

近大高専ソーラーカーの流体解析

—2017 年型車体の姿勢変化について—

荒賀 浩一* 池田 州** 中西 弘一* 村田 圭治*

CFD Analysis of KUTC Solar Car

- Evaluation of drag due to changes in the body attitude of the 2017 model -

Koichi ARAGA, Shu IKEDA, Koichi Nakanishi and Keiji MURATA

A three-dimensional model was created based on the 2017 solar car of the Kindai University Technical College. Fluid analysis was performed based on the three-dimensional model. The CFD analysis was performed by steady-state analysis. In addition, the analysis of the change of air drag due to the change of body attitude was also performed. The body attitude was analyzed for three types: reference attitude, front inclined attitude and back inclined attitude. As a result of the analysis, the coefficient of drag of the 2017 model body was $C_D = 0.12$. There was a low speed region behind the canopy and tire spats. In the range of this analysis condition, the air drag was the smallest in the back inclined attitude (1.3°). In the future, a new body with lower air drag is planned to design and development based on the obtained results.

Keyword Solar car, CFD, Air drag, Coefficient of drag

1. 緒言

本高専ではものづくり教育の一環として毎年、鈴鹿サーキットにて開催されるソーラーカーレースに出場するため、競技用ソーラーカーの設計・製作を行っている。競技用ソーラーカーとはその名の通り、ソーラーパネルの電力を主なエネルギー源としてとしてサーキット等を走行する競技用の電気自動車である。当該イベントは基本的には設定時間内における周回数を競う、いわゆる省エネ性能を競うレース競技ではあるが、近年では省エネ性能の向上と同時にレースの高速化も進んでおり、その最高速度は90km/h～100 km/h 程度にも達している。したがって、限られたエネルギーで走行するソーラーカーの性能を向上させるためには、走行抵抗の中でもとくに影響の大きな空気

抵抗を低減させることが必要不可欠である。一般論としては、空気抵抗を低減させるには車体形状を流線型とするのが最適であると考えられるが、競技用ソーラーカーにおいては種々の規則や既存部品とのマッチング等を考慮する必要があり、それぞれの車両の状況に応じて個々の車両に特化した最適な形状を様々な方法から検討する必要がある。一方で、競技用ソーラーカーの車体形状の検討・設計においては従来、経験をもとにしたデザイン設計およびその設計をもとにした可視化実験等による性能確認試験等が主に行われてきたが、経験を基にした設計においては、実際に車体を製作するまでその性能を評価することができず、当然ながら様々なモデルを製作し、それらの車体ごとにその性能を確認することは時間的、コスト的な面から現実的には不可能である。しかし、近年ではコンピュータの性能が向上したこともあり、市販の流体シミュレーションソフトを用いた流体解析が乗用車の車体設計においても多用されている。また、競技用ソーラーカーの分野においても、福田らがCFDを用いて形状検討等行っており、

*近畿大学工業高等専門学校

総合システム工学科 機械システムコース

**近畿大学工業高等専門学校専攻科

生産システム工学専攻

その有用性が報告されている²⁾。

本校の現有のソーラーカーも基本的には経験を基にした車体設計を行い、その設計から実際にソーラーカーを製作し、レースごとに車体を改良することで車体の性能を向上させている。しかしながら、やはり効率的にソーラーカーを設計・製作するためには設計段階で流体解析によりソーラーカー特性を把握し、設計段階から少しでも空気抵抗の少ない形状のソーラーカーを設計することが車体の基本的性能を向上させるには必要不可欠であると考えられる。そこで、本研究ではまずは現有のソーラーカーの流体解析を行うことで現在の車体の流体的特性を把握・評価し、そこで得られた知見をもとにより空気抵抗を低減させた新規の競技用ソーラーカーの設計を行うことを最終的な目的とする。本報告においては、まずは現有のソーラーカーの3DCADモデルを作成し、そのモデルの流体解析を行うことで車体の流体的特性を把握した。具体的には、2017年型車体の3DCADモデルを作成し、定常解析により空気抵抗係数を算出して本高専の車体が他チームと比較してどのレベルなのかを把握するとともに、車体セッティングで比較的調整可能な車体姿勢の変化、すなわち前傾・後傾姿勢の差異による空気抵抗係数の変化を調べ、走行時の最適な姿勢の検討を行った結果について報告する。

