傾斜地での点滴かんがいを用いる小規模太陽光発電揚水システムの実証試験

島崎昌彦¹・桜井薫²・根角博久³Practical Development of Small-Scale Solar Pump System
for Drip Irrigation on Sloping LandMasahiko Shimazaki¹, Kaoru Sakurai² and Hirohisa Nesumi³

Abstract: We have practically tested small-scale solar pump systems, which are stand-alone PV systems including a DC pump, so as to develop methods for designing and operating them with low lifecycle cost. The application of the systems is drip irrigation for sloping field or orchard of approximately 10 ares. Two series of tests have been conducted. In one series, the pump discharge pressure head is regulated to keep 60 meters with a regulation valve. In the other series, the systems are used in practice at a citrus orchard and the pressure head is also approximately 60 meters. The results are as follows. The initial performance of the systems shows that the devised designing method is appropriate. In order to suppress the deterioration of batteries and pumps, intermittent pump drive, e.g. 15 minutes pumping every 45 minutes, is substantially effective.

Keywords: Small-scale solar pump; Stand-alone PV system; Battery; Drip irrigation; Sloping land; Orchard

1 はじめに

我が国の果樹栽培において、点滴かんがいの多くの利点が認められ、その導入が増加しつつある。点滴かんがいは一般に必要な水量が少なく、例えばウンシュウミカン園では10aあたり1回1000~2000L程度である。そのため、雨水再利用による限られた水源などでも使用できる場合があり得る。その他の点滴かんがいの利点は、土壌水分の精密な制御や液肥による効率的な施肥を可能にすることなどである（農林水産省構造改善局，1994）。

点滴かんがいで、点滴チューブなどの資機材の機能を十分に発揮させられる水圧を持つ水源が必要である。傾斜地の果樹園において水源がかんがい対象域より低い場合、ポンプ直送でかん水するために、一般的な条件では、流量は40 L/min程度、揚程は30~50 m程度の揚水能力が要求される。市街地から離れた中山間地の傾斜地などでは、そのようなポンプの電源を確保できない場合が多い。また、エンジンポンプを用いると、かん水を自動化するためのポンプ運転の自動化に多大なコストが必要である。

そのため、傾斜地で点滴かんがいをを行う場合、十分な標高の位置にタンクなど（以下、ヘッドタンクと呼ぶ）を設置して、そのヘッドタンクに自動または手動で一旦揚水することで、自然圧でかん水するために必要な圧力を確保する方法がよく取られる。ヘッドタンクへ小流量で揚水するのであれば、大きな電力を必要としないため、太陽電池を電源として小型のポンプを利用することができる。

太陽光発電は、近年、系統連系形の比較的大規模なものを中心として急速に普及している。独立形のシステムは、わが国では街灯への応用（中道，2000）などが中心であり、農業への応用は、吉川ら（2012）、奥山・小綿（2004）、Al-Ali *et al.*（2001）、Pradeep *et al.*（2011）、新太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会（2010）および村井（2003）など、低コストで導入しやすい、発電量が10~50 W程度のごく小規模なものか、キロワットレベルの発電を行うことのできる商用電力に替えて電力供給を行う比較的大規模なものが多い。

生活や農業などで日常的に使用する電気機器の電源確保のためには、太陽電池モジュールの大きさも勘案すると、100~300 W程度の発電力の小規模システムが使いやすい。このような小規模独立形のシステムの一般的な構成要素は、太陽電池モジュール、バッテリー、充電・放電コントローラ、および負荷であり、本研究で対象とするシステムにおいて負荷はポンプである。バッテリーを用いない日射量に対応して揚水量が変動するシステムでも、農地の蒸発散は日射が少ないほど一般に小さいため、点滴かんがいに使用できる可能性はある（島崎ら，2013）。しかし、そのようなシステムを前提とした水管理技術が確立されていることが使用の必要条件となる。本研究では、より一般的な、天候に制限されない水管理を可能とする、バッテリーを用いるシステムを対象とする。

前述のように普及が進みつつあるごく小規模および大規模なシステムに比べて、小規模な独立形システムはほとんど商業ベースに乗っておらず、製作、使用は趣味やDIYとして行われる場合が多い。そのため、農業で実際に使用する場合に利用できる既存の知見は少なく、適切な設計や管理の方法は確立されていない。

