

# かしめ工法によるヒートシンク一体型 高放熱パワーモジュール

中島 泰\* 木村 亨\*\*  
三田泰之\* 北井清文\*\*  
芳原弘之\*

Heat Sink Integrated High Heat Dissipation Power Module by Crimping Method

Dai Nakajima, Yasuyuki Sanda, Hiroyuki Yoshihara, Toru Kimura, Kiyofumi Kitai

## 要 旨

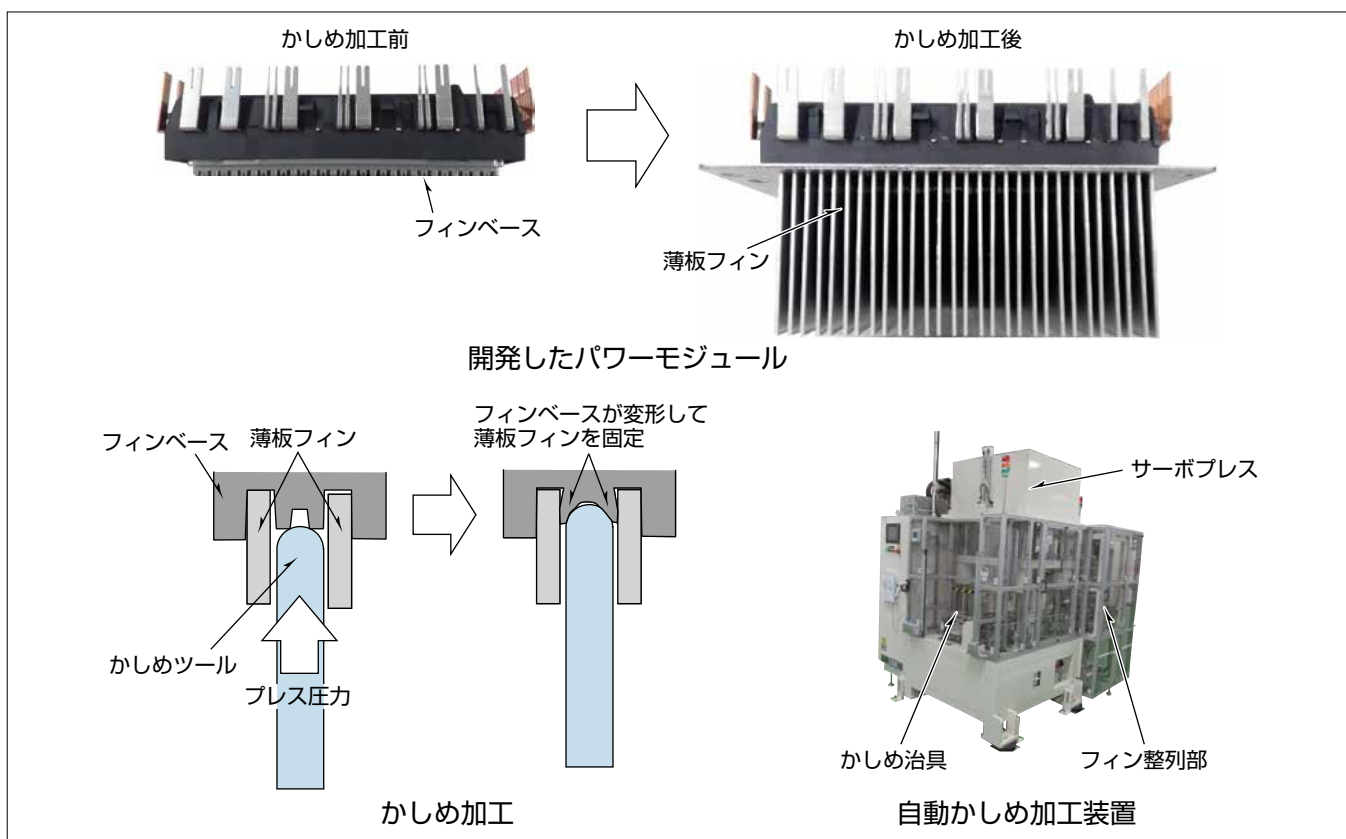
パワーモジュールは、家電製品、産業用機器、輸送機関などの幅広い分野で用いられている電力変換を行う半導体製品である。省エネルギーや再生可能エネルギー利用の増大、車両の電動化などの流れによって需要が拡大している。

