

マルドリ方式のための

ソーラーポンプシステムマニュアル



農研機構



目次

1. はじめに	1
2. 技術開発の背景	3
3. システムの機能	6
4. 設計法	9
5. 設置法	20
6. システムの管理	24
7. 参考資料	26

[注] と [解説] について

本文中に、[注] または [解説] として記した囲み文があります。

[注] は、わかりにくい語句などを解説したのですが、読み飛ばしても設計などを行うことはできますので、必要に応じて参照してください。

[解説] も、必ずしも設計などに必要ではありませんが、基本的には知っておいた方がよい情報を解説しています。

1.

はじめに

本マニュアルで説明する「ソーラーポンプシステム」（以下、「本システム」と呼びます）は、小規模な独立形^[注1]太陽光発電システムと小型の高揚程ポンプ^[注2]を組み合わせた揚水システムです。傾斜地カンキツ園のマルチ方式による栽培で利用することを念頭に置いていますが、他の果樹の点滴かんがいなど、他にも用途はあると思われます。

本マニュアルでは、本システムについての設計・設置・管理方法を説明します。本システムの構成の概略は右の図のとおりであり、本マニュアルでの用語も、この図に従うこととします。

本システムを導入するには、主に以下の4つの方法が考えられます。

- ① 設計をユーザが行い、資機材を個別に購入して、ユーザが設置する。
- ② 設計をユーザが行い、資機材を専門業者から一括購入して、ユーザが設置する。
- ③ 設計と資機材選定を専門業者に依頼して、ユーザが設置する。
- ④ 設計から設置までを専門業者に依頼する。

ここでいう専門業者とは、太陽光発電を利用する技術についてさまざまなノウハウを持っており、機材の販売やシステムの設計・設置などを行うことができる、個人や企業などの事業者です。ただし、注意すべきことがあります。**これらの専門業者は、現時点では本システムを完全に責任を持って販売・設置するのは困難**であるということです。コストを度外視した安全策は取れませんし、まだ導入事例は多くはないため、未知のトラブルの可能性もあります。そのため、販売・設置の時点で負える責任の範囲を明確に決められないからです。したがって、上の③または④の方法を取った場合でも、ある程度は**ユーザが自己責任でシステムを利用する必要があります**があります。

本マニュアルは、基本的にはユーザが設計または設置する場合の手順を示すものですが、専門業者に依頼した場合でもユーザが適宜参考にするべきものと考えています。

太陽光発電で揚水することにおいて、コストの制限をなくせば技術的に大きな問題はあ

[注1] 独立形と系統連系形

「独立形」とは、太陽電池で発電した電力だけを利用して、電力が余ったらバッテリーに蓄えるか、または利用しない形式です。

これに対して「系統連系形」は、電力会社の送電線と接続して、発電が足りない場合は送電線から電力を補います。また、送電線に逆に電力を送り込んで売電するものもあります。なお、JISでは「独立形」「系統連系形」と表しますが、一般には「独立型」「系統連系型」と表すことが多いようです。

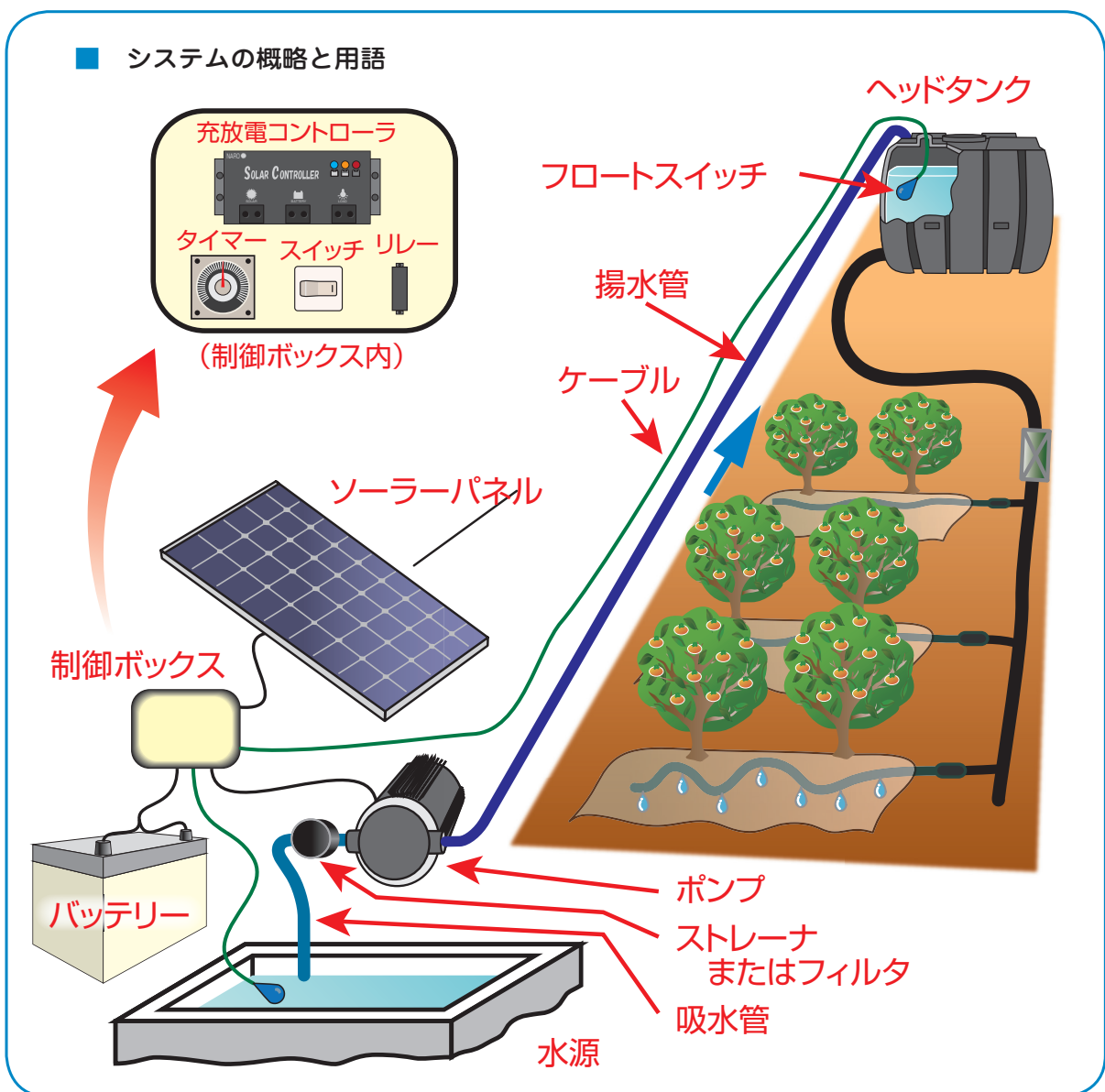
[注2] 高揚程ポンプ

「揚程」とは、ひとこと言えば「ポンプが水を汲み上げる高さ」です。どれくらいの揚程を「高揚程」と呼ぶかという基準はなく、場面によります。ここでは、「小型のわりに揚程が高い」という考え方で、30m以上程度のものを想定しています。

りません。本システムは、機能・性能の余裕をなるべく小さくするとともに技術的な工夫を加えることで、実際に導入できるような低コスト化を図ったものです。ユーザの状況や考え方によって、投入できるコストや負えるリスクは異なります。それに応じて、本マニュアルは適宜アレンジして利用して下さい。

また、太陽光発電に関わる技術は今後ますます発展し、資機材の低コスト化や新しい資機材の開発が進展すると考えられます。

今後、時間の経過や導入事例の増加により状況は変化していくと考えられます。それに
応じて、本システムに関わる技術が成熟していくことを期待したいと思います。



2. 技術開発の背景

近年、カンキツやその他の果樹栽培への点滴かんがいの導入が増えつつあります。点滴かんがいの技術は、世界の乾燥地で節水や塩類集積防止を可能にするものとして発展してきました。わが国でのカンキツ栽培への導入は、マルチと組み合わせた「マルドリ方式」の構成技術としての利用などのように、ウンシュウミカンを主な対象として果実高品質化や生産効率向上を主な目的として行われています。また、中晩柑への導入も少しずつ進みつつあります。

しかし、特に中山間の傾斜地では、点滴かんがいのための適切な水源を整備できない場合が多くあります。適切な水源とは、十分な量と圧力を持った水源です。一定以上の量の水が必要なのはもちろんですが、圧力補正機能付き点滴チューブ^[注1]の機能を正常に発揮させるためには、一定以上の圧力が必要となります。傾斜地の果樹園では、必要な量の水源地が得られたとしても比較的低い位置にあることが多く、その場合、何らかの方法で圧力を加える必要があります。

