

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 (3)

中西 弘一* 岸 純男* 仲森 昌也* 荒賀 浩一**

Simulation Model for Solar Car (3)

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 tried to calculate aerodynamic drag and average speed by using measured value of Solar Car on the simulation model.

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重要で、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。

これらの経緯から、これまで導入した各種計測器を活用し、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。

前回までの報告では、CACSD (computer aided control system design) の一つである MATLAB・Simulink を使い、空気抵抗を線形近似で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、実際のソーラーカーレースのデータを用いてシミュレーションモデルを評価したので報告する。

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

近畿大学工業高等専門学校 総合システム工学科

*電気電子コース **機械システムコース

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。

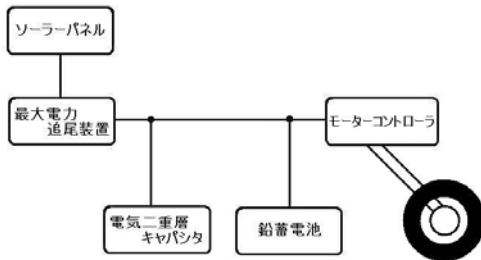


図2 ソーラーカーの構成

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。

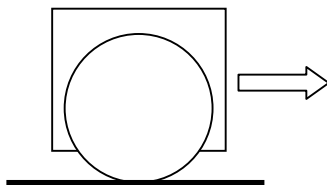


図3 一輪モデル

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

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 とすると次式ようになる。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。

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

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。

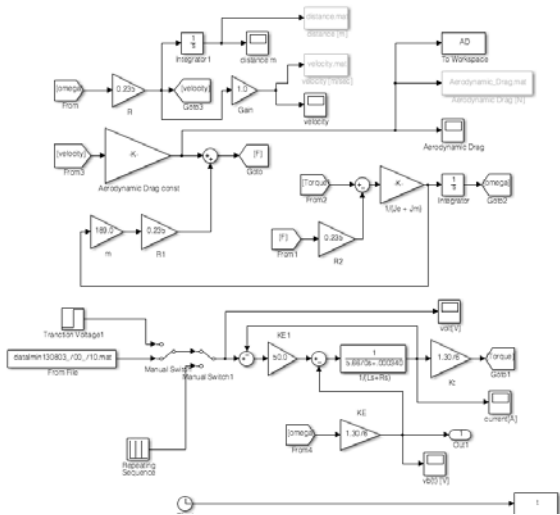


図4 シミュレーションモデル

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。

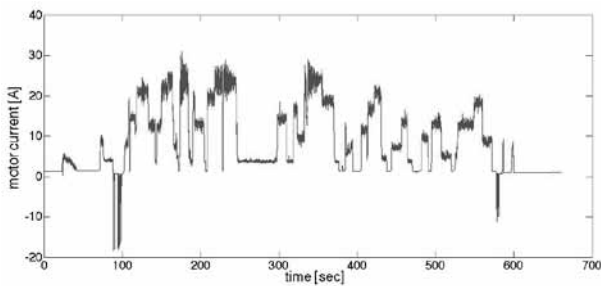


図5 ソーラーカーのモータ駆動電流

ソーラーレースでモータを駆動したときの電流変化を図5に示す。計測開始後20秒後にモータを駆動し、鈴鹿サーキット第1コーナーに向けて発車している。100秒から200秒ではs字コーナーから始

まる登り勾配に向けて電流値が増加している。その後は、コースの勾配にあわせてモータの電流値は変化し、600秒ではホームストレートを通過している。尚このときのラップタイムは9分50秒であった。

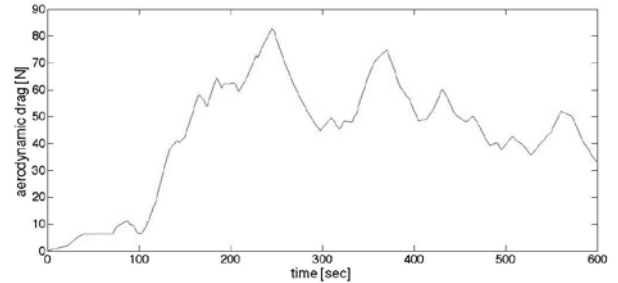


図6 空気抵抗のシミュレーション結果

図5に示したモータ電流値をモデルに入力しシミュレーションした結果を以下に述べる。図6は空気抵抗のシミュレーション結果である。およそ230秒では車速80km/h相当の80N、360秒で75km/h相当の75N程度の空気抵抗が発生すると計算している。この計算では、車速50km/hで空気抵抗を線形近似した。

