

SEPAC実験装置の高圧電源部内サイリスタを用いた保護回路

図1は高電圧電源回路の全体図である。6MODULE CONVERTERが高電圧発生部である。図中左側の480V-HVCINVは電池よりの出力で、SEMICONDUCTOR SWITCHを通して6MODULE CONVERTERに入力される。

SEMICONDUCTOR SWITCHは電池よりの電圧を6MODULE CONVERTERにつなぐスイッチであるBATOSWと保護動作回路で構成されている。

図2にパワーフローを示す。

図3はSEMICONDUCTOR SWITCHの中身を示す。SCR1がBATOSWで、SCR2が保護動作のサイリスタである。異常が発生するとSCR1をoffにし、SCR2をonにすることによって6MODULE CONVERTERの動作を停止させるようにしている。

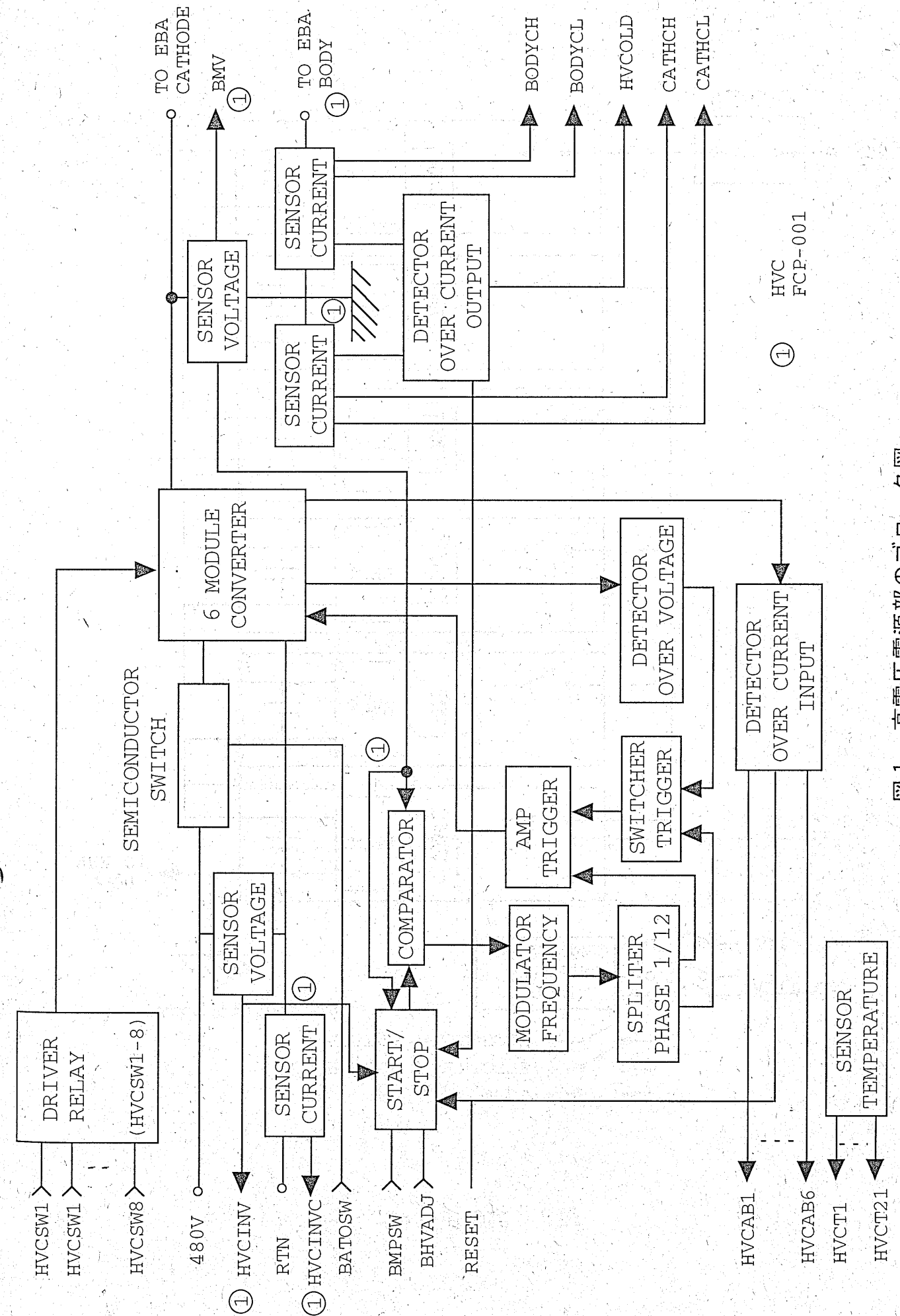


図1 高電圧電源部のブロック図

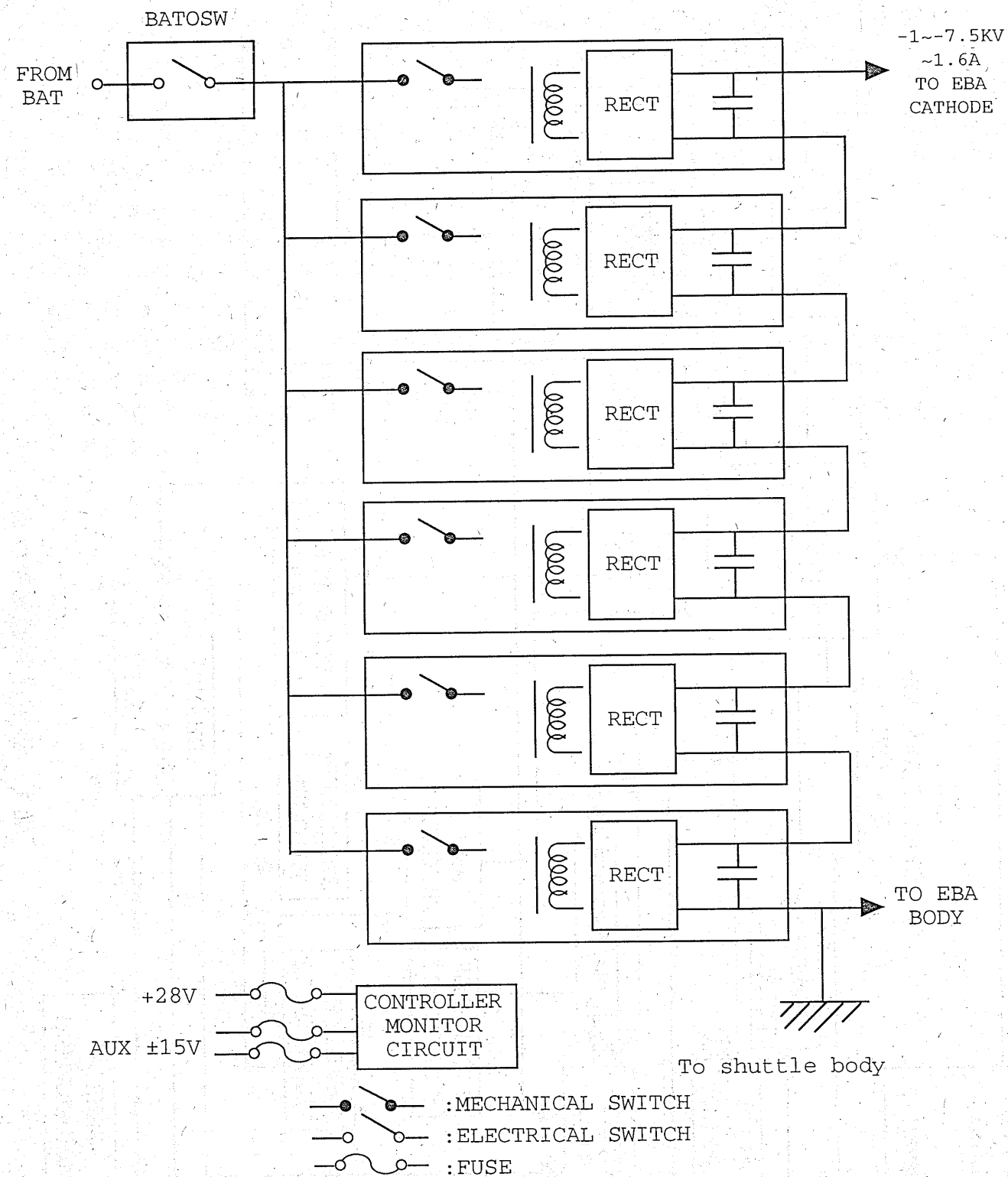


図2 高電圧パワーフロー

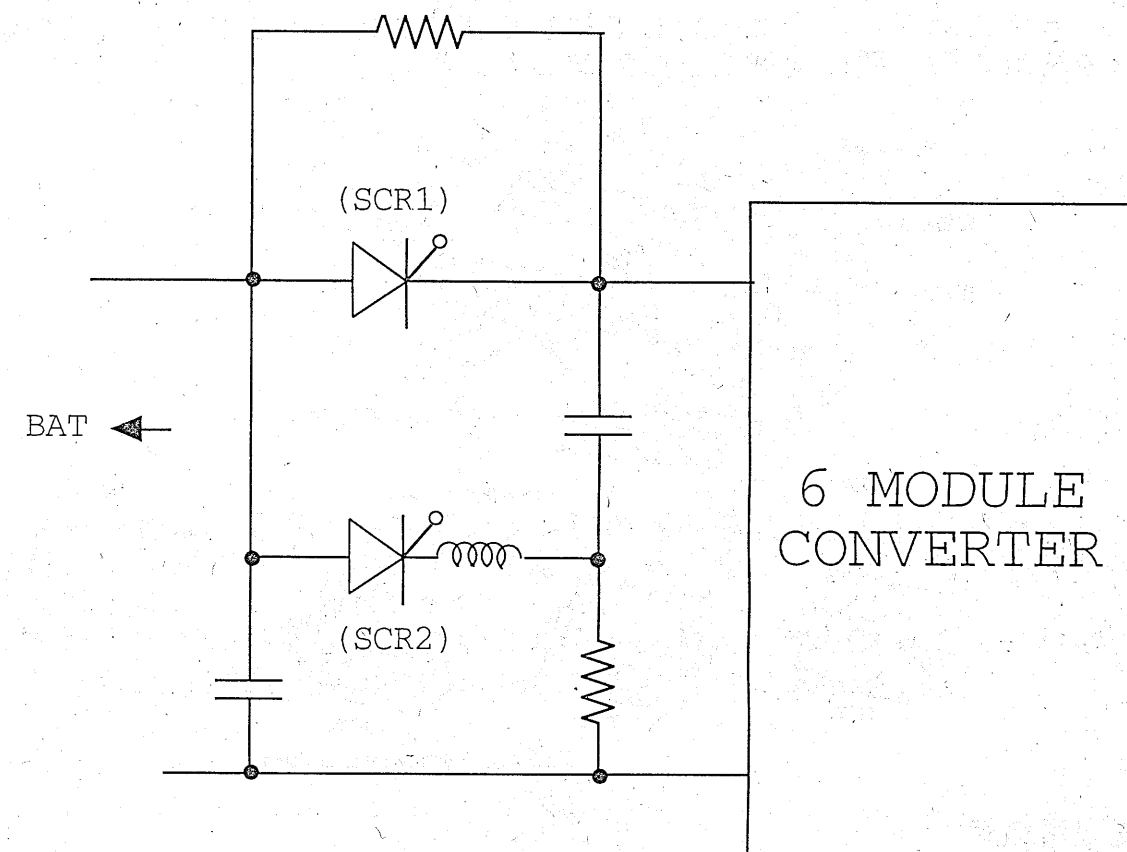


図3 セミコンダクタスイッチ

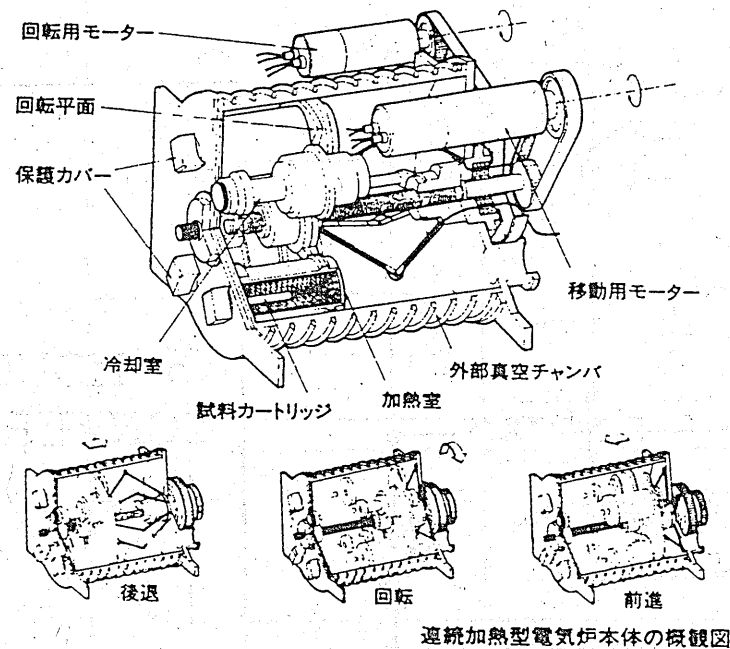
FMPT 搭載実験装置の概要

材料実験系

連続加熱型電気炉

連続加熱型電気炉は、炉内に真空加熱室とヘリウムガスを用いる冷却室をそれぞれ2個有し、これらは外部のモーターにより駆動され、移動及び回転動作を行う。

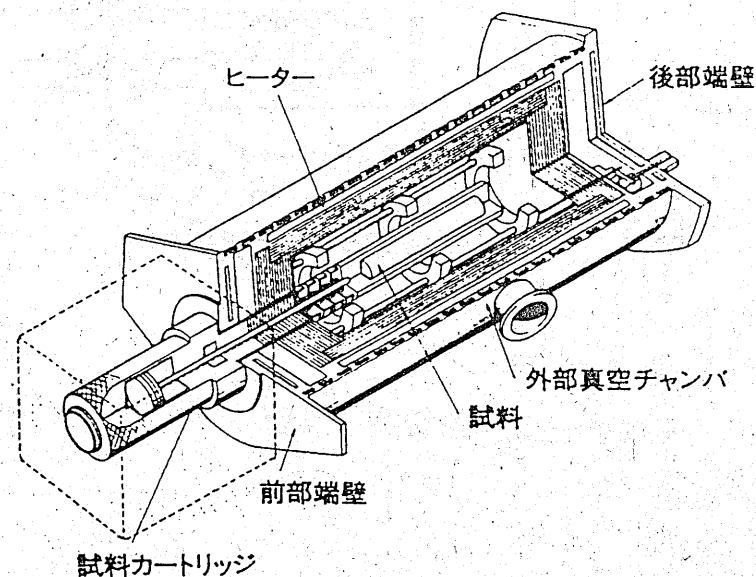
試料カートリッジは外部から炉体に挿入、固定される。所定の温度プロファイルに従い、4本の試料が同時に連続して加熱及び冷却されることから、この装置では多数の試料を短時間に処理するのに適している。



連続加熱型電気炉本体の概観図

高温加圧型電気炉

高温加圧型電気炉は、比較的大型の試料を所定の温度プロファイルにより比較的高温で加熱でき、ヘリウムガスにより急速冷却が可能であり、試料カートリッジにガスにより加圧機構を設けることにより、熔融した試料を加圧することができる。

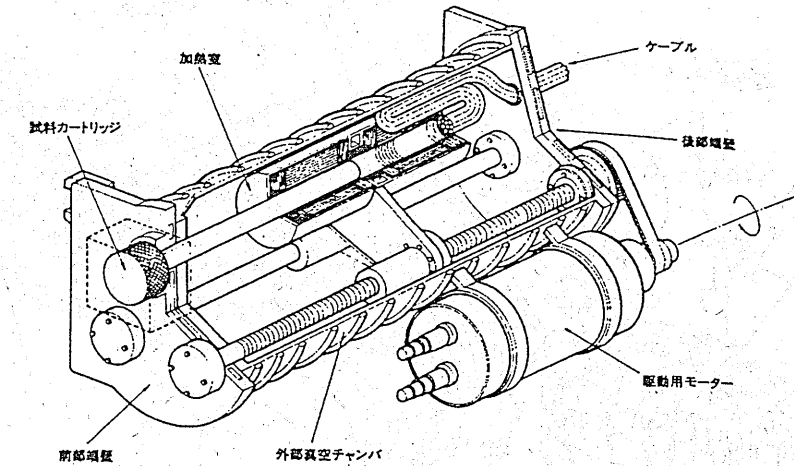


温度勾配型電気炉

温度勾配型電気炉は、高温部、温度勾配部および低温部の3つの独立した加熱域からなる加熱室が移動する真空加熱炉であり、半導体、セラミック、合金などの一方向凝固・結晶成長に必要な正確な温度制御が行える。

試料カートリッジは炉体外から挿入され、加熱室は試料部分に添い所定の温度プロファイルにしたがって移動する。

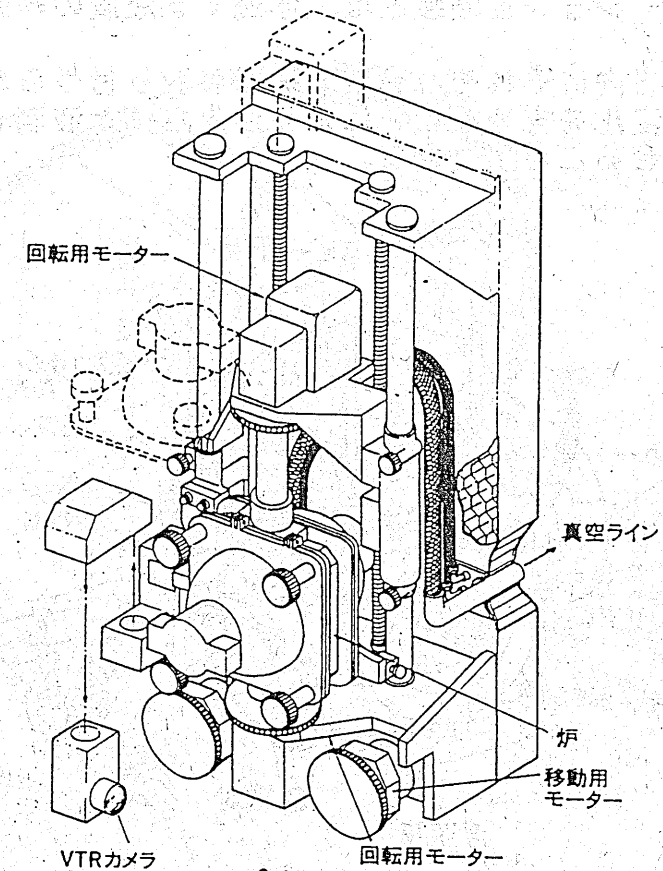
また、この炉では試料カートリッジに超音波振動子を付加することにより試料の攪拌が可能である。



イメージ炉

イメージ炉は、2個のハロゲンランプの光を双楕円反射鏡の共有焦点におかれた試料上に集光させて加熱する。試料は、炉心管の中で上下のシャフトに固定されて回転する。

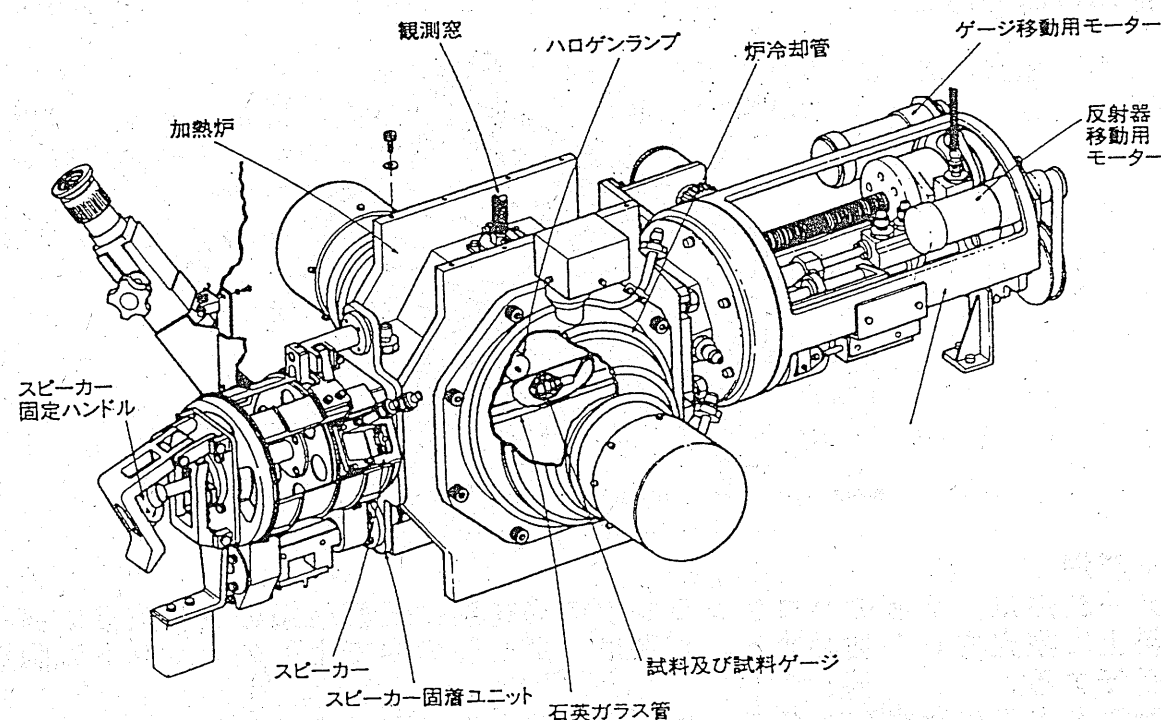
反射鏡を上下に移動させることにより、熔融域を移動させることができ、また、シャフトの上下逆回転により熔融域の攪拌が可能である。