ポンプで圧力をかけて点滴チューブに水を送ろうとすると、カンキツ園の一般的な条件では、流量は40L/分程度、揚程（水を揚げる高さ）は30～50m程度の能力が要求されます。この程度の規模のポンプの消費電力は、1kW前後かそれ以上になります。市街地から離れた果樹園では、そのようなポンプの電源を確保できない場合が多く、エンジンポンプではポンプ運転の自動化が困難です。さらに、カンキツ園で点滴かんがいを行う場合、かん水に要する時間は1日に1時間前後が一般的であり、その短時間の利用のために規模の大きなポンプを整備するのは非効率的です。

そこで、傾斜地で点滴かんがいを行う場合、点滴チューブに十分な圧力をかけられる高さにタンクなど（ヘッドタンク）を設置して、そのヘッドタンクに一旦揚水して自然圧でかん水することとすれば、小さいポンプで長時間をかけて揚水することができます。そうすれば、大きな電力を必要としないため、太陽電池を電源として利用することができます。

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ます。独立形のシステムは、わが国では街灯への応用などが中心であり、

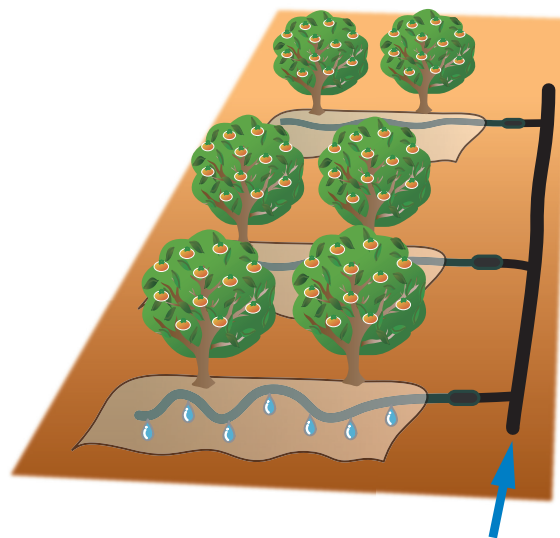
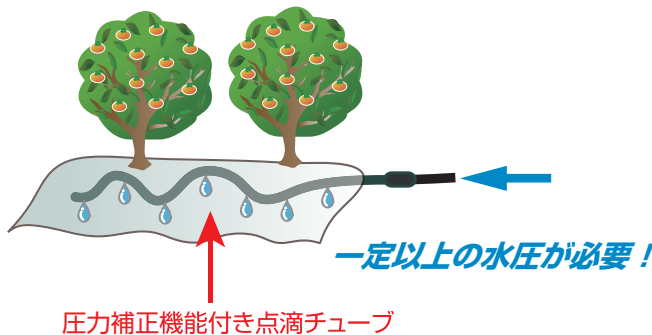
[注1] 圧力補正機能

例えば、チューブに一定間隔で孔をあけただけの場合、水を通すと水圧が高いほど孔から水がたくさん出ます。そのため、チューブに高低差があると低い所ほどたくさん水が出ます。また、水平にチューブを伸ばした場合、先になるほど水が出にくくなります。

そのようなかん水の不均一を防ぐため、孔の内側に、複雑な形状のプラスチックの部品を付けて、水圧が違って同じ量の水が出るように作られているのが、圧力補正機能付き点滴チューブです。ただし、正しく機能を発揮するための最小水圧と最大水圧が決まっています。

マルドリ方式では、傾斜地などでも均等にかん水できるように、圧力補正機能付きチューブの使用を基本としています。

■ 点滴かんがいの水源に要求される条件



(平坦地なら井戸用ポンプなどが利用可能)

農業への応用は、低コストで導入しやすい、発電量が10～50W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比較的大規模なものが多い状況です。

農業に利用する電源を個人レベルで太陽光発電により確保しようとする場合、ソーラーパネルの大きさやコストを勘案すると、100～300W程度の小規模システムが現実的です。本システムもこの範囲に入ります。普及が進みつつあるごく小規模あるいは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として行われることが多いのが現状です。そのため、農業で実際に太陽光発電を利用しようとしても、適切な設計や管理の方法に関する情報はほとんどありません。

設計や管理の適切さの指標として重要なものはコストです。コストを考えると、導入コストも重要ですがライフサイクルコスト^[注2]の方を重視するべきと考えます。本システムの主な構成要素は、

[注2] ライフサイクルコスト

"Life Cycle Cost"を略して"LCC"と呼ばれます。ある「モノ」(機械、電機製品、建築物など)について、計画、設計、製作などの初期コスト(インイシャルコスト)、運用、管理や修繕のコスト(ランニングコスト)、さらには使用が終わったときの処分のためのコストなどを足し合わせた、その「モノ」の全生涯にかかるコストのことです。

どれかひとつのコストの大小よりも、ライフサイクルコストの大小が基本的に重要であるという考え方から、近年、よく使われる用語です。

ソーラーパネル，バッテリー，充放電コントローラ，およびポンプです。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ため，バッテリーのコストがシステムのライフサイクルコストを大きく増大させます。また，本システムで使用できるポンプの機種は，現状では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ません。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ます。そこで，ライフサイクルコスト低減のためには，バッテリーおよびポンプの劣化抑制が有効です。本マニュアルで示す設計・管理法は，バッテリーおよびポンプの劣化抑制のための工夫が組み込まれています。

なお，バッテリーを使用しないシステムとすると，コストを抑えることができます。その場合，日射量に対応して揚水量が変動するシステムとなります。日射が少ないときは一般に農地の蒸発散も小さい，つまり，曇っているときは水の消費が少ないため，そのときは揚水量が少なくても問題は起きにくいといえます。そのため，状況によってはバッテリーを使用しないシステムを点滴かんがいに利用できる可能性はあります^[参考1]。実際に，野菜のかんがいのための低揚程のシステムとしては「日射制御型拍動灌水装置」が実用化されています^[参考2]^[参考3]。カンキツなどのための高揚程のシステムを実用化するには，そのような揚水量が変動するシステムを前提とした水管理技術の確立が必要です。

本マニュアルでは，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します。

[参考1] 島崎昌彦，桜井薫，根角博久：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，2013年度農業農村工学会大会講演要旨集，358-359，2013

[参考2] 吉川弘恭，中尾誠司：ソーラーポンプを利用した拍動自動灌水装置の組み立て方法，近畿中国四国農業研究センター研究資料，第7号，21-31，2010

[参考3] 農研機構近畿中国四国農業研究センター，岩手県農業研究センター：“減肥を目指した”露地栽培への点滴かん水導入の手引き，2014

3. システムの機能

(1) 対象とする園地

本システムを設置する園地の条件は、以下のようなものを想定しています。

- ① 園地面積は、栽植密度や水管理方法によりますが、概ね 20a 以下。
- ② 園地の勾配は、水源からヘッドタンクまでの高低差が概ね 60m 以下となるような場合。
- ③ 水の使用量については、管理の考え方や時期によって、かん水を毎日行う場合と間隔を空けて行う場合がありますが、毎日かん水する場合は 1 日あたり最大 1000L 程度、間隔を空ける場合の 1 日の最大かん水量は概ね 2000L 以下。

上記の条件は、想定している標準的な仕様をあまり大きく変更することなく対応できる範囲です。この条件に合致しなくとも、設計の仕方や使い方および投入可能なコストによって、導入可能な場合はあると考えられます。

(2) ポンプ

点滴かんがいでかん水に要する時間は、1 日に 1～2 時間程度になるのが一般的です。また、1 回のかん水に使う水の量は、10～20a 程度の園地であれば 1000～3000L 程度です。したがって、かん水しない時間に揚水するのであれば、ポンプの揚水量は 1 分あたり数リットル程度でよいこととなります。そのかわりに、傾斜地での点滴かんがいで作物の栽植位置より上のヘッドタンクに揚水するには、低くても 20m 程度、高い場合は 60m 程度の圧力を出せる必要があります。

また、太陽電池とバッテリーで動かすため、直流の 12V または 24V の電源を用いるポンプを使用します。

このような性能を持つポンプで現実的な価格のものは、現時点では「ダイヤフラム」と呼ばれるゴムの膜を使って水を押し出す形式（ダイヤフラム式）のポンプになり、市販製品はごくわずかに限られます。

なお、ダイヤフラム式のポンプは、ダイヤフラムが劣化しやすいため寿命が比較的短くなっています。本システムでは、ポンプの劣化を抑えるために間欠運転するようにしています。間欠運転とは、例えば 15 分運転と 30 分休止を繰り返すといったように、断続的にポンプを動かすことです。

(3) バッテリー

バッテリーは「ディープサイクルバッテリー」と呼ばれるタイプの鉛蓄電池を用います。鉛蓄電池なので、基本的な仕組みは自動車用と同じです。しかし、エンジンの始動に使うために大電流を短時間流す自動車用と違い、長時間にわたって電流を流し続ける用途に使えるものです。

