

# 太陽電池を利用したハイブリッドカーの実用性に関する検討\*

## Estimation of Hybrid Car using Solar Cells for Practical Use

横田 昌治<sup>\*1</sup>

Masaharu YOKOTA

永吉 浩<sup>\*1</sup>

Hiroshi NAGAYOSHI

上迫 浩一<sup>\*1</sup>

Koichi KAMISAKO

### Abstract

For practical use, we estimated a hybrid car in which both power sources of an electric motor and a gasoline engine are utilized and solar cells are settled on the roof and the bonnet. These power sources can be controlled automatically by a computer. An array of 2kW solar cells was installed on the top of a building to charge the batteries by solar energy. In order to estimate the practicality of this car, the performance of the driving control system and the battery charging system were examined. It was ascertained that the power sources can be changed very smoothly. Though the capacities of the electric motor and batteries are half compared with conventional electric vehicles, this car could move about 40km by the electric motor. Since this distance is longer than the average daily distance of driving in Japan, these competences of the hybrid car are sufficient for practical use. The whole electric energy consumed in a day can be supplied by a 2kW solar cell system.

**Key words :** Hybrid car, Electric vehicle, Gasoline engine, Solar cell, Power tracker

### 1. はじめに

現在、地球環境の破壊、石油資源の枯渇などが大きな問題となっている。この様な問題に関連して、自動車の分野では電気自動車、水素自動車、メタノール自動車、天然ガス自動車など、様々な低公害車の開発が進められている。その中でも電気自動車は、排気ガスを全く出さず、また、エネルギー効率が高いクリーンカーとして、国内外で動向が注目されている。しかし、この電気自動車も一充電走行距離や価格などの様々な問題を抱えており、広く普及するまでに至っていない。

そこで我々は、現時点における有効な解決策の一つとして、電気自動車とガソリン自動車を組み合わせ、更に、太陽電池を利用したハイブリッドカーの開発を進めている<sup>(1)-(4)</sup>。このハイブリッドカーは、走行する地域によって駆動源を使い分けることで、局地的な大

気汚染の問題を解消するとともに、現行のガソリン自動車に替わる実用的な低公害車を目指している。本論文では実証試験をもとに、ハイブリッドカーの実用性について検討を行った結果を報告する。

### 2. ハイブリッドカーの構成

#### 2.1 構造と特徴

我々が開発を進めているハイブリッドカーの構造図を図1に示す。本ハイブリッドカーは現行の四輪駆動ガソリン自動車を改造して試作したもので、自動車前部のエンジンルームにはガソリンエンジンを搭載し、前輪を駆動している。自動車後部には、電気モータ、インバータ、バッテリーを設置して、後輪を駆動するようにしている。また、太陽光エネルギーを有効に活用するために、ボンネットとルーフに単結晶シリコン太陽電池を搭載している。

ハイブリッドカーのシステム図を図2に、制御系ブロック図を図3に示す。アクセルと速度センサーから

原稿受付 平成8年3月19日

\*1 東京農工大学工学部 (〒184 小金井市中町2-24-16)

