

平成20年3月28日

平成19年度「微小重力環境下微粒子プラズマ研究会」活動報告書

代表者所属 京都工芸繊維大学

氏名 林 康明

1. 構成メンバ

氏 名	所属
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
高橋和生	京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科
石原 修	横浜国立大学 大学院工学研究院
足立 聡	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
高柳昌弘	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
濱口 聡	大阪大学 大学院工学研究科
佐藤徳芳	東北大学 名誉教授
渡辺征夫	九州大学 名誉教授

2. 本年度 WG 会合開催実績

- (1) 第1回：平成19年 9月29日
- (2) 第2回：平成20年 2月 2日
- (3) 第3回：平成20年 3月 8日
- (4) 第4回：平成20年 3月27日

3. 活動目的

微粒子プラズマは気相、液相、固相の三態を成すことができる。また、強結合の微粒子プラズマにおいては、負帯電した微粒子に対して背景電荷の正イオンが凝集力として働く。前年度までの本WG活動の結果、こうした荷電粒子系の微粒子プラズマは湯川型ポテンシャルの一成分プラズマとしての性質を有すること、それ自身の

凝集力により結晶化が生じ、さらに欧州グループの目指す気相-液相間における臨界現象とは全く異なる固相-固相間での臨界現象が観測される可能性を理論的に明らかにしてきた。

本WGが今後目指す課題は、微粒子プラズマが一成分プラズマとしての特性を有すること、その結果として3次元クーロン結晶の形成や種々の固体物理現象が観測される可能性を実験的に確認することである。ドイツ・マックスプランク研究所との研究協力協定の下、国際宇宙ステーション内に設備されている微粒子プラズマ実験装置PK-3 Plusと同型の地上実験用装置(ラボモデル)をすでに所有している。本装置は小型で航空機搭載に適しており、この装置を用いて航空機実験を実施する。本年度は、球状殻構造形成による一成分系プラズマとしての性質を理論・実験両側面から検討し、結晶化や固相内臨界に関する状態方程式の詳細な解析を行う。

4. 活動内容

本研究会では、研究班WGとしての会議を2回実施した(第1、4回)。その外に、東北大学電気通信研究所で平成20年2月2日に開催された、プロジェクト研究会“微粒子プラズマ科学の展開”(代表：林康明)にて、WGメンバ7名を含む研究者が会合し議論を行った(第2回)。さらに平成20年3月8日にも、同じく東北大学電気通信研究所プロジェクト研究会“微粒子プラズマ科学の展開”を実施し、微粒子プラズマにおける微粒子挙動観測実験について発表と討論を行った(第3回)。

また、平成19年5月に構成メンバのうちの4名(足立、高橋、東辻、林)が、ドイツのマックスプランク研究所で開催された、微小重力下微粒子プラズマ実験に関わる International Topical Team Meeting

(PK-3 Plus Symposium)に出席し、発表と討論を行った。さらに、平成19年10月には、国際会議 ISPS2007 に先立って、奈良にて行われた International Topical Team Meeting に出席し、討論と今後の実験計画について話し合った。

一方、ISS に現在搭載されている PK-3 Plus と同型でマックスプランク研究所より借用している PK-3 Plus ラボモデルの電源、制御部分も完成し、実験装置として完成させた。さらに、放物線飛行用ラックに搭載し、2回、3週間に渡り、航空機微小重力実験を実施した(別添のパワーポイントファイル参照)。

WG会議において議論された主な内容は以下のとおり。

第1回研究会 (19.9.29) :

構成メンバーの中の7名(足立、石原、佐藤、高橋、東辻、渡辺、林)と JAXA の。依田教授が参加して討論を行った。

議題は次のとおり。

1. 解析・実験・計算の途中経過報告
2. 今後の研究の進め方

1. では、最初に東辻教授から、実際の微粒子プラズマに対応したパラメータについての計算結果が示された。それによると、微粒子半径と平均微粒子間距離の1/2との比が0.1、平均微粒子間距離の1/2とデバイ長との比が6付近に、臨界点がある。したがって、プラズマ条件の一例として、微粒子密度とイオン密度との比が 10^6 、イオン温度と電子温度との比が100の場合、微粒子半径を $10\mu\text{m}$ 、イオン温度と微粒子温度を室温とすると、イオン密度として 10^{10}cm^{-3} が必要であることが示された。

次に高橋准教授より、PK-3 Plus ラボモデルを用いた地上重力下でのプラズマパラメータ測定の結果が示された。条件として、RFパワー 0.8-3.2W、圧力 20-100Pa の範囲内で測定が行われ、プラズマ密度と電子温度は、圧力よりもRFパワーに対する依存性が高いことが示された。

最後に林教授から、低圧力・高密度のプラズマが生成できるプレーナマグネトロンプラズマ装置の試作と、それによる微粒

子の制御についての実験結果の報告があった。リング状に形成されて上向きに拡散するプラズマにより、ボイドのない、3次元等方的な微粒子構造が得られることが示された。

2. の議題では、理論解析によるパラメータとプラズマパラメータとの間の相関をより明確にする必要性が指摘された。また、実験との対応が一瞥できる図表を作成し、ISSにおける実験条件を基準文書化する作業が必要であるとされた。

第2回研究会 (20.2.2) :

構成メンバーの中の6名(足立、石原、佐藤、東辻、林、渡辺)を含む計10名で発表と話し合いが行われた。

議題は、1. 欧州・ロシアと共に進めている微小重力実験を今後どのように進めていくべきか、2. 微粒子プラズマ研究の今後の展開について、であった。1. については、今後、PK-3 PLUS, PK-4, Plasma Lab などの利用についての話し合いが行われた。2. では、予算獲得、国際協力、組織などについて話し合いが行われ、科学研究費補助金の新学術領域研究(研究領域提案型)へ応募することが決まった。

