

和歌山大学学生自主創造支援部門（クリエ） クリエプロジェクト

<2023 年度ミッション成果報告書>

プロジェクト名：和歌山大学ソーラーカープロジェクト

ミッション名：Bridgestone World Solar Chareng2023 での完走を目的とした新車体の製作

ミッションメンバー：経済学部 2 年野谷帆香,システム工学部 3 年浅井紀海,システム工学部 4 年溝口智規,システム工学部 4 年生田所遥斗

キーワード：BWSC リチウムポリマー バッテリー ソーラーカー エネルギーマネジメント

1. 背景と目的

和歌山大学ソーラーカープロジェクトは発足して約 20 年、国内のソーラーカーレースで多くの結果を残してきた。国内で安定的に上位に入ることができるようになってきた 2015 年頃、私たちは新たに世界最高峰のソーラーカーレースと呼ばれる Bridgestone World Solar Challenge 2023（以下 BWSC）に出場し、完走するという目標を掲げた。

うめ☆号では、ソーラーカーレース鈴鹿や白浜 ECO-CAR チャレンジなどの大会に出場してきた。これらの大会は 3～5 時間の耐久レースであり、オーストラリアの公道を 5 日間で約 3000 キロ走る BWSC とは大きくレースの形式が異なっていた。そのため、速度より長く走り続けること意識した新たな車体とバッテリーの設計、製作が必要となった。

この大会を出場・完走するためには、車体の耐久性とバッテリー性能の信頼性が求められる。車体の耐久性を上げるために車体の一番外側であるカウル部分をカーボンで製作する必要があった。また、バッテリーも長く走り続けられるようなものを検討した結果リチウムポリマー電池が最適と考えられた。

本ミッションは BWSC に出場、完走するため、レギュレーションを満たしつつ、長距離で気温差の激しい環境下でも耐えることのできる設計、製作を行うことを目的とする。

そのために、BWSC を意識した車体の設計を行ったり、資金調達に励んだりすることについて 2023 年の BWSC に出場することができた。

2. 活動内容

2.1 バッテリーの直列数の決定

まず、今回参戦した BWSC ではレースの総消費のうちソーラーパネルからの発電量が 9 割以上を占める。そのため、電気系システムを含めたバッテリー電圧はソーラーパネルの発電量を最大限にできるような設計が必要になる。ここでは、①ソーラーパネルの配置、②カウルの設計、③MPPT の設計、の 3 点のバランスを取りバッテリーの直並列数を決定していく。

2.2.1 カウルの設計とパネル配置

BWSC のレースの特徴として、基本的に北から南を走り続けるため、レース中の 8:00～17:00 では太陽を背に向けて走ることになる。そのため、できるだけ影にかからず走行をするにはキャノピーより後ろのセルを増やし、安定した発電量を実現する必要がある。

モノハルでは、今回は SunPower セルを使用したため 125mm×125mm（セルカットなし）にセル間隔を 1mm として、126mm の倍数から横幅を考えていく。前面投影面積を考慮した空力設計とソーラーパネルの配置可能面積を考慮すると、横幅のサイズはソーラーパネルを横 9 列か横 10 列で設計していくのが良いと考えた。9 列で設計した方が前面投影面積の削減から空力性能の向上が見込めるが、今回のフレームの位置ではキャノピー後ろのセルは 144 枚、10 列では 158 枚になる。9 列にするとカウル先端のパネル枚数も増え、発電量がかなり少なくなると考え、横 10 列、横幅 1300mm で設計することにした。（図 1）

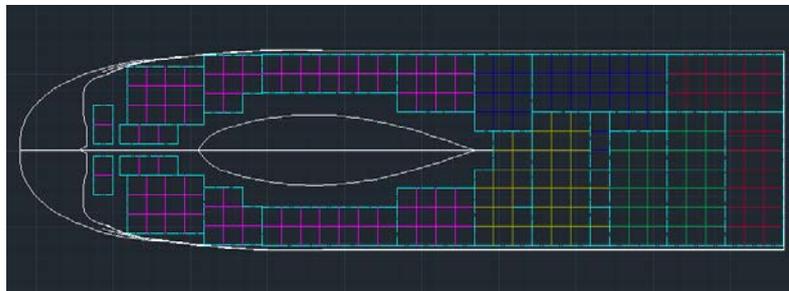


図 1：2023 年製作 Orca のパネルの配置

2.2.2 MPPT 設計とバッテリー一直並列数の決定

MPPT 設計では、影のかかりにくいキャノピーより後ろのセルとキャノピー周りのセルに分けて考えた。キャノピーより後ろのセルでは柏会製の MPPT（図 2）を 4 分割、キャノピー周りのセルでは波越エレクトロニクス製の MPPT の合計 5 分割で設計した。

ここでの変数は、MPPT の数、MPPT の昇圧率、キャノピー後ろのセル枚数(今回は 2.2.1 で決定した)、バッテリー電圧とし、昇圧率を最小にすることを最終目標にする。結果として、バッテリーは 28 直 9 並列、MPPT4 つでソーラーパネル 158 枚分を昇圧するのが一番昇圧率が小さくなった。

