

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17481

研究課題名(和文)イオン風発生装置による大気エアロゾルのイオン化機構の解明

研究課題名(英文)Aerosol ionization mechanisms by ionic wind generator

研究代表者

伊藤 智子 (ITO, Tomoko)

大阪大学・工学研究科・特任研究員

研究者番号：10724784

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、イオン風(加速された荷電粒子の流れによって誘起される空気の流れ)の発生機構およびイオン風による大気エアロゾル粒子捕集機構を明らかにすることを目的とするものである。独自に針状電極および平板電極を組み合わせた小型イオン風発生装置を開発し、イオン風の諸特性および集塵効率を明らかにした。また、電気流体力学シミュレーションにより、アルゴンガス雰囲気での電極近傍の電界、電子およびイオンの密度分布を明らかにすることができたが、今後の課題として大気中の反応を計算に組み込み計算を行い、イオン風の発生機構およびイオン風による大気エアロゾル粒子捕集機構を明らかにする必要がある。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to understand the ionization mechanism of aerosol particle in air and collection mechanism of aerosol particles by ionic wind. We have developed a compact ionic wind generator which consists of a steel needle and a metal plate ground electrode and examined ionic wind characteristics such as ionic wind velocity and dust collection efficiency. The ionic wind generator developed in this study generates strong air flow and is effective for aerosol particle collection. Using Comsol Multiphysics software, 2D simulation of an ionic wind around needle electrode in argon gas condition also has been carried out. Characteristics of ionic wind, such as electron and ion densities, inside argon gas have been clarified. As a future study, including all reactions occurring in the air are needed.

研究分野：大気圧プラズマ

キーワード：イオン風

1. 研究開始当初の背景

電気集塵装置は、古くから製鉄所、ごみ焼却炉、石炭火力発電所等の広く産業分野で使用されてきた。近年、PM_{2.5}等の微粒子による大気汚染による健康へ影響についての関心の高まりから、家庭向けに様々な種類の電気集塵装置が市販されるようになってきている。このように、電気集塵装置は、至る所で使用されている装置であるが、電気集塵装置の内部で生じている大気中のエアロゾル(微粒子)のイオン化および輸送機構は、ほとんど解明されていない。集塵装置の放電部の構造は、平行平板電極や針状電極と多種多様な電極構造が発案されているが、基本的に片方の電極に負の高電圧を印加し、もう片方の電極を接地した場合、負電圧を印加した側の電極からコロナ放電等による電子放出が生じ、周囲の大気をイオン化し、さらに電場で加速されたイオンが周囲の大気と衝突することにより、イオンが原因で生ずる空気の流れ(イオン風)が生じることが知られており、電子やイオンとの衝突により、大気中のエアロゾル(微粒子)もイオン化されることで、大気エアロゾルを捕集すると考えられている。そのため、イオン風生成初期におけるイオンの種類や空間分布の違いにより、イオン風の風速等の性質は大きく変化し、大気エアロゾルの捕集効率に影響を与えると考えられる。したがって、イオン風の初期発生機構の解明が大気エアロゾルのイオン化機構の理解への鍵を握ると考えられるが、大気中でどのようなイオンが、どのような時間・空間分布で発生するかなど、イオン風の発生初期のイオン化機構の詳細は、ほとんど、理解されていない。イオン風の生成には、電場方向に加わるクーロン力が重要であり、高電圧を印加する電極先端に強い電場が集中するように針状電極と円筒電極および平板電極の組み合わせを用いるのが効率よくイオン風を生成できると予想され、現に、針状電極と円筒電極を組み合わせたイオン風発生装置が特許化されている[1]。しかしながら、このような針状電極と円筒電極というシンプルな系であっても、イオン種および分布等のイオン風の諸特性や発生機構は明らかにされておらず、イオン風の発生機構を理解したの上での大気エアロゾルのイオン化および輸送機構解明には至っていない。

2. 研究の目的

本研究は、イオン風の発生機構およびイオン風による大気エアロゾル粒子捕集機構を明らかにすることを目的とするものである。具体的には、イオン風の諸特性の解明として小型のイオン風発生装置を開発し、風速等の計測および微粒子捕集実験、さらに電気流体力学シミュレーションを行うことで、大気放電により生成された分子イオンが成長・発展し

ていく過程を時間的かつ空間的に明らかにして、イオン風の初期発生機構の解明を目的とする。得られた知見を基に、最終的に大気エアロゾルイオン化機構の解明を本研究の目標とする。

