	<h1 style="color: blue;">コロナ禍への対応 (オゾン式) について-2</h1> <p style="color: blue;">SCE・Net 鹿子島達志</p>	<p>R-68</p> <p>発行日 2021.3.25</p>
---	---	--------------------------------------

1. まえがき

先に「コロナ禍への対応（オゾン式）について」として拙論を報告したが、論証において、参照事例が不足していた※1。その点を改め、公表されているいくつかの除菌データを基に、CT値計算での新たな結果を得たので、以下報告する。

※1：SCE-Netの窓 R-67（2021.3.3）。

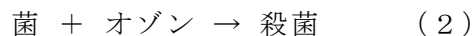
2. CT値（まずCT値について前論※1を再掲載した）

1)CT値

CT値（Concentration-Time Value）とは、国際的な殺菌効果を表す値で、不活化に効果のある物質（殺菌剤）の濃度 C （mg/L または ppm）と曝露時間 t （min）の積である。次の(1)式の Chick-Watson モデルが適用されている。

$$-\log(N/N_0) = k \times C^n \times t \quad (1)$$

N_0 は初期の菌密度、 N は処理時間が t （min）経過後の菌密度、 k （L/mg/min または $1/\text{ppm} \cdot \text{min}$ ）は Chick-Watson 係数で、殺菌率、不活性化（速度）定数とも呼ばれていて、殺菌剤の種類、菌の種類、殺菌時の温度などに依存する定数である。 n は通常 1 とされる。(1)式は、殺菌剤による殺菌が、(2)式のように殺菌剤が生菌との化学反応と考え、殺菌剤の濃度が、殺菌時間中一定であれば、成り立つ。



2)適用されているCT値の検証

新型コロナウイルスでの奈良県立医科大学の報告では厚労省 PMDA による医療機器認証の実証実験値のCT値を根拠としている。

①CT値 330（オゾン濃度 6ppm で 55 分曝露）、 $1/1,000 \sim 1/10,000$ まで不活化。

(1)から殺菌率は 99.9%～99.99%で k は見掛け上 0.009～0.012 となる。

②CT値 60（オゾン濃度 1 ppm で 60 分曝露）、 $1/10 \sim 1/100$ まで不活化。

同様にして、殺菌率は 90%～99%で k は 0.017～0.033 となる。

3)CT値に基づくオゾン発生器の運転時間計算方法

オゾン機器メーカーが紹介している方法を前段で、弊案を後段で示す。

(i)機器メーカーの計算法

オゾン発生器の能力を $M(\text{mg}/\text{h})$ で表し、対象空間容量を $V(\text{m}^3)$ とすると、理論空間内平均濃度 C_{av} は次の式で表せるものとしている。

$$C_{\text{av}} = M/V/2.14 \quad (\text{ppm}) \quad (3) \quad \text{※2}$$

ここで、 $2.14 = \text{オゾン分子量 } 48\text{g/mol} \div \text{標準モル体積 } 22.4 \text{ L/mol}$

※2ここで C_{av} の単位・次元は（濃度/時：ppm/h）となる筈だが、メーカー

の事例は、全て ppm 表記だが、確認すると 1 時間後のオゾン濃度換算としている。

$$\text{標準 CT 値の A} \quad A = C_{av} \times t_i \quad (\text{ppm} \times \text{min}) \quad (4)$$

$$\text{理論運転時間 } t_i = A / C_{av} \quad (\text{min}) \quad (5)$$

$$\text{適用運転時間 } t_a = (2 \sim 3) \times t_i \quad (\text{min}) \quad (6)$$

(6) 式の 2 ~ 3 倍は余裕率で、メーカーは一般的に使用している。

ここでの課題は、オゾン機器の循環風量や (1) 式の k への考慮がない点である。

(ii) 弊案 (前報および修正・補足)

