

## 審査の結果の要旨

氏名 池上将英

SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料に代表される超高温セラミックスは近未来の超高温セラミックスとして宇宙用材料の分野では欠くことのできない材料であると考えられ、広範囲な分野での研究が行われている。この中で、熱的特性は他の特性に比較して研究が遅れており、実用化に向けての熱的特性を明らかにし、材料の持つポテンシャルを知ることが必要になっている。本論文はSiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料でSiC粒子の添加が熱輻射特性及び熱伝導特性に及ぼす影響を実験的に示し、熱的特性に及ぼすSiC粒子の大きさや体積率などの複合材料構成の指針を実験的に示したものであり、全7章からなる。

第1章は序論であり、超高温セラミックスの研究分野でSiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料の熱的特性を知ることが新たな材料開発には必要であることを、従来の熱輻射特性、熱伝導特性などの研究成果をもとに明らかにしている。その結果から、本論文の目的を明確にするとともに、SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料で求められている熱的特性を明らかにすることへの期待を述べている。

第2章では、論文中を通して実験に用いたSiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料の作製方法について検討した。平均粒径が異なるSiC粉末を用いて、放電プラズマ焼結法によりSiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料を作製した。複合材料の密度測定及び微細組織観察により作製条件と出発原料による空孔率、SiCのZrB<sub>2</sub>中での体積率、平均粒径及び粒径分布の差異を明らかにした。分散粒子であるSiCの平均粒径が0.4~8.9 μmの範囲で、体積率が0.1~0.3の範囲で異なるSiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料を作製する条件を決定した。この条件下で作製した全てのSiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料について99.4%を超える相対密度を有する焼結体を得ている。

第3章では、SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料を用いて赤外域の反射率を調べ、熱輻射特性を実験的に求めた。まず、複合材料を構成しているZrB<sub>2</sub>及びSiC単体の垂直反射率を1~20 μmの波長範囲で測定した。SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料の反射率は、SiC体積率の増加及び平均粒径が大きくなると低下する傾向にあることを明らかにした。また、特に1~10 μmの波長領域における反射率低下はSiC平均粒径依存性が大きいことを明らかにした。さらに、熱輻射エネルギー反射率も反射率と同様の傾向を示し、SiC体積率及び平均粒径が大きくなるにつれて、熱輻射エネルギー反射率は低下する傾向を示すことを示した。これらの結果を整理して、SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料の熱輻射特性を明らかにすると共に、SiC粒子の体積率と平均粒径が熱輻射特性に影響を及ぼすことを明らかにしている。

第4章では、SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料を大気中1073 Kで熱暴露試験を行い、熱暴露前後の反射率測定を行なうことにより、熱暴露条件が反射率に及ぼす影響を調べた。熱暴露後には表面に生成する立方晶のZrO<sub>2</sub>とB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる1~2 μm程度の酸化膜と光の干渉の効果により反射率が波長に対して周期的な反射挙動を示すとともに反射率が低下することを示した。また、この原因は、試料最表面に酸化膜が生成していることであり、熱暴露時間が長くなるにつれて酸化膜の膜厚が厚くなり反射率も低下することを実験的に示した。この結果から、SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料では表面

に酸化膜が生成する条件では熱輻射反射特性は低下することを明らかにしている。

第5章では、SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料の熱伝導率を測定することにより、熱伝導率にSiCの平均粒径及び体積率が及ぼす影響を調べた。レーザーフラッシュ法により、SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料の熱拡散率、比熱及び熱伝導率を求めた。SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料の比熱はSiC体積率及びSiC平均粒径には依存することなく、0.51~0.58 J/(g·K)で一定であった。一方、熱拡散率及び熱伝導率にはSiC体積率及びSiC平均粒径依存性が存在することを実験的に証明した。SiC平均粒径が大きくなるに伴い、熱伝導率も大きくなる傾向がみられた。また、SiC平均粒径が8.9 μmの場合では、SiC体積率増大に伴い、複合材料の熱伝導率が113 W/(m·K)から138 W/(m·K)まで増加したのに対し、SiC平均粒径が1.3 μm以下では、SiC体積率増大に伴い熱伝導率は低下し、SiC平均粒径が1.3 μmの場合には94 W/(m·K)まで低下した。ZrB<sub>2</sub>単体の場合の熱伝導率は113 W/(m·K)であり、SiC粒子の添加により最大138 W/(m·K)まで高めることが可能であることを実験的に示した。この値は、これまでに報告されている同種の複合材料の熱伝導率の中で最も高い値である。

第6章では、SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料を赤外イメージ炉中で、一定の熱輻射により加熱し、定常状態の温度を測定した。標準材料として用いた材料の温度をおよそ873 Kの一定の温度に保持した場合、SiC粒子分散複合化の違いにより、定常状態の複合材料の温度にも違いがみられ、ZrB<sub>2</sub>単体と比較して最大で温度がおよそ17 K高い結果を得た。この結果は、SiC粒子分散複合化による複合材料の熱輻射特性及び熱伝導特性の違いによるものであることと結論付けている。

ついで、第2章から第5章で得られた知見を基に、本研究で得られたSiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料の熱的特性、熱的特性に及ぼすSiC粒子添加の効果及び超高温セラミックス材料としての特徴を整理した。SiC粒子の体積率増加及びSiC粒子径を大きくすることが熱輻射エネルギー放射率を高めることに効果があると結論している。これらの結果から、本研究で作製した相対密度の高いSiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料は、超高温セラミックスの中でも高い熱伝導率を有し、比較的低い熱輻射エネルギー放射率を持つ材料であると結論している。

第7章は総括であり、本論文の結果をまとめている。

以上を要するに、本論文は、SiC粒子分散ZrB<sub>2</sub>複合材料の熱輻射エネルギー放射率や熱伝導率などの未知の特性値を詳細に測定し新たな知見を得たものであり、超高温セラミックスの分野の研究開発に役立つ知見を提供しているところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。