ディープサイクルバッテリーにもいくつかの種類があります。一般的な自動車用と同様に液が入っているものもありますが、液の減りが早いのでメンテナンスに手間がかかります。そのため、ゲル（またはジェル）式、または AGM 式と呼ばれる、密閉式のものを使うことを基本とします。

使用するポンプに合わせて電圧が 12V または 24V となるよう、適宜、直列または並列に接続します。

バッテリーも、他の機材に比べて劣化が早い消耗品です。しかし、先に述べた**ポンプの間欠運転を行うことにより、ポンプと併せてバッテリーも劣化が抑制**されます。

(4) 制御ボックス

制御ボックスは、いくつかの機材から構成されます。

まず、充放電コントローラが最も主要な機材であり、これは、ソーラーパネル、バッテリー、およびポンプの間の電気の流れをコントロールします。他に、フロートスイッチの状態によってポンプの運転を制御するためのリレー類、後で述べる間欠運転のためのタイマーなどが入っています。

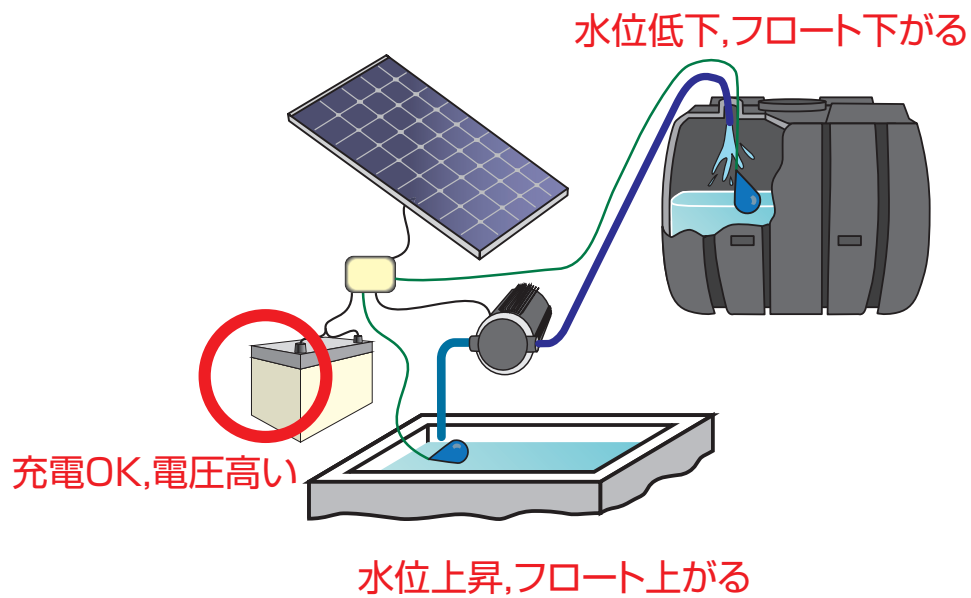
電気の知識があれば市販品の部品から自作もできますが、専門業者に依頼すれば製作してもらえます。

(5) システムの動作

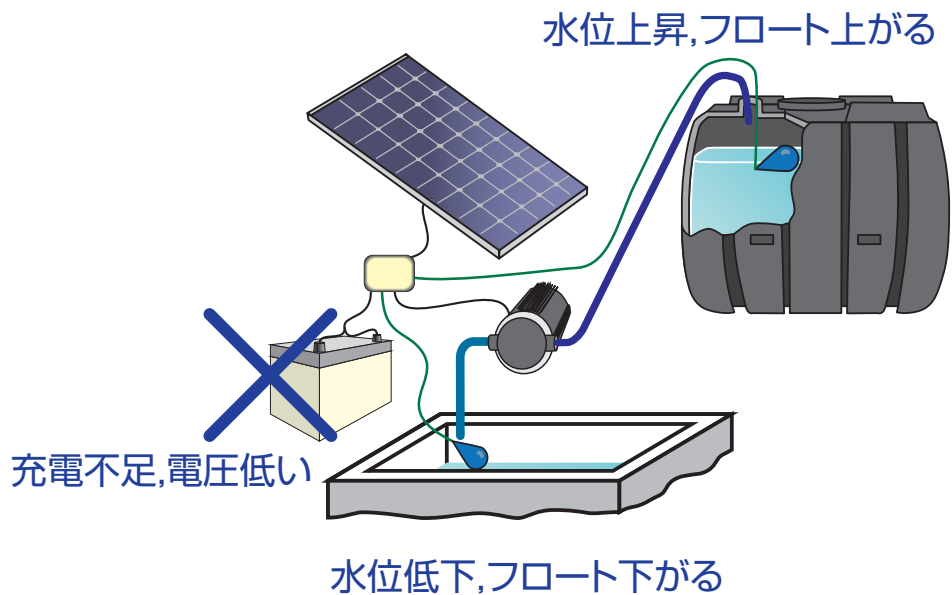
本システムは、以下のように動作します。

- ① 日照があり、バッテリーの電圧が一定の電圧以下の場合、バッテリーへ充電します。
- ② ヘッドタンクの水位が下がると、ポンプが起動します。ただし、バッテリー電圧が一定の電圧以下の場合には起動しません。
- ③ バッテリーおよびポンプの劣化を抑制するために、タイマーを利用してポンプは間欠的に運転されます。運転時間と休止時間はタイマー設定で変更可能です。
- ④ 水源が井戸などの水位変動があるものの場合、ポンプの空運転を防止するために、水源にフロートスイッチを設置して、水源の水位が一定以下の場合にはポンプが起動しないようにします。

■ ポンプが運転または停止する条件



すべてそろえばポンプ間欠運転



どれかひとつでポンプ停止

4.

設計法

(1) 設計手順の概略

設計のたまかな流れは右の図のようになります。

この中で、園地条件と水使用量は、設計のためにユーザが準備する情報、つまり設計作業の「入力」であり、それに対して「出力」となるのが、ソーラーパネル、ポンプおよびバッテリーの規格などの、設計の結果として決定される情報です。

(2) 園地条件の整理

園地条件として必要な情報は、水源とヘッドタンクの高低差と、水源からヘッドタンクまでの配管の長さです。

高低差の値は、正確なほど良いことはもちろんですが、10m 以下程度の誤差であればたいいの場合大きな問題はありません。高低差が60mを超えたり、30～40m程度で揚程の小さいポンプを極力使いたい場合などは、やや正確な値が必要となります。

標高の概略値は、インターネット上で、国土地理院の「地理院地図」^[参考1]などいくつかのWebサイトで調べることができます。やや正確に調べるには、「マルドリ方式施設設計支援システム」情報のサイトに5千円程度の簡易な器具を使って測定する方法を紹介しています^[参考2]。もちろん、測量が可能であればそれに越したことはありません。

■ 設計の流れ

園地条件の整理

水使用量の決定

ポンプの選定

ソーラーパネルの選定

バッテリー容量の決定

制御ボックスなどの構成

[参考1] 国土地理院 <http://www.gsi.go.jp>

[参考2] 「マルドリ方式施設設計支援システム」情報
<http://cse.naro.affrc.go.jp/shima/muldori/>

(3) 水使用量の決定

システムの能力を決めるために、水の使用量の情報を整理します。水の使用量は、毎日一定というわけではなく、使わない日もあり時期によって使う量も異なるのが一般的です。それを厳密に勘案することは困難なので、本マニュアルでは、かん水計画において年間で最も水を多く使用する時期の使用量を1日あたりに換算したものを必要揚水量とすることを基本とします。例えば2週間に8回、1回1200Lのかん水を行うのであれば、必要揚水量は、 $1200\text{ L} \times 8\text{ 回} \div 14\text{ 日} \approx 700\text{ L}$ となります。

(4) ポンプの選定

一般にポンプの選定は、必要な流量と全揚程^{〔解説1〕}に基づいて行います。しかし、現時点では本システムで使用できるポンプの機種は極めて限られており流量による選択はできないので、全揚程のみから選定します。

全揚程は実揚程^{〔解説1〕}に圧力損失^{〔解説1〕}を加えて算出します。圧力損失は流量によって決まりますが、流量はポンプの特性にしたがって全揚程によって決まります。つまり全揚程と流量はお互いに影響するため単純な計算で全揚程を求めることができません。そこ

