

防衛庁技術研究本部納

温度高度変化試験装置

High Altitude Environmental Testing Equipment Delivered to Defence Agency, Japan.

松本 丘* 清水 雅夫**
 Takashi Matsumoto Masao Shimizu
 深沢 汎茂** 仁科 稜三**
 Hiroshige Fukazawa Ryôzô Nishina

内容梗概

防衛庁技術研究本部に納入された温度高度変化試験装置は誘導ミサイルなどの高空飛昇体を対象とする試験装置で、三菱重工業が中心となり日立、東芝を加えた3社によって共同製作された。本装置は地上から高度100,000フィートまでに相当する温度、圧力を変化させ、高空を飛行し、あるいは急上昇する飛昇体のあらゆる環境条件を再現することができる。ここでは日立の分担した冷却装置、減圧装置を中心にこの装置の概要を述べる。

1. 緒言

この装置は日立製作所、三菱重工業、東京芝浦電気の3社が共同製作したものであるが、日立製作所は昭和33年10月防衛庁技術研究本部第3研究所に納入した超低温低圧装置の貴重な経験を生かして冷却装置と減圧装置を、三菱重工業は試験槽を、また東京芝浦電気は急速加熱装置を取りまとめたものである。

さきに日立製作所が納入した超低温低圧装置は高空では航空機部品や人体がどんな影響を受けるかを調べるのが目的だったが、今度完成した温度高度変化試験装置はさらに進んでミサイル誘導装置の性能を調査、研究するためのもので、高空環境はもちろん、打上げから急上昇する状態も再現できるように計画されている。

計画にあたっては、非常に高度の技術が要求されるとともに現在ミサイル自体がわが国では開発途上にあるため、防衛庁側も慎重を期して34年より38年まで、防衛庁のみならず民間会社をも含めたメンバーによって構成されたGM協議会にミサイルの環境試験法および現有の環境試験装置の調査研究を依頼した。GM協議会はさらにこれらの資料にもとづいてGM(誘導ミサイル)用温度高度変化試験装置の具体的な仕様を決定し、今後ミサイルをこの装置で試験する際に十分その成果が得られるよう細部計画まで防衛庁に答申している。したがってこの装置の完成までには調査研究期間も含めて約6年の年月を費やしており、ミサイル環境試験装置に関しては先進国であるアメリカのこの種設備に比べても決して遜色のないものである。

わが国におけるこの種の環境試験装置も、その対象は航空機からミサイルへと順調な歩みをたどってきたわけであるが、人工衛星打上げ計画もルールに乗った現在、さらに強力な性能を持った環境試験装置がここ2、3年のうちに実現することになるであろう。

2. 装置の概要

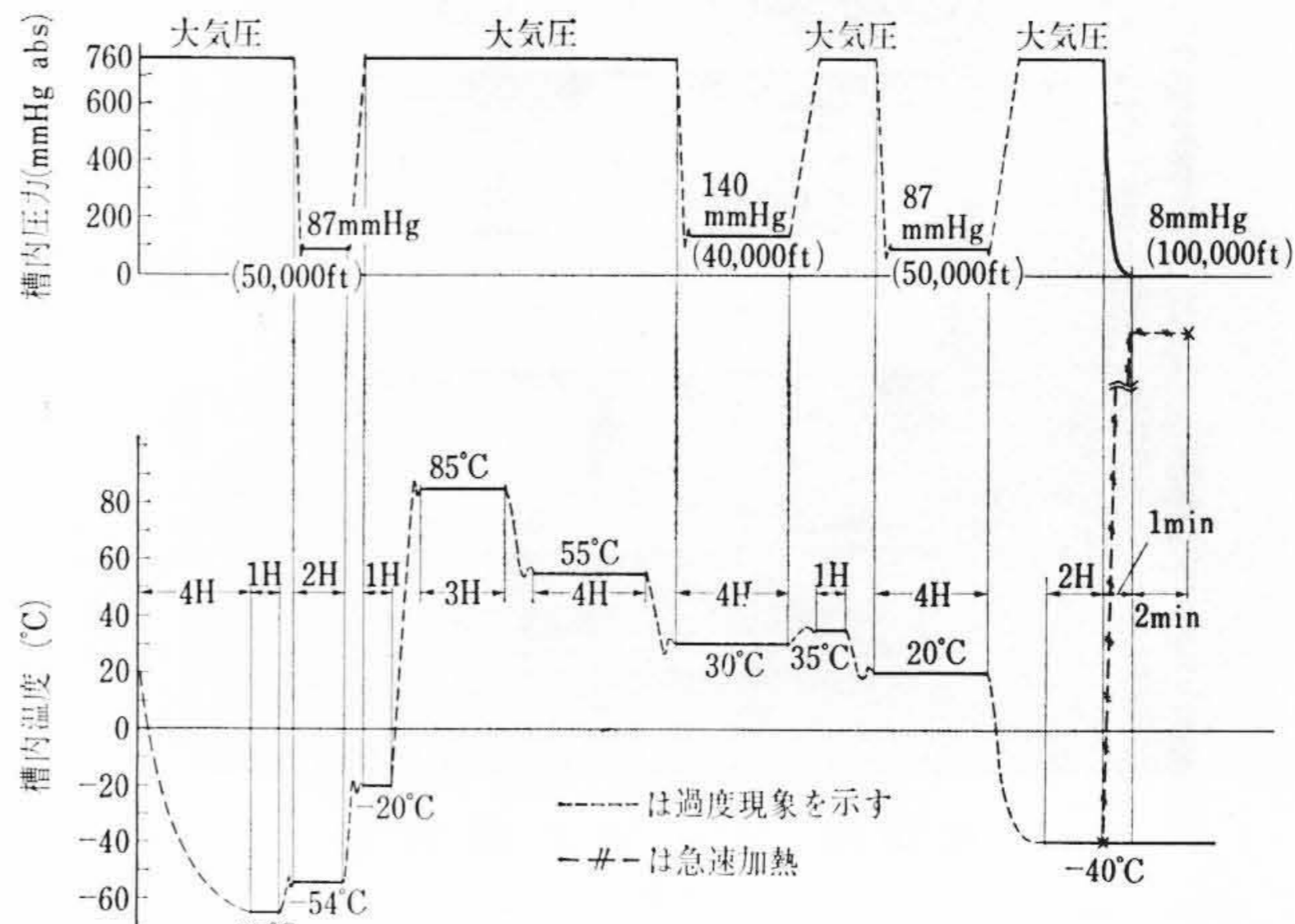
2.1 試験の目的、内容

GMの環境試験、とくに温度高度変化試験の大きな目的は

- (1) 発射試験の代用
- (2) 開発研究資料の収集

の二つである。実際に発射して試験を行ない、あらゆる環境条件下の資料を飛行中に集めるのと、これを地上の試験設備でシミュレートして行なうのとでは設備、費用、時間、計測技術などあらゆる点

* 日立製作所機械事業部
 ** 日立製作所川崎工場



第1図 定常および非定常試験プログラム

で後者のほうが有利である。これは航空機についてもいわれることであるがとくに発射するたびに消耗するGMではなおさらである。そしてこの目的の故に部品単体に対してでなく完全な機体に対しての試験が必要になってくる。

つぎに試験の内容であるがこれも大別してつぎの二つの場合があげられる。

その(1)は定常試験で、これはGMが輸送される時あるいは母機に搭載されて飛行するときなどの環境条件下での試験である。

その(2)は非定常試験で、これはGM自身が飛昇しているときのように環境条件が急激に変化する場合の試験である。

いずれの場合も環境条件としては温度および圧力がおもなものであるが非定常の場合はさらに空力加熱が加わる。

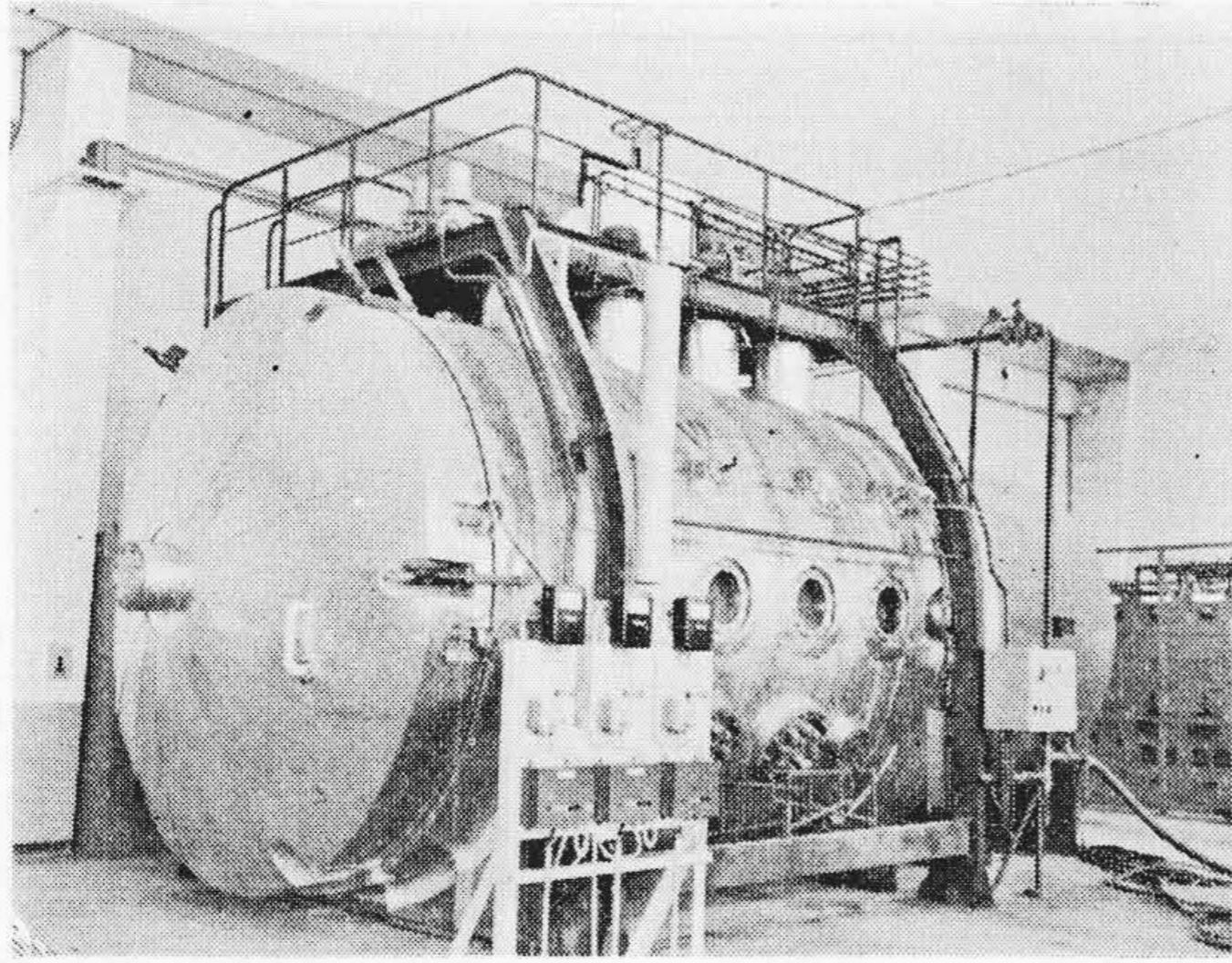
従来のGMの環境試験はほとんどがアメリカのMIL-specによって行なわれていたが、これらは温度、圧力とも定常試験のみであり非定常に関する規定は含まれていない。しかし試験の目的からいって温度高度の環境を急激に変化させた過度状態の試験が必要なことはいうまでもない。

