

【特集：循環型社会における埋立処分のあり方】

廃棄物処理における埋立地の役割と位置づけ

松藤 敏彦*

【要旨】 埋立地は他の処理と比べて長期間の管理が必要となるため、早期の安定化が必要である。処理の最後に位置する埋立はそれ以前のすべての処理の影響を受けるため、日本で中間処理と呼ばれている処理は、埋立の前処理と考えるべきである。埋立地の安定化に影響するのは有機物量であり、安定化を早めるため処理方法の選択、さらには埋立廃棄物の選択が必要である。埋立構造は、有機物の安定化を進めるために水分と空気をどのように制御するかによって選択しなければならない。また、埋立終了後のアフターケア機関の管理、跡地利用方法を念頭に入れた計画が必要である。

キーワード：埋立地、位置づけ、安定化促進、埋立地構造、アフターケア

1. ごみ処理における埋立の位置

1.1 処理の最終段階としての埋立

まず製品が廃棄物となつてからの、モノの流れから埋立の位置を考えてみよう。図1¹⁾のように、廃棄物処理は発生源からの収集から始まって、埋立で終わる。日本では、埋立地の公式名称は「廃棄物最終処分場」であり、その前の処理を中間処理と呼ぶ。すなわち順序としては、中間を経て最終に至り、埋立は処理の「最終」段階との意味合いがある。また廃棄物はそれが再び資源として利用され、経済社会にもどらない限り、埋立がライフサイクルの終わりとなるので、製品にとっても「最終」であり、最後の捨て場のように考えられている。

最後の到達点であるから、埋立地がない状況は、廃棄物処理にとっては大問題である。循環型社会が共通の目

標として掲げられてから、資源循環のための中間処理が以前に比べて多く行われるようになった。しかしどのような中間処理も必ず残渣が生じるため、埋立ゼロは現実には達成困難であり、埋立地は廃棄物処理における必須の処理である。

1.2 完結性が求められる埋立

日本では、焼却と埋立はごみ処理方法の選択肢として考えられている。つまり、燃やせるごみ、燃やせないごみとの表現に表れているように、焼却するか、埋め立てするかの並列である。しかし1990年代後半から欧州では、焼却のことを図2¹⁾のようにthermal pretreatment、すなわち熱的前処理と呼んでいた。焼却と埋立を連続するものとしてとらえ、焼却は埋立のための「前処理」である。図1と図2とは、呼び名が異なっている。

ごみ処理における個々のプロセスは、物理的（機械的）、生物的、熱的などの方法によって、質の変化も伴いながらインプットをいくつかのアウトプットに分け、アウトプットは次の処理へ向かう。たとえば堆肥化は、堆肥という生産物も生み出すが、残渣は埋立あるいは焼

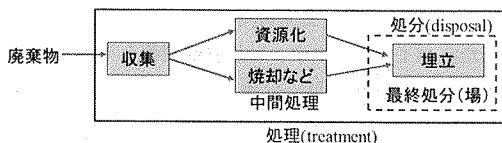


図1 ごみ処理における埋立地の位置づけ（日本）

原稿受付 2012. 8. 18

北海道大学大学院工学研究院 環境創生工学部門
連絡先：〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目

E-mail: matsuto@eng.hokudai.ac.jp

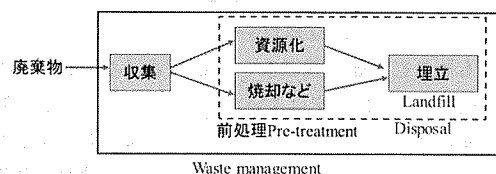


図2 ごみ処理における埋立地の位置づけ（欧米）

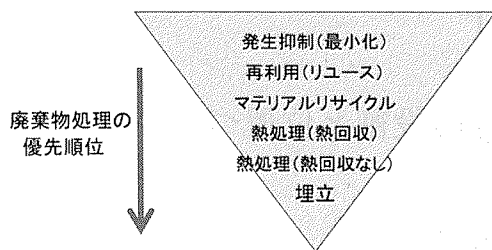


図3 廃棄物処理の階層構造

却される。焼却は有機物を減量化し、焼却灰、焼却飛灰が埋立などの処理が必要になる。つまり、いったん分けられて一部は並列となるが、すべての処理は直列につながり、最後に埋立がある。そのため、唯一後続の処理を持たない埋立はその前にあるすべての処理の影響を受け、しかも完結しなければならない（ただし、施設内で浸出水、ガスの処理がある）。

