



Title	高温用断熱材料の作製とその特性評価に関する研究
Author(s)	田坂, 太一
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/88040
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (田坂 太一)

論文題名 高温用断熱材料の作製とその特性評価に関する研究

論文内容の要旨

ナノ多孔質断熱材料は、すでに800℃以下の範囲で0.05W/(m・K)以下という非常に低い熱伝導率を有することが明らかになっているが、工業炉をはじめとする設備機器の省エネルギー化を図る上でも、より高温場での熱伝導率を明らかにすることは非常に重要である。しかし、材料の耐熱性や高温域での熱伝導率測定方法が十分に整備されていないなどの課題もあり、これを超える高温場でナノ多孔質断熱材料の熱伝導率を詳細に検討した事例は見当たらない。本研究では、二種類のナノ多孔質断熱材料を作製し、新たに開発した最高1200℃までの熱的特性を評価できる周期加熱法装置により高温場での熱伝導率を明らかにするとともに、機械的強度などを評価し、高温用断熱材料として応用する上での可能性を検討した。また、高温用断熱材料の簡便な熱伝導率測定を目的に、新しい評価方法を提案した。さらに、作製したナノ多孔質断熱材料を基礎として、熱伝導率評価に使用する標準物質としての適用可能性を検討した。

第1章では、本研究の背景と目的を述べた。

第2章では、粒子の複合化を基礎とする機械的手法により、アルミナナノ粒子とセラミック繊維、炭化ケイ素粉末を用いたアルミナナノ粒子断熱材料を作製し、その熱伝導率を200℃から1200℃まで測定した。その結果、1000℃以下では0.065W/(m・K)以下の低い値を示す一方、1000℃を超えると熱伝導率の増加割合が大きくなり、1200℃では0.11W/(m・K)程度に達することがわかった。温度に伴う膨張・収縮挙動を測定した結果、本材料は1000℃付近で収縮しはじめることがわかり、加熱による材料の緻密化が熱伝導率の増加に関係していることが示唆された。

第3章では、第2章で作製したアルミナナノ粒子断熱材料を対象に、その熱伝導率を200℃から1200℃まで繰り返し4回測定した。その結果、本材料は1000℃を超えると熱伝導率が徐々に増大することがわかった。また、熱伝導率測定結果を解析した結果、固体伝熱およびふく射伝熱ともに、4回の加熱により加熱前の約1.9倍に増大していることがわかった。本材料の機械的強度は、4回の加熱により加熱前の4倍から5倍に増加しており、加熱による緻密化と粒子間での焼結による固体接触面積の増加によって、固体伝熱が増大したと推察された。また、加熱前後の炭化ケイ素粉末の吸光スペクトルなどを測定した結果、加熱により炭化ケイ素粉末表面に酸化被膜が形成されたことがわかり、1200℃での加熱による炭化ケイ素粒子表面の酸化によって、ふく射の抑制効果が低減したと考察された。

第4章では、第2章と同様の方法でシリカナノ粒子を用いた断熱材料を作製し、その熱伝導率を200℃から最高1200℃まで繰り返し5回測定した。その結果、本材料の熱伝導率は、900℃以下では0.051W/(m・K)以下と、アルミナナノ粒子断熱材料よりも低い値に保持されるとともに、900℃で加熱した後も変化しないことがわかった。1000℃を超える繰り返し測定では熱伝導率は徐々に増大したが、1100℃で加熱した後の測定4回目の熱伝導率は、アルミナナノ粒子断熱材料の測定4回目のそれよりも低い値に保持された。一方、1200℃で加熱した後は熱伝導率が著しく増大し、材料の緻密化と粒子間での焼結によって固体伝熱が増加したと推察された。アルミナナノ粒子断熱材料は1200℃の加熱後も低い熱伝導率を保持したことから、ナノ粒子の熱的特性が高温場での熱伝導率に大きく影響することが示唆された。

第5章では、保護熱板法よりも高温場での測定が可能な新しい熱伝導率の評価方法として、試験体に流入する熱流を厚さ方向とそれ以外の方向に分離することで、厚さ方向の熱伝導率を測定する熱流分離法を提案した。また、本測定原理にもとづく寸法の異なる二種類の装置を試作し、保護熱板法や周期加熱法などの他の方法での測定結果と比較した。その結果、いずれもおおむね±10%以内で一致する結果が得られ、測定原理の妥当性が示された。

第6章では、第2章で作製したアルミナナノ粒子断熱材料を対象に、高温場での厚さと熱伝導率の安定性を評価し、高温用の熱伝導率標準物質としての適用可能性を検討した。200℃から600℃までの熱伝導率を繰り返し5回測定した結果、厚さと熱伝導率の変化は小さく、600℃以下では標準物質として十分な安定性を有していることが示された。

第7章では、本研究の総括し、今後の課題を述べた。すなわち、本研究では、二種類のナノ多孔質断熱材料を作製し、それらの高温場での熱伝導率などを明らかにした。また、アルミナナノ粒子断熱材料に対して、熱伝導率測定用の標準物質としての適用可能性を示した。以上の研究成果は、今後、より高温場で利用できる熱伝導率の低いナノ多孔質断熱材料の開発に繋がるものと期待される。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (田坂 太一)			
	(職)	氏	名
論文審査担当者	主 査	教授	内藤 牧男
	副 査	教授	藤原 康文
	副 査	教授	関野 徹

論文審査の結果の要旨

ナノサイズの気孔を含むナノ多孔質断熱材料は、800℃以下の温度範囲で優れた断熱特性を示す材料であることが注目されているが、工業炉をはじめとする設備機器の省エネルギー化を促進するためには、より高温場での熱伝導率の評価が極めて重要である。しかし、この温度領域で、多孔質断熱材料の熱伝導率を詳細に検討した報告は見当たらない。

そこで本研究では、二種類のナノ多孔質断熱材料を作製し、周期加熱法装置を駆使して、これらの材料の1200℃までの高温場での熱伝導率の評価を行うとともに、機械的強度なども評価することによって、高温用断熱材料として応用する上での可能性を検討している。また、高温用断熱材料の簡便な熱伝導率測定方法の開発を目的として、新しい着想に基づく評価方法を提案している。さらに、断熱材料の熱伝導率評価に使用する標準物質として、作製したナノ多孔質断熱材料の適用可能性を検討している。本研究によって得られた主な成果は、次の通りである。

- 1) 多数の攪拌羽根を固定した軸の高速回転によって粉体層に圧縮力とせん断力を繰り返し作用させることを特徴とする混合装置を用いて、シリカナノ粒子、セラミック繊維粒子等の原料粉体を処理することによって、シリカナノ粒子から形成されるナノ多孔質層を繊維粒子表面に作製し、得られた粉体を加圧成形してナノ多孔質断熱材料を作製している。作製した材料の熱伝導率を200℃から最高1200℃まで繰り返し測定した結果、1100℃での熱伝導率は、0.11W/(m・K)と優れた低熱伝導率を維持しているが、1200℃まで加熱した際の熱伝導率は、材料の密度増加などの変化によって急激に増加することを明らかにしている。
- 2) シリカナノ粒子の代わりにアルミナナノ粒子を用いて1)と同じ手法によって作製したナノ多孔質断熱材料を用いて熱伝導率の繰り返し測定を行った結果、1200℃まで加熱した際の熱伝導率は0.13W/(m・K)であり、従来から広く使用されているセラミック繊維断熱材料の熱伝導率に比べて、半分以下の優れた値であることを明らかにしている。さらに、ナノ多孔質断熱材料においては、原料となるナノ粒子の熱的特性の違いによって、高温場での熱伝導率が大きく変化することを考察している。
- 3) 断熱材料の標準的な熱伝導率測定方法である保護熱板法よりも高温場での測定が可能であり、かつ周期加熱法よりも測定が簡便な新しい熱伝導率の評価方法として、試験体に流入する熱流を、試験体の厚さ方向とそれ以外の方向に分離することによって、厚さ方向の熱伝導率を測定する新しい方法(熱流分離法と称する)を提案している。また、熱流分離法を測定原理とする、異なる寸法の試験体評価に対応可能な二種類の装置を作製し、保護熱板法などと比較したところ、100～900℃の温度範囲において、熱伝導率の測定結果は±10%以内で一致することを明らかにしている。
- 4) アルミナナノ粒子を用いたナノ多孔質断熱材料の熱伝導率と厚さを繰り返し測定した結果、600℃以下ではこれらの値の変動が小さいことから、この温度領域の熱伝導率測定用標準物質として適用可能であると考察している。

以上のように、本論文では、作製されたナノ多孔質断熱材料が1200℃までの温度領域において優れた低熱伝導率を示すことを明らかにするとともに、高温用断熱材料の新しい熱伝導率測定方法の開発を行い、かつナノ多孔質断熱材料が熱伝導率測定に有効な標準物質として適用可能であることを明らかにしており、材料工学の発展に寄与するところが多い。よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。