

[石炭の徹底研究]

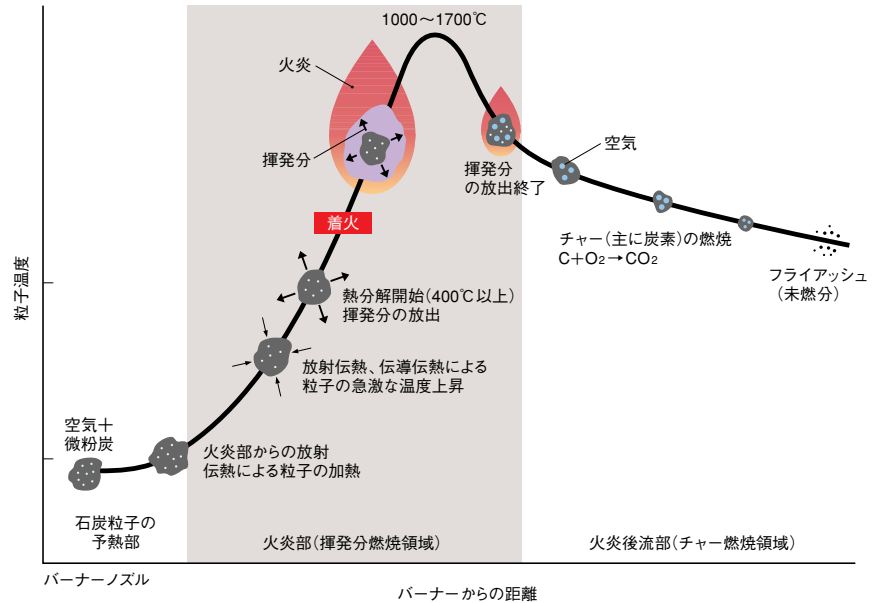
石炭の燃焼化学とプロセス開発

石炭粒子はどのように燃えるか？

第1段階 バーナーから噴出した低温の微粉炭粒子が、下流の火炎および放射によって予熱(予熱領域)されます。

第2段階 昇温中の粒子は約400~600℃になると熱分解が始まり、揮発分(ガスおよびタール)を放出します。この揮発分に着火して、揮発分燃焼が始まります

石炭粒子の燃焼現象



(揮発分燃焼領域)。

第3段階 燃焼によって粒子の温度はさらに高くなり、揮発分の放出が終了する前後から固形分(チャー)の燃焼が始まります(表面燃焼域)。

窒素酸化物(NOx)とは？

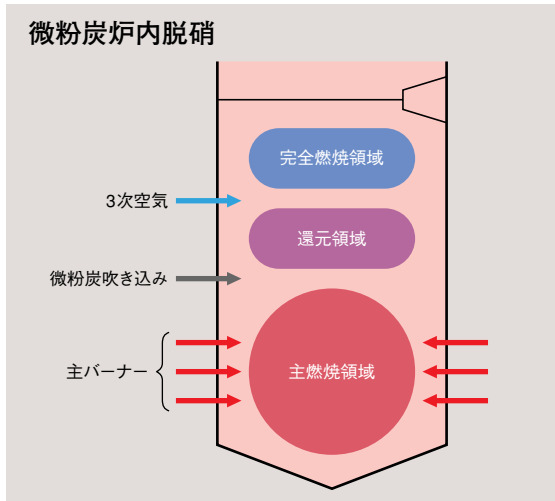
石炭を燃焼させると、燃料中に含まれる窒素分が酸化されてNOxになるFuel NOxと、空気中の窒素が高温酸化されてNOxとなるThermal NOxがあります。



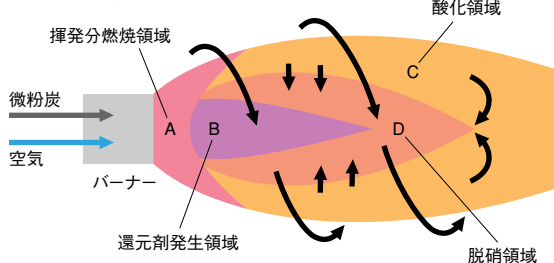
Fuel NOxは、NOx排出量の80~90%を占めます。

低NOx燃焼法

バーナーから吹き込む燃焼用空気と燃料の混合を遅らせて、燃料の着火および燃焼を緩慢に行わせます。この結果、燃焼温度を下げ、Thermal NOxを低下させ、また燃料の多い還元ゾーンで燃料中の窒素をN₂に転換します。下図にこの概念図を示します。まずA領域で微粉炭中の揮発分が蒸発して燃焼を開始します。B領域では燃焼中間生成物、すなわち還元剤を発生させ、D領域ではA、C領域で生成したNOxと反応してN₂となり、C領域で完全燃焼させます。これらの各領域での主な素反応は図下のようになります。

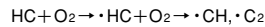


低NOx燃焼の概念図

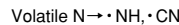
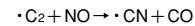
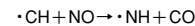


■ A領域: Volatile N + O₂ → Volatile NO

■ B領域: 前駆物質の生成反応

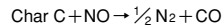
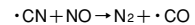


還元物質の生成反応



■ C領域: Char N + O₂ → Char NO

■ D領域: $\cdot\text{NH} + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \cdot\text{OH}$



これらの素反応を短時間で完成するためには、B領域での効果的な還元剤の発生とC領域での高温化が必要となり、これが低NOx化の技術的ポイントとなります。

Volatile NOx :

石炭中の揮発分(ガス、タール)の燃焼から生成するNOx。

Char (チャー):

石炭から揮発分が放出されて残った炭素と灰の集合体。

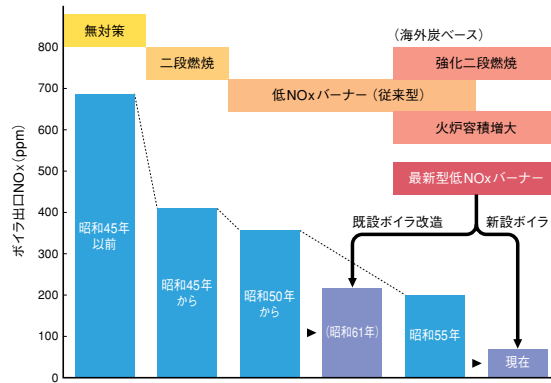
ボイラ全体で低NOx化をはかる

石炭、重油などの炭化水素系の燃料にNOxの還元性があることに着目した脱硝法です。燃料の一部をバイパスさせ、バーナー上部に吹き込み、脱硝反応を炉内で起こさせたりします。この結果、ボイラ出口のNOx濃度を、50ppm前後まで低下させることに成功しています。

微粉炭燃焼ボイラの燃焼シミュレーション

世界中から集められる石炭をそれぞれ最も効率的に利用するためには、ボイラの燃焼状態の最適化を図る必要があります。流体力学、熱力学、化学反応学の3つの知識を集結した燃焼シミュレータが、石炭利用の最前線で利用されています。

