

2 ごみ処理技術の動向調査

2. 1 廃棄物、資源化物の運搬・輸送システムの技術動向調査

2. 1. 1 収集・運搬の技術動向

ごみの発生現場から中間処理施設までの運搬・輸送の技術動向として、中継施設と真空輸送について示す。また、A I を用いた技術動向として、A I による収集運搬管理システムについて示す。

(1) 中継施設

小型・中型車により運搬されたごみを中継施設で大型輸送車に積み替えることで、作業の効率化及び収集運搬費の経費削減ができる。

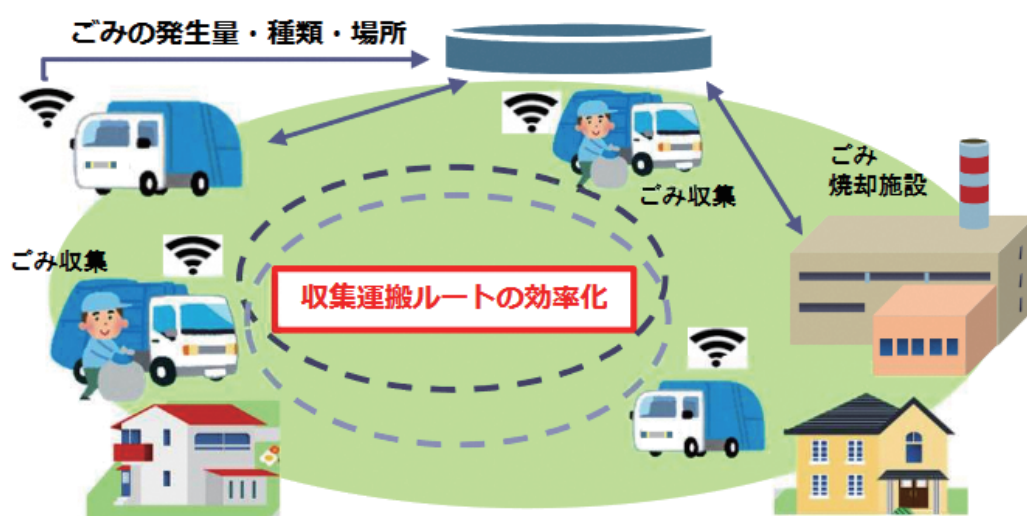
国内ではコンパクト・コンテナ方式のごみ中継輸送方式が多く採用されている。小型車で収集されたごみを圧縮してコンテナに詰め込み、大型のコンテナ車で焼却施設に輸送する。

(2) 真空輸送

建物の中に設けられたごみシュート等と収集所をパイプ（輸送管）で結び、パイプ内の空気を収集所側から吸引することにより、ごみを空気の流れにのせて、広い範囲から収集・輸送することができる。さらに、室内の清掃や病院・ホテル等の洗濯物回収用にも使用することも可能である。規模に応じて大口径、中口径、小口径の3タイプがある。

(3) A I による収集運搬管理システム

廃棄物分野のさらなる低炭素化や担い手不足の解消を目的とし、A I 等を活用した収集作業の最適化を図るためのシステムが構築されている。市町村に設置されているごみステーションに関する情報管理を支援するシステムでは、電子地図上にごみステーションの正確な位置や収集コース・ルートを事前に登録することで収集履歴を閲覧することができる。



出典：先端的な情報通信技術等を活用した廃棄物処理システム低炭素化支援事業（環境省）

図 2.1 A I による収集運搬管理システムの概要

2. 1. 2 中間処理の技術動向調査

(1) 中間処理技術の概要

分別・収集・運搬された廃棄物の中間処理技術の概要を図 2.2 に示す。

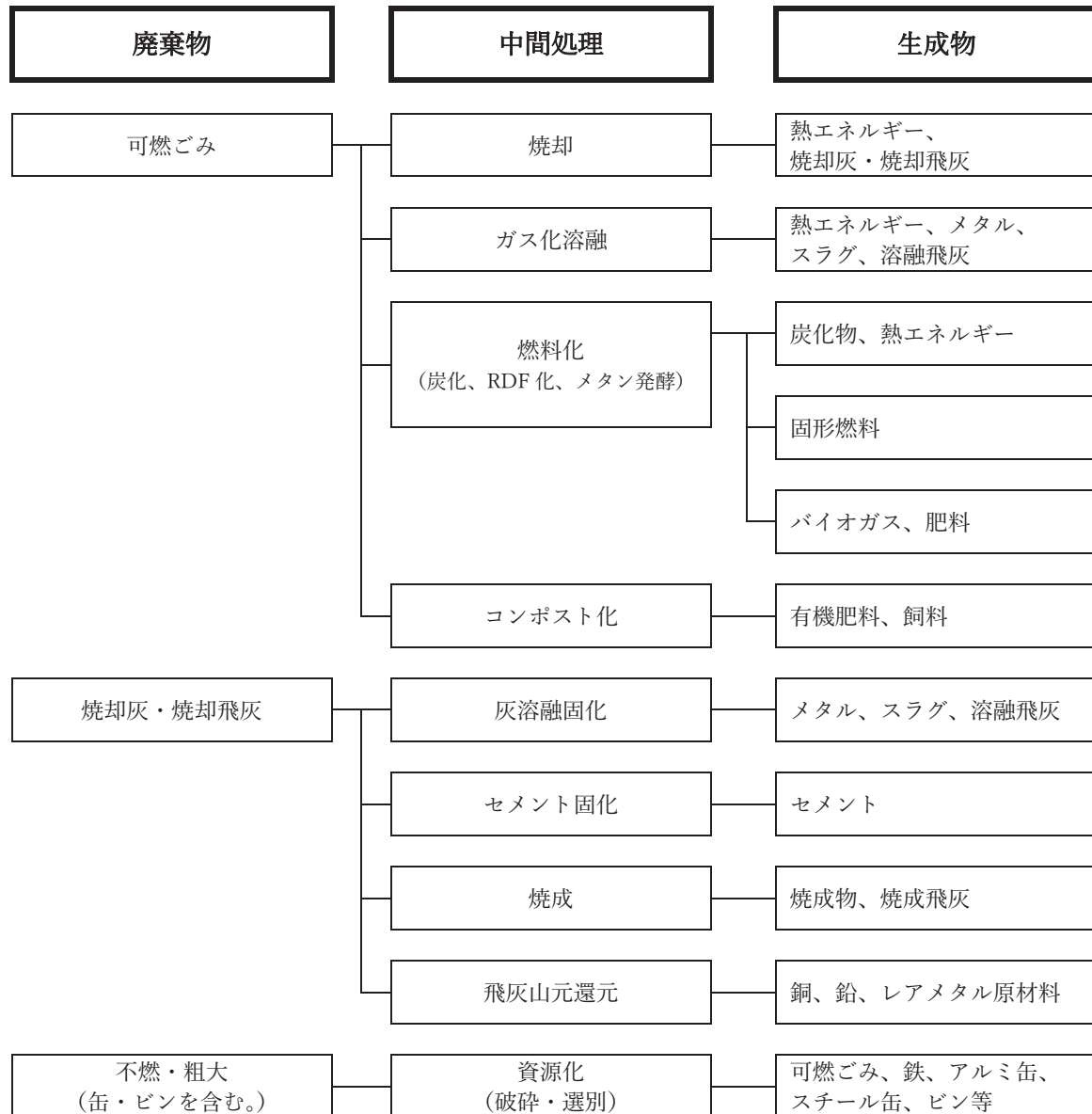


図 2.2 中間処理技術の概要

(2) 中間処理技術の動向

1) 焼却

中間処理技術のうち、最も代表的な方式が焼却である。減量化、無害化、無臭化が主目的で、ごみを高温酸化して衛生的に処理するとともに、容積を減じて最終処分場の延命化を図る方式である。

