

平成 20 年 3 月 28 日

平成 19 年度「次期実験装置 PK-4 を利用した微小重力実験計画検討」 活動報告書

代表者所属 独立行政法人宇宙航空研究開発機構

氏名 足立 聡

1. 構成メンバ

氏 名	所属
足立 聡	宇宙航空研究開発機構
林 康明	京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科
東辻 浩夫	岡山大学大学院自然科学研究科
石原 修	横浜国立大学大学院工学研究院
高橋 和生	京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科
安藤 晃	東北大学工学研究科
佐藤 杉弥	日本工業大学共通教育系
服部 邦彦	日本工業大学共通教育系
高柳 昌弘	宇宙航空研究開発機構

2. 本年度 WG 会合開催実績

(1) 第 1 回: 平成 19 年 9 月 15 日 (土)

なお、平成 20 年 3 月 18 日 (火) に第 2 回 WG 開催が予定されていたが、代表者忌引のため中止。

3. 活動目的

2005 年 12 月に打ち上げられ、現在 ISS にて稼動中のダストプラズマ実験装置 PK-3 Plus の後継装置として PK-4 が現在ドイツ マックス・プランク研究所において開発中である。この装置は、従来の装置よりも長距離でプラズマを生成可能、RF コイルによるピンチ機能を有する等、これまでに無い特徴を備えている。しかし、具体

的な仕様、性能等は明らかではなく、想定される微小重力実験を実施可能であるかを現時点では判断が困難である。そこで、今年度は、まず PK-4 の仕様・性能を調査し、その結果に基づいて微小重力実験計画の検討を進める。本 WG 活動における最終到達目標は、微小重力実験の実験計画書ドラフト版を作成し、そのドラフト版に基づいて国際共同研究を実現することである。

4. 活動内容

(1) PK-4 性能・仕様調査

平成 19 年 5 月にドイツ マックス・プランク研究所を訪問し、PK-4 の性能・仕様調査を行った。その結果を以下に述べる。

PK-4 は、2010 年打ち上げ予定で開発が進められており、打ち上げ後、3～4 年運用される計画である。PK-4 の Breadboard Model (BBM) を図 1 に示す。石英ガラスで作られた π 型のチューブが放電管であり、直径 3 cm、図中で上下方向に伸びている放電管部分の長さが 30 cm である。主として Ne ガスが用いられる。放電方式は直流放電であり、図において水平方向に伸びるガラス管の端部に電極が設置されている。直流放電であることから、管内には電流が流れており、直流電場は約 2 V/cm とのことである。この電場の影響を抑制するために、陽極、陰極を交互に切り替える交流動作が可能である。また、後述する RF コイルを用いることにより、プラズマを維持することが可能 (プラズマ生成はできない) であることから、直流放電開始後、RF 放電に切り替え、直流電圧

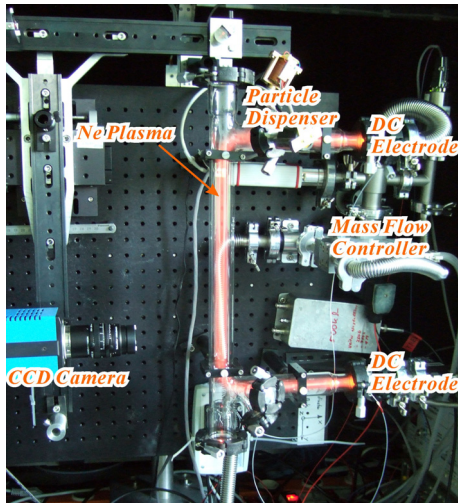


図1 PK-4 BBM (Breadboard Model)
外観写真

印加を停止することが可能である。

本 BBM では、上部に 2 個の粒子投入機構 (Particle Dispenser) が設置されている。粒子を投入すると、重力により下方に粒子は落下する。これを防ぐために、下方よりガスを導入する機構が設けられている。このガス流により粒子を支えることが可能である。微小重力下では粒子の落下は生じないので、初期にガスを流して粒子の運動速度を減速させた後に、ガス流を止めることが可能と考える。本 BBM には設置されていないが、RF コイルを 2 個設置する予定である。内 1 個は、可動型でガラス管に沿って位置を変えることが可能とのことである。2 個の RF コイルの間に生成されるプラズマを利用することにより、流れの無い静かなプラズマを得ることができる。また、ハイパワーレーザーの搭載も予定されている。このレーザーにより、粒子を操作することが可能である。なお、観察装置は主として CCD カメラであり、その他の計測系は現在のところ搭載されていない。

航空機実験用の PK-4 を図 2 に示す。航空機実験とは、パラボリックフライトにより得ることのできる 20 秒程度の微小重力を利用する実験のことで

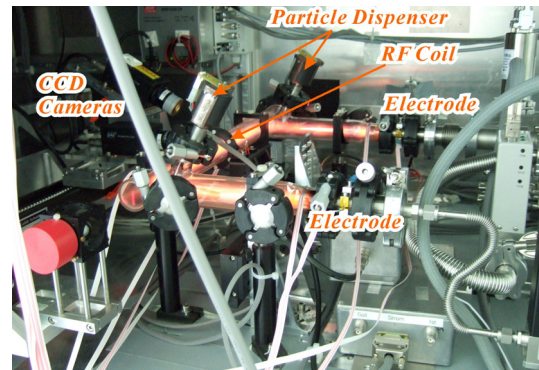


図2 航空機実験用 PK-4 外観写真

ある。空気抵抗等により得られる重力は 0.01 g 程度であることが多い。航空機実験用 PK-4 には RF コイルが 1 個装備されている。また、観察用 CCD カメラが 2 台搭載されている。その他については BBM と同等である。

