

研究班WG「静電浮遊炉WG」の活動報告

宇宙航空研究開発機構 石川 毅彦, 正木 匡彦, 栗林 一彦

東京大学 七尾 進, 岡田 純平

東北大学 福山 博之, 横山 嘉彦

学習院大学 渡辺 匡人

(株)IHI エアロスペース 原田 匡

Activities of the electrostatic levitator working group

Takehiko Ishikawa, Tadahiko Masaki

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505

E-Mail: Ishikawa.takehiko@jaxa.jp

Kazuhiko kuribayashi

ISAS/JAXA, 3-1-1 Yoshinodai, Sagami-hara, kanagawa 229-8510

Susumu Nanao, Jumpei Okada

Tokyo University

Hiroyuki Fukuyama, Yoshihiko Yokoyama

Tohoku University

Masahito Watanabe

Kagushuin University

Tadashi Harada

IHI Aerospace Co. Ltd.

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により、微小重力環境の必要性を再確認する必要が生じてきている。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を開始した。

静電浮遊法は、試料と周囲の電極間に働くクーロン力を利用して試料の位置制御を行う方法であり、帯電するあらゆる試料を浮遊可能な他、位置制御に伴って試料に加わる擾乱が他の浮遊法と比較して少ないなど、優れた特徴を有している。しかし、高速のフィードバック位置制御を必要とするなど技術的な課題が多く、他の方法に比べて技術開発が遅れていた。JAXA では地上における静

電浮遊炉の技術研究を進め、酸化物の浮遊溶融¹⁻⁵⁾や 3,000 を超える超高温融体の安定浮遊を達成する⁵⁻¹⁰⁾など完成度を高めてきたが、その技術は JAXA 内に留まっていて普及していない。(日本において静電浮遊炉を有するのは JAXA と関連メーカー 1 社のみである。)このため、静電浮遊炉を利用した研究分野や利用者は限られている。静電浮遊炉はマイナーな装置なのである。

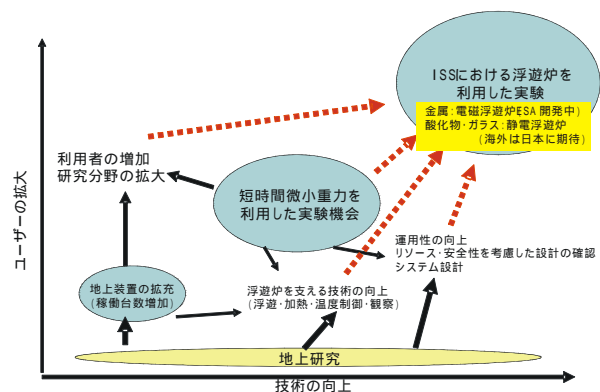


Fig.1 Road map to the ELF for the International Space Station

Fig.1 に静電浮遊炉をメジャーな装置にし、ISS で多年に亘って運用して科学的成果を継続的に創出するために考えたロードマップを示す。

このロードマップの第1のポイントは地上装置の拡充によって研究分野及び利用者の拡大を図る事である。そして、多様な利用から来る装置への要求を地上の浮遊技術研究にフィードバックして装置の完成度をより高めるとともに、ISS で行う実験の領域を拡大する。第2は ISS への予備段階として短時間微小重力（航空機・落下塔）を利用した実験機会を確保することである。これによって、地上では浮遊が困難な試料の実験に対応が可能となる。また、技術的なフィードバックを得ることもできる。更に、航空機や落下塔におけるスペースや時間の制約は、ISS に向けたコンパクトな装置設計や実験運用につなげることができる。そして一番重要なことは、短時間微小重力実験を通して、ISS が提供する長時間の微小重力環境が本当に必要な研究を選別することである。

静電浮遊炉 WG はこのロードマップを実践すべく、今年度より発足して活動を開始した。

2. 活動項目

今年度は静電浮遊炉に関連する既存の活動を軸として以下の体制で実施している。

(1) 放射光設備 + 静電浮遊炉

科学研究費補助金（基盤研究 A）「放射光と浮遊溶解法による過冷却液体及びその凝固現象の研究」（代表研究者：東大七尾教授）により地上装置の拡充として Spring-8 用静電浮遊炉の製作と実験による液体構造の取得を実施している。

