

最大電力点追従 蓄電池充放電制御器
何故 MPPT が必要とされるのでしょうか



ドイツ、ハイデルベルグを流れるネッカー川で見られるソーラーボート観光船。
ここに 2kW の MPPT コントローラーが船の動力充電用に使用されています。

目次

1.MPPT の動作説明	Page 1
2.太陽パネルと蓄電池の距離関係	Page 2
3.直列、並列結合の例	Page 3
4.MPPT を使った応用製品について	Page 5



株式会社イズミ

<http://www.izumicorp.co.jp/>

〒929-0217 石川県 白山市 湊町 巳
TEL : 076-278-3262, FAX: 076-278-2366
e-mail: mikawa@izumicorp.co.jp

1. MPPT の動作説明

MPPT の動作説明には各社各様の方法で説明がなされてきました。私たちは別の観点から説明努力をしてみます。実際外観価格から、MPPT は何故高価なのか、と、購入を躊躇されているのは事実です。しかし、エコロジー観点から MPPT は必ず今後独立電源用充放電制御器の主流になる事は御存知のはずです。文章が多く、イラストも少ないので、読み辛い発表文ですが、必ずお役に立ちますので、最後までお読み下さい。充放電制御器での MPPT 方式は最近目に付くようになりました。MPPT は Maximum Power Point Tracking (最大電力点追従)の頭文字を取っています。ある条件下では今までの方式(PWM)より大量の電力を引き出せる方法です。本説明はなじみの多い自動車運転に例え、出来るだけ、数式無しで説明しています。

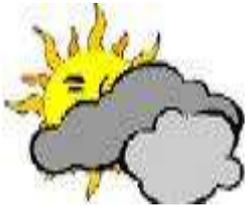
車の運転を思い出して下さい。トランスミッションのギア比を間違えると、タイヤは最大動力をエンジンから受け取る事は出来ません。この状態は、エンジンが目的速度より、速すぎるか遅すぎるかで回転している筈です。トランスミッション(自動車の変速装置、動力伝達装置、変速機)の目的はエンジンとタイヤの間に位置し、エンジン回転数と快適な速度範囲を調整する役目を果たしています。

太陽光パネル(PV)を車のエンジンに例えましょう。PV の電圧をエンジン回転数に例えます。理想的電圧は最大の電力を生み出す事にあります。又この事はパネル用語で Vpp(最大出力動作電圧)とも称されます。この Vpp は太陽の光の強さとセル温度で変化しています。又、車のタイヤの速度は蓄電池の電圧と同等です。蓄電池の電圧はそこで利用される電気器具の消費量と充電量で変化しています。通常私たちが 12V システムと言う場合の実際の幅は 11~14.5V の範囲です。



蓄電池を充電する為には(=電圧を上昇させる)、PV は対象蓄電池電圧より高めの電圧を出さなければなりません。もし PV の Vpp が蓄電池電圧から少し低くなっていれば、電流はゼロとなります。{丁度エンジンがタイヤ速度より低くなっている状態です} この状態を引き起こさせない為に PV メーカーは(例ですが)25°C で Vpp 値 17V を出力させる設計をしてきました。夏になりセルが高温になれば出力は 15V に低下する事が理由です。しかし、冬になれば反対に 18V に上昇する事も事実です。

さて、この Vpp が蓄電池電圧より遥かに高くなった場合、どうなるのでしょうか？ 引き起こされる事実は蓄電池電圧に影響され理想的に PV が出すべき電圧が、引きずり落とされるのです。従来からの充電制御器(=PWM方式)では蓄電池へ PV から直接充電する回路の為折角得られる筈の Vpp を得られていません。例えば 17V の利点を得られないこととなります。



再度車の例えに戻ります。車の変速機は速度とトルク比でその回転数が変化します。低速ギアでは速度は遅いのですが馬力は高くなります。{これは皆さん御存知のはず} : MPPT も同様の仕事を受け持っています。MPPT は最大の電力を蓄電池に送り出す為に電圧と電流の比率を変化させます。PV から余剰の電圧が得られるとなれば電圧を電流に交換させます。PV 側では温度や空の状態で Vpp は常に変化していますので、その状態に追従し、常に最大電力点に調整しています。私たちの MPPT は 7 秒に一回この電力最大点を、車のギア変更と同様に調整している訳です。