一般的にパワーモジュールは動作時に発熱するため、ヒートシンクと組み合わせて使用されている。パワーモジュールの底面とヒートシンクの受熱面間には熱伝導グリスが用いられるが、熱伝導グリスの熱伝導率は1～5 W/mKのものが主流であり、パワーモジュールやヒートシンクの構成材料であるCu(銅)やAl(アルミニウム)の200～400W/mKの熱伝導率に比べて熱伝導率が非常に小さいため、放熱性能を向上させる上での阻害要因の一つとなっている。

今回、産業用機器向けパワーモジュールの放熱性向上と

小型化を目的に、パワーモジュール底面に設けたフィンベースの凹凸部に薄板フィンをかしめ加工によって一体化してヒートシンク部を構成した新たな放熱技術、複数の薄板フィンを一括でかしめ加工する自動機、かしめ加工時の応力低減効果が得られるトランスファモールド封止構造を開発した。

開発したヒートシンク一体型のパワーモジュールは、熱伝導グリスを用いた構造に対して、熱抵抗0.16K/Wと高い放熱性が得られ、容積が0.56倍と高出力密度化を達成した。このパワーモジュールは三菱電機汎用インバータ“A800シリーズ”の1.5～7.5kW機種に適用されている。今後更なる適用の拡大を図る。



## 開発したパワーモジュールとかしめ加工及び自動かしめ加工装置

放熱性を向上させることを目的として、モジュール底面のフィンベース部に薄板フィンをかしめ加工によって一体化するモジュール構造を開発した。複数枚の薄板フィンを一括ずつ整列した後に一括で所定の位置にセットし、加圧してかしめ加工する専用の自動かしめ加工装置を開発して量産に適用した。

### 1. ま え が き

パワーモジュールは家電製品、産業用機器、輸送機関などの幅広い分野で用いられている電力変換を行う半導体製品であり、複数のパワー半導体素子を通電・放熱・絶縁などの機能を持たせて一体化したものである。省エネルギーや再生可能エネルギー利用の増大、車両の電動化などの流れによって需要が拡大している。産業用機器では、工場で用いられるACサーボモータやロボットを始め、ファンやポンプなど多くの機器に適用されている。

従来のパワーモジュールでは放熱面とヒートシンクの受熱面の接触面間の隙間が放熱の妨げとなることを抑制するために、熱伝導グリスを介在させていた。ここで熱伝導グリスの熱伝導率は1～5 W/mK程度であり、パワーモジュールやヒートシンクの主要な放熱用の構成材料であるCu(約400W/mK)やAl(約200W/mK)に比べて熱伝導率が小さいため、放熱性能を向上させる上での阻害要因の一つとなっている。また温度変化が繰り返されるとポンピングアウトと呼ばれる熱伝導グリスの排斥現象が起きて放熱性が低下するという課題がある<sup>(1)</sup>。

自動車用パワーモジュールでは、これらの課題を解決して高出力密度化を実現するために、熱伝導グリスを介さずに水冷型ヒートシンクとパワーモジュールを一体化した製品が実用化されている<sup>(2)(3)</sup>。産業用機器では、一般的に冷却には自然空冷方式又は強制空冷方式が用いられていることから、技術の横展開ができていなかった。今回、産業機器向けのパワーモジュールで、強制風冷型ヒートシンクを熱伝導グリスを用いずに一体化した製品を開発・量産化した。

### 2. ヒートシンク一体型パワーモジュールの構造

パワーモジュールの底面にヒートシンクを一体化した構造を開発するに当たり、ヒートシンクの構造を選定した。ダイカスト工法や押し出し工法で製造されたヒートシンクなどが通常用いられているが、より高放熱のヒートシンク構造としてかしめ工法によるヒートシンクがある。多数の薄板フィンを狭いピッチで配置できることが特長である。しかし、パワーモジュール製造工程でヒートシンクを一体化して搬送したり加工することは、生産設備が大型化し生産性を阻害する懸念があった。そこで、パワーモジュール底面に配置したフィンベース部を小型化し、パワーモジュールよりも前後の長さが大きい薄板フィンをを用い、薄板フィンを囲うパネルとダクトを一体化することで、冷却風が流れる領域を制限して放熱性を向上させる構造にした。また、フィンベースに設けた凹凸部に薄板フィンをかしめ加工によって一体化することにした。開発したパワーモジュールの構造(以下“開発構造”という。)を図1に示す。