音波浮遊炉

音波浮遊炉は、イメージ炉と同様の加熱機構を有し、双楕円反射鏡の共有焦点に置かれた不活性ガス雰囲気中の球状試料を音圧により浮遊安定させた状態で加熱溶融することから、容器との接触による汚染のない高純度な試料を作成することができる。

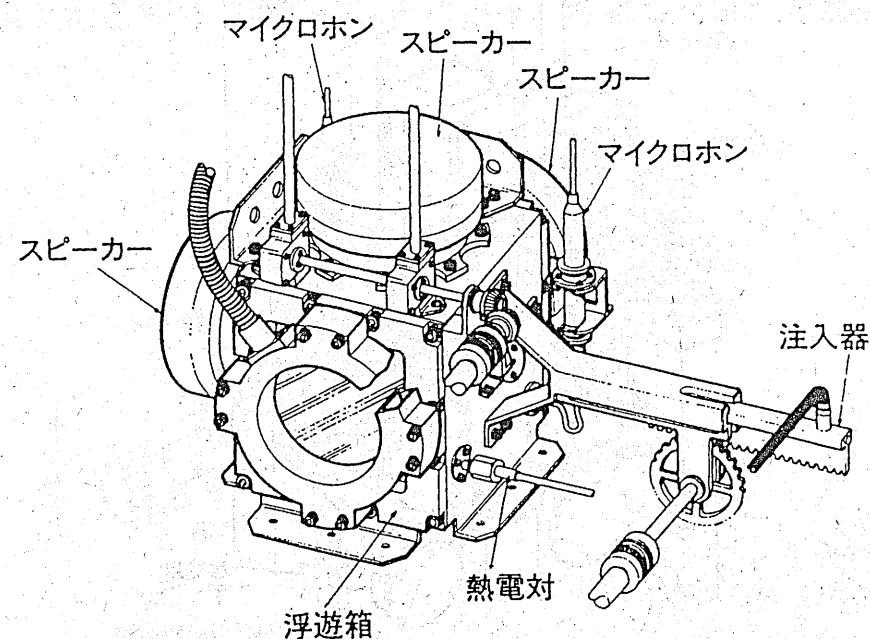
炉心管の一端には超音波発生のためのスピーカー、他端には音波反射体が置かれ、定常波発生のための周波数は自動的に制御される。



液滴マニピュレーション実験装置

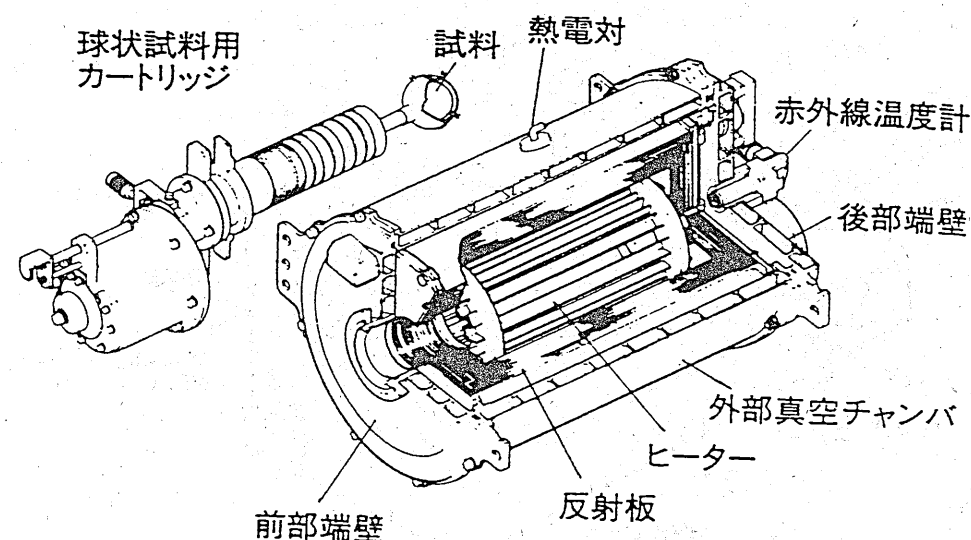
液滴マニピュレーション実験装置は、浮遊する液滴の挙動を観測するための装置である。

浮遊箱には3軸方向にそれぞれ音波励振器が取り付けられており、音の周波数を制御し、位相に変化を与えることにより注入された液滴を浮遊安定させ、さらに回転や変形をさせることができる。



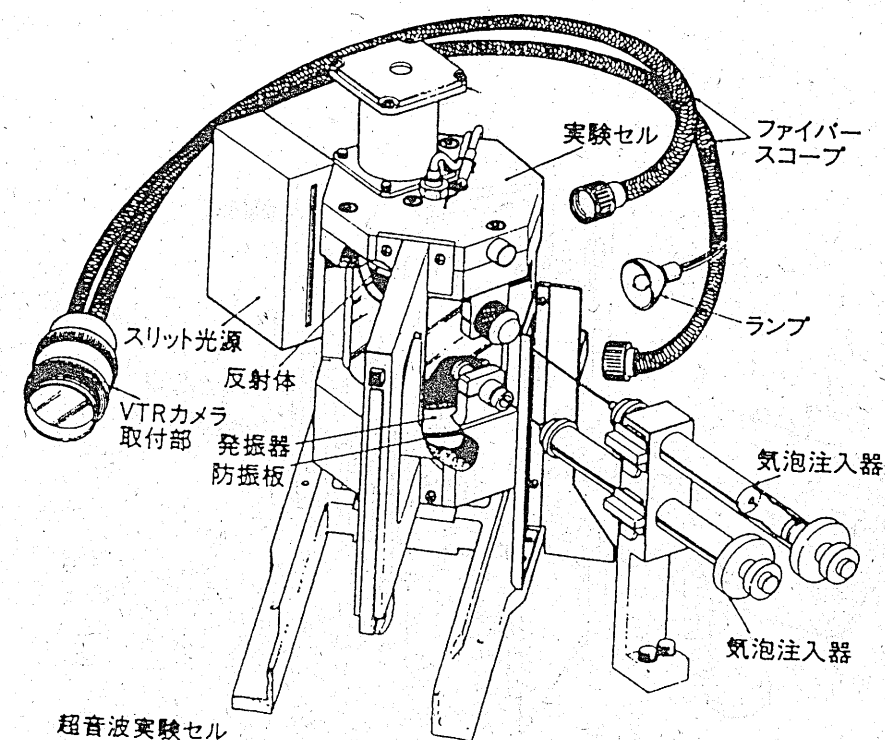
球結晶成長実験装置

球結晶成長装置は、球状結晶を溶融・再結晶させる炉と、棒状試料を溶融・球結晶成長させる炉を有し、不活性ガス雰囲気中で精密な温度制御を行い、単結晶球の表面層のみを溶融、再凝固させて理想的な球状結晶成長を行う装置である。



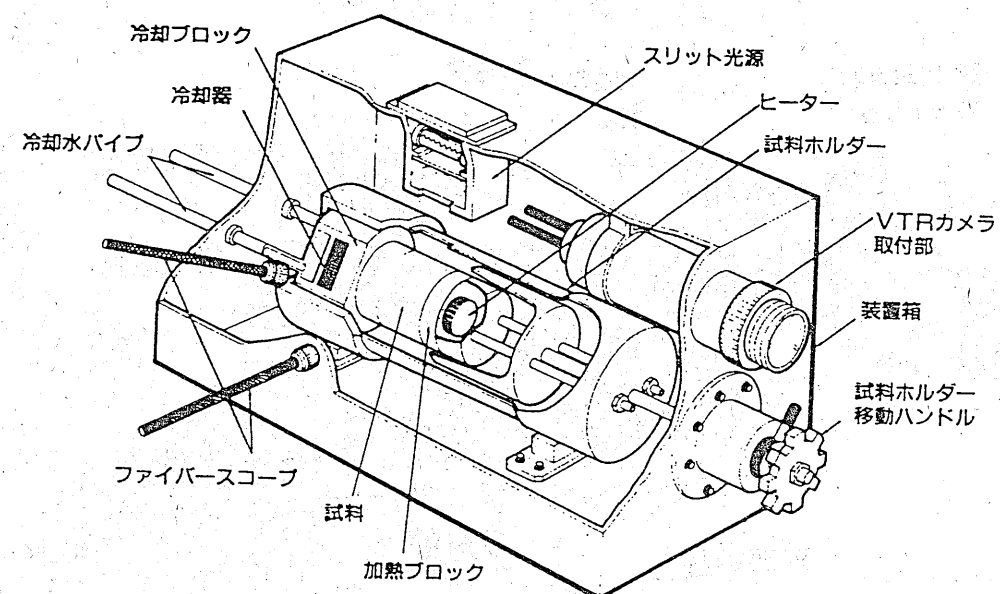
泡挙動実験装置

泡挙動実験装置は、試料液体内に温度勾配または超音波振動を与え、液体内に作られた気泡または液泡の挙動を観察するための実験装置である。



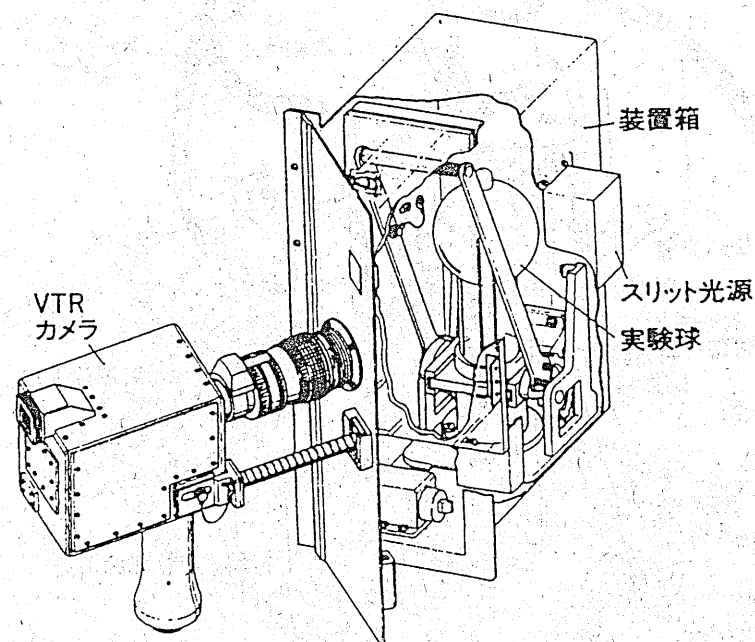
マランゴニ対流実験装置

マランゴニ対流実験装置は、自由表面を有する流体の一端を加熱し、他端を冷却することにより流体表面に温度勾配を与え、温度差による表面張力の相違によって生じたマランゴニ対流を観測する装置である。



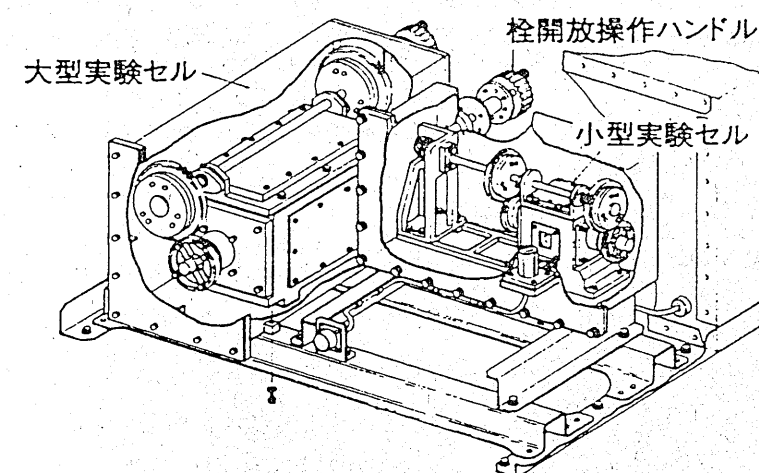
金属微粒子生成実験装置

金属微粒子生成実験装置は、無重量下の希ガス中で金属を加熱・蒸発させ、対流の影響を受けずに過飽和状態の金属蒸気が凝縮することにより金属の微粒子を得る装置である。



有機結晶成長実験装置

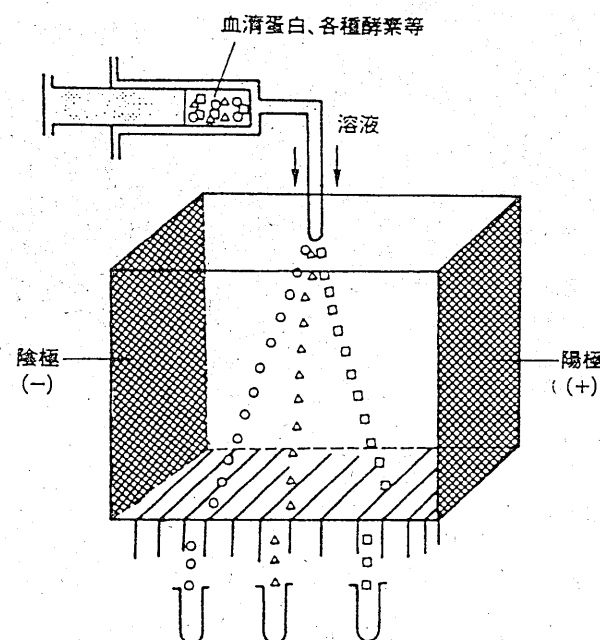
有機結晶成長実験装置の実験セルはドナー室、アクセプタ室、反応室の3室からなり、空間の隔壁を開放することにより、有機溶媒中にドナー及びアクセプタの2種類の有機化合物を拡散、反応させ、有機結晶を成長させる装置である。



ライフサイエンス実験系

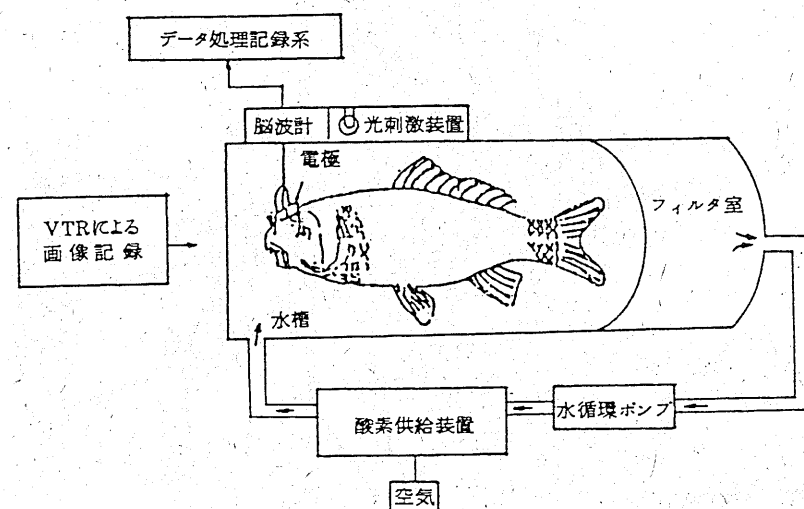
無担体電気泳動装置

無担体電気泳動装置は、タンパク質、酸素あるいは細胞などの生体試料を直接、移動緩衝液中で電気泳動させ、連続的にこれを分離、精製する実験に用いられる。泳動された試料はマルチチャンネル紫外吸収計で同時計測され、最大60本の分画に分取することができる。無重力環境下においては比重差による沈降や熱対流による妨害がないので、地上用に比べ数倍厚い泳動槽が用いられる。



前庭機能実験装置

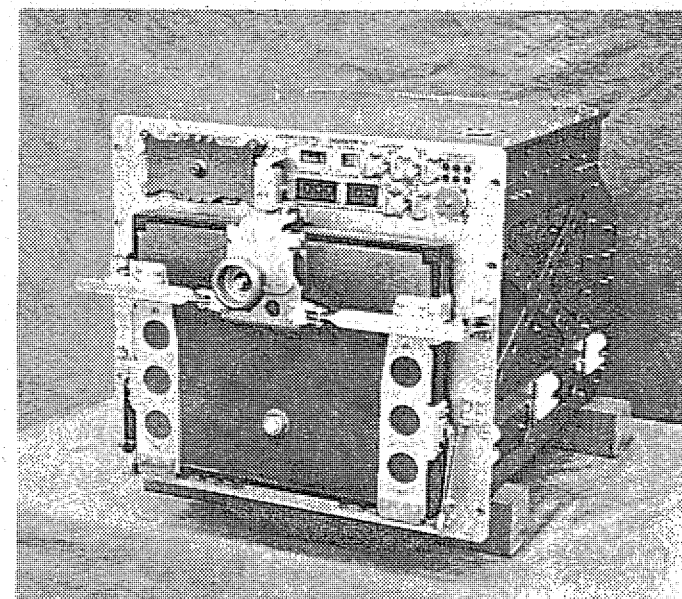
前庭機能実験装置は、独立した2個のフィッシュパッケージ、生命維持用制御部および実験データ処理部からなり、フィッシュパッケージにはそれぞれ一匹の鯉（体調約30cm）を入れ、全飛行時間にわたり生命維持を行うことができる。各フィッシュパッケージ内の鯉の脳波を計測するため2チャンネルのアンプを有し、全面窓からはVTRによる鯉の行動観察、記録を行うことができる。



熱電式恒温恒湿保持装置

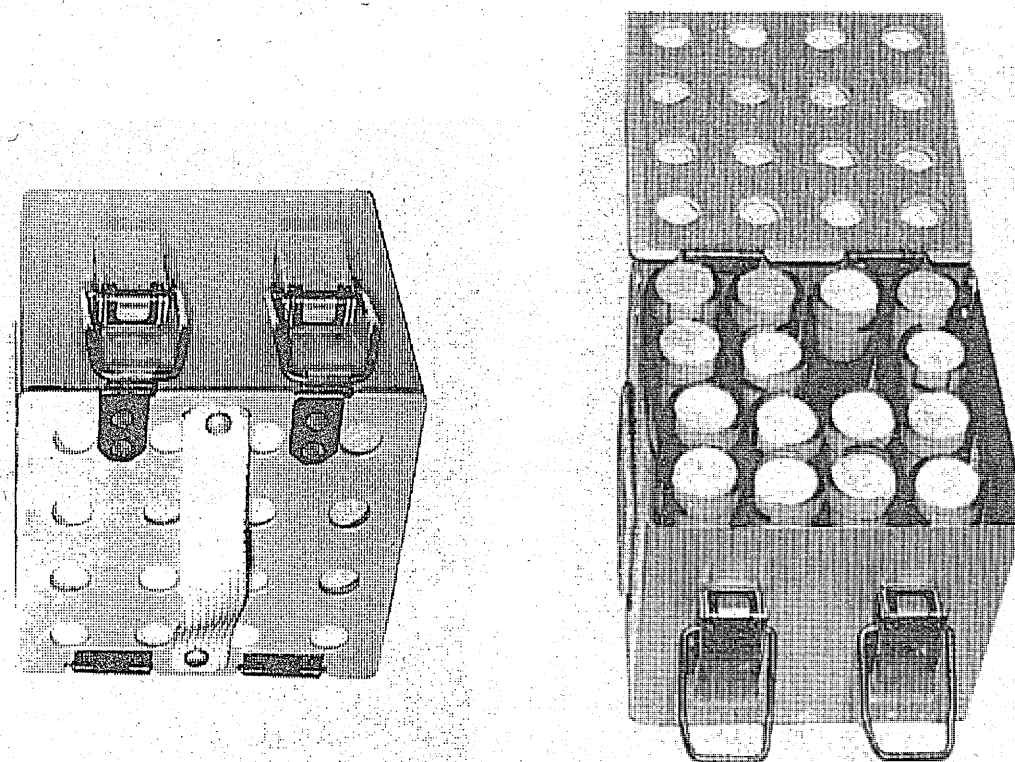
熱電式恒温恒湿保持装置は、熱電素子により加熱・冷却の双方向制御可能なインキュベータで、湿度も同時に制御することができる。

TEIは2式あり、使用の目的に応じ庫内温度湿度を設定することが可能で、高温用（37度）では細胞培養実験キットおよび卵ラック、低温用（20度）では酵素結晶実験キットおよびハエ容器を収納して実験が行われる。



