

種々の強度のバブリングによる空気イオン数密度変化

Variation in the Air-Ion Number Density Induced by Bubble Bursting at Various Intensity

北海道大学工学部 ○学生員 石見翔汰 (Shota Ishimi)
 北海道大学大学院工学研究院 正会員 猿渡亜由未 (Ayumi Saruwatari)

1. はじめに

水滴や雨滴が飛び散る際、微細飛沫が生成され、これらは負の電荷を帯びることは知られている。水滴は水滴面とそれに接する空気中で電気二重層を形成しているが、水滴が分裂する際、大きな水粒子は正に帯電し落下し、結果として微細飛沫は負の電荷を帯びるのである。これはレナード効果と呼ばれている。また、Chate&Kamra(1993)¹⁾は終末速度で固体表面に水滴が落下すると、固体表面は必ず正に帯電すること、さらに電荷は水滴のサイズ、表面の硬さ、落下の激しさなどに影響されることを発見した。このように水滴の破裂と電荷には強い関係があるが、本実験では水中の気泡をバースティングさせることで微細飛沫を発生させ、それらの特徴を観測、解析していく。

2. 実験方法

2.1 測定原理

電荷を帯びた空気中の微粒子の測定はしばしば移動度 ($m^2V^{-1}s^{-1}$) に基づき行われる。これは単位強度の電界中に存在する微粒子の移動速度を測ることにより、帯電電荷量を測定するものである。飛沫の電気量が大きいほど、また質量が小さいほど移動度は大きくなる。本研究で使用しているイオンカウンター(コムシステム社製 COM-3600F)もこの移動度を元にして微細飛沫の測定を行っている。このイオンカウンターは2重円筒管ゲルディエンコンデンサ法を採用した小イオン測定器で、吸気口から2重円筒型コンデンサ間にエアを吸入し、帯電エアロゾルの移動度に基づき空気中のイオン数密度を測定するものである。

2.2 計測方法

本研究ではエアポンプに接続されたエアストーンからのバブリングにより微細飛沫(バースティングスプレー)

を発生させる。実験は20cm×20cm×20cmの水槽内でを行い、エアストーンは水槽底面に円形に配置した。エア流量を4L/min~26L/minの範囲で変化させた全10ケースの条件で実験を行い、それぞれのケースで負のイオン数密度(#/cc)、気温(°C)、相対湿度(%)をイオンカウンターを用いて測定した。各ケース1回~8回の試行実験を行った(表-1参照)。また、イオンカウンターおよび水槽は、難帯電性のボール紙により作製した密閉ハウジング内に設置した(図-1参照)。すべてのケースで水深は10cmとし、水道水を用いて実験を行った。各ケースにおける測定時間、開始時の気温、相対湿度および水温を表-1に記す。測定時間間隔は1.0sで、バブリング開始から2700s~18000sの測定を行った。本実験により得られたイオン数密度(number density)およびその相対標準偏差(RSD, relative standard deviation)、気温、湿度の時間変化の特徴について以降の章で考察していく。

表-1 一部データ省略

case(エア流量)	trial	測定時間(s)	気温(°C)	相対湿度(%)	水温(°C)
case1(4L/min)	1	4500	22.7	51	
	2	7200	26.7	41	
	3	3600	18	72	
	4	4500	18.1	43	13.3
	5	2700	17.4	51	15.5
	6	2700	19.7	48	15.6
case2(6L/min)	全8試行	6300	20.7	46	
case3(8L/min)	1	4500	23.4	43	
case4(10L/min)	全8試行				
case5(12L/min)	1	6300	21.5	61	
	2	8100	17.3	61	
	3	5400	24	35	16.1
	4	18000	15.3	44	15.8
case6(15L/min)	全8試行	7200	25.3	25	17.6
case7(18L/min)	1	7200	18.3	55	16.2
case8(20L/min)	全8試行	7200	24.3	26	16.1
case9(22L/min)	1	7200	25.2	36	17.6
case10(26L/min)	1	9900	14.9	54	15.5
	2	9900	17.4	46	16.2
	3	9000	13.8	45	15
	4	7200	27.3	36	16.3

