廃水と廃液の燃焼処理

廃水や廃液の燃焼による処理は、その処理コストの点から一般的な処理技術の中に、通常含めて考えられることは少ない。しかし、分解困難な有害汚染物質を含む廃水や、濃厚な有機性廃水などの処理や、また活性汚泥や膜分離など通常の廃水処理に伴う有機性スラッジの処理において有効な処理法といえよう。さらに今後エネルギー回収の可能性の面からも注目されていい処理法と考えられる。
(担当 米澤義堯*)

廃水と廃液の燃焼処理の現状と展望**

荻 須 吉 洋

1. はじめに

公害対策としての廃液燃焼処理は今や20年以上の古い歴史をもっているが、地味な技術であって脚光を浴びることも少なかったように思う。

廃水と廃液には、はっきりした境界はなく、希薄なものは廃水であり、濃厚で粘性も高いと廃液と呼ばれる。廃水も濃縮されれば、廃液となる。以下簡単のため、大体において廃液といい、明らかに廃水と言うべき場合に廃水ということにする。

Yoshihiro Ogisu

昭和42年 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了
同年 工業技術院資源技術試験所
61年 岡山県工業技術センター所長
63年 公害資源研究所燃焼技術部長

〔趣味〕 卓球 美術鑑賞

廃液は、種々の化学工業の工程から排出されるのでケースバイケースで液の性質が異なり、それぞれの性質にあった燃焼装置を用いる必要がある。ここでは、なるべく共通的なものを取り上げて解説してみたい。

2. 燃焼とは

燃焼は、物質が熱と光を出しながら高温で酸素と反応する現象である。反応する物質の組み合わせにより固体と気体、気体と気体、液体と気体に分けられる。

燃焼は、発熱反応であり、自分の発する熱で現象を持続する。即ち、燃焼帯からまだ燃焼していない燃料の方へ、燃焼が伝播していくことが燃焼の本質的な性質である。燃料と空気があらかじめ、混合しているところへ燃焼が伝播してくるときは、予混合燃焼という。一方、高温状態のところへ酸素など反応する物質が拡散してきて燃焼する形式を拡散燃焼という。両者の中間の状態もある。

また、固体ではその表面に酸素が拡散によって到達することによって燃焼が行われるので、必ず拡散燃焼となる。

石炭など固体燃料は、まず加熱されて熱分解し、分解ガスが気体燃焼し最後に残渣が固体燃焼を行う。液

* Yoshitaka Yonezawa, 公害資源研究所, 本誌編集企画委員

** Disposal of Waste Water and Liquid by Combustion, Present and Future, 昭和63年11月8日受理

4. 廃液燃焼の事例

廃液燃焼の事例は別の記事でも詳細に述べられるが、表1に各社のカタログや資料に見受けられる事例を示した。

塩ビモノマー製造工程から排出される廃液はタール状で塩化タールと呼ばれる。これは塩素を多量に含んでおり、他の処理法では処理が困難であるが、燃焼することにより、かえって塩酸が回収される。

アクリロニトリルの製造工程からの廃液は、シアン分および塩類を含み、生物処理のできない典型であろう。この廃液については湿式酸化法による処理も有力であり、燃焼法と競合している。

表1に記載していないが、紙パルプ工業は最大の廃液燃焼を実施している産業である³⁾。紙パルプは原料木材の種類、蒸解薬品の種類、また紙パルプの収率によっていくつかの方法に分けられるが、現在では、高級紙ではほぼ100%クラフトパルプ法に統一されている。それは、クラフトパルプ法では廃液を回収ボイラーと呼ぶ特殊なボイラーで燃焼してパルプ製造のための蒸解薬品を回収し、排熱で廃液を濃縮し、さらにプロセスに蒸気を送ることができるからである。新聞用紙のように紙の収率を高くする方法では廃液の方は希薄になり濃縮燃焼は困難になるし、回収すべき薬品もないので、濃縮燃焼の対象にならない。

上記の事例と直接関係ないが、廃液燃焼システムの例をいくつか図示する。図1は廃ガスを直接液中に吹き込み効率よく塩類を回収するシステムの例である。図2は燃焼排ガスの顕熱により希薄な廃液を濃縮しな

図4 圧力噴霧式バーナー（液体が旋回するように溝が切ってある）

がら燃焼する例である。いずれも、堅型下向きの燃焼炉を用いている。図3は古い例であるが、セミケミカルパルプと呼ばれる方式に用いられた回収ボイラーである。

5. 燃焼技術からみた、廃液廃水の燃焼処理

廃液の燃焼を液体燃料の燃焼と比較してみよう。

良質の液体燃料の液滴は蒸発しながら周囲の空気と拡散により混合して燃焼する。あとに何も残らない。重質油の燃焼では、一部の成分は蒸発燃焼し、沸点より分解温度の方が低い成分は熱分解燃焼をする。そしてカーボン質の残渣が最後に燃焼することになる。噴霧群の燃焼となると現象は複雑になるが、大まかには、ガス燃焼の噴流火炎と類似していて周囲の空気と混合しながら、急速に燃焼する。

