

車載用第3世代直接水冷型パワーモジュール

3rd-Generation Direct Liquid Cooling Power Module for Automotive Applications

榎本 一雄* ENOMOTO, Kazuo

小山 貴裕* KOYAMA, Takahiro

佐藤 憲一郎* SATO, Kenichiro

地球温暖化防止に向けたCO₂排出規制の強化により、エンジンとモータの双方を利用するハイブリッド自動車（HEV）や、モータのみで走行する電気自動車（EV）の開発が急速に進められており、さらなる普及が期待されている。HEVやEVでは、動力制御に用いるインバータの設置スペースは限られており、高出力化する電池やモータに対応するため、高電力密度化とさらなる小型化が求められている。

これらの要求に対して、富士電機は車載用第3世代直接水冷型パワーモジュールを開発した（図1）。この製品は、冷媒の流路を最適化し、従来品よりも高い放熱性能を持っている。さらに、新たにカバー一体型のアルミニウム製ウォータージャケットと、フランジ構造の冷媒出入り口を採用したことにより、ユーザは、フランジ出入り口に指定流量の冷媒を流す配慮を行うだけでよい。

また、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）には、第7世代のチップ技術を適用して損失を低減するとともに、FWD（Free Wheeling Diode）を一体化したRC-IGBT（Reverse-Conducting IGBT：逆導通IGBT）を採用して、モジュールの高電力密度化と小型化を図った。

1 特徴

今回、製品化した車載用第3世代直接水冷型パワーモ

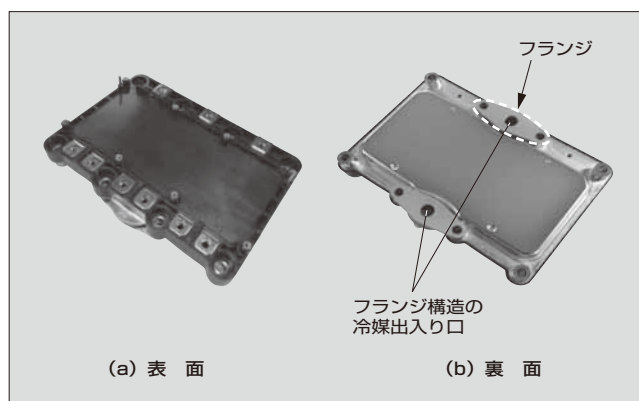


図1 車載用第3世代直接水冷型パワーモジュール

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部 EV モジュール技術部

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部開発統括部パッケージ実装開発部

表1 車載用第3世代直接水冷型パワーモジュールの主な仕様

項目	仕様
コレクタ-エミッタ間電圧	750 V
定格電流	800 A
最大動作温度	175 °C
外形寸法	W162 × D116 × H24 (mm)
質量	560 g

ジュールの主な仕様を表1に示し、特徴を次に示す。

(1) パワーモジュールの小型化

IGBTとFWDを一体化したRC-IGBTを採用し、従来品と比較して15%小型化した。

パワーモジュールの高放熱化水冷フィンとカバーを一体化した冷却器構造により、放熱性の向上と薄型化を実現した。これらにより、車載用第2世代直接水冷型パワーモジュールよりも、約1.6倍の高電力密度化を実現した。

(2) 主端子配線の低インダクタンス化

各相の入力端子を独立させることと、配線を最短にすることでインダクタンスを下げて、高速スイッチング動作によるスイッチング損失を低減するとともに、電流遮断時のサージ電圧を低減した。

2 背景となる技術

2.1 RC-IGBT 適用技術

RC-IGBTは、フィールドストップ（FS）型IGBTを採用し、ストライプ状に交互にIGBT領域とFWD領域を一つのチップに配置した構造である（図2）。ワンチップ化でチップ周辺部の耐圧を確保するためのガードリングと呼ばれる領域が削減でき、二つのチップで構成する従来よりもチップ面積が小さくなる。また、IGBT動作時にはFWD部からも放熱し、逆にFWD動作時にはIGBT

