

住宅用 高効率太陽光発電インバータの開発

Development of High-Efficiency Photovoltaic Inverter for Residential Use

篠原 裕文

■ SHINOHARA Hirofumi

牧嶋 健二

■ MAKISHIMA Kenji

餅川 宏

■ MOCHIKAWA Hiroshi

住宅用太陽光発電システムは、低圧配電線系統に接続して発電する分散型電源として定着しつつあり、年々国内での設置件数が増えている。また現在、太陽光発電システムの価格低減と発電効率の向上に向けて、更なる技術開発が行われている。

東芝はインバータの高効率化に取り組み、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) と共同で、電力変換効率97%の太陽光発電インバータを開発した。

Residential photovoltaic power generation systems are now becoming established as power sources for low-voltage electric power facilities. Engineers are making additional efforts to reduce the cost and improve the efficiency of such systems.

Toshiba has developed an advanced photovoltaic inverter that has a conversion efficiency of 97%.

1 まえがき

東芝は直流から交流への電力変換効率を高めた住宅用太陽光発電インバータを開発した。インバータを高効率化すると、太陽電池からの直流電力を低損失で交流電力に変換できるとともに、部品の温度上昇を抑えてインバータ自体の信頼性を向上させることができる。MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor: 電力用スイッチング素子の一種) のスイッチング動作で、電流を遮断するときの循環電流の減衰を早める回路を使うことにより、スイッチング素子部だけでの変換効率は99%、インバータ全体としては約97%を得た。

ここでは、開発したインバータの基本構成、高効率化の原理、及び開発したインバータの特性について述べる。なお、この研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) との共同研究によって行われた。

2 住宅用太陽光発電システムとインバータ

開発した住宅用太陽光発電インバータの外観を図1に示す。装置の最大寸法である幅が約420mmである。

太陽光発電インバータは、屋根に設置した太陽電池からの直流電力を交流電力に変換し、電力配電線に接続して電力を供給する。太陽光発電システムの発電電力が住宅内の消費電力を上回る際には、電力を配電線に向けて流す。太陽光発電インバータの主な機能は、以下のとおりである。

- (1) 直流から交流へ電力を変換する。
- (2) 系統連系保護機能を持たせ、インバータを接続する配



図1. 住宅用太陽光発電インバータ — 高効率化により発熱が減り、小型化が可能となった。

Photovoltaic inverter for residential use

電線に影響を及ぼさないようにする。

- (3) 朝夕の自動起動と停止、及び日射と温度に応じた太陽電池の最大出力点を探す最大電力追従運転を行う。

住宅用太陽光発電システムの構成例を図2に、インバータの仕様を表1に示す。

インバータ効率の最大値を上げるだけでなく、低出力から定格出力付近までの広い出力領域で効率を上げることで、太陽電池からインバータを通して得られる発電電力量が増加する。この効率特性により、単結晶太陽電池など、日射強度が小さいときの電気出力の減り方が小さい高効率太陽電池と組み合わせることにより、より多くの発電電力量を得ることができる。この太陽光発電インバータは、出力20~100%の領域においてインバータ変換効率97%以上とすることを目標として開発を行った。インバータの電力変換効率を高めるとイン

