(色材, 53 [4] 225-234. 1980)

廃棄物造粒の基本技術

橋 本 建 次*

1. 将来の生産システムのなかの廃棄物とその造粒の意義

「省資源」は恐らく年とともに、きびしく、いわれるようになるであろう。それは地球上の資源が有限であるという認識が高まったのと、資源としての生産原料のコストアップがひびいて、日常生活、社会活動のなかでも、工場生産などにおいても、ものを大切にしていこうことが重視され、徹底されていくのは必然的であるということにもとづいている。このようななかで、いままでの生産とは、たんに製品を作ることだけをさしていたが、将来の生産システムとは、その工程からの廃棄物を生かし、再生品にするか、あるいは原料にもどすことまで含めるのが望ましい。したがって図-1の点線で囲ったところが、これからの生産システムと考えるべきで、全体がクローズドシステムになっていくべきで、どうしても使えないものや重金属などを含む有害物質はしかるべき処置をして廃棄されることになる。

本文は上記の廃棄物のうち、粉粒状のダストやスラッジに焦点を合わせたが、それらを原料として再生するにしろ廃棄処分するにしろ、そのままでは処理しがたく、

図-1 理想的なクローズドシステム

昭和 55.1.7 受理
Fundamental Technique of Granulation on Waste
Kenji HASHIMOTO

* 新東工業(株)

名古屋市中村区名駅 4-7-23 (〒450)

結論的には造粒が必要であり、それによりつぎのメリットが生ずる。

- 1) 取り扱い中にダストの飛散がない。
- 2) 流動性が改善されるから、貯蔵、供給、輸送中のトラブルがなく、取り扱いが容易である。
- 3) 成分の偏析がなく、密度が均一である。
- 4) 乾燥や焼結がしやすい。
- 5) 有害物質が入っている場合、容易にコーティングできる。
- 6) 廃棄したとき、その場所における充てん密度が大きく、かつ均一となり、地盤沈下など起きにくい。

2. ダスト、スラッジ類の造粒固化化の条件

筆者らはいままで製鉄所、製鋼や鋳物工場などの集じんダスト、都市ごみ焼却灰や EP ダスト、下水道スラッジの焼却灰、苛性ソーダ工場の水銀マッド、めっきや製紙工場のスラッジなどの各種廃棄物の造粒固化化に取り組み、ダストやスラッジ類を造粒するのに、もっとも必要なことは、いかにランニングコストを下げるかであり、そのためには「常温造粒固化化」がもっとも望ましいことを強く感じた。その手段としては

- 1) その廃棄物に適した、安い、そして少量ですむ結合材を選ぶこと。
- 2) 必要な強さや諸性質をうるため、必要最低限の結合材量にするよう、十分な混練を行うこと。
- 3) 重金属のような危険な物質を溶出させないこと。
- 4) 再利用や廃棄処理に応じた大きさ、形状、必要な性質が得られるような造粒方法を選ぶこと。

などである。本文では上記の「低コスト常温造粒固化化」を中心に、結合材、混練および造粒方法について述べる。

ただし廃棄物の造粒技術は、まだまだ試行錯誤をくり返している段階であり、今後はさらに進展が期待されるが、それへの一つのステップとみていただきたい。

3. 常温固化結合材の種類と廃棄物への適用性

ダストやスラッジを造粒するには、特別の場合を除き結合材がなければいけない。廃棄物に限らず、各種産業で用いられているものの種類と製品名称および常温造粒固化へ適否などを表-1 に掲げる。これらのうち前記のように、低コストを考慮に入れると、セメントとアスファルトが最適であり、これらを中心に説明する。

3.1 セメント

スラッジ類の結合材にセメントが多用されている理由は水を吸収する能力が大きい、有害物質の重金属を固溶する能力があることなどとともに、安価なことによる。ただし配合量が多い欠点がある。なおスラッジだけでなく、ダストの固化にも使われ、またアスファルトと共用される場合もある。

3.1.1 セメントの種類と化学成分

多くの種類があり、表-1 に示すほかにも白色、超速硬や膨張セメントなどがある。おもな成分は

けい酸3カルシウム ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 略号 C_3S)

けい酸2カルシウム ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 略号 C_2S)
であり、そのほか、つぎのものが含まれている。

