

■ 研究論文 ■

太陽電池による固体高分子膜を用いた水電解

Solid Polymer Electrolyte Water Electrolysis

加藤 守孝*・前澤 彰二**・佐藤 広一***・小黒 啓介****

Moritaka Kato Shouji Maezawa Kouichi Sato Keisuke Oguro

(1995年9月27日原稿受付・1996年2月9日原稿受理)

Abstract

This paper presents operational results of solid polymer electrolyte (SPE) water electrolyzers. The electricity for the electrolyzer is supplied by a variable electricity supply unit that simulates actual output of any combinations (series, parallel) of solar batteries on various solar intensity. An amorphous-silicon solar battery is used as a sensor for the unit. The operation was continued more than 600 days without any trouble due to the intermittent and variable electricity supply. The case of direct connection of solar battery and SPE water electrolyzer is simulated, the test results show that more than 95% of peak electricity power of solar battery can be utilized for the electrolyzer over various solar radiation conditions.

1. 緒言

RITEのCO₂の化学的固定化プロジェクトでは、CO₂を接触水素化によりメタノール等の輸送が容易な液体に変換しクリーンなエネルギーをCO₂を媒体として消費地に輸送することによりCO₂の排出量を削減することを目的にその要素技術及びトータルシステムの研究を行っている。接触水素化の水素源として、固体高分子電解質膜を用いた水電解法を想定しており、電力の供給源として、その必要量の巨大さおよび再生可能でなおかつ環境に優しいという条件を満足するエネルギー源としては、太陽電池等、出力が変動する自然エネルギーを供給源として考える必要がある。このような変動する電力に対する固体高分子膜を用いた水電解槽の運転上及び性能上の問題点を抽出するため、代表例として、アモルファス太陽電池をセンサーとした

模擬電力を電解槽に供給する装置を設置し600日を越える長期連続運転を行った結果、電解槽はトラブル無く運転することが出来た。さらに太陽電池と電解槽を直接接続した場合の出力の変動と電解槽のI-V性能は良いマッチングを示し、太陽電池ピーク出力の約95%が電解に利用できることが実証された。

2. 実験装置

図-1に実験に用いた装置の系統図を示す。

電解槽はRITEで製作した有効電極面積0.5dm²の単極式のセル2基(セル53, 54)を用いた。それぞれのセルは、円形の内部に流路をもつ2枚のチタン製の極板の間にそれぞれ給電体を介して電極接合体膜を挟む構造になっている。電極接合体膜は固体高分子膜としてデュボン社のNafion 117を用い、これに吸着還元成長法¹⁾により、陰極側にPt、陽極側にIrを接合した。

太陽電池を電力源として水電解槽を操業する場合、2つのケースが想定される。1つは、太陽電池と電解槽を直接接続する場合。もう1つは太陽電池と電解槽の間にDC/DCコンバーターを介する場合である。いずれの場合も、実験を実際の太陽電池で行う場合、必

* 助地球環境産業技術研究機構 (RITE) CO₂固定化等プロジェクト室 大阪水素分室 (現所属: NKK総合設計㈱)

