

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750181

研究課題名(和文)強度及び位相変調複合電磁場による革新的断層撮影技術の実現

研究課題名(英文)Development of computational tomography using time-harmonic electromagnetic fields

研究代表者

遊佐 訓孝(Yusa, Noritaka)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60466779

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：時間変動電磁場を用いて、生体内部構造、より具体的には生体内部の電磁気的特性分布を非破壊・非侵襲的に評価するための技術の開発を行った。有限要素法解析により適切な発信及び受信構造、そして配置について検討を行った後、得られた知見の検証のため自動Z ステージ及びアレイ化磁気センサを用いた測定システムを構築しての測定試験を実施した。人体模擬ファントムを用いた測定試験結果は解析結果と定性的に一致するものであった。

研究成果の概要(英文)：This study attempted to develop a method to obtain the tomographic image of electromagnetic properties inside living body non-invasively using time-dependent electromagnetic fields. Three-dimensional finite element simulations were carried out to discuss the suitable structure and arrangement of transmitters and receivers. Subsequent experimental verification were conducted using a dedicated measurement system equipped with arrayed magneto-Impedance element sensors and automated PC-controlled rotational stage. Cylindrical phantoms were prepared for the experimental verification. The results of the experimental verification qualitatively agreed with the ones obtained by the three-dimensional finite element simulations.

研究分野：健全性評価、診断

キーワード：断層撮影 評価・診断 電磁現象 インピーダンス

1. 研究開始当初の背景

現代社会において、非破壊的、非侵襲的に対象の内部状態を評価するための技術が果たす役割は極めて大きい。土木工学分野においては適切な構造物の保全活動を策定するための非破壊検査技術として、また医療分野においては適切な医療措置を策定するための診断技術として、以後の対応の妥当性を大きく左右するものである。特に医療分野においては、以後の適切な医療行為の策定のために、生体内部の状態を可能な限り詳細に把握することが必要不可欠であり、そのためには対象のある特定の方向から投影された物理量ではなく、内部の分布を2次元もしくは3次元的に得るための、いわゆる断層撮影が広く行われている。

生体を対象とした断層撮影技術には現状様々なものが存在している。放射線を用いるものは特に広く用いられており、その高速化、高分解能化は著しく、多くの場合十分な情報を提供するものである。しかしながらその一方、放射線による被曝は不可避であり、特に多方向からの撮影が必要となる断層撮影においては、それは特に大きな問題である。放射線を用いない断層撮影技術としては例えばMRIが挙げられる。MRIは空間分解能も高いという優れた技術ではあるが、検査時間、そして装置価格という問題がある。また超音波も同様に放射線を用いない技術であり、加えて造影剤が必ずしも必要ではない上に装置も安価という特徴があるが、対象に接触する必要があるということが、実用上の課題である。

構造物の検査においては、放射線や超音波に加えて時間変動電磁場を用いたものも多く用いられている。しかしながら、生体を対象とした断層撮影技術においては時間変動電磁場に基づくものは、その研究開発の歴史は短くはないにもかかわらず、実際の適用は極めて少ないのが実状である。これは、現象の支配方程式が拡散方程式であるため、対象深部に行くにしたがって定量的な情報の抽出が困難となることに加えて、生体組織における電磁氣的物性値の値は鋼材を代表とする一般的な構造材料のものとは著しく小である上に組織ごとの差異もまた小であるためである。即ち、時間変動電磁場を用いて生体内部の構造を反映した信号を測定することは可能ではあるものの、その空間分解能は極めて悪く、実用に耐えうるものとは言い難いと言わざるを得ないという問題が存在する。

しかしながらその一方、時間変動電磁場を用いた構造物検査技術は、被曝を伴うことが無く、対象に非接触、測定時間が短いうえに装置も比較的簡便という実用上すぐれた特徴を有しているものである。よって、空間分解能に関する課題が解決されるのであれば、生体断層撮影技術としての実用性は高いものがあると期待される。また、診断という観

点からは、電磁氣的物性値を測定するものであるため、例えば放射線に対する減弱係数を測定している既存のX線断層撮影技術と組み合わせることにより、複数の物理量に基づいて、対象の性状に関する情報をより定量的に抽出することが可能になるとも期待される。

2. 研究の目的

本研究は以上のような背景を鑑み実施されるものであり、時間変動電磁場を用いて、生体の断層撮影を行うための技術を開発することを目的とする。前述のように時間変動電磁場を用いて生体内部の情報を定量的に抽出することには大きな困難さが伴うのは事実である。しかしながら、近年、構造材料を対象とした時間変動電磁場を用いた非破壊検査技術の開発に関する研究において、電磁場の発信及び受信方式の適切化により、信号に含まれる対象深部情報を飛躍的に向上させることが可能である技術が見いだされた。当該技術は従来主として行われてきたセンサの高感度化や画像再構成アルゴリズムによる補償等とは異なり対象内部の電磁場を積極的に制御するというものである。対象が異なるとはいえ、既往研究成果を踏まえると、当該技術は時間変動電磁場を用いた生体断層撮影技術の低空間分解能という問題の解決につながるものと考えられる。本研究の主たる対象は生体を対象とした時間変動電磁場による診断技術の開発であるが、得られた知見は時間変動電磁場を用いた検査・評価技術一般に適用されることとも期待されるものである。

3. 研究の方法

既往研究において得られている知見及び成果を踏まえ、平成25、26年度の2か年計画で本研究は実施する。

本研究の実施においては数多くの条件について評価を行う必要があることを鑑み、早期に有限要素法解析環境を整備する。対象が低導電性であるため、ここでの解析は対象の誘電率を考慮して行うこととし、発振/受信構造、具体的には発振器と受信器の形状、数及び位置、周波数帯、そして変調度の影響を分析する。ここでの解析は、対象内部の電磁氣的特性変化が対象外部に作り出す電磁場の変化の度合いに及ぼす影響を評価するための順問題解析とし、内部情報抽出のために適した条件を明らかにする。

数値解析の検証及び実測定試験は、対象の360度方向から電磁場を測定することが可能な測定システムを構築した上で、人体模擬ファントムを用いて実施する。一般的に高周波における各種測定は低周波のそれと比べると困難さが大であるため、まずは既往研究において用いられてきたkHz電磁場及び適用周波数の差異に応じて導電率を実際よりも大とした予備試験用ファントムを用いて各種

試験を行い、得られた知見に基づいて電磁気的特性を生体相当としたファントムを制作すると共に必要に応じて高周波測定用の測定環境を構築する。最終的に、当該ファントムを用いた検証試験により、開発した技術の有効性を実証すると共に各種既存技術に対する優位性をその物理的背景も併せて定量的に評価・分析する。

4. 研究成果

対象の誘電率の影響も考慮した3次元有限要素法解析環境、及びZ及び回転軸を備えた自動ステージを含む測定環境を整備した。自動ステージは対象を回転させることで360度方向から信号を収集することが可能となっており、また信号検出のためには、MIセンサ、ピックアップコイル、そしてネットワークアナライザを適用周波数に応じて切り替えて使用した。各種検証に用いたのは直径20cmの円柱状ファントムである。図1に、発振器と検出器がファントムを挟み込むように配置した場合の、励磁周波数と検出信号の関係を示す。信号は発振器近傍において測定された最大値で規格化した値として示しているが、高周波ほど減衰が大であること示した結果となっており、機材状況等も踏まえ、最終的に2~5MHzにおける試験環境を構築した。得られた試験結果の一例を図2に示す。表面から約8cmの箇所が存在する直径2cmの腫瘍を想定して行われたものであり、ファントム表面にて測定された信号の腫瘍の有無による変化の割合を示している。縦軸1.0が腫瘍が存在しない時の測定信号の強度に対応するが、図より、本手法では従来手法に比して信号の変化の割合が著しく大であることが確認できる。

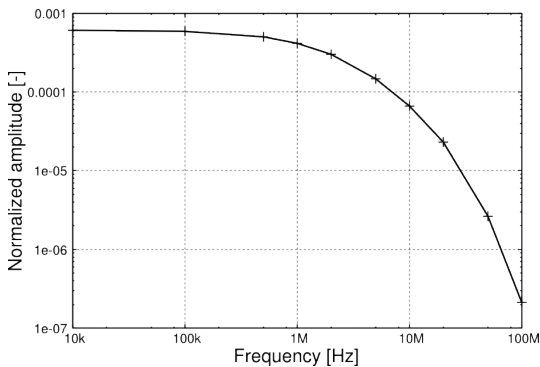


図1 周波数 検出信号特性

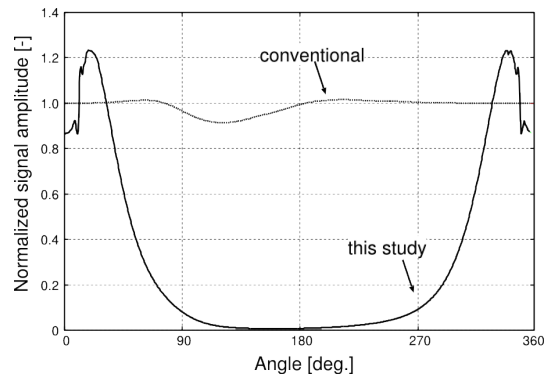
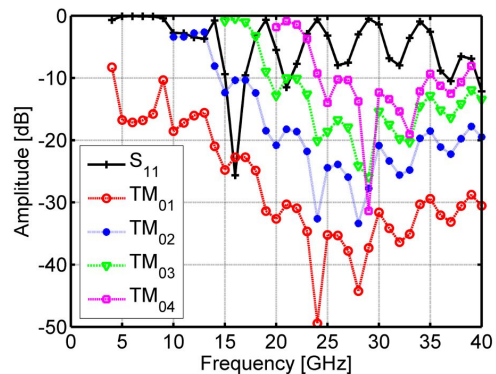
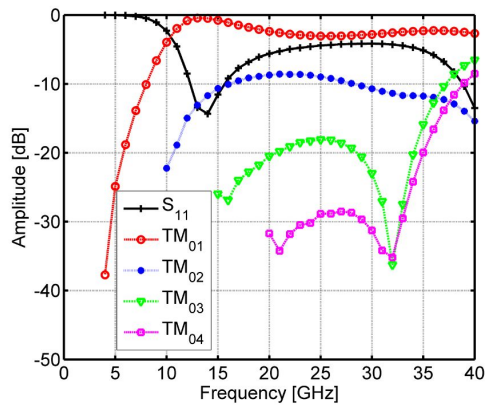


図2 信号変化

前述のように本研究はkHz電磁場を用いた構造材料に発生したきず評価のための研究に基づくものであるが、本研究においては導電性が低く誘電率の差異に基づく信号測定のため、MHz以上の領域における検討を主として行った。得られた知見を、マイクロ波を用いた非破壊検査技術に適用した結果の一例を図3,4に示す。図3は発振器周波数特性を既存のものと比較した結果であり、図中S11とあるのが発振器における反射の割合を示しており、縦軸0dBが100%に対応している。図より、反射の割合が大きい上に周波数依存性も強い従来型の発振器と比べ、本研究において設計された発振器は反射の割合が小さく、また広い周波数にわたって特定のモードが支配的に透過していることが確認できる。図4は当該発振器を用いて当該結果は管内を伝播するマイクロ波による内径19mm、長さ25m直管の管内壁面の広域一括探傷を行った結果である。図において、マイクロ波発振部から4, 8, 11.5mの箇所の減肉からの反射波が明瞭に確認できていることが確認できる。従来検討において用いられてきた配管長は2m程度であったことを踏まえると、これは大幅な信号の明瞭化であるということが出来る。



(a) 従来型



(b) 当研究成果
図 3 高周波発振器特性

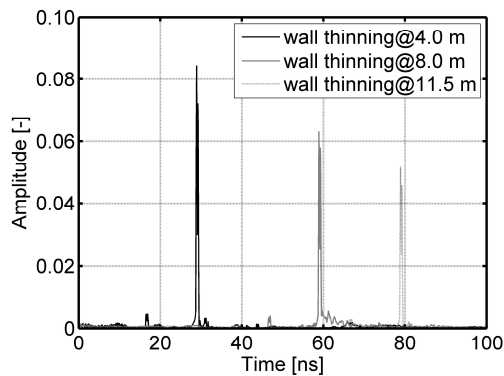


図 4 マイクロ波反射波の様子

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1件)

Kota Sasaki, Linsheng Liu, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Optimized microwave excitation probe for general application in NDT of wall thinning in metal pipes of arbitrary diameter, NDT&E International, 査読有, Vol. 70, 2015, pp. 53-59.
DOI:10.1016/j.ndteint.2014.12.004

[学会発表](計2件)

Kota Sasaki, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Development of microwave nondestructive testing of a wall thinning inside a pipe by optimizing the frequency range of incident microwaves, Eleventh International Conference on Flow Dynamics, 2014年10月8~10日, 仙台国際センター, 宮城県.

Kota Sasaki, Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Evaluation of the applicability of efficient nondestructive testing using microwave for wall thinning inside a

long-range metal pipe, The 2nd International Conference on Maintenance Science and Technology, 2014年11月2~5日, 神戸大学, 兵庫県.

6. 研究組織

(1)研究代表者

遊佐 訓孝 (YUSA NORITAKA)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 60466779

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし