廃棄物処理と粉体工学

Powder Technology for Wastes Management

宮 南 啓*
Kei MIYANAMI

Key Words : Powder, Waste, Management, Environment, GMP

1. はじめに

平成3年10月に、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(以下、処理法という)が、20年ぶりに、大幅に改正された¹⁾。この法律の目的は、廃棄物の排出を抑制し、及び廃棄物の適正な分別、保管、収集、運搬、再生、処分等の処理をし、並びに生活環境を清潔にすることにより、生活環境の保全及び公衆衛生の向上を図ること、である。処理法において「廃棄物」とは、ごみ、粗大ごみ、燃えがら、汚でい、ふん尿、廃油、廃酸、廃アルカリ、動物の死体その他の汚物又は不要物であって、固形状又は液状のもの(但し、放射性物質及びこれによって汚染されたものを除く。)を指している。

機能性複合材料や新素材等に関連して、華やかな進展を続けている粉体工学が、何故、廃棄物とかかわってくるのか、という問いかけに何らかの回答を示すのが筆者に与えられた課題であろうと思う。処理法の第2条の2に、国民は、廃棄物の排出を抑制し、再生品の使用等により廃棄物の再生利用を図り、廃棄物を分別して排出し、その生じた廃棄物をなるべく自ら処分すること等により、廃棄物の減量その他の適正な処理に関し国及び地方公共団体の施策に協力しなければな

らない、と国民の責務が新たに規定されている。

さしあたり、粉体工学が廃棄物の適正な処理と再生利用に関連していることは明白であろう。そこで、どのような場面でどの程度関連してくるのか、について述べていくことにする。

2. 一般廃棄物と産業廃棄物

廃棄物は図1²⁾のように分類されるが、処理法上、その排出過程によって、処理体系が異なっている。「一般廃棄物」とは、「産業廃棄物」以外の廃棄物であり、その適正な処理は、当該一般廃棄物が排出された場所が属する市町村(地方公共団体)の責務である。一般廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有するものとして、「特別管理一般廃棄物」を政令で定めることになっている。例えば医療に伴って排出される廃棄物が、これに相当する。

つぎに、「産業廃棄物」とは、事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、燃えがら、汚でい、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類その他政令で定める廃棄物のことであり、表1³⁾にまとめて示した。その適正な処理は排出事業者の責務となっている。一般廃棄物と同様に「特別管理産業廃棄物」も定義されている。このたびの処理法の改正で最も注目されるものの一つは、事業者の責務に関する規定である。第3条2項に「事業者は、その事業活動に伴って生じた廃棄物の再生利

平成4年6月1日受付

*大阪府立大学・工学部・化学工学科

(〒593堺市学園町1-1) TEL 0722-52-1161 内線2326

〈著者紹介〉

昭和36年大阪府大工学研究科修士課程修了。(株)日立製作所を経て、昭和54年から大阪府立大学教授、工学博士。

専門：化学工学、粉体工学、粉体を出発点とした機能性複合材料製造プロセスの研究・開発に従事。数年前から、大阪府の次期産業廃棄物処理計画検討委員として、大阪府産業廃棄物管理計画の策定に関与。大阪府公害対策審議会の諮問に対し専門委員、廃棄物分科会座長として、その妥当性を答申。

この解説は、同計画が公開されたのを機会に、計画の内容と粉体工学との関連性について述べたものである。

図1 廃棄物の分類

表1 産業廃棄物の種類

種	類	内 容
法 律	1 燃 え が ら	石炭がら、焼却炉の残灰、炉清掃排出物、その他の焼却残渣
	2 汚 で い	工場廃水などの処理後に残るでい状のもの、各種製造業の製造工程において生ずるでい状のもの、活性汚でい法による余剰汚でい、パルプ廃液汚でい、動植物性原料使用工程の廃水処理汚でい、生コン残渣、赤でい、炭酸カルシウムかすなど
	3 廃 油	鉱物性油、動植物性油、潤滑油、絶縁油、洗浄用油、切削油、溶剤、タールピッチ、硫酸ピッチなど
	4 廃 酸	廃硫酸、廃塩酸、各種の有機廃酸類などすべての酸性廃液
	5 廃 アルカリ	廃ソーダ液、金属せっけん液などすべてのアルカリ性廃液
	6 廃プラスチック類	合成樹脂くず、合成繊維くず、合成ゴムくず、廃タイヤなど固形状及び液状のすべての合成高分子系化合物
政 令	7 紙 く ず	紙及び板紙のくずなど 〔パルプ、紙又は紙加工品の製造業、新聞業（新聞巻取紙を使用して印刷発行を行うものに限る。）出版業（印刷出版を行うものに限る。）、製本業及び印刷物加工業に係るもの並びにPCBが塗布されたものに限る。〕
	8 木 く ず	おがくず、パーク類など 〔建設業に係るもの（工作物の除去に伴って生じたものに限る。）並びに木材又は木製品の製造業（家具の製造業を含む。）、パルプ製造業及び輸入木材の卸売業に係るものに限る。〕
	9 織 維 く ず	木綿くず、羊毛くずなどの天然繊維くず 〔繊維工業（衣服その他の繊維製品製造業を除く。）に係るものに限る。〕
	10 動植物性残渣	あめかす、のりかす、醸造かす、発酵かす、魚及び獣のあらなど 〔食料品製造業、医薬品製造業又は香料製造業において原料として使用した動物又は植物に係る固形状の不要物。〕
	11 ゴ ム く ず	天然ゴムくずのみ
	12 金 属 く ず	鉄鋼又は非鉄金属の研磨くず及び切削くずなど
	13 ガ ラ ス く ず	ガラスくず、耐火レンガくず、陶磁器くず、新築時のコンクリート破片など
	14 鉱 さ い	高炉、転炉、電気炉などの残さい、キューポラのノロ、ボタ、不良鉱石、不良石灰、粉炭かす、鋳物砂など
	15 建 設 廃 材	工作物の除去に伴って生ずるコンクリートの破片、レンガの破片、その他これに類する不要物など
	16 家 畜 の ふん尿	畜産農業から排出される牛、馬、豚、めん羊、山羊、にわとりなどのふん尿
	17 家 畜 の 死 体	畜産農業から排出される牛、馬、豚、めん羊、山羊、にわとりなどの死体
	18 ダ ス ト 類	大気汚染防止法第2条第2項に規定するばい煙発生施設又は汚でい、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類、7に掲げる産業廃棄物（PCBが塗布されたものに限る。）若しくは12に掲げる産業廃棄物（PCBが付着し、又は封入されたものに限る。）の焼却施設において発生するばいじんであって、集じん施設によって集められたもの
	19 上記 1～18に掲げる産業廃棄物を処分するために処理したものであって、これらの産業廃棄物に該当しないもの	

用等を行うことによりその減量に努めるとともに、物の製造、加工、販売等に際して、その製品、容器等が廃棄物となった場合における処理の困難性についてあらかじめ自ら評価し、適正な処理が困難にならないような製品、容器等の開発を行うこと、その製品、容器等に係る廃棄物の適正な処理の方法についての情報を提供すること等により、その製品、容器等が廃棄物となった場合においてその適正な処理が困難になること

のないようにしなければならない。」と定められている。具体的にどのような行政上の措置がとられるかは定かでないが、ある一定規模以上の開発事業に対して義務付けられている環境アセスメントに加えて「廃棄物アセスメント」が必要になった、ということである。これは、廃棄物処理の難易性およびリサイクルの可能性から見た製造プロセスの評価・見直しということであるから、粉体工学にも関連してくるであろう。以下

では、一般廃棄物と産業廃棄物に分けて考えてみることにする。

3. 一般廃棄物の処理

代表的な一般廃棄物は、各家庭から排出される、いわゆる「ごみ」である。ポリエチレン製の袋に入れて排出されたゴミは、収集運搬車で集められ清掃工場へ運ばれる。分別収集を実施している市町村では、ゴミ袋に入れる前に、人手によって、例えば可燃物と不燃物等に分離された状態で収集され、運搬される。また、大阪市の南港ポートタウンでは、**空気輸送**によってゴミ集積場に一旦集められたものが収集運搬されるので、タウン内では収集運搬車が走り回ることはない。収集運搬車は、かつて日本に導入された当時、ロードパッカーと呼ばれていたように、嵩だかいゴミを**圧縮**し、こわれやすいものを**粉砕**する程度の機能は持っている。冷蔵庫、洗濯機あるいは箆筍等の大型ゴミは別途収集・運搬され、清掃工場で**剪断破砕機**や**衝撃破砕機**によって**粉砕**された後、可燃物と不燃物に分けられる。

このようにして清掃工場に集められたゴミは、焼却炉に投入され、焼却灰と燃焼ガスになる。焼却炉としては、通常、火格子(ストーカー)式の機械炉が採用されているが、最近では**流動床**燃焼方式もかなり用いられてきており、粉体工学や化学工学と大いに関係がある。焼却灰は埋立て処分されるのが普通であるが、最近のリサイクルブームや最終処分量の減量化指向を反映して、焼却灰を溶融・**破砕**処理し骨材として利用する等、再利用の方法が種々検討されている。また、すでに実施されている例もあるやに聞いている。

燃焼ガスには種々の有害物質が含まれているので、煙突から排出されるまでに、いろいろな処理が行われる。まず、消石灰微粉末を**噴霧**して硫酸化合物や塩化水素が除去され、ついで**集塵装置**によって粉塵等が取り除かれる。ゴミ焼却炉の集塵装置としては、従来から**電気集塵機(EP)**が一般的であったが、最近ではバグフィルターの採用が目立ってきている。その理由としては、

- 1) EPに比べて集塵効率が高い
- 2) 総合的・複合的な排ガス処理に有効である
- 3) 課題となっていた耐熱性、耐久性およびコスト等の問題が解決されてきている

等の点があげられる。もちろん、ダイオキシン対策が背景にある。なお、集塵装置から排出される**ダスト**類は、そのまま埋立て処分することは許されておらず、乾式集塵ダスト類にあっては、**造粒**等により大気中に飛散しないようにすること、また、湿式集塵ダスト類

は**脱水**等により含水率85%以下にすることと定められている(大阪府の中間処理基準)。

このようにして排出基準をクリアーできるように処理された燃焼ガスは、かなりの水分を含んでおり、煙突から排出された時、冷却され白煙となるので、何も害はないが、印象が悪い。そこで最後に白煙防止処理(除湿・昇温)を行う場合が多い。

ついでに、家庭から排出されたゴミの処理にどれくらい経費がかかっているかを紹介しておこう。自治体の規模によって差異はあるが、筆者の住んでいる堺市(人口約81万人)の平成2年度の決算によると、全処理費90億円、量にして約30万トンである。全処理費のうち、収集運搬費用が約70%を占めている^{4),5)}。また、清掃工場の建設費は、現在、ゴミ1日1トン処理当たり6千万円から8千万円といわれている。なお厚生省・生活環境審議会の廃棄物減量化・再生利用専門委員会の報告によると、平成2年度の総排出量年間5,167万トンに対して西暦2,000年度で6,824万トンと予測し、その30%を削減する減量目標を掲げている。

4. 産業廃棄物の処理

産業廃棄物の処理は排出事業者の責任であり、処理法の今度の改正で、違反に対する罰則が大幅に強化された。産業廃棄物は自社で保管ないしは処理されるケースもあるが、一般には次のような経路(すべて当事者間の契約が必要)をたどって処理される。まず、排出事業者は自社の産業廃棄物の収集運搬を認可収集運搬業者に委託する。当該産業廃棄物が、そのままでは最終処分地(埋立て処分地)の受け入れ基準(処分地の形態によって異なる)をクリアーしていなければ、認可中間処理業者に中間処理を委託しなければならない。**表2**³⁾は大阪府における産業廃棄物の種類別中間処理基準である。これらの基準をクリアーした廃棄物は再び認可収集運搬業者によって最終処分地まで運ばれ安全に埋立てられて、排出事業者から見た産業廃棄物の処理が完了する。必要な経費は、収集運搬費、中間処理費および最終処分費であり、廃棄物の種類によって相当開きはあるが、排出事業者はトン当たり1万円から十数万円位は負担しているはずである。なお、実際の処理形態は流通機構そのものであって、事業者から一旦排出された産業廃棄物は、一つの商品である。

さて、**表2**を見ると、廃棄物の処理と粉体工学の関連性がよくわかる。まず、「固型化处理等により無害化すること」という基準が目につく。これは、**混合**および**混練**操作、また、場合によっては、さらに**成形**および**乾燥**操作で構成される処理そのものである。有機性

表2 大阪府における種類別中間処理の基準

産業廃棄物の種類			中間処理の基準
燃えがら	有害物質を含むもの		固化化処理等により無害化すること
	上記以外のもの		熱しゃく減量15%以下にすること。
汚でい	有害物質を含むもの	有機性汚でい	固化化処理，焼却等により無害化，安定化すること。
		無機性汚でい	固化化処理等により無害化すること。
	上記以外のもの	有機性汚でい	焼却，固化等により安定化すること。
		無機性汚でい	脱水等により含水率85%以下にすること。
鉱さい	有害物質を含むもの		固化化処理等により無害化すること。
	上記以外のもの		破碎等により中空の状態をなくすこと。
ダスト類	有害物質を含むもの		固化化処理等により無害化すること。
	上記以外のもの	乾式集じんダスト類	造粒等により大気中に飛散しないようにすること。
		湿式集じんダスト類	脱水等により含水率85%以下にすること。
廃油			焼却すること。
廃酸及び廃アルカリ			中和，焼却等すること。
廃プラスチック類			・破碎，切断若しくは溶融加工により，中空の状態をなくし，最大径おおむね15cm以下にすること。 ・焼却すること。
紙くず，木くず，繊維くず，動植物性残渣及び家畜の死体			焼却すること。
ゴムくず			・破碎若しくは切断により，中空の状態をなくし，最大径おおむね15cm以下にすること。 ・焼却すること。
金属くず			破碎，圧縮等により中空の状態をなくすこと。
ガラスくず及び建設廃材			破碎等により中空の状態をなくすこと。
家畜ふん尿			焼却，生物処理等により安定化すること。
PCB汚染物等			適正な処理体制が確立されるまでの間保管すること。

(注1) 有害物質を含むものとは、次表左欄に掲げる物質について、同表右欄に掲げる基準を超えて含むものをいう。

物質名	判定基準(溶出値)
アルキル水銀化合物	検出されないこと
水銀又はその化合物	0.005mg/ℓ
カドミウム又はその化合物	0.3 "
鉛又はその化合物	3 "
有機りん化合物	1 "
六価クロム化合物	1.5 "
ひ素又はその化合物	1.5 "
シアン化合物	1 "
PCB	0.003 "
トリクロロエチレン	0.3 "
テトラクロロエチレン	0.1 "

(注2) PCB汚染物等とは、次表に掲げる産業廃棄物をいう。

- ・廃PCB
- ・PCBを含む廃油
- ・PCBが塗布された紙くず
- ・PCBが付着し、又は封入された廃プラスチック類
- ・PCBが付着し、又は封入された金属くず

汚でいの場合、セメントのみを混ぜ合わせるによって無害化できる。しかし、有害物質を含む廃棄物の場合、それだけでは不十分であり、有害物質を不溶化(これも基準が環境庁告示で種々定められている)するための「はなぐすり」を添加して混練・成形・乾燥しなければ埋立て処分ができない。それは、埋立て処分後、有害物質が水に溶けだして周囲の海域・河川等を汚染したり、有機物質が嫌気性発酵してメタンガス等が発生するのを防止するためである。また、埋立て処分地が満杯になって跡地利用という段階になったときの安全性の確保のためでもある。処理装置等には、処理の見掛け上の付加価値が低いために、余り高性能なものが用いられない場合が多いし、また、操作条件等に関しても、現在、脚光を浴びている機能性複合材料の製造プロセスに関するもの程に十分に調べられているとは言い難い。

つぎに目につくのが、「破碎等により中空の状態をなくすこと」という表現である。これも跡地利用に関連しており、廃棄物を大きい塊のままで埋め立てると後で不等沈下を起こすからである。中空の状態を無くして最大径をおおむね15cm以下にすればよい、ということになっているので、高性能な超微粉砕機は必要でない。大型の剪断・衝撃・圧縮型の**破碎機**が用いられる。ちなみに、大阪府の調査によると、府域で許可を有する産業廃棄物処理業者の破碎施設の処理能力は、平成元年度末時点で14,000トン/日である。その主なる対

(出典) 通商産業省：産業廃棄物排出量原単位調査報告書(1989. 3) 単位：1,000トン

図2 産業廃棄物の排出量

象は建設廃材であるが、その大部分を占めるアスファルトがら、コンクリートがらについては再生アルファルトの混合物や道路路盤材としての再利用が推進されつつある。今後は、単に破碎すればよい、というだけでなく、**粒度調整**が必要となり、廃棄物処理・再利用における**分級操作**の重要性が増してくるものと考えられる。

ダスト類の中間処理は、先にも述べたように「造粒等により大気中に飛散しないようにすること」である。結構コストがかかる通常の**造粒**操作とは異なり、造粒物を埋立て処分するだけであるから、せいぜい、水を散布して適当に掻き混ぜる程度の造粒操作である。発生量的には大したことはないが、もしも何らかの形で再生利用をしようとするならば、粉体工学の出る幕があろう。

なお、産業廃棄物の総排出量の昭和62年度全国推定値とその内訳を図2⁶⁾に示しておく。

5. 廃棄物は処理から管理の時代へ

大阪府では、この程、向こう10年間の産業廃棄物「管理」計画を策定した³⁾。これは、従来から「処理」計画と言われていたが、廃棄物の適正処理を図ろうというこれまでの考え方から一歩進め、生産・流通・消費のあり方にまで遡って、廃棄物の大幅な減量化すなわち再生利用(リサイクル)や適正処理を推進すると共に、最終処分場について、跡地利用に伴う環境汚染防止をも視野に入れる、という基本的考え方を「管理」という言葉で表現しているわけである。

