

ソーラーカーの試作 (第4報 '99 W. S. Rにおける走行シミュレーション)

西側通雄・清水啓司・横井隆治・佐藤幹夫・高 行男

1. はじめに

現在、ソーラーカーレースやソーラーカーラリーが各地で開催されている。筆者らはワールドソーラーカーラリーイン秋田(W. S. R)を始めソーラーカーレース鈴鹿(S. R)や朝日ソーラーカーラリーイン神戸(A. S. R)等に参戦している^{1)~4)}。

これらの大会で好成績を得るには、各競技内容に適した車両を製作する事が不可欠である。W. S. Rでは、平坦な往復路を25時間で何周できるかを競うため、出力はあまり要しないが、高効率のモーターと軽量で空気抵抗の少ない車両が要求される。一方S. Rでは、起伏の激しい坂と複雑なカーブの多いサーキットを8時間で何周できるかを競うため、高出力で高効率のモーターと軽量で空気抵抗が少なく登坂・旋回性能に優れた車両が要求される。A. S. Rでは、最高速テスト、ジムカーナー(タイムトライアル)及びラリーの3競技からなり、高出力のモーターと加速・制動・旋回性能に優れた車両が要求される。

特に、W. S. RやS. Rの場合、競技内容に適した車両を製作しても走行方法(エネルギー消費の仕方)の違いにより走行周回数は大きく変わる。例えば、エネルギー消費を抑えて低速で走行すると周回数は増えず、周回数を増やそうと高速で走行すると競技終了前にエネルギーを消費して停止し結果的に周回数は増えない。このように、各大会においてより多く周回するには、モータ等が消費する電気量、バッテリー容量、太陽電池の発電量等の管理を行いながら走行することが必要である。今回、筆者らはそのためのシミュレーションを作成して'99 W. S. Rに参加したので、その概要を報告する。

2. シミュレーション

シミュレーションは、競技時間、充電(発電)可能時間、バッテリー容量、晴天時における太陽電池の発電量をベースに作成し、天候状態(晴雨、風向きや風力等)に応じて補正した。逐次手計算で補正を行ってはいは競技に支障をきたすので、予めコンピュータで基本プログラムを作成し、時刻、エネルギー残量、充電(発電)効率等を入力すれば走行速度が算出できるプログラムとしてある。以下にシミュレーションを作成する際の主な項目について述べる。

2. 1 設定時間

シミュレーション作成に必要な時間は、競技時間、充電可能時間である。競技時間は、大会1日目が午前9時から午後5時、大会2日目が午前8時から午後5時、大会3日目が午前8時から午後4時までの計25時間とした。充電可能時間は、大会1日目が午前9時から午後6時、大会2日目が午前6時30分から午後6時、大会3日目が午前6時30分から午後4時までの計30時間とした。

2. 2 車両性能

図1に今回参加した5号車の外観を、表1にはその主な仕様を示す。車両にはエネルギー残量計(積算電流計)を備えている。予めバッテリー容量を入力しておく、モータ等で消費した電気量は減算され、太陽電池の発電量(変換効率90%分の電気量)は加算され、残量が表示される装置である。空気抵抗を減らすためキャノピ(運転席の上部)の高さを45cmから30cmと低くし、前面投影面積を0.51m²から0.45m²と小さくした。空気抵抗係数は0.4(推定)、転がり抵抗係数は0.01(実測値)とした。



図1 5号車外観

表1 5号車仕様

太陽電池	メーカー	シャープ
	タイプ	単結晶シリコン
	最大出力	480 W
バッテリー	メーカー	フルカワ
	タイプ	鉛・開放
	容量	27 Ah / 5 HR
	個数	5 個
モーター	電圧	60 V
	メーカー	ユニーク
	タイプ	DCブラシレス
	最大出力	3200 W
積算電流計	メーカー	ツシマエレクトリック
	計測範囲	50mA~50A
	表示範囲	0.01Ah~99.99Ah
トラッカー	メーカー	ツシマエレクトリック
	入力電圧	15V~200V
	出力電圧	0~150V

