

防衛庁納超低温低圧装置

Extra-Low Temperature Low Pressure Equipment Delivered to Defence Agency, Japan

関川 務* 高橋 秀彦** 近藤 嘉孝***
Tsutomu Sekikawa Hidehiko Takahashi Yoshitaka Kondo

内 容 梗 概

防衛庁技術研究本部第三研究所納超低温低圧槽および付属設備は、昭和33年10月末に完成したもので、航空機用機器の試験槽と高空医学の試験槽としてその規模においてわが国では画期的なものであることはもちろん、低温装置の容量からいってもわが国における記録品である。

このようにあらゆる点で記録的なものであるばかりでなく、現地運転において当初予定していたものよりはるかに優秀な結果を確認し、顧客の十分な満足をうることができたので、ここにその計画の概要と運転結果について説明する。

1. 緒 言

この装置はいわゆる Altitude Chamber または Strato Chamber と称せられるもので航空機が高空に上昇した場合の温度圧力を地上に再現して、人体および機体に与える影響を調べるために用いられるもので、航空機部品、ロケット部品などの製作研究に欠くことのできないものである。最近国内においてもようやくこの種装置の必要性が認められるようになったが、小さいポータブルユニットが若干作られた程度で今回技術研究所に設置されたもののように米国におけるこの種の設備に比べて大きさからも性能的にもあまり劣らないものはいまだ製作されていなかった。ロケットの進歩につれさらに強力な性能を持つものが要求される日も近いことであろうが、現在の日本の航空機部品製作に本装置が大きな寄与をするものと期待される。

この装置は第1試験槽、第2試験槽を主体とし、冷凍装置、真空装置が付属している。第1試験槽は航空機部

品の低温低圧時の作動、強度、耐震性などを試験する大形のものであり、第2試験槽はジェット機などで高々度飛行を行うパイロットを槽内に入れて生理および心理学上の研究と高空に対する適応性訓練のために用いられる。

航空機部品は第1試験槽内での綿密な試験を経て初めて航空機に装備される。低温における人体の生理および心理状態は常態とかなり異なるようで、宇宙旅行の考えられる現状においてはこの方面の研究は新しい世界への手引となるであろう。なお人体への影響として、加速度の効果もまた大きく、そのための試験装置も将来技術研究所に設けられるということである。

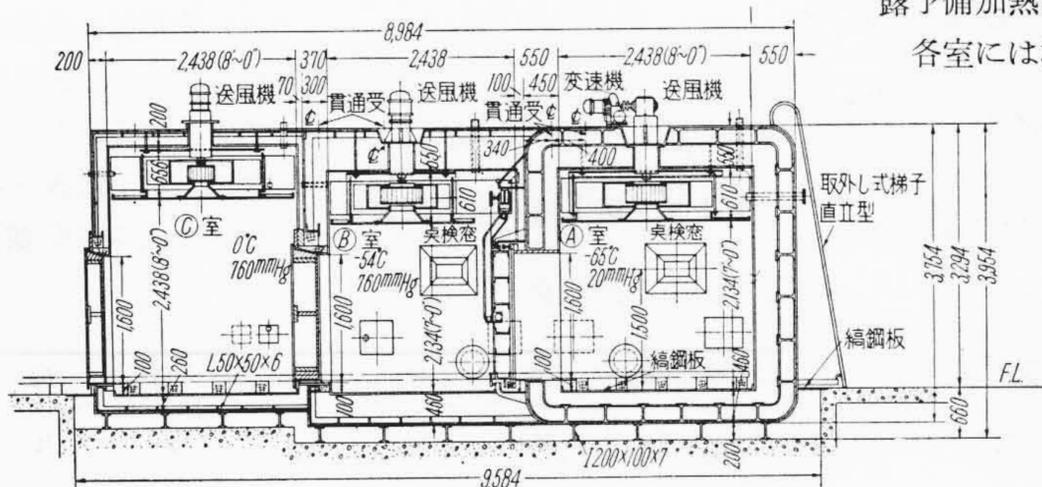
2. 試験槽の設計条件および構造

2.1 第1試験槽(第1図参照)

槽内はA、B、Cの3室に区切られており、その設計条件および構造は下記のとおりである。

A室はアルチチュードチャンバーとして低温低圧下で使用され、B室はA室とあわせて大形機材の低温試験に使用される。またC室は搬入品の予備冷却、搬出品の防露予備加熱に用いられる。

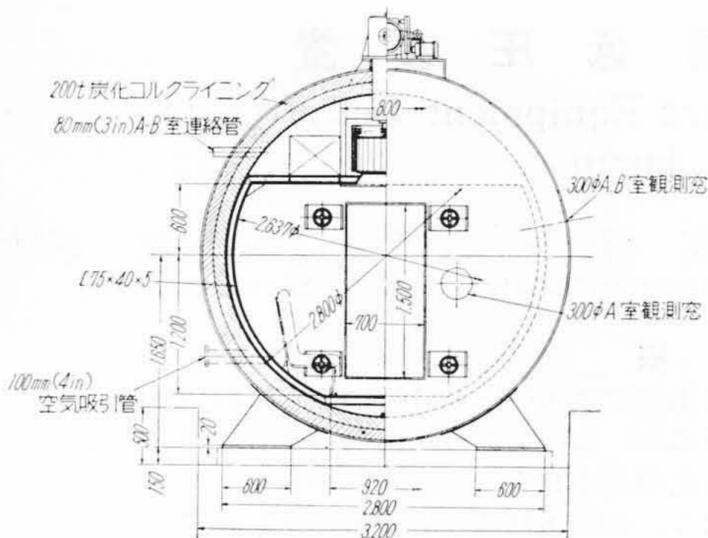
各室には機材を搬入するため可搬式レールおよび手押



第1図 第1試験槽断面図

	A 室	B 室	C 室
最低温度	-65°C	-54°C	0°C
到達時間	6 時間	5 時間 (3 kW ヒータ入)	—
温度制御	任意点で ±2°C	任意点で ±2°C	—
最高高度 (約20 mm Hg abs)	24,380 m	常 圧	常 圧
到達時間	2 時間	—	—
圧力制御	±2mmHg	—	—
室内有効寸法	3,660×2,438 ×2,134H	3,660×2,438 ×2,134H	4,270×2,438 ×2,438H

