

# 逆浸透膜による浸出水の 高度処理実験報告（その2）

Landfill Leachate Treatment by Membrane Filtration



(環)設計部設計第1課  
梶山吉則  
Yoshinori Kajiyama  
(環)技術部計画第2課  
土谷聡  
Satoshi Tsuchiya  
(技)開発企画室  
牛越健一  
Kenichi Ushikoshi

埋立地浸出水の高度処理（脱塩処理）において逆浸透膜法は浸出水中の高濃度塩類を除去できるのみならず重金属、難分解性物質も同時に除去することができる。逆浸透膜処理装置 DT—モジュールシステムを、焼却残渣を主体とした高塩濃度の浸出水に適用する実験の結果、95%の高回収率で安定した運転結果が得られ、処理水は水道水レベルの良好な水質であった。

Reverse osmosis system can remove highly concentrated salts and simultaneously heavy metals and recalcitant substances contained in the leachate from landfill site. A test plant for leachate treatment using DT-Module which is a reverse osmosis module with plate and frame configuration developed by Rochem, has been dumped. The test result showed that performance of operation has been very stable even by recovery rate of 95%, producing very high grade treated water just like clean city water. As to concentrate treatment from reverse osmosis system, many cases and methods are proposed. Consequently it becomes to be available in Japan to construct a leachate treatment system which produces very clean water equal to potable water by using DT-Module in combination with concentrate treatment system.

## Key Words :

浸出水処理	leachate
逆浸透膜処理 (RO)	reverse osmosis
ナノフィルター (NF)	nanofilter
DT—モジュール	dt-module
高塩類	high salinity

## まえがき

廃棄物の焼却処理の比率が高まり、この焼却残渣を主体とする埋立地の浸出水は、高濃度の無機塩類を含むとともに、COD/BOD 比率が高く生物難分解性物質が多量に溶解している。このような浸出水に対して従来法の生物処理、沈殿ろ過処理、活性炭吸着処理といったシステムでは、塩類の除去は当然不可能であるが、重金属、難分解性有機物質の除去も

不十分で、放流処理水に残存するおそれがある。一方逆浸透膜法によるこのような浸出水の処理は、高濃度無機塩類の分離除去ができるのみならず、重金属、難分解性有機物も同時に分離除去できる技術として注目されている。いままで、特に我が国においては、膜モジュールの目詰まりやスケーリングといったファウリングの問題があり、回収率も高く取れないといった考えからなかなか採用に至らなかった。

当社は、これらの問題を解決した逆浸透膜法である、平膜筒状のDT-Module（ディスクチューブモジュール）を用いたDT-モジュールシステムによる浸出水の高度処理実証運転を行ってきた。DT-モジュールシステムによる浸出水の処理は、多数の実績を持ち、欧米諸国、特にドイツにおいて全体の半数以上を占めていることに示されるように逆浸透膜法による浸出水の処理が大きな流れとなっている。<sup>1)</sup>

第1報では、RO2段運転による運転結果を報告したが、<sup>2)</sup> 今回このRO2段処理に加え、濃縮液の処理としてNF（Nano Filtration）膜装置、濃縮RO膜装置を設置し高回収率の実証運転を行い好結果を得たので報告する。

## 1. DT-モジュールシステム

### 1.1 DT-モジュールの構造及び仕様

第1図にDT-モジュールの構造を示す。DT-モジュールは典型的なプレート&フレーム型の構造を持ったROモジュールで、平膜状RO膜を背中合わせに接合したクッションと呼ばれる八角形のRO膜が、ディスクと呼ばれるプラスチック製スペーサーと組み合わせ高圧容器の中に収納されている。

浸出水は加圧状態で容器の一方の端面入口より入

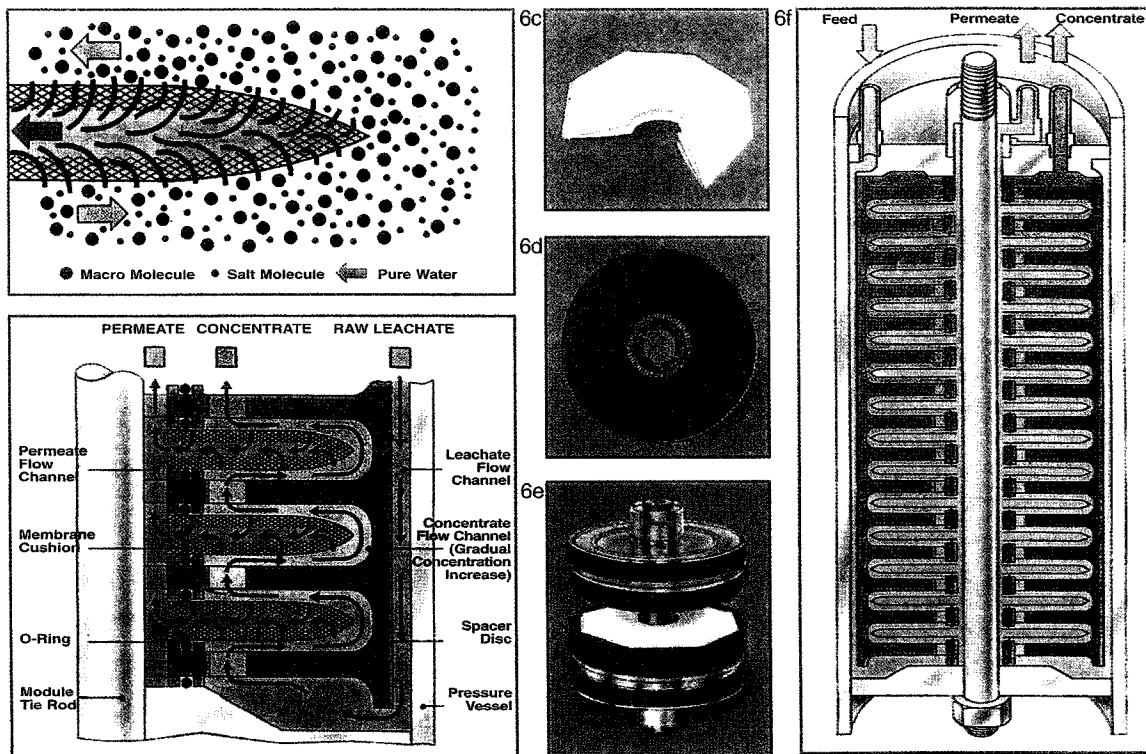
り、ディスクと容器の間隙を通ってもう一方の端面に至り、そこからクッション膜とディスクの間に入り乱流状態で元の端面の濃縮水出口から放出される。

