

バッテリーエコランカーのレース戦略

Race strategy for battery eco-run car

金田旭仙* , 御室哲志*

Akinori Kaneta* , Tetsushi Mimuro*

*秋田県立大学

*Akita Prefectural University

キーワード: エコランカー(eco-run car), 航続距離(cruising range),
走行抵抗(road load)

連絡先: 〒015-0155 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4
秋田県立大学 システム科学技術学部 機械知能システム学科
御室哲志, Tel.: (0184)27-2202, Fax.: (0184)-27-2188, E-mail: mimuro@akita-pu.ac.jp

1. 緒言

近年, 自動車の分野においても環境・エネルギー問題が深刻となっており, 中でも地球温暖化は特に注目されている. そんな中, 化石燃料に変わる新たなエネルギーとして太陽エネルギー・地熱・風力・水力などの自然エネルギーに注目が集まっている. このような自然エネルギーは電気エネルギーに変換され, 我々の生活において必要不可欠になっている. その電気エネルギーのみを用いて走行する電気自動車に注目した. しかし, 電気自動車は高コスト・航続距離の短さなどの問題があり, 広く普及するにはいたっていないのが現状である.

先行研究では電気自動車の問題である航続距離性能に注目した. エコランカーは, 最小のエネルギーで最大の航続距離が必要である.

その中で, 一般的な電気自動車を, エコランカーレースに特化した競技用電気自動車である WEM¹⁾ (World Econo Move) カーに置き換え, エコカーレース用電気自動車の性能向上研究を行ってきた.

2. WEM の概要

WEM は「World Econo Move」の略で, 1995 年に大潟村で開催が始まった電気自動車エコノミーランである. 同大会に出場する車両を WEM カーと呼ぶ.

2.1 WEM の競技内容

WEM では使用できるエネルギー量を全競技車両揃えるため, 同じ二輪車用のバッテリーを 4 個搭載して 2 時間走り続ける. ドライバ質量は 70[kg] (調整用パラストを含む) と決め

られている²⁾。そのため車体の軽量化技術，空力性能，高性能なモータの開発，適切なエネルギーマネジメントなどあらゆる面で効率化と省エネルギー技術が要求される。機械，電気，材料，化学の幅広い分野での知識が必要である。

2.2 大潟村ソーラースポーツライン

WEM は秋田県大潟村にある大潟村ソーラースポーツライン (Fig. 1) で行われる。本大会は，その一部を使用して1周 6[km]のコースとなる。(Fig. 2)

このコースは，平均斜度 0.1[%]の小さいがエコランカーには十分な抵抗たりえる勾配を有する。また，大会の開催される 5 月には，コースとほぼ平行に南南西，平均風速 3.1[m/s] (2014 年)の風が吹いている³⁾。また，今年度，昨年度 WEM における競技中の平均風速はそれぞれ，4.6[m/s] (2014 年) 5.6[m/h] (2013 年)と大きな値となっている。

