

# 赤色および近赤外発光シンチレータの創製 -基礎とその応用まで-

黒澤俊介

1 東京大学 大学院工学系研究科附属ナノシステム集積センター  
東北大学 ニュートリノ科学研究センター  
大阪大学 レーザー科学研究所

2026年1月27日

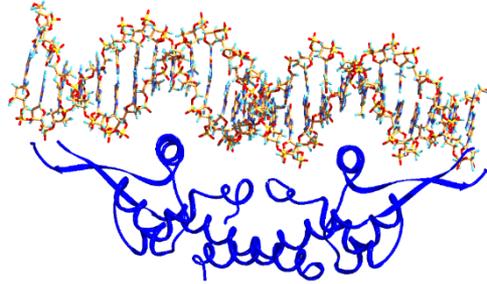
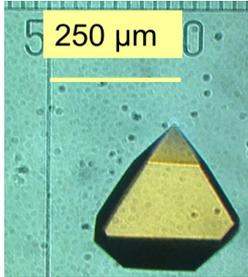
第43回無機材料に関する最近の研究成果発表会 —材料研究に新しい風を—  
日本板硝子材料工学助成会  
於 住友会館(泉ガーデンタワー 42 階)

## 目次

- 導入(高線量モニタの開発)
- シンチレータの製作
- Co-60線源を使った実証試験
- まとめ

# これまでの研究

## 生物物理学



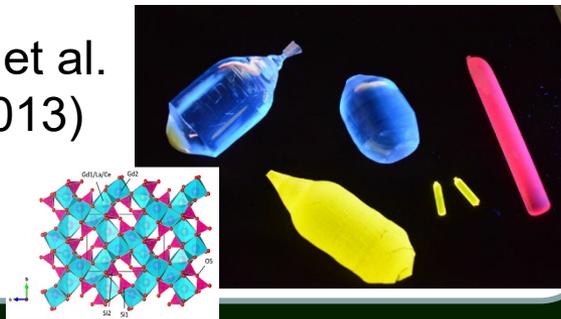
- 藍藻の生物時計関連  
(DNA結合)タンパク質の解明  
Kurosawa et al. Genes to Cells (2009)

## 光物性、 シンチレータ結晶・セラミックス開発

- 新規シンチレータの開発  
(資源探査用、核医学用)
- 結晶構造、発光機構の解明

Kurosawa et al.  
NIMA (2013)

他



## 検出器開発

- ガンマ線撮像コンプトンカメラの開発
- ガス光電子増倍管の開発
- シンチレータアレイカメラの開発
- ガンマ線気球実験
- ビーム照射中のガンマ線分布を世界で初めて撮像  
(陽子線治療リアルタイム線量モニタの開発)

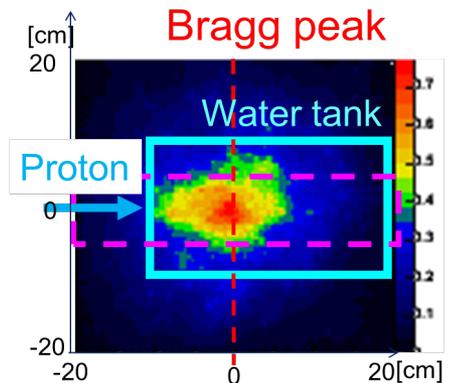
## ガンマ線天文学



Kurosawa et al. Current Applied Physics (2012)

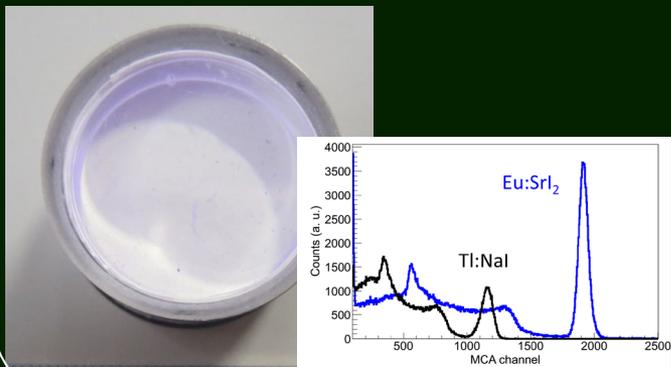
他

## 核医学



# 育成している結晶群

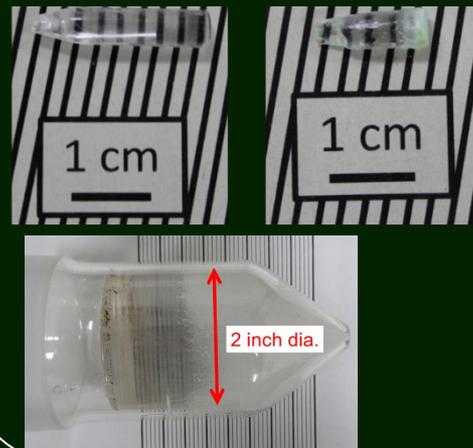
## Halide scintillator



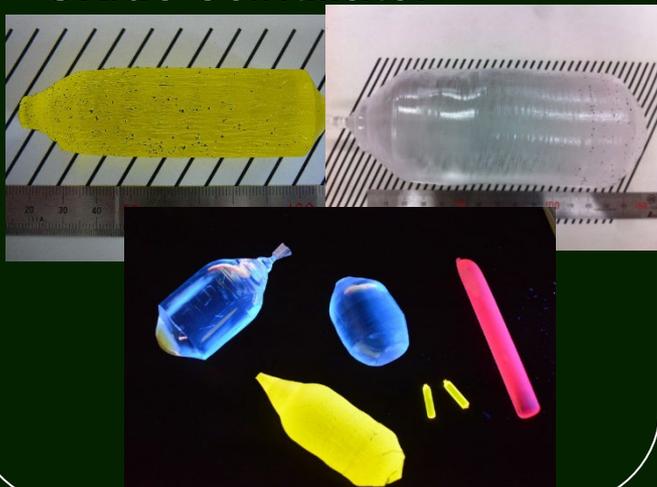
## Ceramics scintillator



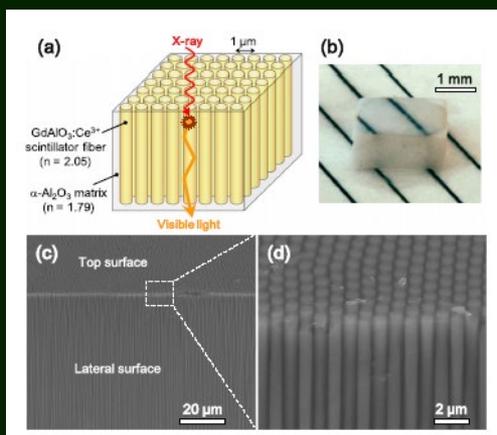
## Organic Crystal



## Oxide scintillator



## Eutectic scintillator



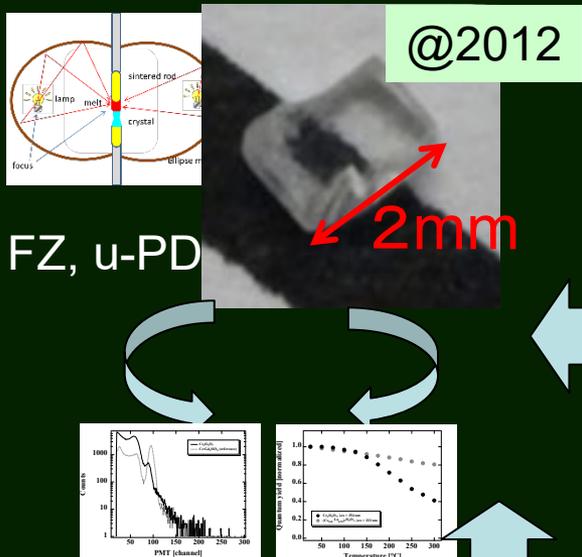
## Others

- Metal (i.g. Ir)
- piezoelectric element
- Gaseous detector
- Handy radiation camera
- Scintillation array camera

etc...