28 直での最大電圧は $4.25 \times 28 \text{ 直} = 119\text{V}$ 、最小電圧は $3 \times 28 \text{ 直} = 84\text{V}$ のため、ソーラーパネルだけの電圧を 120V に設定した。そのため 1 つの MPPT あたり 30V になるように昇圧を行う。1 セルの電圧は 0.63V のため、39 枚だと 24.57V、41 枚だと 25.83V になるため、それぞれの昇圧率は 1.22、1.16 となった。（図 3）これらを考える際の注意点は柏会製の MPPT には 23V~37V の範囲内で設計する必要がある。

キャノピー周りのセルでは、波越エレクトロニクス製の MPPT1 つで全てを昇圧し、影がかかった状態でも 119V を超えて発電できるように設計した。

KW-MPPT 仕様	
最適太陽電池 (1000W/m ² 値)	開放電圧: 10V-30V以内 短絡電流: 6.5A以下 (ピーク 7.5A以下) 最大出力: 125W以下
昇圧出力電圧	入力電圧 × 1.1 以上から上限電圧まで 上限電圧調節範囲: 23 - 37V
推奨昇圧比範囲	1.1 - 3 (Vout/Vin)
効率	最大 99% 以上 (Vout=34.5V, 昇圧比: 1.15 時)
本体消費電流	4.5mA (無負荷)
基板サイズ	90(W) × 40(D) × 19(H)mm (端子台実装時、Hは端子台高さ)
取付ネジ穴ピッチ	82mm × 32mm (φ 3.4mm、M3サイズ)
重量	42g (ヒートシンク含む)

図 2：MPPT 仕様書

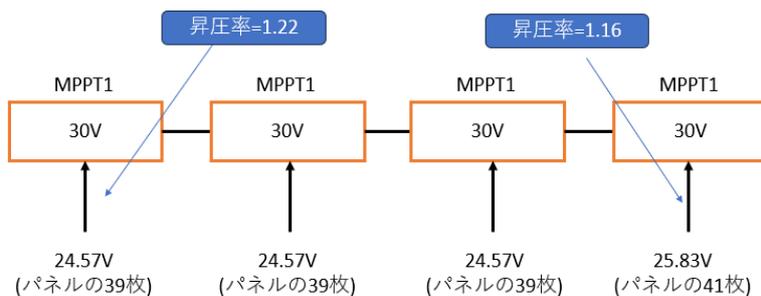


図 3：MPPT 設計のプロセス

2.2 エネマネ手法の模索

ここでは、3000kmの完走を目指したバッテリーのエネルギーマネジメント計画を考える。街の区間ごとにエネルギーマネジメントをし、総走行距離と総走行可能時間、CS(コントロールストップ)での待機時間、走行中と朝夕の発電量を考慮し、巡行速度を決定していった。この段階では初挑戦ということもありデータが少なかったため発電量はソーラーパネルの効率から予測した。車体の走行消費は旧白浜空港滑走路で走行して得たデータを参考にした。それらを Excel で組み、自動で計算できるようにし、レース中にも応用して使用できるようにした。(図4)

日	出	着	区間距離	合計距離	day 合計	CS時間	出	着	km/h	時間	到着時刻	close time	予別	走行エネルギー消費Wh	発電量Wh	発電量kw	バッテリー残量Wh	%
10月22日	1日	Derwin	ADL River	113	113			10:00	11:45	65	1:44	11:44		1888	673	1167	4838	95.6
		ADL River	Pine CK	214	227		4:55	11:45	13:30	65	1:45	13:30		1401	699	1217	4854	92.0
		Pine CK	Katherine	90	317			13:30	14:35	65	1:03	14:35	日 17:00	1115	621	869	4398	86.9
		CS1						14:35	16:25	65	0:30	16:25		95	538	269	4691	91.5
		Katherine	Mataranka	104	421		1:55	16:25	17:00	65	1:35	17:01		1284	390	623	3970	78.5
10月23日	2日	夜発電												95	508	508	4524	89.6
		印刷発電												95	508	508	5092	100.6
		Mataranka	Larimah	75	496			9:00	9:10	65	1:09	9:09		933	865	421	4856	90.7
		Larimah	Daly Water	87	583		9:15	9:10	10:30	65	1:20	10:30		1076	993.88	792	4302	85.0
		Daly Water	Dummarra	48	631			10:30	11:15	65	0:44	11:14	日 15:00	608	657.09	482	4176	82.5
		CS2						11:15	11:45	65	0:30	11:48		95	687.95	344	4484	88.5
		Dummarra	New castle WT	77	708			11:45	12:55	65	1:11	12:56		959	709.5	835	4360	86.2
		New castle WT	Elliot	25	733		9:15	12:55	13:20	65	0:23	13:18		335	885.314	263	4287	84.8
		Elliot	Renner Springs	91	824			13:20	14:45	65	1:24	14:44		1128	820.828	869	4029	78.6
		Renner Springs	R-T泊車	145	969			14:45	17:00	65	2:13	16:58		1763	989.65	854	3127	51.8
	夜発電												95	508	508	3691	73.0	

