U.D.C. 697.9:727.57]:621.432-747.001.4

環境試験装置 —その自動車への適用—

Low Pressure Low Temperature Testing Chamber For Automobile

深澤汎茂* *Fukasawa Hiroshige*

近年，製品の信頼性向上確保のため人工環境下での製品，及びその開発試験を実施する方法が普及しつつあるが，自動車エンジンの場合も高地気象，特に低圧・低温環境を再現して，本格的に実験研究できる設備が要求されるようになってきた。このたび日立製作所は，財団法人日本自動車研究所へ我が国で最初の自動車用低圧・低温環境試験装置を納入したが，この試験装置の開発に当たっては，

(1) 大容量の熱負荷を迅速に処理するための低温冷却装置
(2) 高温のエンジン排ガス処理と減圧システム
(3) 試験室の外圧強度及び低熱容量化
(4) 試験室壁を貫通する動力吸収用高速回転軸のシール

などに対処する課題が含まれており，本稿では，これらの課題に対する考慮，及び試験結果について述べる。

1 緒　言

今日，自動車の輸出の伸長をはじめとする我が国の自動車産業の目覚ましい発展は，国産車がそれぞれの地域の気象環境下で極めて高度の信頼性を保持し，国際車として不動の地位を確立できたことに負うところが大きい。

輸出先は，アメリカ，カナダ，ＥＣ諸国をはじめとして世界のいたるところに拡大し，そのため対象となる気象環境も極めて広範囲かつ多様である。また，各国における自動車の排ガス公害，あるいは走行安全性などの諸問題に関する法規制も年々厳しくなる傾向にある。

自動車の技術開発にとって重要なことは，様々な気象環境下での総合的，多角的な実験研究に裏うちされたものでなければならないといわれている。

自動車の環境テストは，輸出地域の拡大に伴い，再現すべき気象環境条件が多様化したことにより，従来の設備では不十分となった。すなわち，高地気象である低圧，低温条件をも含めた広範囲環境下での自動車，特にエンジンの性能，排ガス特性，燃費などに対する研究，開発が必須となってきたことである。このため，財団法人日本自動車研究所は，我が国初の最大規模による低圧・低温環境試験装置の開発計画に着手した。日立製作所もこれに積極的に参画し，環境試験装置及び実験棟一式を完成納入した。

以下に本装置の設計，製作，施工及び運転・試験結果の概要について述べる。

2 特　長

本装置の特長を要約し次に述べる。

(1) エンジン全負荷運転(発熱量200,000kcal/h)状態で，気圧460Torr(高度4,000m相当)，温度－40℃が維持可能で，国内最初の設備であり世界的にも最大級の規模のものである。

(2) 計測室の両側に200PSガソリンエンジン，及び700PSディーゼルエンジンまでを対象とした二つの実験室(**図1**)を配置し，一系統の冷凍空調装置で各室を制御可能である。また，空調操作室(**図2**)での集中制御管理システムを採用した。

(3) 冷凍機に600kWの二段圧縮フロン22スクリュー冷凍機を使用し，冷却方式は直膨式を採用した。また，設置スペースが小さく，経済的(設備費及び運転経費)で保守が簡単である。

(4) 日立製作所独自の減圧及びエンジン排ガス処理システムを採用した。実験室内圧力をマイナス気圧制御だけでなくプラス圧制御(外気圧に左右されることなく760Torr維持)が可能である。

(5) 新規構想の実験室構造の開発に成功した。軀体は耐圧構造の鉄筋コンクリート造りで，内面に気密保持と断熱について特殊処理を施し安全性，経済性及び性能に優れている。

(6) エンジンダイナモメータの中間軸の壁貫通軸シールに気密及び断熱性に優れた軸封装置を設置し，機能及び性能を画

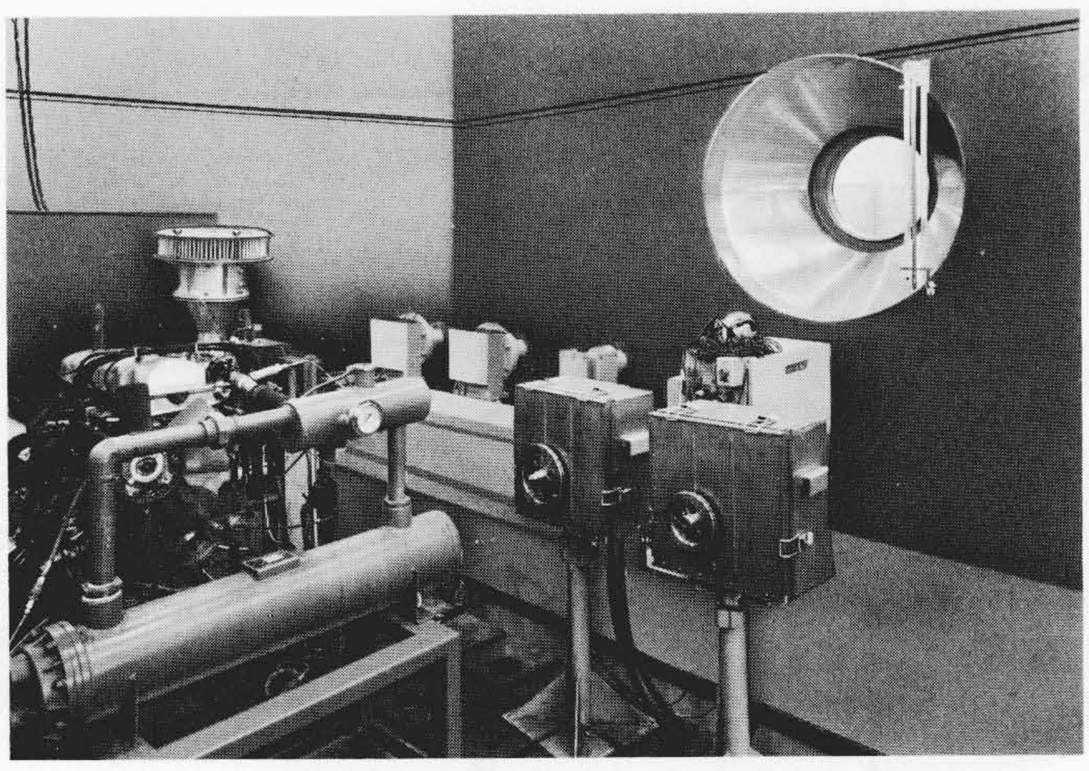


図1　低圧・低温実験室　実験室内に供試エンジンを設置したところを示す。再現環境は，温度－40～＋50℃，気圧は高度0～4,000m相当の760～460Torrなどである。

