

〈研究発表〉

移動手段のパーソナル化と自然エネルギーによる電動化の走行試験による考察

宮本 裕一¹⁾, 村山 駿¹⁾, 後藤 基成¹⁾, 大地 大輔¹⁾

¹⁾東北工業大学 工学部 環境エネルギー学科

(〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町35-1 E-mail: miyamoto@tohtech.ac.jp)

概要

現代がかかえるエネルギー問題は、莫大かつ増大するエネルギー需要とそれに伴う環境への影響、化石燃料の枯渇、移動手段のための膨大な消費であり、原子力発電問題だけではない。持続可能な社会の実現には、提案する自然エネルギーを利用した独立電源によるパーソナルトランスポーターなどの活用によるモーダルシフトが大変有効で、取組まなければならない。本研究では、パーソナルトランスポーターと太陽光発電システムを連動させ、走行試験・理論的解析を通じて得た知見をまとめた。

キーワード：パーソナルトランスポーター、モーダルシフト、バッテリー、自然エネルギー

1. はじめに

3.11 大震災で浮き彫りになったのが Water (水), Energy (エネルギー), Bread (食料) のいわゆる WEB 枯渇問題である。このうち、エネルギー問題は限りある資源を利用し生活している我々にとって永遠の問題である。またエネルギー国内自給率 4% と食料の同 40% の 1/10 にも満たず大問題である。

今後、従来の化石燃料や原子力による大規模集中型の発電システムから、自然エネルギーなどを活用して小規模に分散した発電システムへの移行が課題となる。分散型エネルギーとして、個人・組織がエネルギーの一部を賄っていき、その管理を担うことを余儀なくされる。そうなれば、当然現状のエネルギー消費について見直しを図ることも必然である。

David JC Mackay が英国での平均的企業人を例に一人の一日のエネルギー消費を積算している¹⁾。この積算のユニークな所は電力エネルギーのみに注目することなく、直接消費する化石燃料も含めて議論している点である。これによれば、電力エネルギーは計 18 kWh/人日で全体の 10% に満たない一方、自動車や輸送などの移動に伴うエネルギー消費が 40% 以上を占めこれをどう考えるかが重要なことが分かる。特にオイルピークと言われ、数十年先には石油の枯渇が問題視される現実を考えるとなおさらである。一方、移動手段の確保は人類にとって重大事であり、これをなおざりにはできない。

2. 移動手段のパーソナル化

この解決策として、昨今電気自動車に焦点が当てら

れている。電気自動車の燃料効率は、ガソリン自動車の約 2 倍で、エネルギーを無駄なく使う電気自動車は、排出ガスのないクリーンな乗り物である。しかし普及という面においては、まだまだ進んでいるとは言えない状況である。

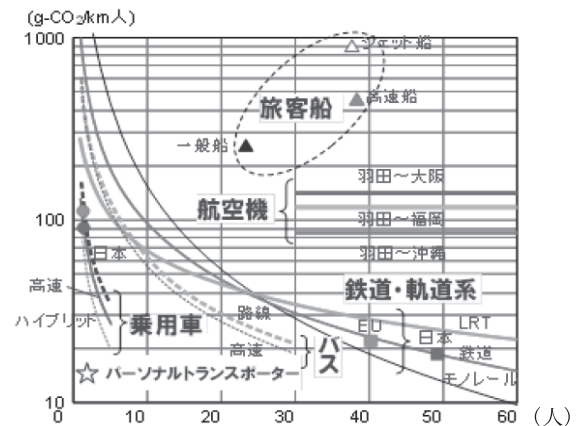


図1 乗車人員1人あたりのCO₂排出量比較

人の輸送にかかるCO₂の排出量を比較すると、乗用車の環境への負荷は、図1のように鉄道の約5倍である²⁾。従って、モーダルシフトと言えば自動車から鉄道へのシフトが言われてきた。しかし、鉄道での乗り換えにおけるシームレス化が十分でなく、それほどの支持・浸透を得ていない。1人の人間を運ぶのに、1~2トンもの重量のある自動車を動かすのは世界が称賛する日本の精神「もったいない」に反する。

マイクロEV (図2) にサイクルコンピューター等の軽量かつコンパクトなセンサー (GPS, 画像, 速度, 距離, 高度, 温度等) の装備を行う。さらに、データ

