

## 太陽エネルギーによる水素製造試験結果

下條 繁\*1、三村 富雄\*1、清水 克俊\*2、久留 長生\*2

\*1 関西電力(株)

〒661 尼崎市若王寺3丁目11番20号

\*2 三菱重工業(株)

〒850-91 長崎市飽の浦町1番1号

### Hydrogen Production Test Using Solar Energy

Shigeru SHIMOJO, Tomio MIMURA, Katsutoshi SHIMIZU and Nagao HISATOME

A hydrogen production system using solar energy is examined to determine its characteristics. The testing system consists of solar cells and a solid polymer electrolyzer. The solar panels' capacity is 2kW. An electrolyzer which had 200cm<sup>2</sup> electrodes was already tested. Now, another electrolyzer which has 50cm<sup>2</sup> electrodes is being examined. The solar-to-hydrogen conversion efficiency of this system was approximately 10%. The test shows that variations of current in electrolysis cells gradually degrade the current efficiency of the cells.

#### 1. 緒言

水素は、二次エネルギーとして優れた特性を持っている。このため、水素は近年の世界的な環境保全の観点から一般燃料、発電、エネルギー貯蔵および輸送の媒体としての広範囲の用途が期待されている。さらには地球温暖化の一因とされる炭酸ガスを水素と反応させてメタンやメタノールとして再資源化することも研究されている。

従来、水素はコストの点から主としてナフサのスチームリフォーミングにより製造されており、商用電源による食塩電解の副生水素も利用されている<sup>1)</sup>。これらの方法は化石燃料を消費して炭酸ガスを発生するため、地球環境保全の立場から化石燃料によらない方法が望まれる。

化石燃料によらない方法として太陽エネルギーを利用する方法があり、太陽電池と水電解装置とを組み合わせた研究が世界的に実施されている。その殆どは太陽電池とアルカリ水電解の組み合わせであるが、太陽電池と固体高分子電解質水電解装置との組み合わせ試験の例<sup>2,3)</sup>も報告されている。

我々は、太陽電池および水電解装置単体についてはある程度完成された技術と考え、1992年から太陽電池と水電解装置とを直結したシステムについて、日射エネルギーからの水素へのエネルギー変換効率の実証評価、電源電流が水電解装置に及ぼす影響の実証評価および長期運転による耐久性の評価をねらいとして試験を実施している。その結果、エネルギー変換効率および運転特性に関するデータが得られ、このシステムを実用化するにあたっての問題点の一つが明確になったので概要を報告する。

2. 試験装置

太陽電池との直結による試験装置の仕様を表. 1 と表. 2 に示す。また、図. 1 にシステム概略を示す。

表. 1 太陽電池仕様および設置条件

項目	仕様	備考	設置条件	
型式	単結晶太陽電池	シャープ（株）製 放射照度 $1\text{kW/m}^2$ セル温度 $25^\circ\text{C}$	場所	兵庫県尼崎市
最大出力	2025W		北緯	34'
最適動作	電圧 17.7V		東経	135'
最適動作	電流 114.3A		取付角度	35'
セル効率	16.0%		取付方位	真南から西へ5'
受光面積	$12.636\text{m}^2$			

表. 2 水電解装置仕様

項目	仕様		備考
	スタック A	スタック B	
型式	固体高分子電解質水電解装置		三菱重工業（株）製 直列接続 太陽電池最適動作時
電極有効面積	$200\text{cm}^2$	$50\text{cm}^2$	
セル積層枚数	9	8	
定格水素発生量	$0.41\text{m}^3\text{N/h}$	$0.36\text{m}^3\text{N/h}$	
電流密度	$0.57\text{A/cm}^2$	$2.28\text{A/cm}^2$	
作動圧力	大気圧	大気圧	

