

# 航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-991

落下塔による低重力環境試験の改善

荻原 婆千男 ・ 吉原 正 一 ・ 東 久 雄

1988 年 8 月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 実験装置および測定方法 .....	2
3. 実験結果および考察 .....	4
3－1. 落下中の加速度特性 .....	4
3－2. 切離し時の振動特性 .....	6
3－3. 着地時の衝撃特性 .....	8
3－4. 低重力環境の実験例 .....	11
4. ま と め .....	12
5. 参考文献 .....	16

# 落下塔による低重力環境試験の改善\*

荻原 綾千男\*\*    吉原 正一\*\*    東 久雄\*\*

## Improved Drop Tower Performance for Microgravity Environment Experiments

Sachio OGIWARA, Shohichi YOSHIWARA, and Hisao AZUMA

Space Technology Research Group

### ABSTRACT

The non-gravity environment of space provides such attractive features as zero convection and zero buoyancy due to density gradient, and even in a microgravity environment several interesting phenomena such as Marangoni flow motion, wet skin on the surface, etc., take place but can not be observed on the earth with the gravity acceleration effect. To create such a microgravity environment, various techniques have been attempted using a drop tower, and flights on space shuttle, rocket, aircraft, and from balloon, each of which has been successfully applied for the purpose of the respective experimental surveys. Among these types, the drop tower test rig has the capability of easily repeating the required experiments at an appropriate low gravity level, though the duration of microgravity is not long. The present report describes an improved drop tower method to better yield a low gravity environment and an effective damping of landing shock for more accurate measurements during very short drop testing on the order of one second.

### 1. まえがき

近年我が国においても無重力環境における新材料製造を始めとする種々の実験への関心が高まっており、スペースシャトル、宇宙ステーションを利用した実験が行われようとしている。諸外国においてもすでに無重力環境での種々の実験が行われている状況にある<sup>1) 2)</sup>。無重力環境では浮力が無く密度差による対流が起きない、等の特徴があり、地上では重力の影響で発生しにくいマランゴニ対流、ぬれ、等の現象が顕著に現われてくる。無重力状態を実現する方法として、スペースシャトル等、宇宙機による

地球周回飛行、ロケットや航空機による弾道飛行、気球からの落下、および落下塔を用いる方法等が挙げられる。これら各種の方法は実験、費用、低重力環境レベルとその継続時間等にそれぞれ異なった特徴があり、研究の目的に応じた形態で利用されている。これらの方法の違いによる低重力レベルと継続時間を図1に比較する。

このうち落下塔は実験時間は短い、簡便で実験の繰り返しが容易であり、良好な低重力レベルが得られる。また落下塔では、ロケット、航空機等と異なり実験に入るまで、実験装置に大きな加速度が加わらないなどの利点がある。今回の実験に用いた落下塔は表1の諸元を示されるように、落下距離9 mで落下時間約1.3秒の能力を持っている。このよう

\*昭和63年7月19日 受付

\*\*宇宙研究グループ

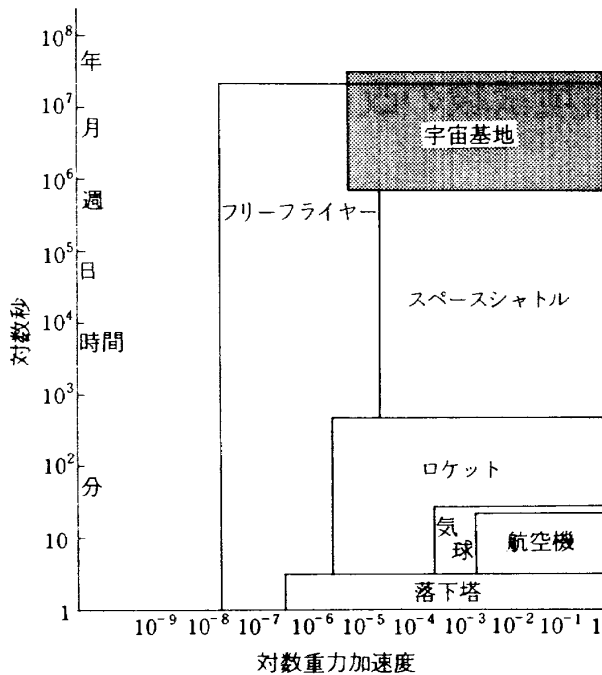


図1 低重力レベルと継続時間の比較

表1 落下塔概要一覧

高 さ	9 m
低 重 力 時 間	1.35 秒
着 地 方 法	砂
低 重 力 環 境	$10^{-3}$ G
着 地 衝 撃	30 G 以下
実験装置搭載 ス ペ ース	$\phi 50$ cm, h 50 cm

な小型の落下塔を利用して実験を行う場合、その有効性を高めるために落下ケース切離し時の振動を極力減らし、切離し後すみやかに振動を減衰させることが必要となる。また、落下ケースに塔載した測定機器を保護するためには着地時に生じる衝撃の影響を出来る限り避ける必要がある。本報告では落下ケースを製作して一連の落下実験を行った中で、切離し時に発生する振動をすみやかに減衰させ、落下ケースの改良により低重力レベルを上げ、さらに着地衝撃を緩和する効果的な方法が得られたのでそれらについて述べる。

## 2. 実験装置および測定方法

本実験に使用した落下塔は、図2に示すように、落下ケースの着地衝撃を緩和するのに深さ1.5 mある土砂を用いている。落下ケースには初期の実験では一重のケースを用いたが、その改良モデルとして二重のケースを試作した。一重ケースは、図3に示すように直方体のアルミ製で重量110 kg、底に槍が取り付けられている。一方、二重ケースは、図4に示すように円筒形のもので、重量170 kg、底の形状は円錐の形をしている。吊り下げ時は内側ケースに固定した吊り下げ棒が切り離し装置に取り付けられている。落下中は外側ケースは空気抵抗を受けるが内側ケースは外側ケースと独立した状態になり、空気抵抗を受けにくい構造になっている。図5の写真は落

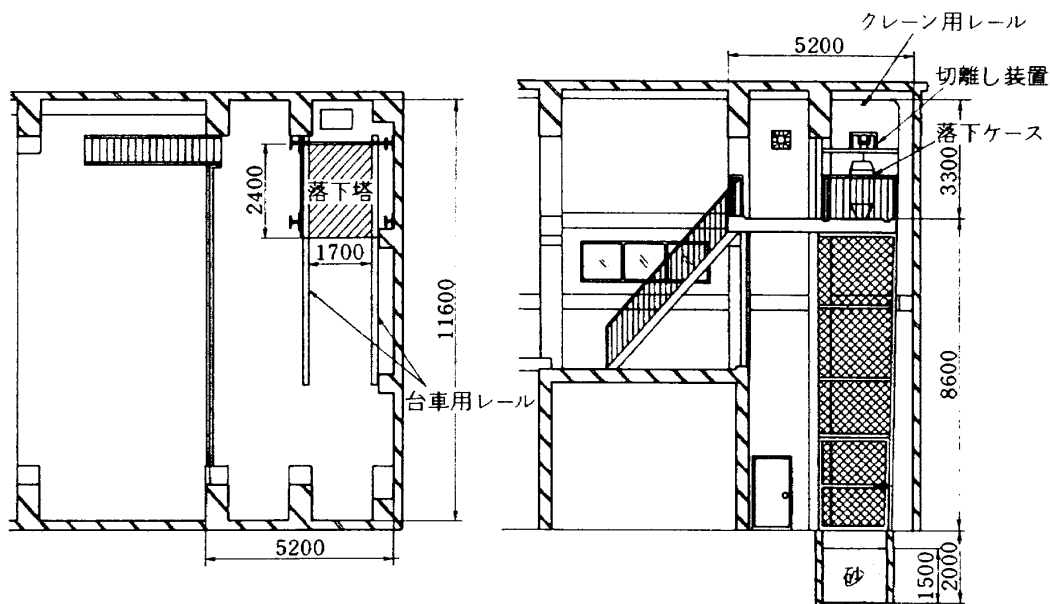


図2 落下塔概略図

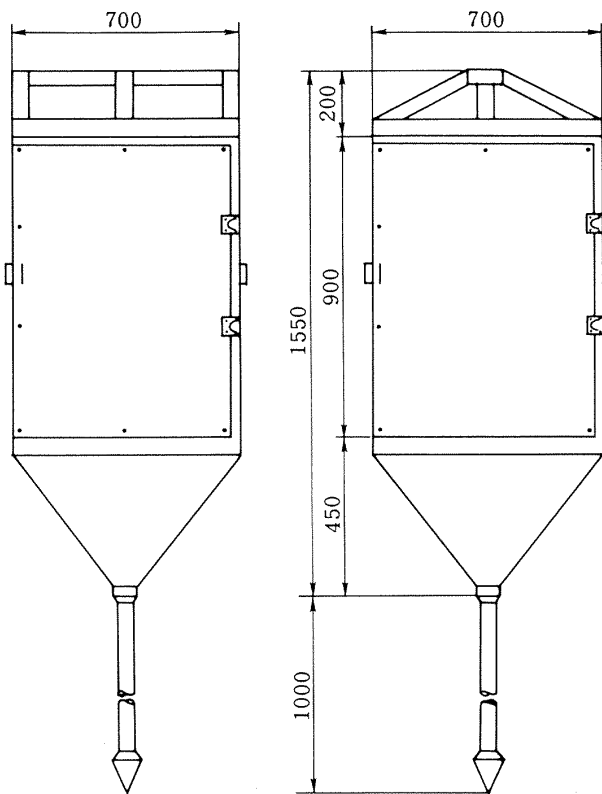


図3 一重落下ケース

下ケースを切離し装置に吊り下げた時の状況を示す。

切離し装置は、図6に示すように、落下ケースの吊り下げ棒を支えている板と、その板が落下開始時まで開かないように支えているシアーピン (Shear pin) を切断し、板を下方に開かせるためのピストンから構成されている。実験操作のシーケンスでは、シアーピンは切離しまで落下ケースの重量を支え、切離し信号と共に短時間で切断される。従ってシア

