

# 廃棄物学会研究委員会焼却部会

## 報 告 書

(No. 2)

1998年10月

### 部会委員名簿

網 本 博 孝	(ユニチカ(株))
河 端 博 昭	(株)神戸製鋼所
木 村 哲 雄	(株)クボタ
高 市 克 己	(株)タクマ
高 木 泰	(応用地質(株))
◎ 武 田 信 生	(京都大学)
谷 川 昇	(東京都清掃研究所)
○ 手 島 肇	(株)タクマ
中 村 一 夫	(京都市)
三 野 稔 男	(日立造船(株))
福 永 勲	(大阪市)
守 岡 修 一	(川崎重工業(株))
安 田 憲 二	(神奈川県)
山 内 淳 行	(中日本建設コンサルタント(株))

◎ 代 表、○ 幹 事

# 目 次

1. 変革期を迎えた焼却処理 .....	1
2. ごみ処理の広域化に向けて .....	2
2.1 はじめに .....	2
2.2 ごみ処理広域化の目的 .....	2
2.2.1 広域化の必要性 .....	2
2.2.2 広域化の考え方 .....	3
2.3 広域化計画の策定状況 .....	3
2.3.1 検討委員会の設置と討議状況 .....	3
2.3.2 広域化の検討内容 .....	3
2.3.3 策定作業の進捗状況 .....	3
2.4 広域化に向けての課題・問題点 .....	4
2.4.1 ブロック区割りに向けての合意形成 .....	4
2.4.2 ダイオキシン恒久対策との調整 .....	4
2.4.3 地域性の問題 .....	4
2.4.4 広域化に対する賛成・反対意見 .....	5
2.5 広域化を推進するためのごみ処理技術 .....	5
2.5.1 ダイオキシンの削減計画における広域化処理の位置づけ .....	5
2.5.2 高性能小型焼却炉の開発 .....	6
2.5.3 ごみ固体燃料（RDF）による広域化処理 .....	8
2.6 まとめ .....	10
3. 新処理技術の展開 .....	11
3.1 はじめに .....	11
3.2 ガス化溶融炉 .....	11
3.2.1 ガス化溶融炉開発の背景 .....	11
3.2.2 ガス化溶融炉の技術開発状況 .....	12
3.2.3 次世代型ごみ焼却施設開発に関するわが国の取り組み .....	13
3.3 排ガス処理技術 .....	14
3.3.1 排ガス処理技術の適用状況 .....	14
3.3.2 最新のごみ焼却施設における排ガス処理技術 .....	14
3.3.3 排ガス処理技術の開発動向 .....	15
3.3.4 排ガス処理技術の選択 .....	16
3.4 灰資源化技術 .....	16
3.4.1 灰処理をとりまく最近の状況 .....	16
3.4.2 各種技術の概要 .....	16
3.5 エネルギー回収 .....	19
3.5.1 施策 .....	19
3.5.2 廃棄物発電の現状 .....	19

3.5.3 発電技術	20
3.5.4 余熱利用技術	21
3.5.5 今後のエネルギー回収	22
3.6 バイオガス化	22
3.6.1 導入の背景	22
3.6.2 メタン発酵の原理と概要	23
3.6.3 欧州における実用例	23
3.7 おわりに	26
<b>4. 欧州における都市ごみ処理技術の動向</b>	<b>28</b>
4.1 はじめに	28
4.2 焼却処理の現状と法規制の動向	28
4.2.1 廃棄物の発生量と処理方式変化	28
4.2.2 焼却処理のフローの代表例	29
4.2.3 容器包装法の影響について	30
4.2.4 焼却、排ガスに対する規制	31
4.2.5 廃棄物の直接利用と焼却残さの再利用	32
4.3 新技術の動向と課題	33
4.3.1 既存技術の改良	33
4.3.2 熱分解・ガス化溶融技術	34
4.4 おわりに	36
<b>5. 新処理技術を組み合わせたシステムの検討</b>	<b>37</b>
5.1 はじめに	37
5.2 都市で発生する廃棄物とその将来像	37
5.2.1 ごみ質の現状	37
5.2.2 将来のごみ質	38
5.3 新処理技術を組み合わせた中間処理システムのケーススタディ	39
5.3.1 将来的な中間処理システムの視点	39
5.3.2 検討ケースおよび評価指標の設定	39
5.3.3 システム要素技術の個別評価	40
5.3.4 新処理技術組み合わせケースの設定条件	45
5.3.5 新処理技術組み合わせシステムの比較評価	46
5.4 おわりに	49

# 1. 変革期を迎えた焼却処理

社会のあらゆる分野が変革期を迎えていたといえる時代に入ったが、わが国の廃棄物処理分野も例外ではない。なかでも、人々の日常生活に密着したごみ焼却は広く関心を持たれ、マスメディアに採り上げられない日がないくらいである。

ごみ焼却が変革期を迎えたことには、それなりの理由があると考えられる。環境およびエネルギー・資源の制約が大きくなつたことも大きな理由である。現代は経済、エネルギー・資源、環境が三すくみ（トリレンマ）の状態にあるといわれる。経済発展はエネルギー・資源の消費を必要とし、エネルギー・資源の開発は必然的に環境の悪化をもたらせる。しかし、環境改善も一定の経済発展がなければかなわない。この難しいトリレンマの世界を解く鍵は「持続的発展（sustainable development）」であるといわれ、より具体的なコンセプトとしては「循環型社会の形成」と説かれている。20世紀後半の経済発展は人々の生活を豊かに変えたことは事実としても、それは大量生産・大量消費・大量廃棄を前提とし、それを助長してきたものであった。

ごみ焼却と環境の関係について見ると、従来、問題とされてきた、ばいじん、塩化水素、窒素酸化物などの大気汚染物質に対する対策は一巡したといえるが、わが国ではダイオキシン類排出量の約80%がごみ焼却に起因するという重大な問題に直面している。それでもかかわらず、わが国では可燃性ごみの70%以上の処理をごみ焼却が担っているという事実がある。また、焼却プラントの多くは廃熱回収が十分ではないとの指摘も受けている。年々逼迫の度合いが高くなる埋立処分地容量の不足は脱埋立処分の要請を強めていると同時に、焼却飛灰は特別管理一般廃棄物とされ安定化処理が義務づけられている。

狭い国土で人口密度が高く、しかも夏季には高温多湿となるという風土から、わが国では都市ごみの迅速な収集と熱操作処理（焼却）は公衆衛生をまもるための手段として重要な役割を果たしてきた。そのことが他国に例を見ない高いごみ焼却率と小型炉の林立を促してきたと考えられる。公衆衛生の確保は今後ともおろそかにはできない命題である。その中でごみの減量化、再利用・再資源化、しかるのちに適正な処理を行うという体系の一環として21世紀に向けたごみ焼却の変革が求められている。

「容器包装に係る分別収集および再商品化の促進等に関する法律」（通称：「容器包装リサイクル法」）、「特定家庭用機器再商品化法」（通称：「家電リサイクル法」）などの法整備（いわゆるソフトの整備）が順次進展する中で、流れに準じた技術革新が求められてこよう。

本報告書では、「都市ごみの広域化処理にむけて」においてダイオキシン対策、資源やエネルギーの回収促進に向けた広域化計画の現況と問題点を論じた。「新処理技術の展開」および「欧州における都市ごみ処理技術の動向」ではガス化溶融、高度排ガス処理、灰の資源化、エネルギー回収、バイオガス化など、次代を担う技術の開発状況と欧州における動向を述べた。最後に「新処理技術を組み合わせたシステムの検討」では短・中期的な視点から、現在のごみ焼却システムに新処理技術を組み込んだ際のケーススタディーを行い、環境負荷、マテリアルおよびエネルギーの回収、効率性などについての試算結果を報告している。

これらの内容は廃棄物学会研究委員会焼却部会において議論を続けてきたものを分担して執筆したものである。諸兄姉のご参考になればと願うとともに、ご批判・ご叱声を仰ぎたい。

## 2. ごみ処理の広域化に向けて

### 2.1 はじめに

これまで、一般廃棄物の処理は市町村固有の事務として市町村（一部事務組合）単位で行われてきた。しかし、ごみの排出量の増大等により最終処分場の確保が難しくなってきたことや、ダイオキシン対策を目的とした高度な環境対策の必要性が高まっていることから、より適正なごみ処理を推進するため、新たな処理システムの構築が求められている。

厚生省は、ごみ資源化の推進およびダイオキシン排出量の削減を目的として、平成9年5月、「ごみ処理の広域化計画について」を各都道府県に通知した。これを受け、各都道府県は公共事業の費用縮減、マテリアルおよびサーマルリサイクルの推進、ダイオキシン対策、最終処分場の確保対策などを踏まえた上で広域化計画を策定し、市町村を指導する必要がある。ごみ処理の広域化を進める場合、各自治体の地理的条件や既存施設の更新時期の違いなどによる個別的な事情があるため、計画の内容については地域性が重要なファクターになる。都道府県の中には、地域性が類似しており、計画の策定に際して同じような課題・問題点を抱えているところも多いと思われる。そこで、ここでは現段階における広域化計画の策定状況とともに、広域化に向けての課題・問題点について論じた。

また、これらの課題を解決し、無理のない広域化を推進するためには、新たな技術の導入などハード面での対応も必要になると思われる。さらに、広域化計画の策定ではごみの減量化、資源化も重要なポイントとなっていることから、これらの点についても述べた。

### 2.2 ごみ処理広域化の目的<sup>1)</sup>

従来から行われてきた市町村等による自区域内処理では、焼却施設等に対する高度な環境保全対策や公共事業のコスト削減が難しい。そこで、これらの課題を解決する手法として、隣接する市町村等が連携し、より広い区域のごみ処理を共同で行う「ごみ処理の広域化」が有効であると考えられる。

#### 2.2.1 広域化の必要性

広域化の必要性を整理すると、以下のようになる。

##### (1) リサイクルの推進

リサイクルを効率的に行うため、広い地域でごみの分別収集方法を統一し、一定量以上のリサイクル対象物を集める必要がある。また、リサイクルの推進により、ごみの焼却量を減らすことができる。

##### (2) ダイオキシン類の削減

間欠運転を繰り返す小規模な焼却施設（固定バッチ炉、機械化バッチ炉および准連続炉）では燃焼が不安定であるため、連続炉に比べてダイオキシン類の排出濃度が高くなる傾向がある。そこで小規模な施設を廃止し、大規模な連続式のごみ焼却施設に集約化することにより、ダイオキシン対策を効果的に進めることができる。

##### (3) 余熱利用の推進と地球温暖化防止

省エネルギー、地球温暖化防止の観点から、ごみの焼却にともなう熱エネルギーを発電等に有効利用し、間接的に化石燃料の使用量を削減する。この場合、小規模の施設ではこのような熱エネルギーの利用が困難であるため、大規模な施設により効率的に熱回収を行う必要がある。

また、生ごみなどを直接埋め立てた場合には、埋め立て地においてメタンが発生する。メタンは地球温暖化係数が二酸化炭素の21倍もあることから、直接の埋立は地球温暖化防止の観点から望ましくない。

#### (4) 公共事業の費用縮減

小規模なごみ処理施設は大規模施設に比べて建設単価が高い。したがって、小規模施設を多数整備するよりも、大規模施設に集約した方が建設費等の費用を縮減できる。また、同じごみの量を処理する場合にも、一ヵ所の大規模施設で処理した方が複数の小規模施設で処理するより効率がよいため、施設の運転費用が縮減される。

### 2.2.2 広域化の考え方

ごみの減量化と資源化が最優先課題となる。このうち、ごみの排出抑制については、それぞれの地域住民のライフスタイルと密接に関連していることから、市町村レベルでの普及・啓発やごみ処理の有料化等による施策を着実に実施していくことが基本となる。

資源化の方法であるマテリアルリサイクル、サーマルリサイクルについては、現実的な対応として、以下の2段階による施策が有効であると考えられる。

① 第1段階：広域化によりマテリアルリサイクルとサーマルリサイクルを同時に推進する。

② 第2段階：可能な限りサーマルリサイクルからマテリアルリサイクルへ転換する。

#### (1) 第1段階

マテリアルリサイクルを推進するためには、コストの関係から一定量を確保することが不可欠である。市町村を超えた広域的な処理により、これらの可能性が大きくなる。また、施策の推進により、資源化を行わずに「単に燃やして埋める処理」からの脱却をはかる必要がある。

さらに、マテリアルリサイクルを推進するための技術開発や、社会システムの構築に向けての検討も必要である。

#### (2) 第2段階

資源化の目標としては、マテリアルリサイクルを優先させる。現状ではサーマルリサイクルの方がより多くのごみを対象とすることができますが、将来的には可能な限りマテリアルリサイクルに転換していく。

マテリアルリサイクルを推進する方策として、既に容器包装リサイクル法の制定・施行や、家電製品リサイクル法が制定されている。また、資源化を効率的に行うため、リサイクルしやすい製品の製造など、製造・加工の段階での取り組みについても考慮する必要がある。

### 2.3 広域化計画の策定状況

各都道府県に対して、広域化の取り組み状況についてアンケート調査を実施したところ、46都道府県から回答があった。そこで、これらの回答をもとに現段階における広域化計画の策定状況について報告する。

#### 2.3.1 検討委員会の設置と討議状況

回答のあった46都道府県のうち、半数以上の24都道府県で広域化検討委員会が設置されていた。委員会の構成メンバーとしては行政担当者のみのものが13と最も多く、次いで行政と学識経験者からなるものが10であった。また、一般住民が構成メンバーとして加わっている委員会が一つあった。

委員会の開催状況としては、2～3回が16と最も多く、5回以上開催されたのは2つにとどまった。ただし、委員会のほかにブロック別や専門部会などで内容を検討しているところもあった。

#### 2.3.2 広域化の検討内容

委員会で検討されている内容としては、ブロック区割りが19と最も多く、次いでダイオキシン類の削減が12、役割分担9、ごみの減量化6、市町村に対する技術支援2の順であった。このほか、広域化のあり方、広域化の時期および経済性の評価などについて検討を行っているところもあった。

#### 2.3.3 策定作業の進捗状況

広域化計画の設定年度は、平成9年度内が15都道府県であるのに対して、10年度が31都道府県となっており、大部分が平成10年度を予定していた。また、計画年度については、おおむね国と考えられる1998～2007年度で

あったが、10年以上余裕を見て計画策定を考えている自治体も10程度あった。

## 2.4 広域化に向けての課題・問題点

広域化計画の策定に際しての課題・問題点に関しては、アンケート調査において多数の自治体から意見が寄せられた。ここでは、これらの意見を中心に報告する。

### 2.4.1 ブロック区割りに向けての合意形成

アンケート調査の結果、ブロック区割りに向けての市町村の合意と住民の同意をあげたものが18都道府県あり、課題としては一番多かった。具体的な意見を以下に示す。

複数の一部事務組合を同一ブロックにする場合、組合議会や市町村議会の議決等の課題が生じる。

- ・施設立地、財政負担を考えると、市町村間で「総論賛成、各論反対」の状態に陥る可能性がある。
- ・広域化を進めた場合、ごみの集中に対する住民の反対運動を懸念して、市町村が広域化に乗ってこない。
- ・広域化に対する住民の理解。
- ・ブロック区割りの決定が難しい。
- ・住民の合意形成と市町村間の連携、合意形成の進め方。
- ・広域化ブロックにおける市町村間の意思統一を図ること。

### 2.4.2 ダイオキシン恒久対策との調整

厚生省では広域化を推進し、ダイオキシンの恒久対策を達成するため、焼却炉の集約にあたって処理能力300t/日以上の全連続式焼却施設が望ましく、少なくとも100t/日以上の処理能力を有する全連続式焼却施設が必要であるとしている。この点に関しても多くの自治体から以下に示した意見があげられている。

- ・新技術等の開発により、ダイオキシンの排出削減という意味での100t/日炉の必要性は今後弱まっていくのでは。
- ・各施設の更新時期が異なり、地区ごとの集約化を短期間ですべての地区で行うことは困難。
- ・施設の更新時期が異なり、統廃合が難しい。
- ・集約を行う過渡期のごみ処理に苦慮している。
- ・自治省の処理規模100t/日未満の施設に関わる地方単独事業の扱いが不明で、市町村指導に苦慮。
- ・既存施設の更新予定年に差があり、広域化予定施設の整備年度の調整が困難。
- ・広域化により、廃棄物の運搬コストが増加する。

このように、能力が100t/日以上でなければいけないとした場合、広域化を進めるにあたって無理がかかる市町村がでてくる可能性が示唆されている。また、将来的には100t/日未満で対応できる焼却炉を開発して、より柔軟に適用する方法も検討する価値があると思われる。

### 2.4.3 地域性の問題

施設の集約化は地域性の影響を強く受ける。特に、島嶼部があったり、人口密度が低い地域を有する自治体では、この問題は深刻である。具体的な意見を示す。

- ・人口密度の希薄な地域では、100t/日以上の焼却施設を設置できるようにブロックを組もうとする場合、地形、気象条件等からごみの運搬が困難になるおそれがある。
- ・地理的に山間部が多く、処理能力100t/日以上の施設の建設が困難となる地区が多い。
- ・市町村のほとんどが山間地に位置しているため、100t/日以上の焼却施設の建設が困難と思われる。
- ・島嶼部の位置づけが課題となる。
- ・県土が広いため、効率的なごみの輸送と処理効率の向上を両立させることが難しい。

この場合も、適用する焼却炉の能力範囲とごみ輸送の効率化による運搬費の低減化などが課題となっている。したがって、小規模な焼却炉の開発とともにRDF化による運搬特性・貯蔵特性の改善などについても検討する必要が

であろう。

#### 2.4.4 広域化に対する賛成・反対意見<sup>2)</sup>

広域化に対する賛成・反対意見の一例を以下に示す。

##### (1) 賛成意見

- ・ダイオキシン対策に効果がある。
- ・規模のメリット、効率の向上。
- ・処理施設の維持・管理が効率的となる。
- ・中小都市の経費負担が軽減される。
- ・余熱利用、RDF発電の推進等によりエネルギー利用が合理化される。
- ・廃棄物の埋立処分量が減少する。
- ・各自治体の連携により、ごみ処理がより注目される。また、リサイクルを主体とした循環型社会の形成に対する住民意識が高揚する。

##### (2) 反対意見

- ・ダイオキシン削減は、広域化以外でも解決できる。
- ・100t/日以上でないとダイオキシンの発生抑制が困難という技術的根拠が不明確である。
- ・広域化のメリットが少ない。
- ・広域化は排出されたごみを処理すればよいという概念につながるおそれがある。
- ・ごみの発生源に対する意識が薄くなる。
- ・ごみの発生、生産・流通、消費まで含んだ観点が必要。(もっと発生抑制に重点をおくべき)
- ・RDF利用等、ほかの技術開発や熱利用の研究に取り組むべきである。

以上のように、広域化に対する賛成、反対意見は相互に矛盾するところがあるなど、現段階では課題・問題点などが十分に整理されていない状況にある。今後とも十分に論議を尽くす必要があろう。

### 2.5 広域化を推進するためのごみ処理技術

#### 2.5.1 ダイオキシンの削減計画における広域化処理の位置づけ

平成9年1月に策定された「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン——ダイオキシン類削減プログラム——」(以下「ガイドライン」)は、わが国のダイオキシン対策の根幹を形成する文書である。

本書の第3章は「ダイオキシン類を削減するための方策」が述べられており、恒久的対策としては、4本の柱がたてられている。それは以下の通りである。

- 3-2-1 ごみの排出抑制とリサイクルの推進
- 3-2-2 排ガス対策
- 3-2-3 焼却灰・飛灰対策
- 3-2-4 ごみ処理の広域化

すなわち、ごみ処理の広域化は2本のソフト対策の1本に位置づけられている。広域化の根拠付けは右のようにされている。

この立論は、「焼却処理を行う場合のダイオキシンの恒久的な削減対策は『一定規模以上の全連続炉(300t/日、最低でも100t/日)』で焼却することである。『一定規模以上の全連続炉』で焼却するためには、『集約化(広域化)』を…推進する

#### 3-2-4 ごみ処理の広域化

人口の少ない市町村にあっては、発生するごみの量も少なく、全連続化が困難である。したがって、隣接市町村が連携して、一定規模以上の全連続炉への集約化(広域化)を総合的かつ計画的に推進することが必要である。

##### 広域化の必要性とメリット

全連続炉での焼却を行うためには、ある程度のごみ量が必要となるので、ある程度の人口規模が必要となる。このため、人口が希薄な地域においては広域化が必要となる。広域化には、全連続炉によるダイオキシンの削減に加え、以下のようなメリットがある。

##### リサイクルの推進と焼却量の削減

施設が個別に点在している場合に比べ、広域化により、ばらばらではリサイクルが進まなかったりリサイクル可能物が一箇所に集まり、リサイクルが可能となる場合がある。これにより、焼却量を減らすことができる。

##### 灰処理の推進

ダイオキシン類を含有する焼却灰、飛灰も一箇所で集中管理できるとともに、一定量が集まれば溶融固化等の高度処理が容易になる。溶融固化等により灰を再生品として利用する場合においても、一定量の製品供給を確保できる。

ことが必要である。』』というものである。

ここでの広域化の位置づけは、一定量の焼却対象廃棄物を収集するための手段としての広域化である。この広域化を実現することが、廃棄物を焼却処理する上での必須の条件であるとの論理であり、実際に平成10年度国庫補助事業より、この方針での指導がなされている。

さて、このごみ焼却処理量300t/日（最低でも100t/日）以上に集約する根拠は、3-2-2 排ガス対策に詳しく述べられているが、大要は右の通りである。

300t/日という数値基準は、現在のごみ処理施設構造基準に定める廃熱ボイラを排ガス冷却設備として採用する基準値に対応している。100t/日は、若干数値は異なるが、全連続式を採用する下限値である80t/日にはほぼ対応している。

なお、広域化の目的としては熱回収やコストの縮減も掲げられている。これらは、重要な政策課題ではあるが、国民の健康被害を未然に防止するための緊喫の課題であるダイオキシンの排出削減とは相対的に緊急性の程度に差があることから、ここでは敢えて取り上げなかった。

## 2.5.2 高性能小型焼却炉の開発

### 2.5.2.1 高性能小型焼却炉開発の必要性

前項で示したように、広域化の必要性の根拠は、現時点での小型焼却炉の性能が、ダイオキシン削減を効果的に行う上で十分でないことによっている。

一方、わが国のごみ処理は市町村単位で行われ、かつ焼却処理を中心として進められたことから、小規模な焼却炉が多数設置されている。

平成5年度末現在では、「ガイドライン」でダイオキシン削減対策が効果的に実施できる方式として推奨された全連続式焼却炉の施設数のシェアは4分の1弱で、残りの4分の3強は、新設施設としては推奨されていない形式である。能力的には全連続式焼却炉のシェアが4分の3弱を占めており、人口集中地区は全連続燃焼式炉、人口密度の低い地域を中心に間欠運転炉が広く適用されている実状が解る。

今回の広域化事業は、施設数で4分の3強を占める間欠運転炉を全連続式焼却炉に転換する大事業である。

この事業は計画期間として10年を予定しているが、策定された都道府県計画では20年を計画期間とする例もある。このように、本事業は長期の施設転換計画であるので、事業期間内の技術革新に関しても一定の配慮が必要である。

すなわち、広域化による全連続式焼却炉へ転換を進めるとともに、高性能な小型焼却炉を開発することにより、広域化への障害の解消に努めることも重要なである。

今回の広域化においては、離島に関しては、より小規模の焼却施設に関してもこれを国庫補助の対象とするものとされている。これらの施設に関してもダイオキシン削減対策は当然必要であり、高性能な小型焼却炉の開発が待たれる所である。

### 2.5.2.2 高性能小型炉開発の見通し

#### (1) 厚生省の調査事例

厚生省は平成8～9年度に「焼却施設におけるエネルギー使用の合理化のための基礎調査」を行っている。

ここでは、1炉の規模が50～90t/日の施設に付き、1施設あたり1～2炉の場合のケーススタディを行い、50～90t/日×2炉の場合の結論として、「ごみ焼却規模50t/日×2炉程度の発電機付き小規模施設においても、システム構成、機器仕様、蒸気条件等を適正に選定することにより、電気で灰溶融を行い、所内電力を全量自己発生電力で賄った上で、さらに相当量の売電ができるため、水噴射炉と比べて環境保全対策上有利であるのみでは

ごみ質・ごみ量の安定化 (大量のごみを収集するので均一化が容易になる)
燃焼の安定化 (連続供給可能、立ち上げ・立ち下げがない)
排ガス処理の高度化 (安定燃焼の結果、排ガス量の変動が少なくなり、排ガス処理効率が向上する。また高度処理も可能となる)
余熱利用 (排ガス冷却方式はボイラ方式とするので余熱利用が高度化できる)

表2-1 わが国の焼却施設の整備状況  
(平成6年3月厚生省)

区分	固定バッチ	機械化バッチ	准連続	全連続	計
(シェア) 施設数	12.5%	46.7%	18.4%	23.4%	100.0%
	281	866	342	433	1,854
(シェア) 能力(t/D)	0.8%	12.6%	14.2%	72.4%	100.0%
	1,434	22,418	25,344	128,911	178,106
平均施設規模	6.2	25.9	74.1	297.7	96.1
採択規模	~10t/D	~40t/D	40~180t/D	80t/D~	—

なく、経済性でも優位になると考えられる。」としている。

本調査は、基本的には、ボイラ・タービン系の検討に当たられており、今後、ボイラの過熱器高温耐食材料の普及と単価低減が実現されるならば、ボイラ蒸気条件の高度化も検討できるとしている。

一方、小規模化する問題点としては、低負荷運転時の発電効率の低下が大きいので、設備能力の適正な設定が必要であること。また、蒸気式ストームブローの場合、これを起動した場合の蒸気量および発電量が過大となることがあるので、ストームブローの形式選定に留意が必要であることなどが指摘されている。

本調査結果に示されるように、今回示された、1施設 100 t/日 の規模は、ほぼ実用化技術での対応に目途がついていると判断できる。

## (2) 焼却施設規模をさらに小規模化する上での課題

前項での検討は、ほぼ安定燃焼が可能と考えられる 2 t/時以上 の施設に関し、電力回収の可能性について検討を加えたものである。

しかしながら、これ以上の小規模化を検討する場合には、都市ごみの燃料としての特性が問題となってくる。都市ごみは雑多な物質の混合物であり、燃料としては以下のようないわゆる問題点が存在する。

