

水素燃焼実験設備

竹野 忠夫・吉田 亮
小谷 良信・宇野 達夫

概 要

高温気流中での水素のいろいろな燃焼現象を研究する目的で水素燃焼実験設備を製作した。この設備は最大供給流量 $250 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ 、最高供給圧力 40 kg/cm^2 の水素をその流量および圧力を制御して供給することができる水素供給装置とこのような大量の水素を使用する実験を安全に行なうための安全装置からなっている。

1. ま え が き

最近のエネルギー危機問題を契機として、有限の化石燃料に代る将来の代替エネルギーについての議論が盛んに行なわれている。また一方では航空機エンジンの排気ガスによる大気汚染が深刻な問題としてとり上げられるようになり、化石燃料に代る将来の航空用燃料についての経済的、技術的検討が開始されている。現在のところ将来の燃料として水素が最も有望であると考えられているが、これは水素火炎の安定や燃焼ガス組成などの燃焼特性が秀れていることが大きな理由となっている[1]。すなわち水素は環境汚染に対して非常に“きれい”な燃料である。主要な燃焼生成物は水蒸気であり、炭素微粒子、一酸化炭素、未燃炭化水素などの有害物質は原理的に存在しない。また一番の問題とされている窒素酸化物についても、その排出レベルを低くして安定な燃焼を行なうことが可能であると考えられている。

一方水素はその物理的および化学的性質が比較的良好に調べられており、衝撃波管などでの基礎研究にしばしば用いられ、酸化反応における反応機構や速度定数が最もよく知られている燃料である。しかし航空用燃料として水素を考えたとき、安全性をも含めた水素の燃焼特性についての我々の知識は決して十分とは云えない。特に実際のジェットエンジン内での燃焼のように、高温高速の空気流中での乱流拡散火炎の安定や構造の問題、窒素酸化物の生成機構などについては未解決の問題が多く、十分な基礎研究を行なっておく必要がある。また水素は将来の極超音速飛行体用推進エンジンと考えられている超音速燃焼ラムジェットエンジンに最も適した燃料であると考えられている。このエンジンの開発の鍵となる超音速燃焼については、これまでに水素を燃料として用いたいくつかの実験的および理論的研究が行なわれてきている[2]~[6]。現在ではSSTやHSTの開発研究は環境問題からかなりスロウダウンされているが、超音速燃焼の基礎研究は今後も続けていく必要があると考える。

以上のジェットエンジン内の燃焼や超音速燃焼の基礎研究では、大量の高温空気とともに大量の水素を消費することになる。したがってこれらの水素をその圧力および流量を正確に制御して供給し、安全に実験を行なうための設備が必要となる。このため我々は宇宙航空研究所燃焼学部門に設置されている高温気流連続燃焼装置[7][8]に付随して水素燃焼実験設

備を制作することを計画した。この高温気流連続燃焼実験装置によって、最高よどみ点温度 $1,500^{\circ}\text{C}$ までの任意の温度、またマッハ数 2 の超音速流から任意の速度の亜音速流までの空気流を供給することが可能であるが、このような空気流中の水素のあらゆる燃焼現象についての研究を行なうための燃焼実験装置を設計することにした。設計にあたっては供給する水素の圧力、流量を正確に制御することは勿論であるが、何よりもまず安全に実験を行なうことができることを目標とした。このため水素供給装置に合わせて、水素警報装置や防爆灯などの安全装置をも設備することにしたが、本報告ではこれらの安全装置についても簡単に述べることにする。

2. 水素供給装置

2.1 装置の概要

本装置は高温気流中の水素の燃焼現象を調べるための供給装置であり、高温気流連続実験装置に付随して設備する。このため実験室内の供給ラインを高温気流連続燃焼実験装置の

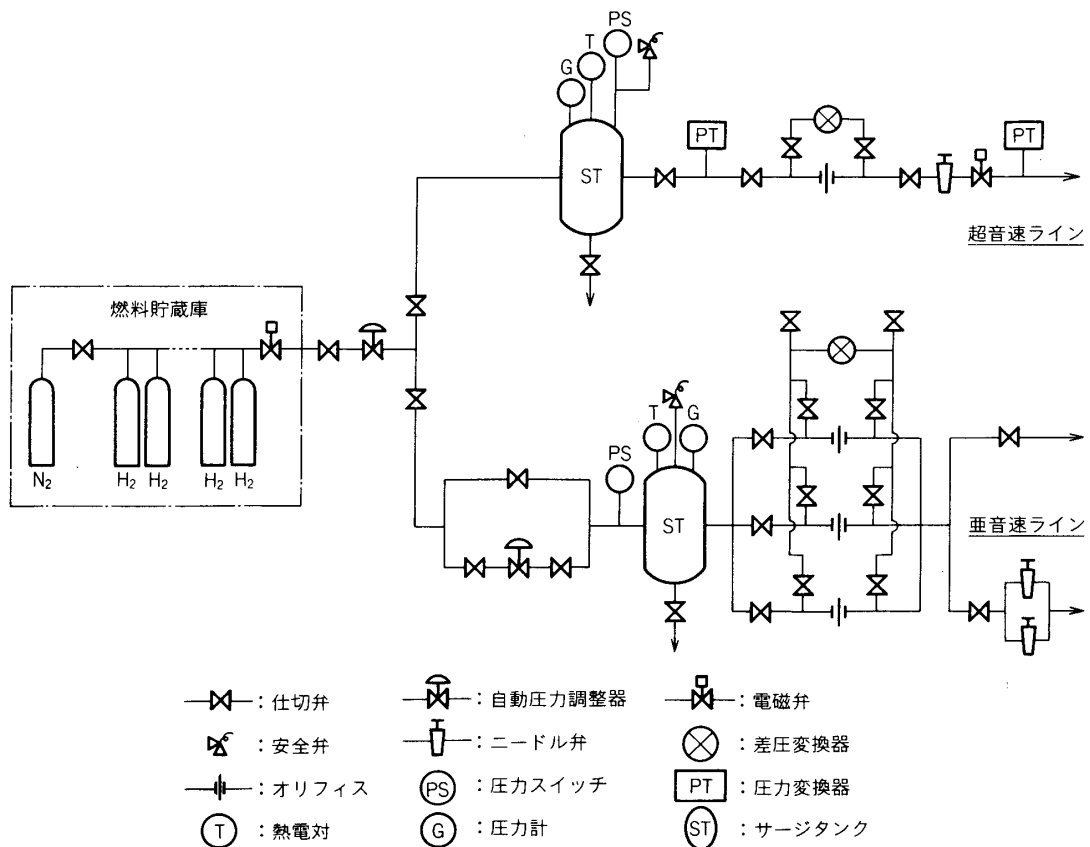


図1 水素供給装置流動系統図

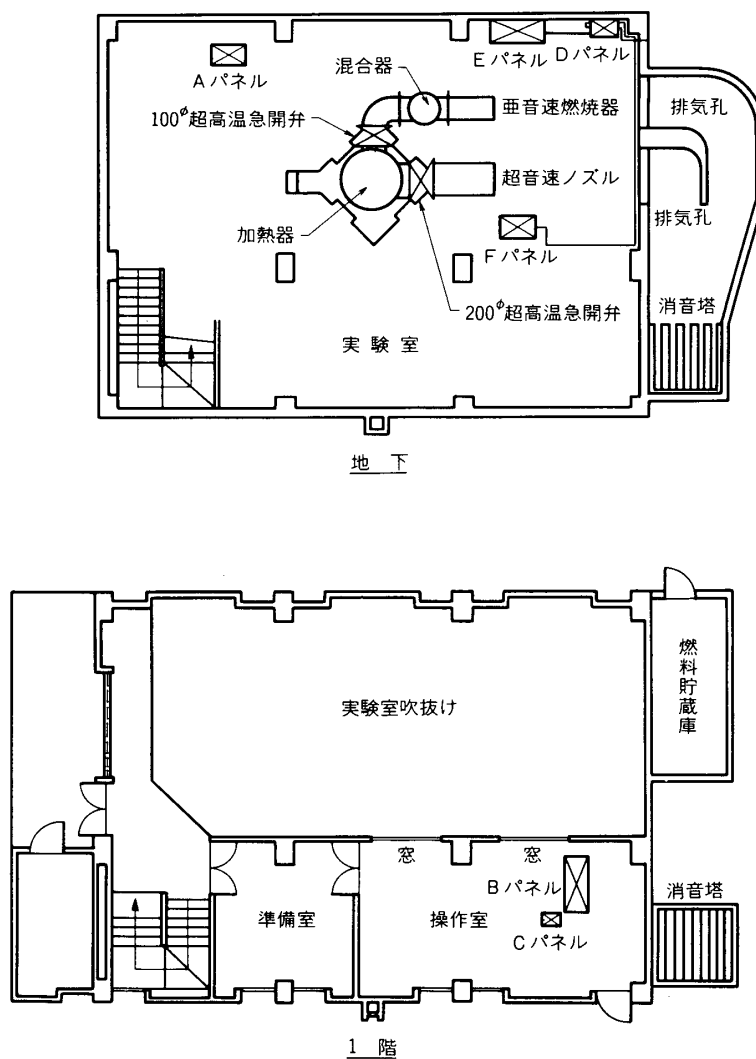


図2 供給ラインとパネル配置図

空気供給ラインに合わせて、亜音速ラインと超音速ラインの二つに分ける。前者は主として亜音速燃焼のいろいろな実験に用いるためのもので、供給圧力および流量の広い範囲にわたって精度よく水素を連続的に供給することを目的とする。後者は主として超音速燃焼の実験に用いるためのもので、高温空気流の供給に合わせて限られた時間(最大5分)内に水素の供給を行なう必要から、供給の開始および停止を電磁弁の操作によって行ない、操作室からの遠隔制御を行なう。またこれらのラインへの水素供給源として高圧ポンプを用いることにしたが、このポンプを収納するための燃料貯蔵庫を別に設けることにした。図1に供給装置の流動系統図を示す。高温気流燃焼実験装置では加熱器の加熱制御を行なうための操作盤Aパネル、および高温空気流の流量、圧力、温度などの制御を行なうための操作盤Bパネルがある。これに合わせて水素供給装置でも、供給圧力や流量の制御および調整を行なうための操作盤