* 日立製作所 川崎工場
** 日立製作所 本社
*** 日立工事株式会社 本社



第2図 第2試験槽断面図

車(許容荷重3t)が設けられている。

2.2 第2試験槽(第2図参照)

槽内は第1槽同様にA, BおよびCの3室に分けられ、その設計条件および構造は下記のとおりである。

	A 室	B 室	C 室
最低温度	-42°C	-42°C	-5°C
到達時間	4 時間	3 時間	—
温度制御	± 2°C	± 2°C	—
最高高度	15,270 m (約90mmHg abs)	15,270 m (約90mmHg abs)	常圧
到達時間	特に規定しない。第1槽用真空ポンプの能力一杯使用するものとする。		
圧力制御	手動とし、高度上昇、下降、停止のやりやすいこと。		
室内有効寸法	2,800 φ ×3,000 l	2,800 φ ×1,500 l	3,000 φ ×1,500 l
収容人員	11人	2人	0

各室には収容人員だけの航空用酸素吸入装置、電話設備を設け、各パイロットがマスクをつけて高空における呼吸調整、通話と同様のテスト、訓練を行うことができる。

A室ではさらに電灯照度を変えて生理および心理状態に及ぼす影響が調べられる。

A室では特に激しい急降下を、B室では特に激しい急上昇のテストも可能である。

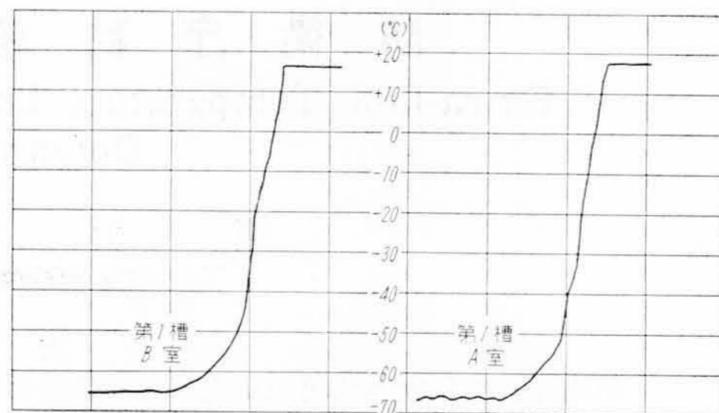
高空においては人間の思考、運動能力が失われやすいから、内部からも外部からも危険を未然に防ぐための対策としてブザー、ランプ、エマージェンシバルブなどが十分に施されている。

3. 試運転結果とその検討(第3~5図参照)

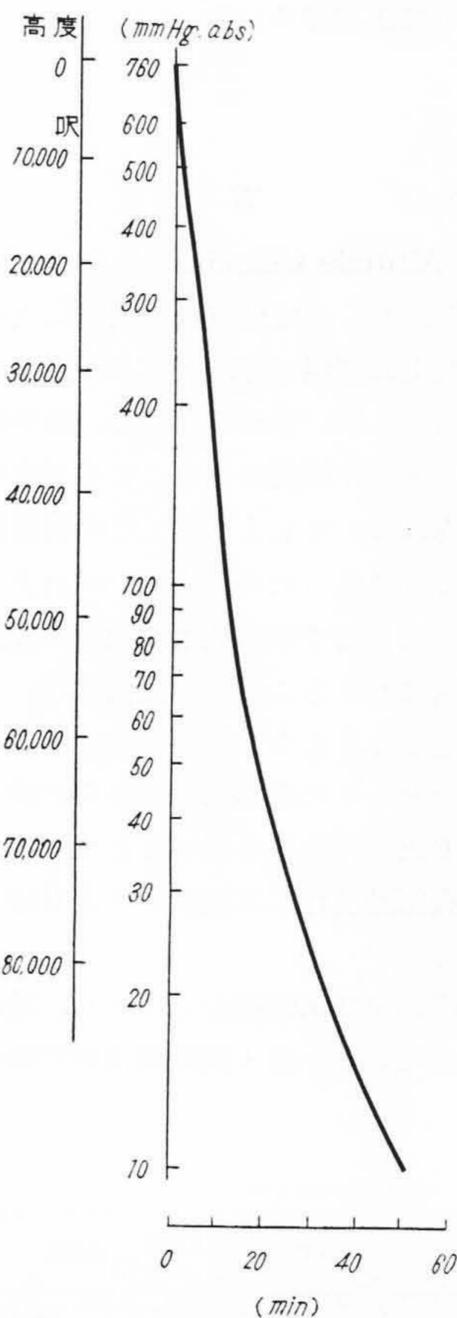
昭和33年10月上旬各性能につきひととおりテストを行ったが、予期以上の好結果であった。