本装置でも温度に関しては定常試験と、非定常試験の初期条件を与えることができ、圧力は定常、非定常いずれの場合も試験することができる。また同時に空力加熱の条件を加えることも可能である。

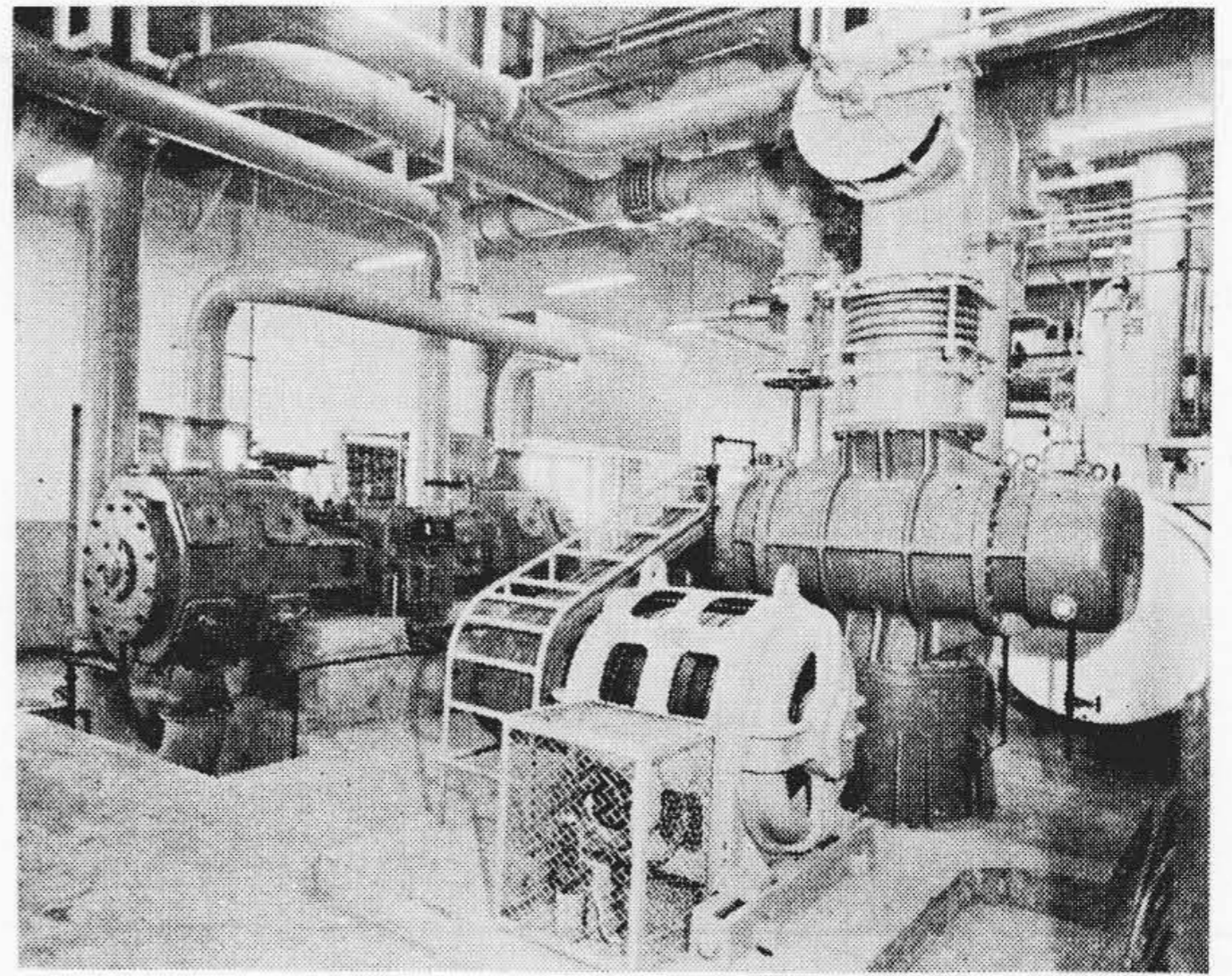
第1図に定常および非定常試験のプログラムの一例を示す。

2.2 装置の構成および仕様

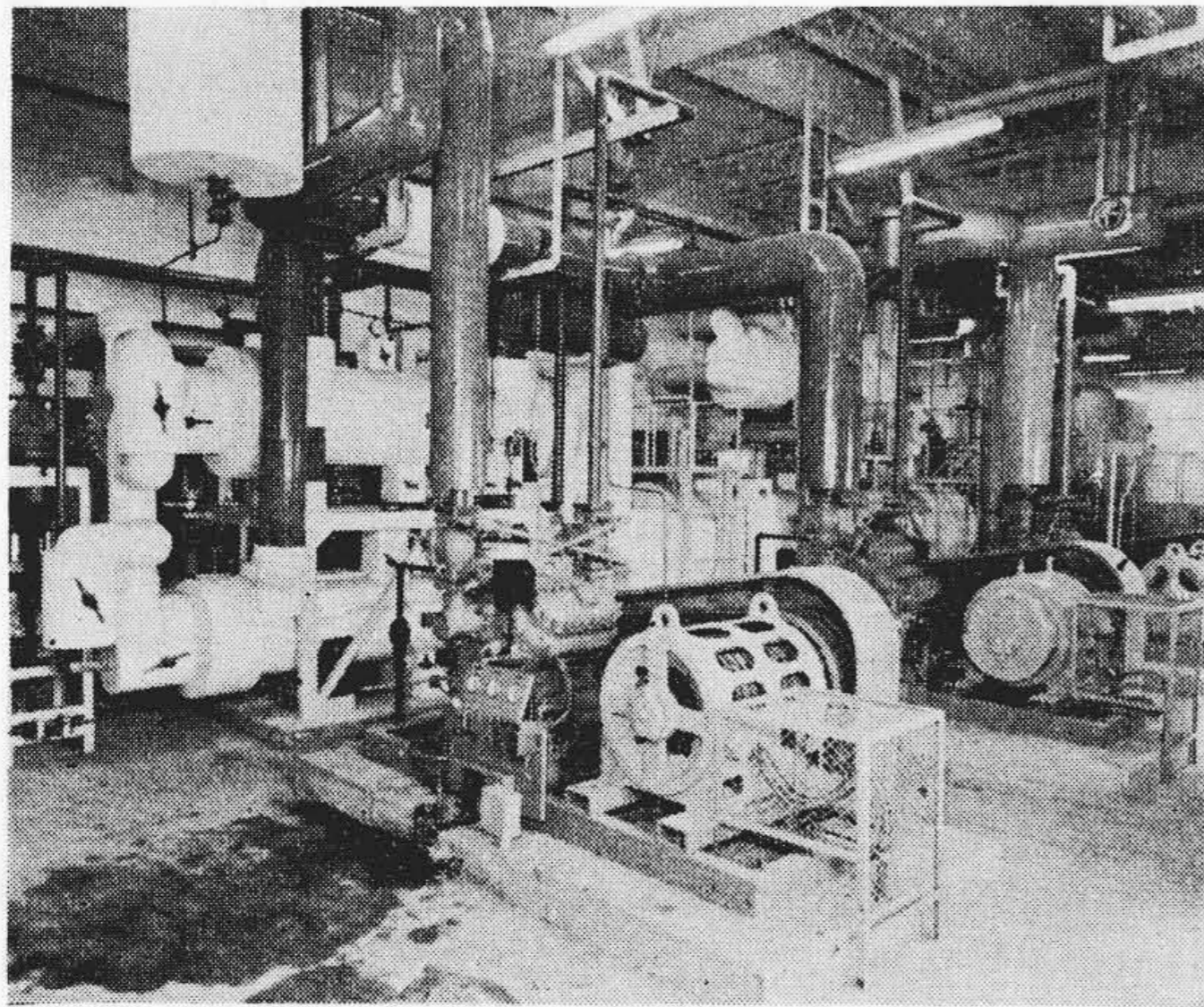
装置の構成要素とこれらの概略仕様はつぎのとおりである。



第2図 ドア側より見た試験槽



第4図 第1段および第2段真空ポンプ



第3図 冷凍機およびその補器

(1) 試験槽

内法寸法	2,740 mm ϕ × 6,350 mmL × 32.4 m ³
槽内温度	-65°C ~ +85°C
槽内圧力	760 ~ 8 mmHg abs
観測窓	300 mm ϕ 断熱2重特殊ガラス
攪拌ファン	3.7 kW × 4個
前室	約 2,800 mm ϕ × 2,000 mmL

第2図はドア側から見た試験槽の外観である。

(2) 冷却装置

冷凍方式	(R-22) × (R-13) 二元冷凍方式
冷却能力	槽内温度を常温常圧より4 h以内に-65°Cに冷却する。
温度範囲	-65°C ~ -45°C 精度 ±2°C -45°C ~ -20°C 精度 ±3°C -20°C ~ +85°C 精度 ±2°C (緩速加熱装置を併用)

