

太陽光発電ブローア

A solar blower

土屋 幸男 大久保 香織

Yukio Tsuchiya Kaori Ohkubo

八戸工業高等専門学校

Hachinohe National college of Technology

キーワード：太陽光発電ブローア (solar blower) , インバータ制御 (Inverter control) ,
PI 制御 (proportional plus integral control)

連絡先：〒039-1192 八戸市田面木字上野平 16-1 八戸高専 電気工学科

Tel:0178-27-7280, e-mail:tsuchiya-e@hachinohe-ct.ac.jp

1. はじめに

太陽光発電はクリーンで無尽蔵なエネルギー源として魅力的であり、社会への普及が著しい。また地球温暖化の原因となる温暖化ガス削減の1つの方策としても重要である。

太陽光発電はその出力が日射強度に依存することより、発電エネルギーを有効に利用するために系統連系型もしくは蓄電池を備えた独立型の技術が考えられている。

本論文は後者の技術に属し、太陽光発電電力に見合う出力でブローアの回転数を制御しながら蓄電池電圧を管理する太陽光発電ブローアの1つの制御方式を提案する。ここでは太陽光発電電力はブローアの消費電力、蓄電池充電電力、ブローア制御用インバータ及び制御装置の消費電力を賄うことを前提としている。

なお太陽光発電ブローアは例えば住宅建物、栽培用温室、各種乾燥室の換気装置や養魚場、河川そして曝気槽等のエアレーションに使用することができ、これらの用途は広い。以下では太陽光発電ブローアの制御原理として採用した①開ループ制御と②閉ループ制御の2つを示し、これらの比較を行う。

2. 制御方式

2-1 太陽光発電ブローアのシステム構成

本論文で述べる太陽光発電ブローア (図1) は、太陽電池の最大出力点近傍を追跡しながらブローアの回転数を制御する独立型の制御システムである。主要部品は太陽電池 (150Wp)、蓄電池 (12V, 120AH×2 個直列)、インバータ、三相誘導電動機型ブローア (4 極, 200V, 60Hz, 90W) である。

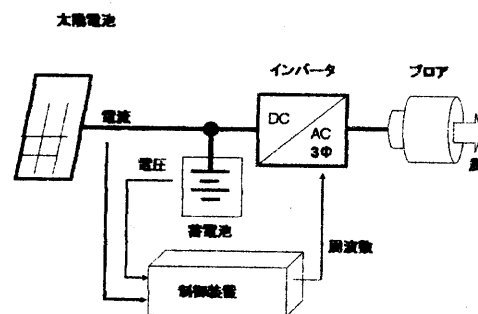


図1 太陽光発電ブローア

2-2 開ループ制御方式

プロアの駆動のための周波数指令値を太陽電池の出力電流の関数としてあらかじめ与える方式である。ここではフィードバック制御は行わない。またインバータの自動立ち上げや立ち下げに関するプログラムをあらかじめ定めている。

まずプロアの軸動力は回転速度の3乗に比例する。すなわち太陽電池の出力（電圧をほぼ一定と考えるとこの場合、電流 I ）の3乗根とインバータ出力周波数 f は線形関係にある。さらにインバータの損失電力も同じく線形関係にあると仮定する。結果として周波数 f と出力電流 I を(1)式で表す。ここで a, b および c は定数であり実験より決定する。

$$f = a\sqrt[3]{I} + bI + c \quad \text{for } I_{\min} < I \quad (1)$$

$$f = 0, \quad \text{for } I \leq I_{\min} \quad (2)$$

(2)式は、太陽電池の出力電流が規定の値 I_{\min} より低い場合、プロアを停止し、蓄電池を充電状態にすることを意味する。もしもこの制約項がなければ朝、夕の低出力時や曇天時でもプロアが動作するので蓄電池は放電状態に入る。この状態で長時間運転を続けると、蓄電池の寿命が縮まる。また、 $I_{\min} < I$ の状態では I_{\min} は蓄電池の充電電流に相当する。

図2は閉ループ制御に関する電流 I と周波数 f のイメージ図である。

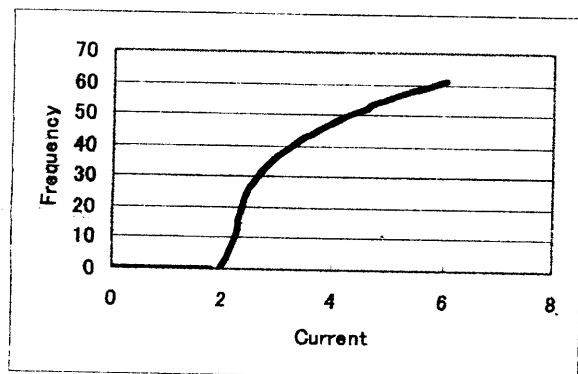


図2 開ループ制御方式

2-3 閉ループ制御方式

プロア負荷電力、インバータ損失、制御装置損失電力とインバータ周波数の関係を示す(1)式や(2)式は定性的なものである。実際の運転では日射の急激な変動や朝夕の立ち上げ、立ち下げに伴う制御装置の損失も考慮する必要がある。

