

揮発性有機化合物の化学反応等のモデリングとその数値予測に関する研究 (その7) 居室模型を用いた各種建材を設置した場合の Ozone 気中濃度分布の測定

化学反応 Ozone 居室模型実験

正会員○細谷 聡*¹ 同 伊藤一秀*²
同 加藤信介*³

1. 序

本報では前報(その6)に引き続き、Ozoneの単分子反応、特に固体壁面に対する Deposition に着目した実験を行う。前報では層流場を対象とし Ozone の Mass Accommodation Coefficient の測定を行ったのに対し、本報では一般室内での乱流場を対象とし、2次元の居室模型を用いて気中での Ozone 濃度分布の測定を行う。本報で示す Ozone 濃度分布データは、前報(その6)で示した Mass Accommodation Coefficient の値を用いて CFD による室内 Ozone 濃度場予測を行った際の予測精度検証用データとなる。

2. 模型実験概要

本研究では外気由来の Ozone を想定し、換気により居室模型吹出口から供給された Ozone の室内濃度分布の測定を行う。本研究で用いた2次元居室模型を図1に示す。模型は一般的な居室をモデル化したもので $1500^X[\text{mm}] \times 300^Y[\text{mm}] \times 1000^Z[\text{mm}]$ の空間容積を有する。模型は、流れ場が Y 方向に均一になるよう設計されており、キャビティ幅(y方向)と同幅のスロット状吹出口と吸込口を備える。吹出・吸込口は共に幅(z方向)20mmである。天井、床及び左右両壁面は sus 304 で構成し、その他はガラス製である。この模型は、恒温室内に設置され、温度 20°C 一定に制御される。吹出風速は 3.0 m/s (換気回数 144 回/h) および 2.0 m/s (96 回/h) の2段階に制御している。模型に対する供給空気は、化学物質除去を対象とした活性炭フィルタを通過後、HEPA フィルタを通過させることで粒子状物質の除去を行う。また Ozone の光化学反応による濃度低下を防ぐため、恒温室は暗室と同条件の設定(床面平均照度 1 lx 以下)とした。実験条件を表1に示す。

2.1 流れ場

本実験模型内の流れ場は LDV を用いて測定した平均風速分布の他、各種乱流統計量のデータが蓄積されている。図は割愛するが、天井面に沿って吹出口、対向壁に吸込口を設置している本実験ケースでは、模型内に時計回りの大循環流が生じ、床面隅角部に主流とは逆方向の2次渦が観察される。また吹出風速 3.0 m/s と 2.0 m/s の両ケースにおいて流れ場の Reynolds 数依存性が殆ど無いことが確認されている。

2.2 対象化学物質および発生源

本実験では吹出口から供給される吹出空気に Ozone を混入し、外気由来の汚染源を想定する。Ozone は Ozone Generator を用いて定常発生させ、吹出空気の Ozone 濃度を 1.00 ppm 一定に制御する。

2.3 実験ケース

実験ケースを表2に示す。対象建材は図1に示す居室模型の天井・床・左右両壁面の4周全てに設置し、吹出風速は2段階に設定する。全ての実験ケースにおいて供給空気に含まれる Ozone のみを対象とする。吹出空気の Ozone 濃度 C_{in} は 1.00 ppm 一定に制御し、 C_{in} はターゲット濃度に対し 2 % 程度の変動に収まっている。模型は恒温室内に設置し吹出空気を含み 20°C 一定に制御した。

