

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560092

研究課題名(和文) 走査型レーザー誘起超音波非破壊検査システム(SLANDI)の開発とその応用

研究課題名(英文) Development of Scanning Laser-induced Acoustic Non-destructive Inspection (SLANDI)

研究代表者

小山 敦弘(KOYAMA, Atsuhiko)

長崎大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40324800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円、(間接経費) 1,320,000円

研究成果の概要(和文)：機械構造物の信頼性を確保し、安全で安心な社会を創造するための新しい非破壊検査システムである走査型レーザー誘起超音波非破壊検査システム(SLANDI)の開発を行った。本システムはレーザー光源を利用し、試料内部に発生するレーザー誘起超音波信号を2次元画像化することで非破壊的に欠陥を検出するものである。本システムにおいて、試料表面に存在する数十 $\mu\text{m}$ オーダーの微小欠陥の検出が可能であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：In order to ensure the reliability of the structure and to create safe and secure society, the scanning laser-induced acoustic non-destructive inspection (SLANDI) was developed. This system is the new type non-destructive inspection. This system can non-destructively detect defects using the laser-induced acoustic signal generated inside the specimen by chopped laser. This system can carry out detection of the micro-defect which exists in the specimen surface.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、機械材料・材料力学

キーワード：SLANDI 非破壊検査 レーザー 超音波

### 1. 研究開始当初の背景

近年、機械構造物の省エネルギー化・高効率化のために、機械構造物は小型・軽量化が進められてきており、機械構造部材の使用環境がますます苛酷化してきている。また、安全で安心な社会を創造するために、機械構造物の安全性・信頼性の確保が重要課題となっている。そのためには、実稼働中の機械構造物の疲労損傷や材料の内部欠陥等を特定し、欠陥等を原因とする破壊事故が生じる前に、損傷部材の交換を行う必要がある。

そこで従来は欠陥を特定するために、超音波探傷装置や渦電流探傷装置などを用いていたが、これらの欠陥検出能は数 mm 程度のものがほとんどで、あまり欠陥検出能が高いとは言い難く、また小型構造物での信頼性が低い。

そこで、高分解能の非破壊検査システムの開発を目指し、従来の走査型電子顕微鏡 (SEM) を改造することにより、電子線誘起超音波顕微システム (SEAM) を開発した。SEAM は従来の非破壊検査装置に比べ、数  $\mu\text{m}$  の分解能を有する非常に高分解能の非破壊検査システムであり、ピッカース硬さ試験での押し込み変形時に生じる転位網の観察や結晶粒界の観察なども行うことができる。これ以外の高分解能を有する非破壊検査装置として、X 線検査装置などがある。しかしながら、これらの高分解能非破壊検査装置は、非常に小さな欠陥の検出ができるものの、SEAM では検査対象試料としては小さいものしか扱えず実構造物の検査には使用が困難であり、X 線検査装置では被爆の恐れがある。また、これらの非破壊検査装置は操作方法を熟知する必要があるなど取り扱いが専門的であり、熟練技術者を養成する必要がある。

そこで、実構造物への適応が可能で、現場での非破壊検査が比較的容易であり、かつ高分解能を有する非破壊検査システムの開発が望まれている。

### 2. 研究の目的

機械構造物の信頼性を確保し、安全で安心な社会を創造するために、装置の取り扱いが容易であり非破壊内部観察を行うことができ、従来の超音波探傷装置などの非破壊検査装置以上の分解能を有し、実構造物への応用が比較的容易に出来得る非破壊検査装置として、走査型電子線誘起超音波顕微鏡 (SEAM) における断続照射電子線のかわりに、断続照射レーザー熱源を利用した新しい走査型レーザー誘起超音波非破壊内部検査システム (SLANDI) の開発を目的とする。

また、新しいレーザー利用分野の拡大および実構造部材の損傷評価への利用から学術的效果を狙う。

### 3. 研究の方法

(1) 走査型レーザー誘起超音波非破壊内部

検査システム (SLANDI) を構築するために以下の手順で行った。

初めに、レーザー光源の選定および光軸調整などを行う。さらに、レーザー断続照射システムの構築を行うとともに、LabVIEW を用いた試料保持ステージの 1 次元走査システムを作成し、SLANDI の基礎を構築した。

次に、で作成した LabVIEW プログラムの改良を行うことにより、試料保持ステージの 2 次元走査システムを構築し、超音波信号の画像化のための位置情報データの取得を可能とした。さらに、レーザー断続照射による超音波信号と断続周波数を有する参照信号とのロックインアンプ出力を取込み、位置情報データを用いて 2 次元画像化を行うプログラムを作成した。

また、超音波信号検出回路の改良を行うことで、SLANDI の検出能を向上させるとともに、高分解能化を行った。

(2) SLANDI の高精度化を行うために、超音波信号伝達メカニズムを解明することを目的とした熱電気弾性場の連成解析手法の確立を行うとともに、C 言語を用いた解析プログラムを作成し、レーザー断続照射による超音波信号の波動特性評価を行う。

### 4. 研究成果

(1) 走査型レーザー誘起超音波非破壊内部検査システム (SLANDI) を構築した。

図 1 に SLANDI のブロック線図を示す。SLANDI は、レーザー光源、ファンクションジェネレータ、超音波検出用試料ホルダー一体型ヘッドアンプ、走査用 XY ステージおよび XY ステージコントローラ、ロックインアンプ、処理用 PC で構成されている。また、試料表面でのレーザー焦点の調節および試料の測定範囲を決めるための CCD カメラも具備されている。