1.3 埋立は上位か下位か

循環型社会基本法において、処理の優先順位は3Rから始まり、次にエネルギー回収、焼却、最後に埋立となっている。これは図3のように描くことができ、廃棄物の階層構造と呼ばれる。それでは埋立は、廃棄物処理において最も下位におかれるということだろうか。

ごみ処理全体のつながりを考えると、これはまったく逆である。埋立の環境影響が大きいと、より前の段階の処理を適切に行わなければならない。20世紀の初めから日本のごみ処理は焼却が中心であり、埋立地は中間処理残渣を受け入れる「従」の立場であった。埋立地を「主」と考え、埋立を含めたごみ処理全体の環境影響を小さくするような「従」の前処理を選択することが必要である。つまり、埋立を頂点とする直列的意識をもち、部分を最適化するのではなく、ごみ処理全体としての最適性を求める必要がある。これは、Integrated Solid Waste Management（総合的廃棄物処理）の考えである。欧米においては長く埋立処分が中心となっていたために、この考えが持ちやすいものと思われる。

2. 埋立処分の安定化促進

埋立地は、あらゆる種類の廃棄物を受入れることが可能である。もし、埋立地がすべてのものを飲み込んで、しかも周りに影響を残さないsinkであるならば、何もかも埋め立ててしまえばよいだろう。しかし有害化学物質を埋め立てたラブキャナル事件などの事例は、大きな環境影響を生じうることを示している。しかも他の処理が日から週単位で終了するのと比べて、埋立地は、内部

の安定化に数年から数十年という時間がかかる。そのため、不適正な前処理、不適正な処分は長期にわたって、環境影響を生じる可能性、大きな環境リスクの原因となりうる。

埋立地のリスクで第一に考えなければならないのは、有害物質の流出である。有害物質は、埋立地内で安定化するかどうかよりも、埋め立てられた際にどのような挙動を示すか（流出するかどうか）、さらにさかのぼって、埋立地への搬入をどのように制御するかが課題である。一方、埋立地の管理を長期化させるのは、有機物の存在である。有機物分解には時間がかかり、埋立ガス、浸出水の長期にわたる管理が必要となって、処理費の増大につながる。欧米では後述するように、埋立終了後の管理を30年と予想していたが、近代的な埋立が始まっておよそ30年が経過したいま、さらに長期化する恐れを抱くようになった。埋立地安定化の促進は、重大な課題となっている。ここでは、有機物の安定化を促進する方法について、欧米の動きも含めて述べることにする。

2.1 埋立地内安定化の促進

埋立地の管理期間を短縮するには、有機物の分解を早く終了させればよい。北米を中心とするバイオリアクター型埋立地は、この考えによっている。埋立地を「微生物活動によって有機物を安定化する生物反応器（バイオリアクター）」とみなす考え方は古くからあるが、バイオリアクター型埋立地は「装置」としての効率を最大化しようとするものである。pH、廃棄物の粒径、栄養、温度、水分などの制御、微生物植種などさまざまな条件が考えられるが、バイオリアクター埋立地は嫌氣的分解を最大化するため、廃棄物層を一様に最大水分保持状態に保つことを目標に制御される。浸出水再循環は1980年代から広く行われていたが、埋立地内を一様に、かつ最適水分に保とうとする点がいずれも工学的である。