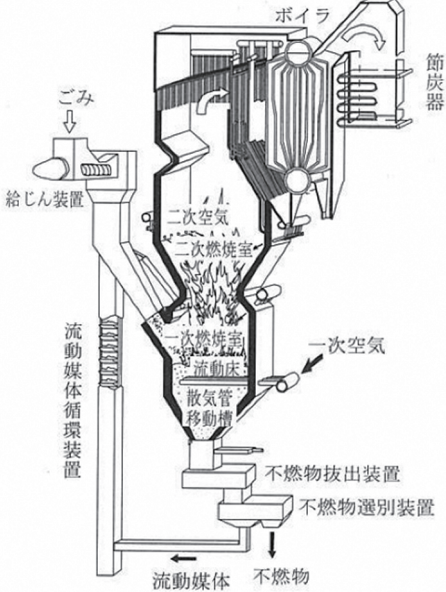
焼却方式としては、ストーカ式、流動床式、回転炉式の3種類に分けられる。

表 2.1 ストーカ式焼却の概要

項目	ストーカ式焼却
概略図	
概要	ストーカ炉に投入されたごみを可動火格子上で移動させながら、乾燥・熱分解・燃焼のプロセスを順番に経ることにより、完全焼却に至る焼却プロセスを有する燃焼処理方式である。
処理対象ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	小型炉から大型炉までの実績が多く、ごみ処理における長期の実績があり、技術の熟度は高い。また、大型化しやすく、国内でも 600 t / 日の炉が稼働している。 他の方式と比較すると、電力消費量は少ない。
課題	他の方式（ガス化溶融等）と比較すると、最終処分量は多い。 焼却残渣から金属の選別回収は可能であるが、酸化しており価値が低い。
導入実績	185 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.2 流動床式焼却の概要

項目	流動床式焼却
概略図	
概要	投入されたごみは、炉内の高温の流動砂内で高温燃焼される。流動砂は、炉内で攪拌されており、高温の砂の保有熱により安定的な燃焼がなされる。（下部で不燃物と分離され、循環させる。） また、空き缶等の不燃物は、炉底にある不燃物抜出装置を介して排出される。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチック、汚泥類も処理可能である。）
特長	砂の保有熱により燃焼が補助されるため、汚泥等の燃焼ではストーカ式より優れている。 炉内に可動部がなく、起動時間が短くて済む。
課題	ごみの定量供給が困難で、燃焼が間欠的になりやすく、燃焼制御に工夫が必要である。 飛灰の発生量が多い。 他の方式（ガス化溶融等）と比較すると、最終処分量は多い。 焼却残渣から金属の選別回収が可能である。
導入実績	6 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.3 回転炉式焼却の概要

項目	回転炉式焼却
概略図	
概要	投入されたごみは、耐火物を内張りした円筒炉の傾斜と回転により移動しながら、乾燥、着火、燃焼される。炉の一端は、投入口と起動用のバーナーが設置されている。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	ごみと空気の混合が不十分であるが、適用対象が広いことから産業廃棄物用の炉としてよく用いられている。（油泥、タール、ピッチ、塗料粕等の処理も可能である。）
課題	クリンカが付着・成長しやすく、連続運転性にやや問題がある。 近年、導入実績がない状況である。
導入実績	1 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：日本ガイシ株式会社ホームページ

(https://www.ngk.co.jp/product/industrial/energyplant/m_rotarykiln/index.html)

2) ガス化溶融

ガス化溶融とは、ごみを熱分解した後、発生した可燃性ガスやチャー（炭）を燃焼させて、この熱エネルギーでごみ中の灰分を溶融するシステムのことである。熱分解とは、熱の作用により起こる分解反応のことで、ごみを酸素のない状態又は低酸素雰囲気加熱することにより、炭化水素、一酸化炭素、水素の可燃性ガス、各種の有機化合物を含むタールやチャーに化学的に分解することができる。

ガス化溶融の型式としては、シャフト炉式、流動床式、キルン式の3種類に分けられる。

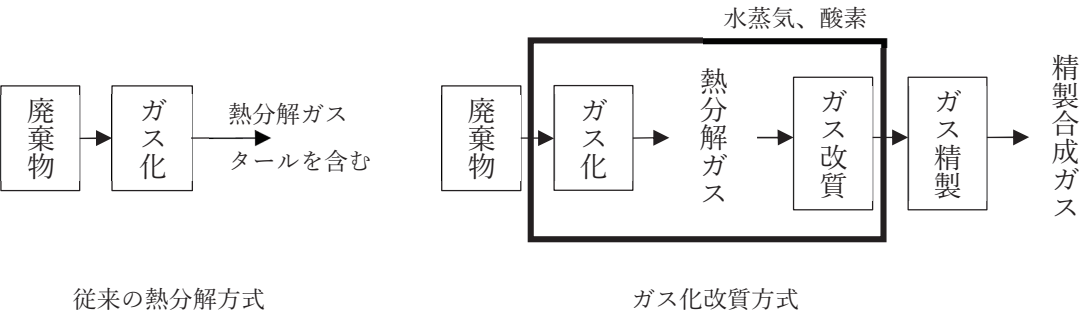
また、ごみをガス化して得られた熱分解ガスを 800℃以上に維持した上で、水蒸気と酸素を含むこのガスにより、タール分を分解して、水素、一酸化炭素を主体とした精製ガスに転換するガス化改質もガス化溶融技術の一つである（図 2.3 参照）。

なお、ガス化溶融は次項に示す燃料化の一種であるが、処理方式や型式等が多いことから、別途、整理した。

表 2.4 にガス化溶融の分類表を示す。

表 2.4 ガス化溶融の分類

処理方式	代表的な型式	方式 (熱分解と溶融)	加熱方式
ガス化溶融	シャフト炉式	一体方式	直接
	流動床式	分離方式	直接
	キルン式		間接
ガス化改質	シャフト炉式	一体方式	直接
	流動床式	分離方式	直接
	キルン式		直接・間接



出典：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

図 2.3 ガス化改質方式の概念図（従来の熱分解方式との比較）

表 2.5 シャフト炉式ガス化溶融の概要

項目	シャフト炉式ガス化溶融
概略図	
概要	炉の上部からごみとコークス、石灰石を供給する。炉内は上部から乾燥・予熱帯、熱分解帯、燃焼・溶融帯に区分される。乾燥・予熱帯では、ごみが加熱され、水分が蒸発する。熱分解帯では、有機物のガス化が起こり、発生した熱分解ガスは炉上部から排出され、別置き燃焼室で完全燃焼される。ガス化した後の残渣は、コークスとともに燃焼・溶融帯へ下降し、炉下部から供給される空気により燃焼し、1,500℃以上の高温で完全に溶融される。 供給された石灰石によって溶融物の塩基度を調整することで溶融物の粘度が低くなり排出しやすくなる。溶融物は、水で急冷することにより、砂状の溶融スラグと粒状の溶融メタルになる。溶融メタルは、磁選機で分離回収することができる。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチック、金属等不燃物類・汚泥類も処理可能である。）
特長	金属・不燃分・灰分のメタル化及びスラグ化によって、最終処分量は小さくなる。 排ガス量は、低空気比運転が可能なおことから少ない。
課題	補助燃料としてコークス等の投入が必要であり、燃料費が嵩み、二酸化炭素排出量も多くなる。 溶融飛灰には重金属が濃縮される。 スラグとメタルの利用先の確保が必要である。
導入実績	24 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.6 流動床式ガス化溶融の概要

項目	流動床式ガス化溶融
概略図	
概要	流動床炉では、流動空気を絞り、流動砂の温度を 450～600℃と比較的低温に維持し、安定したガス化を行わせ、不燃物は炉下部から流動媒体とともに抜き出され、鉄・非鉄等は資源化される。発生した熱分解ガスとチャー等は、後段の旋回式溶融炉で低空気比燃焼が行われる。燃焼温度は 1,300℃となり、ダイオキシン類の生成を抑えると同時に熱回収率も高めることができる。灰分は、溶融後、冷却水槽にて急冷されて、砂状の溶融スラグとして回収される。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	一定以上の発熱量を有するごみを処理する場合には、ごみの燃焼熱のみで溶融可能である。 灰分のスラグ化によって、最終処分量を小さくすることができる。 流動床においては、ごみ中の不燃物や金属を分離排出することができる。 排ガスは、低空気比運転が可能であることから少ない。 熱分解残渣から未酸化の鉄とアルミを回収することができる。
課題	ごみの低位発熱量が低い場合には、溶融のための補助燃焼が必要となる。 スラグの利用先の確保が必要である。
導入実績	24 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

参考：メタウォーター株式会社ホームページ

(https://www.metawater.co.jp/solution/environment/gas_ification/)

表 2.7 キルン式ガス化溶融の概要

項目	キルン式ガス化溶融
概略図	
概要	破碎されたごみは、キルン炉に供給され、450℃程度の比較的低温で間接的に加熱、熱分解される。熱分解が終了するとキルンの下部からチャーと不燃物が混ざった残渣が出てくる。この中の不燃物とチャーは、篩で分けられる。細かい成分（チャー）は、溶融炉に入れて高温で燃焼溶融する。不燃物のうち鉄・非鉄等は資源化される。巡回式溶融炉では、このチャーと熱分解ガスが燃料となり低空気比燃焼が行われる。 灰分は、溶融後、冷却水槽にて急冷されて、砂状の溶融スラグとして回収される。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	一定以上の発熱量を有するごみを処理する場合には、ごみの燃焼熱のみで溶融可能である。 熱分解残渣から未酸化の鉄とアルミを回収することができる。
課題	ごみの低位発熱量が低い場合には、溶融のための補助燃焼が必要となる。 スラグの利用先の確保が必要である。 近年、導入事例が少ない状況である。
導入実績	2件（平成18年から令和5年までの過去18年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.8 シャフト炉式ガス化改質の概要

項目	シャフト炉式ガス化改質
概略図	
概要	ごみを前処理せずに圧縮し、脱ガスチャンネルで間接加熱することにより、乾燥・熱分解する。熱分解物は高温反応炉に装入され、酸素と熱分解炭素との反応により生ずる高温下で、不燃物は溶融される。 溶融物は、高温反応炉から約 1,600℃に保持された均質化炉に流入する。均質化炉において、メタル分は、溶融物の下部に溜まり分離される。 回収混合物は、磁選機により溶融スラグと溶融メタルに分離される。生成ガスは、高温反応炉の上部で約 1,200℃に保持された後、約 70℃まで急冷される。さらに、このガスを精製することにより清浄な改質ガスを回収することができる。 ガス精製の脱硫装置では、ガスに含まれる硫化水素を液体触媒により、硫黄に転換する。また、使用済みの液体触媒は、空気にて酸化再生されて、循環使用される。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	金属・不燃分・灰分のメタル化及びスラグ化によって、最終処分量は小さくなる。 精製ガスをガスエンジン発電に用いて、電力変換ができる。
課題	補助燃料としてコークス等の投入が必要であり、燃料費が嵩み、二酸化炭素排出量も多くなる。 スラグとメタルの利用先の確保が必要である。 近年、導入実績がない状況である。
導入実績	0 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）※1

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

※1：平成 17 年に徳島県・中央広域環境施設（120 t/日）が稼働している。

表 2.9 流動床式ガス化改質の概要

項目	流動床式ガス化改質
概略図	
概要	集積されたごみが、破碎・成形等の前処理を経て、流動床炉に供給される。流動床炉では約 600℃で熱分解され、熱分解ガス、チャーと不燃物に分離される。不燃物は、流動砂とともに炉外に抜き出され、振動篩等で流動砂と分離され、排出される。熱分解ガス及びチャーは、改質溶融炉へ供給され、酸素と必要に応じて蒸気を最適量供給することにより、熱分解ガスは改質され、灰分は溶融される。溶融物は、水砕して溶融スラグとして回収される。改質ガスは、精製することにより、ガスエンジン等の発電装置に用いることができ、ごみの保有発熱量を電気エネルギーとして回収することができる。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	前処理による金属類等の除去、スラグ化によって、最終処分量は小さくなる。精製ガスをガスエンジン発電に用いて、電力変換ができる。
課題	スラグの利用先の確保が必要である。 破碎機等の前処理の設備が必要となる。 溶融スラグは水砕し、回収するため、排水処理設備が必要となる。 近年、導入実績がない状況である。
導入実績	0 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.10 キルン式ガス化改質の概要

項目	キルン式ガス化改質
概略図	
概要	集積されたごみが、破碎・乾燥等の前処理を経て、キルン炉に供給される。キルン炉では約 550℃で熱分解され、熱分解ガスとチャーに分離される。チャーは、選別装置で金属類を選別した後、破碎機で細かくして溶融炉へ供給される。溶融炉ではチャーが溶融ガス化され、溶融物は水砕して、溶融スラグとして回収される。溶融部からの発生ガスは、改質炉で熱分解ガスとともに改質される。改質炉では、酸素と必要に応じて蒸気を最適供給することにより、改質ガスの安定性が向上する。改質ガスは、精製することにより、ガスエンジン等の発電装置に用いることができ、ごみの保有発熱量を電気エネルギーとして回収することができる。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	スラグ化によって、最終処分量は小さくなる。 精製ガスをガスエンジン発電に用いて、電力変換ができる。
課題	スラグの利用先の確保が必要である。 破碎機等の前処理の設備が必要となる。 近年、導入実績がない状況である。
導入実績	0 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

3) 燃料化

ごみを直接燃焼する方式ではなく、燃料化したのち、各種の炉やボイラー、エンジン・ガスタービン等の原動機で利用する技術が燃料化である。

主に、ガス化溶融、炭化、RDF化、メタン発酵の4種類に分けられる。なお、ガス化溶融は、前項において概説している。

表 2.11 炭化施設の概要

項目	炭化施設
概略図	
概要	無酸素又は低炭素還元雰囲気内において、500℃前後の温度で加熱することにより、ごみ中の有機物を熱分解し、炭化物を製造する方法である。 主に、加熱方式は間接加熱式と直接加熱式に分類され、構造はキルン式、スクリーン式、流動床式の3種類がある(表 2.12 参照)。
処理対象ごみ	可燃ごみ(プラスチックも処理可能である。)
特長	処理工程で水分の除去、有機物の熱分解が行われるため、容量を大幅に削減することができ、運搬等が容易になる。
課題	製造した炭化物の利用先の確保が必要である。 ごみの炭化処理過程において、外部エネルギーが必要となる。 ごみを原料としているため、炭化物は塩素を含んでいる。そのまま燃焼させた場合は、焼却炉と同様に塩素によるプラントのトラブルや製品への塩素分の混入といった問題が発生するため、脱塩設備が必要となる。 近年、導入実績が少ない状況である。
導入実績	1件(平成18年から令和5年までの過去18年間)

