

平成22年3月31日現在

研究種目：学術創成研究

研究期間：2004～2008

課題番号：16GS0220

研究課題名（和文）高高度気球を用いた微小重力実験装置の開発

研究課題名（英文）Development of Micro-gravity Experiment System
using High-altitude Balloon

研究代表者

橋本 樹明 (HASHIMOTO TATSUAKI)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部宇宙探査工学研究系・教授

研究者番号：70228419

研究成果の概要：

数十秒間の微小重力環境を中程度のコストで実現する手段として、高高度気球から微小重力実験装置を落下させ、自由落下中に微小重力実験を実施するシステムを開発した。飛翔実験にて $10^{-4}G$ 以下の微小重力環境を約35秒間実現し、今後の定常的運用に目処を立てた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	47,200,000	14,160,000	61,360,000
2005年度	71,600,000	21,480,000	93,080,000
2006年度	80,000,000	24,000,000	104,000,000
2007年度	50,000,000	15,000,000	65,000,000
2008年度	50,000,000	15,000,000	65,000,000
総計	298,800,000	89,640,000	388,440,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：微小重力、科学観測用気球、ドラッグフリー、制御工学

1. 研究開始当初の背景

微小重力環境を実現する手段は、低コストであるが数秒～十数秒の継続時間である落下塔、航空機実験と、数分～数日の長時間であるが高コストであるロケット実験、国際宇宙ステーションなどに2分されており、中程度のコストで数十秒間の微小重力環境を提供する施設が求められていた。

2. 研究の目的

気球を用いて40km程度の高度から実験装置を自由落下させることにより、数十秒の良質な微小重力環境を実現するシステムを開発する。微小重力科学に格段の進展を促すとともに、開発を通じて、高高度気球、ドラッ

グフリー制御、超音速飛翔体制御等の技術分野の格段の進展もねらう。

3. 研究の方法

全重量数百kgの実験システムを40km程度の高度まで飛翔させる高高度気球、空力抵抗が小さく超音速飛翔する機体、2重殻構造によるドラッグフリー技術により非接触浮遊する微小重力実験部、機体の制御装置およびガスジェット推進装置、超音速から安全に減速する超音速パラシュートをそれぞれ開発し、実際に飛翔させて数十秒の微小重力実験を行うことにより、システムの有効性を確認する。また、将来の定常運用に向けて、ユーザーインターフェイスの改良を行っていく。

特に、実験部に働く加速度擾乱を最小化するため、実験部を機体から非接触で浮かせ、機体を自由落下する実験部に衝突しないように制御するドラッグフリー技術により、 $10^{-4}G$ 以下の微小重力環境を実現することが本研究の特徴である。

4. 研究成果

システム設計の結果、図1のような機体を開発し、その中に直径30cm程度の球形の微小重力実験装置を搭載することを可能とした。平成16年10月に新型高高度気球の試験、平成18年5月にシステム動作確認のための1号機飛行実験を行い、続いて平成19年5月の2号機と平成21年5月の4号機の2回の飛行実験により35秒間の微小重力環境を実現した。実験中の加速度擾乱レベルは、図2に示すように $10^{-4}G$ 以下となっており、目標を達成している。2回連続で同様な環境を実現できたことから、本システムの実用化の目処が立ったといえる。なお、3号機では将来のさらに長秒時の微小重力実現に向けて、大推力の空気吸い込み式エンジンを搭載した実験を実施する予定であったが、天候等の事情により飛行実験が延期になっており、機体の開発が終了した段階で、本研究は終了している。

本研究では、毎飛行機会に実際の微小重力実験を実施することにより、実験ユーザの利便性を考えたインターフェースの改良を行ってきた。図3に、2号機で実施した線香花火の微小重力燃焼実験映像を示す。航空機実験等、 $10^{-2}G$ レベルの擾乱が残る場合は対流により火球ができるが、 $10^{-4}G$ 以下の本システムでは完全に消えることが観察された。4号機ではアクセスパネルの大型化により、飛行直前まで微小重力実験部を操作することができるように配慮し、また、機上姿勢決定機能やシリアルコマンド機能など、多様なユーザ要求に応えるべくシステムの改良を行った。