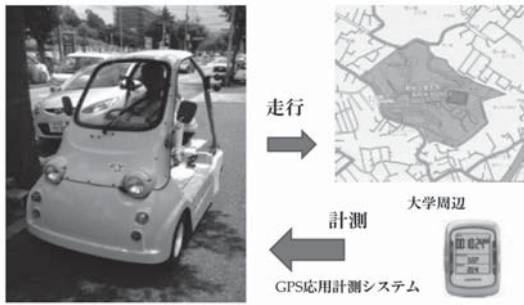


図2 パーソナルトランスポーター走行試験概要

ロガーを搭載し、バッテリー電圧 (±60V), 電流 (±40A), 温度数点を最小 10 ms 周期にて集録する。図3は大学周辺を走行したデータの一例である。

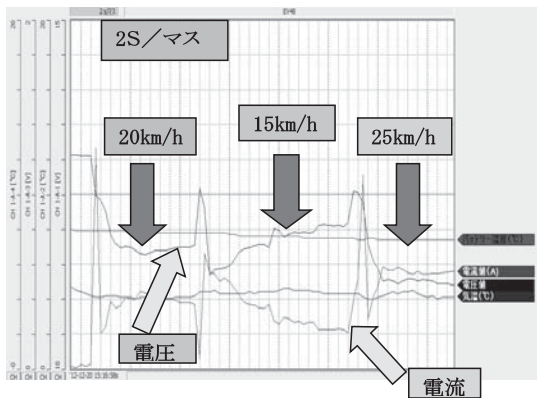


図3 走行試験データ例

図4に示した、空気抵抗, ころがり抵抗, 加速抵抗, 勾配抵抗を①~④式と表1の諸元値を用いて計算を行い, 理論消費電力量を⑤式で求め, 図3の試験結果と比較, 勾配θをパラメータとして図5に示す。

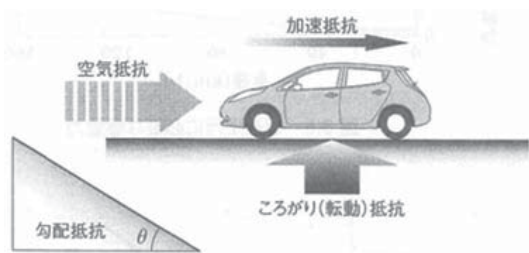


図4 自動車の走行抵抗

$$R_a = 1/2 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot V^2 \quad \dots \textcircled{1}$$

R_a : 空気抵抗 [N]

ρ : 空気密度 [kg/m³]

C_d : 空気抵抗係数 (無次元)

A : 車両前面投影面積 [m²]

V : 車両走行速度 (相対流速) [m/s]

$$R_r = \mu M g \cdot \cos\theta \quad \dots \textcircled{2}$$

R_r : ころがり抵抗 [N]

μ : ころがり抵抗係数 (無次元)

M : 車両総質量 [kg]

g : 重力加速度 [m/s²]

θ : 坂路勾配 [rad]

$$\text{加速抵抗の式 } R_c = (M + M_i) a \quad \dots \textcircled{3}$$

R_c : 加速抵抗 [N]

a : 加速度 [m/s²]

M_i : 駆動機構の回転部分の等価慣性質量 [kg]

表1 走行抵抗計算の諸元値

記号	名称	数値	単位
M	車両総重量(乗員・積載物含む)	325+60 =385	(kg)
C_d	空気抵抗係数(C_d 値)	0.25	---
A	前面投影面積 113 × 148CM ²	1.60	(m ²)
μ	転がり抵抗係数	0.007	---
ρ	空気密度	1.2	(Kg/m ³)
V	走行速度	2.8~ 11.1	(m/s)
θ	坂路勾配	0~2.5	%
g	重力加速度	9.8	(m/s ²)
a	走行時の加速度	0~	(m/s ²)
M_i	駆動機構の回転部分の等価慣性質量	Mの5%	(kg)

$$\text{勾配抵抗の式 } R_e = M g \cdot \sin\theta \quad \dots \textcircled{4}$$

R_e : 勾配抵抗 [N]

θ : 坂路勾配 [rad]

理論消費電力量の式

$$w = (R_a + R_r + R_c + R_e) \cdot V \quad \dots \textcircled{5}$$

w : 理論消費電力量 (w)

消費電力量(w)

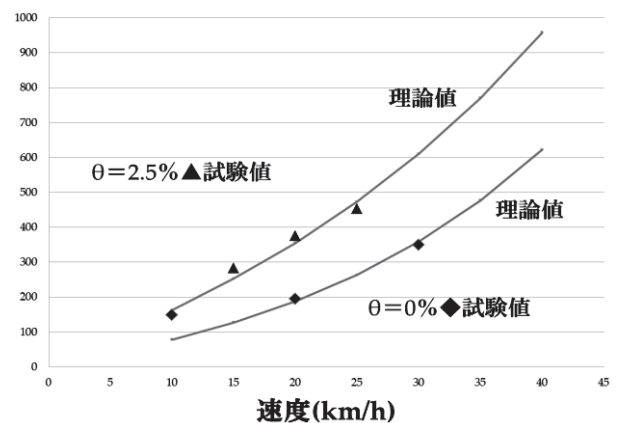


図5 走行試験値と理論値の比較

マイクロEVでは、バッテリーと駆動モーター間に電力変換装置が存在し、低回転数域では、電力変換効率が悪化する。低回転数域での電力変換効率を考慮すると理論値と実験値は5%以内の誤差内で一致する。

