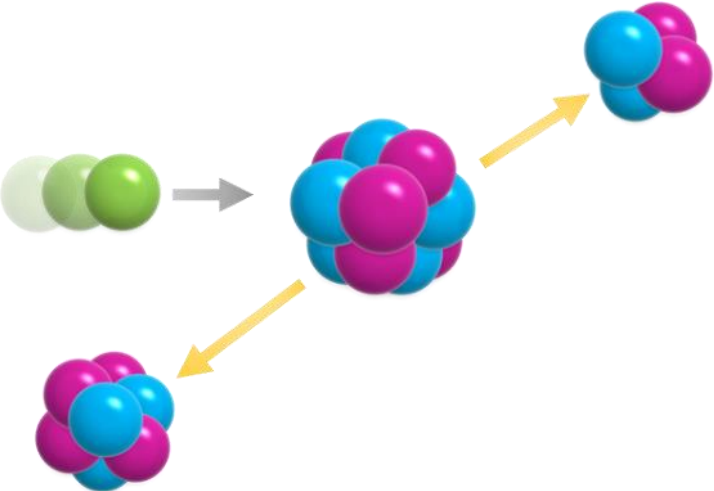


## 文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

### 第84回 京都大学 複合原子力科学研究所 (2024.6.7)

- |                    |   |                                   |
|--------------------|---|-----------------------------------|
| 12:05 – 12:10(5分)  | : | 研究所・センターの概要                       |
| 12:10 – 12:25(15分) | : | 「ホウ素中性子捕捉療法における放射線計測技術」<br>助教 松林錦 |
| 12:25 – 12:45(20分) | : | 質疑応答                              |



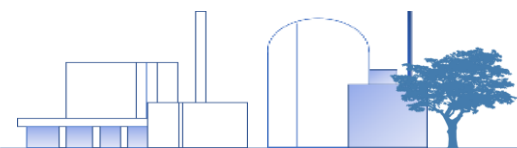
# ホウ素中性子捕捉療法における 放射線計測技術

2024/6/7

京都大学複合原子力科学研究所

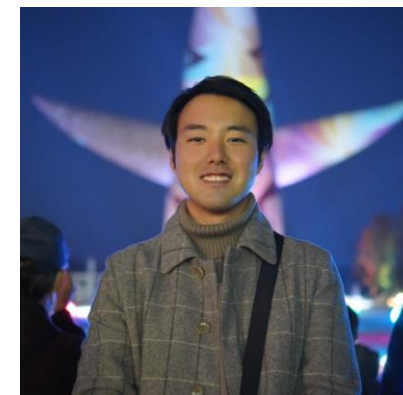
粒子線腫瘍学研究センター 粒子線医学物理学研究分野

助教 松林 錦



## 研究・略歴

まつばやし にしき  
**松林 錦**

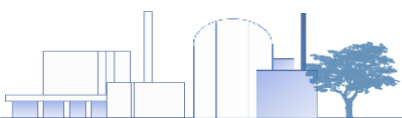


- 2019年 東京農工大学 工学部 物理システム工学科 卒業
- 2023年 京都大学大学院 工学研究科 原子核工学専攻 修了 学振 (DC1)
- 現在 京都大学複合原子力科学研究所 粒子線医学物理学研究分野 助教  
RI管理室員 兼務

