

新たに改造設備された連続燃焼実験装置

辻 広・堀 守雄・岡野 達夫*・山岡 市郎

On the Variable Pressure Combustion Tunnel

By

Hiroshi TSUJI, Morio HORI, Tatsuo OKANO

and

Ichiro YAMAOKA

Abstract: This paper presents a detailed description of the continuous flow combustion apparatus, namely the variable pressure combustion tunnel, recently established at the combustion laboratory with the object of studying the combustion phenomena in the flowing system. This apparatus can cover the pressure range from 10 mmHg abs to 6 kg/cm²-G, and is equipped with pneumatic control valves to maintain the flow rates and the pressure in the combustion chamber automatically at the preset values.

The air is supplied from a two-stage screw compressor (flow rate, 780 Nm³/hr at 6 kg/cm²-G) or from a high pressure air reservoir (capacity, 524 m³; maximum pressure, 15kg/cm²-G). The city gas is fed by a oilfree piston-type compressor (flow rate, 200 Nm³/hr at 6 kg/cm²-G). In order to measure and control the flow rates over a wide range as accurately as possible, seven orifices of successive capacities and four control valves are installed in air feed line, and six orifices and three control valves in gas feed line. Air and city gas, metered separately, are mixed and the combustible gaseous mixtures are fed to the vertical combustion chamber, the horizontal combustion chamber or the research rocket motor of gaseous propellant, etc.

1. ま え が き

燃焼現象についての最近の研究の一つの著しい特徴は、Aerothermochemistry (反応性ガス力学) という新しい学問がここ 10 年ばかりの間にめざましい進歩をとげたことによっても容易にわかるように、流れと関係した問題が大きい比重を占めていることである[1]~[3]。2 年毎に開催されている国際燃焼シンポジウムにおいて、流れをともなった燃焼の諸問題がほとんど毎回重要テーマとして取りあげられてきたのは、燃焼に関する学問の進歩のなりゆきからみて当然のことであり、1966 年 8 月アメリカの Univ. of California (at Berkeley) で開催予定の第 11 回国際燃焼シンポジウムにおいても、超音速気流中の燃焼の問題が重要テ

* 現在 日本動力株式会社

マの一つとしてとりあげられている。

研究所に設備された旧連続燃焼実験装置は、理工学研究所時代の1955年に当時の燃焼部門担当者の山崎毅六教授によって減圧から加圧に至る圧力条件下の気流中における燃焼の基礎研究用として計画、設計され、同教授のなみなみならぬご尽力と著者の一人(辻)の協力によって完成し、以後この装置を利用して各種の燃焼実験が行なわれてきた。この装置の最大空気流量は $360\text{Nm}^3/\text{hr}$ 、最大都市ガス流量は $40\text{Nm}^3/\text{hr}$ で、燃焼室圧力約 $7\text{kg}/\text{cm}^2\text{-G}$ の加圧状態から約 10mmHg abs の減圧状態までの広い圧力範囲にわたり連続燃焼実験ができ、さらに圧力や流量などを比較的容易に制御でき、実験しやすい装置であった。この装置そのものについてのまとまった報告はなされていないが、この装置を利用して行なった実験の報告中に、その都度比較的簡単に記述されている[4]~[8]。

さてこの装置を用いて実験を行なっているうちに、当初計画され、設備された空気圧縮機や特にガス圧縮機の容量では不十分な場合にしばしば遭遇した。たとえば、円柱に保持された火炎の安定化機構を調べる実験においては、比較的流速の遅い lean mixture についてのみ実験が可能であり、流速の速い場合や rich mixture については実験が不可能であった[5]、[6]。このことははじめの計画が不十分であったということではなく、むしろ設備完成後、部門担当者が変わり、取りあげる研究問題が変わってきたことに起因する。丁度その頃、航空研究所時代に超音速気流総合実験室が完成し[9]、燃焼実験装置も5号館からこの総合実験室に移転することになった。これを機会に旧装置に再検討を加え、旧設備の良い特色をなるべく活かし、各機器をなるべく有効に利用し、かつ今後の燃焼研究に必要と考えられる流量にも十分耐えられるような装置に改良することを計画した。

以上の経過によってもわかるように、空気およびガス圧縮機の容量の増大、およびこれに附随して圧力および流量の制御系の整備に改良の重点をおいた。空気に関しては総合実験室に移転することにより、いわゆる貯気槽の空気を利用することができ、きわめて大流量までの実験が可能となり、一見、問題が解決したように思われる。しかし一方、総合実験室に超音速風洞、極超音速風洞や各種の内部流体力学実験装置などが整備されるにつれて、各装置が利用できる貯気槽空気の使用割当回数が減り、燃焼実験装置に割当てられる実験回数は週一回位という計算になり、貯気槽の空気のみをあてにしていたのでは十分な実験ができないことは自明のことであり、どうしても貯気槽とは別個の空気源が必要となる。

大流量の空気を必要とする特別な燃焼実験、たとえば現在われわれの研究室で行なっているV/STOL機用ジェットエンジンの高負荷模型燃焼器の実験、の場合には貯気槽の空気を利用する必要があるが[10]、このような特別な場合を除いて、われわれが普通行なっているような規模の基礎研究においては、いろいろ検討の結果、最大 $900\text{Nm}^3/\text{hr}$ 程度の空気流量(既設空気圧縮機容量の約2.5倍)および $200\text{Nm}^3/\text{hr}$ 程度の都市ガス流量(既設ガス圧縮機容量の約5倍)があれば、ここ当分考えられる実験に対してほぼ十分であろうという見込みをつけた。たとえば断面 $5\text{cm}\times 5\text{cm}$ の燃焼器を用いると、これらの流量から得られる可燃性混合ガスの燃焼器内での最大流速は約 $120\text{m}/\text{sec}$ となり、広い範囲にわたり保炎器に保持された火炎についての実験が可能となる。

一方、総合実験室に設備されている他の実験装置においても、比較的流量の少ない実験を

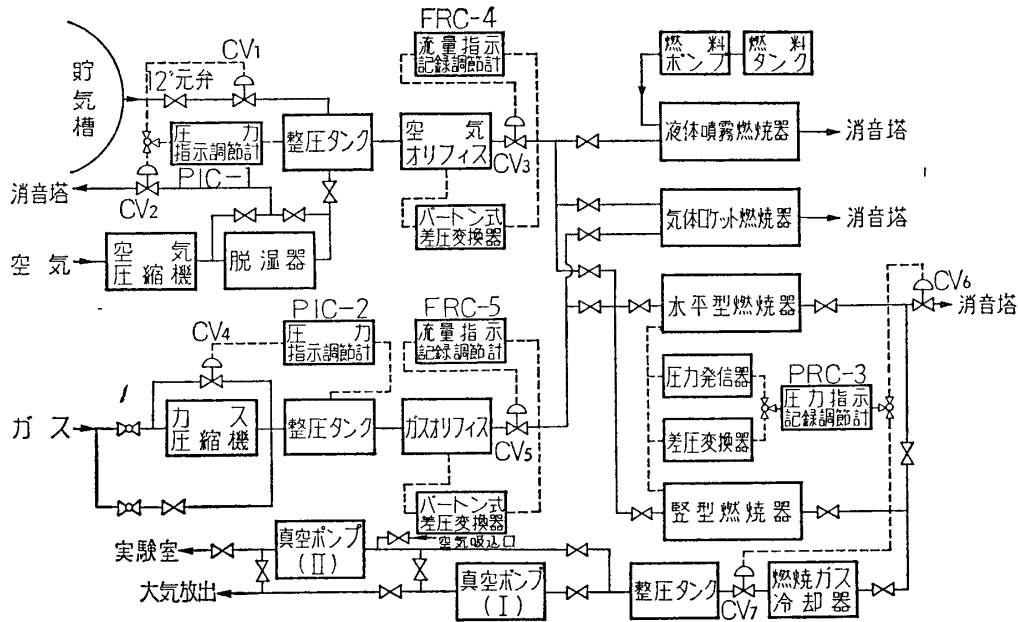
する場合には、燃焼実験装置用の空気圧縮機を利用したいという希望もあり、主として原動機部各所員の強い支持を得て、移転に際しての燃焼実験装置改良の計画を所長に申し出たところ、計画当時の福井伸二所長、ひきつづき谷 一郎所長の深いご理解によりこの計画が承認され、所長のご尽力と油井栄三郎事務長のご努力により、この計画が実現される運びとなった。旧設備の移転および新設装置の建設は昭和 37 年度の経費によって行なわれ、空気圧縮機の製造およびすえつけ工事は株式会社神戸製鋼所に、都市ガス圧縮機の製造、すえつけ工事および同設備の移転、配管工事などは株式会社日本製鋼所に、制御系の改良工事は旧設備との関連で日本製鋼所を通じて株式会社北辰電機製作所に依頼し、昭和 38 年 3 月末工事は完成し、以後各装置の調節および較正を行ない、昭和 38 年 9 月より実験に使用し現在に至っている。また都市ガス供給管の工事は昭和 38 年度の経費によって東京大学施設部の監督のもとに東京瓦斯株式会社によって行なわれた。なお燃焼実験装置の各機器に必要な冷却水は高速環状翼列風洞用に設備されている冷却水配管から分岐して供給されていたが、夏期にこの風洞と燃焼実験装置とを同時に運転すると、既設の冷却塔の冷却能力では不十分で、圧縮機吐出空気温度が設計温度以上に上昇し、リレーが働いて実験中に圧縮機の運転が中止するという事態がおこった。燃焼実験中での空気圧縮機の急停止は火炎の逆火を招き、きわめて危険であるので、昭和 40 年度の経費により、株式会社神戸製鋼所に依頼して空気圧縮機 1 段冷却器の改良と燃焼実験装置専用の冷却塔および冷却水ポンプの新設を行なった。以上燃焼実験装置の建設経過の概要を述べたが、以下章を改めて、この装置について述べることにする。

