

■ 特集 ■

新燃焼技術

ボイラ用ガス噴霧式オイルバーナ

Combustible Gas Atomizing Oil Burners for Industrial Boiler

金森 聖二*

Masaji Kanamori

伊藤 博一**

Hiroichi Itoh

1 まえがき

昭和48年の石油危機以来、石油資源の枯渇問題、これに伴う価格の加速度的高騰が大きくクローズアップされ、各分野で省エネルギー対策が実現している。しかし現在までのボイラにおける省エネルギーは設備費が安価で償却の容易なドレン回収や、エアヒータなどの熱交換器による排熱回収が主役であったと思われる。

これからの省エネルギー対策は、入力エネルギーに対する低効率機器の改良をする一方、エネルギーの二重損失の防止、すなわち排出エネルギーの有効利用ではなく、入力エネルギーの有効利用と応用が重要である。

さてボイラに対する入力エネルギーとは、ボイラ本体では給水ポンプ動力、油焚燃焼器では燃焼用空気ファン動力、燃焼油移送ポンプ動力、(高粘度油であれば油加熱用エネルギー)、二流体噴霧方式であれば噴霧用蒸気又は空気エネルギー、油圧噴霧方式であれば、高圧噴霧用ポンプ動力又は回転カップ用モータ動力が必要であり、ガス焚燃焼器であれば燃焼用空気ファン動力とガス噴出用圧力エネルギーが必要である。さらに油、ガス混焼燃焼器であれば油焚、ガス焚用エネルギーを加えたものが必要となる。その他に自動運転に必要な電気エネルギーなどがあり、給水ポンプ動力を除けば空気用ファン動力と霧化用又は噴出用エネルギーの消費が大きい。その消費エネルギー量はボイラ効率すなわち燃料消費量に大きく影響するものである。た

えばファン動力は空気量と圧力の積に正比例の関係で、燃焼用空気量を90%、圧力を80%に減少できたとすれば動力は72%すなわち28%削減されたこととなる、又蒸気噴霧式で霧化媒体用蒸気量が燃料油流量の20%を消費しているとすれば、霧化用蒸気を作るのに燃料量の約1.5%を消費している。これは数値的には小さいが、年間にボイラで消費する総燃料費に換算すれば大きな損失であろう。

そこで本研究開発は、都市ガス又はLPGなど可燃性ガスの燃焼性、ガス供給圧力の有効利用をはかり燃焼用空気量及び空気圧力の削減・霧化媒体(蒸気・空気)の不要化の実現を目的としたもので、ここに開発過程及びその結果を報告したい。

2 低空気比、低バーナ風圧差燃焼の問題点

低空気比燃焼、(燃焼用空気量の削減)についての開発は元来、1960年代にボイラの分野において燃料中の硫黄分による低温部腐食の問題、さらにはいじんが硫黄を吸着したアシッドスマットによる公害の問題などを解決するために主として欧州諸国において数多くの研究開発が実施され、一般に普及してきたものである。日本においてもこれらの技術に基づいて改良開発が広範囲にわたって実施され、事業用火力をはじめとしてかなりの成果が報告されている。

現在、運転されている比較的新しい油焚ボイラの定格負荷時における平均的空気比は事業用、産業用火力のような大形ボイラにおいては低空気比燃焼されている報告が多く、又中小形産業用ボイラにおいても低空気比燃焼が重要視され、実施の傾向にある。

しかし、ボイラにおける低空気比燃焼の可能範囲は

* ボルカノ(株)事業本部開発部部长

〒532 大阪市淀川区野中北1-3-38

** ボルカノ(株)事業本部開発部技師

100～70% 負荷程度でありそれ以下の負荷においては高空気比燃焼しているものが多い。これはバーナスロート面積が固定であるため風圧差が必然的に小さくなるすなわち空気流速の低下が生じ燃焼性能が大幅に悪化することにより必然的に過剰空気量を増加しなければならないことによる。

一般の産業用バーナにおける乱流拡散燃焼では比較

的低温の着火部は化学反応すなわち油の噴霧粒径と温度が支配的であり、その後は燃料と空気の拡散速度によって燃焼が成り立つ、したがって低負荷時に空気流速が低下するに伴ない拡散速度も低下し、定められた空間内で燃料と酸素の均一混合が得られなくなる。そのため必要以上の過剰空気量を投入し、空気流速の低下を防ぎ完全燃焼をはかろうとするのが普通である。

