

明るい環境下でも視認可能な 高輝度蓄光分子の提案

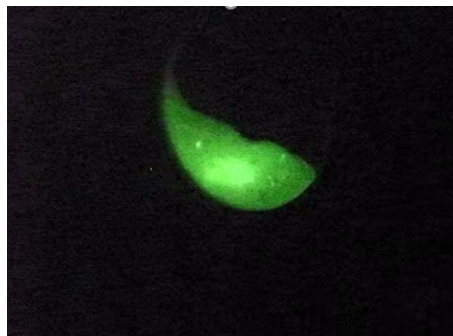
電気通信大学大学 大学院情報理工学研究科
助教 平田 修造

令和2年5月14日

既存の蓄光体とその応用

ブラックライト
照射停止後
の時間

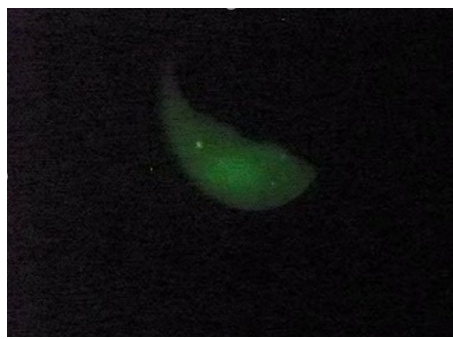
1 s



10 s



100 s



非常時に視認可能な表示体として活用

最近の蓄光体の応用(残光イメージング)

蓄光体が塗られた紙

攪拌子

蛍光分子が溶解した水

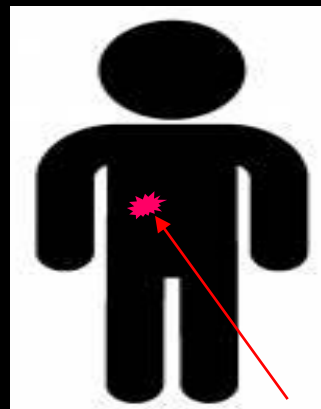
周囲に発光するものがあったとしても、ストロボ的に照射停止直後の蓄光情報を読み出すことで目的物のみの存在や動きを検出可能

UV光ON

UV光OFF



ターゲット
以外も発光
(わかりにくい)



ターゲット
のみ発光
(明確にわかる)

①



②



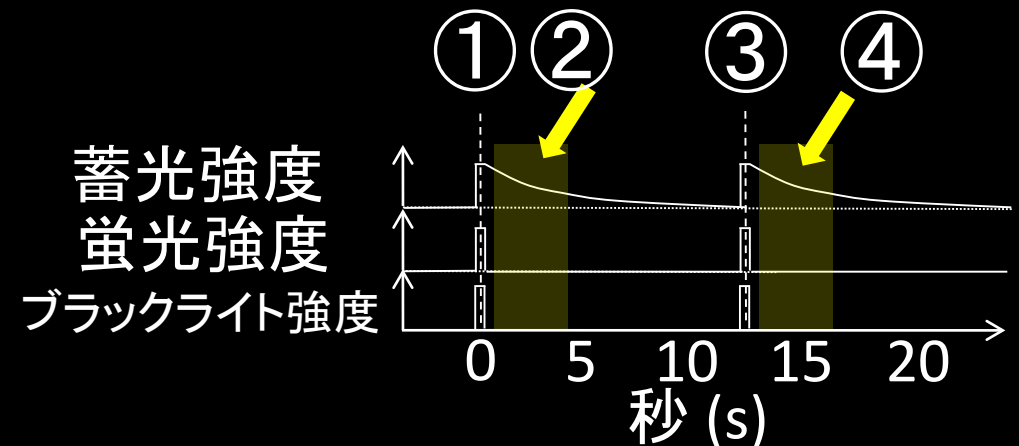
③



④



②と④の蓄光情報を計測



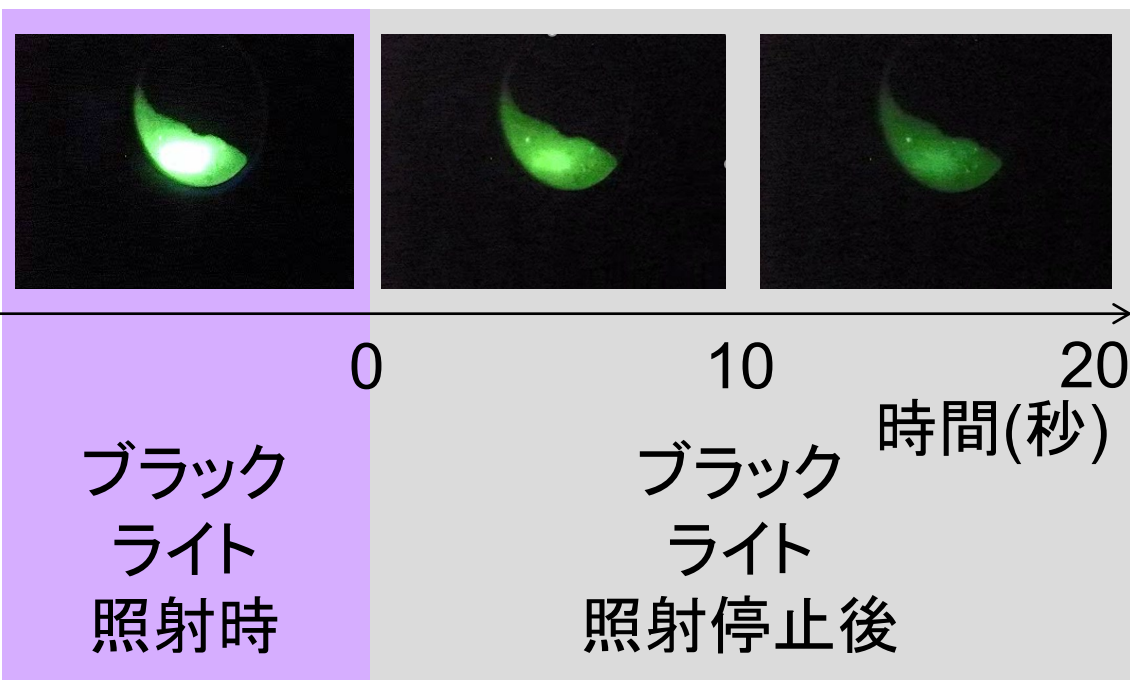
残光イメージングにおける蓄光体の利点

	従来の発光材料	蓄光材料
励起光照射 停止後 発光が 残る時間	ナノ秒～ 数ミリ秒程度	0.1秒以上
残光検出 に必要な 光源や 光検出 の設備	 価格: 1000万以上 規模: 大型	 価格: 1万以下 規模: モバイル

周囲の蛍光不純物に依存性せずにモバイル・ユビキタスな環境で
高コントラストのイメージングが可能になる→しかし！

既存の蓄光体の問題点1

周囲が暗い環境下

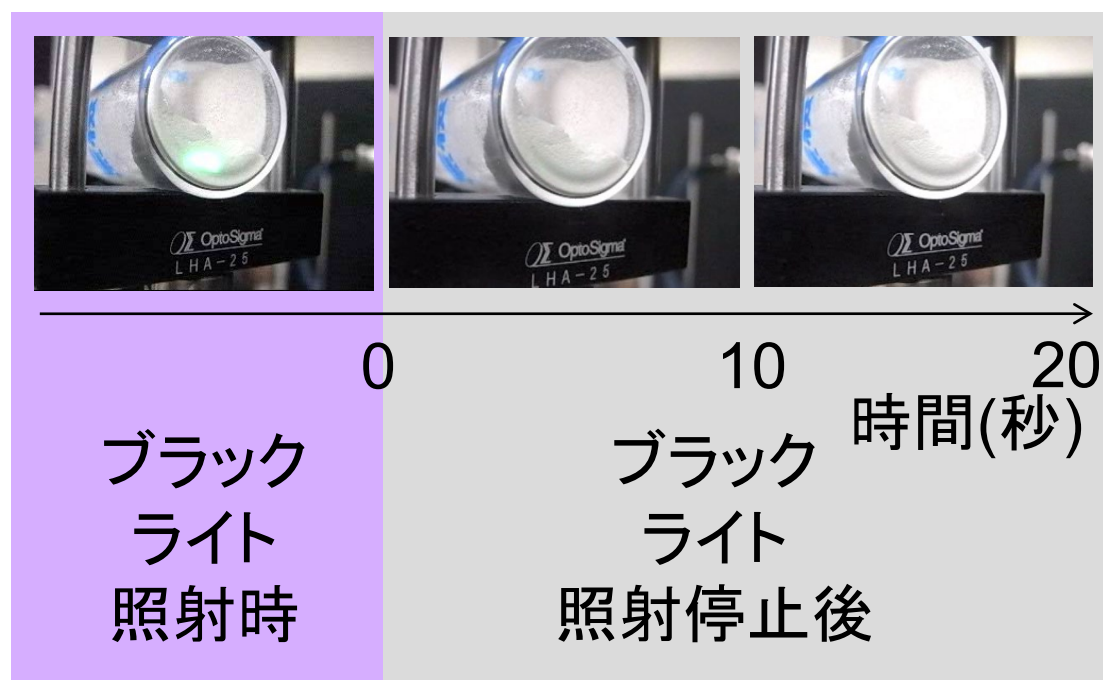


残光を長時間視認可能

5分後の輝度(0.4 cd/m^2 程度), 10分後の輝度(0.2 cd/m^2)

