

人力ハイブリッド EV とソーラーステーション

Solar Station and Human Powered Hybrid Electric Vehicle

山本久博*・柳原健也**‡

1. はじめに

1993 年から始まった WSR・WSBR・WEM の創成期から関わってきた当チームは、3 年前からペダル発電と据え置き型太陽電池“Solar Station”を使う EV に挑戦しています。そして新しい発想として“ドライブする人間を元気にするマシン”を追求しています (Fig. 1)。これは自転車よりも負荷の少ないスポーツギヤの位置付けです。その背景には、ソーラーカーの競技も記録や性能だけを競うものから、次の何かを目指す時代に入ったと感じたからです。



Fig. 1 New idea born from solar car race. Proposal to make a car to cheer up the driver. Let's change fat into electricity and run,!!!

2. 社会的な背景 (高齢化と健康寿命他)

高齢者が元気に生活する健康寿命の増進が求められています。これは日本全体が取り組むべき緊急課題でもあります。その過程で効果が認められているのは、適度な運動と足腰の強靭化で、高齢者でも安全に走行が出来る 3 輪 or 4 輪のペダルカーにはその可能性を見出しています。

一方、近年多発している自然災害では生活インフラとしての電力の供給が重要な課題です。もちろん太陽電池モジュールは災害時の電力供給には非常に

重要な設備ですが、今回提案したペダル式の発電機も人間が発電できる優秀なツールで、停止状態で 100 Wh ~ 200 Wh 程度の電力をいつでも必要な時に自分で作り出すことが可能で、非常用電源としても価値があります。

3. JonaSun の概要

全長：	3890 mm (2 座連結時)
全幅：	900 mm
重量：	65 kg
車輪：	先導車両 - 3 輪 (20 inch) 被牽引車両 - 2 輪 (16 inch)
ベースフレーム：	米国 CATRIKE 社製アルミフレーム
発電機：	ミツバ製プロトタイプ (先導車 - ダイレクト, 被牽引車 - ギヤ式)
モータ：	ミツバ製プロトタイプ (ダイレクトドライブ)
コントローラ：	小野塚精機製 (型式 -OMC4850 × 3 台)
積算計：	小野塚精機製
バッテリー：	リチウムイオン (再輝製 WSBR 用 1 kg × 2 個) を 2 set 使用
Solar Station：	AISES 製モジュール (UL-300M) Maximum Power 300 W Maximum Power Current 8.18 A Maximum Power Voltage 36.7 V
MPPT：	Namikoshi 製・降圧型 (PT-209)
充電用積算計：	Namikoshi 製 (AH-703)

TeamJonaSun がこれまでに作ってきたマシンに

* ソーラーカーチーム Jona Sun

** 小野塚精機株式会社 (〒 370-3513 高崎市北原町 853)

‡ e-mail: support@onozka.com

共通しているのは、Fun to Drive のコンセプトです。運転するのが楽しいマシンを追求してきました。今回も連結式の2座のマシンで、高速走行には不向きであるものの、二人で力を合わせて走る楽しさは、これまでのソーラーカーレースの世界にはなかった新しい魅力の発見です。ペダルの発電にはトルク可変のダイヤルが装備されて老若男女にかかわらず、自分の脚力にあった適度な発電量の設定が可能です。走行の速度は搭載しているバッテリーの残量と二人の脚力を見ながら計画的に走行する楽しさがあります。

4. 走行の実績（速度・体重・年齢と消費エネルギーの関係 etc）

次表の走行データからいくつかの興味深い数値を拾ってみます。レースは3日間で22周、合計550kmを走行しました。

＜その1＞①と②は同一ドライバーの周回のデータです。ラップタイムと消費エネルギーはほとんど同一です。大きく違うのはパッセンジャーが①は20才の男子で②は53才の女性で、チーム合計年齢が81才と114才、そして合計体重が135kgと110kg

