

# グローバルなモノづくり・運用に向けた モジュラー型電力変換技術

馬淵 雄一  
Mabuchi Yuichi

松元 大輔  
Matsumoto Daisuke

上妻 央  
Kamizuma Hiroshi

服部 幸男  
Hattori Yukio

市川 智教  
Ichikawa Tomonori

宮川 良平  
Miyagawa Ryohei

近年、電力変換器の市場では、省スペース化や保守の簡易化といったニーズが高まっている。それに応えるため、日立の優位技術であり、冷却性能に優れた両面冷却パワーモジュールを用い、さまざまな電力変換器に適用可能なモジュラー型電力変換ユニットを開発した。本開発品は、従来の片面冷却モジュールに比べて放熱性に優れた体積が小さい両面冷却パワーモジュールを用いるこ

とで、電力変換に必要な主要部品を搭載しながらも従来の体積から55%削減し、小型化と保守性の向上を実現している。

今後、最初に本開発品を搭載する無停電電源装置に加え、他の電力変換器へも適用し、グローバルなモノづくりを推進していく。

## 1. はじめに

電力インフラ機器など、われわれの生活のさまざまな場所で、電力を交流から直流に変換する技術やその逆の変換技術を利用した電力変換器が用いられている。身近な例では、太陽光発電向けのPCS (Power Conditioning System) やモータを駆動するドライブ装置、停電時の電力をバックアップする無停電電源システム (UPS: Uninterruptible Power System) などがある。これらの装置は、われわれの日々の生活を支える重要な機器となっている。

これら電力変換器の世界市場規模と日立の電力変換器関連製品を図1に示す<sup>1)~3)</sup>。中国やインドに代表される新興

国の経済発展や再生可能エネルギーの導入量増加に伴い、これら電力変換器製品の世界市場規模は、年率8~10%で増加していくと見込まれている。日立は、小型、高効率、高信頼を軸に、電力変換器関連製品を展開しており、今後、さらなるグローバルなモノづくりを推進していく。

電力変換器の一つにUPSがある。UPSは、データセンターや銀行などで、必須の設備となっている。これらの施設では、停電による電力の喪失が顧客データの消失や取り引きの停止などの深刻な問題につながる。そこで、UPSには、停電時でも機器に途切れなく電力を供給する高い信頼性が要求される。最近では、インターネットの急速な普及とともに、ネットワーク環境やデータセンターなどでの機器の規模、必要電力容量が急速に拡大している。このため、拡張性・信頼性・冗長性に優れ、需要や必要規模に応じて無停電で増設でき、保守性に優れたUPSが求められる。また、近年増加傾向にある都市型のデータセンターでは、施設フロアをできるだけ有効に活用することが求められる。このため、UPSもできるだけ小型化して省スペース化することが要求される。

UPSを含む電力変換器に対し、これらニーズを満たす製品の開発手法の一つに、モジュラーデザイン<sup>4)</sup>がある。モジュラーデザインは、限定された製造設備で作られた互換性が高い少数の部品やユニット (モジュール) を事前に

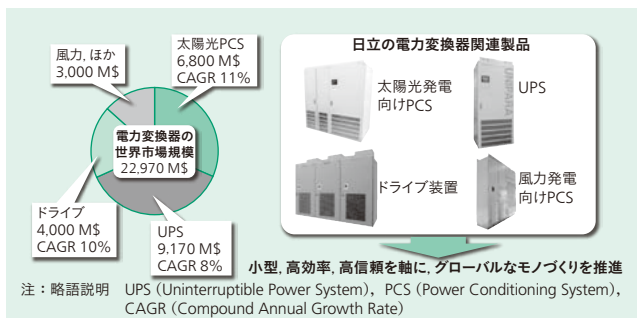


図1 | 電力変換器の世界市場規模 (2014年) と日立の電力変換器関連製品

電力変換器の世界市場規模は年率8~11%で増加していくと見込まれる。日立は、小型、高効率、高信頼を軸に電力変換器関連製品のグローバルなモノづくりを展開している。

設計しておき、それらを組み合わせて多様な製品を生み出すブロック型の設計理論である。この設計手法により、より少ない部品点数で拡張性に優れた製品を実現できるばかりでなく、メンテナンス部品の共通化によって保守性も同時に向上できる。UPSを含む電力変換器の主要部品であるパワー半導体に、日立が2011年に開発した両面冷却パワーモジュール<sup>5)</sup>を適用することで、従来よりも体積を半減したモジュラー型の電力変換ユニットを開発した。これにより、UPSの主要部品を小型化するとともに、保守性の向上も同時に実現した。

