

# 日本の廃棄物処理・リサイクル技術

## — 持続可能な社会に向けて —



環境省  
大臣官房廃棄物・リサイクル対策部  
企画課循環型社会推進室

急速に発展する国々の環境保全に向けて、廃棄物を資源として有効利用し、または適正処理する日本の廃棄物処理・リサイクル技術を紹介します。

経済発展、工業化、人口増加により、資源の消費拡大と枯渇への懸念や廃棄物の発生量の増加・質の多様化等の問題が世界的に深刻となっています。

一方で、日本には「もったいない」という言葉があります。この言葉には、いつまでもものを大切にしようという思いが込められています。この「もったいない」の精神によって、日本では経済発展とともに廃棄物発生量の抑制や再使用・再生利用・熱回収に関する技術システムの構築を実現してきました。

また、日本は国土が狭く埋立処分場の立地が難しいため、人口密集地近郊で環境汚染を招かぬように、収集運搬、焼却等の中間処理、埋立処分を衛生的に行う技術システムを作りあげてきました。

本冊子ではこうした日本の廃棄物処理・リサイクル技術のうち、アジアをはじめとする途上国で有益だと考えられるものを紹介します。

可能な限り廃棄物は発生させない。発生した廃棄物を資源として繰り返し利用する。そんな循環型社会を願い、わが国の経験と実績に基づく先進技術とシステムが、世界の環境保全及び資源循環に役立つことを期待しています。

環境省



## CONTENTS

	メッセージ	1
1	収集運搬 効率よくごみを収集運搬するための技術	3
2	都市ごみ焼却技術 安全・安心な都市ごみ焼却と高効率発電技術	6
3	医療廃棄物処理技術 環境保全性能の高い衛生的な処理技術	11
4	廃ペットボトルリサイクル技術 純度の高い再生ペット樹脂とリサイクル製品を製造する技術	14
5	廃家電リサイクル技術 環境保全性の高い高品質な資源化技術	17
6	バイオマスの利活用技術 廃棄物系バイオマスから高効率に電力・燃料を回収する技術	20
7	廃棄物埋立処分技術 短期間に廃棄物を安定化できる埋立処分技術	24
	資料 / 廃棄物管理から循環型社会形成への展開	28



# 1 収集運搬

## 効率よくごみを収集運搬するための技術

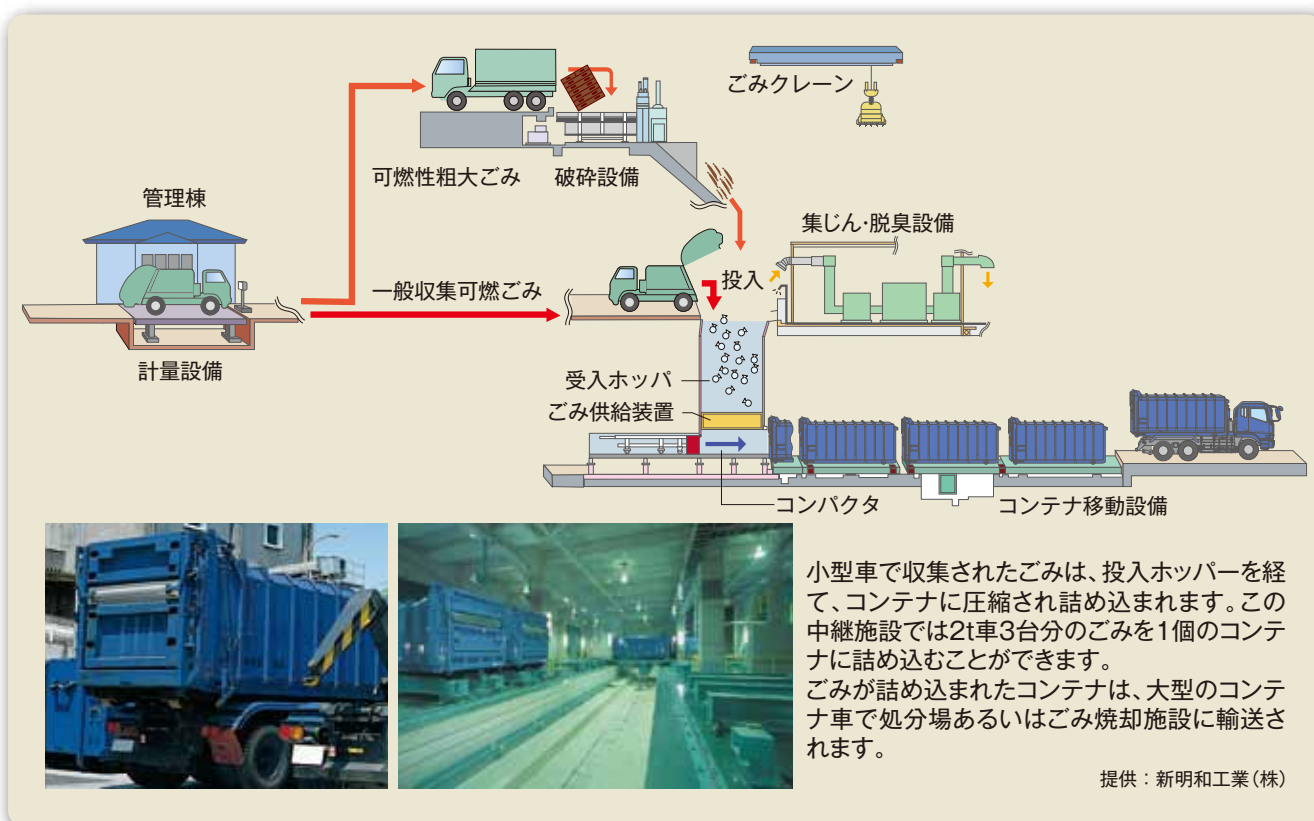
### 中継施設により広域収集運送の効率化

都市の広域化によってごみ収集区域が拡大します。収集区域の広い都市では、ごみを小型・中型車から大型輸送車に積み替える「ごみ中継施設」を設けることで、収集運搬作業の効率化を図ることが可能となります。

廃棄物処理事業経費の中では収集運搬経費が、高い比率を占めています。収集運搬の効率化を図ることにより、経費削減を行いつつ、市民サービスの維持・向上が可能となります。

#### 国内事例

日本で多く採用されている中継輸送方式は、下図にあるコンパクト・コンテナ方式のごみ中継輸送方式です。



#### 海外事例

日本企業の中には、中国に合弁会社を設立し、中継施設の製造・販売で多数の実績をあげ、中国のみならずアジア諸国にも販売している企業もあります。



ごみ中継施設（中国・西安）



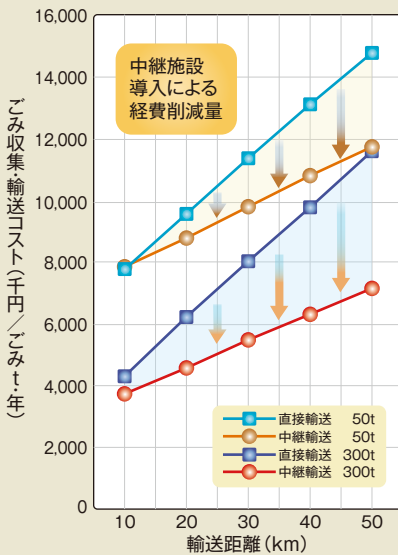
ごみ中継施設（マレーシア・クアラルンプール）

## ごみ中継施設を設けることで、収集運搬作業を効率化

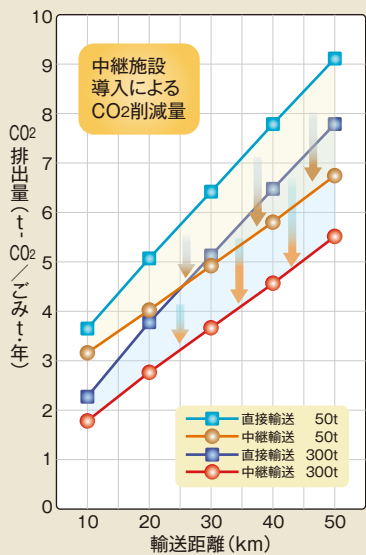
ごみ中継施設で大型輸送車に積み替えることにより、輸送効率が向上し、単位ごみ量あたりの輸送車両の燃料使用量が削減します。これは経費節減だけでなく、CO<sub>2</sub>排出量の削減により地球温暖化防止に貢献するメリットがあります。

### 導入後の経済効果およびCO<sub>2</sub>排出量の試算例

#### ■ 直接輸送と中継輸送の経費比較



#### ■ 直接輸送と中継輸送のCO<sub>2</sub>排出量比較



#### 【検討条件】

- 収集エリア面積 500km<sup>2</sup>
- 年間稼働日数 250日/年
- 実稼働時間 5h/日
- 収集・輸送車両の燃料使用 0.002619tCO<sub>2</sub>/L  
にかかわるCO<sub>2</sub>排出量原単位

	収集量	収集車両	輸送車両
直接輸送	50t/日	2tパッカー車	
直接輸送	300t/日		
中継輸送	50t/日	2tパッカー車	10tアームロール車
中継輸送	300t/日		

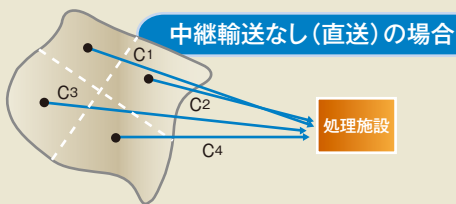
※1 コンパクト・コンテナ方式での試算です。

※2 CO<sub>2</sub>試算は、収集・輸送車両にかかわる排出量の値です。

提供：新明和工業(株)

中継施設を導入するか否かの判断は、下図に示す通り、中継輸送の場合の総収集運搬費 (T<sub>cB</sub>) が、直送の場合の総収集運搬費 (T<sub>cA</sub>) よりも安くなる場合 (T<sub>cA</sub> > T<sub>cB</sub>) に、導入効果が表れます。

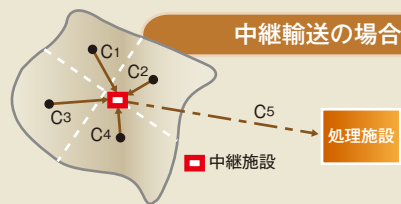
一般に、輸送距離では18kmを超える場合に、中継施設の導入を検討するとよいとされています。



$$T_{cA} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

T<sub>cA</sub>: 直送の場合の収集区域1~4の処理施設までの総収集運搬費

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>: 処理施設までの収集区域 1~4の各収集運搬費



$$T_{cB} = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + R_c + C_5$$

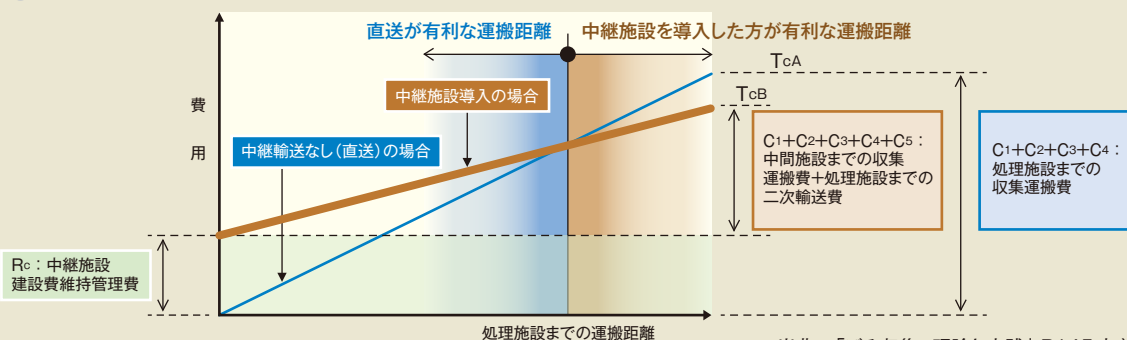
T<sub>cB</sub>: 中継輸送の場合の収集区域1~4の処理施設までの総収集運搬費