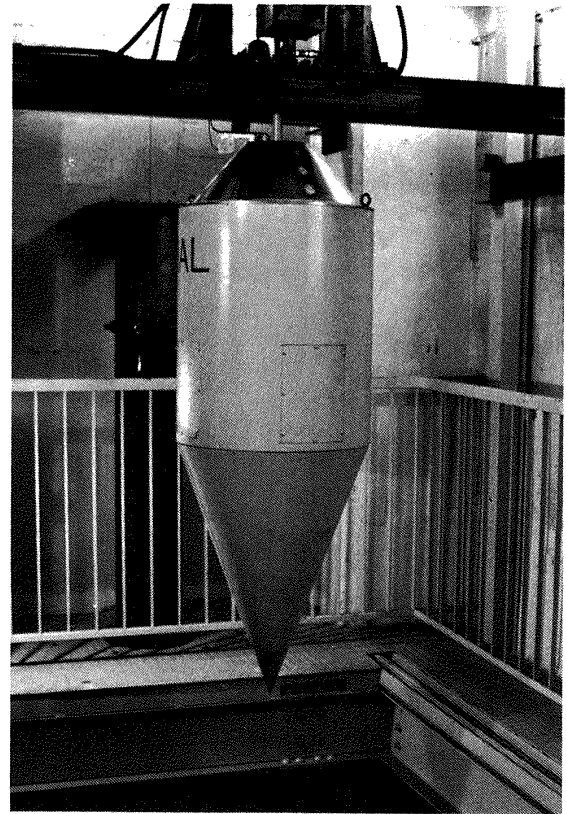


図5 落下ケース吊り下げ

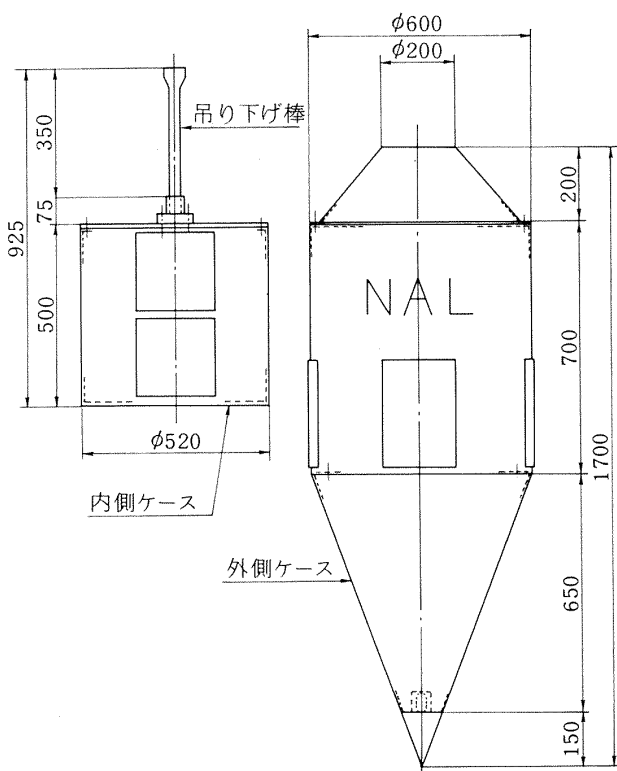


図4 二重落下ケース

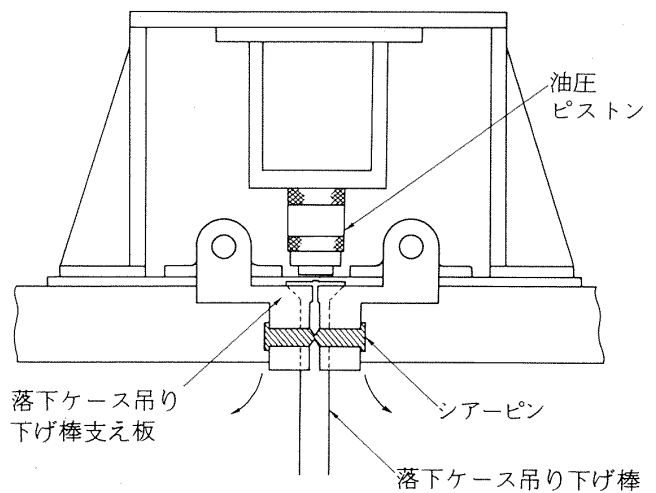


図6 切離し装置

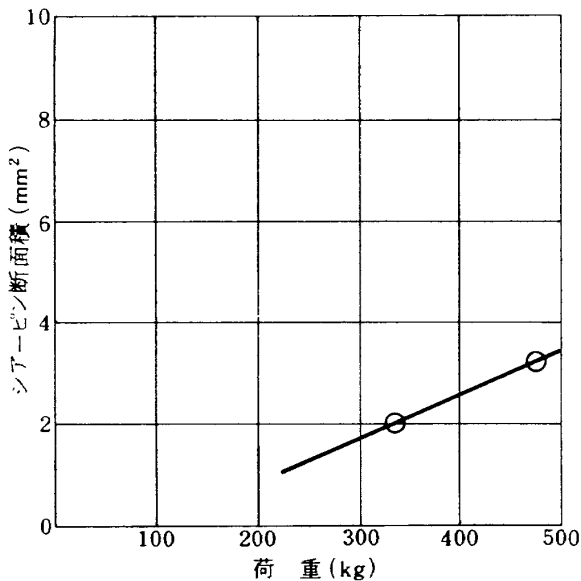


図7 シャピン切断特性

ーピンの太さは落下体の重量を支えるだけの強度をもつ径を選んでいる。図7は落下体の重量に耐え、かつ容易に切断されるシアピンの断面積について実験から求めた値を示す。

加速度の計測には3種類のセンサを使用した。重力加速度の測定には  $10^{-6}G$  オーダの検出が可能な、サーボ型加速度計JA-5 (日航電製) を、振動測定には圧電素子型センサTEAC-707 (TEAC製) を、着地衝撃力の測定にはストレンゲージ型センサAS-100A (共和電業製) をそれぞれ使用した。振動計測および着地衝撃計測用センサについては、保証期間中の校正値を用い、重力加速度計測センサの校正は、製造業者に依頼し、校正を行った。又出力に対し温度補正を加えた。

落下中の加速度を測定する場合、プログラムボードからデジタルボルトメータにトリガ信号を送り測定を開始する。同時に電磁弁にもトリガ信号が出され、切離し装置のピストンが下がる。加速度計の出力は信号ケーブルを用い落下ケース外にあるデジタルボルトメータに伝送され、計算機に取込んで処理される。信号ケーブルの影響は  $1 \times 10^{-3}G$  以下の値であり、今回の実験では影響がないことが確認された。落下ケース内の実験開始は、落下ケース上部に付けた光電スイッチからの信号を用いた。また映像信号は、時間との対応がとれるようにテレビタイマを介しVTRに集録した。図8に計測系統図を示す。

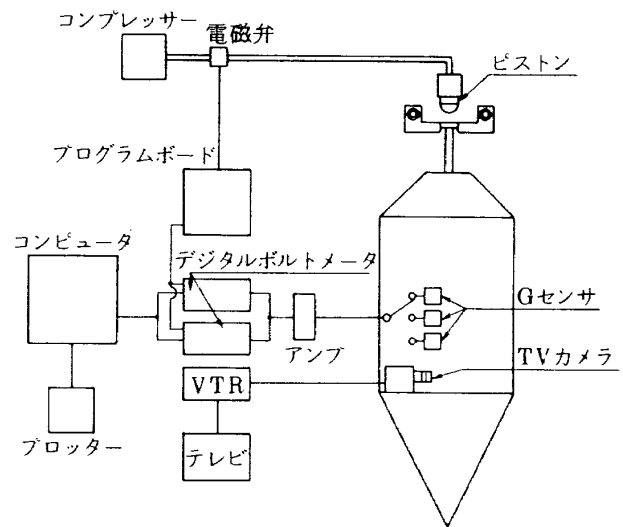


図8 計測系統図

### 3. 実験結果および考察

#### 3-1. 落下時の加速度特性

落下中に空気力により生じる加速度を出来るだけ低くおさえ、そのレベルの一様性を得るために、落下体の空気抵抗を受ける面積を出来るだけ小さくし、かつケースの継ぎ目を外側に出ないようにするなど落下中空気抵抗が最小になるように努めた。図9に実験から得られた一重ケースと二重ケースの加速度の比較を示す。一重のアルミケースの加速度は切離し後0.2秒で、約  $2 \times 10^{-2}G$  であり1.2秒の時点では、 $4 \times 10^{-2}G$  となり時間とともに空気抵抗により加速度が増大していく。抵抗面積を可能な限り小さくした二重構造の落下ケースでは、内側ケースの加速度について落下中約  $1 \times 10^{-3}G$  以下の値を保持することができた。落下中の内側ケースと外側ケースの動きの違いについては、外側ケースの内壁に取付けたスケールと、内側ケースに搭載したテレビカメラを用いて観測した。その結果、内側ケースは外側ケースの中で見かけ上約11cm落下した。

