

2022/9/26～27 第46回日本防菌防黴学会@タワーホール船堀  
講演番号：2P-Ca03

# 化学線量計による紫外線照度評価法の高度化

岡本陽太<sup>1)</sup> 秋吉優史<sup>2)</sup> 古田雅一<sup>2)</sup>

1)大阪府立大学工学研究科量子放射線系専攻 2)大阪公立大学工学研究科量子放射線系専攻

# 紫外線照射による殺菌・不活化評価の問題点

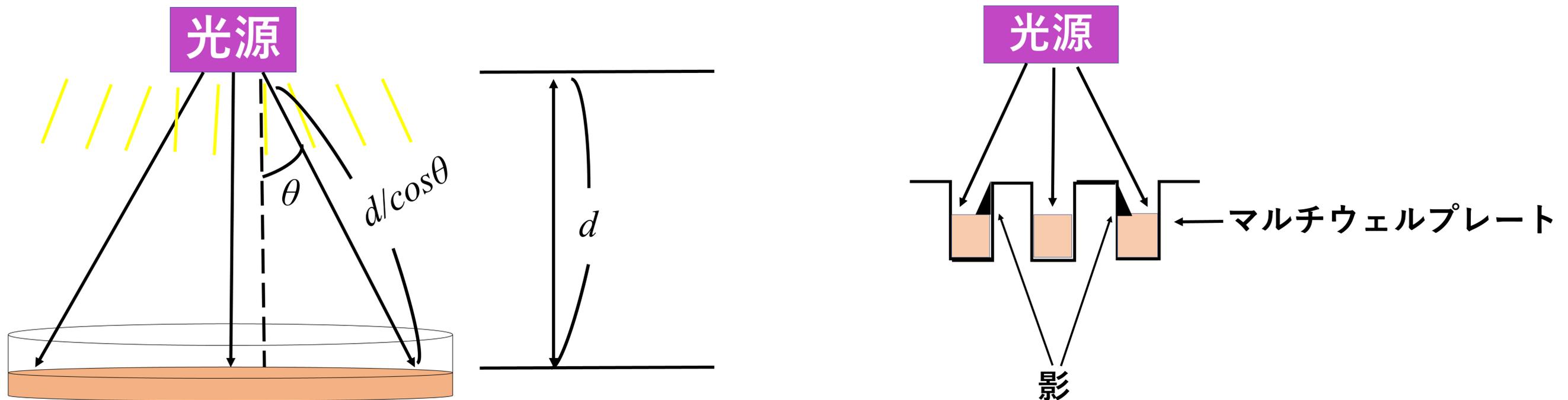
紫外線照射による殺菌・不活化は二次汚染がなく、菌種に対して選択性が少ないため不活化・殺菌手段として有効

→SARS-CoV-2では波長254nmの紫外線を4mJ/cm<sup>2</sup>程度の照射で99.9%不活化可能であることが明らかになっている<sup>1)</sup>

## ・問題点

試料表面での積算照度【mJ/cm<sup>2</sup>】やマルチウェルプレート上での照射量の均一性を考慮されていない研究報告が多く存在

- ・紫外線は距離の二乗に反比例して照度【mW/cm<sup>2</sup>】が変化する
- ・積算照度に対して生菌数は指数的に変化する
- ・UV-C領域(100-280nm)では波長によって不活化効果が大きく異なる



正確な紫外線による殺菌・不活化評価には  
紫外線波長・照射面での積算照度の測定が非常に重要

1) Mara Biasin et al : UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication, Scientific Reports, 11 (2021)

# 紫外線照度評価法の現状

- **紫外線測定手法の現状**

紫外線放射照度の測定手法に統一されたプロトコルが存在しない  
測定機器の仕様に関しても統一された規格が存在しない  
**装置の校正、特性などの評価は製造元に委ねられている**

