

熱蛍光素子に蓄積された 放射線量測定方法の新たな可能性

東京都立大学

人間健康科学研究科
教授

放射線科学域
眞正 浄光

2023年6月22日

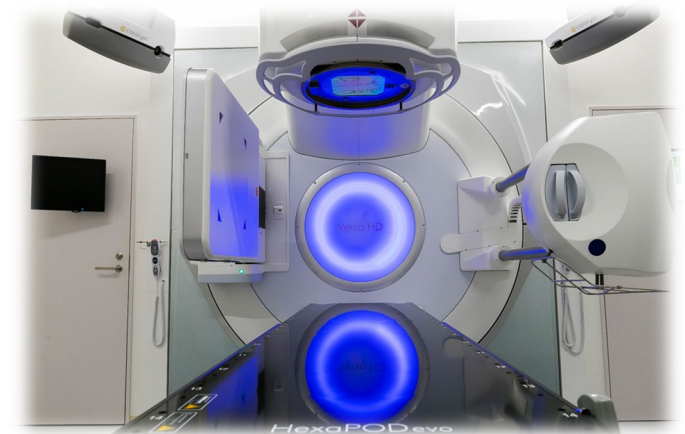
研究背景①

医療分野における放射線管理には、従来から「**熱蛍光線量計**」や「**光刺激蛍光線量計**」、「**蛍光ガラス線量計**」などのドシメータが用いられている。

“放射線治療技術の進展”や“放射線被ばく限度の見直し”に伴い、近年では、これまで以上に高感度で高精度な線量測定に基づいた放射線管理が求められている。

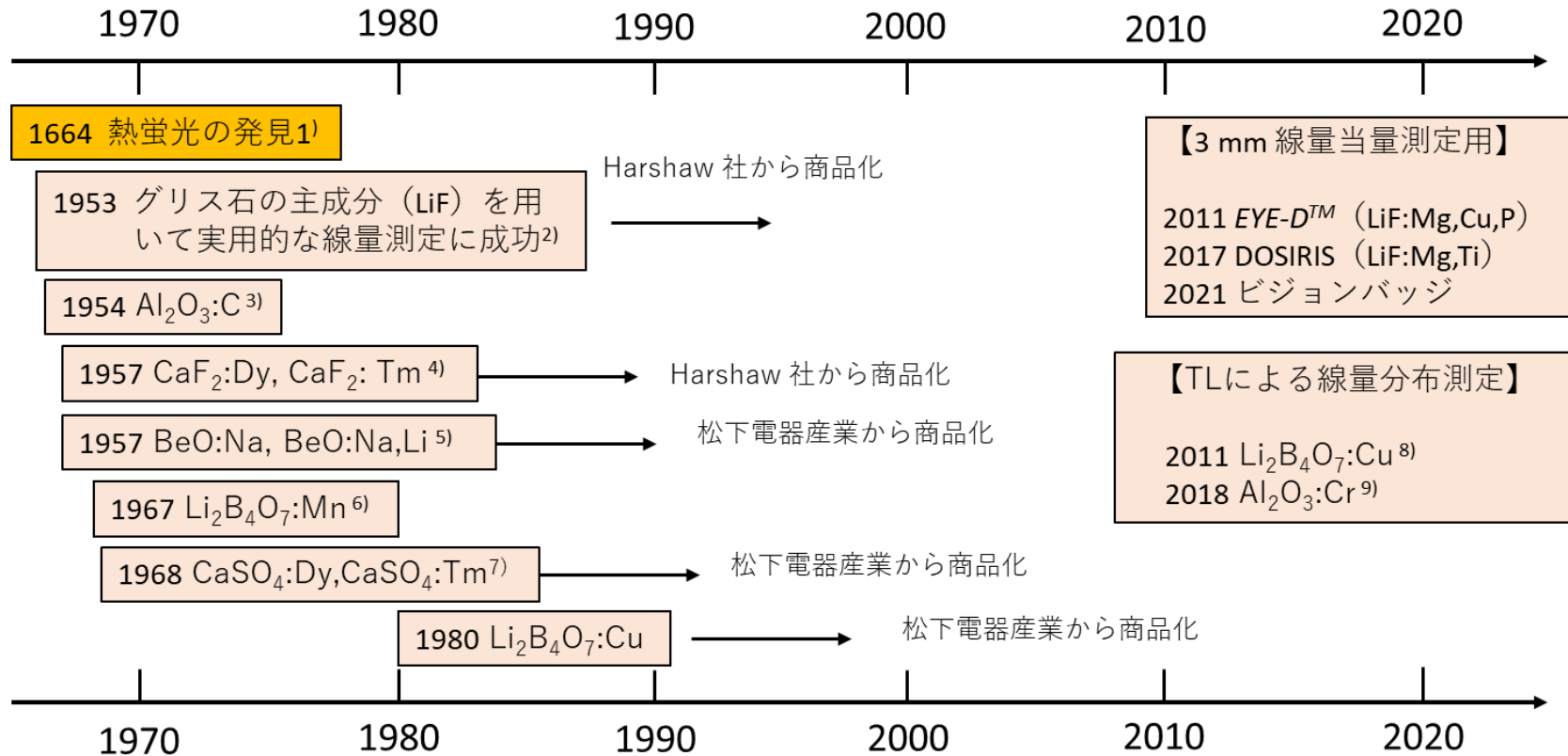


X線CT



放射線治療装置

研究背景②



1) Boyle,R., Experiments and Considerations Touching Colours. Royal Society,413(1664).
 2) Daniels, F., Boyd, C.A. and Saunders, D. F., Science117,343(1953)
 3) Kossel,W., Mayer,U. and Wolf,H.C., Naturwiss.41,209(1954)
 4) Ginther,R.J.and Kirk,R.D.,J.Electrochem.Soc.104,365(1957)
 5) Moore,L.E., J.Phys. Chem. 61,636(1957)

6) Nakajima T, et al., J Nucl Tech, 4 (8), 446-447(1967)
 7) T. Yamashita, N. Nada, Health Physics Pergamon Press. 21, 295 (1971)
 8) Shinsho K, et al., Radiat Meas, 46 (2011) 1921-1925.
 9) Shinsho K, et al., Sensors and Materials, Vol. 30, No. 7 (2018) 1591-1598

熱蛍光材料ならびに測定システムは、1990年以前に確立され、現在利用されている熱蛍光素子の種類や測定システムも30年以上前のものである。

従来技術とその問題点

現在、利用されている熱蛍光素子には、「LiF:Mg,Cu,P」や「LiF:Mg,Ti」、「CaSO₄:Tm」、「Al₂O₃:Cr」等があるが、

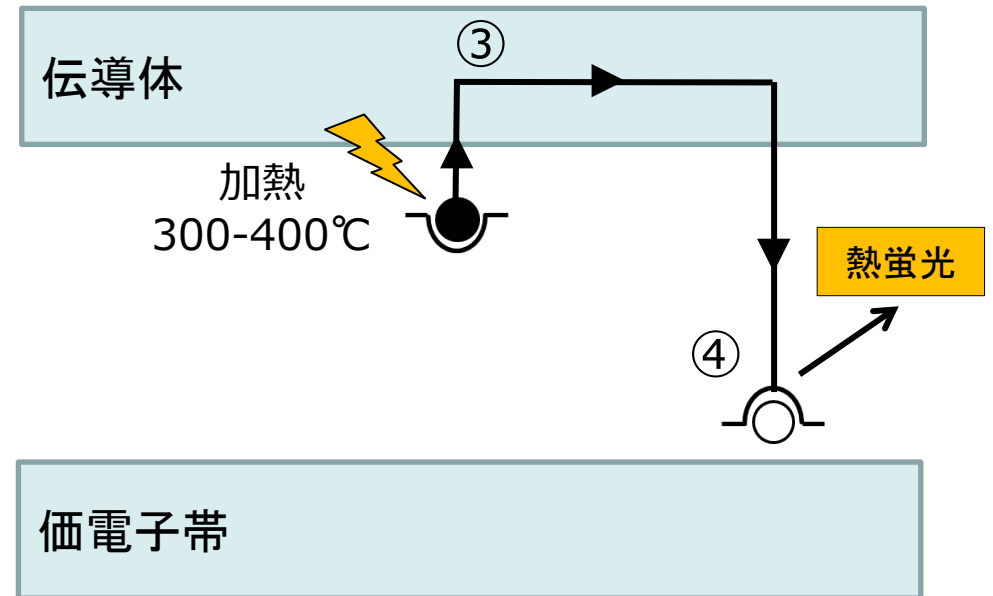
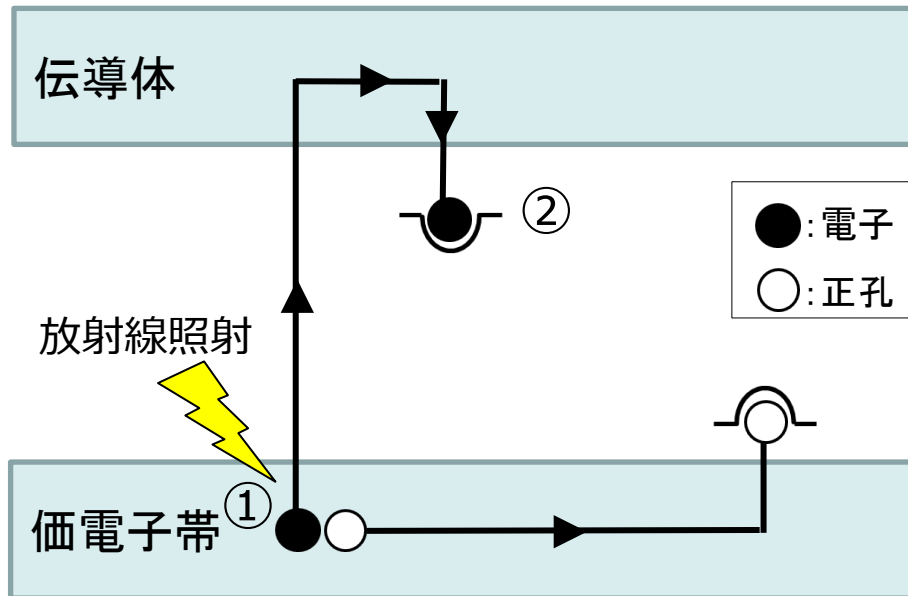
- 熱蛍光特性の一部しか利用していない
- 医療現場の求める測定精度を十分に満たしていない
- 熱蛍光の読出しや初期化が煩雑である

