

エネルギー自給自足の ソーラー・バッテリーカー

藤中正治*

本研究は、太陽光エネルギーを太陽電池を使って電気エネルギーに変換し、これを電気自動車に搭載した二次電池に一度蓄え、この蓄えた電気エネルギーでモーターを回し電気自動車を動かそうとするシステムの報告である。このような電気自動車はエネルギー自給の実用的乗物で、日常の買物用に最適である。石油の枯渇や排気ガスによる温室効果が問題になっているおり、このようなオイル・レス、無公害な植物的乗物が町中で一般ガソリン車と共存することを願っている。

Solar Battery Car with Self-Sufficient Energy-Supply

Masaharu FUJINAKA*

In this study, solar energy is converted into electric energy with the photovoltaic (solar) cells, then the output is stored in the storage battery mounted on the electric vehicle (EV). This battery-stored electricity is used in driving the motor and propelling the EV. This report describes the results of this tests. This practically usable EV becomes a means of transportation with self-supplied energy and is very useful for daily shopping trips. Considering the growing problems of petroleum depletion and the greenhouse effect due to exhaust gases, it may be recommendable that such an oilless and pollution-free plant-like EV coexists with conventional gasoline vehicles in town.

1. はじめに

産業革命以来、人類は化石資源を湯水のごとくがぶ飲みする蒸気機関や石油機関を開発し、これを基に大量生産と高速大量輸送技術を確立し物質文明社会を創った。その結果、資源の大量使用が主な原因となって石油資源の枯渇とその急速な燃焼による環境破壊（温室効果）が起り、このところ緑豊かな地球はその末期を思わずにおいがただよいはじめた。この現象防止のために、省エネルギーや石油代替エネルギー技術の開発促進が望まれている。

問題解決のより具体的な一策として、現在地球上に降り注ぐ太陽エネルギーの積極的な利用が考えら

れる。例えば光エネルギーを電気エネルギーに変換する太陽電池を使う方法で、ソーラー電卓やソーラー腕時計の電源としてすでに我々になじみあるものである。本研究の趣意はこれらよりも大規模な太陽電池応用の提言である。すなわち、豊かで文化的生活の象徴物の一つにガソリン自動車があるが、これを電気自動車に代え、そのエネルギー源を太陽電池に求めようというのである。

この方式の自動車には、(1)電気自動車ルーフに太陽電池パネルを目いっぱい搭載し、その電気出力のみで走るソーラー・カー、(2)据置き太陽電池からの電気出力を電気自動車に搭載した蓄電池にいったん蓄え、その出力で走るソーラー・バッテリーカー、の2種類がある。前者(1)は、太陽エネルギー利用のデモンストレーションに、後者(2)は実用的なマイカーに最適な方法である。

太陽電池から得られた電気を充電した愛車が町中

*東京電機大学電子工学科教授
Professor, Dep. of Electronics,
Tokyo Denki University
原稿受理 1990年6月7日

を走り回る、このような車社会の誕生は石油の節約になるばかりか、排気ガスに悩まされないクリーンな環境作りの助けをなす。そこでこの報告では、雨天や夜間でも乗れて、性能はガソリン車なみなど実用性重視から後者のソーラー・バッテリーカーについて詳述することにする。

ソーラー・バッテリーカーの研究をスタートさせたのは1979年からで、毎年1台のペースでグレードを上げ、現在まですでに12台のプロトタイプを作った。これらの研究成果を基に1985年5月より1990年4月まで東京の郊外、日野市の一般路上において、実走テストを行った。これらの実験結果⁶⁻¹³⁾も合わせて報告する。

