重油ボイラーの燃焼試験

大昭和製紙㈱ 狩 野 昭 平

Experience with Combustion Test of Heavy Oil Boiler

Shohei Kano

Fuji Mill, Daishowa Paper Mfg. Co., Ltd.

1. 燃焼管理の背景

重油だきボイラーの燃焼技術は、既に完成された技術として実行され、設計基準に従った運転操作と、自動制御機器によって、到達すべきボイラー効率を実現できるようになっている。

しかし、近時、大気汚染防止の諸施策がなされ、併せて、エネルギー効率化の必要性が増大してきて、燃焼管理は、今までと異なる意味において重要性を増してきた。ボイラー効率とばいじん濃度の背反性、燃料組成と NO_x の関係など、無視できない諸項目が登場してきて、既に完成された技術であるとはいいながら、見落とし易い現象を、今一度見直す必要がある。

こうした背景から、当工場のボイラーで、燃焼試験を行ったので、その結果と、それに用いたまとめの手段について若干の報告をしたい。

2. 燃焼試験の目的

2.1 磁力利用による燃焼改善効果の確認

筆者は、最近、 NO_x 調査にかかる二つの委員会に関与し、調査の一部を担当したが、多数のボイラーを対象とした調査では、各種の相関に鮮明さを欠いた。機会があったら、特定のボイラーでテストデータをとりたいと思っていたところ、近隣の事業場で、磁力利用による燃焼改善が実施されているやに聞き及んだので、当ボイラーにおいても、その効果と、採用の可否を検討したいということになって、それが、燃焼試験の動機となった。

2.2 正常な燃焼状態のデータを保存し、以後の燃焼管理に役立たせる

燃焼状態を特別の状態において行うのは実作業としてやりにくいし、活用にとって比較の対象としにくいから、通常負荷で行った。

3. 試験ボイラーの概要

本ボイラーは、燃焼改善による NO_x 対策を、全面的に採用したボイラーで、その概要は次に示す通りである。

3.1 要 目

型 式	単胴放射型
製 造 者	石川島播磨重工業㈱
蒸 発 量	260 t/h
最高使用圧力	147 kg/cm ²
汽 温	536 °C
燃 料	C 重油
加熱面積	
放射加熱部	771 m ²
接触加熱部	660 m ²
計	1,431 m ²
火 炉 容 積	733 m ³
ボイラー効率	92.8 % (低位発熱量基準)
使用開始	昭和50年10月

3.2 NO_x 対策の概要

		同規模無対策 ボイラー	本ボイラー
NO_x 濃度	ppm	220	(目標 120) 140
火炉容積負荷	kcal/m ³ h	334,000	247,000
火炎温度	°C	1,500~1,700	1,400~1,600
バーナー部 冷却面積	%	100	110
バーナー部 スロート部流速	m/s	42	37
排ガス再循環率	%	—	20
バイアス空気率	%	—	15

図 1 O₂のばらつき

バーナーは中間混合蒸気噴霧式で、3本ずつ3段で9本を有する。上段のバーナー直上にオーバーエアポート3個を配置し、中段及下段の各バーナー直上に、バーナーバイパスエアポートを配置してある。上表中のバーナー冷却部（バーナーゾーン）の概念は、次の通りである。

上段バーナーの中心から上部に、バーナーの垂直間隔を加えたものを上限とし、炉底と、前炉壁の屈曲点を下限とした6面体の面積を想定してバーナーゾーンという。従って、上面及び下面は、実際の伝熱面ではない。このバーナーゾーン面積の熱負荷が、NO_x濃度に関係すると考えられている。

4. 試験方法

4.1 試験の条件

	年 月 日	磁力装置	燃料の残留炭素
試験 A	53.2. 6～9	無	9.8%
試験 B	53.2.22～24	有	9.2%

4.2 磁力装置の取付けについて

試験Bにおいて、各バーナーの重油可撓管及び蒸気可撓管のそれぞれに計18個を仮装着した。磁力の強さは、重油側2,100 Gauss、蒸気側1,400 Gaussである。

4.3 測定項目等

1) O₂濃度は、0.8、1.0、1.2、1.4、1.6、1.8%を標準とし、中央操作室において空燃比設定を行い、そのまま固定とした。各段階ごとに、40個以上のデー

タをとった。

2) O₂（ボイラー出口、煙突入口）、NO_x、SO₂、ばいじん濃度、ボイラー負荷（蒸発量）を2分間隔に記録した。ばいじん濃度は、ボイラー出口で、簡易スモークテスターで測定した。O₂は、オルザット分析計及び磁気式連続酸素計による。ばいじん濃度とO₂測定作業は、ほとんど連続した作業になった。

3) データは、O₂各段階ごとに、測定項目の分布及びO₂濃度との相関を計算した。また、A、B両試験における分布の差の検定を計算した。

なお、全データによるO₂濃度との相関を計算した。

5. 試験結果

5.1 O₂濃度の分布

従来、磁力利用による燃焼改善の効果を表すには、ボイラー効率で比較される例が多かった。ボイラー効率の差を、測定結果から算定するには、その差があまりに小さすぎ、説得力に乏しいと考えられたので、この試験においては、同一のばいじん濃度において、O₂濃度が異なるか否か、また、通常運転時に、どの辺まで低O₂運転ができるか、その限界を知ることを以て、差異を判定することとした。

空燃比を設定したとき、O₂濃度自身のばらつきが、どのようにしているかを示すのが、図1である。図1において、上下限及び平均値は近似し、分布の差にも有意性はない。この形は、ボイラーと、その制御機器の特性を示し、この2回の試験においては正常で、かつ2回の間に変化はなかったことを示している。バーナーやエアレジスターに異常を生じると、この形は大きく変化するし、制御機器の調整状態を変えたり異

図 2 試験中の負荷状況

図 3 ボイラー出口と煙突入口の O₂ 濃度

常が出れば、形が変化することはもちろんである。

5.2 O₂ 濃度とボイラー負荷の関係

試験中の負荷状況を、図 2 に示す。

負荷と O₂ 濃度の間に相関関係はない。すなわち、O₂ 各濃度段階において、それぞれ、適宜に負荷が変化している。通常の負荷状態で、2 回の試験の間に、作偽的なものがないことを示している。

5.3 O₂ 濃度のボイラー出口と煙突入口の関係

再生式空気予熱器においては、空気側からガス側へ空気が漏入するから、煙突入口の O₂ 濃度は、ボイラ

ー出口のそれより必ず高くなる。停止中のアフターバーナーから空気が漏入することもある。ボイラーが設備的に正常な場合は、常用濃度範囲においては、両者の関係は、単相関回帰で数式によりは握できる。

この試験においては、次のようになった。

試験 A $y = 0.72457x + 2.4904$

試験 B $y = 0.74743x + 2.3729$

x : ボイラー入口 O₂

y : ボイラー出口 O₂

相関係数 試験 A 0.90169 (1% = 0.1454)

図 4 O₂ 濃度とばいじん濃度 図 5 ばいじん濃度と O₂

試験 B 0.93983 (1%=0.1429)

試験 A と B における回帰式は酷似し、相関係数も相当高く、この間に、設備的にも、運転操作上にも、変化がなかったことを示していた。

この関係が崩れた場合は、前記の箇所の異常や O₂ 計の異常が考えられる。なお、この関係式は、常用範囲で成立するものであって、ボイラー出口で 3% 程度になれば適用されるものではない。試験 A の散布図を、図 3 に示す。

5.4 O₂ 濃度とばいじん濃度の関係

この項目をはっきりさせることが、今回の燃焼試験の目的である。分布の状況を図 4 に示す。

単相関回帰を試みた結果、回帰式は次式のようになった。

試験 A

$$y = -6.3579x + 11.301 \quad \text{相関係数 } -0.90664$$

試験 B

$$y = -4.6146x + 7.6044 \quad \text{相関係数 } -0.87622$$

x : O₂ 濃度 y : ばいじん濃度を示す数

y は既述のように、スモークテストによる数値で、

図 6 O₂ 濃度と NO_x 濃度 図 7 O₂ 濃度と NO_x 濃度

リングルマン濃度の、概ね 2 倍を示す。

図 4 において、試験 A と B の間には明瞭な差が認められる。O₂ 濃度各段階における 差の検定を行ったところ高度の有意で差が認められ、試験 A では、O₂ 1.6 % の時、ばいじん濃度は 0~5.5、平均 1.02 であるが、試験 B でこれと同程度の濃度を得るためには、O₂ 濃度は 1.3 % で十分である。さらに、この段階では、ばいじん濃度のばらつきも小さくなっている。