第3回研究会 (20.3.8) :

構成メンバーの中の5名(石原、佐藤、高橋、林、渡辺)を含む計8名で発表と話し合いが行われた。

議題は、“微粒子プラズマにおける微粒子挙動観測”で、3件の発表と議論が行われた。発表は、「微小重力下微粒子プラズマによる臨界現象観測と予備実験」京都工芸繊維大学、「時間平均駆動力を使った微粒子制御法」東北大学、「シース中の微粒子挙動実験」横浜国立大学、であった。特に最初の発表では、観測の方法について突っ込んだ議論が行われた。

第4回研究会 (20.3.7) :

構成メンバーの中の7名(足立、石原、佐藤、高橋、東辻、林、渡辺)が参加して討論を行った。

議題は、次のとおり。

1. 臨界現象観測のための予備実験および解析について

2. ISSにおける微粒子プラズマ臨界実験の提案について

3. 来年度のWG活動について

1. および2. では、林が実験との対応が一瞥できる図表を用いて概要を説明した後、高橋准教授から、PK-3 Plus ラボモデルを用いた航空機微小重力実験の結果について報告があった。直径 $2.55\mu\text{m}$ の微粒子を用いた実験では、微粒子半径と平均微粒子間距離の1/2との比が0.013-0.017であったこと、どのような条件でもボイドは形成されてしまうこと、その範囲内で周辺部の広い領域で結晶化が可能な条件などについて示された。

また、東辻教授からは、臨界に達するための条件として、平均微粒子間距離の1/2とデバイ長との比が大きいこと、微粒子のサイズが条件を規定していることが示された。したがって、現在の条件よりも、デバイ長を小さくするためにプラズマ密度を増大すること、微粒子のサイズと密度を大きくすることが、今後さらに追及していくべき課題であることが結論された。また、現在の装置構造の問題点も指摘され、ISS実験とは別に、プラズマ生成方法や放電回路について改良・検討していくことが必要であることが指摘された。

3. では、本年度残された課題の解決と同時に、PK-3 Plus の後継機として計画されているプロジェクトへの対応と、装置構造の概念、実験提案課題について検討していくことでまとまった。

5. 成果

学会発表 :

- ・ 林康明、他8名, “微小重力環境下微粒子プラズマ研究の展開”, 第24回宇宙利用シンポジウム (2008.1.18)
- ・ Y. Hayashi, et. al. “Fine Particle Behavior in a Planar Magnetron Plasmas”, 8th Workshop on Fine Particle Plasmas (2007.12.20).
- ・ K. Takahashi, et. al. “Electron density and temperature in complex plasmas (PK-3 Plus) on the ISS”, 8th Workshop on Fine Particle Plasmas (2007.12.21).

- ・ 溝端洋平、林康明、高橋和生, “プレーナマグネトロンプラズマ中の微粒子の挙動”, 第55回応用物理学関係連合講演会 (2008.3.27) .
- ・ K. Takahashi et al., “Plasma Parameters Estimated in Complex Plasmas of PKE-Nefedov on the ISS and PK-3 Plus on the Ground”, Abst. 3rd Int. Sympo. Physical Sci. in Space, B2-2(2007) 37-38
- ・ C. Kojima, J. Kubota, Y. Tashima and O. Ishihara, Dust dynamics in wake channel, Third International Symposium on Physical Sciences in Space (3rd ISPS 2007), October 22 - 26, 2007, Nara, Japan).
- ・ S. Adachi, H. Totsuji, Y. Hayashi, K. Takahashi, O. Ishihara, M. Takayanagi, and S. Yodai, Experimental investigation on conditions of microgravity experiment for critical point in dusty plasmas, Third International Symposium on Physical Sciences in Space (3rd ISPS 2007), October 22, - October 26, 2007, Nara, Japan).
- ・ Ishihara and T. Kamimura, Configurations of Coulomb Clusters in Complex Plasma, The 9th International Workshop on the Interrelationship between Plasma Experiments in Laboratory and Space (IPELS), 5th - 10th August 2007, Palm Cove Resort, Cairns, Australia (Invited talk).
- ・ Wataru Sekine and Osamu Ishihara, Cold dust cluster in the liquid helium environment, The 9th International Workshop on the Interrelationship between Plasma Experiments in Laboratory and Space, 5th - 10th August 2007, Palm Cove Resort, Cairns, Australia.
- ・ Osamu Ishihara, The Structure Formation of Coulomb Clusters, Summer College on Plasma Physics, Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ASICTP). August 20 August 24, 2007, Trieste, Italy (Invited talk).

論文発表 :

- ・ Y. Hayashi, K. Takahashi, H. Totsuji, O. Ishihara, S. Hamaguchi, N. Sato, Y. Watanabe, S. Adachi, and M. Takayanagi, Experiments of fine particle plasmas toward observation of critical phenomena, Proc. Third International Symposium on Physical Sciences in Space (3rd ISPS 2007).
- ・ O. Ishihara, “Complex plasma: dusts in plasma”, J. Phys. D, 40(2007) R121-R147.
- ・ O. Ishihara, “Configuration of coulomb clusters in plasmas”, Phys. Plasmas 14(2007) 123706.

競争的資金獲得：

(交付決定済)

- ・ 科学研究費補助金 基盤研究（B）

研究課題名：

「微粒子プラズマによる臨界現象」

研究代表者：林康明

(申請予定)

- ・ 科学研究費補助金 新学術領域（研究領域提案型）

研究課題名：

「微粒子プラズマ科学」

研究代表者：林康明