

特集 重質油対策技術の開発

# 劣質残渣の無公害型燃焼技術

## Residual Oil Combustion and Environmental Protection

鈴木 治 朗\*  
Jiro Suzuki

### 1. ま え が き

本稿は、重質油対策技術研究組合燃焼技術研究開発グループ（財）電力中央研究所、石川島播磨重工業、日立製作所（バブコック・日立）、三菱重工業）が54年6月の組合発足以来、現在まで劣質残渣（以下、アスファルトと称す）の無公害型燃焼技術について研究開発してきた結果の概要をとりまとめたものである。

### 2. 研究開発の進め方

#### 2.1 研究開発の目標

カフジ原油等から得られるアスファルトを高効率、かつ低NOx・低ばいじんで燃焼させること、ならびに一般排出基準相当からさらに厳しい事業用重油専焼火力発電所基準なみまでの範囲に排煙を処理する無公害型燃焼技術の開発を目標とする。

#### 2.2 開発スケジュールの概要

昭和54～55年度は各社の既存のベンチ・スケール燃焼試験装置を改造して燃焼試験を実施し、低NOx、低ばいじん燃焼技術、集じん技術、排煙脱硫・脱硝技術、空気予熱器の閉塞防止対策および低温腐食防止対策などの要素技術の研究開発を行うと同時に、パイロット・プラントの構想検討を実施した。

昭和55年度には各社共同でパイロット・プラントの設計・製作を行い、昭和56～57年に各社が交替でパイロット・プラントを使用して上記研究開発項目を実証した。

#### 2.3 開発項目

アスファルトを単に燃焼させるだけならば、それなりのむずかしさはあるが、既に自家発電用・産業用ボイラの燃料として使用した実績もある。しかし最近の

厳しい環境条件・燃料事情に合わせた低公害化・高効率化プロセスについては確立されていない。図-1にアスファルトを電力用ボイラの燃料として使用する場合の開発項目を示す。

### 3. 研究開発内容

#### 3.1 供試燃料の性状

燃焼試験用パイロット・プラントおよび排煙処理試験用パイロット・プラントで使用したアスファルト性状の例を、起動停止時および比較燃料として使用したC重油の性状とともに表1に合わせ示す。また、温度

表1 供給燃料の性状

油 種		C 重油	アスファルト		
試 料 No.		C - 1	ASH-1	ASH-2	平均値
項 目	単 位				
発熱量	kcal/kg	10,320	9,950	9,910	9,930
比重	100/4°C	0.909	0.980	0.984	0.982
引火点	°C	110以上	330	332	331
流動点	°C	-2.5	58.5	58.5	58.5
水分	%	0.05以下	0.05以下	0.10	0.05
灰分	%	0.02	0.06	0.06	0.06
残留炭素	%	11.67	23.72	24.74	24.23
C	%	85.5	84.1	84.2	84.15
H	%	11.5	10.5	10.3	10.4
O	%	0.4	0.5	0.3	0.4
N	%	0.19	0.38	0.36	0.37
S	%	2.44	4.44	4.76	4.60
Cl	ppm	86	204	122	163
Na	ppm	30.2	95.2	103.6	99.4
Mg	ppm	1.2	4.1	4.1	4.1
Si	ppm	1.7	3.8	3.0	3.4
K	ppm	1.2	2.2	2.5	2.4
Ca	ppm	1.4	2.3	2.5	2.4
V	ppm	49.6	100	106	103
Fe	ppm	13.5	22.0	20.8	22.4
Ni	ppm	19.1	46.3	41.5	43.9