本システムは、レーザー光源の光軸とレンズの軸を合わせて取り付けられていることから、CCD カメラで観察した部位に対して検査範囲を決めて検査を行うことができる。

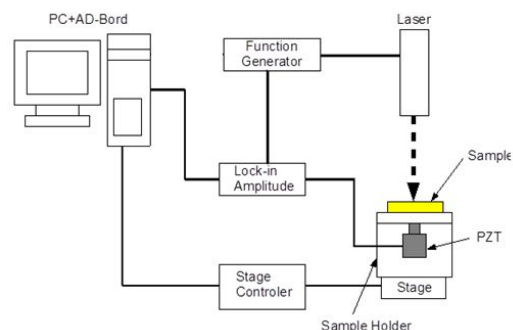


図 1 SLANDI のブロック線図

(2) 図 2 に示すような表面に線状のひっかき傷を有する試料に対して検査を行った。そ

の結果、図3に示すようにひっかき傷の部分において、ロックインアンプ出力が増大し、本課題で開発したSLANDIを用いることで、試料表面の欠陥を検出できることがわかった。

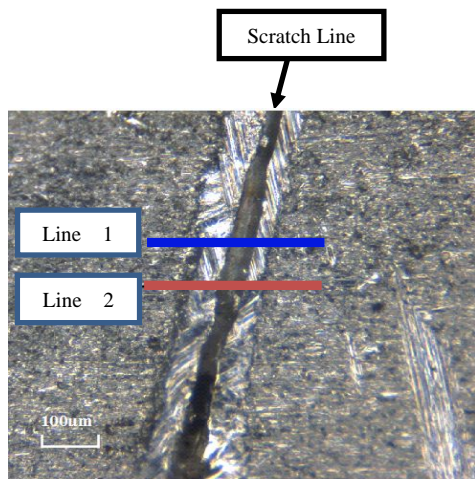


図2 検査試料表面のCCDカメラ写真

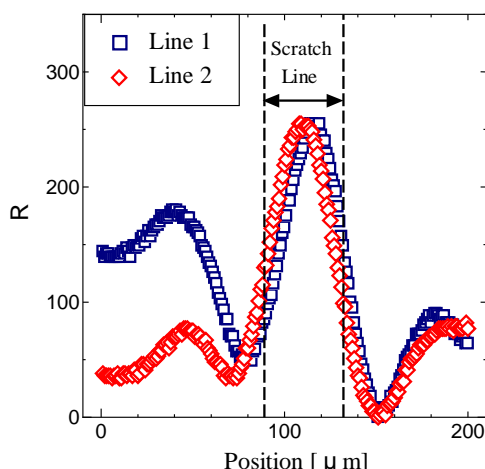


図3 SLANDIによる欠陥同定結果

(3) SLANDIでは、高速に断続照射されたレーザーを観察試料に照射し、試料内に周期的な温度上昇を起こすことにより、試料表面近傍に熱波が発生する。この熱波に連成して試料内で熱膨張・収縮が起こり、超音波が試料内に誘起される。この超音波は試料裏面に設置された圧電素子で検出され、電圧信号に変換される。得られた電圧信号を映像信号として用いることで、試料の非破壊検査をおこなっている。熱波から超音波が誘起される熱弾性現象や、圧電素子におけるひずみ電圧信号が誘起される圧電効果はそれぞれ、温度場と変位場、変位場と電気場が互いに影響を及ぼしあう連成現象である。SLANDIにおける内部観察像の分解能向上を目指すために、これらの現象の解明が不可欠である。特に圧電素子における電圧信号は内部観察像となる信号であるため、より重要である。

そこで、SLANDIにおける波動現象について、温度場、変位場および電気場の3つの物

理現象を連成問題として解析を行うための支配方程式の導出を行った。また、1次元モデルに対する差分近似式の導出をおこない、熱電気弾性場における熱波、超音波、そして圧電素子の電圧信号の波動特性解析を行った。

その結果を図4に示す。本解析プログラムにおいて、レーザー断続周波数が100[Hz]から1[kHz]までにおける位相差および振幅を求めることができたものの、解析に用いたPCの性能の関係上、より高周波数の結果を求めることが出来なかった。今後、アルゴリズムの見直しおよびPCスペックの向上を行うことで、高周波数域での結果を求める予定である。

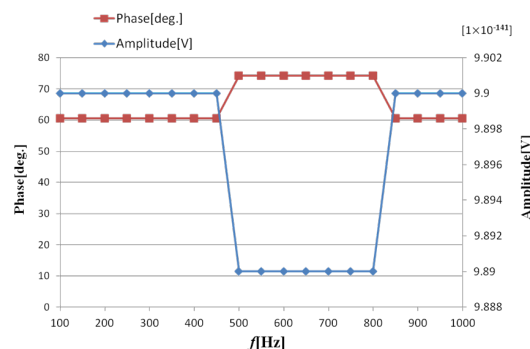


図4 熱電気弾性場連成解析結果

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計1件)

渋谷陽二、小山敦弘、Non-fourier thermo-elastic wave propagation for nondestructive observations, Proceedings of Functional Materials and Structures (ACMFMS2012), 2012年12月05日~2012年12月08日, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi, India

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mech.nagasaki-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小山 敦弘 (KOYAMA, Atsuhiko)  
長崎大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 40324800

### (2) 研究分担者

才本 明秀 (SAIMOTO, Akihide)  
長崎大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 00253633

高瀬 徹 (TAKASE, Toru)  
長崎大学・工学研究科・准教授  
研究者番号：50171442

本村 文孝 (MOTOMURA, Fumitaka)  
長崎大学・工学研究科・助教  
研究者番号：40274625

奥村 哲也 (OKUMURA, Tetsuya)  
長崎大学・工学研究科・准教授  
研究者番号：10380817