

クリーンベンチの開発（その1）

Development of Cleanbench No.1

宇佐美 論⁽¹⁾ 村上 敬司⁽¹⁾ 藤本 信義⁽¹⁾ 越川 尚清⁽¹⁾
Ron Usami Keiji Murakami Nobuyoshi Fujimoto Naokiyo Koshikawa

安部 隆介⁽²⁾ 林 恭輔⁽²⁾ 伊藤 正巳⁽²⁾ 園部 正義⁽²⁾
Ryusuke Abe Kyouosuke Hayashi Masami Ito Masayoshi Sonobe

- (1) 宇宙開発事業団 宇宙環境利用システム本部 宇宙実験グループ
National Space Development Agency of Japan, Office of Space Utilization
Systems, Space Experiment Department
- (2) 株式会社 日立製作所 日立工場
Hitachi, LTD. Hitachi Works

Abstract

Operation of life science experiments in a closed environment such as a space station requires a special work bench to prevent the biohazard. Japanese Experiment Module will offer a general purpose cleanbench with one fourth of a double rack for life science experiments. The cleanbench has capabilities of keeping sterilized environment, supporting handlings of various samples, observation of samples with phase contract microscopes and cell fusion. Temperature, cleanliness and sterilization in the working chamber can be controlled to the optimum condition for the experiment.

Under microgravity, convection current will not occur. The air flow pattern in the working chamber where experiment instruments are placed is observed to understand and predict the influence of microgravity.

Also, the performance of the Floating Object Retrieving Unit (FORU) was tested. FORU is designed to retrieve the floating object such as liquid or solid released by accident in the working chamber.

In August, 1993, above 2 experiments were conducted during parabolic flights using MU-300 aircraft.

1. 緒言

宇宙ステーションの日本実験モジュール（JEM）に搭載予定で、ライフサイエンス系の実験に用いられる宇宙用クリーンベンチを開発中である。クリーンベンチは細胞等を取り扱う実験テーマに対して、無菌操作に必要なクリーンな空間を提供すると共に、顕微鏡下での精密操作などに必要な機器を提供する装置である。

クリーンベンチの作業チャンバ内では、実験に最適な温度と必要なクリーン度を

保つため、冷却あるいは加熱した流体を循環させ、同時にHEPAフィルタを用い微粒子の除去を行っている。また、作業チャンバ内には、位相差顕微鏡、マイクロマンピュレータ等の実験機器が設置してある。

微小重力下では、温度差による空気の対流が起こらない等、重力下とは異なった現象が起こる。これらが作業チャンバ内に設置してある実験機器の放熱特性、微粒子除去特性等へ与える影響を把握し、予測するため、航空機実験により微小重力下におけるクリーンベンチを模擬したスケールモデルの流体の挙動を観察した。この流体の挙動を机上の解析結果と比較し、解析の有効性を確認し、クリーンベンチの最適な温度制御系の設計に役立てる。

また、微小重力下において、クリーンベンチの作業チャンバ内で、操作ミス等により液体もしくは固体が飛散した場合に、浮遊物を回収する浮遊物回収装置の性能の検証を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置