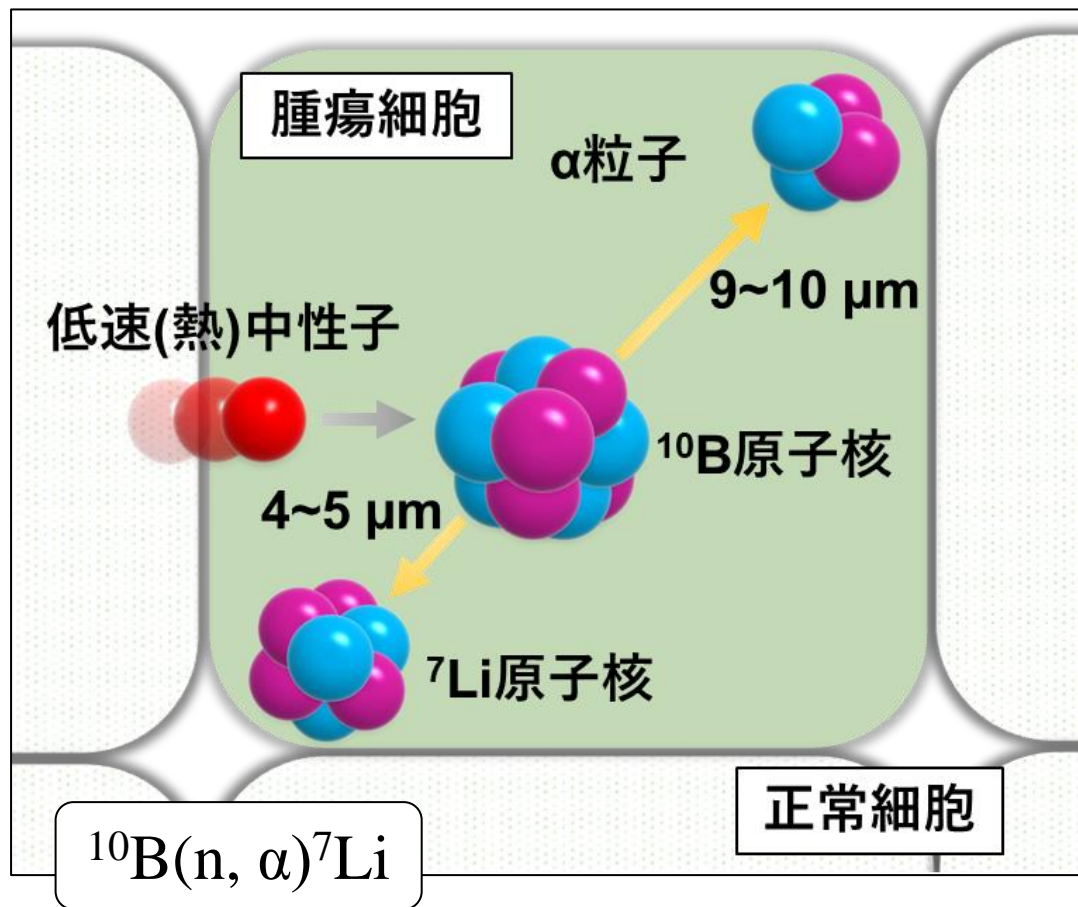
専門分野 放射線計測/線量評価



京都大学複合原子力科学研究所の桜



# ホウ素中性子捕捉療法 (Boron Neutron Capture Therapy :BNCT)



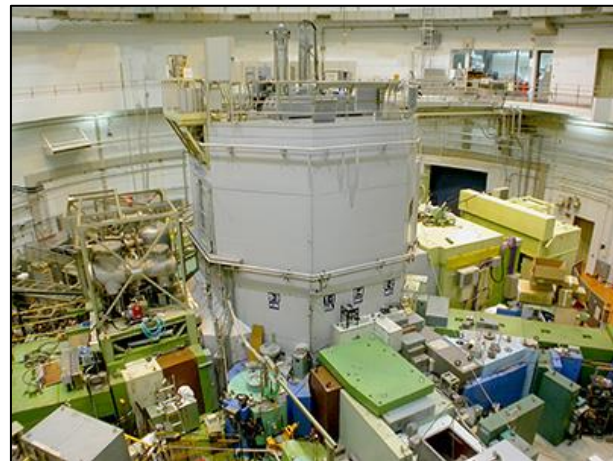
生成荷電粒子の飛程  
は細胞サイズ

×

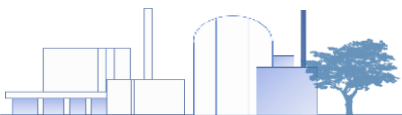
ホウ素化合物が  
腫瘍細胞に集積

正常細胞へのダメージを抑えつつ  
腫瘍細胞を**選択的に**破壊することができる

研究用原子炉 (KUR)



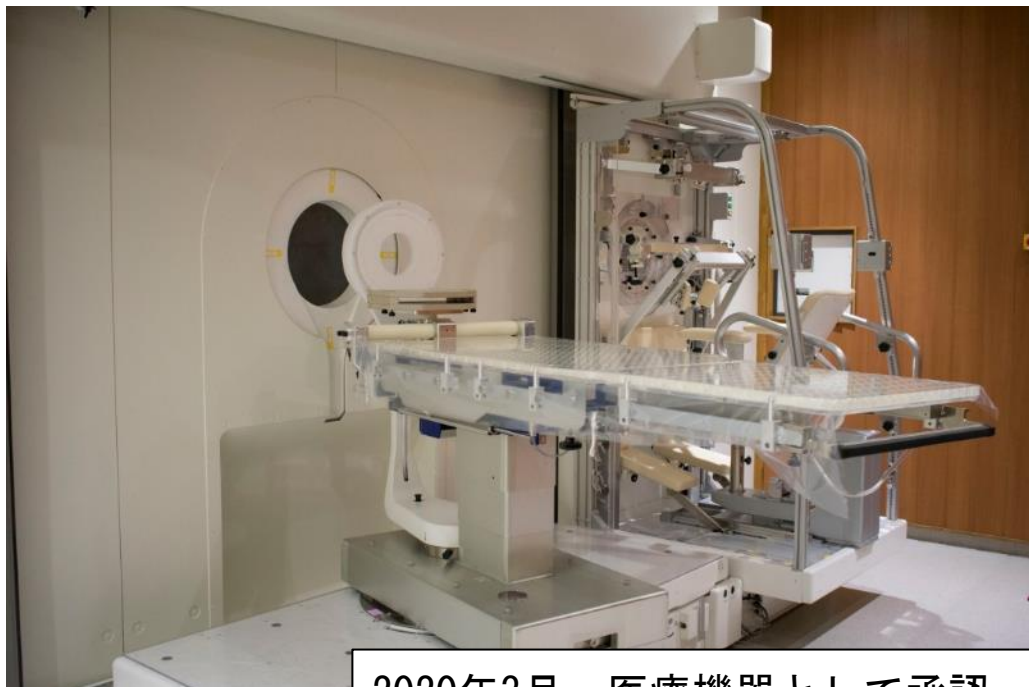
加速器中性子源 (C-BENS)



