

中, 大形 旋回翼付きバーナの改良

Improvement of Oil-fired Gun Type Burner with Diffuser

南 一 成* 国 本 利 博*
Kazunari Minami Toshihiro Kunimoto
鳥 居 卓 爾** 城 篤 彦**
Takuji Torii Atsuhiko Jyô

要 旨

現在, 市販されている中, 大形暖房機器用油燃焼バーナは
(1) 火炎単位体積あたりの発生熱量, すなわち燃焼負荷が小さく, 火炎が大きいため, 燃焼室を大きく作
る必要がある。
(2) 燃焼を完結させるための空気量が多く, 排気への熱損失が大で煤(すす)の発生量が多い。
などの欠点があった。
このため燃焼負荷を大きくすること, 燃焼を完結させるための空気量を理論空気量に近づけた低過剰空気と
すること, 煤の発生を少なくすることを目的に本バーナの改良を行なった。
本バーナの改良にあたり灯油燃焼を主体に油の噴霧状態, 二次空気混合法, 火炎形状などに考察を加え, こ
の結果をA重油, B重油燃焼にも適用して検討を行ない, 次の結果を得た。
(1) 従来品に比べ, 火炎体積を1/2~1/3以下とすることができ, 高負荷燃焼が可能となり, 燃焼室を小形
化することができた。
(2) 空気過剰率1.2~1.4程度の低空気過剰率でも良好な燃焼状態を得ることができ, 排気への熱損失の小
さい, 効率の高いバーナとすることができた。
この結果は日立温水ボイラ, 日立温風暖房機の中, 大形機に適用され好評を得ている。

1. 緒 言

ガンタイプバーナを用いた温水ボイラや温風暖房機において, 限
られた容積内で単位時間あたり多くの燃料を完全燃焼させ, しかも
排ガスとしての熱損失を少なくするため低空気過剰率で燃焼させる
ことは燃焼技術上重要かつ興味ある問題であるが, これを温水ボイ
ラ, 温風暖房機について言えば, 製品の小型化につながる問題であ
り, 製品改良に寄与するところが多い。

しかしボイラなどにおける従来のガンタイプバーナの燃焼負荷は
 $0.4 \sim 0.6 \times 10^7 \text{ kcal/m}^3\text{h}$ 程度であり, ガスタービンそのほかの内燃
機関のそれに比べ明らかに低い⁽¹⁾。これはガンタイプバーナの噴霧
燃焼が種々の熱設備や動力装置に広く用いられているにもかかわらず,
噴霧器やその燃焼に関する合理的な設計指針がなく, 過去の経
験や, 試行錯誤の方法にたよっており, 合理的設計の基礎が明らか
にされていないためであると考えられる。

そこで筆者らは燃焼の根本理念にたちもどり, 燃焼の良否を支配
する因子である燃料, 空気, 温度をいかに組み合わせれば低空気過
剰率で高負荷燃焼が得られるかを求めることとし,

- (1) 噴霧器の噴霧分散
- (2) 上記噴霧分散に適した二次空気流れ

と実際の燃焼状態の良否との関連を求めることを主眼にガンタイプ
バーナの改良を行なった。本報ではこの検討経過について述べる。

2. ガンタイプバーナ

2.1 従来のガンタイプバーナ概要

ガンタイプバーナは欧米では数十年前から工業用バーナとして広
く利用されており多くの報告が出されている^{(1)~(6)}。

一般に市販されているガンタイプバーナの基本構造を示したのが
図1である。図に示すようにガンタイプバーナは燃料を加圧するギ
ャポンプ, 燃焼用空気(以下これを二次空気とする)を供給する多

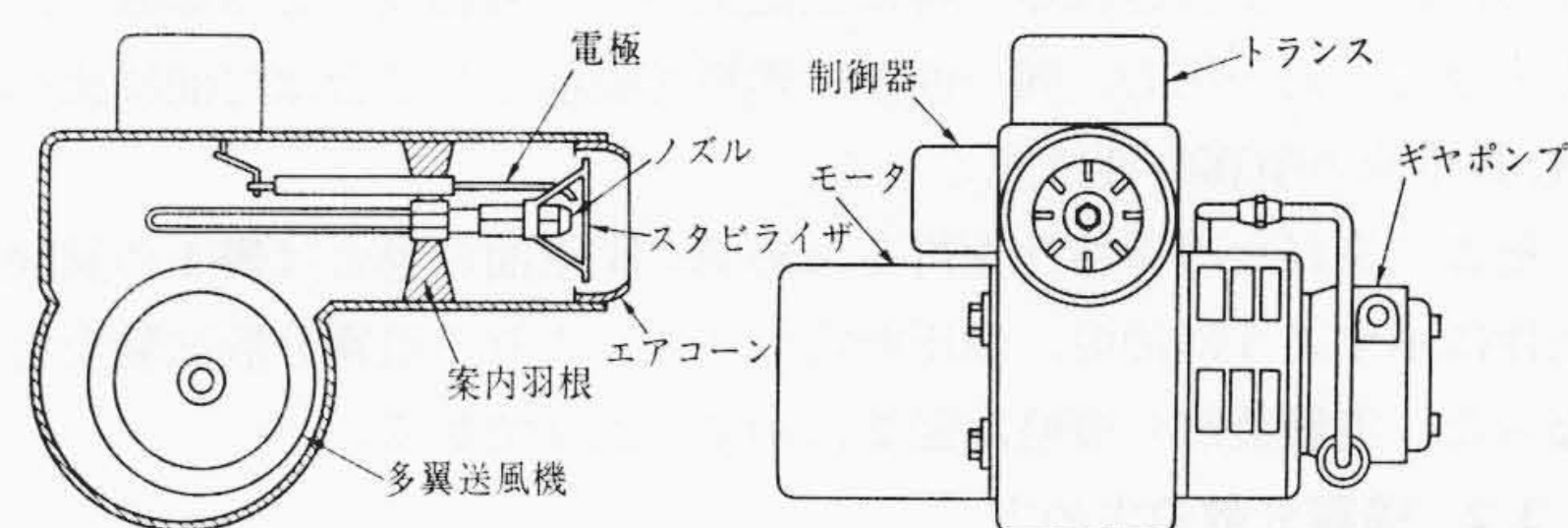


図1 従来のガンタイプバーナ構造

翼送風機および動力源であるモーターよりなる駆動部, 燃料噴霧用の
ノズル, 燃料と二次空気の混合をはかるエアコーン, 案内羽根の組み
合わせ, またはスタビライザよりなる燃焼部, 自動着火用のトラン
ス, 電極および制御器よりなる自動制御部などから成り立っている。

2.2 改良の要点

図1におけるギャポンプ, 多翼送風機, モーター, ノズル, トラン
ス, 制御器などの部品は広く普及している市販品であり, 性能上大
差ない。したがってガンタイプバーナの優劣はその燃焼状態の良否
によって決定される。この燃焼状態の良否は

- (1) ノズルからの噴霧分散
- (2) 二次空気の流動方式

の組み合わせにより決定される。したがって本報では市販のノズル
に対する最適二次空気流れの様式についての検討を行なって, 従来
からあるガンタイプバーナを低空気過剰率で, 高負荷燃焼が可能と
なるよう改良を行なうことにした。

3. 噴霧分散の検討

3.1 試験条件

ガンタイプバーナに使用されるノズルは圧力噴射式で市販品は圧
力 7 kg/cm^2 , 粘度 3.0 cSt の油を噴射するよう設計されている。こ
れに対し国内で一般に使用している灯油, A重油, B重油ではその
粘度は 20°C において 2 cSt (灯油), $6 \sim 7 \text{ cSt}$ (A重油), 130 cSt (B

* 日立製作所柳井工場

** 日立製作所機械研究所

表1 噴霧分散試験条件

油の種類	カタログ値	灯油	A重油	B重油
条 件				
油 圧 (kg/cm ²)	7	7	14	18
油 温 (°C)	—	20	50	90
動 粘 度 (cSt)	3.0	2.3	3.6	10.2

