

ソーラーアシスト・ビークルの設計

Design of Solar Assisted Vehicle

槌屋 治紀 *1

Haruki Tsuchiya

Abstract

This paper shows a design of solar assisted fuel cell vehicle that is partly powered by electricity and hydrogen that is water-electrolyzed by photovoltaics on the rooftop. Using 10-15 mode driving test pattern, the driving power demand for medium sized automobile is calculated. Annual energy balance analysis of solar assisted fuel cell vehicle shows that 60% of driving power can be supplied by solar energy at maximum if the efficient automobile can fully harness solar energy. To confirm the necessary capacity of battery and/or hydrogen tank, the dynamic simulation of solar assisted vehicle is performed for three driving patterns using the one-minute solar radiation yearly data for five typical cities in Japan. The result shows it is possible to supply approximately 30% of drive power by solar energy harnessed by photovoltaics at the rooftop of fuel cell vehicle using small battery and/or hydrogen tank depending on fuel economy, driving pattern and annual driving distance.

キーワード：太陽電池、燃料電池車、電気自動車、燃費、太陽依存率

Key Words: Photovoltaics, Fuel cell vehicle, Electric Vehicle, Fuel economy, Solar rate

1. はじめに

二酸化炭素の排出を減少するには、エネルギー利用効率を高めてエネルギー需要を小さくし、必要なエネルギーをできるかぎり再生可能エネルギーによって供給することが重要である。この原理を自動車に適用すると、車体を軽量化し走行抵抗を減らし燃費を向上させ、できる限り太陽エネルギーを動力にすることが考えられる。

既にレース用に開発されているソーラーカーは、ルーフトップに搭載した太陽電池で走行する。太陽電池の出力は200~1000 W程度であり、車体を極力小型にして一人の運転席を作るといった設計になっている。一般的な乗用車を100%太陽エネルギーだけで駆動するにはエネルギーが不足である。

燃料電池車は水素で走行し、その効率は、内燃機関自動車の2~3倍になると期待されている。燃料電池スタックはモジュール構造であり大量生産すれば内燃機関なみのコストになると期待される。⁽¹⁾ 水素をどこから供給するかが問題であり、当面は工場副生水素や天然ガスを改質してつくる水素を利用し、将来は太陽光発電により電解水素を供給することが考えられている。

そこで水素で走行する燃料電池車のルーフトップに太陽電池を搭載して、これから得る電力あるいは電解水素を走行用エネルギーとして利用することが考えられる。太陽エネルギーですべての走行用エネルギーを供給できないが、一部を供給できる可能性がある。太陽電池を搭載するので自動車側のコストが増大するが、電力や水素を太陽から直接的に自動車へ供給するので、電力や水素の供給インフラへの負担を減らす可能性がある。

以下には、燃料電池車に対して部分的に太陽エネルギーを利用するソーラーアシスト・ビークルの可能性を検討する。

2. ソーラーアシスト・ビークルのコンセプト

ソーラーアシスト・ビークルでは、太陽電池を車上に搭載して発電させ、発電した電力を、バッテリーに充電するか、水を電気分解して水素にしてサブタンクに貯蔵する。水素の容量はメインタンクの10分の1程度とする。メインタンクの水素は水素供給ステーションから供給する。

発電した電力を一時的に貯蔵するために小型バッテリーを用いる。大型バッテリーは重量が大きくなるので搭載できない。水素にする場合には電気分解と燃料電池の効率により、電力に戻すときの総合効率は40-45%に低下する。しかし、それでも水素貯蔵は重量あたり密度がバッテリーの10倍はあり、出力密度の制限を受けないので、水素にして貯蔵することは価値がある。これには、走行パターンが関係する。毎日継続的に走行する場合には、バッテリーは太陽光による発電を短期的に貯蔵するのに有効であり、週末に集中して長距離を走行するパターンでは、バッテリーを大きくしなければならず、水素サブタンクがやや長期の貯蔵に有効に機能すると考えられる。

3. 太陽電池の性能

太陽電池は学習曲線に沿って、累積生産量が2倍になるたびにそのコストが18%低下している。⁽²⁾ 現状では1 kWあたりインバータを除いて約50万円であるが、コスト低下が進展しており、量産品の最終的なコストは、自動車産業などの例にあるように1 kgあたり1000円程度になると期待され、量産化の進展により現状の数分の1になる可能性がある。

