

蒸気タービン翼植込部の超音波探傷技術の開発

検査精度の維持および検査費用の削減の両立を目指して

Establishment of Defect Inspection technology of a Steam Turbine Rotor by the Phased Array Ultrasonic Sensor
With the aim of both the maintenance of inspection accuracy and the reduction of inspection costs

(電力技術研究所 材料技術G 材料T)

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

経年劣化により亀裂の発生が懸念される蒸気タービン低圧ロータ翼植込部において、非破壊検査手法の一つである超音波探傷法に注目し、翼を抜かずに、高精度で検査可能な超音波探傷技術を開発できた。さらに、実機ロータにて開発手法の適用性を検証した結果、ロータのサイズや形状に依存せず、従来より広範囲かつ同等の精度で検査可能であることを実証できた。

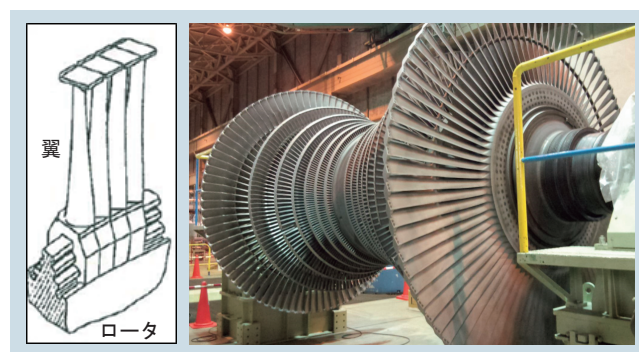
Ultrasonic inspection is receiving great attention as a non-destructive inspection technique which can be used on embedded sections of low-pressure rotor blades in steam turbines, where there are concerns about cracks initiation due to aging degradation. A type of ultrasonic inspection technology has now been developed which is capable of performing high-precision inspection with no need for removing the turbine blades. Furthermore, after testing the suitability of the developed technique on actual rotors, it was verified that inspections can be performed over a wider range than conventional methods with an equivalent level of precision, and with no dependence on rotor size or shape.

1 背景および目的

近年、火力発電設備の過酷な運用によって、第1図に示す蒸気タービン低圧ロータにおいて、第2図に示すような翼植込部に応力腐食割れが発生する事例が報告されている。ミリ単位の亀裂によってロータ自体の取替えが必要な場合もあり、健全性を維持するための検査が重要となる。一方、従来の検査は翼植込部を直接目視検査し、磁粉探傷検査するため、検査箇所の翼を取り外す必要があり、工期が長く高コストとなっており、より簡便で同等精度の検査が可能な手法が求められていた。

境界信号を遮り、検出できなくなることを見出し、亀裂寸法の評価精度を大きく向上させることに成功した。さらに、ある特性の種類超音波を用いることで、経年劣化により発生する腐食痕等と混同することなく、従来の磁粉探傷検査と同等の欠陥検査精度を実現できることを確認した。

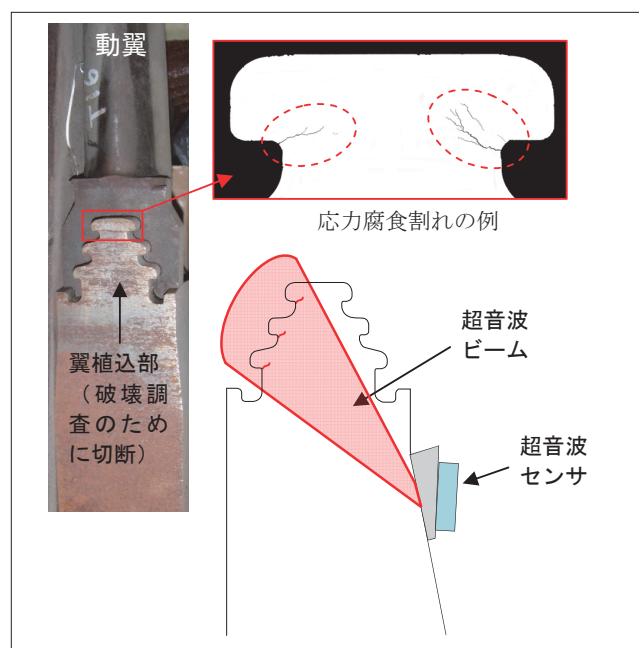
そこで本研究では、非破壊検査手法の一種である超音波探傷法に注目し、高精度欠陥検査手法を開発・確立するとともに、実機ロータにて開発手法の適用性を検証し、蒸気タービンの信頼性をさらに向上させるための研究を実施した。