その基本目標は排出管理、減量化および適正管理である：

1) 排出管理

処理法の改正のところで少し述べたが、要するに、生産等の段階から産業廃棄物処理を念頭におき、原材料や製造工程を転換すること等により産業廃棄物の発生を抑制するとともに、適正処理や再生利用の容易な産業廃棄物の排出に努めることであり、また、廃棄された際に適正処理や再生利用が容易となるような製品の開発・製造を推進することである。そのためには、いろいろな分野の工学が関与しなければならないが、とりわけ、粉体工学は積極的に貢献しなければならないだろう。

2) 減量化

再生利用や中間処理により、産業廃棄物の最終処分量を大幅に減らさなければならない、ということである。単なる中間処理では付加価値が見掛け上低く、情熱がなかなか湧いてこないが、再生利用となると、そうも言うてはおられない。すでに見たように、中間処理ないしは再生利用が粉体工学と最もかかわりが深いから、大いに関心を持っていただきたいものである。

3) 適正管理

無害化、安定化等環境保全のために必要な措置を講じたうえで、適正に埋立て処分することである。このため、発生から最終処分に至る各過程での関連情報を適切に管理しなければならない。要は、再生利用ないしは中間処理を確実に適正に行え、ということでありあとは情報システム工学の担当である。、

6. おわりに

粉体工学が廃棄物処理技術や廃棄物の減量化・再生利用技術と深く関連していることは、紛れもない事実である、というのが筆者の実感である。しかし、すでに述べたように、廃棄物は、排出者の手を離れた時点

から、商品となって流通する。商品といっても負の価値を持っている場合がほとんどである。それでも、なお、流通過程(収集、運搬、中間処理、処分)で付加価値をつけ、利潤を生まなければならないことも、また、現実である。すでに、廃棄物処理には高度な技術がかなり導入されているが、それでもなお、機能性複合材料の製造プロセスの開発に投入される程ではない。

わが国では、技術は専ら「産業」と「家庭」にばかり向いていて、「社会」には殆ど向けられていないように考えられる。それが、日本は経済的に豊かになっても、真に豊かな社会が築かれていない原因の一つであろう。産業と家庭向けの有望な技術には大きな市場が形成されていく。

一方、社会の技術は資金の負担方法が明確でない等種々問題が多い。それが深刻な廃棄物処理・地球環境保全問題等の原因でもある。そこで「社会」に技術を向ける仕組みが必要になってくる⁷⁾。この拙文が掲載されるころには、もう終わっているが、6月3日から14日までブラジル・リオデジャネイロで国連環境開発会議(地球サミット)が開催される。おそらく、そのような問題も討議されるだろう。地球サミット事務局の試算

によると、地球保全のために西暦2000年までに先進諸国が発展途上国に援助すべき資金総額は年間1250億ドル(約16兆円)だそうである。軍事費総額が年間約1兆ドルであるから、その8分の1程度のものである。日本が多額の拠出をすることが期待されている。さらに加えて、日本の社会を真に豊かにするためにどれくらいの資金が必要か、筆者には未だわからないが、おそらく、相当な額を国民一人一人が負担しなければならないだろう。

未だ、個々の具体例を紹介できる段階ではないが、廃棄物の処理・減量化や再生利用において、粉体技術は、既に「社会」にも向きは始めている。従来からの内部的GMP(good manufacturing practice)から脱皮し、外部的GMP(global GMP or environmental GMP)に向けて、粉体工学への新たな期待が寄せられてくるものと確信している。

(付記：この解説記事は、大阪府公害対策審議会・産業廃棄物分科会で審議され同審議会に答申された内容がこのたび公表されたのを機会に、同分科会の座長を務められた宮南先生にご寄稿を依頼したものですー編集委員会ー)

参 考 文 献

- 1) 平成3年10月改正新旧対照廃棄物処理法、ぎょうせい(1991)
- 2) 「ごみQ&Aガイドブック」、堺市環境事業部(1990)
- 3) 大阪府産業廃棄物管理計画、大阪府(1991)
- 4) 堺市ごみ事情、堺市環境事業部(1992)
- 5) 堺市環境事業部事業概要、平成2年度版
- 6) 「リサイクル入門およびリサイクルガイド」、(財)クリーン・ジャパン・センター(1991)
- 7) 森谷正規：技術進展のアセスメント、朝倉書店(1992)