* 日立製作所土浦工場

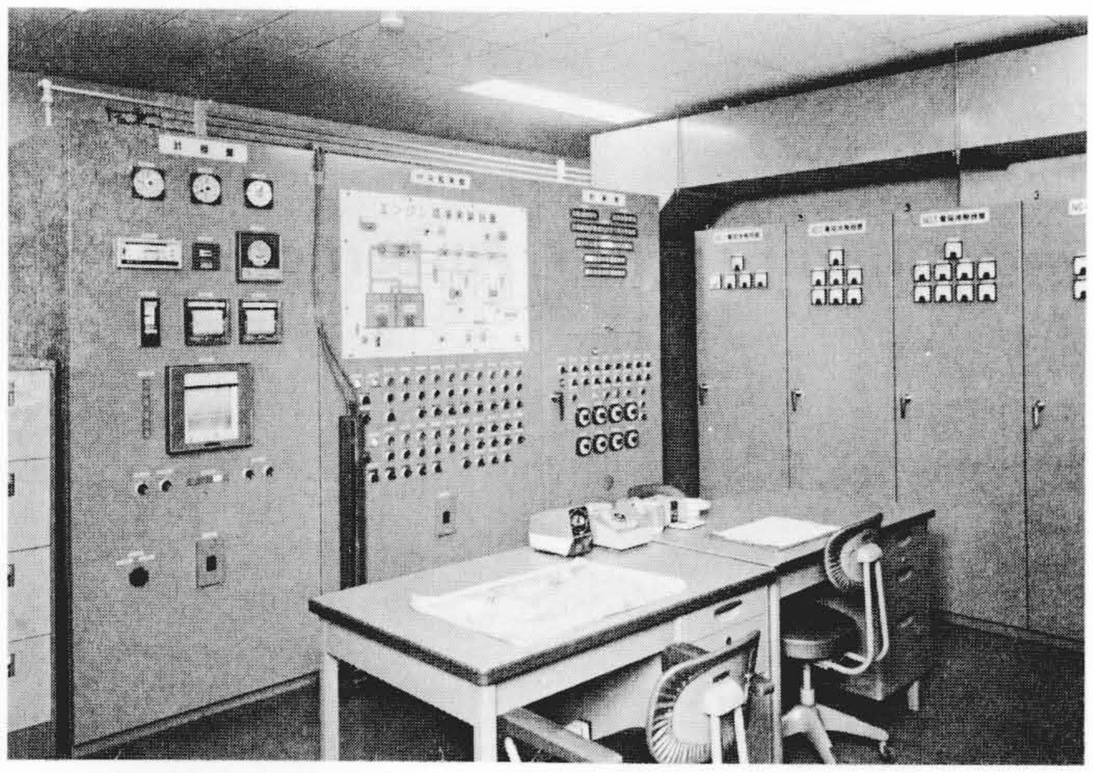


図2 空調操作室 空調操作室(総合監視制御盤)で，本低圧・低温環境試験装置全系統の運転制御管理を行なう。

表1 設計仕様条件 低圧・低温環境試験装置の主な計画仕様を示す。第1実験室はガソリンエンジンを，第2実験室はディーゼルエンジンを対象に環境テストを行なう。

項目	第1実験室	第2実験室
1.室寸法	5,000L×6,000W×4,000H(有効)	5,000L×6,000W×4,000H(有効)
2.室内温度	−40〜+50°C 精度± 2°C	−40〜+50°C 精度± 2°C
3.室内湿度	30〜80%RH 精度±10%RH	30〜80%RH 精度±10%RH
4.室内圧力	760T〜460Torr (富士山頂程度)，精度± 2%	760T〜460Torr (富士山頂程度)，精度± 2%
5.室内試験物	主にガソリンエンジン(200PS) 部品，バッテリーなど	主にディーゼルエンジン(700PS) 部品，バッテリーなど
6.新鮮空気量	900m²/H(第1，第2実験室の合計) ただし，エンジン用及び作業員4名分として	
7.室内熱負荷	max.200,000kcal/H(第1，第2実験室の合計)	
8.冷却時間	各室単独で+32°Cから−40°Cまで2時間以内	
9.加熱時間	各室単独で− 3°Cから+50°Cまで2時間以内	