等の問題があり、熱蛍光線量計の持つ特性を十分に生かした放射線管理が行われていない。

熱蛍光線量計の測定原理

放射線の照射と吸収したエネルギーの蓄積

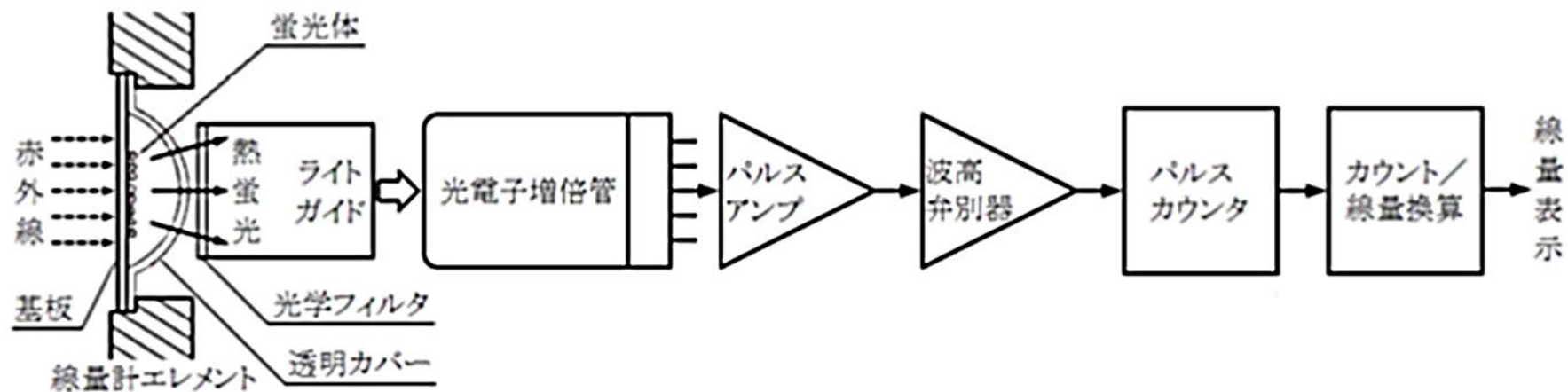
加熱（熱励起）と蓄積エネルギーの放出



- ①放射線照射による電子・正孔対の生成
- ②格子欠陥や不純物に由来する捕獲中心に電子や正孔が捕獲される。この状態は、室温で安定。

- ③300-400℃まで加熱すると、捕獲電子が解放される。
- ④解放された電子が正孔と再結合し、そのときの余剰エネルギーが光として放出される。（熱蛍光）

従来技術による熱蛍光測定



熱ルミネセンス線量計測定システムの構成例