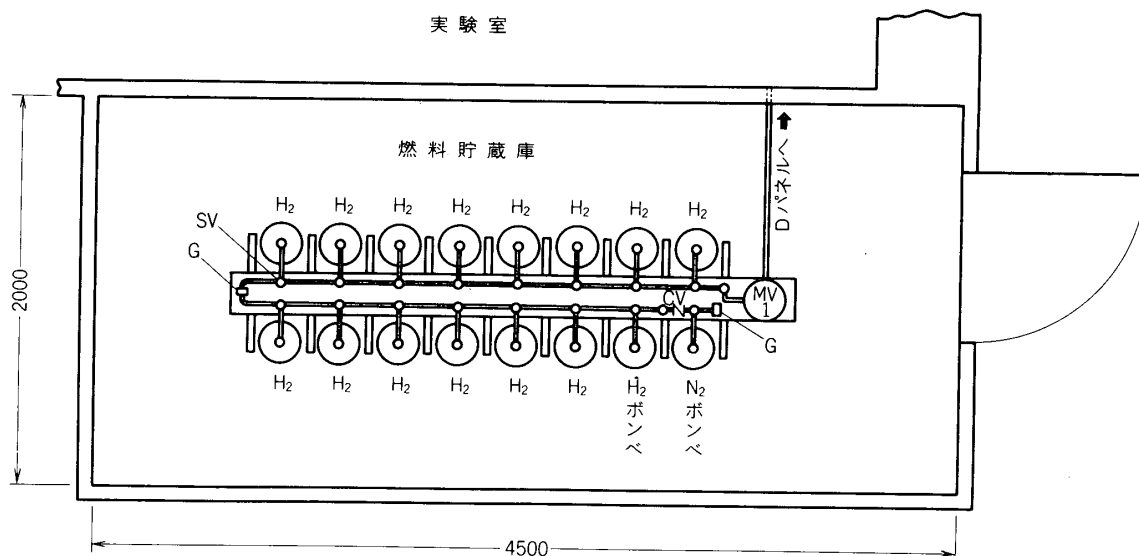


図3 燃料貯蔵庫

MV-1 電磁弁1ヶ, CV 逆止弁1ヶ, SV 仕切弁18ヶ, G 圧力計2ヶ

として, C, D, E, Fの四つのパネルを設けることにした.

図2は実験室内における各供給ラインとパネルの配置図を示したものである. Cパネルは一階操作室内のBパネルのとなりにおかれ, 水素供給装置全体の電源や電気機器を収納し, 装置全体の作動を制御し, かつ監視を行なうためのものである. 地下の実験室内のDパネルは自動圧力調整器の作動のためのものであり, 貯蔵庫から供給される水素の1次圧力をあらかじめ設定した2次圧に変換して下流に供給する. E, Fパネルはそれぞれ地下実験室内の亜音速および超音速供給ラインに沿っておかれ, 各ラインへの水素の供給を制御するためのものである.

2.2 燃料貯蔵庫と供給ライン

この装置の供給可能な最大流量は $250 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ としたが, これだけの量の水素をその圧力および流量を一定に保って連続的に供給するためには, かなり大きな供給源が必要となる. 本装置では内容積 47 l , 圧力 150 kg/cm^2 の高圧ボンベ15本をまとめた集合装置を供給源として用いることにした. これらのボンベは十分な注意にもかかわらず思わぬリークをもたらすこともあり, 屋内の1ヶ所にまとめておくことは非常に危険である. このため実験室屋外の地上に実験室に隣接して仮設の小屋を設けて燃料貯蔵庫とし, これに15本の水素ボンベとページ用の窒素ボンベ1本とを収納することにした. 図3に貯蔵庫内の配置図を示す. 貯蔵庫は $2.0\text{m} \times 4.0\text{m}$ のく形断面を持ち, 実験室壁以外の三方の周囲の壁はブロック積み, また

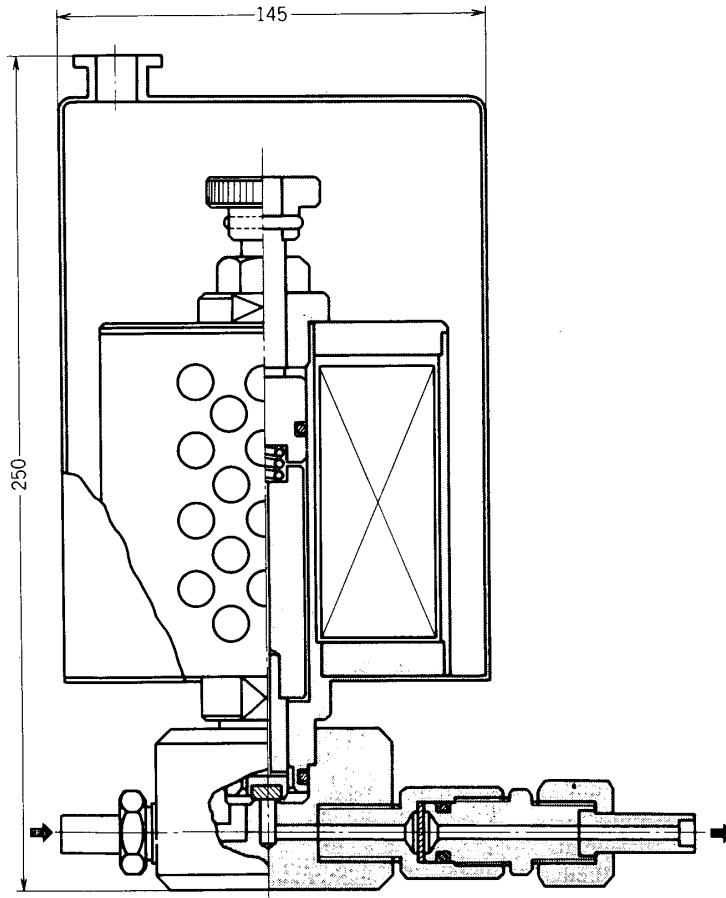


図4 電磁弁(MV-1, 2)

天井はスレート張りである。周囲の壁の6ヶ所および壁と天井との間に通風のためのすきまを設け、貯蔵庫内の換気が断えず行なわれ万一リークが生じたとしても水素が滞留しないように考えられている。

各ポンベは中央の支持装置によって固定され、仕切弁を経て共通の内径14φ、外径20φの集合管に接続される。集合管の最上流端には逆止弁を経由して窒素ポンベが接続されており、実験終了時には常にこの窒素によって供給装置内に残存する水素のパーズを行なう。また集合管の上流端と中間に圧力計がとりつけられており、管内の圧力の監視を行なう。下流端には電磁弁MV-1(中央科学精機MV-200)がとりつけられ、水素供給の開始および停止をC、E、Fの各パネルの押ボタンによって操作することが可能となっている。図4にこの電磁弁の断面図を示すが、最高使用圧力200kg/cm²、作動電圧および電流は直流20Vと8Aである。電圧がかからない状態では上部のバネと1次圧による力によって弁の作動軸がテフロンシートを押し下げて閉となり、通電とともに作動軸が上方に押し上げられて開となる。電磁石

部分はかこいによってかこまれ、リークした水素が中に侵入しないように考えられている。

電磁弁の下流端は内径15φ、外径25φの銅製の配管に接続され、壁を貫通して実験室内に入り内壁をつたって下方に降り、仕切弁を経由して地下のDパネルの自動圧力調整器にいたる。この調整器の下流端は内径6φ、外径8φのステンレス製配管に接続され二つに分かれる。一つはそのまま壁ぎわにおかれたEパネルに向い亜音速ラインとなり、他の一つは実験室の排気孔入口上方の壁面をつたってFパネルにいたり超音速ラインとなる(図2参照)。これらの供給ラインはE、Fパネルの出口で個々の実験に応じた配管に接続されて燃焼装置に水素を供給することになる。

2.3 Cパネル

安全性の面からは水素供給ラインの近傍に電気機器があることは好ましくないが、電気機器を用いなくて供給装置の制御等を行なうことはほとんど不可能である。このため実験室内のパネルの電気機器は必要最小限にとどめ、制御装置等の電源をはじめリレー、スイッチ等の主要機器はすべて操作室内のCパネルに収納することにした。このCパネルの設計にあたっては、実験の準備段階から実施、終了後の作業にいたるまで常に地下の実験室で作業を行なう人と、同時に1階の操作室から窓を通して作業の進展を見守る人がいることを想定した。安全を確保するためには勿論上下の人が絶えず緊密な連絡を保ちながら作業を進める必要があるが、同時に独自に作業の進展を確認したりあるいは緊急時の操作ができることも必要となる。このため各パネルに電磁弁の開閉状態を示すパイロットランプをつけるとともに、開閉操作が個々のパネルにおいて単独に行なえるようにした。また万一自動圧力調整器が故障して下流の供給ラインに高圧がかかった場合の危険を考え、亜音速および超音速の各ラインに圧カスイッチをとりつけ、圧力が設定圧以上になると自動的に貯蔵庫の電磁弁が閉じるよ

