

太陽電池と固体高分子電解槽の マッチングに関する研究

※後藤 勝也(院) 船越 孝章(学) 林 健一(学)
奈良 学(現 松下電池工業(株)) 原 俊也(現 アイシン精機(株))
内田 裕久(工) 林 誠明(工)

1)東海大学工学部
〒259-12 神奈川県平塚市北金目1117

Studies on the Match between the PV Array and S.P.E. Electrolyser

Katsuya GOTO, Takaaki FUNAKOSHI, Kenichi HAYASHI, Manabu NARA,
Toshiya HARA, Hirohisa UCHIDA, Tomoaki HAYASHI

As the problem of the low and intermittent energy density of solar energy is solved with changed solar energy into hydrogen energy, it is important for advancing of energy conversion efficiency in a system that the matching of the highest working condition of the energy conversion equipment. In this paper, it required that the characteristic of solar generator and the condition searched for improvement of energy conversion efficiency from solar energy to hydrogen energy when the system operated all day long.

1 緒言

自然エネルギーの99.9%を占める太陽エネルギーは、将来のエネルギー源として実用化が強く望まれているものの、エネルギー密度の希薄性および変動性という問題を持ち、他のエネルギー形態への変換による利用が考えられている¹⁾。

この問題解決の一つとして、現在世界的に太陽エネルギーを水素エネルギーへ変換し貯蔵利用する様々なシステムの設計がなされ^{2, 3)}、一部試験されている⁴⁾。このなかで太陽電池と水電解装置の最適作働状態を合わせる技術は、システム効率の向上において不可欠であるため重要視されており⁵⁾、現在試験中のシステムにおいてもこの点に注目している⁴⁾。しかし、そのマッチング技術は太陽電池—アルカリ水電解の組み合わせがほとんどであり、水電解装置に固体高分子電解槽を用いた報告は少ない。

我々は1977年より太陽エネルギーを固体高分子電解質を用いた水電解装置により水素に変換し、水素吸蔵合金を用いてエネルギーを貯蔵するシステムの測定を行ってきた⁶⁻⁸⁾。今回は本システムの太陽電池と固体高分子電解槽のマッチングに関して検討したので報告する。

2. 実験装置

図. 1 はシステムの全体図である。本システムは公称変換効率11%の単結晶Si太陽電池（東海大学湘南校舎屋上 [北緯35°21′, 東経139°16′], 地表面に対し35°南向き, 固定式）を30枚並列に接続したアレイで発電した電力を固体高分子電解槽（Solid Polymer Electrolyte [S.P.E.], 3槽構造, 最高入力562.5w）に供給し、水の電気分解を行い水素を生成させる。水電解にはイオン交換樹脂純水器により純度 $5.0 \times 10^5 \Omega \text{cm}$ まで高めた純水を用いる。純水系は水電解反応に関与しなかった水が再び水タンクへ戻る循環系である。

発生した水素は多量の水を含んでいるので、ドレインフィルターで物理的に、モレキュラシーブ・シリカゲル等の乾燥剤で化学的に水分を除去した後、水素貯蔵合金タンクに送られ蓄えられる。