この設備の移転計画当初から、原動機部各所員から暖かい激励とご協力をたまわったが、特に八田桂三教授にはいろいろご指導と有益なご助言をいただき、空気圧縮機、ガス圧縮機の選定をはじめとし諸問題の解決になにかと相談にのっていただき、いろいろお世話になった。また消音問題で五十嵐寿一教授に、振動問題で地震研究所の大沢胖教授にお世話になった。また設備の建設に際しては、辻研究室の竹野忠夫、森山令靖、平野敏右の諸氏になみなみならぬ協力をお願いした。以上の多くの方々のご援助、ご協力に対してここに厚くお礼申し上げる。また各機器の製作、工事などを担当され、絶大な協力をたまわった株式会社神戸製鋼所、株式会社日本製鋼所、株式会社北辰電機製作所および東京瓦斯株式会社の各位に対し感謝の意を表したい。

2. 実験設備の概要

連続燃焼実験装置は主として気流中の燃焼現象についての基礎研究をする目的で設備されたものであり、大別して空気供給装置、燃料供給装置、燃焼器減圧装置、各種燃焼器、圧力および流量の制御装置より成っている。この実験装置の流動系統図を第 1 図に示す。この装置は 10mmHg abs の減圧から $6\text{kg/cm}^2\text{-G}$ の高圧に至る圧力範囲にわたって実験を行なうことができ、かつ空気と燃料ガスの流量および燃焼器内の圧力を自動的に制御するために、各種調節計と空気圧作動式の自動調節弁を備えている。

空気は主として 116kW のねじ圧縮機（吐出圧力 $6\text{kg/cm}^2\text{-G}$ ；吐出流量 $780\text{Nm}^3/\text{hr}$ ）によって供給され、脱湿器、整圧タンク、オリフィスおよび流量制御弁を経て空気-燃焼ガス



第1図 実験装置の流動系統図

混合器に送られる。なお大流量の空気を必要とする実験においては、空気は既設の球形貯気槽（内容積 524m^3 ；最高圧力 $15\text{kg/cm}^2\text{-G}$ ）から供給され、圧力制御弁を経て整圧タンクに送られる。

都市ガスは 28kW の往復圧縮機（吐出圧力 $6\text{kg/cm}^2\text{-G}$ ；吐出流量 $200\text{Nm}^3/\text{hr}$ ）によって供給され、整圧タンク、オリフィスおよび流量制御弁を経て混合器に送られる。なお燃料ガスとして、都市ガス以外にプロパンや水素のようなボンベ詰めのもも使用しうるように配管されており、これらはそれぞれ減圧弁を経て燃料ガス供給管に送りこまれる。

空気-燃料ガス混合器は気体燃料噴出、邪魔板混合式のもので、ここを通過して一様に混合された可燃性の混合ガスは、実験の種類に応じて各種の燃焼器に送られる。なお混合器上流において分岐された管を通過して燃料ガスを直接燃焼器に供給することができ、拡散火炎の実験も可能である。

減圧の実験の場合には、空気圧縮機およびガス圧縮機を使用しないで、空気はオリフィス上流から取り入れ、都市ガスはガス圧縮機をバイパスしてガス供給主管から直接オリフィス上流に導き、 4kW の真空ポンプ（I）（キニー1段式、ニッカム SPH 30 型；排気容量 $180\text{Nm}^3/\text{hr}$ ；到達真空度 0.1mmHg abs ；回転数 350rpm ）を使用して燃焼ガスを冷却器を経て吸引し、実験を行なう。真空ポンプ（II）は旧設備の空気源として利用した 56kW の回転圧縮機（横型2段、多羽根可動式、2気筒直列、電動機直結型；吐出流量 $360\text{Nm}^3/\text{hr}$ ；吐出圧力 $8.8\text{kg/cm}^2\text{-G}$ ；回転数 980rpm ）を転用したもので、あまり真空度が高くない実験をする場合に利用することができる。これはまたもちろん本来の圧縮機としても使用することができ、補助空気源として活用されている。

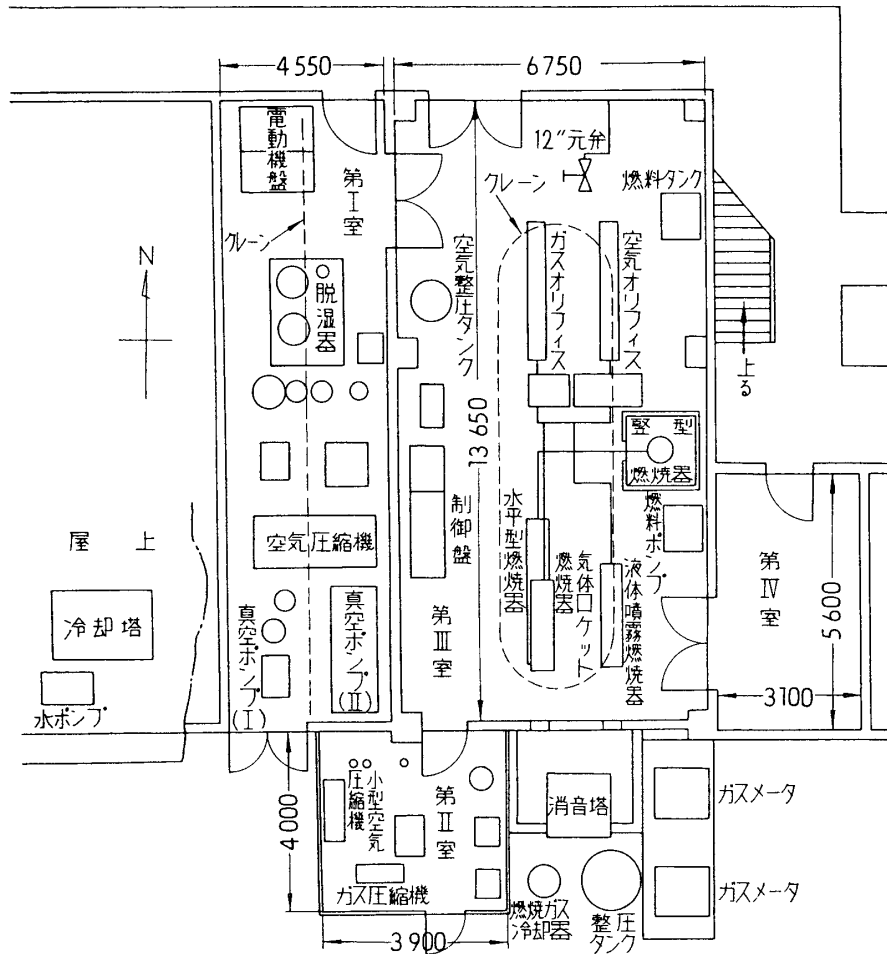
燃焼器内の圧力や流量、あるいは可燃性混合ガスの混合比を連続的に変えて実験を行なう

ためには、多くの制御弁を絶えず操作する必要がある。またこれらの量を希望のある一定値に保持して定常状態で実験をするためにも、各機器の作動状態の変動に応じて常に弁を操作しなければならない。実験の精度をあげ、能率を良くし、かつ場合によっては危険を防ぐために、この実験装置においては主要な制御弁はすべて空気圧作動式ダイヤフラム調節弁を使用し、かつ制御盤に集中してとりつけられた調節計を用いて調節するようにした。旧燃焼実験装置に自動調節方式がとり入れられたのは昭和 33 年のことであり、採用した調節方式や用いた調節計は当時としては標準のものであったが、その後自動調節方式も大きな進歩を示し、現在では当時より良い方式のものが一般に使われており、かつ調節計も小型の性能の良いものが開発されている。しかし旧設備の自動調節方式を根本的に変更することは、多額の費用を必要とするし、また旧設備に採用した方式でも筆者の数年間の経験では実験に不自由をしなかったため、新しい燃焼実験装置においても旧設備の制御方式をそのまま踏襲し、旧設備の調節計や調節弁はそのまますべて活用し、制御系関係の改造は、流量の増加や貯気槽空気の利用に伴って必然的におこってきた調節弁、オリフィスや切換コックの増設にとどめた。

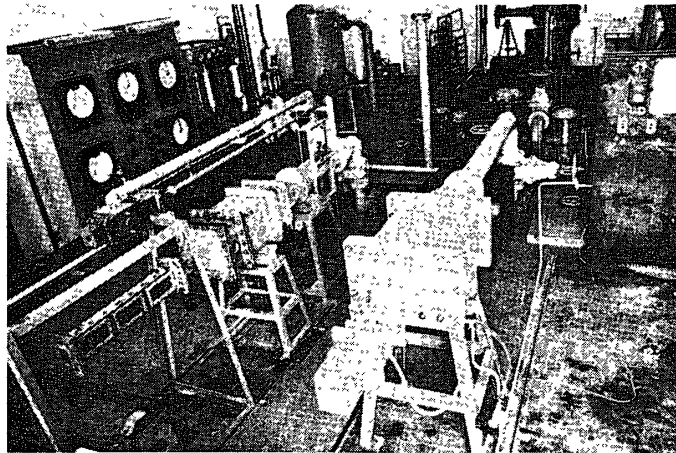
実験に際し調節しなければならない量として空気流量、ガス流量および燃焼室圧力の三つの量が考えられる。第 1 図の点線は制御系を示すが、空気流量は貯気槽の空気を利用する場合には調節弁 CV_1 および CV_3 により、圧縮機からの空気を利用する場合には調節弁 CV_2 および CV_3 により、また都市ガス流量は調節弁 CV_4 および CV_5 によって制御される。燃焼器圧力は燃焼器の下流につけられた調節弁 CV_6 (加圧実験の場合) または CV_7 (減圧実験の場合) によって制御される。

なおこの装置においては、広い圧力、流量範囲にわたり流れを調節しなければならないので、各パラメータを制御する調節弁 $CV_1 \sim CV_7$ は必要に応じて大小 2 個ないし 4 個を並列にならべ、調節弁を通過する気体流量に応じて制御盤にとりつけられた切換コックを用いていずれかを選択して使用できるようにした。また空気および都市ガスの流量の制御および測定はオリフィスを用いて行なったが、広い範囲にわたり流量を精度よく制御し、また測定する必要上、流量記録調節計の特性をも考慮した上で、空気供給管に 7 個、都市ガス供給管に 6 個のオリフィスを並列にならべ、測定量に応じ切換えて使用する。なお測定の精度をあげるため、各オリフィス上流の圧力および燃焼器の加圧圧力の実際の測定はブルドン管式圧力計で、また燃焼器の減圧圧力および各オリフィスの差圧の実際の計測はマノメタを使用する。

