

ソーラー電源と AC 電源を 自動切り替えるシステム

— 震災を経験して —

宮城障害者職業能力開発校 新妻 幹也

はじめに

昨年3月の東日本大震災では、大きな揺れによる建物被害や経験したことのない最大級の津波、また、原子力発電所の事故と、私たちのこれまでの生活を考え直さざるを得ない状況に直面しました。とりわけ、電力の問題は、これまで、火力や原子力にウエイトを置いてきた考え方を転換していかなければいけないことにもなってきました。

その対応の一つとして、個人や小さな企業体、学校などでも自ら手掛けられそうなのが、ソーラー発電のシステムです。筆者も、微力ながら、昨年5月ぐらいから、小規模なソーラーシステムを導入して、運用実験を行ってきました。その結果得られたいくつかの経験を基に、実用的な小規模ソーラー発電システムについてレポートしてみたいと思います。

1) 最初に構築したソーラーシステム

まず最初に手掛けたのが、15Wほどのソーラーパネルと12V-12Ahバッテリーを組み合わせた、最も単純な蓄電システムでした。昼間バッテリーに蓄えた電力を使って、LEDを使って改造した室内シーリングライト（DC12V駆動）と、12Vで直接使える19インチデジタルテレビを動かすことでした。

この程度でも、1日3時間ほどの運用をほぼ、毎日続けることができました。

これは、思ったよりもうまく運用できると感じ、パネルに120Wのものを導入し規模を拡大することにしました。



発電状態モニターパネル



120W ソーラーパネル（一階の屋根に設置）



12V 50Ahの密閉型バッテリー

2) 車用DC/ACインバータを使ったシステム

現在の電化製品ではDC12Vで直接使えるものはほとんどなく、ソーラーパネルのワット数を大きな

ものにしても、発電した電力を使いきれません。個人が構築するシステムでは、電力会社への売電システムにはできませんので、作った電気は個人ですべて消費しなければなりません。そこで、次に構築したシステムでは、ソーラーパネルを120Wのものにし、バッテリーも50Ah(室内用密閉型)のものにし、車用のインバータを使って、AC100Vの電化製品も使えるようにしました。

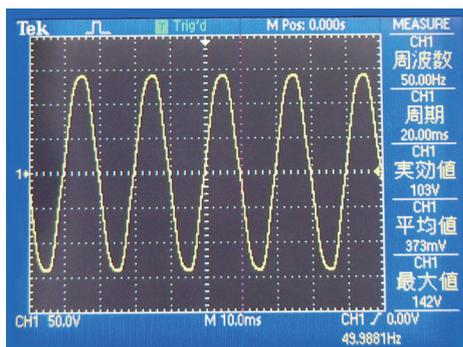
通常自動車に使うバッテリーは、充電中に水素が発生し、室内で使うには危険なので、室内で使うときには、価格は高くなりますが、今回使ったような密閉型で水素の発生がないものを使います。

車用のDC/ACインバータは300Wクラスのものだと、3000円程度で購入できます。

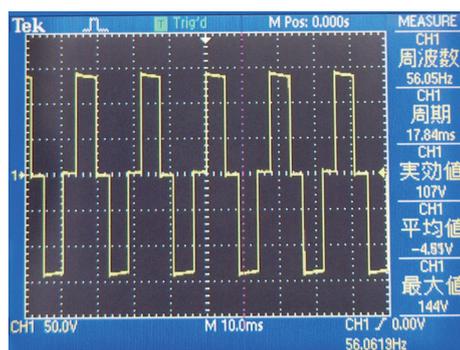


300WクラスのDC/ACインバータ

ただ、それらの製品が出力する波形は、家庭用コンセントに來ているAC波形とは異なり、矩形波(+ -は約50Hzで変化する)になっています。製品仕様にはこの波形を疑似正弦波と記述しています。この疑似正弦波は、ほとんどのAC電化製品では問題なく使うことができます。



