

逆浸透膜による浸出水の高度処理実験報告（その1）

Purification of Landfill Leachate Using Reverse Osmosis Membrane



（環）製品開発室
梶山 吉 則
Yoshinori Kajiyama

Landfill leachate contains much hazardous inorganic matter and refractory organic matter. Such leachate cannot be treated to satisfactory level by any combination of conventional biological treatment (denitrification), coagulation/sand filtration treatment, and activated carbon adsorption treatment. A demonstration test of the disk tube module reverse osmosis system was conducted at a landfill using actual leachate after pre-treatment of sand filtration and pH adjustment. The treated water not only cleared the effluent standards but also exceeded the tap water quality standards.

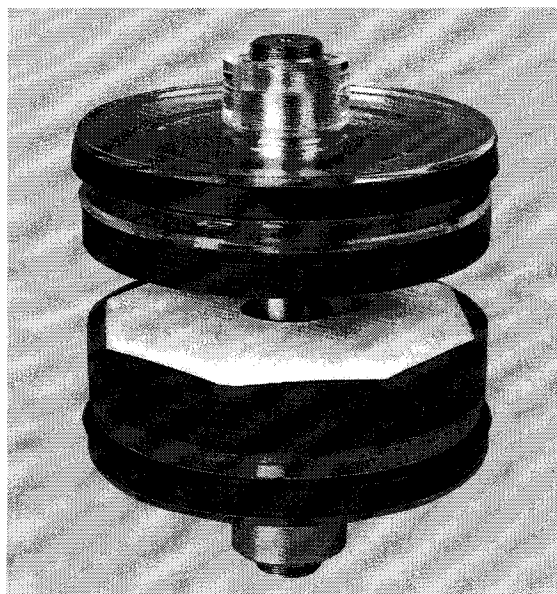
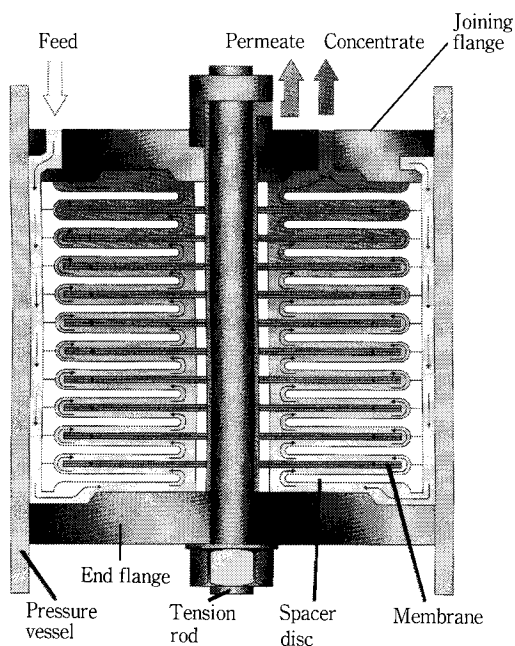
まえがき

近年、廃棄物の減容化と安定化の面で最も効果のある焼却処理技術の進歩はめざましく、焼却残渣の低灼熱減量化や、灰の溶融化等埋立処分場の延命化に対する処理技術が確立されつつある。また焼却時の排ガス中の水銀、ダイオキシン等新たな汚染物質に対しても問題視されてきている。この排ガス中の塩化物除去処理によって発生する反応灰を埋立処分した場合、カルシウムイオン、塩素イオンを主体