3. 研究の方法

本研究では、針電極と平板電極を組み合わせたイオン風発生装置(図1)を作成し、針電極に高電圧を印加電極、平板電極を接地電極とすることで針電極先端から接地電極へと流れるイオン風を生成する。針電極には、手芸針を用い1 cm 間隔で5本、接地電極に対向するように配置し、接地電極には、1×5 cm²の大きさの平面電極(銅)を用いた。針電極先端と接地電極間の距離および印加電圧波形を変えてイオン風発生最適化を行い、また、イオン風発生装置および微粒子測定装置を密閉容器(40×40×70 cm³)に入れて、密閉容器内微粒子の捕集効率を測定も行った。

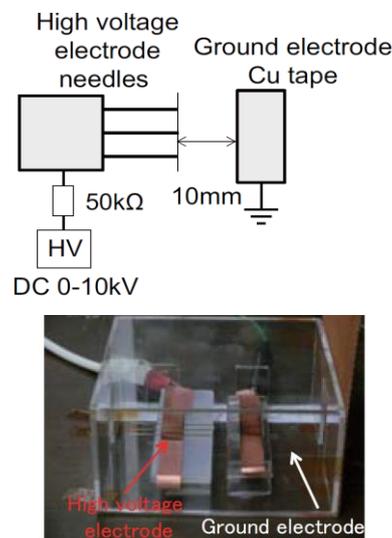


図1 イオン風生成装置

4. 研究成果

(1) イオン風測定結果

本イオン風発生装置ではイオン風の発生する閾値電圧は、4.6 kVであり、11.6 kV以上を印加した場合、アーク放電が生じた。図2に示すのは、針状電極の印加電圧を+8 kVとし、微風速計 ANEMOMASTER light, Model 006, KANOMAX 社)により、接地電極端でのイオン風の風速を測定結果である。

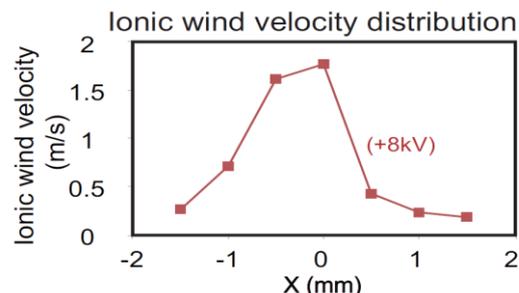


図2 イオン風発生装置接地電極近傍のイオン風速分布

(2) 微粒子捕集実験結果

図3は、イオン風発生装置およびパーティクルカウンター(HHPC-3+, MET ONE 社)を密閉容器内に入れ、0.3 μm 微粒子の個数密度の時間変化を測定し、実験開始時の初期微粒子個数密度により規格化した相対的微粒子密度の時間変化を示したものである。この微粒子捕集実験では、イオン発生装置の電極間距離は1 cmに設定し、針状電極に+8 kVの直流電圧を印加している。黒線は、イオン発生装置をOFFに、赤線は、イオン発生装置をONにした場合である。イオン発生装置がOFFの場合、容器内の相対的微粒子密度は、重力による落下のため、緩やかに下降しているが、イオン発生装置を稼働した場合の相対的微粒子密度は、測定開始時より急激に下降し、20分以内に容器内の微粒子密度がほぼ0となっており、イオン発生装置により、容器内の微粒子が捕集されていることが分かる。また、イオン発生装置の入り口と出口で、パーティクルカウンターにより、それぞれの位置での微粒子個数密度を測定し、本イオン発生装置の微粒子集塵効率を算出したところ、針状電圧の印加電圧が+8 kVで80%以上の高効率の集塵効率を達成することができた。

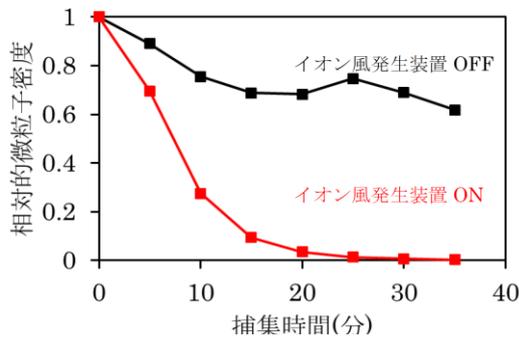


図3 イオン風生成エアロゾル粒子捕集装置による0.3 μmの微粒子密度の時間変化(赤線)

