

国内レースで最後まで走り切る ソーラーカーを考えよう

Let's think about a solar car that can complete a domestic race

武田信寛*

1. 建築家から見た太陽電池

約 20 年前、私が以前建築家として働いていた時、東京臨海地区に研究施設を設計し、その屋上に当時国内最大規模となる 300kW のソーラーパネルを設置した。今では多くの住宅や工場にソーラーパネルが設置されているが、その走りだったと思う。

建物に敷設したソーラーパネルの年間発電量は、定格出力の 48%。雨や曇りもあれば、夜間もあり、年間の総発電量としては妥当な数値であると検証した。しかし年間の発電電力費はパネルのインシヤルコストに比べ僅かにしかなく、設備更新などを考えない単純減価償却でさえ 187 年にもなり、当時は太陽電池がこれからのエネルギー資産になるとは考えにくかった。

現在では、発電効率も上がりパネルの単価も下がって、再生可能エネルギーの中心的存在と思われるようになったが、それでも他の発電施設に比べると決して効率は良くない。近年、住宅屋根などに設置するソーラーパネルが広く受け入れられたのは、補助金や高額買取電力料によるものだ。これは太陽電池に限ったことではなく、他の再生可能エネルギーについても同様であり、現時点の技術では化石燃料や、ましてや原子力にとって代われるものでは決していない。私個人の考え方だが、本来太陽電池は砂漠の中のオアシス、離島、人工衛星などのようにインフラ供給をしにくい場所での電力確保が最も適していると思う。

2. ソーラーカーレースの面白さ

以前より競技機会は減少しているようだが、世界中でソーラーカーのレースが行われている。その中でも BWSC は、レベルが高く、最も過酷なレースとして知られている。

BWSC では、車両規則を含むレギュレーションが 4 年ごとに大きく改正されるため、全てのレースを同列に比較することはできないが、ダーウィンからアデレードまでの約 3000km を走破するという競技は変わらない。

私は、5 日間で 3000km を完走することを目標にソーラーカーを作ってきた。5 回参戦して、完走 2 回、あと 3 回は涙を吞んでいる。

このレースの過酷さを理解するには、ガソリンエンジンの乗用車に当てはめてみると分かりやすい。

5 日間のレース中に太陽光で得られる電力は、ガソリン換算で何リットル分になるのだろうか？ 例えば 10km/L 走れるクルマなら、完走するために 300 リットルのガソリンが必要になるだろう。30km/L 走れるクルマなら、100 リットルのガソリンで完走できるだろう。

2017 ~ 2023 年の BWSC では、パネル面積 4m² のシリコンセルを指定されている。実際のレースでは天候も全て快晴というわけにもいかず、曇りや雨の他にも山火事による発電量の低下などもあり、平均すると 1 日あたりに得られる電力量は 5000Wh 程度だろう。つまりレース期間中に太陽光から得られるエネルギーは、25000Wh 程度だ。このエネルギーをガソリン換算すると、約 2.6 リットル。つまりこのレースでオーストラリアを縦断するには、天候にもよるが 2 ~ 3 リットルのガソリン、すなわちガソリンエンジンの自動車でいえばリッターあたり 1000 ~ 1500 km 走れるような効率的なクルマを作らなければならない。また使えるエネルギーが同じなら、トップチームは 1000W 程度の消費電力で 100km/h 近いスピードを出していることになる。

別の見方をすれば 1000W のモーターは、ガソリ

* 学校法人 武田学園理事長

ンエンジンに換算するとたった1ps. 1psで100 km/hのスピードを出せるような抵抗の小さいクルマを作らなければならないと考えても良い。ちなみに50ccの原動機付自転車でも、十数馬力を出せるだろう。しかしその最高速度は、100 km/hに遠く及ばない。

このように実用車と比べるまでもなく、いかにこのレースで使われる車両が特殊であるかが分かるかと思う。

また太陽光発電だけで、現代の便利で安全で大きな実用車を走らせることが、如何に現実離れしているかもわかる。今の交通手段の概念を大きく変えない限り、再生可能エネルギー程度の電力では、新しい交通手段にはなりえないのではないだろうか？

さらに現時点でのモーターのエネルギー変換効率は、90%程度。内燃機関のそれは、せいぜい30%弱しかない。言い方を変えれば、モーターの効率を現在以上に飛躍的に上げることは難しいが、内燃機関にはその可能性がまだ残されている。