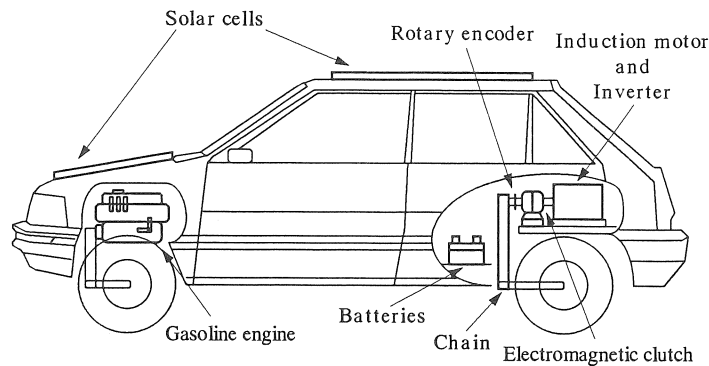


図1 ハイブリッドカー概略図

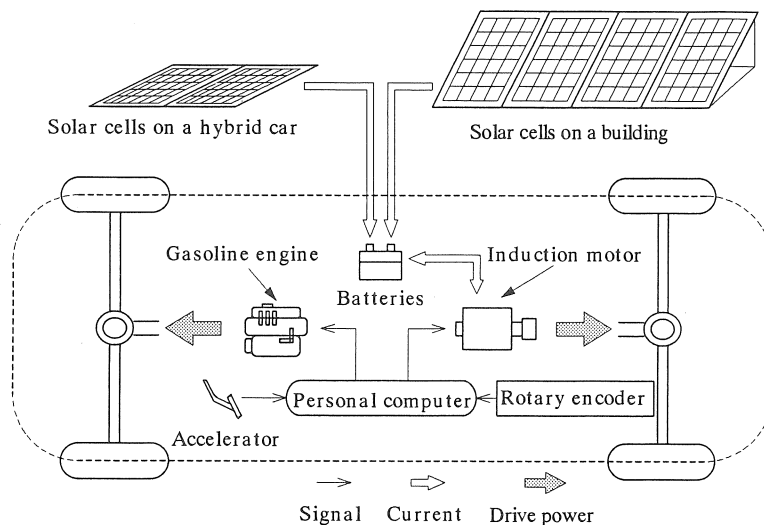


図2 ハイブリッドカーシステム図

の信号により、コンピュータが電気モータとエンジンの2つをそれぞれを使い分ける。コンピュータにより制御しているので、これまでの自動車と同じ操作で運転することができる。また、車体に太陽電池を搭載し、走行中にも充電を行うことで、一充電走行距離の向上、及びバッテリーの長寿命化が図れる。更に、据置型の太陽電池を屋外に設置することによって、本ハイブリッドカーで使用する電力を全て太陽電池により賄うことで、総合的なクリーン度の向上を図ることができる。

次に、ハイブリッドカーの制御フローチャートを図4に示す。まず、発進時から時速40km程度の比較的低速度領域を電気モータで走行する。この間ガソリンエンジンは停止しているので、信号待ちの停車時や渋滞中の走行でも無駄な排気ガスを出さない。時速40km以上で走行する場合は、あらかじめ設定している速度

(以後、切替速度)に達するとガソリンエンジンが自動的に始動すると同時に、電気モータが停止してガソリン自動車として走行する。また、ガソリンエンジン走行時に減速して、車体速度が切替速度より小さくなると、自動的にエンジンが停止して電気モータ駆動に切り替わり、再び電気自動車として走行する。この様に、都市部の様な低速度走行が中心となる地域では主に電気モータで走行し、郊外の様に高速度走行が中心となる地域ではガソリンエンジンで走行をする。走行する地域で駆動源を使い分けることで、都市部に見られる局地的な大気汚染の問題を解決できると考えられる。

