

PIXE 法によるゲル線量計材料の元素分析

寺川貴樹¹、斉藤はづき¹、梶山 愛¹、細川 響¹、松山成男¹、藤原充啓¹、
石井慶造¹、和田成一²、世良耕一郎³

¹東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻
980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01-2

²北里大学獣医学部獣医学科
034-8628 青森県十和田市東二十三番町 35-1

³岩手医科大学サイクロترونセンター
020-0603 岩手県滝沢市留が森 348-58

1 はじめに

近年、強度変調放射線治療や粒子線治療など、腫瘍形状に一致した高線量域を形成する高精度放射線治療が普及してきている。これに伴って、治療計画の精度保証の観点から 3 次元線量分布の実測評価の必要性が求められており、計測手段の一つとしてゲル線量計が注目されている¹。ゲル線量計は、放射性感受性物質をゼラチン等のゲルで固化して線量情報を 3 次元的に保持し、MRI などによる読出しで 3 次元線量情報の取得を可能にする。図 1 に、陽子線が照射された領域のゲルファントムの白濁の様子と、MRI の読出しによって得られたブラッグカーブを示す。一般に、ゲル線量計材料としてゼラチンなどの生体由来の物質が使用されるため、水素、炭素、酸素以外の元素が含まれる可能性がある。また、放射線増感効果の観点から特定の中重元素を添加することもあり、粒子線照射（陽子線、炭素線）や BNCT の中性子照射で利用する場合、ゲルファントムの放射化により、管理・廃棄上の観点で問題となる可能性がある。よって、本研究では、PIXE 法によって典型的なゲル線量計材料に含まれる中重元素を定量し、放射化の問題について検討することを目的とした。

2 試料と方法

ゲルファントムとしては、メタクリル酸、ゼラチン、脱酸素剤(THPC)を用いたファントム (MAGAT)、アクリルアミドと架橋剤(Bis)、ゼラチン、THPC を用いたファントム (PAGAT) を使用した。ゲルのサンプル調整は内部標準法を組み合わせた硝酸灰化法²を用いて行われた。硝酸 1 mL にゲルファントム試料 50 mg と内部標準元素としてインジウム (1000 µg/g) を加え、この試料をマイクロウェーブオーブン (500 W) で 3 分間温め硝酸溶液に溶かした。試料が溶解した硝酸溶液 20 µL を 4 µm 厚のフローレンフィルム上に滴下し、60°C で乾燥させた。

PIXE 分析は、日本アイソトープ協会滝沢研究所の仁科記念サイクロترونセンターにて行われた。2.9 MeV 陽子ビームを用い、サンプルは真空チャンバー中にセットし照射された。ターゲットでのビーム強度は 20 nA であった。放出された X 線のエネルギーは、高エネルギー X 線用と低エネルギー X 線用の 2 台の Si(Li) 検出器を用いて測定された。高エネルギー用検出器はビーム軸に対して -90 度に設置され、低エネルギー用検出器は、135 度に設置された。

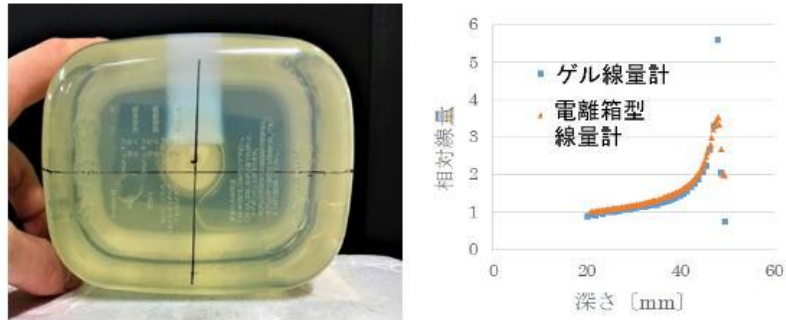


図1 80 MeV 陽子線が照射されたゲルファントムの白濁の様子（左）と、そのゲルファントムのMRI スキャンで読み出されたブラックカーブデータ（右）

3 結果と議論

図2に、MAGAT サンプルに対する高エネルギーX線用検出器で測定されたX線スペクトルを示す。ゲルファントムにはウシ、ブタなどの生体由来のゼラチンを使用しており、K や Ca などの中重元素が混入していることが懸念されたが、今回使用した試料では、著しく高濃度の中重元素の混入は認められなかった。検出された中重元素の濃度は、K で約 130 $\mu\text{g/g}$ 、Ca で約 60 $\mu\text{g/g}$ 、Fe で約 4 $\mu\text{g/g}$ であった。