家庭用AC波形



インバータの波形

私がいくつかの電化製品について実験した結果は次の表のとおりです。

試行電化製品	動作	動作電流(A)	備考
携帯電話ACアダプタ	○	0.62	
27Wインバータ蛍光灯	○	2.5	
MacBook (13インチ)	○	3.9	
i-Pad ACアダプタ	○	1.2	
Iiyama20インチ液晶モニター	○	3.72	
東芝60W LEDシーリング	○	6	
白光20Wはんだごて(安定時)	○	2.13	
KENWOOD 3A安定化電源機	△	—	スイッチング音
東芝26型地デジTV	△	5	スイッチング音
アンテナブースタ	○	0.98	
I/Oデータ5ポートハブ	○	0.93	
ONU光アクセス装置	○	0.6	
インターネット光終端モデム	○	1.2	
YAMAHA エレクトーンEL100	○	2.4	
パナソニック6.9W LED電球	○	0.92	
ONKYO A-973アンプ	○	2	
Canon レーザープリンタ LBP5200	×	—	電力不足

当然のことですが、使用するインバータの制限ワット数以下のものでなければいけません。

300Wから500Wクラスの比較的安価なインバータではワット数の大きい、電子レンジ、ドライヤー(温風使用)、レーザープリンタ、エアコン、こたつなどを動かすことはできません。

それでも、表のように、かなり多くのAC電化製品を利用することができるのがわかります。

ちなみに、ノイズ等の影響も出ないような、完全な正弦波を出力するインバータは、3万円以上もします。

3) システム運用による節電効果と問題点

このシステムを毎日運用し、電力使用量の半年間の対前年比を私の個人宅で見ました。その表は次のとおりです。約20数%の節電になったことがわかります。この節電分には、蛍光灯電球をLED電球に変更した効果等も含まれています。とはいえ、思ったよりも良い効果が出たと思っています。

	平成22年	平成23年	前年比	削減率
5月分	333	256	77%	23%
6月分	274	203	74%	26%
7月分	347	264	76%	24%
8月分	385	279	73%	28%
9月分	349	258	74%	26%
10月分	267	212	79%	21%
11月分	322	229	71%	29%
12月分	317	297	94%	6%

電力使用量の対前年比 (kWh)

しかし、予期せぬ問題点も出てきました。その問題点は、次のようなことです。

- ①天気の非常に良いときは、バッテリーが満充電状態になり、発電した電力を使いきれず無駄にしてしまう
- ②天気が良い日になるだろうと想定し、昼間にバッテリーにいくつかの負荷をつなぎ電力を使いながら発電をすると、途中で日が陰り、発電量が使用量を下回り、バッテリーが過放電状態（バッテリーの電圧が異常に下がるまで放電を行うこと）になり、バッテリーを劣化させてしまう

このような問題は、運用するまで、想定することはできませんでした。上記のような①、②の問題は、ちょうど相反することによるものです。特に②の問題は①を解決しようと試みたためですが、かえってバッテリーの劣化という思わぬ代償をはらわされることになってしまいました。バッテリーが劣化すると、十分に電気を貯めることができず、すぐに満充電状態になってしまい、結果的に公称容量の半分以下のバッテリーになってしまいます。

写真のような、過充電、過放電を監視し、自動的にバッテリーへの充電や、バッテリーからの放電を

コントロールしてくれる装置も付けていますが、負荷電流が、10A程度で、300Wのインバータを接続することはできません。また、インバータ電源とAC電源を切り替えたりしてくれる機能もありません。



チャージコントローラ

そこで今回は、これを解決するシステムを考案しました。と言っても特別難しいシステムではなく、ソーラー発電に余裕があるときは、積極的にバッテリー+インバータによる電力を使い、逆にバッテリーの電圧が下がったときには、通常のAC電源に切り替えてやろうというものです。

