

# 高温気流連続燃焼実験装置

## I. 高温気流発生装置

辻 廣・竹野忠夫・堀 守雄・松井 潔

### Design, Construction and Performance of the ISAS High-Enthalpy Air Flow Combustion-Tunnel

#### I. The Pebble-Bed Heater

By

Hiroshi TSUJI, Tadao TAKENO, Morio HORI

and

Kiyoshi MATSUI

**Abstract:** The ISAS ceramic-heated combustion-tunnel was designed with the primary object of providing a means of studying problems associated with combustion in a high-enthalpy air flow, including supersonic combustion. In this first report, the reasons are given for the decision to design and construct a pebble-bed heater using alumina refractories. The constructed pebble-bed heater provides air temperatures of up to 1,500°C, and the run time is five minutes duration at the maximum air flow rate of 1 kg/sec.

#### 概 要

高温気流中での火炎安定化や非定常燃焼をはじめ、いろいろな燃焼現象を研究する目的で、空気流温度を広い範囲にわたって制御することができる高温気流連続燃焼実験装置の設備を計画し、まずその中心部をなす高温気流発生装置として蓄熱式アルミナ・ペブル加熱器と高温一常温空気混合器とを試作した。この加熱器は、加熱用燃料として都市ガスを用い、標準加熱時間は3時間である。また、加熱器からの最高吐出空気温度は1,500°C、最大空気流量は1 kg/sで、この流量での放熱持続時間は300秒となっている。

#### 1. ま え が き

ジェットエンジンの安全性、信頼性を向上させるためには、広い範囲の飛行条件に対して、エンジンが正常に作動するようにするとともに、その非定常運転特性の向上をはかり、運転条件の急激な変化に対しても常にエンジンが安定に作動するようにする必要がある。そのためには、まず、圧縮機、燃焼器、タービンなどエンジンの個々の主要構成要素の作動範囲を広げるとともに、その非定常運転特性の改善を計らなければならない。燃焼器において

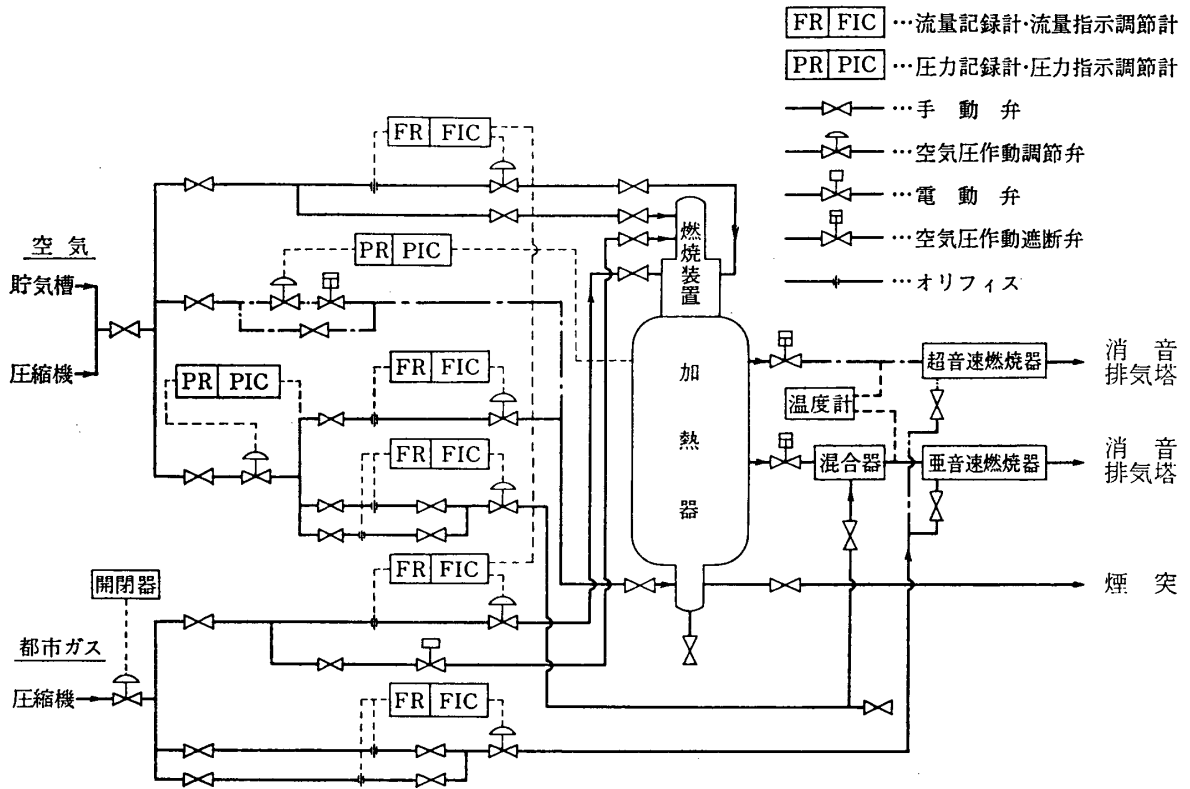
は、器内に流入する空気の流速や温度、あるいは器内圧力の広い範囲にわたり正常な燃焼が保証され、かつ、このような条件の急激な変化に対しても安定な燃焼が維持される必要がある。

さて、ジェット機関では、その燃焼器内で定常的な燃焼を維持するためには、高速気流中で火炎の吹きとびを防ぎ、火炎を燃焼器の特定な位置に保持しなければならない。これがいわゆる火炎の安定化である[1][2][3]。火炎がその位置から離れ、火炎が吹きとぶことは機関の運転の中断を意味する。したがって燃焼器の安全性、信頼性の向上に関連して、まず、広い条件にわたっての火炎の安定化の問題や非定常な条件下での火炎の安定性の問題、さらに非定常燃焼そのものがきわめて重要な問題となってくる。

