

令和元年6月12日現在

機関番号：33916

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K15350

研究課題名(和文)医療における焦電体と紫外レーザーを用いたX線源に関する研究

研究課題名(英文)Study of a X-ray source using an ultraviolet laser and pyroelectric crystal

研究代表者

南 一幸 (Minami, Kazuyuki)

藤田医科大学・保健学研究科・准教授

研究者番号：10298515

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：紫外レーザーと焦電体を用いたX線源の小型化と医療分野での利用について検討した。X線源から発生したX線計数率は紫外レーザー照射約5分で最大となり、その計数率は約1400 cpsであった。紫外レーザーを30分間照射したときの焦電体の温度は、22 から39 に上昇した。紫外レーザーと焦電体を用いたX線源は、X線の発生原理上、小型化が充分可能なシステムである。本研究におけるX線源は、X線計数率の増加や焦電体の温度調整などの検討が必要であるが、医療分野での使用に向いていると考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの焦電体を用いたX線源は、焦電体をヒーター等で高温に加熱することでX線の発生を行ってきた。しかし、本研究では、ヒーターの代わりに紫外レーザーを焦電体に照射することでX線の発生が可能となった。この研究の最大の特徴は、焦電体を用いたX線源に紫外レーザーを利用したことである。X線源への紫外レーザーの使用における利点は、光ファイバー技術の利用がある。焦電体への紫外レーザーの照射が光ファイバーを経由して行えれば、非常に自由度の高いX線照射が可能となる。また、ヒーターを用いたときのように焦電体の温度を高温にする必要がなければ、冷却が不要となり、安全性と利便性が高くなると考えている。

研究成果の概要(英文)：We investigate a miniaturized X-ray source using an ultraviolet (UV) laser and a pyroelectric crystal and discuss potential applications in medicine. The X-ray count rate of the X-ray source is maximized at approximately 1400 cps for UV laser irradiation of approximately 5 minutes. After 30 minutes of irradiation by the UV laser, the temperature of the pyroelectric crystal rose from 22 to 39 . The principles of X-ray generation ensure that X-ray sources using UV lasers and pyroelectric crystals offer ample opportunity for miniaturization. We believe the X-ray source developed in this work is suitable for medical applications, although further study is needed to address points such as increasing the X-ray count rate and adjusting the temperature of the pyroelectric crystal.

研究分野：放射線安全管理学

キーワード：X線源 焦電体 紫外レーザー 温度

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) これまでの焦電体を用いたX線源は、熱を利用してX線を発生させている。焦電体の温度を変化させることで生じた電界はX線源内の残余ガスによる電子を加速し、電子がターゲットに衝突することでX線を発生させている。

(2) 米国では、electronic brachytherapy 用の超小型X線源が医療で用いられている。この超小型X線源は線源部分が高温になるため、実際に利用するときはX線源部に水冷用のジャケットを被せて人体内に挿入している。そのため、水冷用のジャケットがX線源の小型化の妨げとなっている。

2. 研究の目的

(1) 紫外レーザーと焦電体を組み合わせたX線源(以下、焦電体型X線源)を試作した。

(2) 試作した焦電体型X線源と紫外レーザーを用いてX線を発生させ、X線エネルギー、X線計数率、および焦電体の温度変化を調査した。得られた結果から、医療での利用について検討した。

3. 研究の方法

(1) 焦電体型X線源の作成

図1(A)は、紫外レーザーと焦電体を組み合わせて試作した焦電体型X線源の内部構造である。紫外レーザーは、波長：266 nm、繰返し率：10 Hz、エネルギー：40 mJ/pulse、ビーム径：5 mmのNd:YAGレーザー(Quantel, Brilliant EaZy)を用いた。焦電体は、直径：10 mm、長さ：6 mmの円柱形のLiNbO₃(山寿セラミックス社製)を用いた。焦電体の+Z面は金属ターゲット側、-Z面は紫外レーザーの照射側とした。焦電体における紫外レーザーの照射面には合成石英ガラス(厚さ2.3 mm)を接合し、反対側の合成石英ガラスにはステンレスパイプを接合した。ターゲット金属は厚さ10 μmの銅とし、大気側に厚さ75 μmのカプトンテープ(デュボン社製ポリイミドフィルム)を貼り付けた。

