

平成 21 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 –

足立 聡¹、高柳昌弘¹、夏井坂 誠¹、東辻浩夫²、林 康明³、高橋和生³、石原 修⁴
安藤 晃⁵、佐藤杉弥⁶、服部邦彦⁶、出口 茂⁷

¹ 宇宙航空研究開発機構、² 岡山大学、³ 京都工芸繊維大学大学院、⁴ 横浜国立大学大学院、
⁵ 東北大学大学院、⁶ 日本工業大学、⁷ 海洋研究開発機構

Report on Science Working Group Activity of Pre-Phase A in Fiscal 2009 – Planning of Future Microgravity Experiments by Using the Next Facility PK-4 –

Satoshi Adachi¹, Masahiro Takayanagi¹, Makoto Natsuisaka¹, Hiroo Totsuji², Yasuaki Hayashi³,
Kazuo Takahashi³, Osamu Ishihara⁴, Akira Ando⁵, Sugiya Sato⁶, Kunihiko Hattori⁶ and
Shigeru Deguchi⁷

¹ Japan Aerospace Exploration Agency, ² Okayama University, ³ Kyoto Institute of Technology,
⁴ Yokohama National University, ⁵ Tohoku University, ⁶ Nippon Institute of Technology,

⁷ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

¹ 2-1-1 Sengen, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305-8505 Japan

E-Mail: adachi.satoshi@jaxa.jp

Abstract: The Pre-Phase A has been started from this fiscal year. The main aim in this fiscal year is to advance development of a PK-4-like apparatus. Unfortunately, the schedule of the Pre-Phase A is delayed from 2 years to 3 years in total due to the lack of budget. The bipolar square wave generator with ± 1.5 kV and 10 mA at maximum is developed for the glow discharge in this fiscal year.

Key words: Complex Plasmas, PK-4, Coulomb Crystal, Pre-Phase A

1. はじめに

ドイツ・マックスプランク圏外物理研究所 (MPE) が開発したダストプラズマ実験装置 PK-3 Plus が国際宇宙ステーションに搭載され、現在稼動中である。日本は現在、この PK-3 Plus 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 2011 年末までの運用が予想され、その後は PK-4、Plasma Lab. の搭載が計画されている。PK-4 は、2012 年の打上げを目指して、現在 Phase C/D の開発段階にある。本ワーキンググループ (WG) は、次世代装置として MPE が開発を進めている PK-4 を利用した将来の微小重力実験計画を立案・実施することを目標として、平成 19 年度から活動を開始した。3 年目となる平成 21 年度では、Pre-Phase A としての活動を開始した。Pre-Phase A 完了時には、PK-4 と同等の実験装置を構築し、MPE へ提案可能な微小重力実験条件を定めることを目標としている。ここでは、その結果について報告する。

2. WG 会合開催実績

平成 21 年 2 月 第 1 回会合開催予定
(開催場所: 未定)

3. PK-4

Figure 1 に MPE が開発した航空機実験用の PK-4 の写真を示す。PK-4 は、これまでの PKE や PK-3 Plus のような対向した円盤状高周波電極ではなく、コの字形の石英管 (内径 3 cm) 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、1 kHz、1 mA 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 35 cm となっている。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。

4. 当面のテーマ

昨年度および今年度に、PK-4 のような円筒状プラズマで何が起こるのか、当 WG のメンバーにより理論的な検討が進められた。その結果、いくつかの可能性が見い出された。ここでは、その中から 2 つの可能性について説明する。

- (1) クーロン結晶の構造遷移の観測
ある条件下では、粒子は直線状に配列する。WGメンバーは、条件が変化すると直線状構造から他の構造（同心円状その他）へ遷移するはずであるとの理論的予測を示した。このような予測はこれまでに無く、新しいダストプラズマ物理を切り拓くものと考えられる上、定量性があることから、当 WG としては、この現象に注目している。
- (2) 粒子配列の観測
粒子径の異なる2種類の粒子を投入すると、PK-3 Plus のような実験装置では、表面電荷の大きい粒子径の大きな粒子が外側に、粒子径の小さな粒子が内側になる。ところが、PK-4 では、これが逆になる可能性が新たに示された。当 WG としては、この現象にも注目していきたいと考えている。