2. 3 消費可能な電気量

競技中に消費できる電気量は、バッテリー容量と太陽電池の発電量の和である。バッテリーは、定格電圧12V、27Ah(5時間率)のもの5個を直列接続(60V)して使用した。バッテリー容量は、20時間率に換算した容量36Ah(7,776kJ)を用いた。

太陽電池の発電量は、天候状態により変わるが、晴の場合を基本とした。過去の大会集計記録より、晴の場合の平均充電(発電)効率は約30%と分かっている。充電(発電)可能時間が上述の通り30時間であり、太陽電池の最大出力が480Wなので、72Ah(15,552kJ)となる。消費できる総電気量は、この72Ahにバッテリー容量を加えた108Ah(23,328kJ)である。

2. 4 走行可能な周回数

昨年の練習走行のデータから、バッテリーのみで走行した場合、30km/hで1周すると約4.4Ah(950kJ)、35km/hで1周すると5.0Ah(1080kJ)の電気量が消費される事が分かっている。

30km/hで走行すると22周できるが、11.2Ah (2,420kJ) を残しタイムオーバーとなる。一方、35 km/hで走行すると、計算上は25周となるが、17Ah (3,672kJ) が不足するため22周走行中に競技を終了する。そこで、平均速度を33km/hに設定したが、競技中の天候状態やエネルギー残量を考慮して適宜走行速度を補正することとした。

3. シミュレーションに基づく走行

表2には基本プログラムに基づく走行表を示す。走行表の“L”は周回数，“地点”は通過点，“通過(H)”は通過時刻，“所要(H)”は各区間の所要時間，“積算(H)”は競技開始からの積算時間(経過時間)，“平均(V)”は競技開始からの平均速度，“積算電流”は積算電流計の値，“予想周回”は“平均(V)”から算出した走行周回数，“予想入力”は“所要(H)”と“充電効率”から算出した発電量，“充電効率”は晴雨に基づく効率表から求めた値(%)，“消費(Ah)”は1周走行に要する予測消費電流量，“走行時間”は各周回終了に要する競技開始からの積算時間，“予想残量”は各周回においてスタート時の“積算電流”，“予測入力”及び“消費(Ah)”より算出した値，“差”は周回終了時毎の“積算電流”と“予想残量”との差を示す。

表2 走行表(基本プログラム)

L	地点	通過(H)	所要(H)	積算(H)	平均(V)	積算電流	予想周回	予想入力	充電効率	
1	ST	9:00				36.00	予想周回	予想入力	充電効率	
	5	9:09	0:09	0:09	33.33	35.54	8.53	0.31	26	
	10	9:18	0:09	0:18	33.33	35.09	8.53	0.62	消費(Ah)	
	15	9:27	0:09	0:27	33.33	34.63	8.53	0.94	4.80	
	20	9:36	0:09	0:36	33.33	34.17	8.53	1.25	走行時間	
	25	9:48	0:09	0:48	33.33	33.71	8.53	1.56	0:56	
	30	9:54	0:09	0:54	33.33	33.26	8.53	1.87	予想残量	差
	P	9:56	0:02	0:56	33.49	33.14	8.57	1.94	33.14	(0.00)
2	L 地点	通過(H)	所要(H)	積算(H)	平均(V)	積算電流	予想周回	予想入力	充電効率	
	ST	9:56	0:00	0:56	33.49	33.14	8.57	0.00	41	
	5	10:05	0:09	1:05	33.47	32.86	8.57	0.49	消費(Ah)	
	10	10:14	0:09	1:14	33.45	32.58	8.56	0.98	4.80	
	15	10:23	0:09	1:23	33.44	32.31	8.56	1.48	走行時間	
	20	10:32	0:09	1:32	33.43	32.03	8.56	1.97	1:52	
	25	10:41	0:09	1:41	33.42	31.75	8.55	2.46		
	30	10:50	0:09	1:50	33.41	31.47	8.55	2.95	予想残量	差
P	10:52	0:02	1:52	33.49	31.40	8.57	3.06	31.40	(0.00)	
3	L 地点	通過(H)	所要(H)	積算(H)	平均(V)	積算電流	予想周回	予想入力	充電効率	
	ST	10:52	0:00	1:52	33.49	31.40	8.57	0.00	45	
	5	11:01	0:09	2:01	33.48	31.17	8.57	0.54	消費(Ah)	
	10	11:10	0:09	2:10	33.47	30.94	8.57	1.08	4.80	
	15	11:19	0:09	2:19	33.46	30.71	8.56	1.62	走行時間	
	20	11:28	0:09	2:28	33.45	30.48	8.56	2.16	2:48	
	25	11:37	0:09	2:37	33.44	30.25	8.56	2.70		
	30	11:46	0:09	2:46	33.44	30.02	8.56	3.24	予想残量	差
P	11:48	0:02	2:48	33.49	29.96	8.57	3.36	29.96	0.00	