産業界等からこれらの問題が指摘され照明学会では1994年に研究、調査が実施された<sup>1)</sup>

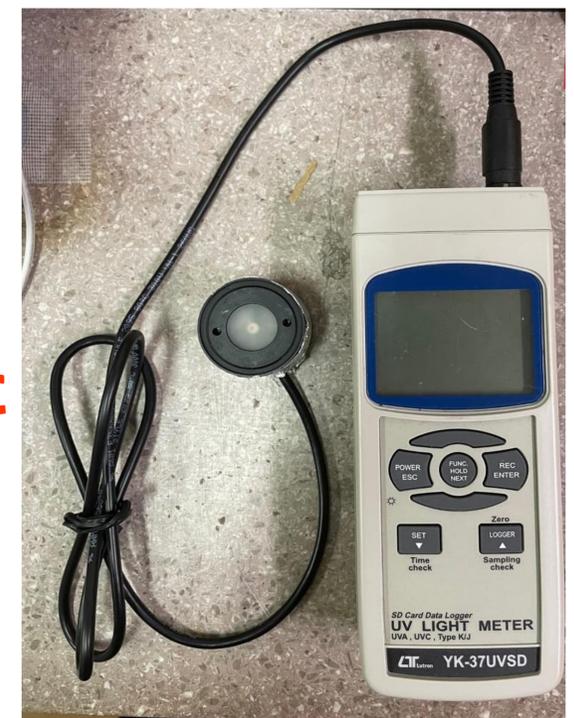
- **紫外放射照度計の入射角依存性**

紫外線光源から至近距離での照射の場合、入射角を考慮する必要がある

一般的な紫外放射照度計では検出器の設計上、斜め入射特性を正確に評価できない

検出器のサイズが大きく、複雑形状な面での照度評価は困難

**我々はラジオクロミックフィルムなどの化学線量計を使用した  
紫外線照度評価法に着目した**



# ラジオクロミックフィルムについて

厚さ約7~50 $\mu$ m、1cm四方のナイロン製

放射線照射によって発色する色素(Radiochromic material)が加えられており、照射による吸光度の変化をラジオクロミックリーダーを用いて測定することで吸収線量を評価する