理論は御理解頂けたとして、実際の所、実用上のメリットはどうでしょうか？ メリットの大小は、①PV の種類、②気候条件、③負荷の使用量で大きく異なります。Vpp 値が蓄電池電圧より 1V 高い場合、最大の電流を流し込み MPPT の特徴を体感出来ます。しかし夏場では、蓄電池電圧が相当低下しない限りこのメリットは起りません。然しながら、冬場では外気温低下の為 Vpp 値は 18V に上昇し充電能力は大となります。冬場では使用器具が増え MPPT の恩恵で蓄電池は満充電となり得ます。

冬場の例ですが：

外気温 -7°C 、風が吹き、PV 温度は 0°C : この様な場合 PV は 18V を発生。蓄電池電圧を 12V とします。

Vpp と蓄電池の関係は； $18:12 = 1.5 : 1.0$

もし回路上での抵抗ロス、PV セルの問題無しなど、理想的環境であれば充電電流は 50%増加できる事を意味しています。しかし、車のトランスミッションでの伝達ロスは事実ですので、実際の充電増加は 20-30%増しと言われています。



経済面からこの状態を実証してみます。例えば “シャー？社製”ソーラーパネル、ND-146CR の規格には：Vmax 20.23V, Imax 7.23A, W=146W 市場価格 単価 65,000 円となっています。

PWM 充放電制御器の宿命から、もし蓄電池電圧が 12V となっていると、PWM 充電電流は：
 $12V \times 7.23A = 86.76W$ となります。(季節、太陽の位置、気温、各配線距離ロスなどの条件は一切この場合考
えず、理想的な条件で比較しています。) メーカー発表値 146W は得られません。

一方 MPPT 制御器の一般的効率を 95% とすると： $138.7W$ 得られますので $138.7 : 86.76 = 100 : ?$
? の効率は 62.5% となります。つまり得られるはずの電力を実際は得られていません。

もしパネル 65,000 円投資で 140W 程度の電気製品を使用したいとお考えの場合、PWM では 2 枚のソーラー
パネルが必要となります。もし PWM と MPPT 制御器の価格差が 60,000 円程度とした場合(4 万の PWM、
100,000 円の MPPT)、システムの拡張性、そのほかのメリットから MPPT 方式が経済的であるとしか言いよう
がありません。パネルは一枚で二枚買う必要は無いのです。

2. 太陽パネルと蓄電池の距離関係

通常、再生エネルギー全体として、気付くのが遅れるのが、電力供給(電力会社からの供給)で気にもしなかつ
た電線費用に戸惑われる事が多々発生しています。太陽光独立電源をお考えの場合低電圧であり、多くの部
品で構成されています。また電気を溜め込む電池も必要です。

配線計画時、電線による電圧低下は折角得られた電力の効率低下を引き起
こし、意図するところではないので、多くの場合、安全圏を加味して、必要以上の
太さ(重くなるし、高価になる)を考えてしまうのが通常です。この現象は発電パ
ネルと蓄電池の距離が遠ければそれだけ増大し、この説明では、距離と電線の
関係に触れています。



何故この距離をテーマに取り上げたのか？
{以下説明は理解の為の例です。}

低電圧での電線による電圧低下は実際驚くべき事実です。例えば 30A の電流を流すとします。通常の電力会
社の配電の場合 30A なら、目に付くのは 2.6mm 太さの電線 (2 本がビニール被服で覆われているタイプ) で
しょう。家庭電気器具での電線の寸法です。この常識を太陽光発電に置き換えて、考えて見ます。

12V DC 360W を例とします。 $W = A \times V$ ですから $360 = 30 \times 12$: 即ち 30A が流れます。又太陽光パネル
設置場所と蓄電池の距離を 60m と仮定します。御家庭で余っていた 100VAC 用電線 2.6mm 太さを利用す
るとします。2.6mm 直径の銅電線の抵抗値は 1m 当たり 0.0032469Ω と書物に書かれています。直流ですから往
復距離が計算され、延長距離 120m となり、総抵抗値は $0.389 \approx 0.4\Omega$ となります。たった 0.4Ω の電線抵抗で失
う電圧は: オームの法則: $V = A \times \Omega$

$$30 \times 0.4 = 12V$$

つまり、12V システムで、通常の御家庭で使用されている 100VAC の電線では、12V を太陽光が生み出しても、
蓄電池に与えられる電圧は無くなっていると理解されます。これではこの電線は使えないと気が付きます。

