特集2・小型焼却炉の技術動向

低DXNs小型焼却炉の技術動向と法規制の諸問題

福本 勤*

1. はじめに

現在、小型焼却炉或いはその技術に関する最大の問題は、技術それ自体ではなく、「特集にあたって」で触れた、構造・維持管理基準を中心とする法規制、行政指導の問題である^{1~3)}。「高性能小型焼却炉」の定義（低DXNs炉＝高性能炉の可否）、過剰機能搭載の義務付け^{3,7)}、温度（800℃以上）測定の新規格化^{2,3)}、滞留時間2秒以上、DXNsゼロの熾（お）き燃焼時一酸化炭素多量生成するも助燃不要⁷⁾、酸素濃度を規制⁹⁾するなら12%以上、DXNs削減に繋がらない法令の一部改正等の問題も含めて、法規制の問題については別途報告したい。この法規制等の問題の為に、ダイオキシン類（DXNs）や煤塵を殆ど出さない高性能炉であっても、リサイクル^{6,7)}が叫ばれる折から資源・エネルギー多消費、高コストの高度機能排ガス処理等設備等を、どうせ付設しなければならなくなった以上、高性能炉本体を開発してもメリット、潤いが余りないことから、開発意欲を殺がれ、技術の進歩が阻害されている^{1~3,7)}。全国から寄せられた膨大なデータから判断して、技術的、性能的に優れている焼却炉は、以前に開発、実用化され、可成り使用されてきている本特集掲載の焼却炉であった。

本報では、焼却炉を、その主要技術紹介旁々分類し、その中で本特集掲載4機種の焼却炉の位置付けを示し、合わせてデータ不足で本特集掲載に至らなかった焼却炉も含めながら、焼却炉技術の動向を探ることとする。4機種の詳細については、本誌に掲載された各論文を参照されたい。3機種は、技術論文として初めて発表される。

2. 分類の概要

種々の焼却炉を構造・型式の上から分類すると、次に示すようになる。何れの方式の焼却炉にも、次の2つの方式がある。

- (1) 耐火物壁式（築炉式）焼却炉
- (2) 水冷壁式焼却炉

水冷壁式の場合は概して水冷壁で燃焼室全体が冷却される為、燃焼ガス温度は800℃以上になりにくい上、水冷鋼材壁面は特に温度が低くて、局部的に結露したり、ダストの拡散、壁面接触、衝突効果、van der Waals力作用等が働いたりして、ダストが壁面に付着し、局部的に温度が200～300℃程度の酸化鉄の層があると、それが触媒になってDXNsが生成し易い条件・雰囲気ができる。従って、蒸発・分解生成ガス（未燃ガス）と空気との混合が余程効果的に行われるようにしないと、不完全燃焼して一酸化炭素やDXNsを生成しがちになる。従って、後述の4.1.1の逐次投入直燃式焼却炉が水冷壁式の場合、従来は水冷壁式一次燃焼室にサイクロンが直結されていたところ、最近は築炉方式の二次燃焼室を設けたり、更に二次燃焼室からサイクロンに至る煙道を三次燃焼室にしたりしている傾向がある。

焼却炉は、又、燃焼用空気の供給方法の上から、次の二つに大別される。

- (1) 自然通風（Natural Draft）式焼却炉

煙突の中の、高温で大気より軽くて上昇する排ガスのドラフト効果、通風力（Draft Pressure / Power）によって燃焼用空気が炉内に自然に吸引供給される焼却炉。簡易型で、低価格の焼却炉にはこの方式のものが多く、一般家庭や学校等で使われてきた。政令で定める焼却炉（200 kg/h以上）については、自然通風式は禁じられている。

自然通風式は、後述の床燃焼式焼却炉と火格子燃

*環境保全工学研究所
Tsutomu FUKUMOTO

焼式焼却炉に用いられる。

(2) 強制通風 (Forced Draft) 式焼却炉

燃焼用空気を強制的に供給できる送風機を備えた焼却炉。これには、押込通風 (狭義の強制通風) 式、誘引通風 (Induced Draft) 式や押込・誘引併用式 [= 平衡通風 (Balanced Draft) 式] がある。これらを合わせて人工通風 (Artificial Draft) 式ともいう。小型焼却炉の場合は、煙突内中心部に設けた出口上向きの垂直管 (煙突外部に設けた送風機に接続) から空気を上向きに噴出することによって、垂直管周りのガス、延いては焼却設備内の高温排ガス (押し込み送風機が設置されていない場合は、更に焼却炉近傍の空気) を炉内に強制吸引する為の送風機を備えた焼却炉が多い。高温ガスを吸引する為の鋼管等設備一式はエジェクター (Ejector) と呼ばれる。高温排ガスの冷却設備が設けられている場合には、エジェクターでなく、誘引通風機が用いられる。