設計や管理の適切さの主な指標の一つはコストである。システムの構成要素のうち、バッテリーは一般に高価格で耐久性が低いいため、バッテリーのコストがシステムの

¹ 農研機構農村工学研究所主任研究員, Senior Researcher, National Institute for Rural Engineering, NARO, Kannondai 2-1-6, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, Japan (Corresponding Author) E-mail:shima@affrc.go.jp

² 有限会社エルガ代表, President, Erga, Inc., 208-2 Kakuyama, Ogawamachi, Hiki, Saitama 355-0316, Japan

³ 農研機構近畿中国四国農業研究センター上席研究員, Chief Researcher, Western Region Agricultural Research Center, NARO, 2575 Ikano-cho, Zentsuji, Kagawa 765-0053, Japan

図 1: 実証システムの構成

ライフサイクルコストを大きく増大させる。また、本研究の対象とするシステムでの実用に適したポンプの機種は、2.2 項で後述するように極めて限定され、比較的耐久性の低いものを選ばざるを得ない。そのため、ポンプの頻繁な交換が必要となり、このこともシステムのライフサイクルコストを増大させる。そこで、システムの実用化のためには、バッテリーおよびポンプの劣化を抑制してシステムのライフサイクルコストを低減する設計および管理方法の確立が必要である。

本稿では、以上に鑑みて行った、点滴かんがいにおけるヘッドタンクへの揚水を目的とした小規模な独立形太陽光発電揚水システムを実用化するための実証試験の結果について述べる。

2 試験方法

2.1 概要

実証システムを 2ヶ所に設置した。1ヶ所は、香川県善通寺市内の農研機構近畿中国四国農業研究センター四国研究センター生野地区内である。もう 1ヶ所は、広島県尾道市瀬戸田町高根（こうね）の傾斜地にあるカンキツ園地内である。2ヶ所とも、システムの構成は図 1 のようである。

香川県では、ポリエチレンタンク（容量 2000L）に貯めた水を、実証システムのポンプで取り出して再びタンクに戻して循環させた。ポンプの吐出側には、一次圧制御バルブを設置してバルブの一次圧を 0.6MPa に設定することにより、模擬的に揚程約 60m の揚水を行う状態とした。このシステムを以下では「模擬システム」と呼ぶ。

広島県では、実際に生産者がレモン、はるみおよび南津海（なつみ）を栽培している園地（面積約 1000 m²、2010 年 7 月より約 1500 m²）内に実証システムを設置した。このシステムは、点滴かんがいの用水を園地下部にある井戸から、ヘッドタンクとして使用するコンクリート水槽に揚水するために実際に用いられる。井戸と水槽の高低差は約 46m であり、その間の配管長は約 430 m である。なお、現地での配管可能路線の都合上、配管長は直線距離よりもかなり長い。このシステムを以下では「現地システム」と呼ぶ。

模擬システムでは、バッテリーが設定電圧以上に充電されていれば常にポンプが稼働する。現地システムでは、水槽に設置したフロートスイッチを利用して、水槽の水位が低下すればポンプが稼働する。

2.2 システムの設計

システムの設計において主要な事項は、ポンプ、太陽電池モジュールおよびバッテリーの選定である。

本研究の対象となるシステムで使用するポンプには、高揚程、低消費電力および低コストが要求される。これらの条件を満たす、わが国で市販されているポンプは極めて少なく、選択肢はダイヤフラム式で吐出量が小さいもの

のみとなる。具体的な機種の選択肢は、必要な揚程によりさらに限定される。そのため、まず必要揚程よりポンプを選定し、その結果としてポンプ吐出量が定まる。

園地で実際に使用される場合、ポンプ吐出側には長い配管が接続されるのが一般的となる。その配管による損失水頭は、水道の設計などで小口径の管に広く用いられる、(1) 式に示す東京都水道局実験式（TW 実験式）を用いることとする。

$$h_f = 8 \times 10^{-5} L Q^{1.785} D^{-4.86} \quad (1)$$

ここに、 h_f : 損失水頭 (cm), Q : 流量 (cm³/s), L : 管路長 (cm), D : 管内径 (cm) である。あるポンプの使用を仮定すると、そのポンプの揚程と流量の関係と、(1) 式で定まる損失水頭と流量の関係、および実揚程から使用時の全揚程と流量が求まる。なお、吸い込み側の損失や局所損失は比較的小さいため無視する。