## 2.2 仕様

本ハイブリッドカーは、オートマチック(無段変速式)、4輪駆動、排気量1200ccのガソリン自動車を改造

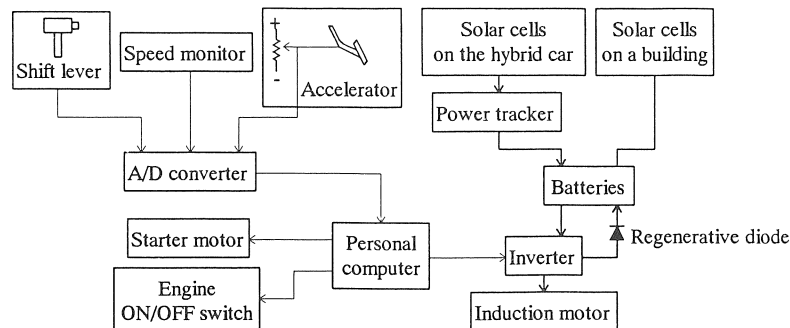


図3 制御系ブロック図

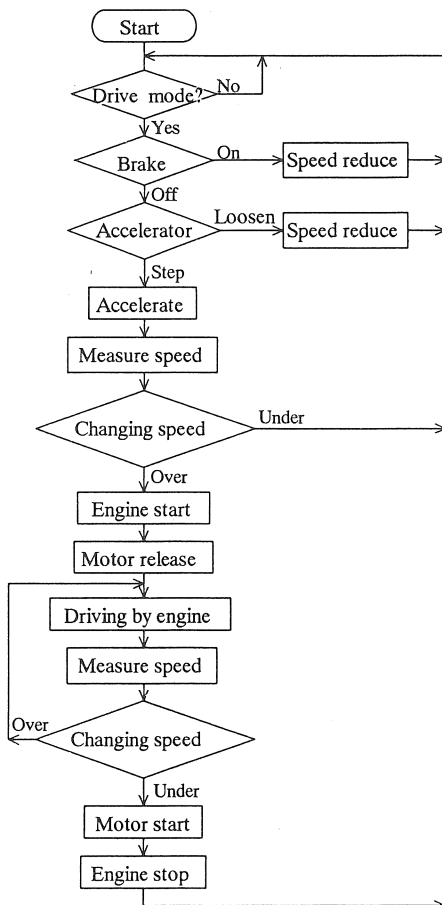


図4 制御フローチャート

したものである。後部に誘導モーター（定格出力 5.5kW）インバータ、密閉型鉛蓄電池（電圧 288V、容量 7.2kWh）、電磁クラッチ、ロータリーエンコーダなどを搭載している。ハイブリッドカーはガソリンエンジンで走行可能なため、バッテリー上がりによる走行不能

の心配がない。そのため、電気自動車と違い、余分なバッテリー容量を搭載する必要がない。つまり、搭載するバッテリー容量は一日に使用する程度でよいと考えられる。試作車は一日の走行距離を 40km と想定して、バッテリーの容量を 7.2kWh としている。電気モータのトルクは電磁クラッチ及びチェーンを介してプロペラシャフトに伝えられる。改造の都合上、電気モータとプロペラシャフトとの間のギア比は 1:1.7 に固定している。ボンネットとルーフには単結晶シリコン太陽電池（最大出力 186W）を装着している。以上のように改造することで、車体重量は 350kg 程度増加して、約 1200kg となっている。

今回特に、使用する電力を全て太陽電池により供給することによって、発電による公害原因物質の発生を抑え、総合的なクリーン度の向上を高めるため、建物の屋上に単結晶シリコン太陽電池（最大出力 2kW）を設置して、バッテリーの充電を試みた。

### 3. 性能評価

以上で述べたハイブリッドカーにより、今回主として次の項目について評価を行った。

- 走行特性。
- 7.2kWh のバッテリーによる一充電走行距離。
- 車載及び据え置き太陽電池による発電量。
- 回生ブレーキによる電力回収特性。

#### 3.1 ハイブリッド走行特性

電気モータとガソリンエンジンの両者を使用してハイブリッド走行に関する走行実験を行った。電気モータからガソリンエンジンへの切替速度を時速 20km として、ガソリンエンジンから電気モータへの切替速度を時速 15km とした時の結果を図 5 に示す。図中で、

網掛けの部分は電気モータ走行、白い部分はガソリンエンジン走行を表している。

まず、加速性能について評価を行う。時速 20km に達するまでに要した時間は約 5 秒である。ガソリン自動車の加速性能と比較するとやや劣る値である。これは改造の都合上電気モータとプロペラシャフトとのギア比を固定しているためであり、今後電気モータ走行時もガソリンエンジン側のトランスミッションを使用できるように改良すれば、この問題は解決できるものである。

次に、駆動源切替の評価を行う。まず、電気モータからガソリンエンジンへ切り替える場合であるが、図 5 を見ても分かるように、切り替え時のショックはほとんど感じられない。ガソリンエンジン側のトランスミッションには無段変速式のものを使用しているので、このギアは速度に対してエンジンの回転数が自動的に選択される。このため、切り替え時のショックが吸収されているものと考えられる。逆に、ガソリンエンジンから電気モータに切り替える場合は、切替速度に近づくと電気モータがあらかじめ回転し始め、切替速度になった時点で電気モータとプロペラシャフトが接続されることにより、こちらの場合もスムーズに切り替わることが確認された。