Table 1 Running data

Lap	Lap Time <25km/周>	バッテリー消費量	搭乗者2名の 合計年齢	搭乗者2名の 合計体重
1日目				
1	48min	162Wh	121才	105kg
2	63min	160Wh	73才	135kg
3	43min	250Wh	116才	120kg
4	54min	143Wh	121才	105kg
5	57min	185Wh	80才	115kg
6-A ①	44min	240Wh	81才 男・男	135kg
7	62min	120Wh	137才	115kg
	(平均 53.0min)	(平均 181Wh)		
2日目				
1	53min	182Wh	70才	135kg
2-A ②	43min	239Wh	114才 男・女	110kg
3-B ③	50min	185Wh	137才 男・女	115kg
4	48min	264Wh	73才	135kg
5	50min	182Wh	77才	120kg
6	58min	144Wh	101才	110kg
7	55min	161Wh	86才	140kg
8	61min	120Wh	137才	115kg
	(平均 52.3min)	(平均 184Wh)		
3日目				
1	54min	143Wh	121才	105kg
2	49min	178Wh	138才	120kg
3	56min	135Wh	73才 男・男	135kg
4	56min	167Wh	77才 女・女	120kg
5-B ④	49min	145Wh	137才 男・女	115kg
6	55min	145Wh	73才	135kg
7-B ⑤	50min	162Wh	137才 男・女	115kg
	(平均 52.7min)	(平均 153Wh)		
合計	19時間 18分	3,812Wh		
22周	550km	173Wh/周		

Fig. 2 脂肪を電気に代えて走る・・・のキャッチフレーズはこんな特徴を表す意味を込めて掲示したものです。



Fig. 2 World Green Challenge 2018

です。ここで分かるのは体力的に劣る女性でしかも33才の年齢差がありながら同じ水準で走行が可能なことです。

＜その2＞③と④と⑤は同一のドライバーとパッセンジャーのチームで、ラップタイムもほぼ同じ50分・49分・50分です。特筆すべきは④では速く走りながらも消費が一番少ない、まさに成績の良い走りであった事を証明しています。実はこの周回がこの日の最終ラップに入るための調整のラップとなる為に、ペダルによる発電すなわち人力(67才&70才)が頑張った結果です。このことから、体力的に劣るシニアでも快適なレース走行が楽しめるスポーツギアであることがわかります。そして健康なシニアを目指すためにも、無駄な贅肉を落とすことはマシンの性能を上げるための大きな要素となります。

5. 太陽電池と充電システム

地元の太陽電池メーカーであるAISES社から、一般的な屋根用の太陽電池モジュール<UL-300M>を提供していただき、ピット横にソーラーステーションを設置しました。前述のデータ表でも分かるように、1周あたり約180Wh程度の消費になることから、ソーラーステーションでは前の周回で使用したバッテリーの消費分の補充電が可能になります。Fig. 3はソーラーステーションとして定期的に太陽の位置を確認して角度を手動で調整します。Fig. 4はMPPTと積算計とクランプテスターでバッテリーの最大充電電圧を取扱説明書通りに29.5Vに設定し、最大充電電流はクランプテスターで常時9A以下をキープするように監視しました。Namikoshi製の積算計で充電開始からの充電量を数値でも確認するため、バッテリーのエネルギー残量に関してはかなり精度の高い走行計画を立てられま