アルミン酸カルシウム ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 略号 C_3A)

鉄アルミン酸カルシウム ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, 略号 C_4AF)

石こう ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

3.1.2 スラッジなどの固化の有効成分

造粒固化に有効な水和物はエトリンガイト (Ettringite, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) であり、水の吸収について、32 分子の水を結晶水として固定でき、水和速度が早いとともに、そのなかのアルミニウム原子はイオン半径が近い、チタン、クロム、マンガンなどと容易に置換する性質をもっている。それゆえアルミン酸カルシウムの多いことが望ましく、その反応過程はつぎのようである²⁾。

3.1.3 硬化阻害物質への対策

セメントの水和反応による硬化をさまたげる物質として、亜鉛、銅、鉛などの無機化合物、砂糖、リグニンな

表-1 結合材の種類と常温造粒固化への適用性

分類	種類	製品名称	造粒固化への適用性	
			適否	摘要
無機	セメント	ポルトランド, 高炉, シリカ, アルミナ, フライアッシュなど	◎	安価, 添加量が多い
	石こう	排煙脱硫など	○	研究中
	水ガラス	メタけい酸ソーダ, けい酸ソーダ 1~4 号	○	廃棄処分にはアルカリ溶出による公害に注意
	鉱物質	粘土, ベントナイト(ナトリウム, カルシウム), 石灰	△	強さ小
有機	天然	デキストリン, コンスターチ, そくい, しょうふなど	△	廃棄処分には, 水に溶けるため注意
		にかわ, カゼイン, 大豆たん白など	×	高価
		ラテックス, アラビアゴム	×	"
		タールピッチ, 加工タール, 舗道タール	○	安価, 加熱が必要
		ストレート, ブローン	◎	"
		パルプ, 糖蜜	△	" 強さ小
	合成	ビニール, ポリビニールアルコール, アクリル, ポリアミド, ポリエチレン, セルローズなど	×	廃棄物の場合は可だが, 加熱が必要
		ユリア, メラミン, フェノール, フラン, エポキシ, ポリエステル, ポリウレタンなど	×	高価
		ネオプレン, ニトリル, スチレン, ブチル, シリコンなど	×	"

注) 適否の記号についての説明: ◎ 最適, ○ 問題はあるが適する, △ 強さ小, × 不適

どの有機物があるが、これらが混入しているダストやスラッジはポルトランドセメントでは固まらない。たとえば都市ごみ焼却炉からの EP ダストなどはそれで、対策として前記のエトリンガイトの多い特殊セメントを用いるとよい。

3.2 アスファルト³⁾

石油精製時の残さとして多量に市場にでており、安価のため廃棄物処理用に適する。常温では粘弾性体の固体で 130~160°C に加熱しなければ結合材にならないが、常温固化用には乳剤を入れ、液体にして使用している。単体で用いる場合も多いが、セメントと共用する例もある。

3.2.1 アスファルトの種類と化学成分

黒色の歴青質混合物で、天然と石油系があり、後者には精製時の蒸留残さのストレートアスファルトとそれを約 260°C の加熱空気を吹き込んで処理したブローンアスファルトがある。品質は JIS K 2207 で定められており、主成分は複雑な炭水化物で、アスファルテンという黒色の固体がマルテンと称する油状成分中にコロイド状に分散したものである。

3.2.2 固化化作用

常温硬化用にするにはアスファルト乳剤を作るが、これはナフテン基原油より作られた混合基原油からのアスファルトに水と乳化剤、安定剤を加え乳化する。乳化剤としては石けん、アルキルアリルベンゼンスルホン酸ナトリウムなど、安定剤はアルギン酸ナトリウム、カルボキシメチルセルロースなどが用いられる。この乳剤をダストやスラッジに混ぜると、分解して水が蒸発し、アスファルトは結合材として働く。また乳化剤としてカチオン性のものを使うと、アスファルトは正に帯電し、もし廃棄物が負に帯電しておれば結合力増大に寄与する。

3.3 そのほかの結合材

排脱石こうは pH や水分などの差により硬化時間や強さが不安定で⁴⁾ 廃棄物用としては、まだ研究中といわれる⁵⁾。

水ガラスは脱水または化学反応による硬化で結合材となるが、廃棄物処分する場合は水に溶解してアルカリ性となる。けい砂に 5~6% 配合した例では、pH11、ナトリウム量 1,000~6,000 ppm となり⁶⁾、水稻の成長や淡水魚への悪影響、井戸水のアルカリ性などの害があるので注意を要する。

鉱物質は結合力が弱く、常温硬化用には向かない。焼結工程がある場合の生強さをたもたせるために用いられる。

でん粉は水に接すると溶ける性質があり、また湿気の

影響を受けやすいので、水気のあるところでは使えない。

たん白、天然ゴム、熱硬化性レジン、エラストマなどは高価なため、廃棄物用には特殊な場合以外は使えない。

タールは常温では固体なので、加熱混練、造粒が必要であり、常温硬化用には使われていない。ただし溶融亜鉛めっきドロスのような金属粉が含まれているものは水との発熱反応で、タールを溶かし結合する例はある⁷⁾。

熱可塑性レジンはそのものが廃棄物である場合には使えるが、加熱状態での混練、造粒が必要である。

3.4 結合材の比較

アスファルト、セメントおよびユリアレジンについての比較を表-2⁸⁾ に示す。廃棄物の種類や性状などにより表のようにならない場合もあるが、1 評価例としては参考になる。原著では、アスファルトは加熱混練になっているが、3.2.2 のように乳化すれば常温でできる。

4. 混練機の種類とその選び方

廃棄物としてのダストやスラッジを造粒するには、前処理としての混練はコストダウンのために、きわめて重要であることをとくに強調したい。

4.1 混練の定義とその効果

混練とは「造粒や成形の前処理として、ダストやスラッジを構成する粉体のまわりに、“のり”となる結合材を、均一に、しかも必要最低限にコーティングする操作」⁹⁾である。もしこの操作が不十分であると、造粒や成

表-2 固化化結合材の定性的比較

分類	比較項目	結合材		
		セメント	アスファルト	ユリアレジン
結合材	見かけ密度 (g/cm ³)	~1.9	~1.0	~1.0
	老 化 性	あり	なし	あり
再 利 用 性	コ ス ト	できない	できる	できない
		中	低	高
混練	加 熱	しない	する*	する
	粉体へのコーティング性	小	大	小
発 じ ん 性		多い	わずか	少ない
造 粒	固 体 物 容 積 性	大	小	大
	通 気 性	大	小	大
物 質	圧 縮 性	よい	よい	液がにじむ
	衝 撃 抵 抗	低	高	低
凍 結 抵 抗		小	大	小

* 乳化したものは「しない」(3.2.2 参照)

形時の強さが弱く、かつ強さに均一性をかき、それゆえ結合材を余分に入れることになり消費量が多くなることから、ランニングコストがアップする。このことは、たんに廃棄物だけの問題でなく、各種分野の製品においても共通していえることであり、まして廃棄物ではイニシャルはもちろんのこと、とくにランニングコストは極力押えざるを得ないのが現状であり、混練をよくきかしてコストダウンにつとめるべきである。

いま具体例をあげてコーティングが十分な場合の効果を認識してみよう⁹⁾。鋳物工場での鋳型にシェルモールドがある。これはけい砂に2ステップのフェノールレジンおよび硬化促進材としてのヘキサメチレンテトラミン(レジンに対し約10%)を配合し混練するが、ドイツより技術導入された当時はフェノールを粉末の形で入れており、表-3のように、けい砂への湿潤材としてケロシンを0.2%ぐらい添加して、コーティング層を作ったあと、粉末レジンを入れてけい砂のまわりに付着させていたが、この状態ではレジンは一コーティングとはいえず、所定の強さをだすのに5~6%のレジンが必要であった。その後コストダウンをめざすため、レジンコーテッド砂が開発されたが、これはフレーク状のレジンにけい砂とともに、レジンが溶け適切な粘度になる150°C付近の温度で、加熱混練すると均一なコーティング層を作ることができる。このように部分的にしかついていないレジンと均一コーティングのレジンでは、必要曲げ強さ50 kg/cm²程度をだすにはレジン量が表-3のように約1:2であり、配合するレジンが半分も節約できることになる。なおレジンコーティングのあと、型に入れて300°Cぐらいでキュアリングすると、2ステップなので、再びメルトしたあと硬化し、けい砂同士がレジンによって結合し、鋳型ができる。

