



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



核融合炉固体増殖ブランケット用セラミックス材料に関する研究

メタデータ	言語: eng 出版者: 公開日: 2021-06-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 金, 鍾壹 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15118/00010400

氏 名 金 鍾壹 (キム ジョンイル)

学位論文題目 Study on the ceramic materials for solid type breeding blanket
in fusion reactor
(核融合炉固体増殖ブランケット用セラミックス材料に関する研究)

論文審査委員 主査 教授 岸本 弘立
教授 齋藤 英之
准教授 澤口 直哉

論文内容の要旨

SiC/SiC複合材料は優れた耐高温・高強度特性や低放射化特性を有しており、将来の核融合システムのブランケット第一壁などの構造材料への適用に向けた研究が進められている。ブランケットには核融合反応の燃料として利用されるトリチウムを生産するためのトリチウム増殖材が収納されるが、この増殖材にはリチウム系セラミックス材料の活用が検討されている。これらセラミックス材料を活用した先進ブランケットによる核融合炉システムは、高温運転による高いエネルギー効率が期待される。本論文は核融合システムを安定・効率的に実現可能である固体増殖ブランケットシステム設計を基盤に、セラミック材料の適用に向けた材料の製造及び特性評価の研究を行った。

本論文は全7章で構成されており、第1章に序論を述べ、第2章において文献検索によりSiC/SiC複合材料、リチウム系セラミックス増殖材、及び核融合エネルギーに関する研究の背景を述べる。第3章はSiC/SiC複合材料の繊維強化構造と機械的特性の相互作用の検討を行った。SiC/SiC複合材料の機械的特性は繊維強化構造により差が生じる。複合材料の二次元強化構造でもCross-Ply構造とWoven構造が考えられ、これらの試験片のダブルノッチせん断試験を用いた研究から、複合材料においてSiC繊維束の交点が破壊と変形に大きな抵抗力を有することを見出した。第4章はSiC/SiC複合材料の酸化挙動の検討を行った。マトリックス/繊維の間に存在する炭素界面は高温環境下では酸化して材料の機械的特性を悪化されるが、SiCコーティングにより酸化を抑制可能なことを示した。

第5章はセラミックス増殖材として期待される Li_2TiO_3 の成型プロセス研究を行ない、スラリー滴下方法の改善することで直径1mm球状の Li_2TiO_3 を成型し、微細組織観察からトリチウムの効率的な増殖に適すると考えられる $5\sim 10\ \mu\text{m}$ の結晶粒径の均一な微細構造を有することが示された。このときスラリー中の有機バインダーから混入する炭素は、 $\text{He}+1\%\text{H}_2$ の雰囲気で行うと焼結体の変色の原因となると考えられ、焼結前に 600°C で20時間以上の熱分解処理を必要とする。第6章は実際環境を考慮して増殖材の焼結及びクリープ挙動から適切な運転条件を提示した。第7章

は構造材と Li_2TiO_3 増殖材との共存性の検討を行った。共存性実験から構造材に現れる酸化挙動と双方向のイオン拡散挙動を予測して、構造材と増殖材の健全性及び運転条件を提案した。

ABSTRACT

Ceramics are promising candidates as structure/functional materials of a solid type breeding blanket because of their high-temperature stability and low radioactivation property in neutron irradiation environments. Ceramics such as SiC/SiC composites and Li_2TiO_3 breeder are expected to be adopted as structure and functional materials in the fusion systems. In this study, operating conditions and integrity of materials are discussed based on the evaluated characteristics with an improvement of the fabrication methods to apply the ceramics in the solid-breeding blanket system.

Chapter 1 is an introduction, where the importance of fusion energy toward the continued growth of a sustainable society on earth is emphasized. The motivation and objective of this study are also explained. Chapter 2 presents the background of study on SiC/SiC composites, Li_2TiO_3 breeder, and the fusion energy by referring to the literatures. Chapter 3 cares about the mechanical properties of SiC/SiC composites with different fiber reinforced architectures. Though the mechanical strength values such as in-plane and inter-laminar shear strength were not to be significantly modified, but the elastic modulus was affected by the fiber reinforced architecture. Intersections of the fiber bundles are suggested to behave as obstacles for deformation and crack propagation according to the comparison of fracture surface and load-displacement curves. Chapter 4 discusses the oxidation behavior of SiC/SiC composites. The weight change of the composites was confirmed at 600 °C in oxidizing environment. Because the carbon exists at the matrix/fiber interface in SiC/SiC composites, the degradation of mechanical properties is considered to be caused by the oxidation of carbon. The SiC coating for the composites is suggested to be necessary as an oxidation barrier.