落下体の空気抵抗  $D$  は一般に

$$D = 1/2 \rho V^2 A C_D \quad (1)$$

$\rho$  : 空気の密度

$V$  : 落下体の速度

$A$  : 落下体の抵抗面積

$C_D$  : 空気抵抗係数

で表わされる。

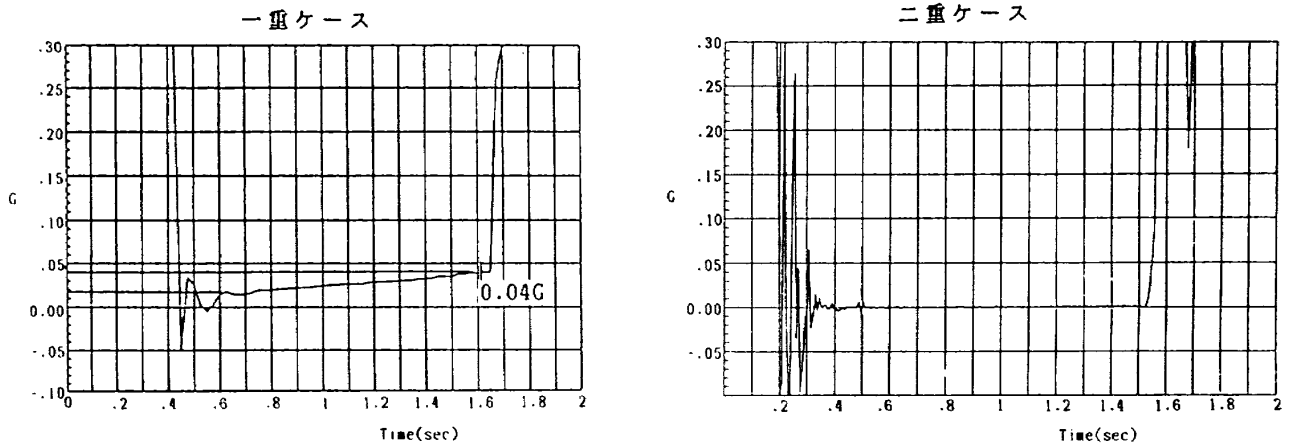


図9 一重ケースと二重ケースの加速度の比較

これを用いて、外側ケースと内側ケースの加速度を求める算出式は以下に示される。

$$M_o \alpha_o = M_o G - \frac{1}{2} \rho_o A_o C_{Do} V_o^2 \quad (2)$$

$$M_i \alpha_i = M_i G - \frac{1}{2} \rho_o A_i C_{Di} (V_i - V_o) |V_i - V_o| \quad (3)$$

添字  $o$ ,  $i$  はそれぞれ外側と内側ケースを意味する。

抵抗係数  $C_{Do}$  と  $C_{Di}$  の値は、それぞれ 0.71 と 0.84 とした<sup>3)</sup> 本計算は落下時間に刻みを与え、ルンゲクッタ解法により実行した。

自由落下における外側ケースと内側ケースとの加速度の比を考えると、式(2)と(3)から

$$\frac{G - \alpha_i}{G - \alpha_o} = \frac{A_i}{A_o} \cdot \frac{C_{Di}}{C_{Do}} \cdot \frac{M_o}{M_i} \left( \frac{V_i - V_o}{V_o} \right)^2 \quad (4)$$

が得られる。このことから両ケースの加速度は、相対速度の2乗で効いていくため、内ケースでの低重力条件が得られるのが判り、二重ケースにした利点が生まれる。

図10に上式より求めた外側ケースと内側ケースの加速度の時間的変化について計算値を比較し、図11に外側ケースに生じる加速度変化の実測値を示す。外側ケースの加速度について計算値と実測値を比較すると、切り離し後 1.2 秒で両方の値とも約  $1 \times 10^{-2}$  Gの加速度であり両者の一致がみられ、一方内側ケースについては両方とも約  $1 \times 10^{-3}$  G以下の加速度にあると考えられる。

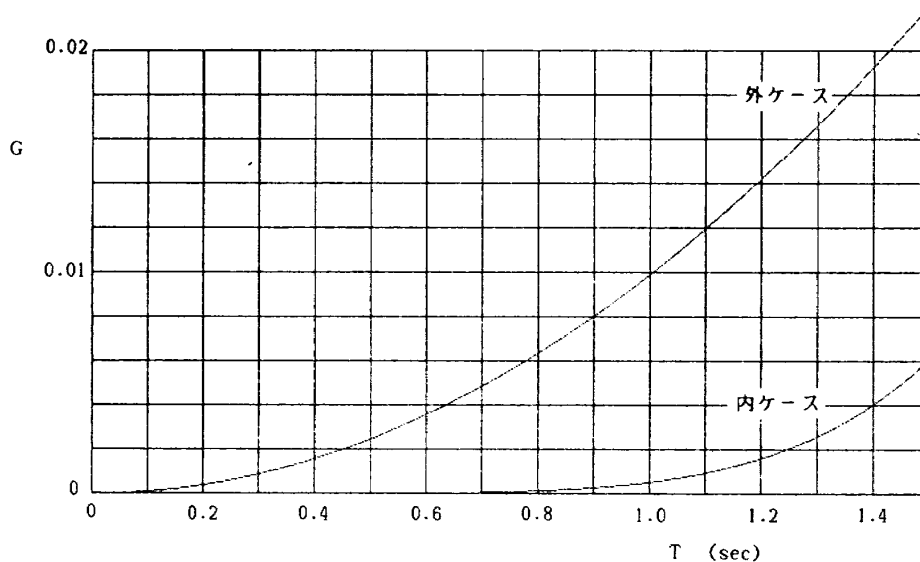


図10 二重ケースの内側ケースと外側ケースの加速度 (計算値)

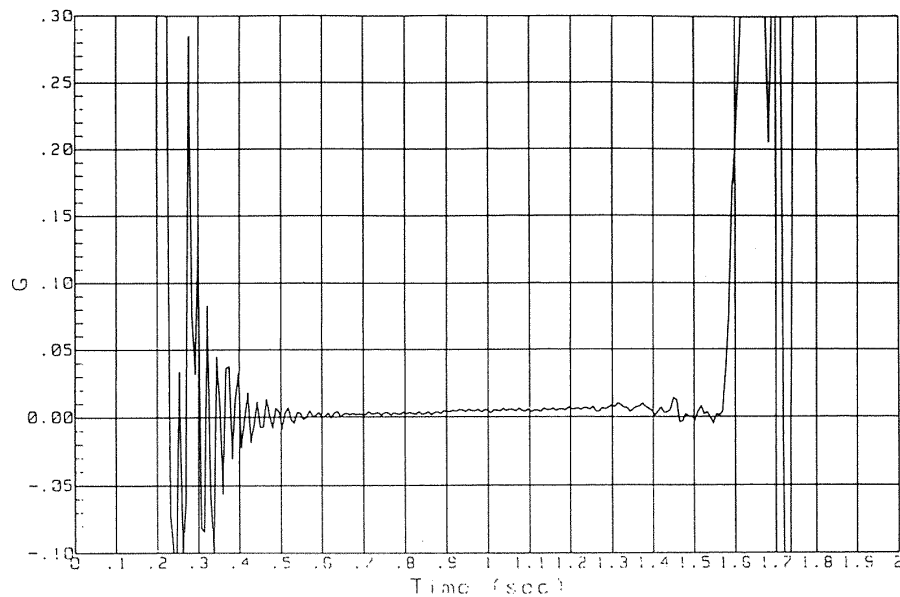


図 11 外側ケースの加速度 (計測値)

### 3-2. 切離し時の振動特性

落下ケースの落下時間は約 1.3 秒であり、この時間で低重力実験を行うには切離し時に振動の大きさを極力減らし、切り離し直後すみやかに減衰させなければならない。現在のシアーピンを切断する方法では切離し時の衝撃により、10 G 程度の振動が発生してしまう。振動発生要因として以下の 5 つの理由が考えられる。

- 1) 切離し装置と落下ケース吊り下げ棒との摩擦
- 2) シアーピンが切れる時の衝撃
- 3) 内側ケースと外側ケースが離れる時に一様に離れず振動を起こす。
- 4) 内側ケース上蓋の剛性が弱く振動を起こす。
- 5) 切離し装置のピストンが下がる時に吊り下げ棒支撑板を打つ