# 研究用原子炉から加速器中性子源へ

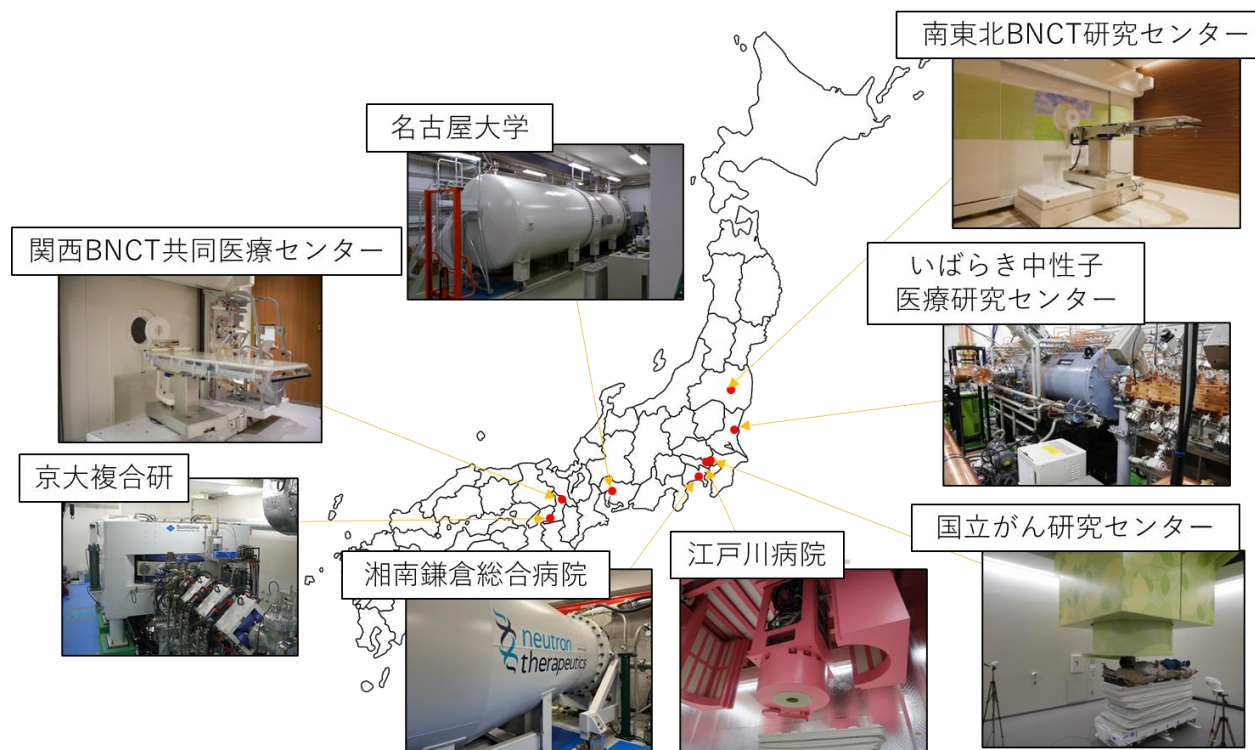
大阪医科薬科大学 関西BNCT共同医療センター

<https://www.osaka-med.ac.jp/kbmc/center/faculty.html>



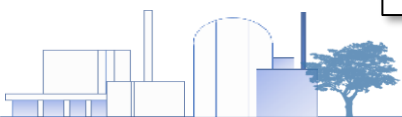
2020年3月 医療機器として承認

2020年6月 「切除不能な局所進行又は局所再発の頭頸部癌」  
に対して保険診療開始



他の放射線治療と比較すると  
**有効性・安全性**の評価に課題が残る

⇒ 中性子場における線量評価が複雑



## BNCT照射場における放射線計測

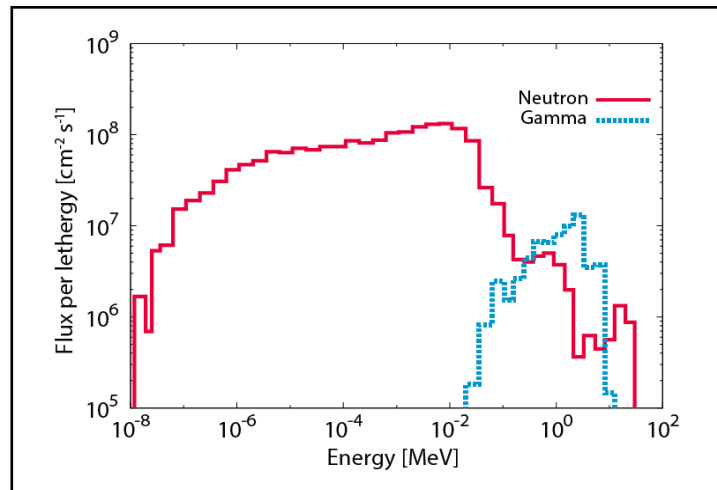
### 1. 生物学的影響が大きい

表 1.4.1: Radiation weighting factor[19]

Radiation type and energy range	Radiation weighting factor $w_R$
Photon	1
Electron	1
Proton	2
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20
$E_n < 1$ MeV	$2.5 + 18.2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}$
Neutron $1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV}$	$5.0 + 17.0e^{-[\ln(E_n)]^2/6}$
$E_n > 50 \text{ MeV}$	$2.5 + 3.25e^{-[\ln(0.04E_n)]^2/6}$