表-3 コーティング状態による結合材(レジン)量のちがい

コーティング状態	コーティング方法	図 解	50 kg/cm ² の曲げ強さをだすレジン量
不十分	ケロシンをけい砂にコーティングし、その上に粉末レジンをつける	粉末レジン	5~6%
十分	フレーク状レジンを加熱して液状にし、混練により、けい砂に均一コーティングする	レジン	2~3%

この例自体は正確には混練が十分、不十分の結果ではないが、均一コーティングの効果として、おきかえて考えるならば、混練の重要性が認識できるデータといえる。

4.2 混練機の種類

表-4は混練機を分類し4つの形式に整理したものである。このほかにもその他の部類に属する「らいかい機」などがあるが、ここでは省略した。仕様のうち有効処理量と動力は最大のもののみを掲げたが、これらは過去の実績にもとづいている最大仕様で、機種により大きくできるものとできないものがあることがわかる。また表中混練力とは混練機のもっている固有の練る能力、いいかえると粉体のまわりにコーティングする能力をさし、混練力の大きい混練機は粘性の高い結合材でも、ぬれ性の小さい粉体と結合材の組み合わせでも容易にコーティングすることができるものをいう。そして粉体と結合材、添加材の種類に応じ、適切な混練機を選ぶことが重要で、過少な混練力ではいけないし、また過大である必要もない。さらに混練早さとは均一コーティングするに要する時間の長短を示す尺度で、早いことが望ましい。この両者は混練機のもつ基本的な性能であり、表中の10段階で評価した数字は大きいほど混練力があり、また混練早さが早いことを示すものである。写真-1はホイール形のミックスマラー、写真-2はそれを連続式にしたマルチマルであり、写真-3はブレード形の高粘性用の連続式ユードおよび写真-4は中粘性用パドルミキサを掲げたが、個々の説明は省略する。

4.3 廃棄物処理用としての選び方

選定に当たっての基本的な考え方として、つぎの点をあげることができる。

写真-1 ミックスマラー

(1対のホイールが回転し、混物練を圧縮、せん断、へら押しして混練する)

表-4 混練機の種類, 最大仕様, 性能と廃棄物処理の適用性

分 類		機 種*1	最大有効 処理量*2 (t)	最大動力 (kW)	混練力	混練早さ	適 用 性*3	
							ダスト	スラッジ
ホ イ ー ル 形		ミックスマラー	3,500	150	8	4	○	○
		マルチマル	(80)	150	8	4	○	○
		ストツミル	4,000	200	8	4	○	○
		ウェットパンミル	250	15	9	3	○	○
		アイリッヒミル	2,000	130	5	4	○	○
		ワールミックス	100	15	6	8	○	△
		スピードマラー	650	75	6	8	○	△
ボ ー ル 形		ボールミル	4,000	250	10	4	○	×
		振動ボールミル	160	15	10	6	○	×
		アトライタ	600	37	8	4	×	×
		サンドグラインダ	120	22	8	4	×	×
ブ レ ー ド 形	高 粘 性 用 (低 速)	ニ ー ダ	1,500	1,500	10	4	○	○
		オ ー ガ	(4)	20	10	4	△	○
		ヘリカルロータ	(一)	750	10	4	△	○
		スクリューエックストルーダ	(0.3)	37	10	4	△	△
	中 粘 性 用 (中 速)	パドルミキサ	1,500	37	2	6	△	△
		ミックスマスタ	(20)	7.5	2	6	△	△
		リボンミキサ	20,000	110	1	4	△	△
		ポニーミキサ	130	12	4	6	△	△
		ハイスラジャ	1,500	75	3	6	△	○
		ボルテックスミキサ	—	90	5	6	△	△
		ナウタミキサ	25,000	20	1	3	△	△
		万能ミキサ	1,000	15	4	4	△	△
		サーマルプロセスサ	5,000	—	3	4	△	△
		メルトミックス	700	22	6	4	△	△
	低 粘 性 用 (高速, せん断)	ヘンシェルミキサ	1,300	200	4	10	△	△
		カッターミキサ	50	7.5	4	10	△	△
		スピードミキサ	500	37	4	10	△	△
		ダイノーミキサ	15	22	4	10	×	×
	低 粘 性 用 (高速, 霧かけ)	タービュライザ	180	95	4	10	○	×
		サンドターボ	(20)	15	4	10	○	×
		フロージェットミキサ	(一)	5.5	4	10	○	×
		シュギーミキサ	(一)	40	4	10	○	×
		サターンミキサ	(一)	2	4	10	○	×
ロ ー ル 形		ロールミル	(一)	200	10	4	×	×
		テーパーロールミル	(1.4)	200	10	4	×	×
		インターナルミキサ	615	1,100	10	4	△	△
		コンティニューアスミキサ	(一)	300	10	4	△	△
		パンパリーミキサ	6,200	1,875	10	4	×	×
		ギャーコンパウンダ	(一)	15	8	4	×	×

