



環境・エネルギーシステム用先進SiC/SiC複合材料の プロセス研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-05-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 早坂, 大輔 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15118/00009194

		ハヤサカ	ダイスケ
氏名		早坂	大輔
学位論文題目		環境・エネルギーシステム用先進 SiC/SiC 複合材料のプロセス研究	
論文審査委員	主査	教授	岸本 弘 立
		教授	齋藤 英 之
		准教授	朴 峻 秀

論文内容の要旨

環境を維持しながら豊かな生活を持続・発展させるために必要なエネルギーの安定供給には、革新的新素材が不可欠である。原子力・核融合エネルギー用に開発された高結晶性 SiC/SiC 複合材料の製法を、より一般的工業材料とする製法へと構築し、広範な環境・エネルギーシステムに適用可能な段階に移行させるプロセス技術研究の成果が本論文であり、全 6 章で構成されている。

第 1 章は本研究の序論であり、将来の環境保全とエネルギー供給を両立させる環境・エネルギーシステムの必要性と、その基幹技術としての SiC/SiC 複合材料の基本的特性、諸製法の分類、金属材料に代わるセラミック系新素材として開発されてきた SiC/SiC 複合材料についてまとめ、本論文の導入としている。

第 2 章では、SiC/SiC 複合材料の製法の一つである NITE 法について、ラボスケールの手作業による材料製造を、工業的製造技術として成立させるための新しいプロセス概念を示し、その核心技術として中間素材および予備成形体製造技術についての詳細を述べている。新プロセスである 1) スラリー、2) グリーンシート、3) プリプレグシート、4) プリフォーム、の各段階について、理論からの技術構築を試み、構造材料を目的とした高密度・高強度 SiC/SiC 複合材料の安定生産のための技術基盤を構築している。この知見を元に DEMO-NITE 法と称する大量生産可能なプリフォームの連続製造プロセスの提案を行っている。

第 3 章では金属材料の代替材料として SiC/SiC 複合材料に要求される気密性の確保に関する技術検討を行っている。NITE 法に本研究で研究している中間素材製造技術を融合させることで、金属材料を超える気密性を確保し得ることを示した。管材に対する評価法を提案し、詳細な微細組織評価を基盤にして気密性の微細組織・プ

プロセス依存性や、リーク経路と組織との相関を考察しまとめている。

第4章では環境・エネルギーシステムで必ず必要とされる耐熱性と化学安定性について、特に過酷環境での使用という観点から、原子炉内での中性子照射下での炉水環境での化学的安定性、航空宇宙機用のラムジェット火炎暴露環境下での化学安定性と耐熱性、過酷事故時を想定した超高温水蒸気環境下での化学安定性について、新提案の実験法と海外での貴重ともいえる実験でデータを取得し、本手法で製作されたSiC/SiC複合材料の優れた特性を示し、併せて環境・エネルギーシステム設計に有効な基礎データの提示を行なっている。第5章では本研究で開発したSiC/SiC複合材料の環境・エネルギーシステムへの応用研究を紹介している。事故耐性に優れた燃料被覆管、素粒子研究のための高エネルギー加速器用ターゲット、将来の地熱発電方法として期待されている地熱発電用同軸熱交換器への応用について解説と現状を報告している。

第6章はこの論文のまとめである。

ABSTRACT

This thesis cares establishment of high quality energy source for the future, where advanced materials to meet requirements for advanced energy system. As an attractive and potential material for advanced environment conscious energy systems, a SiC/SiC composite material process development was studied. This thesis consists of seven chapters.

The chapter 1 is an introduction, where importance of advanced materials development toward continuous growth of sustainable society on earth, is emphasized. Then background and objective of this study are explained. The essential needs of advanced material are described, and benefits of replacement of metallic materials to ceramics and ceramic composite materials are emphasized. The importance of SiC/SiC composite materials and international R & D activity of SiC/SiC composite, especially for advanced energy systems, are summarized.