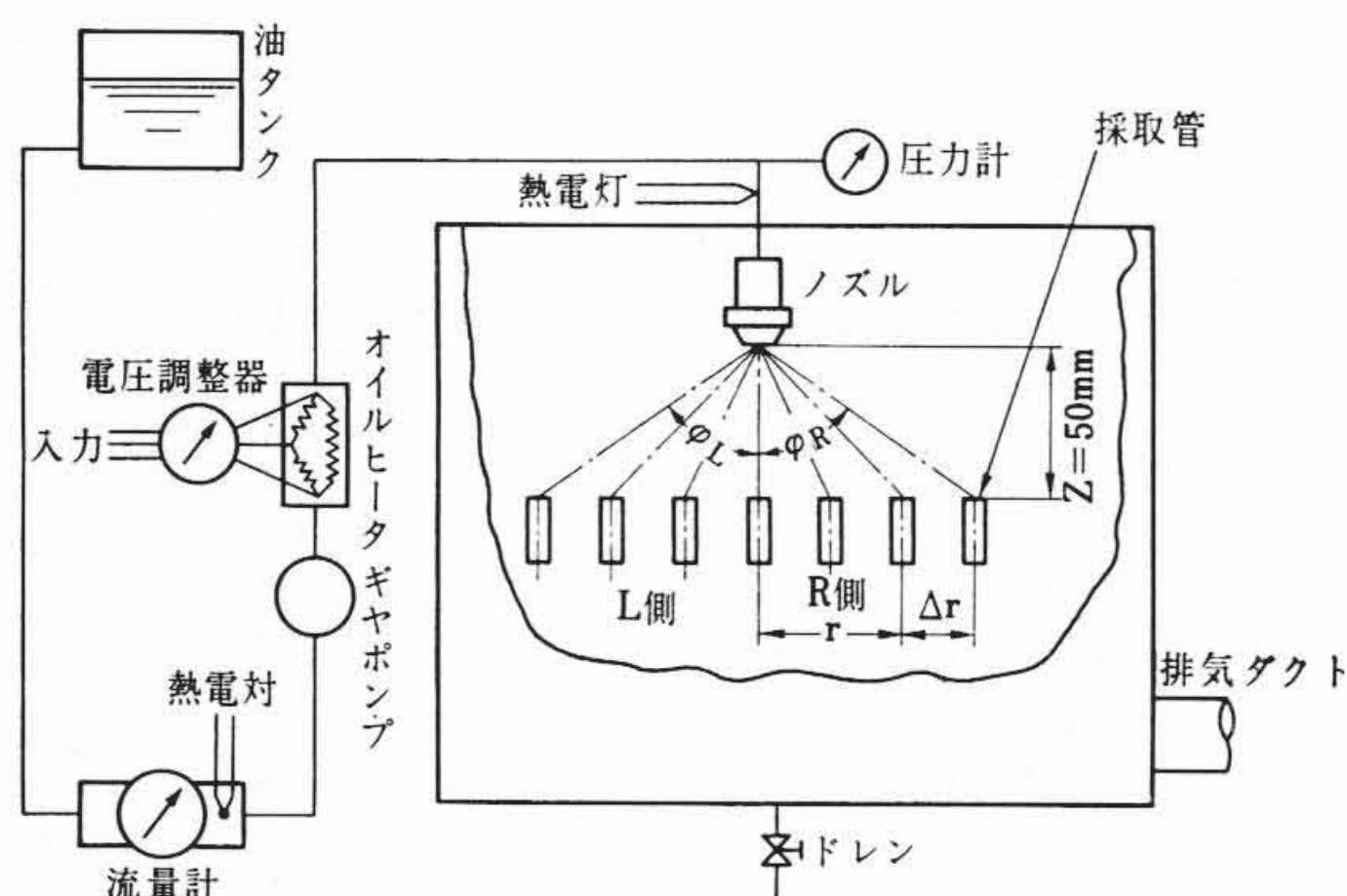


図2 噴霧分散実験装置の概略図

重油)と大きく変化する。

圧力噴射式ノズルからの噴霧特性はノズルの噴孔形状のほかに燃料の粘度、密度、表面張力さらに噴射圧力(以下これを単に油圧とする)により影響される。特に上記条件のうち粘度による影響が最も大きく、同一圧力、同一油温で燃料を噴射した場合は灯油に比べA、B重油の噴霧特性は悪くなる。

そこで良好な噴霧特性を得るためA、B重油の場合は表1の試験条件に示すように油温、油圧を定めノズルよりの噴霧分散試験を行った。実験装置の概略は図2に示すとおりである。

3.2 噴霧分散の求め方

噴霧分散を求める実験式としては柵沢氏の式⁽⁷⁾、小林氏の式⁽⁸⁾などが発表されている。しかしこれらの式による結果は二次空気の混合を考慮したとき噴霧がうすい膜内のみ存在する場合には有効であるが、筆者らが用いたノズルのように噴霧がうすい膜内のみ存在せず、中央部にも存在する場合においては不適當であると考えられる。

このように中央部にも噴霧が存在するノズルに対してS. M. De. Corse と G. A. Kemeny は equivalent spray angle (以下これを広がり角φと呼ぶ)により噴霧分散試験結果を整理しているので⁽⁹⁾、筆者らも De. Corse にならい次式により噴霧分散試験結果を整理した。

$$\varphi = \varphi_R + \varphi_L \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\varphi_R = \tan^{-1} \left[\frac{(1/2 \int_{-\infty}^0 2\pi r^2 W dr) / (1/2 \int_{-\infty}^0 2\pi |r| W dr)}{z} \right] \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\varphi_L = \tan^{-1} \left[\frac{(1/2 \int_0^{+\infty} 2\pi r^2 W dr) / (1/2 \int_0^{+\infty} 2\pi |r| W dr)}{z} \right] \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 φ_R : 図2のノズル中心軸を基準とした右方広がり角