廃液の燃焼では、燃焼過程はその種類により大いに異なる。例えばパルプ廃液では、高温の炉内へ噴霧された液滴は、水分が蒸発し粘度が大きくなり、急激に膨脹する（スウェリングという）。次いで膨脹したものが乾燥し熱分解燃焼を行う。始めは炎をあげ、最後はカーボン質のものの燃焼になる²⁾。

液体燃料の発熱量は普通 $10,000 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ であるが、燃焼に供される廃液では、 $3,000 \sim 5,000 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ 程度である。水分を50%くらい含むこともある。液滴の燃焼過程でも、廃液では、最後に固体が残るこの固体の燃焼速度が律速段階になることが多い。

また、燃焼室の設計では、燃焼室の温度を高く維持するよう、燃焼室単位空間あたりの発熱量を高くとること、炉壁への放熱量を低くとることが必要である。それでも足りない時は、空気の前熱や補助燃料の燃焼を行う。また、灰分に腐食性があるときは、燃焼室の壁は耐食性の材料を選定しなければならない。水冷壁を用い灰分自身によるセルフコーティング方式にして

図5 高圧気流噴霧式バーナー

図6 ロータリーカップ式バーナー

長寿命を得ている例もある。

5.1 微粒化

液体を噴霧して微粒化する主な方法として、(1)圧力噴霧式、(2)空気または蒸気を用いる高圧気流噴霧式、(3)ロータリーカップ式（遠心力式）がある。これらの方式を図4～図6に示す。圧力噴霧はノズルから液自身の圧力で噴霧する方式で動力は少なくすむ。高圧気流噴霧式には内部混合型と外部混合型がある。外部混合型はノズルの外で液体と気流が混合するのでトラブルが少ない。内部混合型はノズル内部で液体と気体が混合し一緒に噴霧されるので、両流体の圧力のバランスをとる必要があり操作は面倒であるが、燃焼による噴霧が得られるとされている。(3)は良質の油によい。廃液では高圧気流噴霧が一般的である。特に蒸気を用いると、加熱の効果により微粒化が促進され燃焼が改善される。

5.2 火災の安定化

常に火災が形成され燃焼がとぎれることなく継続することを安定がよいという。燃焼を安定化するための主な手段に、旋回流を用いる方法がある。適当な旋回流は図7に示すようにバーナーの直後に循環流領域を作る。この循環流領域は高温に保たれていてこの中で燃焼するとともに、着火源になる。安定な循環流を作るとなバーナーの構造がよいバーナーであり発熱量の低い廃液も自然させることにつながる。

旋回流を作るために、旋回羽根をつける。火災安定化のために最適な羽の角度と大きさは実験で定める。大きい羽は空気抵抗を増すが、高い安定度のためには、強い旋回流が必要であるとされている。従って、廃液燃焼バーナーでは、燃焼用空気に比較的高い圧力を用いている例が多い。

火災安定化のためにパイロットバーナーを常時つけておくこともよい。助燃バーナーもパイロットバーナーの役目をする。

5.3 完全燃焼

燃焼処理の燃焼効率が高い方がよいことはいうまで

図7 旋回流によって形成される循環流領域

もない。不完全な燃焼では、排ガス中に一酸化炭素、すすその他の未燃分が排出されて大気汚染のもとになる。よい燃焼の状態は燃料でも廃液でも同じである。バーナー直後の1次燃焼帯は新たに供給された燃料がすでに燃焼している高温のガスと接触して自身が燃焼温度まで加熱されるところであり、急速な混合が必要である。しかし、完全混合反応器は滞留時間の短いものが未燃分として必ず排出される。そこで、1次燃焼帯に続いて2次燃焼帯を用意する。ここでは流れはプラグフロー（栓流）に近く、温度は高温に保たれ未燃分は十分な酸素と接触し完全に酸化する。2次燃焼帯を2次燃焼室として独立させ、ここにも助燃バーナーを用いて完全燃焼させることも行われる。

5.4 滞留時間と炉内熱負荷

1 m³の炉内容積あたり何 kcal・h⁻¹の燃料を供給するかが炉内熱負荷である。炉内熱負荷と時間あたりの廃液処理量より炉内容積が決まる。供給される廃液の燃焼に必要な空気量は決まっているので、炉内容積と供給空気量からガスの炉内滞留時間が決まる。高温を得るために熱負荷を高くすると、炉内滞留時間が小さくなる関係にある。装置をコンパクトにし、かつ高温燃焼するためには熱負荷は高い方がよいが、完全燃焼のためには炉内滞留時間も長い方がよく、両者は相反する関係にある。そこで燃焼する対象や炉の形式により最適な炉内熱負荷をとらねばならない。ガスの滞留時間は短くても廃液中の固形分だけは炉壁や炉床に付着させ炉内に長く留まるようにすることは可能であり、実際に行われている。