第1槽A室のみの冷却では下表に示すようにわずか70

時間(min)	0	30	60	70
温度(°C)	17	-45	-62	-65



第3図 第1槽温度自動制御曲線



第4図 第1槽A室減圧速度

図および下表に示す。

時間(min)	0	10	20	40	50
圧力(mmHg abs)	760	150	45	16	10

圧力自動制御の精度は ± 0.5 mmHg 以下できわめて優秀な値を示した。

これらの自動調整装置はいずれも日立製作所製であり、見学にきた米軍関係者に日本製品に対する認識を新

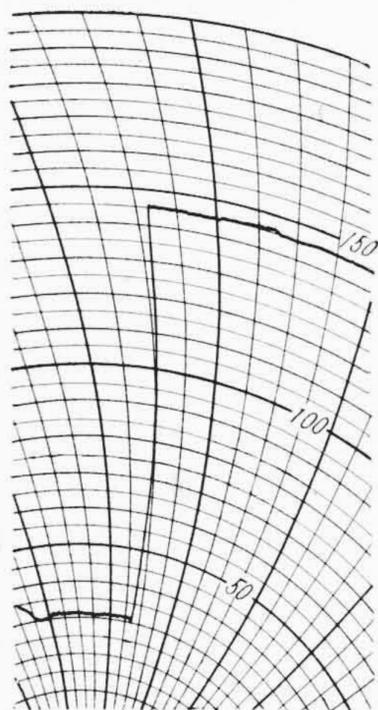
分で-65°Cに到達した。

B室単独の場合もほぼ同様で、60分で-60°C、90分で-65°Cに到達した。

最低温度はA室のみの場合-73°C、A, Bいっしょで-65°Cであった。

温度自動制御は大体任意の点で± 1°C以下に保つことができた(第3図参照)。

減圧能力は常温のままでは室内の水分蒸発のため25~30 mmHg 付近から圧力低下が悪くなるが、あらかじめ室内を0°C以下に冷却してから高真空にすると、水蒸気の影響が少なくなり急速に圧力を下げることができた。第1槽A室の真空到達時間を第4



第5図 第1槽A室圧力自動調整の一例

たにさせた(第5図参照)。

第2槽の減圧能力は

A室 90 mmHg abs
まで 10分

B室 90 mmHg abs
まで 5分

でこの速さは現在の最高上昇速度を持つジェット機に比べて3倍の速さに相当し、高価な上昇速度計が再三振り切って故障し、困ったくらいである。急降下試験(圧力上昇)では4.3マッハの速度で降下するのと同様な成績を取めた。

パイプ中に入れてある。

(4) 扉

B, C室の扉は通常の形式の観音開きの保冷扉であるが、A室の扉は耐真空、耐低温でなければならないし、冷却速度を上げるためには熱負荷(熱容量)、熱侵入の少ない戸であることを要し、設計上苦心した。

扉の開孔部は各室とも1,600×1,600でBおよびC室入口は木製、A室は鋼板製鉄骨構造とした。扉の締付は4個のウォームギヤとクランプにより行われる。計算上A室が低圧になると扉にかかる外圧は約20tにも達し、特に強固に作られている。

(5) その他

照明はA, B両室とも100W白熱電球4個、C室は2個設けている。

室内外の連絡用として電話、ブザー、シグナルランプなどを設けている。

低温室内の塗装は超低温用特殊塗料を用いてみたが性能についてはなお若干時日を経過してからでないとはっきり断言できない。将来はこの種の装置はステンレス材料で内張りをしたいものと思う。

4. 付属品の概要

4.1 第1試験槽付属品

前述の第1図に第1試験槽の大体の構造を示す。試験目的にそうため、各種の付属品が設けられているので付属品について簡単に説明する。

(1) 窓

窓の大きさは外側で高さ200×幅300、内側で400×500となっていて約60度に視野が広がり、窓のついている壁面を除いて室内のほとんど全部を詳細に見ることができる。窓の断熱には十分な注意を払っており、窓ガラスが曇ることなく、 -65°C の室内の新聞を外から明瞭に読むことができる。

A室の窓は室内が真空になっても外圧に耐えるように二重強化ガラスを使用し、万一破損しても人体を傷つけることはない。なお、安全率は10倍以上にとっている。第1試験槽B室の窓はペヤガラス(ガラス2枚を10mmくらい離して中間に乾燥ガスを入れて密封したもの)を2層使用した。

(2) 開孔

機材試験の際、室内と室外との連絡配管、配線などのため300φの開孔がA室に2個、B室に1個設けられている。熱遮断のためSUS-7材を用いている。

(3) ターミナル

室の内外にターミナルボックスを設け、相互に連絡配線が行われているので、室内ターミナルに計器発信器などを接続すれば室外で測定ができる。A室は100A~10A合計11組、B室は9組、C室はヒータ用として3φ50A1組が設けられている。これらのターミナルを用いると300φの開孔を使用しなくても内外を連絡できる。配線はシリコン被覆線をハイゼックス

4.2 第2試験槽付属品

前述第2図に第2試験槽の概略断面を示した。大体において第1試験槽と同様であるが、建設費を安くするため横置円筒形とし、外殻の肉厚を減らした軽量構造になっている。

A, B両室の扉は耐真空扉としての気密性と十分な強度をもたせてあるが、このほかに内部の人間が脱出できるように内側からも扉を開閉できるような締付金具を採用している。

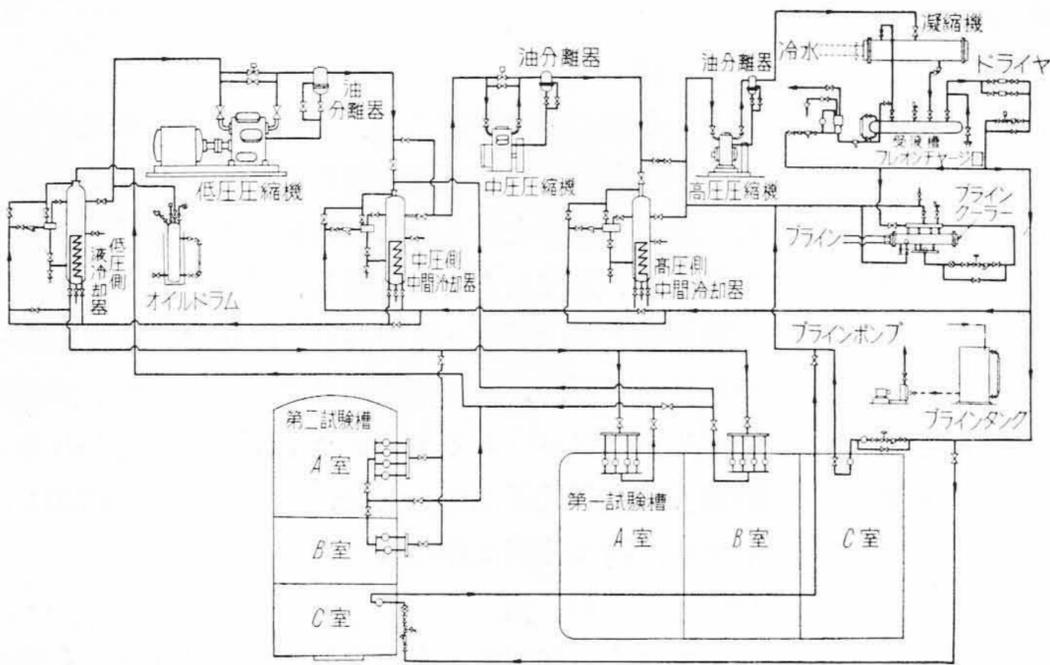
槽外(屋外)に置かれた200気圧の航空用酸素ポンベの酸素は計器盤で30気圧まで減圧させて槽内に入り、1人ごとに設けられた酸素吸入調節器を経て酸素マスクに送られる。この調節器回りの配管は人命に関する問題であり、取付位置、方式などにつき検討を重ね大変手間取った。パイロットのマスクには酸素配管接続金具とともに電話もついているので、これまたすわったままで接続できるようになっている。