一般のオゾン発生器は屋内に設置され、屋内空気を循環使用することが多い。そこで、部屋の換気がないものとし、上記 (1) 式は、部屋空間容量 V (m^3) と、(i) 法に含まれない循環風量 F (m^3/h) を考慮し、以下設定した。なお、循環風量の適用は下記資料 (パナソニック社「殺菌灯」) を参考にした※3。殺菌灯をオゾン発生器に置き換えて検討している。詳細は、下記を参照願う。

※3 <https://www2.panasonic.biz/ls/lighting/plam/knowledge/pdf/0320.pdf>

$$-\log(N/N_0) = k \times C_r \times t \quad (7)$$

(i) 方法同様 $n = 1$ とした。

ここで、(1) の C を改めて C_r とした。循環風量 F (m^3/h) を考慮すると、空間容積当たりの排出濃度は、(3) 式から次元単位を適用すると、

$$C_r = M / F / 2.14 / V = C_{av} / F \quad (\text{ppm}) \quad (8)$$

ここで、 k は、 $-\log(N/N_0)$ を η とすると、 $\eta = k \times CT = k \times A$ から

$$k = \eta / A \quad (9)$$

かつ、 $-\log(N/N_0) = \eta = k \times C_r \times t \quad (10) \equiv (7)$

となり、運転時間 t は、

$$t = -\log(N/N_0) / (k \times C_r) = \eta / (k \times C_r) \quad (11)$$

装置発生口からのオゾン濃度を、 C_m とすると

$$C_m = M / F / 2.14 \quad (\text{ppm}/\text{h}) \quad (12)$$

C_m と C_r は 次の関係となる。

$$C_r = C_m / V \quad (13)$$

3. 計算事例

1) カルモア社 事例 (この例は前報に掲載済み※1)

オゾン発生器仕様 1500mg/h、風量 4m³/h、対象部屋容積 37.5m³ として、

(i) 機器メーカーの計算法結果

(3) より、 $C_{av} = 1500 / 37.5 / 2.14 \doteq 18.7\text{ppm}$ 、

(5) より、CT 値を $A = 330$ として、 $t_i = A / C_{av} = 330 / 18.7 \doteq 17.7\text{min}$ 、

(6) より $t_a = 3 \times t_i \doteq 53\text{min} \Rightarrow$ 更に HP では **50分~70分** としている。

(ii) 弊案方法の結果

CT 値 = 330 より除菌率 99.9% 時の場合は $k \doteq 0.009$ 、また $F = 4\text{m}^3/\text{h}$ から、

(12) より $C_m = M / F / 2.14 \doteq 175.23$ 、(13) より $C_r = 175.23 / 37.5 = 4.67$

CT 値 330 相当の 99.9% の場合は、 $-\log(N/N_0) = 3$ なので、(11) から

$t = 3 / (k \times Cr) = 3 / (0.009 \times 4.67) = 71.4 \text{ (min)} \approx \text{メーカー (i) } 70 \text{ (min)}$
従って、メーカー方法の修正後の値と弊方法の予測時間値に差異はない。

2) 奈良県立医科大学 事例 (公表論文より)

(i) データ : 公表データ (コロナウィルス適用)

① 6ppm×55min、除去率 99.999%~99.9999%、CT 値 330 相当

② 1ppm×60min、除去率 99.9%~99.99%、CT 値 60 相当

オゾン発生器 : タムラテコ社 BIOZONE AIR (論文情報より)

オゾン発生量 2mg/h、風量 1m³/h (タムラテコ社カタログより)

(ii) 計算

ここにメーカー式を適用し、ラボボックス容積を写真から $V = 50L$ と見ると
 $C_{av} = 2 / (0.05 \times 2.14) \approx 18.7 \text{ ppm} >$ データ 6ppm、1ppm で全く合わない。

