

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560880

研究課題名(和文)電磁・電歪現象融合超音波センサによる革新的高温配管検査システムの開発

研究課題名(英文) Study of a new inspection system of a pipe using a piezoelectric ultrasonic sensor and an electromagnetic induction coil

研究代表者

村山 理一 (MURAYAMA, Riichi)

福岡工業大学・工学部・教授

研究者番号：20330946

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：電磁誘導コイルと薄膜積層型圧電超音波素子を組み合わせて、電磁誘導コイル仕様最適化の結果、当初目標を上回る20cm遠方からの超音波探触子の駆動に成功した。次に400度までの高温実験を実施し、コイルのみを加熱した場合は検出感度に変化がないこと、圧電薄膜積層型超音波センサを同時に加熱した場合も感度低下は発生するが十分な受信信号強度が得られることを確認した。次に、試験パイプ周方向に等間隔で圧電振動子型超音波センサを添付して電磁誘導法によるガイド波の送受信に成功し、10mm径の貫通穴を検出することができた。本研究の基本アイデアを全て確認することができた。

研究成果の概要(英文)：The new sensor system by combining of a piezoelectric thin-film multilayer ultrasonic element and an electromagnetic induction coil could be driven from 20cm far exceeding the sensor by using a drive equipment which consists of an electromagnetic induction coil and a high power electric transmitting device, as a result of electromagnetic induction coil specification optimization. Then there was no change in the detection sensitivity, when the high temperature experiment up to 400 degrees is conducted and only a coil's is heated. Next, when a piezoelectric thin film type ultrasonic sensor was heated simultaneously, the sensitivity fell down, but the sufficient receiving signal intensity was obtained. Next, it was possible to successfully receive a guided wave by electromagnetic induction method by attaching a piezoelectric transducer at regular intervals on test the pipe to circumferential direction to detect the through-holes of 10mm diameter.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：超音波探傷 ガイド波 高温構造物 パイプ 超磁歪素子 強誘電薄膜積層素子 電磁誘導コイル 非接触駆動

1. 研究開始当初の背景

高温構造物や高温材料の検査は最もニーズが高い非破壊検査分野の一つである。その中でも原子力・火力発電所の高温 1 次・2 次蒸気配管の全長全周を高速で、かつ常時モニタリングできるセンサシステムの開発はエネルギーの効率的利用及び安全上の緊急課題に挙げられている。パイプ用高感度超音波センサとしては米国サウスウエスト研究所の Dr. Kwun らが開発した Ni 箔貼り付け型センサがあるが密着かつ常温用センサで高温構造物には適用できない。一方、構造物上に強誘電薄膜を直接積層させることで 600 程度まで駆動可能な超音波センサを実用レベルで開発にカナダ国立研究機構・材料研究所 (IMI/NRCC) が成功している。そこで、電磁誘導コイルを使って、高温用強誘電薄膜積層型超音波センサを 10cm 以上離れた場所から、駆動・検知することができれば、高温パイプの全周・全長の検査が可能で面積探傷システムを構築でき、原子力発電所の最重要構造物である熱交換器において、稼働中・定期的に、配管の全数検査が可能であると考えられた (図 1)。

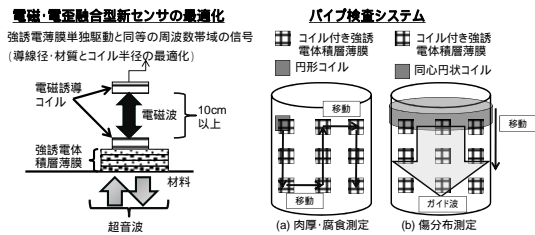


図 1 研究構想

2. 研究の目的

高温構造物の非破壊検査は、社会の安全上実施されなければならない大きな課題の一つである。近年、Sol-GeI 法を利用し、構造物上に強誘電薄膜を直接積層させることで 600 程度まで駆動可能な超音波センサが開発されている。もしこのような高温超音波センサを比較的遠距離 (10cm 以上) から非接触で駆動・検知できれば、原子力発電所の高温

熱交換器の保護層上部からの定期的検査等が可能になり、高温構造物非破壊検査に新しい可能性を開くものとなる。そこで、電磁誘導コイルとフレキシブル型強誘電薄膜積層型超音波センサを融合させた新しいセンサによる 高温 (~ 600 ) で稼働可能、高感度 ( 従来の非接触センサと比較して 100 倍以上の感度が目標 )、実質非接触 ( センサが移動可能 ) な高温配管の全面検査システムを開発することとした。