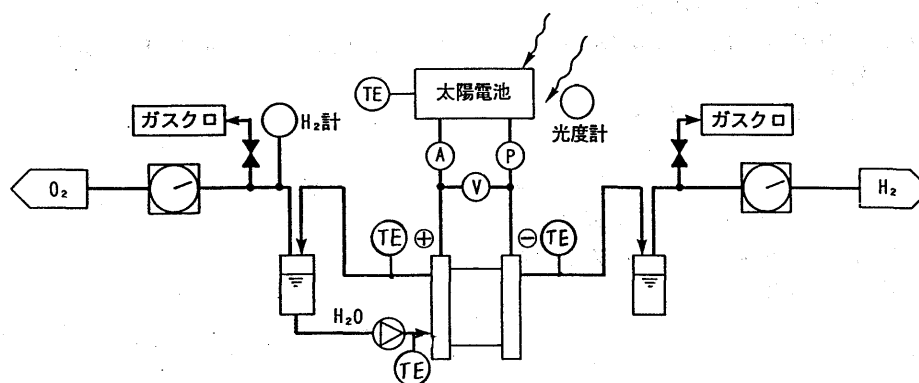


図. 1 システム概略図

太陽電池には高効率の単結晶型を使用し、大電流を得るため全パネルを並列接続とした。敷地上の制約から取付方位を真南から西へ5'とした。水電解装置は現状で最も効率の高い固体高分子電解質型とした。触媒電極にはPt-Irを使用し、固体高分子電解質膜との接合には化学メッキ法<sup>4)</sup>を用いた。太陽電池とのマッチングを考慮して、水電解装置のセル積層枚数を決定した。

### 3. 試験方法

#### 3. 1 単体試験

水電解装置に直流電源を接続し、電解入口給水温度が大きく変化しない程度の短時間に電解電流を変化させて電圧、電流および水素発生量を測定した。水素発生流量測定には湿式流量計を用い水蒸気分圧の補正を行った。

#### 3. 2 太陽電池との直結試験

太陽電池と水電解装置とを電流遮断器を介して接続した。電解装置の温度制御は行わず、外気温度とジュール熱による成り行きとした。日射量、太陽電池温度、電圧、電流、電解温度、発生ガス量等は演算能力を持ったハイブリッドレコーダーを用いて自動計測を行った。

更に、これらのデータをパソコンに3秒毎に取込み、監視およびデータ保存を行った。

#### 3. 3 各部変換効率の計算方法

太陽電池効率  $\eta_p$  は、太陽電池表面の日射  $H$  ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )、太陽電池の受光面積  $S$  ( $\text{m}^2$ )、電解装置端子電圧  $E$  (V)、電解電流  $I$  (A) から次のように求めた。従って接続ケーブルによる若干の抵抗損およびマッチングロスが含まれている。

$$\eta_p = EI \times 10^{-3} / HS \times 100 (\%)$$

水電解装置の電圧効率は理論電解電圧  $V_t$  (V)、電解セルの積層枚数  $n$ 、電解装置端子電圧  $E$  (V) から次のように求めた。ここで、 $V_t$  は水素の、燃焼エンタルピー (HHV基準) から 1.48V とした。

$$\eta_v = nV_t / E \times 100 (\%)$$

電流効率  $\eta_i$  は水素流量測定値  $F_m$  ( $\text{Nl}/\text{s}$ ) と理論水素発生量  $F_t$  ( $\text{Nl}/\text{s}$ ) から次のように求めた。

$$\eta_i = F_m / F_t \times 100 (\%)$$

水電解装置のエネルギー効率  $\eta_e$  は、電圧効率  $\eta_v$  と電流効率  $\eta_i$  の積として次の式で計算した。

$$\eta_e = \eta_v \eta_i / 100 (\%)$$

システム効率  $\eta_s$  は、太陽電池効率  $\eta_p$  と水電解装置のエネルギー効率  $\eta_e$  との積として計算した。

$$\eta_s = \eta_p \eta_e / 100 (\%)$$

### 4. 試験結果および考察

#### 4. 1 スタック A (200 $\text{cm}^2$ 電解セル)

##### 4. 1. 1 太陽電池との直結試験

太陽電池と水電解モジュールとの直結運転時において、晴天時の日間データの例を図. 2 に示す。日射量が大きく変動し、電解電流も大きく変動したが電解装置の運転には何等支障はなかった。