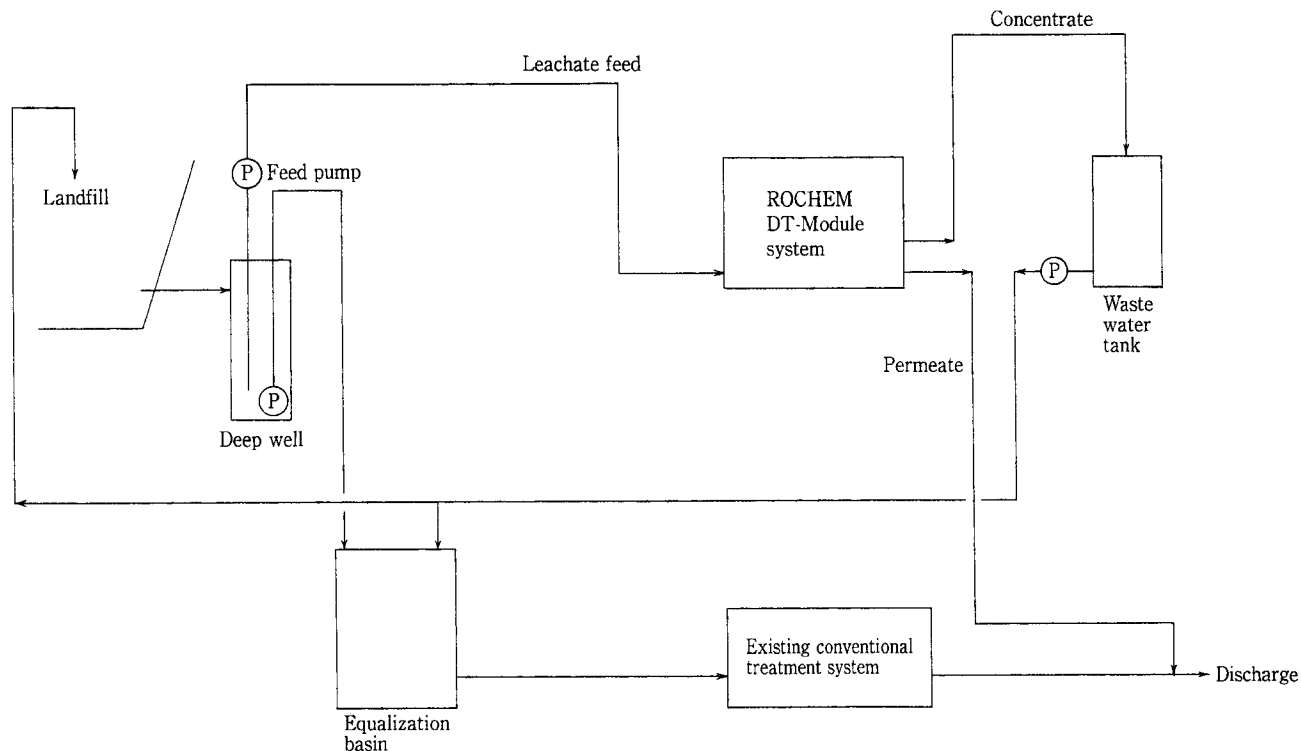
とした高濃度の無機塩類が溶出してくる。

浸出水の中に高濃度の塩素イオンが溶出してくると、配管や機器類の腐食のほかに生態系への影響が懸念される。特に内陸地の埋立処分場の浸出水については、水稻への塩害等農業被害が発生する恐れがあり脱塩処理の適用が求められている。

従来の埋立処分場の浸出水処理方法は、カルシウム成分を除去する凝集沈殿処理、BOD、T-N に対する生物処理



第1図 「DT-モジュール」 構造図
Fig. 1 Assembly of DT Module



第2図 実験設備全体フローシート
Fig. 2 Schematic diagram of DT Module System at Landfill site

(脱窒素処理)、SSに対する凝集沈殿・砂ろ過処理、CODに対する凝集沈殿・活性炭吸着処理をそれぞれ組み合わせた方式であり、現状排水基準は満足するものの、水質的にさらに高度な処理が望まれるところである。現在、国内で浸出水処理の脱塩及びそれに類した高度処理の実施例はまだなくその適用についての検討が必要なところである。

当社は、浸出水の高度処理方法として、欧米において多数の実績を持つロックメ社（本社：スイス）の平膜筒状のディスクチューブモジュールによる逆浸透膜処理装置「DT-モジュールシステム」についてすでに本技報で紹介してきた。¹⁾