プロア負荷電力、蓄電池充電電力および制御装置と太陽電池出力電力に不整合がある場合は、この不整合電力の差を蓄電池が吸収する。結果として蓄電池には充・放電に伴う電圧変動が生じる。すなわちシステムの安定化のためには(1)式や(2)式の他に蓄電池の電圧管理を行う必要がある。

そこで蓄電池の電圧を一定に保ちながらプロア出力と太陽電池出力の整合を取るために、前項の開ループ制御方式に、蓄電池電圧一定を図るP I制御を追加する。図3はこの制御方式のブロック図である。ここで I, f は前述の通り。 V は蓄電池電圧、 V_{sv} は蓄電池の目標値電圧、 MV or Δf はP I制御の出力すなわち操作量、 EV はサンプル時の偏差、 f^* は $f + \Delta f$ である。インバータへの周波数指令値 \tilde{f} は f と f^* の切り替えである。

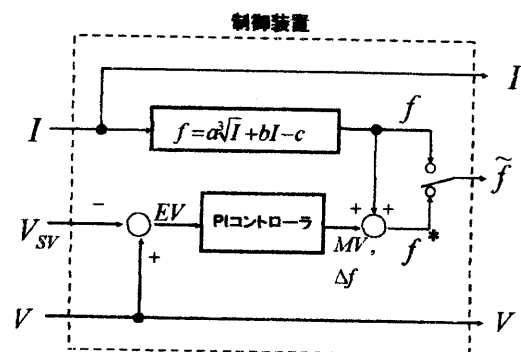


図3 閉ループ制御方式

2-4 P I 基本演算式

速度形の P I の基本演算式を以下に示す。

$$EV_n = V_{SV} - V \quad (3)$$

$$\Delta MV = K_p \left\{ (EV_n - EV_{n-1}) + \frac{T_s}{T_I} EV_n \right\} \quad (4)$$

$$MV_n = \sum \Delta MV \quad (5)$$

ここで EV_n は今回サンプル時の偏差、 EV_{n-1} は1周期前の偏差、 V_{SV} は蓄電池目標電圧、 K_p は比例ゲイン、 T_s はサンプリング周期、 T_I は積分時間、および MV_n は今回の操作量である。

3. 実験結果

3-1 開ループ制御方式

図4は開ループ制御の一例である。本図は記録計の出力であるので図の右から左の方向へ時間が経過している。

まず太陽電池の出力電流 ② は04:30頃から開始し、19:00前まで継続している。

また蓄電池電圧 ③ は、夜間は制御装置等の電力消費のため時間の経過とともに低下しているが、太陽電池出力の上昇のために08:00頃に蓄電池電圧 ③ が24Vに達した時点でプロアの運転(周波数指令値 f の出力) ① が開始し、15:00頃に ③ が24Vを保持できなくなるまで続いている。

このようにプロアの運転と停止は蓄電池の電圧で決定するプログラムに従うので、太陽電池の発電電力のピーク値を挟んで時間的に非対称になっている。また蓄電池電圧 ③ は約24Vを挟んで振動している。

さらに14:00から15:00にかけては出力電流 ② の減少に伴い、蓄電池電圧 ③ とプロアの運転 ① がオン・オフ制御に伴うハンチングがみられる。なおプロアが消費電力量は0.24kWh/日である。

3-2 閉ループ制御方式(1)

図5は(1)式や(2)式に蓄電池電圧の P I (定電圧) 制御を実施した結果である。この日は理想的な快晴日であり、蓄電池電圧 ③ は日中ほぼ一定に保たれている。

プロアの運転 f^* ① は06:00過ぎから15:00頃まで続いているが11:00頃のピークを境に対称になっている。この日のプロアの消費電力量は0.45kWh/日である。日射条件が異なるので図4との単純な比較はできないが、プロアの消費電力量では格段の開きがあり P I 制御の効果がよくわかる。

3-3 閉ループ制御方式(2)