### 3.2 一充電走行距離

一充電走行距離についての評価を行うため、ガソリンエンジンは使用せず、電気モータのみで走行試験を行った。最高速度を 30km/h として走行した時の結果を図 6 に示す。図 6 で、使用電力は 305Wh となった。その内訳は、消費電力 325Wh、回生電力 20Wh である。このときの 320 秒後における総走行距離は 1.74km であった。バッテリーの容量は 7.2kWh としているので、本ハイブリッドカーが電気モータのみで走行すると約 40km の走行ができる結果となり、設計通りの値が得られた。ちなみに、日本人の一日の平均走行距離は 20km 程度であるので、この値と比較しても十分実用的な値であると言える。

### 3.3 車載太陽電池による充電特性

#### 3.3.1 パワートラッカー

車載太陽電池によるバッテリーの充電には太陽電池を常に最適動作点で動作させるため、MPPT(Maximum Power Point Tracking)制御を使用したパワートラッカーと呼ばれる充電器が必要となる。そのため、本研究

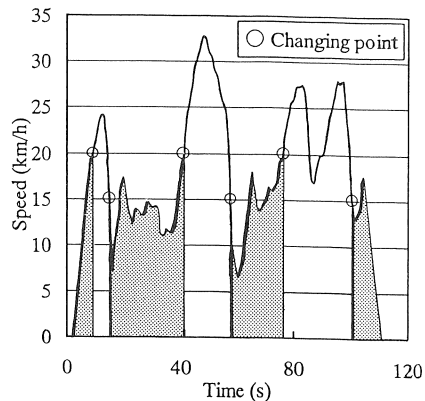


図 5 ハイブリット走行時における車体速度の変化

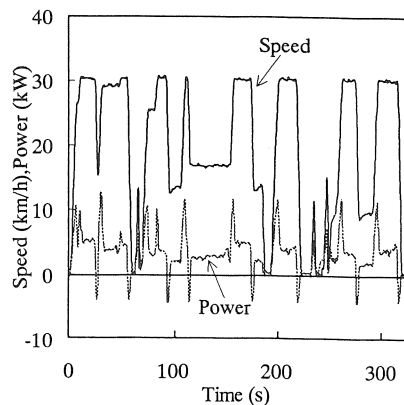


図 6 市街地走行における車体速度、駆動電力の変化

ではパワートラッカーの製作と評価も行った。本研究で採用したパワートラッカーのシステム概略図を図 7 に示す。

太陽電池の出力特性は日射量や温度の変動によって大きく変化する。日射量や負荷の変動に対応して動作するのが誤差増幅部である。まず、太陽電池の最適電圧に対応した基準電圧と太陽電池の動作電圧を比較する。太陽電池の動作点が最適動作点からずれると、両者の間に誤差が生じ、この誤差が Duty 制御部に入力される。Duty 制御部は誤差増幅部からの信号に応じて Duty 比をコントロールし、出力電圧(出力電流)を調節する。その結果、パワートラッカーの入力電流、つまり太陽電池動作電流が変化するので、動作電圧も変化する。この様にして、動作点の制御を行う。