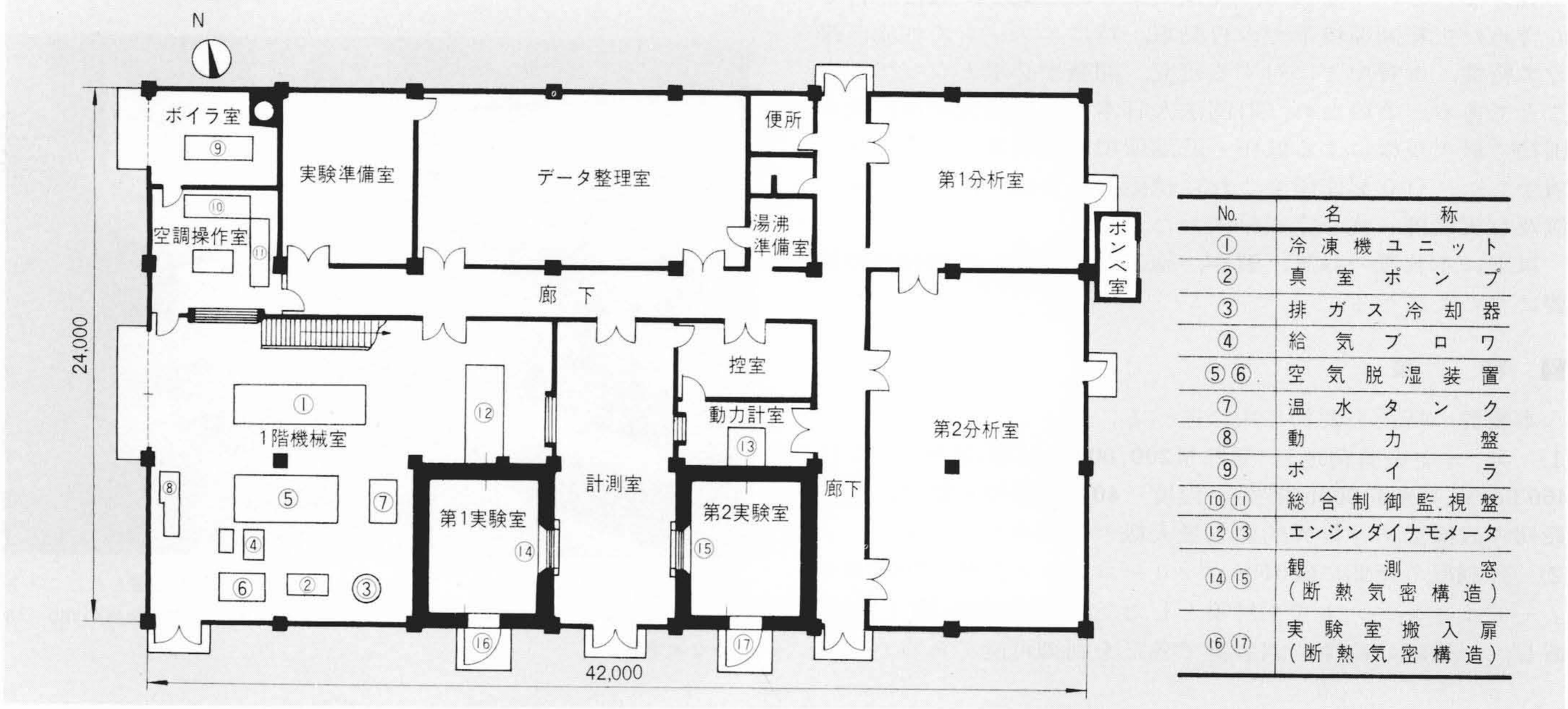
期的に向上させた。

3 装置計画仕様

本装置の計画仕様を**表1**に示す。実験室は第1実験室と第2実験室とに分かれており，前者は主に200PSまでのガソリンエンジンを，後者は700PSまでのディーゼルエンジンを対象とするものである。

表2 低圧・低温環境試験装置の構成 本装置の主な構成と設備内容について示す。

構成	設備内容
1.気象再現設備	(1)冷凍装置系統 (2)加熱装置系統 (3)調湿装置系統 (4)空気調和装置系統 (5)減圧及びエンジン排ガス処理装置系統 (6)新鮮空気装置系統 (7)蒸気源装置系統 (8)冷却水源装置系統 (9)空気源装置系統
2.動力吸収設備	(1)エンジンダイナモメータ設備(二式)(施工範囲外)
3.計装設備	(1)電源及び電気設備系統 (2)計装設備系統
4.試験室気密断熱内装及び付帯設備	(1)搬入扉(気密，断熱構造) (2)観測窓(同 上) (3)定盤 (4)通話設備，合図ベル (5)照明装置 (6)CO_2消火装置 (7)CO警報装置 (8)各種計測端子箱，サービスホール (9)クレーン設備 (10)エンジンダイナモメータ中間軸軸封装置
5.建屋及び付帯設備及び受変電設備	(1)給排水衛生設備 (2)制御室空調設備 (3)照明，通話，消火設備など



No.	名称
①	冷凍機ユニット
②	真室ポンプ
③	排ガス冷却器
④	給気ブロワ
⑤⑥	空気脱湿装置
⑦	温水タンク
⑧	動力盤
⑨	ボイラ
⑩⑪	総合制御監.視盤
⑫⑬	エンジンダイナモメータ
⑭⑮	観測窓(断熱気密構造)
⑯⑰	実験室搬入扉(断熱気密構造)

図3 自動車用低圧・低温環境実験棟1階配置図 本図はこの装置の全体配置のうち1階平面配置を示すもので，このほか2階には主空調器，ダクト，受変電設備機器などが設置されている。

4　装置の構成と配置

本装置の構成を**表2**に，また実験棟の建屋及び各設備機器の配置を**図3**に示す。本建屋は鉄筋コンクリート2階建構造で，2階には空調器及び受変電設備機器などが設置されている。

5　熱負荷特性

本装置の熱負荷特性は，**表3**に示すように一般の恒温・恒湿装置などに比較して，実験室の内容積当たりの内部発熱量が非常に大きく，時間に対する熱量の変化が極めて大きいことが特徴である。

熱負荷特性は，定常特性と過渡(非定常)特性とに大別されるが，本装置のように負荷変化量の大きな装置の計画では，後者の解析と把握が特に重要である。

熱負荷の大部分はエンジン負荷と空調送風機による負荷で占められ，全体の85.3%である。またエンジン無負荷時では，最大負荷時の約20%にすぎず，負荷変化量が非常に大きいことを示している。

常温から最低温度−40℃を得るための冷却所要時間の長短は実験能率を大幅に左右するため，今日では非常に重要視されている。同表から明らかなように，冷却時間にかかわる実験室の熱容量は非常に大きな値で，室温+32℃から−40℃まで2時間で冷却するときの時間当たり平均で約380,000kcal/hの冷却負荷となる。この値は，エンジン全負荷運転時の定常最大負荷284,800kcal/hより約100,000kcal/h超過するものである。実験室構造の選定いかんによりこの値は更に大きなものとなる。本装置のように冷凍装置の容量が冷却時間から決定される場合には，実験室の軀体構造の考察と，内装構造体の低熱容量化が特に大切であり，8.の実験室構造で述べるように今回，実験室に対し新しい軀体構造と内装構造及び工法を考案し，実験室構造体の低熱容量化に成功した。なお**表3**は低熱容量化後の値を示している。

表3　実験室の低温熱負荷特性　実験室温度−40℃におけるエンジン無負荷の場合と全負荷運転の場合の熱負荷特性を示したものである。熱容量負荷は夏季外気条件+32℃の状態から実験室内温度を−40℃まで冷却するとき，室内床，壁，天井などの内装材及び空調器鉄材などから放出する熱量の総和を示す。

室名 / 温度 / 負荷項目	実験室 −40℃無負荷		実験室 −40℃全負荷	
エンジン負荷	——	—	kcal/h 200,000	% 70.2
空調器用送風機負荷	kcal/h 43,000	—	43,000	15.1
新鮮空気負荷	——	—	23,000	8.1
照明負荷	5,000	—	5,000	1.7
侵入熱損失(ダクト損失含む)	9,000	—	9,000	3.2
換気損失	3,000	—	3,000	1.0
観測窓損失	200	—	200	0.1
作業員発熱	1,600	—	1,600	0.6
防熱材熱容量	kcal 30,000	% 4.0	——	—
空調器，ダクト及び内装鋼板等熱容量	556,000	72.9	——	—
床押えコンクリート及び定盤熱容量	160,000	21.0	——	—
試験体熱容量	15,800	2.1	——	—
定常負荷	kcal/h 61,800	—	284,800	100
熱容量負荷	kcal 761,800	100	——	—

注：外気条件　温度 32℃，湿度 68%RH

6　冷却装置

6.1　冷凍サイクル

図4は本装置の全体主系統図を示すものであるが，同図の右側の部分に本装置の心臓部ともいうべきフロン22冷媒を使用したスクリュー冷凍機による，二段圧縮冷凍サイクルを示す。

