

放射線の見える化プロジェクト

シミュレーション・ソフトウェア側からの提案

Advanced Algorithm & Systems

萩原 直樹

本発表の内容



- プロジェクトの目指すもの
- 従来の検出器や線量計
- WGで提案されている手法
- シミュレーションに関する考察
- 疑問点について
- 価格調査
- 今後の方針

プロジェクトの目指すもの

- 目に見えない放射線に反応し発色もしくは退色することにより、「見える化」する新たな物質を開発し事業化

主要な条件

- 安価で扱いが容易
- 肉眼で確認可能

その他の条件

- 必要十分な感度
- 誤検出の低減

放射線の作用と検出器

気体の電離作用

- ガイガーミュラー(GM)管検出器
- 比例計数管検出器
- 電離箱式検出器

固体の電離作用

- 半導体検出器

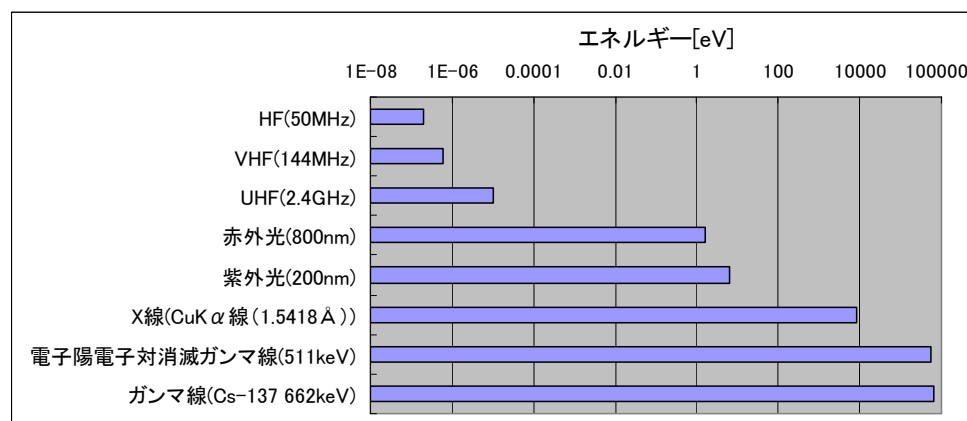
励起作用(酸化作用)

- シンチレーション検出器
- 化学線量計
 - 高い線量まで直線性がよい
 - 放射線の種類によらず、G値が一定
 - 感度が低い

G値: 100eVのエネルギーを吸収したときに変化する原子・分子数
1eV=1.602x10⁻¹⁹J

吸収線量: 1Gy=1J/kg

線量当量: 1Sv=1Gy (ガンマ線、ベータ線の場合)



従来の線量計や検出器

銀塩写真

- フィルムバッジ

ラジオフォトルミネッセンス(RPL)

- 蛍光ガラス線量計(銀活性リン酸塩ガラス)
 - 繰り返し読み出し可能
 - 年間1~2万円程度

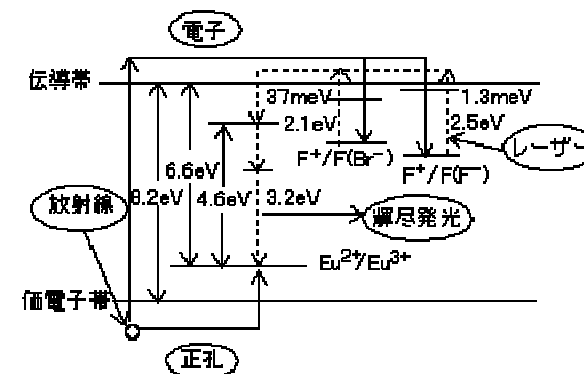


輝尽性ルミネッセンス(PSL)

- クイクセルバッジ(酸化アルミニウム)
- イメージングプレート(バリウムハロゲン化物、Eu添加)

ラジオクロミック

- B3WINdose線量計(Pararosaniline Cyanide)
 - 測定範囲: 1kGy~100kGy
- ラジオクロミック線量計(ヘキサヒドロキシエチルアミノトリフェニルニトリル)

