

直流放電コンプレックス・プラズマにおける対向微粒子流 II

宇都宮大学 工学研究科
齋藤和史

はじめに

宇宙物理学において、宇宙空間に散在する微惑星の素となる微粒子（塵，ダスト）から微惑星に成長する過程は興味深いテーマの一つであろう。宇宙空間において帯電している微粒子を含んだシミュレーションが奥住によって行われており、微粒子の帯びている電荷が、乱流等を通じて微惑星の成長過程へ寄与することなどが調べられている^{1,2)}。

一方、微粒子がプラズマ中で結晶構造を作ることが見出された 1990 年代半ば以降、重力環境の影響下にある地上実験や微小重力環境下にある国際宇宙ステーションにおいて精力的な研究が続いている^{3,4,5)}。実験に用いられる微粒子は、多くの場合、直径数 μm であり、通常、負に帯電していることが知られている。このような微粒子を多数含んだプラズマはダスト(またはダスティ)・プラズマ⁶⁾、微粒子プラズマ、コンプレックス・プラズマなどと呼ばれている。

昨年度に作製・改造した実験装置を用い、昨年度に引き続いて、地上実験において微粒子に対向流を生成し、乱流状態にして微粒子間の相互作用を調べることを目的とする。昨年度と同様に、究極的には、微粒子プラズマの地上実験を通じて微粒子から微惑星の形成に向けたシナリオの解明に寄与したいと考えている。

実験装置

実験には宇宙研の小型スペース・チェンバーに丁字型のガラス管を増設したものを用いる。酸化熱陰極直流放電によってアルゴン・プラズマを生成する。微粒子は電氣的に負に帯電し、実験領域に 2 次元的に分布するはずである。微粒子は直径 $9.6\mu\text{m}$ の酸化ケイ素の球である。Figure 1 に、実験装置の概要を示す。微粒子プラズマの地上実験の多くには rf 放電プラズマが用いられている。本研究で直流放電を用いる理由は、中性ガスの圧力を、rf 放電の場合と比べて相対的に低くするためである。プラズマ中の微粒子は中性ガスによるドラッグ力を大いに受けるため、ガス圧を低くすることでそのドラッグ力を極力小さくできると考えられる。

実験結果と議論

Figure1 の両端にオキサイドを塗布した熱陰極示、その前面に接地されたメッシュ・グリッドがある。陰極とグリッド間に適当な電圧を印加して放電させ、プラズマを生成する。この直流放電装置の問題点は、グリッドから引き出された電子が、部分的にビーム情に実験領域に入射してしまい、プラズマ密度が空間的に不均一になることである。微粒子は、プラズマ密度が高い部分に集まってしまい、実験領域内に一様に分布しない。そこで、実験領域内のグリッド前面に薄いガラス板を設置した。また、より効率的に実験を行うため、少ない数の微粒子で実験できるように、接地された閉じ込め電極も設置した。Figure 2 に

改造した装置の概略を示す。グリッドから引き出されたビーム状の電子はガラス板によって遮蔽され、主実験領域内に直接入ってくることはできない。プラズマは実験領域内に拡散してくることが期待される。しかしながら実際に実験してみると、微粒子を閉じ込める領域へ拡散してくるプラズマの密度は微粒子が浮遊するには不十分であった。地上実験において、微粒子はプラズマの浮遊電位程度に負に帯電し、かつ、微粒子に作用する重力と実験装置底面板上面に形成されるシースの電場がバランスする高さに2次元的に浮遊する。主実験領域に拡散してくるプラズマが充分でなかったため、微粒子が浮遊するに十分な帯電量を持つに至らず、また、主実験領域に形成されるシース電場の大きさも不十分であったからであると推測される。また、実験後にガラス板の主実験領域側（熱陰極とは反対側）には微粒子が多量に附着していることが観察された。ガラスは誘電体であり、実験領域とは反対側を電子ビームが照射することによって実験領域側が部分的に正に帯電し、負に帯電している微粒子を引き寄せたのではないかと考えられる。

まとめ

本研究においては、結果的に微粒子を実験領域に一様かつ2次元的に分布させることができなかつたため、渦生成や乱流の実験までには至らなかつた。しかしながら、その代償として以下のような重要な知見と研究課題を得ることができた。すなわち、熱陰極を使用した直流プラズマではプラズマ源からの電子がビーム上にプラズマ中に入射するため、その部分のプラズマ密度とプラズマ電位を局所的に大きくする。これは、負に帯電した微粒子から見ると井戸状のポテンシャルが存在することを意味しており、微粒子はその領域に捕えられてしまう。また、ガラス板によってビーム状の電子を遮蔽し、主実験領域にプラズマを拡散させた場合、拡散プラズマの密度は、微粒子の帯電量や底面板上に形成されるシース電場が微粒子を浮遊させるには不十分な程度であると推測される。拡散プラズマ中における微粒子の帯電と浮遊は新しい研究テーマであると考えられる。

