

第6章 大気汚染物質発生源概要

6.1 固定燃焼施設

6.1.1 概説

燃焼とは、光と熱をともなう急激な酸化反応であり、発生熱を経済的に利用出来る可燃物を燃料といい¹⁾ 石炭、コークス等固体燃料、重油、軽油等液体燃料、天然ガス、石油ガス等気体燃料に分類され固定燃焼施設は自動車とともに主要大気汚染物質発生源である。(1)式のように炭素 12 kg が燃焼し二酸化炭素 22.4 m_N³を生じ(2)式のように水素 4 kg は 2 × 22.4 m_N³の水蒸気を生じる。このように燃料構成元素量と燃焼所要空気量、燃焼生成排ガス量には理論的關係があり理論的に燃焼に必要な空気量を理論空気量、発生する排ガス量を理論燃焼ガス量という。



例えば炭素 87%、水素 12%、硫黄 1%なる組成の重油 1 kg を燃焼するのに必要とする理論空気量と理論燃焼ガス量を求めると炭素 12 kg を燃焼するに要する酸素は 22.4 m_N³であり、この結果同体積の排ガスが生成するからこの 1 kg の重油中の 0.87 kg の炭素を燃焼するに必要な酸素の体積は 22.4 × 0.87/12 = 1.624 m_N³であって同体積の排ガスすなわち二酸化炭素が発生する。さらに水素は 0.12 kg 含有しているのでこの燃焼に要する酸素の体積は 22.4 × 0.12/4 = 0.672 m_N³であり、その倍の 1.344 m_N³の水蒸気を生成する。また硫黄の分子量は 32 だから 32 kg の硫黄が 22.4 m_N³の酸素と反応し同体積の二酸化硫黄を発生するので重油中の 0.01 kg の硫黄燃焼に必要な酸素の体積は 22.4 × 0.01/32 = 0.007 m_N³であって同体積の二酸化硫黄を生成する。そこでこの燃焼に必要な酸素の体積を求めると 1.624 + 0.672 + 0.007 = 2.303 m_N³となりこれを空気量に換算すると空気中の酸素を 21%として、2.303 × 1/0.21 = 10.97 ≒ 11 m_N³でこれが理論空気量である。また理論燃焼ガス量としては生成ガス 1.624 + 1.344 + 0.007 = 2.975 m_N³に燃焼反応にあずからない窒素体積 2.303 × 0.79/0.21 = 8.66 m_N³が加わるので 2.975 + 8.66 = 11.635 m_N³となる。これは水分を含む湿り理論燃焼ガス量で乾き理論燃焼ガス量はこれから水蒸気発生量を差し引いた 11.635 - 1.344 = 10.291 m_N³となる。一般に燃焼には理論空気量より多量の空気を必要とし実際使用した空気量と理論空気量との比を空気比と呼びこの値が 1 に近い程燃焼は理想的となる。なお理論空気量は例えば燃料油ではほぼ 10~13 m_N³/kg で 1 dl の燃料油燃焼には 1~1.3 m_N³の空気を要する。

燃料発熱量は燃料で相違し石炭で 4,500~8,000 Kcal/kg、灯油、ガソリン 11,000~11,500 Kcal/kg 等の値をとる。さて燃焼には燃料と空気補給、両者の混合を要し燃焼温度を保つ燃焼場が不可欠である。だがこれだけでは燃焼は進まず生成する燃焼熱及び燃焼排ガスを燃焼場から取り除かなければ停止する。そこで燃焼炉が用いられ熱を利用し排ガスを煙突から大気中に排出し大気汚染問題を提起した。

6.1.2 主要大気汚染物質の発生

(1) 硫黄酸化物²⁾

高分子硫黄有機化合物として原油中に存在する硫黄は精油過程で大部分重油に移り水素化脱硫技術で脱硫されるものの重油に残存し、硫黄は燃焼施設の火炎中で酸化され二酸化硫黄となり、一部は無水硫酸として排ガス中に入りともに大気中に排出される。また、石炭中にも鉄の硫化物、有機硫黄化合物または石膏として硫黄は存在し燃焼すると前二者は硫黄酸化物になり一部は石炭灰に残留する。