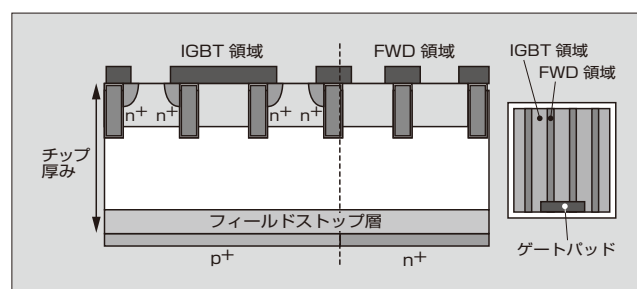


図2 RC-IGBTの概略構造

部からも放熱するので、IGBT と FWD それぞれの動作時に熱抵抗を低減できる効果がある。さらに、最新の薄ウェーハプロセス技術の適用と、トレンチ構造、チャンネル密度などの最適化により低損失化を実現し、チップの小型化が可能になった。

2.2 高放熱冷却技術

図3に、直接水冷パワーモジュールの従来構造と、新製品で採用した新構造の断面図を示す。従来構造では、ウォータージャケットはユーザが独自に設計し用意するため、ヒートシンクとウォータージャケットが個別部品となっていた。このため、ユーザは、流路設計だけでなく、水密性やフィン端部とジャケット底面間のクリアランスを考慮した設計が必要であった。新構造では、ヒートシンクとウォータージャケットを一体化してクリアランスの考慮を不要とした。さらに、フィン形状にも工夫を加え、従来構造よりも放熱性を30%向上させた。

2.3 低インダクタンス化技術

パッケージ内部の低インダクタンス化により、ターンオフ時と逆回復時のサージ電圧は減少する。RC-IGBTの採用と内部レイアウトの最適化により、従来品に対して新製品の内部インダクタンスは約半分である。

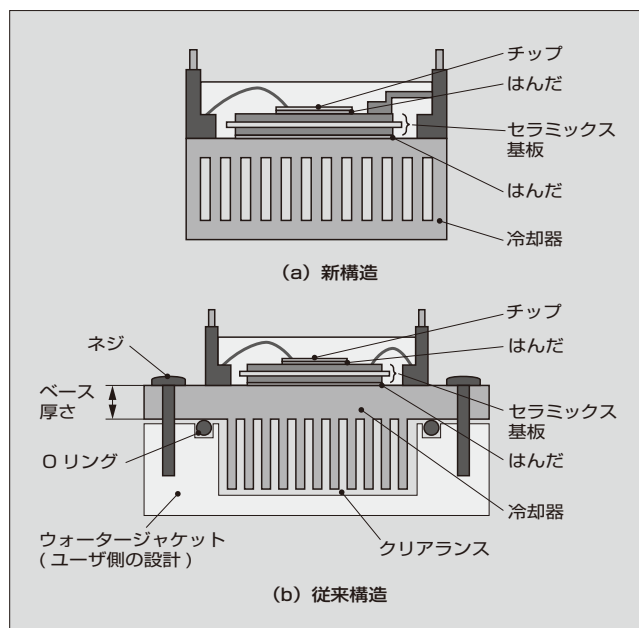


図3 パワーモジュールの断面構造

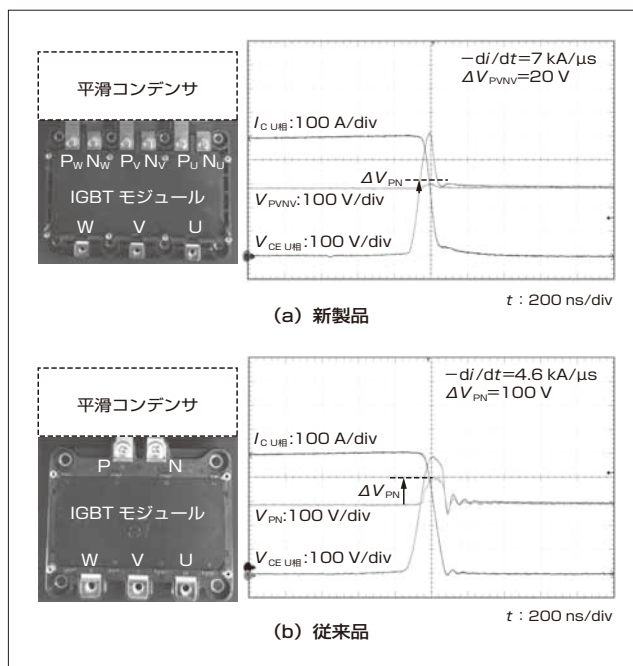


図4 ターンオフ時のPN端子間のサージ電圧

る。一方、パワーモジュールを使用するときは、平滑コンデンサを接続するため、ターンオフ時にPN端子間に発生するサージ電圧を抑えることも重要である。図4に、ターンオフ時のPN端子間のサージ電圧を示す。

