

# 高性能な輻射式冷暖房システム実現のための高熱伝導性樹脂パイプの開発

生産システム課  
富山県立大学  
株式会社トヨックス

水野 渡  
真田 和昭、中川 慎二  
山岸 浩

## 1. 緒言

株式会社トヨックスでは、金属パイプに比べて、軽量で優れた成形加工性・耐腐食性等を有する樹脂パイプを用いた輻射式冷暖房システムの開発し、病院・図書館等に導入実績がある。このシステムの主要要素である輻射パネルは、樹脂パイプと金属放熱板がガイドによって密着するように一体成型され、樹脂パイプと金属放熱板間で熱交換を行っている。しかし、冷温水の熱を金属放熱板に伝える樹脂パイプの熱伝導率は、金属に比べて1/100~1/1000と非常に低いため、熱交換性能を悪化させる原因になっている。このため、より高性能な輻射式冷暖房システムを実現するためには、柔軟性と高熱伝導率を両立した樹脂パイプを開発する必要がある。本研究は、フィラーの分散状態を詳細に考慮する数値シミュレーションにより、熱の伝わる経路(伝熱ネットワーク構造)を効率良く形成する微視構造を見出して、高熱伝導率の樹脂を開発するもので、少量のフィラーで樹脂に高熱伝導率を付与することで、柔軟性と高熱伝導率を両立した樹脂パイプを実現することを目的として実施した。なお、本研究は平成21年度富山県立大学産学官連携研究費(プロジェクト研究)で行われたものである。

## 2. 結果概要

### (全体概要)

本研究では以下の3項目について成果を上げることができた。(I)フィラーの分散状態を詳細に考慮するフィラー充填解析を行い、効率良く伝熱ネットワーク構造を形成するフィラーを選定した。次に、微視構造モデルを用いて、有限要素法によるフィラー混合樹脂の熱伝導特性に関する有限要素解析を行い、微視構造と熱伝導率の関係、ナノスケールのフィラー添加の影響等を解明した。この結果、2つの大きさの異なる繊維状マイクロフィラーを組み合わせることで、最もフィラー間の接触率が高くなり、熱伝導率も高くなることが明らかとなった。(II)フィラー混合樹脂を作製し、熱伝導率および硬度を測定するこ

とで、解析結果を検証し、微視構造と熱伝導率・硬度の関連性を明確にした。その結果、約0.8W/mKの高熱伝導樹脂パイプが得られ、さらに熱伝導を向上させる可能性が示唆された。(III)開発した樹脂パイプを適用した熱交換システムの性能を評価し、本製品に最適な高熱伝導性樹脂パイプの設計指針を確立した。その結果、樹脂パイプの熱伝導率の増大に伴いパネル全体の熱抵抗は減少するが、その効果が飽和する点が存在することがわかった。

### (工業技術センターにおける内容)

#### ・高熱伝導樹脂の特性評価

フィラーの配合を変えシート状に成形した高熱伝導樹脂について熱伝導測定装置を用いて熱伝導率を測定した。フィラー体積分率の増大に伴い複合材料の熱伝導率は増大する傾向を示したが、マイクロフィラー体積分率が30vol%を超えると、熱伝導率の増大する傾向が強くなった。これは、樹脂中のフィラーによる伝熱ネットワークの形成が確率的に高くなったためと考えられた。また、フィラーの配合割合だけでなくアスペクト比の選定やナノスケールのフィラー添加が熱伝導率の向上に効果があることがわかった。

上記と同様の試料について硬度測定を行ったところ、フィラー体積分率の増大に伴い硬度は高くなり、パイプの成形性に影響することがわかった。また、同じフィラー体積分率において、アスペクト比の大きなフィラーを組み合わせた場合には硬度が高くなることがわかった。

電子顕微鏡により高熱伝導樹脂内部の構造を観察したところ、配合したフィラーは大きな凝集体を形成することなく均一に分散していた。しかし、フィラーと樹脂の間に隙間が生じており、接着状態が悪い状態であった。このことから、フィラーの表面処理による接着性の向上が今後の課題の一つとなることがわかった。