一方、弊方式も、 $Cr = 2 / (0.05 \times 2.14) / 1 \approx 18.7 \text{ ppm}$ で合わない。

ここでは、公表データより CT=330 時は $Cr = 6$ 、CT=60 時は $Cr = 1$ を用いる。

①の場合 $\eta = -\log(1 - 0.9999)$ または $-\log(1 - 0.99999)$ より $\eta = 3$ または 4、
よって k 値は、 $3 = k \times 330$ または $4 = k \times 330$ から $k = 0.0091$ または 0.0121

$3 = 0.0091 \times t \times 6$ から $t = 54.9 \approx 55 \text{ min}$ データ値に同じ。

$4 = 0.0121 \times t \times 6$ から $t = 55 \text{ min} =$ データ値。

② も同様に $\eta = 1$ または 2、CT 値 60 より、 $k = 0.0167$ または 0.0333
これより、 $t = 60 \text{ min} =$ データ値

以上、計算式の濃度値にデータを使用したもので、合うのは当然である。

一方、奈良県立医科大学結果にメーカー式が適用できないことは明確である。

ここでは、滅菌率 k と風量 F を用いる弊方式が説明上、有効的と言える。

3) 藤田医科大学 事例 (公表論文より)

(i) 公表データ (コロナウィルス適用)

① 0.1ppm×600min(10 時間)、除去率 95.4%、CT 値 60 相当

② 0.05ppm×1200min(20 時間)、除去率 94.3%、CT 値 60 相当

オゾン発生器 : タムラテコ社 BIOZONE NEO (論文情報より)

オゾン発生量 5mg/h、風量 $0.044 \text{ m}^3/\text{min} = 2.64 \text{ m}^3/\text{h}$ (同社カタログより)

(ii) 計算

C_m 値は $C_m = 5 / (2.14 \times 2.64) = 0.885 \text{ ppm}$ で、データ 0.1ppm と合わない。

C_{av} 値も奈良県立医科大学同様に $C_{av} = 46.7 \text{ ppm}$ でデータと合わない。

ここでは、公表データから $C_m = 0.1 \text{ ppm} = Cr$ と見做す。CT 値 = 60、

①の場合、除菌率 95.4%から、 $-\log(1 - 0.954) = 1.337 = \eta$

k 値は、 $1.337 = k \times 60$ から $k = 0.0223$ 、 Cr は 0.1ppm、

$1.337 = 0.0223 \times t \times 0.1$ より $t = 599.6 \approx 600 \text{ min}$ データ 計算上当然合う。

② も同様に $\eta = 1.224$ 、および $k = 0.0207$ から

$t = 1183 \text{ min} \approx 19.7 \text{ hr} \approx$ データ値は 20 時間。計算上は当然合う。

藤田医科大学も同様に、メーカー式は適用できないことは明確である。

4) タムラテコ社 同社 HP 記載事例—1

(i) データ：H21.8.11 北里環境科学センター

機種 BT-088、オゾン発生量 2500mg/h、風量 2m³/min (120m³/h)

除去率 99.7%、対象容積 30m³、0.1ppm×180min、カタログ CT 値 60

(ii) 計算

CT は、0.1ppm×180min⇒CT=18 であるが、カタログ設定上の 60 をとる。

除去率より $\eta = -\log(1-0.997) = 2.523$ 、 $k = 2.523/60 = 0.042$

$C_{av} = 2500\text{mg/h} / V \ 30\text{m}^3 \times 2.14 = 38.94$ 、 $Cr = C_{av} / F = 38.94 / 120 = 0.325$

従って、 $t = 2.523 / (0.042 \times 0.325) = 185\text{min} \approx 180\text{min}$ データと合っている。

5) タムラテコ社 同社 HP 記載事例—2

(i) データ：救急車搬送時の車内除菌

機種 BT-03、オゾン発生量 5mg/h、風量 0.04m³/min (2.4m³/h)