このように私は、太陽電池を含む再生可能エネルギーについてかなり懐疑的だ。それでもソーラーカーを作り、それでレースをすることはとても楽しい。これは実用性を見据えた研究テーマではなく、「例えば4m²の太陽電池だけで3000kmを走るためにはどうやればいいのか？」という課題テストなのだと思う。課題の中で、イコールコンディションの中で、知恵を振り絞ってレースをする。しかもソーラーカーレースは、全く同じ場所を同じ瞬間に走っているわけではなく、その時の雲の位置などで得られる電力にも差がつく。速くいくべきか少し留まるべきか等、様々な戦略や運も関係してくるので、駆け引きもあってゲームとしても面白い。そんなソーラーカーのレースが、国内だけでも秋田や白浜などで開催されている。

勝敗には、様々なファクターがあり、考えれば考えるほど面白い。

いかに走行抵抗が少ない車両を作れるか？ いかにエネルギー効率の高い車両を製作できるか？ モーターの効率点や速度、持っているエネルギーをいかにうまく管理し、速く走れるか？ 天候の予測や対処、そしてどのように戦略に組み込むか？

ソーラーカーレースは、レギュレーションの発表から始まり、設計、製作、レース当日の天候、ドライバースキル、戦略、駆け引きにいたるまでの1年以上に及ぶ長いブレインゲームであり、長い戦いだ。

研究分野としても、材料選定、車両構成、強度計

算、セルやラミネート、MPPT、バッテリー特性、エネルギーマネジメントなど広範囲に及び興味が尽きない。

国内だけでも、年間2つものレースが開催されている。夢を見るように車両を思い描き、そして創り、心からレースを楽しみたい。我々は、こうした思いから「夢創心」と名乗っている。

3. 国内レースで、最後まで優勝争いができる車両を作る

私のチームは、BWSCで勝てるクルマを作れるレベルではない。あくまでオーストラリア縦断の完走を目的に設計製作している。それでも国内レースでは、上位を争っている。

全ての車両を工業高校の予算と工業高校の施設で作ってきた。企業にお願いして作ってもらうパーツなんかなく、全て手作りのソーラーカーで参戦している。材料は、ネット通販や近くのホームセンターで買えるものばかり。使っている部品も、特別なモノなんかはない。普通に入手しているミツバのノーマルモーター。車両を作り変えても、10年以上同じモーターを使ってきている。選別もしていない通常ルートで手に入るソーラーセル。ソーラーセルも、10年単位で使いまわしている。バッテリーも毎年新調なんてできない。5年単位で使いまわしている。MPPTやモーター、モーターコントローラーでさえ、手作りしていたことがある。

多くのBWSC出場車両と較べると、予算は1桁以上違う。お金をかけなくても、大規模な加工機械がなくても、企業のスポンサーがなくても、国内で戦えてオーストラリアで完走を狙えるぐらいのクルマは作れる。

国内レースの参加車両は、ほんの一部のチームを除き、我々と同じような材料、道具、機器を使って車両を作成している。つまりモーター、セルなど以外は、全て自分たちの手作りであり、メーカーに特殊なパーツの製作依頼などもしていない。それでも小さな工夫を積み重ね、国内レースでは、最終ラップまでレースをし続けられるような車両を作ることには可能だ。秋田WGCなどのレースで、イベント期間中フルに走り続け、最後まで上位を争えるようなソーラーカーは、秋田に参加しているどのチームでも製作可能だ。繰り返しになるが、全て手作りの低予算でも、練れた設計、丁寧な製作、小さな工夫の積み重ねで上位を狙うことができる。イベント期間中、レースを楽しみ、大いに達成感を味わうことも

できる。そうしたヒントになればと、以下に私が設計や製作、レース参戦に当たって考えていることを記す。

4. 設計段階で考えるべきこと

国内レースに参加する多くのエンタラントは、我々と同じようなノーマルのモーター、同じようなセル、同じようなバッテリーを使っている。更に同じようなホイール、タイヤ、ベアリングを使っている。

大きな違いがでるのは、ボディ形状とその作り方だけだ。

まず考えなければならないことは、空気抵抗の削減と軽量化。

大掛かりなシミュレーションが出来なくても、風洞実験が出来なくても、前面投影面積なら図面でいくらかでも検討できる。流線形や翼断面を参考に、各パーツの断面設計を進めることもできる。図面上で使う材質などを決めていけば、おおよその重量も算出できるし、どこを軽量化できるかも検討できる。

しかし図面である点に拘り過ぎてしまうと、必ずしも正解にならない。

図1の2017年BWSC車両は、失敗例だ。図面上で各パーツを流線形にしながら、前面投影面積を少しでも減らすことを考えた。

車体の幅はセルの倍数で決定する。この車両は、カタマランスタイルであるにもかかわらず、イベントで最も細いモノハルタイプと同等の寸法まで攻めている。したがって前面投影面積 A は、出場車両の中でも最も小さな方だったし、空気抵抗係数 C_D も、決して悪い数値ではない。しかし数値上の A を低くすることに無心しすぎた結果、ボディサイドに角ができ、これが横風の剥離流を生み大きな抵抗となってしまった。また前面投影面積を減らしたために、細長いボディとなり、サイドの平面面積が増え、これが大きな粘性抵抗となってしまった。さらに薄いボディにこだわったため、構造材となる桁の強度を上げる必要があり、これが重量増と高重心につながってしまった。秋田でこそ準優勝できたが、速度の速いBWSCでは全く歯が立たず、またナロウトレッドと高重心のため鈴鹿などのサーキットで安心して走ることができなかった。

バランスよく数値上の $C_D \times A$ を減らし、さらに表面積を減らし、平面部分を減らし、角のない形を



図1 2017WSC 出場車

考えなければならない。いたずらに重量を増やさないために構造材の選定と厚みなどを決める構造計算も大切だ。これらを図面段階で、納得のいくまで検討する。

秋田のレースでは、1周たったの25 kmの間に6か所もの速度制限区間がある。

この速度制限区間への減速は、回生のチャンスであり、多少車両重量が高んで加速時に消費しても、その慣性力を回生ブレーキである程度回収できるため、あまり車重に拘る必要はないかと思っていたが、BWSCでの軽量化は重要だと感じている。

BWSCのコースを下見した時に、手元のハンディGPSで計測すると、登り道の標高の累積は、3000mを超した。一見平たんに見えるスチュワートハイウェイだが、実は日本アルプスに匹敵する高度を登らされている。かといって、回生をかけるチャンスなんてほとんどなく、車重はじわじわと位置エネルギーとして食いつぶしていく。製作時、アルミを使えば時間短縮にもなるし、精度も出しやすい。しかしアルミといえども、重量はかさむ。軽量化に向けた材料の選定も、とても大事だ。

一定速度で走る場合、あまり車重は重要ではないことは多くのエンタラントが経験していると思うが、路面が荒れている場合、より軽量が有利という

ことが、複数の車両を作成しデータ取りしたことから分かってきた。ピッチングなどによるエネルギーロスが、車重に比例しているのかと考えているが、まだ理由は分からない。

BWSCだけではなく、秋田のコースの路面も荒れてきている。

これからソーラーカーを作る場合、空気抵抗の削減、軽量化は最優先して考えていかなければならないだろう。

サスのアライメントなども大切で、直線路を走り続けるレースでは直進スタビリティの高い設計を考える。長いレースを走り続ける場合、車体のふらつきを抑えるためのステアリング操作は、操舵抵抗の大きな累積となってエネルギーを奪う。サーキットを走るのであれば、直進安定性を第一に考えたジオメトリを考える。

具体的にはロングホイールベース、ワイドトレッド。特にショートホイールベースの車両は、上下の振動に加え、図2のように横から見たときにノーズとテールが逆位相になる回転を伴うピッチングが起りやすい。これはせっかくボディを流線形にしても、空気へのアタックアングルが変わってしまうため空気抵抗も大きくなってしまう。

尚、この図2の車両は、2021年WSC用に製作し

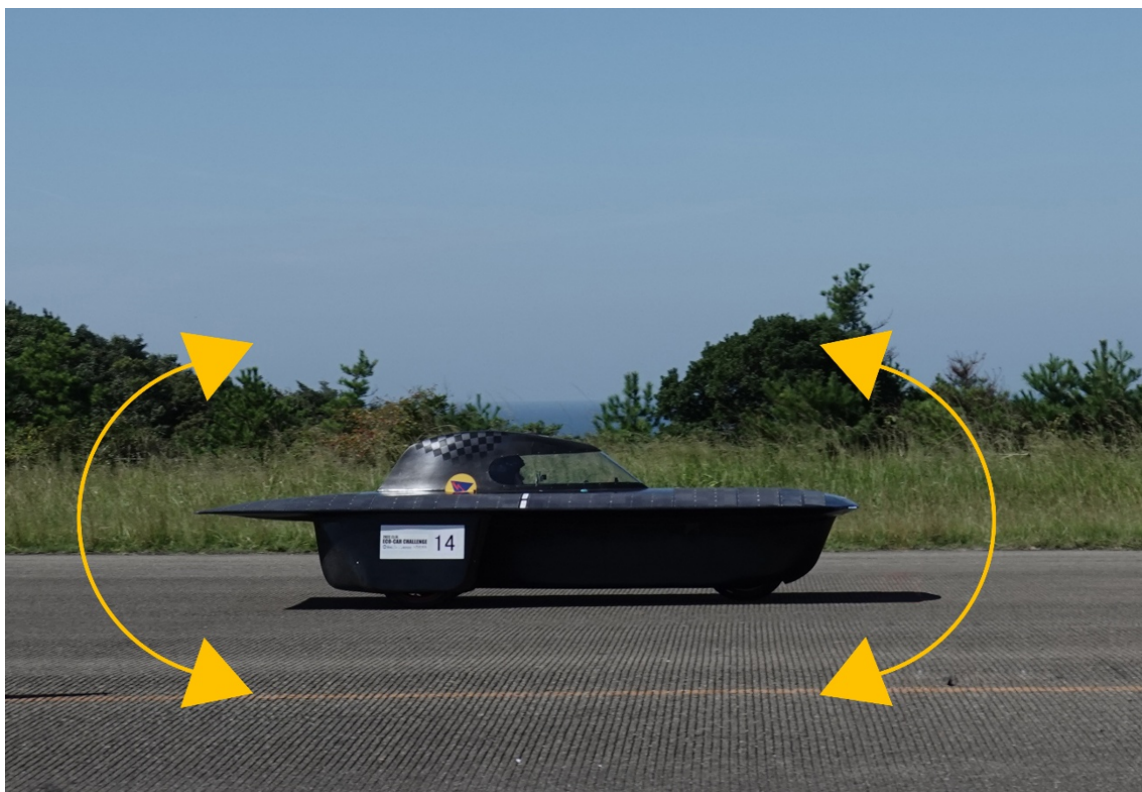


図2 車両に起こるピッチング

たもので、ホイールベースを長く取っている。

タイヤを車両の四隅に配置するという事は、フレームも長く広くなるので、重量的には厳しい。回転を伴うピッチングを抑えるためにフレーム、ドライバー、バッテリー、バラストなどの重量物を極力ボディ中央部に配置してピッチングに対する慣性質量を減らし、そのうえで可能な限りタイヤをボディの外側に配置できるように検討する。

早く作りたくなるのは分かるが、作る前にできるだけ時間をかけて図面検討するべきだ。前述した内容は、全て図面を描く段階で検討しきれぬ事項だ。

図面で検討するのは、形状、構造などももちろんだが、組み立ての時の手順、組み立て方などをリアルに想像しながら描き、場合によっては図面にそれを書き込んでいく。こうしたことを組み立て作業の時に共有化すれば、作業効率も上がるし、仕上げもきれいになる。

5. 製作時に気を付けていること

プリプレグは、確かに軽量高強度で魅力的だ。

特にモノハルのようにつなぎ合わせの少ないボディは、プリプレグの恩恵を最大限引き出せる可能性がある。

私は、炉がない高等学校の設備を使っでの製作なので、ウェットを使用している。実は何度かプリプ

レグで車両を作ったが、簡易的な炉では温度管理が上手くいかず、焼いた後で一部ウェットによる補修をしたりで、結果的に総重量はあまり変わらないものになったりという失敗がたくさんあったため、今ではウェットに戻っている。もちろん炉の温度管理などが上手くできれば、プリプレグの方が軽量高強度であることは間違いないので、いつかまたチャレンジしたいと思っている。

捨て型の製作は、木材、スタイロなどを使い、教室で作製している。

この捨て型の作成は、ソーラーカーの作成で最も重要な一つであると思う。車体図面から夫々の捨て型の図面を切り出し、それをどのように作るかも作図する。

図3のように鳥人間の翼のようにリブとそれを繋ぐ桁材からおおよその形を作り、図4のように面を薄い板材で覆い、端部などをスタイロフォームなどで成形して捨て型を作成している。

体積の大きなモノハルボディの捨て型は、この材料や環境で作りにくいいため、ボディ、タイヤスパッツ、キャノピーなどの小さな部品に分けて作り、夫々を組み立てられる車両の形を設計している。

この方法だとレギュレーションが変更になっても、以前に作った雌型を流用しながら次の車両を製作することもできる。



図3 木材による捨て型枠の骨組み



図4 端部をスタイロフォーム、面材を2.5mm合板で仕上げた捨て型枠



図5 エア抜きに利用するプチプチシート

また小さなパーツごとなら、ウェットカーボンでの製作もしやすいし、作業も同時並行で進めることができる。特に高等学校の時間に限りのある部活で製作する時は、生徒に教えながら一つずつの作業を

短く完結させられるというメリットもある。

しかしウェットカーボンは、どうしても重くなりやすい。少しでも軽く仕上げるための基本は、樹脂を塗り過ぎず、均一に広げること。余分な樹脂をピー

ルプライで可能な限り吸い取ること。それでもどうしても余分な樹脂が製品を重くしてしまうため、私は図5のようにピールプライの上にプチプチシートを乗せてバキュームで吸引している。そうするとピールプライを通して浮いてきた樹脂がプチプチシートの隙間に溜まるため、余分な樹脂をかなり取り除ける。

ボディとスパッツの接続などは、短冊状に切り出したカーボンと樹脂での接着になる。こうした作業でも、可能な限りピールプライとプチプチシートを併用してバキュームをかけている。もちろん余分な樹脂を取り除けるし、接着そのものをより強固にすることができる。また短冊状に切り出すカーボンは、繊維を必ずバイアス方向にする。端部の馴染みが良くなるだけでなく、伸び縮みのあるバイアス方向の繊維は、接着すべき部材長さや幅に合った貼り付けをしやすい。

6. レース中のトラブルを短時間で解決できる方法

これも図面で事前に検討できる。

例えば、『配線図』。

極論を言えば、AとBを繋ぐケーブルがどういうルートであっても、大きな違いはない。しかし各ケーブルが交錯したり、どこを通っているのかわか

らなくなったりするようでは、ケーブルの総長も長くなってしまい、トラブルの時に場所の特定にも時間がかかる。

そこで配線図を作図するとき、できる限り車両平面図にオーバーレイする形で作図している。各基板を車体のどこに設置するか、各ケーブルをいかに最短距離で配置するかを同時検討できるし、配線する順番も整理できるはずだ。あるケーブルが、他の配線の下をくぐったり上に乗ったりを繰り返すようだと、もしそのケーブルに不具合があった場合、修理に時間がかかってしまう。

また配線図に使用したケーブルの色や太さなども記載しておく(図6)。

要は実車と図面が一目で繋がるように工夫しておく。

レース中のトラブルは、どうしても起こる。こうした時にたとえ担当者がいなくても素早くトラブルシューティングし、傷んだケーブルなどを修復できるかは、事前の準備や製作の仕方で大きく変わる。

トラブル時のピット作業をいかに短縮できるか？ たった一つのトラブルで、そのレースを諦めてしまうのは勿体ない。

例えば、『タイヤ交換』。

いかに素早くジャッキアップし、カウルを外し、タイヤにアクセスするか？

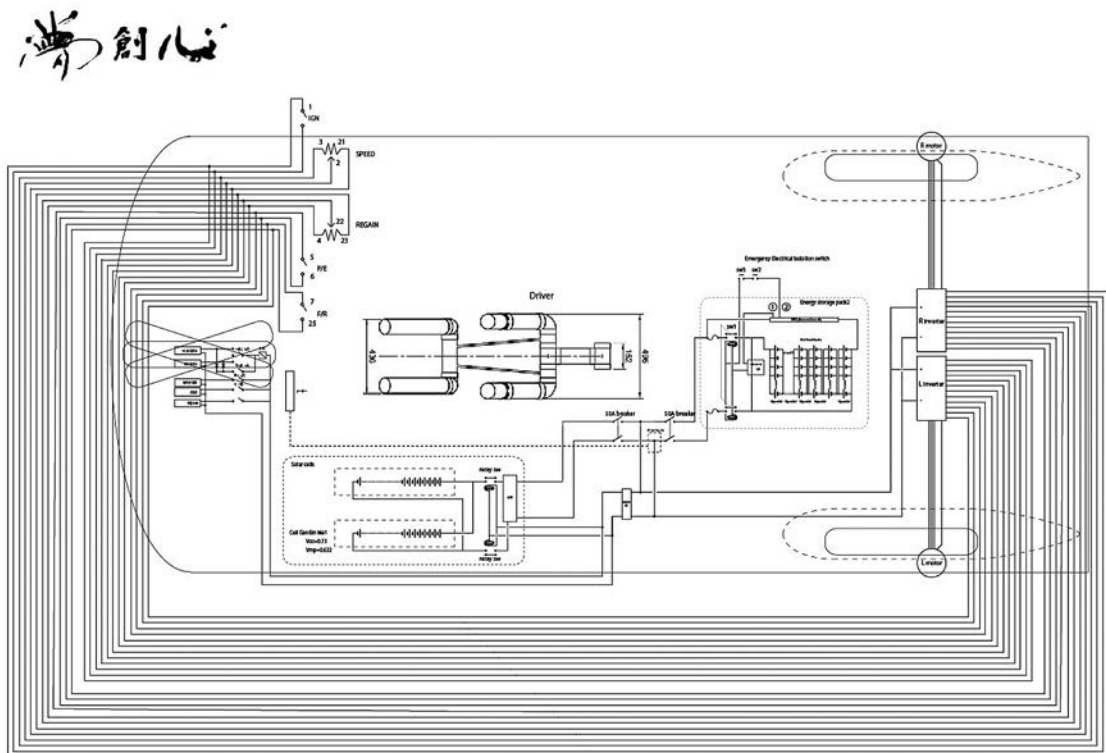


図6 車体平面図に配線図をオーバーレイ

使う工具の種類を減らし、工具の使いまわしなどをしなくても作業が継続できるようにする。

ビスとビスの間隔を広く取り、複数人で同時に作業できるように工夫する。

例えば、『バラストの設置場所』。

少しでも低重心化するために車体の低い場所に設置するが、ドライバー交代の際、別のクルーがドライバーの邪魔にならないようにバラスト交換できる場所にする。

特にWSCでは、ドライバー交代の際にドライバー本人が乗り降りやバラストの交換まで全て行わなければならない。作業を行いやすい配置を考えておかなければならない。

例えば、『ドライバー交代』。

特に我々のように女性ドライバーを含む少人数チームでは、カウルの開け方、ドライバーの乗り込み方、シートベルトの締め方などにいたるまで、図面検討している。非力なドライバーでも一人で乗り降りできるように、軽い力でカウルの開け閉めができるようにしている。シートベルトの固定は、速やかにできるように4点バックル式を使っている。ドライバーの乗り降りの際に、メカニックが各メーターやスイッチの状態を一目で確認できるような配置にしている。

ルーチンの場合でも、トラブルがあった場合でも、ピット作業をいかに短縮しレースに復帰できるかどうかは、こうした小さな工夫の積み上げだったりする。そしてこれらは、図面上でパーツの構成を検討する際に、解決できる事項が多い。

7. 最後に

よりブラッシュアップしたチームと車両が、秋田や白浜に多く参戦し、多くのチームでこの面白いレースを楽しみ、そしてボトムアップしていくことを願っている。

著者略歴



武田信寛（タケダノブヒロ）

1982年 早稲田大学理工学部卒業

1986年 早稲田大学理工学部建設工学修士課程卒業

1986年 日本設計入社

2005年より 現職 学校法人呉武田学園理事長

代表作

新宿アイランド

日本水道会館

月島ムーンアイランドタワー

産業技術総合研究所臨海副都心センター

など

受賞歴

日本建築業界賞 日本建築学会賞

国土交通省関東地検技術厚労賞

北米照明学会賞

ベネツィアビエンナーレ出展

IALD賞 SDA賞

など

ソーラーカーレース戦歴

2009WSC クラス3位

2009WSR 優勝

2009鈴鹿8耐ドリームクラス3位

2013WGC 総合優勝

2015WSC 完走

2016WGC 準優勝 同クラス優勝

2018鈴鹿耐久オリンピック準優勝

2018WGC クラス準優勝 総合3位

2021WGC クラス優勝

2022WGC3位入賞

2022白浜優勝

2024WGC 準優勝