室内灯下の輝度は 100 cd/m^2 近くある

室内蛍光灯直下

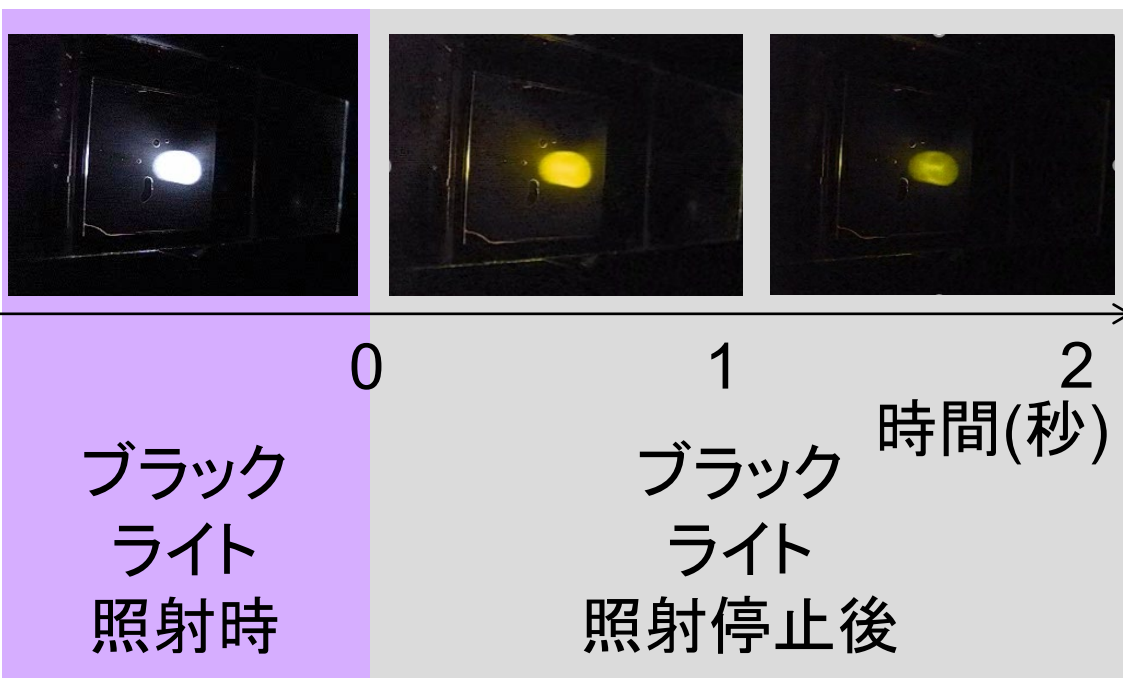


残光の視認不可

既存の蓄光体は周囲が明るい環境ではその効能を得ることができない

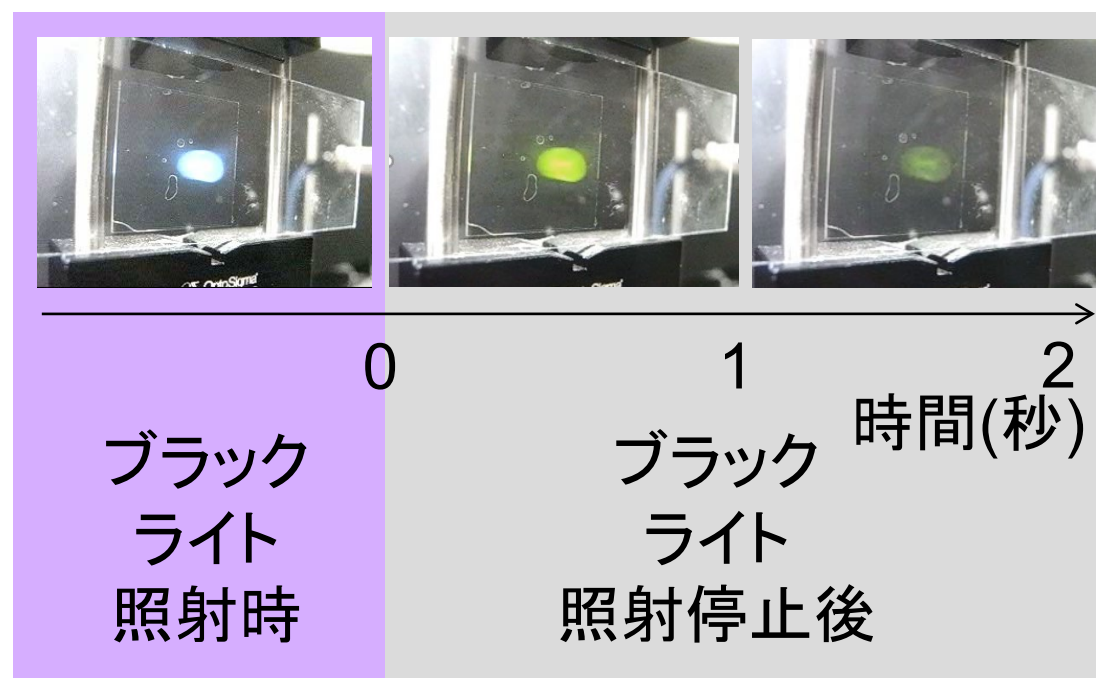
高輝度蓄光体を用いた問題点1の解決

周囲が暗い環境下



残光が視認可能

室内蛍光灯直下

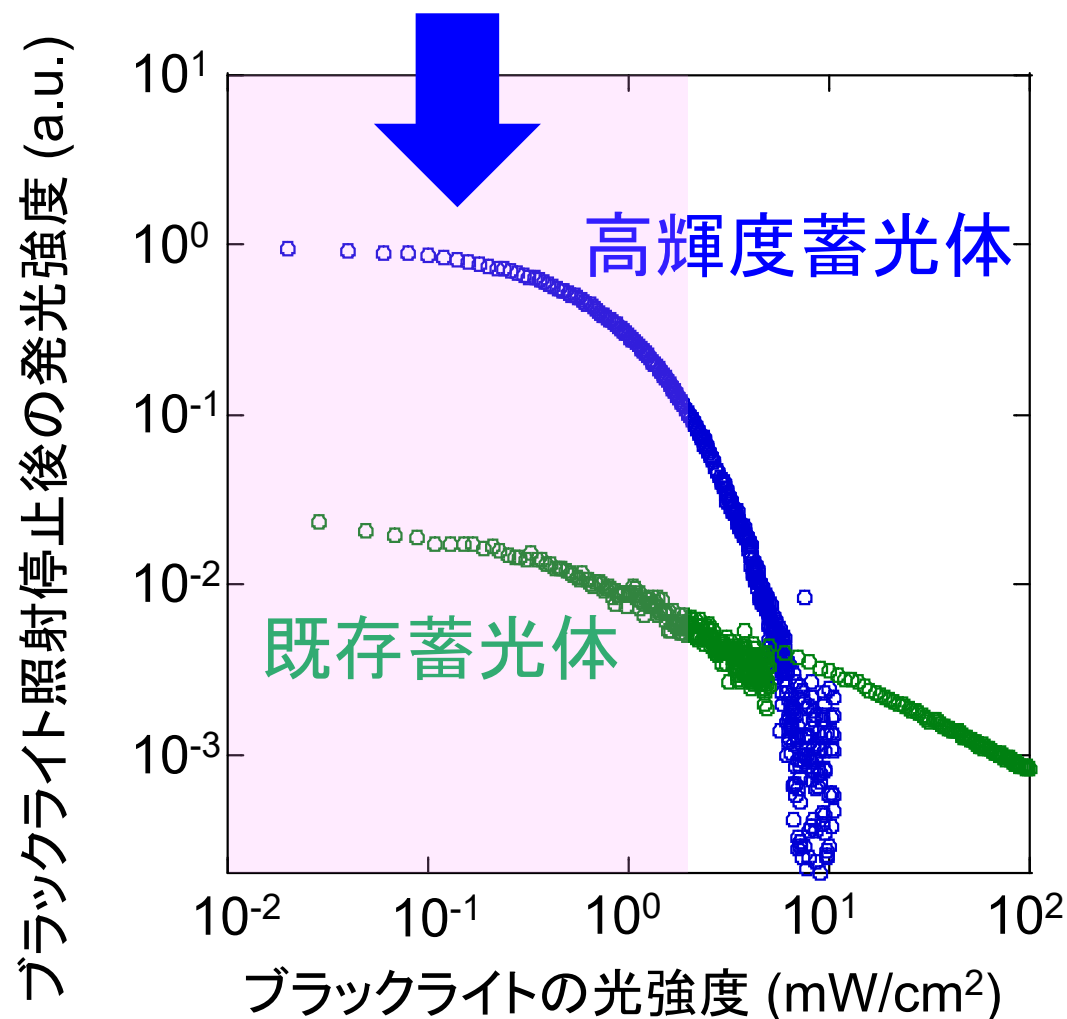


輝度が強く数秒間
残光の視認が可能

周囲が明るい環境においても残光機能を感じることができる

従来の蓄光体と高輝度蓄光体の比較1

ブラックライト照射停止後数秒間は100倍近くの輝度を示す



既存の実用化の高性能蓄光体: $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}+\text{Dy}^{3+}$

