

氏名	宮本 隆典		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第9006号		
学位授与年月日	平成31年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	平行走査型超音波透過法による高減衰角鋼片の欠陥位置・径の高速計測に関する研究		
主査	筑波大学 教授	工学博士	水谷 孝一
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	若槻 尚斗
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	海老原 格
副査	筑波大学 助教	博士(工学)	前田 祐佳
副査	筑波大学 教授 (数理物質科学研究科)	工学博士	伊藤 雅英
副査	産業技術総合研究所 主任研究員	博士(工学)	吉岡 正裕

## 論文の要旨

本論文は、鋼板や鋼管などの鉄鋼製品（市場で流通）の半製品（製鉄所内で流通）である角鋼片の超音波による内部欠陥の検出および位置・径の計測手法に関する研究をまとめたものである。製鉄所内では、製品の品質化のために、超音波による非破壊評価が行われているが、鉄道車輪等特殊鋼は、一般的に超音波に対して高減衰特性を有しているため従来の超音波反射法の適用が難しかった。そこで先行研究として超音波透過法が提案されているのだが、ここで角鋼片の内部欠陥検出手法として縦波伝搬時間(Time-of-flight:TOF)を用いる超音波計算機トモグラフィ(Computerized tomography:CT)法は、計測データを取得するために膨大な計測点を必要とすし、かつ計測に時間がかかるものとなっていた。本研究では、実用化可能な時間で計測可能な、高減衰角鋼片にも適用可能な内部欠陥検出手法の確立を目的として、TOFを用いる超音波CT法の計測経路を大幅に削減した平行走査型超音波透過法の提案および有効性の検討を行い、計測経路の削減に伴う欠陥情報の減少への対応、更なる計測の高速化および大型かつ高減衰な角鋼片への対応について検討している。

第2章では、高減衰材に適用可能で高速に検査が行える手法として、平行走査型超音波透過法による欠陥検出および欠陥径推定を提案し、その原理を示している。

第3章では、数値シミュレーションおよび実験により有効性を検証している。数値シミュレーションにおいては従来用いられていた縦波のみを考慮したWE-FDTD法によるものと試験片を用いた実験結果を比較し、欠陥検出および位置・径推定における提案手法の有効性を示している。また、縦波を考

慮したシミュレーションと試験片を用いた実験結果において、TOF 変動量に差が表れることを確認している。

第4章では、第3章で示された縦波のみを考慮したシミュレーションにおける TOF 変動量と実験における TOF 変動量の間が生じた誤差の低減を行っている。そのために、縦波のみを考慮したシミュレーションと弾性波を考慮した波動伝搬シミュレーションによる結果を比較し、TOF 計測において横波およびモード変換が影響を与えること、また弾性波の考慮により実験における TOF 変動量との誤差が低減することが示されている。

第5章では欠陥の深さ位置の推定精度向上のため、対面反射波の TOF 変動計測の利用を検討している。透過超音波の TOF 計測との併用により欠陥の深さ情報が得られ、また、対面反射波の TOF 変動計測を単独で用いた単一のトランスデューサによる角鋼片内部の欠陥検出が行えることを示している。

第6章では、更なる大型および高減衰な角鋼片の検査を実現するため、フェイズドアレイ技術による収束超音波ビームを用いた透過超音波の計測を検討している。トランスデューサアレイから送信した収束超音波の透過波の TOF および振幅変化に着目することで、減衰の影響の更なる低減につながることを示している。

第7章では、更なる計測時間の短縮のため、平面波送信による透過超音波の TOF 計測を検討している。1回の平面波送信とすることで、大幅に計測時間を短縮した透過超音波による欠陥検出が可能であることを示している。

以上の検討から、平行走査型超音波透過法において、欠陥の定量的評価、計測の高速化、高減衰角鋼片への適用が可能であることを示している。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

本論文では、高減衰角鋼片の内部欠陥を実用化可能な速度で検出し、欠陥位置・径を計測する手法として平行走査型超音波透過法が提案されている。TOFを用いる超音波CT法から大幅に計測経路を削減しながらも欠陥によるTOFの変化量に着目することにより欠陥径の計測を可能としており、また、これまで利用されてこなかった対面反射波のTOFに着目することにより欠陥の深さ位置計測を可能としている。集束超音波を用いる更なる高減衰角鋼片への適用や、平面波を用いる更なる計測の高速化も図られており、高減衰角鋼片の非破壊評価の実用化に近づけたものといえる。また、透過超音波の新たな応用例を示すものであり、非破壊検査手法の発展に寄与していることから高く評価できる。本論文における手法は鉄鋼のような固体内部のみならず空間温度計測などにも応用可能であり、計測技術の発展にも貢献することが期待される。

### 【最終試験の結果】

平成31年2月7日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。