ハエ容器

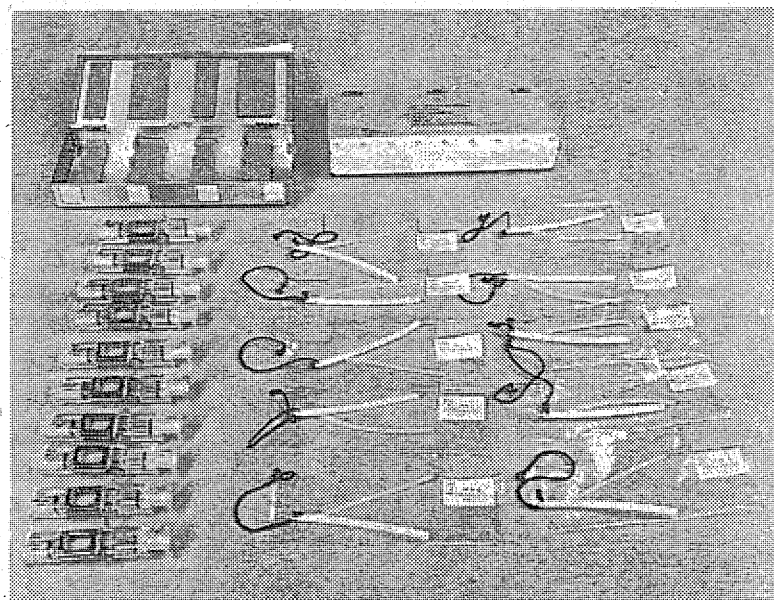
ハエ容器はショウジョウバエの成虫、さなぎ、卵を保持または飼育するための円柱状透明バイアル（16本）と、それらを収納するケースから構成されている。それぞれのバイアルには百匹前後のショウジョウバエを入れることができ、下部には寒天飼料があり、上部にはハエの呼吸に必要な通気性が確保できるような栓がある。



酵素結晶実験キット

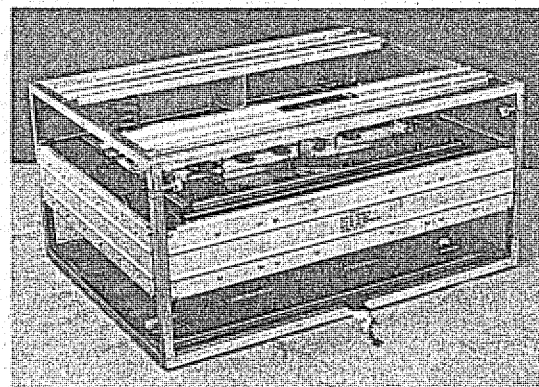
酵素結晶実験キットは無重力環境下でタンパクまたは酵素の良質巨大結晶を得るための実験に用いられる。

キットは5組のポリカーボネイト製結晶成長セルからなり、各セルは分離された試料溶液と塩溶液をピストンにより混合する機構および結晶の成長過程を観察するための透明チャンバー部を有する。

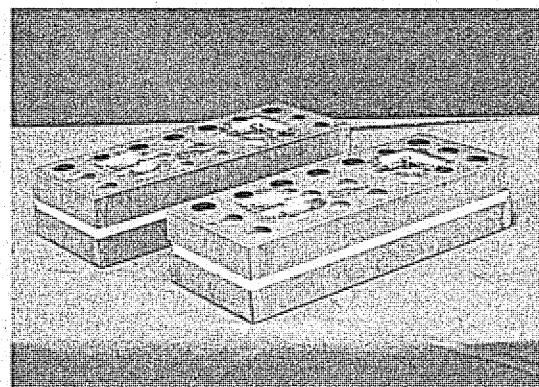


卵ラック

卵ラックは30個の鶏卵（受精卵）を収納し、無重力環境下での卵の発育を維持するための容器で、呼吸に必要な酸素・蒸気等に対する透過性の確保と、スペースシャトル打上げ、着陸時の衝撃、振動等から極力卵を保護するための工夫がされている。



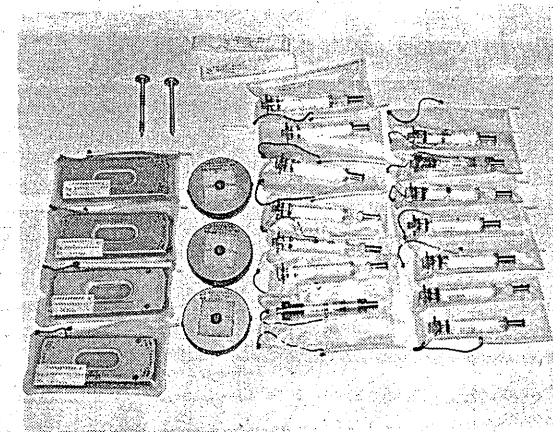
卵ラック



卵収納部

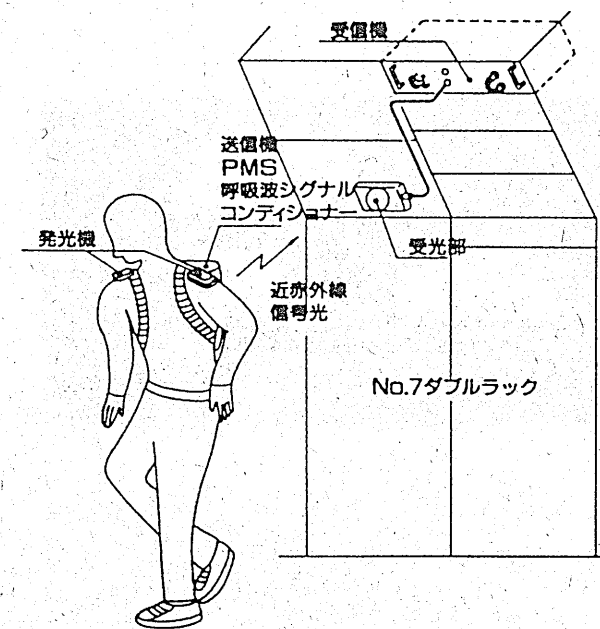
細胞培養実験キット

細胞培養実験キットは動物細胞用キットと植物組織培養用チャンバーからなり、動物細胞用キットは無重力環境中で細胞の培養、液交換、産生物の採取、タンパク質分解酵素による処理、細胞の固定等の複雑な培養実験操作が行えるよう工夫されている。さらに、動物細胞用培養容器は顕微鏡に固定することができ、中心の透明窓を通して観察、撮影することができる。



赤外線テレメータシステム

赤外線テレメータシステムはスペースラブ内での搭乗者の生体情報を搭乗者の行動に制約を加えることなく、計測するために開発された無線テレメトリシステムである。近赤外線を使用することにより電磁干渉を生ずることなくスペースラブ全域で利用可能である。装置は身体に装着する送信器、発光機、およびラックに装着する受信機、受光部からなる。

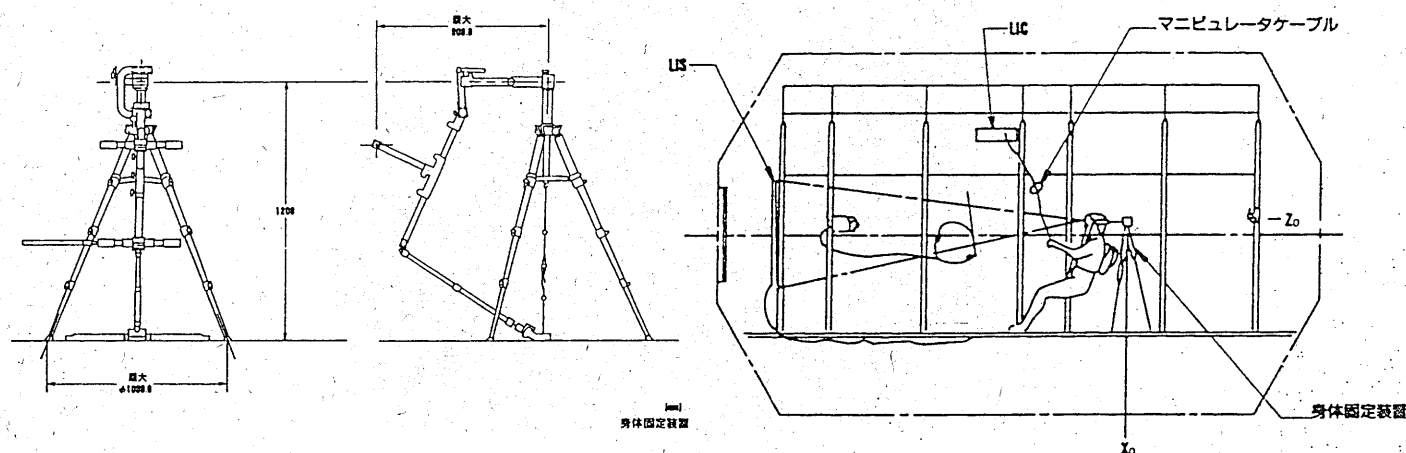


赤外線テレメータシステムのコンフィギュレーション

発光刺激実験システム

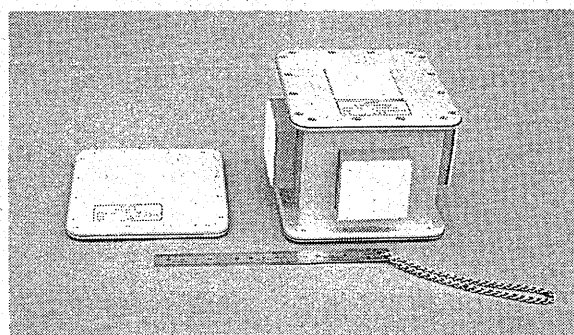
発光刺激実験システムは刺激信号制御装置、発光刺激装置、マニピュレータ、身体固定装置などからなり、無重力空間中でP S自身が被験者となる視覚安定性および知覚-動作機能の研究に用いられる。発光刺激装置は色々な動的発光パターンを表示し、被験者を視覚刺激するために用いられ、刺激信号制御装置は発光パターンの生成およびマニピュレータからの入力を実時間解析し、刺激信号制御装置にフィードバックすることができる。

刺激信号制御装置はさらに外部からのシリアルデジタル信号で実験の進行を制御することができる。



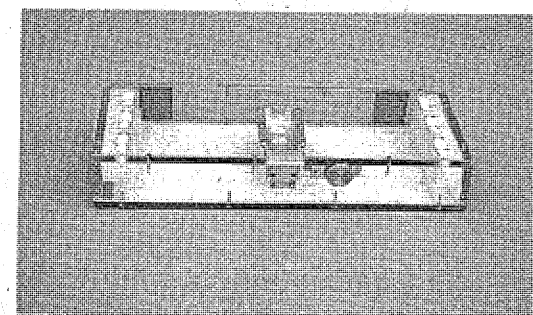
宇宙放射線モニタリング装置

宇宙放射線モニタリング装置は内部に生物試料と高エネルギー放射線検出素材を多重に積層することができ、サーモルミネッセンス線量計とともにスペースラブ内での宇宙放射線の生物試料への影響や飛跡解析実験に用いられる。



カビ成長箱

カビ成長箱はポリカーボネイト製の透明容器で内部に6本の成長管がある。全体はさらに遮光性を有する容器で覆うことができ、スペースラブ内でのカビ成長実験のために用いられる。



－ F M P T 搭載実験装置の稼働結果－

(今後への反映事項等詳細分析)

第一次材料実験 (F M P T) の搭載実験装置の稼働結果から以下に示す事項についてその解析結果及び今後への反映事項についてとりまとめた。

- (1) 材料実験系システム冷却水切り替えバルブの水漏れ
- (2) イメージ炉のモータスティック等
- (3) 無担体電気泳動装置の吸光度モニタ異常
- (4) 熱電式恒温恒湿保持装置 (低温用) の湿度異常
- (5) 高温加圧型電気炉の試料漏れ
- (6) 音波浮遊炉の加熱浮遊不安定
- (7) 液滴マニピュレーション実験装置の液滴不安定
- (8) 球結晶成長実験装置の試料異常
- (9) 金属微粒子生成実験装置の温度不安定
- (10) 有機結晶成長実験装置の結晶未成長

1. 材料実験系システム冷却水切り替えバルブの水漏れ

(1) 冷却水切り替えバルブの概要

F M P T 材料実験系の実験装置を搭載したラック No. 8 及び No. 10 には、実験装置、制御装置を冷却するための冷却水システムが有り、冷却水切り替えバルブを設け、打上げ・帰還時には冷却水をバイパスラインに流す設計としている。冷却水切り替えバルブは、実験装置・制御装置に冷却水を供給する M E L (Material Experiment Laboratory) ラインに設けられた M E L バルブと、実験装置・制御装置を経由せずラックの外に冷却水を流すバイパスラインに設けられた B Y P A S S バルブの2個のバルブから構成されている。(図1)

(2) 現象

M E L バルブ閉、B Y P A S S バルブ開の状態で行った打ち上げ、軌道上で搭乗員が M E L バルブを開け、B Y P A S S バルブを閉じて実験を開始する。この段階で、M E L バルブから冷却水の漏洩が発見された。

搭乗員による補修作業で、M E L バルブのロックナットの緩みと M E L バルブのステム部分からの漏洩が確認され、M E L バルブのパッキン調整ボルトを締めなおして漏洩を止めた。(図2)

(3) 解析結果及び推定原因

冷却水漏洩不具合について、帰還後以下の調査を行った。

(3-1) パッキンのへたり

バルブ分解・点検を行ったが、パッキンのへたり及び傷等の異常は認められなかった。

(3-2) ロックナットのトルク不足

バルブ全閉の状態で行ったロックナットを締めた場合、バルブを開けるとトルクが減少することが確認された。

これは、バルブを閉めた状態ではステムがシート面を押え付ける力の反力が生じ、ステム及びパッキン調整ボルトに対して上向きに力が掛かり、バルブを開けるとこの反力が失われ結果としてロックナットの締め付けトルクが減少するためである。

(3-3) バルブのステムとパッキン調整ボルトとの友回り

ロックナットを緩めた状態でバルブを開閉したところ、全開となる最後の段階でステムとパッキン調整ボルトが友回りを起こすことが確認された。

この結果、冷却水漏洩については以下の原因が推定される。

- ・国内組立時、バルブ全閉でロックナットにトルクを掛けたため実質トルクが不足し、バルブを開にすることによりロックナットが緩んだ。
- ・K S C での地上試験時のハンドル操作により、パッキン調整ボルトがステムと

友回りを始め、パッキン調整ボルトが緩み僅かな漏洩を生じた。

(KSCでの地上試験データによると、スペースラブシステム全体で3.00cc/dayの規格に対して、約0.75cc/dayの漏洩が記録されている。
また、帰還後の検査でMELバルブの真下及び真横のラック底面及び側面に冷却水の蒸発した跡が見つかった。)

- ・ 打上げの振動により、パッキン調整ボルトの緩みが進行し漏洩が拡大した。
- ・ 軌道上でMELバルブを開とした時、シール部に掛かる圧力が上昇して規格以上の漏洩が生じた。
(BYPASSバルブ閉、MELバルブ開のときMELバルブのシール部にかかる圧力は、BYPASSバルブ開、MELバルブ閉のときに比べて約1kg/cm²大きい)

(4) 今後の計画への反映

1ML-2に同種の冷却水切り替えバルブが使用されるため、以下の対策を行う。

- (4-1) バルブ組立時、バルブ開の状態でロックナットにトルクを掛けるよう手順を見直した。
- (4-2) ロックナットに緩み防止のワイヤを掛ける。

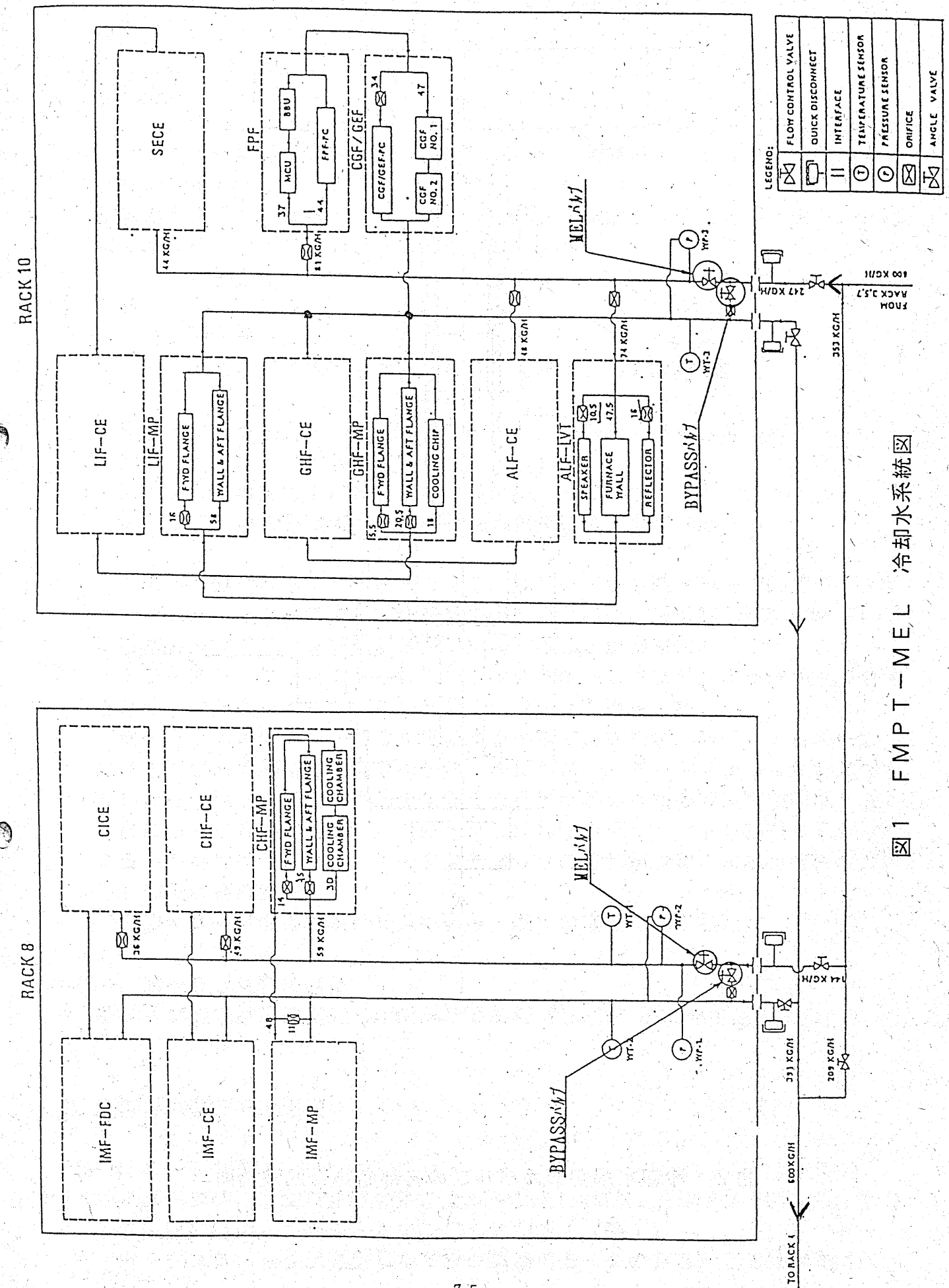


図1 FMPT-MEL 冷却水系統図

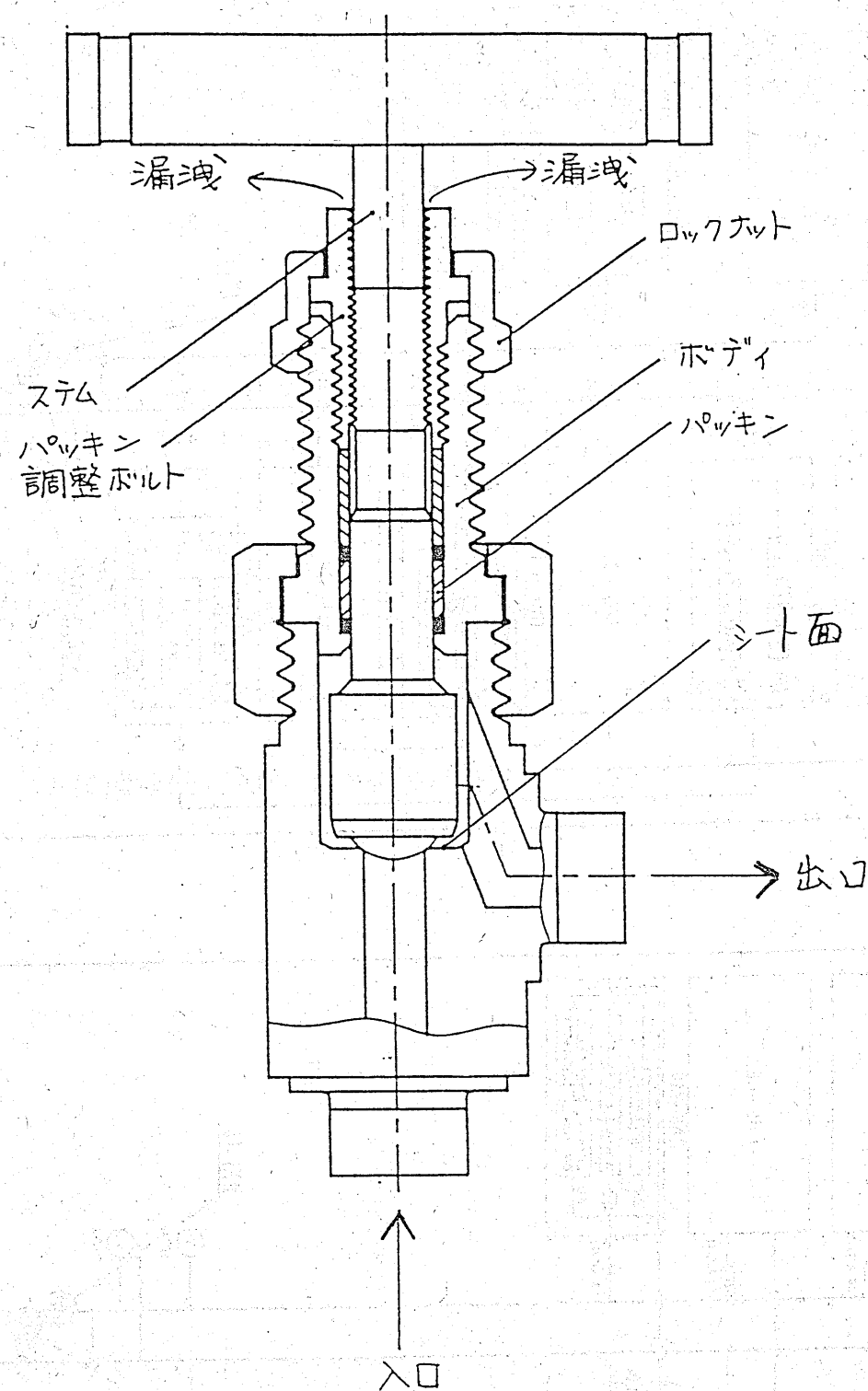


図2 冷却水系切替バルブの各部名称と漏洩箇所

2. イメージ炉のモータスティック等

(1) 装置概要

イメージ炉は、2個のハロゲンランプの光を双楕円反射鏡の共有焦点に集光させて試料を加熱する装置である。試料は炉心管の中で上下のシャフトに固定されて回転する。

反射鏡を上下に移動させることにより熔融域を移動させることが出来る。これにより結晶成長が行われる。(図1参照)