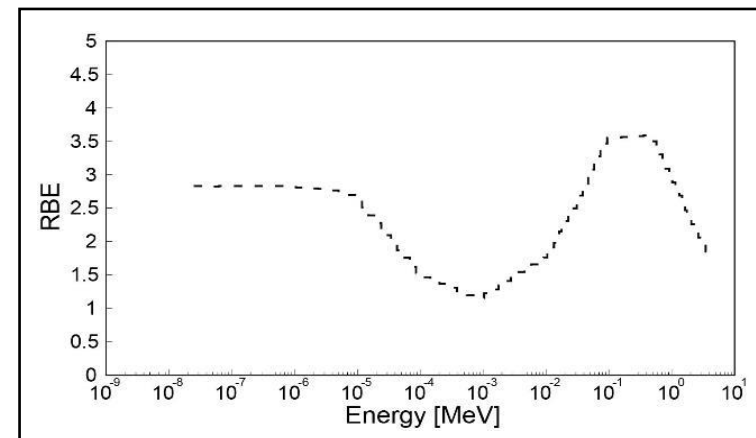
放射線加重係数

### 2. 広範なエネルギーの中性子と $\gamma$ 線が高強度に混在する



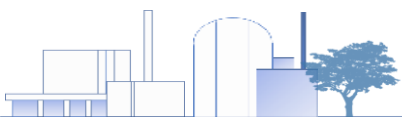
中性子・ $\gamma$ 線スペクトル

### 3. 生物学的影響が中性子エネルギーに依存する



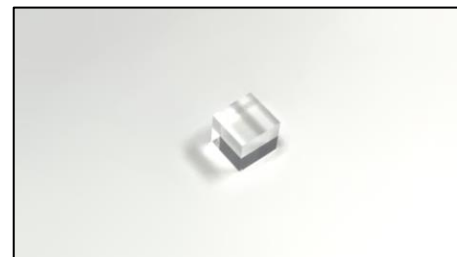
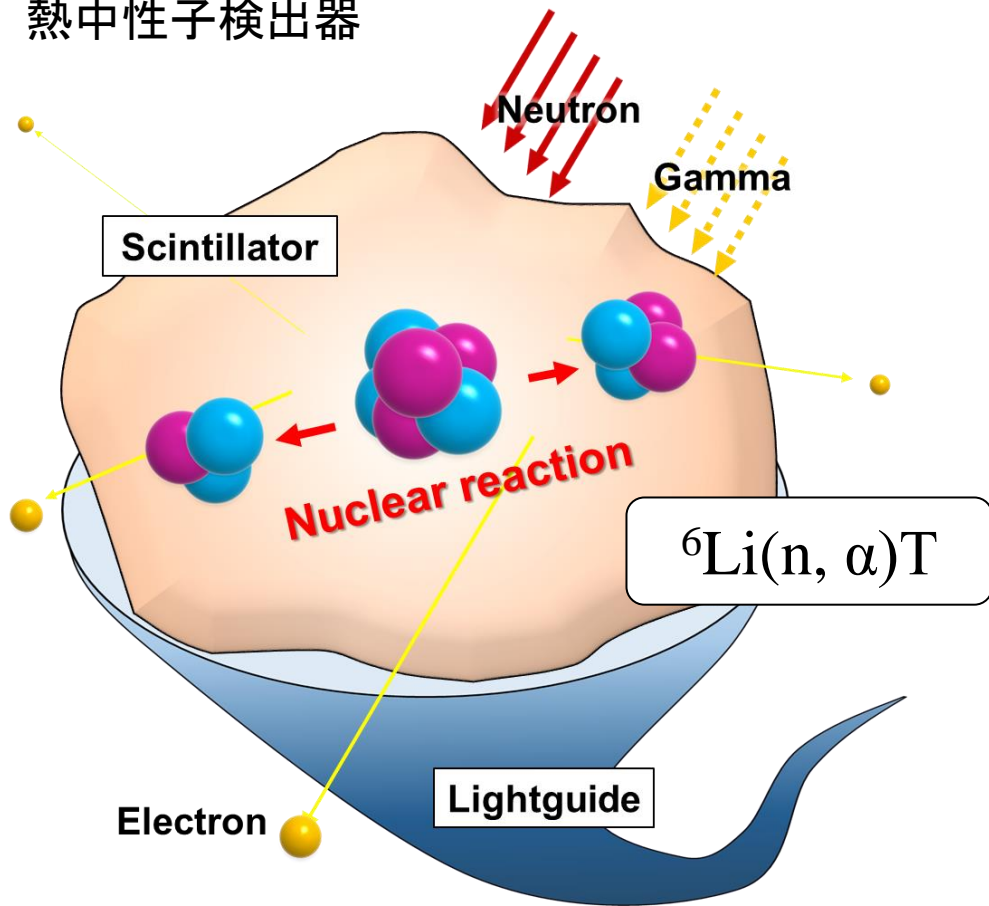
中性子エネルギーに対する生物学的効果比 (Relative Biological Effectiveness: RBE)

