

# パワーエレクトロニクス機器の伝熱技術と信頼性に関する研究

環境技術研究所（国際環境工学部 機械システム工学科 兼務）

教授 金本 恭三

## 1. はじめに

低炭素社会の実現を目指す環境技術研究においてエネルギー発生効率を高めるとともに、エネルギー損失コスト(ネガワットコスト)の低減が大きな柱となります。このような観点から電力変換と動力の制御を司るパワーエレクトロニクス(パワエレ)分野における稼働率の向上を大きなテーマと捉え不意の故障による機器の停止を低減して信頼性を高める技術を開発します。そのために大きく以下の2つの取り組みを行います。

## 2. 熱マネジメント技術開発

1)パワーハイドロモジュール(パワーモジュール)の温度分布と熱抵抗評価

電流をスイッチングするパワーモジュールはその動作(遮断/導通)によって電力損失を伴うため発熱が避けられません。パワーモ

モジュールの許容上限温度は現在150°Cですが図1に示すように熱膨張係数の異なる様々な材料を接合して一体化したものであるため温度変動に伴う熱膨張・収縮により接合界面付近では許容温度以下の使用であっても金属材料が疲労による劣化を起こします。このような劣化がモジュールの寿命を決めるため、効果的な熱の制御が必須となります。

そのためにはまず熱流体解析シミュレーションによりパワーモジュール内部の熱の流れを把握し図2に示すように温度分布と温度変動の最適化、電気伝導特性や熱伝導特性を利用した劣化の進行状況の詳細なモニタリング技術などを研究します。

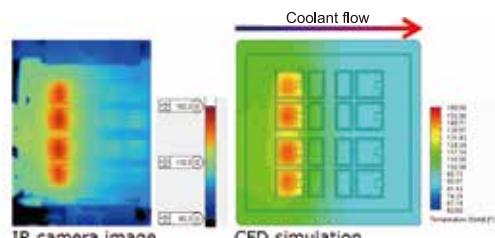


図2 モジュールの温度分布  
(K.Olsen, ECP-E Workshop on Thermal and Reliability Modeling 2016)

2)パワーモジュールの冷却構造の改善と高信頼化  
パワーモジュールの劣化を抑えるためには熱を効率良く逃がして温度上昇を防ぐことと、特定の箇所が高温化して寿命を低下させるのを防ぐ必要があります。

ここでは図3に示すような冷却媒体の気化を有効に利用するヒートスプレッダーによる熱分散技術により熱伝達の経路を広げることで冷却効率を高めるとともに温度を均一化して劣化の集中を抑える研究を行っています。

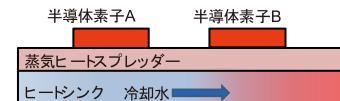


図3 蒸気ヒートスプレッダーによる温度均一化

## 3. 信頼性評価技術開発

1)パワーモジュールの劣化メカニズムの把握

パワーモジュールの疲労劣化による寿命を把握することはメーカーにとってもユーザーにとっても非常に重要です。メーカーでは寿命加速試験としてモジュールに高電流の通電と遮

断を繰り返し通常の温度変動の3倍から5倍程度の温度変動を加えることで耐用年数約15年のモジュールの寿命を1ヶ月程度に短縮して評価することも可能になります。

ここでは色々な加速試験条件において劣化部分の解析と劣化メカニズムの解明を行います。

2)パワーモジュールの劣化モニタと故障予知

パワエレは主にインバーター/コンバーターやモーター制御回路の形で家電製品から車や鉄道などの運輸機械、電力システムなど生活のあらゆる場面に浸透しています。このようなパワエレ機器の故障を予知し未然にメンテナンスを行う技術は経済的側面だけでなく安全性の側面からも非常に重要です。

ここではパワーモジュールの電気抵抗、熱抵抗、超音波応答などの特性に見られる劣化につながる異常信号(故障の予兆)を実動作状態で検出するオンラインモニタ技術を開発します。このために予兆信号を捕らえるための新たなセンシング技術、信号波形の処理技術、故障時期を推測して適切な処置を行うための診断技術などを開発します。



図4 175°C動作での主な故障要因  
(F.Momose他; PCIM2015 pp.772-778)

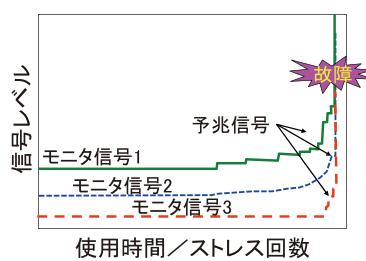


図5 故障の予兆を検出するモニタリング

## 4. 終わりに

これまでのエレクトロニクスは電気・電子工学科の専門でしたが、パワエレの信頼性に関してはこれに加えて伝熱工学、破壊力学、材料工学などの機械工学の素養がますます必要とされています。さらに劣化モニタ情報はIoT技術を通して蓄積しビッグデータとして活用することで、より有効で経済的な予兆保全を実現することが可能になります。この電気・電子工学領域と機械・伝熱工学領域さらに情報工学の交わる新しい境界領域に取り組んで行くつもりです。

### Profile



金本 恭三  
Kyozo Kanamoto

役職／教授  
学位／工学博士  
学位授与機関／東北大  
【連絡先】  
k-kanamoto@kitakyu-u.ac.jp

■ 研究分野・専門  
半導体材料・物性、パワーエレクトロニクス、伝熱工学、信頼性評価

■ 主要研究テーマ  
パワーハイドロモジュールの伝熱技術と熱疲労の研究  
パワーハイドロモジュールの疲労劣化診断技術の研究

■ PR・その他  
これまで30年余り企業で研究開発に携わってきました。これまでの経験を生かした教育と研究に携わりたいと考えています。