

SiCインバータによる省エネルギー・省資源

木ノ内伸一*
中田修平**

Energy Conservation and Resource Saving by SiC Inverter

Shinichi Kinouchi, Shuhei Nakata

要旨

半導体パワーデバイスとは、電力を効率よく制御する重要な役割を果たしており、家電製品から産業、宇宙製品に至る広い分野で使用されている。

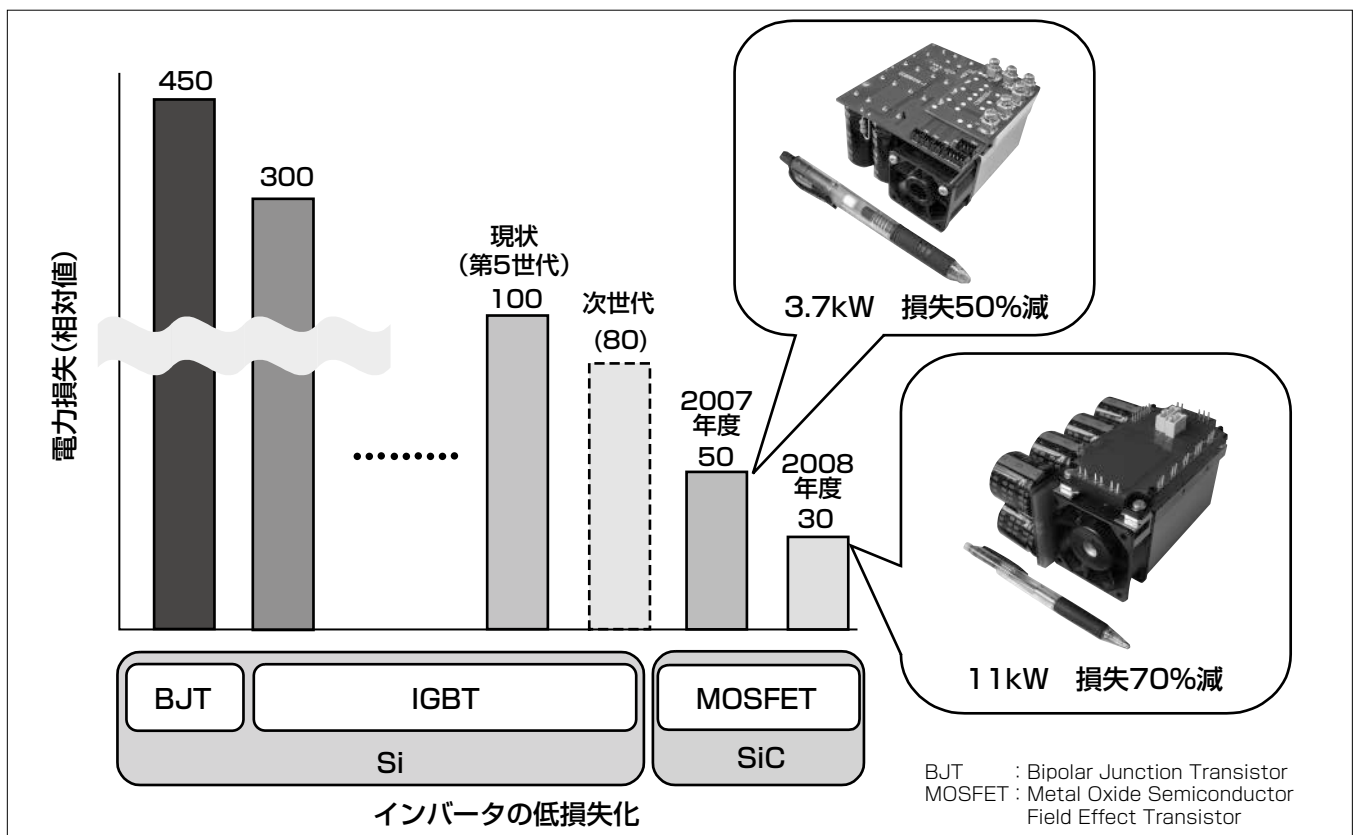
半導体SiC(Silicon Carbide)を使用したSiCパワーデバイスは、電力変換器の省エネルギー・省資源を進める次世代パワーデバイスとして期待されている。試算ではSiCデバイスが広く普及した場合、2030年にはCO₂換算で8,300万トンの省エネルギー効果があるとされている⁽¹⁾。