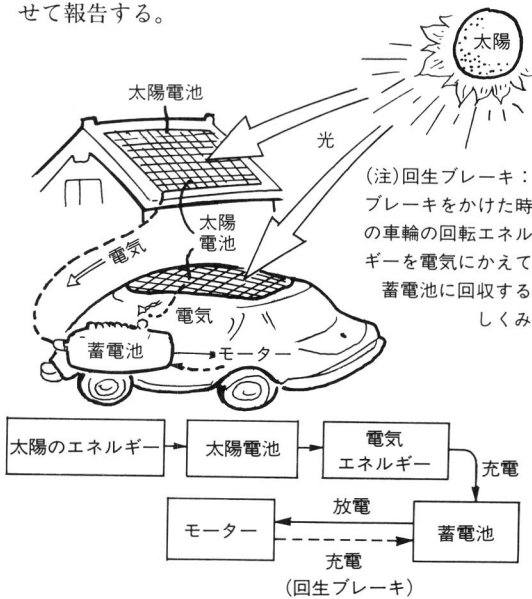


Fig. 1 ソーラー・バッテリーカーのエネルギー流

2. ソーラー・バッテリーカー

Fig. 1は脱石油、無公害という視点にもとづいて考えられた実用的なソーラー・バッテリーカーの全システムで、そのエネルギー流を示したものである。民家の屋根には据置きの大出力太陽電池を、また電気自動車のルーフにも電気出力はわずかであるが高性能の太陽電池を搭載し、これら二つの太陽電池からの電気出力を電気自動車に搭載した二次電池に蓄えるようにしてある。実際には据置き太陽電池の電気出力はガレージに駐車中の電気自動車にコネクターで接続する。ドライブのときはこのコネクターを抜くようにする。だからドライブ中はこの太陽電池は役に立たない。一方、車載の太陽電池はドライブ中でも接続されているので、走行エネルギーのごく一部だけれど補足する状態になっている。

将来的には全家庭電気製品が太陽電池で発電した電気出力にそのエネルギー源を求めることになれば、より大型の蓄電設備を家屋のそばに置くことになる。その時は、ソーラー・バッテリーカーも家電品の一つと考えられ、電気自動車から切り離され、ドライブ中は役立たない電気出力も、この大型蓄電設備にむだなく蓄えられ有効利用されるようになる。

Fig. 2は一般路上テストに使われた太陽電池(民家の屋根上)と電気自動車(ルーフに太陽電池搭載)の写真である。このソーラー・バッテリーカーは一見ガソリン車のようであるが、太陽光をエネルギー源として走るのでエネルギー自給の乗物といえる。

3. システムの充・放電電流特性のモデル

Fig. 1のエネルギーシステムにおいて、ソーラー・バッテリーカーが街中でガソリン車と同じような走行性能を維持したとすると、その車の充・放電



Fig.2 据置き太陽電池と路上テストに使われた太陽電池搭載の電気自動車

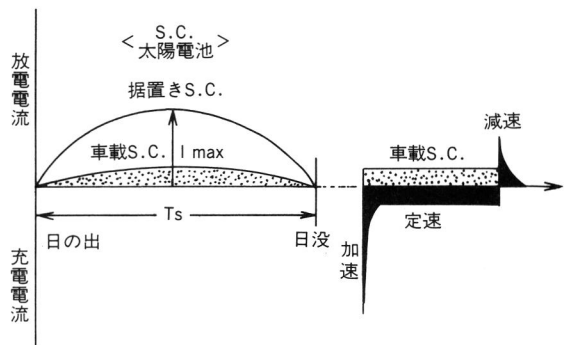


Fig.3 ソーラー・バッテリーカーの充放電電流特性の基本モデル

電流特性の基本モデルはFig. 3 のようになる。そしてこのシステムが実用的乗物として十分な評価を得るには、①充電量の和が放電量の和より大きくなる、②密度の薄い太陽光エネルギーを濃縮した密度の濃い電気エネルギーとして蓄えられる……ことが必要となる。

以上のことを具体的数値で述べると次のようになる。

現在、一般に市販されている電力用太陽電池の場合、強度 1 kW/m^2 (超快晴時の太陽光) の光が垂直入射すると、太陽電池面積 1 m^2 当たり概算 100 W の電気出力しか得られない。またこの出力値は照射角がずれたり、天候が悪くなると極端に減少する。一方、街中をガソリン車なみに小型電気自動車を走らせるにはモーター出力は少なくとも加速時に 10 kW 、定速 ($40 \sim 50 \text{ km/h}$) 時に 3 kW は必要である。となると、この値を満たすために、すばらしい快晴の昼下がりでもざっと見積もって太陽電池は $30 \sim 100 \text{ m}^2$ もの大面积を要し、また、雨天や夜間では走行不可能となり、乗物として現実的ではなくなる。このような理由で少量の太陽電池を有効活用して太陽エネルギーをいったん濃縮するために太陽エネルギーを長時間かけて蓄え、電気エネルギーとして短時間で放出する策がソーラー・バッテリーカーにとって必要となる。面積 10 m^2 程度の太陽電池出力でも時間をかけて10倍、100倍に濃縮すれば自動車を安定して動かすほどのパワーになるのである。