現状の市販品の変換効率は15%程度であるが、ソーラーカー

*1 株式会社 システム技術研究所 所長 (〒103-0004 東京都中央区東日本橋1-1-5)
(原稿受付: 2006年2月3日)

レースでは20%のものも利用されている。将来的には25-30%程度になる可能性もあると予想されている。また過去20年にその効率が少しずつではあるが向上してきていることは、今後の向上の可能性を確かのものにしている。技術内容もシリコン結晶、シリコン多結晶、アモルファスシリコン、色素増感型太陽電池など多様になってきている。

太陽輻射は1m²あたり平均1kW程度であり、定格1kWの太陽光発電は、日本では1年間におよそ1000kWhの電力を供給できる。1500CCクラスの乗用車の屋根、ボンネット、その他水平に近い面に太陽電池を搭載すると、3m²が利用可能である。効率15%の場合、1m²あたり150Wであり、3m²であれば450Wの出力になる。

4. 水の電気分解

水の電気分解はよく知られた技術である。水酸化カリを電解質にした場合の分解効率は70-80%であるが、イオン交換膜を利用した電解では90%の効率が可能と期待されている。

発生した水素を貯蔵するサブタンクとしては、圧縮タンクや水素吸蔵合金が利用できる。水素ステーションから供給する水素を貯蔵する高压タンク(メインタンク)は重量約100kgで、圧力35MPa、3.5kg程度の水素を貯蔵でき、これは1.165kWh/kgとバッテリーの10倍以上のエネルギー密度である。この数値は質量比で3.5%であるが、将来的には5-6%にできると予想されている。⁽³⁾

サブタンクをメインタンクの10分の1程度とし、0.35kgの水素を圧縮貯蔵すると、その重量は10kgになる。水素吸蔵合金は100kgで2kgの水素を貯蔵できる。たとえばサブタンクとして0.35kgの水素を貯蔵するには、17.5kgの水素吸蔵合金を用意すればよい。

車両に小型の電気分解装置を搭載し電気分解用の水を用意するのは、大きな問題にはならず、1kgの水素をつくるのに必要な水は9kgであり、利用者がこの程度の水を搭載すれば、サブタンク用には十分な水素をとりだせる。

5. 太陽輻射データ

コンピュータによる太陽光発電のシミュレーションを行なうためには、詳細な太陽輻射データが必要である。2004年の1分ごとの水平面太陽輻射データを、主要5都市(札幌、東京、名古屋、大阪、福岡)について入手した。⁽⁴⁾

表1 太陽輻射量(2004年)

| | kWh/m ² ・年 |
|-----|-----------------------|
| 札幌 | 1,243 |
| 東京 | 1,372 |
| 名古屋 | 1,454 |
| 大阪 | 1,443 |
| 福岡 | 1,436 |

年間の水平面太陽輻射データを5つの都市について比較すると、表1のようになり、札幌が小さく、名古屋が最も大きい。東京は札幌と名古屋の中間程度であり大阪と福岡は名古屋よりもわずかながら小さい。札幌以外の都市では、4月の値が大きく、8月は冷夏であったために小さめの値になっている。

6. バッテリー

鉛蓄電池、ニッケル水素、リチウムイオンなどのバッテリーが電気自動車に利用されている。現状では電気自動車が一回の充電により走行できる距離は200km程度であり、1回の充電は約30kWhである。現状のエネルギー密度は、1kgあたり鉛電池35Wh、ニッケル水素電池65Wh、リチウムイオン電池93Whである。⁽⁵⁾これを30kWh搭載するとき、その重量は、867、462、322kgになる。実際の電気自動車に搭載しているバッテリーは、RAVA4L(トヨタ)で、走行距離215km、ニッケル水素14.25kWh(288kg)、プレーリージョイEV(日産)で走行距離200km、8.64kWh(345kg)という水準である。

バッテリーの出力密度は100-200W/kg、充放電効率85%を想定できる。ハイブリッドカー「プリウス」では、70kg、3.5kWhのニッケル水素バッテリーを搭載している。