三菱電機は、SiCパワーデバイスの開発を進めてその基

本特性の向上を目指すとともに、応用技術開発を行っている。

2007年度には、電力損失を従来のSi-IGBT(Silicon-Insulated Gate Bipolar Transistor)を用いたインバータと比較して50%低減でき、さらにパワー密度を9W/cm³に向上した小型3.7kW SiCインバータを試作した。また2008年度には、パワー密度10W/cm³の11kW SiCインバータを試作して、電力損失を70%低減できることを示した。

今後SiCデバイスを応用する上での信頼性技術を更に高め、早期実用化によって省エネルギー・省資源に貢献する。



インバータの低損失化の変遷

1980年初頭に、Si-BJTを用いたインバータが世に出てからインバータの電力損失の低減が進み、現在使用されているSi-IGBTを用いたインバータでは当初の約1/5の損失である。しかし、損失の低減率が飽和傾向にあり、SiCデバイスの実用化が期待されている。2008年度に試作した11kW-SiCインバータでは、現状の第5世代IGBTを使用したSiインバータと比較し70%の損失低減が可能である。

1. ま え が き

ワイドギャップ半導体であるSiCを主材料とするSiCパワーデバイス、次世代パワーデバイスとして期待されており、それを応用したインバータの実現が切望されている。

SiCデバイスは、Siデバイスではユニポーラ動作が困難な高電圧領域で使用可能であり、デバイスのオン、オフスイッチング時に発生するスイッチング損失を大きく減らすことができる。電力変換器であるインバータにSiCデバイスを使用することによって、電力損失の大きな低減が可能になる⁽²⁾⁽³⁾。SiCインバータによる損失の低減は、機器の小型化及び冷却系の簡素化を可能にするため、省エネルギー・省資源に貢献できる。

当社はユニポーラデバイスであるSiC-MOSFETとSiC-SBD(Schottky Barrier Diode)の開発を同時に進めてその基本特性の向上を目指すとともに、モジュール化及びインバータ駆動などの応用技術開発を行い、SiCデバイスの実用化を目指した開発を進めている。

2008年度に試作した11kW SiCインバータでは、小型化の指標であるパワー密度10W/cm³を実現し、電力損失が従来のSi-IGBTインバータと比較して70%低減できることを示した。

本稿では、当社におけるSiCデバイス応用技術開発の状況、特に試作したインバータの特性と効果について述べる。

2. 小型3.7kW SiCインバータの試作と評価

2.1 小型3.7kW SiCインバータ

2007年度にSiCデバイスの変換器応用での低損失効果を確認するため、400V/3.7kW SiCインバータを試作してその性能を評価した。事前のスイッチング試験結果から、電力損失がSiインバータの50%以下になることが予測され、同容量のSiインバータに対し約4倍のパワー密度を目標としてSiCインバータを設計した。

図1に、試作した400V/3.7kW級SiCインバータとSiCモジュールを示す。SiCインバータの全体サイズは81×98×55(mm)であり、パワー密度にしておよそ9W/cm³となる。

図2に、SiCインバータとSiインバータの空冷システム(フィンとファン)の体積比較を示す。比較にあたっては、SiインバータのフィンとSiCインバータのフィンとは同一の基本構造であり、材質は同じ純アルミであると仮定した。SiCデバイスの損失低減効果で空冷システム体積を65%低減できることが分かる。

2.2 3.7kW SiCインバータの特性

モータ駆動による3.7kW SiCインバータの電力損失の出力依存性を図3に示す。キャリア周波数は10kHzである。比較のために、Siインバータの計算による損失結果も図に

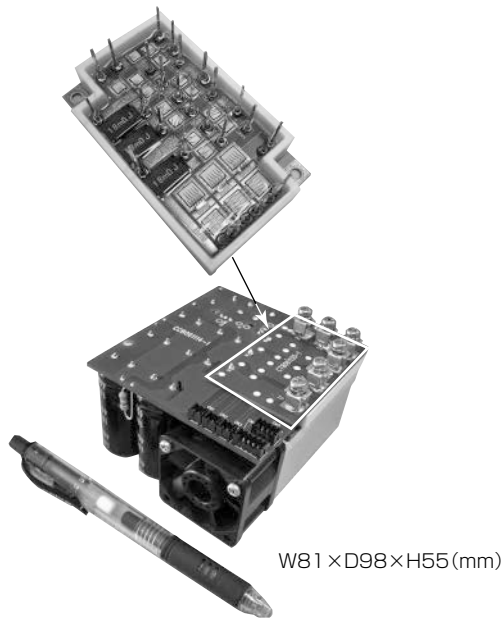


図1. 400V/3.7kW級SiCインバータ(下)とSiCモジュール(上)

