

「宇宙機内における大域的対流・拡散現象」の研究班 WG について

宇宙航空研究開発機構 大西 充

Research Working Group on Macroscopic convection-diffusion phenomena in Spacecrafts

Mitsuru Ohnishi

Japan Aerospace Exploration Agency Jindaijihigashimachi, Chofu, Tokyo 182-8522

E-Mail: ohnishi.mitsuru@jaxa.jp

Abstract: The influence of the g-jitter on their results has been adversely reported in space experiments. In order to systematically extend our understanding on the g-jitter, a research group has been organized since 1998. Using its fruitful result, a research working group whose main purpose is to get a flight opportunity for g-jitter experiment has been established. Its experimental apparatus is almost ready to fly.

Key words: Space Utilization, Space Station, Space Experiment, g-jitter

はじめに

宇宙機内には、g-ジッターと呼ばれる定常及び非定常的な加速度が残留しており、これにより流動挙動は、微小重力実験結果に影響を及ぼしていると考えられているが、これまで定量的な実験は実施されていない。このため、無人衛星で実現出来る極めて静的な状態や機器動作時の動的状態での実験を実施すると共に、数値シミュレーションを実施し、両者を比較すること宇宙機内で普遍的に発生し、宇宙環境利用科学に影響を与えているであろう大域的な流体現象の知見を得ることを目的として、平成16年度に引き続き「宇宙機内における大域的対流・拡散現象」研究班 WG を提案、採択された。その概要および背景、平成17年度に行った実験提案を紹介する。

研究班 WG の体制

平成17年度から微小重力環境下での沸騰の専門家である東京理科大学の鈴木康一教授に加わっていただいた。

- ◎大西 充、JAXA総合技術研究本部
取り纏め
- 依田 真一、JAXA宇宙科学研究本部
実験計画担当
- 河村 洋、東京理科大学工学部
実験計画、数値解析、沸騰現象解析
- 鈴木 康一、東京理科大学工学部
実験計画、沸騰現象解析
- 岩崎 晃、東京大学大学院工学系研究科
実験計画、実験支援系(計測制御)構築
- 吉原 正一、JAXA総合技術研究本部
実験計画、実験系(実験セル)構築
- 桜井 誠人、JAXA総合技術研究本部
実験系(実験セル)構築
- 夏井坂 誠、JAXA宇宙基幹システム本部

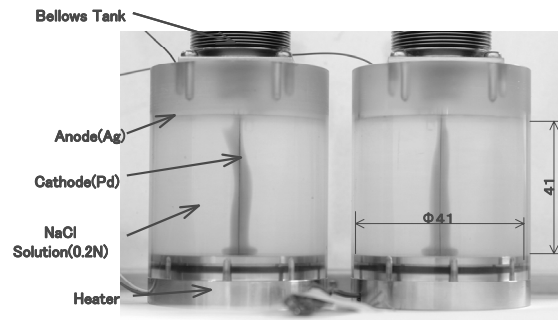


Fig.1 The experimental cells using electrical color development

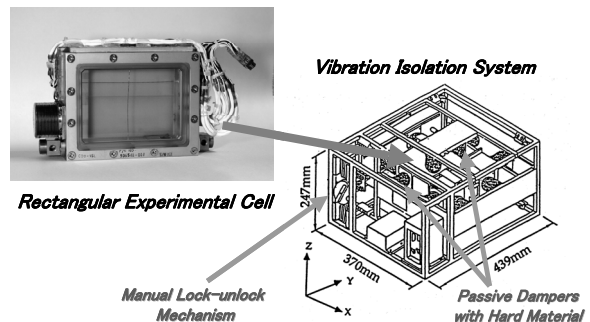


Fig.2 The apparatus for IML-2(1994).