図1(B)より、焦電体型X線源は3×3×5 cmの直方体の形状とし、X線源の外側から内部の焦電体の劣化状態を観察できるようにプラスチックの窓を設けた。X線源内の圧力は、小型油回転真空ポンプGLD-202BB(アルバック機工株式会社)を用いて0.3 Paとした。

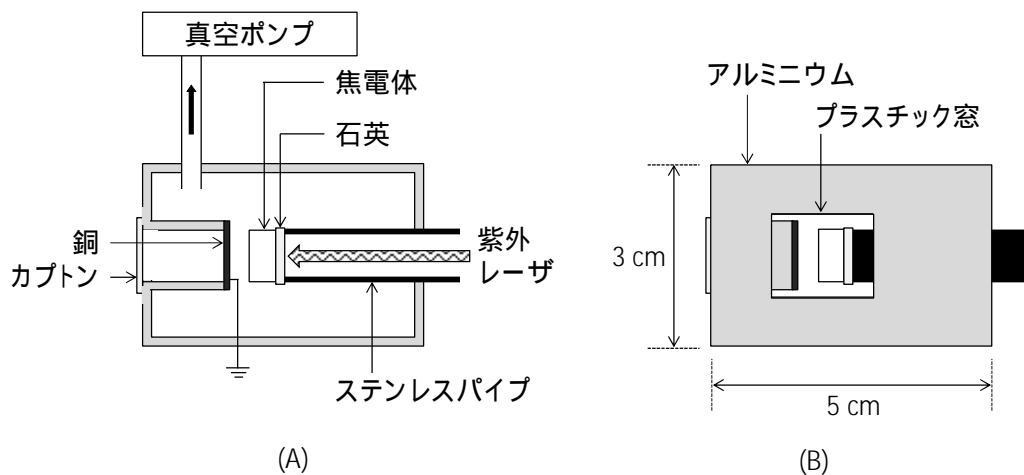


図1 X線源の構造(A:内部構造,B:外形)

(2) 測定

X線エネルギーは、東洋メディック社製X線スペクトルアナライザRAMTEC 413を用いて測定した。X線計数率の経時変化は、Inspector+(S.E. International, Inc.)を用いて測定した。各検出器は、X線源のカプトンテープから約1 cmの位置に配置した。

温度測定は、X線源内部の焦電体に熱電対を取り付けて温度計で行った。熱電対は、円柱状の焦電結晶の側面中央に取り付けた。紫外レーザーによって励起された焦電体の温度は、経時的に測定した。

4. 研究成果

(1) X線エネルギースペクトル

図2は、紫外レーザーを300秒間照射したときのX線のエネルギースペクトルである。

8.0 keVと8.9 keVにそれぞれ銅からのK_α, K_βの特性X線のピークが観測できた。また、若干ではあるが30 keV付近まで制動X線が観測できた。得られたX線エネルギースペクトルは、金属ターゲットに依存した特性X線といくらかの制動X線の成分で構成されていた。

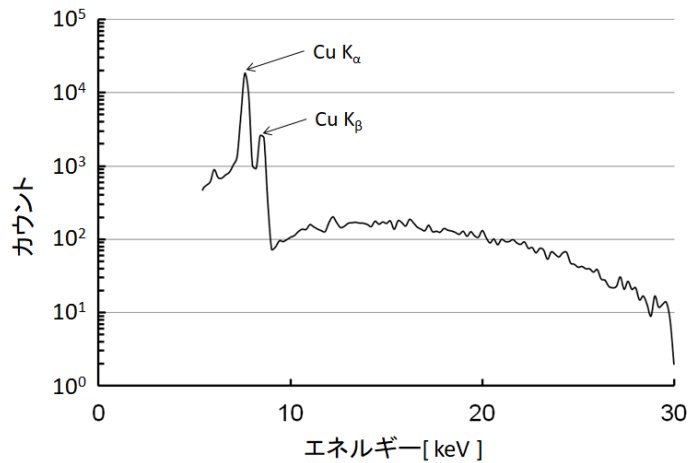


図2 X線エネルギースペクトル

(2) X線計数率の経時変化

図3は、紫外レーザーを30分間照射したときのX線計数率の経時変化である。

X線計数率は、紫外レーザー照射約3分後から検出されはじめ急激に増加した。X線計数率は、紫外レーザー照射約5分後に最大となり、その計数率は約1400 cpsであった。その後、X線計数率は減少し、計数率の変化は紫外レーザー照射約5分後をピークとした山形分布となった。

