

勾配が EV の航続距離に及ぼす影響

Effects of Grade on Cruising Range of EV

○野澤岳人, 御室哲志, 高梨宏之

○Taketo Nozawa, Tetsushi Mimuro, Hiroyuki Takanashi

秋田県立大学

Akita Prefectural University

キーワード：電気自動車(electric vehicle), 航続距離(cruising range), 勾配(grade)

連絡先：〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4 秋田県立大学
システム科学技術研究科 共同ライフサイクルデザイン工学専攻 生活支援工学研究室
御室哲志, Tel.: (0184)27-2216, Fax.: (0184)27-2188, E-mail: mimuro@akita-pu.ac.jp

1. 緒言

電気自動車 (EV) は、石油依存度の低減、地球温暖化の対策が求められる交通分野において重要な役割を果たすと考えられており、今後の世界的な市場成長が期待されている。しかしながら、現状の2次電池の性能では、従来の内燃機関の車両に比べて航続距離が限られ、重量増、コスト高でもある。

このような課題を抱えた EV のユーザ受容性について、世界各地で様々な実証試験が行なわれている。そのフィールドは、人口密度が高く、充電インフラの設置効率も高いと考えられる地域や、EV の走行性能が損なわれにくい温暖な地域が多い。秋田県では、EV と観光による地域

振興モデルの構築、関連産業の振興を目標に、秋田県仙北市田沢湖・角館地域を

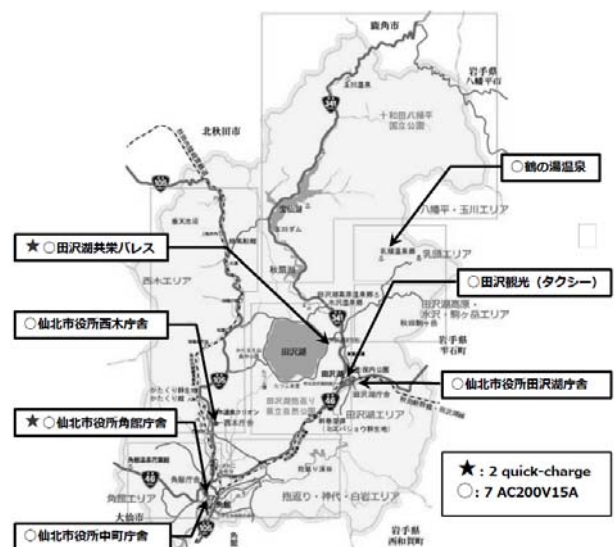


Fig.1 秋田県仙北市田沢湖・角館地域

フィールド (Fig.1) とした社会実証試験を行なうこととした。公立大学法人秋田県立大学は、秋田県の委託を受け、2011年に『あきた次世代自動車実証コンソーシアム』(以下、「コンソーシアム」と略す)を組織し、EVに関わる施設調整や、EVの走行実証試験を行ってきた^{1,2)}。本稿は、同コンソーシアムの活動の一環として行ったEVの走行試験に関するものである。

当該フィールドは、積雪寒冷地かつ、アップダウンの大きな山間部でありEVにとって過酷とも言える環境下において走行試験を行なった。

2. あきた次世代自動車実証試験の概要

コンソーシアムは、3つのワーキンググループ (WG) からなり、積雪寒冷地におけるEVの走行性能評価、充電器等の導入整備、充電器設置工事に携わる事業者の育成、EVを活用した観光活性化方策の検討等、テーマ別に検討を行なった。

EVの走行性能評価に導入したEV車両は、三菱自動車工業の『i-MiEV』と日産自動車の『日産リーフ』である。2種類のEVの主要諸元をTable 1に示す^{3,4)}。i-MiEV1台は仙北市公用車として一般的な走行用途に適用し、リーフ2台は観光タクシーとして適用した。