2. 解析モデルおよび解析方法

ソーラーカーの車体モデルは3次元CADにより作成した。本設計に用いたCADはダッソー・システムズ・ソリ

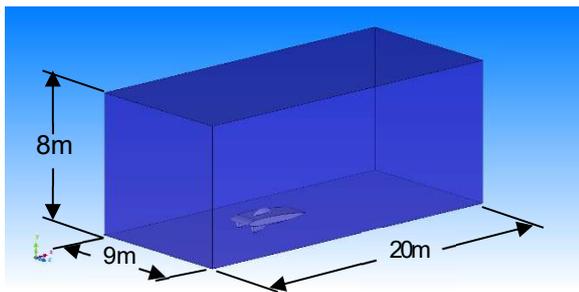


図1 解析空間の概略図

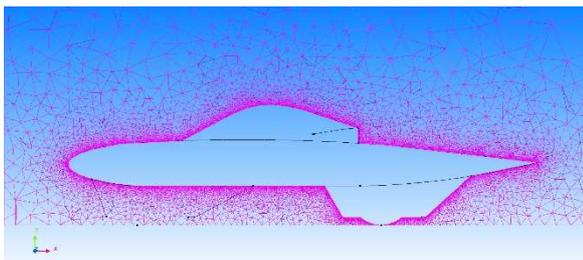


図2 車体周囲の要素形状例

ッドワークス社の「SOLIDWORKS 2017」を用いた。また3次元CADにより作成したソーラーカー車体について流体解析を行った。解析に用いたソフトはソフトウェアクレイドル社の「SCRYU/Tetra」を用いた。また、解析のためのソーラーカー車体案を3次元CADによって複数製作し、それぞれについて詳細な非定常解析を行うことは非常に時間がかかるため、ここではソーラーカー周りの流れ場についてある程度のレベルで把握し、全体的な流れ場の傾向やそれぞれの解析モデル間の流体特性の差異を把握することを主目的として、定常解析(RANS・SSTk- ω モデル)により解析を行った。解析条件について、解析空間は幅×高さ×奥行き=9m×8m×20mとし、ソーラーカーを流入面より6m後方に配置した。解析空間のイメージ図を図1に示す。要素数については、解析時間及び解析精度を考慮しておよそ2100万程度を基本とした。空間中心断面の車体周辺の要素形状の一例を図2に示す。車体付近の要素サイズは要素数を考慮して3.9mmとし、矩形の境界層要素を車体表面に7層挿入した。また、流入速度は実際の2017年型車体のソーラーカーの走行速度を想定して20m/s(72km/h)、流出面は大気圧(ゲージ圧0Pa)とした。車体の空気抵抗の評価には空気抵抗係数 C_D 値を用いた。以下に定義式を示す。