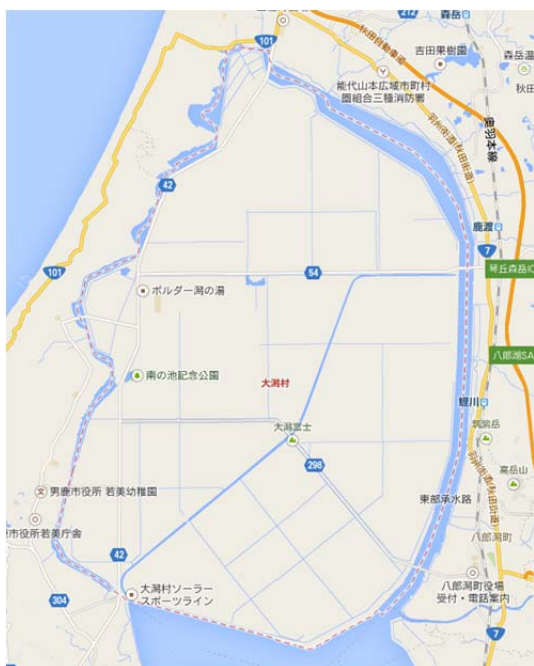


Fig. 1 大潟村ソーラースポーツライン

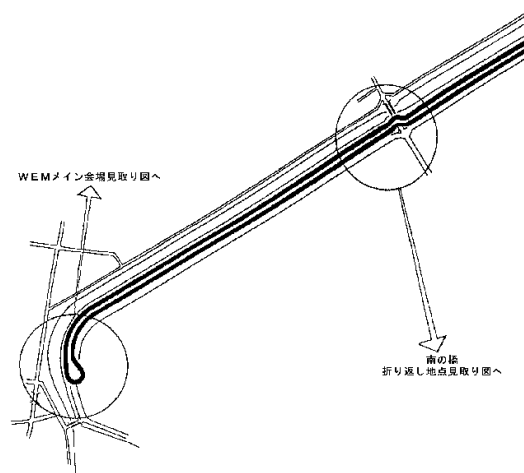


Fig. 2 WEM コース概略

3. WEM2014 の諸元

今年度 WEM で使用したエコランカー (以下 WEM2014⁴⁾) の諸元について Table 1, Table 2, Table 3 に示す。

Table 1 WEM2014 の外寸

名称	長さ[mm]
全長	2130
全幅	520
全高	440

Table 2 WEM2014 の諸元

	名称	概要
バッテリー	メーカー	古河電池
	形式	FTX4L-BS
	公称電圧[V]	12
	定格容量[Ah]	3(10 時間率)
モータ	メーカー	MITSUBA
	形式	M0124D-V
	定格出力[W]	70

Table 3 WEM2014 の重量

車両総重量[kg]	
90.0	
車両重量[kg]	ドライバ重量[kg]
20.0	70.0

WEM2014 の外観を Fig. 3 に示す .



Fig. 3 WEM2014 の外観

4. 本研究の動機

2014 年度 WEM では、バッテリー容量を 2 時間で使い切るために、電流を一定にする戦略で走行したところ、往路復路で速度に大きな差が生じた。2013 年度 WEM では、WEM2013⁵⁾を用いて速度を一定にする戦略で走行したところ、往路復路で電流に大きな差が生じた。

両戦略にそれぞれ大きな利点や欠点があるかということを考察する必要がある。

Fig. 4, Fig. 5 はそのときの走行データを元に、速度と電流を往路復路別に表したグラフである。

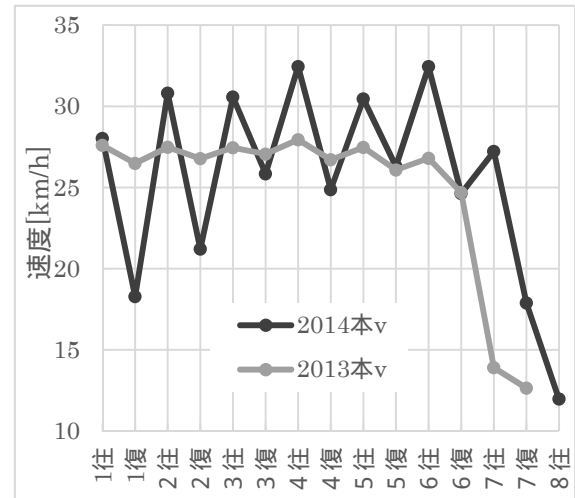


Fig. 4 WEM2013 と WEM2014 の速度比較

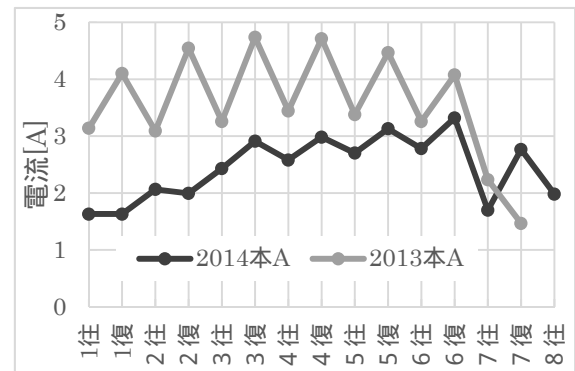


Fig. 5 WEM2013 と WEM2014 の電流比較

5. 戦略別の走行距離予測

速度固定、電流固定という 2 つの戦略において、勾配、風速の変化に対して一定のバッテリー容量 W (144[Wh]) を使い果たして達成する走行距離を求めるためのモデルを Excel で作成した。

5.1 速度固定

走行戦略として、 v [m/s]:車速(対地速)を定める。(今回は 30[km/h] (8.6[m/s])とした)

$$R_{all} = R_{air} + R_{roll} + R_g + R_a^{(6)} \quad (1)$$

R_{all} :全走行抵抗[N], R_{air} :空気抵抗[N], R_{roll} :
 転がり抵抗[N] (3[N]:引っ張り試験による計
 測値), 勾配抵抗[N] $R_g = \text{勾配} \times \text{車両総質量} \times$
 重力加速度 (パラメータ), R_a :加速抵抗[N]
 (走行中, 車速は一定とみなすので今回は省
 略)

$$R_{air} = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho \times A \times v_{air}^2 \quad (2)$$

C_d : 空気抵抗係数 (0.6), ρ : 空気密度
 (1.23[kg/m³]:5月の大潟村平均気温 15[°C])
 A :前面投影面積 (0.199[m²]), v_{air} :対気速
 (2)式において, w :風速[m/s] (向かい風を正
 とする) とすると,

$$R_{air} = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho \times A \times (v + w)^2 \quad (2')$$

となる.