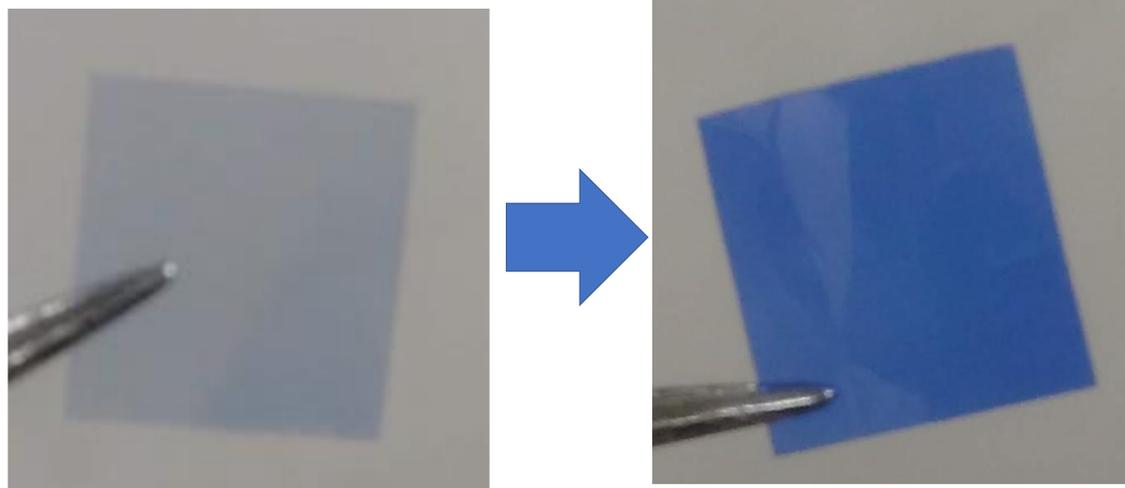
東洋メディックHP FWT-60シリーズ 製品試料より

放射線、紫外線が照射されると青色に発色する

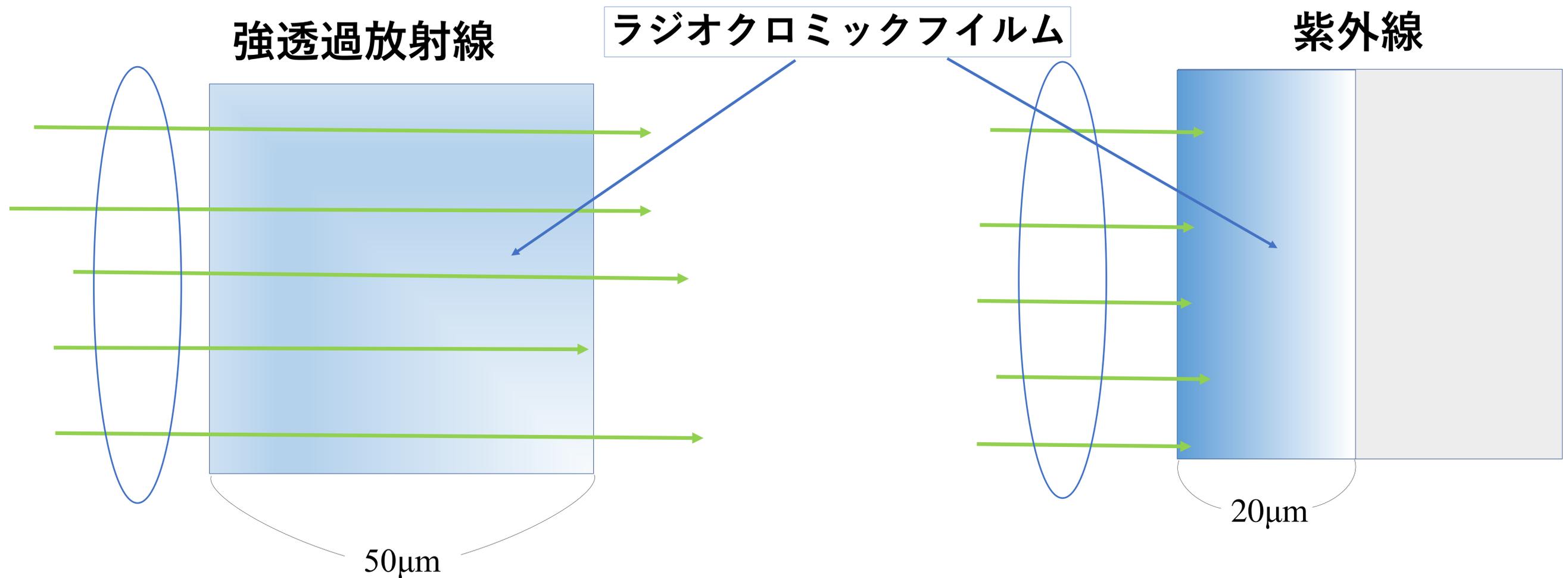
放射線滅菌などの大線量を与える滅菌用電子線照射装置の線量・品質管理に用いられている