- 1) 部分毎に水分が不均一（厨芥と紙類の混在など）
- 2) 可燃分は燃焼速度の異なる物質の混合物である。（木材から合成樹脂まで）
- 3) 燃料の粒度が不均一
- 4) 燃焼装置のサイズに対して粒度が大きい
- 5) 収集量の変動に伴い供給量が変動する

このような燃料としての都市ごみの問題点を解消するものとして、RDF があるが、わが国の RDF はごみ固化燃料と翻訳されるように成型・固化化したものを目指し、運搬特性・貯蔵特性の改善を重視したものとなっている。

このため、わが国の RDF は製造に要するエネルギーが大きく、単に安定燃焼のための燃料改質プロセスとして位置づける場合には過大な仕様となっている点が指摘できる。

より軽易な施設で燃料改質するプロセスとしては、従来流動床焼却炉の前処理として用いられた回転式破碎機——特に縦型回転式——による破碎・裁断プロセスを用いることが考えられる。

このような前処理により一定の燃料改質を施した都市ごみを定量供給した場合の燃焼特性を確認することにより、実用性の見通しを評価することが必要である。

次に、以上のような燃料としての改質を行ったとしても、焼却施設規模が小規模化することによる施設上の課題が存在する。すなわち以下の点である。

- 1) 炉床面積が小さくなることから、燃焼反応に関与するごみ量は小さくなり、ごみ質の変動を受けやすい。
- 2) これに伴い空燃比制御の精度に関する要求水準が大型炉に比較して高くなる。
- 3) 以上の点に対応するために、簡便で確実な ACC の開発が待たれる。
- 4) 上記の ACC の構成要素として応答性の良いごみ供給設備の開発が必要である。

小規模炉は単に大型炉をスケールダウンした施設であっては、安定燃焼が出来ないのであり、小規模化に伴う上記のような課題を解決しなければならない。

今回の広域化計画はこのような研究開発の必要性と問題解決可能性に関する目配りに欠けるきらいがあるように感じられる。

### 2.5.2.3 広域化計画のイメージ

今回計画されている、広域化は施設統合を軸とした統合化であり、現在の廃棄物処理施設に対する住民感情を考慮すると、これを短期に実現することは難しい面があると考えられる。

緊急対策工事の施工時には、隣接市町村との相互応援態勢が不可欠であり、この緊急対策工事実施プロセスを通じて、広域処理に対する地域住民の理解を醸成し、運用上の広域処理を恒常化する段階を経過することが必要であると考える。

次の段階は、施設の広域化であるが、一挙に相当規模（100 t/日）の全連続式焼却炉の実現を求めるることは結果的に施設整備を遅延させる恐れがある。

機械化バッチ炉の平均規模は約 25 t/日 であるので、1 t/時 (24 t/日) × 1 炉 の全連続炉が可能であれば、現状

維持でほぼ機械化バッチ炉設置団体の半数は対応できることになる。この場合、この前段階で運用上の広域化処理が定着していることを前提にすれば、オーバーホール時を対象とした予備炉は省略できるものとして1施設1炉を考えた。

この段階では、ごみエネルギーの有効活用は実現できないが、ダイオキシン対策は達成されている。

次の段階は、ごみエネルギーの有効活用を実現する段階である。この段階では、投資効果の問題もあり、50～37.5t/日×2炉（2～1.5t/時/炉）程度の規模は必要と考えられる。この程度の規模でのボイラ発電は将来的には実現する可能性は見込めるものと考えた。

### 2.5.3 ごみ固体燃料（RDF）による広域化処理<sup>1,3~5)</sup>

ごみ処理の広域化を実施することで、焼却施設の集約化がなされ、ごみの広域化処理のイメージは図2-1に示すようになる。

しかし、広域化を実施するには様々な課題・問題点があり、施設整備の面から見た場合では以下のようなものがある。

- ・地域性により100t/日以上の焼却施設の設置が困難
- ・運搬距離の増加に伴うコストの増加

そこで、これらを解決する手法の1つとしてRDF化の活用が考えられる。

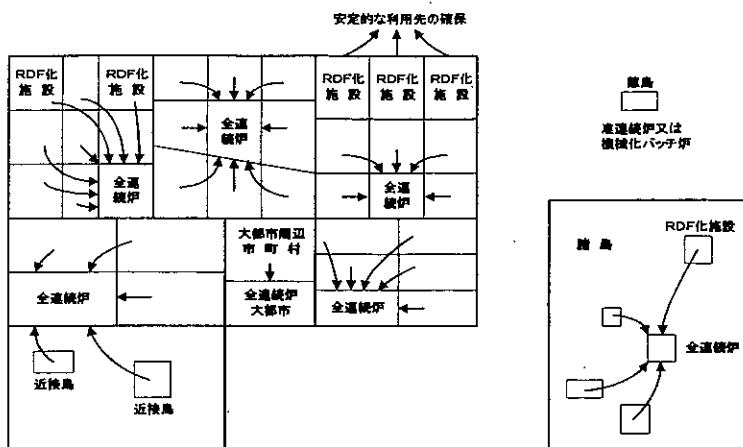


図2-1 ごみ処理の広域化のイメージ<sup>3)</sup>

#### 2.5.3.1 RDF化技術

RDF化技術は廃棄物中の可燃物を破碎したり、成形したりして燃料として取り扱いできる性状にする技術である。対象物は木くずおよび紙くずを中心とするが、プラスチック類や厨芥類を対象とする場合がある。

現在、都市ごみでの実施事例はあまり多くはなく、RDF燃焼後の残渣を考えれば、焼却施設と比べて残渣の発生量としてかわることはないが、ごみとしてではなく、燃料として利用する点に意義のあるシステムであり、最近わが国でも種々の方法が実用化されている。

留意事項については、以下のとおりである。

- (1) 処理対象物に対する適合性が限られていること、燃料として一定の品質を維持することが重要であることから、処理不適物については別途処理方式を設定する必要がある。
- (2) 塩化ビニールが混入する場合には、利用先での環境保全対策やボイラ等の腐食防止対策等が重要である。
- (3) 厨芥類を処理対象とする場合は、腐敗、発酵しないよう安定化処理を行い、保管に際しても十分な配慮が必要である。

要である。

- (4) 利用先の確保により、効果的な資源化を継続して維持できるよう配慮する必要がある。
- (5) RDF を焼却する場合には、ダイオキシン類の排出濃度等、生活環境の保全上支障のないことを確認する必要がある。

#### 2.5.3.2 RDF によるごみの運搬

広域化処理を実施する場合の課題として、施設までの運搬距離が増えることによる運搬に係るエネルギーおよびコストの増加が考えられ、これを抑制するために効率的な運搬方法を検討する必要がある。効率的な運搬方法としては、鉄道、船舶の利用や中継施設を設置して大型車両による運搬等が考えられるが、これらは収集されたごみをごみとして運搬するものであるため、次のような場合にはその効果があまり期待できない。

- ・焼却施設が遠くなる等の理由でごみとしての運搬が困難な場合
- ・発生するごみ量が少ないために大型車両による運搬のメリットが少ない場合

そこで、このような場合にはごみを RDF 化して、製造された RDF を運搬するという方法が考えられる。これは、ごみを RDF 化することで比較的長期間の保管が可能となることから、発生するごみ量が少い場合においても一定量以上の保管ができる、大型車両による運搬のメリットが生じることになる。また、RDF はごみに比べて容積・重量が少なくなる。

これらの点から、RDF 化を利用したごみの運搬は、運搬距離の増加に伴うエネルギーおよびコストの増大を抑制することができると思われる。

#### 2.5.3.3 RDF によるごみ処理

広域化処理における施設規模は、300 t/ 日以上が望ましく、少なくとも 100 t/ 日以上の全連続炉としているが、地域性によっては 100 t/ 日以上の全連続炉の設置が困難な場合が考えられる。この場合の対策の 1 つとして、「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」においても RDF 化施設の検討が示されている。

RDF 化は、燃料として利用する点に意義のあるシステムであることから利用先を確保し、燃料として活用することが望ましいが、燃料としての利用先が確保できない場合には、焼却施設において処理することとなる。

RDF の焼却は、ごみをそのまま焼却処理する場合に比べて、性状が均一化されているために燃焼管理が容易であるというメリットがある。RDF の焼却処理としては、以下に示すようなケースが考えられる。

1 つは、RDF を専焼炉で焼却する場合である。これについては、RDF 発電に代表されるように、焼却処理して効率的に発電を行うなど積極的にエネルギー利用を図るものであり、国の対応としても平成 10 年度の国庫補助金交付要綱の改正を行い、国庫補助対象のごみ処理施設に“都道府県が設置するごみ固体燃料（RDF）発電等焼却施設を含む”と追記するなど、推進していく方向にあると思われる。

もう 1 つは、RDF を全連続炉で混焼する場合である。ただし、この場合には、RDF とごみで燃焼状況が異なるために、RDF の質や燃焼方法等を十分検討する必要があると思われる。

#### 2.5.3.4 RDF 化技術の今後

RDF 化技術は、広域化処理を実施するにあたって有効な手段の 1 つではあるが、RDF の法的位置づけや規格化など解決すべき課題も残されている。

先述したように、製造した RDF は燃料として利用することが望ましいが、現状としてはあまり利用が進んでおらず、今後は法的整備と併せて利用・流通体制の整備等により、より多くの需要を生み出すための検討が必要であると思われる。

さらに、技術的な面では、将来的なごみ質の変化への対応が上げられる。たとえば、容器包装リサイクル法が全面施行されて紙類やプラスチック類が分別された場合、残るごみとしては厨芥類が主体となり、今よりも水分の割合が増加することが予想される。現状でも水分の多いごみでは乾燥にかなりのエネルギーを必要としており、水分の割合が今よりも増加した場合における RDF 化技術の有効性や、水分を減らすために厨芥類を分別して別途処理とした場合のバイオガス化等他技術との組み合わせについて検討が必要であると思われる。

## 2.6 まとめ

現在、ダイオキシン等の排出抑制を目的としたごみ処理の広域化が計画されている。しかし、焼却能力が100t/日以上でなければいけないとした場合、広域化を推進するにあたって無理がかかる市町村ができる可能性が示唆された。また、地域性の問題として、適用する焼却炉の能力範囲とごみ輸送の効率化による運搬費の低減化も課題となる。これらの問題を解決する方法としては、ダイオキシンの恒久対策に適用可能な高性能小型焼却炉の開発や、RDFによるごみ輸送費の低減化などがあげられる。

### 参考文献

- 1) 秦 康之: ごみ処理の広域化について, 都市清掃, 第51巻, 第224号, pp. 8-11 (1998)
- 2) 古市 徹, 濑尾 潔, 金井 宏: 廃棄物計画からみた広域化の課題, *ibid.*, pp. 45-51 (1998)
- 3) ごみ処理に係るダイオキシン削減対策検討会: ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン (1997)
- 4) 動 廃棄物研究財団: クリーンリサイクルタウン事業計画策定の手引き (1994)
- 5) 厚生省生活衛生局水道環境部: ごみ固体燃料 (RDF) 化技術の標準化に関する調査平成8年度報告書 (1997)

### 3. 新処理技術の展開

#### 3.1 はじめに

ごみ処理を取りまく状況は、ダイオキシン類削減問題、処分場の逼迫および資源循環型社会の構築等大きな転換期を迎えており、ごみの発生抑制を最優先としつつもごみの中間処理は不可欠であり、中心的役割を担ってきた焼却技術をはじめとするごみ処理技術もまた、環境負荷の低減とリサイクルを目指した技術への変革が求められている。

特に、ダイオキシン類削減の投げ掛けた問題は大きく、焼却技術はもとより構成システムである排ガス処理と灰処理の技術的高度化も避けて通れない重要な課題となった。さらには、地球温暖化防止や資源循環とも関連し、ごみの資源としての有効活用推進を図るために、灰の資源化、高効率なエネルギー回収のみならず脱焼却による新しい技術的展開への取組や検討が行われつつある。

ここでは、次世代の新処理技術としての期待も含め、次の技術の概要を紹介する。

- ① ガス化溶融炉
- ② 排ガス処理技術
- ③ 灰資源化技術
- ④ エネルギー回収技術
- ⑤ バイオガス化技術

#### 3.2 ガス化溶融炉

焼却処理を中心としたごみ処理技術が大きな転換期を迎えようとしている中で、「次世代型ごみ焼却技術」の中核を担う技術としてガス化溶融炉が注目されている。

ごみの熱分解ガス化技術の開発研究は、1970年代の石油危機を契機に国家プロジェクトを含め多くの民間企業において活発に行われた経緯がある。たとえば、その成果として平岡は当時の熱分解プロセス PTGL Process (Pyrolysis, Thermal Gasification & Liquefaction)について、1979年9月に Washington で開催された American Chemical Society (アメリカ化学会) の発表会で紹介している<sup>1)</sup>。当時は、石油危機の影響があり、廃棄物から輸送性や貯留性に優れた熱分解ガスを獲得することが一つの目標であった。しかしながら、その後の石油価格の軟化などによって熱分解ガスを得ることの魅力は急速に薄らぎ、都市ごみ処理・エネルギー回収の技術として広く普及するには至らなかった。

今日、再び廃棄物の熱分解技術が注目されるようになったのは、廃棄物と地球環境の問題が広く関心を集めようになり、従来のマスバーニングに対する批判や反省の声が大きくなことによると考えられる。具体的にはダイオキシンを代表格とする大気汚染物質の排出ならびに排ガス量を一層抑制する必要が生じてきたこと、従来は残灰の処理を埋立処分地に依存していたが、焼却残渣のリサイクルあるいはリユースなど脱埋立処分の必要性が高まってきたこと、地球温暖化ガス排出と関連して熱回収の一層の効率化が求められていることなどがあげられる。

##### 3.2.1 ガス化溶融炉開発の背景

従来の都市ごみ焼却処理プロセスは石炭燃焼ストーカー・ボイラを基本としたストーカー炉、化学プロセスの流動床を基本にした流動床炉を核として、排ガス処理設備、灰処理設備などをその時点での規制などに沿うように改善・改良して成長してきたものであるといえる。しかし、今日 ① 排ガス規制の一層の強化、② 物質回収や熱回収の一層の推進、③ 脱埋立処分、④ 施設のコンパクト化が求められており、これらを解決するシステムが次世代に求められている。

廃棄物を熱分解し熱分解ガスと固定炭素（チャー）を含んだ無機物に分解した上で、その熱分解ガスと固定炭素の燃焼熱を利用して無機物を溶融しスラグ化をはかるガス化溶融技術は、以下の理由により、上記の問題の解決がはかれる一方法と考えられる。

(1) 廃棄物の熱分解に必要な温度は300～500°Cであるので、可燃ガスそのものの生成には高温を要せず、また、酸素希薄の条件で行われるために、アルミニウムの溶融、銅や鉄の酸化などをさけることができ、廃棄物中の非鉄金属および鉄をより有利な条件で回収できる可能性があること。

(2) 気体燃焼は固体燃焼に比べ低い空気比で操作できるため、排ガス量を少なくすることができ、排ガス処理設備をコンパクトにできるとともに、より高温が得られるために溶融を行うのに有利であること。また、気体燃焼は固体燃焼に比較して燃焼の制御性がよく、窒素酸化物やダイオキシン類の生成を抑制しやすくなること。

(3) 热分解段階で金属成分の多くが回収できるために、排ガス処理段階におけるダイオキシン類のde novo合成を促進する触媒作用をもった金属（特に銅）のばいじん中濃度を低下できるので、ダイオキシン類の生成抑制が期待されること。

(4) 無機物（灰分）を溶融してしまうために、残灰の減容化率が焼却に比較して高くなるとともに、廃棄物に含まれる重金属等の安定化がはかること。また、溶融スラグは土木建設材料等としての有効利用の道が開けていること。

(5) 高温排ガスからの熱回収によって、より高効率な発電など、熱回収率の向上が望めるほか、可燃性熱分解ガスの利用法としてガスタービン、ガスエンジンなどによる利用の可能性も開かれること。

### 3.2.2 ガス化溶融炉の技術開発状況

ガス化（Gasification）あるいは熱分解（Pyrolysis）は、ドイツやイスで受け入れられ始めているといわれる。これには多くの理由があるが、規制の焦点が焼却残渣のリサイクルあるいはリユースに移ってきたことによるといわれている<sup>2)</sup>。日欧米諸国で開発されているガス化／熱分解プロセスを表3-1に示した。ヨーロッパの文献では、廃棄物中の炭素までガス化するものをGasification、炭素のガス化までを想定しないものをPyrolysisと使い分けているようである。

わが国では、主に①高炉型ガス化溶融炉方式、②外熱キルンガス化溶融炉方式、③流動床ガス化溶融炉方式の3つのタイプのガス化溶融炉が開発されている。ここでは、それらの概要を紹介する。

#### (1) 高炉型ガス化溶融炉方式

図3-1に示すように、豊型シャフト炉の頂部から廃棄物、コークスおよび塩基度調整剤として石灰石を投入する。炉内は乾燥帯、熱分解帯、燃焼・溶融帯にわかれ、乾燥帯で廃棄物中の水分が蒸発し、廃棄物の温度が上昇するにしたがって熱分解が起こり、可燃性熱分解ガスが生成する。可燃性熱分解ガスは炉頂部から排出され、燃焼室で二次燃焼される。熱分解残渣である固定炭素と灰分はコークスが形成する燃焼・溶融帯ベッドへ下降し羽口から供給される空気（酸素富化した空気）により燃焼し溶融される。最後に炉底からスラグとメタルが排出される。この方式は1970年代末から実績があり、種々の改良を経ながら現在に継承されている。上部の乾燥・熱分解ガス化部分を流動床としたものも開発されている。

#### (2) 外熱キルンガス化溶融炉方式

1970年代にドイツで発案され、シーメンス社が改良・開発したプロセスで、1991年にわが国に技術導入された技術である。システムのブロックフローを図3-2に示す。都市ごみは破碎され、熱分解ドラム（外熱式キルン）に投入され約450°Cの温度で熱分解される。熱分解ドラムには加熱管が配置されごみへの熱供給とドラムの回転にもとづ

表3-1 ガス化／熱分解プロセスの開発状況<sup>2)</sup>

Processes At or Near Commercial Scale		
Process Type	Process Developer	Country
Pyrolysis+Combustion	Siemens	Germany
Gasification+Combustion	Nippon Steel	Japan
	Andco Torrax	France
	Lurgi	Germany
	Terminska Processor (TPS)	Sweden
Pyrolysis+Gasification	Noell	Germany
	Thermoselect	Switzerland
	Pyrolyse Kraft Anlagen	Germany
Pyrolysis+O <sub>2</sub> Combustion+Smelting	Von Roll	Switzerland
Gasification	Krupp Uhde/Molten Metal	Germany/USA
+Catalytic Extraction Processing		
Processes At or Near Semi-Commercial Scale		
Process Type	Process Developer	Country
Gasification+Combustion	Battelle (FERCO)	USA
	NKK	Japan
Fast Pyrolysis	Waste Gas Technology	UK
	THIDE (EDITTH process)	France
	Bai Pac Thermal Convertor	USA
Vacuum Pyrolysis+Combustion	Nexus (Softer process)	France
Pyrolysis+Gasification	Compact Power	UK
Steam Gasification	MTCI (Thermochem)	USA

Source: Juniper analysis

く攪拌の役割を果たしている。加熱管には溶融炉後流に配置された空気加熱器で熱回収された高温空気がごみの流れに対して向流に流されている。熱分解ドラムは出口に向かってわずかに下向きに傾斜しており、1～2 rpmのドラム回転により、ごみは1～2時間の滞留時間で乾燥・熱分解される。

熱分解ガスは旋回溶融炉へ送られ、固体残渣(チャーと灰分)は熱分解ドラム下部から排出される。固体残渣は約80°Cまで冷却された後、振動ふるいと磁選機で粗い成分が分離され鉄、非鉄、ガレキの混合物として回収される。細かい方の成分は主として灰分と固定炭素で、粉碎機により1 mm以下に粉碎され貯留される。貯留された粉砕物は空気搬送により旋回溶融炉へ送られる。

旋回溶融炉では熱分解ガスと熱分解残渣中の炭素が燃料として燃焼され、残渣中の灰分を溶融しスラグとして排出する。熱分解ガスの貯留は行わないで、旋回溶融炉での熱量調整はこの粉砕物の投入量を調節することによって行われる。溶融炉排ガスは循環排ガスを注入して約1,140°Cまで冷却した後空気加熱器に入り熱分解ドラム加熱管に送る高温空気を生成する。

### (3) 流動床ガス化溶融炉方式

流動床を低酸素濃度雰囲気、かつ、燃焼に比較して低い温度(たとえば600°C程度)で運転し廃棄物を部分燃焼ガス化するものであり、廃棄物の熱分解に使われる熱は部分燃焼によって得られる熱量でまかなわれる。流動床では廃棄物の部分燃焼によって得られた熱が砂によって廃棄物に供給され、廃棄物は、可燃性熱分解ガス、タール分および固体残渣(チャーと灰分)に熱分解される。可燃性熱分解ガスの一部は燃焼し熱源となるが、大部分の可燃性ガスとタール分、固体残渣(チャーと灰分)は溶融炉へ導かれる。二次燃焼室で可燃ガスとタールおよびチャーが燃焼し、このときの燃焼熱で廃棄物中の無機分(灰分)が溶融される。一例を図3-3に示す。このシステムの特徴は、内部発熱(直接加熱)によって熱分解に要する熱量を供給するために、高温の加熱用空気を別途生成させる必要がなく、また、流動床炉そのものが不燃物、金属の分離排出の役割を果たすことである。

### 3.2.3 次世代型ごみ焼却施設開発に関するわが国の取り組み

わが国で1年間に発生する都市ごみは約5千万tonに達し、その潜在的エネルギーはわが国エネルギー消費の約12日分に相当するともいわれている。狭い国土で人口密度が高く、しかも夏季には高温多湿となるという風土を反映して、わが国の都市ごみ処理法は焼却処理が主流となっている。現在、わが国の都市ごみ焼却率は約75%であり、世界有数の高い焼却率を誇っている。今後とも、公衆衛生を確保し埋立処分地の節減をはかるために、廃棄物の熱処理操作はますます重要な役割を果たすことである。

問題は、大気汚染等に関する物質の排出を最小限に抑えていくこと、残渣の有効な利用を通じて埋立処分に依存しない体系を確立していくこと、あわせて有効な熱利用をはかり化石燃料使用量の削減に役立ち地球温暖化ガスの発生を間接的に減らすことであり、そのような方向で官民学の知恵が結集されなければならない。

そこで、一つの技術開発の方向として(財)廃棄物研究財団では厚生省の予算を得て次世代型ごみ焼却施設の開発

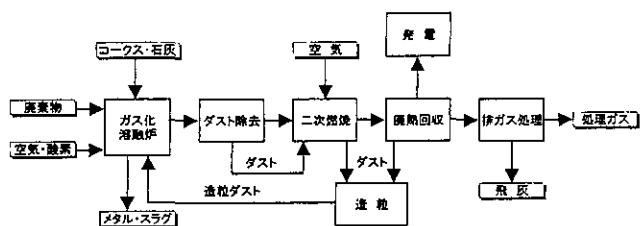


図3-1 高炉型ガス化溶融炉のフロー

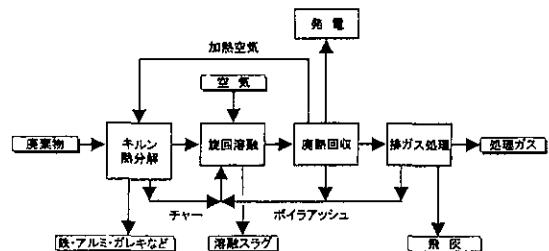


図3-2 外熱キルンガス化溶融炉のフロー

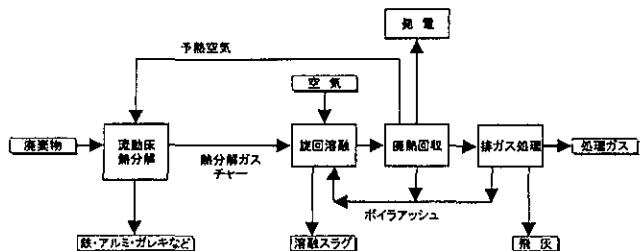


図3-3 流動床ガス化溶融炉のフロー

研究をスタートさせている。この研究は(財)廃棄物研究財団を中心に、学識経験者、自治体技術者等および環境装置メーカー19社が参画した産官学共同プロジェクトであり、1996年度から1998年度の3カ年で、前述の3方式に分類されるガス化溶融方式を実証するとともに、共通的な課題を解明・解決するために分科会を設けて研究を進めることにしている。研究内容、目標、および、分科会のテーマは、表3-2に示すとおりである。

### 3.3 排ガス処理技術

#### 3.3.1 排ガス処理技術の適用状況<sup>3,4)</sup>

ごみ中には、紙、厨芥以外にも様々な化学物質が添加されているプラスチック製品や複合素材製品等の種々雑多なものが含まれていること、ごみ焼却炉は一種の高温の化学反応装置であることなどから、ごみ焼却に伴って種々の大気汚染物質が排出される。大気汚染物質としては、ばいじん、窒素酸化物、二酸化硫黄、塩化水素をはじめとして、一酸化炭素、アンモニア、あるいは水銀等の重金属、多環芳香族炭化水素、ダイオキシン類に代表される有機塩素化合物等の微量有害物質および二酸化炭素、亜酸化窒素、メタン等の地球環境に影響を与えるガス等が知られている。このため、適切な排ガス処理が実施されないと、ごみ焼却施設は大気汚染が進行していない地域においては主要な大気汚染源に、大気汚染が改善されていない都市部では大気汚染をさらに悪化させる大気汚染源になる可能性がある。

これらの大気汚染物質の中では、ばいじん、二酸化硫黄、塩化水素および窒素酸化物の順に排出規制が実施され、ごみ焼却施設においては燃焼管理により大気汚染物質の発生を極力抑制するとともに、各種の排ガス処理技術が適用されるようになった。すなわち、ばいじんの排出抑制対策として電気集じん装置の設置が一般化し、塩化水素および二酸化硫黄の排出抑制対策としてアルカリ剤の炉内あるいは煙道内吹き込み方式の乾式除去装置、または排ガス洗浄装置が設置され、窒素酸化物の排出抑制対策として低酸素運転や焼却炉内への水噴霧が実施され、触媒または無触媒脱硝装置等が設置されようになった。