今回この「DT-モジュールシステム」を鳥取県下の最終処分場内に設置し、1996年2月より実際の浸出水を用いて実証実験を行っており、その結果を第1報として報告する。

1. 実証実験の概要

最終処分場の浸出水に逆浸透膜処理法を適用するには、海水の脱塩と比較してスケーリングやファウリング、特に生物による劣化などに充分対応出来るシステムが要求される。今回実証実験に適用した逆浸透膜は、平膜筒状のディスクチューブモジュール「DT-モジュール」で膜表面とスペーサーディスクの間の流路が開放されているため供給原水の前処理をほとんど必要としない。またファウリングによる堆積物の洗浄が容易に行え、浸出水の高度処理に適した膜構造となっている。

第1図に「DT-モジュール」の構造を示す。「DT-モジュール」はRO膜、スペーサーディスク、ジョイニングフランジ、エンドフランジ、中心軸、耐圧容器で構成されている。RO膜は、八角形の平膜の間に不織布を挟んで外周を超音波で接合し、中央部の円形開口部に透過水を流す

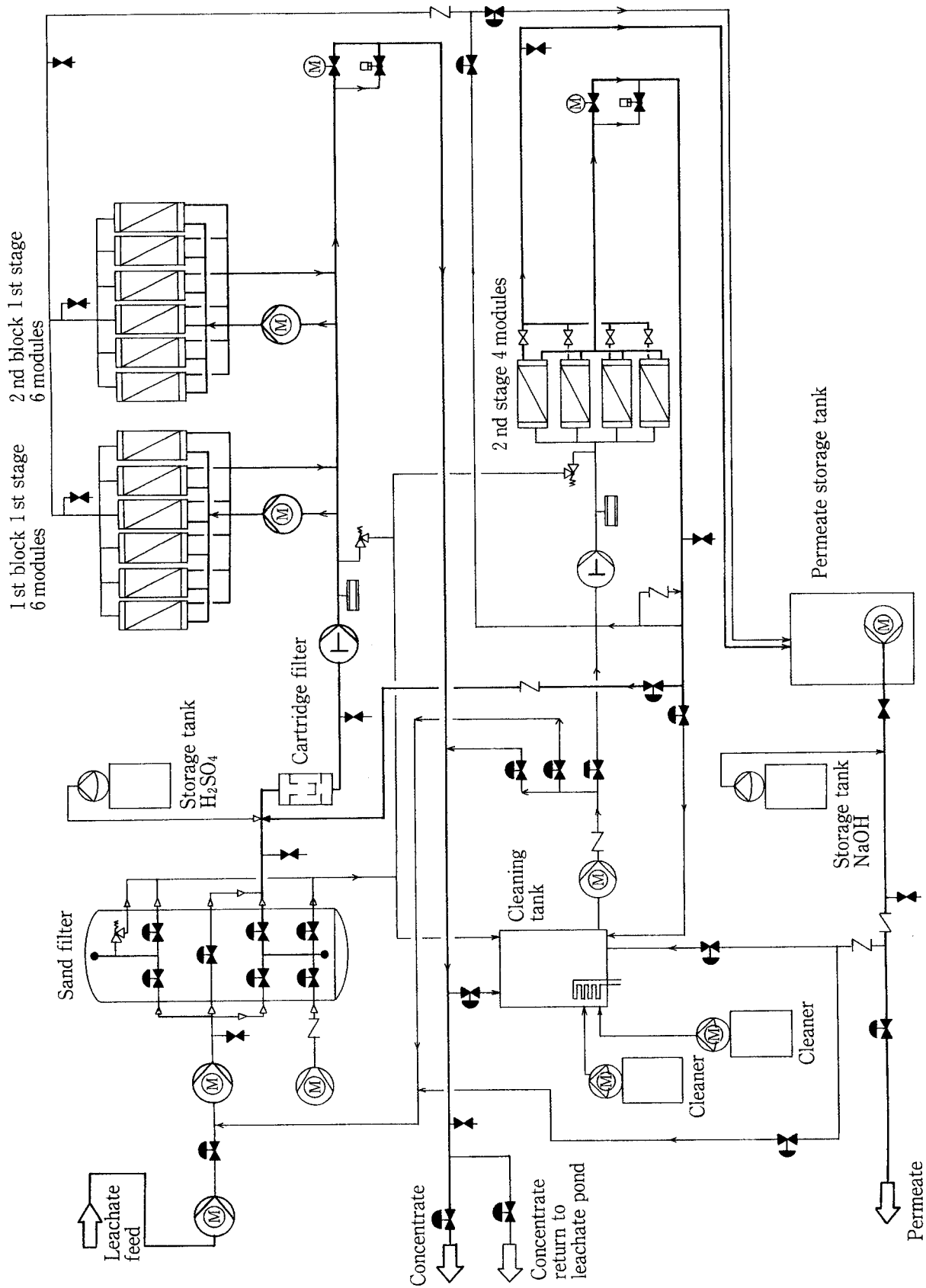
構造となっている。スペーサーディスクは中央部に中心軸を通す穴が開いており、RO膜をシールするOリングがセットされ、その外側に原水を反転させるスリットがリング状にあり、外周部は中央部と同じ厚みでシールされるようにはみ出している。