従来品では、三相のPN端子をモジュール内で一括配線としているため、PN間に100Vのサージ電圧が発生している。一方、新製品では、三相のPN端子を独立配線とし、内部配線を含めて配線長を極力短くし、配線インダクタンスを小さくした。これにより、電流遮断速度が約1.5倍高いにもかかわらず、PN端子間サージ電圧は20Vとなり大幅に減少している。

発売時期

2016年11月

お問い合わせ先

富士電機株式会社

電子デバイス事業本部営業統括部営業第二部

電話 (03) 5435-7151

(2017年1月30日 Web公開)

SiC ハイブリッドモジュールを適用した北米向け大容量 UPS 「UPS7300WX-T3U」

“UPS7300WX-T3U,” Large-Capacity UPS Using SiC Hybrid Modules for North America

佐藤 篤司* SATO, Atsushi

村津 宏樹* MURATSU, Hiroki

黒崎 智* KUROZAKI, Tomo

通信機器やネットワークなどの情報通信システムの安定稼働は、情報化社会では前提条件となっており、これらのシステムが停止すると、社会活動に甚大な影響を及ぼす可能性がある。無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power System）は、システムの安定稼働のために 24 時間 365 日安定した電源を供給するための電気機器であり、情報化社会の主要な役割を担うデータセンターにおいては必要不可欠な機器である。

データセンター向け UPS の市場は世界規模で伸長している。富士電機は、2015 年度に北米市場の規格に適合する容量 500 kVA の UPS の販売を開始した。お客さまのさまざまな要求に応えるためには容量系列を増やす必要があり、新たに高効率な 480 V 系オンライン UPS 「UPS7300WX-T3U」を開発した（図 1）。

1 特徴

1.1 高効率

本装置は、ダブルコンバージョンモード（VFI：Voltage and Frequency Independent）とエコモード（VFD：Voltage and Frequency Dependent）の切替が可能である（図 2）。

VFI では、最高効率が 97.5% と高い装置効率を実現している。これにより、UPS での電力損失が低減するだけ



図 1 「UPS7300WX-T3U」(480 V 系 333 kVA 機)