照明は電圧を摺動抵抗器によって変化させ照度を変えられるようになっている。

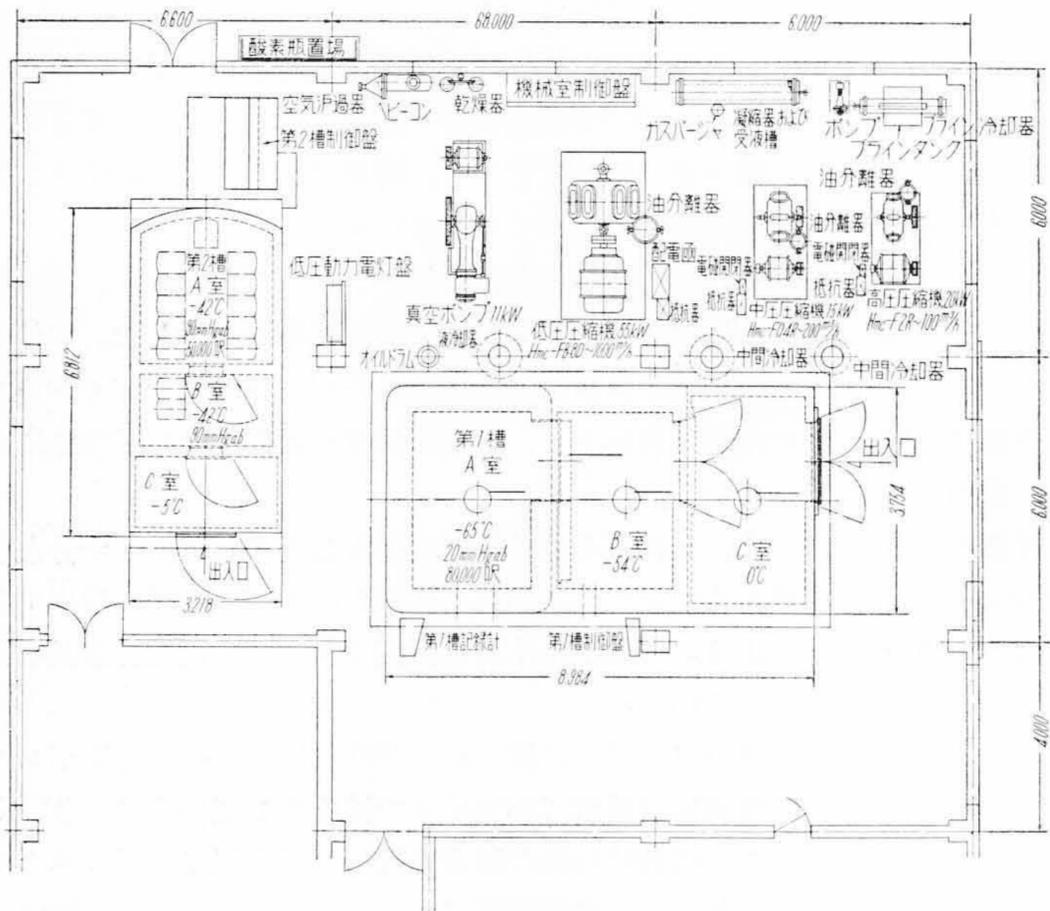
窓、ターミナルなどは第1試験槽と大体同様である。

5. 冷凍サイクル

第6図はこの装置の心臓部ともいべきフロンF-22の3段圧縮冷凍サイクルを示す。なお、第7図には全体の配置が示してある。フロンF22を用いた3段冷凍装置は世界でも珍しく、日本ではもちろん初めての装置である。



第6図 冷凍配管系統図



第7図 低温低圧試験装置配置図

圧縮機はいずれも日立 HMC 冷凍機で仕様は下記のとおりである。

	形式	気筒径 (mm)	行程 (mm)	気筒数	電動機出力 (kW)
第1段(低圧段)	F8D-BW	170	125	8	55
第2段(中圧段)	FV4R-BW	115	90	4	15
第3段(高圧段)	FV2R-CW	115	90	2	22
コンデンサ	480φ×2,400 l				
レシーバ	300φ×2,400 l				

各冷室の天井のフィンコイル中で蒸発した冷媒ガスは液冷却器を経て第1段圧縮機に入り、インタクーラを経て第2段圧縮機、さらに第3段圧縮機に入りコンデンサで液化する。液冷却器は冷媒液を過冷却するとともにリ