すなわち、過剰空気を絞って運転できるから、排ガス損失が減少する。O₂ が 1.6 から 1.3 % に低下すれば、空気比は、約 0.01 低下することになる。仮に排ガス量が 1 % 減少したとすれば、本ボイラーの場合、減少する燃料は、100 kJ/月程度になる。試験 A におけるばいじん濃度の散布図を図 5 に示す。

5.5 O₂ 濃度と NO_x 濃度の関係

すべてのデータについて単相関回帰を試みたところ、

試験A, Bとも酷似した結果が得られ, 相関係数も高い。

試験A $y = 21.621x + 92.363$ x : O₂ 濃度 %

試験B $y = 18.006x + 94.036$ y : NO_x 濃度 ppm

相関係数 試験A 0.88005 (1% 0.1454)

試験B 0.93788 (1% 0.1429)

O₂ が1% なら, 約114 ppm 又は112 ppm で, 標準偏差は8.8 又は6.6 ppm である。

O₂ と NO_x の関係は, 燃料が同一のときは, ほぼ同一の関係であることは経験上から明らかである。日常の運転時において, N分や残留炭素が高くなると, O₂ 濃度を低下させても NO_x 濃度は低下しない。本試験においては, O₂ と NO_x の相関はほぼ同一であるから, 両試験において, 燃料の組成に大差はなかったといえる。O₂ と NO_x の関係を図6 に示し, 散布図を図7 に示す。

6. 考 察

6.1 ばいじん濃度の評価

AB 両試験の結果は, 明らかにB 試験の方が優れていた。その差異が, 磁力装置の効果であるとの結論は得ていない。それは, これらの試験の後, 数日にしてO₂ の形に異常を来したため, 再現が不可能になって

しまったからである。その現象を説明するのは本稿の趣旨ではないから詳細は避けるが, 異常の形は極めて特異で, パーナーのレジスターダンパー異常の形に似ている。いずれにせよ, 次回のボイラー定検まで待たざるを得ない。その後, 更に試験を重ねて, 磁力による効果を評価しようと考えている。

6.2 NO_x の評価

既述の程度の燃料の減少は, 経理計算上, 目につく程にはならないが, O₂ を0.3% 減少させた場合にはNO_x 濃度は約10 ppm 低下することになり, 130 ppm 程度の濃度においての10 ppm 低下は, 貴重である。試験Bにおける低O₂ 燃焼は, NO_x 低減の面で評価されるべきものであろう。

6.3 評価判定に至る手法について

この試験においては, いわゆる統計的手法を用い, その計算は機械計算に委ねた。その結果, 相関関係については相当鮮明なものが得られた。計算はいかに精密にやっても, 投入されるデータの質が悪い場合は, 計算を行う意味が失われる。今回の場合, データの質を, 当初から考慮に入れて試験を開始したから十分信頼性のあるものであるといつてよいと考える。

(本稿は 53.10.30 高松市で行われた年次大会・エネルギー分科会において発表されたものである)

日本化学会第40秋季年会(含連合討論会) 合同大会 化学関係学協会連合協議会研究発表会

日 時: 10月18日(木)～21日(日)

会 場: 九州大学箱崎キャンパス(福岡市東区箱崎6の10-1)

講演申込締切: 5月31日(木)17時〔必着〕

予稿原稿締切: 8月21日(火)17時〔必着〕

講演申込及び申込用紙請求先: 〒101 東京都千代田区神田駿河台1-5

日本化学会第40秋季年会係あて(電話 03-292-6161)

なお, 詳細については, 日本化学会会報「化学と工業」誌4月号をご覧ください。