

2022/11/24~26 第4回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会@九州大学伊都キャンパス
講演番号：1B3-2

紫外線領域の低エネルギー光子に対する深さ方向の 吸収線量分布評価

Absorbed energy of ultraviolet ray depending on optical pass length

岡本陽太¹⁾ 秋吉優史²⁾ 松浦寛人²⁾

1)大阪府立大学工学研究科量子放射線系専攻

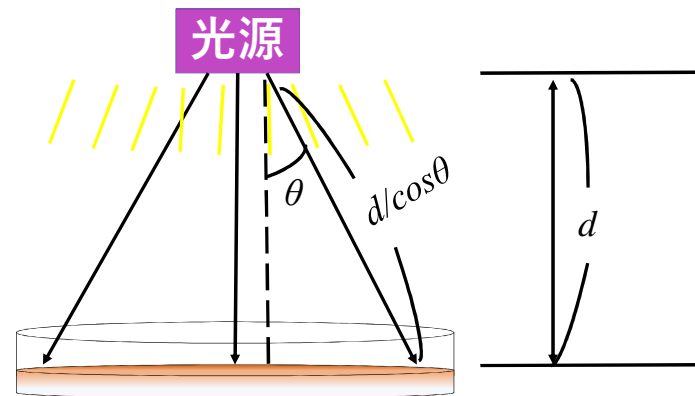
2)大阪公立大学工学研究科量子放射線系専攻

紫外線について

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・殺菌手段として注目されている

→SARS-CoV-2では波長254nmの紫外線を4mJ/cm²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¹⁾

- ・透過力が非常に弱いため、照射表面ごく近傍で全てのエネルギーが吸収される
- ・紫外線照射による不活化・殺菌効果は積算照度に対して一般的に指数関数的に減少する
- ・紫外線は距離の二乗に反比例して照度【mW/cm²】が変化する
- ・入射角に応じて余弦則に従い、照度が変化する



対象物の菌やウイルスの濃度が濃いと、深部まで紫外線が到達しない

化学線量計であるPVA-KIゲルやラジオクロミックフィルムなどを使用し、
深さ方向の線量分布の評価を試みた

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

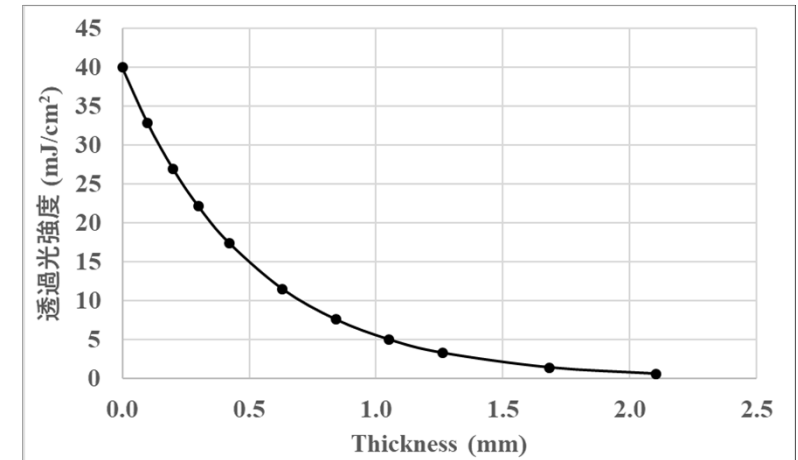
PVA-KIによる深さ方向の紫外線吸収線量評価

254nm UV-C照射前に吸光度を読み取ることで、Lambert-Beerの法則より吸収光量を算出することができる。吸光度 A 、試料に入射した光の強度を I_0 、透過した光の強度を I 、モル吸光係数 ϵ 、モル濃度 c とすると

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \epsilon c L$$

$$I_0 - I = I_0(1 - 10^{-A})$$

吸収光量は $I_0 - I$ で表せるので
となる。



実験条件

照度：0.4mW/cm²

積算照度：40mJ/cm² (ケニス製 YK-37UVSD による測定値)