膜を通過した透過水は、2枚の膜の間に挿入されている透過水スペーサーより中心部に集められ、端面の一方にある透過水出口より取り出される。浸出水の流路がオープンチャンネルで、スパイラルモジュールのような流路材を用いていないため目詰まりを生ぜず、生物ファウリングを受けにくい構造となっている。

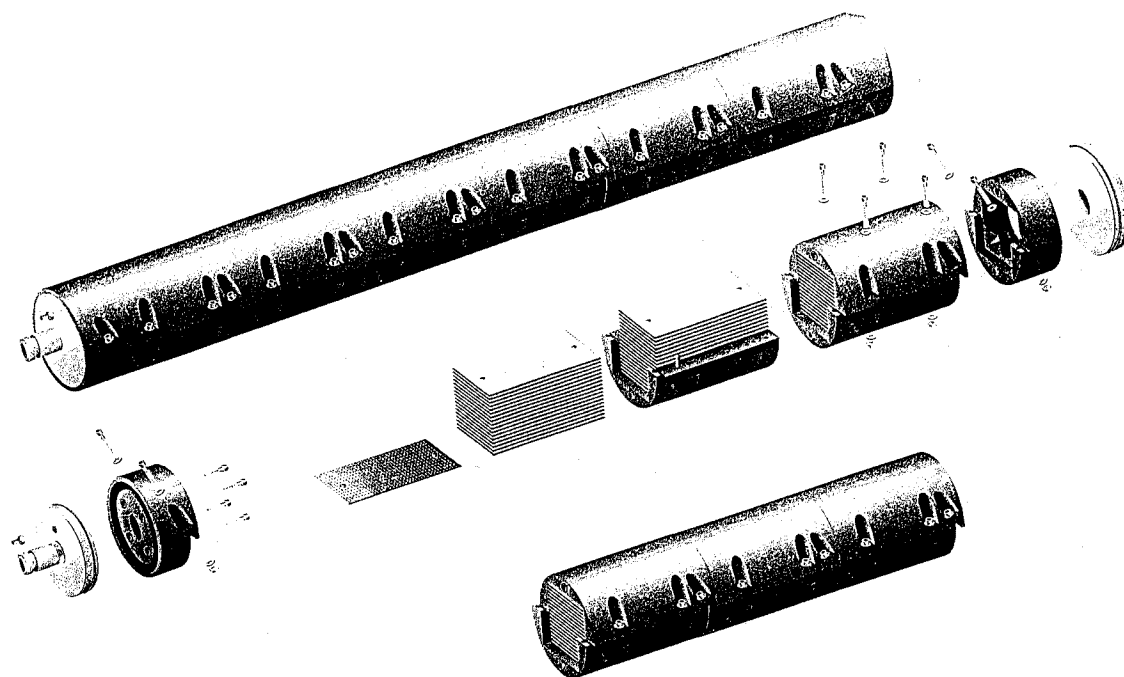
第2図に同様なオープンチャンネルの構造を持つロケム社のNF（DTF-モジュール）モジュールの構造を示す。このモジュールの膜は矩形であり2枚の膜が背中合わせに接合され、矩形ディスクと組み合わされて高圧容器の中に収納されている。

第1表にDT-モジュール及びDTF-モジュールの仕様を示す。DT-モジュールは1本の高圧容器の中に約170枚のクッションが入っており、膜面積は合計7.6 m<sup>2</sup>である。膜は芳香族ポリアミドの合成複合RO膜で最高使用圧力として65 bar, 120 bar, 200 barの3種類のモジュールがある。