以上より、密閉空間内でイオン風発生装置により微粒子が捕集可能であることが判明したため、室内(10×3×3 m³)に本イオン発生装置(図1)を設置し、針状電極への印加電圧を+8 kVとして72時間連続で、イオン発生装置を運転させた後、針状電極先端および接地電極に捕集された微粒子の表面分析をXPS(X線光電子分光装置)を用いて行った結果、図4に示すように、接地電極表面に関して、S1sのピークが観測され、硫黄化合物の微粒子が電極表面上に捕集されたと考えられる。また、高電圧を印加した針状電極先端に関しては、S1sのピークは、観測されず、本実験から、高電圧印可針状電極と接地電極では、捕集された微粒子の成分が異なることが明らかとなった。

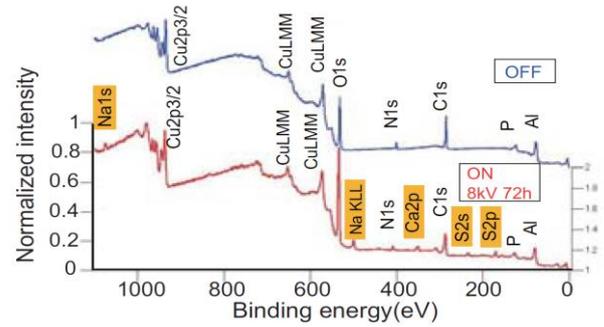


図4 接地電極表面におけるXPS分析結果(赤線:72hイオン発生装置を稼働後)

(3) 電気流体力学シミュレーション

イオン風発生装置によるイオン風の初期発生時の空間分布および時間発展を明らかにする為、COMSOL Multiphysicsを用いて計算を行った。高電圧印加の針状電極の先端および筒状の接地電極を系とした2次元モデルを用い、また、大気下における反応は複雑であることから、Arガス雰囲気条件として、針状電極近傍の電子およびAr⁺イオン密度分布および電界分布等を明らかにした[2,3]。図5に示すのは、計算結果の一例として、針状電極に600Vを印加した場合の針状電極付近の電子およびAr⁺イオンの流束(荷電粒子密度/速度と定義)分布を示したものであり、電子は針状電極先端に、Ar⁺イオンは針状電極先端から接地電極へと向かう荷電粒子の流れを明らかにすることができた。

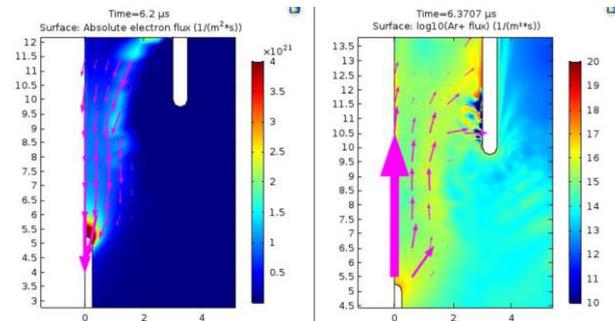


図5 電極近傍での電子(左)およびAr⁺イオン(右)流束分布

最終年度までにArガス雰囲気条件での電極近傍の荷電粒子の密度分布や電界分布等を明らかにすることができたが、今後の課題として、大気中の反応を計算に組み込んだ計算を行い、イオン風速分布等の実験値と比較を行うことで、イオン風の発生機構およびイオン風による大気エアロゾル粒子捕集機構を明らかにしていく必要がある。

[1] 中村 憲司, 対置電極カートリッジ式イオン風発生器, 特開 2001-80908, (1999.8.9).
 [2] I.R. Rafatov, D. Akbar, S. Bilikmen, Physics Letters, A 367 (2007) pp. 114-119.
 [3] Tanvir Farouk, Bakhtier Farouk, David Staack, Alexander Gutsol, Alexander

Fridman, Plasma Sources Sci. Technol., 15 (2006) pp. 676-688.

(4) 研究協力者 ()

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 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

「液中放電によるオゾン水生成」伊藤智子, 村上 栄造, 松谷 輝雄, 浜口 智志 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会 (2015 年 3 月 13 日~16 日、名古屋国際会議場、愛知県名古屋市) 15p-2Q-12.

「イオン風を利用した大気浮遊粒子の捕集機構解析」伊藤智子, 陈 龙威, 浜口 智志 第 63 回応用物理学会春季学術講演会 (2016 年 3 月 19 日~22 日、東京工業大学大岡山キャンパス、東京都目黒区) 21p-P7-9.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者 伊藤智子

(ITO Tomoko)

大阪大学・工学研究科・特任研究員

研究者番号: 10724784

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: