

貯湯式ガス焚温水ボイラの開発とその特性

Development of Domestic Gas Hot Water Boiler and Its Characteristics

本田 寿一*
Juichi Honda

吉田 貞夫*
Sadao Yoshida

永井 輝久*
Teruhisa Nagai

要 旨

セントラルヒーティングが普及するにつれ、熱源となる温水ボイラの需要は急増している⁽¹⁾。セントラルヒーティング用温水ボイラは灯油焚(だ)きのものが多い。ガス焚温水ボイラについてみると、熱出力が比較的小さく、貯湯量が比較的大きい給湯用としての需要が伸びている。しかし、給湯と暖房が兼用できるような大形のガス焚温水ボイラの場合は燃料費が高くつくので、その割に需要台数は少なく、灯油焚きのものほど機種もそろっていない。

ガス燃料は、近い将来必ずその需要量が急激に増大するといわれているので⁽²⁾⁽³⁾、セントラルヒーティング用ガス焚温水ボイラの需要は急増すると考えられる。

そこで日立製作所では、先に報告したガスファーンエスの開発につづき、燃料として都市ガス C-5 を使用する温水ボイラを開発した。

本稿は、開発した都市ガス焚温水ボイラの仕様、構造、特性について述べるものである。

1. 緒 言

セントラルヒーティングが普及するにつれて、熱源となる温水ボイラの需要は急増している。このセントラルヒーティング用温水ボイラとしては、燃料費の安い灯油焚きのものも多く、ガス焚きのものが使用されることは少ない。これは、ランニングコストが高くつくことが第一の理由と考えられる。

近年、ガスの低温液化技術の進歩により天然ガスを液化して海外の天然ガスを一度に大量輸入できるようになったため、各ガス会社では、天然ガス転換計画の具体化を図っている。中でも東京瓦斯株式会社では、昭和 52 年までに、東京郊外にメインパイプラインを完成し、天然ガスに転換すると発表し注目されている。またガス燃料は公害問題解決に有利であることから、東京、大阪などでは、新築されるビルの暖房の熱源として広く採用されつつある。さらに、諸外国のエネルギー変遷をみると、ガス燃料は液体燃料の次にくる燃料の主流をなしてきている。そのほか、ガス燃料の便利さを考慮すると、わが国においても将来、ガス燃料は燃料の主流をなすと考えられる。ガス燃料が普及してくれば当然、セントラルヒーティング用温水ボイラもガス焚きのものが要求されるので、近い将来、熱出力の大きい暖房給湯兼用形のガス焚温水ボイラの需要が急増すると推定される。

筆者らは、燃料として都市ガス C-5 を使用するセントラルヒーティング用温水ボイラの開発を行ない、BT-210 形ガス焚温水ボイラを完成した。BT-210 形は熱出力 20,000 kcal/h、貯湯量 150 l の給湯暖房兼用可能な貯湯式温水ボイラである。

BT-210 形は通商産業省指定機関、財団法人、日本ガス機器検査協会の形式検査を受け、形式承認を得ている。

2. 開発の目標概要

前章に述べたように、ガス焚温水ボイラの要求が高まり、その需要量は急増すると考えられる。そこでガス焚温水ボイラを開発するにあたって、次のような目標を掲げた。

- (1) 家庭用ガス燃料は都市ガス、天然ガス、L.P.G. の三つに大別できるが、温水ボイラの需要量の多い東京地区に供給されている都市ガス C-5 (5,000 kcal/m³) を良好に燃焼でき

ること。

- (2) 家庭用温水ボイラとしてじゅうぶんな能力を有するものとし、熱出力 20,000 kcal/h 貯湯量 150 l であること。
- (3) 都市ガスは取扱いさえ誤まらなければ便利な燃料であるが、取扱いをまちがえると、爆発着火や一酸化炭素中毒を引き起こすことがあるので、安全性を第一に考え、未燃ガスが大量に漏れないものであること。
- (4) 家庭用を主目的にすることから、点火操作が簡単で運転中の騒音が低いこと。

3. 開発したガス焚温水ボイラ

3.1 仕 様

開発した貯湯式ガスボイラ（以下ガスボイラと称す）の主要仕様は表 1 に示すとおりである。

3.2 構 造

図 1 は開発したガスボイラの外観図、図 2 はその構造図である。

開発したガスボイラは、すでに販売されている日立ファミリーボイラ BO-210 形と同一形状の単一煙管式熱交換器と、新たに開発した三連丸形バーナを組み合わせたものである。スイッチボックス内部に主要制御部品を収納し、操作部および運転表示はすべてスイッチボックス正面にまとめてある。点火は点火レバーに連動した高圧電弧式点火装置により行なわれ、運転スイッチの ON-OFF により主バーナの燃焼、停止が行なわれる。使用中は、湯温調節器の働きで自動運転が行なわれる。

3.2.1 バ ー ナ

日立製作所では、これまでに L.P.G 用温水ボイラ BP-150、BP-250 形の 2 機種を製作販売した。これらの機種に使用されているガスバーナの構造概略は図 3 (a) に示すとおりである。BP-250 形に使用したガスバーナは、バーナヘッド・混合管およびノズルが 14 個からなるブンゼン式ガスバーナである。このバーナを参考にして都市ガス C-5 燃焼用のバーナを開発した。図 3 (b) は今回開発したガスバーナの概略を示したものである。

ガスバーナには、燃焼用一次空気の理論空気量に対する割合（以下一次空気率という）によって、赤火式 (0%)、セミブンゼン式 (40% 以下)、ブンゼン式 (40~70%)、全一次空気式 (100%) などがあるが⁽⁴⁾、一般に家庭用ガス器具にはブンゼン式ガスバー

* 日立製作所柳井工場

表1 主 要 仕 様

項 目	仕 様
形 式	BT-210
外 形 寸 法	幅 795×奥行 640×高さ 1,715 mm
外 装	高級仕上鋼板製合成樹脂塗料焼付仕上
熱 出 力	20,000 kcal/h
貯 湯 量	150 l
出 湯 温 度	55～80℃
熱 交 換 器 内 面 処 理	グラスライニング仕上
燃 焼 装 置	燃 料
	都市ガス (C-5)
	燃 料 消 費 量
	5.5 Nm ³ /h
	バ ー ナ
	ブンゼンバーナ
安 全 装 置	着 火 方 式
	高圧電弧着火
	通 風 方 式
電 源	自 然 通 風
	制 御 方 式
	口火安全装置・湯温調節器による自動運転
入 力	口火安全装置・点火安全スイッチ
	過熱防止安全スイッチ・安全弁
接 続 排 気 筒	A. C. 100 V, 50/60 Hz (共用)
重 量	8 W (定常燃焼時) 11 W (点火時)
付 属 品	160 φ (内径)
	95 kg
	ドラフトダイバータ・安全弁・ガバナ
取 扱 説 明 書	取扱説明書・排気筒接手・クロズニップル・ユニオン

