

# 研究結果報告書

大友 哲

## ◎ 件名

中規模系統連系インバータの開発ならびに最適な系統連系方式の確立に関する研究

## ◎ 背景

今後、太陽光発電が普及するに伴い、現在個人住宅に取り入れられている小規模な太陽光発電システム（3～5 kW程度）とともに、より大きな太陽光発電システム（10～20 kW程度）の学校や事務所ビルなど各所での導入が予想される。

しかしながら、現在これに対応するインバータは量産化されておらず、系統連系した場合の影響等について具体的に評価した例は少ない。

## ◎ 目的

本研究では、20 kWまで対応可能な太陽光発電用のインバータを開発するとともに、連系時の特性について明らかにすることを目的とする。

## ◎ 技術的なポイント

単相、3相どちらでも系統連系が可能な回路構成を有する20 kW対応系統連系インバータを開発する。

低出力領域での効率改善により、設備利用率の向上を図ります。

配電線末端近くでの連系による運転性能の確認および配電線への影響を把握する。

## ◎ 開発インバータの特徴

インバータ主回路に、IGBT(600V-300A)を3組使用。（単相では2組使用）

制御方式は電圧型－電圧制御方式。

スイッチング方式は、正弦波PWM方式。

プログラムによる最大電力追尾方式

連系保護装置はプログラムにより制御

## ◎ 結果

### ① 10 kW単相連系インバータの性能評価

平成10年2月17日より単相連系による計測を開始し、太陽電池の出力を7.8 kWから順次増設し、13.1 kWまで接続し連系運転を行った。平成10年3月～平成11年1月末までの総発電電力量は11,671 kWhで、この間の平均設備利用率は13.1%であった。

系統連系初期より、配電線の軽負荷時に連系点の電圧が上昇し、インバータの電圧上昇抑制機能による出力の低下が多発したため、葦崎営業所が調査・確認のうえ柱状変圧器のタップ変更を行った。結果、電圧上昇による出力低下は発生していない。

7月には温度上昇（70℃超過）による停止が発生したが、プログラムの改良により解決した。（スイッチング素子をプラスとマイナス側で交互に停止する方式）

### ② 20 kW3相連系インバータの製作

2年目に製作した3相インバータの連系前の基本的な性能試験を平成10年12月に行い、連系に必要な基準を満たしていることを確認した。

### ③ 20 kW3相連系インバータの性能評価

平成11年1月に、単相連系同様に、葦崎営業所と系統連系の為の通常の協議を行い、平成11年2月5日より8.1 kWの太陽電池で、連系運転による試験を開始した。（単相インバータと並列運転）その後、2月15日より電池出力を18.5 kWに増設して計測を行った。当初はインバータの過熱による一時停止のトラブルがあったが、3月14日までの一か月間の発電電力量は、2192 kWhで設備利用率は17.6%を記録した。

## ◎ まとめ

1年目に開発した10 kW単相連系インバータの運転性能は極めて良好であり、低出力領域から定格付近まで安定した運転性能を確認した。

2年目に開発した20 kW3相連系インバータの運転性能は極めて良好であり、低出力領域から定格付近まで安定した運転性能を確認した。また単相インバータに比較して、変換効率・利用率ともに3%程度高性能であり、運転時の振動騒音も全く無い事を確認した。

## 1 - 10 kW 単相連系インバータの性能評価

平成10年2月17日より単相連系による計測を開始し、太陽電池の出力を7.8 kWから順次増設し、13.1 kWまで接続し連系運転を行った。平成10年3月～平成11年1月末までの総発電電力量は11,671 kWhで、この間の平均設備利用率は13.1%であった。右の表は平成10年3月～平成11年1月までの発電電力量と設備利用率をまとめたものである。

発電電力量および設備利用率

	電池出力 (kW)	発電電力量 (kWh)	設備利用率	
			(%)	(参考)
H10/3月	7.8	1,003	17.3	14.0
4月	9.5	838	12.3	12.5
5月	9.5	998	14.1	12.3
6月	10.4	866	11.4	9.7
7月	11.3	1,096	11.8	11.5
8月	13.1	1,148	11.8	11.0
9月	13.1	832	8.8	9.6
10月	11.9	1,005	11.2	9.4
11月	11.9	1,326	15.5	10.1
12月	11.9	1,211	13.7	8.4
H11/1月	10.4	1,348	16.7	10.0
計	—	11,671	13.1	10.8