(2) 煤塵²⁾

石炭には無機化合物を含み燃焼で灰になり一部は燃焼排ガス中に入る。特に微粉炭燃焼で発生する細かいフライアッシュは人々に注目された。原油中にも無機化合物はわずかに存在し燃焼すると灰になる。燃焼過程では煤も生成し人々に注目された黒煙の原因となった。煤には燃焼過程で生成する可燃ガス成分が気相状態で燃焼する場合に生成するスート (soot)、燃料油滴が炉内で熱分解し重合・縮合反応して残留した炭素質である残炭形セノスフェア (cenosphere) 等があり、スートは球状で粒径 $0.02 \sim 0.05 \mu\text{m}$ で微細だが、セノスフェアはほぼ球径で表面に凹凸を有し粒径は $10 \sim 300 \mu\text{m}$ 程度である。煤の化学組成は炭素質と一般に思われているが、これは $\text{C}_{60}\text{H}_{16}$ 程度の炭化水素の複雑な集合体で多くの縮合多環炭化水素を含有している。煤の発生機構は複雑でガス燃焼の場合炭化水素の脱水素、熱分解、重合、不飽和結合、芳香族環生成を経て煤が出来るといわれ、液体噴霧燃焼では油滴内部で熱分解が進みタール状となり、高位炭化水素が生成しガス成分を放出しつつ残炭形煤となる。

(3) 一酸化炭素

一酸化炭素は燃料の不完全燃焼で生じガス製造業、製鉄業、カルボニル化合物製造業などから排出される恐れがある。

(4) 窒素化合物²⁾

空気は酸素 1 容と窒素 4 容の混合気体で、燃焼に際し両者は主に火炎中で反応して窒素酸化物を生成し大気汚染物質としては注目されている。また、燃料中にはアニリン、キノリン等の窒素分が含まれこれも窒素酸化物生成原因となる。なお前者 (サーマル NO_x) より後 (フューエル NO_x) の方が生成速度は速い。

またフロン同様成層圏オゾン層を破壊する亜酸化窒素 (N_2O) が石炭流動層ボイラや汚泥燃焼施設など窒素分が多い燃料を低温燃焼する施設で発生する。

(5) ダイオキシン

燃焼過程でのダイオキシンの発生機構は複雑で、完全に解明されていないが、一般廃棄物 (ごみ) 焼却炉、産業廃棄物焼却炉での排出が課題となっている。

(6) その他汚染物質

燃焼過程で発生する大気汚染物質は燃料、燃焼施設、燃焼機器等の相違でその種類と排出量が相違

する。以上のもの以外にも特に石炭燃焼や廃棄物焼却、ガラス炉など燃焼の場に工業原料などを添加する燃焼炉からは重金属、多環芳香族炭化水素など種々の大気汚染物質が排出する場合がある。

6.1.3 火力発電所³⁾

(1) 概要

火力発電所は文明を支える重要施設だが大気汚染をもたらした。火力発電技術には化石燃料燃焼によってボイラで発生させた高圧蒸気で蒸気タービンを回転し発電機で電力に得る汽力発電所と動力源として内燃機関を用いるものとこれらの複合技術がある。図6.1.1は汽力発電所の構成例で燃料および灰系統、燃焼系統、蒸気系統、給水系統、電気系統からなる³⁾。これらのうち大気汚染物質発生源は前二者で燃料として石炭、石油、天然ガスが用いられる。