また、同一日の電解装置各部の温度推移を図. 3 に示す。図. 2 と比較すると温度のピークは電流のピークから約2時間の遅れがあることが分かる。この遅れは、電解装置と水循環システムの熱容量に基づくものである。また、水素側出口温度は、系統図に示すように水を循環させていないので水素発生量が減少した15時以降の温度低下が大きくなっている。水電解セルの性能には温度依存性があり、この温度変化の遅れのため、太陽電池との直結運転における電流-電圧特性には図. 4 に示すヒステリシスが認められる。太陽電池との精密なマッチングを考える場合は、このことも考慮する必要がある。

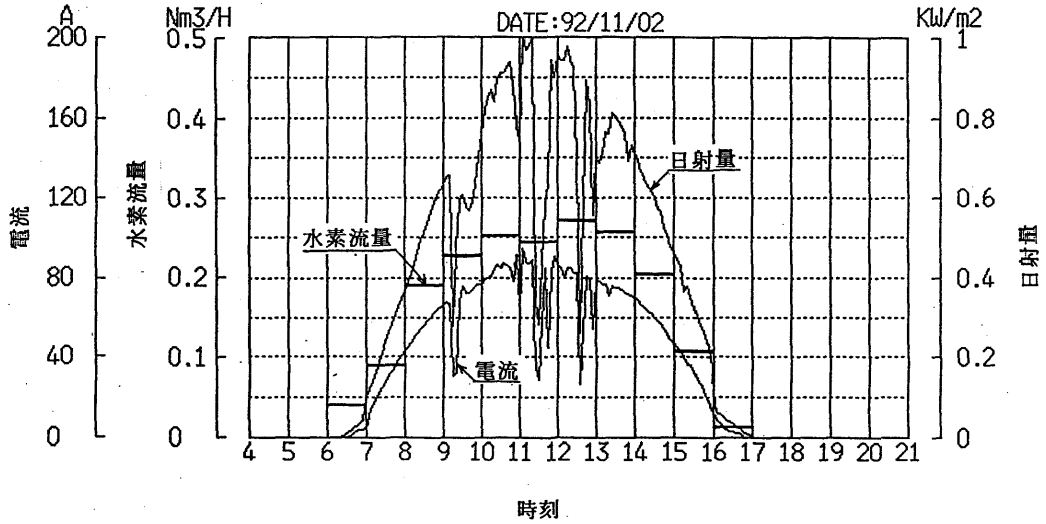


図. 2 太陽電池と水電解装置の直結試験結果

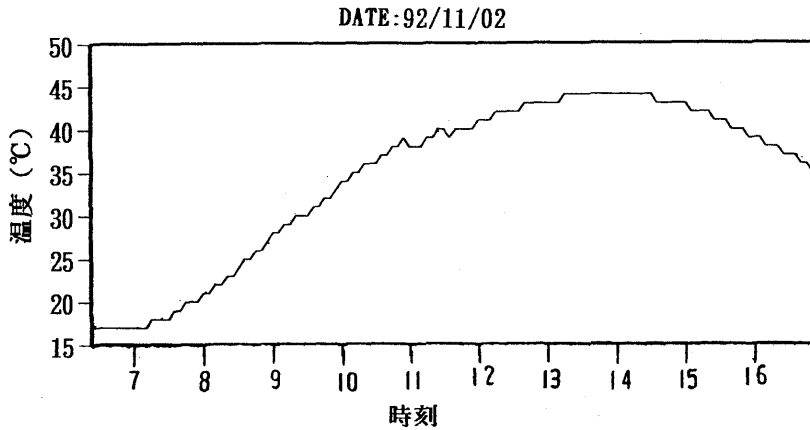


図. 3 電解温度推移

11.02

