

大阪産業大学における 競技用ソーラーカーの進化について

Evolution of Racing Solar Car in OSU

須藤 隆*

1. はじめに

大阪産業大学のソーラーカーは本学工学部交通機械工学科に在籍していた藤田久和氏が産官学共同のものづくり教育を目指して立ち上げたプロジェクトの基、開発された。筆者は 2000 年の大学入学時にこの活動に参加し、2019 年まで藤田氏のもとで車両改良やメカニック、ドライバーとして活動を行っていた。今回は藤田氏の下承を得て本学ソーラーカーの開発と改良について紹介する。

2. 本学のソーラーカーについて

本学でこれまで開発したソーラーカーは「OSU model S」および「OSU model S'」の 2 台である。この 2 台はまったく異なるコンセプトで開発されたものである。特に model S' は当時の主流であった車両とも異なるコンセプトであるため、今回は model S' を主に紹介する。

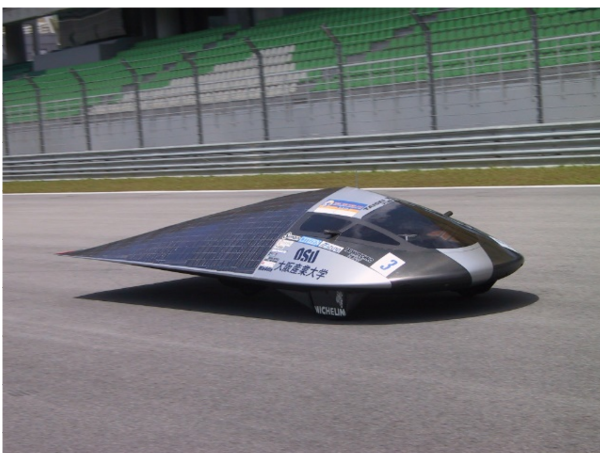


図 1 OSU model S 外観図

3. OSU model S について

本学のソーラーカー model S は 1995 年～ 2002 年まで活躍した本学最初の車両である。形状は本田技研工業が開発した「ホンダドリーム」の形状に倣った形状となっており、ソーラーカーではオーソドックスな 3 輪車としている。この車両は主に「ソーラーカーレース鈴鹿」、「World Solar-Car Ralliye in Akita」、「World Solar Car Championship Malaysia」、「World Solar Challenge」といった競技会に参加していた。下記に車両の外観と諸元を示す。

表 1 OSU model S 車両諸元

全長×全幅×全高(mm)	5980×19800×1030
ホイールベース(mm)	2450
トレッド (mm)	1350
車両質量 (kg)	155
ボディ素材	CFRP アラミドハニカム
前サスペンション	ダブルウィッシュボーン
後サスペンション	トレーリングアーム
モータ	ブラシレス DC モータ
最大出力(kW)	5
駆動方式	後輪ダイレクトドライブ
太陽電池	単結晶シリコン
変換効率(%)	16
最大出力(kW)	1.1
バッテリー	Ni-Zn(2000 年時点)
容量(kWh)	3.5
巡航速度 (km/h)	70
最高速度 (km/h)	100

* 大阪産業大学

4. OSU model S' について

ソーラーカー OSU model S' はこれまで活躍してきた OSU model S の後継としてパッケージを一新した車両となっている。ソーラーカーにおいては、少ないエネルギーで「より早く、より遠くまで、効率よく走らせる」ことが重要である。そのため規定寸法内で最大限の太陽エネルギーを得るとともに、走行抵抗少ない車両の開発が必要となる。また本学が参加していた「ソーラーカーレース鈴鹿」では年々平均速度が向上していることから今後高い速度域で競うことが想定された。そのため直線時だけでなく、旋回時の走行安定性を重視するため各車輪の輪荷重を均等にバランスさせることと、旋回時のコーナリング・フォースを高めることによって安定した旋回を行うため、当時の主流であった3輪配置車ではなく4輪配置とした車両開発を行うこととした。