(日本電気計測器工業会ホームページより引用:<https://www.jemima.or.jp/tech/6-03-02-06.html>)

“赤外線ランプ”や“熱風”、“板状ヒータ”等で基板を加熱し、間接的に熱蛍光体を加熱する。蛍光体は、**約350℃程度**まで昇温される。このときに生じた熱蛍光を光電子増倍管で検出し、予め作成した熱蛍光－線量変換テーブルにより線量を表示。

熱蛍光素子は、ガラス管等に封入されているため400℃以下で読み出す必要がある。

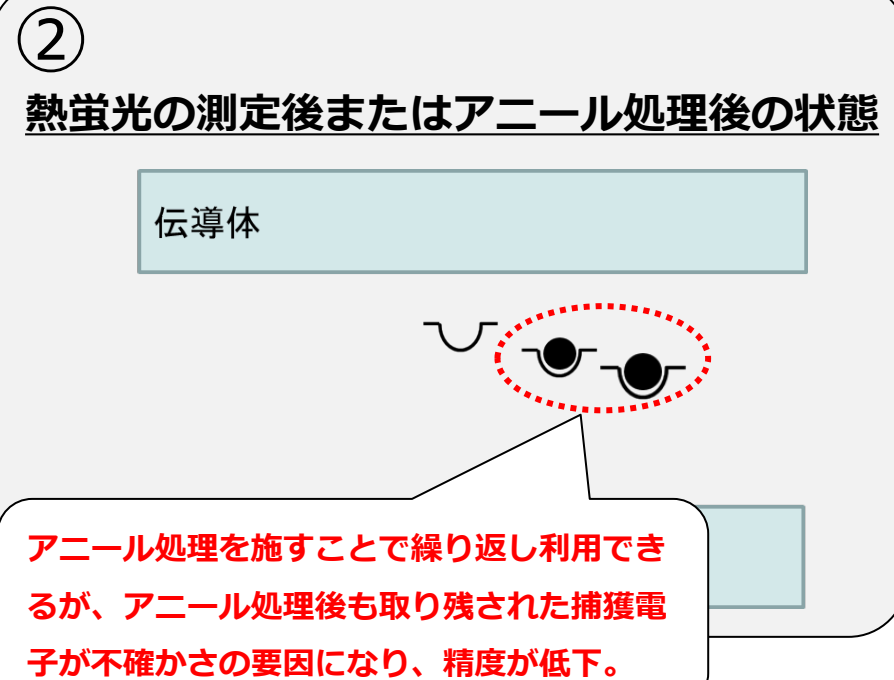
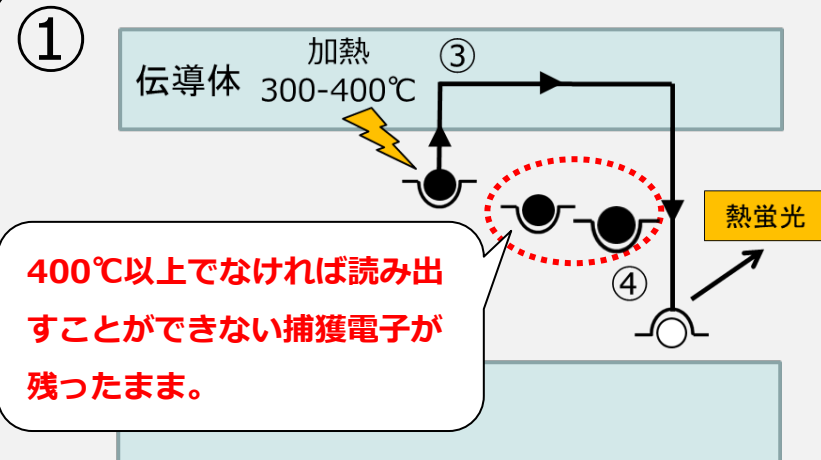
従来技術の課題