7. 自動車の正味走行エネルギー

日本の自動車の燃費を測定する基本的な走行パターンは10・15モードの加減速パターンである。(実際の走行は行わず、シャシーダイナモ上で測定する。)この走行パターンは毎秒の速度を与えており、これから1500ccクラスの乗用車に必要な正味の走行エネルギーを求めることができる。自動車の走行モデルは以下のようになる。⁽⁶⁾

$$Mr \cdot dV/dt = D - 1/2 \cdot \rho \cdot As \cdot Cd \cdot V^2 - r \cdot M \cdot g - B \quad (1)$$

M: 車体重量+乗車人員(2人) = 1260+55x2 = 1370 kg

Mr: 車体重量+回転部等価重量+乗車人員2人

$$= 1260kg + 1260 \times 0.3 + 55kg \times 2 = 1748 kg$$

回転部等価重量は、モータと変速機部分の回転時に生じる慣性モーメントであり、車体重量の30%程度になるとした。

g: 重力 (9.8m/sec²)

D: 必要な正味の駆動力 (ニュートン)

B: プレーキ力 (ニュートン)

ρ : 空気密度 (1.2kg/m³)

As: 前面投影面積 (1.725 × 1.49 = 2.57m²)

Cd: 空気抵抗係数 (プリウスの場合0.26、ここでは0.3)

V: 速度 (m/sec)

r: 転がり抵抗係数 (0.006)

上記の速度変化dV/dtをデジタル化すると、

$$dV/dt = (V(t+1) - V(t)) / dt \quad \text{となり}$$

dt = 1秒として、毎秒のdV/dtを与えて、10・15モー

ドの走行パターンからDおよび駆動エネルギー(E)を求める。

駆動エネルギー $E=D \times V$ (ニュートン・m/秒=ワット)

660秒間で4.16kmを走行する。このときのエネルギー消費を、1秒ごとに図1のように求めた。

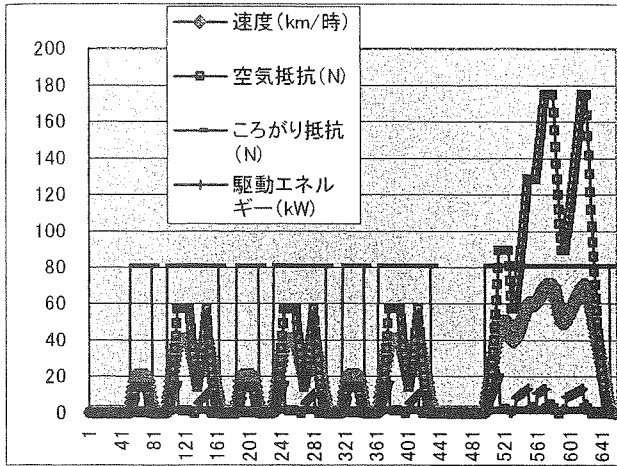


図1 1.0・1.5モードによる走行(横軸の単位は秒)

上記の660秒間(11分)にわたって計算すると、正味の必要駆動エネルギーは $E=1753 \text{ kW秒}=0.4869 \text{ kWh}$ となった。これは燃費にすると $E=0.4869 \text{ kWh}/4.16 \text{ km}=0.117 \text{ kWh/km}$ である。

ただし、この走行モードでは、最高速度は40 km/h、70 km/hであり、実際に使用されている状況よりも速度は低い。一般に実際の燃費は、1.0・1.5モード燃費の1.5倍程度であると言われている。そこで、この走行モードの速度パターンをタテ方向に比例拡大して、ちょうど正味の必要駆動エネルギーEが1.5倍になるように試行錯誤してみた。拡大率=1.22にすると、 $E=2627 \text{ kW秒}$ となり、ほぼ1.5倍になった。燃費は0.1754 kWh/km、最高速度は、48.8 km/h、85.4 km/hになる。これを1.0・1.5モードに対する現実の走行燃費として参照することとし、「1.5倍モード」と呼ぶことにする。これらをガソリン車の燃費と比較すると表2のようになる。