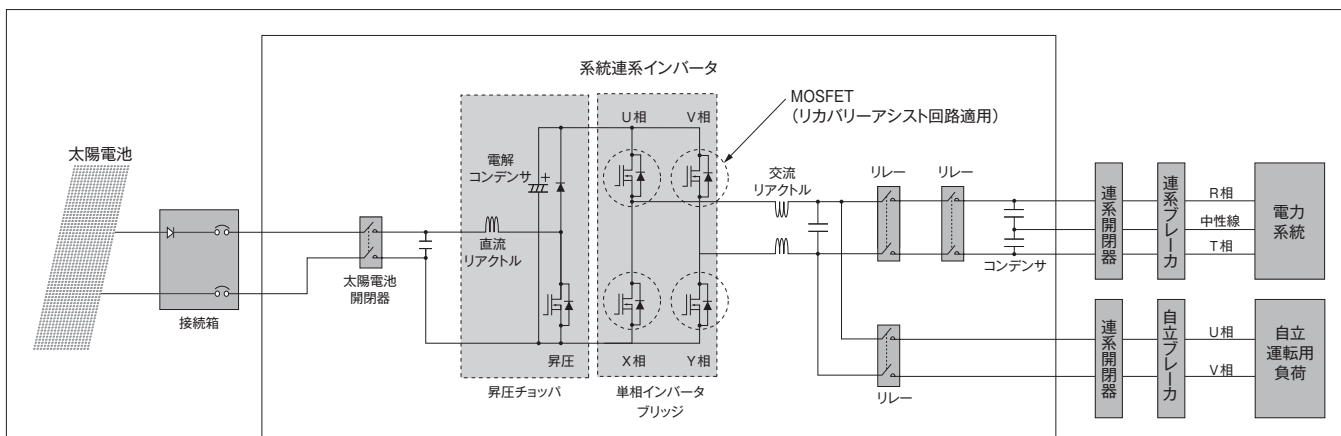


図2. 太陽光発電システムの構成 — 太陽光発電インバータは、太陽電池の直流電力を交流に変換して電力系統に接続する。

Configuration of residential photovoltaic power generation system

表1. 住宅用太陽光発電インバータの仕様

Specifications of advanced photovoltaic inverter for residential use

項目	仕様
定格出力	3.3 kW
交流出力電圧	200 V/100 V 単相三線
定格直流入力電圧	250 V

インバータ内部の発熱が減るので、冷却フィンを小さくして小型化が可能である。また、電解コンデンサなど、寿命が温度に依存する部品の期待寿命を伸ばすことができる。

3 リカバリー アシスト回路

当社が開発したリカバリーアシスト (Recovery Assist) 回路技術は、スイッチング素子MOSFETの新しい制御方式である。この方式では、電流をオン、オフする瞬間に生じるスイッチング損失を従来に比べて大幅に低減し、インバータの変換効率を上げることができる (国際特許申請中)。

3.1 ダイオードの逆流現象

最近、半導体技術の進歩によりMOSFETの導通抵抗が低減している。導通抵抗の低い素子を使えば簡単に効率が上げられそうであるが、実際には、MOSFETの寄生ダイオード (MOSFETに構造的にできてしまうダイオード) のオフが遅いという欠点のため、逆に損失が増大する。この現象は電流が逆流し、非常に短い時間ではあるが回路が短絡するので、大きな損失が発生する。このメカニズムを図3に示す。例えば、図3のように、上側主素子の寄生ダイオードに負荷電流①が流れているときに下側主素子をオン (②) すると、寄生ダイオードがオフするまでの期間、主回路電圧を短絡する回路が形成される (③)。

