

蒸気タービン主要機器の余寿命診断技術開発

Development of Remaining Life Assessment Technology for Major Steam Turbine Components

蒸気タービン主要機器の「余寿命診断技術の手の内化」による 保守コスト最小化への挑戦

長期にわたり、従来手法で寿命到達と判断された蒸気タービンローター等主要機器の破壊調査を積み重ねるとともに、材料の使用環境に基づいた加速劣化試験により、個々の材料の劣化特性を明らかにしてきた。これらの取組みにより、機器ごとの弱点部位や寿命支配因子、材料劣化特性を詳細に把握することができ、余寿命診断技術の手の内化に成功した。



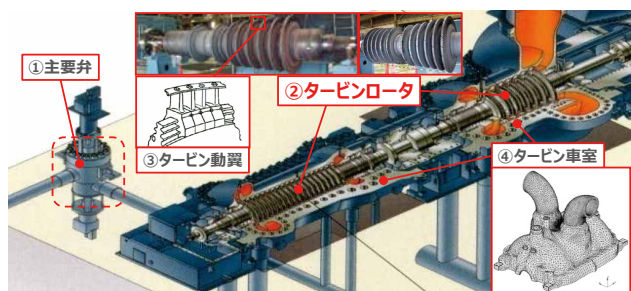
執筆者
電力技術研究所
材料化学グループ
小林 大輔

1 余寿命診断技術「手の内化」の必要性

蒸気タービンは1962年にわが国が火主水従となって以来の主力電源である。低効率石炭火力の2030フェードアウトや再エネ電源の導入拡大など、社会情勢の大きな変化や発電ニーズ多様化により設計考慮外の高頻度起動停止運用の可能性はあるが、アンモニア等への燃料転換、運用性向上により、蒸気タービンは今後も主たる電源として存続すると考えられる。

我が国は化石燃料資源に乏しく、戦後、国内メーカは発電効率向上を目指した蒸気タービン開発に邁進し、世界をリードする先進的耐熱合金鋼を開発し続けてきた。一方、先進合金鋼といえども高温・高負荷下では長期的材料劣化が避けられず、定期的な材料検査によりいつまで使えるのか、「余寿命」の診断が必要になる。

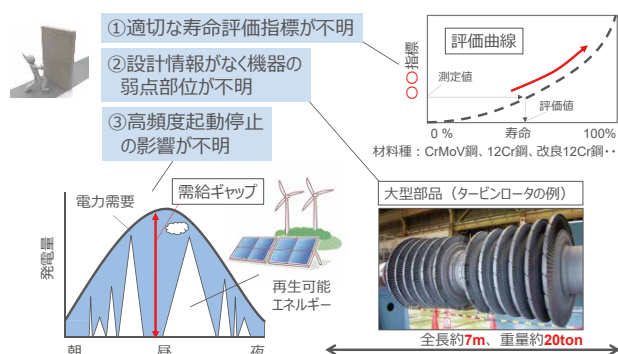
従来、余寿命診断はメーカ個々の知見に依存し、その推奨に従わざるを得ない構造にあった。火力発電所は最大60年の運用を見込み、蒸気タービン主要機器（第1図）はその中間の30年程度で劣化更新されることが多かったが、実際には40年から50年程度でリプレイスまたは廃止されることが多く、あと少し寿命延長できれば取替えなくて済んだ機器もあった。蒸気タービンの機能を維持しつつ社会情勢の変化に柔軟に対応し、設備保守コストを最小化するためには、余寿命診断技術のユーザーサイドでの「手の内化」が必須となる。今回は設備管理上重要な大型回転体であるタービンロータについて主に報告する。



第1図 蒸気タービン主要機器

2 余寿命診断技術「手の内化」への壁

余寿命診断技術の手の内化には、第2図に示す3つの壁があった。一つは、材料の劣化を示す適切な寿命評価指標が不明ということ。次に、ユーザである当社は設計情報がなく、機器の検査すべき弱点部位が不明ということ。最後に、再エネ電源の変動対応として高頻度起動停止が増加した場合、機器の寿命を短くする可能性がある、ということである。



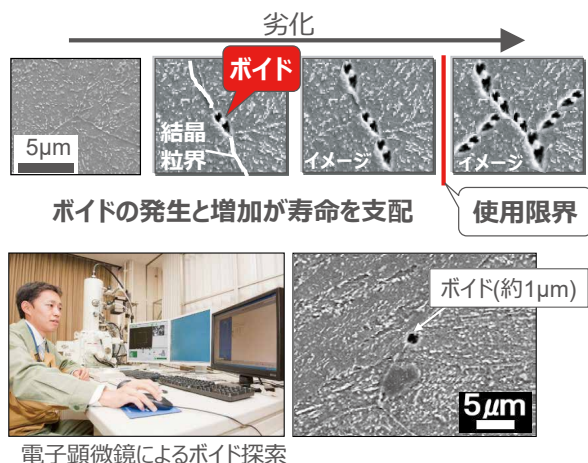
第2図 余寿命診断技術「手の内化」への壁

3 寿命評価指標

寿命評価指標は、従来「硬さ法」が用いられることが多かった。硬さは測定が容易なため、大型部品でも広範囲の測定ができる利点があるためである。一方、初期の変化が大きく、またばらつきも比較的大きい手法であり、早期に寿命到達と評価されやすい傾向があった。我々は、一般の金属材料の高温劣化を長年研究する中で、「ボイド」と呼ばれる微小欠陥に着目し、その発生と増加が寿命を支配していることを突き止めた（第3図）。