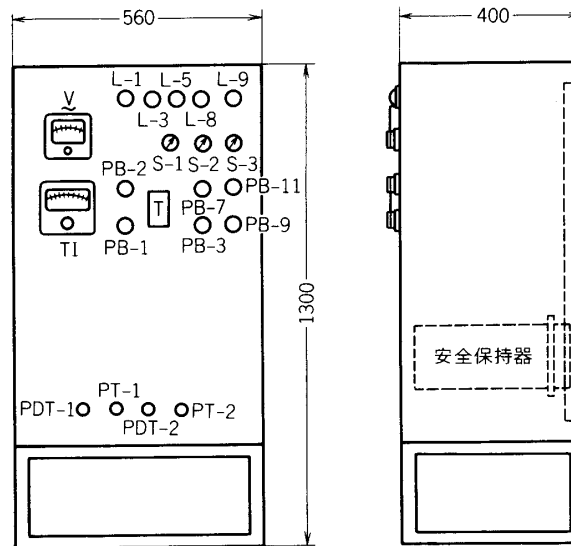


図5 Cパネル外観図

TI 温度指示計 V 電圧計 L パイロットランプ PB 押しボタンスイッチ
S 切替スイッチ T タイマー PDT 差圧変換器出力 PT 圧力変換器出力

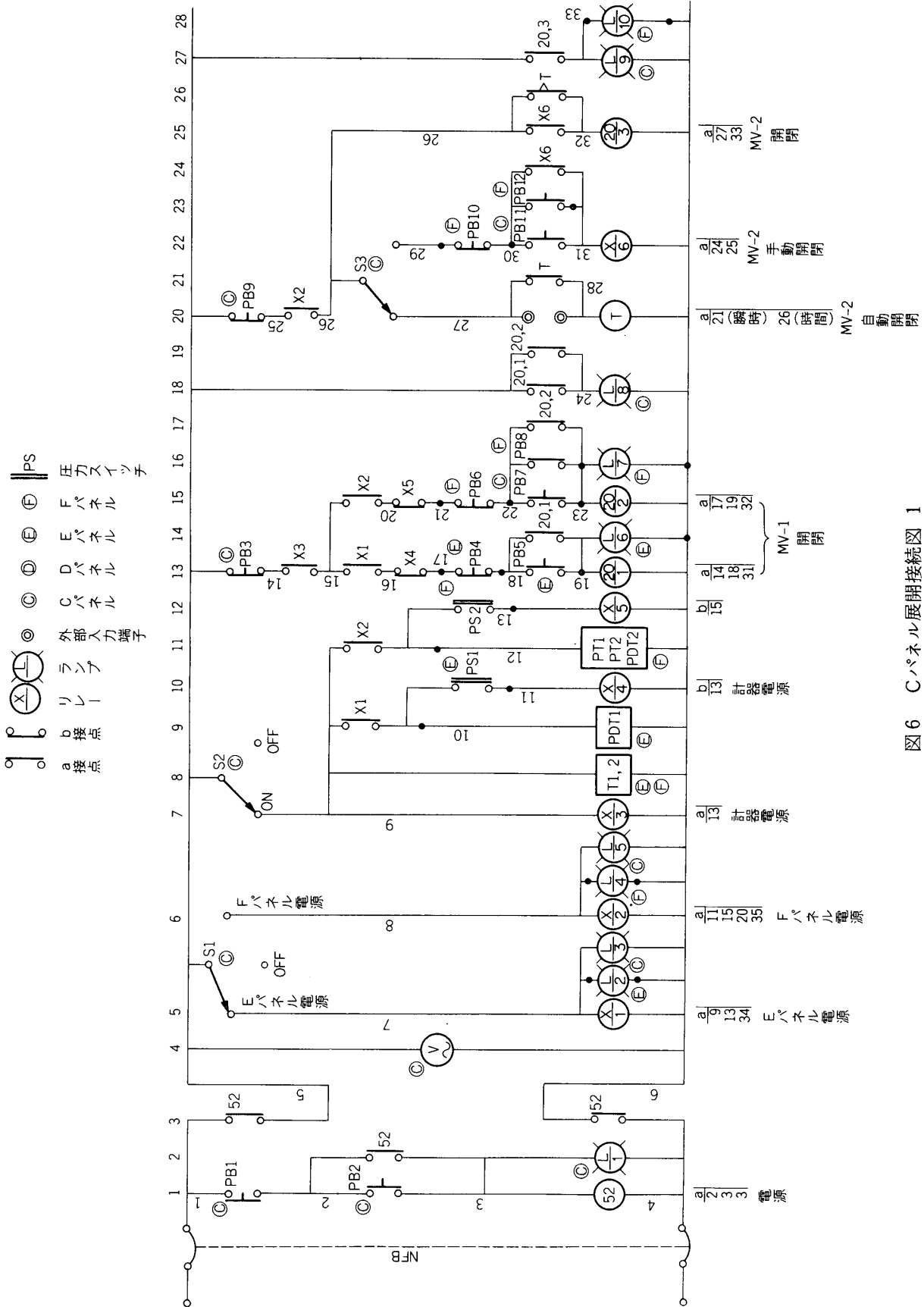


図6 Cパネル展開接続図1

うにした。

図5にCパネル外観図, また図6に展開接続図を示す. パネル正面左側に電源の電圧指示計, およびEまたはFパネルのオリフィス上流温度を示す温度指示計がある. 電源のON, OFFは押しボタンPB-2, PB-1によって行ない, ONのときにはランプL-1が点灯する. 実験によって使用パネルをE(亜音速ライン)またはF(超音速ライン)に切替えることになるが, これはスイッチS-1によって行なわれ, これに応じてCパネル上のランプ L-3またはL-5, および E, Fパネル上のランプL-2またはL-4が点灯する. スイッチS-2は温度指示計, 差圧変換器, 圧力変換器, 圧力スイッチなど計器電源のON,OFFを行なうためのものである. 貯蔵庫内の電磁弁MV-1の開閉はCパネル上の押しボタンPB-7, PB-3によって行なわれるとともに, Eパネル上の押しボタンPB-5, PB-4またはFパネル上の押しボタンPB-8, PB-6

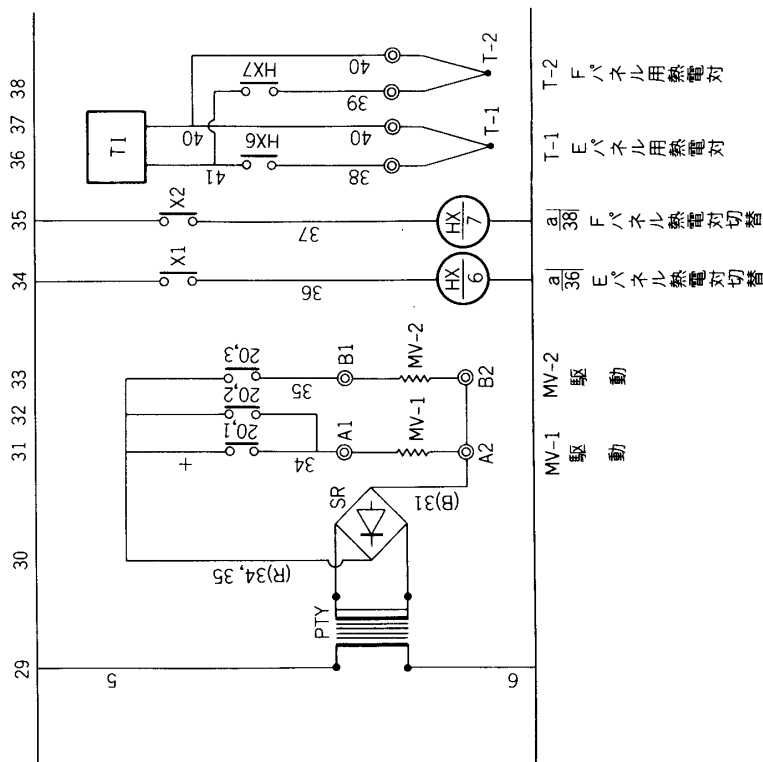


図6 Cパネル展開接続図 2

によって行なうこともできる. いずれの場合でも開状態でCパネル上のランプL-8およびEパネル上のランプL-6またはFパネル上のランプL-7が点灯する. また電磁弁MV-1はEパネルの圧力スイッチPS-1またはFパネルの圧力スイッチPS-2によって規定圧以上になると閉じることになる. 超音速ライン出口の電磁弁MV-2の作動はCパネルのスイッチS-3によって自動または手動にすることができる. 自動の場合には外部信号が入った瞬間からタイマーTで

設定された時間後に開となって水素の供給が開始する。このときの閉操作はCパネル上の押しボタンPB-9によって行なわれる。また手動の場合にはCパネルの押しボタンPB-11, PB-9またはFパネルの押しボタンPB-12, PB-10によって開閉操作を行なう。いずれの場合にもMV-2が開状態ではCパネル上のランプL-9とFパネル上のランプL-10が点灯する。

一方EまたはFパネルの流量測定用オリフィスの差圧は差圧変換器PDT-1またはPDT-2(YOKOGAWA, 差圧伝送器 6361-2215-E24)によって電気信号に変換され, Cパネル上の出力端子より取り出す。また同様にFパネル使用時のオリフィス上流圧および供給圧は圧力変換器PT-1およびPT-2(YOKOGAWA, 圧力伝送器 6354-0615-E23)によって電気信号に変換され, Cパネル出力端子より取り出す。これらの変換器には安全保持器(YOKOGAWA, 5362-1000)を用いている。

2.4 Dパネル

Dパネルは自動圧力調整器PCV-1(中央科学精機, GCV-P-1型)の操作のためのものであり, 貯蔵庫から供給される任意の1次圧をあらかじめ設定した2次圧に変えて下流に供給する。図7はDパネル外観図, また図8は流動系統図を示す。電磁弁MV-1からの水素は仕切弁SV-1にいたり, さらにPCV-1によって圧力を調節されたのち, 仕切弁SV-2またはSV-3を経由してそれぞれEパネルまたはFパネルにいたる。PCV-1にかかる1次圧は圧力計G-1, また2次圧は圧力計G-2によって監視する。また2次圧の設定は窒素を用いたパイロットガ