これらのことからボイラの全使用範囲を通じての低空気比燃焼性能を得るには次のようなことが必要である。

- (1) ターンダウン全体を通じて着火の安定化を得るに必要な保炎性能の確立。
- (2) 燃料及び空気（酸素）の均一混合、フローパターンの確立。
- (3) ターンダウン全体を通じて燃料油の均一微粒化の確立。
- (4) ターンダウン全体を通じて絶えず最少過剰空気量

表1 燃料成分表

油種	灯油	A重油	LSC重油(A)	LSC重油(B)
密度(15/4℃)	0.794	0.8405	0.8965	0.936
反応	中性	中性	中性	中性
引火点(℃)	48	73	150	164
着火点(℃)		(50)	(50)	(50)
動粘度 est		2.51	50.0	152.9
灰分 wt%	—	—	0.06	0.02
S分 "	0.002	0.710	0.91	1.37
N分 "	—	0.005	0.11	0.14
残留炭素 "	—	0.029	3.78	7.18
水分 "	—	0.050	0.03	0.10
総発熱量 kcal/kg	11,160	10,900	10,290	10,540

(主燃料)

都市ガス 13A
 発熱量 (高) 11,000 kcal/Nm³
 比重 (空気=1.0) 0.64

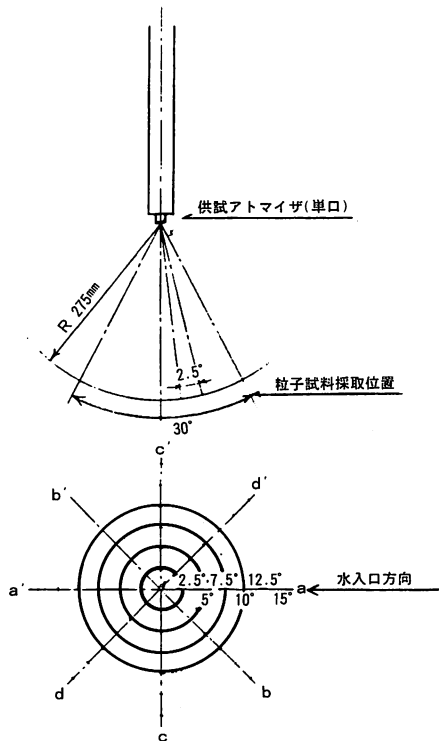


図-1 噴霧試験トラバース方法

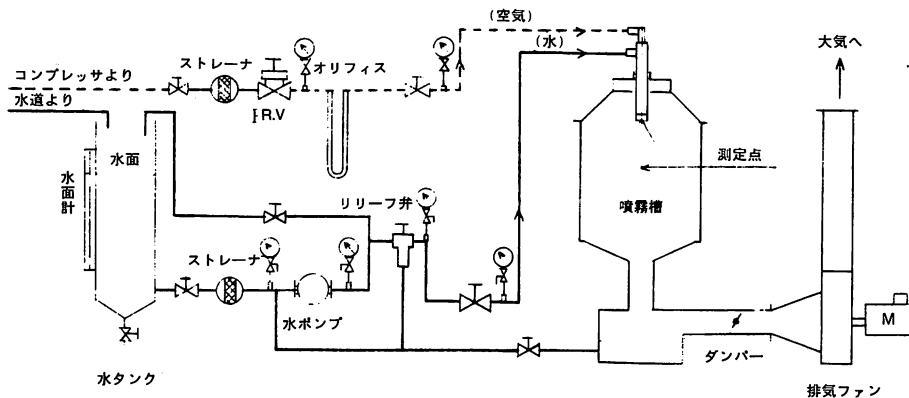


図-2 噴霧試験装置の系統図

を維持できる空燃比制御システムの確立。

以上の条件が満足されればターンドア全体を通じての低空気比燃焼性能は従来のバーナと比較して一段と改善されることになる。

3 霧化媒体の問題

液体燃料の燃焼装置においては微粒化性能がもっとも重要な要素の一つであり、これによってバーナの優劣が決まるといっても過言ではない。

現在バーナに用いられている方法には大別して、油圧による油圧噴霧、回転カップ等の遠心力による回転噴霧、蒸気・空気などの高圧霧化媒体を使用する二流体噴霧などがある。省エネルギーを考える上から高圧噴霧ポンプ、回転用モータなどの電気動力、蒸気・空気などの高価なエネルギーは極力削減すべきであろう。

一般的に蒸気噴霧方式では燃料の微粒化のためにボイラ定格時の燃料流量の約10～25%程度の蒸気消費をしており、低負荷時にはさらにその割合は大きくなる。

さて蒸気噴霧方式における燃料の微粒化に影響する要因としては蒸気消費量、ノズル噴出相対速度、ノズル形状、油の表面張力、粘度、密度比等があり主に同一油における微粒化の比較は蒸気消費量（燃料油流量に対する蒸気の質量流率比）、相対速度、ノズル形状による影響が大きいことは知られている。

したがって噴霧用蒸気を不要とするには、蒸気に代わるポテンシャル及びモーメントエネルギーを持ちしかもボイラ効率に有効な霧化媒体を選定することが肝要である。これを満足すれば蒸気消費を無くすることができ省エネルギー効果が期待できる。

4 開発過程及び結果

一般産業地域で容易に入手でき安定供給が可能な都市ガスに注目し検討の結果、霧化媒体として使用するための条件は次のようなことが考えられた。

(1) バーナに使用できる有効ガス圧力は0.5 kg/cm²以下。

(2) 使用ガス量は熱量的に総入熱量の30%以下。

又省エネルギーの面から考慮する条件として次のようなことが考えられた。

(1) 噴霧ポンプ圧力は最大5 kg/cm²以下。

(2) バーナレジスタ風圧差は150 mmH₂O以下。

(3) バーナ最大負荷時の空気比1.10を目標としターンドア全体を通じて従来のバーナより低いこと。

(4) 排ガスNO_x、ばいじん量は従来のバーナより少な

いこと。

又ボイラ用バーナ実用化の面からは次のようなことが考えられた。

(1) 現在使用中のバーナから容易に転換できること。

(2) バーナサイズのスケールチェンジが容易であること。

(3) 燃料油種が変わっても使用できること。

(4) 運転操作及びメンテナンスが容易であること。

(5) バーナターンドアレシオが従来バーナと同等もしくはそれ以上であること。

以上のようなことをバーナ開発目標として下記の試験を実施した。

(1) 水・空気による噴霧試験（噴霧分布及び粒径調査）

(2) 都市ガス（13A）を霧化媒体とする燃焼試験（燃焼に必要な条件及び油種による燃焼特性調査）。

(3) 実缶における燃焼試験（蒸気噴霧バーナとの比較及び低NO_x化への調査）。

4.1 試験装置及び方法

(1) 噴霧試験についてはJISB 8407による浸せき受止法を使い、図-1に示すトラバース方法にて測定点50から噴霧量及び噴霧粒径を採取した。全体装置の系統は図-2に示す。供試ノズルはYジェット形単口ノズルを使用した。

(2) 燃焼試験について最大燃焼量460×10⁴kcal/h（低位）：都市ガス（13A）を霧化媒体として、供給圧力0.5kg/cm²、最大燃焼量の25%熱量である110Nm³/hを最大量、供試油燃料は表1に示す通り、供給圧力は最大2.5 kg/cm²、油粘度はバーナ前にて100秒R.WNo.1以下、バーナ風圧差は150 mmH₂O以下、押込通風方式でバーナ負荷25%まではガス専焼、25%以上は油混焼（ガス流量一定）の燃焼方式、試験炉は図-3に示す直径1.2 m有効炉長5.1 m最大火炉負荷約80×10⁴kcal/m³・h。でバーナは図-4に示すセンタースワラ保炎（2段空気ポート4本付）VS-225型レジスタを使用、供試アトマイザは図-5に示すYジェット中間混合形（内側は都市ガス外側は燃料油）を使用した。又排ガス分析は図-3の試験炉の排ガス出口部より採取し、分析器（島津製NO_x計常圧式化学発光法、NOA-302B型、O₂計磁気式MAG-52型、CO、CO₂計非分散形赤外線吸収法FGA-101型）を使いその他の計測は一般計測機器を使用した。

尚、VGS型バーナとは自己排ガス再循環形レジスターのバーナであり、他の仕様はVS型バーナと同一とした。

(3) 実缶試験については連続最大蒸発量18 T/h 2 胴水

管式ボイラ（スーパーヒータ付）、蒸気圧力 40 kg/cm² 蒸気温度 400°C、押込通風方式、有効火炉寸法、巾 2.1 m、長さ 3.9 m、高さ 2.7 m 最大火炉負荷約 78 × 10⁴ kcal/m³・h（低位）で配管系統は図-6に示す。

供試バーナについては、サスペンデッド式ガス噴霧オイルバーナ1台にて最大燃焼量 1393 × 10⁴ kcal/h（低位）最大供給油圧 2.4 kg/cm²、ガス圧力 0.5 kg/cm²、最大有効風圧差 150 mmH₂O、燃焼用空気温度常温、燃焼方法は後述の図-17に示すボイラ負荷全範囲混焼、22~100% 負荷範囲ガス流量一定（投入総熱量の18%）16~22% 負荷油流量一定（投入総熱量の4%）で負荷熱量に対する残りは燃料油もしくはガス量比例方式を使用した。供試燃料は主燃料白灯油、霧化媒体用都市ガス（6B）であった。蒸気、給水、都市ガス流量はオリフィスにて計測、油流量はオーバル流量計を使用、効率計算には積算計1時間計測の値を使用した。温度計測はボイラ常設のCA熱電対を使用、その他の計測にはボイラ常設の計器を使用した。なお NO_x 効果調査に

はバイアス比率（大・小ノズル燃料流量比率）50/50、40/60、30/70、の自己バイアスアトマイザにて行なった。

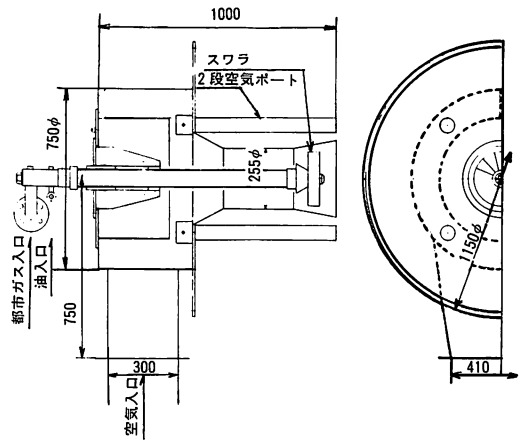


図-4 バーナ略図

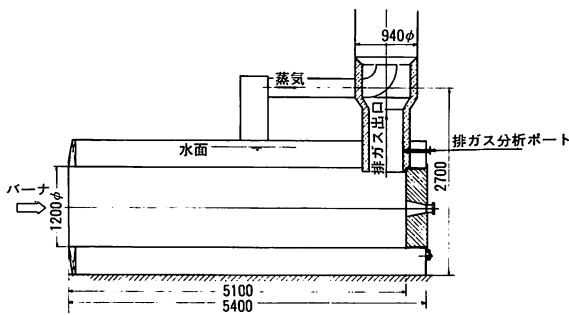


図-3 試験炉

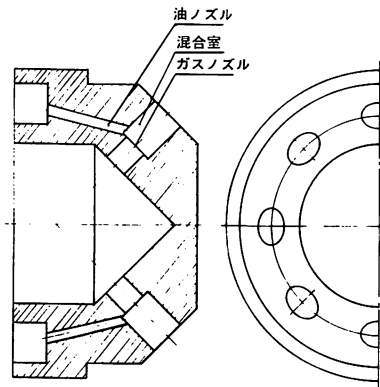


図-5 アトマイザ

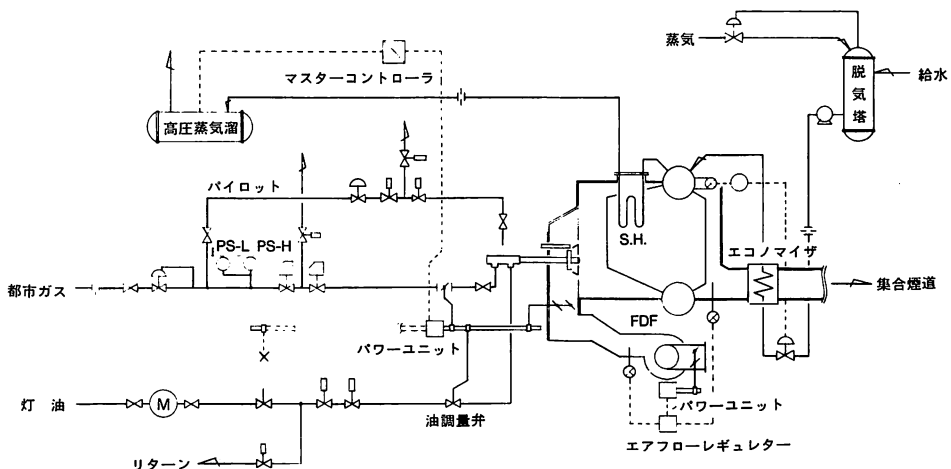
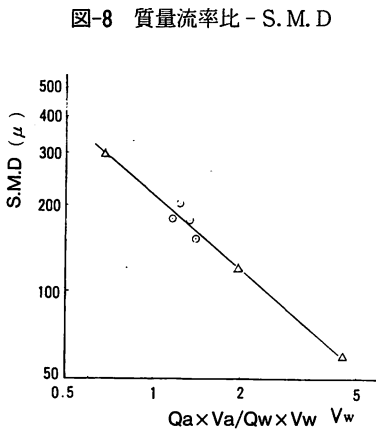
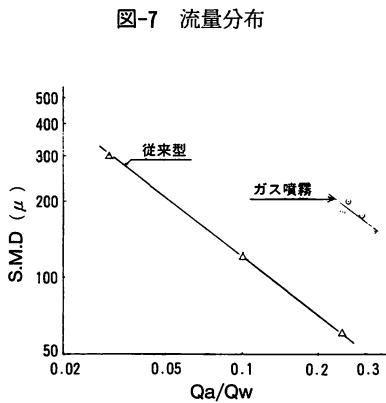
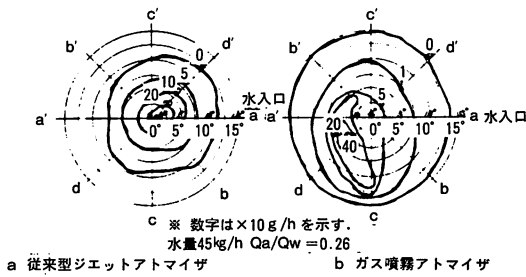
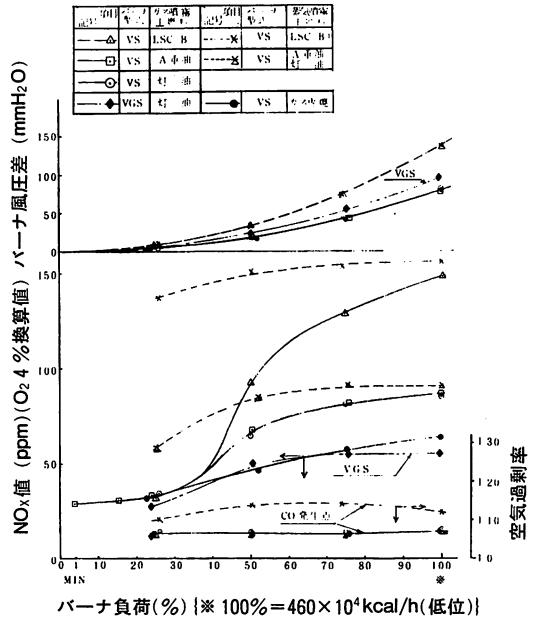


