

光触媒を利用した高効率空気浄化ユニットの開発 (その1)

CFD 解析による PCO ユニットの化学物質除去効率に関する検討

正会員 ○ 須藤 美音*1 同 成 旻起*2 同 加藤 信介*3
同 吉田 秀*4 同 川浪 文江*4

光触媒 化学物質 空気浄化 CFD

1. はじめに

従来病院では、手術室や易感染患者用の病室等高い空気清浄度が要求される室を中心として、高いスペックの換気システムが設置されている。それに対して、一般の病室や待合室等は手術室や易感染患者用の病室ほど高い清浄度が要求されていないが、薬品臭、排泄臭、体臭等さまざまな原因の臭気の問題や、SARS やインフルエンザの蔓延による院内感染の問題が生じ、空気環境の改善が急務となっている。一方で、地球温暖化問題により CO₂ 削減が迫られ、省エネルギーの観点から高効率の換気システムが求められている。

そこで、本研究では『光触媒』を利用して、安全かつ脱臭・除菌効果の高い換気システムの開発を目的としている。本報では、UVA ランプによる光触媒の反応効率の最大化を目的としてシミュレーションを行った。

2. 光触媒の反応過程 (図1)

光触媒として知られる酸化チタンは、強いエネルギーの光、主に紫外線を照射すると酸化能力を持つため、空気中の化学物質の除去に広く使われている。光触媒の反応効率を向上させるためには、以下の条件があげられる。

- ① 酸化チタン自体の酸化性能 (反応面積や化学的性質)
- ② 光触媒を活性化するための十分な紫外線量
- ③ 反応時間及びその時間で処理できる化学物質の量
- ④ 周辺環境 (温度、湿度等)

本研究では特に③に着目し、照明シミュレーションによる PCO シート面の UVA 強度分布解析及び流体解析 (CFD) を行い、光触媒酸化ユニット (以下 PCO ユニット) 内部の気流性状により除去対象の化学物質の除去効率を検討する。

3. 解析の概要

3.1 解析対象モデル 図2、表1に PCO ユニットのモデル及びその概要を示す。PCO ユニット内は PCO シートの三角ユニットで構成されている。PCO ユニットの小型・軽量化を目指し、ランプは UVA ランプを使用。三角ユニットの中央を貫通している。UVA ランプは効率が高いとは言えないため、UVA ランプと PCO シートとの距離を短くしていることが当該ユニットの特徴である。シミュレーションでは1つの三角ユニットを対象として実施した。

3.2 UVA 強度計算概要 計算には Radiance 3.8 を用いた。ランプの UVA 放射率はカタログのスペック (UV 出力: 1.2W) を参考とし 45.4 [W/m²] とした。反射はユニットの中で PCO シートのみを考慮し、アイボリー色の布の反射率 0.38 を適用した*1)。

3.3 CFD 解析概要 CFD 解析により、トルエンが気流によりどのくらいの時間及び量で PCO シート表面まで運ば

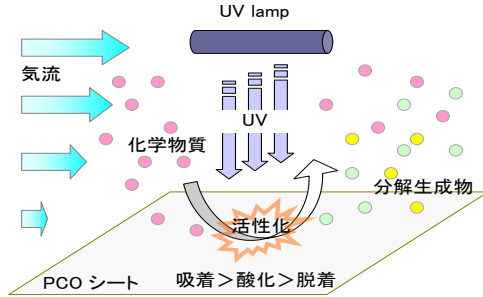


図1 光触媒の反応過程 (巨視的観点)

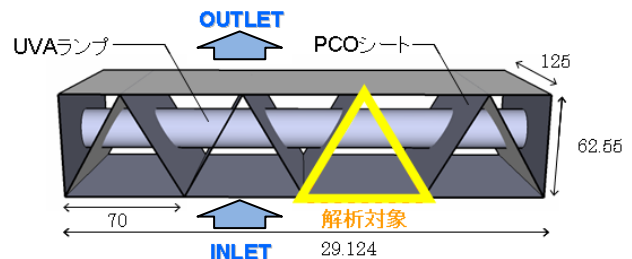


図2 PCO ユニットのモデル

表1 PCO ユニット概要

区分	詳細
UVA ランプ	National FL10BL-B (ブラックライト) 出力 10W (紫外線出力 1.2W) 管径 25.5mm, 長さ 330mm
PCO シート	面積: 総 2008 cm ² (対象ユニット: 251 cm ²)
全体	空間体積: 総 1976 cm ³ (対象ユニット: 247 cm ³)