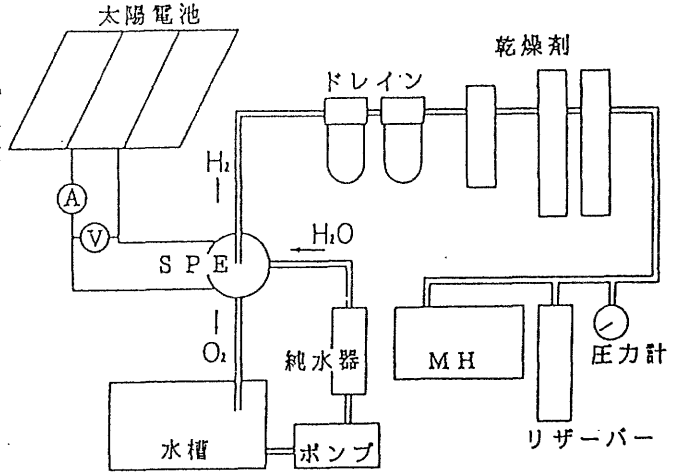


図. 1 システム概略図

3. エネルギー変換効率

3. 1 太陽電池の変換効率

太陽電池の変換効率は、太陽電池に入射するエネルギー P_{in} と負荷抵抗で消費されるエネルギー P_{out} から次式のように表される。

$$\eta_{solar} = P_{in} / P_{out} \times 100 (\%) \quad \dots \textcircled{1}$$

3. 2 固体高分子電解槽(S.P.E.)の変換効率

固体高分子電解槽の変換効率、つまり電解効率は電圧効率と電流効率とで決まる。

電圧効率は測定電圧 V_m と理論電解電圧 V_t から

$$\eta_V = V_t / V_m \times 100 (\%) \quad \dots \textcircled{2}$$

と表される。ここで理論電解電圧 V_t は等温、定圧のもとで、

$$\Delta G = z F \cdot V_t \quad \dots \textcircled{3}$$

より求められる。ただし、 z は物質のイオンの価数、 F はファラデー定数である。

電流効率はフロート式流量計により測定した水素発生量 X_m とファラデーの法則から求められる理論水素発生量 X_t より

$$\eta_A = X_m / X_t \times 100 (\%) \quad \dots \textcircled{4}$$

となる。ここで理論水素発生量 X_t は流れた電気量 Q 、生成されたイオンのモル数 m とすると、ファラデーの法則 $Q = z F m$ から

$$X_t = Q / z \cdot F \times 22.4 \times 3 \quad \dots \textcircled{6}$$

より求められる。

これより電解効率は次式で求められる。

$$\eta_E = \eta_V \times \eta_A \quad \dots \textcircled{6}$$

3-3 水素への変換効率

以上より、太陽エネルギーから水素エネルギーへの変換効率は、式①と⑥を用いて次式で求められる。

$$\eta_{H_2} = \eta_{\text{solar}} \times \eta_E \quad \dots \textcircled{7}$$

4. 実験方法

4-1 太陽電池のV-I特性

測定は晴天時に可変抵抗器 (0~∞Ω) を太陽電池に接続し行い、測定時の日射量変化が±5.0×10⁻³(kw/m²)の範囲内であった時の値を結果とした。

4-2 固体高分子電解槽 (S.P.E.) の特性

S.P.E.のみを評価するために電源を太陽電池の代わりに直流定電流装置を用いた。実験は毎回測定開始時にタンク内の純水が同じ量になるようにし定電流をS.P.E.にかけ電圧が一定となった時点の電流、電圧、S.P.E.表面温度、循環純水温度、水素発生量を測定した。

4-3 太陽電池とS.P.E.のシステム特性

実験は太陽電池からの電力をすべてS.P.E.に供給する方法で、日射量の瞬時の変化が比較的少ない快晴時に行った。方法は8:50に太陽電池とS.P.E.を接続し5分、または10分おきに9:00~17:00までS.P.E.のみの特性測定時同様、電流、電圧、S.P.E.表面温度、循環純水温度、水素発生量を測定した。

5. 実験結果および考察

5-1 太陽電池のV-I特性

図.2は太陽電池30枚をすべて並列に接続したときのV-I特性である。

これより太陽電池を中心に本システムを一日中稼働させるとき、出力電圧を12.0~13.5V程度に保つことが太陽電池の変換効率を向上させるために必要であることがわかった。