強制通風式は、全ての種類・型式の焼却炉で用いられている。

以下では、自然通風式、強制通風式、主として強制通風式焼却炉に各機種を分類して述べる。尚、本稿では、限られた誌面の都合上、次の各方式の焼却炉について図示して詳しく述べることはできない。これらの詳細については、参考文献8)等を参照されたい。

3. 自然通風式焼却炉

自然通風式焼却炉は、概して次の床燃焼式焼却炉

図-1 高性能自然通風式ガス化焼却施設の代表例

DXNs及び煤塵の濃度は、排出基準値の夫々1/25程度以下及び1/1000(検出限界)以下になる。処理能力が200 kg/h未満なので、高度機能を有する排ガス処理設備が付設されていない場合でも、設置許可が得られる場合が多い。(株)エフワン総合研究所。

か火格子燃焼式焼却炉の何れかに分類されるが、火格子燃焼式が多く用いられる。何れの場合も、生成ガス(未燃ガス)と空気との混合が通常余り良くなく、燃焼ガスが800℃以上の高温になりにくいことから、自然通風式焼却炉は、一般に不完全燃焼して一酸化炭素やDXNsを生成し易いものとされてきた。

ところが数年前に、焼却廃熱を利用して発生させた水蒸気、未燃ガス、空気の3者混合を良好にして、高効率燃焼を図った自然通風式無煙焼却炉が開発・実用化されている(株)エフワン総合研究所)。

これは、後記の強制通風一括投入ガス化燃焼式焼却炉(本特集の吉中論文もご参照)に対して、「自然通風一括投入ガス化燃焼式焼却炉」と称すべき焼却炉である。廃棄物は、図-1に示すガス化貯留槽(6 m³程度)とその底部のガス化室(1 m³程度)に投入され、投入口は閉められる。着火後、空気の供給は極力抑えられ、廃棄物の一部の燃焼熱によって残部の廃棄物は熱分解・ガス化する。ガス化室からの燃焼ガスと熱分解未燃ガスとの混合ガス中の未燃ガスは、燃焼室(2~3 m³)で、冷却水槽からの水蒸気と吸引空気によって攪拌されながら、高効率燃焼する。水性ガス反応($C + H_2O \rightarrow CO + H_2 - 118.7 \text{ kJ/mol}$ 。生成COやH₂は、夫々CO₂やH₂Oになる)が起こっているものと思われる。空気比mは全体で1.12~1.8程度である。m=1.12で運転しても無煙、高効率燃焼する。冷却水槽(外壁は耐火物張り)には特殊天然ゼオライトが添加され、水槽内

壁は防蝕(極めて効果的)される。ガス化室と燃焼室とは、耐火物壁とその下部(通気部)の垂直火格子(面積: 0.72 m²)とによって隔てられている。

焼却炉の処理能力は、例えば木屑、紙屑混合物で170~180 kg/h程度、燃焼ガスの温度は800℃以上、滞留時間は2秒程度である。

排ガス中の、煤塵濃度は0.04 g/N m³程度以下(基準値=0.15)、ダイオキシン類濃度は0.4 ng-TEQ/N m³程度以下(基準値=5)である。COの濃度は熾き燃焼の段階では、100 ppmを超える場合があるので、超えなくても構造基準遵守の為に、この段階では塩素がなくてDXNsは生成しないのに

DXNsの削減の為と称して、バーナーで助燃される。

熾き燃焼の段階でCOの濃度が高くなるのは、ガス化炉に共通した問題であって、不均一燃焼（表面燃焼）中の灼熱炭（Char）の層内で反応 $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$ が比較的容易に起こり、かつ空气中に水分が含まれていることから上記水性ガス反応が起こるからと考えられる。しかし、チャー層上方の燃焼ガスのCOの濃度が高くなっていても、千数百℃の熾き燃焼層内には塩ビ等の中の塩素は最早存在せず、ダイオキシン類が生成することはないので、燃焼ガスの温度が800℃以下になっても、ダイオキシン類低減の為にバーナーで助燃する必要はない。しかし、「800℃以上」という構造基準がある為、化石燃料を無駄に使って助燃せざるを得ない。構造基準の見直しが求められる理由の一つである。