救急車空間容量 8m³、搬送時間 30 分、到達除菌率 99.9%、設定 CT 値 3

(ii) 計算

CT 値は 3。 $\eta = -\log(1-0.999) = 3$ 、 $k = 3/3 = 1.00$

$C_{av} = 5 / (8 \times 2.14) = 0.292\text{ppm} > 0.1\text{ppm}$ (事例設定値) とは合わない。

一方 $Cr = 0.292 / 2.4 = 0.122 \text{ ppm} \approx 0.1\text{ppm}$

$t = 3 / (1.00 \times 0.122) = 24.6\text{min} \approx 30\text{min}$ カタログ値と合っている。

6) 摂南大、北里環境科学センター、シーファイブ社 事例 ※4

(i) データ：25m³ 空間でのウィルス除去テスト

シーファイブ製エアプリレ APR-10 型 1mg/h(カタログは 0.95~10mg/h)

風量 0.0273m³/min(カタログ 0.0377m³/min) 暴露時間 0~480min、

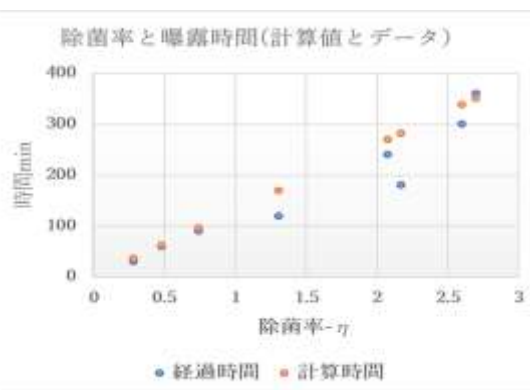
360min 時は除菌率 99.80、0~180min の濃度 0.025ppm 以下、240min から
は 0.025ppm を示した。部屋容積 25m³。

CT 値は 日本電機工業会規格 JEM1467 の家庭用電気清浄機に準じ 4 としている。

(ii) 計算：360min までのベース (なおデータは 480min までである)

なお、実際のデータと計算値を以下に表と図で示す。よく合っている。

経過時間	菌減少率	η 値	k 値	経過時間
データ	データ	計算値	計算値	計算値
min	%	-	-	min
30	48.0	0.284	0.071	37
60	67.0	0.481	0.120	62
90	82.0	0.745	0.186	97
120	95.1	1.310	0.327	170
180	99.3	2.174	0.543	282
240	99.2	2.076	0.519	269
300	99.8	2.602	0.651	338
360	99.8	2.699	0.675	350



CT 値は 4、 $\eta = -\log(1-0.998) = 2.699$ 、 $k = 2.699/4 = 0.675$

$C_{av} = 1 / (25 \times 2.14) = 0.0187 < 0.025 \text{ ppm}$ (データ) 近いと言える。

$$Cr=0.0187 / (0.0273 \times 60\text{min}) = 0.0187 / 1.638 = 0.0114$$

よって $t=2.699 / (0.675 \times 0.0114) = 350.7 \approx 360 \text{ min}$ (データ) 合っている。

※4：日本医療・環境オゾン学会会報 Vol. 22, No. 3 Aug. 2015

「小型低濃度オゾン発生器による浮遊ウイルスの除去効果」より。

<https://ci.nii.ac.jp/naid/40020588317>

4. 結語

以上より、弊提案法は各事例のデータやカタログ値と同等結果となり、実効性は示せたと考える。また、メーカー方法と比べ、弊提案法は余裕率を見る必要がなく、不活性化率のk値を活用し、風量も因子に用いており、実際的であると考え。ただし、メーカーのカタログ値と合わないケースもままある。それらについて問合せたが、企業機密として回答を得ていない。あるいは、筆者の勘違いもあるうかと考えるので、各位のご批判、ご指導をお願いしたい。

なお、弊案は全くの独創ではない。文中にも記載したが、パナソニック社の技術資料「殺菌灯」を主な参考文献とした。ここに公平性のため、記しておく。

以上