

寄稿



セラミックスでヒートシンク 第3の放熱手法を活用

西村 元延 西村陶業 開発部

電子機器を開発する技術者にとって、避けては通れないハードルが熱設計である。金属製のヒートパイプや放熱シートなどを使い、熱を逃がす工夫に知恵を絞る。こうした放熱対策に今、セラミック材料を展開する西村陶業が独自の提案に力を入れている。それが、高い熱放射率を備えるセラミック基板を放熱対策に活用するというものだ。(本誌)

我々は、セラミックスをヒートシンクに利用する取り組みを進めている。高い熱放射率を有するセラミックス「N-9H」を開発し、既にLED照明向けのヒートシンクとして量産中だ。例えば、「東京スカイツリータウン」の押上駅前広場のLED照明の放熱板や大手家電メーカーのLED照明スタンドなどに採用されている(図1)。

N-9Hは、LED以外の用途でも搭載が進んでいる。例えば、IGBTモジュールの筐体用ヒートシンクやリアプロジェクション(背面投射型)テレビの画像処理LSI、屋外監視カメラのヒートシンクなどで採用実績がある。いずれも、フィン形状のヒートシンクを採用しにくい場面で用いられている。

LED照明のネックは熱対策

我々が開発したヒートシンク用のセラミックスは Al_2O_3 (アルミナ)をベースとしている(次ページの「きっかけは電子レンジ」参照)。詳しくは後

述するが、N-9Hに出力8WのLED素子を固定したものを発光させ続けたところ、温度上昇を最高でも79°Cに抑えられた。

LED照明は蛍光灯や白熱電球からの置き換えが着々と進んでおり、市民権を得たと言ってよいだろう。近年、白色LEDの発光効率は著しく改善が進み、一般的な照明に求められる100lm/W以上の水準を満たす素子が増えている¹⁾。消費電力も白熱電球に比べて約80%、蛍光灯に比べて約30%も削減できることから、建築や医療、美術などさまざまな分野への展開が始まっている²⁾。

一方で、LED照明を開発する技術者にとって、頭を悩ませる課題がある。それが、放熱機構の設計だ。高輝度白色LEDにおいて、LED素子駆動時の発熱による発光強度や寿命の低下が大きな問題となっている^{3),4)}。これは、200lm/Wを超える白色LEDの実現を見据える開発の現場でも顕在化しており、効率の高いLED

素子の開発には優れた放熱部品の採用が欠かせない⁵⁾。

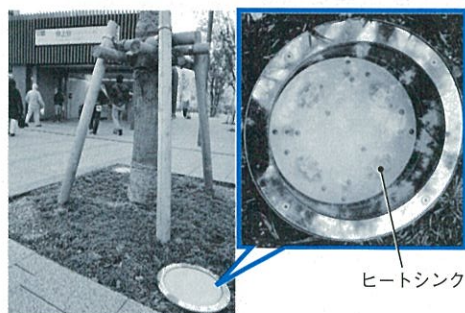
一般に白色LEDでは、発光時のLED素子の温度を80°C程度に抑えることができれば、LED照明に必要な寿命とされる4万時間において、70~80%の光束維持率を達成できるとされる⁶⁾。この要求を満たすため、現状のLED照明には熱伝導性の良い金属筐体に空冷用フィンを設けた構造が多く用いられている。だが、筐体寸法が白熱電球に比べ大きくなってしまいう上、冷却能力が不足している場合が多い。

第3の放熱現象に着目

我々が開発したヒートシンク用セラミックスの最大の特徴は、「放射」と呼ばれる現象を利用している点にある(図2)。熱の伝わり方には、「熱伝導」「対流」「放射」という三つの形態がある。格子振動の伝播や金属における自由電子の移動が「熱伝導」、流体が動くことで熱が運ばれるのが「対流」、そして熱を赤外線エネルギーに変換して放出する形態を「放射」と呼ぶ。

「対流」現象による空冷用のヒートシンクは、流体や気体がヒートシンク面にできるだけ触れる機会を増やすようなフィン型の形状をしている。これに対して、「放射」を利用するヒートシンクはできるだけ平面の領域を増やし、この表面を介して赤外線エネルギーを放射するものである。