φ_L : 図2のノズル中心軸を基準とした左方広がり角

r : 図2の半径方向距離

W : 各 r における単位時間、単位噴霧量、単位面積あたり採取量

z : ノズル先端より採取管までの距離

である。

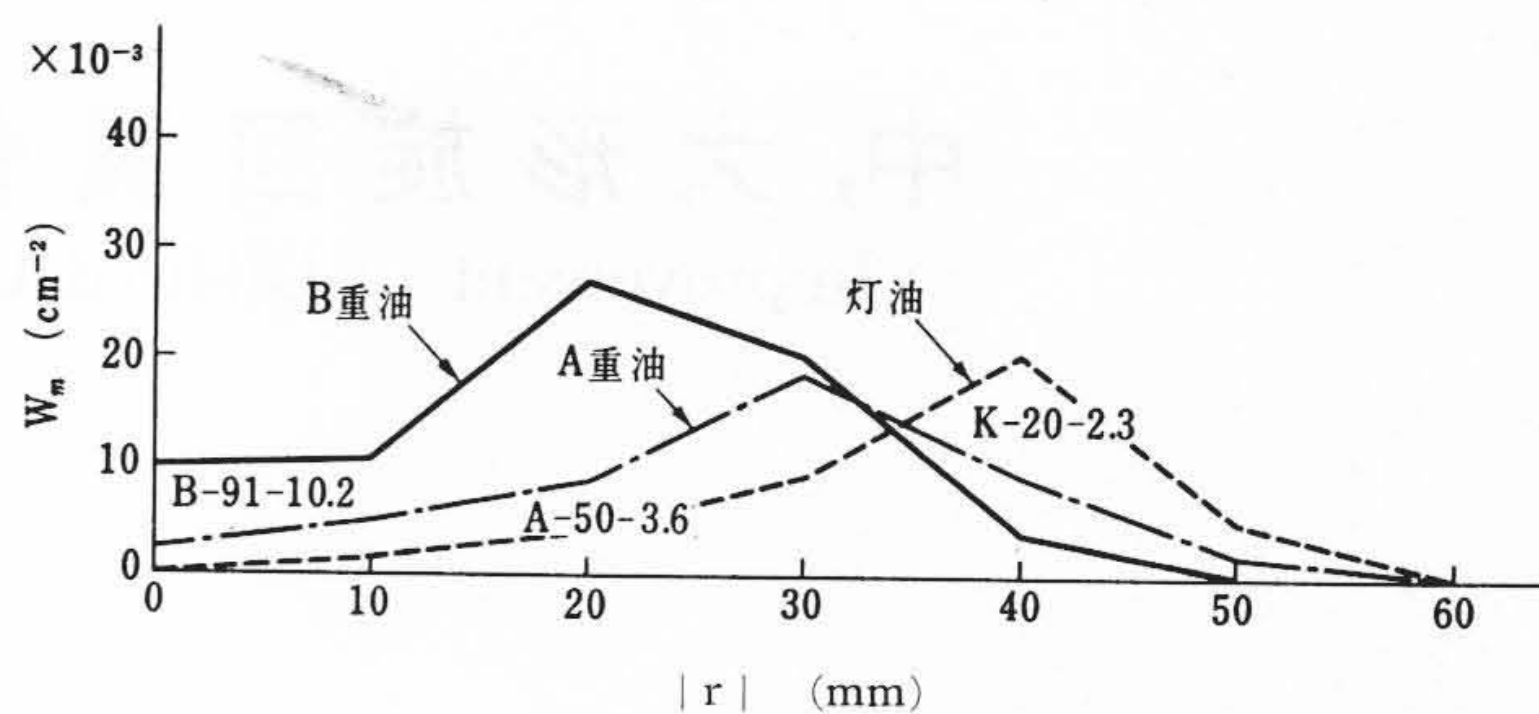


図3 噴霧分散試験結果

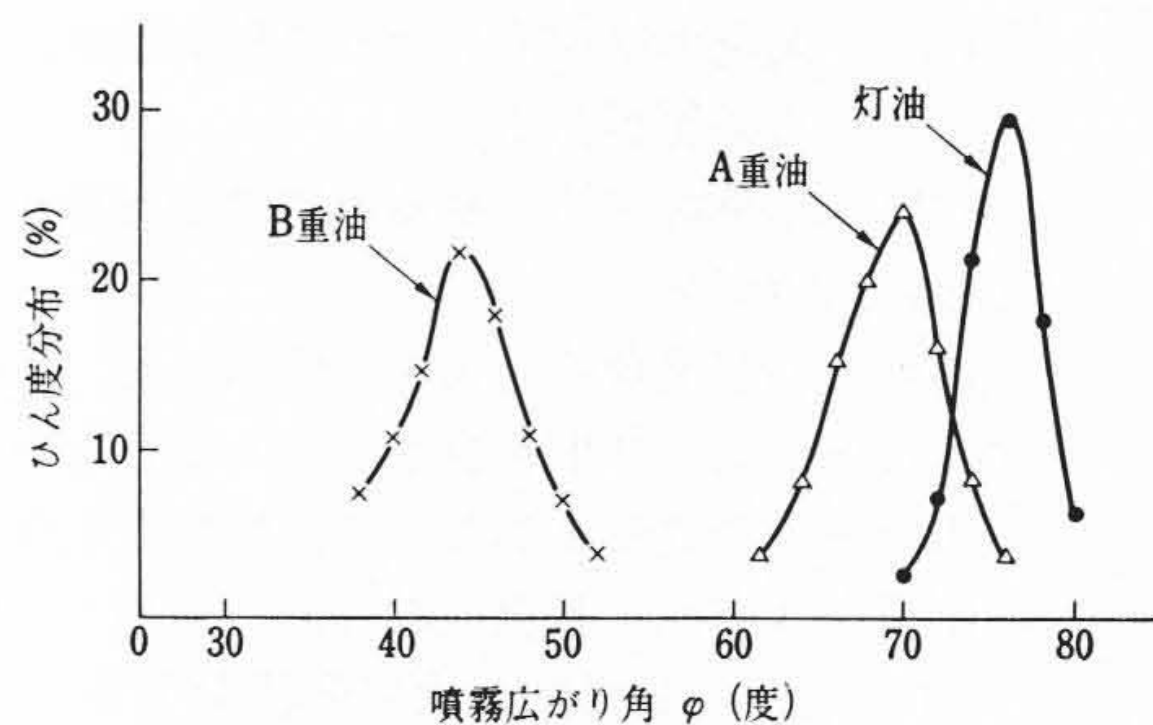


図4 噴霧広がり角φ集中度分布

3.3 試験結果

表1に示す試験条件にて灯油、A、B重油の噴霧分散を求めた結果の一例を図3に示す。図3は同じ絶対値をもつ半径方向距離 r の位置における採取量 W を平均した W_m を縦軸に、半径方向距離の絶対値 $|r|$ を横軸にとって示してある。各曲線の記号は左側が燃料の種類、中央は温度(°C)、右側は動粘度(cSt)を示している。図より粘度の大きいB重油は中心で W_m の大きいsolid typeの分散を示すが、粘度が小さくなると分散最大値は $|r|$ の大きいほうに移りHollow typeに移行している。

次に(1)~(3)式より求めた広がり角φの一例を2.25 G. P. H. × 80°のノズルにつき50個試験した結果を集中度分布にして図4に示した。図よりノズル製作公差によるばらつきはかなり大きくなっているが、本結果を用いた以後の検討には集中度最大となる広がり角φを用いることにする。また広がり角φは灯油では大きくA、B重油では小さくなっていた。

4. 二次空気流動方式の検討

二次空気流動方式を大別すると図5に示すように3様式に分類される。(a)はスタビライザにより発生する渦(うず)により二次空気と燃料の混合をはかる方式(ヨーロッパ製品に多く見られる)、(b)は案内羽根、エアコーンにより空気に旋回を与え混合をはかる方式(アメリカ、日本製品に多く見られる)、(c)は上記両者を組み合わせたもので、リング、羽根、エアコーンの組み合わせ(これを旋回翼と定義する)をノズル前方に取り付け、リング、羽根より多数の渦を発生させ、さらに羽根により空気に旋回力を与え燃料との混合をはかる方式(日本、アメリカ製品に最近多く見られる)である。これらの流動方式のものを燃焼させた場合の火炎形状は図5(a)では火炎着火面からノズル先端までの距離 L (以下これを火炎発生位置と定義する)が小さく、火炎は安定な燃焼を行なうが、細長くなる欠点がある。(b)では火炎はチューリップ花弁状にまとまり燃焼するが、火炎発生位置 L が大きく不安定である。

これに対し(c)の場合は火炎は(b)と相似の状態となり、しかも火炎発生位置も小さく、安定する傾向にある。これらの結果より温水ボイラ、温風暖房機の燃焼室への適合性を考慮し、図5(c)の二