太陽電池の出力特性は温度に対しても大きく変化するが、この変化に対応するのが温度補正部である。温

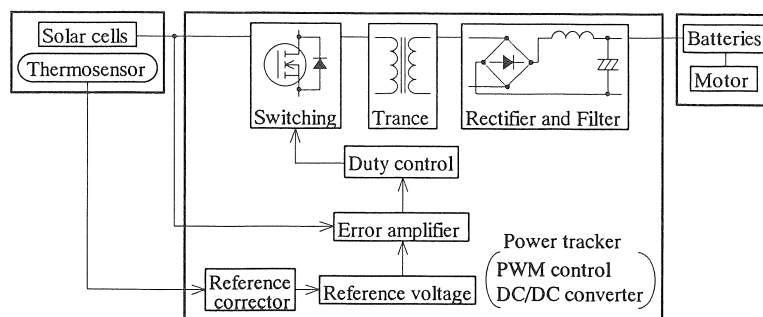


図 7 パワートラッカーシステム概略図

度が変化すると、温度センサーからの信号により、温度補正部が基準電圧を、その時の温度における最適電圧に対応した値に補正する。

以上のように設計して製作したパワートラッカーの動作結果を図 8 に示す。日射量が大きく変化しているのに対し、太陽電池動作電圧(PV 電圧)はほぼ一定となっている。また、太陽電池の温度(PV 温度)が徐々に上昇しているのに対し、太陽電池動作電圧は徐々に低下している。この結果から、MPPT 制御が設計通りに動作していることが確認できた。

### 3.3.2 車載太陽電池による充電

車載太陽電池による充電特性を調べた結果を図 9 に示す。測定を行った日は、午前中が曇り、午後から晴れたり曇ったりの標準的な一日の天気であった。この結果から、一日に約 0.75kWh の電力が得られることが分かる。ただし、これは一日中、陽の当たる場所に駐車して実験を行った結果であり、実際に走行しながら充電を行うとなると、得られる電力はこの 7 割程度に減少するものと考えられ、0.55kWh 程度と見積もられる。この結果から、この様な天気の日により車載太陽電池により得られる電力は、バッテリー容量の 7%程度と推測できる。また、一日中晴天であれば、発電量は 2 割程度増加すると推定されるので、得られる電力は 0.63kWh となり、バッテリー容量の 9%程度まで賄えることになる。以上の結果から、車載太陽電池により走行中、及び駐車中に充電を行うと、最大でバッテリー容量(7.2kWh)の 10%程度まで賄うことができることが確認できた。

### 3.4 据置太陽電池による充電

据置太陽電池による充電特性を調べた結果を図 11 に示す。本研究では太陽電池出力と充電量の関係調べるため、太陽電池とバッテリーを直接接続して充電を行った。そのため、実際には出力 2kW の太陽電池を