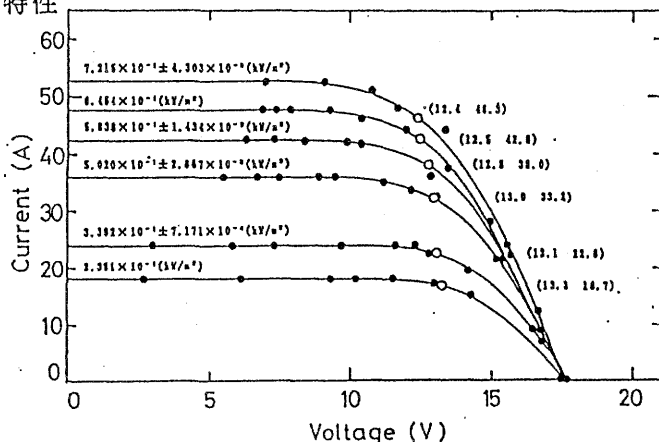


図.2 太陽電池V-I特性

5-2 固体高分子電解槽 (S.P.E.) の特性

図. 3 に電流-電圧特性のグラフを、図. 4 に電解効率のグラフをそれぞれ示した。これから、電流の上昇により過電圧が大きくなり、電解効率を低下させていることがわかる。

図. 5 に電流-S.P.E. 抵抗特性、-水温特性のグラフを示す。水温を上昇させるのは $E = I^2 R$ より供給電流の上昇にともない太陽エネルギーの一部が、熱エネルギーに変換される割合が増すためであることがわかる。また、S.P.E. は固体高分子膜を使用しているため温度依存性を示す⁹⁾。水温の上昇にともない抵抗値が下がっていることを表したものが図. 6 の水温-S.P.E. 抵抗特性である。

