

紫外線照射光触媒処理における大腸菌の光回復に関する研究

東京大学大学院工学系研究科	学正会員	小熊久美子
同上	正会員	大瀧雅寛
同上	正会員	大垣真一郎

1. 目的

紫外線処理は、トリハロメタンなどの副生成物を生じない、薬品添加が不要であるなどの長所を有し、塩素の代替消毒法として有望であるが、光回復という問題を有する。光回復は、紫外線により不活化された細菌が可視光照射下で再び活性を取り戻す現象である。日本において紫外線処理は下水処理への適用例が多く、処理水は放流後に太陽光線に曝されるため、紫外線処理の実用化に際して光回復の定量的評価は一つの課題である。既存の研究によると、紫外線処理に光触媒を導入した紫外線照射光触媒処理では、光回復が抑制できると報告されている¹⁾。本研究では、光触媒導入による光回復抑制効果を定量的に評価することを試みた。

2. 実験方法

実験には、財団法人発酵研究所より購入した大腸菌 *E.coli*(IFO 3301)を用い、大腸菌濃度 10^5 CFU/mL、254nm 吸光度 0.08cm^{-1} 程度になるようリン酸緩衝液で希釈して使用した。まず紫外線処理または紫外線照射光触媒処理を施して大腸菌を不活化し、その後可視光($100\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)を照射して光回復させた。紫外線照射には低圧水銀紫外線ランプ(STANLEY 殺菌ランプ GGL6、20W×2本)を、可視光照射には白色蛍光灯(HITACHI 白色蛍光灯 18W×2本)を用いた。実験には円筒形リアクターを用い、紫外線照射光触媒処理ではリアクター底面に二酸化チタン(石原産業製 ST-K03)をコーティングして使用した。試料は可視光照射時間に応じてサブリングし、平板混釈二重層法で大腸菌濃度変化を測定した。対照実験として、不活化後暗所に置き光回復が起らないようにした試料の大腸菌濃度変化も測定した。

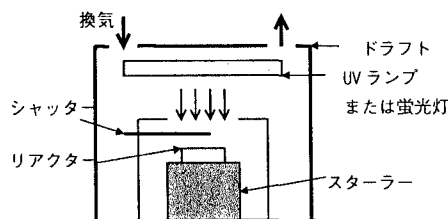


図1 紫外線/可視光照射装置

3. 結果および考察

光回復実験結果の比較から、紫外線照射光触媒処理後の光回復では、光回復速度が遅くなること、また、紫外線単独の場合と異なり、光回復生残率が平衡に達しないことがわかった(図2)。光回復生残率が平衡に達しないのは、光回復と同時に残存細菌の増殖が起きているためであると考えられる。そこで、増殖を考慮して光回復を議論するため、既存の光回復モデル(Dulbecco, 1955)²⁾に増殖項を導入した新たなモデル(1)(2)(3)を提唱した。

$$\begin{cases} \frac{dS_a}{dt} = k \{S_m - (S_a + S_0)\} & (S_a=0 \text{ at } t=0) & (1) \\ \frac{dS_b}{dt} = \mu(S_b + S_a) & (S_b=S_0 \text{ at } t=0) & (2) \\ S = S_a + S_b & & (3) \end{cases}$$

S_a : 光回復による生残率増分(-), t : 時間(min)

S_m : 最大光回復生残率(-), k : 光回復速度定数(min^{-1}),

S_b : 増殖によって増加した生残率(-),

μ : 比増殖速度定数(min^{-1}), S_0 : 可視光照射時間 0(min)における生残率(-)

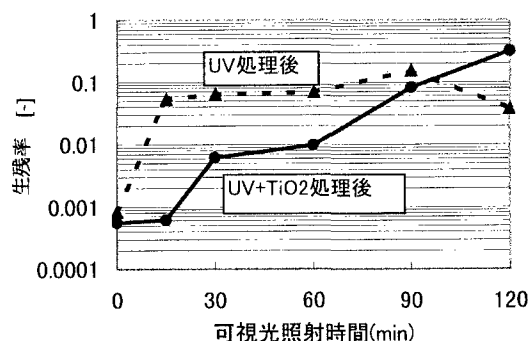


図2 処理後の光回復の比較

(照射 UV 線量はいずれも $4.47\text{mWs}\cdot\text{cm}^{-2}$)