第3図に冷凍機およびその補器を示す。

(3) 減圧装置

減圧方式	ルーツポンプ, 往復動形ポンプ, 油回転ポンプによる多段ポンプ方式。
------	------------------------------------

減圧能力

(a) 非定常減圧

槽内圧力を常温常圧より10 sごとに約1/2の割合で減圧し最終8 mmHg absに約1 minで到達する。この減圧速度を限度として数種の減圧速度を得る。

(b) 定常保持

大気圧近くより8 mmHg absまでの任意圧力に精度 ±5%

(または ±2 mmHg abs)にて保つ。

第4図に第1段および第2段ポンプを示す。

(4) 緩速加熱装置

加熱方式	リボン状ニクロム線ヒータ 185V 200 kW
加熱能力	槽内温度を常圧において-20°Cから85°Cまで約1 hで昇温させる。
温度範囲	(2)冷却装置に同じ。

(5) 急速加熱装置

加熱方式	赤外線加熱方式
加熱能力	直径150 mm ϕ GMの頂部温度上昇率40°C/s (負荷電圧200Vにおいて)

(6) 計測, 制御装置

中央制御盤および各装置用制御, 操作盤

3. 冷却装置

3.1 冷却方式の選定

冷却装置に要求される機能はさきに述べたように次の二つである。

(1) 冷却能力

槽内温度を常温常圧より4 h以内に-65°Cに冷却すること。

(2) 温度範囲および保持精度

槽内温度-65°Cより+85°Cまでの任意温度において緩速加熱装置を併用して, 下記の精度に保持できること。

温度範囲	-65°C ~ -45°C	精度 ±2°C
	-45°C ~ -20°C	精度 ±3°C
	-20°C ~ +85°C	精度 ±2°C

これらの機能を持つためには, 少なくとも次の条件を満足するものでなければならない。

(1) 槽内温度-65°Cを得るためには, 少なくとも冷媒の蒸発温度はこれよりも低い-80°Cぐらいにする必要がある, 冷媒の凝固点はこの温度よりも低いものでなければならない。なお蒸発温度に相当する飽和圧力(蒸発圧力)は気密保持の点, および蒸発ガス比容積の点から, 真空度の小さいもののほうがよい。

(2) 槽内温度を常温より4 h以内に-65°Cに冷却する場合の冷却負荷は, 大部分が槽壁および槽内の冷却物であり, 残りは, 槽内発熱体からの熱量および外気からの侵入熱量である。したがって冷却時の負荷と時間との関係は冷却開始時において最大を示し, 逐次減少して, -65°Cにおいて最小となるから, 冷却装置の冷凍容量と時間との関係も, これになるべく一致するような冷却方式がよい。

(3) 槽内温度を-65°Cより+85°Cまで支障なく運転するには,

第4表 冷媒の特性

冷媒名称	化学式	分子量	沸騰点(°C)	凝固点(°C)	臨界温度(°C)	臨界圧力(kg/cm abs)	燃焼あるいは爆発の限界(容積%)*	毒性順位**
R-22	CHClF ₂	86.5	-40.8	-160	96	50.3	不燃	5a
R-13	CClF ₃	104.5	-81.5	-160	28.8	39.4	不燃	ほぼ6
プロパン	C ₃ H ₈	44.4	-42.3	-190	94.2	46.5	2.3~3.7	5
エタン	C ₂ H ₆	16.0	-88.5	-172	32.2	49.8	3~14	5
エチレン	C ₂ H ₄	28.0	-103.9	-169	9.3	51.4	3~33.5	5

* 爆発限界は実験者により多少異なっている。

** 番号の小さいほど毒性多く、aはbより毒性多し、6は無毒。なお亜硫酸(SO₂)の毒性順位は1である。

筒圧縮機が他の形式のものより、はるかに有利である。

3.1.2 取扱, 保守および安全性

(1) 冷媒

第4表は冷媒の性状および特性を示したものである。プロパン, エチレン, エタンは燃性および爆発性があるが, R-22, R-13は燃性および爆発性の危険がないほか, 毒性が非常に少ない冷媒である。低温に使われるR-13, エチレン, エタンは臨界温度がR-12, R-22, プロパンに比べて低く, しかも臨界圧力が高いのでよほど取扱に注意しないと危険である。このため二元冷却方式として低温部にこの冷媒を用いた場合は, 運転を休止すると, 系内の圧力が高圧となり危険があるので, これを防ぐために, 別に低温冷媒冷却用の冷凍機を設けるか, 膨張タンクを設けて低圧ガスとしてたくわえるなどの方法がとられている。

このように低温冷媒を用いると, 取扱および保守がやっかいであるから, 本装置のような場合, R-22を用いた3段圧縮冷却方式のほうがはるかに良いように考えられるが, -80°Cの超低温を得るとなるとR-22では冷媒の蒸発圧力の真空度が極端に高くなり, また過度の温度変化を伴うので, 配管などの接続部の気密保持がたいへんむずかしくなる。したがって二元冷却方式ということになれば, 冷媒はR-22, R-13の組み合わせとなるが, これらは他の冷媒にくらべて高価となる欠点があるため, 漏えいについては特に注意する必要がある。

(2) 運転, 制御性

本装置のような広範囲の温度制御を行なう場合, 取扱, 操作上, 第1表の中でどの方法がいちばんよいか, 運転者にとってみれば, 操作が簡単で, 安全かつ安定した運転が行なえる方法がいちばんよい。第1表の中でこの要求にいちばん近いものは, 形式(B)あるいは(F)である。その理由は他の形式においては槽温に応じて圧縮段数を切換えたり, 一元冷却方式を二元冷却方式に切換えするなどの操作が加わる。この程度の大形冷凍機を用いる場合は, 起動操作を自動化することがむずかしくなり, 運転者は現場にて運転状況をみながら手動操作する必要がある。このため, 圧縮段数を切換えたりするとき, このような操作をいくどもくりかえさなければならないなどの不便があるからで

第5表 冷凍機(圧縮機)仕様

	形式	気筒径(mm)	衝程(mm)	気筒数	電動機出力(kW)
高温部高圧側圧縮機	115F4R-CW	115	90	4	60
高温部低圧側圧縮機	115F8R-BW	115	90	8	55
低温部圧縮機	115F8R-CW	115	90	8	75

ある。

3.1.3 技術的問題

以上の検討結果を総合して, 冷却方式は第1表の(F)に相当するもので, 冷媒にR-22, R-13, 圧縮機に高速多気筒圧縮機を用いた二元冷却方式となる。しかし次にかかげる問題が解決されないと, 本方式を採用することができない。

(1) 3.1項の条件(2)と条件(3)-(a)とが機能的に互に矛盾するので, これをいかなる方法で両立させたらよいか。

(2) 3.1項の条件(2)と条件(3)-(a)とを互に矛盾なく両立させ得た場合に, それぞれの条件を満足するような具体的方法があるか。

の2点であるが, これは次のような理由による。

第1表の冷却方式(F)は冷却装置をベースロードとし緩速加熱装置にて制御する方法であるから, 制御すべき温度範囲あるいは時間に対して, 冷却容量を一定にしなければならない。ところが常温より-65°Cまで4h以内の冷却容量は一定では困るということである。特殊の場合を除いて, 一般にこの二つの条件を同一の制御方法で満足させることは不可能である。したがってこのような場合はそれぞれの条件を満足する方法を併設し, 目的に応じ, 切換えて行なうよりほかはない。そこで残された問題は, この両方法の切換えがうまくできるかということと, それぞれの条件を満足するような方法が技術的に可能かどうかということである。

この点について, いろいろ調査, 試作, 検討を行ない, その解決方法を見出し得た。この方法を理論的にいえば非定常の冷却過程(常温より槽内を-65°Cまで冷却する)に対しては温度式自動膨張弁を用い, 冷凍容量を負荷に合わせて, 温度調節計により, 冷却装置および膨張弁の容量調整を行なわせ, また冷却後の温度

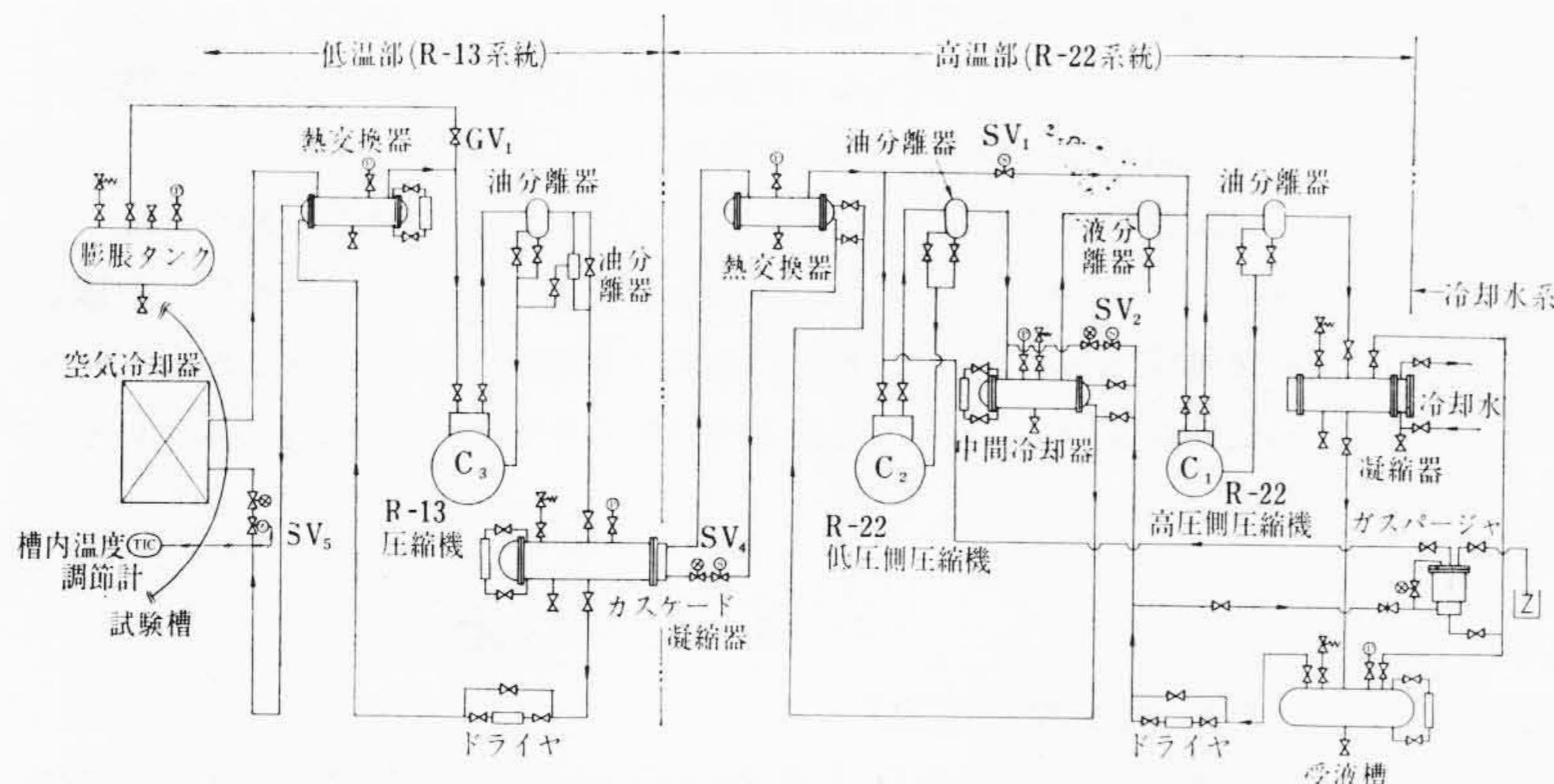
定常保持では定圧式自動膨張弁を用い, 冷凍容量を一定とし, 温度調節計により緩速加熱装置の容量調整を行なわせる方法である。