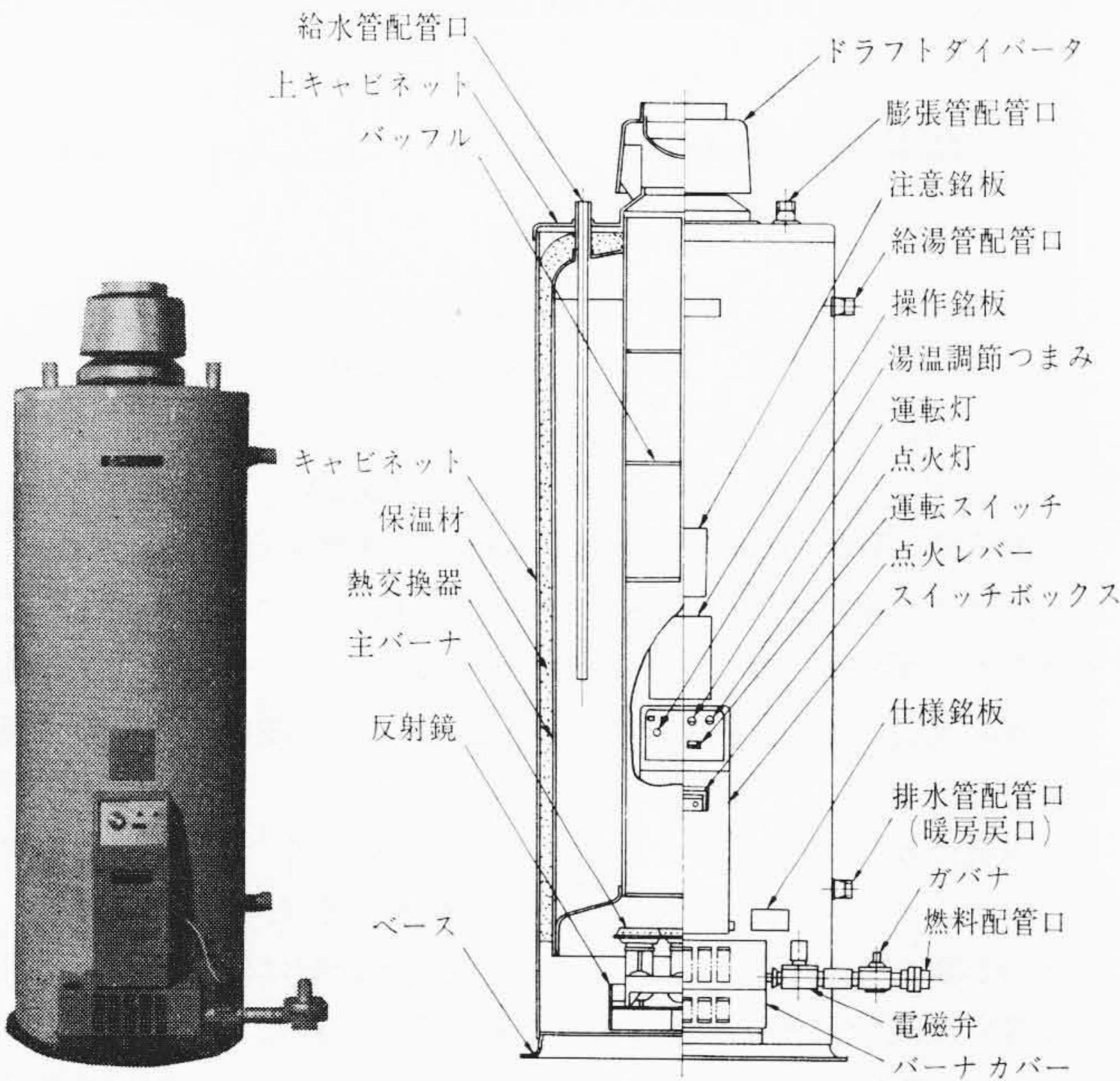
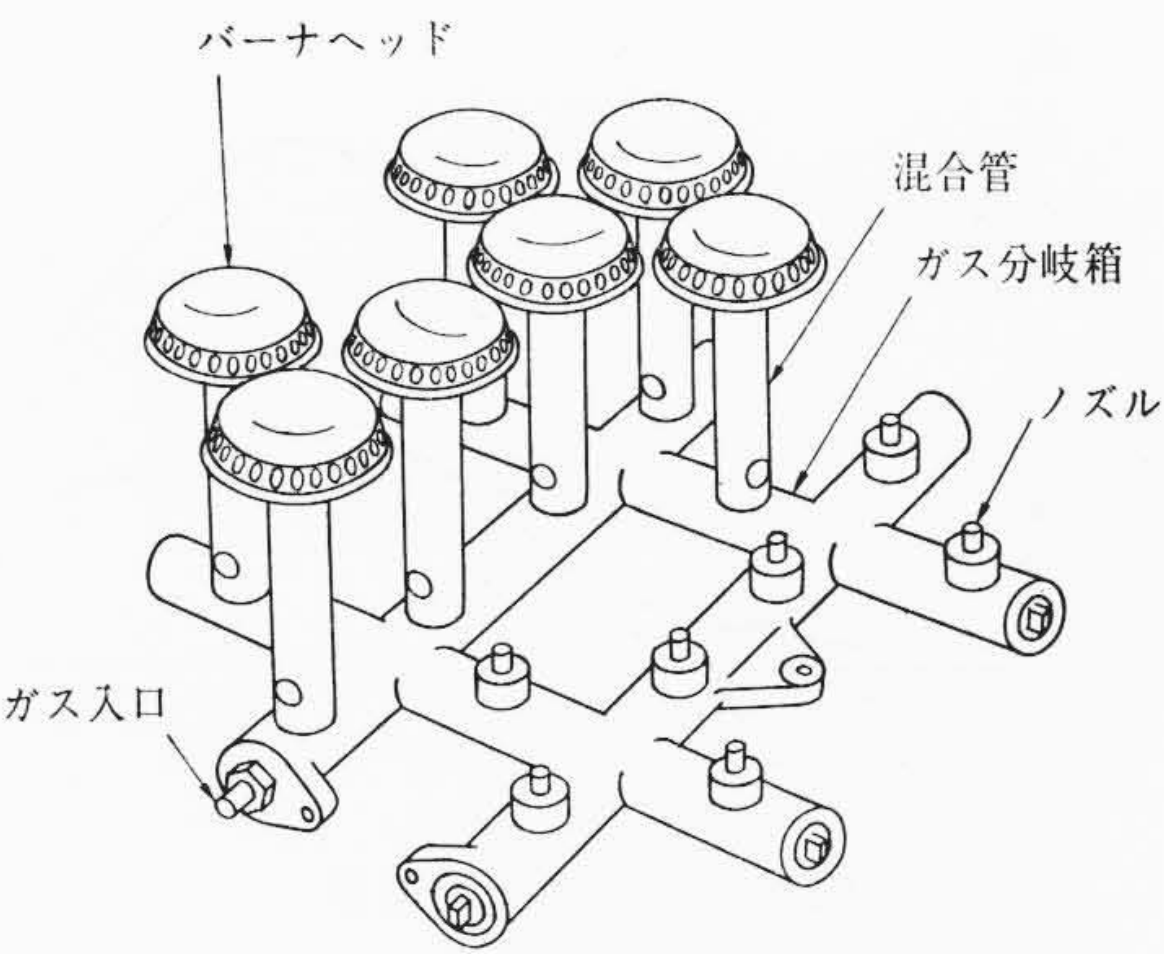


図1 BT-210 形 図2 BT-210 形の構造

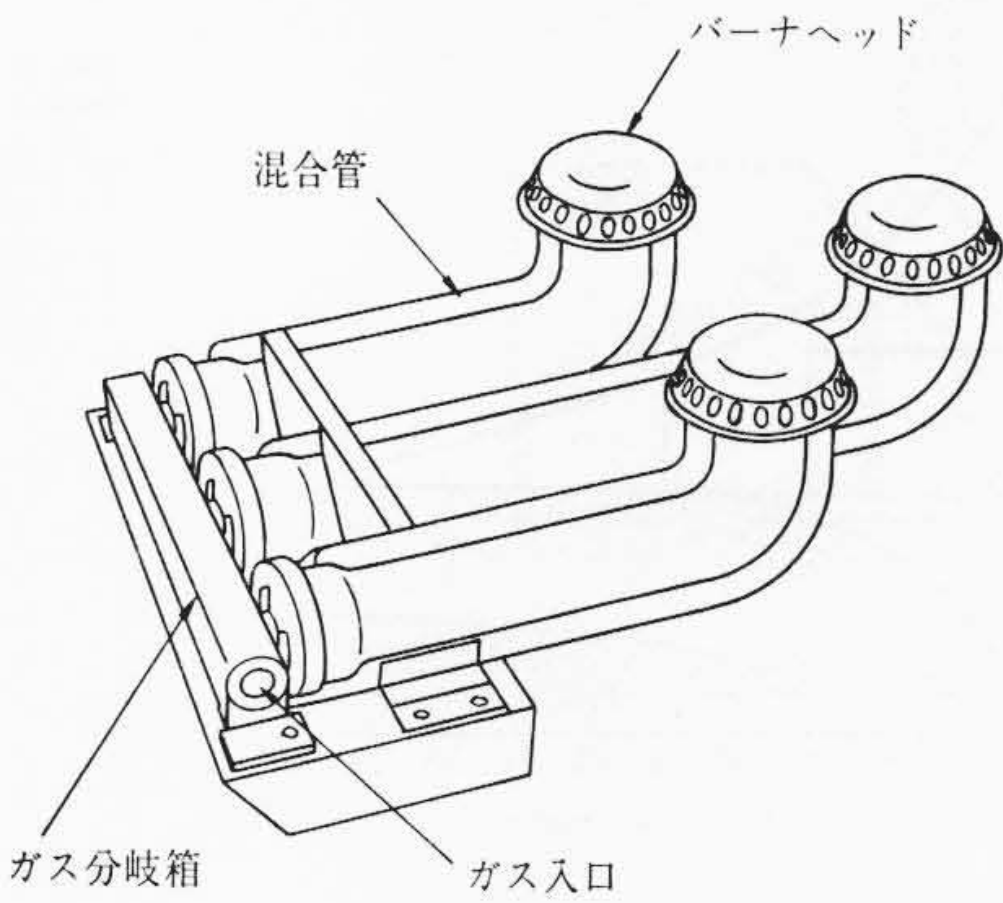
ナが多く使用される。図4はブンゼン式ガスバーナの代表的構造例を示したものである⁽⁵⁾。ブンゼン式ガスバーナの構造は、ガスを噴出するノズル、燃焼用空気を吸引し前述のガスと混合させる混合管、その吸引空気の吸引量を調節するエアシャッタ、ガスと空気の混合気を噴出し、火炎を形成する炎孔、その炎孔を配列したバーナヘッドから構成されている。