燃焼実験室は超音速気流総合実験室の南側建家の一階中央部を占めているが、第 2 図に燃焼実験室の各機器配置の平面図を示す。第 I 室は空気源室で防音装置が施されており、その中に 116kW の空気圧縮機とその附属装置、脱湿器 2 基、4kW の真空ポンプ (I)、56kW の真空ポンプ (II) および各圧縮機用高圧電動機盤などが設備されている。第 II 室はガス圧縮機室であり、その中に 28kW のガス圧縮機とその附属装置、ガス整圧タンクおよび自動調節系作動用空気を供給する 3.7kW の小型圧縮機などが設備されている。はじめガス圧縮機は空気源室 (第 I 室) に設備する予定であったが、他研究室との関係で第 I 室が予定していた広さよりも狭くなり、ガス圧縮機を収容することが不可能になったので、主建家の南側に隣接してスレート張りの建物を増築し、その中に収容した。第 III 室はいわゆる実験室で、



第2図 燃焼実験室の各機器配置図



第3図 実験室の全景

この中に空気整圧タンク、オリフィス群、各種燃焼器およびそれに至る配管、制御盤、液体燃料のタンクおよびポンプなどが設備されている。現在、横型の燃焼器は2列に配置されているが、光学的測定に際し一つの燃焼器が他の燃焼器に対する光路の邪魔にならないように、

各燃焼器は高さをずらせて設備されている。第Ⅳ室は一応実験準備室とはなっているが、第Ⅲ室との間の扉を開くことにより実験室の一部として使用することができ、長い光路を必要とする場合の光学的測定の便宜を図った。なお、重量機器を使用する空気源室には 2ton、スパン 13m のクレーンが、実験室には 1ton、一周 23m のクレーンがとりつけられている。また第Ⅰ室に換気ファン 1 台、第Ⅱ室に 1 台、第Ⅲ室に 3 台それぞれ設備されており、換気には十分注意している。実験室南側の屋外には燃焼ガス冷却器、真空ポンプ入口の整圧タンクおよび 500 灯のガスメータ 2 基が置かれている。なお実験室南側の排気消音塔は二階に設備されている伝熱実験装置と共用になっている。また各機器に使用する冷却水を供給する水ポンプおよび冷却塔は屋上に設備されており、第Ⅰ室にある電動機盤によって始動、停止ができる。第 3 図は実験室の全景の写真を示す。

3. 空気供給装置

すでにまえがきにおいて述べたように、空気圧縮機の容量を大きくすることが旧設備の移転改造に際しての一つの大きい主眼点であったので、圧縮機の選定、その容量の決定に特に注意を払った。旧設備を使用して行なってきた実験の経験を基礎にし、いろいろ検討した結果、燃焼現象についての基礎研究としては、さしあたり最大吐出圧力 $8\text{kg/cm}^2\text{-G}$ で約 $900\text{Nm}^3/\text{hr}$ 程度の空気流量があれば十分であろうという見込みをつけ、それ以上の空気流量を必要とする実験においては貯気槽の空気を利用することにした。圧縮機としては特に圧縮空気に圧縮機の潤滑油が混入するのを防止し、かつ吐出空気流中の脈動をなるべく少なくすることを主眼とし、各型式の圧縮機について検討した結果、保守の難易、振動、騒音の問題、必要なスペースの大きさなども考慮し、さらに貯気槽への空気充填用圧縮機としてすでに利用されている実績をもあわせ考えて [9]、ねじ圧縮機を採用することにした。採用した圧縮機の要目は次の通りである。

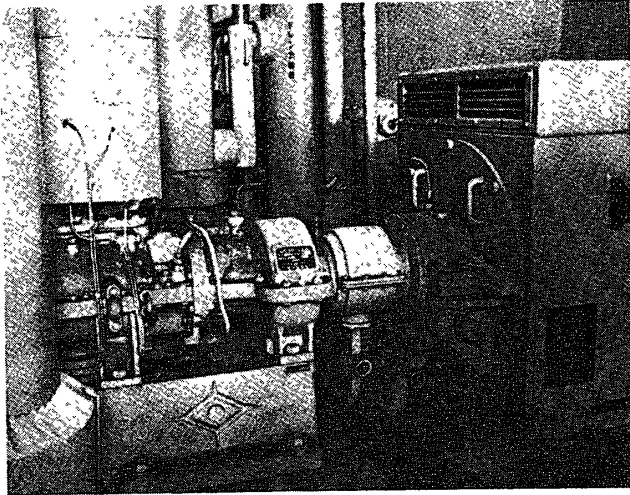
KOBE-SRM 2 段圧縮機

型 式:	KS 12 T 型
容 量:	$860\text{m}^3/\text{hr}$ ——吸込状態 (大気圧, 20°C , 湿度 80%) にて $780\text{m}^3/\text{hr}$ ——標準状態にて
吐出圧力:	$6\text{kg/cm}^2\text{-G}$
回 転 数:	14,000 rpm (1, 2 段共)
軸 馬 力:	116 kW
駆動方式:	電動機一端に増速機 (本体に内蔵) を介して直結
冷却水量:	17ton/hr , 20°C

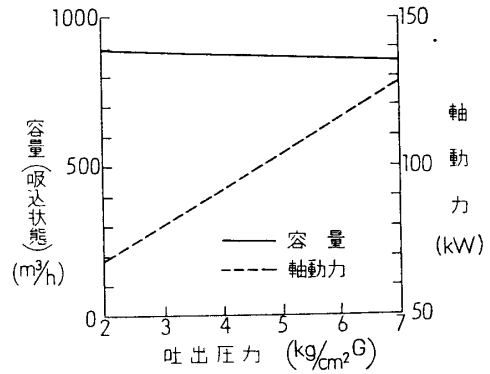
主電動機

型 式:	閉鎖通風消音器付籠型誘導電動機 (神鋼電機株式会社製)
出 力:	120 kW
回 転 数:	3,000 rpm
電 源:	3kV, 50c/s

この空気圧縮機の写真を第 4 図に、計算性能曲線を第 5 図に示す。この要目をみてもわか



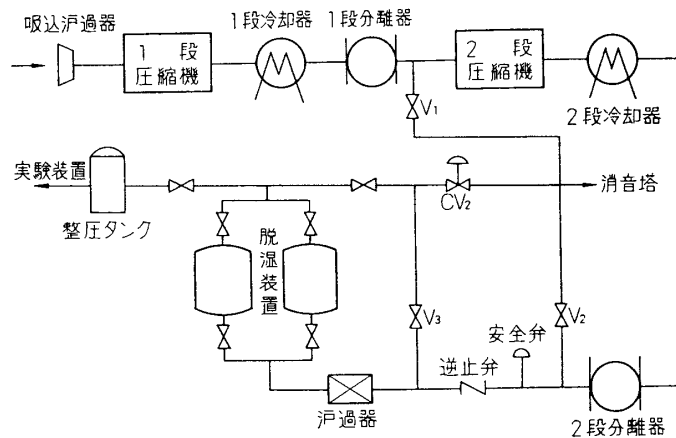
第4図 空気圧縮機



第5図 空気圧縮機性能曲線

るように採用した圧縮機の容量，特に吐出圧力は目標にした値よりもかなり小さいが，もう一まわり大きい容量や圧力の圧縮機になるとかなり大きくなりすぎるので，いろいろな点を考慮して，目標値に最も近い性能の圧縮機として上記の規格のものを選んだ．吐出圧力が目標とした値よりも 2kg/cm^2 低いということは，実験しうる燃焼器内の最大圧力もそれだけ小さくなり，われわれとしては望ましい状態でないので，メーカー側と相談していろいろ検討し，試運転結果をみた上で，最大吐出圧力 $6.8\text{kg/cm}^2\text{-G}$ まで使用しても差つかえないという了解を得た．これに附随し，1段圧縮空気および2段圧縮空気の温度リレーの設定値を若干あげ，安全弁の噴気圧を $7.2\text{kg/cm}^2\text{-G}$ にあげ，さらにのちほど1段冷却器を冷却面積の大きいものに取り換えざるをえなかった．

空気供給装置主管系統図を第6図に示す．入口消音器および吸込濾過器を経て入った空気は1段圧縮機で圧縮された後，1段冷却器（対向流型，冷却面積 15m^2 ），1段ドレン分離器を経て2段圧縮機に入る．2段圧縮機で圧縮された空気は2段冷却器（対向流型，冷却面積 6m^2 ）で冷却され，2段ドレン分離器，吐出逆止弁，濾過器を経て脱湿装置に送られる．2



第6図 空気供給装置主管系統図

段吐出圧力 $6\text{kg/cm}^2\text{-G}$ のとき、1 段吐出圧力は約 $1.6\text{kg/cm}^2\text{-G}$ である。1 段圧縮機吐出温度 165°C で、または 2 段圧縮機吐出温度 198°C でリレーが働いて圧縮機は停止する。燃焼器の方に送られない余分の空気は弁 V_3 および圧力調節弁 CV_2 を通って大気中に放出される。バイパス弁 V_1 および V_2 は起動時の負荷を軽くするためのもので、起動後回転が上ってから V_1 、 V_2 の順で閉じ、停止のときはこの逆の操作を行なう。

圧縮機から吐出された空気中の水分を除去し、出口空気露点を極度に下げて清浄乾燥した完全な乾燥空気を実験装置に送るために圧縮機下流にシリカゲル空気脱湿器を設備した。脱湿装置は 2 塔式で、1 塔が除湿中に他塔で加熱再生を行ない連続運転をすることができる。通常 1 サイクル 8 時間である。設備した脱湿装置は山武式 TX-250 B 型で、その要目を下記に示す。

型 式：	2 塔，吸着，電熱再生，半自動式
処 理 空 気 量：	連続使用にて $500\text{Nm}^3/\text{hr}$ 断続使用にて $800\text{Nm}^3/\text{hr}$
処 理 空 気：	無給油圧縮空気，8 時間以上
入 口 空 気 条 件：	圧力 $6\text{kg/cm}^2\text{-G}$ ，温度 35°C ，湿度 120%
出 口 空 気 条 件：	露点 -10°C 以下
再 生 時 間：	8 時間（加熱再生時間約 2 時間）
ヒ ー タ ー：	主ヒーター 22.4kW 補助ヒーター 4.0kW
再生用空気源：	ルーツブローア，風量 $4.2\text{Nm}^3/\text{min}$ ，電動機 3.7kW