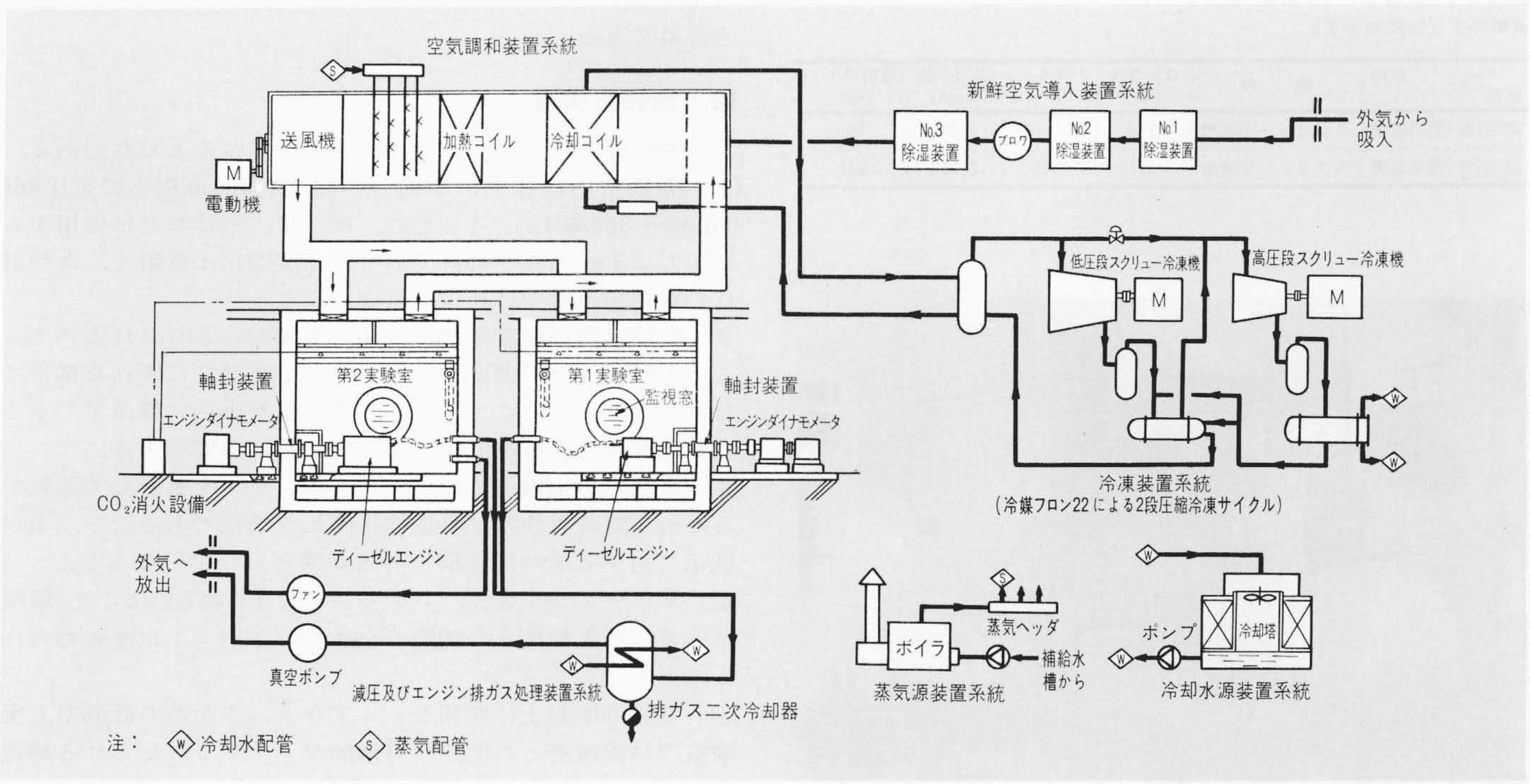


図4　自動車用低圧・低温環境試験装置の主系統図　本装置は，第1，第2実験室を中心に空気調和装置系統，冷凍装置系統，新鮮空気導入装置系統，減圧及びエンジン排気ガス処理系統，蒸気源装置系統，冷却水源装置系統などから成っている。

本冷凍サイクルは，一般空調あるいは産業用の場合に比べ負荷特性及び取扱いの点で大変異なっている。前述のように負荷の変動幅が大きく，変化が急激であること，制御すべき負荷温度(実験室温度)の範囲が−40〜＋50℃と広く，温度差で90℃もあることなど，過酷な負荷特性に対して安定した運転が得られ，更に高い制御精度が要求される。

環境試験装置の通常の使い方は，朝，運転を開始し，夜，停止する。すなわち毎日，発停が繰り返される。このため，運転の発停操作が簡単であること，起動から全負荷運転までの立上がりが速いことなどが冷凍サイクル計画上の要点である。

6.2 冷凍機

表4に本冷凍サイクルに使用した各段スクリュー冷凍機の主な仕様を示す。

スクリュー冷凍機は，次に示すような利点がある。

(1) ガス圧縮部分の容積当たりの処理ガス量が，回転式のため多く容量に対して圧縮機がコンパクトである。このため，オイルセパレータを含めた圧縮機ユニットとして簡単にまとめることができ，据付面積が小さくできる(**図5**)。

(2) 振動が少ない。

(3) スライド弁機構により100〜約15%まで無段階の容量調整ができる。

(4) 多気筒冷凍機の吸入・吐出しバルブに相当する消耗部品がないため保守が簡単である。

(5) 圧縮比の大幅な変化に対応できる。

スクリュー冷凍機はこのような特長をもっているため，中容量以上の低温環境試験装置用に適合した機種といえる。

6.3 冷却方式及び冷媒

本装置の場合，装置規模，温・湿度範囲，負荷特性，制御精度，経済性(設備費及び運転経費)，操作性などを総合的に考慮した結果，冷媒フロン22による乾式直接冷却法が，次に述べるような問題点はあるが，総合的にみて最良であることが分かった。本方式を採用する場合に，従来規模の膨張弁では，−50〜−55℃という低温度条件で，本冷凍容量を処理するためには，数十個という多数の弁を用いなければならなくなり，実用に供することが困難であった。このため，大容量膨張弁及び制御システムの開発を行なうことにより乾式直接冷却法の採用に踏み切ったものである。

本冷却装置は，我が国の環境試験装置用として最大級の規模であり，環境試験装置用としてスクリュー冷凍機を採用したのは国内最初である。また大容量の装置で室温−40から＋50℃までの全域の温度制御を乾式直接冷却法だけで行なう装置システムは日立製作所独自のもので，他の方式に比較して，構成機器の数が少なくシステム簡素であり，スペース，消費動力，設備費，保守性などの点が優れている。

表4 スクリュー冷凍機の主な仕様　本装置に使用したスクリュー冷凍機の主な仕様を示す。

区分＼仕様	機種	ロータ径 (mm)	ロータ長／ロータ径	回転数 (rpm)	電動機出力 (kW)
高圧(段)側冷凍機	スクリュー冷凍機	255	1.1	2,950	350
低圧(段)側冷凍機	スクリュー冷凍機	321	1.65	2,950	250