3. 電費の変動要因

EVの航続可能距離、及び電費は、EVの使い方を検討する上で重要な項目である。本稿では、本実証試験フィールドの特徴因子である山間地の勾配に焦点を当

Table 1 EVの主要諸元

	三菱自動車 i-MiEV	日産自動車 日産リーフ
導入台数	1台	2台
実証試験における用途	公用車	タクシー
型式	ZAA-HA3W	ZAA-ZEO
車両重量	1080[kg]	1520[kg]
電池容量	16[kWh]	24[kWh]
航続可能距離	160[km] 10・15モード	200[km] JC08モード
乗車定員	4名	5名

て、EVのユーザ受容性の決め手となる一充電距離への影響を分析する。

走行時の車両データとしては2011年3月～2012年1月の約1年間に取得したデータを用いる。i-MiEVはEVテレマティクスサービス⁵⁾を利用することによって1日の電力消費量・電費と区間毎の電池残量が0.5%の分解能で得られる。リーフについてはCARWINGS⁴⁾で1日単位のデータしか得られないので、区間毎の電池残量は車両の電池残量メータの2kWh単位相当(8.3%)の粗い目盛で記録した。

4. 勾配による電力量消費率変動

本実証試験フィールドの特徴の1つである山間地の勾配変化による電力量消費率(1kmあたりの消費電力量、電費の逆数、Energy Consumption)変動を明確な勾配変化を持つ2つのルートで評価した。季節による電力量消費率と極力独立な条件とするため、15～20℃程度の中庸な気温である9、10月に空調を使用せずに実行した。

4.1 田沢湖－駒ケ岳 8 合目登坂降坂走行

秋田県道 127 号駒ケ岳線の田沢湖共栄パレスから駒ケ岳出入口を経て駒ケ岳 8 合目までの片道約 15.7km の区間を 1 往復走行した。Fig.2 にルート標高図，Table 2 に各区間の距離と平均勾配を示す。共栄パレス～駒ケ岳出入口区間もスキー場に向かうかなりの勾配であるが，駒ケ岳出入口～駒ケ岳 8 合目は平均 10.22% と非常にきつい勾配となっている。

共栄パレス～駒ケ岳出入口の区間は一般的な走行，駒ケ岳出入口～駒ケ岳 8 合目の区間は夏のマイカー等の乗り入れ規制中のため，許可を得て路線バスの後方を追従走行した。

試験車両は，i-MiEV，リーフ，参考としてガソリン車のグランディアスの 3 台を使用した。試験は 2 日間で 4 回行い，試験日時は 9 月 10 日 10:00～15:30，11 日 9:30～14:00，天候は 10 日が雨，11 日が曇りのち晴れであった。乗車人数は i-MiEV，グランディアスが 1 名，リーフが 1 名もしくは 5 名である。

勾配に対する電力量消費率を Fig.3 に示す。i-MiEV は基本的には Eco ポジションで，10.22% 降坂では B ポジションでも走行した。同一条件 2 ケースの平均消費電力量は，Eco ポジションでは 0.48kWh，B ポジションでは 0.56kWh であった。リーフは全て ECO モードで走行した。グランディアスは D レンジであるが，10.22% 降坂ではマニュアルモードの 1 レンジを多用した。

i-MiEV やリーフは降坂時に電力を回生して蓄える。リーフは車両側残量メータ読みより精度が落ちると推定されるもの

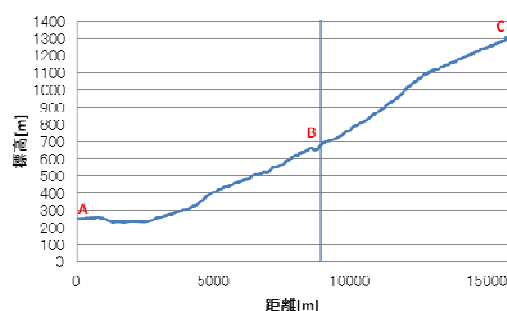


Fig.2 田沢湖－駒ケ岳 8 合目標高図

Table 2 試験ルートの詳細

区間	距離[km]	平均勾配[%]
A:共栄パレス→B:駒ケ岳出入口	9.5	4.37
B:駒ケ岳出入口→C:駒ケ岳 8 合目	6.2	10.22
全区間	15.7	6.68

