

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	豊島 和沖
論文題目	多角的アプローチによる長繊維強化複合材料の破壊挙動に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、次世代エネルギーシステムの安全性・効率性を高めるために要求されている耐熱性長繊維強化複合材料の実用化に向けて、多角的アプローチによるその破壊挙動の理解と体系化について論じた結果をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、基盤エネルギーの重要性、次世代エネルギーシステムの安全性及び効率性を向上させるための、耐熱性長繊維強化複合材料の必要性およびその実用面における破壊挙動やそのメカニズム解明に必要性が説かれており、本研究の目的が述べられている。</p> <p>第2章は概論で、長繊維強化複合材料の中でも、耐熱性や耐食性等の優れた材料特性から次世代エネルギーシステムの構造材料として有望視されている、炭化珪素長繊維強化炭化珪素複合材料について、その構成要素である繊維、マトリックス、および界面についての開発の現状と、それらが機械的特性に及ぼす影響を系統的に整理し、長繊維強化複合材料の従来の破壊機構についてまとめられている。また、時間的・環境的要因が破壊に及ぼす影響について、主に疲労破壊とクリープ破壊について述べられている。さらに、実用形状部材への応用として円管材料や接合に関して、それぞれの強度評価法の特徴がまとめられている。</p> <p>第3章では、異なる繊維織物構造の複合材料や、多孔質炭化珪素やタンゲステンといった異なるマトリックス構造の複合材料の強度特性評価を行い、繊維やマトリックス構造の異なる材料においても、複合材料の破壊力学に基づいて破壊挙動が一般化されて整理できることが示されている。また、繊維の強化方向に依存した異方性を理解するために、各構成要素の強度特性や界面におけるせん断破壊応力等を実験的に求め、物理モデルと組み合わせて構築した力学的異方性モデルと比較検討している。さらに、引張応力負荷により損傷を導入した試験片に対してヘリウムガス透過試験を実施し、気密性の観点から微細亀裂の伝播挙動を評価する手法の妥当性について議論している。</p> <p>第4章では、時間的・環境的要因が破壊挙動に及ぼす影響を理解するために、疲労試験とクリープ試験を実施し、第3章で得られた知見に基づいて、複合材料の寿命に及ぼす各構成要素の材料因子がまとめられている。疲労試験においては微細亀裂進展挙動に着目した実用性のある評価を行い、複合材料の構成要素である繊維とマトリックスの構造が疲労破壊挙動に及ぼす影響について整理されている。亀裂進展耐性については、マトリックスの緻密性が寄与しており、破壊の起点となる気孔間の距離の長い高緻密なマトリックスが有効であることが見出されている。2方向強化材における疲労応力負荷時の亀裂伝播については、強化繊維の織物構造によるインターロック効</p>			

果が有効であることが見出されている。クリープ試験においては、技術的な課題の多い微小試験片を用いた引張応力負荷による破断寿命の評価を実施し、寿命評価技術に関する議論が行われている。さらに、ひずみ測定による高精度なクリープ寿命予測を実施する上で生じる課題の抽出とその対策について述べられている。

第5章では、炭化珪素長繊維強化複合管材の破壊挙動を理解するために、管材内部に挿入した円柱状弾性体の軸方向圧縮による円柱形方向の膨張を利用した管材フープ強度評価法を開発し、その試験法の妥当性が検討されている。また、第3章で構築した力学的異方性モデルを適用し、多角的に評価を行うことで、実用材へ適用可能なモデルの構築と課題について議論されている。さらに、実用化に向けた評価においては、接合相の破壊挙動を正確に理解しておくことが必要となるため、最新の接合法で接合した各種炭化珪素材料に対して、純粋なせん断応力負荷が可能なねじり試験を実施し、接合相における破壊挙動を議論し、ねじり試験法が有効であることが示されている。

第6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。本研究で得られた長繊維強化複合材料の実用面における破壊挙動の理解と、試験技術基盤の開発は、次世代エネルギーシステムのための、耐熱性等に優れた長繊維強化複合材料開発に貢献する成果であるとともに、産業界からの要求に応じた材料設計指針を与えており、既存の材料を超える耐熱性複合構造材料の開発に寄与すると期待される。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、長繊維強化複合材料の破壊挙動を多角的なアプローチにより解明するために実施した研究の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。

セラミックスをはじめとする脆性材料に、構造的信頼性を付与する手段として、長繊維強化等による複合化が行われている。しかし、繊維、マトリックスおよび界面からなる複雑な構成、亀裂導入後の多様な破壊の進展経路、および実用形状部材で重要となる繊維強化方向に依存する破壊強度の異方性等、長繊維強化複合材料の破壊挙動に関しては、十分な知見が得られていない。本研究は、実用部材での実環境下においても適用が可能な、長繊維強化複合材料の破壊挙動の解明と体系化を目的としている。

本研究の成果は、①長繊維強化複合材料の構成要素と構造に着目した破壊挙動の解明、②①での理解に基づいて、時間的・環境的要素を考慮した破壊挙動の理解、③①で得られた知見に基づいた実用形状部材の破壊挙動の理解、に大別される。まず、複合材料の構成要素として繊維の織物構造やマトリックスの素材や構造（炭化珪素及びタングステン、多孔質構造）に着目し、これらの破壊挙動への影響を系統的に整理した結果、破壊挙動をより一般化して理解することが可能となった。次に、これらの一般的な理解に基づき、各構成要素と時間的・環境的要素の組み合わせに依存する破壊挙動を解明するための評価試験法を開発し、複合材料の寿命に及ぼす構成要素・環境要素の影響を明らかにした。さらに、実用形状部材の一つとして、円管材料の各構成要素における破壊挙動の異方性を調査し、管材に適用可能な破壊強度異方性モデルを構築した。また、実用時に必要な接合に関しては、接合相のせん断破壊強度評価法として、ねじり試験法が有効であることを示した。

本論文では、長繊維強化複合材料の要素・構造が及ぼす破壊挙動への影響が解明され、複合材料に特徴的な破壊挙動の評価法や実験手法の確立および理論的な破壊モデルの構築等により、多角的な視点から複合材料の破壊挙動を理解するための理論体系及び技術基盤が示されている。また、複合材料の実用面における破壊挙動を理解するための重要な成果も得られており、これらの成果は、産業界からの要求に応じた材料設計指針を与えるとともに、既存の材料を超える耐熱性複合構造材料の開発に寄与すると期待される。

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24年8月31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。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降