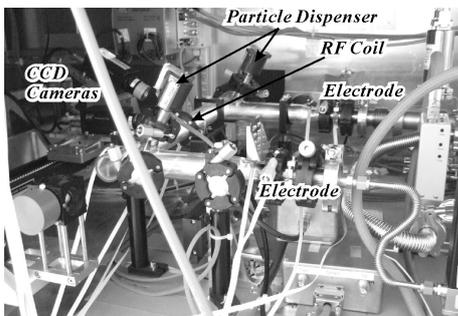


Fig. 1 PK-4 apparatus developed for parabolic flight experiment

5. 活動計画と結果

前述のいくつかの新しい現象が実際に観測可能であるかを調べるためには、実際に PK-4 と同様の装置を用いて実験を行う必要がある。そのため、今年度から、2年間で装置構築および実験実施を提案した。その結果、Pre-Phase A として活動を開始することを認められたものの、予算削減のため、少なくとも3年間の計画に延長せざるを得ない状況である。今年度を含めた3年間の計画は次のとおりである。

- (1) 1年目
PK-4 で使用されている矩形波のバイポーラ電源と同様の性能を有する電源の開発を行う。また、粒子投入器（ドライバを含む）等、実験を行うために開発が必要となる機器の設計を行う。なお、これらについては、全て完了し、目標を達成した。Fig. 2 に今年度開発した電源を示す。
- (2) 2年目
石英プラズマチャンバー（昨年度設計済み、Fig. 3 参照）、粒子投入器（ドライバを含む、今年度設計完了、Fig. 4 参照）の開発および真空排気系

を購入し、実験可能な状態を達成する。また、試運転を行い、装置の状態を確認する。機会が得られるようであれば、最終確認として航空機実験を実施したい。

- (3) 3年目
2年目までに製作した PK-4 と同等の装置を用いて、4. に示した現象の観察が PK-4 で達成できそうかを調べる。また、達成できそうとの目処が得られた段階で、微小重力実験条件を決定し、航空機実験にて微小重力実験条件の妥当性を確認する。



Fig. 2 Bipolar square wave generator

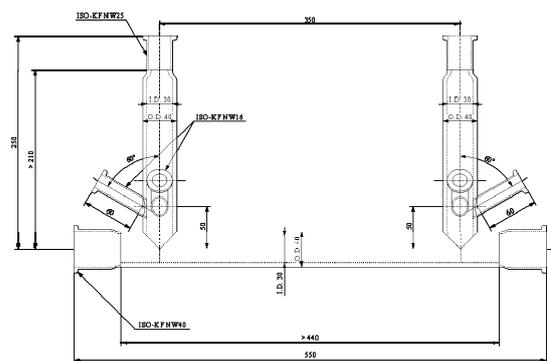


Fig. 3 PK-4-like chamber drawn by this WG

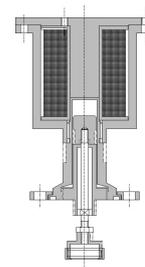


Fig. 4 Particle dispenser drawn by this WG

6. まとめ

今年度の WG 活動では、当初の活動目標どおり、グロー放電用のバイポーラ電源を開発し、また装置として稼働できるようにするための粒子投入器等のその他機器の設計を完了した。次年度以降、装置として完成させるための部品・機器類を開発・製作し、装置の試運転を行えるようにしたい。

PK-4 は 2012 年に打ち上げ予定であることから、現計画の3ヶ年年計画どおりにスケジュールを維持できれば、MPE に微小重力実験条件を提示することに関しては、適切なスケジュールとなろう。