第1図 蒸気タービン低圧ロータ

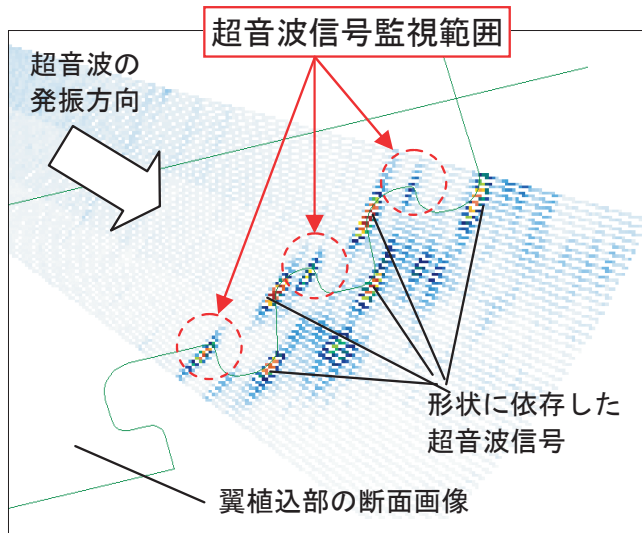
2 超音波による欠陥検査技術の開発

蒸気タービン低圧ロータの翼植込部は、第2図に示すように複雑な形状をしており、単ビームを用いる旧来の超音波探傷法では十分な情報を得られず検査が困難であった。そこで本研究では、複数の超音波ビームを広範囲に発信することができる並列(フェイズドアレイ)探触子を用いた超音波センサーの適用を検討した。本センサーは数十個の超音波振動子を内蔵し、各々の振動子を電子制御して任意の方向に超音波を伝搬・集束させることで、短時間に広範囲の探傷を高精度で行うことができる。



第2図 翼植込部断面と超音波ビーム経路イメージ

試行錯誤の結果、最適な探触子構成や制御条件を確立するとともに、第3図に示す超音波信号監視範囲や第4図に示す欠陥評価基準を確立できた。特に、超音波探傷は擬似信号との識別が肝要となるが、亀裂がない場合に翼植込部の形状に依存して検出される部材境界信号が、亀裂が長くなると、亀裂自体がこの本来検出される部材境

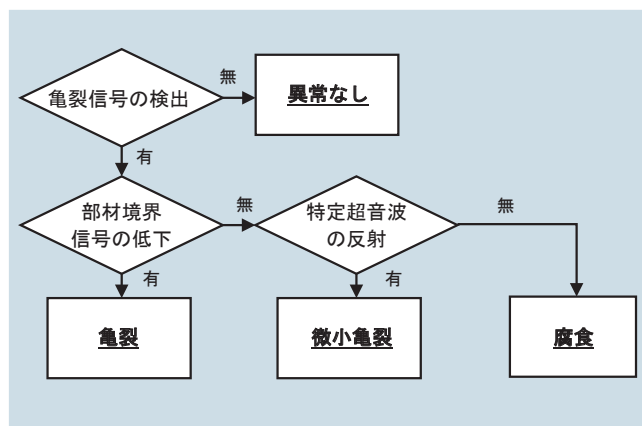


第3図 探傷画像の例(亀裂がある場合)

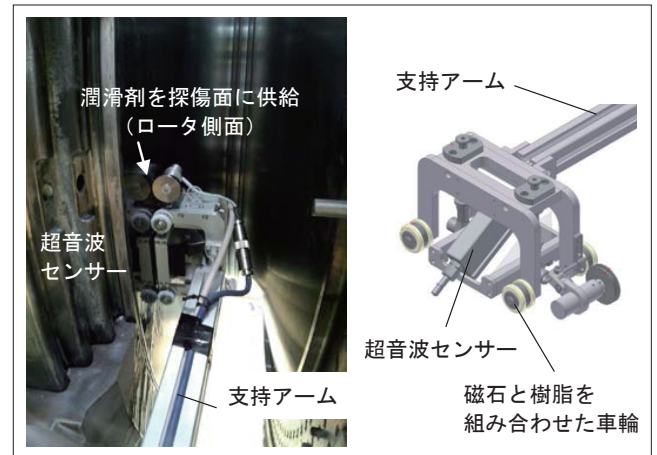
3 実機ロータによる適用性検証

実機低圧ロータの超音波探傷を行うには、翼植込部ロータ側の側面に超音波センサーを密着させ入射位置を固定し、そのままロータを回転させて全周にわたり検査する必要があります。また、低圧ロータは比較的小型の場合から大型の場合まであり、すべての低圧ロータに適用するには、狭い翼段落間に入る小型の探傷システムを構築することが必要であった。

そこで、超音波センサーを支持アームに固定し、架台に乗ったロータを回転させて全周(全範囲)を検査できるシステムを考えた(第5図)。長年使用されたロータ表面はざらつきが見られたため、超音波センサーを磁石と樹脂を組み合わせた車輪に乗せ、さらにセンサーとロータ間に適量の潤滑剤を供給できる機構を考案することで、特定の位置を全周にわたって安定的にデータを取得できる超音波探傷システムを開発できた。これにより、従来法のように一部でなく、全範囲を検査することが可能となり、設備信頼度の向上が期待できる。



第4図 欠陥評価基準のフローチャート



第5図 開発した超音波探傷システム

最後に、亀裂の発生が懸念される複数ユニットで実機検証試験を行った(第6図)。その結果、開発手法および従来法のいずれの手法でも亀裂は無いという結果が得られ、開発手法は腐食を亀裂と誤検出することなく、従来法と同等の信頼性をもって実機低圧ロータ翼植込部の検査が可能であることを検証できた。

4 研究成果

蒸気タービン低圧ロータの翼植込部について、従来の検査手法である翼抜取後の磁粉探傷検査と同等の精度・確度で、翼を抜かずに非破壊検査が可能で超音波探傷システムを開発し、高精度欠陥検査手法を確立できた。

5 今後の展開

本研究成果は実機タービンロータの欠陥検査技術として利用可能であり、保守管理技術としての展開を図っている。現在では本技術の適用範囲を拡大し、翼側を含めたタービンロータトータルの検査が可能となっている。



第6図 火力発電所での実機検査状況



執筆者/小林大輔