本稿では、開発したモジュラー型電力変換ユニットの詳細と、これを用いたUPSについて説明し、最後に今後の展開について述べる。

## 2. モジュラー型電力変換ユニットの開発

UPSを例に、電力変換器を構成する主回路の構成を図2に示す。交流電力を直流に変換するコンバータ回路と、停電時に蓄電池の電力を電力変換器内部の直流回路に供給するチョップ回路、電力変換器内部の直流電力を交流に変換して機器に電力を供給するインバータ回路から成る電力変換回路を内蔵する。これら回路を共通化するモジュラー型電力変換ユニットを開発した。

日立が開発した両面冷却パワーモジュールを図3に示

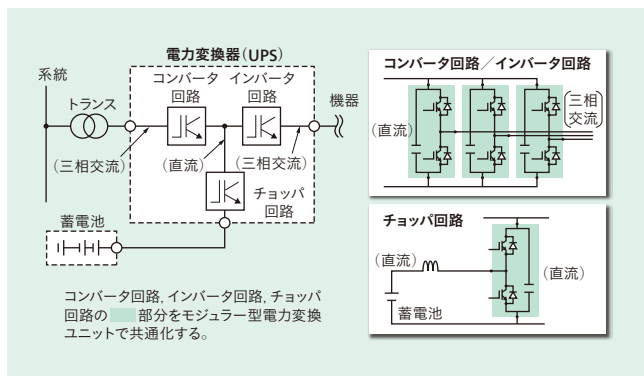


図2 | UPSを例にした電力変換器の主回路構成

電力変換器であるUPSは、コンバータ回路とインバータ回路、チョップ回路から成る主回路を内蔵する。

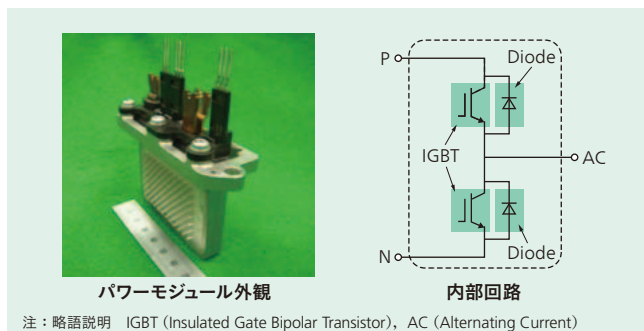


図3 | 両面冷却パワーモジュール

モジュールの両側面から放熱することで、従来の片面冷却品に比べ、冷却性能を高めている。

す。このパワーモジュールは、従来の片面冷却モジュールに比べ、モジュールの両側面から放熱することで冷却性に優れており、体積も従来の片面冷却品に比べて小さい。本パワーモジュールを用いることで、モジュラー型電力変換ユニットの体積を小型化できる。両面冷却パワーモジュールを適用したモジュラー型電力変換ユニットを開発するためには、次の3つの技術が必要になる。

- (1) 両面冷却パワーモジュールに適した空冷化技術
  - (2) モジュラー型電力変換ユニットの薄型化を実現する電流均等化配線技術
  - (3) ユニット並列配置を容易にするバスバー実装技術
- 以下、これら3つの開発技術について説明する。

### 2.1 両面冷却パワーモジュールに適した空冷化技術

まず、従来の片面冷却パワーモジュールの構造と冷却方式を説明する。従来の空冷型片面冷却パワーモジュールでは、半導体素子、リードフレーム、絶縁材、ベースプレートを片面で積層し、半導体素子が動作する際に発生する熱を放熱する構造をとる（図4参照）。同図に、熱流体シミュレーションで得られた、従来の片面冷却パワーモジュールと空冷フィンを用いた冷却システムの温度分布を示す。この温度分布から、放熱フィン先端部分まで熱が十分拡散しておらず、放熱フィンが有効に使われていない部分があることが分かる。