以上の概算値を参考にし、システムの基本電子回路を組み立てたのがFig. 4である。実験に使った据置き太陽電池は面積 6.6 m^2 の電力用多結晶Si型で、最

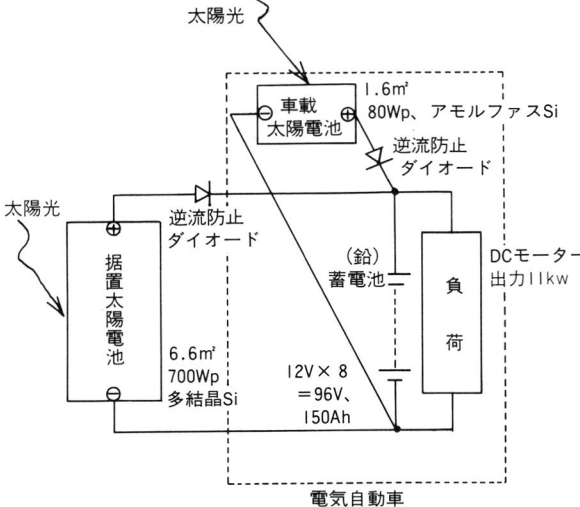


Fig. 4 実験に使ったFig. 2の基本電子回路

大出力は 700 W (メーカー公称値) のものである。この太陽電池は南向きに水平面と 45° の角度で、東京の西の郊外、日野市にある民家の屋根上に設置した。

車上に水平に固定した太陽電池 (Kaneka製) は面積 1.6 m^2 の電力用アモルファスSi型で、その最大出力はメーカー公称値 80 W である。

据置き太陽電池の充電電流特性は1日快晴ならばFig. 3のごとく日の出で始まり、日没で終わる(この間をTsとする)円弧を描く。だから正午ごろの最大充電電流値を I_{max} とすると、1日の充電量Qは I_{max} とTsの積のほぼ64%となる。また車のルーフに搭載した太陽電池からも同様のことが言える。もしTsを正午を中心に10時間とするなら、正午ごろの I_{max} の約6.4倍が快晴1日の充電量となる。この値は太陽電池の設置地域、四季折々のTs、 I_{max} 、また二次電池の放電の深さ、気温などの諸条件によって複雑に影響される。したがってこのQ値はあくまで目安である。