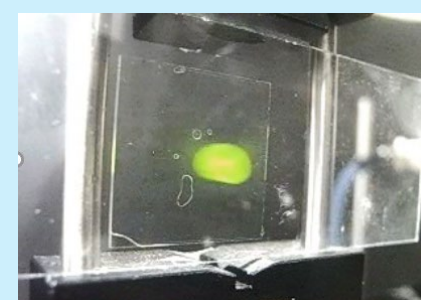
励起光照射停止後の発光強度

室内蛍光灯直下

既存蓄光体

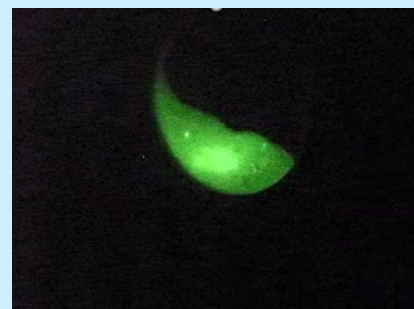


高輝度蓄光体



周囲が暗い環境下

既存蓄光体

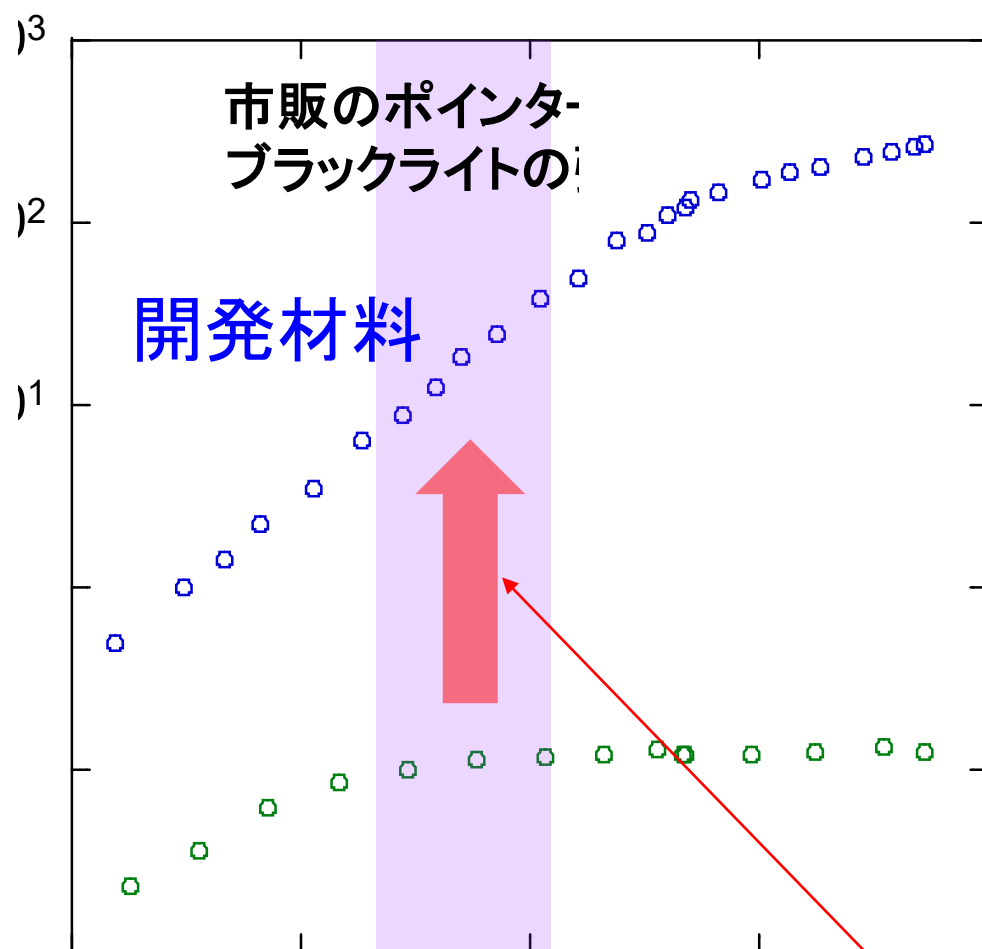


高輝度蓄光体



ブラックライトのパワー: 1 mW/cm²

従来蓄光体と高輝度蓄光体の比較2



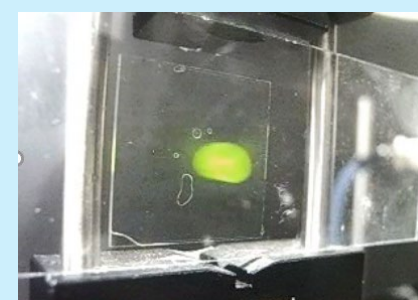
既存の実用化の高性能蓄光体: $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}+\text{Dy}^{3+}$