個人的には、せっかくバッテリーをつないだ蓄電システムにしているので、昼間ためた電力は夜間の使用にも、とっておきたいと思っています。

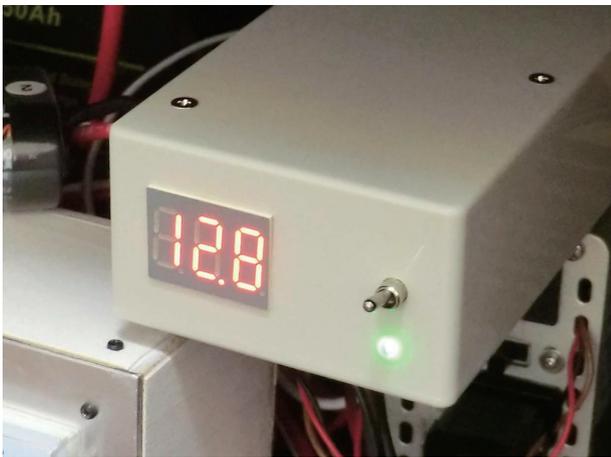
しかし、発電量を昼間ずっと監視して運用することはできないので、なるべく無駄のないよう電力を使うために、このシステムを作って使うことにしました。つまり、「昼間に余剰の発電があるときは、昼間から積極的に発電した電気を使う」ということです。

4) インバータ電源 / AC電源自動切り替えシステム

上記のような考え方で、効率的に電力を使うためには、次のような考え方を導入し、それを自動的に切り換えることにより実現します。



インバータ/AC 切替機本体内部



運用中の本体

- ① バッテリーの電圧をマイコンで監視し、11.3V以下になったら、インバータを止め、通常のAC電源に切り替える。
- ② バッテリーの電圧が、12.7V以上になったら、再びインバータを起動し、インバータAC電源に切り替える。

この場合、インバータ電源をOFFするときとONにするときの電圧が異なります(プログラム中に記載)が、これは、たとえば、バッテリー電源が11.3V以下になってインバータを止めると無負荷状態になり、すぐに12.0Vぐらいまで電圧が回復するためです。しかし、この程度の電圧で再びインバータを駆動すれば、また、11.3V以下になってしまうため、結果として充電が行われない状態で、切り替えが頻繁に行われてしまい、現実的でないためです。ソーラーパネルに太陽光が当たり充電が開始さ

れば、再び、12.7V以上になってきますから、そこで再びインバータ電源に切り替えてやろうというものです。

5) 自動切り替えのための回路

この切り替えシステムの要となるのは、バッテリーの電圧を監視することです。これには、マイコンを使います。今回は、電圧のモニターを行うなどの必要最小限の機能を実現できる機能を満たすマイコンとして、A/Dコンバータを備えたPICマイコン16F819を使うことにします。実際のバッテリー電源をモニターするため電圧を表示する機能も付けました。通常7seg表示にはMC14511などのドライバーを使いますが、部品点数を減らすために、今回は使用していません。また、ACを切り替えるリレーには、接点容量が5A以上のパワーリレーを使います。回路図は30ページのとおりです。

また、プログラムは次のようにしました。

インバータをOFFするときの電圧、11.3VやONするときの電圧12.7Vは、私の経験値であり、絶対的なものではありません。もっと、バッテリーの放電深さ(深いとは、バッテリーをより使いきる方向)を小さくしたいときは、OFFするときの電圧を11.5V～12.0V程度にしてもよいでしょう。より深い放電を行うと、一般的にはバッテリーの寿命は縮むようです。

プログラムでは、電圧のチェック頻度を抑えるため、電圧表示のルーチンをloop変数により、64回繰り返しています。このループを入れなければ、電圧チェックはほぼリアルタイムに行われますが、電圧の表示が頻繁に変動することがあります。

回路が完成して、マイコンにプログラムを組み込んだら、マイコンをソケットに装着し、電源部分に電圧をモニターできる安定化電源を接続し、電圧を12.0Vに設定し、回路に流します。