表2 走行に必要なエネルギー

| 走行形態 | 燃費 | 対応比較(燃費の比) |
|-------------------------------|------------------------|------------|
| 1.0・1.5モード正味走行エネルギー | 0.117 kWh/km | 19.3 |
| 1.5倍モードの正味走行エネルギー | 0.175 kWh/km | 28.9 |
| 参考: 1500CC ガソリン車の1.0・1.5モード燃費 | 15 km/L = 0.605 kWh/km | 100 |

一般にガソリン車の燃費は、タンクから車輪に至る理論効率で18-20%といわれている。これは正味走行エネルギーがガソリン燃費の1/5になることを示しており、上記の結果はこれを裏

付けている。実際の1.5倍モードの正味走行エネルギーは、ガソリン燃費の3分の1程度であり、これは通常言われている電気自動車や燃料電池車の効率と比較した数値と一致している。

8. 年間のエネルギー消費と供給

ソーラーアシスト・ビークルでは、図2に示すように、太陽光発電で生じた電力は、①バッテリーへ充電するが、バッテリーがフル充電になっていたら、水を電気分解して、水素を得て、これを圧縮して②サブタンクへ貯蔵する。サブタンクも満杯である場合には、発電した電力を廃棄する。

走行時には、設定した走行パターンに応じて動力が必要になる。この動力の供給方法は次のようにする。まず①バッテリーから電力を供給する。このとき最大パワー出力以上には電力をとりだせない。次に、不足分を②サブタンクの水素、さらに不足ならば③メインタンクの水素を燃料電池に供給して電力を得る。

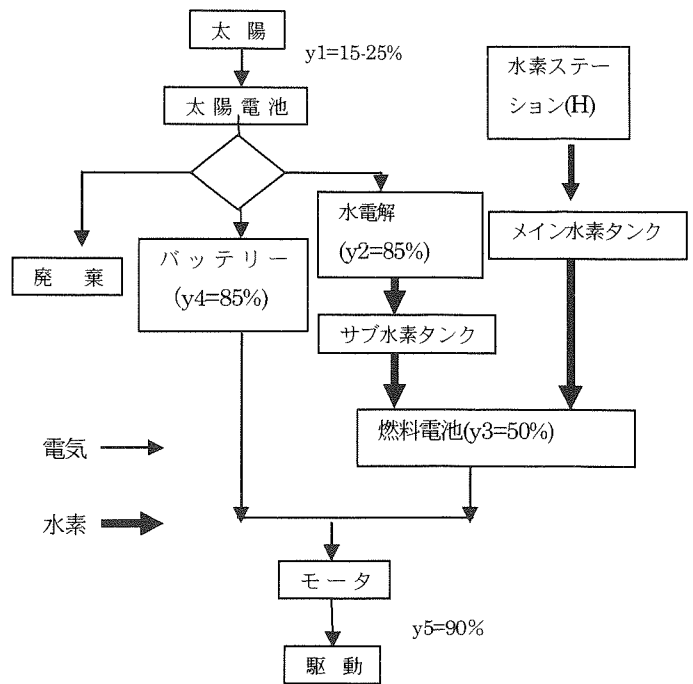


図2 シミュレーションの概略図 (変換効率y1~y5は代表的な数値)

一方、メインタンクには、水素ステーションから供給する水素を貯蔵する。バッテリーからの電力でモータを駆動するか、あるいはメインタンクとサブタンクからの水素を燃料電池に供給して発電してモータに供給して走行する。なお太陽電池からの電力が直接モータへ行く経路は考慮しなかった。

このシステムでは、年間の太陽光発電の電力を全て廃棄せずに利用可能であれば、1年間のエネルギーの消費と供給を簡単に計算することができる。以下にこれを示す。

この計算では、バッテリー容量とタンク容量を決めることはで

きない。またここで計算する太陽依存率は最大限に太陽エネルギーを利用した場合であり、実際の太陽依存率はエネルギー貯蔵容量による制限を受けるので以下の計算は最大値を示している。