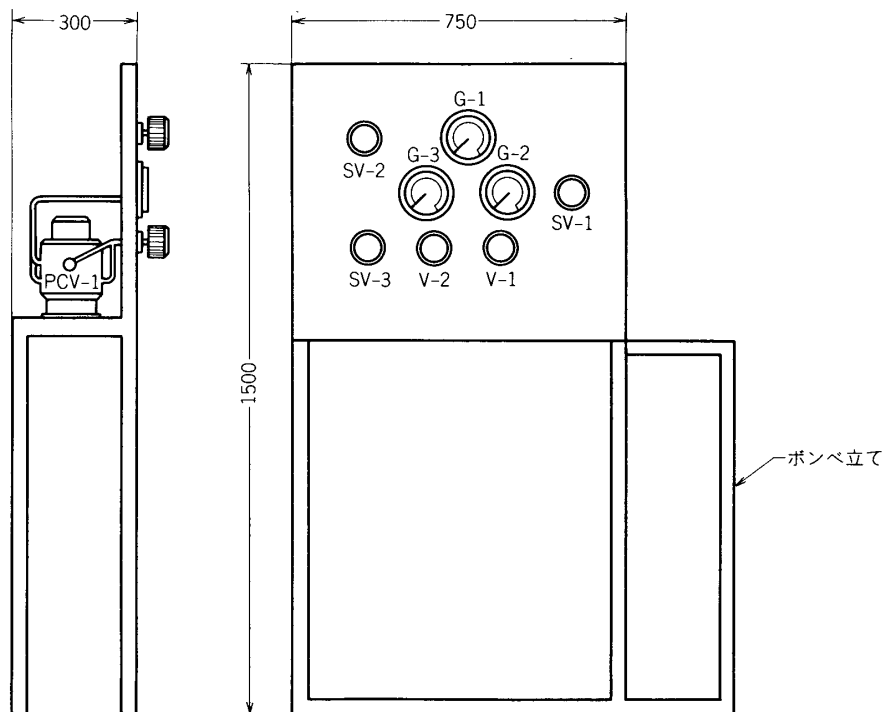


図7 Dパネル外観図

G 圧力計 SV 仕切弁 V 仕切弁 PCV-1 自動圧力調整器

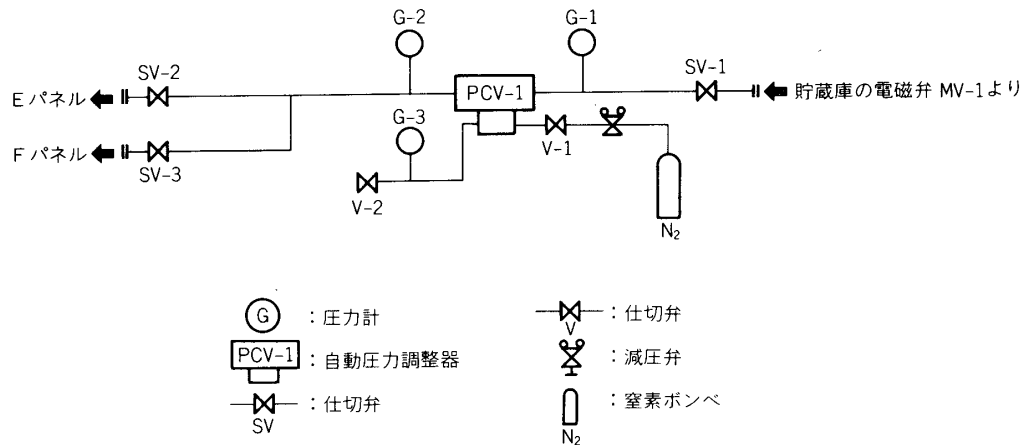


図8 Dパネル流動系統図

スによって行ない、このための専用の窒素ポンペをDパネルに付随しておく。ポンペからの窒素は減圧弁を経て仕切弁V-1にいたり、PCV-1、仕切弁V-2を経由して大気に開放される。設定は圧力計G-3によって設定圧を読みながら仕切弁V-1、V-2を操作して行なう。

図9にPCV-1の断面図と機構図を示す。この調整器の主な特徴は2次圧力の設定にパイロットガスを用いている点にあり、このため変化する1次圧に対して広い設定範囲(1~150 kg/cm²)の2次圧を精度よく一定に保つことができる。図の右側から接続部を経て調整器内に導入される1次圧 P_1 は中心部の弁芯の上部に力を働かせることになるが、このとき上下方向に動かす力がちょうど等しくなるように働く。1次圧の一部は弁芯上部のすきまを通過して下方にぬけて2次圧となるが、この2次圧は弁芯を下方に押し下げる力を働かせる。一方V-1を経て導入されたパイロットガスは弁芯下部に力を働かせ、設定圧 P_s に応じた上向きの力を生じ2次圧による下向きの力と対向する。もし2次圧が設定圧より大きければ弁芯は下に押され、それによって弁芯上部のすきまが狭くなり2次圧は小さくなる。逆に設定圧の方が大きいと弁芯は上に押され、すきまが広くなり2次圧が増加する。両者が等しい状態では弁芯の平衡が保たれる。この力の平衡関係に対して1次圧は無関係であり、1次圧が変化しても2次圧を常に設定圧に等しく維持することができる。

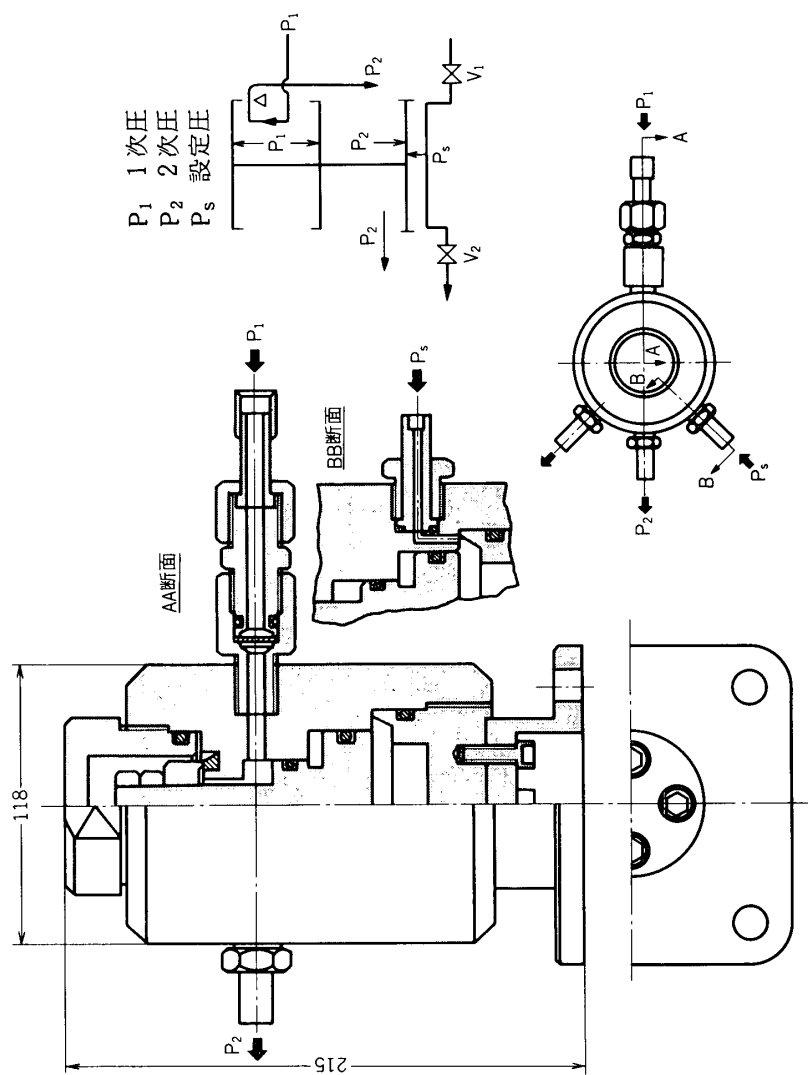


図9 自動圧力調整器 PCV-1

2.5 Eパネル

Eパネルは亜音速ラインの制御を行なうためのもので、種々の燃焼実験に応じて圧力や流量の広い範囲にわたって精度よく水素を長時間にわたって供給することを目的とする。図10はEパネル外観図、図11は流動系統図を示す。パネル右上方のランプL-2の点灯によってCパネル切替スイッチがこのパネルになっていることを確認する。このとき押しボタンPB-5、PB-4によって電磁弁MV-1の開閉操作を行なうことができ、また開状態でランプL-6が点灯する。

Dパネルからの供給ラインはEパネルに入った後、高圧(10~30kg/cm²)または低圧(1~10kg/cm²)の実験によって2つに分かれる。高圧の場合にはオリフィス上流圧力としてPCV-1の2次圧をそのまま用いて、仕切弁SV-4を経由してサージタンクST-1にいたる。低圧の場合には仕切弁SV-5を経て第2の圧力調整器PCV-2(田中製作所, JET-S 206)にいたり、供給圧を制御したのち仕切弁SV-6を経由してサージタンクにいたる。この調整器はバネを用いた普通の減圧弁である。図12にST-1の断面図を示すが、内容積10 l、耐圧50kg/cm²のステンレス製円筒型容器である。この容器には温度測定用の銅コンスタンタン熱電対T-1と吐出圧40kg/cm²に設定した安全弁Sが取り付けられている。熱電対出力はCパネル上の温度指示計に指示される。また図13に安全弁断面図を示すが、タンク内圧力が40kg/cm²をこえる