このクラスの微小重力環境実現手段は現在のところ世界唯一であり、外国からも共同研究の依頼が来ている。本システムの実用化の目処がたったことから、宇宙航空研究開発機構にて運用を引き継ぐ検討がされている。

また、本研究において開発された技術は他分野の発展にも貢献している。薄膜高高度気球の開発および重量級ゴンドラの放球方式の開発は、気球による科学観測一般の進展につながる。空気吸い込み式エンジンについては、将来の極超音速旅客機や宇宙への低コスト輸送手段として期待されているが、その飛行実証手段として本システムが活用できる。



図1 微小重力実験用機体の外観

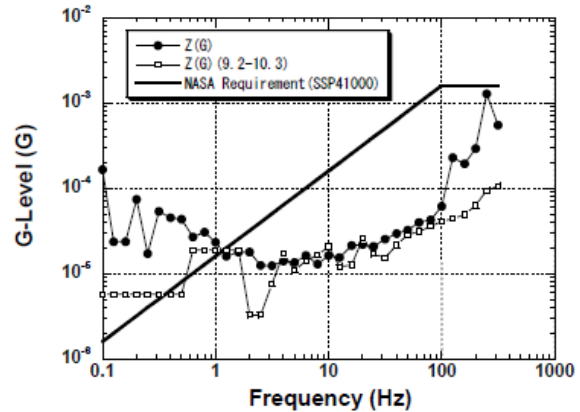


図2 本システムの微小重力環境

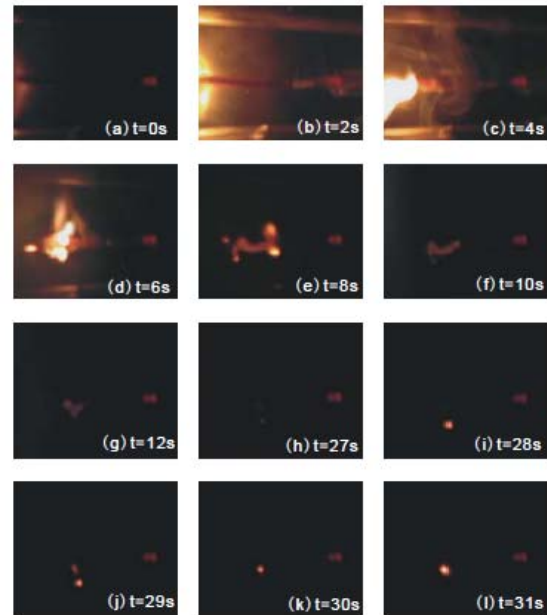


図3 線香花火燃焼の映像

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計18件)