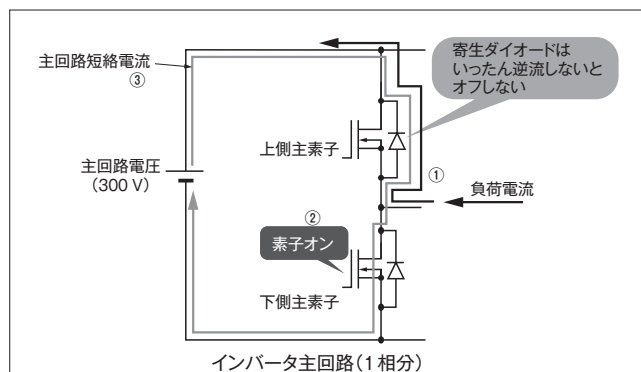


図3. MOSFETインバータの主回路における電流オフ動作 — MOSFETがインバータの負荷電流を切るとき、瞬時的に短絡電流が流れる。

Instantaneous short-circuit current through MOSFET during turn-off operation

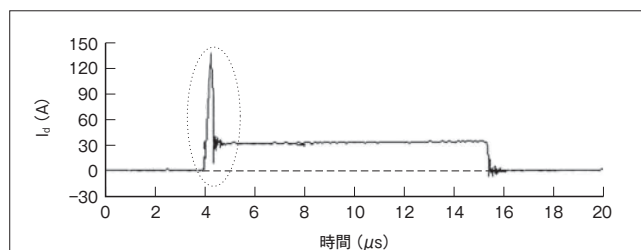


図4. MOSFETインバータの主回路における電流オフ動作波形 — MOSFETがインバータの負荷電流を切るときに流れる瞬時的な短絡電流が損失につながる。

Waveform of instantaneous short-circuit current through MOSFET during turn-off operation

図4は、図3に示す上側、下側主素子にMOSFETを使ってインバータ1相分を構成したときに、下側主素子に流れる電流 (I_d) の時間変化を観測した波形である。下側主素子のターンオンの瞬間に、120 Aを超える短絡電流が流れている。短時間であるが、電磁ノイズも発生する。

3.2 新回路方式

当社は、MOSFETの寄生ダイオードに低い逆電圧を掛け、寄生ダイオードの逆電流を切る新回路方式として、リカバリーアシスト回路を考案した(図5)。この回路は、図3において②で下側主素子をオンする直前に、上側主素子に付加したリカバリーアシスト回路を作動させ、上側主素子の寄生ダイオードをオフさせる。リカバリーアシスト用補助電源の電圧は15V以下の低い電圧なので、短絡したときの消費電力は主回路電圧(約300V)を短絡したときに比べ約1/20以下に低減する。

この技術により、MOSFETの寄生ダイオードの損失の課題が解決された。図6はリカバリーアシスト回路方式を適用したときの下側主素子の電流波形を示している。図4と同じ条件での測定であるが主回路短絡電流が抑制されていることがわかる。結果として、およそ99%のインバータ効率が達成された(図7)。

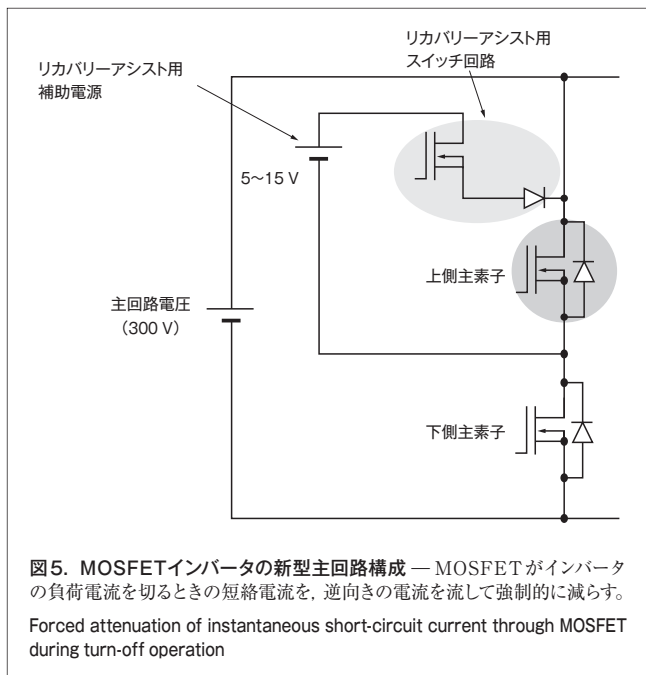


図5. MOSFETインバータの新型主回路構成 — MOSFETがインバータの負荷電流を切るときの短絡電流を、逆向きの電流を流して強制的に減らす。
Forced attenuation of instantaneous short-circuit current through MOSFET during turn-off operation

