

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24591764

研究課題名(和文) 在宅医療用可搬型 X 線撮影装置の実用化に向けた研究

研究課題名(英文) Study of the practical-portable X-ray imaging device for home care

研究代表者

花元 克巳 (HANAMOTO, Katsumi)

岡山大学・保健学研究科・助教

研究者番号：20335590

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000 円

研究成果の概要(和文)：在宅医療において、早期発見、早期治療のための X 線診断は重要であるが、従来の X 線撮影装置は、ポータブル型のものでさえ大きな装置になり、家屋等での使用には困難を伴う。本研究では、X 線撮影装置を大幅に小型化するため、焦電性結晶による X 線源を用いた X 線撮影装置の開発を目指し、様々なパラメータに対し、この X 線源の強度とエネルギーについて調べた。得られた実験結果を踏まえて、焦電性結晶を用いたプロトタイプの X 線撮影装置を作製し、撮影を行った。その結果、原子番号の大きなものは描画できるが、原子番号の低いものはうまく描画できないことがわかった。

研究成果の概要(英文)：It is important for home care patients to be diagnosed by the X-ray imaging for an early detection and treatment. Conventional X-ray imaging device for portable use is so large that it is not able to be used at a house. In the present work, we aimed to develop the X-ray imaging device using a pyroelectric crystal in order to miniaturize the X-ray imaging device. The characteristics of the X-ray source were investigated for the X-ray intensity and energy with various parameters. A prototype of the X-ray imaging device using the pyroelectric crystal was constructed based on the experimental results. The X-ray radiography was obtained by the device. As a results, the material with the high atomic number is visualized, however, the material with the low atomic number is not visualized well.

研究分野：量子ビーム科学

キーワード：在宅医療 可搬型 X 線 撮影装置 焦電性結晶

1. 研究開始当初の背景

在宅医療の受療者はほとんどが高齢者であるため、肺炎等の早期発見、早期治療のためには、正診率の高いX線診断は必須である。しかし、従来のX線撮影装置は、X線管球と高電圧発生装置が必要であり、装置が大型になるため、在宅医療の現場での撮影は困難が伴う。一方で、X線管球と高電圧発生装置を使用せずにX線を発生させる方法として、焦電性結晶を使用する方法がある。現在、その発生電圧は200 kVが得られており、X線撮影が可能な領域に達している。この焦電性結晶を使用すれば、複雑なX線管球と高電圧発生装置が不要のため小型・軽量のX線源が作製できるが、いままでこれを医療に応用した例はない。これまで我々は、焦電性結晶のテストピースによるX線の発生について基礎研究を行ってきた。その結果、雰囲気気圧、焦電性結晶表面 - ターゲット間距離、焦電性結晶の厚さが重要なパラメータであり、これらのパラメータをうまく組み合わせることで発生電圧が制御できることがわかってきた。最大電圧が60 kVのX線を発生させた場合、実際に臨床で使用している撮影装置に匹敵するX線強度が得られることがわかっており、テストピースではなく、ある程度の大きさの面積を持つ焦電性結晶を使用し、X線撮影が可能であるかを試す段階に来ている。

2. 研究の目的

本研究では、従来とは全く異なる原理により、X線撮影装置を大幅に小型化することによって、AED(自動体外式除細動器)のように持ち運びが可能で、撮影場所を選ばない、在宅医療、救急医療等において撮影可能な可搬型X線撮影装置の開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) プロトタイプ装置の作製

X線撮影と同時にX線スペクトルが測定できるプロトタイプ装置を作製する。X線の発生電圧と強度の情報を含むX線スペクトルは撮影条件に相当するので、これにより、撮影条件と撮影画像の対応づけができる。現存の真空ポンプでは最小3 Paまでの気圧でしか実験できないが、これ以下の気圧においてX線発生の最適条件があると考えられるため、高真空ポンプを導入する。これにより、3 Pa以下の気圧条件での実験を可能にする。真空槽には3インチ(直径7.62 cm)の焦電性結晶を取り付け、この面積範囲でX線撮影を行う。X線発生のための金属ターゲットと線質変更のためのフィルターは交換可能にする。

