

## ギリシャのソーラーカーレース”Phaethon 2004”報告

Report on Greek Solar Car Race “Phaethon 2004”

木村 英樹 \*

### 1. はじめに

2004 年はアテネオリンピックの年である。近代オリンピック発祥の地であるアテネでの久々の開催となることから、ギリシャ国内では様々な事業が計画されている。そのひとつとして、アテネオリンピック文化事業ソーラーカーレース”Phaethon 2004”が企画され、5月23～28日に開催された。(大会名となった Phaethon = AEON はギリシャ神話に登場する太陽神 Helios の息子の名前である。)国際自動車連盟 (FIA) 公認のレースとして、1 時間×2 ヒートのサーキットセッションと、5 日間に渡るラリーセッションの 2 種目で争われる。ギリシャでは初となるソーラーカーレースに 10 カ国から 15 チームが出場し、熱き戦いが繰り広げられた。本大会に日本からは日本自動車連盟からの推薦を受けた芦屋大、大阪産大(OSU)、東海大学園 OB チーム、サンレイク東洋紡、そして育英高専の 5 チームが出場した。

### 2. ソーラーカー用太陽電池の動向

1987 年にオーストラリア大陸 3,000km を縦断するソーラーカーレース”World Solar Challenge (WSC)”の第 1 回大会が開催された。そのときに優勝した GM Sunraycer は、変換効率 20%の GaAs 太陽電池を搭載するなど、巨額の開発費を投入して製作された。そして、平均速度 66.92km/h という当時としては驚異的な記録を樹立した<sup>1)</sup>。ところが 2003 年に行われた第 7 回 WSC では、変換効率 27%の InGaP/GaAs/Ge トリプルジャンクション太陽電池を搭載したオランダの Nuna II (図 1) が、平均速度 97.02km/h の新記録を樹立して優勝した。2 位となったオーストラリアの Aurora も、やはりトリプルジャンクション太陽電池と GaAs 太陽電池を混載し、平均速度は 91.90km/h を記録している。さらに、3 位の MIT (アメリカ)、4 位の Queens 大学(カナダ)、5 位の FH Bochum & SBU (ドイツ&イギリス)、6 位の Principia 大学(アメリカ)、7 位の南台科技大学(台湾)までのすべてのチームは、トリプルジャンクションからシングル



図 1 世界最大のアレイ出力を誇る Nuna II

までの GaAs 系太陽電池を搭載している。世界的に見ると、シリコン太陽電池はトップレベルの競技用ソーラーカーから姿を消しつつある状況にある。

日本では、芦屋大が部分的に GaAs 太陽電池を搭載している以外では、依然として単結晶 Si 太陽電池が主流である。これは、国内ではソーラーカーに対する支援体制が海外に比べて弱いことや、GaAs 系太陽電池の国内製品が事実上存在しないことが背景にある。日本で最も太陽電池出力を有しているチームとみられる OSU は、SunPower の裏面電極型単結晶 Si セルを積水樹脂が印刷技術を応用して製作した 20%の変換効率の太陽電池モジュールを搭載している。これに続くのは 18.5%の変換効率の Gochermann 単結晶 Si モジュールを使用した玉川大であろう。このように、日本チームは海外のソーラーカーチームよりも少ない出力の太陽電池を搭載するに留まっている。

ここで、Phaethon 2004 に出場したソーラーカーの太陽電池アレイの種類およびその出力を表 1 に示す<sup>2)</sup>。ここでの出力はあくまでもチームによる公表値であるため、モジュール定格出力の場合であったり、実測値の場合であったりするため、必ずしも実力と一致しない場合もある。公表出力値が明示されていない場合や、明らかにおかしいと思われるものについては、筆者が推定し\*印を付けて修正してある。

\* 東海大学 電子情報学部 エレクトロニクス学科 助教授

表 1 Phaethon 2004 参加チームの太陽電池タイプ、出力とバッテリータイプ

Competitor	Car Name	Country	Cell Type	Output	Battery
Futura	Futura	I	c-Si	1192W	Lead Acid
Sunlake Toyobo	Sunlake	J	c-Si	1080W	Li-ion Polymer
Ashiya University	SkyAce TIGA	J	GaAs & c-Si	1333W*	Li-ion Polymer
OSU/SunPower/Sekisuijushi	Mercury model S	J	c-Si	1300W	Li-ion
Tokyo Salesian Polytechnic	Salesio	J	c-Si	1170W	Li-ion
Tokai Falcon Shoyo	Tokai Falcon	J	c-Si	1200W	Li-ion
University of Patras	Hermes	GR	c-Si	1000W*	Li-ion Polymer
Team Lux Yale Solar Racing	John Lee	USA	GaAs	1840W	Li-ion
Aurora Vehicle Association	Aurora 101	AUS	Triple & GaAs	1600W*	Li-ion Polymer
FH-Bochum & SBU	Hans Go	D&UK	Triple	1850W	Li-ion
Southern Taiwan Univ. of Tech.	Apollo-IV	TW	Double	1500W	Li-ion
Nuon Solar Team	Nuna II	NL	Triple	2100W	Li-ion
Principia College SCT	Ra V	USA	GaAs	1400W	Li-ion Polymer
Heliodet	Heliodet-6	D	c-Si	1200W	Ni-Cd
University of Sao Paulo	Banana	BR	c-Si	1200W*	Lead Acid

