

## 粒子の帯電量計測システムの開発

## その1 荷電粒子の生成に関する検討

(正会員) ○藤岡 友美<sup>\*1</sup> (正会員) 遠藤 哲夫<sup>\*1</sup>  
(会員外) 瀬戸 章文<sup>\*2</sup> (会員外) 大谷 吉生<sup>\*2</sup>

微粒子 帯電量計測 帯電分布

## 1. 始めに

単分散で多価に帯電したエアロゾル粒子は帯電粒子の輸送、沈着過程に関する基礎研究を行うための試験粒子として重要である。製造プロセスでは一般的に、イオナイザなどを用いた物体表面の除電対策はとられているが、プロセス中などで発生する気中粒子の帯電状態の制御は十分とは言えず、その付着過程を把握することが難しい。エアロゾルの帯電制御法としては、放射線源などを用いたエアロゾル中和器が用いられるが、特にサブミクロン～ミクロンオーダーの比較的粗大な粒子の帯電制御に関する実験的検討例は少ない。[1]

そこで、本研究では、アトマイザを用いて単分散の帯電した粒子を容易に生成できる方法を検討し、その帯電状態の制御を試みた。さらに、エアロゾル荷電理論に基づいた平衡帯電量分布と比較することで、多価荷電粒子の中和過程を調べた。

## 2. 帯電量の測定実験方法

粒径 $D_p$ が0.1、0.2、0.5 $\mu\text{m}$ のポリスチレンラテックス(PSL)標準粒子を試料として、各粒径における帯電分布を測定し、またその中和過程を実験的に検討した。

実験装置の概略を図1に示す。PSL粒子-水懸濁液をアトマイザにより噴霧し、液滴を発生させた後、ディフュージョンドライヤーで乾燥させ、PSL粒子を含むエアロゾルを14[L/min]で静電分級器(DMA)へと導入し、帯電量を測定した。実験に用いたPSL標準粒子は単分散であるので、DMAでは粒子が有する帯電量に応じて分級(DMAに高圧電源を用いて $\pm 100\text{V} \sim \pm 6000\text{V}$ の電圧を印加して電界を発生させることで、粒子を帯電量ごとに分ける)が行われ、分級後の粒子の個数濃度を凝縮核計数器(CPC)によって計測することで、帯電量を求めることができる。なお、CPCには0.3[L/min]でPSL粒子を含むエアロゾルを引き込んだ。また、多価に帯電したPSL粒子を $^{241}\text{Am}$ (放射線により正・負イオンを発生させる)に通すことで電荷を中和してDMA/CPCに導入することで、粒子を中和した後の帯電量を測定した。

## 3. 帯電量の測定結果

図2にDMA/CPCで計測した0.1 $\mu\text{m}$ の粒子の中和前後の帯電量分布を示す。図中の横軸が粒径 $D_p$ 、縦軸は一定時間中に計測された粒子の個数を表している。ただし、ADMは、分級される際に帯電量が多い場合には粒径が小

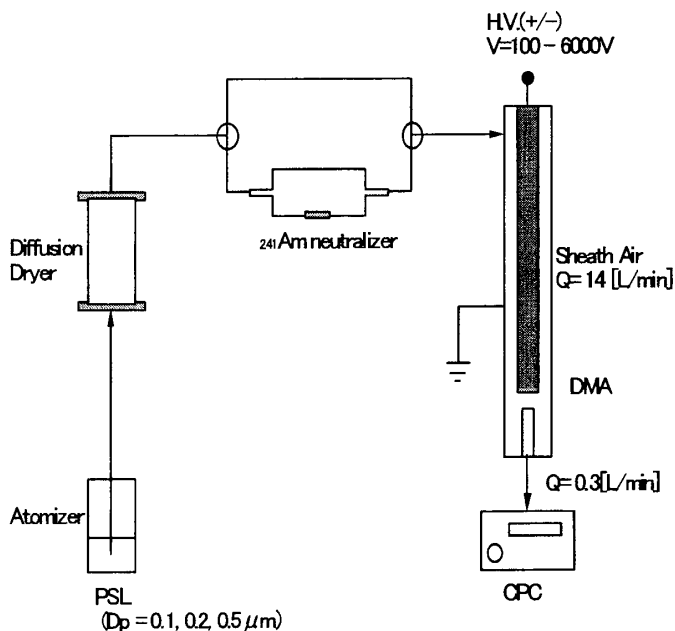


図1 実験装置概略(粒径:0.1 $\mu$ 、0.2 $\mu$ 、0.5 $\mu\text{m}$ )