(a) 押上駅前広場のLED照明



(b) 大手家電メーカーのLEDランプ



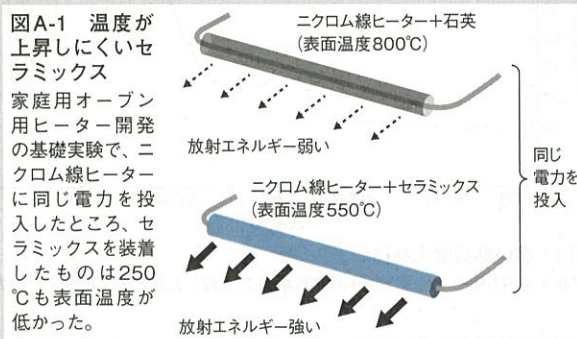
図1 採用が進み始めたヒートシンク
西村陶業は、アルミナを用いたヒートシンクを開発した。LEDの放熱部品を中心に搭載されている(a、b)

きっかけは電子レンジ

セラミックスをヒートシンクに利用するアイデアが生まれたのは、十数年前のこと。きっかけは、このとき開発していたヒーターだった。家電メーカーから、電子レンジにオープン機能を付加する案件が持ち込まれていた。「ニクロム線ヒーターでセラミックスを熱し、セラミックス表面から発せられる遠赤外線で調理をする」という企画だった。それまでニクロム線が露出しないようカバーとしての役割を担っていた石英管を熱放射率の高いセラミックスに変更し、赤外線で加熱しようと考えた(図A-1)。

調理機能を高める開発を進める中で、石英とセラミックスの材料としての差異から生じる特性が気になった。セラミックスは熱を赤外線に変換して放射するが、石英管は違うため、両者の表面温度は顕著に異なると推測していた。実際、測定すると石英管の温度は800℃で、セラミックスの温度は550℃だった。この結果から、セラミックスを電子部品などの発

熱体の冷却にも使えるのではと思うようになった。同時に、セラミックスは高い絶縁性を持つことから大出力のハロゲン・ランプの筐体に採用されていたが、表面温度がそれほど高くならなかったことも、この考えを後押しする一因となった。



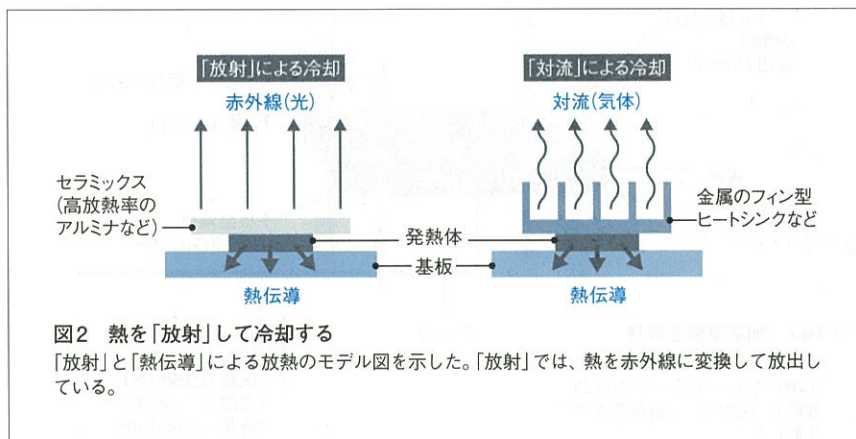
つまり、「放射」を利用するヒートシンクはまず、薄型の平面形状が最適となり、搭載機器の薄型化に向く。さらに、筐体が密閉かつ薄型のために、対流による熱移動が望めない状況でも熱を逃がすことができる。

一般に「放射」に関わる法則性は式(1)に示すStephan-Boltzmannの式で説明されることが多い⁷⁾。

$$E = \epsilon \delta S (T_a^4 - T_b^4) \dots \dots (1)$$

ここで、 E は放出エネルギー、 ϵ は熱放射率、 δ はボルツマン定数、 S は発熱体の表面積、 T_a は発熱体の表面温度、 T_b は外気温度である。この式(1)から、次の三つのことが言える。

- (1) エネルギー放出は発熱部表面の熱放射率に比例する
- (2) エネルギー放出は表面積に正比例する



- (3) 表面温度のおおむね4乗に正比例する

当社が「放射」を利用したセラミックスを提案する理由は、(1)の熱放射率の効果を期待してのことである。セラミックスの熱放射率は、Cu(銅)やAl(アルミニウム)合金など金属に比べて桁違いに高い。放射率の高さは熱エネルギーを赤外線に変換する効率が高いことを示している。