開発構造では薄板フィンとフィンベース間を接触によ

て熱的に接続しているため、放熱上の妨げとなる接触熱抵抗が介在する。開発構造でこの影響を確認するため、削り出しで一体化したヒートシンクと、かしめ加工で薄板フィンを取り付けしたヒートシンクを試作し、接触熱抵抗の影響を調査した。かしめ部の詳細な構造については3章で触れる。図2に試作したヒートシンクの熱抵抗の測定結果を示す。この例では8枚の40×40×1(mm)の薄板フィンを一体化したヒートシンクを用いた。図のように削り出し一体型の熱抵抗1.00K/Wに対して、かしめ加工によって得られたヒートシンクの熱抵抗は1.02K/Wと微増することを確認した。放熱設計の観点ではこの2%の熱抵抗増大は十

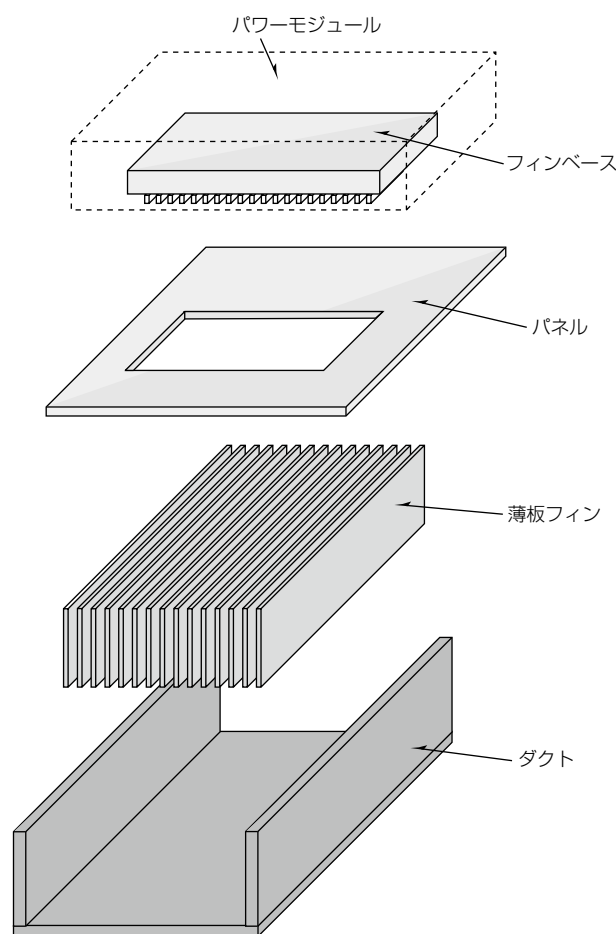


図1. パワーモジュールの構造

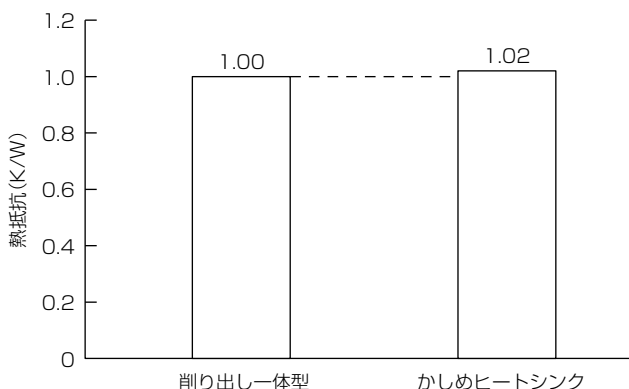


図2. 試作したヒートシンクの熱抵抗測定結果

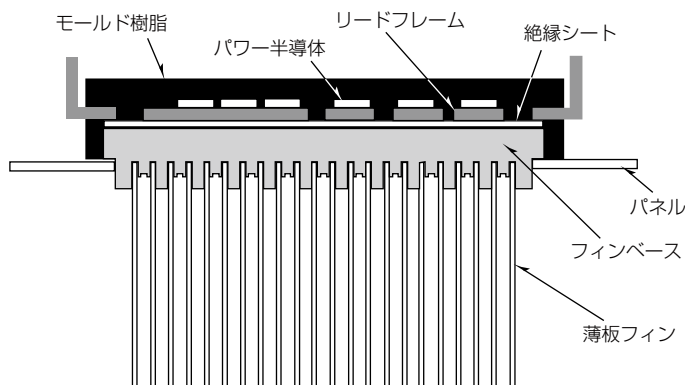


図3. パワーモジュールの断面構造

分許容可能であり、グリスを用いる構造よりも低熱抵抗化が可能であるため、この構造で開発を進めることにした。

かしめ工法をパワーモジュールに適用する場合、フィンベースを加圧したときの加圧力をパワーモジュールの上面が支える必要がある。今回の開発品ではパワーモジュールの構造として図3に示すようなトランスファモード封止構造を適用した。