次に、両面冷却パワーモジュールと開発した冷却方式を説明する。本モジュールは、半導体素子をリードフレームと絶縁材、ベースプレートによって両面から挟み込む構造であり、半導体素子の動作で発生する熱をモジュールの両面から放熱する（図5参照）。これにより、熱の伝わりにくさを示す指標である熱抵抗は、従来の片面冷却パワーモジュールに比べて半減している。

両面冷却パワーモジュールの空冷化には、パワーモ

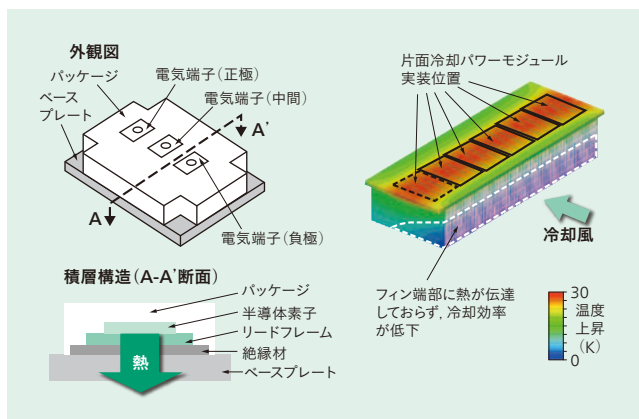


図4 | 従来の片面冷却パワーモジュールの構造と冷却

片面冷却パワーモジュールは、片面のみから放熱する。これを実装する冷却フィンには熱が十分伝達しない部分があり、冷却効率を低下させている。

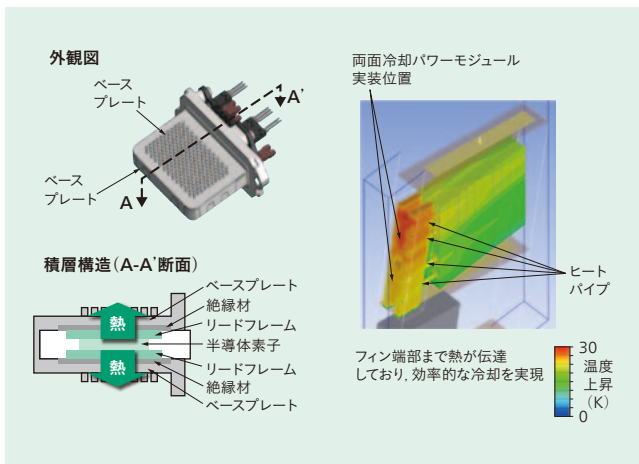


図5 | 両面冷却パワーモジュールの構造と冷却

両面冷却パワーモジュールは、両側面から放熱する。これにヒートパイプを適用した高効率フィンを組み合わせることで、小型化を実現した。

ジュールの両面からの熱を効率よく放熱する小型の空冷フィンを開発する必要がある。これに対しては、熱伝導性に優れたヒートパイプを、パワーモジュールの両放熱面に配置する独自の構造とした。開発した空冷フィンの熱流体シミュレーション結果を同図に示す。開発した空冷フィンは、端部まで熱が拡散しており、フィン効率を従来から20%高められたことにより、空冷フィンの体積を従来に比べて約50%削減できた。

## 2.2 モジュラー型電力変換ユニットの薄型化を実現する 電流均等化配線技術

電力変換器の保守・増設を容易にできるようにするために、モジュラー型電力変換ユニット自体の幅を縮小するとともに、ユニット自体をスライドさせて電力変換器の前面から抜き差し可能な薄型構造とした。開発したモジュラー型電力変換ユニットの構造を図6に示す。この構造では、2つのパワーモジュールとコンデンサが直線上に配置されるため、コンデンサと2つのパワーモジュールの距離を均等にすることが難しく、コンデンサに近いパワーモジュールに電流が偏って流れやすくなるのが課題となる。これに対し、電磁界解析により、配線の幅と形状に加え、厚みも考慮した配線形状とすることで、複数のパワーモジュールへ流れる電流を均等にする配線実装技術を開発した。

