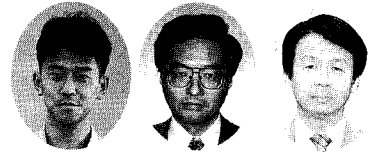


# 廃棄物洗浄型埋立処理システム (WOW システム) の基礎的検討

— 地域に受け入れられ易い最終処分場を目指して —

Fundamental examination of WOW System  
(Wash Out Waste System)

— To aim to make landfill sites acceptable for citizens —



(技)開発企画室 桂 健 治  
Kenji Katsura  
水 上 俊 一  
Shunichi Mizukami  
(環)製品開発室 牛 越 健 一  
Kenichi Ushikoshi

地域に受け入れられ易い最終処分場を目指して、廃棄物洗浄型埋立処理システム (WOW システム: Wash Out Waste System) を評価するべく、基礎的実験を行った。本稿では、最終処分場に持込まれる代表的な廃棄物である焼却灰 (主灰, 飛灰) の洗浄特性およびシステムの経済性、環境への影響等について検討した。実験の結果、本システムにより、最終処分場の早期安定、早期廃止および早期跡地利用が可能となることが認められた。その結果、従来の埋立処分システムに比べ、WOW システムは経済性、環境保全性とも優位なシステムになる可能性が示唆された。

WOW System (Wash Out Waste System), which is a novel landfilling system, has been proposed to aim to make landfill sites acceptable for citizens. Washing properties of bottom and fly ash, which are mainly derived from incinerator ash of municipal waste, cost performance, and environmental influence of this system were evaluated. It was found that landfill sites could be stabilized in the early stage by using this system. As a result, the sites were supposed to be closed and were reused for new purposes in the early stage. Furthermore, it was found that this system had the advantages on both cost performance and environmental influence compared with the conventional systems.

## Key Words :

最終処分場の確保  
洗 浄 特 性  
焼 却 灰  
跡 地 利 用

Securing of landfill sites  
Washing properties  
Incinerator ash  
Ultimate land use

## まえがき<sup>1), 2)</sup>

最終処分場の確保は依然として厳しい状況にあるが、これを打開するため、1998年6月に「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係わる技術上の基準を定める命令 (総理府, 厚生省の共同命令)」が改正された。これによれば、浸出水処理施設は、浸出水水質が2年間以上排水水質を下回った時点で廃止される。しかし、廃止までに要する時

間は数10年を要するといわれており、埋立中、埋立終了後を通じて長期間に渡り、その地域に環境汚染リスクをもたらすこととなる。このことが周辺住民にとって大きな不安要素の一つとなっている。このような背景の中で、埋立廃棄物を強制的に洗浄して不活性化させ、埋立地の早期安定、早期廃止および早期跡地利用を行うシステムとして検討されたのがWOW システムである。本稿では、最終処分場に

持込まれる代表的な廃棄物である焼却灰（主灰，飛灰）の洗浄特性およびシステムの経済性，環境への影響等の検討結果について報告する。

### 1. WOW システムの概念<sup>1)</sup>

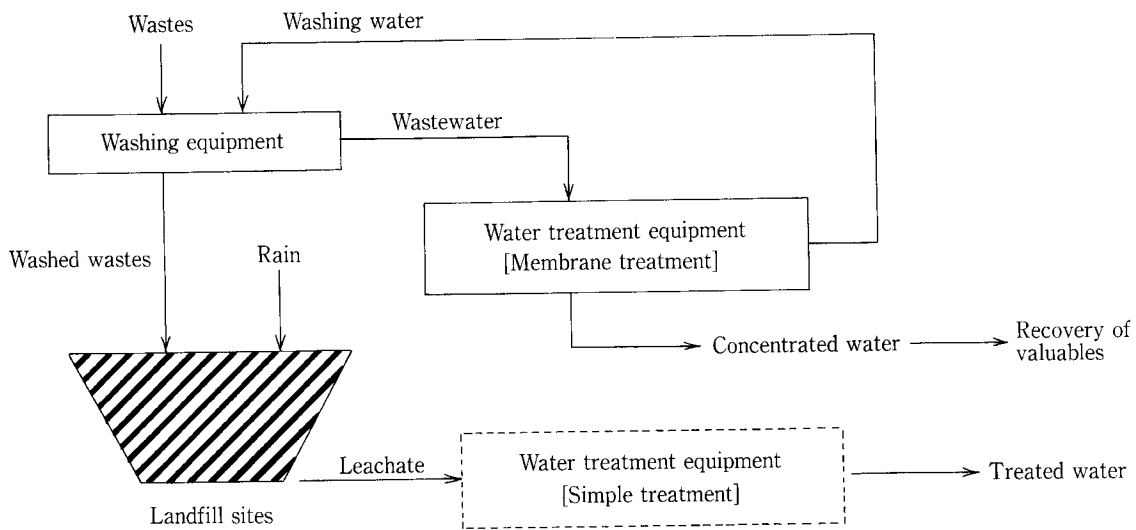
第1図にWOWシステムの概念図を示す。これは，本システムを新規処分場の埋立前処理として適用することを想定したものである。持ち込まれた廃棄物は洗浄水で洗浄され，最終処分場へ埋め立てられる。汚濁物質や無機塩類を含む洗浄廃水は，併設

された水処理（膜処理）施設で処理され，処理水は廃棄物の洗浄水として循環利用される。回収した濃縮水は蒸発処理し，析出した塩類を乾燥・精製後，工業塩として再利用することを想定している。

### 2. 廃棄物洗浄実験（基礎実験）

#### 2.1 供試廃棄物

今回の実験では，対象廃棄物を都市ごみの焼却灰とし，その中から主灰と飛灰を使用した。主灰は一般廃棄物であり，無処理のままで埋立て可能となっ



第1図 WOWシステム概念図  
Fig. 1 Conceptual diagram of WOW system

第1表 主灰とキレート固化飛灰の組成分析結果  
Table 1 Composition of bottom ash and chelated fly ash

Items	unit	Composition	
		Bottom ash	Chelated fly ash
Si	%	13.0	3.33
Al	〃	8.01	1.61
Fe	〃	5.26	0.72
Ca	〃	21.5	30.8
Mg	〃	1.87	0.87
Na	〃	2.51	3.73
K	〃	1.08	1.94
Cl	〃	0.13	0.13
Pb	〃	0.05	0.16
Cu	〃	0.26	0.06
Zn	〃	0.43	0.51
SO <sub>4</sub>	〃	4.74	12.6
PO <sub>4</sub>	〃	3.60	0.94
acid insoluble matter	〃	33.2	3.51
TOC	〃	<0.1	0.6
Hg	mg/kg	<0.05	0.89



Left : Chelated fly ash  
Center: Bottom ash  
Right : fly ash

写真1 焼却灰  
Photo.1 Incinerator ash

ている。一方、飛灰は特別管理一般廃棄物に指定されており、厚生省告示第194号で指定された4つの方法のいずれかで中間処理することが義務づけられている。今回は、4つの方法のうち、最も多く採用されているキレート固化飛灰を使用した。第1表に使用した主灰とキレート固化飛灰の組成分析結果を示す。また、写真1に主灰(中央)とキレート固化飛灰(左)の写真を示す。参考までにキレート処理前の飛灰(右)も示す。

## 2.2 安定化指標

主灰と飛灰の洗浄における安定化指標としては重金属、有機物そして無機塩類が考えられる<sup>3)</sup>。このうち、重金属は飛灰中に多く含まれるが、中間処理(今回はキレート固化)により溶出防止が図られている。有機物については、排ガス規制強化による焼却処理の高度化によりその含有率は低くなってきている<sup>4)</sup>。従って、廃棄物の洗浄においては、無機塩類の洗浄が最も解決を要する課題となることが予想された。そこで、今回の洗浄実験では洗浄廃水中の無機塩類濃度を安定化指標とし、導電率を代替指標として測定した。

