

人体局所で放射線を計測する ウェアラブルデバイスの開発

群馬大学大学院理工学府

電子情報部門

准教授 加田 渉

発表概要

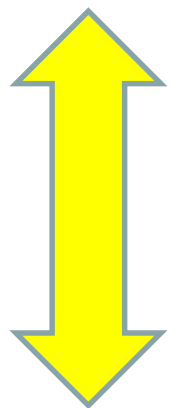
- 研究背景
技術の要点、従来技術比較、着想に至る展開
- 手法
積算型線量計とウェアラブルデバイス化
- 実施例 紹介
- 想定用途
- 国内外動向
- 実用化に向けた課題

発表技術の要点

被曝線量管理 における変更

✿ ICRP 2011年勧告で水晶体の線量限度が大幅に低下
閾値の見直し(5Gyから0.5 Gy)

✿ 既存の個人被ばく線量計は全身向けが基本で対応できず
⇒ **眼部水晶体に特化した線量計測が必要**



- ✿ **新規制では不均等被ばくが想定される従事者の管理が必須**
- ✿ **将来的には医学応用などでも線量管理が必須**
例 画像下診断治療(Interventional Radiology, IVR)
で症例が大幅に増大 → 従事者、大衆共に影響が大きい課題
- ✿ **上記例いずれにも安全性を担保する放射線計測手法開発が急務**

提案手法

- ・眼鏡型などウェアラブルな構造体上に積算型の線量計を実現
- ・繰り返し読み出しが可能な線量計による実装で統計精度を担保
- ・人体構造各所への不均等な線量付与に対応できる評価体系を実現

着想に至る展開

- 水晶体の線量限度⇒**大幅に厳密化[1]**

	現 行	ICRP Publ.118 IAEA BSS
線量限度	150mSv/年	100mSv/5年 1年最大50mSv
しきい線量	8Gy	0.5Gy

- これに対応する線量計は開発段階
- 原子炉、各種放射線場での過酷事故のみならず、一般業務でも従事者の積算被ばく線量管理に対応できる技術が必要
- 国内市場規模 15億円/年 程度、
海外市場規模150億円/年 程度？ [2]

[1]原子力規制委員会 第3回 放射線審議会 眼の水晶体の放射線防護検討部会
URL <http://www.nsr.go.jp/data/000205422.pdf> (accessed 23, March,2018)

[2] 経済産業省 平成 25 年度課題解決型医療機器等開発事業「晩発性放射線障害予防のための X 線線量計の開発」
URL https://www.med-device.jp/pdf/development/vp/H24-050_25.pdf (accessed 27, March,2018)

着想に至る展開

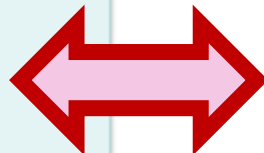
- 現行技術

⇒ 新規市場のため新規開拓分野

- 先行技術

⇒ フランス IRSN が開発した
TLD型 DOSIRS 線量計

(Ref. Y. Haga, *Scientific Reports*
7, 569 (2017) doi:10.1038/s41598-017-00556-3)