2.2 埋立有機物量の削減

EU、米国ともに、生ごみ等の有機物は混合埋立されていた。バイオリアクターは埋立廃棄物をそのままとし、埋め立てた有機物を早く分解させようとするものだが、EUでは埋立廃棄物中有機物を減らす方法をとった。1999年公布のEU埋立指令(99/31/EC)において、「廃棄物は埋め立てされる前に、前処理をしなければならない」「生物分解性廃棄物の埋立量を減少する」ことが明記された。後者は、1995年を基準として2009年までに50%、2016年までに65%とすることが具体的に定められている。前処理方法として選択されたのが、MBP（Mechanical Biological Waste Pre-treatment、物理・生

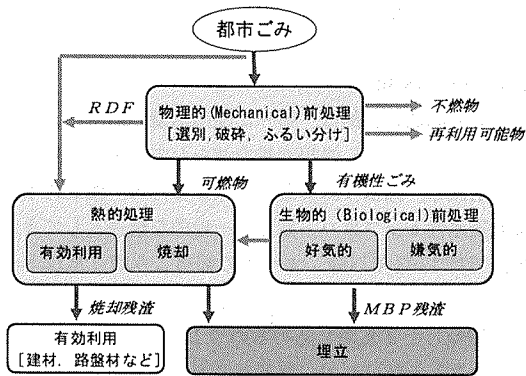


図4 MBPの流れ

物的前処理)である。図4にフローの例を示すが、混合ごみを、破碎、選別、ふるい分けによって可燃物、不燃物、有機性ごみに分け、可燃物は熱処理（エネルギー回収）、有機性ごみは生物処理（好気性または嫌気性）し、それらの安定化物を埋め立てる。

図4の中段、物理的選別により可燃物と有機物を分け、それぞれを処理するまでのプロセスは、かつて日本にもあった。つまり、ごみ固形燃料（RDF）製造と堆肥化を同時に行おうとする試みで、ごみの有効利用、資源化を意図していた。日本で有機性廃棄物を好気性処理するのは、堆肥の生産を目的としている。しかし製品として販売可能とするには発生源分別、異物除去、熟成、そして利用者確保という一連の条件が必要となる。ごみを選別してRDF、堆肥を製造するとの試みも、RDFに生ごみが、堆肥にはプラスチックなどの異物が含まれ、成功しなかった。

一方図4には、最後に埋立がある。好気性処理は単に有機物を減少させる前処理であり、埋立地を早く安定にするための手段である。前処理であるから、肥料の品質として要求される肥料成分の含有量、重金属含有量などの基準はなく、異物の選別は不要である。好気性処理された有機物は、埋立地の覆土に使用する方法もあり、透水性、透気性、微生物活性が高いため覆土に使用すると有機物の分解を促進し、しかも土によって埋立地の空間を消費せずにすむ。資源として利用することは、ごみ処理の部分最適化である。ごみ処理全体としての利用方法を考えると、処理技術の活用方法は広がると思われる。

2.3 廃棄物の選択

埋立地への有機物量を減少させるための、2.2よりも直接的な方法は、有機物を埋立地向かうフローから除外することである。つまり収集後に選別、前処理するよりは、排出時点で分別するのがよい。日本は、1970年代

から可燃ごみと不燃ごみの分別を行ってきた。これは焼却に不適な不燃物を除くために行われたのだが、このとき生ごみは埋立地にとっては幸運なことに「可燃ごみ」に分類され、生ごみは「燃やせるごみ」に分別するのが普通になっている。生ごみは水分を除けば有機物主体であるので燃やせばなくなるが、含水率が高いため発熱量の点で焼却に適とはいえない。1900年の汚物掃除法によって、伝染病の発生を防ぐために「焼却した方がよい」との方針があったためである。欧州で最近になって有機物削減を進めようとしているのとは比べると、衛生面の配慮によるものではあったが、結果的に日本は埋立地安定化にとって良い選択をしたといえる。

3. ごみの特性と埋立地構造

3.1 廃棄物の分類

わが国の埋立地には、産業廃棄物の3つの分類、安定型、管理型、遮断型がある。欧米でこれに相当するのは、不活性 Inert、非有害 Non-Hazardous、有害 Hazardous の区分であり、いずれも埋め立てられる廃棄物によって、そのための埋立地構造を分けている。管理型と遮断型は有害物の有無、安定型と管理型は有害物に有機物を含めた溶出可能性による区分と、やや評価軸が異なるように思われる。生態系、人間の健康への影響を考えると、まず有害性を第一に考えるべきであるが、本稿は有機物と埋立構造の関係について述べる。

なお、日本は産業廃棄物、一般廃棄物の区分が第一にあり、その中に特別管理廃棄物との名称で有害な廃棄物の区分があり、複雑である。さらに、一般廃棄物と産業廃棄物の区別は、ごみの特性ではなく、主に組成あるいは種類と、発生源で区分されているため、たとえばプラスチックがどこから排出されるかで一般廃棄物にも産業廃棄物にもなるとの不合理が生じている。同じものなのに、処理施設を別にしなければならないのは、まったく非効率である。処理の最適化のためには、欧米のように家庭か事業所か産業かによらず処理においてはその特性によって分けるといった方法をとるべきである。

3.2 好気性と嫌気性

埋立地の内部雰囲気は、空気（酸素）の侵入速度と内部での酸素消費速度によって決まる。前者は、埋立地表面を含めた廃棄物層の透気性に、後者は生物分解性有機物の存在の有無に主として支配される。有機物のない空隙の多い不燃物埋立地であれば、放っておいても好気的になるし、生ごみが多ければ酸素消費が大きい嫌気的になる。すなわち、好気性、嫌気性の制御が必要なの

は有機物がある場合で、その難しさは有機物量に依存する。

欧米の埋立地はいわゆる混合ごみで有機物を多く含む。そのためバイオリクター型埋立地は嫌気性を前提として、微生物分解を最大化してメタンガス発生を促進することを目的として始まった。一方で、有機物の分解速度は、好気性分解の方がはるかに速い。バイオリクターもこの点を考慮して、水分とともに空気を供給する好気性バイオリクター、嫌気・好気を繰り返すハイブリッド型バイオリクターが提案された²⁾。埋立地に空気を送り込むのは、高速堆肥化を埋立地内で行うことと同じである(嫌気性バイオリクターも埋立地内メタン発酵装置といえる)。しかし規模が大きいかほど廃棄物も不均質になり制御も難しい。カリフォルニアにおけるプロジェクト³⁾では、ガス回収管を12~13 m 間隔で敷設し、プロアで吸引して透気性覆土から空気を引き込むことを行った。しかし酸素濃度、温度を均質にすることはできなかった。また堆肥化は、分解が良好であるほど温度が上昇する。好気性バイオリクターは、エネルギー消費の大きさ、温度上昇による発火の危険性のためあまり採用されず、北米のバイオリクターは大部分が嫌気性である⁴⁾。

嫌気的な埋立地の安定化には100年オーダーの時間を要するため、EUでは古い埋立地の安定化を促進するために空気圧入管、ガス抽出管を打ち込み(供給-抽出は交互に切り替える)、埋立地全体の完全な好気化を図ることが行われている。これは古い埋立地のレメディエーション(修復)である。好気化の方法としてRitzkowski⁵⁾は、高圧(High pressure)と低圧(low pressure)の2つに分類している。高圧は最大6バール(1バールはほぼ1気圧)で空気を押し込むのに対し、低圧は0.3バール以下で、通常は20~80ミリバールである。低圧はさらに、押し込みと吸引の両方を持つもの、押し込みのみ、吸引のみの3つに分け、それぞれ active aeration and off-gas extraction, active aeration without off-gas extraction, passive aeration (air venting) と呼んでいる。エアレーションの方法として準好気性も紹介している。

低圧のエアレーションであっても、埋立地内の温度は70℃近くまで上昇する⁶⁾。吉田⁷⁾は、終了後の埋立地に安定化促進のため打ち込んだガス抜き管内の温度を測定し、最大60℃まで上昇していることを報告している。吸引も押し込みも行っていないが、Kimら⁸⁾は空気が埋立地内を通してガス抜き管に向かって流れているためと推定している。いずれにしても、埋立地へのエアレーションは低圧あるいは自然対流による方法が適当であり、