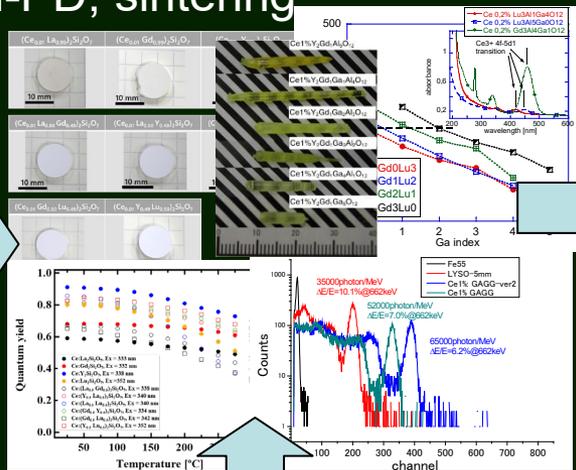
# 研究の戦略

## Step1 Quick search

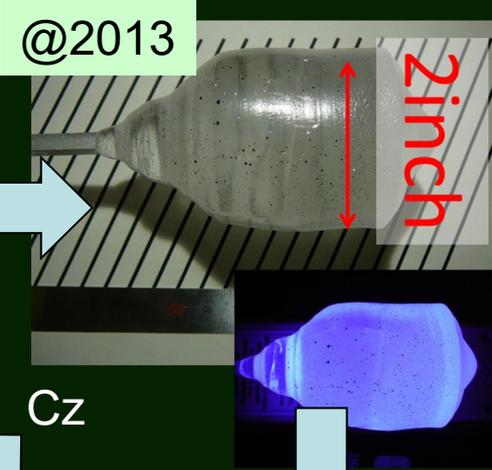


## Step2 Refinement & Turning

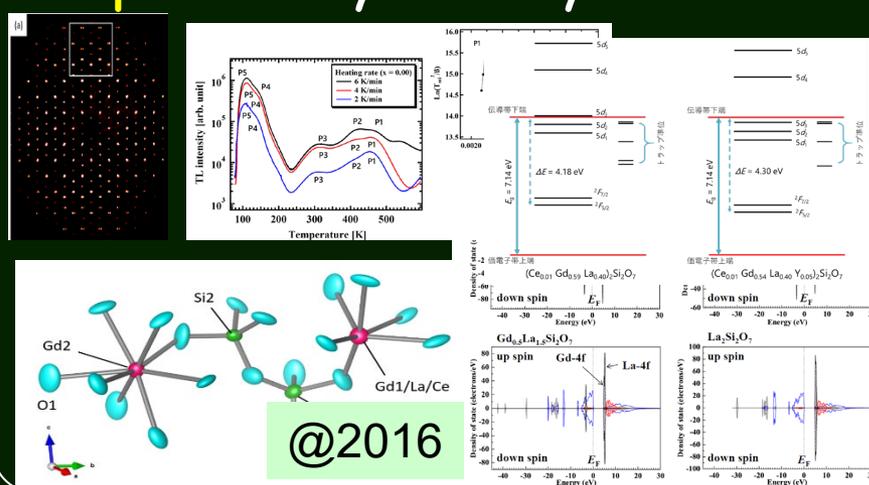
u-PD, sintering



## Step4 Large size Crystal growth



## Step3 Study on Crystal / Band structure



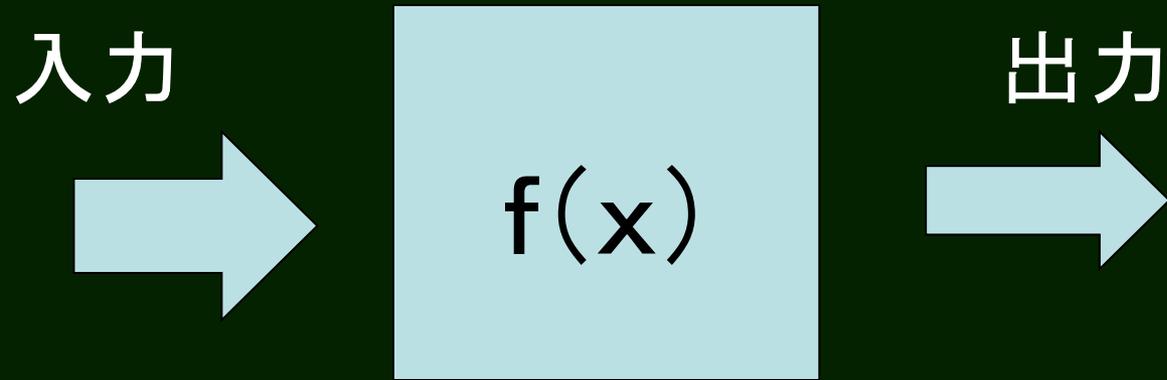
UVSOR  
PF, SPring-8  
TG-DTA@lab.  
etc.

Also radiation hardness or other properties are measured

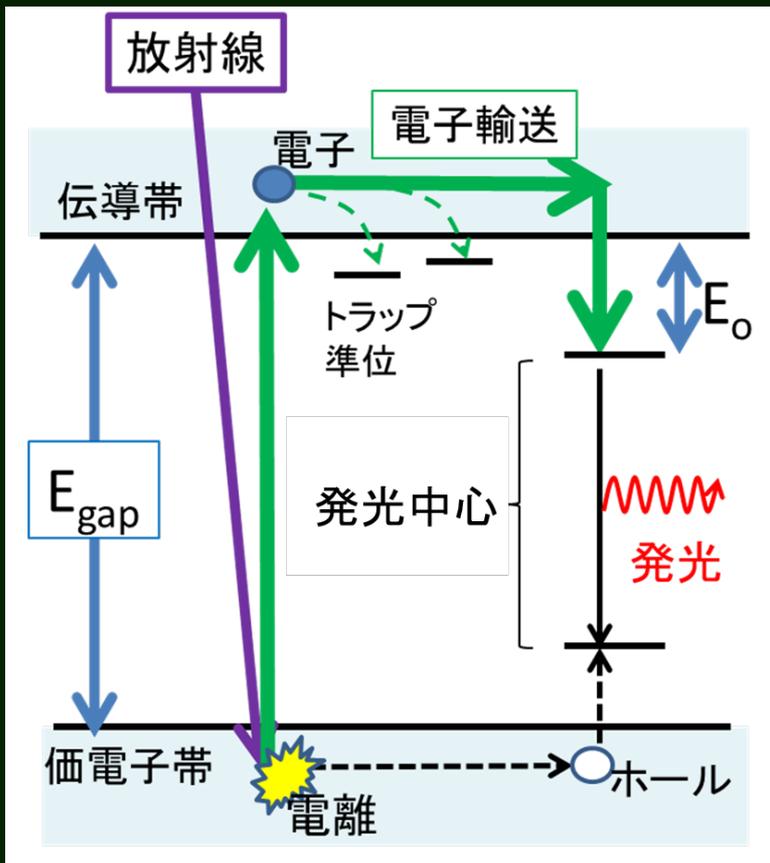
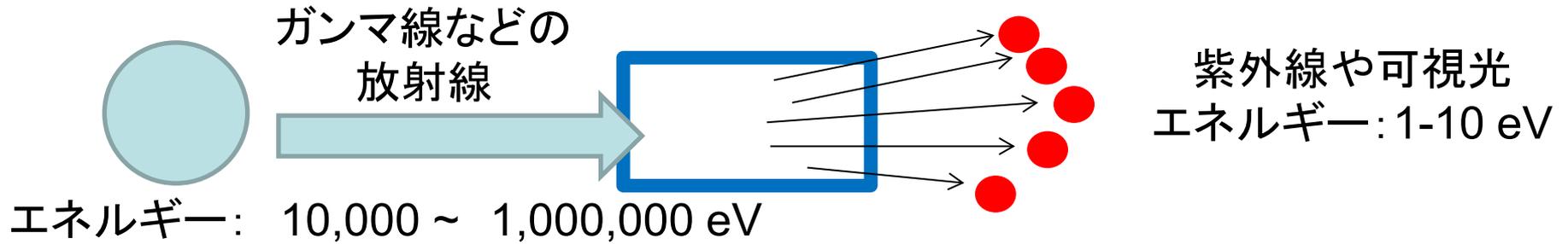
## Step5 Development of detector