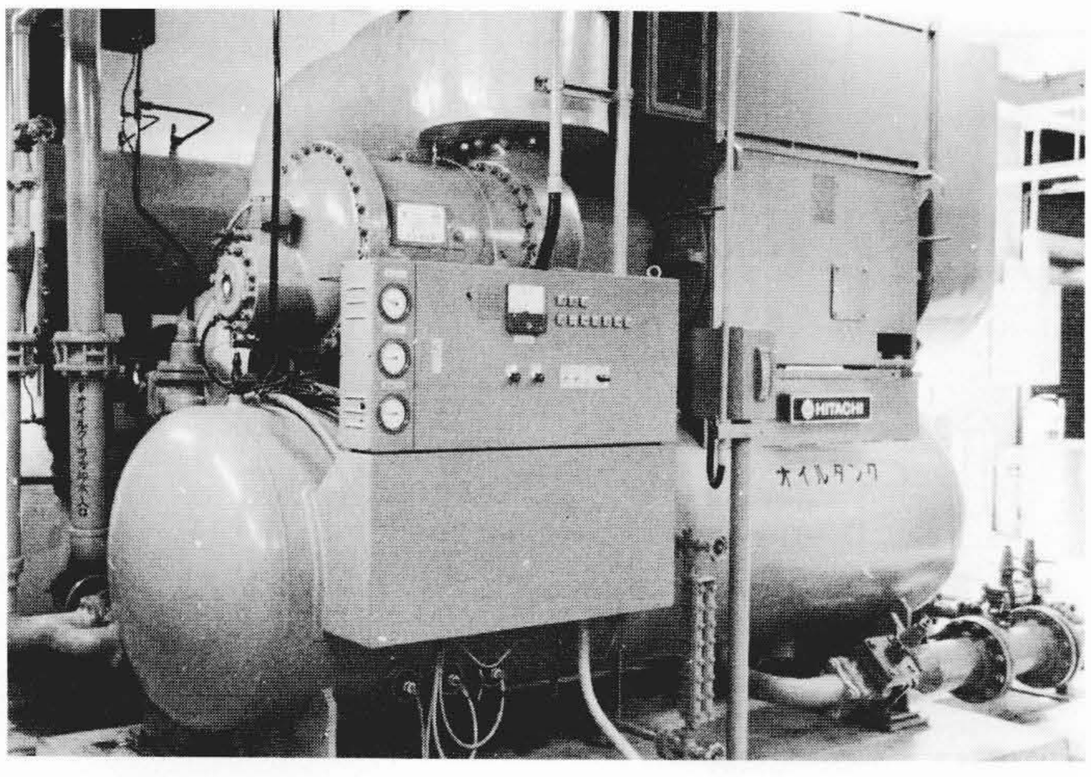


図5 スクリュー冷凍機の外観　給油装置及びオイルセパレータを含めた圧縮機ユニットとしてコンパクトにまとめられ，据付面積が小さい。

7 減圧，エンジン排ガス処理装置

図4の主系統の右下部に，減圧及びエンジン排ガス処理装置の系統を示す。

一般に，低圧条件のあるこの種環境試験装置では，実験室の圧力を保持制御するための減圧装置系統とエンジン排ガスを処理するための装置系統とを別々に分けているが，本装置では，両系統の機能を1系統で処理できるシステムとした。その点は次に述べるとおりである。

(1) 系統が一つであるために，真空ポンプは1台，制御系統は1ループでよい。したがって，運転操作が簡単で，設備の経済性が良く，設置スペースが小さい。

(2) エンジンのアイドリング状態の無負荷に近い運転から最高負荷の運転まで広い範囲の負荷変動に対しても，エンジン排気の雰囲気圧を一定に保持することが比較的容易にできるシステムであるため，装置構成及び計装が簡単である。

(3) エンジン全負荷時の排気温度はほぼ800℃であるが，この高温排ガスを実験室の吸引ノズル部で周囲からの混合流により一次冷却を行なうシステムを採用したため，高温ガスの処理が比較的難しくなく行なえる。このため，配管，排ガス二次冷却器，断熱材などに関する耐熱性，腐食性の対策が比較的容易である。

8 実験室構造

実験室に要求される条件は概略次に述べるとおりである。

(1) 実験室内は富士山頂以上の高度4,000m相当の気圧460Torr(−300mmHg)になるため，壁，床，天井などに作用する外圧力は1m²当たり約4tであり，強度的に十分耐え，かつ漏れのない構造でなければならないこと。

(2) 実験室内の温度条件は−40〜＋50℃にさらされるので，この温度条件下で強度を保持し，かつ断熱性に優れた構造でなければならないこと。また，熱容量が小さい構造であることが冷凍設備容量を低減するために特に重要である。

(3) 実験室の床構造については，エンジンを装着して運転するため，耐荷重性及び耐振性に優れた構造であること，及び低温に対する床の凍上防止対策が講じられていること。

(4) スペースが小さく，コンパクトにまとめられること(環境試験装置の実験棟との相関で全体がコンパクトにまとめられること)。

(5) 実験効率向上に便利なレイアウト，すなわち計測室と実験室及び機械室との関係で有機的なレイアウトがとれる構造であること。

(6) 工期が短縮できるものであること。

(7) 安全性が確保できること。

(8)　経済性(設備費及び運転経費)に優れていること。
(9)　実験室内での作業性が良いこと。

従来，この種の外圧が作用する低圧･低温実験室の構造は，鉄骨鋼板製による箱形，円筒形あるいは球形で，外面に断熱材が施工されているものが一般的である。円筒形及び球形構造のものは，外圧に対して強度が強いため軽量化ができ，かつ安全性が高いことが大きな利点であるが，実験室の有効スペースに対してむだなスペースが生じやすい。このために，これを収納する建屋が大きくなってしまうこと，実験室と計測室及び機械室とのレイアウトの関係で上記条件(4)，(5)について難点となりやすい。

箱形構造の場合は，円筒形及び球形に比較して強度が弱いので部材の肉厚などが厚くなり重量が増加する。大形になるほど重量増加割合が大きくなる。したがって，大形のものではコストが高くつく，熱容量が大きくなるなどの問題点がある。このように従来の形状，構造及び製作方法によっては，上記(1)～(9)までの条件を十分満足するものが見当たらなかった。そこで，従来の一般的な技術を十分活用できるものであることを前提に，新規構想の実験室の開発に取り組んだ。**図6**は本装置で実施した新規実験室構造の概要(立て断面図)を示すものである。

次にこの特長について述べる。

(1)　実験室内の圧力を保持する圧力容器は，実験室内と保温材で断熱されているので，圧力容器の熱容量を実験室内の温度調整をするための負荷容量に含める必要がない。

また，実験室内空気と直接接触している内装板は，均圧管によって表裏の圧力が等しく維持されているので薄肉にすることができる。したがって，実験室単位容積当たりの熱容量を大幅に小さくすることができるため，実験室の冷却あるいは加熱時間の短縮に大きな効果をもたらす。

