

研究種目：若手研究 (B)  
研究期間：2007～2009  
課題番号：19760610  
研究課題名 (和文) 産業用 X 線 CT の画像再構成におけるアーチファクト低減に関する研究  
研究課題名 (英文) Study on the reduction of artifacts in image reconstruction for industrial X-ray CT  
研究代表者  
安部 豊 (ABE YUTAKA)  
京都大学・工学研究科・助教  
研究者番号：80378794

## 研究成果の概要 (和文)：

本研究は、X 線 CT の 3 次元計測器としての測定精度向上を図るために、画像再構成におけるアーチファクトの低減を目的としている。実際の X 線 CT 装置の測定データには、対象とするアーチファクトの要因の他に、様々な測定精度の悪化要因も含まれる。そのため対象とするアーチファクトの要因だけを分離してその補正方法を検討するために、模擬データ生成用として X 線 CT シミュレータを作成した。さらに、X 線 CT 装置のスライス面に垂直な方向における寸法計測精度の劣化原因である部分体積効果を補正する方法を開発し、断層像の S/N 比を劣化させることなく、体軸方向の計測誤差を約 60% 程度減少させることができることを確認した。

## 研究成果の概要 (英文)：

The purpose of the present study is to reduce the artifacts in image reconstruction of X-ray CT in order to improve three-dimensional measurement accuracy. Other than the target artifacts, actual data of X-ray CT contains various factors leading to the degradation of accuracy. Therefore we developed a X-ray CT simulator to generate simulated data which only contains the intended factor of the artifact. Furthermore we developed the correction method of the partial volume artifact which deteriorates the accuracy in the direction perpendicular to the slice plane and confirmed that the error in a longitudinal direction could be reduced about 60% without degrading the S/N ratio of the reconstructed image.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	0	1,900,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	420,000	3,720,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：放射線理工学, 画像情報処理

## 1. 研究開始当初の背景

コンピュータの高性能化に伴い、3次元形状データを活用して工業製品の設計・製造を高度化・合理化する「デジタルエンジニアリング」が急速に普及しつつある。その中で、産業用 X 線 CT 装置は、3次元形状データから実物の製造という通常の設計・製造過程に対し、実物から3次元形状データの作成という逆の過程を実現する手段として認知されつつあり、計測した3次元形状データは CAE 解析などを通じて、実物の特性・性能解析へ利用されつつある。そのため、産業用 X 線 CT 装置は、断層像の観察による被検体の内部の空孔、亀裂などの欠陥検査といった従来の非破壊検査な利用から、被検体の3次元形状を内部も含めてデータ化する3次元計測器としての利用へとその用途が拡大しつつある。

## 2. 研究の目的

実物から3次元形状データを作成する手段として、X 線 CT 装置の他に探針式3次元計測機やレーザ計測機がある。X 線 CT 装置以外は、対象物の内部形状を原理的に測定することができないため、上述のようなデジタルエンジニアリングにおける用途は限られる。一方、X 線 CT 装置の難点は他の3次元測定器より測定精度が劣ることである。その主な要因として、(1) 画像ノイズ、(2) 光学ぼけ、(3) アーチファクトがある。画像ノイズは透過 X 線強度の統計的な揺らぎ、あるいは X 線検出器の回路における電気的なノイズによって生じる画像上のノイズであり、光学ぼけは X 線スポットおよび X 線検出器の有限な大きさから生じる空間分解能の低下のことである。アーチファクトは、画像上に現れる実際には存在しない偽像のことであり、ビームハードニング、部分体積効果、リングアーチファクトなど発生原因・外見上の特徴によりいくつか分類されている。測定値に対し統計的な誤差を生じさせる画像ノイズは、測定時間やサンプリング数を適切に設定することで程度改善可能であるが、測定精度に系統的な誤差を与える光学ぼけやアーチファクトの多くは X 線 CT の測定原理に起因するため、これらを補正するためには、X 線 CT の画像再構成の原理に立ち戻りその補正方法を開発する必要がある。そこで、本研究課題においては、各種アーチファクトの内、特に3次元形状の測定精度を劣

