

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月22日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656044

研究課題名（和文） 生体適合型放電による浮遊汚染ナノ粒子の捕集と表面反応浄化システムの開発

研究課題名（英文） Development of Collection of Polluted Nano Suspensions and Surface Cleaning System Using Discharge Adjustable for Living Body

研究代表者

西山 秀哉 (NISHIYAMA HIDEYA)

東北大学・流体科学研究所・教授

研究者番号：20156128

研究成果の概要（和文）：本研究は、省エネ放電により管内で空気プラズマ流を発生させる小型のプラズマチューブを製作し、高電圧印加での放電特性やオゾン濃度特性、管内微粒子搬送挙動を実験的に明らかにした。さらに、数値解析により二重螺旋電極を有する管内の三次元電界分布から微粒子に働く静電気力やプラズマ誘起流を求め、粒子搬送・攪拌機構を明らかにした。また、プラズマチューブ内にメチレンブルー液滴を導入し、管内オゾンとの反応によりほぼ脱色分解を検証した。

研究成果の概要（英文）： The innovative technology is proposed for nano particle mixing and transportation in a plasma tube using electrostatic force coupled with induced flow by dielectric barrier discharge on the inner surface of a tube. This DBD plasma tube is composed of a pair of spiral electrodes both inside and outside of the tube for the generation of DBD plasma. The fundamental characteristics of DBD plasma tube such as discharge characteristics and induced flow velocity were clarified experimentally. Furthermore, three dimensional electrical potential distribution as well as particle trajectory inside the tube were shown by computational simulation. Furthermore, mist of methylene blue was introduced to plasma tube and it was successfully decomposed by ozone in a plasma tube.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	0	1,900,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	360,000	3,460,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：機能性流体、管内流れ、プラズマ、微粒子、液滴、輸送、化学反応、浄化

1. 研究開始当初の背景

(1) 21世紀では、中国からの有害物質や細菌が付着した黄砂の飛来、春先の花粉の飛散、ナノ・マイクロスケールのディーゼルエ

ンジン排気ガスの粒子状物質、室内汚染物質やインフルエンザウィルス等の浮遊や高濃度化に伴う人間の生活環境を取り巻くマイクロ・ナノ粒子汚染とアレルギー、インフル

エンザや肺ガン等の健康被害が社会的に深刻な問題となってきた。近年、空気清浄化技術として国内の産業界でプラズマクラスターやストリーマ放電による汚染粒子の捕集や汚染物質の酸化分解等の開発が開始されている。しかしながら、応用研究や技術が先行しているため、学術的な裏付けや普遍性の検証、さらには、実験と計算の両面からの統合解析により最適化されていないのが現状である。

(2) そこで本研究代表者らは、省エネ型プラズマチューブによる微粒子の捕集機構と粒子表面汚染物質の浄化機構を理論および実験的に解明し、環境浄化等のフロンティア技術を提案しようとした。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、室内微小空間、呼吸器系での汚染ナノ粒子、粒子状ハウスダストや液滴、ウイルスの持続的捕集、表面汚染物質除去への先進的応用展開を目的として、人間環境や生体に適合した放電により周囲気体をプラズマ活性化し、特に静電気力によるナノ粒子の捕集およびプラズマの化学的高活性および高速電子を活用したナノ粒子やマイクロ液滴表面の汚染物質を分解・除去する「ナノ粒子・マイクロ液滴反応流動システム」を試作的に開発する。

(2) 「ナノ粒子静電輸送モデル」と「固体表面反応モデル」を統合した新規な「ナノ粒子表面反応混相流動モデル」を世界に先駆けて提案し、ナノ粒子捕集および浄化特性を明らかにし、さらに、実験との統合解析により「ナノ粒子・マイクロ液滴反応流動システム」の最適な形状や作動条件を示し、「先進的な汚染粒子・液滴浄化機器」の基礎的設計資料を提供する。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、生体に適合する放電構造を有する誘電体バリア放電によりプラズマを生成し、マイクロ・ナノ粒子を吸引・捕集し、かつ表面汚染物質を分解・除去するためのマイクロリアクターを有する「ナノ粒子捕集・表面反応浄化システム」を試作する。