以上のような状況にあることから、もし Phaethon 2004 において太陽電池アレイのパワー戦となった場合には、発電電力で劣る日本勢が不利になるものと予想されていた。

### 3. 日本勢が活躍したサーキットセッション

大会前日となる5月22日には、アテネ市中央部のザピオンという建築物の周辺で車検が行われた(図2)。車検は通常の大会と同様であり、車体サイズ、太陽電池面積、車体質量、バッテリー、ブレーキなどの項目がチェックされた。なお、バッテリーについては、96年頃までは酸化銀亜鉛電池が主流であったが、近年ではエネルギー密度に優れたリチウムイオン系(ポリマーを含む)バッテリーが主流となっている。



図2 車検会場となったザピオンの様子

5月23日に行われたサーキットセッションは、アテネ市郊外にある旧ヘレニコン空港滑走路を利用して行われた。第1および第2ヒートを各々1時間ずつ走行し、その合計周回数を競う。第1ヒートのスタート時刻は11:00であり、第2ヒートのスタート時刻が17:30であるため、第1ヒート終了後の充電時間は5時間以上もある。晴天であれば、バッテリーは満充電まで回復できるであろう。したがって、バッテリーを1時間で使い切る戦術が必要となる。このような場合、通常のソーラーカーレースであれば、スピードを上げて消費エネルギーを増やし、バッテリーを使い切ろうと考える。しかし、滑走路を往復するコースであるため、折り返し点では速度を落とさなくてはならず、思うように速度を上げることができない。また、タイヤやブレーキの負担も増大するのでパンクやブレーキシステムの過熱が問題となる。世界的には、WSCのような直線路主体のコースをクルージングするように設計されたソーラーカーが多いため、空力性能を最優先に考えるケースが多く、これまではコーナリング性能やブレーキ性能はそれほど重視されていなかった。しかし、日本には1992年から続いているFIA公認「Dream Cup ソーラーカーレース鈴鹿」が存在し、日本勢は元来サーキット走行に対応できる性能を有していた。テスト走行で、タイヤの耐久性に問題点があることを見抜いた日本チームは、あえて転がり抵抗が少ないソーラーカー専用タイヤを外し、通常のオートバイ用タイヤに換装するなどの対応措置をとった。対策が行えずにパンクに悩まされたチームが多く、台南科技大に

至ってはタイヤがバーストして転倒するような場面も見られた(図 3)。さらに、鈴鹿サーキットでの走行経験が豊富なドライバーの運転技術も有利に働き、芦屋大、OSU、東海大学園 OB チームがサーキットセッションの表彰台を独占した(図 4, 5)。ここで、表彰台に登った日本の 3 チームのいずれもが、厳しい走行が予想された Phaethon 2004 に対応できるように、ミツバが特別に製作したプロトタイプ DD モータを採用していたことも、好成績に大きく貢献したと考えられる。



図 3 タイヤがバーストして転倒した台南科技大



図 4 サーキットで首位を争った芦屋大と OSU



図 5 サーキット 3 位と健闘した東海ファルコン

#### 4. 公道で繰り広げられたラリーセッション

5 月 24～28 日の 5 日間は、ギリシャ国内を周遊するラリーセッションが開催された。

これまで、一般道を利用したソーラーカーレースは、一般車両との事故を防ぐために、コースを閉鎖してソーラーカーのみの走行にするか、交通量が極めて少ないコースを利用していた。しかし、ギリシャで初めてソーラーカーレースを企画したオーガナイゼータちは、そういったソーラーカー業界の常識にとらわれず、通常の自動車のようにソーラーカーを扱ってしまったように思える。全長×全幅が 5×1.8m という乗用車並の大きさのソーラーカーは、車体質量が 140～200kg 程度であり、運動エネルギー的にはオートバイに近い。したがって、安全性のレベルに関しては 4 輪並か 2 輪並のどちらに設定すべきかで意見が分かれている。したがって、一般道を利用したレースの開催は、危険すぎるという意見もあれば、むしろこれまで特別扱いしすぎたという意見もあった。1980～90 年代にあったのろのろと走るイメージとそろそろ決別して、新時代のソーラーカーのスタイルについて模索すべき時期が来たように思える。