参考文献

- 1) S. Okuzumi, *Astrophys. J.* **698**, 1122 (2009).
- 2) 奥住聡, *日本惑星科学会誌* **23**, 371 (2014).
- 3) Yoshifumi Saitou, *Phys. Plasmas* **23**, 013709 (2016).
- 4) Yoshifumi Saitou and Osamu Ishihara, *Phys. Rev. Lett.* **111**, 185003 (2013).
- 5) Yoshifumi Saitou, Yoshiharu Nakamura, Tetsuo Kamimura, and Osamu Ishihara, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 065004 (2012).
- 6) 個人的な経験ではあるが、この名称は研究内容が排ガス処理やゴミ処理であるかのような誤解を与えることが希にあるようである。そのため、日本語で記述する場合には研究内容について誤解を与えないよう、できるだけ使用を避けているが、英語では普通に用いられているようである。

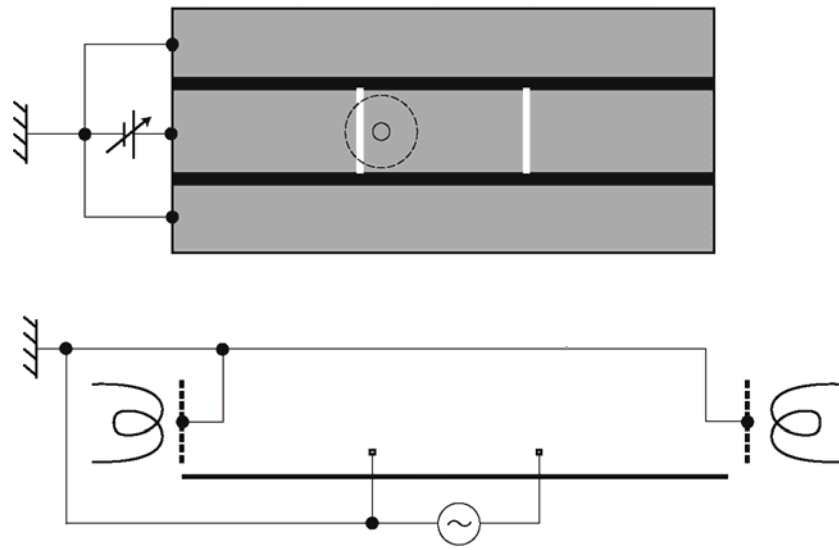


Fig. 1 熱陰極直流放電による実験装置の概略. 上面図(上)と側面図(下).

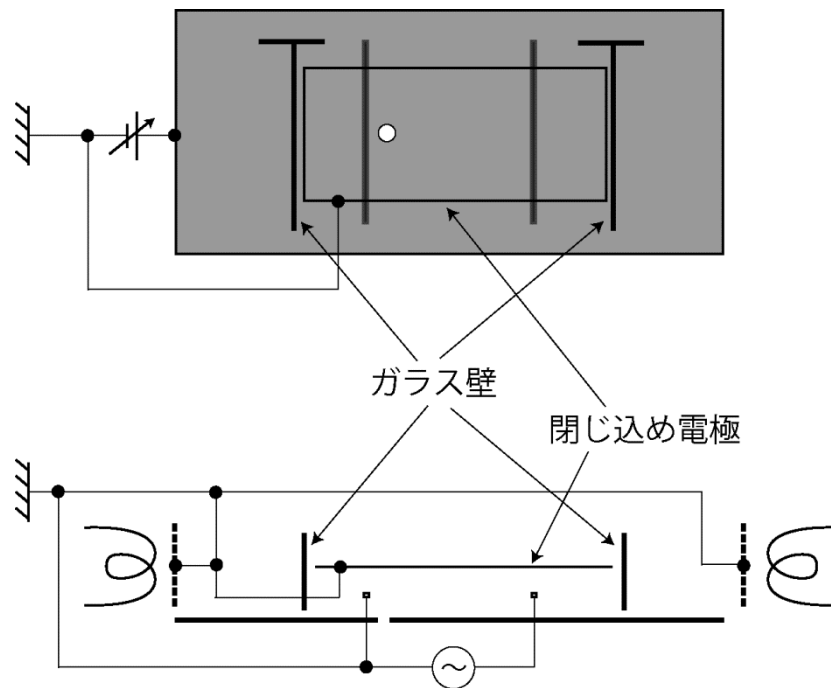


Fig. 2 改造した実験装置の概略. 上面図(上)と側面図(下).