4 ボイドの定量評価

タービンロータの推定した弱点部位から金属組織を薄膜フィルムに転写させ、電子顕微鏡にてボイドを探索した。



第3図 蒸気タービンロータのボイド観察

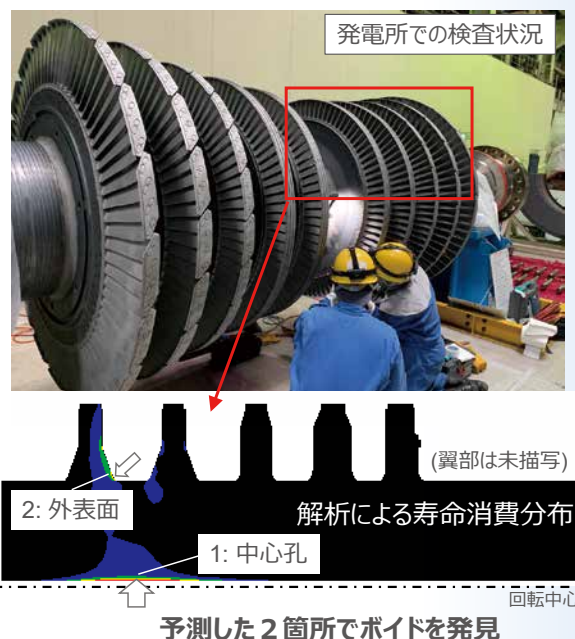
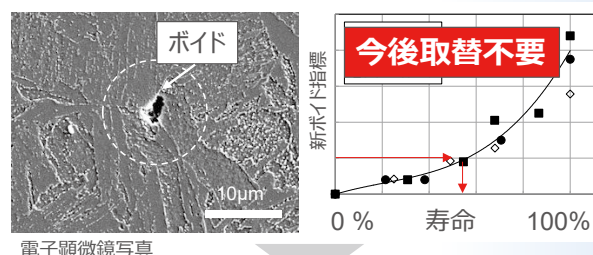
約1週間かけて、初めて、先進合金鋼からボイドを発見することができた。しかし、見られたボイドの数は数個と少なく、材料が劣化しているのかしていないのか判断が難しく、寿命の定量評価に課題が残った。

ボイド自体は発生することが確認できたため、時間と費用をかけ異なる製造メーカの主な合金鋼6種類について、実機環境を加速再現した延べ20年相当におよぶ長期材料劣化試験と、人工劣化材総数約100点について、ボイドの発生時期やその形態の特徴に関して延べ100週間研究した。

その結果、先進合金鋼特有の現象として、ボイドの発生数は少ないが、一つのボイドが大きく成長する特徴を見出した。ボイドの個数、または大きさを評価した面積率のどちらかでは十分ではなく、その両者を併用した新たな評価指標を考案することで、寿命全般にわたって高精度に評価できることがわかった。

異なる発電所の最もボイドが出にくい先進合金鋼製のタービンロータで材料検査を実施

- ・ 予測した箇所にボイド発見
- ・ 新しいボイド指標により寿命を定量評価（寿命延長を実現）



第4図 タービンロータの材料検査状況および数値解析結果

5 再現性確認と技術確立

第2の壁、設計情報がなく各機器の弱点部位が不明であることについて、実機運転データおよび独自の寿命評価アルゴリズムを組み込んだ数値解析により、検査が可能な弱点部位を特定することができた。第3の壁、高頻度起動停止の影響について、多数の材料試験の結果、現実的な実機稼働条件ではその影響は無視し得ることを明らかにできた。

以上の開発技術に関する再現性確認のため、異なる発電所における最もボイドが出にくい先進合金鋼製のタービンロータで材料検査を行った（第4図）。その結果、数値解析にて予測した第1、2番目の弱点部位において劣化度に応じたボイドを確認するとともに、新しいボイド指標により寿命を定量評価し、十分な余寿命を有すると診断でき、今後取替不要とすることができた。以上の結果、ボイド検査による新しい寿命評価指標が確立できた。

6 成果、まとめ

本研究では、蒸気タービン主要機器の余寿命診断技術を開発し、ユーザーサイドでの「手の内化」に成功した。具体的には、適切な寿命評価指標が不明であったことに対して、ボイドの成長に着目した新しい寿命評価指標を確立できた。また、検査すべき弱点部位や今後の高頻度起動停止の影響についても明らかにすることができた。

本研究成果は（株）JERA西日本の全てとなる10発電所および東日本7発電所相当に適用可能で、その内4発電所相当については、すでにロータ以外の翼、車室、主要弁を含めて余寿命診断を実施済みで、寿命延長を実現している。