提案技術

繰り返し読み出しが可能な
RPL等の原理を活用した
水晶体向け線量計

- 顔部のより広範囲の領域をモニタ
- 放射線計測コードなどを活用し、ウェアラブルデバイスの出力から人体各所の線量付与を評価可能とする



図. 3Dプリンタで出力したメガネ型ガラス線量計ホルダプロトタイプの場合

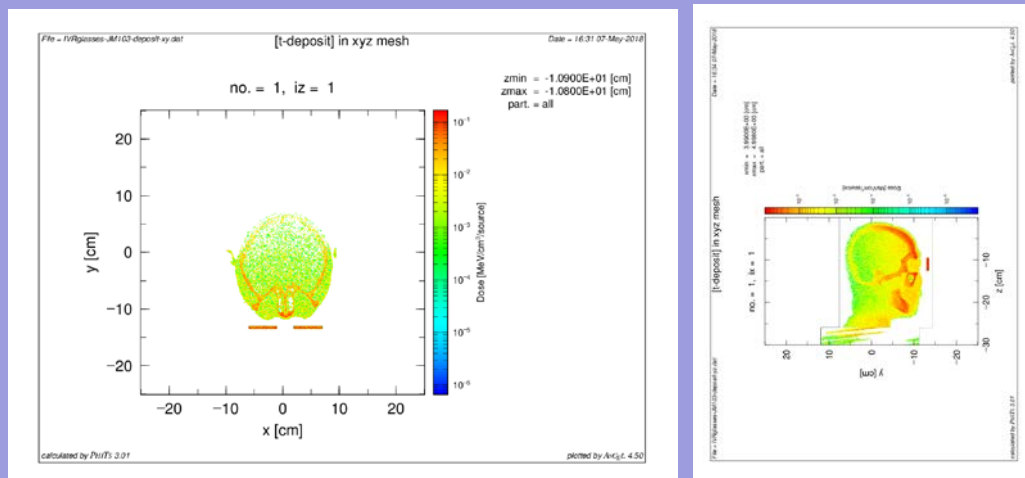


図. PHITSコードによる当該素子の3次元線量計算例

着想に至る展開

個人被曝線量計の線量計測原理を
応用し、人体各所の局所被ばく線量計測へ展開

既存の線量計材料は改質により小型化や構造加工が可能なことは既知

3-Dプリンタなどと組み合わせ
ウェアラブルデバイス構造に
線量計を形成

線量計測原理となる
材料の改質により計測感度や
手法を多様化

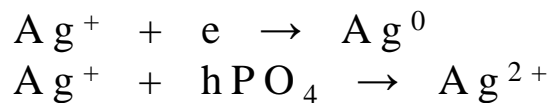
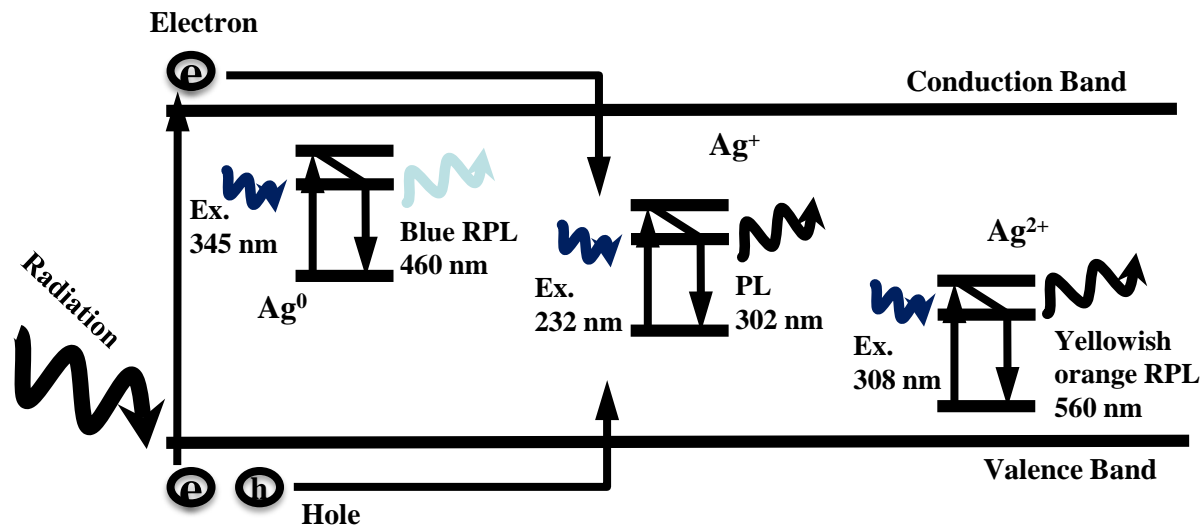
PHITSなどの放射線量
評価コードの演算を利用
することで人体各所の線
量評価が可能

本技術

ウェアラブルな放射線線量計測デバイスの実現による
不均等な放射線被曝に対応できるセンシングデバイスの実現

既存線量計材料の1種： 銀活性リン酸塩ガラスによる放射線計測

積算型線量計のうち
光読み出しが可能な材料種は
眼鏡などの構造体に組み込みが容易
→本実施例では
これらの線量計の一種の
リン酸塩RPLガラス線量計を
例に紹介



(電子捕獲)
(正孔捕獲)

参考文献

- [3] 宮本ら、放射線化学、Vol. 94(2012)47-52.
- [4] 石川ら、JAERI-Tech 94-034(1994).