図6は午前曇り、午後快晴の日の特性であるが、午前は蓄電池電圧 ③ の変動が見られる。これは日射がかなり低下した場合、プロアを切り離すことで蓄電池電圧が上昇し、その後、日射回復により負荷投入があり、電圧変動が生じる。午後からはほぼ安定した特性が見られる。このように天候が変動する場合でも P I 制御が効果的であることがわかる。プロアの消費電力量は0.21kWh/日である。

なお ① は閉ループ制御で計算された出力周波数 f^* であり、一方、 ⑤ は開ループ制御から計算された出力周波数 f の値である。ただし ⑤ 側の出力は記録計の印字のみとし、プロアの運転には使用していない。このときの(1)式の係数 a, b および c は3-1とは異なっているが、ほぼ図2の特性を満たしている。

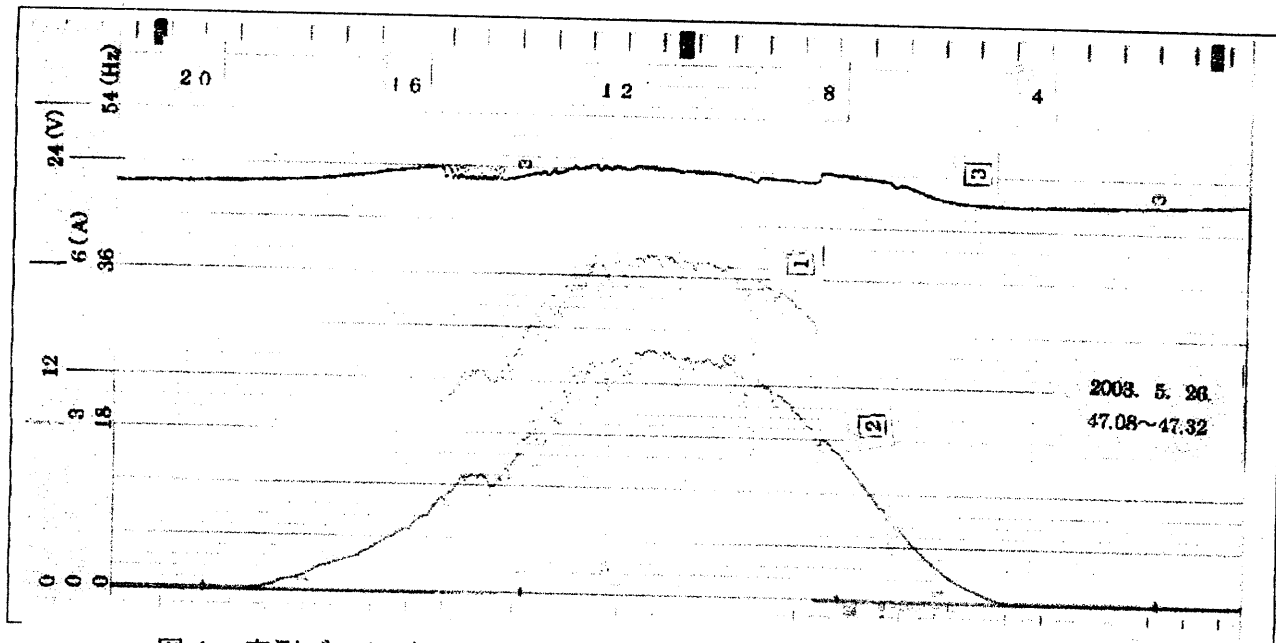


図4 実測データ (開ループ制御方式、平成15年5月26日、八戸高専)

