

【研究報告】

オゾン処理計画における理論的考察

馬場誠二,佐藤三郎,山部長兵衛,長尾浩樹

日本医療・環境オゾン研究会会報, Vol.8,No.3, 7-10. (2001)

# オゾン処理計画における理論的考察

佐賀大学工学部 馬場誠二、佐藤三郎、山部長兵衛  
 ゴールドシステム(株) 長尾浩樹

**要約** 最適オゾン濃度を得るために必要なオゾン投入量を予め理論的に求める方法については報告事例が少ない。本研究ではオゾン処理を行う対象環境によってそのオゾン減衰率が異なることに着目して理論式を立て、オゾン処理を行う上で有効な計算式を提案する。

**キーワード:**オゾン濃度、飽和濃度、濃度減衰、半減期

## 1. はじめに

オゾンによる殺菌、消臭等の効果については実験事例も多く、特に処理対象と必要濃度との関係はさまざまな事例で明らかにされている。しかしながら、実際に所定の濃度にするために必要なオゾン注入量を特定することは難しく、複数回の試行を繰り返すしかなかった。筆者らはオゾンが環境の汚染状態によって、その減衰時間が異なることに着目して、オゾン減衰率を考慮した微分方程式を考え、1/2減衰時間(半減期)を測定することにより、所定のオゾン濃度にするために必要なオゾン注入量を算出する式を検討し、実験値と比較したところ良好な近似をみたので、オゾン処理計画法の一つとして提案する。

## 2. 計算式

右図のような容積  $V(\text{m}^3)$  の密閉空間を考え、オゾン注入量  $Z(\text{g/h})$ 、均一にオゾンが拡散するものとして、 $t$  時間後のオゾン濃度を  $x(\text{g/m}^3)$  とする。

まず、次の微分方程式を考える。

$$dx = (Z/V)dt - (\gamma \cdot x)dt \quad (1)$$

ここで、

$x$ : オゾン濃度 ( $\text{g/m}^3$ )

$t$ : 注入時間 (h)

$Z$ : 注入オゾン量 ( $\text{g/h}$ )

$\gamma$ : 減衰率

$V$ : オゾン注入箇所の容積 ( $\text{m}^3$ )

(1) 式を解いて、

$$x = (Z/V) \cdot (\tau/0.693) \cdot (1 - e^{-0.693t/\tau}) \quad [\text{g/m}^3] \quad (2)$$

