

氏名	野 澤 貴 史
学位の種類	博士 (エネルギー科学)
学位記番号	エネ博第 77 号
学位授与の日付	平成 15 年 9 月 24 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	SiC/SiC 複合材料の機械特性に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 香山 晃 教授 山 寄 鉄 夫 教授 落合庄治郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高温・中性子照射等の苛酷環境下での使用を想定した SiC 長繊維強化型 SiC 基複合材料 (SiC/SiC 複合材料) の機械特性の評価法の確立および材料特性の高性能化に関して論じた結果をまとめたもので、8 章からなっている。

第 1 章は序論で、研究の背景および目的について述べている。地球環境保全とエネルギー枯渇問題を考慮した次世代エネルギーシステムの実現において、高効率で廉価かつ信頼性・社会的受容性の高いシステム構築が必須で、これまでの材料の使用条件を凌駕する超高温・苛酷環境下での使用を可能とする材料開発が求められている現状を踏まえ、本論文においてその有力候補である SiC/SiC 複合材料が有する優れた耐環境特性を指摘し、将来のエネルギー材料としての必然性・優位性を説いている。一方で、SiC/SiC 複合材料の開発の進展状況・課題点を指摘の上、特に実用模擬環境下での強度評価の必要性を強調し、その試験評価法の抱える問題点や高度化の意義について述べている。

第 2 章では SiC/SiC 複合材料の基礎として、その構成要素の基礎物性、製造方法の特徴を系統的にまとめ、実用化に向けた先進 SiC/SiC 複合材料の酸化挙動、寿命特性、中性子照射効果を調査し、その適用限界を明確に示すと同時に、それら基礎特性の改善に関する研究成果を系統的に整理している。

第 3 章では極限環境下での材料の強度評価法の一つで微小試験片法の確立に向けて必須となる試験片寸法効果に関する系統的な評価・検討を実施している。特に複合材料の特徴である複雑な織物形態、多様な負荷方位を踏まえて、異なる織物構造の SiC/SiC 複合材料に対して主軸/非主軸引張強度試験法により試験片寸法効果の特徴を特定している。また、別途純剪断要素を抽出した Iosipescu 剪断強度試験法により破壊モードと寸法効果との関係を明示している。これら一連の研究により複合材料の強度特性の寸法効果を決定する重要因子を特定し、その普遍性・特異性を分離しまとめている。また、寸法効果機構論を特定することで、古典理論との相関関係まで言及し、解析モデルによる模擬のための方法論が示され、その妥当性が実証されている。

第 4 章では試験片寸法効果を基盤として微小引張強度試験片の設計を行い、その妥当性・有用性に関する基礎評価結果についてまとめている。微小試験片法を用いた場合の SiC/SiC 複合材料の破壊挙動、得られた強度特性値の標準試験法との整合性、統計的手法による信頼性解析から、適切な試験片形状・試験法を導き出し、さらに微小試験片法の有用性が実証されている。

第 5 章では高結晶性・化学量論組成を特徴とする先進 SiC/SiC 複合材料の総合特性の高性能化を主目的に、その製造プロセスの最適化に関してまとめている。本論文では微小試験片法を活用し、力学的視点から材料特性改善のための方策を検討しており、特に繊維-マトリックス界面構造に着目し、高温酸化挙動との相関関係に関して述べている。基礎強度特性、耐環境特性の向上を目的とする炭素界面相の薄膜化設計の成立性ならびに亀裂進展制御性、耐酸化機能の付与性を実証し、特に薄膜層の連続からなる多層被覆界面の有効性など、材料特性最適化のための改善法を明確に打ち出している。

第 6 章では先進 SiC/SiC 複合材料の実用化を見据えた寿命特性の基礎評価を実施し、特に耐熱性・耐環境性構造材料と

して最も優れた資質を示し、将来的に最も実用性が高いとされるナノインフィルトレーション遷移共晶相 (NITE) 法で作製されたSiC/SiC複合材料に対して熱疲労特性を評価し、その優れた熱特性、強度安定性を微小試験片法の応用試験法により実証し、耐熱性構造材料としての成立性を示している。

