高熱伝導ヒートスプレッダ材料の開発

Development of High Thermal Conductivity Material for Heatspreader

村　井　　悠*　　奥　村　雅　敏*
Yu MURAI　　Masatoshi OKUMURA

要　旨

F1ハイブリッドシステムにおいて，小型，軽量パワーコントロールユニット成立の要となる DC-DC コンバータの放熱性能を向上させるためにダイヤモンド圧粉体に銀を含浸させた材料を開発し，従来のアルミニウム材に対して３倍の熱伝導率を達成した．銀ダイヤモンド複合材料をヒートスプレッダに適用することで素子の温度上昇を33%抑制させ，連続アシスト可能時間を 1.4 秒からレギュレーション上限の 6.66 秒まで延長可能になる見通しを得た．

ABSTRACT

The DC-DC converter is key to developing small, lightweight power control units for Formula One hybrid systems. A new material consisting of a silver-impregnated diamond powder compact, was developed in order to enhance the heat dissipation performance of the DC-DC converter. The coefficient of thermal conductivity of the developed material is three times that of a conventional aluminum material. The use of the silver-diamond composite material in a heatspreader has reduced the temperature increase of the switching elements by 33%, offering a good prospect for the extension of continuous boost from 1.4 to 6.6 seconds, the maximum regulation figure.

１．背景と目的

2009 年から F1 レギュレーションでハイブリッドシステム（以下 KERS）の使用が認められ，モータ出力 60 kW で１周あたりの使用可能エネルギー 400 kJ のアシスト，回生を利用できる．連続アシスト時間の延長はストレートでの追い抜きに効果があり，レース戦略の自由度向上が可能となる．

KERS のパワーコントロールユニット（以下 PCU）は電圧を制御する DC-DC コンバータ（以下 VCU）とモータ電流を制御するインバータからなる．熱負荷が大きいのは動作周波数の高い VCU のスイッチング素子である．VCU のヒートスプレッダの放熱性能を向上することで，レギュレーション上限の 60 kW，6.66 秒連続アシスト（以下フルアシスト）を可能にすることを目的として開発した．

２．開発技術

2.1. 材料検討

放熱性を向上させるためのヒートスプレッダ材料要求特性は，高い熱伝導率と回路基板の絶縁板に近い線膨張率である．絶縁板には，熱伝導性の良い窒化アルミニウム（以下 AlN）が使われるが，ヒートスプレッダの線膨張係数が AlN に近ければ，熱応力緩衝用バッファの廃止が可能となり熱抵抗が低減する（Fig. 1）．

Table 1　Properties of materials for heatspreader

Material	Thermal conductivity W/mK	Coefficient of thermal expansion 10^{-6}/K	Density g/cm^3	Volume fraction of diamond %
A6063	200	23.4	2.7	–
Ag-CD	630	5.5	6.0	62

Table 1に示すように，熱伝導率が高いダイヤモンドと銀（以下Ag）を複合化させることで，従来材料に比べ３倍以上の熱伝導率向上を達成した．また，線膨張率が 1.1×10^{-6} K^{-1} であるダイヤモンドの体積率を62%にし，複合材の線膨張率を AlN に近い 5.5×10^{-6} K^{-1} とした（Fig. 2）．

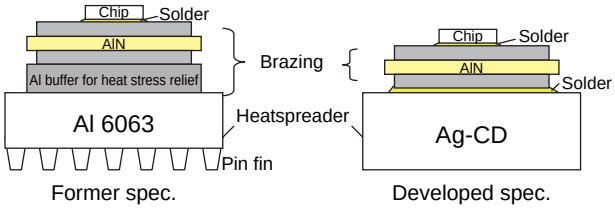

Fig. 1　Cross-section of power device

＊四輪R&Dセンター

2.2. 材料製法

高熱伝導率であるダイヤモンドの特性を最大限生かすために，平均粒径 0.1 mm の結晶性良好なダイヤモンド粉末を用いた．充填率を上げるため型内で加圧，金属を含浸させひずみ取り熱処理をした後，型から取り出し成形体を得た．Ag-CD 材の組織写真を Fig. 3 に示す．