〔解説1〕「全揚程」、「実揚程」、「圧力損失」

ポンプの吸い込み側の水面と吐き出し側の水面の高低差、つまり実際に水が揚がる高さのことを「**実揚程**」と呼びます。ポンプが水を押し流すとき、パイプとの摩擦や、パイプの曲がり、バルブなどのために、いくらかの抵抗がかかります。そのため、ポンプは実揚程に加えて抵抗に打ち勝つだけの力を出す必要があります。この、ポンプが実際に発揮しなければならない力に相当する揚程を「**全揚程**」と呼びます。これは見方を変えると、ポンプが発揮した圧力のうち、いくらかが失われると見ることができます。この「失われる圧力」を「**圧力損失**」と呼びます。圧力の単位はいろいろありますが、ここで扱う計算では、水の高さに換算して単位をメートルとするのが便利です。

パイプとの摩擦による圧力損失は、パイプの材質と内径、および長さ、そして流量から算出できます。計算方法はいくつかありますが、本マニュアルでは比較的扱いやすい「東京都水道局実験公式」を使います。

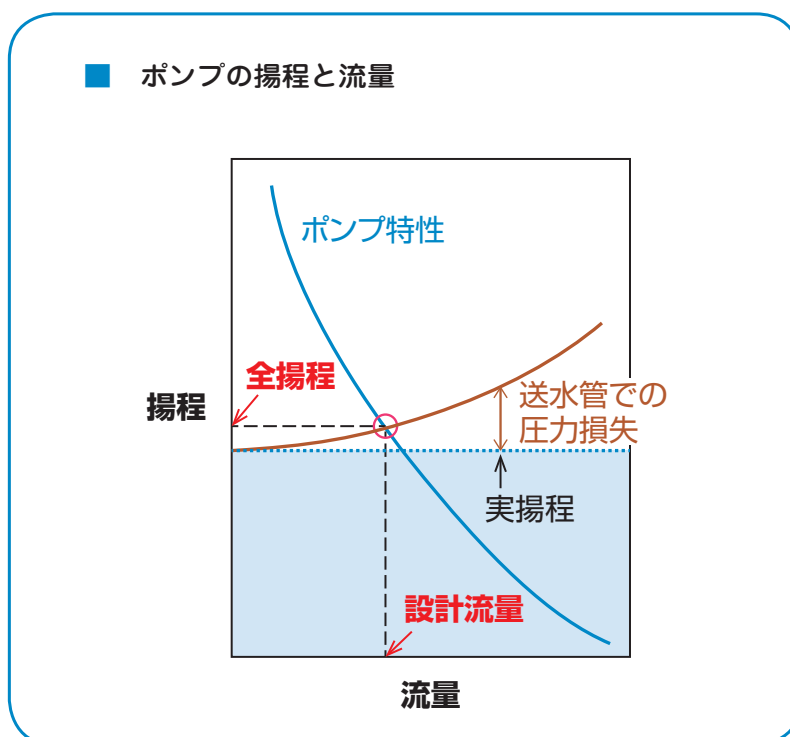
[東京都水道局実験公式]

$$h = 879 \times L \times D^{-4.86} \times Q^{1.79}$$

h：圧力損失 (m)，L：管長 (m)，D：管の内径 (mm)，Q：流量 (L/分)。

で、以下のような手順で流量と全揚程を算定します。

ポンプの吐出流量は、水を揚げる高さが高いほど少なくなります。吐出流量と揚程の関係を図に表すと、下の図の「ポンプ特性」の曲線のようになります。また、ポンプの出口の圧力は、先ほど述べたとおり実揚程に圧力損失を加えた全揚程に対応する大きさとなります。圧力損失は、吐出流量が大きくなるほど増えます。そのため、流量と全揚程は図のように、実揚程と圧力損失の合計を表す曲線と、ポンプ特性の曲線との交点の値となります。



この値は、以下のような手順で具体的に求めることができます。

- 1)実揚程を参考に、ポンプの機種を仮に決定します。
- 2)実揚程に対応する流量を、ポンプの特性から求めて、設計流量として仮に決定します。
- 3)仮定した設計流量における圧力損失を求め、これを実揚程に加えて仮の全揚程を決定します。
- 4)仮の設計流量と仮の全揚程に対応する点を、ポンプ特性の図に書き入れます。
- 5)点が、ポンプ特性の曲線の右側にあれば、設計流量を少し減らして、左側にあれば少し増やして、点がポンプ特性と概ね重なるまで3)から繰り返します。

以上の手順で求めた全揚程が、ポンプの使用範囲内であるか確認します。もし、使用範囲以上であれば、ポンプの機種を変更して始めからやり直します。

ポンプと全揚程が決まれば、ポンプの仕様から、揚水時の消費電流も求めることができます。

(5) ソーラーパネルの選定

次に、使用するソーラーパネルの仕様を決定します。そのためには、ソーラーパネルに要求する発電電流を求めます。必要発電電流は、これまでに定めた各種の値から、以下のようにして求めます。

■ 必要なソーラーパネルの発電電流の計算

$$\text{1日あたりポンプ稼働時間 (h/d)} = \frac{\text{1日あたり使用水量 (L/d)}}{\text{ポンプ設計流量 (L/min)} \times 60}$$

$$\text{1日あたり消費電流量 (Ah/d)} = \text{ポンプ消費電流 (A)} \times \text{1日あたりポンプ稼働時間 (h/d)}$$

$$\text{必要発電電流 (A)} = \frac{\text{1日あたり消費電流量 (Ah/d)}}{\text{有効日射時間}^{[\text{注1}]} \text{ (h/d)} \times \text{総合設計係数}^{[\text{注2}]}}$$

$= 3.3 \qquad \qquad \qquad = 0.6$

[単位] min：分，h：時間，d：日，L：リットル，A：アンペア。

ソーラーパネルを2枚を使用する場合、12Vのポンプを使うなら1枚あたりの必要発電電流は上で求めた値の1/2として、パネルを並列で使います。24Vのポンプを使うなら1枚あたりの必要発電電流は上で求めた値のとおりとして、パネルを直列で使います。

求めた必要発電電流とソーラーパネルの「最大出力動作電流」が概ね等しくなるように、使用するソーラーパネルを選定します。このとき、「12Vシステム用」のソーラーパネルであっても、「公称最大出力（定格出力）」を12Vで割った値が電流ではないことに注意が必要です。出力が最大となるときの電圧は「最大出力動作電圧」であり、18V程度になるのが一般的です。例えば、5Aの電流が必要なときは、 $5 \times 12 = 60\text{W}$ のソーラーパネルではなく $5 \times 18 = 90\text{W}$ 程度のものが必要になります。

[注1] 有効日射時間

太陽電池の定格出力に有効日射時間を掛けると、平均的な1日の発電電力となります。気象関係ではなく太陽光発電の世界での用語です。本マニュアルでは概略値を用いることとして、一般によく用いられる3.3時間としています。この値の正確な定義は、1日の日射量を単位を $\text{W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ として表した数値を、太陽電池の定格出力測定時の条件である日射強度、 $1000\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ で除した値です。つまり、有効日射時間が3.3時間ということは、1日の日射量が $3.3\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ であるということです。

実際には1日の日射量は場所、時期および太陽電池の設置状況（方位や角度など）によって異なりますので、それらを考慮した方がより正確な発電電力を見積もれます。具体的には、NEDOが公表している日射量データベースであるMONSOLA-11 (<http://app7.infoc.nedo.go.jp/metpv/monsola.html>)に全国255地点の「月平均斜面日射量」がありますので、このデータベースから最寄りの地点のデータを利用することができます。

[注2] 総合設計係数

太陽電池が発電する電力には、さまざまな要因で変動やロスが生じます。それを見込んで発電能力に余裕を持たせるための係数が総合設計係数です。総合設計係数は、JIS C 8907 では以下のように定められています。

$$K = K_{HD} \times K_{PD} \times K_{PM} \times K_{PA} \times (1 - \gamma_{BA} + \gamma_{BA} \times \eta_{BA}) \times \eta_{DDO} \times K_{PT}$$

K_{HD} ：「日射量年変動補正係数」。日射量の年による変動を補うための係数。JIS 推奨値は 0.97。

K_{PD} ：「経時変化補正係数」。汚れや劣化の経時変化による変動を補うための係数。JIS 推奨値は結晶系の太陽電池に対して 0.95。次の 3 つの係数の積。①汚れ補正係数：ソーラーパネル表面の汚れによって、太陽電池表面の入射光が減少する度合いを補正。②劣化補正係数：入射エネルギーによる光劣化とアニール（焼鈍し）による回復を補正。③太陽光発電応答変動補正係数：季節、太陽光の入射角、雨天などの大気中の水分濃度に起因する太陽光線のスペクトルが変動することによる太陽電池の変換効率の変動などを補正。

K_{PM} ：「アレイ負荷整合補正係数」。太陽電池の実際の動作点が負荷との関係で最適動作点からずれることを補正。JIS 推奨値は「安定電力供給目的の独立形」に対して 0.89。

