

超音速光触媒エアロゾルによるガス状有機汚染物質の分解特性の考察

金沢大学大学院自然科学研究科 吉田 充宏
 金沢大学工学部 武澤 宗太郎
 金沢大学理工研究域 正会員 古内 正美
 金沢大学理工研究域 畑 光彦
 金沢工業大学基礎教育部 吉川 文恵

1. はじめに

現在、有害化学物質による環境汚染は深刻さを増している。その中でも、揮発性有機化合物 (VOCs) や多環芳香族炭化水素 (PAHs) などのガス状有害物質は、呼吸器を介して人体へ容易に取り込まれやすいため、健康リスクが懸念されている。また、環境基準達成率が極めて低い光化学オキシダントの原因物質としても、その対策が重要となっている。車両や塗装・洗浄工程からの排出の抑制、有機溶媒を扱う工場の作業環境の保全、建材や喫煙等の影響を受ける居住空間の清浄化など、その目的に応じてプラズマ分解や活性炭吸着等の対策技術が取られているが、必ずしも十分ではなく、より低コストで広範な濃度範囲、処理速度に適用できる効果的な分解除去技術の開発が重要と考えられる。

断熱膨張で形成される超音速流れ場では、急激な温度低下でガス・蒸気状物質の過飽和度が極端に高くなり、気中に核となる粒子がある場合に核粒子へのガス分子吸着が大幅に増加する¹⁾。著者らはこの現象を積極的に利用して、核粒子としてナノ光触媒粒子を使用し、その表面に有害有機ガス分子を集中させ、紫外線 (UV) 照射による光触媒反応で高速分解する方法に検討を加えている²⁾。この方法により、大気中のガス状 PAHs を最大で 90% 程度高速分解できること等を明らかにしている。

本研究は、本手法による分解機構の考察を目的として、トルエンを分解対象物質とした時の、光触媒粒子濃度、UV 強度、雰囲気湿度が、光触媒粒子による分解・吸着に与える影響を実験的に検討したものであり、以下ではその結果の一部を報告する。

2. 実験装置および方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。N₂/Ar 混合気中のチタンアルコキシド (TTIP) 蒸気を環状炉 (~1050 °C) で加熱分解して生成した TiO₂ ナノ粒子 (アナターズ型、平均粒子径約 10 nm、幾何標準偏差 1.34)²⁾ のエアロゾル (0.01 L/min) と、パーミエーター (ガステック, PD-1B-2) により既定濃度

で発生させたトルエン蒸気 (1.00 L/min) を混合した。この混合エアロゾル (1.01 L/min) を、乾燥管 (Diffusion dryer) で乾燥後に HEPA フィルタで粒子除去した大気と混合し、アクリル樹脂製・矩形断面ラバールノズル (喉部幅 1 mm × 奥行 2.5 mm, 30.5 L/min, 実測最大 Mach 数 2.0) に導入した。ノズル喉部中心軸下流 20.3 mm を中心とする直径 13 mm の範囲に、石英ガラス (直径 13 mm, 厚さ 2 mm) を介して、UV 光源 (浜松ホトニクス LC3, 波長 365 nm) から設定された強度 (3, 5 mW/cm²) で UV を照射した。装置内部とフィルタでの吸着損失が無視できることを確認した上で、HEPA フィルタで光触媒粒子を除去したガスからチャコールチューブ (柴田科学, Standard Type) でトルエンを吸着捕集した。捕集後、ジクロロメタンで溶媒抽出して GC-MS (島津製作所, QP-5000, カラム長 30m, カラム内径 0.32mm) で分析した。実験条件を Table 1 にまとめた。