ブンゼン式ガスバーナの火炎は図5に示すように、ガスと空気の混合気の噴出速度と燃焼速度が釣り合った(1)式が成立する状態で形成される⁽⁶⁾。

$$U_b = U_f \sin \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots (1)$$



(a) BP-250形用ガスバーナ



(b) BT-210形用ガスバーナ

図3 ガスバーナの概略図

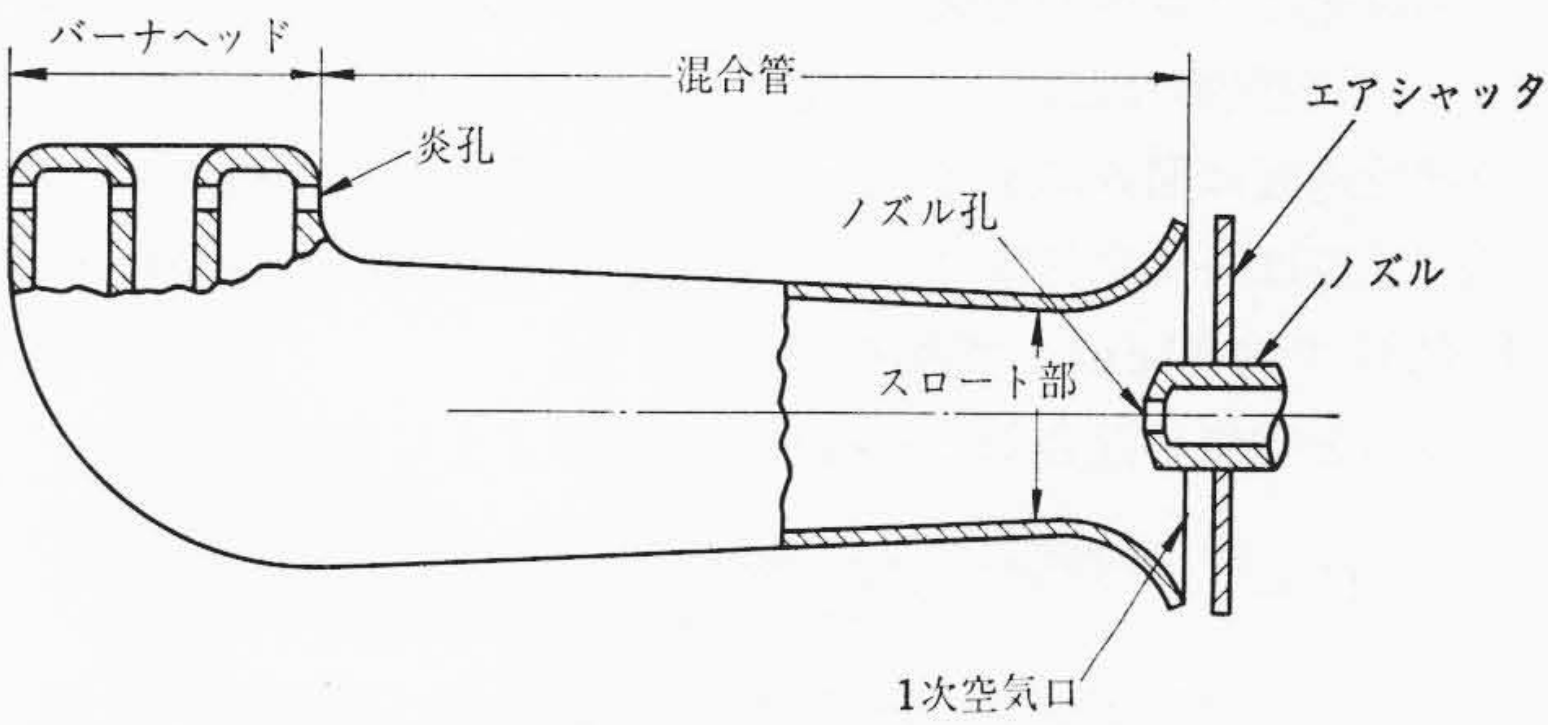


図4 ブンゼン式ガスバーナの代表的構造

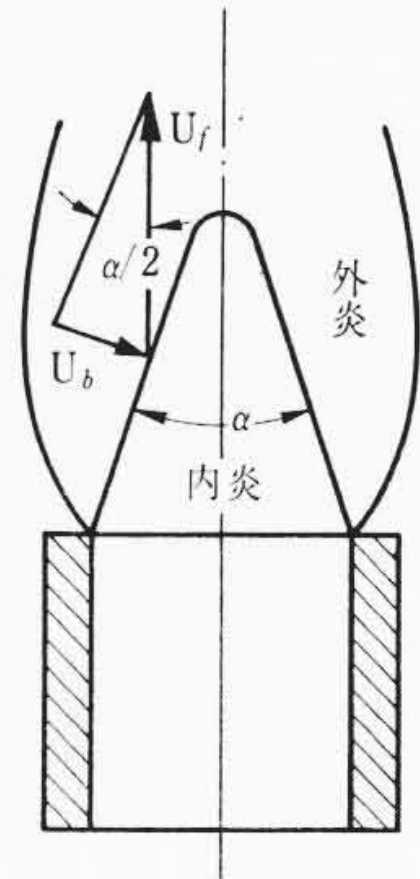


図5 火炎の速度平衡

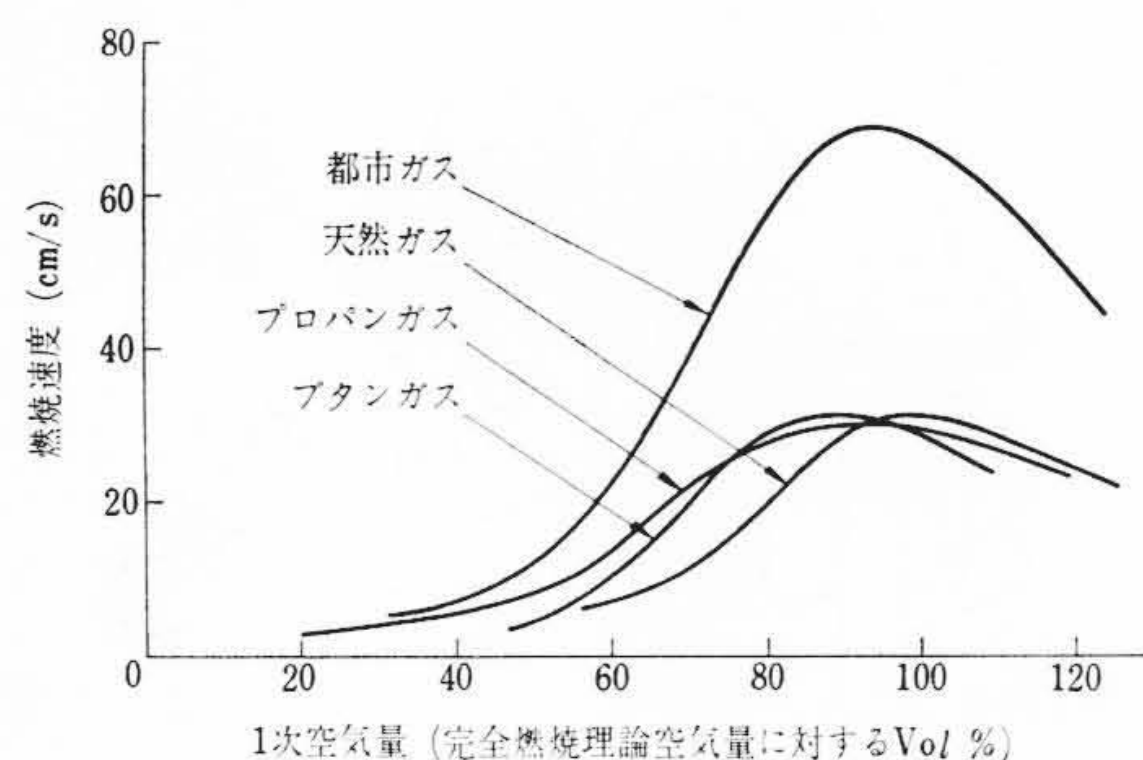


図6 ガスの燃焼速度

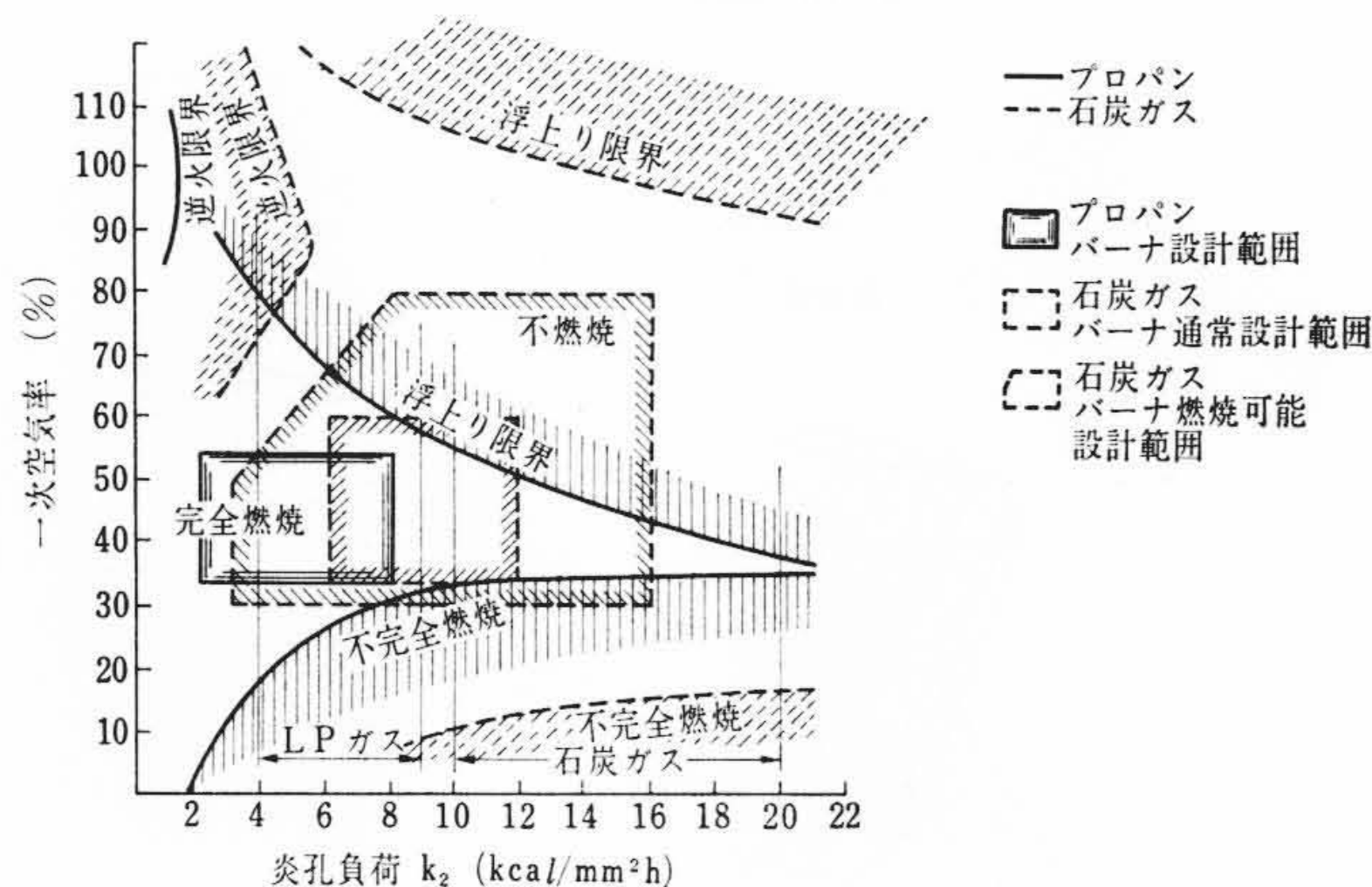


図7 ブンゼン式ガスバーナの火炎の状態

ここで

U_b : 燃 焼 速 度 (cm/s)

U_f : ガスと空気の混合気の噴出速度 (cm/s)

α : 内 炎 の 頂 角 (rad)

燃焼速度はガスの種類、ガスと空気の混合気の温度、周囲の圧力、一次空気率などによって変化する。常温、常圧時の各種のガスの燃焼速度は図6に示すとおりである。図6に示されるように、燃焼速度は一次空気率によって変化し、都市ガスで約70cm/s、L.P.Gで約30cm/sである。

ガスと空気の混合気の噴出速度は次のように示される。

$$U_f = \frac{\text{単位時間あたりのガスと空気の混合気体の噴出量}}{\text{バーナヘッドの炎孔総面積}} \\ = \frac{\text{ガス消費量}(1 + \text{理論空気量} \times \text{一次空気率})}{\text{バーナヘッドの炎孔総面積}}$$

ガスの種類、一次空気率が決まっている場合、[ガス消費量(1+理論空気量×一次空気率)]はガスバーナの単位時間あたりの燃焼熱量(以下炎孔負荷という)に比例する。 $U_b \gg U_f$ になると火炎は炎孔からバーナヘッド内に侵入し、混合管内を通過してノズルまで達する(フラッシュバックする)。 $U_b \ll U_f$ になると、火炎は炎孔から浮きあがり、不安定となる(リフトする)。さらに不安定となると吹き消される(ブローオフする)。したがって、ガスバーナの火炎の状態は炎孔負荷と一次空気率によって図7のように変化する⁽⁷⁾。ガスバーナの形状決定にあたっては、燃焼熱量を左右するノズルの孔形状、一次空気率を左右する混合管の形状、火炎を形成するバーナヘッドの形状(バーナヘッドが複数個ある場合はその配列も)などが設計要素になる。