K_{PA} ：「アレイ回路補正係数」。直流回路に発生した配線抵抗損失と逆流防止ダイオードによる損失を補正。JIS 推奨値は 0.97。

γ_{BA} ：「蓄電池寄与率」。蓄電池のエネルギー貢献度を補正。消費電力のうち、一旦バッテリーに蓄えられてから消費される電力の割合。JIS 推奨値は 0.80。

η_{BA} ：「蓄電池回路効率」。バッテリーの自己放電や充放電効率を補正。バッテリーの出力電力量と入力電力量の比。JIS 推奨値は 0.83。

η_{DDO} ：「直流コンディショナ実効効率」。DC-DC コンバータの変換効率。出力電力量と入力電力量の比。JIS 推奨値は 0.90。本システムではコンディショナを使用しないので 1.0。

K_{PT} ：「温度補正係数」。= $1 + \alpha_{Pmax} (T_{CR} - 25) / 100$ 。

α_{Pmax} ：「最大出力温度係数」。結晶系の太陽電池に対する JIS 推奨値（-0.4 ~ -0.5）の中間として、-0.45 %・°C⁻¹。

T_{CR} ：加重平均ソーラーパネル温度（°C）。= $T_{AV} + \Delta T$ 。

T_{AV} ：月平均気温（°C）。

ΔT ：加重平均ソーラーパネル温度上昇。「裏面開放形（架台設置形）」の設置形式の太陽電池に対する JIS 推奨値は 18.4°C。

（ K_{PT} については、 T_{AV} が 27.9°C でも 0.9 なので、0.9 とすれば十分と考えられます。）

以上より、

$$K = 0.97 \times 0.95 \times 0.89 \times 0.97 \times (1 - 0.80 + 0.80 \times 0.83) \times 1.0 \times 0.9 \approx 0.6$$

(6) バッテリー容量の決定

次に、バッテリーの容量を決定します。

日照がなく発電できない場合に必要電力をバッテリーで賄える日数を「補償日数」と呼びます。まず、この補償日数を何日にするかを検討します。次に、バッテリーを最も消費したときに放電深度^[解説2]がいくらになるようにするかを決定します。一般的には、補償日数は3～5日程度、放電深度は50～70%程度の値が取られますが、後に述べるように、ユーザの考え方によって適宜設定します。

これらの値から、以下のようにして求めます。

■ 必要なバッテリー容量の計算

$$\text{必要バッテリー容量 (Ah)} = \frac{\text{1日あたり消費電流量 (Ah/d)} \times \text{補償日数 (d)}}{\text{バッテリー保守率} \times \text{バッテリー放電深度 (\%)} / 100} \\ = 0.8$$

「保守率」とは、経年劣化によるバッテリーの容量低下を見込むための補正係数です。一般に、0.8が用いられます。

補償日数と放電深度を決定する考え方は、以下のようにさまざまなものがあり得ます。

バッテリーは深く放電させると劣化が進みます。そのため、放電深度を小さく設定するほどバッテリーの寿命は長くなります。しかし、バッテリーの必要容量が大きくなるため初期コストは大きくなります。

補償日数を大きく設定すると、単純にはバッテリーの必要容量は大きくなります。しかし、補償日数を大きくするほど、その日数のあいだ連続して日照がないことは稀になりますので、それを考慮して放電深度を大きく取るという考え方もできます。またその逆で、補償日数を小さくすると同時に、放電深度を小さく取るという考え方もできます。

[解説2] 放電深度

バッテリーから電流を取り出すとき、バッテリーの容量に対する、取り出した電流量の割合を放電深度 (Depth of Discharge, DOD) と呼びます。

例えば、容量 100 Ah のバッテリーから、5 A の電流を 10 時間取り出すと、 $(5 \times 10) / 100 \times 100 = 50\%$ の放電深度となります。

ただし、バッテリーは放電する電流の大小により取り出せる電流量が変わりますので、計算上の放電深度が 100% のときに、ちょうどバッテリーの容量がなくなるとは限りません。

このような考え方とコストを勘案して、適宜決定します。

なお、バッテリー容量は「5時間率」や「20時間率」などの表記がされますが、目安として、60Ah程度までは10時間率、それ以上は20時間率の値で選定すればよいでしょう。

(7) 標準的な設計例

以下のような条件を設定して行った設計の例を示します。条件は仮想のものですが、概ね標準的な条件と考えられますので、この設計例を一応の標準と考えてよいでしょう。

- ① 実揚程：40m
- ② 揚水管長：150m
- ③ 使用水量：800 L/日
- ④ 揚水管規格：水道用ポリエチレン二層管 13
- ⑤ 補償日数：3日
- ⑥ 放電深度：50%

手順は、先に述べたように行いますが、ここでは右の図のような表計算シートを用いて行ってみます。なお、このシートは巻末に示す「関連情報提供ウェブサイト」からダウンロードできます。

シートの中で、ピンクの枠の数字が設計者の入力する値です。「ポンプの選定」の中で緑の枠になっている「設計流量」は、入力する値ですが、後で述べるように試行錯誤で決める値です。そして、赤字の数字が計算で求められた値です。

まず、実揚程からおおよそその全揚程の検討をつけてポンプの候補を仮定します。仮定したポンプの性能の情報を入力すると、全揚程と流量の関係が右下の青いグラフに表されます。設計流量の値から圧力損失を計算して実揚程に加えたものが太い黒枠の「計算揚程」で、グラフの茶色の菱形の点が設計流量と計算揚程を表しています。

菱形の点が青いグラフに重なるときの設計流量と計算揚程が、設定した条件での流量と全揚程になります。**点がグラフに重なるのは、計算揚程と、もうひとつの太い黒枠の数字が等しくなるときですので、設計流量の値を加減して二つの数字を合わせます。**

このようにして求めた全揚程が、ポンプの使用範囲に入っていることを確認します。入っていない場合は、ポンプの機種を変更します。

設計流量が決まると、ポンプの消費電流も決まり、ソーラーパネルの必要発電電流とバッテリーの必要容量も決まります。

この設計例では、ポンプは12V用の高揚程タイプ、ソーラーパネルは最大出力動作電流6A程度のもの（公称最大出力100W程度）を2枚、バッテリーは90Ah程度のものを2台選定すればよいでしょう。

■ 表計算シートによる設計の例

ポンプの選定

実揚程 (m)	管長 (m)	使用水量 (L/d)
40	150	800
揚水管内径 (mm)	ポンプ候補	設計流量 (L/min)
14.5	8030-813-239	4.873
	TW実験式 圧力損失 (m)	計算揚程 (m)
	5.1	45.1

ポンプ性能

揚程(m)	流量(L/min)	電流(A)
0	6.28	4.5
7.04	6.13	4.9
14.07	5.87	5.5
21.11	5.64	6.2
28.15	5.41	6.8
35.19	5.19	7.4
42.22	4.96	8
56.3	4.54	9.1
70.37	4.16	10.1
84.44	3.79	10.9
98.52	3.33	11.7
105.56	3.14	12