乱雲風雨の折には充電特性は円弧どころか激変す

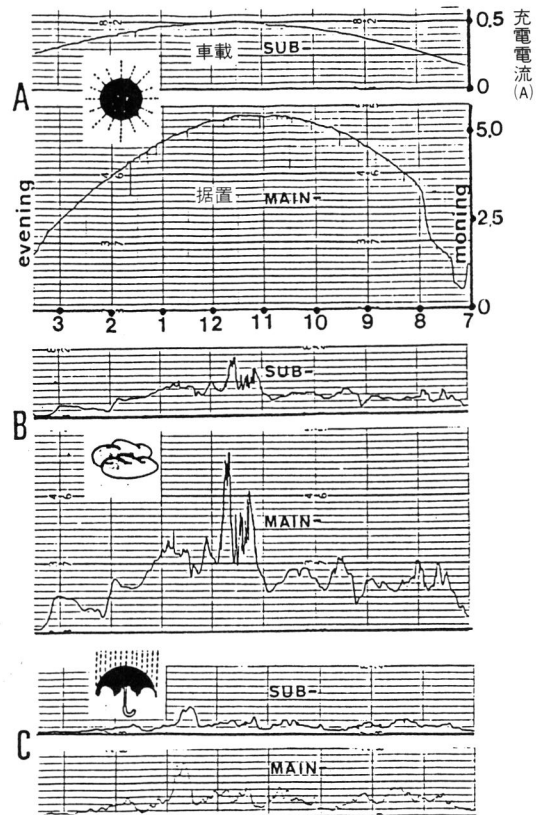
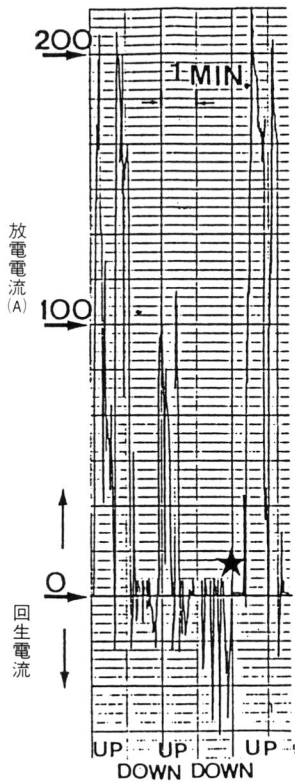


Fig. 5 据置き太陽電池 (700Wp)、車載太陽電池 (80Wp) による(A)晴天、(B)曇天、そして(C)雨天1日の充電特性の実測例



注) ※は信号。

Fig. 6 実走テスト(丘の登り<up>、降り<down>)におけるソーラー・バッテリーカーの放電、回生電流特性

る。Fig. 5 は天候に依存した充電特性の実測値である。天候状態を晴天、曇天、雨天に分け1日に獲得できる充電量を算出した。12V、150Ahの鉛蓄電池8個直列で合計96V蓄電池に、晴天なら35~40Ah、曇天なら15~25Ah、雨天なら3~5 Ahの値を得た。また、車載太陽電池から獲得できる充電量は据置き太陽電池の5~8%であった。

これらの値から二次電池の放電の深さが75%くらいなら晴天が3日続くと二次電池は満充電される。太陽電池の量を必要に応じて増加したり、変換効率の異なるものを使うと、充電量はそれなりに変化する。将来、このようなシステムを体験しようとするドライバーは以上示した概算値は理解しておく必要がある。

次に実験車のスペックと実測した放電特性を以下に示す。Fig. 2の電気自動車本体はガソリン軽自動車(スズキ自社工製のキャリーバン・ハイルーフ)を改造したものである。

- 乗車定員：4人
- 車両総重量：1,050kg

- モーター：直流直巻き、出力11kw
- 搭載二次電池：12V×8=96V、150Ah、鉛
- 制御装置：SCR、回生制御付
- 最高速度：70km/h
- 一充電最高走行距離：105km (40km/h定速で)
- 車載太陽電池：アモルファスSi、出力80Wp、1.6㎡

トランスミッション：4速
 ソーラー・バッテリーカーがガソリン車と同じように街中を走る場合、二次電池の電流特性はFig. 3のように加速時の大放電電流と制動時の回生電流が2つの主役となる。

そこで変速機をセカンドギアに固定し、丘を登ったり、降りたり、市街地を実走した時の放電特性を示したのがFig. 6である。坂道を降りるときや、信号前急停止時に回生機構が働いてマイナス燃費になり、エネルギー回収がなされていることがわかる。

4. 走行記録

以上のようにルーフに太陽電池を搭載したり、エネルギーの再利用を行う回生制動装置を付け、効率よく走る策を講じたFig. 2のソーラー・バッテリーカーの走行記録を以下に示す。

Fig. 7-A、Bは月間走行距離が良かった1987年8月と、悪かった1988年7月における走行距離スペクトルと毎日の全天日射量の記録である。Fig. 7-Aは気温が高く、日射量も平年なみで本システムにとって絶好なコンディションとなり、292.3kmとよく走った月の記録である。Fig. 7-Bは日射量が史上最小を記録したときの貴重な走行スペクトルである。