海水淡水化用膜と同様に基本性能として食塩溶液



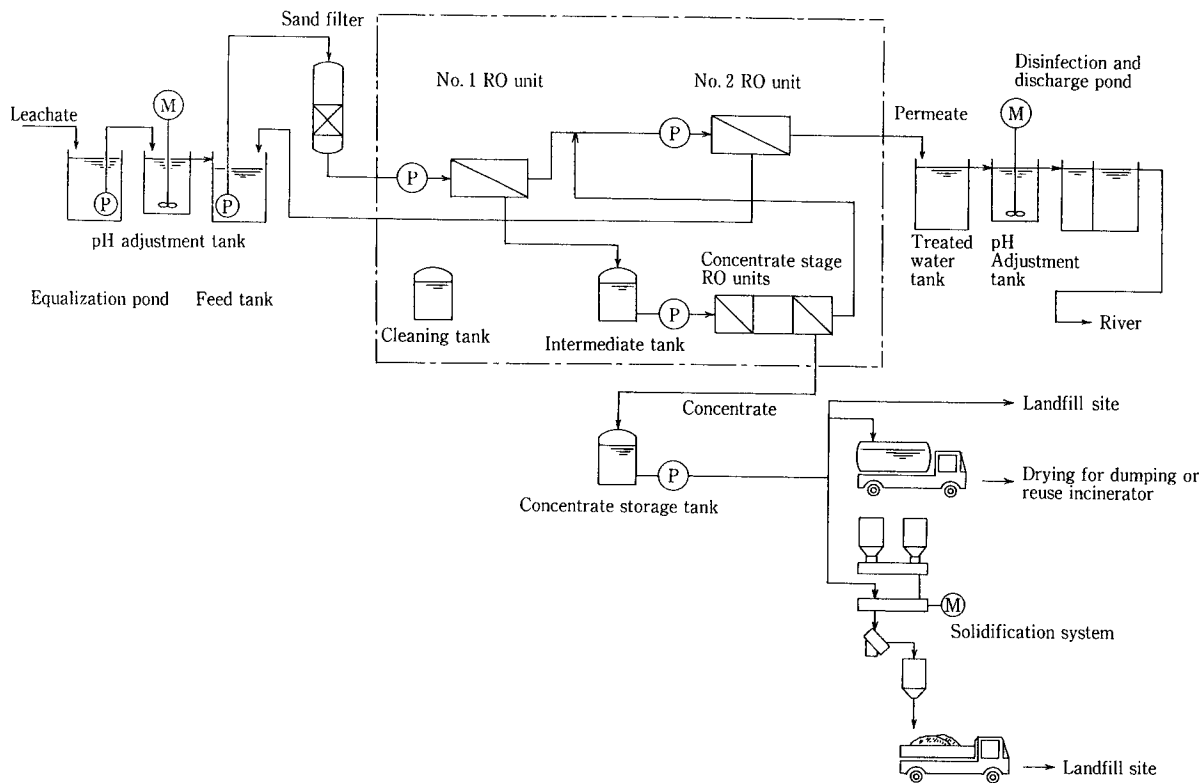
第1図 DT-Module 構造図  
Fig. 1 Picture of DT-Module



第2図 DT-Module 構造図  
Fig. 2 Picture of DTF-Module

第1表 DT-Module 及び DTF-Module 仕様  
Table 1 Specification of DT-Module and DTF-Module

DT-Module	
Type of module	DT-Module (Reverse osmosis)
Configuration	Disk-Tude (Plate and frame)
Maximum rated operating pressure	65bar, 120bar, 200bar
Dimensions	65bar    120bar    200bar
Diameter (mm)	226        222        250
Length (mm)	1 200    1 200    1 150
Membrane area	65bar, 120bar    7.6 m <sup>2</sup> 200bar            9.1 m <sup>2</sup>
Operating Temperature	5—35°C
Material	Membrane    Polyamide Disk            ABS Casing        65bar        FRP 120bar, 200bar    SUS
DTF-Module	
Type of module	DTF-Module (Nanofilter)
Configuration	Disk-Tude (Plate and frame)
Maximum rated operating pressure	40bar
Dimensions	Diameter    123mm Length       2 250mm
Membrane area	5.0 m <sup>2</sup>
Operating Temperature	5—35°C
Material	Membrane    Polyamide Disk            ABS Casing        SUS



第3図 DT-Module 浸出水処理装置フロー  
Fig. 3 Typical Flow Diagram of DT-Module Leachate Treatment System

に対し99%以上の塩を除去できるとともに、有機物、コロイドレベルの微粒子等をも同時に除去することができる。また200 barの高圧運転の可能なDT-モジュールにより、塩類濃度を十数%以上にまで濃縮することができる。ディスク材質はABS、容器材質は65 barモジュールがFRP、120および200 barモジュールはステンレス鋼である。DTF-モジュールの1本当たりの膜面積は5.0 m<sup>2</sup>であり、最高運転圧力は40 barで容器材質はステンレス鋼である。

### 1. 2 DT-モジュールシステム

第3図に典型的なDT-モジュールシステムフローを示す。埋立地よりの浸出水は調整池に集められpH調整された後、砂ろ過器でろ過される。ろ過水はミクロンフィルターを通り1段目RO装置に供給され、加圧ポンプで加圧しDT-モジュールで処理される。透過水は2段目RO装置によりさらに仕上げ処理し、pH調整後放流池を経て河川に放流される。2段目RO装置の濃縮水は1段目RO装置の手前に返送される。この1段目RO装置、2段目RO装置には65 bar DT-モジュールが使用される。

1段目RO装置より出た濃縮水は、NF装置により2価のスケール成分となる硫酸カルシウム等を除

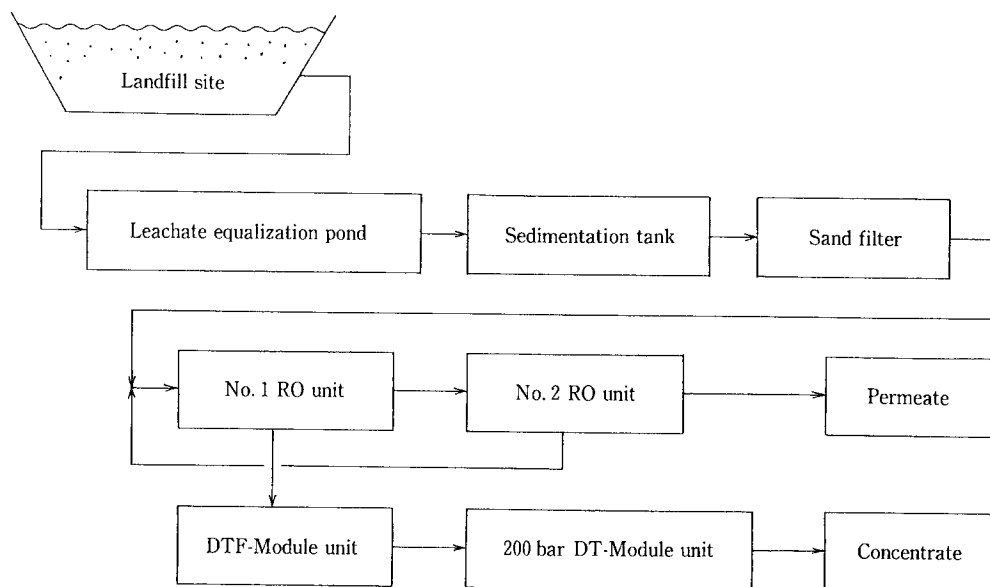
去した後、透過水は濃縮RO装置に、濃縮水は濃縮槽に送られる。濃縮RO装置ではNF装置の透過水をさらに透過水と濃縮水に分離し、透過水は2段目RO装置の前へ、濃縮水は濃縮槽に返送される。濃縮RO装置のDT-モジュールは、浸出水の塩濃度または回収率の低い場合には120 barモジュールが、浸出水塩濃度、回収率が高い場合は200 barモジュールが用いられる。