3.4 サンプルングおよび分析法

模型内には活性炭フィルタならびに HEPA フィルタを通過した清

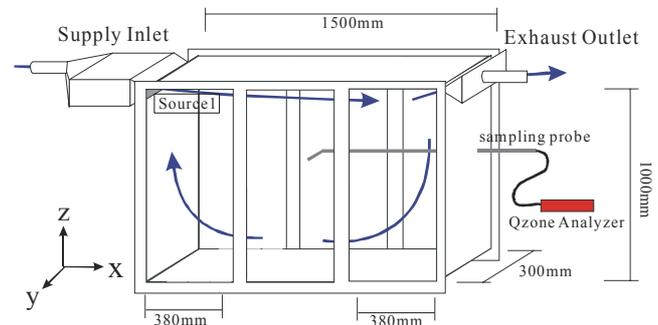


図1 模型概要

表1 実験条件

| | |
|--------------------|--|
| Room Model Vol. | 1500(x) [mm] × 300(y) [mm] × 1000(z) [mm] |
| Air Inlet Velocity | $U_{in} = 2.0 \text{ m/s}$ and 3.0 m/s |
| Air Change Rate | 96 /h and 144 /h |
| Temperature | $20 \pm 0.1^\circ\text{C}$ |
| Relative Humidity | $30 \pm 5\%$ (注1) |

表2 実験ケース

| Exp. Case | Building Material | C_{in} [Ozone] | U_{in} |
|-------------|-------------------|------------------|----------|
| Case (e1-2) | SUS 304 | 1.00 ppm | 2.0 m/s |
| Case (e2-2) | Water-based Paint | | |
| Case (e3-2) | Oil-based Paint | | |
| Case (e4-2) | Wall Paper | | |
| Case (e5-2) | Plywood | | |
| Case (e6-2) | SBR Rubber | | |
| Case (e7-2) | Cedar | | |
| Case (e1-3) | SUS 304 | 1.00 ppm | 3.0 m/s |
| Case (e2-3) | Water-based Paint | | |
| Case (e3-3) | Oil-based Paint | | |
| Case (e4-3) | Wall Paper | | |
| Case (e5-3) | Plywood | | |
| Case (e6-3) | SBR Rubber | | |
| Case (e7-3) | Cedar | | |

表3 Ozone の分析条件

| | |
|----------------|---|
| Ozone Analyzer | UV Photometric Analyzer (SOZ-3300, Seki Electrons) |
| Meas. Range | 0 - 9.999 ppm |
| Min. Range | 0.001 ppm |
| Sample Flow | 1.5 L/min |
| Average time | 10 min |

浄空気を温度・湿度を制御した状態で供給する。気中の Ozone 濃度は模型内に挿入した sus304 製のサンプリングチューブを介して Ozone Analyzer (UV Photometric Analyzer) により分析する。Ozone 濃度は定常時の 10 分間の時間平均値として示している。Ozone の分析条件を表3に示す。

また、模型内に挿入した sus304 製のサンプリングチューブを介して、Tenax-TA により吸着捕集(0.1L/min の速度で全 1.0 L サンプルング)することで、供給空気に含まれる Background の化学物質濃