尚、この焼却炉は自然通風式であり、構造基準で設置を義務付けている「燃焼に必要な空気を供給できる設備」、即ち送風機を設けていない。送風機なしで高効率燃焼するからである。強いて言うならば、煙突が一種の誘引通風機になっている。送風機を設けて送風すると、かえって不完全燃焼して、排ガスに色が付くという。送風機を設けないと、設置が認められない自治体に限って、実際には多分使われないであろう送風機を形式上設置するのだそうである。ここにも、構造基準の見直しが求められる理由の一つがある。

4. 強制通風式焼却炉

4.1 床燃焼式焼却炉

焼却炉の底部に次項で述べるような火格子を設けず、底部の概して平らな炉床の上に被焼却物を供給積載して燃焼させる方式の焼却炉である。後述の4.5のロータリーキルンや4.6の豎型円筒回転床式焼却炉も床燃焼式焼却炉の範疇に属する焼却炉と言うことができる。

4.1.1 逐次投入直燃式焼却炉

「直燃式」という用語の由来については、参考文献3)に譲るとして、筆者は、高温室（炉）内での多量の可燃物の部分燃焼生成未燃ガス乃至放射伝熱や対流・伝導伝熱による蒸発・分解ガスを、次項4.1.2の一括投入ガス化燃焼式焼却炉のように、その室とは別の燃焼室に導いて燃焼させるのではなく、熱分解ガス化直後に（直ぐに、直ちに）、その室で

燃焼させるという意味で、一室でガス化直後に燃焼させる方式を「直燃式」と呼んできている。

又、直燃式の場合、廃棄物を概して数分とか十数分置きに一回投入する（投入した廃棄物が燃えて少なくなる毎に投入することから、廃棄物をガス化室に一杯（80～100%）一日一回一括投入する次項の一括投入ガス化別室燃焼方式に対して、間歇投入（逐次・断続投入）「直燃」方式と筆者は呼んできている。しかし、都市ごみ焼却施設は、一日の内の稼働時間数の違いによって、連続運転式と間歇運転式とに区分されていて、24時間連続稼働しない施設を間歇運転式と称している。この間歇運転の「間歇」と間歇投入の「間歇」とは意味が異なっていて紛らわしいので、ここでは「逐次投入」を使うことにした。

この方式の焼却炉においては、炉壁に多数の燃焼用空気供給・噴出ノズルを（例えば、直径3～8mmのノズルを150～200mmのピッチで炉壁全面に或いは部分的に）設ける場合が多い。この炉壁ノズルの代わりに、又は炉壁ノズルに加えて、空気ノズルを多数空けた直径数インチのパイプ、即ち散気筒（散気管）を複数本炉の中に設ける場合もある。

本特集の真田論文の焼却炉は、本方式の代表例で、この散気筒にフィン設けたフィン付き散気筒を特徴としている。

以上において、炉壁や散気筒のノズルの径、数、ピッチ、散気筒の径、本数、空気圧、空気の噴出（吐出）速度等は、炉の規模や炉メーカーによって異なる。横型と豎型に大別される。

横型には炉床の上に櫛状の回転攪拌機（回転アーム）を取り付けた方式の焼却炉（污泥等が対象）もある。

因みに、二次燃焼室炉壁上部付近に遠赤外線セラミックスを設けた「無煙無臭・遠赤外線焼却機」が謳い文句の焼却炉が何年前に発売された。NHKは、その時これを画期的優秀焼却炉として取上げ、全国に放送した。しかし、これは構造に問題があり、筆者の知る限り、最悪の焼却炉であった。助燃バーナーを3基で助燃しているにも拘わらず黒煙を出し、灰は真っ黒であった³⁾。販売後トラブルが続出した。一方環境省は旧厚生省の「小型炉対策指針策定調査結果（1999年7月18日）」が「改正してもDXNs削減に繋がらず改正不要」の結果を出しているにも拘らず、これを伏せて平成13年12月1日施

