

太陽光発電用インバータ

荒木 計介(あらき けいすけ)

藤本 久(ふじもと ひさし)

赤塚 健之(あかつか たけゆき)

① まえがき

昭和48年のオイルショック以来、化石燃料の有限性がクローズアップされ、また最近では化石燃料の燃焼に起因したCO₂の増大による温暖化現象や酸性雨の発生など、地球規模での環境悪化が問題となっている。

燃料が不要でクリーンな自然エネルギーへの期待が高まっているが、なかでも太陽光発電は発電に要する装置や制御が単純であること、メンテナンスフリーであること、用途に応じて自由な大きさの規模に組めること、地球偏在性の少ないとなど多くの特長を持ち、近い将来において、家庭用の小規模なものから事業所用の大規模なものまで、幅広い普及が期待されている。

このような背景のなかで、太陽光発電の実用化技術の開発が精力的に進められてきたが、システム運用の合理化のために系統と連系して運転される蓄電池なしの系統連系形システムが有望視されており、その中の主要な構成機器であるインバータに対しては、より一層の小型・軽量・低コスト化はもちろんのこと、年間を通じて、あるいは設置地域により変化する日射強度、太陽電池温度に対して、常に最も高い効率で運転できる機能を有すること、系統に悪影響を与えない機能を具備することが要求されている。

② 富士電機の太陽光発電システムへの取組み

富士電機は昭和49年からスタートした国家プロジェクトである「サンシャイン計画」に参画し、太陽光発電システムの実用化技術の開発、太陽電池の高効率化および低コスト化技術開発を鋭意進めてきた。

太陽光発電システム実需要への試験的導入を含め、国内外に数多くのシステムを納入してきた。最近の主なシステム納入例として表1に示すものがある。本稿では、今回開発を行ったIGBTを用いた系統連系インバータについて紹介する。

③ システム構成と特長

3.1 システム構成

太陽光発電システムの基本構成を図1に示す。

このシステムは太陽電池から出力される直流電力を低ひずみ、力率1.0の交流電力に変換し、既存の電力系統に供給する系統連系用システムである。

一般に太陽光発電用系統連系システムには以下のようなことが要求される。

(1) 太陽電池の発電能力を最大限に生かした変換効率の良

表1 富士電機の太陽光発電システムの納入例

設置場所	用 途	システム構成	太陽電池出力	インバータ出力
沖縄県渡嘉敷	個人住宅電源	系統連系形	2kW×3	1φ 100V, 2kVA×3
静岡県静岡市	防災表示装置	独立形*	16kW	1φ 100V, 4kVA×2
東京都小笠原	かんがい用水ポンプ	独立形	30kW	3φ 200V, 33kVA
インドネシア・ムカルジャヤ	村落電源	ディーゼル発電機とハイブリッド*	72kW	3φ 200V, 38kVA
インドネシア・ロンボク	村落電源	水力発電機とハイブリッド*	48kW	3φ 200V, 30kVA
埼玉県浦和市	個人住宅電源	系統連系形	3kW×2	1φ 100V, 3kVA×2
	個人住宅電源	系統連系形	2kW×1	1φ 100V, 2kVA×1
静岡県磐田市	事業所用電源	系統連系形	10kW	3φ 200V, 10kVA
秋田県秋田市	事業所用電源	系統連系形	10kW	3φ 200V, 10kVA

<注> * 印は蓄電池付システム



荒木 計介

昭和37年入社。半導体素子製造技術および品質管理に従事。現在、新事業推進事業部太陽エネルギーシステム部主査。



藤本 久

昭和62年入社。半導体電力変換装置の開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発本部電力変換技術開発部。