(1) 流れ可視化装置

図1に流れ可視化装置のブロック図を示す。実験装置の概念図を図2に示す。流れの撮影方向、観察面を図3に示す。

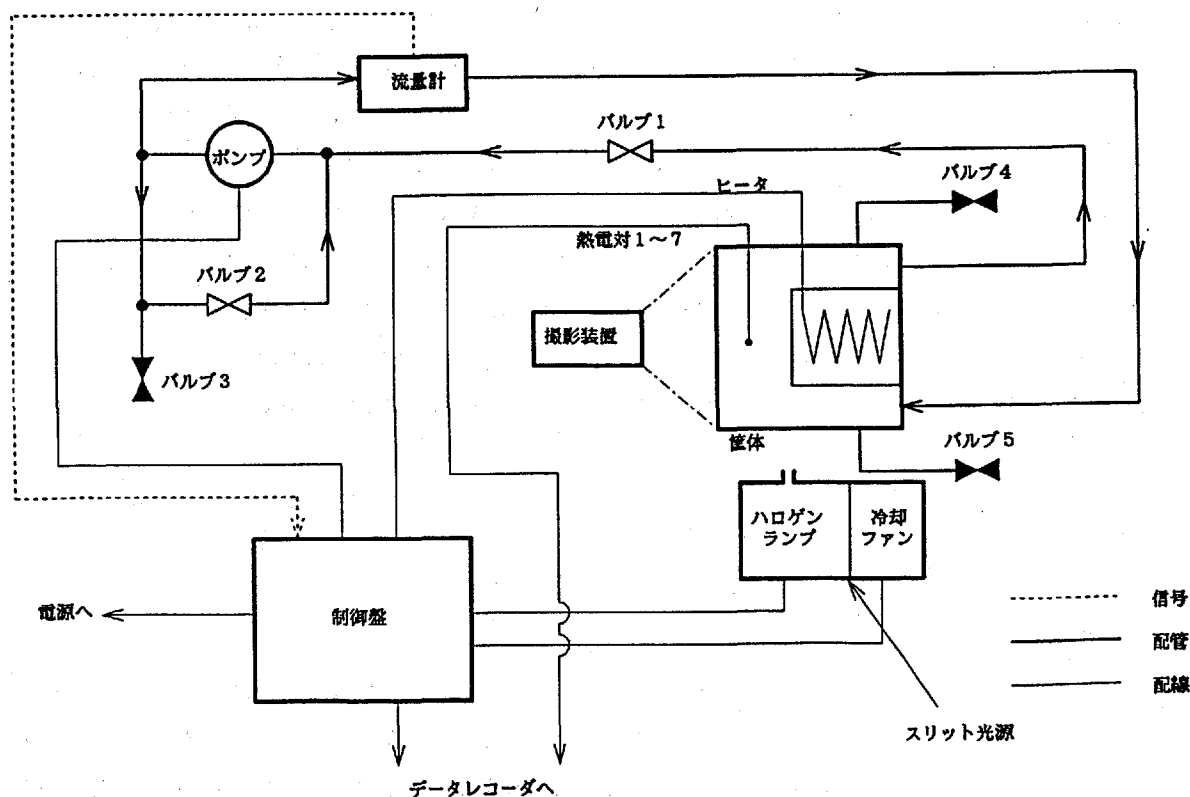


図1 流れ可視化装置ブロック図

Fig. 1 Block Diagram of Flow Visualization Device

- (a) 流れの相似則にしたがい 1/4スケールのアクリル製の模擬作業チャンバを作成し、模擬作業チャンバ内部には顕微鏡の模擬品を設置した。
- (b) 流体には水を用い、アルミニウム粉をトレーサとした。
- (c) 暗幕を取付け周囲を暗くして、ハロゲンランプを用いたスリット光源（幅：2 mm）を用いて、模擬チャンバの観察面をライトアップし、広角レンズを取り付けたHi 8方式のビデオカメラにより撮影した。
- (d) 作業チャンバ内に設置してある実験機器からの発熱はヒータにより模擬した。
- (e) 模擬作業チャンバ内の7個所に熱電対（T型）を設置し、各部の温度をモニタした。
- (f) 流量の調整は図1のバルブ1、バルブ2の開閉により行った。
- (g) 流量及び発熱量は図1の制御盤の前面に表示した。
- (h) 流量計は渦流量計を用いた。
- (i) 水の交換、エア抜き等は図1のバルブ4、バルブ5により行った。