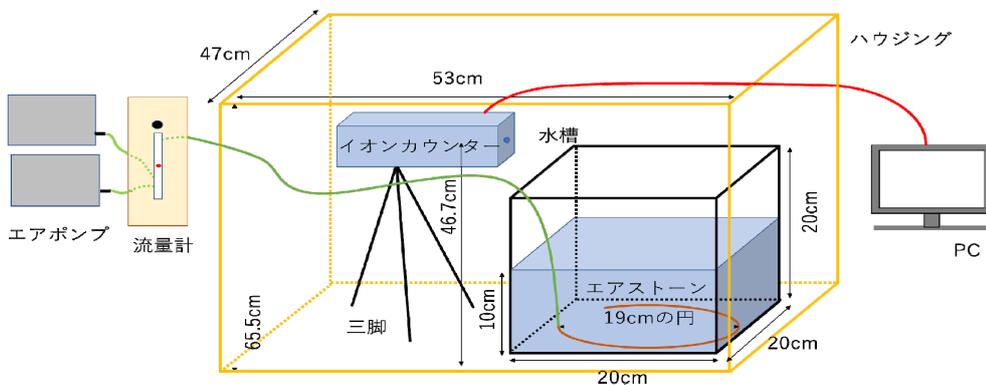


図-1 実験設備の略図

3. 結果

3.1 実験の再現性の確認

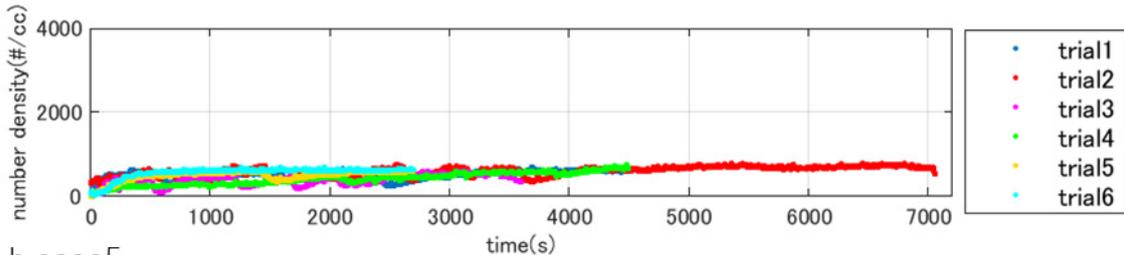
本研究では、実験の再現性が取れているかどうかを確認するための予備実験を行った。図-2は case1, case5, case10 におけるイオン数密度の時系列を表す。バブリング開始後イオン数密度は急激に増加した後安定するという特徴がいずれのケースでも表れた。エア流量 12L/min, 26L/min のケースではイオン数密度が平衡状態に達する前に一旦平衡数密度よりも高いピークを示す場合が見られた。これはハウジング内空気の条件が安定するまでの間に表れる遷移的な現象であると考えられるが、これについては更なる検討が必要である。いずれのケース、試行においてもバブリング開始から少なくとも 3600s 経過後はイオン数密度は平衡状態に達していることから、本論文では測定結果のうち 3600s 以降の平均イオン数密度を平衡イオン数密度と定義する。いずれのケースにおいても各試行において平衡イオン数密度は同程度であることから、本実験ではある程度の再現性が確保されていると考える。ただし、case10 では平衡イオン数