行を目指して小規模小型焼却炉をも規制できるように（小型焼却炉を対象に）構造・維持管理基準を加えるべく、法を一部改正しようとしているのであるが、上記最悪焼却炉は、この基準を満足しているのである。この事は、このような改正が、DXNs削減の為に余り役立たないことを示している。

本特集でも、別のメーカーから、DXNs生成抑制効果がある遠赤外線高効率放射セラミックス等を備えていることを特徴としているという焼却炉に関する論文をご投稿戴いたが、その効果を示す再現性のあるデータの提出がなかったので、掲載するに至らなかった。

4.1.2 一括投入ガス化燃焼式焼却炉（通称ガス化炉）

これは、熱分解ガス化室に、ガス化室容積の80～100%の容量の廃棄物一日処理分を、一度に一括して投入充填し、そこへ、廃棄物の一部を燃焼して発生する熱によって残部の全廃棄物を熱分解ガス化するのに必要な空気量を供給して、廃棄物を燃焼、熱分解ガス化し、生成未燃ガスと燃焼ガスとの混合ガスを、燃焼室に導いて未燃ガスを燃焼するという方式の焼却炉である。ガス化室には予め決められた量（ $\text{N m}^3/\text{h}$ ）の空気を理論空気量の数十%しか供給しないのであるから、空気は熱分解ガスの一部の燃焼に全部消費され、燃焼せずに残った未燃ガスは安定して燃焼室に導かれ、安定燃焼する。

ガス化室にも横型と円筒縦型とがあり、両型それぞれについて耐火物壁式と水冷壁式とがある。ガス化室には空気ノズルを、直燃・水冷壁燃焼室の場合程多数は設けないのが一般的である。例えば、朝灰出しをした後廃棄物を投入し、概して7～8時間熱分解ガス化しつつ、ガスは燃焼室に導いて燃焼し、ガス化残留炭化物は熾燃焼して灰化し、翌朝にはガス化室が冷却しているというような運転の仕方をする。この間、燃焼室出口の燃焼ガスの温度又は酸素濃度によって、ガス化室（及び燃焼室）への供給空気量は自動制御される。1日単位ガス化室容積当たりの処理量（ $\text{kg}/\text{m}^3\text{d}$ ）が直燃式焼却炉や次項の準一括投入ガス化燃焼式焼却炉の場合よりも小さいので、設備費は高くなるが、手作業が朝1時間余程度の灰出しと廃棄物投入だけで、人手が余りかからず、人件費が安くなる。

この方式の場合、廃棄物が部分燃焼・ガス化、次いで灰化中のガス化室への空気供給量が、直燃炉の

図－2 横型円筒燃焼式における施回燃焼（インシナー工業㈱）

場合の一次燃焼室へのそれに比べて大幅に少ない為、かつ未燃ガスが炭素微粒子化する前に燃焼する為、煤塵やDXNsの生成量が基準値よりも概して大幅に少なく、生成ガス燃焼室を、ガスと空気との混合が効果的な構造にすれば、燃焼効率が高くなる。即ち、未燃ガスと空気との高効率混合、延いては高効率燃焼を図る為に、例えば、4.1.3の（1）で述べる焼却炉のように、炉床にチェッカーを積んだ上、壁面に設けた多数の空気ノズルから空気を噴出供給したり、図－2 [インシナー工業㈱資料] に示すように、ガス化室上部設置の横型円筒形燃焼室にバーナー火炎を、ガス化室からのガス及び空気を、壁面接線方向に送り込んで巡回させたりする。

本特集の吉中論文のガス化炉は、本方式の代表例である。

廃プラのように無機物含有量が少ない廃棄物を焼却するような場合には、1日の処理量を増やす為に、廃棄物を数時間置きに追加投入しているユーザーもいるようである。

4.1.3 準一括投入ガス化燃焼式焼却炉

（1）追加投入可能準一括投入ガス化燃焼式焼却炉

廃棄物を概して半～2時間毎に一回投入（追加投入）し、ガス化燃焼式焼却炉の場合よりも多量の、直燃式焼却炉の場合よりも少量の空気をガス化室（一次燃焼室）に供給してガス化燃焼し、未燃ガスを燃焼室（二次燃焼室）で燃焼する方式である。単位ガス化室容積当たりの焼却量（ $\text{kg}/\text{m}^3\text{h}$ ）は、ガス化燃焼式焼却炉の場合よりも数倍大きい。この方式の場合も、構造と燃焼管理を上記のように適切にすれば、ダイオキシン類の濃度は、排ガス処理設備を設けなくても、 $1\text{ ng-TEQ}/\text{N m}^3$ 以下になる。