(2) 現象

(2-1) モータスティック

イメージ炉を使用する実験は以下の4つである。

M-02; 無重力下における帯溶融法によるPbSnTe大型単結晶の試作

M-08; ガラスの高温挙動

M-20; 無重力下におけるサマルスカイトの合成

M-03; 浮遊帯域溶融法による化合物半導体結晶の作製

このうち最初に実施したM-02で、加熱終了20分前ミラー移動用モータにモータスティックが発生し、実験を終了した。結晶成長は288分間(2mm/hr)継続する予定で、実験の90%以上実施することが出来た。

ミラーとシャフトとのシールにOリングを使用しており、ミラー移動の負荷となっていると考えられ、この部分にグリースを塗布した。

M-02に続いてM-20を実施する予定であったが、M-03とM-20には上下試料の溶融結合及び切り離し作業があり、モータスティックにより中断した場合残った実験が実施出来なくなる恐れがあったので、実験順序を変更し次にM-08を実施した。(M-08は加熱中下シャフトを回転するだけでミラーの移動はないため、モータスティックの恐れが少なくまたある程度の慣らし効果が期待出来た。)

以後イメージ炉の実験は順調に進み、総ての実験を完了した。

(2-2) M-03 試料の酸化

イメージ炉で最後に実施したM-03試料(In-Sb)が加熱中酸化した。

(3) 解析結果及び推定原因

(3-1) モータスティック

イメージ炉にはミラー移動用、上シャフト移動用、上シャフト回転用、下シャフト回転用の4つのモータを使用している。(図1)

モータスティックが発生したミラー移動用モータの負荷としては、先に述べ

たミラーとシャフトをシールするOリング（図2）、ボールねじ等の駆動力伝達機構及びモータ自身が考えられる。

このため帰還後各部のトルク測定、分解点検を実施した。その結果、次のことが明かとなった。

- 7) Oリング部にはグリースがついており、外観上も異常がない。
軌道上でグリースを塗布した効果があったと考えられる。
- 1) ボールねじ等のトルクの増大は認められない。
- 9) ミラー移動用モータのトルクが他のモータに比べて最大1 kg・cm程度増大していた。
- 1) モータを分解したところ、モータ内のマグネットの一部が欠け又内部にマグネットの粉末が付着している。

この結果及び飛行時の状況から、次のことが推定された。

- ・製造後長期にわたって保管したことによりOリング部の潤滑剤が乾燥し、負荷が増大した。
- ・ラックインテグレーション後の輸送等によりモータ内のマグネットが欠け、マグネットの粉末が付着したことでモータ内のフリクションが増大した。
（ロータとマグネットのクリアランスは0.15~0.25mm）

これらの要因により、ミラー移動系全体の負荷がリミット（リミット値は電流値で規定され0.54A、製造時0.20Aが帰還後0.39A）に近づいていたため、負荷の変動に対し余裕がなくモータスティックが発生した。グリースの塗布により部分的に負荷が軽減され、以降の実験ではモータスティックを防ぐことが出来たと推定される。

(3-2) M-03試料の酸化

イメージ炉は炉体（ミラー部）が移動するためシール部の気密を確保することが困難であることと、真空配管が長くなることから他の電気炉に比べて真空度が悪い（ターボモレキュラポンプ：TMPを回して他の電気炉が 10^{-5} Torr程度であるのに対しイメージ炉は 10^{-3} Torr程度となる）。また長期間加熱しないで保管しておいた場合、実験初期に配管等からのアウトガスの影響で真空度が悪くなるためTMPを回すことが出来ず（真空度が規定値に達しないとTMPのバルブを閉じて保護している）、さらに真空度は劣化する。

そのため真空度を要求する実験は後にする等タイムラインを作成する段階で考慮を払った。実際最初の実験M-02ではTMPは起動せず（M-02の試料は石英アンプルに封入してあるため、実験に対する影響はない）、次に実施したM-08の真空加熱時にTMPによる排気が始まりイメージ炉の真空度が向上した。

計画ではこのM-08をM-03の直前に行うこととしていたがモータステ

ィック発生のためM-08とM-20の実施順序を入れ換えたことからオフガス等による残留酸素の影響が出たと考えられる。（M-03の試料そのものも酸化し易いものである。）

また、M-03実験では、真空引き後試料雰囲気を維持するために加熱時にアルゴンガスを流す。このためTMPのバルブを閉じてガスフローモードに移行するが、結果として真空度が 10^{-2} Torrレベルに低下し、さらに酸化を進めたものと考えられる。

(4) 今後の計画への反映

モータ等の可動部品について、設計・製造上さらに信頼性向上を図る。信頼性試験等の充実、また、潤滑が必要な可動部の保守・点検が十分に行われるよう留意する。

試料の酸化に関しては、十分な不活性ガスフローを行う等雰囲気制御能力の向上を図る。

IMF-MP FURNACE

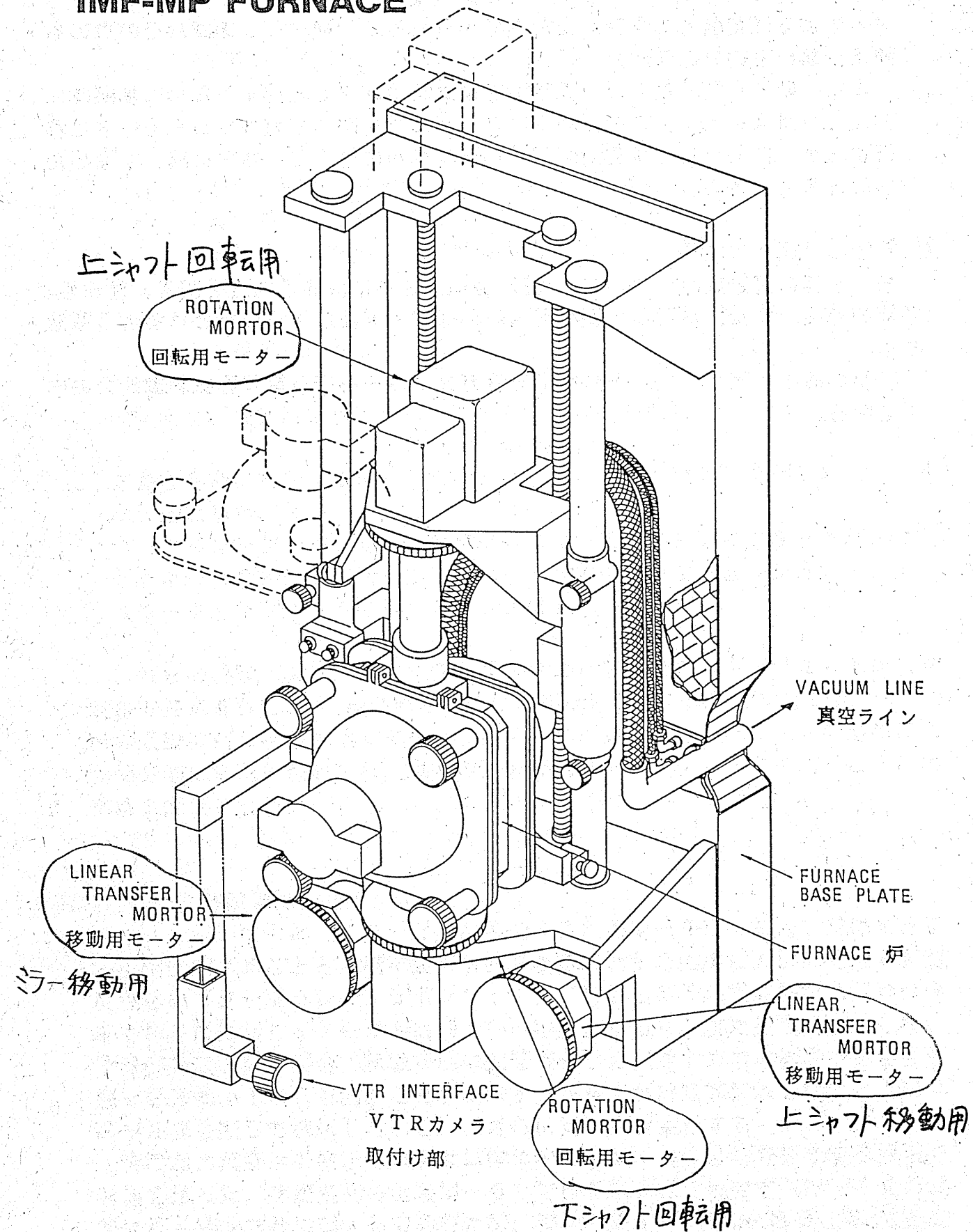


図1 イメージ炉各部の名称

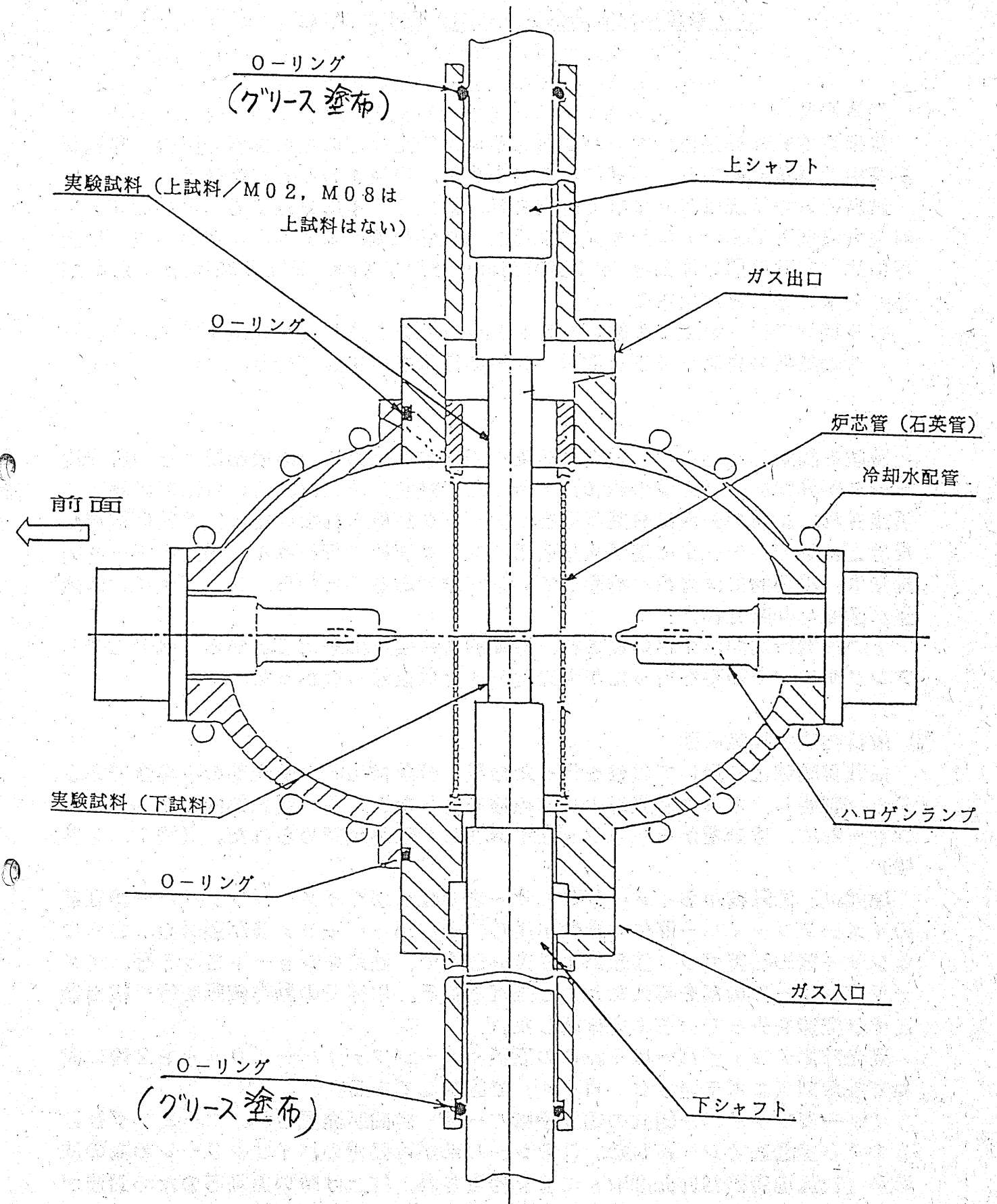


図2 イメージ炉各部の名称 (内部)

3. 無担体電気泳動装置の吸光度モニタ異常

(1) 装置概要

無担体電気泳動装置はタンパク質あるいは細胞などの生体試料を直接、移動緩衝液中で電気泳動させ、連続的にこれを分離、精製することが出来る。

試料の泳動状況は吸光度計で計測され、最大60本に分取することが出来る。無重力環境下においては比重差による沈降や熱対流による外乱がないので、地上用に比べて数倍厚い泳動槽(宇宙実験用泳動槽厚は4mm, 地上実験用泳動槽厚は1.2mm)を用いることが出来る。

宇宙実験では、地上で実験研究者がダウンリンクされる吸光度データをモニタし、泳動条件の見直し及び分取ポイントの指示を搭乗員に行う。

(2) 現象

実験を開始したところ、試料の分離を判断するための分離検出器からの吸光度データが異常な値(光量の飽和)を示した。試料の泳動は、この状態で継続して実施され、試料の分取は分離状態を示すデータが得られないため、事前に取得した地上試験でのデータに基づき分取ポイントを決めて行われた。吸光度データの異常は、現象的には光量が飽和している状態であることから、アンプゲインの調整が必要と判断された。

その後飛行期間が1日延長され、時間的な余裕が出来たことから、軌道上でのアンプゲインの調整を行ったが吸光度データは復帰しなかった。

(3) 解析結果と推定原因

搭載実験装置を用いて試験を行った結果、分離検出器の受光部の不具合であることが判明し、さらに受光部の分解点検を行ったところ、受光部内のイメージセンサー部に、泳動槽からバッファ液が漏洩した痕跡が認められた。(図1、2参照)

原因は、泳動槽からイメージセンサーまで光を導くイメージファイバー組立部のイメージファイバー間にすき間が生じ、そこからバッファ液が浸透し、さらにセンサー窓の石英ガラス接着部より染み込んで、回路をショートさせる等、イメージセンサーに損傷を与えたためと推定される。単体での動作確認を行い検出器自体が機能を失っている事を確認した。

受光部側のファイバーは1mmφの石英イメージファイバー104本を2段に束ねて接着剤(エポティック H74)で固定してある。

イメージファイバー組立の組立段階で一部すき間が発見され、コーニング社製3140接着剤でシールした。このシール部が泳動槽のバイオクリーンの為の洗浄液(次亜塩素酸300ppm/PH7)により侵食され、打上げ時の振動等のため漏洩が生じたものと推定される。装置製作時には泳動槽のバイオクリーン方法が確立しておらず、接着剤とバイオクリーン洗浄液との適合性の確認を実施しなかった。

(4) 今後の計画への反映

IML-2で用いる電気泳動装置の分離検出器受光部は、イメージファイバー部前面に石英ガラスを付加し漏洩対策を強化してある。

これによりファイバーの隙間からの漏洩を防ぐ事が出来る。

図1 分離検出器 光学系説明図

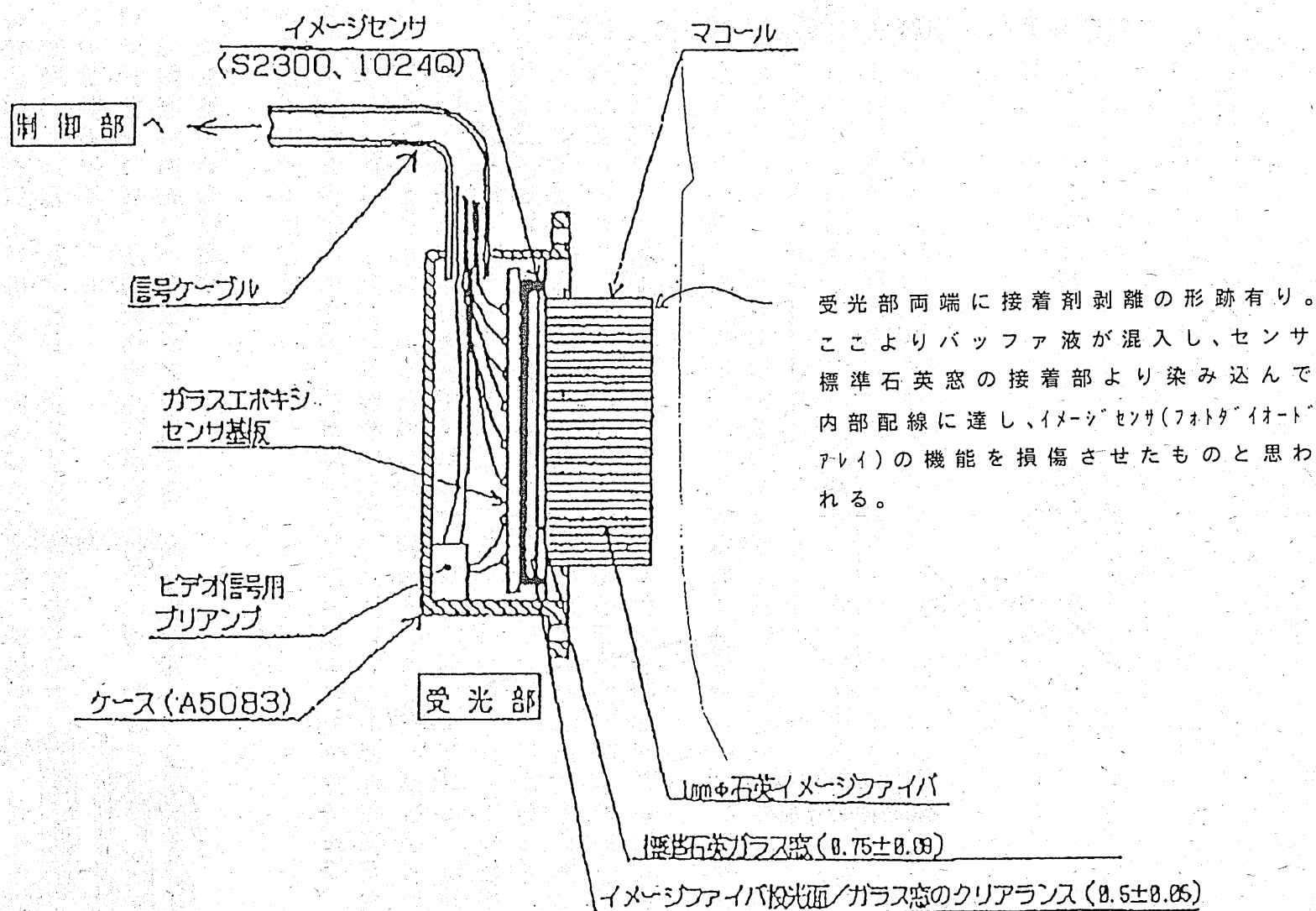
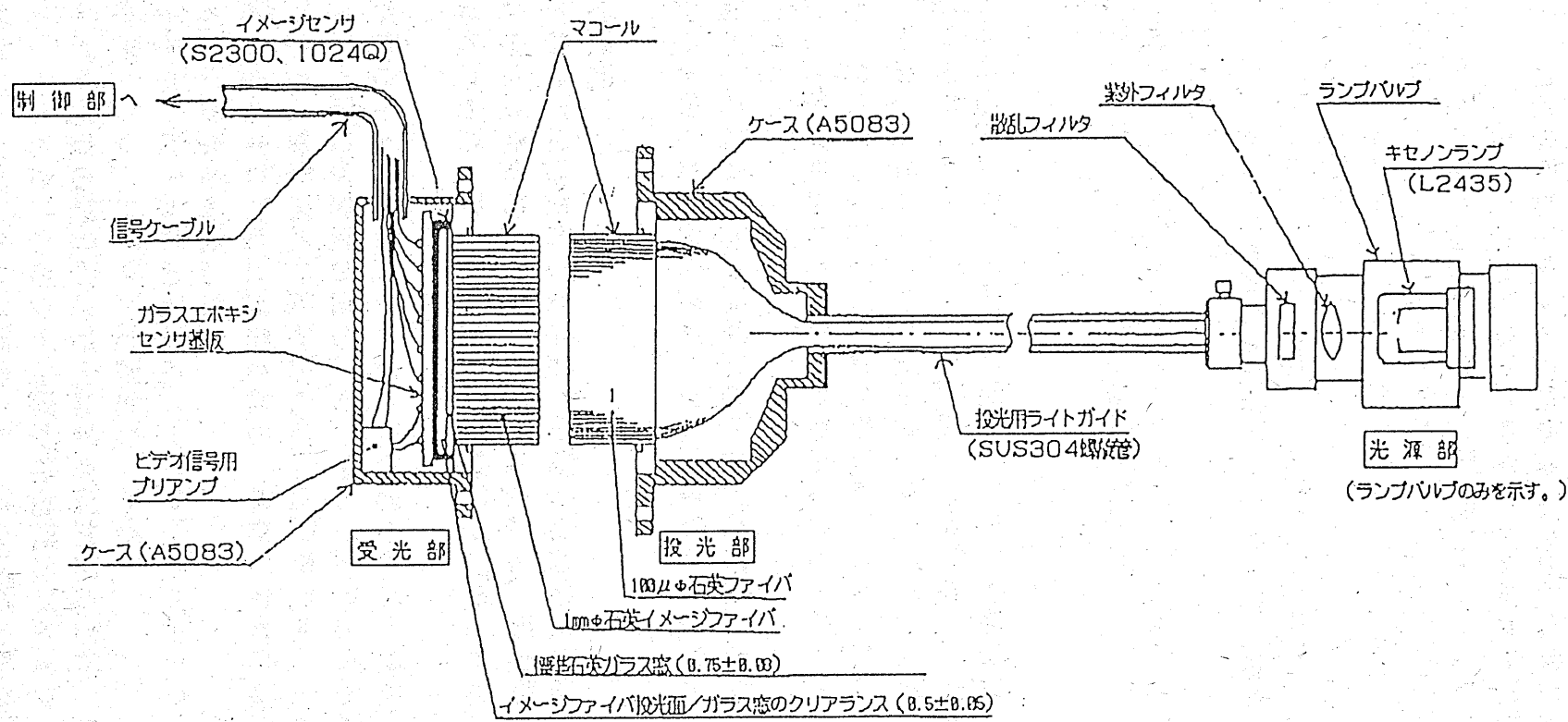