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>: 処理施設までの収集区域 1~4の各収集運搬費

R<sub>c</sub>: 中継施設に関する費用 (建設費、運転維持管理費)

C<sub>5</sub>: 中継施設から処理施設までの運搬費 (二次輸送費)

### ● 中継なし(直送)と中継輸送の場合のコスト構成



出典：「ごみ収集—理論と実践」, P145, 丸善 (2011)

## 低燃費、高積載量の収集運搬車両を実現

アジアの多くの国は、道路幅の狭いところが多く小型収集車による収集が効率的といえます。日本の道路状況も道幅が狭いところが多いことから、1t~2tの小型ごみ収集車両を開発し、小型車であっても架装重量をできるだけ小さくし、ごみの積載量を多くとる工夫をし高積載量を実用化しています。

この収集車両には、機械式ごみ収集車（パッカー車）と圧縮板式収集車があり、パッカー車が汎用的に多く使われています。このパッカー車は、投入された廃棄物を回転板ですくい上げ、押し込板で貯留室へ押し込む方式で、一般的に含水率が高いごみ質は圧縮効率が悪くなりますが、改良を重ね、高い圧縮率を実現し、平積みトラックに比べ1.5倍の積載量が見込めます。

圧縮板式収集車は、廃棄物を圧縮板（プレス板）で底部に押しつけ、破碎・減容した後、貯留室へ押し込む方式で、破碎が必要な大型ごみやかさばるPETボトル、廃プラスチック類などを効率よく収集できる車両です。

また、世界的な地球温暖化問題によって、電動式ごみ収集車やハイブリット車等の低公害型収集車が開発・実用化されています。



パッカー車

収集車は、収集作業の安全確保、積載効率、作業性のよさが求められます。小型車の場合は、ごみ投入口は地上から800mm以下に設置するなどして、高い作業性、操作性を実現しています。



### ●低公害型収集運搬車両（一例）

通常、ごみの積み込み・排出は、エンジンを動力にします。この収集車は、走行中に積み込み・排出に必要な電力を発電し、この電力を動力にしています。これにより軽油使用量及びCO<sub>2</sub>排出の削減を行います。

提供：新明和工業(株)

### コラム

### 日本の収集運搬の歴史



1950年代の厨芥収集風景



1950年代、ごみ運搬に初めて使用されたトラック



1950年代の人力荷車からのごみ中継作業



各家庭に設置されたコンクリート製のごみ箱を1960年代に廃止

出典：東京都清掃事業百年史

### 高度な公害防止能力と高効率発電

日本では1960年頃から都市ごみの焼却処理が進められ、現在では世界でも有数のごみ焼却施設を有する国となっている。その施設数は2011年度で1,211ヶ所であり、その処理方式にはストーカ炉、流動床炉、焼却灰のリサイクルを目的としたガス化熔融炉等があります。なかでもストーカ炉は総数の70%を占め、近年その改良が大きく進んでいます。

現在では、高度な環境保全技術が導入されている他、高効率の発電への対応、自動燃焼装置や自動クレーンなど安定操業に係る技術が完成されています。また、建設が始まった当時の低カロリーのごみから現在の高カロリーごみに至るまで多様なごみへの対応技術も併せ持ち、アジア地域のごみ質に合わせたノウハウなども蓄積されています。

ストーカ炉の最新技術には高効率発電を目指した低空気比燃焼技術などがあり、日本国内では既に建設されています。下図は最先端技術の一例を示すもので、高度な公害防止能力と高効率発電能力を合わせ持った施設例です。

#### ■ 最先端技術によるごみ焼却施設例

DXNs<0.1ng-TEQ/m<sup>3</sup>  
CO<10ppm  
NOx<60ppm

発電端効率  
25%以上

排ガス処理設備の小型単純化

排ガス量30%低減

混合後のガスは、1,000℃に維持された大きな2次燃焼域で燃焼反応を完了します。

高温・高圧ボイラ  
4MPa×400℃

消石灰  
活性炭

ろ過式  
集じん器

低温触媒脱硝装置  
170℃以下

排ガス再循環

2次空気

エコマイザ

排ガス放出  
エネルギーの回収

ダイオキシン  
熱分解装置

焼却炉

誘引送風機

アンモニア

煙突

未燃焼ガスは、燃焼帯を通過する際に高い温度で燃焼し、有害な物質も分解されます。

1次空気

再資源化  
熱灼減量<1%  
主灰の有効利用

2次空気の噴射と火炎の反転により、ガスと空気は混合攪拌されます。

飛灰

水冷火格子

水冷耐火パネル

提供：川崎重工業(株)

## 住宅地、商業地に立地するごみ焼却施設

日本の焼却施設における諸技術により、ごみ焼却は安全で安心な技術として信頼を得ており、施設の建設に際しては、周辺住民とのリスクコミュニケーションが推進し易く、写真の様な都市部あるいは生活地域でのごみ焼却施設の建設を可能にしました。



●東京都・渋谷清掃工場（一例）

日本の大都市、東京は商業地域と住宅地域が混在し、毎日大量の廃棄物が排出されます。2001年8月に住宅もある高密度市街地の真ん中、渋谷駅近くにごみ焼却施設が建設されました。処理能力200t/日、公害防止設備の設置によりNOx、SOx、ばいじん、ダイオキシン類等、厳しい排ガス規制をクリアした最新ハイテク施設です。渋谷清掃工場は東京都内のごみ処理施設では小規模で、焼却炉は「旋回流型流動床焼却炉」を採用しています。流動床炉では、筒状の炉底部に入れた砂層を空気で流動化させると共に高温に維持することでごみを効率よく焼却する方法です。



清掃工場の運転管理は、中央制御室で自動制御のもと一括管理されます。（品川清掃工場）

ごみ貯留槽はクレーン操作室とガラス板で遮断され匂いはありません。クレーンにつるされたバケット一掴みでバッカー車一台分のごみを炉に投入することができます。（北清掃工場）

このごみ焼却施設は、蒸気タービン発電機を備え、発電機出力最大4,200kW、余剰な電力は東京電力株式会社に売電しています。高温水1Gcal/h 130℃、蒸気流量・圧力最大 23.1t/h 3.82MPaの発電機です。（渋谷清掃工場）

提供：東京二十三区清掃一部事務組合

### コラム

**日** 本は、1960年代の高度経済成長に伴ってごみ量が増加して埋立処分地を逼迫し、プラスチックなど質の多様化によって焼却処理に伴うダイオキシン問題を体験しました。また、日本は国土が狭いため、ごみを焼却によって減量化し、速やかに埋立処分することが必要です。しかし、都市化や住民意識の高まりとともに施設の建設が厳しくなり、周辺住民との合意形成のために、排ガス処理を強化して信頼を回復し、加えて熱回収などによる地域還元が求められるようになりました。



ごみ量の増大と質の多様化による埋立処分地の逼迫



煙を上げる焼却炉と排ガス、ダイオキシン類問題の深刻化

出典：東京都清掃事業百年史



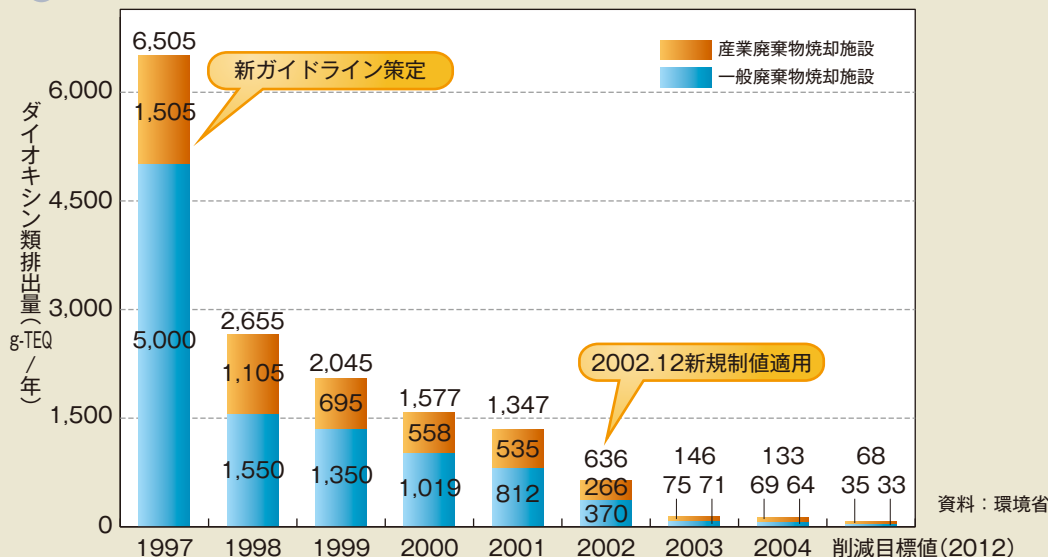
## 有害ガス及びダイオキシン類排出を解決

都市ごみの焼却施設ではSOx、HCl、NOx、ばいじんやダイオキシン類などが生成されることが知られています。環境保全、施設近隣の住民同意の観点から排出ガス中のこれら有害物質の濃度等を十分低減することが求められています。このようなニーズに応えるべく、多くの研究が官民を挙げて行われ、多くの対策技術が構築されると共に運転技術など含めて改良がなされてきました。

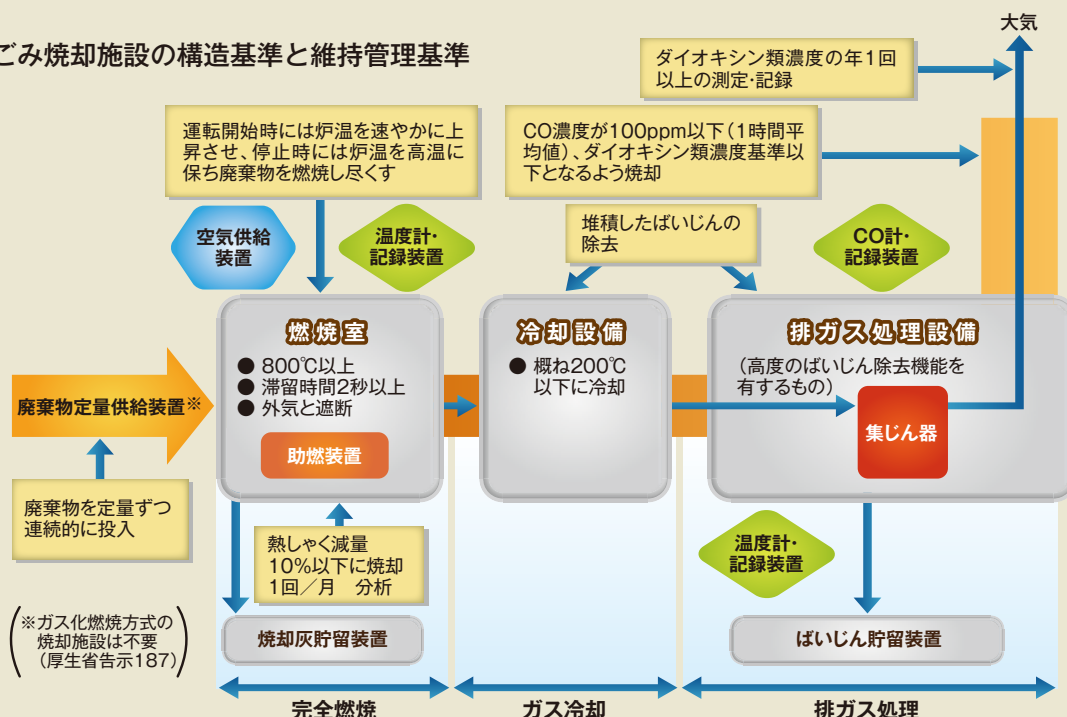
ダイオキシン問題では、ダイオキシン類が不完全燃焼による未燃物に起因する事がわかってきたため、炉内の完全燃焼による生成防止を主とした対策がとられ、炉からのダイオキシンの発生量を抑えました。そのほか、ダイオキシンの再合成を抑える排ガス冷却方法、ばいじんに含まれるダイオキシンを徹底的に除去するバグフィルタの採用、排ガス中のダイオキシン類を吸着除去する活性炭や分解を行う触媒の開発など広範に及んでいます。これら研究成果を踏まえて下記に示す様に焼却施設の構造及び維持管理基準が定められ、新しい設備はもとより、旧施設にも適用され、その改良も進みました。官民挙げてダイオキシン類排出抑制を行った成果は図に示す通りで、ごみ焼却炉からのダイオキシン問題はほぼ解決されました。