赤塚 健之

平成元年入社。パワーエレクトロニクス製品の開発・設計に従事。現在、神戸工場設計部。

図1 太陽光発電システムの基本構成

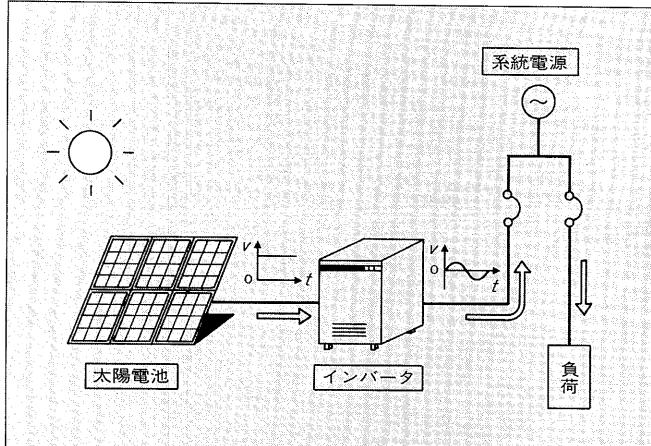
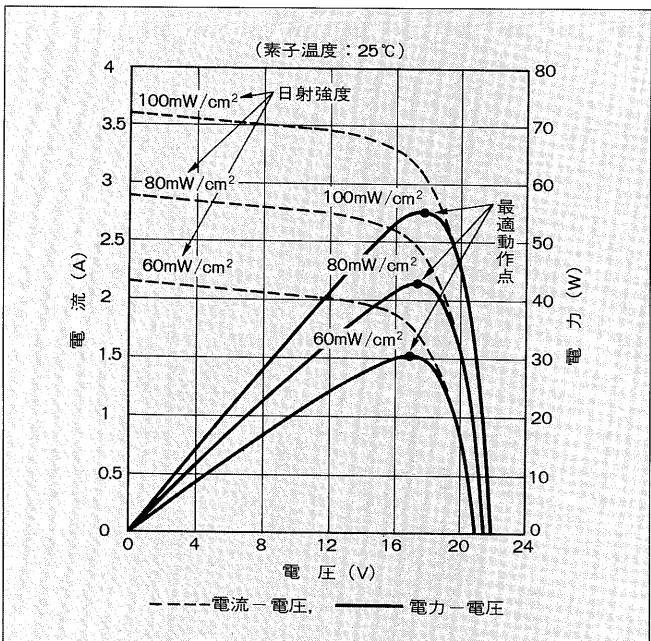


図2 太陽電池の出力特性



いシステムであること。

(2) 連系する電力系統の品質、信頼性に悪影響を及ぼさないシステムであること。

このような要求を満たすシステムを実現するために、インバータは電力調整機能、系統連系制御技術、保護制御技術というあらゆる点で高性能、高信頼性を必要とする。

ここで紹介する太陽光発電用インバータは、太陽電池が常に最適動作点で動作するための最大電力追従機能、出力電流波形の低ひずみ率と高力率運転を実現するための瞬時電流波形制御機能、系統連系における保護課題の一つである逆充電検出機能などを備えた装置であり、上記要求を満足するシステムとなっている。

3.2 特長

3.2.1 最大電力追従機能

電力用太陽電池の変換効率は十数%と低い。図2に太陽電池の出力特性の一例を示すが、日射量の変動に対して最大電力を発生する最適動作点が刻々と変化することが分か

る。また、この変化は周囲温度に対しても大きく依存する。そこでインバータは太陽電池を効率よく利用するために常に太陽電池を最適動作点で動作させる制御を行っている。この制御機能が最大電力追従機能であるが、実際の制御は次の方法で行っている。

インバータは、その基本制御として出力電力を増減して太陽電池の出力電圧、すなわちインバータの直流入力電圧が常に一定値となるよう制御を行っている。この直流電圧制御の設定値がある方向に変化させ、このときの出力電力を検出する。この出力電力の増減と設定値を変化させた方向から、最適動作点が現状の動作点に対してどちらの方向にあるか判断し、動作点を移動する。この動作を一定周期で繰り返すことにより、太陽電池は常に最適動作点で動作することになる。

3.2.2 逆充電検出機能

太陽光発電システムを電力系統と連系させるとき、電力系統の信頼性を保つ目的から保護装置を系統連系ガイドラインに準拠した形で設置している。中でも、系統停電時に発生する逆充電状態は、感電事故などの危険性があり、保守・保安の面から重要な対策課題となっている。従来の系統異常検出だけでは、この種の検出は非常に困難である。

逆充電検出の方式はさまざまな方式が実用化検討されているが、本装置では(株)四国総合研究所と共同で開発した「外乱検知方式」を採用している。これは、系統に影響を与えない範囲で、インバータ出力電力を一定周期で微小変動させ、系統遮断時に発生する同一周期の周波数変動を検出する方式であり、系統遮断後、数秒で検出できるようになっている。

