲線をモデルとして、周回ごとの積算発電電力量の理論値を算出する。周回ごとにドライバーから報告されるソーラーカーの実際の積算発電電力量と理論値を比較することによって、今後の発電量を推定

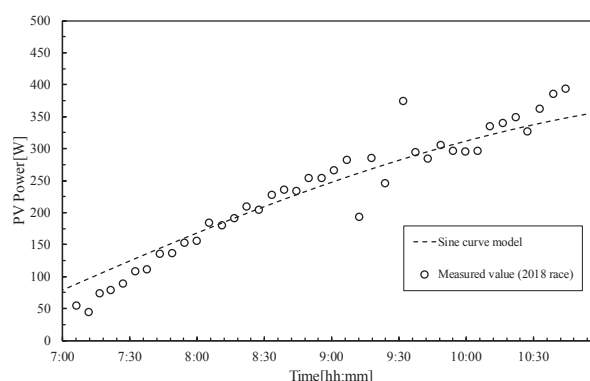


図 15 周回ごとの平均発電量

する。

ソーラーカーレースでは、レース終了時に駆動用蓄電池の残量がゼロとなることが望ましい。このため、エネルギーマネジメントでは、レース終了までに発電できると推定される発電電力量と、駆動用電池の電力量を収入、走行による消費電力量を支出として、レース終了時に収入と支出が等しくなるようレースでの走行ペースが決められる。

4.2 レース時のピットでの活動

ソーラーカーレースは、エネルギーマネジメントによって決められた走行ペースでソーラーカーを走らせる。この走行ペースは天候によって順次変更される。また、他チームの動向やレース中のアクシデントによって、ピットイン作業やドライバー交代をするタイミングが判断される。このため、ピットとドライバーとの意思疎通、ピットクルー同士の連携は、エネルギーマネジメントとレース戦略を成立させるために非常に重要である。

ドライバーとピットとの通信手段は、特定小電力無線や携帯電話（スマートフォンを含む）等が利用される。無線は通信可能範囲の限りがあるため、車両の位置によっては、通信ができないこともあり、現在では携帯電話を利用するチームが多い。また今日では、無料通話アプリ等を利用することで、通信料を抑えられるメリットもある。また、通常の自動車レースでも見られるホームストレート上でのサインボード掲示も行われる。サインボードの表示内容は、チームによって異なるものの、多くは走行ペース指示（ラップタイム表示）、他チームとのタイム差などである。

走行ペースは主として、エネルギーマネジメントにより決められるが、レースであるため、レース終盤では、自チームに対して先行する車両と後続する車両との勝負となる。このため、レース中は常に自チームと他チームのタイム差を確認される。本チームでは、タイムキーパーと呼ぶピットクルーがその役目を果たしている。このタイムキーパーは2名おり、うち1名は自チームのタイム確認およびドライバーとの通信作業を担い、もう1名は他チームとのタイ

ム差の確認作業を行っている。タイムキーパーが得た情報は、エネルギーマネジメント担当者に伝えられ、走行ペースの決定やピットインのタイミングが判断される。

5. ソーラーカーレースの魅力と教育的側面

ソーラーカーは、他の自動車レースと比べて、車両が画一化しておらず、様々な形状の車両が同じ土俵でレースをしています。これはそれぞれの車両を設計製作したレース参加者が、より良い性能やコンセプトを求め、1つの車として成立させた形であるからだと考えます。このような車両を間近で見られることは貴重であり、レース中の楽しみの一つとなっています。参加者もレースでの勝利だけにこだわらず、自らのペースでソーラーカー作りを楽しむチームや、電装品の自作にチャレンジするチームなどチームごとに取り組み方も様々です。

ソーラーカーレース参加者は、学生から社会人まで幅広く、学生チームでは、工業高等学校の学生や工学科所属の大学生が多数参加しています。エンジニアの卵である彼らが、自分たちで考え製作した車両をレースという舞台上で走らせることは、工学としての知識や経験を積み重ねなければ成し遂げられません。また、どのような手法や技術要素をとって、目的あるいは性能を達成するかを判断する工学的なセンスも必要となります。このことから、ソーラーカーレースは若手エンジニア育成の貴重な場となっています。

著者略歴



坂本 佳隆（サカモト ヨシタカ）

2014年3月金沢工業大学大学院工学研究科電気電子工学専攻（博士前期課程）修了。

同年4月株式会社PUES入社。同社にて主として電気自動車のモータ、インバータの設計開発に従事。

三重県立松阪工業高等学校 ソーラーカー部技術アドバイザー