

# ソーラ水中ポンプシステム

川井 政 人\*

## Solar Submersible Pump System

by Masahito KAWAI

A solar submersible pump system which uses photovoltaic cells as the power source has been developed. This system comprises a 4-inch, deep-well, submersible pump and a solar controller. A PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) is used as the submersible motor. Upgrade in system efficiency and compactness were achieved by the application of an exclusively high-speed design. The solar controller features an exclusive MPPT (Maximum Power Point Tracking) control function. High reliability is realized by a dry run protection function, in addition to the normal operation protective function, with full consideration given to the system's use in remote areas.

**Keywords:** Photovoltaic cell, Maximum power point tracking (MPPT), Permanent magnet synchronous motor (PMSM), Submersible pump, Deep-well submersible pump, Protective function, Dry running protection, Shutoff running protection

### 1. はじめに

ソーラ水中ポンプシステムは、太陽電池を電源とするポンプシステムであり、商用電源が供給されていない地域での飲料水給水、牧場での家畜用給水、農事用、噴水等のアメニティ用途に使用される。本システムでは、太陽エネルギーを最大限有効に利用するため、高効率であることが求められる。またその用途・設置条件から完全な無人運転が可能であること、更に定期的な保守点検が困難な場合が多いため、高い耐久性と信頼性が要求される。今回、100 mm 深井戸用水中モータポンプを使用したソーラ水中ポンプSUNH型を開発したので以下に紹介する。

### 2. システムの構成

ソーラ水中ポンプシステムは図1に示すように、ソーラアレイ、架台、接続箱、ソーラコントローラ、水中モータポンプなどから構成される。

一つの直列回路を形成する太陽電池モジュール群をサブアレイと呼び、ソーラアレイは通常システムの信頼性を高めるため、複数のサブアレイを並列接続することに

より構成される。ソーラアレイは、効率よく日射が当たるよう架台に傾斜して固定され、架台は風圧などにより破壊されないよう十分な強度が要求される。

各サブアレイの配線は、接続箱内で並列接続されソーラコントローラに送られる。また接続箱には太陽電池保護のため、サブアレイごとに逆流防止ダイオードやヒューズが設けられる。ソーラコントローラは、太陽電池の直流電力を交流電力に変換しモータに供給すると共に、ポンプの自動・始動停止、各種保護、後述する最大電力点追従制御などの機能を有している。

なお、蓄電池に関しては、その保守や寿命といった問題に加え、太陽エネルギーを電気として蓄電池に貯えるよりも、水を位置エネルギーとして水槽に貯える方が効率が良いため、蓄電池を使用しない独立形システムとするのが一般的である。

