

## 研究班WG「静電浮遊炉WG」の活動報告2006

宇宙航空研究開発機構 石川 毅彦, 正木 匡彦, 栗林 一彦, 長汐 晃輔  
 東京大学 七尾 進, 岡田 純平, 渡辺 康裕  
 東北大学 福山 博之, 横山 嘉彦  
 学習院大学 渡辺 匡人, 水野 章敏  
 (株) IHI エアロスペース 原田 匡  
 大阪大学 植田 千秋

### Activities of the electrostatic levitator working group in 2006

*Takehiko Ishikawa, Tadahiko Masaki*  
 Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505  
 E-Mail: [Ishikawa.takehiko@jaxa.jp](mailto:Ishikawa.takehiko@jaxa.jp)

*Kazuhiko kuribayashi, Kosuke Nagashio*  
 ISAS/JAXA, 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara, kanagawa 229-8510

*Susumu Nanao, Jumpei Okada, Yasuhiro Watanabe*  
 Tokyo University

*Hiroyuki Fukuyama, Yoshihiko Yokoyama*  
 Tohoku University

*Masahito Watanabe, Akitoshi Mizuno*  
 Kagushuin University

*Tadashi Harada*  
 IHI Aerospace Co. Ltd.  
*Chiaki Uyeda*  
 Osaka University

Abstract: In order to get fruitful results in an electrostatic levitation furnace (ELF) in the International Space Station, this working group has been established. The aims of the working group are: (1) expand research area which utilizes ESL, (2) improve techniques of levitation and diagnostics, and (3) identify the necessity of microgravity. Activities of this fiscal year are briefly described in this report.

*Key words;* Electrostatic levitation, containerless processing

#### 1. ワーキンググループの目的

静電浮遊炉は、国際宇宙ステーション (ISS) に踏査される第2世代の共通実験装置として技術開発が進められてきたが、ISS のスケジュール遅延や経済的事情等によりフライトハードウェアの開発は足踏み状態が続いている。また、地上における浮遊技術の急速な進展<sup>1-10)</sup>により、微小重力環境の必要性を再確認する必要性が生じてきている。こうした状況を踏まえて、本ワーキンググループは  
 (1) 国際宇宙ステーションへの静電浮遊炉の搭載及び  
 (2) 静電浮遊炉利用による多くの科学的成果の創出を目指して活動している。

#### 2. 活動項目

今年度の活動項目は以下の通りである。

##### (1) 放射光設備+静電浮遊炉

昨年度に引き続き、Spring-8 用静電浮遊炉の開

発と実験による液体構造の取得を実施した。

##### (2) 航空機実験用静電浮遊炉

短時間微小重力実験機会の利用として、地上研究公募に採択された「航空機実験用静電浮遊炉を用いた熱物性計測システムの確立と熱物性計測における重力の影響評価」を通じて、MU-300 に搭載可能な静電浮遊装置の開発を進めている。

##### (3) JAXA 地上用静電浮遊炉を利用した研究

静電浮遊炉利用者拡大の一環として、JAXA 保有の地上用静電浮遊炉のマシントイムの一部をWGメンバーに開放して共同研究を進めている。

##### (4) 新規研究の立ち上げ

従来の研究以外の研究分野での静電浮遊炉の利用を進めている。

#### 3. 今年度の活動

##### 3. 1 放射光設備+静電浮遊炉

7月及び10月に放射光施設と静電浮遊炉を組み

合わせた実験を実施した。昨年度までにセットアップ及び実験方法<sup>11)</sup>を確立した X 線回折ラインに加えてコンプトン散乱実験及び非弾性散乱実験ラインに対応した静電浮遊炉を製作し、これらのビームラインでの実験を実施した。Fig.1 にビームラインに設置した静電浮遊炉を示す。

