

論文審査の結果の要旨

学位申請者 山岸 郷志

本論文は、「ガスタービン実機環境因子を考慮した遮熱コーティング部材の損傷評価に関する研究」と題し、「緒論」と「結論」を含めて全 5 部より構成されている。

ガスタービンは、発電プラントの主熱機関あるいは航空機の推進装置として広く利用されている。ガスタービンの性能を特徴づける重要な因子のひとつが、ガスタービン動静翼材に代表される、ガスタービン高温部材である。たとえば、タービン動翼材には、内部に精密な冷却構造を持ち、かつ高度に微視的構造が制御された Ni 基超合金が使用され、さらにその表面を合金層とセラミック層からなる遮熱コーティング (Thermal Barrier Coating : TBC) 薄膜によって被覆された TBC 部材が使用される。TBC 部材は優れた高温強度を発揮するが、その寿命は有限であり、部材の健全性を定期的に評価しながら使用する必要がある。一方、その健全性評価の対象となる TBC 部材の損傷は、それら部材が特殊な材料系であることに加えて、その損傷が機械的負荷、熱、流体、など多くの環境的の因子により支配される複雑な現象である。今後さらにガスタービンの利用拡大が見込まれる昨今の社会情勢を鑑みるに、TBC 部材の損傷に係る適切なリスクコントロールが極めて重要である。これらの工業的、工学的要望に鑑み、本論文は、「ガスタービン実機環境因子を考慮した遮熱コーティング部材の損傷評価に関する研究」と題し、実機使用環境を模擬した条件において遮熱コーティング(TBC)部材の損傷特性を評価するとともに、実機 TBC 部材の損傷の非破壊検出技術に関する基礎検討を行うことを目的としたものである。

「緒論」では、工学表面の凹凸形状測定や評価技術に関する従来の研究の概要を示すとともに、本研究の目的と範囲を述べている。

I 部「遮熱コーティングの基礎物性」(第 I-1 章から第 I-6 章)では、TBC 部材に発生する損傷現象の基礎となる各種材料特性の測定を行なっている。これは、一般に TBC 皮膜の機械的特性はバルク材料と大きく異なることが知られているからである。一連の測定により、TBC 皮膜の機械的特性は、その微視的構造に非常に敏感であり、かつ顕著な異方性を示すこと、成膜プロセスや各層の材質の組合せによっても大きく変化すること、高温曝露によって顕著な経時変化を示すことを定量的に示している。これらは、TBC 部材の健全性評価にあたっては配慮すべき事象となる。

II 部「再現燃焼雰囲気における遮熱コーティング部材の損傷」(第 II-1 章から第 II-5 章)では、TBC 試験片に対して、熱機械的負荷を加え TBC 損傷の再現実験を行なっている。ここでは、実機環境に近い試験条件をより高度に再現することに注力し、燃焼器と力学的負荷試験装置とを組み合わせた即時の新試験システムを開発した上で、それを用いて実燃焼雰囲気においてクリープ負荷を加えたときの TBC 試験片の損傷を評価している。その結果、本試験システムにより、TBC 試験片内部に、燃焼ガス流れに依存した有意な温度勾配を再現できることができること、一連の試験期間中には種々の形態の TBC 皮膜損傷が

発生する中で、温度の高い燃焼ガス流れの上流側よりも温度の低い下流側でき裂の発生密度が高いことを実験的に明らかにしている。また、これらの工学的背景を明らかにするため、部材内に顕著な温度勾配がある場合のクリープ変形について解析モデルを構築し、実験結果と比較している。その結果、変形拘束型のクリープ変形が生じる場合、負荷開始直後に低温側要素に高い内部引張応力（熱応力）が発達し、時間とともに高温側を上回る大きさのクリープひずみが生じ、そこで優先的に損傷が生じ得ることを明らかにした。ただし、この傾向は機械的負荷および温度条件に強く依存し、かつ経時変化も有意であることも示している。以上のことから、部材内に有意な温度差が生じる実機 TBC 部材の健全性評価は、温度勾配に対する配慮が特に必要であることを示した。

Ⅲ部「遮熱コーティング部材における損傷の非破壊検出」（第Ⅲ-1章から第Ⅲ-4章）では、TBC 部材の損傷の非破壊検出技術について検討している。ここでは、実機の保守・点検の作業場においても適用できる技術となり得るに力点をおき、交流インピーダンス測定から、TBC 部材の静電容量を介した損傷検出手法を試みている。その結果、測定条件を適切に選定すれば、TBC 皮膜の界面はく離を膜に直接接触することなく検出できることを実験的に示している。界面はく離は、静電容量値の低下として、一方、TBC 皮膜の表面に付着する燃焼生成物については静電容量値の上昇として検知できることを示し、あわせて、界面はく離長さが時間とともに変化する場合に対しても提案手法が有効であることを示している。

「結論」では、本研究の知見を総括するとともに、将来の方向性についても示している。

以上を要約すると、より高い性能が要求されるガスタービン用 TBC 部材の設計およびその運用にあたり、TBC 皮膜（部材）の力学的物性の特徴を十分に考慮した上で、温度勾配など実部材に特徴的な現象に関連する材料強度的背景を確実に把握できれば、従来からコントロール困難とされてきた保守・維持管理上の課題を工学的に解決できる可能性を示したものと言え、工学上及び工業上貢献するところが大きい。

以上より、博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。

審査委員主査 岡崎 正和 印