1. Takehiko Ishikawa, Tatsuaki Hashimoto, Shujiro Sawai, Yoshitaka Saito, Yuko Inatomi, Tetsuo Yoshimitsu, Shin'ichiro Sakai, Hiroaki Kobayashi, Kazuhisa Fujita, Nobutaka Bando: "Microgravity Experiment System using Free-fall Capsule from a High Altitude Balloon(Result of the 2nd Test Flight)", Trans. JSASS Space Tech. Japan, Vol.7, No.ists26, pp.29-33, 査読あり, 2009
2. T. Hashimoto, S. Sawai, S. Sakai, N. Bando, S. Shimizu, P. Buist, S. Verhagen: "Microgravity Research Using A Balloon-based Operation Vehicle", Leonardo Times, pp 46-48, 査読あり, 2009
3. 橋本樹明, 澤井秀次郎, 坂井真一郎, 坂東信尚, 小林弘明, 石川毅彦, 稲富裕光, 藤田和央, 吉光徹雄, 斎藤芳隆, 福家英之: "高々度気球を用いた微小重力実験システムの開発、日本マイクログラビティ応用学会誌, Vol.26, No.1, pp9-14, 査読あり, 2009
4. 斎藤芳隆, 井筒直樹, 石川毅彦, 稲富裕光, 橋本樹明: "微小重力実験に向けた軽量高高度気球の開発", 日本マイクログラビティ応用学会誌, Vol.26, No.1, pp.15-20, 査読あり, 2009
5. 澤井秀次郎, 橋本樹明, 坂井真一郎, 坂東信尚, 吉光徹雄, 石川毅彦, 稲富裕光, 福家英之, 鎌田幸男, 長江朋子, 小林弘明, 藤田和央, 小島孝之, 上野誠也, 宮路幸二, 門岡昇平, 平木講儒, 鈴木宏二郎, 上原聡: "微小重力実験用機体の開発", 日本マイクログラビティ応用学会誌, Vol.26, No.1, pp.21-28, 査読あり, 2009
6. 坂東信尚, 坂井真一郎, 澤井秀次郎, 星野慎二, 田島賢一, 門岡昇平, 橋本樹明, 上野誠也, 曾子隆博, 小林弘明, 藤田和央, 石川毅彦, 稲富裕光: "高高度気球を用いた微小重力実験システムにおけるドラッグフリー制御", 日本マイクログラビティ応用学会誌, Vol.26, No.1, pp29-35, 査読あり, 2009
7. 丸祐介, 澤井秀次郎, 橋本樹明, 坂井真一郎, 坂東信尚, 福家英之, 藤田和央, 小林弘明, 小島孝之, 田口秀之, 上野誠也, 宮路幸二, 門岡昇平: "高高度気球を用いた超音速空気吸込式エンジンの飛行実験計画", 日本マイクログラビティ応用学会誌, Vol.26, No.1, pp43-50, 査読あり, 2009
8. 石川毅彦, 稲富裕光, 橋本樹明, 澤井秀次郎, 斎藤芳隆, 吉光徹雄, 坂井真一郎, 小林弘明, 藤田和央, 坂東信尚, 後藤雅享: "高高度気球を利用した微小重力実験 (第2回飛行試験): 日本マイクログラビティ応用学会誌 Vol.25, No.1, pp3-10, 2008
9. 稲富裕光, 神保至, 石川毅彦, 橋本樹明, 澤井秀次郎, 斎藤芳隆, 吉光徹雄, 坂井真一郎, 小林弘明, 藤田和央: "高高度気球からの自由落下カプセルを用いた第1回微小重力実験", 大気球研究報告, pp. 23-33, JAXA, 査読あり, 2008.
10. 小林弘明, 澤井秀次郎, 坂東信尚, 坂井真一郎, 石川毅彦, 稲富裕光, 藤田和央, 丸祐介, 橋本樹明, "気球利用型微小重力実験機用コールドガスジェットスラスターの開発", JAXA-RR-08-005, JAXA, 査読あり, 2008
11. 小林弘明, 田口秀之, 澤井秀次郎, 藤田和央, 小島孝之, 岡井敬一, 本郷素行, 正木大作, 石塚只夫, 原田賢哉, 丸祐介, 二村尚夫, 柳良二, "飛行実験用極超音速ターボジェットエンジン制御装置の開発", JAXA-RR-08-012, JAXA, 査読あり, 2008
12. 澤井秀次郎, 橋本樹明, 坂井真一郎, 坂東信尚, 小林弘明, 藤田和央, 吉光徹雄, 石川毅彦, 稲富裕光, 福家英之, 鎌田幸男, 星野慎二, 田島賢一, 門岡昇平, 上原聡, 小島孝之, 上野誠也, 宮路幸二, 坪井伸幸, 平木講儒, 鈴木宏二郎, 松嶋清穂, 中田孝: "気球を利用した無重力実験のための機体開発とそのフライト結果". 日本航空宇宙学会論文集, Vol.56, No.654, pp.339-346, 査読あり, 2008
13. 石川毅彦, 稲富裕光, 橋本樹明, 澤井秀次郎, 斎藤芳隆, 吉光徹雄, 坂井真一郎, 小林弘明, 藤田和央, 坂東信尚, 後藤雅享: "高高度気球を利用した微小重力実験 (第2回飛行試験): 日本マイクログラビティ応用学会誌 Vol.25, No.1, pp3-10, 査読あり, 2008
14. Daisuke AKITA, Kazuhiko YAMADA, Naoki IZUTSU, Hideyuki FUKE, Michihiko TORIUMI, Yukihiko MATSUZAKA, Shigeo OHTA, Motoharu SEO, Michiyoshi NAMIKI, Issei IJIMA, Naoki NONAKA, Jiro KAWADA, Eiichi MIZUTA, Yoshitaka SAITO, Tetsuya YOSHIDA, Takamasa YAMAGAMI, Shujiro SAWAI, Tatsuaki HASHIMOTO, Ikuo EGAMI, Ryojiro AKIBA: "ISAS Balloon-Drop Microgravity Experiment System", Journal of The Japan Society of Microgravity Application, vol.24, no.3, pp.301-306, 査読あり, 2007