** RITE CO₂固定化等プロジェクト室 技術部

*** RITE CO₂固定化等プロジェクト室 大阪水素分室

〒563 大阪府池田市緑丘1-8-31 大阪工業技術研究所内

**** 大阪工業技術研究所 エネルギー・環境材料部

〒563 大阪府池田市緑丘1-8-31

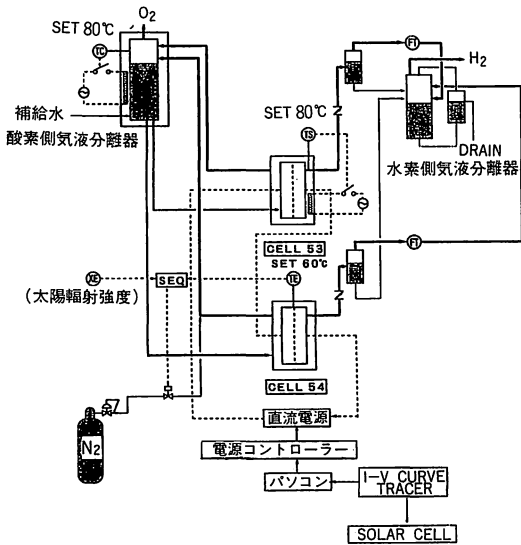


図-1 実験設備系統図

要電力量及び、それぞれのセルの入出力電圧の違いにより、多くの太陽電池及び電解セルが必要となる。今回の実験では、2つのセルを直列につなぎ、太陽電池の出力電圧、電流を任意の倍率に変える事によって任意の数の太陽電池を設置したと同等の電力を電解槽に供給できるようにした。日射強度は、全天日射計（英弘精機MS-801）で測定した。

太陽の日射強度によって変化する太陽電池出力のI-V特性を測定する。日射強度は、全天日射計（英弘精機MS-801）で連続的に測定できるようにした。

太陽電池の仕様は次の通りである。

- 形式 : AMP-04S2 (三洋電機)
- 動作電圧 : 30.0V
- 動作電流 : 0.6A
- 最大出力 : 18 W
- 外形寸法 : 1,225×375×9
- 設置基数 : 2
- 接続 : 並列

次に、パソコンと直流電源により電解槽のI-Vカーブを測定し、図-2に示すような2種類の出力パターンの電力のいずれかを出力することが出来る装置を構成した。1つは、太陽電池と電解槽を直接接続したケースに相当する、つまり、太陽電池の発生する電流及び電圧が電解槽の電流及び電圧と一致するケースである(出力パターンI)。この場合、利用できる電力は、太陽電池出力曲線と電解槽入力直線の交点となり、太陽電池のピーク出力とは一般的に一致しない。もう一つ

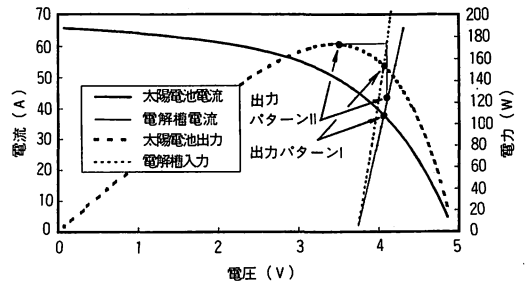


図-2 模擬電源の出力パターン

は、太陽電池と電解槽の間にDC/DCコンバーターを付加した場合に相当する。つまり、太陽電池のそのときのピーク電力に相当する電力を電解槽に供給するケースである(電力出力パターンII)。

今回の実験での装置の主な運転条件は次の通りである。

水電解部

- 酸素側気液分離器温度 : 80°C
- 酸素分離器圧力 : 1,000mmH₂O
- 水素側気液分離器温度 : 室温
- 水素側気液分離器圧力 : 大気圧
- セル保温設定温度 : 80°C

電力供給部

- 電池サンプリング頻度 : 20回/hr
- 電圧倍率 : 0.17, 0.15
- 電流倍率 : 70, 80
- 最大電流値 : 100A (200A/dm²)
- 最大電圧 : 6V (電源端)