* 富士電機株式会社パワエレ機器事業本部パワーサプライ事業部企画部

* 富士電機株式会社パワエレ機器事業本部開発センター

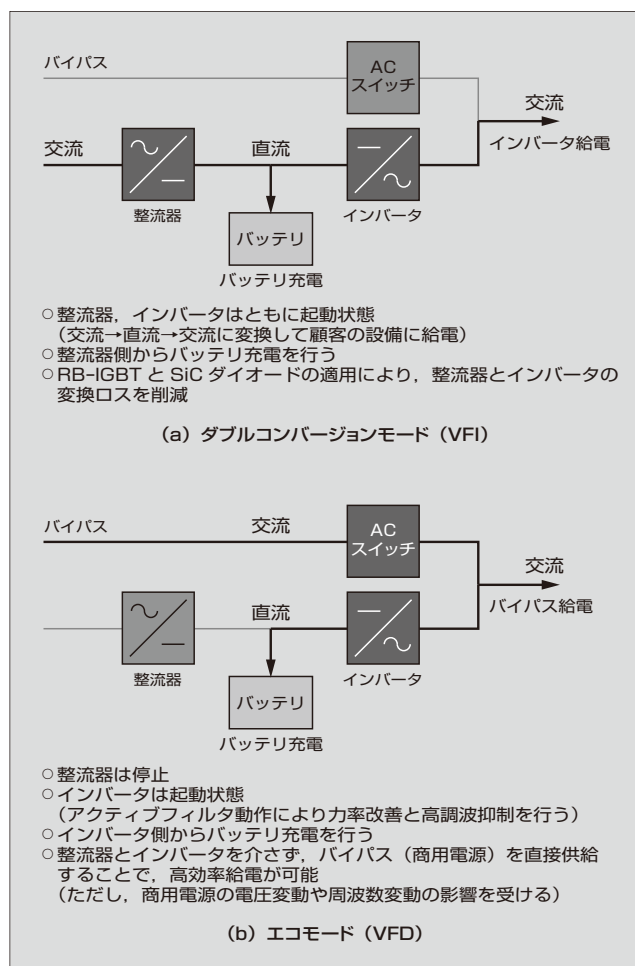


図 2 ダブルコンバージョンモードとエコモード

でなく、UPS システムに用いる空調機の消費電力も削減できる。

データセンターではシステムの信頼性を保証するために装置の二重化・冗長化を施しており、一般的に運用時の負荷率が低い。そこで、本装置は低負荷領域（20～50%）における電力損失も低減している。これには、SiC ダイオード適用による軽負荷領域での導通損失低減、および 3 レベル変換器適用によるリアクトルの固定損失低減が寄与している。

図 3 に、国際エネルギースタートアッププログラム^{（注）}の認証試験の結果を示す。VFI では、負荷率が 25～100% の間で 96.3% 以上の効率である。実運用負荷が低い場合も高効率で運用が可能であり、高い省エネルギー効果が得られる。また、負荷率で重み付けして算出される国際エネルギー

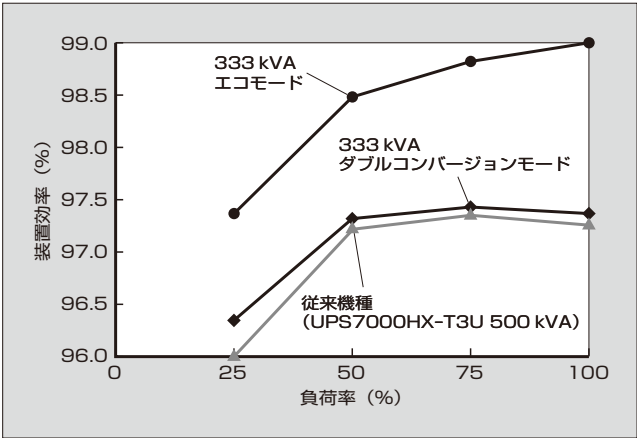


図3 国際エネルギースタープログラムの認証試験の結果

スタープログラムの認証効率は、97.1%である。さらに VFD では、最高効率は 99.0% であり、従来機種より大幅に高い効率を実現している。

1.2 高信頼性

データセンターにおいては、24 時間 365 日、UPS によって安定した給電を継続する必要がある。本装置は、並列冗長システムや待機冗長システムなどの高信頼性電源システムに対応しており、保守メンテナンス時や万が一の故障時においても給電を継続することができる。

1.3 高力率負荷・進み力率負荷への対応

近年では、高力率化の要求により、力率改善 (PFC)

表1 「UPS7300WX-T3U」の仕様

項目		仕様
方式		ダブルコンバージョンモード (VFI) エコモード (VFD)
定格容量		333kVA/333kW
装置最高効率		97.5% (VFI 時)
切替時間		無瞬断 (VFI 時) 2ms (VFD 時)
質量		1,100kg
入力	相数	三相3線
	電圧	480V+10%, -30%
	周波数	60Hz ± 10%
	入力力率	0.99 以上
	入力高調波電流	3% 以下
バイパス入力	相数	三相3線
	電圧	480V ± 10%
直流	定格電圧	480V (240セル, 鉛蓄電池)
	相数	三相3線
	電圧	480V
	周波数	60Hz
	定格出力力率	1.0 (0.7 (遅れ) ~ 0.7 (進み))
	電圧精度	±1% 以下
	過渡電圧変動	±3% 以下 (負荷急変 0 ⇄ 100%)
	過渡変動整定時間	50ms
	電圧波形ひずみ率	2% 以下 (100% 線形負荷) 5% 以下 (100% 整流負荷)
	周波数精度	±0.01% (非同同期時)
	周波数バイパス同期範囲	±5%
	過負荷耐量	125% : 10分 150% : 1分

を適用した電子機器が増えている。したがって、PFC を適用している高力率の負荷に対し、装置容量を低減することなく電力を供給するため、負荷力率 1.0 (333kW) の出力に対応した。また、前述の PFC を適用している負荷が停止した場合、負荷力率は進みになる。本装置はそのような状況も含めたさまざまな負荷に対応するため、適用可能な負荷力率範囲を 0.7 (遅れ) ~ 0.7 (進み) としている。