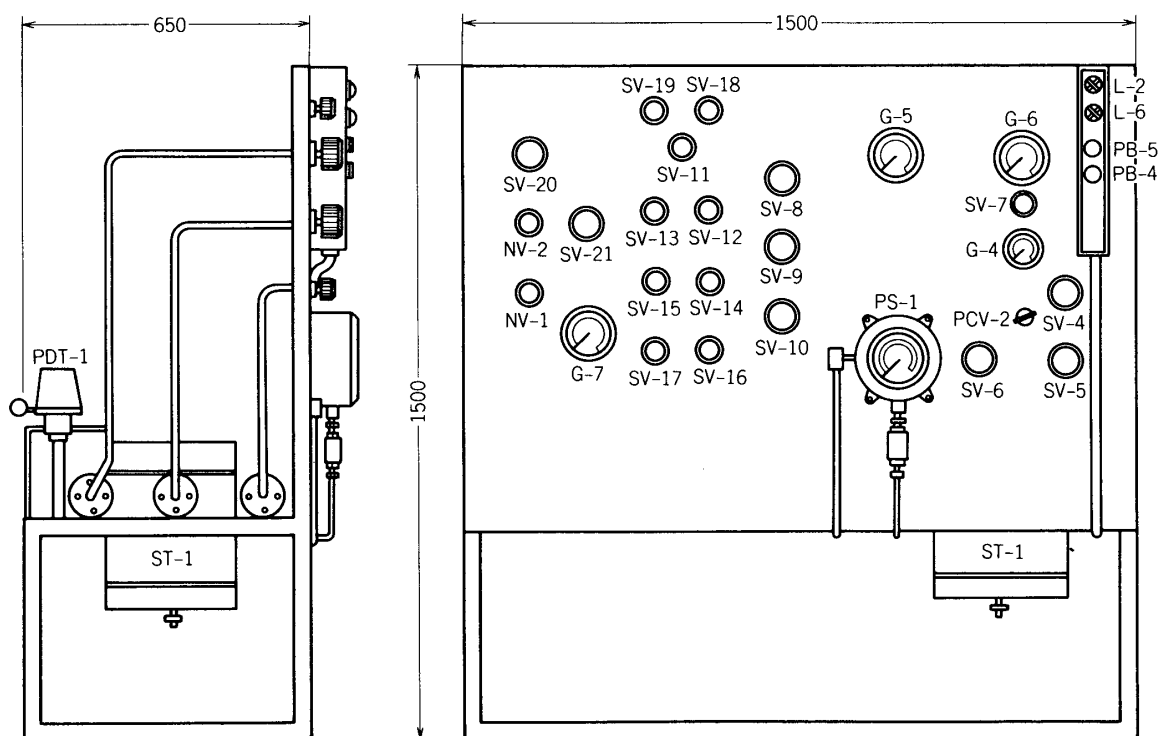


図10 Eパネル外観図

L パイロットランプ PB 押しボタンスイッチ G 圧力計 PCV 自動圧力調整器
 PS 圧カスイッチ SV 仕切弁 NV ニードル弁 ST サージタンク
 PDT 差圧変換器

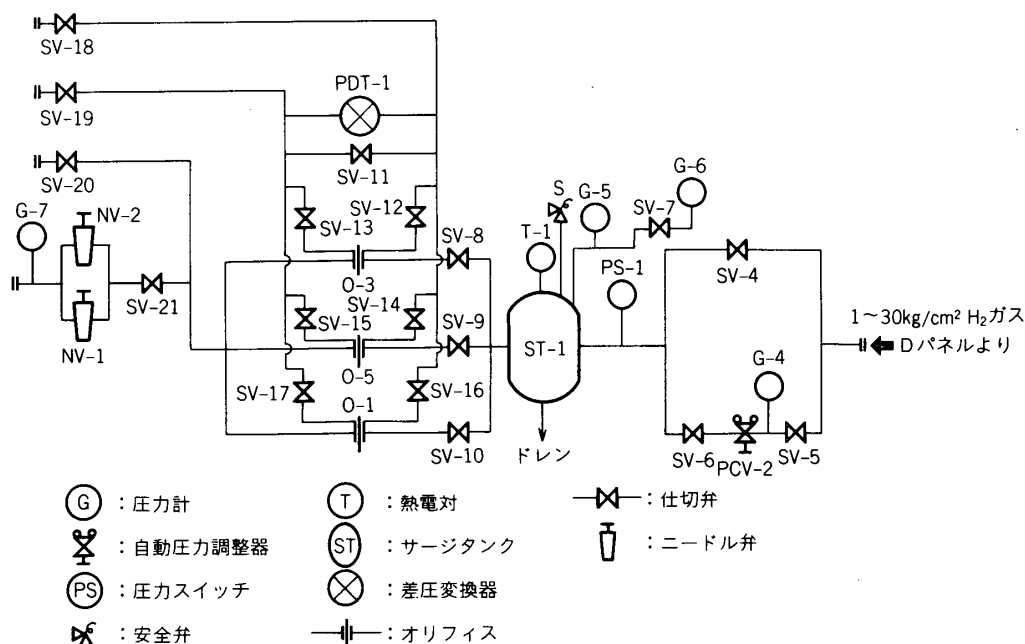


図11 Eパネル流動系統図

と弁芯が上に押し上げられ、水素は接続部を經由して専用の配管によって実験室屋外の大気に放出される。タンク内圧力は高圧の場合には圧力計G-5(目盛範囲0~50kg/cm²)で、また低圧の場合には圧力計G-6(目盛範囲0~10kg/cm²)によって測定する。また供給ラインのタンク上流位置に圧力スイッチPS-1(旭計器工業、接点付き圧力計)が取り付けられており、圧力が設定圧35kg/cm²をこえると自動的に電磁弁MV-1が閉じられる。タンク下流には流量測定用のオリフィスが平行して3つおかれ、実験に応じて100Nm³/hr(0-1), 30Nm³/hr(0-5), 8Nm³/hr(0-3)のいずれかを使用する。なおこの他にも50Nm³/hr(0-4), 3Nm³/hr(0-6), のオリフィスも用意されており必要に応じて取り換えて使用することができる。オリフィス差圧は差圧変換器PDT-1によって電気信号に変換され、Cパネル出力端子より取り出される。オリフィス下流でラインは再び2つに分かれ、1つは仕切弁SV-20を経て直接燃焼装置に接続されるが、他の1つは仕切弁SV-21を経てニードル弁NV-1またはNV-2にいたり、流量の精密制御を行なわれたのち燃焼装置に接続される。ニードル弁下流には圧力計G-7(目盛範囲0~4kg/cm²)がとりつけられ、燃焼装置への供給圧力を監視する。

2.6 Fパネル

Fパネルは超音速ラインの制御を行なうためのもので主として超音速燃焼の実験に使用する。超音速燃焼の実験では水素の供給操作を決められた短時間内に開始および停止を行なう必要がある。また実験の流量などの規模が大きく危険もともなうので、地下の実験室内での

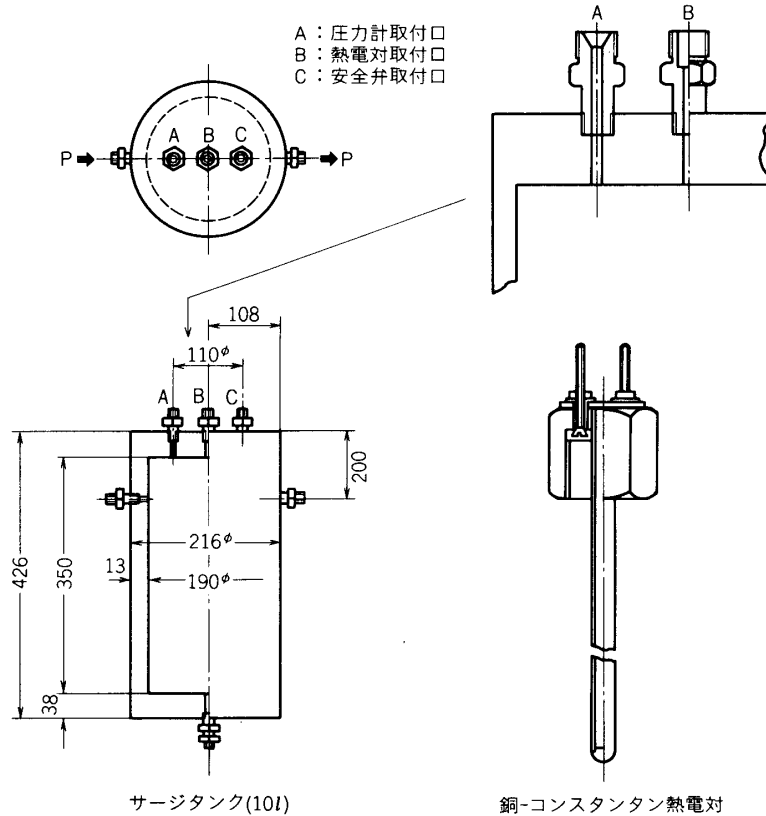


図12 サージタンクおよび熱電対

操作は行なわず操作室からの遠隔制御を行なう。このため供給の開始・停止を電磁弁(MV-1, 2)を用いて行なうとともに、流量測定用のオリフィス差圧、オリフィス上流圧および燃焼装置への供給圧を変換器によって電気信号に換えてCパネル出力端子より取り出すことにする。

図14にFパネル外観図、また図15に流動系統図を示す。パネル左上方のランプL-4の点灯によってCパネルの切替スイッチがこのパネルになっていることを確認する。このとき押しボタンPB-8, PB-6によって電磁弁MV-1の開閉操作を行なうことができるが、開状態でランプL-7が点灯する。またCパネルの電磁弁MV-2の切替スイッチが手動操作になっているとき、Fパネルの押しボタンPB-12, PB-10によってMV-2の開閉を行なうことができ、また開状態ではランプL-10が点灯する。

Dパネルからの供給ラインはST-1と同じサージタンクST-2に直接入る。このタンクにも熱電対T-2, 安全弁S, 圧力計G-8および圧力スイッチPS-2が取り付けられている。これらの機器はST-1につけられているものと全く同じものである。仕切弁SV-22の下流

