

近大高専ソーラーカーの流体解析 —2016 年型車両の流体特性—

荒賀 浩一* 梅岡 弘弥** 村田 圭治*

CFD Analysis of Flow around a KUTC Solar Race Car

Koichi ARAGA, Hiroya UMEOKA and Keiji MURATA

At Kindai University Technical College, solar race cars are designed and manufactured. A solar race car operates at a high speed, and thus, the car design must consider the drag from the airflow around the car. Reduction of the air drag is critical for improving solar race car performance. In this study, the flow around a solar race car was analyzed using commercially available computational fluid analysis software. Using a 2016 KUTC solar car as a fluid analysis model, the flow field around the solar car was clarified. The results of this analysis will facilitate the design and manufacture of a solar car body with lower air drag and improved performance.

Keyword: Solar car, CFD, Drag coefficient, Flow field

1. 緒言

近年は自動車を取り巻く環境はめまぐるしく変化しており、現在の自動車は内燃機関主体ではあるものの、今後は徐々にモーター主体の電気自動車へとシフトしつつあるとも言われている。電気自動車の一例として、たとえば、太陽エネルギーを主として走行するソーラーカーがある。過去にはその将来性から大手自動車メーカーが積極的にレースイベントにも参戦していた時期もあったが、現在では大学・高専・高校などの教育機関および社会人有志主体のイベントとしてソーラーカーレースが世界中で開催されており、本高専も地元三重県の鈴鹿サーキットで開催されるソーラーカーレースに継続的に参戦している。ソーラーカーは非常に限られたエネルギーでいかに効率よく走行できるかが技術のカギであり、その技術には大きく分けて、効率的にソーラーエネルギーを利用する技術、および、効率的に車体を走行させる技術に大別される。その中で、ソーラーカーエネルギーにより効率的に車体を走行させる技術は、今後の電気自動車への直接的な応用が期待できる技術であり、本高専においてもこの技術に注目し、ソーラーカーの開発設計を実施している。

競技用ソーラーカーは、サーキット走行等のクローズドコースでの走行を前提としており、そのために最高速度は100km/h程度と非常に高速で走行する車両である。一般に、空気抵抗は速度の2乗に比例するため、走行中にソーラーカーに作用する抗力のうち空気抵抗の割合は無視できない。したがって、ソーラーカーを効率的に走行させるためには

空気抵抗を低減させることが重要となり、設計段階から空気抵抗をできるだけ車体の開発が不可欠である。一方で、ソーラーカー周りの空気の流れは非常に複雑であり、その流れ場を実車規模かつ多様な条件のもとで実験・計測するのは現実的でない。そこで、近年、自動車等の周りの流れ場を短時間で効果的に把握する方法として注目されている方法が CFD ソフトを用いた流体解析法である¹⁾。この方法を用いれば、実際の流れとのキャリブレーションをとる必要はあるものの、比較的容易に実車周りの空気の流れを把握することができ、この技術を利用すれば、与えられた条件の中で、最適なソーラーカーの形状を効率的に検討することができる。このような観点から、本校においても市販の CFD ソフトを用いながら空気抵抗低減を狙った競技用ソーラーカーの設計製作を行うことを目的とした学生への教育および効果的に空気抵抗を低減させる方法等に関する研究を行っており、本報告においては、まずは CFD ソフトの確認のために行った円柱周りの流れ場の解析結果とその妥当性の検証、および2016年型近大高専ソーラーカーの流体解析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

CFD ソフトによる流体解析の妥当性を検証するために、まずは、一般的に流れ場がよく知られている球体周りの流れ場を市販のソフトを用いて解析した。CFD ソフトにはソフトウェアクレイドル社の SCRYU/Tetra を用いた。球体の解析空間の概略図を図1に示す。球体の直径は100mm、解析空間は幅500mm×高さ500mm×全長1000mmとし、解析空間の中心に球を設置した。境界条件として、球体表面はすべりなし条件、入口は流速規定とし、流速を 1×10^{-4} m/s ~ 1×10^1 m/s の範囲で変化させた。出口は表面圧力を0 Paと規定した。解析空間は SCRYU/Tetra の機能を用いて、非構造格子による要素分割を行い、球体表面近傍の境界層付近については、さらに細分割を行った。解析空間の総要素

*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

数は 8.8×10^6 である。なお、流体解析を乱流現象の把握等の目的に利用する場合には LES による流体解析が好ましいと思われるが、計算時間を考慮に入れると、ソーラーカー等の工学的設計に応用するための流体解析においては LES による流体解析は現実的ではない。そこで、本解析においては、ソーラーカー設計への CFD の応用を考慮してレイノルズ平均モデル (RANS) による定常解析でシミュレーションを行った。乱流モデルには標準 $k-\epsilon$ モデルを用いた。流体解析より球体周りの流れ場の概要を把握するとともに、空気抵抗係数 C_d 値を算出し、既知の実験結果²⁾による球体の C_d 値と比較することで、本流体解析の妥当性を検証した。