模擬システムにおいては配管長が短いため、配管の損失は無視した。現地システムでは、呼び径 13 mm の水道用ポリエチレン二層管（1 種）を用いることとすると、各ポンプの特性曲線から、ポンプの機種によらず揚程は約 60 m、流量は 4.1~4.4 L/min 程度である。これらの値から候補となる各ポンプの使用可否を判断し、使用ポンプを決定する。

次に、使用水量から太陽電池モジュールの出力を決定する。「マルドリ方式」についてのかん水基準（森永ら、2005）では、年間の総使用水量は 163800L である。この水量と先に求めたポンプ吐出量から、揚水に必要な電力量を求めて、JIS C 8907 の「年間システム発電電力量の推定」に準じて、次式により太陽電池モジュールの必要出力を決定する。

$$E_{Pd} = K \times P_m \times H \quad (2)$$

ここに、 E_{Pd} : 日あたり必要電力量 (Wh), K : 総合設計係数, P_m : 太陽電池モジュールの公称最大出力 (W), H : 有効日射時間 (h) である。なお、有効日射時間は太陽光発電システムの設計によく用いられる 3.3 h とした。また、総合設計係数 K は JIS C 8907 を参考にして、月による平均気温の変動も考慮して 0.6 とした。

最後に、次式によりバッテリーの容量を決定する。

$$C = \frac{E_d \times D}{L \times \text{DOD} \times V} \quad (3)$$

ここに、 C : バッテリー容量 (Ah), E_d : 日あたり必要電力量 (Wh), D : 補償日数 (d) (日照がない場合にバッテリーで機能できる日数), L : バッテリーの保守率, DOD : バッテリーの放電深度, V : バッテリー電圧 (V) である。前述のかん水基準において、4 月中旬に 1950 L のかん水を 6 回行うこととされており、この期間に水使用が最も集中している。この期間に 1 週間日照がない場合を想定して、4 回分の水量を補償するものとして、バッテリー容量を決定した。なお、バッテリーの保守率は 0.8（太陽光発電協会編、2011）とする。

以上の手順により設計を行い、表 1 に示す機材を設置した。なお、最も普及している結晶シリコン系ではなく、シリコンを含まない化合物系である CIS 型の太陽電池モジュールを用いた主な理由は、試験開始時、シリコン価格が高騰して、結晶シリコン系の太陽電池が高価であっ

表 1: 使用機材

機材	項目	模擬システム	現地システム
太陽電池モジュール	種類, 公称出力	CIS ^{注(1)} , 65W	CIS, 70W
	最大出力動作電圧	36.7 V	37.6 V
	枚数, 接続形態	始め 2 後に 4, 並列	2, 並列
バッテリー	種類	ディープサイクル AGM ^{注(2)} , 12 V	ディープサイクル AGM, 12 V
	容量 (10 時間率)	始め 86 Ah, 後に 88.6 Ah	88.6 Ah
	台数, 接続形態	始め 2 台直列, 後に 4 台並列	2, 始め直列, 後に並列
充放電コントローラ	型式	MPPT 式 ^{注(3)}	MPPT 式
	吸収充電電圧 (最大充電電圧)	始め 29 V, 後に 14.1 V	始め 28.2 V, 後に 14.1 V
	負荷遮断電圧	始め 22.84 V, 後に 11.5 V	始め 23.0 V, 後に 11.5 V
	負荷再接続電圧	始め 25.3 V, 後に 12.6 V	始め 25.2 V, 後に 12.6 V
ポンプ	すべてダイヤフラム式直流ポンプ, 定格入力 24V・最大揚程約 70 m, または定格入力 12V・最大揚程約 100 m	2009 年 2 月末～ 24V	2009 年 9 月～ 24V 2011 年 2 月末～ 12V
		2012 年 1 月末～ 12V	

注 (1): 銅 (Cu), インジウム (In) およびセレン (Se) を原料とする化合物系. 注 (2): 吸着ガラスマット (Absorbed Glass Mat) 型. 電解液がガラス繊維のマットに吸着されており密閉型でメンテナンスフリー. 注 (3): 最大電力点追従制御 (Maximum Power Point Tracking). 気象条件等により常に変動する最適動作点 (出力が最大となる電圧, 電流の点) で自動的に動作させる制御.