# 機能性材料



# シンチレータとは



放射線の「可視化」を  
実現する素子

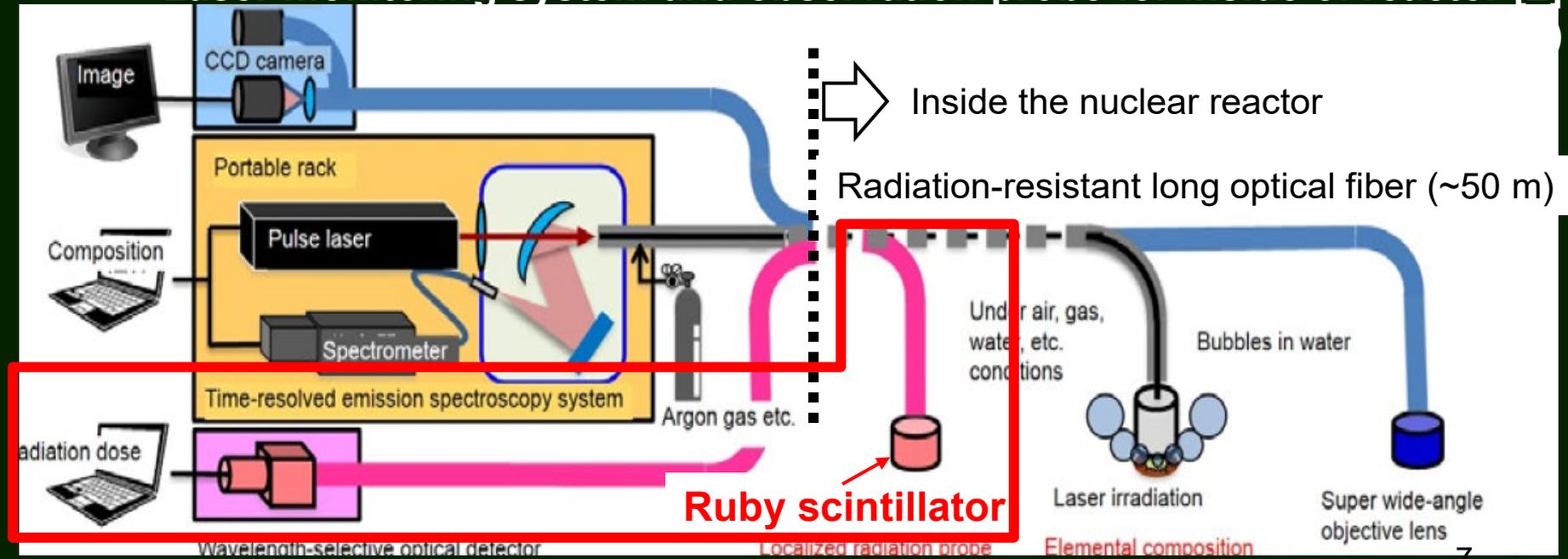
放射線計測素子として  
多くの場での利用

# 高線量モニタ



- ✓ 数100 Sv/h 以上の線量測定システムの構築が未達
- ✓ ルビー結晶+光ファイバーの組み合わせによる方式が、JAEAから提案<sup>[2]</sup>.

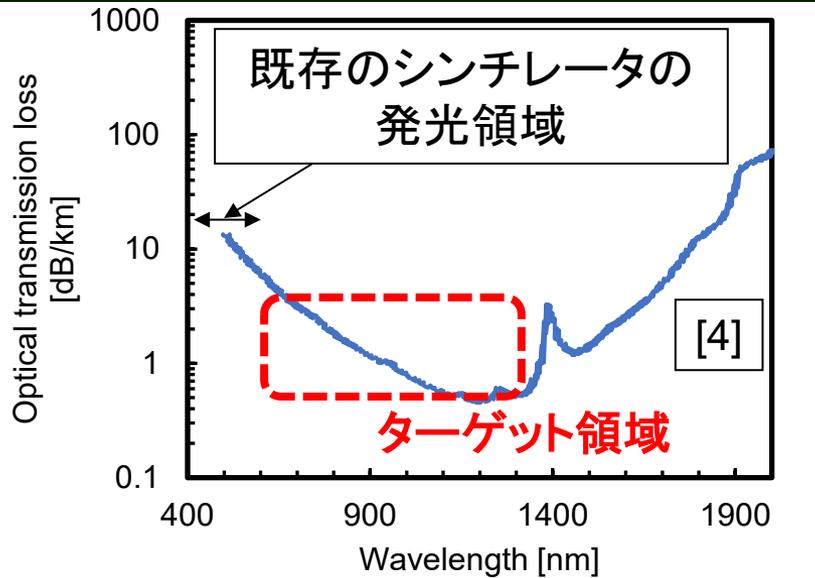
## Laser monitoring system and observation probe for inside of reactor [2]



# 開発事項(赤色発光シンチレータの必要性)

## 要求特性

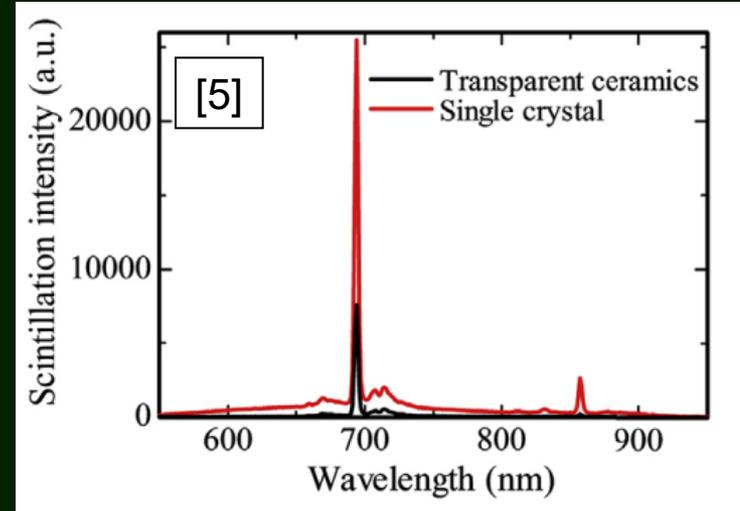
- 高いガンマ線阻止能  
→ ヨウ素:原子番号53、  
ハフニウム:同72
- 高発光量  
→ 狭いバンドギャップ
- 発光波長 600 ~ 1300 nm



光ファイバーの伝送損失  
ガンマ線ノイズ

## 候補材料(既存)

Ruby: Cr 0.4 at.% doped  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ <sup>[2]</sup>