DT-モジュール浸出水処理装置はこのような方法で95~98%の回収率が得られ、供給浸出水の95~98%が処理水として放流され、2~5%が濃縮水として別途処理される。

濃縮水は、①埋立地への返送②固化埋め立て③乾燥保管④焼却処理などの処理方法が考えられ最終処分場の条件により最適な方法を選択する。

## 2. 実証実験の概要

1996年2月より焼却残渣と不燃物の埋立を主体とする鳥取県下の最終処分場において、呼称30 m<sup>3</sup>/d 1段RO装置、2段RO装置を備えた実証装置を運転してきた。初年度は特に我が国の浸出水水質における実証と最適設計・運転条件の検討を主目的として開発試験を行い、その結果を当技報に「逆浸透



第4図 試験装置フロー  
Fig. 4 Flow Diagram of Test Plant

膜による浸出水の高度処理実験報告（その1）」として報告した。<sup>2)</sup> 初年度の運転結果は、回収率60～70%程度に設定し順調に稼働してきたが、塩類濃度が高いこと、カルシウム等2価塩類の濃度が高い処分場の浸出水水質であること、及び工事中の当処分場の特別事情により下記の事が判明した。

- 1) 当処分場が改造工事のため数百mg/lにもおよぶ懸濁固形物を含む浸出水が流入する事があるため、凝集沈殿装置を付加することが望ましい。
- 2) カルシウムイオン等スケール生成の元となる2価イオンが多いため、pH調整のほかにスケール防止剤の注入が望ましい。
- 3) DT-モジュールの薬品洗浄頻度は1～2週間に1回が適切である。

初年度の試験運転により得られたこれらの知見により、1997年度は凝集沈殿装置を付加し、分散剤を注入してRO処理を開始した。また濃縮系のRO装置を設置し、全体の回収率を90%以上として実証運転を継続した。

#### 2.1 実証実験装置

第4図に実験装置のフローシートを、第2表に各装置の仕様を示す。写真1その全景及び内部を示す。調整槽より取水された浸出水は凝集沈殿装置、砂濾過装置、1段目RO装置、2段目RO装置の水処理系RO装置を経て処理水として放流される。2段目RO装置の濃縮水は1段目RO装置の前に返送され、1段目RO装置の濃縮水は濃縮水槽に受

け入れ既設処理設備で処理するため調整槽に返送し、濃縮水を全量処理した場合の水量に換算して装置全体の回収率として求めた。

#### 2.2 実証実験方法

各装置の運転条件は次の通りである。

##### 1) 前処理装置

凝集沈殿装置処理流量		1 250～2 000 l/h
砂濾過装置処理流量		1 250 l/h
薬品注入量	硫酸バンド	20～60 mg/l
	NaOH	pH 設定より自動注入
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH 設定より自動注入
設定 pH	凝集槽	6.8～7.2
	ろ過器入口	5.8～6.0

##### 2) 水処理系 RO 装置

1 段目 RO 装置	透過水量	900 l/h
	運転圧力	30～50 bar
	回収率	66～73 %
2 段目 RO 装置	透過水量	810 l/h
	運転圧力	15～20 bar
	回収率	90 %

##### 3) 濃縮装置

NF 装置	透過水量	80 l/h
	運転圧力	10～40 bar
濃縮 RO 装置	透過水量	40 l/h
	運転圧力	70～180 bar

##### 4) 全体回収率 90%→93%→95%

砂ろ過器の洗浄は約1回/週、1段目RO装置、

NF 装置、濃縮 RO 装置は 1～2 週間に 1 回とし、酸及びアルカリを用いて洗浄した。

### 2. 3 実証実験結果及び考察

第 5 図に水処理系 RO 装置の流量のデータを示す。1 段目 RO 装置の透過水量は 2 600 時間の運転期間中ほぼ 900 l/h で安定している。この間運転圧力の変動はわずかで膜がファウリングを受けていないことがわかった。また 2 段目 RO 装置の透過水

量も 810 l/h と安定しており、運転圧力もほとんど変動はなかった。

1 段目 RO 装置入口流量が減少しているのは、透過水量を一定にして全体の回収率を 90 %→93 %→95 % に上げたためである。2 段目 RO 装置は、1 段目 RO 装置の透過水を原水としており膜の汚染もなく安定した運転結果を示している。

第 6 図に NF 装置の運転データを示す。運転圧力

第 2 表 試験装置仕様

Table 2 Specification of Test Unit

Water Treatment RO System	
No.1 Unit RO	
Reted inlet capacity	30m <sup>3</sup> /d
Type of module	65bar DT-Module
Nos. of DT-Module	6 sets × 2 blocks
No.2 Unit RO	
Type of module	65bar DT-Module
Nos. of DT-Module	4 sets
Concentrate Stage RO System	
DTF-Module unit	
Type of module	DTF-Module
No. of DTF-Module	1 set
200bar RO Unit	
Type of module	200bar DT-Module
No. of DT-Module	1 set
Material	PVC, FRP, SUS, PE
Accessories	Pumps, pipes, valves, instruments, panels, etc.

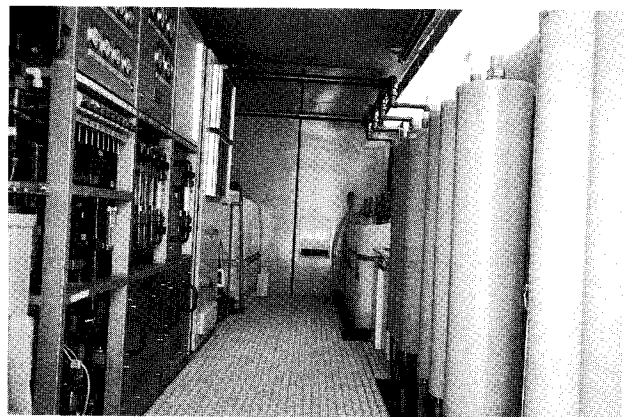
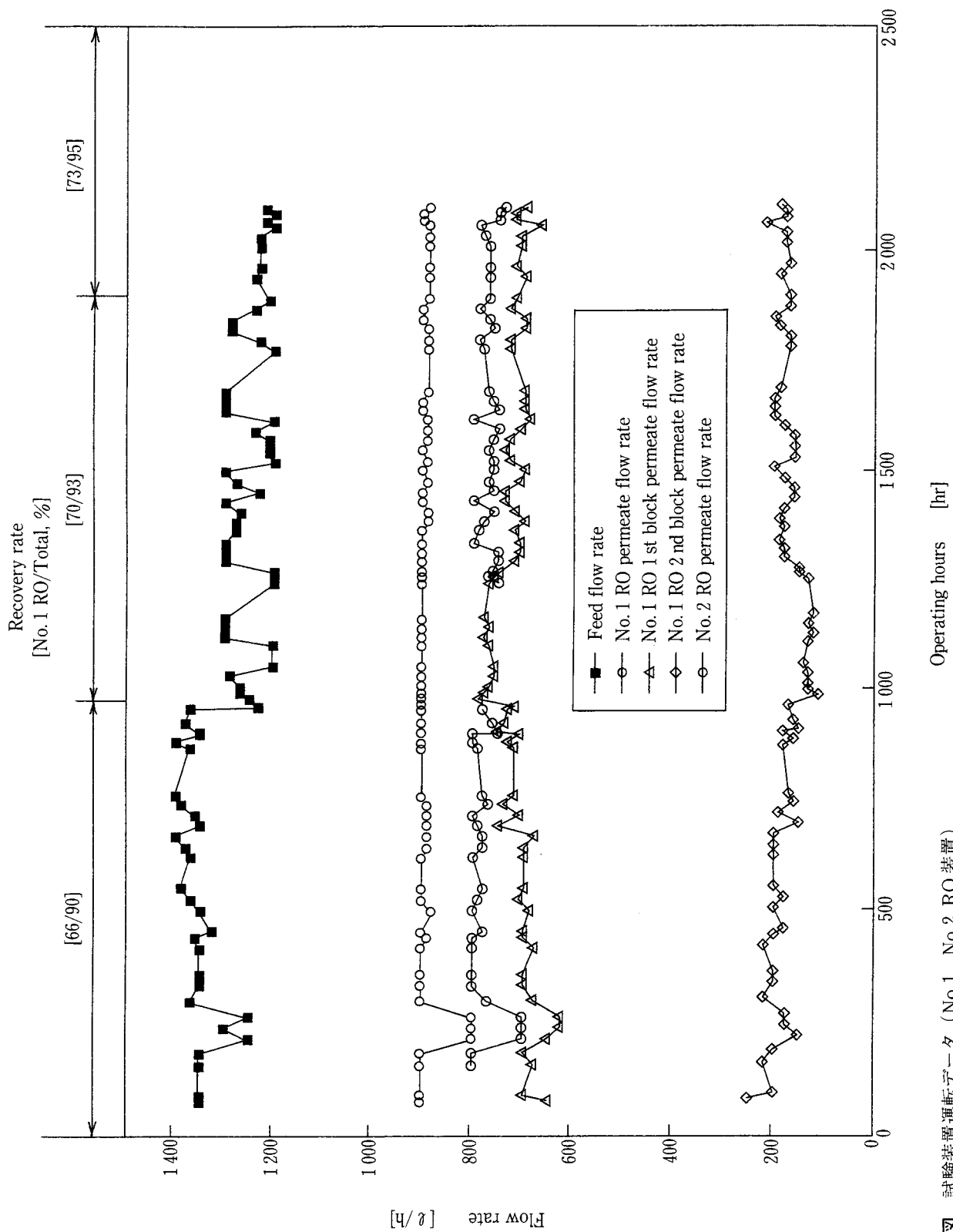