The chapter 2 presents a new process concept aiming improvements of important properties of SiC/SiC composites, where optimization of intermediate material process and preform fabrication process are emphasized. The new continuous process, which is named as DEMO-NITE process, for large scale production with excellent properties is proposed. And the current status of demo-plant development is summarized.

The chapter 3 cares hermeticity of SiC/SiC composite as an important property for application to advanced energy systems. A new test method development of gas leak tightness and its results are provided. Referring process dependence, the leak

path analysis and microstructure analysis, excellent gas leak tightness of NITE SiC/SiC materials developed are summarized.

The chapter 4 cares high temperature resistance and chemical stabilities of SiC/SiC composite for application to advanced energy systems. New test methods for high temperature resistance specific for many advanced energy systems are developed and the results are provided. The excellent properties against very high temperature steam, water quenching from very high temperature, cyclic exposure to very high temperature with water quenching and flame exposure to scram-jet are described.

The chapter 5 provides typical applications of DEMO-NITE SiC/SiC composite. Those are accident tolerant fuels, high energy accelerator target, and dual coaxial heat exchanger for geothermal system. The new evaluation method development, the results and discussion are provided and the excellence of DEMO-NITE SiC/SiC for those applications is summarized.

The chapter 6 is summary of this thesis, emphasizing the leading results on DEMO-NITE process development, new evaluation method developments and developments of new and advanced application areas.

論文審査結果の要旨

本論文は環境・エネルギーシステムに向けてSiC/SiC複合材料に要求される諸特性を、特に新しいプロセス技術構築により達成することを目指した内容で、SiC/SiC複合材料の工業化とシステムへの適用の推進に大きく貢献するものである

本論文で用いられた手法は液相焼結法の複合材料製造プロセスへの応用技術であるナノ含浸遷移共晶相法（NITE法）である。原料に高純度のSiCナノ粉末を使用するため、製造される複合材料は高密度で結晶性が高いという特徴があるが、ナノ粉末を繊維束内に含浸する必要がある。更に環境・エネルギーシステムにおいては複雑形状の部材を大量に必要としており、これに対応可能なプロセスが必要である。本研究では製造プロセスにおいて原材料から直接予備成型品（プリフォーム）を製造するのではなく、原材料から中間素材を製造し、この中間素材を用いてプリフォームを作ることを提案し、その効

果と製造プロセスの詳細について研究している。中間素材とは焼結前の原材料である粉末を溶媒と混合してスラリーとし、これを繊維束に含浸する際に、バインダーも同時に含浸することで焼結前の粉末の状態を維持可能とした素材である。軟らかく切断も容易であり、チューブやノズル形状のプリフォームの製作も容易である。本論文ではシート状のプリプレグシートとリボン状のプリコンポジットリボンが提案されているが、特にチューブ形状に対応できるプリコンポジットリボンでは、分子鎖量と付着量、プリフォームの割れの相関から適切な条件を見出し、成型時のナノ粉末の繊維束間への含浸を促進してする条件も見出して、均質かつ高密度のSiCマトリックスの成型品の製作を達成し、気密性や耐熱性の発現につなげている。NITE法によるSiC/SiC複合材料の製作における加圧焼結時の収縮に伴う強化繊維構造の乱れを最小限に抑えるための繊維配置技術とプリフォームのマクロポア最小化技術とあわせて、本論文ではDEMO-NITE法として提案している。旧来のNITE法では不可能だった、軽水炉用燃料被覆管および地熱発電用外管などで必要とされる気密性、耐熱性について、本研究でのプロセス最適化によって十分な特性を有するまで向上し、実際の原子炉実験、各種熱的評価及び源泉における環境試験の試験を実施できる段階となっている。本論文は環境・エネルギーシステムに利用可能なまでにSiC/SiC複合材料の質を高めた、優れて価値のある研究内容であり、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年2月1日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認める。