1), 2) の防止対策については現在の切離し方法を変更しなければ改善されない。しかし実験装置を搭載する内側ケースに切離し時の振動が伝わりにくくさせるために、図 12 に示すように、吊り下げ棒と内側ケースの接続部にゴム板を入れ振動の減衰を図った。3) の対策については、図 13 に示すように内側と外側ケースの間に 25 × 25 mm、厚さ 5 mm の正方形のゴム板を円周方向 8 カ所に入れ一様に離れる様にした。4) については、内側ケースの上蓋に粘土を張り付け切離し直後の振動減衰を図った。5) については切離し時にケースを支えている切離し装置の板に

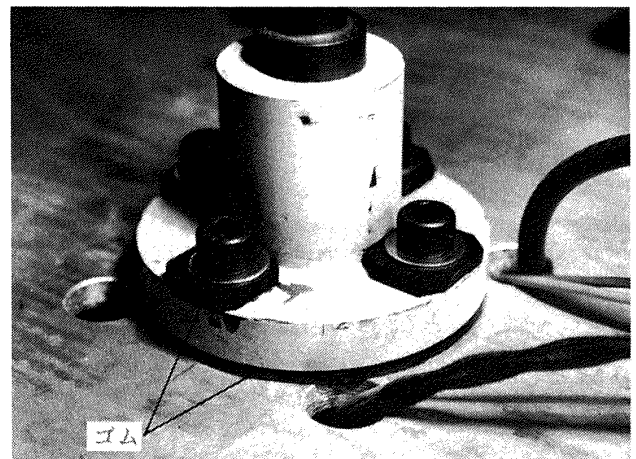


図 12 吊り下げ棒と内側ケースの接続部にゴム板を入れた様子



図 13 内側と外側ケースの間に入れたゴム



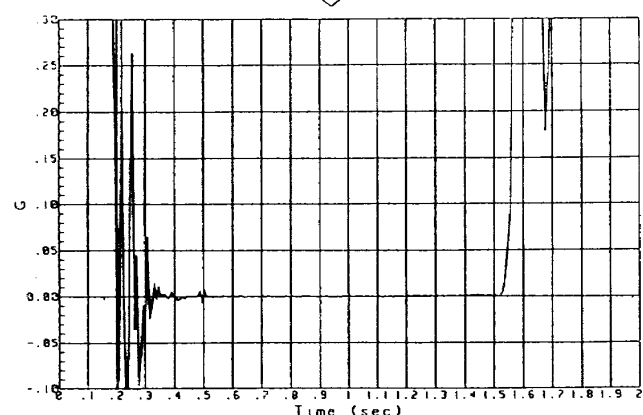
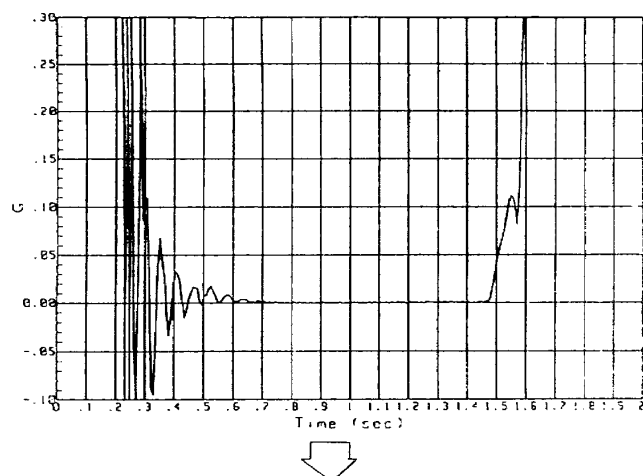


図 14 切離し時の振動の改善

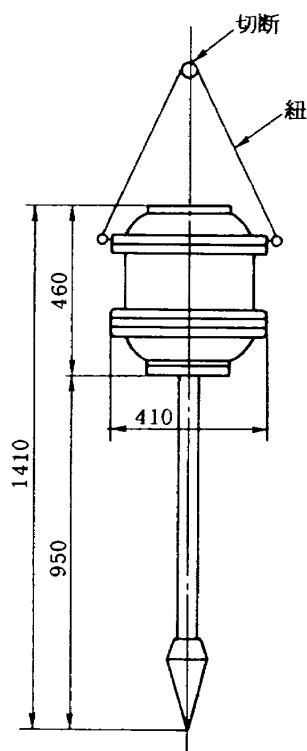


図 15 ワイヤ切断方法の一例

ピストンが当たる時に、振動が発生するものと考えその間にゴムをはさみ振動の発生を防いだ。これらの改善により切離し時の振動が約 2 割減少し、また切離し後の振動減衰時間は約 0.4 秒から 0.2 秒以下へと改善された。これらの結果を図 14 に示す。

今回の実験にはシャピンを切断する方法を用いたが、これに代わる他の切離し方法として以下の 3 種類の方法を挙げて一部実行した実験結果とともに説明する。

#### 1) 落下ケースの吊り下げワイヤーを切断する方法

この方法ではワイヤーが切れた時のショックがケースに伝わり振動が出やすい。実験は、図 15 に示すような方法で行い、落下体吊り下げには直径 10mm のナイロン製ロープを用い、切り離しはカッターナイフで吊り下げ上部を切断する方法で行った。この時の落下ケースの重量は約 100 kg であった。図 16 にこの実験より得られた振動レベル、および加速度の時間的变化を示す。このような方法では落下体の重量に比例してワイヤーの径を大きくしなければならない。そのため、あまり重い落下体では鋼鉄製ワイヤー等を用いることになり、そのための切断装置が必要になる。

#### 2) 磁石による方法

この方法は切離し時間が正確に制御出来る。しかし磁石の消磁を一様に行わないと、落下ケースが傾いた状態のまま落下することになる。図 17 にこれま

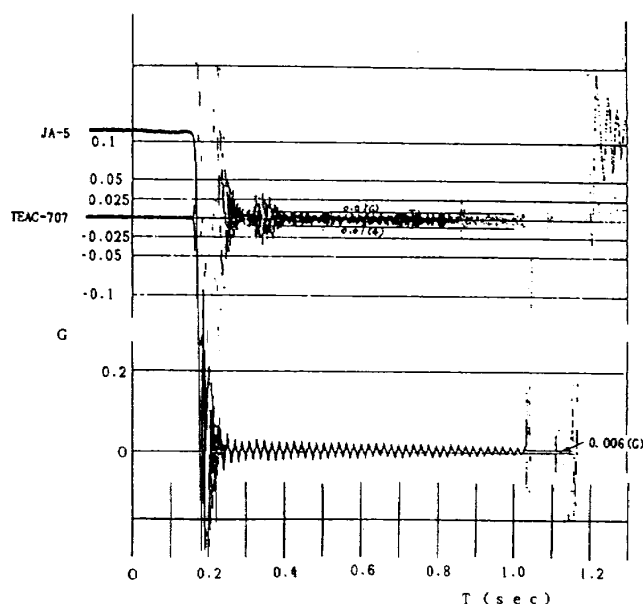


図 16 ワイヤ切断方法時の加速度レベル

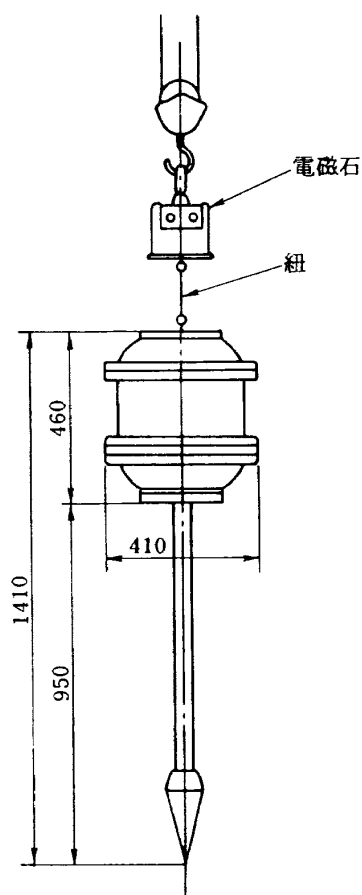


図 17 磁石による切離し方法の一例

で行った磁石による切離しの一例を示す。

### 3) 真空力による方法

真空に引いた場合の吸引力  $F$  は

$$F = A_r \times (P_a - P_v)$$

$P_a$  : 大気圧力

$P_v$  : 真空側圧力

$A_r$  : 吸引盤の面積

で表わせる。落下ケースの重量を 200 kg とすると、直径 16 cm の円盤が必要となる。切離しのための空気導入による衝撃、円盤と真空支持容器の様な離れが行われるかの疑問点がある。しかし理想的に行われれば、切離しタイミングが正確に調整でき振動の大きさも小さく出来るであろう。

