

小型ロケット実験要素試作試験

— 微小重力下における

気泡のダイナミクス —

宇宙開発事業団
(株) 三菱総合研究所

三菱重工業(株) 高砂研究所
神戸造船所

吉富 進 名木 稔 鮫島浩人
石川正道
石井伸也
御所園利美 松本浩明

1. 緒言

微小重力維持技術実験装置を使用したTR-IA小型ロケットの2、3号機実験(2号機:平成4年夏季、3号機:平成5年夏季)において、気泡のシリンジによる流体実験セルへの注入及び外力(人工g-ジッター、超音波)を用いた気泡運動の発生、制御実験を計画している。

ここでは、搭載実験装置BDH(Bubble Dynamics and Handling)の要素試作試験として実施した航空機実験について報告する。

2. 実験方法

2. 1 実験項目

本航空機実験では、下記について実験を実施した。

- (1) パルスモータとパーソナルコンピュータで制御されるシリンジ(注射器)による、定量的な気泡発生
- (2) 人工g-ジッター(流体セルの加振)による並進運動応答
- (3) 音響放射圧による気泡移動

2. 2 作動流体

作動流体として、粘度の調整が容易でシリンジの針との濡性が良いシリコンオイルを使用した。シリコンオイルの動粘度は、1 cStと50 cStとした。これは、1 cS

tが水の動粘度とほぼ同じであり、50 cStは、航空機の μ Gフライト中の約20秒間に残留重力によって気泡がCCDカメラの視野から消えない条件から選択した。表2.2-1にシリコンオイルの代表的な物性値をまとめた。

表2.2-1 シリコンオイルの物性値 (1 atm, 25°C)

密度	0.96 g/cm ³
動粘性係数	50 cSt (=0.5 cm ² /s)
表面張力	20.8 dyne/cm
音速	979 m/s

2.3 実験装置

2.3.1 流体セル及び気泡注入装置

図2.3.1-1に、本航空機実験の実験装置ブロック図を示す。流体セルの寸法は、気泡注入の方向が80 mmで、この方向に音響加振を実施する。また、これと直交する方向の寸法は、70×70 mmで、それぞれの方向にg-ジッター加振とCCDカメラによる気泡運動の観察を行う。気泡注入用のシリンジのピストンとシリンジ全体は、パルスモータによって、0.1 mmオーダで位置制御が可能である。針の先端は、直角に切断されており、外径0.52 mm、内径0.18 mmである。これにより、指定された半径の気泡を注入し、また、シリンジ全体を後退させることによって、シリンジの針先から気泡を切り離すことが可能となる。気泡注入は、1回の μ Gフライトに対して、半径1.5 mmの気泡を1回発生させる。その後、人工g-ジッター加振または、音響加振を実施した。気泡注入の為の実験パラメータを表2.3.1-1にまとめる。