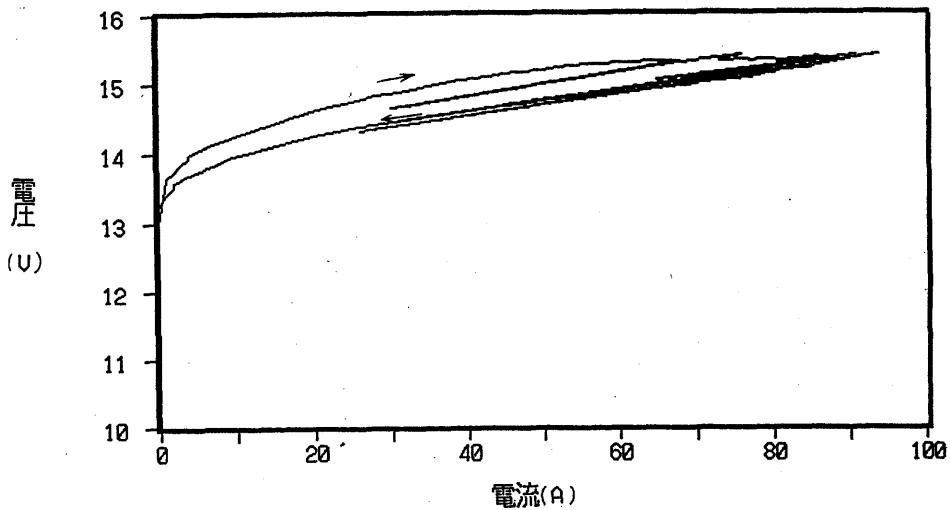


図. 4 太陽電池との直結時の水電解装置電流電圧特性

#### 4. 1. 2 性能の推移

太陽電池と水電解装置との組合せ試験初期の各種データの推移を図. 5 に示す。試験期間中、日によって日射量が大きく変動し(0.34-5.54kWh/m<sup>2</sup>日)、水素発生量も大きく変動している(0.11-1.96m<sup>3</sup>N/日)。太陽電池の効率は10-12%の範囲である。太陽電池効率の大きな変動は認められないので、多少日射量変動しても、水電解装置とのマッチングは大きく外れないことを示している。水電解装置の電流効率は、当初約97%であったが、26日間の運転で電流効率が約91%まで低下した。エネルギー効率は、80%台で、日射量の少ない日に高いという傾向が認められた。これは、日射量が少ない時には電解電流が減少し、電解装置の過電圧が減少するためと考えられる。