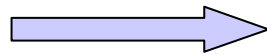


WGで提案されている手法(1)

有機ベントナイトの粘土膜内に発色分子を包接

- 電荷移動錯体の吸収帯による色変化
- ラジカル捕集による発色団の形成
- ガドリニウム錯体の励起に伴う発色分子の分解

粘土膜内固相反応



反応の場が制限される

放射線感受率を高めるために重原子を導入することは可能か

発色分子の選択の自由度はどれくらいか

WGで提案されている手法(2)

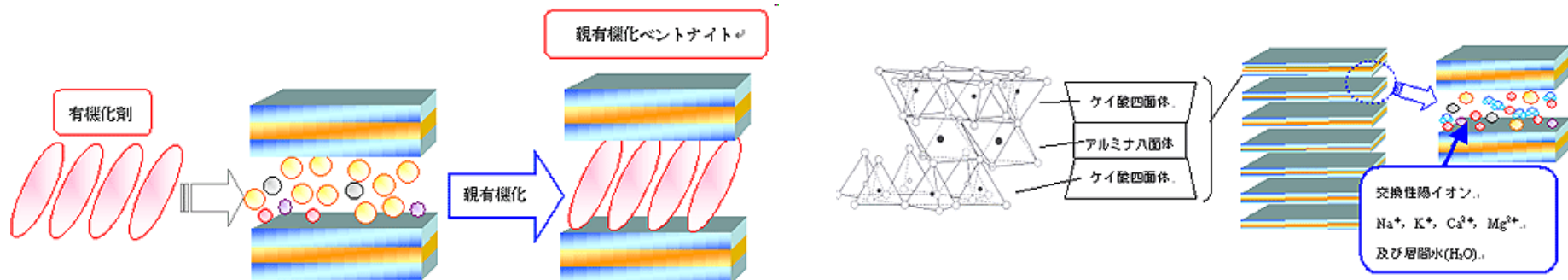
粘土と包接について

粘土

- 有機化ベントナイトと呼ばれる、ベントナイトの主成分である粘土鉱物モンモリロナイトの陽イオンを第四級アンモニウムイオンに置き換え、有機物に親和性を持たせたもの

包接

- ホスト分子が作り出す空間にゲスト分子を取り込む(包接する)ことによって生じる化合物を包接体と呼ぶ。今回の場合、粘土による層状の構造の間に発色に寄与する分子がサンドイッチ状に包接されている



WGで提案されている手法(3)

反応の可逆・不可逆の視点から

可逆反応

電荷移動錯体での吸収による変化

不可逆反応

ラジカル捕獲

ガドリニウム錯体の励起に伴う発色団の分解

- 可逆反応であれば繰り返し使用が可能だが、定量性を保つのは難しい
1. 日常の被曝が蓄積されて徐々に色が変わっていく程度の感度の不可逆反応
 2. 非常に感度が高く、退色の半減期が数日単位の可逆反応

シミュレーションに関する考察(1)

- 粘土膜内での構造形成、分子配置の推定
- 励起分子の電子状態、状態変化過程の解析
- 変化後の分子の安定性の解析

- 分子設計の支援

ニュートン力学によるMD計算
量子力学による電子状態計算
第1原理分子動力学計算
統計力学熱学計算輸送係数計算

シミュレーションに関する考察(2)

潜在的・将来的な課題

安定性の向上

温度依存性

照射時間の長さとの依存性

放射性感受率・感度の向上

定量性の確保

想定使用期限

粘土膜の構造

- 結晶のような周期的な構造ではない
- 粘土による層構造はある程度構造を限定する
- 反応場が限られることで特異的な反応性が発現するか
- 電荷移動錯体を形成する分子同士は同じような相対位置を取る可能性が高い