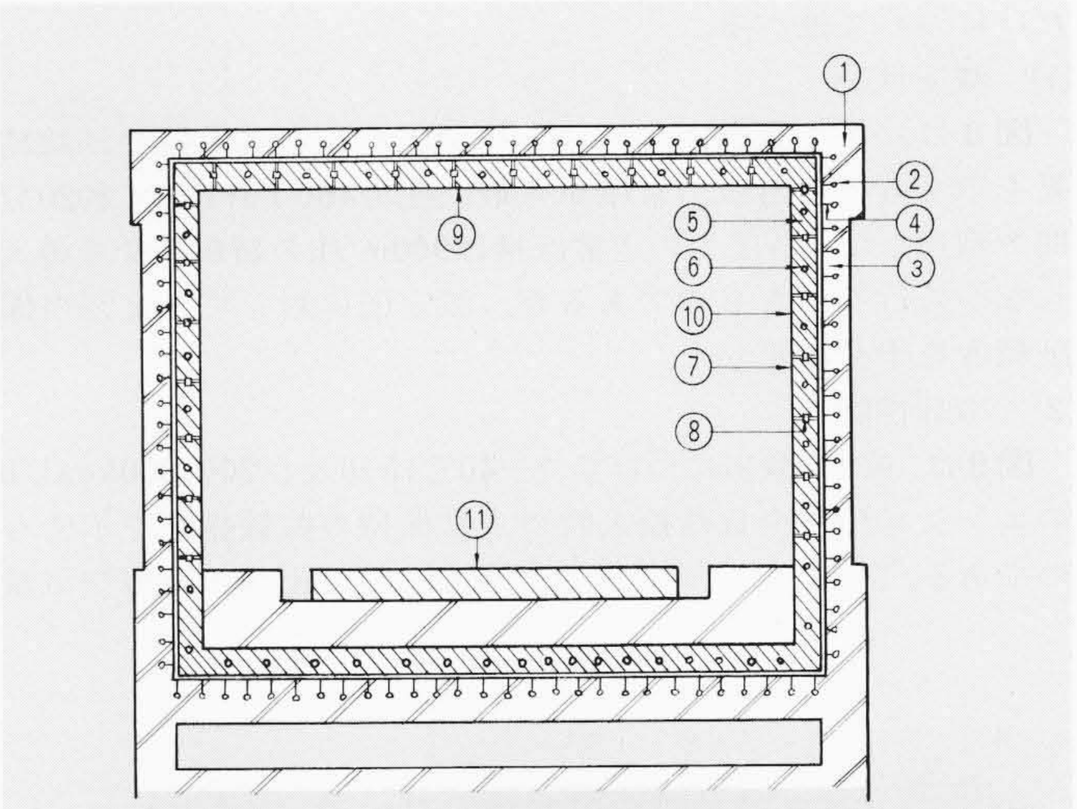
(2)　圧力容器は保温材によって断熱されているため，低温になることがないので圧力容器を従来のように低温脆性に対して優れた材料，例えばステンレス鋼(SUS 304)で製作する必要がない。また内装板は低温にさらされるが，均圧されているため強度を考慮する必要がないので，薄板にすることができる。

(3)　軀体は鉄筋コンクリート造りであるため，特別な強度をもった軀体構造を考慮することなく，実験室の上部に空気調和器及び他の重量の大きな機器を設置することができる。このため，全体レイアウトが立体的となり，敷地面積が小さくできる。

(4)　圧力容器と鉄筋とをあらかじめ連結部材を介して固定しておき，その後にコンクリートを流し込む方法をとれば，圧力容器を内側枠として兼用することができるため，実験室を安価に製作することができる。

(5)　実験室のコンクリート軀体は，本実験棟全体の軀体と一体構造であるため，工期を大幅に短縮できる。

以上に述べたように実験室に要求される前記5項目について十分満足できるものを今回開発することができた(特許申請中)。



No.	名　称	No.	名　称	No.	名　称	No.	名　称
①	軀　体	④	連結部材	⑦	内装板	⑩	壁
②	鉄　筋	⑤	保温材	⑧	断熱ボルト	⑪	床
③	鉄板(容器)	⑥	均圧管	⑨	天　井		—

図6　新しい実験室の構造(立て断面図)　構造は，耐圧気密性があり，実験室の熱容量が非常に小さいことなど性能，機能面で優れているほか，工期が短い，低コストで製作できるなど種々の特長をもっている。

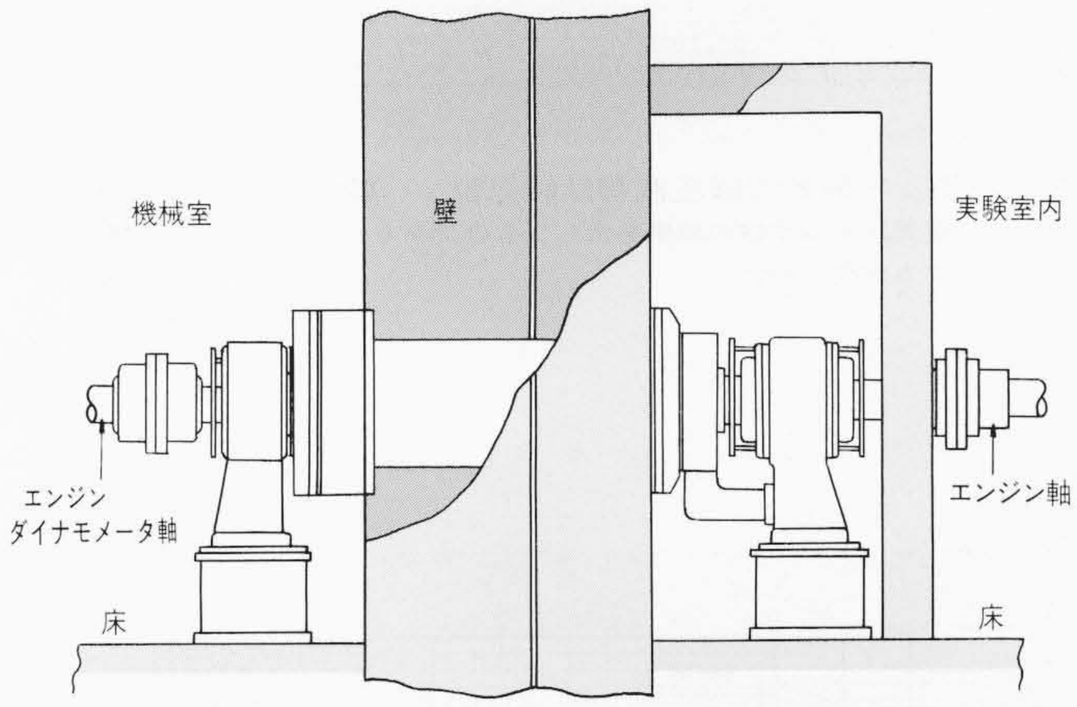


図7　エンジンダイナモメータ用中間軸の壁貫通部軸封装置断面図　本軸封装置は，構造が簡単で気密性，断熱性に優れ，長期間にわたって部品交換を必要としないなどの特長をもっている。