さらに、ごみ焼却施設からの水銀とダイオキシン類の排出が社会的に問題となり、水銀等の重金属、ダイオキシン類に代表される有害有機塩素化合物や多環芳香族炭化水素等の微量有害物質の排出が注目されるようになった。このため、排ガス洗浄装置の吸収液中にキレート剤を添加して排ガス中の水銀を除去する対策、電気集じん装置の稼働温度の低温化やバグフィルタの採用によりダイオキシン類の二次的生成を防止する対策が行われ始めた。そして、ダイオキシン類の排出規制の実施により微量有害物質を高効率で除去する排ガス処理技術の実用化が図られている。このように、大気汚染物質に対する社会的な関心や規制措置に連動して、ごみ焼却施設には様々な排ガス処理技術が適用されている。

#### 3.3.2 最新のごみ焼却施設における排ガス処理技術

最新のごみ焼却施設に適用されている排ガス処理技術のシステム<sup>4)</sup>を図3-4に示す。ケース1では、バグフィルタの入口にアルカリ剤を注入し、バグフィルタにおいてばいじん、煙道でのアルカリ剤と排ガス中のHClとSO<sub>2</sub>との反応生成物、ばいじんに含まれるダイオキシン類等の微量有害物質を除去するとともに、ろ布のダスト層によって排ガス中のHClとSO<sub>2</sub>や水銀等も除去する。さらに、触媒脱硝装置においてNO<sub>x</sub>を除去し、ガス状

表3-2 次世代型ごみ焼却施設開発の概要(財)廃棄物研究財団

研 究 内 容	① 次世代型ごみ焼却処理施設のシステムフローの検討								
	② システムフローの各部装置の模擬試験装置の開発								
	③ 次世代型ごみ焼却処理施設の実証試験装置の開発								
	④ 次世代型ごみ焼却処理施設の総合評価								
開 発 目 標	ごみ保有エネルギーを外部へ熱供給や送電などとして最大限有効活用するとともに、焼却残渣の安定化・減容化・資源化等、大気汚染物質の低減等の研究目標を達成するため、次の開発目標の全部または大部分を満たすこと。								
	① 対象ごみ 容器包装リサイクル法施行後の分別後可燃ごみ								
	② 排ガス 空気比：従来システムでの空気比 1.3相当以下 有害物質排出値：燃焼装置での発生抑止を極力行う。								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ダイオキシン (ng-TEQ/m<sup>3</sup>N)</th> <th>窒素酸化物 (ppm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>排ガス処理装置入口</td> <td>0.2 以下</td> <td>50 以下</td> </tr> <tr> <td>煙突出入口</td> <td>0.01 ~ 0.05 以下</td> <td>10 以下</td> </tr> </tbody> </table>		ダイオキシン (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)	窒素酸化物 (ppm)	排ガス処理装置入口	0.2 以下	50 以下	煙突出入口	0.01 ~ 0.05 以下
	ダイオキシン (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)	窒素酸化物 (ppm)							
排ガス処理装置入口	0.2 以下	50 以下							
煙突出入口	0.01 ~ 0.05 以下	10 以下							
分 科 会	(O <sub>2</sub> 12% 換算)								
	③ 焚却残渣 有効利用可能なものとする。								
	④ 飛灰 飛灰は金属精錬によって再利用できる程度とする。								
	⑤ コスト イニシアルコスト、ランニングコストとも従来技術以下とする。								

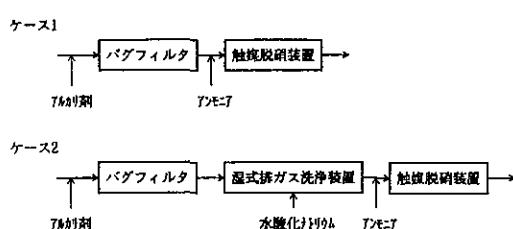


図3-4 最新のごみ焼却施設に適用されている排ガス処理技術

ダイオキシン類の一部も分解する。ケース2はケース1に湿式排ガス洗浄装置を付加したものである。ケース1とケース2はともに、ダイオキシン類排出抑制対策のために、集じん装置としてバグフィルタを採用している。

ケース1では、HClとSO<sub>2</sub>を高効率で除去するために、当量比が約2～3という過剰のアルカリ剤を吹き込む条件で維持管理している例が多い。しかし、この場合のHClとSO<sub>2</sub>の除去率には限界があり、HClとSO<sub>2</sub>の排出濃度はそれぞれ約15 ppmと約4 ppmである<sup>5)</sup>。また、過剰のアルカリ剤の吹込みは、バグフィルタ内の圧力損失の増大を招いてごみの焼却操作に影響を与える可能性があること、特別管理一般廃棄物となるバグフィルタの集じん灰量が増加すること、表面積が大きい小粒径のアルカリ剤を使用してHClとSO<sub>2</sub>を高効率で除去しようとする場合にはろ布の目詰まりを生じやすいうこと等の課題がある。

ケース2の利点としては、湿式排ガス洗浄装置によってHClとSO<sub>2</sub>の排出濃度がとともに1 ppm未満となると同時に水銀も除去できるので大気汚染物質の排出負荷量低減に効果的であること、バグフィルタと湿式排ガス洗浄装置の2段階でHClとSO<sub>2</sub>を処理するのでアルカリ剤の吹込量が少なくなるためにバグフィルタ内の圧力損失を小さくできて集じん灰の量も少なくなること、湿式排ガス洗浄装置単独で処理する場合と比較して装置入口のHClとSO<sub>2</sub>濃度が低くなるので処理装置への負担が軽減されること等があげられる。一方、この方法では、バグフィルタと湿式排ガス洗浄装置を設置するために、広いスペースが必要になること、イニシャルコストとランニングコスト等が高いこと、設備の維持管理に労力を要すること等の課題がある。

ケース1とケース2の排ガス処理技術システムを採用した場合の主要大気汚染物質の排出濃度の報告例<sup>6)</sup>を表3-3に示す。

### 3.3.3 排ガス処理技術の開発動向

ダイオキシン類の排出削減、高効率除去、コンパクト化、同時処理等をキーワードとして進められている最近の排ガス処理技術の開発動向を紹介する。

#### (1) 高効率なダイオキシン類等の微量有害物質の排ガス処理技術開発

粉末活性炭を集じん装置の前に吹込む方法や電気集じん装置入口の排ガス温度の低温化によって、大規模な改造工事を伴わずに、ダイオキシン類排出濃度を大幅に低減できることが報告されている<sup>7,8)</sup>。また、集じん後の排ガスを対象に活性炭や活性コークス等の炭素系吸着剤でダイオキシン類や水銀を吸着除去し<sup>9)</sup>、同時に脱硝も行う方法<sup>10)</sup>が開発されている。

#### (2) 高効率かつコンパクトな排ガス処理技術開発

これまで各大気汚染物質ごとに排ガス処理対策がとられてきたこと、環境問題に対する関心の高まりから排出濃度の一層の低レベル化が求められていること等から排ガス処理装置は大型化し、複雑化する傾向にある。このために、排ガス処理装置の設置に要する面積・空間の確保が困難となったり、装置の設置経費や維持管理の労力・費用等が増大している。そこで、種々の大気汚染物質を高効率で一括処理でき、かつ、装置がコンパクトな排ガス処理技術の実用化に向けた要素技術とシステムの開発が進められている<sup>11)</sup>。

たとえば、バグフィルタ上部のろ布交換スペースに低温脱硝触媒を組込む方法<sup>12)</sup>や低温脱硝触媒をバグフィルタに担持させた方法<sup>13,14)</sup>により、コンパクトな装置でばいじんとダイオキシン類の除去および脱硝が高効率で同時にできることが報告されている。

#### (3) パルスプラズマによる排ガス処理技術開発<sup>15)</sup>

この技術は、パルス放電によって生じるプラズマを排ガス中のダイオキシン類や窒素酸化物等に衝突させて化学的に活性化させて分解除去する方式であり、図3-5に示すようなシステムが提案されている。パルス放電によって分解除去できるのはガス状ダイオキシン類であり、その分解除去性能は180°C以上では低下するとされている。なお、粒子状のダイオキシン類は集じん装置によって除去する。また、2段式湿式排ガス洗浄装置の1段目では、キレート剤を添加した水酸

表3-3 ケース1とケース2の排ガス処理技術を採用した場合における主要大気汚染物質の排出濃度の報告例<sup>6)</sup>

ばいじん (g/m <sup>3</sup> N)	硫黄酸化物 (ppm)	窒素酸化物 (ppm)	塩化水素 (ppm)	ダイオキシン類 (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)
ケース1	0.001	10	46	9
ケース2	< 0.001	< 1	42	< 2



図3-5 パルスプラズマによる排ガス処理技術

化ナトリウム水溶液で排ガス中の塩化水素、硫黄酸化物、水銀を除去し、2段目ではパルス放電によって NO<sub>x</sub> に酸化された NO を亜硫酸ナトリウム水溶液で反応除去する。

#### (4) 電子線による排ガス処理技術<sup>16)</sup>

この技術は、図 3-6 に示すように反応器内の排ガスに消石灰を噴霧しながら電子線を照射して、排ガス中の NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、HCl と消石灰との反応生成物をバグフィルタで除去することによって、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、HCl を同時処理する方式である。パイロット試験により、SO<sub>2</sub> と HCl の除去率が約 100% となること、NO<sub>x</sub> を除去率が約 60% となることが報告されている。

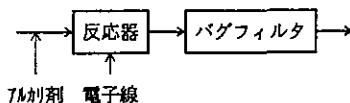


図 3-6 電子線による排ガス処理技術

### 3.3.4 排ガス処理技術の選択

ごみの広域化処理に伴ってごみ焼却施設を新設する場合には、当面は実績があるケース 1 またはケース 2 の排ガス処理システムを採用することになる。開発されている新処理技術の実用装置化が期待されているが、処理技術の選択は画一的に行うのではなく、処理対象、規模、地域特性、長期間の維持管理性、環境負荷低減効果と経済性のバランス、排出されるごみの量と質等を考慮して行うべきである。そのためには、既存処理技術と新処理技術の利点と留意点に関する情報が十分に明らかにされている必要がある。また、大規模な改造を伴わず既存の設備を有効に活用できるような技術開発も重要である。

## 3.4 灰資源化技術

### 3.4.1 灰処理を取りまく最近の状況

焼却により発生する焼却残渣（焼却灰および焼却飛灰の総称）の処理、処分を取りまく主な状況変化として次の行政的な動きがあった。

- ① 1992 年 7 月：ごみ焼却施設の捕集ばいじんの特別一般管理廃棄物指定
- ② 1996 年 9 月：施設整備計画における焼却灰溶融設備の整備促進（衛環第 249 号）
- ③ 1997 年 1 月：ダイオキシン新ガイドラインにおける灰対策の重要性の記載
- ④ 1997 年 5 月：ごみ処理の広域化計画による溶融等の高度処理推進（衛環第 173 号）
- ⑤ 1998 年 3 月：一般廃棄物溶融固化物の再生利用に関する指針の通知（環水企第 111 号、生衛発 508 号）

これらは、焼却を中心とするわが国のごみ処理にあって、環境負荷低減のために焼却残渣の処理・処分がますます重要な課題であり、埋め立て処分場の確保や安全性・安定性の維持を図るのみならず、灰処理物を資源として有效地に再生利用する視点が求められてきた流れを示している。

この動向を受け、各研究機関や自治体においても灰処理物の再生・有効利用に関し様々な検討が行われており、一部において試験的取組みも含め実証的な開発が推進されている。

ここでは、最近の灰資源化・再生技術における開発の取組のなかで、主なものとして次の技術の概要を紹介する。

- |          |          |
|----------|----------|
| ① 溶融処理技術 | ② 焼成処理技術 |
| ③ 物理選別技術 | ④ 山元還元技術 |

### 3.4.2 各種技術の概要

#### 3.4.2.1 溶融処理技術

灰溶融処理技術は、化石燃料の燃焼熱や電気エネルギー等から得られた熱により焼却残渣を概ね 1,200°C 以上の高温条件下で加熱し、有機物は燃焼、ガス化させ、無機物は溶融したのち冷却し、固化物となったスラグを回収する技術である。

この技術は、ばいじん処理において厚生大臣が定める 4 方式（溶融固化、セメント固化、薬剤処理、酸その他の溶媒による安定化）の中で、高温で処理するという点が他方式と大きく異なり、このために以下の特徴を持つ。

#### 長所

- ① 焼却残渣中のダイオキシン類等有機ハロゲン系の有害物質をはじめとし、有機物の分解が達成でき、環境へ

の負荷低減が図れる。

- ② 処理物のスラグは、安定であり処分場の衛生化、安定化に優れるのみならず、骨材等の土木資材としての有効利用が可能である。

### 短所

- ① エネルギーを多く消費し、また、処理コストも高い。
- ② 高温処理のため他の処理方式に比べ、構成機器が特殊で、維持管理も技術的に高度な内容が要求される場合が多い。
- ③ 高温で揮散した物質が溶融飛灰として発生し、この安定化処理が必要である。

なお、先に通知された再生利用の指針により、自治体が溶融処理により溶融固化したスラグで表3-4の「一般廃棄物のスラグに係る目標基準」を満たすものは、自ら発注する公共工事において使用する場合廃棄物の処分に該当しないこと、また、止むを得ず処分する場合にあっても安定型処分場に処分可能となった。これは処理が資源化に繋がる一歩として意味ある指針である。

溶融処理技術は、既に各種方式が実用化されており加熱源やその方式により表3-5のように分類できる。(直接溶融炉、ガス化溶融炉を除く)

#### 3.4.2.2 焼成処理技術

焼成処理は、焼却残渣単独または粘土等を混合して、1,000°C ~ 1,400°C 程度の高温にて焼成するもので、加熱・焼成により溶融処理同様に有機物はガス化、燃焼し、無機物は固体粒子が加熱によりお互いに融解固着し、さらに付随して起こる収縮、緻密化、再結晶化等により強度が増した固化物が回収できる。これらを、破碎処理等にて粉状、粒状またはがれき状に加工し資材として有効活用したり、ブロック状の成形品としての利用も検討されている。ここでは、焼成によるセメント生産技術を活用したセメント化法で製造する新種のセメント(以下エコセメントという)を紹介する。

エコセメントの製造システムを図3-7に示す。焼却残渣は磁選、乾燥、粉碎の前処理を行い、天然補填原料を添加し成分調整した後、ロータリーキルン式の焼成炉内に定量供給し、重油等をバーナで燃焼し、普通セメントの1,500°Cより低い1,350°C前後の高温で焼成する。焼成物は半溶融状態のクリンカとなり、クーラーで冷却後、石膏を添加し粉碎されエコセメントとなる。排ガスは、冷却後バグフィルタ等で処理される。焼却残渣中の塩素および低沸点の水銀、鉛、カドミウム等有害重金属類は溶融処理と同様に揮散するため、捕集飛灰の処理は十分に留意する必要がある。

エコセメントは塩素を0.5~1%と多く含むため一般的に以下の特徴がある。

- ① 水和速度が速く、一般に使用可能時間を確保するためには凝結遅延剤を用いる必要がある。

表3-4 一般廃棄物のスラグに係る目標基準<sup>17)</sup>  
(単位: mg/ℓ)

項目	溶出基準
カドミウム	0.01 以下
鉛	0.01 以下
六価クロム	0.05 以下
砒素	0.01 以下
総水銀	0.0005 以下
セレン	0.01 以下

注) 溶出試験方法は環境庁告示第46号に定める方法

表3-5 一般廃棄物灰溶融炉の概要  
('98.9月現在)

	方 式	原 理	熱 源	納入実績 (建設中を含む)
溶融	表面溶融方式	炉内上部に設置されたバーナにより、処理物を表面から加熱・溶融する。炉体は、回転形、固定形当がある。	ガス、油等	12件
	旋回流方式	溶融空気により処理物を炉内で旋回させ、バーナにより加熱・溶融する。粉粒体向きである。	ガス、油等	0件
	ロータリーキルン方式	ロータリーキルン内に供給された処理物をバーナにより加熱・溶融する。	ガス、油等	0件
	コークスベッド方式	処理物と共に供給されたコークスの燃焼熱により溶融する。	コークス+酸素	1件
電気溶融	アーク方式	電極に荷電して発生した高温のアークにより処理物を加熱・溶融する。	電気	5件
	プラズマ方式	電極への荷電と作動ガスにより発生した高温のプラズマアーク熱で処理物を加熱・溶融する。	電気	10件
	電気抵抗方式	電極に荷電して電極間の処理物自身の電気抵抗熱により発生するジュール熱で加熱・溶融する。	電気	6件
	誘導方式	電磁誘導作用により発生したうず電流のジュール熱で鉄鉱石を溶融し、処理物は溶融鉄に接触溶融させる。	電気	0件
内部溶融	内部溶融方式	ごみの中の残留炭素を主能源としてヒーター電気エネルギーによる加熱も加え、処理物を高温化し溶融する。	残留炭素+電気	1件

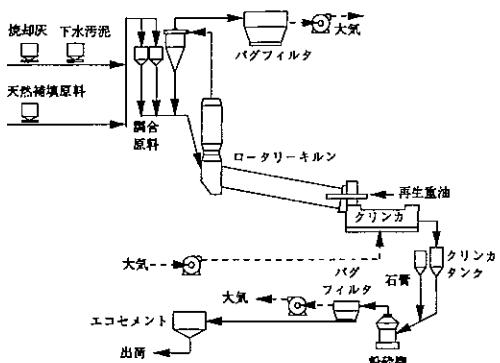


図3-7 セメント化法システムフロー例<sup>18)</sup>

- ② 強さの発現は速硬型で、1日および3日強さは早強セメント並であるが、28日強さは普通セメントよりやや落ちる。
- ③ 水和熱の発生は、強さ発現と対応しており、7日材齢では普通セメントと早強セメントの中間に、28日材齢では普通セメントより少ない側に位置する。
- ④ コンクリートの圧縮、曲げ、引張の各強度は普通セメントとほぼ同等で、耐久性はほぼ同等の変化を示す。凍結融解抵抗性についても同様である。
- ⑤ 鉄筋構造物には防錆の観点から慎重な適用が必要であり、無筋系分野での実証推進が望まれる。

なお、エコセメントを含む焼成処理技術は焼却残渣を廃棄物として引きとる場合、次の課題が残されており、環境への影響を配慮しつつ有効利用推進への解決策を探ることが必要である。

- ① 施設は廃棄物処理施設に該当すると考えられ、施設建設、運用では許認可等の制約がある。
- ② 焼成処理は厚生大臣の指定4方式に含まれず、特別一般廃棄物であるばいじんを含む場合は適正処理に該当しない。再生利用、廃棄処分等にあたっては安定性、安全性に十分な留意が必要である。

また、エコセメントでは、使用分野、構成成分等品質に関する規格制定が普及には必要であると考える。今後とも下水汚泥およびその焼却灰の処理等他の廃棄物も視野に入れた総合的な焼成技術の活用検討、推進が望まれる。

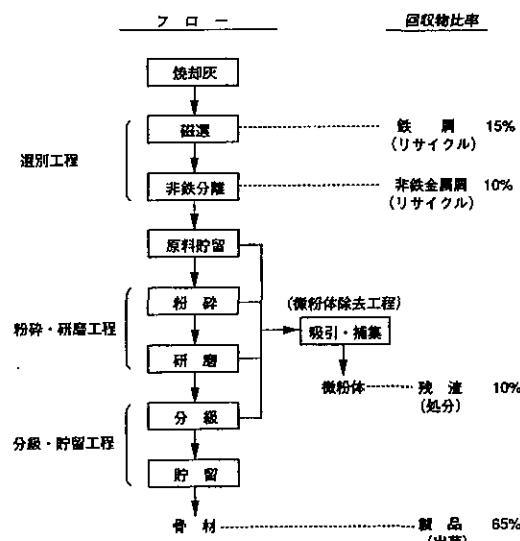
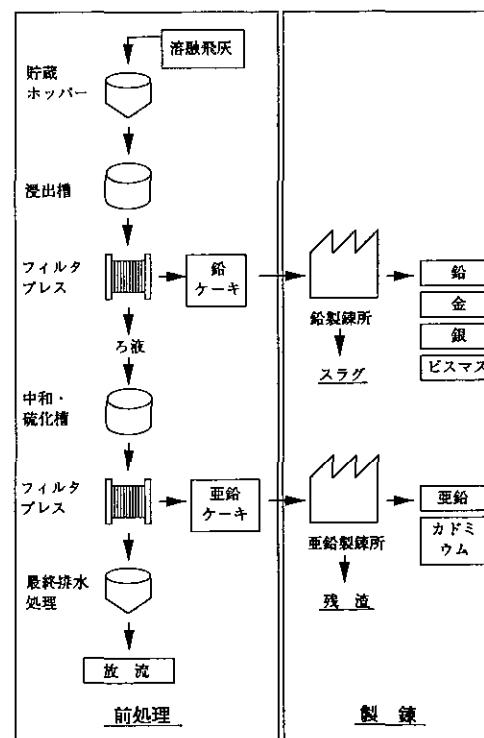
### 3.4.2.3 物理選別技術

物理選別技術として一部実用化されている技術は、焼却灰を対象に適用する技術である。物理選別技術は、焼却灰を選別・分離、破碎、分級する工程が中心であり、灰中の微粉部に多く含まれる重金属類、ダイオキシン類を効果的に分離する技術である。さらに、性状の安定化を図るために表面の研磨や洗浄工程を追加する場合もある。有害物質含有量を低減化することで有効利用するに適切な性状にする技術といえる。このため、現状では法規上のばいじん適正処理ではなく、また、微細な粉体でダイオキシン類、重金属類が多い点からもばいじんを含む飛灰は対象として適切でない。図3-8に実用化されたフロー例を示す。

こうした物理選別技術は、焼却技術の向上に伴い焼却灰の性状的な改善も望めることから、焼却残渣すべてを溶融処理により資源化することが適切かどうかは、地域的な特性や処理体系はかも考慮しつつ総合的に判断していくことが必要であろう。

### 3.4.2.4 山元還元技術

焼却残渣を資源という観点で見直した場合、特に、焼却灰には鉄類、ステンレス類、銅類ほか合金等の多くの金属資源が含まれており、マテリアルリサイクルが優先されるべきである。磁選による鉄類の回収以外、まだ未回収のその他非鉄金属類についても、今後さらに高効率で純度の高

図3-8 物理選別処理フロー例<sup>19)</sup>図3-9 混式前処理による山元還元フローの例<sup>20)</sup>

い分離技術により資源の回収が図られると考えられる。

一方、飛灰および溶融処理、焼成処理や物理選別において発生し捕集された灰は、重金属類が濃縮されている。これらは有害性が高い点と併せて、含有非鉄金属類の資源的価値を考慮すると、むやみに薬剤処理等にて埋め立て処分し環境へ放散すべきではなく、鉱物資源の一部として製錬元へ循環していく山元還元が望ましいと考えられる。検討例として湿式の前処理を含むフロー例を図3-9に示す。

本技術の課題は、焼却から山元還元への一連の流れにおいて、環境負荷の最小化と処理の分担が、適切な経済的負担の中で達成できるようシステムを構築することにある。なお、検討にあたっては技術的課題のみならず社会的システムとして法規的、制度的にも信頼性と持続性のあるシステム構築が不可欠である。このためには、行政、製錬業界、プラント業界の取組のみならず、情報公開を含めた資源循環型社会システムの構築推進への理解が求められる。

### 3.5 エネルギー回収

#### 3.5.1 施策<sup>21-23)</sup>

現在、わが国は21世紀に向けて資源循環型社会構築、廃棄物の適正処理を推進しており、「広域化計画」は環境保全のためのダイオキシン類対策と公共事業費縮減および熱エネルギー利用を視野に入れている。

1994年12月、エネルギー安定供給の確保と二酸化炭素の排出削減等を図るための指針として「新エネルギー大綱」が定められ、廃棄物発電は、現状の約46万kWを2000年末には200万kWに、2010年には400万kWを目指し、推進すべきものとされた。1997年12月地球温暖化防止条約第3回締結国京都会議(COP3)において、温室効果ガス排出の削減目標等についての国際合意が成立し、新エネルギーの導入は重要となり、地域分散型エネルギーの特性を持つ廃棄物発電は、未利用エネルギー対策としてさらに重要視されてきた。

通産省は既にごみ焼却施設の売電に係わる建設費に対し補助金を付けており、電力会社は廃棄物発電に関してその購入メニューで優遇するなど措置を図っている。このたびエネルギー需給構造改革投資促進税制のなかで、廃棄物焼却廃熱を有効活用して冷熱、温熱を製造するシステムの一部に税制優遇措置がなされ、また、都道府県が設置するRDF発電等焼却施設が補助対象となり、厚生省の廃棄物処理施設整備費の補助先が拡大されるなど、熱エネルギーの活用の施策が図られている。

#### 3.5.2 廃棄物発電の現状<sup>21-23)</sup>

一般廃棄物で発電設備を備えたごみ焼却施設は、1995年度末で146ヶ所であり、全ごみ焼却設備の約8%、全連続式施設460の約30%に過ぎず、その発電量は55.8万kW、9割方は200t/d以上の規模に設置されている状況である。また、5,000kW未満の小規模設備が80%を占めており、売電している設備は40%（売電量で25%程度）程度で、大部分が所内動力のために発電されているのが現状である。処理能力あたりの発電出力は、復水タービンの採用等により増加してきたが、多くの施設の発電効率は10～15%以下と低く、今後の発電効率の向上が望まれるところである。なお、1999年度には計画を含めて約76万kWと予想され急速に増加している。

潜在的発電出力としては、1993年度の一般廃棄物焼却量3,664万tonをベースに発熱量2,000kcal/kgとして発電のポテンシャルを試算すると、現状の発電効率13%でも140万kWの発電が可能であり、30%の高効率発電が可能になれば、最大322万kWの発電が達成されることになる。一方、産業廃棄物発電設備においては、1995年度の発電出力規模24.7万kW、処理能力あたりの

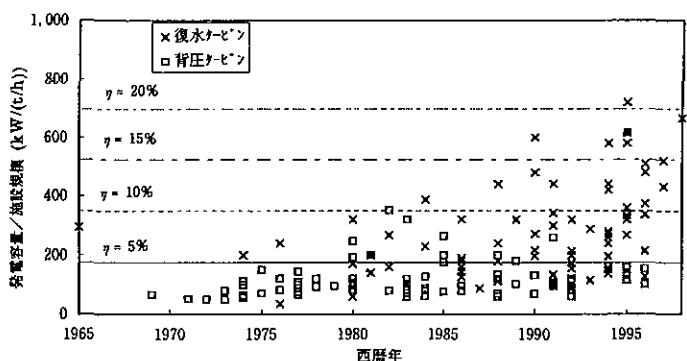


図3-10 ごみ焼却施設の発電容量の推移<sup>22)</sup>

発電容量として 320 kW / (ごみ T/h) である。ただし、産業廃棄物の潜在的焼却可能量は 16,000 万 ton / 年と推定されており、これをすべて高効率発電したとすると 1,000 万 kW 以上はあると見積もられる。