一方、SOx、HCl、NOx等についても同様で現在は十分な環境対策が実施されています。

● 日本のごみ焼却施設からのダイオキシン類排出総量を1997年比99%削減



■ ごみ焼却施設の構造基準と維持管理基準



## 新世代の焼却技術

### 新世代焼却炉への転換

日本国内では厳しい公害防止対策を実施した上で、小型から大型まで数多くの都市ごみ焼却施設が運転されています。ダイオキシン等の排出削減技術を始め、酸性ガス除去や焼却灰のリサイクルまで多くの技術が開発される一方、従来から使用されていたストーカ炉も大きく改良されました。近年では温室効果ガス対策の観点から高効率の廃熱回収発電技術が求められています。その改良点は、下記の項目に集約されます。これらにより、焼却炉の熱回収施設の改善と併せて、従来型に比べ低公害かつ、高効率発電を実現します。今や日本の焼却施設は安全・安心でかつ高効率で発電、電力が得られる施設に転換しつつあります。

#### ■ 新世代焼却炉とは

##### 1 燃焼性の改善

- 燃焼空気比の低下 2.0→1.4 ないし 1.3 へ
- 高温空気の吹き込みによる燃焼ムラの解消
- 燃焼ガスと空気の混合攪拌性の向上
- 酸素富化燃焼、燃焼性の向上と結果として焼却灰のクリーン化

##### 2 ごみ供給の定量性・制御性の向上

##### 3 ストーカの冷却

- 水冷式、空冷式

##### 4 炉壁耐火材の耐用度向上

- ボイラ放射伝熱面のタイルカバー

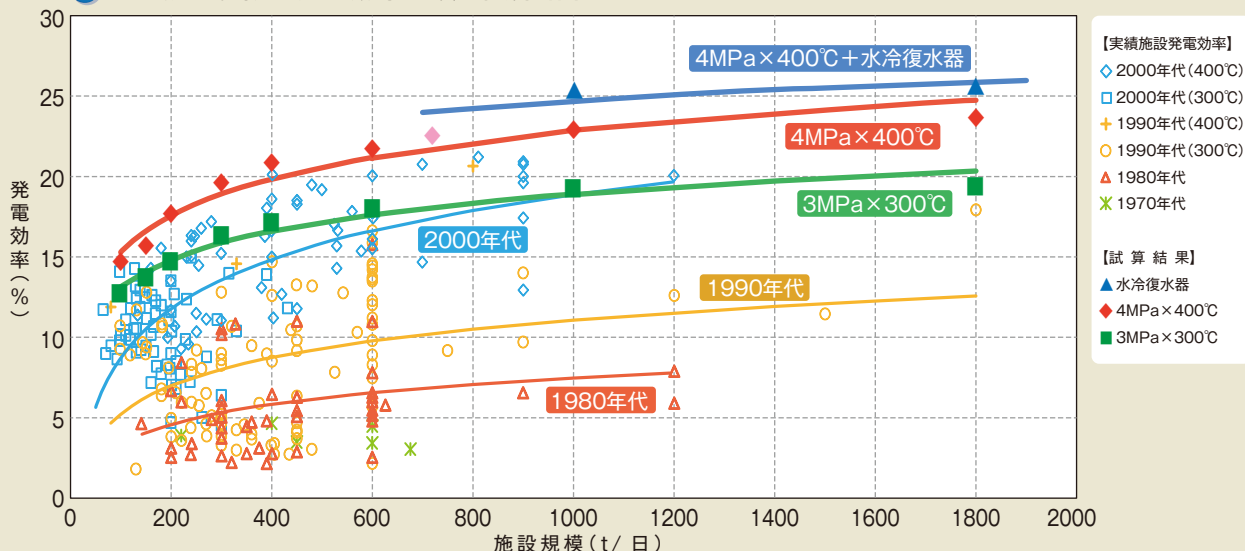
##### 5 焼却灰の資源化处理

##### 6 運転制御システムの高度化

### 高効率発電への転換状況

かつては廃棄物焼却施設の設置にあたって、公害防止の観点が優先され、公害防止設備が高度に発展しましたが、一方で、回収エネルギー効率は必ずしも優先されていませんでした。廃棄物発電において発電用蒸気を高温・高圧化すると高効率化が図れますが、排ガスに含まれる酸性ガスによりスーパーヒーターの高温腐食が発生することが知られています。近年、高温腐食に強い長寿命の伝熱管材の研究等が進むとともに、温室効果ガス排出対策の要請から、多くの施設で長寿命かつ高効率な発電施設が建設されています。

#### ● ごみ焼却施設の発電効率実績と試算結果



※日本における廃棄物焼却発電の年代別効率と施設規模の違いによる理論発電効率の試算を示します。試算は、長期間の安定運転を前提に、発電効率を上げるための要素を入れて、実現可能な想定に基づいて行われています。

## アジア地域に適合可能なごみ焼却技術

急速に都市化が進むアジアでは、人口増加とともにごみの排出量が急増しています。アジアの多くの都市は、廃棄物を収集した後、処分場に直接運搬しますが、処分場の適地の不足や処分場周辺の環境汚染への懸念から、焼却施設の整備への関心が高まっています。

中国では、増大する都市の廃棄物問題に対し解決策としてごみ焼却処理の導入を行い、ごみ焼却施設の建設を進展させています。シンガポールやタイ、台湾などにおいても、日本のごみ焼却技術が公衆衛生の向上だけでなく、環境保全にも貢献しています。

日本は、世界中で焼却炉建設・操業経験を持ち、低カロリーなごみから高カロリーなごみまで焼却可能な、世界最高水準の技術が集約された焼却処理を実現しています。

### ■ 日本企業が納入したごみ焼却施設の例



シンガポールに、4,320t/日処理する世界最大級のプラントを38ヶ月間の短納期で納入した。  
出典：三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)



台北市では既に複数の焼却炉が稼働し、国内で排出されるごみのほとんどが衛生的に処理、減用化されている。  
出典：日立造船(株)



タイでは 2006 年から産業廃棄物の焼却施設が稼働している。処理能力は 1 日 100t/日である。  
出典：JFE エンジニアリング(株)



北京には 1,600t/日処理のごみ焼却施設に、30,000KW、蒸気条件 4MPa, 400℃の発電施設が納入されている。  
出典：(株)タクマ

# 3 医療廃棄物 処理技術

## 環境保全性能の高い衛生的な処理技術

### 求められる医療廃棄物の適切な無害化処理

医療関係機関等から排出される廃棄物の中には、感染の恐れのあるものがあります。日本はかつて、医療従事者が使用済み注射針に刺さり、感染症によって死亡するなどの事故が相次ぎ、大きな社会的関心呼びました。これらの事故を契機に、医療廃棄物に対する滅菌処理の必要性への認識が深まり、現在では法令により処理基準が設けられています。感染の恐れのある医療系廃棄物を分別なしに一般廃棄物と混合して排出することは、収集運搬過程や最終処分場における感染拡大リスクが増大することから、適切な排出及び処理が必要です。

アジアやアフリカにおいて病院が増加していますが、医療廃棄物の適正処理施設が少なく、感染性廃棄物に接触することによる感染の危険性が増大しています。今後、医療廃棄物の適正処理が強く望まれています。



開放されたごみ置き場に廃棄されている医療廃棄物



ごみ袋からこぼれ出している注射針

#### コラム

#### 医療廃棄物専用の各種の容器（一例）

**医** 療廃棄物の廃棄は、作業中の感染等の危険を避けるため、専用のポリ容器や段ボール容器、金属容器を使用し、梱包された状態のままで行うことで、作業者の安全が図れます。



ペール缶



ダンボール箱



袋



医療機関で利用されている一例

出典：(財)日本産業廃棄物処理振興センターHP

## ダイオキシン類の発生量を抑えた多彩な焼却炉群

医療廃棄物には有害な細菌やウイルス等の他、塩化ビニールや有機塩素系薬剤等が含まれており、単純な焼却では塩化水素やダイオキシン類の発生が懸念されます。日本ではダイオキシン類の排出規制が行われ、焼却炉構造、運転方法、ダイオキシン類除去システムなどの対策により、排ガス中へのダイオキシン類等の量を抑えた医療廃棄物焼却炉が運転されています。

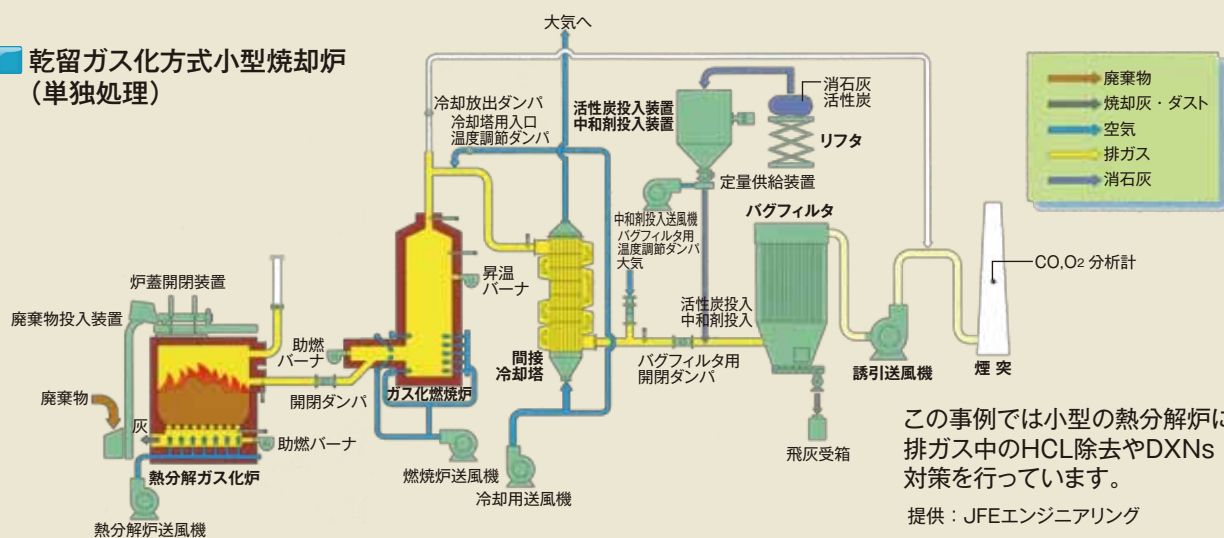
医療廃棄物の焼却炉として、完全燃焼によりダイオキシン類等の排出を抑制し、安全に焼却できるガス化炉、キルン炉、バーチカル炉などが採用されています。