1日当り消費電流量の算定

バッテリー電圧 (V)	消費電流 (A)	日当り稼働時間 (h/d)	日当り消費電流量 (Ah/d)
12	8.2	2.7	22.1

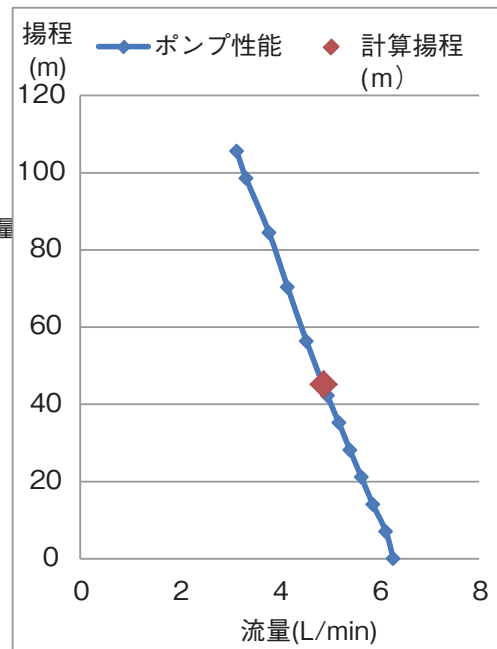
ソーラーパネル出力の算定

総合設計係数	有効日射時間 (h)	必要発電電流 (A)
0.6	3.3	11.2

バッテリー容量の算定

補償日数 (day)	保守率	放電深度 (%)	必要バッテリー容量 (Ah)
3	0.8	50	166

7	42.22	4.96	8
	56.3	4.54	9.1
	45.1	0.2071429	8.2



(8) 充放電コントローラ

制御ボックスの構成機器のなかで最も重要なもので、発電状況やバッテリーの状態によって、充電や放電の状態をコントロールする機器です。

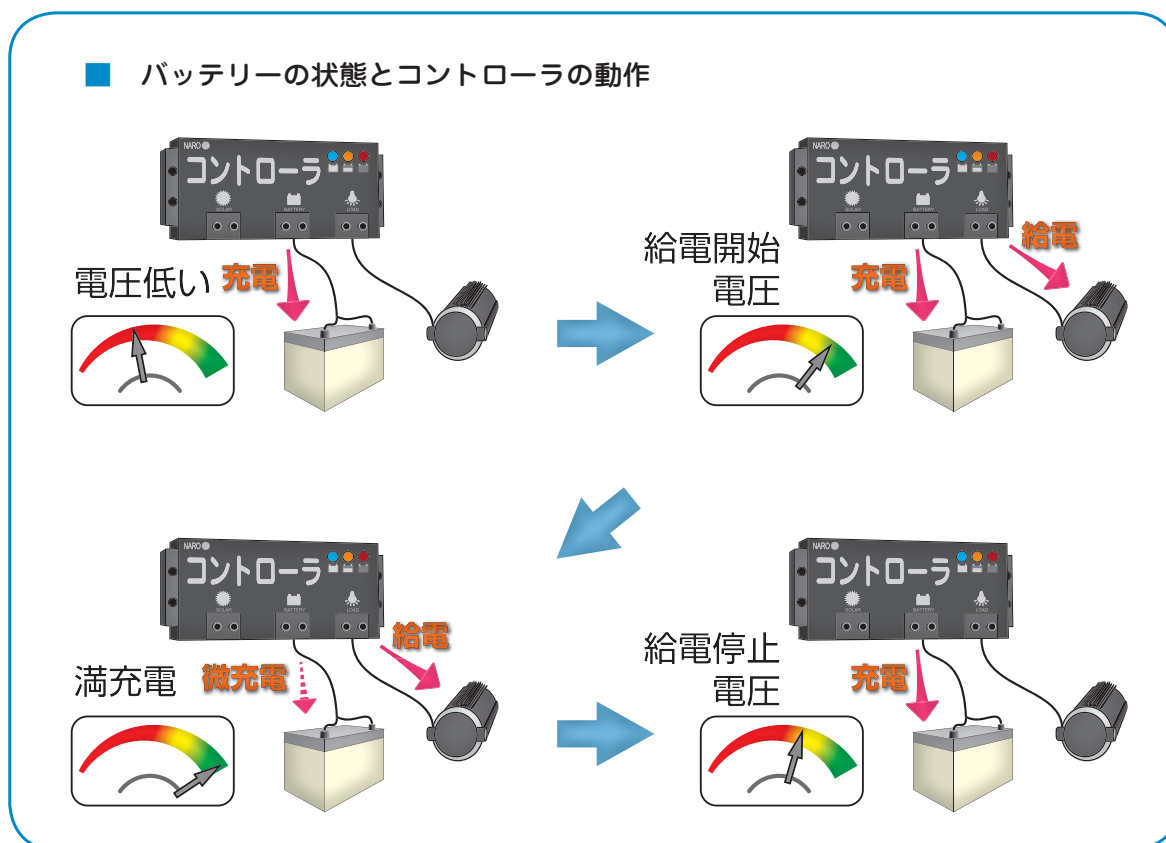
現在、市販されている一般的なコントローラは、大きく分けて以下の2種類です。

- ① PWM 制御方式（PWM：Pulse Width Modulation，パルス幅変調）
- ② MPPT 制御方式（MPPT：Maximum Power Point Tracking，最大出力点追従）

PWM 方式は比較的単純な方式で、この方式のコントローラは一般に低価格（本システムのような規模では1～3万円程度）です。MPPT 方式は、太陽電池の発電効率を高く保てる方式で、この方式のコントローラはPWM方式のものに比べて一般にかなり高価です（本システムのような規模では4～6万円程度）。

MPPT 方式を利用したときの発電量増加の効果を適確に評価することは困難ですが、系統連系形のシステムでは、発電量が売電量に直結するので発電量が増加すればプラスの効果を得られることは確実です。しかし、本システムのような独立形のシステムでは、コストの増加と比べるために発電量増加の効果を適確に評価しなければ、有利かどうか判断できません。これは技術的にかなり困難ですし、小規模なシステムでは際立って大きな効果があるとも考えられないため、現時点ではPWM方式を標準としてよいでしょう。ただし、十分に検討を行わずにMPPT方式を使用したとしても、ある程度のメリットはあると思われるので、ユーザの判断でコントローラを選択を行ってください。

コントローラの機種を選択においては、接続できるソーラーパネルの電圧と電流の最大



値が決まっていますので、これらが使用するソーラーパネルの出力電圧・電流の値以上のものを選びます^[注3]。また、バッテリーとポンプの電圧が12Vか24Vによって、それに適合したものを選びます。

[注3] 充放電コントローラの負荷電流について

充放電コントローラを選定するとき、一般的には接続する負荷に流れる電流の大きさに主に制約されます。本システムでは、制御ボックスの項で示すように、充放電コントローラに直接ではなく、リレーを介してポンプを接続することを標準とします。そのため、充放電コントローラの負荷端子に流れる電流は小さく、選定の際に制約条件とはなりません。

充放電コントローラに直接ポンプを接続しない理由は、①突入電流からの保護、②ポンプが何らかのトラブルでロックしたときの過電流からの保護、③負荷端子がオフになったときの逆起電力からの保護、のためです。

(9) フロートスイッチとケーブル

ヘッドタンクが満水になったら、溢れないようにポンプを停止する必要があります。また、水源が井戸などの場合、水源の水位が下がったときはポンプの空運転防止のためにポンプが起動しないようにする必要があります。そのために、フロートスイッチを使用します。

水源に設置するフロートスイッチはフロートが下がったらポンプへの電力供給が切断されるように設定する必要があります。その逆に、ヘッドタンクに設置するフロートスイッチはフロートが上がると切断されるように設定します。そのため、水源に設置するフロートスイッチは「A 接点」^[注4]仕様のものを使用し、ヘッドタンクに設置するフロートスイッチは比較的入手しにくい「B 接点」のものを入手するか、「B 接点」のリレーを併用するようにします。

また、フロートスイッチと制御ボックスを接続するケーブルが必要になります。大きな電流は流れませんので細い電線でよいのですが、地面に這わしますので、ある程度強度の確保できる太さのものを使用します。CVV1.25-2Cを標準と考えて問題ありません。PF管で保護すれば、より安全です。または、耐候性に優れる、ゴムキャブタイヤケーブルの2PNCT0.75sq×2Cの使用も候補となります。価格は、ゴムキャブタイヤケーブルがCVVケーブルの約2倍であり、CVVケーブルをPF管で保護しても、ゴムキャブタイヤケーブルの方がやや高価となります。

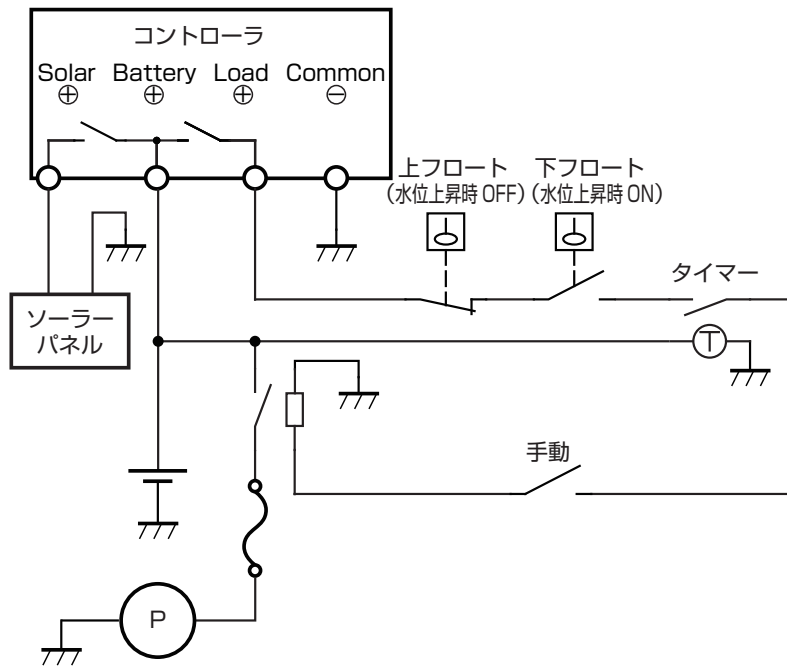
[注4] 「A 接点」と「B 接点」

市販のフロートスイッチは、2本の電線が出ておりフロートが上がったらこれらの電線が導通し、下がったら切断されるものが一般的です。このような、フロートが上がったときにオンになるものを「A 接点」、その逆のものを「B 接点」と一般に呼びます。また、リレーは一次側がオンになったときに二次側もオンになるものが「A 接点」、その逆が「B 接点」と呼ばれます。

