

最終安定化物埋立地に関する研究

北海道大学大学院 ○東條安匡， 宮崎大学 関戸知雄，
日本技術開発㈱ 瀧澤卓也， 環境計画センタ - 鍵谷 司，
未来開発コンサルタント 稲葉郁夫

1. はじめに

「最終安定化物埋立地」を考えるためには、まず、“廃棄物の安定化”もしくは“安定な廃棄物”に関する概念を整理する必要がある。例えば、我が国では、“安定化”を判断する概念の一つに埋立地の廃止基準があり、また、「安定型埋立地」に埋立可能な安定5品目は“安定な廃棄物”の定義の一種である。一方、外国では、“安定化”の概念の一つとして Final Storage Quality (以下では、FSQ と記述する)があり、また安定な廃棄物として Inert Waste の定義がある。さらに、維持管理の終了を判断する“Completion criteria”という言葉も見つかった。既往の文献に見られるこれらの定義や考え方を拾い上げ、それぞれの指す「安定」の意味、および各定義の相違に関して整理した。その後、本サブグループ内での議論から、「最終安定化物」の定義について検討した。

2. 最終安定化物に関する知見の整理

2.1 日本における埋立物とその処分方法の対応の整理

1) 安定型埋立

日本において最終安定化物に近い概念は、安定型埋立処分場に処分されている「安定型産業廃棄物」である。安定型埋立地には、遮水工や浸出水処理設備などの設置義務がないため、埋立処分可能な廃棄物は、発生する浸出水が生活環境影響を与えない性状であることが要求される。廃棄物処理法(1997年改正)によって定められている安定型産業廃棄物は、産業廃棄物のうちの(1)廃プラスチック類(自動車や電気製品の破砕物、廃プリント配線および有害物の付着した廃容器包装を除く)、(2)ゴムくず、(3)金属くず(自動車等破砕物、廃プリント配線板、鉛蓄電池の電極、鉛製管や板および有害物の付着した廃容器包装以外)、(4)ガラスおよび陶磁器くず、(5)工作物の除去に伴って生じたコンクリートの破片など、の5品目である。しかし、現実には、これまで安定型処分場からの浸出水中に高濃度の BOD や COD が検出されたり、ガスが発生した事例が報告されている。そのため、安定型産業廃棄物という分類を作り、管理不要の状態でも埋立処分する場合には、不適正な埋立物の混入を防ぐ仕組みが不可欠である。特に、付着や不十分な選別による木くず、紙くず、繊維くずなど、安定型産業廃棄物として不適切なものの混入は回避すべきである。このため、1997年の改正では、選別により不適切な廃棄物を除去し、熱灼減量が5%以下の廃棄物を安定型産業廃棄物とし、明確な基準を設けている。

ところで、安定型産業廃棄物は、発生する浸出水が、有害物質や生活環境汚染物質により汚染される可能性があるかどうかに着目した分類になっている。つまり、なんらかの物質の溶出の可能性のみに着目した分類方法である。本グループでは、安定型産業廃棄物と最終安定化物との違いについて、以下のように考えている。安定型産業廃棄物は、浸出水への物質の溶解があるかどうかについて判断している。しかし、その判断は明確でなく、溶出試験等による基準はない(以降で定義する最終安定化物も浸出水への物質溶解の可能性が通常環境では起こらないことを前提としているが、土壌環境基準と比較するという明確な基準を設けている点が異なる)。安定型産業廃棄物は、プラスチック類やゴムくずなど、可燃性物質が含まれる(最終安定化物では、熱灼減量の制限を設ける)。最終安定化物は、発生源は特に特定せず、処分される埋立物の性状を定義する。安定型産業廃棄物のように品目での定義ではないため、明確な判断基準を設けることができる。

2) 埋立地の閉鎖における「安定化」の概念

我が国の管理型埋立地の安定化は、廃止基準によれば、地下水、ガス生成、保有水質、層内温度を対象に、概ね二年間にわたって基準に適合し、異常が認められない事で判断される。しかし、最終処分場の「安定化」には、第一の安定化(地中に閉じこめられ、攪乱等が起こされない限り、周辺環境に影響を与える事がない、Emission の最小化)と、第二の安定化(環境に曝されても環境負荷とならない、最終の安定化、土壌還元状態)があるとされ[田中:2004]、廃止基準によって判断される状態は第一の安定化であると言われている。“最終安定化物”を検討する上での重要なキーワードは「次世代に負の遺産を残さない(=次世代が通常の土地と同様に扱える)」である。この要件を充足するためには、現世代に管理や保管(異質な土地であることを記録として残す保管も含める)の可能性が生ずる概念(第一の安定化レベル)は適合し得ないとも考えられる。この点に関しては、他の概念も含めて第3節で議論する。

2.2 海外における“安定化”と“安定化物”に関する考え方

1) Final Storage Quality (以下FSQ)[Final Storage:以下FS]

FSQとは、1986年にスイスで提唱された概念であり、次のように記述されている¹⁾。「各世代は、その廃棄物をFSQの状態にして管理すべきであり、FSQとは、そこからの放出が、更なる処理をせずとも環境へ受け入れられるものであり、一つの世代とは30年である」。FSQに関しては、Bacciniらの成書²⁾に詳述されている。同書の共著者らによるFSQに関する記述では、例えば、「FSとは、そこから放出される物質が環境(大気、水、土壌)に深刻な変化をもたらすことのない廃棄物の処分形態であり、また、短期・長期的に如何なる処理も必要としない形態へと廃棄物を変換することである。FSはしばしば、“inert”(もしくはnon-reactive)の概念と結びつけられる。これは、廃棄物を地核(岩石状、鉱石状、もしくは土壌様)と同様にすること、あるいは、それが“鉱物的形態”へと変換される事が要求されているということの意味する(O.A. Pfiffner.)」や、「FS埋立地では、その内部における化学的・生物学的活性が低く、そこからの放出は予測可能で、特段の処理を必要としないものである(J. Zeyer and J. Meyer.)」といった考え方が記されている。最近の文献では、G.Doberl³⁾らは、「FS概念の主要なゴールは、長期間維持管理不要の埋立地を築くことである。過去の経験から、廃棄物を大気、水圏、地圏との相互作用から隔離することは不可能であり、廃棄物をFSQと等価にするには、廃棄物是不活性(Inert)で不動性(Immobile)で岩石状(Stone-like)でなければならない」と言及している。

上記の通り、FSQの概念は、要約すれば、FSQとされる廃棄物からは、環境に影響を与えるような放出がない、FSQと言える廃棄物は、Inertな廃棄物や鉱物、土壌に近い性状である。と考えられている。

さて、FSQの評価・判断について、前書では、「反応性の物質や生物分解性物質、水や大気、あるいは他の廃棄物と反応するような廃棄物はFSには適さない(H.P.Fahmi)」とし、FSQのクライテリアのFirst Draftとして次の5つの項目を提案している。廃棄物の化学組成は少なくともその95%程度までは把握する。

廃棄物は5%以上の有機炭素を含んではならない。廃棄物は5%以上の水溶性物質を含むべきではない。廃棄物は反応性物質(アルカリ金属、腐食性物質)を含むべきではない。廃棄物は10mg/kg以上の有機塩素を含むべきではない。このように反応性、分解性物質を排除することで埋立地内に安定な状態を創出することを一つの前提条件としている。また、この条件下で充足すべき具体的なEmissionのレベルとして、地下水へのEmissionについての検討がなされており、浸出水が地下水の濃度と同等であることを提案している。このように、当時の議論から推察されるFSQの具体的な評価尺度はEmissionである。また、FSQの概念を説明するためにA.Pfiffnerが用いている図-1においても、縦軸のToxicity Indexは、単位時間あたりに埋立地から“放出される”有害物の量である。以上から、FSQとは、そこからの放出(浸出水、埋立ガス等)が無処理でも環境に影響を及ぼさないレベルとなることを要求するものであり、そのための性状として非反応性、非溶解性が必要とされることから、結果的に鉱物状の形態が想定されていると考えられる。すなわち、放出(Emission)の最小化を前提として成立している概念と考えられ、それが、本質的に(含有量として)土壌と同等であるか否かについては言及されていない。さらに、モニタリングや遮水工なども多重安全性から必要であると述べられており、あくまでもメンテナンスを最小化して廃棄物をStorage(保管)できる質と理解される。

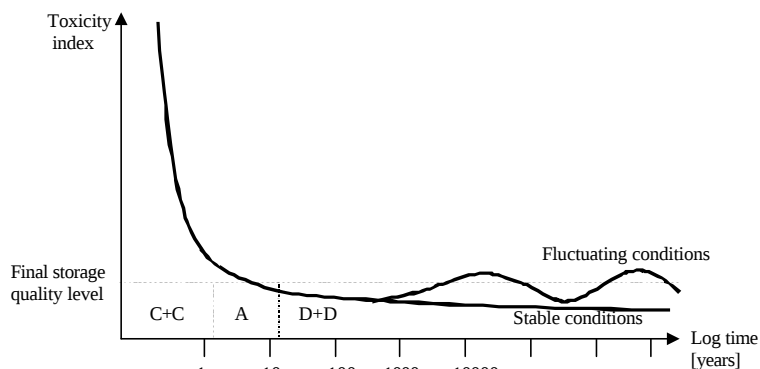


Fig.1 Evolution in time of the "Toxicity index" for a specific chemical compound and strategies to be followed (C+C: "concentrate and contain", A: "Attenuate", D+D: "dilute and disperse"). The "final storage quality level" represents the maximum acceptable "toxicity index" in final storage.

図-1 FSQの概念として用いられている図(A.Pfiffner)

2) Inert Waste

欧米での埋立地の定義は、例えば1999年のEU Landfill Directive⁴⁾(以下EU指針)に見られるように、埋立地を幾つかのクラスに分類し、そのクラス別に搬入廃棄物の質を規定している。Inert Wasteは、その中で、多くの国でArtificial sealing linerを必要せず、浸出水の処理等も免除される“安定”と認識されている廃棄物のクラスである。EU指針でのInert wasteの定義は、“不溶性の無機性物質から成り、物理・化学・生物学的変化が起こらず、溶解せず、燃焼せず・等”となっている。但し、具体的な廃棄物の品目や評価基準の記述はない。そのため、EU各国では個別に具体的な基準を定めている。

ドイツ⁵⁾は、5つのクラスに埋立地を分類(内一つは岩塩抗などへの地中保管)し、クラス0の埋立地をInert廃棄物の埋立地として指定している。その性状は、物理的強度、有機物含有量、疎水性有

機物質含有量，そして 溶出液中濃度で規定される．オーストリア⁶⁾は，2種類の inert 廃棄物埋立地 (Excavated-soil 埋立地と Demolition-waste 埋立地) を定義している．その性状は， 金属含有量 (As,Pb,Cd,Cr,Co

,Cu,Ni,Hg,Zn) と

有機物含有量，

および 溶解生

成分量と 溶出

液性状 (pH など) から規定さ

れている．イギ

リス⁷⁾では，EU

指針と同様の3

つの処分場に分

類し，Inert Waste

埋立地を設定し

ている．指針で

は，試験無しで

受け入れ可能な

廃棄物を EWC

の中から具体的

に 11 種類 (ガラ

ス，陶磁器，石，

土等) 指定し，

試験によって受入を判定する場合には，有機物の含有量と溶出試験 (10 種の金属とその他 6 つの規制項目) から判定することを規定している．デンマークでは，埋立地を分類するのではなく，一つの埋立地の区画別に種類の異なる廃棄物を埋める概念 (Landfill Unit) が採用されており，廃棄物は，Inert waste, Mineral waste, Mixed waste に分類される．この内，Inert waste は，反応性物質を含まない無機物で，そこから放出される物質や生態毒性は無視できるものと定義されている．具体的には，ガラス，陶磁器類，レンガ等が挙げられている．このように，Inert Waste に関しては，各国により判断基準に相違があることがわかる．大略的には，不活性な廃棄物として，石，陶磁器，ガラス，コンクリート等と考えられており，共通して有機物の含有量を基準として設けている (概ね 3% 以下)．日本の安定型埋立との大きな相違は廃プラスチック，ゴムくず，金属くずの 3 種が設定されていないことである (本調査の結果内)．一方，無機物 (重金属，塩類) に関しては溶出を尺度としている国が多く，含有量の基準を設定していたのは，入手できた受入基準の中では Austria のもののみであった．表-1 にいくつかの国での受入基準 (一部) を日本の土壌に関わる基準と比較して示したが，Inert waste の質は非汚染土壌にほぼ該当する．

3) Completion criteria⁸⁾

今回，他国の廃止基準で入手できた情報は UK の Completion criteria のみである．Completion criteria では，埋立地の運営者が維持管理 (monitoring and aftercare phase) を終了する手続きが規定されている．安定化の評価として，その時点での浸出水，ガス発生，廃棄物の性状を元に維持管理を停止しても問題ないことを示す点は我が国の廃止基準と同様であるが，我が国との相違は，将来にわたって，その埋立地からの放出が環境に影響を与えないことをリスクアセスメントから示すことが要求されているという点である．ただし，そのアセスメントにおいても前提となるのは，“the landfill remains in an undisturbed condition. (埋立地は将来に亘って攪乱されない状況にあること)” である．

3. 「最終安定化物」の定義とその埋立地の提案

3.1 「安定型廃棄物埋立」，「廃止基準」，「FSQ」，「Inert waste」そして「最終安定化物」

前節で整理したとおり，「安定化」もしくは，「安定な廃棄物」を対象とした考え方には，大きく分けて 2 つの状態がある．直接的には，“第一の安定化” か “最終の安定化” のいずれに則る概念かで分類されると考えられる．“第一の安定化” に類する考え方は，あくまでもその埋立地となった土地は，自然の土とは異なる異質のもの [安定型廃棄物埋立の一部 (プラスチック，金属埋立)]，しかし現代がその “保管” を管理できている限り，環境や健康に影響を及ぼさない．掘り起こしたり，外乱要素が加わって変化が起きたら，もしかしたら何かが起こるかもしれないが，現状の環境状況が大きく変化せず，土の中に閉じこめておける限り，安全なもの [日本の廃止基準，UK の Completion criteria]．一方，“第二の安定化” に類する概念，すなわち，何が起こっても，全く環境にインパクトがなく，ほぼ土壌に還元，もし

表-1 各国での Inert Waste 受入基準値の比較

溶出	Inert Waste Acceptance criteria				土壌環境基準	含有量	Inert Waste A.C.		土壌含有量基準
	ドイツ DIN 38414-S 蒸留水 L/S=10/1 [mg/L]	UK PrEN12457-3 蒸留水 L/S=10/1 [mg/L] ^(*)	オーストリア DIN 38414-S 蒸留水 L/S=10/1 [mg/L] ^(*)	日本 環告46号 蒸留水 L/S=10/1 [mg/L]	オーストリア Excavated 王水分解 [mg/kg]		オーストリア Demolition 王水分解 [mg/kg]	日本 環告19号 1N塩酸 [mg/kg]	
As	0.04	0.05	0.05	0.01	As	50	200	150	
Pb	0.05	0.05	0.1	0.01	Pb	150	500	150	
Cd	0.004	0.004	0.005	0.01	Cd	2	10	150	
Cr-total	0.03(Cr(VI))	0.05	0.1	0.05(Cr(VI))	Cr	300(total)	500(total)	250(Cr(VI))	
Cu	0.15	0.2	0.2		Cu	100	500	15	
Ni	0.04	0.04	0.1		Ni	100	500		
Hg	0.001	0.001	0.001	0.0005	Hg	1	3		
Zn	0.3	0.4	1		Zn	500	1500		
F	0.5	1	2	0.8	F			4000	
有機物 (含有量・溶出量)					(*)UKとオーストリアの溶出基準値は，(mg/kg)の単位からL/Sにより著者が(mg/L)に換算したもの				
IL (含有量)	<= 3%	-	-						
TOC (含有量)	<= 1%	<= 3%	<= 2%	有機塩素化					
溶出液TOC	<=5 mg/L	<=50 mg/L (DOC)	<=20 mg/L	化合物につい					
有機態塩素	<=0.05mg/L (AOX) [溶出]	<=0.6 (BTEx) [含有]	<=0.03 mg/L (EOX) [溶出]	ては，各化合物毎に個別指定					
塩類およびその他金属 (溶出液中)									
Cl	-	80 mg/L	200 mg/L						
溶解性物質含有量[%]	<= 1%	<= 0.4% (TDS)	<= 0.8% (Dry residue)						
Fe	-	-	<=1 mg/L						

くは、その埋められている周辺環境とほとんど同化するものと言えるのが「一部の国の Inert waste（含有量基準のあるもの、あるいは、品目指定で完全に不活性物のみ）」である。FSQ は後者にかなり近いと考えられるが、前者にも一部包含されると考え、両者の中間と位置づけた（何故なら、FSQ では、そこからの放出は未処理でも環境に影響を与えないが、放出のある（極めて僅かの）、土壌とは異質な、保管すべき性状のものと考えからである）。図-2 に各安定化（物）の定義される範囲のイメージを示した。

3.2 本グループでの最終安定化物の定義

本グループでこうした日本および海外の動向をふまえ、将来の埋立地および埋立物をどのように考えるかについてメールによる意見交換を行った。その結果、我々の提案すべき最終安定化物の特徴として、「最終安定化物の埋立地は次世代への負の遺産となつてはならない」ことを前提とすべきことが合意された。「次世代」とは、30～50年以降を想定している。また、将来含まれる物質が資源としての価値を持ったとしても、50年以上にわたる長期間の管理や保管を行うことは負の遺産と考える。具体的なイメージとしては、『「最終安定化物」とは、人工物(anthropogenic material)であるが、人体に有害な物質を含まず、含んでいても通常的环境中では周辺環境に影響を与えず、次世代以降、つまり 30 から 50 年後に埋め立てた場所が記録上わからなくなっても重大な問題を起こす可能性がないもの』と定義した。つまり、最終安定化物埋立地は、最終的に土地や土壌として利用されることを想定した埋立地である。

さらに、本グループでは、最終安定化物の中に、いくつかのクラス分けが必要であるという意見が出た。一つは、埋立物が有害物で汚染されてなく、周辺土壌や風化土壌と違和感なく扱える物である。こうした埋立物は、もはや管理を必要とせず、一般の土壌と同じく宅地造成や海岸埋立などに利用できる。究極的には、こうした埋立物を焼却などの中間処理により作り出し、管理の必要な埋立地を次世代に残さないことが必要である。これを「最終安定化物(I)」とした。現状では、Inert Waste の一部が該当する。

一方、人体に対して有害ではないが、自然環境や生活環境に影響を与える可能性のある物質を含んでおり、埋立環境によっては次世代以降にも溶出の可能性のある埋立物がある。例えば、難水溶性の塩や鉄、アルミなどの金属を含む埋立物である。これらを多く含む埋立物は周辺環境とは異なる組成を持っていると思われるため、埋立地であることの証しを記しておかなければならないかもしれない。こうした埋立物に対しては、30 から 50 年程度の期間には浸出水を集水し、雨水等によって希釈して放流、あるいは水処理をおこなって海へ放流を行うなどの管理を行う。それ以降は、通常の埋立地内環境では安定な物質となる必要があるが、例えば極端な酸アルカリ環境、還元環境、熱環境においての（塩素や鉄、アルミなどの金属の）安定性については保証しない。これを「最終安定化物(II)」とした。すなわち、最終安定化物(II)の中には、50 年間の埋立の間に塩類などが溶出し、最終安定化物に変化するものもあるだろう。

また、通常の埋立環境では溶出などが起こる恐れはないが、土壌汚染対策法上では汚染土壌となる埋立物も将来には発生するだろう。例えば現状の主灰や処理飛灰が当てはまる。こうした物質を最終安定化物とするかどうかは、本グループでは合意がとれず、さらなる議論が必要である。今回グループ内では安定化物として含めることとし、これを「準安定化物」とした。

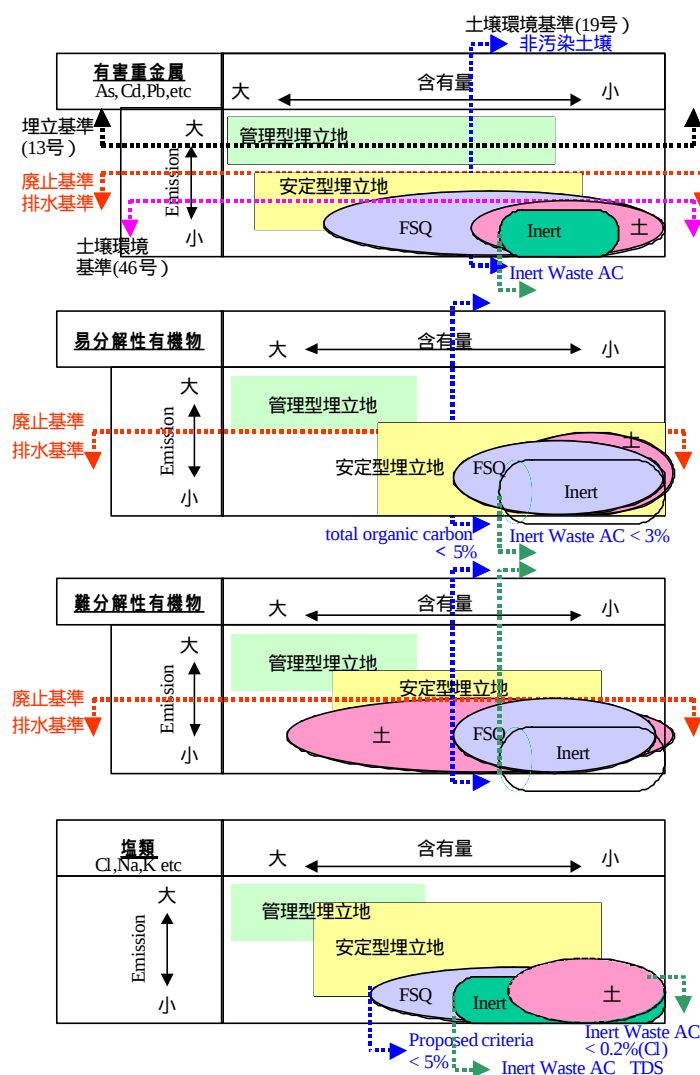


図-2 安定な廃棄物の定義として考えられている範囲

3.3 安定化物判定基準

具体的に「最終安定化物(I)」と「最終安定化物(II)」を決定する基準について議論を行った。

「最終安定化物」は土壌への還元や同化を考慮している。これは、最終安定化物を埋め立てた場所が汚染土壌であってはならないことを意味している。このためには、物質の溶出やガス発生だけではなく、その元となるポテンシャルの制御も不可欠であると考えた。つまり、「最終安定化物」とは、放出の最小化だけでなく、リスクあるいは放出の「ポテンシャル」自体が最小化されたものといえる。最終安定化物は汚染土壌ではないことから、安定化物の判定には日本の土壌対策基本法の基準を適用できると考えた。また、50年間という比較的短期間の埋立環境での安定性を測る指標としては、蒸留水による溶出試験が適用できると考えた。(すなわち、「最終安定化物(I)」と「最終安定化物(II)」は、土壌汚染対策法の含有量基準(19号)、土壌環境基準(46号)のいずれもクリアする)。

さらに、「最終安定化物(I)」と「最終安定化物(II)」を区別する項目として、土壌対策基本法では規制されていない人の生活や自然環境に関する物質の溶出について判定を行う必要がある。例えば有機物や鉄、マンガン、銅、塩類などである。これらについては、今のところ具体的な試験方法を提案できないが、例えば、上記の鉄、マンガン、銅、塩類などについて、蒸留水による溶出試験により30から50年間で溶出可能性がなくなるかどうかを検討し、さらに将来埋立地環境が変化した場合を想定して、pH4やpH12に維持したアペイラビリティー溶出試験により、溶出可能性の有無を予測することができる。(すなわち、「最終安定化物(I)」と「最終安定化物(II)」の判定は、土対法に指定されていない金属や、塩類の短期、長期的溶出特性から判定する。)

また、「準安定化物」は、アペイラビリティー試験を行い、有害物質溶出の可能性が無いことを保証したものとす。ただし、含有されていることにより、汚染土壌として分類されるため、準安定化物埋立地は、将来にわたって必ず記録しておく必要がある。

有機物に関しては、「最終安定化物(I)」「最終安定化物(II)」「準安定化物」いずれに関しても、反応や分解等が起こることは望ましくないことから、分解性有機物は含むべきではない(IL<5% or 3%)。また、土地としての利用という観点から、プラスチックを含む廃棄物も上記3つの安定化物に含まない事とした。

こうした基準は現実的には達成困難である。しかし、汚染土壌を負の遺産と考え、次世代へ残さないためには、こうした厳しい基準が必要であろう。

3.4 安定化物埋立地の管理

最終安定化物(I)および最終安定化物(II)の埋立地は、構造が比較的簡単となるため、搬入物のチェックを厳しくする必要があるだろう。現在行われている、展開検査や抜き打ち検査などが一つの方法であるが、限界もある。将来的には、有害物質に関しては、上流側への物質使用の規制が必要だろう。例えば、厨芥の鉛含有量を10mg-Pb/kg-dryとし、焼却して、(厨芥の有機物含有量が90%であるとする)、灰中には100mg/kgの鉛が含有されることになる。つまり、厨芥の焼却灰は安定化物として認められる。しかし、鉛を1,000mg/kg含むプラスチックを焼却し、(プラスチック中の有機物含有量が99%とする)、100,000mg/kgとなり、この焼却灰は最終安定化物とならない。こうした含有量の規制を行うことは、生産側に対して、使用する物質に配慮するというインセンティブを与え、もし埋立処分が必要な物質が発生した場合でも、中間処理によって最終安定化物となるような製品の生産を促すことができるのではないだろうか。

参考文献

- 1) Belevi H. and Baccini P. (1989) 'Long term assessment of leachates from municipal solid waste landfills.' Sardinia 89: Second International Landfill Symposium, Porto Conte, Italy. VolI: XXXIV.
- 2) Peter Baccini(ED.), The Landfill-Reactor and Final Storage, Swiss Workshop on Land Disposal of Solid Wastes, Gerzensee, March 14-17, 1988, Lecture Notes in Earth Science, Springer-Verg.
- 3) G.Doberl et al. "Long-term emissions from landfills - Is "Final Storage Quality" within reach?", Proceedings Sardinia, 2001, pp.159-167.
- 4) COUNCIL DIRECTIVE 1999/31/EC, OF 26 APRIL 1999 ON THE LANDFILL OF WASTE
- 5) The Federal Minister for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Ordinance on Landfills and Long-Term Storage Facilities and Amending the Ordinance on Environmentally Compatible Storage of Waste from Human Settlements and on Biological Waste-Treatment Facilities of 24 July 2002
- 6) FEDERAL LAW GAZETTE for the Republic of Austria Year of 1996, Issued on April 10th, 1996, Copy 49, 164., Ordinance, LANDFILL ORDINANCE
- 7) LANDFILL DIRECTIVE, REGULATORY GUIDANCE NOTE 2 (version 4.0, November 2002), INTERIM WASTE ACCEPTANCE CRITERIA AND PROCEDURES
- 8) Guidance on Landfill Completion, A consultation by the Environment Agency, 14 March 2003, Response requested by 6 June 2003