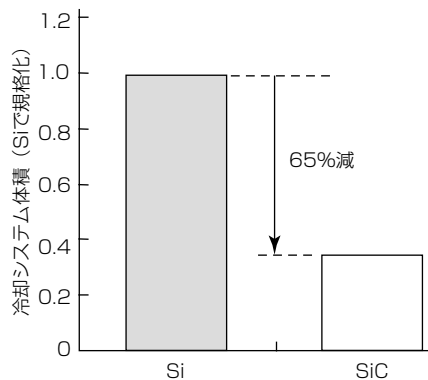


図2. SiCインバータとSiインバータの空冷システム(フィンとファン)の体積比較

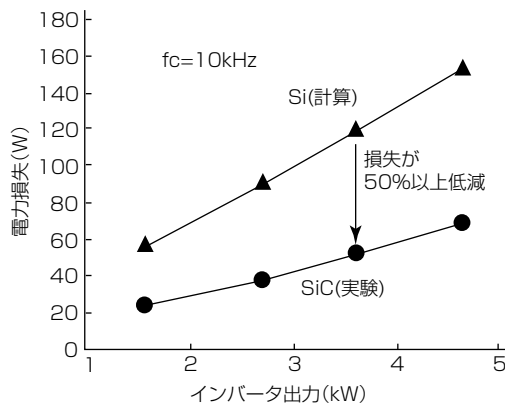


図3. SiCインバータのインバータ全損失の出力依存性

示している。インバータ出力3.7kWで比較した場合、SiCインバータの電力損失はSiの50%以下である。図4に、出力3.7kW時の電力損失のPWM(Pulse Width Modulation)キャリア周波数依存性を示す。キャリア周波数15kHzでのSiCの損失と、キャリア周波数5kHzでのSiの損失がほぼ

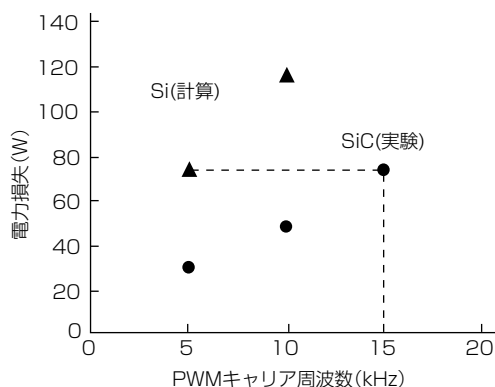


図4. 出力3.7kW時の電力損失のPWMキャリア周波数依存性

同等であることが分かる。フィルタリアクトルの大きさはキャリア周波数に大きく依存するため、SiCインバータを用いることによってフィルタリアクトルの大きさを大幅に減少できる。

3. 小型11kW SiCインバータの試作と評価

3.1 小型11kW SiCインバータ

図5に、試作した400V/11kW SiCインバータを示す。SiCインバータの体積は1.1Lであり、パワー密度にしておよそ10W/cm³となる。同容量のSiインバータに対し約4倍のパワー密度である。このSiCインバータに搭載されているSiC-MOSとSiC-SBDのデバイスサイズはいずれも5mm角であり、耐圧は1,200Vである。

3.2 11kW SiCインバータの特性

図6に、SiCインバータの静特性及び動特性評価結果を基に導出したインバータ動作時の電力損失を示す。導出条件は、キャリア周波数15kHz、力率0.8、実効電流23Aである。損失が大幅に低減され、従来のSiインバータと比較して70%低減となる。また、SiCインバータでは過渡的な損失であるスイッチング損失(SW損)の低減効果が大きく、SW損で比較した場合83%の低減効果がある。

スイッチング損失が大きく低減できることは、SiCインバータは高キャリア周波化に有利であることを示唆する。

図7に、出力11kW時のインバータ電力損失のPWMキャリア周波数依存性を示す。キャリア周波数30kHzでのSiCの損失が、キャリア周波数5kHzでのSiの損失と同等以下であることが分かる。キャリア周波数を従来の6倍に上げることができれば、フィルタリアクトルを大きく低減することが可能になる。