3. 試験結果

3.1 電解槽の性能

ユニットに設置した各セルの80°Cにおける電解電圧と電流密度の関係を図-3に示す。各セルにおける初期性能の相違は、電極接合体膜のメッキ条件、給電体の

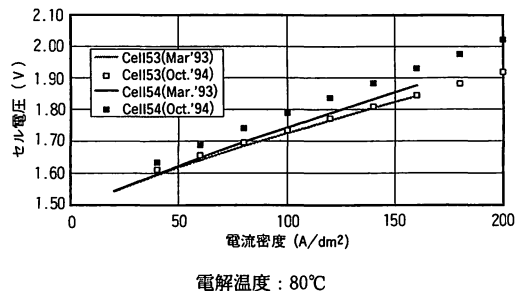


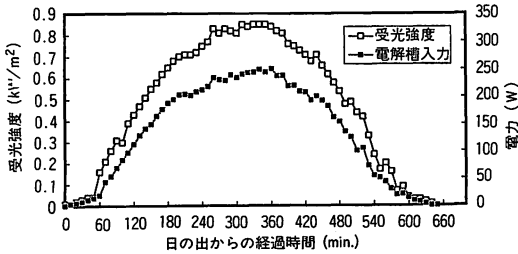
図-3 使用した水電解セルの電流-電圧特性

材質及び形状の相違によるものである。

約600日後のセル54の電解電圧は100A/dm²において約80mV上昇している。セル電圧の上昇は、電極接合体膜の装置から溶出した金属元素による汚染が主な原因と思われるが²⁾、セル53と54の運転条件の違い、つまりセル53は電熱ヒーターにより常に80℃を保ち、セル54は昼間は供給水により80℃になるが、夜間は放熱のため室温近くになるといったことが原因となっている可能性も否定できない。今後行う解放検査で原因の検討を行う。

3.2 ユニットの運転特性

図-4に1994年2月20日におけるユニットの運転データを示す。この時の運転モードは出力パターンIIである。



実験日：1994. 2. 20 実験場所：大阪府池田市

図-4 (a) 日射強度と電解槽入力

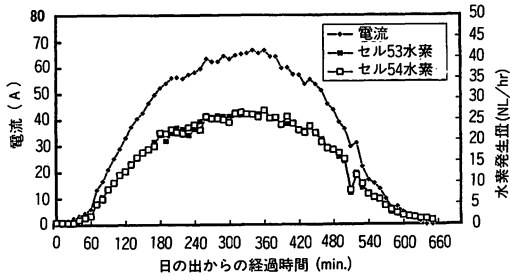
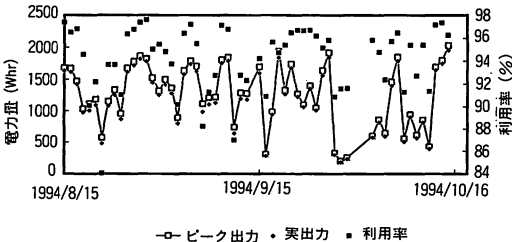


図-4 (b) 供給電流と水素発生量



○- ピーク出力 ・ 実出力 ・ 利用率

電源出力パターン：I

電圧倍率：0.17 (Aug.15-Sep.13), 0.15 (Sep.15-Oct.15)

電流倍率：70 (Aug.15-Sep.13), 80 (Sep.15-Oct.15)

図-5 太陽電池出力利用率

る、Iのモードでも同様なパターンを示す。受光強度は全天日射計で測定したものである。(a)の曲線が日昇時及び日没時ならかになっているのは、センサーのが建築物の陰になるための影響である。(b)の供給電流と水素発生量も受光強度に沿って変化している。

3.3 太陽電池出力利用率

図-5に1994年8月15日から10月15日までの運転を出力パターンIで行ったときの結果を示す。CASE1の電流及び電圧の倍率はその時期の日射強度が最大の時、電流がほぼ70Aになるように設定した。

太陽電池の実出力とピーク出力の比を利用率とすると、晴天時の利用率の日平均は97%以上となっている。9月14日に電圧及び電流の倍率の設定を図に示すように変更した。これによって、曇天時の利用率が改善されたが、晴天時では逆に下がっている。

4. 考察

4.1 太陽電池セルのI-V特性

アモルファスシリコン太陽電池の任意の照度Ecでの出力電流は、温度一定の時、異なる2つの照度Ea, Ebの出力電流を用いて次式で表される^{3), 4)}。

$$I_c(V) = I_b(V) - \frac{E_b - E_c}{E_b - E_a} (I_b(V) - I_a(V)) \quad (1)$$

V：太陽電池の印加電圧 (V)

Ia(V), Ib(V), Ic(V)：照度Ea, Eb, Ecにおける出力電流 (A)