4 回路構成

図3に太陽光インバータの主回路および制御ブロック図を示す。太陽電池の直流入力電圧はIGBTモジュールで構成されるPWMインバータにより交流電圧に変換される。PWMインバータ出力は、変圧器で絶縁されて、変圧器の漏れインダクタンスとコンデンサから成るACフィルタにより、PWMによる高周波の成分が除去され、連系用リアクトルを経て系統と連系される。制御部にはインバータ直流入力電圧を一定に保つためのAVRがあり、その出力がインバータの出力電流指令となって、力率1の正弦波信号をACR部に与える。ACR部では、インバータの出力電流とAVRからの電流指令とを比較し、PWM部、ゲート分配部を経て、主回路のIGBTが駆動される。一方、CPUを搭載した最大電力追従制御では、AVRの設定値を変化させ、太陽電池からの出力が最大となるように制御を行っている。

5 仕様および外観構造

5.1 仕様

表2に今回、開発・製品化した系統連系形の1φ 3kVA

図3 太陽光インバータの主回路および制御ブロック図

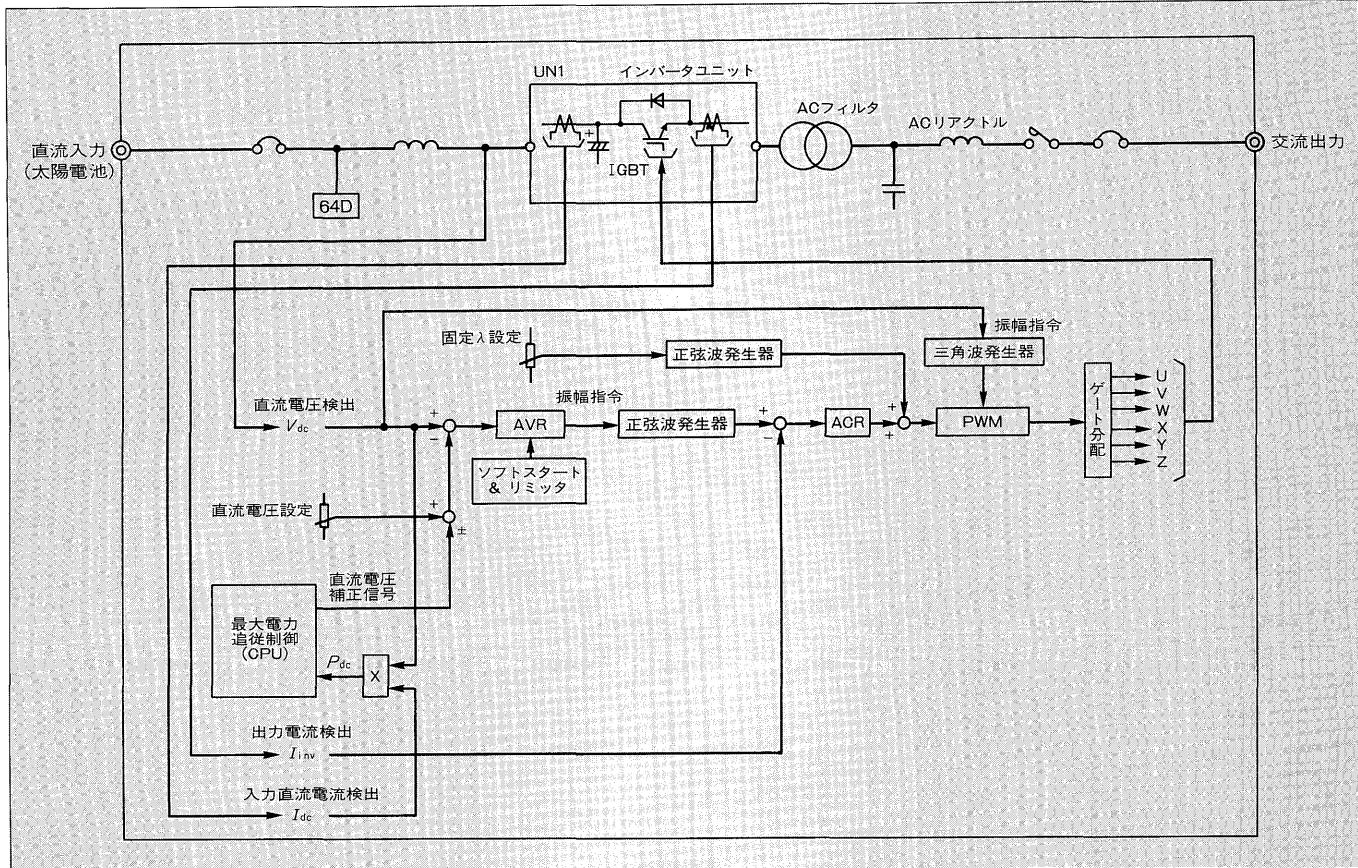


表2 インバータの仕様

項目	仕 様		備 考
出力相数と出力容量	1 φ 3kVA	3 φ 10kVA	
インバータ回路方式	IGBTによる高周波・正弦波 PWM		
冷却方式	強制風冷		
直 流 入 力	定格電圧	200V	300V
	運転電圧範囲	175~230V	245~330V
	最大電圧	300V以下	400V以下
交 流 出 力	定格電圧	100V	200V
	電圧変動	±6%以内	±10%以内
	定格周波数	50Hzまたは60Hz	
	周波数変動	±1.0%以内	
	出力力率	0.95以上	定格出力時
	電流総合	5%以下	定格出力時
	ひずみ各次	3%以下	
