



|              |                                                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | リモートフィールド領域における磁場分布解析と非対称欠陥検出への適用                                                                                                               |
| Author(s)    | 安西, 道生                                                                                                                                          |
| Citation     | 大阪大学, 2004, 博士論文                                                                                                                                |
| Version Type |                                                                                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/44889">https://hdl.handle.net/11094/44889</a>                                                             |
| rights       |                                                                                                                                                 |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|               |                                                                                                                                     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | やすにしみちお<br>安西道生                                                                                                                     |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (工 学)                                                                                                                           |
| 学 位 記 番 号     | 第 18710 号                                                                                                                           |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 16 年 3 月 25 日                                                                                                                    |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>工学研究科電子情報エネルギー工学専攻                                                                                              |
| 学 位 論 文 名     | リモートフィールド領域における磁場分布解析と非対称欠陥検出への適用                                                                                                   |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 西川 雅弘<br><br>(副査)<br>教 授 飯田 敏行    教 授 田中 和夫    教 授 堀池 寛<br>教 授 三間 罔興    教 授 西原 功修    教 授 朝日 一<br>教 授 栗津 邦男    助教授 上田 良夫 |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、リモートフィールド領域における磁場分布解析と非対称欠陥検出への適用についての研究成果をまとめているものであり、全 8 章から構成されている。

第 1 章では、序論として、リモートフィールド渦電流探傷法 (RFECT) の研究開発の経緯、原理について説明し、本研究の目的である非対称欠陥存在下での管内部の渦電流密度、管内の磁場分布の解明とその結果を利用することによる非対称欠陥の欠陥位置の特定、形状の判別の必要性について説明している。

第 2 章では、欠陥探傷実験に使用した実験装置、実験対象管、実験方法等について説明すると共に装置の基本特性を述べている。

第 3 章では、解析に使用した有限要素法と磁気ベクトルポテンシャル法の基礎方程式について説明し、励磁コイルで発生した磁場が管内部にどれだけ浸透するかについて考察を行っている。

第 4 章では、直接磁場と間接磁場のモデル化について説明し、そのモデルによる計算結果と実験結果との比較を行っている。また、有限要素解析による計算結果の妥当性を実験結果と比較することにより評価している。

第 5 章では、非対称欠陥が管に存在するときの管内部の渦電流密度分布よりリモートフィールド領域への磁場の影響を推測し、その推測結果と管内の磁場分布の変化を対応づけている。そして、非対称欠陥を探傷したときに得られる欠陥検出信号についての考察を行っており、その結果、欠陥が存在する側とその反対側とで磁場分布が異なるという結果が述べられている。

第 6 章では、第 5 章で得られた結果より、その信号変化を捉えるために管壁に沿って検出コイルを一回転させて行う探傷法を提案している。この探傷法によって得られた検出信号より、非対称欠陥の欠陥位置の特定と欠陥深さ、周方向角度の判別が可能であることを示している。

第 7 章では、RFECT の問題点である検出信号が小さいという特性に対して、励磁コイルと検出コイルとの間にシールドを挿入することにより、直接磁場成分をより早く減衰させ、コイル間距離を短くし、検出信号を増加する検討を行っている。その結果、直接磁場成分を十分に減衰させるためにはシールドの厚さが 9 mm 必要であるが、厚さ 5 mm のシールドの場合でも主に間接磁場成分を検出することが可能となり、厚さ 5 mm のシールドを用いるとシール

ドを用いていない場合よりも約 11 倍の欠陥信号強度が得られることを示している。

最後に、第 8 章において本研究についての結論を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本研究では、リモートフィールド現象をより明らかにするために、管内の磁場を形成する直接磁場成分と間接磁場成分の発生モデルを考え、直接磁場成分と間接磁場成分の相互関係を解明し、管内に発生する磁場分布のモデルを構築している。また電磁場解析により、非対称欠陥存在下での管内部の渦電流密度、管内の磁場分布を明らかにすることにより、非対称欠陥による磁場への影響を解明し、周方向の磁場分布を検出することにより、欠陥位置の特定、形状の判別を試みている。そして、シールドを用いることにより、探傷プローブの短縮化、欠陥検出信号の増加を図っている。本論文で得られた成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 管内に生じる直接磁場成分と間接磁場成分の発生モデルより、直接磁場成分は管によって生じる渦電流によって指数関数的に減少する磁場成分であり、間接磁場成分はそれぞれの場所で発生する渦電流による磁場の重ねあわせとして考えることができることが述べられている。
- (2) 探傷シミュレーションにおける有限要素解析結果を実験結果と比較することにより、有限要素解析は直接磁場成分と間接磁場成分を良く説明することができ、定量的には、軸対称解析結果では誤差を 10%、3 次元解析結果では誤差を 19%ほど考慮する必要があることが述べられている。
- (3) 励磁コイルが非対称欠陥の真下に存在する場合、検出コイルに得られる誘導電圧は欠陥の真下の領域では、振幅が増加し、位相が減少する。またその反対側の欠陥が存在しない領域では、振幅は減少し、位相は増加する。また、検出コイルが欠陥の真下に存在する場合は、欠陥の真下の領域では、振幅が増加し、位相も増加するが、その反対側の領域では、ほとんど変化がみられないことが述べられている。
- (4) 小型検出コイルを管壁に沿って周方向に一回転して得られる信号において、検出信号の傾きは欠陥深さに依存していること、欠陥が存在しない場合の信号から欠陥検出信号までの距離は周方向角度に依存していることが述べられている。そして、これらの規則性より、欠陥検出信号からその欠陥深さ、周方向角度を計算することが可能であることが述べられている。
- (5) 厚さ 9 mm のシールドを用いることにより、直接磁場成分を十分に減衰できることができ、これを用いて製作された探傷プローブは欠陥信号強度を従来よりも約 3.5 倍とすることが述べられている。また、厚さ 5 mm のシールドを用いると、間接磁場成分を主に検出することが可能となり、これを用いて製作された探傷プローブは従来よりも約 11 倍の欠陥信号強度を示すことが述べられている。

以上のように、本論文はリモートフィールド現象を解明する上で重要となる直接磁場成分と間接磁場成分の発生モデルを構築し、このモデルより欠陥存在下でのリモートフィールド領域の変化を解明し、欠陥信号の推測を可能としている。また、探傷シミュレーション結果から実験値を推測する上で考慮すべき誤差を求めることができている。そして、管壁に沿って周方向に小型検出コイルを 1 回転させる探傷方法により、管に周方向欠陥が存在する場合の欠陥位置の特定、欠陥の形状の判別が可能となっている。そして、シールドを用いることにより探傷プローブの短縮化、高感度化が可能となり、従来よりも小さな欠陥を探傷することが可能となっている。これらのことは、リモートフィールド渦電流探傷法の理解を深め、探傷法の精度を向上し、高感度化を促進するものであり、欠陥探傷技術の発展に貢献し、原子力発電所の長期運転に関わる安全性、信頼性の向上に資するものである。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。