注) *1 その他としていろいろ機などがあるが省略

*2 ()内のは連続式で単位は ton/hr

*3 ○ 可, × 不可, △ 可ではあるが適さないあるいは性能がでない

写真-2 マルチマル

(回分式のミックスララーを2つくっつけて連続式にしたもの)

写真-3 連続式ニーダ

- 1) 土砂を対象にしている装置であること：ここにいう土砂とは金属精練，鑄造，耐火物，土木建設などのような硬い，ごつい粉体を扱うことをさす。とくにダストやスラッジは生産原料と違って，異物が入る可能性があり，また成分に変動が多く，それらに応じられる機械でなければならないが，土砂を対象にしているものは頑丈さを要求され，多少の無理にも動じない機構になっており，保守点検にも合理的な方式が積み重ねのうちにできあがっているからである。これに対し食品や薬品のような軟い粉体を

写真-4 パドルミキサ

(回分式にも連続式にもできるが，混練力は弱く，粘性の高い結合材の場合には使えない)

取り扱っている分野のものは，かりに混練性能はよくても，上記の諸問題を考慮すると，きゃしゃであり，長期使用という点に耐えられないであろう。

- 2) 混練力の適切なものを選ぶこと：過小でも，過大でもなく，目的に合った適切な混練力をもつ機械でなければならない。たんにダストを水で湿らすだけならばパドルミキサやリボンミキサのようなもので十分であるが，それに粘性の高い結合材を入れ，ペレットやブリケットにする場合はホイール形のミックスララーやマルチマル，ニーダ，さらに強力なことを要すればボールミルやインターナルミキサということになる。
- 3) 試行錯誤をおしまないこと：混練機は多くの業種で使われているが，それは過去に，試行錯誤をくり返しながら，独自の歴史をもって発達し，その分野のその混練物を処理するのに一応最適のものが採用されている。経験的に積み重ねられてきたものだけに，また学問的に解析が遅れているものだけに，その選定基準ははっきりしていない。ダストやスラッジは，ばらつきが大きく，性状も各社でまちまちであり，よいと推定されるものについて，1つ1つテストして判定せざるを得ないだろう。しかし寿命や保守点検までの推定はむずかしい問題である。