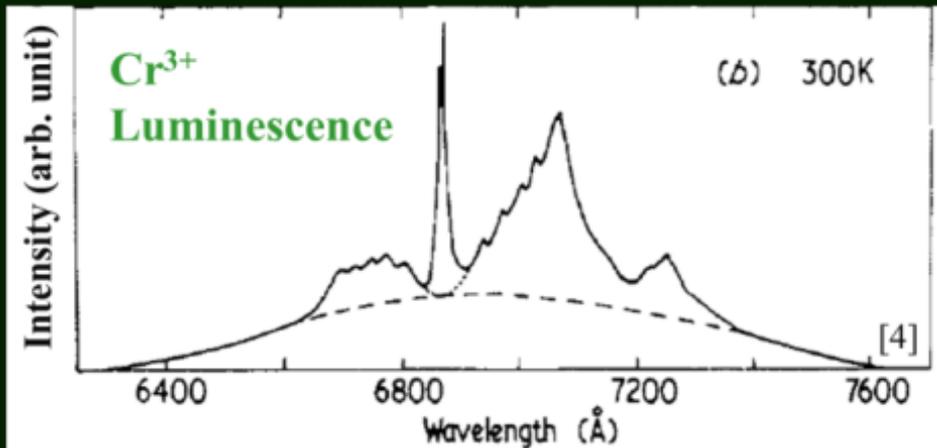


X-ray excited radioluminescence spectra of Cr: $\text{Al}_2\text{O}_3$  single crystal and transparent ceramics

- ✓ ルビーの発光 ~700 nm due to  $\text{Cr}^{3+}$ .
- ✓ 蛍光寿命 ~1 ms.
- ✓ 発光量は不十分

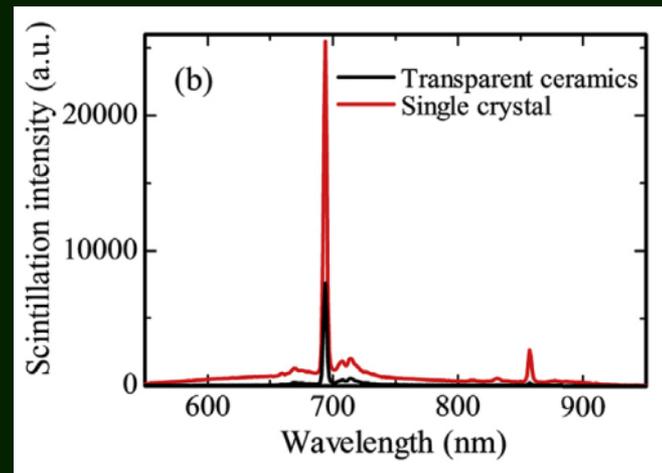
# Conventional red phosphor

Cr:YAG ( $Y_3Al_5O_{12}$ )

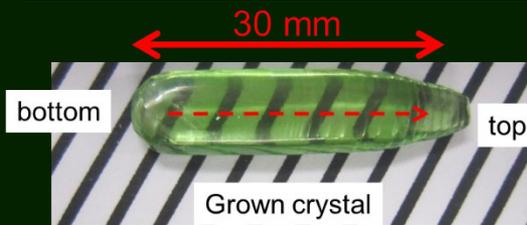


J.P.Hehir et al., J. Phys. C: Solid State Phys. 7 (1974) 2241

Ruby: Cr 0.4 at.% doped  $\alpha-Al_2O_3$



T. Kato et al., Rad. Meas., 107 (2017) 43

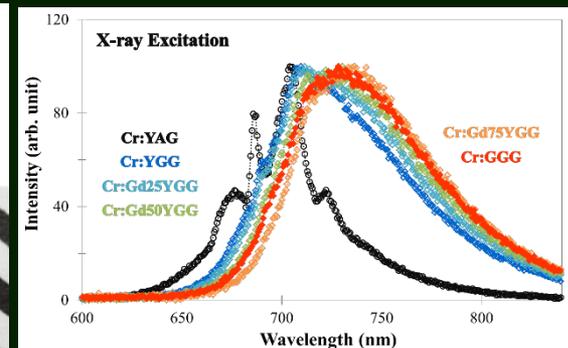
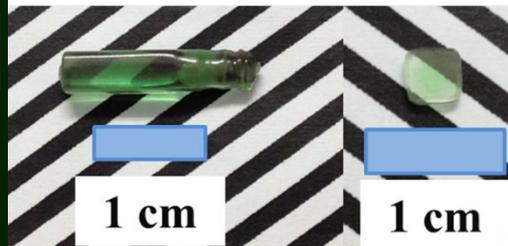


Cr:β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Nd:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Cr0.5mol%:  $Y_3Al_5O_{12}$   
(Cr:YAG)  
As-grown crystal      Polished Sample



- Suzuki et al. Opt. Mat. 36 (2014)1938
- Yamaji et al. IEEE TNS 61(2014)306
- Kurosawa et al. IEEE TNS 61(2014)316
- Kurosawa et al Rad. Mes.106 (2017) 187

# 目次

- 導入(高線量モニタの開発)
- シンチレータの製作
- Co-60線源を使った実証試験
- まとめ

# 材料設計

Y: 発光量

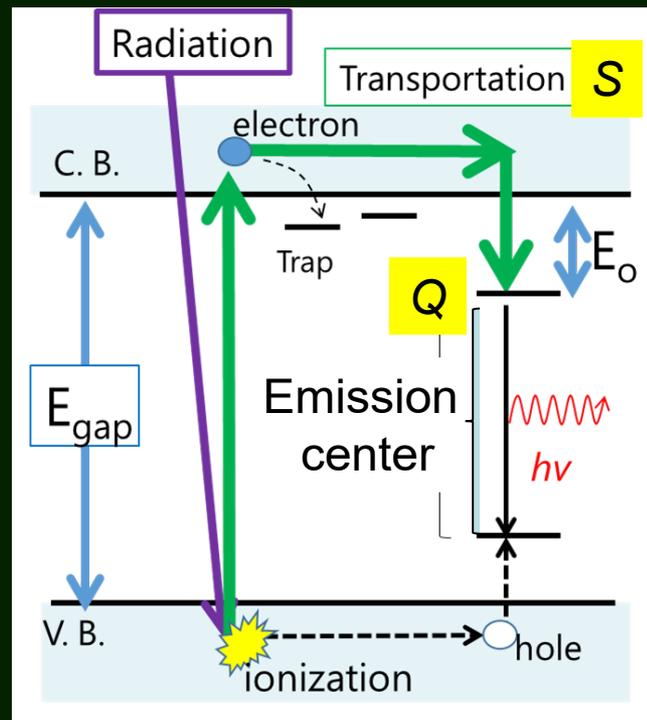
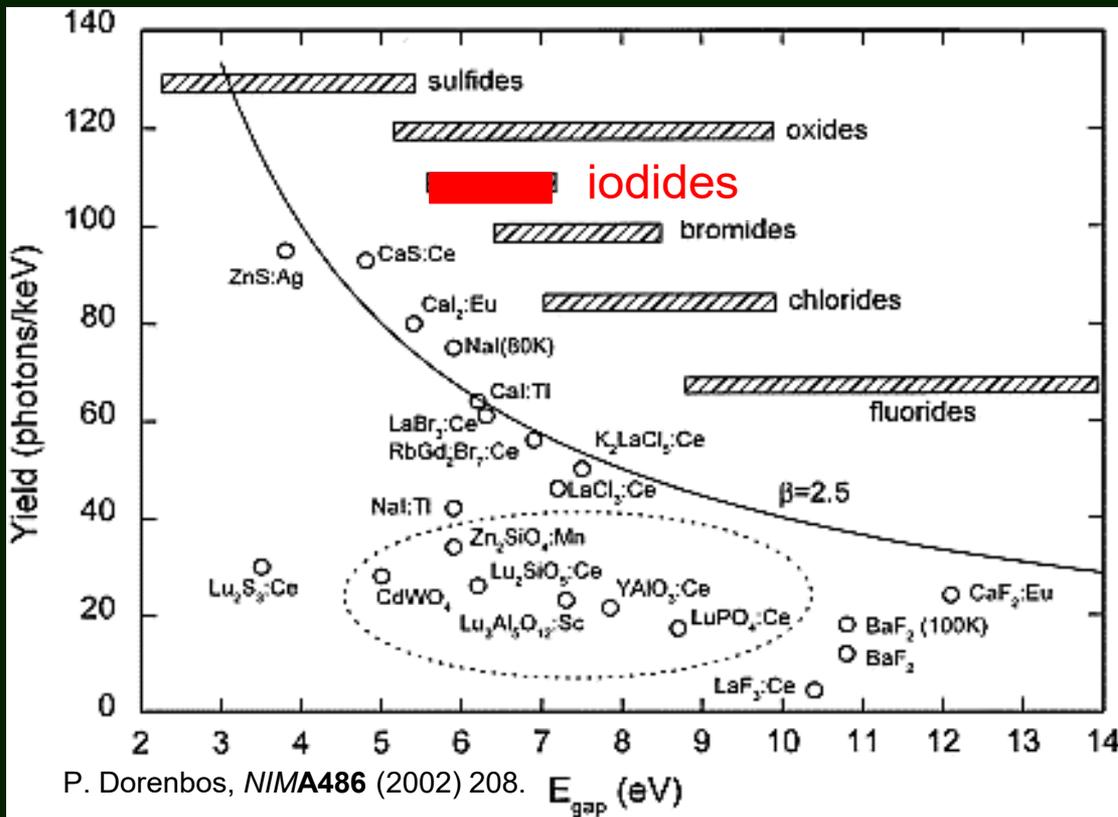
$E_\gamma$ : 吸収されるガンマ線のエネルギー

