

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：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630430

研究課題名(和文) 後方散乱X線トモグラフィによる大型構造物内断層撮像法の実現

研究課題名(英文) Non-destructive inspection of large structures using backscatter X-ray tomography

研究代表者

渡辺 賢一 (Watanabe, Kenichi)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30324461

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)：後方散乱X線を用いた大型構造物の断層撮像法の実現に向け、プロトタイプシステムの構築、画像再構成法の検討、最終的にシステムの性能評価試験を実施し、本手法の実現可能性を検討した。プロトタイプシステムとして、X線管、医療用X線撮像装置および平行平板コリメータを用いた後方散乱X線トモグラフィシステムを構築した。平行平板コリメータのパラメータは、厚さ0.5mm、間隔0.5mmが適切であると結論付けた。また、画像再構成法としてはML-EM法が適していることが分かった。最終的に、平行平板コリメータを15°間隔で7方向に設置することで、後方散乱X線により断層撮像を行うことに成功した。

研究成果の概要(英文)：As development of backscatter X-ray tomography for non-destructive inspection of large structures, we conducted construction of a prototype system, consideration of optimum image reconstruction and performance evaluation for the developed system. We constructed the prototype backscatter X-ray tomography system consisting of a X-ray tube, a medical X-ray flat-panel detector and parallel plate collimators. Parameters of the parallel plate collimators were concluded to be 0.5mm thick and 0.5mm spacing. ML-EM method was considered to be optimum as an image reconstruction algorithm. Consequently, we successfully obtained a tomographic image with backscatter X-ray system when the parallel plate collimator was set in seven directions with 15 degrees pitch. We concluded that the backscatter X-ray system is feasible as non-destructive inspection for large structures.

研究分野：放射線計測

キーワード：後方散乱X線 トモグラフィ 大型構造物診断

1. 研究開始当初の背景

X線撮像技術は、レントゲン撮像に代表される透過X線撮像、X線CTなど医療・診断分野をはじめとして、セキュリティ・工業分野における内部構造透視技術として、非常に幅広い分野で用いられており、今や、非破壊分析技術として無くてはならない技術の代表格とも言える。特にX線CT技術は、物体内部の断層像を非破壊で検査することが可能であり、非常にパワフルなツールとして広く用いられている。X線CTは、透過X線の減弱度合いから、物体内部の密度等の情報を抽出し、断層像を再構成する技術である。しかし、この技術の弱点はX線を照射した面の背面に透過X線像を取得するための検出器を設置する必要がある点で、特に大型の構造物の内部を撮像するには適さない。一方で、後方散乱X線撮像法という技法が存在するが、これは、X線を照射している元の方へ後方散乱してくるX線の強度を観測することで、物質内部の情報を抽出する方法であり、透過像と組み合わせることで被写体の物質識別をする目的で、セキュリティ検査装置等で応用されている。この方法はX線ビームをスキャンすることで2次元像を得る手法であり、奥行き方向の情報を取得することができず、断層撮像を行うことができない。申請者らは、これまで散乱X線検出器を90°方向に配置したコンプトン散乱X線CT技術の開発を進め、必ずしも背面に検出器を配置しなくても、平行平板コリメータ等で散乱X線の方を限定することで物体内部の断層像を取得することが可能であることを示してきた。そこで、本課題では、さらにトモシンセシスの原理を適用することでX線照射面側へ後方散乱X線を撮像するだけで、被写体内部の断層像を取得することを可能とする後方散乱X線トモグラフィ技術の実現を目指す。

2. 研究の目的

本課題では、提案した後方散乱X線トモグラフィ技術の原理実証を目的とし、小型のプロトタイプシステムを構築し、これを用いて片側からの撮像のみで被写体内部の断層像を取得可能であることを実証する。この際、本手法に適した画像再構成手法や検出器配置、コリメータ形状等を検討し、提案手法の基盤技術を確立し、位置分解能5mm程度で撮像を可能にすることを目指す。

本課題の特色は、片面からのみの撮像で、物体内部の断層像を撮像可能であるという点で、さらに、これを通常のX線管と平行平板コリメータ付後方散乱X線撮像装置を組み合わせることで、高速撮像を可能とする点である。本技術を実現することで、背面に検出器を設置することが困難な大型構造物の内部構造を撮像する技術が確立されることとなる。

