

廃棄物管理

1 はじめに

現在、埼玉県は廃棄物の排出量は全国的にみても多く、廃棄物の質も多様化している。また、本県は、首都圏に位置するため、近隣都県からの中間処理を目的とした廃棄物の流入量が多く、その一方で最終処分は、県外に大きく依存している。

他方、平成12年の「循環型社会形成推進基本法」の制定に加え、各分野におけるリサイクルに関する法律が整備され、従来の単なるリサイクル(Recycle)を中核とした方策に加えて、リデュース(Reduce；廃棄物の発生抑制)、リユース(Reuse；再使用)に力を入れる3Rの実行が要請されている。すなわち、これまでの焼却・埋立処理から脱却し、環境への負荷の少ない循環型社会の構築が強く求められるなど、廃棄物をとりまく情勢は刻一刻変化している。

本稿では、埼玉県における廃棄物管理の現状、問題点、対策等について述べるとともに、施策や問題解決のために環境科学国際センター（以下、当所という）が関与してきた取組等について紹介する。

2 廃棄物管理の変遷と法整備

人類の活動に伴う“ごみ”の発生・処分という過程は昔からあり、生活ごみの捨て場所であった貝塚が縄文・弥生時代の遺跡から発見されている。廃棄物は時代とともに変遷し、社会を反映しているともいえる。また、それに応じて廃棄物の管理手法が変化し、廃棄物に関する法整備も展開されてきた。明治時代以降における、国の法令、埼玉県の条例、社会情勢等のイメージを図1に、詳細を附表1に示した。日本における廃棄物管理は、「汚物の衛生的処理時代」から「有害物の無害化処理時代」へと変遷し、近年の「循環型社会形成（資源化処理）時代」に繋がっている。ここでは各時代の概要を説明し、最後に廃棄物処理の現状と今後について記述した。

2.1 衛生処理時代

明治時代の西洋化・近代化により農工業の生産性が向上するなかで、人口増と都市化が進み、都市部で汚物（ごみやし尿）が大量に発生した。し尿の多くは農村部で肥料として利用されたが、江戸時代と大差のないごみ処理では、増加する量に対応できず、衛生環境が悪化した。また、諸外国との交流で、海外からコレラやペスト等の伝染病が持ち込まれた。そこで、明治33年に汚物掃除法が制定され、市町村が主体となって衛生処理を行うこととなった。焼却施設の稼働など近代化が進められたが、第二次世界大戦で再びゼロからの出発になった。戦後、農村がし尿を利用しなくなるとともに、復興期における都市化の進展に伴って、ごみの処分も大きな問題になり、昭和29年に清掃法が制定され、これらの処理体系の充実化が図られた（汚物掃除法・清掃法時代）。

2.2 無害化処理時代

戦後になって重化学工業等の産業が急成長し、それに伴う公害が更に明らかとなるにつれ、大気、

水質等に関する法律が制定されたものの、十分な成果が得られなかった。そこで、昭和45年の第64臨時国会（公害国会）において、実効性のある厳しい規制内容を含む法改正が行われた。さらに、平成5年に「環境保全によって国民の健康で文化的な生活を確保すること」を目的とした環境基本法が公布され、環境保全に係わる法体系が整った。

廃棄物管理についても、市町村による従来からの廃棄物処理体制での公衆衛生の向上に加え、環境保全という有害性の低減の概念が加えられることとなった。廃棄物は、昭和45年公布の「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃棄物処理法）」によって、産業廃棄物とそれ以外の一般廃棄物を対象とする2系統による処理体系が確立され、また、衛生処理から環境保全対策も加えた処理・処分が行われるようになった。

このような動きの下、高度成長期を経て、廃棄物の発生量が飛躍的に増加するなかで、東京湾の夢の島における大量のはえ発生等の問題が生じていたが、全国的に廃棄物の焼却処理が推し進められるようになった。さらに、バーゼル条約等の国際的なルールに準拠しつつ、焼却灰を含めた有害廃棄物の無害化処理能の向上が中心的課題となった。

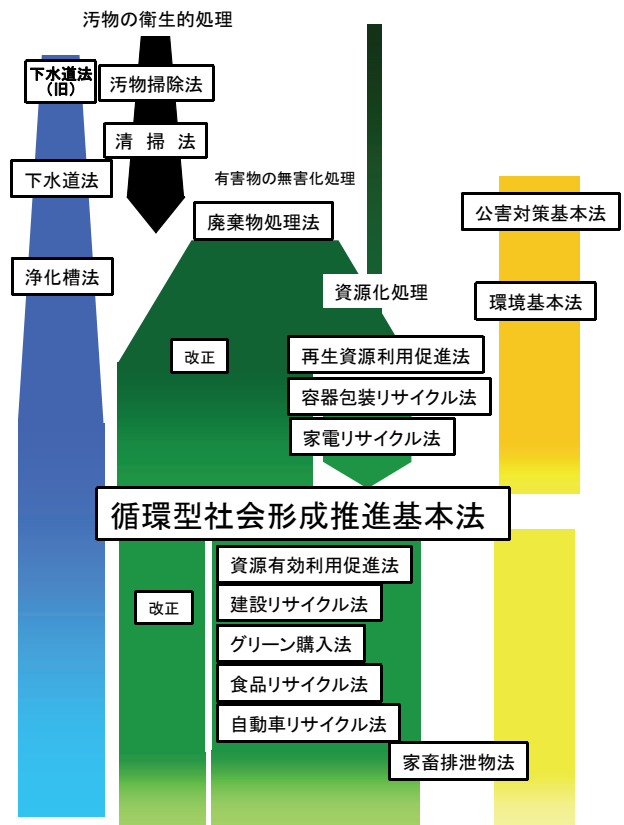


図1 廃棄物に関する法整備の変遷

2.3 循環型社会形成時代

焼却処理は、衛生的処理という役割だけでなく、慢性的な埋立地不足の問題を緩和するという間接的な効果をもっていた。しかし、都市ごみの焼却率が70%を超えても、慢性的な埋立地不足の問題は解決しなかった。他方、昭和48年のオイルショック以降、資源の有限性が強く認識されるようになったが、それまで廃棄物の処理・処分能力の向上が主な目的となっていたため、廃棄物の資源化への処理体制の転換が急務となった。

廃棄物のリサイクルに対する試みは、古くは明治時代の堆肥化施設の整備事業等に始まり、平成3年以降の廃棄物処理法改正や各種リサイクル法の成立により進められてきた。これらは、平成4年の地球サミットにおける「リオ宣言」も踏まえて、平成12年の循環型社会形成推進基本法によって体系化された。ここに至って、廃棄物管理において循環型資源という概念が更に強められた。これらの結果、廃棄物等は、資源化できるものと、できないものという捉え方が一般化しつつある（廃棄物自体の定義が変化しつつある）。

2.4 廃棄物処理の現状と今後

廃棄物の衛生的処理が充実するまでには長期間を要した。公衆衛生から出発した清掃法が環境保

全を含む廃棄物処理法に変化し、循環型社会形成推進基本法の成立後は廃棄物の資源化が強く求められてきている。廃棄物の安全・安心を担保するには、廃棄物の無害化処理が必要であり、これが完成するには今後も多くの時間を要するであろう。しかしながら、衛生問題と同様に有害問題がほぼ解決されるならば、廃棄物の資源化が飛躍的に向上するであろう。

他方、法律全体の流れとして、予防原則、環境保全、国際化等があり、廃棄物処理法にも影響を与えている。環境被害に対する予防原則的な考え方は、公害対策基本法から環境基本法への展開、環境影響評価法、化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）、PRTR法等の成立によって、一般に浸透してきた。また、国際化については、地球環境サミットと前後して、世界規模での環境的取組が活発化し、ロンドン条約、ウィーン条約、バーゼル条約、POPs条約等の締結が廃棄物処理関連法の改正に繋がった。

廃棄物処理法は様々に変遷してきたが、処理責任に関しては排出者責任が基本とされてきた。このような中で、国際関係において国内処理原則が掲げられてきている。自国の廃棄物は自国で処理するという意味では、国家間での排出者責任と言えるかもしれない。国内処理原則が掲げられる背景には、産業廃棄物がリサイクル資源等として他国に輸出され、他国を汚染する事例があったためである。しかしながら、国内においては、一般廃棄物の処理においても広域化が進み、廃棄物処理の高度化や施設確保難等から、他の市町村や県で処理・処分されることも珍しくなくなっている。現代では都市で排出された廃棄物は、地方で処理・処分されるという基本構図ができあがっている。特に、首都に隣接する埼玉県は地方との中間点に位置するため、中間処理施設が多く存在し、廃棄物の処理・処分の要の役割を果たしている。

今後、廃棄物の資源性がより問われていくなれば、資源と廃棄物の境界は曖昧となるであろうし、また、資源となったものは都市に戻り、資源化できない有害なものだけが廃棄物として地方へ送られ最終処分されるようになると、一層都市と地方の不平等感が生じるであろう。さらに、製造者責任も含め、排出者責任という基本原則の意味の再考が迫られるであろう。

3 埼玉県における廃棄物の概況

3.1 廃棄物発生量の推移

日本における廃棄物は、廃棄物処理法により一般廃棄物と産業廃棄物に大別される。産業廃棄物とは事業活動に伴い発生する廃棄物を意味し、20種類（輸入された廃棄物等を除く）が指定されている。それ以外の事業系の廃棄物と家庭から発生する廃棄物を合わせて一般廃棄物と呼んでいる。

(1) 一般廃棄物¹⁾

一般廃棄物は、はじめに資源としてリサイクルできる資源ごみが分別・回収される。次に、焼却処理されるか、あるいは破碎・選別後に再生利用され、焼却灰や再生利用されない残りが最終処分場に埋立処分される。

埼玉県における平成14年度の一般廃棄物の総排出量は1,928千tであり、家庭系一般廃棄物が74%、事業系一般廃棄物が26%を占めていた。埼玉県における1日当たりの排出量の推移を図2に示す。総排出量、1人当たりの排出量ともに年々増加しているが、容器包装リサイクル法が平成12年4月に全面施行された後は増加が緩やかになっている。

一般廃棄物の処理施設としては、焼却施設と破碎選別施設（資源ごみ、不燃ごみ及び粗大ごみ）が主に設置されており、発生量の82.6%は焼却処理されている（平成15年度、埼玉県）。一般廃棄物処理量の推移を図3に示す。ごみ処理量及び焼却量はともに増加していたが、平成12年度から上昇が緩やかになっている。特に、平成9年度から10年度にかけて焼却処理以外（圧縮、破碎・選別処理等）の中間処理が激減しているが、これは平成10年度の直接資源化量が145千tに達していることが要因である²⁾。

埼玉県における一般廃棄物の焼却処理施設の変遷について図4に示す。平成10年の埼玉県ごみ処理広域化計画以降は、焼却処理について広域化が進み、施設数の減少と施設の大規模化が進んでいる。

中間処理によるリサイクルについては、この焼却処理施設において余熱利用（48施設/53施設）や発電（12施設/53施設）が多く行われている。その他の施設では、平成15年度現在で、資源化施設は37、プラスチックの燃料化、減容化施設が4、粗大ごみ処理施設が34設置されており、リサイクル率はここ数年増加傾向にある。また、生ごみや街路樹等の剪定枝の堆肥化等の施設を設置する団体もあった³⁾。

一般廃棄物のうち資源ごみの収集状況を見ると、図5に示すように紙類が最も多く、次いで金属類、ガラス類となっている。また、ペットボトル、プラスチック類については容器包装リサイクル法が施行されてから増加している。なお、資源ごみの収集には自治体による公共収集と、それ以外の集団回収があるが、ともに収集量は年々増加している（図6）。その中でも、公共収集の割合が平成3年度から平成14年度にかけて、40%から72%

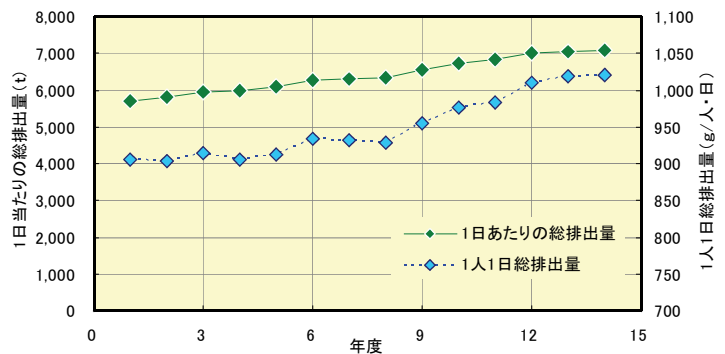


図2 一般廃棄物排出量の推移

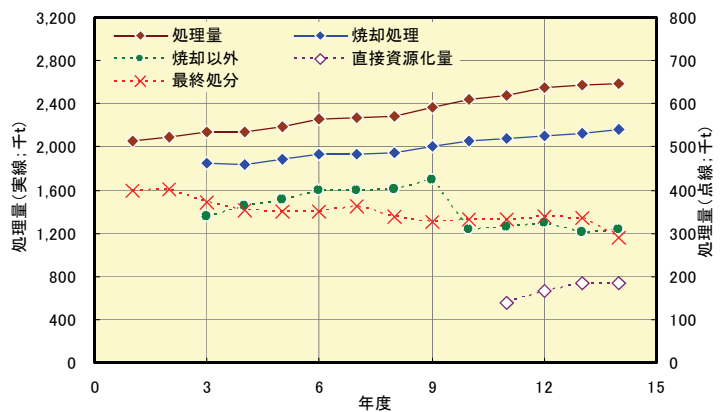


図3 一般廃棄物処理量の推移

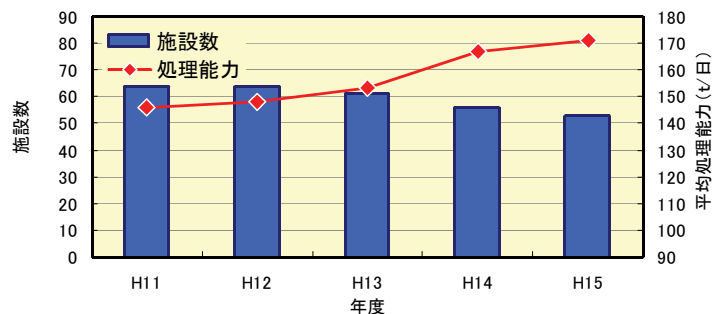


図4 一般廃棄物の焼却処理施設数の推移

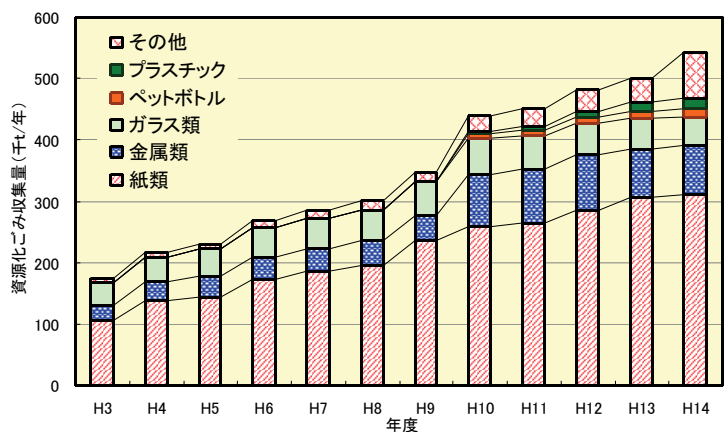


図5 資源ごみの収集状況

と大きく変化している。

他方、最終処分量は年々減少しており、最終処分場の延命化が図られている。埼玉県内における一般廃棄物の最終処分量は約300千t/年で推移しており、他県への依存割合が30～40%であるのが実情である。近年における埼玉県内の廃棄物処理においては中間処理に重点が置かれ、最終処分にかかる比重は小さいといえる。これら埼玉県を中心とした廃棄物の流れについては4で詳しく述べる。