以上のような観点と廃棄物処理の筆者の経験から，表-4にダストとスラッジに分けての適用性を示したが，筆者はすべての混練機を経験したわけではなく，推定も入っている。

5. 造粒機の種類とその選び方

結合材を配合し，混練後，造粒工程に入るが，混練機と同様に多くの種類があり，表-5に整理したものを示す。廃棄物用としては転動形か圧縮形が主流で，混合形

表-5 造粒方法の種類と形状, 適用性など

分 類	機 種	造粒物形状	適用性*1		備 考
			ダスト	スラッジ	
転 動 形	パ ン ド ラ ム 波形振動コンベア 水 平 振 動	球	○	×	造粒後, 乾燥, 焼結する場合が多い。 常温固化には結合材の自硬性が必要。
			○	×	
			△	×	
			△	×	
押しだし形	スクリュ軸方向押しだし スクリュ円周方向押しだし ラ ム ペレットミル オシレーティンググラニュレータ 円筒グラニュレータ ディスクペレッタ	円 筒	○	▲	再利用されるときに用いられる。 円筒の直径は 10 mm 以上になることはない。
			○	▲	
			○	▲	
			○	▲	
			○	▲	
			○	▲	
			○	▲	
圧 縮 形	単発プレス 圧縮プレス コンパクトマシン ブリケットマシン ロータリ	レ ン ズ 状 各 種 シート, 波形 アーモンド状 レ ン ズ 状	○	▲	投棄, 再利用の場合ともに用いられる。
			○	▲	
			○	▲	
			○	▲	
			○	▲	
流動層形	流 動 層 噴 流 層 噴流流動層	球	△	×	処理量の多いものには向かない。
			△	×	
			△	×	
解 砕 形	た て 軸 横 軸	不 規 則	○	×	コンパクトしたあとと砕き, 造粒する。 分布の幅をちぢめることが課題。
			○	×	
混 合 形	ブレンダ ピ ン 流動混合	不 規 則	○	×	造粒物の大きさに幅があり, 一定しない。
			○	×	
			○	×	
噴 射 形	プラズマ 吹き上げ 空冷噴射	球	×	△	再利用の場合に用いられる。
			×	△	
			×	△	
噴霧乾燥形	回転円板 ノ ズ ル	球	×	△	
			×	△	

注) *1 ○ 可, × 不可, △ 可ではあるが, 適さない, ▲ 低水分にすれば可

も使われる。再利用するもので, 付加価値の高いものには押しだし形, 圧縮・解砕形が用いられる。流動層, 噴射および噴霧乾燥形はほとんど使われないであろう。主要な機種について簡単に説明しよう。

5.1 パン式造粒機

ダスト用でスラッジには向かない。外観を写真-5に示す。傾斜皿形造粒機ともいい, パンを傾斜して回転させるもので, 造粒に当たっては粉体と水分あるいは溶液をパンの上方に連続的に供給し, 粉体はそのなかで水分あるいは溶液をコーティングされながら循環するととも

に転動して球になり, ある大きさになったあとパンのふちから溢流して機外に排出される。なお, ここにいう粉体とはすでに結合材を入れて混練されたものである。一般にパンの回転速度, パンの深さおよび傾斜角度はある範囲に調整でき, 粉体の性状に応ずるようになっている。パン径は大きいもので5.5m ぐらいまであり, 傾斜は30~60°, 回転数は臨界回転数の0.4~0.65で用いられている。ここに臨界回転数とは遠心力によりペレットがパンのふちに張りつく回転数をいう。ペレットの径は20mm ぐらいまでである。

写真-5 転動形パン式造粒機

写真-6 ブリケット造粒物

写真-7 ブリケットティングマシン

(造粒は左側にみえるローラーで行う。その上方には押し込み式のスクリュが内蔵されている。右側はモーターがあり、カバーでおおわれている)

5.2 ブリケットティングおよびコンパクションマシン
同じ速度で内側に向かって回転する1対のロール間に粉体を供給すると、ロールの外周に刻まれているポケットに粉体が入り込み、ロールの回転にともなって圧縮され、写真-6のようなブリケットが連続的に排出される。ロールに加える圧力は数100トンまでであり、0.5~5トン/

写真-8 小形コンパクションマシン

(前方の一対のロールで板状に成形する。ロールをポケット式にするとブリケットティングマシンになる)

写真-9 コンパクションマシンで板状に成形したものを解砕機で砕き造粒したもの
(厚さ5mmにコンパクションしたもの)

写真-10 混合形による造粒物

cm²の範囲が多い。粉体の供給の変化に応じられるようロール圧を自動的にコントロールできる油圧緩衝器を備えており、それにより、つねに圧力を一定にたもち、ブリケットのむらをなくすようにしている。外観は写真-7

写真-11 押しだし造粒物

写真-12 押しだし形スクリュ軸方向押しだし式造粒機

写真-13 押しだし形ディスクベレッタ式造粒機
(底板に押しだし穴があり、ホイールで圧縮しながら穴から押しだし、造粒する形式)

に示す。またロールにポケットのないものはコンパクトイングマシンと称され、写真-8 のようで、波板あるいは平板が連続的にできる。それを解砕すると、写真-9 のような不規則形状の造粒物となる。

5.3 その他の造粒機

混練と造粒を同時に混練機を用いて行うのが混合形である。主としてブレード形が使われている。この方法による造粒物は写真-10 に示すように、かなり分布に幅ができる。

押しだし形は再利用され、付加価値の高いものの造粒に用いられている。混練物を穴を通してスクリュ、ラム、ローラなどにより押しだし、写真-11 のような円筒状のものが連続的に排出される。写真-12 はスクリュ軸方向押しだし式および写真-13 はローラで下面に向かって押しだしディスクベレッタである。