$E_g$ : バンドギャップエネルギー

S: 電子の輸送効率

Q: 発光中心での量子収率

$$Y = \frac{E_\gamma}{\beta E_g} S \cdot Q$$



# 材料設計

Y: 発光量

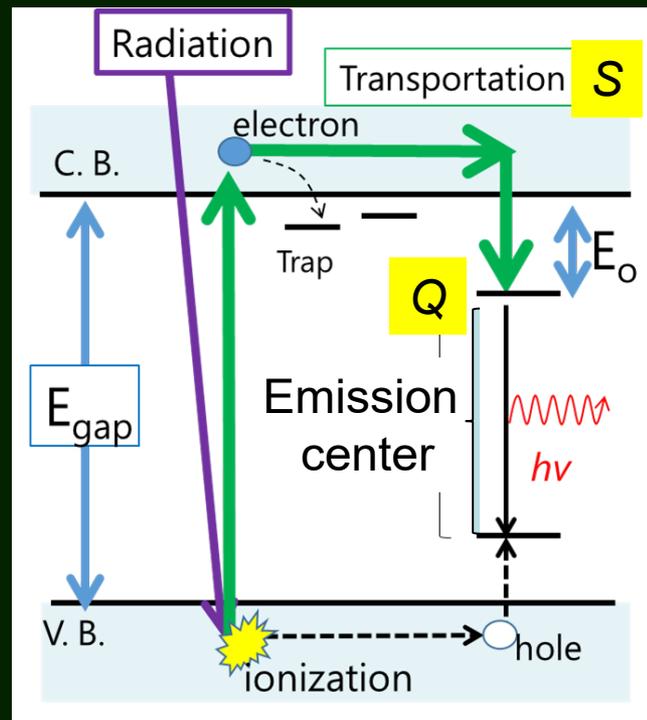
$E_\gamma$ : 吸収されるガンマ線のエネルギー

$E_g$ : バンドギャップエネルギー

S: 電子の輸送効率

Q: 発光中心での量子収率

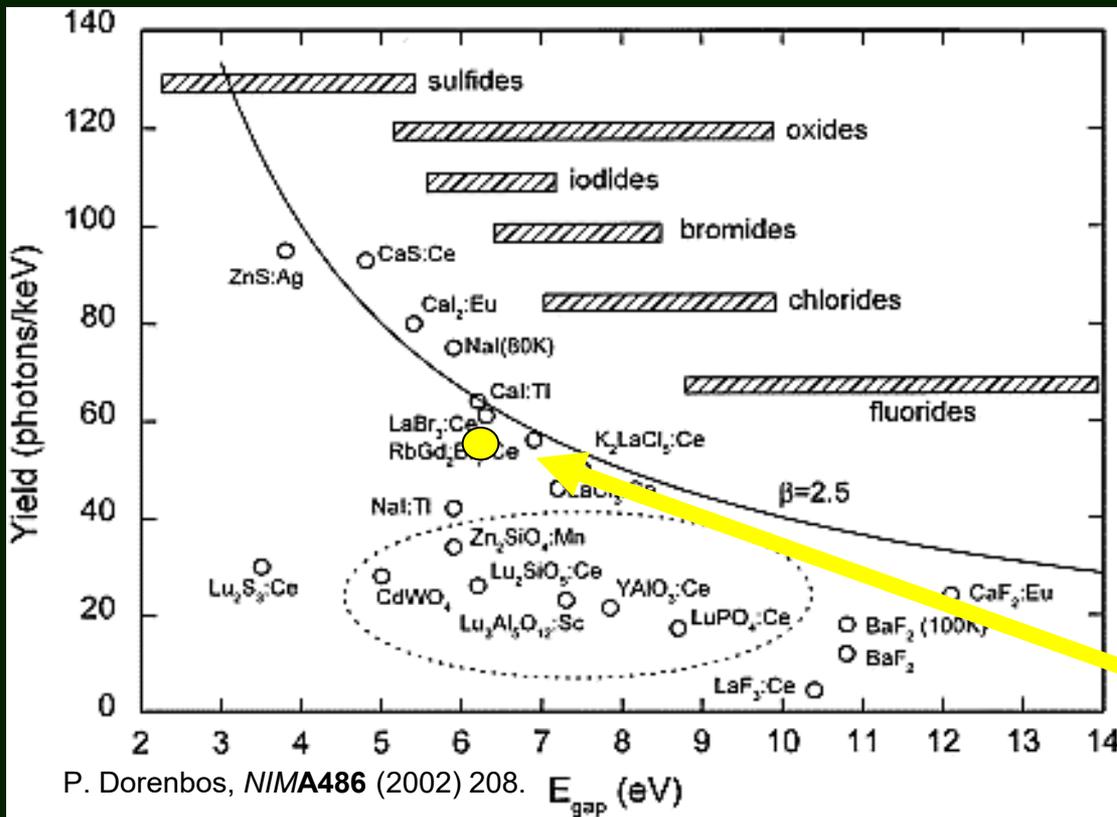
$$Y = \frac{E_\gamma}{\beta E_g} S \cdot Q$$