Fig. 7-Bにおいて雨が降り続いた7月半ば以後の記録は、最悪な日射条件のもとでも近隣のスーパー・マーケットや家族の送迎などのショートドライブとしてこのエネルギー・システムがけっこう役立つことを立証したデータである。

このデータは雨天、曇天でも拡散光によって太陽電池から電気出力が得られ、これをこきぎみに蓄えることによって乗物を動かすほどのエネルギーを得ることができることを示す最良の方法だと考える。

本実験は新品の鉛二次電池を電気自動車に搭載して1987年5月より開始した。それ以来、月間走行距離に合わせて月間全天日射量と平均気温を記録したのがFig. 8である。

ただし、本実験に使った気象データは、測定地点INDEX, No.47662(東京)の値である。

Fig. 8の結果から、あたりまえであるが、実走行距離は日射量の動向にはほぼ従った。しかし、愛車の利用状況は二次電池の寿命を大切にするため、過充電、過放電はできるだけ避けるよう心がけ、わが家の利用頻度をこなすドライブをした。そこでFig. 8は目いっぱいの充放電によって走った値ではない。

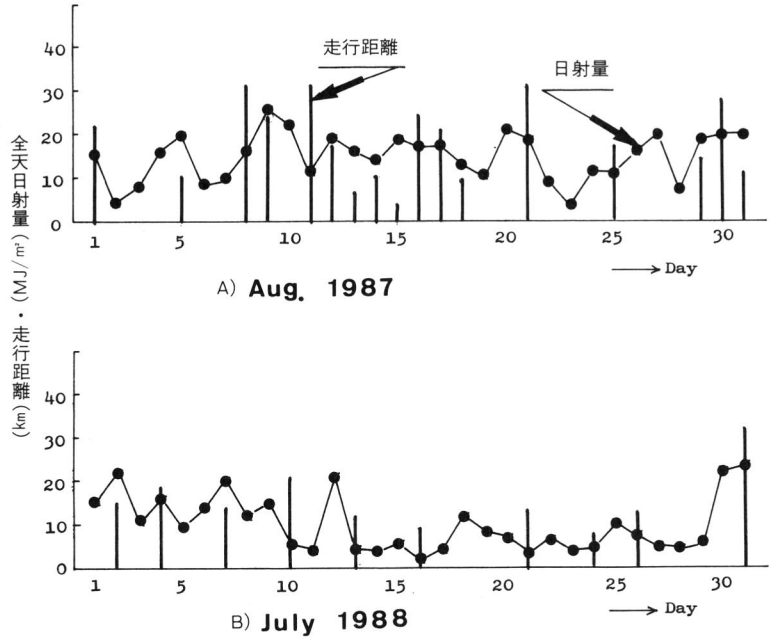
月平均にすると走行距離は250km弱、日照条件最良月で約300km、最悪月で100~150kmを記録した。これらの値から、ガソリン車がガソリン1ℓで10km走るとすれば、面積6.6㎡、700Wp出力の太陽電池をそなえたソーラー・バッテリーカーは月平均約25ℓの貴重なガソリンを節約できることが判明した。

冬期における気温の低下は太陽電池の性能にとって悪くないが、二次電池にとっては不利である。気温が極端に低下する東京地方の1、2月は乗車感覚としてアクセル・ワークに重さを感じるがあったが、幸いなことにここ数年の気温では二次電池が凍結をおこしてダメージを受けることはなかった。なお、搭載二次電池は補水を必要とする鉛電池であるため、蒸留水を半年 (Fig. 8の※印月) ごとに約3~20ℓ補水した。