(2) PK-4 地上実験結果

平成 20 年 2 月に、PK-4 でドイツ側が実施したクーロン結晶形成実験の結果が入手できた。結果については、現在論文として投稿中であるとのことであるため、詳細は割愛するが、図 3 に示すように、クーロン結晶を形成することに成功した。この結果は、図 2 に示した横置きの PK-4 を用いて得られた結果であり、石英管の下半分程度の領域に形成されたものである。地上では、重力に逆らって粒子を保持する必要があることから、石英管の壁付近に形成された浮遊電位とバルクプラズマ中のプラズマ電位との電位差による電場で粒子が支えられていることとなる。このため、粒子の直径に制限が生じ、地上では、最大で直径 4 μm 程度の粒子までしか支えることができない。このため、地上でクーロン結合係数を大きくすることが PK-3 Plus 等の従来の装置よりも難しいと考えられる。

しかし、このことは、電場の影響が小さい装置であることも同時に意味する。従って、現行の PK-3 Plus よりも、電場による閉じ込め効果の小さい

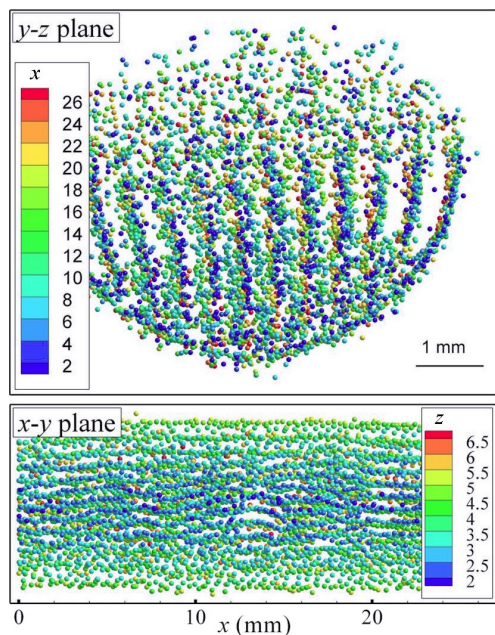


図3 PK-4 地上実験で得られたクーロン結晶

状態でのクーロン結晶形成実験が可能であると期待される。即ち、クーロン結晶形成メカニズムの研究に対して、従来の装置よりも優れていると考えられる。

(3) 微小重力実験計画検討

以上の調査結果や入手した情報を基に、将来のPK-4実験計画検討を行った。その結果、年度当初に想定した実験は、どちらもPK-4で実施可能と判断する。しかし、どのような実験を行うにせよ、PK-4と類似の実験装置を製作し、実験を行わない限り、詳細な実験条件の検討を行うことは不可能である。このため、次年度では、PK-4に類似装置の試作を試みたい。

(a) クーロン結晶形成実験

PK-4では、粒子の閉じ込め電位が、従来の装置に比べて小さいと考えられる。これは、ガラス壁による浮遊電位形成、および放電電極から十分遠い位置においてクーロン結晶を形成できるためである。地上では既にクーロ

ン結晶あるいは液相状態が得られているが、結合度は10程度と、ダストプラズマとしては大きくなく、厳密には液相に近い状態である。従って、固相を得るためには、より強い結合状態のダストプラズマを得る必要がある。このために10～20 μm 程度の微粒子が必要となる。この大きさの粒子を支えるには、微小重力が必須となる。

(b) 電磁流体不安定性実験

直径0.5～1 μm 程度の小さな粒子を用いて、弱結合状態のプラズマにおける不安定性の発達過程の観察を行う。この場合、微粒子はトレーサとして機能する。プラズマは不安定化すると、多くの場合、波動の励起を伴う。特に静電波励起の場合にトレーサとして微粒子が有効に機能すると考えられる。

5. 成果

1. S. Adachi, H. Totsuji, Y. Hayashi, K. Takahashi, O. Ishihara, M. Takayanagi, and S. Yoda: “Experimental Investigation on Conditions of Microgravity Experiment for Critical Point in Dusty Plasmas”, 3rd Int. Symp. Phys. Sci. in Space (ISPS), Nara, Japan, pp.33–34 (Oct. 2007).
2. Y. Hayashi, K. Takahashi, H. Totsuji, S. Hamaguchi, N. Sato, Y. Watanabe, S. Adachi, and M. Takayanagi: “Experiments of Fine Plasmas towards Observation of Critical Phenomena”, 3rd Int. Symp. Phys. Sci. in Space (ISPS), Nara, Japan, pp.35–36 (Oct. 2007).
3. K. Takahashi, H. M. Thomas, A. V. Lvlev, G. E. Morfill, Y. Hayashi and S. Adachi: “Plasma Parameters Estimated in Complex Plasmas of PKE-Nefedov on the ISS and PK-3 Plus on the Ground”, Nara, Japan, pp.37–38 (Oct. 2007).