準一括投入ガス化燃焼式焼却炉の例を図－3の（a）に示す。廃棄物は、ガス化室容積の70～80%相当量が一括投入される。投入は大体30分（木屑）～2時間置きに行われることになっている。ガス化室には、燃焼理論空気量の数十%の空気が供給され

(a) 運転中の焼却炉

図-3 追加投入可能準一括投入
ガス化燃焼式焼却炉とこの焼却炉
高温廃ガスの煙突放出後のダイオ
キシン類生成有無の確認実験

る。燃焼室には、図-3の(c)に示すように、ハ
イアルミナ煉瓦を3個重ねたブロック(チェッカー)
が、ガス流れ方向垂直に4つ(第一列)、その数十
cm奥に5つ(第二列)、更にその数十cm奥に4つ
(第三列)、更にその数十cm奥に5つ(第四列)、千
鳥配列されている。各列の間、第一列の手前及び第
四列の少し奥の付近に当たる(位置する)燃焼室壁
面各位置には、吹き出し空気が直接チェッカーに当
たらないうように、多数空気吹き出しノズルが空けら
れている[図-3の焼却炉は(株)アストロ・コーポー
レーション製、写真は筆者が撮影]。

燃焼室も含めて、焼却設備全体に供給される空気
量は理論空気量の110%程度という。ガス化室容積
が40 m³の本ガス化炉の処理能力は、240 m³/d、2 t
/h程度という。湿り排ガス量は、12,000~19,000 N
m³/hである。

重力式簡易集塵装置後の排ガス中の環境汚染物質
の濃度の運転データとして、煤塵39~103 mg/N m³、
一酸化炭素 10 未満~27 ppm 及び DXNs 0.031 ~
0.14 ng-TEQ/N m³が得られている。

高性能ガス化炉の場合、集塵装置がなくても、あつ
たとしても簡易集塵装置である重力式やサイクロン
だけでも、排ガス中の煤塵やDXNsの濃度は排出基
準値を十分満足するので、集塵装置は無用、付設す
るとしてもサイクロンだけで十分なのであるが、煙
突からの放出排ガスの温度が機種次第で500~
1000℃程度である為、排ガス放出後の冷却過程で

(b) 煙突からの無色透明排ガス(陽炎)中にセッ
トされた熱電対と排ガス採取管。山の木々が陽炎
の為ボケて見える。

(c) 焼却炉の燃焼室中のチェッカー

DXNsが生成・再合成(*de novo synthesis*)されな
いとも限らない。そこで、この生成・再合成の有無
を確かめる為に、本ガス化炉を用いて、無風日に、
図-3の(a)と(b)に示すように、温度センサー
(熱電対)と排ガス採取管を、直径1 mの煙突出口
上方の排ガスの温度が200℃未満になる位置(1.5 m
上方)と煙突内に置き、DXNs濃度や温度を測定し
た。

その結果、排ガスの煙突内温度は890~950℃、
各濃度はDXNs 1.0 ng-TEQ/N m³、煤塵0.1 g/N m³、
HCl 680 mg/N m³、CO 14 ppm、CO₂ 14%、O₂ 6%、
排ガスは煙突出口を速度7.3 m/sで放出後1/3秒で
達した煙突上方1.5 mの位置で温度が180~200℃、
DXNs濃度は1.0 ng-TEQ/N m³であった。

これから、排ガスは煙突放出後、DXNsが殆ど生
成も再合成もしないことが明らかになった。排ガス
急冷塔での急冷所要時間も同程度であることを考え
合わせれば、納得できる結果である。

