

氏 名	林 孝之
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第4001号
学位授与の日付	平成21年 9月30日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	低周波印加磁場による金属材料の非破壊検査
論文審査委員	教授 塚田 啓二 教授 高橋 則雄 教授 村瀬 暁

学位論文内容の要旨

渦流探傷試験の駆動周波数を低周波化することは、表皮深さによる制限を軽減し金属サンプル深部の欠陥を検出できることだけでなく、渦電流の発生をあえて抑え強磁性金属の磁性に起因した磁気応答を積極的に検出することにもつながる。本論文では、低周波でも十分な磁気検出感度を持つ磁気抵抗センサとロックインアンプを組み合わせることで、低周波印加磁場での金属サンプルの磁気応答を得るシステムを開発した。また、磁気抵抗センサにより検出された磁気信号は、2相ロックインアンプでの検出により、磁気強度と基準信号からの位相シフトの2つのスカラー成分を持つ磁場ベクトルとして取り扱うことで、ベクトル空間での演算と位相成分による観測時間の操作を可能とした。

第2章では、開発したシステムの概要と低周波印加磁場に対する磁気検出感度を計測することで、本システムが低周波印加磁場で十分な磁気検出能力があることを示した。

第3章では、サンプルのある状態で計測した磁場ベクトルと、サンプルのない状態で計測した磁場ベクトルの差分演算することで、サンプル固有の磁場ベクトルのみを取り出す方法について説明した。そして、金属サンプルの例としてアルミ板と鉄板の磁気イメージングを取得し、磁場ベクトルを直接ベクトル空間へ展開することで、渦電流に起因した磁場応答と強磁性金属の磁性に起因した磁場応答それぞれの磁場ベクトルの挙動を比較した。

第4章では、厚みの異なるアルミ板の磁場ベクトルを計測することで、磁場ベクトルの磁場強度と位相シフトの周波数特性がそれぞれアルミ板の板厚み検出へ応用できることを示した。そして、パルス磁場とフーリエ変換を用いた解析方法を導入することで、磁気応答の周波数領域での解析から得られた周波数スペクトルがアルミ板の板厚み検出へ応用できることと、本計測方法がリフトオフによらない計測方法であることを証明した。

第5章では、計測点の磁化を変化させた鉄板の磁場ベクトルの計測から、ベクトル空間において計測点の磁化の成分を除去することで、渦電流に起因した磁場ベクトルのみを取り出す解析方法を提案した。本解析方法を、厚みの異なる鉄板の磁場ベクトル計測と厚みの異なる鉄板のパルス磁場計測へそれぞれ適用することで、磁場ベクトルの位相シフトの周波数特性と周波数スペクトルの位相シフトの周波数特性がそれぞれ鉄板の板厚み検出へ応用できることを示した。また、鉄板においても、パルス磁場による周波数スペクトルの計測がリフトオフによらない計測方法であることを証明した。

第6章では、ステンレス溶接を低周波磁気イメージングにより非破壊検出する実験を行った。まず、ステンレス溶接部と母材のステンレス部の磁気応答を比較することから、ステンレス溶接部は磁性を持つことを示した。また、溶接時の被膜ガスを故意に停止することで作製した欠陥溶接を正常なプロセスで作製した正常溶接とを磁気イメージングにより比較することで、欠陥溶接が検出できることを示した。そして、2層配管中に隠れたステンレス溶接部が磁気イメージングにより検出できることを示し、低周波磁気による磁気イメージングが中空構造の配管に隠れたステンレス溶接の検出に応用できることを証明した。

論文審査結果の要旨

本学位論文は、低周波でも十分な磁気検出感度を持つ磁気抵抗センサとロックインアンプを組み合わせることで、低周波印加磁場での非磁性及び磁性の金属サンプルの磁気応答を得るシステムを開発するとともに、信号解析によって欠陥及び板厚計測を可能としたものである。非磁性金属サンプルとしてアルミ板と、磁性金属サンプルとして鉄板の磁気イメージングを取得し、磁場ベクトルを直接ベクトル空間へ展開することで、渦電流に起因した磁場応答と強磁性金属の磁性に起因した磁場応答それぞれの磁場ベクトルの挙動を計測し、これらを分離することに成功している。板厚計測においては、磁場ベクトルの磁場強度と位相シフトの周波数特性によって磁気特性に影響されない板厚計測を可能としている。また、高速測定を目的として、パルス磁場とフーリエ変換を用いた解析方法を新しく開発し、磁気応答の周波数領域での解析から得られた周波数スペクトルが板厚み検出へ応用できることと、サンプルとセンサ間の距離に影響されない計測方法であることを証明している。ステンレス溶接欠陥の検出では、溶接部の磁性変化をイメージングすることに成功し、さらに表面から見えない多層配管中の内部溶接の磁気イメージングもできることを示している。

以上のように、本論文では、磁気センサを用いた低周波磁場イメージングを新しく開発し、非磁性及び磁性材料の非破壊検査を可能としている。この内容は、学位にふさわしい内容であると判断する。