たことである. 現在はシリコンの価格は安定して, 結晶シリコン系の太陽電池の価格もかなり低下している.

ポンプは, 両システムにおいて当初は最大揚程約 70 m で定格入力電圧 24 V のダイヤフラム式直流ポンプ (以下, 24V ポンプと呼ぶ) を用いた. その後, 模擬システムでは試験開始の概ね 3 年後, 現地システムにおいては概ね 1 年半後, 最大揚程約 100 m で定格入力電圧 12 V のもの (以下, 12V ポンプと呼ぶ) に変更した. 両ポンプについてメーカー公称の特性を図 2 に示す. ポンプの耐久性については, メーカーの公称動作寿命が 2000 時間である.

図 2: 使用したポンプの特性

2.3 模擬システムの運用

模擬システムは, 2009 年 2 月末に設置して 2009 年 3 月 9 日よりデータ収集を開始した. 先述のとおり, バッテリーの電圧が設定値以上であれば, 常にポンプにバッテリーの電圧が供給されるように設定した. 収集データは, 太陽電池モジュールの発電電力, ポンプの消費電力, およびポンプの流量である.

2012 年 1 月末に, ポンプをそれまでの 24V ポンプから 12V ポンプに交換した. 同時に, 太陽電池モジュールとバッテリーをそれまでの 2 倍, すなわち 4 台ずつに増設

した. 増設の目的は, バッテリーの劣化によるシステムの機能低下を避けて, ポンプの耐久性を試すことである. さらに, タイマーを設置して, バッテリーの電圧が設定値以上であっても間欠運転 (例えば 15 分運転 30 分停止など) を行えるようにした. また, 収集データにバッテリー電圧を加えた.

2.4 現地システムの運用

現地システムは, 2009 年 9 月に設置して 2009 年 9 月 26 日よりデータ収集を開始した. 先述のとおり井戸から園地上部の水槽に揚水するシステムである. 井戸と水槽の両方にフロートスイッチを設置した. 水槽が満水ではなく, かつバッテリーの電圧が設定値以上であれば, バッテリーとポンプを接続する設定である. 水の使用流量がポンプの吐出量よりも十分に大きいため, ハンチングは考慮せず水槽には単純なフロートスイッチ 1 つだけを設置している. また, ポンプの空運転を防止するため, 井戸の水位が設定値より低下した場合はポンプに電力を供給しない設定である. 収集データは, 太陽電池モジュールの発電電力およびポンプの消費電力である.

2011 年 2 月末に, 模擬システムと同様に, ポンプをそれまでの 24V ポンプから 12V ポンプに交換した. さらに, やはり模擬システムと同様に, 間欠運転のためのタイマーを設置した. また, 収集データにバッテリー電圧を加えた.

3 試験結果

3.1 模擬システム

3.1.1 連続運転

最初に, ポンプおよびバッテリーが劣化していない状態での揚水能力に着目する.

図 3 に, システムを設置してから約 2 ヶ月後の 2009 年 4 月 29 日におけるシステムの稼働状況を示す. なお, この日は同月中で最も日照時間が長かった日である. この日の総発電電力量は 876 Wh, 総消費電力量は 824 Wh お

図 3: 模擬システムの連続運転

よび総揚水量は 1520 L であった。表 1 に示したとおり、バッテリーが充電されて電圧が 25.3V になるとポンプが始動し、電圧が 22.84V まで低下するまで連続してポンプが運転される設定である。そのため、前日に放電して電圧が低下したバッテリーが、朝にある程度充電された後にポンプが始動し、日中は充電と同時にポンプの連続運転が行われ、日没後バッテリー電圧が低下した後にポンプが停止する状態となっている。

7 月末頃から、日の出後の徐々に日射が強くなる時間帯にポンプのチャタリングが発生するようになった。10 月半ばからは、日没前の徐々に日射が弱くなる時間帯にもチャタリングが発生するようになった。図 4 に、システムを設置してから約 8 ヶ月後の 2009 年 10 月 29 日の夕刻におけるポンプのチャタリングの様子を示す。

その後、2009 年 11 月 30 日の日中に停止してからポンプは起動しなかった。総稼働時間は、約 1330 時間である。図 5 に 24V ポンプが稼働した全期間、2009 年 3 月から 11 月までの各月の日平均揚水量および日平均日照時間を示す。日照時間は、香川県のアメダス観測所「多度津」の値を用いた。