- S : 年間の太陽光発電量 (kWh)
- 日本の平均値は1 kWの太陽電池でS=1000 kWhである。
- PV : 太陽電池出力 (W)
- B : バッテリーへの年間充電量 (kWh)
- M2 : サブタンクへの年間水素貯蔵量 (kWh)
- E : 年間走行エネルギー (kWh)
- H : 水素ステーションからの年間の水素供給 (kWh)
- W : 発電した電力の年間廃棄分 (kWh)
- y1 : 太陽電池発電効率 (0.15, 0.20, 0.25 の3つのケース)
- y2 : 水の電解効率 (0.85) (水の電解効率90%、水素充填動力負荷分の効率5%とした)
- y3 : 燃料電池の発電効率 (0.5)
- y4 : バッテリー充放電効率 (0.85)
- y5 : 駆動系効率 (0.9)
- Sp : 太陽電池面積 (3m²)
- 水素の低位発熱量 : 33.28 kWh/kgH₂

日本における乗用車の平均的な年間走行距離は、1万kmであるが、ここでは7000、10,000、15,000kmの3ケースを想定した。燃費については、10・15モードの場合と、「1.5倍モード」を設定した。

ソーラーアシスト・ピークルの性能を見るための指標として、以下のように1年間の太陽依存率 (y_s) を計算する。

$$\text{太陽依存率} = (\text{バッテリーからの電力} + \text{サブタンクからの水素による発電電力}) / \text{正味動力} \quad (2)$$

この場合の正味動力は、車輪に伝達されるとき効率 (y₅) を含めない。水素に変換すると、水素からの発電の効率が50%であるため、バッテリーからの電力を直接モータへ供給するのと比較して、太陽依存率は約2分の1に低下する。ここで、エネルギー量はいずれもkWhで表現する。電力の場合にはそのまま読んでよいが、水素の場合には、発熱量 (LHV) をkWhで表現している。関係式は以下ようになる。

$$PV = y_1 \times Sp \times 1000 \quad (3)$$

$$S = PV \quad (4)$$

$$S = B + M2 / y_2 + W \quad (5)$$

$$E \cdot y_5 = B \times y_4 + (M2 + H) \times y_3 \quad (6)$$

$$y_s = (M2 \times y_3 + B \times y_4) / E \quad (7)$$

W=0とすると、

$$B = S - M2 / y_2 \quad (8)$$

1年中、常に太陽エネルギーが捕獲できると仮定して、y₂=

0.85、y₄=0.85、y₃=0.5として、B、M2を与えたときに、太陽依存率y_s(%)は表3のようになる。太陽エネルギーの利用可能量は決まっているので、必要とする走行エネルギーEが大きければ太陽依存率は小さくなる。B=0(バッテリーはなし、すべてを水素にする)の場合には、10・15モード燃費で、太陽依存率は、10,000km走行のとき21.8%、7,000kmのとき31.1%に達するが、「1.5倍モード」では14.6%、20.8%に低下する。これが太陽依存率の最高レベルである。バッテリーを利用して直接電力として利用する割合を増加させ、水素への転換を減少させると、太陽依存率が向上してゆき、水素サブタンクをゼロにすると、太陽依存率は、10・15モードでは10,000km走行時に43.6%、7,000kmでは62.3%に上昇する。

表3 年間エネルギーバランス

(1年間、y₁=0.2、PV=600W、S=600kWh)

| バッテリーへの蓄電 | | B(kWh) | 0 | 200 | 400 | 600 |
|-------------------|-------------|----------------|----------|------|------|------|
| サブタンクへの貯蔵 | | M2(kWh) | 510 | 340 | 170 | 0 |
| 燃費 (kWh/km) | 年間走行距離 (km) | 走行エネルギー E(kWh) | 太陽依存率(%) | | | |
| 10・15モード 0.117 | 7,000 | 819 | 31.1 | 41.5 | 51.9 | 62.3 |
| | 10,000 | 1,170 | 21.8 | 29.1 | 36.3 | 43.6 |
| | 15,000 | 1,755 | 14.5 | 19.4 | 24.2 | 29.1 |
| 1.5倍モード 0.175 | 7,000 | 1,225 | 20.8 | 27.8 | 34.7 | 41.6 |
| | 10,000 | 1,750 | 14.6 | 19.4 | 24.3 | 29.1 |
| | 15,000 | 2,625 | 9.7 | 13.0 | 16.2 | 19.4 |

9. ダイナミックシミュレーション

次に、実際の走行パターンを与えて1分ごとの太陽輻射データを利用して、1年間のダイナミックシミュレーションを行い、現実に必要な水素タンクとバッテリーの容量を確認する。