急冷反応塔やスクラバーでのDXNs発生

上記のように同程度であるどころか、後記の傾斜
枕状回転床式焼却炉を用いた焼却施設での測定結果
(1997年4月22日)によると、DXNsの濃度は、急

冷反応塔入口での0.018から、出口での3.6ng-TEQ/N_m³に増加している。急冷反応塔によっては、文字通り急速に(瞬間的に)冷却するものでないと、DXNs生成が抑制されるどころか、却って促進されるのである。急冷反応塔やバグフィルターの代わりに、両者の機能を兼ね備えたスクラバーを設けると、DXNsを比較的高濃度に含む排ガスにスクラバーを通過させていると、循環使用水中に多かれ少なかれ濃縮したDXNsがスクラバーの内壁などに付着、蓄積し、その後DXNsが比較的低濃度の排ガスが通過するとき、DXNsは内壁などから排ガス中に移動して排ガス中のDXNsは増加しがちになる。付着、蓄積したDXNsの、内壁→水→排ガスの溶出・移動は極めて緩慢であり、何カ月間も続くと言われている(Memory Effect)。

従って、このような高性能ガス化炉には、排ガス中にHCl, SO_x, NO_x等の環境汚染物質が高濃度に含まれていない限り、資源・エネルギー・多額のコストを必要とする排ガス処理装置も急冷塔も不要である。

構造基準の見直しが求められるもう一つの重要な理由である。

(2) 準(1日1回)一括投入ガス化燃焼式焼却炉

これは、本特集の平松論文で論じられている焼却炉である。

4.1.4 地下式焼却炉

上記(1)または(2)の範疇に属する焼却炉である³⁾。このように、或いは(2)のような呼び方を筆者が曾て主張した為かどうかは分からないが、昔「地下式焼却炉」と呼ばれていた上記(2)は、その頃から(2)の呼び方のように、或いは一括投入バッチ型と呼ばれるようになった。投入口の高さが低く、地面から0～1m程度なので、投入がしやすい。投入専用デッキは不要である。本特集の平松論文をご参照。

4.2 火格子燃焼式焼却炉

細い耐熱金属角材(棒)を一定間隔に並べ、組合わせて格子状に作った固定火格子(fixed grate)又は被焼却物の自動移送・攪拌が可能な送り火格子を焼却炉の底部の空気室の上に水平に或いは傾斜させて設けて、その上に被焼却物を供給積載し、通常その下の空気室から空気を送って被焼却物を焼却するという方式の焼却炉である。

4.2.1 固定火格子焼却炉

単室型と多室型とがあり、後者にはレトルト型(retort type)と線型(in-line type)とがある。

4.2.2 送り火格子ストーカー(grate stoker)焼却炉

乾燥・燃焼室内の火格子集合体の炉床上へ可燃廃棄物を機械的に供給し、同炉床下部から燃焼用空気を供給し、廃棄物の移送・攪拌、乾燥・燃焼を自動連続機械的、効果的に行わせる装置をストーカーと称している。主として都市ごみ焼却炉に用いられており、ストーカー焼却炉は一日の運転時間と処理能力によって、①全連続炉：一日24時間運転、80 t/24h以上、②准連続炉：一日16時間運転、40～180 t/16h、③機械化バッチ炉：一日8時間運転、100 t/8h以下、④固定バッチ炉：一日8時間運転、20 t/8h以下の4種類に分類されている。

ストーカーとしては次のような方式のものがある。A. 揺動階段式、B. 階段摺動式(往復動階段式)、C. 扇形反転(揺動)式、D. 階段逆摺動式、E. 移床(無限軌道)式、F. 多段円筒回転式、G. 往復突上げ式、H. 円筒回転式(円筒形炉壁が多数のボイラーチューブ[鋼管]を互いに溶接して作られている。各チューブ相互間の無数ノズルを通して燃焼用空気が円筒外部から内部に送られる。各チューブはその中を流れるボイラー循環水によって冷却される)。

ストーカー焼却炉はしばしば後述のロータリーキルン(前置)と組み合わせられて用いられる。

本特集の藤井論文は、Aの揺動階段式小型焼却炉とこれを組み込んだ焼却システムについて論じられている。

4.3 流動床燃焼式焼却炉

流動床炉に関する論述は、誌面不足につき割愛(参考文献3)、8)ご参照。

4.4 巡回浮遊燃焼式焼却炉

おが屑等の小粒子可燃物を焼却炉内上部から供給して、炉内に吹き込まれる二次空気の旋回流の中で浮遊させたまま乾燥、燃焼、灰化する焼却炉^{3,8)}である。

4.5 ロータリーキルン(横型円筒回転式焼却炉)