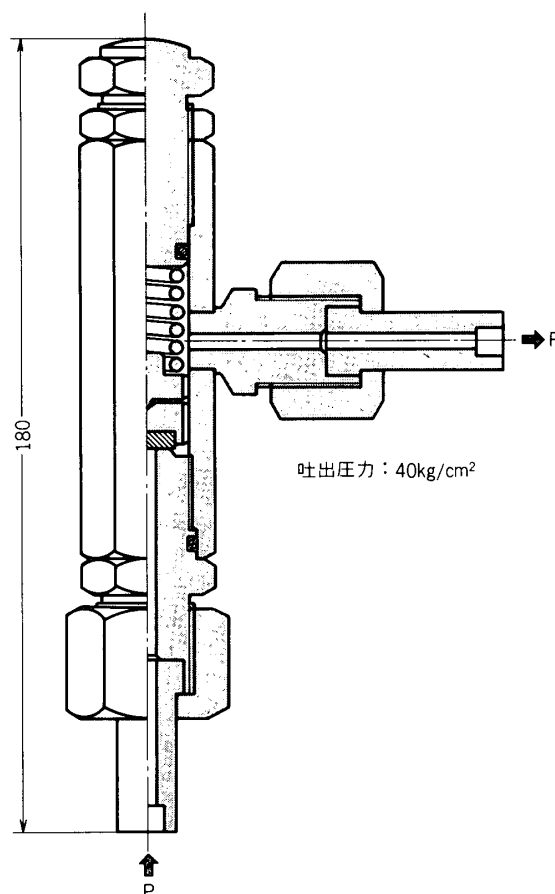


図13 安全弁

にはオリフィス上流圧測定用の圧力変換器PT-1がとりつけられている。仕切弁SV-23の下流のオリフィスは現在 $100 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ (0-2)が取り付けられているが、さらに2つのオリフィスの取り付けが可能である。オリフィス差圧は差圧変換器PDT-2によってCパネルに送られる。仕切弁SV-27の下流には流量調整用のニードル弁NV-3があり、実験開始前にこれによって流量の設定を行なう。燃焼装置への水素の供給開始および停止は下流の電磁弁MV-2によって行ない、このときの供給圧力は圧力変換器PT-2によって測定する。

3. 安全装置

3.1 実験室の安全対策

前述した供給装置では大量の水素を使用することになるが、水素は空気と混合して爆発性の可燃混合気を形成する。したがって爆発や火災の発生を防止して安全に実験を行なうため

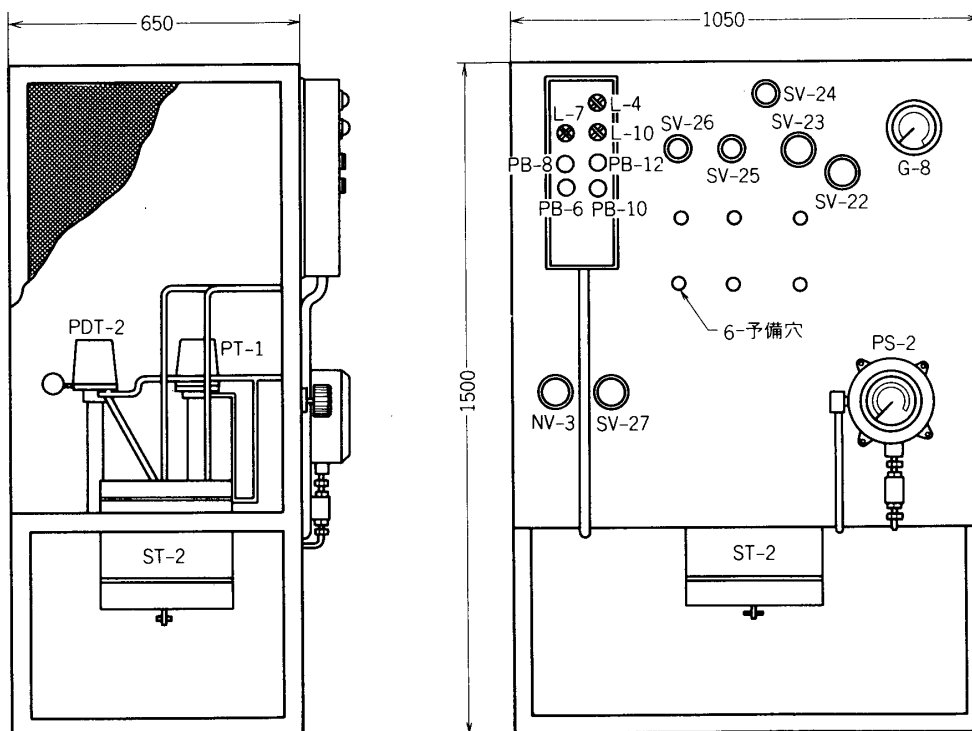


図14 Fパネル外観図

L パイロットランプ PB 押しボタンスイッチ G 圧力計 PS 圧カスイッチ
 SV 仕切弁 NV ニードル弁 ST サージタンク PDT 差圧変換器
 PT 圧力変換器

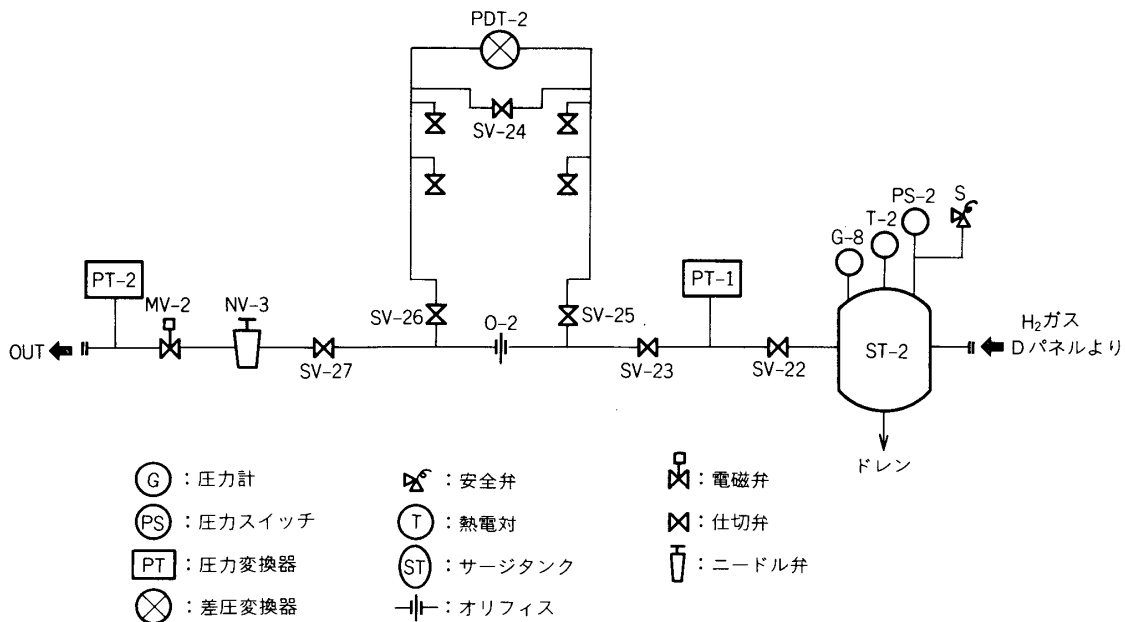


図15 Fパネル流動系統図

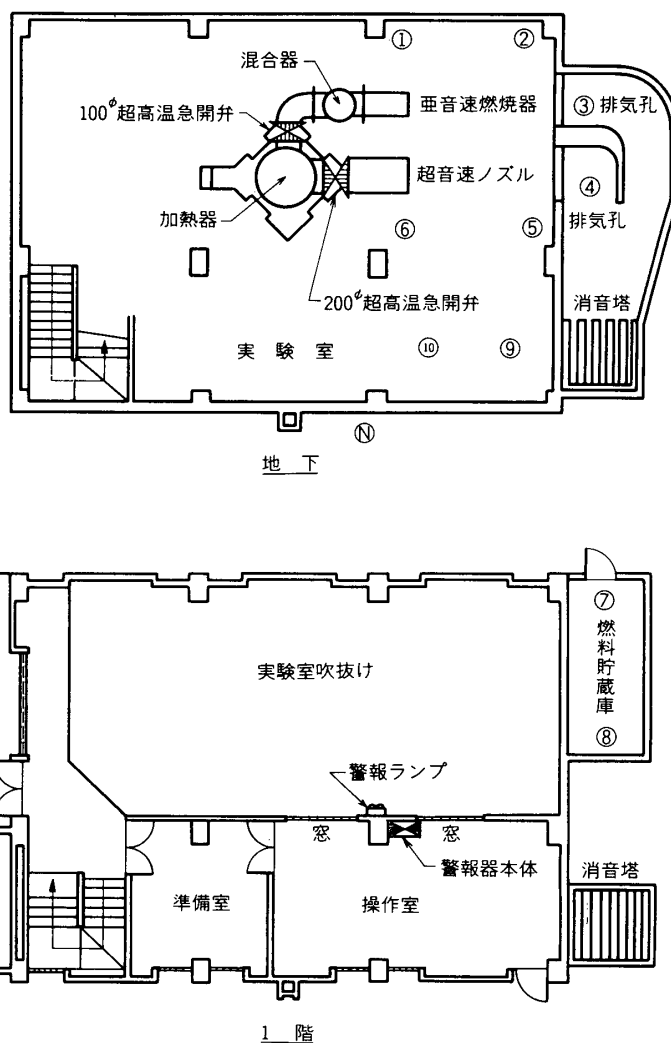


図16 警報装置配置図

には、供給装置の設置にともなって実験室の安全対策を考えておく必要がある。この対策は水素自身の特性とともに実験室の構造や、室内における供給装置を始め種々の装置や機器の配置などを十分に考慮した総合的なものでなければならない。安全の面から見た水素は他の可燃ガスに比べて、空気中での爆発限界がきわめて広い(4%~75%)、着火エネルギーが小さい(0.02 mJ)、消炎距離が小さい(0.06 cm)などの非常に危険な性質を持つ。また逆に発火温度が比較的高い(560°C)という安全な面もあるが、物理的性質として空気に対する比重がきわめて小さい(0.07)、拡散しやすいなどの特徴的性質を持っている。一方実験室は図2あるいは図16に見られるように地下1階にあるが、その一部は地上1階までの吹き抜けとなっており、残りには階上の1階に操作室および準備室がある構造となっている。操作室からは