キッドバックした際の液分離器の役目をし、安定した運転が得られる。冷凍機中の油が冷凍とともに循環し膨張弁で凝固したり、蒸発器や液冷却器にたまることも考えられたが、各種の対策が施されたためこれらの現象もなく順調に運転されている。小形フロン装置には通常横形のインタクーラ、熱交換器などを使用するが、種々の点から縦形を用いてみた。これはアンモニア装置にしばしば用いられ、大形フロン装置に使用して良い実績を示しているので間違いのない方法と思う。筆者らが昭和28年わが国で初めてと思われるフロン冷媒の直膨式による塩素ガスの冷却液化装置にこの縦形を採用し、好成績を収めている。

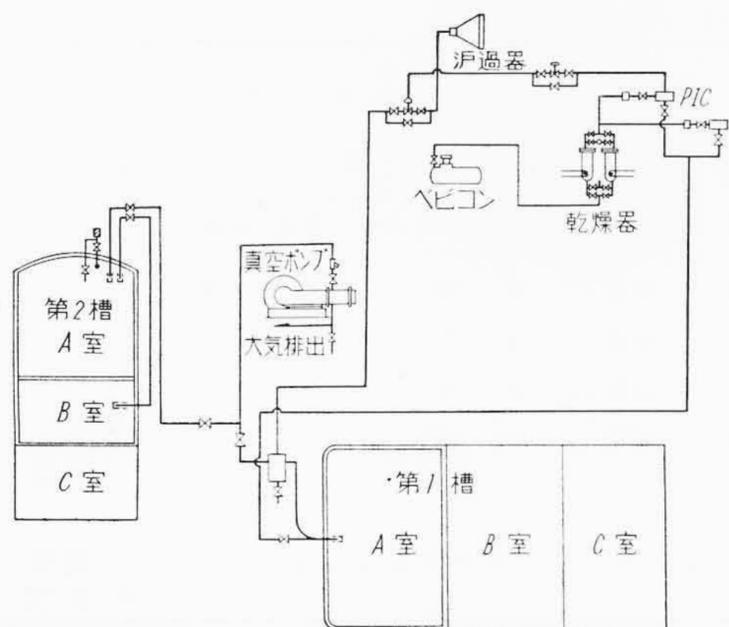
冷媒は大阪金属製品、冷凍機油は日本通商 (サン石油) Suniso 3 G を用いた。油が万一凍結し、膨張弁が詰まるようならフロン F-12 を数%混入して溶解させる準備をしたがその必要は認められなかった。

配管中のゴミ、水分を完全に除去するため配管工事完了後全部解体して酸洗、アルカリ洗、水洗、乾燥を十分に行い、ふたたび配管を組み立て、気密テストは CO₂ とフロンにより行い、電気的ハロゲンデテクタにより綿密にテストした。規定圧力において15時間後の圧力降下は0を示し、次にテスト用真空ポンプで数日吸引し、真空度 5 mmHgabs にて 24 時間放置後圧力上昇はわずか 1 mmHg であった。配管中の水分は完全に除去されたものと考えられる。

えられる。

温度調節方式としては種々のものが考えられ、文献にもいろいろと記載されているが、この装置に適當と思われるものがなく、比較的確実でかつ経済的な方式として膨張弁を数個併列に設け、電磁弁を温度調節計により順次切入する方式を考えてみた。結果として大体 ±0.5°C 以内に整定できることが確認できた。調節計としては日立製作所で特に設計された電子管式抵抗式温度調節計を用い、接点 5 個を内蔵し、各接点は独立して任意の点に設定しうるようになっている。今後この計器を用いれば各方面で面白い計装が可能となるであろう。

なおこの装置は冷凍機に経験の少ない人の運転するこ



第8図 真空系統図

とが予想されるので、各種保安設備、インタロックなどには十分注意を払った。

6. 真空サイクル

第8図は第1試験槽および第2試験槽の真空サイクルを示す。

第1試験槽の圧力調節はこれまた特に設計された日立PPL-A形真空指示調節計を用い、ダイヤフラム式自動調節弁を空気作動によって変化させ、外気を真空ポンプ吸入側に送ることにより圧力調節を行った。この方式は真空ポンプ吸込配管の弁を作動させるよりも調整が容易で運転性能も良いと思われる。

第2試験槽は室内の人間の状況、高度、上昇速度計などを見ながら運転計器盤上の弁を手動調整して圧力を変化させる。ベンチボードタイプのパネルに向って腰かけて室内やパネル上の計器を見ながら容易に調節できるよう工夫した。なお緊急時には急速に圧力を回復できるよう緊急弁が設けられ、レバーをちょっと動かすだけで大気圧に復帰する。

