

平成 23 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

¹Okayama University, ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³Kyoto Institute of Technology,
⁴Yokohama National University, ⁵Nagoya University, ⁶Meijo University,
⁷Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁸Tohoku University,
⁹Nippon Institute of Technology, ¹⁰Kyusyu University

¹3-1-1 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 (dusty, complex) plasmas are almost ideal to observe strong coupling phenomena in charge systems such as Coulomb crystals. Their single weakness, the large mass of fine particles, can be overcome by the microgravity environment and the facility PK-3Plus has been operated on the International Space Station (ISS) by Max-Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE) and Joint Institute for High Temperatures (JIHT). As the next generation facility, PK-4 is now in Phase C/D. Our Working Group is going to propose appropriate experiments for PK-4, similarly to the case of PK-3Plus. Noting its geometry, we have analyzed the behavior of fine particle plasmas with the cylindrical symmetry by the theory and simulations and improved the structure and the optical observation system of the Japanese version of PK-4 (PK-4J) which was constructed and tested last year. Parabolic flight experiments are also planned.

Key words; Fine Particle (Dusty, Complex) Plasmas, PK-4, PK-4 Japanese Version, Strong Coulomb Coupling, Parabolic Flights

1. はじめに

弱電離プラズマとミクロン程度の微粒子の混合物を微粒子プラズマ(Fine Particle Plasma), ダストプラズマ(Dusty Plasma)または複雑プラズマ(Complex Plasma)という。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ので、プラズマによる遮蔽にもかかわらず、微粒子集団は容易に強結合状態になる。レーザーにより微粒子の座標が直接観測できるため、強結合系、特にクーロン強結合系の実験的検証のための貴重な物理系である。弱点は微粒子に働く重力であり、微小重力環境で理想的実験が可能となる。

現在、国際宇宙ステーション(ISS)において、ドイツのMax-Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE)とロシアのJoint Institute for High Temperatures (JIHT)

が実験装置PK-3Plusを用いて実験を行っている。日本は実験テーマの一つを提案し¹⁾、国際協力を通じてISS実験に参加している²⁾。PK-3Plusの運用は2013年までと予想され、次世代装置として、PK-4およびPlasma Lab.の開発が進められている。

PK-4 は2014年に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)が行われていて、Phase C/Dにある。本ワーキンググループ(WG)は、Pre-Phase A 完了時にPK-4 に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求めることを目標としている。以下では、平成23年度の結果について報告する。また、実施時期が年度末に近かったため平成22年度の報告では述べる事ができなかった平成22年度航空機実験の結果を含める。

2. WG会合開催実績

平成24年3月に第1回会合の開催（開催場所: JAXA 東京事務所）を予定している。

3. 活動計画と結果

本年度の計画を当初の目標どおりに実施した。

(1) PK-4Jによる航空機実験（平成22年度）

平成22年度に、PK-4と形状が同じである、Fig.1(top)のような日本版PK-4(PK-4J)を構築した。内径3cmの円柱状の石英管が放電管の主要な部分であり、ここにグロー放電によりプラズマを発生させ、投入した微粒子をCCDカメラとシートレーザー光により観測する。現在のPK-3Plusで平行平板型電極の間にプラズマを生成しているのとは構造が大きく異なる。放電のための電場は、DC、極性を交番したDC、あるいはRFである。

平成23年3月にPK-4Jを用いてパラボリックフライト実験を行った。ラックに実装されたPK-4JをFig.2(left)に示す。1kHz, 1mA程度の両極性矩形波による電圧を印加したグロー放電がパラボリックフライトにおいても維持された。プラズマパラメータは電子密度 10^8cm^{-3} 程度、電子温度数 keV程度である。その時の微粒子分布の断面がFig.2(right)である。個々の微粒子像まで分解できていないが、放電管中央に、ほぼ一様に分布していることが分かる。