表2 解析ケース

Case	面積 [cm ²]		体積 [cm ³]	風速 [m/s]	各目滞在時間 [s]
	Inlet	Outlet			
Case1	21.2 (100%)	21.2 (100%)	265	0.5	0.25
Case2	7.57 (36%)	7.57 (36%)		1.40	0.25
Case3	13.48 (64%)	7.57 (36%)		0.79	0.25

※括弧内は開口率

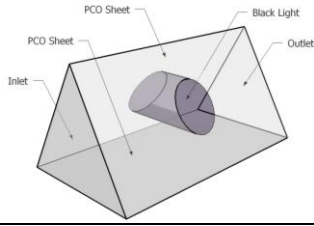
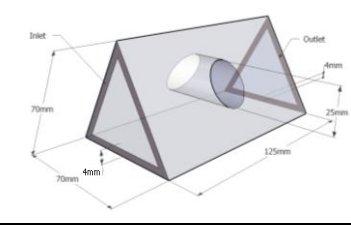
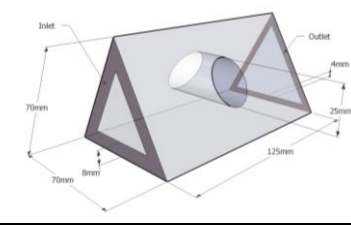
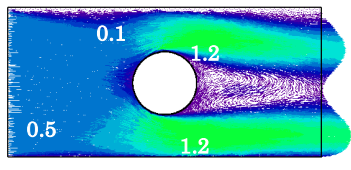
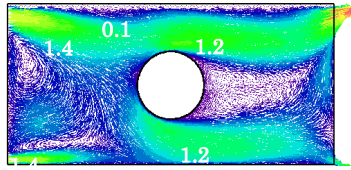
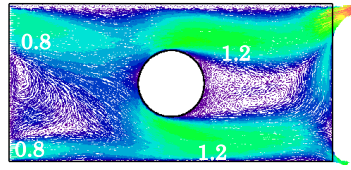

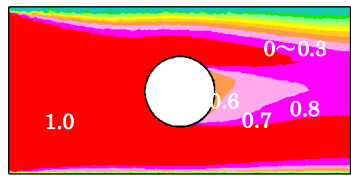
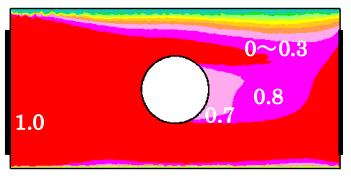
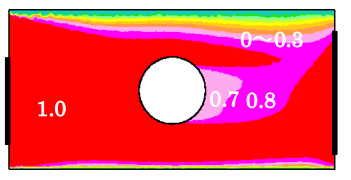

表3 各面の UVA 強度計算値

面	最大 [mW/cm ²]	平均 [mW/cm ²]	最低 [mW/cm ²]
底面	1.798	0.734	0.176
側面	2.617	0.617	0.140

れ、PCO シートで除去されるかを計算した。除去率の算出方法としては、次式を用いた。

$$\text{除去率} = \frac{\text{入口濃度} - \text{出口濃度}}{\text{入口濃度}} = (1 - \text{出口濃度}) \quad (1)$$

表4 CFD解析結果

Case	Case 1	Case 2	Case 3	範囲
形状				
開口率	INLET : 100% OUTLET : 100%	INLET : 36% OUTLET : 36%	INLET : 64% OUTLET : 36%	
風速分布 [m/s]				
トルエン濃度分布 [-]				

