

ソーラーカーのためのシミュレーションモデルについて (2)

中西 弘一 岸 純男 仲森 昌也 荒賀 浩一

Simulation Model for Solar Car (2)

Kouichi NAKANISHI Sumio KISHI Masaya NAKAMORI Koichi ARAGA

Aerodynamic drag accounts for a large portion of the total resistive force when the solar car is running in the race. It is a significant power loss at any speed above 40 km/h. In this paper, an approximate simulation model is presented on MATLAB Simulink. We can simulate the aerodynamic drag as function of vehicle speed on approximate calculation.

Keyword: Simulation, Solar Car, Energy Management, Aerodynamics

1. はじめに

ソーラーカーは、太陽の光エネルギーを太陽電池パネルで電気エネルギーに変換し、電気モータで走行する。本校のソーラーカー製作は「もの創り教育」の一環として1995年から取り組み、ソーラーカーレース鈴鹿には、1996年第5回大会から参加している。当初から太陽光エネルギーの効率的な利用と駆動制御技術に注目し、電気二重層キャパシタ (EDLC) やインホイールモータを搭載してきた。またエネルギーの有効利用には、負荷の状態すなわち走行状態を把握する必要があり、従って車両位置や速度等を計測し通信するテレメトリーシステムの確立が必要で、このため各種計測器の導入や計測技術の開発も行ってきた。

以上のこれらの経緯から、これまで導入した機器、計測器を活用し、積極的に総合的な観点からエネルギーの利用効率をさらに向上させるには、ソーラーカーのシミュレーションモデルを構築することが必要であると考え、その研究を行ってきた。

前回の報告では、CACSD (computer aided control system design) の一つである MATLAB・Simulink を用い、空気抵抗を考慮したソーラーカーのシミュレ

ーションモデルを示したが、今回の報告では、空気抵抗を線形近似し、これに転がり抵抗を加えたシミュレーションモデルを構築したので報告する。

2. ソーラーカーの概要

本報告で使用したソーラーカーの外観と仕様を図1、表1に示す。ソーラーカーレース鈴鹿においては、使用するソーラーパネル発電出力、蓄電池の種類と容量、車体寸法などについてクラス分けされている。そのクラスはオリンピッククラス、ドリームクラス、チャレンジクラス、エンジョイクラスに区分され、本校は4時間耐久レースであるエンジョイIIクラスに参加している。

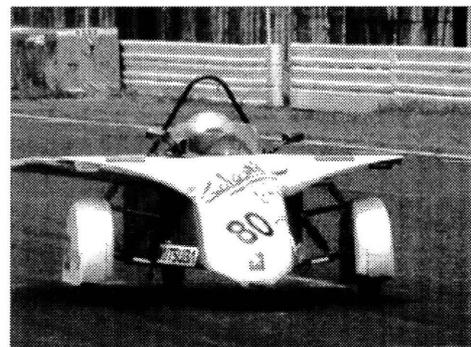


図1 ソーラーカー外観

表 1. ソーラーカーの仕様

車体サイズ	全長：3800mm 全幅：1305mm 全高：1070mm
車輪数	前：2輪 後：1輪
車体重量	189kg
シャシー	3000系アルミ合金角パイプ
タイヤ	17" ダンロップ
ホイール	17" アルミホイール
パネル	総出力：480W
モータ	DC ブラシレスモーター
主蓄電池	搭載数：8個

本校のソーラーカーの構成を図2に示す。ソーラーパネルで発電した電気エネルギーは、最大電力追尾装置を経て蓄電池、EDLCそしてモータに供給される。最大電力追尾装置はソーラーパネルを最大効率で動作させるための回路で、EDLCは大容量なキャパシタで高速に大電流を充放電することで効率の良いエネルギー利用が可能となる。