積算照度が視覚的に判断可能

光源からの距離を正確に反映する



# ラジオクロミックフィルムの吸収線量評価の考え方



ラジオクロミックリーダーはフィルム全体の吸収線量を評価する

ガンマ線等の放射線は透過力が高いため、フィルム全体にエネルギーが吸収されるが、紫外線は透過力が低くフィルム表面のみで吸収される

放射線と紫外線では同じ吸収線量として評価できない

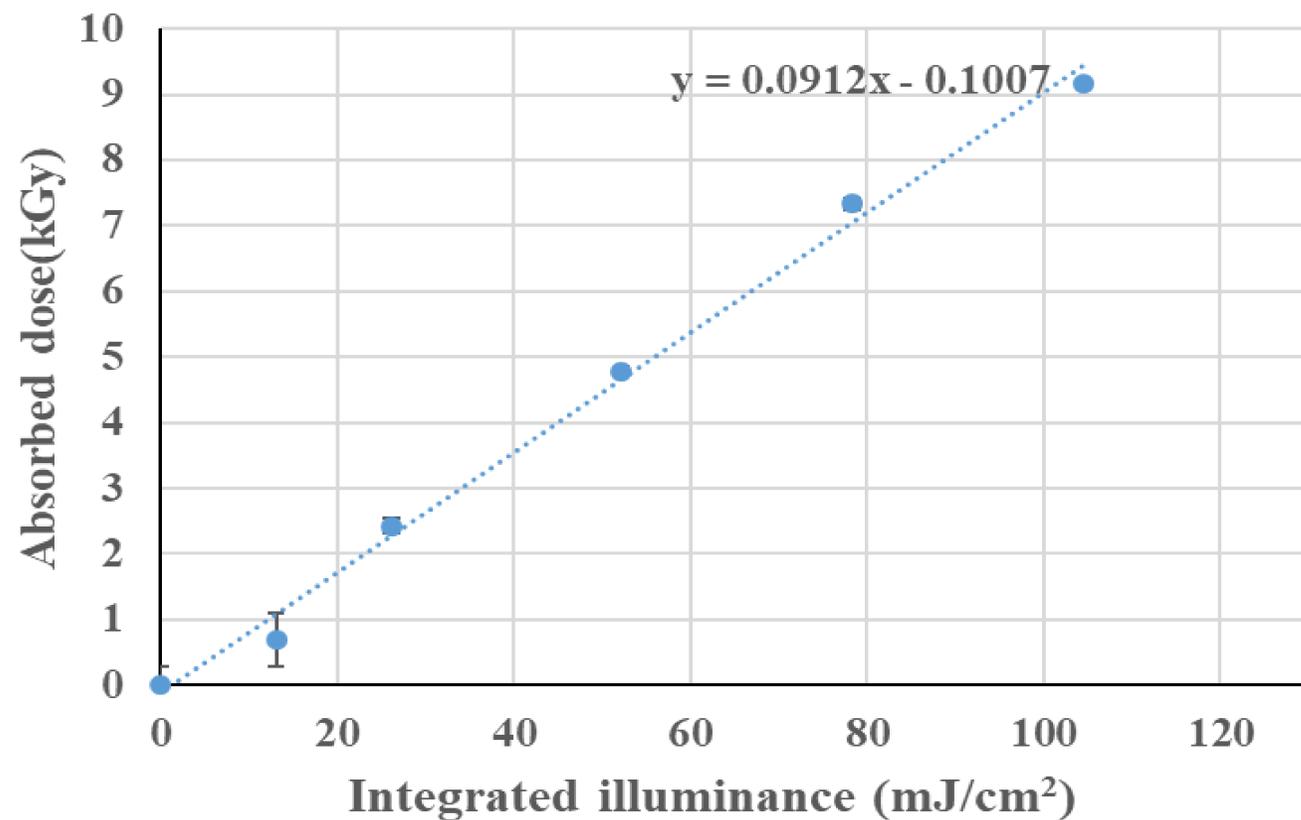


暫定的に**吸収線量に相当する量【kGy】**として扱う