①~⑤式を用いて、種々の感度計算を実施した。こ

の時、各諸元値は表1の数値を基準に、種々変化させた。図6に示すように、定速20km/hで定速走行を行なった場合、重量が増すに連れて航続距離が短くなっていくことが分かる。今後のパーソナルトランスポーター実用化を考えればパーソナルトランスポーターの重量を少しでも軽量化し、航続距離を伸ばしていく必要がある。またマイクロEVに現在搭載している鉛バッテリーからリチウムイオンバッテリー等に換装を行なった場合、マイクロEVの軽量化と大容量化で航続距離が約2.5倍延伸する。

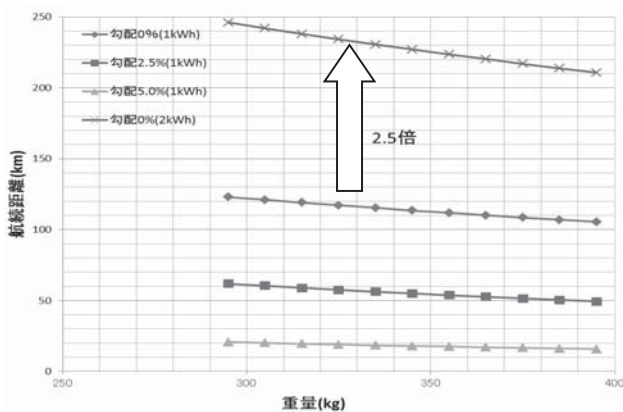


図6 車両重量による航続距離の関係(20km/h 定速走行)

図7に示すように、勾配が大きくなると極端に航続距離が短くなることが分かる。それに比べて平地(勾配5%未満)での航続距離は格段に伸びている。このことから、平地での利活用を推進することがパーソナルトランスポーターにおける航続距離問題の改善に繋がると言える。

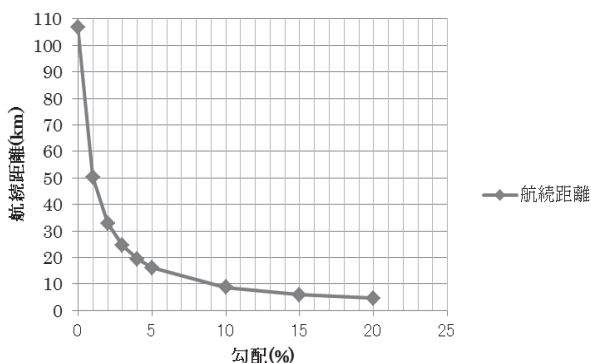


図7 バッテリー容量1kwhあたりの航続距離と勾配の関係

3. 自然エネルギーによる電動化



図8 太陽光発電パネルによる独立電源システム

太陽光発電による独立電源システム(図8)は、部品点数が少ない、発電機などの可動部分がない、独立電源システムとして小規模であっても効率低下しない、太陽光発電出力の不安定さはバッテリーで平滑化できる、直結可能なバッテリーを用いて変換レスにできれば効率向上も期待でき、太陽光発電パネルの効率改善と併せて、より少ない面積で充電可能となる。太陽光発電と連動させたパーソナルトランスポーターのように、分散型エネルギーによる移動手段を考えることは、コンピュータや電話がパーソナル化に向かって社会に定着した事実と方向性は一致しており、冒頭述べたWEB 枯渇問題解決の一つの方法と言える。

風力発電等の自然エネルギーによる発電システムは設置するのに膨大な費用・時間を費やしてしまうため個人で設置するのは非現実的である。それに比べ太陽光発電の設置は安価とまではいかないが、他の自然エネルギー活用システムに比べ小規模設置による低廉化が可能であり、現実的であると言える。

一方、太陽光発電ですべてを賄うとすると、大規模な場所の確保が必要となる。また、太陽光発電には太陽の光が必須である。しかし、日本には四季がある。つまり季節によって日照時間が違うこと、曇りや雨・雪といった天候の影響を極端に受けてしまうのが課題である。

表2 宮城県仙台市における年間平均日照時間³⁾

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
仙台	148	152	177	189	185	134	120
	8月	9月	10月	11月	12月	年	
	144	121	149	140	139	1796時間	