3. 研究の方法

図 2 に研究期間内実施事項の概略を示す。これまでに強誘電薄膜積層型超音波センサを電磁誘導コイルにより駆動検知する場合、平面状円形コイルを用い、直径を大きくしていくことで、遠方から駆動・検出できることを明らかにした。しかし、遠隔駆動時に受信信号波形が狭帯域化するという課題も発生し、その原因が電磁誘導コイルのインピーダンス上昇に起因することを明らかにした。そこで高温に耐えることができ、かつインピーダンス変動の小さい電磁誘導コイルの最適化を図る。その結果として、適用温度は常温から 600 度程度迄、離隔距離 10cm 以上で強誘電薄膜積層型超音波センサを駆動検知でき、受信信号の周波数特性が実用的に一般の超音波信号と大きく異なる新センサを開発する。

次に試験パイプ上に、等間隔にフレキシブル型強誘電薄膜積層型超音波センサを添付する。同時に電磁誘導コイルを配置することで、パイプ軸方向に伝播するガイド波が送受信できることを確認する。

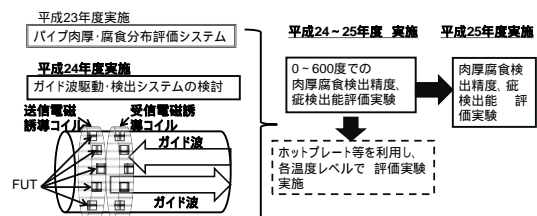


図 2 研究の進め方

#### 4. 研究成果

図1に示す薄膜積層型圧電超音波センサを駆動するための電磁誘導コイル最適化を実施した。円形(単層、複層)、らせん状等の様々な形状の電磁誘導コイルを検討した結果、単層円形(直径20cm以上)の電磁誘導コイルを高周波パルス電気信号発生器、増幅器とインピーダンス整合をおこなってから適用することで、20cm以上遠方から駆動することができ、十分な強度の超音波信号の送受信が可能であることが確認できた(図3)。

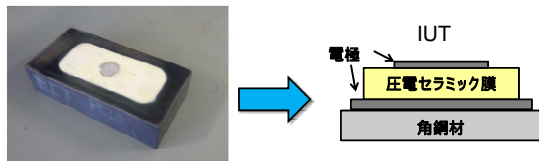


写真1 圧電薄膜型超音波センサ

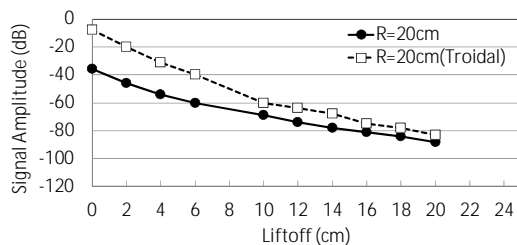


図3 リフトオフと信号強度の関係

次に400度まで高温実験を実施し、電磁誘導コイル単体を昇温しても感度低下は発生しないことを確認した。また、圧電薄膜型超音波センサと同時に昇温した場合、感度低下は発生するが十分な受信信号強度が得られることがわかった(図4)。

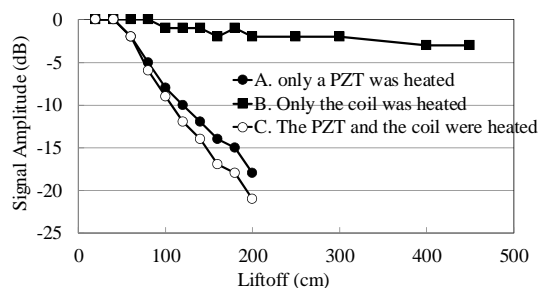


図4 試験片温度と信号強度の関係

次に試験パイプを用いて電磁誘導法によるガイド波の送受信を試みた。当初は写真2に示すフレキシブル型圧電薄膜超音波センサをパイプ周方向に貼付することを試みたが、安定して目的の信号を得ることができなかった。そこで写真3に示すように、パイプ周方向表面に等間隔で圧電薄膜超音波センサを直接製作した試験パイプを購入した。

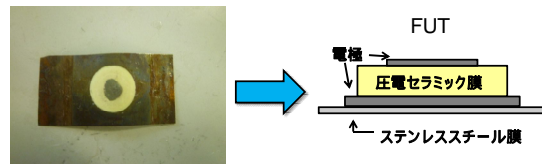


写真2 フレキシブル型  
圧電薄膜超音波センサ



写真3 パイプ上周方向に等間隔で製作された  
圧電薄膜超音波センサ

周方向に成形・貼付された4つの薄膜積層型圧電型超音波センサを同時に安定して駆動する工夫が必要であったが、図5に示すような同時に駆動することが比較的簡便な計測システムを構築し実験を続行した。

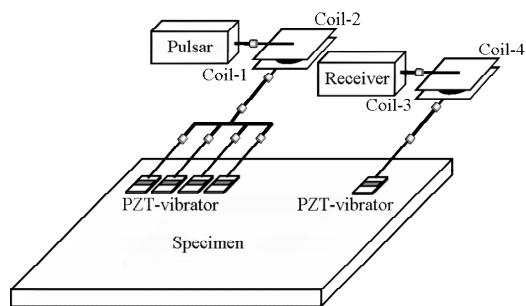


図5 圧電薄膜型超音波センサの  
同時駆動システム

その結果200kHzに中心帯域を持つパイプガイド波の送受信信号を確認することができた(図6)。

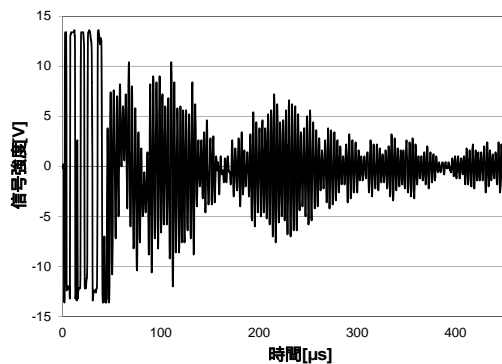


図6 パイプ - ガイド波受信波形

受信信号のS/Nが不十分である原因については、薄膜積層型圧電型超音波センサ、フレキシブル薄膜積層型圧電型超音波センサ共に、中心駆動周波数が9MHzにあり、パイプガイド波として駆動するための周波数200kHzと不整合があることがわかった。薄膜積層型圧電型超音波センサの製作メーカーと協議した結果、製作上の困難さは伴うものの200kHz中心帯域の薄膜積層型圧電型超音波センサの製作は可能であり、薄膜積層型圧電型超音波センサを用いたパイプガイド波送受信システムの実用化条件を明らかにすることができた。

#### 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)

〔雑誌論文〕(計11件)

Witsarut Sriratana, Riichi Murayama,  
Lerdlekha Tanachaikhan  
Synthesis and Analysis of PZT  
Using Impedance Method of  
Reactance Estimation, *Advances in  
Materials, Physics and Chemistry*,  
Vol.3, No.1(March), 2013, 62-70,  
DOI: 10.4236/ampc.2013.31010  
Riichi Murayama, Makiko Kobayashi,  
Cheng-Kuei Jen  
Study of Material Evaluation Probe  
Using a Longitudinal Wave and a  
Transverse Wave  
*Journal of Sensor Technology*, Vol.3,

No.2, 2013, 25-29

DOI: 10.4236/jst.2013.32005

Witsarut Sriratana, Riichi Murayama

Measurement of the Lubricant  
Properties Using Hall Effect Sensor: A  
study on Contamination and Viscosity,  
*Engineering*, Vol.5, No.4, 2013,  
386-393

DOI: 10.4236/eng.2013.54051

Witsarut Sriratana, Riichi Murayama

Application of Magnetic Field Method  
For Measuring Lubricant Viscosity,  
*Advanced Materials Science and  
Technology, Periodical of Materials  
Science*, Vol. 750, 2013, 116-124, 2013  
ISBN-13: 978-3-03785-660-4

Witsarut Sriratana, Riichi Murayama

Elimination of Oil Residual inside the  
Copper Pipe Using Ladder Technique  
*Engineering*, Vol.5, No.1, 2013,  
8-15, 2013

DOI: 10.4236/eng.2013.51002

Riichi Murayama, Zyunji Yamaji,

Witsarut Sriratana, Makiko Kobayashi,  
Cheng-Kuei Jen

Remote Sensing Sensor using Giant  
Magnetostrictive Materials

*Journal of the Japan Society of  
Applied Electromagnetics and  
Mechanics*

Vol.20, No.2, 2012, 508-513

Riichi Murayama, Zyunji Yamaji,

Witsarut Sriratana,

Analysis of Land Subsidence Using the  
HES

*Journal of Electromagnetic Analysis  
and Applications*

Vol.4, No.7, 2012, 310-316

DOI: 10.4236/jemaa.2012.47043

Witsarut Sriratana, Riichi Murayama,

Lerdlekha Tanachaikhan  
Application of the HES in Angular  
Analysis  
Journal of Sensor Technology, Vol.2,  
No.2, 2012, 87-93,  
DOI: 10.4236/jst.2012.22013  
Riichi Murayama, Makiko Kobayashi,  
Kuo-Ting Wu, Cheng-Kuei Jen  
Noncontact Driving System Using  
Induction-Based Method and Integrated  
Piezoelectric Ultrasonic Transducers  
Journal of Sensor Technology, Vol.2,  
No.2, 2012, 60-67  
DOI: 10.4236/jst.2012.22009  
村山 理一、近藤 真一、小林 牧子、  
Kuo-Ting Wu, Cheng-Kuei Jen  
高温構造物検査の為の電磁誘導法による  
圧電振動子遠隔駆動方法の検討  
日本 AEM 学会誌、20 巻、1 号、2012  
187 - 193  
村山 理一、小林 真之、小林 牧子、  
Cheng-Kuei Jen  
導流体を利用した遠距離超音波伝送シ  
ステムの研究  
日本機械学会論文集 A 編、78 巻、785 号、  
2012、116-124