9.1 都市別太陽輻射量データ

実際のシミュレーションでは、1月1日から12月31日までの1年間について、1分ごとにシミュレーションを行った。19時から早朝の4時までには太陽輻射がないので計算はスキップしている。(バッテリーからの放電は無視している)

経験的に知られている事実として、水平面太陽輻射量の70%が実際に発電に寄与するので、1年中ルーフトップで太陽光を捕獲できるとして、以下のように太陽光発電量を計算する。

$$\text{太陽光発電量} = 0.7 \times y_1 \times Sp \times \text{太陽輻射量} \quad (9)$$

札幌、東京、名古屋、大阪、福岡の5つの都市のデータを利用して計算を行った。

9.2 走行パターン

走行パターンを3種類用意した。パターン1は毎日一定距離を366日(2004年はうるう年)走行する。パターン2は年間走

行距離の半分を週日に、残りの半分を土・日に割り当てる。パターン3は、週末の土・日のみに走行するもので、表4のように、毎日の走行距離を設定した。

表4 走行パターンの設定

| 走行条件 | 年間走行距離 (km) | 7,000 | 10,000 | 15,000 |
|-------|--|------------|------------|-------------|
| パターン1 | 毎日8時からと17時から走行 (km/日) | 19.1 | 27.3 | 41.0 |
| パターン2 | 週日に年間走行距離の半分(8時からと17時から) 土日に年間走行距離の半分(10時から走行) (km/日) | 週日 13.4 | 週日 19.1 | 週日 28.6 |
| パターン3 | 毎週土日のみ(10時から走行) (km/日) | 土日 67.3 | 土日 96.2 | 土日 144.2 |

上記の走行パターンになるように、1.0・1.5モードの走行パターンを適用して走行する。この走行パターンは、660秒(11分)、距離4.16kmを単位としているので、上記の一日あたりの走行で、この単位を繰り返し使用する。一日の走行距離によって、走行パターンの単位をいくつ(整数)適用するかを計算し、残渣分がでたときには、その日の午後、または翌日に調整した。

9.3 バッテリーと水素サブタンク

バッテリーと水素サブタンクの容量を設定してシミュレーションを実施するが、その容量が適切かどうかを判断するために、1年間のバッテリーへの最大充電量、サブタンクの最大水素貯蔵量をもとめる。バッテリーが大きければ、より太陽依存率を高められるが、時々集中的に長距離を走行する需要には、水素タンクで貯蔵したほうが有利である。バッテリーとサブタンクについて以下の容量を設定し、この組み合わせにより表5の左側に示すように5つのケースを検討した。

バッテリー容量: 電力量 0kWh, 1kWh, 3kWh
サブタンク水素容量: 水素 0kg, 0.35kg (116.48kWh)

バッテリーからは一度に大きなパワーをとりだせない。そこで上記の走行パターンにおいて、毎秒の必要な駆動パワーが、バッテリーの出力を超えているときには、超過分を燃料電池からの電力でまかなう必要がある。走行パターンを毎秒チェックして、バッテリー出力を超えている割合をあらかじめ調べておき、これを1分単位のバッテリー負荷と燃料電池への負荷に区分して実際の駆動パワーを決定して、1分ごとのダイナミックシミュレーションとの整合性をとるようにした。バッテリーのエネルギー密度は、100Wh/kg(リチウムイオン電池の将来値として採用)、バッテリーの出力密度は200W/kgとした。

10. ダイナミックシミュレーション結果

ケース設定とダイナミックシミュレーション結果を、表5と表6に示した。整理すると、以下の各項が明らかになった。

- 1) 走行パターン1と2の結果はほとんど同様である。
両方も毎日走行するために太陽依存率がほぼ同等になっている。走行パターン3では、週末にのみ走行するため、走行パターン1と2に比較して太陽依存率が低下する。
- 2) 走行パターンによらず、ケース1が最も高い太陽依存率を示している。これに続く太陽依存率を示すのは、ケース4であり、小型バッテリーの利用が有効であることを示しているが、走行パターン3では半分近くに低下する。
- 3) 太陽光発電効率が15%から25%になると、太陽依存率は比例的に上昇し約1.6倍になる。
- 4) 走行距離が7,000kmから15,000kmになると、太陽依存率は反比例的に減少し約1/2に低下する。ただし、ケース5では、それほど低下しない。
- 5) 1.5倍モードの場合を、同一条件で1.0・1.5モードと比較すると、太陽依存率は約70%に低下する。
- 6) 都市別の結果をみると、太陽輻射量のやや少ない札幌で太陽依存率が低下している。