燃焼器の開発を対象にした研究では、空気流の初期温度をある程度変えて、火炎の安定限界や燃焼特性（燃焼効率や圧力損失）などを求めるための実験が行なわれている。これに対し、ジェットエンジンの燃焼についての基礎研究は、ごくわずかな例を除き[4]、これまで主として常温の空気流を用いて行なわれ、安定限界（火炎の吹きとび速度）に及ぼす燃料・空気混合比（空燃比）、圧力、燃焼器や保炎器の形状や大きさ、などの影響が調べられ、かつ、火炎安定化の機構や燃焼帯の構造、さらに振動燃焼の発生や維持機構などについても解明が行なわれている。しかし、気流の温度上昇は混合気の反応速度、ひいては燃焼速度を増大させるので、火炎の安定化や燃焼状態に大きい影響を与える。したがって、燃焼器の安全性、信頼性の向上をはかるためには、火炎安定化や燃焼状態に及ぼす空気流温度やその急激な変化の影響をも、十分、基礎的に解明しておく必要がある。また高温気流中の燃焼については、燃焼学的にみて、着火をはじめいろいろ興味ある問題が数多くあり、これらの問題の基礎研究が、ひいては燃焼器の安全性、信頼性の向上を考える場合の有用な知識をわれわれに提供してくれることになる。

以上のような理由で、われわれは空気流温度を相当広い範囲にわたって自由に制御することができる燃焼実験装置、いわゆる高温気流連続燃焼実験装置の試作、設備を計画した。この実験装置は、上記の火炎の安定化をはじめ、いろいろな条件下での高温気流中の燃焼現象に関する基礎研究を行なう目的で設備するものであり、現在、燃焼学部門において設備されている連続燃焼実験装置用の空気供給装置やガス供給装置[5]をなるべく活用するように計画、設計を行なった。

この新しい実験装置においては、空気や燃料ガス流量、圧力、温度などの作動・制御範囲をなるべく広げ、かつ非定常運転時における装置全体の安定性を高め、また、危険防止装置などの安全対策をも十分検討しておく必要があったので、装置の具体的な設計に際しては、細かい点でいろいろ技術的に前もって検討し、解決しておかなければならない問題が少なかつた。したがって、短時日の間に、これらの問題をすべて解決し、設備を完成させることは技術的にみて非常に困難であったので、設備の建設に対して年次計画をたて、その線に沿って現在計画を実施しつつある。本報告は、高温気流連続燃焼実験装置についての報告の第1報であり、昭和44年度に配当された予算によって試作された、この装置の心臓部ともいべき高温気流発生装置（空気加熱筒および高温一常温空気混合器）について述べる。



第1図 高温気流連続燃焼実験装置の流動系統図

## 2. 実験設備の概要

高温気流連続燃焼実験装置は、すでに述べたように、主として高温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するものである。大別して、空気加熱筒、高温空気-常温空気混合器、空気供給ライン、燃料供給ライン、圧力、流量および高温気流温度の計測制御装置、各種燃焼器および超高温弁などより構成される。この実験装置の流動系統図を第1図に示す。この装置は、最大空気流量  $1 \text{ kg/s}$  で、大気圧から  $6 \text{ kg/cm}^2\text{-G}$  までの圧力範囲、常温から  $1500^\circ\text{C}$  までの岐点温度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。この実験装置で使用する空気および都市ガスは、既設の供給装置によって調圧されて供給される [5]。

燃焼実験用空気を加熱する空気加熱器はアルミナ・ペブル蓄熱式で、加熱器上部に取り付けられた燃焼装置（高速度ガスバーナ）により都市ガスを燃焼させてペブルを約  $1600^\circ\text{C}$  にまで加熱し（ただしペブルベッド下部格子温度は  $600^\circ\text{C}$ ）、蓄熱する。実験に際しては、常温の空気を、蓄熱されたペブルベッドの下部から通過させることにより熱交換を行ない、一定温度（ $1450^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ ）の高温空気として超高温弁を経て混合器に送りこむ。この高温空気と加熱器をバイパスして供給される常温の空気とが混合器内で混合され、所定温度に調節された高温空気（この温度は混合される空気流の流量比によって任意に変えられる）が燃焼器に

送られる。都市ガスはペブル加熱用ならびに燃焼実験用燃料として利用される。なお、この加熱器出口に超高温急開弁と超音速ノズルを取り付け、第1図に鎖線で示してあるように空気供給ラインと圧力、流量制御装置を付加すると、この加熱器を用いて超音速の高温気流中の燃焼実験をも行なうことができる。しかし、経費の関係で、今回の計画からこの超音速燃焼関係の設備を一切除外した。

### 3. 空気加熱器の選定

今回企画した高温気流連続燃焼実験装置においては、空気加熱器が最も主要な役割を果しており、この特性によって実験装置全体の性能がきまるので、加熱器のタイプの選定およびその要目の決定には、細心の注意を払い、十分検討を加えた。

電気エネルギーを熱エネルギーに変換して空気を加熱する方法は、多大の電力を必要とするので、現在ならびに将来の研究所の電力事情を考えると、この方法を採用することはほとんど不可能に近い。したがって、高温燃焼ガスを用い、熱交換器を通して、空気を加熱するという方法をとらざるを得なくなる。