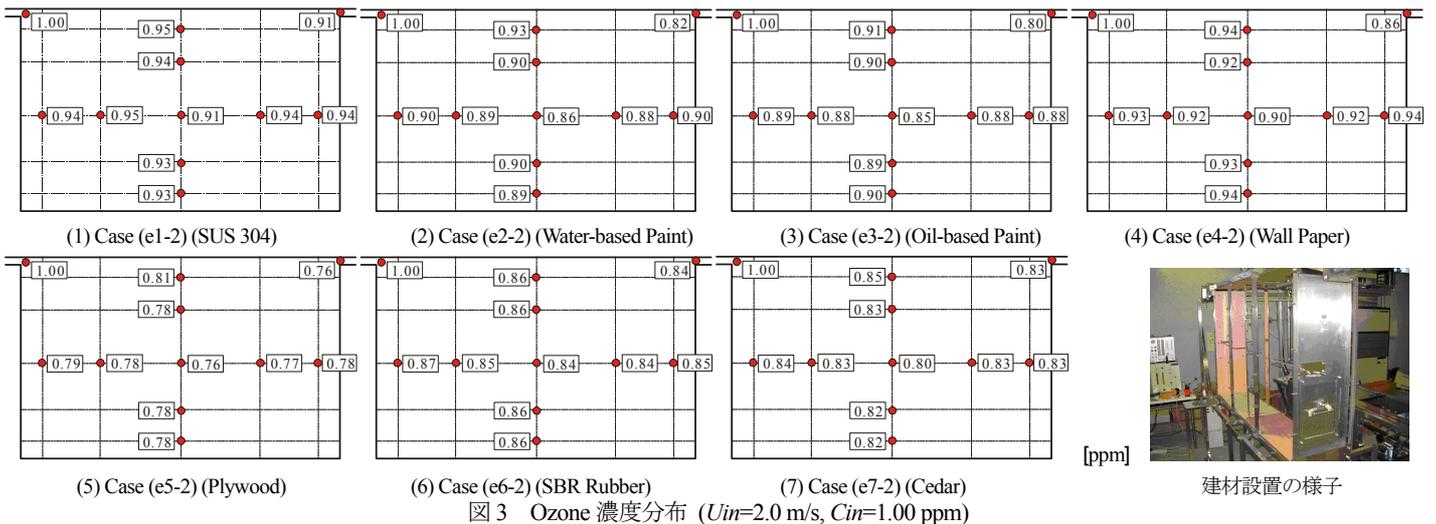


図3 Ozone 濃度分布 ($U_{in}=2.0 \text{ m/s}$, $C_{in}=1.00 \text{ ppm}$)

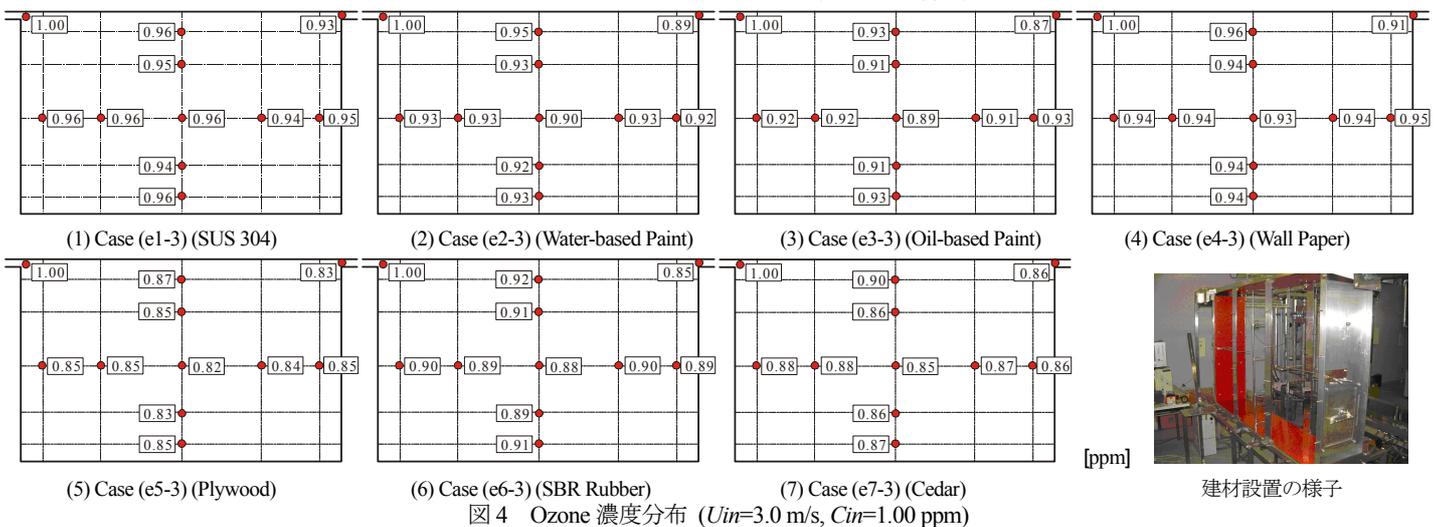


図4 Ozone 濃度分布 ($U_{in}=3.0 \text{ m/s}$, $C_{in}=1.00 \text{ ppm}$)