3.2 冷却装置の構成

第5図に冷却装置の系統を示す。冷却装置は大別して冷却系, 温度制御系および冷却水系から成っている。第5表に冷凍機(圧縮機)の仕様を示す。

3.2.1 冷却系

冷却系は二元冷却方式で低温部(R-13系統)と高温部(R-22系統)から成る。低温部は試験槽を冷却するためのもので冷媒にR-13を用いた1段圧縮サイクルで, 圧縮機には高速多気筒形を1台使用している。高温部は低温部の冷媒R-13を冷却するためのもので, 冷媒にR-22を用いた2段圧縮サイクルで, 圧縮機に

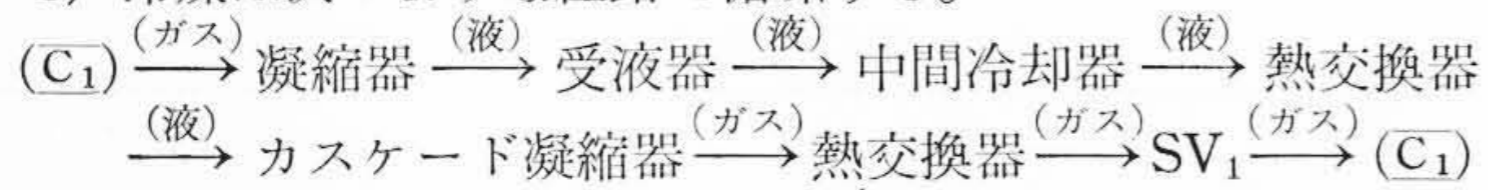


第5図 冷却装置系統図

は、低圧側、高圧側とも高速多気筒形を各1台ずつ使用している。

冷却の際の各圧縮機の運転はつぎのようになる。

まず冷却水を高温部の凝縮器、高圧側圧縮機(C₁)および低圧側圧縮機(C₂)に通水すると、フロースイッチが作動して(C₁)運転OKの表示ランプが点灯する。このとき(C₁)を起動させる。この場合、バイパス用電磁弁SV₁は開、中間冷却器液フラッシュ用電磁弁SV₂は閉、カスケード凝縮器入口電磁弁SV₃は開となっているので、冷媒は次のような経路で循環する。



カスケード凝縮器の冷却が進行し、冷媒R-22の蒸発圧力がある値に低下すると、圧力スイッチが作動し、(C₂)運転OKの表示ランプが点灯する。このとき(C₂)を起動する。(C₂)起動と同時にSV₂は開、SV₁は閉に切換えられ、サイクルは1段圧縮から2段圧縮へ移行し、中間冷却器が働くようになる。さらに蒸発圧力が低下し、ある値になると、2個目の圧力スイッチが働き、低温部圧縮機(C₃)運転OKの表示ランプが点灯する。このとき(C₃)を起動させる。ここではじめて(C₁), (C₂), (C₃)が直列になり、二元冷却系として試験槽の冷却が開始され、以後この状態で冷却が続く。

各圧縮機は自動容量調整機構を持ち、負荷に応じて、自動的に容量調整を行なうほか、運転中の保護装置として、断水リレー、吸入圧異常低下および吐出圧異常上昇リレー、油圧異常低下リレー、過負荷リレー、過電流リレーを設けて、異常の場合は圧縮機を停止させるようにしている。

低温部には、前にも述べたように臨界温度の低いR-13を使用しているため、安全装置として膨張タンクを設けている。このタンクはR-13の貯蔵の目的も兼ねている。膨張タンクにたくわえられたR-13をサイクル内へ導入する場合は(C₁), (C₂), (C₃)を運転しながら弁GV₁を徐々に開く。

冷却系で特に考慮したことは次の点である。

(1) 冷凍機油が冷媒とともに循環し、超低温のため、膨張弁で凝固したり、蒸発器へ熱交換器にたまるおそれがあるため、高効率の油分離器を設けて、なるべくサイクル内へ循環する量を少なくさせるほか、油戻りを良くするよう、配管に考慮を払った。

(2) 超低温であるため、系内に微量の水分でも存在すると膨張弁で凝固し、運転に支障をきたすので、系内は低露点の脱湿空気を用いて乾燥し、冷媒封入後も良質の脱湿剤を使用して系内の水分を完全に除去するようにした。

(3) 低温部の冷媒配管は極端な温度変化を伴い、その伸縮による継手部のゆるみから、冷媒の漏えいが心配されたので、気密テスト時に加熱装置と冷却装置を準備して、配管に温度変化を与えながら実施した。また、低温部の気密試験テストおよび真空テストは特に長時間をかけて、綿密に行なわれた。なおR-13の漏えいについては、本装置のように多量用いておる場合は、冷媒が高価な点からも、一般冷媒に対する漏えいの考えとは根本的に心がまえを変えることが必要と考える。

3.2.2 温度制御系

温度制御方法は前に述べたように、基本的には、冷却装置をベースロードとし、緩速加熱装置にて制御する方法であるが、槽温-40°C程度以下の温度範囲は、緩速加熱装置を使用しなくても、冷却装置のみで制御可能であるので、この方法を使えるようにした。なお冷却装置および緩速加熱装置はそれぞれ単独に運転できるようにしてある。

冷却装置の温度制御系は温度検出端①、温度設定指示調節計

(TIC)、ステップコントローラ(STC)およびR-13膨張弁用電磁弁群SV₃から成り、①にはサーチコイル、(TIC)には日立製作所で特に設計製作した電子管式抵抗温度設定指示調節計を使用している。

制御方法としては、冷媒膨張弁群を数個並列に設け、SV₃を(TIC)-(STC)により順次切入する方法を用いた。この方法は前に防衛庁技術研究本部第3研究所納超低温低温装置に採用し好成績を収めているほか、この種の環境試験装置に使用して良い結果を得ている。後刻、運転結果の項に示すように、±0.5~±1°C以内に整定できた。なお制御系機器には次のような考慮が払われている。

(1) 一般のステップコントローラは、温度と作動点の選択が半固定となっていて、調節温度の変更が容易でないので、本装置では、自動平衡回路に設けた可変抵抗をパネル面から操作できるようにして、簡単にステップコントローラ作動温度の中心値を変えられるようにした。

(2) 温度検出器で問題になるのは、低温における水分の凍結による絶縁不良である。この点については感温抵抗体にガラス被覆を施し、端子部もパラフィン充てんとした。この方法は従来の納入実績で好結果を得ている。

冷却装置をベースロードとし、緩速加熱装置にて、高温度制御を行なう場合は、低温部圧縮機(C₃)の吸入ガス温度が上昇し、そのままの状態では圧縮すると、吐出ガス温度が異常に上り、冷媒および冷凍機油が劣化して運転を続けることができなくなる。これを防ぐために、低温部には特に、吐出温度異常上昇防止装置が設けられている。

3.3 制御装置

冷却装置の制御は中央制御盤と現場操作盤で行なわれるが、制御および運転についてこの二つの盤はつぎのように使い分けられる。

(1) 中央制御盤

- (a) 温度一時間記録および観測
- (b) 温度の設定、指示調節
- (c) 冷却開始の現場操作盤への指令
- (d) 各機器の運転表示(グラフィックパネル、圧縮機容量調整表示および電流計)
- (e) 各機器の故障の大代表表示(表示ランプおよびブザー)
- (f) 非常停止

(2) 現場操作盤

- (a) 各圧縮機の起動準備表示
- (b) 各圧縮機の起動、停止
- (c) 各機器の運転表示(表示ランプおよび電流計)
- (d) 各機器の故障表示
- (e) 各機器の手動調節

この使い分けの目的は、観測記録を行なうのは原則として槽の前とし、各機器の運転は現場で行なうことにある。

各圧縮機の起動は、現場においてそれぞれ単独に手動で行なうようにしてあるが、これは本装置のように、二元冷却方式で大形機器を起動する場合は、冷凍機の性質上運転状況をよく見ながら操作する必要があり、遠隔にて自動起動することは、危険を伴うからである。