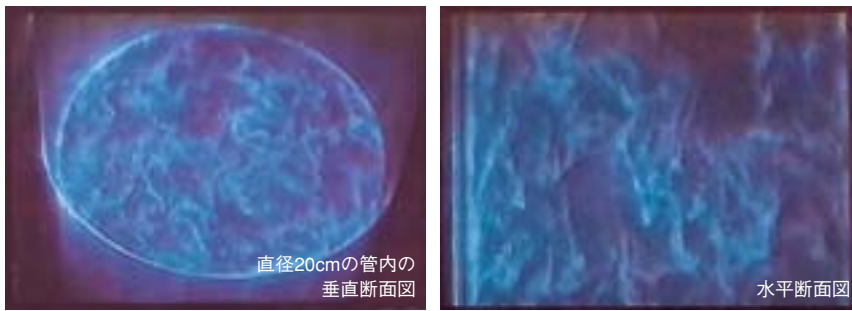
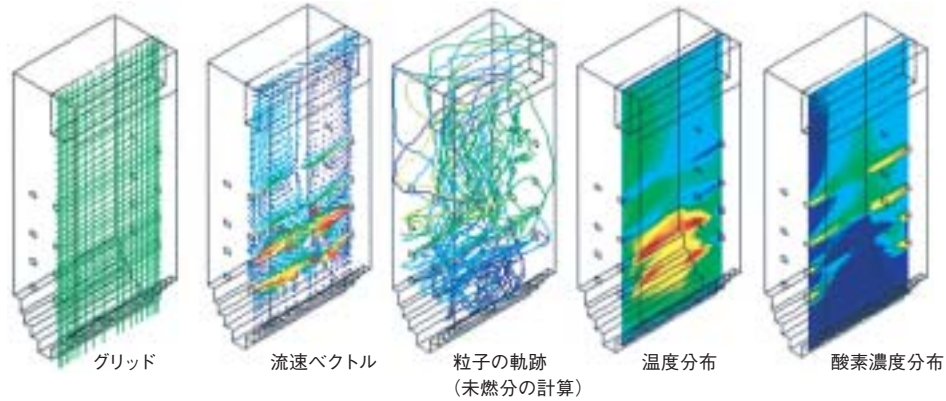
石炭燃焼ボイラのNO_x対策と最新型低NO_xバーナーの効果



流動層とは？

固体を効率的に利用するためには、大きなかたまりのままではなく、まず小さな粒子群つまり「粉体」にします。これは、顆粒の葉がすばやく水に溶けるのに比べて、錠剤はすぐに溶けないことから分かります。ただし粉体にしただけでは、気体や液体との反応はそれほど速くなりません。そこで、粉体が沈殿しないように気体や液体を上向きに透過させると、ある流速で上向きの力と重力とが一致して、粉体層がまるで液体のような状態になります。これが流動層です。それまでは粉体の上に立つこともできたのに、流動層の中では泳ぐことはできても立つことはできません。さらに流速を上げると粒子が気体と一緒に流れるようになり、未反応粒子が装置の外に飛び出してしまうため、その粒子を分離して、再度流動層の中へ戻すようにしたのが循環流動層なのです。

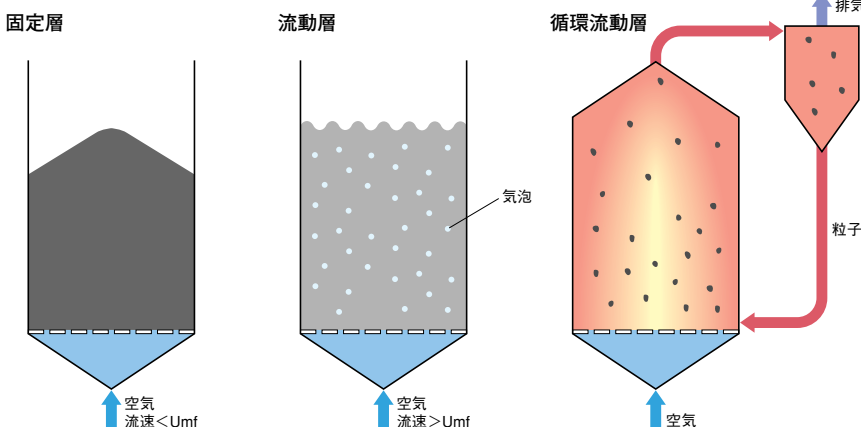
燃焼シミュレーション



直径20cmの管内の垂直断面図 (左) / 水平断面図 (右)
レーザー光でみた希薄な粒子分散系のクラスター(白いところ) 出典：東京農工大学 堀尾教授他

新しい可能性を求めて

石炭エネルギーから電力エネルギーへの変換の効率化は、二酸化炭素対策の上でも大変重要な技術課題です。そのひとつの方法として、高圧にした装置内で反応させる加圧流動層燃焼や、トッピングサイクルにより、ガスタービンとスチームタービンを併用した高度加圧流動床燃焼複合サイクル発電の実用化が検討されています。そのためには、加圧下での化学反応のメカニズムや反応速度の研究も進められています。



加圧流動層燃焼炉 (36万kW用)