① ガラス管等に封入されているため400℃以下で読み出す必要があり、**400℃以上で読み出すことが可能な捕獲準位由来の熱蛍光**を利用していない。

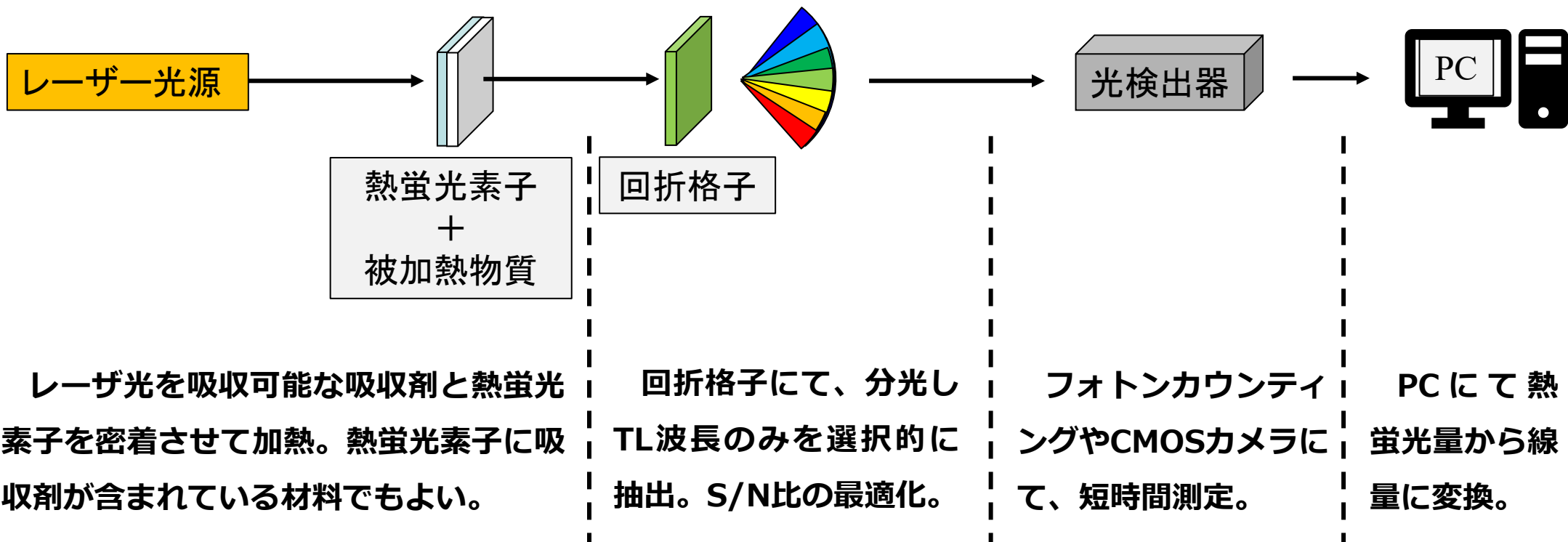
② アニール処理を400℃前後で施した後も捕獲電子が取り残され、**不確かさの要因**になっている。