ガスバーナの燃焼熱量は(2)式のように表わされる。

$$Q_b = 0.011 d_1^2 n K_1 \sqrt{P} \frac{H_0}{\sqrt{\gamma}} \quad (2)$$

表2 流 出 係 数

ノズル孔径	1.0~1.5	1.6~2.0	2.1~2.5	2.6~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1以上
流出係数	0.722	0.752	0.775	0.793	0.813	0.823	0.835

表3 炎孔負荷および炎孔最大径

	単 位	都 市 ガ ス	天 然 ガ ス	L. P. G.
炎 孔 負 荷	kcal/mm ² ・h	10~20	4~8	4.5~9
炎孔の最大径	mm	2.5	3.2	2.8~3.2

ここで

Q_b : ガスバーナの燃焼熱量 (kcal/h)

d_1 : ノズルの孔径 (mm)

n : ノズルの個数

K_1 : ノズルの流出係数

P : ノズルにかかるガス圧力 (mmAq)

H_0 : ガスの高位発熱量 (kcal/Nm³)

γ : ガスの比重 (空気=1)

流出係数 K_1 はノズルの孔径によって表2に示す値となる⁽⁸⁾。(2)式より明らかなように、燃焼熱量は $H_0/\sqrt{\gamma}$ (ウォッベ指数)で示されるガスの種類、 $\sqrt{p}$ で示されるガスの供給状態、 $d_1^2 n K_1$ で示されるノズルの孔形状などによって決まる。

火炎を形成する円形炎孔の炎孔面積総和と燃焼熱量には(3)式の関係がある。

$$H_0 V_g = K_2 \frac{\pi}{4} d_2^2 m n \quad (3)$$

ここで

V_g : ガス消費量 (Nm³/h)

K_2 : 炎 孔 負 荷 (kcal/mm²・h)

d_2 : 炎 孔 径 (mm)

m : バーナヘッド1個あたりの炎孔数

A.G.A.(American Gas Association)が推奨する炎孔負荷 K_2 の値はガスの種類によって異なるが、その値を示すと表3のようになる⁽⁴⁾。 K_2 を大きくすると細長く、柔らかな、火炎温度が比較的低い火炎となる。 K_2 を小さくすると短く、鋭い、高温の火炎が得られる。

炎孔径 d_2 が小さすぎるとブローオフしやすく、大きすぎるとフラッシュバックしやすい。A.G.A.が推奨する d_2 の最大径を示したのが表3である⁽⁴⁾。適当な大きさと適当な数に決められた炎孔は各炎孔間の火移りが容易に行なわれるよう接近して配列しなければならないが、反面、火炎に二次空気をじゅうぶん供給できる距離を確保する必要がある。