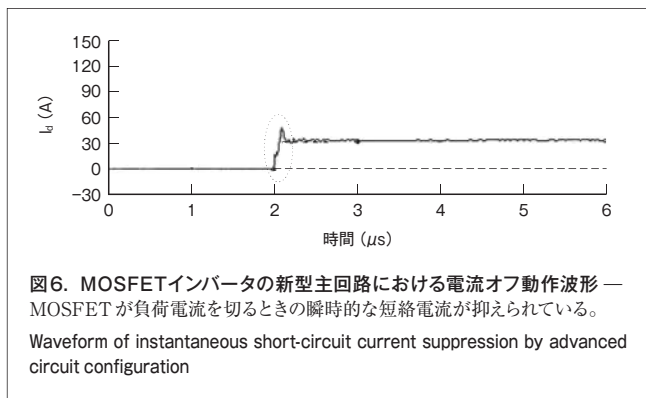
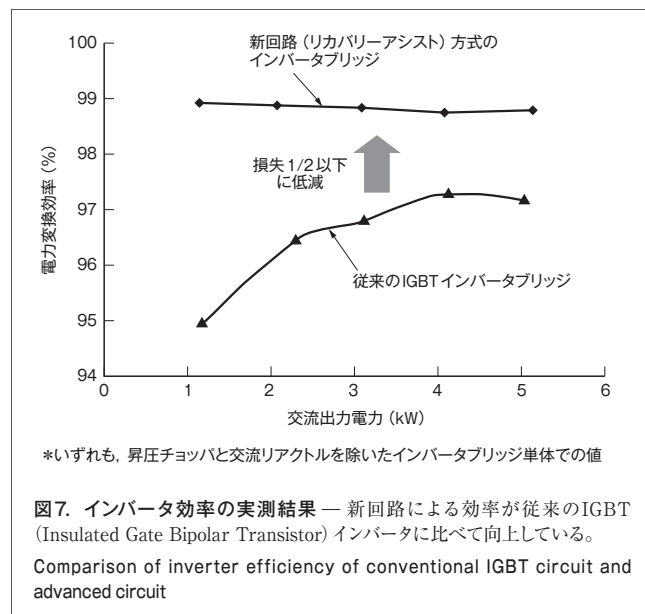


図6. MOSFETインバータの新型主回路における電流オフ動作波形 — MOSFETが負荷電流を切るときの瞬時的な短絡電流が抑えられている。
Waveform of instantaneous short-circuit current suppression by advanced circuit configuration



*いずれも、昇圧チョップパと交流リアクトルを除いたインバータブリッジ単体での値

図7. インバータ効率の実測結果 — 新回路による効率が従来のIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) インバータに比べて向上している。
Comparison of inverter efficiency of conventional IGBT circuit and advanced circuit

4 インバータの電力変換効率特性

太陽電池をインバータに接続した状態でのインバータの電力変換効率特性の試験データ例を図8に示す。また、1日の中での太陽電池の直流電圧と太陽電池モジュールの温度の変化を図9に示す。この試験では結晶系太陽電池モジュールを使っている。結晶系太陽電池は、日射によって太陽電池モジュールの温度が上がると直流出力電圧が下がる。図8の運転データ例では、太陽電池モジュールの電圧が1日の中で日射強度と温度の変化に伴って変わるが、常にインバータの電力変換率は97%以上である。