(参考)：横浜資材センター9群(5.8kW)設備利用率

系統連系初期より、配電線の軽負荷時に連系点の電圧が上昇し、インバータの電圧上昇抑制機能による出力の低下が多発したため、葦崎営業所が調査・確認のうえ柱状変圧器のタップ変更を5月22日に行った。その後、電圧上昇による出力低下は発生していない。別紙グラフ1は、発電電力量と電圧上昇の関係を表している。タップ調整前は、発電電力の無い状態でも基準電圧の107Vを超過しているが、タップ調整後は、発電電力量が7kWを越えなければ107V以内に収まっていることが解る。試験した単相インバータは108Vで電圧上昇による出力抑制がかかるように設定されているために、電圧の上昇抑制機能が働くことは無くなった。

また、太陽光発電の無い夕刻以後の高負荷時に電圧が低下しないか、試験を行った。その結果、一日を通して最も電圧が低下した場合でも、98Vを下回ることは認められなかった。グラフ2は平成11年1月16日に高負荷による試験を行った日の、発電の状況と系統電圧の変化をモニターしたものである。昼前後に発電量が8kWに達したとき、系統電圧(中央オレンジの線)は最大108Vまで上昇し夕刻に100Vまで低下している。発電が終了した16時25分より18時10分まで、電熱器などにより最大で5kW、平均4kWの負荷による消費を行った。系統電圧が99Vを下回ることは認められなかった。

7月には温度上昇(70℃超過)による停止が発生したが、プログラムの改良により解決した。単相インバータはIGBTのスイッチングにより、PWM方式で正弦波を発生させているが、100分の1秒ごとに2個IGBTユニットをプラス側とマイナス側で待機状態にして使用していた。待機状態でも微量の消費電力と発熱が生じていた。それらを完全に停止状態にすることにより不要な消費電力を押しえた。3相の場合は3組のIGBTが全て通電状態になるため、結果的に単相に比べて発熱が少なくなっている。グラフ3は、単相インバータの変換効率でプログラム改良後の変換効率がわずかに改善している。

平成10年9月8日に、直流入力側に設置されている電解コンデンサーが破損した。原因は夏の高温の影響によるものと思われる。コンデンサーの破損により、直流側に交流成分が発生するため出力が低下した。その後交流成分を取り除く保護回路の抵抗が発熱により破損し、インバータは完全に停止した。3日後に、コンデンサーと抵抗の交換を行った。

## 2 - 3 相連系インバータの製作

インバータの回路構成は3組のIGBTと6個のIGBTドライバー、スイッチング電源とCPUを含む制御回路の4つのブロックから成り立っている。IGBTとIGBTドライバーは富士電機製でその組み合わせと基本回路は、富士電機のマニュアルを参考にした。スイッチング電源は、太陽電池の変動する電圧から24V1Aの安定した直流電力を得る為のもので、イーター社製の既製品を使用している。制御回路は、既製のCPUユニットとそれを外部から制御する独自の回路から成り立っている。CPUの電源は、スイッチング電源よりDC-DCコンバータで5Vに変換して供給している。