燃焼ガスを加熱用熱源として用いる方法は、大別すると二つに分けられる。その一つの方法は、普通、実験室や工業用装置でよく用いられているように、実験と加熱のための燃焼とを同時に並列して行ない、熱交換器を通して燃焼ガスの熱を直接空気に加え、加熱する方法である。もう一つの方法は、実験に先だって加熱のための燃焼を行なわせ、蓄熱体を高温に加熱し、一たん蓄熱させたとえ燃焼を停止し、その後、実験用空気を蓄熱体を通過させて加熱する方法である。前者の方法では時間的な制約がなく、長時間にわたり実験を行なうことができる。後者の方法では蓄熱体の熱容量により最大実験時間が抑えられる。大学の研究室では、実験のための人手がきわめて少なく、実験時には測定そのものに人手がとられるので、装置の運転やその制御のための人手は最小限にとどめるよう工夫しておく必要がある。したがって、加熱燃焼装置と実験装置とを同時に運転するようなことは、なるべく避けることが望ましい。われわれのように、可燃性ガスを取り扱い、燃焼実験そのものに非常に神経を使うような場合には、特にこのことが望まれる。

以上のような理由で、今回計画した高温気流連続燃焼実験装置の空気加熱器として蓄熱式加熱器を採用した。すでに述べたように、蓄熱式加熱器を用いた場合には、その熱容量によって実験装置の作動時間が制約される。したがって加熱筒を小型にし、かつ熱容量を大きくするためには、蓄熱体の加熱温度をできるだけ高くする必要がある。また、蓄熱体の加熱温度そのものは、その加熱方式によりほぼきまり、広い温度にわたって変化させることはできない。したがって、広い温度範囲の高温気流を発生させるため、加熱器を通過した一定温度の高温空気と、加熱器をバイパスして供給される常温の空気とを混合器で混合させ、その流量比によって高温気流の温度を調節するという方式を用いた。

蓄熱式空気加熱器は、最近、極超音速風洞における空気流の液化を防止するための空気予熱器としてよく用いられ、われわれの研究所に設備されているマッハ数8の極超音速風洞では、不銹鋼金網を蓄熱体とした最高加熱温度600°Cの加熱器が用いられている[6]。しかしマッハ数のさらに高い極超音速風洞[7][8]や、高温気流中の空気力学的諸現象を研究する

第1表 蓄熱式ペブル・ベッド加熱器

項目	単位	航技研 極超音速風洞	同 左 縮尺モデル	電気試験所 MHD 発電装置	Langley 高温風洞	Cranfield 超音速燃焼風洞	Boeing SRL 超音速燃焼風洞
蓄熱体	°C	アルミナ・ペブル	アルミナ・ペブル	アルミナ・ペブル	ジルコニア・ペブル	アルミナ・ペブル	アルミナ・ペブル
最高加熱温度	°C	1,200	1,200	1,500	2,260	1,800	1,400
ペブル層下部温度	°C	600	600	600	84.4	17.6	105
最大放熱空気圧力	kg/cm <sup>2</sup> ·G	100	30	3.0	6.8	0.91	3.2
最大放熱空気流量	kg/s	23.5	0.92	3.0	2,230	1,580	1,400
最高放熱空気温度	°C	1,000	1,000	1,430		300~480	300
放熱持続時間	s	50~150	150	300		17.6	
加熱筒設計圧力	kg/cm <sup>2</sup> ·G	133	30				
耐圧試験圧力	kg/cm <sup>2</sup> ·G	200	45				
燃料流量	kg/s	プロパン	プロパン	プロパン	プロパン	ケロシン	天然ガス
燃料混合率	kg/s	0.003~0.016		0.0328 0.7672 過剰空気 50%	酸素添加 過剰酸素 10% 6.5×10 <sup>5</sup>	0.012~0.018 0.25~0.39 過剰空気 50%	3×10 <sup>5</sup>
加熱時間	kcal/hr	(1~6)×10 <sup>5</sup>	2	2		3~4	
加熱送風機	hr	4.5 37kWターボ送風機		ターボ送風機			44 オンス送風機
ペブル重量	kg	8,700	320	5,980	9.5	2,000	25.4, 9.5
ペブル平均直径	mm	25.4, 9.5	19.1, 12.7, 9.5	10.8		12.7	711
ペブル層直径	mm	1,600	308	1,400		711	2,896
ペブル層高さ	mm	1,885	2,000	1,690		2,286	
断熱層厚さ	mm	343	296				
マッハ数		5, 7, 9, 11			4, 6	1.98	2.5, 4.5
測定断面		50 cmφ			10.2 cmφ 26.7 cmφ	5 cmφ	10.2 cm×15.2 cm 10.2 cm×13.1 cm
使用風洞							

ための高温風洞[9], さらに MHD 発電試験装置[10] などでは, アルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) やジルコニア ( $\text{ZrO}_2$ ) などのペブル (球塊) を蓄熱体とした蓄熱式ペブル加熱器がしばしば用いられている. また近年, 超音速燃焼ラムジェットエンジンを対象にした超音速燃焼の研究が著しく盛んになり[11][12], これらの研究に用いられるよどみ点温度のきわめて高い超音速風洞のほとんどが蓄熱式ペブル加熱器を備えている[13][14]. したがって, 高温気流連続燃焼実験装置の加熱器の要目を決定するにあたって, まず, 国の内外において既設されている各種風洞用の蓄熱式ペブル加熱器を比較, 検討した.

第1表に, このような蓄熱式ペブル加熱器の代表的な例の要目がまとめて示されている. 航空宇宙技術研究所に設備されている 50 cm 極超音速風洞用の加熱器の要目をみてもわかるように, マッハ数 10 程度の風洞では, ペブルの加熱温度は精々  $1200^\circ\text{C}$  程度であり, 他の種類の設備に比べて比較的溫度が低く, 熱的条件としてはそれ程厳しいものではない. また, 放熱持続時間が 50~150 秒で割合に短い, 高いマッハ数を得るために放熱空気圧力が非常に高く, かつ空気流量がきわめて多いのが特徴になっている[7][8]. 電気試験所の 1000kW MHD 発電装置においては, なるべく高温の空気流を得るためにペブルの加熱温度が最高約  $1500^\circ\text{C}$  になり, 熱的条件が厳しくなっており, かつ実験の性質上, 放熱持続時間が 300 秒とかなり長くなっている. しかし, 発電機流路内の高温燃焼ガス流のマッハ数がそれ程高くないので, 加熱器内の圧力は比較的 low, かつ, この程度の規模の装置では空気流量もそれ程多くはない. この約  $1500^\circ\text{C}$  という温度は, これまでわが国で試作された風洞用加熱器の加熱温度としては最高のものになっている[10].

きわめて温度の高い気流中での材料の試験, 空気力学的研究や熱伝達の研究のために設備されている Langley の高温風洞の加熱器は, その最高加熱温度がきわめて高く,  $2200^\circ\text{C}$  以上になっており, したがって蓄熱体として融点の低いアルミナ (融点:  $2050^\circ\text{C}$ ) のペブルを用いることができず, 融点が約  $2700^\circ\text{C}$  のジルコニア・ペブルが用いられている. また加熱用の燃焼ガス温度をあげるため, 燃焼用空気に酸素が添加されているのが特徴である[10].

イギリス・Cranfield の The College of Aeronautics とアメリカ・Seattle の Boeing Scientific Research Laboratories (BSRL) に設備されている超音速燃焼風洞は, ほぼ同じような規模のものであり, その空気流量は  $1\text{ kg/s}$  前後, 放熱持続時間は 300 秒になっている. 特に, Cranfield の装置は超音速燃焼の研究専用に設計されており, アルミナ・ペブル蓄熱体を用いて, よどみ点温度  $1580^\circ\text{C}$  の高温空気流をつくることに成功している[13]. 一方, BSRL の装置は, 極超音速風洞にも使用できるように設計されており, したがって加熱器内の圧力が非常に高くなっている. また, この装置ではアルミナ・ペブルの加熱温度がやや低目にとられているので, なるべく高温の空気流を必要とする超音速燃焼の研究のためには, 吐出高温空気流中で少量の水素を燃焼させ, 空気中の酸素濃度を少し犠牲にして空気温度の上昇をはかっている[14].

以上のような比較, 検討を行なった結果, 高温気流連続燃焼実験装置の空気加熱器として, 蓄熱式ペブル加熱器を採用することにし, ペブルとしては比較的入手の容易なアルミナ・ペブルを用いることにした. また, 吐出空気によどみ点温度は, 少なくとも  $1500^\circ\text{C}$  以上を目標にし (したがってペブル加熱温度は  $1600^\circ\text{C}$  以上), 最大空気流量  $1\text{ kg/s}$ , この流量での放

熱持続時間 300 秒，加熱器内圧力 7 ata を設計条件とした。また加熱用燃料として，その供給装置が既設されており，取り扱いが便利な都市ガスを利用することにした。

#### 4. 空気加熱筒の要目と性能

今回，実際に試作した空気加熱筒（加熱器本体および燃焼装置）の要目を第2表および第3表に示す。

第2表 加熱器本体の要目

型式	ペブルベッド蓄熱式
胴板内径	1600 mm
全長	約 3000 mm
ペブル	球状アルミナ・ペブル
成分	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 90% 以上，その他 SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
直径	10.75 mm
気孔率	13%
吸水率	4%
真比重	3.7~3.9 gr/cm <sup>3</sup>
嵩比重	2160 kg/m <sup>3</sup>
ペブルベッド	
直径	850 mm
断面積	0.567 m <sup>2</sup>
高さ	1200 mm
全ペブル重量	1490 kg
空隙率	0.41
単位体積当りのペブル数	0.908 × 10 <sup>6</sup>
"    伝熱面積	329 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
"    熱損失面積	4.71 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
単位長さ当りのペブル重量	1240 kg/m
単位断面積当りの流路断面積	0.41 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
耐火断熱レンガ層	
内径	850 mm
外径	1600 mm
厚さ	375 mm
1 層目	純アルミナ質
2  "  "	高アルミナ質
3  "  "	高温用耐火断熱レンガ
4  "  "	アスベストまたは高温用キャストブル
ペブル最高加熱温度	1600°C
ペブル層下部温度	600°C
レンガ層内壁設計最高温度	1700°C
加熱筒設計圧力	10 kg/cm <sup>2</sup> ・G
"    耐圧試験圧力	15 kg/cm <sup>2</sup> ・G
放熱空気圧力	2~6 kg/cm <sup>2</sup> ・G
最大放熱空気流量	1 kg/s
最高放熱空気温度	1500°C
放熱持続時間	300 s (最大放熱空気流量の場合)