Fig. 3 Solar Station



Fig. 5 Li-ion Battery



Fig. 4 Measuring Voltage

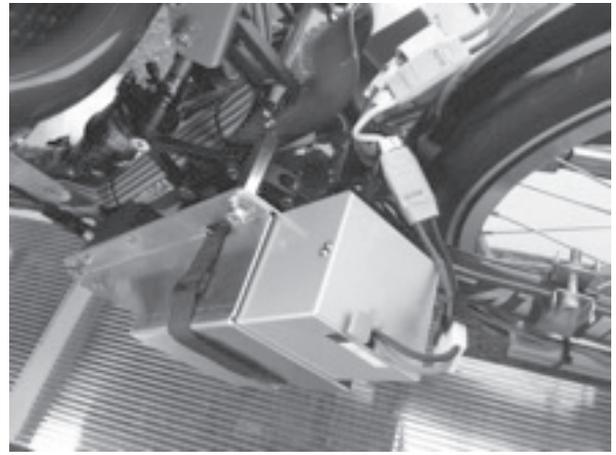


Fig. 6 Mounting Position

す。

6. バッテリー

下記バッテリーを2個直列で搭載し、前項目で述べたように2 set を交互にピットに設置した太陽電池で充電します。周回ごとにバッテリーを載せ換えることから、バッテリーのケースは丈夫なアルミ製の市販のケースを導入し、防水性と耐候性の向上にも配慮しています (Figs. 5 - 6)。このケースはセミオーダーと言えるほど細かいサイズが選べる為、リチウムイオンバッテリーのケースとしては大変信頼性の高い選択でした。同時に、近年のレースではバッテリーの安全面が叫ばれていることから、堅固なケースやBMS (バッテリー・マネージメント・システム) の装着は必須と考えています。

再輝製 WSBR 適合リチウムイオン電池
 平均電圧：26.6 V, 9000 mAh を2直列
 (53.2 V × 9 Ah = 478.8 Wh)
 1set 478.8Wh のバッテリーを2 set 使用

(合計 957.6 Wh)

連続最大放電電流： 18 A
 連続最大充電電流： 9 A
 最大電圧： 29.5 V (2直で 59 V)
 最低電圧： 17.5 V (2直で 35 V)

7. チーム Hans Sun と秋田大学の取り組み

ソーラーカーレース WSC の創設者として世界的に知られる Hans Tholstrup 氏が2017年夏にWGCの来賓として大潟村を訪問した際、人力ハイブリッドマシンのコンセプトに共感し、自らもオーストラリアの Green Speed 社製のリカンベントトライクのフレームをミツバ社に送り込み、ペダル発電機のシステムを組み込む事になりました。Hans 氏が目指しているのは将来、オーストラリアの砂漠を快適に走る人力ハイブリッドマシンです。

駆動にはチェーンやベルトを使わないで Jona Sun と共通のペダル式発電機とダイレクトドライブモータを搭載し、日除けを兼ねた太陽電池のルーフ (100 Wh) を装備するのが特徴です。今年の WGC



Fig. 7 Team Hans Sun

ではバッテリーは Jona Sun と同様に再輝製のバッテリー 4 個 (4 kg) を採用しましたが、こちらは 2 set ではなく 4 個全てを同時に搭載しました。

実際には Hans 氏自身は大会直前に自国で自転車の走行中に、追突事故に遭って骨折し来日が叶いませんでした。しかし“Team Hans Sun”は合同チームとして高齢化対策に取り組んでいる秋田大学と、Team JonaSun が出走をサポートし、秋田大学の元副学長の神谷教授 (65 才) と学生らが搭乗、グリーンフリートチャレンジで見事に優勝。人力ハイブリッド EV の可能性を世界に発信してくれました。

8. 次に目指すもの

当チームは世界の最先端の技術を競う開発者や学生たちが挑戦する場をお借りして、素人でも同じ時間を共有出来る楽しさを伝えてきました。2007 年の WSC では玉川大の小原教授の協力を得て水素搭載のハイブリッドマシンで 3,000 km を走り抜きました。しかもエアーズロック (現地名 Ululu) で走るというご褒美まで頂戴し、アマチュアによるソーラーカーレースの楽しみ方を実践させていただきました。



Fig. 8 3,000 km Challenge for Fuel Cell and Solar Hybrid Car in 2007

アマチュアチームが言葉にするのはおこがましいのですが、これから我々が目指さなければならないのは、ソーラーカー技術の熟成もさることながら、エンジニアだけでなく地球上に暮らす全ての人たちが、元気に未来を描くための新しい考え方を広めることだと考えます。開発者は今後も更なる技術革新を進めていくはずですが、その技術は誰のために、そして何のために活かすのか、それが重要になってくるはずです。