4. 減圧装置

4.1 減圧方式の選定

減圧装置に要求される機能は前にも述べたように次の二つである。

(1) 非定常減圧

(a) 槽内圧力を常温常圧より10秒ごとに約1/2の割合で減圧し最終8 mmHg absまでに約1分で到達すること(最急速減圧と呼ぶ)。

(b) この減圧速度を限度として数種の非定常減圧速度が得られること(緩速減圧と呼ぶ)。

(2) 定常保持

大気圧近くより8 mmHg absまでの任意圧力において精度±5% (または2 mmHg absのいずれか大きいほう)にて保持できること。

減圧装置としてこれらの機能を持つためには少なくとも次の三つの条件を満足するものでなければならない。

(1) 大気圧～8 mmHg absにわたって一定の排気速度を有すること。

(2) この排気速度は少なくとも数段階に変えられること。

(3) 圧力定常保持機構を有すること。

これは次のような理由による。

まず、一定容積の槽を減圧するとき、槽内圧力の下がる割合をいつも同じにするためには、そのときの槽内圧力に換算した排気量(真空槽風量と呼ばれるもの)が槽内圧力いかにかわらずいつも一定でなければならない。今回の装置では大気圧から8 mmHg absまで一定の排気速度が必要である。真空ポンプでは一般に吸入側の圧力によってその排気速度は変わるだけでなくある圧力以下では排気能力がまったく失われる点(到達真空度)があり、この性能はポンプの機構によって決まってくるから条件の(1)はそれだけですでにポンプの形式をある程度規定してしまうものである。

また数種の緩速減圧を行なうのはその速度に見合っ排気速度を変えてやればよい。この場合も排気速度が圧力によって変わらなければ減圧される速さはゆるやかになっても下がる割合は一定となる。

つぎに圧力定常保持機構であるが、試験槽も含め排気系には必ず外気からの漏れがあるから、ある圧力に保つためにはこの漏れを常に引いてやらなければならない。漏れの量は圧力によって異なるからこの場合は圧力に応じ漏れ量に応じて排気速度を変えることのできるポンプが必要になってくる。

これらの減圧機構を持つものとして考えられる減圧方法には次のような方法があげられる。

(1) ポンプ方式

(a) 多段ポンプ方式

(b) 多列ポンプ方式

(2) 真空だめ方式

ポンプ方式というのは、真空ポンプで試験槽を直接排気するもので、多段ポンプで排気する場合とたくさんのポンプを並列させて排気する場合とが考えられる。

真空だめ方式は、あらかじめ減圧しておいた別のタンクと試験槽とを結び、槽内空気をこの真空だめに放気させるやり方でこの場合も一つの大きな真空だめに放気させるか、あるいはいくつもの真空だめを用意しておき圧力に応じてつぎつぎに切換えて放気することが考えられる。

いずれの方式も前の3条件を100%満足するものではない。たとえば排気速度特性を考えて見ても圧力に無関係に一定の排気速度を持つポンプは実際ありえないし、タンクに放気させる場合はなおさらであり当然なんらかの工夫が必要になってくる。また、この種の試験装置でも一般の生産設備同様に経済性、使いやすさなどを十分考慮されなければならない。

この意味で減圧方式の選定にあたってはあらゆる点から各方式

第6表 減圧方式の比較

項目	ポンプ方式		真空だめ方式
	多段ポンプ	多列ポンプ	
排気特性	大気圧でmax, 真空度が上がるにつれ漸減する	大気圧から高真空まではほぼ一様にできる	大気圧でmax, 真空度が上がるにつれ直線的に減少
排気速度制御	易	易	難
圧力保持	可(大気リーク)	可(大気リーク)	不可 (真空だめだけでは不可。ポンプが要る)
機器	大形ポンプ数は少ない	小形ポンプ数が多くなる	タンク 自動流量調節弁など
運転	自動化容易	自動化容易	自動化? (実用化が難)
保守	易	やや難	やや難
据付面積	100	160	200~250
設備費, 電力費など	100	150	250~300

の比較検討がなされた。第6表にその概要をまとめて示す。ここでとりあげた多段ポンプは(ルーツ)×(往復動形)×(油回転)の組み合わせのもの、多列ポンプは油回転の場合、また真空だめ方式は1個の真空だめの場合と多数の場合とをあわせ考えている。

一定容量の槽を減圧する場合の排気速度は、

$$S = 2.303 \frac{V}{T} \log \frac{P_0}{P}$$

ここに、S: 排気速度 m³/min

V: 槽の容量 m³

T: 時間 min

P₀: 減圧前の槽内圧力 mmHg abs

P: 減圧後の槽内圧力 mmHg abs

となるが今回のように32.4 m³の槽を10秒に1/2の割合で減圧する場合、必要な実排気速度は

$$S = 2.303 \times \frac{32.4}{1} \times \log \left(\frac{2}{1} \right)$$

$$= 135 \text{ m}^3/\text{min}$$

となる。最急速減圧の場合少なくとも66秒ぐらいの間、常にこの排気速度を保つ必要があるが時間が短いから途中での細かい調整はあまり期待できない。この点真空だめ方式は問題が多く圧力によって大きく変わる排気量をバルブ開度の調節、タンクの切り換えなどで制御しなければならず、現状ではこの方式に適した応答の早い確実な計測制御方法がない。

また大気圧近くから8 mmHg absまで一定した排気速度を持つポンプとなると油回転ポンプであるが、現在国産されている油回転ポンプの排気速度は12~13 m³/minどまりであって多列ポンプ方式では11~12台も並べなければならない。

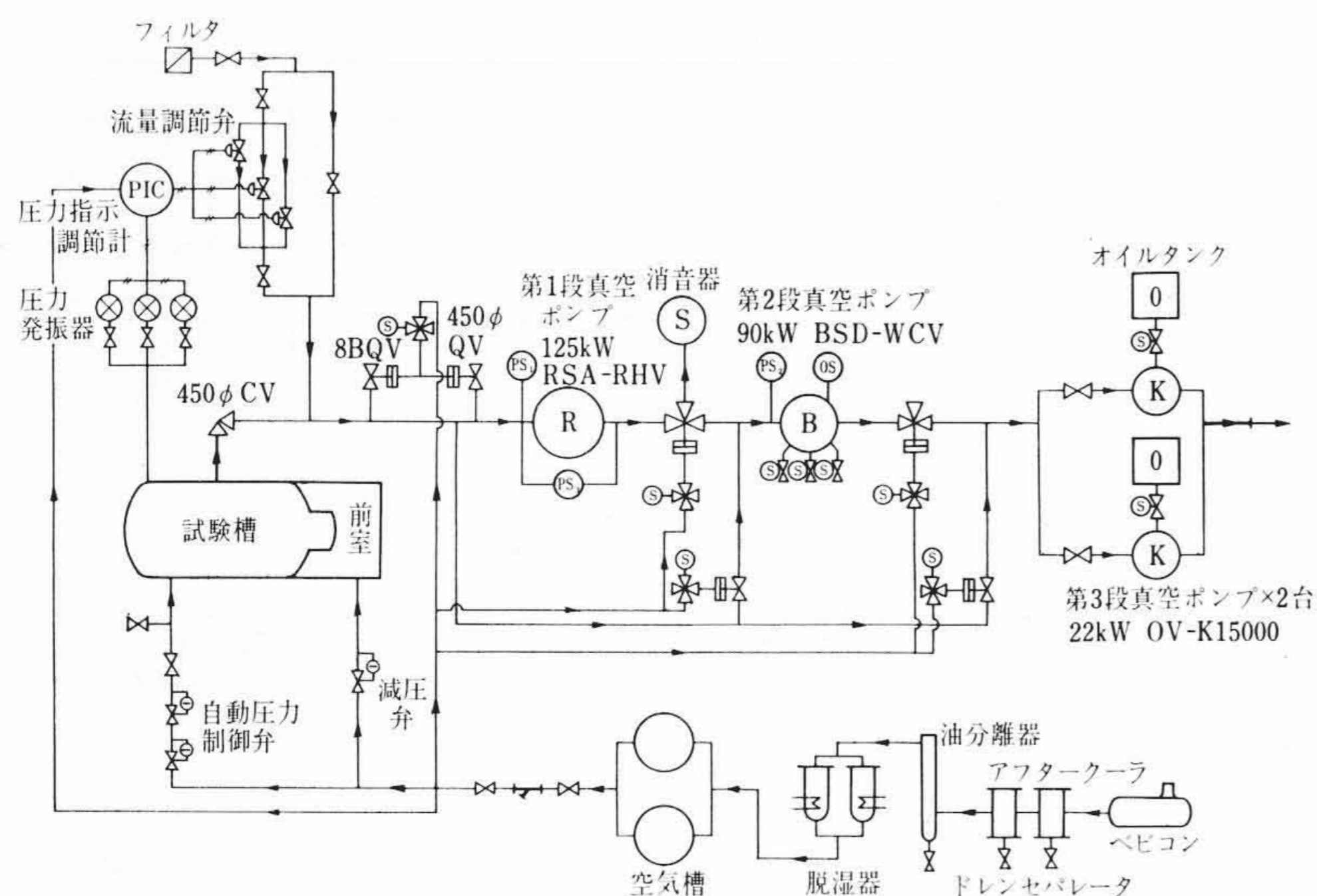
結局、多段ポンプを採用したのであるがこの結論は必ずしもすべての場合に適用できるとはいえない。試験槽の容量が大きくなると多段ポンプの有利さが目立ってくるが、小容量で油回転ポンプ1~2台で間に合う場合なら多列ポンプ方式がはるかに有利である。また減圧のスピードがもっとゆっくりであれば真空だめ方式も十分利用できるようになる。

4.2 減圧装置の構成

第6図に減圧装置の系統を示す。減圧装置は大別して真空ポンプ系、圧力制御系および圧力回復系から成る。第7表にこれらの各系を構成する機器の仕様を示す。

4.2.1 真空ポンプ系

真空ポンプ系は第1段にルーツポンプ®、第2段に往復動形ポ



第6図 減圧装置系統図

ポンプ③，第3段に油回転形ポンプ④2台，合計3機種4台を用いた多段ポンプ系である。各段ポンプは直列に結ばれた多段ポンプとして排気するだけでなく，各段とも並列に排気することもでき，この切換を自動的に行なう切換弁，バイパス弁を含んだ一つの系として450φ手動真空弁CVと8Bおよび450φの二つの急閉弁QVを介して試験槽と結ばれている。