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版(公益社団法人 全国都市清掃会議)

表 2.12 炭化施設の分類

構造	加熱方式			運転条件	
	間接加熱式	直接加熱式	併用式	低温炭化 (400～500℃)	高温炭化 (500～1,000℃)
キルン式	○	—	○	○	○
スクリー ー式	○	—	—	—	○
流動床式	—	○	—	—	○

出典：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.13 R D F 化施設の概要

項目	R D F 化施設
概略図	
概要	ごみの中から選別した可燃分を粉碎、粒度選別、成形固化等の加工により製造した固形燃料を総称してR D F（Refuse Derived Fuel）と呼ぶ。アメリカのA S T M（アメリカ材料・検査協会）では、その比重、寸法、形状等により、7種類（R D F－1～7）に大別しているが、日本では一般にR D F－5を指している（表 2.14 参照）。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	処理工程で水分の除去・圧縮・成形が行われるため、容量を大幅に削減でき、運搬等が容易になる。 乾燥しているため、燃焼時の熱効率が高く、ごみ特有の臭気が発生せず、長期保管が可能である。
課題	製造したR D Fの利用先の確保が必要である。 長期の保管が可能であることから、ストックヤードが別途必要となる。また、保管時の爆発や火災対策を適切に講じる必要がある。 ごみを原料としているため、R D Fは塩素を含んでいる。そのまま燃焼させた場合は、焼却炉と同様に塩素によるプラントのトラブルといった問題が発生するため、脱塩設備が必要となる。 近年、導入実績が少ない状況である。
導入実績	4 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.14 R D F の製品分類

分類	内容	備考
RDF－1	粗大ごみを除去した形で使われる可燃廃棄物	－
RDF－2	6 インチ角篩を 95%通過する粒度に破碎した可燃廃棄物で、金属類を分離する場合としない場合がある。	Fluff－RDF
RDF－3	2 インチ角篩を 95%通過する粒度に破碎した可燃廃棄物で、金属類、ガラス類、不燃物を除去したもの	
RDF－4	10 メッシュ (2.54 mm角) 篩を 95%通過する粒度に粉碎した可燃廃棄物で、金属類、ガラス類を除去したもの	Dust－RDF (粉状 RDF)
RDF－5	ペレット、スラッグ、キューブ又はブリケット状に成形した可燃廃棄物	Densified－RDF (成形 RDF)
RDF－6	液体燃料に加工された可燃廃棄物	－
RDF－7	気体燃料に加工された可燃廃棄物	－

注) メッシュ：1 インチ (2.54cm) 平方当たりの網目の数

出典：廃棄物処理施設技術管理者講習 基礎・管理課程 ごみ処理施設（一般財団法人 日本環境衛生センター）

表 2.15 メタン発酵施設の概要

項目	メタン発酵施設
概略図	The diagram illustrates the process of methane fermentation. It starts with '分別収集' (Separate collection) of '処理対象物' (Treatment target materials) such as '生ごみ' (Food waste), '食品残さ' (Food scraps), '汚泥' (Sludge), and '家畜排泄物' (Livestock manure). These are sent to '①受入・前処理設備' (1. Reception/Pre-treatment equipment), then to '②メタン発酵設備' (2. Methane fermentation equipment) in a 'メタン発酵槽' (Methane fermentation tank). From there, '③環境保全設備' (3. Environmental safety equipment) handles 'バイオガス処理設備' (Biogas treatment equipment) and '排水処理設備' (Wastewater treatment equipment). The biogas is then utilized in '④エネルギー利用設備' (4. Energy utilization equipment) for '熱利用設備' (Heat utilization), '発電設備' (Power generation), and 'メタンガス精製設備' (Methane gas refining). Finally, '⑤マテリアル利用設備' (5. Material utilization equipment) includes '肥料化設備' (Fertilization equipment).
概要	酸素のない環境のもとで、嫌気性微生物の働きにより有機物を分解し、バイオガス（メタンガス、二酸化炭素）を発生させる。 生ごみを処理対象とするが、処理方式によっては紙ごみ等の処理も可能である。 メタン発酵槽へ投入するごみの固形分濃度の違いによって湿式と乾式に、発酵温度の違いにより中温方式と高温方式に分類される。（表 2.16 参照） 主に、受入供給設備、前処理設備、メタン発酵設備、バイオガス貯留設備及びバイオガス利用設備、発酵残渣の処理設備、脱臭設備から構成される。
処理対象 ごみ	湿式 生ごみ 乾式 生ごみ＋紙ごみ
特長	焼却量を減らすことができ、温室効果ガスの排出量の抑制等、環境負荷の低減が図られる。 小規模においても回収バイオガスから発電が可能である。
課題	メタン発酵できない可燃ごみを処理する別システムが必要となる。 湿式の場合、消化液の排水処理設備が別途必要となる。 処理に伴い生じる脱水残渣を堆肥化利用する場合には、その利用先の確保が必要である。 近年、導入実績が少ない状況である。
導入実績	4 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

参考：メタンガス化の技術（環境省ホームページ）

(<http://www.env.go.jp/recycle/waste/biomass/technical.html>)

表 2.16 メタン発酵方式の分類

		湿式		乾式
		中温発酵方式	高温発酵方式	
概要		生ごみ等の固形分濃度を 10%前後に調整した後、35℃付近（中温）で活性するメタン生成菌の作用により、メタン（バイオガス）に転換させる方式	生ごみ等の固形分濃度を 10%前後に調整した後、55℃付近（高温）で活性するメタン生成菌の作用により、メタン（バイオガス）に転換させる方式	生ごみ等の固形分濃度を 15～40%前後に調整した後、55℃付近（高温）で活性するメタン生成菌の作用により、メタン（バイオガス）に転換させる方式
発酵期間		20～25 日程度	10～15 日程度	20～30 日程度
処理対象ごみ		生ごみ（食品廃棄物） 家畜排せつ物 下水道汚泥	同左	紙類 生ごみ（食品廃棄物） 家畜排せつ物 下水道汚泥
安定性		全国に複数の実績があり、大きなトラブルはない。	同左	乾式単独での実績は少ないものの、近年焼却施設とのハイブリッドシステム（表 2.17 参照）の一部として採用されている実績がある。
資源回収	ガス	発生ガスを利用し、熱利用と発電が可能である。		
	発酵残渣	堆肥、液肥として利用可能であるが、残渣（発酵液）の利用には別途資源化設備が必要である。 なお、堆肥化を行う場合には、残渣の脱水工程からの脱離液の処理が必要となる。		
最終処分		基本的には発酵不適物のみが最終処分されるが、発酵残渣の有効利用先が確保できない場合は最終処分される。		

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.17 ハイブリッド方式の概要

項目	ハイブリッド方式
概略図	
概要	焼却処理技術とメタン化技術を組み合わせた処理方式のことで、燃やすごみの中からメタン発酵に適したごみを機械選別し、生ごみ、紙類等から乾式メタン発酵処理により発生したバイオガスを回収し、発電を行う。 機械選別で残った発酵不適物やメタン発酵残渣等は、焼却施設のごみピットに運ばれ、焼却炉において焼却処理を行う。 主に、受入供給設備、前処理設備、メタン発酵設備、バイオガス貯留設備及びバイオガス利用設備、発酵残渣の処理設備、脱臭設備から構成される。
処理対象ごみ	焼却 焼却の方式による メタン発酵 メタン発酵の方式による
特長	生ごみ・紙類を資源化できる。 バイオガスを利用し、熱利用と発電が可能である。 発生する発酵残渣を効率的に焼却可能であるため、エネルギー効率が低い。
課題	発酵残渣の焼却では、脱水工程からの脱離液の処理が必要となる。 発酵残渣を堆肥や液肥にする場合には、有効利用先の確保が必要である。
導入実績	4 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