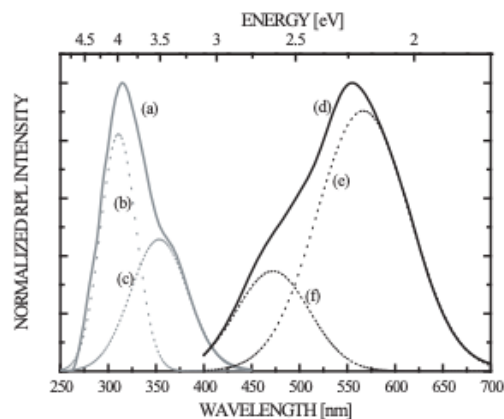


図. 典型的なRPLガラス
線量計のPLEスペクトル^[3]

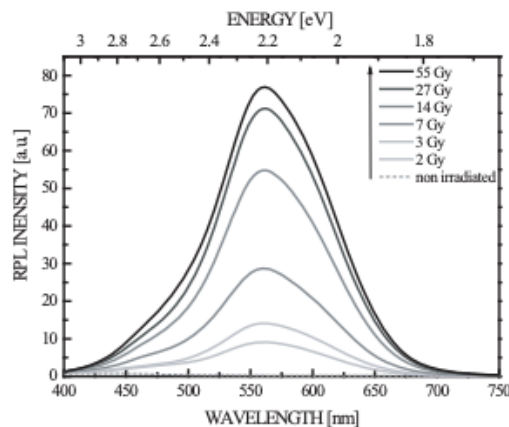


図. 典型的なRPLガラス
RPLスペクトル^[3]

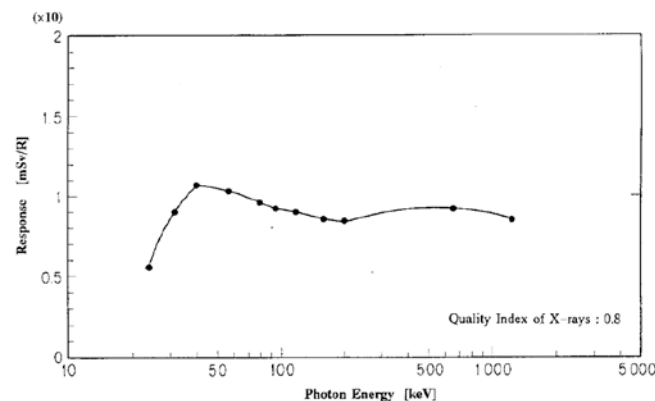


図. 典型的RPLガラスのエ
ネルギー依存性の例^[4]