Chapter 5 describes the improvement of a slurry droplet wetting method for Li_2TiO_3 breeder to obtain good physical properties. The fabricated Li_2TiO_3 pebbles were satisfied the properties such as spherical shape with 1mm diameter, suitable grain boundaries (5~10um), and a homogeneous microstructure. The carbon exists in the Li_2TiO_3 breeder because the organic binder is added to the slurry for the shaping. Because the residual carbon is expected to cause the discoloration of the sintered body during the sintering in the He + 1% H_2 atmosphere, the pebbles need to be thermally treated at 600 °C for 20h before the sintering process. Chapter 6 proposes optimal operation conditions of the Li_2TiO_3 pebble bed based on the sintering and creep behavior during the operation. Chapter 7 discusses the compatibility between SiC/SiC composites and Li_2TiO_3 tritium breeding materials. The optimal operation conditions of the blanket made by the SiC/SiC composites

and Li_2TiO_3 breeders are suggested.

論文審査結果の要旨

将来の核融合システムにおいてセラミック材料を用いて高効率エネルギーシステムを構築することを目標として、セラミック部材主体の固体増殖ブランケットの構造材料としてSiC/SiC複合材料、トリチウム増殖材としてチタン酸リチウムを選択し、その特性及びに製造法の研究を行ったものである。

本論文は全7章で構成されており、第1章に序論を述べ、第2章において文献検索によりSiC/SiC複合材料、リチウム系セラミックス増殖材、及びに核融合エネルギーに関する研究の背景を述べた。第3章はSiC/SiC複合材料の二次元強化構造であるCross-Ply構造とWoven構造の層間せん断強度評価研究から、繊維構造に起因する強度データのばらつきの視点からWoven構造が構造材料に適すると結論付けている。第4章はSiC/SiC複合材料の酸化挙動の検討を行ない、複合材料の靱性を低下させる繊維/マトリックス間の炭素層の酸化を、複合材料全体のCVD-SiC被覆によりを抑制可能なことを示した。第5章はセラミックスのトリチウム増殖材として期待される Li_2TiO_3 のスラリー滴下法による成型プロセス研究を行ない、液体マウスの組成制御、およびマウスのpH制御とグリーンペブルの沈降速度制御のためのLiOH層付加により、直径1mm球状の Li_2TiO_3 の均質な組織を有するグリーンペブルを成型し、さらにこれを熱処理することでトリチウム増殖材の適した $5\sim 10\ \mu\text{m}$ の結晶粒を有する Li_2TiO_3 球を成型可能なことを示した。第6章は Li_2TiO_3 球のクリープ変形研究から、同増殖材を用いたペブルベッドは温度 800°C 程度、内部圧力1MPa程度での運転が適切であることを示し、これはSiC/SiC複合材料を構造材料とするブランケットシステムの条件と合致することを論じている。第7章においてはSiC/SiC複合材料と Li_2TiO_3 球の共存性評価から、機械的接触によって拡散反応層がほぼ生じない温度上限が 675°C と 800°C の間にあることを示した。これらを総括して論文をまとめている。

令和3年1月27日16時よりオンラインにより公開発表会を行い、論文審査とそれに関連した試問を行った。審査会の参加者は主査、副査を含めて19名であり、学外から2名の参加者があった。16時から16時45分まで論文についての発表、その後16時45分から17時25分まで活発な質疑応答が行われた。諮問の結果、本論文は第1章、第2章の核融合炉用の各種構造材料や、液体および固体増殖ブランケットシステムなどの背景説明が不十分と指摘されたものの、十分なデータに基づいて議論しており、セラミックス材料を用いた核融合炉ブランケットの実現に資する研究であったとして博士(工学)の学位論文として価値あるものと認め、審査は合格と認めた。