■ ロータリーキルン＋後燃焼ストーカ炉内の燃焼模式図



提供：(株)タクマ

■ 乾留ガス化方式小型焼却炉 (単独処理)



この事例では小型の熱分解炉に排ガス中のHCL除去やDXNs対策を行っています。

提供：JFEエンジニアリング

### コラム

#### 日本における感染性廃棄物の処理

感

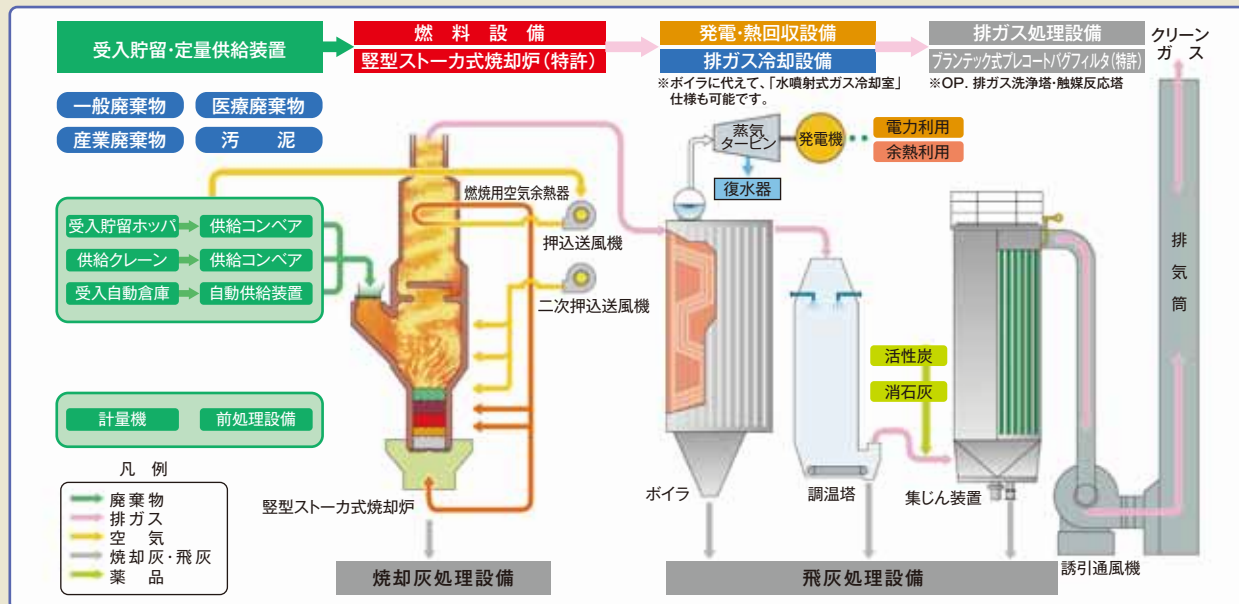
染性廃棄物は、廃棄物処理法において特別管理廃棄物に指定されており、その処理方法については、右記のとおり指定されています。

運用に当たっては、3～5の処理を行う場合には、滅菌又は消毒が完全に行われるように破碎し、感染性病原体が飛散するおそれがないように行うこと。1～2の処理を行う場合には、焼却設備の燃焼室中の燃焼ガス温度を800℃以上に保ち、排ガス中のダイオキシン類の規制基準は燃焼室の処理能力が2t/時未満は5ng-TEQ/m<sup>3</sup>以下とすることとされています。

- 1 焼却設備を用いて焼却する方法
- 2 熔融設備を用いて熔融する方法
- 3 高圧蒸気を用いて滅菌する方法
- 4 乾熱滅菌装置を用いて滅菌する方法
- 5 消毒する方法

### 海外における焼却施設の建設事例

フィリピン国ケソン市やアラブ首長国連邦 (UAE) ドバイ市に日本の医療廃棄物処理施設が建設されました。ドバイ市の施設は湾岸諸国で初めての大型医療廃棄物専用処理設備で、EU基準に適合する施設です。



ドバイ市で竣工した医療廃棄物焼却施設は、縦型ストーカ焼却炉で処理能力19.2t/日、排ガスのろ過式集塵装置が付帯しています。重油等による助燃なしで、欧州の厳しい排ガス規制をクリアし、効率的で環境性に優れた新しい焼却施設として導入されました。

提供：(株)ブランテック

感染性廃棄物処理は、焼却処理又はオートクレーブ処理が多く採用されています。日本では、小型焼却炉の改良によりダイオキシン問題を解決し焼却処理が主流ですが、病院など発生源で滅菌処理する乾熱滅菌器やオートクレーブも各種開発、実用化しています。



乾熱滅菌器



オートクレーブ(高圧蒸気滅菌器)

オートクレーブは、最も普遍的な用途の広い滅菌処理方法の一つです。医療器具等の滅菌処理に使用されています。

# 4 廃ペットボトル リサイクル技術

## 純度の高い再生ペット樹脂と リサイクル製品を製造する技術

### 回収する仕組みと多彩な商品化技術

日本は3R(Reduce, Reuse, Recycle)政策のもとに廃ペットボトルやトレイ、空き缶等を分別収集し、再生資源として新たな製品づくりに生かしています。ペットボトルは容器包装リサイクル法に基づいて回収され繊維製品等として様々な商品が作られています。また、ペットボトルのリサイクルでは、比較的純度の良いものが回収できるので、それを生かしてさらに高度な技術で絨毯やペットボトルを製造することも可能です。

### 廃ペットボトルの回収と再生業者への引き渡し

回収した廃ペットボトルは異物の除去とともに、キャップやラベル等を荒取りし、品質向上を図った後、圧縮固縛し、再生業者へ引き渡します。



## 4 廃ペットボトルリサイクル技術

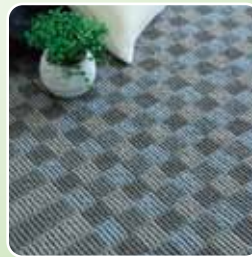
### 高度な製品を生み出す資源再生利用技術

廃ペットボトル再生樹脂からは土木用資材、布団の内綿などの製品を作ることが既に行われていますが、長繊維を作る事や染色した色が落ちない繊維製造が難しいと考えられていました。


ある日本の企業は既に中国、タイ、台湾などで廃ペットボトル再生樹脂のリサイクルを実施しています。再生原料から、樹脂そのものに着色し色落ちのしない繊維を作り、高度な縫製技術によって高品質の絨毯を製造している例などがあります。

#### 高付加価値リサイクル商品例

カーペット、カーマット、ホットカバー、エリアラグ。  
生活空間に欠かせない敷物類を製造している事例。



提供：根来産業(株)

梱包用テープ 

#### コラム

**あ** る日本の大手食品企業では、マテリアルリサイクル手法とケミカルリサイクル手法とを組み合わせ、ペットボトルからペットボトルを再生する取組が進められています。マテリアルリサイクル手法は、回収されたペットボトルを洗浄した後、高温で溶解・ろ過することで品質の高い再生ペット樹脂を生産します。この再生ペット樹脂を50%使用し、これにケミカルリサイクル手法による再生ペット樹脂50%を合わせ100%再生ペット樹脂によるペットボトルを作り、飲料用の容器に使用しています。

この再生により石油由来資源を約90%、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出量を約60%削減可能にしています。



提供：サントリーホールディングス(株)



## 廃ペットボトルの効率的な収集の仕組み

日本では1995年に容器包装リサイクル法を制定し、自治体による資源物の回収が推進され、現在では高度なリサイクルを行う仕組みが出来ています。回収された廃ペットボトルは異種材料・異物を含んでおり、そのままでは低品質の製品にしか利用しにくいのですが、現在では異物の除去と加工方法など再商品化等に向けてのリサイクル技術が進み、付加価値の高い商品として生まれ変わっています。

また、市町村によっては、地域住民の自主的な資源物の集団回収に対して、助成金を支払う制度を設け、廃ペットボトルなどを回収し、廃棄物の資源化促進を行っています。



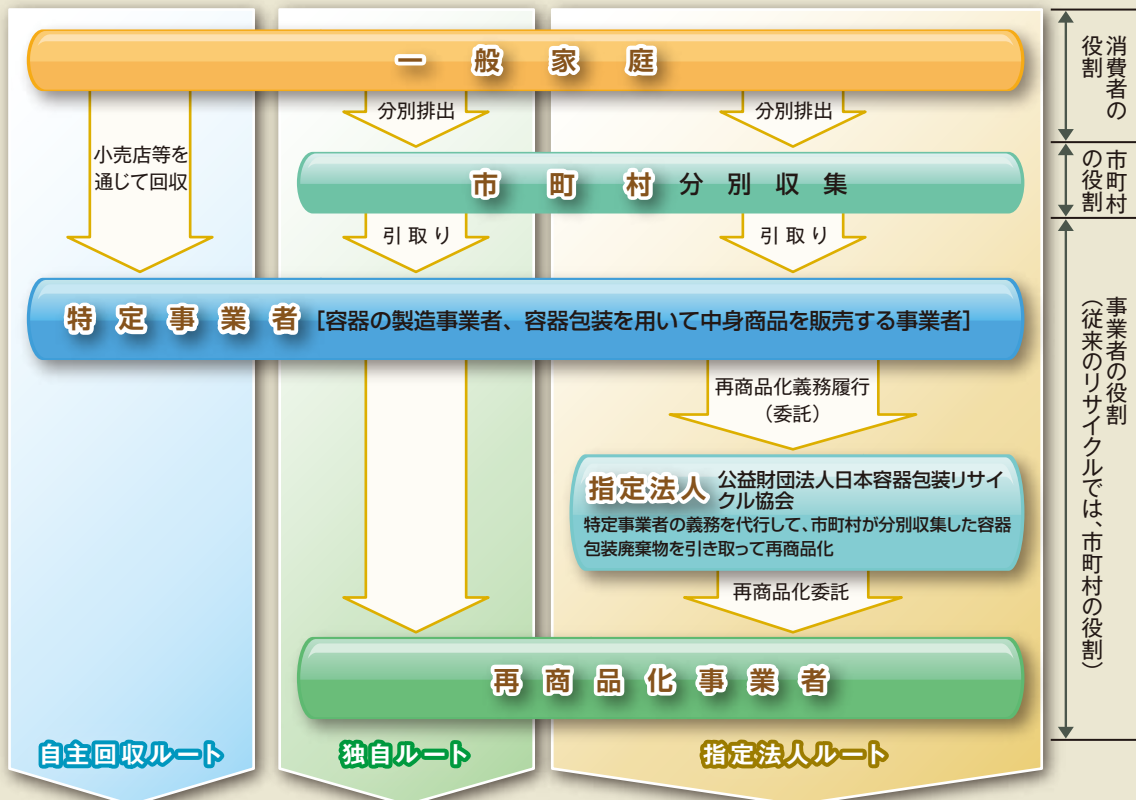
家庭から出る廃ペットボトルなどの資源を集めて、独自に契約した資源回収業者に引き渡し、資源の再利用を図る自主的なリサイクル活動を「集団回収」といいます。



ごみ減量化、資源化物の回収を目的に、ペットボトル、トレー、牛乳パック、新聞紙など専用の容器包装ごみ分別箱を用意し、回収しています。  
出典：日野市HP

### 日本の容器包装リサイクル法の仕組み

(1995年6月交付、1997年4月施行)



### ○ 容器包装リサイクル法とは

この容器包装リサイクル法は、家庭から分別排出されたペットボトルやプラスチック製容器包装、ガラス製容器、紙製容器包装を市町村と販売等をした事業者が回収し、公益財団法人日本容器包装リサイクル協会等が一旦引き取ってから再商品化事業者に委託して再商品化を行う仕組みです。

# 5 廃家電 リサイクル技術

## 環境保全性の高い高品質な資源化技術

### 廃家電は不適切な処理をすれば環境汚染源、適切に処理すれば有用な資源の宝庫

開発途上国では、零細な事業者が廃家電から手作業で貴金属の回収をする事例が多く、作業者の健康被害や付近の環境汚染が問題となっています。家電は有害物質を含んでいますが、レアメタルを含む有用な資源の宝庫でもあるため、高度な資源回収技術による処理により、環境保全と資源回収を同時に行えるという大きなメリットを持つと考えられます。

日本においては、1990年代に家電製品の多様化・大型化が進み、従来の自治体による粗大ごみ処理施設での破碎リサイクルが困難となり、従来の施設では有用な金属資源等の回収に限界があることから、より高度なリサイクルが必要となりました。このため、製造者の責任を製品の廃棄段階まで拡大する、拡大生産者責任（EPR）の理念を導入した家電リサイクル法が2001年より施行され、現在では、家電製造業者等による指定品目のリサイクルが進み、非常に高いリサイクル率で効率よくリサイクルが行われています。

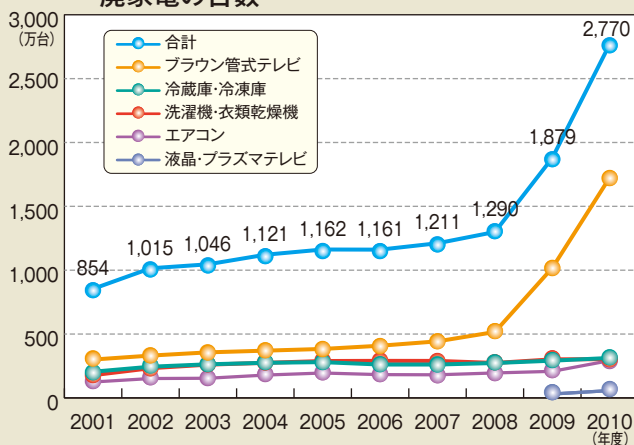


アジア地域等では、鉛など有害なものを含む電子部品が放置され、環境汚染が心配されています。



発展途上国でのリサイクルは野焼きによる銅回収などが行われ、労働衛生上の問題や大気汚染・水質汚濁が発生している事例があります。

● 日本の家電リサイクル法に基づき回収された廃家電の台数



● 家電リサイクル法に基づく部品及び材料等の再商品化実施状況 (2010年度)

(単位:トン)	エアコン	テレビ		冷蔵庫 冷凍庫	洗濯機 衣類乾燥機
		ブラウン管式	液晶・プラズマ式		
鉄	35,628	43,737	2,709	88,121	48,015
銅	8,367	15,153	90	2,895	1,785
アルミニウム	14,395	218	290	1,479	1,257
非鉄・鉄など混合物	40,238	2,636	102	25,887	13,216
ブラウン管ガラス	-	217,846	-	-	-
その他の有価物	14,220	94,309	2,358	41,454	29,543
<b>総重量</b>	<b>112,848</b>	<b>373,899</b>	<b>5,549</b>	<b>159,836</b>	<b>93,816</b>

製品の部品又は材料として利用する者に有償又は無償で譲渡される状態にした場合の当該商品及び材料の総重量

#### コラム

#### 日本における家電リサイクルの制度

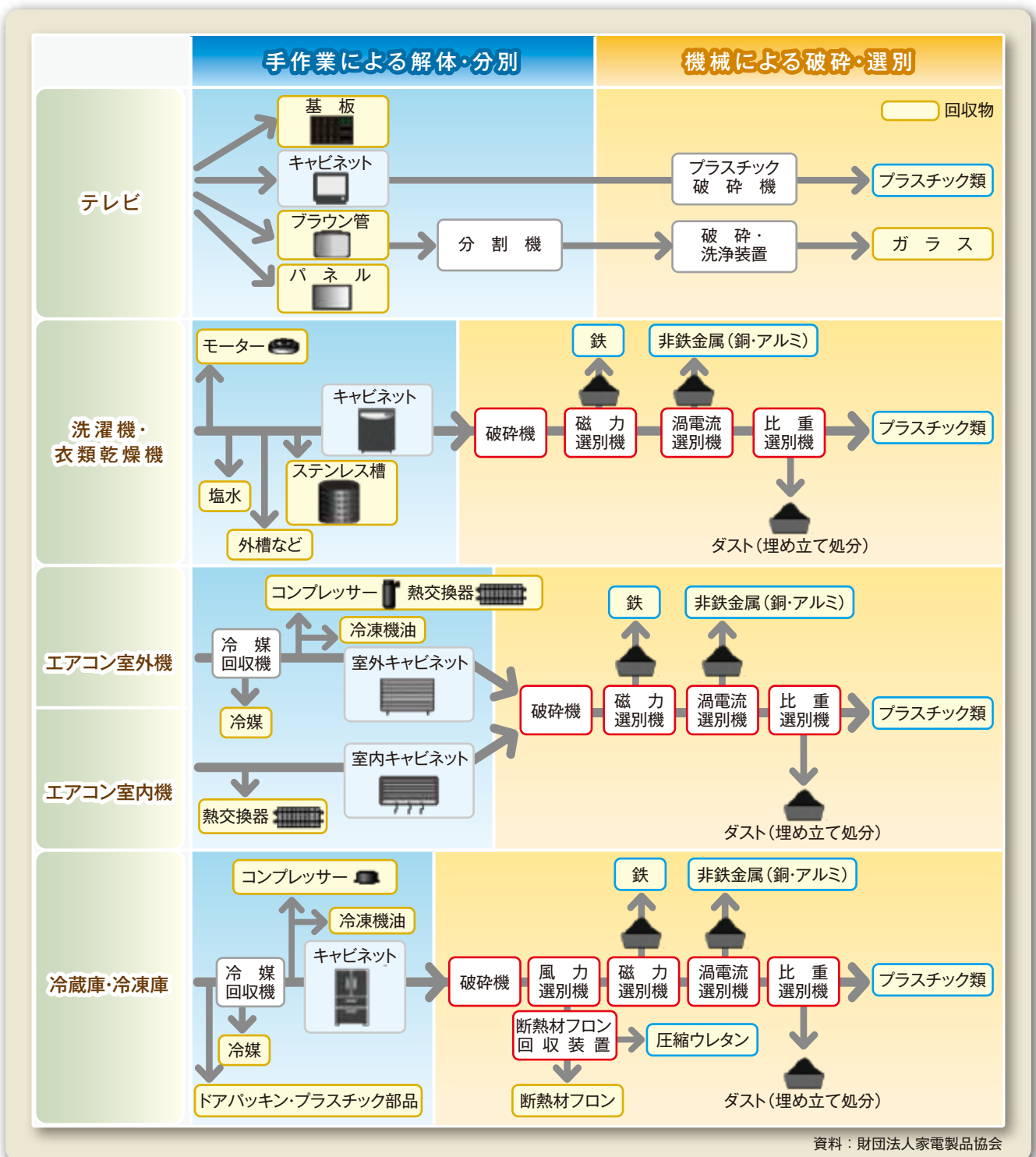
日本における家電リサイクル法では、エアコン、テレビ、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機・衣類乾燥機の家電4品目について、排出者が廃棄する時に収集運搬、再商品化等にかかる費用を支払う。小売業者は排出者からの引き取りと、製造業者等への引き渡しを行う。製造業者等は自らが過去に製造・輸入した対象機器の引き取り及び再商品化（リサイクル）等を行うことをそれぞれの役割分担として定めています。

## 日本における廃家電リサイクル技術

日本における廃家電リサイクルでは、資源の有効利用や有害物等の安全化を目的とした技術が使われており、その操業技術を含めて高度化しています。これについては、既に多くの処理実績があり、安定操業が行われている状況にあります。

廃家電の処理は、以前は単純な機械による破碎後、ふるい分け、磁力選別を行うことが主流でした。現在では、家電をより高度にリサイクルしており、回収物の純度を上げるため、最初に手作業で素材ごとに概ね分解選別した上で、機械による破碎等を行うプロセスが一般的です。効率的に作業を行い、金属材料のみならず、プラスチック等の素材も品種ごとに分類し、再生利用が図られています。

冷蔵庫やエアコンにはオゾン層を破壊するフロンが含まれているため、液状フロン回収、断熱材中のフロン回収を行っています。また、従業員の安全や施設周辺の環境保全への配慮がされています。



資料：財団法人家電製品協会

## 海外における日本企業の進出

既に、中国などへ、日本の企業が家電リサイクル事業で進出しています。



日本企業と地元企業との合弁で建設された家電リサイクル工場です。(中国・蘇州)

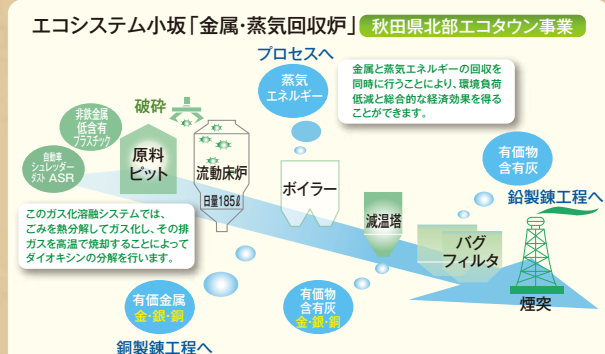


中国などで日本企業による家電リサイクル工場が既に稼働を始めています。

提供：DOWAエコシステム(株)

### コラム

#### 非鉄金属製錬業との連携



熱処理・化学処理による有用金属の回収を行っています。

#### 多種多様なリサイクル原料



非鉄金属製錬業などとの連携により、熱・化学処理等を行い、さらに有用金属の回収・素材の純度向上が図られていることも特徴となっています。将来技術としてレアメタル回収利用の研究も行われています。

# 6 バイオマスの 利活用技術

## 廃棄物系バイオマスから高効率に 電力・燃料を回収する技術

### バイオマスの積極的な利活用

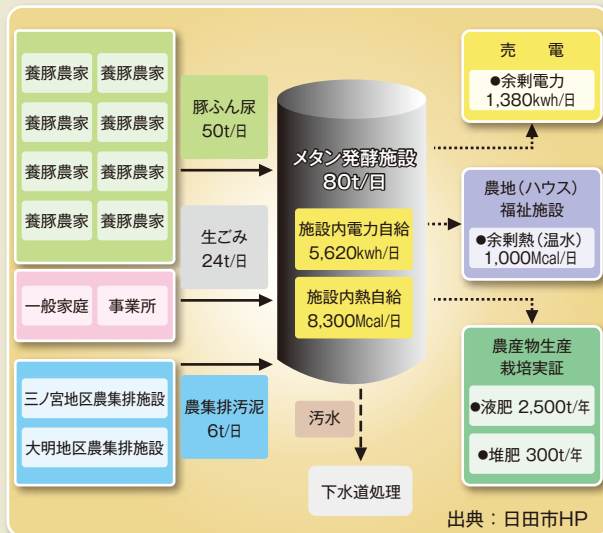
都市や農村から排出されるごみには、紙くず、プラスチック、木くずなどの水分の少ない可燃性のごみのほか、食品工場廃棄物、家庭から出る生ごみ、畜ふん、下水道汚泥、その他有機性汚泥などバイオマスを含む高含水率の廃棄物があります。これら高含水率の廃棄物はそのま埋め立てればメタンガスや硫化水素の発生などの環境汚染を引き起こし、また単独で焼却処理する場合は助燃剤を必要とするなどの不都合があります。一方、水分の少ない廃食用油は BDF など有効活用が図れるものや、木くずなどは燃焼してエネルギー回収できるものもあります。従って、地域の特性に合わせて堆肥化、メタン発酵、飼料化等の処理が行われています。

近年、日本では循環型社会の構築に向け、食品製造工程廃棄物をはじめ、家庭から出る生ごみ、家畜排せつ物、汚泥などのバイオマスの単独あるいは複合処理や、焼却との組み合わせた処理等が進められています。以下に、先進的な取り組み例をご紹介します。

#### 大分県日田市（高含水率バイオマス利活用）

各養豚農家から豚糞尿、家庭及び事業者から出る生ごみ、排水処理施設から出る汚泥を農家が委託した業者が収集し、メタン発酵施設で一体的に処理します。

- (1) 処理規模：80トン/日(生ごみ 24トン/日、豚ふん尿 50トン/日、農業集落排水汚泥 6トン/日)
- (2) メタン発酵設備：湿式・中温発酵
- (3) 発電設備：ガスエンジン170kW×2基 (発電7,070kWh/日)
- (4) 液肥設備：年間生産量 2,500トン
- (5) 堆肥化設備：年間生産量 約290トン
- (6) 水処理設備：活性汚泥+汚泥可溶化処理



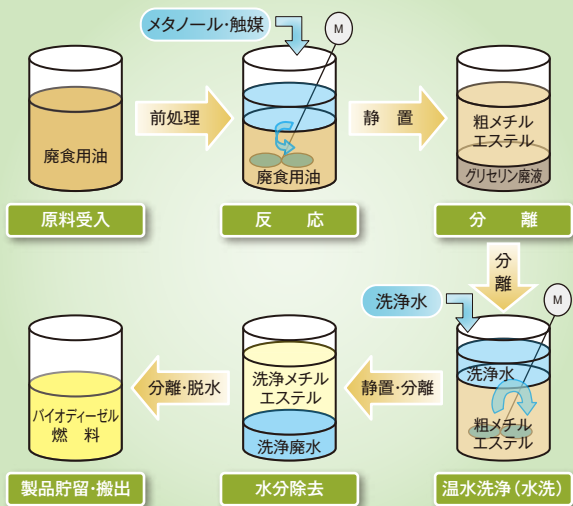
#### 京都市（廃油からの燃料油(BDF)製造)

廃食用油の回収システムを構築し、市営バスや収集車の燃料として活用しています。

- (1) 処理規模：廃植物性油 約5トン/日
- (2) 処理方式：脂肪酸メチルエステル化
- (3) バイオディーゼル燃料製造量：5,000リ/日



#### バイオディーゼル燃料製造プロセス



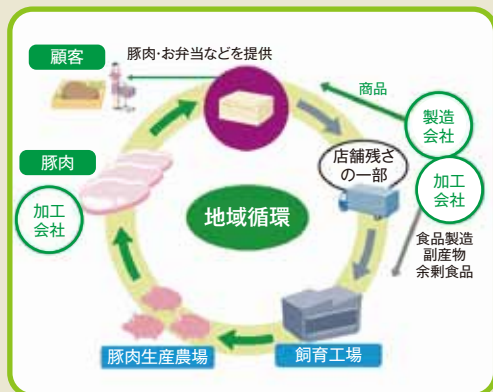
出典：京都市HP

## 食品廃棄物等に対する日本の具体的な取組

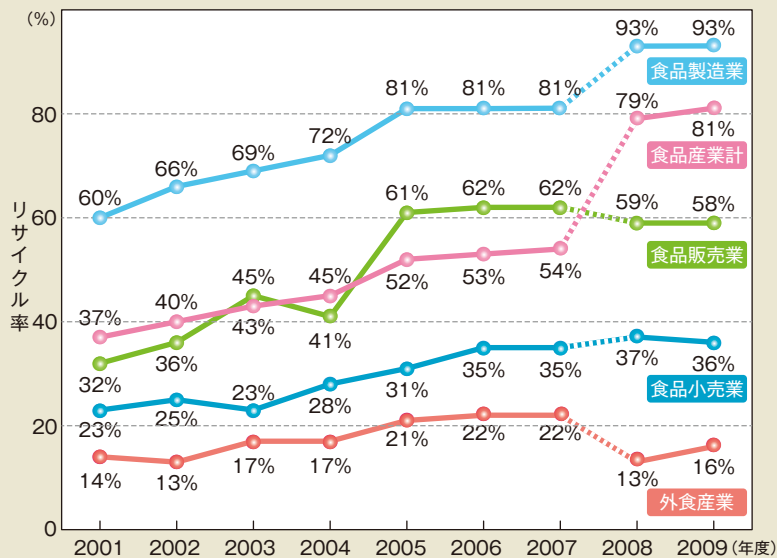
年間2000万トンにも達する食品廃棄物等を、肥飼料等製造業者、肥飼料等利用者、収集運搬会社と連携・協力し、他のごみと分けて収集を行うことで異物を減らし、飼料化、堆肥化、メタン発酵などによる燃料ガスの回収と発電等の有効利用が進められています。

近年、日本国内の豚肉生産のインフラを、食品廃棄物等の飼料化に向けて再構築することで、焼却処分する際に発生するCO<sub>2</sub>の削減を進める事例があります。

■ 地域で完結する循環型社会の構築(一例)



● 食品廃棄物等のリサイクル進展状況



※2008年以降の数値はより実態を反映する推計方法を採用しているため、2007年以前の数値を直接比較することはできません。

## 食品リサイクル法

2000年に制定された食品リサイクル法では、食品廃棄物等の発生抑制と同時に、市町村の枠組みを越えての食品廃棄物の回収を行い、飼料化・堆肥化のリサイクル・ループを構築するなど、循環型社会の実現を推進しています。

### コラム

#### 食品廃棄物バイオマスからの資源回収とエネルギー回収

食

品廃棄物中から異物を取り除き、安全な飼料を作りだしています。また、悪臭や汚水の発生を抑えた堆肥化施設、メタン発酵施設が活躍しています。廃棄処分される食品廃棄物等が減ることで、ごみ処理費低減や、温室効果ガス削減につながります。



飼料化施設



堆肥化施設

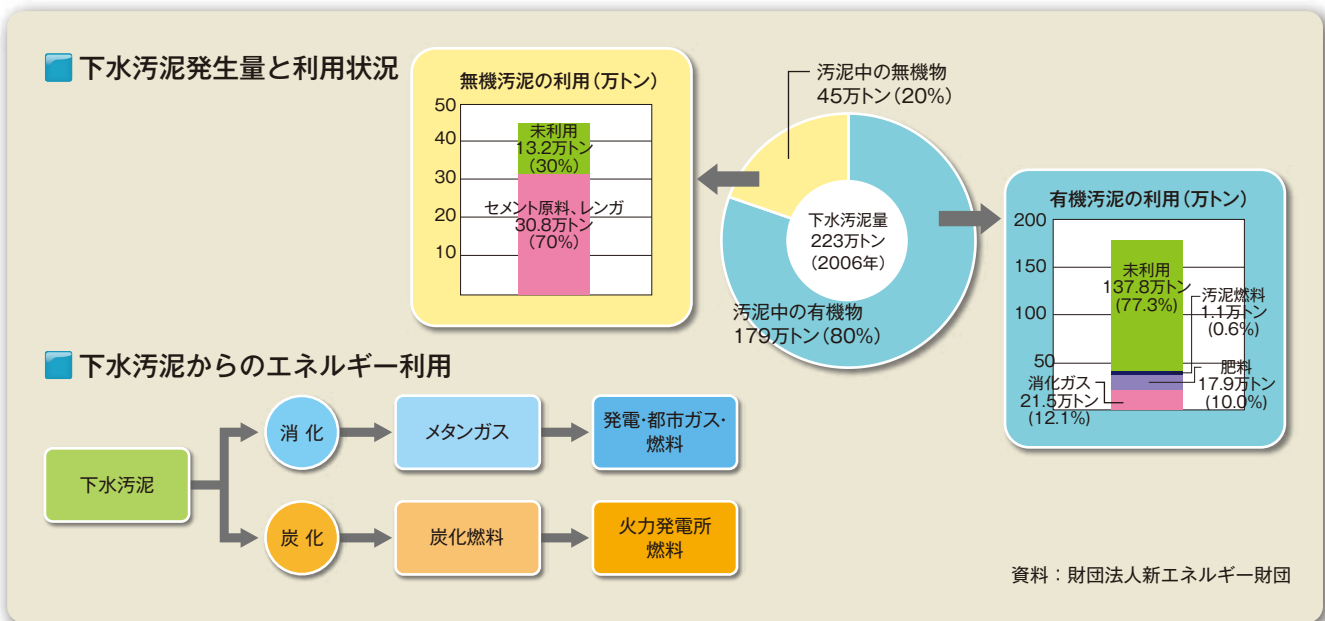


メタン発酵・発電施設

## 下水汚泥のエネルギー利用

日本の下水処理場で発生する下水汚泥は、2006年度で223万トンでした。下水汚泥の組成は、約80%が有機物(179万トン)、残り20%が無機物(45万トン)です。無機物はセメント原料やレンガに70%再利用されています。一方、有機物は肥料に10%、消化ガスに12%、汚泥燃料に0.6%と再利用されているものの、残り77%は焼却や埋立処理されています。

下水汚泥223万トンを、全てエネルギーとして回収した場合、発熱量は原油換算で約97.5万キロリットルになります。この下水汚泥からの燃料を化石燃料の代わりに利用し、CO<sub>2</sub>排出削減を進める取組を行っています。下水汚泥の燃料化には、「消化法(メタンガス)の生成」と「炭化法(炭化燃料)の製造」の2つの方法があります。日本における最近の下水汚泥のエネルギー利用状況を下図に示します。下水汚泥は生活に伴って必ず発生します。しかもエネルギーとして見ると、特に大都市では安定的に供給され、資源としての価値も高くなっています。今後、本格的な下水汚泥のエネルギー利用が期待されています。

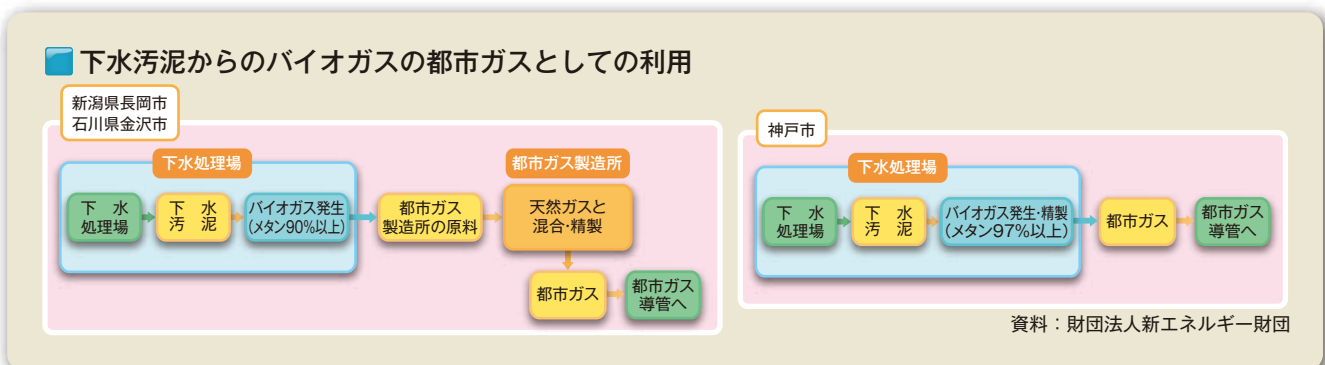


## 下水汚泥からのバイオガスの利用

神戸市では、2010年10月に下水汚泥からのバイオガス(メタン97%以上)を、直接都市ガス導入管に注入する事業を開始しました。この事業で導入されるバイオガスは年間80万m<sup>3</sup>で、2,000戸の家庭が使用するガス量に相当し、これによるCO<sub>2</sub>排出削減効果は年間1,200トンと推計されています。

その他、長岡市では年間60万m<sup>3</sup>、金沢市では年間28万m<sup>3</sup>の下水汚泥由来のバイオガスが、隣接する都市ガス製造所まで導管を通じて送られ、「都市ガス製造所での原料」として使用されています。

神戸市のバイオガスの事業化は、「都市ガス製造所を通すことなく、そのまま都市ガスとして供給」する方法で都市ガスの製造所との距離に制約を受けることなく、下水処理場で発生するバイオガスを余すことなく有効利用します。



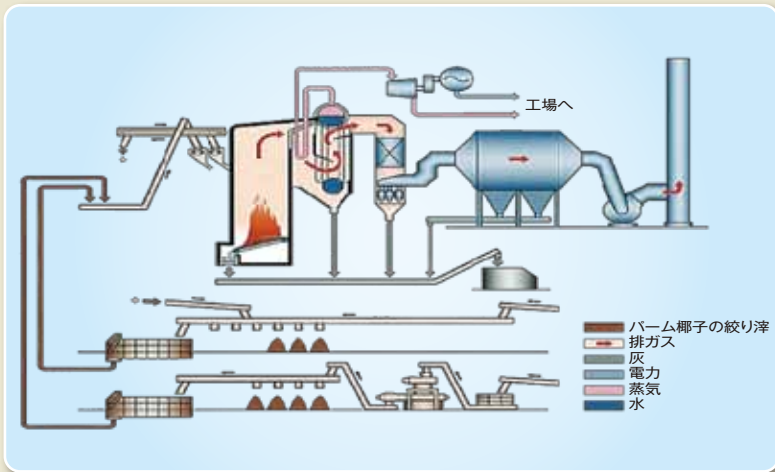
## 農業・林業・製紙業系バイオマスのエネルギー利用

### アジア各国で活躍するバイオマスボイラー

アジアの国々では、有機性廃棄物が廃棄物に占める割合が高く、製紙工場やパーム油製造工程から排出される有機性廃棄物の有効活用が望まれます。



■ **パーク・木くず燃焼ボイラー・発電設備**  
製紙工場でのパークをはじめ、製材・合板工場での廃材、家屋解体廃材等ボイラーの適用範囲は多岐にわたります。含有水分、形状は発生源により異なっているため、数種の燃焼機構により要請に応じています。電力の安定供給のために、燃料含有水分の均等化を図り、高性能なパワープラントとして運転できる機能が取り入れられています。

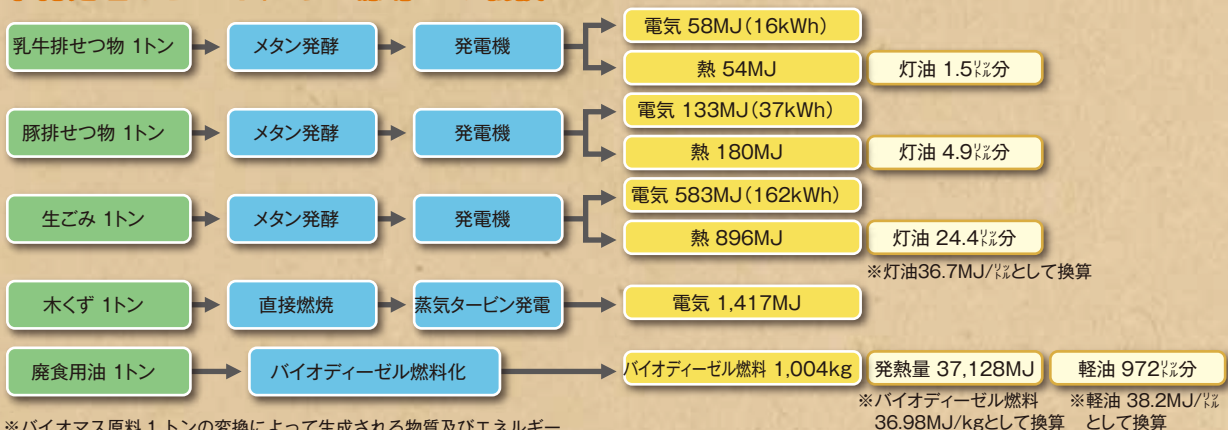


■ **パーム燃焼ボイラー・発電設備**  
パーム椰子からは、食用油が抽出されます。パーム油産業はマレーシアやインドネシアが盛んで、輸出産業として熱帯農業の一翼を担っています。パーム椰子の絞り滓はボイラー燃料としての価値があり、発生蒸気は、所内の電力需要に応える発電あるいは油抽出プロセスに用いられています。小規模ながらも熱帯産業の原動力を支えています。

提供：(株)タクマ

### コラム

#### 単純処理からエネルギー源等への転換



※バイオマス原料 1 トンの変換によって生成される物質及びエネルギー

引用：バイオマス利活用システムの設計と評価（農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」編）



# 7 廃棄物埋立処分技術

## 短期間に廃棄物を安定化できる埋立処分技術

### 準好気性埋立構造により早期に土地利用が可能

アジアの多くの都市の廃棄物埋立場は、オープンダンピング、オープンバーニングの状況にあります。かつて日本も同じ状況にありましたが、1970年代に福岡大学と福岡市の共同研究により、衛生的な環境汚染のない廃棄物埋立技術として準好気性埋立構造が開発され実用化されました。

この準好気性埋立技術は、嫌気性埋立に比べ、埋立終了後、早期に安定化し公園やスポーツ広場としての土地利用が可能です。また、CDM手法として国連CDM理事会で認定されました。



北海道札幌市のモエレ沼最終処分場は、1979年から1990年まで使用し、現在、処分場は公園として市民や観光客に開放され、憩いの場となっています。この公園は、世界で活躍したイサム・ノグチ氏によって設計されました。

福岡県福岡市は、1975年から1999年まで今津埋立地に廃棄物を埋立てていましたが、現在、埋立地の一部を運動公園や市民農園として利用しています。

提供：福岡大学 工学部 水理衛生工学実験室



#### コラム

### 既存埋立場の準好気性埋立構造への改善が新たにCDM手法として認定

**従** 来、廃棄物分野でのCDM認定は、埋立地から発生するメタンガスを回収してエネルギーとして利用する手法と好気性埋立に限られてきましたが、2011年7月15日にモロッコで開催された「第62回国連CDM理事会」において、既存の埋立地の準好気性埋立構造への改善が、埋立地で発生するメタンガスの排出抑制において有効であるとして、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）で規定するクリーン開発メカニズム（CDM）の新たな手法として認定されました。

- 認定手法：AM0093「Avoidance of landfill gas emissions by passive aeration of landfills」
- 発表文書：URL：<http://cdm.unfccc.int/EB/index.html>

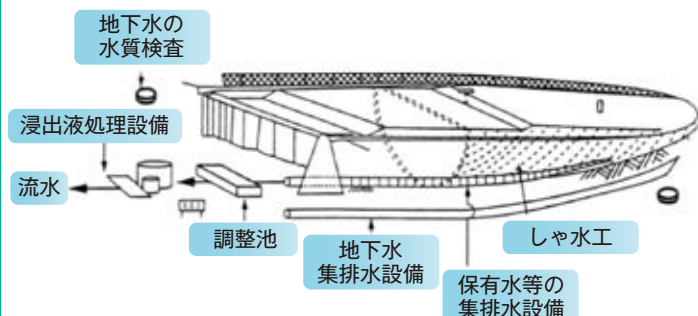
## 廃棄物埋立技術と制度

1977年に最終処分場の構造基準と維持管理基準が制定されました。産業廃棄物については最終処分場の類型として、管理型処分場、安定型処分場、遮断型処分場の三つを定め、廃棄物の性状によって安全に埋立することを規定しました。準好気性埋立構造は、管理型処分場の構造基準に採用されています。一般廃棄物については管理型処分場と同様です。

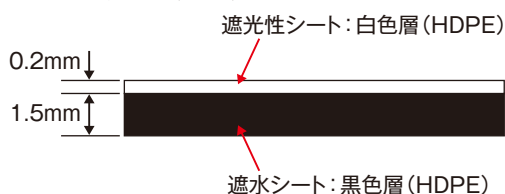
人の健康または生活環境に係る被害が生じる恐れがある重金属やPCB等の有害廃棄物は、遮断型処分場に埋め立てなければなりません。有害廃棄物以外で公共の水域や地下水を汚染する恐れがあり、埋立ガス、悪臭、害虫などの発生により人の生活環境に影響を及ぼす恐れのある廃棄物は、管理型処分場に埋め立てなければなりません。廃プラスチック類、ゴムくず、金属くず、ガラス・陶磁器くずがれき類は、環境汚染を引き起こすおそれが少ないことから、安定型処分場に埋め立てることができます。

### 管理型最終処分場

埋め立てられる物は分解し、生活環境を汚染する恐れがあることから、しゃ水工及び浸出液の集水・処理設備が設置されています。



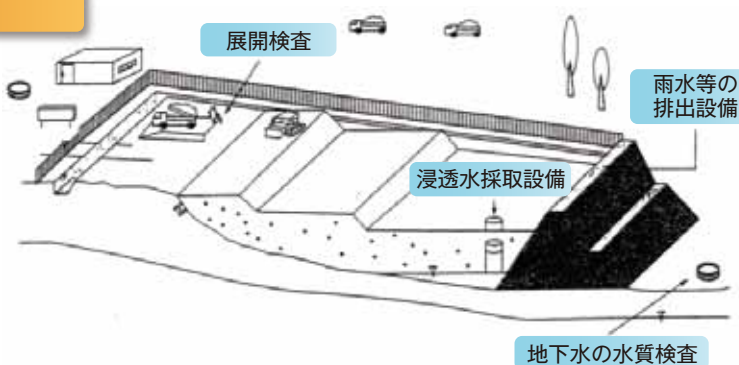
### シート断面図(一例)



管理型処分場の底面と法面には、通常、遮水シートを敷設し地下水汚染等を防止しています。耐久性に優れたシートが各種開発され実用化されています。不透水性地層に処分場を建設する場合、厚さが5m以上、透水係数 $1 \times 10^{-5}$ cm/秒以下の地層があれば、遮水シートの敷設はなくてよいとされている。

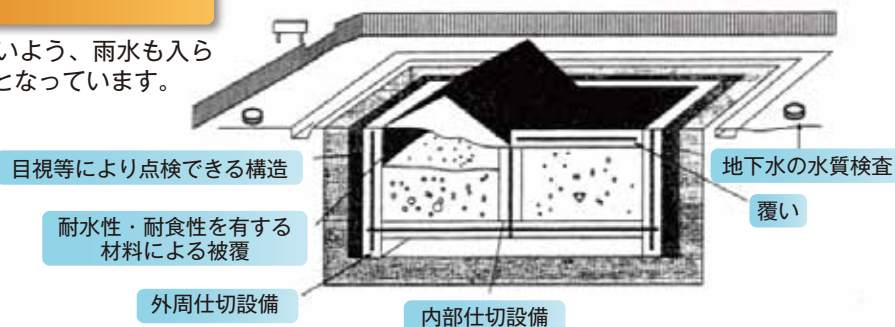
### 安定型最終処分場

埋め立てられる物は埋立処分しても生物化学的に安定しており、汚染水を発生することなく、環境を汚染する度合いが極めて少ないことから、しゃ水工や浸出液の集水、処理設備がありません。