第 3 表 燃焼装置の要目

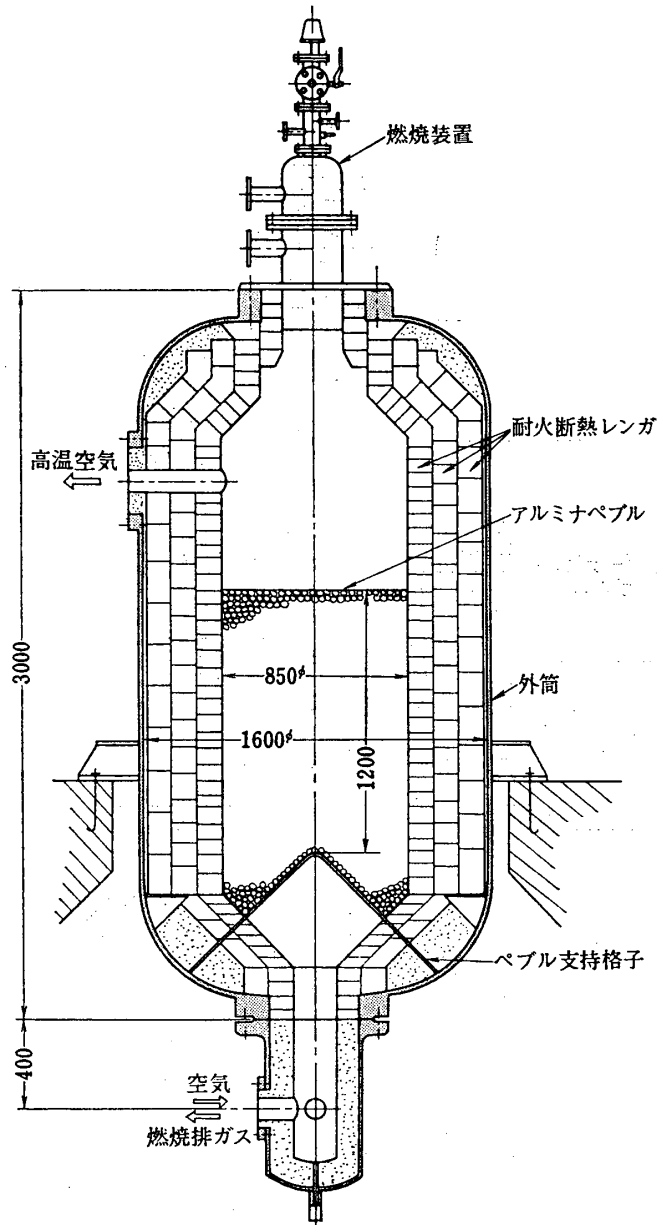
型 式	アフターミックス型パイロットバーナ付高速度ガスバーナ
使用ガス	都市ガス
発熱量	5000 kcal/Nm <sup>3</sup>
燃焼用空気流量	356 Nm <sup>3</sup> /hr
“ ガス流量	60.5 Nm <sup>3</sup> /hr
燃 焼 量	3×10 <sup>5</sup> kcal/hr
燃料・空気混合比	0.8~1.0
加熱時間	3 hr
着火装置	電気着火式
パイロットバーナ	アフターミックス型
燃焼用空気流量	30 Nm <sup>3</sup> /hr
“ ガス流量	7 Nm <sup>3</sup> /hr
燃 焼 量	3×10 <sup>4</sup> kcal/hr
炎監視装置	ウルトラビジョン

加熱器本体は第 2 図に示すように、内径 1600 mm の鋼板溶接構造の容器内に、断熱材としてアスベスト(または高温キャストブル)および 3 層の耐火、断熱レンガを内張りして内径 850 mm とし、この中に直径 10.75 mm のアルミナ・ペブル 1,490 kg を充填したもので(高さ 1,200 mm)、ペブルは加熱器下部に設けられた格子状サポートによって支持されている。加熱器出口部および 100 φ 超高温遮断弁流路の内面にもキャストブル張りをして断熱を行ない、熱損失を防いでいる。

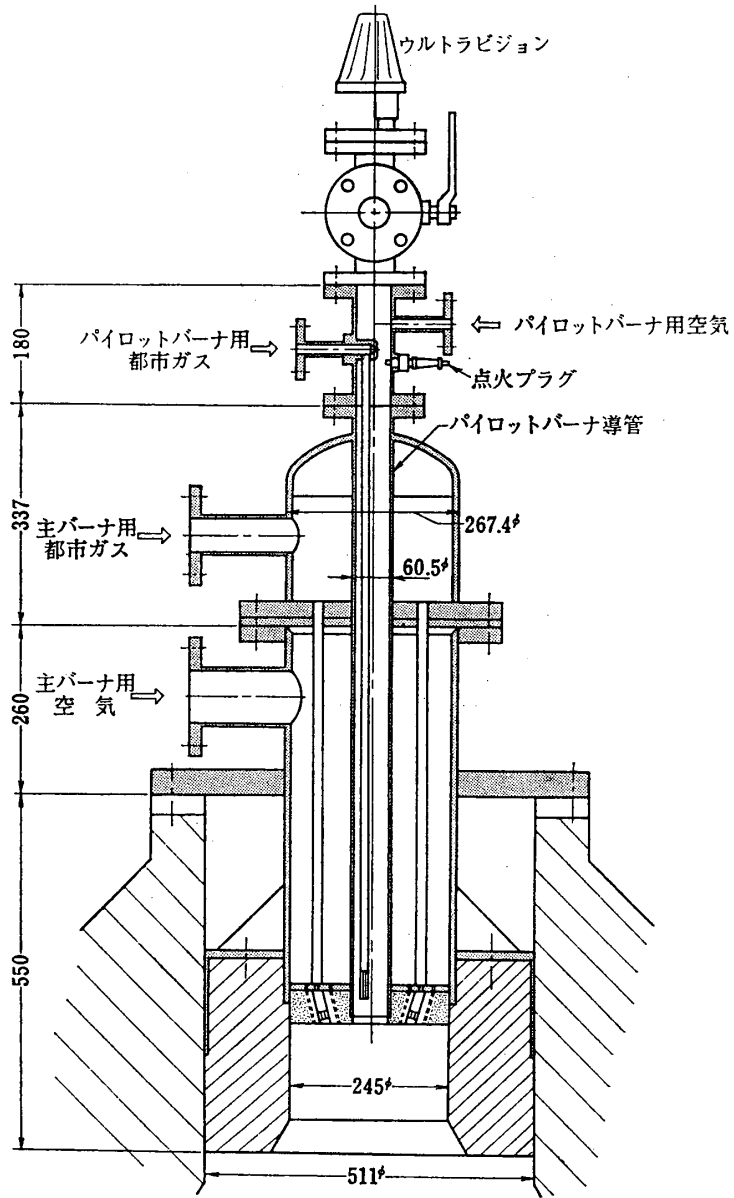
燃焼装置は加熱筒内に充填されているペブルを加熱するためのもので、高速度ガスバーナおよび、空気、都市ガス供給管よりなっている。燃料として都市ガスを用いた点が、今回の装置の一つの新しい特徴で、そのため供給装置が簡単になり、取り扱いも簡便化されている。高速度ガスバーナは、第 3 図に示すようにマルチノズルを有するアフターミックス型で、まず点火プラグによってパイロットバーナに点火して安定なパイロット火炎をつくり、これによって主バーナに点火するようになっている。主バーナの空気流量は、あらかじめ設定された都市ガス流量に対して、比例設定器により燃料・空気混合比が一定になるように制御され、したがって燃焼加熱中のガス温度が常に一定になるように調節される。必要な場合にはこの混合比を変えることにより燃焼ガス温度を変化させることができる。また空気や都市ガス流量を変えて加熱時間を調節することができるが、標準加熱時間は 3 時間である。