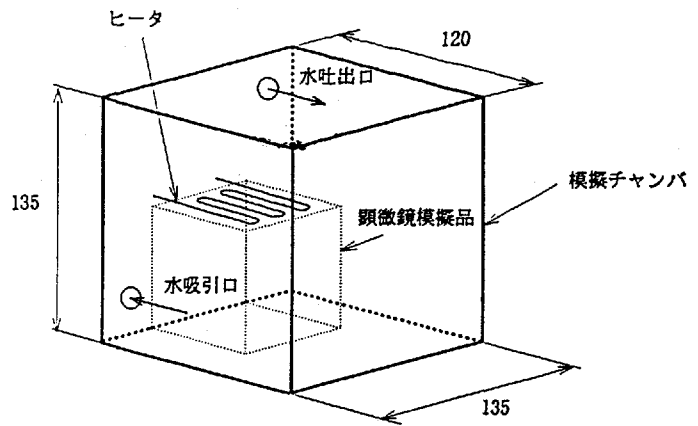


図2 流れ可視化装置概念図
Fig. 2 Conceptual Drawing of Flow Visualization Device

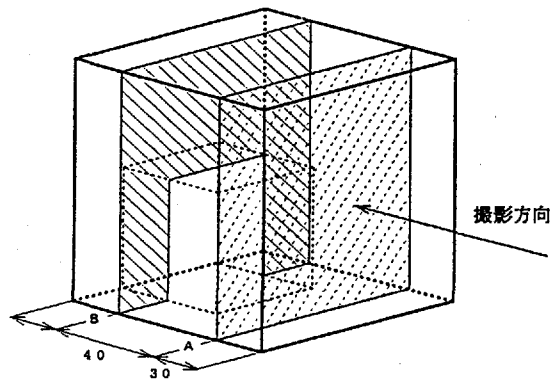


図3 撮影方向及び観察面
Fig. 3 Direction of Picture and Observed Plane

(2) 浮遊物回収装置

図4に浮遊物回収装置のブロック図を示す。

- (a) 模擬作業チャンバ内に吸引ノズル、浮遊物飛散装置を設置した。
- (b) 液体及び固体の浮遊物はセパレータにより分離した。
- (c) 浮遊物の飛散は自動式及び手動式にした。
- (d) ノズルは直径2 cmでテフロン製。