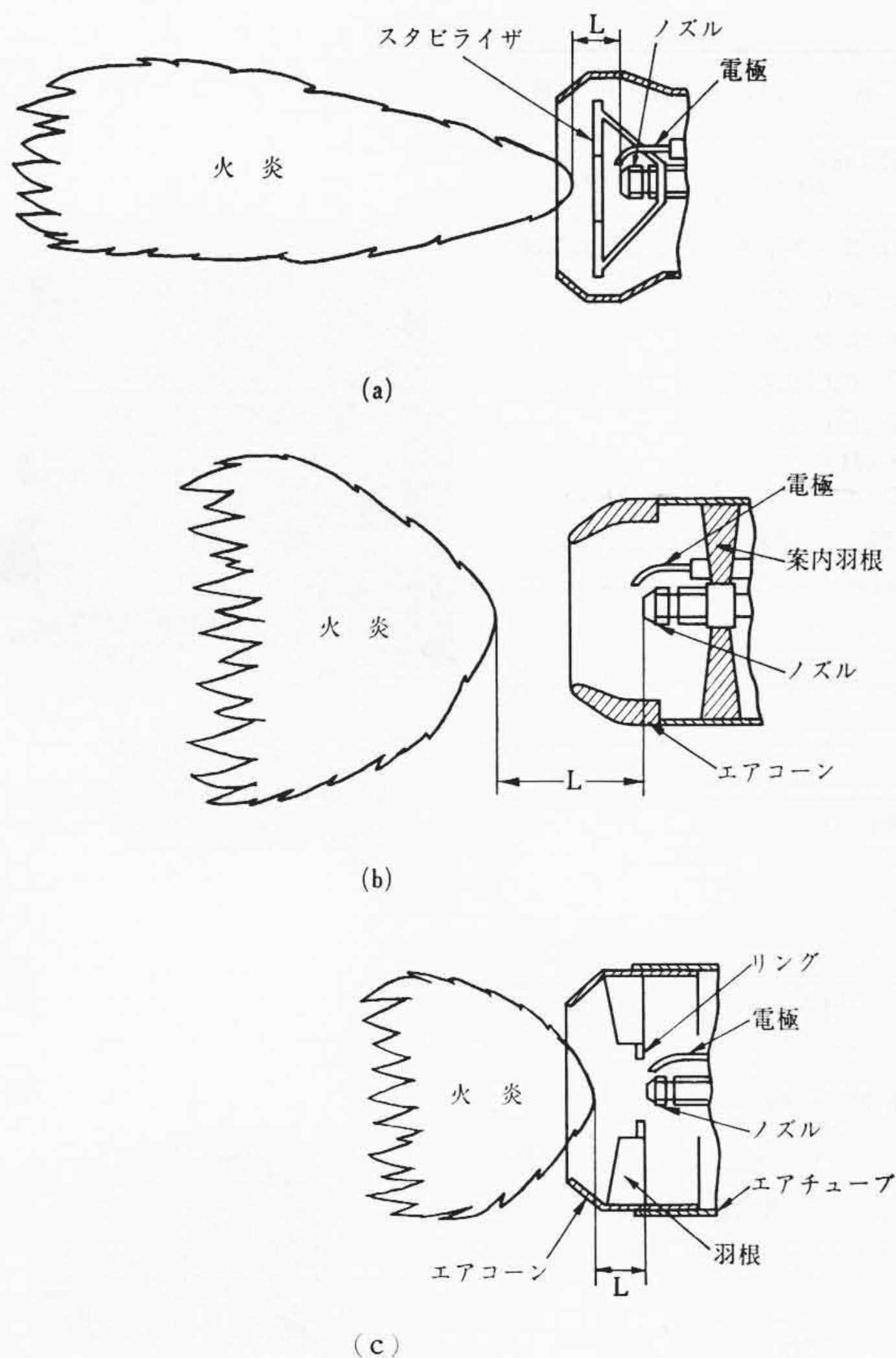


図5 二次空気流動方式と火炎形状

次空気流動式のものにつき詳細な検討を進めることにした。

燃焼に寄与しない空気量を少なくし、低空気過剰率で良好な燃焼を行なわせ、しかも高負荷燃焼を可能とするには、燃料濃度の高い部分に多量の空気を送り込むことが第一条件であると言われている。筆者らが用いたノズルにおいてこの条件を満足させるには先に求めた広がり角 φ の位置に二次空気流れ速度が最大となる位置（以下これを θ_v とする）を一致させれば良いことを実験的に確かめた。

そこで 3.2 で求めたひん度最大となる噴霧広がり角 φ の位置（以下これを単に φ_m とする）に θ_v を一致させることを目標に以下の二次空気流れの実験を行なった。

4.1 二次空気流れ試験

図6に示す軸方向速度、半径方向速度、接線方向速度を旋回翼エアコーン先端部を基準に 0, 40, 100, 150 (mm) の位置でピトー管を用いて測定し、これらを合成した絶対速度をもって二次空気流動状態を判断した。図7は測定結果の一例を示したもので、図において図5(c)として一般に使用されている羽根とエアコーンの間にすき間のない場合は 0 mm（旋回翼出口面）の位置では φ_m と θ_v は一致しているが、40 mm 以上になると外周部静止空気の抵抗により空気の広がりがおさえられ、 φ_m の位置に対し中心軸側に θ_v が見られ、100 mm 以上になると φ_m と θ_v の位置は大きく異なる。

そこで図8に示すように旋回翼の羽根とエアコーンの間に空間をもたせ、この部分を通過するフィルム状の空気流れにより、二次空気を広げるための旋回流を包み込み、二次空気の旋回エネルギーを保持し、二次空気を広げる方式を新たに取り入れた。その結果 0 mm（旋回翼出口面）ではもちろん、150 mm の位置においても φ_m と θ_v を合致させることができた。図8の羽根とエアコーンの間にすき間をもたせた旋回翼につきリング径、羽根傾き角、エアコーンの径、羽根とエアコーンのすき間などの各部寸法影響につき、上記と同一方法で調べ φ_m と θ_v の完全一致を図ることのできる最適仕

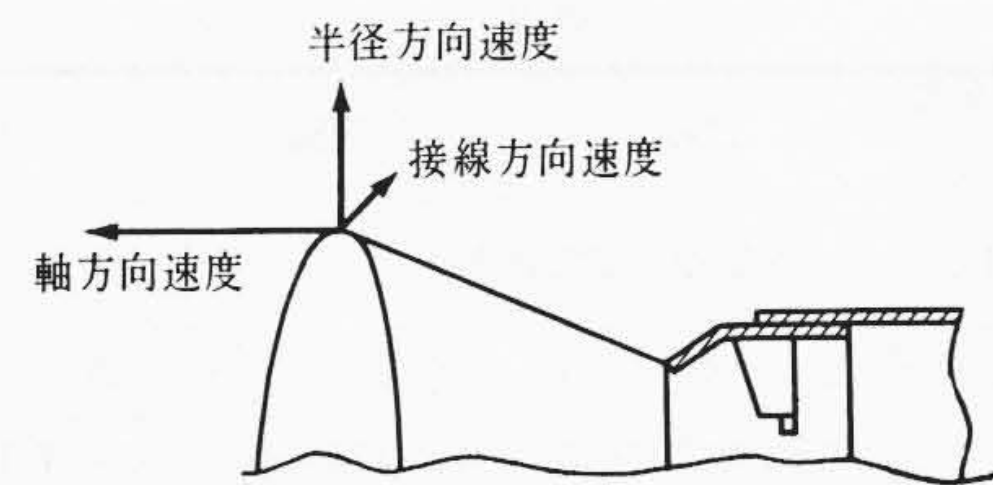


図6 二次空気速度方向

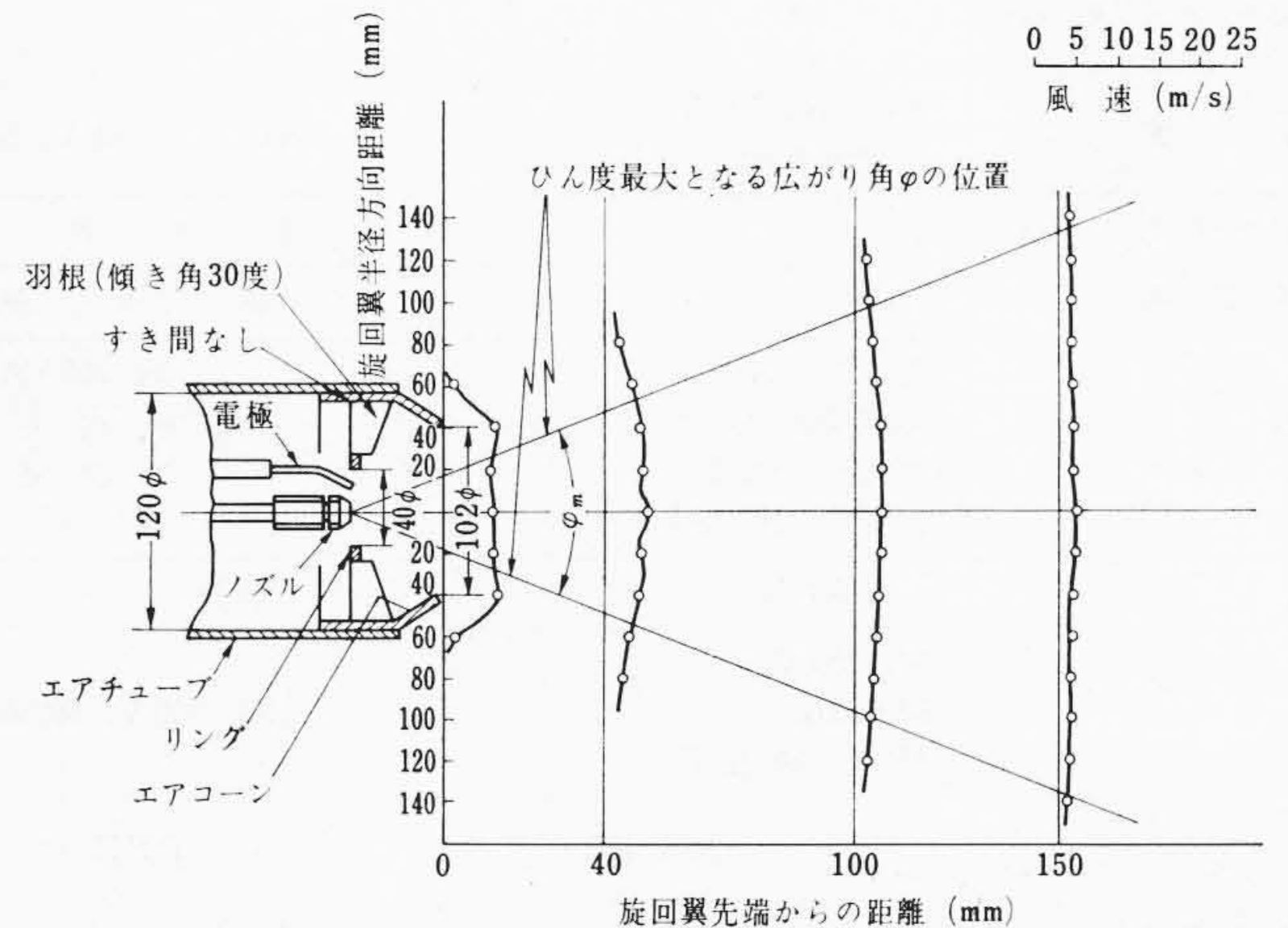


図7 図5(c) 旋回翼を用いた場合の風速分布

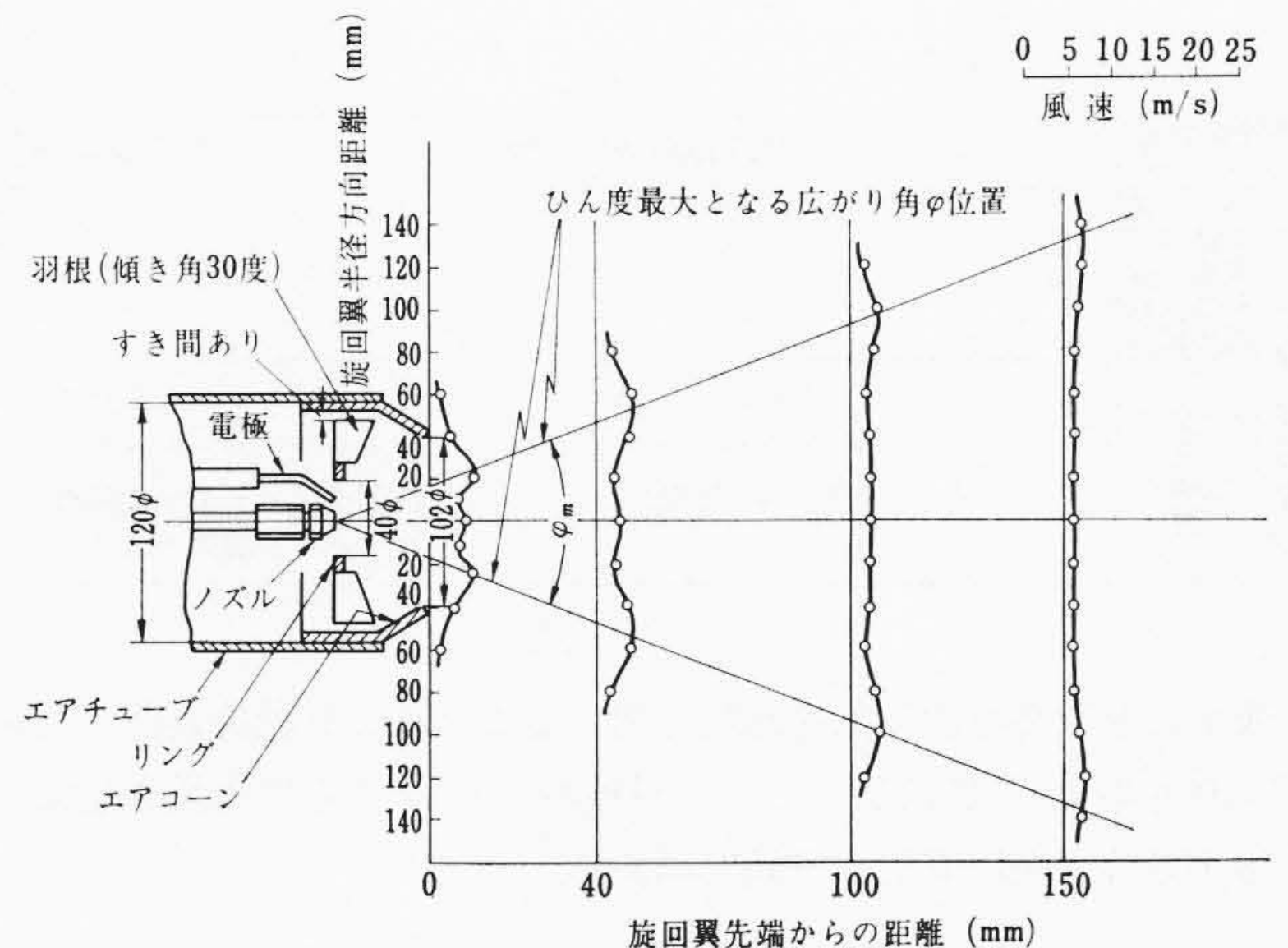


図8 改良形旋回翼を用いた場合の風速分布

表2 燃 焼 負 荷 比 較

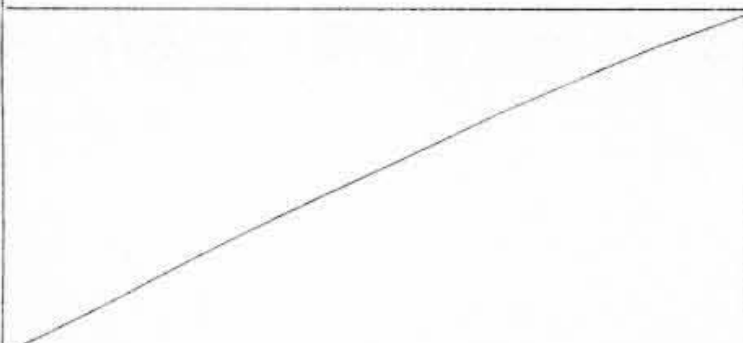
項 目	二次流動方式 二次空気 渦流のみ (図5(a))	二次空気旋 回流のみ (図5(b))	二次空気渦流と 旋回流の組み合 わせ(図5(c))	改良形旋回翼 (図8)
燃焼負荷 (kcal/ m ³ h)	0.60×10 ⁷	0.4×10 ⁷	0.8×10 ⁷	1.5×10 ⁷
火炎発生位置 (mm)	30	150	25	25