インバータの交流出力電力に対する電力変換効率の実測結果を図10に示す。出力電力が660W(20%出力)から3kWの範囲で、電力変換率は97%以上である。

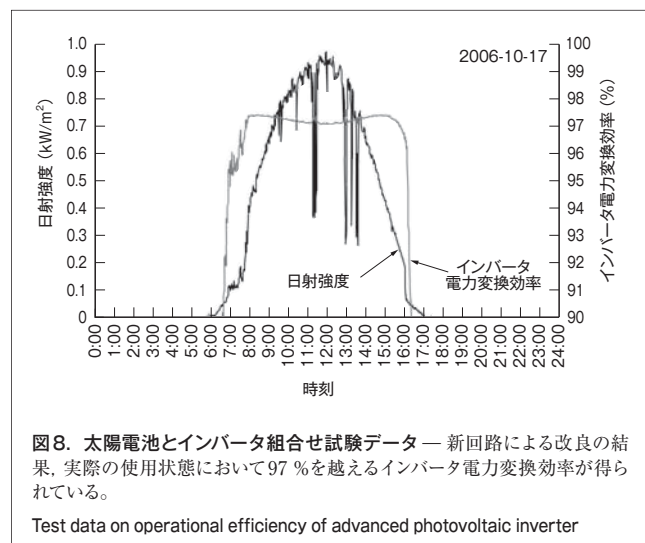
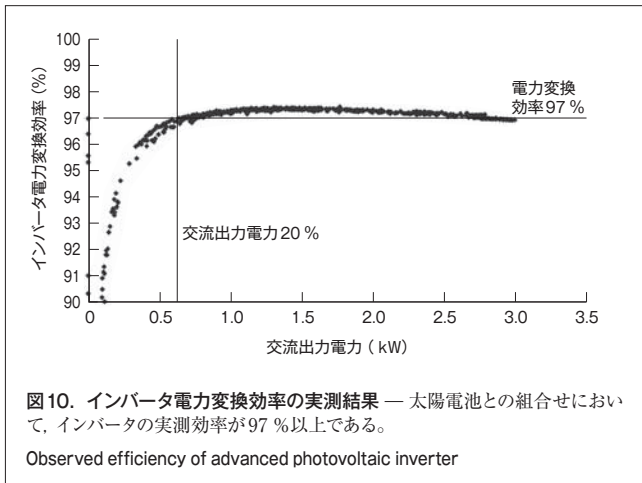
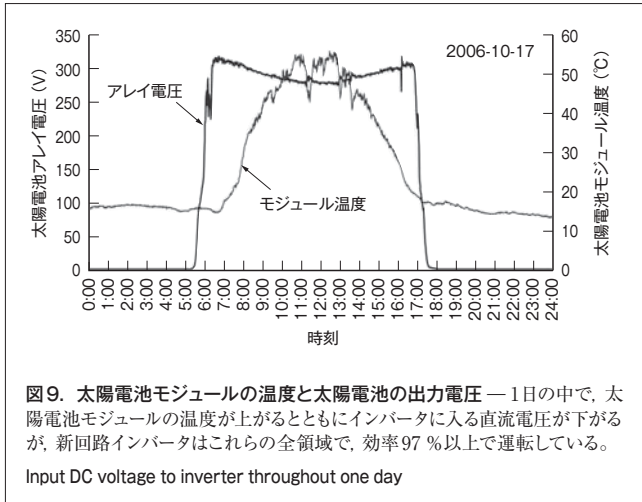


図8. 太陽電池とインバータ組合せ試験データ — 新回路による改良の結果、実際の使用状態において97%を超えるインバータ電力変換効率を得られている。

Test data on operational efficiency of advanced photovoltaic inverter



5 あとがき

MOSFETを使った電力変換効率97%の高効率太陽光発電インバータを開発した。インバータを高効率化することにより、太陽電池の発電電力をむだなく活用するとともに、インバータの発熱を低減し、小型化及び高信頼化を図ることができる。今後、高効率太陽光発電インバータの商品化に向けて検証と開発を行う。

文献

- (1) 餅川 宏, ほか, 小型・低損失インバータを実現する新回路技術, 東芝レビュー, 61, 11, 2006, p.32-35.



篠原 裕文 SHINOHARA Hirofumi

産業システム社 事業開発推進統括部 事業開発推進室部長代理。

核融合実験装置, 新エネルギー発電装置, 電池電力貯蔵装置の開発に従事。電気学会会員。

New Business Promotion Div.



牧嶋 健二 MAKISHIMA Kenji

産業システム社 事業開発推進統括部 事業開発推進室担当部長。高速増殖炉原子炉構造設計, 加速器・超電導機器システム技術, 新エネルギー発電装置事業の開発に従事。日本機械学会, 電気学会会員。

New Business Promotion Div.



餅川 宏 MOCHIKAWA Hiroshi

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 産業・自動車技術開発部主査。パワーエレクトロニクスの産業応用開発に従事。電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center