### 3.5.3 発電技術

#### 3.5.3.1 高温・高压ボイラ方式<sup>24)</sup>

廃棄物発電システムで蒸気を極力高温高压化し、蒸気タービンでの有効熱落差を増大させて高効率発電を行うものである。1991年からが始められた通産省・NEDOによる高効率廃棄物発電技術開発では、100 kg/cm<sup>2</sup>, 500°C の蒸気で廃棄物発電効率 30% を目標としている。伝熱管の管壁温度を上げると、排ガスに含まれる塩化水素や飛灰中の塩類などの腐食性物質の介在、融解を伴う腐食のため、その対策が必要となる。その開発として、高 Ni・高 Cr の対食性材料の探索とそのフィールド試験評価、およびガス温度を考慮した過熱器配置や塩類の付着対策を施したボイラ構造の研究を経て、1995年度から 50 T / 日のパイロットプラントの建設を始め、1997年10月より実証試験が行われている。

この開発が契機となり、30 kg/cm<sup>2</sup>, 300°C から 40 kg/cm<sup>2</sup>, 400°C クラス（廃棄物発電効率 20% 程度）の高温・高压ボイラが実用化され、1995年10月埼玉県東部清掃組合、1996年9月帯広市他13町村複合事務組合で稼動し、現在、数件建設されている。

なお、ボイラの補助蒸気や脱気器のような給水加熱をタービンから抽気した蒸気によって加熱する再生サイクルは、主蒸気条件が高く排気圧力が低いほど再生効果があるので、高温高压ボイラで採用すると多段再生により出力向上となる。

#### 3.5.3.2 湿分分離・再熱サイクル<sup>25)</sup>

主蒸気条件があまり高くないとタービン排気湿り度の制限から排気圧力を低くできないため熱落差がとれない。湿分分離・再熱サイクルは、タービン内部の膨張過程のある湿り度で蒸気を全量抜きだし、水分を取り除いて乾き蒸気として、排ガスまたは高压蒸気で再熱してタービンに入れ直す方法である。廃棄物発電の蒸気条件としては圧力を 50 ~ 60 kg/cm<sup>2</sup> まで上げないと効率向上が低く、機器が複雑となるため、廃棄物発電では検討段階である。

#### 3.5.3.3 ガスタービン複合発電方式<sup>26)</sup>

一般にスーパーごみ発電とよばれているもので、ガスタービン発電機を併設して、ガスタービンの腐食性のない排ガスにより焼却炉ボイラで発生した蒸気を高温に過熱し、蒸気タービンの出力増加を図り、ガスタービン発電とで総合発電量の向上を図るものである。高効率のガスタービンの寄与率が高く、総合効率はガスタービン出力とともに増加するが、廃棄物発電分の効率は変わらない。単独廃棄物発電と比べて熱効率は向上するが、ガスタービン燃料費の割合が高いので、実施にあたっては採算性を検討する必要がある。群馬県高浜発電所、堺市東工場、北九州市新皇后崎工場で実施されている。

#### 3.5.3.4 独立過熱器燃料追焚き方式<sup>26)</sup>

焼却炉ボイラで発生した蒸気を化石燃料焚の独立過熱器で昇温し、発電効率を向上させる方法である。焼却炉ボイラで蒸気圧を高くし、独立過熱器でさらに高温にすると蒸気タービン効率の向上が望めるが、投入エネルギーを効率的に回収しないと全体としての熱効率向上しない。現在、実証試験段階である。

#### 3.5.3.5 RDF 廃棄物発電<sup>27)</sup>

広域化計画の一つとして、地域分散している処理施設でごみを固形化し、これを集積して焼却する RDF 発電がある。この発電プラントとして高効率流動床燃焼ボイラが開発されており、内部循環型と外部循環型がある。この循環型流動床ボイラの特長は、流動媒体である高温の流動砂の顯熱で過熱蒸気を得る構造であり、過熱器が腐食性のある燃焼排ガスと接しない構造であるため、100 kg/cm<sup>2</sup>, 500°C 以上高温高压の蒸気とすることができる、RDF 基準で 30% 以上の RDF 発電効率が得られる。三重県、群馬県、大牟田地域などが RDF 発電構想を具体化に推進している。

#### 3.5.3.6 小規模発電

広域化計画では焼却規模 100 T / 日クラスの設備が増加すると思われる。小規模発電について廃棄物研究財団で検討されているが<sup>28)</sup>、50 t / 日 × 2 炉においても、電気式灰溶融を行い所内動力をまかなったうえで、売電可能であり、建設費回収の面でも経済的に成り立つとの結果を得ている。蒸気条件として 40 kg/cm<sup>2</sup> × 400°C 程度が効果

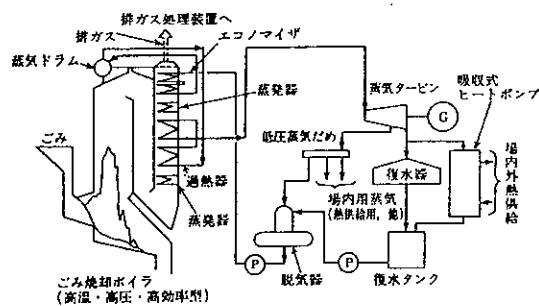
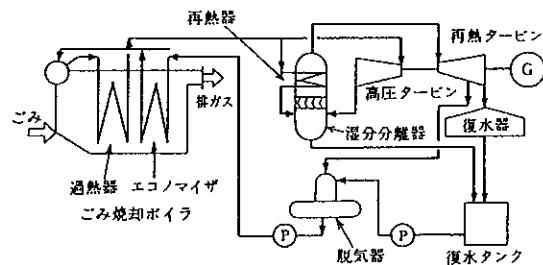
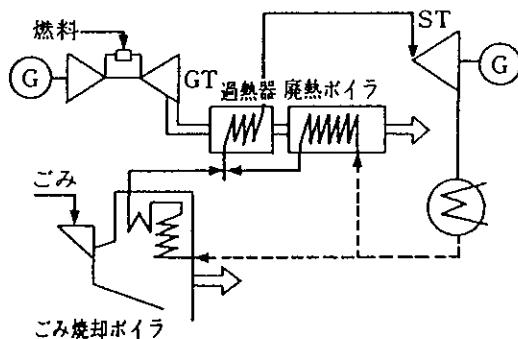
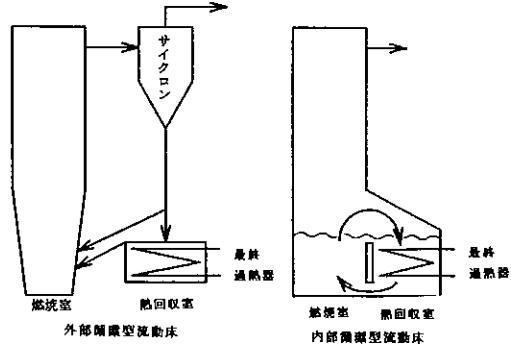
図3-11 高温・高圧ボイラ方式<sup>24)</sup>図3-12 混分分離・再熱サイクル<sup>25)</sup>図3-13 ガスタービン複合発電方式<sup>26)</sup>

図3-14 流動床高効率発電方式

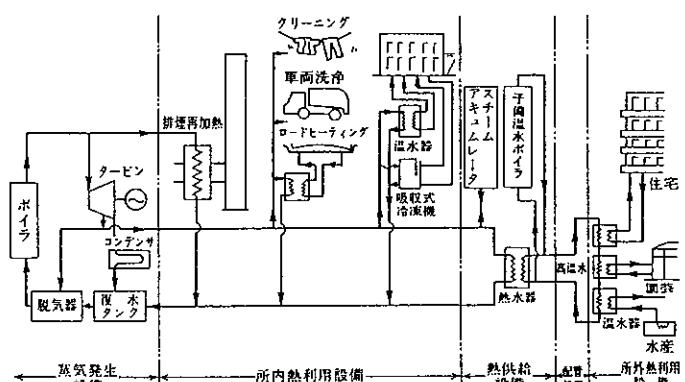
があるとの結論を得ているが、タービンが小型化すると内部効率が下がり、さらに高圧になると漏洩蒸気が多くなるため発電効率は下がることもあるので実用にあたっては充分な検討が必要である。なお、北信保健衛生施設組合東山クリーンセンターでは、65 t / 24 h × 2 炉の焼却炉であるが蒸気駆動モデルを採用し、1炉あたり 205 kW の背圧タービンで誘引ファンを駆動し、誘導電動機を使用して誘導発電機出力 110 kW を得て積極的にエネルギー回収を行っている例もある。

### 3.5.4 余熱利用技術

#### 3.5.4.1 热併給<sup>25)</sup>

タービン廃熱を熱併給するコジェネレーションは、既存技術を組み合わせてエネルギーの高効率的利用を図るシステムであるが、熱需要に近いところに立地せざるを得ないため、わが国での普及率は低い。熱併給は、地域での熱需要の規模、必要な蒸気の質または高温水、温水など熱源によってそのシステムを決定しなければならない。また、ごみ処理では熱発生量の変動はあるが、ごみ処理が基本で熱負荷制御はあまり行われないので、熱需要側の利用形態を把握してシステムに反映させる必要がある。利用側の変動対策システムとして、蓄熱設備として熱アキュムレータ、蓄熱水槽、水蓄熱など設け、休止期間や安全対策として予備ボイラも必要となる。

1995年12月電気事業法の改正が施行され、そのなかで分散型電源を生かす特定電気事業制度が創設された。特定電気事業は複数の建

図3-15 余熱利用システムの一例<sup>25)</sup>

物を含む地域熱供給で熱の利用先に電気を送ることが可能となったので、廃棄物発電施設は特定地点電気事業となり得る<sup>30)</sup>。ごみ処理施設では所内余熱利用はある程度おこなわれているものの所外余熱利用は少ないので、今後、熱併給システムはエネルギー回収向上のため検討する必要がある。

#### 3.5.4.2 ヒートポンプ<sup>25)</sup>

熱併給の一つとして、低温熱源を使って利用しやすい高温の温水を得る装置としてヒートポンプがある。冷媒の圧縮・膨張熱を利用する機械圧縮式と溶液の蒸発・凝縮熱を利用する吸収式があるが、省エネルギーに優れる吸収式が多く用いられてきている。未利用エネルギーの活用として、復水タービン排気など従来は損失熱として捨てられていた低温廃熱をヒートポンプを使って熱回収している施設もある。

#### 3.5.5 今後のエネルギー回収

今後のエネルギー回収は、最大限の熱の有効利用を考えた高効率化に進むであろうが、環境負荷低減による環境保全を第一に認識して、採算性の確保を踏まえつつ整備していく必要がある<sup>21-24, 29)</sup>。

##### (1) 発電の普及

発電の普及には、高効率発電技術開発のほかに、設備の多くを占める准連・機バ炉の連続炉化による小型廃棄物発電技術開発および広域化発電も必要である。広域化発電にはRDF発電も含まれるが、広域化にあたってはRDF製造段階からの熱効率分析を踏まえた評価も必要となる。広範囲な発電導入にあたっては、発電啓蒙が必要であり、発電ノウハウの伝道とともにボイラタービン技術者の養成が必要となる。

##### (2) 環境保全

環境保全として、ダイオキシン類、NOx等の環境汚染物質の発生および排出抑制とともに最終処分場の負荷減量化を図ることが重要となる。焼却灰の含まれるダイオキシン類低減が期待できるの灰溶融はエネルギーを消費するものであるが、このような環境保全対策エネルギーの効率化を図り、最大限のエネルギー回収を行うシステムが必要となる。

##### (3) 採算性

エネルギー回収施設投資コストに対する売電などの収入コストによる採算性の確保は必要である。一般廃棄物発電の余剰電力購入単価は他のコージェネレーションなど分散型電源より優遇されているが、発電コスト低減が課題となっている。建設コストの低減も必要であるが、建設における補助金制度の補助率改善も望まれるところである。発電コストは当然ながら施設規模が大きくなれば低下するが、タービン廃熱の活用を図った熱併給システムなどにより採算性の検討も必要である。このほか、廃棄物発電は他の化石燃料と比べて、質および量の面から不安定であるが、送電端出力の安定性も要求されてくる。廃棄物発電の規模が大きくなれば、電力系統の負荷状況に合わせて、夜間電力負荷出力調整のための燃焼技術の開発も必要となってくる。

廃棄物からのエネルギー回収の高効率化、拡大には幾多のハードルが存在するが、21世紀を間近にして、サーキュラリサイクルの導入促進政策を受けて、廃棄物発電による未利用エネルギーの利用拡大と熱併給を含めた高効率廃棄物発電システムによるエネルギー高度利用への挑戦は必要である。エネルギー安定供給の一翼を担うと同時に地球環境問題の点からCO<sub>2</sub>削減にも寄与することになる。これら技術の早期実現が望まれるところである。

### 3.6 バイオガス化

#### 3.6.1 導入の背景

この30年間ごみ処理の主流であった「焼却」は、以下の点から見直しを迫られている。

- 循環型社会への大きな流れの中で、リサイクル・資源化の次善の策として位置づけられるようになってきた。
- 発生するダイオキシン問題により、「脱焼却」の方策が住民から要求されている。
- 容器・包装リサイクル法が2000年には完全施行されれば、ごみ中の大きな部分を占める紙やプラスチック類が、資源として分別される結果、残ったごみは厨芥を主体としたものになってしまう可能性がある。水分を70%以上も含む厨芥を焼却することは、水分を蒸発させ高温で燃焼するために多くの熱を徒に消費してしまうことになる。

・ごみの燃料化（RDF）が検討されているが、厨芥を含むごみをすべて RDF にしようとすると、乾燥のために保有する熱量のうちのかなりの部分を自己消費しなくてはならない。厨芥のみを効率的に処理するシステムが要求される。

焼却し、熱回収を行う処理プロセスに適しているとはいえない厨芥の、焼却とは別の処理方式の一つが、メタン発酵によるバイオガス化である。

従来から厨芥の非焼却処理方式として、コンポスト処理が一部で採用されていたが、混入するガラスやプラスチック片のため施用上で不都合が生じること、重金属を含むため用途や用量が限られることなどから、わが国では多用されていなかった。また、コンポスト化は有機物の好気性酸化プロセスであり、エネルギー回収は不可能で、エネルギー消費型にならざるを得ない（ある試算では 30 ~ 35 kWh/ton-厨芥）。

### 3.6.2 メタン発酵の原理と概要

微生物分解を受ける有機物とは、①炭水化物②脂質③たん白質を指す。これら有機物のメタン、二酸化炭素への分解は以下の 4 つの異なったタイプの微生物の組み合わせで、図 3-16 に示す数段階を経て行われる<sup>31)</sup>。

- 1) 加水分解菌：固体有機物を溶解性に加水分解する。
- 2) 発酵性菌：溶解性の高分子有機物を低分子中間生成物（アルコールや有機酸）に変える。
- 3) 酢酸菌：アルコールや有機酸を酢酸に変える。
- 4) メタン菌：酢酸から多量のメタンと炭酸ガスが生じる。また、水素ガスと炭酸ガスからもメタンができる。
- 5) 硫酸還元菌：たん白質に含まれる硫黄や硫酸塩に対して、硫酸還元菌も生息し、これらを硫化水素に還元する。硫化水素は金属塩と結合し、硫化物として安定化する。

嫌気性消化は、温度を上げることで活性化する。従来の水処理では一般に中温域（30 ~ 37°C）が用いられるが、固体廃棄物では高温域（55 ~ 65°C）の嫌気発酵が用いられることが多い。固体廃棄物はいずれの温度域でも酸発酵しやすいため、メタン発酵の効率化を重視して高温消化を行い、ガス発生量を最大にしている（図 3-17）。

処理時間は、固体物の多い厨芥の場合は 3 週間程度、糞尿等液体比率が高い場合は 2 週間程度が通常採用されている。

ガスの発生量は、厨芥の場合、約 100 ~ 200 m³/t ごみ発生する。このときメタン含有量は 55 ~ 70%，発热量は約 6,000 kcal/Nm³ である。

一般にたん白質の多い汚泥と野菜くずや落ち葉などを混ぜて嫌気性消化した方が、ガス発生量が増えることが知られている。これは原料中の炭素と窒素の割合（C/N 比）

に関係している。窒素は嫌気性菌の細胞形成に必要で、これが少なすぎると嫌気性菌量が足りずにガス発生量が少ない。逆に炭素量が多くても、窒素量で決まる菌量の世代交代を待たねば炭素を利用しきれない。このため、最適な C/N 比が存在する。C/N = 14, 10 ~ 20 が良いといわれる。このようなバランスは野菜くずだけでは高すぎるし、動物性たん白質だけでは低すぎる。混合してちょうど良い比率となる。

### 3.6.3 歐州における実用例

#### 3.6.3.1 歐州の現状

有機系廃棄物からのバイオガス回収は、従来から廃液や汚泥についてはさまざまな形で行われてきていて、それ自体は目新しい技術ではない。

しかし、都市ごみ等の固体廃棄物処理にこれを適用し始めたのは、比較的最近である。ヨーロッパ、主として北欧・デンマークで始まり、ドイツ、オランダ、ベルギー、

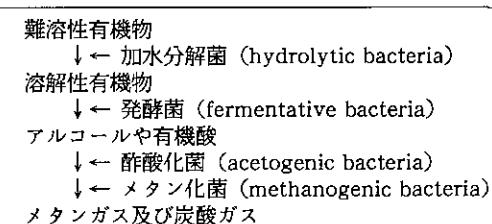


図 3-16 メタン発酵の進み方

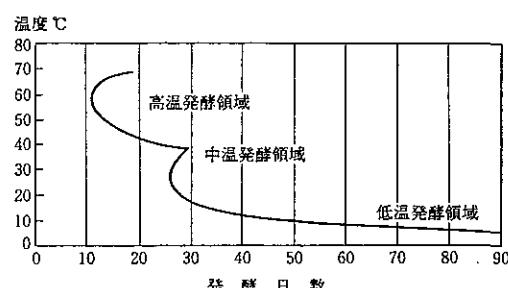


図 3-17 発酵温度と発酵日数の関係<sup>31)</sup>

スイス等に広がったのは、ほんの十年前1987年頃のことである。

これらの国での始まりのきっかけはオイルショックであり、石油に頼らない自前のエネルギー開発の一環であった。しかし、今ではむしろ環境保全の役割と、炭酸ガス排出削減の役割がクローズアップされている。すなわち、バイオガスから得られるエネルギーは、その消費に際しては炭酸ガスを発生するが、その元は大気中の炭酸ガス起原であるから、大気系全体の炭酸ガス量を増やしていない。太陽や風力と同じ「再生可能エネルギー」とみなされている。

1993年末で15プラントが稼働中、20プラント以上が建設中または計画中である（表3-6<sup>31)</sup>）。

これらのプラントで採用されている方法はさまざま、以下のように分類できる。

- (1) 原料の違い： 固形物濃度10%以下（Wet原料）か、20～40%（Dry原料）か
- (2) 運転方式の違い： 連続式か、回分式（バッチ式）か
- (3) 処理温度の違い： 中温消化か、高温消化か
- (4) 混合方式： 完全混合か押し出し流れか

以上の分類を図に表すと、図3-18のようになる。

### 3.6.3.2 実用プラントの紹介

図18に示す各システムから代表的な一つのプラントを紹介する。

#### ■ プラントの諸元

- ・ プラント名称：ルムラングプラント
- ・ 所在地：スイス国チューリッヒ近郊
- ・ 処理能力：5,000 t/年（約20 t/日）
- ・ 収集ごみ：家庭からの厨芥、剪定ごみおよび食品系産業廃棄物
  - ・ 处理方式：Dry方式、連続押し出し流れ、高温発酵
  - ・ システム名：Kompogas（旧Bühler社、現Kogas社のシステム）
  - ・ プラントフロー：図3-19参照

#### ■ 発生エネルギー量

- ・ 発生メタン量：1,300 m<sup>3</sup>/日（約65%メタン）
- ・ 相当石油量：8,40 ℥
- ・ 総発電量：2,200 kWh
- ・ 外部送電可能量：1,500 kWh
- ・ 熱回収可能量：4,400 kWh
- ・ 外部熱供給可能量：3,600 kWh

このプラントでは、発生したメタンガスでエンジン発電を行い、プラント内消費電力をすべて賄い、余った電力は電力会社に売却している。さらに、簡易精製を行った後、200 kg/cm<sup>2</sup>まで加圧・貯留するステーションを設け、地元住民の天然ガス車とプラントが保有する作業車に燃料として補給している（写真3-1、写真3-2）。

表3-6 欧州などのバイオガスプラント<sup>31)</sup>

国名	プラント名	ごみ種類 <sup>1)</sup>	使用技術	発酵温度 <sup>2)</sup>	前処理	処理量t/年	建設年	
オーストリア	Salzburg	ss-MSW	Dranco	T	ドラム	20,000	1993	
ベルギー	Brecht	ss-MSW, 庭ごみ	Dranco	T	ドラム	10,600	1992	
ベルギー	Gent	ss-MSW, 庭ごみ	Dranco	T	ドラム	700	1984	
カナダ	New Market	ss-MSW	BTA	M			計画中	
デンマーク	Helsingør	ss-MSW	BTA	M	バルビング	20,000	1991	
デンマーク	Helning (Sinding)	ss-MSW +畜糞	HKV	T	湿式分離	1,500	1991	
デンマーク	Vegger	ss-MSW +畜糞	Jysk biogas	T	湿式分離	500	1991	
デンマーク	Aarhus	ss-MSW +畜糞	Codiges- tion	未定	未定	4,000	1994	
デンマーク	Herning (Studsård)	ss-MSW +畜糞	HKV	T	ドラム/ 湿式	7,000	1994	
デンマーク	Copenha- gen	ss-MSW	未定	未定	未定	2,000		
フィンランド	Vaasa	MSW 汚泥	Avecon	M	ドラム	40,000	1990	
フランス	Amiens	MSW	Valorga	M	ドラム	55,000	1988	
ドイツ	Baden Baden	ss-MSW	BTA	M	バルビング	5,000	1993	
ドイツ	Kaufbeuren	ss-MSW	BTA	変法	M	バルビング	3,000	1992
ドイツ	Plauen	ss-MSW +畜糞	DCD CTA	M		3,000	1992	
ドイツ	Nurun- berg	ss-MSW	BTA	M	バルビング	25,000	1995	
ドイツ	Kiel	ss-MSW	BTA	M	バルビング	30,000	1995	
ドイツ	Kempten	ss-MSW	Kompo- gas	T	バルビング		1995	
ドイツ	Karlsruhe	ss-MSW	BTA	変法	M	6,000	1995	
ドイツ	Gander- kese	ss-MSW	ANM	M		3,000	1993	
ドイツ	Berlin	廃棄物				30,000	計画中	
ドイツ	Cottbus	ss-MSW				10,000	計画中	
ドイツ	Passau	ss-MSW				11,000	計画中	
ドイツ	Landshut	ss-MSW				10,000	計画中	
ドイツ	Munchen	ss-MSW				25,000	計画中	
イタリア	Bellaria	MSW	Italba	M	湿式	4,000		
イタリア	Verona	MSW	Snam- progetti	M		50,000		
インド	Bombay	MSW	Paques	M	ドラム	50,000	計画中	
インド	Pune	MSW	Paques	M	ドラム	85,000	計画中	
オランダ	Tilburg	ss-MSW	Valorga	M		52,000	1993	
オランダ	Breda	オーケション ごみ	Paques	M		15,000	1987	
オランダ	Balk	ss-MSW	Paques	M	ドラム/ 湿式	1,000	1992	
オランダ	Lelystad	ss-MSW	Biocel	M		35,000	1994	
オランダ	Leiden	ss, ms- MSW	Paques	M	ss 25,000 ms 75,000		1996	
スウェーデン	Borås	ss-MSW	Two- stage	M	ドラム	12,000	1994	
スウェーデン	Bro	ss-MSW	Wet CSTR 他	M	ドラム	35,000	1995	
スイス	Rümlang	ss-MSW 庭ごみ	Kompo- gas	T	マニュアル	5,000	1992	
スイス	Bachen- Bülach	ss-MSW 庭ごみ	Kompo- gas	T	マニュアル	10,000	1993	
タヒチ	Papeete	MSW	M	ドラム		95,000	1991	
イギリス	Cardif	MSW	Dranco	T	ドラム/ 湿式	100,000	1995	
イギリス	Kent						計画中	
アメリカ	Dinwiddie- va.	MSW	Funnell	M	スクリーン/ マニュアル	20,000	1994	