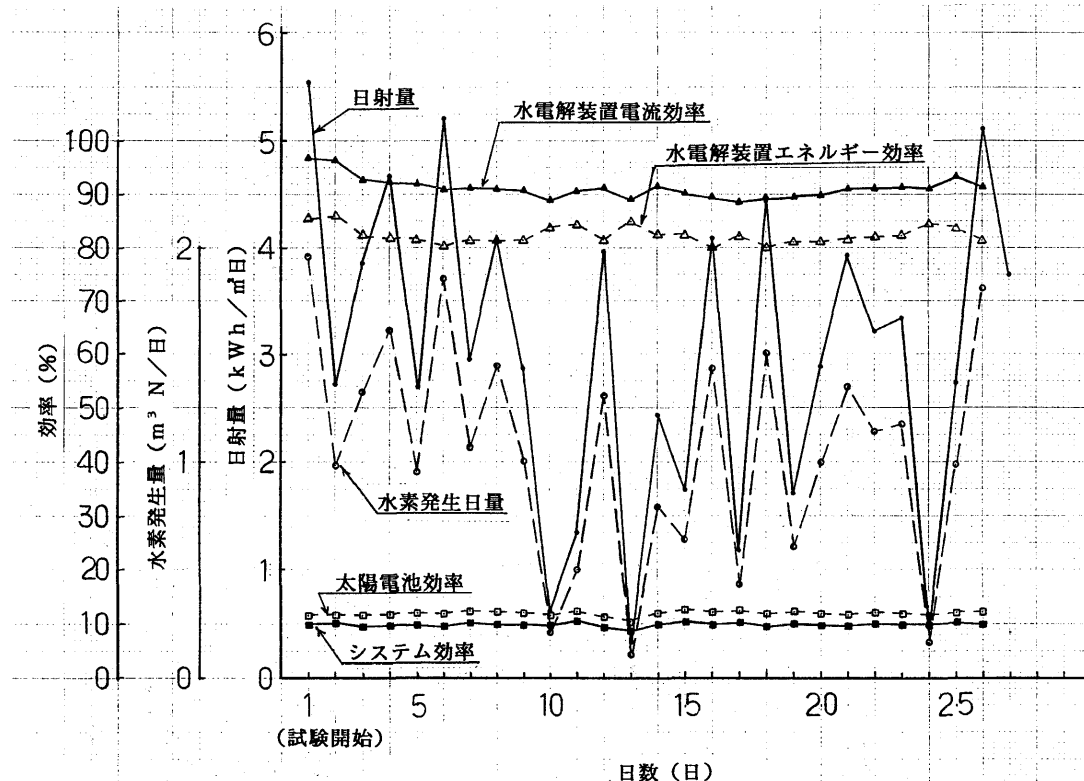


図. 5 水電解装置性能の推移

#### 4. 2 スタックB(50cm<sup>2</sup>電解セル)

セル面積(作動電流密度)が電解性能に及ぼす影響を調査するため50cm<sup>2</sup>のスタックBにて試験を行った。

##### 4. 2. 1 単体試験

太陽電池との直結試験開始約300日後に、直流電源を使用して一定温度で、電圧、水素発生量を測定した。図. 6、図. 7にその結果を示す。電流密度を2.0A/cm<sup>2</sup>まで上昇させたが特に問題はなかった。電流効率の最大値は96%である。一方、電流密度の増加に伴って電圧が上昇するため電圧効率は低下する。エネルギー効率は電流密度0.4A/cm<sup>2</sup>付近にピークがあり、最大値が約75%であった。

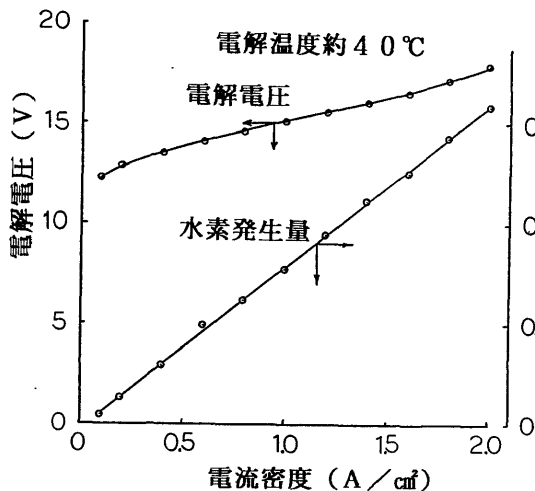


図. 6 電圧、水素発生量特性

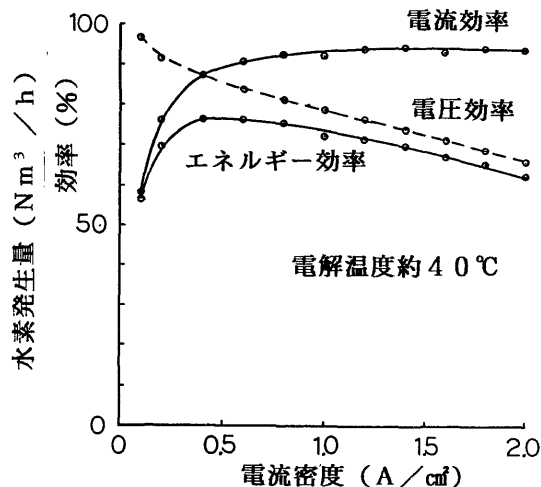


図. 7 効率特性

#### 4. 2. 2 太陽電池との直結試験

50cm<sup>2</sup>電解セルと

太陽電池との直結  
運転時のデータの  
1例を図. 8に示す。  
図で電流密度の最  
大値は1.6A/cm<sup>2</sup>と  
なっているが運転  
上の問題点は認め  
られなかった。