9　エンジンダイナモメータ用中間軸軸封装置

実験室の付帯装置及び設備の主なものは**表2**の5.構成欄中に示すとおりであり，これらの各装置，設備は低圧・低温環境下に十分耐える構造と機能をもつように配慮されているが，本章では特にエンジンダイナモメータ用中間軸軸封装置について述べる。

図7にエンジンダイナモメータの中間軸軸封装置断面図を示す。低圧・低温，又は高温の雰囲気中の環境実験室内で，エンジンを駆動し，この動力を室外に設置したダイナモメータ(動力吸収装置)に伝達するために，中間軸を介して実験室の壁を貫通させている。このような場合の軸封装置には気密性が良いこと，断熱性が良いことなど種々の機能が要求されるが，本軸封装置はラビリンスシール方式を採用し，構造が簡単で気密性及び断熱性に優れ，シール装置の摩耗が少なく長期間にわたって部品交換を必要としないなどの特長をもっている(特許出願中)。

10　運転結果

本装置の総合性能試験は，種々の組合せ試験パターンに従って実施されたが，ここでは紙面の都合で代表的な試験結果

だけについて述べる。

(1) 減圧性能

図8は，第1実験室についての減圧及び定常保持の試験結果を示すものである。常圧から最低圧力460 Torrまで約20分間で到達した。各圧力の定常保持は900m³/hの新鮮空気を導入しながら行なったものであるが，設定圧に対して±2％の保証精度を十分満足した。

(2) 冷却性能

図9は，第2実験室についての−40℃冷却及び200,000kcal/hのエンジン相当全負荷投入時の定常保持の試験結果を示すものである。**図10**は，この時の圧力制御と900m³/hの新鮮空気量

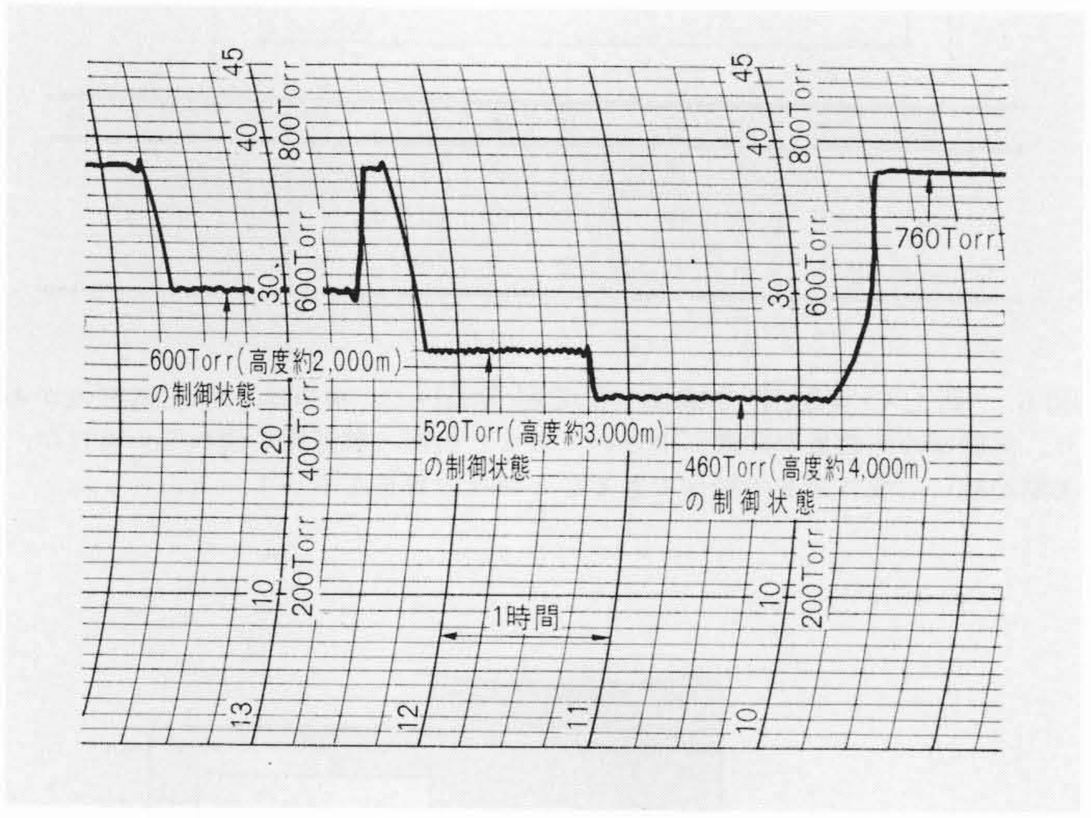


図8 第1実験室の減圧制御試験記録 高度4,000mから2,000m相当までの一定気圧制御試験の結果を示したものである。±2％の保証制御精度を十分満足する結果を得た。