実測した結果、各パワーモジュールの電流アンバランス量を2%以内に抑えることができた。本技術により、幅5 cmの薄型ユニットを実現した。

## 2.3 ユニット並列配置を容易にするバスバー実装技術

電力変換器の小型化には、薄型のモジュラー型電力変換ユニットを隣接して配置することが求められる。これには、インバータ回路やコンバータ回路などに加え、それぞ

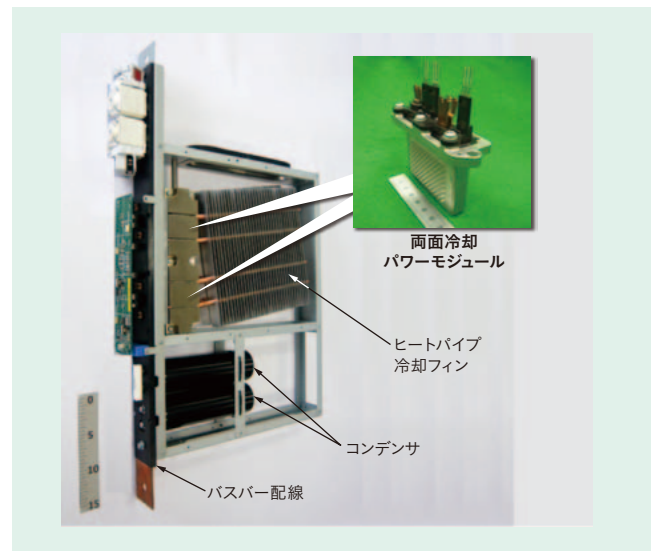


図6 | モジュラー型電力変換ユニット

2つのパワーモジュールとコンデンサを直線上に配置することで、幅5 cmの軽量薄型化を実現した。

れの回路内のU、V、Wの各相を構成するモジュラー型電力変換ユニット間の電氣的な干渉を考慮した実装が必要になる。

電力変換器の動作において、電力変換ユニットの動作周波数とユニット間の共振周波数が近い場合、ユニット間に過剰な共振電流が発生し、変換器の動作に悪影響を及ぼす。一方で、モジュラー型電力変換ユニットに実装されるコンデンサの寿命低下の要因であるリップル電流 (Ripple Current: コンデンサに流れる高周波の電流) を抑制するため、各ユニット間を低インダクタンスで接続する必要がある。これに対し、電磁界解析と回路シミュレーションを駆使し、モジュラー型電力変換ユニットを接続するバスバーを開発した (図7参照)。開発したバスバーは、ユニット間の共振を抑制するとともに、ユニット間を低インダクタンスで接続することで、従来のバスバー接続の場合に比べ、コンデンサに流れるリップル電流を43%低減した。こ

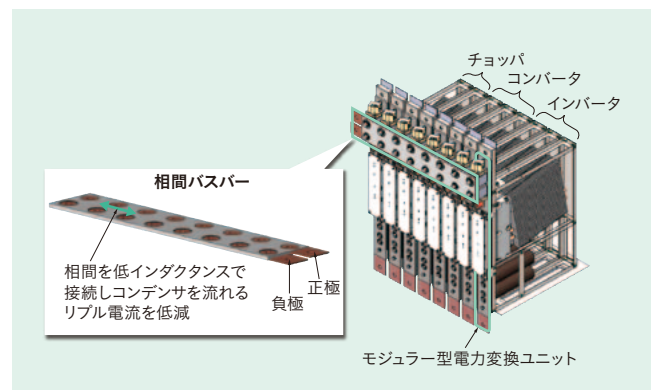


図7 | モジュラー型電力変換ユニットの並列接続を容易にするバスバー実装

ユニット間の共振を抑制するとともに、ユニット間を低インダクタンスで接続することでリップル電流を抑制し、コンデンサの小型化を実現した。



の技術により、小容量コンデンサの適用が可能となり、コンデンサ実装部分の体積を約50%削減した。

以上の開発技術により、従来品より体積を55%削減し、幅を5 cmにした薄型モジュラー型電力変換ユニットを実現した。

### 3. モジュラー型電力変換ユニットを適用したUPSの開発

両面冷却パワーモジュールを用いることで、小型化かつ薄型化したモジュラー型電力変換ユニットを大容量UPSに適用した。このUPSは、従来器に比べて体積を30%小型化すると同時に設置面積も30%削減し、省スペース化を実現している(図8参照)。UPSの容量増設時は、必要な数のモジュラー型電力変換ユニットを並列接続するのみで対応可能である。さらに、前面からのアクセスで容易にユニット交換が可能であることに加え、保守員が一人で作業可能なユニット重量としているため、これまでに比べて保守性も向上している。本開発のモジュラー型電力変換ユニットを適用した容量100 kVA~300 kVAのUPSを製品化した。