③ 使用後に400℃前後で数十分から1時間程度のアニール処理を行うことで繰り返し利用できるが、**煩雑さ**がある。

(測定装置とアニール装置が必要)



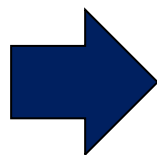
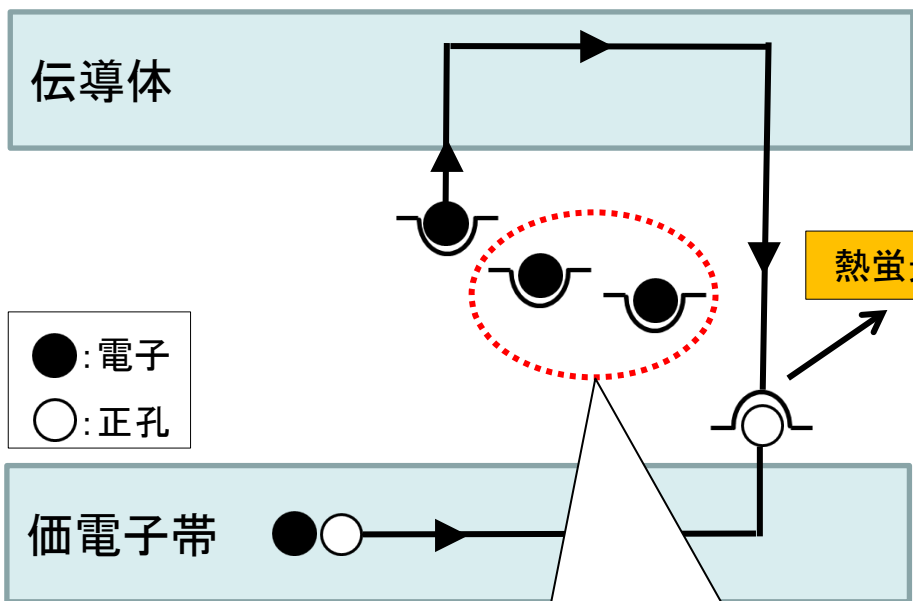
新技術による熱蛍光測定



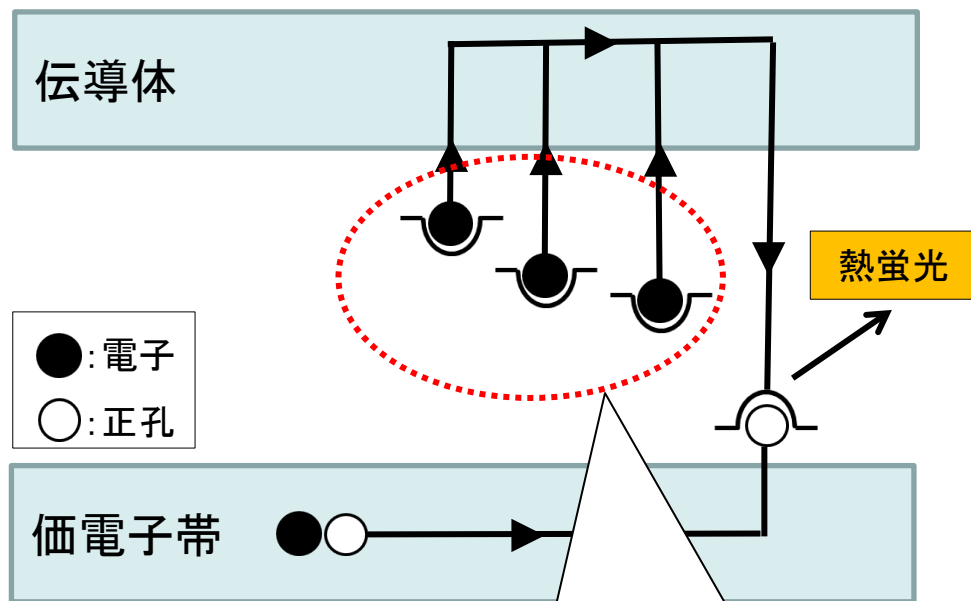
- ① 400℃以上でも目的の温度まで短時間で昇温が可能。
- ② 蓄積されていた電子・正孔対をすべて読み出すことが可能。
- ③ アニール処理が不要。