表中の網かけ部分が入力部分であり、33km/h（5 kmを9分）で走行する場合の値にしている。

競技が開始されれば表2中の網かけ部分に、5 km地点及びピット通過時毎に、時刻と積算電流計の値を入力し、また、1周毎に晴雨に基づく充電（発電）効率及び1周走行に要する予測消費電力量を入力して、走行速度を補正されるようにプログラムされている。大会期間中の予定周回数は、大会1日目に8周、大会2日目に8周、大会3日目に6週の計22周とした。

大会1日目の実走行時のプログラムの一部（1～3周目）を表3に示す。表2のそれとは異なり表3の網かけ部分には、実走行時の値が入力されている。天候は晴、風は北向き1～2 m/sであったので、走行速度は設定通り33km/hで走行した。1周目は、すべての車両が一斉にスタートするので、危険防止のために1 km地点（ピットロード終点）までは徐行運転になっている。これにより遅れが生じたが、1周する間に設定速度になるよう補正した。2周目と3周目の往路でドライバ交替に要する時間を補うため速度を上げたが、3周目の復路以降は速度を33km/hに戻した。大会1日目の走行周回数は予定通り8周であった。消費電力量及び太陽電池の発電量は共に予測を上回ったが、走行終了時のエネルギー残量は予測通りであった。競技終了後に行った太陽電池によるバッテリーへの充電（競技終了時から日没までと翌日の日の出から競技開始時まで）でもほぼ予測通りの充電量が得られた。

表3 走行表（実走行プログラム）

L	地点	通過(H)	所要(H)	積算(H)	平均(V)	積算電流	予想周回	予想入力	充電効率	
1	ST	9:00				36.00				
	5	9:12	0:12	0:12	25.00	35.72	6.40	0.42	26	
	10	9:21	0:09	0:21	28.57	35.38	7.31	0.73	消費(Ah)	
	15	9:29	0:08	0:29	31.03	34.89	7.94	1.01	4.80	
	20	9:37	0:08	0:37	32.43	34.29	8.30	1.28	走行時間	
	25	9:45	0:08	0:45	33.33	33.56	8.53	1.56	0:56	
	30	9:51	0:06	0:51	35.29	33.15	9.03	1.77	予想残量	差
P	9:56	0:05	0:56	33.49	32.87	8.57	1.94	33.14	(0.27)	
2	ST	9:56	0:00	0:56	33.49	32.87	8.57	0.00	41	
	5	10:03	0:07	1:03	34.53	32.66	8.84	0.38	消費(Ah)	
	10	10:11	0:08	1:11	34.86	32.43	8.92	0.82	4.80	
	15	10:18	0:07	1:18	35.58	32.16	9.11	1.20	走行時間	
	20	10:26	0:08	1:26	35.76	31.72	9.15	1.64	1:45	
	25	10:34	0:08	1:34	35.91	31.06	9.19	2		
	30	10:42	0:08	1:42	36.03	30.52	9.22	2.51	予想残量	差
P	10:45	0:03	1:45	35.72	30.38	9.14	2.68	31.02	(0.64)	
3	ST	10:45	0:00	1:45	35.72	30.38	9.14	0.00	45	
	5	10:52	0:07	1:52	36.17	30.26	9.26	0.42	消費(Ah)	
	10	10:59	0:07	1:59	36.56	30.10	9.36	0.84	4.80	
	15	11:07	0:08	2:07	36.62	29.85	9.37	1.32	走行時間	
	20	11:16	0:09	2:16	36.40	29.56	9.32	1.86	2:37	
	25	11:25	0:09	2:25	36.21	29.19	9.27	2.40		
	30	11:34	0:09	2:34	36.04	28.83	9.23	2.94	予想残量	差
P	11:37	0:03	2:37	35.83	28.76	9.17	3.12	29.34	(0.58)	