PVA-KIの厚さ：0.4~2.1mm

- ・ 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、シャーレに滴下したPVA-KIに照射した

PVA-KIの組成

PVA(乾燥重量)	0.5g
KI	2g
Borax	5g
果糖	9g
純水	245g

未照射試料を石英セルに入れ、紫外可視分光光度計にて吸光度測定

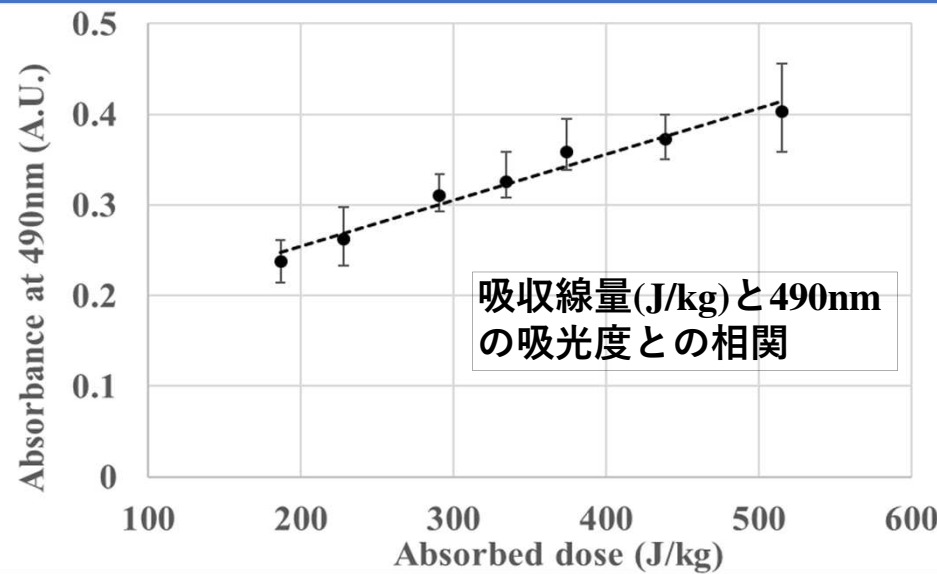