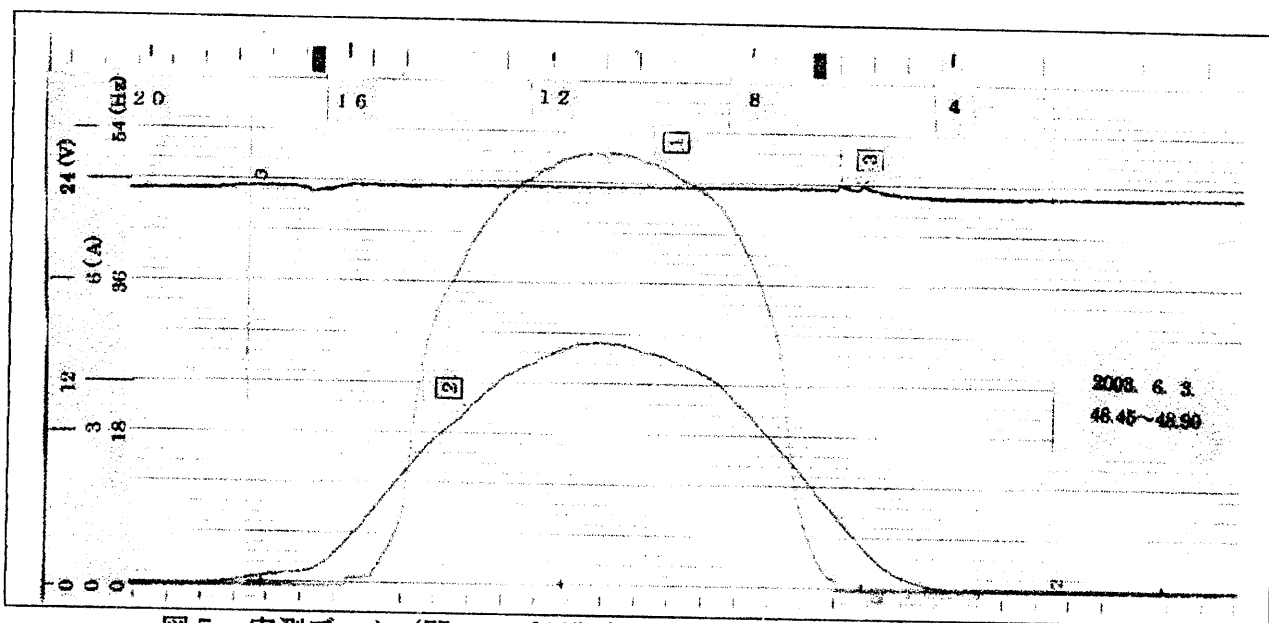


図5 実測データ (閉ループ制御方式、平成15年6月3日、八戸高専)

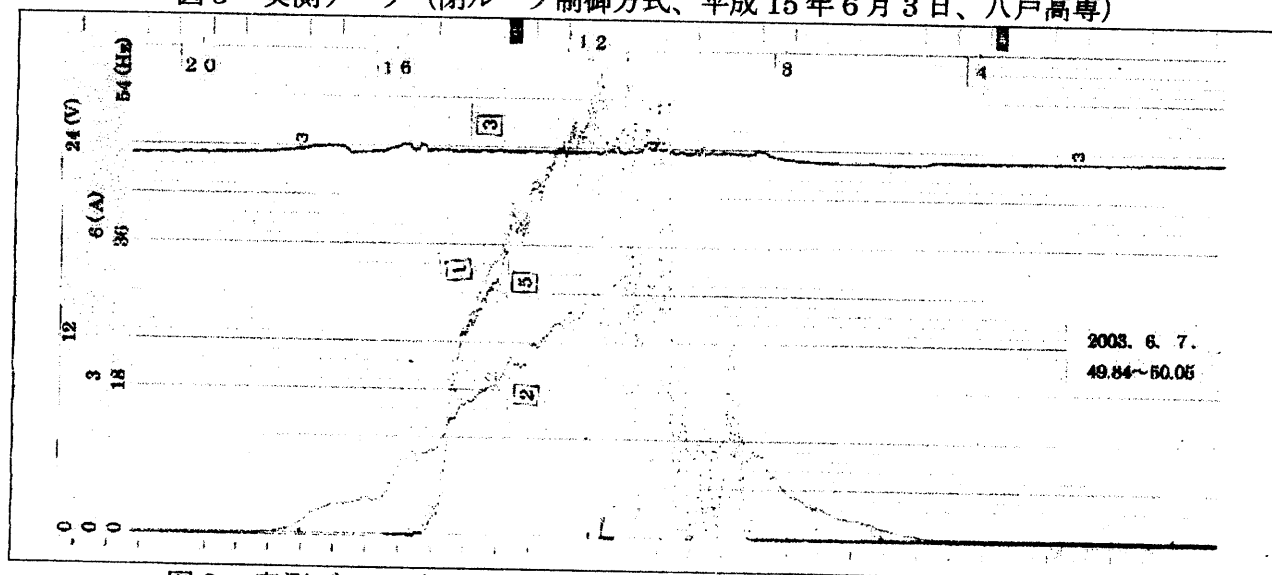


図6 実測データ (閉ループ制御方式、平成15年6月7日、八戸高専)

4. まとめ

本研究を通じて以下の知見を得た。

- ① 蓄電池を使用する太陽光発電プロアの制御方式として、開ループ制御と閉ループ制御のそれぞれが可能であることを明らかにした。
- ② 閉ループ制御方式では蓄電池電圧の一定化を図るためにP I制御を用いた。
- ③ 開ループ制御方式でプロア周波数の概数を与え、さらに②の閉ループ制御で最適なプロア周波数に補正することで、良好な制御結果が得られることを実証した。

参考文献

土屋幸男：マイコン制御ソーラーファン，太陽/風力エネルギー講演論文集(2002)，pp. 109-112，2002年11月。