(2) 産業廃棄物⁴⁾

埼玉県では、5年ごとに産業廃棄物の排出事業者に対してアンケート調査を実施している。平成15年度の調査結果によれば、平成15年度の県内における産業廃棄物の総発生量は11,029千tであるが、このうち38% (4,185千t) が事業所内における汚泥等の脱水により減量されている。この他に中間処理過程で更に994千tが減量化されている。事業所内における脱水量を除いた発生量、再資源化量、最終処分量の推移を図7に示す。近年、産業廃棄物の排出量は大幅に減少しており、最終処分量は激減していることが伺える。

平成15年度における産業廃棄物の再資源化量は、全国で201,330千tで総発生量の49.0%であり⁵⁾、埼玉県では5,620千tで総発生量の50.9% (再資源化率;汚泥等の脱水減量を除いた発生量に占める割合82.1%)である⁶⁾。再資源化率は全国平均よりもやや高く、平成5年度 (70.3%)、平成10年度 (72.1%)、平成15年度 (82.1%) と増加していた。再資源化量の多い廃棄物は、平成15年度調査で、がれき類 (2,100千t、再資源化率98%)、汚泥 (1,050千t、19%)、動物のふん尿 (630千t、64%)、金属くず (320千t、98%)、紙くず (260千t、89%) の順となっていた⁶⁾。また、用途別の再資源率は、建設材料 (44%) が最も高く、次いで、肥料・飼料・土壌改良材 (20%)、鉄・非鉄等原料 (11%)、パルプ・紙 (7%)、セメント原料 (4%) となっていた。平成10年度と比べ、平成15年度では廃プラ、紙くず、木くず、ゴムくず、ガラス・コンクリートくず等の再資源化率の増加が著しかった。

産業廃棄物中間処理施設を種類別で見ると、全国及び埼玉県で図8のように推移していた (但し、平成6年度及び11年度の全国の破碎施設には、がれき

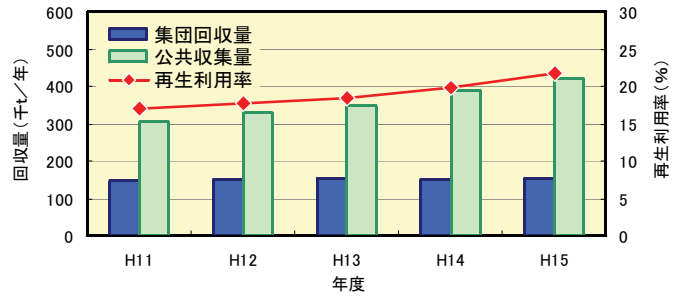


図6 一般廃棄物の回収量及び再利用率の推移

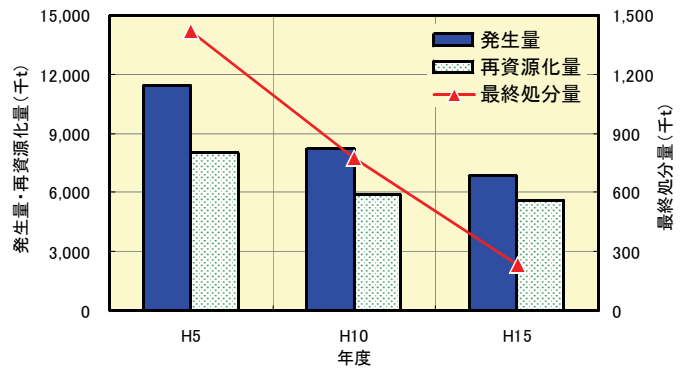


図7 産業廃棄物の発生・処理量の推移

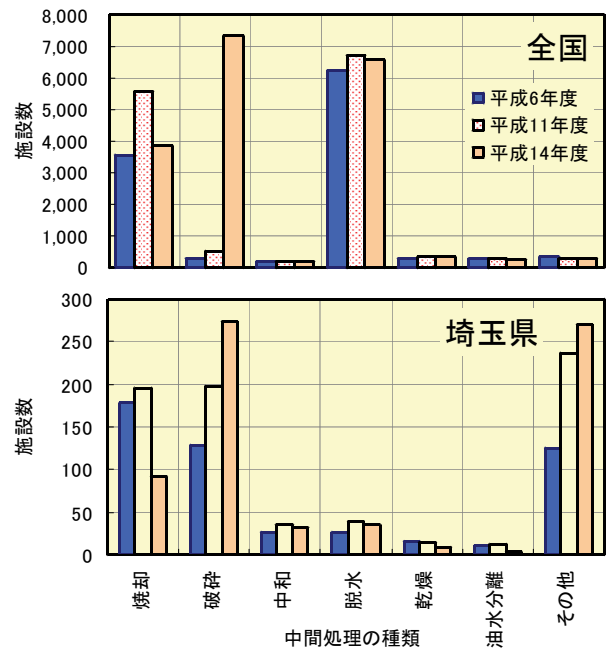


図8 産業廃棄物中間処理施設数の推移

類、木くずの施設が含まれていない^{6,7)}。施設数としては、焼却、破碎及び脱水が全国的に多いが、埼玉県では脱水処理の施設数が少ないことが特徴である。さらに、埼玉県においては、焼却施設数の減少とは逆に、破碎処理施設が増加しており、産業廃棄物の破碎処理による再資源化、減量化が進んでいる。

また、埼玉県は首都圏の中央部に位置するため、産業廃棄物処理の流れの中で中継基地的な役割を担っている。県内で中間処理される廃棄物8,050千tのうち、4,270千tは県外から流入したものである⁸⁾。

3.2 埼玉県における廃棄物関連の施策と概況

本県においては、環境基本法との整合を図りながら平成6年12月に循環型社会の構築を視野に入れた環境基本条例を制定した。さらに、同条例に基づき、環境の保全及び創造に関する長期的な目標（①環境負荷の少ない地域社会の実現、②恵み豊かで潤いのある環境の確保、③地球環境の保全と自主的取組の推進）及び総合的な施策の全体像を明らかにした環境基本計画を平成8年2月に策定している。この計画の下に個別分野の環境関連計画等が定められている。

廃棄物に関しては、県内で発生する廃棄物の発生抑制、再使用、再生利用、適正処理を推進し、廃棄物を取り巻く諸情勢の変化や新たな課題への対応を図るための具体的な施策をとりまとめた、廃棄物処理基本計画が定められた。以下では、基本理念であるゼロエミッションを構築するために本県が行ったいくつかの施策や事業並びに当所（平成11年度までは公害センター）の調査例を紹介する。

(1) 彩の国倍プラント化計画(平成9～11年度)⁹⁾

廃棄物の原料化・再資源化対策の一環として、県内で稼働しているセメント工場で、廃棄物を製品原料又は燃料として活用するための実現化方策を検討した。鋳物廃砂等の排出廃棄物の分析調査等を実施して、川口鋳物業における鋳物廃砂等の廃棄物の排出実態を把握するとともに、鋳物廃砂等のセメント原料化実現へ向けた課題を抽出した。

(2) 産業廃棄物再資源化等可能性調査(平成9～11年度)⁹⁾

既存の資料整理やアンケート調査の実施により産業廃棄物の減量化・再資源化の現状を把握するとともに、食品製造業にターゲットを絞ってヒアリング調査及び排出廃棄物の分析調査を行った。それらの結果から、おから、大豆の皮、割り箸等の廃棄物を飼肥料・敷料化し、その農産物を食品製造業で利用する循環システムの可能性が見出された。このような農業と畜産業との連携モデルを提案するとともに、食品連携モデルの実現に向けた課題を整理した。

(3) 建物解体廃棄物の適正処理調査(平成9～11年度)¹⁰⁾

県内における家屋等の解体時において発生する解体廃棄物の処理の実態（①県内解体廃棄物の発生、処理・処分の状況、②解体廃棄物の受入施設の状況、③解体コストの現状、④県における解体廃棄物処理の特徴、⑤解体廃棄物処理を巡る動向）や委託契約面等の実態（住宅メーカー等による取組状況）を調査した。調査結果を基に、これら解体廃棄物のリサイクル及び適正処理を推進するために、問題点を整理し、県内解体廃棄物の将来予測をするなど、指導方針を策定するための基礎資料を作成した。

(4) 埼玉ゼロエミッション行動計画(平成10年)¹¹⁾

従来の焼却、埋立方式から廃棄物の循環利用方式への転換を図り、廃棄物による環境リスクを最小にした循環型社会を実現するために、県民、事業者、行政の三者が連携して課題に取り組むための行動指針を策定した。計画期間は、平成10年度から平成20年度までの11年間とし、「埼玉ゼロエミッション推進委員会」の下に設けられた各委員会における検討結果を踏まえた具体的な行動計画である。県は、ゼロエミッション社会の実現に向けた3つの目標として、①発生抑制、②物質・エネルギー回収、③適正処理を掲げた。また、その取組方針として、①家庭、事業場、②コミュニティー、工業団地等の地区、③市町村又は広域市町村、④県、⑤広域でのゼロエミッションを掲げた。

(5) 埼玉県ごみ処理広域化計画(平成10年)¹²⁾

この計画は、ごみ処理に係わるダイオキシン類発生防止等ガイドライン(平成9年1月)が旧厚生省から示されたことを受けて策定した。それ以前は、一般廃棄物処理は市町村事務とされ、自治区域内の処理が原則であったが、当時の処理体系では高度処理等の課題に対応しにくい状況が生まれていた。これらの課題を解決するための策として、「ごみ処理の広域化」により①全連続炉の整備によるダイオキシン類の排出削減、②熔融固化等の高度処理^{*1}、③マテリアルリサイクルの推進、④サーマルリサイクルの推進^{*2}、⑤ごみ処理経費等の低減がなされると考えられた。施設の適正規模、市町村の意向、地理的条件、広域化の効果等を考慮した広域ブロックの設定、ブロック別ごみ処理広域化計画の策定、並びにダイオキシン類削減目標の設定を行った。

(6) 一般廃棄物ゼロエミッション推進・実証事業(平成10年)¹³⁾

セメント製造施設を用いて廃棄物の原料・燃料利用を検討する①RDF(Refuse Derived Fuel)^{*3}導入検討事業(西部地域)、②焼却灰等有効利用検討事業(北部地区)、及び県市等の土木事業への適用を検討する③熔融スラグ有効利用検討事業の3つの実証試験事業を取り上げた。循環型ごみ処理システムの実現に向けた県・市町村の施策について、技術的な検証を行いつつ、地域ブロック別に処理システムの特長を生かす方向で検討を進めた。

(7) 埼玉ゼロエミッションモデル推進事業(平成11年)¹⁴⁾

異業種間における資源循環を目指すゼロエミッション工業団地や多様な廃棄物処理と資源化を目的とする廃棄物処理コンビナートの建設を推進するための調査を行った。工業団地を取り巻く問題点及び新規成長が期待できる産業分野も整理した。さらに、産業廃棄物処理業者のヒアリング及びアンケート調査の結果から、廃棄物コンビナートを中心としたゼロエミッション工業団地の提案を行った。

(8) 彩の国工業団地ゼロエミッション推進事業(平成13～15年度)¹⁵⁾

工業団地内において、廃棄物のリサイクル促進によるコスト削減や廃棄物利用を目的とした事業として開始した。

平成13年度はモデル工業団地として東埼玉テクノポリス工業団地において発生する廃棄物を対象とし、種々の廃棄物(食品等包装用プラスチックフィルム、木材加工くず、金属研磨ダスト、塗料かす及び汚泥)を分析し、リサイクル用途への適性及び安全性を検討した。これらの廃棄物のうち、調査・検討の後にリサイクルが実施されたものとして、プラスチックフィルムが挙げられる。樹脂が多種類混合しており、また、印刷等の表面処理が施されているため原料化は困難であるが、高発熱量、灰分量の少なさという燃料としての価値を利用し、現在では集団回収した廃棄物を発電の原料として売却している。

平成14年度は久喜菖蒲工業団地をモデルとし、同様な調査及び分析を行った。その結果、鋳鉄管製造工程から発生する鉄研磨くずについて、廃棄物最終処分場における埋立資材としての利用可能性を見出し、当所と排出事業者との共同研究に繋がった。鉄研磨くずは、くず鉄としての再生利用が困難であり、利用用途が求められていた廃棄物である。平成15年度は、その利用法についての検討を行った。鉄研磨くず利用の実現に向けた研究については、7を参照されたい。