RO膜とスペーサーディスクのセットは、原水流入、透過水出口、濃縮水出口のついているジョイニングフランジとスペーサーディスク、RO膜を交互に中心軸にセットし、エンドフランジとで挟み込みナットで固定し膜エレメントを組み立てる。この膜エレメントを圧力容器にセットしてDT-モジュールを組み立てる。装置の組立ては、第1図の上下を逆にして据付けられ液の流れは、ジョイニングフランジより原水を供給し原水は圧力容器と膜エレメントの間を通り上部へ導入され最上部スペーサーディスクの中央部スリットよりRO膜の上側を流れ、外周部で反転してRO膜の下部を通過し、再びスペーサーディスク中央部のスリットを通り同じようにRO膜上側を通過させる。このようにRO膜の中央部、外周部で反転を繰り返して最下部まで来て濃縮水としてDT-モジュール外に流出する。またRO膜表面を原水が通過する間に膜を透過した透過水は不織布内を通過して中心軸の周りに集められ、中心軸とスペーサーディスクの間の流路を通過してDT-モジュールの外に流出する。

2. 実験内容

2.1 実験フローシート

第2図に実証実験設備の全体フローシートを示す。既設浸出水処理場の浸出水ピット内の浸出水を直接「DT-モジュールシステム」に供給し、透過水は既設処理場の放流水路に放流、濃縮水及び砂ろ過器洗浄排水は排水槽に受け埋立処分場に返送している。また薬品洗浄排水は一度排水



第3図 ロケム「DT-モジュールシステム」フローシート（2段階運転）
 Fig. 3 ROCHEM Leachate Treatment Plant
 Flow Schematic (Double Stage Operation)

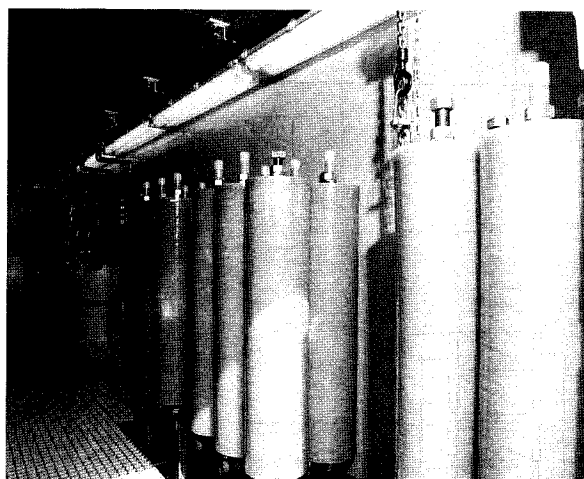
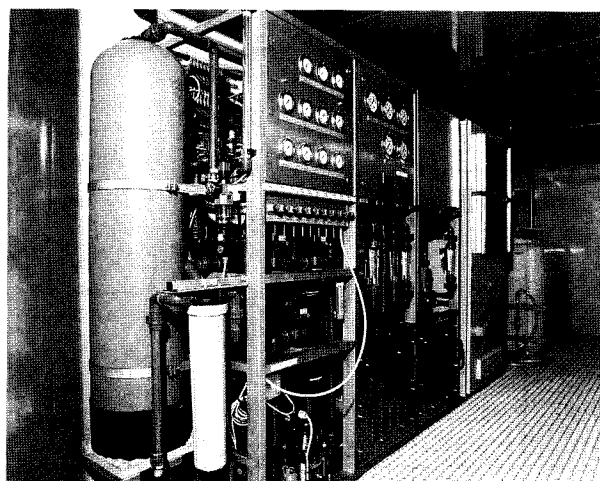


写真 1 実験設備

Photo. 1 DT-Module test unit and purification of landfill leachate

槽に受け、pH調整後埋立処分場に返送している。

第3図にDT-モジュールシステムのフローシートを示す。「DT-モジュールシステム」はコンテナ内にすべて納められており非常にコンパクトで据え付けも容易である。浸出水は前処理なしで直接砂ろ過器に供給し、pH調整後安全のため10 μ mのミクロンフィルターを通して加圧プランジャーポンプにより「DT-モジュール」に供給される。モジュールは2段に配置され、1段目のモジュールは6本1組で2ブロックあり、それぞれブースターポンプで原液を循環しながら透過水を得ている。1段目の透過水は2段目に供給され、再度脱塩されてより高度な透過水を得ている。この処理水は、一度処理水タンクに貯留し装置停止時の置換用水、薬品洗浄時の循環水、砂ろ過器の逆洗用水などに利用されるとともにpH調整をして放流される。2段目の濃縮液は1段目の供給ラインのミクロンフィルター入り口へ返送される。また2種類の薬品洗浄が自動で行える設備を有している。

運転制御は、1段目の透過水量と回収率、2段目の透過水量と回収率を入力設定すれば、それぞれ1段目、2段目の濃縮液の出口弁と供給加圧ポンプのサイクルを自動的にコントロールして常に透過水量を一定に運転制御される。

2.2 実験設備諸仕様

写真1に実験設備を示す。実証実験設備の諸仕様は次の通りである。

(1) 第1段

DT-モジュール本数	12本
膜面積	91.2 m^2
ブロック数	2
循環ポンプ台数	2台
供給液流量範囲	575~2 000 l/h
透過水量(最大)	1 080 l/h
最高運転圧力	65 bar
運転温度範囲	5~35 $^{\circ}\text{C}$

(2) 第2段

DT-モジュール本数	4本
膜面積	30.6 m^2

モジュール列数	2列
流入量(第1段透過水量)	1 080 l/h
透過水量	1 026 l/h
運転最高圧力	65 bar
運転温度範囲	5~35 $^{\circ}\text{C}$

(3) モジュール仕様(1本当たり)

寸法	200 mm dia. $\times$ 1 000 mm
膜面積	7.6 m^2
材質	RO膜 ポリアミド スパーサーディスク ABS 圧力容器 FRP

3. 実験結果

3.1 装置連続運転結果

第4図に透過水量とモジュール差圧の経時変化を示す。図に示す期間の装置運転条件は、1段目透過水量15 L/min、回収率66%、2段目透過水量13.5 L/min、回収率90%に設定し連続運転を行ったものである。このときの装置供給原液の温度は25.8~34.2 $^{\circ}\text{C}$ 、pHは5.6~6.2、電気伝導度は22.5~31.4 ms/cmであった。なお透過水量は温度補正をしていない。また累積時間約180時間目に酸による薬品洗浄を実施している。

1段目、2段目の透過水量の低下はなく一定にコントロールされており、膜面循環差圧についても1段1ブロック、2ブロックとも初期の差圧よりわずかに増加した程度であり、2段目については差圧の上昇は起こっていない。