5. 性能改善

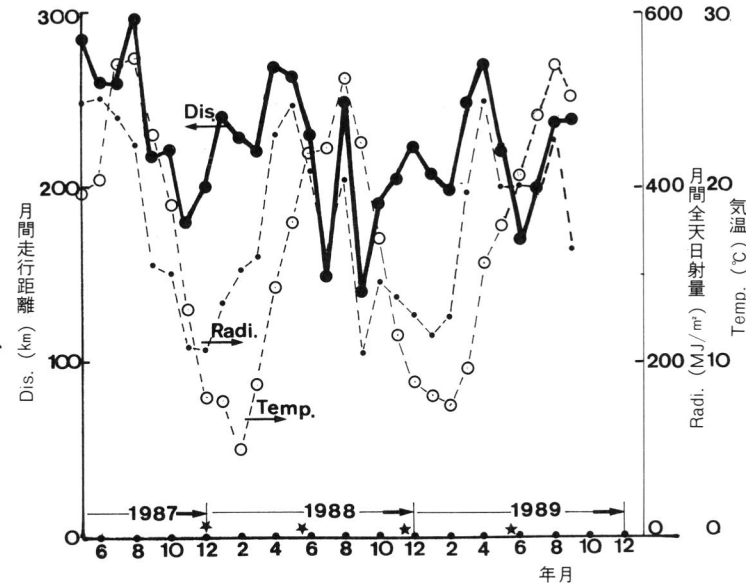
民生用の太陽電池の国内価格はソーラー・バッテリーカーの研究をはじめた1977年ごろは、10,000円/Wもした。それが現在では熾烈な研究開発競争の結果、700円/Wと1桁以上低減し、将来の価格についてはFig. 9に示すように350円/Wを予測する学者もいる。

Fig. 7, Fig. 8の結果からわかるように、エネルギー源でゆとりを持ってソーラー・バッテリーカーを



注) A: 1987年8月 日射条件、最良月。B: 1988年7月 日射条件、最悪月。

Fig. 7 全天日射量と走行距離の記録



注) ※は蒸留水注入月。

Fig. 8 実験開始 (1987年5月) 以来の月間走行距離、全天日射量、気温の記録

月平均300~350km走らせるには、太陽電池の出力量が少なくとも1kWpは必要のように思われる。するとこのコストは現状では約70万円となる。将来的には35万円ぐらいになることが望まれる。

民生用太陽電池のエネルギー変換効率については現在13~15%、寿命は15年と言われている。これら

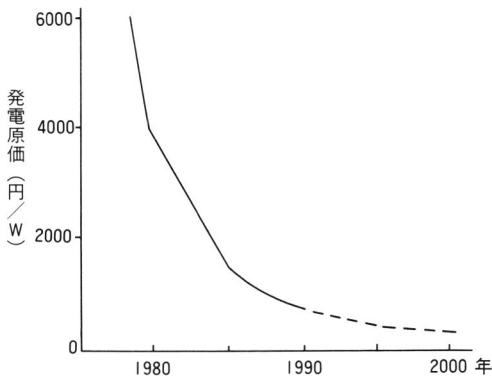


Fig. 9 民生用太陽電池コストの推移と予測

に近い将来は17%以上、20年以上になることが必要だろう。

それは太陽電池そのものを作るに要するエネルギーが原子力や石油資源でまかなわれているからである。エネルギーgain 1以上、すなわち太陽電池製造に使ったエネルギー量以上に太陽電池からエネルギーが回収できなければ、地球全体ではエネルギーの得にならず、エネルギーの「先食い」になってしまうからである。

家庭用の小型マイカーを想定した本実験の試作電気自動車の場合、直流モーターは重量50kgで出力11kw、効率80%、蓄電池（鉛）—96V、150Ah—は重量320kgであるため、車体総重量は約1,000kgもある。その結果、一充電最大走行距離は100km程度と長くない。

しかし最近、新技術開発にともない、モーターはマグネット・モーターになり、より小型軽量で出力30kw、効率95%に改良され、蓄電池も新型のものは蓄電密度が増加している。更に速度、回生制動の電子回路及び車載太陽電池の高効率化、車体素材の超軽量化等により、総車体重量は700~800kgと電気自動車パーツの改良が一段と進んでいる。その結果、1回の充電で走行できる距離が今後飛躍的に伸びる可能性がある。

小型電気自動車のコストは今のところ250万円以上で同クラスのカソリン車の倍以上である。しかし部品数がかソリン車と比較して少なく、構造がシンプルであることから、量産されればカソリン車の70%のコストで制作される。今後解決すべき多くの問題をかかえているが、上述のような確実な技術進歩にともない、一充電走行距離が200kmを超え、太陽電池と電気自動車のペアでカソリン車と同価格になるのもそう遠い話ではないように思える。