シミュレーションモデルでは平坦路を仮定しているため、図7に示すソーラーカーの車速データを見ると、最大でもおよそ時速50km/h、空気抵抗で32N程度しか測定されておらず、計算結果に一致していない。つまり、シミュレーションでは勾配抵抗に起因する車速減少がなく、この結果として、車速が上昇し空気抵抗が増加した計算結果になったと考える。

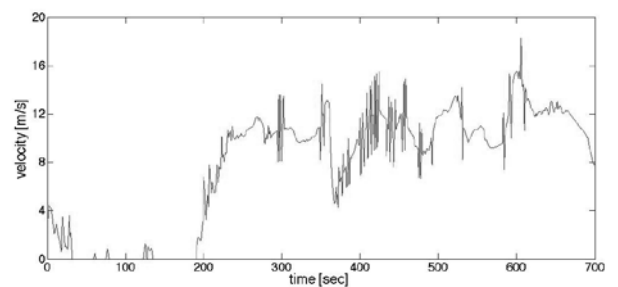


図7 ソーラーカーの車速

図8に示す車速のシミュレーション結果も併せて考察すると、250秒でおよそ時速70km/h程度と計算したことから、勾配抵抗を考慮しない場合本モデルではおよそ20km/hの速度差になることがわかる。

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 を用い構築したソーラーカーのシミュレーションモデルに実際のモータ駆動電流値を入力としてシミュレーションを実施した。その結果、車速については 20km/h 程度の速度差であったが、平均車速については 4km/h 程度の差に抑えることができ本モデルのシミュレーションが有効であることがわかった。

今後は、平坦路走行データを入力としたシミュレーションや勾配抵抗を考慮したモデルの構築を検討していき、将来的には太陽電池パネル、蓄電池などのモデルを構築・追加することで本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
- 2)中西, 岸, 仲森, 荒賀: “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”, 近畿大学工業高等専門学校研究紀要, 第 4 号, 平成 23 年 1 月

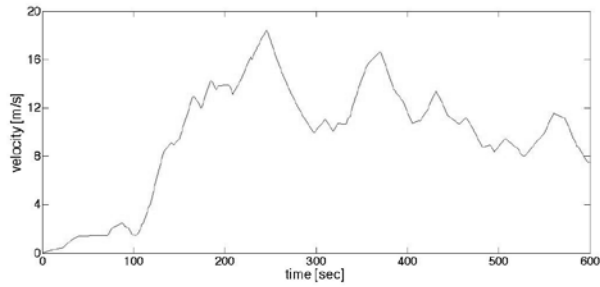


図 8 車速のシミュレーション結果

図 9 と図 10 に走行距離に関する実測値と計算結果を示す。

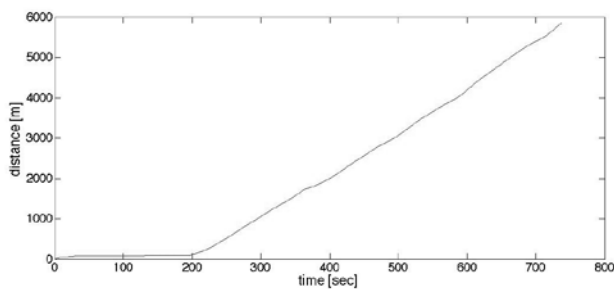


図 9 ソーラーカーの走行距離

図 9 では、スタート後 200 秒後からソーラーカーは走行を開始し、750 秒後におよそ 5900m (鈴鹿サーキットのコース長 5864m) を走行し、およそ平均車速 39km/h であることがわかる。

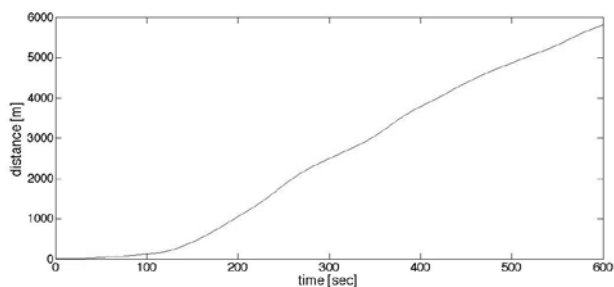


図 10 走行距離のシミュレーション結果

図 10 では、スタートから 100 秒後から加速し 600 秒後に 5900m を走行する計算結果となり、およそ平均車速 43km/h であり、4km/h 程度の差に抑えることができた。

以上のことから平均車速については本モデルのシミュレーションが有効であることがわかる。