槽内空気はこの450φCVを経てまず①に吸引され12B3方切換弁TV₁を経て②に吸引され，さらに②の吐出側にある8B3方切換弁TV₂を通して第3段の④2台に吸引されたのち④の吐出側から大気へ放出される。

減圧の際の各段ポンプの作動はつぎのようになる。

まず急閉弁を大気開放にしておき，各段ポンプは槽の減圧開始以前にそれぞれ単独に起動させる。このとき各段ポンプは二つのQVから吸気し①はTV₁の大気放出口から，②はTV₂の大気放出口から，また④はそのまま大気へ放出する。すなわちこのときポンプは並列運転を行なっている。この状態で二つのQVを急閉させるとそれまで大気から吸入していたポンプは槽内から吸気するようになり減圧がはじまる。QV閉をもって減圧開始とするのである。

減圧が進行し，槽内圧力がある値まで下がるとまず真空スイッチPS₁が作動してTV₁およびBV₁を切換え①と②が直列になる。なお④2台はそのまま並列吸引を行なっている。さらに槽内圧力が下がるとつぎに真空スイッチPS₂が作動してTV₂，BV₂を切換え，はじめて①，②，④2台が直列になり以後3段ポンプ系として排気を続ける。この切換は各段ポンプを効率良く運転するために行なうもので多段ポンプの各中間圧が大気圧以上にならないようにPS₁，PS₂の作動圧力を決めている。これはつぎの理由による。

多段真空ポンプの排気速度は初段ポンプによって決まるが中間圧すなわち後段ポンプの吸入圧が大気圧以上になると排気速度は初段ポンプだけの場合よりさらに悪く，後段ポンプはいたずらに動力を消費するだけになるからである。

各ポンプは第7表に示したように容量調整を行なうことができるが，この容量調整を組み合わせてることによって後で述べるように数種の減圧曲線を得ることができる。

4.2.2 圧力制御系

圧力制御系は槽内圧力の定常保持を行なうためのもので，適当な減圧曲線を選んで非常減圧を行ない所定圧力に達したとき第1段真空ポンプ①の吸入側へ大気をリークさせて圧力を保持させ

る。このリーク量はポンプ系の排気速度から，槽および減圧系全体の漏れ量に相当する量だけ引いたものになるが，漏れ量はポンプ系の排気速度に比べればずっと小さいから実際にはほとんどポンプの排気速度に近い量をリークさせてやることになる。

この系は槽内圧力を検出しこれを電気信号に変える圧力変換器，この信号を受けて流量調節弁の開度を変えるための電空ポジションに指令を送る調節計，電空ポジション付流量調節弁および圧力指示計などによって構成されている。

この装置では大気圧から8mmHg absまでの広い範囲にわたって定圧保持をしなければならないので，圧力いかによらずいつも同じ精度を保つことができるように圧力検出端(絶対真空ペローズ)は0~100mmHg abs, 0~300mmHg abs, 0~760mmHg absの3レンジ別，合計3個が用いられている。指示計も3レンジ切換可能にして読取精度を高くしている。

調節弁も8mmHg abs から760mmHg abs まで調節するためには流量係数(Cv値)は500倍以上の広範囲に変化する必要があり，到底1台では不可能となるので1/2B, 1 1/2B, および4Bの3系列を用い，調節圧力によって最適口径を選ぶようにされている。

4.2.3 圧力回復系

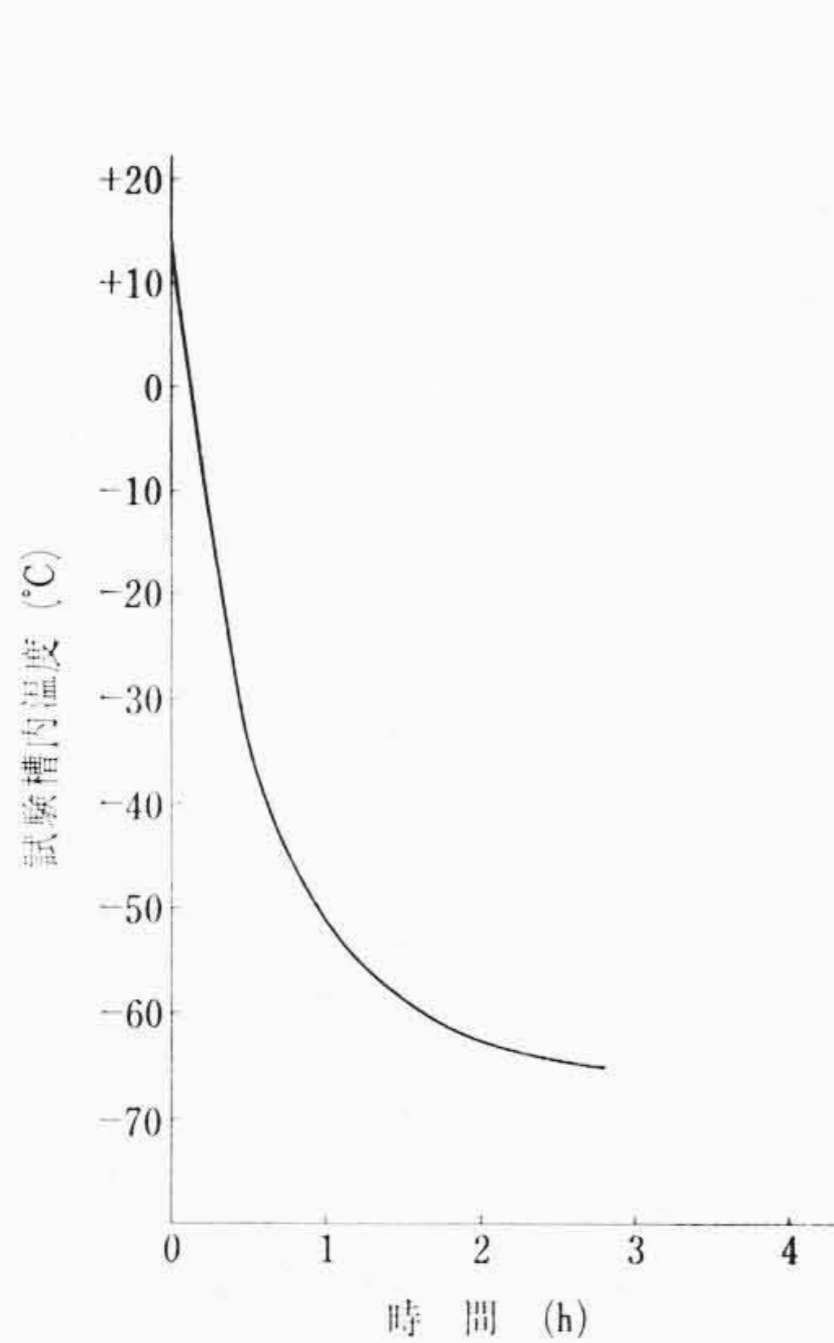
圧力回復系はベビコンを空気源とする乾燥空気供給系で試験槽の圧力回復用，圧力制御系の計装用，真空ポンプ系内の空気作動切換弁の空気源，第2段真空ポンプのアンロード作動用などに用いられる。

第6図に示すようにベビコンから送り出される5.5kg/cm²Gの圧縮空気はアフタークーラ，ドレンセパレータ，油分離器を通してドレン，油が去除かれ，さらに吸着式脱湿器によって出口露点で-45°Cまで乾燥，除湿されたのちいったん空気槽にたくわえられてから各ノズルに分けられる。

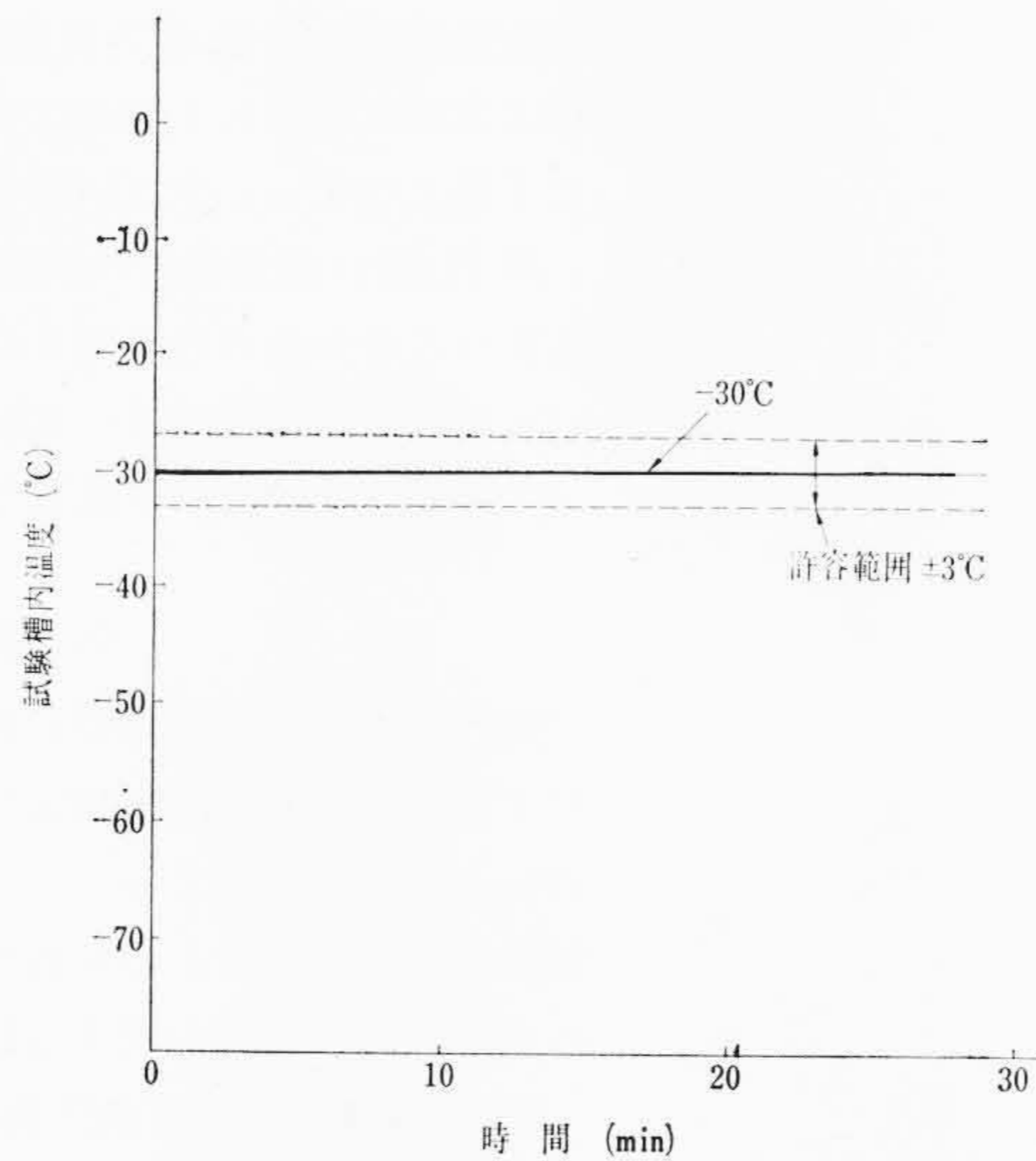
試験槽の圧力回復をあまり急激に行なうと槽内装備品への風圧，回復ノズルの噴出音など好ましくないことが多く，また槽内圧力が異常上昇するのを防止するためもある。槽の圧力回復空気は自動圧力制御弁によってほとんど大気圧近くまで減圧してから送り込むようにされている。