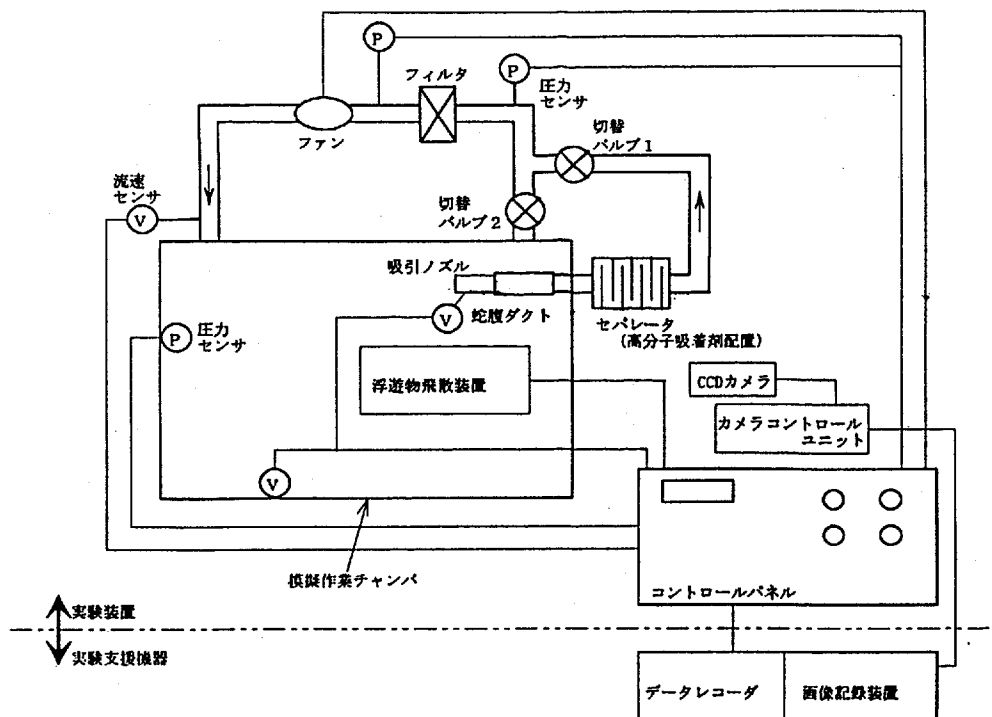


図4 浮遊物回収装置のブロック図

Fig. 4 Block Diagram of FORU

2.2 方法

(1) 流れ可視化実験

適量のアルミ粉を精製水に懸濁させた。アルミ粉が浮上しないように界面活性剤として洗剤を投入した。バルブ4から空気を抜きながらバルブ5より模擬チャンバに水を充填した後、バルブを閉じ、ポンプの電源をオン、オフし、ポンプ及び配管内にある気泡を浮上させバルブ4より除去した。この時の周囲の気圧は1気圧である。

- (a) 実験開始時の水の初期温度は航空機の周囲の温度と同じで約20℃、圧力は約0.9気圧だった。
- (b) 「微小重力2分前」のコールでヒータ及び、ポンプの電源をいれた。
- (c) 微小重力終了時にヒータ、ポンプの電源を切った。
- (d) 観察面をライトアップするスリット光源はレール上を移動しねじにより固定した。
- (e) 流量及び、発熱量は手動でパラボリックフライトの合間の水平飛行時に調整した。

(2) 浮遊物回収実験

- (a) 「微小重力30秒前」のコールで浮遊物開放の準備を行った。
- (b) 微小重力開始と同時に浮遊物の開放を行った。
- (c) 浮遊物の開放後、回収を行った。

2.3 実験条件

(1) 流れ可視化装置

(a) ヒータ発熱量

0 W、50 W

(b) 流速

0 ~ 4.0 l/min

(c) 観察面

2面。図3参照。

(2) 浮遊物回収装置

(a) 浮遊物

① 固体：ビーズ各種、ナット、
スポンジ

形状：球、円筒、その他

大きさ：直径 2 ~ 10 mm

質量：0.01 ~ 1 g / 個

② 液体：水

(3) ノズル先端の流速

1.86 m/s

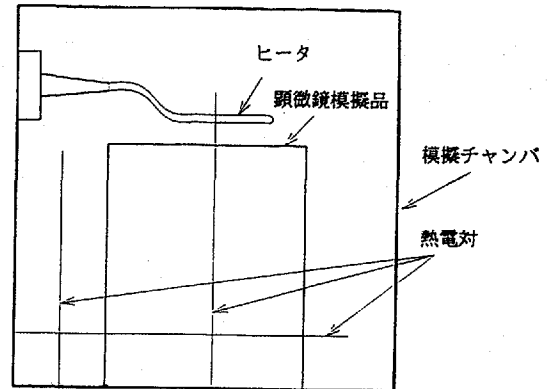


図5 観察面写真説明図

Fig. 5 Explanation of Result

3. 実験結果及び考察

(1) 流れ可視化実験

観察面写真説明図を図5に、図6~図9に実験結果、図10~図11に流れの方向の概略図を示す。

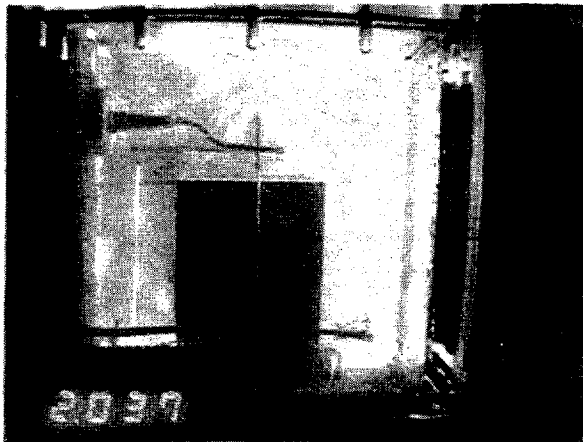


図6 2G、2l/minでの流れ (微小重力前)

