

# 論文内容要旨 (和文)

平成 19 年度入学 博士後期課程

専攻名 システム情報工学

氏 名 \_\_\_\_\_ 砂口 尚輝 \_\_\_\_\_



論文題目 次世代断層画像化システムの開発に関する研究

1985年にレントゲンによりX線が発見されて以来、後のX線CT装置の登場によって様々な対象の内部を非破壊的に画像化できるようになった。しかし、X線被曝による危険性の高さや、低い原子番号で構成されている物質では十分なコントラストが得られないことがあり、これらの課題を補完するためにMRI、PET、SPECT、超音波など様々なモダリティが開発されてきた。しかし、これらの技術ではまだ測定が難しい被写体が多く、現在でも次々と新しい撮影技術が開発されている。最近では、近赤外領域の電磁波を光源とした光CT、光トポグラフィー、OCTが開発され医療現場で使われる。また、最近注目されているのが、ミリメートル以下の波長を持つテラヘルツ波や、第3世代放射光を使用した新しいX線技術である屈折コントラストX線イメージングで、撮影対象を広げる可能性を持っている。本論文では、これら技術を使用した断層撮像システムを開発し、従来技術との特徴の比較、撮影対象の選定や最適なシステム構成を考え、次世代の断層画像化技術になりうるか検討を行う。この論文では、「テラヘルツ波トモシンセシス撮像システム」と「屈折コントラストX線CT撮像システム」についてまとめる。

## 1. テラヘルツ波トモシンセシス撮像システムの開発

電波と光波の中間の波長を持つ THz 波は、電波の透過性や光線の取りまわしの良さを併せ持つため、工学製品の検査や、セキュリティ検査など、安全な断層画像技術の応用に期待される。本研究ではまず、安価で、安定性の高いダイオード光源と検出器を使用した透過イメージングについてビームサイズやコントラスト等を検証し、次に被写体を回転させた透過投影像から CT 再構成し画質を評価する。THz-CT は、被写体と空気の境界で入射角度が大きい個所では、被写体表面での反射・屈折が生じ正確な投影データを取得できないという問題があった。この問題を回避するために、不完全な投影データからの像再構成法として知られるトモシンセシスを用いた。本研究で、トモシンセシス法として広く用いられる Shift-and-add 法が、本撮像ジオメトリにおいては逆投影法と等価であることを示した。この考えに基づいた提案手法を用いて、付箋に鉛筆で記した文字の奥行情報を復元できることを実験により示した。

## 2. 屈折コントラスト X 線 CT 撮像システムの開発

従来のX線CTは、被写体内部の吸収係数を画像化するものであった。しかし、生体軟部組織のように、低い原子番号から構成される物質では十分なコントラストが得られない。そのため、人体への危険性は高いが被曝量を増やし対処するケースが多い。これに対し、被写体内で屈折するX線を検出することで、吸収コントラストに比べ約1000倍のコントラストを持つ撮像法が、被曝量低減の観点から見ても近年期待されている。本研究では、放射光単色X線を光源とする屈折情報からのCT画像再構成手法の開発に取り組む。これまでの屈折コントラストX線CTシステムでは、屈折角度の解析のためにブラッグケースのアナライザー結晶が使われてきた。これは、振動や温度変化による安定性は高いものの、CTを撮影するために結晶を回転させて異なる回折条件下で、同サンプルを2回以上撮影する必要がある

た。そのため、撮影時間・被曝量の増加、サンプルの位置ずれなどの問題により生物への応用が困難な点であった。そこで申請者は、1度の撮影でCTを取得できるラウエケースアナライザー結晶を使用したCT撮像システムと再構成アルゴリズムの開発を行った。まずこのシステムとアルゴリズムの評価のために、幾何光学に基づいたX線撮影シミュレーターを開発し、シミュレーションデータから屈折コントラストCT像を再構成した。ここで高い定量性やコントラストを得た。次に、高エネルギー加速器研究機構のPF-BL14Cにシステムを構築し、実際に実験データの取得を行った。定量性の確認のために、水の入ったアクリルファントムを撮影しシミュレーション実験時との比較を行い、屈折率の理論値は比較的近い値が得られた。また、将来のマンモグラフィーへの応用のために乳房組織の撮影を行い、ブラッグケース結晶のCT像や吸収コントラストCT像との比較を行い、1度の撮影時でも良好なCT像が得られることが分かった。最後に、現状の課題点をまとめ、それらの改善を含む医学応用に向けた計画を立てる。

- (注) ① タイプ、ワープロ等を用いてください。10pt 2,000字程度(2頁以内)とします。  
② 論文題目が英文の場合は、題目の下に和訳を( )を付して併記してください。

# 論文内容要旨 (英文)

平成 19 年度入学 博士後期課程

専攻名 システム情報工学

氏 名 \_\_\_\_\_ 砂口 尚輝



論 文 題 目 Development of tomographic imaging systems of the next generation

This thesis considers two kinds of tomographic imaging systems using different novel light sources developed recently.

The first system uses a THz source. THz wave is an electromagnetic wave with frequencies (0.1 to 10 THz) between radio and infrared waves. Here, using the transmissivity of THz wave for soft materials, the tomographic imaging system with THz wave was proposed. In the THz regions, the effects of reflection and refraction are substantial when the incident angle of incident beam is large. Therefore, it is difficult to obtain a complete set of projections. So, we abandoned a CT (Computed Tomography)-type system, and adopted tomosynthesis (TS)-type one. The TS technique is a simple but useful method for reconstruction under limited conditions. In order to the proposed concept, we constructed a preliminary THz TS imaging system, and performed imaging experiments. The imaging system uses a continuous wave source with advantages of higher signal-to-noise ratio, compactness, and stability. We devised the backprojection reconstruction method, which is suitable for our configuration, with some image processing techniques to improve the image quality.

The second system uses a synchrotron radiation (SR) source. SR has excellent properties as follows: (1) broad and continuous spectrum, (2) high directivity, (3) high brightness, and so on. Thus, a parallel and monochromatic x-ray beam as a high quality incident one can be obtained from SR. On the other hand, it is difficult for the present x-ray imaging based on absorption contrast to delineate low-Z materials such as biological soft tissues or soft materials because of their low absorption nature in x-ray regions. On the contrast, based on the phase shift term  $\delta$ , highly sensitive detection of the low-Z materials is feasible in the hard x-ray regions, because  $\delta/\beta \approx 10^3$  where  $n = 1 - \delta - i\beta$ . Here, we proposed a refraction-contrast CT system based on phase shift term using SR. The system acquires refraction information using a Laue-case angular analyzer made of Si crystal. Here, we devised the data-acquisition as well as data-processing techniques for refraction-contrast CT. We constructed a imaging system at BL-14C, PF in KEK, to first demonstrate the 3-D CT images of various biological samples which could not have been depicted by the conventional absorption-contrast CT.