以上述べた落下ケースの切離し方法にはそれぞれ一長一短があり、その落下実験の目的に応じた切離し方法を選択する必要がある。

### 3-3. 着地時の衝撃特性

着地衝撃の緩和方法を評価する実験には、今回製作した二重落下ケースを使用した。着地は内側ケースが外側ケースの内側底部に置いてある粘土を押しつぶしながら、また外側ケースは砂に刺さりながら減速する。一般に長い着地時間をかけて減速させることが落下体の着地衝撃を緩和する一つの有効な方法と考えられる。着地時の衝撃は、図18の実験結果

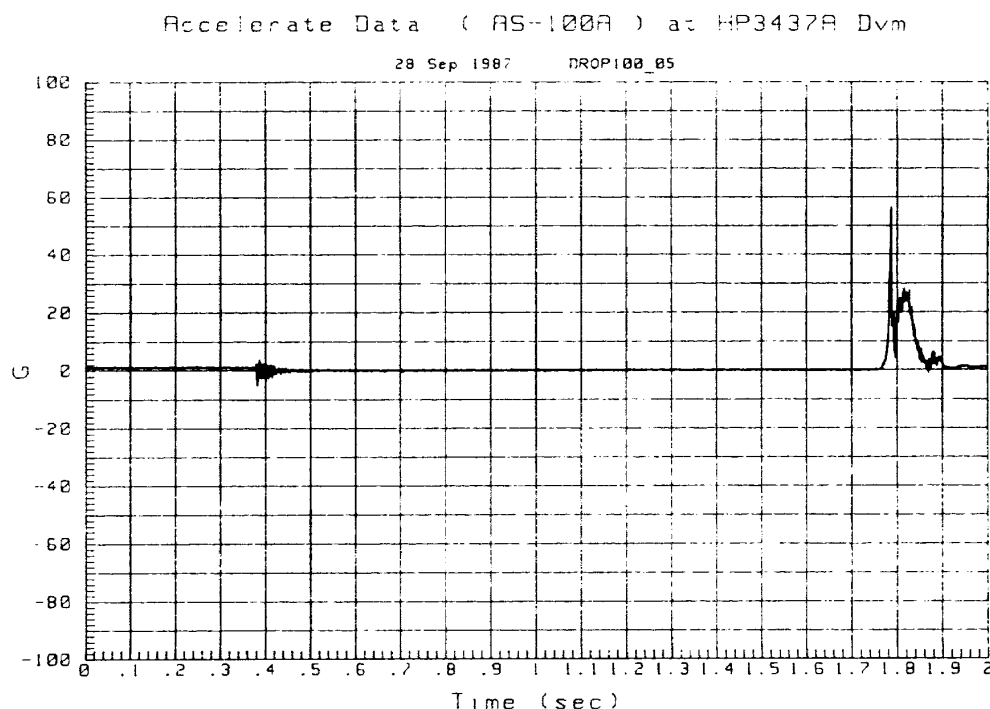


図 18 初期の着地衝撃

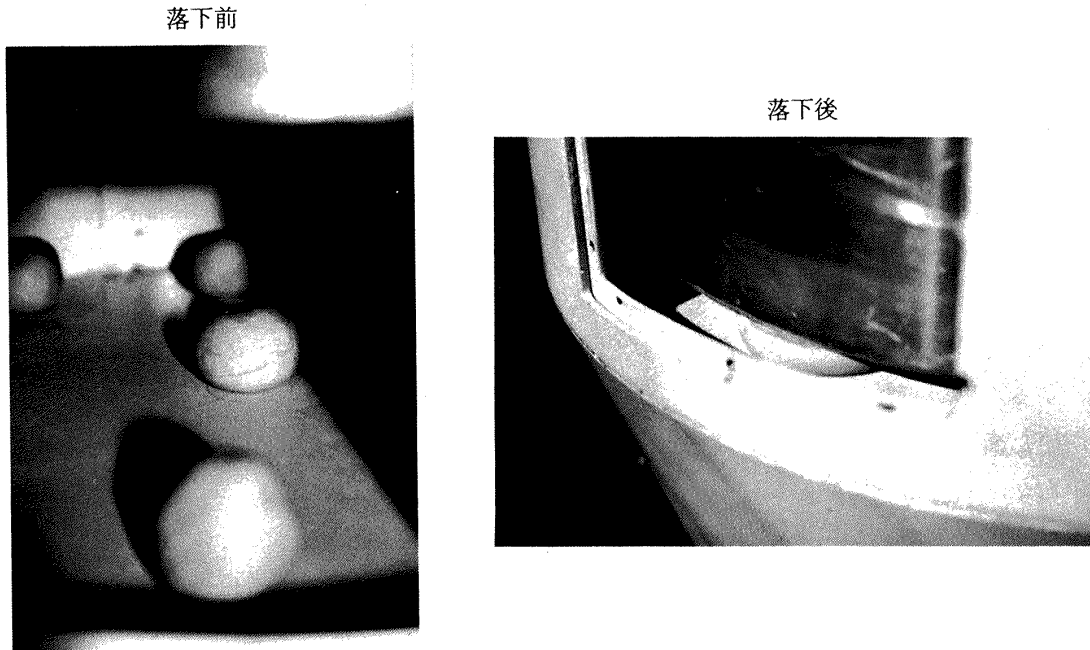


図 19 落下前と落下後の粘土の様子

から判るように、二つのピークが現われ、最初のピークは内側ケースが粘土を押しつぶす時に生じ、次のピークは砂によって減速されている時に現われる。最初のピークは粘土の量を調整することにより減らすことが出来、2番目のピークは砂を充分掘り返し、着地場所を柔らかくして砂を盛り上げ、減速距離を長く取ることにより衝撃力を減らすことができた。図19に落下前、および落下後のケース内に入れた衝

撃緩和用の粘土の様子を示す。使用した粘土は直径約6 cmの球状をしており、外側ケースの内側底部に均等に13個配置した。着地後は約1 cm程度の厚さに変形してしまうが、練直して何回でも再使用可能である。又、この粘土はその塑性変形及び粘着効果により内側のケースの着地衝撃を減らし、中で跳ねさせない役目を果たしている。以上の方法により図20に示すように着地衝撃を30 G以下におさえるこ

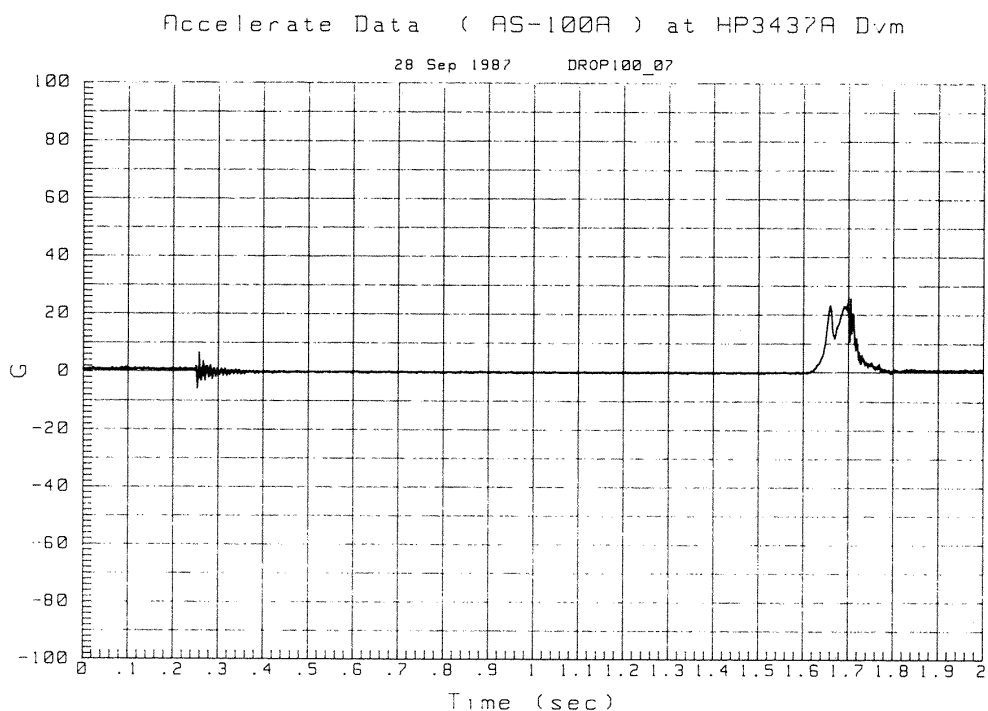


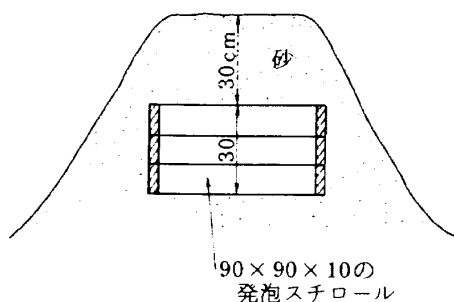
図 20 改良後の着地衝撃

とが可能となった。

なお現在用いている砂の上に落下ケースを着地させる方法では着地時に 0.1 秒間で 30 G 程度の衝撃加速度が落下ケースに加わる。これまで市販の TV カメラ、8 mm カメラを実験装置に搭載し 50 回以上の落下実験を行ったが機器に損傷は見られず正常に作動した。しかしながら機械的駆動機構を有する装置および精密機器を搭載する場合には、着地衝撃をさらに小さくすることが必要となる。