15. Y. Inatomi, T. Ishikawa, T. Hashimoto, S. Sawai, H. Kobayashi, K. Fujita, N. Bando, M. Goto, I. Jimbo and H. Yamakawa: "First test flight of microgravity experiment system using free-fall capsule released from high altitude balloon", Journal of the Japan Society of Microgravity Application, Vol.24, pp. 296-300., 査読あり, 2007
 16. 小林弘明, 吹場活佳, 本郷素行, 佐藤哲也, 溝端一秀: "スパイク付き飛しょう体の空力特性制御に関する実験研究", 日本航空宇宙学会誌, Vol.55, No.644, pp.418-425, 査読あり, 2007.
 17. 稲富裕光, 石川毅彦, 橋本樹明, 澤井秀次郎, 斎藤芳隆, 吉光徹雄, 坂井真二郎, 小林弘明, 藤田和央, 坂東信尚, 後藤雅享, 神保至, 山川宏: 高高度気球からの微小重力実験用自由落下カプセルの第一回飛行試験: 日本マイクロ重力応用学会誌 Vol.23, No.4, pp197-203, 査読あり, 2006.
 18. K. Fujita, S. Sawai, H. Kobayashi, N. Tsuboi, H. Taguchi, T. Kojima, K. Okai, T. Sato, K. Miyaji: "Precooled Turbojet Engine Flight Experiment Using Balloon-based Operation Vehicle", Acta Astronautica, 査読あり, 2006
- [学会発表] (計 50 件)
1. Tatsuaki Hashimoto, "Development of Balloon-based Micro-gravity Experiment System", 60th International Astronautical Congress, Daejeon, Korea, October 2009
 2. 橋本樹明, 吉光徹雄, "気球落下式無重力実験におけるモニターデータのアウトリーチへの利用可能性", 第 53 回宇宙科学技術連合講演会, 京都大学, 京都, 2009 年 9 月
 3. Shigehito Shimizu, "Design of Multi-sensor Attitude Determination System for Balloon-based Operation Vehicle", 27th International Symposium on Spacecraft Technology and Science, Tsukuba, Japan, July 2009
 4. Y. Maru, "Flight Trajectory Analysis of a Supersonic Flight Demonstrator for a Precooled Turbojet Engine", 27th International Symposium on Spacecraft Technology and Science, Tsukuba, Japan, July 2009
 5. Tatsuaki Hashimoto, "Progress of Balloon-based Micro-gravity Experiment System", 26th International Symposium on Spacecraft Technology and Science, Hamamatsu, Japan, June 2008
 6. Shouhei Kadooka, "Discussion about Supersonic Aviation and Pullout Control in Free-Fall Flying Object from High Altitude Balloon", 26th International Symposium on Spacecraft Technology and Science, Hamamatsu, Japan, June 2008
 7. S. Sawai, "Development of Supersonic Vehicle for Demonstration of a Precooled Turbojet Engine", 26th International Symposium on Space Technology and Science, Hamamatsu, Japan, June 2008
 8. Nobutaka BANDO, "Control System of Balloon based-Operation Vehicle(BOV) for Micro Gravity Experiment", 26th International Symposium on Spacecraft Technology and Science, Hamamatsu, Japan, June 2008
 9. 藤田和央, "高々度気球を用いた予冷ターボジェットエンジン飛行実験機の空力性能", 第 40 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2008, 東北大学片平キャンパスさくらホール, 仙台, 2008 年 6 月
 10. P.J. Buist, "GPS Field Experiment for Balloon-based Operation Vehicle", 18th Astrodynamics symposium, ISAS, Sagamihara, Japan, July 2008,
 11. Kazuhisa Fujita, "Aerodynamic Design of Balloon-Based Operation Vehicle for Precooled Turbojet Engine Demonstration", 15th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, Dayton, Ohio, April 2008
 12. 澤井秀次郎, "気球を利用した極超音速飛翔体の技術実証構想", 日本航空宇宙学会年会講演会 2008, 2008 年 4 月
 13. Nobutaka Bando, "Control System of New Micro-gravity Experimental System "BOV" from High Altitude Balloon", The 10th International Workshop on Advanced Motion Control, Trento, Italy, March 2008
 14. 門岡昇平, "高高度気球を用いた微小重力実験装置の制御系開発 -実験報告と超音速飛行のための引き起こし制御の検討-", 平成 19 年度電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会, ISAS, 相模原, 2007 年 11 月
 15. 橋本樹明, "高々度気球を用いた無重力実験システム 2 号機のフライト結果", 第 51 回宇宙科学技術連合講演会, 札幌コンベンションセンター, 札幌, 2007 年 10 月

