

## 7.8 燃焼改善による NOx 対策

### 7.8.1 はじめに

窒素酸化物 (NOx) の排出防止技術には、NOx 抑制技術 (低 NOx 燃焼技術) と排煙脱硝技術とがあり、ほとんどの燃焼装置で実用化されている。燃焼改善による NOx 対策としては、低 NOx バーナ・二段燃焼法・排ガス再循環が主として採用されており、さらに炉内脱硝法も大型ボイラで適用されている。

### 7.8.2 日本における燃焼改善による NOx 対策の歴史

NOx はそれ自体で人の健康に悪影響を及ぼすばかりでなく、1970 年夏に起こった立正高校事件以来、近年多発傾向にある光化学オキシタンドの原因物質の一つでもあるとされ、その発生源である固定燃焼装置、自動車等で種々の対策が採用されている。

環境庁は 1973 年 5 月に NO<sub>2</sub> の環境基準を設定したが (1 時間値の 24 時間平均値が 0.02 ppm 以下)、その後、1978 年 7 月に 1 時間値の 1 日平均が 0.04~0.06 ppm のゾーン内、またはそれ以下とするように改訂した。

この環境基準を達成すべく、環境庁はばい煙発生施設を対象とする NOx 排出基準を 1973 年 8 月に設定し (第 1 次規制)、その後 1975 年 12 月 (第 2 次規制)、1977 年 6 月 (第 3 次規制)、1979 年 8 月 (第 4 次規制)、1983 年 9 月 (第 5 次規制) と逐次、強化拡充が行われてきた。

これらに沿って、低 NOx 燃焼技術の開発は各方面で精力的に進められてきた。当初は二段燃焼法が代表的な低 NOx 燃焼技術だったが、その後低 NOx バーナが各メーカーで開発され、さらに改良型低 NOx バーナ、炉内脱硝法等が開発され、実用化されている。

その結果、現在では、燃焼改善によって排ガス中 NOx 濃度を 60~70% 程度減少させ、ボイラの場合には、NOx 濃度を石炭燃焼で 200 ppm、重油燃焼で 100 ppm、ガス燃焼で 50 ppm 程度まで下げることが可能である。低減費用は排煙脱硝の 1/10 程度である<sup>1)</sup>。

### 7.8.3 日本における低 NOx 燃焼技術

#### (1) 燃焼過程における NOx の生成

燃焼に伴って発生する窒素酸化物は大部分が NO であり、NO<sub>2</sub> は少ない。NO は大気中で酸化されて NO<sub>2</sub> になる。NO と NO<sub>2</sub> を併せて NOx と呼ぶが、燃焼用空気中の N<sub>2</sub> と O<sub>2</sub> が高温状態において反応して生成する thermal NOx と、燃料中の N 分が燃焼中に酸化されて生成する fuel NOx とに区別される。

thermal NOx は①燃焼温度が高いほど、②燃焼領域での酸素濃度が高いほど、③高温域での燃焼ガスの滞留時間が長いほど、多量に発生する。また、fuel NOx は燃焼領域での酸素濃度が高いほど多く発生する。

#### (2) 低 NOx 燃焼技術

工業用の燃焼装置において NOx の排出量を減らすには、上述した NOx の生成機構の逆の原理に従っ

てNOxの生成を抑制するか、生成したNOxを排ガスから除去する排煙脱硝を行えばよい。図7.8.1は発電用ボイラに、NOx抑制技術及び排煙脱硝技術を適用した場合を図示したものである。

NOx発生量を低減するには、まず燃焼管理によるNOx低減対策を実施すべきである。低空気比燃焼の実施、炉内への空気の侵入の防止のほか、加熱プロセスや装置全体のバランスを考えて必要以上に炉内温度、火炉負荷、予熱空気温度を上げないことが重要である。