注1) ss: 排出時分別、ms: 機械分別、MSW: 都市ごみ

2) T: 高温発酵、M: 中温発酵

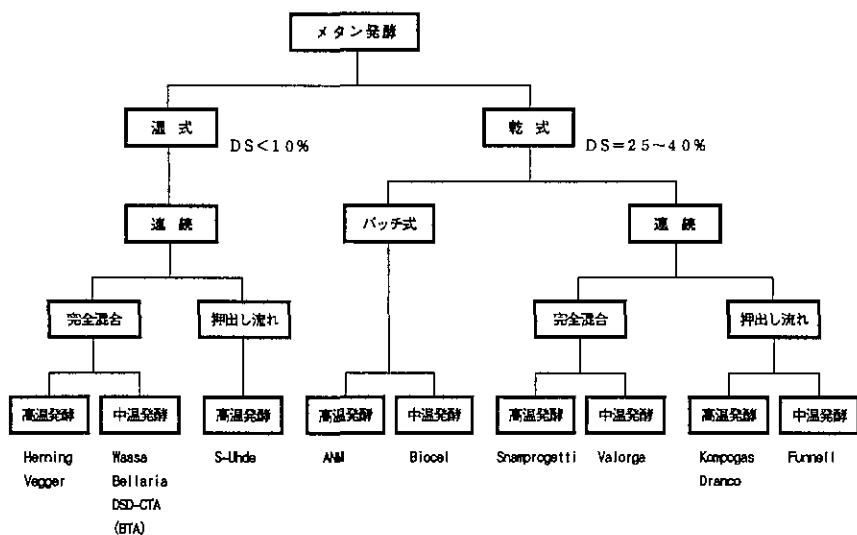


図3-18 欧州のバイオガス技術の流れ

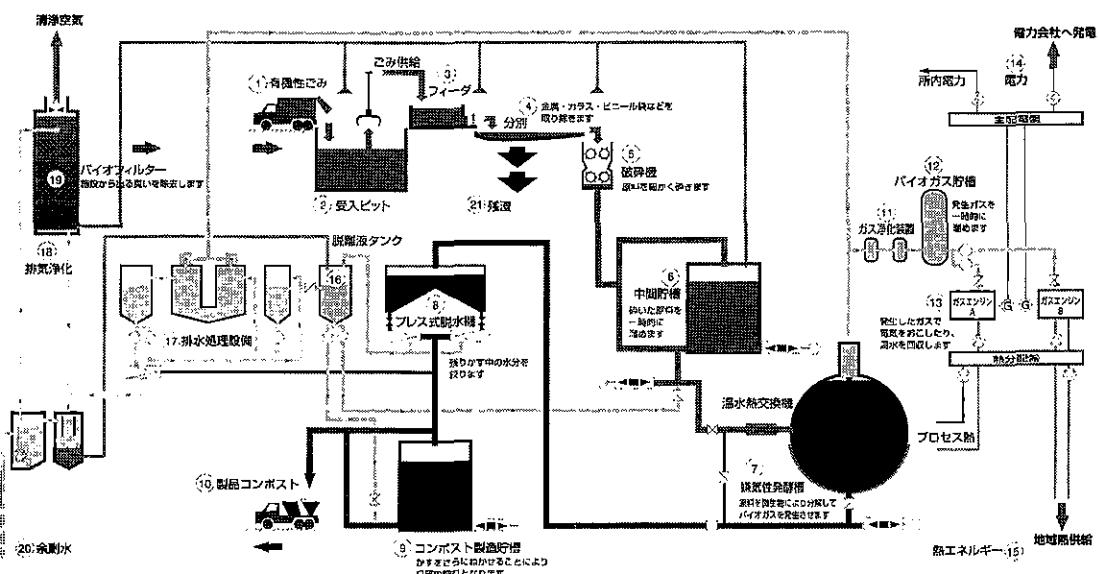


図3-19 欧州のバイオガスプラントフローシート

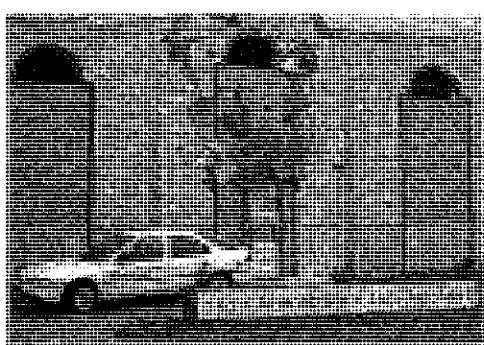


写真3-1 バイオガス供給ステーション（「1 kg の台所ごみで 1 km 車が走る」のロゴ入り）

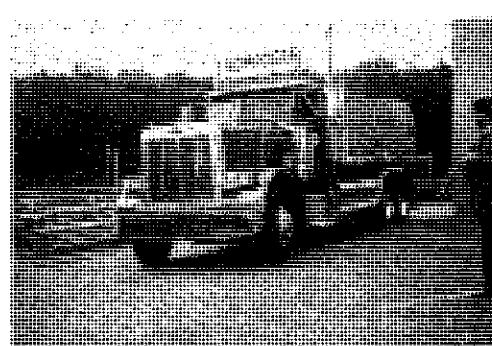


写真3-2 バイオガス充填作業車

さらにスイスでは発生したメタンガスを都市ガス網に接続することが認められるようになった。

### 3.7 おわりに

資源循環型社会を達成する総合的なごみ処理体系構築を目指し、広域化計画の施策が推進されるなか、ごみ処理問題の解決に向け様々な取組が行われている。新処理技術は、単に技術的な視点のみで捉えるべきではなく、行政をはじめとした各方面のこれら取組において、適切でかつ多様な選択肢を提供するという意味で重要な役割を果たすと考える。ここに紹介した技術が、地域的な特性やごみの性状に応じ環境負荷を抑制しつつ、社会システムとして認知される適正な処理体系の構築に役立つことを期待するとともに、今後とも新しい技術開発が真摯にかつ積極的に行われることを切に望みたい。

#### 参考文献

- 1) Hiraoka, M.; "Overview of PTGL Processes in Japan", Japanese PTGL Technology, ACS Symposium, 14th, Sep. 1979, Washington
- 2) Whiting, K. L.; "European Trends in the Thermal Treatment of Solid Wastes", UTA International, pp. 150 - 158 (1997/2)
- 3) 谷川 昇, 浦野紘平: 都市ごみ焼却施設の現状と焼却施設から排出される大気汚染物質, 資源環境対策, 第31巻, 第1号, pp. 54 - 62 (1995)
- 4) 守岡修一: 大気規制の変遷と技術開発, 環境技術, 第27巻, 第3号, pp. 184 - 190 (1998)
- 5) 谷川 昇, 浦野紘平: 都市ごみ焼却施設における排ガス処理技術の適用による塩化水素と二酸化硫黄の排出削減量, 廃棄物学会論文誌, 第8巻, 第6号, pp. 261 - 269 (1997)
- 6) 東京都清掃局: 事業概要平成10年度版, pp. 37 - 38 (1998)
- 7) 手島 肇, 中川伊造, 篠田高明, 前田 功: 実プラントにおける活性炭吹込バグフィルタでの水銀・ダイオキシン類の同時除去, 第5回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 301 - 303 (1994)
- 8) 佐々木 剛, 芝川重博, 高市克己: 活性炭吹込による排ガス中のダイオキシンの低減化: 第19回全国都市清掃研究発表会講演論文集, pp. 205 - 207 (1998)
- 9) 中村佐三, 奥山契一, 山口 宏, 大垣陽二, 野村卓朗, 滝谷榮一: 活性炭移動床による微量有害物質の吸着除去, 第5回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 305 - 307 (1994)
- 10) 木村哲雄, 西原充幸, 藤中恭司, 佐藤 淳, 濱田俊克: 活性コークスによる排ガス中の NO<sub>x</sub>, 微量物質の同時除去, 第5回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 318 - 320 (1994)
- 11) 厚生省生活衛生局水道環境部: 廃棄物新処理技術開発高効率かつコンパクトな排ガス処理技術開発平成4年度報告書 (1993)
- 12) 篠田高明, 前田典生, 前田 功, 松南裕和, 工藤隆行: 触媒組込みバグフィルタによるダイオキシン類・NO<sub>x</sub>同時除去: 第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 569 - 571 (1997)
- 13) 小林和樹, 藤田一紀, 佐々木郷紀, 藤原弘道: 触媒バグフィルタによるごみ焼却炉排ガス中有害成分の同時処理: 第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 575 - 577 (1997)
- 14) 魚屋和夫, 鈴木 匠, 吉良雅治, 小瀬公利: 触媒バグフィルタによるダイオキシンの分解: 第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 578 - 580 (1997)
- 15) エンジニアリング振興協会: 平成9年度パルスプラズマ排ガス処理法の開発技術開発委員会報告書 (1998)
- 16) 長田 容, 須藤雅弘, 浜田敬三, 土井 猛, 滝谷榮一, 徳永興公, 橋本昭司, 宮田定次郎, 広田耕一, 羽富俊典, 古宮幹久, 宮島清則, 馬場重和: 電子ビーム法による都市ごみ燃焼排煙処理のパイロット試験(3)乾式法による NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl の除去性能, 第5回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 315 - 317 (1994)
- 17) 厚生省通達: 生衛第508号 / 1998年3月26日 [一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について]
- 18) 尾花 博: エコセメント製造技術の開発 PLASPIA, 第88号, pp. 16 - 24 (1995)
- 19) 大阪湾広域臨海環境整備センター: 平成8年度環境保全対策調査報告書 [第6章 焼却灰の性状と処理に関する調査], p. 235 (1997)
- 20) 溶融飛灰資源化研究会: 平成10年3月 [一資源循環型社会の構築に向けた取組み—溶融飛灰からの金属資源の回収], pp. 6 - 7 (1998)
- 21) 廃棄物発電ガイド (編集 中部地域廃棄物発電推進部会) (1996年1月) 財団法人省エネルギーセンター東海北陸支部
- 22) 廃棄物発電導入基本マニュアル (新エネルギー・産業技術総合開発機構, 新エネルギー導入促進部) (1996年3月)
- 23) 21世紀に向けた発電技術懇談会・廃棄物発電部会報告書 (1997年6月) 監修: 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部発電課
- 24) 石関幸二, 稲田武彦: 蒸気の高温高圧化, 廃棄物学会誌, Vol. 6, No. 3 (1995)

- 25) 廃棄物学会編「廃棄物ハンドブック」オーム社 (1996)
- 26) 西口信幸：高効率ごみ発電の現状と課題，廃棄物学会誌，Vol. 6, No. 3 (1995)
- 27) 伊藤征矢，守岡修一，岡田善嗣，魚住昌宏：「RDF 燃焼特性と発電システム」燃料及燃焼 (燃焼社)，Vol. 63, No. 8 (1996)
- 28) 厚生省生活衛生局水道環境部「平成 7 年度焼却施設におけるエネルギー使用の合理化のための基礎調査報告書」(1996)
- 29) 廃棄物発電導入促進検討の手引き (財団法入新エネルギー財団) (1997 年 6 月)
- 30) 平田 賢：分散型電源の動向，省エネルギー Vol. 49, No. 10 (1997)
- 31) Biogas From Municipal Solid Waste-Overview of Systems and Markets for Anaerobic Digestion of MSW, IEA BIOENERGY AGREEMENT, 1994

## 4. 欧州における都市ごみ処理技術の動向

### 4.1 はじめに

リサイクルが進んでいるといわれる欧州においても「循環」を目指す点では、わが国と全く同様である。本稿では、欧州を中心とした海外における都市ごみ等の廃棄物の処理技術についての動向を整理し、わが国において今後に期待される技術的な方向性を思考するための参考に供したい。ただ、廃棄物の定義が異なるわが国と一様な比較は出来ないし、また、すでに詳しい報告も出されているが<sup>1-4,7,8)</sup>、以下に他の各種の報告も含めてあらためて海外における廃棄物の発生量等の整理をする。

### 4.2 焼却処理の現状と法規制の動向

#### 4.2.1 廃棄物の発生量と処理方式変化

##### 4.2.1.1 廃棄物処理の基本的な原則<sup>1-5)</sup>

諸外国においてもわが国と同様、廃棄物処理においても求められるのは、まず①発生抑制に努める、②発生した廃棄物はそのまま再利用(Re-Use)するか材料として再利用(Material-Recycle)、それが不可能な場合せめて③エネルギー回収(Thermal-Recycle)を行い、やむを得ない場合のみ④残存廃棄物を適正に処理することである。あるいは、①排出抑制、②再利用・回収、③利用効率の向上、④廃棄物の質的変換、⑤安全埋立処理である。

##### 4.2.1.2 都市ごみ発生量<sup>1-4)</sup>

まず、都市ごみ発生量等についての諸外国とわが国の比較対照表を表4-1に示す。

国別の総発生量は、アメリカ・日本・ドイツがそれぞれ2億700万ton, 5,020万ton, 4,350万tonとそれぞれ他国に比べて群を抜いて多くなっている。一方、一人あたりのごみ発生量は、わが国の402kg/年に対して諸外国では269～1,165kg/年とアメリカ大陸・ヨーロッパの国々によって大きく異なり、中でもカナダが1,165kgと群を抜いて多いのには驚かされる。

##### 4.2.1.3 処理方式の変化<sup>1-4)</sup>

処理方式について、同様に表4-1を見ればわかるようにわが国では焼却率が74.3%におよび（スイスに次いで高

表4-1 海外における都市ごみ処理の現状等の比較<sup>1-4)</sup>

	日本	カナダ	デンマーク	ドイツ	オランダ	スウェーデン	米国	フランス	イギリス	スペイン	イタリア	スイス
面積, 1,000 km <sup>2</sup>	378	9,980	43	357	42	450	9,160	552	244	505	301	41
人口, 100万人	125	29	5.2	82	15	8.9	263	56	57	38	58	7
GDP, 億ドル	46,300 (35,078 <sup>+</sup> )	5,480 (5,657 <sup>+</sup> )	960 (1,139 <sup>+</sup> )	14,760 (18,460 <sup>+</sup> )	2,630 (3,123 <sup>+</sup> )	1,540 (2,332 <sup>+</sup> )	67,360 (59,048 <sup>+</sup> )	12,786 <sup>+</sup>	10,247 <sup>+</sup>	5,879 <sup>+</sup>	11,866 <sup>+</sup>	2,487 <sup>+</sup>
ごみ発生量総量 100万トン/年	50.2	33.8 (23.2)	2.3	43.5	12.0	3.2	207	30	35	11.8	15.6	2.9
" 一人あたり, kg/年	402	1,165	442	530	800	359	787	536	614	311	269	414
" 〃, g/日	1,120	3,190	1,210	1,450	2,190	985	2,160	1,470	1,680	851	737	1,140
焼却量, 100万トン/年	37.3	1.2	2.0	11.0	2.8	1.7	32.9	13.5	2.5	0.7	2.8	2.3
" 比率, %	74	9 (5)	65 (23 **)	40 (25)	55 (23)	16	45	7	6	18	79	
" 工場数,	1,841	17	38	47	12	23	168 (150)	170 (260)	30	22	94	29
リサイクル率, % +コンポストを含む	10.7 <sup>++</sup>	*	50	30	15	20 <sup>++</sup>	22 <sup>++</sup>	8				
埋立率, %	14.9	83.9	26	45	50	27	62	47				

注: 文献によりデータが異なる場合は( )内に示した。総量と比率などの関係で必ずしも整合性がとれていない場合がある。

また、一人あたりのごみ発生量kg/年およびg/日はそれぞれ著者が総量を人口で、さらに365日で割ったものである。

\*カナダの場合、コンポストのみで1.88%，リサイクルと焼却率を合わせて14.2%。\*\*産廃を含む、+は、朝日年鑑(1994)による。

い), 破碎・選別による資源化, 高速堆肥などのその他処理は 11.2% になり, 残り 712 万 ton 14.4% が直接埋立されている。

欧州全体では, 家庭ごみ 1 億 3,300 万 ton, 産業廃棄物 3 億 2,400 万 ton, 有害廃棄物 3,000 万 ton となっており, 焼却率 19%, 生ごみ埋立 60% で, 今後 10 ~ 15 年で埋立を原則廃止に持っていくとしている。しかし, 焼却比率は, 0 % ~ 79% と国によって大きく異なる。

今後の生ごみ埋立の動向を国別にみれば, オーストリア: 2004 年までに廃止, スイス: すでに廃止, フランス: 2002 年までに, デンマーク: 1997 年に, オランダ: 2000 年に, スウェーデン: できるだけ早く, それぞれ廃止し, イギリスでは 1996 年から埋立に課税することとなっている<sup>3)</sup>。その他の方法としては, コンポスト化が盛んである。

焼却施設について, わが国の施設数は, 世界のごみ焼却施設の中で圧倒的な数を示している。ちなみに, 2 番目に多いフランスで約 170 (260) (( ) 内は資料によって異なることを示している, 以下同じ), ついでアメリカの 168 (150), その他の諸国はいずれも 100 工場以下となっている。これは, 諸外国と比較して焼却量が多いだけでなく, 日本の施設規模が非常に小さいことを示している。諸外国では, 焼却はエネルギー回収を基本として行っていることも規模の大きい理由の一つである。また, カナダは今日まで焼却処理がそれほど実施されてこなかったが, 今後増大するといわれている。

ごみからのエネルギー回収の方法には, ①蒸気として直接利用 (地域冷暖房など), ②ごみ発電, ③ごみ発電を行った上廃熱を利用, ④RDF として利用, ⑤焼却ではなくバイオガス化, ⑥その他ヒートポンプなどで効率を上げ, 地球環境に寄与する, などがあるといえる。欧州では少なくとも 10 年以内の新しいプラントは, 熱エネルギーの回収を行っているが, 古いものは行っていない。

リサイクル率については, 表 4-1 を見ればわかるように, わが国の 10.7% に対して, デンマークで 50%, ドイツで 30% と高く, スウェーデン, 米国で約 20% となっている。

さらに, ここ数年間の処理方法の技術的焦点は, 焼却施設からの固体残さ (主灰, 飛灰) の処理に移っている。

#### 4.2.2 焼却処理のフローの代表例<sup>3-8)</sup>

##### 4.2.2.1 焼却処理について<sup>5,6)</sup>

わが国と同様欧州においても最大の中間処理は焼却処理である。焼却処理について, 公衆衛生, 減容化, 減量化さらに, 有害物質の分解やエネルギー回収などの利点を持っている。しかし, 一方でダイオキシンなどの有害物質が, 環境中へ排出されて人や生物への影響が心配されている。したがって, ①焼却残さの減少と再利用, ②エネルギーの回収, ③金属など有価物の回収, ④ダイオキシンなどの環境対策, ⑤低い建設コスト, 維持コスト, などが新技術に期待されていることは国内外を問わずいずれの国にあっても同じといえよう。

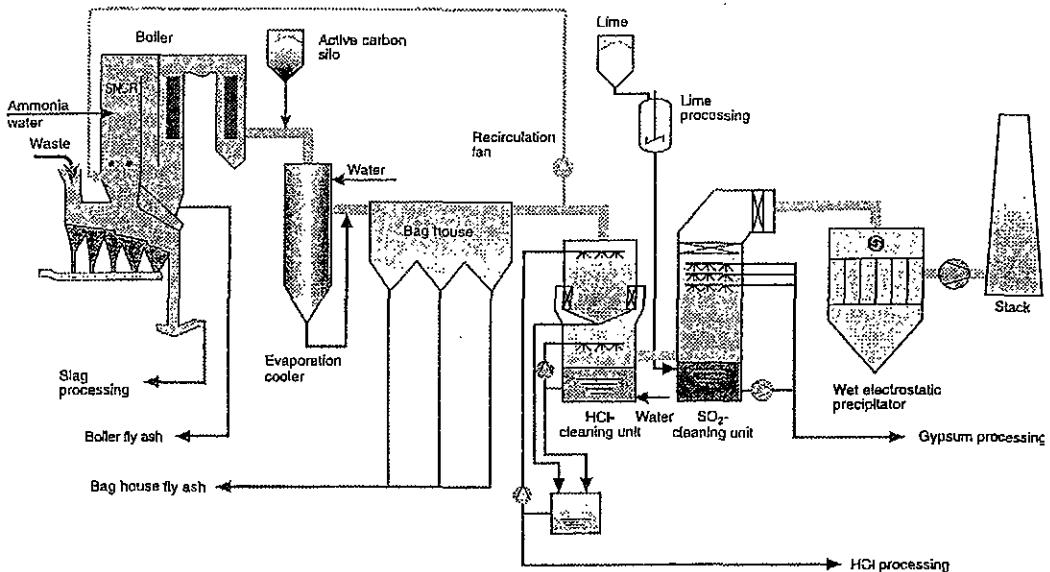
##### 4.2.2.2 焼却処理のフローの代表例<sup>3,4,6,8)</sup>

海外にあっても, ごみ焼却に主要な型式は火格子式であり, 火格子焼却は今後とも欧州の主流として続くであろう。しかし, 90 年代に入って流動床方式も見直されており, ドイツ, イギリス, フランス, スペイン, などで完工, 建設中, 計画中プラントがある。

新しい技術的ポイントとして, ①熱分解ガス化溶融, ②火格子技術の向上, ③排ガス処理として活性炭吹き込み, 酸化触媒, その他, などがあるが<sup>4)</sup>, ①, ②については詳しく後述したい。本項では, 排ガス処理の技術として, 触媒脱硝・無触媒脱硝による NOx 除去, バグフィルター方式あるいは活性炭吹き込みや活性コクス塔, 触媒反応塔によるダイオキシン対策, などの海外の現状を紹介したい。

まず, 最新の火格子式焼却炉の事例を図 4-1 に示す<sup>6)</sup>。本焼却処理フローは, 空気供給口を 2ヶ所とし, 排ガス循環, NOx 対策でアンモニア吹き込み, フライアッシュの一部をボイラー直後で除去し, ダイオキシン生成を削減, その後活性炭を 250 mg/m<sup>3</sup> 程度吹き込み, バグフィルターでばいじんを 0.5 mg/m<sup>3</sup> 以下まで除去した後, HCl, SOx を水洗除去する方法である。ダイオキシンを 0.025 ng/m<sup>3</sup> 以下まで除去できるとしている。さらに, 湿式 EP の替わりに図のガス冷却塔を無くし, 再度活性炭吹き込みとバグフィルターを付けるのも提案されている。この場合の一級目の活性炭は, 2 級目の使用済み活性炭の再利用である。

焼却炉の後に続く排ガス処理の欧州における現状を地球環境システム工学研究所が 0.1 ng/m<sup>3</sup> に対応する 32 プ

図 4-1 欧州における最新式焼却プラントの事例<sup>6)</sup>

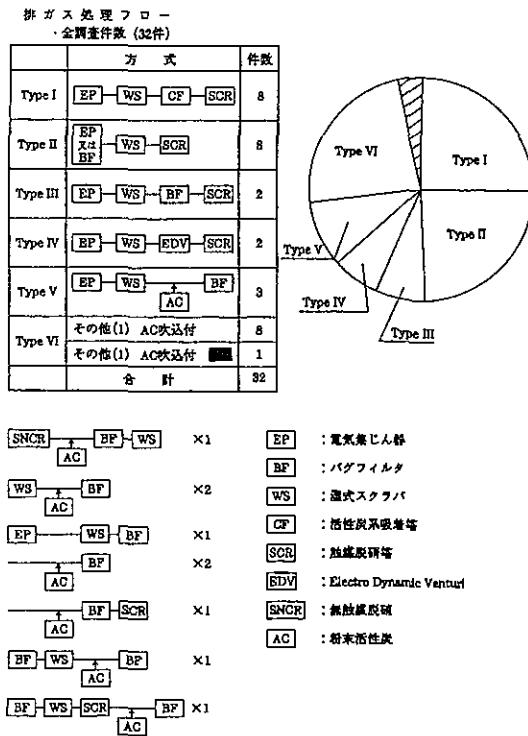
ラントについて調査したところ、図 4-2 のような結果になっている。すなわち、Type I の電気集じん機 (EP と略称、以下同じ) → 湿式スクラバー (WS) → 活性炭吸着塔 (CF) → 触媒脱硝塔 (SCR) のフローが 8 件、Type II の EP または BF → WS → SCR のフローが 8 件と多く、その他は 1 ~ 2 例でケースバイケースによっていろんな工夫をしながら設置されていることがわかる。

#### 4.2.3 容器包装法の影響について<sup>9-11)</sup>

容器包装法について、法令的行政的整備による強制力によってリサイクルを進めていて、廃棄物の質が変化しつつある国もあり、その影響が現れている場合もある。

1994 年容器包装関係の条約 (『容器包装に係る EU 指令』) が EU で締結されて、批准の手続きが進行中で、すでにドイツ、フランス、デンマーク、オランダでは国内法整備が進んでいる。その中でもっとも有名なのが、ドイツにおける包装廃棄物政令 (1991)、循環経済・廃棄物法 (1994) を主軸としたドイツ DSD システムである。法律のシステムは、① 法的枠、② 組織枠、③ 容器の型、④ 収集再利用の種類、⑤ 廃棄物処理のターゲット、⑥ 財源となっている。主要なポイントは、メーカーの引き取り責任である。また、メーカーと政府の信頼関係がベースになっている。財政的には、ライセンス料システムが主流で、付加税方式はほとんど消えている。ドイツを除いて、容器は燃焼してエネルギー変換することに同意している。

ドイツでは、回収容器包装材はたとえば 1996 年には 540 万 ton (全包装材消費量の 86% に相当) 回収量を記録したが、焼却によるエネルギー回収には否定的であった (製鉄原材料としては使用されている)。そして、生ゴミ (有機炭素含有率 5 % 以上のもの) の埋立は 2005 年までに禁止される動きにあることから、家庭ごみ質は徐々に低カロ

図 4-2 排ガス処理フローに関する欧州調査結果<sup>8)</sup>

リー化する傾向にある。排ガス組成では塩素が増加すると予想され、ボイラーの腐食対策が現実問題として生じている。

一方、ドイツ以外の国々ではフランスの“valorisation”に代表されるようにリサイクルやコンポストの他に“clean incineration”によるエネルギー回収も有効な手段とされている。フランス等ではごみ発熱量の増加とともに焼却プラント間でのバラツキが予想され、高カロリーに対する炉の腐食防止ならびに耐久性アップ、より精巧な燃焼コントロール、さらにはプラスチック燃焼にも対応できる流動層焼却炉が新規な技術テーマとして考えられまたは再評価されている。イギリス、スイス、オランダ、ベルギー、デンマーク、スペインなどもフランスと似た考え方のようである。

#### 4.2.4 焼却、排ガスに対する規制<sup>1-5, 12)</sup>

廃棄物処理方法としての焼却の評価として、コスト評価の他の評価軸として臭気、健康へのリスク等を設定してみるとわかり易い。表4-2は種々の廃棄物処理法の各評価軸の重要性で、焼却では美観の他、吸入による健康リスクが特に大きく、この観点から排ガスは特に着目されている。焼却排ガスについて、大気への排出抑制は国によって大きく異なるが、EUでは1989年に定められた。その中でも、ドイツ、オランダ、オーストリア、スイスが厳しい。1980年代後半から1991年には焼却排ガスの規制が進み、多くの国では1989年EU基準を満たしている。ダイオキシン類、CO, SOx, NOx, HCl, HF, ばいじん、その他に炭化水素類や重金属類(Cd, Hg, Pb, As, Cr, Se, Zn, etc.)が規制強化あるいは新たに規制され、重金属類に関してはさらに一部規制強化の動きが見られる。これら排ガス規制の欧州での流れは燃焼一般は表4-3のよう、規制値は表4-4

表4-2 種々の廃棄物処理方法の各評価軸での重要度<sup>5)</sup>

	焼却	埋立	ランドファーミング	コンポスト	生物処理	物理化学処理
臭気	××	××	×××	×	××	×
吸入による健康リスク	×××	××	×	×	×	×
食生活による健康リスク	××	××	××	×	×	×
埋立ガス	—	×××	—	—	—	—
浸出水	—	×××	××	×	—	—
輸送	×(x)	×××	×××	×	x(x)	×
騒音	××	×××	×	×	×	×
美観	×××	×××	×	×	×	×
粉じん	x	×××	×	×	×	×
事故	××	××	×	×	×	××