一般に、Ia(V), Ib(V)は太陽電池の各種特性によって決まる複雑な関数であり、特にa-Si太陽電池の場合、結晶Si太陽電池の場合のような一般式は得られていない。ここでは、簡単のため、以下のような電圧Vの5次多項式で近似した。

$$I_a(V) = \sum_{x=0}^5 a_x \times V^x \quad (2)$$

$$I_b(V) = \sum_{x=0}^5 b_x \times V^x \quad (3)$$

Ea=0.424kW/m², Eb=1.046kW/m²の場合の実測値を(2), (3)式でフィッティングし、表1のように係数ax, bx (x=0~5)を定めた。なお、この時の太陽電池パネルの温度は14℃であった。

図-6に(1), (2), (3)式を用いた計算値を実測値とともに示す。Ec=0.854kW/m²の場合も実測値と良い一致を示し、Ecの値を変化させることで任意の照度での出力電流が計算できることがわかる。

表1 フィットtingで求めた(2),(3)式の係数

X	0	1	2	3	4	5
a_x	5.64×10^{-1}	-3.98×10^{-3}	6.73×10^{-4}	-6.71×10^{-5}	2.57×10^{-6}	-3.76×10^{-8}
b_x	1.38	-3.21×10^{-3}	-2.15×10^{-5}	-1.20×10^{-5}	6.33×10^{-7}	-1.56×10^{-8}

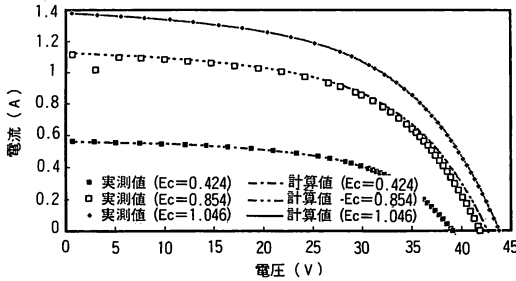
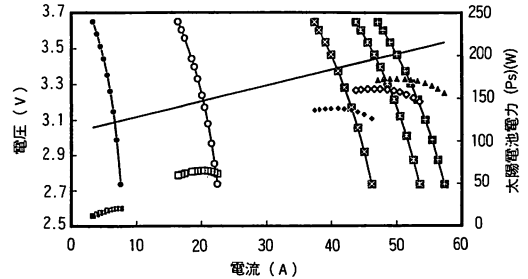


図-6 太陽電池の照度依存性の実測値と計算値



— Vc	—□— Vs (Ec=0.89)	• Ps (Ec=0.77)
—△— Vs (Ec=0.14)	—■— Vs (Ec=0.95)	◇ Ps (Ec=0.89)
—○— Vs (Ec=0.38)	—□— Ps (Ec=0.14)	▲ Ps (Ec=0.95)
—■— Vs (Ec=0.77)	□ Ps (Ec=0.38)	

Vc : 電解槽セル電圧 Vs : 太陽電池電圧 Ec : 太陽輻射強度
図-7 太陽電池・電解槽直結時の作動状態

4.2 太陽電池と水電解槽の負荷変動特性

太陽電池と電解槽の負荷をマッチングさせるために、電解槽の電流電圧特性を計算した。セル53とセル54を組み合わせたセルのI-V特性はスタート時の測定データより次の(4)式で表される。

$$V_c = 0.0044CD_c + 3.03 \quad (4)$$

V_c : セル電圧 (V)

CD_c : 電流密度 (A/dm^2)

一方、太陽電池の晴天時のピーク日射強度を0.96 kW/m^2 とすると、太陽電池のI-V特性は(1)～(3)式で求められ、その時の最大出力条件は次のように求められる。

$$P_{max} = 29.5W$$

$$I_{pmax} = 0.965A$$

$$V_{pmax} = 30.5V$$

ここで、電解槽の最大電流密度を100 A/dm^2 とすると、太陽電池の照度0.96 kW/m^2 のとき電解槽の電流密度を100 A/dm^2 とするためにはセルの面積が0.5 dm^2 であるから、太陽電池の出力を50A、3.47Vとしなければならない。したがって、太陽電池と電解槽間の電気抵抗をゼロとすると、この太陽電池の電圧及び電流を次のような倍率にする必要がある。

