

平成 22 年度ワーキンググループ活動報告

– 次期実験装置 PK-4 を利用した微小重力実験計画検討 –

東辻浩夫¹, 足立 聡², 高橋和生³, 林 康明³, 石原 修⁴, 庄司多津男⁵, 上村鉄夫⁶,
夏井坂 誠², 出口 茂⁷, 安藤 晃⁸, 佐藤杉弥⁹, 服部邦彦⁹, 佐藤徳芳⁸, 渡辺征夫¹⁰,

¹岡山大学, ²宇宙航空研究開発機構, ³京都工芸繊維大学, ⁴横浜国立大学, ⁵名古屋大学, ⁶名城大学,
⁷海洋研究開発機構, ⁸東北大学, ⁹日本工業大学, ¹⁰九州大学

Report on Science Working Group Activity of Pre-Phase A in Fiscal 2011 – Planning of Future Microgravity Experiments for the Next Facility PK-4 –

*Hiroo Totsuji¹, Satoshi Adachi², Kazuo Takahashi³, Yasuaki Hayashi³, Osamu Ishihara⁴, Tatsuo Syoji⁵,
Tetsuo Kamimura⁶, Makoto Natsuisaka¹, Shigeru Deguchi⁷, Akira Ando⁸, Sugiya Sato⁹, Kunihiko Hattori⁹,
Noriyoshi Sato⁸, and Yukio Watanabe¹⁰*

¹ Okayama University, ² Japan Aerospace Exploration Agency, ³ Kyoto Institute of Technology,

⁴ Yokohama National University, ⁵ Nagoya University, ⁶ Meijo University,

⁷ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁸ Tohoku University, ⁹ Nippon Institute of
Technology, ¹⁰ Kyusyu University

¹ 3-1-1 Tsushimanaka, Kitaku, Okayama 700-8530 (6-3-16 Saginomiya, Nakanoku, Tokyo 165-0032), Japan
E-Mail: totsuji@elec.okayama-u.ac.jp

Abstract: Fine particle plasmas serve as a unique and otherwise-difficult-to-realize system where effects of strong coupling can be analyzed directly on the particle level. A drawback is the large mass of fine particles and the microgravity environment enables us to perform ideal experiments. On the International Space Station (ISS), the facility PK-3Plus for fine particle plasma experiments has been operated by Max-Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE) and Joint Institute for High Temperatures (JIHT). As the next-generation facility, the launch of PK-4 has been planned and experimental tests have been done on the ground and on the air plane (parabolic flights). The purpose of this Working Group is to propose appropriate themes for PK-4. The main part of PK-4 is a long straight discharge tube where the plasma with the cylindrical symmetry can be generated. By the activity of previous years, we have analyzed the behavior of strongly coupled fine particles with the cylindrical symmetry such as formation of Coulomb crystals by the theory and simulations. In this fiscal year, we are finishing the construction of the PK-4-J (a Japanese version facility which has the same dimension as PK-4) and expecting to obtain the basic data under microgravity by parabolic flights in March.

Key words: Fine Particle (Complex) Plasmas, PK-4, PK-4 Japanese Version, Coulomb Crystal, Pre-Phase A

1. はじめに

プラズマとマイクロン程度の大きさの微粒子の混合物を微粒子プラズマまたはダストプラズマという。プラズマ中にこの程度の大きさの微粒子があると、微粒子には電荷素量の 10^3 倍程度の負の電荷が付着する。微粒子間の相互作用はプラズマによって遮蔽されるが、相互作用の強さは電荷の2乗に比例するため、微粒子の強結合状態が実現できる。微粒子の軌跡はレーザー光の散乱によって直接観測できるため、微粒子プラズマはほかでは得られない貴重な強結合系の実験的検証の場であり、

さまざまな実験が行われている。地上ではマイクロン程度の微粒子に大きな重力が働くため、微小重力環境における実験が理想的である。

ドイツのMax-Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE)が開発した微粒子プラズマ実験装置PK-3 Plusが国際宇宙ステーションに搭載され、微小重力環境における微粒子プラズマ実験がMPEとロシアのJoint Institute for High Temperatures (JIHT)の共同研究として行われている。日本はPK-3Plusによる実験のテーマを提案し、PK-3 Plusによる実験に関する国際協

力を行っている。PK-3 Plus は、現在の見通しでは2013年までの運用が予想され、その後の次世代装置としてはPK-4, Plasma Lab.が想定されており、MPEが開発を進めている。

PK-4 は、2013 年の打上げが予定されており、これまで地上実験、航空機実験（パラボリックフライト）が行われている。本ワーキンググループ（WG）は、次世代装置であるPK-4を利用した将来の微小重力実験計画を立案・実施することを目指して、平成19年度から活動を開始し、3年目の平成21年度にPre-Phase Aとしての活動を開始した。Pre-Phase A 完了時には、PK-4と同等の実験装置により提案可能な微小重力実験のテーマおよびそのための条件を定めることを目標としている。ここでは、平成22年度の結果について報告する。