	変換効率	88%以上	92%以上
外 形 尺 法 W×D×H (mm)	320×645×700	550×750×850	
質 量	100kg	200kg	
設 置 場 所	屋 内		
周 围 温 度	-10~40°C		
相 対 温 度	30~90%		
標 高	1,000m以下		

機および3 φ 10kVA機の仕様を示す。

1 φ 3kVA機は一般家庭を、3 φ 10kVA機は公共施

表3 太陽光インバータの保護機能

項目	内 容
制御機能	<ul style="list-style-type: none"> 起動制御 - 太陽電池からの入力電流値判定による起動制御 停止制御 - 太陽電池からの入力電力判定による停止制御 最大電力追従制御 (P_{max} 制御) → 定電圧制御切換 停電制御 - 系統電源の停電による停止、復電90秒後自動再起動
保護機能	<ul style="list-style-type: none"> インバータ内部保護機能および系統監視機能 <ul style="list-style-type: none"> 出力電圧異常 出力過電流 直流地絡 直流過電圧 温度異常 周波数異常 電圧異常 逆充電検出

設や集合住宅を対象としている。また、表3に示すとおり、系統連系ガイドラインに準拠した保護機能も備えている。

5.2 外観構造

図4に出力容量3kVAのインバータの外観構造を示す。一般家庭用向きにコンパクトな構造となっている。

6 試験結果

本装置の標準仕様を表2に示したが、ここでは代表的な特性についてその試験結果を記す。

図4 3kVA インバータの外観

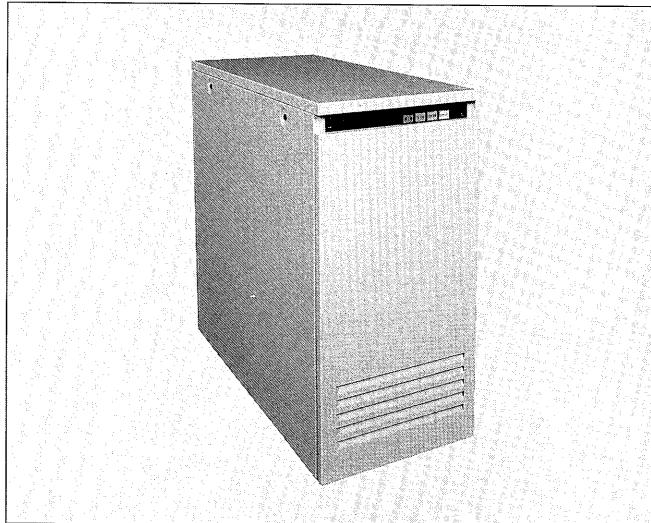
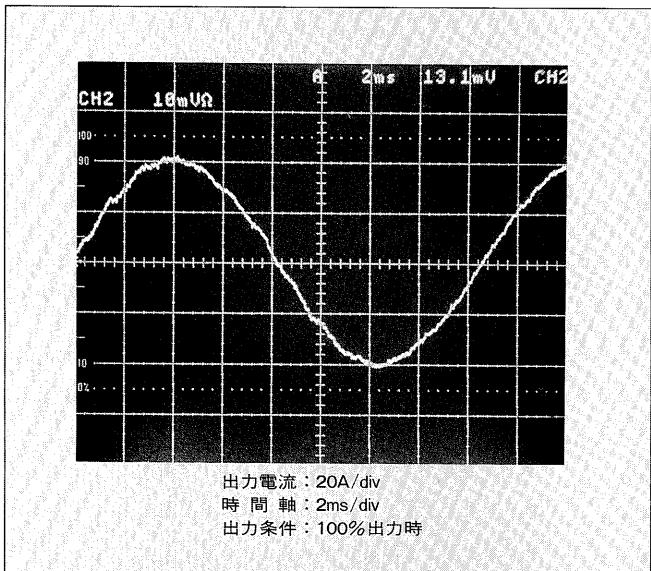


