

## (2) シンチレータの自己放射化を用いた高感度中性子検出方法の研究

九州大学大学院医学研究院保健学部門 納富 昭弘  
九州大学大学院医学系学府保健学専攻 栗原 凌佑、植木 大志、花田 侑美佳  
近畿大学原子力研究所 若林 源一郎、伊藤 哲夫

### 1. はじめに

我々はこれまで、NaIやCsI等のヨウ素を結晶内に含有する無機シンチレータに中性子が入射することによりシンチレータ自身が放射化して生じる内部放射能を測定することに基づいた高感度中性子検出方法について検討してきた<sup>1)</sup>。この方法は簡便ではあるが、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)への適用を考えると、中性子エネルギー spektrometers を構築した場合、瞬間的な照射によりビームの情報が得られる利点がある一方、高感度であるが故に過剰な照射に対しては計数系への負荷が問題となる場合がある<sup>2)</sup>。また、副生成物として半減期25分のI-128の他に、やや長い半減期のCs-134m(半減期174分)やNa-24(半減期15時間)が生成されることが避けられない。そこで本年度は、液体シンチレータやプラスチックシンチレータ等の有機シンチレータに比較的少量のヨードベンゼンを添加して、弱めの中性子場で自己放射化検出器として使用する可能性について検討を行い、基礎特性の調査を行った。

### 2. 方法

液体シンチレータカクテル(Insta-Gel Plus)にヨードベンゼンを14wt%添加して溶解させたものを20mlのガラスバイアルおよびポリエチレンバイアルに封入した(図1)。また、プラスチックシンチレータにヨードベンゼンを10wt%添加したものを、3Dプリンターで成型して直径25mm、高さ25mmの円柱状とした(図2)。両者を近大炉(UTR-KINKI)、Pu-Be中性子源、九大病院X線ライナック(Varian TrueBeam 10MV)からの中性子で照射を行い、照射終了後、光電子増倍管を用いてシンチレーション光を読み出して、MCAでβ線の波高分布の経時変化を記録した(図3)。各バイアルの読み出し面以外の面には、反射材としてテフロンテープを巻き付けた。

### Mixing Iodine to Liquid Scintillator

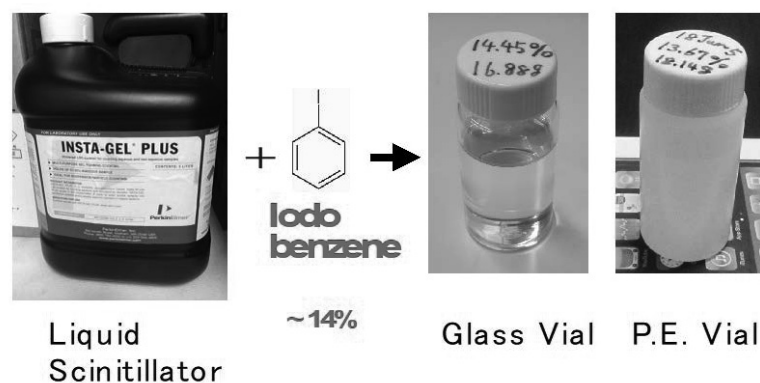


図1 液体シンチレータへのヨードベンゼンの添加

# Optical modeling type 3D printer ➡ Plastic Scintillator

**UV curing resin (UV硬化樹脂)**

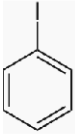
- Base resin (ベース樹脂)	M-211B
- Light polymerization initiator (光重合開始剤)	Irgacure TPO

