

# 中水道向け限外汚過装置「UF くるくる」

## Sewage Reclamation System by Ultra Filtration



(環)技術部 技術課  
久 新 正 三 郎  
Shozaburo Kyushin  
梶 山 吉 則  
Yoshinori Kajiyama

The application of ultra filtration membrane to the activated sludge process in place of sedimentation tank can save the installment space and reclaim the wastewater into reuses economically. Rotating membrane disk filter (UF-KURU-KURU) has been developed to reclaim the wastewater in the building into the reuses for mainly toilet flush. UF-KURU-KURU can get a high flux under the less energy consumption by the effect of cross flow share caused by the rotation of membrane disk.

Through over 8000 hours operation of actual size test unit, we studied its performance and durability.

### ま え が き

有機性排水の処理技術としては、活性汚泥法を中心とする生物処理法が広く普及している。しかしこれら生物処理法においても改良すべき点は決して少なくないと考えられる。その一方法として、限外汚過法を生物処理法に組込むことにより、生物処理法において一層の改善が望まれている。固液分離の確実性、設備のコンパクト化、運転管理の容易化、水質の安定化などが期待できる。そこでまず、近年需要の高まっている中水道分野に適用できる限外汚過装置の開発に着手した。

中水道分野に限外汚過 (UF) 法を適用するに当たっての最大の問題点は、第1図に示すように膜表面に形成するゲル層の影響で圧力を増加しても透過流速 (FLUX) がそれに比例して増加せず、一定に収束してしまうことである。そこで、通常被処理液 (原液) を膜表面に平行に通過させ、せん断力によりゲル層の成長を抑制するクロスフロー方式が採用されている。これはモジュールの構造によっては、ポンプ動力の増大を招き処理コストに大きく影響してくる。

当社では、この膜面横流速を得る方法として膜自身を回転させることにより消費動力が少なくてすむ、回転式限外汚過装置「UF くるくる」を開発し、実証運転を行ったのでその概要を報告する。

## 1. 回転式限外汚過装置「UF くるくる」

### 1.1 構造・原理

回転式限外汚過装置「UF くるくる」の概略構造を第2図に、膜ディスクの構造を第3図に示す。

密閉容器内で、中空軸に取付けた膜ディスクを回転させながら、容器下部より原液を供給し上部より濃縮液を取り出し循環しながら汚過をする。膜を通過した透過液は、中心軸内を通りロータリージョイントを介して回収する。また、膜表面の汚れは回転させながらディスクとディスクのすきまにブラシを挿入し簡単に除去することができる。

膜ディスクは、円盤状汚板の両面に膜が張りつけられ、中心部に原液を供給する開口部を備えており、回転による遠心力により外周部へ原液を送り出すとともに中心部と外周部の圧力差により液を循環し膜表面に生成するゲル層を

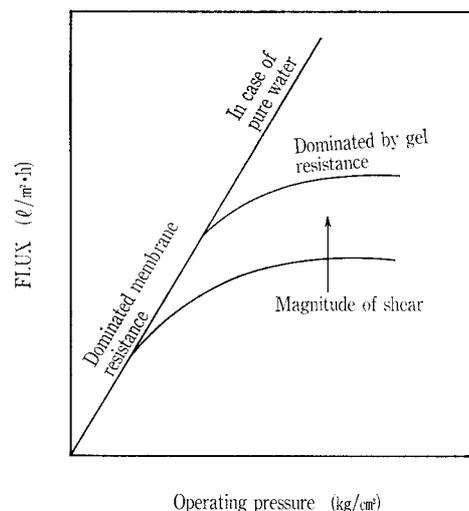
抑制する横流速を得ることができる。

### 1.2 膜の選定

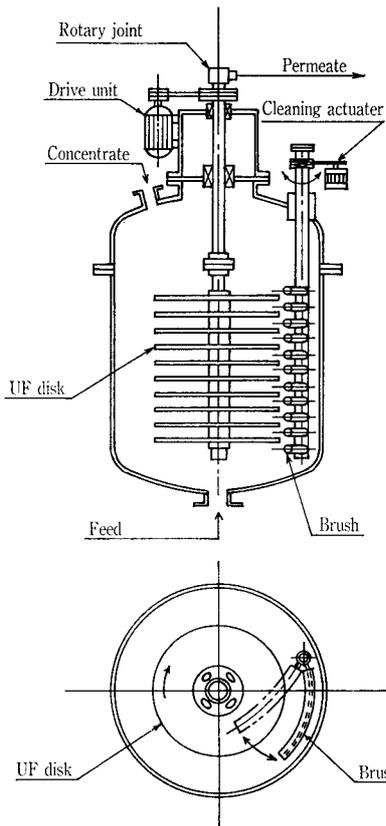
活性汚泥のフロックは、精密汚過膜 (MF) で十分に阻止できる粒子径であるため、安価で、材質、孔径の種類の多いMF膜の適用を当初は考えた。

そこで、第1表に示す各種MF膜とUF膜を用いて活性汚泥の汚過性能を比較した。実験に使用したモジュールは、上下に分かれた枠の上側に膜を固定し、下部にマグネット回転子を入れてスターラーで膜面流速を得る構造のもので、その有効膜面積は  $2.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  である。モジュールへの供給は、4連式のペローズポンプで行い、圧力の調整はモジュール出口の背圧弁で一定に保った。また、FLUXの測定は、透過液をシリンダーに受け10分ごとにその重量を電子天秤で計測した。

供給活性汚泥と各膜の透過液の水質結果を第2表に示す。各細孔径の異なるMF-1 ( $0.04 \mu\text{m}$ )、MF-2 ( $0.02 \mu\text{m}$ )、MF-3 ( $0.1 \mu\text{m}$ )のMF膜とUF膜においてもSSは完全に除去され、その他の項目についても大差なく、汚



第1図 限外汚過法における操作圧力と膜透過速度  
Fig. 1 Effect of operating pressure on FLUX in ultra filtration (UF)



第2図 「UF くるくる」概略構造図  
Fig. 2 「UF-KURU-KURU」 schematic

第1表 実験に使用したMF膜, UF膜  
Table 1 Characteristics of membrane used for test

Membrane	Materials *	Effective pore size $\mu\text{m}$
● MF-1	PP	0.04
◇ MF-2	PP	0.02
■ MF-3	PP	0.1
△ UF	PAN	**

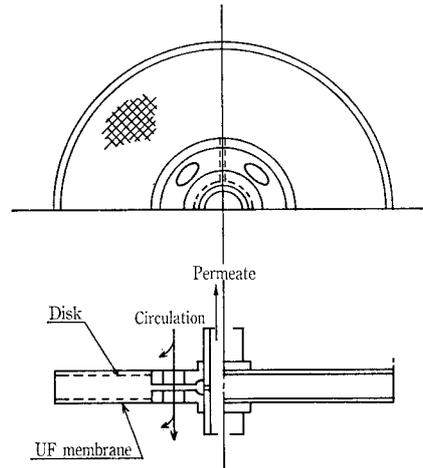
\* PP: Polypropylene PAN: Polyacrylonitrile  
\*\* Molecular weight cut-off 40 000

第2表 水質分析結果  
Table 2 Quality of feed water and permeate

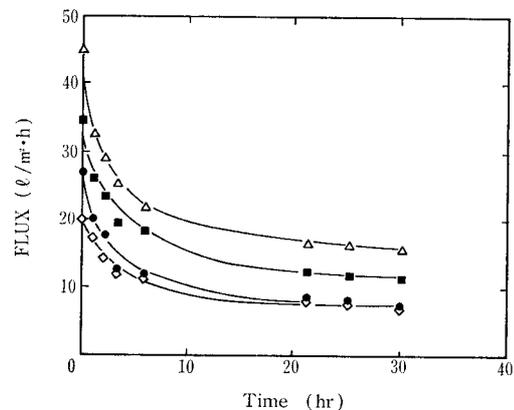
Item	Feed water	Permeate			
		●MF-1	◇MF-2	■MF-3	△UF
PH	7.3	8.2	8.1	8.0	8.0
COD (mg/l)	42.2*	14.9	15.2	12.7	11.9
TOC (mg/l)	33.3*	8.1	8.5	7.6	6.8
MLSS(SS) (mg/l)	1 500	ND	ND	ND	ND
Conductivity ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	770	753	747	722	719
Colour	30*	25	23	18	17

\* Filtrated (No. 5A)

過液の水質はMF膜, UF膜いずれもほぼ同じであった。しかし, FLUXの経時変化は, 第4図に示すようにUF膜が高いFLUXを示した。これは, UF膜の場合は膜表面にゲル層が形成し, FLUXを低下させるのに対して, MF膜の場合は細孔に汚泥が詰まり透過抵抗を増大するものと考えられる。このことは, 後述する実証装置の運転の結果からも明らかのように, UF膜の場合はブラシによる膜面



第3図 膜ディスク構造図  
Fig. 3 Structure of disk



Keys ●MF-1 ◇MF-2 ■MF-3 △UF  
Test condition  
Feed water : Activated sludge  
MLSS 1 500 mg/l  
Operating pressure : 1.0 kg/cm<sup>2</sup>  
Operating temperature: 13 °C  
Recirculation ratio : 250 ml/min

