

# BF1 チャンバー実験による二酸化塩素の分解特性の測定と CFD による 室内分散シミュレーション

Investigation of the Decomposition Characteristics of Chlorine Dioxide through Chamber Experiments,  
and CFD Simulation of its Dispersion in Indoor Environment

共生環境評価領域

08E22702 福間颯也 (Soya FUKUMA)

**Abstract:** Chlorine dioxide ( $\text{ClO}_2$ ) is commonly utilized for virus elimination, sanitization, deodorization, and anti-fungal purposes. When improving indoor air quality using  $\text{ClO}_2$ , it is necessary to distribute it indoors at appropriate concentrations. However,  $\text{ClO}_2$  is known to decompose but the decomposition rate is unclear. This research aims to clarify the effect of temperature, humidity on the decomposition rate. I conducted the decomposition experiments in the chamber and measured the concentration of  $\text{ClO}_2$ . The results indicated that the impact of humidity is larger than that of temperature. I proposed a two-variable function of temperature and humidity for the decomposition rate. I also conducted a simulation of indoor concentration distribution. The result indicated indoor flow and the decomposition rate of  $\text{ClO}_2$  have an impact on the average concentration and distribution.

**Keywords:**  $\text{ClO}_2$ , Decomposition rate, Chamber experiment, Indoor environment simulation

## 1. はじめに

二酸化塩素（分子式： $\text{ClO}_2$ ）は日本で水道水の消毒、紙パルプの漂白、プール水の消毒や低濃度での空間の除菌として使用が承認されている<sup>1)2)</sup>。しかし、高濃度の $\text{ClO}_2$ 下では健康影響が懸念され、日本二酸化塩素工業会では $\text{ClO}_2$ の「室内濃度指針値」として0.01 ppmを設定している<sup>3)</sup>。一方 $\text{ClO}_2$ は空間で分解することが知られているが、分解速度に関しては不明である。また室内環境を良好に保ち有害物質の暴露を減らすことは健康を維持するうえで重要である。

そこで本研究では、 $\text{ClO}_2$ の空間中濃度を制御することを目的として、温湿度が $\text{ClO}_2$ の分解速度に与える影響を明らかにする。また分解速度が不均一である室内環境で濃度分布シミュレーションを行い、分解速度、発生源位置が与える影響を評価した。

## 2. 方法

### 2. 1 二酸化塩素の分解特性の測定実験方法

$\text{ClO}_2$ の分解速度を測定するために、チャンバー内に供給した $\text{ClO}_2$ の濃度を測定する実験を行った。まずチャンバー内の濃度が1 ppm（もしくは2 ppm）を目標として、 $\text{ClO}_2$ を供給した。チャンバー内にはサーキュレーターを設置し、 $\text{ClO}_2$ が十分に攪拌され、また温度分布が十分に小さいことを確認した。ポンプを用いて0分から240分後まで60分ごとに5回捕集し、イオンクロマトグラフィーを用いて濃度の測定を行った。本実験では暗所条件で温湿度を制御・測定し、計16ケースの実験、分解速度の評価を行った。また $\text{ClO}_2$ は一次分解すると仮定した。また $\text{ClO}_2$ の分解速度は乾燥した暗所、温湿度による要素の和で示すことができると仮定し実験を行った。

### 2. 2 シミュレーション手法

OpenFOAM4.0を適宜修正してシミュレーションを行った。非圧縮流れを仮定し、乱流モデルには標準k-εモデルを用い、速度と圧力の連成解法にSIMPLE法を用いた。計算領域は本学のM3-211講義室を模して設定した。南側に換気給気口があり、北側に換気排気口がある。また西側に加湿器を設置した。換気と加湿を同時に行う場面を想定し、計算を行った。各機の中央に等間隔に12個の発生源候補を設置し、各机に二人ずつ着席するとして床から1.2mの位置の66点を濃度評価点とした。発生源位置による影響を評価するためケース1は発生源を12点、ケース2は風上の4点としケース間の総発生源量は同じとした。

### 3. 結果・考察

#### 3.1 二酸化塩素の分解特性

図1、2に絶対湿度と分解速度、絶対湿度の逆数と分解速度の対数について示す。ClO<sub>2</sub>の分解速度は絶対湿度の約2.5乗に比例する。アレニウスの式より分解速度の対数と絶対湿度の逆数は比例し、その傾きは-1.0×10<sup>4</sup>となった。これらの結果から温湿度の二変数関数の式(1)を得た。

$$k_{dec} = k_c + k_h = 0.10 + 4.28 \times 10^{10} \times H^{2.5} \exp\left(-\frac{1.00 \times 10^4}{T}\right) \quad (1)$$

k<sub>c</sub>は乾燥した条件での分解速度(1/h)、k<sub>h</sub>は温湿度による分解速度(1/h)、Hは絶対湿度(g/m<sup>3</sup>)、Tは絶対温度(K)を示す。式(1)により計算した分解速度と測定値の関係を表す近似直線の決定係数(R<sup>2</sup>)が0.7234と高いため、今回の実験から得た実験式はClO<sub>2</sub>の分解速度をよく表すことができる。