(2) X線の発生電圧と強度の測定

下記のパラメータを変化させてX線スペクトルを測定し、X線の発生電圧と強度を調べる。

- a. 雰囲気気圧 (10⁻³ ~ 30 Pa)
- b. 焦電性結晶表面 - ターゲット間距離 (1 ~ 100 mm)
- c. 焦電性結晶の厚さ (0.5 ~ 5 mm)

パラメータに対する発生電圧・強度の関係を明らかにし、発生電圧と強度を制御可能にする。

(3) 金属ターゲットとフィルターによる発生X線の検討

金属ターゲットとフィルターの組み合わせによるX線スペクトルのシミュレーションを行い、X線の強度と線質の変化について調べ、X線撮影に適切な組み合わせを検討する。

(4) 撮影条件と撮影画像のデータベース構築

X線スペクトルの測定と同時に基準ファントムの撮影を行い、撮影条件と撮影画像

のデータベースを構築する。

(5) 撮影画像とX線スペクトルの定量的評価

撮影条件と撮影画像のデータベースから、撮影画像とX線スペクトルの関係を定量的に評価し、X線撮影に必要なX線スペクトルの特徴を抽出する。

(6) X線撮影条件の検討

撮影条件と撮影画像のデータベースからX線撮影に適切な条件を検討する。このとき、金属ターゲットとフィルターによるX線強度と線質の変化も考慮に入れ、総合的に考えて、実用的な撮影条件を検討する。

(7) X線撮影画像の評価と撮影条件の検討

検討された撮影条件により、様々なファントムの撮影を行い画質評価を行う。得られた画像とX線スペクトルの特徴から、より適した撮影条件を検討する。必要に応じて装置の改良を行い、従来のX線撮影装置と同等の画像が得られるように評価・検討を繰り返す。

(8) グリッドの検討

平面状の線源は点線源と比べると平行性が悪いため、先鋭な画像が得られない可能性がある。そのときは、グリッドをカセットの前に入れることによって画像の先鋭化を試みる。この場合、X線の強度を高くする必要があるため、金属ターゲットとフィルターを変更するなどして、X線強度を高くするための撮影条件を検討する。

4. 研究成果

(1) 焦電性結晶による発生X線の特徴

気圧依存性

焦電性結晶のc軸方向の厚さを5 mm、焦電性結晶表面 - ターゲット間距離を5.4 mmに固定し、雰囲気気圧を 10^{-4} から20

Paまで広範囲に変化させてX線スペクトルの測定を行った。実験は8インチと4インチの2種類の大きさの真空槽を使用した。8インチ真空槽では主に1から20 Paの気圧で、4インチ真空槽では主に 10^{-4} から4 Paの気圧で実験を行った。気圧が8 Paより高いときは、X線の発生はほとんどみられなかった。これは、8 Paより高い圧力では気体が導体として振る舞い、焦電性結晶表面の電位が上昇しないためであると考えられる。気圧が5から8 Paの間では、気圧の減少とともにX線の強度とエネルギーが増加していきることがわかった。気圧が4 Pa以下では、X線の強度とエネルギーは急激に増加し、3 Pa付近でX線のエネルギーが最大になることがわかった。X線の強度は4 Pa以下では 10^{-4} Paまで大きく変わらない(図1)が、X線のエネルギーは3 Pa付近で最大となり70 keVが得られた。また、気圧が低くなると、X線のエネルギーが減少することがわかった(図2)。