表2.3.1-1 気泡注入パラメータ

ピストン押し込み速度	5~10 mm/sec
気泡切り離し速度	10~20 mm/sec
気泡半径	1.5 mm
発生気泡個数	1個

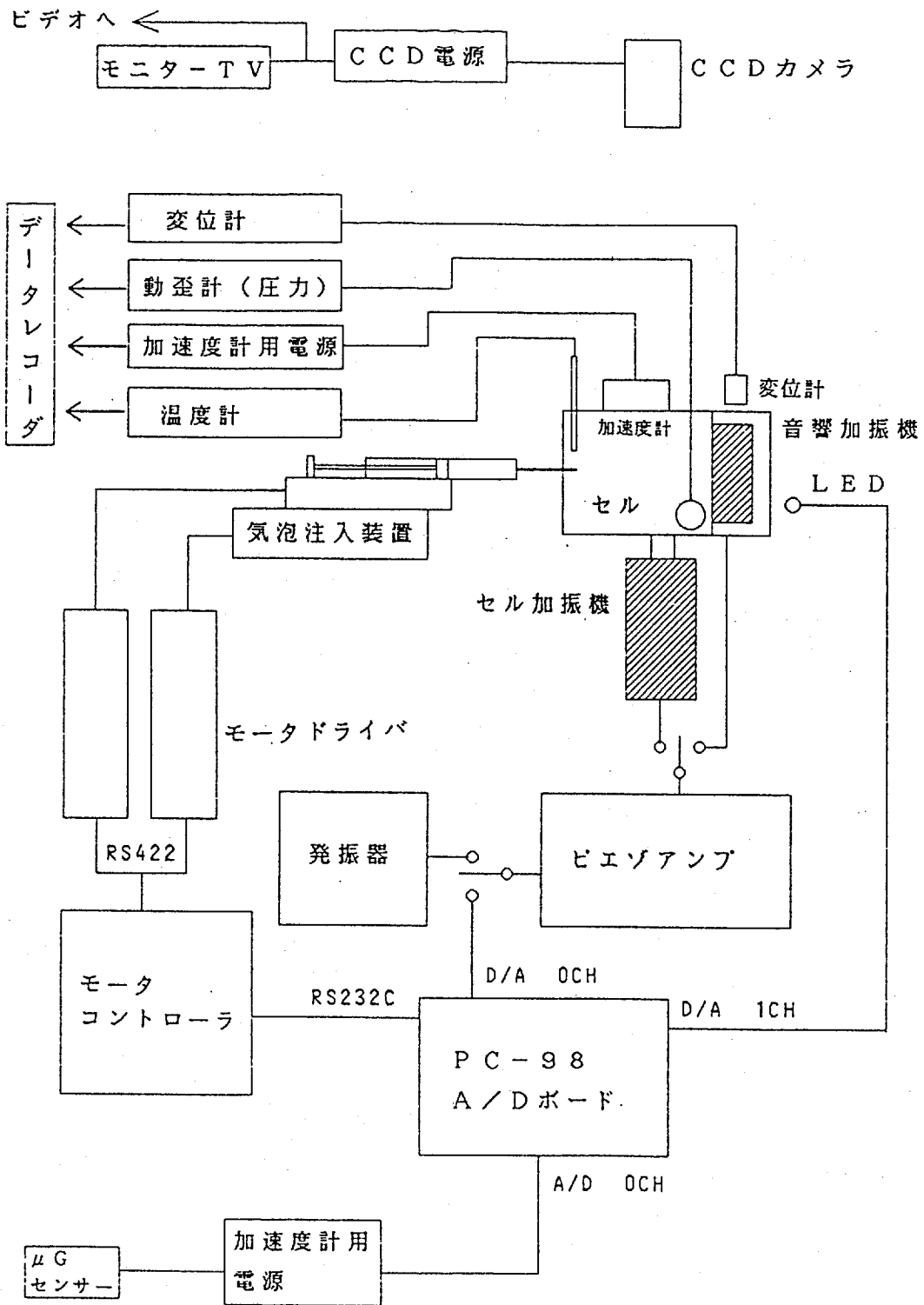


図2. 3. 1-1 実験装置ブロック図

2. 3. 2 人工 g-ジッター発生装置

気泡の人工 g-ジッター（流体セルの加振）に対する並進応答を観察するために、流体セルに積層形の圧電素子を用いた加振装置を取り付けた。本航空機実験では、 μ G フライトに入ってから 15 秒後に、圧電素子に、振幅 100 V、幅 3 秒の矩形の入力電圧を印加した。地上実験では、流体セルのマスダミーに対して、静的に 0 - 300 μ m の変位を発生することが確認されている。

2. 3. 3 音響加振装置

音響放射圧による気泡の移動を観察する為に、流体セルの内部に圧電素子で定在波音場を発生させた。定在波音場中に物体が存在すると、音場の非線形効果により音場の分布に沿って、一方向の力が発生する。これを利用して気泡を移動させるのである。音響加振方向には、1 次の定在波を発生させる。この時、流体セルの壁では、音圧が最大になり中央付近で音圧が最小となる。定在波音場を発生させると気泡は、流体セルの中央へ移動する。音場の全体的なモードとして (1, 2, 1) を設計値とし、このときの圧電素子の駆動周波数は、約 14.5 kHz となる。実際には、駆動周波数はシリコンオイルの音速に依存し、すなわち、温度に依存するため、フライト条件で調整する必要がある。

3. 実験結果及び考察

3. 1 気泡注入実験

気泡の自動注入実験は、約 50% の成功率であった。原因としては、 μ G フライト直前の 2.5 G の荷重とシリンジの針の毛管現象によるシリコンオイルの針の内部への逆流に因るものと考えられる。実際に、実験装置のパラメーターを用いて逆流の量を推定すると、粘性の影響を無視して、各原因に対して約 40 mm の値を得る。更に、シリンジ内部の体積が大きいと圧縮率の関係で、逆流量が増大する。これ等が、ピストンの規定の押し込み量で、所要の気泡が発生しなかった理由と考えられる。これらの、考察は、結言に述べるように次回の航空機実験に於て確認の予定である。

