

図4.27 油流量計の構造

4.4 低 NO_x 燃焼技術

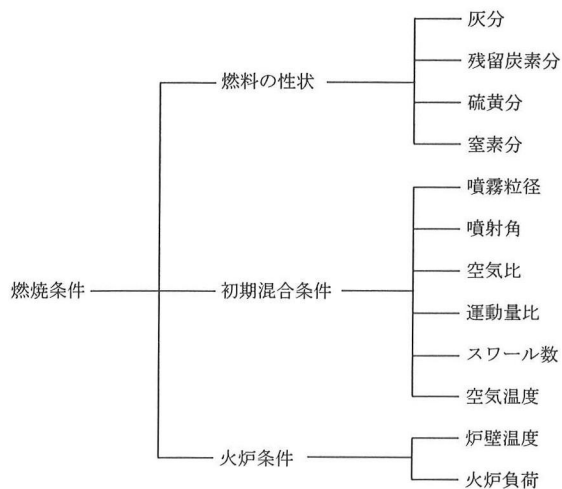
燃焼によって発生する大気汚染物質として、硫黄酸化物（以下 SO_x という）、窒素酸化物（以下 NO_x という）、ばいじんが指定され、それぞれに排出基準値が設けられている。

そしてこれらの汚染物質の生成量は、燃焼条件に関連し往々にして相反する傾向にあり低減対策を困難にしている。以下、これらの汚染物質の発生が燃焼条件とどのように関係するのかを明らかにし、殊に対策の難しい NO_x の発生を少なくする低 NO_x 燃焼技術の概要を説明する。

4.4.1 燃焼条件と大気汚染物質の生成動向

燃焼によって発生する SO_x、NO_x、ばいじんは、燃焼条件によってその発生量が大きく変化する。表4.7は、これらの大気汚染物質の発生に関与する燃焼の条件を示したものであるが、この燃焼条件は、燃料の性状、燃料と空気の初期混合条件、火炎温度を左右する炉の条件に大別される。

表4.7 大気汚染物質の生成要因



燃料の性状に関する因子のうち、主なるものは、燃料中の灰分、残留炭素分、硫黄分、窒素分などである。燃料と空気の初期混合条件に関する因子としては、噴霧粒径、噴射角、空気比、空気の運動量及び燃料と空気の運動量比、空気のスワール数などが挙げられる。

火炎の温度を左右する火炉条件に関しては、空気温度、炉壁温度、火炉負荷などが因子

の主なるものである。

それでは、これらの燃焼条件のそれぞれが SO_x 、 NO_x 、ばいじんの発生にどのように関係するかをみよう。

(1) 燃料の性状

燃料の性状に関して、燃料中に含まれる可燃性の硫黄分は、その全てが燃焼するものとして、生成する SO_x の量は簡単な燃焼計算によって、その全量を把握することができる。

また、燃料中に含まれる無機質の灰分は、硫黄分とは逆に全く燃えることなしに、ばいじん中に含まれて排出されるため、ばいじんのうち、灰分に起因するものは、これも簡単な燃料計算によって全量が把握できる。

しかし、同じくばいじんとして排出されるすすの発生量は、初期混合条件によって異なるため、簡単な燃焼計算では把握できない。通常の燃焼によって発生するすすのうち、気体燃料や、灯油などの良質の液体燃料の燃焼で発生する気相析出形のすすは、極微量で問題とならないが、重油中に残留する残留炭素に起因する残留炭素形すすは、比較的多量に発生するため注意を要する。

しかし、この残留炭素形すすも、初期混合条件によって多少の違いはあるものの、適切な空気比の範囲内では、ボイラーなどの火炉条件の類似したものにあっては、図4.28に示されるように、その発生量は燃料中の残留炭素含有率にほぼ比例することが知られている。

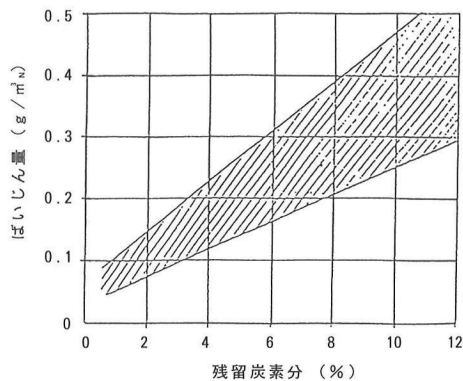


図4.28 ボイラーにおける残留炭素とばいじん濃度の関係

次に、燃料中に含まれる有機質の窒素は、燃焼によってフューエル NO_x に転化する。燃焼によって生成する NO_x には、空気中に N_2 の形で存在する窒素が高温の燃焼ガス中で周囲の酸素と結合して生成する NO_x と、燃料中に窒素化合物として含まれる有機質の窒素が高温の燃焼ガス中で周囲の酸素と結合して生成する NO_x とがあり、前者をサーマル NO_x 、後者をフューエル NO_x と呼んでいる。

フューエル NO_xの生成量は、燃料中に含まれる有機質の窒素の含有率が判れば、おおよそその値を知ることができる。

図4.29は、灯油中にピリジンなどの有機質の窒素化合物を加えて燃焼したときに発生するフューエル NO_xの生成量を調べて、燃料中の窒素含有率ごとにフューエル NO_xへの変換率を実験的に求めたものである。

この実験では、フューエル NO_xへの変換率は、窒素含有率が増すほど低くなり、例えば、窒素含有率が重量比で0.2%の燃料では、その窒素分の40%がフューエル NO_xに転化するとしている。

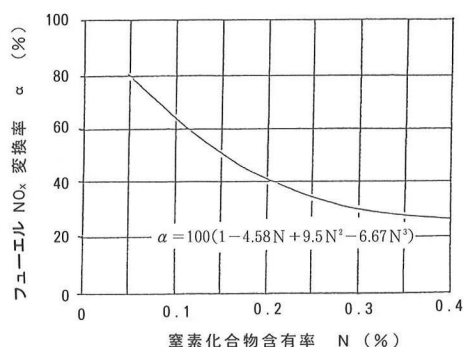


図4.29 燃料中のN分のNO_xへの変換率

(2) 微粒化

微粒化するにわら、噴霧粒径とNO_x及びばいじん生成量との関連について見てみよう。液体燃料が燃焼する速さは、噴霧粒径の自乗に反比例する。これは、噴霧粒径が小さくなるほど空気と接触する比表面積が増し、燃焼を速やかに完結できることによる。したがって、発生するばいじんは、噴霧粒径が小さいものほど少なくなる。一方、NO_xについては、図4.30に示すように、ある特定の噴霧粒径で最小になる。これは、サーマル NO_xの生成は、噴霧粒径が小さくなるにつれて減る傾向があるのに対して、フューエル NO_xへの変換率は、噴霧粒径が大きくなるほど減る傾向にあることから、両者を合計したトータル NO_xを最も少なくする適切な噴霧粒径の範囲があることを示している。

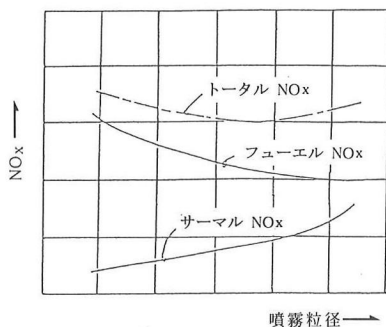


図4.30 噴霧粒径とNO_x

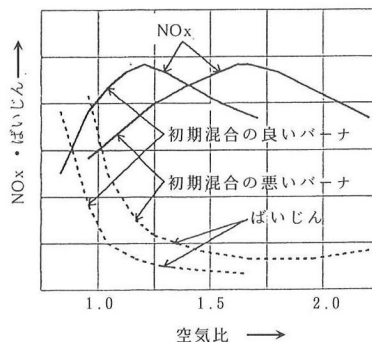


図4.31 空気比とNO_x, ばいじん

(3) 空気比

次に、空気比に対するNO_xとばいじん発生量の関係について説明する。

燃料と空気の初期混合域における空気量は、燃焼の良し悪しを決定的に左右する。

初期混合域における空気量が少なすぎると燃焼が遅れ、すすを多量に発生するし、逆に空気量が多すぎても燃焼温度が下がって、これもまた、すすの発生を増やしてしまう。一方、NO_xについては、空気比を増すにつれてその発生量が増え、火炎温度がピークに達する空気比の付近でNO_xの生成量もピークに達する。更に空気比を増すと、火炎温度が低下するにつれNO_xの発生量も減少する。このNO_xの発生量がピークを示す空気比の範囲は、燃料と空気の初期混合の良いバーナほど低空気比側に、初期混合の悪いバーナほど高空気比側に存在する。図4.31に、空気比とNO_x、ばいじんの生成量の関係を示す。