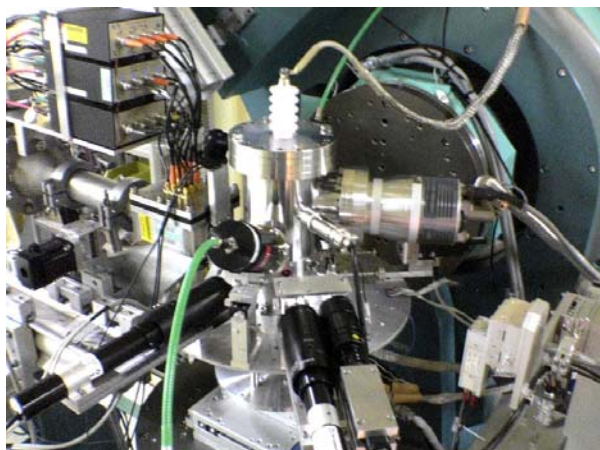


Fig.1 An electrostatic levitator combined with X-ray

### 3. 2 航空機実験用静電浮遊炉

2006 年 12 月に航空機実験<sup>12)</sup>を実施した。Fig.2 に航空機実験の様子を示す。昨年度の航空機実験結果に基づき、制御系の見直し（加速度フィードフォワード機能の追加）を行った結果、微小重力前後の急速な G 変化にも耐えて位置制御を行うことができた。しかし、ミリ G 状態における機体の加速度擾乱（数 Hz）程度が位置制御を発散させる要因となりうる事も明らかとなった。今年度は 2 月に再度航空機実験を行う予定であり、ここで Zr 試料の浮遊溶融及び液滴振動実験を実施する予定である。

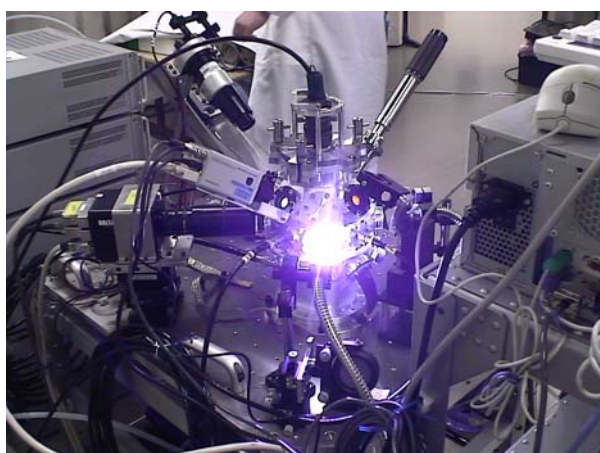


Fig.2 Electrostatic levitator for parabolic flight experiments made by IHI Aerospace Co. Ltd .

### 3. 3 JAXA 地上用静電浮遊炉を利用した研究

JAXA 筑波宇宙センターの静電浮遊炉を用いて以下の実験を実施した。

- ZrCuAl 系金属ガラス試料の熱物性測定
- 準結晶 (ALPdMn) 試料の熱物性測定
- $\text{CaF}_2$  の熱物性測定<sup>13)</sup>
- Os, Au, Co の熱物性測定

Fig.3 に Os の粘性係数測定結果<sup>14)</sup>を示す。

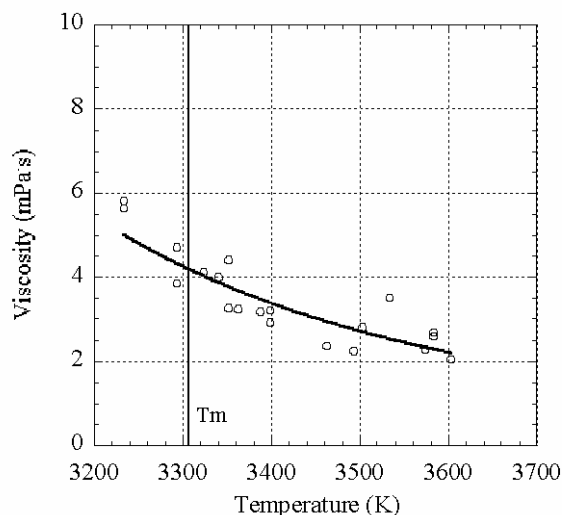


Fig.3 Viscosity of liquid osmium as a function of temperature measured by JAXA-ESL.