室内蛍光灯直下

既存蓄光体

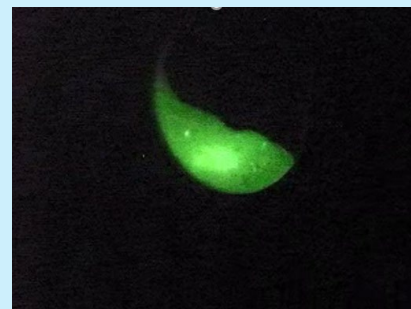


高輝度蓄光体



周囲が暗い環境下

既存蓄光体



高輝度蓄光体



ブラックライトのパワー: $1 \text{ mW}/\text{cm}^2$

ブラックライト照射停止後数秒間は100倍近くの輝度を示す

高輝度蓄光体の想定される用途1

偽造防止

プロジェクター表示体
や白塗りの壁など

ガラスアート

明るい環境



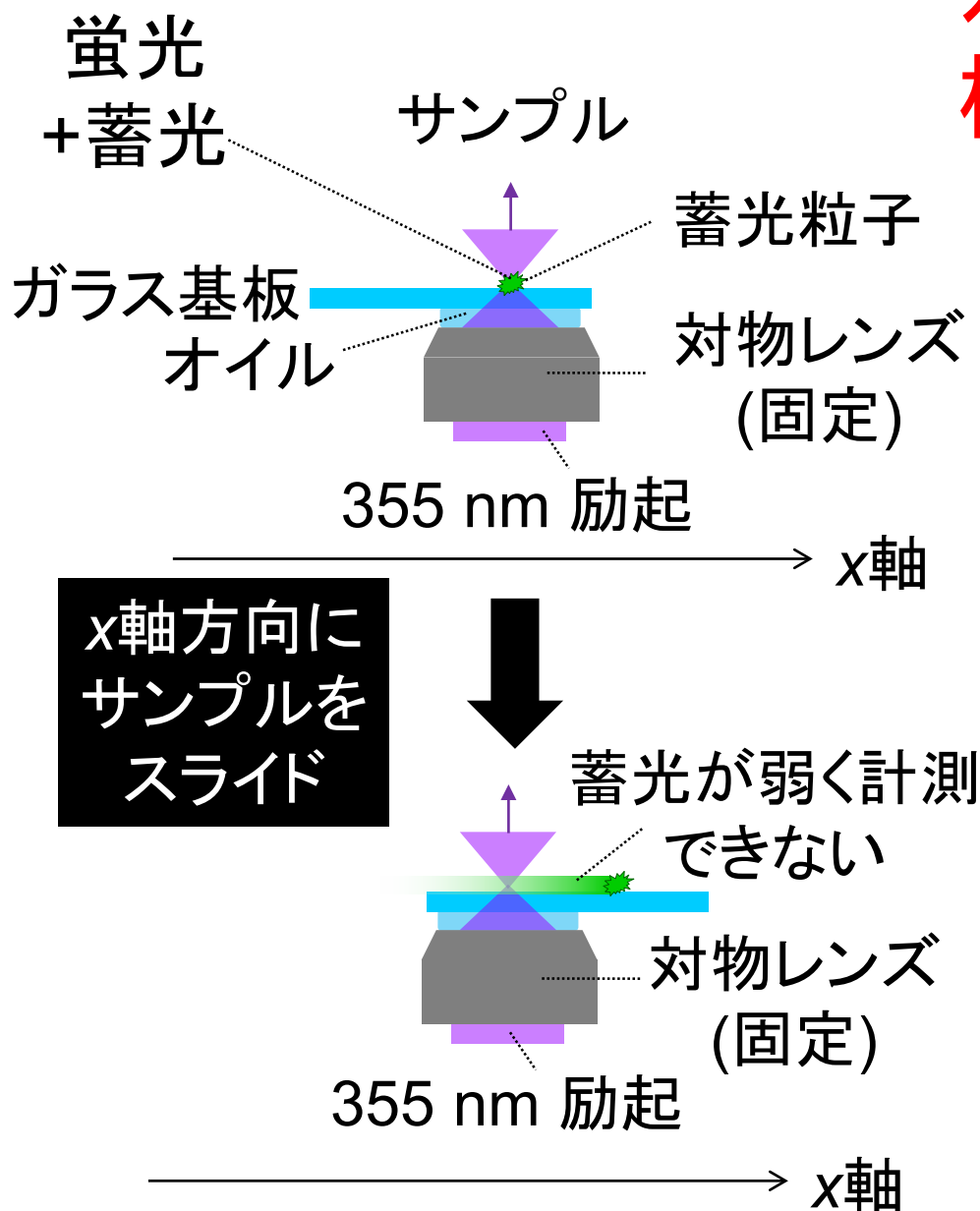
周囲が明るい環境下での使用例

**数秒で輝度が大きく変化する情報は人々の
視覚により訴えることができる**

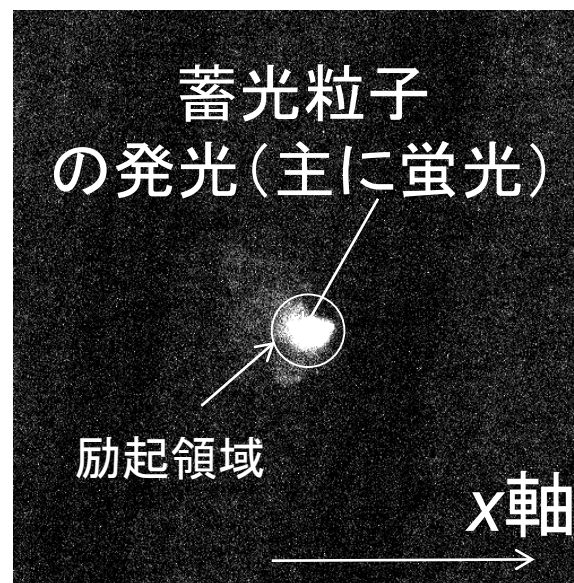
**現在色々な表示が薄膜ディスプレイを用いると技術的に可能であるが
全てに高額なディスプレイを搭載するわけにはいかない**

既存の蓄光体の問題点2

対象物が小さくなると蓄光が
検出できない



スライド前



10 μm

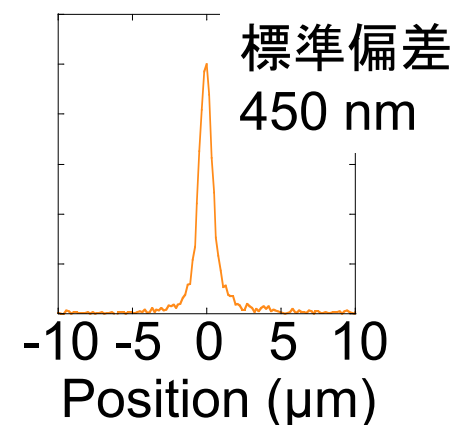
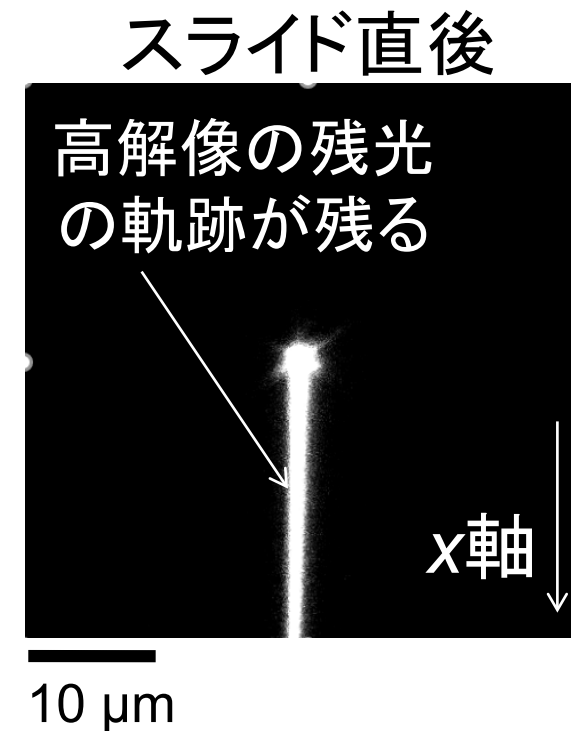
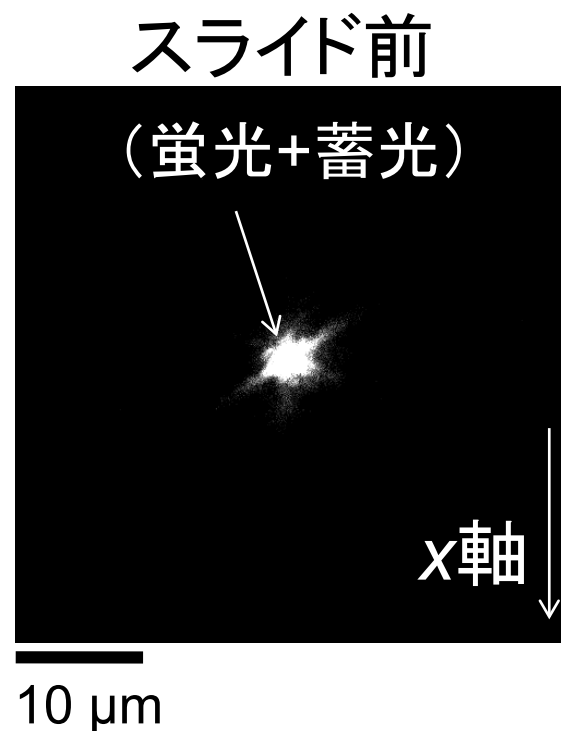
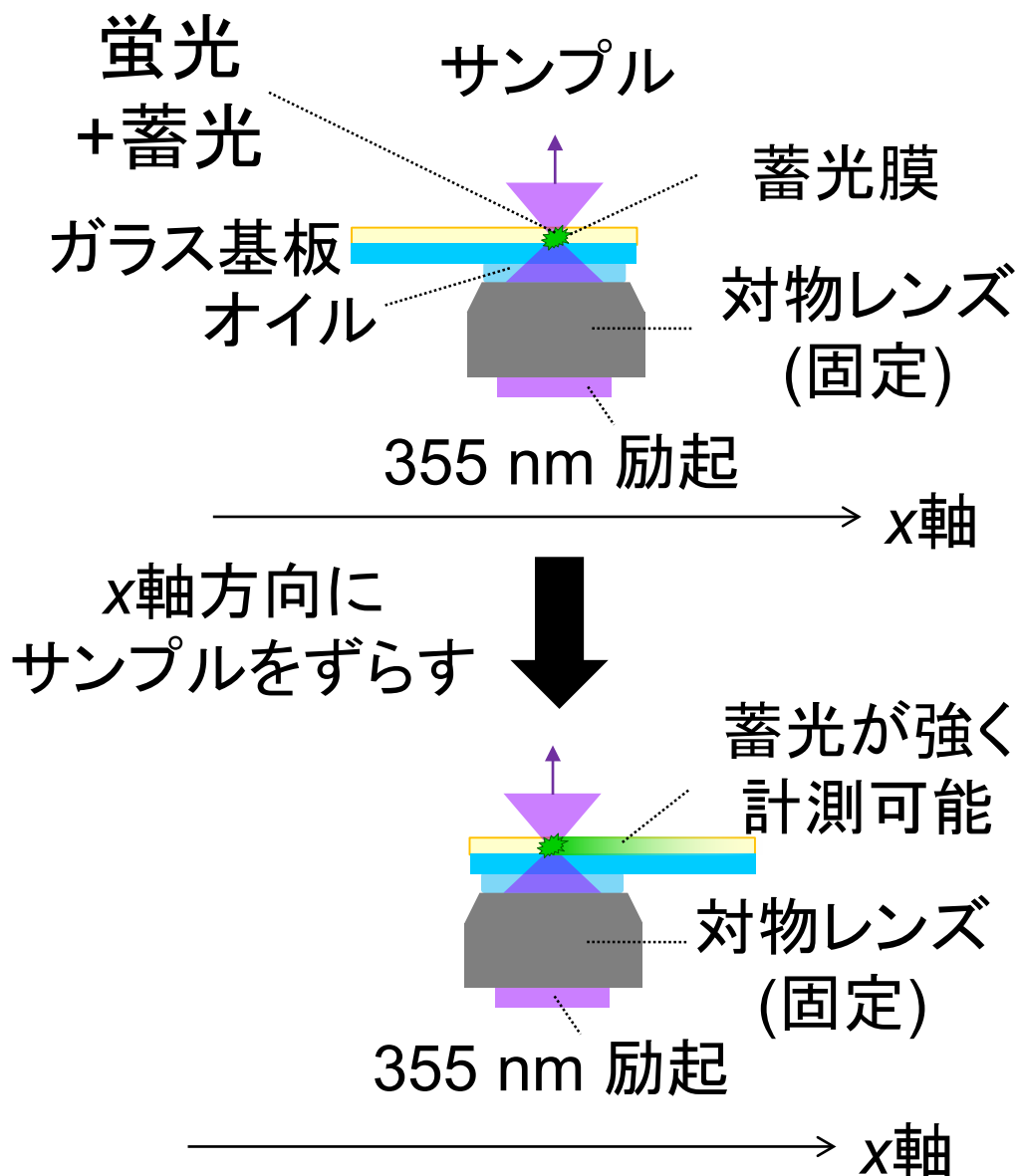
スライド直後