燃焼ガス温度を 1500°C、流量を 0.14 kg/s としたときのペブル・ベッドの加熱特性の計算値 [15] を第 4 図 (a)、(b) に示す。第 4 図 (a) は、ペブル・ベッドの初期温度を 0°C、加熱ガス温度を 1500°C 一定とした場合の加熱特性であり、また第 4 図 (b) は、ペブル・ベッドの初期温度を 0°C、加熱ガスの周辺耐火材への熱損失を考慮した場合の加熱特性を示している。加熱時間を 3 時間とした場合、(a) の条件ではペブル・ベッド下部温度が丁度 600°C となっているが、(b) の条件では 600°C に達していないことがわかる。上記の条件に対応した加熱終了時におけるペブル・ベッド内の温度分布をそれぞれ第 5 図 (a)、(b) に示す。(a) の場合には、ペブル・ベッドの上半部の温度がほぼ 1500°C になっているが、

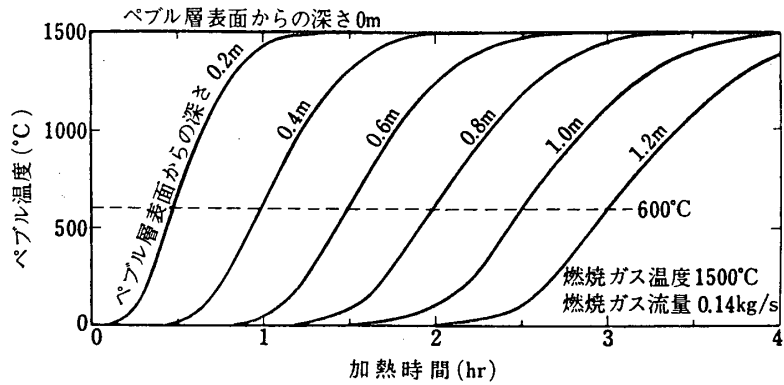




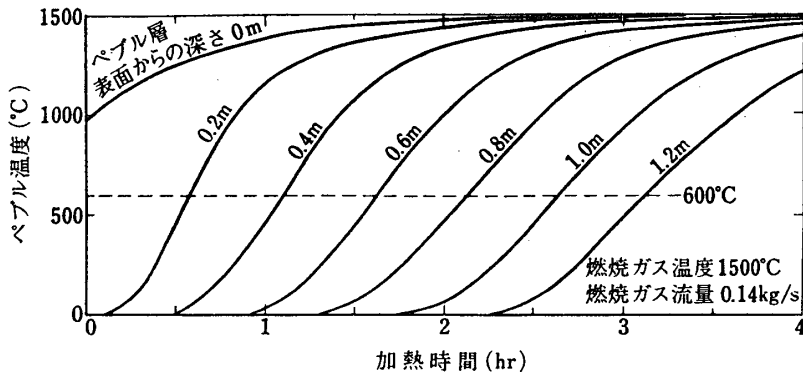
第2図 蓄熱式ペブル・ベッド加熱器本体



第 3 図 蓄熱式ペブル・ベッド加熱用高速ガスバーナ

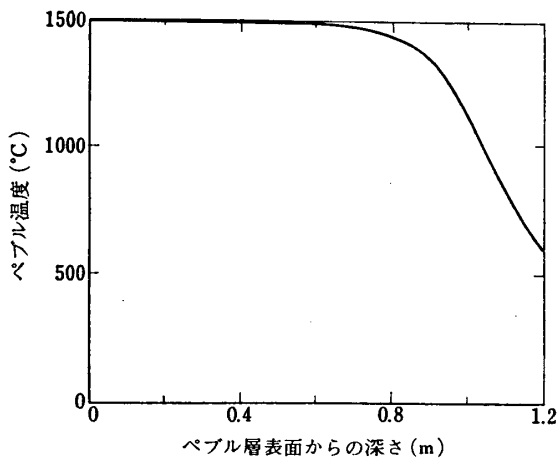


(a) 加熱ガス温度一定の場合

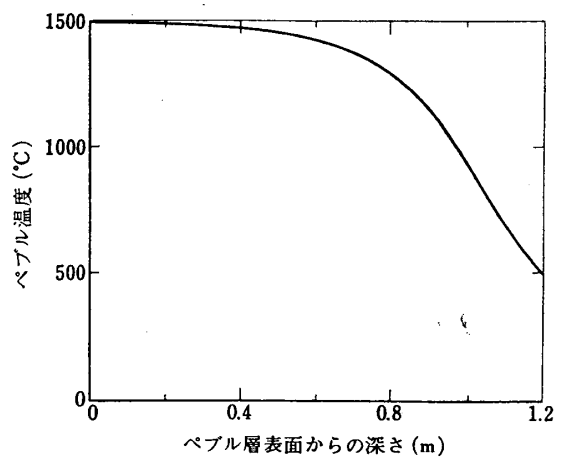


(b) 加熱ガスの周辺耐火材への熱損失を考慮した場合

第4図 ペブル・ベッド加熱特性

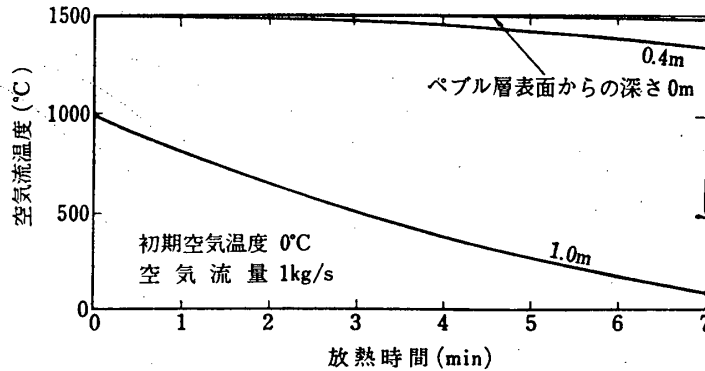