狭いバンド幅

→ **ヨウ化物**

$\text{Cs}_2\text{HfCl}_6$  が  
高い発光量

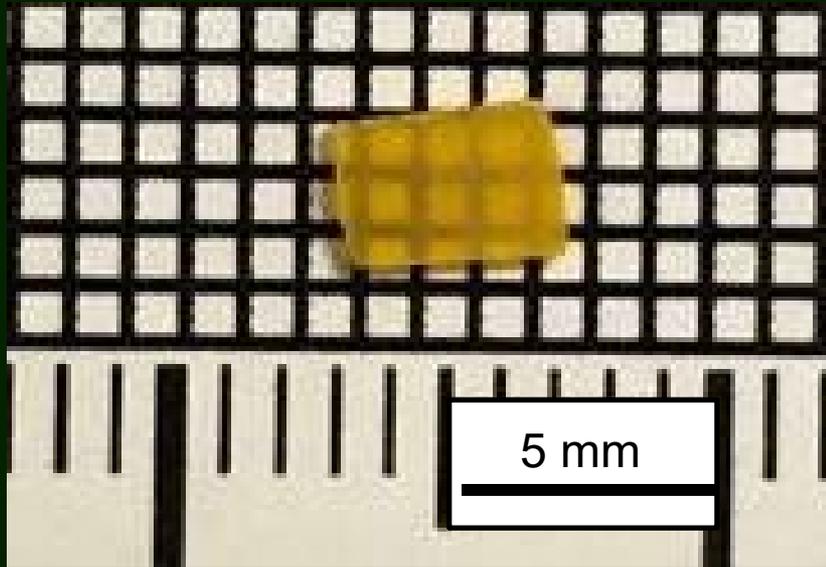


P. Dorenbos, *NIMA*486 (2002) 208.  $E_{gap}$  (eV)



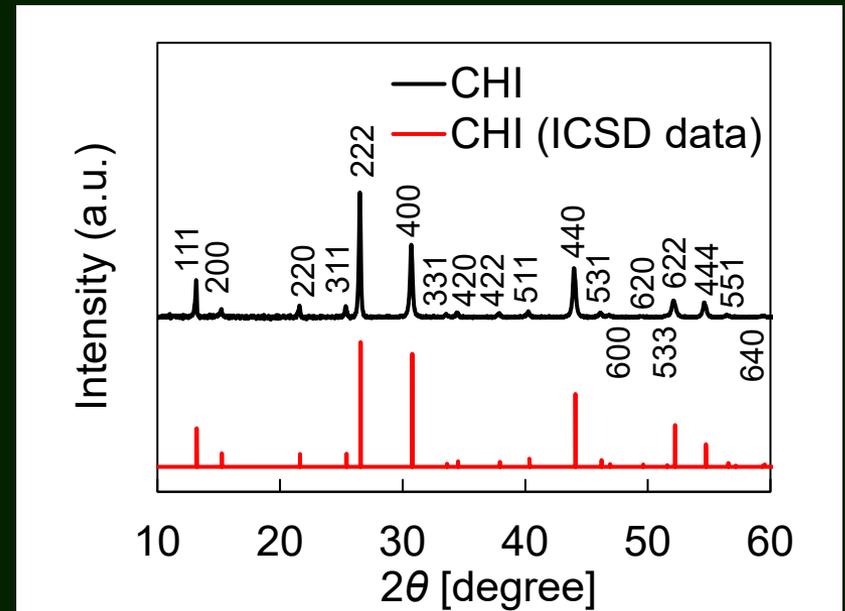
# $\text{Cs}_2\text{HfI}_6$ (CHI)の育成成果

## Specimen



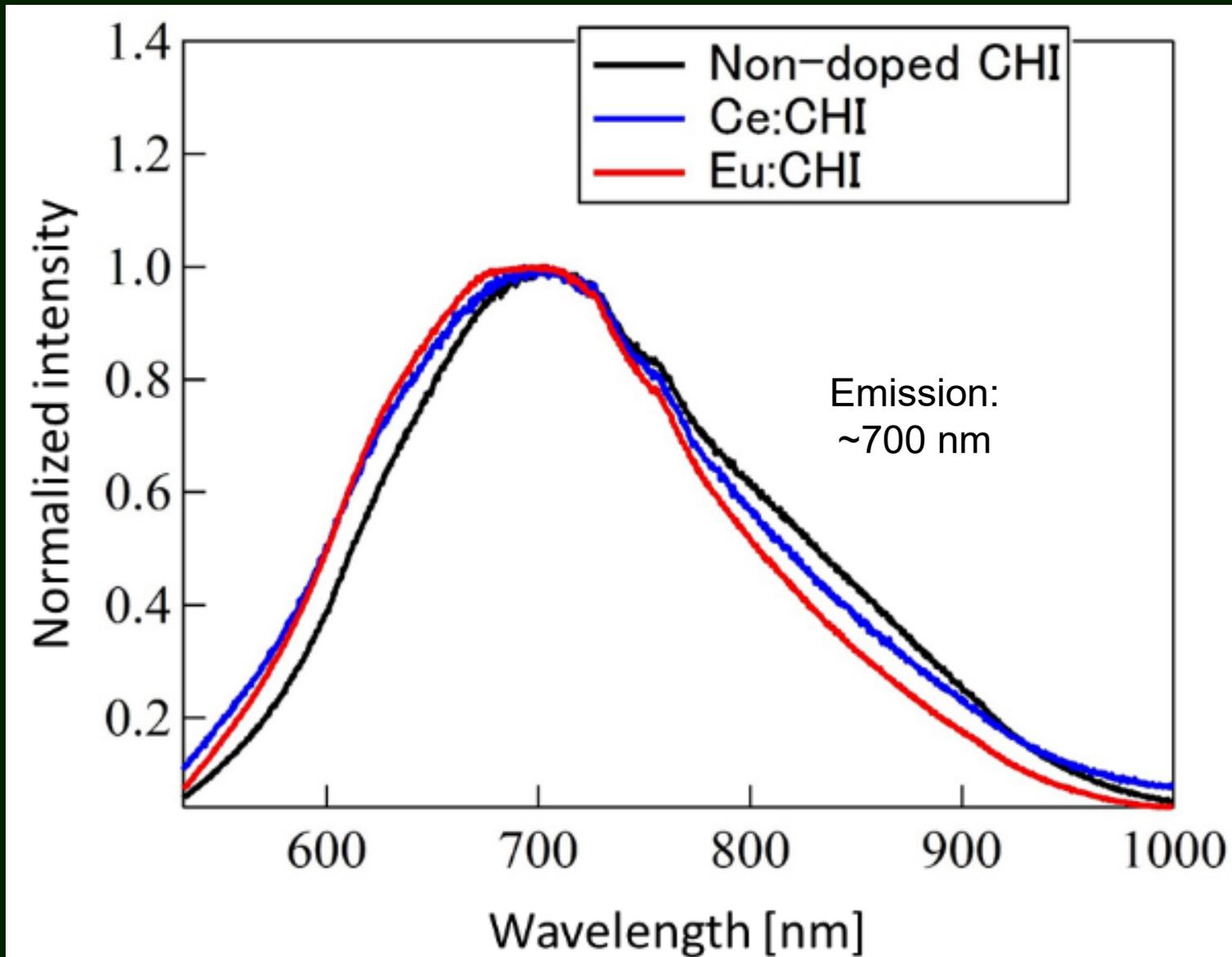
- ✓ クラックフリー結晶を取得
- ✓ サイズ:  $4 \times 2 \times t0.8 \text{ mm}^3$