16. Nobutaka Bando, "Development of control system for micro gravity experimental system from high altitude balloon", 58th International Astronautical Congress, Hyderabad, India, September 2007
 17. 稲富裕光: "宇宙での材料科学実験", 第 41 回応用物理学会スクール, 宇宙環境を利用した科学技術の新展開, 北海道工業大学, 北海道 (招待講演), 2007 年 9 月
 18. 田島賢一, "気球を用いた微小重力実験機におけるアクチュエータの非線形性を考慮したスラスト分配則に関する研究", 電気学会産業計測制御研究会, 長岡技術科学大学, 長岡, 2007 年 3 月
 19. 井上敦史, "気球利用微小重力実験機の姿勢制御用ジェットの過渡特性に関する数値解析", 第 20 回数値流体力学シンポジウム, 名古屋大学, 名古屋, 2006 年 12 月
 20. 橋本樹明, "高々度気球を用いた無重力実験システムの動作確認試験", 第 50 回宇宙科学技術連合講演会, 北九州, 福岡, 2006 年 11 月
 21. Y. Inatomi, "First test flight of microgravity experiment system using free-fall capsule released from high altitude balloon", Drop Tower Days 2006, Tsukuba, Japan, October 2006
 22. 内山卓, "気球落下式微小重力実験機の基本空力特性について—エンジン、舵面の影響—", 第 38 回流体力学講演会, 室蘭工業大学, 室蘭, 2006 年 9 月
 23. 田島賢一, "高々度気球を利用した微小重力実験装置の開発とその実験報告", 日本機械学会年次大会, 熊本大学, 熊本, 2006 年 9 月
 24. 坪井伸幸, "微小重力実験機の空力特性に関する数値シミュレーション—エンジン付き形状について—", 日本流体力学学会年会 2006, 九州大学, 福岡, 2006 年 9 月
 25. Tatsuaki HASHIMOTO, "Micro-gravity Test System Using Free-fall Capsule From High Altitude Balloon, 25th International Symposium on Spacecraft Technology and Science, Kanazawa, Japan, June 2006
 26. K. Fujita, "Flight Demonstration of Subscale Precooled Turbojet Engine", 25th International Symposium on Space Technology and Science, Kanazawa, Japan, June 2006
 27. K. Fujita, "Precooled Turbojet Engine Flight Experiment Using Balloon-based Operation Vehicle", 56th International Astronautical Congress, Fukuoka, Japan, October 2005
 28. 藤田和央, "気球を用いた微小重力実験機の空力特性", 第 49 回宇宙科学技術連合講演会, 広島, 2005 年 10 月
 29. 坪井伸幸, "微小重力実験機の空力特性に関する数値シミュレーションの研究", 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2005, 東京, 2005 年 6 月
 30. 橋本樹明, "高々度気球からの落下体を用いた微小重力実験システム", JASMAC-20, フェニックスプラザ, 福井, 2004 年 11 月
 31. Shujiro Sawai, "Conceptual Study on Concise Flight Test for Development of Space Plane Powered by Air Breathing Engine", 55th International Astronautical Congress, Vancouver, Canada, October, 2004.
- [その他]
- < 研究代表者、連携研究者作成による Web >
<http://www.isas.jaxa.jp/home/hashimoto-lab/Hashimoto-lab-research-j.html#bov>
<http://www.isas.jaxa.jp/home/sawai/research/BOV/bov.html>
http://www.isas.jaxa.jp/home/iss/ISS_science_project_office.files/html_file/ishikawa/Is hikawaLab.htm
- < 新聞掲載 >
- ・朝日新聞 (2007 年 5 月 11 日夕刊) 「無重力安上がり」
 - ・十勝毎日新聞 (2009 年 5 月 27 日夕刊) 「大気球空をぐんぐん」
 - ・読売新聞 (2009 年 5 月 28 日朝刊) 「無重力装置作動」
 - ・北海道新聞 (2009 年 5 月 28 日朝刊) 「無重力 35 秒間」
 - ・北海道新聞 (2009 年 5 月 28 日朝刊) 「宇宙機構が大気球打ち上げ成功」
- < 主催行事 >
- 2010 年 3 月 14 日、「宇宙が紀南にやってくる」No.2、和歌山大学との共催、和歌山県串本町文化センター、参加人数約 140 名
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
橋本 樹明 (HASHIMOTO TATSUAKI)
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部
宇宙探査工学研究系・教授
研究者番号: 70228419
- (2) 研究分担者
なし