(a) 加熱ガス温度一定の場合

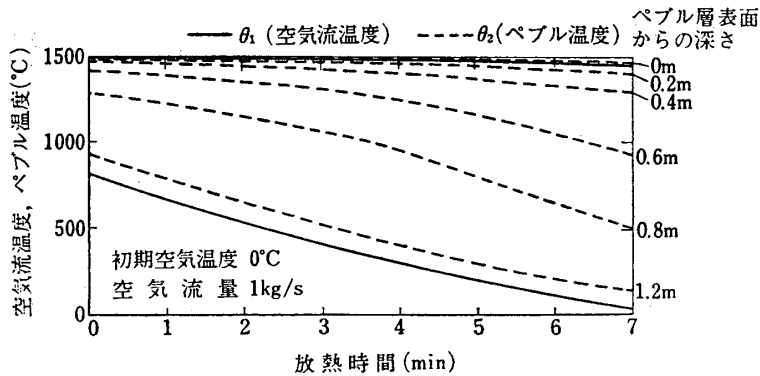


(b) 加熱ガスの周辺耐火材への熱損失を考慮した場合

第5図 加熱終了時におけるペブル・ベッド内温度分布



(a) 放熱開始初期温度分布が第5図(a)の場合



(b) 放熱開始初期温度分布が第5図(b)の場合

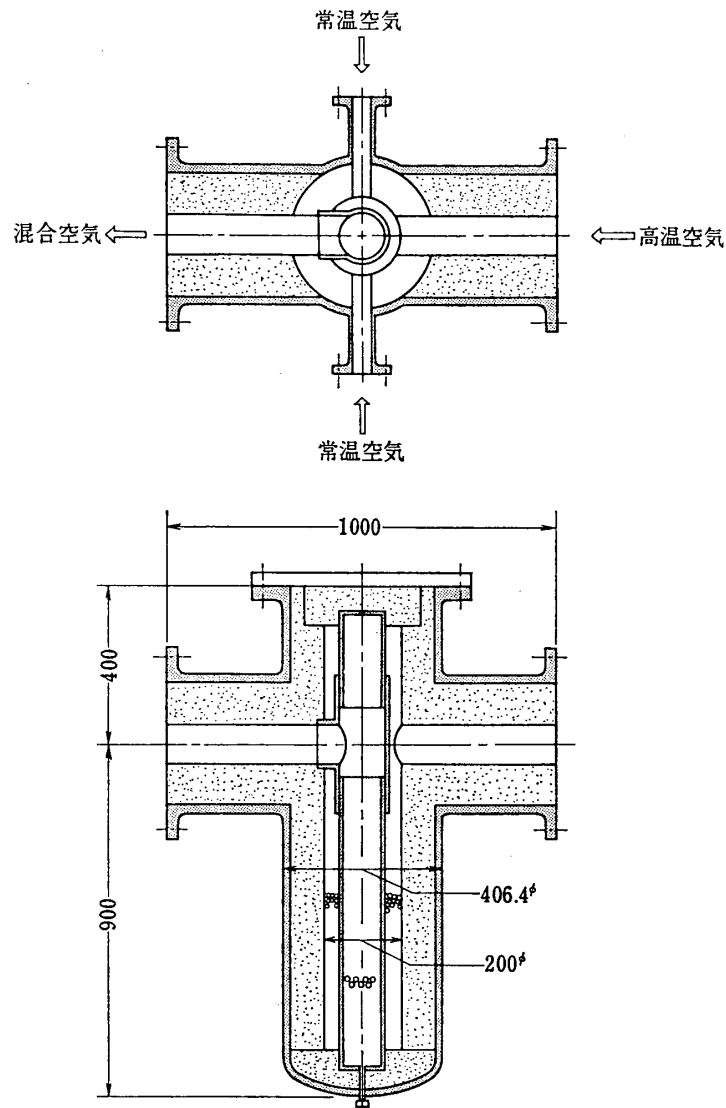
第6図 ペブル・ベッド放熱特性

(b)の場合にはペブル・ベッド上半部の温度も少し悪くなっている。

次に、空気加熱器として最も重要なその放熱特性について調べてみる。加熱されるべき空気の初期温度を  $0^{\circ}\text{C}$ 、流量を  $1\text{ kg/s}$  とした場合のペブル・ベッドの放熱特性を第6図 (a), (b) に示す。これらの特性は第5図 (a), (b) に示された加熱終了時のペブル・ベッド内温度分布をもとにして計算によって求められたものであり、 $\theta_1$  は空気流温度、 $\theta_2$  は蓄熱体温度を示している。放熱開始5分後における加熱器からの吐出空気温度は、(a)の場合には  $1500^{\circ}\text{C}$  からほとんど低下せず、(b)の場合でも 2% 程度の低下がみられるにすぎず、実用上、放熱持続時間5分以内では吐出空気温度はほぼ一定とみなすことができる。なお、当然のことであるが、空気流量が減るにつれて吐出空気温度を一定に保つ放熱持続時間は次第に増大する。