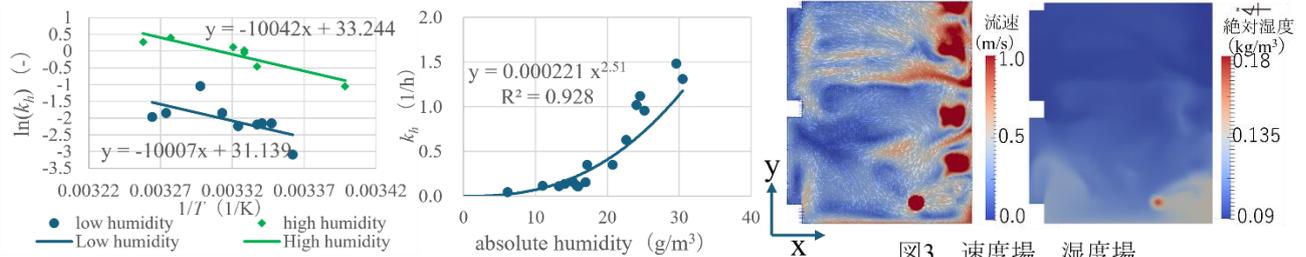


図1 絶対湿度と分解速度 図2 絶対湿度と分解速度

ケース	平均濃度 (ppm)			標準偏差 (ppm)
	全体	東	西	
1	0.0964	0.0936	0.0992	0.0071
2	0.1233	0.1235	0.1238	0.0051

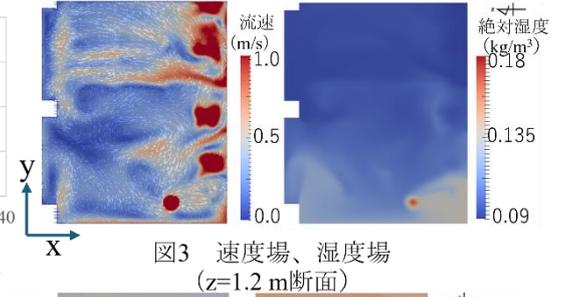


図3 速度場、湿度場 (z=1.2 m断面)

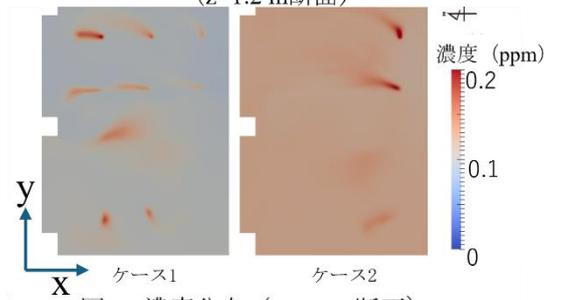


図4 濃度分布 (z=1.2 m断面)

#### 3.2 シミュレーション結果

図3に速度場、湿度場を示す。換気給気口から排気口への南北の流れが支配的となり、東西方向の流れは小さい。よって湿度は東西方向の広がりが小さく西側が高くなった。表2に各ケースの平均濃度、標準偏差、図4に各ケースの濃度分布を示す。表1の東と西はそれぞれ各列の評価点の各方向から5点を選択した。ケース1に比べケース2の方が、平均濃度が高く、標準偏差が小さい結果となった。南北方向の流れに沿う移流によっておおむね均一になったと考えられる。また西側の方が、湿度が大きく分解速度が大きい、平均濃度は西側が大きくなった。西側の発生源に比べ、東側の方が換気排気口近く、また給気口と排気口に発生源が挟まれているため、南北の流れに沿い排気口から排出されることで濃度が低下したと考えられる。よって、居住環境の改善を目的とした際は、流れ場を考慮した発生源の設置、分解速度の計算が重要である。

### 4. 結論

本研究の結論を、以下にまとめる。

- ClO<sub>2</sub>は温湿度によって分解が促進され、特に絶対湿度の影響が大きい。
- 正確な流れ場、分解速度を考慮することで濃度分布の正確な評価ができる。

今後の課題としては、光が与える影響の定式化、逆解析による発生源、量の最適化などがある。

### 参考文献

- 1)水道施設の技術的基準を定める省令
- 2)大幸薬品、二酸化塩素の安全性と有用性について、  
<https://www.seirogan.co.jp/cleverin/cleverin/clo2/about.html>、参照日：2024/2/8
- 3)日本二酸化塩素工業会「二酸化塩素とは?」、<http://chlorinedioxide.or.jp/clo2>、参照日：2024/1/24