図2 分離検出器 受光部詳細図

4. 熱電式恒温恒湿保持装置(低温用)の湿度異常

(1) 装置概要

熱電式恒温恒湿保持装置は、熱電素子により加熱・冷却の双方向制御可能なインキュベータで、湿度も同時に制御することが出来る。

熱電式恒温恒湿保持装置は2式搭載し、使用目的に応じ高温用(37.5℃、60%)では細胞培養実験キット及び卵ラックを、低温用(20.0℃、60%)では酵素結晶実験キット及びハエ容器を収納され実験が行われた。

(2) 現象

軌道上で装置(低温用)を起動したところ湿度が95%と非常に高い値を示した。実際の温度・湿度制御目標値は、20℃±1℃; 60%±10%RHであり、装置は直ちに減湿モードに入り、通常よりかなり時間を要し約1時間半かけて、湿度は約60%に達した。

その後、試料のハエ容器を収納した後から湿度が徐々に上昇し、24時間後には80%程度となった。一方、温度は装置起動直後より20℃で安定に制御されていた。

これに対応する軌道上処置として、装置外部から空気を取り入れながら温度、湿度を制御する方式に変更を行った結果、湿度は70%程度まで下がり、実験終了まで70%前後の値を示した。図1に示す様に2カ所で栓をはずし、エアルーブを高温用と同じオープン型のコンフィギュレーションに変更した。

元々は低温用は、庫内の空気の中で循環させるクローズループであった。これは、収納する試料の酸素要求があまり多くなかったことによる。湿度は庫内のセンサーにより検知され、それに基づき、加湿・バイパス・減湿のエアラインの切り替えコントロールにより制御する方式としていた。一方高温用は収納する試料の酸素要求が多いことから、装置外から空気を取り入れながら温度、湿度を制御する方式をとっている。

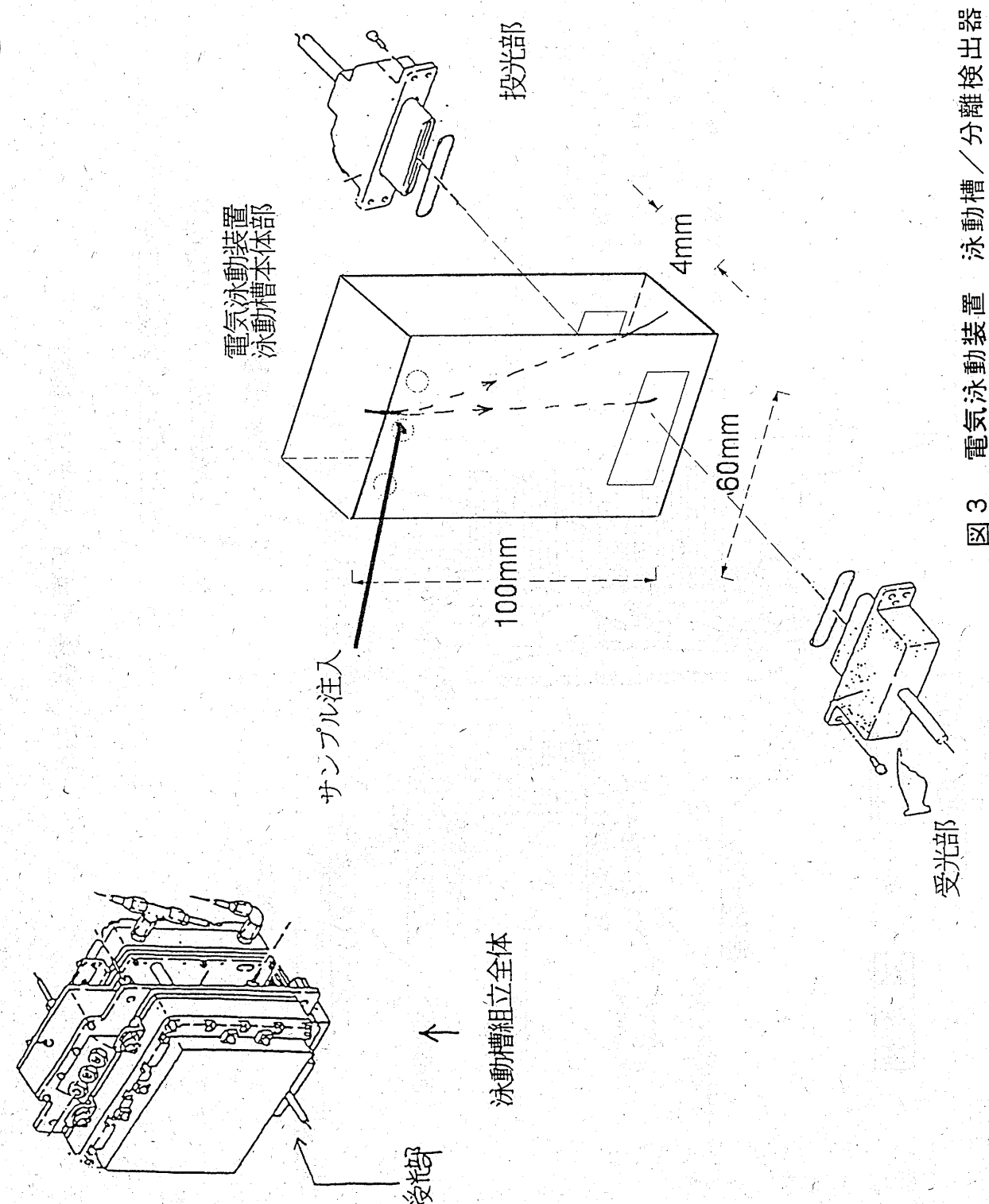
(3) 解析結果と推定原因

搭載装置を用いて試験を行った結果、減湿剤が劣化し減湿機能が失われていることが判明した。減湿剤を新品に交換したところ、装置の機能が正常に動作することが確認されている。

原因としては、減湿剤が、装置本体への装填から打上げまでの期間、約2ヶ月半の間に予想以上に庫内の湿気を徐々に吸収し機能が劣化したものと推定される。この減湿剤の本体への装填は、本装置へのアクセスが可能な最後の時点で実施した。

(4) 今後の計画への反映

IML-2では、減湿剤を装置本体に装填後、庫内の減湿部及び加湿部の空気出入り口を粘着テープで閉鎖し、軌道上で装置を起動する前に粘着テープをはがしオープンとするような手順に変更した。



これにより、庫内の減湿剤の劣化を防ぐことが出来る。

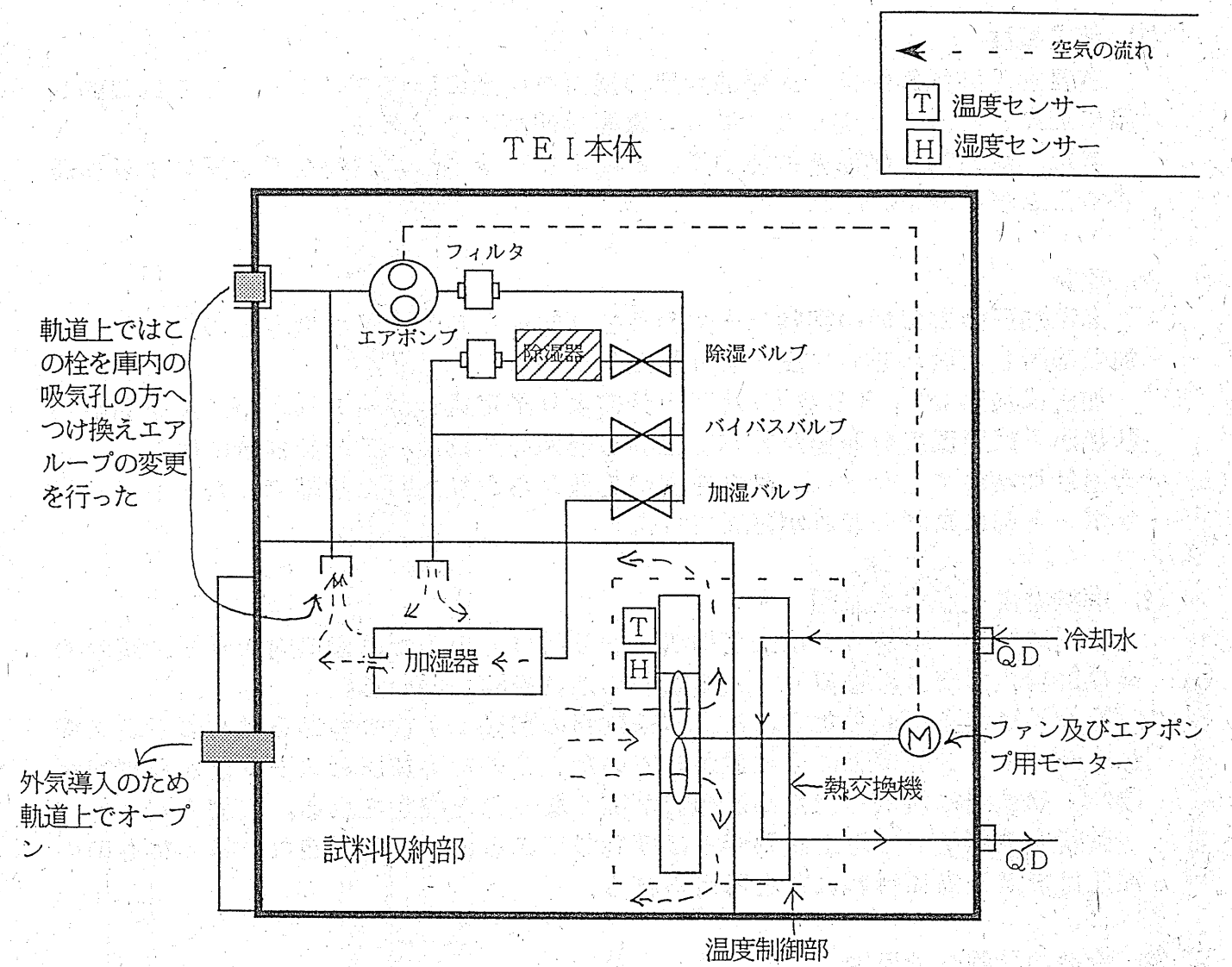


図1 熱電式恒温恒湿保持装置（低温用）内空気循環図

5. 高温加圧型電気炉の試料漏れ

(1) 装置概要

高温加圧型電気炉は、比較的大型の試料を所定の温度プロファイルで比較的高温に加熱でき、ヘリウムガスにより急速冷却が可能である。

また、試料加圧機構を付加することにより、熔融した試料をガス圧により加圧することが出来る。

(2) 現象

高温加圧型電気炉の実験テーマのうち「M-06；粒子分散合金の作製」では、加熱熔融した試料をガス圧により加圧している。

加圧は加熱(約1380℃)終了1分前より予定通り開始されたが、加圧開始15秒後から試料温度計測値が約20℃上昇し規格を外れた。この45秒後にはシーケンス通り加熱終了となった。試料を実験装置から取り出した段階で、カートリッジサポート部に試料の洩れが確認された。

(3) 解析結果及び推定原因

本実験のカートリッジは加圧機構を取り付けているため溶接封入せず、試料の前後に封止ガラス板を置くことで試料の洩れを防いでいる。

帰還後試料を切断したところ、本来試料の前後に1枚ずつあるはずのガラス板がカートリッジ先端部に2枚置かれていた。このため加圧ピストン側から試料が洩れ、熱電対に接触したため計測値が高くなったと推定される。(図1)

試料中のボイドは地上試験時とほぼ同じであるので、試料洩れがあったものの加圧はほぼ正常に行われたと考えられる。

(4) 今後の計画への反映

IML-2においても試料の加圧が計画されているが封止ガラスは使用出来なく、試料の洩れが予想されるため、加圧ピストンのストロークを制限して洩れた試料が熱電対に接触しないようにしている。

参考 正常なカートリッジ組立 (図2)

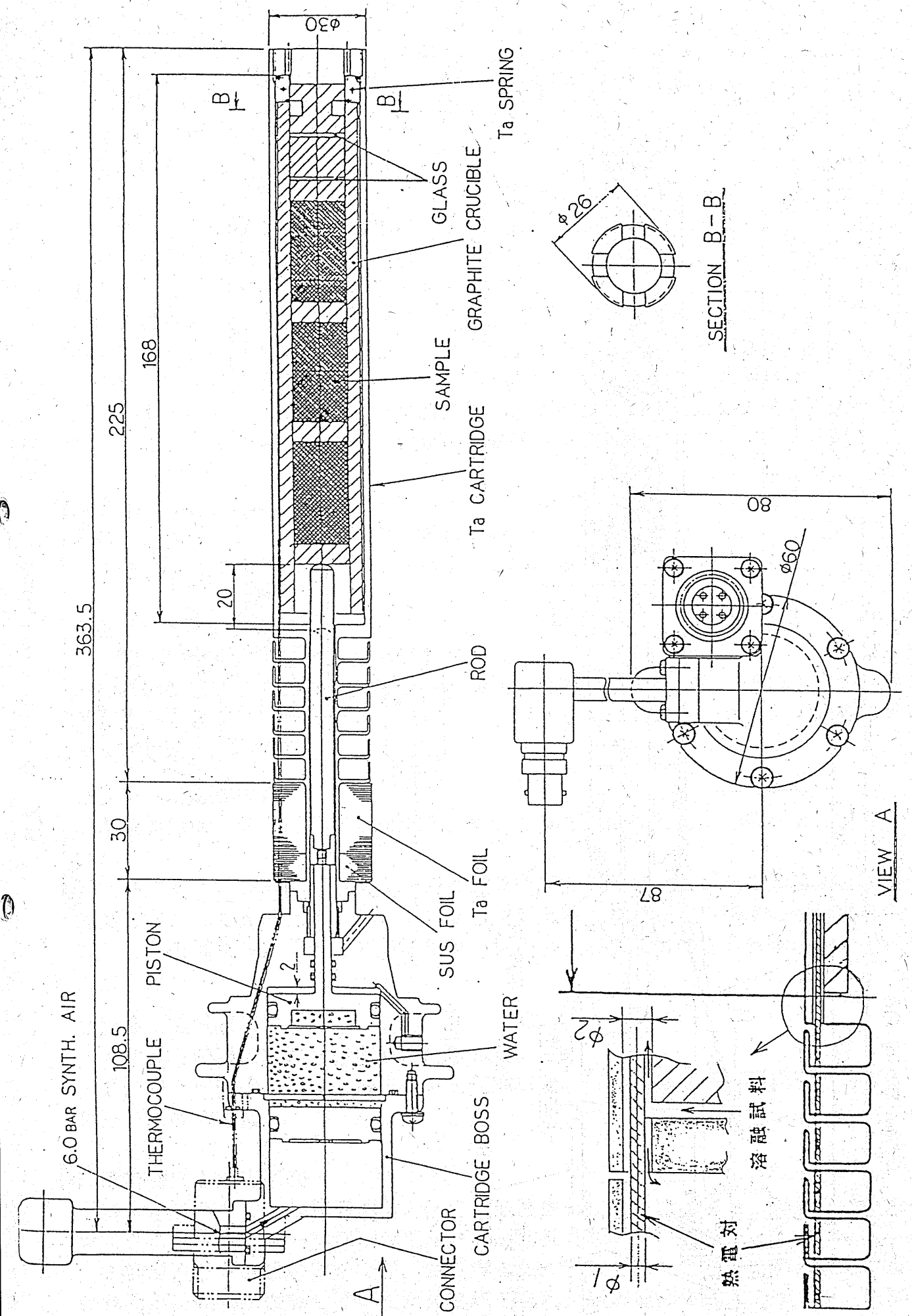


図1 実験試料の実際の配置 (加圧後)

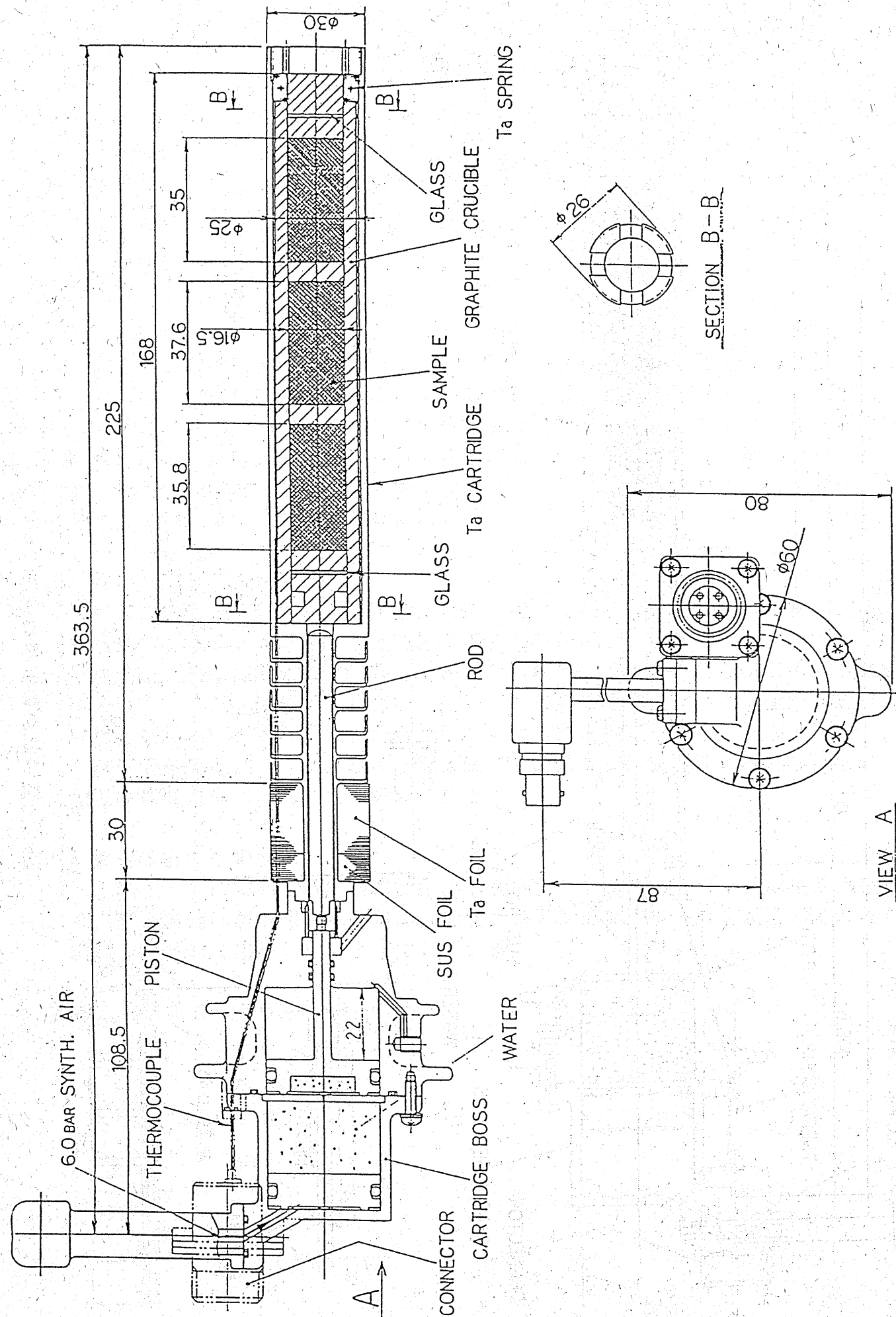


図2 カートリッジ (加圧前)