インバータの連系保護装置はCPUのプログラムにより全て制御している。したがって連系保護装置という回路は、OVR・UVRの一部しか存在しない。

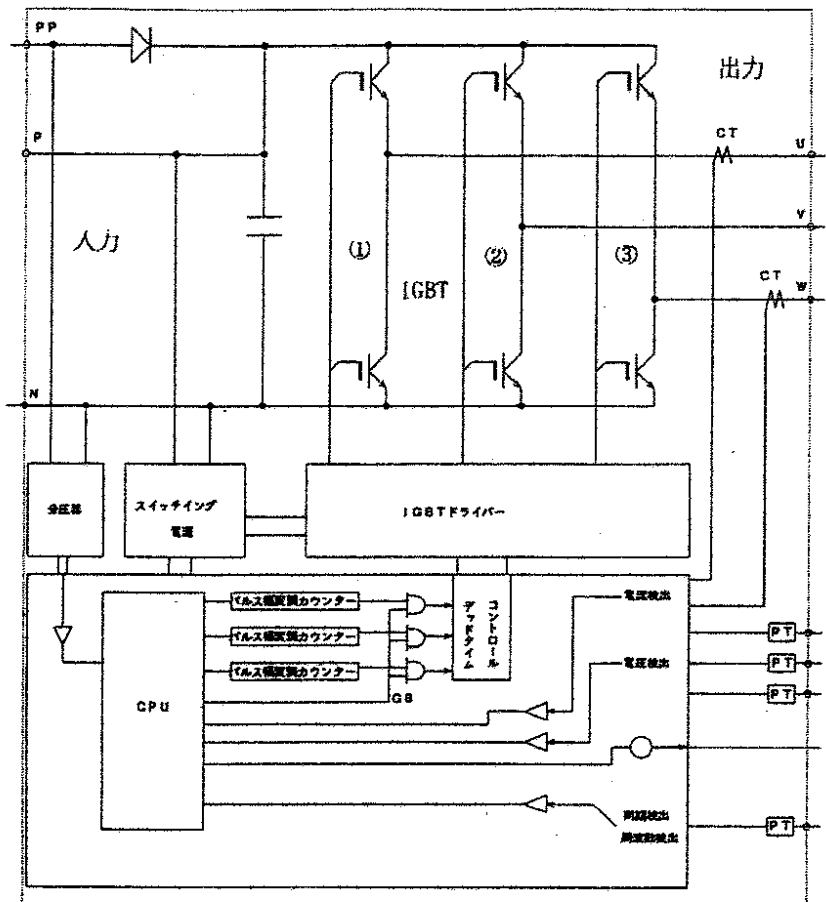
単独運転防止機能は、電圧制御型インバータで本来搭載が困難と考えられて来たが、それらを全てプログラム上で行うことにより可能にした。また、出来るだけ多くの機能をプログラム上に搭載して回路は簡略化したのがこのインバータの特徴である。

平成10年12月12日に、完成したインバータの連系前の基本的な性能試験を行った。20kWのインバータ試験を行うためには、20kWの安定した直流電源が必要であるが、今回は25kWディーゼルエンジン発電機により試験を行った。試験結果は別紙の試験成績書・仕様書に記載の通りである。(全29ページ)

試験内容は前年の単相インバータと同じであるが、高調波試験は系統連系の状態でも併せて試験を行った。その結果、インバータが系統の高調波を打ち消す特性を有することが確認された。

## 3 - 20kW3相インバータの性能評価

平成11年1月に、単相連系同様に、葦崎営業所と系統連系の為の通常の協議を行い、平成11年2月5日より8.1kWの太陽電池で、連系運転による試験を開始した。(単相インバータと並列運転)その後、2月15日より電池出力を18.5kWに増設して計測を行った。当初はインバータの過熱による一時停止のトラブルがあったが、3月14日までの一カ月間の発電電力量は、2192kWhで設備利用率は17.6%を記録した。



インバータ回路構成

グラフ4は、20kWインバータの変換効率を表している。変換効率は最大で93%以上で、単相インバータより高効率である。グラフ5は発電電力量と電圧上昇の関係を表しており、最高電圧が222Vの基準上限電圧をかなり下回っていることが確認できる。グラフ6は、2月24日の曇りの発電状態を、グラフ7は、2月28日の晴れの発電状態をモニターした結果である。2月28日は118kWhの最大発電量を記録した。

#### ◎同規模システムとの性能比較

NEDOのフィールドテストである、山梨県北巨摩合同庁舎の20kWシステムと比較した。比較は、各のシステムの有効傾斜面日射量の積算値がほぼ等しい日を選び出して行った。参考までに比較システムの最大発電量は平成10年の5月15日の113kWhである。性能の差は気温の差とも考えられるが製作インバータが比較的高性能であることが確認された。