(2) 様々な放電条件、流動場、ナノ粒子径やナノ粒子速度、粒子濃度、反応炉形状や反応炉スケールとナノ粒子の輸送特性、表面汚染物質の分解・効率との相関および重要因子を実験的に明らかにする。

(3) 代表者らの世界トップレベルの微粒子

プラズマ流の成果を基盤として、「ナノ粒子静電輸送モデル」と「プラズマ流動モデル」を統合した新規な「ナノ粒子表面反応混相流動モデル」により数値シミュレーションによりナノ粒子捕集機構の解明、さらに、洗浄・除去最大効率のための作動条件や形状の最適化を行い、新規な「ナノ粒子捕集・表面反応浄化システム」を提案する。

4. 研究成果

(1) DBDプラズマチューブは、電圧印加により流れのない状態からプラズマアクチュエータ効果による流れを誘起することができる(図1)。微粒子は、DBD放電により管内に誘起される流れおよび静電気力との相乗効果により攪拌されつつ搬送される(図2)。P I V計測により印加電圧 $V_{pp} = 14.3$ kV、周波数 $f = 1.0$ kHzの作動条件の下で、管出口において最大で 0.56 m/sの誘起流が観測された(図3)。

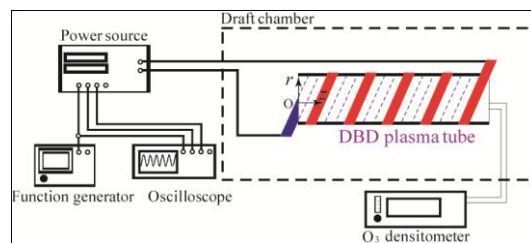
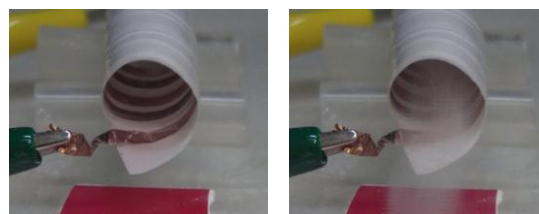


図1 粒子搬送実験装置の概略図



(a) $V = 0.0$ kV_{pp} (b) $V = 14.6$ kV_{pp}
図2 電圧印加時のアルミナの搬送写真

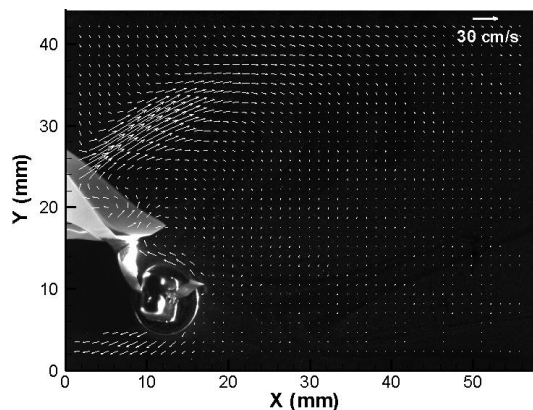


図3 誘起流の平均速度分布

(2) 二重螺旋電極を有する管内の三次元電位および電界分布から、微粒子に働く静電気を数値解析し、さらにプラズマアクチュエータ効果を考慮した近似的な速度分布を与えることによって、微粒子の搬送挙動を示した。管壁近傍の粒径が50 nmおよび1 μm の粒子は、電極近傍の電界強度の大きい領域において半径方向に激しく振動しながら、誘起流によって軸方向に搬送される。一方、粒径が10 μm 以上の粒子は、振動しながら管中心に移動し、螺旋状に回転しながら搬送される(図4)。