熱、熱外、高速中性子、 $\gamma$ 線に  
線質弁別可能な測定が求められる



## γ線を弁別可能な熱中性子計測

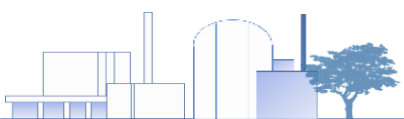
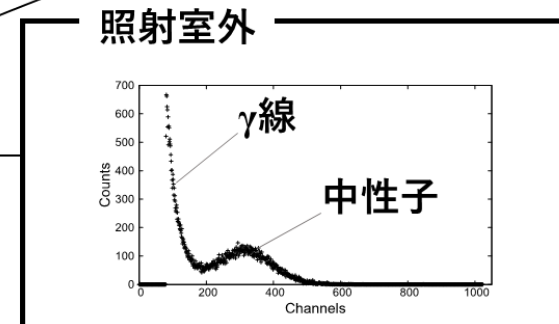
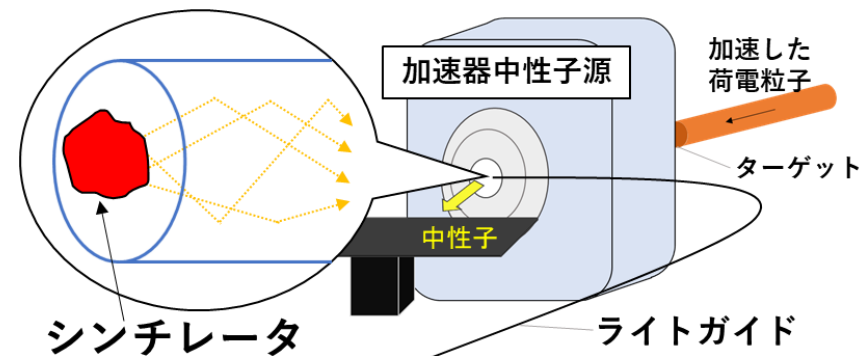
<sup>6</sup>Li含有シンチレータを用いた  
熱中性子検出器



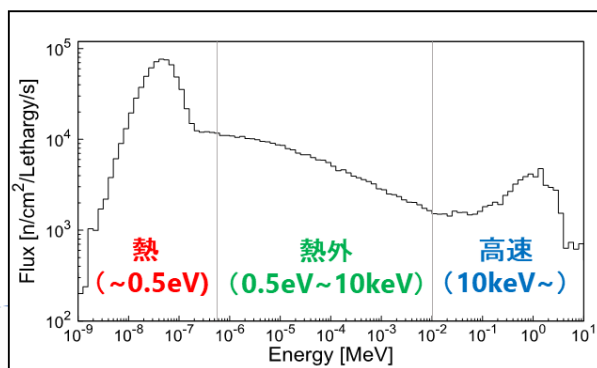
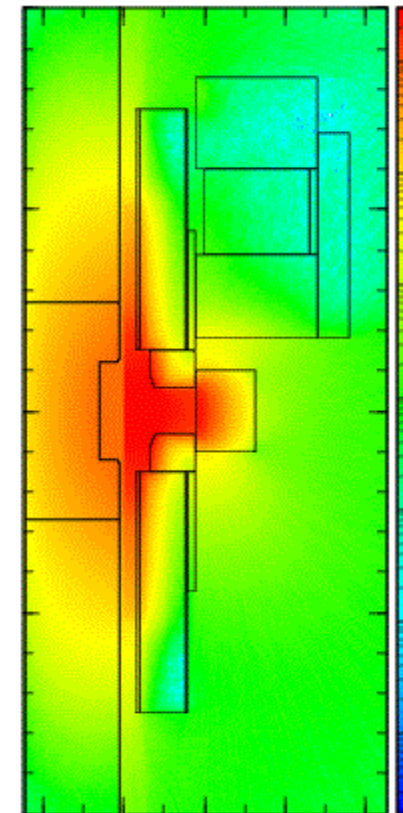
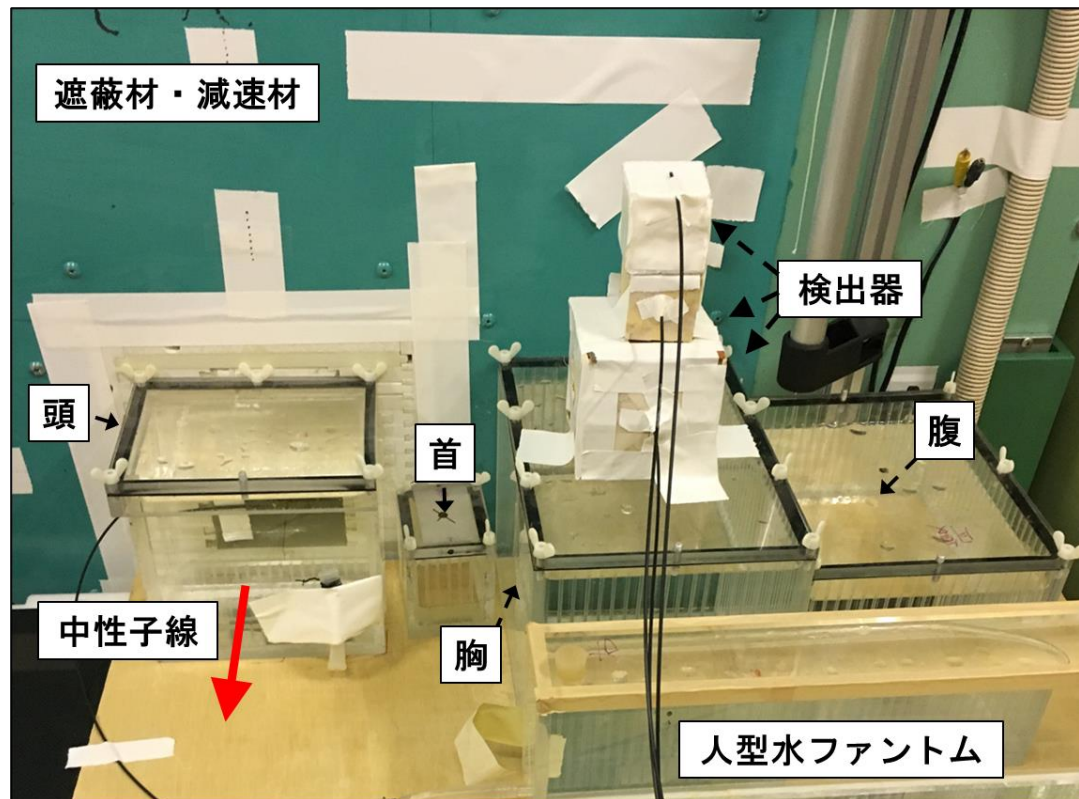
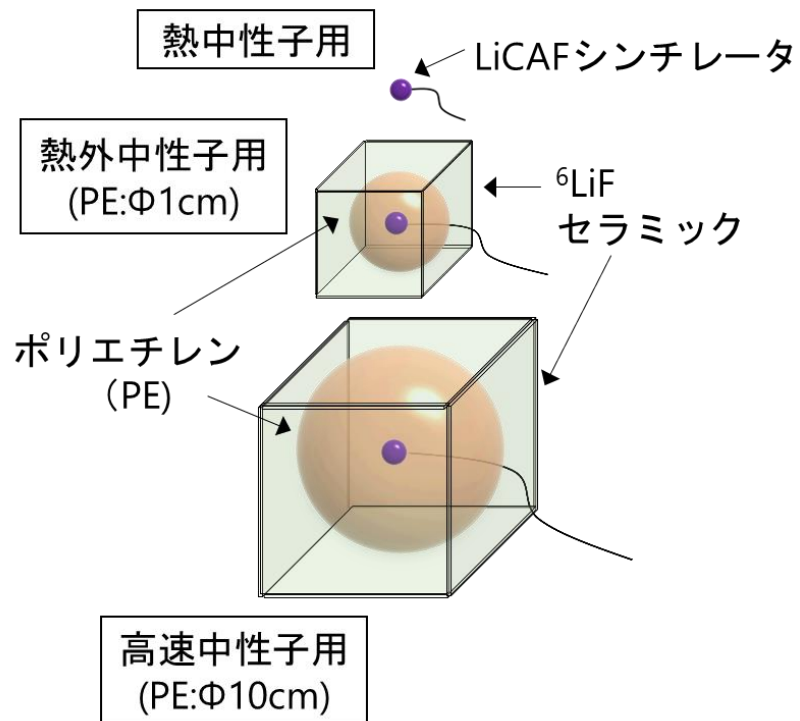
LiCAFシンチレータ 株式会社C&A  
[https://www.c-and-a.jp/products\\_details/products\\_detail\\_jp\\_LiCAF.html](https://www.c-and-a.jp/products_details/products_detail_jp_LiCAF.html)