図4：実施のエネマネマップの一部

2.3 車体の耐久性の向上

BWSC では今まで参戦してきたソーラーカーレース鈴鹿と違い、3000kmを走れるだけの耐久強度が必要になる。また、オーストラリアの路面はサーキットとの環境とは大きく異なり、路面も悪環境である。そのため、今回はカーボンカウルに初挑戦し、強度向上を車体コンセプトの一つとした。

今までは発砲系の素材でカウル製作をしてきたが、より強度が必要になることから初めてフルカウルの製作に挑んだ。カウルのCFRP成型には5mの一体型からハンドレイアップ成型(ウェット積層)で行った。

まず、今回の型の削り出しはミタテ工房様にスポンサーとしてご協力をいただいた。削りだされた型を接続し、パテで表面処理しサフでコーティングを繰り返す。水研ぎまで終わると、雌型製作にむけて割り立てと離形処理を行う。(図5) 割り立てには建築用のバックアップ材にアルミテープを張り付ける。この割り立ては真空状態にする際のシーラントテープを貼る場所になるため大きめに取っておくほうが良い。今回は50mm取ったが十分とは言えず真空にする際に苦労をしたので倍の100mm以上は必ず取っておきたい。離形処理にはボンリース、リンレイ(油性ワックス)、PVAをそれぞれ個別に2~3回繰り返した。最後にゲルコート塗布する。



図5：割りたての様子

次に雌型の製作について。カウルの抜き勾配の関係からアッパー部分1分割ととロア部分が2分割の合計3分割にて雌型をつくっていくことにしたが、次の工程でカーボン積層する際に先端部分が上手く真空引きできない可能性をご指摘いただき4分割で割ることになった。

雌型の 1.2 層目にはサーフェスマットを凸凹にならないように丁寧に積層していく。この層が型から抜いた時の表面になる。3 層目以降は強度を出すのが目的となるためガラスマットをポリエステル樹脂で硬化させていく。ガラスマットは 4~5 層にした。最後に格子状の木枠も一緒に積層し、真空引きした際に雌型が歪まないように補強する。(図 6) 数人で作業を進めたが故に最後まで終わらず 2 日に分けて作業することもあった。

硬化が終われば型から外し、雌型に残る凹凸をパテで修正してから離形処理まで同じ工程で行う。カーボン、リリースフィルム、バキュームパック、ハニカム(コア材)、ブリーザークロス等の副資材のサイズ調整も前もって終わらせ、順に積層していく。コア材はペーパーハニカムを使用した。アッパーには全面、ロアにはハニカムが曲げられる範囲内で厚み 5mm のものを使用した。



図 6：雌型製作の様子

3. 活動の成果や学んだこと

結果は、レース 3 日目、987km 地点(TennantCreek)に到達することができたもののコントロールストップ閉鎖時間までに間に合わず、公式記録 632km 地点(Dunmarra)にて今回の挑戦を終えることとなった。そもそものマシンのスペック不足や、電気系のトラブルやアームの破損などレース前にトラブルを出し切ることができなかつた故のトラブルが多かつたことが反省として挙げられるが、車検にも合格でき約 1000km もの距離を走破できたことは、次に生きる経験になったと考える。また、活動を通じて技術的な知識や経験はもちろんのこと、学生自主プロジェクトでのチーム運営は社会に出た時でも生きる経験となった。

4. 今後の展開

本ミッションで BWSC2023 完走に向けて製作した Orca は、2024 年 10 月に開催される白浜 ECO-CAR チャレンジ 2024 (以下白浜大会) に出場し、総合優勝を獲得するために改修を行っていく。さらに、Orca を用いてレース経験を積みながら、BWSC2025 で出場、完走、そして Top10 入りという新たな目標を達成できるように、新車体の製作に取り組む。この目標を達成するために、新体制で一からソーラーカーを設計製作することで、当プロジェクトのものづくりレベルの向上やわかやまのものづくり業界を発展させていくことに繋がると考える。

5. まとめ

今回のミッションでは、BWSC 完走を当プロジェクトの目標として掲げ、車体の耐久性やパネルの配置を考慮したバッテリーシステムに着目し活動を行った。また、BWSC 完走に不可欠なエネルギーマネジメントの計画も行った。活動の成果としては大会 3000km のうち 987km の走行でリタイヤとなり悔しい結果となったが、次の挑戦を目指す上で必要なデータや経験を得られたと考える。

6. 発表実績

- ・「和歌山大学ソーラーカープロジェクト～和歌山から世界へ～」柑芦会 (2023.11.18)
- ・「2023 年度活動成果報告、2024 年度活動計画報告」協賛企業向け活動報告会 (2024.1.25)
- ・「BWSC2023 初挑戦に向けた 4 輪ソーラーカー”Orca”の開発」日本太陽エネルギー学会 (2024.2.24)
- ・「和歌山大学ソーラーカープロジェクト～和歌山から世界へ～」Fab Meetup Kyoto (2024.3.6)