+


- Light emitting agent (発光剤)	PPO
- Wave length sifter (波長変換剤)	bis-MSB

+

Iodobenzene  
 ~10%



➔



25 mm diameter  
 25 mm height

図2 プラスチックシンチレータへのヨードベンゼンの添加と整形加工

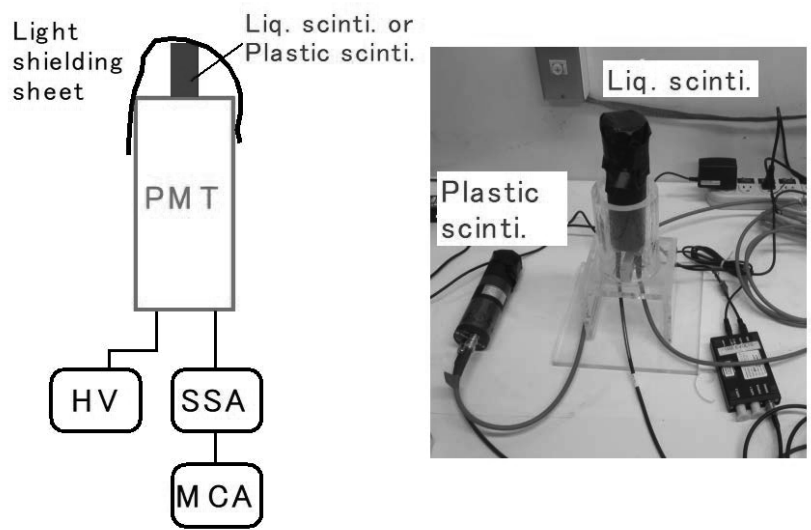


図3 光電子増倍管による読み出しと波高分析

### 3. 結果・考察

図5に示す様に、液体シンチレータをガラスバイアルに封入して原子炉中性子で照射した場合、ガラスにNaが含まれている為に壊変曲線に半減期15時間の成分が見られたが、ポリエチレンバイアルを用いた場合はI-128の半減期25分の成分のみが観測され、その他の成分は見られなかった。また、プラスチックシンチレータの場合にも、I-128の半減期25分の成分のみが観測された(図6)。