(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」（代表研究者：IHI エアロスペース原田氏）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。また、短時間微小重力を利用して地上では安定した浮遊溶解が困難な CaF_2 等の実験（熱物性データ取得）を実施する予定である。

(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imeの一部を WG メンバーに開放して共同研究を進めている。

3. 今年度の活動

3.1 放射光設備 + 静電浮遊炉

7月及び12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、Zr・Hf（高融点金属）、Si（半導体）や BaGe 合金などの液体構造測定実験を実施した¹¹⁾。Fig.2 にビームラインに設置した静電浮遊炉を示す。



Fig.2 An electrostatic levitator combined with X-ray

3.2 航空機実験用静電浮遊炉

2006年2月初めの航空機実験を目指して、装置の設計・製作を実施した。Fig.3 に航空機実験用静電浮遊炉を示す。これは、既に大型の航空機である G-II に搭載して Zr の浮遊溶解に成功した静電浮遊炉¹²⁾をベースとして小型化・省エネルギー化を進めて小型の航空機である MU-300 に搭載可能にしたものである。

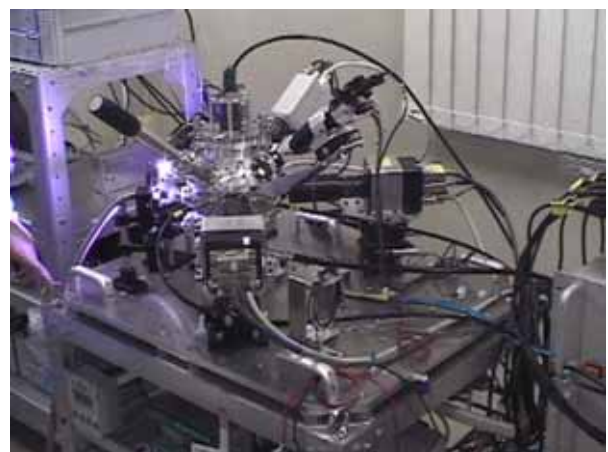


Fig.3 Electrostatic levitator for parabolic flight experiments made by IHI Aerospace Co. Ltd.

3.3 JAXA 地上用静電浮遊炉を利用した研究

JAXA の静電浮遊炉を用いて以下の実験を実施した。

- ・ BaGe 合金の熱物性測定¹³⁾
- ・ AlZrCu 合金の熱物性測定
- ・ CaF₂ の熱物性測定¹⁴⁾

3.4 その他

2005 年 10 月に静電浮遊炉の草分け¹¹⁻¹⁴⁾である Rhim 博士(カリフォルニア工科大学)による講演会を行った。また、今年度末には研究会を開催して今後の方針を議論する予定である。

4. 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大気球による 1 分程度の微小重力実験機会¹⁵⁾や小型ロケットによる 6 ~ 12 分の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。

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)

また、本 WG 活動は以下のメンバーリスト外の方々に支えられており、ここに名前を記して感謝いたします。渡辺康裕(東京大学生産研)、小原真司(JASRI)、森崎 浩武、杉 紀夫、守屋 朝子(IHI エアロスペース)、水野 章敏、石蔵 明子(学習院大学)、古池 紀之(千葉工業大学)、湊 出(東京工業大) 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, "Liquid Structure Analysis of High Temperature Molten Metals with the use of Electrostatic Levitator" (in Japanese), *in press, J. Jpn. Microgr. Appl.*
- 12) T. Harada, T. Nishimura, and T. Takada, *Proc. of the 53rd Nat. Cong. Of theoretical & Applied Mechanics 2004*, p.51-54.
- 13) A. Ishikura, A. Mizuno, M. Watanabe, N. Koike, T. Masaki, and T. Ishikawa, *Pro. of the 26th Japan Symposium on thermophysical properties* (2005), p.445.
- 14) I. Minato, H. Fukuyama, T. Ishikawa, P.-F. Paradis, J. Yu, and S. Yoda, "Density Measurement of Molten CaF₂ by an Electrostatic Levitator", submitted, *Int. J. Thermophys.*
- 15) Y. Inatomi, N. Bando, S. Sawai, T. Ishikawa, S. Sakai, T. Yoshimitsu, Y. Saito, H. Yamakawa, and T. Hashimoto, *J. Jpn. Soc. Microgr. Appl.* **22** (2005), 317.