化させる要因である部分体積効果とビームハードニングを取り上げ、これらの補正方法を開発・高度化することを目標とする。

## 3. 研究の方法

実際の X 線 CT 装置での測定データには、上記アーチファクトの他に各検出器の検出効率の僅かな違いにより生じるリングアーチファクトなど他の様々な要因も含まれる。そのため、対象とするアーチファクトの要因だけを分離してその補正方法を検討するために、まず、模擬データ生成用として X 線 CT シミュレータを作成する。開発したシミュレータによりビームハードニング、部分体積効果を再現できることを確認し、次いでそれらの補正方法を開発・高度化する。最終的には、実際の X 線 CT 装置の測定データに適用し、その効果を検証する予定である。

部分体積効果は X 線ビームの有限な寸法に起因しており、対象物の境界を X 線ビームが透過する場合、ビームの一部のみが対象物を透過し、他の部分は対象物を透過することなく検出器に達するため、対象物の境界部分の密度が実際よりも過小評価される現象である。この現象はスライス面に平行な境界面を有する対象物で特に顕著であり、この場合、対象物の体軸方向での寸法を過小評価することになる。一般にはコリメータで X 線ビームを絞ることにより、その影響を低減することができるが、これにより、検出器に到達する光子数は減少するため、再構成により得られる断層像の S/N 比が劣化するという問題がある。部分体積効果を補正するためには、サンプル位置毎に測定 X 線強度の変化から対象物の形状を推定する必要がある。このために X 線ビーム幅による光学ボケによる効果を加味した補正方法を検討する。

ビームハードニングは、X 線が対象物を透過することに従いそのエネルギースペクトルが硬化することに起因し、物体内部ほど密度(減衰率)が過小に評価される現象である。これを改善させる方法として、水・アルミなどの基準物質に対する X 線の減衰曲線データを予め測定しておき、実際の X 線測定データをこの基準減衰曲線に基づいて減衰曲線が直線になるよう補正する方法が医療用 CT 装置で広く適用されている。この方法は医療用 CT のように撮像対象(人体)の密度、元素番号が一定の範囲内に制限されている場合には効果的であるが、多種多様な対象物を撮像する産業用 X 線 CT の場合、X 線減衰率

は対象物の密度と元素番号に依存するため、密度、元素番号が基準物質と大きく異なる対象物に対しては、この補正方法は効果的ではなくなる。そこで、広範囲の密度、元素を持つ対象物に適用可能なビームハードニングの補正方法を開発する必要がある。

#### 4. 研究成果

X線CTの3次元計測器としての測定精度向上を図るために、画像再構成におけるアーチファクトの低減を目的としている。X線CT装置の測定データには、対象とするアーチファクトの要因の他に、検出器出力の揺らぎなど他の様々な測定精度の悪化要因も含まれる。そのため、対象とするアーチファクトの要因だけを分離してその補正方法を検討するために、模擬データ生成用としてX線CTシミュレータを作成する必要がある。

汎用性とアーチファクト再現性を確保するために下記の特徴を有するシミュレータを開発した。(1)対象物のX線減衰率のX線エネルギー、密度および元素番号依存性を考慮すること、(2)X線スポットおよびX線検出器の寸法に依存した光学ぼけを模擬すること、(3)透過X線の統計的な揺らぎによるノイズを模擬すること。(4)任意な形状の対象物を模擬するため、対象物の形状データをピクセルとして入力できること。(5)X線源のエネルギースペクトル、強度を模擬すること。(6)X線投影データ生成時の光線追跡方法の効率化と並列処理により計算効率を向上させること。特にCTシミュレータにおいてはアーチファクトを模擬するために、多数の光線に対しレイトレーシングする必要がある。このため、マルチスレッド及びMPIによる並列処理を適用して、X線透過データ生成処理の高速化を図り、ほぼCPU数(コア数)に比例して計算時間を短縮できることを確認した。