## Powder XRD result



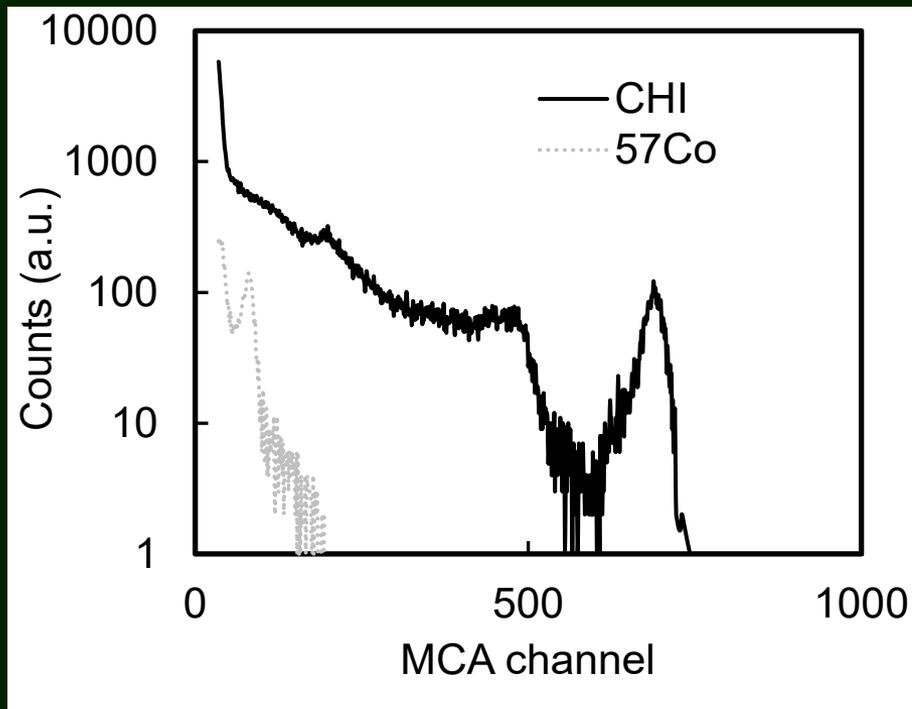
- ✓ 格子定数:  $11.64 \pm 0.01 \text{ \AA}$
- ✓ 空間群: Fm-3m
- ✓ 過去の粉末データCHI<sup>[8]</sup>と一致  
→ 異相なし

# $\text{Cs}_2\text{HfI}_6$ (CHI)の発光スペクトル

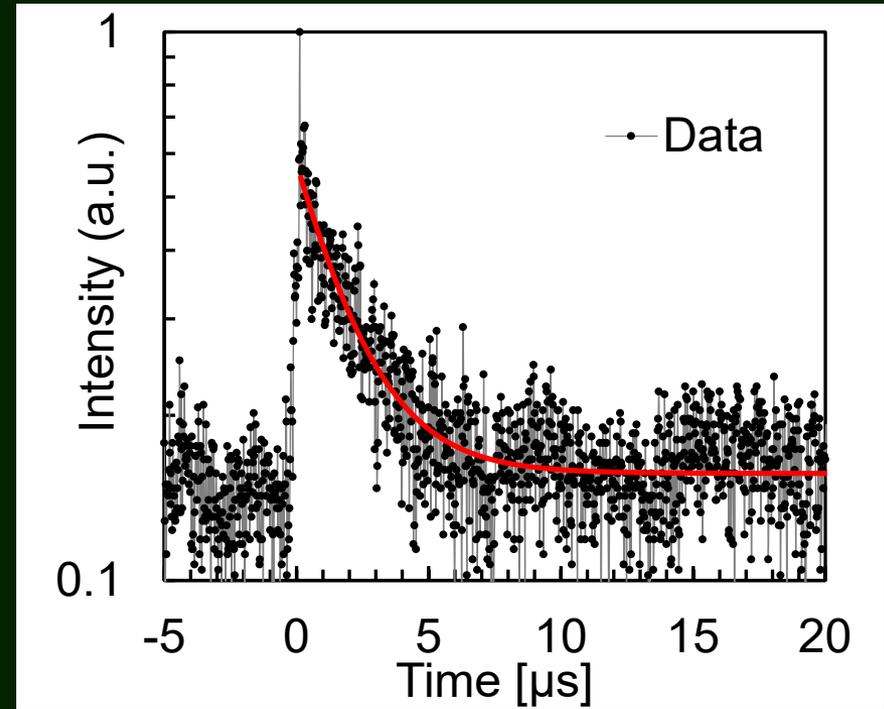


# シンチレーション特性

## Measured with the Si-APD



## Scintillation decay

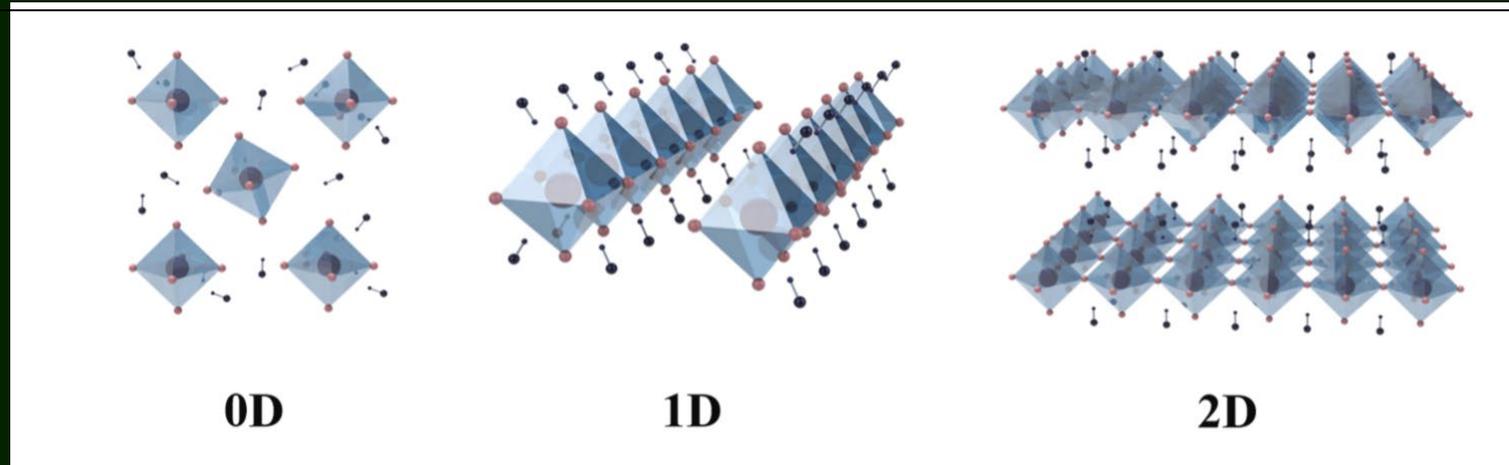


- ✓ Si-APD: Hamamatsu K.K., S8644-1010
- ✓ Si-APD quantum efficiency at 660 nm: ~85 %
- ✓ Light output: ~64,000 photons/MeV
- ✓ **Energy resolution: ~4.2 %**  
(FWHM@662keV)

- ✓ Scintillation decay was also evaluated by PMT. With single-exponential fitting, decay constant was estimated as  **$1.94 \pm 0.05 \mu\text{s}$**

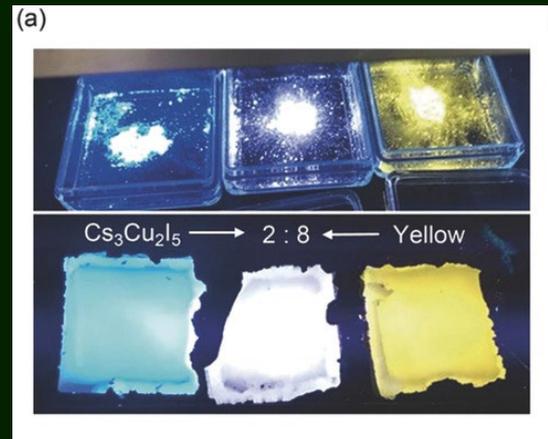
cf.) ruby : over 100  $\mu\text{s}$ .