—：殆ど重要度はない。×～×××：×数が多い程重要度大

表4-3 欧州における燃焼に係わる規制の流れ<sup>12)</sup>

名 称	年	内 容
ジュネーブ大気清浄化協定	1979	大気汚染に関する国際協力
ヘルシンキ議定書	1985	SOx削減
ソフィア議定書	1988	NOx放出制限
VOC議定書	1991	VOC放出制限
EC指令群	1988～1993	

表4-4 欧州各国における廃棄物焼却における排ガス規制値<sup>4)</sup>

国家	スイス	ドイツ	オーストリア	イタリア	フランス	イギリス	オランダ	EU
規制年	1993	1990	1989	1990	1991	1991	1990	1989
廃棄物量 [kg/h]			750		1,000			1,000 > 6,000 <
ばいじん [mg/Nm <sup>3</sup> ]	10	10	50	30/50	200	200	5	200 30
SOx [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50	50		300		300 40		300
HCl [mg/Nm <sup>3</sup> ]	20	10	30		200	250 10	250	50
HF [mg/Nm <sup>3</sup> ]	2	1	0.7	3		1		2
CO [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50	50	100		100	50	100	100
有機炭素 [mg/Nm <sup>3</sup> ]	20	10	20	10		20	10	20
NH <sub>3</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	5							
NO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	80*	200		300				
ヒューム最低温度 [°C]			850	1,200**	850	850	850	
リテンションタイム [s]			2	2	2	2	2	
最小酸素含有量 [vol%]			6	6	6	6	6	
Cd, Ti [mg/Nm <sup>3</sup> ]	0.1	0.1	0.1	0.1				
Hg [mg/Nm <sup>3</sup> ]	0.1	0.1	0.1	0.1				
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, V, Sn [mg/Nm <sup>3</sup> ]	1	0.1		3/5				
Pb, Zn, Cr [mg/Nm <sup>3</sup> ]	1		5	3/5				
Co, Ni, As [mg/Nm <sup>3</sup> ]	1		1					
Pb+Cr+Cu+Mn [mg/Nm <sup>3</sup> ]	1			3/5				
Ni+As [mg/Nm <sup>3</sup> ]								5
Cd+Hg [mg/Nm <sup>3</sup> ]								1
ダイオキシン類 [ng-TEQ/Nm <sup>3</sup> ]		0.1	0.1			0.1		0.2
			日間平均					

特記事項 記載がないものは酸素濃度 11 vol%，日間平均。

\* 2.5 kg/h 以上に適用。

\*\* 測定方法が異なる。

である。

ごみ焼却に関しては今後容器包装法によるごみ質変化等により、焼却排ガスの質的変化は起こりうるが、ストーカ炉は今後も欧州では大勢を占めるとの見方が支配的で、排ガスの規制見直しは基本的には考えられていないようである。

#### 4.2.5 廃棄物の直接利用と焼却残さの再利用

セメント工業と廃タイヤなどの廃棄物処理が密接なタイアップを示しているなど、今後廃棄物を燃料および材料として再利用する方向が強まろうとしている<sup>4)</sup>。本項では、焼却残さの再利用に焦点を絞って整理をするが、この点で、Wascon'97<sup>13)</sup> が最もまとめた報告と考えられる。これらは、大別すれば①廃棄物の直接再利用、②焼却主灰の再利用、③飛灰の再利用、④溶融スラグの再利用、にわかれる。

##### 4.2.5.1 焼却主灰の再利用<sup>1,2,4,8)</sup>

ストーカ灰を処理して再利用されているなどの事例は数多くあり、とくに主灰の利用率がオランダ、デンマークで90%，ドイツで60%と高い値を示している。デンマークでは発生量と質両面から利用基準を定められているのが面白いところである。

ごみ焼却主灰を道路建設資材（デンマーク、オランダ、ドイツ）に、ごみ焼却主灰を混ぜたモルタルを鉱坑の補強に（フランス）、アスファルト舗装材に混合して（アメリカ、イギリス）、石炭灰を貯水湖の埋め戻し材に使用して（スペイン）、石炭火力発電所の主灰を建設材料に（オランダ）、鉱山の廃石を港湾の埋め戻し材に（オランダ）使用して、その強度、物理特性などに問題のないことを確かめている。

あるいはごみ焼却主灰の洗浄等による品質改善（アメリカ、オランダ）、焼結プロセスの研究（ドイツ）、溶出試験による環境影響等の試験（オランダ）、を行っている。

人工島建設のための積極的な意味での埋立材に飛灰や主灰を利用しようとしている国もある（イスラエル）。

##### 4.2.5.2 飛灰の再利用<sup>1,4,8)</sup>

飛灰を再利用している報告は少なく、現在では大半が処分されており、その方法は有名なドイツの岩塩坑保管の他、有害廃棄物としての埋立や管理型埋立などがある。

しかし、スイスでは都市ごみ焼却飛灰を700～1,050°Cで焼結し、埋め戻し材、路盤材などの建設資材として問題のないことを報告している。あるいは、焼却飛灰を道路路盤材に使用した事例（デンマーク）、アスファルトに飛灰を混ぜて道路舗装材に（イギリス）、コンクリートあるいはモルタルのバインダー（オランダ）に、使用されて環境的にも強度的にも有効であると報告されている。あるいはむしろコンクリート腐食に有用（ユーゴ）としている例もある。また、金属を抽出して回収（ドイツ）しようとしている例もある。

わが国では、飛灰の埋立のために4種の方法のいずれかで処理しなければならない。その種の研究も少くない（アメリカ、オランダ、スイス）。

##### 4.2.5.3 溶融スラグや溶融飛灰の再利用<sup>8)</sup>

わが国では、溶融固化方法が焼却灰の重要な処理方法とひとつであり、路盤材、埋め戻し材、コンクリート用骨材などの土木資材、透水性ブロック、タイルなどとしての再利用が一層進むことが期待されている。本法は、とくに加熱脱塩素処理とともにガイドラインにあげられて焼却灰・飛灰のダイオキシン対策として注目を浴びている。この溶融については、日本だけでなく、ノルウェーでも行われていて、スラグの重金属分析や溶出試験、結晶構造の報告は比較的出そろっており、溶融スラグは環境影響の心配がないとしているのがほとんどである。

##### 4.2.5.4 焼却残さの再利用に対する規制<sup>1,3,4,13,14)</sup>

規制の重心は排ガスから、焼却残さに移るものと考えられる。飛灰、ストーカ灰についての埋立基準は数多く存在

表4-5 欧州と我が国における焼却残渣の規制<sup>1)</sup>

	ドイツ	オランダ	デンマーク	日本
溶出規制 試験方法	バッヂ法 純水	カラム法 硝酸(pH4)		溶融スラグ バッヂ法 純水
電気伝導度	600μS	0.04 mg/L以下		
Pb 規制値	0.05 mg/L (LAGA)	0.0004 mg/L以下		0.01 mg/L
Cd 規制値	0.005 mg/L (LAGA)			0.01 mg/L
Zn 規制値	0.3 mg/L			
Cu 規制値	0.3 mg/L			
Cl 規制値	250 mg/L			
6価Cr 規制値				0.05 mg/L
As 規制値				0.01 mg/L
T-Hg 規制				0.0005 mg/L
Se 規制値				0.01 mg/L
含有量規制	TOCl%		灰利用時 3,000 mg/kg	
Pb 規制値			10 mg/kg	
Cd 規制値			0.5 mg/kg	
Hg 規制値				

注: LAGAはドイツ州政府首脳会議で定められた主灰の利用基準である。

するが、再利用のための基準は少ない。さきに述べたように、主灰に関しては主に道路材料、土地、港湾などに用いられているが、再使用時の基準としてはたとえばドイツでは重金属の溶出基準、あるいはデンマークでは重金属等の含有量基準などがあり、今後再使用のみならず最終処分としての埋立にも、前処理としての重金属除去が重要になってくる。この際には処理基準や試験法（材料試験方法や重金属溶出試験方法など）の統一化が必要になってくる。わが国の溶融スラグの通達の溶出基準の内容は、土壤環境基準並を求めるものである。いずれにしても焼却残渣に関しては、重金属や溶解性塩類の除去さらにはダイオキシン類等除去のための前処理が必要となる潮流にある。欧洲における規制値は表4-5のようである。

### 4.3 新技術の動向と課題

排ガス中のダイオキシン類除去のための活性炭系吸着塔や活性炭吹込技術、脱硝触媒による分解技術などは既に多く紹介されており、また厨芥からのメタンガス回収技術についても本特集の中で報告されていることから、ここでは既存技術の改良として近年多く採用されつつあるストーカ炉用の水冷火格子と、ダイオキシン類の再合成防止を目的とした高温域での集じん技術、ならびに新技術として欧洲における代表的な熱分解・ガス化溶融技術を紹介したい。

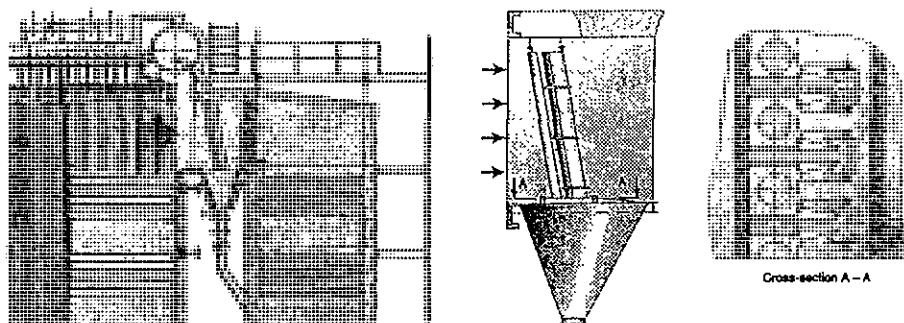
#### 4.3.1 既存技術の改良

##### 4.3.1.1 水冷火格子<sup>15)</sup>

生活習慣の変化、あるいは分別・リサイクルの推進によって、ごみ発熱量が高くなったケースがみられる。高発熱量のごみを焼却する場合、ストーカ炉の火格子が高温となるため、腐蝕や摩耗の状況が悪化することに加え、燃焼の安定化にも注意が必要となる。この対策用として、スイスの老朽化したプラントにおいて、鋼板製または耐熱鉄鋼製の水冷火格子に更新する例が増加している。従来の冷却方式では400～700°Cであった火格子温度が水冷方式では100～140°Cとなり火格子の寿命が増す。さらに、水冷方式では焼却用空気の配分が火格子の冷却とは別に単独で最適化できることから、燃焼の安定化が図れ蒸気量や排ガス性状が安定するといわれている。これらの効果により本方式を採用する動きが活発化しており、欧洲全体で12施設が稼動、10施設が建設中である。

##### 4.3.1.2 高温集じん<sup>6,16)</sup>

本法は、たとえば750°C程度の高温域でサイクロンを設置して排ガス中の飛灰を捕集するものである。捕集飛灰を主灰と混合して処理処分する場合、重金属類の溶出が増加する懸念があるが、一方飛灰が除去されることで下流側のボイラでのダイオキシン類の生成を防止する効果が期待できる<sup>16)</sup>。ここで捕集された飛灰中のダイオキシン濃度は低く12-15ng/g(PCDDs+PCDFs)であったが、高温域での付着性が高い硫酸塩やりん酸塩が装置の表面に堆積し、これらの除去が問題となる可能性が指摘されている。独のガイドラインによれば、飛灰は処理した後に地上で処分できる可能性があるが、有害ガス除去装置からの残渣は地下処分が必要であることから、石灰噴射の乾式・半乾式有害ガス除去装置の前にサイクロンや電気集じん器で飛灰除去を行うプラントもみられる<sup>16)</sup>。



(1) 設置される位置

(2) 構造

図4-3 飛灰トラップ<sup>6)</sup>

図4-3は、ボイラの第4-3パスとエコノマイザの間に飛灰トラップと称する慣性集じん装置を設置した例である<sup>6)</sup>。ダイオキシン類の生成が活性化される直前で、かつ重金属類の凝縮が少ない350°C程度の温度域に設置される。ここでダストの約35%が除去され、排ガス中のダスト濃度は1g/m<sup>3</sup>N以下となって下流側へのダスト負荷が軽減されている。

#### 4.3.2 熱分解・ガス化溶融技術<sup>3, 4, 17)</sup>

欧洲のごみ焼却炉においては、とくにストーカ炉の稼動実績が多い。この中では、ごみは乾燥、熱分解、着火、ガス化さらにガスとチャーの燃焼が起こり、残渣は灰として排出される。完全燃焼に近づけるためには、空気比を1.7～2.0で運転する必要があり、これがプラント全体を過大にし建設費や運転費を高くしている大きな要因である。灰溶融を付加する場合は通常別置の溶融炉が設置されることになる。

##### 4.3.2.1 熱分解・ガス化溶融技術の概要

10年前から開発に拍車がかかっている熱分解・ガス化溶融技術は、より効率的で安価な処理法を目指したものであり、以下により達成されるものとしている。

—熱分解・ガス化・燃焼などを適切に分離し、それぞれの設計と運転を最適化すること。

—プラントへ入るごみの均一化を図ること。

—低空気比で運転すること。

—処分すべき残渣の量を最小とすること。

現在、開発中のプロセスも含めると10数種類あるが、この中から代表的な4つのプロセスをとりあげる。表4-6は、各プロセス毎の構成装置の機能の配分を示したものである<sup>17)</sup>。比較用としてストーカ炉+灰溶融方式も併記している。

##### 4.3.2.2 4方式のプロセス

シーメンス、ノエル、サーモセレクト方式は熱分解のあとで装置が分けられるのに対し、ルルギ方式では循環流動床でガス化までを行う構成となっている。装置を熱分解のあとで分ける方式では、発生ガスは300°C以下で凝縮しやすい多価の炭化水素を多く含んでいるため、ノエル方式以外ではガスの冷却を避けている。一方ガス化から発生するガス中の多価炭化水素濃度は低レベルであるが、熱効率を考慮して冷却を行わないのが一般的である。

4つの新プロセスの概要を図4-4に示す。シーメンスとルルギ方式ではガスはチャーとともに直接燃焼するが、ノエルとサーモセレクト方式ではクリーンな燃料ガスとしてまず回収する。このガスをパイプラインに導き他の場所で使用することもできるが、ほとんどのプロジェクトにおいて通常の燃焼と同様、ガスタービンまたはガスマーティで電力や地域暖房用のエネルギーとして使われる。

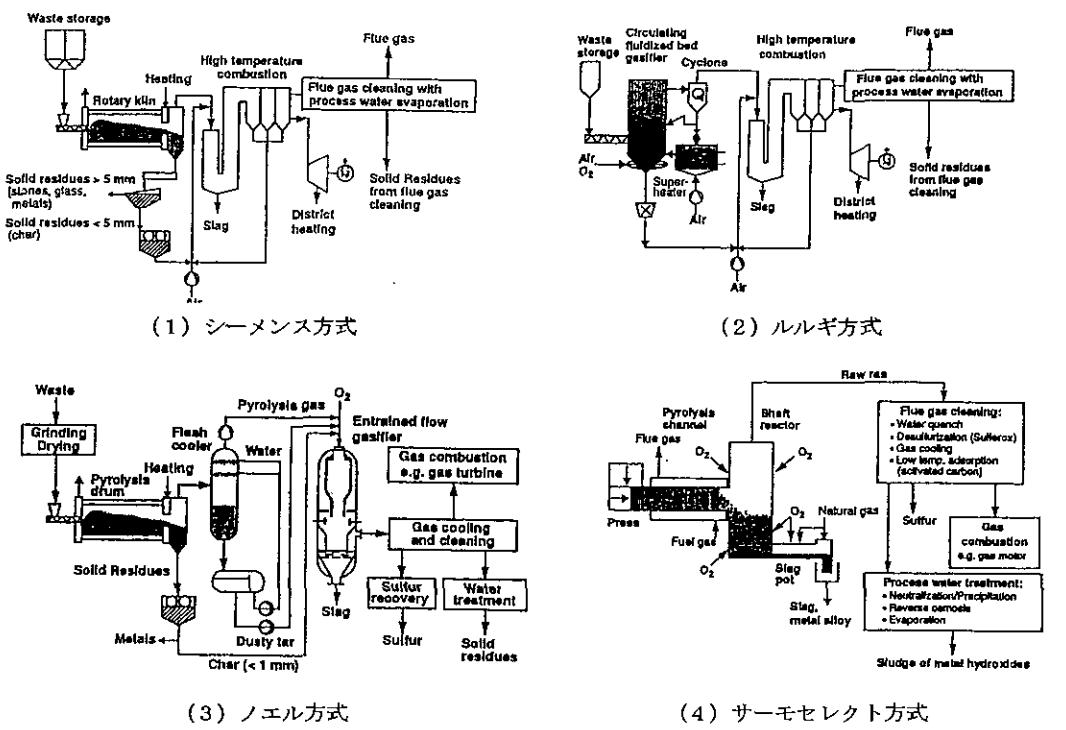
サーモセレクト方式では、1次熱分解生成物が前処理なしで垂直シャフト炉へ送られ、ここで酸素の吹込みによりガス化される。チャーのガス化はシャフト炉の下部でおこり、同時に灰も溶融される。上部では、さらに酸素が加えられ、熱分解ガスは下部から上昇してくるガスとともに燃料用の原ガスに転換される。

一方、ノエル方式では異なった方法がとられる。固体残渣は細かく粉碎されたあと熱分解ガスとともに旋回流ガス化炉へ送られ、同様に酸素の供給により燃料ガスに転換される。炉は25気圧の加圧状態で溶融モードで運転される。

シーメンスとルルギ方式でも同様に旋回流炉を採用しているが、これらは燃焼炉として用いられている。熱分解（シーメンス）やガス化（ルルギ）からのそれぞれの固体物は粉碎され、上流側からのガスとともに燃焼炉（実質的には溶融モードで運転されるボイラ）へ送られる。サーモセレクト方式以外では廃棄物の機械的な前処理が必要である。ノエル方式の条件が最も厳しく50mm以下のサイズとした後、乾燥工程を経る。ルルギ方式では流動化のため100mm以下に、回転ドラムのシーメンス方式ではドラム自

表4-6 各方式の機能配分の例<sup>17)</sup>

No.	方 式	機 能 配 分
①	ストーカ炉 +灰溶融	乾燥 熱分解 着火 ガス化 チャー燃焼 ガス燃焼 溶融 〈ストーカ炉〉 〈溶融炉〉
②	シーメンス	乾燥 熱分解 着火 ガス化 チャー燃焼 ガス燃焼 溶融 〈ロータリーキルン〉 〈高温燃焼炉〉
③	ルルギ	乾燥 熱分解 着火 ガス化 チャー燃焼 ガス燃焼 溶融 〈循環流動床〉 〈高温燃焼炉〉
④	ノエル	乾燥 熱分解 着火 ガス化 チャー燃焼 溶融 ガス燃焼 〈ロータリーキルン〉 〈ガス化溶融炉〉 〈e.g. ガスタービン ガスマーティ〉
⑤	サーモセレクト	乾燥 熱分解 着火 ガス化 チャー燃焼 溶融 ガス燃焼 〈熱分解炉〉 〈シャフト溶融炉〉 〈e.g. ガスマーティ〉

図4-4 热分解・ガス化溶融炉<sup>17)</sup>

身のサイズや開口部の制約により、200 mm以下に破碎されたものが投入される。

#### 4.3.2.3 4方式の開発経過と評価

実績面では、シーメンスとサーモセレクトがそれぞれドイツにおいて100,000 t/年、75,000 t/年のプラントを、前者は1996年秋、後者は1999年初より稼動予定であるが、他の2方式は最初のプラント受注に向けての計画段階にある。各方式の開発経過を表4-7に示す。

表4-6にみられるように、各方式毎に機能の分配は異なっているが、プロセスへのインプットは、その性状に多少の違いはあるものの可燃性のごみであり、アウトプットはスラグ、排ガス、電気などのエネルギー、飛灰または排水と汚泥であることに変わりはない。したがって、各方式

の評価にはスラグの再利用価値、排ガスの量と質、エネルギーの正味の回収量、残渣の量と質、信頼性とこれらを高水準に保つための設備費用と運転費用につき詳細な比較が必要である。しかしながら、現時点では新技術については稼動実績が少なく、データ不足から机上の評価とならざるを得ないという見方が一般的である。

1995年から2ヶ年で、これらの新技術（とくにシーメンスとサーモセレクト）が欧州で約10%のシェアを獲得し、とりわけ独では12%、スイスでは25%を占めたという調査結果が報告されている<sup>4)</sup>。しかし、同じ調査機関による1997年から2001年までの予測では、ストーカ炉が約83%、流動床炉が12%、新技術が11%程度であるとしている。また、1996年に実施された自治体職員や運転員を対象とした調査では、相対的な人気度としてストーカ炉：熱分解：ガス化：流動床炉=85:15:20:25という結果が得られている<sup>17)</sup>。

今後の欧州ならびに日本での稼動実績により、これらの予測が大きく変わる可能性があり、その動向に注目する必要がある。

表4-7 各方式の開発経過<sup>17)</sup>

方 式	開 発 経 過
シーメンス	<ul style="list-style-type: none"> <li>1987年より独ウルムにてパイロットプラントを運転(200 kg/hr)</li> <li>1994年より日本(三井造船)にてパイロットを運転(1t/h)</li> <li>1996年末より独フュルトにて最初の商用プラントが稼動(100,000 t/年)</li> </ul>
ルルギ	<ul style="list-style-type: none"> <li>1987年よりバーク用のCFBガス化炉(6t/h)</li> <li>都市ごみ用のベンチスケール CFBガス化炉</li> </ul>
ノエル	<ul style="list-style-type: none"> <li>1983年より独ザルツギッターにて熱分解デモプラントを運転(5t/h)</li> <li>1988年より独シュバルツェンペでガス化炉を運転(25t/h)</li> </ul>
サーモセレクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>1992年より伊ベルバニアにてデモプラントを運転(4t/h)</li> <li>1999初より独アンスバッハにて最初の商用プラントが稼動(75,000 t/年)</li> </ul>

#### 4.4 おわりに

本稿では欧州における焼却処理の現状と法的規制、ならびに今後の新技術の動向を概観した。リサイクルや廃棄物の処理処分に関する法的規制が欧州における廃棄物の熱的処理に大きな変化をもたらしている。都市ごみの組成が変わることより高い発熱量となったケースでは、ストーカ炉に水冷火格子が使われはじめたこと、またごみが均質化されることにより流動床焼却炉を新たに採用する動きがあることなどがその例である。

一方、厨芥類を焼却することなく、嫌気性発酵によりメタンガスを回収するプラントも欧州各国で普及はじめている。これらに加え、焼却に関する規制の焦点が、従来水や大気におかれていたものが、焼却残渣（焼却灰および飛灰）のリサイクルや再利用に移りつつあることから、熱分解・ガス化溶融技術がとくに注目を集めている。現在、欧州やわが国を中心に運転データの蓄積が図られているところであるが、実績面では先行している欧州においても、その技術のあるいは経済的な評価が固まっているとはいがたい状況にある。今後本技術を循環型社会に向けた廃棄物処理の一端を担う技術として位置づけるには、客観的な評価が可能となるだけの運転実績を積むことが必要となる。わが国としても、灰溶融やスラグ利用の先進国として、さらに活発に海外へ向けて技術情報を発信していくことが求められよう。

#### 参考文献

- 1) 酒井伸一：一般廃棄物対策の世界的動向、産業と環境、No. 5, pp. 52-66 (1996)
- 2) S. Sakai, S. E. Sawell, A. J. Chandler, T. T. Eighmy, D. S. Kosson, J. Vehlow, H. A. van der Sloot, J. Hartlen, O. Hjelmar: National overview-world trends in municipal solid waste management, Waste Management Vol. 16, No. 5-6, pp. 341-350 (1996)
- 3) K. J. Whiting: European Trends in the thermal treatment of solid wastes, Waste Management, UTA International, No. 2, pp. 150-158 (1997)
- 4) Vaccani, Zweig & Associates: Trends in the European Waste Treatment Market and Industry, (May 16, 1997)
- 5) J. Petts: Incineration as a Waste Management Option, Waste Incineration and the Environment edited by R. E. Hester and R. M. Harrison, Royal Society of Chemistry, pp. 1-25 (1994)
- 6) W. Schafer, W. Schumacher and H. Zwahr: The Rugenberger Damm Solid Waste Incineration Plant in Hamburg, VGB Kraftwerkstechnik, Vol. 77, No. 9, pp. 667-672 (1997)
- 7) 鍋島淑郎：海外における排ガス規制の動向、廃棄物学会誌、Vol. 2, No. 4, pp. 306-317 (1991)
- 8) 平岡正勝、岡島重伸編著：廃棄物処理におけるダイオキシン類削減対策の手引き、環境新聞社刊 (1998)
- 9) 平山昭夫、PLASPIA, No. 103, pp. 29-34 (1998)
- 10) 上村英子他、ヨーロッパ廃棄物事情調査団報告書, pp. 40-44, 72-80 (1995)
- 11) ECO EMBALLGES, パンフレット, pp. 4-5 (1993)
- 12) Federal Environment Ministry Environmental Policy in Germany, pp. 33-44 (1994)
- 13) 廃棄物研究財団：Wascon '97 国際会議報告書, (1998)
- 14) 酒井伸一、水谷聰、WASCON '97 国際会議報告書, pp. 1-7 (1998)
- 15) Noell-KRC Energie-und Umwelttechnik GmbH: Technical Brochure-Der Wasser gekühlte Noell Verbrennungsrost
- 16) International Ash Working Group: Municipal Solid Waste Incinerator Residues, Chapter 17 SEPARATION PROCESSES, pp. 735-762 (1997)
- 17) R. Reimert, U. Setzer: Gasification of waste an old art applied to a new feedstock, 20th World Gas Conference, 1997-Working Committee B, pp. 367-379 (1997)

## 5. 新処理技術を組み合わせたシステムの検討

### 5.1 はじめに

今日、廃棄物ゼロエミッションが提唱されるなど、従来のごみ処理システムの枠組みは、地球温暖化やオゾン層の破壊防止など地球環境の保全を重視する観点から、さらには容器包装リサイクル法のスタートや大気汚染防止法改正によるダイオキシン規制など法制度面からも大きな変革期を迎えており、ごみ処理技術は、これに呼応する形で新しい着想に基づく様々な処理技術の開発が精力的に進められている。

このような状況を踏まえて、京都市では、中長期的に見た市民・事業者のライフスタイルや事業活動のあり方や、これに対応したごみ処理のあり方を検討し、一般廃棄物処理基本構想<sup>1)</sup>をとりまとめた。

この基本構想の中で示された今後のごみ処理システムの方向性としては、①ごみの発生抑制・排出抑制を促進する環境づくり、②ごみから資源・エネルギーを最大限回収するシステムづくり、③環境負荷を最小に抑え、環境保全に積極的な役割を果たす廃棄物行政の推進、④ごみ処理システムの高度化・多機能化などが掲げられており、特に、②ごみから資源・エネルギーを最大限回収するシステムづくりにおいては、可能な限り発生・排出抑制を図った後、なおもごみとして排出されるものについては、限りある資源の有効活用を図る観点から、ごみを新たな資源としてとらえ、資源ごみのマテリアルリサイクルやごみ焼却に伴う排熱利用等のサーマルリサイクルにより、資源・エネルギーを最大限に回収する循環型のごみ処理システムづくりを進めるとともに、最終処分量の削減の観点から、焼却灰についてもリサイクルの促進を図っていくことが明記されている。

このような将来のごみ処理システムの中で、特に容器包装リサイクル法が全面施行された後の家庭ごみを対象とした中間処理システムについて、新処理技術を組み合わせたシステムの検討<sup>2)</sup>を、廃棄物研究財團に設置された再資源化技術動向調査委員会で廃棄物学会の焼却部会の会員を中心に、具体的なケーススタディとして実施した。

その際に検討した中間処理技術としては①バイオガス化、②高温高圧発電、③灰の溶融処理、④ガス化溶融であり、ケーススタディの主な評価指標項目としては、①環境負荷（排ガス量、送電可能電力あたりのCO<sub>2</sub>排出量等）、②埋立処分量、③マテリアルおよびエネルギー回収、④効率性、実現可能性（敷地面積、コスト、売電収益等）である。

これらの検討結果の概要と、現状と将来のごみ質の変化に対応した、望ましい焼却処理システムの方向性についても紹介する。

### 5.2 都市で発生する廃棄物とその将来像

現在、都市で発生している一般廃棄物（ごみ）または不要物には大別して、①家庭の日常生活から発生する家庭ごみ、②事務所や販売店等の事業活動から発生する事業系ごみがあり、これらのごみの現状と将来像の概要を示す。

#### 5.2.1 ごみ質の現状

事業系の一般廃棄物は、排出業種によってそのごみ質が大きく異なり、その状況<sup>3)</sup>は、図5-1に示すように食料品等を販売する大型セルフ店・小売店や飲食店等では厨芥類の排出が5割以上を占めているのに対して、事務所系のごみ質は

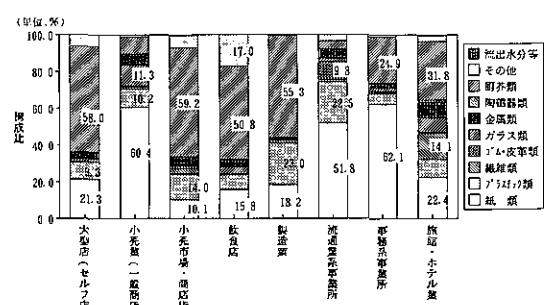


図5-1 主要業種の事業系ごみ質（重量比）

紙類が5割以上を占め、コピー紙や段ボール等のリサイクル可能な紙類も多く含まれている。なお、全業種を平均した全般的な事業系ごみの組成は、紙、厨芥およびプラスチック類の3組成で8割を占めており、家庭ごみとほぼ同様である。

家庭生活から発生するごみには、台所等から毎日発生する厨芥類や容器・包装を主体とする家庭ごみと、家具や電化製品等の耐久消費財を主体とした大型ごみがある。

さらに、新聞・雑誌やビール瓶等のように、自治体の廃棄物処理システムには排出されないが家庭内で発生している不要物がある。

この家庭生活から発生する不要物を含む家庭ごみの最近の内訳とその流れ<sup>4)</sup>を図5-2に示す。これより、家庭生活から発生するごみは、自治体が収集している家庭ごみおよび資源ごみ以外に、店頭回収や資源回収業者による回収、市民による集団回収等により、新聞・雑誌やビール瓶等を中心に発生量の約35%が民間ルートによりリサイクルされている。なお、大型ごみについては、この流れには含まれていないが、家具および廃家電類の大型ごみ収集への排出比率は、それぞれ約75%および46%であり、特に廃家電製品の販売店引き取りが自治体収集と同程度と大きな比率を占めている。

一方、自治体の家庭ごみ収集に排出されている廃棄物については、その排出前の使用用途<sup>5)</sup>で見てみると、図5-3に示すように容器・包装が容積比で約60%を占めている。その内、紙やプラスチック製が約70%となっている。また、物理組成の観点<sup>6)</sup>から見ると、厨芥類が湿重量比で約40%を占めている。ところで、厨芥や紙類を三成分（水分、灰分、可燃分）や発熱量から見てみると、厨芥類は水分約80%，可燃分約20%で、低位発熱量が約500 cal/gであるのに対して、紙やプラスチック類は水分約10%，可燃分約85%で、低位発熱量はそれぞれ約3,000および8,000 cal/gとなっており、家庭ごみ全体の低位発熱量に対する寄与率は、紙とプラスチック類で約70%を占めている。さらに、鉛、カドミウムやアンチモン等の有害物質の観点から、その由来<sup>7)</sup>を見ると、家庭ごみ中の鉛・カドミウムについては、塗料・顔料や塩化ビニールの安定剤に加えて、小型シール鉛電池やニカド電池等の寄与が大きく、アンチモンについては、繊維類、プラスチック類の難燃剤やプラスチックに含まれる縮合触媒等の寄与が大きい。また、大型ごみ中の鉛については、プリント基板やテレビのブラウン管等、アンチモンは、テレビのプラスチック製のバックカバー部の難燃剤等の寄与が大きい。

### 5.2.2 将来のごみ質

都市で発生している一般廃棄物（ごみ）の現状は、前述の概況の通りであるが、近い将来においては、平成12年および13年にかけて、容器・包装リサイクル法（第二次分別）や家電リサイクル法が施行されることや、排出事業者に対する自治体の減量計画書の提出・指導や事業所のISO14000の認証取得等による事業系ごみの減量・リサイクルの促進等により、今後、自治体が処理すべき一般廃棄物の内容が大きく変化すると考えられる。その概要は、容器包装の紙やプラスチック類、また、事務所のコピー紙や段ボール等の紙類、さらに、廃家電製品のプラスチック類等、可燃性で比較的高い発熱量を有するごみがリサイクル等により減少し、台所から出る塩分、水分が多く自燃しにくい厨芥類等の比率が大きくなり、ごみ全体の低位発熱量が低下するとともに、鉛・アンチモン等の有害物質も少し減少すると想定される。このような状況を踏まえて、今後の自治体のごみ処理システムは、環境負荷を最小に抑え、ごみから資源・エネルギーを最大限回収するシステムづくりを目指す必要がある。

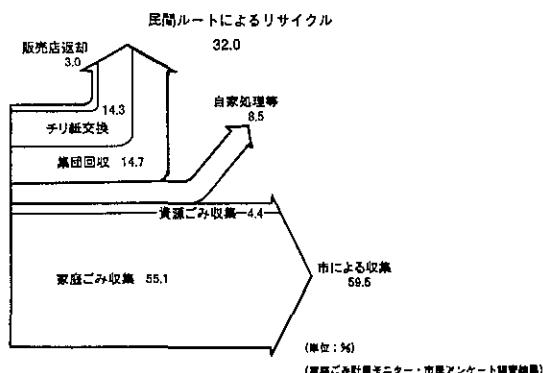


図5-2 家庭ごみの最近の内訳とその流れ

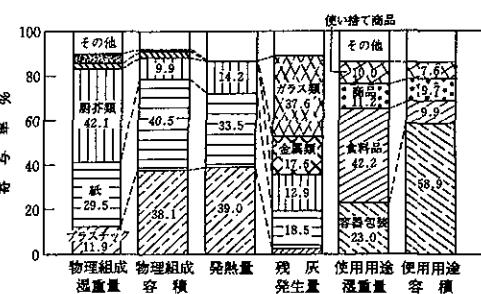


図5-3 家庭ごみ質の現状

### 5.3 新処理技術を組み合わせた中間処理システムのケーススタディ

#### 5.3.1 将来的な中間処理システムの視点

容器包装リサイクル法施行後の家庭ごみは前述のように大きく変化すると考えられる。このような状況をふまえ中間処理として求められる視点を下記に述べる。

- ・容器包装類が除かれ厨芥類の比率が高くなった（水分量が多い）ごみを効率的に処理してエネルギー（または資源の）回収率を高めること。
- ・焼却等から発生する残渣分ができるだけ少ない、もしくはリサイクル可能であること。
- ・これらの処理・リサイクルを通じてCO<sub>2</sub>排出やダイオキシン類発生等の環境への負荷ができるだけ小さいこと。

この3つの視点を新処理技術と照らしあわせ、1) バイオガス化、2) 高温高圧発電、3) 灰の溶融処理、4) ガス化溶融炉の4つの技術の個別および技術の組み合わせについてケーススタディを行った。これら技術の組み合わせによって、リサイクルの拡大および最終処分減量、環境負荷の低減等に関し、さらに効果的な中間処理システムとなることが期待される。なお、鉛、カドミウム等の有害物質に対する環境保全の視点があるが、今回検討ケースでは灰の溶融処理および溶融飛灰の山元還元などによって対応するとして割愛している。

#### 5.3.2 検討ケースおよび評価指標の設定

ごみ処理システムの一例として600t/日規模のごみ処理施設を想定する。本市データより、容器包装リサイクル法全面施行後は資源化ごみ144.6t/日とその他のごみ455.4t/日とに分別されるとする。分別後に残る容器包装以外のごみ455.4t/日を焼却し、従来型発電を行う場合をベースケースとする。新処理技術を組み込むシステムについては、455.4t/日を処理対象ごみとして比較検討する。さらにごみ中で大きな比率を占める厨芥類の1/2(121.8t/日)を別途バイオガス化処理するとして、それを除いた333.6t/日の処理についても検討する。図5-4に容器包装リサイクル法施行後のごみ処理システムの概要、図5-5に容器包装リサイクル法施行前後のごみ組成および低位発熱量の移り変わりを示す。

今回新処理技術を評価するために評価指標を以下のように設定した。

##### (1) 環境負荷に関する指標

排ガス中の有害物質は排出規制値が定められているため、排出量は排ガス量に比例する。よって排ガス量を代表指標とする。また、地球温暖化問題により送電可能電力量あたりのCO<sub>2</sub>およびネットの排出量を指標とする。ここで、ネットのCO<sub>2</sub>排出量とはごみ発電により既存の商用発電量が節約されるのでそのCO<sub>2</sub>量を差し引いたものである。既存の商用発電でのCO<sub>2</sub>量は重油火力の0.181kg-C/kwhを原単位とする。

##### (2) 最終処分量に関する指標

現在、焼却後に発生する埋立対象物は焼却灰と集塵飛灰であり、灰溶融を導入すると溶融スラグ、溶融飛灰が発生し、これら最終処分量を指標とする。なお、溶融スラグ、回収金属、コンポストの回収・利用（マテリアル回収）はリサイクル可能とし最終処分量の減少として反映させる。

##### (3) マテリアル回収とエネルギー回収に関する指標

ここではエネルギー回収の指標である発電端効率（%）およびごみtあたり送電可能電力量(kWh/t)で代表する。

##### (4) 効率性、実現性等を見るための指標

(1)～(3)の効果はより少ない資源、コストで実現されることが望ましい。したがって、敷地面積（建築面積）、運転人員、コスト（ランニングコスト・建設コスト）、売電収益を指標として設定した。なお、ランニングコストは、ここでは基本的に購入ガス費、用水費、薬品費の合計とする。

指標の試算データは、協力委員（メーカ）の平均値を

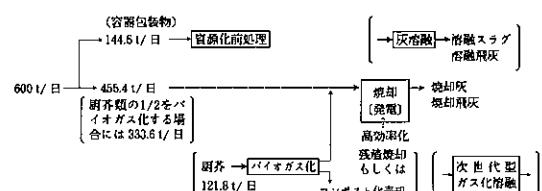
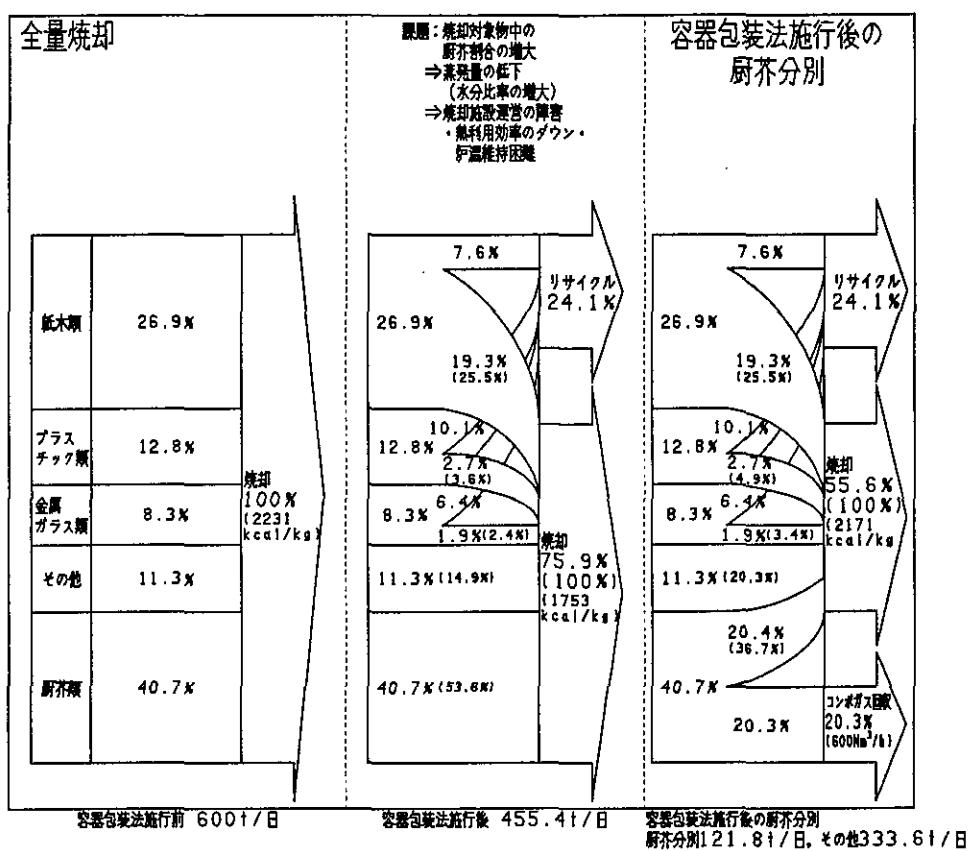


図5-4 容器包装リサイクル法施行後のごみ処理システム概要



採用した。

### 5.3.3 システム要素技術の個別評価

ここでは、重点技術を単独でベースケース（455.4 t/日の焼却、ボイラ蒸気・30 cm<sup>2</sup>/kgG・温度300°Cの従来発電）に導入した場合の中間処理システムを評価する。比較対象となるベースケースの主要指標を表5-1に示す。

容器包装の分別によるごみカロリーの低下により、容器包装分別後のごみ焼却によるごみあたり送電可能電力量155 kWh/tとなり、現状(600t/日 Hu=2,231 kcal/kg) 224 kWh/tの69.2%に低下する。図5-6に示すように、ベースケースの未利用熱が46.3%と予測されることから、効率を上げるには未利用熱の有効利用が大きなポイントとなる。

#### 5.3.3.1 バイオガス化の導入

##### (1) 送電可能電力量の増加

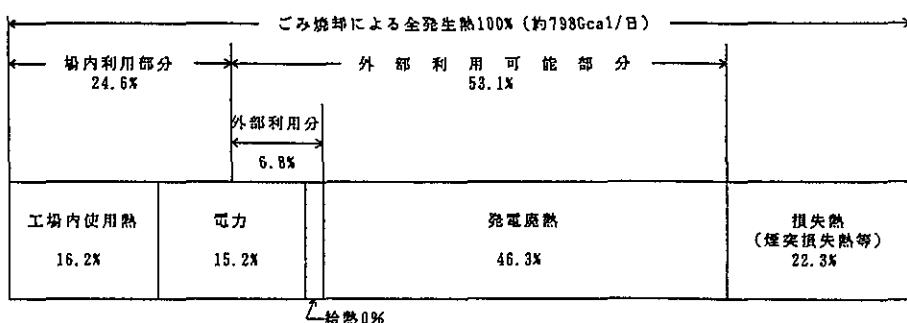
バイオガス化は、厨芥類をメタンガスとしてエネルギー回収する一方、焼却側でも、容器包装の分別により低下したごみカロリーを厨芥類の分離により上昇させるため、送電可能電力量の増加が期待できる。図5-7に示すように、総量では122,640 kWh/日(ごみ発電分104,160 kWh/日、バイオガス発電分18,480 kWh/日)となり、ベースケース(従来発電79,680 kWh/日)に比べ、54%(42,960 kWh/日)の送電可能電力量増加が期待できる。

これをごみあたりでみると、ベースケースの場合には、含水率の高い厨芥類が多く含まれるため、送電可能電力量は175 kWh/tに抑えられるが、バイオガス化を導入した場合には、152 kWh/tの厨芥類あたりの送電可能電力量を創出するため、全体の送電可能電力量が269 kWh/tに向上する。

なお、厨芥類のバイオガス化後の残渣はコンポストとし

表5-1 ベースケースの主要指標値  
(2社試算値)

	発電端効率 %	送電可能電力量 / t kWh/t	排ガス量 Nm <sup>3</sup> /t	CO <sub>2</sub> 排出量 kg-C/t	主灰量 m <sup>3</sup> /t	飛灰量 m <sup>3</sup> /t
A社試算例	15.0	136	4,401	196.0	0.083	0.049
B社試算例	14.4	175	4,522	189.7	0.085	0.044
平均値	14.7	155	4,461	192.4	0.084	0.046



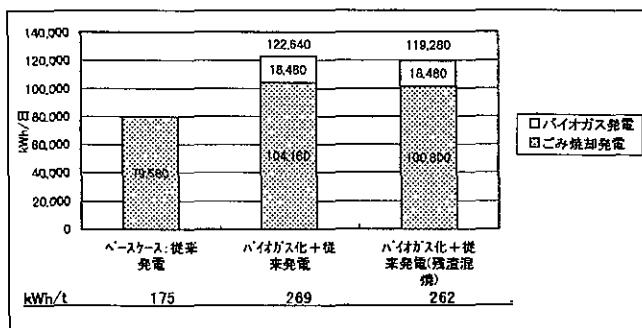
(1) 一焼却施設の現状ごみ処理量を 600 t/日、容器包装分別後のごみ量を 455.4 t/日として算出

(2) ごみ焼却による全発生熱 =  $455.4 \text{ t}/\text{日} * 1,000 * 1,753 \text{ Kcal/kg}$  として算出

(3) 蒸気そのものによる余熱利用はゼロと設定。従って、給熱 = 0 としている。

A 社試算値

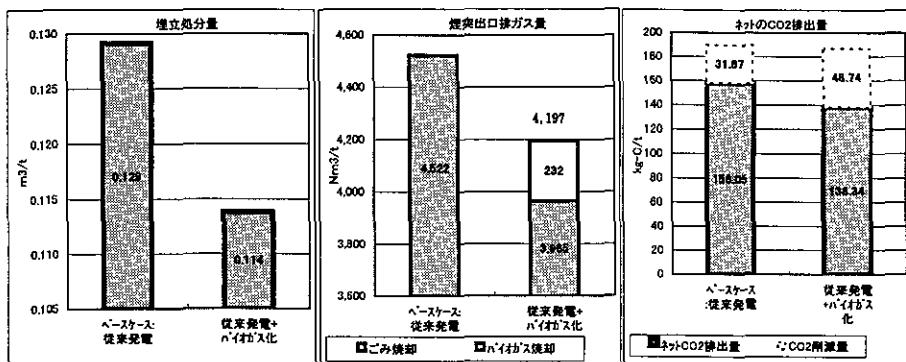
図 5-6 容器包装分別後・従来発電時の熱収支推計例



(注) バイオガス化+従来発電は表示のごみ量ごみ質で設備設計を行っている。

B 社試算値

図 5-7 バイオガス化の導入による送電可能電力量増加



B 社試算

図 5-8 バイオガス化の導入による環境負荷削減効果

ての利用が期待されるが、コンポスト需要が確保できず、残渣を混焼した場合でも、送電可能電力量はベースケースに比べて 50% (39,600 kWh/日) 増加が期待できる。

## (2) 環境負荷の削減

有機分を含んだバイオガス化の残渣をコンポスト化し、有効利用することにより、埋立処分量、煙突出口排ガス量、ネットの CO<sub>2</sub> 排出量は低下する。図 5-8 に示すように、ベースケースに比べて、最終処分量で 11.8% (0.015

m<sup>3</sup>/t), 煙突出口排ガス量で 7.2% (325 Nm<sup>3</sup>/t), ネットの CO<sub>2</sub> 排出量で 12.5% (19.71 kg-C/t) の削減が期待できる。

### (3) まとめ

バイオガス化は、ごみ焼却量を少なくする上、厨芥類の分離によって送電可能電力量を 50% 以上増加させ、コンポスト化・有効利用により最終処分量、排ガス量、CO<sub>2</sub> 量の低下を実現する。

#### 5.3.3.2 高効率発電の導入

##### (1) 発電の高効率化によるネットの CO<sub>2</sub> 排出量の抑制

ボイラーの高温高圧化を採用した場合、表 5-2 に示すように、高効率発電 (40kg/cm<sup>2</sup>G・400°C) にした場合 2.6%，超高効率発電 (100kg/cm<sup>2</sup>G・500°C) にした場合 8.6% の発電端効率向上が期待できる。送電可能電力量についても同様に、高効率発電で 22%，超高効率発電で 100% の向上が期待できる。そのため、送電可能電力量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量は、高効率発電で 17%，超高効率発電で 49% 低下し、ネットの CO<sub>2</sub> 排出量も超高効率では 16% 低下する。

##### (2) 経済性

高効率発電の最も大きな課題は、過熱器の耐久性と経済性である。蒸気の高温化により過熱器はより耐食性の強いものが要求され、その分建設コストは増大する。経済性に関する試算結果を表 5-3 に示す。この表より送電可能電力量の増加は、そのまま収支バランス改善に寄与し、建設費増加分は売電収益増により高効率発電で 4.5 年、超高効率発電で 3.8 年で回収し得ることになる。

ネットの CO<sub>2</sub> 排出抑制効果を考慮に入れた売電単価の引き上げなどがあれば高効率化の経済性はさらに向上することが期待できる。

##### (3) まとめ

高効率発電の導入は、送電可能電力量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量を低下させるのに非常に有効（超高効率化で 49% 低下）である。また、高効率化に伴う建設費の増加は送電可能電力量の増加により短期間で吸収される。なお、100kg/cm<sup>2</sup>G・500°C 条件の過熱器の交換費を含んだ評価は実証試験の結果を待たなければならない。

#### 5.3.3.3 灰溶融処理の導入

##### (1) 最終処分量の減容化

重金属類を安定化し、ダイオキシン類を分解するという目的に加えて、灰溶融処理により期待される主な効果は、最終処分量の低減である。現状システムでは対象物は焼却灰と集塵飛灰であるが、灰溶融処理を行えば、対象物は溶融飛灰と溶融スラグとなり、図 5-9 に示すように、最終処分量は 0.13 m<sup>3</sup>/t から 0.09 m<sup>3</sup>/t へと減容化される。

表 5-2 発電高効率化の効果

(ベースケースは A, B 社試算平均、高効率、超高効率発電は C 社試算値)

	発電端効率 %	送電可能電力量 /t kWh/t	CO <sub>2</sub> 排出量 / 送電可能電力量 kg-C/kWh	ネットの CO <sub>2</sub> 排出量 kg-C/t
ベースケース (従来発電)	14.7	155 (100)	1.24 (100)	164.2 (100)
高効率発電	17.3	190 (122)	1.02 (83)	160.6 (98)
超高効率発電	23.3	311 (200)	0.63 (51)	138.6 (84)

1. 対象ごみの低位発熱量は 1,763 kcal/kg。

2. ( ) 内数字は従来発電を 100 とした場合の指標である。

3. 発電端効率 = 860 × 発電出力 × 100 / (1,000 × 455.4 / 24) × 1,763

4. ネットの CO<sub>2</sub> 排出量 = CO<sub>2</sub> 排出量 - 光電により既存火力発電施設で回避できる CO<sub>2</sub> 排出量 (原単位 0.181 kg-C/kwh)

5. CO<sub>2</sub> 排出量は 3 ケースとも 198 kg-C/t

表 5-3 高効率化の経済性

(C 社試算値)

	ランニングコスト ① (千円/年)	売電収益 ② (千円/年)	売電収益増 ③ 対ベースケース	建設費 ④ (千円/t)	建設費増加分の 回収年 ④/③
ベースケース (従来発電)	465,690	124,390	—	40,624	
高効率発電	465,690	235,100	110,710	41,722	4.5
超高効率発電	465,690	384,880	260,490	42,819	3.8

1. 売電単価を 8.1 円 / kWh として試算

2. ランニングコストは購入ガス費 + 用水費 + 薬品費 + その他費用であるが、過熱器の交換費、維持補修費は含んでいない。

3. ランニングコストには灰固化の費用も含まれている。

4. 建設費増加分の回収年 = 建設費 (千円/t) × 455.4 t / 売電収益増 (千円/年)

また、溶融スラグは路盤材等への有効利用が充分図り得るものであり、これが有効利用できれば最終処分量は0.03 m<sup>3</sup>/tへと23%にまで減容化される。さらに、残りの溶融飛灰も山元還元等により鉱物資源としての利用を図ることができれば、最終処分量はゼロとなる。

### (2) 溶融方式別比較

表5-4は処理方法別に各効果の指標を整理したものである。処理方法としては、

- ① 都市ガス専焼燃料溶融（燃料溶融の代表として都市ガスを使用するもの）
- ② 電気溶融
- ③ 合成樹脂混焼燃料溶融（燃料溶融の一方式として、廃家電等のプラスチックを燃料の代用とする）

がある。これによると、排ガス環境負荷の点では、電気溶融がメリットがあり、送電可能電力量最大化の点では、場内消費電力量が13 kWh/tと少ない都市ガス専焼燃料溶融が優れている。また、ランニングコストでは合成樹脂混焼燃料溶融炉が106円/tと最も低い。なお、合成樹脂混焼燃料溶融炉は他の2方式に比べてかさばるプラスチック類を燃料として使用するため、建設コストは高くなる。