図 4: 模擬システムでのチャタリング

図 5: 模擬システムの連続運転による揚水量

3.1.2 間欠運転

2012 年 1 月末より、12V ポンプを使用して、約 15 分運転、約 30 分停止の間欠運転を行った。図 6 に、2012 年 2

月 12 日 6 時から 13 日 21 時までのシステム稼働状況を示す。13 日は日照が少なくほとんど発電していないが、12 日までに充電した電力により、日没後までバッテリー電圧が高く保たれてポンプが稼働し続けている。この 2 日間の揚水量は 1 日あたり約 1500 L である。

その後、バッテリーがある程度劣化して、11 月頃から日没後にバッテリー電圧が低下して翌朝までポンプが稼働しない状況が発生することがあった。そして 2012 年 12 月 27 日早朝にポンプが起動しなくなった。ポンプの総稼働時間は約 2500 時間であった。

図 6: 模擬システムの間欠運転

3.2 現地システム

3.2.1 連続運転

現地システムでは流量を測定していないため、以下の手順で推定した。模擬システムのデータでは、流量 1 L あたりの消費電力量 (Wh) を 2009 年および 2012 年の 1 分毎に求めた値について、平均値がそれぞれ 0.50 および 0.51、標準偏差がともに 0.1 であった。そのため、この値を 0.5 Wh/L で一定と仮定した。すなわち、消費電力量を 0.5 Wh/L で除した値を推定流量とした。

図 7 に、2010 年 4 月 30 日の現地システムの稼働状況を示す。水の使われ方は日によって様々である。この日は 24 時間ポンプが運転し続けており、特に水が多く使われたと推測される。24 時間での総揚水量は約 2600 L である。

図 7: 現地システムの連続運転

3.2.2 間欠運転

2011 年 3 月 2 日より、12V ポンプを使用して間欠運転を開始した。栽培の都合などにより、運転時間と休止時間の配分を様々に変更した。時間配分と変更日の一覧を表 2 に示す。

図 8 に、2012 年 9 月 14 日の現地システムの稼働状況を示す。十分な日照もあって、20 分運転 25 分休止の間欠運転が 24 時間続いた場合でも、バッテリーの電圧は十

表 2: 現地システムの間欠運転の時間配分

配分変更日	2011				2012	
	3/2	3/23	4/10	5/2	1/24	8/10
運転時間 (min)	10	15	10	15	15	20
休止時間 (min)	50	40	35	35	30	25

配分変更日	2013				
	2/15	4/4	6/15	7/10	7/16
運転時間 (min)	15	20	25	20	20
休止時間 (min)	30	25	15	15	25

図 8: 現地システムの間欠運転

分高く保たれている。この日の24時間での総揚水量は約1420 Lである。

図 9 に 2012 年の各月の日平均揚水量および日平均日照時間を示す。日照時間は、広島県のアメダス観測所「生口島」の値を用いた。年間の総揚水量は 214000 L である。

12V ポンプは、2011 年 3 月から 2013 年 7 月まで稼働し、総稼働時間は 3944 時間であった。なお、バッテリーはシステム設置から 2013 年 7 月まで交換していない。

図 9: 現地システムの間欠運転による揚水量

4 考察

4.1 揚水能力について

システムの設計では、2.2 項で述べたとおり年間 163800 L の水使用を想定した。これは、1 日あたりに換算すれば約 450 L である。図 5 などの模擬システムの揚水量データからは、基本的なシステムの能力は十分である。図 9 など、現地システムの試験結果からも、機材の劣化などがなければ、実的な利用でも能力は十分である。

ただし、ポンプの劣化を抑制するために、ある程度揚程に余裕のあるポンプを使用することが望ましい。本研究における試験では、24V ポンプで必要揚程は満たしているが、通常の耐久性を発揮させるためには 12V ポンプを用いる必要があった。

したがって、ポンプの選定に留意した上で、発電および蓄電の能力に関しては 2.2 項で述べた手順で設計を行って問題ないといえる。

4.2 耐久性について

4.2.1 バッテリーの劣化とその抑制

バッテリーは、このシステムで用いる機材では比較的高価である。また、バッテリーが劣化すると、3.1.1 項で述べたようなチャタリングが発生しやすくなり、チャタリングは、ポンプに大きな負荷をかける。そのため、ポンプの劣化も促進される。バッテリーの耐用年数は、一般に数年程度とポンプ以外の他の機器に比べて短いと同時に、使用状態によって大きく影響される。そのため、システム全体の低ライフサイクルコスト化にはバッテリーの劣化抑制が重要である。