発火の心配もなく、効果が得られると思われる。

3.3 水分の制御

水分の制御の目的は、第一に浸出水量の削減におかれてきた。欧米では、浸出水量を減らして浸出水処理コストを削減し、漏水リスクを小さくするため、埋立終了後の低透水性トップカバー敷設を一般的な構造としてきた。米国では1993年以降、すべての都市ごみ埋立地はトップカバーを設置しなければならなくなった。しかし廃棄物を乾燥したまま閉じ込めるのでDry tomb(乾燥したごみの墓)と呼ばれて、底部ライナーからの漏出が長期的には避けられず、環境リスク発生を長期化させるだけとの懸念が強くなっている。そのため、上述のような安定化促進のための方向に向かいつつある。

日本でも、最終覆土はやはり浸出水量を削減しようとする目的がある。これは、降雨量が多く、しかも集中する傾向があるため、浸出水処理を考えてのことかもしれない。一方で、有機物分解のことはあまり考慮されていない。準好気性構造によって分解を早めようとしても、水分の範囲が適正でなければ分解は進まないし、低透水性の覆土は表面からのエアレーションの機会を奪う。中間覆土が低透水性であれば、浸透した雨水がそこで側方へ排除され、中間覆土の下部へ水分が供給されず、同時に空気も供給されないかもしれない。微生物分解のためには適度な水分が必要だが、これまでの日本の埋立地は十分な考慮がなされていなかった。安定化促進を埋立の重要な目標であることを認識し、適度な水分と酸素供給のためどのような埋立方法がよいか、いま一度考える必要がある。

水分制御の点では、屋根付き処分場は降雨変動の影響を受けず、一定の水分供給をすることができるのが大きな長所である。しかし、安定化促進のための根拠は十分とは思えない。筆者が直接知る屋根付き処分場は多くはないが、散水量は年間降雨量を基準としており、単に降雨を平準化したにすぎない。埋立廃棄物の種類は、処分場によって異なっているが、安定化を図るならば廃棄物の特性に合わせた散水量を設定しなければならない。筆者らが調査したある処分場は生ごみが多く搬入されており、埋立期間中に散水を行っていない。埋立終了後に屋根を移動したのち、シートが不十分であったため降雨が侵入し、内部の温度が上昇した。これは、埋立地内水分が微生物活動には不十分であったことを意味する。安定化のために嫌気か好気かを中心に論じることが多いけれども、水分の制御方法を検討する必要がある。

なお、ドイツにおける古い埋立地のエアレーションでは、水分の制御は行っていない。コストがかかるのが理

由とのことである⁶⁾。工学的最適化とコストの間のトレードオフが、現実的な制約となっている。

4. 埋立地の廃止とそれ以降

4.1 終了後管理期間の短縮

埋立地は、終了までに長い時間がかかる。これは、他の処理と大きく異なる点である。

わが国では埋立の終了を、開口部を土砂等で閉鎖することから「閉鎖」、浸出水、埋立ガスが安定化し、埋立地管理の必要性がなくなると埋立地としての許可登録が不要となることから「(許可登録の)廃止」と呼んでいる。これは日本独特の表現であり、欧米では埋立終了後の管理期間をアフターケアと呼んでいる。閉鎖は英語でも“closure”なので、アフターケアはPost-closure care (closure後のケア)、あるいは時間がかかることから“Long-term care (長期間のケア)”とも呼ばれている。つまり、「廃止」は欧米ではアフターケアの終了にあたる。

欧米では30年間のアフターケアを行い、そのための資金を確保することが義務づけられている。主として資金的な規定であり、米国では「構造、運転が基準を守り、適切なカバーがされ、過去10年間に水質モニタリングで異常が検出されていない」ときに終了できるとしている。この負担が大きいため、またさらに長期化する可能性があるため、アフターケアの終了を“release from aftercare” (解放) と表現している。これまで述べてきたさまざまな方法は、このアフターケア期間の短縮のためであり、繰り返しになるが埋立地の構造よりも、廃棄物の前処理、さらには発生源での分別という廃棄物処理全体としての対応が必要である。IWWG (International Waste Working Group) は Waste Management 誌を発行し、廃棄物全般の国際会議サルジニア、バイオマスエネルギーの国際会議ベニスなどを主催しているが、いくつかのタスク・グループが研究活