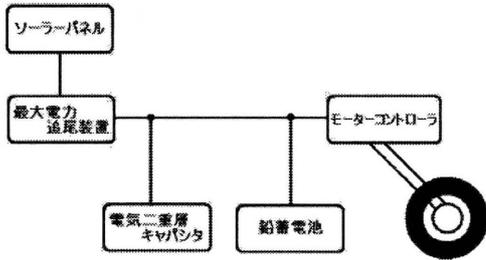


図2 ソーラーカーの構成

3. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルは、車両を一輪モデルとして、抵抗は空気抵抗と車輪の転がり抵抗であると考える。このときのモデルは次の式で示される。

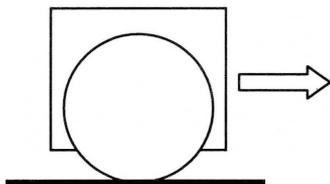


図3 一輪モデル

$$\left. \begin{aligned}
 v(t) &= R\omega(t) \\
 \omega(t) &= \frac{d\theta(t)}{dt} \\
 m_b \frac{dv(t)}{dt} &= F(t) - R_a - C_{rr} m_b g \\
 R_a &= C_d \rho \frac{v^2(t)}{2} S \\
 (J_e + J_m) \frac{dv(t)}{dt} &= T(t) - RF(t) - B\omega(t)
 \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで、 v 速度、 R 車輪半径、 m_b 車体重量、タイヤ路面間の力 F 、空気抵抗 R_a 、 C_{rr} 転がり抵抗係数、 C_d 抗力係数、 ρ 空気密度、最大投影面積 S 、モータ慣性モーメント J_e 、車輪の慣性モーメント J_m 、タイヤ軸への駆動トルク T である。

次に、DCモータはDCブラシモータで近似し、駆動電圧 v_{in} 、電気子抵抗 r_a 、電気子インダクタンス L_a 、電気子反作用による逆起電力 v_b 、駆動電流 i_a とすると次式のようなになる。なお、モータトルク係数 K_T は、 $K_E = K_T$ 関係が成立するとした。

$$\left. \begin{aligned}
 v_{in}(t) &= r_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + v_b(t) \\
 v_b(t) &= K_E \omega(t) \\
 T(t) &= K_T i_a(t)
 \end{aligned} \right\} (2)$$

空気抵抗 R_a の線形近似は、定常状態で空気抵抗、速度、駆動力を R_{a0} 、 v_0 、 F_0 とし、微小変動分を r' 、 v' 、 f' とする。これらより、変動があれば空気抵抗と速度の変化分は次式となる。

$$\left. \begin{aligned}
 (R_{a0} + r') &= C_d \rho \frac{S}{2} (v_0^2(t) + v') \\
 &\cong C_d \frac{\rho}{2} S V_0^2 \left(1 + 2 \frac{v'}{V_0} \right) \\
 \frac{dv'(t)}{dt} &= \frac{1}{m_b} \{ (F_0(t) + f') - (R_{a0} + r') \}
 \end{aligned} \right\} (3)$$

定常状態では速度変化分はゼロであるから

$F_0 = R_{a0}$ が成立する。従って(3)式から(4)式を得る。

$$\left. \begin{aligned} r' &= 2C_d \frac{\rho}{2} S V_0 v' \\ \frac{dv'(t)}{dt} &= \frac{1}{m_b} (f' - r') \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(1)、(2)、(4)式をラプラス変換し、MATLAB と Simulink を用いてシミュレーションモデルを作成したものを図4に示す。