回路が正しく動いていれば、3桁の7セグLEDに数字が表示されます。数字が表示されている状態で、50kΩの半固定抵抗を回し、電圧が、小数点第1位まで合うように調整します。

```

//-----
//PIC16F819 A/D 変換機能を使った
//インバータ切り替え機（電圧計付き）
//（4511 使わない カソードコモンLEDバージョン）
// 2012/1/9 Programed by Mikiya Niitsuma
//-----
#include <16f819.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOBROWNOUT,PUT,N
OMCLR,NOCPD,NOLVP,CCPB2
#use delay (clock=20000000)
#byte RA=5
#byte RB=6
#bit ra_4 = RA.4//リレー駆動ポート/電圧状態モニター用LED

void main()
{
    long v,loop;
    const long stop_v=113,start_v=127;
//シャットダウン電圧 stop_v, スタート電圧 start_v
    int j,k,keta[3],amari;
    byte seg[]={0x77,0x41,0x6e,0x6b,0x59,0x3b,0x1f,0x61,0x7f,
0x79,0x0};
    byte data,dketa,kaiketa,jyoutai,memo;

    set_tris_a(0x01);//RA0 以外は出力ポートとする
    set_tris_b(0x00);//RB ポートはすべて出力ポートとする
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
//ADCのクロックを内部クロックに設定
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
    setup_adc_ports(RA0_ANALOG);
//AN0のみアナログ入力に指定

    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32);

    RB=0;
    jyoutai=1;
    ra_4 = 1;
    memo = 0x10;
    while(1){
        set_adc_channel(0);

```

```

delay_us(20);
v = read_adc();

//各桁の数字をketa[]に入れる
keta[2]=v/100;
if(keta[2]==0) keta[2]=10;//3桁目のゼロサプレス
amari=v % 100;
keta[1]=amari/10;
keta[0]=amari%10;

//もし電圧が設定に達したら
if(v<=stop_v){
    ra_4 = 0 ; memo = 0;
    jyoutai=0;//インバータが停止状態を示す変数
//電圧表示に --- を表示して10秒間待つ
    RA=0x0e;
    RB=0x08;
    delay_ms(10000);
}
if(v>=start_v && jyoutai<=1){
    ra_4 = 1 ; memo = 0x10;
    jyoutai=2;
}
//電圧チェックを頻繁に行わないため
for(loop=0;loop<64;loop++){
//電圧7seg表示
for(k=0;k<16;k++){
    dketa=0x02;
    for(j=0;j<3;j++){
        if(j==1) data=seg[keta[j]] | 0x80;
        else data=seg[keta[j]];
        RA=dketa + memo;
//↑リレーポートの情報を重ねるため + memo
        RB=data;
        delay_ms(3);
        dketa<<=1;
    }
}
}
}
}

```

おわりに

3月の震災では、当校でも、大きな揺れに見舞われ、すぐに停電し、寮に設置されている自家発電装置の燃料も夜10時半過ぎには尽きてしまい、その後は長く停電が続きました。幸い11日が修了式であったため、寮には訓練生もいない状況でしたので、大きな問題にはなりませんでしたが、もし、通常の訓練期間であれば、大きな問題になっていたことは否めません。

もちろん、電気以外にも、水、ガス等のインフラの復旧にも時間がかかり大きな問題になり得たことでしょう。

それらの問題に対して、1つ1つ、できることから備えていくことが求められると思います。

今回のシステムは、一般的に何百万円もかかる売電を伴うソーラーシステムではありませんが、かなり少ないコストから始められるというメリットがありますし、大きな電力ではありませんが、何よりも、停電時の夜でも問題なく使えます。これは、バッテリーを使っているシステムなので当たり前のことではあるのですが、照明やテレビだけでも、停電時に

使えることはありがたいことです。最近の光電話用のモデムなどは、AC駆動なので、停電すると電話もインターネットも使えなくなります。今回のシステムでは、それも問題なく使えます。かかる費用は、ソーラーパネルとバッテリー、インバータ、その他数千円のパーツ代だけです。ソーラーパネル、バッテリーの大きさにもよりますが、120W級のパネルを使っても、5,6万円で構築できます。

現在ある、多くのAC電源用の電化製品を使うためにインバータを使ったシステムを構築しましたが、使用する電化製品の多くは、ACをDCにして使っているものも多く、インバータを使わず、ダイレクトにDC電源を使うようにすれば、DC→AC→DCによる電力損失も少なくできます。これからの時代、DC12V機器が増えてくれば、もっと使用電力を減らせることも期待できます。

さらに、このような、小規模なシステムであっても、全国の各家庭の多くで実施されれば、全体として大きな節電効果が得られるのではないのでしょうか。

訓練の現場においても、今後、電力システムに関するテーマを取り上げるきっかけになれば幸いです。

AC／インバータ切替装置全回路図