動を行っている。その一つ、持続可能な埋立地管理 (Sustainable Landfill Management) の中心テーマが、アフターケアの終了である。図5は、埋立地のライフステージであり、閉鎖、アフターケアの終了をいつ行うか、その基準をどうするかなどを検討している⁹⁾。

4.2 跡地利用

埋立地は住民から嫌われ、反対を受けやすい施設であるが、利用可能な土地を生み出すことができる。この点は他の廃棄物処理方法にはない長所として、もっと強調されてよい。

江戸時代には、現在の東京湾の浅瀬にごみを埋め立て、新田を開発した。ごみは埋立資材であり、湿地、くぼ地など、土地としての利用価値が低い場所においては、「土地造成と利用」の意味があった。現在では、海面処分場が土地を新たな土地を生み出す方法となっており、内陸地に土地の確保が難しい大都市圏でのメリットは大きい。

埋立跡地は、公園、工業団地、農地など、さまざまな利用可能性がある。しかし筆者らのアンケート調査¹⁰⁾によれば、一般廃棄物最終処分場(供用中、235か所)のうち跡地利用計画があるのは24%に過ぎず、用途も公園・緑地65%、林地17%、グラウンド6%、農地6%であった。これより、埋立地の計画に跡地利用を積極的に含めているところは少ないといえる。資源化処理は、施設の建設と運転が第一に考えられ、運転を開始したあとに回収物・生産物の利用確保の難しさが明らかになることが少なくない。資源化とは、回収されたものに価値があり、利用があるから計画する、ニーズに合わせて設備や原料を選択するのが正当であり、埋立もそうすべきである。

跡地利用から考えると、以下の要因を考慮する必要がある。①どのように利用するか、次に、早期の利用を可能にするために②埋立廃棄物の種類あるいは前処理、③ごみ特性に合わせた構造、維持管理の選択、そして④利用方法にふさわしい立地(周辺土地利用、アクセスなど)である。このように、跡地利用から全体の処理計画を立てることができれば、迷惑施設といわれる埋立地が広い有効な土地を生み出す「有用施設」と見られるようになるかもしれない。

4.3 資源保管

最近では、有用な資源、あるいは将来利用できるかもしれない廃棄物を「保管」し、技術が開発されたら取り出して資源化しようとする「保管型埋立地」の提案がある。確かに、欧米には Landfill mining (埋立地鉱山) と

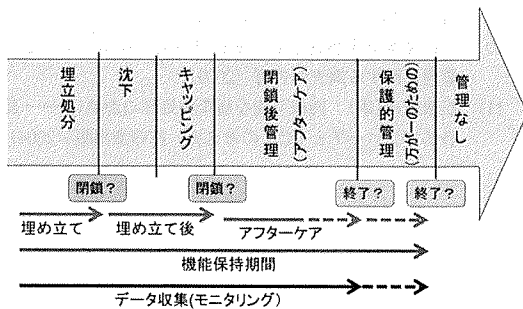


図5 埋立地のライフステージ

いう考え方があり、埋立地から廃棄物を掘り起こして資源物を取り出すことが行われる。家電製品に希少金属が多く含まれていることから、都市鉱山と呼ぶのも同じである。廃棄物となってしまうものを、できるだけ有効に使うための考えだが、埋立の場合は、埋め立てる前に回収するのが合理的である。現時点で資源化可能なものはすみやかに資源化すべきであり、将来、利用可能技術が必ず実現するとの保証はないし、「保管」が目的ならばわざわざ埋立地を使う必要もない。単なる保管は「最終処分」ではないので、「埋立地」との名称を使うのも不適當と考えている（地下保管庫と呼ぶべきである）。