下記に三面図、外観および車両諸元を示す。

4.1 主要部品について

開発した model S' の車両質量は 140kg となっている。これは3輪配置車である model S よりも大幅

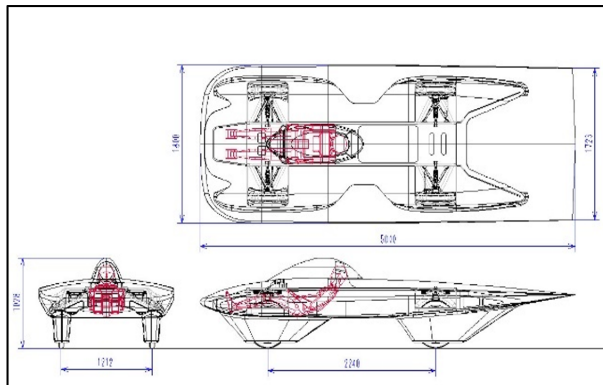


図2 OSU model S' 三面図



図3 車両外観

に軽量化されている。4輪配置車とした場合、1輪分の部品点数が増加とすることとボディ剛性を確保する必要があるため、車両重量は増加するが、model S' では主要部品の強度と剛性を保ちつつ軽量化を行うことによってこれを解決した。以下に主要部品の強度、剛性の確保および軽量化の特徴について述べる。

1) モノコックボディについて

4輪での車両製作を行う際の懸念点は車輪が増加することによって重量の増加と路面からの入力点が増加することによる車体捻じれを防ぐための剛性の確保であった。これは3輪配置車と4輪配置車の必要な剛性が異なるため、model S と同様の設計方法では、剛性不足となることが予想された。そのため、

表2 開発時車両諸元

全長×全幅×全高(mm)	5000×1800×1000
ホイールベース(mm)	2240
トレッド(mm)	1200
車両質量(kg)	140
ボディ材質	CFRP アラミドハニカム
サスペンション	前/後ダブルウィッシュボーン
モータ	ブラシレスDCモータ
最大出力(kW)	5
駆動方式	後2輪ダイレクトドライブ
太陽電池	単結晶シリコン
最大出力(kW)	1.4
変換効率(%)	20
バッテリー	リチウムイオン
容量(kWh)	3.9
空気抵抗係数	0.13
巡航速度(km/h)	85
最高速度(km/h)	140



図4 model S シャーシ構造

シャーシは model S 同様に CFRP ハニカムサンドイッチパネルを採用しつつもパネルをそのままの構造として使用するのではなくモノコック上面を内側に折り曲げた内リブ構造とした。解析の結果ではねじり剛性は 10%，縦曲げ剛性は 40% 増加とリブがない構造よりも高い剛性を確保することができた。

ただこの結果は解析上でのものであり実際の走行状況においてはさまざまな方向からねじりおよび曲げが複雑にかかるため、内リブの有無による効果はさらに差が出てくると考えられる。

2) サスペンションについて

4 輪配置とした場合には足回りの部品が増えることとなり、重量が増加する。これに対応して model S では金属部品としていたものをカーボン・コンポジット製へと変更した。その代表的なものとして車輪を取り付けるアップライトを紹介する。CFRP 製アップライトは CFRP 製の外皮、剛性を確保するためのアルミハニカム、他部品を取り付ける部分のアルミ材と大きく 4 つの部品からなっており、これらをエポキシで接着させたものをアップライトとして使用している。