大きな二つの窓をとおして地下の実験室内の主要部分を見渡すことが可能であるが、これらの窓はガスに対してシールされており実験室内にリークした水素が操作室や準備室に侵入することはない。したがって安全対策は地下の実験室に限られることになる。

一般に爆発または火災が発生するのは、(イ)空気中の水素濃度が爆発限界内にある危険雰囲気が存在し、(ロ)さらにその雰囲気内に高温物体や電気火花などの着火源が存在する場合である。したがって安全対策としては前述した水素の性質や実験室の構造などを考慮して(イ)、(ロ)の条件が成立しないような措置を講じることになる。本実験設備では(イ)の危険雰囲気形成に対して次の3つの防止策をとることにした。

(1)水素のリーク、放出の防止

ボンベや配管のバルブ、あるいは継手部分のゆるみによる自然リークを極力防止する。このため供給ラインの定期点検を確実にこなうとともに実験前には必ずリークテストを行なうようにする。このことは実験室の位置が井の頭線のすぐそばにあり、たえず振動にさらされている現状では特に注意する必要がある。また実験終了時には必ず供給装置内の水素を窒素でパージして装置内に水素が残存しないようにする。さらに実験中に万一の事故によって供給ラインに過剰の水素が供給される場合には、前述した圧力スイッチによって供給用元弁の電磁弁が自動的に閉じるようにしておく。

(2)水素の滞留防止

万一水素が空気中にリークしたとしてもそれらが速やかに拡散することを考えておく。このためリークが生じやすい高圧ボンベはまとめて実験室外の通風のよい貯蔵庫に収納する。また実験室内での供給ラインやパネルの配置は天井が高く通風のよい吹き抜け部におき、天井が低く滞留を生じやすい操作室や準備室下部をさける。さらに実験中は排気ファンと吸気ファンとによって強制換気を行ない、吹き抜け部をたえず空気が一定方向に流れるようにする。

(3)水素警報装置による監視

実験室内や貯蔵庫の適当な位置に水素検知器を設置し、空気中の水素濃度が一定値をこえると警報装置によって知らせるようにする。

次に(ロ)の着火源を実験室から完全に除去することは不可能である。もともと室内で燃焼の実験が行なわれる上、実験のための種々の装置や計測装置などの電気機器をすべて防爆構造にすることはできない。そこで水素を直接制御する機器などを防爆型にすることにし、それ以外は室内の床面より高さが2 m以上の空間には着火源が存在しないようにすることを考え、次の2つの防止策を考えた。

(4)防爆型照明装置の設置

実験室内の照明は10個の水銀灯、5個の白熱灯および24本の蛍光灯によって行なわれているが、これらはいずれも天井かまたはそれに近い高い位置に取りつけられており、水素が天井付近に滞留したときの着火源となり得る。そこでこれらの照明装置と並行して独立な必要最小限の防爆型照明装置を設け、実験時にはこの装置に切り換えて照明を行なうようにする。

(5)電気機器の防爆化

水素供給装置，警報装置の電気機器はすべて防爆型とし，またこれらにともなう配線や防爆型照明装置の配線はすべて耐圧防爆構造[9]とし，これら電気配線内で爆発が生じても外部にその影響があらわれないようにする。

以上5つの安全対策のうち(1),(2),(5)は特に報告する程のものでもないので，(3)，(4)についてのみ以下に述べることにする。

3.2 水素警報装置

警報装置(新コスモス電機，BM-201)は大別して，検知素子を收容する検知器，警報用のランプおよび電源やブザー，水素濃度指示計を收容する警報器本体の3つからなる。この装置を効果的に機能させるためにはこれらの機器を適正な位置に配置することが最も重要である。本装置では実験室の構造や換気の状態，さらには実験のやり方や人員の配置などを考慮して，1番から10番までの10個の検知器と2つの警報ランプおよび警報器本体を図16に示すように配置した。

検知器は熱線形燃焼式であり，主として白金線からなっている検知素子表面で雰囲気の水素濃度に応じた触媒作用によって発熱が生じ，素子の電気抵抗が変化してブリッジ回路に不平衡電位差があらわれることを利用したものである。図17に装置の電気回路構成図を示すが，不平衡電位差があらかじめ設定した臨界値をこえるとリレーを介してランプ，ブザーなどの警報が発せられることになる。臨界値としては空気中の水素の爆発下限界(4%)の1/3に対応する値を選んだ。なお素子からの逆火防止のための警報を発すると同時に警報器本体から

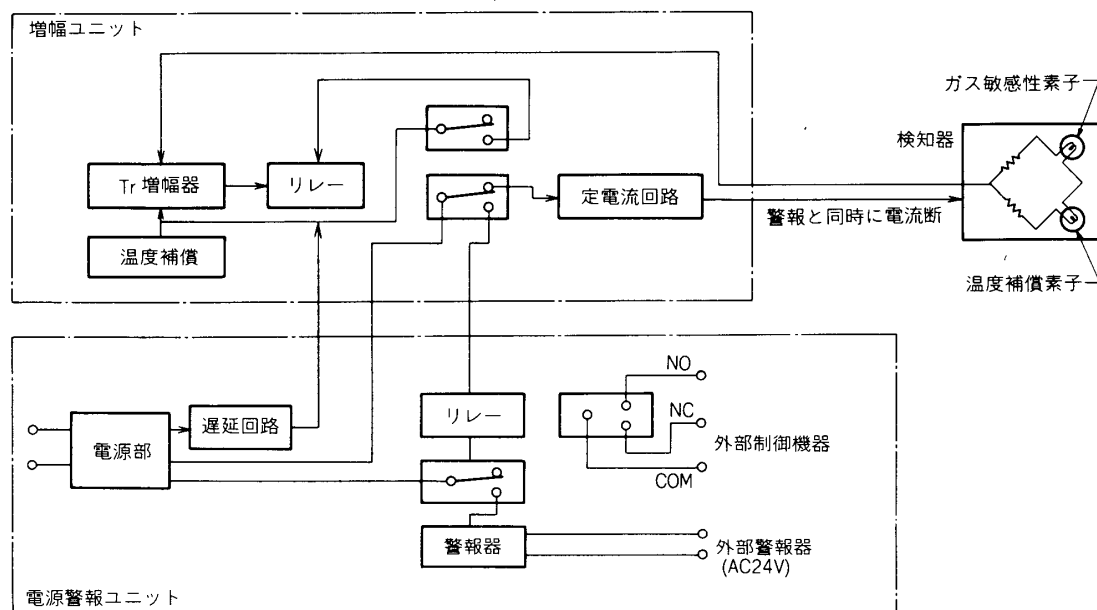


図17 警報装置電気回路構成図

素子への電流も遮断されることになる。検知器には拡散式と吸引式の2つがある。前者は素子を火災防止効果を持つ焼結合金製カバー内におさめて、それを直接電気配線用の防爆型端子箱に接続したものである。この方式では検知器周囲の雰囲気は拡散によってカバー内の素子部分に入ってくるが、素子はその位置の雰囲気中の水素を検出する。一方吸引式では素子が検出する雰囲気は素子の位置から離れた場所のもので、吸入管を通してポンプ(1l/min)によって防爆型の端子箱内に収容された素子の位置まで吸引される。この方式だと吸入管先端付近の雰囲気を絶えず吸引することになるので、拡散式に比べると広い空間の検出を行なうことができるが、検知器の応答時間は大きくなる。図16の10個の検知器のうち1番から6番までは吸引式であり、1, 2, 5, 6番の吸入口は吹き抜け部の天井の位置に、また3, 4番の吸入口は排気孔内に取りつけた。7番から10番までは拡散式で、このうち7, 8番は貯蔵庫の天井に、そして9, 10番は1階操作室の下の天井に取りつけた。

2個の警報ランプは実験室内の操作室側の壁に取りつけられ、10個の検知器のうちどれか1個でも設定値をこえると点灯して実験室内の人に知らせる。このとき1番から6番までの検知器は実験室から見て右側のランプ、また7番から10番までの検知器は左のランプを点灯させる。図18に警報器本体の写真を示すが、本体は操作室内におかれブザーによって操作室にいる人に知らせるが、同時に各検知器に対応した10個のパイロットランプと10個の水素濃度指示計によって設定値をこえた検知器を知らせることができる。これによって水素がリークした位置を知り、原因を確認することによってすみやかに適切な処置をとる。水素濃度指示計は爆発下限界濃度(4%)を100としたときの水素濃度を絶えず指示し、設定値以下の濃度をも十分に読みとることができる。

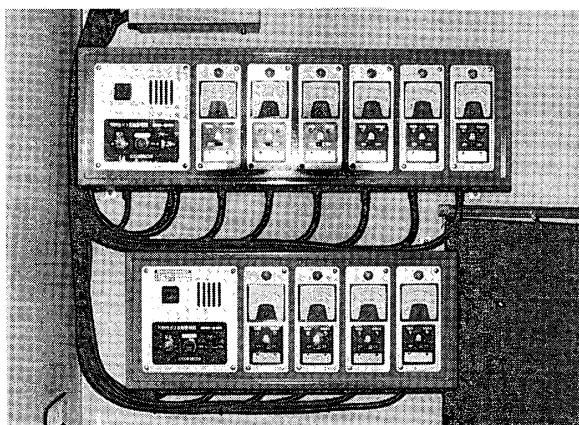


図18 警報器本体

3.3 防爆型照明装置

図19に本装置に用いた耐圧防爆型照明器(岩崎電機 EXFL14225)と同じく耐圧防爆型タンブラスイッチ(岩崎電機 EXST1135)の写真を示す。この照明器は40Wの蛍光灯を2本持つ