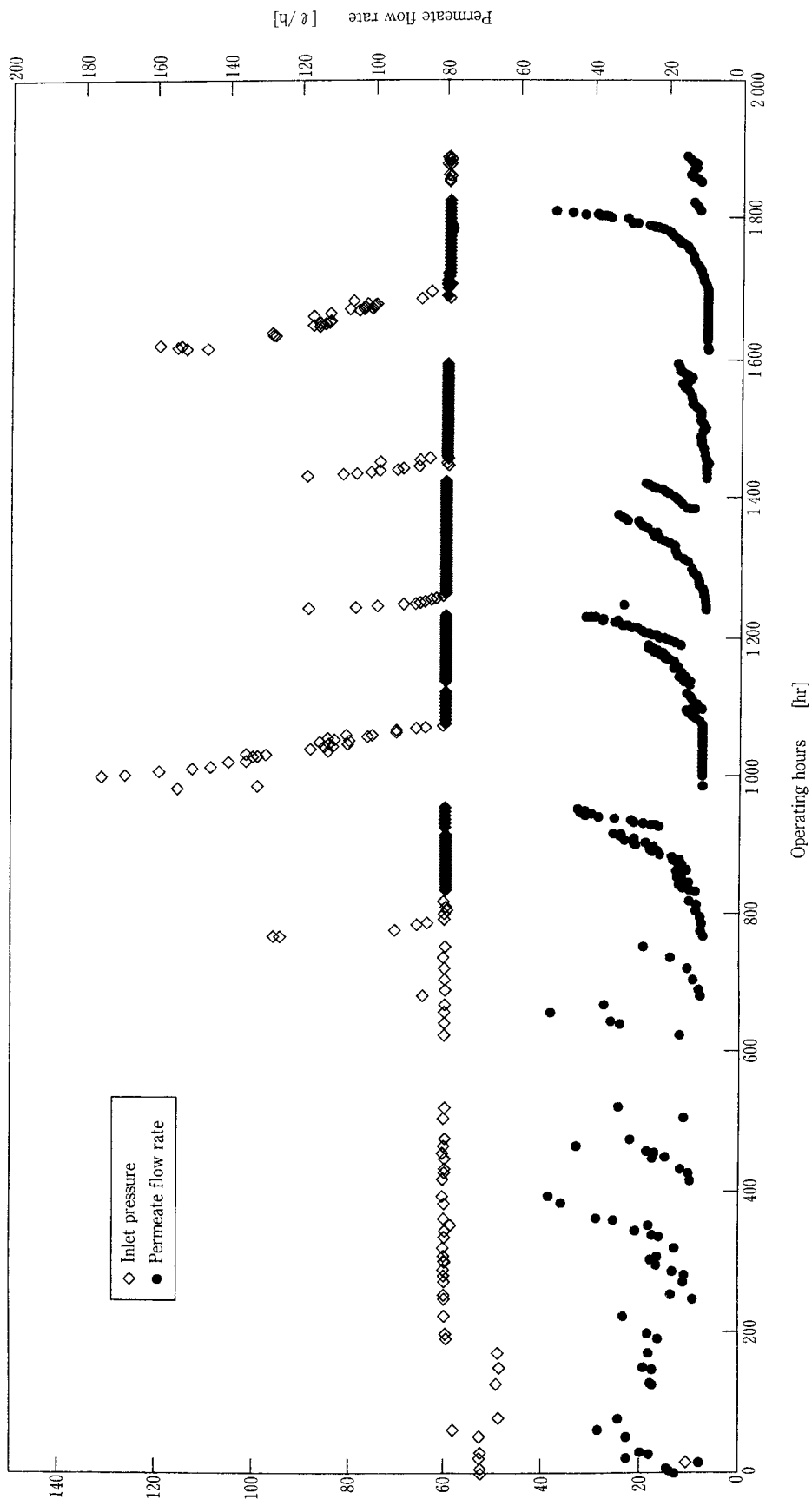