• Watanabe, et al., Nucl. Inst. Phys. A, 802(2015), 1-4  
 • H. Tanaka et al., Rev. of Sci. Inst., 88, 5(2017)1.4982036



## 熱、熱外、高速中性子に弁別可能な中性子計測



## 熱、熱外、高速中性子線量ごとに評価

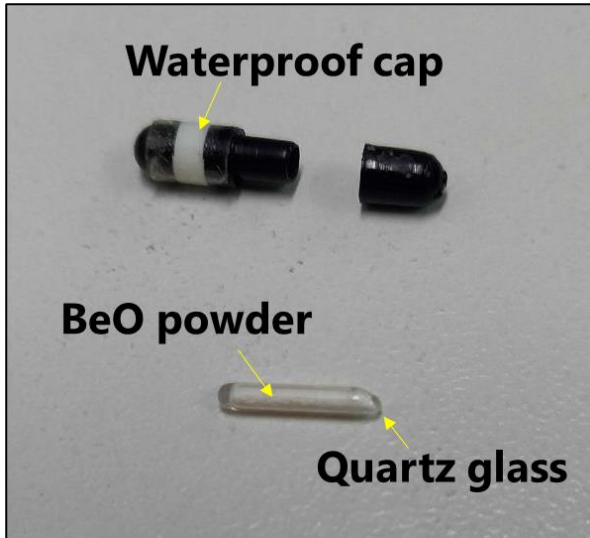
N. Matsubayashi, H. Tanaka\*, T. Takata, K. Okazaki, Y. Sakurai, M. Suzuki,  
"Development of real-time neutron detectors with different sensitivities to thermal, epithermal, and fast neutrons in BNCT",  
Radiation Measurements, 140, 106489-106489(2021)