\* (財)電力中央研究所・エネルギー環境技術研究所  
機械部燃焼研究室

〒201 東京都狛江市岩戸北2-11-1

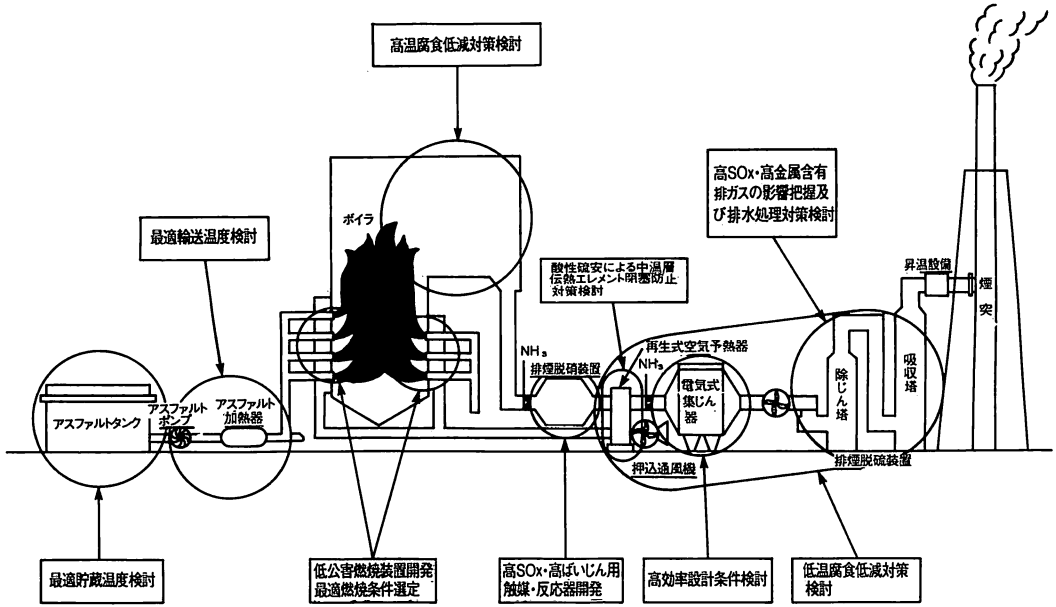


図-1 発電用ボイラの燃料として使用する場合の開発項目

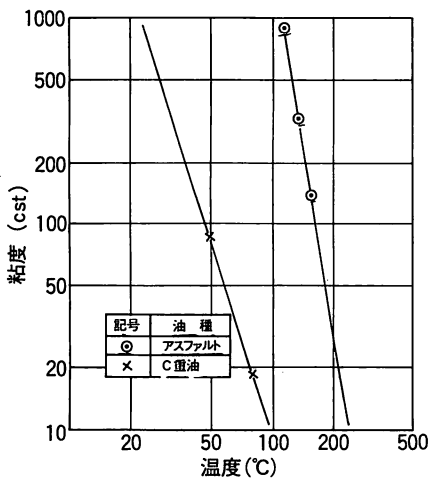


図-2 供試燃料の温度と粘度との関係

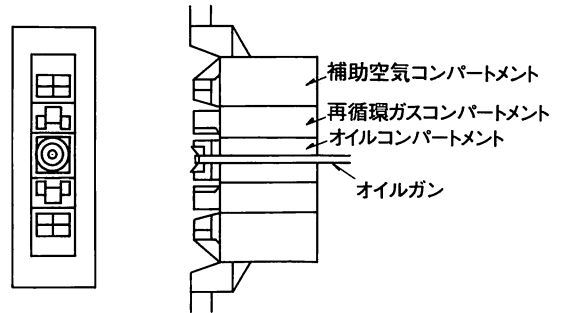


図-4 供試バーナ (VI) 概略図

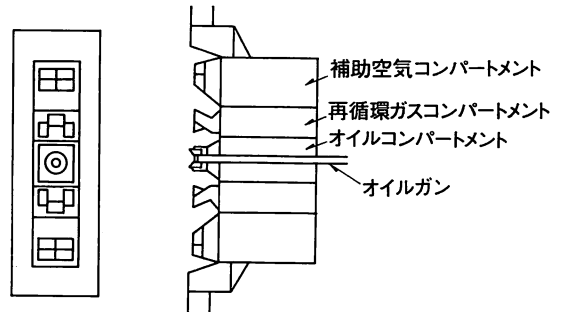


図-5 供試バーナ (VII) 概略図

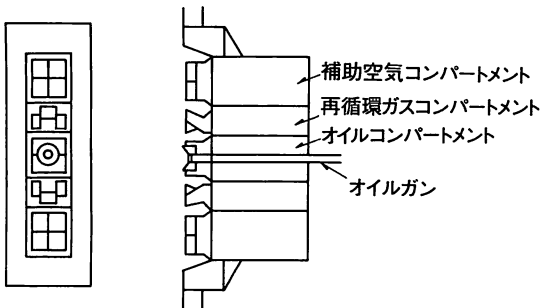


図-3 供試バーナ (V) 概略図

と粘度の関係を図-2に示す。

3.2 使用した主な試験設備

昭和56~57年度に各社が交替で実施した燃焼試験用パイロット・プラントでは、実規模大バーナ（燃料流量、3ton/h、三菱重工業、長崎研究所構内に設置）の燃焼試験を行い、バーナ特性および排ガス性状の調

表2 検 討 項 目

設備別	主な検討項目	設備別	主な検討項目
ベンチスケール試験設備	①貯蔵移送試験 ・最適移送温度 ・配管移送特性 ②噴霧特性試験 ・アトマイザの噴霧特性 ・アトマイザの摩耗特性 ・低NOx, 低ばいじんバーナの選定 ③最適燃焼条件の選定 ・空気過剰率 ・二段燃焼 ・排ガス再循環 ・排ガス性状 ・ばいじん性状(サブミクロンばいじん) ④脱硫試験 ・処理ガス量 ・液-ガス比 ・ガス組成 ⑤脱硝試験 ・反応温度特性 ・SV値特性 ・NH <sub>3</sub> /NOx比特性 ・圧力損失 ⑥集じん試験 ・荷電特性 ・灰の固有抵抗値 ・NH <sub>3</sub> 注入・無注入	パイロットプラント	⑦再生式空気予熱器の運転条件 ・酸性硫安による中温層伝熱エレメントの閉塞防止 ⑧低温腐食量推定試験 ①燃焼特性の検討 ・低NOx, 低ばいじんバーナの燃焼特性 ②排煙処理装置の経時変化試験 ・アスファルト燃焼排ガスの長時間運転を実施し, 排煙脱硝装置, 集じん器, 排煙脱硫装置, 再生式空気予熱器に対する高濃度のSOx, ばいじん, 重金属分を含む排ガスの経時的影響の調査・検討 また, ボイラ高温伝熱部の腐食防止対策として使用する燃料添加剤の排煙処理装置に対する影響についての調査・検討 ③燃料添加剤の注入効果調査 ・ボイラの高温腐食防止用として使用する燃料添加剤の注入効果について調査・検討 ④サブミクロンばいじん濃度調査 ・燃焼試験用および排煙処理試験用パイロット・プラントの各装置部でのサブミクロンばいじん濃度を計測し, アスファルト燃焼時の排出量を把握する

査を行い, 低NOx, 低ばいじん, 低O<sub>2</sub>燃焼を目標に最適燃焼条件の検討を行った。試験に使用したバーナの例を図-3~図-5に示す。

また, 排煙処理試験用パイロット・プラントは脱硫・脱硝・集じん用排煙処理装置の長期間の経時変化および安定性を調査・検討する設備で燃料流量, 85kg/hのものをバブコック・日立, 呉工場構内に設置した。

3.3 検 討 項 目

アスファルトの無公害型燃焼技術開発のため, 各社で実施した主な検討項目を表2に示す。

4. 研究開発結果

4.1 燃焼試験用パイロット・プラントにおける試験結果

バーナの燃焼性を54年度製作試験したバーナI, 55年度製作試験したバーナIIIと今年度製作したバーナV, VI, VIIについて比較したのが図-6および図-7である。

図-6はNOxとばいじんの関係を示す。NOxが低くなるにつれてばいじん濃度は増加する。ベンチ・スケール試験のバーナではバーナIIIがばいじん濃度が低かったが, バーナIIIのスケールアップバーナであるバーナVはバーナIIIと同じ傾向を示している。これに対し,

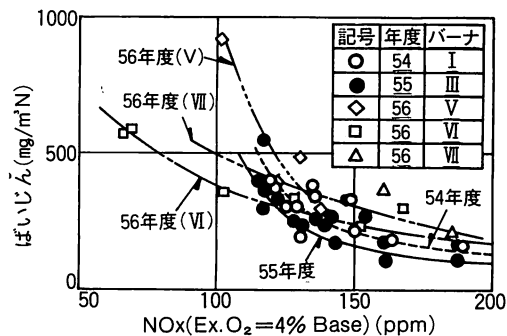


図-6 各種バーナの燃焼性能-1)

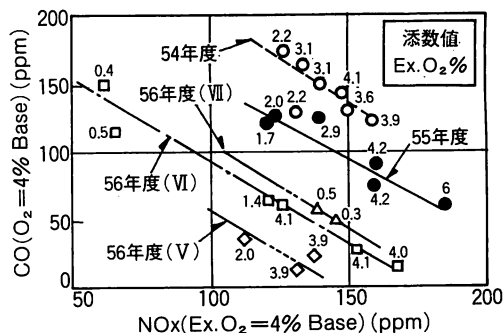


図-7 各種バーナの燃焼性能-2)

バーナVIとバーナVIIは共に低NOx域でもばいじん濃度が少ないという特性をもっており、バーナVIIのばいじん濃度は最も低い。

一方、図-7はNOxとCOとの関係を示すもので、この場合もNOxの低下と共にCOは増加するが、バーナVIIのCOが最も低くつづいて、バーナV, VI, III, Iの順となり、今年度製作したバーナは前年度までのバーナと比べ、いずれも低い値を示した。

以上の両図の比較より、バーナVIは燃焼性が良い事を示している。

アスファルト燃焼のNOx, ばいじんとO<sub>2</sub>濃度との関係を図-8に示す。

NOxとO<sub>2</sub>との関係は、54・55年度のバーナでは、バーナによる差は明りょうでないが、56年度バーナでは低O<sub>2</sub>領域でのO<sub>2</sub>濃度に対するNOx低減率が大きいという特性を持っている。特にバーナVIは他のバーナに比べ低O<sub>2</sub>領域でのNOx値が低い。

ばいじんはO<sub>2</sub>濃度の低下と共に増加する。54年度バーナの増加率は大きいですが、55年度バーナIIIと56年度バーナVIでは、バーナによる差は明りょうでなく、ほぼひとつの曲線にまとまっている。

これに対し、56年度バーナVIIはO<sub>2</sub>濃度の全域にわたってばいじん濃度が少ない。

なお、54・55年度バーナでは安定な燃焼ができるO<sub>2</sub>濃度の下限が2%程度であったのに対し、56年度バー

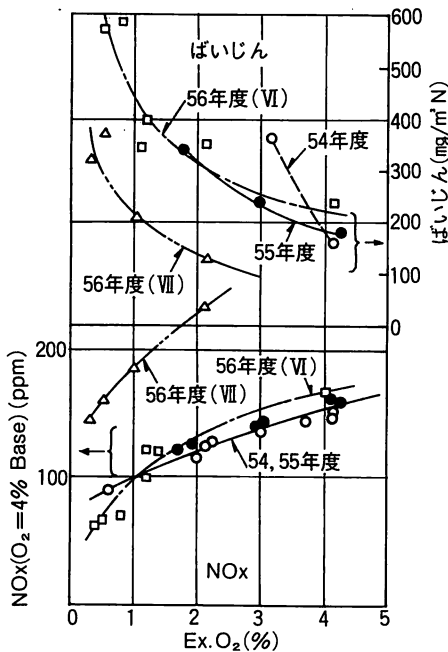


図-8 Ex.O<sub>2</sub>の影響

ナではO<sub>2</sub>濃度0.5%でも安定な燃焼ができた。これは空気と燃料の混合が良好であったことを示している。

バーナVIによる二段燃焼時のNOxとばいじんの变化を図-9に示す。NOxはOFA=17%で約110 ppm減少するが、ばいじんは著しく増加する。

バーナVIを用いて、燃焼排ガスの再循環吹き込みによるNOx, ばいじんの变化を図-10に示す。O<sub>2</sub>濃度1%の場合SGRを22%投入することによりNOxは約30 ppm, ばいじんは約20mg/m<sup>3</sup>低減する。