6. 音波浮遊炉の加熱浮遊不安定

(1) 装置概要

音波浮遊炉は、双楕円体面反射鏡を有するイメージ加熱炉体部と、定在波音場を形成する浮遊機構部から構成される。(図1)

イメージ加熱炉体部は、2個のハロゲンランプを加熱源として、共有焦点上に置かれた球状試料表面に集光させ加熱を行う。

浮遊機構部は透明石英炉芯管内に、炉芯管の一端に取り付けたスピーカとその他端に取り付けた音波反射体とにより音圧、周波数を制御し定在波を形成する。

また、試料は白金製ケージに挿入されており、浮遊に先立ち試料はケージ内上部に吸引・固定し、反射体を自動的に最適位置に設定した後、炉芯管内に置かれた球状試料に音圧を作用させて試料の浮遊保持を行う。

(2) 現象

実験は、低融点試料1個と高融点試料2個の計3回実施された。

各実験の状況は概ね以下の通りである。なお、試料は3個とも溶融した。

1回目；低融点試料

浮遊開始から試料の縦方向の振動が継続した。

加熱開始後約10分間、予定通りの加熱浮遊制御を実施した。その後試料は加熱焦点からはずれ、ランダムにケージ内を運動したが、加熱開始約21分後にケージに付着した。

2回目；高融点試料 (No. 1)

浮遊開始時、試料は回転しながらわずかに横方向に揺れたが、非常に安定していた。

加熱開始後約3分間、予定通りの加熱浮遊制御を実施した。その後目標とする共振モードを見失ったが、約1100℃付近と約1400℃以降冷却中は別の共振モードを捕え共振周波数を追従した。試料は、加熱開始約19分後にケージに付着した。

3回目；高融点試料 (No. 2)

1回目と同様に試料の縦振動が継続した。

2回目とほぼ同時期に共振モードを見失った。試料は加熱開始後約22分後にケージに付着した。

(3) 解析結果と推定原因

音波浮遊炉では、共振周波数近傍で周波数をわずかに変化させ、反射体中央のマイクロフォンでピーク音圧が得られる周波数を求めている。

1回目及び3回目の実験では、試料浮遊後、予定されたとおりの加熱昇温が行われたが、試料が振動していたため音場の乱れが制御範囲を超えて増大し、以降浮遊制御出来なくなると推定される。

2 回目の実験も、試料浮遊後、予定どおりの加熱昇温が行われた。温度の上昇とともに音圧ピークが見つけにくくなり、一旦目標とする共振モードを見失い、別のモードで共振周波数を追従し安定した音圧が得られたが、1 回目と同様試料が振動していたため、加熱開始 19 分後に試料がケージに付着し、以降浮遊制御出来なくなったと推定される。

(4) 今後の計画への反映

浮遊実験のように地上では限られた予備実験しか出来ないものについては、微小重力での実験データを蓄積し解析の精度を上げる必要がある。

実験装置としては、以下のような改良が考えられる。

- 7) 計算速度の高速化により試料の振動による音場の乱れを極力小さくする制御を行う。
- 1) 音圧レベル等のパラメータを軌道上で実験中に変更出来るシステムにする。

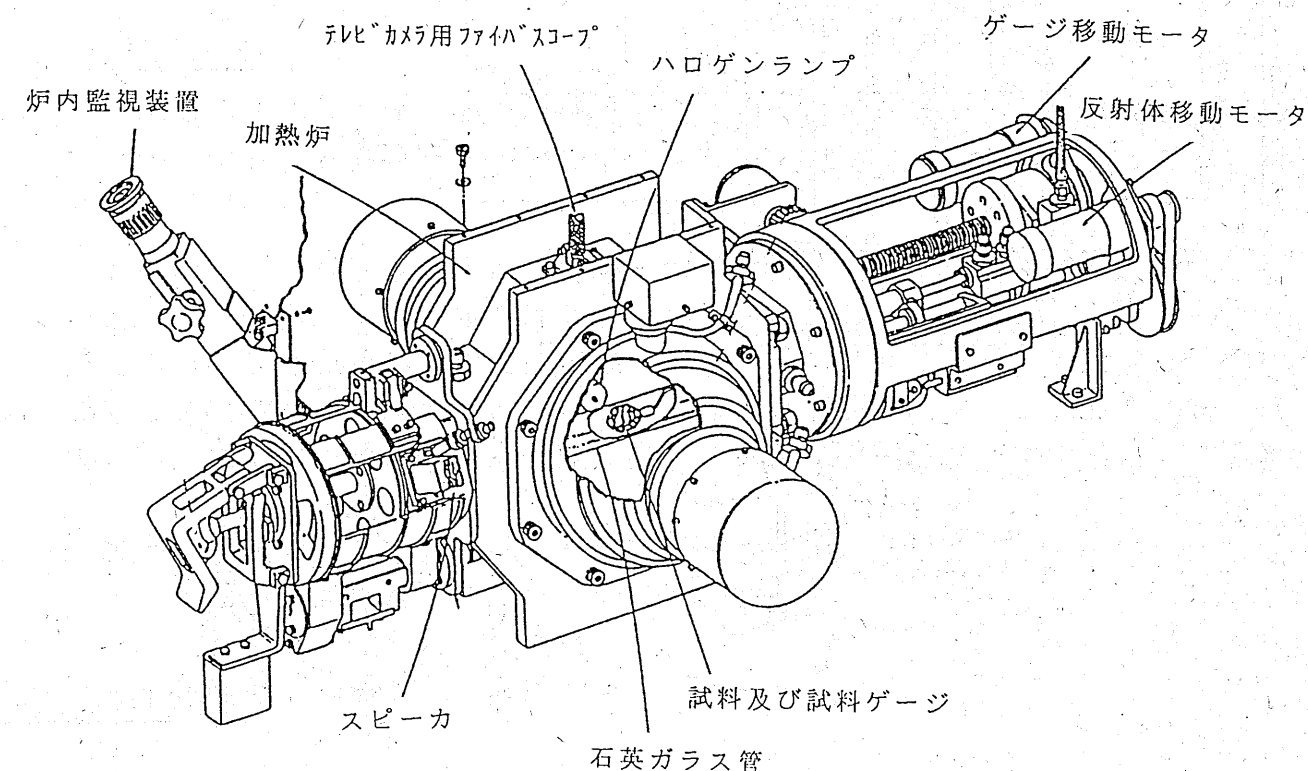


図1 音波浮遊炉概要

7. 液滴マニピュレーション実験装置の液滴不安定

(1) 装置概要

液滴マニピュレーション実験装置は、浮遊する液滴の挙動を観測する装置である。

浮遊箱の3軸方向にそれぞれスピーカが取り付けられており、周波数、音圧を制御し、位相に変化を与えることにより注入された液滴を浮遊安定させ、さらに回転や変形をさせる。(図1)

実験の概要：

微小重力下で浮遊する液滴は、主として、液の表面張力と密度及び液滴の直径に依存する固有振動数と固有振動モード、及び液滴の粘性に依存する減衰特性をもっている。

実験の第一の目的は微小重力空間でのこのような液滴の自然特性を測定すること。第二の目的は浮遊箱内に浮遊される液滴の音波との干渉を測定すること。第三の目的は浮遊液滴に音波位相差による回転トルクを与え、浮遊液滴に回転、運動を発生させ、液滴の回転、変形、回転による分裂のメカニズムを観察し液滴の無接触マニピュレーション技術に関する基本的問題を研究することである。

次の3種類の大きさの液滴で実験を計画した。

- 1 回目 (実験A) ; 直径19mm
- 2 回目 (実験B) ; 直径10mm
- 3 回目 (実験C) ; 直径23mm

(2) 現象

第1回目の実験で液滴(直径19mm)を作成し、液滴を針から切り離すため音圧を上昇させたとき液滴の挙動が乱れるのが観察されたが、そのまま切り離した。液滴は乱れた運動をしながらしばらく浮遊していたが、やがて2つの大きな塊になって飛散し、浮遊箱壁面に付着した。

再度直径19mmの液滴を作成し切り離しを行ったが、液滴はY軸のスピーカ面に引き寄せられるように移動し付着した。このため以後安定した音場を得ることが出来ず、液滴を針につけたまま実験を行った。

(3) 解析結果及び推定原因

液滴が飛散した原因については以下のように推定出来る。

最初の操作で共振点サーチまでは正常に終了したが、その後液滴が針の中心についた状態から液滴を切り離すためにX-Y軸の音圧を上昇したことにより、液滴が変形した。本実験装置では液滴の変形に対し共振周波数を追従出来ないため音場が乱れ、液滴が浮遊箱壁面に付着した。

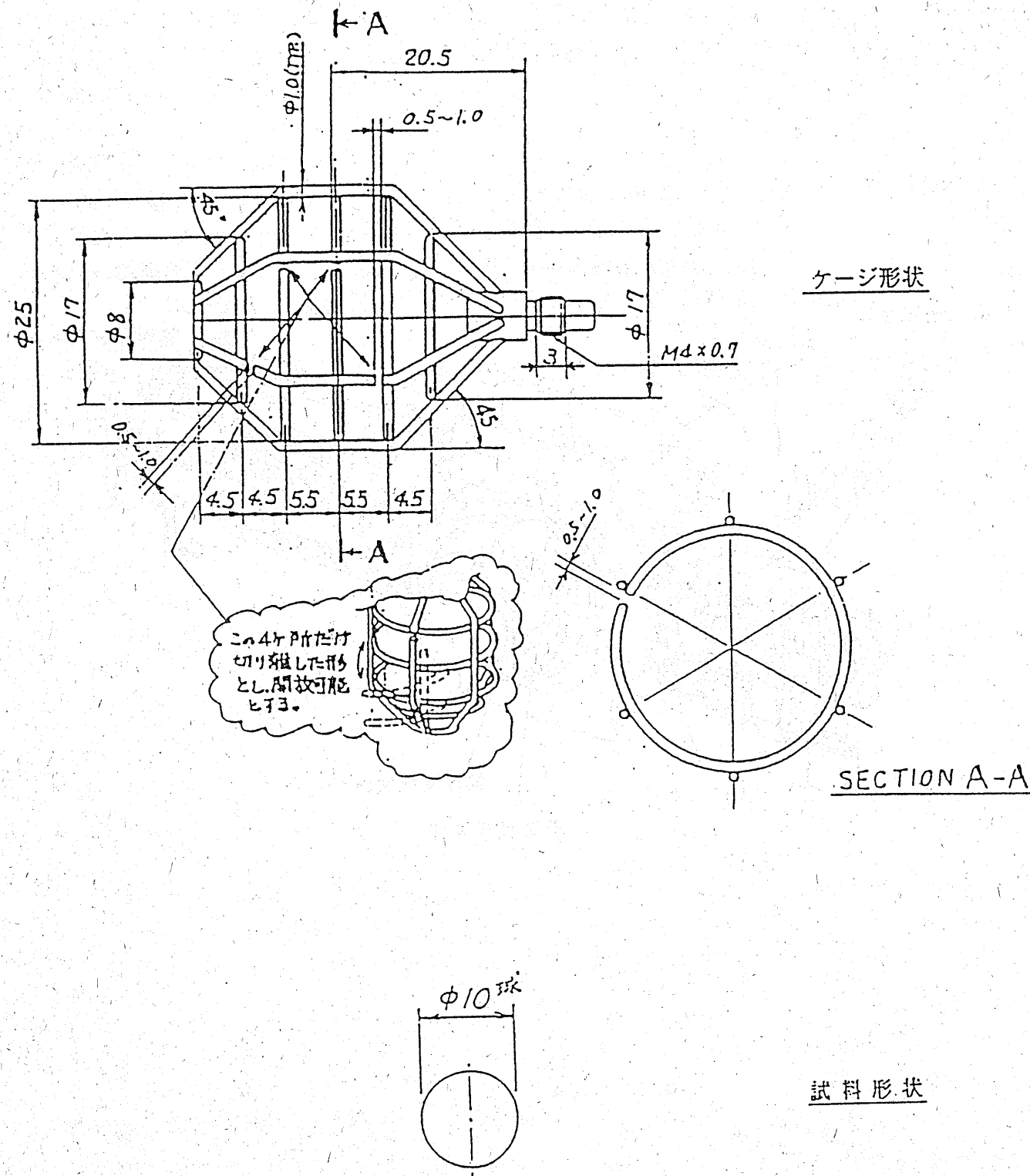


図2 実験試料とケージの寸法及び形状

音圧を下げて再度液滴の作成及び切り離しを試みたが、壁に付着した液滴が障害になり正常な音場が得られず、液滴が針の左側、つまりスピーカ側に寄っていたため、液滴がスピーカ面に付着した。

液滴がスピーカ面に付着したため以降Y軸の音圧が下がるとともに、X-Y軸の共振点サーチが正常に行えなくなった。

(4) 今後の計画への反映

浮遊実験のように地上では限られた予備実験しか出来ないものについては、微小重力での実験データを蓄積し解析の精度を上げる必要がある。

また、実験装置としては、以下のような改良が考えられる。

- 7) 液滴切り離し方式の最適化及び液滴が浮遊箱壁面あるいはスピーカ等に付着した場合、以後の実験を行えるよう、付着した液滴を除去出来る機能を付加する。
- 1) 液滴の乱れ等実験状況の変化に対応出来るよう音圧レベル等の実験パラメータを軌道上で実験中に変更出来るシステムとする。

LIQUID DROP MANIPULATION EXPERIMENT FACILITY CONCEPT (FRONT VIEW)

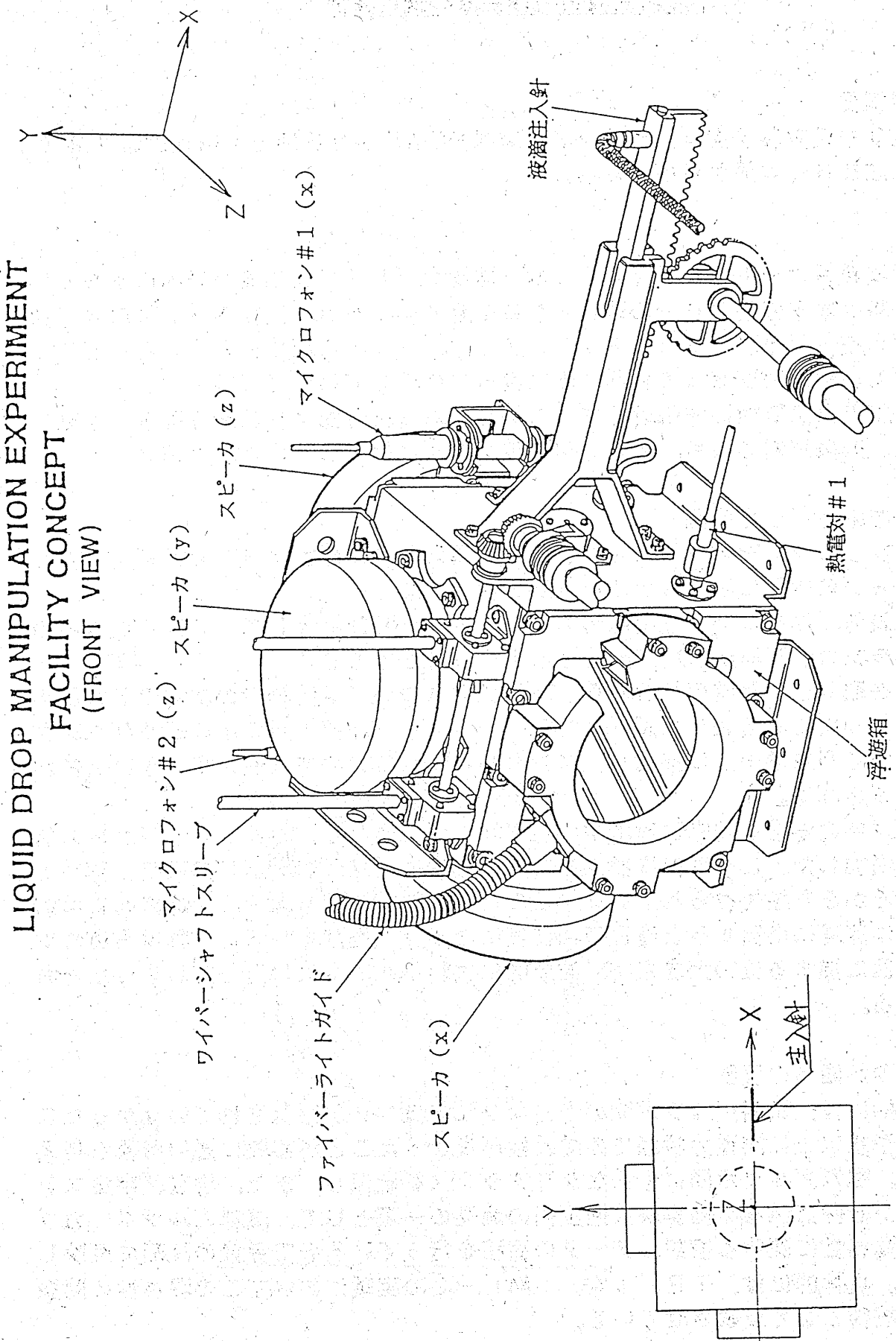


図1 実験装置概要 (浮遊箱)

8. 球結晶成長実験装置の試料異常

(1) 装置概要

球結晶成長実験装置は、球状結晶を溶融・再結晶させる炉と、棒状試料を溶融・球結晶成長させる炉から構成される。

(2) 現象

球状試料用カートリッジは、2つ割り球形カプセルの先端側が炉内に落ちていた。試料は本来直径20mmの球状となる予定であったが、直径13mm位の半球状のものが残った半球カプセルのプラスチックボール出口部に付着するとともに、溶融試料が球面カプセルの表面全面に渡って付着していた。(図1)

棒状試料は熱電対の先端近くまで溶融しており、計画より25mm程度多く溶融していた。溶融試料のうち、大部分が石英ルツボに付着していた。(図2)

(3) 解析結果及び推定原因

溶融シリコンはTaカートリッジと反応し易いため、球状試料・棒状試料ともカートリッジの内側に石英ルツボが装着されている。

球状試料、棒状試料とも溶融時の試料寸法を直径20mmとして、石英ルツボとのクリアランスが3.0mm及び1.5mmとなるよう設計してある。

試料を取り出した時の状況から、球状試料については溶融時の試料の形状が不安定であったため溶融した試料がプラスチックボール挿入用の出口部及び試料クランプねじ用穴のTaに接触し、タンタルとシリコンの濡れ性が良く吸い出されたと推定される。

棒状試料の場合も同様に溶融中に石英ルツボに接触し、カートリッジからの伝熱量が増加した。この事は均熱保持後25分30秒位に試料温度が13℃程度上昇していることから裏付けられている。このため試料溶融量も増加し、最終的には溶融試料は真球に換算すると直径22mm程度になったと推定される。これは石英ルツボの内面に接する位の大きさで、結果的に試料がルツボに付着してしまったと考えられる。

(4) 今後の計画への反映

結果的には、試料／ルツボ間の十分なクリアランスが確保されていなかったこと及び予想以上に無重力状態での濡れ性が良かったことが実験に悪い影響を与えたので、試料／ルツボ間に十分なクリアランスを確保し、また、現在、宇宙ステーション計画に係る宇宙実験共通技術の開発の一環として、試料とルツボ、カプセルの濡れ性に関する検討、データの蓄積を行っているので今後の計画に反映していく。具体的には、TR-1A、IML-2の実験においてこの濡れ性の問題を基礎技術として反映させている。