5.5 有機廃液の自然限界

廃液を噴霧燃焼させようとするとき、火災ができないとか、できても安定しない場合自然しないという。燃焼は火災の伝播する現象であるから、燃焼した後の火災温度がある程度高いことが必要である。発熱量の低い廃液は火災温度も低く、自然しにくい。発熱量が2,500～3,000 kcal・kg⁻¹以上であると自然性があるとされている¹⁾。火災温度は経験的に1,000℃は必要である。燃焼用空気を予熱すると火災温度はその分だけ上昇するので可燃範囲は広くなることに注意したい。さらに、燃焼装置で補助燃料なしに燃焼するためには、火災が安定しなければならない。火災の安定化の程度

図8 ダイオキシン、ジベンゾフランの化学構造式

は燃焼装置により異なるので、色々工夫がされている。炉型を堅型とし、下向きに燃焼するのもその工夫の一つである。

水と油の混合物はよくある廃液である。水1kgの蒸発潜熱は高々539kcalであり、たいした量ではない。むしろ水蒸気が排ガスの熱容量を大きくし、火炎温度を下げる。また、水と油が分離していると水と油が交互に噴霧され、水が噴霧された時に火炎が途切れ失火してしまう。これらの理由から水と油よりなる廃液の自然限界は水を含まない廃液より高カロリー側にある。

5.6 ダイオキシン、ジベンゾフラン類生成の問題⁹⁾

ダイオキシン、ジベンゾフラン類は、もとは農薬など塩素化合物を製造する時に不純物として製品に微量混入していたものであり、動物実験によれば、猛毒であるばかりでなく強い発癌性も示している。もっとも、毒性については、動物の種類はもちろん、同じ種でも血族によって感受性に大きな差のあることがわかっており、人間に対する影響を正しく評価することも1つの問題になっている。これらの物質は塩素を含む物質の燃焼に伴ってやはり微量であるが生成される可能性がある。塩素を含む廃液の燃焼、特に塩素化芳香族化合物の燃焼においては十分な注意を要する。PCBについては、カネミ油症事件を起こしており、行政的に厳しく取り扱いが規制されているが、類似の化合物も程度の差はあるが、燃焼においては危険性をもつことが報告されている。

ダイオキシン生成の危険を避けるためにはまず、噴霧されたすべての微粒子が所定の滞留時間を経るように、完全混合帯のみでなくプラグフローの領域を設けること、温度分布および空気との混合状態を均一にし、

すべての粒子が高温で十分な酸素と接触するようにすることが大切である。また、燃焼ガス成分としてCとClだけでなくCHおよびH成分を含むことが必要である。H₂Oでも効果がある。

このような条件とは別に、燃焼排ガスの冷却中に条件によっては微量であるがダイオキシンを生成することを示唆する研究が発表されている。例えばごみ焼却炉では排ガス中のフライアッシュのように触媒効果のある物質と未燃分と一緒に存在すると燃焼で生成したHClと未燃分が反応してダイオキシンを生成すると予想されている。300~350℃付近の反応と報告されているが、今後より詳しい測定データが待たれる。要は、未燃分を出さないことである。

6. ま と め

環境保全対策上廃水、廃液を完全に処理することはますます重要になってきている。長い経験に加え最近の新素材の開発や、自動制御装置の進歩、また、排ガス処理装置の進歩等から、廃液を焼却処理することは、容易になってきたと考えられる。例えば、下水汚泥の焼却プロセスにおいても、初期の頃に比べて、補助燃料の使用量は格段に減少している。これは、熱の回収をよく行うこと、低温の熱で汚泥を乾燥することなど、熱の利用法の著しい進歩のおかげである。

燃焼工学も進展を見せており、本文で述べたように、廃液の燃焼も燃料の燃焼の一環であり、その方面の研究成果は応用されうるものである。本文が関係者の何らかの参考になり、廃液燃焼を取り入れるきっかけになれば幸いである。

本文をまとめるに当たってお世話になった方々に御礼申し上げます。

文 献

- 1) 川村脩(1971) 燃料及び燃焼, 39(9), 1-18.
- 2) 荻須吉洋, 田中芳雄(1971) 燃料協会誌, 50, 596-603.
- 3) 荻須吉洋(1971) 公害, 6(3), 12-19.
- 4) 荻須吉洋, 河村良男ほか(1971) ibid., 6(5), 19-29.
- 5) G.G. Choudhry, K. Olie, O. Hutzinger (1982) *Pergamon Series on Environ. Sci.* 5, 275-301.