人間は高齢者となっても社会の弱者ではなく、むしろ多くの経験を活かす知恵袋的存在であるべきだと考えます。そして車は時速 200 km で道路を疾走する必要はありません。むしろ 60 km/h でワインディングロードを快適に駆け抜ける方がはるかに魅力的です。そして静かにゆっくりと読書をしている間に秒単位の正確さで 200 km/h 超で移動する新幹線の技術をすでに我々は手にしています。さらにもっと速く遠くに行きたければジェット機が十分な速度で我々を地球の果てまで連れて行ってくれます。

WSR が始まる前年、1992 年の国際宇宙年には、既に日本国内にもスペースプレーンの開発計画があり、開発担当者の舞田博士から 2020 年には空気液化サイクルエンジン (当時はエアリキッド・ラムジェットエンジンと呼んでいたと記憶しています) の技術で実現が可能であると聞いたことがあります。その時に秋田県に発足した AASA 秋田宇宙航空産業推進委員会 (AKITA AEROSPACE ASSOCIATION) の委員長は秋田大学名誉教授でこの後に WSR を育て上げた能登文敏氏です。会員の一人には現在の佐竹知事が県の課長時代にメンバーとして名を連ねていました。この組織 AASA の活動が大潟村のソーラーカーラリー・WSR を実現し 27 年後の現在に至っています。

その組織の FS 調査の一環で当時六本木に事務所を構えていた糸川英夫博士を訪ねた事があります。そこで博士が私たちに口を開いた事で今でもしっかりと覚えているのは、これからの人類は技術を高めるだけでなく、健康で心豊かに暮らせるようにしなければならない。それを実践するためにご自身はクラシックバレエを始めた。そして「音楽の世界でもバイオリンの名器といわれるストラディバリウスを超えるものを作っている、楽しいでしょ・・・」と悪戯っ子のように瞳を輝かせていたのが魅力的でした。

JonaSun が次に目指しているのは、静かで風の音が心地良く、新緑の森の中ではウグイスの声に耳を

傾けながら、少し汗ばむくらいの快適なドライブを楽しめる・・・そんな新しい魅力満載の〈人カハイブリッドEV〉を完成させて、大陸を疾走する〈夢たまごプロジェクト〉を温めています (Fig. 10).

チェーンやギヤの音から解放された静かなEVが実現しました。高効率のペダルの発電機と駆動効率に優れたDD モータを開発してくれたミツバのSCR プロジェクトの皆様には心から感謝します。ペダルが円運動ではなく、脈動であるために発電機としてのダイレクトドライブ方式はとても困難な壁があったと聞いています。実際にドライブしているときでフライホイールが装備されているような滑らかな発電機に感じます。きっと開発技術陣がハイレベルな制御の手を加えているものと推測します。

世界最高峰のソーラーカーレースWSCではほとんどの上位チームがミツバ製のモータを採用していることは、一般的にはまだ多くは知られていませんが、これからはペダル発電分野でもミツバの技術が大きくものを言う時代が来る予感がします。

以下には開発担当者から可能な範囲で技術情報を公開してもらいます。

9. ペダル式発電機とモータ

発電機とモータはミツバのエコラン用ダイレクトドライブ (以下DD) モータであるM0124D-Vの部品をベースにカスタマイズしています。

ペダル式発電機はFigs. 11-13の様に薄型で増速装置を使わないDD方式です。増速ギヤを排することでメンテナンスフリー (ギヤの注油不要, バックラッシュ調整不要)化とギヤオイルによる汚れ防止,



Fig. 11 Direct drive motor and mounter, pedal

ASSOCIATION

秋田宇宙航空協会

秋田県秋田市山王1-1-1 秋田大学航空工学部

TEL: 0188-33-5261 (内線2724)

FAX: 0188-33-5261

代表者: 伊藤 文典

AKITA AEROSPACE ASSOCIATION

info

秋田宇宙航空協会

今後の活動方針

1. 自家発電
宇宙飛行に関する各種活動を実施し、ひめく居民に普及してまいります。また、特に青少年の宇宙飛行に対する夢と興味を育む活動を重点的に図ります。さらに、航空宇宙科学技術振興会の参加を広く求めています。

