

微小重力下でボイドフリーダストプラズマを得るための新型装置の研究

足立 聡 (JAXA / 総研大), 高橋 和生 (京都工繊大), 東辻 浩夫 (岡山大)

Experimental Study on New Apparatus for Obtaining Void-Free Complex Plasmas in Space

Satoshi Adachi*, Kazuo Takahashi, Hiroo Totsuji

* ISAS/JAXA, 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505 / SOKENDAI

E-Mail: adachi.satoshi@jaxa.jp

Abstract: From the past microgravity experiments on the International Space Station (ISS), it is found that a large void (no particle) region is formed in space. The void region must be eliminated or sufficiently reduced at least to observe critical phenomena. Hence, a new apparatus aiming to obtain void-free complex plasmas under high power conditions has been investigated. Although the current status is qualitative yet, results seem to be suitable.

Key words; Complex plasmas, Microgravity, Void-free, New apparatus

1. はじめに

イオン、電子、微粒子が混在し、全体が電氣的に中性でプラズマとして振る舞う系はダストプラズマと呼ばれる。ダストプラズマ中の微粒子が長距離秩序を形成した状態はクーロン結晶と呼ばれ、微粒子間には非常に強いクーロン相互作用が生じる。非常に強いクーロン相互作用が強くなれば、荷電粒子系における臨界現象が初めて観察されることが期待される¹⁾。この期待に基づいて、国際宇宙ステーション (ISS) において 2006 年 1 月から運用が開始されていた PK-3 Plus²⁾ ミッションに参加した。

ところが、高密度プラズマを得るためにハイパワーにすると、粒子が存在しないボイドと呼ばれる領域が形成されることが分かった。クーロン相互作用を大きくするために大きな粒子を用いても同様にボイドが形成された。ボイド領域は、パワーと粒子径が大きくなるほど大きくなり、データ解析が困難になるほど粒子数が減ることがある。従って、臨界現象を観察するには、ハイパワーにおいてもボイド形成を十分に抑制できる新しい装置が必要である。

そこで我々は、地上での研究に使用している装置の特性を調べ、その結果に基づいて新しい装置を製作した。ここでは新しい装置の概要について述べる。

2. 地上装置

地上実験で使用している装置を Fig. 1 に示す。上下に直径 100 mm の円盤状電極が間隔 100 mm で設置されている。各電極には電極の縁近傍 2 ヶ所に高周波を給電するためのフィーダーが取り付けられている。これにより、高周波電流は電極表面を流れる。これは、電極表面各所での電位が、概ね同電位となることを期待してのことである。

上方からのクーロン結晶の観察に対しては、上部電極が視界を遮ることになるので、斜め上から観察

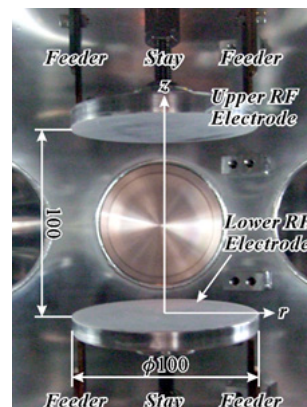


Fig.1 Apparatus for Ground-based Experiments.

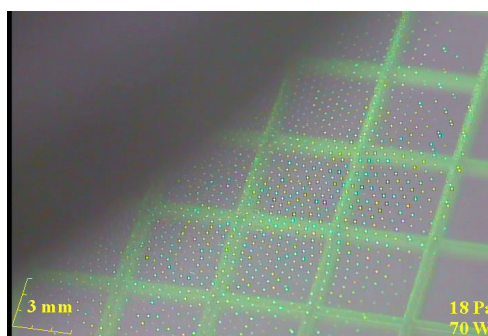


Fig.2 Vertical Observation of Coulomb Crystal

することになる。この観察における代表的な結果を Fig. 2 に示す。最小の構造が正三角形の二次元結晶となっている。より軽い粒子を用いれば、複数層の結晶を得ることができるが、多くの場合は単純六方構造となる。これは理論的に予測される構造とは異なっており、状態図の検証は微小重力実験で期待される大きな目的の一つとなっている。

シングルプローブを用いて、本装置における電位分布の半径方向分布を測定した。その結果を Fig. 3 に示す。図から分かるように、中心部付近の直径 60 mm 以上の領域において、ほぼ平坦な分布が得られ

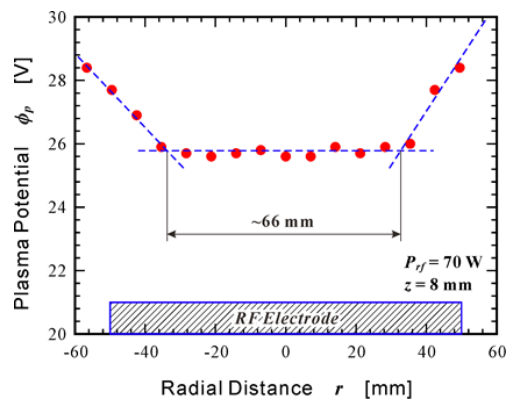


Fig.3 Radial Potential Profile

ている。このような平坦な分布は、ボイド形成を抑制するために適した分布であると考えられる。また、周辺部では緩やかに電位が上昇している。これは負に帯電する微粒子を装置外に掃き出す作用があり、実験的には、辺縁部において粒子が加速されながら逃げる様子が観察される。