実験に用いた衝撃緩和方法は砂の上に落下させる方法を用いたが、着地方法にはいろいろあり実験の目的に合った方法を選ぶ必要がある。これまで試みた他の方法、および利用できる可能性のある方法について以下に列記する。

#### 1) 発泡スチロール板をしいたところに落下させる方法



#### る方法

これは発泡スチロールをつぶしながらゆっくり減速させる方法である。図 21 に示すように 2 種類の方法で発泡スチロールの板を敷いた所に落としたが、図 22 に示すように衝撃加速度は 300 G を越えてしまい結果は良くなかった。これは落下ケースの先端が発泡スチロールの板に当たっても割れるだけで、流体のように排斥しないので、このような衝撃が出てしまった。

#### 2) 発泡スチロール等の球を入れたところに落とす方法

この方法は外国で行われており、145 m の落下塔で平均 32 G の実績を得ている。この方法では着地衝撃に及ぼすパラメータとして、使用する球の大きさ及び硬度を考慮しなければならない。

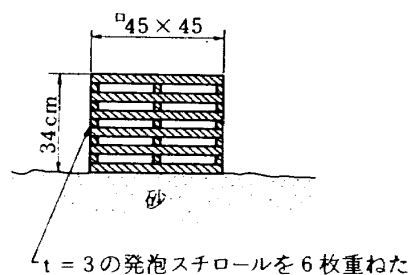


図 21 発泡スチロールによる衝撃緩和例

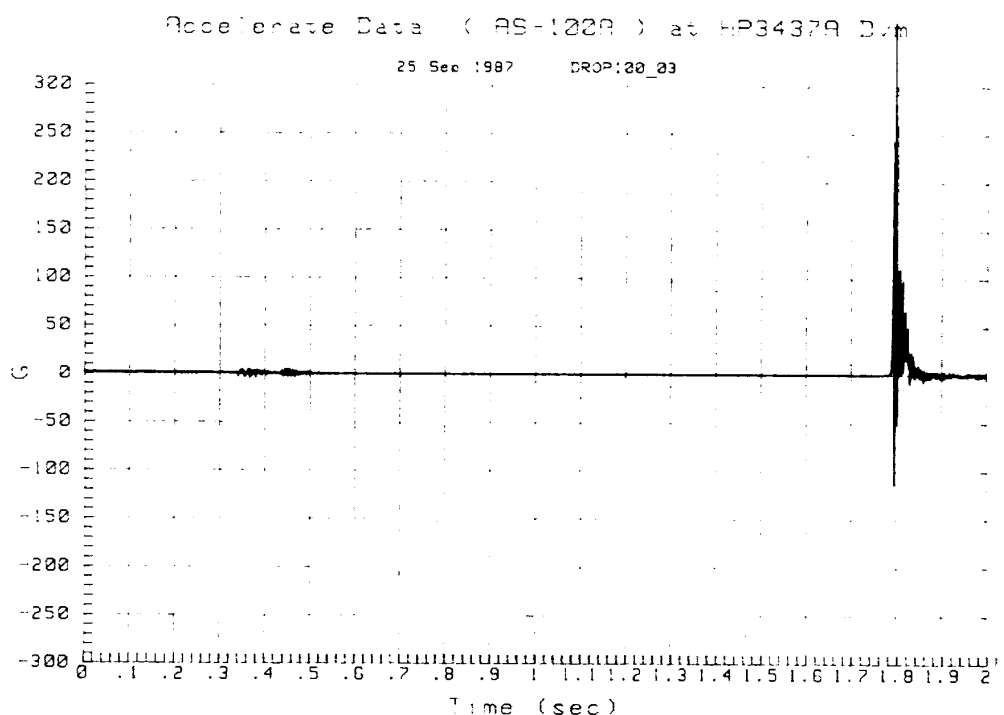


図 22 発泡スチロールによる着地衝撃

## 3) 液体を利用して減速させる方法

これは液体を筒の中に入れておき、その上にケースを落下させる方法である。使用液体の粘性を調整することにより着地衝撃を抑えることが出来る。この場合は、落下ケースの気密に注意する必要がある。

## 4) 砂の上に落とす方法

この方法は安価で簡便であり、諸外国でも多くの実施例があり、27mの落下塔で平均20Gの衝撃加速度の値を得ている。30m以上の落下塔では着地衝撃の要求値( $\leq 30\text{G}$ )を越えてしまうため、この方法は採用されていない。

## 3-4. 低重力環境の実験例

これまで落下塔を用いて行った低重力実験の数例を紹介する。

## 1) H1 ロケットエンジンの低重力状態におけるタンク内推進薬の挙動観察実験

この実験は当研究所と宇宙開発事業団の共同研究で行った、微小残留液体推進薬の低重力における再着火地上試験である<sup>4)</sup>。図23に実験装置の概略図を、また、図24にこの時の加速度(JA-5使用)および、その他の信号データの一例を示す。

## 2) 気泡の針先からの離脱実験

この実験はFMPT(スペースシャトルを利用した第1次材料実験)の予備試験を兼ねており、低重力における気泡の針先からの離脱の確認を行った。図25は低重力時に外径0.5mmの針先から気泡を出し、その後針を引抜いた時の写真である。

## 3) 気泡の混じった液体の音速測定

ほとんどの液体は気泡が混ざるとその液体の音

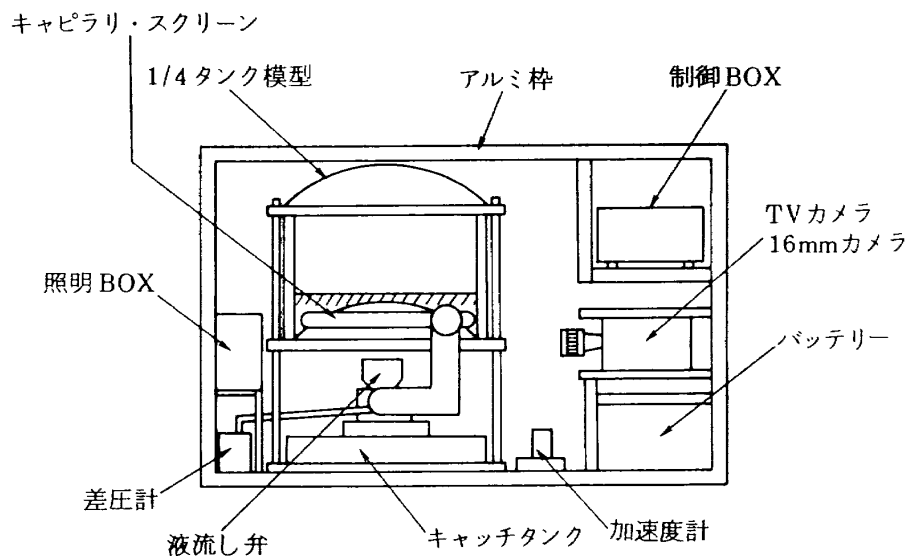


図 23 タンク内推進薬挙動観察実験装置概略図

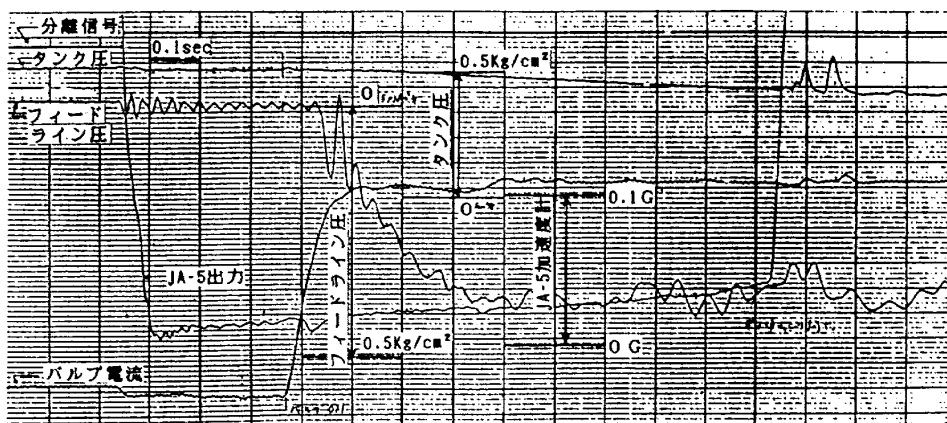


図 24 タンク内推進薬挙動観察実験データの一例

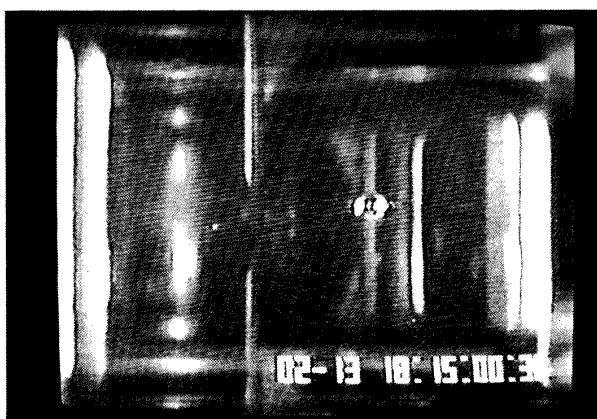
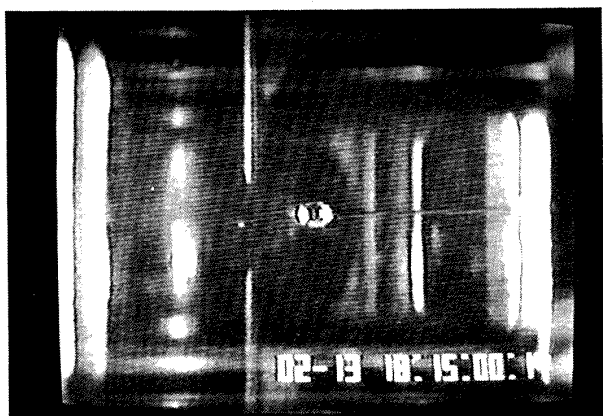