4.2 排煙処理試験用パイロット・プラントにおける試験結果

4.2.1 排煙脱硝装置

初期性能のうちガス温度-脱硝率の関係を図-11に、NH<sub>3</sub>/NOxモル比-脱硝率・残存アンモニア濃度の関係を図-12に、またSV値-脱硝率の関係を図-13に示す。

経時変化試験ではアスファルト燃焼排ガスにて延運転時間1802時間にわたる試験を実施し、また試験途中の718時間からは燃料中に添加剤を注入し、添加剤含有成分の触媒に対する影響の有無について検討したが、

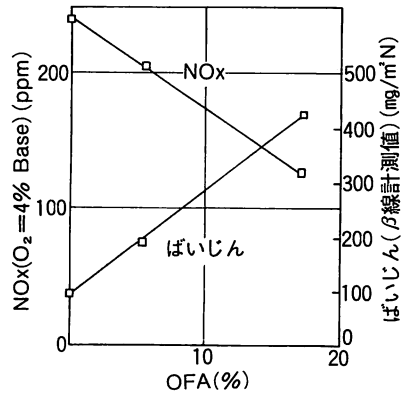


図-9 二段燃焼と燃焼性

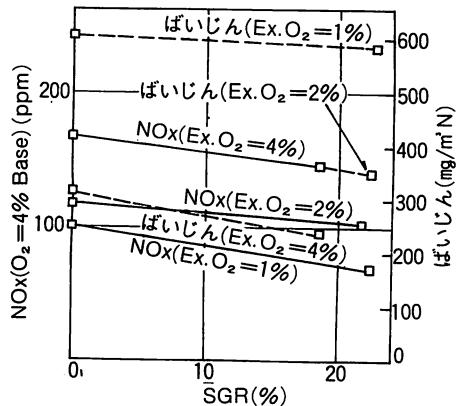


図-10 再循環ガス吹き込みと燃焼性

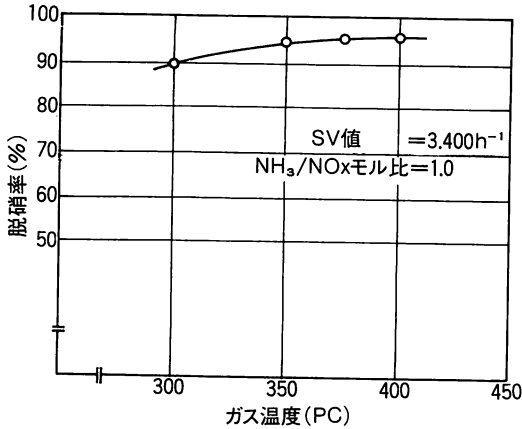


図-11 ガス温度一脱硝率

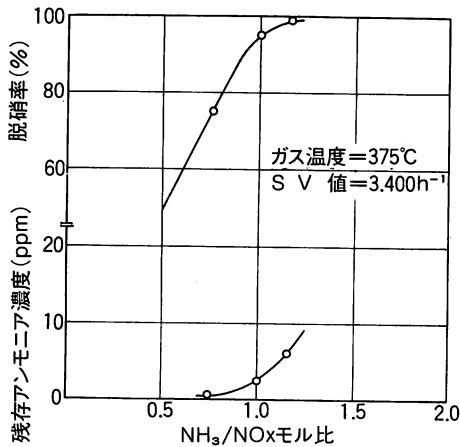


図-12 NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub>モル比一脱硝率・残存アンモニア濃度

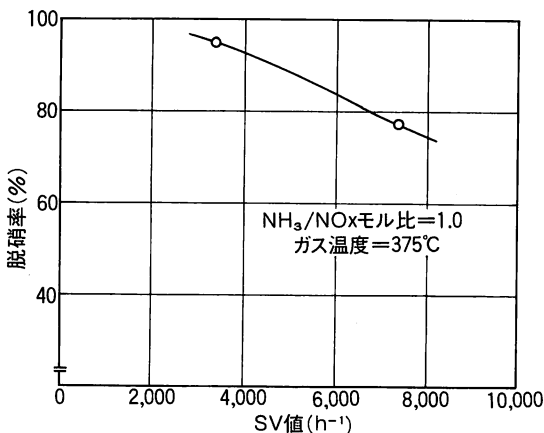


図-13 SV値一脱硝率

特に影響はなかった。

4.2.2 再生式空気予熱器

脱硝装置からの残存アンモニア（アンモニア濃度、1～2 ppm）だけでは、酸性硫酸による再生式空気予

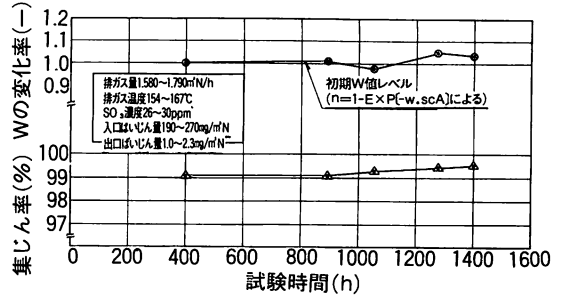


図-14 集じん特性の経時変化

熱器伝熱エレメントの閉塞がほとんど認められなかったことにより、試験途中から入口ガス中に排ガスアンモニア濃度で5ppm、20ppm、40ppmになるように注入して、アンモニア濃度と閉塞状況との関係を調査した。

この結果、ストローにより初期値まで戻ることが確認できた。本試験でのエレメント付着物は比較的飛びやすいものであったが、閉塞対策を常に考慮しておく必要がある。

4.2.3 電気集じん器

図-14にドイツの式  $\eta = 1 - \exp[-W : SCA]$  による集じんパラメータ、Wと集じん率、 $\eta$ の経時変化を示す。電気集じん器入口排ガス条件の変動に伴ないある程度のバラツキがあるが、経時変化による集じん特性の低下は特に認められず、既存の技術で実用化が可能であることが明らかとなった。EP入口ばいじんは残炭型が主でNH<sub>3</sub>注入により生成した硫酸が認められ、EP出口は微粒径の硫酸がほとんどであり、粒径の大きいカーボンは大部分がEPで捕集されている。

図-15にNH<sub>3</sub>注入時と無注入時のKV-mA特性を示す。SO<sub>3</sub>反応生成物の空間電荷による放電電流の抑制が明瞭に現われており、同一電界強度において放電電流が約1/3に減少していることが認められる。

図-16に捕集ばいじんの電気抵抗率を示す。電気抵抗率は、運転条件において  $9 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$  であった。

4.2.4 排煙脱硫装置

処理ガス量と脱硫率の関係を図-17にベンチ・スケール試験とパイロットプラント試験の結果を併記して示す。いずれもガス量を減少して脱硫装置の負荷を下げると脱硫率が向上している。

液ガスと脱硫率との関係を図-18に示す。液ガス比を増加すると脱硫率は向上している。これらの脱硫特性は重油焚き、石炭焚きの排ガスを処理した場合と一致している。

脱硫特性の経時変化試験により安定した脱硫性能が

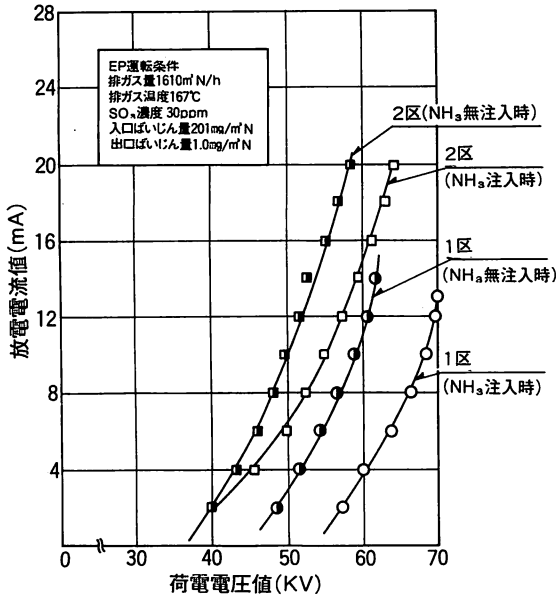


図-15 E. P. 荷電特性 (E. P. 運転時)