3. 新型装置の試作

Fig. 1 の給電方式が従来の微小重力実験装置よりもボイド形成の抑制には適していると考えられるため、フライト品を想定した大きさの装置を試作した。その装置を Fig. 4 に示す。地上装置と同様に各電極には2つのフィーダーを設けている。しかし小型化により、電極間のカップリングが強まることが確認されると共に、壁と電極辺縁部の距離が近いため、壁の影響を受けやすくなることが予想される。そこで、予備実験を行った。その結果を Fig. 5 に示す。図において、一点鎖線は装置の上下方向の中央を表す。下部の輝線は下部電極に照射されたシートレーザー光である。二本の赤の破線は水平な線である。

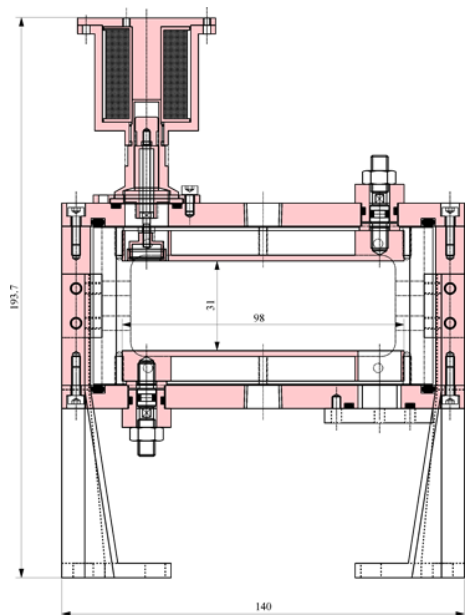


Fig.4 New Apparatus

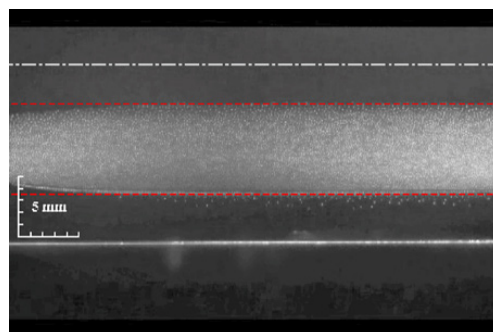


Fig.5 Horizontal Observation of Coulomb Cloud

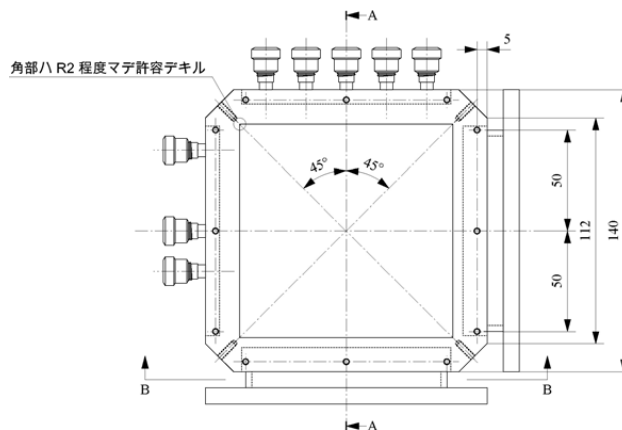


Fig.6 Chamber for Probe Measurement

クーロン雲 (一部固相になっているが大部分は液相) の中央部付近においては、境界と赤の破線が概ね一致しており、電位分布がほぼ平坦であることを示唆する結果が得られた。このことから、電位分布は Fig. 3 と似た分布であると推測される。

これを確かめるために、プローブ計測の準備を進めている (Fig. 6)。ステンレス製のチャンバーの2箇所を観察窓、残りの2箇所にプローブ用ポートを設け、チャンバー自体は電氣的に浮かせる予定である。

4. まとめ

ボイドフリーを目指したフライト品サイズの新型プラズマチャンバーの開発を進めている。より望ましい電位分布が得られていることがクーロン雲から示唆される。今後はプローブ計測によりボイドフリーのための定量的検討を進めたい。

参考文献

- 1) Totsuji, H.; Thermodynamics of strongly coupled repulsive Yukawa particles in ambient neutralizing plasma: Thermodynamic instability and the possibility of observation in fine particle plasmas, *Phys. Plasmas* **15**, 072111 (2008).
- 2) Thomas, H. M., Morfill, G. E., Fortov, V. E. *et al.*; Complex plasma laboratory PK-3 Plus on the International Space Station, *New J. Phys.* **10**, 033036 (2008).