

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31日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21760137

研究課題名（和文） 流体を利用したイオンモビリティ向上のための研究

研究課題名（英文） Enhancement of Ionized Particle Mobility by Flow Control

研究代表者

石川 仁 (ISHIKAWA HITOSHI)

東京理科大学・工学部・准教授

研究者番号：90311521

研究成果の概要（和文）：

電荷をもつ微粒子（以下、イオン）が流体、とくに噴流によって輸送されるメカニズムを、イオン濃度計測と流体計測の両方を行い実験的に明らかにした。イオン濃度の計測はイオンカウンターを用いて行った。イオンモビリティおよびイオンの拡散範囲を向上させるため、旋回噴流の効果に注目し、旋回成分の強度を変えることで噴流半径方向のイオン濃度分布を通常の軸対称噴流のそれよりも増加させることができた。また、流体中の乱れ成分がイオンモビリティに影響する程度を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this study is to investigate the transportation mechanism of ionized particle in flow. The experiment was performed in the flow measurement by hot wire anemometer and the density measurement with an ion counter which was able to measure the number of ions in air. Ion mobility for radial direction of the jet was enhanced by the swirl flow. Also it was found that the behavior of ions in jet was influenced by turbulence rather than by the coulomb's force and Brownian motion.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

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：流体工学、イオン

1. 研究開始当初の背景

近年、空気分子を電離させて発生するイオン（ここでは電荷を帯びた微粒子のことを呼ぶ）がもつ、除電や除菌、リラクゼーションの効果に注目が集まっており、イオンを利用

した工業製品や家電製品が数多く開発されている。例として、イオンを利用したドライヤーは、コロナ放電や光照射によりイオンを生成し、送風ブローの風によりイオンを輸送して髪に吹きつけている。イオンの輸送方式

には、このほか磁場や電場を利用するものもあるが、前述のブローのような流体による輸送方式が主流となっている。

このような製品開発においての課題は、大量のイオンを、できるだけ遠くの除電・除菌対象まで輸送することにある。これはイオンのモビリティ（移動度）を向上させることによって解決される。よって、まず流体中のイオンの輸送メカニズムを明らかにし、イオンのモビリティを向上させるような輸送法の提案が工学的に重要となる。

イオンの輸送メカニズムの解明に関して従来までは、①イオンの運動には流体力その他、クーロン力やラウン運動等が作用する、②一般にイオンの質量は $10^{-20} \sim 30 \text{kg}$ 程度といわれ非常に軽く、流体中では乱れ成分の影響を受けやすい、③イオンの濃度を局所的に計測する方法が確立されていない、などの困難があった。

2. 研究の目的

除電器や家電製品に利用されているイオンが、流体によって輸送されるメカニズムを、イオンカウンターによる濃度計測と流体計測の両方を駆使して明らかにする。次に旋回噴流の遠心力の効果を利用してイオンモビリティを向上させ、イオンの拡散範囲や到達距離が大きくなるような輸送法を提案する。イオン利用機器の性能向上に役立つ提案を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

3-1. 実験装置

図1に実験装置の全体図を示す。噴流用風洞（ノズル半径 $R_0=20[\text{mm}]$ ）内の、整流胴下流に設置したイオン発生器からイオンを噴流中に導入する。このとき、イオン発生器は流れに乱れが生じないように翼型の支柱に埋め込み、風洞内に設置してある。発生したイオンをイオンカウンターにより周囲流体とともにポンプにより吸い込む。イオンカウンターは同軸二重円筒で構成され、内筒は絶縁、外筒は負にチャージされている。イオンカウンターによって吸引されたイオンは、斥

力を受け、内筒に引き寄せられる。このとき、内筒に付着したイオンにより発生する電流を電流計で測定する。電流とイオン濃度の関係は以下の式(1)で表される。

$$I = qnL \quad (1)$$

ここで、 I は電流[A]、 q は電気素量[C]、 n はイオン濃度[ions/cc]、 L は吸い込みポンプの流量[cc/min.]である。式(1)より、電気素量は $q=1.6 \times 10^{-19}[\text{C}]$ なので、イオン濃度は単位体積当たりの個数として以下の式(2)で表される。

$$n = \frac{I \times 60}{1.6 \times 10^{-19} \times L} \quad (2)$$

旋回噴流は、風洞ノズル手前に設置したいまひとつの送風機を用いて接線方向の運動量を加え、旋回噴流を発生させた。旋回強さを表す指標として、軸方向の運動量と旋回方向の運動量の比で表わされるスワール数 S を用いて整理した。