走行中の全走行抵抗 R_{all} =走行中の駆動力 N
 より,

$$R_{all} = N \quad (3)$$

さらに, 消費電力 P [W]と駆動力 N [N]の間
 には,

$$P[W] \times \eta = N[N] \times v[m/s] \quad (4)$$

η :モータ効率 (今回は 0.93 とした)

バッテリーを使い果たすまでに走行する時間
 T [h]は,

$$T[h] = \frac{W[Wh]}{P[W]} \quad (5)$$

W [Wh]:バッテリーの電力量 (144[Wh])

バッテリーを使い果たすまでに走行する距離
 L [km]は,

$$L[km] = v[m/s] \times 3.6 \times T[h] \quad (6)$$

となる.

バッテリーを使い果たすまでの走行距離 L [km]
 は, (6)式に(5),(4),(3),(2')式を代入して

$$L[km] = 3.6 \times v[m/s] \times T[h] = \frac{3.6 \times v[m/s] \times W[Wh]}{P[W]} = \frac{3.6 \times v[m/s] \times W[Wh]}{N[N] \times v[m/s] / \eta} =$$

$$\frac{3.6 \times W[Wh] \times \eta}{(R_{roll} + R_g + \frac{1}{2} C_d \rho A (v+w)^2) [N]} \quad (6')$$

となる.

走行距離 L [km]と勾配, 風速の関係を Fig.
 6, Fig. 7 に示す.

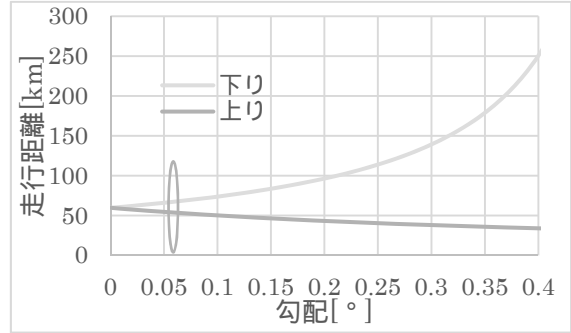


Fig. 6 速度一定時の勾配に対する走行距離

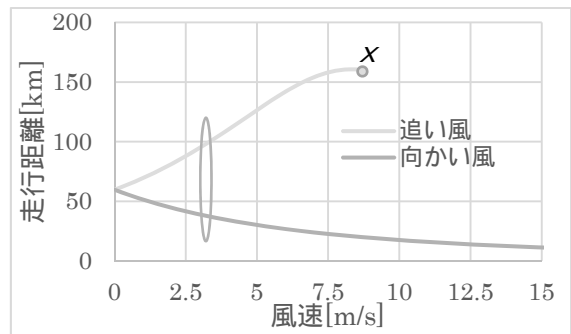


Fig. 7 速度一定時の風速に対する走行距離

Fig. 6, Fig. 7 中の縦長の楕円はそれぞれ,
 大潟村ソーラースポーツラインにおけると勾
 配 0.1 [%] と 5 月の平均的な風速 3.1 [m/s] を示
 している.

Fig. 7 で向かい風のグラフの x 点は, 車速
 と風速が等しくなり空気抵抗が 0 [N] になる
 点である. これより大きな風速に対しては空
 気抵抗を定義していないのでここで計算を打
 ち切った.

グラフは無視できない非線形性を持ってい
 る.

5.2 電流固定

走行戦略として、 I : 電流[A]を定める。(今回は、速度固定と比較するために定常状態で車速 8.6[m/s]となる電流 3.0178[A]とした) バッテリーの公称電圧の値から電力が決まる。

$$\frac{P[\text{W}]}{\eta} = (R_{air} + R_{roll} + R_g)[\text{N}] \times v[\text{m/s}] \quad (7)$$