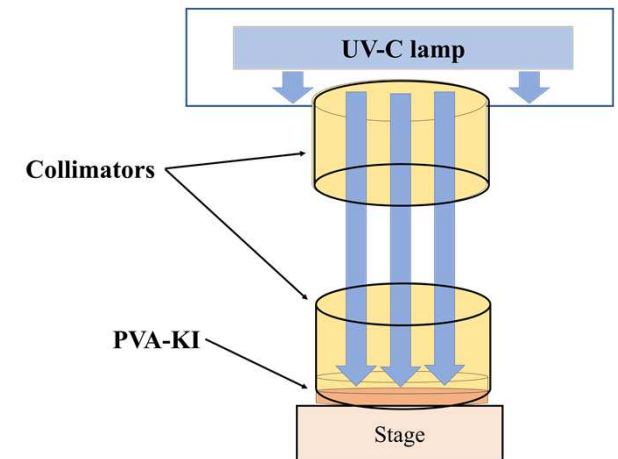
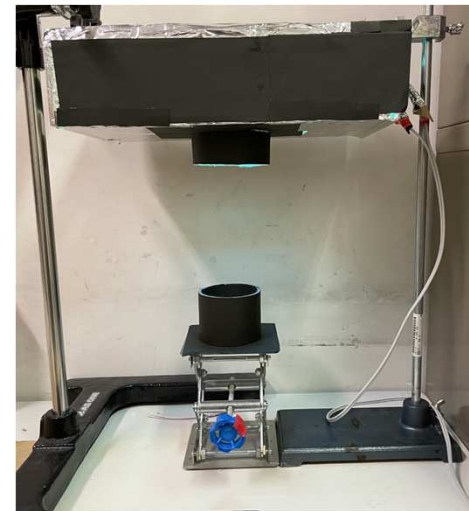
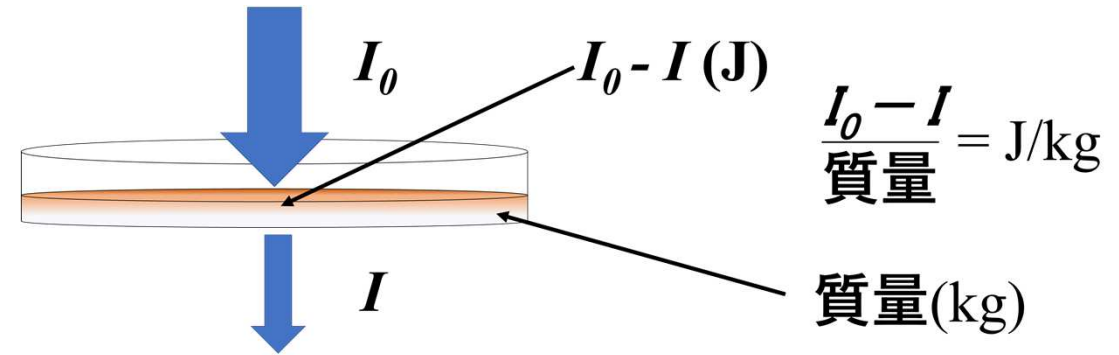
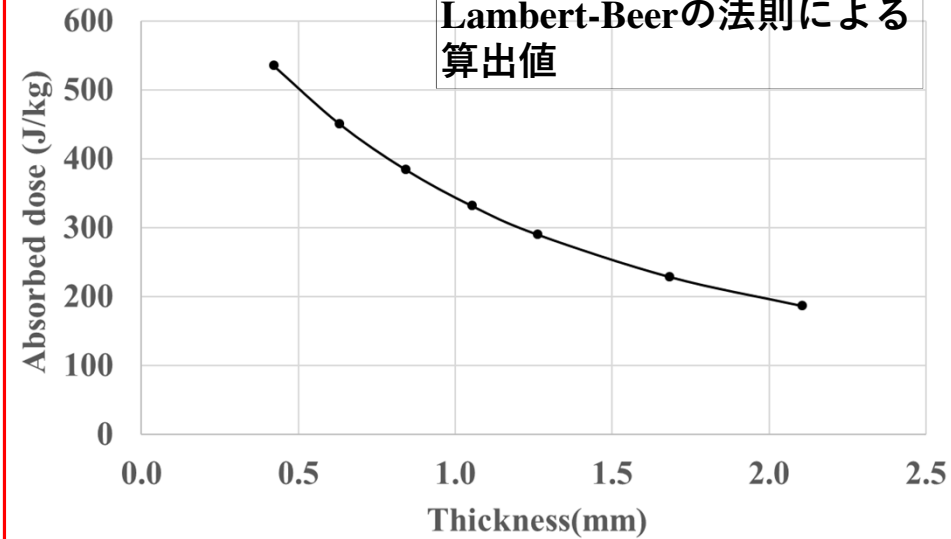
254nmの吸光度から、深さLの試料に対する吸収エネルギーを求め、質量で割ることで吸収線量(J/kg)を算出