Fig. 6 Flow Pattern (2G, 2l/min)

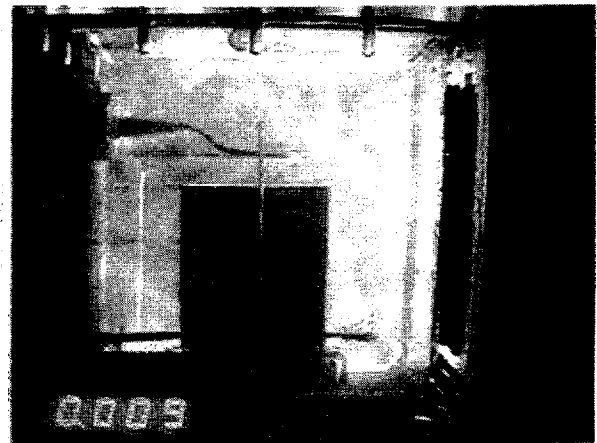


図7 0G、50W、2l/minでの流れ (微小重力中)

Fig. 7 Flow Pattern (2G, 50W, 2l/min)

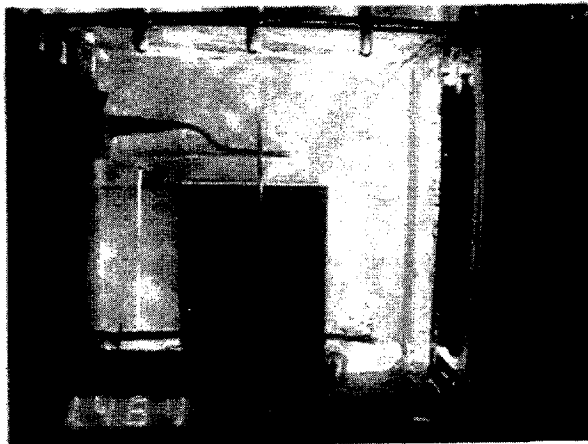


図 8 1.5G、50W、2ℓ/minでの流れ（微小重力後）
Fig.8 Flow Pattern(1.5G,50W,2ℓ/min)

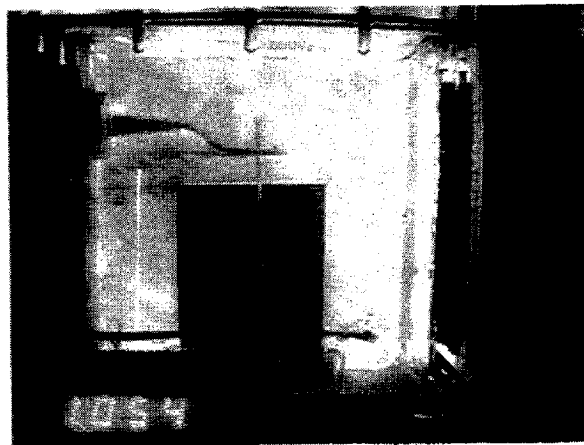


図 9 1.0G、50W、2ℓ/minでの流れ（水平飛行）
Fig.9 Flow Pattern(1.0G,50W,2ℓ/min)

図 6 はパラボリックフライト前の 2 G、発熱量 50W、2 ℓ / min での流れを示す。
図 6 ではヒータの上部に熱による対流が確認できる。

図 7 は微小重力下、発熱量 50W、2 ℓ / min の場合の流れを示す。微小重力に
なる前 1 G ~ 2 G の時は、ヒータの上部に熱による対流が起きているが、0 G にな
ると対流が 1 ~ 2 秒以内に見えなくなることを確認した。