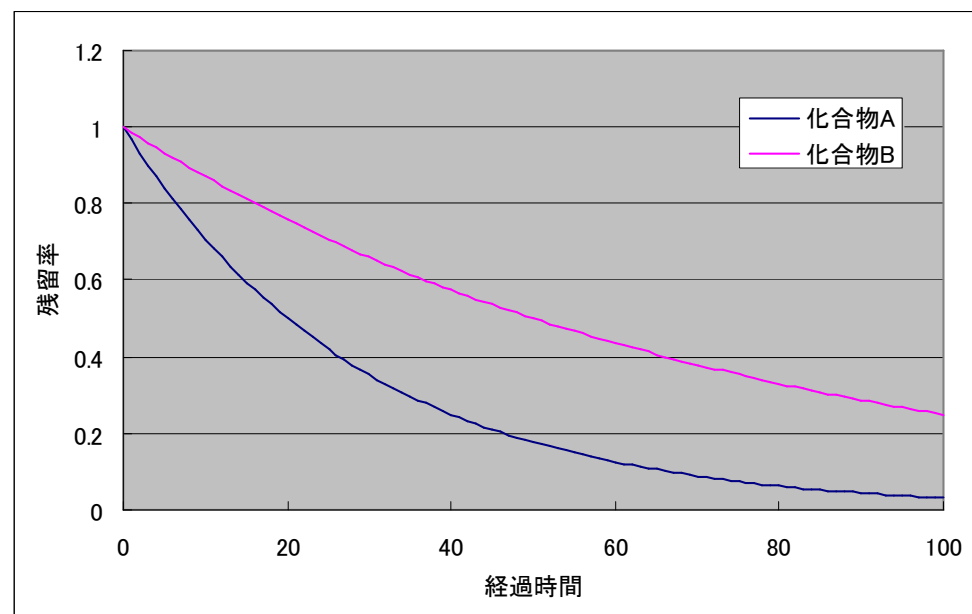
基礎となる構造をどのように決定するかよく検討が必要

精度の向上のために

1. 絶対値推定

- 退色半減期の異なる2種の発色分子を用いることができれば、異なる波長の強度比を利用し推定できる

2. 変化前後の色差が大きくなるような色の調整



目標設定等に関する疑問

- 感度目標: G値等
- 想定価格

競合する製品との相違点

見える化の対象は外部被曝
空間線量を対象とするなら β 線や紫外線には反応しないように、
ケースで遮蔽等を想定しているのか

重金属化合物を含む場合、家庭でごみとして処分できるのか。使用後の回収が必要になる可能性は？

価格調査

クイクセルバッジ、費用は12ヶ月で1万～2万円

輝尽性蛍光体PSL(Photo-Simulated Luminescence)、再利用可能

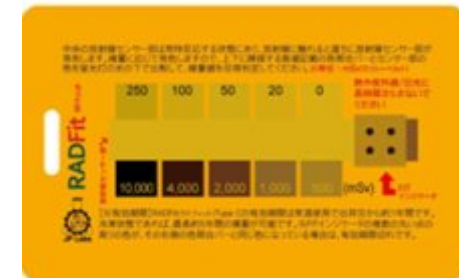
検出器にPINフォトダイオードを用いた安価(3500円)なカウンターも現れている
ポケットガイガー(非営利プロジェクト「radiation-watch.org」)

iPhone等に接続して計測、1計測20分

<http://www.radiation-watch.org/>

携帯型放射線累積線量計 RADFit 2500円～、製品寿命1年、
比較用色サンプル20mSv～10Sv(高線量地域向け?)

<http://www.radfit.jp/>





今後の方針

- 今回、シミュレーションやソフトウェアの適用を模索するため、調査を行いました
- 物質探索のための条件の絞込みや最適化のためのツールを提案していきたい

画像等引用元

- イメージングプレートによる放射線画像
- <http://www.rada.or.jp/database/home4/normal/ht-docs/member/synopsis/040080.html>
- B3WINdose線量計
- <http://isotope.c-technol.co.jp/products/sokutei/b3windose2.html>
- 電子線滅菌-線量測定
- <http://www.iwasaki.co.jp/chishiki/eb/06.html>
- ガラスバッジ・蛍光ガラス線量計
- http://www.leaktech.jp/hanbai/g_badge/
- ベントナイト
- http://www.kunimine.co.jp/bent/bent_02.htm