様を定めた。

4.2 燃焼負荷の比較

燃料に灯油を用い、燃焼熱量を 140,000 kcal/h、空気過剰率を 1.5 と一定に保ち、二次空気流動方式として従来から使用されている図5の(a)~(c)および図8に示す（筆者らが改良を加えた）旋回翼を用いた場合につき燃焼負荷および火炎安定の良否を判定する火炎発生位置 L を取り表2に示した。

表3 ガンタイプバーナの仕様

バーナ形式		21K	22K	22A	22B	33A	33B	34A	34B
項目(単位)							150,000~300,000	500,000	
熱出力	kcal/h	80,000~125,000							
使用燃料		白灯油	白灯油	A重油	B重油	A重油	B重油	A重油	B重油
燃料消費量	l/h	7.6 (WP-50-1)	11 (HP-80)	11 (WP-80-2)	10 (HP-80)	23 (WP-150-2)	65 (HP-500)		
		12 (WP-80-2)	17 (HP-125-1)	14 (WP-100-1)	16 (HP-125-1)	29 (WP-200-1)			
		15 (WP-100-1)		17 (WP-125)		37 (WP-250-1)			
		18 (WP-125)		10 (HP-80)		26 (HP-200)			
標準油圧	kg/cm ²	7	7	14	18	14	18	14	18
電源		AC 1φ, 100 V 50/60 Hz	AC 3φ, 200 V, 50/60 Hz						
着火方式		自動着火方式							
送風機		多翼送風機							
着火トランス		280/210 VA 50/60 Hz, 1φ 一次電圧: 100 V 二次電圧: 10,000 V	280/210 VA, 3φ, 50/60 Hz 一次電圧: 200 V 二次電圧: 10,000 V						
モータ		200 W	300 W				750 W		1.5 kW
		1φ, 100 V 50/60 Hz 2P 連続定格	3φ, 200 V, 50/60 Hz, 2 P, 連続定格						
ギヤポンプ (タンクオス)		RS 40		RSH 32		RSH 63			
送油方式		1ステージ形 ギヤポンプ (トロコイドギヤ)							
オイルヒータ				1.0 kW		1.5 kW		2.5 kW	
				シーズヒータ式 200 V, 3φ, 50/60 Hz 油温制御: サーモ式自動制御 (40℃ インターロック)					
接続管径またはネジ径		12.7 mm 銅管		PT 3/4 オネジ		PT 1 オネジ			
自動制御装置	バーナ着火確認方式および不着火保護装置	フォトセル (CdS) および イグナイトリレー							
	安全装置	イグナイトリレー 安全スイッチ プリパージ機構		イグナイトリレー安全スイッチ オイルハイカットスイッチ 油温インロータック装置 プリパージ機構					

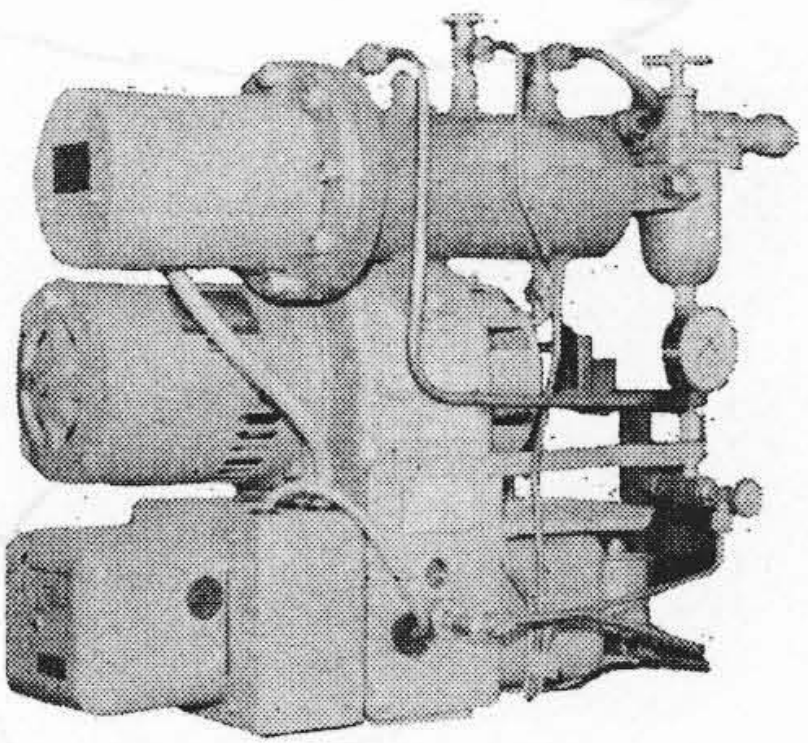


図9 熱出力 80,000~125,000 kcal/h A重油だきガンタイプバーナ

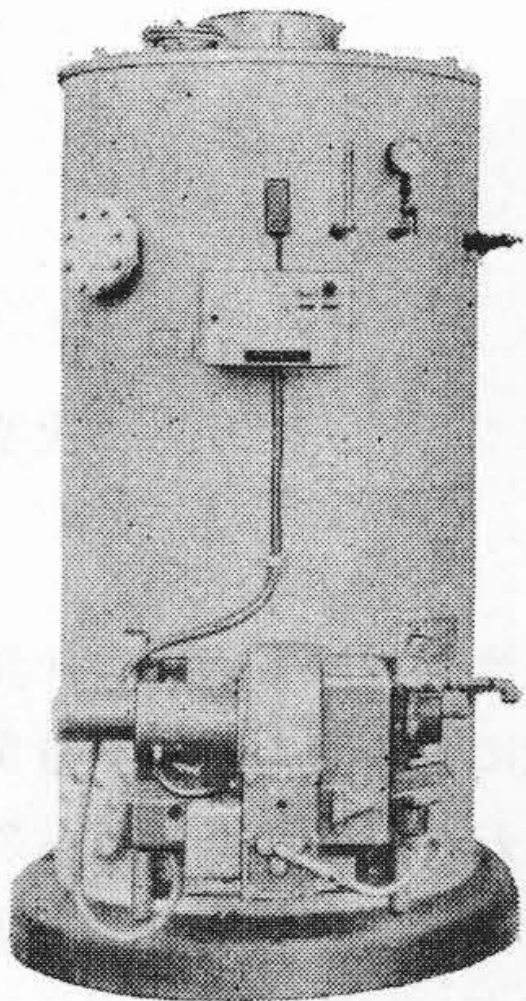


図10 WP-200-1A形日立温水ボイラ

表2より改良を加えた旋回翼を用いることにより燃焼負荷を従来品よりも約2~3倍にしうることがわかった。さらに火炎発生位置Lも小さく火炎は安定する傾向にある。

5. バーナの構造および仕様

表3は中, 大形の日立温水ボイラ, 日立温風暖房機に取り付けられている改良形旋回翼をもったガンタイプバーナの仕様を示したものである。

バーナの熱出力は 80,000~125,000 kcal/h, 150,000~300,000 kcal/h, 500,000 kcal/h の3形式に分けられている。

図9は代表例として熱出力 80,000~125,000 kcal/h のA重油だきガンタイプバーナの外觀である。

6. 実用性能

改良を加えたガンタイプバーナの製品への適用例として WP-200-1形日立温水ボイラ, HP-200形日立温風暖房機へ組み込んだときの実用性能について述べる。図10は WP-200-1形日立温水ボイラ, 図11は HP-200形日立温風暖房機の外觀である。