今回開発したソーラ水中ポンプSUNH型は、ソーラコントローラと水中モータポンプで構成されており、その仕様を表1、2に、外観を写真に示す。

### 3. 太陽エネルギーについて

太陽エネルギーは、地球上で消費されるほとんどすべてのエネルギーの源であり、クリーンで無尽蔵であるといった優れた特長をもっている。

\* 風水力事業本部 開発統括 汎用機器開発室

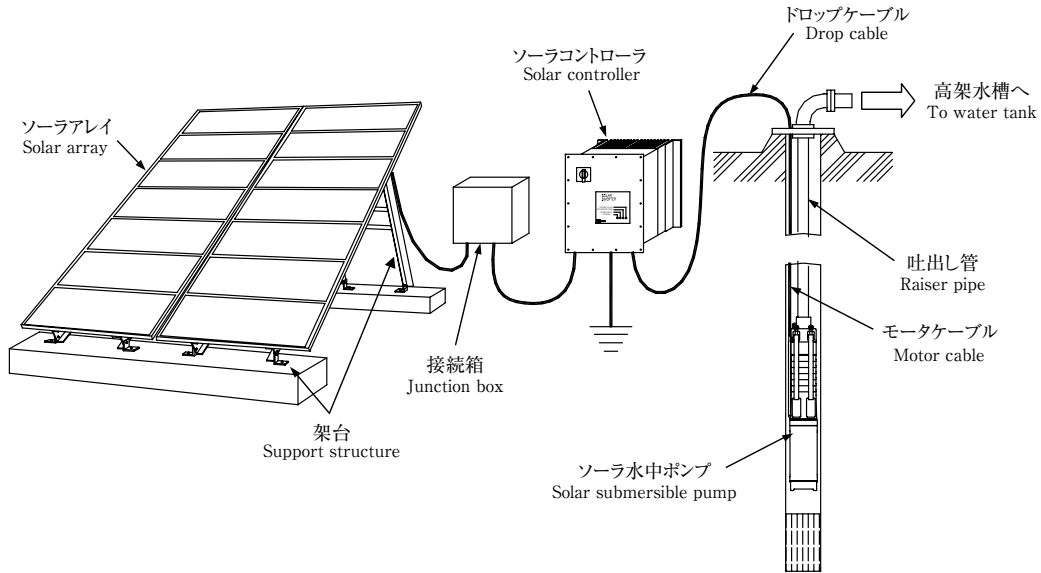


図1 システム構成  
Fig. 1 System configuration

地球に到達する太陽の放射エネルギーは大気圏外で約  $1.4 \text{ kW/m}^2$  であり、これが地球の大気を通過する間に水蒸気による吸収などによって減衰し、地表面で得られる放射エネルギー（日射強度）は最大で約  $1 \text{ kW/m}^2$  である。

#### 4. 太陽電池の特性

太陽電池は半導体の量子光電効果により、光エネルギーを直接電気エネルギーに変換するもので、その電流-電圧特性（ $I-V$  曲線）及び電力-電圧特性を図2に示す。

図2から分かるように出力電力が最大となる動作点が存在し、これを最大電力点（Maximum power point）と呼ぶ。また、太陽電池の特性は日射強度及び動作温度によって図3のように変化し、それに伴い最大電力点も移動する。刻々と変化する特性に対し、動作点が常に最大電力点となるように制御することがシステムの安定した運転及び効率を高める上で重要な技術となり、これを最大電力点追従（Maximum power point tracking : MPPT）制御と呼ぶ。

#### 5. MPPT 制御

##### 5-1 MPPT 制御方法

SUNH型はソーラコントローラによって太陽電池の電流、電圧を常時監視し動作点が常に最大電力点となるようポンプの回転速度を変化させることでMPPT制御を行っている。図4は一日の日射強度の変化とそれに伴うポンプ回転速度及び吐出し水量の変化を示したものであ



03-52 01/201

写真 ソーラ水中ポンプSUNH型  
Photo Solar submersible pump model SUNH

る。図4のように日射強度が弱く太陽電池出力が小さい時は、回転速度も低く水量も少ないが、日射強度の上昇に伴って回転速度、水量とも増加していく。

表1 ポンプモータ仕様

Table 1 Specifications of pump and motor

項目 Item		仕様 Specification	
ポンプ Pump	形式 Type	深井戸用水中モータポンプ Submersible deep well motor pump	
	口径 Discharge size	32, 40 mm	
	全揚程 Total head	10~60 m	
	水量 Flow rate	口径 32 mm	15~45 l/min
		口径 40 mm	30~105 l/min
材料 Material	羽根車 Impeller	SUS304	
	ケーシング Casing	SUS304	
	軸受 Bearing	超硬合金 Tungsten carbide	
井戸径 Well dia.	井戸径 Well dia.	100 mm (4B)	
	取扱液 Handling liquid	清水 Clean water	
	液温 Liquid temperature	0~40℃	
	水没最大水深 Max. submergence depth	100 m	
モータ Motor	出力 Output	0.75 kW	
	形式 Type	キャンド形 永久磁石同期モータ Canned type permanent magnet synchronous motor	
	材料 Material	フレーム Frame	SUS304
		軸受 Bearing	カーボン Carbon
回転速度 Rotating speed	max. 7200 min <sup>-1</sup>		

表2 ソーラコントローラ仕様

Table 2 Specifications of solar controller

項目 Item	仕様 Specification
保護等級 Enclosure	IP55
設置方法 Installation	壁掛け形 Wall mounted
機能 Functions	<ul style="list-style-type: none"> <li>永久磁石同期モータ可変速制御 Variable speed PMSM driver</li> <li>最大電力点追従制御 Maximum power point tracking</li> <li>スイッチ Circuit breaker</li> <li>モータ及びコントローラ保護 Motor and controller protection</li> <li>表示ランプ Indication lamps</li> <li>インターロック Interlock</li> </ul>
最大入力電圧 Max. input voltage	195 V
最大入力電力 Max. power input	1120 W
変換効率 Conversion efficiency	0.94
周囲温度 Amb. temperature	-10~40℃
周囲湿度 Humidity	≦95% RH
保護機能 Protective functions	<ul style="list-style-type: none"> <li>過熱 High temperature</li> <li>過負荷 Overload</li> <li>過電圧 Over voltage</li> <li>過電流 Over current</li> <li>空運転 Pump dry running</li> <li>締切り運転 Pump shut off running</li> <li>誘導雷サージ Surge protection</li> </ul>
表示ランプ Indication lamps	<ul style="list-style-type: none"> <li>電源 Power</li> <li>運転 Operation</li> <li>異常 Trip</li> <li>低負荷 Low power consumption</li> </ul>