UV-C照射後の490nmの吸光度と吸収線量の相関について評価

PVA-KIによる深さ方向の紫外線吸収線量評価

PVA-KIの深さが小さくなるにつれて吸収線量は大きくなり、490nmでの吸光度についても大きくなった

- 照射表面近傍のみで全てのエネルギーが吸収される紫外線の特徴を示していると考えられる

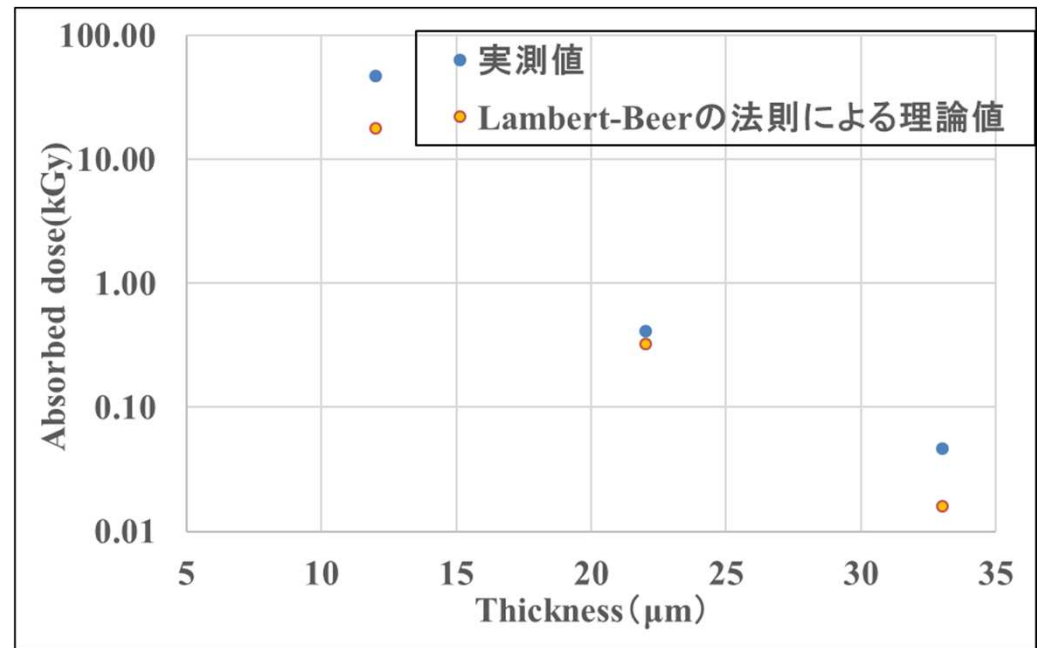
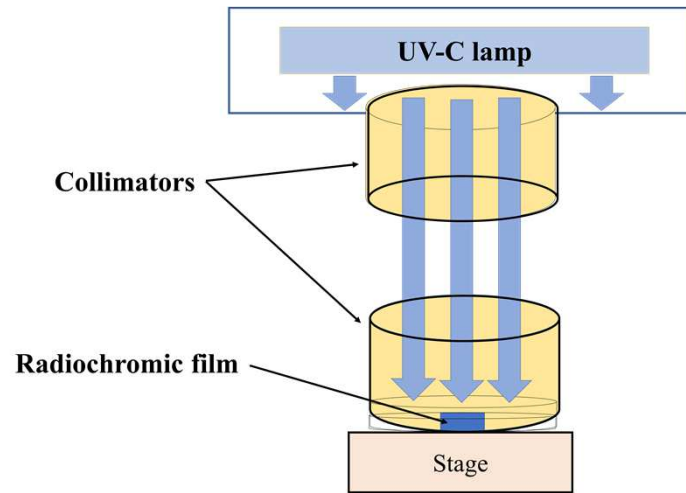


ラジオクロミックフィルムによる厚さ方向の吸収線量評価

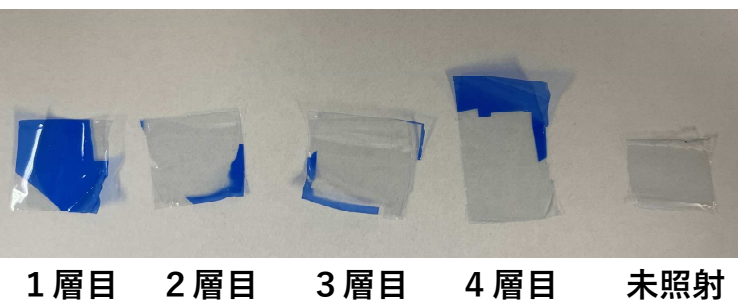
実験条件

照度：0.5mW/cm² 積算照度：20mJ/cm² (ケニス製 YK-37UVSDによる測定値)

- ・ **厚さ11μm**のラジオクロミックフィルム(Far West Technology製 FWT-60-810)を4枚重ねて低圧水銀ランプからコリメートしたUV-Cを照射した
- ・ 照射後は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に設定して吸光度を測定し、放射線計測の場合の検量線を用いて吸収線量(kGy)に換算した



3層目以降(22μm~)はUV-Cがほとんど透過していないことが分かった
わずかな厚みの変化で吸収線量は大きく変化することから、フィルム厚さを正確に測定する必要がある



総括

PVA-KIによる深さ方向の紫外線吸収線量評価

試料深さを調整することで、同じ積算照度の紫外線を照射しても吸収線量を変化させることが可能であり、490nmの吸光度から吸収線量を評価可能であることが示唆された

⇒紫外線による影響をGyで評価できる可能性

ラジオクロミックフィルムによる厚さ方向の吸収線量評価

ラジオクロミックフィルムによる評価では厚さが22 μm 以上ではほぼ透過しておらず、254nmUV-Cの侵入深さ(約18 μm の範囲で吸収される¹⁾)とほぼ一致し、また厚さが1 μm 単位で紫外線照度は大きく変化することが分かった