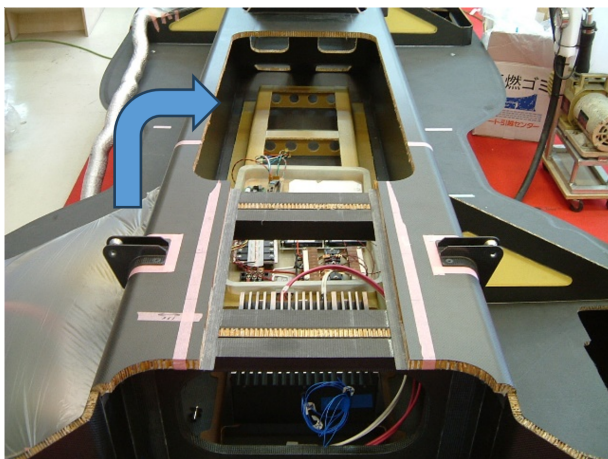


図5 model S シャーシ構造



図6 アップライト構成部品

アルミ部品であったアップライトを CFRP に変更したことで大きく重量を低減することができた。

また、ブレーキ・ローターおよびサスペンションスプリングをチタン材へ変更し軽量化を図った。これらの方法により全体で 50% 近い軽量化となった。

4.2 車両の性能について

OSU model S' の車体は当初のコンセプト通り旋回時に発生する遠心力に対するコーナリング・フォースが高くなったことにより安定した旋回性能を実現することができたと考える。ソーラーカー競技用のタイヤを使用した場合には転がり抵抗を極限まで少なくしたタイヤであるため、タイヤの摩耗やパンクリスクが高い。コーナリング・フォースが高まったことによりタイヤへの影響が考えられたがこの問題に対しても 4 輪に均等に荷重がかかることによって問題なく走行ができています。

また 2011 年より競技形式が変更となりこれまで土曜日に第 1 ヒート (4 時間耐久)、日曜日に第 2 ヒート (4 時間耐久) の合計 8 時間耐久レースであったが、日曜日のみの 5 時間耐久レースとなった。これにより 1 日の走行距離が長くなったことによりさらにタイヤの摩耗が激しくなったが、これも 4 輪配置化によって最小限の影響で安定した走行が可能であっ



図7 カーボン・コンポジット製アップライト

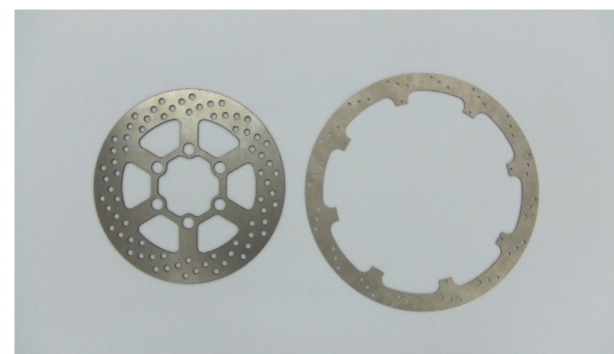


図8 チタン製ブレーキ・ローター

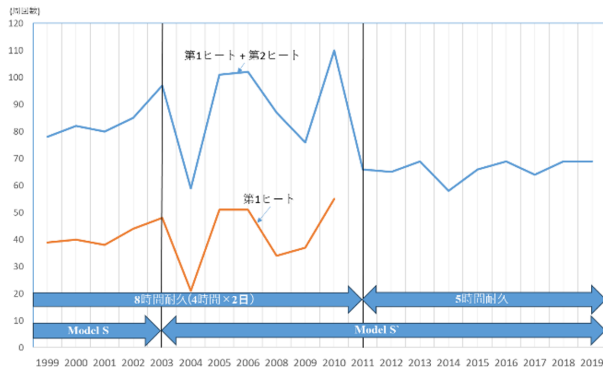


図9 ソーラーカーレース鈴鹿 周回数



図11 Emcore社 Ga-As パネル



図10 SunPower社 Pegasus



図12 TrinaSolar社 IBC パネル

た。

5. 改良について

model S はコンセプト通りの車体として完成後の車体自体は完成時から改良の余地はあまりないと判断し、その他の要素について性能向上を目的とした改良を行い年々進化させた。以下に改良点について紹介する。

5.1 太陽電池について

model S は完成時の2003年から2019年の期間において多くの太陽電池を採用してきた。

完成当初は米国にあるSunPower社が開発した裏面電極型太陽電池である「Pegasus」を搭載した。このパネルによって標準日射 ($1000\text{W}/\text{m}^2$) において変換効率は20%に達し、約1.4kW程度の電力を得るに至った。

model S は国際ソーラーカー連盟規格であるISF500に基づいた車両であるが、車両サイズの大きいISF6000規格のmodel Sよりも発電量が高いため太陽電池の進歩に驚いたと記憶している。