実際の場合、このような極端な事ではなく、太陽光パネルも 12V 以上発電しますので、経験上この場合であれば
12A 程度流れています。しかし期待効率は 100% から 40% にダウンする事となり、実行した場合、恐ろしい効率
低下となります。

この現象から、効率を高める為に、何をすべきかを考えた場合、一番初めに思いつくのは太い電線にすれば良
いのでは？ です。(しかし、価格がどれだけ跳ね上がるのかが不安です): 計算してみましょう。
比較的長距離送電の為、完全な電圧低下は阻止できないとし、最大 0.5V(4%) 程度の損失を認める事としま
しょう。以下計算です。

①電線の抵抗値は、 $0.5V / 30A = 0.01666666666\Omega$: この抵抗値は全距離 120m ですので、メーター毎の抵抗値
は $0.016666666 \div 120 = 0.0001388\Omega$ となります。

②ネットでこの抵抗値に近いビニルより線のデータでは、13mm 外径(重さでは 100m で 103kg)のタイプが近く、
最初の家庭での電線 2.6mm の 5 倍近い太さとなります。(2.6mm の電線は単線で 100m = 5.4kg と発表され
ています): 全く同じ条件下での太さ比較ではありませんが、如何に重量が増えているか理解して下さい。

③ネットで価格を調べると 2.6mmx2 本がビニルで覆われた物は 20,000 円/100meter です。120m で総計 24,000 円となります。

④13mm 太さの電線価格はネットで探し出せず、電話であちらこちら問い合わせるとやはり 100meter 当り最低 100,000 円はするだろうとの事。配線工事や、それを保護する電線管代など、実際 13mm 太さを取り付けるのは独立電源工事として、費用、手間を考えれば、絶対不可能といえます。まして、13mm の電線を日曜大工感覚で工事するには安全面から不安です。

結論は他の方法を捜さざるを得ません。

遠距離配電では、通常電圧を高圧にし最終使用地点で、目的の電圧に低下させ、電線コストを引き下げる方法が有効です。3 相交流の場合この方式でステップダウントランス使用で過去から使われています。直流の場合トランスが使えないので、DC-DC 変換等がありますが、高価なものです。この頃の MPPT では変換が最大 150V 迄自由に接続出来ますので、MPPT 制御器は高価な物としても最終的に安価なシステムが見込めます。

さて、話を元に戻し、前述の 12V から 48V で検討してみます。360W を 48V で送電します。(MPPT ではパネル最大発電電圧で操作しますので実際は $V_{pm} 35V$ を 2 枚シリーズ結合で 65V 程度に上昇できます)この電圧上昇方法で、御家庭での 2.6mm 電線を使うとします。前述での抵抗値で、 $5.5A \times 0.4\Omega = 2.2V$ で、実際 $65 - 2.2 = 62.8V$ が MPPT で受け取る電圧となります。この損失は先ほどの許容量 4%より少なく 3.3%で押さえられています。太い電線代金を支払う代わりに、MPPT を利用し、その上効率を上昇させるメリットが現実にある訳です。MPPT の更なる特徴は出力電圧を 12,24,48 と選べる事が可能です。この例で、MPPT の効率を 95%とした場合、 $62.8 \times 5.5A = 345.4W \times 95\% = 328W$つまり 12V 蓄電池に 27.333A が注ぎ込まれたのと同様になっています。

最初に計画した 30A は MPPT により 27.33A の電流値ですが、2.6mm 電線での 12.5A より多く、13mm 電線代金予想 120,000 円は不要で、13mm 100kg の電線工事費用も不要です。13mm の電線を使うにしても PWM 方式の充電制御器は必要なのです。しかし 13mm の電線をそのまま制御器の端子には繋げません。一方 PWM 制御では充電能力は MPPT より劣り、全体的に効率は MPPT の方が高くなっています。