今後の検討項目

- ・PVA-KIについては照射波長の吸光度から評価された吸収線量と490nmでの吸光度との相関
- ・UV-A、UV-B領域の紫外線の深さ方向の吸収線量評価

を行っていく予定である

1) 秋吉優史：フィルム状の化学線量計を用いた紫外線放射照度評価， 第55回照明学会 全国大会 発表資料

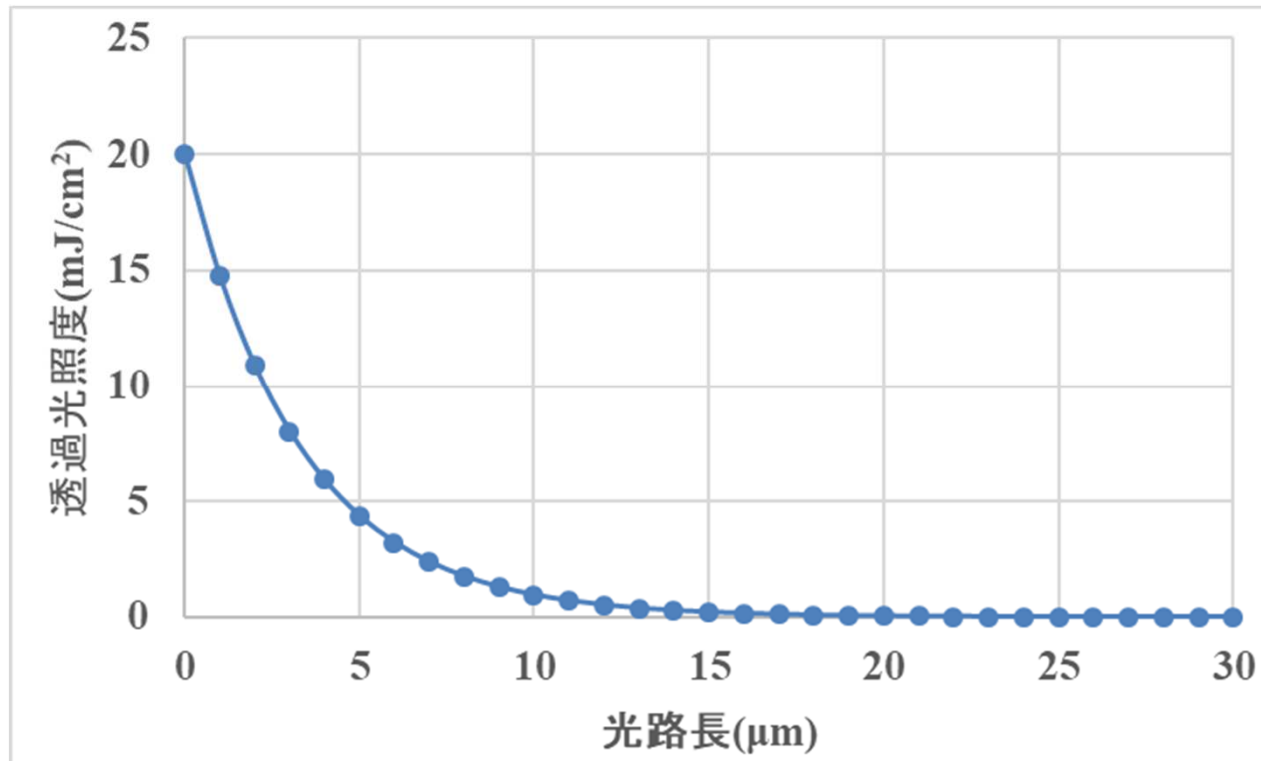
ありがとうございました

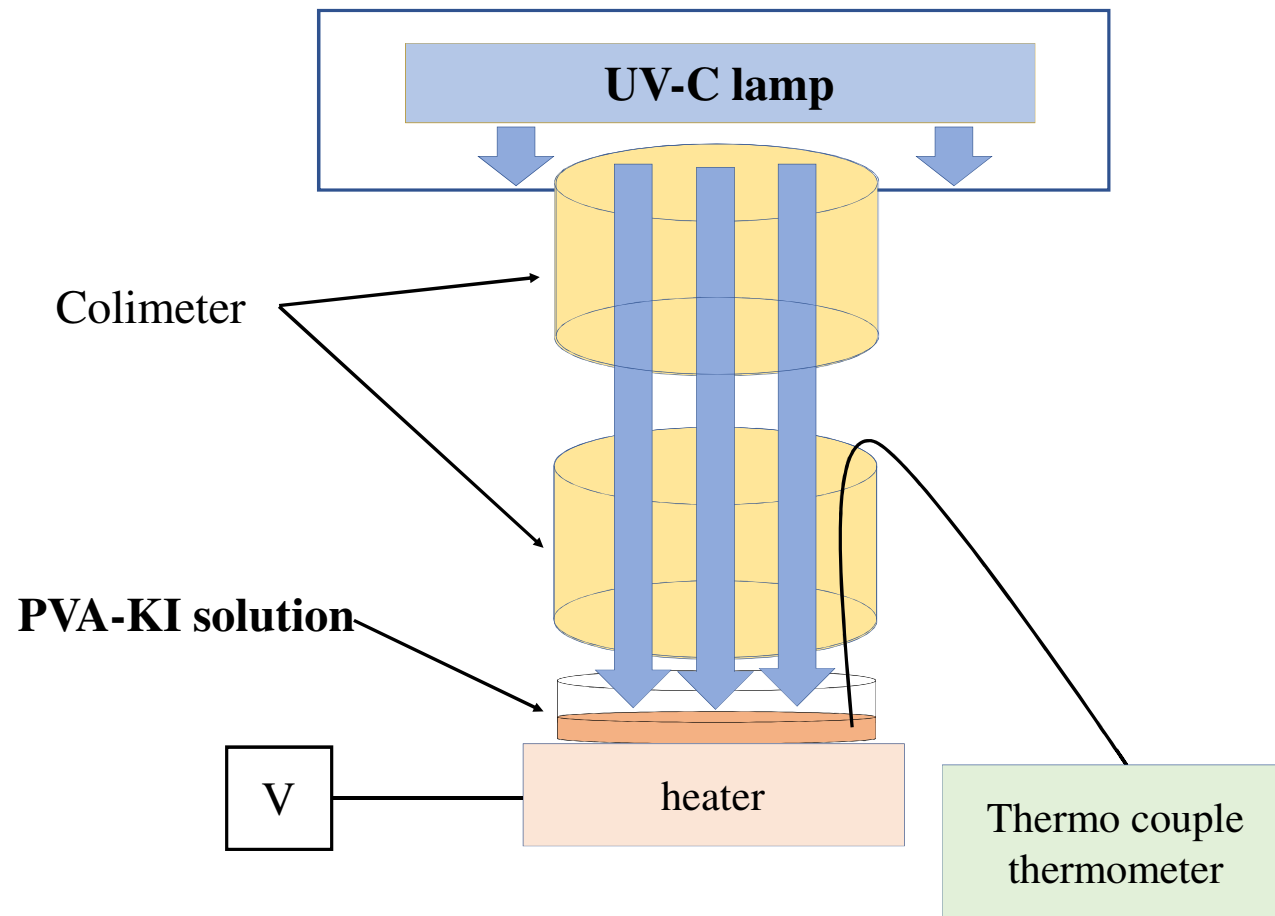
ラジオクロミックフィルムのフィルム厚さと透過光強度の関係

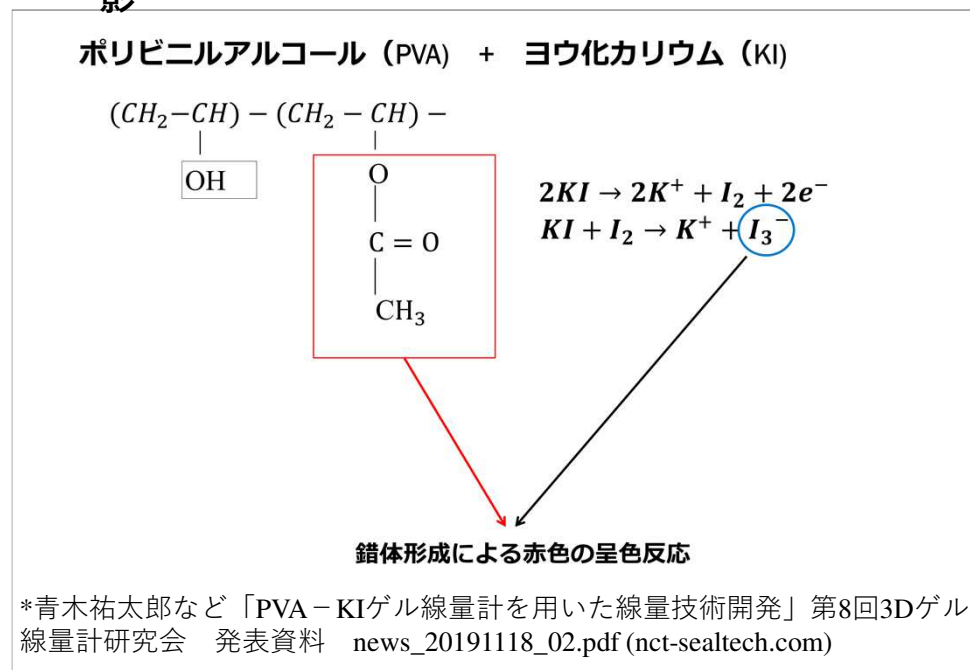