簡便なプロセスによる線量計の形成

放射線に当たると特定の発光を生じさせる
ガラス材料を工業用材料から作成

ごく低コストなプロセスで、光読み出しで
放射線量を測定できる素子が量産

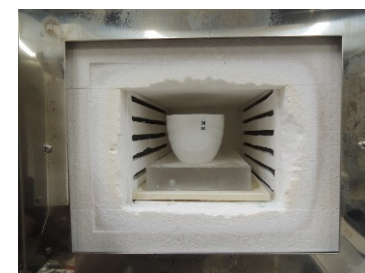
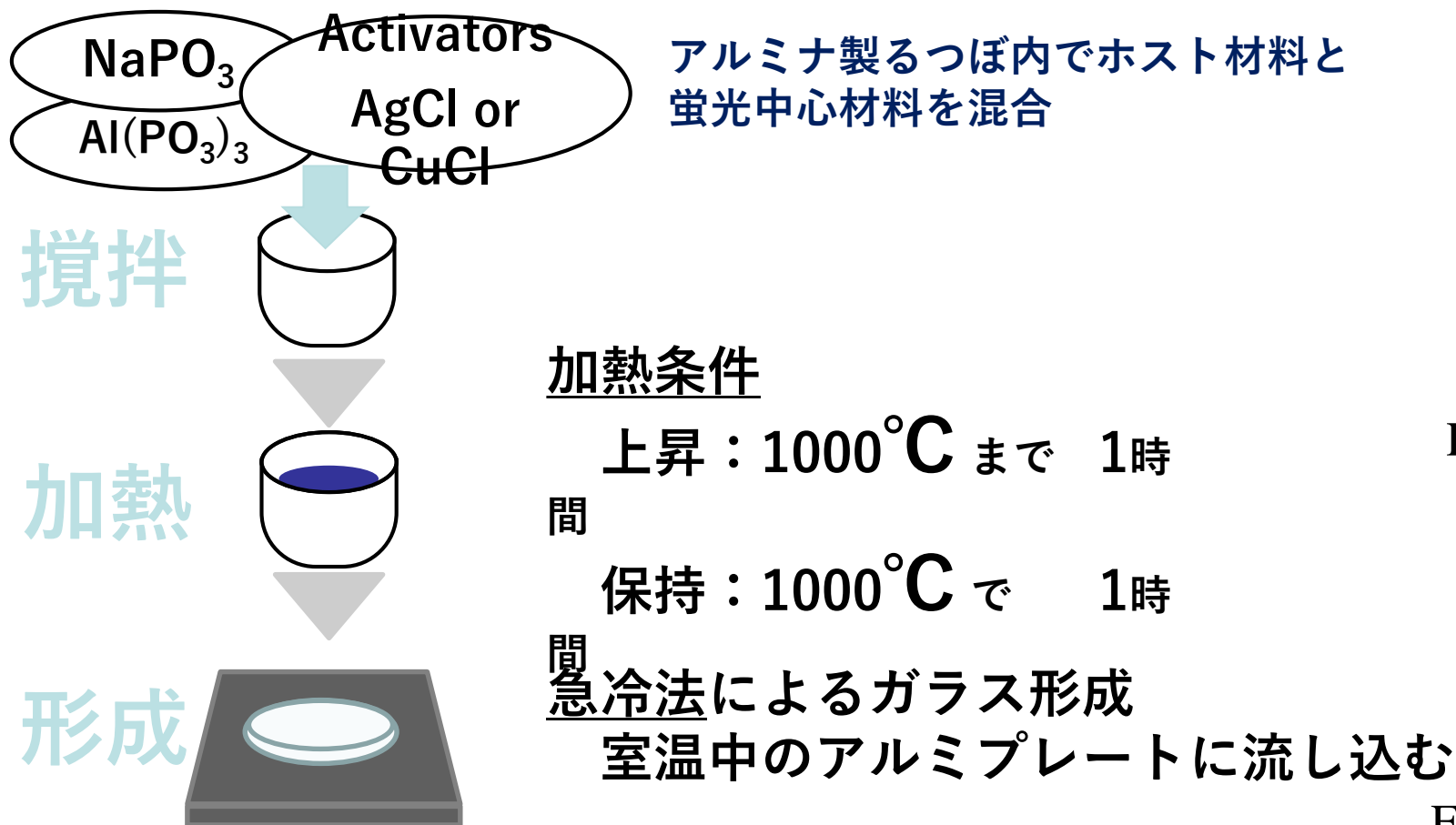


Fig. 電気炉内のるつぼ



Fig. 形成された
ガラス線量計素子

添加元素による線量計機能の変更

複数の元素種(Ag, Cu, and Mn)を活性中心として、
応答感度や放射線照射時に反応が可能な素子を実現



Fig. Optical photo of PGD activated
(a) Ag, (b) Cu, (c) Mn

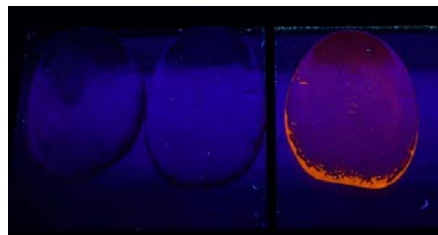


Fig. Optical photo of PGD
excited by UV (365 nm)

希土類添加では放射線強度をその場で
評価可能な素子が実現

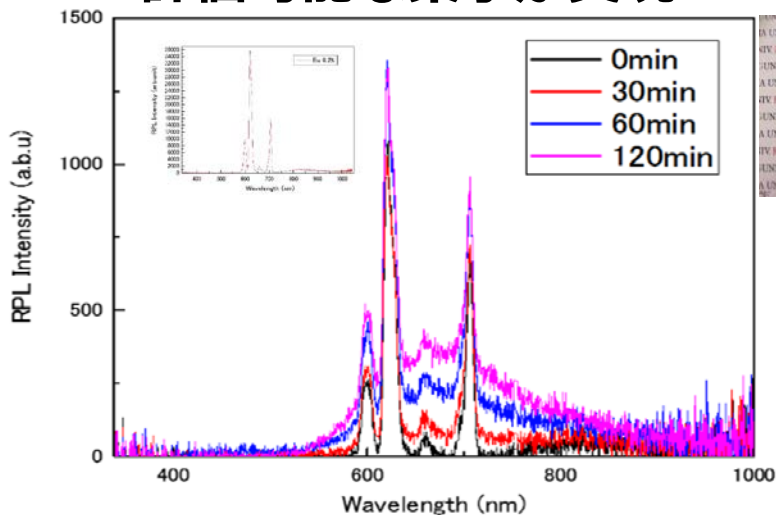


図. X線照射時のAg-Eu添加ガラスの
RPL応答スペクトルの例.