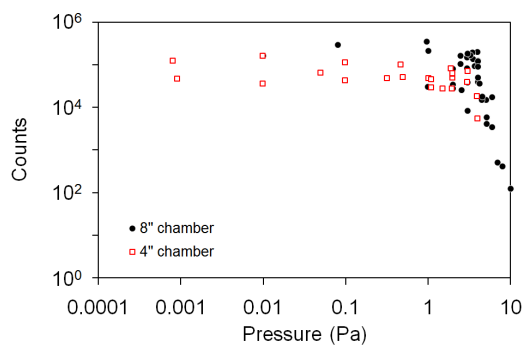


図1 気圧とX線強度の関係

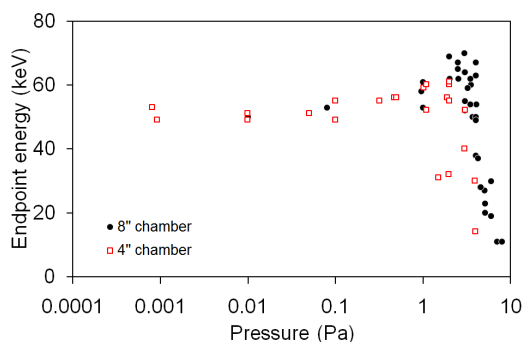


図2 気圧とX線エネルギーの関係

温度差とX線強度・エネルギーの関係
 焦電性結晶のc軸方向の厚さを5 mm、
 焦電性結晶表面 - ターゲット間距離を6 mm、
 雰囲気気圧を約 10^{-3} Pa に固定し、
 焦電性結晶に与える温度差を変化させてX線スペクトルの測定を行った。温度差が大きくなるに従って、X線強度(図3)とエネルギー(図4)は増加するが、温度差が30 Kより大きくなるとどちらも飽和することがわかった。

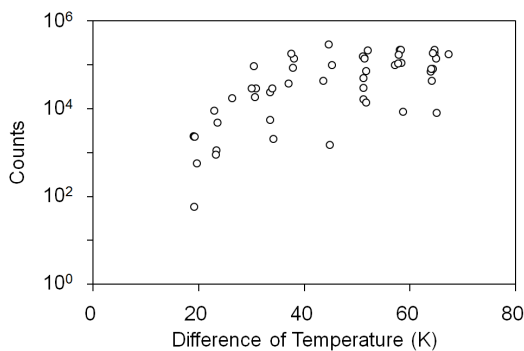


図3 温度差とX線強度の関係

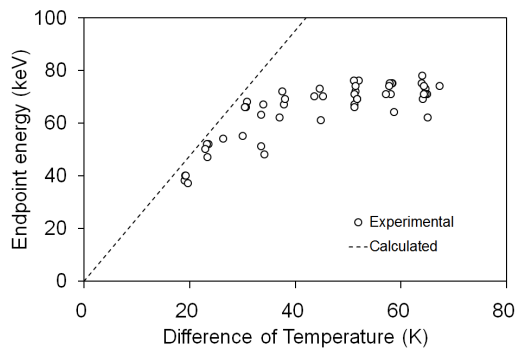


図4 温度差とX線エネルギーの関係

焦電性結晶表面 - ターゲット間距離によるX線エネルギーの変化

焦電性結晶表面 - ターゲット間距離が異なる2種類の実験結果より、気圧 10^{-3} Pa 付近で得られたX線のエネルギーを比較した。焦電性結晶表面 - ターゲット間距離が5.4 mm のときは、最大エネルギー53 keV が得られたのに対して、6 mm では76 keV

の最大エネルギーが得られることがわかった。このことから、焦電性結晶表面 - ターゲット間距離の変化が小さくても、X線のエネルギーは大きく変化することがわかった。ただし、このことは、データが2点しかないため、さらに実験を行って検証する必要がある。

発生電圧の実測値と計算値の比較

焦電性結晶の表面に発生する電圧は、焦電性結晶自体を誘電体とし、表面と裏面を電極とするキャパシタと考えることによって計算できる。温度差により生じる焦電性結晶表面の電荷と電子電流により表面から失われる電荷の差をとり、表面に残った電荷により生じる電圧を計算してみると、X線スペクトルの最大エネルギーとほぼ一致した。このことにより、焦電性結晶の温度と焦電性結晶表面から放出される電子電流を測定すれば、発生電圧が予測できることがわかった。