第4図 各種膜のFLUX経時変化  
Fig. 4 Deterioration of FLUX in several kind of membranes

洗浄で元のFLUXに回復するのに対して, MF膜はブラシ洗浄を行っても元のFLUXに回復しなかったことから確認されている。このように, 中水道における膜分離においてはUF膜が適当と考えられる。

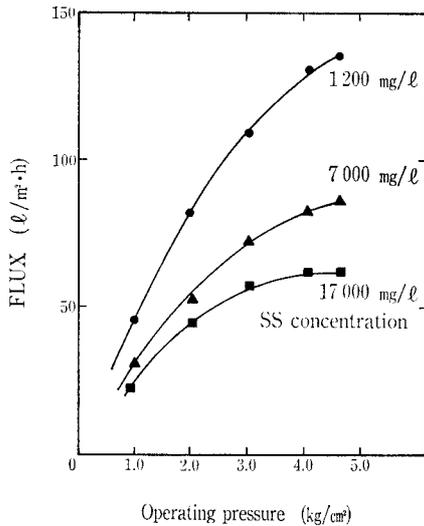
## 2. 回転式限外濾過装置「UF くるくる」の基本性能

ブラシ洗浄を行うと2~3時間後にFLUXは急激に減少し, その後はほぼ一定に推移するが, この落ち着いた時点で膜の特性実験を行った。

### 2.1 圧力とFLUXの関係

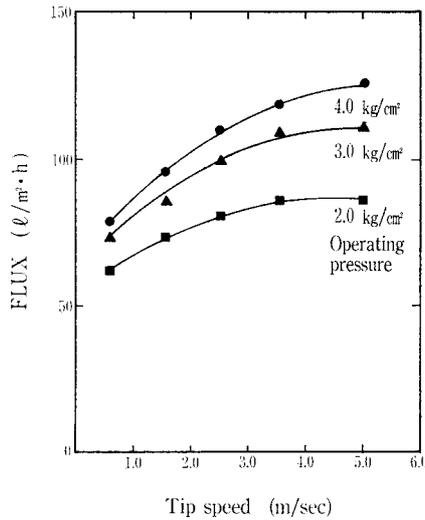
供給液のSS濃度が1 200, 7 000, 17 000 mg/lのときの操作圧力とFLUXの関係を第5図に示す。このときチップスピードは3.5 m/s, 液温度22.5 °Cであった。

SS濃度の低い原液の場合, FLUXは圧力にほぼ比例して増加し, 圧力への依存性が高いことを示した。しかしSS濃度の高い場合は, 操作圧力が高くなるとFLUXの増加は鈍化する。これは透過方程式<sup>1)</sup>から次のように考えられる。



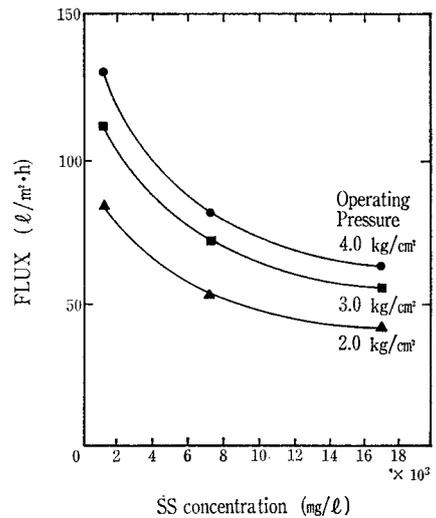
Temperature : 22.5 °C  
Tip speed : 3.5 m/sec

第5図 SS濃度と操作圧力とFLUXの関係  
Fig. 5 Effect of operating pressure on FLUX at each SS concentration



Temperature : 22.5 °C  
SS concentration : 1200 mg/l

第6図 SS濃度とチップスピードとFLUXの関係  
Fig. 6 Effect of tip speed on FLUX at each operating pressure



Temperature : 20.0 °C  
Tip speed : 3.5 m/sec

第7図 操作圧力とSS濃度とFLUXの関係  
Fig. 7 Effect of SS concentration on FLUX at each operating pressure

$$\frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{\mu(\alpha \cdot W/A + Km)}$$

ここに、  
V : 汙液量 m<sup>3</sup>  
θ : 時間 sec  
P : 圧力 kg/cm<sup>2</sup>  
μ : 液粘度 kg/m·sec  
A : 汙過面積 m<sup>2</sup>  
α : ケーキ汙過抵抗 m/kg  
Km : 膜抵抗 1/m  
W : ケーキ量 kg

高濃度のSSはFLUXが増大すると膜表面に堆積する速度が早くなり、ケーキ汙過抵抗(α)を増大する。一方、膜抵抗(Km)はほぼ一定であるためα≫Kmとなる。ここでFLUX(左辺)がPに関係なく一定となることは、αがPに比例して増加していることを表しており、膜表面に形成されるゲル層の圧密によりケーキ汙過抵抗が圧力につれて増大し、FLUXを収束していくものと考えられる。