この脱湿器 1 塔の連続使用状態での処理空気量は $500\text{Nm}^3/\text{hr}$ で圧縮機の吐出空気量よりも少ない。しかしわれわれの研究室で行なう実験では、普通使用する空気量として $500\text{Nm}^3/\text{hr}$ 以下の場合が比較的多く、このような場合には余分の空気は脱湿器上流からバイパス弁および調節弁 CV_2 を通って室外に放出され、実験に必要な空気量のみ脱湿器を通過する。よって連続使用に支障はきたさない。 $500\text{Nm}^3/\text{hr}$ 以上の空気流量を必要とする実験においては長時間の連続実験はもちろん不可能であるが、実験終了後加熱再生を行ない、夜間にシリカゲルの自然冷却を行なわせるという方法をとることにより、ほとんど実験に支障をきたさない*。

圧縮機の容量 ($780\text{Nm}^3/\text{hr}$) 以上の空気流量を必要とする実験を行なう場合には既設の球形貯気槽の空気を利用することができ、実験室入口に設備されている 12 吋の手動の仕切弁を開くことにより、貯気槽空気を燃焼装置に送ることができる。

4. 都市ガス供給装置

都市ガス圧縮機の容量を大きくすることも旧設備の移転改造に際しての主要な目的の一つであったので、ガス圧縮機の選定、その容量の決定にも注意を払った。いろいろ検討した結果、最大吐出圧力 $8\text{kg/cm}^2\text{-G}$ で約 $200\text{Nm}^3/\text{hr}$ 程度のガス流量があれば十分であろうという見込をつけた。圧縮機としては特に圧縮ガスに圧縮機の潤滑油が混入するのを防止するこ

* 空気圧縮機および脱湿装置の詳細な説明は 2・2 の「低圧空気源設備」を参照のこと。

とを主眼とし、各型式の圧縮機について検討した結果、ラビリンスピストン式往復圧縮機を採用することにした。採用したガス圧縮機の要目は次の通りである。

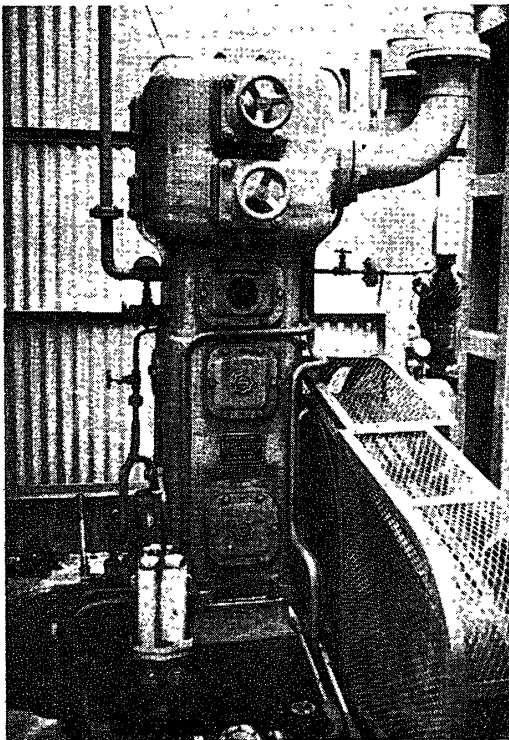
日鋼ズルツァー無給油ラビリンス式堅型単列1段圧縮機

型 式:	1D100-1A
容 量:	218 m ³ /hr—吸込状態 (1.05 kg/cm ² abs, 30°C) にて 200 m ³ /hr—標準状態にて
吐 出 圧 力:	7 kg/cm ² abs
回 転 数:	850 rpm
軸 馬 力:	28 kW
容量調節範囲:	100, 50, 0% (ON, OFF 型手動式)
駆 動 方 式:	Vベルト伝動
冷 却 水 量:	2 ton/hr, 30°C

主電動機

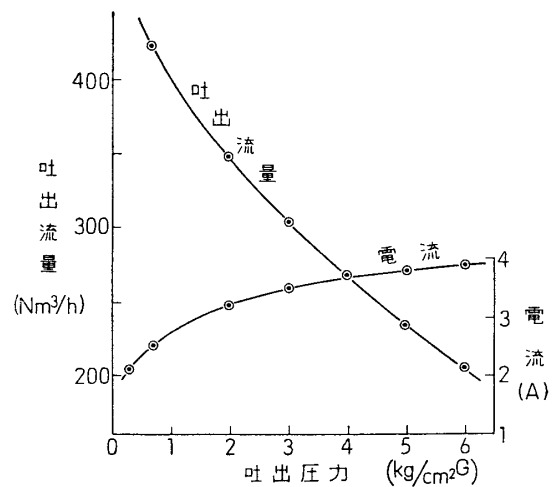
型 式:	三相誘導電動機 (東芝製防滴型全閉外扇型), TIKK-FBKO
出 力:	37 kW
回 転 数:	1,455 rpm
電 源:	3 kV, 50 c/s

このガス圧縮機の写真を第7図に、実測した性能曲線を第8図に示す。この圧縮機にはズルツァー式 ON-OFF 型タイムド弁が吸入弁に設けられており、手動によって 100, 50, 0% に容量調節操作を行なうことができ、流量が少ない実験の場合には 50% に調節して使用する。また本装置は起動時のバイパス弁の作用も兼ねている。



第7図 都市ガス圧縮機

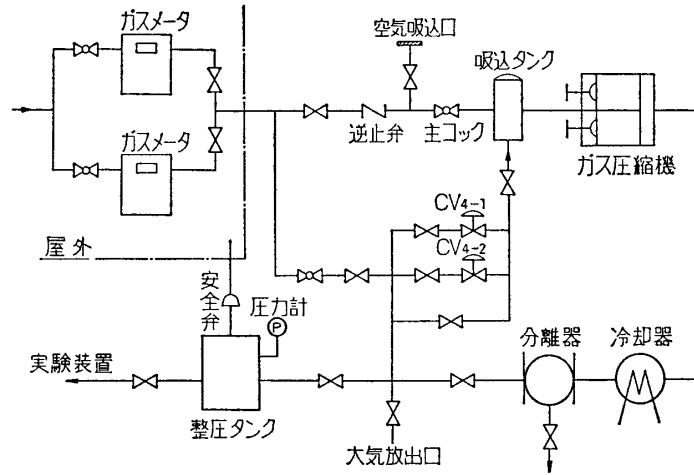
この圧縮機はピストン往復圧縮機であるので、振動の防止に特に注意を払い、基礎工事



第8図 都市ガス圧縮機性能曲線

を念入りに行なった。しかし完全に振動を防止することはむずかしく、2階に設備されている高速直線翼列風洞に少し振動の影響をおよぼし、干渉計を用いて行なうような実験の場合には好ましくない影響を与えることが判明した。よってメーカー側とも相談し、防振の問題についていろいろ検討した。われわれの研究室で行なう実験では、普通使用する都市ガス流量として $120\text{Nm}^3/\text{hr}$ 以下の場合が比較的多いので、圧縮機の回転数を二通りに変える方法が提案され、普段は回転数を落して使用し、建家や各種実験装置におよぼす振動の影響をなるべく少なくし、多量のガスを必要とする実験の場合のみフル回転 (850 rpm) で使用することにした。回転数を落す方法としては、圧縮機側の V ベルトプーリーおよび V ベルトを取り換え、直径の大きいプーリーを用いることにし、結局普段運転する場合の回転数を 500 rpm にした。プーリーの取り換えに約 2 時間位かかり、少々面倒であるが、取り換え頻度はきわめて少ない。

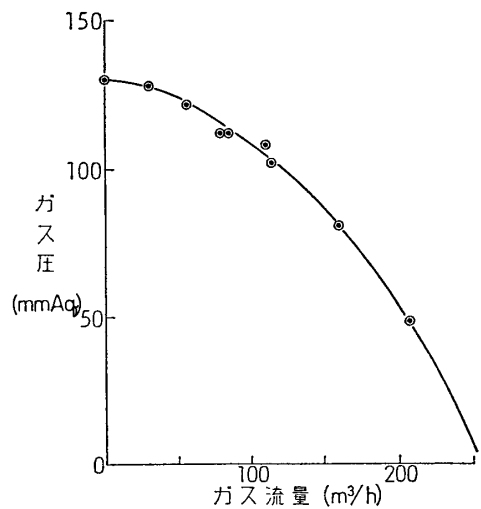
都市ガスの供給系統図を第 9 図に示す。ガスは研究所正門前を通っている主管から分岐し、



第 9 図 都市ガス供給系統図

都市ガス圧縮機専用に配管された 6 吋の管を通して供給され、屋外に並列に配置された 2 個のガスメータ (容量 500 灯)、逆止弁、主コック、吸込タンクを通してガス圧縮機に入る。圧縮されたガスは冷却器 (縦型管束十字流式) および分離器 (サイクロン式鋼板製) を通って整圧タンク (円筒型: $550\phi \times 1,200$) に送られる。燃焼器の方に送られない余分のガスは分離器下流で分岐された管および調節弁 CV_4 を通って圧縮機の吸入側に饋還され、吸入タンクに入る。