X線CT装置のスライス面に垂直な方向における寸法計測精度の劣化原因である部分体積効果を補正する方法を開発した。本方法では、1つの断層像を再構成するにあたり、その前後数断面での透過X線強度を使用して、X線透過経路における対象物の平均減衰係数を推定することにより、部分体積効果を補正する。従来のスライス厚を狭める方法では、計測光子数が減少するため、画像のS/N比が悪化するという問題があったが、本方法では再構成に利用するX線強度は変化しないため、こうした統計誤差の問題は生じない。円柱ファントムの模擬データへ適用した結果、ファントム直径の計測精度には、ほぼ影響を与えずに、高さの誤差のみを約60%低減できることを確認した。こうした部分体積効果の補正

方法については、現在学術論文を取りまとめている。また、ビームハードニングの補正法については、開発したCTシミュレータを利用して検討・開発を継続したい。

#### 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2件)

① T. Ebisawa, K. Soyama, D. Yamazaki, R. Maruyama, S. Tasaki, Y. Abe, H. Hayashida, M. Hino, M. Kitaguchi, Y. Kawabata and K. Niita, Shield evaluation of cold neutron curved guide tubes for J-PARC neutron resonance spin echo spectrometers, Proceeding of International Symposium on Pulsed Neutron and Muon Sciences at J-PARC 2008; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 600 (2009) 126-128.

(査読あり)

② M. Kageyama, S. Tasaki, M. Hino, T. Ebisawa, D. Yamazaki, H. Hayashida and Y. Abe, Development of neutron spin phase contrast imaging, Physica B: Condensed Matter 404 (2009) 2615-2619. (査読あり)

[学会発表] (計10件)

① 平成19年(2007)日本中性子科学会(第7回年会), 九州大学, P3-25, 定常型冷中性子源の形状最適化手法の開発, (京大院工) 安部豊, 龍哲郎, 田崎誠司.

② 平成20年(2008)日本中性子科学会(第8回年会), 名古屋大学, P3-24, 定常型冷中性子源の形状最適化手法の開発 (II), (京大院工) 龍哲郎, 安部豊, 田崎誠司.

③ 平成20年(2008)日本中性子科学会(第8回年会), 名古屋大学, P1-24, 分子動力学法による軽水の中性子散乱断面積解析, (京大院工) 坪井亨, 安部豊, 田崎誠司.

④ 平成20年(2008)日本中性子科学会(第8回年会), 名古屋大学, P1-43, 中性子スピニ位相コントラスト撮像法の開発, (京大院工) 田崎誠司, 影山将史, 安部豊, (京大炉) 日野正裕, 川端祐司, (JAEA)海老沢徹, 山崎大, 林田洋寿.

⑤ 平成21年(2009)日本原子力学会(春の年会), 東京工業大学, F-8, 分子動力学法による軽水の中性子散乱断面積評価, (京大院工) 安部豊, 坪井亨, 田崎誠司.

⑥ 平成 21 年(2009) 日本原子力学会(春の年会), 東京工業大学, F-7, 中性子スピン位相コントラスト撮像法の開発, (京大院工) 田崎誠司, 影山将史, 安部豊, 岩田雄太 (京大炉) 日野正裕, 川端祐司, (JAEA)海老沢徹, 山崎大, 林田洋寿.

⑦ 平成 21 年(2009) 日本原子力学会(秋の大会), 東北大学, I-48, 分子動力学法による軽水の熱中性子散乱の核データ化, (京大院工) 坪井亨, 安部豊, 田崎誠司.

⑧ 平成 21 年(2009) 2009 年度 核データ研究会, テクノ交流館リコッティエー (茨城県東海村), 熱中性子散乱則に対する現代的アプローチ, (京大院工) 安部豊.

⑨ 平成 21 年(2009) 日本中性子科学会(第 9 回年会), いばらき量子ビーム研究センター, P1-40, 分子動力学法による軽水の熱中性子散乱の核データ評価, (京大院工) 坪井亨, 安部豊, 田崎誠司.

⑩ 平成 21 年(2009) 日本中性子科学会(第 9 回年会), いばらき量子ビーム研究センター, P1-41, 定常型冷中性子源の形状最適化手法の開発 (III), (京大院工) 龍哲郎, 安部豊, 田崎誠司.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安部 豊 (ABE YUTAKA)  
京都大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 80378794

### (2) 研究分担者

無し

### (3) 連携研究者

無し