

ビーム給電型自動車における太陽電池の高効率化の研究

量子・物質工学専攻 植田研究室 上條 核

1. はじめに

太陽電池に太陽光を入射させて発電を行う際、エネルギー密度が低いという太陽光の特性を考えると、大電力を得るためにはどうしても広い受光面積が必要となることがわかる。

また、放射スペクトルが図1のように紫外から赤外と広範囲に及ぶため、使用される材質のバンドギャップによってその分光感度特性がある程度決まってしまう太陽電池ではその分布範囲をカバーしきれない。太陽電池の材料となる各種素材別のバンドギャップ、現在開発されている太陽電池の最大変換効率とあわせてその理論限界効率を示したのが図2である[1]。このような変換効率の理論限界値を見たとき、太陽光を直接太陽電池によって光電変換したとしても、たとえその太陽電池の変換効率はその材料で達し得る最大のものであったとしてもその面積次第では大した電力を発電することができないことがわかる。

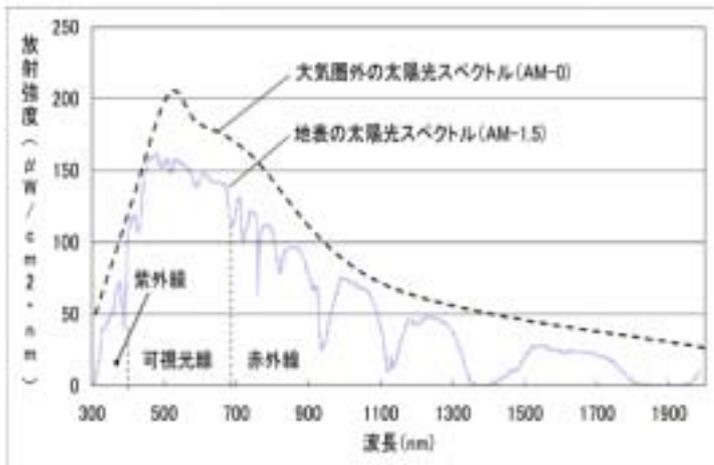


図1 太陽光スペクトル

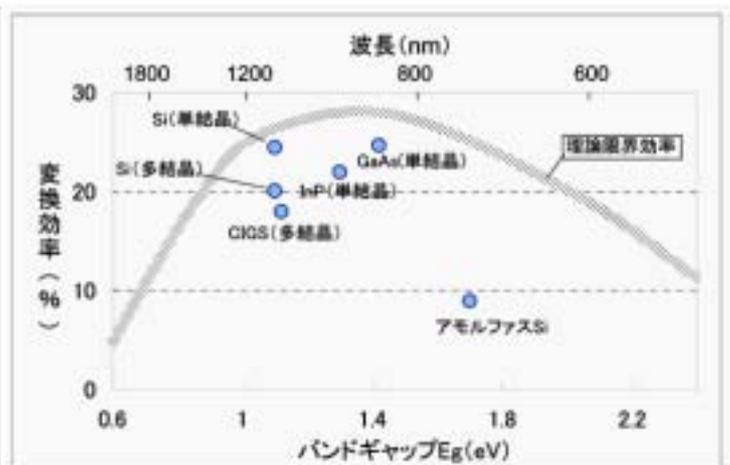


図2 各種太陽電池の理論限界効率

2. 太陽電池による光電変換

太陽光はインコヒーレント光であり、波長範囲も幅広い。これらの点が問題となり、太陽電池で光電変換を行ったとしても単位時間・単位面積あたりに取り出せる電力は少なくなってしまう。そこで、太陽電池に太陽光ではなくレーザービームを入射させることで光電変換をさせ、電力を取り出すことを考える。太陽電池の分光感度特性に応じた単色光を用いることで、コヒーレント光による高効率光電変換を行うことが可能となる。

3. レーザービーム給電型自動車

近年、化石燃料の枯渇を始めとするエネルギー問題が話題となっている。さらに二酸化炭素排出などの環境問題への関心も高まり、化石燃料に依存しない新たなエネルギー源の開発が求められている。その中で化石燃料を大量に必要とする自動車に大きな変化が訪れようとしている。従来のガソリン車が主流の中、自動車メーカー各社は電気自動車の開発

を盛んに進めている。それは電気自動車が近い将来、ハイブリッド車に替わり化石燃料自動車を置き換えると注目されているためである。

現在中心的に開発が進められている電気自動車はガソリンの代わりに内蔵エネルギーとしてリチウム電池を積んだ電池内蔵型の自動車である。本研究では別の視点から電気自動車を考え、燃料内蔵型自動車ではなく、天井に設置した太陽電池を受光素子としレーザービームを入射させることによって走行に必要な電力を供給するというエネルギー供給型自動車を提案した。