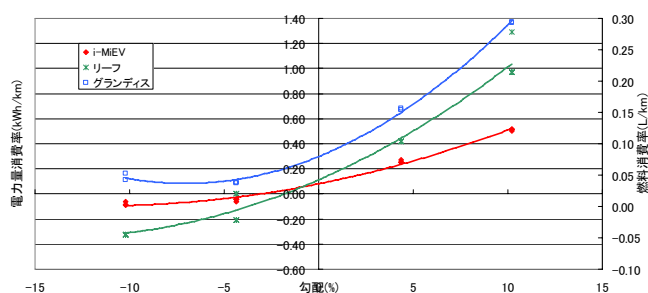


Fig.3 勾配に対する電力量消費率

の i-MiEV と比べ降坂時により多く回生した。これは，リーフには協調回生ブレーキ機能があり，一方，i-MiEV は初期型で回生機能があまり強くないことが反映していると考えられる。グランディアスは，降坂時でも燃料は消費するものの，降坂勾配の違いによる回生の差はほとんど生じなかった。

4.2 田沢湖－玉川温泉往復走行

田沢湖共栄パレスを起点とし，玉川温泉まで国道 341 号線片道約 39.1km の区

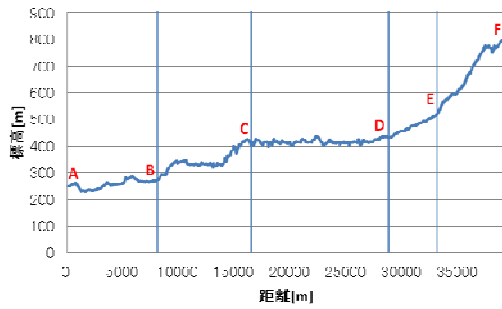


Fig.4 田沢湖ー玉川温泉標高図

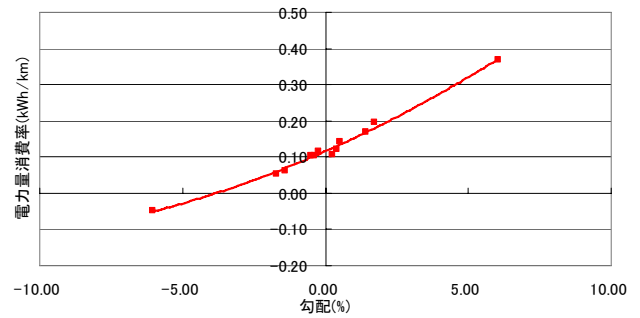


Fig.5 勾配に対する電力量消費率

Table 3 試験ルートの詳細

区間	距離[km]	平均勾配[%]
A:共栄パレス→B:鎧畑発電所	9.0	0.20
B:鎧畑発電所→C:玉川下流公園	7.6	1.49
C:玉川下流公園→D:新鳩ノ湯温泉	13.0	0.35
D:新鳩ノ湯温泉→E:柳沢	4.5	1.76
E:柳沢→F:玉川温泉	5.0	5.86
全区間	39.1	1.40

間を1往復走行した。Fig.4にルート標高図、Table 3に各区間の距離と平均勾配を示す。往路は勾配が変化しつつも基本的に上りであり、帰路は下りである。勾配によって5つの区間に分け、その区分点A~Fにおいて一旦停止し計測を行なった。