ここで、ラリーコースについて図 5 に示す。LEG1～5 の 5 日間で全長約 800km を走ることになる。1 日あたりの走行距離は長くても 200km 程度であり、現代の競技用ソーラーカーにとっては、短く感じるほどの距離である。このラリーは、一般車が走行する公道を走行し、所定のタイムコントロールポイントに遅滞することなく到着しなくてはならない。さらに、この移動中に一般車両をシャットアウトしてタイムアタックを行うスペシャルステージが 1 日 2 回行われる。これらの総合結果により勝敗が決定されるはずであった。しかし、計時システムの不具合などの理由により、タイムコントロールにおける遅延時間は加味されず、スペシャルステージの走行時間の総計のみで勝敗を決めるという方法に、レースの途中で変更されてしまった。

さて、激しいデッドヒートが繰り広げられた前日のサーキットセッションであったが、実は最強のレイパワーを誇る Nuna II は、ラリーセッションをターゲットとしていたため、サーキットセッションには、エントリーしていなかった。ラリーセッションでは、Nuna II をはじめとする GaAs 系太陽電池を搭載したハイパワー車の動向に注目が集まった。

ラリー初日となる LEG1 は、アテネを出発し港町パトラまでの 220km を主に高速道路を利用して移動した(図 6)。海沿いで風も強かったことから、トラックと並んだときの横風で車体がふらつくような場面も見られた。



図 5 ギリシャ国内 800km を周遊する Phaethon 2004 のラリーコース



図 6 一般車に混ざって高速道路を走行する Yale 大ソーラーカー

LEG2 はパトラから、古代遺跡で有名なオリンピアの街までの 134km を移動した。距離は短いものの、内陸の山岳地帯を通過し、多くのカーブを曲がりながら高低差 700m を超える峠を越えなくてはならない。スペシャルステージでは、ガードレールの無い区間もあり、一歩間違えば谷底に転落してしまいそうな心配もあった(図 7)。モーターパワーが不足して坂を登れないソーラーカーがトラックで搬送される場面も一部あったが、ほとんどのチームは無事オリンピアまで到着した。

LEG3 は、オリンピアからパトラまでを海沿いの高速道路で戻り 185km のコースである。前日の LEG2 ほどではないものの、緩やかなアップダウンが続く。しかし、とくに問題もなく走行することができた。高速道路でも、しっかりと通行料金を徴収され(図 8)、トンネルを通過することもあった(図 9)。途中のスペシャルステージに向かうときは、一般道を走行したため交差点では信号待ちで停車する場面もあった。

LEG4 は、パトラから対岸のアンティリオまでフェリーで移動し(図 10)、古代遺跡で有名なデルフィまでの 173km のコース。距離は短いものの登坂が最も厳しいと予想された区間である。10km で 700m 近くを登るこのコースでは、急勾配に対してパワーが不足するなど、ソーラーカーを手で押し上げるチームもあった。



図 7 山岳地帯を走行するソーラーカー



図 8 高速道路料金所を通過するソーラーカー



図9 トンネルを通過するソーラーカー

徐々に引き離していった。とくに最終日となった LEG5 のSS10において、芦屋大のSkyAce TIGAは最高速度が150km/h以上に達し、サポートするオートバイを引き離すなど、従来のソーラーカーでは考えられないようなパフォーマンスを見せつけた。そして、サーキットセッションに引き続きラリーセッションでも優勝することができた(図12)。僅差の2位となったOSU以降の後続は、トップ集団から大きく引き離されたが、その中で Principia 大学が3位という好成績を残した。



図10 フェリーから降りた育英高専のサレジオ



図12 優勝を喜ぶ芦屋大学チームのメンバー

最終日となる LEG5 は、デルフィの麓にある港町イテアから、アテネに戻る 110km のコース。スタート後には大きなアップダウンがあるものの、LEG4 に比べると容易なコースである。しかし、アテネ近郊に近づくにつれ交通量が増え、渋滞に巻き込まれる(図11)。若干のハプニングはあったようだが、すべてのソーラーカーが無事フィニッシュラインまで到着した。

