

## 審査の結果の要旨

氏名 裴 翠祥

本論文では金属材料中に発生したき裂などの欠陥をレーザーEMATにより検査する手法に関する技術開発研究を行っている。レーザーEMATとはレーザーアブレーションにより材料表面に熱弾性振動を誘起して超音波を発生させ、これをEMAT (Electromagnetic Acoustic Transducer) センサで測定する手法である。

本論文の第1章は序論である。ここでは、非接触超音波診断技術の例としてエアギャップ超音波診断、EMAT, レーザー超音波診断、レーザーEMATについて述べるとともに、本論文の主題であるレーザーEMATの紀要研究について解説している。また、研究の目的を①高パフォーマンスレーザーEMATシステムの開発、②シミュレーションコードの開発、③レーザーEMAT信号を用いた材料内部の欠陥診断手法の開発、④光ファイバーを用いたマルチビームレーザー超音波源の開発、であると定めている。

第2章では、レーザーEMATの基礎として、超音波による欠陥診断(パルス=エコー法、シャドウ法、飛行時間法(Time of Flight : TOF))の解説をしている。また、超音波発生手法として、熱弾性法、交流電流法、レーザーアブレーション法を紹介している。さらに、本研究で採用しているEMATによる超音波信号センシング、および、マルチレーザーを用いたレーザーアブレーションの高強度化についても解説している。

第3章はレーザーEMAT装置システムの開発の章である。システムを構成する要素であるNd-YAGレーザー、およびEMATセンサを用いたセンシングを説明するとともに、その各々の性能について解説している。とくに、レーザーアブレーションによる材料中での超音波の特徴を、他の発生法による超音波の特徴と比較し、レーザーアブレーション超音波が材料の違いによってどのように変化するかについても言及している。

第4章では数値シミュレーション法開発の章である。4.1節ではレーザーアブレーションによる材料中での超音波発生の理論について解説している。材料表面のレーザー照射点には熱エネルギーが蓄積し、熱弾性現象により照射点から超音波振動が発生する。4.2節は2次元体系でのシミュレーションプログラムの開発である。材料中に格子状のメッシュを配列し、有限要素法に基づき温度場と弾性波場を計算している。4.3節はそのシミュレーション結果の解説と考察であり、過渡的溫度場、レーザー誘起超音波、および超音波発生に対するレーザー特性の依存性について計算している。4.4節ではこのシミュレーションプログラムを用いた材料中の超音波の伝搬シミュレーションを行い、材料中の超音波

の計算結果を実験結果と比較することでシミュレーション手法の検証を行っている。4.5節ではこのシミュレーションプログラムの3次元体系への拡張の可能性について述べられている。

第5章は、上記のシミュレーションプログラムを用いて、2つの材料中欠陥診断手法を新たに提案するとともに、その検証を行っている。1つめは5.1節で提案されている TOFD(Time of Flight Detection)である。これは欠陥に周り込んでセンサに到達する超音波の到達時間の遅れから、欠陥サイズを評価する手法である。実験との比較は良い一致を示しており、TOFD法の有効性が示された。2つめの提案は改良 TOFD法である。これは、欠陥による超音波の散乱波が超音波の種類（縦波・横波・シア波）により異なる時間遅れを生じることを利用してより高精度に欠陥サイズを評価する手法である。この改良 TOFD法についても、実験との比較検証によりその有効性が実証されている。

第6章は、レーザーアブレーションのレーザーを1門から3門に増強した、マルチレーザーEMATシステム開発の章である。3門のレーザー光は同一のYAGレーザー源を発したのち、各々長さの異なる光ファイバーを経由して材料に照射される。このため超音波の強度が増してS/N比が向上するとともに、位相差を利用した欠陥診断も可能となる。6.1節ではまず超音波発生シミュレーションを行い、6.2節でその結果に基づくマルチレーザーEMATシステムの設計をしている。さらに6.3節では、この設計に基づくマルチレーザーEMATシステムの製作、および超音波発生試験の実験結果について述べている。

第7章では、マルチレーザーEMATシステムの有効性を、シミュレーションおよびTOFD法とシャドウ法を用いた欠陥診断実験により行っている。

第8章は本論文の結論である。

本研究ではレーザーEMATに基づく非破壊検査の新技术が開発されており、原子力プラントをはじめとする材料検査にとって有益であると考えられる。

以上のことから、新規性、有用性、学術的価値および進捗度の観点から審査した結果、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。