ガスを流さない場合のガスメータにおけるガス圧 (いわゆるガス供給圧) は 130mmAq で



第 10 図 ガスメータにおけるガス圧と流量の関係

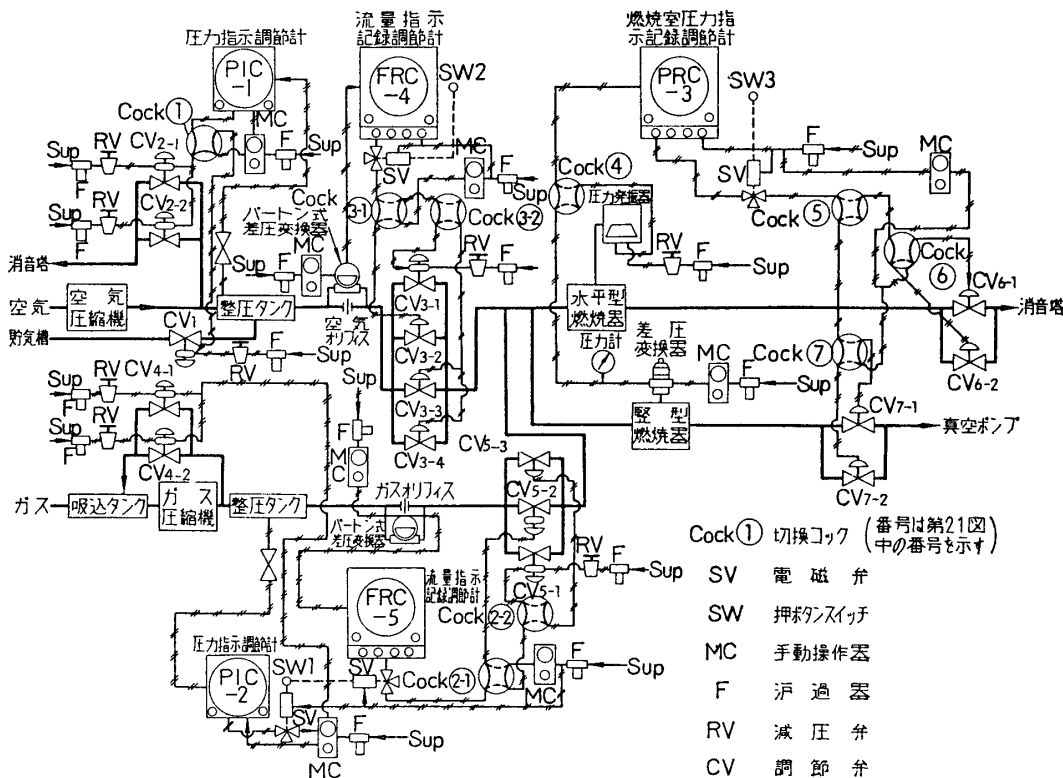
あるが、使用するガス流量がふえるにつれて、長い配管の管抵抗のためにガスメータにおけるガス圧は減少する。圧縮機用のガス供給管は専用に引かれており、ガス圧が低下しても他の建物への供給圧に影響をおよぼさないが、ガス圧縮機による吸入量が大きくなると、ガスメータでのガス圧が負圧になる心配がある。この圧力が負圧になることはガスメータの保護の立場からいっても好ましくなく、ガス会社からこのような使用は堅く禁止されている。第10図にガスメータの読みによるガス流量とガス圧との関係の実測値を示す。ガス流量 $200\text{m}^3/\text{hr}$ 以下ではガス圧 50mmAq 以上が保証され、この燃焼実験装置に関しては以上述べた点については全く心配する必要がない。

すでに述べたように減圧の実験をする場合には、ガス圧縮機を運転する必要がなく、ガスは逆止弁上流から分岐したバイパス管を通り、整圧タンクに直接送られる。また逆止弁下流にある空気吸込み口は、空気を使用して圧縮機の試運転をしたときに利用したものであり、今後も圧縮機のオーバーホール後の試運転の際に利用することができる。

5. 流量圧力自動制御装置

5-1. 制御系

普通、実験に際し調節しなければならない量として空気流量 Q_{air} 、ガス流量 Q_{gas} および燃焼室圧力 P_{comb} の三つの量が考えられる。流量はそれぞれオリフィスで測定されるから、空気およびガス温度を一定とすれば、流量の制御をするためにはオリフィス上流の圧力 (P°_{air} ,



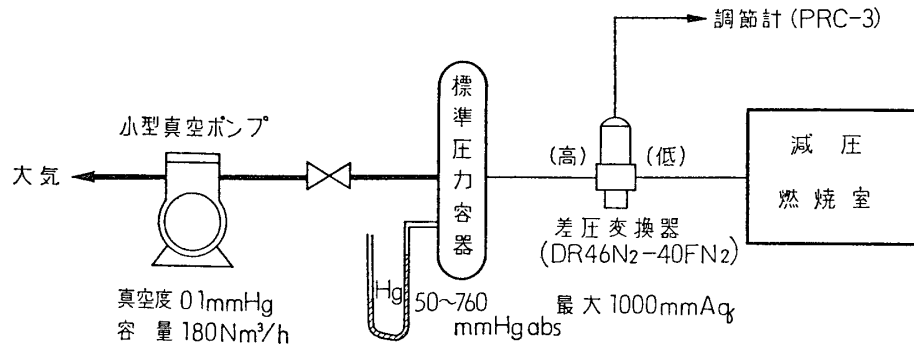
第11図 実験装置自動制御系線図

P_{gas}°) および各オリフィスの差圧 (ΔP_{air} , ΔP_{gas}) を制御しなければならない. 結局, 加圧実験をする場合には P_{air}° , P_{gas}° , ΔP_{air} , ΔP_{gas} および P_{comb} の 5 個のパラメタを, 大気圧燃焼の場合には, P_{air}° , P_{gas}° , ΔP_{air} および ΔP_{gas} の 4 個のパラメタを, 減圧実験をする場合にはオリフィス上流の圧力はそれぞれほぼ大気圧に等しく一定であるから, ΔP_{air} , ΔP_{gas} および P_{comb} の 3 個のパラメタを制御する必要があり, それぞれの場合に応じて 5 個, 4 個または 3 個の調節弁を作動させる必要がある. この燃焼実験装置に採用した制御系線図を第 11 図に示す.

空気圧縮機を利用する場合には, 整圧タンク (内容積約 1m^3) の圧力を空気圧式圧力指示調節計 PIC-1 に導き, この調節計の出力で調節弁 CV₂ を作動させてオリフィス上流の圧力を制御し, オリフィス差圧を Barton 式差圧変換器 (B199A) を経て空気圧式流量指示記録調節計 FRC-4 に導き, この調節計の出力で調節弁 CV₃ を作動させてオリフィス差圧を制御して空気流量を調節する. 一方, 貯気槽の空気を利用する場合には, 整圧タンクの圧力を PIC-1 に導き, この調節計の出力で調節弁 CV₁ を作動させてオリフィス上流の圧力を制御し, オリフィス差圧を Barton 式差圧変換器を経て FRC-4 に導き, この調節計の出力で調節弁 CV₃ を作動させて空気流量を制御する. 空気圧縮機は第 4 図に示すような特性をもち, 吐出圧力がきまると一義的に吐出流量がきまるので, 吐出流量のうち実験に使用されない余分の空気は調節弁 CV₂ を経て屋外に放出されるのに対し, 貯気槽の空気は調節弁 CV₁ によって必要な量だけとり出すことができる. なお調節計 PIC-1 の出力は, 制御盤にとりつけられているコックを切換えることにより調節弁 CV₁ または CV₂ に伝達される.

都市ガス圧縮機は第 6 図に示すような特性をもち, やはり吐出圧力がきまると一義的に吐出流量がきまるので, 吐出流量のうち実験に使用されない余分の都市ガスは圧縮機吸込側に饋還させる必要がある. ガス整圧タンクの圧力を空気圧式圧力指示調節計 PIC-2 に導き, この調節計の出力で饋還回路に入っている調節弁 CV₄ を作動させてオリフィス上流の圧力を制御し, オリフィス差圧を Barton 式差圧変換器を経て空気圧式流量指示記録調節計 FRC-5 に導き, この調節計の出力で調節弁 CV₅ を作動させてオリフィス差圧を制御してガス流量を調節する.

加圧の実験をする場合には, 燃焼室圧力を圧力発信器を経て空気圧式燃焼室圧力指示記録調節計 PRC-3 に導き, この調節計の出力で調節弁 CV₆ を作動させて燃焼室圧力を制御する. 減圧の実験をする場合には, 燃焼室圧力を差圧変換器を経て PRC-3 に導き, この調節計の出力で真空ポンプ上流に設備されている調節弁 CV₇ を作動させて燃焼室圧力を制御する. 圧力発信器および差圧変換器を適当に選ぶと, 燃焼室圧力指示記録調節計は一つで間に合わせることができ, この装置においてはこの方法が採用されている. 圧力発信器 (型式 AP 24_{M1}(TO3)) の圧力範囲は $0\sim 10\text{kg/cm}^2\text{-G}$ であり, これに対応して PRC-3 の最大目盛りは $10\text{kg/cm}^2\text{-G}$ となっている. 減圧の実験, 特に圧力が非常に低い場合の火炎の実験を行なうときに, 火炎を安定かつ定常に保持するためには, 特に燃焼室圧力の制御を精度よく行なわなければならない. 差圧変換器の標準圧を大気圧にとり, その圧力範囲を $0\sim 760\text{mmHg}$ にとれば, 燃焼圧力が 10mmHg abs 程度の実験を行なう場合には, 圧力制御の精度がきわめて悪くなる. この欠点を避けるために, 第 12 図に示すように, 約 50mmHg abs から大気



第12図 減圧燃焼室圧力制御系

圧まで変圧できる標準圧力容器を使用し、この容器の圧力と燃焼室の圧力を差圧変換器に入れ、その出力を調節計に導いて調節弁 CV_7 を制御するようにした。使用した差圧変換器(型式 DR4b_{N2}-40_{FN2})の圧力範囲は 0~1,000mmAq (約 73mmHg) で、それに対応して PRC-3 の最大目盛は 1,000mmAq となっており、圧力制御の精度は大気圧を標準圧として使用した場合の約 10 倍になっている。この方式を採用することにより、減圧での火炎の実験が比較的容易になった。