平均温度変化率とX線強度の関係

焦電性結晶のc軸方向の厚さを5 mm、焦電性結晶表面 - ターゲット間距離を6 mm、雰囲気気圧を約 10^{-3} Pa に固定し、温度変化の割合すなわち平均温度変化率を変えてX線の強度がどのように変化するかを調べた。平均温度変化率を大きくすると、X線の単位時間あたりの強度が増加することがわかった(図5)。その強度は発生電圧に依存し、発生電圧が低い方が大きくなる傾向にあることがわかった。

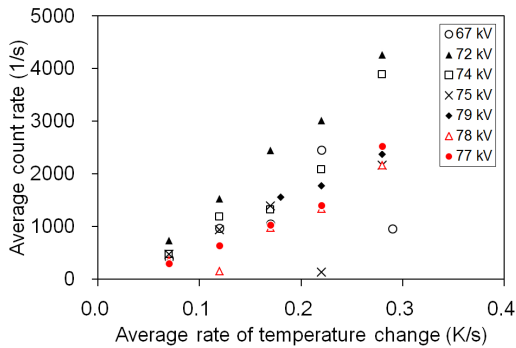


図5 平均温度変化率とX線強度の関係

(2) プロトタイプ装置によるX線撮影

実際にX線撮影するために、直径 30 mm の大きさを持つ焦電性結晶を使用した可搬型X線撮影装置のプロトタイプを作製し、タングステンコリメータ(図6)とICチップ(図7)を撮影した。その結果、原子番号の高いタングステンコリメータはよく描画できていた。しかし、原子番号の低いICチップは、形状の陰影が反映されているものの、よく描画できているとは言い難いことがわかった。この原因は、X線強度が低いためと考えられる。X線の強度を高くすれば、撮影が可能になると考えられるので、現在、X線強度を高くする方法を検討している。

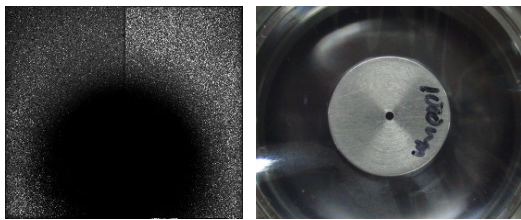


図6 X線撮影画像(左)と光学写真(右)

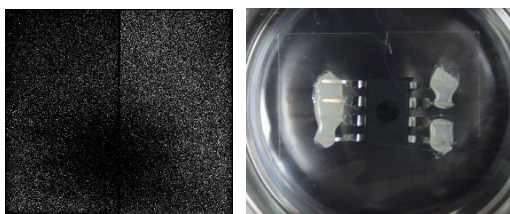


図7 X線撮影画像(左)と光学写真(右)

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5件)

花元克巳、片岡隆浩、山岡聖典、LiTaO₃単結晶による発生X線の平均温度変化率依存性、第63回応用物理学会春季学術講演会、2016年3月22日、東工大(東京)

花元克巳、片岡隆浩、山岡聖典、LiTaO₃単結晶による発生X線の温度差に対する変化、第62回応用物理学会春季学術講演会、2015年3月11日、東海大(神奈川)

花元克巳、川辺睦、片岡隆浩、山岡聖典、広範囲な気圧下でのLiTaO₃単結晶による発生X線と放出電荷、第60回応用物理学会春季学術講演会、2013年3月28日、神奈川工大(神奈川)

花元克巳、川辺睦、片岡隆浩、山岡聖典、焦電性結晶による小型X線源の開発 - 低気圧下での電子電流と発生X線 -、日本放射線安全管理学会第11回学術大会、2012年12月4日、大阪大(大阪)

花元克巳、眞鍋政樹、川辺睦、片岡隆浩、山岡聖典、広範囲な気圧下でのLiTaO₃単結晶による発生X線、第73回応用物理学会学術講演会、2012年9月12日、愛媛大・松山大(松山)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

花元 克巳 (HANAMOTO KATSUMI)

岡山大学・大学院保健学研究科・助教
研究者番号：20335590

(2) 研究分担者

川辺 睦 (KAWABE ATSUSHI)

岡山大学・大学院保健学研究科・助教
研究者番号：30403471

(H24.4.1-H26.7.31)