### 遮断型最終処分場

有害物質が外部に漏出しないう、雨水も入らず、浸出水も出さない構造となっています。



## 準好気性埋立構造とは？

準好気性埋立構造は福岡大学と福岡市の共同研究により開発されました。埋立地の底部に浸出水集排水管を設け、浸出水を埋立地の系外へ排除し、埋立廃棄物層に滞水させない構造となっています。また、集排水管内上部の空間を通じて自然換気により埋立地層内へ空気を取り込むことによって、廃棄物の好気的な分解を促進します。これによって、埋立した廃棄物が早期安定化するばかりでなく、温室効果ガスであるメタンガス発生を抑制することから地球温暖化対策の観点からも有効な技術といえます。

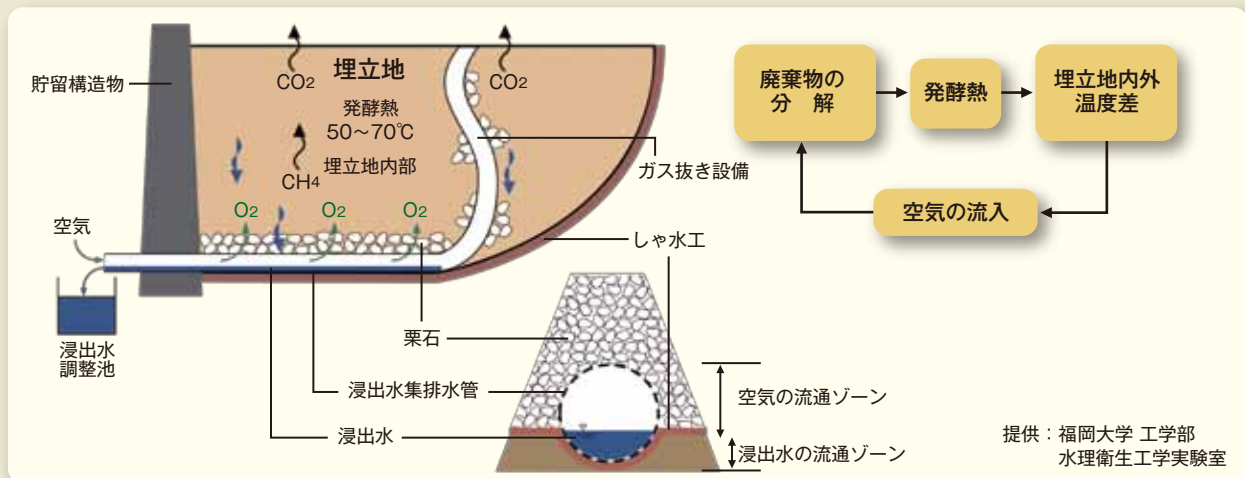
一般に、酸素の存在する好気性環境では、有機物中の炭素は二酸化炭素に、窒素類は硝化脱窒され、硫黄は硫酸イオンに変換されるので、悪臭や可燃性ガスの発生は基本的に少なくなります。また、好気性環境の方が、微生物の廃棄物分解力が大きく、廃棄物が早く安定化します。

一方、酸素の存在しない嫌気性環境では、有機物が酢酸等の揮発性有機酸を経てメタンガスや二酸化炭素に、また窒素と硫黄はアンモニア、アミン、硫化水素、メルカプタンなどの悪臭に変換され、周辺的生活環境に悪影響を及ぼします。

### ■ 準好気性埋立構造の特徴は何か？

- 1 浸出水の水質が嫌気性より良い。
- 2 温室効果ガスの発生が少ない。
- 3 埋立ごみが嫌気性より早く安定する。
- 4 浸出水による地下水汚染が少ない。
- 5 運営管理費が安い。

### ■ 準好気性埋立構造のメカニズム



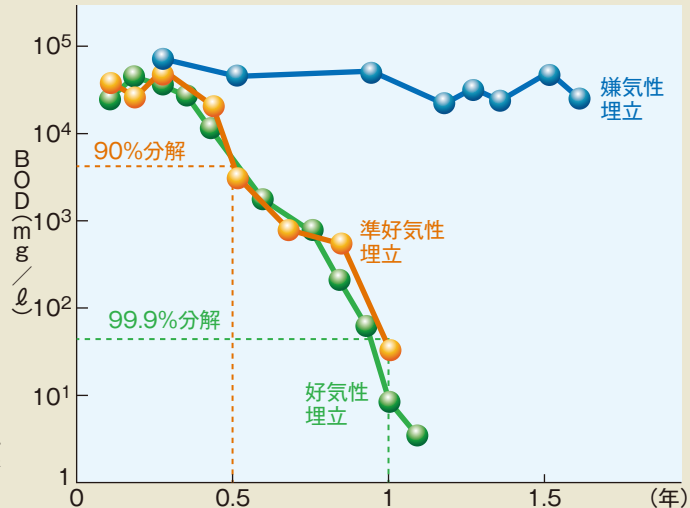
### ■ 処分場から発生するガス成分

	準好気性埋立	嫌気性埋立
メタン	30%	60%
CO <sub>2</sub>	70%	40%

温室効果ガスであるメタンの地球温暖化係数は、CO<sub>2</sub>の1に対し21倍です。

準好気性埋立構造による浸出水の水質は、BODは1年後に大きく減少します。NH<sub>3</sub>-Nについても1年間で急激に減少します。これに反し、嫌気性埋立では減少傾向は余り見られません。

### ● 埋立構造と浸出水中のBODの経時変化(可燃ごみ)



## アジアに広がる準好気性埋立処分場

日本で開発・実用化された準好気性埋立構造を海外で導入した第1号は、マレーシア国ペナン市のオープンダンプサイトでした。20ヘクタールの処分場は、市内から発生する全ての廃棄物が運び込まれ、毎日のように火災が発生し、近隣住民やこの処分場で資源有価物を回収するウエイストピッカーの健康を害する状況でした。

この改善の取組は、はじめに消火から取り掛かり、ガス抜き管の設置によるガス抜きと覆土を行い、発酵を阻害していたガス等の削減により1年で緑が再生し、2年間で完全に公害発生のない処分場に改善されました。

その後、高さ5m、幅10~20mの準好気性埋立方式を取り入れた処分場を新たに造営し、衛生埋立地に生まれ変わり、汚水もきれいに処理することに成功しました。

準好気性埋立構造は、オープンバーニングの処分場を煙のない衛生埋立へ早期に改善できる埋立技術です。この技術はローコスト・ローテクノロジーであることから、マレーシアやパキスタン、中国、タイ、ベトナムなどアジア諸国のほか、サモア、ドミニカ共和国、メキシコ、イタリアなど、導入が広がり実績を上げています。



浸出水処理施設

改善前と後（マレーシア）提供：福岡大学 工学部 水理衛生工学実験室



準好気性埋立構造で建設中の処分場

改善前と後（ドミニカ共和国）提供：サンティアゴ市CASA

### コラム

#### 東京都の最終処分場



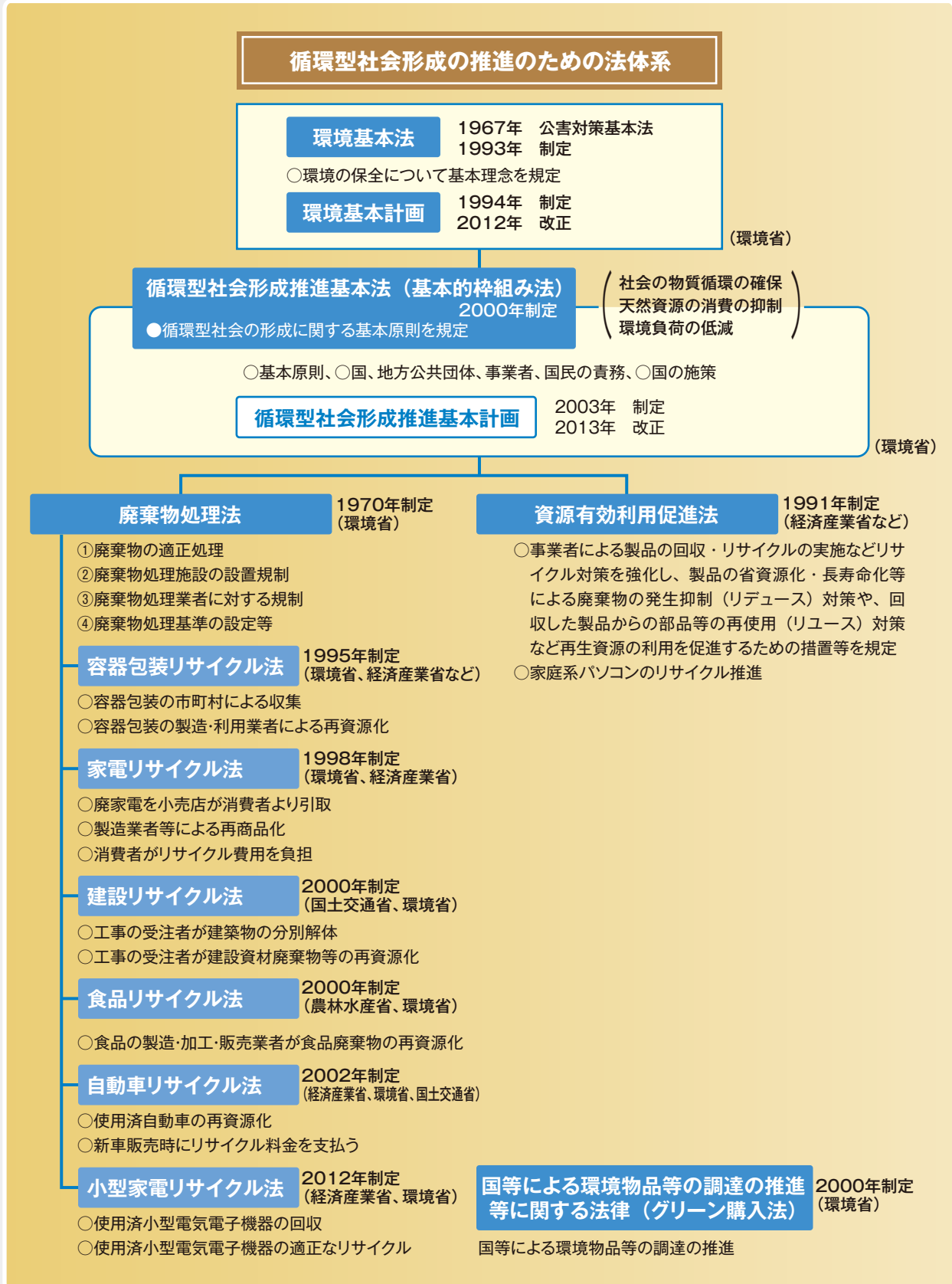
現在は、適正に管理されている処分場

野鳥が群がる以前の処分場

出典：東京二十三区清掃一部事務組合「ごみれぼ23」

## 廃棄物管理から循環型社会形成への展開

日本では、以下の法体系に基づき天然資源の消費を抑制し、環境負荷を低減した循環型社会づくりを推進しています。



環 境 省  
大臣官房廃棄物・リサイクル対策部  
企画課循環型社会推進室

● 連絡先 ●

〒100-8975 東京都千代田区霞が関 1-2-2  
環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部企画課循環型社会推進室  
TEL：03-3581-3351 (ex. 6819)  
FAX：03-3593-8262  
我が国循環産業ウェブサイト  
[http://www.env.go.jp/recycle/circul/venous\\_industry/index.html](http://www.env.go.jp/recycle/circul/venous_industry/index.html)