密度に若干のばらつきが見られる。これは気温、湿度、水温やその他の条件に影響を受けているものと考えられる。

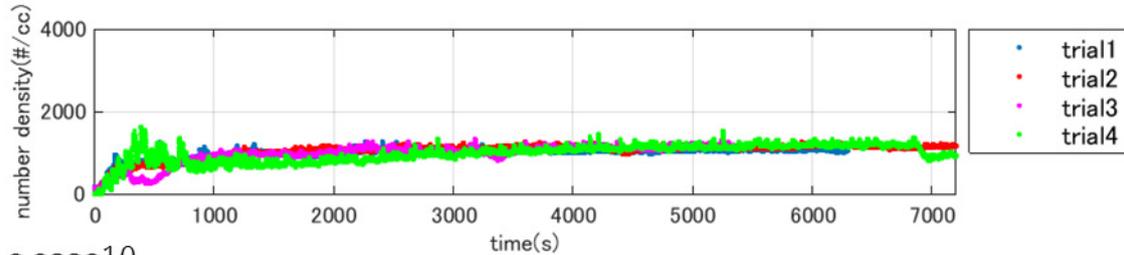
3.2 イオン数密度およびその相対標準偏差の時間変化

図-3は各ケースの平衡イオン数密度により標準化された移動標準偏差の時間変化を表す。ここで移動ウィンドウサイズは±60(s)とした。case1ではバブリング開始から3700秒ほど、case5およびcase10では1500秒ほどで数密度の相対標準偏差は安定した(図-4参照)。一方で、いずれのケースにおいても相対標準偏差が安定するタイミングとイオン数密度がほぼ平衡に達するタイミングとはタイムラグがあり、相対標準偏差が安定した後もイオン数密度はわずかながら増加し続けている(図-2, 図-3参照)。このことから、バブリング開始後しばらくすると、ハウジング内は負の微細飛沫によってある程度満たされるが、その後もハウジング内の空気が負の微細飛沫によって完全に支配的になり平衡状態になるまでは、負の微細飛沫は緩やかに増加し続けることがわかる。

a.case1



b.case5



c.case10

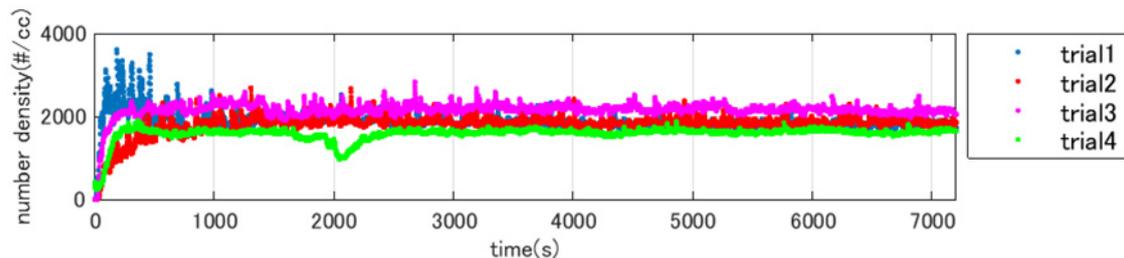


図-2 イオン数密度の時間変化

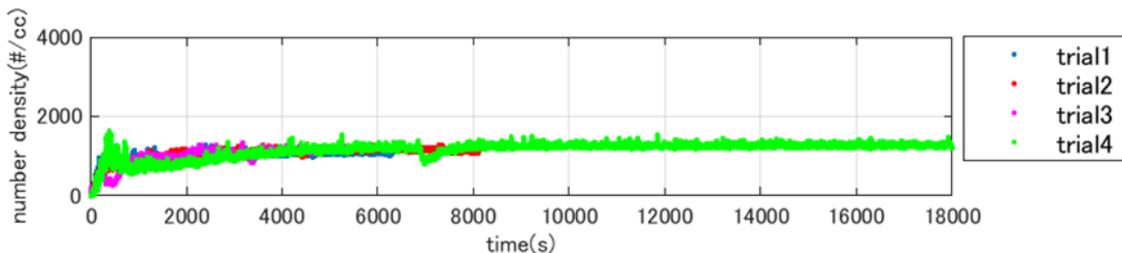
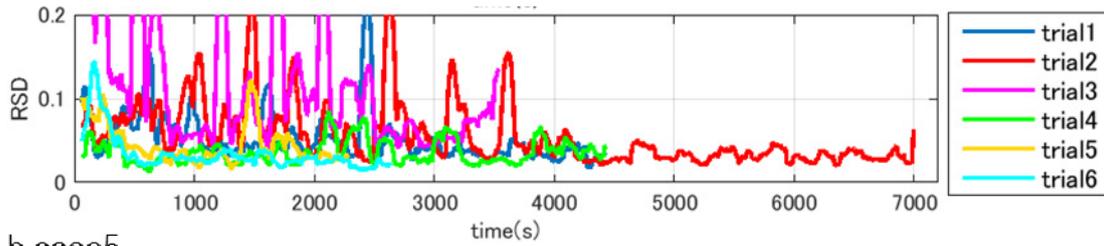
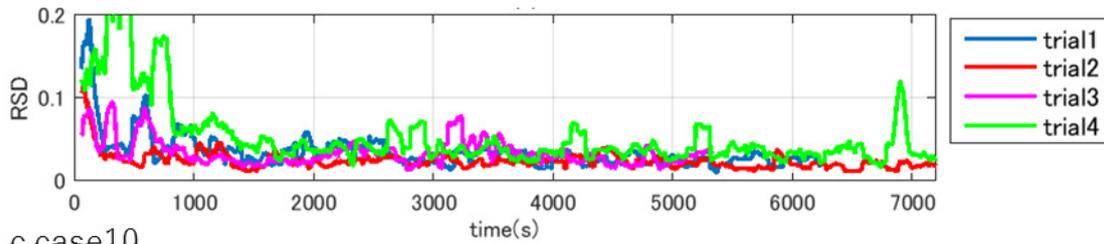