さいものと同様の挙動を示すため、帯電量により実際に挿入した粒径よりも小さい値を示す。そのため、図中のように帯電量が多いほど、粒径の小さい粒子として測定される。図2(a)に示す中和前では、0.1 $\mu\text{m}$ に見られる1価のピークの他に、小粒径側に2価以上の多価のピークが見られる。(b)に示す中和後の分布では、ほぼ1価までで中和されており、4価以上の多価荷電粒子は見られなかった。なお、図中の0.1 $\mu\text{m}$ 以上にもピークが存在するが、これは粒子が複数個凝集した状態を計測したものであると考える。

次に、粒径0.2及び0.5 $\mu\text{m}$ のPSL粒子に対しても同様の実験を行い、得られたピークの高さの比から中和前後の各粒径における帯電数の分布を求めた。その結果得られた帯電量の分布を図3に示す。縦軸は、各粒径において確認された全帯電粒子 $N_{pT}$ に対する帯電粒子数 $N_p$ の存在割合 $N_p/N_{pT}$ を示す。図中の○、□、△が中和する前、●、■、▲が $^{241}\text{Am}$ を通過させて中和した後の帯電割合を表している。これらの結果より、各粒子の帯電分布は、中和前後に関わらず概ね正・負で対称になっていることがわかる。これは、本実験で行ったアトマイザによる噴霧の際に、液体の破砕分散過程において、粒子表面に正・負

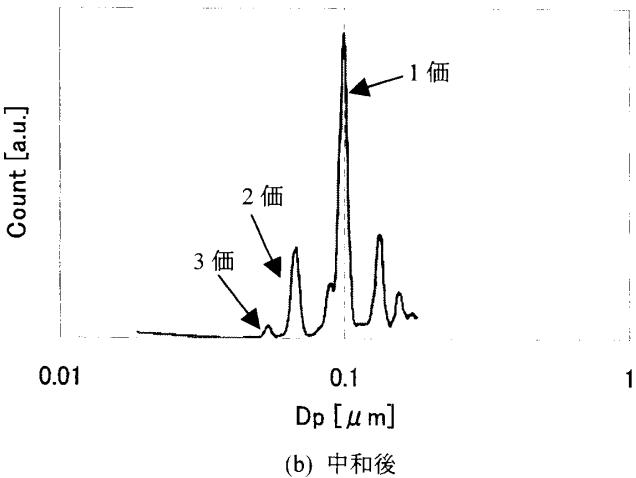
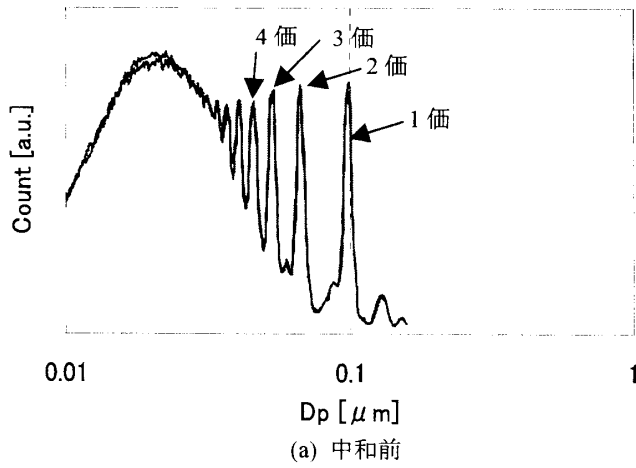


図2 中和前後のPSL粒子の荷電量分布(0.1 μm)

の電荷がほぼ同じ割合で蓄積した結果であると考えられる。また、中和することで、全体的に帯電量が減少していることがわかる。確認できる最大価数の粒子は 0.1 μm が 3 価、0.2 μm が 4 価、0.5 μm が 7 価で、それ以上の帯電量は確認されなかった。また、中和前は正・負の帯電量が均等であったが、中和後には負に帯電した粒子が多く確認されている。これは、中和過程において、負イオンの衝突確率が大きいこと由来していると考えられる。