(9) 彩の国資源循環工場整備事業(平成13～18年度)¹⁶⁾

持続可能な循環型社会に導き、真に豊かな県民生活と活力に満ちた産業・経済活動を支えるためには、廃棄物の適正処理とリサイクルに向けた環境産業の育成が必要である。そこで、県はこれまでに行った様々なゼロエミッション事業を基に、県環境整備センター敷地内に、環境分野で21世紀をリードする先端技術産業をPFI(Private Finance Initiative)方式で誘導・集積化してきた。これにより、民間の有する技術力、経営力と公共の有する計画性、信頼性を活かし、透明性を高くするための住民合意システム^{*4}を取り入れた、全国に先駆けた「彩の国資源循環工場」を整備している。

3.3 展望

ゼロエミッションという概念は、平成6年に国連大学が“廃棄物ゼロ”の新循環型産業システムの構築を目指した構想として提唱し始めたものである。その定義は、「水圏、大気圏への排出を一切廃絶し、一産業部門における廃棄物が他部門での再生原料に転換されること」としている。この考え方は、従来型の大量生産ー大量消費ー大量廃棄という直線的な指向から、自然生態系のような循環的な産業生態系の構築を発想の原点としている。現在では、ゼロエミッションの概念は「廃棄物を再資源化した循環型有効利用」として広義に使われている。

ゼロエミッション社会は市場原理によるシステムを基本としているため、その実現にあたっては、廃棄物の需給構造を把握し、変革することが重要である。埼玉県としては、行政と当所が協力体制をとり、新たな市場の創出や産業連鎖の構築を進めている。

4 埼玉の廃棄物の流れ

4.1 廃棄物の首都圏内外への広域移動¹⁷⁾

首都圏に位置する埼玉県には東京都や近接する他県から県境を越えて廃棄物が流入し、さらに埼玉県からも他都県へ廃棄物が流出している。

一般廃棄物について、平成12年度に首都圏の7都県(東京、神奈川、埼玉、千葉、群馬、栃木、茨城)での排出量のうち最終処分されたものは2,605千tであったが、市町村あるいは一部事務組合(以下、市町村等)が自区内で処分した量は76.7%の1,997千tであった。各都県内での処分量は87.1%の2,269千tとなるが、残りの336千tは民間等に処分委託され県外へ搬出されていた。埼玉県の最終処分量は339千tであったが、自区内処分の割合は他都県よりも著しく低く26.3%にとどまっていた。他方、県外への搬出量は140千tに達し、秋田県、福島県、群馬県、長野県、茨城県への搬出割合が、各々31.6%、28.9%、23.4%、16.6%、14.4%と高く、廃棄物が長距離輸送されていた。

産業廃棄物については、平成12年度に首都圏において中間処理を目的として県境移動した量は

9,541千tであったが、そのうちの58%に当たる5,516千tが東京都から他県へ搬出された。搬出先である埼玉県、千葉県、神奈川県で92%にものぼる。埼玉県は3,070千tの産業廃棄物を他都県から受け入れていたが、その内の2,247千tは東京都から搬入されていた。埼玉県からの搬出量は999千tであったが、近接する栃木県、千葉県、群馬県、東京都、茨城県への排出量は全体の80%に達していた。このように、埼玉県は東京都から排出された産業廃棄物の中間処理拠点であると言える。

同様に、首都圏における最終処分を目的とした産業廃棄物の広域移動量は1,236千tであったが、そのうちの438千tは埼玉県が搬出したものである。埼玉県からの搬出先は、愛知県、栃木県、福岡県、群馬県、神奈川県であり、遠距離輸送が行われていた。

4.2 埼玉県を中心とした廃棄物の流れの把握(情報システムの構築)

循環型社会を構築するためには、廃棄物を有用な未利用資源として認識し、可能な限り再資源化することが重要である。廃棄物を排出しないゼロエミッション企業もあるが、それはごく一部の事例であり、通常は少なからず廃棄物は排出される。ゼロエミッションを構築するためには、廃棄物の発生場所、質及び量という情報は得難いのが実情である。

そこで、廃棄物の処理・処分方法が記載されているマニフェスト（産業廃棄物管理票）を平成12年度について詳細に調査し、得られたデータを基に、埼玉県を中心とした廃棄物の流れを把握するための情報システムを構築した。システムには、①県内に中間処理施設あるいは最終処分場を設置している処理処分業者が1年間に受託した廃棄物処理に関する情報、②県内で発生あるいは受託した廃棄物を県外へ搬出した情報が集積されている。これらにより、排出場所、排出事業所の産業分類、処理・処分業者の処理目的や処理技術、リサイクル目的の処理の場合におけるリサイクル用途に関する情報の他、廃棄物の排出量や移動距離など、廃棄物の流れを把握するための様々な情報を容易に引き出すことができる。

このシステムを用いると、個々の廃棄物分類ごとに実際に近い情報を把握することができる。例えば、「建設業から排出された廃棄物（排出事業所の産業分類）」を「埼玉県内で破碎処理（中間処理技術）」する場合の流れ図を図9に、詳細データを表1に示す。これらにより、建設業から排出される廃棄物の種類は、がれき類が最も多く、次いで木くずの順になった。さらに、埼玉県内で破碎処理される木くずの発生源は東京都の方が埼玉県よりも多いことが分かった。

このように情報をシステム化することにより、具体的な政策立案へと活かせる可能性がでてきた。

4.3 展望

廃棄物の実際の流れを把握することは非常に困難であり、一般的な物流（動脈物流と呼ばれる）とは対照的である。静脈物流とも言える廃棄物の需給構造を把握するためには、ここで述べた情報システム等の利用を推進することが必要である。廃棄物の需給構造を解析することにより、3で述べた工業団地のゼロエミッションから、県内や首都圏という大きな枠組みでの循環型社会の創造にいたる政策を、より現実に近づけることができると考える。

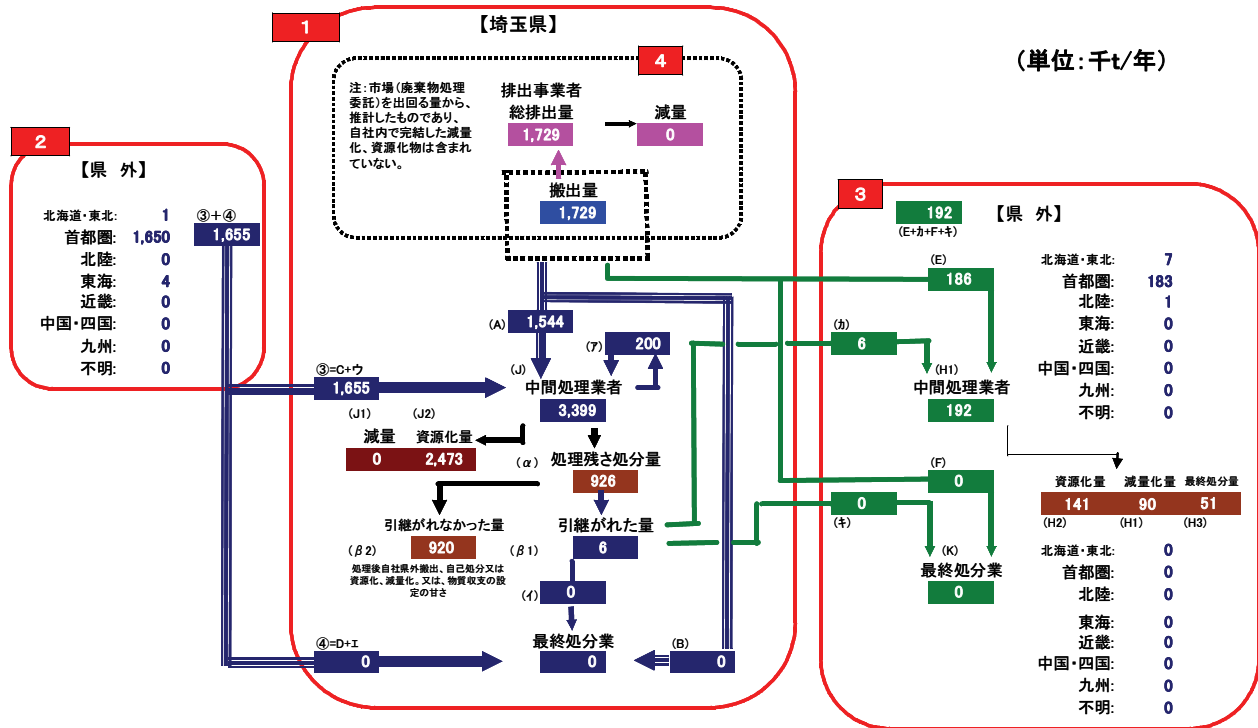


図9 情報システムによる廃棄物の流れ図

表1 情報システムによる廃棄物の県外移動の例

単位:千t/年

	廃プラ	紙くず	木くず	ゴムくず	金属くず	ガラス・陶磁器	鋳さい	がれき類	その他	合計
埼玉県	34.4	1.3	154.0	4.1	49.9	64.4	0.3	1,625.8	1.6	1,935.6
東京都	12.7	1.2	286.8	12.0	31.1	41.9	0.0	1,018.9	0.0	1,404.7
茨城県	0.5	0.0	0.7	0.1	4.1	0.2	0.0	15.7	0.1	21.3
栃木県	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	3.4	0.0	3.8
群馬県	0.2	0.0	5.3	0.1	0.1	0.5	0.0	25.8	0.0	32.0
千葉県	0.9	0.0	3.7	0.9	1.4	1.6	0.0	75.3	0.0	83.8
神奈川県	0.3	0.1	13.0	0.8	3.2	1.1	0.0	84.7	0.0	103.1
山梨県	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.5	0.0	0.3	0.0	1.1
北海道・東北	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.6
東海	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	4.2
近畿	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
合計	49.0	2.7	467.8	18.0	90.1	110.3	0.3	2,850.5	1.8	3,590.3

数値は、排出元(各都道府県等)ごとの破砕選別処理を目的として埼玉県に搬出される建設系廃棄物の量

5 不法投棄・不適正処理の現状と現場調査手法の開発

5.1 不法投棄及び不適正処理

廃棄物は焼却や破砕・選別等の中間処理を経て、再資源化あるいは埋立処分され、その流れはマニフェストにより管理されるはずである。しかし、廃棄物が本来の処理ルートから外れ、林地や農地等の人目につかない場所を中心に不法に投棄されることがある。

不法投棄等は産業廃棄物で多く、環境省の発表によれば¹⁸⁾、平成5年度には日本全国で274件(342千t)、

10年度では1,197件（424千t）、15年度では894件（745千t）の不法投棄があった。この実績は、廃棄物処理法に規定する産業廃棄物であって、同法第16条に違反して不法投棄されたもので、1件当たりの投棄量が10t以上の事案（但し、特別管理産業廃棄物は10t未満を含む）のみの数値である。

平成16年度の産業廃棄物の不法投棄件数は、がれき類（31%）、木くず（18%）をはじめ建設系廃棄物の割合が高く、71%を占めた。他方、投棄量では、建設系廃棄物が全体の86%を占めた。投棄行為者としては、排出量に対する割合として、排出事業者自身が8%、許可処理業者が60%、無許可業者が21%、行為者不明が10%であった。

不法投棄による問題の一つとして、投棄現場周辺の環境汚染があり、廃棄物中の有害物質等が周辺土壌や地下水を汚染し、場所によっては飲料水源の汚染を引き起こす。大規模な事例では、香川県豊島や青森・岩手県境における不法投棄が記憶に新しく、豊島の投棄廃棄物量は約500千tと推定されており、鉛、PCB、有機溶剤で汚染された廃棄物の処理には長い年月や莫大な処理費用がかかる。

環境省が発表した埼玉県における不法投棄事案の件数を図10に示す¹⁸⁾。件数は年度により大きく異なるが、平成15年度以降は少ない状況である。しかし、規模の小さい不法投棄事案は年々増加しており¹⁹⁾、図11に示したとおり、立入件数は増加の一途をたどっている。空き地や中間処理の保管施設等に廃棄物を堆積させた場合は、汚染物質の溶出に加えて、有機物の微生物分解により硫化水素ガスやメタンガスが発生することがあり、悪臭、堆積廃棄物の崩落、火災等のリスクが問題である。

さらに、廃棄物の不適正処理によっても環境リスクが生まれる。運転管理が不十分な場合には、中間処理過程で発生する排ガスや排水等の排出媒体中の有害化学物質により周辺環境を汚染することがあり、埼玉県内でもこのような事例が時々報告されている。

近年、硫酸ピッチの不法投棄が全国的に問題視されている。硫酸ピッチとは、重油と灯油の混合物を濃硫酸で不正に処理して軽油を作ったときの副産物であり、液状あるいはコールタール状の廃棄物である。硫酸ピッチは非常に酸性が強く、二酸化硫黄ガスを大量に放出し、併せて含まれる有機溶剤が大気環境へ放出される。このことから、周辺環境の汚染のみならず、取り扱いの困難さ、暴露したときの呼吸器への影響など、危険性の高い廃棄物である。