これを、 v について展開・整理すると、 v の3次方程式となるので、カルダノの公式⁷⁾を用いて、 v を求めた。

速度固定と同様にバッテリーを使い果たすまでの走行距離 L [km]と勾配、風速の関係を Fig. 8, Fig. 9 に示す。

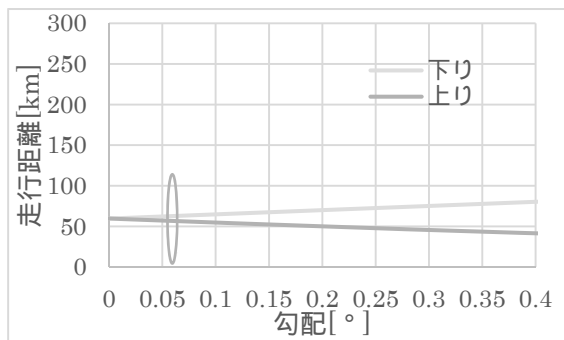


Fig. 8 電流一定時の勾配に対する走行距離

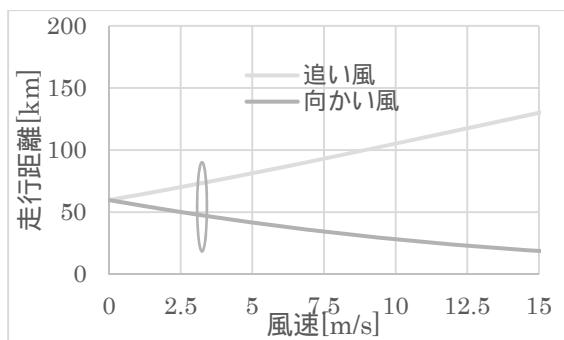


Fig. 9 電流一定時の風速に対する走行距離

Fig. 8, Fig. 9 中の縦長の楕円はそれぞれ、大潟村ソーラースポーツラインにおける勾配 0.1[%]と5月の平均的な風速 3.1[m/s]を示している。

6. レース戦略別の走行距離

大潟村ソーラースポーツラインにおける5月の平均的な風速 3.1[m/s]と勾配 0.1[%]から各条件における走行距離についてまとめたグラフを Fig. 10 に示す。

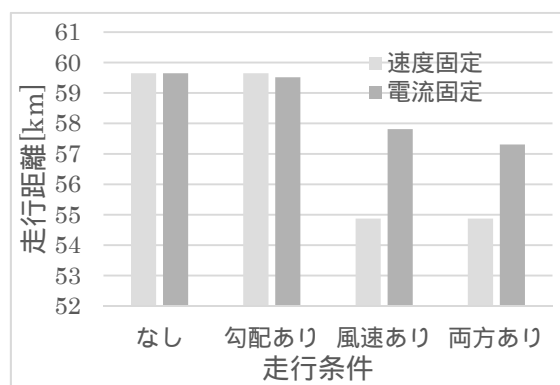


Fig. 10 条件に対する走行距離

このように、勾配・風速両方なしの場合で両作戦は全く同じ結果となった。

勾配ありの場合に速度固定に比べ若干電流固定の走行距離が小さくなっているのは、グラフの非線形性によるものと考えられる。

大潟村のように日常的に風が吹くコースにおいては、電流固定の走行がより長い走行距離を得ることができた。

7. 結言

本研究では、バッテリーエコランカーのレース戦略について取り上げた。昨年度および今年度の WEM における戦略の違いからよりよい方法を選出するために主に Excel 上で計算を行い、平均値で評価した。

その結果、大潟村ソーラースポーツライン

のように常に風が吹き，微小であっても勾配の存在するコースにおいては，電流を固定して走行した方が，走行距離が大きくなった．

今回は，Excel を用いた平均値データを扱ったが，シミュレーションの質を向上させるためにも今後は時間変化するデータを扱う必要があると考える．

それに，伴い実車によるシミュレーションの裏づけも合わせて進める．

参考文献

- 1) クリーンエネルギーアライアンス ,WEM2014,<http://wgc.or.jp/WEM/14wem/index.html>,2014/7/22
- 2) クリーンエネルギーアライアンス ,WEM2014 レギュレーション ,<http://wgc.or.jp/WEM/14wem/pdf/14WEMreg.pdf>,2014/7/22
- 3) 気象庁 , 過去の気象データ検索 ,<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/index.php>,2014/7/22
- 4) 金田旭仙 , 乗降性と居住性をミニマムレベルで確保したエコランカーの設計・製作 , 日本機械学会東北支部 第 49 期総会・講演会論文集 , 2014/3/14
- 5) 櫻井裕介 , ソーラーカーの開発と走行性能の評価 , 日本機械学会東北支部 第 48 期総会・講演会論文集,2013/3/15
- 6) 日本太陽エネルギー学会 , エコ電気自動車のしくみと製作 , 2006/9
- 7) Alan Jeffrey, 柳谷晃監訳, 穴田浩一, 内田雅克, 数学公式ハンドブック, 2011/5/24