写真 1 試験装置

Photo.1 Distant and Inside View of Test Plant

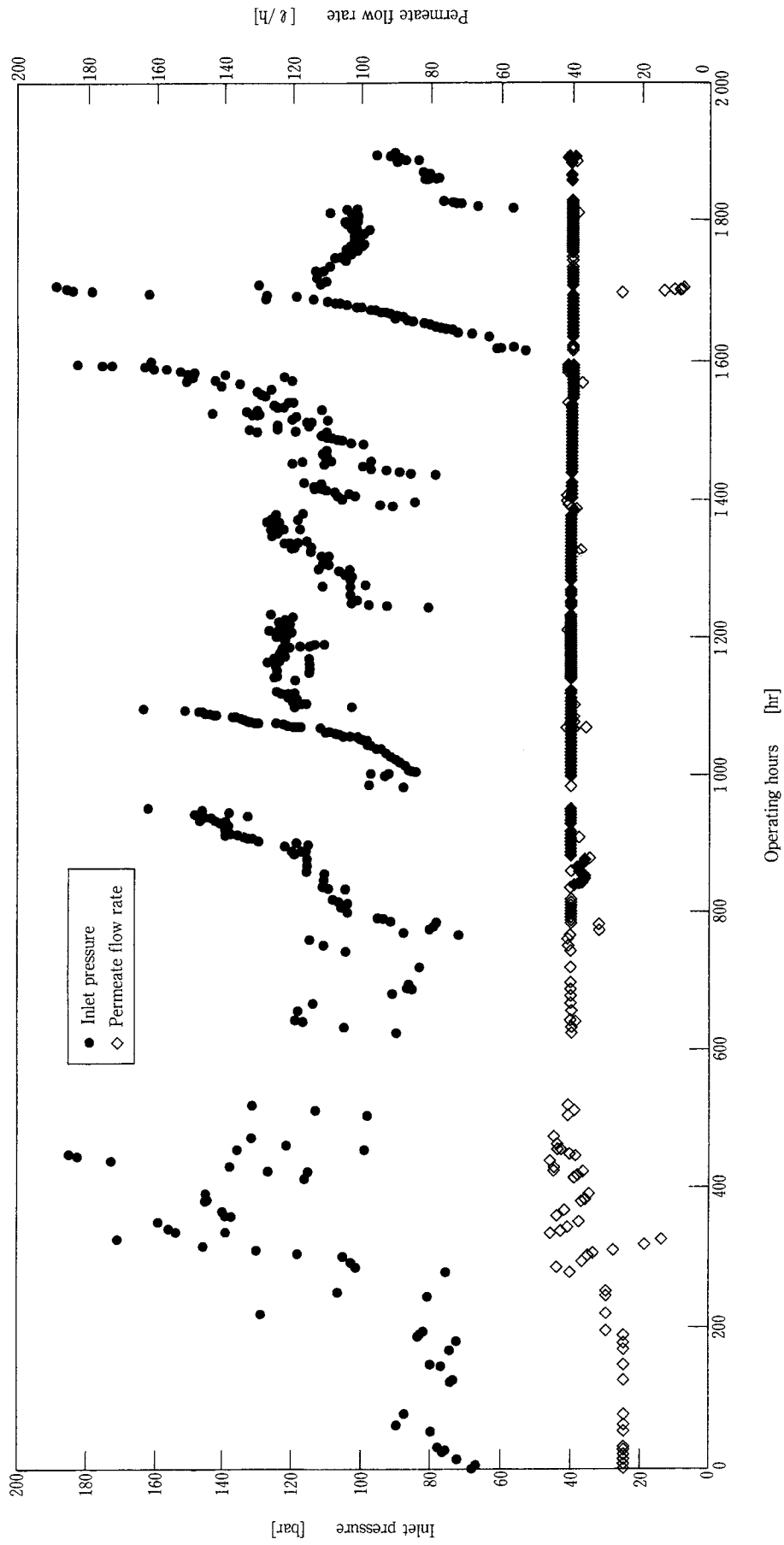


第5図 試験装置運転データ (No.1, No.2 RO装置)  
 Fig. 5 Operating Data of Test Plant (No.1 and No.2 RO Unit)



第6図 試験装置運転データ (DTF-Module装置)  
 Fig. 6 Operating Data of Test Plant (DTF-Module Unit)





第7図 試験装置運転データ (200bar 高圧 RO 装置)  
 Fig. 7 Operating Data of Test Plant (200bar DT-Module Unit)

第3表 DT-Module 浸出水処理装置水質分析データ  
Table 3 Performance of DT-Module Leachate Treatment System

Parameter	Units	Leachate	Permeate	Concentrate	Rejection (%)
Turbidity	Turb. unit	1.2	<0.1	0.5	—
Color	Color unit	28	1	240	96.42
pH	—	5.7	6.0	6.6	—
Conductivity	$\mu$ S/cm	17 900	90.1	140 000	99.50
M-alkalinity	CaCO <sub>3</sub> , mg/l	2.8	3.0	52.1	—
P-alkalinity	CaCO <sub>3</sub> , mg/l	0	0	0	—
Total hardness	CaCO <sub>3</sub> , mg/l	2 270	<2.0	23 900	>99.91
Total salts	mg/l	12 700	80	124 000	99.37
Ca	Ca, mg/l	748	<0.8	7 880	>99.89
Mg	Mg, mg/l	97.6	<0.5	1 024	>99.49
Na	Na, mg/l	2 440	8.94	25 000	99.63
K	K, mg/l	952	5.49	10 100	99.42
Cl	Cl, mg/l	6 500	15.3	67 400	99.76
SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> , mg/l	84.8	<0.1	1 000	>99.88
NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> , mg/l	94.1	3.14	720	96.66
NH <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> , mg/l	17.1	0.76	191	95.56
Total-N	N, mg/l	43.6	1.4	379	96.79
SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> , mg/l	9.28	0.14	108	98.49
Fe	Fe, mg/l	0.12	0.1	0.18	—
Mn	Mn, mg/l	4.10	<0.01	25.0	>99.71
COD <sub>MN</sub>	O, mg/l	37.8	<1.0	329	>97.35
BOD <sub>5</sub>	O, mg/l	<5.0	<2.0	<5.0	—

Date of sampling : September 16, '97

Total recovery rate : 95%

は前処理、濃縮倍率等の状態により若干変動しているが、洗浄の効果により特に大きな圧力上昇はない。透過水量も設定値で安定している。一時的に透過水量が大きくなっているのは、洗浄後処理水によるフラッシングによるものと考えられる。

第7図に濃縮 RO 装置の運転データを示す。運転圧力が変動しているのは、濃縮率の変動、またフラッシングにより浸透圧が変化したものと考えられる。運転圧力の非可逆的な上昇はなく、透過水量も安定しており問題はない。

このように全体回収率は90%から93%に、さらに95%に上昇したが各装置の運転状況は極めて良好で安定した運転が確認できた。

第3表に全体回収率95%で運転しているときの水質データを示す。凝集沈殿、pH調整後の浸出水の色度、濁度はそれぞれ28度、1.2度であり、透過水は色度1度、濁度0.1度以下とよく除去されている。

浸出水の電気伝導率、塩類濃度、塩素イオン濃度

はそれぞれ17 900  $\mu$  S/cm, 12 700 mg/l, 6 500 mg/lと高い値であったが、透過水はそれぞれ水道水水質レベルの90.1  $\mu$  S/cm, 80 mg/l, 15.3 mg/lであり除去率は99.6%, 99.4%, 99.8%に達している。