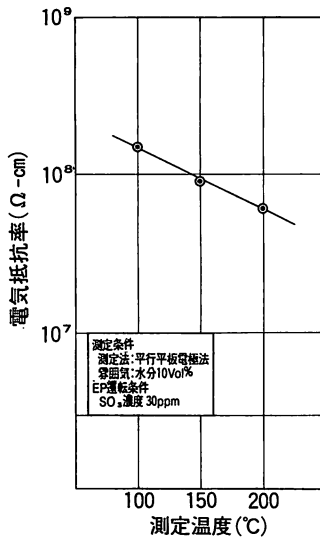


図-16 E. P. 捕集ばいじん電気抵抗率

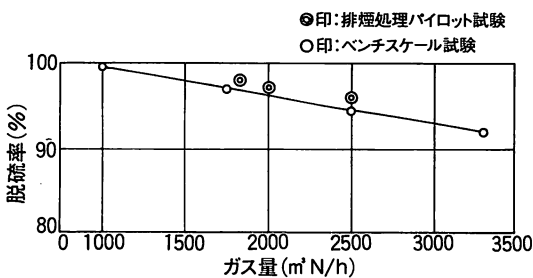


図-17 処理ガス量と脱硫酸率の関係

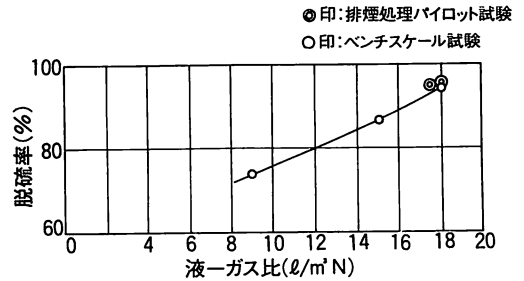


図-18 液-ガス比と脱硫酸率の関係

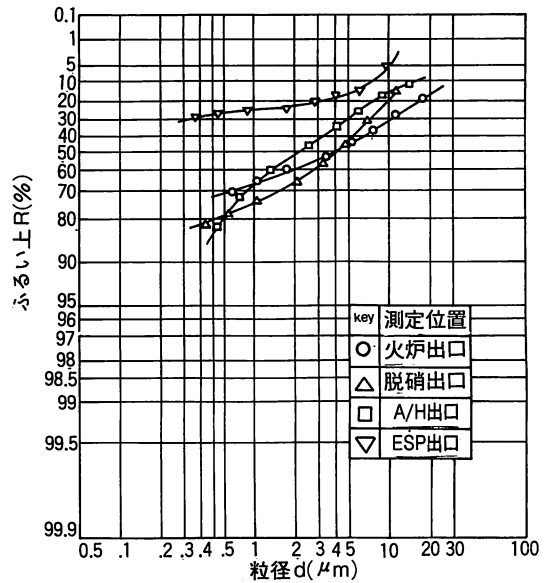


図-19 アスファルト燃焼灰の粒径分布 (排煙処理試験用パイロットプラント、添加剤注入時)

得られ、既存技術の適用により対処できることが確認できた。

4.2.5 サブミクロンばいじんの部分集じん率

図-19に添加剤注入時の粒径分布をA・S・S・で測定した粒径分布を示す。

電気集じん器、排煙脱硫装置および両者組合せにおけるサブミクロンばいじんの部分捕集効率を、添加剤注入時を図-20に示す。

図に示したように電気集じん器の部分捕集効率は、粒径0.1 μm以上のばいじんに対しては、いずれの場合もほとんど99%程度の値を示している。しかし、0.1 μm以下の粒子に対しては極端に効率が低下し、0.04 μm以下では捕集効率0%となっている。

排煙脱硫装置のばいじんの部分捕集効率を図中の一点鎖線で示すが、粒径0.1 μm以上の比較的大きな粒子

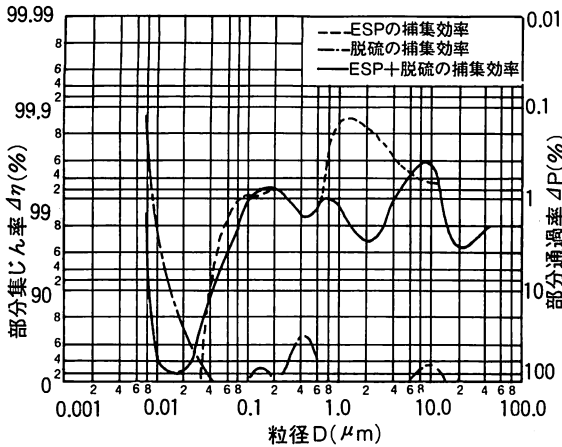


図-20 アスファルト燃焼灰の部分集じん率 (添加剤注入時)