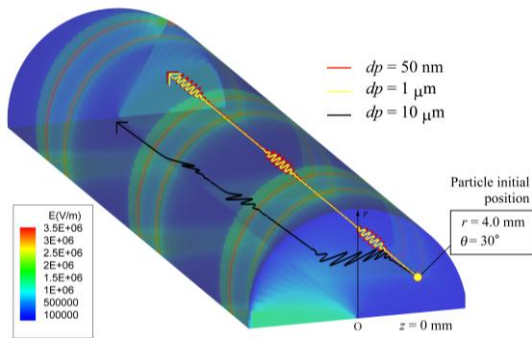


図4 プラズマチューブ内の電界強度分布および粒子軌道

(3) 粒子の初期位置が管壁に近く、粒径が小さい場合には慣性力が小さく、誘起流と静電気の影響を受けやすいため、軌道が変化しやすく、管中心近傍まで搬送されるため、粒子の軸方向排出速度は増加する。一方、粒径が大きい場合、帯電量が大きく、粒子に働く静電気が増加し、慣性力および重力も大きいため、緩やかに大きく振動しながら管中心近傍に輸送されるため、主流により粒子が加速されやすく、粒子の軸方向排出速度が増加する。

(4) 平成22年度の改良版として、微粒子やマイクロ液滴表面の浄化も想定して、管内壁面に微小スケールのメッシュ型電極空間を有したDBDプラズマチューブを新たに試作した(図5)。作動気体が空気の場合、消費電力が2 W程度でもDBD放電が可能で、ミストを流すと、消費電力は約3~5倍に増加した。酸化力の強い汚れの浄化作用のあるオゾンの発生量は、印加電圧に対して直線的に増加し、また、高い印加周波数に対しても増加し、 $\ell = 100\text{ mm}$ 、印加電圧 $V_{pp} = 12\text{ kV}$ 、印加周波数 $f = 1,500\text{ Hz}$ で、最大150 ppmのオゾンが発生した(図6)。一方、オゾン生成効率は、 $\ell = 10\text{ mm}$ 、 $V_{pp} = 6\text{ kV}$ 、 $f = 1,500\text{ Hz}$ で最大値を示した(図7)。

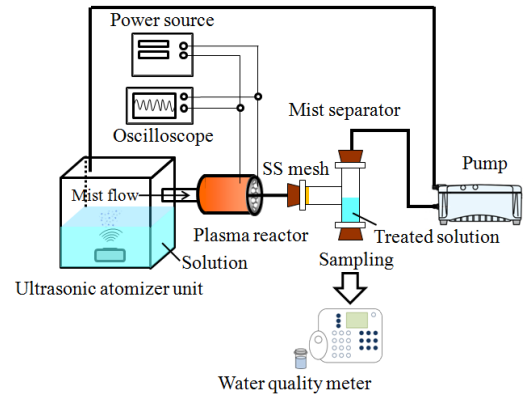


図5 浄化実験装置の概略図

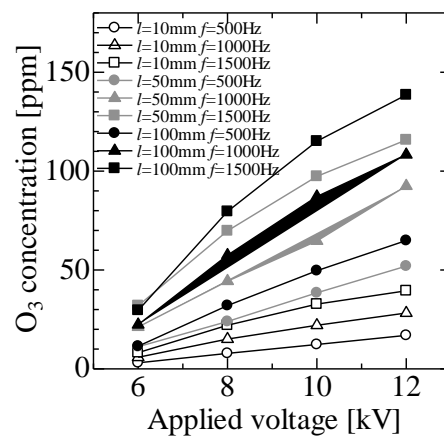


図6 プラズマチューブ内オゾン生成特性

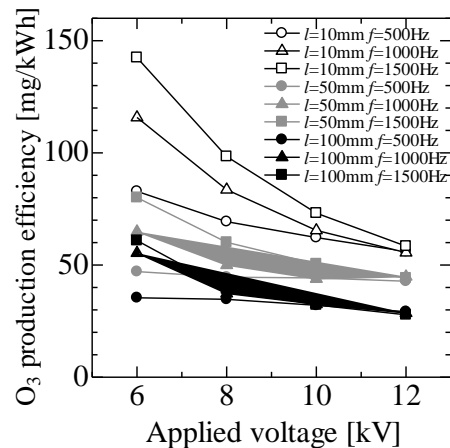


図7 プラズマチューブ内オゾン生成効率

(5) 数ミクロン程度のメチレンブルー液滴をDBDプラズマチューブ内に流動させた場合、管内に発生したオゾンと液滴界面反応により、一度の処理でほぼ脱色分解することを検証した。500 Hz~1,500 Hzの周波数で、印加電圧が6 kVの場合、単位エネルギーあたりの分解効率が最大となり、流動液滴の分解