### 4. おわりに

日立の優位技術であり、冷却性能に優れた両面冷却パワーモジュールを適用した空冷のモジュラー型電力変換ユニットを開発した。本ユニットを適用したUPSは、従来器よりも省スペース化を実現するとともに、拡張性や保守性の向上を実現した。

今後、本開発のモジュラー型電力変換ユニットを、PCSやドライブなどの他のパワーエレクトロニクス製品へ展開することで、高信頼性や小型化、省スペース化、保守性向

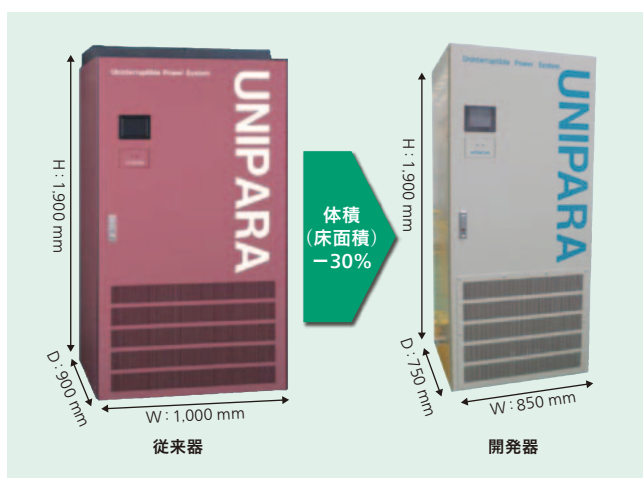


図8 | モジュラー型電力変換ユニットを適用したUPS (容量100 kVA)

モジュラー型電力変換ユニットを適用することで、従来器に比べ-30%の省スペース化を実現するとともに、保守性も向上した。

上の面で顧客のニーズを満たす製品開発を推進していく。また、モジュラー型電力変換ユニットは、海外で生産した場合でも、従来の設計手法に比べ、機種展開が容易で組み立て性に優れ、信頼性や品質の維持が容易になる。これらの特性を生かし、モジュラー型電力変換ユニットを活用したグローバルなモノづくりを推進していく。

#### 参考文献など

- 1) IHS Technology PV inverters Report - 2014, IHS Technology (2014.3)
- 2) Global uninterruptible Power Supply Market 2011-2015, TechNavio (2012.12)
- 3) Medium Voltage AC Drives Global Market Outlooks, ARC Advisory Group (2014.3)
- 4) 日本モジュラーデザイン研究会, <http://www.modular-design-institute.jp/>
- 5) 日立ニュースリリース, 電気自動車, ハイブリッド自動車用インバーターの小型化に貢献する直接水冷型両面冷却技術を適用したパワーモジュールを試作(2011.11), <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2011/11/1121a.html>

#### 執筆者紹介



**馬淵 雄一**  
日立製作所 研究開発グループ 制御イノベーションセンタ  
パワーエレクトロニクスシステム研究部 所属  
現在, パワーエレクトロニクス製品の研究開発に従事  
博士(工学)  
電子情報通信学会会員, エレクトロニクス実装学会会員



**松元 大輔**  
日立製作所 研究開発グループ 制御イノベーションセンタ  
パワーエレクトロニクスシステム研究部 所属  
現在, パワーエレクトロニクス製品の研究開発に従事



**上妻 央**  
日立製作所 研究開発グループ 制御イノベーションセンタ  
パワーエレクトロニクスシステム研究部 所属  
現在, パワーエレクトロニクス製品の研究開発に従事  
電子情報通信学会会員



**服部 幸男**  
日立製作所 研究開発グループ 制御イノベーションセンタ  
パワーエレクトロニクスシステム研究部 所属  
現在, パワーエレクトロニクス製品の研究開発に従事



**市川 智教**  
日立製作所 インダストリアルプロダクツビジネスユニット  
電機システム事業部 パワーエレクトロニクス本部  
パワーエレクトロニクス設計部 所属  
現在, パワーエレクトロニクス製品の開発に従事  
電気学会会員



**宮川 良平**  
日立製作所 インダストリアルプロダクツビジネスユニット  
電機システム事業部 パワーエレクトロニクス本部  
パワーエレクトロニクス設計部 所属  
現在, パワーエレクトロニクス製品の開発に従事  
電気学会会員