3.2 モジュール内部点検結果

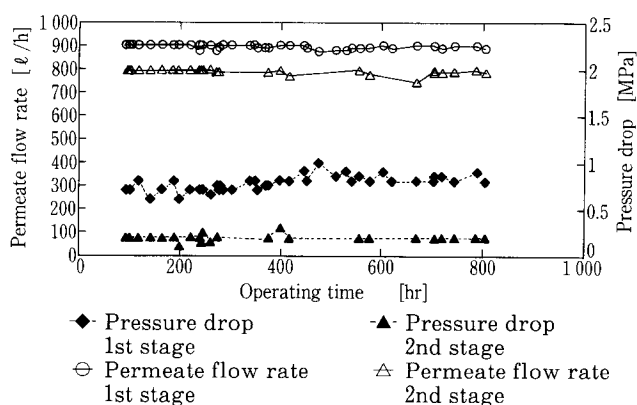
DT-モジュールの特長として、モジュール内の流水路幅は広くまた循環供給による乱流効果によりスケール、汚れ、閉塞が防止でき、モジュールの分解・点検が容易に行えることが挙げられる。今回連続運転中薬品洗浄後300時間後に1段目1ブロック、2段目のモジュールの内部点検を行った結果、1段のモジュールに若干のスケールが確認された程度であり、2段のモジュールには全く変化がなかった。

3.3 処理水質

第 1 表 水道基準項目の水質分析結果

Table 1 Performance data for DT Module system and drinking water quality standards

	Item		Leachate	Permeate	Water quality standard
1	Total colonies	(n/ml)	170	5	100
2	Coliform group	(n/100ml)	N.D	—	N.D
3	Cadmium	(mg/l)	0.002	—	0.01
4	Mercury	(mg/l)	<0.00005	—	0.0005
5	Selenium	(mg/l)	<0.005	—	0.01
6	Lead	(mg/l)	<0.005	—	0.05
7	Arsenic	(mg/l)	<0.005	—	0.01
8	Chromium hexavalent	(mg/l)	<0.005	—	0.05
9	Cyanide	(mg/l)	0.002	—	0.01
10	Nitrate Nitrogen and Nitrite Nitrogen	(mg/l)	2.2	—	10
11	Fluoride	(mg/l)	0.10	—	0.8
12	Carbon tetrachloride	(mg/l)	<0.0002	—	0.002
13	1, 2-Dichloroethane	(mg/l)	<0.0004	—	0.004
14	1, 1-Dichloroethylene	(mg/l)	<0.002	—	0.02
15	Dichloromethane	(mg/l)	0.007	—	0.02
16	Cis-1, 2-dichloroethylene	(mg/l)	<0.004	—	0.04
17	Tetrachloroethylene	(mg/l)	<0.001	—	0.01
18	1, 1, 2-Trichloroethane	(mg/l)	<0.0006	—	0.006
19	Trichloroethylene	(mg/l)	<0.001	—	0.03
20	Benzene	(mg/l)	<0.001	—	0.01
21	Chloroform	(mg/l)	<0.001	—	0.06
22	Chlorodibromomethane	(mg/l)	<0.001	—	0.1
23	Bromodichloromethane	(mg/l)	<0.001	—	0.03
24	Bromoform	(mg/l)	<0.001	—	0.09
25	Trihalomethanes	(mg/l)	<0.001	—	0.1
26	1, 3-Dichloropropene	(mg/l)	<0.0002	—	0.002
27	2-Chloro-4, 6-bis(ethylamino)-1, 3, 5-triazine	(mg/l)	<0.0003	—	0.003
28	Tetramethylthiuram disulfide	(mg/l)	<0.001	—	0.006
29	S-p-chlorobenzyl diethylthiocarbamate	(mg/l)	<0.002	—	0.02
30	Zinc	(mg/l)	0.022	—	1.0
31	Iron	(mg/l)	5.1	<0.03	0.3
32	Copper	(mg/l)	0.005	—	1.0
33	Sodium	(mg/l)	2 900	23	200
34	Manganese	(mg/l)	3.3	<0.005	0.05
35	Chloride	(mg/l)	8 300	68	200
36	Hardness	(mg/l)	2 450	2.11	300
37	Total Residue	(mg/l)	15 000	110	500
38	Anionic surface active agent	(mg/l)	0.21	<0.02	0.2
39	1, 1, 1-Trichloroethane	(mg/l)	<0.001	—	0.3
40	Phenols	(mg/l)	0.07	<0.005	0.005
41	Potassium permanganate consumption value	(mg/l)	375	1.9	10
42	Potential hydrogen	(—)	7.2	6.9	5.8~8.6
43	Taste		—	—	N.D.
44	Odor		Metallic odor	N.D.	N.D.
45	Color	(degree)	450	<1	5
46	Turbidity	(degree)	40	<0.5	2



