

高熱流束マイクロプラズマの空気浄化手法への実用展開を目的とした装置改良ならびに評価

プロジェクト代表者：関口 和彦（大学院理工学研究科・助教）

1. はじめに

人間の経済活動によって空気中に排出される有機性揮発化合物(VOC)やナノ粒子は、健康被害が懸念されており、早急に対策を講じる必要がある。従来のフィルタや吸着剤を用いた除去方法は、定期的な吸着剤交換の必要性や、吸着成分の脱離や反応による二次生成といった問題が生じる。一方、本研究で取り上げるマイクロプラズマはこれらの物資の直接分解を行えることで、これらの問題解決が期待される。そこで本研究では、高熱流束マイクロプラズマ装置の実用化のための最適な操作パラメータを選定することを目的とした。

2. 実験装置および方法

2.1. 高熱流束マイクロプラズマ発生装置

本研究で用いた高熱流束マイクロプラズマ装置を Fig. 1 に示す。本装置の特徴としては、石英中空管（内径 1.5 mm の極小空間内）にプラズマを形成させるため、局所的にガス温度を 1500 °C にまで瞬時に引き上げることができ、プラズマ密度は 10^{21} m^{-3} と非常に大きい。

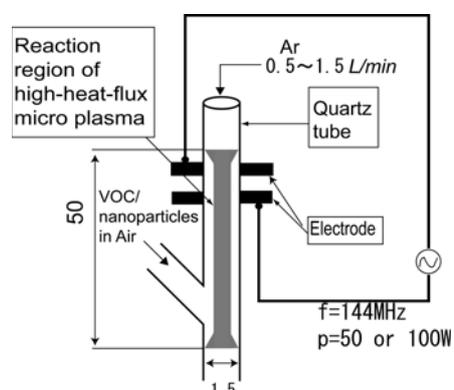


Fig. 1. High-heat-flux micro plasma reactor.

2.2. VOC ガスおよびナノ粒子に対する分解実験

本実験で用いた実験装置の概要を Fig. 2 に示す。分解対象のモデル物質として、ガス成分には、揮発性有機化合物(VOC)ガスの一種であるトルエンガスを用い、ナノ粒子には、ディーゼル排ガス中のすす成分と近い形状のもので、炭素電極からプラズマ放電により発生できる炭素系ナノ粒子を用いた。アルゴン(Ar)下で発生させたマイクロプラズマ領域に対して、側面からトルエンガスまたはナノ粒子を含む空気を反応器内に導入し分解実験を行った。反応器後段では GC-FID によりトルエンガス濃度を、SMPS により炭素系ナノ粒子の個数濃度と粒径分布をそれぞれ測定し、処理前後の濃度から分解率を算出した。また、反応性の観点から無機化率として CO、CO₂ 濃度も測定した。

3. 結果と考察

3.1. トルエンガス分解実験

トルエン(C₇H₈)ガスを含む合成空気（Air, 窒素：酸素=4:1）を反応器内に導入し、トルエンガス導入量に対する分解率 E_d と分解効率 E_m 、さらには無機化率 E_{ds} と無機化効率 E_{ms} をそれぞれ(1)~(4)式から算出し装置性能を評価した。なお、Ar の流量は 0.8 L/min に固定し、Air (for C₇H₈)/[Ar+ Air (for C₇H₈)] を空気混合率と定義した。Figs. 3, 4 に分解効率、無機化効率の結果を示す。

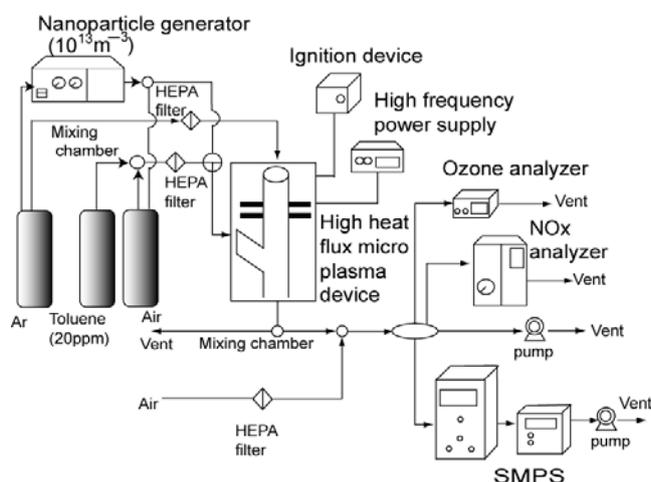


Fig. 2. Experimental setup for VOC/nanoparticle decomposition.