第7表 減圧装置機器仕様

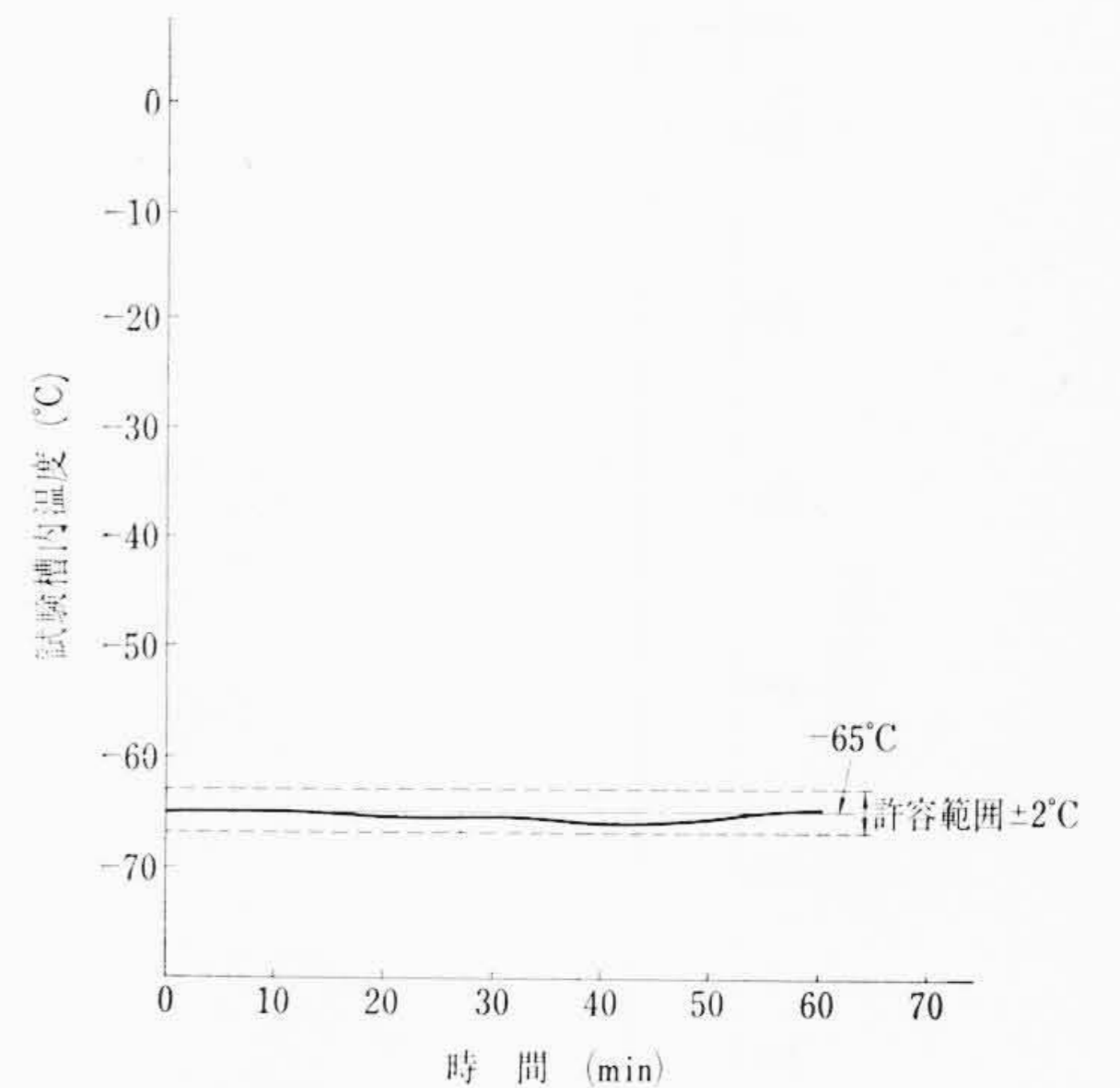
系	機器名	形 式	仕 様	台数
真空ポンプ系	第1段真空ポンプ	RSA-RHV	500φ×209m ³ /min×1,120rpm×80%Pu×125kW 容量調整100%,0%(停止)	1
	第2段真空ポンプ	BSD-WCV	500φ×2×200S×580rpm×113.5m ³ /min×90%Pu×90kW 容量調整100%,75%,50%,25%,0%(停止)	1
	第3段真空ポンプ	(大阪真空)OV-K15000	キニー形360rpm×15m ³ /min×0.005mmHg Pu×22kW 容量調整100%,0%(停止)	2
	切 換 弁	空気作動式	12B3方弁×1, 8B3方弁×1, 12B2方弁×1, 8B2方弁×1	1式
	急 閉 弁	空気作動式	8B×1, 450φ×1	2
圧力制御系	圧力変換器	(横河)TSP-81	0~100mmHg, 0~300mmHg, 0~760mmHg 3レンジ用	3
	電圧変換器	ETR-2V		3
	温度指示計	VIP ₃₁		1
	圧力調節計	V _{62-E₂}		1
	電 空 ポ ジ シ ョ ナ 流 量 調 節 計	X-EPV ₃	4B×1, 1 1/2B×1, 1/2B×1	3
圧力回復系	ベビコン	2.2kW 自動アンロード式	60φ×3×45S×1,350rpm×515l/min×2.2kW アフタークーラ，ドレンセパレータ付	1
	脱 湿 器	AD-40S	モレキュラシブ，20m ³ /h×5.5kg/cm ² ×DP-45°C	1
	空 気 槽	立形円筒式	1,100φ×3,000H	2



第7図 -65°C 冷却性能試験記録



第8図 -30°C 低温維持試験記録

(冷却装置のみによる制御記録)
第9図 -65°C 低温維持試験記録

4.3 制御装置

減圧装置の制御は冷却装置と同様に中央制御盤と現場操作盤で行なわれるが制御および運転についてこの二つの盤はつぎのように使い分けられる。

(1) 中央制御盤

- (a) 圧力—時間記録および観測
- (b) 圧力の設定, 指示調節
- (c) 減圧開始
- (d) 各機器の運転表示(グラフィックパネルおよび電流計)
- (e) 減圧曲線番号表示

(2) 現場操作盤

- (a) 減圧曲線の選択, 表示
- (b) 各段ポンプの始動停止
- (c) 各段ポンプ運転表示(表示ランプおよび電流計)

この使い分けの目的は観測記録を行なうのは原則として槽の前とし各機器の運転は現場で行なうことにある。これはとくに本装置のように多数の大形機器を運転する場合に有効な方法である。ただ、減圧開始ボタンだけは中央制御盤に限っている。これは万一試験槽内に人が残ったままドアが閉まったりすると減圧試験は非常に危険なものになるから必ず1個所で監視し常に注意を怠らないようにするためである。