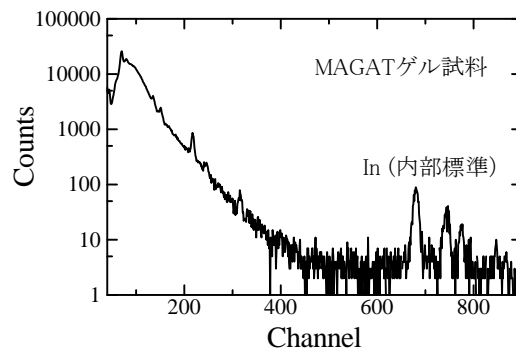


図2 MAGAT ファントムサンプル試料からのX線のエネルギースペクトル

ゲルファントムの陽子線照射による放射化に関しても、照射済みゲルからのガンマ線を測定し確認した。放射線治療で典型的な付与線量である 2 Gy の 80 MeV 陽子線をゲルファントムに照射し、照射 24 時間後にゲルファントムをゲルマニウム検出器で測定して得られたガンマ線スペクトルの例を図3に示す。照射直後は、酸素や炭素核との反応で生成された陽電子放出核種による 511 keV ガンマ線が観測されたが、24 時間後ではバックグラウンドガンマ線を除いて、試料に微量に含まれる中重元素などの放射化によるガンマ線は確認されなかった。したがって、高エネルギー陽子線を用いる癌治療において、照射によるゲルファントムの深刻な放射化の問題は特段ないものと考えている。

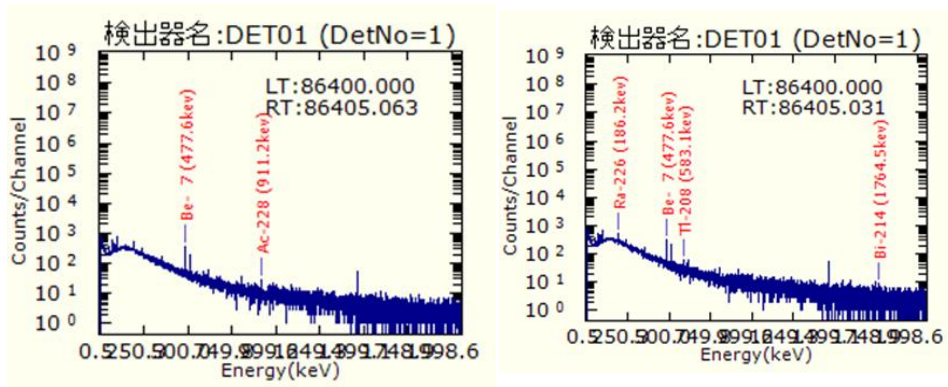


図3 80 MeV 陽子線 2 Gy 照射をゲルファントムに照射し、照射 24 時間後に測定されたゲルファントムからのガンマ線エネルギースペクトル

参考文献

- 1) 3次元ゲル線量計, 林慎一郎, 放射線化学, 100 (2015) 83-85, ポリマーゲル線量計, 林慎一郎, 放射線化学, 93 (2012), 23-30.
- 2) Present status of NMCC and sample preparation method for Bio-samples. International Journal of PIXE 3, 4, (1993) 319-328. S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, S. Saitou and K. Sera

Elemental analysis of materials of polymer gel dosimeters using PIXE

A. Terakawa¹, H. Saito¹, A. Kajiyama¹, H. Hosokawa¹, S. Matsuyama¹, M. Fujiwara¹,
K. Ishii¹, S. Wada² and K. Sera³

¹Department of Quantum Science and Energy Engineering, Tohoku University
6-6-01-2 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan

²Kitasato University School of Veterinary Medicine
31-1 Towada, Aomori 034-8628, Japan

³Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

Abstract

Elemental analysis of materials of polymer gel dosimeters were performed using PIXE to evaluate concentration of medium-heavy elements in the materials because the medium-heavy elements have causative influences on radioactivation of the gel dosimeters when they are used in proton therapy. While K (130 μ g/g), Ca (60 μ g/g) and Fe (4 μ g/g) were detected in the sample, we did not detect a large amount of medium-heavy or heavy elements in the sample. In addition, although we measured gamma rays the gel samples which were irradiated at a dose of 2 Gy by an 80-MeV proton, no significant gamma rays due to the radioactivation were observed 24 hours after irradiation. Thus, polymer gel dosimeters can be used in proton therapy without serious radioactivation problems.