図-6 実缶配管系統図



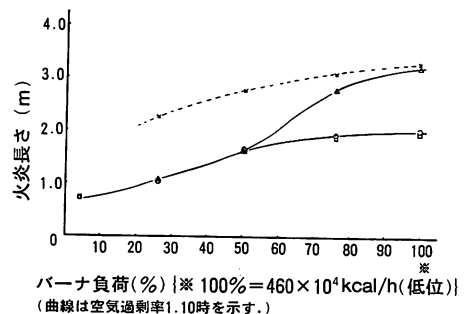
4.2 試験結果及び考察

(1) 噴霧試験について、(I)噴霧分布は図-7 a, b に示すように従来の高圧ジェットアトマイザに比べてガス噴霧アトマイザはかなり片寄りの大きい偏平な流量分布を示し、最大粒径は約 $500 \sim 700 \mu$ 程度で従来型に比べて約 2.8 倍程度の大きさを示した。(II)平均粒径(Sauter Mean Diameter, $D_{32} = \sum nd^3 / \sum nd^2$)については、図-8の示す通り従来型アトマイザより、



同一質量流率比における S.M.D. は、約 3 倍程度大きい粒径であったが、図-9に示すように運動量比と S.M.D. の関係においては両者共同一傾向を示した。又、従来型アトマイザにおける霧化媒体のノズル流速は、ガス噴霧アトマイザにおけるガスノズル流速の約 3 倍程度であった。(III) S.M.D. は質量流率比及び運動量比に対して従来型アトマイザと同じ傾向で変化する特性を示した。

(2) 燃焼試験結果について、(I)燃焼については、計画バーナ仕様において、灯油, A重油, LSC重油共に都市ガス(13A)のガス噴霧燃焼が可能であった。(II)排ガス特性は図-10に示すように蒸気噴霧燃焼より、NO_x 値が低く、低負荷になるにしたがい、さらに低



くなる特性であり、COの発生点も低く、ガス噴霧燃焼における燃焼性の方が良かった。バーナ風圧差においても従来の蒸気噴霧に比べて少ない値で排ガスO₂を下げられることがわかった。又、自己排ガス再循環形レジスタ(VGS型)を使用するとガス噴霧では60ppm程度と低いNO_x値を示した。ターンダウンレシオはバーナ負荷4%まで燃焼可能で従来の蒸気噴霧バーナの8:1前後に比べて、非常に大きい結果を得た。(Ⅲ)火災長さは図-11に示すように蒸気噴霧に比べてLSC重油では同じ程度であるが灯油A重油であれば30%以上短炎であった。(Ⅳ)アトマイザ交換のみにて、ガス専焼及び蒸気噴霧燃焼が可能な事を確認した。(図-10中データはアトマイザのみ交換の場合のものである。)(Ⅴ)霧化媒体(都市ガス)の必要量については、各種アトマイザの試験結果より燃料油が低質になるにつれて所要都市ガス量が多くなることが判明した。(Ⅵ)負荷一定空気特性は図-12に示すようにガス噴霧の場合は100%から20%負荷まで過剰空気比を1.10に維持することができた。(Ⅶ)燃焼方法については図-13に示す方式にて実施した。

(3) 実缶燃焼試験結果について、(Ⅰ)燃焼性については、計画バーナ仕様にて、熱量比(ガス投入熱量/総投入熱量)0.18、スワラ保炎にて、蒸発量18 T/H 燃焼

