

## 【特集：持続可能な廃棄物最終処分場のあり方—埋立研究部会特集—】

## 持続可能な廃棄物最終処分場のあり方

## —— 総論 ——

松 藤 敏 彦\*・吉 田 英 樹\*\*

【要旨】 本稿は、持続可能な廃棄物最終処分場をめぐる、埋立処分部会の検討を総論としてまとめたものである。まず、持続可能な廃棄物処理とはどのようなものになるか、その中で最終処分場の持続可能性の概念を提案した。そして、どのような埋立処分を目指すべきか、安全性の考え方、跡地利用の必要性を述べ、埋立物・方法・施設構造・立地の4つの視点を含めた設計概念を提案した。さらに、安定化レベルの定義と設計管理の関係、リスク最小化の方法について述べた。次に、本特集で紹介されている様々な取り組みを、その背景と必要性とともに要約した。

キーワード：廃棄物処分場、持続可能性、設計管理、取り組み

## 1. はじめに

廃棄物埋立研究部会では、部会長の福岡大学松藤康司教授が書かれているように、2004年11月に廃棄物学会研究発表会の小集会において「循環型社会における埋立地のあり方を考える」として議論した。それをもとにして故北海道大学 田中信壽教授は、持続的な最終処分戦略研究会（2005年当代表 元国立環境研究所廃棄物処分室長 井上雄三）において「持続可能な最終処分戦略」という報告書作成を企画されていた。第1編として「我が国及び世界の埋立処分の現状と動向」、第2編として、「埋立処分のあるべき姿」を提起するもので、まさにこれからの埋立処分を考える上で多くの示唆を与えてくれるものであった。しかし2005年3月に田中先生が亡くなられて、その企画案は中断されてしまった。

本稿では、田中先生が書かれた草稿を「2. 持続可能な埋立処分とは～持続的な最終処分戦略研究会企画案～」として転載する。そして、「3. 持続可能な埋立処分とは～2009年現在の課題と最新の取り組み～」として、本研究部会特集の内容を概説した。

## 2. 持続可能な埋立処分とは～持続的な最終処分戦略研究会企画案（2005年）～

ここでは、ゴールになる「循環型社会における埋立処分」の姿を示す。そのためにまず、議論の基礎となる、「持続可能性」、「持続可能な廃棄物処理」、「持続可能な埋立処分」について定義を示した後、ゴールとなる「埋立処分」の具体的な姿を示す。

## 2.1 最終処分における「持続可能性」

国際的な持続可能な開発の定義は、「将来の世代の必要性を満たす能力を害することなく、現在の世代がその必要性を満たすことができるような開発」である。

これを適用すると、最終処分における持続可能性とは、正に「次の世代に負の遺産を残さない」とこと定義できる。具体的には次のことを示している。

- 1) 埋立地を汚染地にしない（埋立処分は廃棄物を生態系に還元する場である。埋立処分は土地を消費しない。新たな価値のある土地を作る）。また、過去の汚染された埋立地を、環境汚染源とならないよう現世代が修復する。
- 2) 埋立跡地が適正に利用されることによって、埋立地は空間を消費しないという特性を備えるとともに、継続的に埋立地を建設することができる。
- 3) 持続可能な社会に寄与するために、資源・エネルギーの保全に寄与する（省資源型で長時間使用型の、生態系機能を利用した安全で安心な埋立処分を行う）。

原稿受付 2009.11.30

\* 北海道大学工学研究科

\*\* 室蘭工業大学大学院工学研究科

連絡先：〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目

北海道大学工学研究科 松藤 敏彦

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

4) 人々の生活に不可欠な基盤施設（都市計画法で定める「都市施設」として位置づけられる）として、埋立地を社会全体が容認する（埋立地を継続して作り続けることができる。埋立処分場を都市計画法で定める「都市施設」ととらえ、都市計画決定のなかで位置づける）。

## 2.2 循環型社会における廃棄物処理

では、持続可能な埋立処分を実現するためには、廃棄物処理はどのようであればならないか。その議論のためには、粗くとも21世紀社会、特に環境、資源、廃棄物の状況を、トレンドで予想するだけでなく望ましい姿を以下のように想定する。

- ・ 地球環境問題の最大のものは地球温暖化の課題であり、廃棄物の寄与はわずかであるが重要な一次エネルギー源と位置づけられている。
- ・ 限りある資源を無駄に使わないという観点が広く行き渡り、多くの使用済み工業製品が資源として循環され、社会の仕組みとしてそれらは埋立処分されない。また、その処理（再生、残渣処分）に必要な化石燃料を消費し、かつ地球温暖化を増進してはならないとの観点が定着している。
- ・ 拡大生産者責任のもと、多くの使用済み組立製品が事業者により法律的、自主的に回収され、廃棄物処理現場には直接来ない。ガラスびん、プラスチック容器包装、缶などの資源物回収とともに、素材のリサイクルがますます活発に行われている。
- ・ 一定の経済力は保持され、人々の生活水準は維持され、不要品（不用品）排出量は依然として高い水準にある。活発な廃棄物（循環資源）利用によって、廃棄物処理現場に来る廃棄物量（廃棄物処理での資源再生も行われる）は大きく減少するが、一定量の適正処分すべき廃棄物がある。埋立量ゼロは実現されない。
- ・ 人々の環境に対する要求はますます厳しくなり、リスク物質・有害物質に対する要求が厳しくなる（すでに塗装の溶剤に有機溶剤の使用中止、鉛や六価クロムの含有する塗料の使用中止、クロムメッキの使用中止など、人の健康に影響を与える物質は社会生活から締め出されようとしている）。さらに、人間へのインパクト管理から生態系へのインパクト制御に進み、環境基準は、いわゆる環境ホルモン物質も含めて広範になり、基準も厳しくなる。
- ・ 廃棄物排出抑制よりは、減量化、特に焼却処理やリサイクル利用が大きく進み、埋立廃棄物の量が大きく減少する。質的には、無機化されたもの、破碎などを受けた微細な混合物が埋立物の主流となる。

・ 画一的な廃棄物処理ではなく、地域ごとの廃棄物処理戦略が作られる。また、一般廃棄物と産業廃棄物という処理区分は、処理費用支出と排出物責任にのみ残る。

このような前提のもと、循環型社会における廃棄物処理は次のように定義できる。

- 1) 人間社会から発生する固形物質の循環には、生態系循環と人為（社会）循環があり、廃棄物処理は人為循環の大きな要素である。前者が廃棄物処分であり、後者が資源再生利用である。
- 2) 廃棄物処理とは、不要物（不用物、副産物など）を、どちらの循環にのせるかを定めることである。両者の特性を持つものは、まず、廃棄物処理を優先する。
- 3) 適正処分とは、生態系循環にのせる（環境還元）ための操作であり、大気圏・水圏・土圏のどれに還元するのが最も適正かを決め、埋立前処理も含めて実行することである。たとえば、炭酸ガス・水蒸気は大気圏に、水溶性の塩分・水是水圏に、珪酸・アルミナ・カルシウム成分は土圏に、有害物除去の後、環境還元される。
- 4) どちらの循環にものせられないものは、作らないことが原則であり、作るなら閉鎖系で使用する（有害物を含む電池は閉鎖系で使用され、廃棄物処理現場には入ってこない）。
- 5) その時点の経済的・技術的理由で、どちらの循環にものせられないものがある。これらには一定の保管という一時的措置を認めざるを得ない。しかし、これは最終処分でないことは明らかであり、量的にも時間的にも最小化される必要がある。

## 2.3 埋立処分の姿（われわれの目指すゴール）

目指すゴールを、いくつかの観点から示す。

- 1) 埋立地は、学術的・技術的な意味で、安全（健康リスク・環境リスクが十分低い）であり、合理的（経済的、省資源的、ライフサイクルやリスク回避の説明の合理性）であると証明される。そして埋立地の見学、情報公開を着実に実施していけば、住民の理解が得られる。特に、将来を引き継いでいく子供達の世代から理解を得ることは重要である。
- 2) 埋立地は必ず跡地利用されることが必要である。そのためには、土地利用が可能な場を必ず提供する。単に、廃棄物の埋立のみを目的としたものではない。また、埋立跡地は周辺土地と調和できる（異質でない）ものとなる。
- 3) 埋立地は、入れるもの（埋立物）、入れ方（埋立方法と施設管理、モニタリング）、入れ物（埋立地構造）、

立地（土質、地下水利用）の4つの点から設計される必要がある。どんな埋立物でも受け入れ可能な埋立地を作ることは、持続性を欠く。

4) 埋立地は廃棄物を土圏に還元する（生態系の一部とする）場である。埋立地内で微生物活動があり、無機物と微生物代謝産物が複合する土壌に近いものを作ることを目指す場である（詳細に見ると廃棄物であることはわかるが、外見としては一般の土と違和感がない。また、金属成分などの微量成分を保持できる場でもある。人々の生活環境の場としてその安全性は確保されている）。このような状態を一代で実現することを目指す。

さらに詳しく考えると、次のような形態が考えられる。

- ①レベル1埋立地：まったく管理が不要な状態になる。廃棄物を土に還元する（生態系の一部とする）場である。
- ②レベル2埋立地：詳細に見ると廃棄物であることは

わかるが、外見としては一般の土と違和感がない。また、金属成分などの微量成分を保持でき、埋立物自体から人の健康に影響のない場である。

③レベル3埋立地：廃棄物であるが安定（不活性）であり人の生活する地盤となるものである（このような観点から、現在の遮断型最終処分場は、最終処分場ではなく永久保管場所であり、管理型処分場の中にも永久保管場所となっているものもある）。

5) 埋立地は、廃棄物の安定化（衛生処理、無機化、無害化）の場である。安定化には、浸出水と埋立ガスの安定化と、廃棄物そのものの安定化がある。両者を一代、20～30年の間に実現する。しかし、安定化にもう少し時間がかかってもよいという地域がある。浸出水の安定化は、無処理のままで放流しても（また、埋立物が攪乱されても）生活環境に影響を与えないレベルになることである。埋立ガスの安定化は、埋立ガスの発生が停止し、埋立地表層のメタンガス濃度が爆

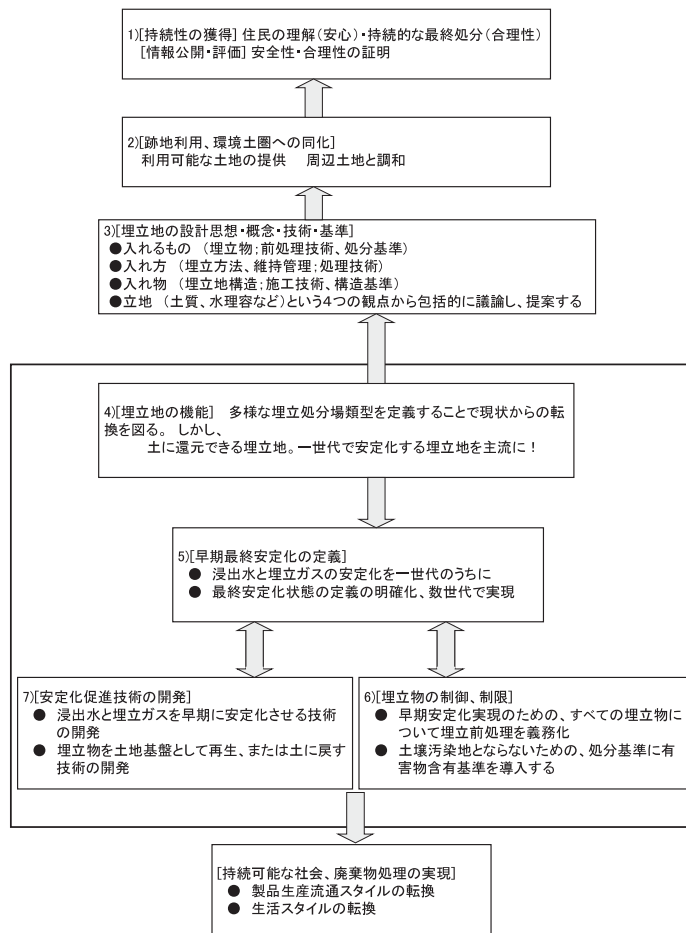


図1 「埋立処分の姿」の相互関係

発限界より十分小さくなることである。廃棄物の安定化は、廃棄物層内の酸素濃度が数%レベルに達することである。そのためには、埋立物の有機物含有量が制限されなければならない（ゼロではない）。このような埋立地では入れ物（容器構造材料）はむしろ有限の期間において自然に帰るほうが望ましい。

- 6) 埋立地は、有害物質リスクが最小化される場である必要がある。入れ物（埋立地の容器構造）に依存してリスク最小を保証することには限界がある。そのため、入れるものに対して、適切な埋め立てが可能ないように埋立前処理を義務づけ、処分基準として溶出試験以外に、有機物や有害物に一定の制限を設ける必要がある。含有量の規制と埋立総量（埋立地に入れられるリスク物質の割合）の規制が考えられる。実際に規制可能なのは前者である。ただし、金属の含有量試験は塩酸抽出のような方法によるのが合理的实际的である（あるいは、燃焼灰との混合埋立を考え、高アルカリ抽出も考えられる）。
- 7) (はじめから安定化した、不活性な埋立物を埋めるという考えもあるが、) 埋立地は、埋立地内の反応により（自然の、生態系の力を借りて）廃棄物を早期に土に返す（安定化する、不活性にする）場である。埋立処分は経済的で、簡易な技術でなければならない。不活性化されたもの（たとえば、灰溶融スラグ）は一般環境内で使用することが基本である（需給調整のために一旦埋立地内におかれることはある）。また、このため、溶融スラグなどのように一般環境で使用される廃棄物由来の再生品は、そのライフサイクルを管理する制度が必要である。

2.3における「埋立処分の姿」の相互関係を、図1(p.6)に示す。

### 3. 持続可能な埋立処分とは～2009年現在の課題と最新の取り組み～

#### 3.1 最終処分場の位置づけ

家庭や事業所から発生した廃棄物は、図2に示すように分別・収集後、中間処理を経て埋立地に搬入される。

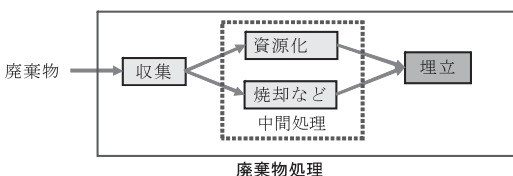


図2 廃棄物処理における埋立の位置づけ

わが国で埋立地を最終処分場と呼ぶのは、こうした処理の順序と埋め立てることで自然に還るため、「最終」と考えられたためと思われる。しかし埋立処分が本当に終了するまでには、数十年単位の時間がかかる。処分方法が不適切であると、管理期間が長期化して費用が増大するのみならず、環境リスクの危険を長期にわたって残すことになる。時間的には「最終」とは到底いえない。

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、最終的には埋立処分が必要となる。持続的な廃棄物処理を目指すには、したがって埋立処分が持続可能でなければならない。本特集のテーマは、埋立処分場の持続可能性である。以下では特集の内容を概説することで、何を考慮すべきかを述べる。

#### 3.2 埋立地を知る

##### 3.2.1 内部状況の診断

埋立地は、内部の安定化が進行し、維持管理を停止しても環境への影響がないとみなされた時点で「廃止」される。しかし埋立地の内部を推定できる情報は大変少ない。維持管理基準で義務づけられているのは浸出水処理後の放流水質、漏水がないことを確認するための地下水質のみであり、廃止基準としては処理前の浸出水原水の水質、埋立ガス発生量、温度などを測定することとなっている。しかし、これらはすべて間接的な情報にすぎない。内部の状況を知るもっとも直接的な方法は、掘り起こしてサンプルを採取し分析することだが、ボーリング掘削が必要であり、埋立地内の不均質性のために多数のサンプリングを要し、現実的でない。

内部の状況を、間接的情報からどのように推定できるだろうか。弾性波探査、電気探査などの技術は内部の状況を3次的にとらえることができるが、特殊な装置を必要とする。そのため、従来の指標の空間分布、時間変動をもとにするのが現実的である。たとえば、ガス抜き管の深さ方向の温度分布、ガス濃度分布からは、鉛直方向の状況がわかる。多数のガス抜き管を調査すれば、埋立地表面のガスフラックス・濃度と合わせて、面的な状況がわかる。浸出水質・水量も、区画別に採取することで、埋立廃棄物の種類の影響、埋立後経過年数に伴う安定化の進行度合いを推定できる。手法の一般化が必要とされている。

##### 3.2.2 埋立内挙動の把握

埋立地内の現象は、以下の理由によって大変複雑である。

- 1) 水、ガス、物質の同時輸送が起こる。

- 2) 有機物、金属、有害有機化学物質等の生物的、物理化学的反応がおこる。
- 3) 埋立地内の条件は、廃棄物の種類、埋立方法、降雨条件等に依存する。

埋立に関しては、数多くの実験が行われている。しかし実験条件はそれぞれ上記の可能な組み合わせのうちのごく一部、特殊例に過ぎず、また実験装置をどれだけ大きくしたとしても実施を完全に模擬できない。測定可能な情報の量にも限りがあり、研究ごとの条件が異なるため比較も難しい。そして最大の制約は、実験期間が埋立地の一生に較べて短いことである。

埋立地の長期リスクを低減し管理するためには、長期にわたる挙動の推定が必要になる。そこで、これまでに得られた膨大な情報をもとにした埋立地数値モデルの構築が重要となる。上記の1)~3)を組み込むことができれば、廃棄物、埋立方法、埋立地構造、外的条件などを任意に与えて、長期~超長期の挙動を推定することができる。条件ごとの影響を把握することで、挙動を左右する主要な因子を抽出し、安定化促進、長期リスク低減のための提案を行うことが望まれる。

### 3.2.3 有害物質によるリスク

廃棄物処理施設は、住民にとっては代表的な迷惑施設、忌避施設である。埋立地は焼却施設とともにその代表であるが、不快であることのほかに健康に対するリスクへの心配が強い反対理由となっている。浸出水処理プロセスは有機物除去を中心に組み立てられているが、健康リスクの点からは有害物質の管理が重要になる。

有機物の挙動を最も左右するのは、好気/嫌気状態のどちらとなるかである。したがって酸素の供給と消費の収支をとり、嫌気性分解の場合は可溶性、酸発酵、メタン生成のプロセスを考えることになる。一方、ダイオキシンを代表とする有害な有機性化学物質の場合は、固相からの溶解度がpH等によって変化し、有機物への吸着、その逆に有機物による溶出促進が考えられる。有害重金属は、pHによる溶解度の変化、固相への吸着・脱着、共存物質との沈殿生成などがある。共存物質の存在も影響するので、まず廃棄物内にどのような物質が存在するか同定が必要である。水分移動による部分的環境の変化など、3.2.1で述べた1)~3)の影響を推定しなければならない。有害物質の種類は数多いため、優先順位づけを行ってその挙動を把握し、リスクを低減する方法を考える必要がある。

## 3.3 埋立地の持続可能性を高める

### 3.3.1 搬入廃棄物のコントロール

他の処理方法と最終処分場の大きな違いの一つは、す

べての廃棄物が受け入れ可能であることである。焼却や堆肥化、メタン発酵は、処理不可能なものの選別、除去が行われるが、埋立は何でも受け入れることができ、そのために様々な問題が発生した。埋立処分が長期の大きな環境リスクを発生する可能性があることを考えると、そのリスクを小さくするためには上流側での対策が不可欠である。

欧米においては、発生した都市ごみを分別せず、埋立処理が中心となっている。しかし安定化までに長時間を要するとの認識が高まり、EU諸国では物理的選別、生物処理を中心とする前処理によって有機物量を削減することがEU指令(99/31/EC)に明記された。わが国は世界に類をみない焼却大国であり、埋立地に搬入される有機物量は他国と比べてきわめて少ない。しかし家庭系の大型ごみや不燃物には有害な金属が、建設廃棄物などの産業廃棄物には埋立地で硫化水素発生の原因となる石膏ボードなどが含まれている。これらが埋立地に搬入された場合の挙動は、3.2.3で述べたような研究によって推定されなければならないが、それ以前に除去するのがよい。図1では一般的名称として中間処理と書いたが、埋立地を起点としてみるとすべての中間処理は「埋立前処理」として位置づけるべきである。埋立地への負荷を低減するための適当な前処理のあり方を検討しなければならない。

### 3.3.2 埋立物の削減

わが国の一般廃棄物埋立物は、焼却率の上昇にともなって不燃物、焼却残渣が中心となった。焼却は減容効果によって埋立地の延命化に大きく貢献し、有機物量低減により生物学的安定化、物理的安定化を促進した。しかし一方で、焼却残渣埋立によって浸出水の塩素、カルシウムの濃度が高くなり、処理を必要とする場合もある。また透水係数の低下によって、準好気性構造の目的に反して水と空気の侵入を妨げることも考えられる。埋立地のさらなる延命化のためには、焼却残渣のリサイクルを進めることが必要である。

わが国ではガス化溶融が、生成されたスラグの有効利用によって埋立量を低減することに期待が持たれた。しかし厳しいスラグ利用基準のため、利用は順調とはいえない。ガス化溶融は、エネルギー効率、コストの点で、優位性を持たないとの見方もある。一方、欧州では焼却残渣の資材としてのリサイクルは広く行われており、都市ごみのリサイクル率を高める要因となっている。これまで、わが国では焼却灰は埋めるものとされており、有害金属を含む焼却飛灰に比べて研究は少ない。エージング、ウェザーリング、炭酸化などと呼ばれる方法によって有害重金属の溶出を低減し、わが国でも焼却残渣を建

設資材等に使用することを考える必要がある。

### 3.3.3 不適正処分場の修復

わが国における埋立地の規制は、1977年の共同命令によって構造基準、維持管理基準が定められたが、1971年以前に建設された埋立地、小規模埋立地は適用除外とされた。そのため1997年の一斉調査によって、数多くの「不適正」処分場が生まれた。また、安定化を促すための準好気性構造が設計標準となっているものの、集排水管の目詰まりによる内部滞水や空気供給能力の不足、透水係数の低い覆土利用のため不均一な雨水浸透や覆土下部の乾燥化など、能力の上で不適正な処分場も少なくない。

こうした埋立地は、安定化に時間がかかり、環境への長期的な影響が懸念される。埋立廃棄物の種類によっては、内部の浄化や環境修復など、いわゆるレメディエーションが必要となる。不法投棄、土壌汚染などに使用されている技術の援用によって、改善を図らなければならない。

### 3.3.4 国際的貢献

3.3.1で述べたように、世界的には好気性化が安定化促進のために必要であるとの認識が広がっている。しか

し強制通気はエネルギー消費が大きく、メタンガスが存在する場合には火災の心配もあるといわれている。わが国の準好気性埋立構造は、微生物活動に伴う発生熱によって浮力を生じさせ、互いに連結した集排水管とガス抜き管内に空気を流動させ、管周辺を好気化する優れた特性を持つ。

現在、日本の埋立物は無機化しているが、世界的に見れば焼却等の前処理を持たず、生ごみを埋め立てている国が圧倒的に多く、温暖化ガスであるメタンガス排出の低減が求められている。分解を促進するバイオリクターは大変高度な技術であり、焼却、MBT（物理・生物的前処理）を利用できる国も限られている。現在も中心となっている封じ込め構造は、何層からもなるトップカバーを設け、内部で発生するメタンガスを回収するが、先進国以外では難しい。そのため、構造が単純で、ブローアやガス回収井戸などの特別な装置を必要としない準好気性埋立は、発展途上国に対する有力な援助技術となりうる。過去の研究から有機物量の多い埋立地においても準好気性構造が有効であることが示されており、すでにアジア諸国における建設例も増えつつある。クリーン開発メカニズム（CDM）の一つとしての期待も大きい。

## Strategy for Sustainable Landfills

Toshihiko Matsuto\* and Hideki Yoshida\*\*

\* Graduate School of Engineering, Hokkaido University

\*\* Graduate School, Muroran Institute of Technology

† Correspondence should be addressed to Toshihiko Matsuto :  
Graduate School of Engineering, Hokkaido University  
(Kita 13 Nishi 8, Kita-ku, Sapporo 060-8628 Japan)

### Abstract

This article summarizes the discussion on sustainable landfills by a landfill research group that has been working over the last 10 years. First, the concept of sustainability for landfills is defined based on the expected future of solid waste management. A goal is next proposed, taking into consideration concepts such as safety and planning for after-use. It is important for the design to be looked at from four different angles : type of waste, landfill method, facilities, and location of landfill. Different stabilities are defined in the paper, and the relationship between landfill design and risk minimization methods and stability levels is explained. The second half of the article is devoted to an overview of the topic and an introducing to the development of various strategies related to this special issue.

**Key words** : solid waste landfill, sustainability, design and management, strategy