

様々なランプによる紫外線消毒および光回復現象への濁質の影響

Effect of turbidity on photoreactivation following UV disinfection

0130114 澤村なつみ 大瀧雅寛

Natsumi SAWAMURA and Masahiro OTAKI

お茶の水女子大学 環境工学研究室

1. はじめに

紫外線消毒は設備が単純、維持管理が容易、副生成物が生成しにくい等の長所から、上下水道で中心となっている塩素消毒の代替法として検討されている。実プラントへの適用にあたっての主な検討課題として、水中に存在する吸光物質や濁質による透過光の減少や、消毒後の細菌の光回復などが挙げられる。濁質の影響については、対象微生物の吸着により UV 照射が阻害され不活化率が減少するという結果¹⁾が得られている。光回復は紫外線照射によって不活化された細菌が、その後自然光などの可視光照射 (300 nm 以上) を受けると遺伝子損傷が修復されて増殖能を回復するという現象であり、ウイルスには見られない。また、照射波長の異なるランプを用いた場合は、濁質の影響が異なる事が報告¹⁾されており、光回復がこの原因ではないかと考えられる。そこで本研究では、異なる殺菌ランプ下における、濁質共存下での不活化速度について、光回復能の影響を調べた。そのため、種類の異なる 2 種類の *E. coli* K12 (NBRC3301) および (NBRC13965) を用い、低圧ランプおよびパルスランプによる不活化実験を行い、その後光回復による生存率の変化も調べながら、光回復の影響を調べることにした。

2. 実験方法

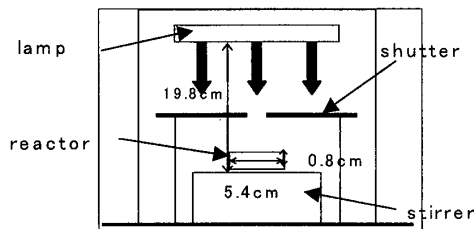


Fig.1 The schematic diagram of the experimental apparatus

紫外線照射装置の概略図を Fig.1 に示す。紫外線光源として低圧ランプ (東芝製殺菌ランプ, 20 W), パルスセキノンランプ (株) 岩崎電気社製) を用いた。可視光の光源としては蛍光ランプ (日立製, 20 W) を用いた。またモデル濁質として上水濃縮汚泥を濁度 260 NTU 前後に希釈したものを用いた。紫外線と可視光の線量は照射時間により調節した。*E. coli* K12 の高濃度試料 (約 10^6 CFU/mL) 15 mL を内径 5.4 cm のシャーレ (水深は 0.8 cm となる) に入れ、ランプ下からの水面までの距離を 19.8 cm に設置し、

スターラーで攪拌しながら紫外線、可視光を照射した。光回復実験においては、UV ランプによる不活化後、すみやかに可視光を照射した。

3. 不活化率の算定

既存の研究²⁾から微生物の不活化は照射時間 t における一次反応式で表されることがわかっている。

$$\ln(Nt/No) = -k \cdot I \cdot t \quad (1)$$

No : 紫外線照射前の *E. coli* K12 濃度 (CFU/mL)

Nt : 紫外線照射 t (s)後の *E. coli* K12 濃度 (CFU/mL)

k : *E. coli* K12 の不活化速度定数 (cm^2/mJ)

I : 紫外線線量率 (mW/cm^2) t : 紫外線照射時間 (s)

4. 不活化速度係数の理論値の算定方法

Lambert-beer 則と吸光度を用いて次式(2)から理論平均線量率 I_{avg} が算定される。

$$I_{\text{avg}} = I_0 \times (1 - e^{-2.3AL}) / 2.3AL \quad (2)$$

I_{avg} : リアクター内の平均線量率 (mW/cm^2)

I_0 : 液面における線量率 (mW/cm^2)

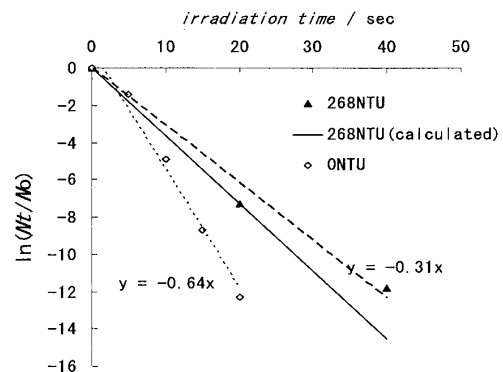
A : 吸光度 (cm^{-1}) L : 光路長 (液面高さ) (cm)

見かけの不活化速度係数 ($k \cdot I$) の比はこの線量率の比と同じと考えられるので速度係数の理論比が決まる。

5. 結果と考察

5-1. 低圧 UV ランプによる不活化

Fig.2 に低圧ランプによる *E. coli* K12 (NBRC3301) の不活化実験の結果を示し、Fig.3 に低圧ランプによる *E. coli* K12 (NBRC13965) の不活化実験結果を示す。