また、相模原キャンパスに設置してある静電浮遊装置の改修を実施した。改修後の装置を Fig.4 に示す。

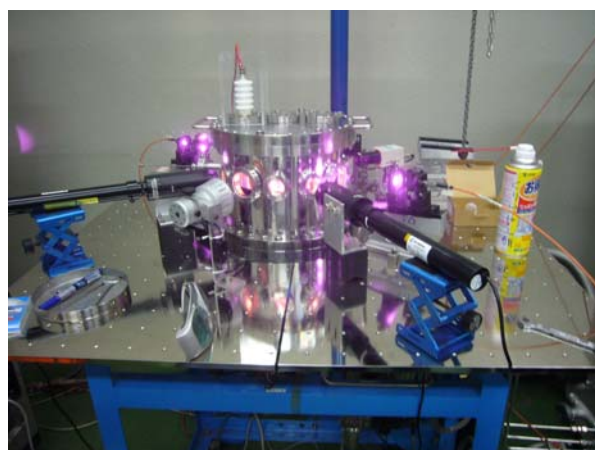


Fig.4 An electrostatic levitation furnace in Sagami campus.

### 3. 4 新たな研究の推進

新たに静電浮遊を利用した反磁性異方性測定法の確立について検討を行って新たな浮遊装置(fig.5)を製作するとともに、第9回公募地上研究に応募し採択された。

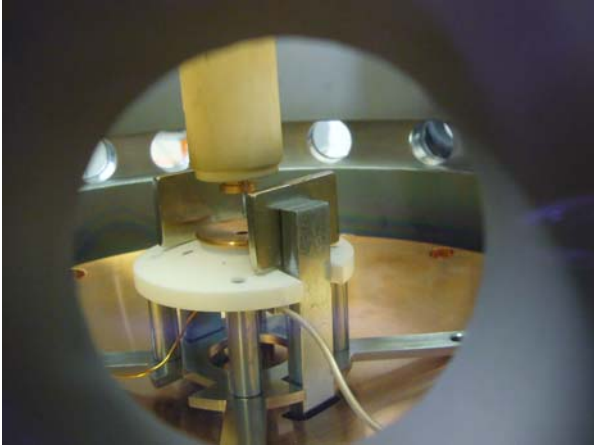


Fig.5 The electrode configuration of newly developed electrostatic levitator for the diamagnetic anisotropy measurement. The top and bottom electrode are combined with an U-shaped magnet.

### 3. 6 その他

2006年11月に研究会を開催し、特に放射光を利用した静電浮遊炉実験について結果の報告及び今後の方針についての議論を行った。

### 4. 微小重力環境の必要性

静電浮遊炉を利用した実験における微小重力環境の必要性を明確にするための実験も並行して進めている。Fig.6は浮遊液滴振動法による液滴の粘性係数測定において、試料サイズの影響を実験的に確認した結果である<sup>15)</sup>。地上では重力に拮抗するクーロン力を試料/電極間に働かせるために試料の質量に比例して電場を大きくする必要がある。Fig.6のグラフの横軸は浮遊に必要な電場を規格化したもので、試料サイズ同じである。液滴振動法による粘性測定は外場が働かないことを前提としているが、Fig.6より明らかに電場が液滴振動の減衰を促進して、見かけの粘性係数を高くしている。微小重力下では、浮遊試料の位置制御に必要な電場を地上に比較して遙かに小さく出来るため、液滴振動に与える電場の影響を小さくでき、より精度の高い粘性係数測定が可能となる。

### 5. 今後の方針

来年度以降も継続して活動を進め、浮遊技術の高度化・浮遊技術の普及による研究分野の拡大・短時間無精重力実験による研究によって国際宇宙ステーションへの道を開きたい。そのステップとして航空機に加えて大気球<sup>16)</sup>や小型ロケットによる微小重力実験機会の利用へも積極的に取り組んでいきたい。

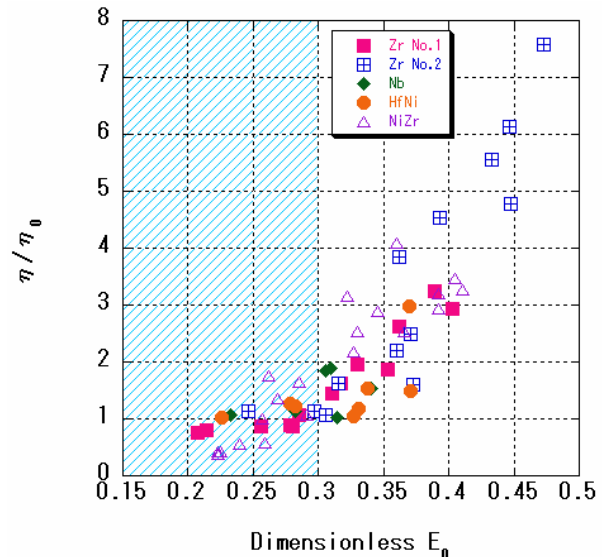


Fig.6 Effect of the electric field on the viscosity measurement with oscillating drop method in an electrostatic levitator.