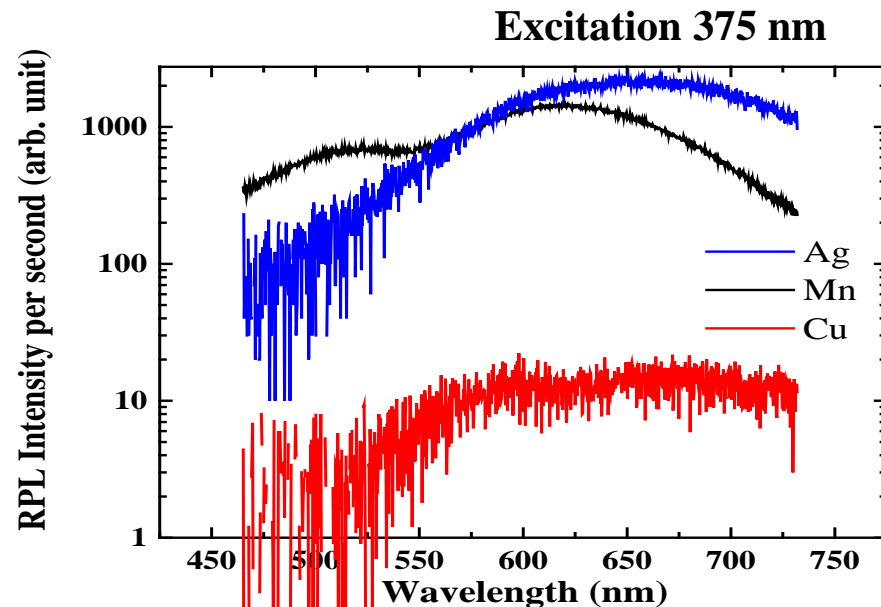


図. X線照射時の銀、銅、ならびにマンガン
添加RPLガラスの応答スペクトルの例.

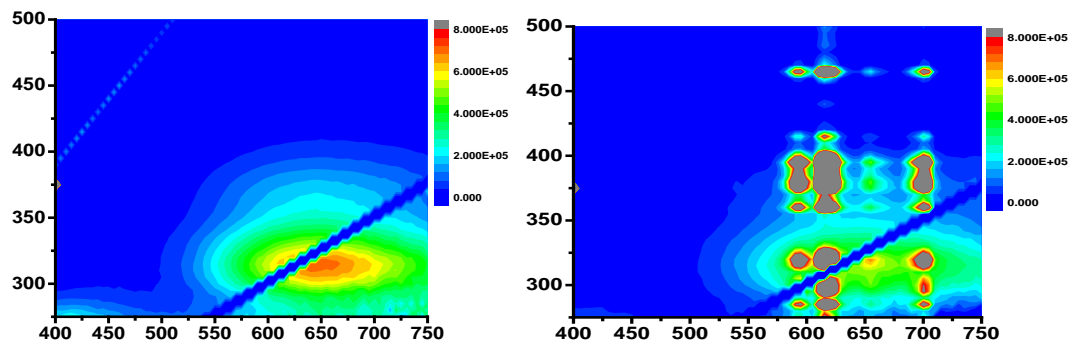
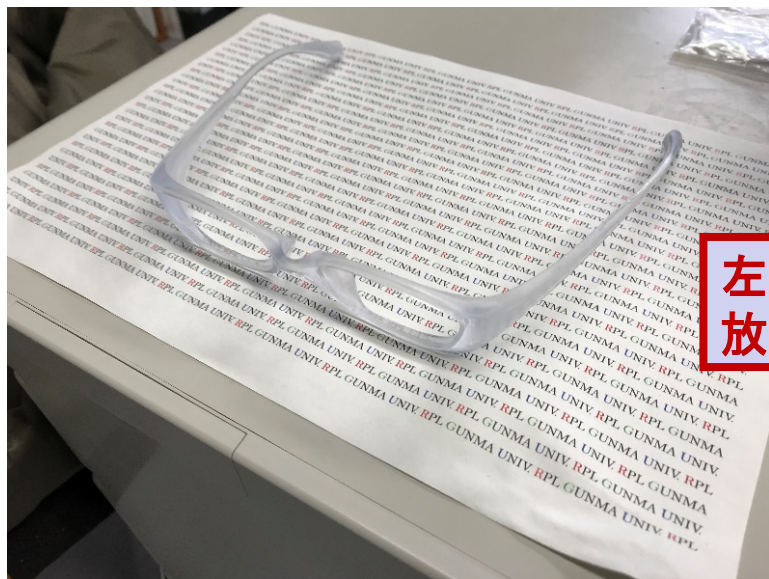