宇宙機インターフェイス調整

- 石澤 淳一郎、JAXA総合技術研究本部
実験支援系(構造)構築
- 宮崎 英治、JAXA総合技術研究本部
実験計画、実験支援系(構造)構築
- 松本 聡、JAXA宇宙科学研究本部
宇宙機インターフェイス調整
- 渡辺 和樹、ウエルリサーチ
実験計画、実験支援系(アッセンブリ)構築

研究の目的

宇宙実験中に実験セル内に発生する大域的な対流・拡散現象を電解発色法(Fig.1)によって可視化し、ほぼフライト全期間にわたって観察する。無人衛星の様な極めて静的な状態が実現出来る環境下での高精度実験を行い、詳細な数値シミュレーションとの比較から、静的、すなわち定常加速度が流動現象に及ぼす影響の詳細な解析を行う。また、無人衛星であっても搭載装置の作動などから生じる非定常的な加速度から生じる流動についても計測を行い、同様に詳細な数値シミュレーションとの比較から、動的、すなわち非定常加速度が及ぼす影響の解析も行う。これにより宇宙機内で発生する、加速度に起因する大域的な流体现象の知見を得ることを科学的目的とする。また、流体科学実験に要する一般的かつ省リソース型の実験支援系を構築し、宇宙実証を行って汎用実験支援装置として確立させ、他研究者に装置および技術情報を提供し、今後アドホックに提供されるであろう宇宙実験機会に迅速・的確に対応することが可能になることを技術的目的とする。

研究の手法

宇宙実験の機会が極めて僅かであるため、如何なる機会にも対応出来るよう、必要とするリソース(サイズ、重量、電力、マンパワー)を可能な限り減らした省リソース型の実験装置を開発する。

- ・計測制御装置内蔵(自律型)
- ・電池駆動可(自立型)
- ・複合材使用のベースプレート(軽量化)
- ・ロック・アンロック機構内蔵(自律型)
- ・低消費電力制御装置(省電力)
- ・高性能受動制振ダンパー(省電力)

これらの特徴を持つ制振機能つき自律・自立型汎用宇宙実験支援装置を構築し、無人衛星を始めとする種々の宇宙機に迅速・的確に対応して宇宙実験を実施し、精密な液体流動計測を行う。

一方、使用する液体の密度、粘性係数などの熱物性値を詳細に測定し、高精度な数値シミュレーションの構築を行う。定常・非定常加速度の計測と共に流動現象観察結果から詳細な相関を実験的に明らかとすると共に、数値シミュレーションとの比較から、定常・非定常加速度に起因する液体流動現象の詳細な解明を行う。

研究の背景

平成6年に実施された IML-2 では、電解発色法と受動制振装置(Fig.2)を用いて、宇宙機内に残留

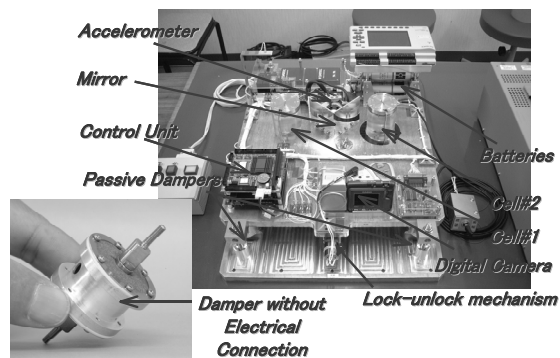


Fig.3 The damper and the apparatus(Model 2001).

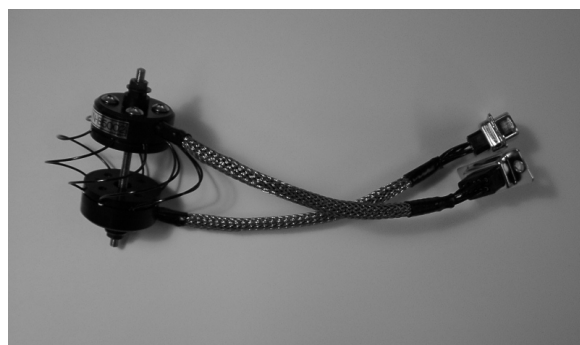


Fig.4 Improved damper.