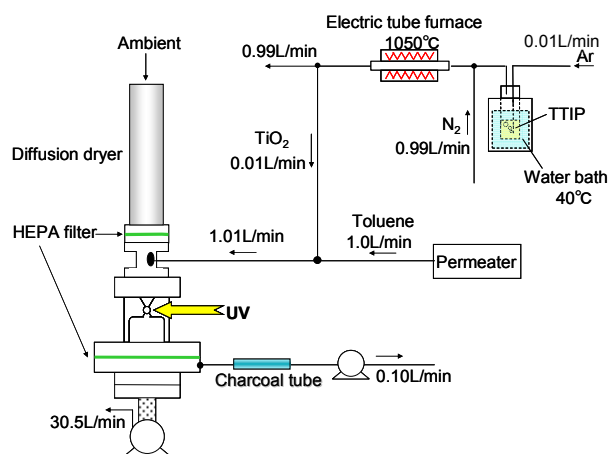


Fig.1. Schematic diagram of experimental setup

Table.1. Experimental conditions

Toluene concentration (ppm)		0.57		
	UV intensity (mW/cm ²)	0		
		3	5	
TiO ₂ concentration (μg/m ³)	0	0.012	0.00067	
	0.019	0.012	0.0041	
	0.056	0.014	0.0044	
	0.063	1.0	0.0062	
	1.5		0.069	0.14

3. 吸着率, 分解率および除去率の定義

本手法を用いたトルエン濃度の減少は, トルエンの, 1) 光触媒粒子への吸着と 2) 光触媒反応による分解で生ずる. ここではそれぞれ, 以下で定義される「吸着率」, 「分解率」およびこれらの総和である「除去率」を用いて分解・除去特性を議論した.

$$\text{Absorbed fraction} [-] = 1 - \frac{\text{Concentration (Toluene + TiO}_2\text{)} [\text{ppm}]}{\text{Concentration (Toluene)} [\text{ppm}]}$$

$$\text{Removed fraction} [-] = 1 - \frac{\text{Concentration (Toluene + TiO}_2\text{ + UV)} [\text{ppm}]}{\text{Concentration (Toluene)} [\text{ppm}]}$$

$$\text{Decomposed fraction} [-] = \text{Removed fraction} [-] - \text{Absorbed fraction} [-]$$

4. 実験結果および考察

光触媒粒子濃度と吸着率の関係を Fig. 2 に, UV 照射時間と分解率の関係を Fig. 3 に, 光触媒粒子濃度と除去率の関係を Fig. 4 に示す. 各図中の実線は, 大気圧下の密閉容器内に置かれた平板塗布 TiO₂ 粒子 (Degussa-P25) による各値と, 塗布粒子が規則充填され, その表層のみが反応に寄与すると仮定した時の粒子濃度・照射時間の実験的関係である^{3,4)}.

設定された条件の超音速流れ場では, トルエン吸着率, 分解率および除去率がそれぞれ 30, 10 および 40% 程度である. 一方, UV 照射強度差を考慮しても, 同一粒子濃度, 照射時間の大気圧下の表面反応でほとんど分解されない. 超音速流れ場内の過飽和状態では, 極低濃度の光触媒粒子への短時間の UV 照射で, 大気圧下の表面反応よりも圧倒的に効率的な吸着・分解除去が行われると推察される.

吸着率と除去率への光触媒濃度の影響が明確に現れない理由については, 短いガス-光触媒の接触時間に対応した吸着量・分解量の制約, 凝集体形成による有効吸着・反応サイトの減少などの可能性が推察されるが, 照射時間の影響など, さらなる検討と検証が必要である.