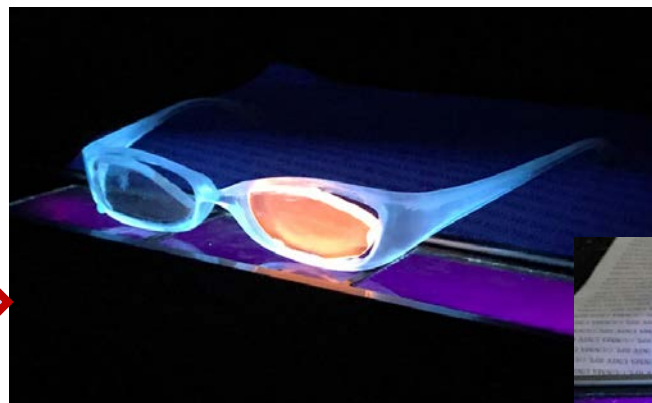
図. X線照射時のAg単体とAg-Eu共添加時の
PLEマップにおけるRPL発現の比較.

積算型線量計素子のウェアラブル化

第一世代のプロトタイプでは3-Dプリンタを利用して試作
線量計構造を眼鏡型デバイスのレンズ部分に組み込み製作
一部または全部の領域に積算型に反応する元素を添加元素として分布させた



左目側のみ
放射線照射



放射線の暴露後に特定波長の
励起光の入射により線量読出

放射線
照射
(本例ではマイクロ
フォーカスX線)