図5 10kVA インバータの出力電流波形



6.1 出力電流波形

図5に出力容量10kVAのインバータにおける定格出力時の出力電流波形を、表4に出力電流波形の高調波分析結果を示す。前述のように瞬時電流波形制御によりひずみの小さい正弦波の電流波形となっていることが分かる。

6.2 系統遮断試験

図6に系統遮断試験回路を示す。インバータの出力と負荷量がバランスし、見かけ上、系統電源との電力のやりとりがないときでも、系統遮断による系統の異常を検出し、異常発生後確実に短時間でインバータが停止することを確認した。

6.3 変換効率

図7に10kVA機におけるインバータの入出力の変換効率特性を示す。定格出力時には92%の高効率が得られている。

表4 出力電流ひずみ率

試験条件：定格出力時	出力電流ひずみ率
総合	2.6%
各次（最大値）	1.5%

図6 系統遮断試験回路

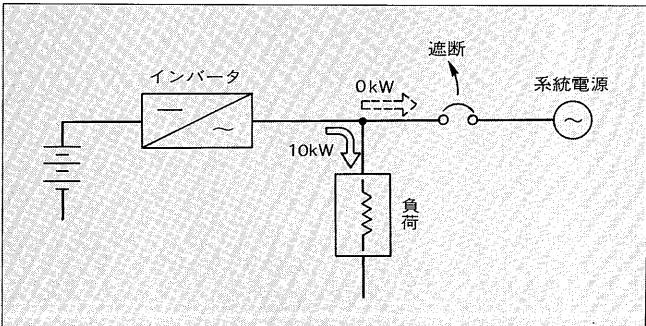
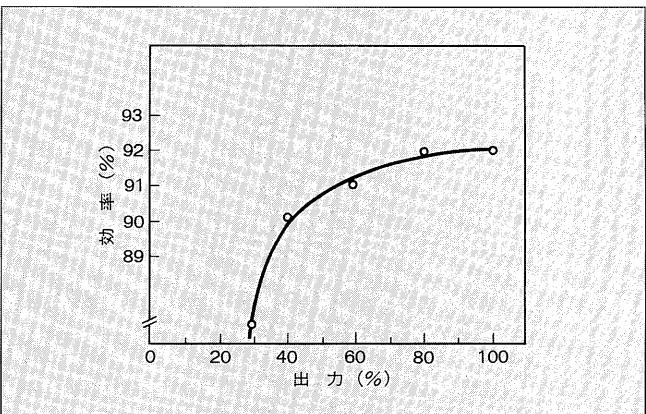


図7 変換効率特性



7 あとがき

自然エネルギーの活用は、エネルギーの安定供給にとって必要不可欠な条件である。これまで、太陽光発電の実用化に向けて、各電力会社および研究機関の実験が進められており、今回開発したインバータもすでに数箇所に納入し、データの取得に役立っている。制御機能および保護機能についても、実用化レベルでの要求を十分満足する結果を得ることができた。今後は、さらに小形・軽量化に加え、低コスト、高効率が大きな課題となろう。

クリーンエネルギー事業の一環として太陽光発電への期待は大きく、今後とも実用化に向けての改良、開発に取り組んでゆく所存であり、関係各位の一層のご指導とご協力をお願いする次第である。

参考文献

- (1) 横笠博正ほか：分散電源システムの逆充電防止装置、電気学会全国大会、No.1519 (1990)
- (2) 五十嵐征輝・黒木一男：系統連系用インバータにおける瞬時波形制御方式、電気学会全国大会、No.522 (1991)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。