試験車両は、i-MiEVを使用した。試験日時は10月25日10:00~13:00、天候は雨であった。乗車人数は2名で、Ecoポジション、エアコンOFFである。

勾配に対する電力量消費率をFig.5に示す。勾配が大きいE-F区間の降坂は電力回生量が電力消費量を上回った。

さらに、i-MiEVとリーフの上り下りの電費をTable 4に示す。リーフの電費は、EVタクシーの営業記録からi-MiEVとほぼ同じコースの5月から9月までのデータと抽出したもので、上りは5回、下り

Table 4 田沢湖ー玉川温泉の電費

	上り/下り	平均車速 [km/h]	消費電力量 [kWh]	電費 [km/kWh]
i-MiEV	上り	37.2	6.56	6.0
	下り	44.3	3.12	12.5
リーフ	上り	52.8	10.4	4.2
	下り	47.5	4.6	9.6

は3回のデータの平均である。下り区間は上り区間に比べ、i-MiEVで約2倍、リーフで約2.3倍の電費となった。

4.3 電力量消費率予測値と実測値の比較

電力量消費率が正の範囲について電力量消費率予測値を求め、実測値と比較を行う。

$$\text{電力量消費率 (kWh/km)} = \frac{\text{総エネルギー (kJ)}}{3600 \times \text{区間距離 (km)}} \quad (1)$$

ここで、

$$\begin{aligned} \text{総エネルギー (kJ)} = & \{ \text{走行抵抗 (N)} \times \text{区間距離 (km)} + \\ & \text{試験時車両重量 (kg)} \times 9.81 (m/s^2) \times \{ \text{勾配 (\%)} / 100 \} \times \\ & \text{区間距離 (km)} \} / \text{走行効率} \end{aligned} \quad (2)$$

i-MiEVの場合、テクニカルレビューから走行抵抗150N、走行効率67%の数値を読み取って使用する⁶⁾。(1)、(2)式より、勾配に対する電力量消費率は(3)式で表すこ

とができる。

$$\text{電力量消費率 (kWh / km)} = \frac{\text{試験時車両重量 (kg)} \times 9.81}{67 \times 3600} \times \text{勾配(\%)} + \frac{15000}{67 \times 3600} \quad (3)$$

車両重量は、田沢湖－駒ヶ岳 8 合目登坂降坂走行試験では 1080(車重)+65×1(乗員)=1145kg とし、田沢湖－玉川温泉往復走行試験では 1080(車重)+65×2(乗員)=1210kg とした。i-MiEV の電力量消費率予測を Fig.6, Fig.7 に示す。なお、回生領域は電力量消費率予測が 0 となる点から近似線を記入した。i-MiEV について、電力量消費率予測は比較的大きい勾配では実測と良好な対応を示した。比較的小さい勾配において登坂時の予測値と実測値には誤差があった。これは、平均勾配が緩やかな区間には、多くの細かな上り下りが含まれており、今回の単純な予測にはその影響が反映されないことが 1 つの要因と考えられる。そこで、区間内の計測点を増やし、回生を含めたより詳細な予測値を示す。ここで、回生効率は近似線の傾きから 20%とした。詳細化する前と比較すると電力量消費率予測と実測値との誤差が縮まった。これより、平均勾配が緩やかな区間は大きい突出間で予測することでより正確な予測が可能である。

また、田沢湖－駒ヶ岳 8 合目登坂降坂試験におけるリーフの勾配に対する電力量消費率予測を Fig.8 に示す。車両重量は 1 名乗車時が 1520(車重)+65×1(乗員)=1585kg, 5名乗車時が 1520(車重)+65×5(乗員)=1845kg とした。なお、リーフの走行抵抗と走行効率は資料が無かったため、走行抵抗は以下の式(4)から求め、走行効率は 67%と仮定した。