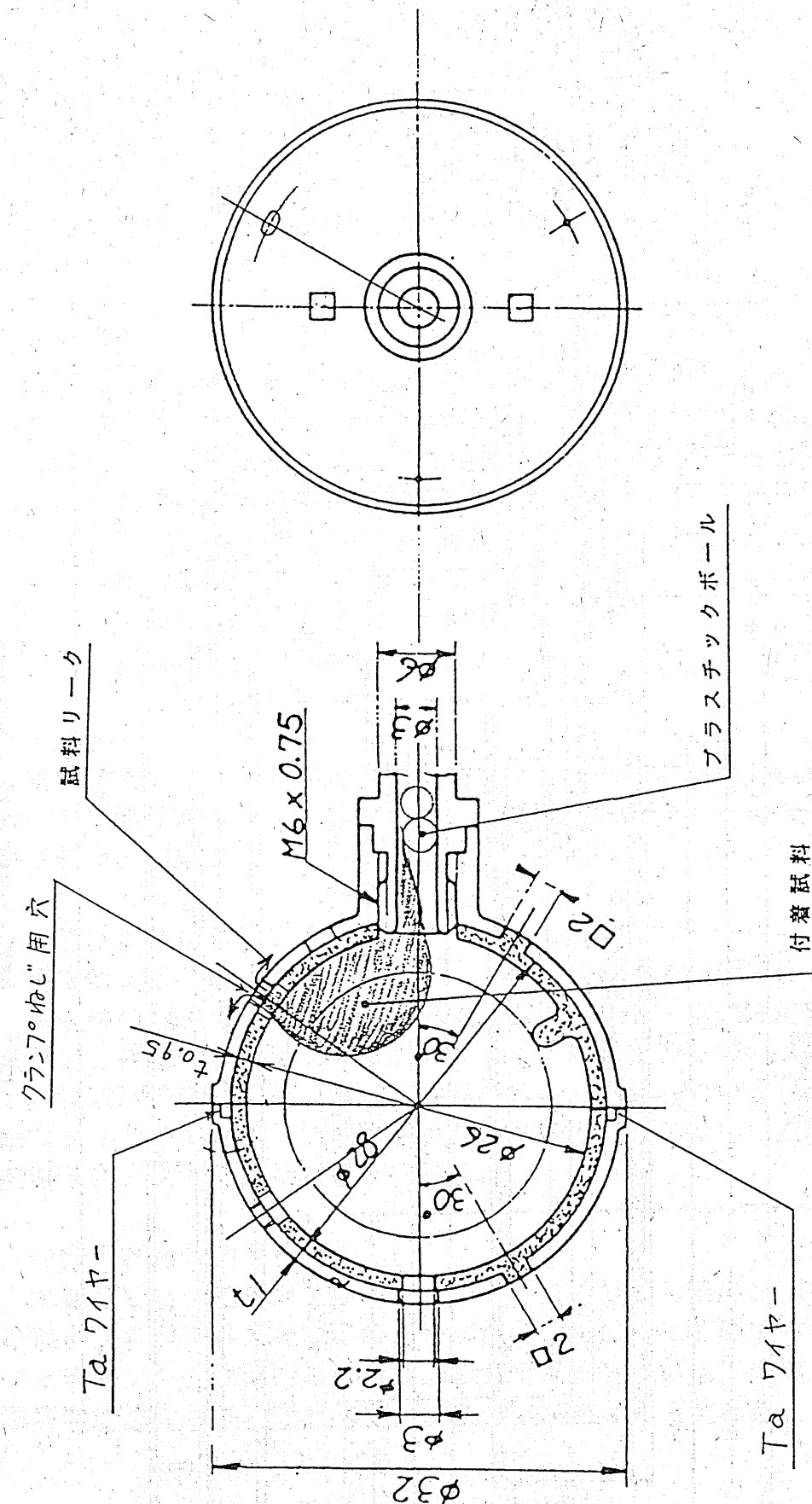


図1 試料リリーク部詳細 (球状試料)

9. 金属微粒子生成実験装置の温度不安定

(1) 装置概要

金属微粒子生成実験装置は、無重力下の希ガス中で金属を加熱・蒸発させ、対流の影響を受けずに過飽和状態の金属蒸気が凝縮することにより金属の微粒子を得る装置である。

実験の概要：

50mgの銀試料を付着した加熱フィラメントを不活性ガスとともに、球状のガラス容器の中に封入した外径約8cmの実験球4個を順次点灯し、物質の蒸発、拡散、凝結過程についての基礎データを得ることを目的としている（図1）。不活性ガスは以下の条件で封入されている。

実験球A	アルゴン	50Torr
実験球B	アルゴン	300Torr
実験球C	キセノン	5Torr
実験球D	キセノン	100Torr

(2) 現象

実験球A～Cは予定の温度プロファイルどおり実験が行われたが、実験球Dについては温度がランダムな値を示し急激な試料の蒸発と微粒子の激しい拡散が観察された。（図2）

(3) 解析結果及び推定原因

温度計測値がばらついている状況から、熱電対の接触不良と推定される。

実験球の製造については、フライト用製作前に一連の環境試験を含む確認試験を行い、確定した製造プロセスでフライト用を製造している。フライト用の調達、実験球の振動試験、導通試験等を行い、選定しているが、その過程で抽出出来なかった熱電対ループの欠陥が打上げ時の振動あるいは実験中の加熱によって接触不良となって出たと推定される。

(4) 今後の計画への反映

本装置では、熱電対をフィラメントに直接接合し温度計測を行っているが、この接合部の潜在的欠陥抽出のための試験手法について改善する必要がある。また、フィラメント・熱電対の接合による直接温度測定の外、非接触温度計測等、実験環境に最適な温度測定方法についても検討する必要がある。

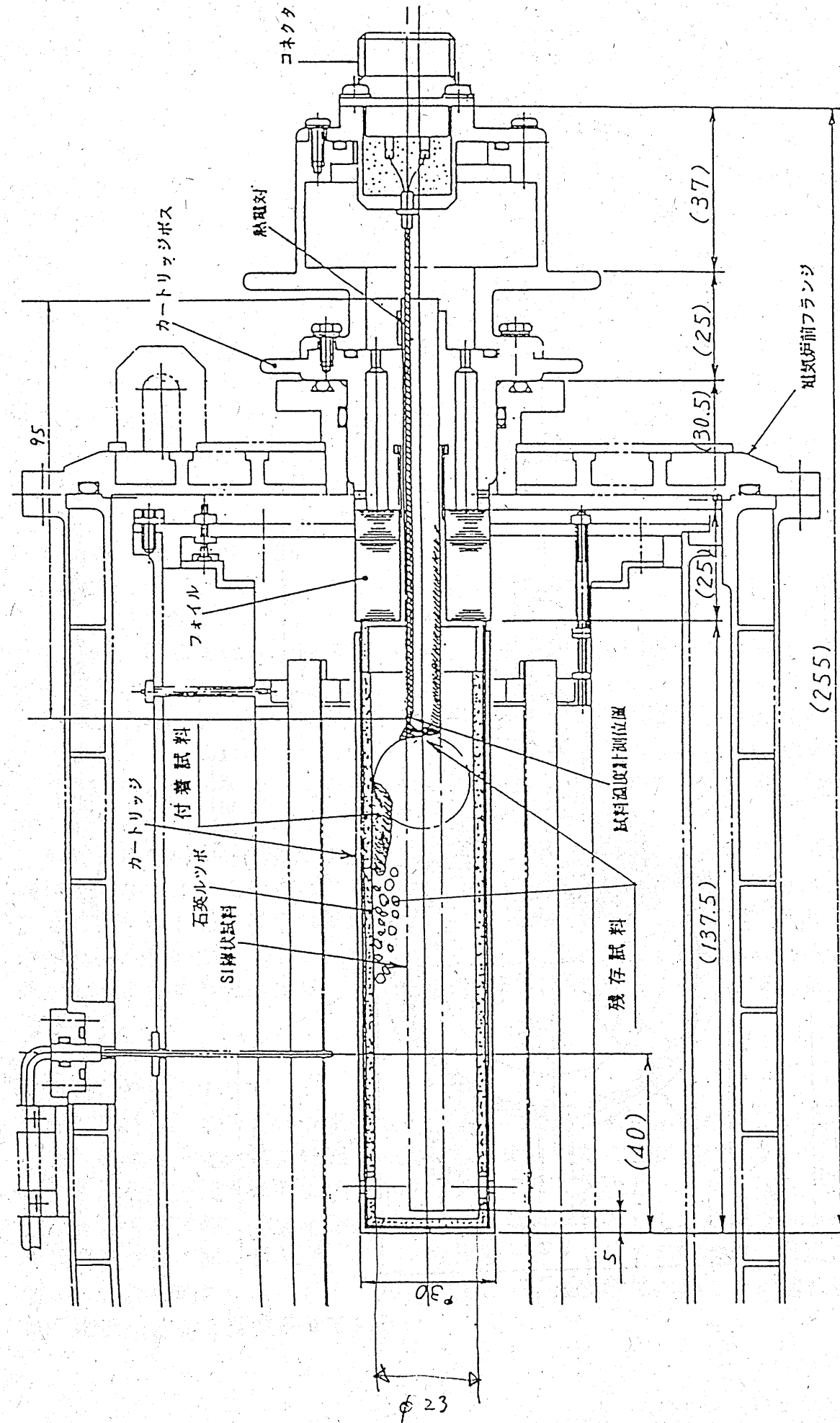


図2 溶融試料部詳細（棒状試料）

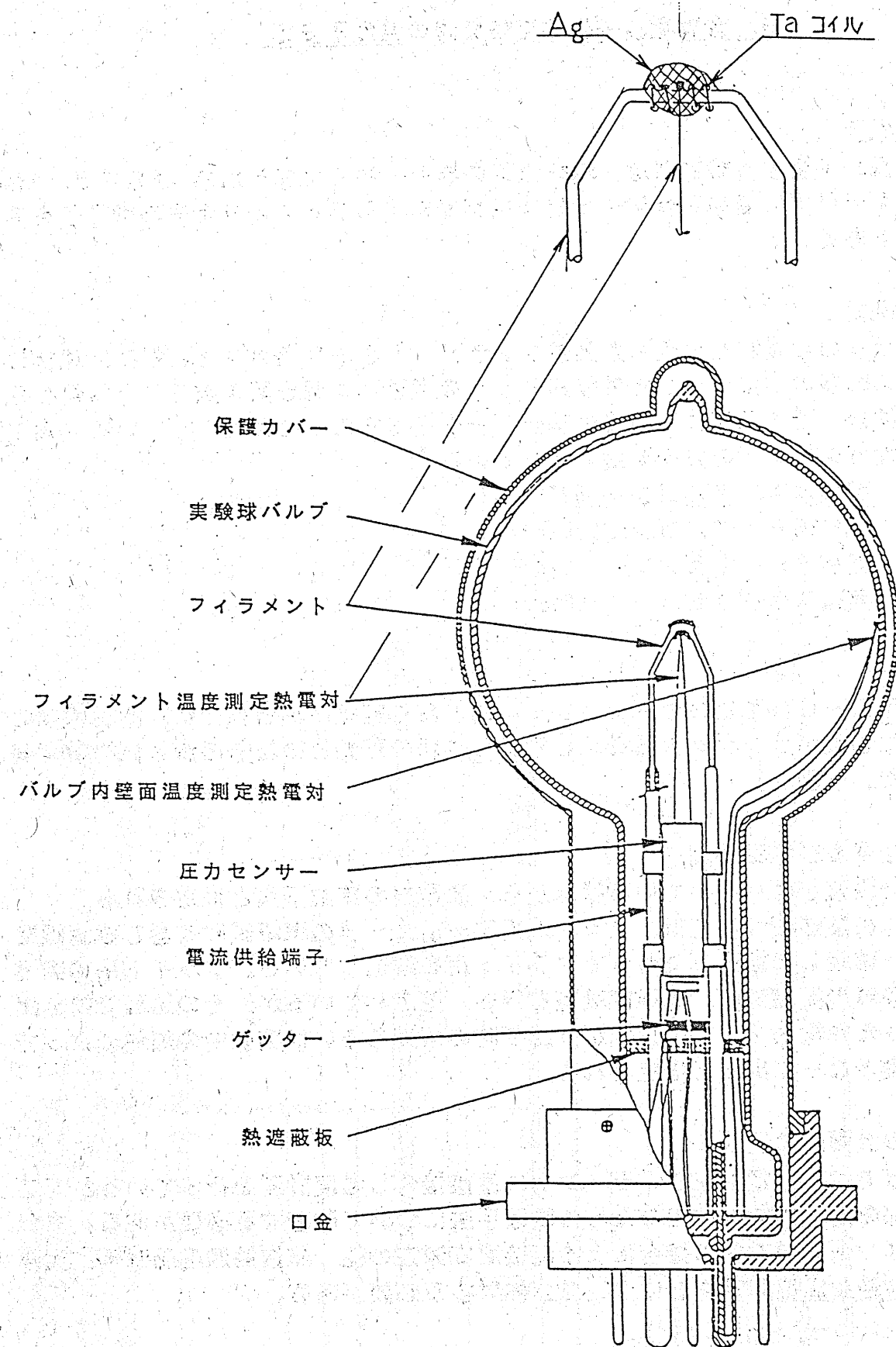


図1 実験球概要

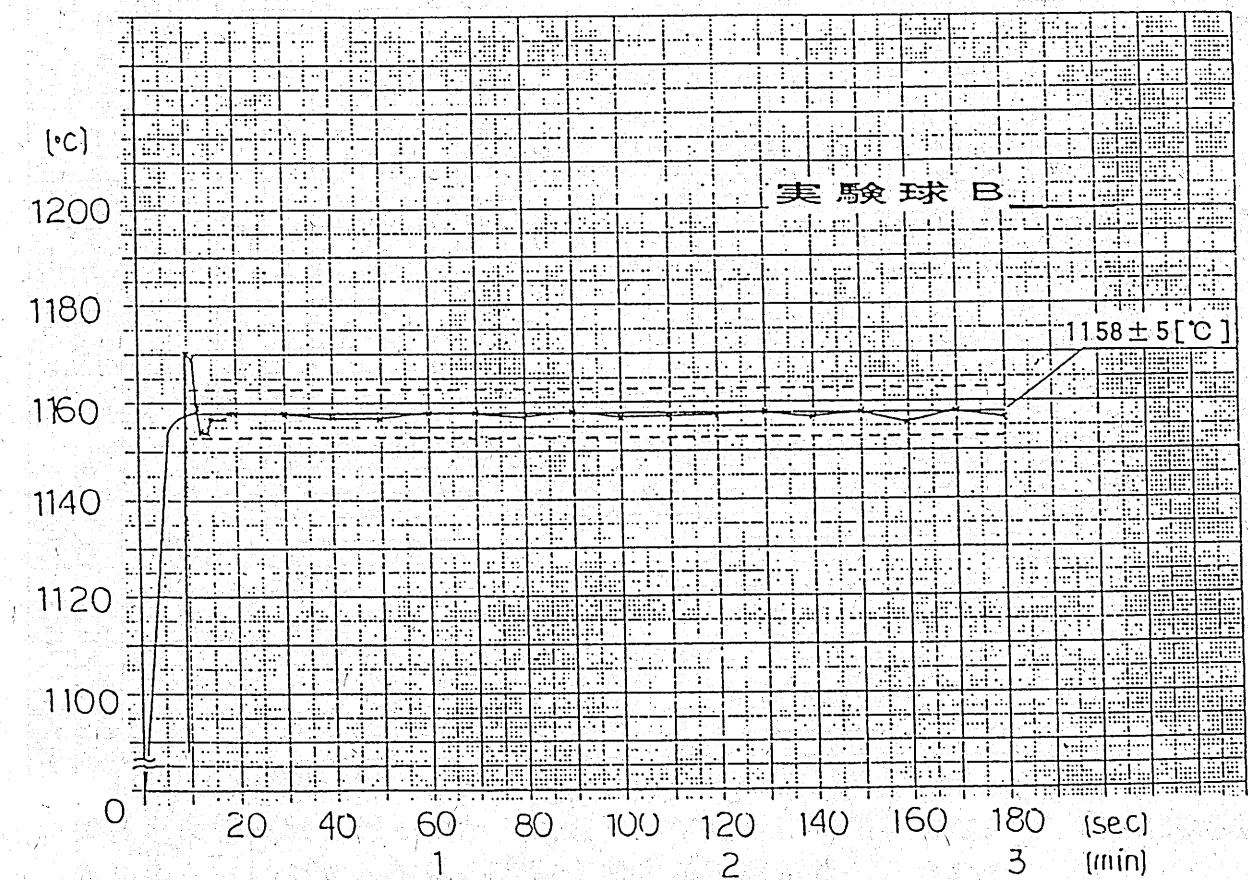
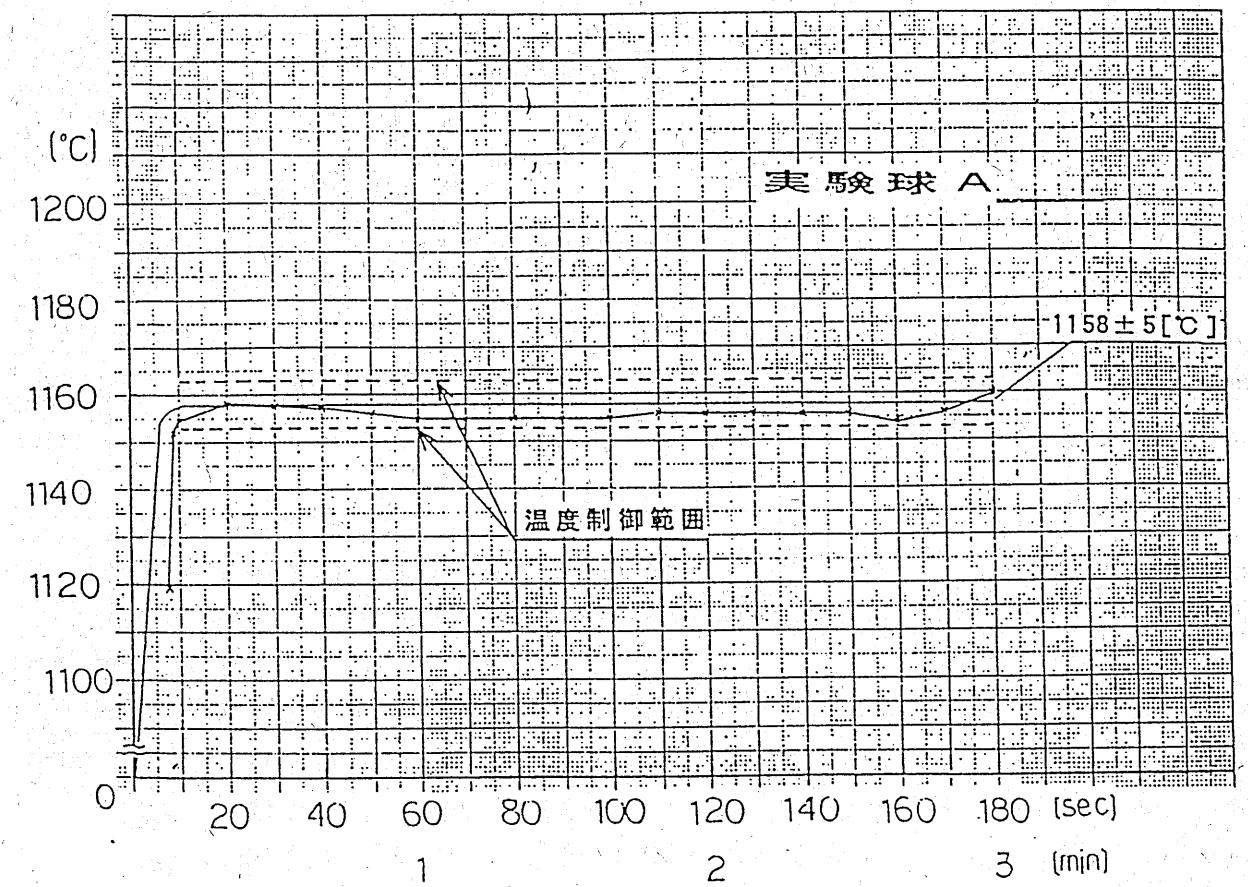


図2 温度プロファイル (1/2)

10. 有機結晶成長実験装置の結晶未成長

(1) 実験装置の概要

有機結晶成長実験装置は、結晶成長観測用の小型セルと大型の結晶を得るための大型セルから構成されている。

それぞれのセルは、ドナー室、反応室、アクセプター室の3室から構成され、各室の隔壁を開放することにより、中央の反応室内の有機溶媒中にドナー、アクセプターの2種の有機化合物を拡散、反応させ、有機結晶を成長させる。

実験の概要：

約1mlの有機溶媒中(アニソール)で、数時間で結晶成長を終了し得るマイクロ結晶セル(小型セル)を使用し、その成長過程を光学カメラによりフィルムに記録する。(図1)

物性評価の可能な大きさの結晶を得られる大型の結晶成長セル(大型セル)を使用し、可能な限り長い時間をかけて結晶成長を行う。(図2)

試料 ドナー；TMTTF (テトラメチルテトラフルバレン)
 アクセプター；TCNQ (テトラシアキノジメチン)

(2) 現象

(2-1) 小型セルについて

ドナー溶液・飽和溶液・アクセプタ溶液の色がいずれも充填時に比べて薄くなっており、飽和溶液中に入れた種結晶1個は認められなかった。

(2-2) 大型セルについて

ドナー溶液・飽和溶液・アクセプタ溶液はいずれも充填時とほぼ同等な色をしめしており、飽和溶液に入れた種結晶3個はほとんど充填時の形状を保って残っていた。

(3) 解析結果及び推定原因

セルを分解する際に外観点検を、溶液抜取り後に2つのセルの外観点検・機能点検を実施したが、特に異常はなかった。また、小型セル溶液自身については変質していることを確認した。

(3-1) 小型セルについて

小型セルは撮影を行うための窓がある。スペースラブに装着した状態で保管中この窓から入光があり、試料の変質が生じ、反応が起こらず、結晶が生成出来なかったと考えられる。

開発時、漏洩に関する安全性確認のため、試料の量の多い大型セルについては長期保管試験を行ったが、大型セルは完全に密閉状態なので、結果的に小型セルの入光に対する溶液の変質に関する影響が見落とされた。