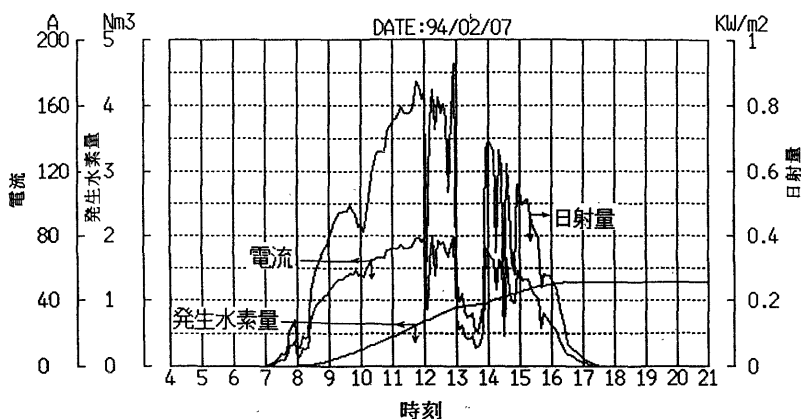


図. 8 太陽電池と水電解装置(スタックB)との直結試験結果

#### 4. 2. 3 性能の推移

図. 9に太陽電池とスタックBとの直結試験時の各種データの経時変化を示す。電解温度、電流効率は一日の通電時間中の平均値であり、一日の通電時間における平均電流密度が約0.5A/cm<sup>2</sup>(0.48-0.52A/cm<sup>2</sup>)の日のデータをプロットしたものである。

当初は電流効率97%であったが、65日経過時点で約90%になり、その後は低下傾向が緩やかになっている。電解装置の温度は制御をしていないので季節変化に伴う外気温の変動を反映している。電解電圧は、電解温度の変化とは逆方向の変化を示している。電圧変動の要因として、電解温度の変動と触媒電極の変質が考えられる。本スタックは試験後に解体検査を行い、原因究明を行う予定である。