は、そのほとんどが電気集じん器で捕集されているので排煙脱硫装置での捕集効率は低くなっている。一方 0.05 μm 以下の微小ばいじんやミスト状物質は、かなり捕集されている。実ボイラにおいては電気集じん器入口ばいじん濃度がさらに高くなることを考えると排煙脱硫装置のばいじん除去性能を高くすることは、ばいじん対策上、非常に有効である。

電気集じん器と排煙脱硫装置とを組合せた部分捕集効率は実線で示すが、0.02 μm 付近の除去性能が低いことがわかる。したがって、この領域のばいじんの捕集性能が良い集じん方式の開発が急務となるであろう。

5. ま と め

昭和55年度に設置したパイロット・プラントを用いてアスファルトの燃焼試験を行ない、下記の結果が得られた。

- ① 貯蔵移送条件としては、アスファルトを 150℃ 程度に保つ必要がある。
- ② 燃焼条件としては、アスファルトを最適噴霧温度 (210～230℃) まで予熱し、O<sub>2</sub> 濃度、2.0% 以上で燃焼する必要がある。
- ③ 実規模バーナの燃焼試験結果から、アスファルト燃焼時のバーナ特性および排ガス性状が総合的に把握でき、従来技術の延長で排ガスの無公害処理を含めたアスファルト焚きボイラを実用化できる具体的な見通しを得た。
- ④ 本試験で使用した排煙脱硝装置の触媒は、高濃度の SO<sub>x</sub>・ばいじん・重金属を含むアスファルト燃焼排ガスに対しても十分な耐力を持つことを確認した。

- ⑤ 再生式空気予熱器は、煤吹効果の大きいストブローワーを装備することにより、酸性硫安析出による中温層伝熱エレメントの閉塞をほぼ防止できることを確認した。
- ⑥ 電気集じん器は、アスファルト燃焼排ガスの場合でも、既存の技術範囲内で経時劣化を引き起すことなく、実用に供し得る見通しが得られた。
- ⑦ 排煙脱硫技術は従来の重油焚き、石炭焚き排ガスの既存技術で排出基準を満たすことが可能と判断できた。
- ⑧ 水酸化マグネシウム系の燃料添加剤の注入によりボイラ伝熱面の高温腐蝕の防止が期待できる。
- ⑨ 電気集じん器と排煙脱硫装置を組合せた時の部分集じん率は、0.01 μm 以下の粒子と 0.05 μm 以上の粒子に対しては90%以上になった。しかし、0.01～0.05 μm の範囲の粒子に対しては捕集効率が低いので、何らかの捕集性能向上対策が必要である。

6. 今後の課題

昭和54～57年度上期の試験研究の結果、アスファルト直接燃焼の実用化の見通しが得られたが、実用化にあたっては、従来の低硫黄C重油 (S = 0.2%程度) 焚および石炭焚と比較してアスファルト焚は、発電原価が増加することから、この増加分に見合う燃料価格を考慮した上で、下項の項目について検討する予定である。

- ① 代表的容量 (350 MW) のボイラにおいて、設備仕様、設備費、維持費および運転経費等についてアスファルト焚と上記燃料との比較。
- ② 総合評価
  - また、アスファルト直接燃焼を事業用発電として利用することは技術的には可能であるので、アスファルトの価格および供給など技術以外の面で適切な条件が整うならば、国の重質化対策に協力・貢献することができる。なお直接燃焼発電については、さらに、
- ③ 長寿命化、耐食性等システムの信頼性のより一層の向上
- ④ システムの制御・保守技術の開発
  - などが課題である。

以上述べたように技術面では既存技術の改良などにより環境面などでほぼ満足できる見通しを得ているが電気事業にとって燃料としての採用を左右する大きな条件はアスファルトの安定供給とコストである。