### 5. 超高温遮断弁および混合器

超高温遮断弁は、加熱器と混合器の間に設けられる内径  $100\text{ mm}$  の弁で、最高使用温度は  $1500^{\circ}\text{C}$ 、耐圧は  $15\text{ kg/cm}^2\cdot\text{G}$  となっており、弁の作動は空気圧によって行なわれ、全開から全開（全開から全閉）に要する時間は  $2\sim 5$  秒である。



第7図 高温空気-常温空気混合器

混合器は100φ超高温遮断弁の直後に設けられ、加熱器を通過してきた約1500°Cの高温空気と、加熱器をバイパスして送られてきた常温空気とを混合して、任意の温度の高温空気を燃焼器に供給するためのものである。その構造を第7図に示すが、鋼板内壁は遮断弁同様、キャスト張りになっている。

## 6. あとがき

以上、われわれが現在製作しつつある高温気流連続燃焼実験装置についての報告の第1報として、昭和44年度に配当された研究費によって試作した高温気流発生装置(空気加熱筒および混合器)について述べた。なお昭和45年度に配当された研究費によってこの燃焼実験装置の流量、圧力、温度の制御・計測記録装置一式を試作し、昭和46年度の予算でこれら各

機器のすえ付、配管、計装工事を行ない、高温気流連続燃焼実験装置として完成させる予定で、現在鋭意努力中である。

この実験装置の建設に際しては、燃焼学部門全員の総力を結集してことに当たっているが、研究所各所員からも暖かい激励、御援助と多くの助言をいただいた。研究費の配当に関して航空安全委員会、特に第一専門委員会の委員各位から特別な御配慮をいただき、またメーカーとの交渉、契約について特に事務部管理課長 栗原文良氏、第二契約掛長 尾町松勇氏に御尽力をたまわった。以上の多くの方々の御援助、御協力に対しここに厚く御礼申し上げる。またこの装置の製作を担当され、絶大な協力をたまわった三菱重工業株式会社の各位、特に山口富夫次長、古山 雪課長、福栄久宜、松井一浩、前波宏和、石井康裕の各技師に対し感謝の意を表したい。

1971年4月30日 原動機部

#### 参 考 文 献

- [1] S. S. Penner and F. A. Willams: Recent studies of flame stabilization of premixed turbulent gases, *Appl. Mech. Rev.*, Vol. 10, No. 6 (1957), pp. 229/237.
- [2] 辻 廣: 高速気流中における火炎安定化, *日本航空学会誌*, 第10巻, 第99号 (1962), pp. 122/123.
- [3] F. A. Williams: Flame stabilization of premixed turbulent gases, "Applied Mechanics Surveys", Ed. by H. N. Abramson, H. Liebowitz, J. M. Crowley and S. Juhasz, Spartan Books, Washington, D. C. (1966), pp. 1157/1170.
- [4] J. H. Childs: Flame stabilization, "Design and Performance of Gas Turbine Power Plants", Ed. by W. R. Hawthorne and W. T. Olson, *High Speed Aerodynamics and Jet Propulsion*, Vol. 11, Princeton Univ. Press, Princeton (1960), pp. 119/165.
- [5] 辻 廣, 堀 守雄, 岡野達夫, 山岡市郎: 新たに改造設備された連続燃焼実験装置, *東京大学宇宙航空研究所報告*, 第1巻, 第4号(B) (1965), pp. 475/498.
- [6] 超音速気流総合実験室建設委員会: 超音速気流総合実験室建設報告, *東京大学航空研究所集報*, 第3巻, 第6号(B) (1963), pp. 389/618.
- [7] 極超音速風洞建設グループ: 50 cm 極超音速風洞の計画と構造, *航空宇宙技術研究所報告*, TR-116 (1966), 64 p.
- [8] 山口富夫, 福栄久宜: 蓄熱式ペブル加熱器の熱特性, *三菱重工業株式会社*, M. T. Bull., No. 48 (1967), 25 p.
- [9] O. F. Trout, Jr.: Design, operation, and testing capabilities of the Langley 11-inch ceramic-heated tunnel, *NASA TN D-1598* (1963), 32 p.
- [10] 福栄久宜, 和田勝四郎: 通産省電気試験所 MHD 発電用 Pebble Heater の熱特性, *三菱重工業株式会社研究速報*, 25 QG 3436 (1967), 28 p.
- [11] 辻 廣: 超音速燃焼, *日本機械学会誌*, 第70巻, 第583号 (1967), pp. 1205/1214.
- [12] 辻 廣: 超音速燃焼, *日本機械学会*, 第306回講習会教材 (1969), pp. 63/73.
- [13] R. A. Cookson: Supersonic combustion studies, I. Design, construction and performance of a high-enthalpy facility, *The College of Aeronautics, Cranfield, CoA Report No. 200* (1967) 27 p.

- [14] R. P. Shreeve and J. K. Richmond: Design and operation of the BSRL pebble bed heater-windtunnel facility, BSRL Flight Sci. Lab., Report No. 110 (1966), 42 p.
- [15] 福栄久宜: 東京大学宇宙航空研究所高温気流発生装置基本計画 No. 2 (1969), 17 p.