一次空気吸引効果がじゅうぶん得られる混合管の各部寸法間の関係は(4)~(7)式で示される⁽⁵⁾。

$$\frac{\pi}{4} D_t^2 = (0.3 \sim 0.7) \frac{\pi}{4} d_2^2 m \quad (4)$$

$$L = (6 \sim 10) D_t \quad (5)$$

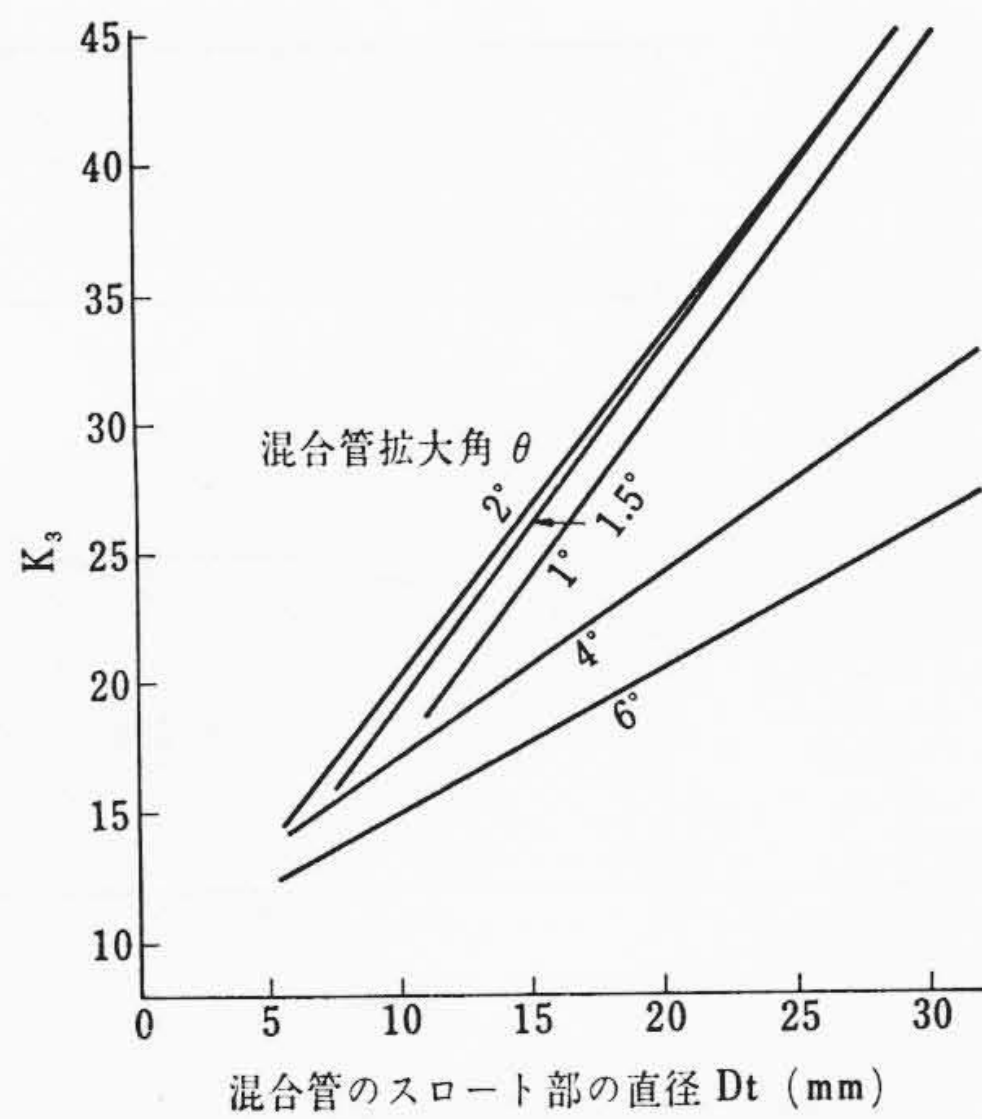
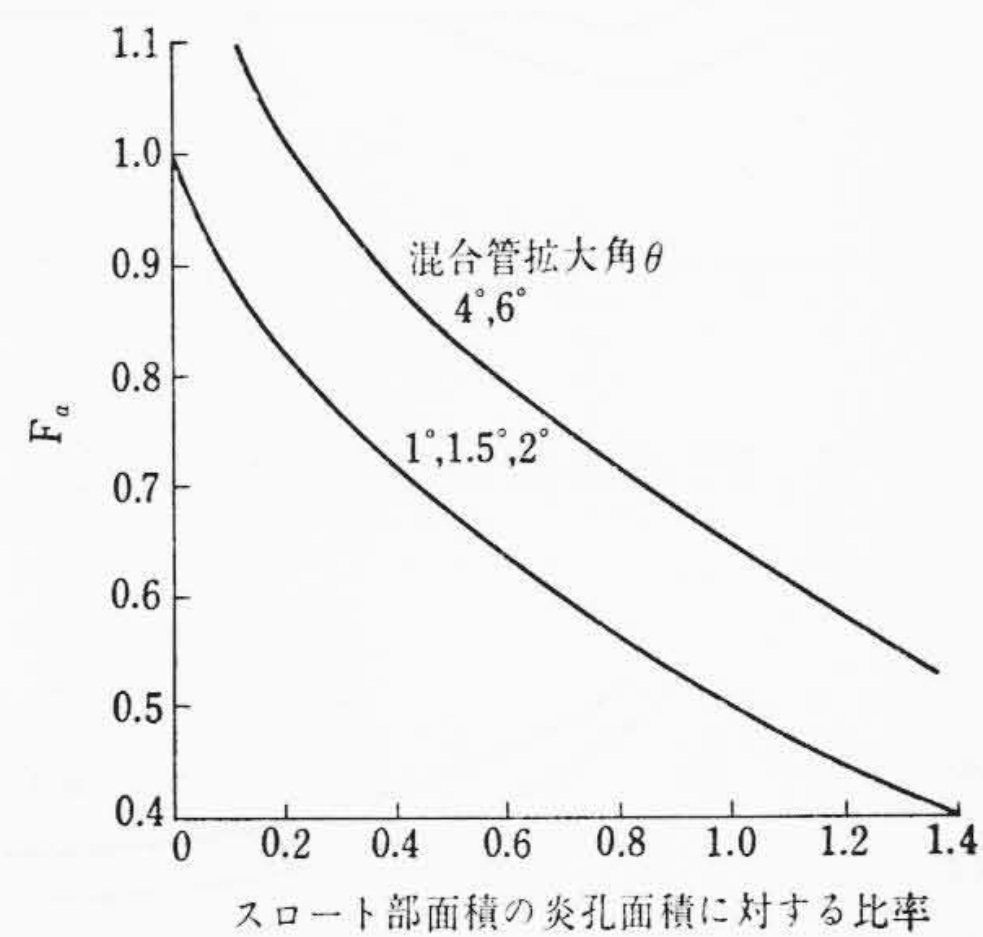
$$D_0 = L \tan \frac{\pi \theta}{180} \quad (6)$$

$$\frac{\pi}{4} D_t^2 \geq 1.25 \frac{\pi}{4} d_2^2 m \quad (7)$$

ここで

D_t : 混合管スロート部直径 (mm)

L : 混 合 管 長 さ (mm)

図8 混合管形状に関する定数 K_3 図9 混合管形状に関する定数 F_a

D_0 : 混合管出口部直径 (mm)

θ : 混合管拡大角 (度)

D_i : 混合管入口部直径 (mm)

各部寸法が(4)～(7)式の関係にある混合管の一次空気吸引能力は A. G. A. が示す実験式によると(8)式ようになる。

$$R = 0.0895 \frac{K_3 \cdot F_a \cdot F_b \cdot \sqrt{\frac{300}{T}}}{V_g^{0.45} \cdot \sqrt{\gamma_m}} \dots\dots\dots (8)$$

ここで

R : ガス 1 m³ あたりの空気ガス混合気の容積 (m³)

K_3 : 混合管スロート部直径と拡大角に関する定数

F_a : 炎孔面積と混合管スロート部面積の比率に関する定数

F_b : 炎孔の大きさと深さに関する定数

T : バーナヘッド内の空気ガス混合気の絶対温度 (°K)

γ_m : バーナヘッド内の空気ガス混合気の比重 (空気=1)

(8)式の最終項 $\sqrt{\frac{300}{T}}$ が示すように、着火後バーナが加熱されてくると、混合管の一次空気吸引能力は減少する傾向を示している。 K_3 , F_a , F_b は図 8～10 に示すようになる⁽⁵⁾。

立形炉筒煙管式熱交換器に適用した新開発ガスバーナの外觀は図 11 に、その諸元は表 4 に示すとおりである。

3.2.2 熱 交 換 器

熱交換器としては、BO-210 形と同一形状の熱交換器を使用することを前提とし、バーナと熱交換器とを組み合わせたときに所要の熱出力を確保できるとともに良好燃焼を行なう位置関係を決めた。