その後2005年には同社より開発された「A-300」

シリーズを採用し、変換効率は20.5%へと向上した。2008年では人工衛星などで使用されるEmcore社製のガリウムヒ素トリプルジャンクション太陽電池を投入した。これによって変換効率は約27.3%に向上し約2kW程度の電力を得るに至った。

ただ、2012年より鈴鹿大会の車両規則に伴い、Ga-Asの使用が禁止されたため再びSunPower社より開発された「A-600」シリーズを採用することとなった。2015年よりTrinaSolar社の支援を受け裏面電極型太陽電池であるIBCパネルを使用し、最終的な変換効率は約24%となった。

5.2 バッテリーについて

ソーラーカーのレースでは車両規則により、搭載できるバッテリーの重量に制限がある。そのため、本学のみならずほとんどのソーラーカーは重量あたりのエネルギー密度が高いリチウムイオン・バッテリーを使用している。各バッテリー・メーカーの性能は進歩しているため本学では様々なバッテリーを試験・搭載してきた。2003年から2008年まではLG電子製18650型Li-ionをENAX社よりモジュール化しただけ使用していた。2009年にはAA Portable Power製Li-Poを採用しレースに臨んだ。

さらに2010年にはNCR18650A-3.1Ah パナソニック・エナジー社からの電池を提供いただき使用した。ただ素電池の状態であったため、モジュール化については、ENAX 社 EV 事業部の高崎氏の技術指導とアドバイスを受け、本学にてモジュール化を行っている。



図13 AA Portable Power 製バッテリー

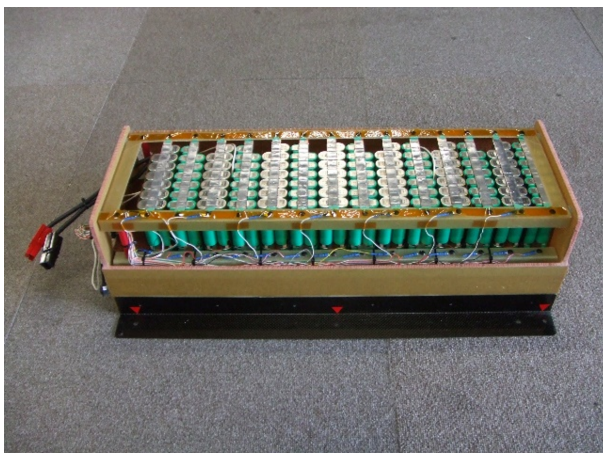


図14 Panasonic 18650B モジュール



図15 Panasonic 18650GA モジュール

2012年にはNCR18650B-3.4Ah となり最終的にはNCR18650GA-3.5Ah を使用することによって完成時から大きく性能を伸ばすことができた。

放電試験については本学の電子負荷装置を使用し一定の環境で行っておりバッテリー組み上げ時やレース終了後の特性を測ることによってその都度性能を確認している。これまで搭載したバッテリーの性能を下記に示す。

5.3 モーターについて

本学のモーターについては2002年より株式会社ミツバの協力を得て様々なホイール・イン・モーターを搭載しレースに投入してきた。model S´ 完成当初は定格1.5kWのモーターを左後輪のみで駆動する方式であった。しかし鈴鹿サーキットでの走行試験では駆動時および回生時においてドライバーより違和感があることについて報告があった。その解決として両輪駆動での走行試験を行った結果、両輪駆動においては安定した走行が可能となった。同時にモーターの投入電力が減少することも分かったため以降は両輪駆動としている。

表3 各種バッテリーの放電電力量

バッテリー 型番	容量 (mAh)	放電 平均 電圧(V)	放電 電力量 (Wh)
LG (ICR18650S2)	2200	3.7	3068
AA (H896474)	5000	3.7	3614
Panasonic (NCR18650-A)	3100	3.6	4207
Panasonic (NCR18650-B)	3400	3.6	4454
Panasonic (NCR18650GA)	3500	3.6	4557