ここで、

$$\tau: \text{半減期 (h)}, \quad \therefore \gamma = 0.693/\tau$$

$t \rightarrow \infty$  のとき

$$x_{\infty} = (Z/V) \cdot (\tau/0.693) \quad [\text{g/m}^3] \quad (3)$$

$x_{\infty}$ : 飽和濃度

また、初期濃度を  $X_0$  として  $t$  (h) 後の濃度を  $x(\text{g/m}^3)$  とすると、

$$x = X_0 e^{-0.693t/\tau} \quad [\text{g/m}^3] \quad (4)$$

(2),(4) 式より時間の経過と濃度の増加、減衰をみると、

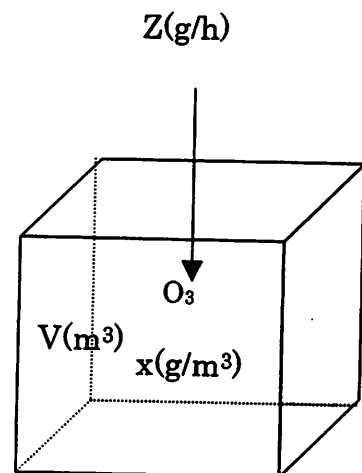


図1 オゾン注入

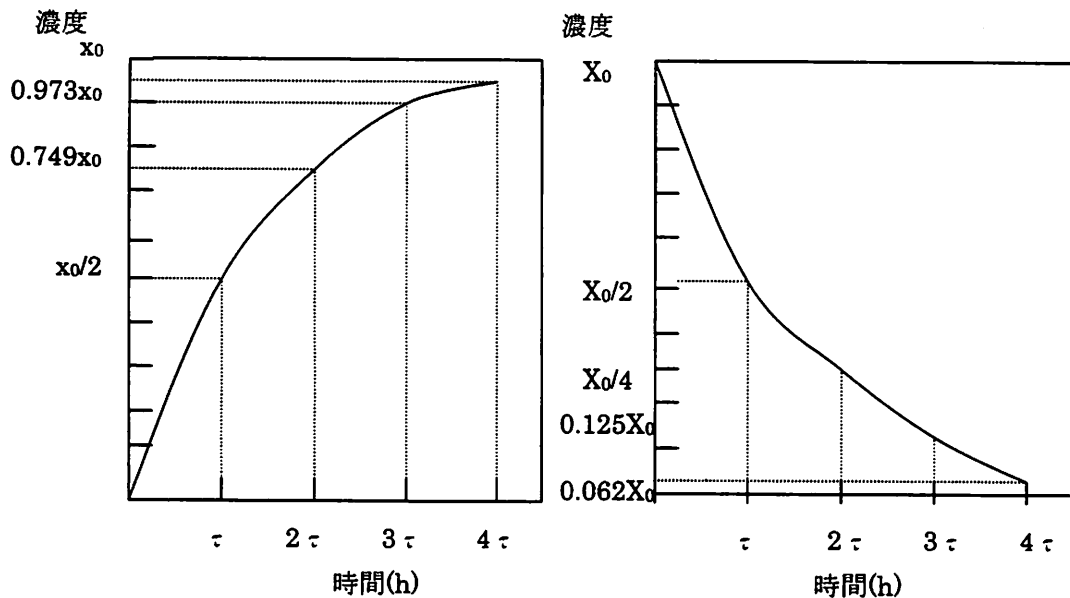


図2 濃度の増加と減衰

図2より、濃度は自然対数的に増減し、濃度の増加は約 $3\tau$ 付近で飽和濃度の90%に達し、濃度の減衰は約 $3\tau$ で初期濃度の10%にまで減衰することがわかる。

また、半減期と濃度特性の関係をみてみると図3のようになる。ここで、 $\tau=1(\text{h})$ のときの飽和濃度を $1(\text{g}/\text{m}^3)$ とする。つまり、 $\tau$ の値が大きいと到達濃度(飽和濃度)は高くなるが、濃度増加の傾きは小さく、飽和濃度に到達する時間は長くなる。

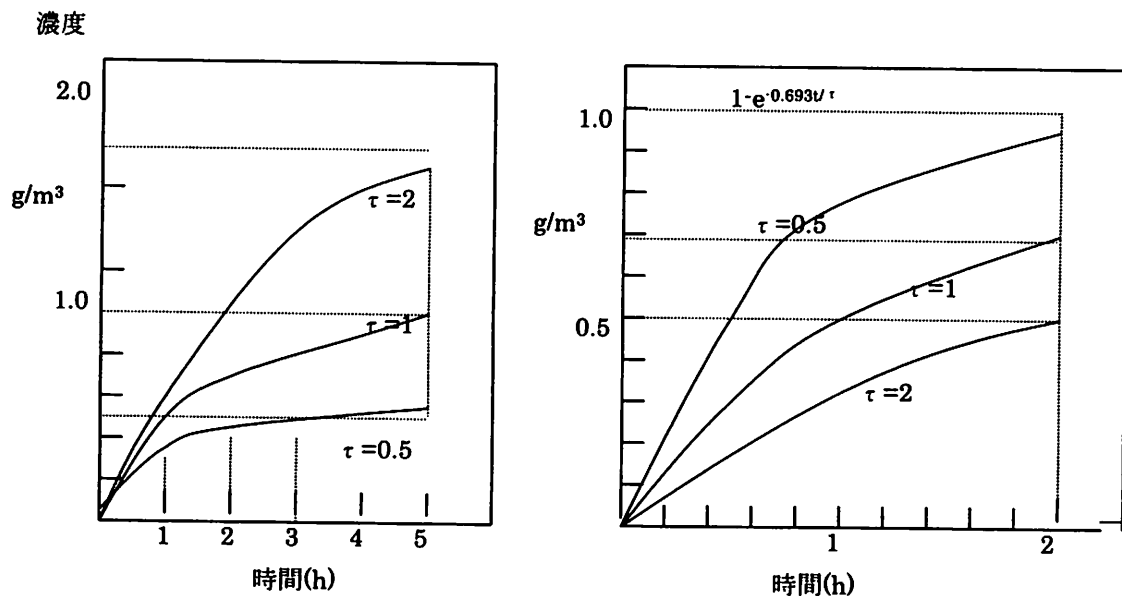


図3 半減期をパラメータとした時の時間経過に対する濃度変化

### 3. オゾン濃度の測定

図4にオゾン濃度の測定レイアウトを示す。塩ビ製の反応容器内にオゾンガスが均一に拡散するように攪拌用のファンを置き、オゾン発生器はUVランプ方式の発生器を使用し、反応容器の中に設置しオゾンを生じさせ、濃度計で測定し記録する。

### 4. 測定結果

図5～図8に種々の条件下で一定のオゾン反応器中へ注入した時のオゾン濃度の測定結果を示す。鎖状線は計算値、波状線は実測値を示す。計算値は濃度変化の記録値から、 $1/2$ 減衰時間、 $\tau$ を読み取り、次の

