

ガスタービン高温部品の高精度損傷予測手法の開発

逆問題解析を適用した新しい予測手法

Developing damage prediction method for hot-gas-path components of gas turbines

New damage prediction method using an inverse problem analysis

(電力技術研究所 原子力・材料G 材料T)

ガスタービン高温部品は、使用環境が厳しいことから運転中にき裂や減肉などの損傷が発生する。そこで、精度の高い損傷予測手法の開発に取り組んだ。その結果、逆問題解析を適用した手法により、従来の予測手法と比べて実機の損傷との誤差を低減でき、高精度に損傷を予測することが可能となった。

(Materials Engineering Team, Nuclear Power and Materials Group, Electric Power Research and Development Center)

Owing to severe operating environments, hot-gas-path components (hot parts) of gas turbines experience cracking and corrosion/oxidation. We developed high precision damage prediction methods for such parts. The resultant inverse problem analysis enabled our prediction to much closer correspond to the in-service damage compared to conventional damage-prediction methods.

1 背景および目的

ガスタービン高温部品（動翼、静翼、燃焼器等）は、燃焼ガスに曝され使用環境が厳しいことからき裂や減肉などの損傷が著しく、定期的な補修が必須となっている。このことから、これらの部品に発生する損傷を高精度で予測することができれば、信頼性の向上や保守費用削減に寄与できる。しかし、従来の予測手法では実機の損傷を高精度に予測することは困難であった。そこで、(株)日立製作所と共同で、逆問題解析を適用した高精度な損傷予測手法の開発に取り組んだ。

2 研究の概要

本研究では、1300 級ガスタービン第1段動翼および静翼を研究対象とした。

一般的に、これらの部品に発生する損傷を予測する場合には、設計に用いる境界条件で有限要素法（FEM）

解析を行い、温度、応力などを計算して予測を行う手法が用いられている。本研究では、逆問題解析を適用して、運転中の部品の組織変化や発生したき裂をFEM解析の境界条件にフィードバックさせ、設計条件を変化させた値でFEM解析を行い、温度、応力などを算出して損傷進展予測を行った点に特徴がある。

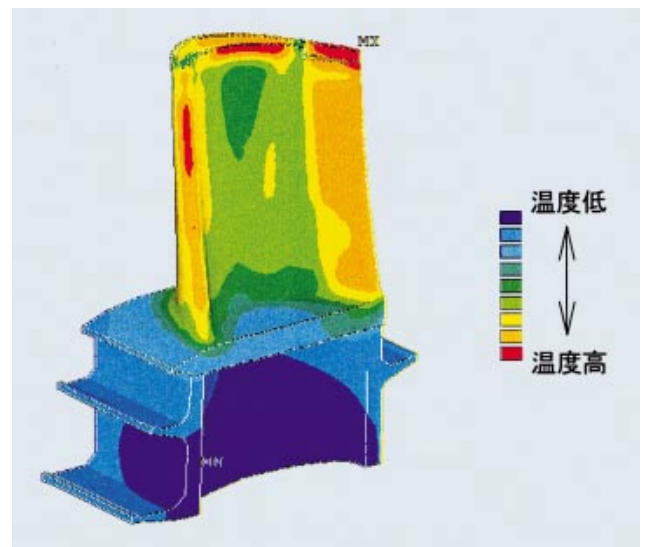
2.1 動翼のき裂進展予測

第1図に示すように、運転中の動翼の主な損傷は翼先端部などの減肉やき裂である。動翼では、組織中に観察される析出物（相）の形状が運転中に変化することに注目し、運転後の断面組織観察結果から、運転中の温度分布を推定した。一方、従来の境界条件の値を実験計画法により効率良く変化させ、繰り返しFEM解析を行って温度分布を計算した。次に、前述の推定した実機の温度分布に良く合致するような境界条件を同定し、実機の稼働条件（実働境界条件）とした。