10 μm

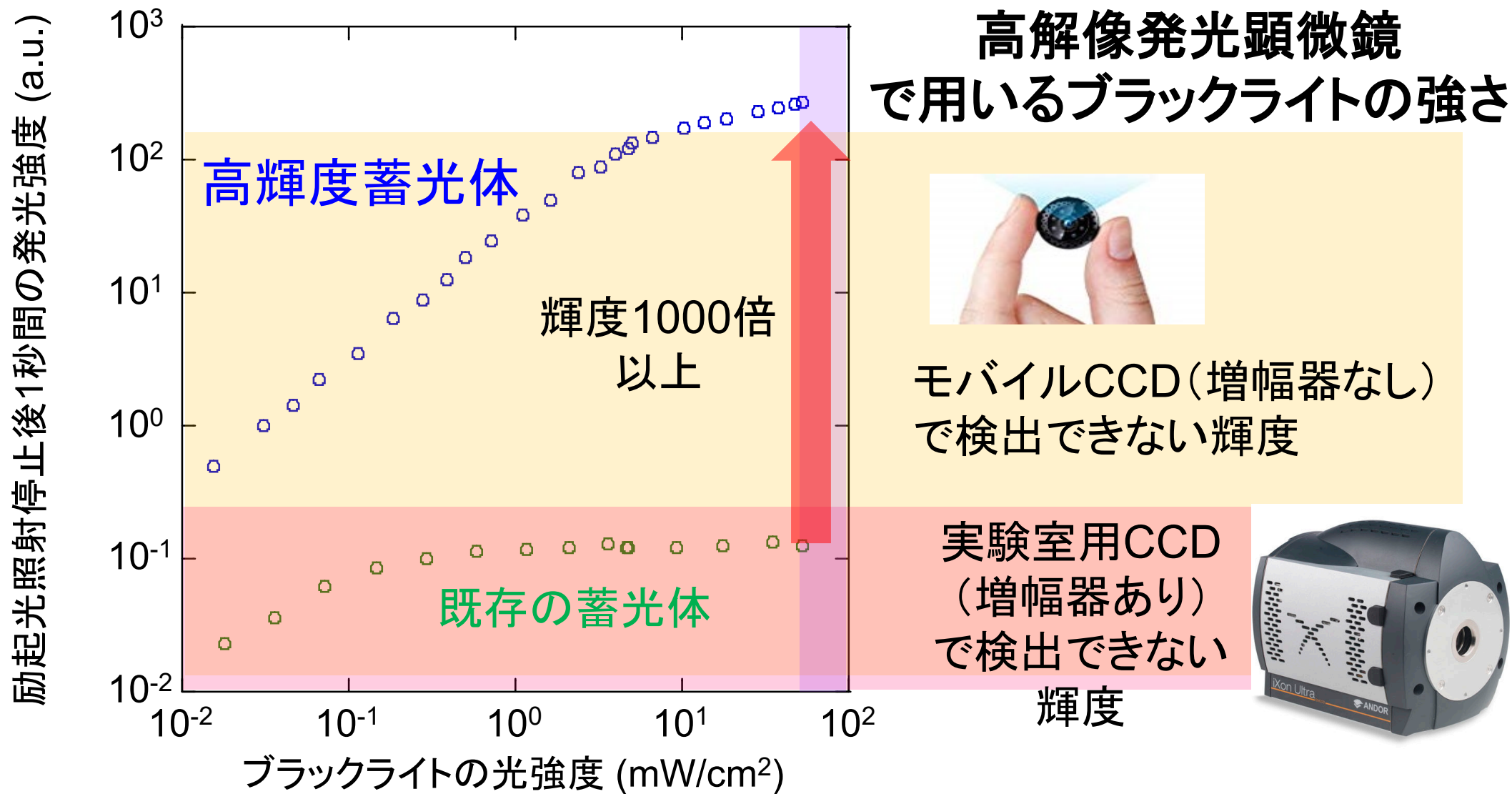
既存の蓄光粒子
($\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}+\text{Dy}^{3+}$)

高輝度蓄光体を用いた問題点2の解決



ナノサイズの対象物からも蓄光の計測が可能

ナノサイズ対象物における既存蓄光体 と高輝度蓄光体の比較

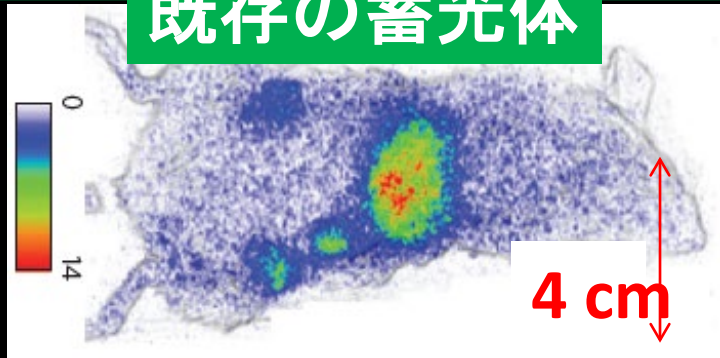


- ・高輝度蓄光体を用いる回折限界サイズの蓄光情報を読み出す事が可
- ・上記を小型で安価なCCDで検出することも可能

高輝度蓄光体の想定される用途2

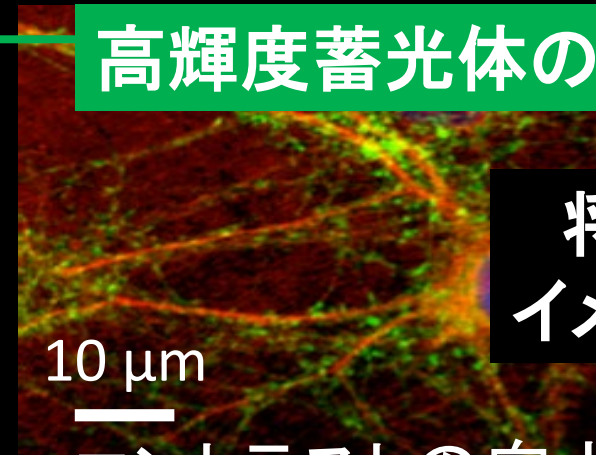
他のイメージングに対する発光イメージングの良さは高解像度

既存の蓄光体



低解像度(MRI, X線等の計測わかる)

高輝度蓄光体の将来



将来
イメージ

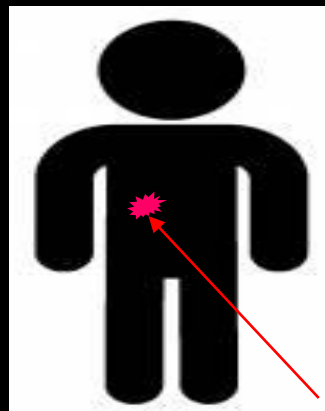
コントラストの向上重要

UV光ON



ターゲット
以外も発光
(わかりにくい)

UV光OFF

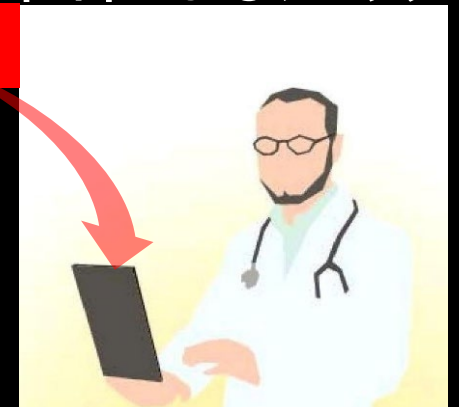


ターゲット
のみ発光
(明確にわかる)