## 2.3 洗浄実験概要

### 2.3.1 主灰の洗浄実験<sup>1)</sup>

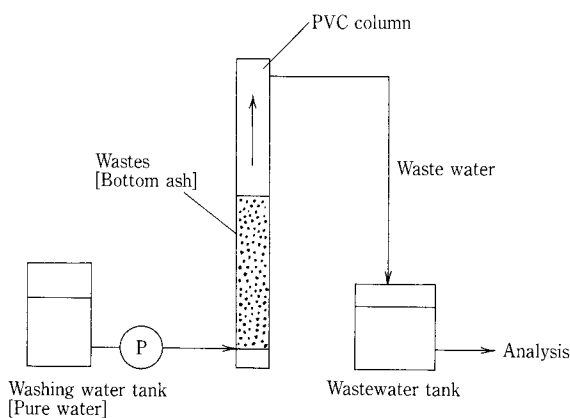
繰り返しバッチ洗浄実験およびカラム洗浄実験を行い、その洗浄特性から主灰の最適洗浄方法を検討した。また、洗浄効果を確認するため、最適洗浄方法における再溶出実験も行った。

#### (1) 最適洗浄方法の検討

##### a) 実験方法および条件

・繰り返しバッチ洗浄実験(振とう洗浄実験)

2Lのポリプロピレン容器(以下「PP」容器と



第2図 カラム洗浄実験装置  
Fig. 2 Equipment of column washing tests

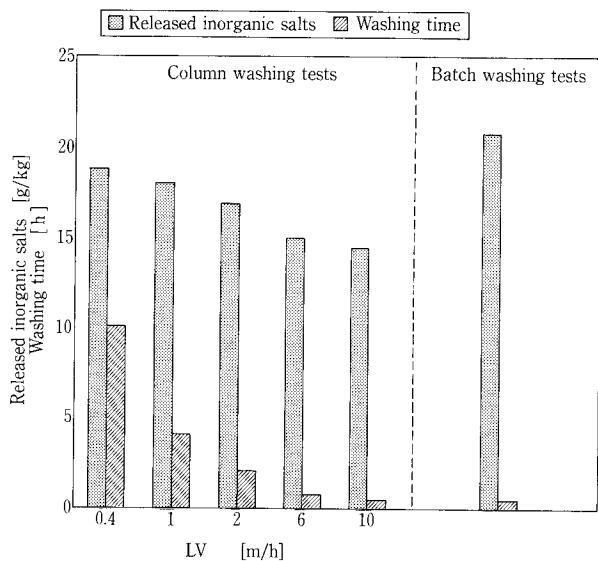
称する)に主灰100g(乾燥重量)と純水1L(pH無調整)を入れて、振とう数200回/min、振とう幅約4cmの条件でバッチ実験を行った。予備実験の結果、30minの振とうで導電率が最大値に達し、その後は変化がなかったため、振とう時間を30minとし、孔径0.1μmのガラス繊維ろ紙(以下「GFP」と称する)でろ過した後、ろ過水のpH、導電率、TOC濃度を測定した。さらに、洗浄を終えた主灰に再度1Lの純水を入れて繰り返し洗浄した。この操作を合計5回行った。

・カラム洗浄実験(通水洗浄実験)

第2図にカラム洗浄実験装置を示す。直径50mmのPVCカラムに主灰800g(乾燥重量)を充填し(充填高さは約45cm)、ローラーポンプにより純水を上向流で連続通水した。予備実験において、通水量が5Lまでは洗浄廃水の導電率の変化が大きかったため、通水量が5Lまでは1Lずつ、5L以降は2Lずつ洗浄廃水を採取した。洗浄廃水は攪拌後GFPでろ過し、ろ過水のpH、導電率、TOC濃度を測定した。通水は、導電率が1500μS/cm以下になるまで行った。

#### b) 実験結果および考察

第3図にL/S(Liquid/Solids)が10L/kgの時の無機塩類の溶出量および洗浄時間(滞留時間)を比較した。ここで、L/Sは単位重量(乾燥重量)の廃棄物(ここでは主灰)に対する洗浄水量の割合を示しており、単位はL/kgである。LV(Linear



第3図 カラム洗浄とバッチ洗浄の比較  
(L/S=10 L/kg)

Fig. 3 Comparison of column and batch washing tests (L/S=10 L/kg)

Velocity)は通水洗浄における線速度を示しており、単位はm/hである。同一カラム内でLVを変えて通水したため、LVの大きい方が水の滞留時間が短く、結果的に洗浄時間が短くなっている。無機塩類濃度は次の経験式を用いて求めた。

$$\text{無機塩類濃度 (mg/l)} = \text{導電率 } (\mu\text{S/cm}) \times 0.5$$

第3図から、いずれのカラム洗浄実験と比較しても、バッチ洗浄の方が無機塩類の溶出量が大きく、洗浄時間も短くて済むことがわかった。従って、主灰の洗浄方法として、バッチ洗浄が適していると判断した。

## (2) 洗浄主灰の再溶出実験

### a) 実験方法および条件

上記繰り返しバッチ洗浄実験を行い、各洗浄後に主灰を回収し、環境庁告示第13号に従って再溶出実験を行った。そして、ろ液の導電率、TOC濃度、pHを測定した。

### b) 実験結果および考察

第4図に繰り返し洗浄実験の累積L/Sと導電率、TOC濃度の関係を示す。累積L/SはL/Sを累積したものであり、単位はL/kgである。この図から、導電率はL/Sが10から20 L/kgの間で大幅に低下していることがわかる。

第5図に再溶出実験の累積L/Sと導電率、TOC濃度の関係を示す。ここで、再溶出実験で得られた

結果を洗浄主灰埋立後の浸出水の水質とみなし、再溶出実験での導電率の目標値を3000  $\mu\text{S/cm}$ とした。これは、農業(水稻)用水の導電率の基準値300  $\mu\text{S/cm}$ <sup>5)</sup>を目安にして、洗浄主灰の埋立て後の浸出水を簡易処理で放流した時、かんがい用水などで10倍希釈されるとして決定した。第5図から、累積L/Sが10 L/kgもあれば十分に導電率が3000  $\mu\text{S/cm}$ 以下となることがわかる。また、第5図から、TOC濃度(CODMn濃度とほぼ同じレベルであることを確認済)はL/Sが10 L/kgの時6 mg/lとなり、CODMn濃度の排水基準値(日平均120 mg/l)を大きく下回った。この結果から、主灰の洗浄の律速は有機物よりも無機塩類であるといえる。pHはL/Sが10 L/kgの時、11.3であった(図示せず)。

## 2. 3. 2 キレート固化飛灰の洗浄実験<sup>6)</sup>

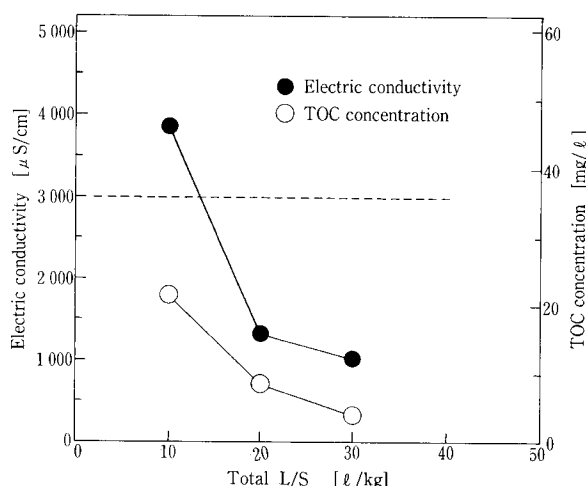
キレート固化飛灰と粉碎キレート固化飛灰を用いて繰り返し洗浄実験を行い、キレート固化飛灰の最適洗浄方法を検討した。また、洗浄効果を確認するため、最適洗浄方法における再溶出実験も行った。

### (1) 試料の調整

キレート固化飛灰を次のように調整し、洗浄実験に使用した。

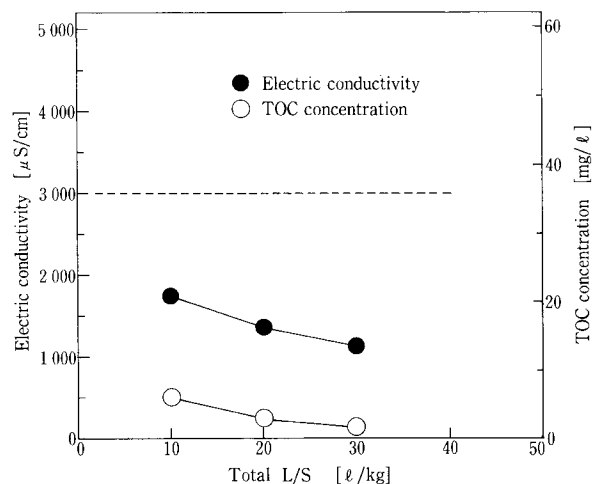
#### a) キレート固化飛灰

都市ごみ焼却炉(ストーカ炉)の飛灰に有機系キレートとセメントを添加して固化されたものをそのまま使用した(直径約20 mm、長さ30~40 mm)。



第4図 累積L/Sと導電率、TOC濃度の関係  
(主灰の繰り返しバッチ洗浄実験)

Fig. 4 Relationship between total L/S and electric conductivity, TOC concentration  
(Repeat batch washing tests of bottom ash)



第5図 累積L/Sと導電率、TOC濃度の関係  
(洗浄主灰の再バッチ溶出実験)

Fig. 5 Relationship between L/S and electric conductivity, TOC concentration  
(Batch leaching tests of washed bottom ash)

b) 粉碎キレート固化飛灰

a) のキレート固化飛灰を粉碎後、ふるいで 4.75 mm 以下に調整して使用した。

(2) 繰り返しバッチ洗浄実験

a) 実験方法および条件

予備実験(連続洗浄実験)<sup>6)</sup>の結果、キレート固化飛灰はできるだけ原形を崩さないように洗浄、粉碎キレート固化飛灰は強制的に洗浄するのが得策と考えられたため、キレート固化飛灰は静置洗浄実験、粉碎キレート固化飛灰は強制振とう洗浄実験を行い、それぞれ 24h, 1h ごとに純水を交換した。実験方法は下記の通りである。

・静置洗浄実験(浸漬実験)

2 L の PP 容器に試料 100 g (乾燥重量) と純水 1 L (pH 調整なし) を入れて、静置した。

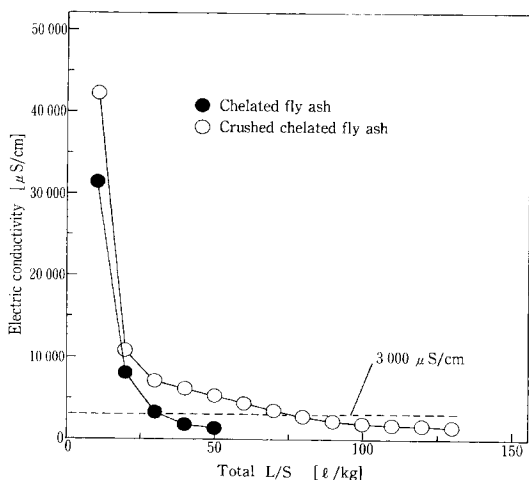
・強制振とう洗浄実験

静置洗浄実験と同様に試料を準備し、200 回/min の振とう速度で強制的に振とうした。

いずれの実験においても、洗浄廃水を GFP でろ過し、ろ液の pH, 導電率, TOC 濃度, Pb 濃度を測定した。なお、繰返し操作はろ液の導電率が 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以下になるまで行った。

b) 実験結果および考察

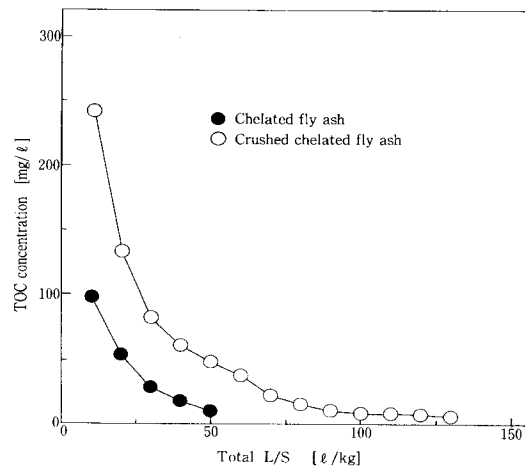
第 6 図に累積 L/S と導電率の関係を示す。ここで、洗浄終了の目安として、導電率を 2.3.1 (2)



第 6 図 累積 L/S と導電率の関係 (繰返しバッチ洗浄実験)

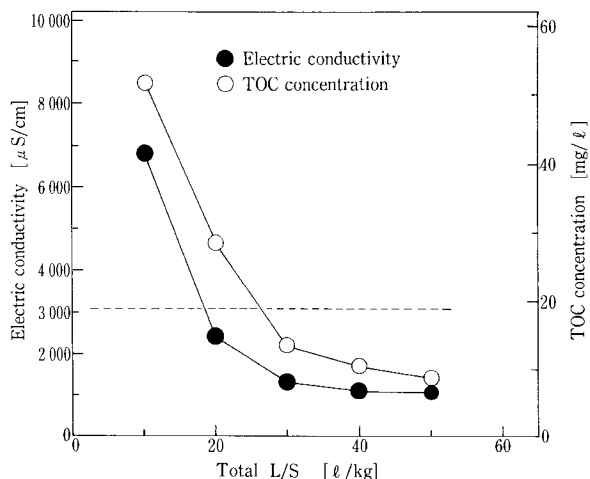
Fig. 6 Relationship between total L/S and electric conductivity, TOC concentration (Repeat batch washing tests)

で述べたものと同じ理由で 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  とした。この図から、導電率が 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  に到達した時の L/S は、キレート固化飛灰で約 30 L/kg, 粉碎キレート固化飛灰で約 75 L/kg となった。この結果から、飛灰中の無機塩類を強制振とうにより溶出させると洗浄水量が多くなり、水処理施設への負担が大きくなることが予想された。また、強制振とうでは飛灰が微細化するため、新たに固液分離装置が



第 7 図 累積 L/S と TOC 濃度の関係 (繰返しバッチ洗浄実験)

Fig. 7 Relationship between total L/S and electric conductivity, TOC concentration (Repeat batch washing tests)



第 8 図 累積 L/S と導電率, TOC 濃度の関係 (キレート固化飛灰の再バッチ溶出実験)

Fig. 8 Relationship between total L/S and electric conductivity, TOC concentration (Batch releasing tests of washed chelated fly ash)

必要になると考えられた。従って、固化飛灰はできるだけ破碎させないように静置（浸漬）洗浄を行い、表面付近のみを洗浄するのが効率的であることがわかった。これを実用化するには、例えば下部に洗浄水の流入パイプを備えた洗浄槽による通水洗浄などが考えられる。第7図に TOC 濃度の測定結果を示す。TOC 濃度（≒CODMn 濃度）は L/S が低いところで CODMn 濃度の排出基準値（日平均 120 mg/l）を大きく下回った。この結果から、キレート固化飛灰の洗浄の律速は、主灰と同様に有機物よりも無機塩類であるといえる。Pb 濃度はいずれの試料も検出限界以下（下限値=0.2 mg/l）であった。また、pH は洗浄による低下はあまり見られず、洗浄終了時キレート固化飛灰で 11.1、粉碎キレート固化飛灰で 11.9 であった（図示せず）。

