

審査の結果の要旨

氏名 山本智彦

論文は X 線を利用したベアリングに対する保全応用に関するものである。東京大学原子力専攻で開発中の可搬型 950 keV X-band Linac X線源を利用したベアリングのリアルタイム可視化試験、X 線回折法を利用した残留応力測定によるベアリング転動体の損傷状態の認識と剥離現象のメカニズムについての解明、可搬型加速器を用いた X線源高安定化のためのマルチビームクライストロンの基礎設計が検討されている。

第一章では、論文の背景にある原子力発電所における保全活動について述べられており、現行の時間計画保全で起こりうるオーバーメンテナンスなどへの対処法として状態監視保全が注目されているとされている。これを受け、状態監視保全技術の記述がされており、論文の研究対象として故障事例の多いベアリングを選び、その余寿命評価手法に X 線を適用することでより信頼度の高い余寿命評価が可能となる旨記述されている。本論文においては X 線残留応力測定法によるベアリング転動体の応力分布と Linac X 線によるベアリングの可視化手法の構築ならびに Linac の高安定 RF 源となりうるマルチビームクライストロンの設計を研究範囲としている。

第二章では、東京大学原子力専攻において開発研究されている可搬型 X-band Linac X 線源を使用した試験について述べられている。本装置は、最大 950 keV の電子ビームを発生し X 線を生成する。本論文では識別能・分解能の評価を行っており、目標とする 200 μm 程度の識別能・分解能を達成している。この装置を用い、回転中のベアリングを停止させることなく X 線によりリアルタイムで監視するためにレーザーや電磁センサーなどを使用して同期を取ることで画像積算した静止画像取得に成功している。さらに HARP 撮像管を使用することで同期させることなくシングルショットで撮影を試み、画像取得はできているが、両手法とも 200 μm の解像度を得ることができていない。しかし、その原因と改善点などが示されており、提案の手法によりリアルタイムで可視化が可能であることが示されている。

第三章では、X 線回折法を用いた残留応力測定によりベアリング転動体表面の応力変化を測定している。残留応力は現場で観測できないが、振動法や

Acoustic Emission 法、油分析など通常使われている状態監視手法に残留応力という物理的指標を加味でき、より信頼性が高まると考えられている。本論文においてはベアリング転動体を 3 状態用意し、表面近傍の残留応力の測定を行っている。結果として損傷が進むにつれ、圧縮応力が解放されていることがわかり、剥離も-300 MPa 程度で起こるといった知見が得られている。しかし、サンプル数が少ないため、詳細な残留応力の変化を示した曲線が描けていないが、今後の課題として測定数を増やすことで残留応力の変化とベアリングの劣化損傷現象のメカニズムが解明できると考えられている。

第四章では、可搬型 Linac X 線源に適用する高安定な RF 源としてマルチビームクライストロンの基本設計を行っている。通常数 MeV クラスの Linac X 線源にはマグネトロンと呼ばれる自励発振器が使用されているが、発振不安定性などの問題がある。そこで高エネルギー加速器で使用されているクライストロンを小型化し、さらに効率を高めるために複数の電子銃を採用するマルチビームクライストロンの基本設計を MAGIC と呼ばれる PIC コードのより行っている。MAGIC による計算により 8 ビーム、6 空洞/ビームで 2 MW クラスのマルチビームクライストロンが全長 200 mm 程度、直径 150 mm 程度で作製できるとされ、将来的な小型 Linac を利用した X 線源の高安定化が実現できると考えられる。

以上のように、本論文は原子力保全を目的として Linac X 線源でのイメージング、残留応力測定による余寿命評価への適用の議論、さらに高度な X 線源実現のための装置高度化と行ってきた。目標値に及ばなかった点もあるが手法は独創的であり、非常に有用なものである。これは、原子力の保全への可搬型高エネルギー X 線源の応用研究の先駆けになるものである。

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。