PWM の制御の場合、蓄電池電圧と充電制御電圧を合わせてシステムを組む必要があります。12V 電池なら 12V 用の PWM 制御器と 12V に適した太陽光パネルをシステム化します。この為将来変更には制限があります。一方 MPPT を利用される場合、私たちの場合 150VDC まで受け入れられますので、蓄電池電圧、パネル電圧を自由に組合せられ、その応用範囲の制限はシステムとしての最大アンペア数しか存在しません。その上、アモルファスなどシリコンで無いタイプで高電圧タイプを利用できる経済性もあります。アモルファスは薄く、電圧も高くなっていますが、価格は安いようです。本説明では 12V の低電圧で遠距離を想定し説明しましたが、MPPT によるメリットは遠距離、近距離を問いません。

風力、水力、太陽光に共通の問題は低電圧での長距離送電デメリットです。この電圧を高めにする事でのメリットは(1)MPPT で発電電力をロスなしで蓄電池に送り込める事 (2) 太陽光の場合、パネル枚数を余分に増やす必要はなくなる事(3)電線や工事コストに泣かなくて済む事。 12V 30A での長距離送電は絶対避けるべきです。

3. 直列、並列結合の例

過去には、PWM 制御器の管理で独立電源が成り立って来ました。その場合の常識は、ネットで調べますと以下のように発表されています。

<参考例>

シェ???製の太陽電池「GT1??」を 2 枚並列接続する場合、

●太陽電池 1 枚あたりの出力特性

最大出力: 50(W)、最大出力電圧: 15.9(V)、最大出力電流: 3.15(A)、開放電圧: 19.8(V)、短絡電流: 3.45(A)

●並列接続すると...

最大出力: 100(W)、最大出力電圧: 15.9(V)、最大出力電流: 6.30(A)、開放電圧: 19.8(V)、短絡電流: 6.90(A)

<太陽電池の出力(ワット数)だけでは、チャージコントローラーの選定はできません! >

■チャージコントローラーに接続する太陽電池は、独立型太陽光発電システム用の太陽電池(※)をご使用ください。

※ V_{pm} :最大出力動作電圧: V_{pm} が約 15~19V(12V システム時)。24V、48V システム時はそれぞれ 2 倍、4 倍。

■チャージコントローラーの仕様(最大入力電圧)は、太陽電池の V_{oc} :開放電圧以上が必要です。

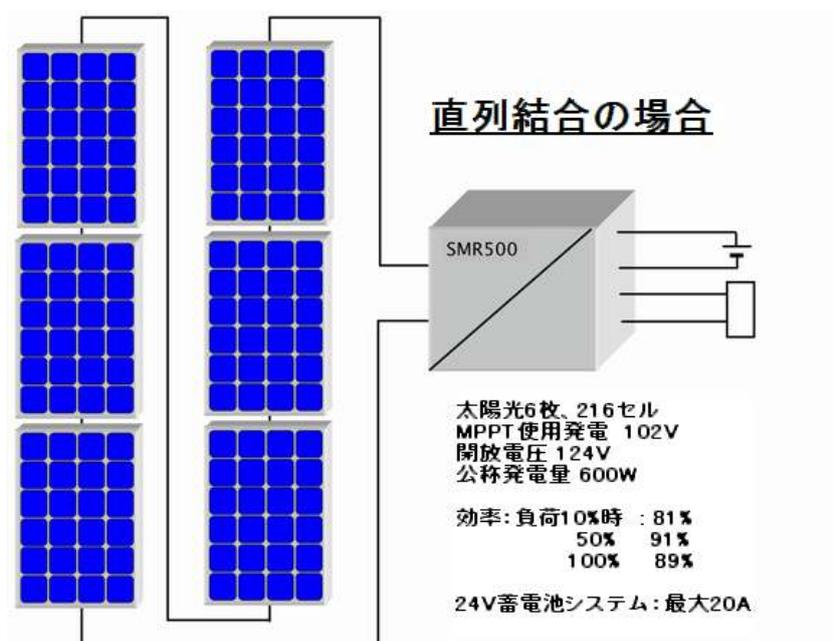
<参考例>

要は、W を上げるには、**平行結合のみ**、また、12V システムなら、12V 用のパネルしか使用できないし、PWM 制御器も 12V 用のみ使用する事。（今では 12/24V 切替可能型は入手できます。）