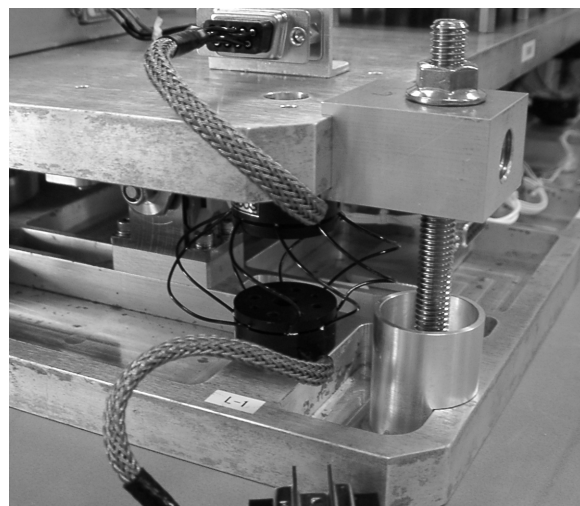


Fig.5 The improved damper and Model 2001.

する定常および非定常加速度環境下での拡散現象実験が実施された。非定常加速度によると見られる影響が観察されたが、理想的実験条件では無かったため、定量的な現象解明には至らなかった。

これを受け、微小な加速度が種々の流体现象に及ぼす影響を組織的に調査することを目的として、平成11年度より「g-ジッターが流体现象に及ぼす微視的・巨視的影響に関する研究」を地上公

募研究で行った。この中で、g-ジッターの影響を可視化することをテーマにした宇宙実験を、JUSTSAP (Japan-US Science, Technology & Space Application Program) 会議でアドホックに提示される宇宙実験機会に迅速に対応して実施するため、J SUP 殿の協力も得て、IML-2 実験装置を基に宇宙実験装置 Model 2001 (Fig.3) を試作し、まず航空機実験を行って装置の能力を実証した。

平成14年度からは当該実験装置を改良することを目的とした「受動制振機能付き自律・自立型汎用宇宙実験支援装置の開発」を地上公募研究によって開始し、前モデルより大幅に改良されたキーコンポーネントを試作して汎用性を向上させた。特に改良された受動制振ダンパー (Fig.4) は高性能が予想されたため、Model 2001 に組み込み (Fig.5)、航空機実験を実施し、その高性能を実証した。一般に受動制振ダンパーは、比較的高い共振周波数を持つため、高性能化が困難であるが、改良型は、弾性を容易に設定出来るため、共振周波数を充分下げることが可能である。これらの試作結果を基にスペースシャトル搭載用の実験支援装置の概念検討 (Fig.7) を行い、米国プロバイダと機会交渉を行い、宇宙実証を目指した。平成16年1月にはNASAとの契約寸前までこぎ着けたが、3月に残念ながら撤回された。

平成17年度実験提案

スペースシャトル搭載にこだわらず、多様な実験機会に挑戦するため、具体的な実験テーマの選択および実験装置の概念検討を進めた。実験装置としては平成11年度および平成14年度の地上公募研究の成果を最大限に活用し、地上公募研究で製作された実験装置を自身がg-ジッターの発生源とならないよう徹底的に改良して無重力環境下を実現することとし、以下の3実験を実施候補とした。

- ①電解発色法による拡散現象観察実験、それぞれ制振、非制振状態に置いた2つの実験セル内に極めて静的な現象である電解発色法によって拡散質を同時に形成し、その拡散の様子を観察する。リファレンスデータ取得を目的とする。
- ②温度勾配下での電解発色法による拡散現象観察実験、温度勾配付加による密度勾配形成によってg-ジッターに影響されやすい状況を作り出し、1と同様の実験を行う。リファレンスデータとの比較から大域的な密度分布の影響を求めることを目的とする。

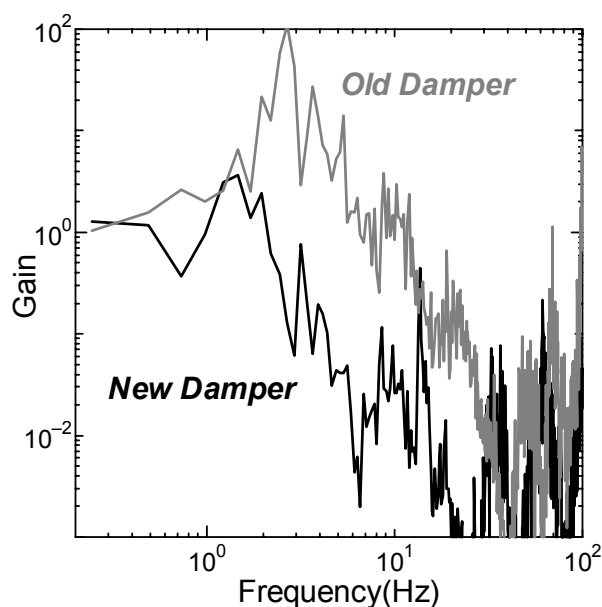


Fig.6 The comparison of isolation performance between new and old dampers.