不純物に依存しないで
エラーなく検出！

離れた場所での
医師によるチェック



医療・薬剤の
ユビキタス化

従来の蓄光体とその問題点のまとめ

既に蓄光体はセラミックスおよび分子を用いたものが存在し、一部実用化されているが、

輝度が出ないため

暗闇でのみ視認が可能

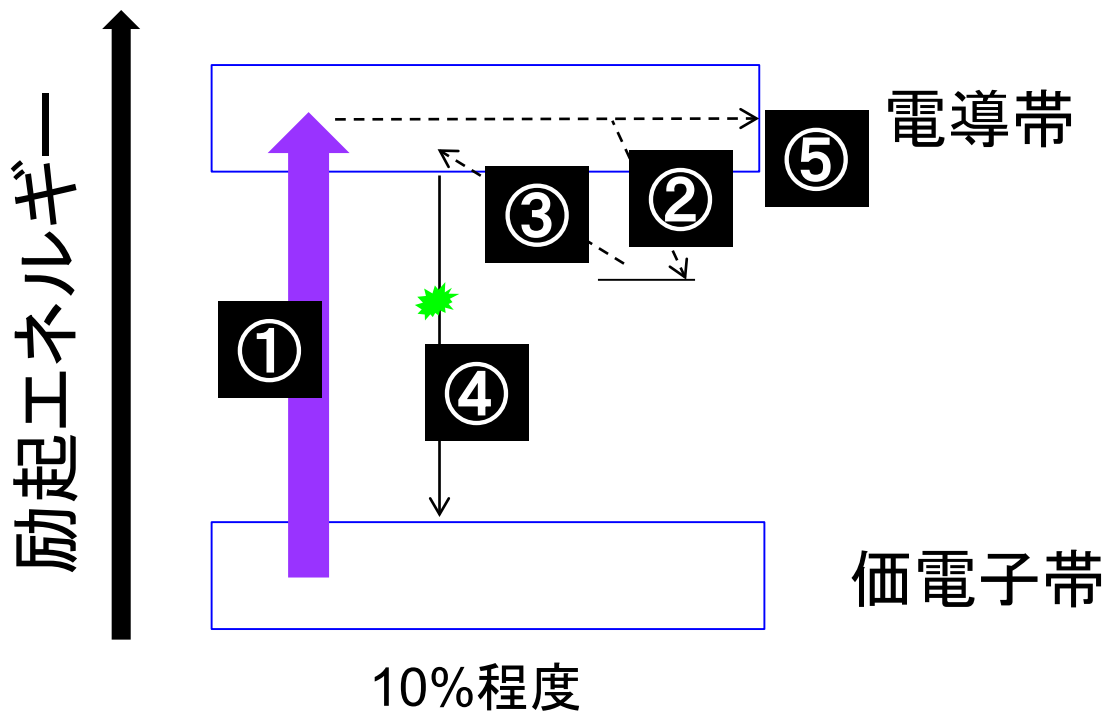
ナノサイズでは蓄光が視認ができない

等の問題があり、その用途は限りなく限定的なものであり、広く利用されるまでには至っていない。

従来の蓄光体と高輝度蓄光体の機構の違い

既存の蓄光材料

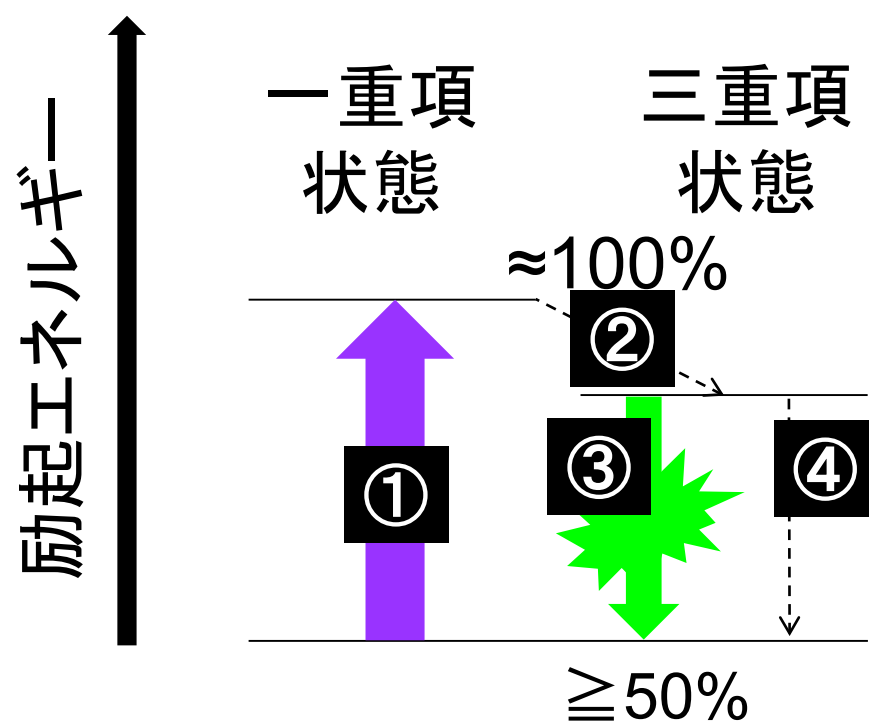
(トラップ機構型)



長い時間蓄光が出るが瞬間的な輝度がでない
(⑤による損失もある)

高輝度蓄光分子

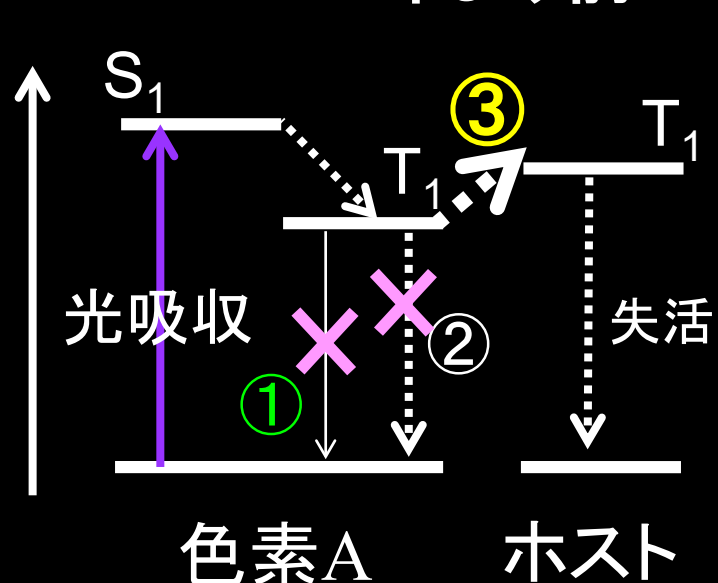
(重原子フリー室温りん光型)



数秒しか発光は残らないがその数秒間は蛍光のように輝度が出る(④による損失は少ない)