図 25 針先からの気泡の離脱

速が変化するといわれている。この実験も FMPT の予備試験であり、重力下では気泡が浮いてしまうので落下塔を用い低重力環境を創りだし、気泡を上昇させないでおき気泡が混じったシリコンオイルの円筒セル内の音速を計測した。

#### 4) 定常音波による円筒セル内の泡の移動実験

セル内にキャビテーションで細かい泡を作成しておき、落下と同時にキャビテーションを止め、定常音波により泡を集合させた。図26はセルの中心附近に小さな気泡が集ってきている様子を示す。この時の音波周波数は 14.5 kHz, セルは内径 50 mm, 高さ 51.4mm の寸法となっている。また外径 0.5mm の注射針をセルの中心まで差込んでおき、定常音波に与える影響を測定した。

#### 5) 水, アルコール, シリコンオイルについての壁面濡れの観察実験

アクリルの円筒容器内にそれぞれの液体を入れ低重力における壁面の濡れ状態を観測した。図27の写真は、内径 50mm, 高さ 100mm の円筒容器に 10 cSt のシリコンオイルを 80mm の深さに入れた場合の落下中の様子である。

#### 6) 流体の移送実験

実験は、透明のフラスコの中に流体を送り出し、その時の流体の挙動を観測した。図28に実験装置の概略図を示す。図29は丸底フラスコ (300cc 用) に下方からアルコールを送り出した、一連の写真である。また、図30は丸底フラスコと同一条件でケルダールフラスコ (300cc 用) にアルコールを送り出した写真である。フラスコの形状により壁面の濡れの違いが明らかにでている。

## 4. ま と め

落下塔を用いた低重力環境の実現および、着地衝撃の緩和についての実験から以下の結論を得た。



図 26 セルの中心附近に集ってきた気泡

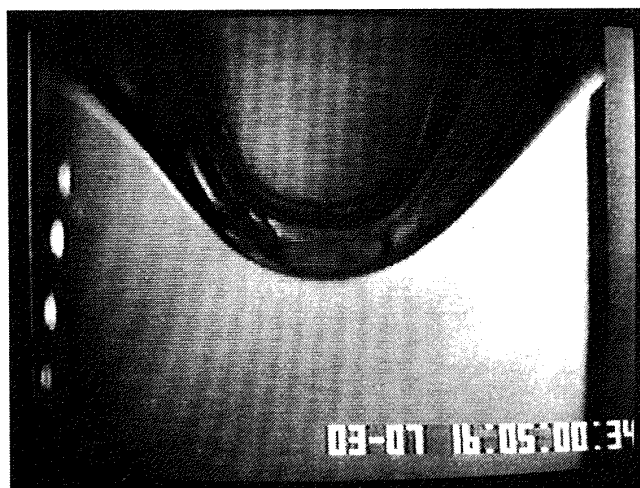


図 27 落下中のセル内のシリコンオイル

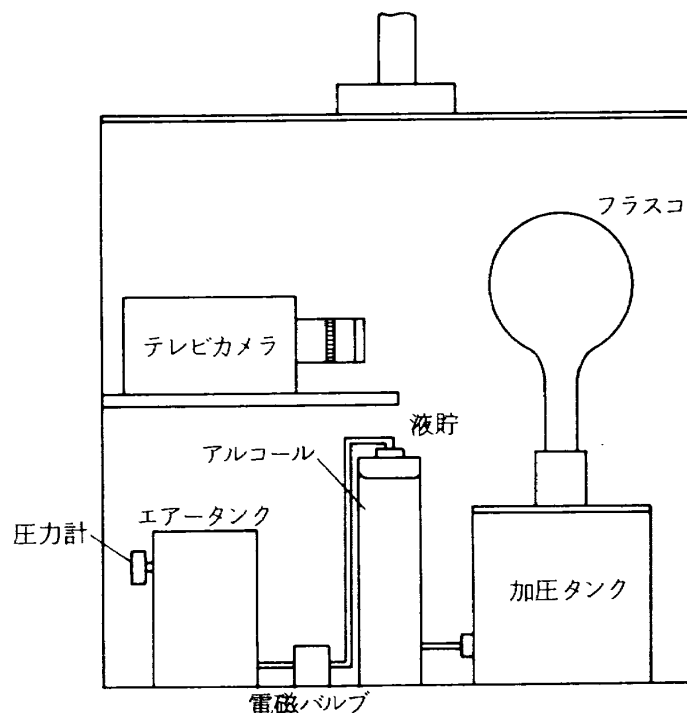


図 28 流体移送観測装置概略図

(1) 切離し方法については現在のシャピン切断方法では、切離し時に実験装置に加わる振動を9 G以下に減らすのは困難であると考えられる。したがってこれ以上振動レベルを小さくする一つの方法としては、電磁石を用いた切離し方法が有効と考えられる。これまで電磁石による方法を試みたが、消磁が一様に出来ず切離し時に10 G以上の振動が発生し中断していた。今後消磁方法および磁化材の改良を行うことにより、電磁石による切離し方法を改善する余地は残っている。

(2) 落下ケースの低重力環境はその形状、重量に大きく依存する。アルミ製の角型落下ケースでは、 $2 \times 10^{-2}$  Gであったが、二重の円錐型ケースに変更することにより $1 \times 10^{-3}$  Gの低重力レベルを実現することが出来た。低重力を利用する実験にとっては、落下中の加速度は極力低減しなければならない。しかし落下体を二重構造にしても計算結果からも得られるように $1 \times 10^{-3}$  Gの環境は自由落下では10 mの高さまでが限度である。また、 $1 \times 10^{-3}$  G以下の低重力でこれ以上の落下時間を得るには、落下塔を真空にするか落下方向に加速してやらなければならない。

(3) 落下ケースは、着地時に30 G近い衝撃を垂直

方向に受ける。初期に製作した一重の落下ケースは、直方体のアルミ製で、継ぎ目はアルミ溶接を施してある。このケースは数十回の試験に使用したが、着地衝撃のために多くの溶接部にひびが入ってしまった。一方改良した、円筒型二重ケースは溶接部に曲げの力が加わらない構造にすることによって、これまで数十回の試験に使用したが異常は起きなかった。以上のことから落下ケースの継ぎ目はできるだけ減らし、かつ継ぎ目には曲げの力が加わらない構造が良い。

(4) 着地衝撃については、これまで衝撃をやわらげるために砂を充分掘り起こすことにより、30 G以下におさえてきた。今後落下ケースに精密機器を搭載する必要性が生じると考えられるので、着地衝撃をさらに低く抑えなければならない。そのため今後砂の代りに他の衝撃緩和材を用い着地方法の改良を行っていく必要がある。例えば、外国では球状のポリスチレンを用い145 mの落下塔で着地衝撃を30 G以下におさえている実績がある。

(5) 着地衝撃のような速い現象を計測するには、データ取込みのサンプリング速度に応答できる計測機器を必要とする。また、落下中は加速度センサの出力が吊下げ時の1/10000程度になるので低重力加