量が小さくとも管内に液滴が流動状態下で放電可能な投入エネルギーを極力小さくすることが重要である(図8)。

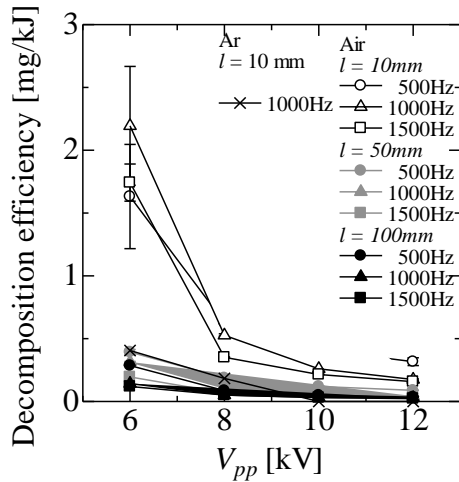


図8 メチレンブルーの脱色効率

(6) 本研究では、プラズマ混相流分野でインパクトのあるフロンティア研究として認知され、学生優秀講演賞を受賞した。今後は、フレキシブルな材料で小径のプラズマチューブを開発し、例えば、狭い空間での汚染微粒子やダストの収集や浄化および医学呼吸器系のウイルス吸入や殺菌治療への活用が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. 篠原圭介, 高奈秀匡, 西山秀哉, プラズマチューブ内における微粒子の攪拌および搬送特性, 混相流, 査読有, 25巻, 5号, 2012年, 495-500頁.
2. Qing Li, Hidemasa Takana, Yi-Kang Pu and Hideya Nishiyama, An Atmospheric Pressure Quasiuniform Planar Plasma Jet Generated by Using a Dielectric Barrier Configuration, Applied Physics Letters, 査読有, Vol. 98, No. 24, 2011年, 241501.

[学会発表] (計4件)

1. Zhi-Bin Wang, Pei-Si Le, He-Ping Li, Cheng-Yu Bao, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama, Computational Study on Atmospheric RF Discharge with Kinetic-Fluid Integrated Model, The 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration

(AFI/TFI2011), 2011年11月10日, ホテルメトロポリタン仙台 (仙台市).

2. 柴田智弘, 西山秀哉, 反応性プラズマによる噴霧二相流の高機能化と液体分解性, 日本機械学会東北支部第47期秋季講演会, 2011年9月22日, 山形大学 (米沢市).
3. 篠原圭介, 高奈秀匡, 西山秀哉, プラズマチューブ内における微粒子の攪拌および搬送, 日本混相流学会年会講演会2011, 2011年8月8日, 京都工芸繊維大学 (京都市).
4. 篠原圭介, 高奈秀匡, 西山秀哉, 静電効果による管内反応性気体中の微粒子攪拌・搬送特性, 日本機械学会第88期流体工学部門講演会, 2010年10月30日, 山形大学 (米沢市).

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 微粒子搬送装置及びこの装置を用いた微粒子の浄化方法

発明者: 高奈秀匡, 篠原圭介, 西山秀哉

権利者: 東北大学

種類: 特許

番号: 特願2010-242718

出願年月日: 平成22年10月28日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西山 秀哉 (NISHIYAMA HIDEYA)

東北大学・流体科学研究所・教授

研究者番号: 20156128

(2) 研究分担者

高奈 秀匡 (TAKANA HIDEMASA)

東北大学・流体科学研究所・講師

研究者番号: 40375118

(3) 連携研究者

田中 康規 (TANAKA YASUNORI)

金沢大学・電子情報学系・教授

研究者番号: 90303263