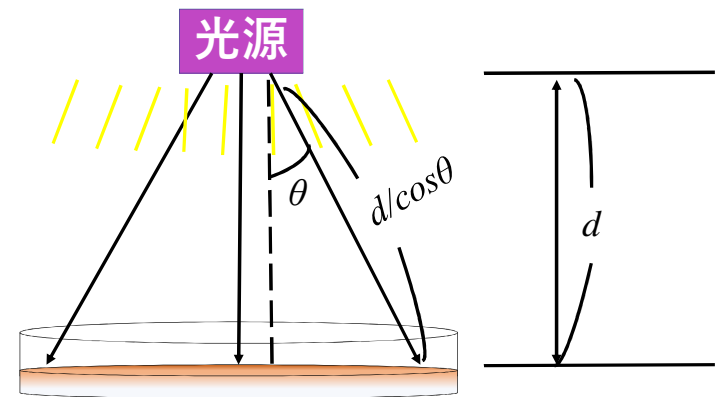
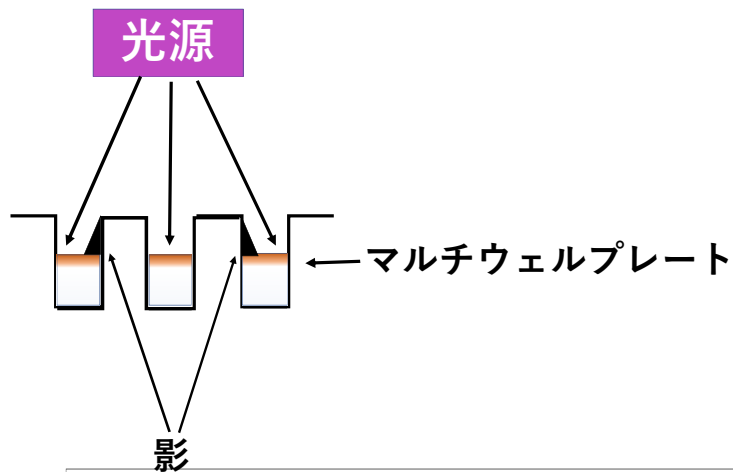
石英セルにフィルムを貼り付け、紫外可視分光光度計にて吸光度測定を行い、Lambert-Beerの法則より吸光度と光路長の関係から吸光係数を算出