大会2日目の天候は大会1日目と同様に晴であったので、競技開始時の走行速度は設定通り33km/hで走行した。しかし、風が北向き5~7m/sと強く、往路の15kmでは追い風となっていたためエネルギー消費は少なかったが、復路の15kmでは消費が増した。そこで、2周目から往路の走行速度を40km/h、復路は25km/hに補正した。その結果、平均速度は30km/hと設定速度を下回ったが、走行周回数は予定通り8周であった。競技終了時点のエネルギー残量はほぼ予測通りであった。競技終了後の夕刻（競技終了時から日没まで）の充電では、ほぼ予測通りの充電量が得られたが、翌日の競技開始前の充電では天候が快晴であったので予測以上の充電量が得られた。

大会3日目の天候は快晴で、午前8時の競技開始時には予定外に発電効率が45%と高くなっていたので、プログラムを補正し、1周目の走行速度を35km/hとした。しかし、大会2日目と同様に風の状態を考慮し、2周目から往路の走行速度を42km/h、復路は30km/hとした。このペースで走行すれば9周できるが、残念ながら9周するだけのエネルギーが残らないと予測されたので、競技終了時の午後4時前である午後3時に予定より2周多い8周を走行して競技を終えた。なお、競技終了時のエネルギー残量と予想残量との差は2%程度であり、走行シミュレーションの活用が有効であることが確認された。

4. お わ り に

今回は、走行シミュレーションを作成し、'99 W. S. Rにて活用した。記録は、周回数：24周、総走行距離：750km、平均速度：33.2km/hであった。成績は、ハーフクラス（480W以下のクラス）3位に入賞し、特別賞（技術賞）も受賞した。今回活用したシミュレーションによる走行方法は、ソーラーカーの性能を引き出し周回数を増やすためには有効であり一応の成果が得られたと考えている。今後、今回参加した5号車よりころがり抵抗、空気抵抗を軽減した車両を試作し、更に簡便かつ綿密なシミュレーションを作成し、次回大会に臨みたい。

終わりに、ソーラーカーの部品製作に協力頂いた遠山壽氏ならびに大会出場に際し協力頂いた本学専攻科生（自動車工学専攻：今川明俊君、石田義樹君、青木洋拓君、佐々木佳久君）に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 西側通雄, 清水啓司, 横井隆治, 佐藤幹夫, 高橋正則, 高行男, “ソーラーカーの試作 (第1報, ソーラーカーラリーイン能登)” 中日本自動車短期大学論叢, 第23号 (1993) p. 43-47.
- 2) 西側通雄, 清水啓司, 横井隆治, 佐藤幹夫, 高橋正則, 高行男, “ソーラーカーの試作 (第2報, W. S. R. Japan in Ogata)” 中日本自動車短期大学論叢, 第24号 (1994) p. 73-78.
- 3) 西側通雄, 清水啓司, 横井隆治, 佐藤幹夫, 高行男, “ソーラーカーの試作” 自動車整備技術に関する研究報告誌, 第24号 (1995) p. 14-18.
- 4) 西側通雄, 清水啓司, 横井隆治, 佐藤幹夫, 高行男, “ソーラーカーの試作 (第3報, W. S. R. in Akita, S. R. in Noto)” 中日本自動車短期大学論叢, 第27号 (1997) p. 31-37.