3. 研究の方法

本課題では、平行平板コリメータを有する

フラットパネルX線検出器を用いて後方散乱X線の飛来方向を制限し、トモシンセシスの原理で被写体内部の断層像を再構成する後方散乱X線トモグラフィ技術の原理実証を目的としている。具体的には、小型のプロトタイプシステムを構築し、これを用いた原理実証試験を実施すると共に、本手法に適した画像再構成法の確立、検出器配置、コリメータ形状の最適化を進め、提案手法の基盤技術の確立を目指す。具体的な実施項目としては、1) プロトタイプシステムの構築、2) 画像再構成法の検討、3) コンポーネントの最適化、4) 総合性能評価を挙げている。最終的な総合性能評価では、片面からの撮像のみで被写体内部の断層像を空間分解能で5mmで得られることを確認する。

4. 研究成果

本課題では、後方散乱X線を用いた大型構造物内部断層撮像法の実現を目指して研究を進め、上述の四項目について実施した。以下各々の項目に対して詳細に述べる。

(1) プロトタイプシステムの構築

本システムは、X線発生装置、平行平板コリメータ、フラットパネルX線検出器からなる。本課題では、特に検出器部の開発およびその配置の検討が主となる。製作したプロトタイプシステムの検出器部を図1に示す。平行平板コリメータの幾何形状および検出器部の配置に関しては、後に述べるコンポーネントの最適化の項で詳しく述べる。本課題においては、X線発生装置に関しては、名古屋大学医学部保健学科に設置されているX線撮像装置を利用した。

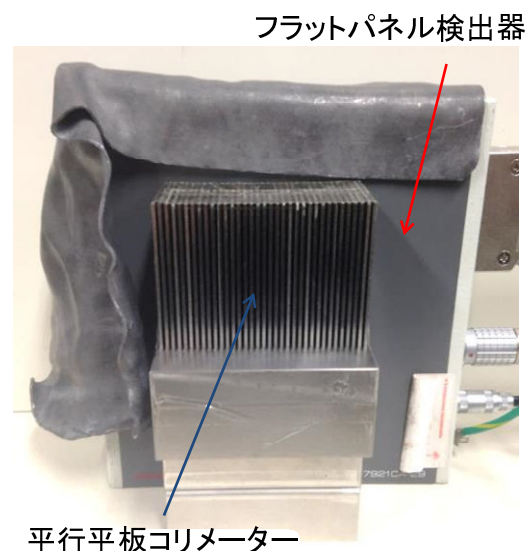


図1 製作したプロトタイプシステムの検出器部

(2) 画像再構成法の検討

画像再構成法に関する検討を進めるために、電磁カスケードモンテカルロシミュレーションコードEGS5を用い、検出器及び平行平板コリメータの幾何形状および配置をモ

デル化し、X線発生装置から放出されるX線を模擬することで、後方散乱X線による投影像を得るシミュレーション計算を行った。得られた投影像を元に被写体断層像の画像再構成を行った。画像再構成アルゴリズムとしては、トモシンセシスで良く使用されている Ahift And Add (SAA) 法、X線CTで用いられる Filtered Back Projection (FBP) 法、再尤推定期待値最大化 (Maximum Likelihood-Expectation Maximization: ML-EM) 法の三手法を検討した。

SAA 法に関しては、計算時間は短いものの、本手法のように平行平板コリメータで限定している角度が比較的広い条件では、検出器表面からの距離が大きくなるにつれて、像のぼけが大きくなってしまふのだが、そういった効果を考慮に入れることが困難であるため、結果として得られる再構成画像もぼけの大きなものとなってしまった。FBP 法に関しては、本手法のように、後方散乱されてくるX線量が少なく、本質的に S/N の悪い投影データに対してフィルタを掛けてしまうと、統計的なばらつきを強調してしまう結果となり、フィルタを掛けることが逆効果になってしまうという結果となった。ML-EM 法に関しては、上述の平行平板コリメータの視野の広がりや、被写体中でのX線の減衰等も加味できることに加え、比較的少ない投影角度数でも画像を得やすいという特徴を有している。図2に ML-EM 法により再構成した画像の一例を示す。