[学会発表](計 16 件)  
Witsarut Sriratana、Riichi Murayama  
Performance Comparison of Hall Effect  
Sensor and EMATs in Measurement of  
Specimen with Various Hole Depths  
The International Conference on  
Experimental Mechanics 2013  
2013.11.21 (タイ)  
Riichi Murayama、Witsarut Sriratana、  
Kensuke Imai、Naoto Sonoda、  
Makiko Kobayashi  
Pipe Inspection System Using a  
Polarized transverse Wave EMAT  
The International Conference on

Experimental Mechanics 2013  
2013.11.21 (タイ)  
W. Sriratana、R. Murayama  
Application of Hall Effect Sensor  
-A Study on the Influences of Sensor  
Placement-  
The 2013 IEEE International Symposium on  
Industrial Electronics (ISIE 2013)  
2013.5.29 (台湾)  
W. Sriratana、R. Murayama  
Analysis of Lubricant Viscosity Using  
Magnetic Field Method  
The 8th International Forum on Advanced  
Materials Science and Technology  
(IFAMST-8)  
2012.8.1 (福岡工業大学、福岡県)  
Riichi Murayama、Makiko Kobayashi、  
Cheng Kuei Jen  
Development of an ultrasonic sensor by  
giant magnetostrictive materials  
The 9<sup>th</sup> International Workshop on  
Piezoelectric Materials and  
Applications in Actuators (IWPMA 2012)、  
2012.4.23 (弘前カルチャーセンター、青  
森県)  
村山 理一、今井 健介、園田 尚人  
偏波横波型電磁超音波探触子を利用した  
パイプガイド波による傷検出能の検討  
第 2 1 回超音波による非破壊評価シンポ  
ジウム  
2014.1.20 (東京)  
ヅアースワン ワアーラチャット、  
村山 理一  
超磁歪素子を用いた非接触駆動超音波セ  
ンサの検討  
第 2 1 回超音波による非破壊評価シンポ  
ジウム  
2014.1.20 (東京都立産業技術センター、  
東京都)  
松本 賢士、中島 一吉、立山 将太、  
村山 理一  
高温構造物検査のための長距離伝送体と  
音響ホーンの検討  
第 2 1 回超音波による非破壊評価シンポ  
ジウム  
2014.1.20 (東京都立産業技術センター、  
東京都)  
村山 理一、今井 健介、園田 尚人

偏波横波型電磁超音波探触子を利用したパイプ - ガイド波送受信システムの開発とガイド波の特性評価

第 2 回 MAGDA コンファレンス  
2013.12.3 (宮崎観光ホテル、宮崎県)  
O Ketu、西山 浩市、村山 理一  
横波用 EMAT によるガイド波センサの試作・評価  
日本機械学会年会  
2013.9.10 (岡山大学、岡山県)  
Warachat Duangsuwan、澁田賢司、浦頭 豊、Sriratana Witsarut、村山 理一  
超磁歪素子を用いた非接触駆動超音波センサの検討  
日本機械学会年会  
2013.9.10 (岡山)  
松本 賢士、喜多 一貴、村山 理一  
長距離超音波伝送体を用いたガイド波送受信機構の検討  
日本機械学会年会  
2013.9.10 (岡山大学、岡山県)  
村山 理一  
薄膜積層型超音波センサの基本性能評価  
日本非破壊検査協会  
2013 年度第一回超音波分科会  
2013.5.23(札幌市教育文化会館、北海道)  
村山 理一、浦頭豊、澁田賢司  
超磁歪素子を超音波センサとして離隔駆動する方法の検討  
第 2 0 回超音波による非破壊評価シンポジウム  
2013.1.28 (東京工業大学、東京都)  
O Ketu、西山 浩市、村山 理一  
横波用電磁超音波センサを用いたパイプ - ガイド波センサの検討  
第 2 0 回超音波による非破壊評価シンポジウム  
2013.1.28 (東京工業大学、東京都)  
村山 理一、小林 牧子、任 正魁  
超磁歪素子を使った遠隔駆動型超音波センサの検討  
第 2 4 回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム  
2012.5.18 (富山国際会議場、富山県)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
研究者ホームページ  
<http://www.fit.ac.jp/~murayama/>  
6 . 研究組織

(1)研究代表者  
村山 理一 (MURAYAMA, Riichi)  
福岡工業大学・工学部・教授  
研究者番号：20330946

(2)研究分担者  
無し

(3)連携研究者  
無し