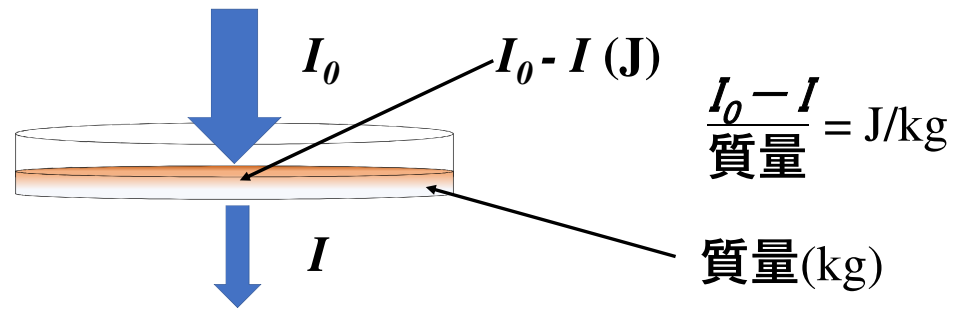
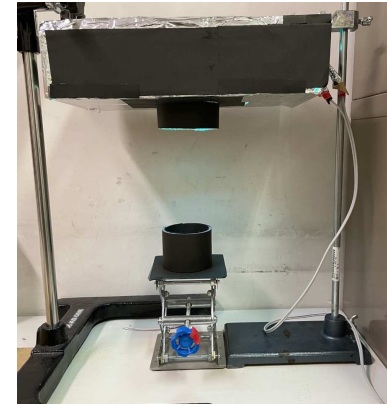
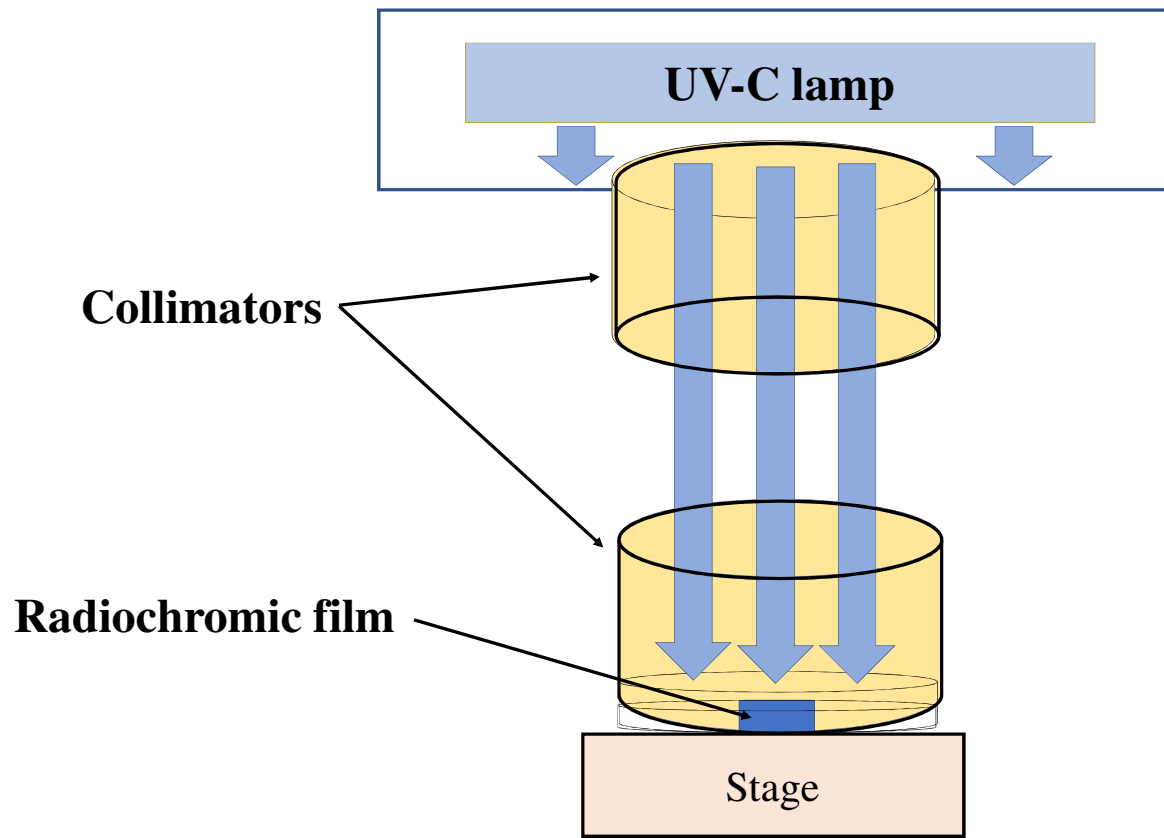
254nmにおける吸光係数 b : 304

吸光係数が大きく、わずかな厚みの変化で吸収光量に大きな差が発生する









石英セルに入れ、紫外可視分光光度計にて吸光度測定



Lambert-Beerの法則より、254nmでの吸光度から吸収光量(mJ/cm^2)を算出



吸収光量から吸収線量(J/kg)を算出し、490nmでの吸光度との相関を試料の深さごとに評価



吸光度からモル吸光係数を算出し、深さごとの吸収線量(J/kg)を算出
吸収線量を試料深さごとに評価