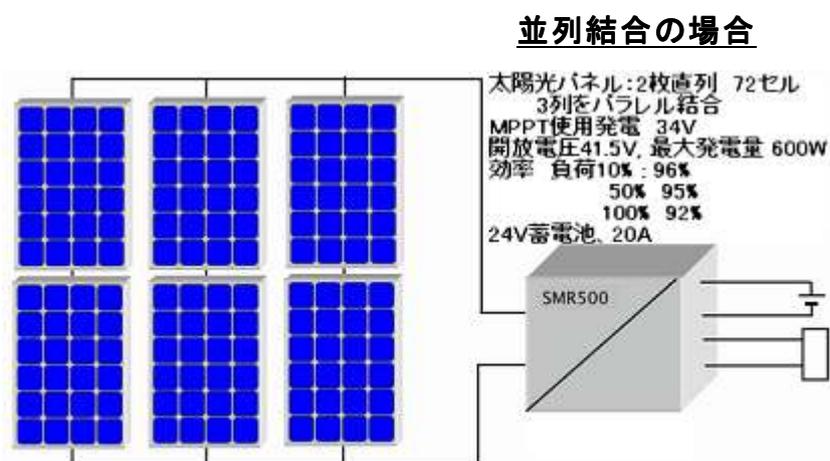


MPPT はこの制限から、もっとユーザーフレンドリーに、システムを組むことができます。

私たちの薦める MPPT 制御器の電圧入力最大は 150V DC 迄となっていますので、総アンペア数にさえ注意すれば、その範囲内で、パネルを、シリーズ結合、平行結合を自由に環境により変更できます。また充電電圧も 12, 24, 48V と切替スイッチで自由に設定できますので、後日のシステム変更に対応可能です。ここが PWM 制御との大きな違いです。



シリーズ結合の場合メーカーは異なっても、同じ仕様のパネルを結合して下さい。{めったに同じ仕様のパネルが異なったメーカーからは販売されないでしょうが} もし少しの差があった場合、低い性能の仕様に全てが引きずり込まれます。高電圧は遠距離送電に適しますが入出電圧の差が大きいほど、効率は低下します。