球体周りの流体解析に引き続き、2016 年型ソーラーカーの車体周りの流れ場の解析を行った。解析モデルの 3D CAD 図を図 2 に、解析空間のイメージ図を図 3 に、実際の車体の外観図を図 4 に示す。ソーラーカーは現在主流である翼型断面形状を基本コンセプトとし、翼型カウル上面にソーラーパネルを設置する形状とした。車体サイズ等は出来る限りコンパクトであることが空気抵抗の観点からは望

ましいが、既存の近大高専ソーラーカー車体の骨格であるアルミフレームを流用して車体設計を行う必要があるという制約や工作技術の問題等を考慮し、図 2 に示すような 2 次元断面の車体外観とした。ソーラーカーの車体寸法は全幅 1.7m、全高 1.05m、全長 4m である。また、解析空間は幅 9m×高さ 8m×全長 20m とした。境界条件・計算条件等は基本的に球体周りの流れ場解析と同様であり、入口流速は本高専ソーラーカーの走行速度を想定して 20m/s と設定した。解析空間の総要素数は 4.4×10^7 程度である。得られた流体解析結果より 2016 年型車体の空気抵抗係数 C_d 値を算出し、その性能を評価した。

3. 結果および考察

球体周りの流れ場について、CFD ソフトウェアを用いて解析を行った。得られた結果について、抵抗係数 C_d 値を図 5 に示す。図の横軸はレイノルズ数 Re 、縦軸は空気抵抗係数 C_d である。図 5 中の実線は一般的に知られている球体周りの抵抗係数²⁾であり、プロットは本シミュレーションで得られた結果である。図に示すように $Re < 10^6$ において、既存の結果とおおよそ一致していることがわかる。すなわち、このシミュレーションソフトウェアを用いた流体解析によって、レイノルズ平均モデルによる定常解析ではあるが、球体周りの全体的な流れ場をある程度再現できていることがわかる。

この結果を踏まえ、2016 年型近大高専ソーラーカー周りの流れ場の解析を行った。得られた結果について、ソーラーカー周りの流れ場の一例として、速度ベクトル図および車体表面の圧力コンター図を図 6 (a)、(b) に示す。図 6 (a) は車体の垂直断面における速度ベクトルを、図 6 (b) は車体の水平断面における速度ベクトルを表す。なお、図中において、速度ベクトルは赤色が高速領域、青色が低速領域、ソーラーカー車体面については、赤色が高压領域、青色が低压領域を表している。図よりソーラーカー先端付近では周囲の流れに比較して速度が減速するとともに、ソーラーカー先端表面の圧力が増大していること、また、ソーラーカー上面の速度が大きく増加しており、キャノピー頂部では 30m/s 近い速度となっているのがわかる。また、ソーラーカー後部では周囲に比較して速度の遅い領域が発生していること、および車体下部のスパッツ等の影響により速度が一様ではなくなっているのがわかる。

また、これらの結果より、空気抵抗係数 C_d と車体の全面投影面積 A との積 $C_d A$ 値を算出した。 $C_d A$ 値は以下の式により定義される。

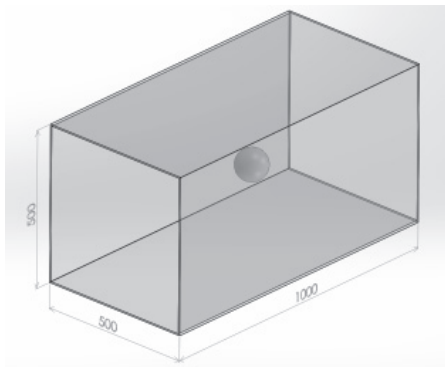


Fig. 1 Flow analysis around a sphere

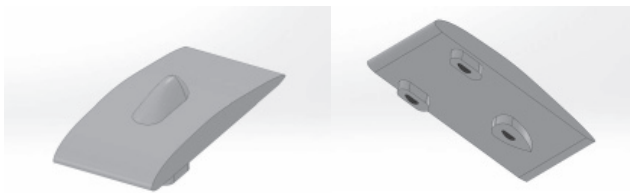


Fig. 2 KUTC Solar car 2016 model (3D CAD)