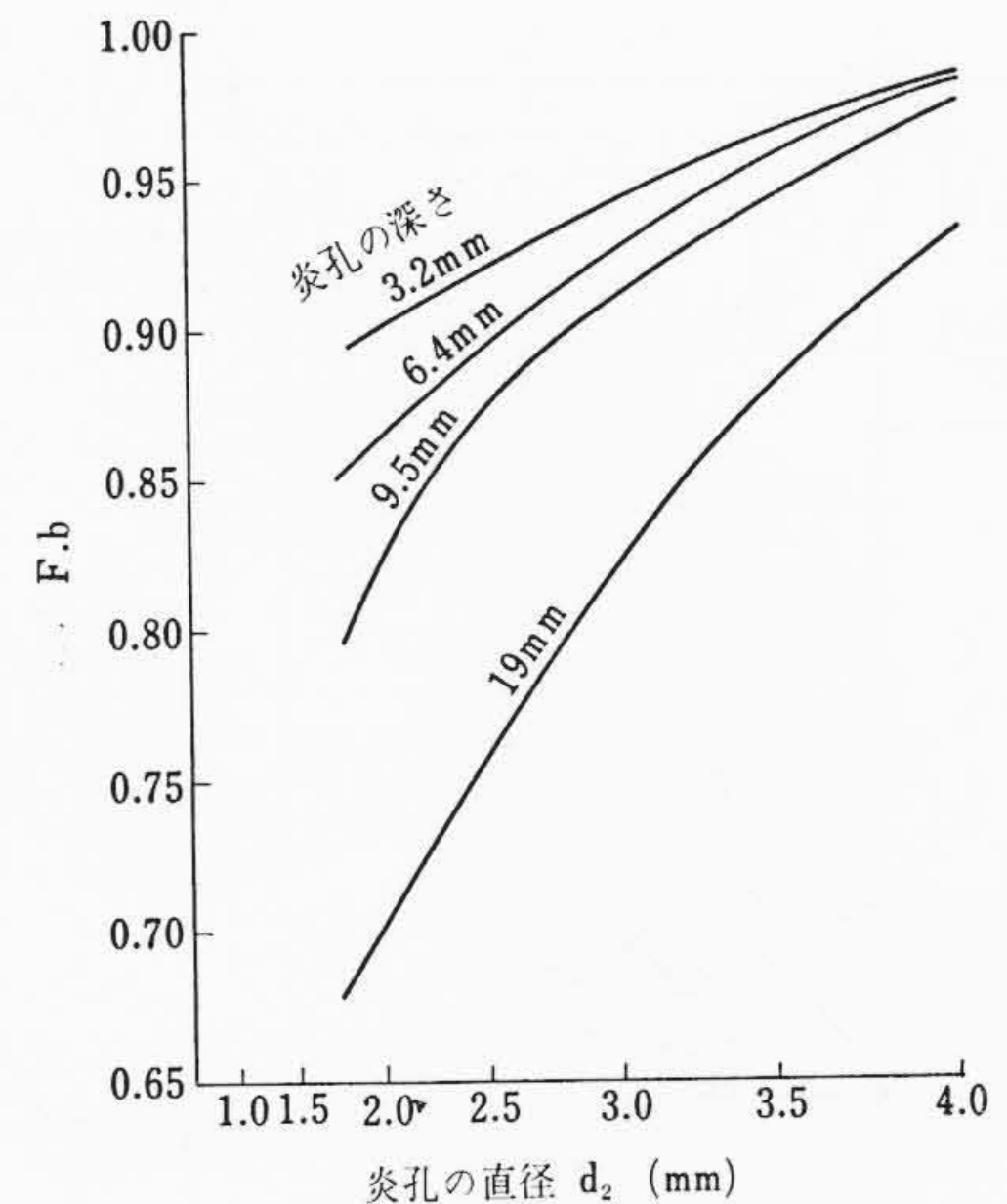
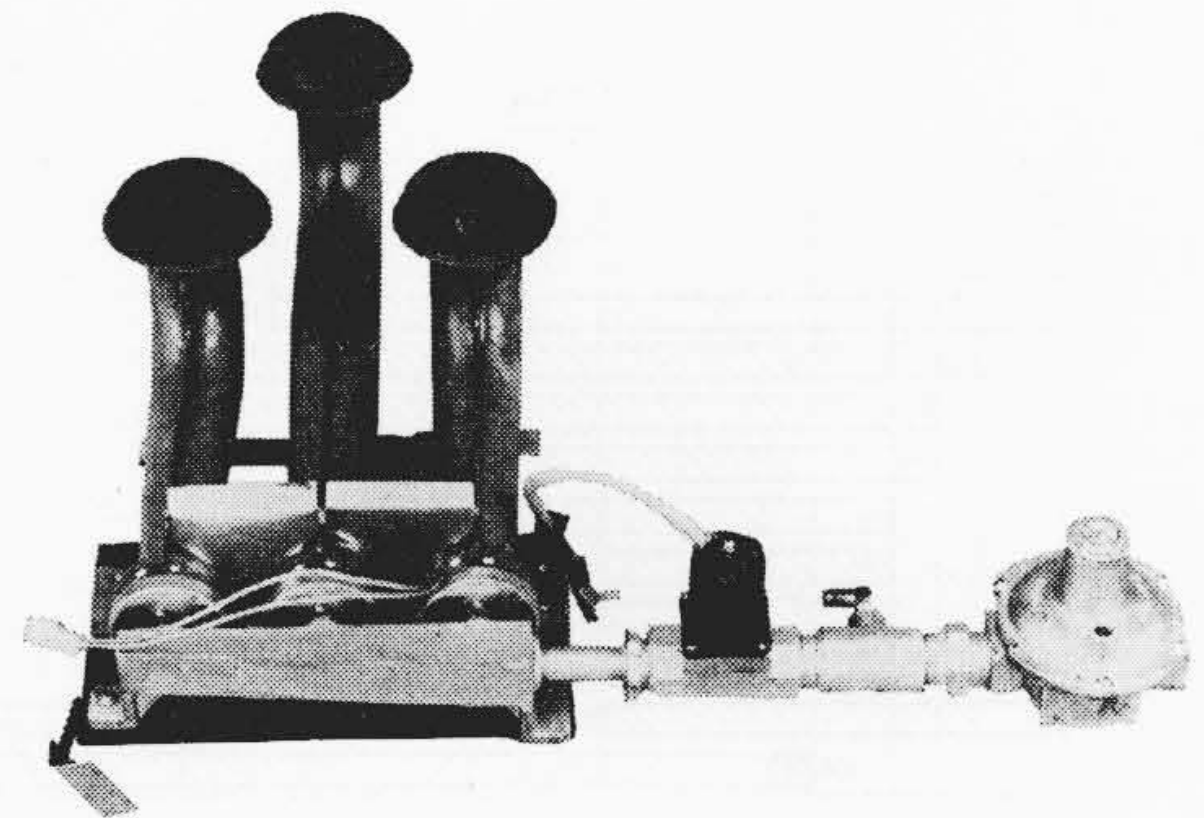
図10 炎孔の形状に関する定数 F_b 

図11 BT-210 形用ガスバーナ

表4 BT-210 形用ガスバーナの諸元

項 目	仕 様
形 式	ブンゼン式ガスバーナ
燃 料	都市ガス C-5
燃 焼 熱 量	27,500 kcal/h
ノ ズ ル 数	3 個
ノ ズ ル 孔 径	4.5φ
炎 孔 負 荷	11.5 kcal/mm ² ・h

3.2.3 制御回路、操作機構

家庭用が主目的であるため、操作が簡単であると同時に、安全性についてはじゅうぶん考慮しなければならない。そのため、次の点について特に考慮した。

- (1) 未燃ガスが多量に漏れない機構であること。
- (2) 万一未燃ガスが漏れても、燃焼室に充満している間は点火できない機構であること。
- (3) 操作は簡単で自動運転できること。
- (4) 熱交換器の異常加熱を防止できること。

以上の点を考慮して開発した制御回路は図 12 に示すとおりである。図 13 は動作説明図である。

一般にガスボイラは、サーモカップルを使用した口火安全装置によって、万一誤って消火した場合、ガスバーナから大量にガスが漏れるのを防止している。バーナへの着火方法としては圧電素子、マッチなどによるパイロットバーナ点火の方法が多く採用されている。