7. 計器盤

運転および試験のために下記のようにパネルを設けている。

(1) 動力盤..... 2面

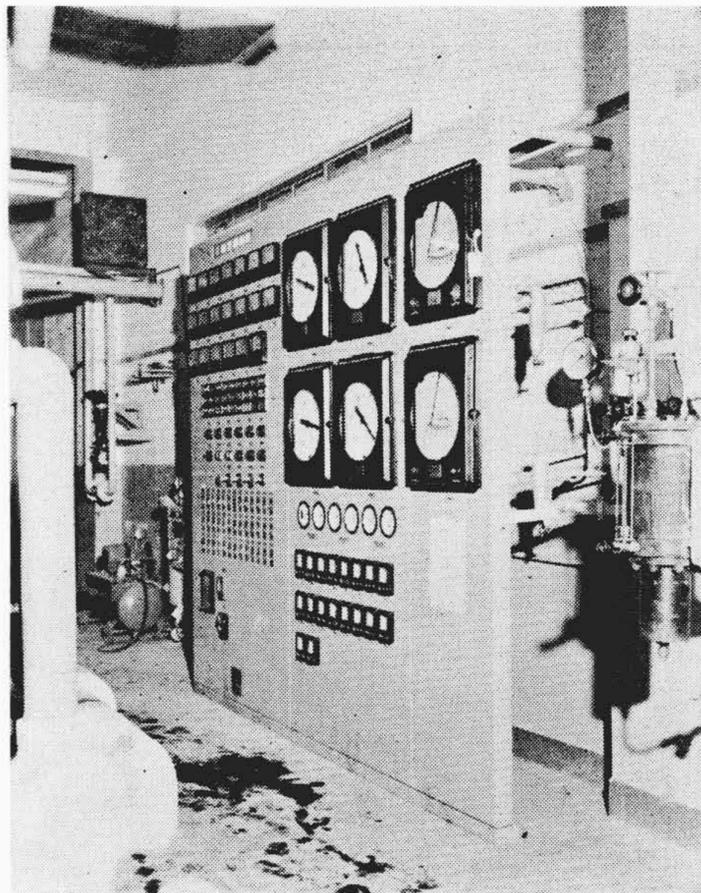
ナイフスイッチおよび電磁開閉器をまとめてある。

(2) 機械室制御盤..... 3面

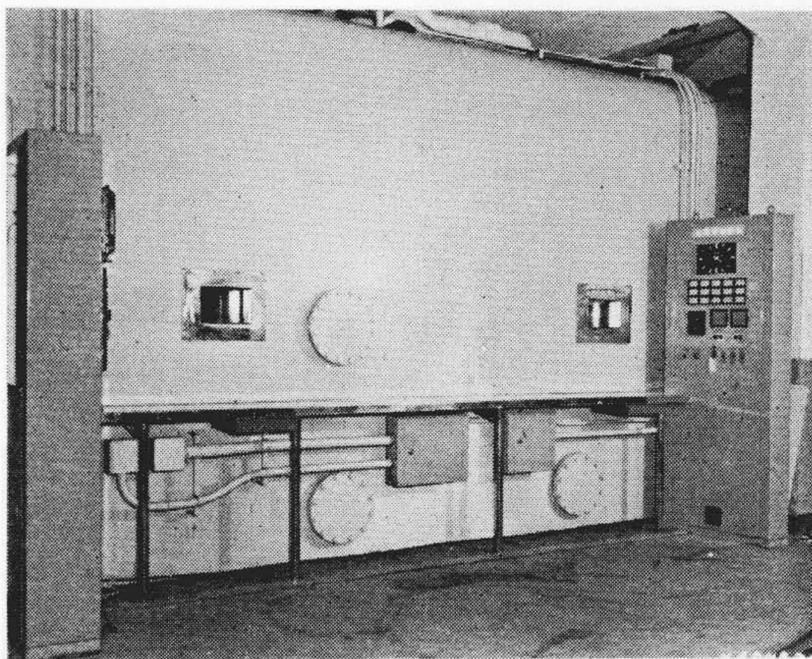
各電動機の電流計、電源電圧計、運転表示ランプ、起動停止押釦、各種操作用トグルスイッチ、温度指示調節計、真空指示調節計、冷凍機各段高低圧圧力計などをまとめてある。

(3) 第1試験槽試験室制御盤(キュービクル)... 2面

温度記録計、圧力記録計、運転表示ランプ、連絡用



第9図 機械室制御盤



第10図 第1試験槽試験室制御盤

ブザーおよびランプ、時計、時限ベルなどをまとめ長さ4mの測定用デスクの両端に向いあって置かれている。試験者は機械室に行かなくても所要の運転状況を知ることができる。なお、この測定用デスクの上張りは日立製作所製ヒッターライト化粧板を用い、試験者は気持ちよく記録がとれるよう考えてある。

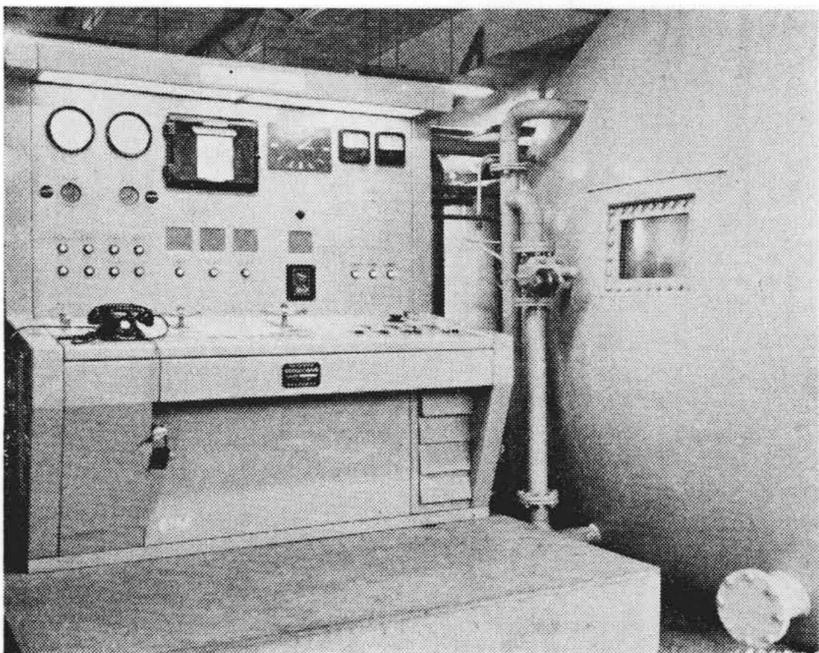
(4) 第2試験槽制御盤(ベンチボード)..... 1面

温度記録計、高度計、昇降速度計、運転表示灯、連絡用電話およびブザー、ランプ、時計、時限ベル、酸素圧力一次調節計(200気圧より30気圧まで)、A室用真空調節弁、B室用真空調節弁などをまとめてある。