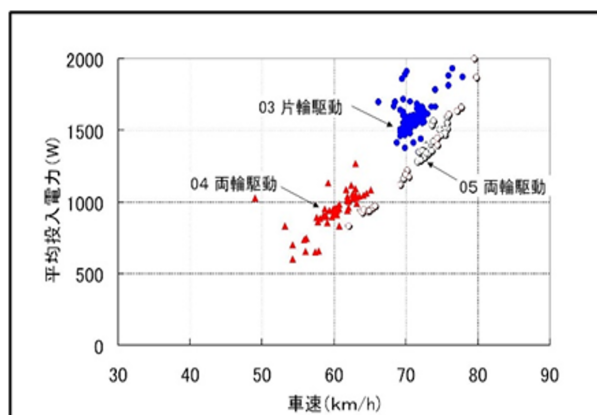


図16 片輪駆動および両輪駆動の平均投入電力



図 17 800W 片面開放型モータ



図 19 固定界磁モータ



図 18 可変界磁型モータ

2005 年から 2007 年には軽量化と冷却効果をねらうため、モータ筐体を小さくした定格 800W の片面開放型のモータを両輪に配置している。

2008 年には可変界磁型モータを採用した。これはステータを引き抜くことでコアを通過する磁束数を減らすことができるため高回転の特性となる。操作についてはステアリングに設置した UP スイッチおよび DOWN スイッチを操作することにより段階的な調整が可能である。また、マグネットとステータについても 8:9 の比率とすることにより、コギングトルクが減少し惰性走行時の転がり性能が向上している。しかし、鈴鹿サーキットは高低差が大きく頻繁に操作が必要であり、結果的に可変界磁の有効性を十分に発揮することができなかった。そのため 2009 年には可変界磁型モータから薄型大径固定界磁モータに変更している。またコントローラも新型となり小型化と省電力化を達成した。これにより 2010 年は 2009 年型モータおよびコントローラと同一でありながら、損失することなく走行が可能と

なった。

最終的にはヨーク部分を積層した電磁鋼板に置き換えることによって鉄損の低減を狙ったモータを使用している。

6. さいごに

model S´ は完成時から様々な改良を施すことによって年々周回数も増やしたが、その間大きな事故や故障もなく 16 年間競技を継続することができた。これは高い旋回性能および安全性を目的としたコンセプト通りの性能を発揮できたことによるものと考えられる。

大阪産業大学のソーラーカー開発については 2019 年で活動を終了し、車両は本学に残っていないが、今後も本学での環境に配慮した車両の研究は継続していく予定である。本学の車両開発がこれから参加する皆さんに少しでも参考になれば幸いである。

謝辞

model S および model S´ の開発とプロジェクト運営に協力して頂いた関係者の皆様に感謝の意を表します。

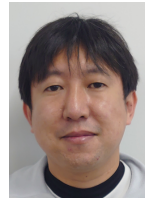
参考文献

- 1) 田村俊介, 林田和俊, 福井博章, 福田哲也, ソーラーカーの開発とその走行性能に関する研究, (2001 年)
- 2) 藤田久和, 山田智一, 田村俊介, OSU model S´ の開発と 2 輪駆動の走行性能について, 電気自

動車・燃料電池車・ソーラーカー製作講習会テキスト，(2006)

- 3) 須藤隆，村上雅享，田村俊介，OSU model S'の進化とエネルギーマネジメントについて，電気自動車・燃料電池車・ソーラーカー製作講習会テキスト，(2011)

著者略歴



須藤 隆 (スドウ タカシ)
大阪産業大学事務部全学教育機構事務室主任，プロジェクト共有，新エネルギービークルプロジェクトに所属し学生の活動をサポート。OSU ソーラーカープロジェクトでは，車両改良，ドライバー，メインメカニックを担当。