(3) 洗浄飛灰の再溶出実験

埋立後の浸出水質を予測するために行った。

a) 実験方法および条件

静置洗浄後のキレート固化飛灰を回収し、10倍量の純水（pH 6.0）で6時間静置洗浄した。そしてろ液の導電率、TOC 濃度、pH を測定した。

b) 実験結果および考察

第8図に累積 L/S と導電率、TOC 濃度の関係を示す。この図から、累積 L/S が 20 L/kg 以上で導電率が 3000  $\mu$ S/cm 以下となることがわかった。すなわち、キレート固化飛灰の20倍量程度の洗浄水で洗浄することにより十分な洗浄効果が得られると推察された。また、累積 L/S が 20 L/kg の時、TOC 濃度は 28 mg/l、pH は 11.2（図示せず）であった。

3. 経済性および環境影響の検討<sup>2)</sup>

3.1 検討条件

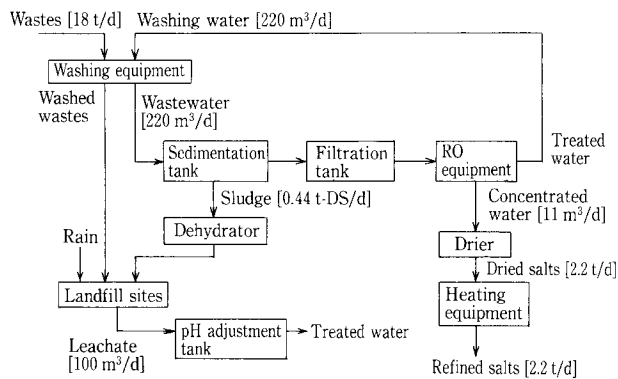
第2表に示すように人口10万人の地域を対象とするモデル処分場を想定した。第9図に WOW システムの処理フロー例を、第10図に従来システムの処理フローを示す。

今回の想定では、WOW システムは機械洗浄方式（18t/日）を採用し、洗浄水量（処理水量）は基礎実験の結果から 220 m<sup>3</sup>/d（主灰 10 m<sup>3</sup>/t、飛灰 30 m<sup>3</sup>/t、その他 10 m<sup>3</sup>/t）とした。WOW システムでは、強制的に洗浄水を用いて洗浄を行うため、降雨により洗浄を行う従来システムの処理水量（100 m<sup>3</sup>/d）の 2.2 倍となった。洗浄廃水処理方式は負

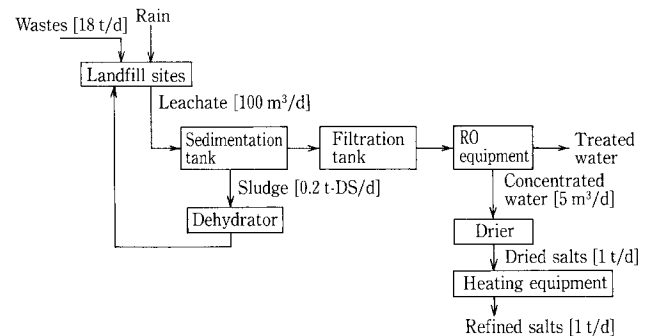
第2表 モデル処分場データ

Table 2 Data of typical landfill sites

Population	100 000
Area for landfilling	15 000m <sup>2</sup>
Volume for landfilling	120 000m <sup>3</sup>
Amount of wastes (composition of wastes)	18t/d (Incinerator ash: 12.3t/d, Crushed unflammable residual: 5.2t/d, Resource residual: 0.5t/d)
Period for landfilling	15years
Amount of leachate	100m <sup>3</sup> /d
Composition of leachate	COD: 150mg/l TS : 10 000mg/l Ca : 2 000mg/l SS : 300mg/l



第9図 WOW システム処理フロー  
Fig. 9 System flow of WOW system for the treatment of leachate