表5 太陽依存率

(東京、7,000km, y1=0.2, 燃費1.0・1.5モード)

| ケース | バッテリー容量 (kWh) | サブタンク容量 (水素kg) | 太陽依存率 (%) | | |
|-----|---------------|----------------|-----------|---------|---------|
| | | | 走行パターン1 | 走行パターン2 | 走行パターン3 |
| 1 | 3 | 0.35 | 50.6 | 49.7 | 39.0 |
| 2 | 1 | 0.35 | 39.4 | 38.9 | 33.8 |
| 3 | 1 | 0 | 25.4 | 24.5 | 14.7 |
| 4 | 3 | 0 | 47.8 | 45.9 | 25.0 |
| 5 | 0 | 0.35 | 26.7 | 26.7 | 26.3 |

表6 太陽依存率

(東京、10,000km, y1=0.2, 燃費1.5倍モード)

| ケース | バッテリー容量 (kWh) | サブタンク容量 (水素kg) | 太陽依存率 (%) | | |
|-----|---------------|----------------|-----------|---------|---------|
| | | | 走行パターン1 | 走行パターン2 | 走行パターン3 |
| 1 | 3 | 0.35 | 24.9 | 24.6 | 18.5 |
| 2 | 1 | 0.35 | 20.3 | 19.8 | 16.2 |
| 3 | 1 | 0 | 15.6 | 14.7 | 7.6 |
| 4 | 3 | 0 | 24.9 | 24.1 | 12.2 |
| 5 | 0 | 0.35 | 12.5 | 12.5 | 12.3 |

ケース1では太陽光発電の廃棄はなく太陽光全てを利用して太陽依存率は39-50%になっている。ケース2では、バッテリー容量が小さく、太陽光発電の一部は水素になるが、かなりの大きさの太陽依存率を示している。ケース3と4ではサブタンクなしとしたが、ケース3ではバッテリーが小さいため太陽依

率は低下、またケース4ではバッテリーが大きいため太陽依存率が高い。ケース5は、バッテリー容量ゼロですべて水素にするので、太陽依存率は低下するが、走行パターンの影響をほとんど受けない。また表5は、年間走行距離が7,000kmと短かく10・15モード燃費の場合であり太陽依存率が大きい。表6は1.5倍モードで10,000kmの場合であり、太陽依存率が減少するが、走行パターンの影響も減少していることがわかる。

ケース2は、バッテリーと水素サブタンクが適当な大きさであり、両者の利点を併せ持つので注目に値する。ケース2について、図3には10・15モード、走行パターン1の場合、図4には1.5倍モード、走行パターン3の場合について(最も厳しい条件である)、走行距離に対して太陽光発電効率をパラメータとした場合の太陽依存率を示した。例としてソーラーアシスト・ピークルが実現できる条件は太陽依存率が30%以上とすると、ケース2の走行パターン3では、10・15モード燃費、走行距離が7,000km、太陽光発電効率が20%以上、ということになる。同じ条件で1.5倍モード燃費の場合には、太陽光発電効率を25%にしても太陽依存率は26.9%にとどまる。ソーラーにする場合でも基本的に軽量化など燃費の向上が重要であることがわかる。

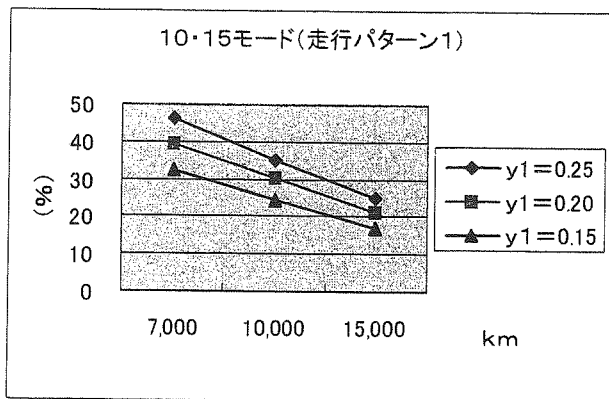


図3 太陽依存率 (ケース2、10・15モード)