図 8 はパラボリックフライト後の 1.5G、発熱量 50W、2 ℓ / min の場合の流れを
示す。

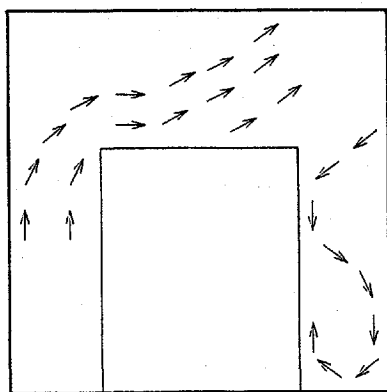


図 10 図 6 の流れ方向概略図
Fig. 10 Conceptual Drawing of Flow
Pattern of Fig. 6

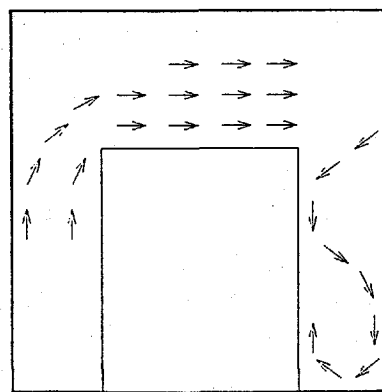


図 11 図 7 の流れ方向概略図
fig. 11 Conceptual Drawing of Flow
Pattern of Fig. 7

図9は水平飛行時(約1G)、発熱量50W、2ℓ/minの場合の流れを示す。発熱なしの場合、微小重力になる前後に加速度が2Gから0G、0Gから1.8Gと変化しても、流れには感知できるほどの大きな変化は見られなかった。

また、流量が0で発熱量が0の場合、加速度が2Gから0G、0Gから1.8Gと変化しても流体の動きはほとんどなかった。さらに、流量が0で発熱量が50Wの場合、0Gになると対流が1～2秒以内に止まることを確認した。

以上のように重力下及び微小重力下で、ヒータからの熱が模擬チャンパ内の流れに及ぼす影響を確認した。

(2) 浮遊物回収実験

微小重力下での浮遊物(水)の回収状況を図12～図15に示す。

- (a) 各種のビーズが回収可能であることを確認した。
- (b) 小さく、軽いビーズ、及びスポンジは静電気によりアクリル製の模擬チャンパに付着して回収ができないものがあった。
- (c) 質量が大きく、速度の遅いナットはノズルの先端より約1 cmの範囲内にこないと回収できなかった。
- (d) 模擬チャンパ内で、飛散速度の早いビーズは、ノズル先端をビーズに合わせることができず、回収できない場合もあった。
- (e) 液体は放出した後、ほとんどがすぐに模擬チャンパ壁面に付着した。壁面に付着した液体は、ノズルで回収できたが、小さなしずく(直径: 3 mm、高さ: 1 mm程度以下)までは回収できなかった。