	日付	日射量 kWh/m <sup>2</sup>	発電電力量 kWh	太陽電池 出力kW	1kW当たり 電力量kWh	設備利 用率%
今回開発品	H11.2.25	7.20	114.9	18.5	6.21	25.9
比較システム	H10.4.4	7.19	108.8	20.5	5.31	22.1

比較システム・山梨県北巨摩合同庁舎20.5kW

#### ◎単相インバータと3相インバータの比較

比較項目	単相インバータ	3相インバータ
変換効率	90%	93%
設備利用率	平成10年3月・17.3%	平成11年2~3月・17.6%
電圧上昇傾向 (基準電圧)	108V以下 (101±6V)	119V以下 (202±20V)
高調波電流歪率 (基準値)	2.89% (5%以下)	3.11% (5%以下)
設備1kW当 りの発電量	4.423kWh 平成11年2月6日~2月13日の平均値	4.738kWh
売電単価	29.3円/kWh	12.6円/kWh

売電単価は試験中の実際の金額

## 4 - まとめ

1年目に開発した10kW単相連系インバータの運転性能は極めて良好であり、低出力領域から定格付近まで安定した運転性能を確認した。

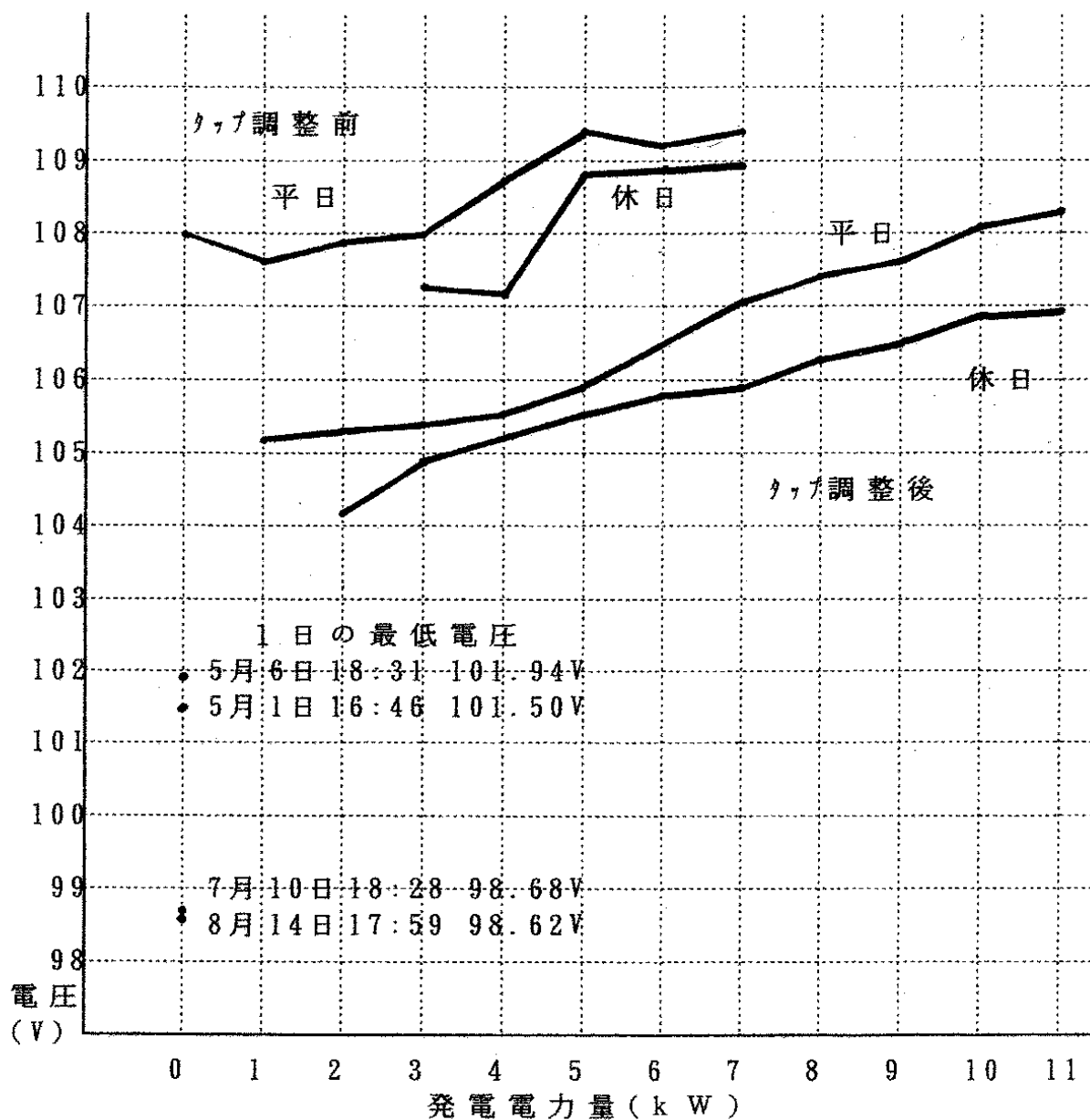
2年目に開発した20kW3相連系インバータの運転性能は極めて良好であり、低出力領域から定格付近まで安定した運転性能を確認した。また単相インバータに比較して、変換効率・利用率ともに3%程度高性能であり、運転時の振動騒音も全く無い事を確認した。