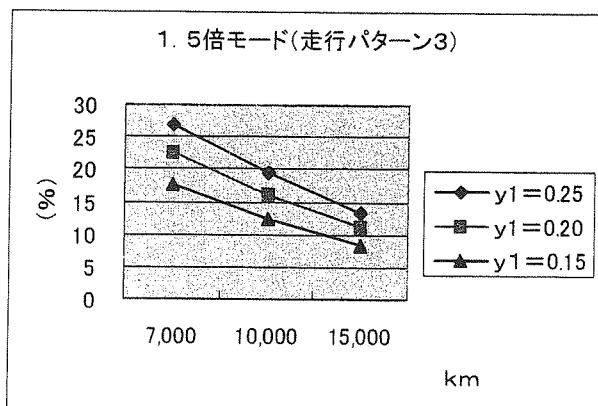


図4 太陽依存率 (ケース2、1.5倍モード)

1.1. 問題点と可能性

上記の結果は、走行時と駐車時に常に太陽光を受光できる場

合の計算であり、またエアコン動力も考慮する必要があり、現実にはこの太陽依存率を割引して考える必要がある。実際に日本の自動車は、走行時と駐車時にどの程度日陰に入っているかは、実態調査が必要である。

評価基準として太陽依存率を調べたが、経済性を検討する場合には太陽依存率は問題ではなく、太陽電池とエネルギー貯蔵装置のコストを、燃料費の削減によってカバーできるかが問題である。現状で15km走行に必要な1Lのガソリンコストは約70円(税抜き)であり、これは4.67円/kmになる。10・15モード燃費の0.117kWh/kmに対応するエネルギーコストは40円/kWhになり、搭載する太陽電池の規模を600Wとし、1年間に400kWhの走行エネルギーを太陽エネルギーで代替すると、自動車の寿命10年間に削減できる燃料費は16万円になる。ガソリンコストを税込みで考えれば27万円になる。太陽電池とエネルギー貯蔵装置のコストをこれ以下にできればよい。また太陽電池のエネルギー・ペイバック・タイムは現状では2~3年であり、10年の自動車の使用寿命を考慮すると量産化によってさらに短縮する必要がある。

なお以上のソーラーアシスト・ピークルの計算のうち水素サブタンクを利用しない場合の結果は、電気自動車やガソリンハイブリッドカーにも適用可能であり、1充填あたり航続距離を延長できる。

1.2. 結論

太陽電池をルーフトップに搭載するソーラーアシスト・ピークルのコンセプトを示し、10・15モードの走行条件から1500ccクラスの乗用車の燃料消費を検討し、1年間の太陽輻射と走行用燃料消費の予備的な検討を行ったのち、日本の5都市の1分ごとの太陽輻射データを利用して3種の走行パターンについてダイナミックシミュレーションを行った。その結果、走行条件によるが、車上に搭載する小型バッテリーと水素サブタンクを活用して、約30%の太陽依存率が実現できることを明らかにした。二酸化炭素の排出を徹底的に減らすため、公共交通機関が適切に利用される社会では、自動車の年間走行距離が減少すると考えられ、自動車の軽量化が進展し、燃費が低下し、低コストで効率の高い太陽電池が普及すれば、ソーラーアシスト・ピークルは有効な技術になると期待できる。とくに太陽輻射の大きい開発途上国では有望と思われる。

参考文献

- 1) 植屋、小林、学習曲線による燃料電池コストの分析、エネルギー資源、Vol.24, No. 4, 2003年7月
- 2) 植屋、新エネルギーの学習曲線による分析、太陽エネルギー、Vol. 25, No. 6, 1999年11月
- 3) 植屋、燃料電池、ちくま書房、2003年
- 4) 95型地上気象1分値、(財)気象支援センター
- 5) 電気自動車のすべて、(財)自動車研究所(www.jari.or.jp)
- 6) 清水浩、電気自動車のすべて、日刊工業新聞社、1992年