(2) PK-4Jの整備・改良および航空機実験

本年度は、軸に沿った方向についても分布が観測できるよう、光学観測系の整備を行った。また、円柱状放電管というPK-4の特徴を失わない範囲で、形状を航空機実験に向けて最適化した。改良したPK-4Jの構造をFig.1(bottom)に示す。改良版PK-4Jによる航空機実験を平成24年2月に計画している。その結果はWG会合で報告し、検討する予定である。

(3) PK-4による実験テーマの検討

実験と理論の比較には、できるだけ対称性のよい条件が望ましいので、PK-4の特徴を活かした、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およびダイナミクスについて、理論とシミュレーションによる解析を進めている^{3,4)}。微粒子がすべて同じ大きさである一成分系は、低温でほぼ等間隔の同心円筒から成るFig.3(left)のようなシェル構造となり、構造は簡単な内挿式で表される。

微粒子が電荷の異なる2成分の場合には、一成分の場合の各シェルが大電荷のつくる内側のシェルと小電荷のつくる外側のシェルに分離する。例をFig.3(right)に示す。また、電荷に依存する力を軸方向に働かせると成分間の相対運動が起き、相対運動の移動度が定義できる。また、適当な条件の下では移動度を増加させるようなスクリュウ構造への転移が起きることもある。PK-4Jの観測により、これらの結果と比較できると期待する。

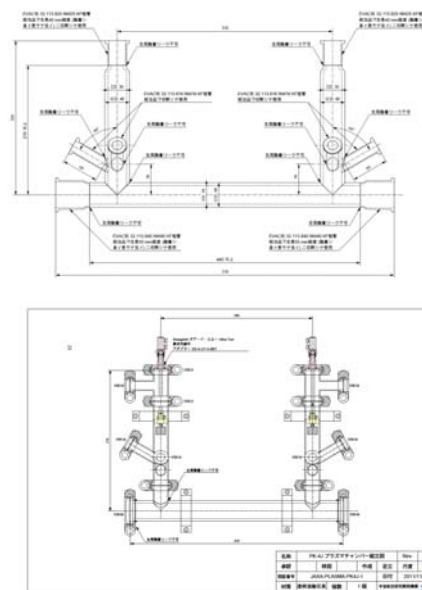


Fig. 1 PK-4J (top) and improved PK-4J (bottom).

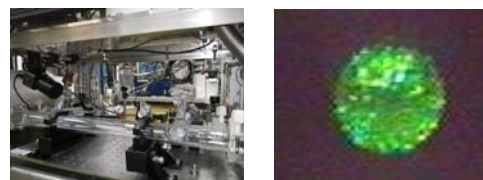


Fig. 2 PK-4J on parabolic flights (left) and fine particle distribution (right).

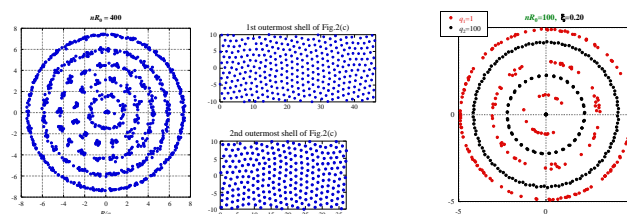


Fig. 3 Shell structures of one-component (left, axial view and expansions) and two-component cases (right).

参考文献

- 1) H. Totsuji et al.; Strongly Coupled Plasmas under Microgravity, *J. Jpn. Soc. Microgravity Appl.*, **28**, S27(2011).
- 2) 足立 聡, 他; ダストプラズマ研究における国際協力, *日本マイクロ重力応用学会*, **27**, 137(2010).
- 3) H. Totsuji et al.; Structures of Yukawa and Coulomb particles in cylinders: Simulations for fine particle plasmas and colloidal suspensions, *Phys. Rev. E* **84**, 015401(R)(2011).
- 4) H. Totsuji et al.; Structures and dynamics of fine particles in fine particle plasmas under microgravity and friction between two-dimensional layers of charges, *J. Phys.: Conference Series* **327**, 012037(2011).