3相インバータは今後工場や事業所などに広く普及が予想されるが、余剰電力の売電単価が安く、コスト面で導入が困難ではないかと考えられる。

## 5 - 添付する、データ、参考文献など

- ① 試験成績書・仕様書
- ② 月別報告書・単相と3相の比較表
- ③ 富士電機マニュアル
- ④ 比較システムの事業費・月別報告書
- ⑤ インバータについて・PWM制御について・IGBTについて

# 発電電力量と電圧上昇の関係



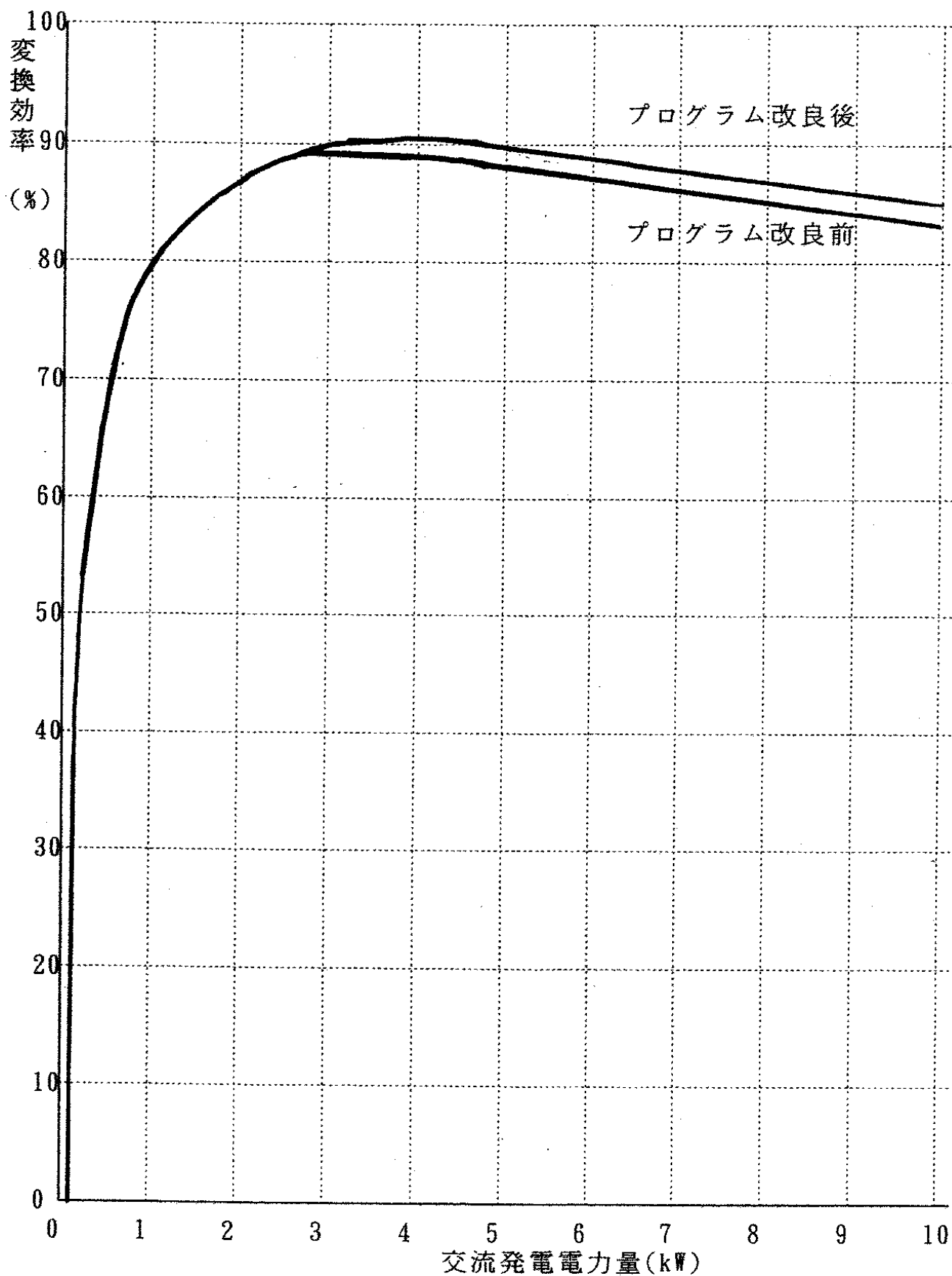
一日の最大発電量（瞬時値）と一日の最大電圧（瞬時値）をグラフ上にプロットして作成したグラフです。