Fig.2 Turbidity effect on *E. coli* K12 (NBRC3301) by LPUV

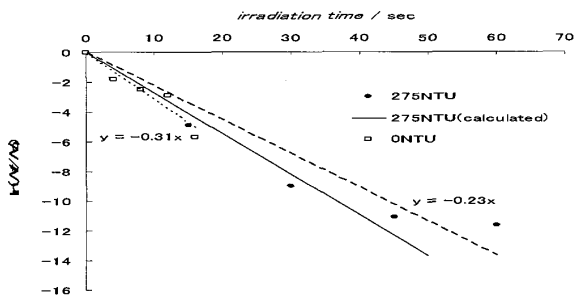


Fig.3 Turbidity effect on *E.coli* K12 (NBRC13965) by LPUV

E.coli K12 (NBRC3301) の0 NTU(濁度なし)実験時の紫外線線量率は0.39 mW/cm²であったので不活化速度定数 k は1.6 cm²/mJ, *E.coli* K12 (NBRC13965), 0 NTU(濁度なし)実験時の紫外線線量率は0.4 mW/cm²であったので不活化速度定数 k は0.8 cm²/mJとなり, 異なる大腸菌では紫外線に対する感受性の違いがあることがわかった. また, *E.coli* K12 (NBRC3301), *E.coli* K12 (NBRC13965) とも, 濁質共存下では, 消毒効率が理論比よりも低下することが示された. ウィルスを用いた既存の研究³⁾でも同様の効果が得られており, 大腸菌の濁質への吸着が影響していると考えられる.

5-2. 低圧 UV ランプによる不活化後の光回復 (0 NTU)

既存の研究²⁾によれば, 光回復には360 nm 光を指標とできることがわかっている. それぞれの実験時の可視光の線量率は波長360 nmで3.1~4.4 μW/cm²であった. 濁質共存下における実質の可視光照射線量は見かけの可視光照射線量に線量率の比をかけたものであるので I とおく. 縦軸に $\ln(N_t/N_0)$, 横軸に可視光照射線量 $I \times t$ (mJ/cm²) (0NTUの時), または $I \times t$ (mJ/cm²) (濁質ありの時) にプロットした図を Fig.4 に示す. なお, N_t : 可視光照射 t (s)後の *E.coli* K12 濃度 (CFU/mL) とする.

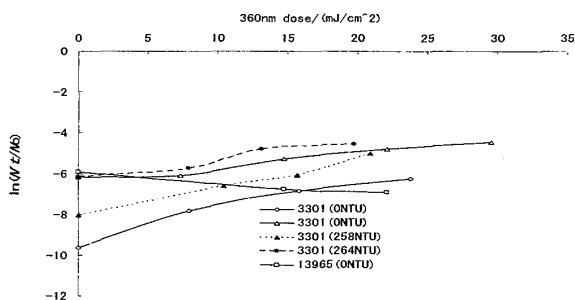


Fig.4 Photoreactivation of *E.coli* K12 following UV inactivation

実験から大腸菌の種類により, 可視光に対する影響が異なり, *E.coli* K12 (NBRC3301) は光回復をするが, *E.coli* K12 (NBRC13965) は光回復をしないことがわかった.

光回復能をもつ *E.coli* K12 (NBRC3301) の光回復実験においては, 濁質による影響はあまりみられなかった.

5-3. パルスランプによる不活化

Fig.5 に低圧ランプによる *E.coli* K12 (NBRC3301) の不活化実験の結果を示し, Fig.6 に低圧ランプによる *E.coli* K12 (NBRC13965) の不活化実験結果を示す.

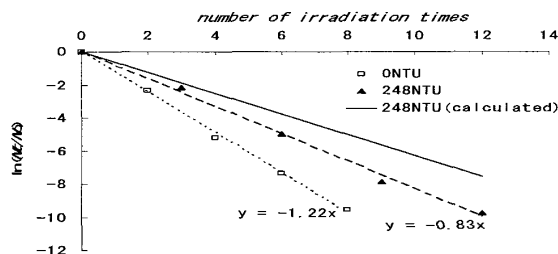


Fig.5 Turbidity effect on *E.coli* K12 (NBRC3301) by Pulsed Xe lamp

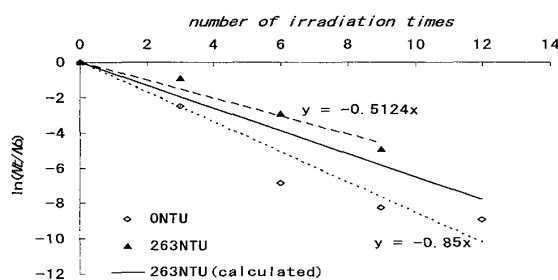


Fig.6 Turbidity effect on *E.coli* K12 (NBRC13965) by Pulsed Xe lamp

パルスランプによる濁質共存下による不活化では *E.coli* K12 (NBRC3301) は, 理論よりも消毒効率が増加し低圧ランプの場合と異なる結果となった. *E.coli* K12 (NBRC13965) は, 低圧ランプと同様に理論よりも効率が低下した. これは光回復能力をもつ *E.coli* K12 (NBRC3301) が, パルスランプ下では不活化と同時に光回復が行われていることに由来するのではないかと考えられる.

6. まとめ

光回復をする大腸菌と光回復をしない大腸菌では低圧ランプによる不活化への濁質の影響は同様に理論より低効率であったが, パルスランプでは光回復をする大腸菌では影響が異なることがわかった. また, 濁質共存下における, 光回復への影響は見られなかった.

7. 参考文献

- 1) 佐藤あゆみ: 紫外線処理による大腸菌の不活化における濁質の影響, 2004
- 2) 大瀧雅寛, 鹿島田浩二, 石渡淳, 赤井田悟史, 大垣眞一郎: 紫外線照射処理および紫外線—光触媒処理における細菌の光回復, 環境工学研究論文, 第34巻, 1997
- 3) 役山由里子, 大瀧雅寛: 濁質共存下における大腸菌ファージの紫外線消毒効率評価, 2002