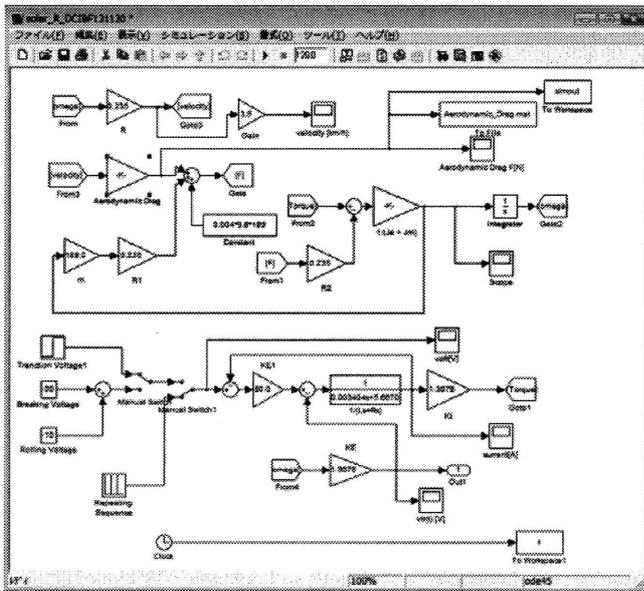


図4 シミュレーションモデル

4. シミュレーション結果

シミュレーションに用いる各パラメータは、機械的な時定数は車重とタイヤ直径とその重量から求め、空気抵抗は車体の前面断面積を計測しその値から求めた。入力は25Aで10秒間モータを駆動した場合とした。これは、本校ソーラーカーの加速テストでよく使用する加速状態である。このときのシミュレーション結果を示す。図5の車両速度はおよそ17.5km/hで図6の空気抵抗はおよそ3.5Nとなった。なお空気抵抗の理論値は3.82Nである。同様に車体速度35.5km/hで空気抵抗16Nとなり、空気抵抗の理論値は15.7Nである。また、車体速度57km/hで空気抵抗39Nとなり、空気抵抗の理論値は40.6Nである。

5. まとめ

空気抵抗を線形近似し、転がり抵抗を考慮した一輪モデルで、MATLAB と Simulink を用いてソーラー

カーのシミュレーションモデルを構築した。各車体速度での空気抵抗は、理論値に近似した値を得ることを確認した。

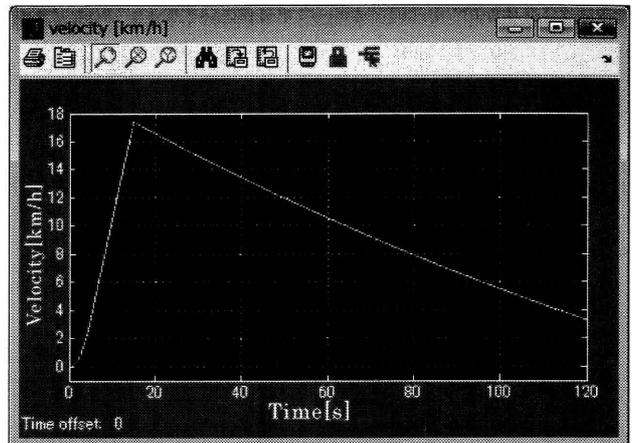


図5 車体速度

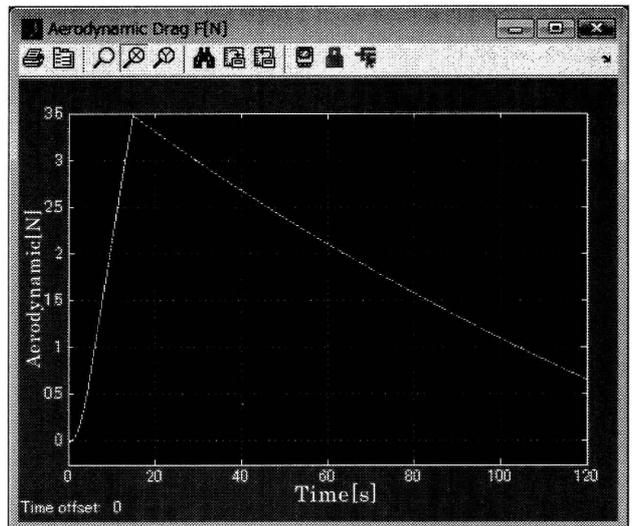


図6 空気抵抗

今後は、太陽電池パネル、蓄電池などのモデルを構築し追加することでシミュレーションモデルを発展させ、積極的なエネルギーの管理に役立ててゆきたい。

参考文献

- 1) 大川, 本田: “よくわかる図解とシミュレーションで学ぶ自動車のモーションコントロール技術入門, 山海堂