このように、実働境界条件でのFEM解析により、温度、応力分布を計算し、き裂や減肉の進展を予測した。第2図に、同定した実働境界条件における運転中



第1図 動翼の損傷



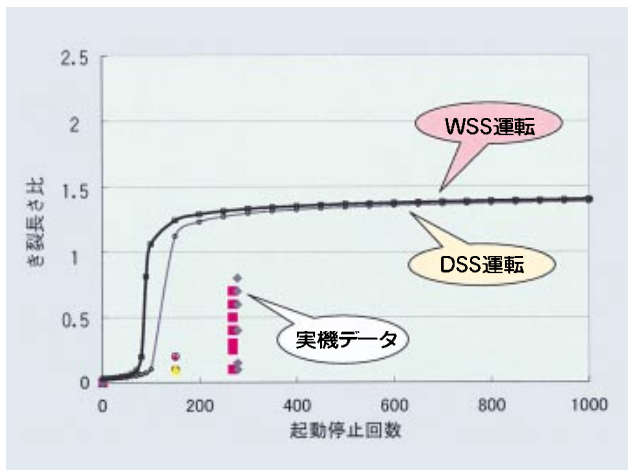
第2図 運転中の動翼の温度分布計算結果

の温度分布計算結果を示す。なお、実働境界条件の同定にあたっては、繰り返し行った計算結果と実機との誤差を統計的に解析し、誤差が最も少ない条件を選定している。

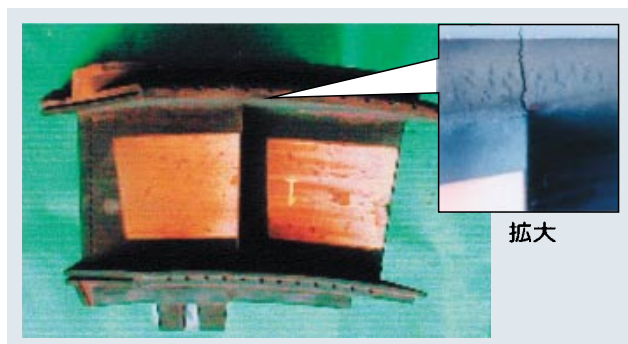
第3図に、実機のき裂データと本手法によるき裂進展を予測した一例を示す。図には、ガスタービン運転モードを模擬したDSSやWSS運転での予測結果を示しているが、実機のき裂進展挙動を比較的良好に再現できている。また、いずれの運転モードにおいても、起動回数が増加するとき裂の進展は鈍化することが予測できた。なお、き裂の進展予測にあたっては、動翼材のき裂進展試験を実施し、高温環境下でのき裂進展速度を求めている。

2.2 静翼のき裂進展予測

第4図に示すように、運転中の静翼の主な損傷は翼部などのき裂である。静翼では、発生するき裂に注目し、実機のき裂データから疲労損傷を推定した。一方、従来の境界条件の値を実験計画法により効率良く変化させ、繰り返しFEM解析を行って温度、ひずみ分布を計算し、疲労損傷分布を算出した。次に、前述の推定した実機の疲労損傷分布に良く合致するような実働境界条件を同定した後、き裂進展を予測した。第5図に、実働境界条件における運転中の温度分布計算結



第3図 き裂進展予測結果の一例



第4図 静翼の損傷

果を示す。

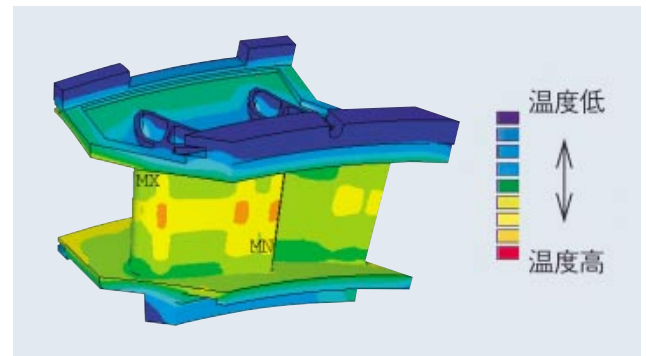
第6図に、初回点検において観察されたき裂を対象に、従来手法および本研究手法を用いて進展を予測した結果および実機のき裂データを合わせて示す。従来手法による予測と比べて本手法は実機での最大き裂との誤差を小さくし、誤差を約1/4に低減できた。また、いずれの手法によっても、ガスタービン起動回数が増加した場合、き裂はある一定値で停留することが予測できた。

3 研究成果

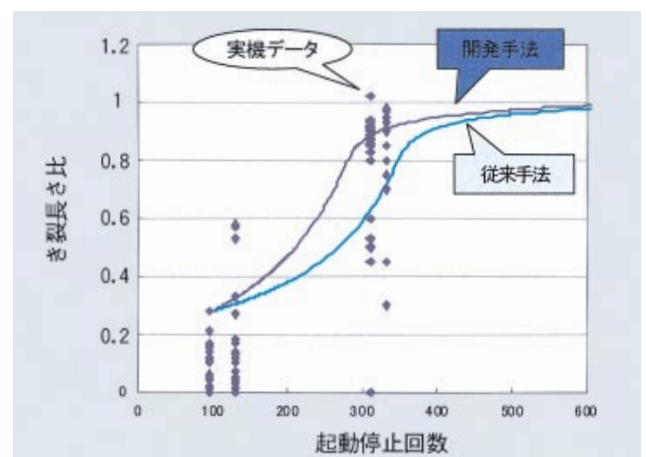
ガスタービン動翼および静翼における運転中の使用状態を反映させ、き裂の進展を高精度に予測する手法が開発できた。また、従来予測が難しかった動翼の減肉に対しても、高精度で予測できるようになった。

4 今後の展開

静翼では、現状のき裂補修基準を変更できる可能性のある部位が見出されたことから、成果の適用を検討している。



第5図 運転中の静翼の温度分布計算結果



第6図 手法の違いによる予測結果の比較



執筆者 / 伊藤明洋
Itou.Akihiro3@chuden.co.jp