

学 位 論 文 の 要 旨

専攻名	工学専攻	ふりがな氏	にわ しょうたろう 丹羽 章太郎	
学位論文題目	強磁性体を対象とした電磁力振動を利用する非破壊試験法 (Nondestructive testing method for ferromagnetic materials using electromagnetic vibration)			
各種製造現場や、インフラメンテナンスの現場においては、少子高齢化による労働人口の減少が懸念されており、検査コストの削減や省人化が求められている。そのため、非破壊検査の需要が今後さらに高まることが予想される。本研究では鋳造、地熱発電、鉄道の分野に既存の非破壊検査手法が適用できない箇所や部分において、電磁力振動測定法を利用した新たな非破壊検査手法の検討を行った。 まず鋳造の分野についての検討を示す。機械的強度や耐食性に優れた材料として、鋳造業界では球状黒鉛鋳鉄が多く用いられている。しかし、この材料は製造時に内部に空洞（引け巣）が生じることがある。この引け巣は製品の強度を低下させるため、品質を保証する上で非破壊検査は必要である。この球状黒鉛鋳鉄材の引け巣の非破壊検査には、放射線試験法や超音波試験法が検討されている。しかし放射線試験は検査コストが高額であり、超音波試験は検査面の研磨や接触触媒を必要とするなど、検査に手間を要する場合がある。そのため、検査装置が安価かつ簡便に非破壊検査を実施することが出来る新たな検査手法が求められている。そこで、本研究では電磁力振動を利用した手法を提案した。簡単に検査原理を説明する。提案センサーは 20 mm 寸法の立方体形状の永久磁石にφ0.5 の交流励磁コイルを巻き付けている。永久磁石の直流磁界と交流励磁コイルの渦電流から電磁力による振動が発生する。永久磁石の中心には貫通穴が空いており、ここに振動検出素子である加速度センサーを内挿し、測定対象の表面と接触させる。これにより、測定対象の振動を検出することにより鋳鉄内部の引け巣を測定する。はじめに 3 次元有限要素法の解析を行った結果、鋳鉄内部に引け巣が存在すると、鋳鉄の密度が低下し、電磁力振動が大きくなることが分かった。さらに実際に引け巣が発生した球状黒鉛鋳鉄を用いて検証実験を行った。これにより、解析と同様に引け巣の周辺で振動が大きくなる結果が得られた。 次に地熱発電の分野について検討を示す。我が国は再生可能エネルギーの中で安定した発電が可能である地熱発電が注目されている。我が国は世界第 3 位の地熱資源を保有しているにも関わらず、地熱発電の新設や開発は進んでいない。その要因の一つとして、温泉スケールの問題がある。温泉スケールは地熱発電所の還元井鋼管内部に温泉水内の各種成分が付着、堆積し、鋼管を閉塞させ、発電効率を低下させる。そのため、設備を稼働させた状態で温泉スケール厚みを監視できる測定手法が求められている。温泉スケールの厚さ測定には、内視鏡や超音波試験法、放射線透過試験法等が検討されている。しかし内視鏡ではスコープを鋼管内に挿入するため発電を止める必要がある。超音波法では、超音波が鋼管と温泉スケールの間で反射するため、測定が困難である。放射線法では、鋼管径が大口径のため、放射線の透過に問題がある。そのため現時点において温泉スケールの厚みを測定できる有効な非破壊検査法は存在しない。そこで、本研究では電磁力振動による測定手法を用いて温泉スケールの厚みを鋼管外部から測定する非破壊検査法を提案した。3 次元有限要素法による数値解析から、鋼管内部に温泉スケール				

ールが堆積するとマクロ的な鋼管全体の剛性が上昇し、電磁力振動が小さくなることが分かった。また、検証実験を行った結果、実際の地熱発電所の還元井鋼管内の温泉スケール厚さを推定できることを確認した。