$$E_d = \frac{\text{分解前のトルエン濃度 } C_{in}[\text{ppm}] - \text{分解後のトルエン濃度 } C_{out}[\text{ppm}]}{\text{分解前のトルエン濃度 } C_{in}[\text{ppm}]} \times 100 \quad \dots (1)$$

$$E_m = \frac{\text{発生したCO濃度 } C_{CO}[\text{ppm}] + \text{発生したCO}_2\text{濃度 } C_{CO_2}[\text{ppm}]}{7 \times (C_{in} - C_{out})[\text{ppm}]} \times 100 \quad \dots (2)$$

$$E_{ds} [\text{mol/J}] = \frac{C_{in}[\text{mol/m}^3] \times \text{トルエンを含む試料空気の流量 } Q_{air}[\text{m}^3/\text{s}] \times E_d[-]}{\text{プラズマ入力エネルギー } P[\text{W}]} \quad \dots (3)$$

$$E_{ms} [\text{mol/J}] = E_{ds} [\text{mol/J}] \times \text{無機化率 } E_m[-] \quad \dots (4)$$

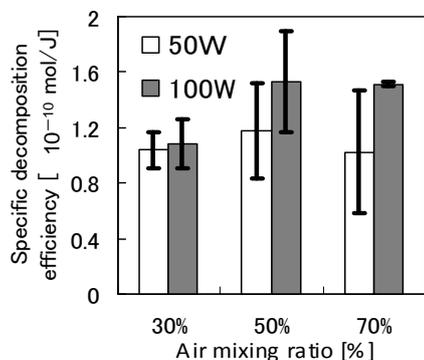


Fig. 3. Specific decomposition efficiency of toluene.

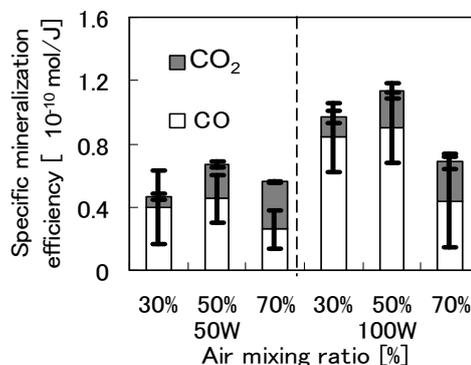


Fig. 4. Specific mineralization efficiency of toluene.

この結果を見て分かるように、空気混合率 50 % において、最も高い分解効率、無機化効率を得ており、この混合率が最適値であることが示された。

3.2. ナノ粒子分解実験

プラズマを発生させる Ar 流量は 1.0 L/min に固定し、空気混合率を 30、40、50 %、プラズマ出力を 50 W、100 W と変化させたときの分解率、粒径分布を Figs. 5, 6 にそれぞれ示す。

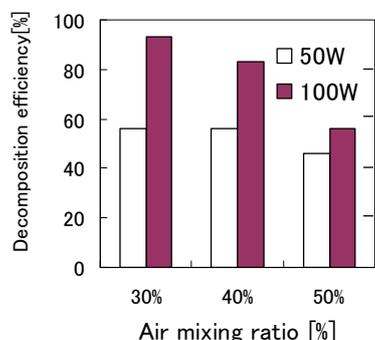


Fig. 5. Decomposition efficiency of nanoparticles.

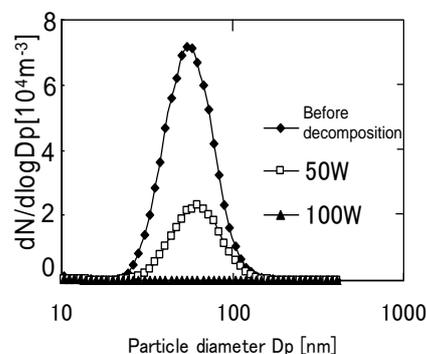


Fig. 6. Particle size distribution (30 % of air mixing ratio).

この結果を見て分かるように、ナノ粒子は、空気混合率 30 % において最も高い分解率が得られ、粒径分布から粒径に関係なく一様に分解されていることが明らかとなった。

4. まとめ

高熱流束マイクロプラズマによる有機ガス/ナノ粒子の高効率分解の可能性が示唆された。その分解効率は空気混合率に大きく依存し、その最適条件は、トルエンガスで 30 %、ナノ粒子で 50 % であった。

【講演】

- 1) 関口和彦, 長澤一真, 坂本和彦, 長谷川靖洋, 高熱流束マイクロプラズマの空気浄化手法への応用に関する基礎検討, 第 26 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, 東京, pp. 298-300 (2008).
- 2) 関口和彦, 高熱流束マイクロプラズマの空気浄化手法への応用, 第 25 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 金沢, pp. 103-104 (2008).