4. SiCインバータによる省エネルギー・省資源

パワーデバイスは広い分野で使用されており、SiCデバイスも様々な機器での適用が期待できる。現在使用されている国内のエアコン、冷蔵庫のインバータがすべてSiCイ



図5. 400V/11kW SiCインバータ

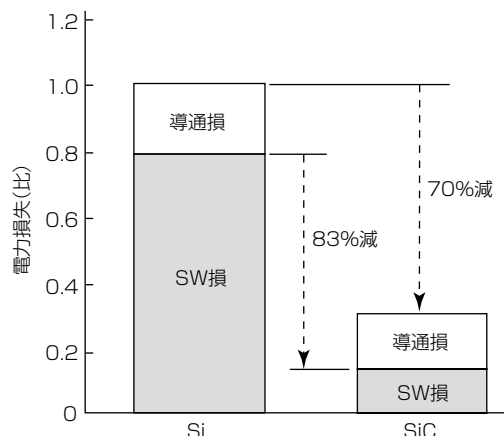


図6. SiCインバータとSiインバータの損失比較

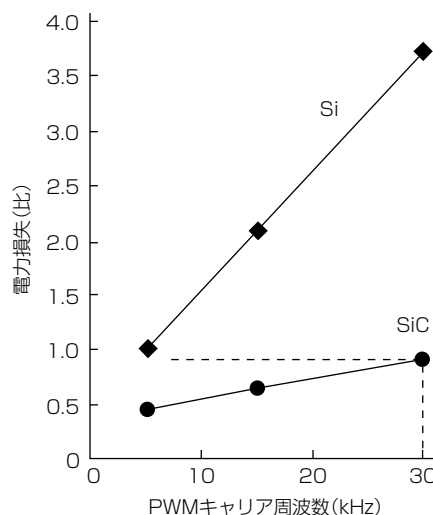


図7. 出力11kW時のインバータ回路部損失のPWMキャリア周波数依存性

ンバータに置き換わった場合、CO₂換算で100万トンの省エネルギー効果があるとされている。太陽光発電で使用されている電力変換器の変換効率、現在最大で97.5%程度であるが、SiCデバイスを使用することによって99%近い効率が可能であるという報告がある。ハイブリット自動車の普及が急速に広がっているが、インバータにSiCデバイスを使用することで燃費が約10%改善できるという試算もある⁽¹⁾。

インバータ損失の低減は機器の小型化を可能にするため省資源に寄与する。一方、SiCデバイスを用いることでインバータの高キャリア化を行えば、フィルタリアクトル等の小型化によって省資源に貢献できる。

SiCの普及は省エネルギー・省資源に大きく貢献することが期待できるため、早期の実用化が望まれる。SiCインバータの実用化と普及には、デバイスの性能向上と低コスト化が重要であるが、SiCインバータが搭載されるそれぞれの機器の特徴に応じてSiCデバイスの特性を最大限に生かす使用方法の検討と信頼性技術の確立が重要である。

5. む す び

当社はSiCパワーデバイスの開発を進めてその基本特性の向上を目指すとともに、応用技術開発を行っている。

2007年度には、パワー密度 9 W/cm^3 の小型3.7kW SiCインバータを試作して、電力損失がSi比で50%低減できることを示した。2008年度には、パワー密度 10 W/cm^3 の11kW SiCインバータを試作して、電力損失がSi比で70%低減できることを示し、インバータ動作の高キャリア周波数化に

よって、インバータに接続されるフィルタなどを小型化することができることを示した。

今後SiCデバイスを応用する上での信頼性技術を更に高め、早期実用化によって省エネルギー・省資源に貢献する。

この研究は経済産業省/NEDO((独)新エネルギー・産業技術総合開発機構)から委託された“パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発”の成果である。

参 考 文 献

- (1) 産業競争力懇談会(COCN)報告会資料：グリーンパワーエレ技術 (2009)
- (2) Kinouchi, S., et al.: High Power Density SiC Converter, Matreial Science Forum Vols. 600-603, 1223~1226 (2009)
- (3) Nakata, S., et.al: Substantial Reduction of Power Loss in a14kVA Inverter Using Paralleled SiC-MOSFETs and SiC-SBDs, Silicon Carbide and Related Materials 2008, 903~906 (2009)