仙台市の年間平均日照時間の年合計は『1796』時間となっており、各月の内訳は表2のようになっている。全データより各月の平均日照時間は約150時間(5時間/日)である。この平均よりも日照時間が多いのは4か月。つまり年間の3分の1ということになる。6月末から7月中旬頃には、宮城県は雨季となるため日照時間が少ない。

実際に天候によってバッテリー充電量どれほどの違いが出るのか実験を行った。

実験条件：13:30, 14:30, 15:30の1日3回測定を行った(10月24~1月17日測定)。

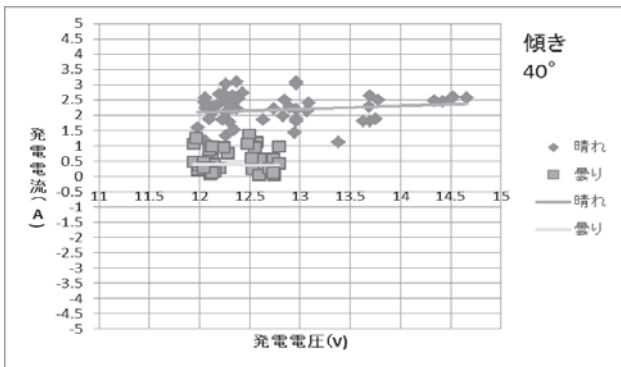


図9 実験結果 1. 晴れ・曇りデータ

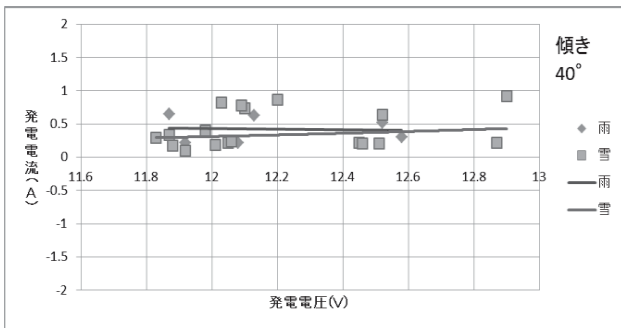


図10 実験結果 2. 雨・雪データ

表3 実験結果のまとめ

晴れ				
実験回数(回)	最大発電電流(A)	平均電流(A)	平均発電量(W)	概算発電量(Wh/日/m ²)
23	3.08	2.24	30.3	303
曇り				
実験回数(回)	最大発電電流(A)	平均発電量(A)	平均発電量(W)	概算発電量(Wh/日/m ²)
17	1.36	0.49	5.87	58.7
雪				
実験回数(回)	最大発電電流(A)	平均発電量(A)	平均発電量(W)	概算発電量(Wh/日/m ²)
8	0.33	0.42	5.11	51.1
60° パネル(全平均)				
実験回数(回)	最大発電電流(A)	平均発電量(A)	平均発電量(W)	概算発電量(Wh/日/m ²)
37	1.52	0.21	2.59	25.9

今回の実験から得られたことは、1 m²の太陽光パネルでマイクロEVは、晴れ(仙台市:223日/年)であれば平均的に毎日15 km程度稼働させることができるが、曇り・雨・雪であれば、一日に2~3 km程度しか稼働できない。したがって、実用的に一日に40~50 kmの稼働を考えると、3~4 m²程度の太陽光パネルが必要となる。また今回実験で使用した独立電源システムは移動が容易であり、向きもすぐに変えられるため、太陽光さえあれば常に充電することができる。そのため緊急時に有効に活用できると考えられる。

4. ま と め

エネルギー問題は、莫大かつ増大する需要とそれに伴う環境への影響、化石燃料の枯渇、移動での膨大な消費であり、原子力発電問題だけではない。持続可能な社会の実現には、例えば独立電源を活用したパーソナルトランスポーターによるモーダルシフトが大変有効で、取組まなければならない。これを支えるバッテリー技術の革新がこれからのエネルギー社会の大きな鍵である。

今後、「省」・「蓄」・「創」エネルギーに注力し、化石燃料や原子力から、自然エネルギーへのスマートな移行は、東日本大震災を経験した我々が、これから世界へ発信していくべき重大なテーマである⁴⁾。

参 考 文 献

- 1) David JC Mackay: SUSTAINABLE ENERGY-WITHOUT THE HOT AIR, UIT Cambridge Ltd. (2009)
- 2) 上岡直見: 新・鉄道は地球を救う, 交通新聞社 (2007)
- 3) 年間日照時間 気象庁 2012HP
<http://www.data.jma.go.jp/index.html>
- 4) 宮本裕一, 佐々木俊, 柿境健太: 移動手段のパーソナル化と自然エネルギーによる電動モーダルシフト, 環境システム計測制御学会誌, Vol. 17, No. 2/3, pp. 112-115 (2012)