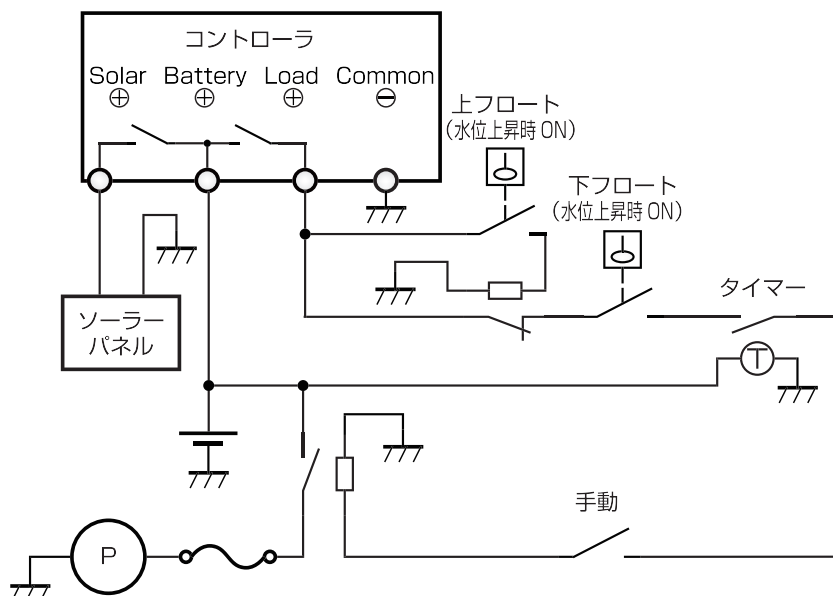
(10) 制御ボックス

充放電コントローラを中心として、タイマーやリレーなどが制御ボックスの構成機器となります。制御ボックス内の配線例を下に示します。

■ 上のフロートに B 接点を使用した場合の配線例



■ 上下のフロートに A 接点を使用した場合の配線例



5.

設置法

(1) システム設置手順の概要

システムの設置は、概ね右の図の手順で行います。ただし、作業の順番にはあまり制限はありませんので、必ずしも図のとおりでなくとも、ケースバイケースで都合のよい順番で行って問題ありません。

(2) ソーラーパネルの設置角度

ソーラーパネルを設置する際、パネルを南に向けて少し傾けて設置するのが一般的です。**傾ける角度は、一律に 30 度**として問題ないでしょう。

一般的には、設置地点の緯度に合わせるのが効率が良くとされます。例えば瀬戸内海沿岸地域の緯度は概ね 34 ~ 35 度です。しかし、設置角度が 10 度程度異なっても、発電量の違いは 1 ~ 2 % とわずかです。そのため、緯度にかかわらず 30 度とするのが一般的です。

(3) ソーラーパネルの架台

ソーラーパネルを設置するための架台を準備する必要があります。市販品などはありませんので、適宜、作成します。ソーラーパネルの重量は、100W 程度のものを 2 枚使ってもたかだか 20kg 程度ですので、重量に対する強度はそれほど必要ありません。しっかりとした「棚」になっていれば充分です。ただし、風による転倒を考慮する必要がありますが、それについては次項で述べます。一般的には、積雪や地震も考慮することとなっていますが、カンキツ栽培への利用を主に考えていること、およびソーラーパネルの重量があまり大きくないことから、これらは省略します。

材料は、「足場パイプ」または「単管パイプ」と呼ばれる外径 48.6mm の鋼管を用いるのが便利です。パイプや、パイプを接続するクランプなどは、ホームセンターなどで容易に入手できます。ただし、市販されている単管パイプやクランプ類には、メッキの方法が異なるものがあります。耐食性を重視したい場合は、「ドブメッキ」または「ド

■ 設置作業の手順

ヘッドタンクの設置

ソーラーパネルの設置
(架台設置を含む)

ポンプの設置

バッテリーおよび制御ボックスの設置

フロートスイッチの設置

配管および配線

ブづけ」と呼ばれるメッキのものや、その他の特別な耐食処理を施した製品を使うことも選択肢となります。また、管の肉厚も異なるものがありますが、太陽光発電の架台に用いる場合には薄いものでも強度は十分ですので意識する必要はないでしょう。

単管パイプの他にも、比較的扱いやすい穴あきアングルを使用したり、溶接作業を簡単に行えるのであればアングルで作成したりするのもよいでしょう。

ソーラーパネルの固定は、専用の金具も市販されていますし、その他、適当な金具や針金、ケーブルタイなどを用いて行います。

(4) 架台に作用する風圧荷重

ソーラーパネルが風を受けると、風向きによっては浮き上がろうとする力（風圧荷重）が働きますので、この力によって転倒しないように配慮する必要があります。風圧荷重は、ソーラーパネルの設置角度によって以下の式で計算します。

■ 風圧荷重の計算^[注1]

- ・ソーラーパネルの設置角度が水平～30°の場合

$$\text{風圧荷重 (kg)} = 101 \times \text{ソーラーパネルの総面積 (m}^2\text{)}$$

- ・ソーラーパネルの設置角度が30°より大きい場合

$$\begin{aligned} \text{風圧荷重 (kg)} = & (60 + 1.35 \times \text{ソーラーパネルの角度 (度)}) \\ & \times \text{ソーラーパネルの総面積 (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

[注1] 風圧荷重の計算式

ここで示した計算式は JIS C 8955 太陽電池アレイ用支持物設計基準に基づき、できるだけ簡略な形としたものです。

(5) 架台の固定

前項の方法で求めた設計風圧荷重に耐えられるように、架台を固定します。固定の方法はさまざまなものが考えられますが、最も一般的と思われるのは足を地面に打ち込む方法です。ただし、この方法は比較的多くの労力が必要であり、また、正しい位置にまっすぐに打ち込むのが比較的困難であることに注意が必要です。

その他、フェンスの支柱などに使われるコンクリート製の基礎ブロックに足を挿してモルタルかコンクリートで固定して、基礎ブロックの自重で固定する方法があります。この

方法は、労力も技術もあまり必要としません。

本システムの規模では、風圧荷重は 160kg 程度までと考えられますので、足場パイプを架台に使える、架台とソーラーパネルの自重の他に、足 1 本あたり 20 ～ 30kg 程度の力の浮き上がりに耐えられるように固定すれば、たいていの場合には問題ないこととなります^{〔解説 1〕}。したがって、20 ～ 30kg 程度の引き抜きに耐えられるように打ち込むか、同じくらいの重量の基礎ブロックを利用することが考えられます。

(6) ポンプの設置

水源の水質に応じて、ポンプの吸込側にストレーナまたはフィルタを設置します。50 メッシュ程度の小型のスクリーンフィルタを基本と考えてよいでしょう。かなりきれいでほとんど異物の混入のない水であれば、ポンプに付属の、またはオプションとして販売されているような小型のストレーナでも問題ありません。

本システムで使用を想定している直流ダイヤフラム式ポンプでは、稼働時に比較的大きな熱が発生します。そのため、雨は避けながら、放熱しやすいように通気を確保できるように設置します。

このポンプは重量が軽いため、ある程度硬いパイプを接続する場合はパイプでポンプを固定するような設置も可能です。しかしその場合、稼働時に比較的大きな振動が発生するため、振動を逃がせるように配慮が必要です。また、軟らかいパイプを接続してポンプの重量だけで固定しようとする、振動でポンプが移動しやすくなります。移動を防ぐには、ボルトなどによって固定する方が確実です。

(7) 配管および配線

本システムは、傾斜地に設置されることが基本となります。斜面にパイプやケーブルを設置する場合、直線部が長くなると、自重で下に引っ張る力が強くなり、各所に無理な力が加わりやすくなります。そのため、必要に応じて、パイプやケーブルを適当な間隔で固定することを検討します。