なおオリフィス上流の圧力および加圧燃焼室の圧力やオリフィス差圧の実際の測定は、ブルドン管式圧力計やマノメタを用いて行なった。

5-2. オリフィス

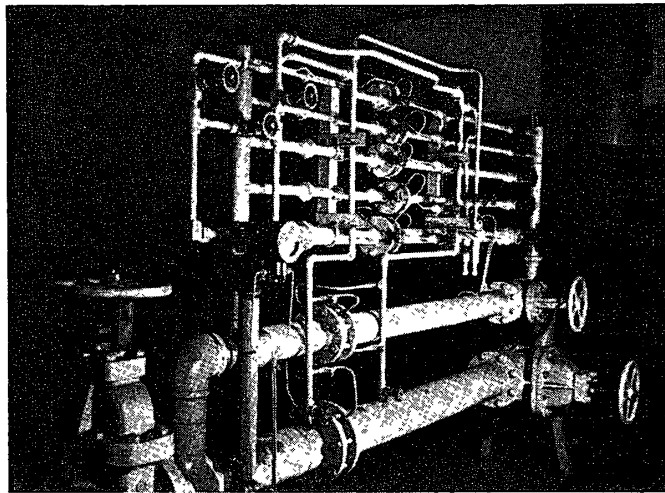
この燃焼実験装置は流量の非常に広い範囲にわたり実験を行なうために、空気およびガスに対しそれぞれ1個のオリフィスで流量を測定したり制御したりすることは不可能である。オリフィス上流の圧力および気流の温度を一定とすると、流量 Q は $Q \propto \sqrt{\Delta P}$ で与えられ、かつオリフィスの差圧 ΔP は流量指示記録調節計の指示目盛 ξ と比例するから $Q \propto \sqrt{\xi}$ となる。 ξ が小さくなると測定や制御の精度が悪くなるので、一般に調節計では full scale の 1/10 以下のところの使用をなるべく避けた方がよいとされている。すなわちあるオリフィスを用いて流量の測定や制御をする場合には、full scale に対応する流量の $1/\sqrt{10}$ 以上の流量範囲についてのみ比較的精度よく制御することができる。よって流量の広い範囲にわたり測定や制御をするためには、数多くのオリフィスを用いる必要がある。したがって空気用としては第1表に示すように7個のオリフィスを並列にならべ、またガス用としては第2表に示

第1表 空気オリフィス一覧表

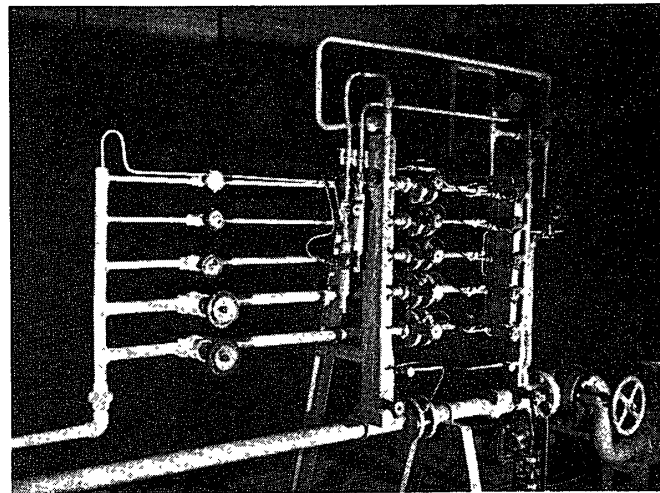
オリフィス番号	基準最大流量 Nl/min	絞り機構	管内径 mm ϕ	孔径 mm ϕ
1	30	円筒ノズル	9.2	3.1
2	100	"	16.1	5.6
3	300	四分円ノズル	27.6	9.8
4	1,000	"	27.6	16.7
5	3,000	"	52.9	29.5
6	10,000	"	100	54.3
7	30,000	オリフィスプレート	150	104.3

第 2 表 ガスオリフィス一覧表

オリフィス 番号	基準最大流量 Nl/min	絞り機構	管内径 mm ϕ	孔径 mm ϕ
1	10	円筒ノズル	9.2	1.6
2	30	"	9.2	2.7
3	100	"	16.1	5.0
4	300	"	27.6	8.4
5	1,000	四分円ノズル	27.6	15.2
6	3,000	"	50	25.9



第 13 図 空気オリフィス



第 14 図 ガスオリフィス

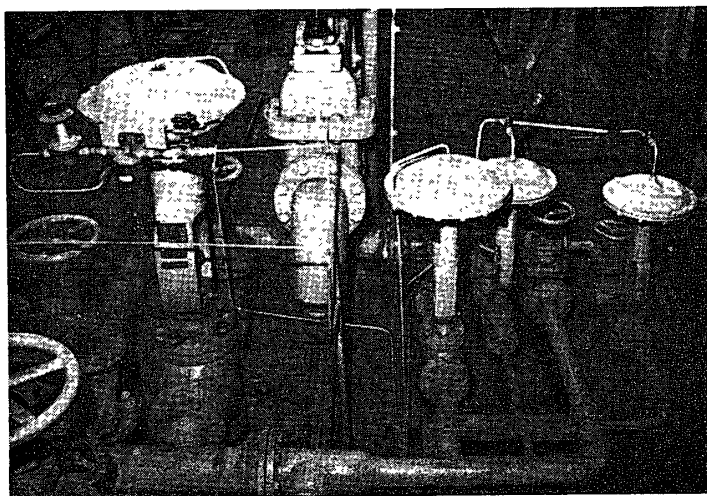
すように 6 個のオリフィスを並列にならべ、測定量に応じてそれぞれオリフィスを切換えて使用することにした。空気オリフィス群の写真を第 13 図に、ガスオリフィス群の写真を第 14 図にそれぞれ示す。

調節計の full scale に対応する各オリフィスの最大差圧はそれぞれ 500mmAq である。またオリフィスの基準最大流量とはオリフィス上流の流体圧力が $0\text{kg/cm}^2\text{-G}$ ($1.0332\text{kg/cm}^2\text{ abs}$)、流体温度 15°C の場合、オリフィス差圧 500mmAq に対応する標準状態に換算した容積流量を示す。なおオリフィスの設計に際しては標準状態での空気の比重は 1.2929kg/m^3 、都市ガスの比重を 0.8kg/m^3 としている。各オリフィスの容量に応じて適当な断面積をもち、かつ吹き出し速度分布が一様な converging nozzle を用い、nozzle 出口でピトー管を用いて測定した速度分布を積分して実際の流量を求め、これとマノメタの読みとを比較して各オリフィスの補正係数を求めた。

燃焼実験の種類によっては、混合気の流速や混合比を連続的に変えながら測定する場合はしばしばおこる。既に述べたように一つのオリフィスで流量の制御ができる範囲は $Q_{\max} \sim \frac{1}{3}Q_{\max}$ の範囲であるから、広い流量範囲にわたり連続的に流量を変える場合には、途中でオリフィスを切換えながら実験を行なう必要がある。この燃焼実験装置においては、各流量指示記録調節計に附属している複式手動操作器(型式 T83N2F)を用い、流量調節弁 CV₃ や CV₅ の弁開度を一定にしたままでオリフィスを切換えることができ、オリフィスの切換えによる流量の不連続を避けることができるようになっており、火炎は定常に保たれる。

5-3. 調節弁

この燃焼実験装置は前述の通り流量や圧力の広い範囲にわたり実験を行なうので、それぞれ1個の圧力調節弁や流量調節弁で圧力や流量の制御を十分に行なうことは不可能である。よってこの装置においては圧力や流量の制御範囲や調節弁の特性をも考え、必要に応じて2個ないし4個の調節弁を並列にならべ、弁を通過する流量に応じて制御盤にとりつけられた切換コックを操作し、適当な弁を選択して使用できるようにしてある。使用した調節弁の種類を第3表に示す*。ダイヤフラム作動空気圧はいずれも $0.2 \sim 1.0\text{kg/cm}^2\text{-G}$ で、正作動型は空気圧 $0.2\text{kg/cm}^2\text{-G}$ で弁が全開となり、空気圧が増すにつれて弁は閉じ、 $1.0\text{kg/cm}^2\text{-G}$



第15図 空気流量調節弁

* なお並列にならべられた調節弁の一例として、空気流量調節弁群の写真を第15図に示す。

第 3 表 空気圧作動式調節弁一覧表

調節弁の種類	記号	型式	配管サイズ	弁サイズ	作動	内弁形状	ポジション	備考
貯気槽吐出空気圧力調節弁	CV ₁	T112-4	4"	4"	逆	Vポート	有	
空気圧縮機吐出空気圧力調節弁	CV ₂₋₁	T112- $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{1}{2}$ "	正	Vポート	有	} スプリット作動
	CV ₂₋₂	T113F- $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	正	Pポート	有	
	CV ₃₋₁	T112-4	4"	4"	正	Vポート	有	
	CV ₃₋₂	T102-1 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{1}{2}$ "	正	Vポート	なし	
空気流量調節弁	CV ₃₋₃	T103F- $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	正	Vポート	なし	
	CV ₃₋₄	T103F- $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	正	Vポート	なし	
ガス圧縮機吐出ガス圧力調節弁	CV ₄₋₁	T102-1 $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	正	Pポート	有	
	CV ₄₋₂	T113F- $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{4}$ "	正	Pポート	有	
ガス流量調節弁	CV ₅₋₁	T112-1	1"	1"	逆	Vポート	有	
	CV ₅₋₂	T103F- $\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{8}$ "	逆	Vポート	なし	
	CV ₅₋₃	T103F- $\frac{1}{8}$	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{8}$ "	逆	Pポート	なし	
加圧燃焼室圧力調節弁	CV ₆₋₁	T102A-1 $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{4}$ "	正	Pポート	なし	フィン付
	CV ₆₋₂	T103A- $\frac{1}{8}$	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{8}$ "	正	Vポート	なし	フィン付
減圧燃焼室圧力調節弁	CV ₇₋₁	T102-1 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{1}{2}$ "	正	Pポート	なし	
	CV ₇₋₂	T103F- $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	正	Vポート	なし	