第9~11図は各パネルの外観写真である。

第1表 低温装置運転記録

冷 凍 機														第1槽			第2槽					
低 圧 段 (F8D-BW)						中 圧 段 (FV4R-BW)					高 圧 段 (FV2R-CW)				温 度 (°C)			温 度 (°C)				
電圧 (V)	電流 (A)	圧 力 (kg/cm ² g)		温 度 (°C)		電圧 (V)	電流 (A)	圧 力 (kg/cm ² g)		温 度 (°C)		電流 (A)	圧 力 (kg/cm ² g)		温 度 (°C)		A室	B室	C室	A室	B室	C室
		吸入	吐出	吸入	吐出			吐出	吸入	吐出	吐出		吸入	吐出								
3,200	5.3	-640	-80	26	45	220	35	1.2				50	10.8	2	80	-65	-43	0				
3,150	6.0	-600	0	-61	36	214	56	3.1	25	55	76	13.0	4	75	-56	-51	0					
3,150	6.1	-590	0	-72	39	212	57	3.1	-9	61	77	13.0	9	78				-44	-41	0		
3,100	5.0	-625	-350	-38	42	210	38	1.0	-30	55	54	12.5	-2	83	-65							



第11図 第2試験槽制御盤

第2表 サーミスタにより測定した各部の温度 単位(°C)

測定 No.	中間冷却器(I.C.)				液冷却器(L.C.) (低圧側)		低圧段圧縮機 (F8D-BW)	
	高圧側		中圧側		入口	出口	吸入	吐出
	入口	出口	入口	出口				
1	29	6	7	-19	-17	-47	-51	40
2	30	9	9	-48	-46	-62		

第3表 壁内における温度勾配 単位(°C)

測定 No.	測定位置 No.	外 壁					B室とC室との間仕切			B室とA室との間仕切		槽内温度		
		1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	A室	B室	C室
		1	11	0	0		13	2	3	12	0	13	4	9
2	13	5	3		0	5	6	4	3	3	-16	-10	1	
3	13	4	4		-11	3	3	-10	0	-7	-29	-28	2	
4	12	4	4		-23	4	2	-19	0	-18	-41	-36	0	
5	12	3	3		-31	3	0	-28	-1	-24	-44	-40	0	
6	12	2	2		-40	3	-1	-35	-1	-30	-56	-51	0	

8. 運 転 記 録

運転記録については、まだ十分実用試験を行っていないので、系統だった発表はできないが、参考までにその一部を第1表に示す。

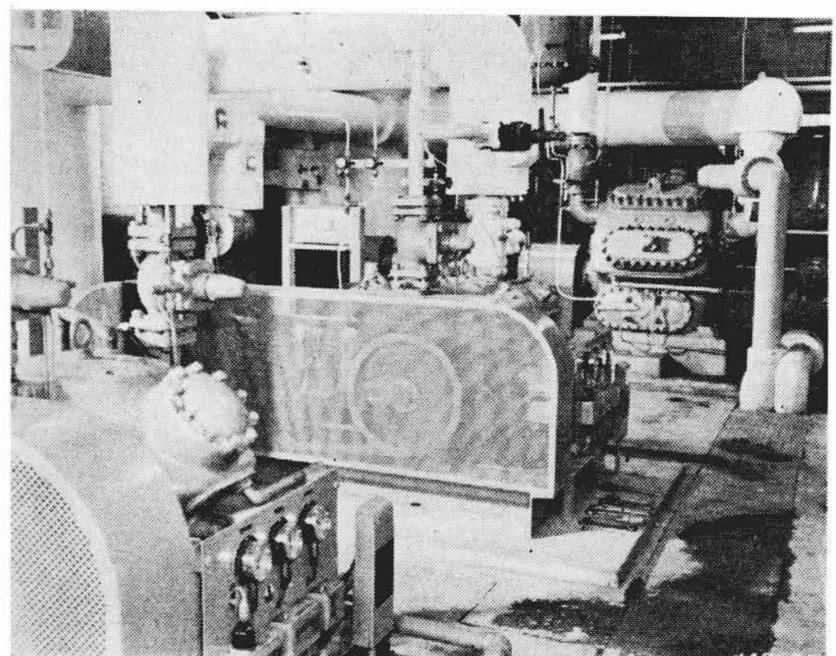
液冷却器およびインターラの液冷媒出入口温度およびF8D圧縮機(低圧段)の吸込吐出管壁温度をそれぞれ日立サーミスタで測定した結果を第1表の運転データとの比較の意味で第2表に示す。

第1試験槽B室内壁防熱層間に熱電対を埋め込んでおき冷却効果を測定した。その一例を示すと第3表のとおりである。ここで番号は外側から順番にとっている。

上記データから明らかなように、急速冷却の場合は防熱層は内面の1枚または1/2枚くらいが冷却されるのみで、残りの断熱材の温度はあまり変化していない。また前日の冷却の効果と外壁、内壁よりの熱侵入の効果が時間的おくれの原因となっている様子が認められる。

9. 補 記

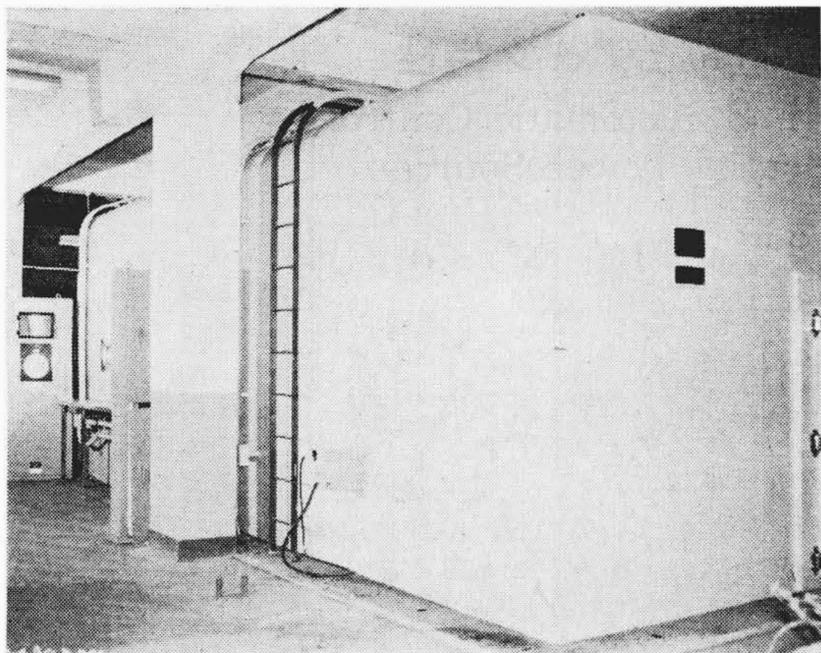
第12図は3段圧縮の全景で、手前が高圧段(FV2R)、中央が中圧段(FV4R)、向う側が低圧段(F8D)の圧縮機である。