ロータリーキルン(式)焼却炉と丁寧と呼ばれている場合もある。一端から投入された廃棄物はその傾斜(1～3度程度)や緩速回転(0.5～8 rpm)に伴う内壁との摩擦による持ち上げ、自重落下等によ

って攪拌，破碎，移送されながら乾燥，燃焼し，場合によっては溶融して，灰若しくは溶融物が他端から排出される（詳細は参考文献8）参照）。廃棄物と燃焼ガスとが並流の並流式と向流の向流式とがある。回転炉の直径を両端から中央に近づく程大きくし（中央部を膨らませ［やや円錐状円筒二つを合体し］），燃焼ガスが下部で向流，中央付近で反転して上部で並流になるように工夫された小型の燃焼ガス反転式もある（愛和工業）。

固形状，半固形状，液状の大抵の廃棄物を処理できる。筆者は，1997年のロシアタンカーナホトカ号重油流出事故の際の回収重油等を中古のロータリーキルンを用いて福井県三国町の現地で大幅低コストで焼却処理することを災害対策本部に提案したことがある。

4.6 堅型円筒回転床式焼却炉

A. 水平回転床式（通称回転炉床式）とB. 傾斜橈状回転床式とに大別される。

堅型の比較的低い円筒の底部の水平円板の炉床自体が水平緩速回転するようにし，その上に投入される汚泥などを攪拌，移動できるように，例えば自転プラウ［鋤，固定］が設けられたのがAであり，炉床を浅い橈状にして傾けて橈状炉床の中心を軸に緩速回転し，その中に投入される各種廃棄物を攪拌，混合できるようにしたのがBである。

（堅型円筒）傾斜橈状回転床式焼却炉は，無機分（不燃分）含有率が僅かであれば，大抵の廃棄物を処理でき，設置面積が比較的小なくて済む数年前に開発実用化されたユニークな焼却炉である。

これは，上記のロータリーキルンの利点（攪拌が自動的で良好，殆どの固形状，半固形状，液状廃棄物の処理が可），欠点（設置面積が大），堅型低円筒水平平板回転床式焼却炉の利点（設置面積が小），欠点（攪拌の為の橈状固定プラウ［鋤］が必要，処理対象が主として汚泥状物）のうち，両者の利点・機能を兼ね備えていて，両者の欠点は持たない焼却炉で，後者の水平回転床を30～45度傾けた構造になっている。

水平回転床式焼却炉に必要な固定プラウが不要で，発熱量の高い廃油や廃プラでも焼却できる。傾斜回転床式炉の回転（0～10rpmの範囲で可変，通常3～5rpmで運転）による攪拌・混合は，固定プラウ付水平回転床炉によるそれよりも良好である。燃焼率は150～200 kg/m³h程度，燃焼室熱負荷は15

～20万 kcal/m³h程度である（詳細は文献2），3），8）ご参照）。

ただし，次のような問題もある。即ち，焼却対象廃棄物が，無機分（不燃分，灰分）を僅かしか含んでいなければよいのであるが，廃棄物には，無機分含有率の大きいものが多く，廃棄物を焼却すると，傾斜回転床に不燃分・焼却残渣・灰分やその半溶融物が溜まってきて，溜まっている不燃分等の上に廃棄物が次々と投入されてくると，廃棄物の一部が多かれ少なかれ未燃のまま，焼却残渣・灰分等と共に排出されてしまう（次項ご参照）。

5. 焼却炉内の押出し流れと完全混合流れ

焼却炉は言わば燃焼反応装置であって，連続式の4.2.2のストーカー炉でも，4.5のロータリーキルンでも，投入された廃棄物は，投入口から排出口にかけて，その流れが押出し流れ（＝栓流，Pistonflow，Plugflow）的になっていて，投入口付近の未燃物と排出口付近の焼却残渣等とが混じることはないのであるが，上記の傾斜回転床は押出し流れとは対照的な完全混合流れ（Perfect mixing flow）に近く，しかも投入された廃棄物の落下（着床）位置と焼却残渣等の溢流（Overflow）・排出位置とが接近している為，未燃物が焼却残渣等と混じって一緒に排出されてしまうのを避けることが出来ない。