## 中性子を弁別可能な $\gamma$ 線計測

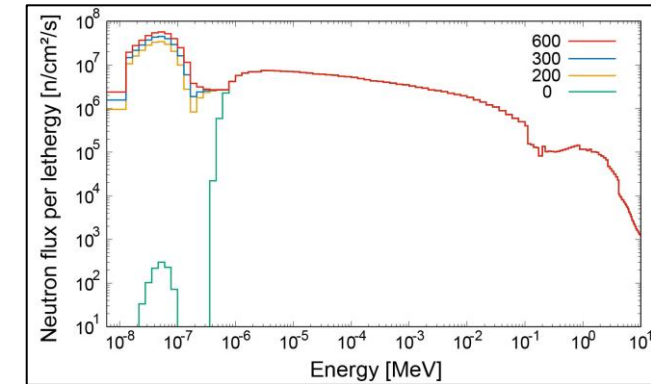
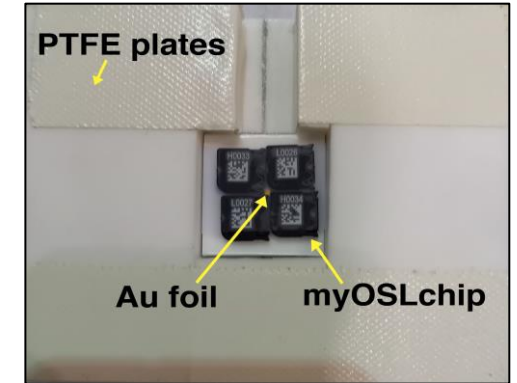
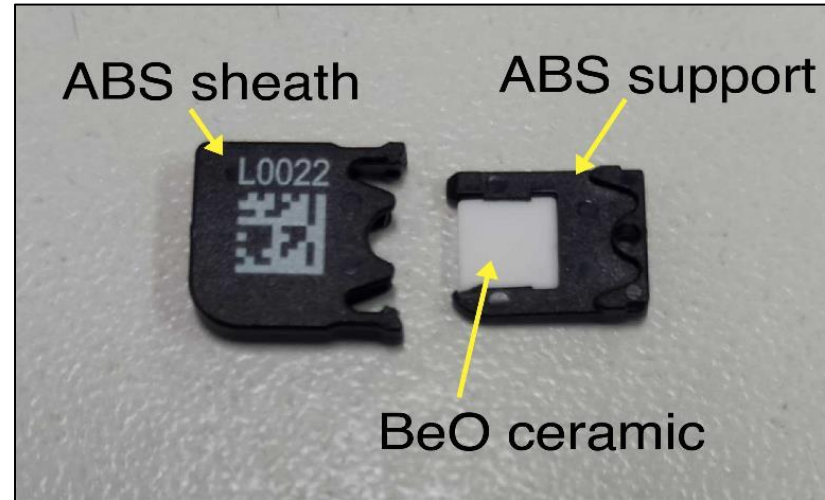
### 熱ルミネセンス線量計

(Thermo-luminescent dosimeter: TLD)



### 光刺激ルミネセンス線量計

(Optically stimulated luminescent dosimeter: OSLD)

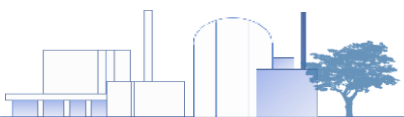


## $\gamma$ 線線量計の中性子感度を除去

N. Matsubayashi, N. Hu, T. Takata, A. Sasaki, T. Mukawa, K. Suga, Y. Sakurai, H. Tanaka\*,

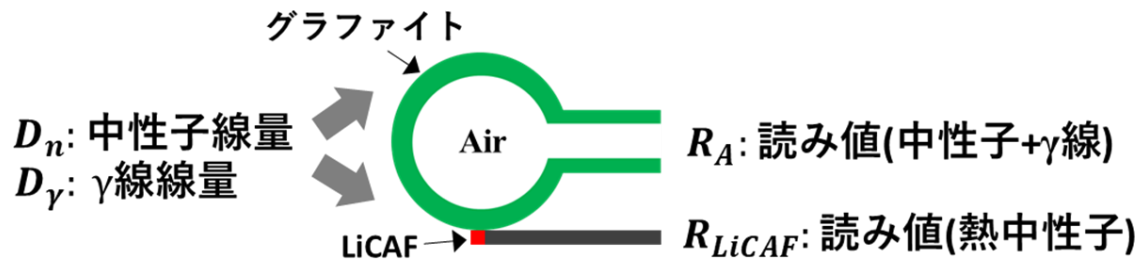
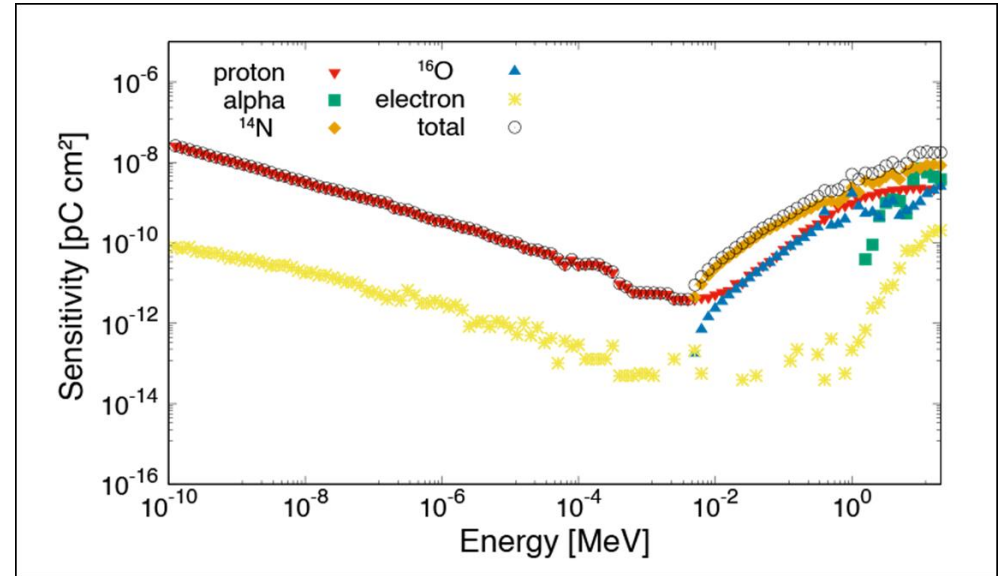
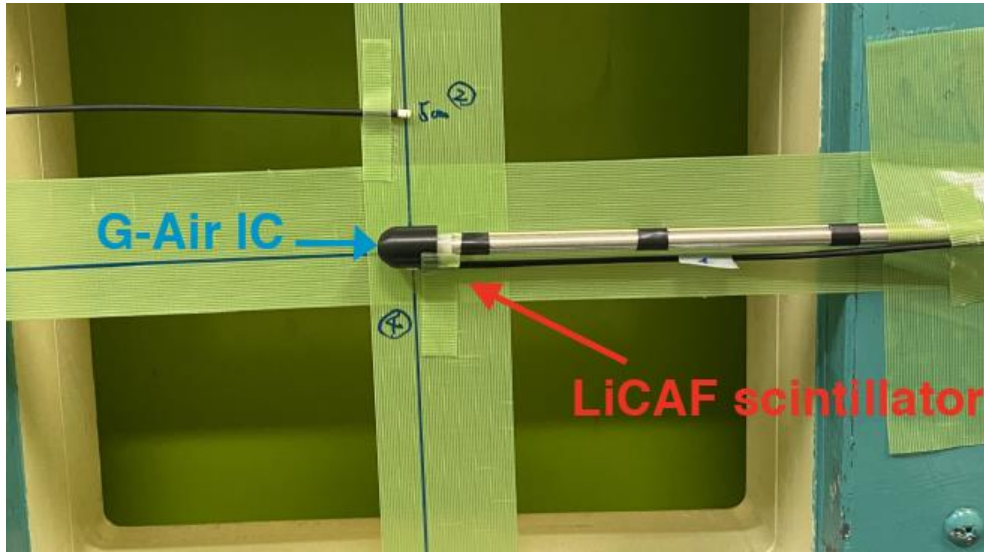
"Characteristics of optically stimulated luminescent dosimeter of beryllium oxide in BNCT irradiation field",