(3)連携研究者

斎藤 芳隆 (SAITO YOSHITAKA)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部大気観測センター・准教授
研究者番号：50300702

石川 毅彦 (ISHIKAWA TAKEHIKO)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部宇宙環境利用科学研究系・准教授
研究者番号：00371138

稲富 裕光 (INATOMI YUKO)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部宇宙環境利用科学研究系・准教授
研究者番号：50249934

澤井 秀次郎 (SAWAI SYUJIRO)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部宇宙航行システム研究系・准教授
研究者番号：39270440

坂井 真一郎 (SAKAI SHIN' ICHIRO)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部宇宙探査工学研究系・准教授
研究者番号：10342619

吉光 徹雄 (YOSHIMITSU TETSUO)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部宇宙情報エネルギー工学研究系・准教授
研究者番号：60332152

小林 弘明 (KOBAYASHI HIROAKI)
(H17. 4. 1～)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・研究開発本部ジェットエンジン技術研究センター・研究員
研究者番号：50353420

藤田 和央 (FUJITA KAZUHISA)
(H18. 4. 1～)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・研究開発本部未踏技術研究センター・主任研究員
研究者番号：90281584

坂東 信尚 (NOBUTAKA BANDO)
(H18. 4. 1～)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部宇宙探査工学研究系・助教
研究者番号：10415896

山川 宏 (YAMAKAWA HIROSHI)
(H16. 4. 1～H19. 3. 31)
京都大学・生存圏研究所・教授
研究者番号：50260013