室温りん光タイプの蓄光を得る ための色素分子以外の必要条件

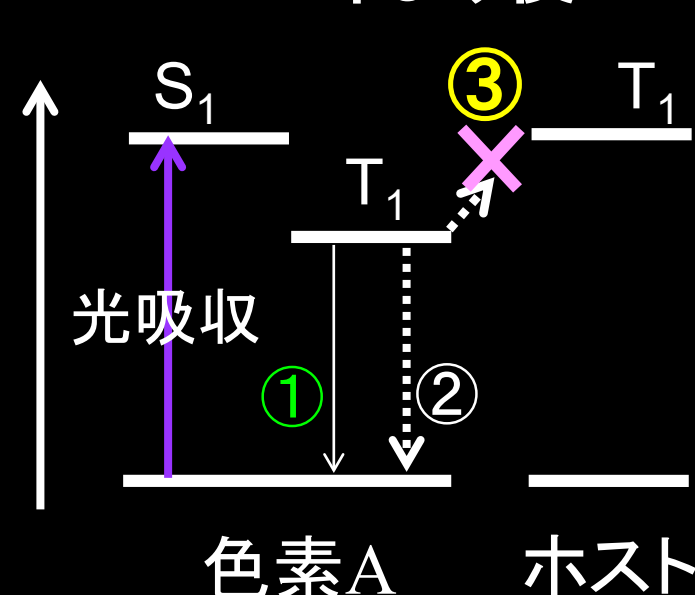
2013年より前



③>>>②>>①

蓄光性りん光が非放射

2013年より後



②>>①>③

蓄光性りん光が放射

①を経由すると蓄光性りん光が放射される

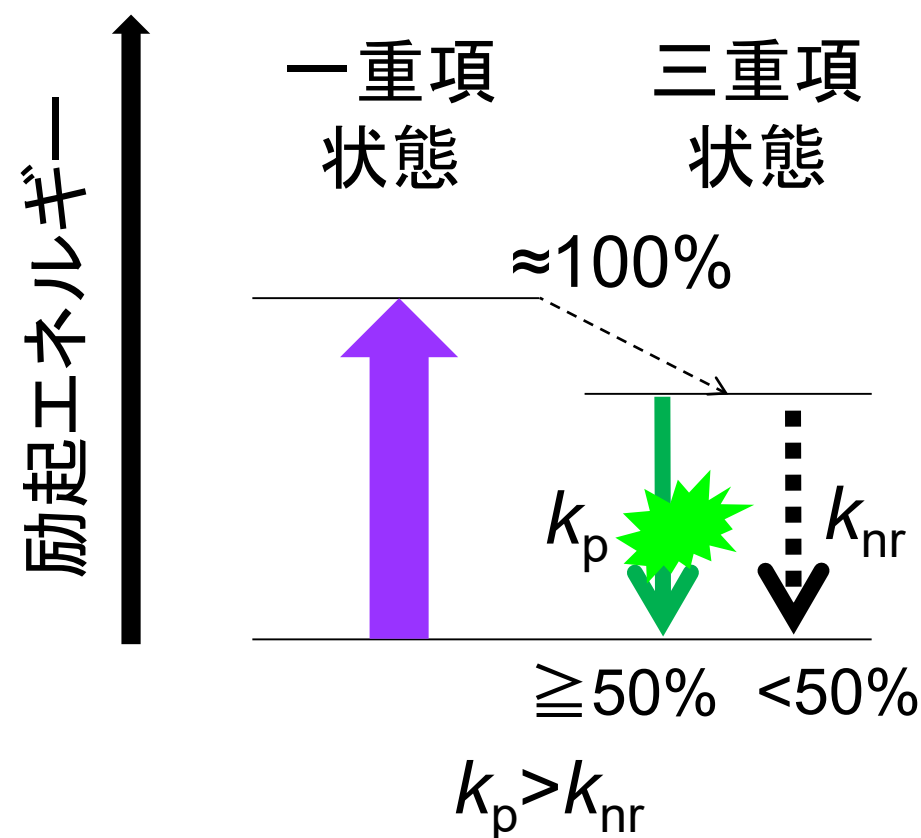
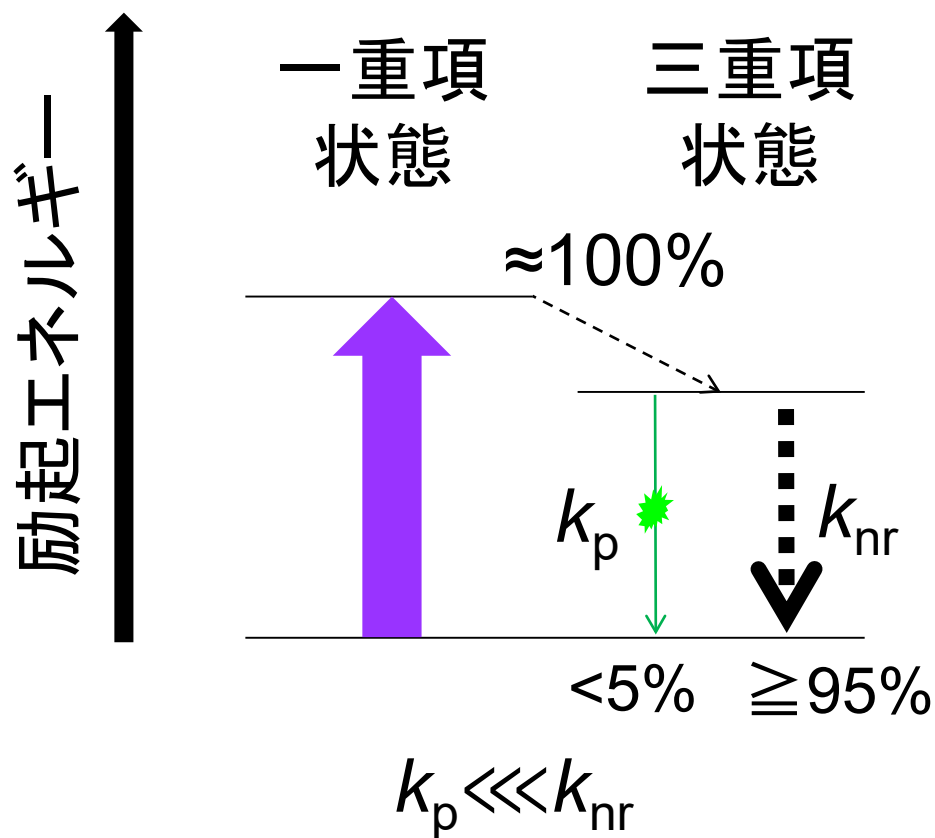
③を抑制するためには溶液中ではなく適した固体ホストが必要

現在③を抑制する色々なホストが登場しているが
依然色素分子が②>>①のため効率が悪く輝度が十分ではない！

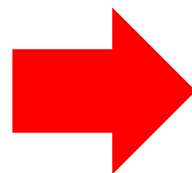
今回新たに開発した分子における 残光性室温りん光の収率の改善

既存の室温りん光分子

我々の室温りん光分子

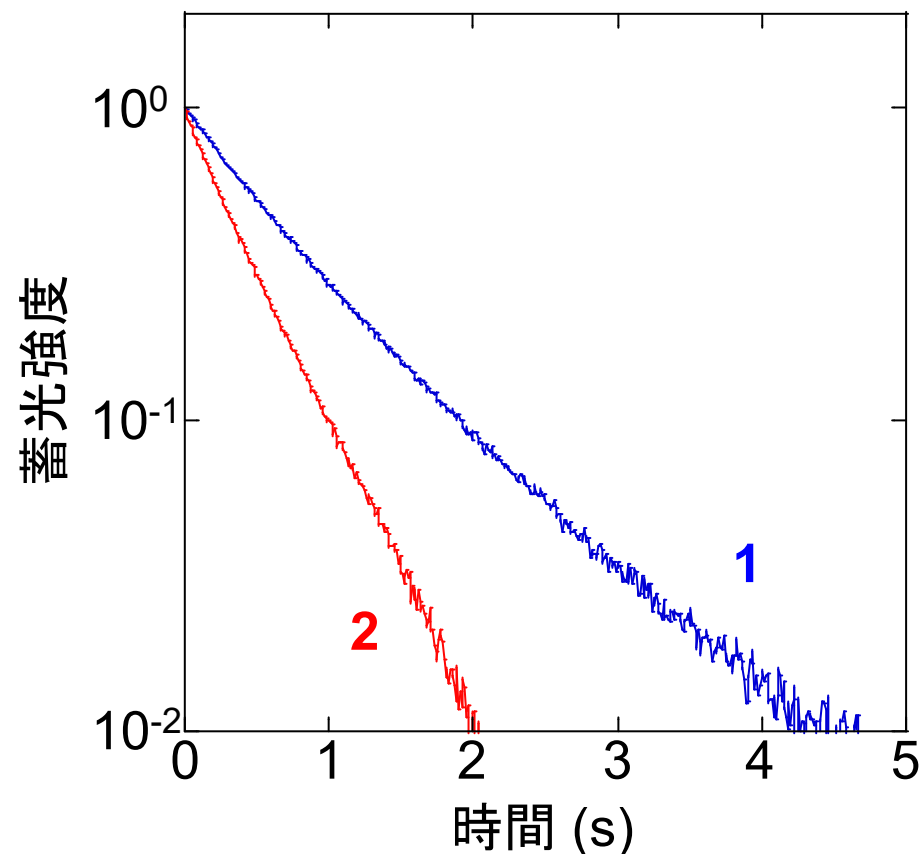
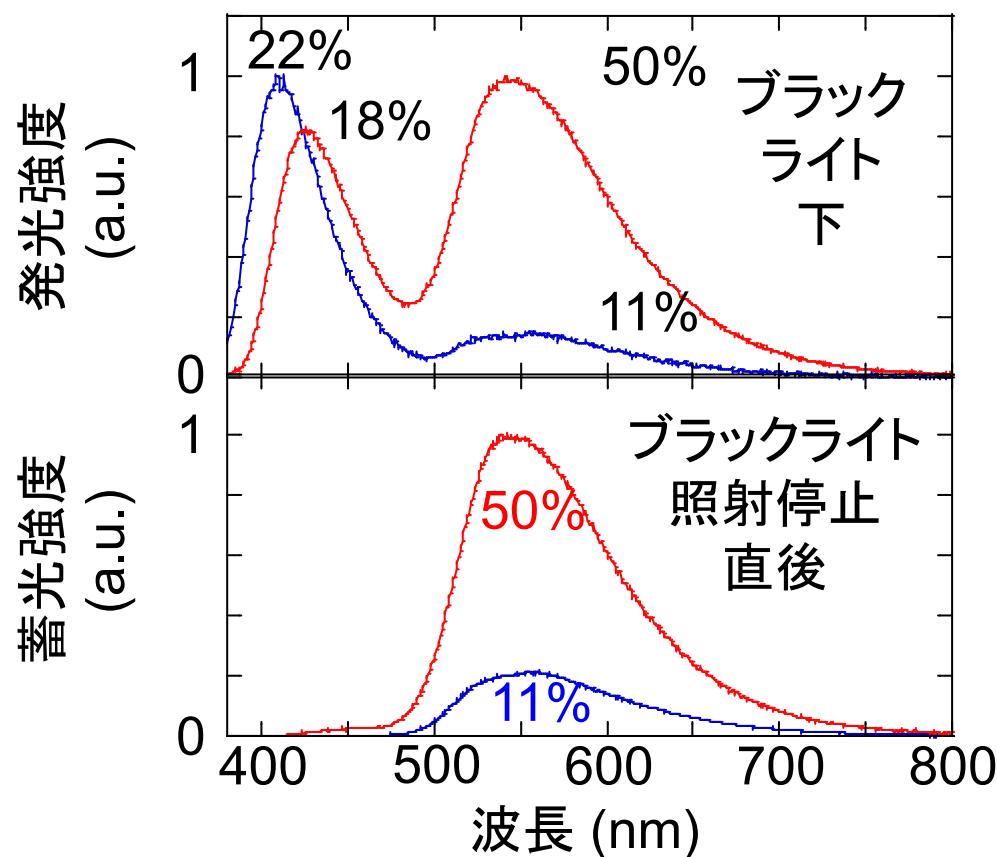