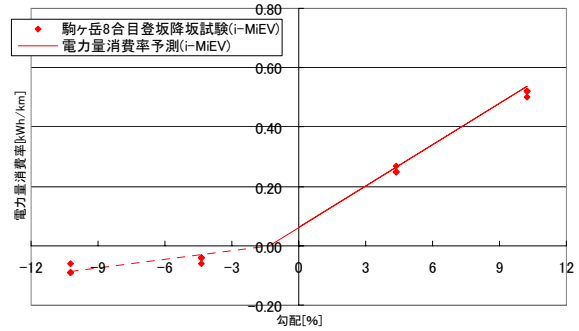


Fig.6 電力量消費率予測(駒ヶ岳 8 合目)

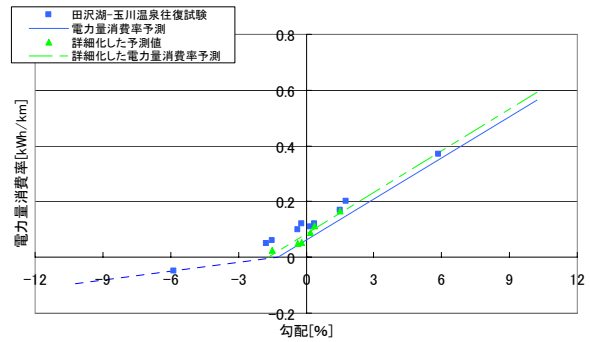


Fig.7 電力量消費率予測(玉川温泉)

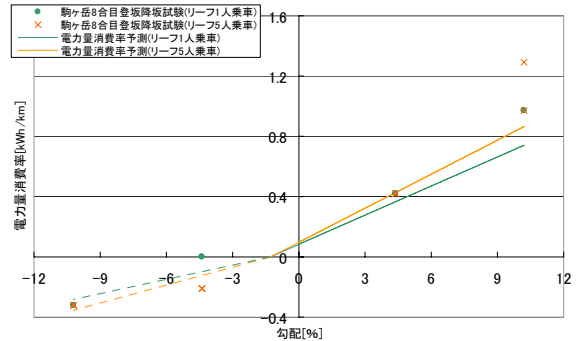


Fig.8 電力量消費率予測(リーフ)

$$\text{走行抵抗 (N)} = \text{転がり抵抗係数} \times \text{試験時車両重量 (kg)} \times 9.81(m/s^2) \quad (4)$$

電力量消費率予測は勾配が 10.22%において実測値と大きな誤差があった。これは、リーフの電力量消費は車両側残量メータの 2kWh 単位相当 (8.3%) の粗い目

盛で読み取ったことで精度が落ちたことが影響している。

代電気自動車「i-MiEV」の開発(第二報), テクニカルレビューNo.20, 53/60, (2008)

5. 結言

1年にわたるEVの実証試験から主に勾配が電力消費に与える影響を分析した。

具体的には、山間地の勾配変化による電力量消費率変動を田沢湖－駒ヶ岳 8 合目登坂降坂と田沢湖－玉川温泉往復の 2 つのルートで評価した。勾配に対する電力量消費率の予測値を求め、走行試験により得た実測値と比較を行なった。登坂時の比較的大きい勾配での電力量消費率の予測値は実測と良好な対応を示した。

今後は、さらにデータ分析を行なうとともに、電費予測シミュレーション、さらに本稿では明示しなかったが、冬季の暖房使用による電費低下の対策として燃焼式ヒータの暖房性能試験をし、山間寒冷地における効果的な EV 利用方法について検討を行なっていく予定である。

参考文献

- 1) あきた次世代自動車コンソーシアム,
<http://www.akita-pu.ac.jp/stic/ev-consortium/introduction.html>
- 2) 田沢湖周辺地域における次世代自動車実証試験調査報告書, (2011)
- 3) 三菱自動車 HP,
<http://www.mitsubishi-motors.co.jp/>
- 4) 日産自動車 HP,
<http://ev.nissan.co.jp/LEAF/>
- 5) 三菱オートリース HP,
http://www.mitsubishi-autolease.com/news/2011_0304.html
- 6) 細川隆志, 谷畑孝二, 宮本寛明: 次世