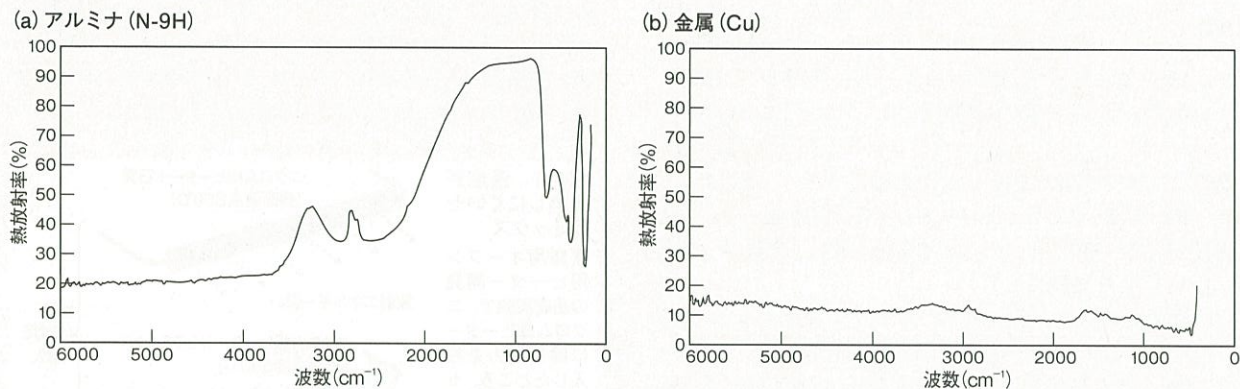


図3 高い熱放射率を持つアルミナ
アルミナ (N-9H) と金属 (Cu) の熱放射率を比較したところ、アルミナの方が約8倍高いことが分かった。

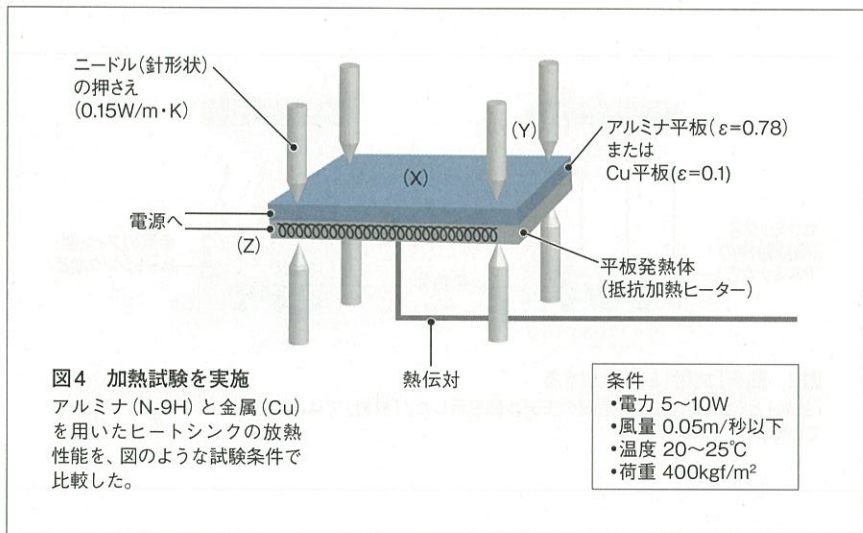


図4 加熱試験を実施
アルミナ (N-9H) と金属 (Cu) を用いたヒートシンクの放熱性能を、図のような試験条件で比較した。

N-9Hの熱放射率は、全ての波長域を平均した値(全放射率)で約0.78で、ピーク値では0.97だった(図3)。これに対してCuの全放射率は約0.1である。つまり、N-9HはCuに比べて約8倍「放射」しやすいのである。

この結果と式(1)を照らし合わせると、N-9Hは「放射」による冷却に適していることが分かる。N-9Hが示

した約0.78という全放射率は、さまざまなアルミナの中でも高い部類に入る。一般的なアルミナの全放射率は0.4~0.5程度である。熱の伝わりやすさを示す熱伝導率は、N-9Hは39W/m・Kである。これは汎用材料の2倍、熱伝導率が高い他社品に比べても10%以上高い。

高い熱放射率と高い熱伝導率を兼

ね備えることができた理由は、材料の改良にある。詳細は明らかにできないが、一般のアルミナに比べて材料の結晶粒径を小さくしている。粒径は数μmで、一般的なアルミナに比べて1桁小さい。

粒界には、材料中の不純物に起因する熱伝導率が低い部分がある。例えば、粒径が1/2になると熱伝導を妨げる粒界の表面積は全粒子で見ると8倍に広がる。不純物量が同じ場合、粒界での不純物の濃度が薄くなり、格子振動(フォノン)が伝わりやすくなる。さらに、内部の気孔および粒界偏析が少なくなるように製造している。粒界偏析とは、熱処理中に不純物が粒界に濃縮する現象。この結果、熱伝導率を高められる。

Cu平板と比較実験

理論を裏付けるため、当社では開発したアルミナを用いたヒートシンク