1.4 仕様

UPS7300 WX-T3U の外形寸法を図 4 に、仕様を表 1 に示す。

2 背景となる技術

本装置では、ダイオードに SiC を適用した富士電機製の SiC ハイブリッドモジュールを採用している (図 5)。

図 6 に、SiC ダイオードと Si ダイオードの特性比較を示す。電流の実使用領域において、SiC ダイオードの方が

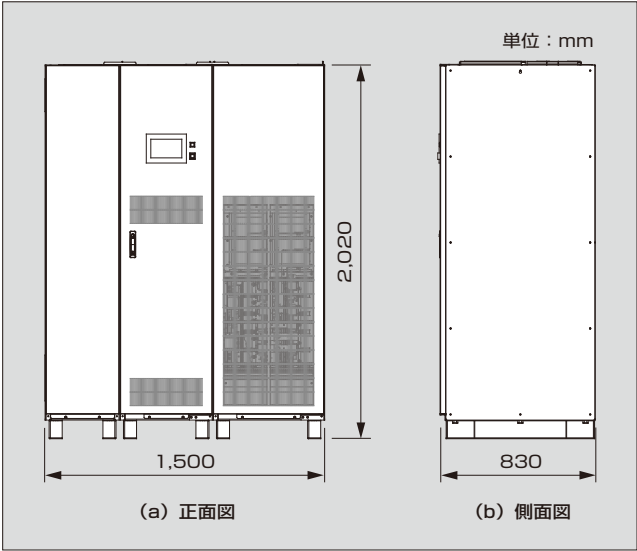


図4 「UPS7300WX-T3U」の外形寸法

〈注〉国際エネルギースタープログラム (エナジースター): 電気機器の省エネルギーのための国際的な環境ラベリング制度である。経済産業省と米国環境保護局の相互承認の下で運営されている。対象となる製品は家電製品から産業機械、コンピュータまでと幅広い。

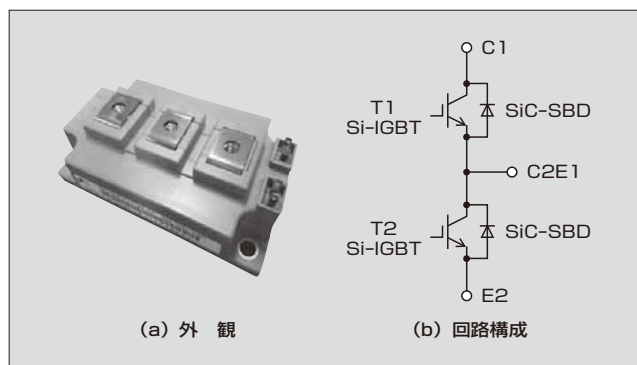


図5 SiC ハイブリッドモジュール

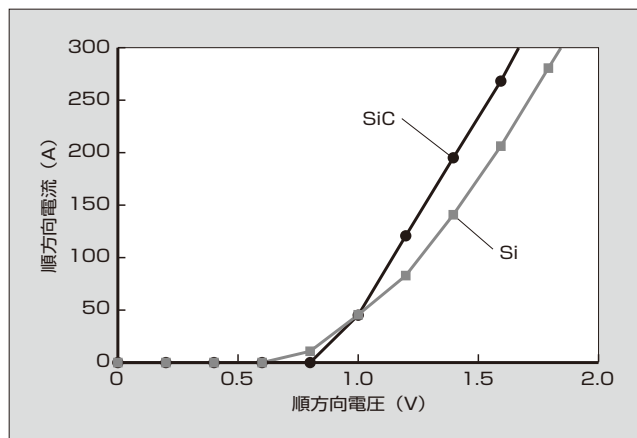


図6 ダイオードの特性比較

オン電圧が低いため、損失が少なくなる。

PWM コンバータでは、DC リンクコンデンサに充電する際の電流経路においてダイオードの通流率が高くなるため、オン電圧の低い SiC ダイオードを整流器に適用するのが最も効果的である。

発売時期

2016 年 10 月

お問い合わせ先

富士電機株式会社

パワエレ機器事業本部パワーサプライ事業部企画部

電話 (03) 5435-7091



*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。