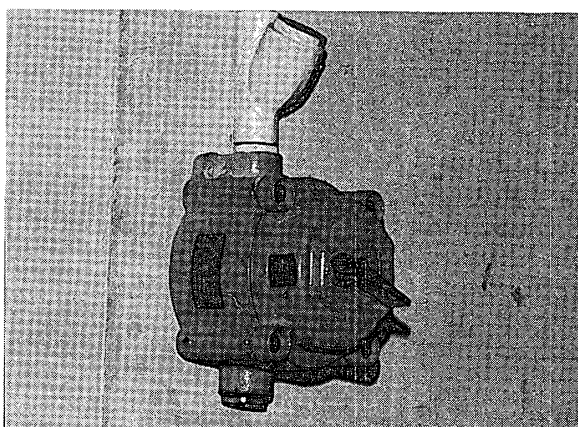
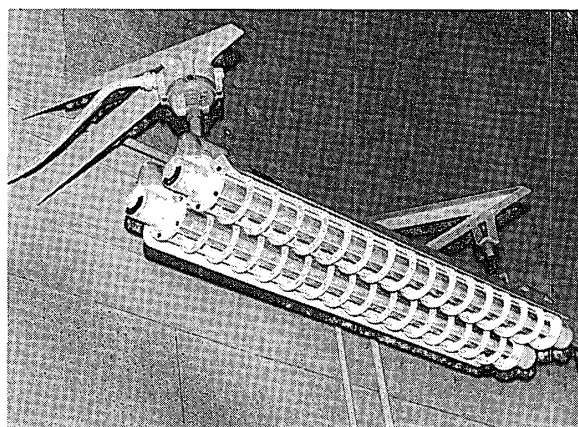


図19 防爆照明器およびタンブラスイッチ

ているが、このような照明器を多数取りつけることによって現存する一般照明と同程の明るさを得るには膨大な経費が必要となる。本装置ではこの照明器を5基取りつけることにし、これらを実験室内に適当に配置することによって実験の準備から実施、終了にいたるまでの全過程の作業に必要な最小限の照明を得ることとした。このため照明器は実験室吹き抜け部周囲の壁に4基、また操作室下の天井に1基配置した。吹き抜け部の4基はいずれも1階床面と同じ高さの位置に取りつけるとともに、そのうち2基はE、Fの各パネル直上に配置し作業の便宜をはかることとした。またこれらの照明器の点滅は実験室内のE、Fパネルそばの壁面にとりつけた2個のタンブラスイッチと操作室内スイッチの3ヶ所によって任意に行なえるようにした。

一般照明から防爆照明への切り替えは実験室入口の壁面に取りつけた切替盤によることにしたが、図20に切替盤内の配線図を示す。切替スイッチには安全確認のための鍵がついており、この鍵を用いない限り切替えを行なうことはできない。切替えは実験準備段階で実験室

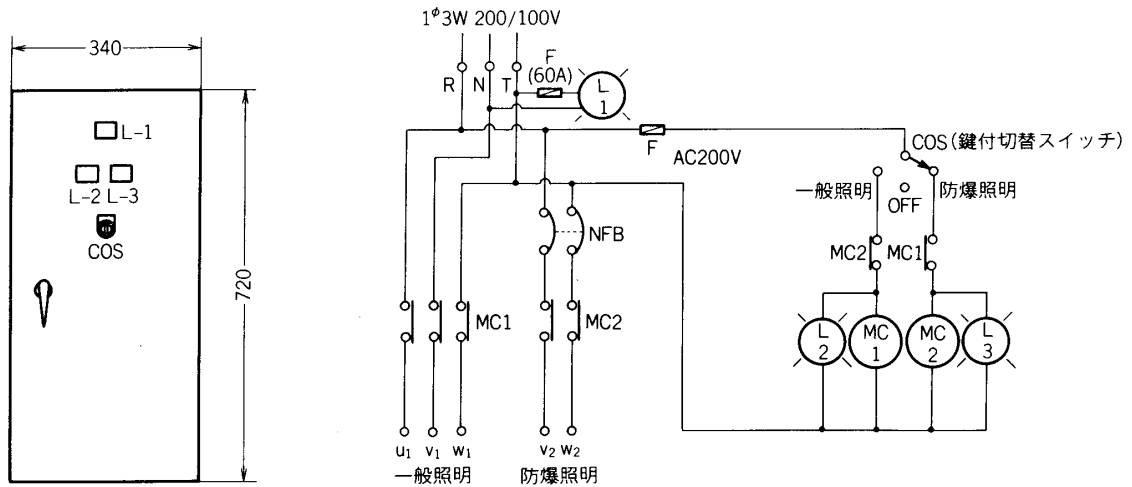


図20 照明装置切替盤

内の水素供給装置に水素供給圧をかける前に必ず行なうことにし、またスイッチの鍵は実験責任者が保有しておくことにした。また一般照明への復帰は実験終了後供給装置内の水素が窒素によってパージされ、さらに警報器本体の水素濃度指示計によって実験室内に水素が滞留していないことを確認した後はじめて行なうことにした。

4. おわりに

最近になって水素の燃焼研究の重要性がますます認識されつつあり、燃焼研究の分野における大きなトピックスになろうとしている。この時期にここで報告した水素燃焼実験設備を完成させることができたことは、我々にとって非常に幸運であったと云わざるを得ない。この設備が完成して約1年になろうとしているが、この間にこの設備を利用してすでに水素乱流拡散火炎の研究[10]～[12]、Transverse Injectionによる超音速燃焼の研究[13],[14]、静止デトネーションの研究[15]などが行なわれ、研究成果をあげることができた。幸いにもこれらの研究において大きな事故をおこすこともなく安全に実験を進めることができ、設備の安全対策に対する信頼と自信を深めることができた。しかしながら安全を確保するには何と云っても普段の細心の注意が肝要である。設備の操作に次第に馴れるにつれややもすると不注意となり、それが重大な事故につながる恐れが多い。今後ともこの点を充分注意して、流れ中での水素の燃焼の研究にこの設備の威力を遺憾なく発揮させていきたいと考えている。

なおこの設備の製作にあたっては辻廣教授、堀守雄助手をはじめ本研究所燃焼学部門全員の御協力をいただいた。研究費の配当に関しては衝撃工学委員会、特に推進専門委員会の委員各位により特別な御配慮をいただき、またメーカーとの交渉、契約にあたっては第二契約掛長笹岡実右エ門氏、および同掛西方利夫事務官に多大の御尽力をたまわった。また防爆照明装置など電気機器、配線の保安処理に関して電気掛長高木三郎氏の御協力をいただいた。

以上多くの方々の御援助、御協力に対して厚く御礼申し上げます。また供給装置、警報装置の納入を担当され御協力をいただいた株式会社フジヤマの小池博次営業主任、および供給装

置の製作を担当され絶大な御協力をいただいた中央科学精機株式会社小川享技師に対して感謝の意を表したい。

1975年12月17日 原動機部

参 考 文 献

- [1] D.T. Pratt, K.J. Allwine and P.C. Malte : Hydrogen as a Turbojet Engine Fuel – Technological, Economical and Enviromental Impact, 2nd Intem. Symp. on Air Breathing Engines, March 1974, Sheffield.
- [2] 辻 廣, 超音速燃焼, 日本機械学会誌, 第70巻, 第583号(1967), pp. 1205/1214.
- [3] 竹野忠夫, Scramjetについて, 新しい推進系シンポジウム前刷集(1971), pp. 38/43.
- [4] 辻 廣, 竹野忠夫, 堀 守雄, 第1回衝撃工学シンポジウム前刷集(1974), pp. 151/158
- [5] G.Y. Anderson : An Examination of Injector/Combustor Design Effects on Scramjet Performance, 2nd Intem. Symp. on Air Breathing Engines, March 1974, Sheffield
- [6] E.T. Curran and F.D. Stull : Ramjet Engines, Highlights of Past Achievments and Future Projects, 2nd Intem. Symp. on Air Breathing Engines, March 1974, Sheffield.
- [7] 辻 廣, 竹野忠夫, 堀 守雄, 松井 潔, 高温気流連続燃焼実験装置, 1.高温気流発生装置, 東京大学宇宙航空研究所報告, 第7巻 第2号(B)(1971), pp. 551/565.
- [8] 辻 廣, 竹野忠夫, 堀 守雄, 高温気流連続燃焼実験装置, 東京大学宇宙航空研究所報告 第11巻第4号(B)(1976), pp. 68/102.
- [9] 労働省産業安全研究所編, 工場電気設備防爆指針(ガス蒸気防爆1974), 産業安全研究会, 昭和49年.
- [10] 竹野忠夫, 小谷良信, 乱流拡散火炎の安定の研究, 第7回乱流シンポジウム講演集(1975), pp. 142/146.
- [11] 竹野忠夫, 小谷良信, 乱流拡散火炎の安定と構造, 第13回燃焼シンポジウム前刷集(1975), pp. 135/138.
- [12] T. Takeno and Y. Kotani, An Experimental Study on the Stability of Jet Diffusion Flame, Acta Astronautica, in Press.
- [13] 吉田 亮, 辻 廣, 流れに垂直に噴射された水素噴流と高温超音速気流の干渉の実験, 第2回衝撃工学シンポジウム前刷集(1975), pp. 34/41.
- [14] 吉田 亮, 辻 廣, Transverse Injection による超音速燃焼の研究, 第13回燃焼シンポジウム前刷集(1975), pp. 143/146.
- [15] 竹野忠夫, 小谷良信, 宇野達夫, 静止デトネーションの実験的研究, 第2回衝撃工学シンポジウム前刷集(1975), pp. 42/48.