



CNT/シリカ多孔体断熱材の三次元構造観察

上野智永, 辻野響也
東海国立大学機構 名古屋大学

キーワード：断熱材料，三次元構造解析

1. 測定実施日

2021年9月15日 BL8S2（2シフト）

2021年10月12日 BL8S2（2シフト）

2. 概要

断熱材の性能を向上させるためには、材料の内部の空隙を制御し、気体伝熱を抑制する必要がある。材料内部の空隙を制御するためには、材料内部の構造を解析し、理解する必要がある。そこで、本研究では、X線CTによる内部構造観察を行い、材料内部の構造を三次元的に可視化するとともに、伝熱特性への影響を評価した。

3. 背景と研究目的

高性能な断熱材が宇宙機器や極低温液化ガスタンク等で求められている。このような断熱材を開発するために、シリカ多孔体などを用いた低熱伝導率の断熱材が検討されている¹⁾。シリカ多孔体の一つであるシリカエアロゲルは断熱性能が高く優れた断熱材である一方で、機械強度が弱く、取り扱いが難しい。そこで、シリカエアロゲルを粒子状にして不織布等とコンポジットした材料の開発が進められている。著者らは、カーボンナノチューブを繊維に用いた高性能な断熱材の開発を進めている。カーボンナノチューブの高い機械強度や熱的安定性、不燃性などを期待して、カーボンナノチューブを材料強化部材として用いている。カーボンナノチューブは熱伝導率が高い材料として知られているが、これまでの研究よりカーボンナノチューブよりも材料間の空隙により生じる気体伝熱が固体伝熱や輻射伝熱よりも支配的であることが明らかになっている。そこで本研究では、シンクロトロン光によるX線CTを用いて、材料の三次元構造を可視化するとともに、空間構造を明かにすることで、材料設計の指針とすることを目的とした。

4. 実験内容

CNT/シリカ多孔体からなる断熱材料を調整し、材料の内部構造を観察するために、シンクロトロン光 (AichiSR BL8S2 ビームライン) を利用した X 線 CT 観察を行った。白色 X 線 (6-24 keV 程度) を用いて、倍率 10 倍で測定を行った。試料撮影回転範囲は 0-360°C とした。検出器には、浜松フォトニクス ORCA-Flash 4.0s CMOS イメージングセンサー (素子サイズ 13.3×13.3 mm²、有効画素数 2048×2048 ピクセル²、画素サイズ 6.5×6.5 μm²) を用いた。撮影倍率を 10 倍に設定したため、撮影イメージ視野サイズは、1.3×1.3 mm² (2048×2048 ピクセル)、撮影イメージングピクセルサイズ (0.65×0.64 μm²) であった。取得したデータは、三次元構造解析ソフト (MIPHA) を用いて解析した。

5. 結果および考察

Fig.1 に作製した断熱材料の外観を示す。次に Fig.2 に、X線 CT 観察によって得られた断面画像を示す。明るいコントラストで示されるものは主にシリカ多孔体であり、一部繊維状に観察されるのが CNT と添加した高分子の凝集体である。暗いコントラストで確認されるのが、内部の空隙構造である。視野サイズ $1.3 \times 1.3 \text{ mm}^2$ である。

得られた断面画像をスタックして、固体部分(シリカ多孔体および繊維状部位)と空隙部位を色分けしたものを Fig.3 に示す。従来の材料に比べて、空隙部位の割合を減少させることができたことを確認した。その結果として、得られた材料は最も優れたもので、熱伝導率 21 mW/mK の高い断熱性能が得られた。

6. 今後の課題

本測定によって、材料の内部構造についての詳細な知見が得られ、熱伝導率との関係について議論することができた。材料の断熱性能を向上させるためには、空隙を減少させることが必要であるが、空隙を減らすために、密度を高くすると固体伝熱の増加につながり、さらに軽量材料が求められる中で材料の優位性が低下する。このため、今後の課題としては、密度を高めすぎることなく、いかにして空隙構造を制御し、材料の熱伝導率を小さくできるかが課題となる。

7. 参考文献

1. N Shioura, K Matsushima, T Osato, T Ueno, N Isu, T Hashimoto, T Yana, MRS Advances, 5 (33-34), 1791-1798 (2020).

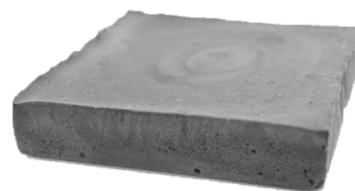


Fig.1 サンプル外観

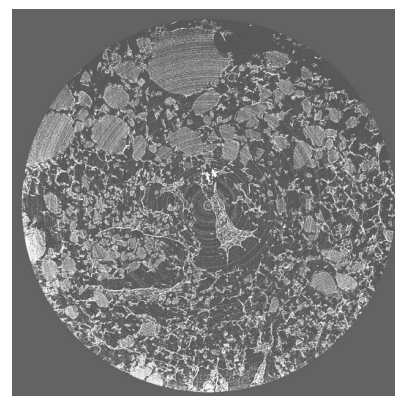


Fig.2 X線 CT による取得した断面画像

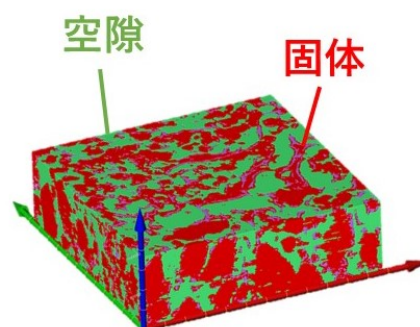


Fig.3 三次元可視化構造