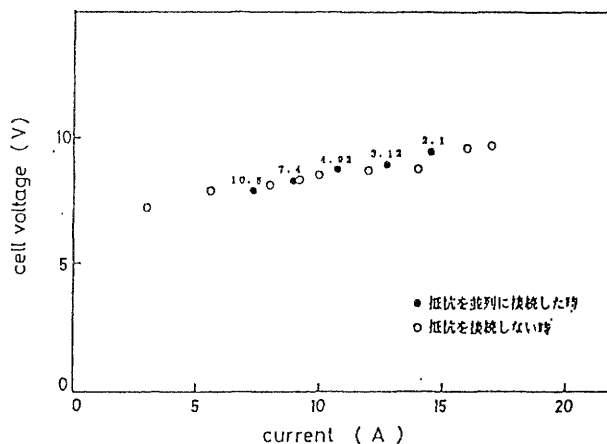


図. 3 S.P.E. 電流-電圧特性

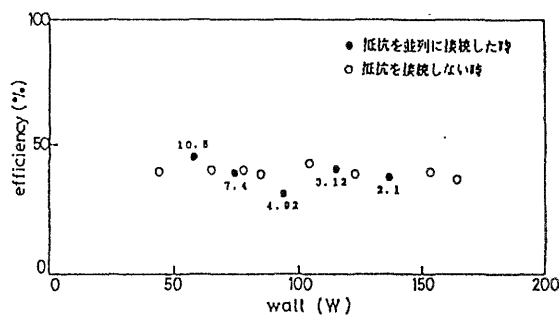


図. 4 電解効率

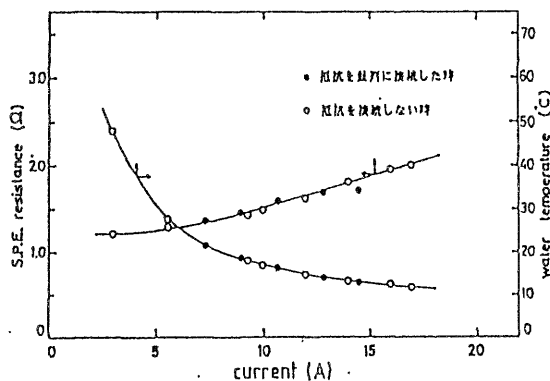


図. 5 電流-S.P.E. 抵抗、-水温特性

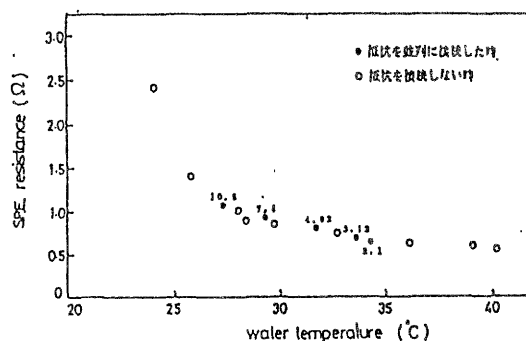


図. 6 水温-S.P.E. 抵抗特性

以上より、供給電流の上昇にともない電解効率は過電圧の増大によって低下するものの、水温が上昇することでS.P.E.の抵抗が下がることがわかった。これから、S.P.E.の作動温度を高くすることでS.P.E.抵抗を下げることで、過電圧の減少が図れると思われ、その結果、電解効率は上昇すると考えられる。

5-3 太陽電池とS.P.E.のシステム特性

図.7に一日のシステム稼働状態を効率に着目したグラフを、図.8に電流-S.P.E.抵抗特性をそれぞれ示した。

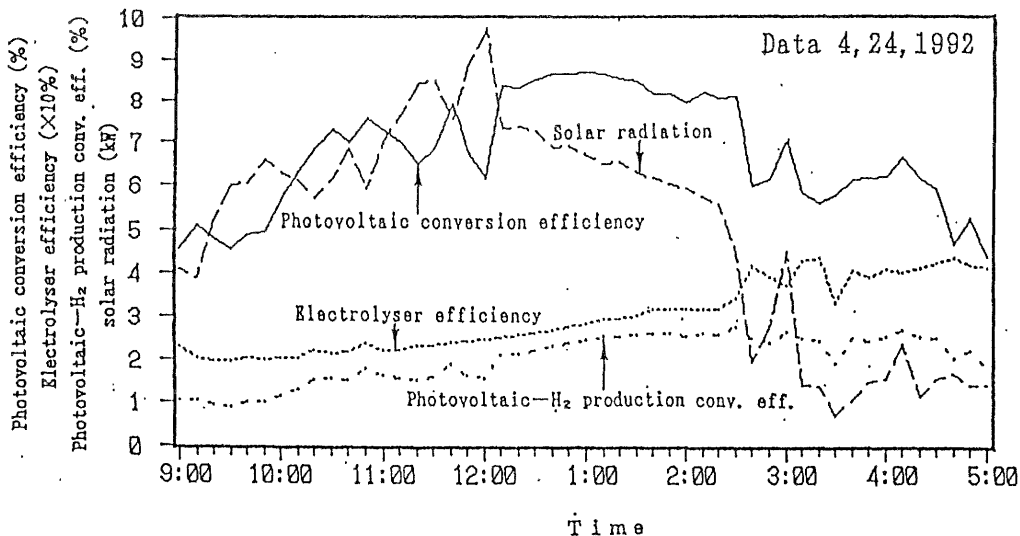


図.7 システム効率

太陽電池の効率については9:00~11:00頃、15:00頃~17:00にかけて相対的に低い値を示しており、太陽電池とS.P.E.の抵抗が適合していないことがわかる。図.8と太陽電池のV-I特性から、午前中はS.P.E.作動温度が低くS.P.E.抵抗が高いため電圧一定電流変動域に作動点があり、午後は逆にS.P.E.作動温度が高くS.P.E.抵抗が低いため作動点が電流一定電圧変動域にあり、結果的に変換効率を低下させていることがわかった。この結果より、変換効率を一定して高めるためには図.8のピーク時前後の不適合性をなくすように、S.P.E.の抵抗を制御する必要があることがわかった。

次に電解効率に着目すると、時間が経つにつれ良くなっていることがわかる。この理由として、朝のうちはS.P.E.抵抗が高く、過電圧が大きいため、その後時間の経過とともに過電圧による熱エネルギーが、S.P.E.の抵抗値を下げることで過電圧が低下し、電解効率を上げていった。午後になると日射量の低下にともない供給電力も低下し抵抗値を上げるようになるが、S.P.E.抵抗は同じ電流値に対してそれ以前に示していた値よりも低い値を示すことと、低い電流値のほうが相対的に過電圧が減少することと相まって、結果的に電解効率が増したと考えられる。また、S.P.E.に一度熱を加え抵抗を下げるとその低い値を維持する傾向が見い出せた。これより、電解効率を高めるためにはできるだけ過電圧、つまりS.P.E.の抵抗値を低く抑えなければならないことがわかった。