第10図 従来システム処理フロー  
Fig.10 System flow of conventional treatment of leachate

荷変動対応が容易な物理化学的処理で、かつ有機物対応も可能な逆浸透膜（RO）方式とした。原水水質は第2表に示す通りとした。汚泥は脱水後埋立処分、RO濃縮水は蒸発処理し、析出した塩類を乾燥・精製後に精製塩として回収することとした。なお、埋立の終了と同時に水処理設備は停止するものとした。従来システムの処理方式も比較のためWOWシステムと同じ処理方式とした。さらに、15年以上稼働させる場合、機械・電気設備は更新するものとした。

### 3.2 検討結果

検討の結果、初期建設費はWOWシステムの方が5割程度高くなった。これは、処理水量が多くなったことと洗浄設備を要することによるものである。しかし、維持管理費を含めた総費用は、WOWシステムでは埋立期間15年で稼働を終了するのに対して、従来システムでは埋立終了後も浸出水の処理設備を稼働し続けるため、埋立終了後数年ではほぼ同額となり、その後の維持管理費を加算すると、WOWシステムの方が安価となった。この結果は、基礎実験のデータを元に試算したものであって、今後の技術開発で、より正確な評価が得られるものである。

また、環境への影響を考えると、従来システムの場合、しゃ水工に求められる耐用年数が25年以上となり、しゃ水工の損壊による地下水汚染リスクが問題となる。これに対し、WOWシステムの場合、pH調整程度の簡易処理を行うにしても、しゃ水工に求められる耐用年数は15～20年で済み、材料の耐久性から考えて非常に安全性の高い埋立処分システムと見なされる。

これらの結果より、WOWシステムは経済性だけでなく、環境保全性での効果も大きく、地域に受け入れられ易い最終処分場として期待できる。また、埋立地の早期利用がもたらす経済効果を含めると、

その評価はさらに高いものとなる。

### むすび

廃棄物洗浄型埋立処理システム（WOWシステム）を提案し、廃棄物の洗浄特性およびシステムの経済性、環境への影響等について検討を行った結果、以下の結論が得られた。

- (1) WOWシステムにより、最終処分場の早期安定、早期廃止および早期跡地利用が可能となることが示唆された。
- (2) 従来システムに比べ、経済性、環境保全性とも優位となり、地域に受け入れられ易い最終処分場になる可能性が示唆された。

今後、本研究は当社はもとより、大学や水処理メーカー等と共にコンソーシアムを結成し、水処理を含めた廃棄物洗浄実証実験を行って、詳細な経済評価を行う。

#### [参考文献]

- 1) 花嶋正孝, 樋口壯太郎: 廃棄物洗浄型埋立処理システムの開発, 第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集, (1998), p.947.
- 2) 花嶋正孝, 樋口壯太郎: 廃棄物洗浄型埋立処理システムの開発(その2), 第20回全国都市清掃研究発表会講演論文集, (1999), p.323.
- 3) 安藤茂, 小林陽一: 特別一般廃棄物であるばいじんの適正処理について, 廃棄物学会誌, Vol.5, No.1, (1994), p.18.
- 4) 花嶋正孝, 島岡隆行, 樋口壯太郎, 山口隆三, 堀井安雄, 長岡英明: 埋立地における高濃度無機塩類に関する研究, 第1回廃棄物学会発表研究会講演論文集, (1990), p.337.
- 5) 農業地域における水質汚濁と対策: 農林水産省公害研究会(1970)
- 6) 花嶋正孝, 桂健治, 牛越健一, 水上俊一: 廃棄物洗浄型埋立処理システムにおける廃棄物の洗浄特性, 第20回全国都市清掃研究発表会講演論文集, (1999), p.335.

#### 連絡先

桂 健 治	技術開発本部 開発企画室	水 上 俊 一	技術開発本部 開発企画室 室長	牛 越 健 一	環境装置事業部 製品開発室 担当部長
	TEL 078-992-6525		TEL 078-992-6525		TEL 078-992-6532
	FAX 078-992-6504		FAX 078-992-6504		FAX 078-992-6503
	E-mail k.katsura@pantec.co.jp		E-mail s.mizukami@pantec.co.jp		E-mail k.ushikoshi@pantec.co.jp