$$X_v = 3.47/V_{pmax} = 0.114$$

$$X_i = 50/I_{pmax} = 52$$

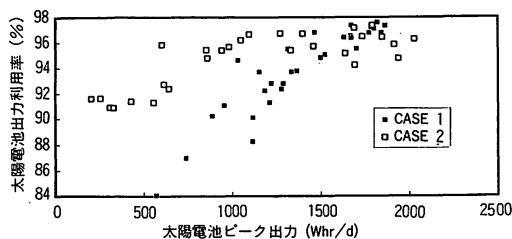
この条件でマッチングさせた太陽電池と電解槽の組み合わせが、快晴時の日照条件で、1日を通じてどのような特性を示すかを検討したのが、図-7である。このように、全ての日射条件でほとんど最大電力点付近で操業されていることを示す。この事は、太陽電池で

電解を行う場合、電解槽の数と太陽電池の直列並列の組み合わせを最大電力点でマッチングすれば、全ての日射条件において太陽電池のピーク出力に近い電力が電解槽に供給される可能性を示唆するものである。

4.3 運転結果の検討

実際の設備では、太陽電池と電解槽の間には電線の抵抗がある。図-5に示す運転では、太陽電池の最大出力点における電解槽への供給電流が70Aになるように電流及び電圧の倍率を設定した。電圧の倍率には直流電源から電解槽までの電気抵抗が含まれている。この結果、電流電圧倍率の積が約12となった。これは現在設置されている太陽電池の12倍の太陽電池と同等の出力を電解槽に供給することを意味する。今回の実験においては、この太陽電池モジュール24基の組み合わせを模擬電源を用いることにより2通りに変えて行ったことになる。その結果を利用率を太陽電池のピーク出力の日積算値に対してプロットしたのが図-8である。太陽電池のピーク出力の日積算値が高い晴天の日においては利用率はCASE1の方が高く、曇天時はCASE2の方が高いことを示している。

各ケースにおいて、太陽の日射強度に対する電解槽の太陽電池出力利用率を計算しプロットすると図-9のようになる。CASE1では日射強度が高いところでは利用率は100%に近いが、低いところでは90%程度になっている。一方、CASE2では利用率のピーク

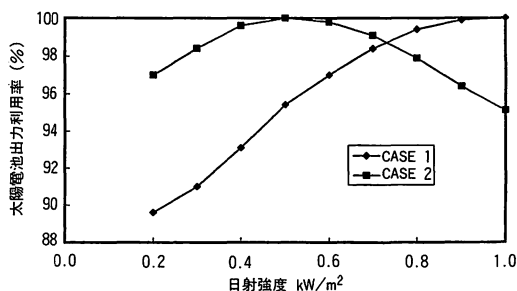


(利用率=実出力/ピーク出力×100)

CASE 1 : 電圧倍率 0.17, 電流倍率 70

CASE 2 : 電圧倍率 0.15, 電流倍率 80

図-8 模擬電源設定条件と太陽電池出力利用率



CASE 1 : 電圧倍率 0.17, 電流倍率 70

CASE 2 : 電圧倍率 0.15, 電流倍率 80

図-9 日射強度と太陽電池利用率 (計算値)

は日射強度が 0.5 kW/m^2 で、日射強度の低い範囲での利用効率がCASE 1よりも改善されている。実験結果は、計算結果と傾向的によく一致している。

これらのことは、天候により複数の太陽電池の接続を2系統切り替えることの出来るスイッチング装置を設けることにより、太陽電池の利用効率を常に90%以上にすることが出来ることを示す。

4.4 太陽電池から電解槽への電力供給

太陽電池を電力源として水電解槽により水素を大量に製造するケースを想定した場合、電力の供給方式として、図-10に示すような各種方式が想定される。CASE 1は大型の電解槽を中央に集中して設置する方式で、太陽電池で得られた直流電力を交流に変換し電