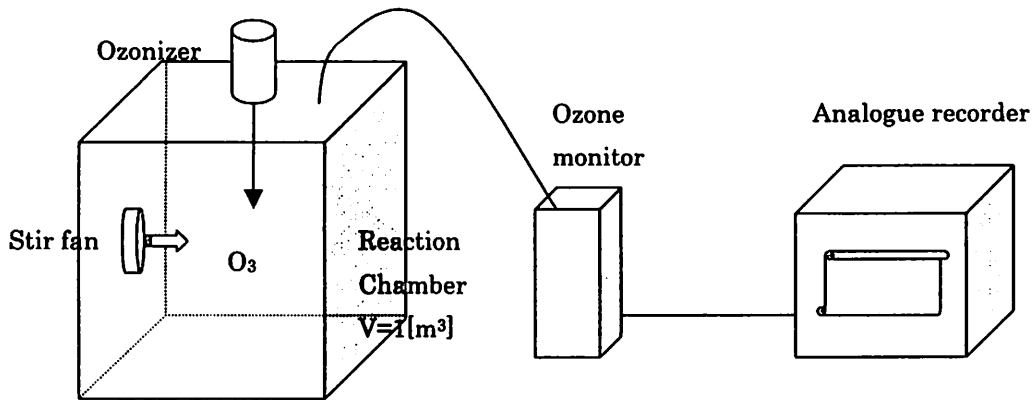


図4 オゾン濃度の測定レイアウト

濃度増加[既述(2)式]および濃度減衰[既述(4)式]の計算式に代入し、経過時間  $t$ (h) を変数として、時間  $t$  の時の濃度  $x$ (g/m<sup>3</sup>) を算出してプロットしたものである。ここでオゾン発生量  $Z$ (g/h) および反応器の容積  $V$ (m<sup>3</sup>) は既知である。

濃度増加の式：
$$x = (Z/V) \cdot (\tau / 0.693) \cdot (1 - e^{-0.693t/\tau}) \quad [\text{g/m}^3] \quad (2)\text{式}$$

濃度減衰の式：
$$x = X_0 e^{-0.693t/\tau} \quad [\text{g/m}^3] \quad (4)\text{式}$$

表1に1/2減衰時間(半減期)をコントロールするために反応容器中に置いた物質の一覧を示す。いずれも独特の臭気を放ち、オゾンとよく反応することを示した。TEST 1では通常大気中でのオゾン濃度の変化を測定し、TEST 2では果実から放出するエチレンガス、TEST 3では煙草の吸殻から放出するニコチン、カーボンを含む煙そしてTEST 4では魚介類の鮮度低下臭であるトリメチルアミン(TMA)、ジメチルアミン(DMA)、アンモニア、さらに硫化水素やメチルメルカプタンなどの含硫黄ガス等とオゾンガスとの反応時のオゾン濃度の変化を測定した。ここで反応容器は各TEST前に内部を洗浄している。

表1 半減期コントロール物質

TEST 1	なし
TEST 2	Banana(バナナ)
TEST 3	Cigarette stub(煙草吸殻)
TEST 4	Raw fish(鮮魚・あら)

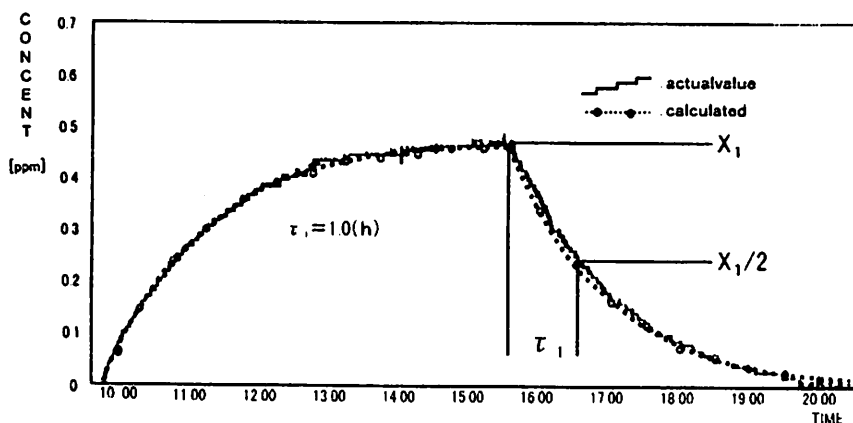


図5 TEST 1, 半減期コントロール物質なし( $\tau=1.0$ h)