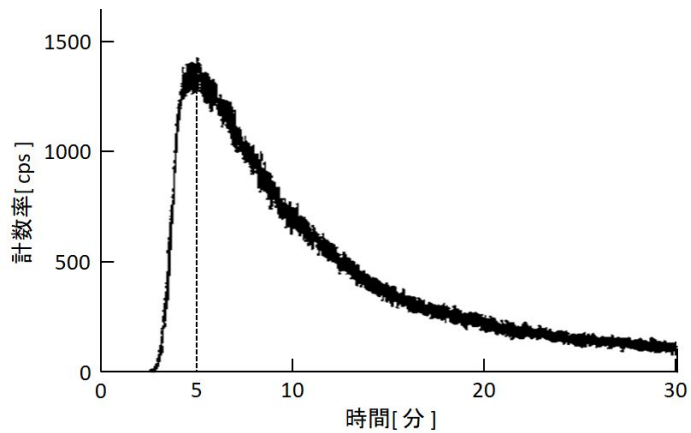


図3 X線計数率の経時変化

(3) 焦電体の温度変化

図4は、紫外レーザーを30分間照射したときの焦電体の温度変化を経時的に測定したものである。

紫外レーザー照射開始時における焦電体の温度は、室温の22であった。紫外レーザーの照射約5分後の焦電体の温度は、約37であった。その後、焦電体の温度はゆるやかに上昇し、紫外レーザー照射30分後は約39となった。

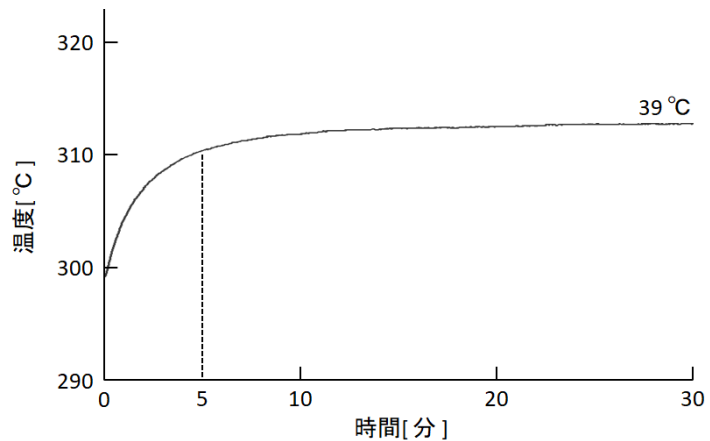


図4 焦電体の温度変化

(4) 焦電体型X線源の医療利用について

焦電体型X線源を医療、特に放射線治療分野で用いる場合、X線計数率については現状より増加させる必要がある。また、X線を持続的に発生させるためには、焦電体の温度制御が必要であると考えられる。

焦電体の温度上昇については、今のところ冷却の必要性が低いことから、小型化に適していると考えられる。紫外レーザーの利用は光ファイバー技術との併用が可能であることから、内視鏡下での人体内における腔内照射のような利用も可能ではないかと考えている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

Kazuyuki Minami, Toshiyuki Ishida, Yasuki Asada, Seiji Shirakawa, Masanao Kobayashi, Shoichi Suzuki, Tomimasa Konishi, Hidenori Mimura, Development of a small X-ray source

using an ultraviolet laser and pyroelectric crystal, X-Ray Spectrometry, Accepted (10-Jun-2019)

〔学会発表〕(計1件)

南 一幸, 石田稔幸, 浅田恭生, 鈴木昇一, 三村秀典, 紫外パルスレーザと焦電体を用いた X線源の検討 - X線発生時における焦電体の温度変化 - , 日本保健物理学会第50回研究発表会, 2017

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 鈴木 昇一

ローマ字氏名: Shoichi Suzuki

所属研究機関名: 藤田医科大学

部局名: 保健学研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 10196826

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。