参考：南但広域行政事務組合 南但クリーンセンター（焼却＋メタンガス化方式）

4) 好気性発酵乾燥方式

表 2.18 好気性発酵乾燥方式の概要

項目	コンポスト化
概略図	※イメージ図 出典：株式会社エコマスターホームページ
概要	好気性発酵乾燥方式とは、生ごみや紙、プラスチック等が混在したごみを密閉発酵槽「バイオトンネル」で発酵させ、発酵する際の熱と通気を利用して乾燥処理を行う方式である。異物を取り除いた紙及びプラスチックなどが固形燃料の原料として利用される。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	残渣等の発生が少なく、資源化効率が高い。 施設・設備等を負圧化した建物の中に入れ、建物内の空気をバイオフィルター処理することにより臭気を大幅に抑制することができる。 処理水が発生しない。 発酵という極めてシンプルな作用を乾燥処理に用いるため、化石燃料の使用を抑制し、CO₂の排出を抑制している。
課題	固形燃料の長期的かつ安定的な引取先の確保が必要である。 可燃性災害廃棄物の処理に制約がある。
導入実績	1 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

2. 2 資源化・再利用施設の技術動向調査

(1) 破碎・選別

破碎選別処理設備のうち破碎設備は、所定量のごみを目的に適した寸法に破碎するもので、耐久性に優れた構造及び材質を有する設備を選定することが望ましい。また、導入にあたっては、処理の目的に適した機種を選定する必要がある。表 2.19 に処理対象ごみ別の適用可能な破碎機を示す。また、各機種の概要を表 2.20 に、機種別の例を表 2.21 に示す。

表 2.19 処理対象ごみ別の適用可能な破碎機

機種		型式	処理対象ごみ			
			可燃性 粗大ごみ	不燃性 粗大ごみ	不燃物	プラス チック類
切断機		縦型	○	△	×	×
		横型	○	△	×	×
高速 回転 破砕機	横型	スイングハンマ式	○	○	○	△
		リングハンマ式	○	○	○	△
	縦型	スイングハンマ式	○	○	○	△
		リンググラインダ式	○	○	○	△
低速回転破砕機		単軸式	△	△	△	○
		多軸式	○	△	△	○

注) ○：適、△：一部不適、×：不適

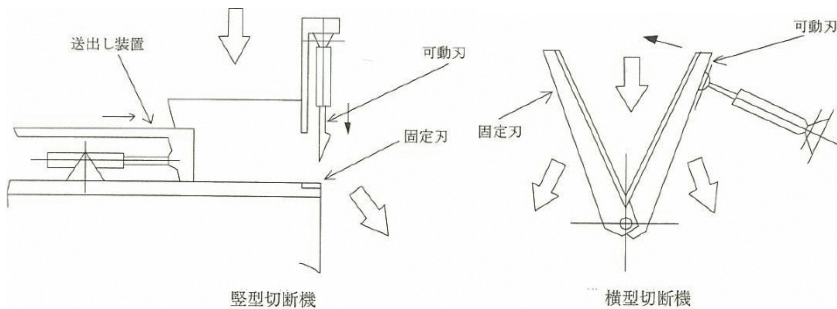
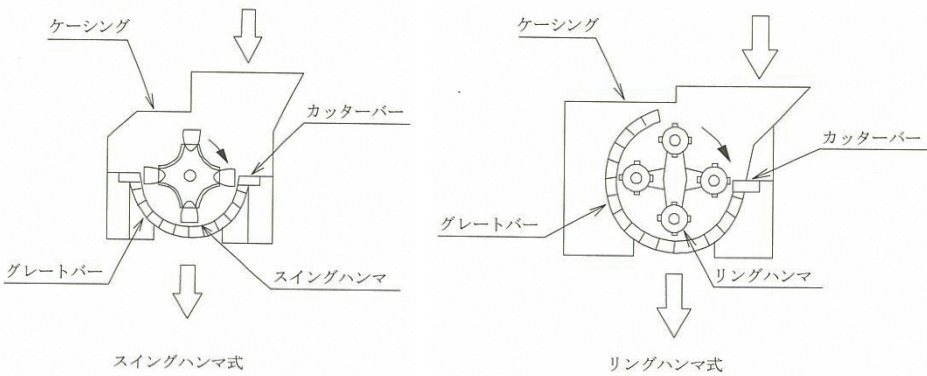
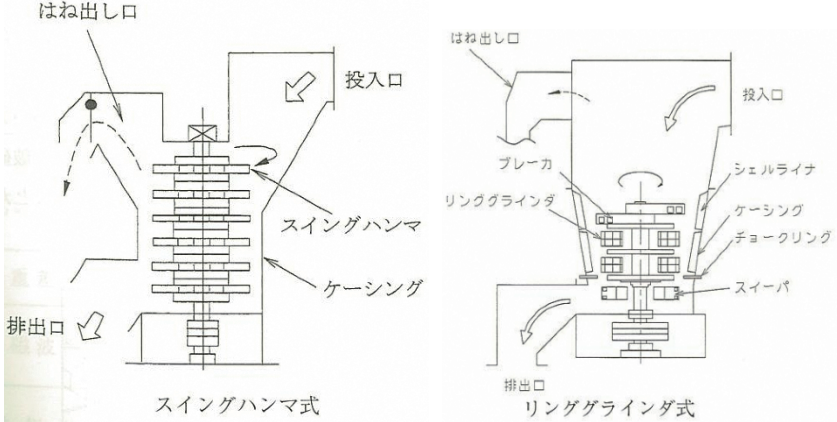
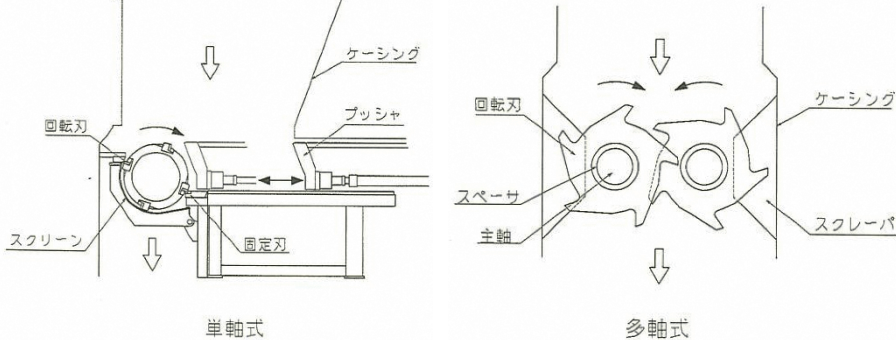
出典：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.20 破碎機の機種別概要