3. 2 人工 g-ジッターによる気泡の並進運動応答実験

μ G フライトに入ってから約 15 秒後に加振を実施した。16 回の加振実験の内、代表的な流体セルの加速度波形を図 3. 2-1 に示す。加振アクチュエータの動特性により複雑な衝撃波形となっている。しかしながら、すべての場合に於て、気泡の並進運動は、観察されなかった。今後、加振周波数等について、解析的な検討が必要である。

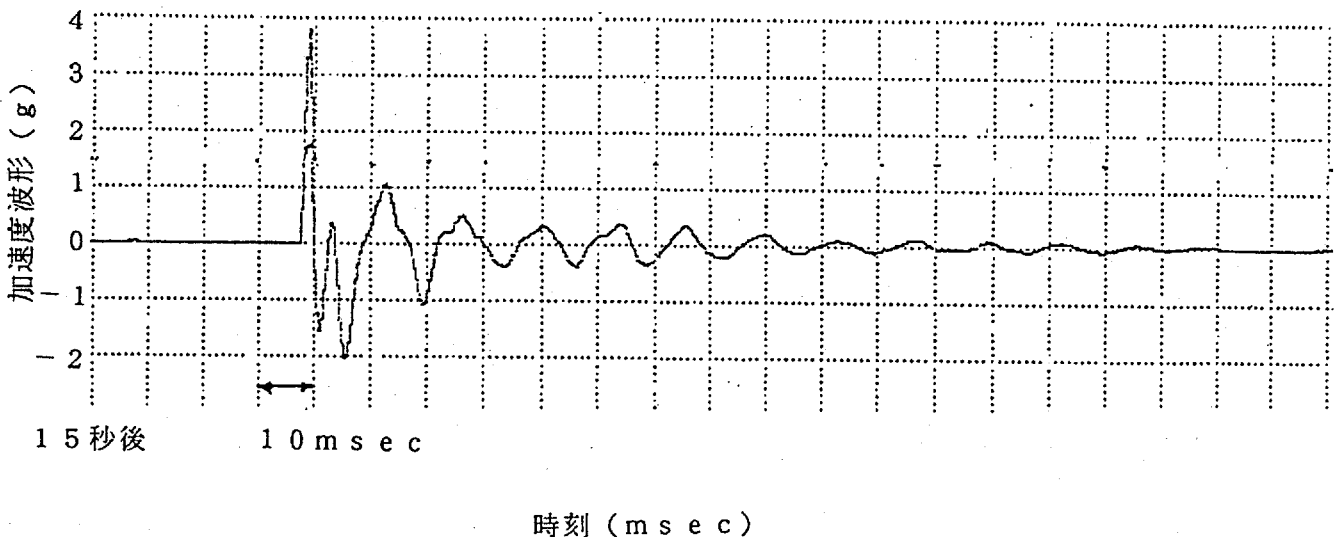
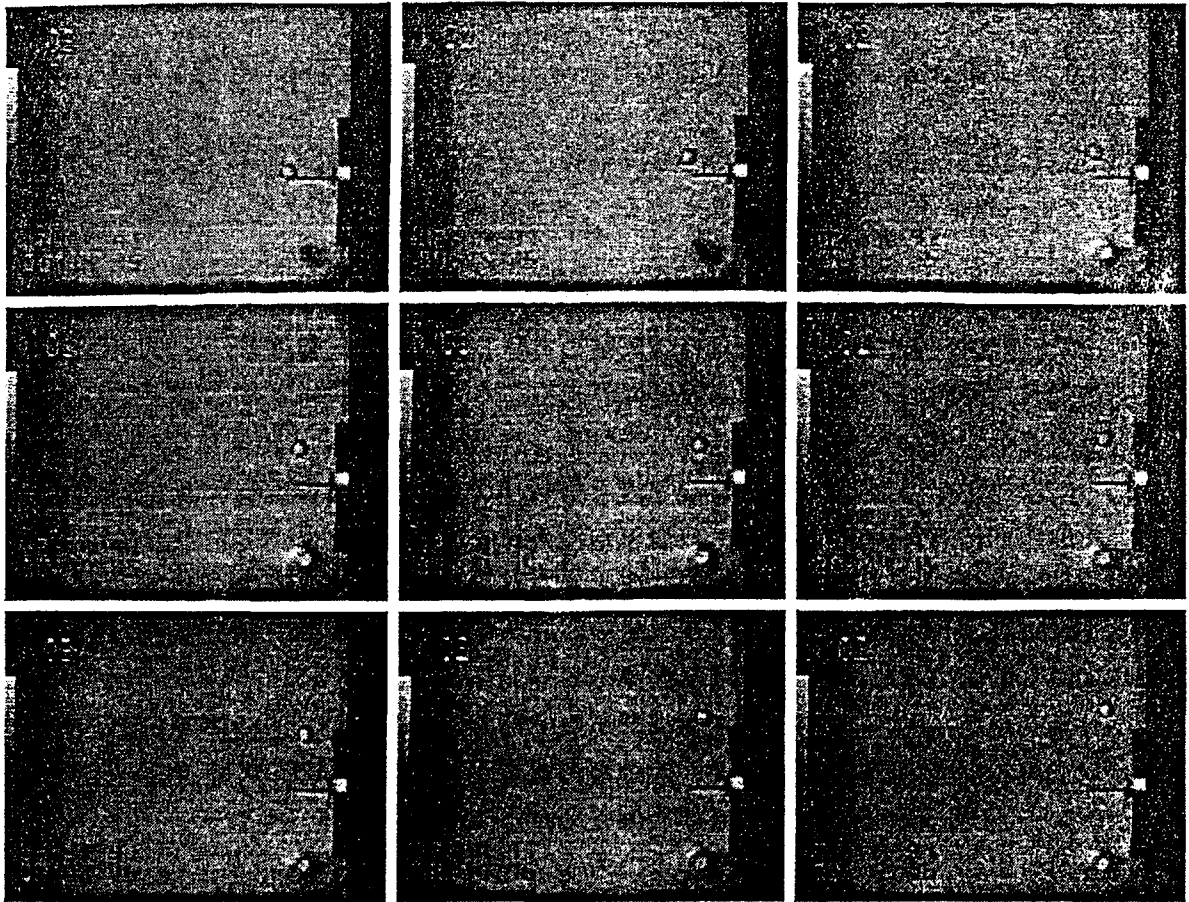