(4) スワール数

空気の旋回力が、NO_x、ばいじんの生成にどのように関係するかをみる。

中空円錐状に広がりを持つ燃料の噴射方向と、空気を旋回して得られる空気の広がり方向がマッチングしたとき、燃料と空気は良く混合し、最も良い燃焼をする。このとき、ばいじんは最も少なく、NO_xは最も多く発生する。

この関係を図4.32に示すが、これは前述の空気比に対するNO_x、ばいじん発生量との関係に非常に良く似ている。すなわち、燃料の噴射方向が決まっているとき、空気のスワール数を大きくしていくと、ばいじんは徐々に減り、NO_xは徐々に増加する。そして、燃料の噴射角にマッチングする空気のスワール数の付近で、ばいじんは最小に、NO_xは最大になる。さらにスワール数が増すと、ばいじんはまた徐々に増加し、NO_xは徐々に減少する。

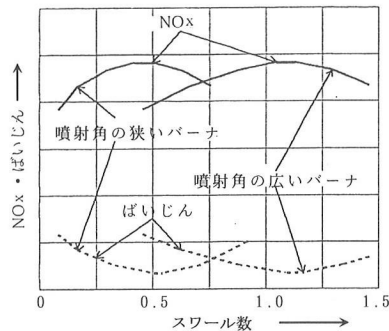


図4.32 スワール数とNO_x、ばいじん

この初期混合を左右する噴射角とスワール数の関係は、燃料の噴射角が小さいときは、マッチングする空気のスワール数も小さく、大きな噴射角に対しては、大きなスワール数がマッチングするという関係にある。ここにスワール数とは、噴流の旋回による広がり大きさを示す指標で、噴流の角運動量流束と軸方向運動量流束の比をもって次式で与えられる。

$$\text{スワール数} = (\text{噴流の角運動量流束}) / (\text{軸方向運動量流束} \times \text{ノズル半径})$$

(5) 火炉負荷

火炉負荷とNO_x、ばいじんの生成量の関係を説明する。

火炉負荷とは、単位時間当たりの燃焼熱量を燃焼室の容積で除したものをいう。つまり、火炉負荷が小さいというのは、少量の燃焼量を大きな燃焼室でゆったりと燃焼することを意味し、大きな火炉負荷とは、多量の燃料を小さな燃焼室でむりやり燃焼させることを意味する。したがって、火炉負荷の小さいものほど、火炎の温度が低く、かつ、均一になるため、NO_xの生成が少なくなり、また、燃焼もゆったりとできるため、ばいじんの発生も少なくなる。そして、火炉負荷が大きくなるにつれて、NO_x、ばいじんの生成量がともに増加してくる。

しかし、この傾向は、燃焼ガスが炉の奥行き方向に直進する順流形燃焼炉の場合であって、燃焼ガスが炉の奥で反転してバーナ側に戻ってくる反転逆流形燃焼炉では全く逆の傾向を示す場合が多い。

図4.33に、順流形燃焼炉及び反転逆流形燃焼炉のそれぞれについて、火炉負荷に対するNO_xの生成動向を示す。

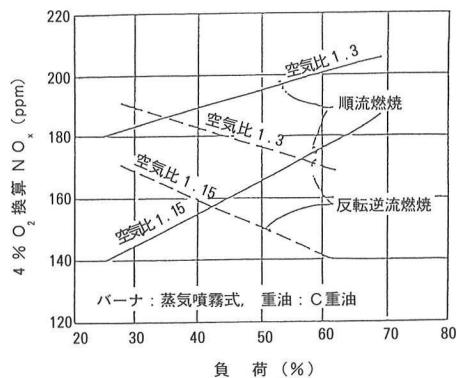


図4.33 燃焼負荷とNO_x濃度

(6) 空気温度

化学反応は、温度と密接に関係するため、NO_x、ばいじんの生成も火炎温度によって影響され、火炎温度が高くなるほどばいじんは減少し、NO_xは増加する。火炎温度に関与する因子としては、これまで述べた空気比や火炉負荷のほかに空気温度があり、空気温度の上昇につれてNO_xは大幅に増加する。しかし、すすの発生に関しては、例えば、ボイラーのように冷却壁で構成される炉の場合では、この冷却壁による火炎冷却の影響が強く、空気温度の上昇によるばいじんの減少はさほど顕著ではない。

4.4.2 低NO_x燃焼法

現在、実用されている低NO_x燃焼法は、表4.8に示すように、燃焼の際に生成するNO_xをより少なくしようとするNO_x抑制燃焼法と、生成したNO_xを燃料の還元性を利用して炉内でN₂に還元しようとする炉内脱硝燃焼法に大別される。