

II-486

紫外線の消毒特性と消毒効果指標細菌の選択に関する研究

函館工業高専土木工学科 正員 芦立 徳厚
 国立公衆衛生院水道工学部 正員 相沢 貴子
 国立公衆衛生院水道工学部 正員 真柄 泰基

1. はじめに

塩素消毒によるTHM生成問題に対する対策の一つとして代替消毒剤の導入が考えられる。著者らは塩素と同等の消毒・残留効果を持ち、有害塩素化有機物を副生しないとされている二酸化塩素に注目して、その消毒特性を明らかにした¹⁾。本稿では、有力な代替消毒法の一つである紫外線消毒をとりあげ、その消毒特性を明らかにするとともに、消毒効果の指標細菌として何を選択すべきかを塩素・二酸化塩素消毒も含めて検討したので以下に報告する。

2. 実験方法

紫外線消毒の実験は、短波長紫外線照射システム XX-100 を使い、照射時間、紫外線強度、水層厚、濁度を制御因子にして実施した。細菌試験は、消毒特性を多面的に把握するために次の5種類、すなわち大腸菌群(m-Endo培地MF法)・ふん便性大腸菌(m-F C培地MF法)・ふん便性連鎖球菌(m-Enterococcus培地MF法)・一般細菌(SPC培地混釈平板法)・有機栄養細菌(R2A培地表面塗抹法)について行った。検水としては、各種細菌をある程度含みかつ紫外線をあまり吸収しないように、函館市内の清浄河川水に下水処理場の流入下水を5%添加したものを用いた。濁度の影響を検討する実験だけ、検水の濁度を極力0に近づけるため、塩化マグネシウム・磷酸塩緩衝溶液に、ろ紙(No. 5A)ろ過した下水処理場流入下水を5%加えて検水とした。塩素・二酸化塩素の消毒実験方法については、前報を参照されたい¹⁾。

3. 実験結果と考察

3.1 紫外線消毒法の消毒特性

紫外線消毒法は、極めて短時間で処理が可能という大きな特徴を持っている。照射強度 $1600 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の場合の、照射時間と各種細菌の生存率の関係を示したのが図1である。生存率は、各時間の細菌数を当初の細菌数で除して求めた百分率の対数で示してある。図から明らかなように、有機栄養細菌を除くすべての細菌が5秒で、有機栄養細菌は10秒で99%以上不活化されている。 $350 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ という低い強度でも30秒間の照射で、すべての細菌について99%以上の不活化率が得られた。すなわち、二酸化塩素や塩素が、数分から数十分の接触時間を要するのに対して、紫外線消毒は秒単位の処理で十分ということになる。

紫外線強度の影響については、強度を増すほど不活化率も増加してゆくが、その傾向は $800 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 前後で頭打ちとなりそれ以上の紫外線強度は効果的でないという結果になった。

検水の水層厚の影響については、一定の紫外線強度と照射時間のもとで、水層厚を1, 2, 5, 10cmに変えて実験を行った。水層厚1cmのときにいずれの細菌も不活化率が最低となり、水層厚が増すほど不活化率が低下したが、水層厚と生存率の関係は半対数グラフ上でほぼ直線となった。

濁度の影響については、検水にカオリンを0, 10, 50, 100ppm添加して実験を行った。その結果、いずれのカオリン添加率でも無添加の生存率とほとんど差が認められなかった。このことは、当実験のような細菌と濁質が分離して存在している場合、紫外線の遮蔽効果が無い事を示している。

3.2 消毒効果指標細菌の選択

各種の消毒法に対して強い耐性のある病原微生物の存在が明らかになってきているので、消毒効果を判定する指標細菌はこれら病原微生物の不在を証明するものでなければならない。二酸化塩素と塩素の消毒特性に関する昨年の報告で若干ふれたように、従来消毒効果の判定によく用いられてきた大腸菌群は、これら消毒剤にきわめて弱く、大腸菌群の不在が病原微生物の不在を必ずしも保証しないことが明らかになっている¹⁾。

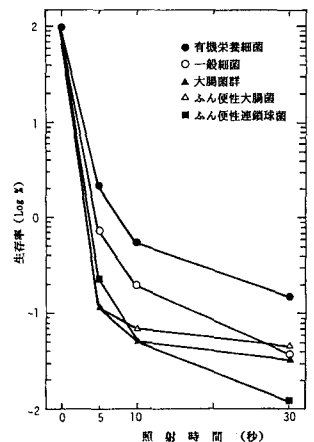


図1 紫外線消毒の経過

この間の事情をさらに明確に示したのが図2である。当図は塩素と二酸化塩素の消毒経過を、消毒剤耐性の高い有機栄養細菌の生存率を基軸にそのときの大腸菌群の生存率と比較したものである。接触時間 5、30、60分後の生存率を直線で結んでいる。両者の生存率が同一の経過をたどれば、直線は図中の点線上にのることになる。直線が点線の下側に位置すれば、有機栄養細菌より消毒剤耐性が低く、上側にすれば耐性が高いということになる。図から明らかなように、大腸菌群の生存率は点線を大幅に下回ったところに位置している。塩素1ppm添加60分後の例でみると、有機栄養細菌の不活化率90%に対して、大腸菌群のそれは実に99.99%に達している。添加濃度が増す程点線に近づく傾向が塩素については顕著に、二酸化塩素についても若干みられる。これは、水中におけるそれぞれの細菌の存在形態が影響しているものと思われる。