$$D = C_D \cdot A \cdot \frac{\rho u^2}{2}$$

ここで、 D は抗力[Pa]、 C_D は空気抵抗係数、 ρ は密度[kg/m³]、 u は流速[m/s]、 A は前面投影面積[m²]である。

D は車体表面に作用する圧力抵抗と粘性抵抗の主流方向成分の和として定義した。



図3 2017年型ソーラーカー外観図

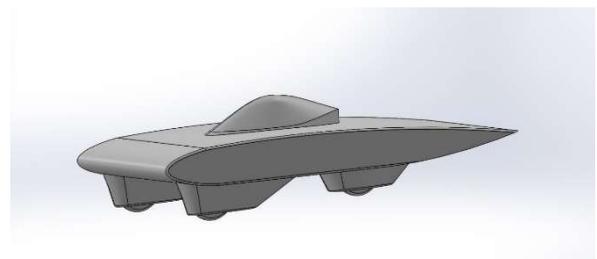


図4 2017年型車体の3Dモデル

3. 結果および考察

3.1 2017 年型車体の基本特性 実際の 2017 年型車体を図 3 に、それを基に 3DCAD により制作したソーラーカーモデルを図 4 に示す。なお、今回の解析においては車体上面のバックミラーについては省略した。また、このモデルを基に流体解析を行った。得られた主流速度 20m/s における解析結果の一例を図 5 に示す。図中、車体表面は圧力のコンター図を、ソーラーカー中心断面は流れ方向速度 u のコンター図を表す。図 5 より、ソーラーカー先端部およびリアスパッツ前部の車体表面で顕著な高圧領域が生じていること、および、ソーラーカー先端部上面付近およびキャノピー頂部に高速領域が生じていることがわかる。また、キャノピー後部およびリアスパッツ後部において顕著な低速領域が生じていることもわかる。したがって、これらの領域については新規車体における重要な検討箇所であることがわかる。また、この解析によって得られた 2017 年型ソーラーカーの空気抵抗係数 C_d 値は $C_d=0.12$ 程度となった。もちろん設計上での値ではあるが、この値は、一般的に知られるソーラーカーの値と同等程度かもしくは若干優れた値である。一方で、 C_d 値と同様に空気抵抗に重要な影響を及ぼす本ソーラーカー車体の前面投影面積はおよそ $A=0.9\text{m}^2$ であるが、他の上位車両の前面投影面積は $A=0.7\sim 0.8\text{m}^2$ 程度と、非常にコンパクトな車体となっている。したがって、2017 年型車体の C_d 値単体ではまずまずの値ではあるものの前面投影面積を考慮すると、本車体は他の車両と比較して空気抵抗的に 10%程度劣っていることが推察される。したがって、新規車体の高速領域における高性能化のためには前面投影面積、および C_d 値をトータルで 10%程度を目標に削減することが必要である。

3.2 車体姿勢変化 次に、車体セッティングで比較的調整が容易である車体の姿勢変化の差異による空気抵抗の変化を解析するために、図 4 のソーラーカー基本モデルに対して後輪側を 50mm 下げた後傾姿勢モデル（後傾角度 1.3° ）、同じく後輪側を 50mm 上げた前傾モデル（前傾角度 1.3° ）を姿勢変化解析モデルの例として作成した。基準モデル、後傾モデル、前傾モデルのそれぞれの側面図を図 6 (a)~(c) に示す。このようなモデルを先述の 2017 年型車体の基本特性解析と同様な条件で解析を行った。得られた結果の一例として車体周りの流線の比較図を図 7 に、算出した抵抗係数および各種抵抗を表 1 に示す。なお、表 1 中の流速を除く各種値はいずれも(a)の基準モデルの解析値を 1 とした場合の相対値である。図 7 より、車体後部の流線に注目すると、(c)の 1.3° 前傾モデルは翼の前傾により流線が車体後部で上方に曲がられており、車体後部にお

いて下向きの揚力が作用していることが推察される。また、車体後部の流線間隔が広い領域が 3 モデルの中で一番大きい、すなわち、車体後部に形成される低速領域が 3 モデルの中で一番大きくなっていることから、最も空気抵抗が大きくなっていることが推察される。一方で、(b)の 1.3° 後傾モデルは車体後部の流線の上方への変化が最も小さく、また、車体後方に形成される流線間隔の広い領域も最も小さいことがわかる。すなわち、この 3 モデルにおいては空気抵抗の観点からは(b)の 1.3° 後傾モデルが最も優れた姿勢であることが流線の変化より推察される。ここで、解析

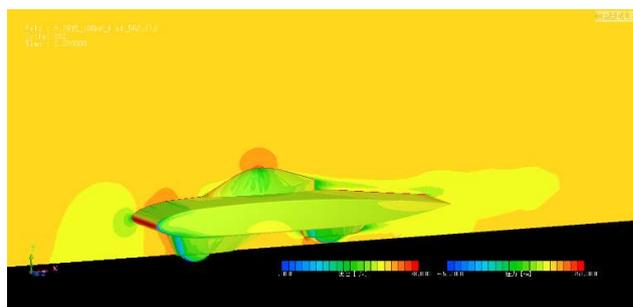
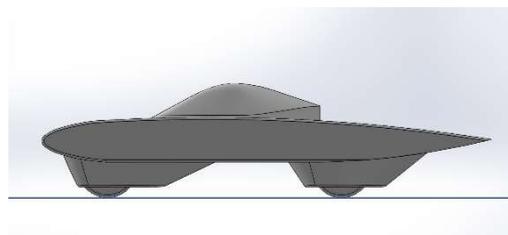
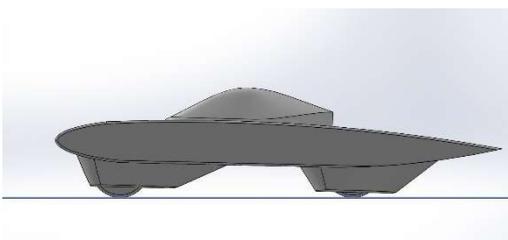


