

# 一次陽子線エミッタンス測定と Geant4 シミュレーションによる

## 注射針型陽子線励起 X 線源の強度の定量的評価

Quantitative evaluation of the intensity of a syringe-needle type proton-induced X-ray source  
by emittance measurement of the primary proton beam and Geant4 simulation

\*胡 宇超<sup>1</sup>, 近藤 康太郎<sup>1</sup>, 福田 一志<sup>2</sup>, 小栗 慶之<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東工大原子炉, <sup>2</sup>東工大技術部

深部がん治療用注射針型陽子線励起準単色 X 線源の強度を定量的に評価するために、陽子ビームエミッタンスの測定と Geant4 によるモンテカルロ計算を併用して標的に入射する陽子の絶対量を把握する方法を検討した。

**キーワード:** 小線源治療、注射針、加速器、陽子線、準単色 X 線、ビームエミッタンス、Geant4、モンテカルロシミュレーション、ビーム電流

### 1. 緒言

前立腺がんの小線源治療における線源紛失事故や医療スタッフに対する被ばくなどの問題を解決するために提案された注射針型陽子線励起 X 線源について、前回の発表ではモンテカルロ計算ツール Geant4[1]を用いて入射陽子による特性 X 線の励起過程 (PIXE) を含む光子放出分布の計算を行った[2]。しかし、入射陽子の個数と標的表面上の入射位置の分布は不明だったため、実験との定量的な比較はできなかった。今回はビームライン上の注射針の手前でビームエミッタンスを測定し、その後の粒子輸送を Geant4 で計算して標的に入射する陽子に関する情報の取得を試みた。

### 2. 実験及び計算方法

ビームライン上のスペースの制限により、注射針の手前約 2 メートルの位置で pepper-pot 法を用いてビームエミッタンスを測定した。Geant4 上で標的及び注射針の他、陽子の輸送に影響する注射針の固定部も構築し、これにこの実験と同じ距離で同じエミッタンスを持つ陽子線源を入力し、ビームエミッタンス測定位置より下流の陽子輸送を計算した。計算結果としては、1)標的、注射針と固定部全体に当たる陽子の数、2)注射針入り口の陽子プロファイル、3)標的に到達した陽子の数をファイルに保存した。

### 3. 結果・考察

エミッタンスの測定値を Geant4 計算に反映する前に、物質構築及び出力機能などの作動を確認するための検証計算を行った。その結果を図 1 と図 2 に示す。簡便のため、陽子線源はアパーチャから注射針末端の標的の手前に一点に集束するように設定された。図 1 により、物質構成は設計通り入力されており、図 2 からは、一点に集束するビームを表すエミッタンスがゼロのパターンを確認できたので、必要な機能の動作が確認できた。発表では、実験で測定したビームエミッタンスを計算に反映した場合の陽子輸送計算の結果を示し、X 線の放出分布について改めて議論する。

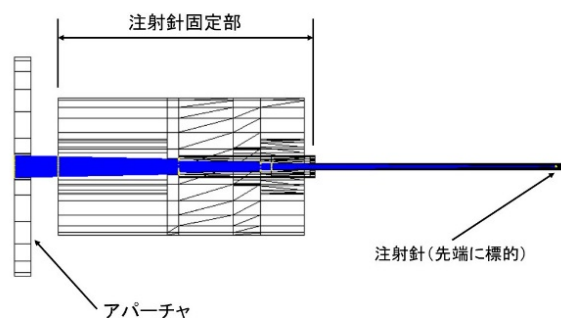


図 1. 理想的な、一点に集束する陽子線を放出する線源を用いた検証計算の様子 (青い線は陽子を表す)

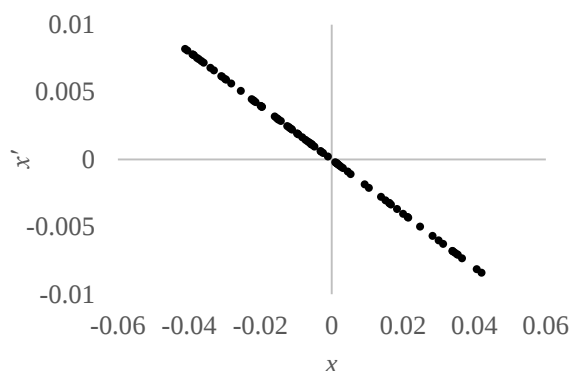


図 2. 注射針入り口の陽子ビームの x 方向エミッタンス (y 方向も同様)

### 参考文献

- [1] S. Agostinelli, et al., "Geant4: A simulation toolkit", *Nucl. Instrum. Meth. A*, vol. 506, no. 3, pp.250-303 2003.
- [2] 胡宇超、近藤康太郎、福田一志、小栗慶之、日本原子力学会 2015 年秋の大会、静岡大学静岡キャンパス、2015 年 9 月 9-11 日、P44.

\*Yuchao Hu<sup>1</sup>, Kotaro Kondo<sup>1</sup>, Hitoshi Fukuda<sup>2</sup> and Yoshiyuki Oguri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Technical Department, Tokyo Institute of Technology