タップ調整前の値として1998年3月1日～1998年5月21日までの毎日の値を平日と休日に分けて集計し、発電電力（1kW毎）別に平均値を算定しました。

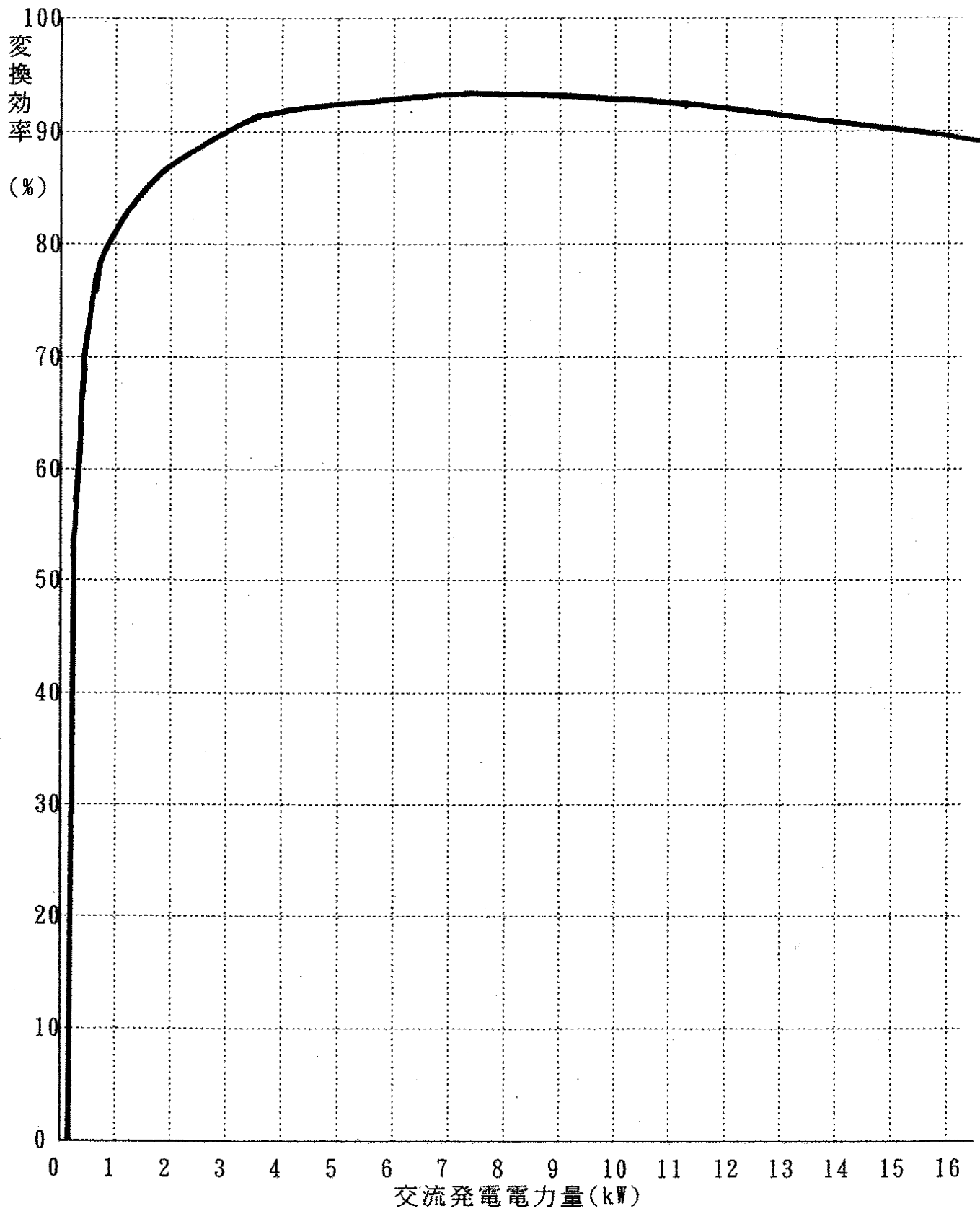
タップ調整後の値として1998年5月23日～1998年8月31日までの毎日の値を同様に集計し算定しました。