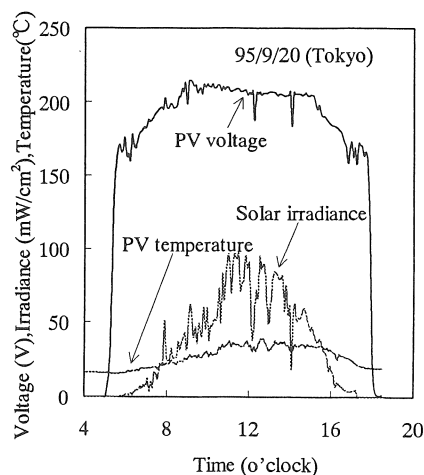


図 8 パワートラッカーを用いた車載太陽電池出力電圧の一日における変化

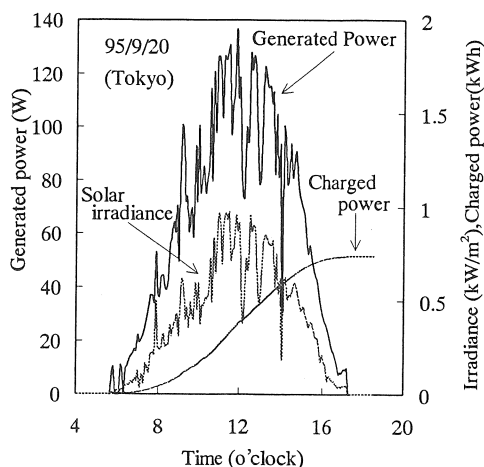


図 9 車載太陽電池の一日における発生電力、充電電力量の変化

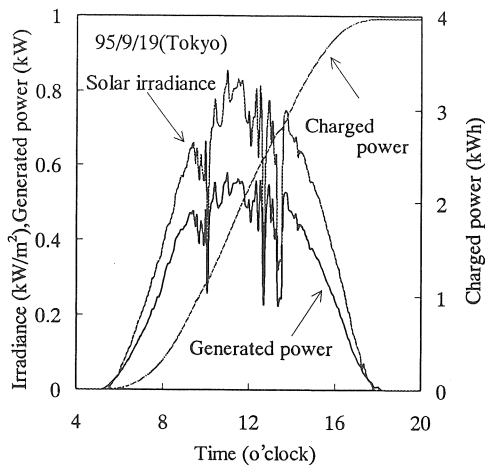


図 10 据置太陽電池の一日における発生電力、充電電力量の変化

設置したが、バッテリーの充電電圧と晴天時の太陽電池の最適電圧を合わせるため、半分の 1kW を使用して測定を行った。図 10 はこの時の結果である。測定を行った日は薄曇りの天気であった。図 10 から約 4kWh の電力が得られることが分かる。

この結果より、太陽電池の出力を 2kW とし、更に MPPT 制御を行った場合、9kWh 程度の電力が得られると推測できる。搭載しているバッテリーの容量は 7.2kWh であるので、一日で十分な充電が可能である。

また、曇りの日は発電量が 3 割程度減少するとすると、充電量は 6.3kWh 程度と見積もられる。この電力で走行できる距離は 35km となり、日本人の平均走行距離である 20km と比較しても、十分実用的な値である。

### 3.5 回生ブレーキによる電力回収特性

電気自動車は、減速時や下り坂を走行する場合、電気モータを発電機として利用することで、運動エネルギーの一部を電気エネルギーに変換してバッテリーに回収することができる。これは回生ブレーキと呼ばれるが、ハイブリッドカーも電気モータを搭載しているため、走行エネルギーを回収することができる。確認のため、搭載した誘導モータの回生ブレーキの性能の評価を行った。結果を図 11 に示す。図 11 は、時速 25km まで加速し、その後、車体を素早く停車させたときの消費電力の測定結果である。図 11 より加速に使用した電力は 15.2Wh、回生された電力は 2.1Wh と見積もられた。バッテリーの充電効率などを考慮に入れると、加速に使用した電力の約 10% を回収できることが分か

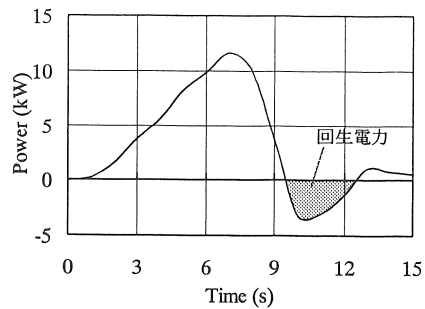


図 11 回生ブレーキによる電力回収特性

った。

### 4. まとめ

評価結果をまとめると次のようになる。

- 通常の電気自動車と比較して出力の小さい 5.5kW 程度の電気モータでも、低速度領域に限定することで、実用的に使用可能である。
  - 7.2kWh のバッテリー容量で、40km の走行が可能であり、実用的である。
  - 2kW の太陽電池を設置することで、一日に使用する電力を十分供給できる。
- 以上の評価結果より、
- 電気自動車とガソリン自動車を組み合わせたハイブリッドカーは、低公害車としての実用性が高い。
  - 2kW 程度の太陽電池を利用することで、都市部で問題となっている局地的な大気汚染を解消できる。

### 文 献

- (1) 長谷, 守谷, 堀米: 「太陽電池を用いたハイブリッドカーの製作と評価」, 平成 4 年日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集(1992-12), No.21, pp. 103-106
- (2) 永吉, 長谷, 上迫, 堀米: 「低公害車として期待されるハイブリッドカー」, PPM, 24-8(1993), pp. 54-57
- (3) 横田, 原, 佐々木, 永吉, 上迫: 「太陽電池を搭載したハイブリッドカー」, 平成 7 年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集〔Ⅱ〕(1995-8), No.195, pp. 261-264
- (4) 横田, 原, 佐々木, 永吉, 上迫: 「太陽電池を搭載したハイブリッドカー」, 平成 7 年日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集(1995-11,12), No.30, pp. 117-120