紫外線
照射下
線量読出

左右の
レンズ部分
での線量分布を
算出

PHITS
演算により
各人体部位の
線量分布を算出

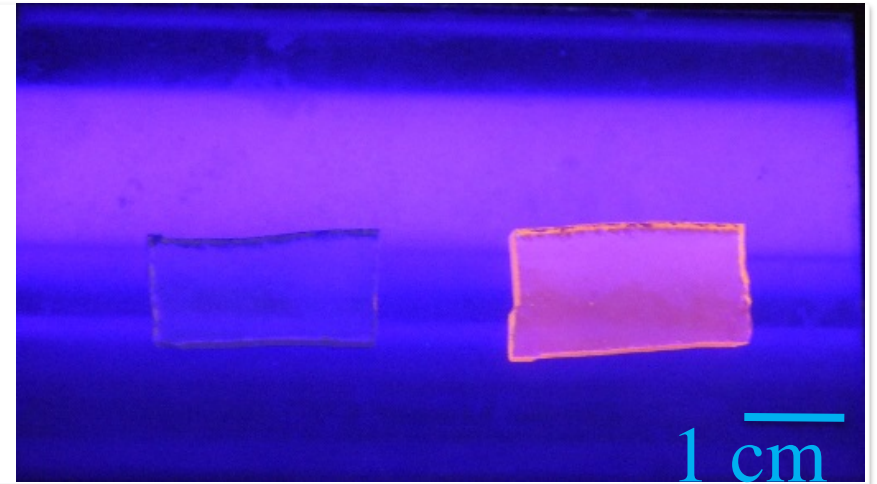
実施例 : プロトタイプによる計測例

- 自作RPL:Agガラスの紫外線励起下

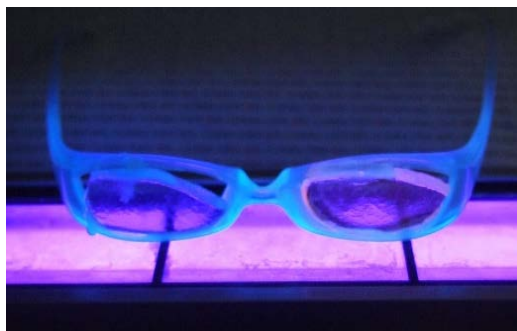
左 : X線未照射

右 : X線照射

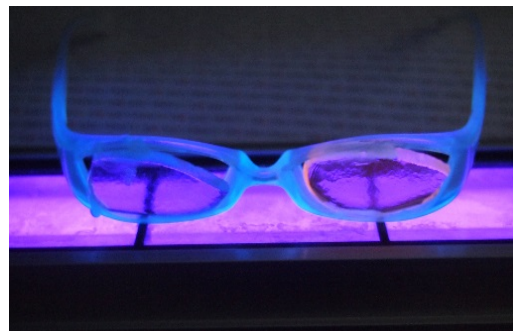
→ X線照射後の試料がオレンジ色に蛍光



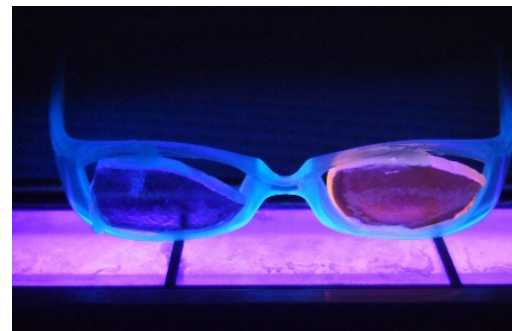
- レンズ部分をRPLガラスに置き換えた放射線応答性のあるメガネを作製 (左のレンズのみX線を照射)