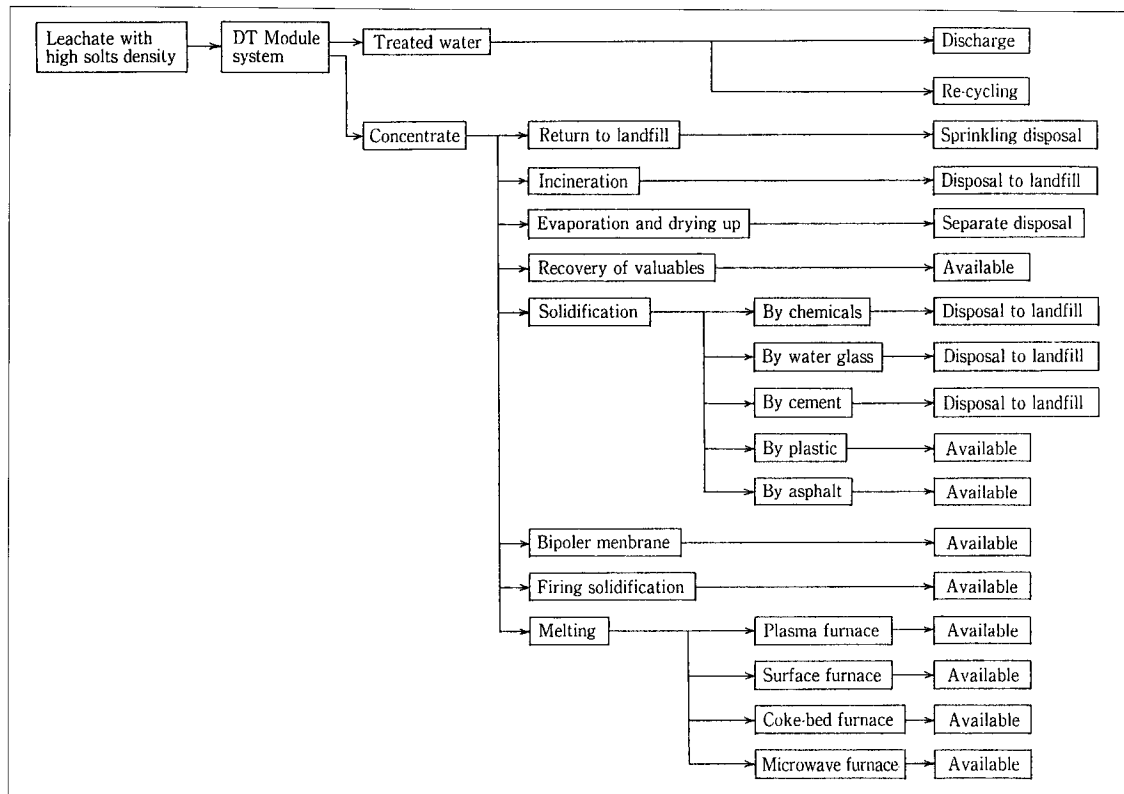
浸出水のカルシウム、マグネシウム濃度はそれぞれ748 mg/l, 97.6 mg/lであり、透過水はそれぞれ<0.8 mg/l, <0.5 mg/lと非常によく除去できている。

硝酸イオン、アンモニウムイオン、全窒素は浸出水濃度それぞれ94.1 mg/l, 17.1 mg/l, 43.6 mg/lに対し、透過水は3.14 mg/l, 0.76 mg/l, 1.4 mg/lと非常に低い値の透過水が得られ95%以上の除去率を示した。

浸出水 COD, BOD はそれぞれ37.8 mg/l, <5.0 mg/lと低い値で、透過水も<1.0 mg/l, <2.0 mg/lと天然の清水に等しい値が得られている。またシリカ、鉄、マンガンの浸出水の濃度は9.28 mg/l, 0.12 mg/l, 4.10 mg/lであり処理上大きな問題となる値ではなかった。

第8図 濃縮水処理方法

Fig. 8 Methods for Concentrate Treatment



濃縮水水質は、電気伝導率、塩類濃度それぞれ 140 000  $\mu$ S/cm, 124 000 mg/l と高濃度に濃縮されている。特にカルシウム、マグネシウムは、それぞれ 7 880 mg/l, 1 024 mg/l と高濃度に濃縮されているにもかかわらず、スケーリングを生じることなく装置が継続運転できている。

### 3. 濃縮水の処理について

DT-モジュールシステムによる浸出水の処理により、極めて良好な処理水が安定して得られることを確認した。しかし一方で同時に排出される数%の濃縮水の処理を適切に行う必要がある。第8図に濃縮水の処理方法の体系を示す。

これらの処理方法について安定性、経済性の面から評価がなされている。<sup>3)</sup> 濃縮水処理として固化法、乾燥保管法、工業的再利用法、処分場返送法などいくつかの方法が提案されており、最終処分場の条件により最適な方法が選択できるよう検討されている。

### むすび

DT-モジュールシステムは塩類濃度、硬度成分の高い我が国の焼却残渣を主体とした埋立地の浸出水に対しても安定した運転ができることを実証できた。また処理水質は、水道水レベルの極めて良好な処理水を得ることができ、システム全体の回収率も95%という高回収率で運転できることが確認できた。

これからの埋立浸出水に対し、安全で環境に優しい処理方式として広く採用いただけるよう期待するところである。

#### [参考文献]

- 1) T. A. Peters: Treatment of Landfill Leachate by Reverse Osmosis, Proceedings of Sardinia 97 Sixth International Landfill Symposium II, pp. 395-402 (1997)
- 2) 梶山吉則: 神鋼パンテック技報, Vol. 40 No. 1 (1996)
- 3) 小林俊幸, 佐伯一丸: 神鋼パンテック技報, Vol. 40 No.2 (1997)

#### 連絡先

梶山吉則 環境装置事業部  
設計部設計第1課  
担当課長  
TEL 078-232-8118  
FAX 078-232-8058  
E-mail y.kajiyama@pantec.co.jp

土谷 聡 環境装置事業部  
技術部計画第2課  
TEL 078-232-8102  
FAX 078-232-8056  
E-mail s.tsuchiya@pantec.co.jp

牛越健一 技術開発本部  
(技術士) 開発企画室長  
TEL 078-992-6525  
FAX 078-992-6504  
E-mail k.ushikoshi@pantec.co.jp