第12図 3段圧縮機全景

第13図は第1試験槽の外側で、ターミナルボックス試験室制御盤が見える。

第14図は第2試験槽の内部で、一番向う側がA室で、酸素調整装置が天井から懸垂されている。窓の向うに写真には見えないが第2試験槽制御盤がある。

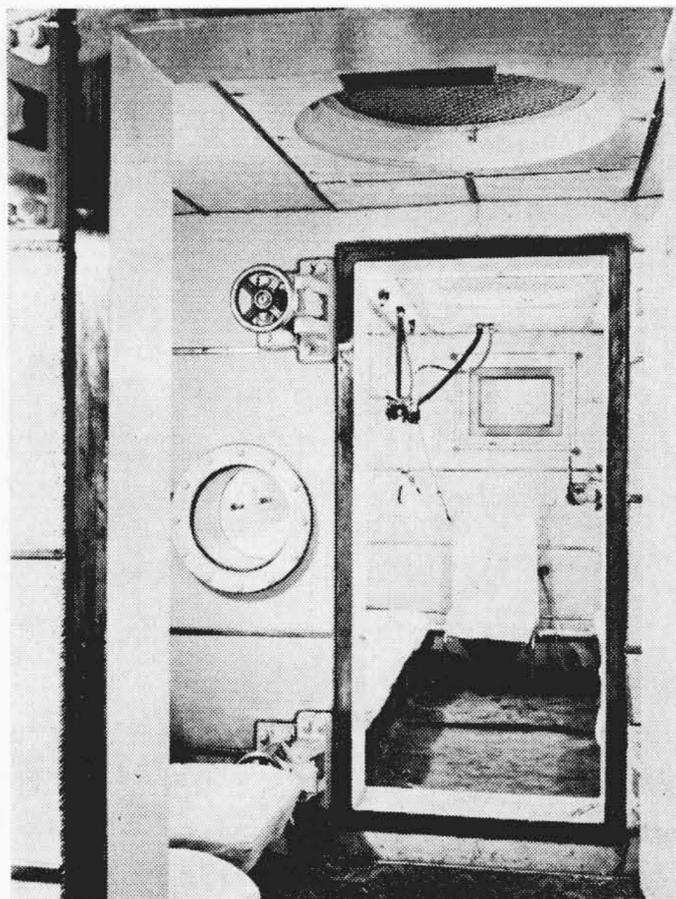


第13図 第1試験槽外観

運転当初は果して所期の結果が得られるかどうか不安な点もあったが、予期以上に順調に進行した。この種の装置は従来技術的に十分確立されていない点があり、今回の装置の完成により初めて貴重な資料と自信をうることができた。

-60°Cの室内にちょっとは試してみたが半袖シャツで腕を露出したままでもちょっと寒いと思った程度で格別に感じられることはなかった。しかし、扉を開閉しようと金具にさわると指が痛いように感じて、手袋なしでは操作できない。靴は床板に固着するような感じで、シャツやズボンがコチコチと固くなっていく。外気がはいてくると室内はものすごく細かい霧に包まれて、ひょっとすると出口を見失って凍死しないかなどと不安になってくる。

真空テストは、官側で医学実験として再三繰り返されており、高度2,000 m くらいの状態で皮膚から水が出るせいか涼しく感じられ耳がジーンと鳴り出す。6,000 m くらいになると唇が紫になり、視野がせまく色が青味を帯びて見え、やがて赤味がかってくる。7,000 m になると肩で息をし、苦しくなり、そのまま30分もすると意識不明になるといわれている。12,000 m 以上になると酸



第14図 第2試験槽内部

素を送っても肺まで届かないので加圧して口中に押し込み、18,000 m 以上になると血液が沸騰して死ぬから、15,000 m 以上では与圧服を着せる。通常の人には、5,000 m くらいの昇降を一度しただけで身体がだるくておかしな気分になるそうである。

10. 結 言

人類の大空と宇宙への限りないあこがれと飛躍により、この種装置の需要は今後ますます増大するものと思われるが、今回の超低温低圧装置の完成により、貴重なデータをうることができ、またその製作にも十分な自信を持つことができたので、今後この方面で斯界をリードするものを作って行きたい。

終りに臨み種々御指導、御鞭撻をいただいた防衛庁技術研究所加藤政雄技官に深甚の謝意を表する次第である。

Vol. 21	日 立	No. 6
目 次	目 次	目 次
◎ふしぎな電気.....岡本太郎	◎日 立 だ よ り	◎日 立 だ よ り
◎原子力センター見学記	◎日立ハイライト(扇風機)	◎日立ハイライト(扇風機)
◎貨車輸送の近代化	◎成層圏を地上に再現	◎成層圏を地上に再現
◎新しい照明施設	◎使いよくて美しい今年の扇風機	◎使いよくて美しい今年の扇風機
◎パッケージ型エアコンディショナーのできるまで	◎分光光度計の応用	◎分光光度計の応用
◎明日への道標	◎あひる会の見た戸塚工場	◎あひる会の見た戸塚工場
誌代 1 冊 円 60 (〒 16)		
発行所 日立評論社	東京都千代田区丸の内1丁目4番地	振替口座 東京 71824番
取次店 株式会社オーム社書店	東京都千代田区神田錦町3丁目1番地	振替口座 東京 20018番