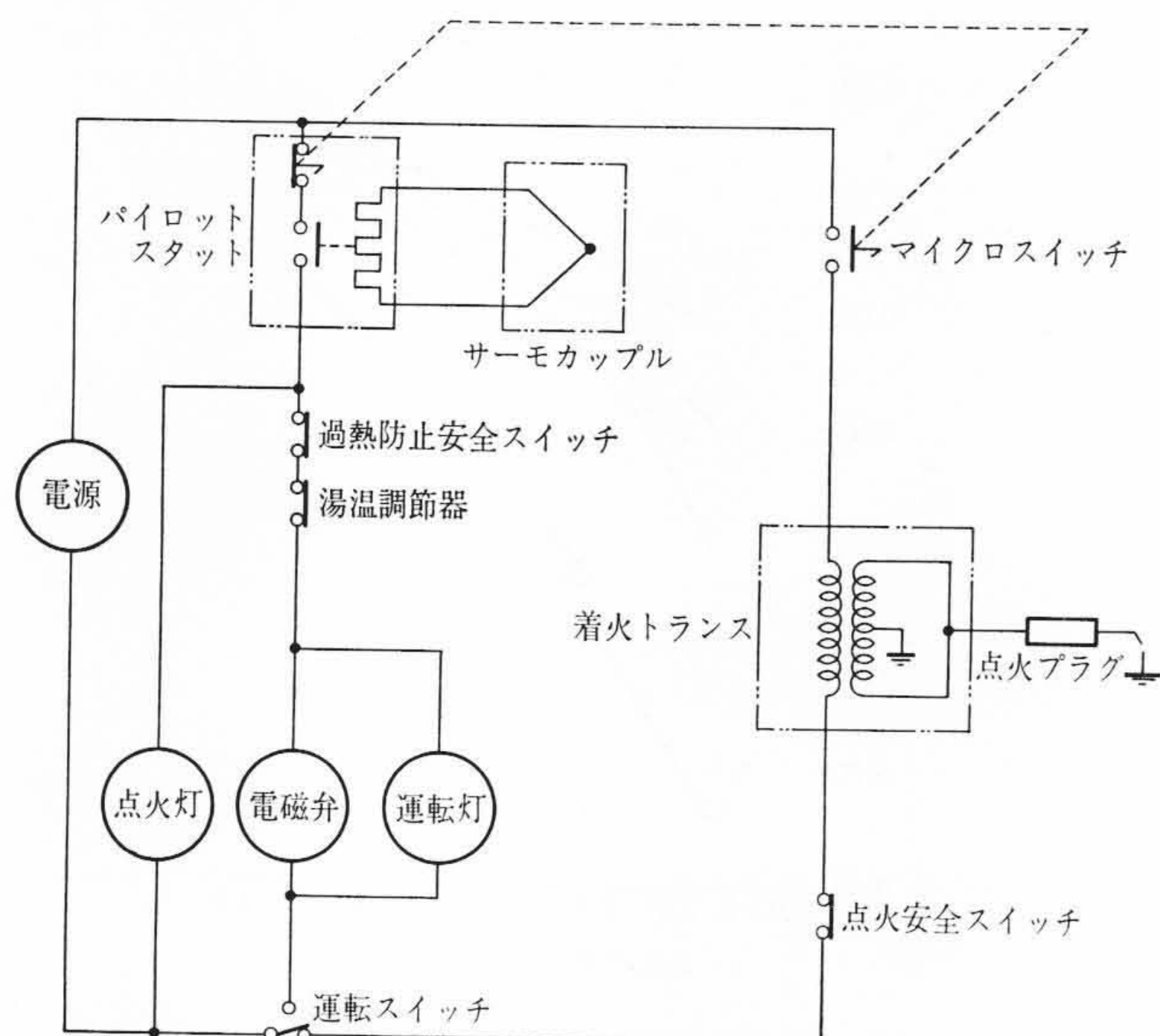


図12 BT-210形の回路図

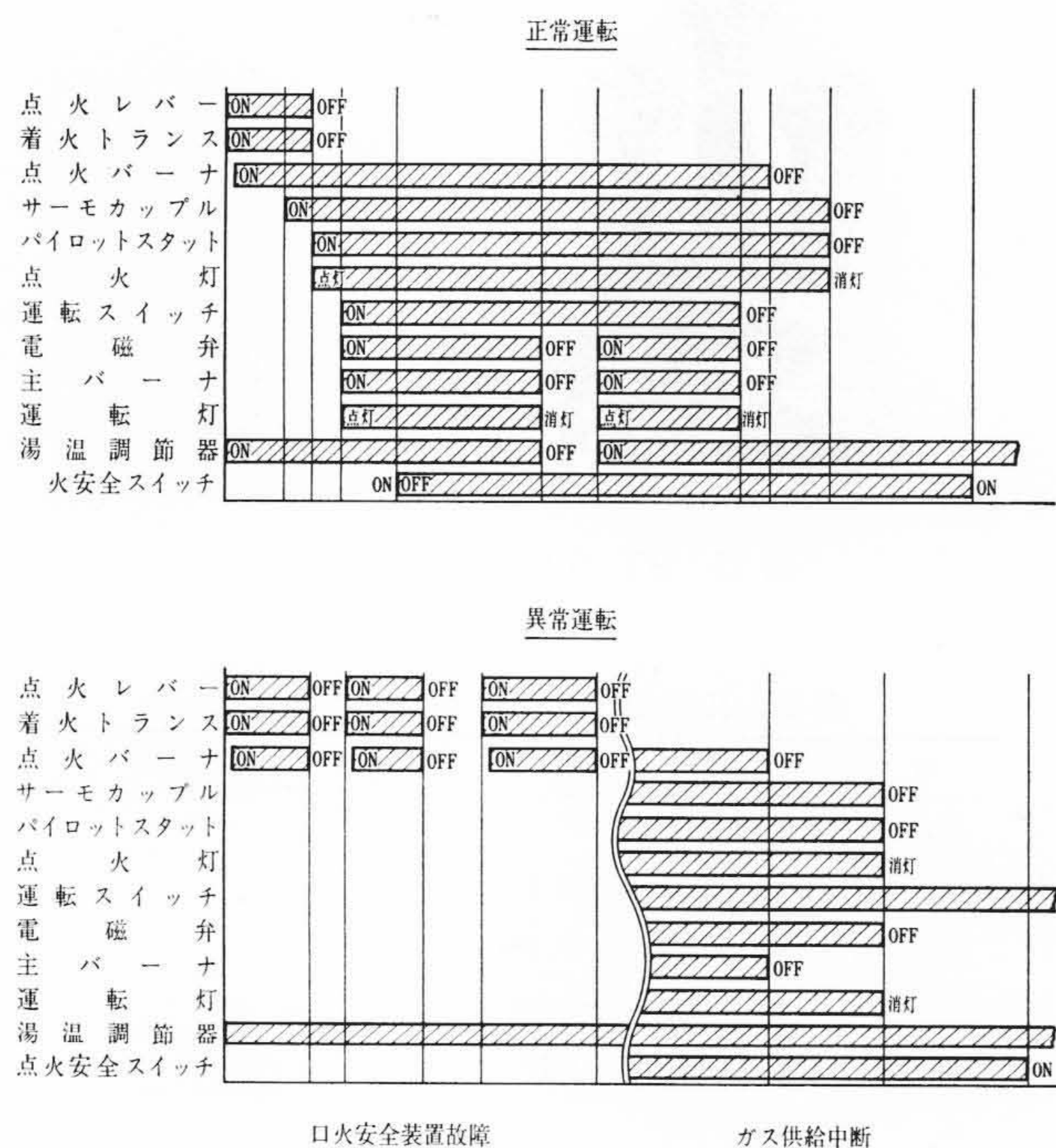


図13 BT-210形の動作説明図

BT-210形は上述のサーモカップルを使用した口火安全装置を採用すると同時に、点火は高圧トランスによる連続火花放電によって点火ミス、点火遅れを解決した。また点火安全装置を採用して、万一消火した後、再点火する場合にも、安全に点火できるようにしてある。

操作はマイクロスイッチとパイロットスタットに連動した点火レバーを押し下げ、点火バーナに点火する。点火バーナ点火後、口火安全装置を作動させ、運転スイッチの操作によって主バーナに着火する。その後は湯温調節器のON-OFFによって自動運転が行なわれる。運転状態は、ボイラ正面のスイッチボックス上面に設けられた点火灯と運転灯の二つのランプで表示される。