日本全国で確認された硫酸ピッチ量は、不法投棄及び不適正保管を含めると、平成12年度以前は

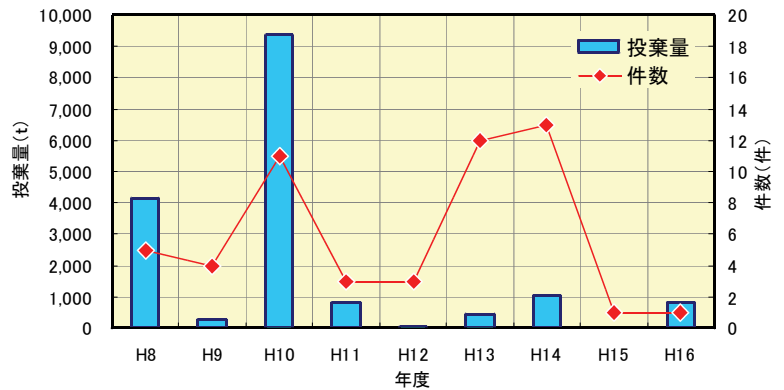


図10 埼玉県における不法投棄件数の推移

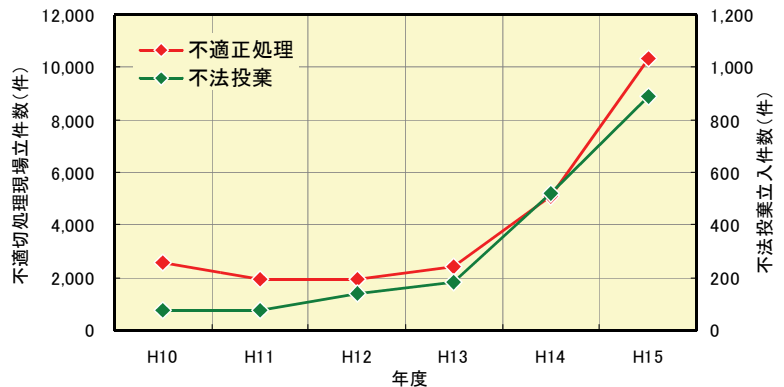


図11 不適切処理現場の立入件数の推移

ドラム缶にして合計2,461本、15年度では28,368本、16年度に9,499本と推移している。県内では平成16年度までの事例合計は19件で、1,628本の硫酸ピッチが不適正処分されていた。不法投棄の方法は、ドラム缶で空き地や地下に投棄された以外に、大型コンテナに密閉状態で街中に放置されたケースもあった。

5.2 現場調査手法の開発とその適用

不適正な処理・処分による環境汚染に対して迅速に対応することは、汚染拡大防止や人への影響を未然に防ぐ意味で重要である。当所では、そのような現場において迅速かつ安価に汚染状況を把握するための調査手法を開発・利用してきた。以下に、その調査手法の概略を一部紹介する。

(1) 土壌電気伝導率計による汚染地域推定法

焼却施設を有する中間処理施設から焼却灰や廃水等が事業所周辺に排出された場合には、廃棄物中に含まれる塩類、重金属類、ダイオキシン類等の化学物質が土壌を汚染し、土壌環境基準を超過することがある。公定法により調査・分析を行い、測定結果から対策を立てるのでは時間がかかるため、当所では現場で汚染の高いと考えられる範囲を推定する簡易調査法を開発した。

一般的に廃棄物は塩類濃度が高く、この塩類とともに有害物質が含まれている場合が多いので、廃棄物が環境中に不適切に処理・処分されると、塩類濃度の高い範囲に有害物質が存在して、塩類と有害物質の汚染範囲が一致することが多い。この簡易調査法は、土壌の電気伝導率を測定することにより、塩類と行動を共にする有害物質の汚染範囲を推定することが根本原理となっている。

産業廃棄物焼却炉を有する中間処理施設の周辺土壌が、焼却施設のスクラバー廃水*5により汚染された例について、土壌電気伝導率

とダイオキシン類及び鉛の関係を図12に示す²⁰。土壌電気伝導率を折れ線グラフで、有害項目のうちダイオキシン類及び鉛の含有量試験データを棒グラフで示した。図から、土壌電気伝導率と有害物質の濃度との相関性はさほど高くないが、土壌電気伝導率の比較的高い地点で高濃度の化学物質が検出されていることが分かる。本手法は汚染範囲の絞り込みに適しており、土壌電気伝導率のコンターマップ*6を現場で作成し、汚染範囲をほぼ的確に把握できる。

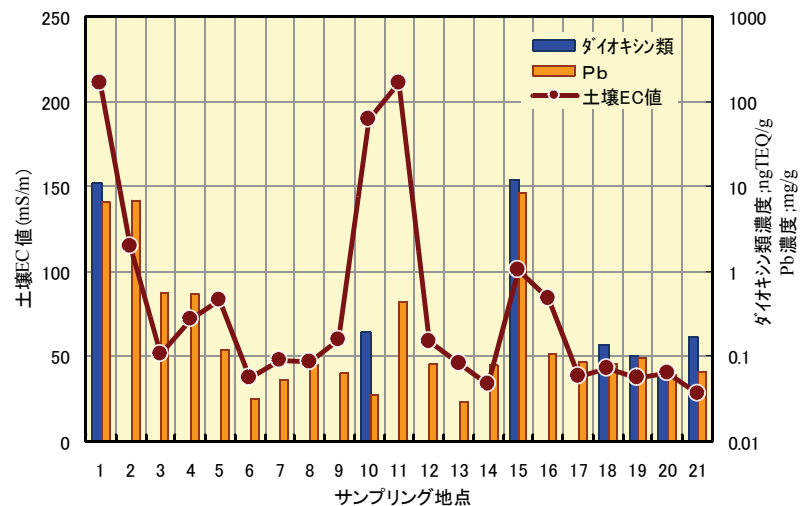


図12 土壌電気伝導率と有害物質濃度の関係

(2) 土壌間隙水採取器による汚染調査

地中埋設を含む廃棄物の投棄現場で、地表から2m付近の比較的小さい土壌間隙水を採取し、その水質により汚染範囲を推定する方法を開発した。採取した試料の水質、水量等によりコンターマップを作成し、水の流れ、汚染物質の高濃度範囲を推定し、汚染対策の範囲を絞り込むことが可能である。

谷間に廃棄物が投棄された後に、覆土された現場の事例について土壌間隙水の採取量でコンター

マップを作成した（図13）。

航空写真等で得られた情報によれば、廃棄物が投棄される以前は元々谷であった図中の左側から雨水が右側に流下し、沼地を形成していたことが分かっている。この沼地であった地域に土壤間隙水採取器を1mない

し2mの深さに差し込み、土壤間隙水を採取した。土壤間隙水の採取量は廃棄物が投棄された盛土側が多く沼地に沿って減少しており、かつての地形から判断して水の流れは元の谷に沿うものと判断された。また、廃棄物が投棄されなかった9B地点側方向への水の流れが見られず、周辺地域への水質汚染はないものと推察された。廃棄物に由来し、地下水流へ移動しやすい塩化物イオン、ナトリウムイオン、さらには有害項目等についても同様なコンターマップを描くことが可能であった。

(3) 比抵抗探査法を用いた地下水脈の推定

比抵抗探査とは、地下断面の比抵抗値^{*7}の分布状況から地盤を構成する物質の種類や内部水分分布等を推定するものであり、ボーリング等による試料採取等を必要としない非破壊診断法である。比抵抗値の違いにより、地中に埋もれた廃棄物中の塩類濃度の高い地点、地下水位、宙水等を推定することができる。

前述した調査事例において比抵抗探査を実施した。その測定結果を図14に示す。ただし、図中の32m地点よりも右側においては表層1mまで極端な高比抵抗領域であるため、逆解析において深さ2m付近の比抵抗値が低く表示されている。このことを考慮にいと、比抵抗値の小さい領域は廃棄物の埋められた盛土側（図中左側）基点から20m地点までの深さ2m前後に存在しており、内部保有水の採取量が多い領域と一致する傾向にあった。その地域の土質にもよるが、廃棄物中の塩類や有害物質がこの水みちを通過する可能性が示唆された。

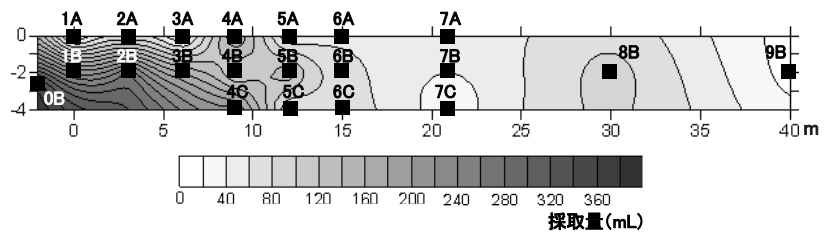


図13 土壤間隙水採取量のコンターマップ

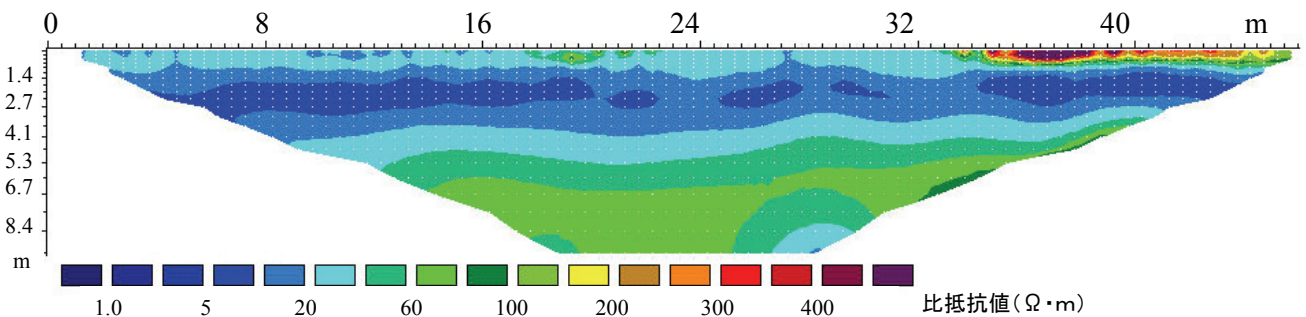


図14 不適切処理現場における比抵抗探査結果

5.3 展望

当所が汚染現場を調査する場合、事前に既存情報の収集・把握を行い、あらかじめ調査手順を決定することから始まる。既存情報に基づく事前調査としては、周辺地域のボーリング柱状図^{*8}を用いた地下構造推定による汚染拡大の可能性の判断及び現場の土質把握、過去に撮影された空中写真による現場改変等の状況把握が挙げられる。そして、実際の現場では、聞き取り調査、土色や植物の

異常の有無等を確認した後、必要に応じて前述した現場調査技術を組み合わせた調査を行う。

しかし、現場調査は一朝一夕にできるものではなく、経験と熟練を要する。また、周辺住民からの情報に耳を傾け、より適切な現場調査法の確立に努める必要がある。

6 中間処理・リサイクル

中間処理とは、排出された廃棄物を無害化、安定化、減量化の目的で、物理・化学的又は生物学的な手段によって、廃棄物の形態、外観、内容、特性等を変え、生活環境の保全や人の健康に支障が生じないようにすること、あるいは、最終処分に適した状態にする処理をいう。最近では、中間処理により資源化物を抽出することも行われつつある。廃棄物の中間処理技術には脱水、乾燥、焼却、破碎、解体、溶融、ガス化、中和、改質、分解、醗酵等がある。分別もまた広い意味での中間処理の概念に包括される。日本の廃棄物行政は、焼却と埋立を中心とした従来の手法から、リサイクルと減容化を目的とする中間処理を重視する時代に入っている。

6.1 一般廃棄物の中間処理

(1) 焼却処理

焼却処理施設は、ダイオキシン類対策特別措置法で構造基準が定められたことに伴い、平成14年度までに高温安定燃焼、高度排ガス処理等の機能を備えた施設に改善された。焼却施設からは、炉の底部に残る焼却灰と燃焼ガス中のばいじんを捕集した集塵灰が残渣として発生し、その大部分が最終処分されてきた。近年では、これらの灰の一部はセメント原料として利用されている。また、溶融処理により有害金属等の溶出を防止するとともに、溶融スラグとして路盤材として利用されている。

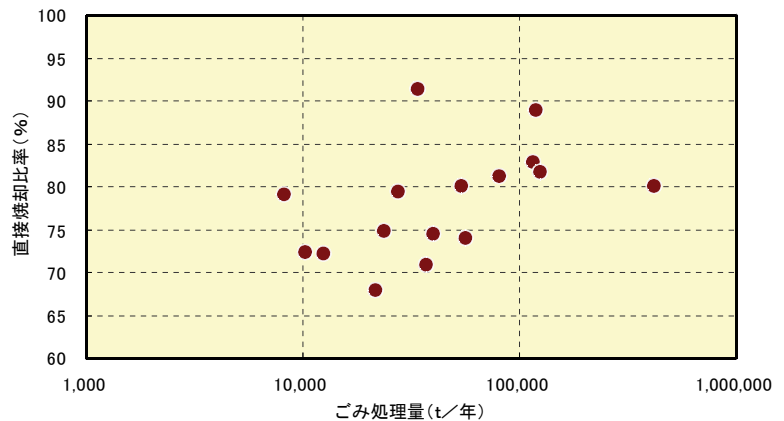


図15 ごみ処理量と直接焼却比率の関係(文献21から作成)

埼玉県におけるごみ処理量に占める焼却処理（直接焼却処理）の割合について図15に示す。人口が多くごみ処理量が多い大都市ほど、焼却処理の比率が高い傾向があった。

(2) 破碎・選別処理

一般廃棄物については、管轄する市町村等によって分別方法や回収後の処理が異なるため、最終処分される選別残渣の性状も市町村

等によって著しく異なる。最終処分されている選別残渣の溶出試験結果について表2に示す。採取された選別残渣（16試料）の溶出液中のCOD及びTOCについては、その濃度範囲が非常に広いことが

表2 一般廃棄物破碎選別残渣の溶出試験結果

	平均値	最大値	最小値
pH	8.1	8.9	7.4
電気伝導率	42	110	6.0
COD	95	500	3.8
TOC	85	480	14
T-N	5.2	26	<0.1

単位：電気伝導率はmS/m、pHはなし、その他はmg/L

確認されたため、選別方法による残渣中の有機汚濁成分の残存率に差があることが分かった。また、焼却処理の比率が高い市町村等では、不燃物の破碎・選別処理残渣中の有機汚濁成分の溶出濃度が低いことが判明した（図16）。これは、有機汚濁成分を含む廃棄物が焼却処理されるため、埋立処分への有機汚濁源の負荷が減少していることを示す。環境保全を重視すると、有機汚濁成分や化学物質からみた破碎・選別処理と焼却処理のシステムの構築が今後重要になると考えられる。

破碎・選別処理には、一般的に手選別、比重差選別、トロンメル^{*9}、磁気選別などが用いられるが、ガラス・陶磁器くずなどの無機物と水分を含んだ紙や木などの選別は風力等を用いた比重差選別等の機械選別では難しく、手選別の精度に依存すると考えられる。この点に着目して、実態調査を行う必要があると考えられる。

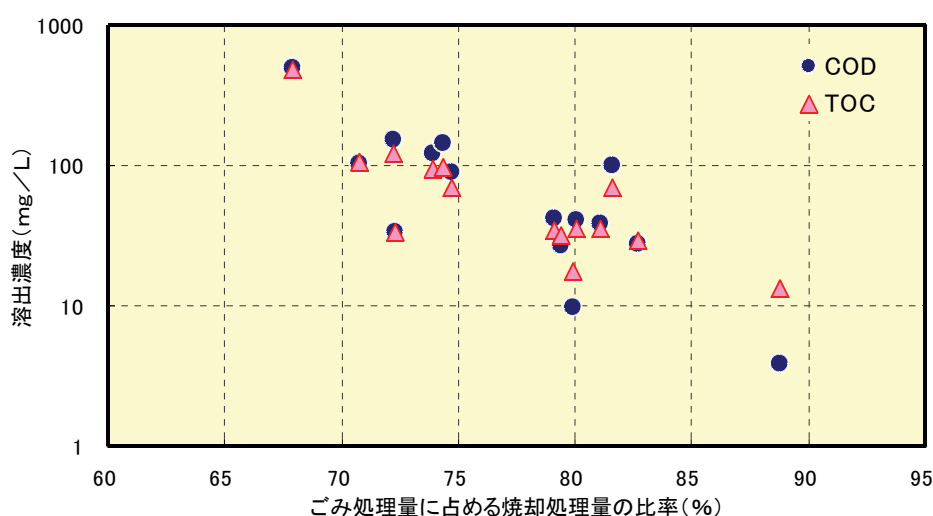


図16 焼却比率と破碎ごみ残渣の有機汚濁成分との関係

(3) 生ごみの堆肥化

生ごみは衛生上の問題と、埋立廃棄物としての減量化、安定化の観点から、その多くが焼却処理されてきた。しかし、生ごみはカロリーが低く焼却に適さないだけでなく、有機資源としてリサイクル可能な廃棄物である。

当所では、都市ごみコンポストを製造している市町村の施設調査とコンポスト試料の安全性、肥効性について試験している。生ごみを原料とする場合、一般的に異物混入、肥効成分の不足、塩分過多等の問題点が指摘されているが、ごみ排出者の意識が高いことから、異物混入はほとんど認められなかった。一部の団体では、生ごみのみを原料とする堆肥化や、豚糞や剪定枝との混合など、有機性廃棄物の堆肥化に積極的な試みが行われている。

他方、堆肥や農産物の運搬にも、輸送コストや燃料消費による二酸化炭素の発生が伴うため、農業地域と生ごみの発生地域に近い場所に生ごみ堆肥化施設を設置して、地産地消の循環型社会を形成することは、非常に重要である。当所では、図17のように堆肥と有機性廃棄物の需給バランスを県全域での移動距離や季節変動等を調査し、循環型社会形成に向けて検討を行っている。

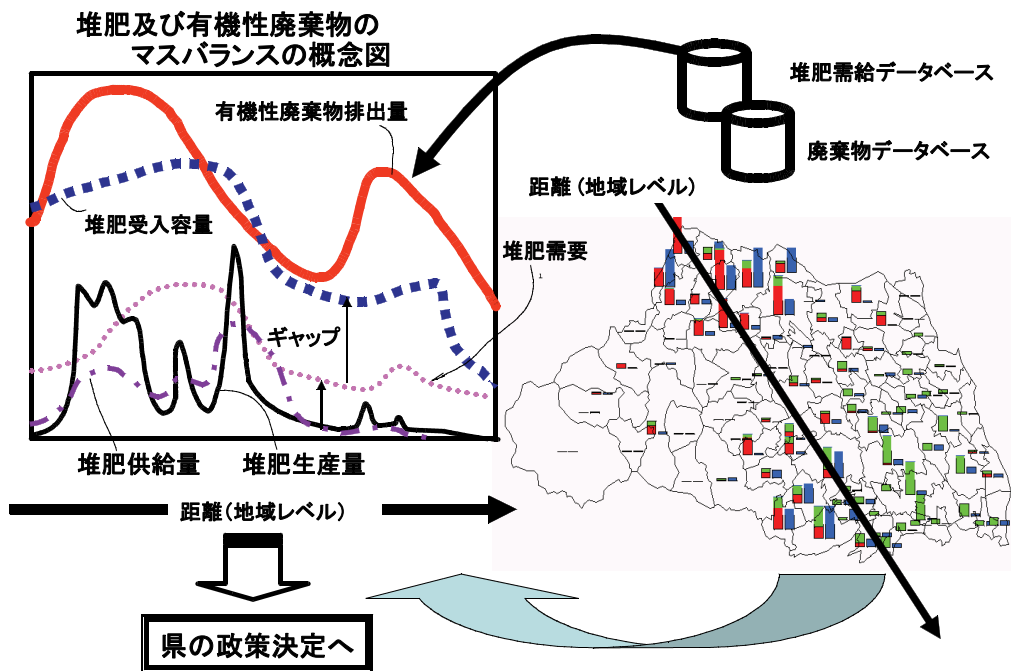


図17 堆肥と有機性廃棄物の需給バランスの概念図

6.2 産業廃棄物の中間処理

埼玉県では、建設廃棄物の不法投棄や野焼き等の不法処理が大きな社会問題であり、建設廃棄物の適正処理及びリサイクルの推進は大きな課題である。

当所の前身である公害センターでは、昭和63～平成3年度にかけて中間処理施設の実態調査を行い、建設廃木材及び建設混合廃棄物については、当所で平成12年度以降も調査を行っている。さらに、建設廃棄物の破碎・選別処理については調査研究を継続的に行っている。これらの調査及び関連する試験研究から、建設リサイクル法の指定廃棄物となっている建設廃木材、アスファルトコンクリート、コンクリート、及び処理が困難な混合廃棄物についての成果の概略を紹介する。

(1) アスファルトコンクリート^{22,23)}

アスファルト廃材は、道路の補修工事や電線、配管等の埋設工事により、舗装材として使用されていたアスファルト合材が剥離されて発生する。平成16年4月1日現在の県内の道路延長距離は46,196.8kmに及び、舗装率は69.0%である。道路舗装率は年々増加しており、今後も多量に発生するものと考えられる。

アスファルト廃材は主に道路工事現場から排出されるため、工事の多い冬期に排出量が増大し、夏期に少なくなる傾向にある。また、アスファルト廃材は他の廃棄物に比べて輸送コストが高いことに加え、再生アスファルト合材の硬化性を考慮し短時間で消費地に運搬しなくてはならない。そのため、工事現場は処理施設の近辺のみのものが対象となり、処理施設の稼働率はあまり高くない。

平成3年度の調査結果では、県内19か所のアスファルト処理施設で、破碎処理あるいは熱解砕処理され、破碎後のアスファルト碎石は、路盤材や再生アスファルト合材の材料として再使用されていた。

アスファルト廃材を再生利用した場合の安全性を確認するために溶出試験を行ったところ、有害金属類の溶出は認められず、有機汚濁物質の溶出も少ないことが明らかとなった。また、再生材として舗装等に使用された場合、夏期には高温にさらされる可能性が高いことから、水温を変えた浸漬実験を行った。その結果を図18に示す。アスファルトから溶出する多環芳香族炭化水素類^{*10}はナフタレンからピレンの低分子量の成分であり、アスファルト碎石では新材に比べて溶出量が多く、水温が高い場合に溶出量が増加したが、溶出量は微量であり、環境汚染の可能性は低いものと考えられる。

(2) コンクリート廃材²⁴⁾

コンクリート廃材は、ほとんどが建築物解体現場から破碎処理施設に搬入され、再生碎石、再生砂として再使用されていた。

県内のコンクリート廃材破碎施設から再生碎石及び再生砂を採取し、溶出試験を行ったところ、カルシウム溶出によるアルカリ化と六価クロムの溶出が認められた。また、新材と再生碎石、再生砂とについて、固液比1：10、温度30℃で3ヶ月間浸漬実験を行った。その結果、六価クロムの溶出濃度は、新材では浸漬直後が最も高く、徐々に減少して1ヶ月後から約0.02mg/Lとほぼ一定となった。再生碎石については浸漬後徐々に濃度が高くなり、1ヶ月後から約0.02mg/Lでほぼ一定となった。他方、再生砂では浸漬後徐々に濃度が増加し、3ヶ月後まで増加し続けた。

再生碎石や再生砂は骨材として利用されるため、セメント原料との混合・養生後は六価クロムの溶出が激減すると考えられる。

(3) 建設廃木材－破碎処理－

建設廃木材とは、建築物の建設時に発生する木材の端切れや型枠材、足場材などの廃木材と、建築物を改築あるいは解体する際に発生する廃木材を総称するもので、木造建築を主流にする我が国では、建築物の新築、改築、解体に伴って多量に発生している²⁵⁾。高度経済成長期以降に建設された膨大な木造建築物が改築・解体の時期に当たるため、今後も建設廃木材は多量に発生する見込みである^{26, 27)}。一方、リサイクル用途は不足しており、サーマルリサイクルに頼っている現状である^{28, 29)}。地球温暖化の原因となる二酸化炭素の発生を抑制するためにも、廃木材はマテリアル、あるいはケミカルリサイクルにより、原料としての再使用が最良の方法であり、外材を大量に輸入している我が国にあっては、天然林保護の観点からも推進されるべきである。

他方、建築物等に用いられる木材は、腐朽を防止するために薬剤処理されるが、長期間にわたる防腐性能が要求されるため、過去において有害な薬品が使用された。昭和38年からCCAと呼ばれるクロム、銅、ひ素の混合物が使用されるようになり、建築物用の大部分を占めていたが³⁰⁾、平成8年頃から自主規制により使用が大幅に減少した。その他に、ペンタクロロフェノール(PCP)、DDTs、HCHs、

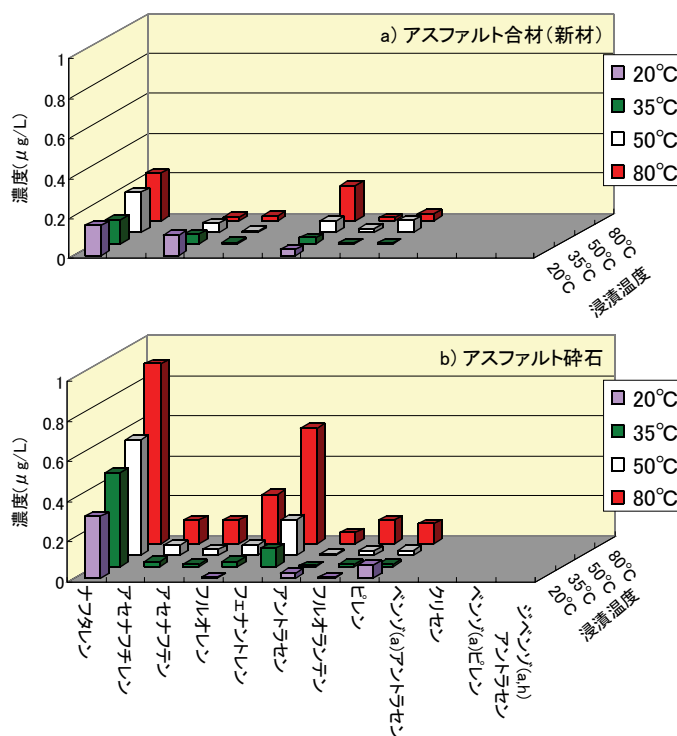


図18 アスファルト廃材の浸漬実験

トリブチルスズ化合物などが使用された³¹⁾。

埼玉県内の廃木材破碎チップ化施設について、昭和63年度及び平成13～14年度に調査を実施し、試料の採取及び分析を行い、有害金属等の選別方法、使用用途及び物質収支を明らかにした^{32, 33)}。その結果、破碎前の目視による用途別選別で有害金属類を多く含む廃木材がある程度選別可能であり、廃木材表面の色相等を指標とした目視による選別の有用性が確認された³⁴⁾。また、過去における使用量が多く、ひ素を多量に含むため、最も選別が必要なCCA処理木材について、市販の水質分析用キットを用いた簡易分析法を提案した³⁵⁾。さらに、破碎・篩い分け工程でダストとして有害金属を多く含む部分を回収できる可能性があることが判明した。これらは当面、焼却処理もしくはサーマルリサイクルすべきである。

(4) 建設廃木材－焼却処理－

建設廃木材の焼却施設については、平成2年度に調査を行っている³⁶⁾。県内の16施設を調査したところ、処理している廃棄物は、平均で建築物の解体工事で発生する廃木材が75%、新築工事で発生する廃木材が20%、その他が5%であった。形態としては、角材が50%、板材が34%、小片が13%であり、その他に紙くず等を混合焼却している施設があった。

焼却炉の形式は床燃焼式が14基、火格子式^{*1)}が2基であり、排ガス処理設備として、サイクロンが8基、スクラバーが5基、電気集塵機が1基設置されていた。焼却による廃棄物の減量化率は84～99%（平均95%）であり、ほぼ良好に焼却されていた。他方、焼却灰、集塵灰の分析結果から、比較的沸点の低いカドミウム、鉛、ひ素等は集塵灰中に濃縮され、沸点の高いクロム等は焼却灰中に残存することが明らかとなった。

焼却に伴って発生する有機性化学物質等について、環状電気炉を用いた室内実験^{37, 38)}に加えて、実炉調査もプロジェクトを組んで実施している。平成17年度の建設廃木材に関する焼却8施設の調査では、ダイオキシン対策のために排ガス処理施設が大幅に改善されており、サイクロンが4基、バグフィルター8基となっていた。

(5) 建設混合廃棄物

建設廃棄物のうち、現場での分別が困難な廃棄物が混合廃棄物として破碎選別施設に搬入・処理されている。埼玉県内の建設廃棄物破碎選別施設のうち処理量の多い6施設について、現地調査を実施し選別品を採取した。

現地調査の結果、混合廃棄物処理に使用されていた主な選別技術としては、篩い分け、破碎、磁気選別、手選別、比重差選別であった。この破碎・選別処理の流れの概要を図19に示す。搬入された建設混合廃棄物は、種類別に粗選別され、単品（単独の種類）廃棄物は個別に単品ラインで破碎・選別され、混合物は混合廃棄物処理ラインに投入される。投入された混合廃棄物は、図のように各工程で選別され、選別品はその品質によりリサイクル、熱利用、埋立処分される。

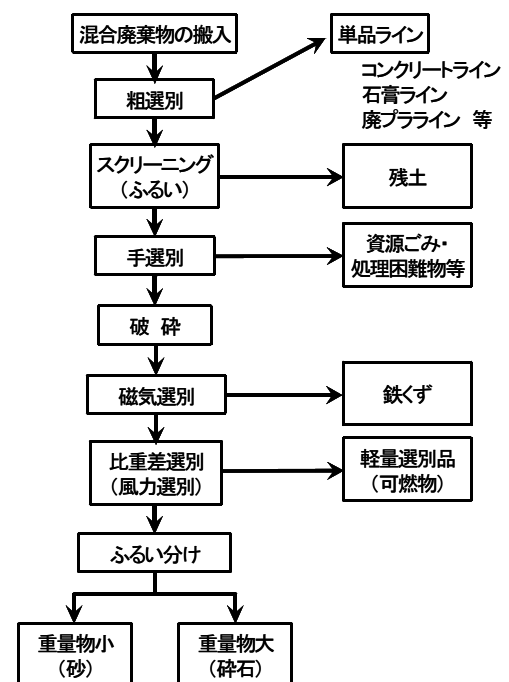


図19 破碎選別処理フローの概要

各選別品の有機物指標について図20に示す。単品の処理ラインから採取した選別品については、熱しゃく減量はほぼ一定であり、施設ごとに違いは認められない。他方、手選別、破碎、磁気選別、比重差選別等を経て選別される重量物大・重量物小、軽量選別品については、施設ごとあるいは排出される選別工程ごとに違いが認められた。

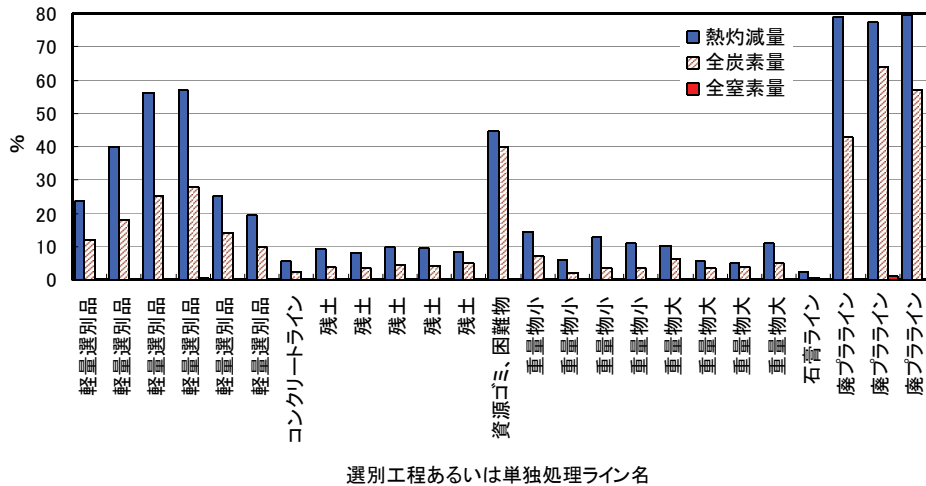


図20 建設混合廃棄物選別品の有機物含有量

これらの選別効果の違いは、投入廃棄物の組成、処理施設、処理条件等に起因すると考えられる。廃棄物の破碎・選別施設において選別効果に影響を与える操作因子として、篩い分け、風力選別における水分含量及び風力選別における風速が挙げられる。これらについては、当所で実験を行っており、水分含量を約10%未満にすると篩い効率が安定し、風力選別の効率も向上することが分かっている。また、風力選別の風速を上げると重量物からの有機物削減が図れることが明らかとなっている。しかし、風力選別において風速を上げ過ぎると軽量選別品に微細な砂等の無機物が混入しやすくなり、軽量選別品の熱しゃく減量の低下と量の増大を招く^{39, 40)}。

選別品の無機成分については、残土（ふるい残渣）及び重量物において、Si、Fe、Al、Tiという土壌成分、Ca、Sという石膏由来成分が主であった。廃プラや軽量選別品については、これらの元素の他にClの含有量が多く、ポリ塩化ビニル等の塩素系プラスチックの混入が考えられる。

今後は、無機性残渣からの有機物の選別精度の向上、鉛等の有害物質の選別手法の確立が課題である。

7 最終処分

埼玉県内で現在稼動している最終処分場は、一般廃棄物22施設、産業廃棄物4施設で、県営の処分場で一般及び産業廃棄物の両方を受け入れている施設が1か所ある。埼玉県内の産業廃棄物最終処分場4施設（民営）の残余容量は平成17年度末現在で約1万m³であり、一般廃棄物最終処分場の残余容量（平成15年度末現在146万m³）と比べて逼迫した状況である。また、最終処分場は表3に示すとおり、安定型、管理型、遮断型の3種類に分類されており、管理型に属する県営処分場は平成15年度末で残余容量が159万m³であった。県営処分場の埋立廃棄物は主に一般廃棄物であるが、

平成14年度を境に産業廃棄物の割合が増加し、平成17年度の実績では17%に達していた。

表3 最終処分場の分類

安定型処分場	有害物質や有機汚濁物質が溶出しないとされている安定型産業廃棄物（廃プラスチック、ゴム屑、金属屑、ガラス屑、陶磁器屑、建設廃材）を対象とする。
管理型処分場	安定型廃棄物以外の廃棄物で有害物質が環境庁告示13号試験で基準値以上溶出しない廃棄物（一般廃棄物はすべてこれに属する）を対象とし、遮水工、水処理施設等の設置が義務付けられている。
遮断型処分場	溶出試験で基準を適合しないような有害廃棄物を周辺環境と遮断して保管する。

7.1 最終処分場からのエミッション

処分場内部における種々の反応により処分場から放出されるもの（以下、エミッション物質と記す。浸出水、埋立地ガス等をさす。）は規制項目を中心にモニタリングされており、当所も埋立地層内の水（層内保有水）やガス（層内ガス）も併せた調査を継続的に実施している。処分場からのエミッション物質の質と量は、埋立廃棄物や層内環境等の条件により異なるといわれている。

層内環境を左右する主な反応の一つは、埋立地層内に存在する微生物が埋立廃棄物中の有機物を栄養源とした分解反応であり、これにより層内保有水のpH、酸化還元電位（Eh）^{*12}、温度等が変化する。二つ目に、廃棄物層の廃棄物表面に付着している微細な固形物や液状物質等が雨水等の浸透により洗い出され、さらには水に溶解しやすい無機物質等が廃棄物層から溶出される「洗い出し」がある。加えて、中間覆土の持つ浄化能力・保持能力・透水性・透気性の違いによっても、エミッション物質への影響は大きい。さらに、処分場の年齢によってもエミッション物質は異なり、有機物分解を軸とした反応プロセスを時系列に分けてエミッション物質を考えることが多い。

(1) 浸出水

処分場を廃止するために浸出水、ガス、温度のモニタリングが義務付けられており、特に浸出水質は水処理施設の維持管理データを含め、多くのデータが存在する。しかし、規制項目である水銀や鉛等の微量成分データは不検出であることが多く、廃止を目的とした安定化状況を解析するには、これらの有害項目により解析することは不可能である。処分場内部の状況を解析するためには、廃棄物の分解や降雨による洗い出しを多量成分や有機汚濁指標により把握することが重要である。一般的な多量成分や有機汚濁指標等には、pH、電気伝導率(EC)、Eh、TOC、BOD、COD、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、CO₃²⁻（埋立初期には有機酸イオンも）等があり、更に詳細な安定化解析を行うためには重金属類のデータが必要な場合がある。

当所では、県内の産業廃棄物管理型最終処分場において、埋立廃棄物の種類及び量、並びに浸出水の水質を埋立開始から調査し、浸出水からみた処分場内部の状況把握を試みている⁴¹⁾。まず、多量成分の中から有機汚濁指標であるBOD及びCODの値、無機成分を示すECの値により、各成分の浸出水への溶出過程を4段階に区間設定し（図21）、その区間ごとに傾向を比較したところ、廃棄物層の厚さによる層内間隙水の滞留時間の違いが浸出水の質と量に大きく影響することが判明した。特に、埋立廃棄物の種類や量が異なっても、有害項目が基準値を超過するのは埋立初期のみであり、層内における捕捉効果等が高いことも分かった。

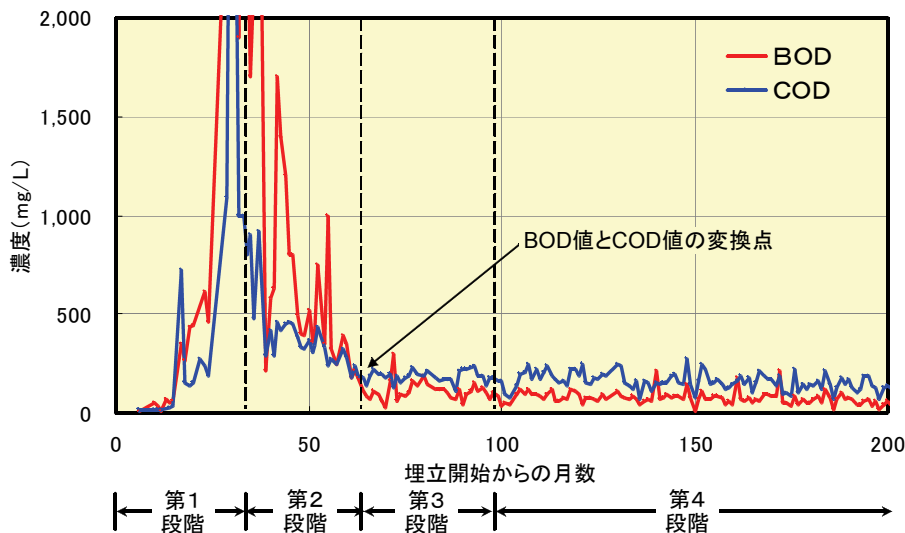


図21 産業廃棄物最終処分場の区間設定と有機汚濁指標値の時系列データ

しかし、処分場は埋立工法等を含めて全く同じものは存在しないため、前例のケースが当てはまらない場合も多くある。そこで、埋立の終了したものも含め県内36か所の一般廃棄物最終処分場で浸出水を採取し、74項目について有害性の有無を確認するとともに、分析結果の統計解析による各種化学物質の特性から処分場の類型化を試みた⁴²⁾。その結果、「汚濁総量（化学物質の総量的な指標）」や「有機成分量、無機成分量」で処分場がある程度は類型化でき、BOD、COD、TOC、揮発性有機酸等の有機性項目、無機性項目ではEC、Cl⁻、K⁺、Na⁺等が指標となった。さらに、異なる年度においても類似した結果が得られており、処分場を大まかに分類する手法として利用可能であった。

(2) 埋立地ガス

埋立地から発生及び放出されるガス（埋立地ガス）は有機物の微生物分解によるものが多く、埋立地ガスの組成及び量は埋立地層内の酸素量や有機物の分解過程等に起因する。そのため、埋立年齢の違いで埋立地ガスも浸出水と同様に質が大きく異なり、表4及び図22に示すような時系列的な変化パターンになる。埋立地ガスの多量成分としてはメタン、二酸化炭素、水素であるが、処分場ごとにガス組成は異なり、埋立廃棄物、埋立工法、環境因子等が影響しているといわれている。ま

表4 埋立地ガス組成等のステージ分類（文献43をまとめたもの）

期	ステージ名	概要	備考
I	好気性分解期	廃棄物中に残った、あるいは表層からの酸素による廃棄物の好気性分解。一部で嫌気性になり、揮発性有機酸の生成。	数時間程度
II	嫌気性酸醗酵期	廃棄物層中の易生物分解性有機物の加水分解・酸醗酵により、揮発性有機酸、二酸化炭素及び水素ガスが生成する。	数ヶ月から数年
III	メタン生成期	揮発性有機酸はメタンと二酸化炭素ガスに変換される。	水素と二酸化炭素ガスからもメタンを生成
IV	定常メタン生成期	揮発性有機酸が減少するが、難生物分解性有機物の分解により供給される有機物からメタンが生成する。	浸出水は低BOD値（～数10年）
V	安定期	廃棄物中の有機物が少なくなり、ガス発生が微弱になり、空気が廃棄物層中に拡散進入する。	～数100年？

た、これら多量ガス成分の発生に付随して、微量ガス成分も生成・放出される。一部に有害あるいは悪臭物質が含まれるが、硫化水素、アンモニアなどが通常調査されている項目である。これら、多量及び微量ガス成分の両方から処分場の安定化を予測する研究が進められている。

当所では、県内の産業廃棄物管理型最終処分場におけるガス抜き管からの放出ガスのモニタリングを継続的に実施している⁴⁵⁾。多量ガス成分の組成はメタン及び二酸化炭素の合計がガス総量の大部分を占めており、二酸化炭素よりメタンの割合 $[\text{CH}_4 / (\text{CH}_4 + \text{CO}_2)]$ が常に85～88%と多いことが分かった。埋立地ガス中のメタンと二酸化炭素の割合は約1：1とも言われているが、大きく組成が異なったのは層内のアルカリ度が原因の一つとして考えられたため、Gas Fluxカラム装置を開発して二酸化炭素の捕捉効果を立証した⁴⁶⁾。このことにより、埋立廃棄物が焼却灰を多く含みアルカリ性に傾いていたため、二酸化炭素がアルカリ塩として固定化され、メタン濃度が高くなったものと推察された。

他方、微量ガス成分として低級炭化水素類を測定したところ、サンプリング深度が深い場合に二重結合を持つ低級炭化水素類の比率が高くなることが分かり、これを層内環境を推測する指標として使用できる可能性が示唆された。

7.2 調査手法の開発

処分場の調査並びに処分場を模擬した実験は数多く実施されており、本稿でそれらを網羅することはできない。ここでは、当所における取組の一部を解説する。

(1) 場内観測井モニタリング^{47,48)}

処分場内においてコアボーリングをすることにより深度ごとの廃棄物の質及びガス組成を確認し、さらにボーリング孔を観測井に仕立てて内部保有水及び層内ガスをモニタリングしている。ボーリング時における深度ごとのガス組成(図23)から判断すると、メタンが活発に生成する層は水面直下の廃棄物層と推定された。低級炭化水素類については、深度が深くなると、二重結合を持つ低級炭化水素類の比率が高くなるなど、前項の調査と同様な結果になった。このことから、埋立地の深度は微量ガス組成に影響することが示唆された。

設置した場内観測井により層内の保有水位を把握できたが、観測井の水位がそれぞれ場所により異なっており連動せず、宙水となっている場合が多いことが判明した(セル工法のため)。さらに、内部保有水を調査したところ、浸出水が中性であるのに対して保有水はアルカリ性を示していることや、浸出水中には検出されない揮発性有機酸が保有水中には高濃度に存在していることが明らかとなった。さらに、保有水のpHが10.6という強アルカリ下においても、揮発性有機酸の微生物分解

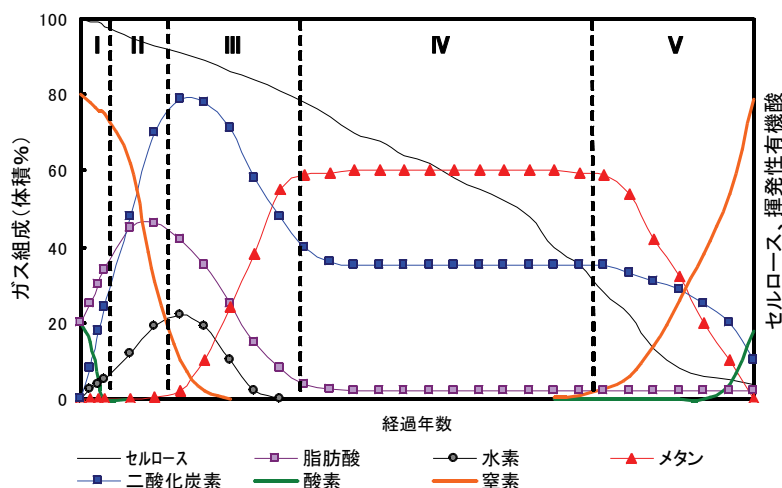


図22 埋立地ガス組成等の変化パターン(文献44を一部修正)

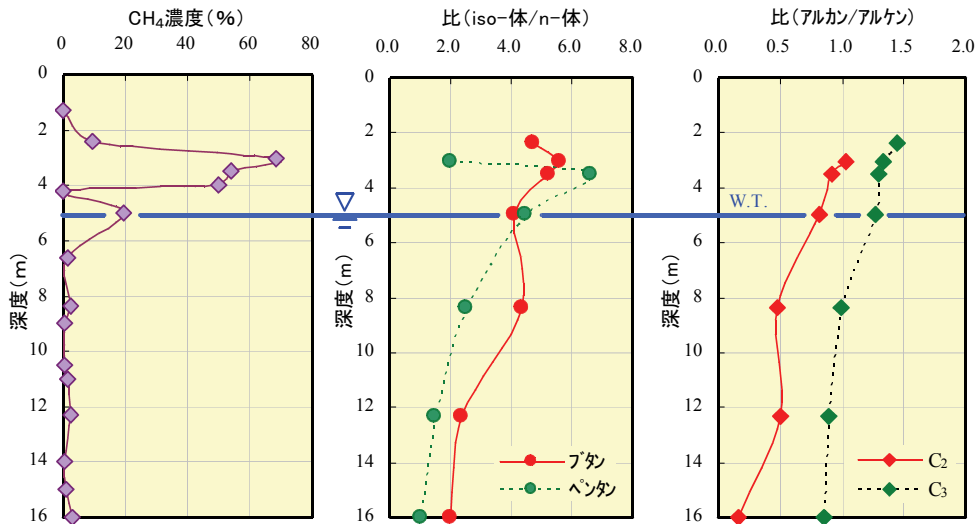


図23 ボーリング時における鉛直方向のガス組成

代謝物であるメタンガスが発生していた。これらのことから、浸出水だけでは把握できなかった微生物活性や廃棄物中の化学物質の溶出などを場内観測井をモニタリングすることにより把握できることが分かった。

(2) 比抵抗探査法による非破壊診断

比抵抗探査法を用いた不法投棄現場の調査事例を5で述べたが、処分場においても(1)のデータと比較検討している。

処分場は層内構成物が不連続であるが、比抵抗探査により内部保有水の状態や移動、塩類による洗い出し状況、廃棄物の種類等を明らかにできる可能性がある。処分場の比抵抗探査事例として、A処分場の比抵抗断面図を図24に示すが、地表面から地下4m程度までは比抵抗値が高く、地表から5~6mの深さから比抵抗値が10Ωmにまで低下する領域を確認した。また、このときの観測井の水位は5.9~6.2mであり、低比抵抗ゾーンの位置とほぼ一致していた。保有水の内部貯留は、安定化の遅延、遮水シートへの負荷、地盤の安全性に影響を及ぼすと考えられるが、本法による早期発見・早期対策が可能となった。

また、図25はA処分場に近接するB処分場の比抵抗断面図を示したものであるが、A処分場と比較すると全体的に比抵抗値が低い。両処分場の埋立廃棄物の種類はほぼ同じであることを考慮すると、B処分場では塩類の洗い出し作用が進行していないと考えられる。

この調査から、比抵抗探査は水分分布のみならず、洗い出し状況も判断できることが分かった。

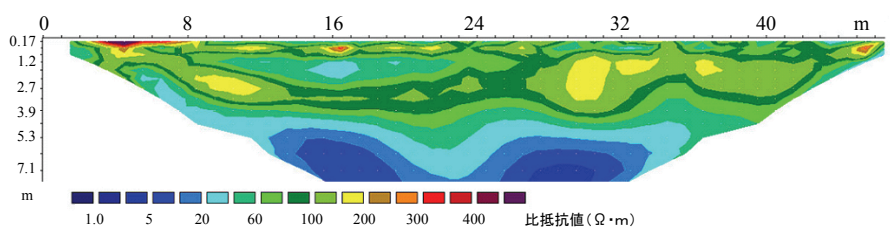


図24 A処分場の比抵抗断面図

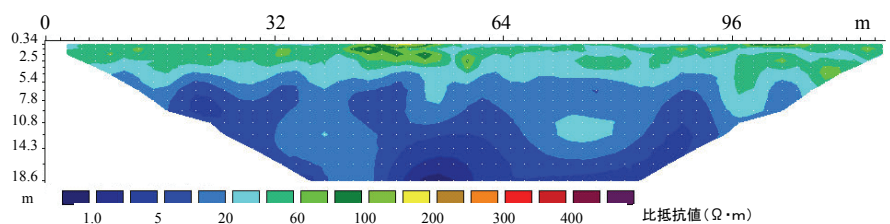


図25 B処分場の比抵抗断面図

(3) 模擬埋立実験槽を用いた実験^{49,50)}

実際の最終処分場に近い規模の模擬埋立実験槽「テストセル」を建設し、埋立層内部に設置した各種センサーにより微生物反応の指標となる温度や水分分布の測定を行うとともに、層内保有水及び層内ガスのモニタリングによる有害物質等の生成、放出過程及び安定化の解明を試みている。

また、土壌・地下水汚染の分野で注目されている技術である浸透性反応壁（PRB: Permeable Reactive Barrier）の概念を中間覆土層に組み入れ、汚染物質を捕捉・分解して浄化水を通過させ、水処理施設の負荷低減、あるいは災害時における地下水への汚水の漏洩を防ぐ安全・安心技術の開発を目標としている。

安価で安全なPRB資材として、高い浄化能力を持つ地域土壌（県内土壌）に硫化水素等の捕捉能力の高い鉄研磨くずを添加している。現在実験中であるため初期データ（図26）のみを示す。No. 1とNo. 2は無機性廃棄物、No. 3とNo. 4はこの無機性廃棄物にコンポストを5%添加したもので、No. 1とNo. 3はPRB処理を施したものである。PRB処理を施したものは、BOD等の有機汚濁成分や臭気、並びに塩類等の無機成分が除去されている。

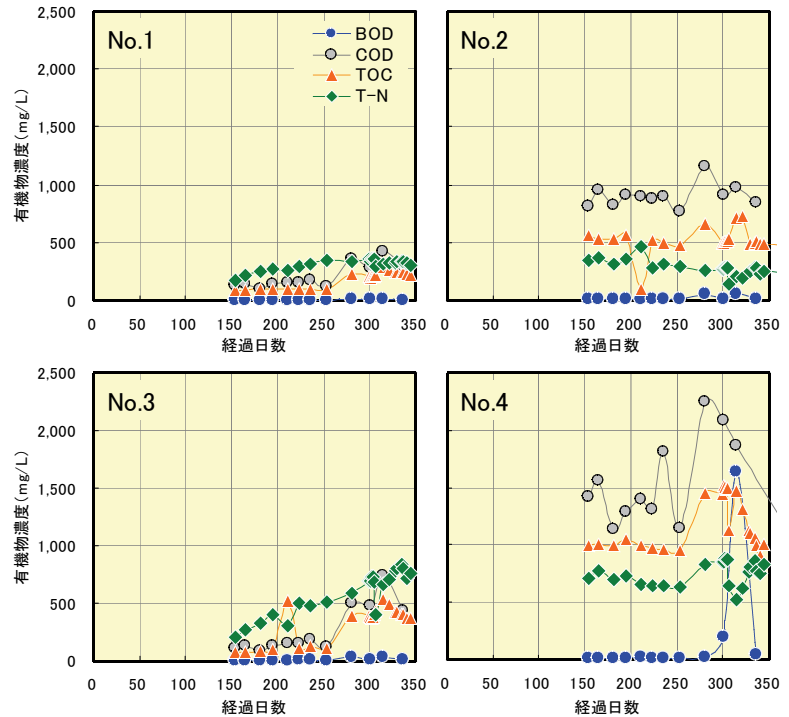


図26 テストセルの初期データ

7.3 展望

埼玉県内にある最終処分場の数は他県と比較して多いとはいえないが、時代を反映した廃棄物が集まっていることに変わりはない。いずれの場合でも、処分場は埋めれば終わりではなく、廃棄物層が安定化するまでに、埋立終了後数十から百年単位の期間を要すると考えられている。ここではケーススタディを挙げたに過ぎず、処分場内部の反応機構の解明や跡地問題など課題は山積みされている。

現在、循環型社会形成に向かい、発生する廃棄物の性状の変化、それに伴う埋立廃棄物の安定化の動向、あるいは廃棄物処理法の共同命令以前の処分場の問題等課題は多く、処分場のあり方を問われる時期にきている。7.2で述べたPRBの利用を含めて、今後新たな処理・処分のシステムの構築も併せて考えていくことが必要である。

他方、近年では埋立廃棄物の質が有機物主体から焼却残渣等の無機物主体へと変遷することにより、自然界で分解できない物質の含有割合が増加している。田中⁵¹⁾は、これからの最終処分場について、①埋立地反応器 (Landfill Bioreactor; 埋立地内での微生物による処理機能を最大化する)、②容器内封じ込め (Containment; 廃棄物保管の機能を強化して汚染の漏出を最小化する)、③最終安定物処分 (Disposal of Final Inert State; 土壌と同じ状態の安定化物にして処分する) の3つ

のコンセプトを提案しているが、中間処理施設の多い埼玉県の立場で循環型社会における処分場のあり方を考えると、埋立廃棄物の種類を限定したり、これらの幾つかを混合して廃棄物層の安定化を促進したりといった、幾つかの処分場体系をつくって管理する必要がある。

また、一般廃棄物の焼却残渣をセメント材料に利用したり、焼却灰を更にコストをかけて溶融スラグにして埋め立てられたりしている場合もあるが、コストをかけずに安全で安心できる処分場の構築が必要であると考え。さらには、県内の廃棄物処分場に係わる問題には、安定型処分場からの汚水の漏洩⁵²⁾、あるいは不法投棄現場の硫化水素ガス問題があり、これらを含めた安全対策の必要性が高まっている。

8 おわりに —持続可能な廃棄物管理に向けて—

廃棄物管理の現状を2～7で述べてきたが、廃棄物管理に係る世界的な大きな流れとしては、循環型社会の構築がある。省資源・省エネルギーで、かつ、廃棄物が循環し得る社会体制をどう築き上げていくかが、廃棄物管理の課題である。

日本では、廃棄物は家庭から排出される一般廃棄物と企業等から排出される産業廃棄物に分類され、一般廃棄物は行政が、産業廃棄物は民間が処理・処分している。この流れは、あくまでも排出源からの分類であり、法律の体系から生まれたものである。しかし、資源循環の流れからみると、廃棄物処理法でいう一般廃棄物や産業廃棄物の分類や廃棄物の種類分けより、その組成や質に応じたきめ細かな分別が資源化の鍵を握る。

6で述べたように、同一廃棄物であってもその組成や質が大幅に異なる。これらを効率よく分類し回収する社会システムの構築が必要な時期にきている。特に、化学物質の管理からみると、有害な化学物質が含まれていることも分からずに資源化されたり、最終処分されたりする恐れがある。そのため、住民から安全・安心な廃棄物管理のあり方を求める声が大い。しかし、過剰な安全や安心を求めると莫大な経費を伴うことになる。

これらの課題を解決するための低コスト型の技術を開発し、かつ、これらの技術を活用した社会システムの構築を支援することが地方自治体の研究所の役割であると認識している。

これらのことは、一朝一夕には解決できないが、持続可能な循環型社会を構築するには、「技術」と「社会システム」の両輪を作り、産・官・民の同意の下に動き出す必要がある。その事例を紹介する。

日高市ではセメント業と提携して、都市ごみをそのままロータリーキルンで処理し、セメント原料として利用してきている⁵³⁾。この事業は、平成13年から実証実験がスタートとし、平成14年には本格稼働している。このシステムは、家庭から排出される家庭ごみを市が収集し、セメントキルンを改良したロータリーキルン型発酵装置に直接投入し、3日間程度で一次発酵物を作る。この一次発酵物は破砕・選別されて金属選別機により金属類が除去された後、セメント焼成キルンにて焼成され、セメント原料や燃料代替材となる。