機種		型式	概要
切断機		縦型	固定刃と油圧駆動により上下する可動刃により圧縮せん断破碎するもので、破碎寸法は、送出し装置の送出し寸法により大小自在ではあるが、通常は粗破碎に適している。大量処理には向かないが、長尺物等の破碎には適している。大型ごみ及び切断し難いごみに対応するため、投入部に前処理機構、切断部に押え、圧縮機構を付加したものもある。
		横型	数本の固定刃と油圧駆動される同数の可動刃により、粗大ごみの複数箇所を同時にせん断するもので、粗破碎に適しているが、斜めに配置されている刃と刃の間より細長いものが素通りすることもあり、粗大ごみの供給には留意する必要がある。
高速回転破碎機	縦型	スイングハンマ式	縦軸方向に回転するロータの外周に、多数のスイングハンマをピンにより取り付け、遠心力で開き出すハンマにより衝撃、せん断作用を行わせ破碎する。 上部から供給されたごみは、数段のハンマにより打撃を受けながら機内を落下し、最下部より排出され、破碎困難物は、上部のはね出し口から機外に排出される。
		リンググラインダ式	スイングハンマの代わりにリング状のグラインダを取り付け、擦り潰し効果を利用したもので、ロータの最上部にはブレーカを設け、一次衝撃破碎を行う。破碎されたごみはスローパで排出される。
	横型	スイングハンマ式	ロータの外周に、通常2個又は4個一組のスイング式ハンマをピンにより取り付け、無負荷の回転時には遠心力で外側に開いているが、ごみに衝突し負荷がかかった時は、衝撃を与えると同時に後方に倒れ、ハンマが受ける力を緩和する。ロータの下部にカッターバー、グレートバー等と呼ばれる固定刃を設けることにより、せん断作用を強化している。
		リングハンマ式	スイングハンマの代わりに、リング状のハンマを採用したもので、リングハンマの内径と取付ピンの外径に間隙があり、強固な被破碎物が衝突すると、間隙寸法分だけリングハンマが逃げ、更にリングハンマはピンを軸として回転しながら被破碎物を通過させるので、リングハンマ自体が受ける力を緩和する。
低速回転破碎機		単軸式	単軸式は回転軸外周面に何枚かの刃を有し回転することによって、固定刃との間で次々とせん断作用により破碎を行うもので、下部にスクリーンを備え、粒度を揃えて排出する構造となっている。また、効率よく破碎するために押込み装置を有する場合もある。 軟質物、延性物の処理や細破碎処理に使用する場合が多く、多量の処理や不特定なごみ質の処理（金属片、石、がれき等を含むもの）には適さないことがある。
		多軸式	多軸式は並行して設けられた回転軸相互の切断刃で、被破碎物をせん断する。強固な被破碎物が噛み込んだ場合等には、自動的に一時停止後、反転し、正転・逆転を繰り返すよう配慮されているものが多い。繰返し破碎でも処理できない場合、破碎部より自動的に排出する機能を有するものもある。各軸の回転数をそれぞれ変えて、せん断効果を向上している場合が多い。 高速回転破碎機に比べ爆発の危険性が少なく、軟質物、延性物を含めた比較的広い範囲のごみに適用できるため、粗大ごみ処理時の粗破碎用や災害ごみ破碎用として使用する場合がある。

出典：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.21 破碎機の例

機種	機構例
切断機	 送出し装置 可動刃 固定刃 縦型切断機 横型切断機
高速回転破碎機（横型）	 ケーシング グレートバー スイングハンマ ケーシング グレートバー スイングハンマ式 ケーシング グレートバー リングハンマ リングハンマ式
高速回転破碎機（縦型）	 はね出し口 投入口 スイングハンマ ケーシング 排出口 スイングハンマ式 はね出し口 投入口 ブレーカ リンググラインダ ケーシング チョークリング スライバ 排出口 リンググラインダ式
低速回転破碎機	 ケーシング ブッシュ 回転刃 スクリーン 固定刃 単軸式 ケーシング 回転刃 スパーサ 主軸 スクレーパ 多軸式

出典：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

(2) 選別施設

破碎ごみの選別分類は、破碎対象ごみの種類、組成、処理の目的等によって異なるが、最近是有価物、不燃物、可燃物への選別が主流である。一般的な選別工程では、鉄分、アルミ分を有価物として回収し、その他破碎ごみを不燃物、可燃物に分別している。表 2.22 に選別機の分類を示す。選別の精度は、各選別物の特性により、複数の選別機を組み合わせることにより向上するが、経済性等、選別の目的にあった精度の設定、機種を選定をする必要がある。表 2.22 及び図 2.4 から図 2.8 までに選別機の例を示す。

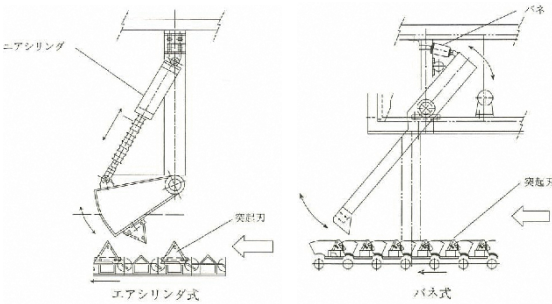
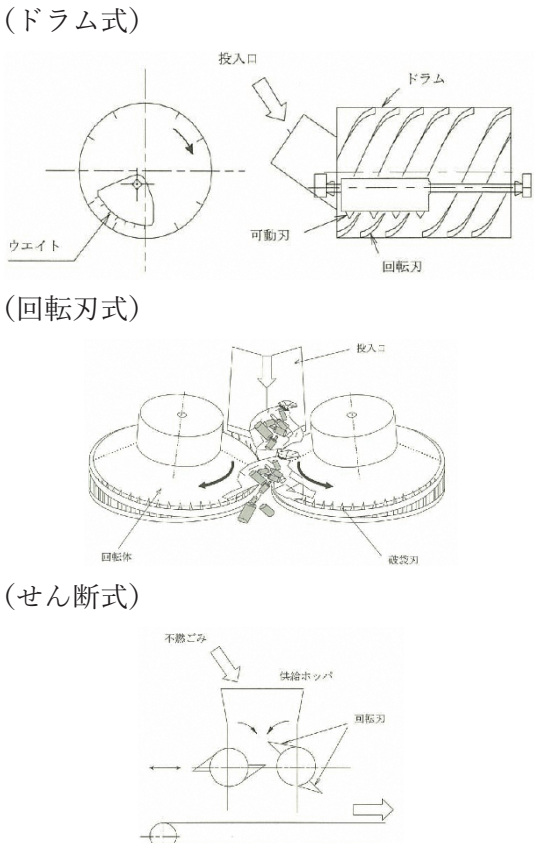
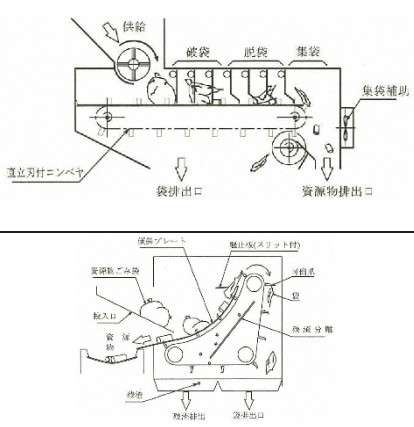
表 2.23 に破袋機及び除袋機の例を示す。破袋機に求められる機能は、袋で収集された物をできるだけ損傷させないように、機械的に破袋し、続いて行われる選別操作を効率的に行うことである。