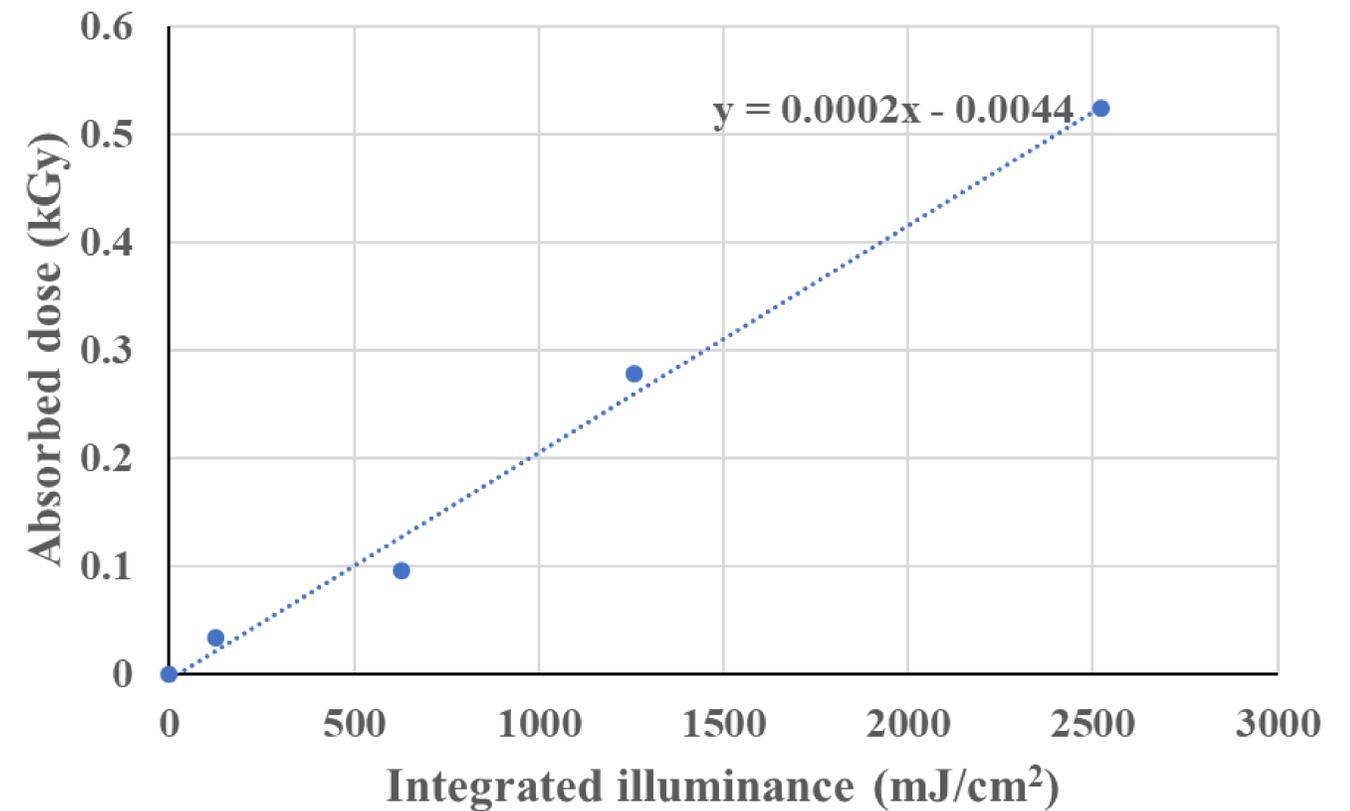
# ラジオクロミックフィルムの紫外線に対する挙動

## 積算照度依存性

### 254nm UV-C<sup>1)</sup>



### 365nm UV-A



積算照度と吸収線量に相当する量[kGy]は直線的な比例関係にある

照射後フェーディングの考慮は不要<sup>1)</sup>

→迅速、正確な線量評価が可能

複雑な算出式を必要としない理想的な紫外線照度評価が可能である

1) 圓堂寿敏「化学線量計を用いた紫外線放射照度評価手法の開発」修士論文p19(2022)