2. WG会合開催実績

平成23年2月に第1回会合の開催を予定している(開催場所: JAXA東京事務所)。

3. 活動計画と結果

Pre-Phase Aとしての活動を平成21年度から開始した。平成22年度は2年目に当たる。平成22年度の活動計画と主な結果は以下のとおりであり、当初の目標どおりに実施した。

(1) 日本版PK-4の構築

PK-4の構造をFig.1に示す。PK-4は現在使われているPK-3 Plusのような平行平板型電極ではなく、コの字形の石英管（内径3cm）に直流放電用の電極を設置した装置である。この電極は、直流だけでなく交流動作も可能である。交流の方がイオン流の影響を抑えられることから、現在では、1kHz, 1mA 程度の両極性矩形波によるグロー放電が主として用いられる。また、RF コイルも2個装備している。プラズマ生成には直流/交流放電が必要であるが、生成されたプラズマの維持はRF コイルだけで可能である。また、プラズマの直線状の長さは最長部で35cm である。微粒子投入装置は全部で4個取り付けられている。観察にはCCDカメラとシートレーザー光を用いる。

PK-4と主要な特徴が同じである、Fig.2のような日本版PK-4を構築した。地上での放電、微粒子の投入などの実験を行い、微粒子の分布を観測した。この装置による航空機実験を平成23年3月に計画している。放電の様子、投入された微粒子の分布の例をFigs.3a and 3bに示す。

(2) PK-4による実験テーマの検討

強結合系の特性を求めするための実験と理論の比較には、できるだけ対称性のよい条件での実験が望ましい。PK-4の特徴は長い円筒状の部分をもつことである。したがって、PK-4では、円筒対称な系における強結合現象の観測が期待される。

本WGでは、円筒対称な強結合微粒子プラズマの構造形成などについて、理論とシミュレーションによる解析を進めている。本年度もこの解析を継続した。日本版PK-4の特性（プラズマパラメータ）が明らかになれば、航空機実験と比較できる可能性がある。

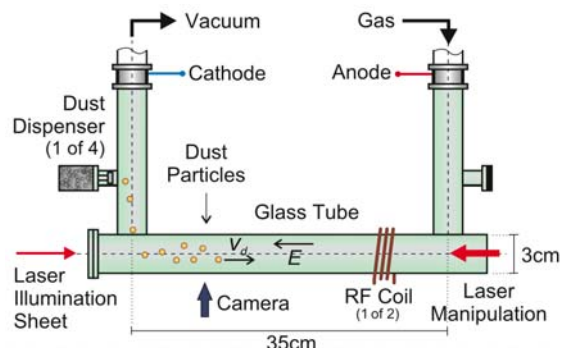


Fig. 1 Schematic view of PK-4.

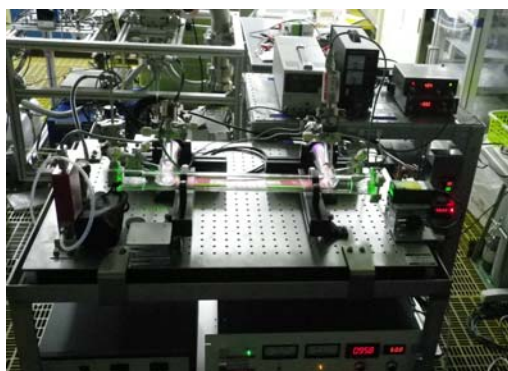


Fig. 2 Japanese version of PK-4.

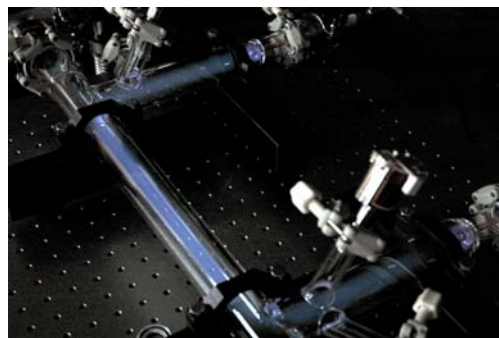


Fig. 3a Discharge in Japanese version PK-4.

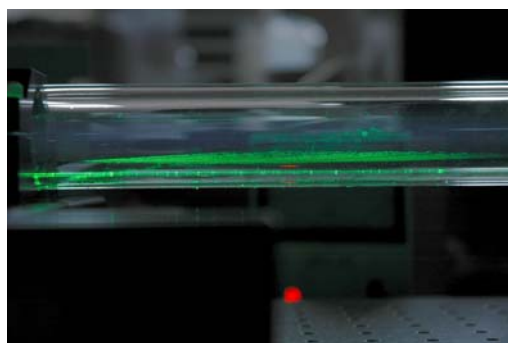


Fig. 3b Distribution of fine particles in Japanese version PK-4.