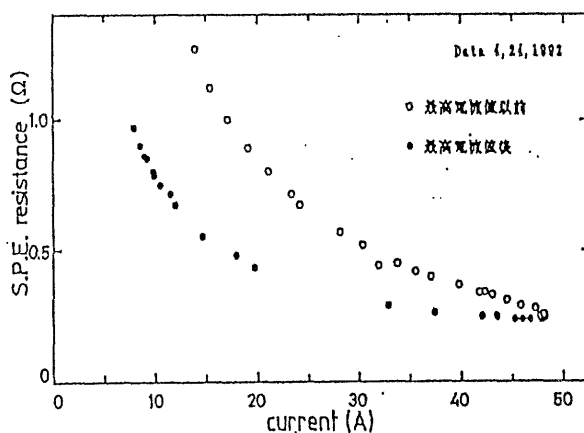


図.8 電流-S.P.E.抵抗

6. まとめ

太陽電池とS.P.E.のマッチングを考える場合、S.P.E.の抵抗および水温を制御すればよいことが明かとなった。特に本システムでは、S.P.E.抵抗を午前中は低くするように熱供給を行うことで、太陽電池の変換効率および電解効率をも上昇させると思われる。これより、一日の太陽エネルギーから水素エネルギーへの変換効率が時刻に関係なく一定の値を示し、システムの変換効率が上昇すると考えられる。

今後、さらに従来から行っている発生水素の貯蔵効率との関連性を追求する予定である。また、水素貯蔵合金とS.P.E.発生水素との反応性についても検討を行う^{10, 11)}。

謝辞

本研究に用いたS.P.E.については大阪工業試験所 竹中 啓恭、川見 洋二両氏に御指導をいただきました。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 太田 時男:水素エネルギー, 講談社, (1974)
- 2) T.N.Veziroglu and F.Barbir: Initiation of Hydrogen Energy System in Developing Countries, Int.J.Hydrogen Energy, Vol17, p527-538(1992)
- 3) K.Ledjeff: Comparison of Storage Options for Photovoltaic Systems, Int.J.Hydrogen Energy Vol15, p629-633(1990)
- 4) A.Brinner, H.Bussmann, W.Hug and W.Seeger: Test Results of the Hysolar 10kw PV-Electrolysis Facility, Int.J.Hydrogen Energy, Vol17, p187-197 (1992)
- 5) P.A.Lehman and C.E.Chamberlin: Design of a Photovoltaic-Hydrogen-Fuel cell Energy, Int.J.Hydrogen Energy, Vol16, p349-352(1991)
- 6) Y.C.Yuang, H.Goto, A.Sato, T.Hayashi and H.Uchida: Solar Energy Storage by Metal Hydride, Z.Phys.Chem.N.F., Vol164, p1391-1396(1989)
- 7) 内田裕久 後藤弘之 林誠明 黄燕清: 第8回エネルギー・資源研究発表会講演論文集 p99(1989)
- 8) 後藤勝也 奈良学 原俊也 内田裕久 林誠明 黄燕清: 第52回応用物理学会講演予稿集No.1 p380(1991)
- 9) 竹中啓恭 鳥養栄一 川見洋二 若林昇 境哲男: 電気化学, Vol52, p351-357(1984)
- 10) H.Uchida, K.Terao and Y.C.Yuang: Current Problems in the Development and Application of Hydrogen Storage Materials, Z.Phys.Chem.N.F., Vol164, p1275-1284(1989)
- 11) H.Uchida, Y.Ohtani, M.Ozawa, T.Kawahata and T.Suzuki: Surface Processes of H₂ in the Initial Activation, J.Less-Common Met, Vol172-174, p983-996(1991)