# ラジオクロミックフィルムのUV-C(254nm)入射角依存性

光源からある距離においた面での照度は光の進行方向に対して垂直である場合に最大となり、照射面を傾げることで余弦則に従い減衰する性質がある

垂直面での照度を $E_1$ 、入射角 $\theta$ 傾けたときの照度を $E_2$ とすると

$$E_2 = E_1 \cos\theta$$

の関係が成り立つ

## 照射条件

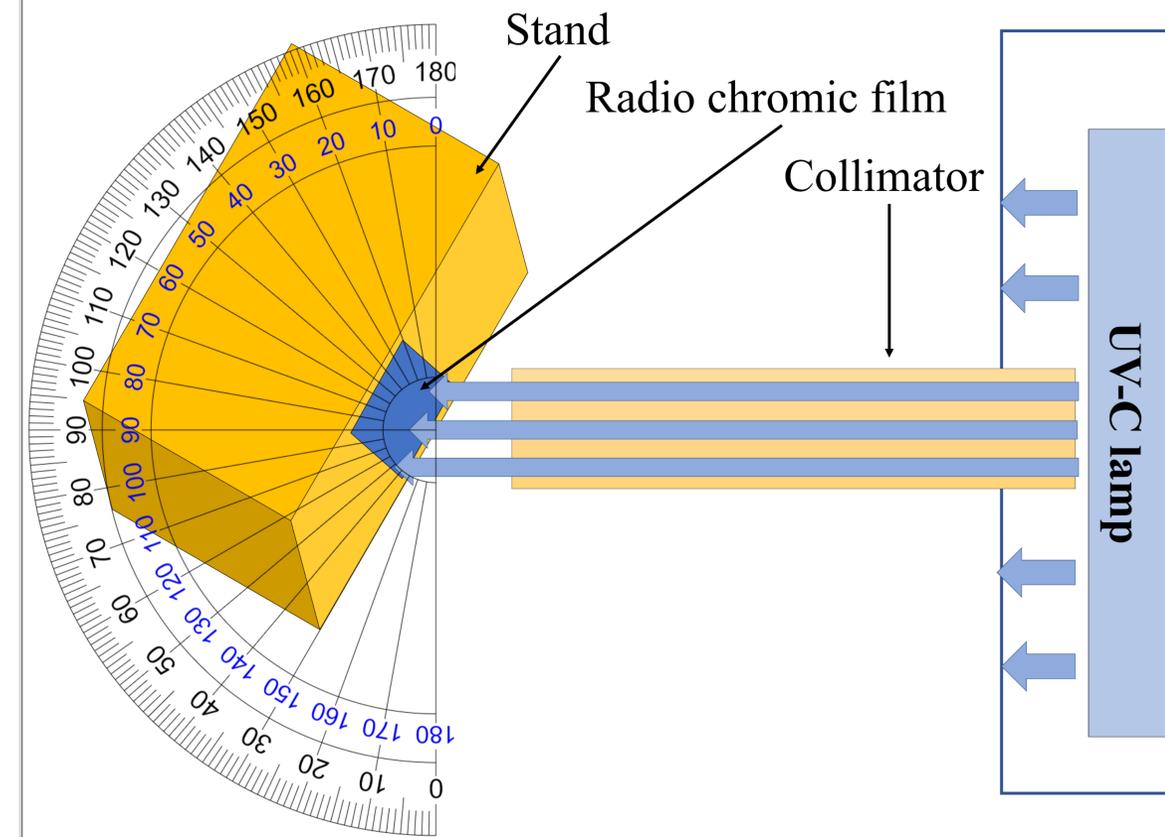
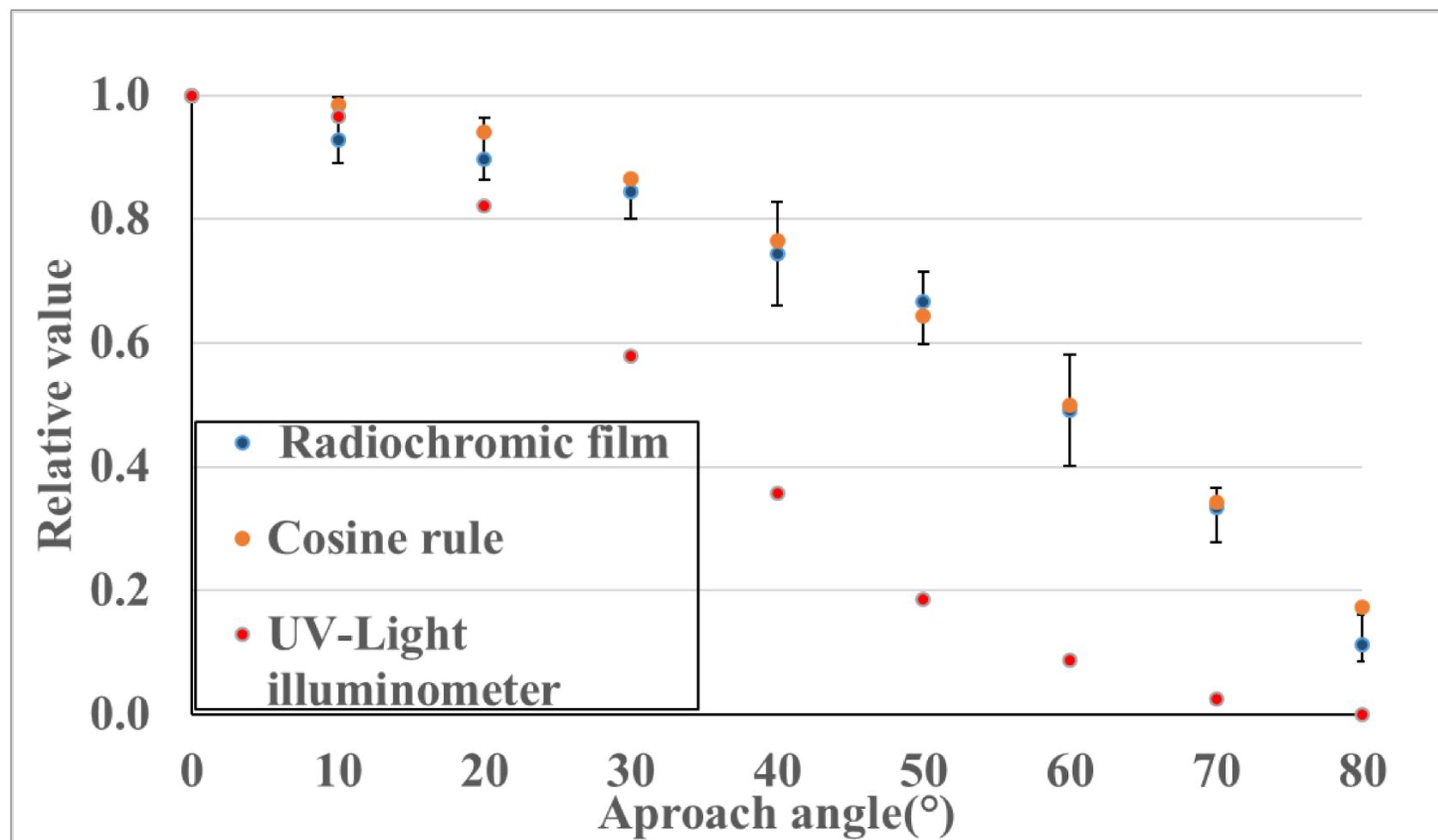
照度：0.20~0.23mW/cm<sup>2</sup>