当社の多くのパワーモジュールに用いられており、熱硬化性のモールド樹脂内にパワーモジュールの構造物を封入していることに特徴がある<sup>(4)</sup>。従来のパワーモジュール構造にはゲルが封入されている中空部分があったが、トランスファモード構造の場合、中空部分がないため、かしめ加工の加圧力を上面全体で受け止めることができ、今回のかしめ工法に適している。

### 3. フィンかしめプロセス及び装置の開発

薄板フィンのかしめ加工には自動機を開発した。今回の開発品では厚み1mm、縦横41×97(mm)の薄板フィン30枚を所定の3.4mmピッチに整列した上で、モジュールの底面のフィンベースに設けられた凹凸部にかしめ加工する。装置の外観を図4に示す。薄板フィンをまとめてセットした状態から一枚ずつ取り出して整列台上に配置するフィン整列部、薄板フィンを一時的に保持する可動位置決め機構を持つかしめ治具、治具を加圧して、薄板フィンをモジュール底面のフィンベースの凹凸部に挿入し、次いでかしめ治具がモジュールの底面に押しあてて塑性変形させて加圧力を与えるサーボプレス機構から構成されている。

図5にかしめ加工前と加工後の断面図を示す。図5(a)に示すようにフィンベースにはかしめ部と垂直壁という2種類の凹凸部がある。薄板フィンを垂直壁とかしめ部の間の溝に挿入し、図5(b)のようにかしめ治具で加圧する。すなわち2枚の薄板フィンに対して1枚のかしめ治具でかしめ加工する。その結果、図5(c)のようにかしめ部が変形し、薄板フィンを垂直壁と変形したかしめ部で挟み込んだ状態で保持する。このような一連のプロセスによってかしめ加工が完了する。