新技術の特徴・従来技術との比較

従来技術



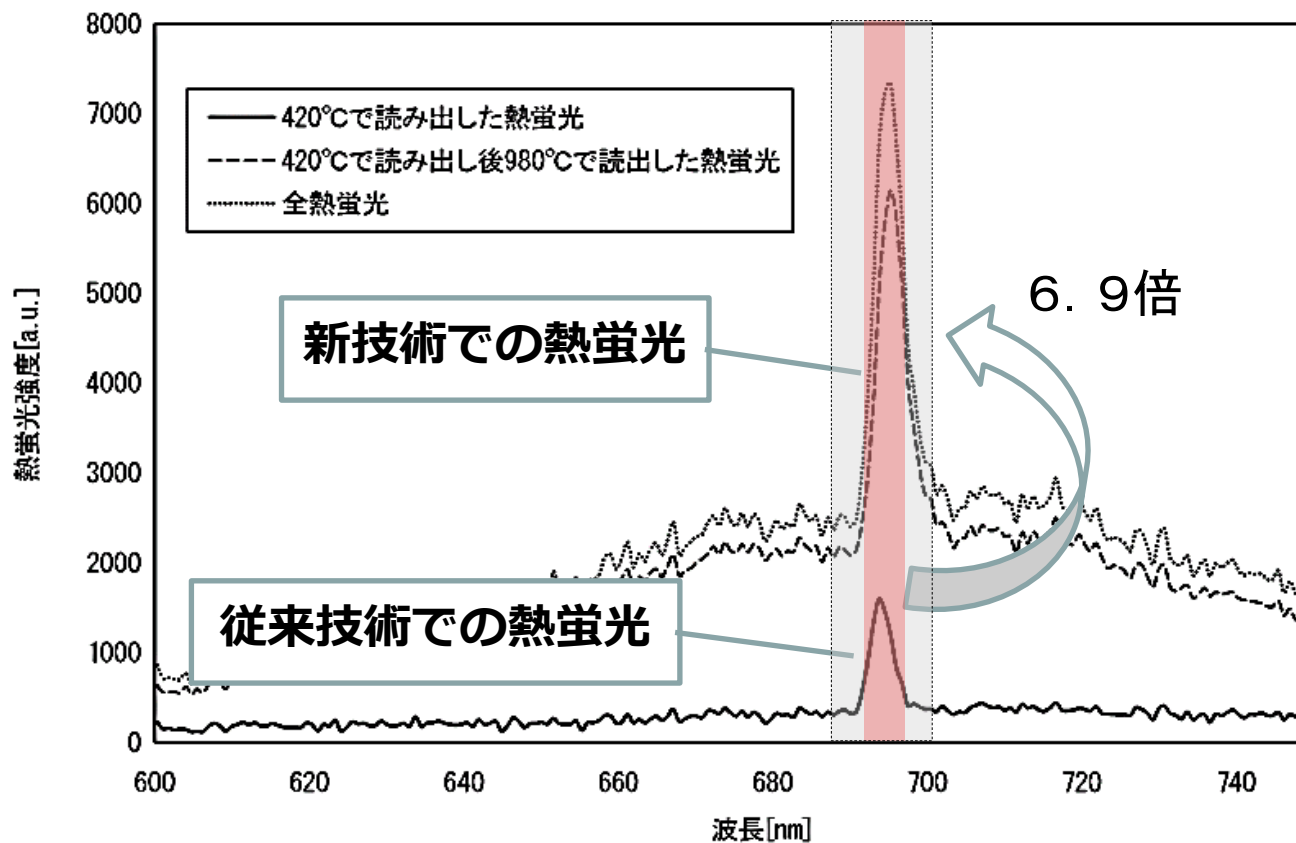
新技術



- ・ 感度不足の要因
 - ・ 不確かさの要因
 - ・ アニール処理を要する要因
- となる捕獲電子が取り残されたまま。

- ・ 熱蛍光素子に蓄積された放射線のエネルギー（電子・正孔対）をすべて読み出す。
- ※加熱温度は、結晶構造が変化しない温度、または、熱蛍光特性が変化しない最高温度。

新技術の特徴・従来技術との比較



Cr添加 Al_2O_3 熱蛍光素子を用いた新技術の検証

- ① 高温まで瞬時に加熱することで、約7倍感度が上昇。
- ② 回折格子を用いたことで、読み取るTL波長とその幅を調整しS/N比の高い測定が可能になった。

新技術により改善されること

- 従来技術の問題点であった、
 - ・ 熱蛍光特性の一部しか利用していない
 - ・ 医療現場の求める測定精度を満たしていない
 - ・ 熱蛍光の読出しや初期化が煩雑である

を改良することに成功した。

- 本技術を用いた熱蛍光素子の測定法の改良により、**熱蛍光素子による線量測定の高感度化と高精度化、**ならびに**短時間測定を実現した。**また、**アニール処理が不要になったため、コストの削減も期待**できる。

想定される用途

- 本技術は、

“個人被ばく線量計（水晶体の被ばく管理含む）”

“患者被ばく管理用の線量計測”

“放射線診断分野における線量測定”

“放射線治療分野における線量測定”

に適用することで、既存技術より価値あるサービスを提供することが期待できます。

実用化に向けた課題

- 現在、Cr添加 Al_2O_3 の熱蛍光素子に関しては、本技術の有用性を実証済みだが、熱蛍光素子の種類ごとに適切なレーザー波長と吸収剤の組み合わせ、ならびに、読み出す加熱温度を最適化する必要がある。