第7章では中性子照射環境下でのSiC/SiC複合材料の機械特性に及ぼす照射効果が明らかにしている。特に、高温における照射効果を重要課題とし、高結晶性・化学量論組成SiC繊維および先進SiC/SiC複合材料の照射効果を特定し、その機構論を特定している。さらに代替プロセス、界面設計の希求条件を抽出し、特に耐照射性複合材料の成立のための多層被覆界面構造の必然性を指摘している。また、中性子照射研究への微小試験片法の適用に関しての実施状況を示し、その拡張性に関して述べている。

第8章では、以上の研究から得られた成果を総括し、幅広い拡張性を有する微小試験片法の確立、それを活用した高効率な材料開発の有用性と先進SiC/SiC複合材料の機械特性最適化に関わるプロセス技術、界面調整法の改善法を的確に述べている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、高温・中性子照射等の苛酷環境下での使用を想定したSiC長繊維強化型SiC基複合材料 (SiC/SiC複合材料) の機械特性の評価法の確立および材料特性の高性能化に関して研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。耐熱性・耐環境性SiC/SiC複合材料の開発において実用環境を模擬した苛酷環境下での材料特性の評価は今後特に重要となり、中でも機械特性評価ならびに高効果な総合評価システムの構築が必要不可欠で、単一破壊モードの引張を基盤とした試験技術体系を確立することの重要性が広く認識されている。本論文では現有の引張強度試験法が抱える課題点や中性子照射試験に代表される苛酷環境下での試験場の制約条件の検討から始め、微小試験片法の優位性・必然性を指摘し、その確立に向けて基盤となる試験片寸法効果の系統的な評価・検討を行い、微小試験片の設計に関わる基礎的知見を獲得した。特に複合材料の織物構造、負荷方位の多様性に着目し、確率統計的な破壊理論、損傷の蓄積形態・蓄積量、繊維体積率や主破壊モードの寸法依存変化に起因した主たる寸法効果機構を特定した。また、古典理論を発展させた解析モデルによって試験片寸法依存性を模擬し、本研究で明らかとした機構の普遍的性質を実証し、強度予測を可能とする基盤技術を築いた。さらに、これら試験片寸法効果をもとにセラミックス基複合材料に適合した微小引張強度試験片の設計および周辺技術の整備を行い、優れた破壊挙動の再現性、寸法依存性との整合性、高い試験遂行率を達成可能とする評価システムを確立した。力学的観点からのSiC/SiC複合材料の高性能化を主目的とし、この微小試験片技術を基礎強度評価に適用することにより、高結晶性・化学量論組成を特徴とする先進SiC/SiC複合材料の優れた高温強度安定性を実証し、中でもナノインフィルトレーション遷移共晶相法により作製された高結晶性・高緻密質SiC/SiC複合材料の優れた熱疲労特性を実証し、原子力産業のみならず幅広い産業へのプロセス技術の波及効果を示した。また、耐照射特性の改善を目的とした炭素界面相の薄膜化設計の成立性ならびに亀裂進展制御性、耐酸化特性の改善を目的とした炭素界面相の薄膜化設計の成立性ならびに亀裂進展制御性、耐酸化機能の付与性を実証し、特に薄膜層の連続からなる多層被覆界面において最大の界面効果が獲得可能であることを示し、界面特性最適化に関わる技術基盤を築いた。

以上、要するに本論文は低環境負荷型・耐熱性構造材料としてのSiC/SiC複合材料複合材料の機械特性の評価法の確立とそれを活用した材料特性最適化に関して重要な知見を与えるものであり、エネルギー材料の開発ならびにエネルギー科学に大きく寄与するものである。

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15年8月6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。