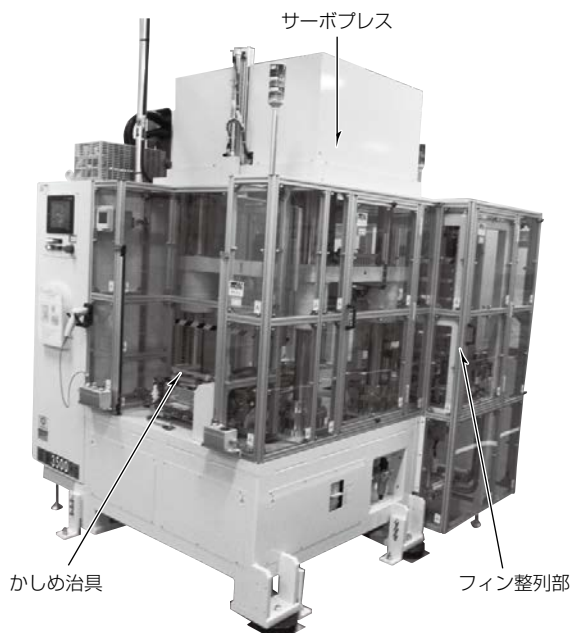


図4. 自動かしめ加工装置

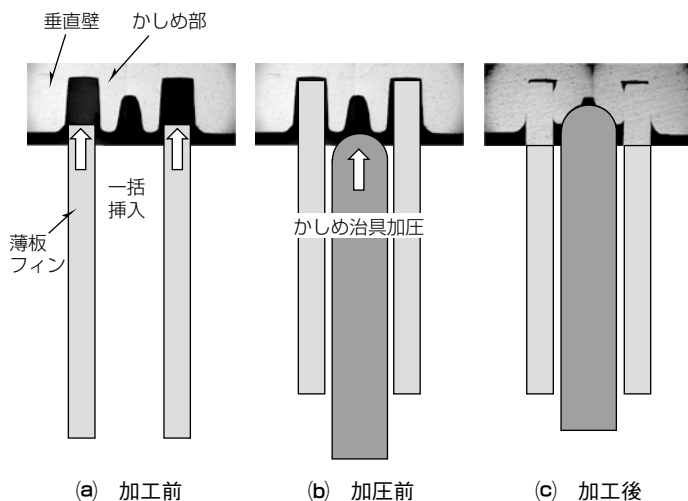


図5. かしめ加工前と加工後の断面図

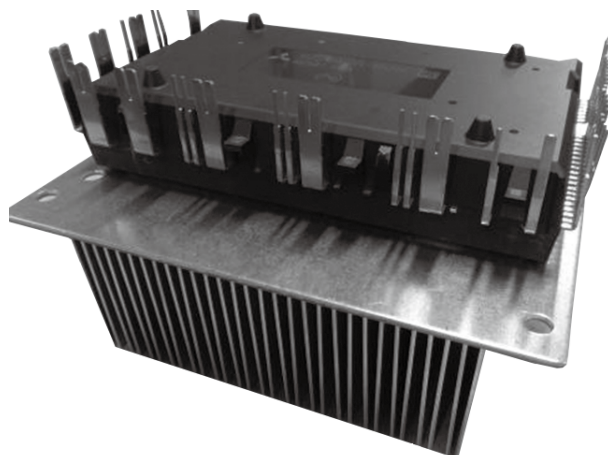


図6. 7.5kW用パワーモジュール



図7. ダクトと一体化したヒートシンク一体型パワーモジュール

#### 4. フィンかしめ工法によるモジュールの評価結果

図6に開発品のうち定格出力7.5kWの汎用インバータ向けパワーモジュールのかしめ加工後の外観を示す。また図7にパワーモジュールをダクトと一体化した状態の外観を示す。所定のDCファンをダクトの全面に配置して強制風冷状態で熱抵抗0.16K/Wと高い放熱性が得られた。前世代の熱伝導グリスを用いた構造に対して容積が0.56倍と高出力密度化を達成した。

#### 5. む す び

放熱性向上を目的として、熱伝導グリスを介さずに強制風冷型ヒートシンクを一体化した新たなパワーモジュール構造を開発・量産化した。開発の成果は次のとおりである。

(1) パワーモジュールの生産性を確保して高い放熱性を得るため、パワーモジュールよりも長さの大きい薄板フィンをかしめ加工によって一体化し、パネルとダクトを用

いて風路を構成するパワーモジュール構造を考案した。

- (2) 2枚の薄板フィンに対して1枚のかしめ加工ツールで、フィンベースのかしめ部を加圧して固着するかしめ加工プロセスを開発した。
- (3) かしめ加工工程には、薄板フィンを自動的に配列し、一括でフィンをかしめ加工する自動機を開発し、量産適用した。
- (4) 30枚の縦横41×97(mm)の薄板フィンを用いて熱伝導グリスなしにヒートシンクを一体化したことで熱抵抗は0.16K/Wの高い放熱性が得られ、容積は0.56倍の高出力密度化を達成した。

これらの結果から、2015年からA800シリーズインバータの一部機種に適用し、量産中である。また他のシリーズにも適用して低熱抵抗化を進めていく計画である。

#### 参 考 文 献

- (1) 小西祐一郎, ほか: 熱サイクルにともなう熱伝導グリスのポンプアウト現象に関する可視化実験, 日本機械学会論文集, **83**, No.845, DOI: 10.1299/transjsme.16-00243 (2017)
- (2) 八木英介, ほか: 小型乗用車用パワーコントロールユニットの開発, 半導体電力変換研究会, 電気学会研究会資料, 49~51 (2010)
- (3) 難波明博, ほか: 次世代高出力密度電動コンポーネント技術, エレクトロニクス実装学会誌, **19**, No.5, 321~324 (2016)
- (4) 白石卓也, ほか: 1,200V大型DIPIPM“Ver.4シリーズ”, 三菱電機技報, **84**, No.4, 251~254 (2010)