2. 調査・研究の推進と情報の提供
秋田宇宙航空協会が抱える様々な技術的課題や、関係機関との連携を促進するべく、宇宙航空関係の研究・実用施設の立地可能性について研究を進め、調査を実施します。

3. 航空宇宙関係の普及と情報の提供
航空宇宙関係の普及活動等への連携を深めるとともに、研究・実用施設の利用への誘致を進めるとともに、航空宇宙に関する普及活動、調査、実用施設、企業等への働きかけを行います。

◆入会申請は、秋田県秋田市山王1-1-1
秋田大学航空工学部
秋田県秋田市山王1-1-1
秋田大学航空工学部
秋田大学航空工学部
秋田大学航空工学部

Fig. 9 AASA and Dr. ITOKAWA



Fig. 12 Direct drive motor with a cover

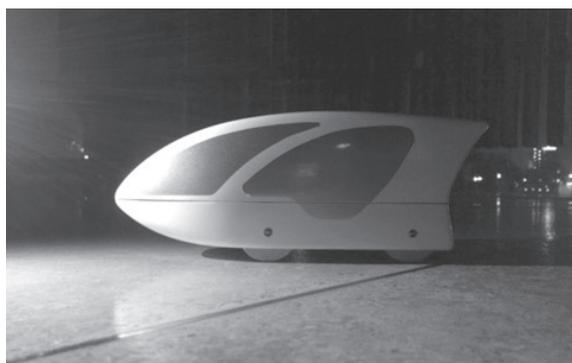


Fig. 10 Project "Dream Egg"



Fig. 13 Direct drive motor with a cover



Fig. 14 Driving Motor

薄型化を実現しました。

ただし、DD方式故に回転数90rpm程度という極低回転で出力を確保するため多極(32極)化、高磁束密度(エアギャップ縮小)化が必要となりました。また、コギングトルクがペダルの違和感の原因となるため、コギングトルクの少ない極スロット構成(32極36スロット)としました。

駆動モータ(Fig. 14)は基本的に発電機と同じ構成ですが、回転数が発電機より高く(500rpm程度)、効率重視のため、低磁束密度(エアギャップ広め)となっています。

10. 新開発のコントローラ (OMC4850)

この人力ハイブリッドEVシステムには2つまたは3つのコントローラが必要となります。

- ①駆動用モータコントローラ
- ②発電用昇圧コントローラ(2連結の場合は2個必要)

それぞれのコントローラは同じ基板で、ソフトウェアのみの変更で対応しています。共通の仕様とそれぞれの仕様について以下に解説します。

○共通仕様

このコントローラは小型、軽量、高効率が特徴のブラシレスDCモータコントローラです(Fig. 15, Table 2)。

軽量化のために標準ではヒートシンクを持たずFig. 16の様にアルミのステーやフレームの平坦部に放熱面を放熱グリッドで密着させて熱を逃がすことで、より大電流に対応することが可能となります。

①駆動用モータコントローラ仕様

リヤホイールに取り付けられたDDモータを駆動します。ホールセンサ付きのブラシレスDCモータに対応し、使用するモータとバッテリーに合わせてTable 3の設定で使用しました。



Fig. 15 Controller (for Power Generating and Driving)

Table 2 OMC4850 共通仕様

動作電圧範囲	6~60 V
最大電流	80 A
過熱保護動作温度	80 °C
寸法(長さ×幅×高さ)	76×66×32 mm(突起含まず)
重量(ハーネス含まず)	100 g
制御マイコン	PSoC5LP
駆動素子	IRFP7759L2
平滑コンデンサ	ポリマーコンデンサ
制御部	FR-4, 4層基板
駆動部	アルミベース基板



Fig. 16 Controller Mounting for a Heat Sink

Table 3 駆動用モータコントローラ設定

バッテリー電圧(nominal)	53.2 V
回生電圧最大	59 V
駆動停止電圧	36 V
駆動最大電流	50 A
駆動方式	120° 矩形波駆動
制御方式	PWM Duty 制御