グラフ 1

# 単相 10 kW インバータの変換効率

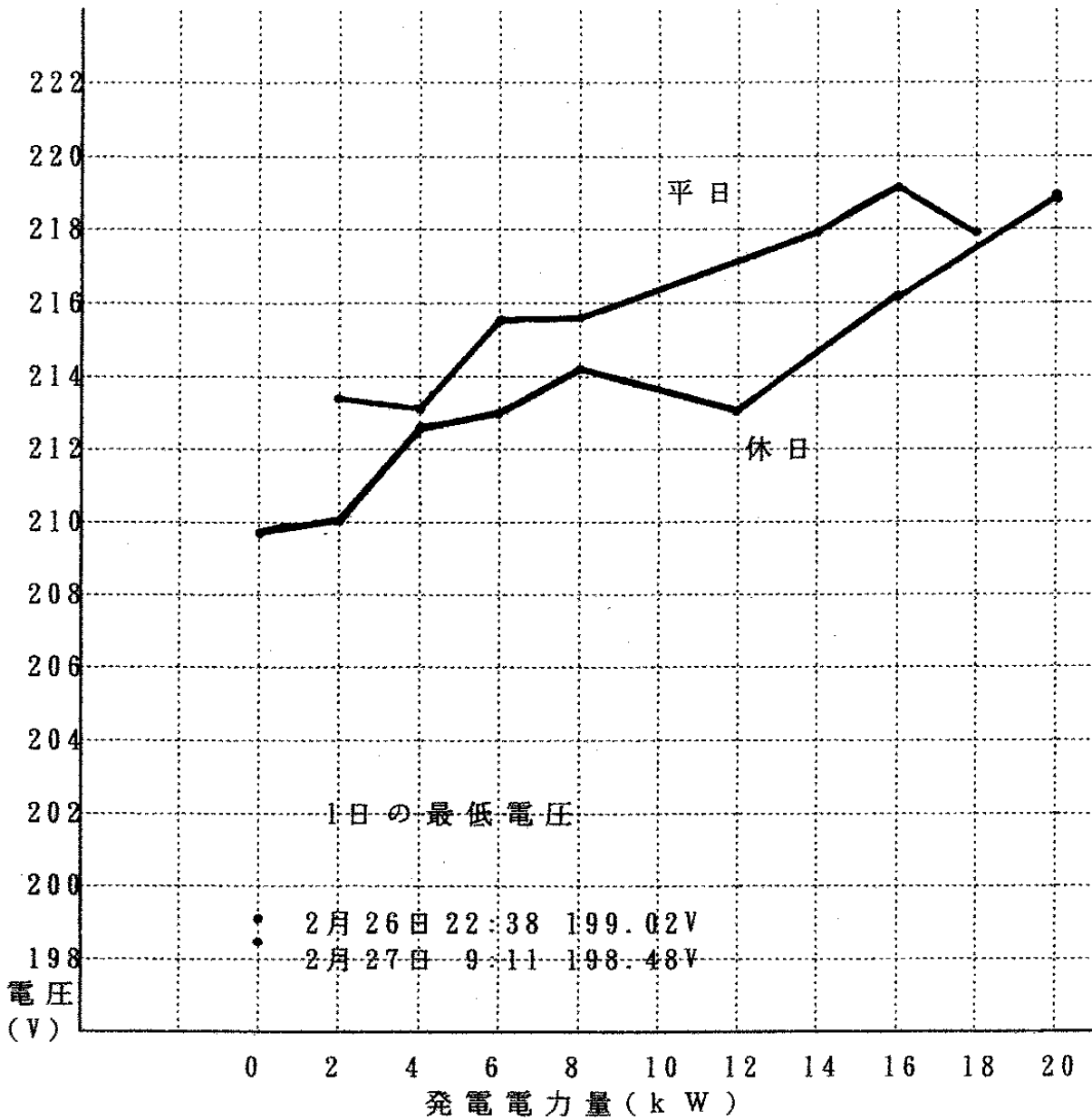


# 3相20kWインバータの変換効率



グラフ 4

# 発電電力量と電圧上昇の関係 (3相20kW)



一日の最大発電量（瞬時値）と一日の最大電圧（瞬時値）をグラフ上にプロットして作成したグラフです。

1998年12月25日～1999年2月27日までの毎日の値を平日と休日に分けて集計し、発電電力（2kW毎）別に平均値を算定しました。



# 太陽光発電システムパネルリスト

平成11年2月23日、13時、日射量1000W/m<sup>2</sup>の状態でのパネルからの電流値を計測した。

DC198.4V・86.4A、パネル出力17142W、実効値92.5%  
インバータ出力15242W、変換効率88.9%

太陽電池の種類	出力W	直列枚数	総出力	最適電流	実測電流
①シーメンスSP75	75	12	900	4.4A	4.25A
②シーメンスSP75	75	12	900	4.4A	4.25A
③シーメンスSP75	75	12	900	4.4A	4.25A
④シーメンスSP75	75	12	900	4.4A	4.25A
⑤シーメンスSP75	75	12	900	4.4A	4.25A
⑥シーメンスSP75	75	12	900	4.4A	4.25A
⑦シーメンスSP75	75	12	900	4.4A	4.25A
⑧シーメンスSP75	75	12	900	4.4A	4.25A