既存の分子構造



精密な分子設計による
室温りん光収率の向上
→ 高輝度化へ

色素の改善前後での残光性能の変化の例

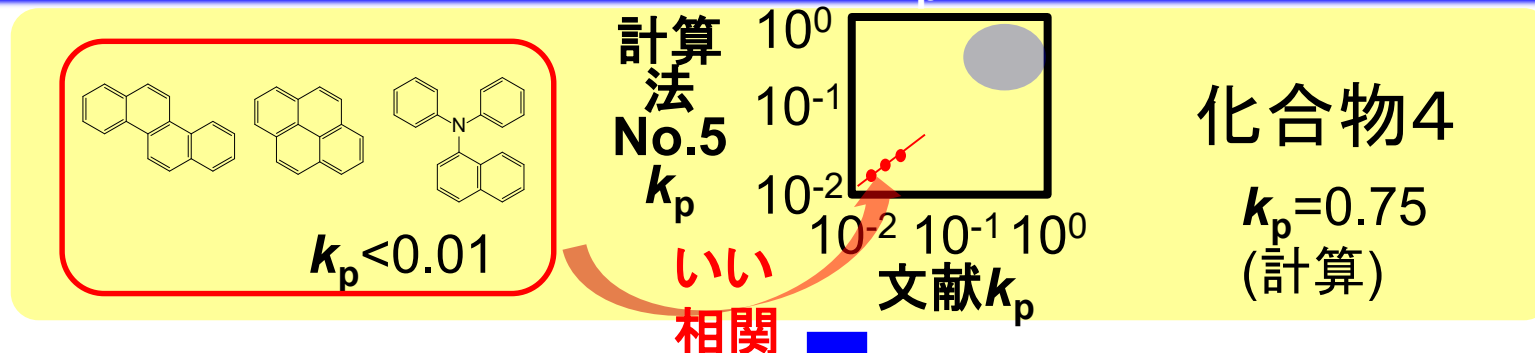


分子	室温りん光の収率	k_p (10^{-1} s^{-1})	$k_{nr}(\text{RT})$ (10^{-1} s^{-1})	室温りん光の寿命 (s)
1	0.11	1.0	5.2	1.6
2	0.50	6.3	2.4	1.0

大幅な改善

最適分子群の開発手法の例

残光の出やすさとなるだろう定数(k_p)を推定する計算式の探索



量子化学計算

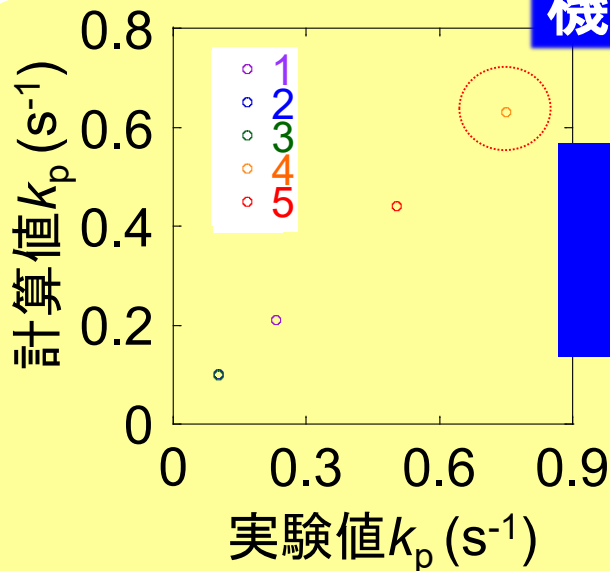
上記で k_p が大きいと推定された分子の合成

化合物1 化合物2 化合物3 化合物4



化学

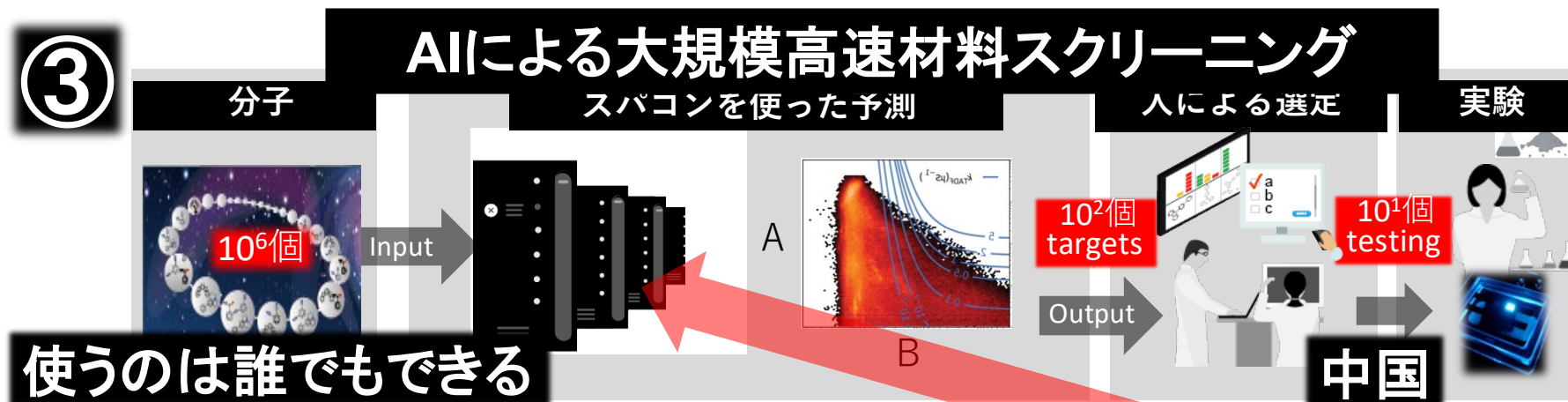
機能の実証



物理

高輝度蓄光分子の
分子設計指針
がわかりつつある

最適分子群の開発手法の例



① 計算値と実験値の相関の取得(AIの学習教材)



② スパコンの学習



新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、蓄光現象の低輝度の問題を大幅に改善した
- 従来は低輝度化の点で暗闇下の使用に限られていたが、輝度の向上により明るい環境下で残光挙動を視認することが可能となった。
- 本技術の適用により、マイクロメートルおよびナノメートルサイズの対象物から残光挙動を確認することが可能となった。

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすと、本材料を塗った媒体を用意すれば、明るい環境でも、スポットライトをスキャンすることで、発光残像表示が可能になる。
- 上記特徴は、紙幣やパスポート等の偽造防止インク、または壁やガラスウィンドーにおける残像表示やアートに好適である。
- 周囲の蛍光不純物が影響してしまうような環境下で対象物の動きのみを高解像および高コントラストで検出可能（生体内の薬剤イメージングなど）

実用化に向けた課題

- 現在、室温りん光収率(残光輝度に比例)が50%に到達。更なる効率の向上および他色での高輝度残光が未解決である。
- 今後、計算科学を活用し、50%以上の室温りん光収率を有する色素群を構築する。
- 実用化に向けて、上記分子を高分子媒体に分散したフィルムやインクジェットによる印刷物などの作製し、具体的な表示デモを行う予定。

企業への期待

- 高輝度残光分子の共同開発および特許出願に興味がある企業（合成メーカー）との共同研究の希望
- 高輝度残光シートや印刷物の共同開発が可能な素材、印刷、玩具メーカーなどとの共同研究の希望
- 高輝度残光分子群のバーチャルスクリーニング技術(AI)の共同研究の希望
- 生体用途への高解像高コントラストイメージングに向け、生体親和性のナノ粒子などの技術を有する企業との研究開発、共同特許出願を希望
- その他本技術を用いた応用物の提案をいただける企業との共同研究を希望

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 発光材料、及び蓄光材料
- 出願番号 : 特願2020-78341
- 出願人 : 電気通信大学
- 発明者 : Bhattacharjee Indranil、
平田修造

お問い合わせ先

国立大学法人電気通信大学

産学官連携センター

産学連携ワンストップサービス

TEL 042-443-5871

FAX 042-443-5725

E-mail onestop@sangaku.uec.ac.jp