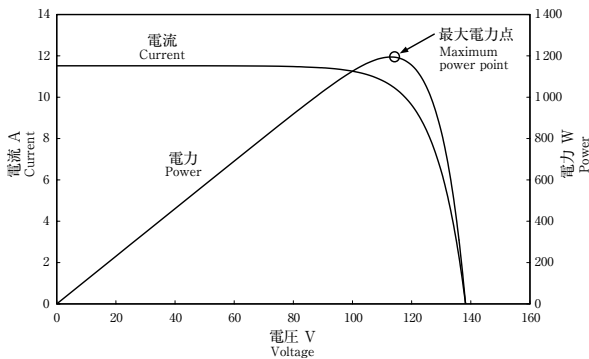


図2 太陽電池の出力特性

Fig. 2 Output characteristics of photovoltaic array

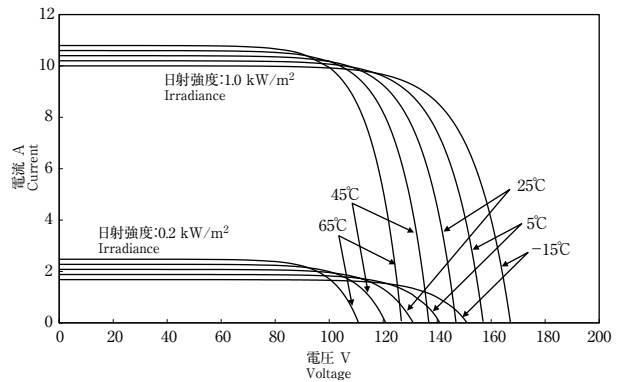


図3 太陽電池における日射強度及び温度の影響

Fig. 3 Effect of solar irradiance and cell temperature on photovoltaic characteristics

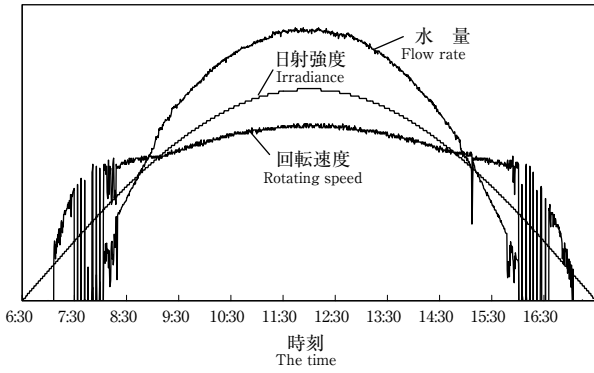


図4 通日性能  
Fig. 4 Whole-day performance of solar pumping system

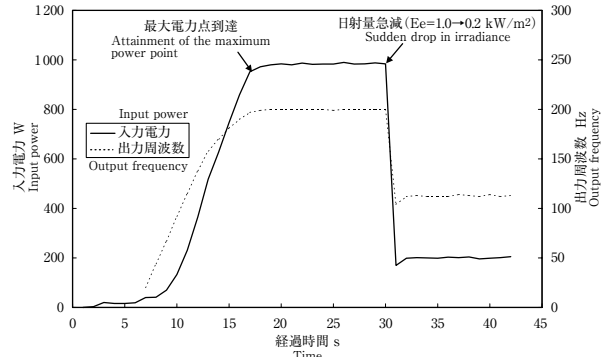


図6 MPPT 追従性能試験結果 (1/2)  
Fig. 6 MPPT tracking performance (1/2)