模擬システムでの連続運転のような使い方では、夜に深く放電したバッテリーが、朝になり充電されて設定値以上の電圧になるとポンプへ電力供給を始める。その結果、バッテリーの電圧が十分に上がらない状態が長く続くことになる。そのためバッテリーのサルフェーションが早く進行する。模擬システムで用いて劣化したバッテリーを、販売会社が分解して内部状況を調べ、劣化の原因はサルフェーションであることを確認した。

模擬システムにおいて、別途コントローラを設置して負荷遮断電圧および負荷再接続電圧をいくつかの組み合わせに変更し、例えばそれぞれ 24 V および 27.9 V とするなど行って、バッテリーの電圧を高く保つよう試みた。その結果、内部抵抗の上昇は抑制され、バッテリーの状況は改善した。しかし、実用においてこの方法を取ると、コントローラの追加が必要であり、また、低日照が続いた場合にバッテリーを深く放電させて不足電力を賄うことができなくなる。

3.1.2 および 3.2.2 で述べたように、模擬システムおよび現地システムの両方において、間欠運転により、バッテリーの電圧は 12 V 以上に概ね保持されている。日照のある昼間に消費する電力が減少したため、十分に充電されやすい状態になったと考えられる。この方法にはタイマーが必要であるが、システム全体のコストに比べてタイマーは十分に安価である。

現地システムにおいては、模擬システムに比べてバッテリーの劣化が遅くなる結果となっている。この理由は、現地システムではポンプが何日も稼働しない状態が頻繁に発生し、その間にバッテリーが満充電され、劣化が抑制されていると考えられる。よって実用においては、ある程度の頻度でバッテリーが満充電されるような管理により、劣化をさらに抑制できると考えられる。

現地システムでは、水使用が夕方から夜間に集中した場合に、昼間に揚水が行われず、バッテリーの電圧が高く保たれる状況が発生した。このような状況を意図的に作るのも有効である。

4.2.2 ポンプの劣化とその抑制

ポンプは、バッテリーに比べて安価であるが耐久性が低い。先述のとおり、本研究で用いた製品のメーカー公称動作寿命は 2000 時間であり、これは例えば平均 1 日 5.5 時間の使用での 1 年にあたる。そのため、ポンプの劣化抑制もシステム全体の低ライフサイクルコスト化には重要である。なお先述のとおり、現状では、わが国で入手できる使用可能な製品は極めて限定される。

4.1 項で述べたように、ポンプの劣化抑制のためには、必要揚程に対して余裕のある最大揚程を持つポンプの使

用が望ましい。当初使用した 24V ポンプの最大揚程は約 70 m であるが、使用する揚程が約 60 m であっても長時間の連続運転では過熱などによりモーターおよびダイヤフラムの劣化が早く進行した。最大揚程約 100 m の 12V ポンプでは、メーカー公称動作寿命よりも十分に長く動作したため、最大揚程に近い揚程での使用は避けるべきであると考えられる。

バッテリーが劣化すると 3.1.1 で述べたように、朝や夕方など日射が弱い場合にポンプのチャタリングが発生しやすくなる。劣化したバッテリーでは内部抵抗が大きくなっているため、劣化していない場合に比べて少ない充電電量で電圧が大きくなる。そのため、バッテリーの電圧が小さくポンプが停止している状態でバッテリーの充電が始まると、すぐに電圧が負荷再接続電圧まで上昇して放電が開始される。その後、充電電力を放電電力が上回っていると、すぐに電圧が負荷遮断電圧まで降下して放電が停止する。そして充電が始まり、同じ状況が繰り返されるという状況となる。

ポンプのチャタリングは様々な資機材における問題の原因となるため、一般に防止すべき現象である。ダイヤフラム式ポンプにおいては、チャタリングはモーターとともにダイヤフラムに過大な負担をかけ、劣化を促進する。そのため、バッテリーの劣化抑制がチャタリングの抑制にもつながり、ポンプを始め、システム全体の劣化抑制に有効である。