### 5. 謝辞

本WGは以下の研究助成の下で進められており、ここに感謝の意を表します。

(財)日本宇宙フォーラム「宇宙環境利用に関する地上研究公募」

科学研究費補助金基盤研究(A) (16206062)

科学研究費補助金基盤研究(B) (18360108)

科学研究費補助金萌芽研究(17656260)

また、本WG活動は以下のメンバーリスト外の方々を支えられており、ここに名前を記して感謝いたします。小原 真司(JASRI)、森崎 浩武、守屋 朝子(IHIエアロスペース)、古池 紀之(千葉工業大学)、Paul-François Paradis、余野建定(JAXA)。

### 参考文献

- 1) P. -F. Paradis, T. Ishikawa, S. Yoda, *Rev. Sci. Instrum.*, **72**, No.6(2001), 2811- 2815.
- 2) P. -F. Paradis, J. Yu, T. Ishikawa, T. Aoyama, S. Yoda, J.K.R. Weber, *J. Cryst. Growth*, **249**

- (2003), 523-530.
- 3) P. -F. Paradis, J. Yu, T. Ishikawa, T. Aoyama, and S. Yoda, *Appl. Phys. A*, **79** (2004), 1965-1969.
  - 4) P. -F. Paradis, J. Yu, T. Aoyama, T. Ishikawa, S. Yoda, *J. Am. Ceram. Soc.* **86** (2003), 2234-2236.
  - 5) P. -F. Paradis, T. Ishikawa, *Measurement Science and Technology*, **16** (2005), 452-456.
  - 6) T. Ishikawa, P. -F. Paradis, T. Itami, and S. Yoda, *Measurement Science and Technology*, **16** (2005), 443-451.
  - 7) P. -F. Paradis, T. Ishikawa, R. Fujii, and S. Yoda, *Appl. Phys. Lett* **86**(2005), 41901.
  - 8) T. Ishikawa, P. -F. Paradis, and S. Yoda, *Appl. Phys. Lett*, **85** (2004), 5866-5868 .
  - 9) P. -F. Paradis, T. Ishikawa, and S. Yoda, *J. Appl. Phys.*, **97** (2005), 106101.
  - 10) P. -F. Paradis, T. Ishikawa, and S. Yoda, *Appl. Phys. Lett.*, **83**(2003), 4047-4049.
  - 11) T. Masaki, T. Ishikawa, and S. Yoda, *J. Jpn. Microgr. Appl.* **23** (2006), 2
  - 12) T. Harada, T. Nishimura, and T. Takada, *Proc.g of the 53<sup>rd</sup> Nat. Cong. Of theoretical & Applied Mechanics 2004*, p.51-54.
  - 13) I. Minato, H. Fukuyama, T. Ishikawa, P.-F. Paradis, J. Yu, and S. Yoda, *Int. J. Thermophys.* **27** (2006), 1173.
  - 14) P. -F. Paradis, T. Ishikawa, and N. Koike, *J. Appl. Phys.*, **100** (2006), 103523.
  - 15) N. Koike, T. Ishikawa, P.-F. Paradis, H. Tomioka, Y. Watanabe, S. Yoda, and T. Motegi, *J. Jpn. Soc. Microg. Appl.* **23** (2006), 309.
  - 16) Y. Inatomi, T. Ishikawa, T. Hashimoto, S. Sawai, Y. Saito, T. Yoshimitsu, S. Sakai, H. Kobayashi , K. Fujita, N. Bando, M. Goto, and H. Yamakawa, *J. Jpn. Soc. Microg. Appl.* **23** (2006), 197-203.