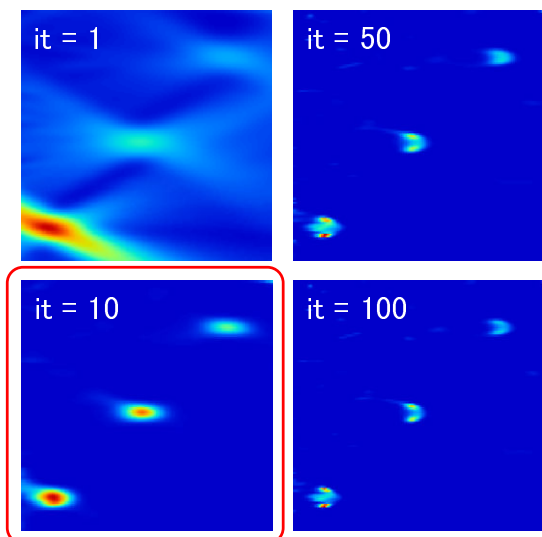


図2 シミュレーションにより得られた投影像に対し ML-EM 法で再構成した断層像。it は逐次計算の繰り返し数。

ML-EM 法は逐次計算により解を収束させていく計算手法であるが、その繰り返し数を適切に設定することで、断層像を得られることがわかる。以上の検討結果に基づき、現状では計算時間は多少かかるものの、後方散乱X線による断層撮像法に適用する画像再構成法としては、ML-EM 法が適しているという結論に至った。

(3)コンポーネントの最適化

本手法により断層撮像を行う上で、最も重要なコンポーネントは平行平板コリメータであり、その幾何形状が重要なパラメータとなる。平行平板コリメータに関しては、そのスリットのアスペクト比が重要となる。本項目でも電磁カスケードモンテカルロシミュレーションコード EGS5 を用いて、スリットのアスペクト比に関する検討を進めた。具体的には、50keV の光子を放出する点線源に対し、どの範囲で信号が得られるかを計算し、その半値幅を空間分解能とした。線源位置のスリットの表面からの距離を変え、空間分解能がどのように変化するかを、様々な間隔のスリットを用いて検討した結果を図3に示す。

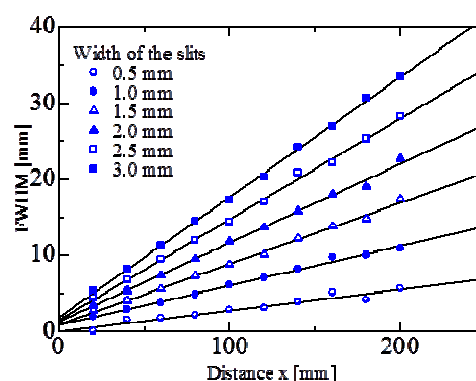


図3 スリットからの距離と空間分解能の関係。

各々のスリット間隔に対して、空間分解能はスリット表面からの距離に比例する関係が見てとれる。この図における傾きを空間分解能アスペクト比と定義し、スリットの幾何学的なアスペクト比との関係を求めたものを図4に示す。

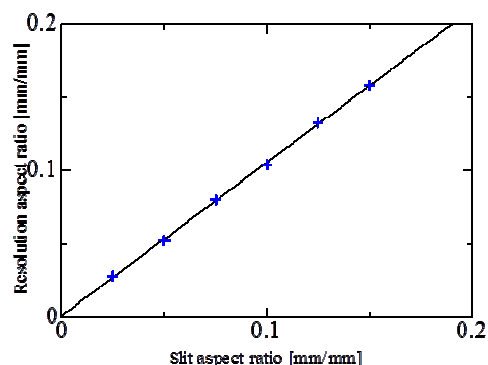


図4 スリットの幾何学的アスペクト比と空間分解能アスペクト比の関係。

図4を見ると、空間分解能アスペクト比は、スリットのアスペクト比と一対一の関係にあることがわかる。平行平板コリメータの表面から距離 200mm の位置で目標とする空間分解能 5mm を達成するには、空間分解能ア

スペクトル比で 0.025 以下にすることが必要である。図 4 の結果より、上述の条件を満たす平行平板コリメータの幾何形状として、奥行き 30mm、平板厚さ 0.5mm、平板間隔 0.5mm を採用することとした。