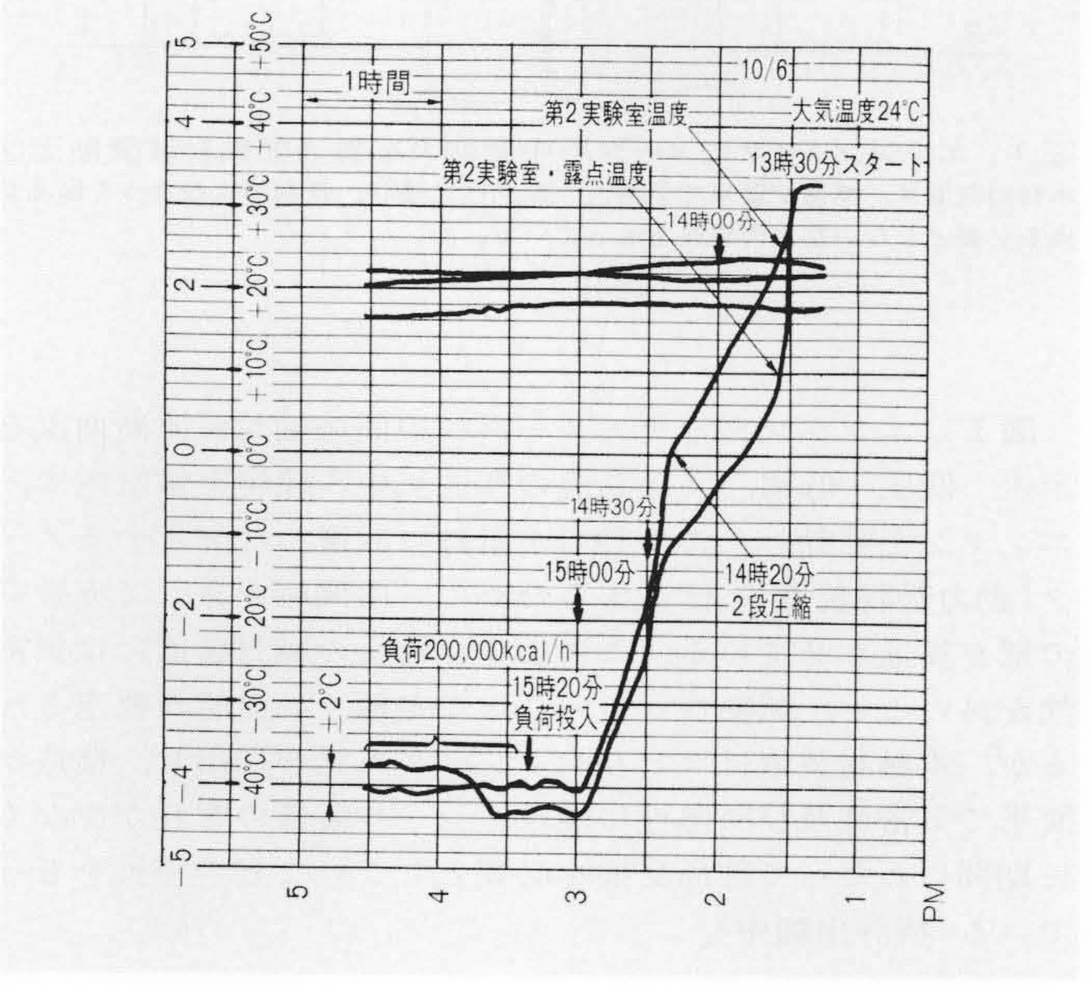


図9 第2実験室の冷却及び−40℃時最高負荷を加えた温度制御試験記録 −40℃まで1時間30分で到達し，性能保証の2時間以内を十分満足した。また最高負荷時の−40℃保持試験でも保証精度±2℃に対して予想を上まわる好成績を収めた。

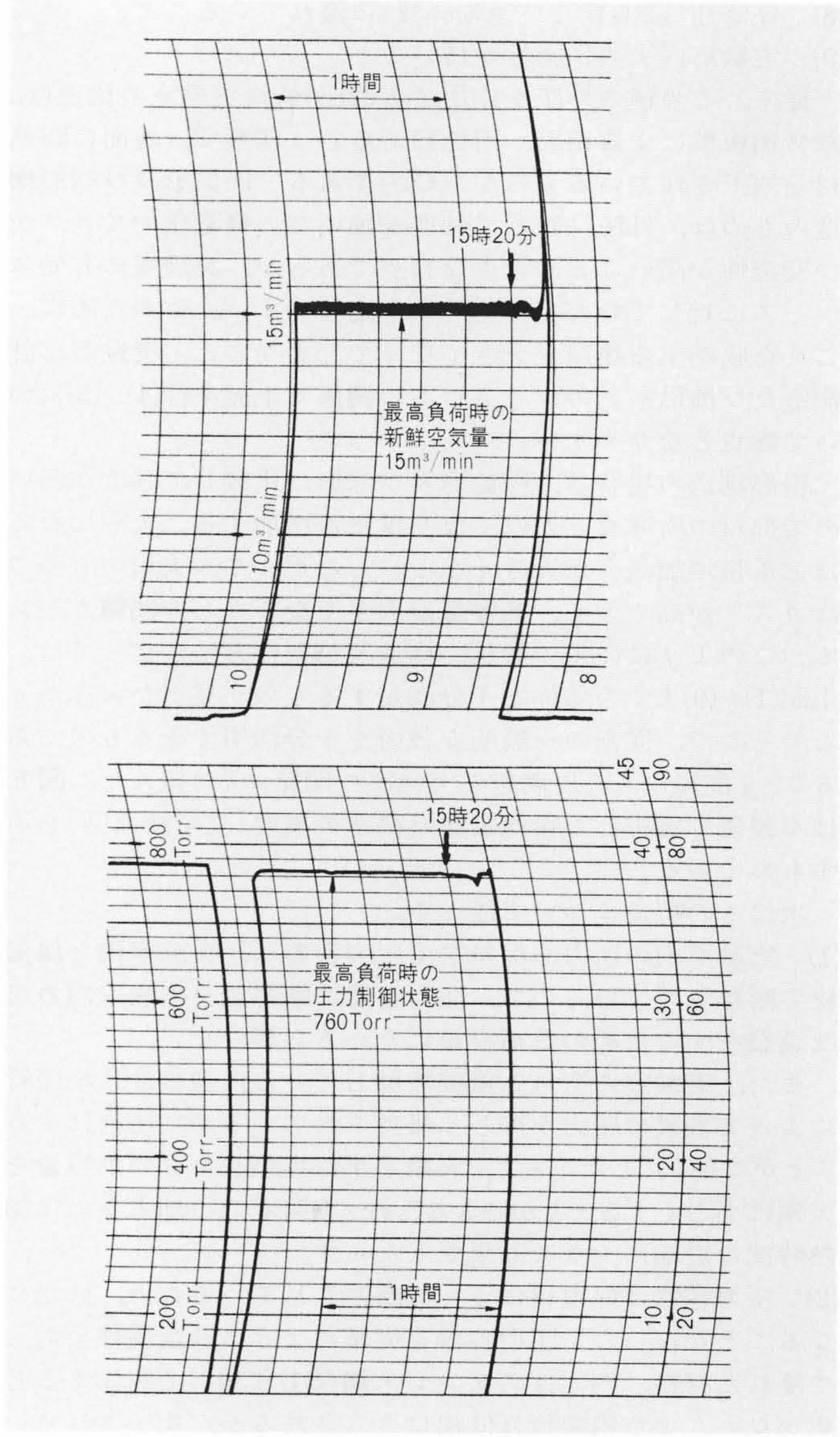


図10 第2実験室−40℃最高負荷時の圧力制御と新鮮空気量制御の試験記録 −40℃最高負荷試験時での新鮮空気導入量(15m³/min)と実験室の気圧(760Torr)の維持制御状況を示したものである。

の制御状態を示すものである。−40℃に1時間30分で到達しており保証の2時間以内を十分満足したほか，全負荷時の−40℃保持試験についても予想を上まわる好成績を収めることができた。

11 結 言

我が国における自動車環境試験装置に対する研究はまだ十数年で歴史が浅い。しかし，この間の自動車産業の発展は驚くべきものがある。すなわち，本低圧・低温環境試験装置の完成の意義は大きく，我が国の自動車，特に搭載エンジンの技術研究，開発に大きく寄与していくものと考える。我々は今日までの貴重な経験と実績に加えて，本装置の製作によって得られた結果を今後の装置に反映させるとともに，更に積極的な研究，開発を進めていく計画である。

最後に，本装置の開発と施工に当たり終始御指導と御援助をいただいた財団法人日本自動車研究所の関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。