解プラントまで高圧送電する。集中設置の場合、送電距離が長くなるので、必然的にこの方式にならざるを得ないと思われる。CASE 2, CASE 3は、太陽電池で得られた電力をDC/DCコンバーターで電解槽の特性にあった電流・電圧に調整するか、直接そのまま電解槽に供給する。これらのケースは電解槽を太陽電池の設置サイトに分散配置する場合に適している。CASE 1は電解槽を集中配置できるというメリットがあるが、太陽電池の発電した電力の利用という観点からは、変換器が数多くあるので、最も効率が悪い。CASE 2のDC/DCコンバーターは将来の技術の進歩を想定しても効率は95%程度と想定され、効率の低下は免れない。

5. 結論

太陽電池を用いて固体高分子水電解を行った結果、電解槽は負荷変動に対してよく追従する。600日を越える連続運転では、負荷変動によると思われる特別な問題は起こらなかった。

太陽電池で水電解を行う場合、通常想定するシステムは、DC/DCコンバーターを設置して太陽電池のI-V特性を電解槽I-V特性にマッチングさせる方法が採られる。大規模な電解槽を中央に設置して大電力を太陽電池から集めるプラントを想定した場合はこのようなシステムに必然的にならざるを得ないが、この場合送変電による電力ロス避けられない。一方、固体高分子型水電解槽を太陽電池の設置サイトに分散させて設置するといったコンセプトでは、今回の実験で実証した直接太陽電池から電解槽に電力を供給する方法が、DC/DCコンバーターも省略することができ、総合的により経済的なシステムとなる可能性があるものと思われる。

本研究はNEDOより研究委託を受けて実施されたものである。

謝辞

本研究に当たり、アモルファス太陽電池の照度-I-V

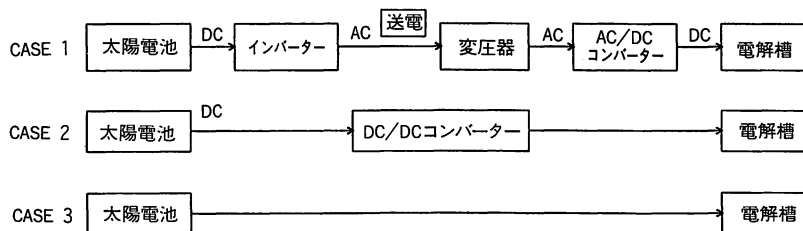


図-10 太陽電池から電解槽への電力供給方式

特性に関する貴重なデータを提供していただいた三洋電機(株)ニューマテリアル研究所の岡本真吾氏に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 鳥養栄一, 竹中啓恭, 川見洋二, 仲 幸彦, 長屋喜一, 特開昭60-162780
- 2) 稲住 近, 森 浩章, 加藤守孝, 前澤彰二, 小黒啓介, 電気化学秋季大会講演要旨集, 43, (1995)
- 3) Y. Hishikawa and S. Okamoto; "Dependence of the I-V characteristics of amorphous silicon solar cells on illumination intensity and temperature", Solar Energy Materials and Solar Cells 33 (1994) 157-168
- 4) S. Tsuda, et al.; Jpn. J. Appl. Phys. 21 (1982) Suppl. 21-2, p.251

海外ニュース

「POLLUTEC 96

第12回公害防止技術展」

〔日 時〕 1996年10月22日～25日

〔会 場〕 リヨン/ユーレクスボ見本市会場

〔出展分野〕 ・大気部門（排出ガス浄化装置, 有害ガス処理装置, 中和技術, 煤煙処理他）

- ・水質部門（上水, 下水, 海水）
（水資源研究, 水質検査他）
- ・廃棄物部門（産業廃棄物再資源化設

備, 廃棄物中資源回収システム 他）

- ・エネルギー部門（水力発電所設備, タービン発電機, バイオマス 他）等

〔併催行事〕 エネルギー展ENERGIES 96

〔問い合わせ先〕 フランス見本市協会日本事務所

東京都港区六本木5-5-1

Tel 03-3405-0171,

Fax 03-3405-0418