6. 21世紀に向けて

石油は先祖が残した遺産である。これを食いつぶすことなく、毎月の給料のように確実に手に入る太陽エネルギーを濃縮して、マイカーのエネルギー源にする方法をここで述べた。晴天はもちろん、雨天でも太陽光を電気にかえてこきぎみに充電することによって、我々はカソリンを一滴たりとも消費しない実用電気マイカーを持つことができる。一般路上テストの結果、月平均300km程度走る家庭なら、東京あたりの日照条件で太陽電池の必要量は約1kWpであることがわかった。

このような次世代クリーン・カーが実現すれば、石油の枯渇、排気ガスによる地球の温室効果の進展の問題は解決に向かうだろう。日本自動車工業会の調査によると、サラリーマン家庭のカソリン・マイカーは4台に1台は月間走行距離が250km以下だそうである。もしこの人たちが出力1kWpの太陽電池をマイホームに備えれば、長距離ドライブはむりとしても日常の「げた代わり」をソーラー・バッテリーカーが演じてくれることになる。

私は高速商用車まで、希薄な自然エネルギーを集めて、そのエネルギーで走らせようとは思わないが、ここで述べたような太陽光を吸収し、時折、のどのかわいた蓄電池に蒸留水を注入してドライバーの意のままに静かに走る植物的乗物もカソリン車と共存してこの世にあってもよいと思う。

一般に96V、150Ahの二次電池を搭載した電気自動車の一充電最高走行距離は前述のように約100kmである。しかし、電池の蓄電エネルギーから算出した理想の車体と電子回路の設計をほどこすと、この距離は300kmに達する。この値に近づけるために我々



ルーフ、リヤに太陽電池をうめこんだ電気自動車
Fig. 10 カソリン車と同じ高性能を備えたスポーツタイプのソーラー・バッテリーカー

はガソリン車（ホンダのCR-X）を改造した最新鋭のソーラー・バッテリーカーを開発した（Fig.10参照）。

これはルーフに単結晶Si太陽電池（1.0㎡、出力80W）をスマートに搭載し、若者受けするスポーツタイプである。その主なスペックは以下のごとくである。

乗車定員：2人

車両総重量：1,000kg

モーター：直流分巻き、出力14kw

搭載二次電池：96V、150Ah、鉛

最高速度：105km/h

一充電最高走行距離：150km
（45km/h定速で）

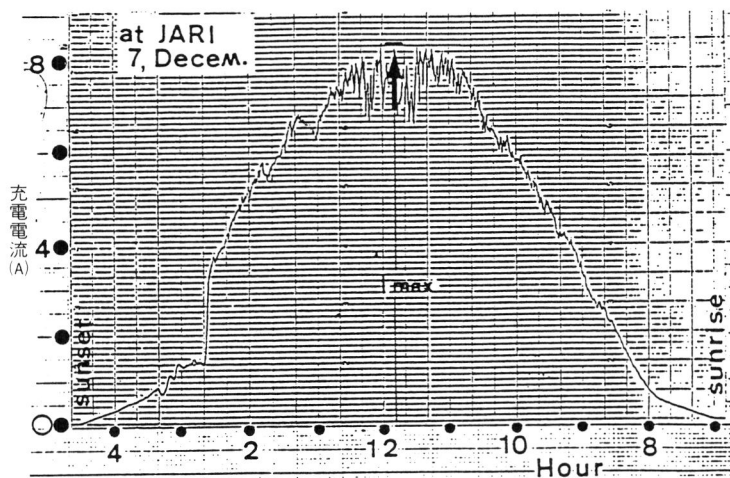
車載太陽電池：単結晶Si、出力80Wp、面積1.0㎡

Fig.11はつくば市にある日本自動車研究所にて快晴1日、最大出力1kWpの据置き太陽電池によって充電した時の特性である。真昼の最大充電、電流値I_{max}は8A程度で、1日の充電量Qは約50Ahを記録した例である。

次にこの蓄えた電気エネルギーをもとに同研究所の外周テストコースにおいて、1st、2ndギアで、テストランした時の消費電流の記録例がFig.12である。これらのデータより、試作車（Fig.10参照）の燃費は約96V、0.8Ah/km（平均速度43km/hにおいて）を得た。

この車は21世紀をにう若者達によって、現在更に改良研究が行われている。その成果が楽しみである。

ソーラー・バッテリーカーの研究を本学において電子工学を学ぶ学生の卒業研究テーマとして13年行ってきた。これまでに送り出した多くの学生は自動車メーカーやその関連会社に就職している。彼らが学んだことを少しでも来世紀に語り継いでくれれば私の目的は達成されたことになる。すばらしいソーラー・バッテリーカーをこれからも開発し次世代へ



注) 場所はつくば市、日本自動車研究所。

Fig. 11 Fig. 10の据置き太陽電池（出力1kWp）によって充電したとき、快晴1日の充電特性

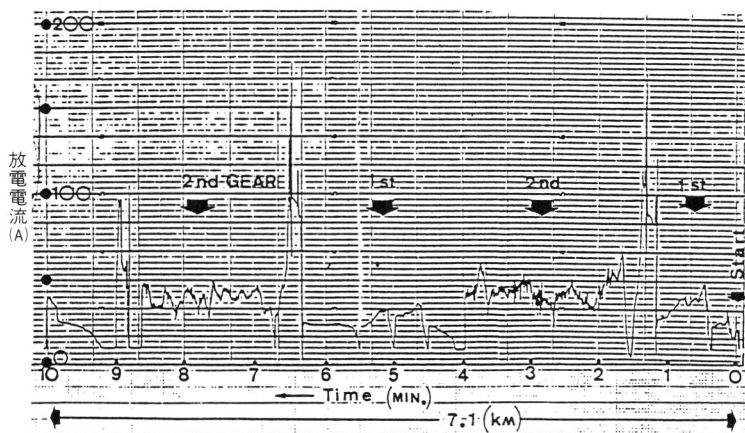


Fig. 12 日本自動車研究所の外周路テストコースにおける1st、2ndギア使用時における放電電流特性

の遺産としたい。

参考文献

- 1) 「太陽電池自転車」朝日新聞東京本社、1980年9月27日
- 2) 藤中正治「太陽電池の利用法」『電気技術者』日本電気技術者協会、1983-7
- 3) 藤中正治「ガソリン自動車への警鐘」『工学情報』東京電機大学校友会、1983-7
- 4) M. Fujinaka: Electrical Auto with Self-Sufficient Energy - Supply, SUNWORD, Vol. 7, No. 3, 1983
- 5) 藤中正治「太陽電池にエネルギー源を求めたマイカーは存在し得るか？」第10回日本太陽エネ

- ルギー学会研究発表会、No.47、1984年12月
- 6) M. Fujinaka : The Solar Electric Car : Vehicle of the Future Here Now, SUNWORD, Vol. 10, No. 3, 1987
- 7) 藤中正治「太陽電池にエネルギー源を求めた電気自動車」Tokyo International Electric Vehicle Forum 1986, D- 4, Japan EV Association, Sep. 18, 1986
- 8) 藤中正治「太陽電池にエネルギー源を求めた無公害電気自動車」第13回日本太陽エネルギー学会研究発表会、No.12、1987年12月
- 9) 藤中正治「太陽光電気自動車——太陽で走る自動車の実用化へ向けて——」『日本の科学と技術』Vol.27、No.239、1986年
- 10) 藤中正治「太陽電池にエネルギー源を求めた無公害電気自動車 (II)」日本太陽エネルギー学会、No.15、1988年12月
- 11) M. Fujinaka : The Practically Usable Electric Vehicle Charged by Photovoltaic Cells, The 24th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference-international forum on energy engineering, Washington D. C., Aug. 6-11, 1989
- 12) M. Fujinaka : Future Vehicles will Run with Solar Energy, The Recent Advances in Electric Vehicle Technology. SAE in Vancouver. BC. Aug. 7-10, 1989
- 13) 藤中正治「太陽電池にエネルギー源を求めた無公害電気自動車 (III)」日本太陽エネルギー学会、No.40、1989年12月