第4図 透過水量とモジュール差圧の経時変化

Fig. 4 Operational data on permeate flow and pressure drop.

高度処理を目的として実験した逆浸透膜処理の水質評価として、水道基準に関する省令（1992年12月21日厚生省令第69号）に基づき水質分析を行った。第1表に基準項目の水質分析結果を示す。また第2表に水道基準項目以外の水質分析結果を示す。

逆浸透膜処理水の分析結果は、浸出水が基準値をオーバーしている項目について記載した。これによりすべての項目で逆浸透膜処理水は、水道水質に関する水質基準（健康に関する項目、水道水が有すべき性状に関連する項目）を満足している。特に高度処理の目的でもある塩素イオンに対する除去率は、99.3%であり非常に効果的である。またカルシウム、マグネシウム（硬度）の除去率も99.9%と非常に高く、モジュールの独特な構造によりスケーリング等の問題もなく有効に除去することができた。また快適水質項目、監視項目についても同様に浸出水の目標値、指針値をオーバーしている項目について逆浸透膜の除去効果をみたが、すべて目標値、指針値を満足した。

膜処理法による脱塩技術として電気透析法があるが、電気透析法ではCOD、色度などの有機汚濁物質は非電荷性であり除去困難であるが²⁾、今回の逆浸透膜法による除去は浸出水COD濃度84.8 mg/lに対し処理水1.0 mg/l以下であり98.8%以上の除去率を示し、色度については浸出水

第2表 水道基準値以外の水質分析結果

Table 2 Performance data for DT Module system

	Item	Leachate	Permeate	Removal rate (%)
1	CODMn (mg/l)	84.8	<1.0	>98.8
2	BOD (mg/l)	27.9	<5.0	>82.1
3	Nitric (mg/l)	<20	<0.10	>99.5
4	Phosphoric acid (mg/l)	<20	<0.10	>99.5
5	Ammonium (mg/l)	196	<4.28	>97.8

450度に対し処理水は1度以下となり非常に効果的であることが確認出来た。

3.4 濃縮液の処理

実証実験中濃縮液は、処分場に返送した。実験期間が短いこともあり浸出水に及ぼす影響を確認するまでには至っていないが、現在ヨーロッパで広く普及している本方式において濃縮液を処分場に再循環しても浸出水の水質を低下することにはならないという研究も発表されている。³⁾ 今後、逆浸透膜処理を適用していく場合、この濃縮液の処理、処分についても充分な対応が必要となり当社においても、すでにこの処分方法に対する検討をスタートしており、安全で環境にやさしい高度処理システムを供給出来る体制となっている。

むすび

逆浸透膜処理法「DT—モジュールシステム」は浸出水の高度処理として、浸出水を砂ろ過、pH調整後直接処理可能であり、処理水としては水道水質に関する基準を充分満足する水質が得られ、安全で環境にやさしい処理方式といえる。

今後、経済性の評価を含め長期のデータを取得しより確立されたシステムとして供給していく所存である。

【参考文献】

- 1) 深尾義満：神鋼パンテック技報，Vol. 39 No. 2 (1996)
- 2) 伊藤三郎ら：膜分離法を用いたゴミ浸出水の高度処理，第5回廃棄物学会研究発表会，(1994)。
- 3) WMX TECHNOLOGY REPORT Spring 1996