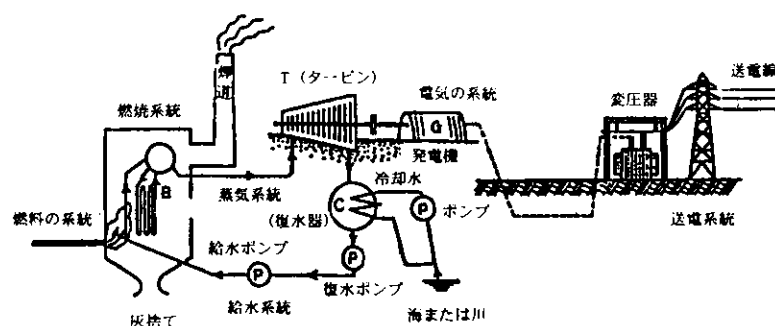


図6.1.1 汽力発電所の構成例

(2) 汽力発電所

(燃焼装置と大気汚染物質発生機構) ; 石炭を移動式火格子で火炉中心に送りつつ燃焼するストカー式燃焼装置が用いられた。ストカー燃焼では石炭が加熱され可燃分が揮発し着火して加熱で軟化し燃えた。このため空気との接触部分が少なく煤発生が多くて燃焼効率は低い。そこで、燃料と空気の接触面積を大きくし両者の混合を良好にして燃焼効率をあげようと微粉炭燃焼法が試みられた。これは石炭をその70~80%が200メッシュを通過する程度に微粉碎し、空気で搬送させバーナで燃焼する方法で最近の石炭専焼発電所に採用されている。なお、微粉炭バーナとしては微粉炭と一次空気を混合し中央から噴射してその周囲に二次空気を平行噴射させる噴射形バーナ、中央の回転羽根で微粉炭と混合させた一次空気に周囲から送られた二次空気をかき混ぜながら混合し、燃焼させる渦巻きバーナ等が用いられる。微粉炭燃焼施設では灰の一部はスラッグとして灰溜に入る。石炭中無機物質は火炎中で液化、蒸発し火炎から出ると温度が降下するため固体となる。この場合、その表面積を最大にし周囲から均一に力がかかるため微細なフライアッシュとなる。フライアッシュの主成分はシリカでこのガラス質微粉の粒径は0.1~100 μ m、平均径約15 μ mで、排ガス中濃度は15g/m³程度である。現在電気集塵装置で99%以上が回収されている。次に重油燃焼の場合、まずこれをバーナに送込む噴霧動力を軽減すべく貯蔵タンク中の温度約35℃の重油を85~105℃程度に加熱し粘度をあげる。バーナは

重油を霧状にし空気と混合して接触面積を大きくし完全燃焼することを目的にしている。重油バーナには重油を加圧し高速度で回転させながら小孔から小さい室内に噴射して霧状にするか、重油に旋回運動を与えつつ噴射し燃焼する圧力噴射式バーナ、水蒸気ジェット流で重油を霧状にする蒸気噴霧式バーナ、水蒸気の代わりに圧縮空気を混合し重油を螺旋通路から回転させながら噴射する空気噴射式バーナ、高速回転している円筒カップに重油を衝突させて油膜を作り重油を微粒にする噴射回転バーナ等があるが、一般に圧力噴射式バーナと蒸気噴射式バーナが大容量ボイラに採用される。また火力発電所には重油のみ燃焼する重油専焼方式、大気汚染対策のため灯油、ナフサ等を燃焼するものがあり重油・微粉炭混焼、重油・微粉炭のいずれでも燃焼できるもの、重油と微粉炭を発熱量として等量混合し重油中に微粉炭を懸濁させたコム（Coal Oil Mixture）を燃料とするものがある。また液化天然ガスをタンカーで海上輸送する技術が開発され、輸入天然ガスを燃料とする火力発電所も多くなった。この燃焼排ガス中には大気汚染物質が少なく天然ガス火力発電所は増加している。天然ガスはガスバーナで燃焼され空気とよく混合しその燃焼効率は高い。

（ボイラ）³⁾；ボイラはタービン運転用の高圧水蒸気発生装置で火力発電所では発電機やタービンとならぶ重要設備である。図 6.1.2 はボイラ概念図でボイラは給水系統から送り込まれた水を入れるドラムを上置きこれから多くの水管を引き出し火炉の全面と側面の一部に並べここで燃焼で発生した熱放射を吸収する。なお、ボイラへの給水は節炭器（Economizer）で燃焼排ガスにより加熱されボイラドラムに入り、ここから下降水管を下り熱を吸収して温度上昇し蒸気と飽和水が混合した状態となって水管を上昇してドラムに戻る。そしてドラムで汽水分離器により水分が除かれ蒸気のみ加熱器で加熱されてタービンに送られる。