図 3. 2-1 人工 g-ジッター加速度波形

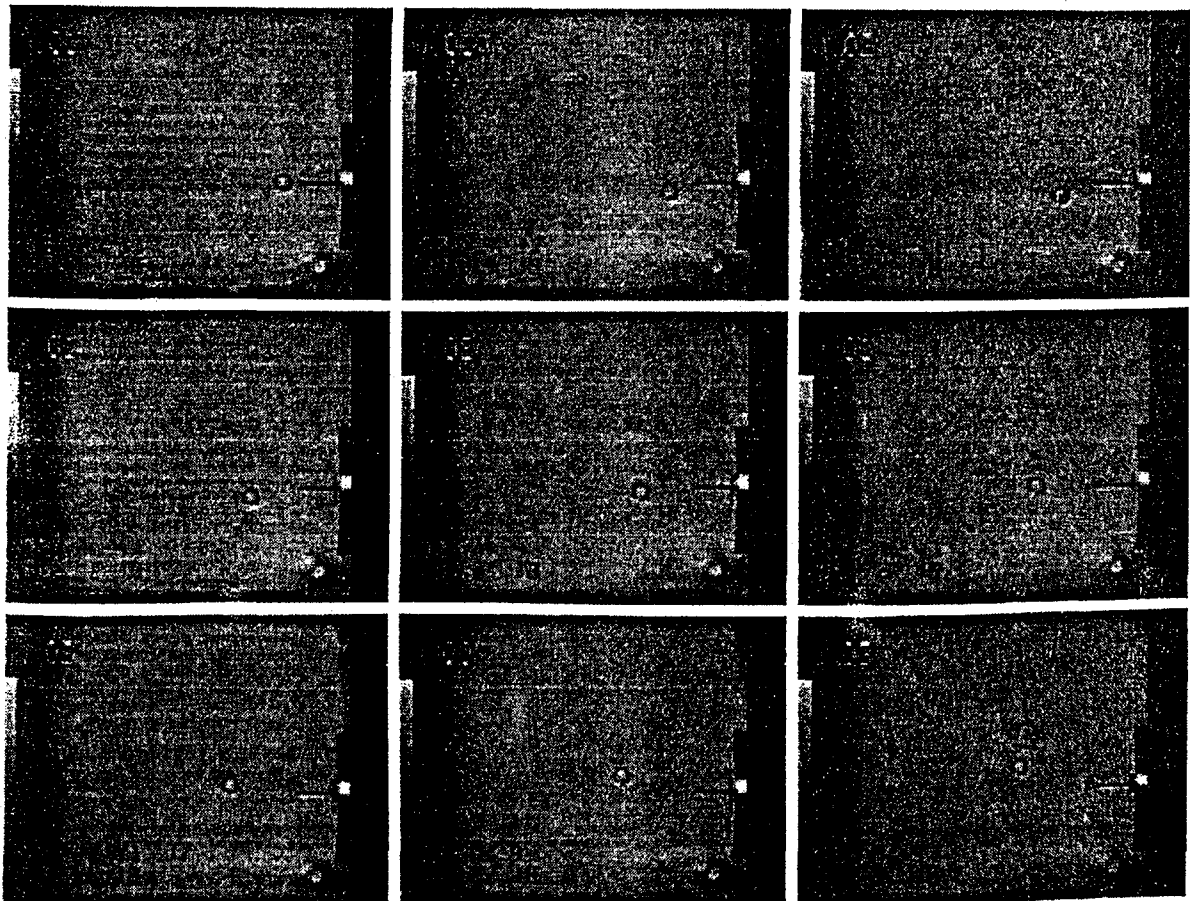
3. 3 音響加振実験

気泡注入が完了してから、音響加振用圧電素子に 100 V rms の電圧を印加し、気泡の運動を観察した。フライト直前の共鳴周波数測定により音響駆動周波数を決定した。シリコンオイルの温度により変化があるが、約 16 kHz の値を使用した。これは、設計値 14.5 kHz に近い値である。

図 3. 3-1 に示すように、音場を発生させると、気泡が流体セルの中心付近へ移動することが確認され、その並進速度は、約 1 から 2 mm/sec であった。本航空機実験では、音圧の絶対値が計測出来なかったため、並進速度の解析値との直接的比較ができなかった。これに関しては、解析手法の改良を実施しながら、小型ロケット実験を待つこととなろう。



(a) 音場OFF



(b) 音場ON

図3. 3. - 1 音響放射圧による気泡の移動 (各こまは1秒間隔)

4. 結言

本航空機実験の結果より、今後のTR-I A小型ロケットの2, 3号機の設計へフィードバックすべきポイントを以下にまとめる。

- (1) 小型ロケット実験で使用する気泡の自動注入装置、人工g-ジッター加振装置、及び音響加振装置と機能的にはほぼ同様の実験装置を設計、製作し、 μG 下において正常に機能することを確認した。
- (2) 小型ロケット打ち上げ時の静加速度と、シリンジの針の毛管現象によるシリコンオイルの針への逆流を防止し、自動気泡注入を成功させる為に、実験開始直前まで、針先を流体セルから抜いておくことと、シリンジ内部の空気の体積を実験に必要な最小値にする必要がある。
- (3) 人工g-ジッター加振（衝撃加振）実験では、気泡の外力（加振による見かけの浮力）に対する緩和時間が長く、加速度の強度が大きくてもパルス幅が短いと気泡はほとんど並進運動しないことが判った。
- (4) 音響加振実験では、音響放射圧により気泡が実際に移動することが確認された。

今後は、長周期（2～3秒）の人工g-ジッター加振及び、自動気泡注入装置の信頼性を上げるために、上記の（2）を考慮した航空機実験を実施する予定である。

参考文献

1. 吉富進、名木稔、鮫島浩人、石川正道、石井伸也、松本浩明、第34回宇宙科学技術連合講演会、（1990）、pp. 568
2. L. A. Crum and A. I. Eller, "Motion of Bubbles in a Stationary Sound Field", J. Acoust. Soc. Am. 48 (1969) 181.
3. Th. Dewandre and T. Roesgen, "Influence of Micro-g Disturbances on Fluid Experiments involving Bubbles or Drops Appl. Microgravity Tech I (1988) 3.