同様の検討を一般細菌生存率との間で行った結果を図3に示した。塩素、二酸化塩素とも1ppm添加は点線を下回っているが大腸菌群の場合よりもかなり点線に近接している。2ppm以上の添加は点線上かそれを超えて上回る結果となった。大腸菌群の場合と同様、添加濃度が増すほど直線が上部に移行する傾向が認められる。

紫外線消毒について、同じような検討を行った結果を図4、5に示した。大腸菌群の場合（図4）、塩素や二酸化塩素の結果と同様に点線を下回っているが、消毒剤の場合ほど点線から離れなかった。一般細菌の場合（図5）、点線を若干下回るものの、両者の生存率はほぼ同一の経過をたどるといってよい。図4、5に共通していることは、生存率の時間的経過は当然異なるものの、紫外線強度が異なっても大腸菌群、一般細菌とも有機栄養細菌との生存率関係の推移にあまり差異が無いということである。これは、紫外線消毒が、（紫外線強度×照射時間）で制御できることの一つの現われとみることができる。

図6は、紫外線強度の影響を調べた実験の結果をこれまでの図と同様に整理したものである。ここでも、大腸菌群は点線を大きく下回り、一般細菌はほぼ点線上に位置している。以上の

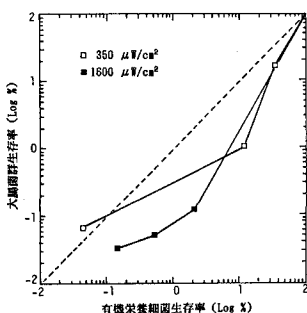


図4 生存率の相互関係の推移
（紫外線、大腸菌群）

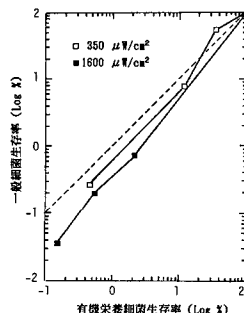


図5 生存率の相互関係の推移
（紫外線、一般細菌）

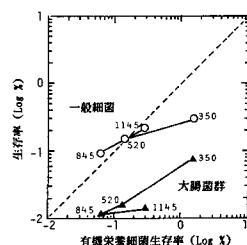


図6 生存率の相互関係
と紫外線強度

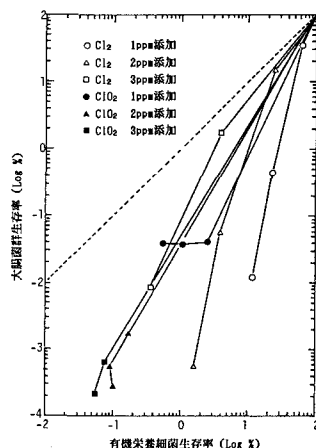


図2 生存率の相互関係の推移
(Cl₂, ClO₂, 大腸菌群)

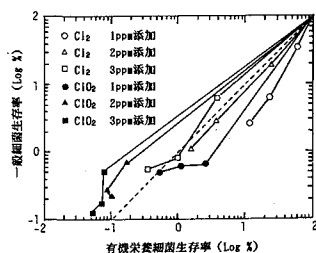


図3 生存率の相互関係の推移
(Cl₂, ClO₂, 一般細菌)

結果から、塩素、二酸化塩素、紫外線に共通して、大腸菌群の耐性がきわめて低いことが明らかになった。これは、大腸菌群が不在ないしはある数以下であっても、病原微生物が不在とは限らない事を意味している。総合的には有機栄養細菌が最も耐性が高いが、この指標細菌は、培養期間が長く、培地作成に細心の注意を要するなどの欠点がある。これまでの検討で一般細菌は有機栄養細菌に迫る生存率推移を示しており、消毒効果の指標細菌として大腸菌群より数段優れている。一般細菌は有機栄養細菌より一桁近く少ない（当然生存数も少なくなる）という欠点はあるが、これまで飲用試験で大腸菌群とともに汎用されていることは大きな長所である。一般細菌を消毒効果指標細菌として見直し、病原微生物不在の安全レベルを見出すのが今後の課題といえよう。【参考文献】1) 芦立他：土木学会第48回年講，Ⅱ-562, 1220-1221, 1993