積算照度：20~23mJ/cm<sup>2</sup> (入射角0° 設定時の紫外放射照度計による測定値)

- ・ 低圧水銀ランプ(NEC製 GL-6 ピーク波長:254nm)から放出される光をコリメートし、平行光線のみをラジオクロミックフィルム(Far west technology製 FWT-60型)に照射した
- ・ 照射後、ラジオクロミックリーダー(Far west technology製 FWT-92D)にて測定波長を600nmに設定し吸光度を測定し、メーカー提供のキャリブレーションシートを用いて吸収線量に相当する量(kGy)に換算した。
- ・ 入射角が0° の吸収線量に相当する量を1とし、その他の角度の吸収線量に相当する量を相対値(Relative value)として評価した

$$\text{相対値} = \frac{\text{各入射角の吸収線量に相当する量}}{\text{入射角}0^\circ\text{時の吸収線量に相当する量}}$$

# ラジオクロミックフィルムのUV-C(254nm)入射角依存性



入射角による各線量計の実測値と余弦則による理論値

照射実験図

ラジオクロミックフィルムの相対値は余弦則による理論値とほぼ同じ値を示した

ラジオクロミックフィルムは積算照度と吸収線量に相当する量[kGy]には直線的な比例関係にあるため理想的な照度評価が可能である

## ラジオクロミックフィルムの入射角依存性

吸収線量に相当する量(kGy)の各入射角における相対値は余弦則とほぼ等しい値を推移したことから、ラジオクロミックフィルムは放射照度計より正確な照度評価が可能であることが分かった

ラジオクロミックフィルムは複雑形状表面の紫外線照度分布の測定が可能であることが示唆される

## 今後の検討項目

- ・ より薄いラジオクロミックフィルムを使用し、紫外線侵入深さ方向の線量分布評価
- ・ ラジオクロミックフィルムの感度の波長依存性
- ・ UV-A、UV-B領域の波長での斜入射特性の評価

を行っていく予定である