⑨シーメンスSP75	75	12	900	4.4A	4.25A
⑩シーメンスSP75	75	12	900	4.4A	4.25A
①シーメンスM55	55	12	660	3.2A	3.1A
②シーメンスM55	55	12	660	3.2A	3.1A
①昭和GT155	83.5	8	668	3.3A	3.1A
②昭和GT155	83.5	8	668	3.3A	3.1A
③昭和GT155	83.5	8	668	3.3A	3.1A
④昭和GT155	83.5	8	668	3.3A	3.1A
⑤昭和GT155	83.5	8	668	3.3A	3.1A
⑥昭和GT155	83.5	8	668	3.3A	2.9A
①昭和H6510	50	10	500	2.5A	2.5A
②昭和H6510	50	10	500	2.5A	2.5A
③昭和H6510	50	10	500	2.5A	2.5A
④昭和H6510	50	10	500	2.5A	2.5A
昭和GT172	109	(3)	327	3.2A	2種直列
昭和GL172	106	(3)6	318	3.2A	3.1A
①京セラ(中古品)	52	10	520	2.6A	2.5A
②京セラ(中古品)	52	10	520	2.6A	2.5A
昭和GL172	106	(1)	106	3.2A	4種直列 1.9A
サカイHP40(中古品)	40	(8)	320	2.3A	
シャープNT101(中古)	40	(1)	40	2.3A	
京セラ(中古品)	54	(1)11	54	3.2A	
合計26系列	0	269	18533	90.8A	87.1A