平成14年度における日高市の総人口は約54千人で、総収集ごみ量は約17千tであり、そのうちセメント工場での実証試験で処理されたごみの量は約6千tであった。直接資源化された1.4千tを加えると、日高市の資源化率は約45%であった。実証試験後の目標は、一般家庭系可燃ごみ11千t/年、

不燃ごみ（金属くずは除く）1千t/年及び事業系可燃ごみ2.8千t/年の総計を14.8千t/年としており、再資源化率は80%以上となると推察される。

また、ロータリーキルン型発酵装置で資源化された一次発酵物1tをセメント焼成キルンに投入すると、試算では石炭量0.3tの燃料代替効果があり、かつ、その焼却灰は80kgの粘土代替材料となり、天然資源の節約につながる。なお、セメント阻害物質としての塩素（全塩素量：平均0.01%）も問題となる量ではなく、かつ、重金属量も普通ポルトランドセメントの含有量以下であったと報告されている。

但し、問題点がないわけではなく、粗大金属、衣類及び粗大物等はロータリーキルン型発酵装置の搬入口や発酵室の移動の妨害となるので、これらの混入を避けるためにごみの収集形態を変え、分別の徹底が必要となった。そのため、市は市民の協力を得て分別回収方法を変更した。さらに、環境保全と省エネルギーとのバランスの中で、環境を守るリサイクル基準の設定が重要な行政課題となっている。

このように、地場産業と市や市民が協力体制を築き、最終処分量を最大限に削減し、再資源化率の向上を図っている市があることは、循環型社会を構築するうえで重要な方向性を示すものであり、行政はこれらの安心・安全の社会システムを構築する責任がある。

地場産業の技術開発を援助し、県民の協力を得て、県が社会システムを構築すれば、安全で安心な循環型社会を構築できるものと信じている。

用語解説

*1 溶融固化等の高度処理

高度処理とは焼却灰等の一次処理物を更に処理することにより、廃棄物中の有害化学物質の分解・削減を行うこと。廃棄物処理に関わる高度処理技術として、溶融固化、ダイオキシン類熱分解、廃プラ油化等がある。溶融固化とは、焼却灰等の廃棄物を加熱し、1,200℃以上の恒温条件下で有機物を燃焼させるとともに、無機物を溶融した後に冷却してガラス質の固化物（溶融スラグ）とする技術であり、重金属の溶出防止及びダイオキシン類の分解・削減に極めて有効である。

*2 サーマルリサイクル

廃棄物を焼却処理するだけでなく、焼却の際に発生するエネルギーを回収・利用すること。サーマルリサイクルは、狭義ではリサイクルに含まれない場合もある。2000年に制定された循環型社会形成推進基本法では、廃棄物処理やリサイクルの優先順位を①リデュース（ごみの発生抑制）、②リユース（再使用）、③リサイクル（マテリアル、ケミカル）、④サーマルリサイクル、⑤適正処分としている。

*3 RDF

廃棄物から派生した燃料（廃棄物固形燃料）を意味する。生ごみ・廃プラスチック、古紙などの可燃性のごみを選別・乾燥・粉碎したのち、接着剤（石灰など）を混合して、圧縮成形機で圧縮・形成したもの。

*4 住民合意システム

生活環境に影響を与える可能性のある事業の推進においては、地域住民からの信頼性の構築や、協力体制の確立は必要不可欠である。そこで、関係者の多様な価値観を明らかにするため説明、議論等を通じて、事業主と地域住民の相互における意見を一致させ、その結果を工程に取り入れるシステムのこと。

*5 スクラバー廃水

廃棄物焼却炉等の排気ガス中に含まれる有害物質を洗浄液で除去する装置をスクラバーという。洗浄液に排気ガスを通過させる溜水式、排気ガスの流れに加圧水を噴射する加圧水式等の方式があり、汚染された洗浄液をスクラバー廃水と呼び、処理が必要である。

*6 コンターマップ

等値線図、コンター図とも呼ばれるが、地図の等高線や天気図の等圧線のように同じ値を持つ場所を線で結んで作成した図をいう。等値線の位置と間隔から、表示する数値の高低の位置や数値の変化を視覚的に読みとることができる。

*7 比抵抗値

物理探査法の一つである比抵抗探査で得られた値を比抵抗値といい、物質の単位体積当たりの電気抵抗の大きさを示す。地盤を比抵抗探査により調べた場合、電気の流れやすい部分（比抵抗値が小さい）と流れにくい部分（比抵抗値が大きい）が観測され、これにより地下の状況を推定することができる。

*8 ボーリング柱状図

柱状図とはある地点における地質断面図のこと。ボーリング柱状図は、ボーリング調査で得られた深度方向の情報（土壌の質、地盤強度、地下水位など）が記載されたもの。

*9 トロンメル

回転式ふるいのこと。傾斜をつけた円筒状のふるいの上部から投入したものが、選別される。廃棄物分野では、建設廃棄物において可燃物と不燃物の選別などに用いられている。振動ふるいに比べて騒音が少ない。

*10 多環芳香族炭化水素類

多環芳香族炭化水素類とは、炭素と水素原子からなる2以上の縮合芳香環を含む有機化合物のこと。石炭の不完全燃焼、自動車の排気、喫煙などから発生するとされている。

*11 火格子式焼却炉

ストーカー式焼却炉とも呼ばれる。炉床に直接廃棄物等を置いて燃焼させる床燃焼式に対して、格子状の鉄棒等の上で燃焼させることにより、格子の下から供給される空気が燃焼物全般に行き渡りやすい。

*12 酸化還元電位

溶液が酸化性か還元性かを表す指標。値がプラス側に大きいほど酸化力が強く、マイナス側に大きいほど還元力が強いことを意味する。

文 献

廃棄物管理

- 1) 埼玉県環境部資源循環推進課, 一般廃棄物処理事業の概況(平成14年度版)ほか.
- 2) 埼玉県環境防災部環境政策課(2000)平成12年度版埼玉県環境白書.
- 3) 埼玉県HP, 第6次埼玉県廃棄物処理基本計画(案)<<http://www.pref.saitama.lg.jp/A09/BC00/iken/3syo.pdf>>.
- 4) 埼玉県, 埼玉県産業廃棄物実態調査報告書(平成15年度).
- 5) 環境省HP, 産業廃棄物の排出・処理状況について<http://www.env.go.jp/recycle/waste/sangyo/sangyo_h15.pdf>.
- 6) 埼玉県HP(2005)平成16年度埼玉県産業廃棄物実態調査報告書概要版<<http://www.pref.saitama.lg.jp/A09/BC00/data/sanpai/sanpaidata-h15.pdf>>.
- 7) 環境省HP, 1. 産業廃棄物処理施設の設置、産業廃棄物処理業の許可等に関する状況<http://www.env.go.jp/recycle/waste/kyoninka/kyoninka_h14.pdf>.
- 8) 産業廃棄物ゼロエミッション推進事業検討委員会(1998)産業廃棄物ゼロエミッション推進事業報告書.
- 9) 倉田泰人, 小野雄策, 河村清史(2000)各種有機性産業廃棄物のリサイクルシステム, 第11回廃棄物学会研究発表会論文集, 223-225.
- 10) 建物解体廃棄物処理等検討委員会(1998)建物解体廃棄物の適正処理に関する調査報告書.
- 11) 埼玉県・彩の国さいたま環境推進協議会(1998)埼玉ゼロエミッション行動計画.
- 12) 埼玉県(1998)埼玉県ごみ処理広域化計画.
- 13) 埼玉県環境生活部廃棄物対策課(1998)一般廃棄物ゼロ・エミッション推進・実証事業報告書.
- 14) 埼玉県環境生活部廃棄物対策課(1999)埼玉ゼロエミッションモデル推進事業.
- 15) 埼玉県環境防災部廃棄物政策室(2002)彩の国工業団地ゼロエミッション推進事業報告書.
- 16) 埼玉県(2002)彩の国資源循環工場事業記録.
- 17) 環境省(2003)首都圏の廃棄物の広域移動の状況(平成12年度実績)について.
- 18) 環境省(2005)産業廃棄物の不法投棄等の状況(平成16年度)について.
- 19) 埼玉県(2004)平成16年版埼玉県環境白書, 14.
- 20) 長森正尚(2002)土壌汚染の簡易調査手法ー汚染土壌を見つけるにはー, 埼玉県環境科学国際センター講演会講演要旨集, 12-15.
- 21) 環境省HP, 一般廃棄物処理実態調査結果ー平成15年度調査結果ー<http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h15/data/shori/city/11/01.xls>.
- 22) 渡辺洋一, 須貝敏英, 小野雄策, 長森正尚, 小林進(1993)中間処理施設実態調査(第3報), 第14回全国都市清掃研究発表会, 305-307.
- 23) 渡辺洋一, 須貝敏英, 小野雄策, 長森正尚, 小林進(1992)産業廃棄物中間処理に関する研究(Ⅳ)ーアスファルト廃材処理施設ー, 埼玉県公害センター研究報告, 19, 91-106.
- 24) 長森正尚, 須貝敏英, 小野雄策, 渡辺洋一, 小林進(1992)産業廃棄物中間処理に関する研究(Ⅴ)ーコンクリート廃材処理施設ー, 埼玉県公害センター研究報告, 19, 107-121.
- 25) 建設省, 建設副産物実態調査(平成7, 12年度).
- 26) 建設省, 建築統計年報.
- 27) 増田武司, 須貝敏英, 小野雄策, 渡辺洋一, 小林進(1990)産業廃棄物中間処理に関する研究(第1報): 木くず破砕中間処理施設, 埼玉県公害センター研究報告, 17, 99-110.

- 28) 秋山俊夫(1996)木質廃棄物の発生と再利用の実態, 木材の科学と利用技術, 日本木材学会, 第IV巻, 第二分冊, II.7-II.22.
- 29) 渡辺洋一, 倉田泰人, 小野雄策, 河村清史, 細見正明(2002)埼玉県における廃木材破砕チップ化施設実態調査, 第13回廃棄物学会研究発表会, 473-475.
- 30) 石田英生(1999)木材保存, 木材工業, **54**(11), 545-547.
- 31) 高橋旨象(1990)生物劣化を対象とする木材の耐久性向上技術, 木材工業, **45**(4), 150-156.
- 32) Yasundo Kurata, Yoichi Watanabe, Yusaku Ono and Kiyoshi Kawamura (2005) Concentrations of organic wood preservatives in wood chips produced from wood wastes, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, **7**(1), 38-47.
- 33) 渡辺洋一, 倉田泰人, 小野雄策, 細見正明(2003)建設廃木材破砕施設における有害金属等の収支, 廃棄物学会論文誌, **14**(6), 343-352.
- 34) 渡辺洋一, 倉田泰人, 小野雄策, 細見正明(2005)建設廃木材中の金属-外觀によるスクリーニング及び表面と内部の濃度分布-, 環境科学会誌, **18**(5), 469-480.
- 35) 渡辺洋一, 倉田泰人, 小野雄策, 細見正明(2004)市販簡易分析キットによる廃木材中の砒素, クロム, 銅のスクリーニング法, 環境化学, **14**(3), 661-669.
- 36) 渡辺洋一, 須貝敏英, 小野雄策, 長森正尚, 小林進(1991)産業廃棄物中間処理に関する研究(III), 埼玉県公害センター研究報告, **18**, 36-52.
- 37) 渡辺洋一(1994)産業廃棄物の熱分解生成物(I)-木くず及びPVCからの揮発性有機化合物の生成: 第5回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 477-479.
- 38) 倉田泰人, 小野雄策, 河村清史(2001)建設廃木材の焼却生成物質(第1報), 第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 628-630.
- 39) 渡辺洋一, 小野雄策, 河村清史, 細見正明(2001)破砕選別施設から排出される残土中有機物の削減, 第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 457-459.
- 40) 渡辺洋一, 倉田泰人, 小野雄策, 河村清史, 細見正明(2003)破砕選別施設から排出される残土中有機物の削減(第2報), 第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 470-472.
- 41) 長森正尚, 小野雄策(1995)浸出水の水質経年変化-管理型産業廃棄物最終処分場-, 埼玉県公害センター研究報告, **22**, 49-65.
- 42) Masanao Nagamori, Tomohiro Naruoka, Youichi Watanabe, Yasundo Kurata, Yusaku Ono, Kiyoshi Kawamura and Yoshio Ono(2005)Chemical characteristics of leachates in landfill sites of municipal solid wastes, *Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*, 697-698.
- 43) 田中信壽(2000)環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理, 技法堂出版, 123-135.
- 44) J. F. Rees(1980)The Fate of Carbon Compounds in the Landfill Disposal of Carbon Matter, *J. Chem. Tech. Biotech*, **30**, 161.
- 45) 長森正尚, 小野雄策(2003)管理型最終処分場の廃止基準に関する考察(2), 第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 1085-1087.
- 46) 長森正尚, 木持謙, 小野雄策(2003)埋立終了後における発生ガスの移動メカニズム, 埼玉県環境科学国際センター報, **3**, 94.
- 47) 長森正尚, 小野雄策(2004)管理型最終処分場の廃止基準に関する考察(3), 第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 1249-1251.

- 48) 長森正尚, 小野雄策(2005)管理型最終処分場の廃止基準に関する考察(4), 第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 1001-1003.
- 49) 小野雄策(2005)最終処分場の有害物質の安全・安心保障 その2, 第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 1127-1129.
- 50) 渡辺洋一, 小野雄策(2006)廃棄物模擬埋立実験(テストセル)について -設置コンセプトと初期データ-, 埼玉県環境科学国際センター講演会講演要旨集, 19-22.
- 51) 田中信壽(2005)20年~30年で安定化する持続可能型埋立最終処分場に関する研究, 文部科学省科学研究費研究成果報告書.
- 52) 渡辺洋一, 小野雄策(1989)黒い水の生成過程と処理, 埼玉県公害センター研究報告, **16**, 121-129.
- 53) 小野雄策(2005)最終処分場の代替策, 都市清掃, **58**, No. 268, 514-518.