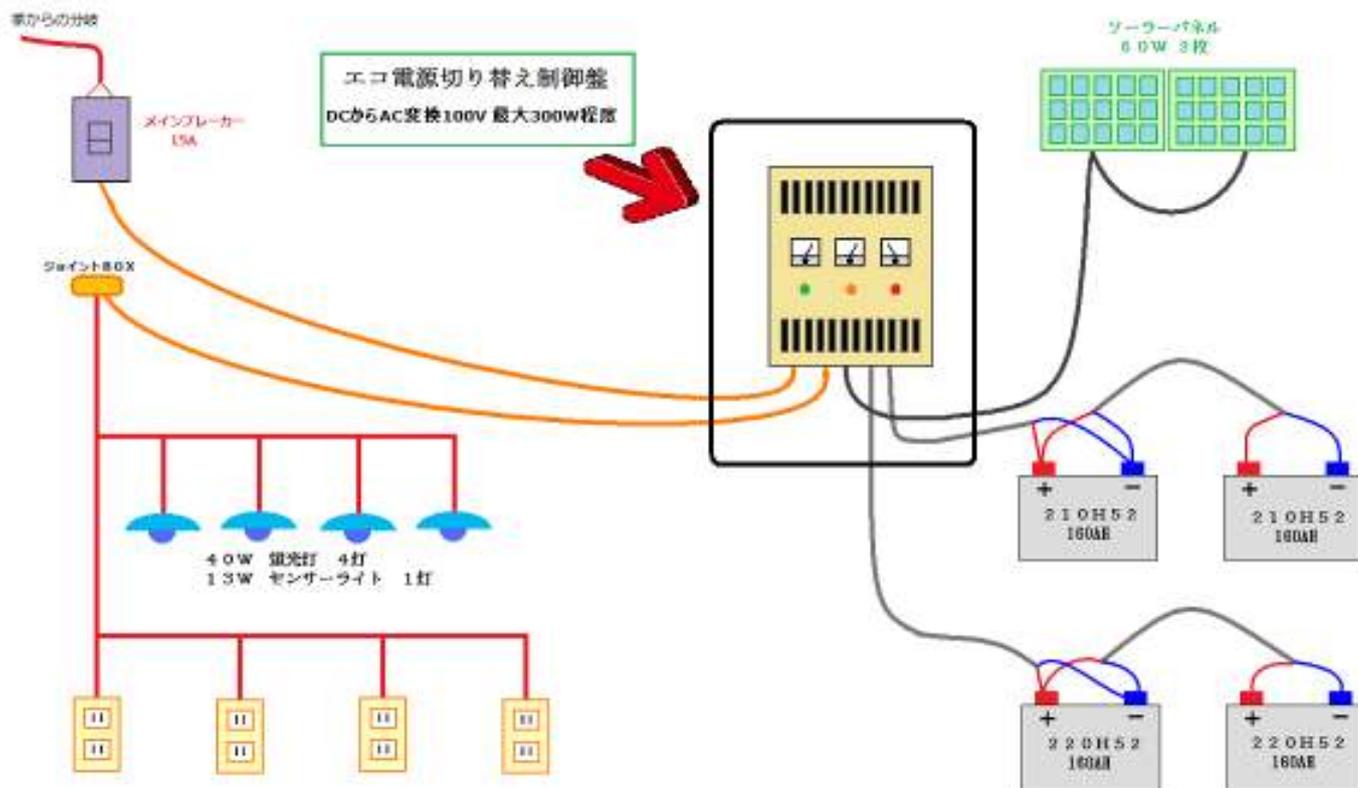


平行結合での注意点は、同じ電圧のパネルを選んで下さい。電流値が少々異なっても構いません。上記の例ではシリーズを更に平行に結合し、電圧を上げ、電流値を増大できる事を示しています。

4. MPPT を使った応用製品について

独立電源で AC 器具を利用される場合、予算{パネル枚数、蓄電池の総容量}には制限がどうしても存在します。雨が5日降り続くので、その5日分を貯める意味は解りますが、予算を見ると、雨2日にしようと心は揺れます。実際には電力会社の AC 電源を既にお持ちの場合が殆どでしょうから、天候不順で、独立電源が使えない場合、電力会社の回路に切替て、独立電源の有効性を高める事も最近見受けられます。私たちの MPPT で充電量を今迄以上に利用し、コスト低下を実現し、天候不順な場合、AC100V の通常の回路に切り替える“エコチャージャー”を考えました。