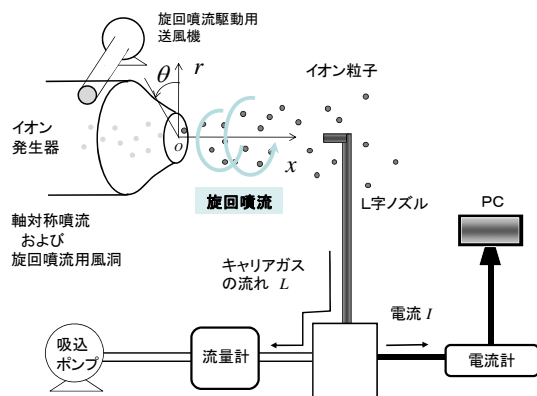


図1 実験装置全体図

3-2 実験方法

イオン濃度分布の測定は、座標系の原点を風洞出口中心とし、座標軸は、流れの主流方向を x 軸、半径方向に r 軸、上流側から風洞出口に向かって、反時計回りを周方向（回転方向）を θ と定めた噴流の主流方向速度については、風洞出口における最大速度 $U_m=10[\text{m/s}]$ で実験を行った。ここではスワール比 $S=0$ の軸対称噴流、 $S=0.11$ 、および 0.14

の旋回噴流、の3パターンの結果について述べる。

流速測定は、自作のX型熱線プローブを用いて、 x - r 断面($\theta=0^\circ$)で $x/R_0=2, 6, 10$ での時間平均速度および乱れ強さを測定した。

イオン濃度分布測定はイオンカウンターを用いて、 x - r 断面($\theta=0^\circ$)で $x=20 \sim 200$ [mm]($x/R_0=1 \sim 10$)を20[mm]間隔、 $r=-50 \sim 50$ [mm] ($r/R_0=-2.5 \sim 2.5$)を5[mm]間隔の計210点で行った。各測定点で複数回測定を行い、その平均値の電流値を測定点の電流値とした。得られた電流値と式(2)からイオン濃度を求めた。

4. 研究成果

図2に軸対称噴流の、図3に旋回噴流 $S=0.14$ の、 x - r 断面でのイオン濃度分布を示す。それぞれの図は、各測定点におけるイオンの個数 n を、得られた最大イオン個数(n_{max})で無次元化したものである。図より、風洞出口から離れるにつれて、噴流に輸送されイオンが拡散していく様子がわかる。とくに旋回噴流は、軸対称噴流よりも半径方向外側にイオンが拡散することがわかる。また旋回噴流においてはスワール比 S が大きいほど、イオンの半径方向外側への拡散が大きい分布になることが明らかになった。これらのことから、旋回噴流によってイオンを拡散させることができ、さらにスワール比 S を変化させることで、その拡散の程度を制御できることがわかった。

図4に主流方向速度の乱れ強さとイオン濃度分布の関係を示す。イオン濃度分布については、エラーバーで測定の変動値(バラツキ)も併せて示してある。図より、イオン濃度は噴流の中心軸上で最も高く、下流に行くにつれ減衰することがわかる。また、乱れ強さの極大値をとる半径方向位置でイオン濃度の半径方向の勾配も大きくなっている。その位置では、イオン濃度の変動値も大きい。このことは、噴流中の乱れ成分、即ち渦構造によりイオン輸送メカニズムが影響を受けることを示唆する結果である。

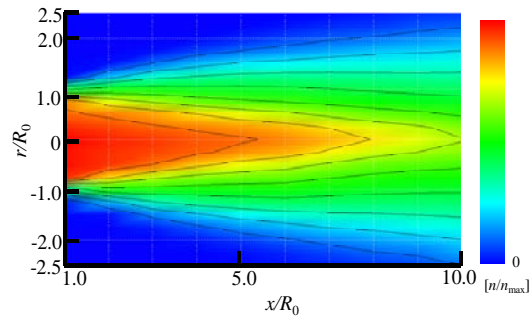


図2 イオン濃度分布 (軸対称噴流)