正負の両極イオンによるサブミクロンサイズの帯電粒子の中和過程は、Boltzmann-Fuchs 分布に従うことが知られている[2]。図 4 に各粒径における帯電割合の計算値を示す。図 3 の中和後の実験値との比較より、粒子が正に帯電した場合、帯電量が大きくなるに従って、実験値と計算値がほぼ同じ分布を取りながら帯電割合が小さくなっていることがわかる。一方、負に帯電した粒子に着目すると、同様に帯電量が大きくなるに従い帯電割合が小さくなっているが、実験値と計算値に差があり、実験値は計算値よりも低い値となった。この理由は現在のところ不明であるが、経路内での粒子損失などによるものだと考えられる。

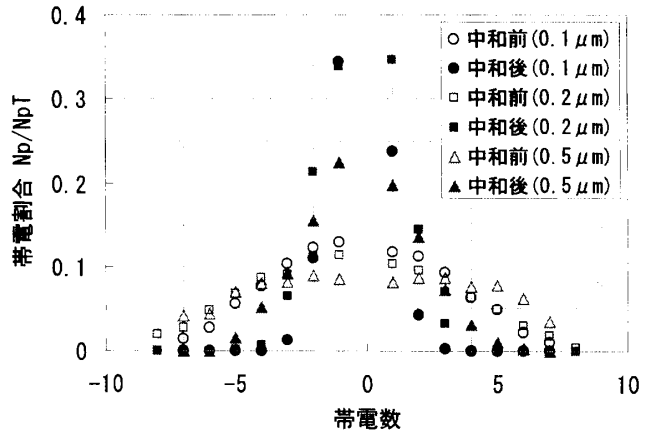


図3 各粒径における帯電分布 (実験値)

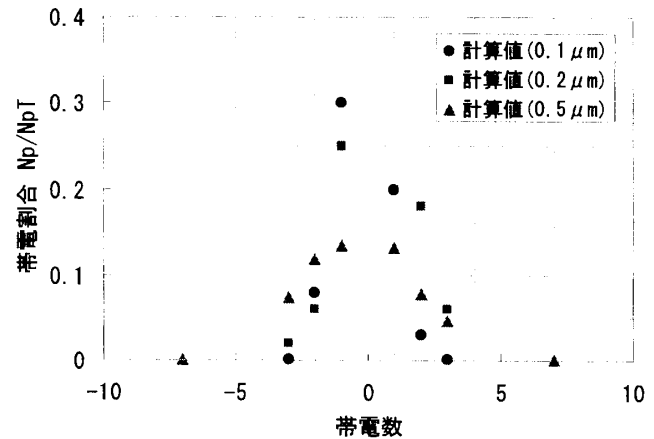


図4 各粒径における帯電分布 (計算値)

### 5. まとめ

アトマイザとディフュージョンドライヤを用いることでサブミクロンからミクロンオーダーの単分散・多価荷電の粒子が生成でき、DMA を利用することで単分散粒子の帯電量ごとの分級が可能であることを示した。また、CPC を用いて中和前後の帯電量分布を粒径 0.1 μ、0.2 μ、0.5 μm の各単分散粒子を計測した結果、中和前には最大で ±8 価、中和後には最大で ±5 価に帯電した粒子が確認された。さらに、従来のエアロゾル荷電理論に基づいた平衡帯電量分布と中和後の帯電割合を比較すると、いずれも粒径が小さな粒子ほど帯電量が少なくなる傾向を示し、分布形状は概ね一致した。

#### 【参考文献】

- [1] 大曾根、瀬戸、大谷、吉川、遠藤：単分散多荷電試験粒子の生成に関する基礎研究、第 25 回エアロゾル科学・技術研究討論会、日本エアロゾル学会、2008.8.
- [2] 高橋幹二：エアロゾル学の基礎、森北出版、97、2003

\*1 大成建設株式会社 技術センター

\*2 金沢大学理工研究域

\*1 Technology Center, TAISEI Corporation

\*2 Natural Science and Technology, Kanazawa University