表 2.22 選別機の分類

型式		原理	使用目的
ふるい分け型	振動式	粒度	破碎物の粒度別分離と整粒
	回転式		
	ローラ式		
比重差型	風力式	比重 形状	重・中・軽量又は重・軽量別分離 寸法の大・小と重・軽量別分離
	複合式		
電磁波型	X線式	材料特性	PETとPVC（ポリ塩化ビニル）等の分離
	近赤外線式		プラスチック等の材質別分離
	可視光線式		ガラス製容器等の色・形状選別
磁気型	吊下げ式	磁力	鉄分の分離
	ドラム式		
	プーリ式		
渦電流型	永久磁石回転式	渦電流	非鉄金属の分離
	リニアモータ式		

出典：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.23 破袋機及び除袋機の例

機種	型式	概要	
破袋機	圧縮型	上方の破断刃で内容物を破損しない程度に加圧して、加圧刃とコンベヤ上の突起刃とで破袋するもので、加圧方式はエアシリンダ式とバネ式がある。	
	回転型	(ドラム式) 進行方向に下向きの傾斜を持たせた回転ドラムの内面にブレードやスパイクを設け、回転力と処理物の自重又はドラム内の破袋刃等の作用を利用して袋を引き裂いたりほぐしを行う。 (回転刃式) 左右に相対する回転体の外周に、破袋刃が設けられており、投入口にゴミ袋が投入されると、袋に噛み込んだ刃が袋自体を左右に引っ張り広げることにより破袋を行う。 (せん断式) 適当な間隙を有する周速の異なる2個の回転せん断刃を相対して回転させ、せん断力と両者の速度差を利用して袋を引きちぎるもの。	
	破袋・除袋機	直立刃式 高速で運転される直立刃付きのコンベヤと上方より吊るされたバネ付破袋針により構成され、ゴミ袋はコンベヤ上の直立刃でバネ付破袋針の間を押し通すことにより破袋、脱袋、集袋(除袋)する。 可倒爪式 傾斜プレートに複数刻まれたスリット間を移動する可倒爪でゴミ袋を引っ掛けて上方に移動させ、堰止板で資源物の進行を遮ることにより、袋を引きちぎり破袋、除袋する。	

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

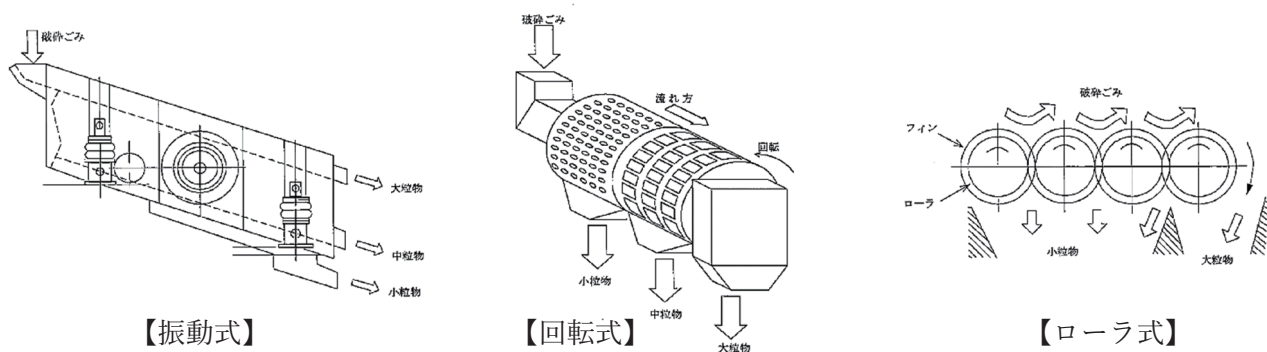


図 2.4 ふるい分け型選別機

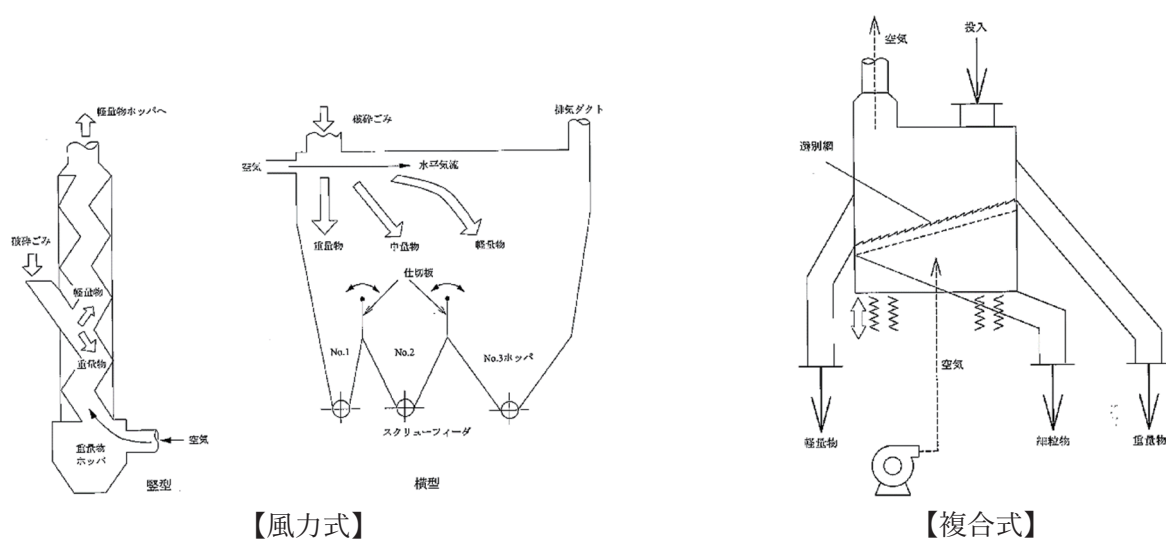


図 2.5 比重差型選別機

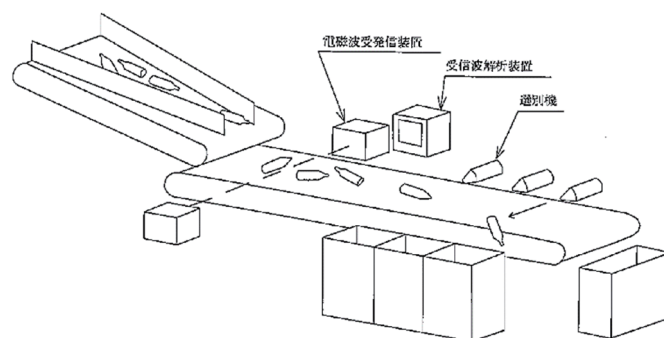


図 2.6 電磁波型選別機

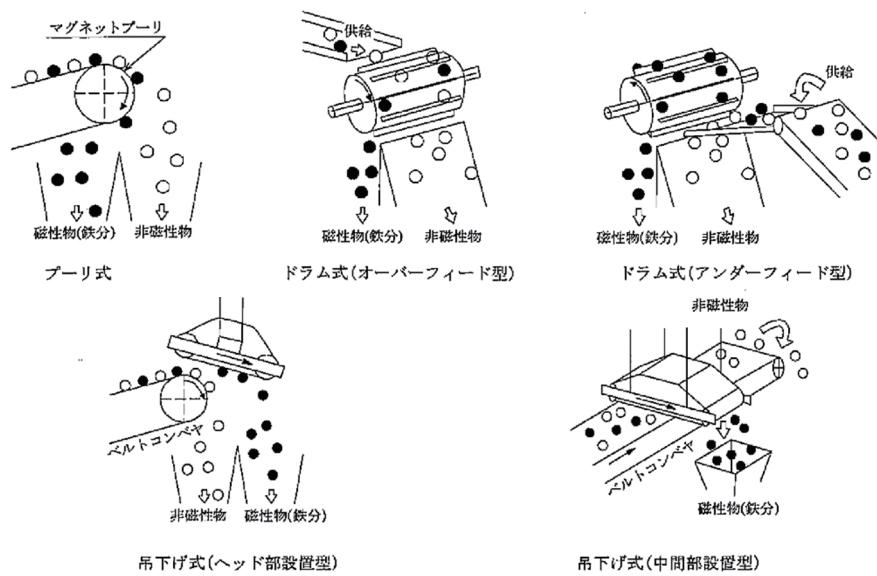


図 2.7 磁気型選別機

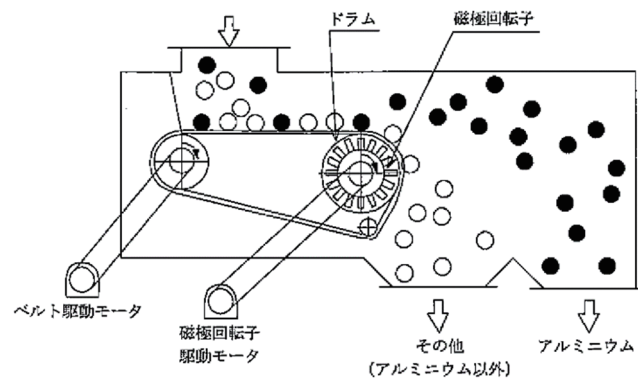


図 2.8 渦電流型選別機（永久磁石回転式）

2. 3 焼却灰・飛灰処理に関する技術動向調査

飛灰（ばいじん）の特別管理一般廃棄物としての性状を失わせるための中間処理法は、平成 12 年厚生省告示第 5 号で改正された特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物の処分又は再生の方法として環境大臣が定める方法（平成 4 年厚生省告示第 194 号）に示されており、（灰）溶融固化、焼成、セメント固化、薬剤処理、酸その他の溶媒による抽出の 5 つの方法とされている。

主に、飛灰（ばいじん）からの重金属類の溶出防止、飛散防止であり、併せて減容化、再生利用化が図られている。

また、溶融飛灰は、鉱山で採掘される鉱石と同等又はそれ以上の割合で鉛・亜鉛等の有価金属が含まれているため、鉱石と同じように精錬すれば有価金属に変えられる。このような金属回収の山元還元という技術もあることから、山元還元業者に処理を委託することが多い。

表 2.24 灰溶融固化の概要

項目	灰溶融固化
概略図	直流電気抵抗式溶融炉 プラズマ式溶融炉
概要	灰溶融は、焼却によって排出された灰を、1,300℃以上に高温化し、溶融する技術であり、灰溶融炉によりスラグを生成することができる。高温化させるには、重油等の燃焼による燃料燃焼方式と電気方式に分けられる(表 2.26 参照)。 燃焼後の炉から排出される焼却灰及びバグフィルタ等で捕集される飛灰等のばいじんを溶融固化することにより、無害化・減容化し、資源化可能なスラグ(ガラス質状物質)を生成する技術である。
処理対象 ごみ	可燃ごみ(プラスチックも処理可能である。)
特長	電気方式の場合、多量の電気が必要であり、自らが発電した電気を使用する方が経済的であるため、大型施設で採用される傾向にある。(燃料燃焼方式は、比較的小型の施設に導入される傾向がある。) 不燃分・灰分のスラグ化によって、最終処分量を小さくすることができる。 金属等不燃物類は、少量であれば処理可能である。
課題	電気方式は多量の電気を消費し、燃料燃焼方式は燃料費の高騰の影響を受けやすい。 かなりの高温状態での利用となるため、炉の耐火材等の消耗が激しく、維持管理費が高くなるだけでなく、溶融灰の排出口への付着が課題である。
導入実績	44 件(平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間)

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版(公益社団法人 全国都市清掃会議)

表 2.25 灰溶融固化の分類

	電気式溶融炉		燃料燃焼式溶融炉
概要	焼却残渣を炉底の湯溜まり部で電氣的に加熱・溶融し、比重差によりメタルは下部に沈降し、その上のスラグと分離する方法。		燃料をバーナーにより燃焼させ、その輻射熱により、焼却残渣の表面からフィルム状に順次溶融する方法。
種類	交流アーク式溶融炉		回転式表面溶融炉
	交流電気抵抗式溶融炉		反射式表面溶融炉
	直流電気抵抗式溶融炉		放射式表面溶融炉
	プラズマ式溶融炉	金属電極式	旋回流式溶融炉
		黒鉛電極式	ロータリーキルン式溶融炉
	誘導式溶融炉	低周波式	コークスベッド式溶融炉
		高周波式	酸素バーナー火炎式溶融炉

出典：ごみ焼却技術絵とき基本用語（改訂 3 版） タクマ環境技術研究会

表 2.26 焼成の概要

項目	焼成
概略図	<pre> graph TD A[焼却飛灰] --> B[混合・粉砕] C[副原料] --> B B --> D[成形] D -- ペレット --> E[乾燥] E --> F[ロータリーキルン] F -- 焼成ペレット --> G[] F -- 乾燥ペレット --> H[] H -.-> I[排ガス処理装置] </pre>
概要	焼成とは、焼却残渣の成形体を融点以下（1,000～1,100℃）に加熱し、十分な時間で固体粒子を融解固着させ、緻密な焼成物として、容積を 2/3 程度にする処理方式である。 焼却残渣成形体中の沸点の低い重金属類と塩素分は、ガス中に揮散する。重金属類の一部は焼成物中に移行するが、焼成物中の重金属類は緻密化された組織に取り込まれて溶出防止となり、建設資材としての利用が期待される。 システム全体では、溶融施設と同じであるが、炉の構造はロータリーキルンが多く採用されている。 また、人工砂は、国土交通省の新技术情報提供システム（NETIS）への登録や公的機関での認証を受けている。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	灰溶融固化より必要エネルギーは少なくて済む。 二酸化炭素排出量も灰溶融固化に比べて低減できる。 製造する資材（人工砂）は、用途範囲が広く、市場性がある。
課題	処理業者が少ない。 焼成技術の認知度が低く、近年、導入実績がない。
導入実績	0 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.27 セメント固化の概要

項目	セメント固化
概略図	
概要	セメント成分であるケイ酸カルシウム等が水和反応により硬化する過程において有害物質を吸着・固化し、アルカリ成分による重金属類の水酸化物化により飛灰を重金属類が溶出しない化学的に安定な処理物とする技術である。
処理対象 ごみ	可燃ごみ（プラスチックも処理可能である。）
特長	コンクリート製品、建築用外装材、生コンクリートとして利用される。 エコセメントとして再生利用されることが多いが、塩素を含むので、無筋コンクリートが中心である。 塩素を選別・洗浄等により除去した場合は、普通セメント（ポルトランドセメント）として再生利用が進んでいる。 焼却量を減らすことができ、温室効果ガスの排出量の抑制等、環境負荷低減に寄与する。
課題	セメント原料化事業者への外部委託となり、別途費用が必要となる。 飛灰は、焼却灰の 2 倍程度の受入額となっている。
導入実績	14 件（平成 18 年から令和 5 年までの過去 18 年間）

参考：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版（公益社団法人 全国都市清掃会議）

表 2.29 薬剤処理の概要

処理方法	概要
薬剤処理	飛灰（ばいじん）中に少量の重金属補修剤、凝集剤、抑制剤等と水を加え、十分混合して重金属類の溶出を防止する方法。薬剤は、一般に、液体キレートを使用する。