

液浸冷却環境下における TIM の熱抵抗をリアルタイム評価する技術を確立 ～AI データセンターの高発熱化に対応する熱設計・信頼性評価技術～

ポイント

- 沸騰・液浸冷却環境下において、CPU・GPU などの半導体素子と冷却部材の間に介在する熱界面材料（TIM）の接触熱抵抗を、連続的かつ定量的に評価する技術を確立しました。これにより、液浸環境下での熱抵抗の経時変化をリアルタイムに把握することが可能となります。
- 本技術により、冷却液への曝露や温度・圧力などの熱負荷によって生じる TIM の状態変化が、実際の熱性能にどのような影響を与えるかを定量的に評価することが可能となります。これまで評価が困難であった液浸環境下での TIM の熱的信頼性を可視化し、液浸冷却システムの長期信頼性向上や熱設計の高度化に貢献します。
- 本評価技術は、一般社団法人日本液浸コンソーシアムを通じて実証・評価方法の標準化を進め、液浸データセンターにおける熱設計・部材選定・長期信頼性評価の基盤技術として普及させていきます。
- 本取り組みの革新性と社会実装可能性が評価され、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「官民若手研究者発掘支援事業（若サポ事業）マッチングサポートフェーズ」に採択されました（研究代表者 山陽小野田市立山口東京理科大学 結城 光平）。今後、NEDO の支援のもと、TIM の劣化メカニズムの解明や寿命予測技術の確立に向けて研究開発を進めます。

【背景】

生成 AI や HPC（高性能計算）の普及に伴い、データセンターでは CPU・GPU の高性能化・高発熱化が急速に進んでいます。サーバーの消費電力増加に伴って発生する熱を効率的に処理することは、データセンターの省エネルギー化と安定運用を実現する上で重要な課題となっています。こうした中、CPU・GPU などの高発熱デバイスを冷却液に直接浸漬する**液浸冷却技術**は、高い冷却性能と省エネルギー性を両立する次世代の冷却技術として注目されています。

一方、液浸冷却システムでは、半導体素子とヒートスプレッダや冷却部材の間に使用される熱界面材料（TIM: Thermal Interface Material）が、長期間にわたり冷却液、温度変化、熱負荷などの影響を受けることになります。

TIM の状態が変化すると、半導体素子から冷却部材への熱移動を妨げる**接触熱抵抗**が変化し、結果として半導体素子の温度上昇や冷却性能の低下につながる可能性があります。

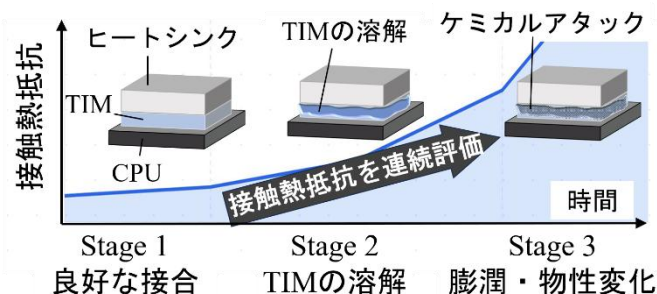


図 液浸環境での接触熱抵抗の経時変化イメージ

しかし、液浸環境下で TIM を実際に使用しながら、その**接触熱抵抗の経時変化を連続的に測定することは困難です**。そのため、液浸環境下における TIM の熱性能が時間とともにどのように変化するかを定量的に把握し、さらにその変化から**長期信頼性や寿命を予測するための評価技術**が求められていました。

【開発技術の内容】

このような背景のもと、山陽小野田市立山口東京理科大学工学部機械工学科の結城光平講師および株式会社ロータス・サーマル・ソリューションの井手拓哉（代表取締役社長）らの共同研究チームは、「液浸環境下における接触熱抵抗の in-situ（その場）評価技術」を開発し、液浸環境下で TIM の熱性能を連続的に評価する手法を確立しました。

本技術では、冷媒中に浸漬した TIM を介して接合した**模擬熱源と模擬冷却器**の間に熱流束を与え、接合部の温度差および熱流束を測定することで、TIM を含む界面の熱抵抗を連続的に算出します。これにより、TIM に対して冷媒への曝露、温度、圧力などの条件を与えながら、熱抵抗が時間とともにどのように変化するかをリアルタイムに把握することが可能となります。

従来は、試験前後の状態観察や重量変化などから推定することが多かった TIM の状態変化について、本技術では、「実際に熱をどれだけ通しにくくなったか」という熱性能そのものを連続的に評価できる点に特徴があります。

これにより、冷却液への曝露や熱・機械的負荷によって生じる TIM の膨潤、溶出、流動、

界面状態の変化などが接触熱抵抗に及ぼす影響を定量的に把握することが可能となります。

さらに、得られた熱抵抗の経時変化を解析することで、将来的には **TIM** の劣化メカニズムの解明や劣化速度の評価、寿命予測モデルの構築につなげることが期待されます。

【今後の展開】

本技術については、一般社団法人日本液浸コンソーシアムを通じて、実際の液浸冷却環境における実証を進めるとともに、**評価条件や評価方法の標準化**を目指します。

また、NEDO「官民若手研究者発掘支援事業（若サポ事業）マッチングサポートフェーズ」における支援のもと、今後は、**TIM** の劣化メカニズムの解明、劣化速度の定量化、寿命予測技術の確立に向けた研究開発を進めます。

将来的には、TIM だけでなく、ヒートスプレッド、金属接合部、冷却部材など、半導体から冷媒までの熱輸送経路全体を対象とした熱信頼性評価技術へと発展させ、液浸冷却システムの設計・部材選定・長期運用を支える評価基盤の構築を目指します。

【お問い合わせ先】

山陽小野田市立山口東京理科大学 工学部 講師 結城 光平

Tel/FAX : 0836-88-4536 E-mail : kohei.yuki@rs.socu.ac.jp

株式会社ロータス・サーマル・ソリューション 代表取締役社長 井手 拓哉

Tel/FAX : 080-6153-8248 E-mail : info@lotus-t-s.co.jp