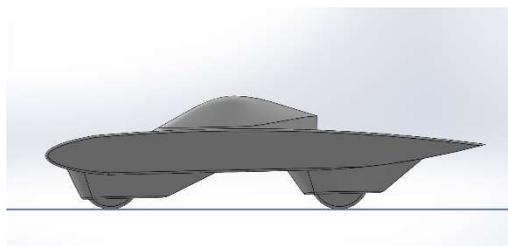
図 5 2017 年型解析結果の一例



(a)基準モデル



(b) 1.3° 後傾モデル



(c) 1.3° 前傾モデル

図 6 姿勢変化解析モデル

により得られた抵抗係数および下向き揚力をみると、表1より、やはり、(b)の1.3°後傾モデルが最も空気抵抗係数 C_D 値が小さく(a)の基準モデルと比較しておよそ5%小さな値となっている。それとは逆に、車体後方の低速領域が大きかった(c)の1.3°前傾モデルは基準モデルと比較しておよそ6%増加しているのがわかる。なお、(b)の1.3°後傾モデルの空気抵抗係数は $C_D=0.12$ である。また、姿勢変化による下向き揚力の変化をみると、表1より、(b)の1.3°後傾モデルは基準状態よりおよそ45%低下しており、迎え角の影響により上向きの揚力が生じているのがわかる。一方、(c)の1.3°前傾モデルは下向きの揚力が基準状態と比較しておよそ55%倍も増加していることがわかる。これらの結果より、単に高速走行時における空気抵抗低減を目的とするには2017年型車体においては迎え角をつけた後傾姿勢が最適であり、一方で、ソーラーカーでは重要視されていないものの車体の下向きの揚力を与えて車体の安定性および運動性能向上を目的とする場合には前傾姿勢がよいことがわかる。しかしながら、本解析では特徴的な3タイプの基本モデル解析しか行っておらず、より空気抵抗の小さな適切な迎え角や最適な車体姿勢を検討するためには、より多くのモデル解析を行う必要がある。いずれにせよ、2017年型車体の流体解析によって新型のソーラーカーを設計・製作する上で貴重なデータが得られたといえる。

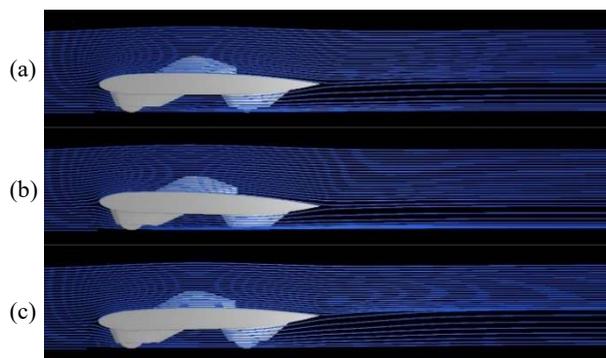


図7 体周りの流れ場

表1 C_D 値および各種抵抗力

解析モデル	速度 [m/s]	圧力 抵抗 [-]	粘性 抵抗 [-]	C_D [-]	下向き 揚力 [-]
(a)基準	20.0	1	1	1	1
(b)1.3° 後傾	20.0	0.947	0.992	0.950	0.552
(b)1.3° 前傾	20.0	1.17	1.01	1.06	1.55

4. まとめ

経験をもとに製作した2017年型ソーラーカー車体をもとに3DCADにより流体解析用3Dモデルを作成し、定常解析を行った。その結果、2017年型車体のキャノピー、スバツ後部に空気抵抗の要因となる低速領域が確認された。また、空気抵抗係数 C_D 値はおよそ $C_D=0.12$ となった。本車体の前面投影面積を考慮すると、他チームのソーラーカーと比較して現状の設計段階の値としては10%程度流体的に劣っていると推察される。さらに、姿勢変化による空気抵抗の変化について解析を行った結果、本解析においては1.3°後傾姿勢が最も空気抵抗が小さくなる結果が得られた。しかしながら、姿勢変化についてはわずかに3モデルを解析したのみであり、空気抵抗的に最適な走行姿勢についてはさらなる解析が必要である。いずれにせよ、これらの解析により新型ソーラーカーの設計開発を行う上で貴重なデータが得られた。

参考文献

- 1)東大輔、自動車空力デザイン、三樹書房。
- 2)福田紘大、2015年型新型ソーラーカー“Tokai Challenger”の開発(空力編)、⑩電気自動車・燃料電池車・ソーラーカー製作講習会講演予稿集(2015)、pp. 91-99。