度を測定する。分析は加熱脱着の後、GC/MS で行う。

3. 実験結果

Ozone 濃度の測定に先立ち、実験模型は中性洗剤および純水により洗浄している。供給空気ならびに模型内の化学物質濃度の測定を行った結果、TVOC 濃度で $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であることを確認している。また光散乱式デジタル粉塵計で浮遊粉塵濃度の測定を行った結果、 $0.01 \text{ mg}/\text{m}^3$ (直径 $10 \mu\text{m}$ 以下の粉塵濃度) 以下を達成していることを確認している。各ケースの Ozone 濃度分布測定結果を図3および図4に示す。濃度分布の測定は、吹出・吸込口濃度の他、模型内の9点で行っている。今回の実験ケースでは、Ozone 濃度一定 (1.00 ppm) の空気を供給している。また、供給空気に含まれる TVOC レベルならびに粒子濃度が十分に低レベルであることにより、室内での Ozone 濃度低下は壁面に設置された建材表面に対する Deposition のみに起因していると考えられる。排気口位置での Ozone 濃度に着目した場合、Case (e5, Plywood)、Case (e6, SBR Rubber)、Case (e7, Cedar)、Case (e3, Oil-based Paint)、Case (e2, Water-based Paint)、Case (e4, Wall Paper)、Case (e1, SUS304) の順で濃度低下が小さくなる結果となった。また、本実験で得られた Ozone 濃度分布はペイント類を除き^{注2)}、前報(その6)で測定した Mass Accommodation Coefficient のオーダーにほぼ比例した室内 Ozone 濃度の低減量となった。

5. 結論

- (1) 2 次元居室模型を用い、換気により室内に導入される Ozone を対象として、各種建築材料を壁面仕上げに用いた場合の Ozone 濃度低下量ならびに室内 Ozone 濃度分布の測定を行った。
- (2) Ozone 濃度一定で供給した場合、換気量すなわち室内の滞在時間に比例して Ozone 反応量が大きくなり、低換気量のケースで室内の Ozone 濃度低下が大きい結果となった。
- (3) 続報(その8)にて本実験条件を対象として CFD 解析を行った結果を報告する。

注

- [1] 気中の相対湿度の存在が Ozone の単分子反応に与える影響は明確ではなく、本来ならば湿度 0% の状態で実験を行うことが望ましい。本実験では 30% 程度の相対湿度が存在していることから、本実験結果はこの点において Atkinson らの測定と大きく異なる文 1)。
- [2] ペイント塗布量、乾燥状態および表面仕上げ状況が若干異なった可能性もある。原因に関しては今後の検討課題である。

謝辞 本研究を推進するに当たり Prof. D Sorensen (DTU) ならびに Prof. C.J.Weschler (DTU) にご助言頂いた。記して深甚なる謝意を示す。

参考文献

- [1] Atkinson R, et al, (1990) Rate constants for the gas-phase reactions of O₃ with a series of monoterpenes and related compounds at 296 K, I. J. of Chemical Kinetics, 22, 871
- [2] 伊藤、加藤、村上 (2000) 気効率指標の数値解析検証用の 2 次元室内気流実験：日本建築学会計画系論文集、No. 534, pp 49-56
- [3] C J. Weschler, et al, (2000) The Influence of Ventilation on Reactions Among Indoor Pollutants : Modeling and Experimental Observation, Indoor Air, Vol. 10, No. 2, pp.92-100

*1 東京工芸大学 大学院 Tokyo Polytechnic Univ.

*3 東京大学生産技術研究所 教授 工博 IIS, University of Tokyo

*2 東京工芸大学 助教授 工博 Tokyo Polytechnic Univ.