# Irradiation of Neutrons

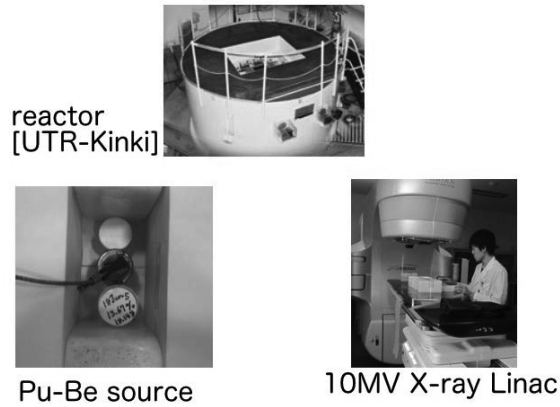


図 4 中性子照射実験

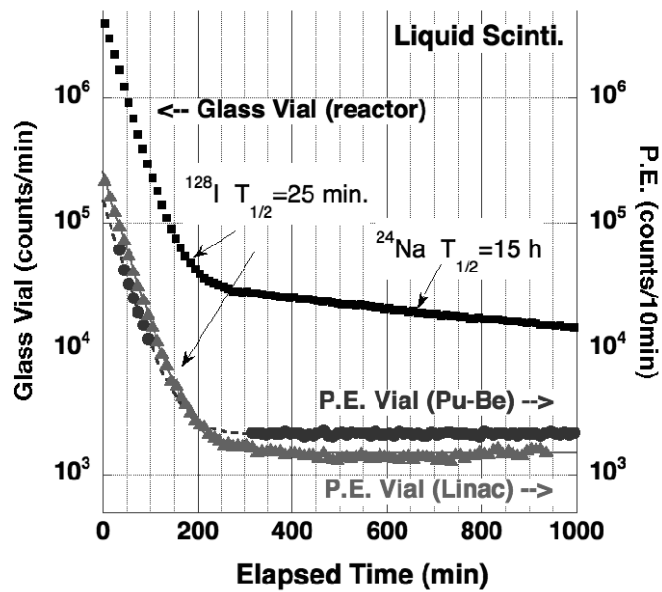


図 5 ヨウ素添加液体シンチレータで得られた壊変曲線

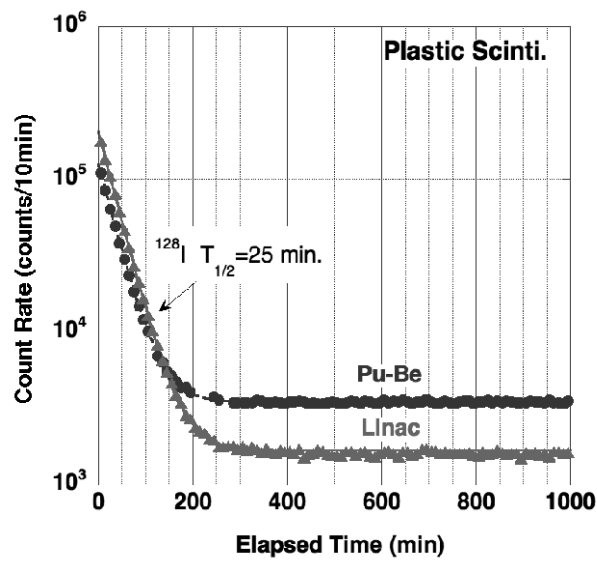


図 6 ヨウ素添加プラスチックシンチレータで得られた壊変曲線

ヨードベンゼンはシンチレーション光に対する強力なクエンチャーであるため、図 7 に示す様に、液体シンチレータで観測された I-128 のエネルギースペクトルは低波高側にかなりシフトしていた。一方、プラスチックシンチレータの場合には若干の波高の低下が見られたのみであった。両者のクエンチングにヨードベンゼンが及ぼす機構は異なっていると予想される。

今後、ヨードベンゼンの添加量を加減して感度を調整することにより、BNCT 場のような高強度の中性子場での自己放射化法に適した安価なシンチレータとなる可能性があることが示された。

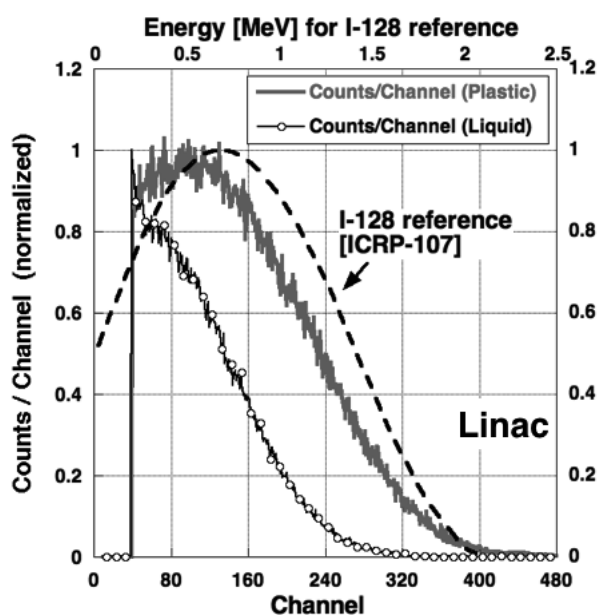


図 7 β線のエネルギースペクトル

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、近畿大学原子力研究所の九州大学病院放射線部皆様にたいへんお世話になりました。この場を借りてお礼を申し上げます。また、プラスチックシンチレータの試作には、九州大学・金政浩博士に御協力を頂きました。ありがとうございました。なお、本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16K10320 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- 1) G. Wakabayashi, A. Nohtomi, et al., Radiological Physics and Technology **8** (2015) pp.125-134.
- 2) R. Kurihara, A. Nohtomi et al., Journal of Nuclear Science and Technology **56** (2019) pp.70-77

## 業績一覧

### [研究発表]

- ・ 納富昭弘 他, 「ヨウ素を添加した有機シンチレータを用いた自己放射化法による中性子検出技術に関する検討」 第15回ホウ素中性子捕捉療法学会学術大会 (北海道大学、2018年9月1日～2日)
- ・ T. Ueki, A. Nohtomi, G. Wakabayashi ” A Design Study of an Application of the CsI Self-activation Method to the Neutron Rem-counter Technique” 2018 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (Sydney、2018年11月10日～17日)

### [原著論文]

- ・ R. Kakino, A. Nohtomi, G. Wakabayashi “Improvement of neutron spectrum unfolding based on three-group approximation using CsI self-activation method for evaluation of neutron dose around medical linacs “ Radiation Measurements **116** (2018) pp.40-45
- ・ R. Kurihara, A. Nohtomi et al. “Preliminary design study of a simple neutron energy spectrometer using a CsI self-activation method for daily QA of accelerator-based BNCT “ Journal of Nuclear Science and Technology **56** (2019) pp.70-77

### 実験・測定補助者リスト

栗原 凌佑	九州大学大学院医学系学府医用量子線科学分野	博士3年
植木 大志	九州大学大学院医学系学府医用量子線科学分野	修士2年
花田 侑美佳	九州大学大学院医学系学府医用量子線科学分野	修士1年

(計3名)