6.1 燃焼性能

図12は一例として従来のバーナおよび改良をしたバーナを小形化した燃焼室の WP-200-1形日立温水ボイラ, HP-200形日立温風暖

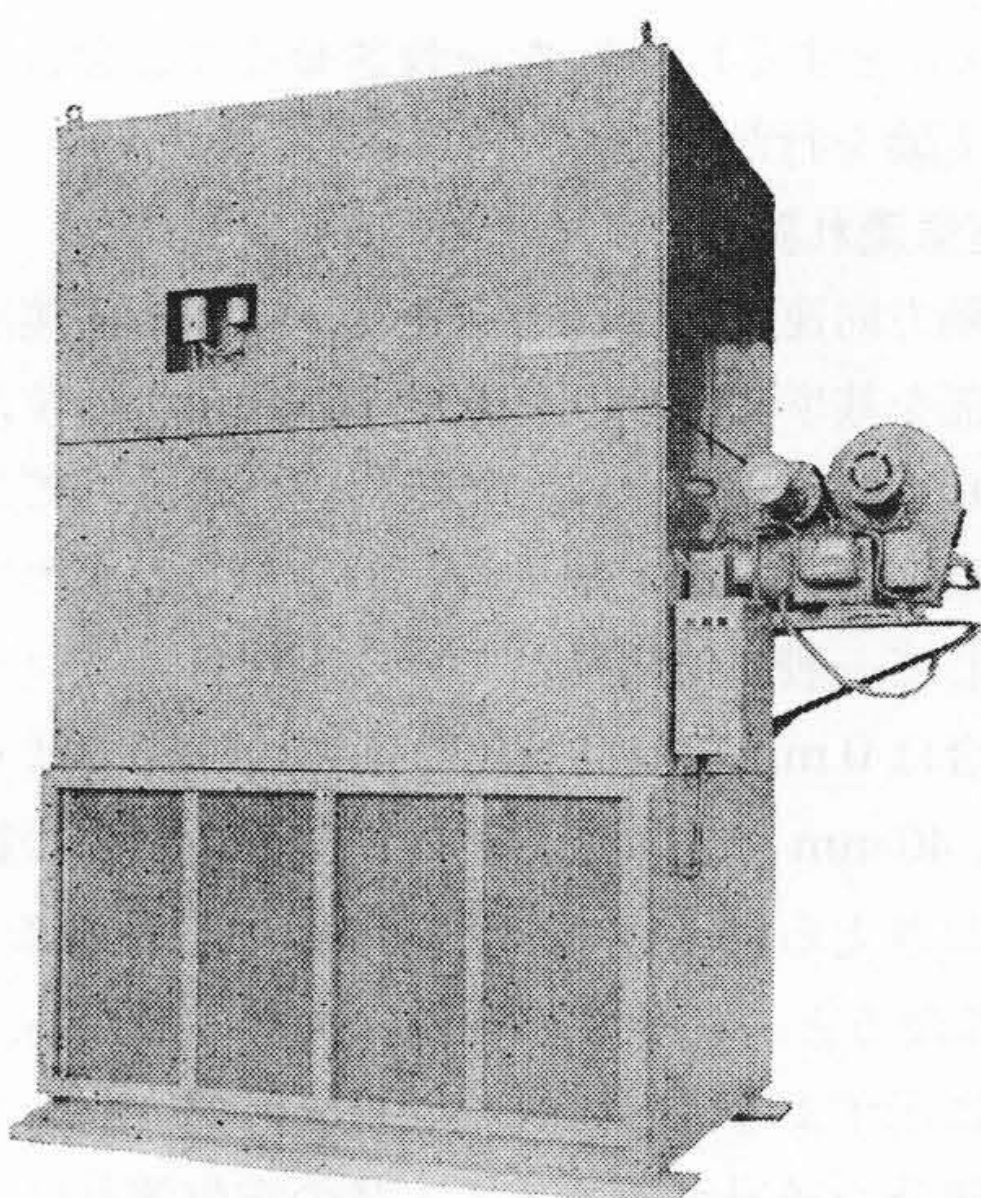


図11 HP-200形日立温風暖房機

房機へ組み込み, 灯油, A重油を二次空気量を変えて燃焼させた際の空気過剰率nと黒化度(Bacharach Smoke TesterによるSmoke No.)の関係を示したものである(油圧, 油温は表1の値に保たれている)。

図12によると改良形バーナでは灯油はn>1.3で黒化度0~1,

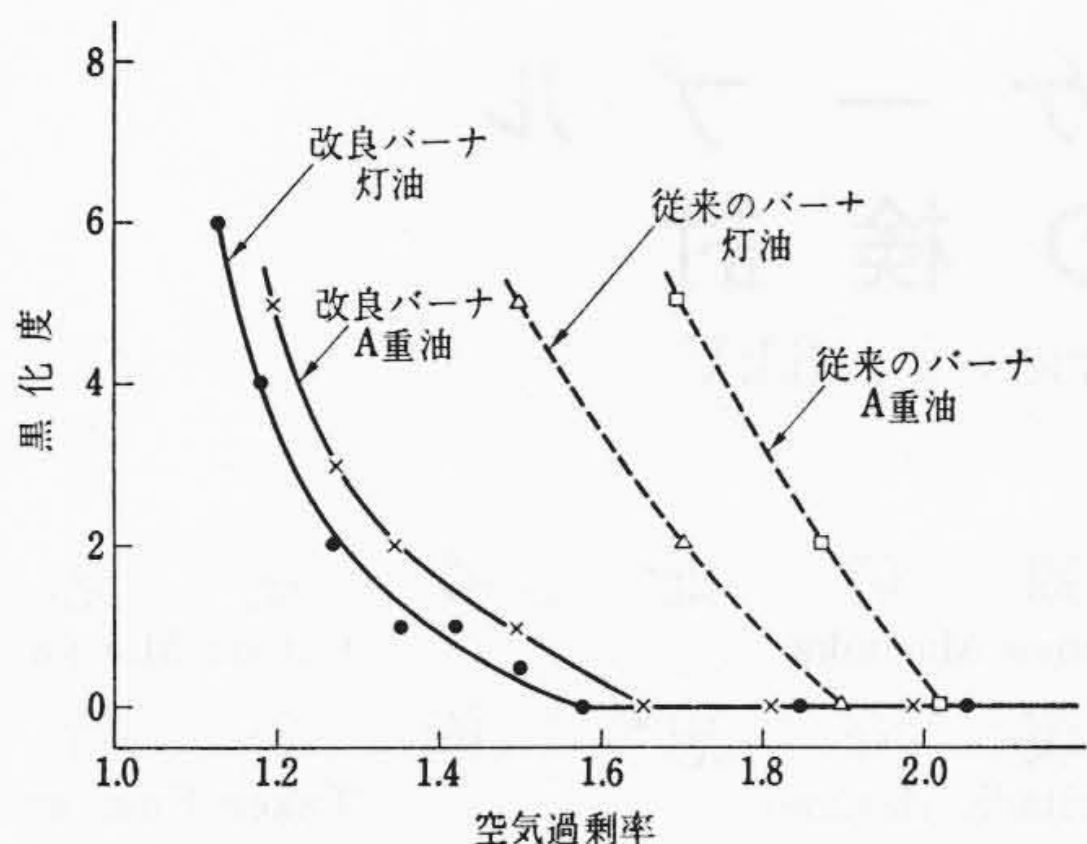


図 12 実機組み込み燃焼特性

$n=1.2$ でも黒化度は 3 程度である。A 重油の黒化度は灯油に比べわずかながら悪くなり、 $n>1.5$ で黒化度は 0~1、 $n=1.25$ で黒化度は 3 程度であった。これらの値は従来のバーナに比べ、はるかに低空気過剰率で黒化度の小さい良好な燃焼状態を呈している。

図 13 は代表例として灯油を燃焼させたときの排気ドラフト(吸気圧力で負圧を正值で表わす)を変化させた際の空気過剰率 n と黒化度の関係を示したものであるが、排気ドラフトがかなり変動しても黒化度は変化なく、良好で安定した燃焼を行なうことが示されている。