アクセルボリュームでPWM Dutyを調整して、速度を調整します。Duty制御はトルク制御と比較して一定速度で巡航する使い方に適しています。減速時は回生ボリュームを調整することで昇圧し、回生ブレーキによって減速エネルギーの一部をバッテリーに回生します。バッテリー電圧が36V以下になると駆動を停止して、バッテリーの過放電を防ぎます(正

確にはBMSが作動する前に止まるように設定してあります)。

②発電用コントローラ

ペダル式発電機用のコントローラは駆動用と同じブラシレスDCモータコントローラの回生機能を使用して、発電機の電圧を昇圧します。

ペダル発電機は、通常の回転数でペダルを回してもバッテリー電圧より発電電圧が低くなる様に設定されています。なぜなら、発電機の電圧がバッテリー電圧より高いときコントローラは三相全波整流器として働くため、発電量を抑えることが出来ないからです。発電電圧をバッテリー電圧より低く設定することで昇圧制御によって発電量(=ペダルの重さ)を調整可能となります。

発電量の調整は1～15のデジタル入力で調整します。数字が大きくなるほど昇圧Dutyが大きくなり、発電量が大きくなります。脚力の強い人は大きい数字、弱い人は小さい数字を選択する事で好みの負荷で発電することが出来ます。

制御方式は、電源電流制御とDuty制御を試した結果、Duty制御の方が良いフィーリングであったためこちらを採用しました。その理由はペダルの踏力は回転角によって変わるため、電源電流制御では踏力の弱いところで角速度が低下し易く、一定角速度でペダルを回すことが難しいため疲労が増すのだと考えられます。発電用コントローラの設定は以下のとおりです。

11. 新発想の操作系

車両の操作系について解説します。車両の形態が

Table 4 発電用モコントローラの設定

バッテリー電圧	53.2 V (nominal)
回生電圧最大	59 V
動作開始電圧	6 V (ペダル回転数 10 rpm 相当)
制御方式	PWM Duty 制御
発電量操作入力	4 bit デジスイッチ(16 段階)

Table 5 操作系入力一覧

位置	名称	機能	部品
右	メインスイッチ	駆動用コントローラ 制御電源	トグル スイッチ
右	アクセル ボリューム	駆動用コントローラ 駆動 DUTY(速度調整)	10 kΩ 可変抵抗 Bカーブ
左	回生 ボリューム	駆動用コントローラ回生 Duty(回生ブレーキ力調整)	10 kΩ 可変抵抗 Bカーブ
左	発電調整 デジスイッチ	発電用コントローラ Duty(ペダル負荷調整)	4 bit デジ スイッチ



Fig. 17 Digital meters for rider and co-rider

リカンベントタイプのためハンドルは左右が分離しています (Fig. 18)。ハンドルから手を離さずにコントロールが出来るように操作スイッチやボリュームを配置してあります。操作入力は以下の通り右手の操作が加速、左手の操作が減速とペダル発電の調整となっています (Table 5)。

ペダル負荷の調整はあえてデジタル入力とすることで、負荷の再現性を良くしました。その他、右ハンドルにはバッテリー積算電流計とスピードメータがついています。積算電流計は消費電力量 (表示分解能 0.1 Ah) と消費電流 (表示分解能 1 A) を表示しており、2連座の場合後部座席からも視認可能です。

12. まとめ

脂肪を電気に変えて走ろう・・・をキャッチフレーズに、ソーラーカーレースから生まれた新たな発想とドライバーを元気にする車作りを提案しました。

ご理解ご協力をいただいた沢山の方々に感謝と元氣をお返ししたいと思います。

著者紹介

 山本 久博 (やまもとひさひろ)
秋田県秋田市在住。ソーラーカー Team Jona Sun, モードスタジオ Q 代表, 風の王国プロジェクト 推進メンバー, 秋田県美容生活衛生同業組合

 柳原 健也 (やなぎはらけんや)
群馬県高崎市在住。チーム“ヨイショット!” ミツバ出身。自動車用モータメーカー、電動工具メーカーを経て、現在、小野塚精機株式会社に勤務。専門はモータ、電子回路、エコランカーレースなど。