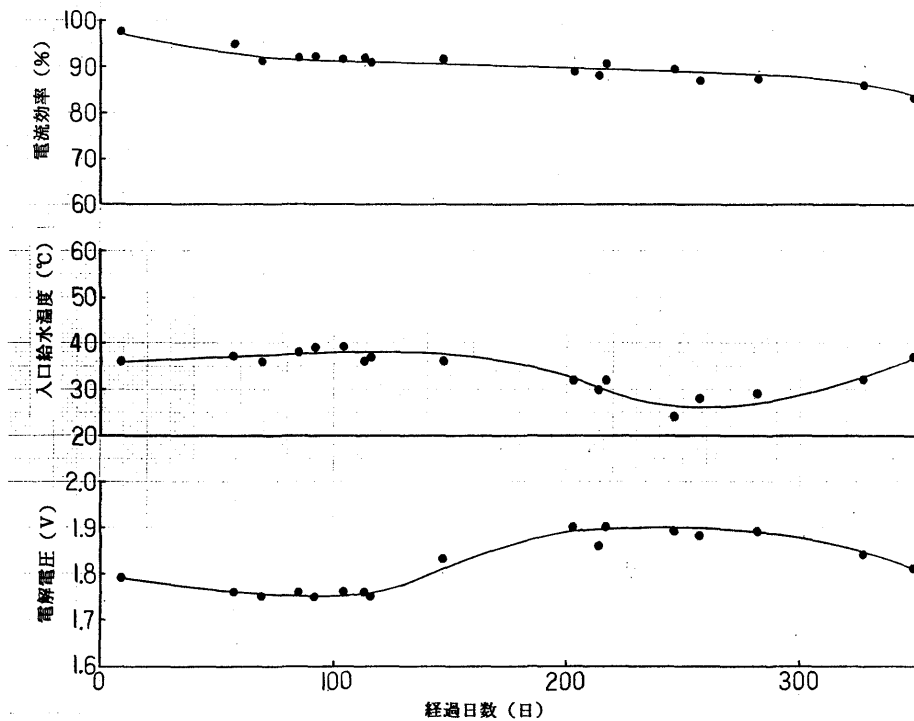


図. 9 水電解装置 (50cm<sup>2</sup>) の性能推移

同期間の電流密度と水素発生量の関係を図. 10に示す。電流密度は、1時間の電流積算値から計算したものであり、水素流量は1時間の積算値である。試験期間の経過と共に曲線が右に移動しているが、曲線の傾きには大きな変化は認められない。このことは、長期間の変動運転によって、電流密度に関係なく固体高分子電解質膜を透過し、対極で再結合するガス量が増加していることを示唆しており、また高負荷時よりも低負荷時の電流効率の低下が著しいことを示している。この点については要素試験を行い、確認を行う予定である。また、高い効率を維持するためには、耐久性の高い電解装置の開発と運転条件の最適化が必要なことを示している。

### 5. まとめ

太陽電池を利用して固体高分子電解質水電解装置を直結運転した結果、以下の事項を確認することができた。

- (1) 太陽電池と固体高分子電解質水電解装置を直結した水素製造システムにおいて、日射量変動に追従した水素発生が可能である。
- (2) システム効率は、日射量によって変動するが、8-10%である。
- (3) 電解電流の変動が水電解セルの電流効率に影響を及ぼす。
- (4) 電流効率の低下は、低負荷領域において著しい。

電流効率の低下要因には、電解スタック側の問題も考えられるが、太陽エネルギーに限らず、変動の激しい再生可能エネルギーを利用して水素を製造すること

を考えると、これらの要因を明確にし、電源変動に対する耐久性の高い電解装置の開発をする必要があると共に、運転条件の最適化の検討も必要であると考えられる。我々は、太陽エネルギーによる水素製造システムの実用化に向けて以上の点を重点的に試験研究を進める予定である。

謝辞

本研究に用いた固体高分子電解質水電解装置触媒電極接合体の挙動調査については大阪工業技術研究所 竹中啓恭、小黑啓介 両氏から懇切なるご指導を頂きました。ここに厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 資源エネルギー年鑑 1993年版  
通産資料調査会
- 2) 後藤 船越 林 奈良 原：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、水素エネルギーシステムVol.18, NO.1 (1993) p10-15
- 3) Y. Morimoto, T. Hayashi and Y. Maeda: Mobile Solar Energy Hydrogen Generating System, American Chemical Society (1986) p1281-1284
- 4) 竹中 鳥養 川見 若林 境：固体高分子電解に関する研究Ⅱ. 膜一触媒電極接合体の作製方法、電気化学 53巻 p261-265

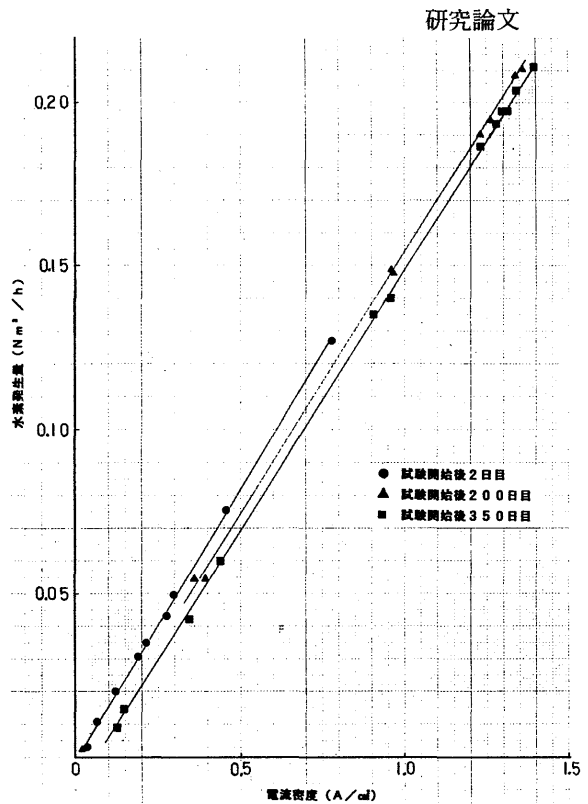


図. 10 電解電流と水素発生量との関係