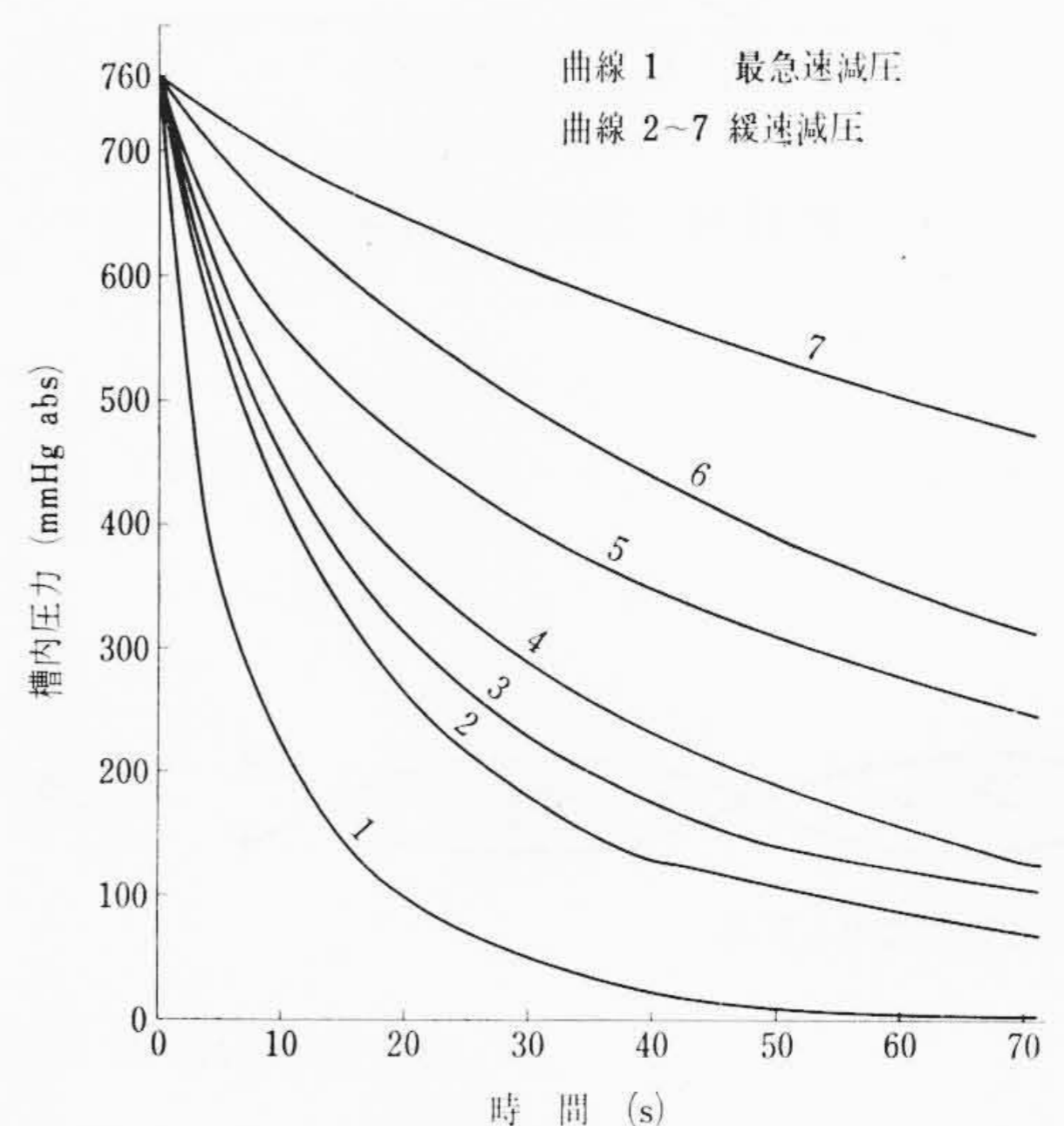
5. 運転結果

昭和40年2月から3月末にかけて各性能についての試験が行なわれた。この試験は同時に防衛庁の領収試験ともなるもので、この装置を使って将来行なわれるであろう種々のパターンに従って最長72時間の連続試験まであらゆる試験が行なわれたのであるが、ここでは紙面のつごうにより冷却装置、減圧装置とも代表的な試験結果のみ記載する。

5.1 冷却性能

第7図は大気圧下での冷却性能試験の結果である。この曲線はR-13系冷凍機の起動開始直後を起点として槽内温度の時間的経過を示すものであるが、-65°Cに到達するのに2時間47分かかっている。計画では常温常圧より-65°Cに到達する時間を4時間以内とおさえていたのであるが外気条件などを考慮してもこの試験結果は予想をはるかに上回る好成績を示している。

なお冷却の際試験槽内の圧力は下がって行くから、圧力を一定(大気圧)に保つため圧力回復系の乾燥空気を入れて行くのであるが、



第10図 減圧試験記録

-30°C程度までは冷却速度が大きいいため槽内は多少減圧気味の傾向を示していた。

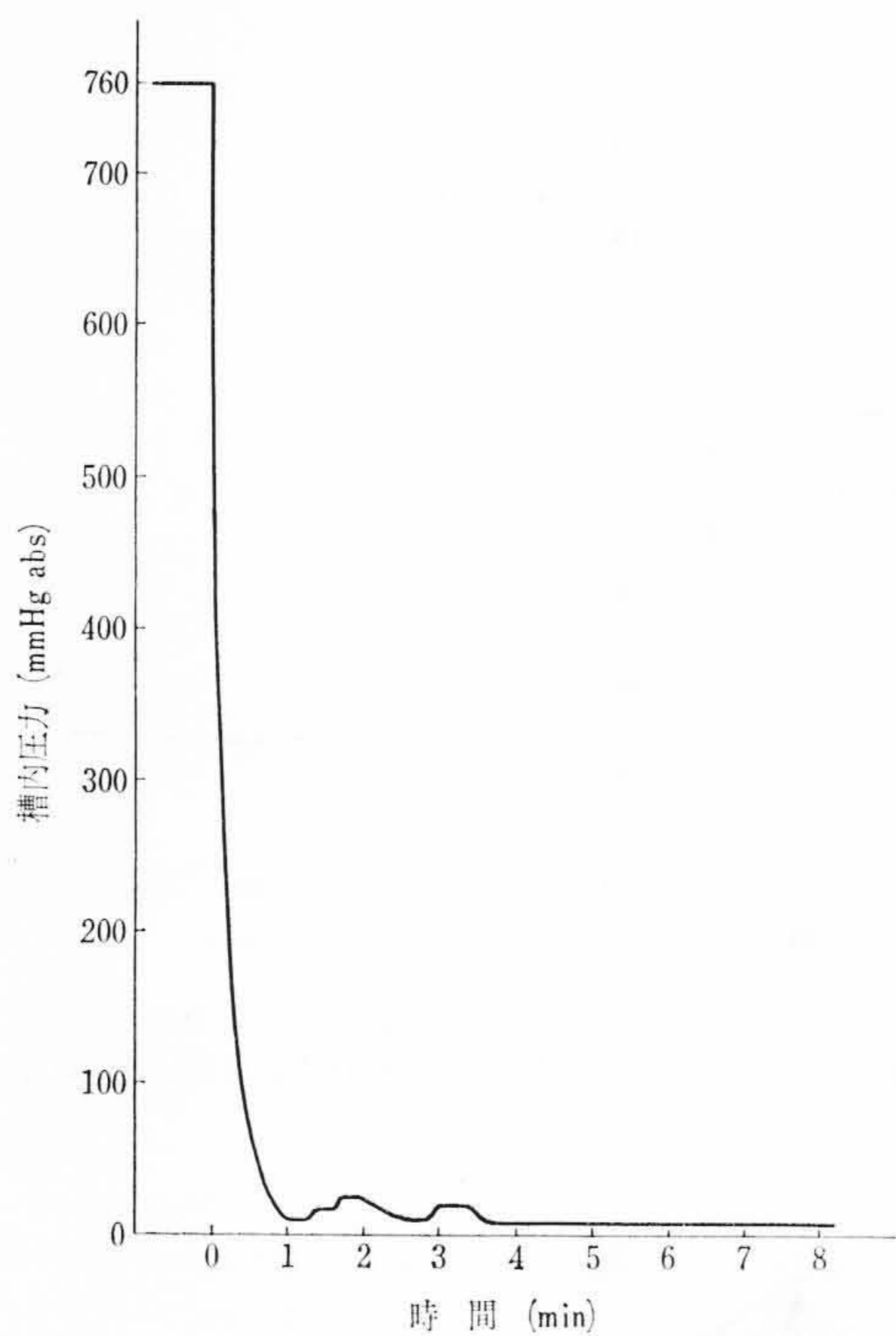
第8図は-30°C維持試験の結果である。定温維持は冷凍機をベースロードとし緩速加熱用ヒータによって温度制御を行なうものであるが、連続72時間の記録紙上ではほとんど一直線に保たれている。この図には加熱器が自動制御にはいつからの最初の30分だけを示したものである。

なお緩速加熱器を用いず冷凍機のみで定温維持を行なわせた例を第9図に掲げておいた。短時間の場合とか、条件によっては冷凍機だけでも定温維持が十分行なえることを示している。

5.2 減圧性能

第10図に最急速減圧および緩速減圧の試験結果を示す。緩速減圧の曲線のうち2, 3, 4の曲線の一部に「ずれ」が見られるがこれはポンプが並列運転から直列運転に移る際の切換の影響である。弁自体はほとんど瞬間的に切換わるのであるが切換前後の配管系の相違による排気速度の波打ちが微妙に表われるものと考えられる。装置の目的からいえばほとんど問題にならない。

最急速減圧の曲線1は最初の10秒では予定の圧力 $\frac{1}{2}$ をはるかに上回ってほとんど $\frac{1}{2}$ 近くにまで減圧しており、その後も確実に10秒ごとに約 $\frac{1}{2}$ ずつ減圧している。8 mmHg absまでの予定所要時間は約65秒であるが実際は57.5秒と優秀な値を示している。なお、



第11図 定常保持試験記録

最急速減圧の場合、槽内温度は5~6°C 低下した。完全断熱膨脹をすれば200°C 以上も下がるはずであるが実際は表面境界層の影響などで予想よりずっと少ない値を得た。

第11図は定常保持の試験結果である。この試験は最急速減圧から移行させたため過渡部分の波が大きく出ているが、定常保持にはいってからはほとんど一直線である。実際2時間も保持試験を行なって観測を続けるのが退屈なほどに確実な制御であった。

6. 結 言

国内はもとより世界でも有数の規模を持つ温度高度変化試験装置の主要部を占める冷却装置および減圧装置はあらゆる点で予想を上回る成績で納入することができた。防衛庁技術研究本部をはじめ製作者側の取りまとめを担当された三菱重工業株式会社の担当各位にあらためて謝意を表すしだいである。

昭和33年の超低温低圧装置から今回の装置までこの種試験装置を含めあらゆる環境試験装置を手がけている日立製作所としてもこの貴重な経験をさらに高度な装置への足がかりとして生かして行きたいと考える。



特許第417917号

特許の紹介



浜田邦雄・平塚安正

原子炉圧力容器に設けられる遮へいタンク

沸騰水形原子炉にあっては、炉心上部に不要な空室が形成される。蒸気は水に比べ遮へい効果がおとるものであり、またかかる形式の原子炉では炉上部に到るに従い、蒸気の割合が多くなる点より、容器下部に比べ上方部はその遮へい構成を特に考慮しなければならない。

しかるに従来、遮へい構体として遮へいタンク中に遮へい板を備え、タンク中の冷却材はドラム外部からの加熱およびドラム内におけるγ線の吸収などにより生じる放射線加熱で蒸気になるので、遮へい効果の点からして、これらを直ちにタンク上部の開口から放出してドラム中に蒸気が停滞することを避けなければならない関係上遮へい板には適当な開口が形成されているが、本発明はその開口を図示のごとく斜めに形成したものである。

このようにすることにより、炉心から上方に向って上昇する放射線の直進を防ぐことができ開口による遮へい効果の低減を押えることができる。また開口面積比の増加による遮へい効果の低減をそれほど考慮する必要がないので、比較的開口面積化を大きくすることができ、蒸気の排除を良好ならしめてタンク中に滞留する蒸気割合を少なくし、かかる点において遮へい効果を改善することができる。(千石)