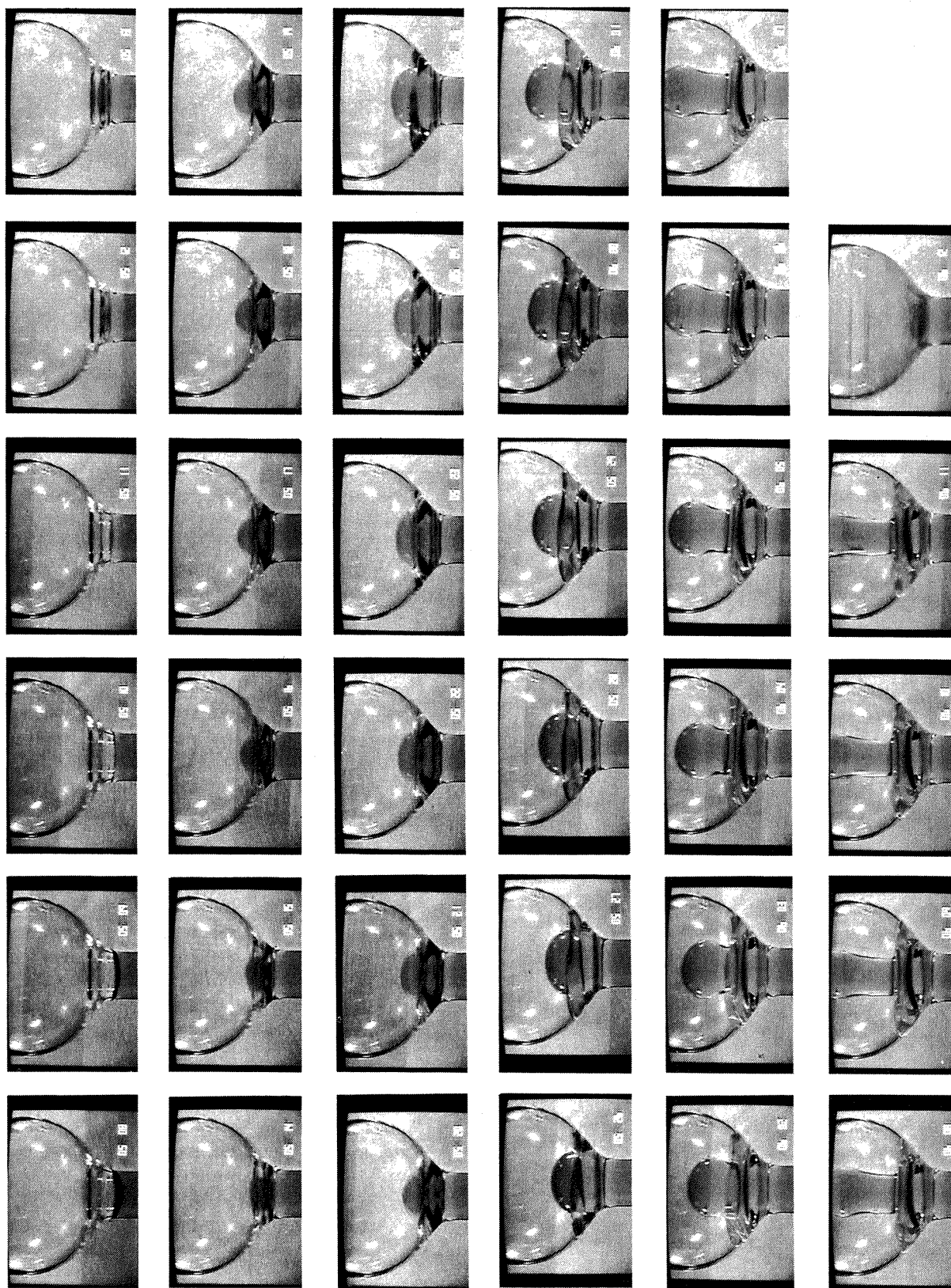


図 29 丸底フラスコにアルコールを送り出した連続写真



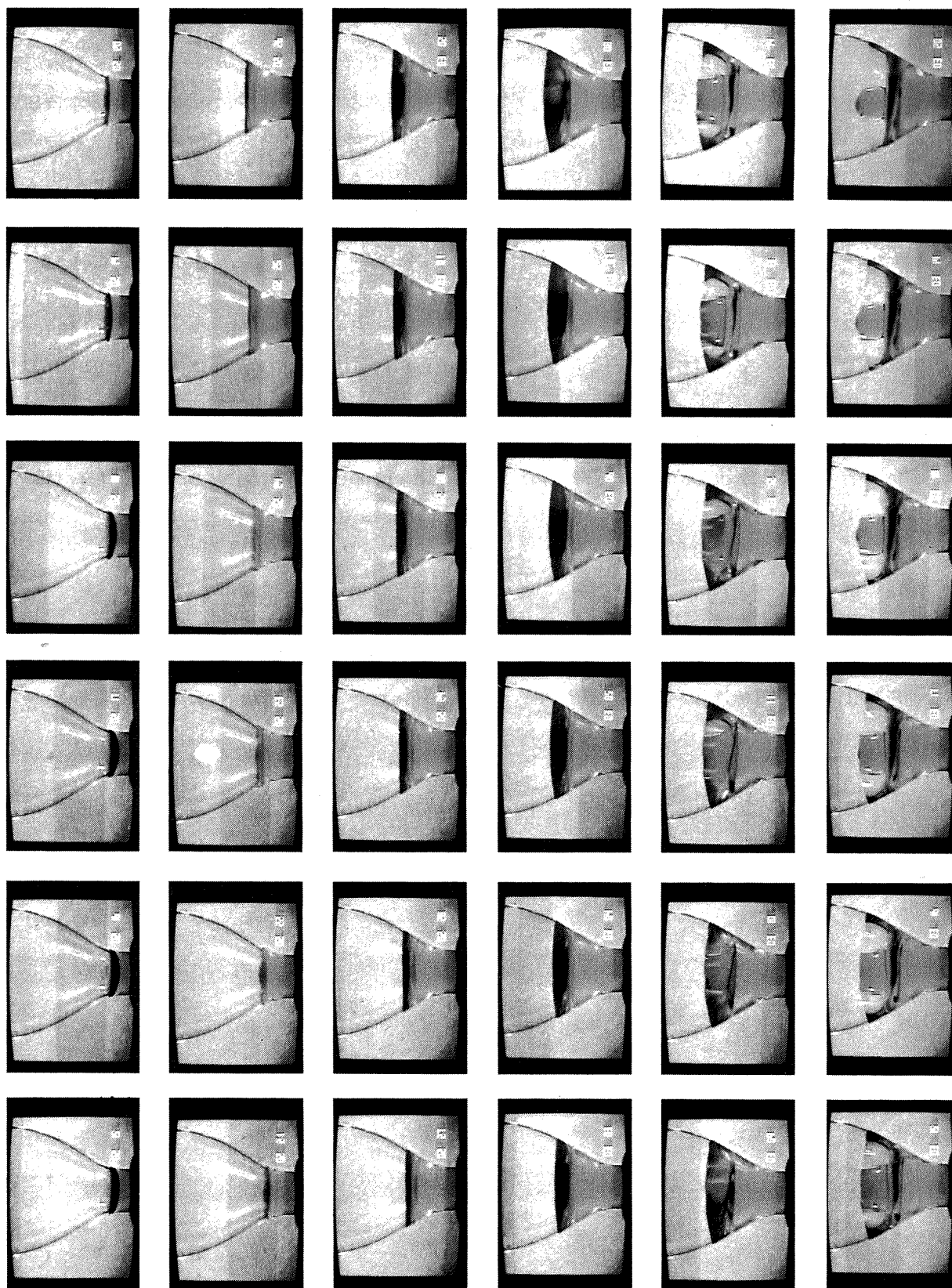


図 30 ケルダー・フラスコにアルコールを送り出した連続写真

速度の計測にはダイナミックレンジの広い高精度の計測器を使用しノイズ対策には十分注意することが望まれる。これまで加速度、画像等のデータは有線で取込んでいたが、低重力の実現にとっては今後加速度のデータをケース内のメモリへ取込み、画像データを無線方式で記録する必要があることが判った。

(6) 落下塔を用いて低重力実験を行った経験から、流体に関する低重力実験を行う場合のいくつかの留意点を以下に記す。

- イ. 無重力になると、液体のヘッド差による圧力差が発生しないため、液圧などを測定する時は充分注意する必要がある。
- ロ. 重力の影響で伸縮するものは、低重力下で元の形に戻る。例えば、重力下でゴム風船の中に水を充填した場合、風船は弾性変形して伸びているが、低重力になると水圧を失って風船の口から水は吹き出す。その他弾性バネに重りをつけて低重力にすると、重りは自重を失ってバネは元の位置に戻る。
- ハ. ほとんどの場合、落下塔による低重力実験では着地時に数 G から数十 G の加速度が加わる。
- ニ. 気体加圧により容器内の液体を他の容器に送

り出す時は、地上でみられる一様な液面の降下と異なり、容器の中心に空洞を生じ、液体は容器内壁に留り、場合によっては他の容器へのガスの流入を生じる恐れがある。

最後に、本研究の成果をまとめるにあたり有益な助言と御指導を頂いた航空宇宙技術研究所宇宙研究グループの中村嘉宏リーダーおよび江口邦久リーダーに感謝するとともに、本実験のデータ整理に協力を頂いた大西充研究員に感謝の意を表します。

## 5. 参考文献

- 1) J.P.Vreeburg; Summary review of micro-gravity fluid science experiments. National Aerospace Laboratory Amsterdam, NL (1986)
- 2) 6th european symposium on materrial sciences under microgravity conditions. ESA SP-256(1987)
- 3) 機械工学便覧 (昭和62年)
- 4) ロケットエンジンの低重力状態着火におけるタンク内推進薬の挙動; 共同研究報告書, 航空宇宙技術研究所, 宇宙開発事業団 (昭和58年)

---

## 航空宇宙技術研究所報告991号

昭和63年8月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺東町7-44-1  
電話 三鷹(0422)47-5911(大代表) ㊞182

印刷所 株式会社 共 進  
東京都杉並区久我山5-6-17

---

**Printed in Japan**