# Low-Dimensional (halide perovskites)



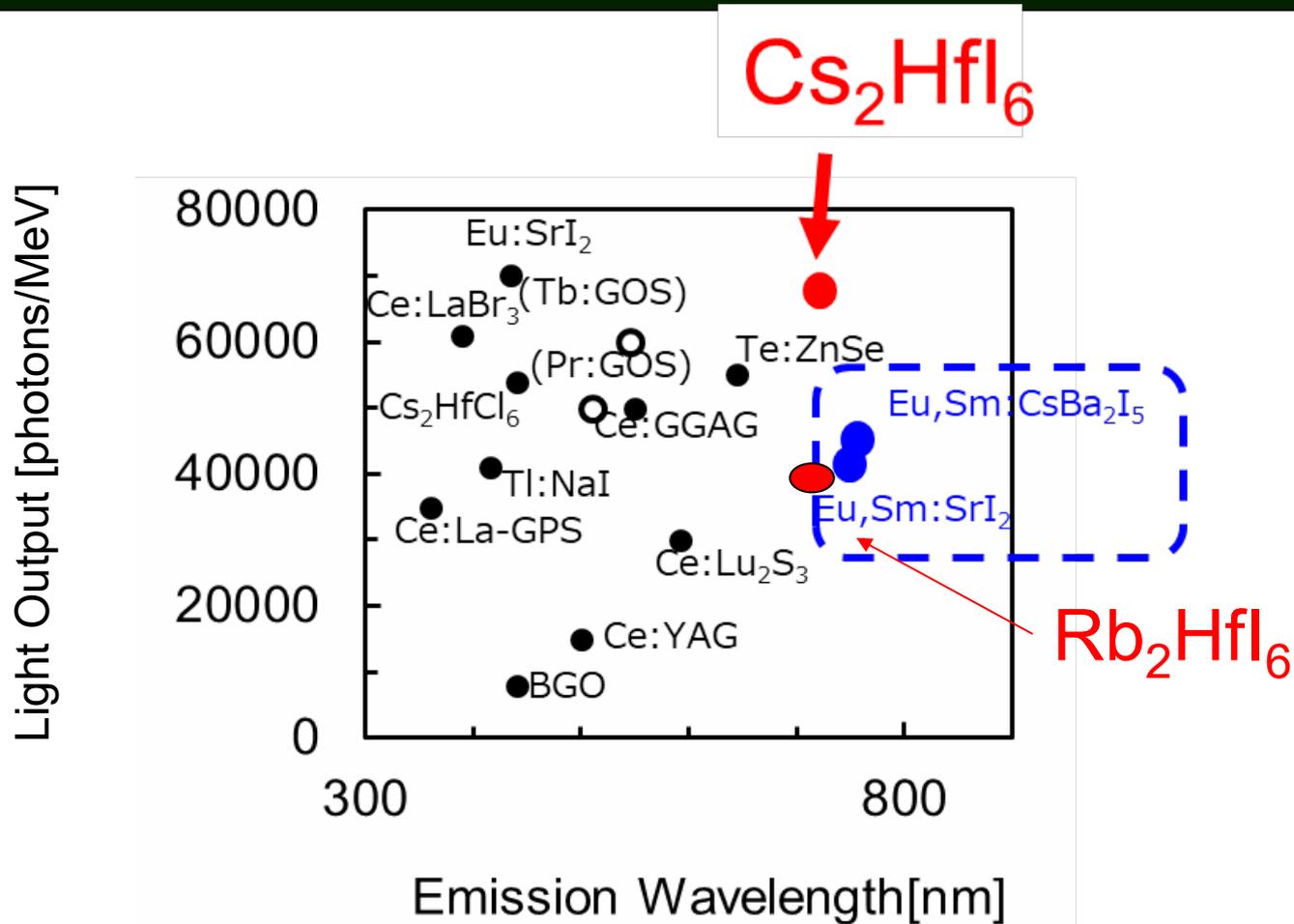
Seung Ju Kim et al., *Materials Today Electronics* **9** (2024), 100111

0-D halide materials :  
high-efficiency luminescence  
due to quantum confinement effect?  
Free excitations?  
or others?



T. Jun and H. Hosono et al *Adv. Mat.* **30**,  
(43) (2018)1804547

# 赤色シンチレータの現在地



[1] W. Wolszczak, K.W. Krämer, P. Dorenbos, CsBa<sub>2</sub>I<sub>5</sub>:Eu<sup>2+</sup>,Sm<sup>2+</sup>—The First High-Energy Resolution Black Scintillator for γ-Ray Spectroscopy, Phys. Status Solidi - Rapid Res. Lett. 1900158 (2019) 1–5. doi:10.1002/pssr.201900158.

[2] P. Dorenbos, The quest for high resolution γ-ray scintillators, Opt. Mater. X. 1 (2019) 100021. doi:10.1016/j.omx.2019.100021.

[3] R.H.P. Awater, M.S. Alekhin, D.A. Biner, K.W. Krämer, P. Dorenbos, Converting SrI<sub>2</sub>:Eu<sup>2+</sup> into a near infrared scintillator by Sm<sup>2+</sup> co-doping,

# 目次

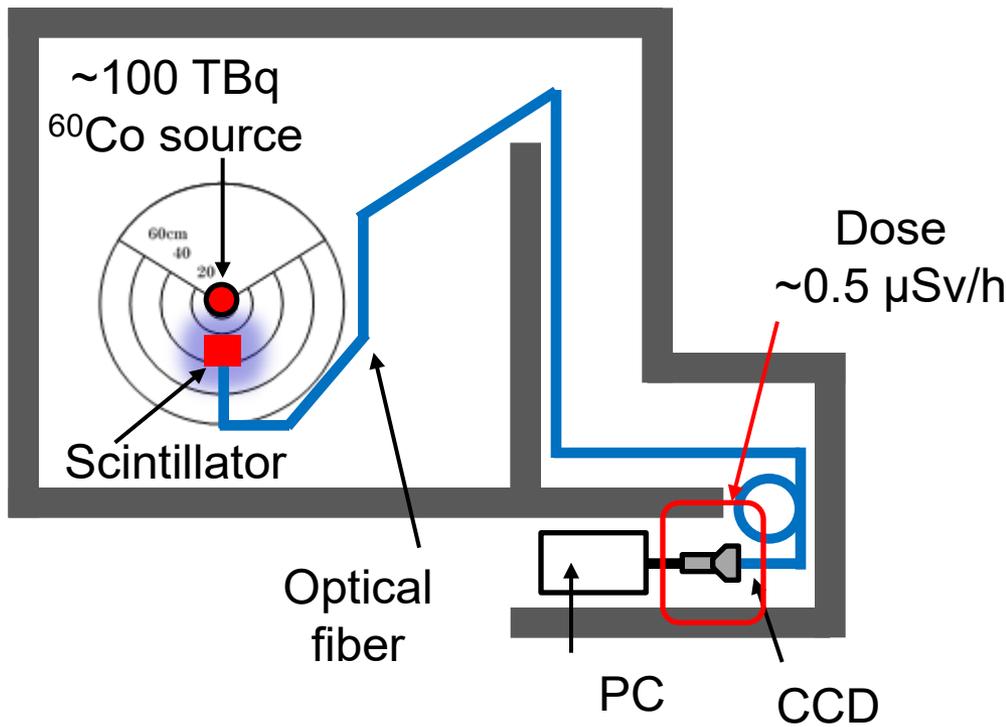
- 導入(高線量モニタの開発)
- シンチレータの製作
- Co-60線源を使った実証試験
- まとめ

# 100 TBq Co-60線源を用いた試験 : step2

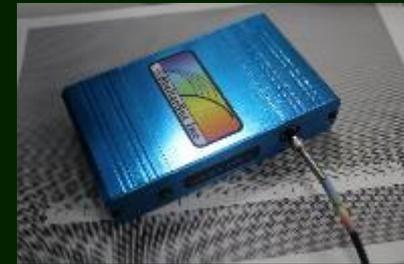
## Setup of $^{60}\text{Co}$ gamma-ray test

As a first step, we read the scintillation photons by current mode with a CCD.

@Kyoto University Institute  
for Integrated Radiation and  
Nuclear Science



- CCD w/ monochromator  
StellarNet, Blue-UVNb



- Optical fiber  
Fujikura Low-OH Type  
diameter: ~600  $\mu\text{m}$ ,  
length : 20 m

# 結果

## Dose vs. emission peak area