6.2 低温着火試験

一般にバーナの着火状況は低温になるほど困難となる。そこで改良を加えた A 重油だきバーナを WP-80-2 形日立温水ボイラに取り付け外気温度を -20°C 前後に保ち、空気過剰率を普通に使用する 1.2~1.5 に保ち、ノズルへの油圧回路を開閉する電磁弁への通電時間とフォト・トランジスタによる燃焼火炎感知時間をオシログラフで測定し、噴霧開始から着火までの時間を調べた。着火状況は電極放電部付近の燃料ガス濃度により変わるため、確率的要素を多分に含んでいる。そこで同一条件で 50 回の着火実験を行なった。図 14 はその結果を示したものである。図 14 より噴霧開始後短時間に確実に着火することが確認された。

7. 結 言

一般に市販されている圧力噴霧式ノズルの特性をは握し、従来のガンタイプバーナに改良を加え、渦流と旋回流とを同時に発生する旋回翼を使用し、羽根とエアコーンの間にすき間をもたせ、燃料濃度の高い部分に多量の空気を送るようにしたため次の結果を得た。

- (1) 燃焼負荷を一般に市販されているガンタイプバーナより約 2~3 倍に上げることができた。

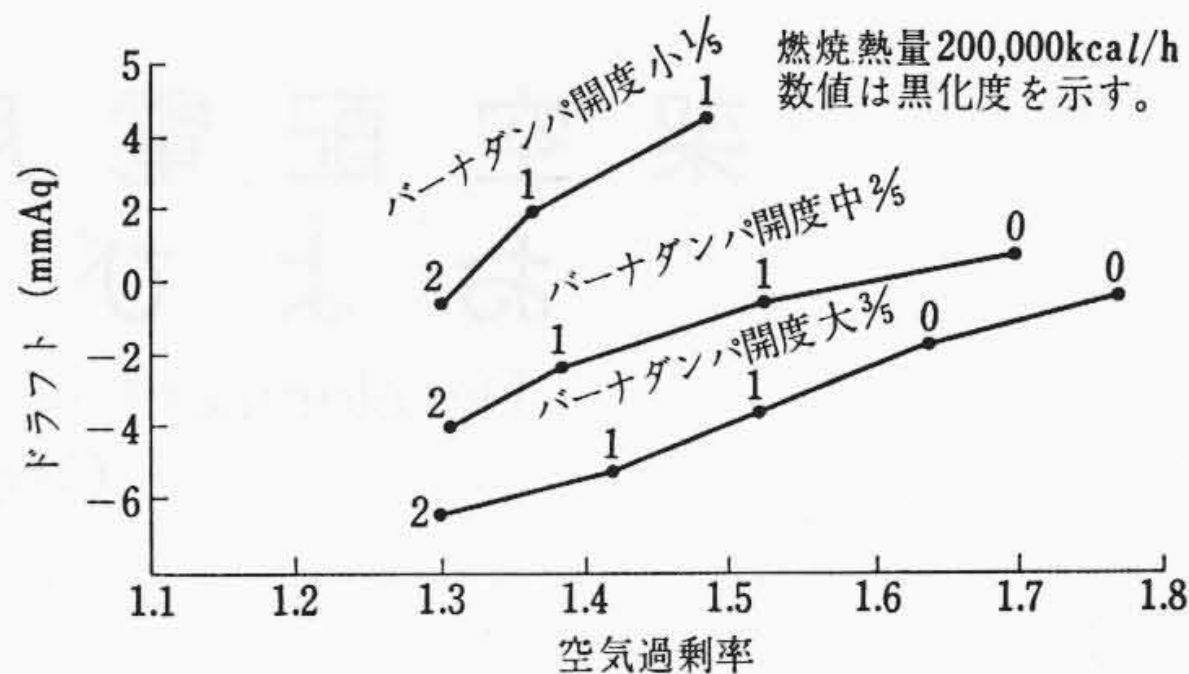


図 13 排気ドラフトと黒化度

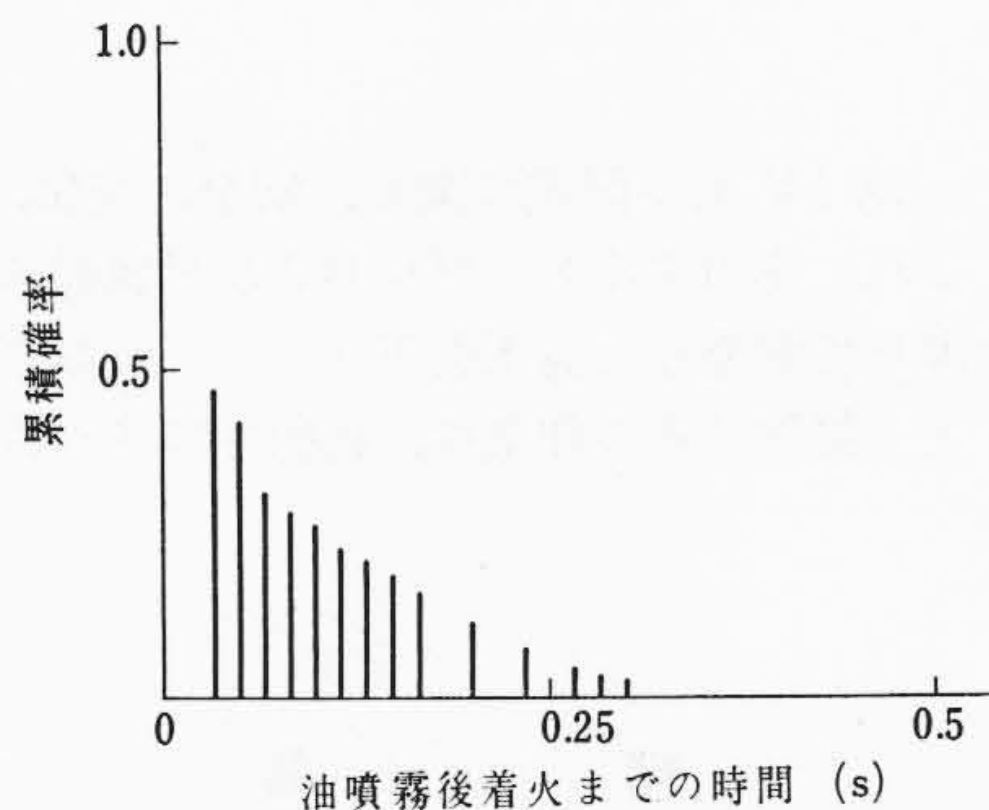


図 14 低温着火時間分布

- (2) 空気過剰率 $n=1.2\sim 1.4$ の低空気過剰率で黒化度は 0~3 と従来のバーナには見られない良好な燃焼状態が得られた。
- (3) ドラフトなど外気条件が変化しても安定した燃焼を行ない、低温における着火も確実に実用上問題のないバーナであることを確認した。

本ガンタイプバーナは灯油、A 重油だき用として WP-80-2, WP-100-1, WP-125, WP-150-2, WP-200-1, WP-250-1 形日立温水ボイラ、灯油、A 重油、B 重油だき用として HP-80, HP-125-1, HP-200, HP-300, HP-500 形日立温風暖房機などに使用され好評を得ている。

参 考 文 献

- (1) 高橋, 藤間: 三菱技報 37 (1966), 1
- (2) J. Beer ほか 1 名: January (1962), 3
- (3) C. Speicho: ASHAE Transaction 13, 16 (1961), 228
- (4) 小泉陸男: 燃焼方法および装置 42 (昭 42 技報堂)
- (5) 国井大蔵: 炉と燃焼装置, 119 (昭 40 科学技術社)
- (6) Delavan: ノズルカタログ
- (7) 棚沢: 機論 16, 41 (昭 25), 81
- (8) 小林: 機論 19, 80 (昭 28), 60
- (9) S. M. De. Corse ほか 1 名: TRANS. ASME 79, 4 (1957), 607

訂 正

本誌 52 巻 5 号, 83 頁「WP-50-2 形, WP-65 形日立温水ボイラ」の取扱い事業部を次のとおりご訂正願います。

正	誤
日立製作所 商品事業部	日立製作所 住宅設備事業部