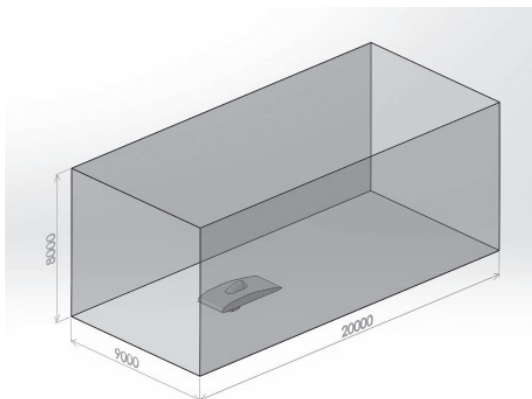


Fig. 3 Flow analysis around a solar car

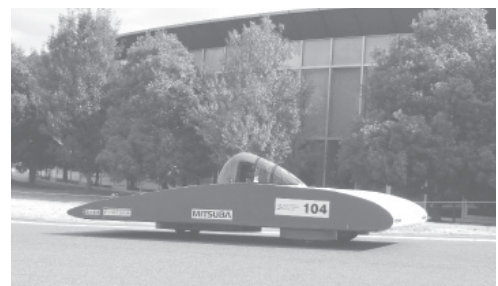


Fig. 4 KUTC Solar car 2016 model

$$D = \frac{1}{2} \rho U^2 \cdot C_d A$$

ここで、空気抵抗 D は車体に作用する圧力抵抗、表面摩擦抵抗より算出した。 ρ は空気密度、 U は主流の速度（車両速度）である。計算の結果、2016 年型近大高専ソーラーカーの $C_d A$ 値は、 $C_d A = 0.16$ となった。現在の主流である一般的な翼型断面形状の競技用ソーラーカーの $C_d A$ 値は時速 100km/h で 0.12~0.16 程度と言われている³⁾。得られた結果は比較的妥当な数値ではあるが、やはり、既存の車体を利用するという制約のもとで設計した車体のために、 $C_d A$ 値が大きくなっているのがわかる。しかも、実際の車体製作上の工作精度を考慮に入れば、CFD 上での設計値は可能な限りなく小さくする必要がある。今後は、風洞実験等において本ソーラーカー解析の妥当性を検証するとともに、今回の解析結果をベンチマークとし、既存の車体を流用しつつ空気抵抗係数・前面投影面積を低減するような車体を検討し、そのモデル解析を CFD ソフトにより行うことで、より効率的な競技用ソーラーカーの設計・製作を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 東大輔, 自動車空力デザイン、三樹書房。
- 2) 機械工学便覧 基礎編 A 5 流体力学、日本機械学会。
- 3) 池上敦哉、新型ソーラーカー“Tokai Challenger”の開発（機械編）、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（2010）、pp. 1-17。

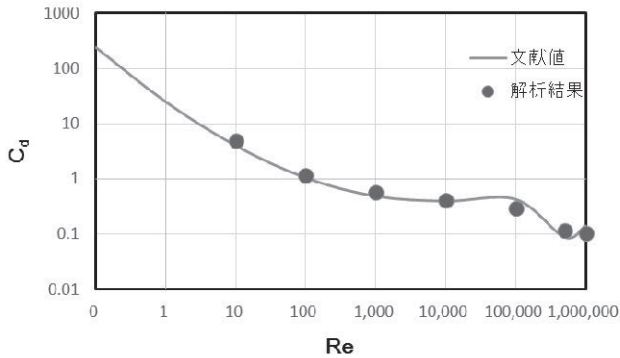
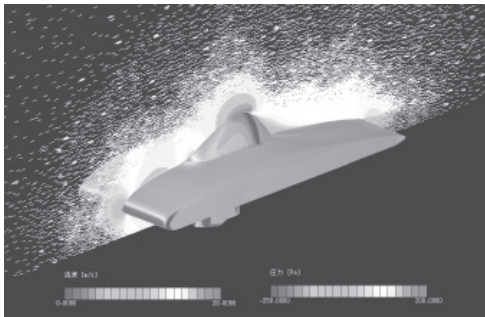
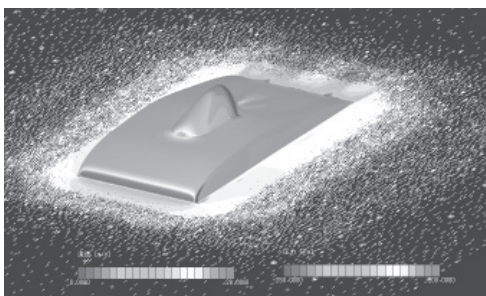


Fig. 4 Coefficient of drag (sphere)



(a) Vertical section



(a) Horizontal section

Fig. 5 Example of velocity field (solar car)