図-3 横軸を 18000s まで伸ばした場合の case5

a.case1



b.case5



c.case10

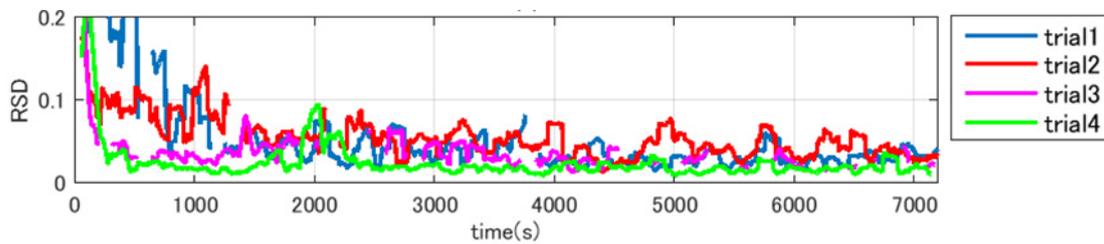


図-4 相対標準偏差の時間変化

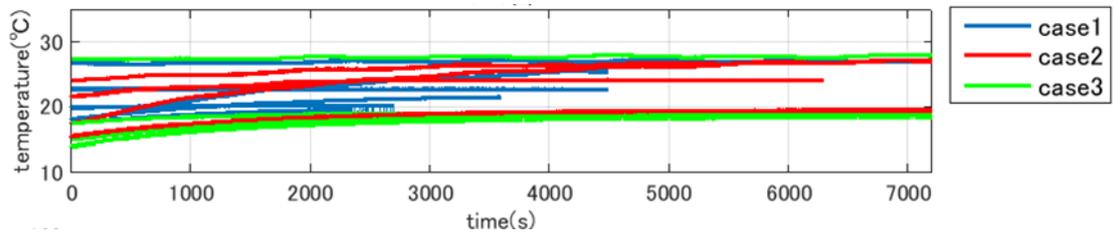


図-5 気温の時間変化

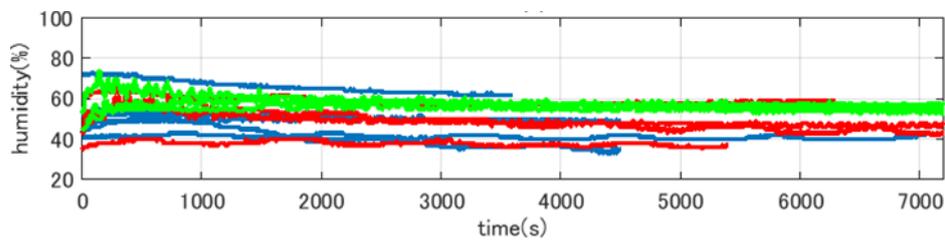


図-6 湿度の時間変化

3.3 気温と湿度に関して

図-5 は気温、図-6 は湿度の時間変化をそれぞれ表す。通常微細飛沫は発生後即座に蒸発し気化熱を奪うため、周囲の気温は下降していくと考えられるが、本実験では多くのケースで気温の上昇が確認された。これは、イオンカウンターの長時間運転と室温の変化による影響を受

けたものと考えており、今後実験セットアップの改良が求められる。同様に飛沫の蒸発により周囲の水分量は上昇すると考えられるが本実験では相対湿度の減少傾向が表れた。これは気温の上昇に伴う飽和蒸気圧の増加を反映したものと考えられる。空気中の微粒子の帯電状態は湿度に依存することが知られていることから、今後イオ