燃焼改善によるNOx対策には以下のようなものがある。

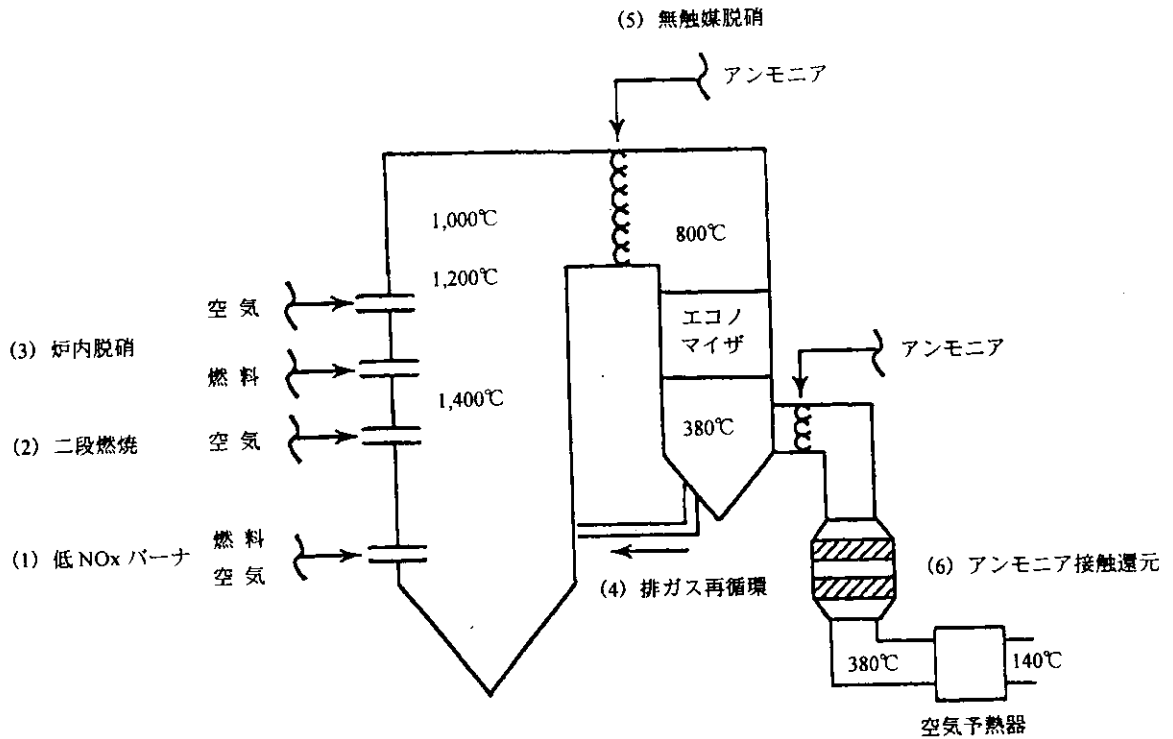


図7.8.1 発電用ボイラにおけるNOx低減技術

### ①低NOxバーナの使用

低NOxバーナの使用は、設備費が比較的安く、NOx低減効果が大きいため、現在NOx対策の主流となっている。酸素濃度の低減、火炎温度の低下、高温域でのガスの滞留時間の短縮等のNOx低減方法の一つ、あるいはその組合せを、バーナに取り入れることによってNOxの低減を図るもので、(7)急速燃焼型 (イ) 分割火炎型 (ウ) 自己再循環型 (エ) 段階的燃焼型等の低NOxバーナが開発されている。特にthermal NOx, fuel NOxの両者に対して効果があり、NOx低減率の大きい段階的燃焼型が多く使用されている。

### ②二段燃焼法

燃焼用空気を二段に分けて供給し、第1段階では理論空気量の80~90%程度に、供給する空気量を制限し、第2段階で不足の空気を補って供給し、系全体で完全燃焼させる。第1段階の還元域の形成により、火炎温度の低下と酸素濃度の低下によってNOxの生成を抑制する。ほとんどすべての大型ボイラでは本方式を採用している。

### ③炉内脱硝法

本方式は炭化水素燃料がNO<sub>x</sub>を還元することを利用し、主燃料の一部をバイパスさせて脱硝用燃料として用い、脱硝反応もすべて炉内で完了させるもので、リバーニング法、三段燃焼法と呼ばれているものもこの方式に属する。NO<sub>x</sub>の40～50%を低減し、他の燃焼改善法と組合せれば80%程度の低減ができる。ただし、炉の高さ（長さ）がやや大きくなるので、既存の炉には適用し難い場合が多い<sup>1)</sup>。

### ④排ガス再循環

図 7.8.1 に示すように、燃焼排ガスの一部を燃焼用空気に混入して燃焼させ、火炎温度の低下によってNO<sub>x</sub>の低減を図るものである。排ガス循環率は安定燃焼限界から制限を受けるが、通常10～20%である。

### (3) 低NO<sub>x</sub>燃焼技術の最近の動向

オイルショック後の微粉炭燃焼ボイラの増加により、多くのメーカーが微粉炭燃焼用低NO<sub>x</sub>バーナの開発を精力的に進めてきた。PMバーナは供給微粉炭を分配器で高濃度と低濃度の微粉炭流に分けて供給し、炉内で燃料過剰及び希薄火炎を形成させるものである。燃料過剰火炎の上下には拡散混合を遅延させるため、排ガスを投入し、バーナ1次燃焼域に強い還元炎を形成させて、低NO<sub>x</sub>化を図っている。NO<sub>x</sub>はバーナ自身で200 ppm程度まで低減させ、二段階燃焼との組合せにより100 ppm程度になると報告されている<sup>2)</sup>。

炉内脱硝法においてもアドバンストMACT法や拡大還元燃焼法（INPACT法）に見られるように、バーナとオーバーファイアエアポート（OAP）までの滞留時間を大きくとり、その中間にも二段燃焼用のインタステージエアポート（IAP）を設け、いわゆる多数燃焼とし、NO<sub>x</sub>低減を図っている。

また、高温空気予熱燃焼用のNO<sub>x</sub>対策としてFDI（Fuel Direct Injection）バーナシステム<sup>3)</sup>が開発された。FDIは燃料の自己着火温度を上回る高温の炉内に、ある離隔距離をおいて燃料と空気を別々に高速で直接噴射し、炉内で燃焼させた方式である。これによると、それぞれの噴流には炉内ガスが十分に混合される（自己排ガス再循環効果）と、燃料と燃焼用空気の炉内での流れが平行に近いと、急速な混合は起こらない（緩慢燃焼効果）。この二つの効果で、火炎温度に高温のピークが発生することを抑え、NO<sub>x</sub>排出量を1/10程度に低減する。

### 7.8.4 指摘課題

燃焼改善によるNO<sub>x</sub>対策は、排煙脱硝法と比較し、NO<sub>x</sub>低下率は劣るものの、低減コストは排煙脱硝法の1/10程度である。たとえば、排煙脱硝法を採用せざるを得ないにしても、まず燃焼改善でNO<sub>x</sub>を減らしてから排煙処理を行う方が、アンモニアの使用量削減等によりコスト的に有利となる。また、燃焼装置によっては、排煙脱硝装置を付設する場所に余裕が無い場合もある。酸性雨問題の顕在化により、途上国の排煙処理は現在SO<sub>x</sub>対策が中心となっているが、NO<sub>x</sub>の排出も必ず大きな問題となるであろう。燃焼改善によるNO<sub>x</sub>対策は途上国で早急に実用化されるべきであり、それもエネルギーロスの少ない方法が望まれる。