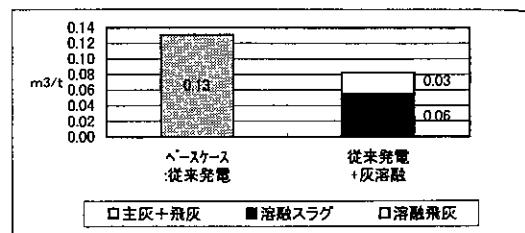
これら溶融炉をベースケースに導入した焼却炉に溶融炉を併設したシステム全体でみると、表5-5に示すように、排ガス系指標および建設コストでは、溶融方式による各指標の差はあまり目立たないのでに対し、場内消費電力量およびランニングコストについては大きな差ができる。すなわちベースケースに比べて、電気溶融炉の場内消費電力量は47%も増えることになり、都市ガス専焼燃料溶融炉のランニングコストは155%も増えることになる。合成樹脂混焼燃料溶融炉は、場内消費電力量を都市ガス専焼燃料溶融炉並みに抑えるとともに、ランニングコストをベースケース並みにまで低減させる効果を持ち得る。

### (3) まとめ

灰溶融処理の導入は、そのアウトプットである溶融スラグと溶融飛灰の有効利用の程度により大きく異なるものの、埋立処分量を70%～0%まで減容化することができる。溶融スラグは、路盤材等に有効利用し得る資源であることから、公共事業での積極的な利用等により需要を確保していくことが望ましい。また、溶融飛灰も重金属類を回収することを重視すれば、山元還元し、無害化・有効利用することが考えられる。溶融炉単独で見た場合に、電気溶融では送電可能電力量の低下や他の2方式では排ガス、CO<sub>2</sub>の排出量増加を生じるもの、一方で減容化、無害化といった大きな効果が期待できる。

#### 5.3.3.4 ガス化溶融炉の導入

##### (1) エネルギー回収効率の向上とネットCO<sub>2</sub>排出量の抑制



(注) 比重: 主灰1.0 t/m<sup>3</sup>、飛灰、溶融飛灰0.3 t/m<sup>3</sup>、溶融スラグ1.5 t/m<sup>3</sup>とした。ベースケースは2社平均値、從来発電+灰溶融(電気溶融)のデータは6社平均

図5-9 灰溶融の埋立処分量減量効果

表5-4 溶融方式別比較 (A社試算値)

	排ガス量 Nm <sup>3</sup> /t	ネットCO <sub>2</sub> 排出量 kg-C/t	埋立処分量 m <sup>3</sup> /t	場内消費 電力量 kWh/t	ランニン グコスト 円/t
都市ガス専焼燃料溶融炉	661	24.4	0.03	13	1,249
電気溶融炉	376	19.7	0.02	80	736
合成樹脂混焼表面溶融炉	1,031	48.9	0.03	22	106

1. 埋立処分量は溶融飛灰の埋立量

2. tのベースは455.4t

表5-5 溶融方式別比較(焼却・從来発電施設との組み合せ時) (A社試算値)

	排ガス量 Nm <sup>3</sup> /t	ネットCO <sub>2</sub> 排出量 kg-C/t	埋立処分量 m <sup>3</sup> /t	場内消費電力量 kWh/t	ランニング コスト指數	建設コスト 万円/t
ベースケース: 従来発電	4,401 (100)	170.38 (100)	0.13 (100)	170 (100)	(100)	4,062 (100)
従来発電+ 都市ガス専焼燃料溶融炉	5,061 (115)	194.80 (114)	0.03 (24)	183 (108)	(255)	4,743 (117)
従来発電+電気溶融炉	4,777 (109)	190.06 (112)	0.02 (19)	249 (147)	(191)	4,743 (117)
従来発電+ 合成樹脂混焼燃料溶融炉	5,431 (123)	219.32 (129)	0.03 (24)	191 (118)	(113)	5,007 (123)

1. ( )内数字は、ベースケースのデータ値を100としたときの値

2. ランニングコスト=購入ガス費+用水費+薬品費+電力費

3. 埋立処分量はベースケースは主灰+飛灰、その他は溶融飛灰の量

4. tのベースは455.4t

表 5-6 ガス化溶融発電導入のエネルギー回収効果  
(従来発電+溶融炉は A 社, ガス化溶融炉は 6 社平均値)

	発電端効率 %	送電可能電力量 /t kWh/t	CO <sub>2</sub> 排出量/送電可能電力量 kg-C/kWh	ネットの CO <sub>2</sub> 排出量 kg-C/t
従来発電+都市ガス専焼燃料溶融炉	14.7	118 (100)	1.84 (100)	195 (100)
従来発電+電気溶融炉	15.0	56 (48)	3.55 (193)	190 (98)
ガス化溶融炉	18.5	270 (230)	0.76 (42)	157 (81)

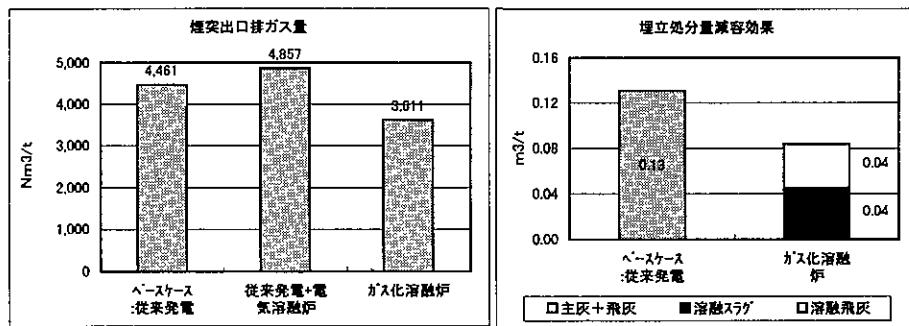
1. 従来発電+溶融炉は A 社, ガス化溶融炉は 6 社平均の値を基としている。

(コークスを燃料とするため CO<sub>2</sub> が必然的に増える高温ガス化直接溶融方式は除いている。以下の図表も同様)

2. ( ) 内数字は従来発電+都市ガス専焼表面溶融炉を 100 とした場合の指標である。

3. 発電端効率 =  $860 \times \text{発電電力} \times 100 / (1,000 \times 455.4 / 24 \times 1,753)$

4. ネットの CO<sub>2</sub> 排出量: CO<sub>2</sub> 排出量 - (送電可能電力 × 0.181(kg-C/kWh)) × 24 / 455.4



ベースケースは 2 社平均値, 従来発電+電気溶融炉は 6 社平均値, ガス化溶融炉は 6 社平均値

図 5-10 ガス化溶融炉の排ガス・最終処分量減容効果

ガス化溶融炉は高効率の発電が可能である。ガス化溶融炉と, 溶融方式中最も場内消費電力量の少ない従来発電+都市ガス専焼燃料溶融炉と比べてみると, 表 5-6 に示すように, 発電端効率で 3.8%, ごみ tあたり送電可能電力量で 130% も高くなることが期待できる。ガス化溶融炉は助燃剤としての補助燃料の追加により CO<sub>2</sub> 排出量はやや増加するものの, それでも従来発電+都市ガス専焼燃料溶融炉に比べて送電可能電力量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量は 58% の削減が, ネットの CO<sub>2</sub> 排出量も 19% の削減が期待できる。

#### (2) 環境負荷の削減

ベースケースと比べると, 溶融処理による最終処分量の減容や低空気比の燃焼による排ガス量の低下など, ガス化溶融炉は環境負荷削減にも寄与する。図 5-10 に示すように, 排ガス量はベースケースに比べて 17.6%, 従来発電+電気溶融炉に比べて 25.7% の削減が期待できる。最終処分量も灰溶融処理施設と同じく約 64% からゼロまで削減することが可能である。

#### (3) コンパクト化

ガス化溶融炉は, 表 5-7 に示すように, 従来発電+灰溶融に比べて, 最大で, 敷地面積で 11%, 運転人員で 20% の削減が期待できる。

#### (4) まとめ

ガス化溶融炉の導入は, 送電可能電力量の増加とともに, 送電可能電力量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量の削減(従来発電+灰溶融の 50% 以上の削減)に非常に有効である。また, 排ガス量や埋立処分量の削減にも効果的であり, 省力化・省スペース化技術としても位置づけることができる。なお, ガス化溶融炉は現在, 2000 年以降の実用化をめざした実証中の技術であり, 各プラントメーカーによってそのプロセスは異なる。

表 5-7 ガス化溶融炉によるコンパクト化  
(従来発電+溶融炉は A 社, ガス化溶融炉は 6 社平均値)

	敷地面積 [m <sup>2</sup> ]	運転人員 (指標)
従来発電+都市ガス専焼燃料溶融炉	8,450 (100)	(100)
従来発電+電気溶融炉	8,450 (100)	(100)
ガス化溶融炉	7,522 (89)	(80)

1. 従来発電+溶融は A 社, ガス化溶融炉は 6 社平均の値を基としている。

2. ( ) 内数字は従来発電+灰溶融を 100 とした場合の指標である。

### 5.3.4 新処理技術組み合わせケースの設定条件

5.3.3で取り上げた新処理技術の組み合せケースを設定し、比較評価を行った。ケースは、技術的な実現可能時期を踏まえて、以下のように設定した。

#### (1) 現在～2000年頃に技術的に実現可能なケース

A：ベースケース（従来発電、灰溶融なし）、B：高効率発電（40 cm<sup>2</sup>/kgG, 400°C）+灰溶融、C：バイオガス化+高効率発電+灰溶融

#### (2) 概ね2000年以降に技術的に実現可能なケース

D：超高効率発電+灰溶融、E：バイオガス化+超高効率発電+灰溶融、F：ガス化溶融炉、G：バイオガス化+ガス化溶融炉

各ケースのマテリアル/エネルギーフローをまとめると表5-8のようになる。このデータとコスト等の経済性データを用いて、環境負荷指標、最終処分量指標、エネルギー回収指標、経済性指標を作成し、各ケースの比較を

表5-8 各ケースのマテリアル/エネルギーフロー

ケース	マテリアル/エネルギーフロー (CO <sub>2</sub> : kg-C/t, 排ガス: Nm <sup>3</sup> /t, 発電: kWh, その他 t)	
ベースケース		発電 299 → 売電 155 (CO <sub>2</sub> 削減 28.1) 1t → 焼却 [従来型発電] 30 k. 300°C → 主灰 0.084 飛灰 0.014 CO <sub>2</sub> 192 / 排ガス 4,461
高効率発電 +灰溶融		発電 320 → 売電 89 (CO <sub>2</sub> 削減 16.1) 1t → 焼却 [高効率発電] 40 k. 400°C → 灰溶融 → スラグ 0.082 溶融飛灰 0.007 回収金属 0.0137 CO <sub>2</sub> 198 / 排ガス 4,783
バイオガス化 +高効率発電 +灰溶融	0.73 0.27	発電 292 → 売電 99 (CO <sub>2</sub> 削減 17.9) 1t → 焼却 [高効率発電] 40 k. 400°C → 灰溶融 → スラグ 0.074 溶融飛灰 0.006 回収金属 0.0134 CO <sub>2</sub> 166 / 排ガス 4,155 発電 55 → 売電 23 (CO <sub>2</sub> 削減 4.2) バイオガス化 → コンポスト 0.031 CO <sub>2</sub> 24 / 排ガス 229
超高効率発電 +灰溶融		発電 395 → 売電 179 (CO <sub>2</sub> 削減 32.4) 1t → 焼却 [超高効率発電] 100 k. 500°C → 灰溶融 → スラグ 0.082 溶融飛灰 0.007 回収金属 0.0137 CO <sub>2</sub> 198 / 排ガス 4,783
バイオガス化 +超高効率発電 +灰溶融	0.73 0.27	発電 390 → 売電 202 (CO <sub>2</sub> 削減 36.6) 1t → 焼却 [超高効率発電] 100 k. 500°C → 灰溶融 → スラグ 0.074 溶融飛灰 0.006 回収金属 0.0134 CO <sub>2</sub> 166 / 排ガス 4,155 発電 55 → 売電 23 (CO <sub>2</sub> 削減 4.2) バイオガス化 → コンポスト 0.031 CO <sub>2</sub> 24 / 排ガス 229
ガス化溶融炉		発電 368 → 売電 249 (CO <sub>2</sub> 削減 45.1) 1t → ガス化溶融炉 → スラグ 0.064 溶融飛灰 0.012 回収金属 0.0143 CO <sub>2</sub> 200 / 排ガス 3,636
バイオガス化 +ガス化溶融炉	0.73 0.27	発電 342 → 売電 260 (CO <sub>2</sub> 削減 47.1) 1t → ガス化溶融炉 → スラグ 0.057 溶融飛灰 0.011 回収金属 0.0142 CO <sub>2</sub> 173 / 排ガス 3,181 発電 55 → 売電 23 (CO <sub>2</sub> 削減 4.2) バイオガス化 → コンポスト 0.031 CO <sub>2</sub> 24 / 排ガス 229

行った。

### 5.3.5 新処理技術組み合わせシステムの比較評価

#### 5.3.5.1 個別指標別の比較評価

各ケースの指標数値は表5-9に示すとおりであり、この数値比較により、以下のような特徴、優劣が明らかになった。

##### (1) 環境負荷指標の比較

CO<sub>2</sub>削減に関しては、送電可能電力量あたりのCO<sub>2</sub>排出量では、発電端効率が高く、場内消費電力の少ないガス化溶融炉を組み込んだケースF, Gが優れているが、ネットCO<sub>2</sub>排出量では、バイオガス化を組み込んでいるケースE, Gが優れている。また、もう一つの環境指標である煙突出口排ガス量に関しては、低空気比での燃焼を特徴とするガス化溶融炉を組み込んだケースF, Gが優れている。

##### (2) 最終処分量指標の比較

最終処分量の削減は、灰溶融による減容効果がすべてのケースに効いてくるため、各ケース間であまり大きな差はないが、コンポストが別途有効利用されるとすれば、バイオガス化を組み込んでいるケースC, E, Gが優れている。

##### (3) エネルギー回収指標の比較

エネルギー回収の面で、発電端効率が最も良いのは、バイオガス化と超高効率発電、灰溶融の組み合わせであるケースEであるが、ごみtあたり送電可能電力量では、場内消費電力の少ないバイオガス化とガス化溶融炉の組み合わせであるケースGが優れている。

##### (4) 経済性指標の比較

ネットのランニングコストについてはバイオガス化を組み込んだケースE, Gが優れているが、それに減価償却費を加えたコストでは、焼却と溶融の機能をあわせもったガス化溶融炉の減価償却費が低くなるためこの技術を組み込んだケースF, Gが優れている。

#### 5.3.5.2 各ケースの総合評価

以上に示した評価指標のうち、類似指標を省き、ネットCO<sub>2</sub>排出量、煙突出口排ガス量（以上環境負荷指標）、最終処分量（最終処分量指標）、送電可能電力量（エネルギー回収指標）、収支額（経済性指標）の5つ絞って、総合評価を試みた。

##### (1) 指標値のレーダーチャート化

5つの総合評価指標のバランスをみるために、ベースケースの各指標を指数100とした場合のケースB～Gの指標値をレーダーチャート化したものを表5-10に示す。5つの指標のうち、送電可能電力量以外は、指標が小さいほど優れることになるが、送電可能電力量以外の指標は逆数を指標値としてとり、すべての指標で指標が大きいほど優れているようにした。

##### (2) 総合評価結果

複数項目で総合的にみて、バランスよく優れているのは、バイオガス化、超高効率発電、灰溶融を組み合わせたケースE、バイオガス化、ガス化溶融炉を組み合わせたケースGである。

ただし、超高効率発電、ガス化溶融炉ともに概ね2000年以降に実現可能な技術である。これらの実現に至るまでの、2000年までに実現可能なケースのなかでは、焼却灰の無害化・安定化と減容化をねらいとした灰溶融の導入に伴って増加するエネルギー消費を売電効率のアップである程度カバーし得る、バイオガス化、高効率発電、灰溶融を組み合わせたケースCが優れている。

なお、ケースB, Cはエネルギー回収および経済性の面でベースケースであるケースAに劣るが、一方で、溶融処理の導入により、緊急課題であるダイオキシン類の分解、重金属類の安定化、最終処分量の減容化を実現することができるという大きなメリットを持っている。

また、ここで検討したケースは、ダイオキシン類等有害物質の無害化および埋め立て地の延命化を重視し、すべて溶融処理を導入するケースとしたが、たとえば、エネルギー回収量を最も重視すれば、溶融処理を導入せずにバイオガス化と高効率化を導入するケースが選択されるなど、他にも様々なケースが考えられる。

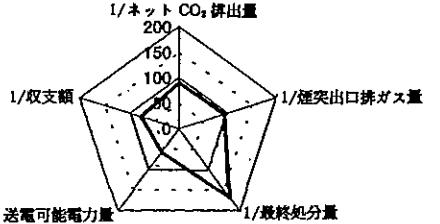
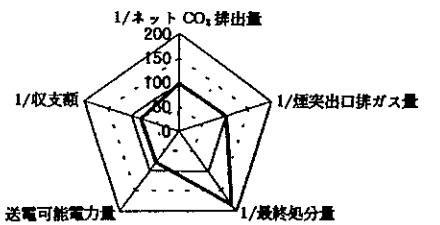
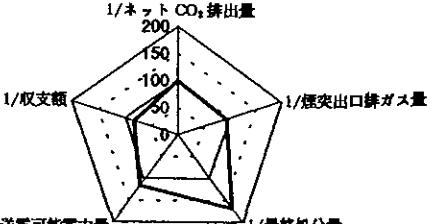
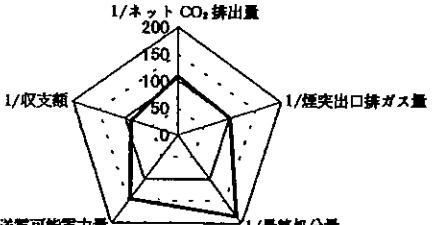
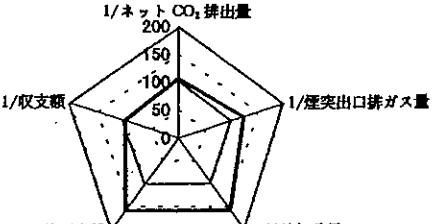
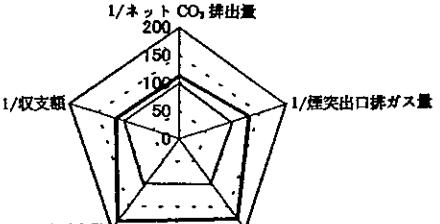
表5-9 各ケースの指標比較

ケース	概要	環境負荷指標		最終処分		エネルギー回収		経済性								
		炭素/送電可能電力量 Kg-C/kWh	ネットCO <sub>2</sub> 排出量 kg-C/t	煙突出口排ガス量 Nm <sup>3</sup> /t	最終処分区量 m <sup>3</sup> /t	発電効率 %	送電可能電力 kW	送電可能電力 kWh/t	ネットランニングコスト 円/t							
B +灰溶融	455.4 t/日 → [高効率発電] 40 k. 400°C → 灰却 → 溶融スラグ → 溶融飛灰	2.23	181.6	111	4,783	107	0.0776	59	15.7	1,681	88.6	57	1,186	48,529	7,834	131
C +オガス化 +高効率発電 +灰溶融	333.6 t/日 → [高効率発電] 40 k. 400°C → 灰却 → 灰溶融 → 溶融スラグ → 溶融飛灰	1.55	167.7	102	4,384	98	0.0707	64	17.1	2,319	122.2	79	888	47,870	7,446	124
D +灰溶融	455.4 t/日 → [超高効率発電] 100 k. 500°C → 灰却 → 灰溶融 → 溶融スラグ → 溶融飛灰	1.10	165.2	101	4,783	107	0.0776	59	19.4	3,400	179.2	115	498	49,627	7,296	122
E +オガス化 +超高効率発電 +灰溶融	336.6 t/日 → [超高効率発電] 100 k. 500°C → 灰却 → 灰溶融 → 溶融スラグ → 溶融飛灰	0.84	149.1	91	4,384	98	0.0707	54	21.8	4,275	225.3	145	106	48,968	6,814	114
F ガス化溶融炉	455.4 t/日 → [ガス化溶融炉] → 灰却 → 溶融スラグ → 溶融飛灰	0.80	154.9	94	3,686	81	0.0827	63	18.1	4,719	48.7	160	466	40,777	6,011	100
G +オガス化 +ガス化溶融炉	333.6 t/日 → [ガス化溶融炉] → 灰却 → 溶融スラグ → 溶融飛灰	0.69	145.4	89	3,410	78	0.0746	67	19.5	5,319	283.5	112	—273	39,918	5,181	86
A (参考)	ベースケース 455.4 t/日 → [従来型発電] 30 k. 300°C → 灰却 → 灰却飛灰	1.24	164.2	100	4,461	100	0.1306	100	14.7	2,950	155.5	100	436	40,624	6,001	100

(注)

- 溶融施設付き処理システムは、電気溶融施設の平均である。灰乾燥や出渣口保溫の補助燃料も電気で行うと仮定し、CO<sub>2</sub>排出量はベースケースと同じとした。
  - ガス化溶融システムのデータは、コードXを用いる高温ガス化直接溶融方式は除いたデータを平均した。
  - 指標値はベースケースに対する各指標値の値で、表3-13のレーダーチャートに示した項目について示した。
- 〈算出根拠〉
- 差電端効率=660×kW×100÷(1,000×(455.4/24)×1.753)
  - 最終処分区量は、ベースケースは主灰・飛灰量、シリオ②以下は溶融飛灰量とした。
  - 炭素/発電=灰却施設でのCO<sub>2</sub>排出量÷発電量
  - ネットCO<sub>2</sub>排出量=CO<sub>2</sub>排出量-発電電力×発電電力当たりCO<sub>2</sub>排出量(関西電力、重油火力 0.181 kg-C/kWh)
  - ネットランニングコスト(円/t)=(455.4 t/日×365 日)÷(455.4 t/日×365 日)
  - 発電収益=発電電力×24 h×7.59 円/kWh÷455.4 t/日
  - 建設コスト(千円/t)=各設備の装置建設費÷455.4 t/日
  - コスト(円/t)=ネットランニングコスト+減価償却費、なお、減価償却費は耐用年数20年として、減価償却費=装置建設費÷(20×455.4 t/日×365 日)

表 5-10 各ケースの総合評価指標の比較

ケース	概要	ベースケースを 100 とした時の各指標の指標値
B 高効率発電 + 灰溶融	455.4 t/日 → [焼却 40 k. 400°C] → [高効率発電] [灰溶融] → 溶融スラグ 溶融飛灰	
C バイオガス化 + 高効率発電 + 灰溶融	333.6 t/日 → [焼却 40 k. 400°C] → [高効率発電] [灰溶融] → 溶融スラグ 溶融飛灰 バイオガス化 → コンポスト	
D 超高効率発電 + 灰溶融	455.4 t/日 → [焼却 100 k. 500°C] → [超高効率発電] [灰溶融] → 溶融スラグ 溶融飛灰	
E バイオガス化 + 超高効率発電 + 灰溶融	333.6 t/日 → [焼却 100 k. 500°C] → [超高効率発電] [灰溶融] → 溶融スラグ 溶融飛灰 バイオガス化 → コンポスト	
F ガス化溶融炉	455.4 t/日 → [ガス化溶融炉] → 溶融スラグ 溶融飛灰	
G バイオガス化 + ガス化溶融炉	333.6 t/日 → [ガス化溶融炉] → 溶融スラグ 溶融飛灰 バイオガス化 → コンポスト	

注) ここで、送電可能電力量以外の指標については指標値の逆数を指数化している。

## 5.4 おわりに

今回、特に容器包装リサイクル法が全面施行された後の家庭ごみを対象とした中間処理システムについて、新処理技術を組み合わせたシステムの検討を具体的なケーススタディとして実施した。その際に検討した中間処理技術としては、①バイオガス化、②高温高圧発電、③灰の溶融処理、④ガス化溶融であり、ケーススタディの主な評価指標項目としては、①環境負荷（排ガス量、送電可能電力あたりのCO<sub>2</sub>排出量等）、②埋立処分量、③マテリアルおよびエネルギー回収、④効率性、実現可能性（敷地面積、コスト、売電収益等）に絞って総合評価を行った。その結果、将来的（2000年以降）には、バイオガス化+超高効率発電+灰溶融、または、バイオガス化+ガス化溶融炉を組み合わせたシステムが、今回設定した評価指標項目で総合的にみて優れていた。なお、超高効率発電およびガス化溶融炉は、概ね2000年以降に実現可能な技術であることから、短期的には、バイオガス化+高効率発電+灰溶融を組み合わせたシステムが優れていると考えられた。

ところで、今回検討した今後の自治体のごみ処理システムは、その目標すべき方向として、環境負荷を最小に抑え、ごみから資源・エネルギーを最大限回収するシステムであったが、その中で、特に、従来の焼却処理の枠組みから革変させようとした観点は、組成別の各ごみ質が持っている特性に、より合理的に適合した新処理技術の組み合わせを導入しようとした取り組みである。今回、特に検討したごみ質としては、食塩という形態で塩素分を多く含有し、且つ、水分を多量に含み自燃しにくい台所から排出される厨芥類であったが、このごみ質に対してバイオガス化という新しい処理技術を導入することにより、焼却処理における塩化水素さらにはダイオキシンに代表される有機塩素化合物の発生の抑制の可能性と熱エネルギー回収の向上が図れることが明らかになった。今回の検討事例が示すように、今後の焼却処理システムの最適化の方向としては、環境保全装置を含む焼却処理技術の高度化・多機能化だけでなく、ごみ質の特性にあった新処理技術を組み合わせるといったシステム検討もより重要である。

### 参考文献

- 1) 京都市：京都市一般廃棄物（ごみ）処理基本構想（1998）
- 2) 京都市清掃局：再資源化技術動向調査報告書（1998）
- 3) 京都市清掃局：一般廃棄物処理計画策定に係る調査報告書（1993）
- 4) 京都市清掃局：家庭ごみ計量モニタリング・市民アンケート調査報告書（1998）
- 5) 木下小百合、中村一夫、竹村敏彦、高月 紘：家庭ごみ組成調査について、第14回全国都市清掃研究発表会講演論文集 pp. 91-93 (1993)
- 6) 中村一夫、木下小百合：京都市における家庭ごみ中のプラスチック廃棄物の排出実態、都市清掃、第49巻第211号、pp. 123-131 (1996)
- 7) K. Nakamura, S. Kinoshita and H. Takatsuki: The Origin and Behavior of Lead, Cadmium and Antimony in MSW Incinerator, Waste Management, Vol. 16, No. 5-6, pp. 509-517 (1996)