式1は、実験により得られる情報等でより実際に近い状態にモデル化することができる。

CFD解析には、STAR-CD v.3.26を用いた。メッシュ形状は非構造で、38万メッシュ。乱流モデルは標準k-εモデルとした。境界条件の詳細は注1参照。

解析ケースは循環が生じるチャンバー式の効果を得るため、ワンパス式のPCOユニットのINLET・OUTLETに障害物を設けたケースを含め、全3ケースとした。三角ユニットのINLET側及びOUTLET側の開口面積（開口率）を表2に示す。Case1はINLET・OUTLETともに開口率100%、Case2ではINLET・OUTLETともに開口率36%、Case3ではINLETの開口率64%、OUTLETの開口率36%とした。風量は全ケース1060 cm³/sとしたが、開口面積の違いにより入口側の風速は異なる（表2・風速参照）。

4. 解析結果

4.1 UVA強度計算結果

UVA強度計算結果を表3に示す。三角ユニットの底面の平均値は0.734 mW/cm²、側面は0.617 mW/cm²であった。

4.2 CFD解析結果

解析結果を表4に示す。Case1はINLETから流入した空気が中央のUVAランプ周辺の狭い空間を速い速度で通過し、ランプの裏側に渦が生じる。PCOシート表面は摩擦力により風速が小さい。トルエン濃度分布は、INLETより流入した気流がPCOシート面に沿って流れるため、PCOシート近傍の濃度が低い。Case2、3ではINLET・OUTLET部分に障害物を設けることにより、三角ユニットがいわばチャンバーのようになる。そのため、Case1ではINLETからOUTLETの間で反応することができなかった化学物質が、Case2とCase3では障害物の影響で再

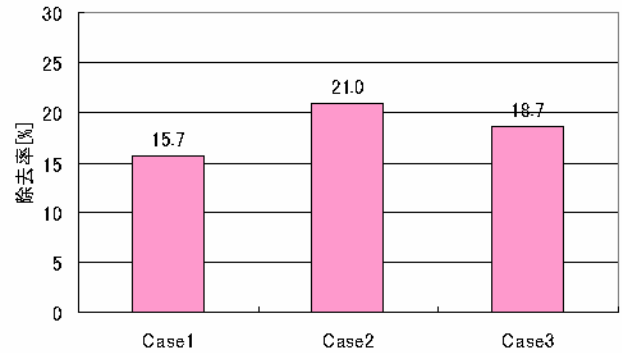


図3 各ケースのトルエン除去率

循環することにより反応の確率が高くなる。図3に除去率を表したグラフを示す。INLETとOUTLETの開口の最も小さかったCase2の除去率が最も高い。

5. 結論と今後の展望

UVAランプによる光触媒の反応効率の最大化させることを目的としてシミュレーションを行った。その結果、INLET、OUTLETの開口面積が最も小さかったCase2の除去率が最も高い結果となった。これはチャンバー型による循環のためと考えられる。除去率をさらに向上させるためには、同じ風速であればユニットの経路を長くして反応時間を増やす必要がある。今後は低濃度のトルエン（トルエン260 μg/m³程度（0.07ppm））での実験を実施する。

【参考文献】1) 川西ら：建築材料の紫外帯域反射・透過率に関する基礎的研究、日本建築学会論文集、第525号、21-26、1999年11月

【注釈】1) Inlet: $k_{in} = 3/2 \cdot (U_{in} \times 0.05)^2$, $\epsilon_{in} = C_u \cdot k_{in}^{3/2} / l_n$, $l_n =$ 吹出幅の1/7, $C_u = 0.09$, U_{in} : 各ケースの風速（風量一定）、Outlet: 質量保存側に従い、壁: no slip（標準壁関数）、トルエンの分子拡散係数: $5.23e-6$ [m²/s]

*1 (株)総合設備コンサルタント
*2 東京大学大学院
*3 東京大学生産技術研究所 教授、工博
*4 アンデス電気(株)

SOGO SETSUBI CONSULTING Co.,Ltd
Graduate Student, The University of Tokyo
Prof., Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Dr. Eng
ANDES ELECTRIC CO., LTD.