5. お わ り に

筆者のごみ処理に関する研究は、収集から始まり、資源化、焼却の順に対象が移り、最後に埋立に到達した。いわば、ごみ処理の上流側から下流へ、図1の左から右へ向かって進んできたことになる。この過程で、本稿のテーマである「ごみ処理における埋立地の位置づけ」を、強く意識したことが2度ある。ひとつは1996年1月、スウェーデンで開催された埋立シンポジウムで日本の焼却について話すよう頼まれたときである。つけられたタイトルが、Thermal Pre-treatment in Japanであった。それまで焼却は中間処理であると思っていた筆者は、前処理との表現に驚くとともに、埋立を中心とする国と、焼却を中心とする国の視点の違いに気付いた。

2つ目は、Integrated Solid Waste Management (IWM)を知ったことである。内容に感銘を受けて翻訳¹¹⁾したが、副題にあるように主なテーマはLCAであるが、前半はごみ処理の分かりやすく丁寧な説明となっており、全体としてすべてのごみと処理を全体として最適化するという「総合的廃棄物処理」の考え方で書かれている。ちょうどLCAの研究も行っていたので、システムとして廃棄物処理をとらえる考え方の重要性を感じた。

この2つの経験から、ごみ処理は埋立を起点として考えるべきであるとの思いを強く持つようになった。日本のごみ処理は、部分部分が別々、単独に扱われているように思える。たとえば、ある処理施設を建設するとき、処理対象となるごみは条件として設定され、回収物の利用もあつて考える。処理のパフォーマンスを上げるために、さかのぼってごみの分別あるいは他との混合処理を

考えることは、まずないだろう。また運転を開始したとき、他の処理にどのような影響を及ぼすかも考えない。利用者のニーズによっては、もっと簡単な処理でいいかもしれない。これらはすべて、ごみ処理システムの一部のみに注目するために生じている。

ごみ処理は、対象とする廃棄物の種類が多く、処理方法の選択肢も多い。全体として考えることは簡単ではないが、その終点にある埋立地は、それ以外のすべての処理の選択の影響を受けており、有用な土地提供も可能である。埋立地を起点として、ごみ処理全体システムの改善を図ることが重要だと考えている。

参 考 文 献

- 1) 松藤敏彦：ごみ問題の総合的理解のために、技報堂出版、p.57 (2007)
- 2) U.S. Environmental Protection Agency — Bioreactors: <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/landfill/bioreactors.htm#6> (accessed on 11st Aug. 2012)
- 3) R. Yazdani, M. E. Mostafid, B. Han, P. Imhoff, P. Chiu, D. Augenstein, M. Kayhanian and G. Tchobanoglous: Quantifying Factors Limiting Aerobic Degradation during Aerobic Bioreactor Landfilling, Environ. Sci. Technol., Vol. 44, pp. 6215-6220 (2010)
- 4) Debra Reinhert との Personal Communication (2012年6月26日)
- 5) M. Ritzkowskia and R. Stegmann: Landfill Aeration Worldwide: Concepts, Indications and Findings, Waste Management, Vol. 32, pp. 1411-1419 (2012)
- 6) Rainer Stegmann との personal Communication (2012年6月27日)
- 7) 吉田英樹：埋立地とガス温度 —— 埋め立てが終了した処分場での調査事例を通して、廃棄物資源循環学会誌、第20巻、第6号、pp. 283-286 (2009)
- 8) H. J. Kim, H. Yoshida, T. Matsuo, Y. Tojo and T. Matsuo: Air and Landfill Gas Movement through Passive Gas Vents Installed in Closed Landfills, Waste Management, Vol. 30, No. 3, pp. 465-472 (2010)
- 9) D. Laner, M. Crest, H. Scharff, F. Morris and M. Barlaz: A Review of Approaches for the Long-term Management of Municipal Solid Waste Landfill, Waste Management, Vol. 32, No. 3, pp. 498-512 (2012)
- 10) 全国産業廃棄物連合会：最終処分場の構造および維持管理に関する調査報告書 (2009)
- 11) 松藤敏彦(訳)：持続可能な廃棄物処理のために —— 総合的アプローチとLCAの考え方、技報堂出版 (2004)