図12 シリンジにて水を放出中
Fig.12 Releasing water by Syringe

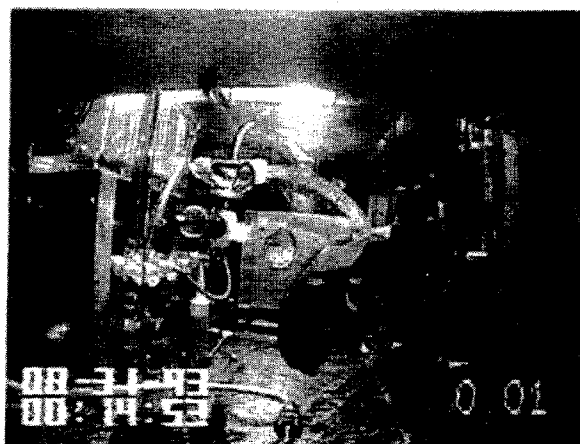


図13 放出終了しノズルを取りに行くところ
Fig.13 Grabbing the Nozzle

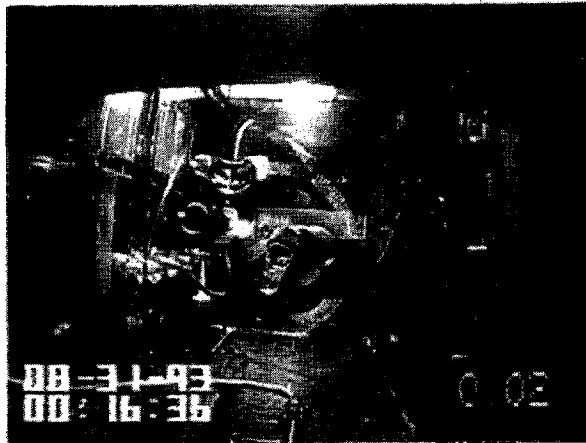


図14 壁面に付着している水を回収中
Fig.14 Retrieving water on the
Surface

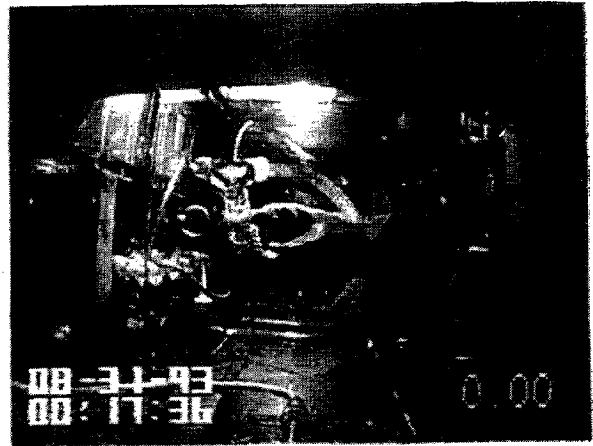


図15 壁面に付着している水を回収
Fig.15 Retrieving water on the
Surface

4. 結言及び今後の課題

(1) 流れ可視化実験

地上試験及び今回の航空機実験により微小重力下でのクリーンベンチ内の流れの予測方法が明確になると考えられる。

地上実験、航空機実験ともに表1の重力及び発熱量の組合せにより実験を行ったが、結果はタイプA：対流あり、タイプB：対流なしの2通りに分類されることが考えられる。

表1

重力 (G)	発熱量 (W)	
	0	150
0	B ₁	B ₂
1	B ₃	A

重力、発熱量の違いによりタイプBにサフィックスを付け、以下に考察を示す。

(a) 無重力下では熱による対流が無いためB₁とB₂は同じ結果になると考えられる。

(b) 0Gでも1Gでも熱源がなければ流れは同一になりB₁とB₃は同じ結果になると考えられる。

(c) ゆえに、(a) (b) よりB₁、B₂、B₃は同一な流れ方をすると考えられる。

また、上記(a) (b) (c)を検証するため航空機実験、地上実験を実施した結果、B₁、B₂、B₃とも同一な流れ方をするという結果が得られた。

以上より、微小重力下での流れを解析等により予測する場合は、解析のパラメータの重力項をゼロにするか発熱量をゼロとすればよい考える。

本実験で確認した重力下と微小重力下での流れの違いを解析結果と比較・検討することにより、解析手法の確立の見通しを得た。

(2) 浮遊物回収装置

本実験により、微小重力下でのクリーンベンチ内の浮遊物（液体、固体）の回収方法の基礎設計データを得ることができ、微小重力下で用いるのに最適な浮遊物回収装置の設計・製作の見通しを得た。以下に、浮遊物回収装置の検討課題を示す。

- (a) 回収後の固体浮遊物、液体浮遊物の処理方法を検討する。
- (b) 静電気により壁面に付着し回収できなかった浮遊物の処理を検討する。
- (c) 今回のノズルで回収不可能だった液体の小滴の処理方法を検討する。

謝辞

本実験を行うにあたり、多大なご支援を賜った財団法人宇宙環境利用推進センター及びダイヤモンドエアサービス株式会社の方々に深く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 中村富久、他：パラボリックフライト，Vol.3 No.2 (1993)
- (2) 流れの可視化学会：流れの可視化ハンドブック (1986)