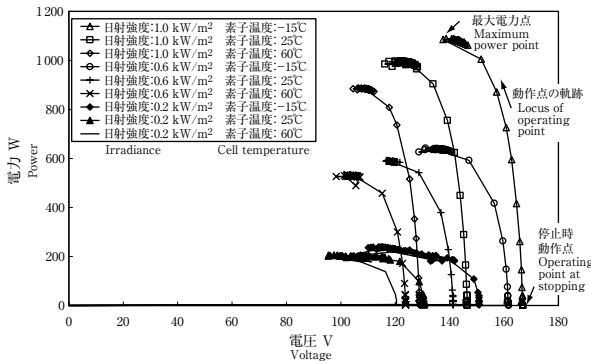


図5 MPPT 安定性能試験結果  
Fig. 5 Performance of stable operation at maximum power point

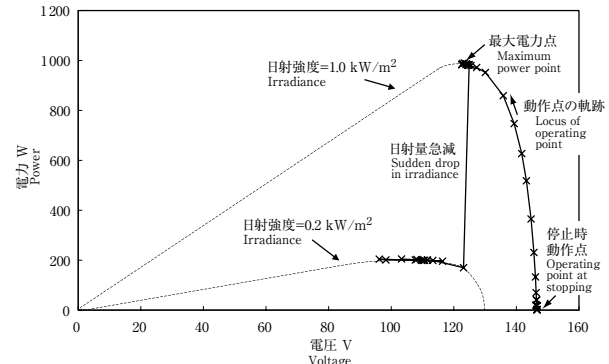


図7 MPPT 追従性能試験結果 (2/2)  
Fig. 7 MPPT tracking performance (2/2)

5-2 MPPT制御の安定性

システムを安定かつ効率よく運転する上で動作点をいかに最大電力点近傍に保持できるかが重要な課題である。図5は太陽電池模擬電源を使用し、各種条件にてSUNH型を運転した場合の動作点の軌跡を示したものであるが、図5が示すように、どのような日射強度、温度条件であっても、動作点は最大電力点近傍に保持されており、高い安定性を有していることが分かる。

5-3 MPPT制御の追従性

実際の日射強度は、1秒以下の短時間で大きく変化することも珍しくない。特に日射強度が急減する場合、ポンプを停止することなく、それに追従していくことはMPPT制御にとって重要な要件である。図6、7はSUNH型を太陽電池模擬電源で運転し、日射強度を1.0 kW/m<sup>2</sup>から0.2 kW/m<sup>2</sup>まで急減させた場合のコントローラ入力電力と出力周波数の時間変化及び、電源動作点の軌跡を示したものである。図6、7のようにSUNH型は日射強度の急減時においても停止することがなく、日

射強度変化に対し高い追従性を有していることが分かる。

6. SUNH型の技術的特徴

SUNH型は上述のMPPT制御のほかに、ソーラ水中ポンプとして要求される高効率と信頼性を実現するため、種々の技術的特徴を有している。

6-1 高速・小形・高効率

水中モータには高速高効率の永久磁石同期モータ (Permanent magnet synchronous motor : PMSM) を採用し、また羽根車、ケーシングも高速専用設計とすることでシステム効率の向上を図っている。また、高速化 (最大7200 min<sup>-1</sup>) による小形、軽量化の結果、ポンプの高さ、質量共に誘導モータを使用した従来機種種の約50%となっている。

6-2 空運転保護機能

井戸の水位低下などによりポンプが空運転状態となると、しゅう(摺)動部が焼き付きを起こし運転不能に至る。SUNH型では、ソーラコントローラがモータ電流値を常

時監視しており、空運転による異常低電流を検知した場合に警報停止させる、空運転防止機能を備えている。

### 6-3 締切り運転防止機能

締切り状態でポンプの運転を続けた場合、モータの冷却が不十分となり過熱破損に至る。締切り運転は、吐出しバルブを締切った場合のほかに、ポンプ実揚程に対し揚水するのに十分な日射強度が得られない場合にも発生する。SUNH型は、このような過熱を防止するための締切り運転防止機能を備えている。この機能は空運転防止機能と同様に、モータ電流値により締切り運転状態を検知し、締切り運転が一定時間以上継続した場合ポンプを停止させ、更に一定時間後再始動を行う。この始動停止

を揚水するのに十分な日射強度が得られるまで繰り返す。上記の運転時間と停止時間は、始動停止を無制限に繰り返した場合であってもモータ温度が許容値内となるように定められているため、モータが過熱破損することはない。

## 7. おわりに

現在ソーラ水中ポンプシステムの主用途は無電化地域の給水などである。しかし、環境への負荷が小さいクリーンな太陽エネルギーを使用している、ランニングコストが極めて低い、といった優れた特長を生かし、今後はその用途が拡大していくことを期待している。