5.4 適用性

すでに掲げた表-5 にダストとスラッジにわけ適用性を示してみた。ダストのほうが適用機種が多い。スラッジの場合は脱水あるいは乾いた粉体の添加などにより低水分にすることが条件になる。筆者はすべての造粒機を経験しておらず、推定も含まれている点もある。

6. おわりに

廃棄物の造粒技術は基本的には、すでに述べたように、低コスト常温固化をねらい、結合材、混練機および造粒機の選定であり、関連技術としては各種コンベア、粉体ホッパ、液体タンク、定量供給機および造粒物の粒度をそろえるためのふるい分け機の選定である。

なお混練と造粒の記述が一貫していない点は、つぎの理由による。前者は造粒のポイントににぎる前処理としての混練の考え方の強調に重点をおき、紙数の関係で、機械の説明は省略させていただいた。また後者は主流の機種が比較的限定され、本論であるので、機械の説明に主体をおいた。

本文は筆者の経験をもとに述べたが、廃棄物処理の歴史は浅く、まだまだ合理性の追求の余地は大きく、開発はこれからとみてよからう。一層の発展を期待したい。

引用文献

- 1) 下田正雄：産業公害, 13, 998 (1977)
- 2) 内川 浩, 槻山興一：PPM, 6, No. 5, 79 (1975)
- 3) 日本化学会編：“化学便覧”, p.1093~1095, 丸善 (1967)
- 4) 寺田一郎：Gypsum & Lime, No. 137, 159 (1975)
- 5) 寺田一郎：石油学会誌, 20, 607 (1977)
- 6) 奥山歳生, 福本桂太郎：JACT ニュース, No.

- 223, 33 (1975)
- 7) 橋本建次: “産業廃棄物の造粒・成形と固化”, p. 246, 産業技術センター (1976)
- 8) Stewart, J.E. and R. Herter: “Solid radwaste

- experience in Europe using asphalt”, p.2, ASME 75-Pwr-21 (1975)
- 9) 橋本建次: “混練技術”, p.12~13, 産業技術センター (1978)

刊行物紹介

酵素反応解析の実際

廣海啓太郎

23.0×16.0cm, 390頁

昭和53年3月1日刊

4,800円 講談社サイエンティフィク

酵素反応の解析とは、その反応機構を明らかにすることであり、反応速度論はそのための代表的な手段である。速度論には、定常状態の速度論と遷移相の速度論とがある。いずれも酵素反応の研究に欠くことのできない手段である。

本書では、測定に重点をおき速度論の解説を行っている。内容を整理すると以下のとおりである。

- 序説 (酵素反応研究の歴史, 酵素とその反応形式)
- 酵素の安定性 (生活の速度論)
- おそい反応の観測 (不連続的な測定法, 連続的な測定法, 酵素反応の時間経過)
- おそい反応の解析 (定常状態の速度論, 速度パラメータの求め方, 速度式の形による反応機構識別の

原理, 双曲線形とならない速度式, 定常状態の速度論の限界)

- 速い反応の観測 (高速液相反応研究法, ストップトフロー法, 連続フロー法, 迅速停止法, 温度ジャンプ法, 圧力ジャンプ法, 電場ジャンプ法)
- 速い反応の解析 (遷移相の速度論, 高速溶液反応の速度論, 酵素反応の遷移相の解析, 速度定数の解釈, 律速段階)
- 反応解析の実例 (*p*-ヒドロキシ安息香酸水酸化酵素の反応機構, リゾチームとオリゴ糖との結合反応)

本書では各章とも章末に速度論に関する演習問題があり、さらにデータ処理の方式や具体例も多く記載されており、実験書としても活用可能である。

酵素利用の研究は幅広く、マイクロカプセル化、ナノカプセル化などのようなファインケミカルでも検討されている。酵素工学の理解も大切であるが、本書のような酵素反応の実際を知ることが必要であろう。これらの研究にたずさわる技術者・研究者には本書は1種のハンドブックとして利用できる。

(小石)