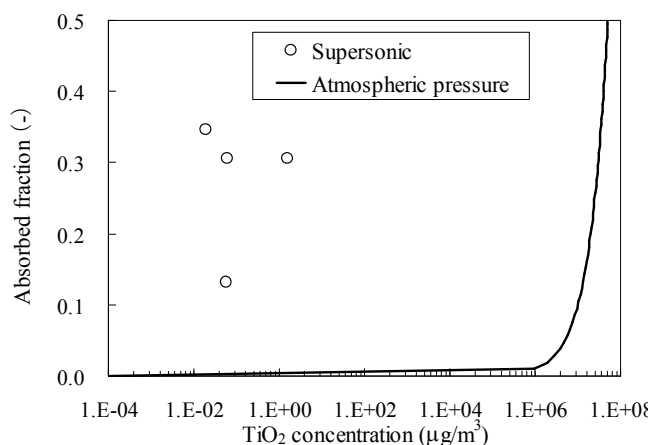


Fig.2. Influence of TiO₂ concentration on absorbed fraction

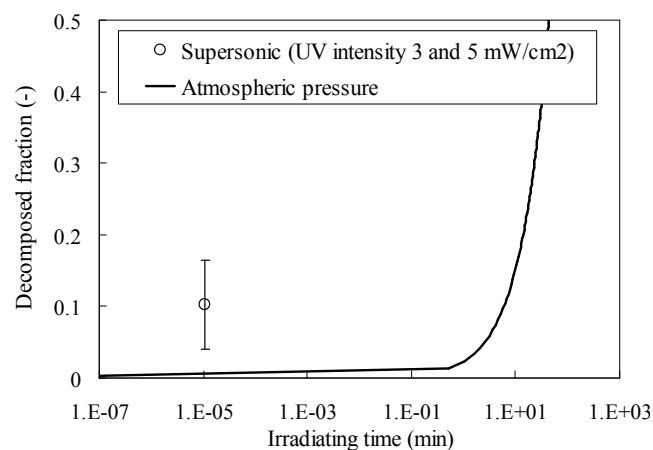


Fig.3. Influence of UV irradiating time on decomposed fraction

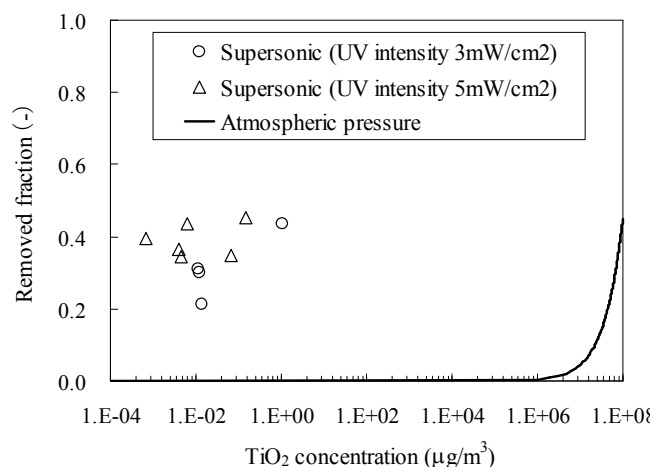


Fig.4. Influence of TiO₂ concentration on removed fraction

5. まとめ

- 1) 大気圧下と比べ, 超音速流れ場による減圧下ではトルエンの吸着, 分解, 除去が効率的に行われる.
- 2) 本実験条件の超音速流れ場, UV 照射位置, 照射時間でのトルエンの吸着率, 分解率および除去率は, それぞれ約 30, 10 および 40% であった.
- 3) 本実験条件の範囲では, 吸着率, 除去率への光触媒粒子濃度の影響は見られなかった.

引用文献

- 1) Furuuchi, M. et al., PAHs in Ultra-fine Ambient Aerosol Sampled by a Supersonic Impactor (in Japanese), *Journal of Aerosol Research*, 20, 2, pp.135-143, 2005
- 2) Furuuchi, M. et al., Decomposition of Gaseous Pollutants using a Supersonic Flow of Nano TiO₂ Aerosol, Proc. Int. Aerosol Conf. (IAC), St. Poul, Minnesota, USA, Sep. 2006
- 3) Jwo et al., Photodecomposition of gaseous toluene using TiO₂ prepared by SANSS, *Journal of Physics: Conference Series*, 13, pp.438-441, 2005
- 4) Kawabata et al., 紫外線照射下での酸化チタンによるトルエンの分解除去 (in Japanese), *Journal of 岡山県工業技術センター報告*, 31, pp.43-44, 2008