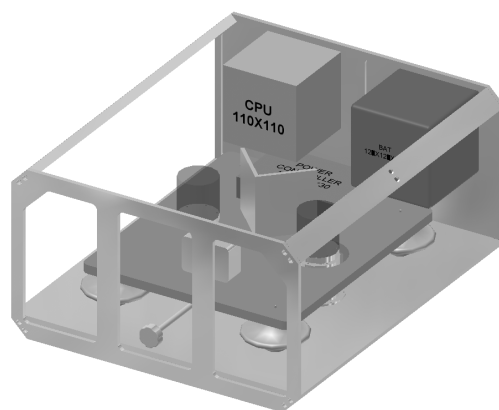


Fig.7 The concept (Model 2004) for Space Shuttle.

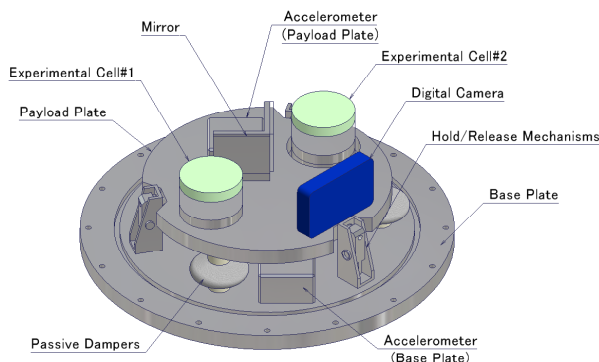


Fig.8 The new concept (Model 2005)

③細線まわりの沸騰現象と電解発色法による拡散現象観察実験、実験セル内に電解発色法とは別の細線を配置し、高電流を付加し沸騰現象を発生させる。沸騰は最も密度差が形成されるケースであるので、これと電解発色を同時に行い、局所的な密度差による g-ジッターの影響を求めることを目的とする。また、熱環境制御に重要な沸騰現象の解明に資することも目的とする。

また、Fig.7 に示す、比較的穏やかな実験環境を念頭に置いて検討された装置を元に、実験機会の選択肢を広げるために真空中でも動作するよう円筒形圧力容器収納を考慮した新しい実験支援装置を検討した。その概念を Fig.8 に示す。

これらを宇宙環境利用科学委員会に提案し、中国回収衛星を利用した日中科学協力のテーマとして採択された。しかし、その後、中国側が提供出来るリソースが日本側予想より小さいことが判明し、まず、沸騰実験実施を断念した。その後さらにリソースが小さいことが判明し、実験をそれに無理矢理適合させたとしても科学的成果が望めないため、実験自体を断念することとした。

まとめ

本研究では、無人衛星の様な理想的な加速度環境下で定常加速度のみの場合と種々の擾乱による非定常加速度が加わる場合を同時に高精度に計測し、詳細な数値シミュレーションと比較することで、宇宙機内で普遍的に発生し、宇宙環境利用科学に影響を与えているであろう大域的な流体現象の知見獲得が可能である。

その他、各研究者が得意とする分野の知見を総合し、宇宙実験を安価・迅速に構築・実証することで得られた情報を、宇宙環境利用科学研究者に広くに提供することで、今後アドホックに提供されるであろう宇宙実験機会に迅速・的確に対応することが可能となり、宇宙実験機会を渴望している宇宙環境利用科学研究者にとって極めて有用だと考える。

実際、平成15年と平成17年の2回、実験実施にかなり近づくことが出来、本実験テーマは、現在日中科学協力の次回以降の候補となっている。