因みに，例えば上記水平回転床式焼却炉のような場合でも，廃棄物は，水平円形底部回転床の外周部付近に投入され，焼却残渣等は，底部回転床の中心から排出されるようになっていて，ある程度押出し流れ的（押出し流れ寄りの不完全混合流れ）なので，焼却残渣等と混じって一緒に排出されてしまう未燃物は少ない。

焼却炉が，その内部の被焼却物の流れ（flow）の点から論じられた例は多分他にはない。

6. お わ り に

本特集に当たっては，出来得る限りより低DXNsで，より優秀な小型焼却炉の特集を目指して，全国約90社にデータの送付を依頼し，寄せられた膨大なデータをベースに高性能小型焼却炉4機種を公正に選定させて戴き，多くの種々の機種の小型焼却炉を分類しながら，その中に占めるこれら高性能炉の位置付けを示した。この中で触れた種々の技術や多少の法規制に関する論述も含めて，技術の動向をお汲

み取り戴けたのではないかと思考している。

技術動向について敢えて一点だけ言及するならば、低DXNs, 低CO, 低煤塵で安定燃焼する一括投入ガス化燃焼式焼却炉（築炉・耐火物壁式）技術が、多くの識者から賛同を得られると思われる有力な一方向になっていると言える。法規制が見直され、例えば性能規制だけになれば、技術の開発・進歩が一躍進み、更なる高性能小型焼却炉が実用化されることが十分期待できる。

愚文ながら、お目通し戴き、小型焼却炉に対する思いを若し新たにしてお戴くことができたとすれば、これに優る喜びはない。

参考文献

- 1) 福本 勤：「開発意欲そぐ焼却施設構造基準」朝日新聞論壇, 2000年3月18日。
- 2) 福本 勤：「低ダイオキシン類高性能小型焼却炉前編」

- 都市と廃棄物29 (9), 23～39 (1999)。
- 3) 福本 勤：「低ダイオキシン類高性能小型焼却炉後編」都市と廃棄物29 (11), 27～41 (1999)。
- 4) 福本 勤：環境省宛「廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則の一部改正」に対する意見 (7000字, 2001年3月15日)。
- 5) 福本 勤：「資源化と処理の定量的比較評価—希求される『国家プロジェクト』での推進—都市と廃棄物30 (11), 21～29 (2000)。
- 6) 福本 勤：「リサイクルと焼却等処理の定量的評価 (1) —望まれる『国家プロジェクト』での推進—環境管理37 (2), 1～10 (2001)。
- 7) 福本 勤：「リサイクルと焼却等処理の定量的評価 (2) —望まれる『国家プロジェクト』での推進—環境管理37 (3), 1～10 (2001)。
- 8) 福本 勤：「産業・都市・放射性廃棄物処理技術」増訂1版「廃棄物資源化技術」, 増訂2版 (新增補)「ダイオキシン類ゼロ化技術」, A5版 624頁, 共立出版 (株) 刊, 1998年9月発行。
- 9) 旧厚生省環境整備課：「ダイオキシン類発生防止等ガイドライン」, 1999年12月

連載

環境技術移転 研修マニュアル★アジア編 — その10 —

加藤 進

2. Follow-up

2.1 Follow-upの仕方

研修が実質的に終了すると、来期に備えてFollow-upを実施する。けれども予算の関係でできない場合も多い。通常は

- 1) 研修生と連絡を取り、
- 2) 訪問の日時、目的あるいは見学先等を知らせ、

3) ホテル、交通手段および通訳を確保する。

たとえば、タイのバンコクにある機関なら午前1機関、午後1機関の訪問の日程を組む。パタヤまで離れると日帰りか1泊で1機関の訪問となる。決して無理な訪問日程を立てないことである。なお、市レベルの研修生と会う時には市長を表敬訪問する場合がある。その時になって慌てないように、簡単なあいさつや歓迎partyでの乾杯の音頭の言葉を暗記しておく必要がある。

蛇足であるが、スムーズな移動には、良質の現地旅行社を選ぶことである。たとえば、ホテルのタクシーは料金と出発・予約時間は確実であるが、目的地への道順を意外に知らない場合が多く、値段がやや高い。流しのタクシーは論外 (生命の保証が??)。日本の政府系のミッションが利用する旅行会社を選択するのがよい (必要に応じて筆者に問い合わせいただければ紹介する)。(三重県保健環境研究所)