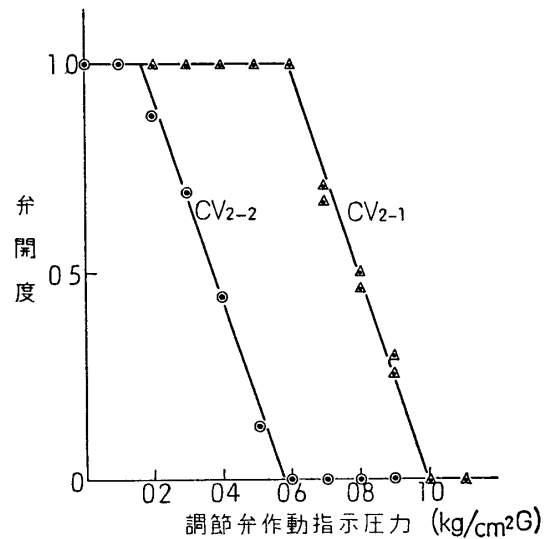
で全閉となる。一方、逆作動型は空気圧 $1.0 \text{ kg/cm}^2\text{-G}$ で弁が全開となり、空気圧が減少するにつれて弁は閉じ、 $0.2 \text{ kg/cm}^2\text{-G}$ で全閉となる。調節弁として正作動型または逆作動型のいずれを選択するかという問題は、各機器の始動の場合の安全性と次に述べる危急の場合の弁の作動を考慮して解決した。

燃焼実験中に何らかの事故により圧縮機が停止した場合、あるいは火炎が flash back したような場合には、各種の調節弁を速やかに開閉する必要がある。このような場合のために空気流量制御回路、ガス圧力および流量制御回路、燃焼室圧力制御回路にそれぞれ空気掃気用電磁弁、ガスしゃだん用電磁弁、圧力開放用電磁弁がそう入されている。危急の場合には各電磁弁を開き、各調節弁への作動空気を直ちに放出して、調節弁を急開閉できるようになっている。すなわちこの場合、空気流量調節弁 CV_3 は全開し、多量の空気を燃焼室に送って、燃焼室内を掃気し、ガス圧縮機吐出圧力調節弁 CV_4 は全開し、かつ流量調節弁 CV_5 は全閉して、都市ガスの供給をしゃだんし、さらに燃焼室圧力調節弁 CV_6 または CV_7 が全開して燃焼室圧力を解放する。なお貯気槽吐出空気圧調節弁 CV_1 が逆作動型になっているのは、この弁が燃焼実験装置の貯気槽に対する元弁の役目をもっており、制御系回路が故障しダイヤフラム作動空気圧がなくなったような場合には、この弁を全閉にしたいからである。

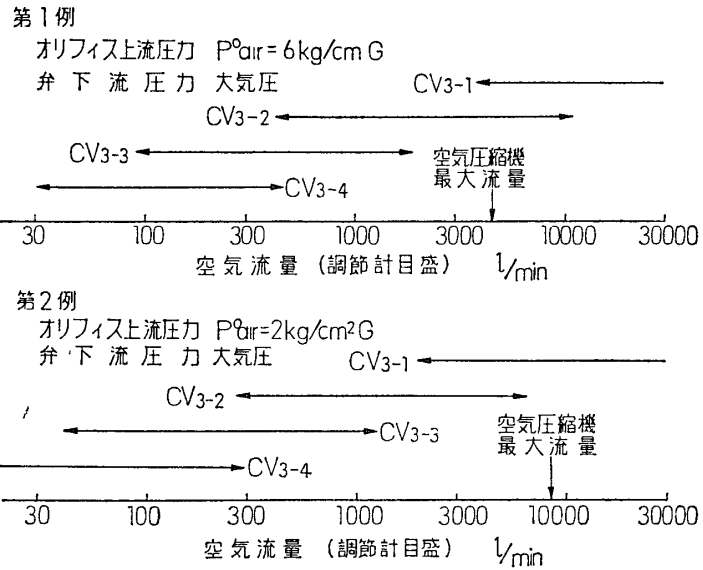
空気圧縮機吐出空気調節弁 CV_{2-1} と CV_{2-2} とはスプリット作動にした。これは流量を連続的に変えつつ行なう実験中に空気流量調節弁 ($CV_{3-1} \sim CV_{3-4}$) を切り換え、さらに空気圧力調節弁を切り換えることは操作が非常に複雑になるので、主としてこの複雑さを避けるためにしたことである。ダイヤフラム作動指示圧 $0.2 \sim 0.6 \text{ kg/cm}^2\text{-G}$ の範囲で調節弁 CV_{2-2} が作動し、 $0.6 \sim 1.0 \text{ kg/cm}^2\text{-G}$ の範囲で調節弁 CV_{2-1} が作動するように設定したが、第14図に示すように2個のバルブのスプリット作動は良好であった。

一方、ガス圧縮機吐出圧力調節弁も CV_{4-1} および CV_{4-2} の2個設備されている。しかし既に説明したようにガス圧縮機は ON-OFF 型手動でガス吐出容量を 100%、50% の二種類に調節することができ、100% 容量で運転する場合には圧力調節弁 CV_{4-1} を用い、50% 容量で運転する場合には CV_{4-2} を用いることによってそれぞれの場合の全流量範囲にわたって圧力制御をすることができる。よってこれにはスプリット作動方式を採用する必要がなかった。

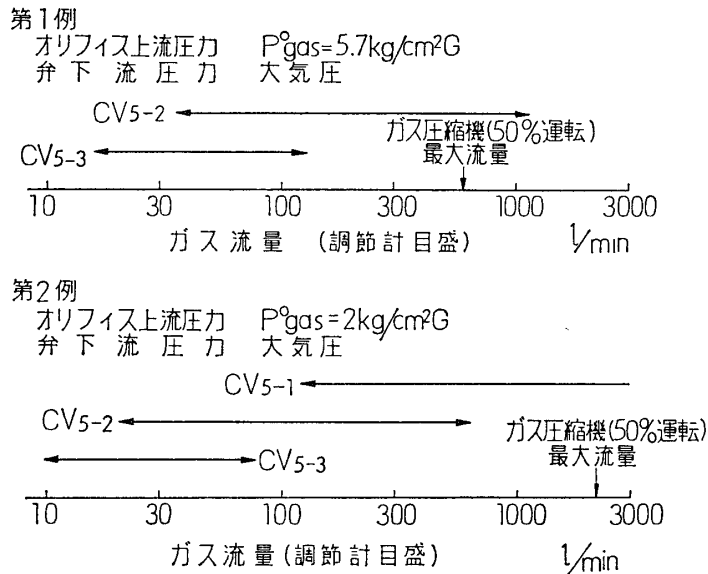
広い範囲にわたり流量を連続的に変えながら実験を行なう場合には、すでに前節で述べたオリフィスの切り換え以外に、空気やガスを流した状態で流量調節弁を切り換える必要がある。この場合には流量調節計回路に附属している設定手動操作器 ($T84_{MIA}$) を用い、調節計の指度を一定に保ちながら (すなわち流量を一定に保ちながら) 調節弁を切り換えることが



第16図 空気圧力調節弁 CV_{2-1} 、 CV_{2-2} のスプリット作動



第 17 図 空気流量調節弁の流量制御範囲



第 18 図 ガス流量調節弁の流量制御範囲

でき、弁の切り換えによる流量の不連続を避けることができる。

各流量調節弁の流量制御範囲を燃焼装置の試運転のときに詳しく調べたが、第 17 図および第 18 図に空気流量調節弁とガス流量調節弁の実測した流量制御範囲を示す。これらの図をみれば容易に理解できるように、各調節弁の流量制御範囲は相当余裕をもって重なっている。結局前節で述べたオリフィスの切り換えと調節弁の切り換えとをうまくかみ合せてゆくと、広い範囲にわたり流量を連続的に変えることができ、かつ各流量に対して精度よく流量を制御することが可能である。

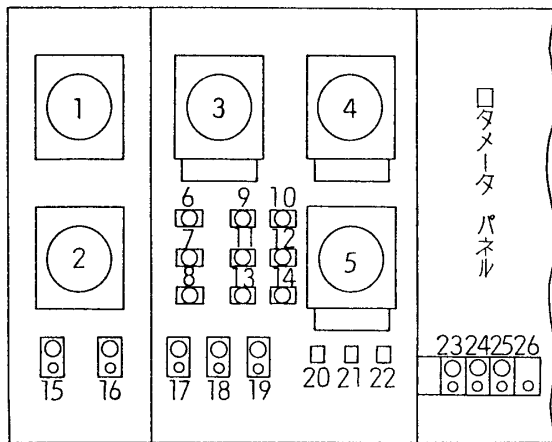
なお各調節弁の回路には、必ず自動調節弁と並列に 1 個または 2 個の手動のスルース弁が設備されており、全部手動でこれらの弁を操作して実験することも可能になっている。

5-4. 調節計および制御盤

加圧燃焼室圧力の調節計と減圧燃焼室圧力の調節計を兼用で一つにしたので、この燃焼実験装置には5個の調節計が設備されている。普通、一つの実験中にオリフィス上流の圧力を変えることはほとんどないので、オリフィス上流の圧力の制御に対しては指示調節計を用い、一方、流量や燃焼室圧力を変化させながら実験を行なうことが多いので、これらの量の制御に対してはそれぞれ指示記録調節計を用いた。使用した調節計の種類を第4表に示す。なお調節計の正作動とは圧力や差圧などの設定値に対し指示値が小さい場合に、調節弁のダイヤフラム作動空気圧をさげるように制御する作動を意味し、逆作動とはこのような場合にダイヤフラム作動空気圧をあげるように制御する作動を意味する。

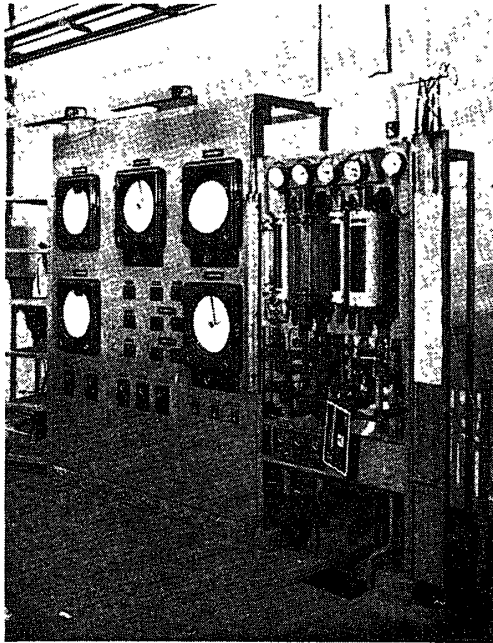
第4表 調節計一覧表

調節計の種類	記号	型式	制御動作	作動	指示・記録方式	目盛
空気圧力指示調節計	PIC-1	AP 21N ₂ (A52)	比例・積分	逆	丸型指示, 指示角度 45°	0~10 kg/cm ² -G
ガス圧力指示調節計	PIC-2	AP 21N ₂ (A52)	比例・積分	逆	" "	"
空気流量指示記録調節計	FRC-4	AI 51N ₂ (A52)	比例・積分	正	1点ペン式, チャート円形, 直径 12", 1回転6時間	平方根目盛 0~100
ガス流量指示記録調節計	FRC-5	AI 51N ₂ (A52)	比例・積分	逆	" "	"
燃焼器圧力指示記録調節計	PRC-3	AI 51N ₂ (A52)	比例・積分	逆	" "	等分目盛 0~100