2.3. 部品開発

ダイヤモンド複合材は硬度が高いため，切削と研磨による加工がほぼ不可能である．高い精度を必要としないケース取り付け用貫通穴と外形切断はウォータジェット加工で対応した．精度が必要な熱電対取り付け用溝とテーパ穴，止まり穴加工は放電加工で対応した．

ヒートスプレッダの低線膨張化に併せて，封止樹脂も 10×10^{-6} K^{-1}の低線膨張仕様を採用した．パワーサイクル試験による熱衝撃耐久試験後も性能低下はなかった．

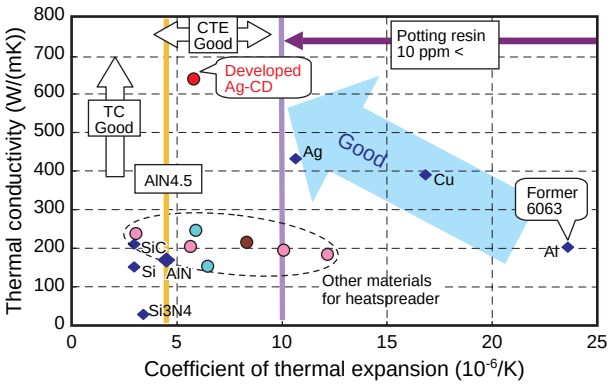

Fig. 2　Thermal conductivity and CTE of materials

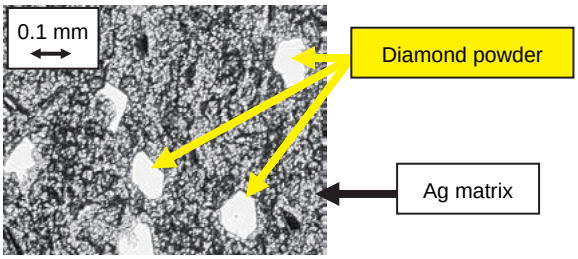

Fig. 3　Microstructure of Ag-CD material

4．結果

Al6063 材と Ag-CD 材ヒートスプレッダを用いて試作したパワーモジュールを用いて過渡熱抵抗試験を実施し放熱性能を評価した．

同形状 Fin なしでの比較では，従来の Al6063 材に比べ Ag-CD 材は素子の温度上昇を 35%抑えられる．Fig. 4 に示すように，形状効果も含めた VCU への適用効果を検証すると，温度上昇を33%抑えられることを確認した．全レースを想定した冷却水温 80℃以下で連続アシスト時間を 1.4 秒から 6.66 秒に延長しフルアシストが可能になる見通しを得た．

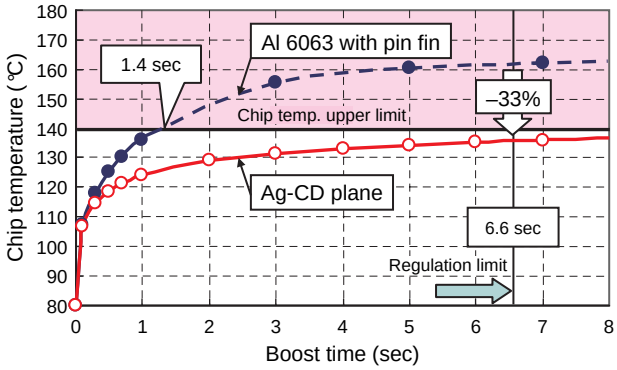

Fig. 4　Chip temperature after boost

5．まとめ

従来のAl材に比べ，高熱伝導率，低線膨張であるAg-CD材を開発した．Ag-CD 材を VCU のヒートスプレッダに適用することで，放熱性能が33%向上し，全レースで連続6.66秒のフルアシストが可能になる見通しを得た．

■著　者■

村井　悠　　奥村雅敏