## 5. ソーラーカーの分岐点

これまで、長時間を走行するマラソンのようなレースが主であったソーラーカーレースが多かった。Phaethon 2004のように、1日あたりの実質的な走行時間が短縮されることで、使用できる電力が増大した。その結果、従来のソーラーカーレースでは考えられないほど高い速度域に突入することとなった。今回の公道を走行した Phaethon 2004 が無事に終了したことで、世界トップレベルにあるソーラーカーは、オートバイ並の巡航速度と安全性を実現したといえるのではないだろうか。自動車レース業界からは特別扱いされてきたソーラーカーであったが、今後は運動エネルギーの大きさが近いオートバイレースと同程度の基準で運営できるのではないかと私見をもった。その一方で相変わらず、初心者が製作したソーラーカーの中には、動くのがやっとというレベルのものも存在している。これらが、同一のコースを走行することは速度差が広がりすぎているので、無理があると考えられる。したがって、一定の条件下であれば公道も走行できる競技用ソーラーカーというハイエンドを目指す一方で、速度や製作コストを下げるために太陽電池アレイ出力を制限したカテゴリーの設定や、定置型太陽電池アレイと電気自動車を組み合わせたシティコミュータのカテゴリーなど、様々な方向性を考え



図11 アテネ近郊の渋滞

10ヵ所あるスペシャルステージは、芦屋大が驚異的なタイムを次々と叩き出し、その後を追う2位のOSUを

えなくてはならない時期に到達したと感じた。

## 6. おわりに

アテネオリンピック文化事業ソーラーカーレース”Phaethon 2004”がギリシャで5月23～28日に開催され、大会の様や最新ソーラーカーの動向について紹介した。レース結果は、コーナリング性能に勝る日本勢が健闘し、サーキットセッションにおいては表2に示したように芦屋大、OSU、東海大学園 OB チームが表彰台を独占した。(表中の速度は平均速度であり、トップスピードは100km/hを超えている。)なお、芦屋大とOSUは同一周回数で4.5秒差という僅差で勝敗を分けた。また、ラリーセッションでも表3に示したように芦屋大とOSUが接戦を繰り広げた結果、それぞれ1,2位となり、Principia大が3位に入賞した。最後に、Phaethon 2004の成功を機に、次回北京オリンピックでも同様なソーラーカーレースを開催することを目指し、FIA等を中心として調整が進められることになったことを付記しておく。

表2 Phaethon 2004 サーキットセッション結果

P	Competitor	Car Name	Country	Lap	km/h
1	Ashiya University	SkyAce TIGA	J	66	88.63
2	OSU/SunPower/ Sekisuijushi	Mercury Model S	J	66	88.57
3	Team Tokai Falcon	Falcon	J	54	70.19
4	Aurora	Aurora 101	AUS	53	70.43
5	Principia University	Ra V	USA	52	68.81
6	Salesian Polytechnic Tokyo Ikuei Kosen	Salesio	J	45	59.42
7	FH Bochum - London SBU	Hans Go	GB &D	40	53.97
8	Associazione Futura	Futura	I	38	49.82
9	University of Patras	Hermes	GR	30	44.46
10	Team Lux - Yale Solar Racing	John Lee	USA	30	38.97
11	Southern Taiwan U.T.	Apollo IV	TW	13	73.94
12	Petrobras/USP	Banana	BR	11	29.56
13	Team Sunlake	Sunlake	J	6	71.43
14	Heliodet	Heliodet	D	1	30.31

表3 Phaethon 2004 ラリーセッション結果

P	Competitor	Car Name	Country	Total
1	Ashiya University	SkyAce TIGA	J	33:02
2	OSU/SunPower/ Sekisuijushi	Mercury Model S	J	34:29
3	Principia University	Ra V	USA	42:49
4	Southern Taiwan U.T.	Apollo IV	TW	43:20
5	Nuon Solar Team	Nuna 2	NL	43:56
6	Aurora	Aurora 101	AUS	43:57
7	Team Lux-Yale Solar Racing	John Lee	USA	45:04
8	Team Tokai Falcon	Falcon	J	50:09
9	Salesian Polytechnic Tokyo Ikuei Kosen	Salesio	J	52:49
10	FH Bochum-London SBU	Hans Go	GB& D	53:48
11	Team Sunlake	Sunlake	J	1:08:31
12	Associazione Futura	Futura	I	2:13:41
13	Heliodet	Heliodet	D	2:37:10
14	University of Patras	Hermes	GR	4:12:32

## 参考文献

- (1) David M. Roche, Antony E. Schinckel, John W. Storey, Clive P. Huphris, Michelle R. Guelden: “Speed of Light: The 1996 World Solar Challenge”, Intl Specialized Book Service (1998) 12.
- (2) “Solar Car Race Phaethon 2004”, Hellenic Institute of Electric Vehicle (2004) 28-63.

## 筆者紹介

木村 英樹 (きむら ひでき)

1994年9月 東海大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期修了。

1995年4月 東海大学工学部電子工学科助手。

2002年4月 東海大学電子情報学部エレクトロニクス学科講師を経て助教授。

現在に至る。