4. 特 性

4.1 燃 焼 特 性

燃焼試験は東京地区に供給されている都市ガス C-5 で行なわれ

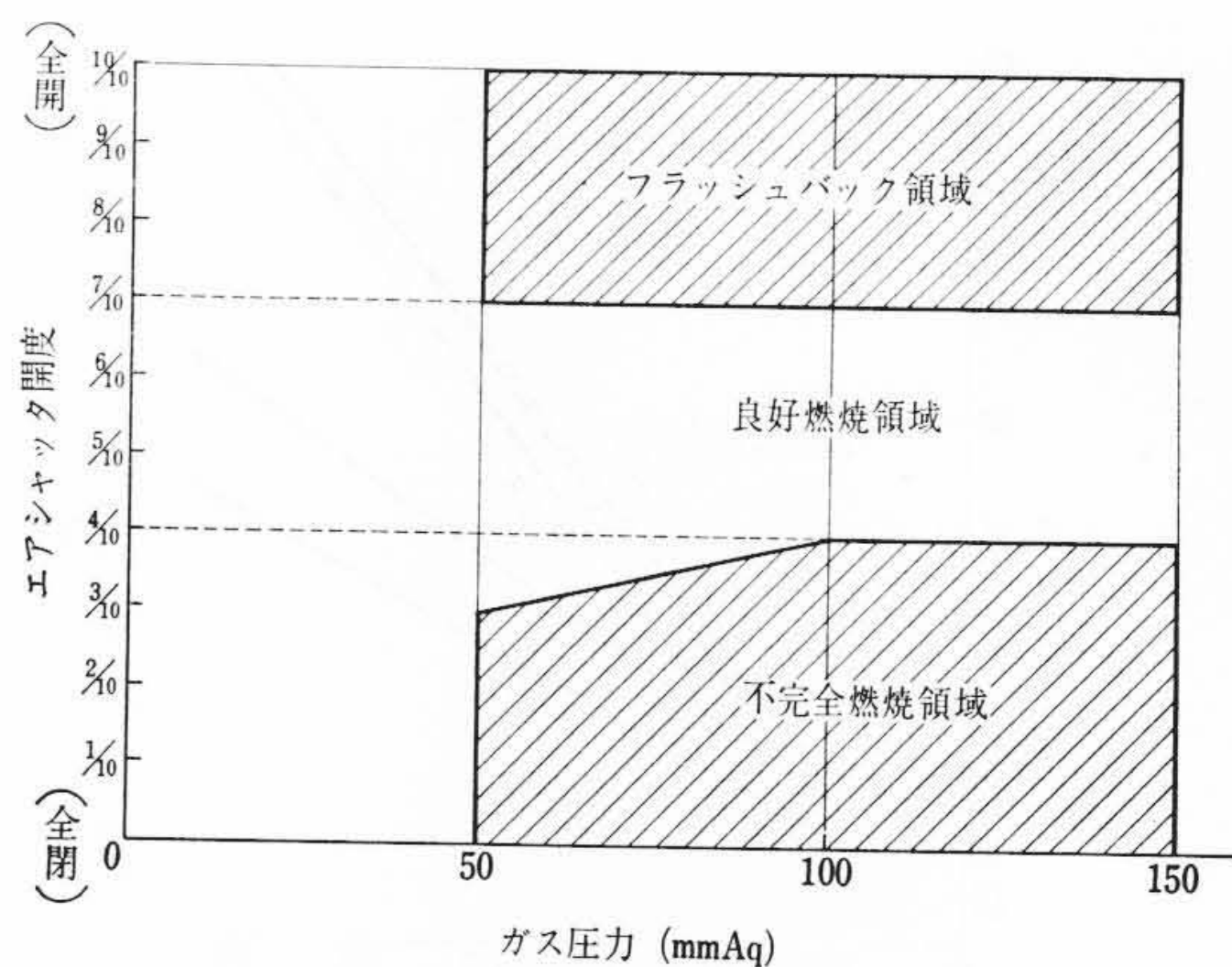


図14 BT-210形の燃焼特性図

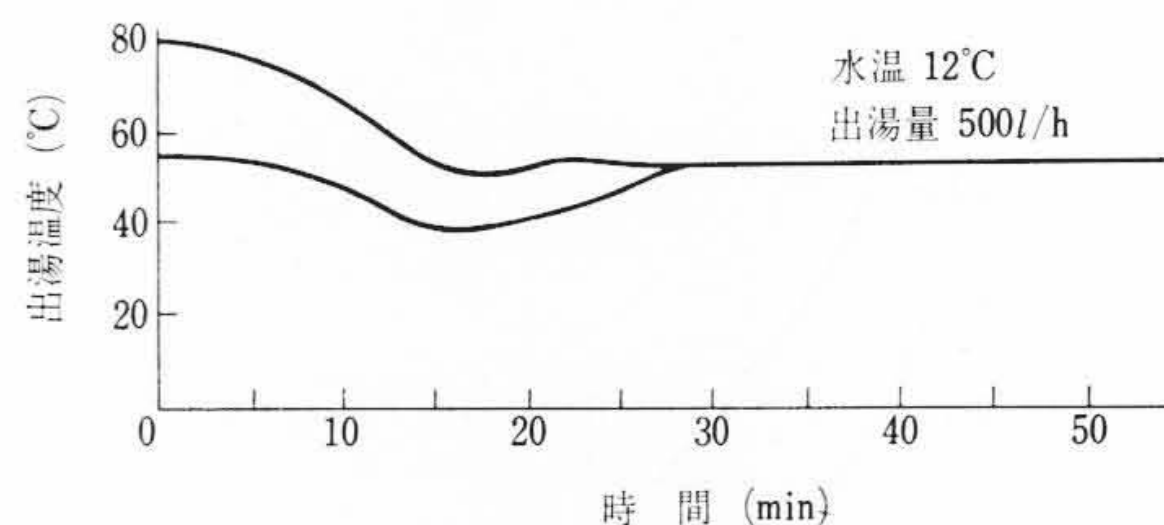


図15 BT-210形の出湯温度の変化

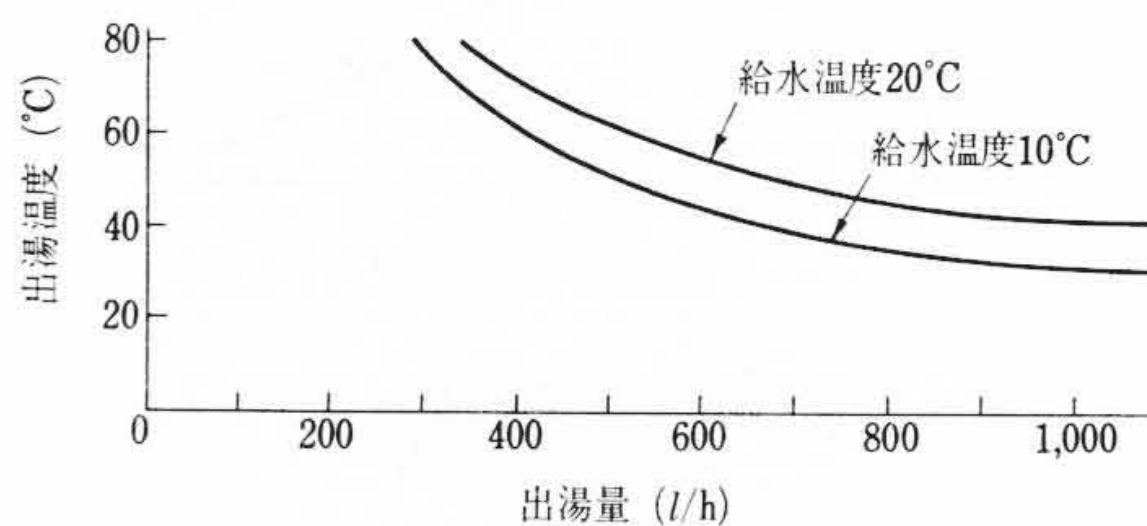


図16 BT-210形の連続出湯温度

た。図14は都市ガス C-5 を燃焼したときの燃焼特性を示したものである。図14からBT-210形はエアシャッター開度4/10～7/10の範囲で良好燃焼することが判明した。エアシャッター開度4/10～7/10の範囲ではCO/CO₂は0.01以下であった。

4.2 出 湯 特 性

給水を停止して運転を行ない、湯温調節器が作動した後の出湯温度の変化を示したのが図15である。出湯直後の出湯温度は湯温調節器高ノッチで80℃、低ノッチで55℃あり、湯温調節器の調節により55～80℃のお湯が得られる。

連続出湯時の出湯温度は図16に示すとおりで、給水温度と出湯量により一定な値となる。

4.3 操作性、安全性

点火および運転の操作は前章に述べたとおり、点火レバーと運転スイッチの簡単な操作で行なわれる。点火バーナ点火後口火安全装置が作動すれば、運転スイッチをONし湯温調節器により自動運転を行なう。

運転中、万一なんらかの原因で点火バーナが消火した場合は、口火安全装置が消火を感知し、点火バーナと主バーナへの燃料制御弁を閉じるので、未燃ガスが多量に漏えいすることはない。

点火安全装置は二つの部品から構成される。一つは点火安全スイッチで、主バーナのふく射熱により作動して開となる。一度開になると主バーナが消火しても10～20分間は高圧電弧点火装置の回路を開のまま保持する。また他の一つは運転スイッチであり、運転ス

スイッチが「入」の状態のときは、高圧電弧点火装置の回路が開になる。このような状態のときに点火操作を行なっても、高圧電弧が発生しないので点火せず、爆発着火は起こらない。

文献(9)では5分以内に再点火してはならないことを使用者に義務づけることになっているが、今回開発した BT-210 形では点火装置を電氣的にロックすることで安全性を高めている。

4.4 運 転 騒 音

一般にブンゼン式バーナは燃焼音が低い。開発した温水ボイラの騒音を測定した結果は、前方1m、高さ1mの点で44dB(A)であった。

4.5 形 式 検 査

開発したガスボイラ BT-210 形は、通商産業省指定検定機関、財団法人 日本ガス機器検査協会の形式検査を受け、形式承認番号、東-W-C-036を得た⁽¹⁰⁾。

形式検査は次のような項目について厳重に行なわれたが、各項目とも良好な結果を得た。

- | | |
|--------------|------------|
| (1) 表示事項検査 | (4) 器具仕様試験 |
| (2) 外観 構造検査 | (5) 燃焼状態試験 |
| (3) 材料加工方法検査 | (6) 温度上昇試験 |

5. 結 言

以上、新開発ガス焚温水ボイラの仕様、構造、特性について述べた。要約すると次のとおりである。

- (1) 開発したガス焚温水ボイラの熱出力は20,000 kcal/h、貯湯量は150 l、熱効率は70%である。

- (2) 開発したガス焚温水ボイラは通商産業省指定検定機関、財団法人 日本ガス機器検査協会の形式承認を得た。
- (3) バーナはブンゼン式であり、都市ガス C-5 燃焼の場合、エアシャッター開度4/10～7/10の範囲で完全燃焼を行ない、CO/CO₂は0.01以下の良好なものである。
- (4) 口火安全装置、点火安全スイッチ、運転スイッチにより、未燃ガスが多量に噴出するのを防止し、再点火の際に起こりやすい爆発着火を防止しているため、安全性は大である。
- (5) 運転音は、ボイラ前方1m、高さ1mの点で44dB(A)であった。

終わりに、ガス焚温水ボイラの開発に際し終始有益なご指導を賜わった財団法人 日本ガス機器検査協会のかたがた、および都市ガス燃焼の実験に対するご助言、実験場の提供にご協力いただいた日立製作所機械研究所のかたがたに深甚な謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 横山，佐伯ほか3名：日立評論 52, 821 (昭45-9)
- (2) 本田，吉田，松本：日立評論 53, 1782 (昭46-6)
- (3) 石政祐三：冷凍 45, 513 (昭45-7)
- (4) 安東新午：プロパンブタン便覧 (石油化学新聞社)
- (5) 都市ガス工業 (器具編) 日本ガス協会
- (6) ガス器具の常識 (一般器具編) 東京瓦斯株式会社
- (7) LP ガスデータ必携 科学技術庁資源局
- (8) 熱管理便覧 中央熱管理協議会
- (9) U.S.A. Standard Z-21-10.1-1966 Approval Requirements for Gas Water Heaters
- (10) 貯湯式湯沸器形式検査基準 (昭-45 財団法人 日本ガス機器検査協会)

Vol. 32

日 立 造 船 技 報

No. 2

目 次

■ 論 文

- ・ 舶 用 二 元 燃 料 機 関 の 開 発
- ・ 調質 80kg/mm² 級高張力鋼溶接継手のボンドぜい化を克服した新しいエレクトロスラグ溶接法 (HINES 溶接法)

- ・ 鉱石専用船および鉱石/油兼用船の横強度の検討
- ・ 秋 田 県 鉱 さい の パ イ プ 流 送
- ・ 一 水 力 輸 送 に 関 す る 検 討
- ・ S C P 廃 液 の 熱 分 解
- ・ 噴 霧 液 滴 の 噴 出 速 度 の 測 定 法

……………本誌に関する照会は下記に願います……………

日立造船株式会社 技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60 郵便番号 554