また、ポリエチレンパイプは温度による伸縮が大きい、それを逃がせるように設置することも必要です。

[解説 1] 標準的な風圧荷重

標準的な水の使用量を, 10a 程度の園地を想定して 1 日に 1000L 弱程度とすると, 使用するソーラーパネルは出力 100W 程度のもので 2 枚となるのが一般的といえます。その場合, 一般的なソーラーパネルのサイズと重量は, $1.2 \times 0.6\text{m}$ 程度で約 8kg です。これが 2 枚だと, 面積は 1.44m^2 程度, 重量は 16kg 程度となります。やや大きめのパネルでは, $1.25 \times 0.65\text{m}$ 程度で, 2 枚の面積は約 1.6m^2 となります。そのとき,

$$\text{風圧荷重} = 101 \times 1.6 \div 160\text{kg}$$

となります。

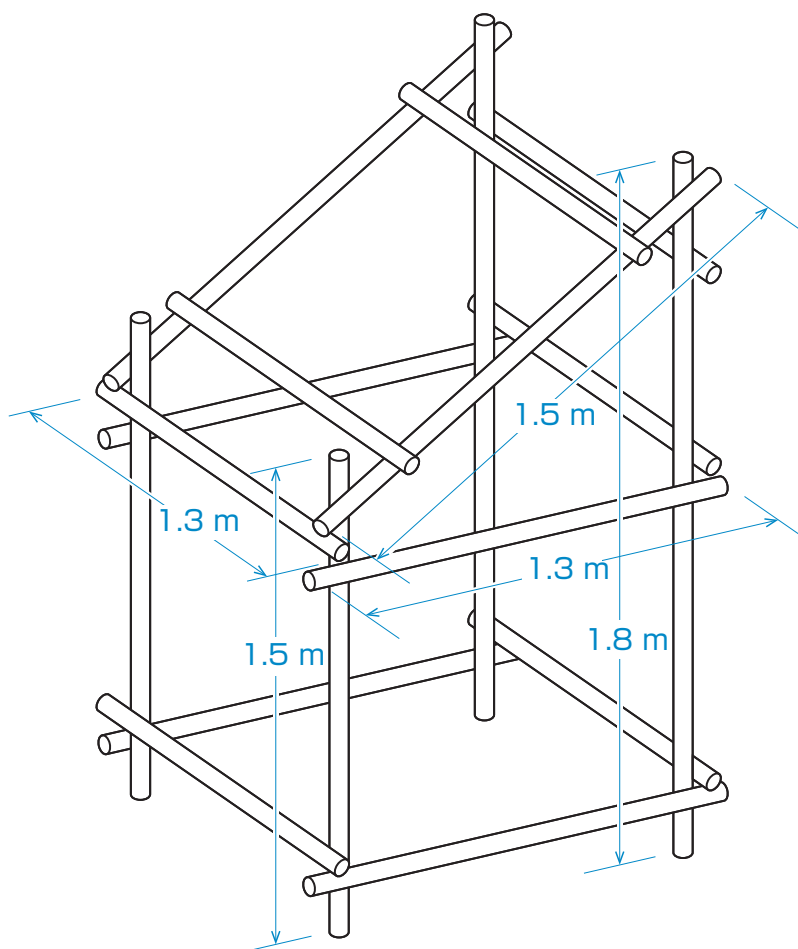
架台の材料には, 直径 48.6mm の単管パイプを用いることとし, その 1m あたりの重量を 2.7kg とします。

一例として, 下図のような架台を組んだとすると, パイプの総延長と重量は,

$$1.3\text{m} \times 11\text{本} + 1.5\text{m} \times 4\text{本} + 1.8\text{m} \times 2\text{本} \div 24\text{m}$$

$$24\text{m} \times 2.7\text{kg/m} \div 65\text{kg}$$

これとソーラーパネルの重量を合わせると, 約 80kg になるので, 足 1 本あたり $(160 - 80) \div 4 = 20\text{kg}$ 程度の力で固定すればよいことになります。



6. システムの管理

(1) 管理の概要

システムの管理は、以下のような項目について行います。

- ① フィルタまたはストレーナの汚れの確認および清掃
- ② 配管の異常の点検
- ③ 配線の異常の点検
- ④ ポンプの異常，劣化の点検
- ⑤ バッテリーの劣化の点検

(2) フィルタまたはストレーナ

適宜，フィルタまたはストレーナの汚れ具合を確認して，ある程度汚れたら清掃します。汚れ方は水源の水質によって大きく異なりますので，清掃の頻度は使用しながら検討します。

また，当初の予想以上に汚れが激しく，あまりにも頻繁に清掃しなければならない場合には，より大きなフィルタへの交換を検討します。

(3) 配管および配線

配管および配線に異常がないか，適宜点検します。

配管は，各継手において緩みや傷みなどによる水漏れが生じていないか，確認します。特にポンプの近くは振動により緩みやすいため注意します。

また，ポンプ吸込側などに透明なホースを使用した場合，ポリエチレンパイプよりも紫外線による経年劣化が早いため，水漏れがなくても傷んでいたら交換します。

配線は，紫外線による劣化や風で揺れることによる傷みなどが生じますので，状況を適宜確認し，必要に応じて補修，交換します。

(4) ポンプ

ダイヤフラム式ポンプは，ゴム製のダイヤフラムの経年劣化により吐出量が減少します。適宜，ヘッドタンクの揚水管出口で吐出量の変化を目視により点検して劣化状況を確認します。明らかに吐出量が減っていたら，交換を検討します。

また、寿命になり動かなくなった場合、ヒューズも切れている場合がありますので、注意が必要です。ポンプが動かない場合、必ずヒューズも点検するようにします。

(5) バッテリー

バッテリーも消耗品であり、劣化状況を確認して必要に応じて交換します。

密閉型ではなく開放型のバッテリーを使用している場合は、適宜液量を確認して減っていれば補充します。密閉型の場合は、補水は不要です。

バッテリーの劣化状況は、充電後の電圧を測ってもわかりません。開放型の場合はバッテリー液の比重を測って劣化状況を調べることができますが、ゲル（ジェル）式や AGM 式の密閉型の場合はできません。そこで、次のようにしてバッテリーの劣化状況を把握します。

バッテリーが劣化すると、充電が始まるとすぐに電圧が高くなって充電が終了し、ポンプが動くとすぐに電圧が下がりポンプが停止します。バッテリーが十分に充電された後、曇天が続いたときに想定よりもずっと早くポンプが動かなくなったら、交換を検討します。

テスターなどバッテリーの電圧を測れるものがあれば、バッテリーが十分に充電されていて日射がないときにポンプを動かしたときの電圧の変化を測ると、劣化状況が概ね把握できます。劣化するにつれて、ポンプが始動したときに電圧が大きく下がるようになります。

書籍

- “減肥を目指した” 露地栽培への点滴かん水導入の手引き，農研機構近畿中国四国農業研究センター，岩手県農業研究センター，2014.
- JIS C 8907 太陽光発電システムの発電電力量推定方法，（財）日本規格協会，2005.
- JIS C 8955 太陽電池アレイ用支持物設計基準，（財）日本規格協会，2011.
- 新太陽エネルギー利用ハンドブック，新太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会編，日本太陽エネルギー学会，2010.
- 太陽光発電システムの設計と施工（改訂4版），太陽光発電協会編，オーム社，2011.
- 独立型太陽光発電と家庭蓄電，角川 浩，パワー社，2011.
- 土地改良事業計画指針マイクロかんがい，農林水産省構造改善局監修，農業土木学会，1994.
- 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，森永邦久・島崎昌彦・草場新之助・星典宏，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，2005.

論文・雑誌

- 傾斜地での点滴かんがいに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・桜井薫・根角博久，日本雨水資源化システム学会誌，第20巻第1号，pp.43-48，2014.
- ソーラーポンプを利用した拍動自動灌水装置の組み立て方法，吉川弘恭・中尾誠司，近畿中国四国農業研究センター研究資料，第7号，pp.21-31，2010.
- 太陽光発電 独立系システムの活用法，中道忠和，建築知識，2000.3，pp.118-119，2000.
- 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，島崎昌彦・桜井薫・根角博久，平成25年度農業農村工学会大会講演要旨集，pp.358-359，2013.

ウェブサイト

- 国土地理院，<http://www.gsi.go.jp>
- NEDO 日射量データベース閲覧システム，<http://app7.infoc.nedo.go.jp>
- 「マルドリ方式施設設計支援システム」情報，<http://cse.naro.affrc.go.jp/shima/muldori/>

関連情報提供ウェブサイト

<http://cse.naro.affrc.go.jp/shima/muldori/solarpump/>

本書に関するお問い合わせは、下記まで。

Email : kankitsu-newteq@ml.affrc.go.jp

農研機構の農村工学研究所および近畿中国四国農業研究センター所属の本技術担当者が対応します。

※農研機構（のうけんきこう）は、独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。

本マニュアルは、農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターが実施する「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立）」（研究テーマ：「マルドリ方式・ICTなどを活用した省力的な高品質カンキツ安定生産技術体系とその実現のための傾斜地園地整備技術の実証」）の支援を受けて作成したものです。

マルドリ方式のためのソーラーポンプシステムマニュアル

2015年2月1日 初版

著者： 島崎昌彦・向井章恵・細川雅敏・星典宏・根角博久
発行者：（独）農業・食品産業技術総合研究機構
農村工学研究所，近畿中国四国農業研究センター
〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6
Tel: 029-838-7513（代） Fax: 029-838-7609



NARO

農研機構

農村工学研究所

近畿中国四国農業研究センター