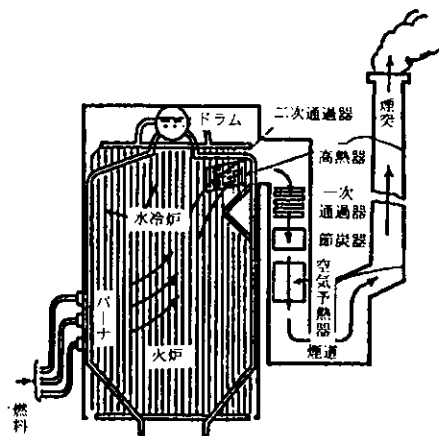


図 6.1.2 ボイラ概念図

（蒸気タービン）³⁾；蒸気タービンは水力発電における水車に相当し、ボイラで発生した高圧・高温蒸気をタービン羽根に導き、これを高速回転させ動力を得る装置であり、その作動原理で衝動タービンと反動タービンに分類される。一般に前者は高圧に後者は低圧蒸気に適しているので組み合わせて用いる。さらに蒸気の使用方法による分類としては、蒸気の熱量をそのタービン系統のみで効率よく利用するためにタービンで仕事し終わった蒸気を全部復水器に導いてその圧力を下げ、真空に近い状態にして圧力落差を大きくする復水タービン、仕事し終わった蒸気をあまり低圧とはせず生産用蒸気

として使用する背圧タービン、工場生産用蒸気を途中から取り出す抽気タービン等がある。

(大気汚染物質発生状況)⁴⁾; 汽力発電所の煙突から排出される大気汚染物質濃度は燃料種類で異なりその排出量は燃料使用量すなわち発電所発電量で相違する。

硫黄酸化物の大部分(95%以上)は二酸化硫黄として大気中に排出されるためその排出量は燃料使用量と燃料中硫黄含有量から計算出来る。さらにその排ガス中濃度は燃料組成と燃焼条件すなわち空気比で計算できる。さらに煤等の固体粒子濃度は微粉炭燃焼の場合フライアッシュ濃度として前述のとおりにほぼ 15 g/m^3 程度であるがかなりばらつく。また重油燃焼では固体粒子はほぼ煤でありその濃度は例えばC重油燃焼で $0.02\sim 0.038\text{ g/m}^3$ となるというデータがある⁴⁾。

このため石炭と重油を混焼している場合は、石炭の混焼率にほぼ比例して固体粒子濃度は上昇する。また天然ガス燃焼においては、排ガス中に固体粒子はほぼみとめられない。次に窒素酸化物であるが、これはほとんど一酸化窒素の形で生成され排出されるが、二酸化窒素としても排出するので一般にその含量を二酸化窒素に換算して排出量は質量で示し濃度を体積比(ppm)であらわしている。

またこれらの発生機構から考慮しこれらの排出は燃料、施設により異なる。特に燃料中に含まれる有機窒素化合物に起因するフューエル NO_x は石炭燃焼の場合多く、さらに空気中窒素の酸化に起因する窒素酸化物すなわちサーマル NO_x は火炎温度が高い程濃度が高くなるので空気加熱器で燃焼用空気を加熱している汽力発電所の場合に高くなる。このため窒素酸化物濃度は、石炭燃焼が一番高く石油燃焼がこれに続き、ガス燃焼が一番低いという傾向にある。例えば汽力発電所において石炭燃焼の場合、排ガス中酸素を0%の状態に換算した時545 ppm、原油燃焼の場合同じく122~372 ppm、C重油燃焼において同じく173~672 ppmというデータがある⁴⁾。

(3) その他の火力発電所

火力発電所としてはディーゼルエンジンやガスタービンによるもの、ガスタービンとその排気を熱源とするボイラによる蒸気タービンを同軸に配置し発電機を回転するコンバインド発電システムも稼働している⁵⁾。特にコンバインド発電システムは専ら発電しても熱効率60%以上の熱効率を記録し注目されている。

また高温燃焼ガスプラズマ噴流を磁場に流して発電するMHD発電⁶⁾は熱効率が高い直接発電技術として大形化の可能性がありその開発が注目されている。