(3-2) 大型セルについて

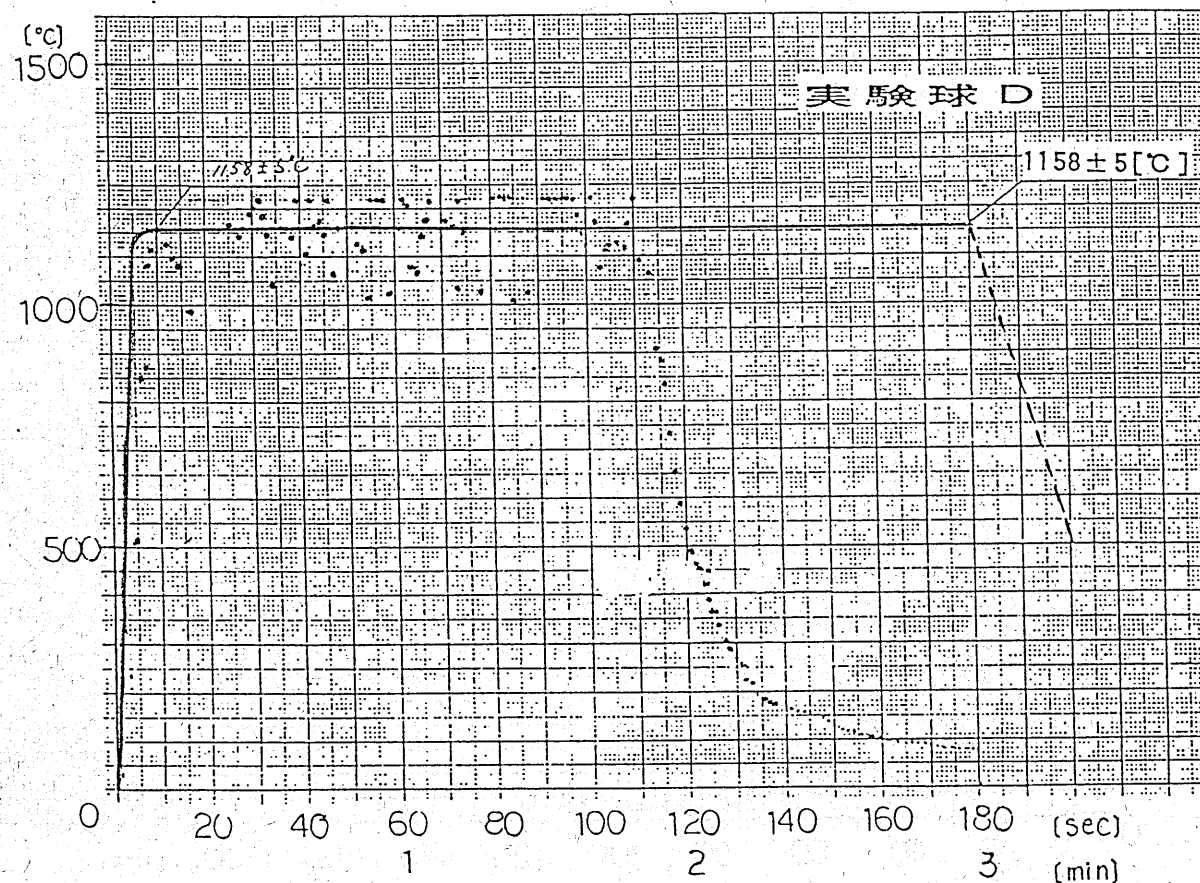
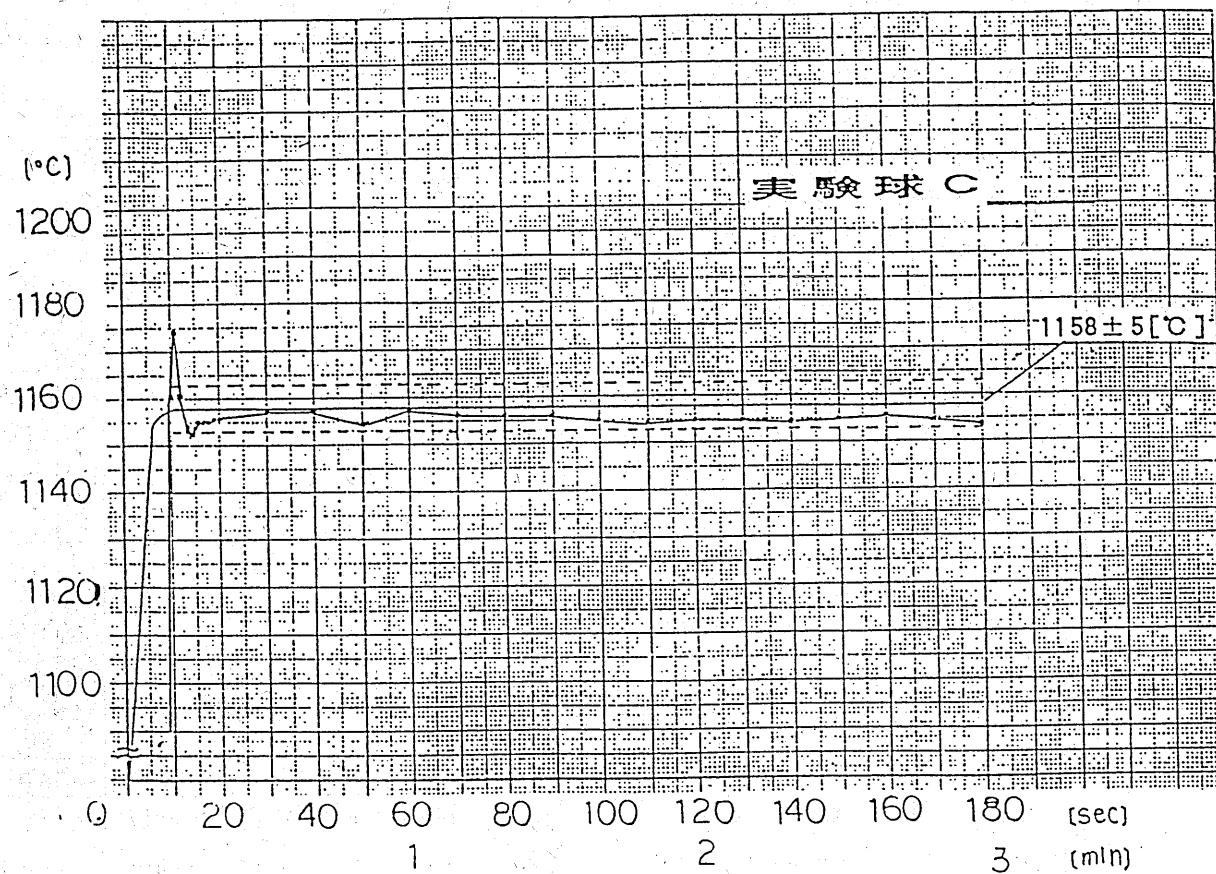


図2 温度プロファイル (2/2)

試料の吸収スペクトル測定結果からドナー溶液およびアクセプタ溶液の濃度は充填時とほとんど変化がなかったことが明らかになった。

このことから大型セルでは、隔壁部の栓の開き方が不十分で拡散が起きていなかったと推定される。

大型セルの場合ハンドルを6回転して栓を開く手順となっているが、栓がゴムの隔壁を押し付けることによって閉じる機構になっているため、実際にはハンドルをほぼ2回転した時点で栓が開き始める。

(4) 今後の計画への反映

(4-1) 溶液のように変質する可能性のあるものについては長期保管の条件を明確にする。

(4-2) 搭乗員操作を要求する装置については、作動を確認出来る機能を追加する。

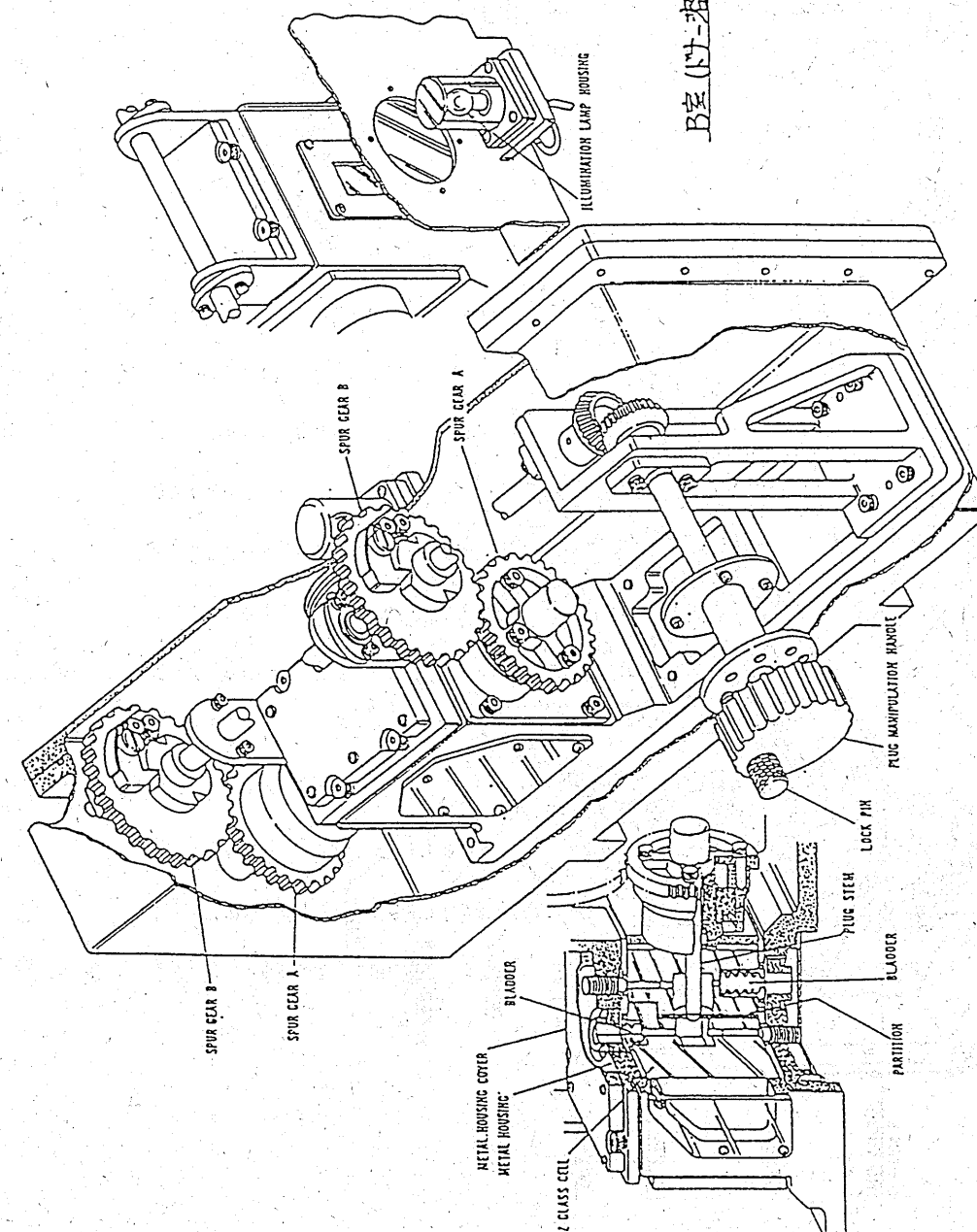
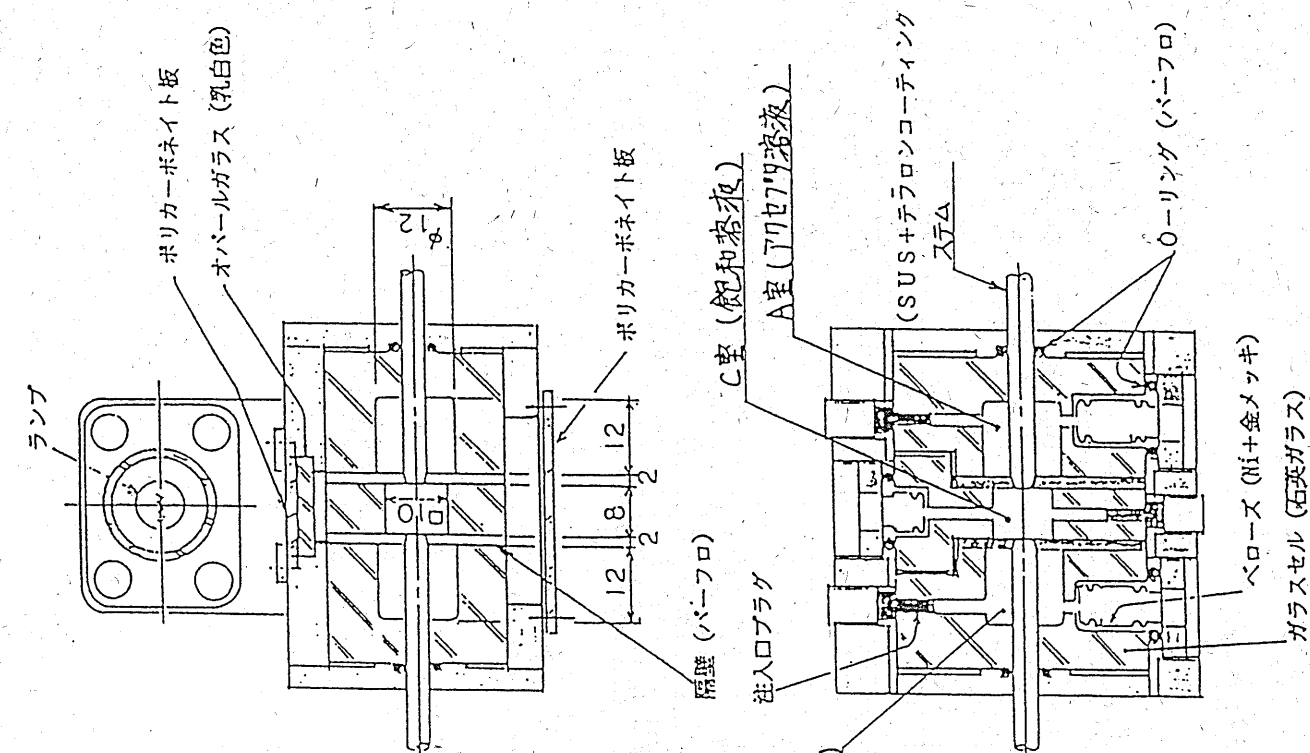


図1 小型セル概要

略 語 集

- CP I : Comprehensive Plasma Instrument
 CPS I : Cadre Principal Investigator Simulation
 DFRF : Dryden Flight Research Facility
 EFD : Electric Field Experiment
 EPIC : Energetic Particle and Ion Composition Instrument
 FMPT : First Material Processing Test
 GEOTAIL : Geographical Tail
 HEP : High Energy Particle Experiment
 IML : International Microgravity Laboratory
 JISI : Joint Integrated Simulation
 JSC : Johnson Space Center
 KSC : Kennedy Space Center
 LEP : Low Energy Particle
 MCC : Mission Control Center
 MGF : Magnetic Field Measurement
 MS : Mission Specialist
 MSFC : Marshall Space Flight Center
 NASA : National Aeronautical and Space Agency
 OPF : Orbiter Processing Facility
 POCC : Payload Operations Control Center
 PS : Payload Specialist
 PWI : Plasma Wave Instrument
 SEPAC : Space Experiment with Particle Accelerators

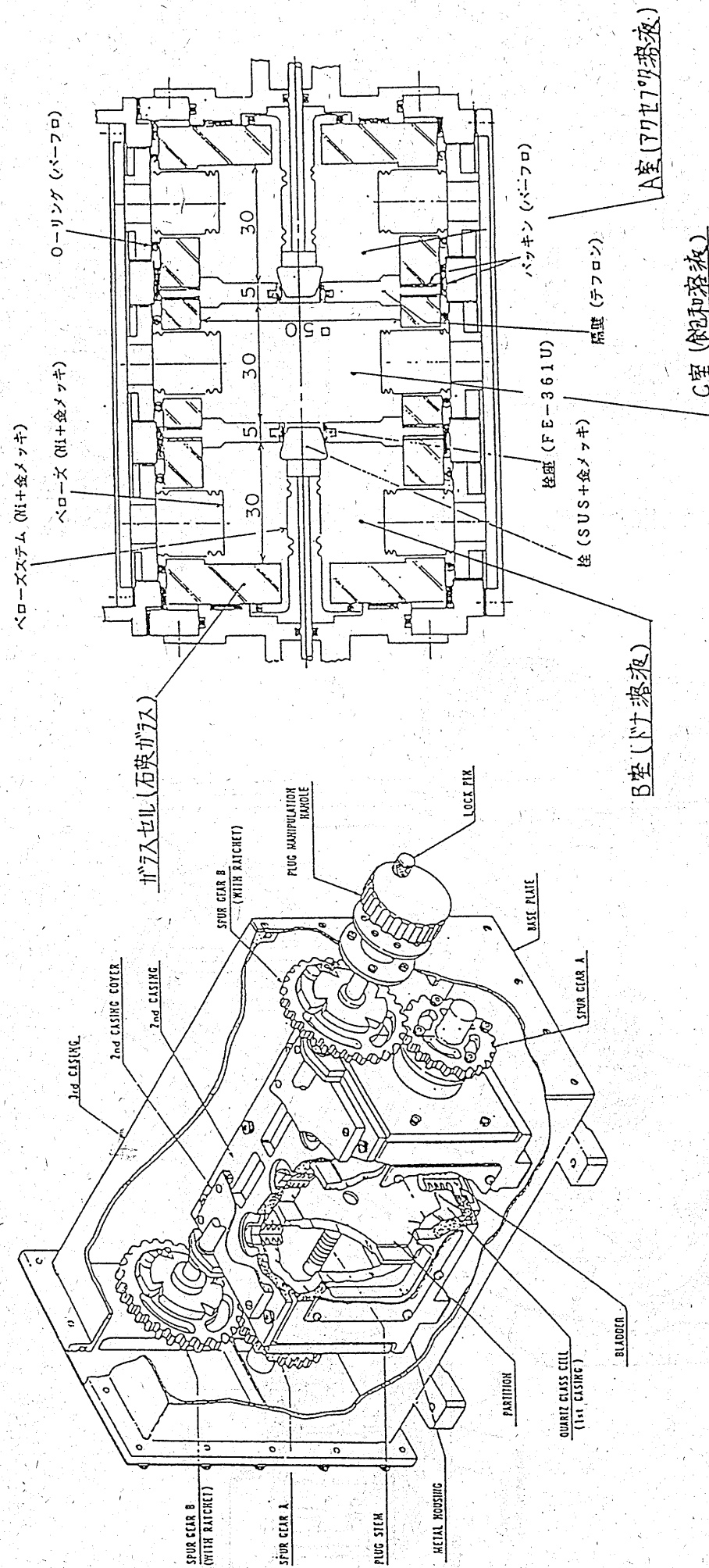


図 2 大型セル概要

参 考 1

第一次国際微小重力実験室（IML-1）搭載実験、粒子加速装置を用いた宇宙科学実験（SEPAC）、第一次材料実験（FMPT）及び磁気圏観測衛星（GEOTAIL）に係る、開発結果の評価に関する審議について

平成5年2月24日
宇宙開発委員会決定

1. 調査審議事項

(1) 文部省宇宙科学研究所が国際協力により実施した次の宇宙実験、衛星に係る開発結果について調査審議を行うものとする。

・平成4年3月23日～4月3日実施の粒子加速装置を用いた宇宙科学実験（SEPAC）

・平成4年7月24日に打ち上げた磁気圏観測衛星（GEOTAIL）

(2) 宇宙開発事業団が国際協力により実施した次の宇宙実験に係る開発結果について、調査審議を行うものとする。

・平成4年1月22日～1月31日実施の第1次国際微小重力実験室（IML-1）搭載実験

・平成4年9月12日～9月20日実施の第一次材料実験（FMPT）

2. 調査審議の進め方

上記の評価に必要な技術的事項について、技術評価部会において調査審議を行うものとする。この調査審議は、平成5年4月末までに終えることを目途とする。

IML-1 : International Microgravity Laboratory-1
SEPAC : Space Experiment with Particle Accelerators
FMPT : First Material Processing Test
GEOTAIL : Geophysical Tail

参 考 2

宇宙開発委員会技術評価部会構成員

(部会長)

前田 弘

関西大学工学部教授

(部会長代理)

鈴木 昭夫

前科学技術庁航空宇宙技術研究所角田支所長

石沢 禎弘

宇宙開発事業団理事

上杉 邦憲

文部省宇宙科学研究所教授

久保田 弘敏

東京大学工学部教授

五代 富文

宇宙開発事業団理事

小林 康德

筑波大学構造工学系教授

田辺 徹

東京大学工学部教授

垂井 康夫

早稲田大学理工学研究科客員教授

手代木 扶

郵政省通信総合研究所通信技術部長

中島 厚

科学技術庁航空宇宙技術研究所宇宙研究グループ

第12研究グループグループリーダー

西島 敏

科学技術庁金属材料技術研究所損傷機構研究部長

野中 保雄

東京理科大学工学部教授

原島 文雄

東京大学生産技術研究所長

廣澤 春任

文部省宇宙科学研究所教授

安永 啓一

日本放送協会技術局技術開発センターニューメディア部長

今回の第1次国際微小重力実験室（IML-1）搭載実験及び第一次材料実験（FMPT）に係る開発結果の審議にあたり、特に以下の専門家の協力を得た。

今井 淑夫

東京工業大学教授

大坪 孔治

航空宇宙技術研究所宇宙研究グループ

第9研究グループリーダー

奥山 典生

神奈川歯科大学教授

栗林 一彦

宇宙科学研究所教授

佐藤 彰

金属材料技術研究所 組織制御研究部第1研究室長

佐藤 洋一郎

無機材質研究所総合研究官第8研究グループリーダー

吉岡 利忠

聖マリアンナ医科大学教授