10 min



20 min



30 min

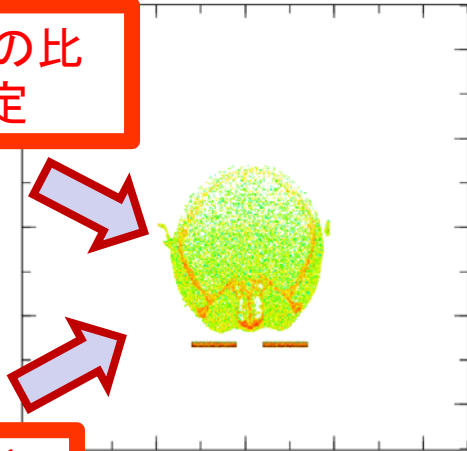


60 min

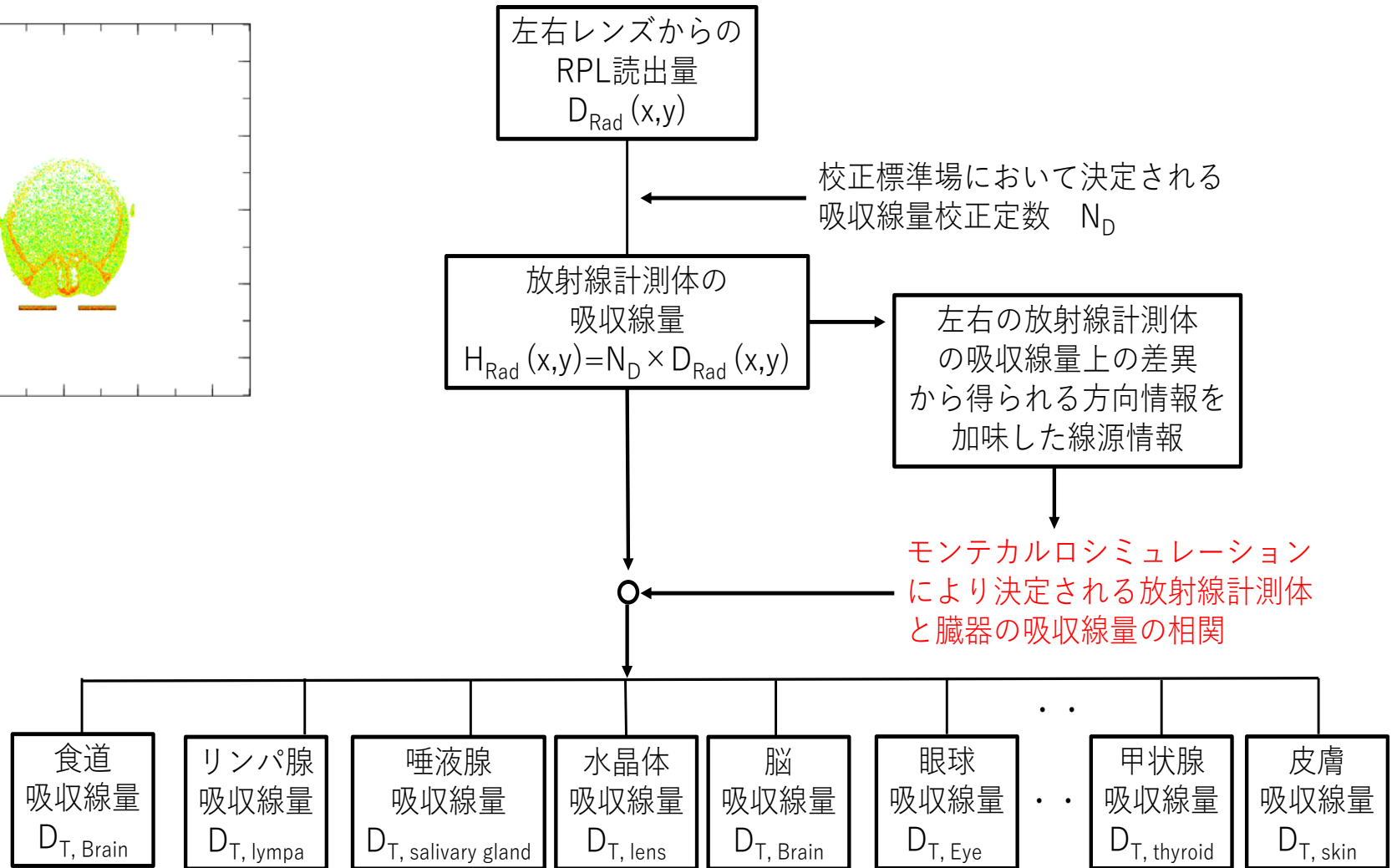
水晶体への放射線の影響を2次元的に観測することが可能

実施例： 読取線量からの各組織付与線量評価

頭部の線量の比率を演算推定



デバイス部分



想定される用途

- 本技術により、人体の顔部特に水晶体に放射線が照射される環境下での局所被曝線量の管理が実現する。
これにより

 - 1)原子力施設の過酷事故
 - 2)放射線診断下の医療措置

等において従事者の安全管理の最適化が図れる。
- 積算型線量計測が可能であり、従事者以外の公衆の安全管理にも転用可能である。各種の放射線を利用した診断、治療における人体各所の臓器の防護状況、線量付与状況の管理も可能となる。

国内外動向

主要国	開発状況
EU (仏国)	<ul style="list-style-type: none"> ● フランスIRSNにおいて1990年代開発のDOSIRS線量計 <ul style="list-style-type: none"> ● これに対応する知財、論文は限定的 ● それ以外の研究開発は現状十分に公開されず？
日本国内	<ul style="list-style-type: none"> ● 東北大学他医療応用系においてDOSIRS線量計の治験評価中。 ● 厚生労働省労働基準局、内閣府中心に眼部水晶体の被ばく限度等の見直しの検討

■ 実用化に向けた課題

- プロトタイプデバイスから試作品開発への移行：
防護眼鏡レンズ等への線量計層付帯など、より
ユーザーが利用しやすい形態でのデバイス開発
や原理実証(feasibility study)を検討中。
- 読み取り装置開発。技術汎用化には、小型かつ
精度の高い読み取り装置製作の必要あり。
- 今後、国内の γ 線標準場での試験による値づけ
や、 β 線等を含めた不均等な照射条件での感度
評価・校正試験を行うことも重要な課題

企業への期待

- 放射線防護眼鏡や局所被ばく線量管理におけるノウハウを持つ、企業との共同研究を希望。
- また、光学計測読取装置の小型化や汎用化を展開可能な企業との連携を希望。
- 将来的に局所不均等な被曝を管理する必要のある分野(原子力産業、医療分野)におけるマーケットを保有する・参画予定企業において本技術が有用となる可能性がある。

新技術の特徴まとめ

- 水晶体防護を目的に、全身被曝線量管理素子を改質しウェアラブルな放射線計測デバイスを実現する技術。
- 2次元的な構造を有する積算型線量計構造を眼部に配置することで従来技術より線量繰り返し読み出し性能が向上し、入射する放射線分布の計測も実現。
- 放射線輸送計算による演算を併用することで人体各所部位の放射線線量付与を計算。両目の読み出し結果から推定が可能。
- 緊急時の放射線被曝量の増大を回避するため、積算的な放射線計測材料に即発的な応答を有する素子も実現可能

■ 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 放射線計測体及び放射線被曝量計測装置
- 出願番号 : PCT/JP2019/032227
- 出願人 : 群馬大学、量子科学技術研究開発機構
- 発明者 : 加田 渉(代表発明者)、
酒井 真理、三浦 健太、花泉 修、
古場 裕介(量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所)

お問い合わせ先

群馬大学

産学連携・知的財産活用センター

TEL 0277-30-1171~1175

FAX 0277-30-1178

e-mail tlo@ml.gunma-u.ac.jp