No.	名 称
1	空気圧力指示調節計
2	ガス圧力指示調節計
3	燃焼器圧力指示記録調節計
4	空気流量指示記録調節計
5	ガス流量指示記録調節計
6	燃焼器加圧減圧切換コック
7	燃焼器加圧圧力調節弁切換コック
8	燃焼器減圧圧力調節弁切換コック
9	加圧減圧発信器切換コック
10	空気源切換コック
11	ガス流量調節弁切換コック(1)
12	" (2)
13	空気流量調節弁切換コック(1)
14	" (2)
15	ガス圧力手動操作器
16	空気圧力手動操作器
17	燃焼器圧力側路弁手動操作器
18	ガス流量側路弁手動操作器
19	空気流量側路弁手動操作器
20	圧力開放電磁弁用押ボタン
21	空気掃気電磁弁用押ボタン
22	ガスシャ断電磁弁用押ボタン
23	ガス流量発信器給気圧手動操作器
24	空気流量発信器給気圧手動操作器
25	減圧用発信器給気圧手動操作器
26	加圧用発信器給気圧手動操作器

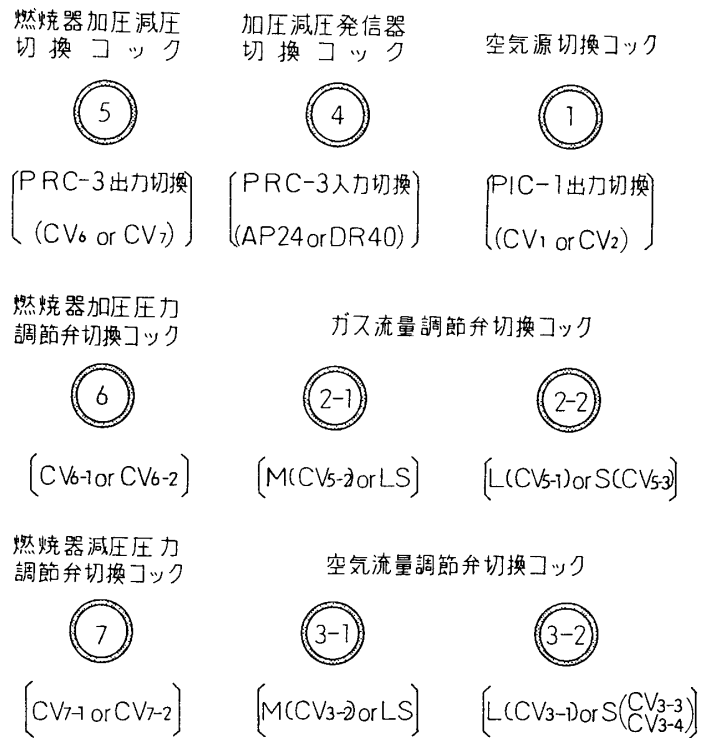
第19図 制御盤配置図



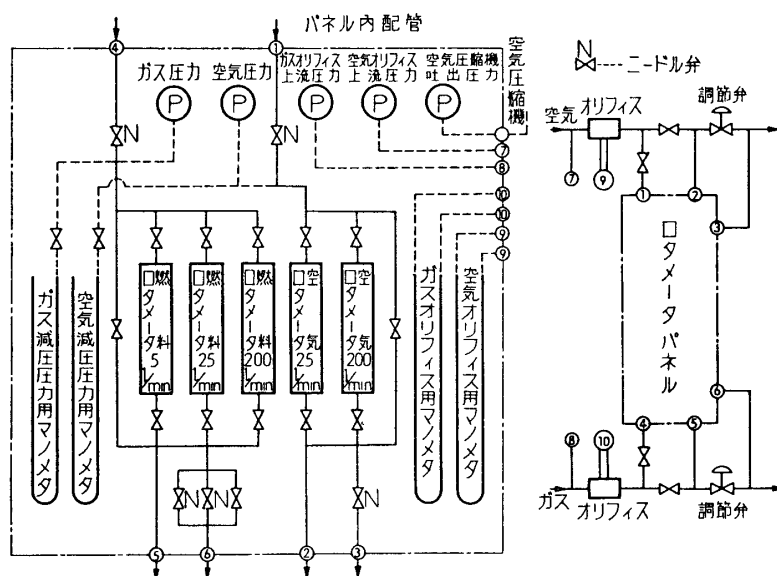
第 20 図 制御盤

これらの調節計は第 19 図および第 20 図に示すように制御盤に集中して配置されている。制御盤にはこれら調節計のほか、7 種類 (9 個) の切り換えコック、圧力調節弁用の作動圧設定手動操作器 (T84_{NIB}) 2 個、流量および燃焼室圧力調節弁の側路弁を操作する作動圧設定手動操作器 (T84_{NIA}) 3 個および電磁弁用押ボタン 3 個などが附置されている。なお切り換えコックの詳しい配置は第 21 図のようになっている。

バートン式差圧発信器 (B199A) はそれぞれオリフィス群の近傍に、また燃焼器の加圧圧力発信器 (AP24_{N1} (T03)) および減圧用の差圧変換器 (DR4_{bN2-40FN2}) はそれぞれ燃焼器の近傍に設備されている。



第 21 図 切 換 コ ッ ク 配 置 図



第 22 図 ロタメータパネル配管図

5-5. 小流量制御

きわめて真空度の高い減圧下で火炎の実験を行なうような場合には、非常に少ない流量の空気やガスで間に合い、このような場合には流量制御のために自動調節弁を用いるよりもむしろ手動のニードル弁を用いた方が微量の調節がやりやすい。よって第 22 図に示すように空気およびガス供給管のオリフィス下流にそれぞれ側路管をもうけ、その途中で流量制御用のニードル弁および流量計としてロタメータを配置した。これらのニードル弁やロタメータはパネルにとりつけ、制御盤に隣接して配置した(第 20 図)。なおこのロタメータパネルにはニードル弁やロタメータのほかに、圧縮機吐出空気圧力、空気オリフィス上流圧力、ガスオリフィス上流圧力などの測定用ブルドン管式圧力計や、空気オリフィス差圧、ガスオリフィス差圧計測用マノメータなどが集中してとりつけられており、実験に際しての圧力や流量などの測定の便宜をはかった。

6. あとがき

以上、超音速気流総合実験室に新設された連続燃焼実験装置について述べた。以上の説明を総合してこの実験装置の系統図をかくと第 23 図のようになる。この報告においては、空気や都市ガス供給装置および流量や圧力の制御装置に重点をおいて説明を行ない、燃焼器についての説明はすべて割愛した。これまで壺型燃焼器を用いて乱流バーナ火炎の安定性に関する研究を行なったし [4]、また現在、水平型燃焼器を用いて鈍い物体やステップによる高速気流中の火炎安定化と火炎面の instability に関する実験 [5], [6]、気体ロケット燃焼器を用いて高周波振動燃焼についての実験 [7], [8]、およびリフトジェットエンジン模型燃焼器を用いて噴霧燃焼の実験 [10] などを行なっているが、これらの実験に用いた個々の燃焼器についての説明は当然それぞれの論文で説明されるべき性質のものである。実際、これらの燃焼器については個々の論文で詳しく述べられているので、ここではあえて再録することを

避け、すべての実験に対し共通の問題となり、この燃焼実験装置の主要部分を占める空気やガスの供給装置および制御装置についての記述にとどめた。

すでにまえがきで述べた新しい燃焼実験装置建設のいきさつや、本文中で述べた燃焼実験装置の個々の説明によってもわかるように、この設備には旧設備の思想がほとんどそのまま生かされている。この機会に改めて旧設備を計画し、建設された山崎毅六教授のご尽力に対し、心から感謝の意を表します。

1965年10月30日 原動機部

参 考 文 献

- [1] 辻 広：反応性ガス力学における境界層問題，東大航研集報，Vol. 1, No. 6 (1959), pp. 384/405.
- [2] 辻 広：反応性ガス力学における最近の発展，日本機械学会誌，Vol. 63, No. 499 (1960), pp. 1171/1178.
- [3] F. A. Williams: Combustion theory, Addison-Wesley, Palo Alto (1965).
- [4] K. Yamazaki and H. Tsuji: An experimental investigation on the stability of turbulent burner flames, Eighth Intern. Symp. on Combustion, Williams and Wilkins, Baltimore (1962), pp. 543/553.
- [5] 辻 広，岡野達夫：吹き出しをともなった保炎器による火炎安定化，東大航研集報，Vol. 3, No. 1 (1962), pp. 78/97.
- [6] H. Tsuji and T. Okano: Flame stabilization by a bluff-body flameholder with gas ejection, Aero. Res. Inst., Univ. Tokyo, Report No. 369 (1962).
- [7] H. Tsuji and T. Takeno: Studies of high frequency combustion oscillations in a gaseous propellant rocket motor, Aero. Res. Inst., Univ. Tokyo, Report No. 391 (1964).
- [8] H. Tsuji and T. Takeno: An experimental investigation on high frequency combustion oscillations, Tenth Intern. Symp. on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh (1965), pp. 1327/1335.
- [9] 超音速気流総合実験室建設報告，東大航研集報，Vol. 3, No. 6 (B) (1963).
- [10] 辻 広，堀 守雄：リフトジェットエンジン模型燃焼器の燃焼実験，東大宇宙研報告，Vol. 1, No. 3 (B) (1965), pp. 325/343.