キーワード: 紫外線処理、大腸菌、光回復、光触媒

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

Sは可視光照射試料の生残率として実測される。比増殖速度 μ は光触媒を導入すると大きくなる傾向が見られ(図3)、紫外線照射光触媒処理で光回復生残率が平衡に達しないのは増殖の影響が大きいためであると考えられた。またkについては、増殖よりも光回復の寄与が大きいと考えられる $t < 30(\text{min})$ の範囲の実測値から式(1)により求めた。光触媒を導入するとkが小さくなる傾向があり、紫外線照射光触媒処理における光回復速度の抑制効果が見られた(図4)。kの平均値で評価すると、光触媒導入により光回復速度は約1/4に抑制された。

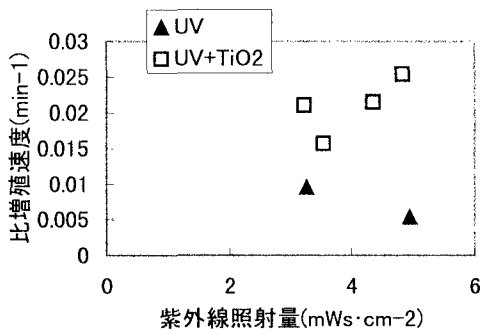


図3 比増殖速度 μ (min^{-1})の比較

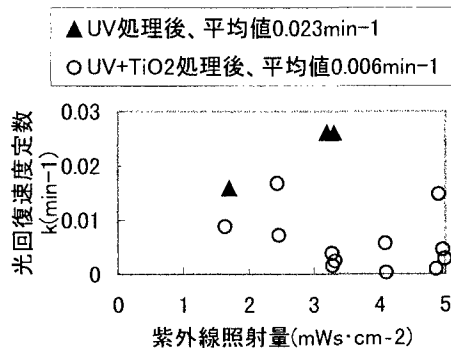


図4 光回復速度定数k (min^{-1})の比較

式(1)~(3)の解析解によりシミュレーションした結果、実測生残率をほぼ表現することができた(図5)。

本研究結果から、紫外線処理または紫外線照射光触媒処理後の細菌濃度は光回復と増殖の両方の影響を受けることが示唆された。処理水の有機物濃度や水温などの諸条件により増殖量は異なると予想されるので、様々な試料の光回復を比較するためには光回復現象を増殖を考慮して評価することが必要である。よって、増殖項を導入した新たな光回復モデルが必要であり、モデルについての一層の検討が求められる。また、本研究では光回復によって増加した生残率の定量に至らず、最大光回復量の抑制効果についての議論はできなかったが、光触媒反応により菌体が分解されていれば光回復量も抑制されているものと予想され、今後の検討課題としたい。

4. 結論

- 1) 紫外線処理に光触媒を導入すると、紫外線単独処理の場合に比べ残存細菌の比増殖速度が大きくなった。
- 2) 紫外線処理に光触媒を導入すると、紫外線単独処理の場合に比べ処理後の光回復における光回復速度定数が小さくなった。光回復速度定数の平均値で比較すると、光回復速度は約1/4に抑制された。
- 3) 増殖を考慮した光回復モデルを設定しシミュレーションした結果、可視光照射試料における細菌の生残率上昇をほぼ表現することができた。よって光回復過程における細菌の生残率上昇の一部は増殖によるものであり、光回復モデルに増殖項を導入する必要性が示された。

<参考文献>

- 1) 大瀧雅寛ほか、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、環境工学研究論文集、第33巻、1996
- 2) Dulbecco R., Photoreactivation, In Radiation Biology, Vol.2, pp455-486, McGraw Hill Book Co., Inc., New York, 1955

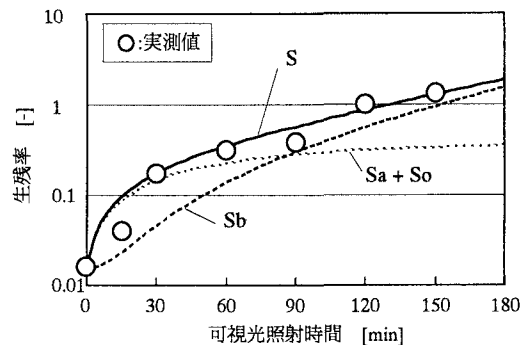


図5 UV+TiO2 処理後の光回復シミュレーション結果
($\mu=0.015\text{min}^{-1}$, $k=0.015\text{min}^{-1}$, $UV=4.83\text{mWs}\cdot\text{cm}^{-2}$)