エコチャージャーの概念



システムとして、機種が決る性質の物ではありません。あくまで、御利用される目的に応じ設計致します。今迄実用化した写真を示します。



次ページに必要な考え方を例として説明します。

エコチャージャーの設計手順

電圧と電力により 3 種類: 目安: 12V × 30A=360W, 24V × 30A=720W, 48V × 30A=1,440W

<p>目的: 蛍光灯 100V AC, 100W を1台 10 時間点灯したい。太陽光発電を利用し、蓄電池に貯めて点灯。雨や曇りが連続したとすると、不足分は関電(中電、北電など電力会社)からの AC100V に切り替え、蛍光灯は使用継続。蓄電池の能力が復帰後、電力会社からの供給を停止し太陽光回路に切り替える。</p>	<p>総必要電力/日 $100W \times 1 \times 10 = 1,000W \cdot \text{日}$ (一日 1kWh)</p>																																				
<p>必要太陽光パネルの計算 演算式: 必要電力 Wh ÷ 3.3 = 必要パネル W 数 $1000 \div 3.3 = 303W \approx 300W$ パネルを最低 3 枚 (3.3=全国平均日照時間) 現実の効率を加味し $300 \div 0.6 = 500W \approx 100W$ 5 枚</p>	<p>必要ソーラー パネル容量: 500W</p>																																				
<p>蓄電池容量計算 蓄電池は自然エネルギー用放電深度の深い物が必要で自動車用は使用不能。放電深度 60%、DC-AC インバーター変換損失 15% $100W \times 10 \text{ 時間} \div 0.85 = 1,180W/\text{日} \div 12VDC = 99Ah \approx 100Ah$ 放電深度 60%を追加 = 166Ah (EB160 あり、しかし 55kg で重たい)</p>	<p>必要蓄電池 160Ah 1 台</p>																																				
<p>電気制御盤価格計算 材料費と加工費に分類</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 5%;">1</td> <td style="width: 45%;">MPPT 充電制御器 15V 40A、560W (*)</td> <td style="width: 10%;">1 台</td> <td style="width: 40%;">¥92,000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>12V AC-DC インバーター 125W</td> <td>1 台</td> <td>¥28,000</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DC 積算電力計</td> <td>1 組</td> <td>¥19,800</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>塗装済制御盤(700x600x200mm)</td> <td>1 式</td> <td>¥250,000</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">内容物</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border: 1px solid black;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 2px;"> 発電中表示灯 DC Vアナログ meter AC Vアナログ meter </td> <td style="width: 50%; padding: 2px;"> 負荷使用中灯 DCA アナログ meter ACA アナログ meter </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"> AC100V 10A 無接点切替機能 ゼロクロス式電源切替機能 </td> </tr> </table> </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>制御盤組み込み加工費</td> <td>1 式</td> <td>¥50,000</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>運賃が加算されます 総計に消費税が加算されます</td> <td></td> <td style="text-align: center;">?</td> </tr> </table> <p>(*)14.5V 20A=280W の場合¥74,000 となります</p>	1	MPPT 充電制御器 15V 40A、560W (*)	1 台	¥92,000	2	12V AC-DC インバーター 125W	1 台	¥28,000	3	DC 積算電力計	1 組	¥19,800	4	塗装済制御盤(700x600x200mm)	1 式	¥250,000	内容物				<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 2px;"> 発電中表示灯 DC Vアナログ meter AC Vアナログ meter </td> <td style="width: 50%; padding: 2px;"> 負荷使用中灯 DCA アナログ meter ACA アナログ meter </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"> AC100V 10A 無接点切替機能 ゼロクロス式電源切替機能 </td> </tr> </table>		発電中表示灯 DC Vアナログ meter AC Vアナログ meter	負荷使用中灯 DCA アナログ meter ACA アナログ meter	AC100V 10A 無接点切替機能 ゼロクロス式電源切替機能				5	制御盤組み込み加工費	1 式	¥50,000	6	運賃が加算されます 総計に消費税が加算されます		?	<p>¥429,000 より上下します。</p> <p>予算により: ゼロクロス式切替をリレーに変更。積算電力計無し、アナログメーター無し。インバーターをサイン波から擬似サイン波に変更: 太陽パネルも少な目から徐々に増やす等で打ち合わせ調整します。</p>
1	MPPT 充電制御器 15V 40A、560W (*)	1 台	¥92,000																																		
2	12V AC-DC インバーター 125W	1 台	¥28,000																																		
3	DC 積算電力計	1 組	¥19,800																																		
4	塗装済制御盤(700x600x200mm)	1 式	¥250,000																																		
内容物																																					
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 2px;"> 発電中表示灯 DC Vアナログ meter AC Vアナログ meter </td> <td style="width: 50%; padding: 2px;"> 負荷使用中灯 DCA アナログ meter ACA アナログ meter </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 2px;"> AC100V 10A 無接点切替機能 ゼロクロス式電源切替機能 </td> </tr> </table>		発電中表示灯 DC Vアナログ meter AC Vアナログ meter	負荷使用中灯 DCA アナログ meter ACA アナログ meter	AC100V 10A 無接点切替機能 ゼロクロス式電源切替機能																																	
発電中表示灯 DC Vアナログ meter AC Vアナログ meter	負荷使用中灯 DCA アナログ meter ACA アナログ meter																																				
AC100V 10A 無接点切替機能 ゼロクロス式電源切替機能																																					
5	制御盤組み込み加工費	1 式	¥50,000																																		
6	運賃が加算されます 総計に消費税が加算されます		?																																		

御提供品は: 制御ボックスのみで、配線、設置、運転などはユーザーの責任で行います

以上

March 2011