ン数密度と絶対湿度との関係を調査する必要がある。

3.4 流量と数密度の関係

図-7 はエア流量と平衡イオン数密度との関係を表す。ここでエラーバーは平衡イオン数密度の標準偏差を表す。エア流量の増加とともにイオン数密度も増大する傾向が表れた。一般的に気泡の水面におけるバースティングにより発生する飛沫のサイズは気泡径の 1/10 程度、個数は気泡 1 個当たり 10 個程度であると言われている。本研究では気泡や飛沫のサイズ、個数を直接測定していないものの、エア流量の増加とともにバブル径および個数は増大しなければならず、即ちそれにより発生する微細飛沫も増加、増大しているものと考えられる。本結果は飛沫量の増加に応答した周囲の空気イオン数密度の増大が測定されたものと考えられ、よってイオン数密度は発生飛沫量を測る指標として用い得ることを表すものであ

る。

4. 結論

本研究での結果をまとめると大きく以下のようになる。
 ・本セットアップにより実験の再現性がある程度確保されることを確認した。

・バブリングの開始からハウジング内のイオン数密度が平衡状態に達するまでのイオン数密度の変化の特徴を明らかにした。

・本実験ではイオン数密度と気温、湿度との明確な関連性は見当たらなかったが、今後装置のセットアップを改良するなどして更なる研究を行う必要がある。

・エア流量の増大とともにイオン数密度も増大する傾向が表れることが確認された。

しかし、前述したように実験のセットアップの改良、より多いデータ量は求められており、今後も実験を重ねて精度を向上させていく。

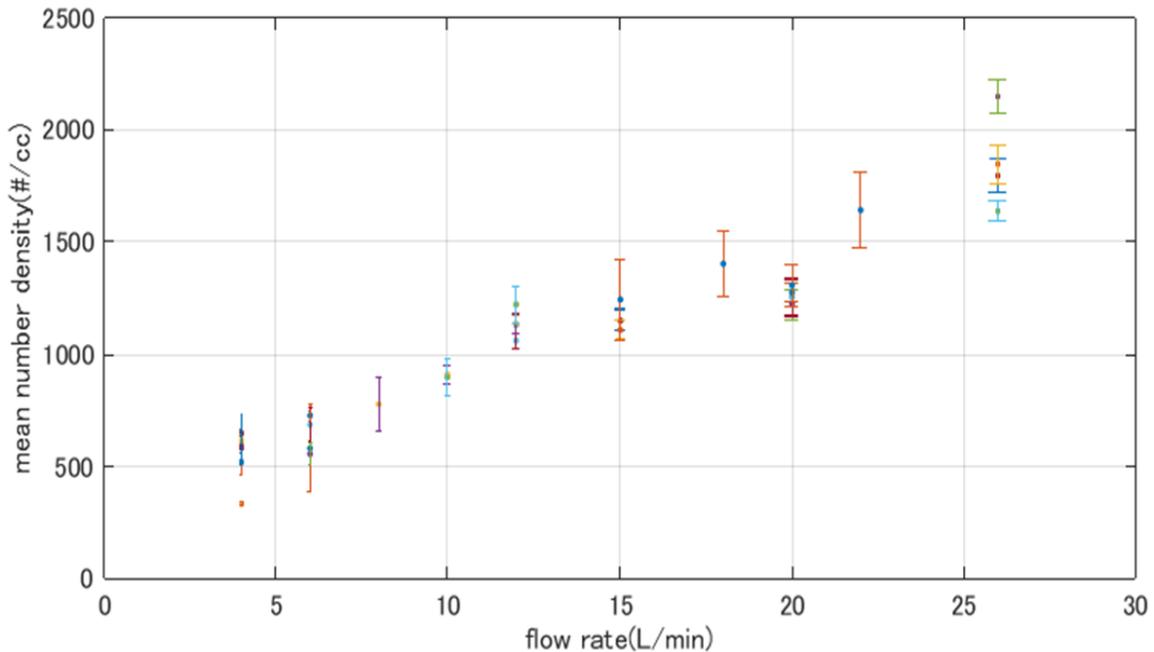


図-7 エア流量と平衡イオン数密度との関係

参考文献

- 1) Chate, D.M., and A.K. Kamra (1993), Charge separation associated with splashing of water drops on solid surfaces, *Atoms. Res.*, 29, 115-128.
- 2) A.K. Kamra, A.S. Gautam, Devendraa. Siingh (2015), Charged nanoparticles produced by splashing of raindrops, *J. Geophysical Research*, Volume 120, Issue 13, Pages 6669-6681
- 3) Chaplin (2009) *Water*, 1, 1-28.
Theory vs Experiment: What is the Surface Change of Water?