つい最近発表された来春発売予定のトヨタ自動車の新型プリウスにおいても既に太陽電池を搭載したのとなっているように、電気自動車は必然的に太陽電池を搭載したソーラーカーとなることが予想できる。また、太陽電池技術の技術開発は急速に進んでおり、従来の結晶シリコンを使った太陽電池以外にも各種の薄膜太陽電池が実用化されつつある[2]。これらの中には、電気自動車用太陽電池塗装として研究されているものもあり、電気自動車と太陽電池はペアとして考えることができる[3]。

図3に示すように、レーザービーム給電は信号など上空に設置された高出力LDアレイから、電機自動車に搭載された太陽電池を受光素子として電力を供給するシステムである。

本論分では太陽光 太陽光発電 半導体レーザービームに変換 太陽電池による光電変換という流れで自動車へ電力を供給することを提案している。このとき総合効率はそのそれぞれの効率から 太陽光発電(%)×半導体レーザー(%)×レーザービーム光電変換(%)=総合効率(%)と考えることができる。太陽光による太陽電池の変換効率を20%、半導体レーザービームへの変換効率を50%とし、本論分内で試算に用いた総合効率8%を目標とした。これによりレーザービーム光電変換の変換効率の目標値を80%とした。

4. レーザービームによる光電変換

レーザービームによる光電変換効率は二種類の太陽電池を用いて測定し、次のように求めた。

太陽電池に入射する光の測定 太陽電池の出力特性の測定 変換効率等の特性値の計算
変換効率は図4のような測定法を用いて電流-電圧曲線を描き、最大出力点における出力エネルギーを入射エネルギーで割ることで得られる。

$$\text{変換効率} = \frac{\text{出力エネルギー}}{\text{入射エネルギー}} \times 100 (\%)$$

また、太陽光入射による変換効率について求める際は冬の晴天日における測定だったためAM(エアマス値)2.0とし、入射光強度を0.85W/m²とした[4]。

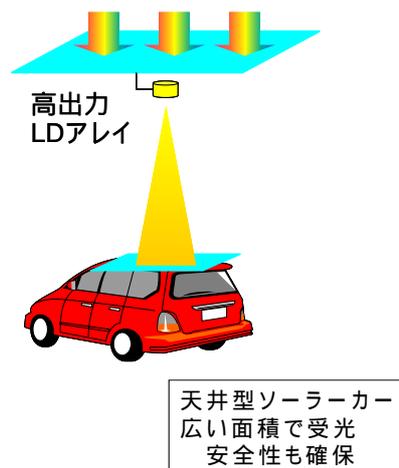


図3 頭上からのレーザービーム給電

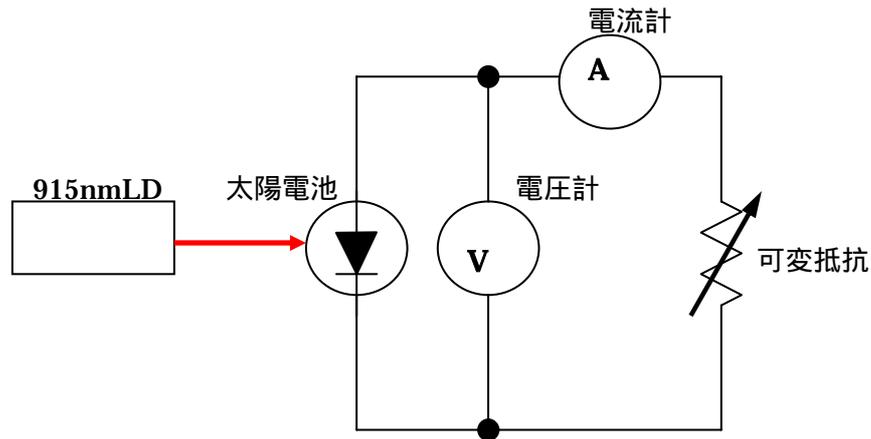


図 4 可変負荷方式による測定

使用した二種類の太陽電池特性を以下に示す。

表 1 太陽電池 諸特性

ETM 500-0.5		ETM 300-0.5	
開放電圧	0.584V	開放電圧	0.596V
短絡電流	390mA	短絡電流	450mA
サイズ	6.2 × 6.6cm	サイズ	6.0 × 2.3cm
受光面積	17.9cm ²	受光面積	10cm ²

使用したレーザーは 915nm 半導体レーザーであり、そのスペクトル・出力特性は図のようになっている。

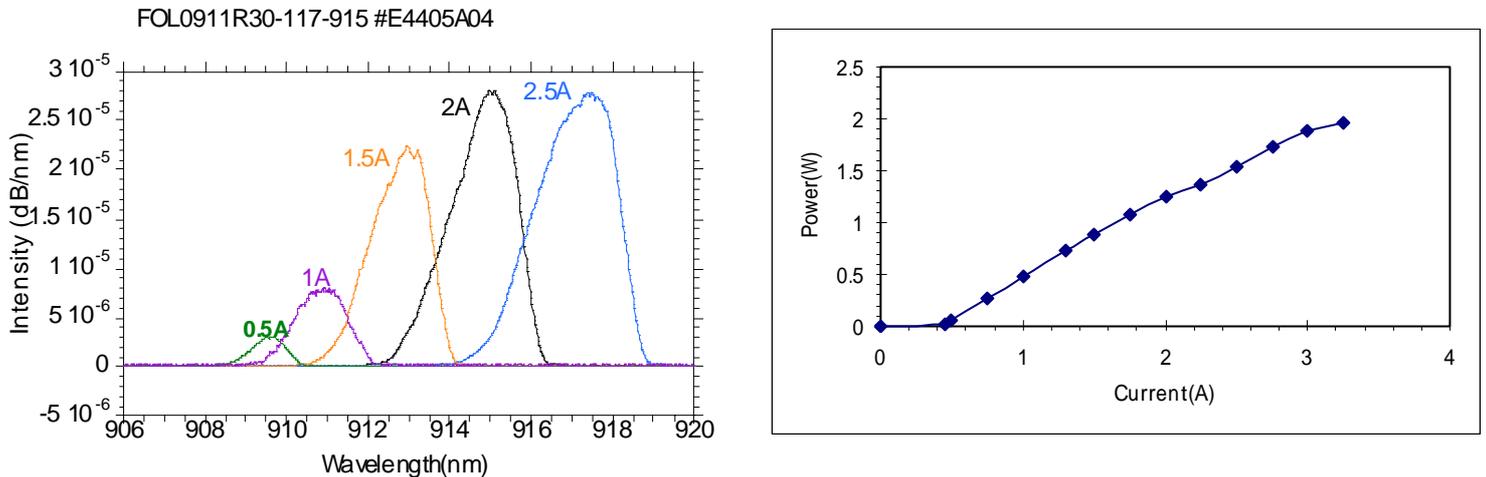


図 5 LD スペクトル特性（左）及び出力特性（右）

変換効率測定を行った際の入射光強度は 880mW であり、このときの発振波長は図 5(左)における 1.5A の時のものである。この発振波長は単結晶シリコンの分光感度特性と一致するものとなっている。

この測定法では、太陽電池を図 4 のようにつなぎ、出力を一定にした上で抵抗値を極小

から極大まで変化させることで I-V 曲線を得ることが出来る。

初期状態においては太陽電池セルの温度が上がっておらず、レーザー光を入射すると温度の上昇と共に出力は減少する。そのため、一定の値を得るために測定前にしばらくレーザー光を当て、ある程度安定したところで測定を行った。太陽光下の測定も同様に安定させてから測定を行った。

LD と太陽電池間の距離は **5cm** とし、レーザービームが全て太陽電池に入射していることを確認した。太陽光の測定では太陽電池に影が出来ないように配慮した。得られた I-V 曲線から電力値が最大となる点を求め最適動作点（最大出力点）とした。

ETM500-0.5 および ETM300-0.5 の I-V 曲線はそれぞれ図 6、図 7 のようになった。

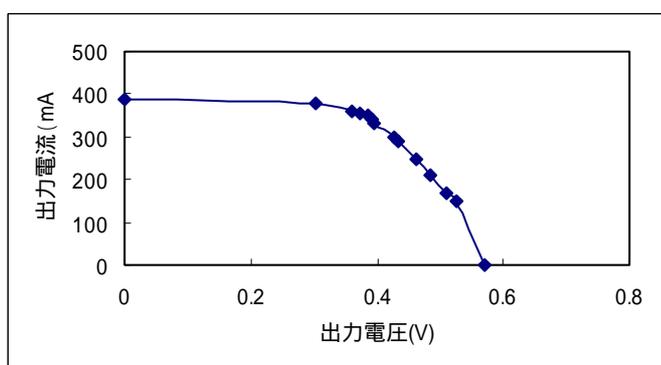


図 6 ETM 500 - 0.5 I - V 特性

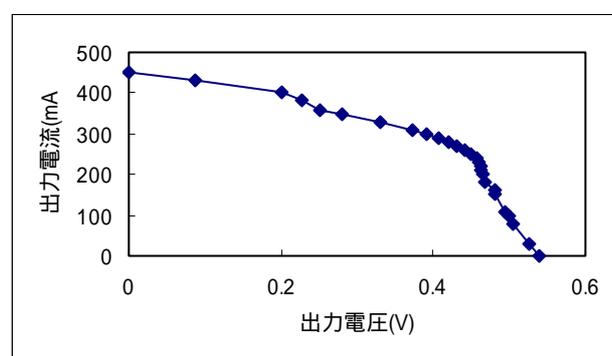


図 7 ETM 300 - 0.5 I - V 特性

レーザービーム入射時の ETM500-0.5 の最大出力点における出力は 134.75mW であり、変換効率は 15.3% 、太陽光入射時の出力は 138.7mW 、変換効率は 10.6% となった。

同様にレーザービーム入射時の ETM300-0.5 の出力は 117.74mW で変換効率が 13.5% 、太陽光入射時の出力は 81.3mW 、変換効率 10.8% となった。

得られた結果からも見られるように、レーザービームによる光電変換は太陽光によるものより高い変換効率を得ることができた。しかし、目標とするところの 80% には遠く及ばず、太陽光による光電変換よりも少し良くなったという程度の値しか得られなかった。

目標値の 80% を得るために必要な太陽電池の出力を計算したところ、レーザーからの入射強度が 0.880W だった場合約 0.7W の出力が必要であることがわかった。

次節において示すが LD-太陽電池間の距離 5cm 、入射光強度 0.880W の時点では飽和はしておらず、要因は他にあると考えられる。

5. レーザービームによる飽和強度測定

次に飽和強度測定の実験を行った。飽和強度測定においても光電変換実験と同様の 2 種類の太陽電池に関して測定を行った。

レーザーによる入射光による飽和強度の測定に関しては以下のように行った。

LD と太陽電池間の距離、及びその時太陽電池に入射する光の半径を測定

距離 において LD の出力電力、及びその時の太陽電池出力電流を測定
 距離 より LD と太陽電池間の距離が短い距離、 についても同様に測定
 同じ出力電力においても距離 より距離、 の方が太陽電池に対する単位面積あたりの
 入射強度 W/cm^2 は大きくなり、測定結果を元に飽和強度を決定した。

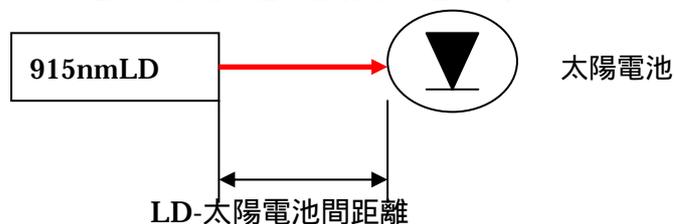


図 8 太陽電池飽和強度測定

まず距離 **5cm** において太陽電池に全ての光が入射していることを確認し、LD 出力を上げていった。ある程度の幅を測定し、同じように距離 **3cm** で測定を行った。このとき、得られる太陽電池の出力からどの程度の LD 出力で飽和が起きているか確認出来るため、再度距離 **5cm** に戻し飽和強度周辺の数値を細かく測定した。その後距離 **3cm**、距離 **2cm** の飽和強度周辺の数値を順に測定した。それらを図 9、図 10 にまとめ、飽和強度を視認できるようにし、さらに得られた測定結果から飽和強度値を調べた。

グラフから距離 **3cm** および距離 **2cm** において途中からスロープ効率が低下していることが見て取れる。スロープ効率が低下し非飽和時よりも太陽電池出力電流が低下した点における単位面積あたりの入力強度を飽和強度としたとき、**ETM300-0.5** の飽和強度は約 $0.43W/cm^2$ 、**ETM 500 - 0.5** の飽和強度は約 $0.65W/cm^2$ であった。

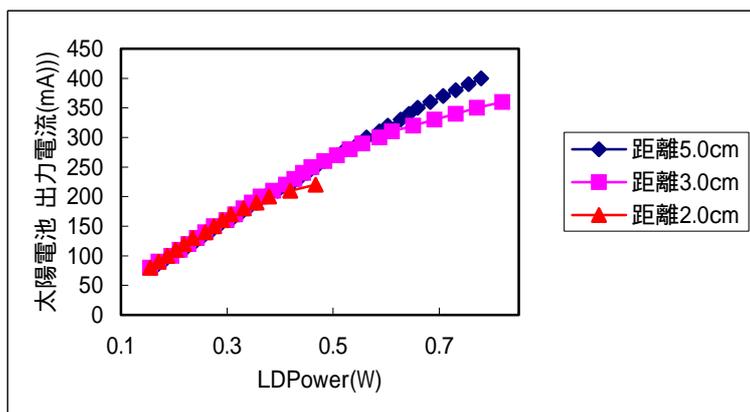


図 9 ETM 300 - 0.5 の飽和値測定

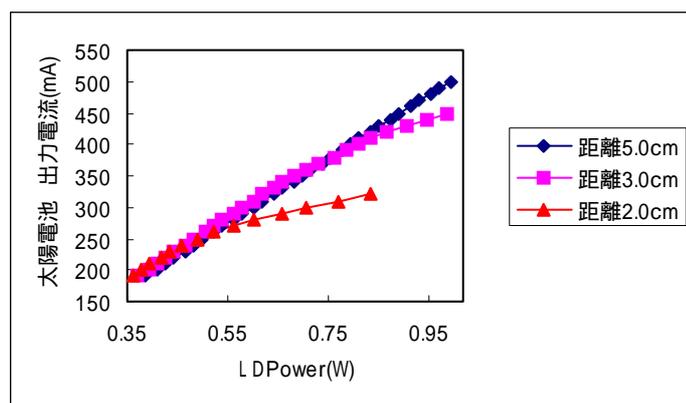


図 10 ETM 500 - 0.5 の飽和値測定

これらの測定により二種類の太陽電池の飽和強度を求めることができた。本論分内で試算した光束強度を $5kW/m^2$ とするならば、レーザービーム給電に関して言うのならば **ETM500-0.5** は使用可で **ETM300-0.5** は使用不可ということがわかる。このように、太陽光による発電を目的とする太陽電池には示されていないパラメータを知ることによってレーザー

ビーム給電に用いる太陽電池を選定する要素とすることができるようになる。

6. まとめと今後の展望

本研究においてはレーザービームによる光電変換測定および飽和強度測定を行った。まず、レーザービームによる光電変換を行い、その変換効率測定を行った。太陽光による変換効率と比較して、両方の太陽電池においてレーザーによる光電変換の変換効率が数%上回った。しかし、第3章の測定結果にも書いたとおり目標としていた80%とは大きく差が開いている。変換効率の支配要素として入射光の表面での反射による損失、光吸収時の損失、吸収後のエネルギー損失、再結合による損失などが挙げられ、これらの要素による影響を再度確認してどこで損失が起きているかを今後明確化していく必要がある。

一つ大きな反省点として、本論文においては単結晶シリコン太陽電池を二種類測定したがその正確な分光感度特性は不明確なままで測定を行ってしまったという点がある。単結晶シリコンには違いないので分光感度特性はピーク波長が900~1000nmをとるため、そこまで大きな変換効率の低下の要因とはならないと考えられるが、分光感度特性を正確に把握した上で実験を行う必要はあったと考える。

飽和強度測定

次に太陽電池へレーザービームを入射させた際の飽和強度測定を行った。測定した二種類の太陽電池においてそれぞれの飽和強度を得ることができ、またたまたまではあるが都合良くレーザービーム給電に使用可であるものと不可であるものの二例を得ることができた。

太陽電池に光を入射させた場合、出力電圧はすぐ頭打ちとなり光の強度とともに出力電流が上がることによって出力強度が上昇する。最大出力電流は太陽電池の面積に比例するため、本論文で得たような飽和強度を用いることで太陽電池のサイズにおける最大出力値を簡単に求めることができるようになることを期待する。今後は飽和強度と内部抵抗やその他の諸特性値との詳しい関係性を調べる予定である。

[参考文献]

1. Green, M. A., Emery, K., Hisikawa, Y. and Warta, W. "Short communication; Solar cell efficiency tables (version30)" Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol.15, Issue 5, pp.425
2. K. Yamamoto et.al., "High efficiency thin film silicon solar cell and module", Proc. 29th IEEE PVSC, pp.1110-1114 (2002)
3. Yoshida T., Funamori K., Ban T. "Development of Solar Cell Painting for Electric Vehicles"
4. 桑野幸徳 中野昭一 著「太陽電池とその応用」パワー社 (1994)