- 今後、様々な熱蛍光を示す材料について実験データを取得し、最適な条件設定を行っていく。

企業への期待

- ファインセラミックスや鋳物を製造または取り扱っている企業と共同研究を進めたい。特に、生体等価性の高い材料が有用性が高いです。
- 放射線診断・治療分野での線量測定に興味を持つ企業と共同研究を進めたい。特に、中性子と γ 線の混在場で γ 線量を選択的に測定できる手法に応用が可能です。
- 今後、測定条件が最適化されれば、線量測定の高速化が期待できるので、大規模な個人被ばく線量管理サービスに興味のある企業と共同研究を進めたい。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置
- 出願番号 : 特願2020-197373、
PCT/JP2021/043398
- 出願人 : 東京都公立大学法人
- 発明者 : 眞正浄光

産学連携の経歴

- 2014年-2016年 医療機器販売メーカー及び放射線関連事業メーカーと共同研究実施
- 2015年-2016年 ファインセラミック製造メーカーと共同研究実施
- 2018年-2019年 ファインセラミック製造メーカーと共同研究実施
- 2021年 JST令和3年度知財活用支援事業大学等知財基盤強化支援に採択

お問い合わせ先

東京都立大学 総合研究推進機構 URAライン

TEL 042-677-2202

E-mail ragroup@jmj.tmu.ac.jp

問合せフォームはこちらから



※東京都公立大学法人・産学公連携センターのWebサイトです

https://www.tokyo-sangaku.jp/sangaku_works/sangaku_info/