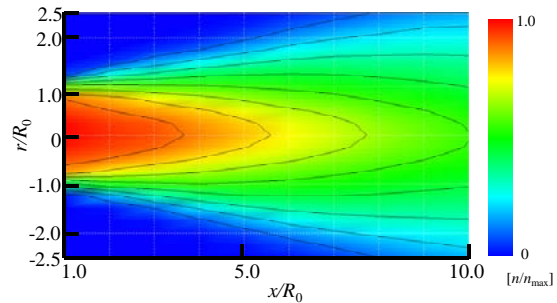


図3 イオン濃度分布 (旋回噴流 $S=0.14$)

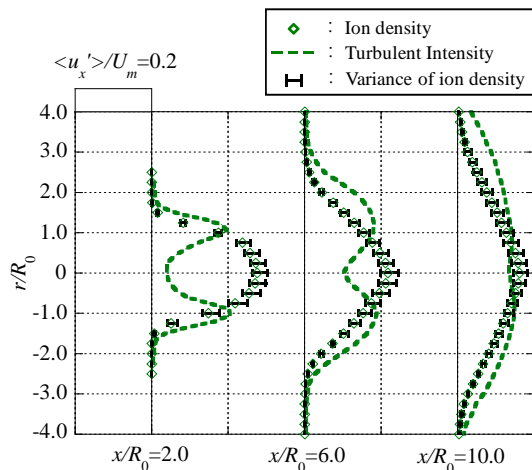


図4 主流方向速度の乱れ強さとイオン濃度分布の関係

図5に、軸対称噴流、および各スワール比 S での、中心軸上でのイオン濃度変化を示す。このグラフの横軸は下流方向位置 x を R_0 で無次元化したもの、縦軸は各測定点でのイオン濃度を最大イオン濃度で無次元化したものである。図からわかるように、風洞出口近傍でのポテンシャルコア領域でのイオン濃度変化にはスワール比 S の値による差は生じていない。しかし、ポテンシャルコア領域が消

減する $x/R_0=4.0\sim 5.0$ において S の値によってイオン濃度の減衰傾向に差が生じるという興味深い結果が得られた。さらに下流の、噴流が発達する領域では、すべての S で同様のイオン濃度の減衰傾向が得られた。ポテンシャルコア領域から、発達領域に流れが遷移する過程では、組織的な大規模渦が崩壊し噴流中心軸上の乱れ強さが増大する。ここでイオン濃度の減衰傾向が変化したということは、噴流中でイオンの輸送メカニズムに影響する因子として、イオン間に働くクーロン力やブラウン運動などよりも乱流成分、とくにの小スケールの渦構造の影響が大きいことを示唆するもので、イオン輸送のメカニズムの一旦を解明できたといえる。

以上、旋回流を利用して流体中のイオンモビリティを向上させ、イオンの拡散範囲が大きくなるような流体制御法が提案できた。今後、これらの成果をイオン利用機器の性能向上に役立てたいと考える。

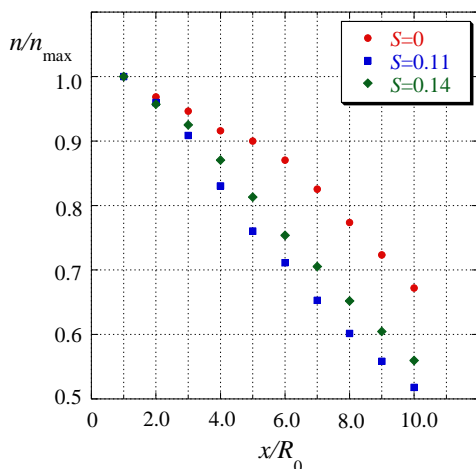


図5 噴流中心軸上でのイオン濃度の減衰

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)

- ①加藤宗賢、石川 仁、他 2 名、軸対称噴流中に導入されたイオンの濃度分布、日本機械学会流体工学部門講演会、2010、

米沢市

- ②M. Katoh, Y. Takamatsu, S. Yamada and H. Ishikawa, MEASUREMENT OF IONIZED PARTICLE DISTRIBUTION IN AXISYMMETRIC JET, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, 2011, Hamamatsu

○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

石川 仁 (ISHIKAWA HITOSHI)
東京理科大学・工学部・准教授
研究者番号：90311521

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：