(4)総合性能評価

最終的な総合性能評価試験として、実際に後方散乱 X 線断層撮像実験を行った。平行平板コリメータの配置としては、図 5 に示す配置で設置した。

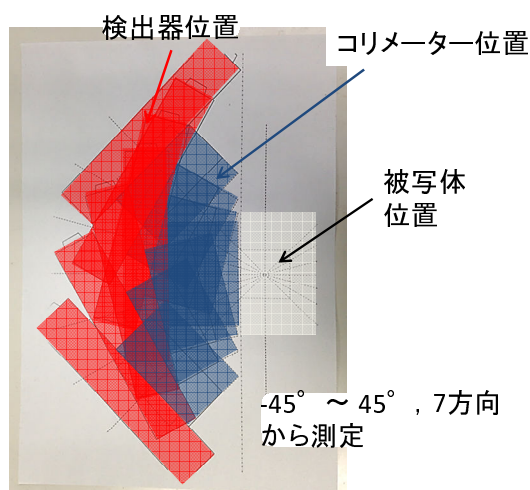


図 5 後方散乱 X 線断層撮像実験時の平行平板コリメータの配置。

被写体としては、10mm 厚のコンクリート板の背後に、直径 10mm の鉄製ボルトをおよそ 10mm の間隔で 2 本並べたものを使用した。X 線管の加速電圧は 120kV で、電流は 200mA、露光時間は合計 1 秒である。被写体の写真及び ML-EM 法によって得られた再構成断層像を図 6 に示す。

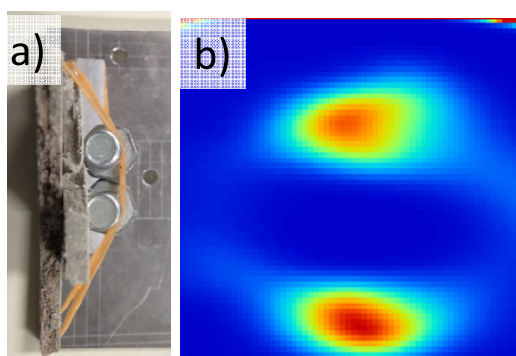


図 6 後方散乱 X 線断層撮像実験で用いた a) 被写体のボルトおよび b) 再構成された断層像。

図 6 でわかるように、2 本のボルトの存在が確認できており、断層像を再構成できていることがわかる。また、10mm 径のボルトが 10mm 間隔で並んでいるものがはっきりと認識できていることから、目標としていた数 mm 程度の空間分解能が得られていることがわかる。また、観測する方向を 7 方向から 5

方向に減らしたところ、画像のボケは大きくなるものの、今回の被写体の存在は認識できることも確認された。

以上、本課題において、後方散乱 X 線を用いた断層撮像法により、被写体内部の断層像を取得することが可能であること実証された。

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)

[学会発表] (計 6 件)

- ① T. Tohyama, A. Yamazaki, K. Watanabe, A. Uritani, Stereographic backscattered X-ray tomography with scanning pencil beam for one-sided nondestructive inspection, 2014 IEEE Nuclear Science Symposium, 2014.11.8-15, Seattle, USA
- ② 遠山貴之、瓜谷章、渡辺賢一、山崎淳、吉田迅、後方散乱 X 線断層撮像技術に関する研究、日本原子力学会 2014 年秋の大会、2014 年 9 月 8-10 日、京都大学
- ③ Kenichi Watanabe, Basic study on tomographic imaging technique using scattered X-ray, 2014 International Workshop on Advanced Nanovision Science, 2014.1.21, Hamamatsu, Japan
- ④ 遠山貴之、吉田迅、山崎淳、渡辺賢一、瓜谷章、麵汁ビームスキャン型後方散乱 X 線断層撮像法に関する基礎研究、第 45 回日本原子力学会中部支部研究発表会、2013 年 12 月 17 日、名古屋大学
- ⑤ J. Yoshida, A. Yamazaki, K. Watanabe, A. Uritani, Backscattering X-ray tomography technique for one-sided nondestructive inspection, 2013 IEEE Nuclear Science Symposium, 2013.10.29, Seoul, Korea
- ⑥ 吉田迅、山崎淳、渡辺賢一、瓜谷章、後方散乱 X 線断層撮像による片側からの非破壊検査技術の開発、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、2013 年 9 月 18 日、同志社大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡辺賢一 (WATANABE, Kenichi)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：30324461

(2)研究分担者

山崎淳 (YAMAZAKI, Atsushi)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：10436537