

氏 名	朴 二 玄 ^{パク イ ヒョウ}
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学 位 記 番 号	エ ネ 博 第 167 号
学位授与の日付	平 成 19 年 11 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	エ ネ ル ギ ー 科 学 研 究 科 エ ネ ル ギ ー 応 用 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	高性能・多機能性ポーラスSiCセラミックスの開発に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 香 山 晃 教 授 馬 渕 守 准教授 檜 木 達 也

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、次世代原子力エネルギーシステムの安全性と効率性を確保するために必要不可欠である高性能・多機能多孔質（ポーラス）SiCセラミックスの開発を主な目的として行った研究結果をまとめたもので、8章からなっている。

第1章の序論には、産業の発達に伴うエネルギー消費量の増加による地球環境の破壊、資源の枯渇等の問題を示し、将来の基幹エネルギーとしての原子力エネルギーの必要性及び安全性について記述している。

第2章の概論には、ポーラスSiCセラミックスの基礎的事項として、気孔構造による機能及び用途を示し、次世代原子力エネルギーシステムが要求する性能及び機能に対応するポーラスSiCセラミックスの開発における材料設計指針を記述している。更に、従来のポーラスSiCセラミックスにおける制限・限界を把握し、より広範な実用化を目指す高性能・多機能ポーラスSiCセラミックスの開発には新しい概念・方法論が強く要求されることを提示し、本研究の目的及び必要性をまとめている。

第3章には、高強度のために主たる気孔形状が気泡分散型であり、平均粒径50nm以下のSiC超微粒子を加圧成型法で焼結することにより、気孔の周辺でSiC超微粒子間に優れた結合力を付与する製法に関して記述している。気孔の前駆体になる球状の炭素粉末を含むSiCセラミックスを加圧成型法で焼結した後、大気中熱処理により組織中に残存する炭素粉末を除去し、気泡分散型の開気孔を形成する概念を提案し、SiCセラミックス内の炭素粉末の分散状態に依存する脱炭メカニズムの解析や組織変化挙動に対する解析等を行い、精密な微細構造制御による高強度のポーラスSiCセラミックス作製法の基礎を確立している。

第4章には、優れた断熱性を付与するために主たる気孔形状が粒子凝集型ではあるが、開気孔と閉気孔の混合型で構成され、従来材よりは強度特性も含め改善されたポーラスSiCセラミックスの製法に関して記述している。一軸加圧成型法を用いてSiCセラミックスを焼結する際、SiC短繊維を添加し粒子凝集型の開気孔と閉気孔の混合型ポーラス構造を制御する概念を提案している。SiCセラミックスの焼結性やSiC短繊維の特性（長さ及び添加量）等が開気孔率と閉気孔率の変化に及ぼす影響、SiC短繊維の添加による閉気孔率の増加メカニズム等を解析し、微細構造の制御による優れた断熱性を有するポーラスSiCセラミックス作製法の基礎を確立している。

第5章には、本研究で作製したポーラスSiCセラミックスの強度特性、断熱性、耐熱衝撃性等の評価を行い、多様な分野での適用可能性を提示している。主として単一機能を目的として作製されており、強度に関しては大きな制約や限界があった従来のポーラスSiCセラミックスに比べ本研究における開発材料は優れた強度特性を持ち、機能性構造材料としての幅広い適合性を有することを示している。特に、優れた断熱性と強度特性を両立させたポーラスSiCセラミックスが次世代原子力エネルギーシステム用断熱部材として適合性を有することを示している。さらに、耐熱衝撃性において気孔率及び試験片寸法に対する依存性が他のポーラスセラミックス材料に比べ小さいことが明らかになり、より高い気孔率や大型部材への適用の可能性があることも示している。

第6章には、熱媒体（ガス）の圧力損失の高精度な制御が要求される先進ガス冷却型原子炉（高温ガス炉）炉心構造体における設計要求を満たすために必要とされる μm オーダー直径の円柱状貫通孔を有するポーラスSiCセラミックスの開発に関して記述している。SiC超微粒子のスラリーを用いC/SiC複合材料を作製した後、大気中熱処理により炭素繊維を除去し、緻密なSiCセラミックスに μm オーダーの直径を有する円柱状貫通孔を導入する方法を提案している。気孔の前駆体になる炭素繊維の種類による脱炭挙動の違いを把握し、円柱状貫通孔の要求特性に対応する炭素繊維の選択方針を示し、プロセスの基礎を確立している。

第7章には、ガス冷却高速炉用高燃焼度燃料概念を達成するために必要となるmmオーダーの直径の円柱状貫通孔を有するポーラスSiCセラミックスの開発に関して記述している。本研究で確立した脱炭処理を用いる製法を応用し、mmオーダー直径の円柱状貫通孔の前駆体として炭素棒を用いる方法において、一軸加圧成型でのモールドセットティングの改良、炭素棒と焼結助剤間の反応、炭素棒の熱膨張係数の違いや表面特性の違いが形成される円柱状貫通孔の特性に及ぼす影響等の解析・検討により、緻密なセラミックスに損傷を与えずに高精度でmmオーダー直径の円柱状貫通孔を導入する技術の基礎を確立している。

第8章は総括であり、本研究の成果と意義について述べている。本研究成果は、ポーラスSiCセラミックスを採用するシステム、特に、次世代原子力エネルギーシステムの安全・安定性、経済性を高めるための設計自由度の向上へ貢献することが期待できる。また、本研究の成果はより幅広い領域での応用が期待されているポーラスSiCセラミックス研究の基盤形成に貢献するものである。

論文審査の結果の要旨

本論文は、次世代原子力エネルギーシステムの安全性の向上及び高効率化に要求される高性能・多機能性ポーラスSiCセラミックスの研究開発に関するものである。本研究は、①ポーラスSiCセラミックスの気孔率、気孔の形状や形態、サイズ等を簡潔なプロセスで制御できる製法の基礎の確立、②微細構造の制御による高性能・多機能性ポーラスSiCセラミックスの作製法の提示、③強度特性・断熱性・耐熱衝撃性等の評価に基づく、多様な分野における適用可能性の提示、④ガス冷却型原子炉（高温ガス炉）における設計要求を満たすための解として、熱媒体（ガス）の圧力損失の高精度な制御等のために要求される円柱状貫通孔を有するポーラスSiCセラミックスの製法の提示、に大別される。高性能・多機能ポーラスSiCセラミックスの製法として、炭素粉末を含むSiC焼結体を作製した後に脱炭処理を行いポーラス構造を形成する製法と、SiCセラミックスを焼結する際にSiC短繊維の添加により微細構造を制御しポーラス構造を形成する製法等を検討し、組織・機能制御に関する基本的な方向性を示し、平均粒径50nm以下のSiC超微粒子を加圧成型法で焼結することにより、気孔の周辺でSiC超微粒子間に優れた結合力を付与し、従来のポーラスSiCセラミックスが主として単一機能を目的として製造されており、強度特性においては制限・限界があった点を改良し、優れた強度特性を持つポーラスSiCセラミックスを作製する技術の基礎を確立している。従って、次世代原子力エネルギーシステム等に機能性を持つ構造材料としての適用が期待できる。

一方、高温ガス炉用の要求性能からは緻密なSiCセラミックスに貫通孔を導入すること等が検討されてきたが、セラミックス材料が有する本質的な破壊靱性値の低さのため、緻密なセラミックスに円柱状貫通孔を導入するのは極めて困難であった。本研究により、炭素繊維や炭素棒を貫通孔の前駆体として用い、 μm オーダーからmmオーダーの任意の直径を有する円柱状貫通孔を緻密なSiCセラミックスに損傷を与えずに導入する技術の基礎も確立している。

本研究成果が、ポーラスSiCセラミックスを採用するシステム、特に、次世代原子力エネルギーシステムの安全・安定性、経済性等を高めるための、設計自由度の向上へ大いに貢献することが期待できる。よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年10月25日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。