最後に、鉄道分野についての検討を示す。日本の鉄道輸送は設備の老朽化が深刻化しており、鉄道車両の台車に発生したき裂が原因とする事故などが発生している。台車表面に発生したき裂の検査は目視などで発見することが可能であるが、裏面に発生したき裂の場合は放射線や超音波による非破壊検査を実施する必要がある。しかしながら、放射線試験は台車の寸法が大きく、測定可能な大きさまで台車を分解する必要がある、検査コストがかかる問題がある。超音波探傷試験の場合、台車表面の塗装や汚れを研磨して試験を実施する必要がある、試験後は再塗装の必要があるなど手間を要する。そこで本研究では、上述した提案センサーの振動検出素子を加速度センサーから小型のマイクロフォンに変更した。これにより、台車の裏面に生じたき裂を非接触で検知できる手法の検討を行った。3次元有限要素法による数値解析から、台車鋼板の裏面にき裂が存在すると、鋼板の剛性や密度が低下し、電磁力振動が大きくなることが分かった。また、実際の簡易モデルでの検証実験も行い、本提案手法の有用性を確認した。

本論文で提案した電磁力振動による非破壊検査手法を用いることで、球状黒鉛鋳鉄内の引け巣や地熱発電所鋼管内の温泉スケール、鉄道台車の裏面き裂等の検出が可能となった。本研究の成果はこれらの新たな試験法として、非破壊検査技術の発展に貢献できるものとする。

【2000 文字（語）】

（注）和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有 ☐ 無 ☒

学位論文審査結果の要旨

専攻	工学専攻 物質生産工学コース	氏名	丹羽 章太郎
論文題目	強磁性体を対象とした電磁力振動を利用する非破壊試験法		
主査	後藤雄治		
審査委員	小田和広		
審査委員	岩本光生		
審査委員	高 炎輝		
審査委員			
審査結果の要旨（1000 字以内）			
本論文は、製造現場やインフラメンテナンス分野における新たな非破壊検査手法の開発が論じられている。特に従来の検査手法では対応が難しかった鋳造、地熱発電、鉄道分野に対し、電磁力振動測定法を応用することで、簡易かつ低コストである非破壊検査技術を提案している。 まず、鋳造分野では、球状黒鉛鋳鉄の内部に発生する空洞（引け巣）の非破壊検査が対象とされている。従来の放射線試験法や超音波試験法は、高コストや事前処理の必要性といった課題があった。そこで、本研究では電磁力振動を利用し、簡易なセンサーで鋳鉄内部の引け巣を検出する方法が提案されている。鋳鉄内に引け巣が存在する場合、鋳鉄のマクロ的な剛性が低下するため、定常振動を印加した場合、振動が増加することが3次元有限要素法の電磁力・振動解析により確認された。また、検証実験によりこの現象が確かめられており、この手法を用いる事で簡便に引け巣の存在やその大きさを推定できる事が確かめられている。 次に、地熱発電分野では、還元井鋼管内に堆積する温泉スケールの厚みを測定する非破壊検査法が提案されている。従来の内視鏡や超音波試験法、放射線試験法では、検査のために発電を停止する必要があることや、測定に多大なるコストがかかるといった課題があった。そこで、電磁力振動法を活用し、発電の稼働を止める事無く、低コストで鋼管外部からスケール厚みを測定する方法を提案している。数値解析および検証実験から、スケール堆積により鋼管の剛性が増加し、振動が減少することが確認され、実際の発電所設備での測定にも効果的であることが示された。 鉄道分野では、台車の裏面に発生するき裂の検出が課題となっている。従来の放射線試験や超音波試験はコストや労力がかかり、効率的な検査法の需要が高まっている。提案手法では、電磁力振動を非接触で印加させ、その振動強度をマイクロフォンで検出することで、台車の裏面に生じたき裂を非接触で検出する技術を開発した。解析および実験により、き裂が存在する場合に振動が増加することが確認され、この方法の有用性が示された。 本審査では幾つかの質問が出されたが、適切な回答が得られた。博士論文も内容として優れており、本研究内容は博士(工学)の学位に値すると認められる。			