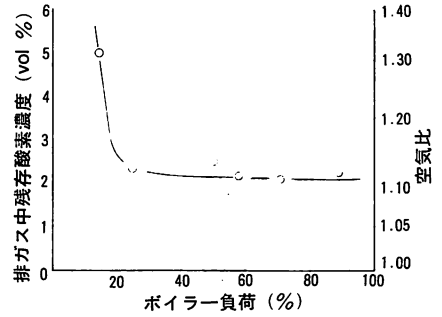


図-14 ボイラ負荷と空気比特性

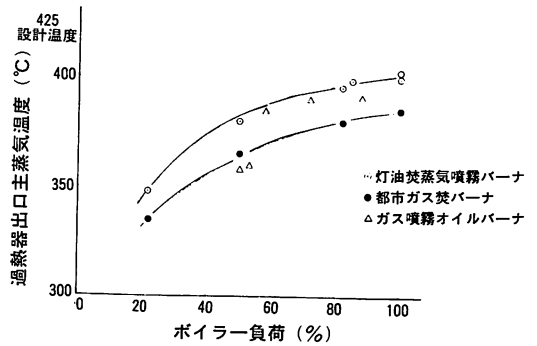


図-15 ボイラ負荷と過熱蒸気温度特性

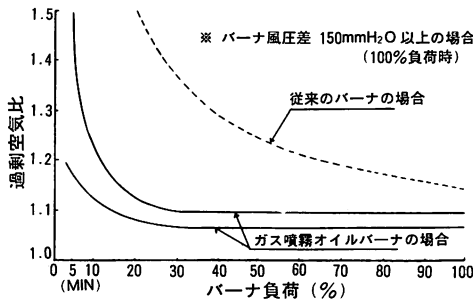


図-12 負荷 - 空気比特性

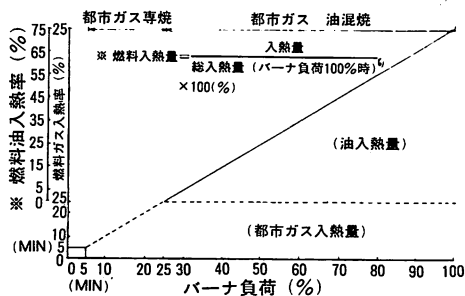


図-13 負荷と燃焼量特性

表 2 ボイラ効率

項目	バーナ	
	従来のバーナ	ガス噴霧式バーナ
燃 料	灯 油 (蒸気噴霧)	灯油 + 都市ガス (都市ガス噴霧)
ボイラ負荷	50% 100%	50% 89%
ボイラ効率	*85.9% 90.7%	90.5% 93.0%
排ガス温度	146°C 182°C	138°C 162°C
排ガス中 残存 O ₂ 濃度	6.8% 3.8%	2.5% 2.3%

*排ガス温度、排ガスO₂、噴霧用蒸気消費量(280kg/H)から算出した値である。

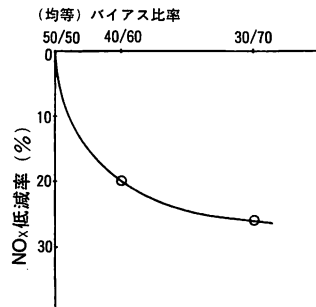


図-16 自己バイアスアトマイザによる NO_x 低減効果

及び自動運転においても十分追従する燃焼であることを確認した。(Ⅲ)空気比特性について図-14に示す。ボイラ負荷22%まで空気比1.13以下の燃焼が可能であった。(Ⅳ)過熱蒸気温度について図-15に示す。同一ボイラにおける従来の蒸気噴霧方式とガス専焼との中間に位置し、ガス燃焼量の比率が増加するとガス専焼のデータに近づく値となり、油燃焼量の比率が増加すると蒸気噴霧方式のデータに近づく値となった。またスーパーヒータへの悪影響のないことを確認した。(Ⅴ)ボイラ効率について表2に示す。同一ボイラにおける従来の蒸気噴霧方式のバーナより、2.3~4.6%の効率上昇が得られ、低いボイラ負荷ほど効率上昇が得られることを確認した。(Ⅵ)自己バイアスアトマイザによるNO_x低減効果について図-16に示す。従来の蒸気噴霧バーナに比べてNO_x値の低減効果が大きく、バイアス比変更で20~25% NO_xの低減が可能であった。(Ⅶ)燃焼方式は図-17に示すような方式で実施した。

5 考 察

- (1) 噴霧については、噴霧媒体が低圧であるために従来型アトマイザと比べると粗大ではあるが、ガス燃焼の助燃による燃焼促進効果が完全燃焼を可能にしていると考えられる。
- (2) 噴霧試験における試験結果によるとS. M. Dは、高圧の霧化媒体を使用する従来型(蒸気・空気噴霧方式)では、質量流率比による影響が大きい。しかし、低圧の霧化媒体を使用するガス噴霧の場合は、質量流率比より流速の影響が大きいと考えられる。
- (3) ガス噴霧式オイルバーナの燃焼機構は図-18に示すように、油は供給口①より供給され噴出孔②を通り霧化室③に達する。一方都市ガスは供給口⑤より供給され噴出孔⑥を通り霧化室③に達する。霧化室③では噴霧媒体である都市ガスにより油が微粒化噴霧され、噴出孔④より噴出し空気と混合して燃焼する。④より噴出された噴霧燃料と空気の混合気は第一燃焼ゾーン④において、ガス燃料が先行して着火、油の比較的微細な粒子はすぐ気化燃焼に入る。他の油粒子はさらに熱分解、蒸発、気化の過程を経て第二燃焼ゾーン⑤に達する。さらに都市ガスの燃焼熱及び火炎が油燃焼を促進し、油滴の完全燃焼を推進、第三燃焼ゾーン⑥にて燃焼を完結すると考えられる。
- (4) 低空気比、低バーナ風圧差燃焼が可能要因については、ガス専焼における低空気比、低バーナ風圧

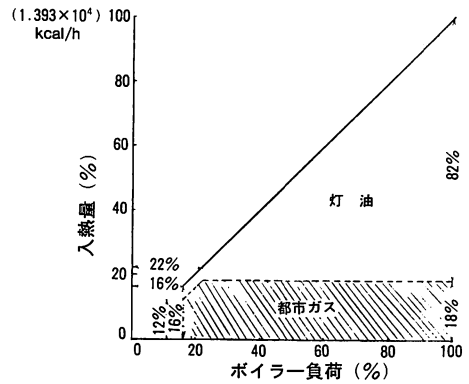


図-17 負荷と燃焼量特性

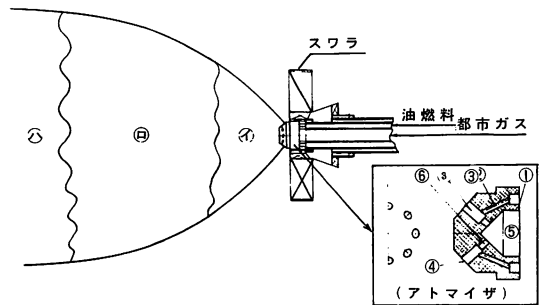


図-18 ガス噴霧式オイルバーナの火炎モデル

差燃焼が容易に実施できることは知られており、ガス噴霧燃焼では図-13, 17で示されるように燃焼性の悪化する低負荷になるほど燃料に占めるガス比率が増加し、ガス専焼に近づくと同時に霧化媒体であるガスの質量流率比の増加が油の霧化と助燃を大きくしていくために燃焼性が上がることから可能にしていると考えられる。

- (5) 霧化媒体の変換が可能要因については、都市ガスの持つ圧力は小さい、しかし質量流率を増加することにより一応燃焼可能な粒径まで可能で、低負荷時は質量流率比の増大が微粒化をおぎないさらにガス火炎の熱的バックアップに助けられて長炎化を防ぎ空気との拡散能力の補充から可能にしていると考えられる。
- (6) ガス噴霧式オイルバーナをボイラに適用するためには、燃焼用空気のフローパターンの最適化が重要な要因である。

6 ま と め

- (1) 都市ガスによるガス噴霧燃焼は、灯油、A重油、LSC重油共に可能である。
- (2) 一定O₂制御燃焼は図-13, 17の燃焼方式をすれば、

バーナ負荷20%程度まで可能である。

- (3) アトマイザだけを変更することにより、ガス専焼、ガス噴霧混焼、蒸気噴霧油専焼のいずれも選択可能である。
- (4) ガス噴霧燃焼は、タウンダウンレシオが従来型より大きい。
- (5) 噴霧粒径は粗大であるが、従来型と同様な燃焼が可能である。
- (6) 実缶において、省エネルギー効果が証明された。今回は一般産業用ボイラの省エネルギーの一方法として従来の燃料油の噴霧用蒸気を低圧の可燃性ガスに置き換えたバーナの実験結果を報告した。現時点では

定量的な効果についてはまだ不十分な点多く、その可能性の一端を把握したに過ぎないが、いさゝかでもご参考になれば幸いである。

おわりにあたり本試験の実施につき東京瓦斯機特需開発室の多大なご協力を賜り、茲に厚く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 根矢ほか 船研第10回研究発表会講演概要 1968-5
- 2) 同 上 同上 13回 1969-5
- 3) 同 上 同上 15回 1970-5
- 4) 同 上 同上 17回 1971-5
- 5) 大原ほか 日本機械学会論文集(第2部)40巻336号 1974-8