Radiation Measurements, 161, 106900-106900(2023)



## 熱中性子とγ線の同時計測

### 空気電離箱とLiCAFシンチレータ

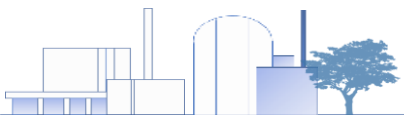


$$R_A = \tau R_{LiCAF} + h_A D_G \quad (h_A: \text{各検出器の応答係数})$$

空気電離箱による熱中性子感度を  
LiCAFシンチレータにより差し引く

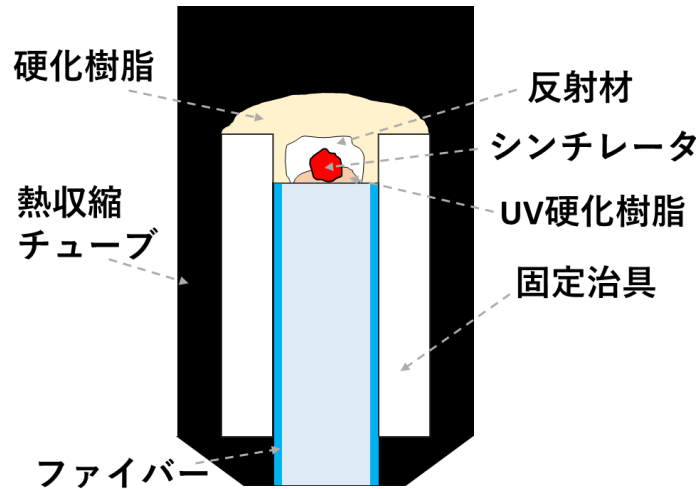
N. Matsubayashi, N. Hu, T. Takata, A. Sasaki, M. Nojiri, T. Mukawa, Y. Sakurai, H. Tanaka\*,  
"Air ionization chamber combined with LiCaAlF<sub>6</sub> scintillator for γ-ray dose evaluation in boron neutron capture therapy",

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1047, 167883-167883(2023/

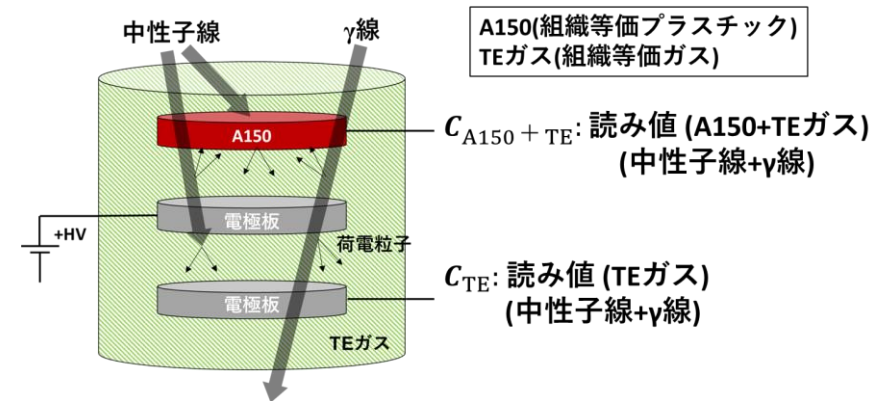


現在の研究とこれから

新規シンチレータの開発



新型電離箱の開発



研究対象：シンチレータ/電離箱/半導体/RPLD/TLD/OSLD/フィルム  
 様々な放射線計測機器を扱ってきた

⇒放射線治療、診断、原子力、基礎物理、、、