間欠運転は、バッテリーの劣化抑制とともに、ポンプの劣化抑制にも直接的に効果がある。長時間の連続運転によりモーターが過熱し、モーターと一体であるポンプのダイヤフラムなどの劣化の原因となる。間欠運転により、モーターが断続的に冷却され過熱されなくなることなどにより、ポンプの劣化が抑制されることになる。

5 まとめ

本研究では、小規模なソーラーポンプシステムを傾斜地の点滴かんがいにおいて実用化するための実証試験を、カンキツ園を対象にして行った。その結果は以下のとおりである。

システムの設計を、ウンシュウミカン用のかん水基準に基づき行ったところ、システムの揚水能力は、基準に沿ったかん水を可能とするものであることが確認できた。しかし、ポンプの劣化抑制のためには、必要揚程より大きい最大揚程を持つポンプを使用する必要があることがわかった。また、ポンプおよびバッテリーの劣化抑制には、タイマーを利用した間欠運転が十分に有効であることを明らかにした。さらに、バッテリーをある程度の頻度で満充電状態にすることにより、バッテリーの劣化が十分に抑制されることがわかった。

以上より、本研究の対象としたシステムのライフサイクルコストを低減し、システムを実用化するための知見が得られたと考えられる。

6 おわりに

太陽光発電を取り巻く状況は刻々と変化している。太陽

電池では、結晶シリコン系の価格が近年は低下しており、太陽電池の選択には、市場の動向の考慮が必要である。バッテリーは、EV 車の普及促進などのために開発が進んでおり、高性能のものも将来的には選択肢になり得ると考えられる。

ポンプについては、現時点で非常に限られた選択肢しかないため、より耐久性が高いポンプの開発が望まれる。

点滴かんがいは、水資源の有効利用に加えて施肥の効率化など、多くの利点を持つかんがい方法である。本研究の結果が活用され、点滴かんがいの利用が拡大することが期待される。

謝辞

本稿は、農研機構が独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託により行った業務の結果、および有限会社エルガが 2008~2010 年度に農研機構の委託により行った研究の成果を含みます。また、本研究を遂行するにあたり、広島県総合技術研究所農業技術センター果樹研究部より多大なる協力を頂きました。ここに記して深く謝意を表します。

引用文献

- [1] Al-Ali, A.R. *et al.* (2001): Usage of photovoltaics in an automated irrigation system, *Renewable Energy*, 23, pp.17-26.
- [2] 角川浩 (2011): 独立型太陽光発電と家庭蓄電, パワー社, pp.1-34.
- [3] 森永邦久・島崎昌彦・草場新之助・星典宏 (2005): マルドリ方式: カンキツ生産の新しい技術その技術と利用, 近畿中国四国農業研究叢書 (1), 農研機構近畿中国四国農業研究センター, p.33.
- [4] 村井幸夫 (2003): ソーラ駆動水中モータポンプについて, 地下水技術, 45(7), pp.17-21.
- [5] 中道忠和 (2000): 太陽光発電 独立系システムの活用法, 建築知識, 2000.3, pp.118-119.
- [6] 農林水産省構造改善局監修 (1994): 土地改良事業計画指針 マイクロかんがい, 農業土木学会, pp.7-8.
- [7] 奥山武彦・小綿 寿志 (2004): 独立型太陽光発電の利用方式の検討と家畜ふん尿攪拌曝気装置への応用, 農業土木学会論文集, 72(6), pp.583-590.
- [8] Pradeep, E. *et al.* (2011): Automation of PV Farmers Pump, *SEISCON 2011*, pp.163-166.
- [9] 島崎昌彦・桜井薫・根角博久 (2013): バッテリーレス太陽光発電揚水の傾斜地果樹園かんがいへの利用可能性の検討, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演要旨集, pp.358-359.
- [10] 新太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会編 (2010): 新太陽エネルギー利用ハンドブック, 日本太陽エネルギー学会, pp.764-765.
- [11] 太陽光発電協会編 (2011): 太陽光発電システムの設計と施工 (改訂 4 版), オーム社, pp.64-65.
- [12] 吉川省子・村口浩・大西孝志・渡邊修一・吉川弘恭 (2012): 日射制御型低流量点滴灌水システムを用いた地下水灌水による環境保全型マーガレット栽培農家実証試験, 日本土壤肥科学雑誌, 83(5), pp.574-580.

この論文の公開の質疑または討議は 2015 年 6 月 30 日まで受付けます。