## 5. まとめ・今後の課題

測定結果4より実測値と計算値とを比較すると高い近似で一致することが分かる。このことから本論文で提案した計算式は実用に十分寄与出来るものと思われる。1/2減衰時間(半減期  $\tau$ )を測定する方法はオゾン濃度の減衰式あるいは増加式のいずれかから、経過時間( $t$ )とその時の濃度を測定することにより求めることが

出来る。現在この半減期測定器を試作中であり、それにより環境のオゾン半減期を測定することにより、環境の「オゾン要求量」ともいべき新しい環境の汚染指標の可能性を検討しさらに提案していきたい。

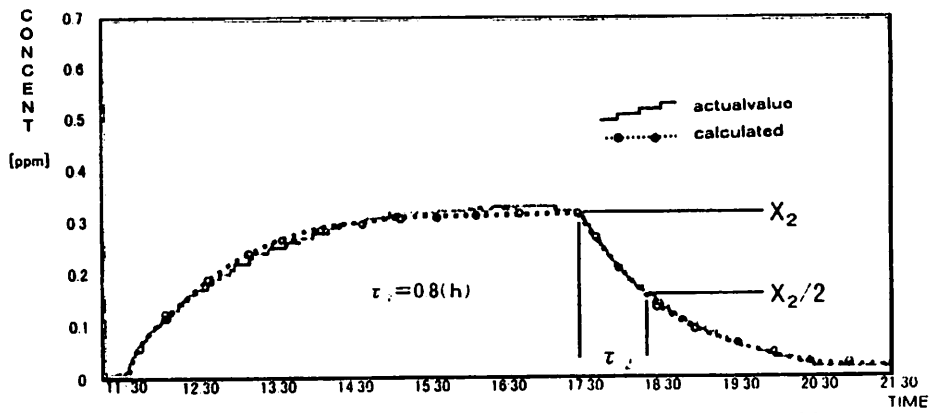


図6 TEST 2, 半減期コントロール: Banana ( $\tau = 0.8h$ )

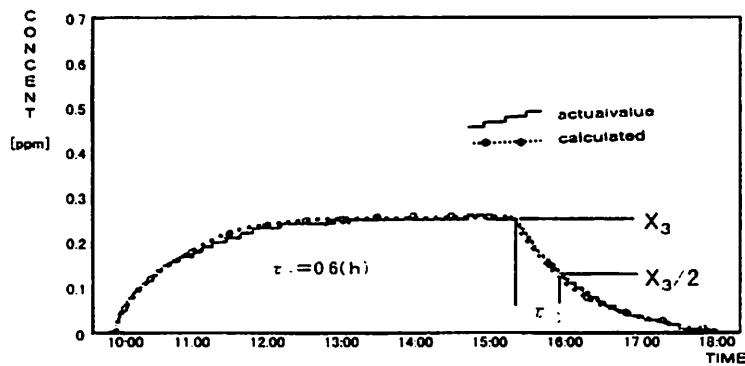


図7 TEST 3, 半減期コントロール: Cigarette stub ( $\tau = 0.6h$ )

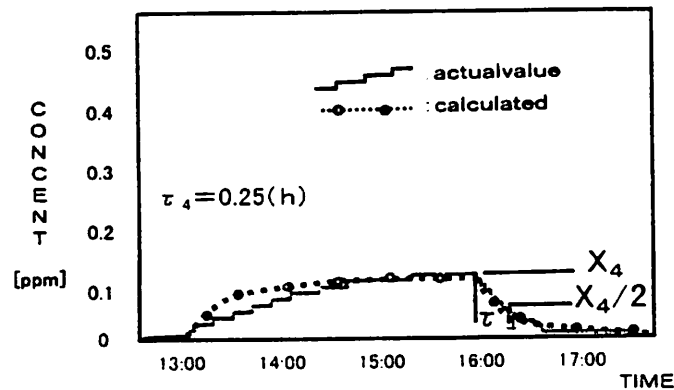


図8 TEST 4, 半減期コントロール: Raw fish ( $\tau = 0.25h$ )

### 参考文献

- 1) 佐藤他: 「室内におけるオゾンの拡散に関する検討」 第9回日本オゾン協会年次大会講演集49, (2000), pp.179-182.
- 2) 馬場他: 「オゾン計画法」 第10回日本オゾン協会年次大会講演集, 9 (2000), pp. 39-42.
- 3) 馬場他: 「ノックスレス複合型オゾナイザーの基礎特性及びオゾン計画法について」 日本防菌防黴学会、第27回年次大会要旨集, A-12 (2000), P36.
- 4) 馬場他: 日本電気学会放電研究会, 2000-9. ED-00-114, pp. 55-58.