## 2.2 チップスピードとFLUXの関係

チップスピードとFLUXの関係を第6図に示した。このときの供給液のSS濃度は1200 mg/l、温度は22.5 °Cであった。各操作圧力とも、回転により膜表面に対して平行な流速が得られ、ゲル層の剥離が行えているものと考えられ、チップスピードの増大とともにFLUXは増大するが、3 m/sec以上ではその影響が小さくなりFLUXの増加は鈍化する傾向が見られる。これは、膜表面のごく近傍に膜面流速に影響されないゲル層の形成があるものと考えられる。

## 2.3 供給SS濃度とFLUXの関係

各操作圧力における供給SS濃度とFLUXの関係を第7図に示した。各操作圧力ともに、SS濃度の上昇に伴いFLUXが低下した。これは、膜表面でのゲル層の形成がSSの堆積により早まり、ケーキ汙過抵抗が増大するためと考えられる。

## 3. 「UFくるくる」を用いた中水道実証実験

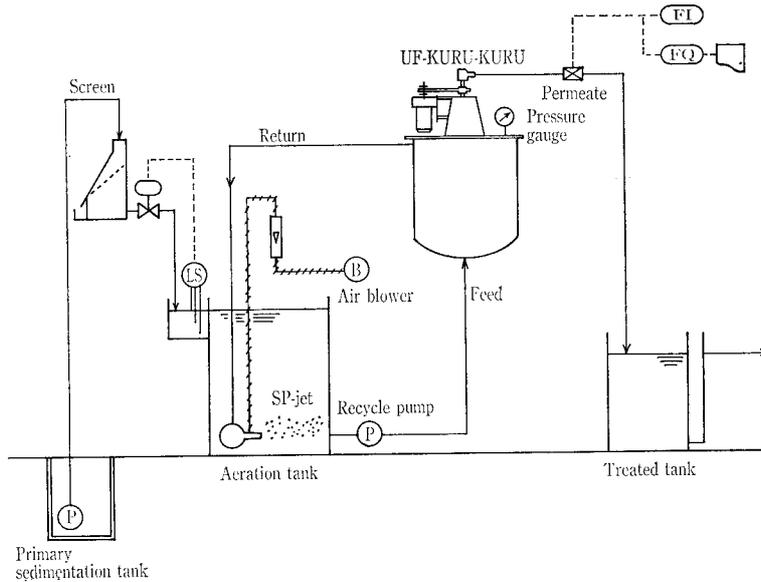
### 3.1 実験方法

実験は、1987年11月より神戸市内の下水処理場内で開始し現在まで約8000時間の連続運転を行っている。前半の約4000時間までは既設エアレーションタンクの混合液を0.5 mmのスクリーンで汙過して「UFくるくる」に供給しその性能を確認した。この実験の修了後、いったん次亜塩素酸ナトリウムによる洗浄を行って第8図に示す曝気槽を設けて中水道への適用を想定して実験を行った。その装置の仕様は、概略次のとおりである。

原水ポンプ	水中ポンプ 200 l/min × 0.75 kW
スクリーン	目幅 0.5 mm
曝気槽	168 l
循環ポンプ	モノポンプ 10 l/min × 4.5 kg/cm <sup>2</sup> × 0.4 kW
膜モジュール	回転式限外汙過装置
材質	ポリアクリロニトリル
分画分子量	40 000
膜面積	1.3 m <sup>2</sup>
駆動装置	無段変速機 0.2 kW
チップスピード	0~5 m/sec
洗浄方法	自動ブラシ洗浄 2 min/d

第8図 膜分離による中水道実証実験フローシート

Fig. 8 Flow diagram of pilot plant for water reclamation by membrane separation



### 3. 2 実験結果

#### 3. 2. 1 FLUX の経時変化

4000時間以後の曝気槽 MLSS 濃度の変化と FLUX の経時変化を第9図に示す。曝気槽内 MLSS 濃度は、約5000 ~ 20000 mg/l まで上昇し、FLUX はこれにつれて50~30 l/m<sup>2</sup>・h と漸減したが30 l/m<sup>2</sup>・h で横ばい状態を保っている。この間ブラシによる洗浄は、毎日定時刻に2分間自動で行い、操作圧力は3.0~4.0 kg/cm<sup>2</sup>、チップスピード3.5 m/sec、水温23.5~31.5 °Cであった。

#### 3. 2. 2 処理水の水质

厚生省<sup>2)</sup>、建設省<sup>3)</sup>では水洗便所の使用に限って水质基準を次のように暫定的に定め指導している。

- (1) BODまたはCOD: 処理装置が生物処理方式の場合にあっては、BODが20 mg/l 以下、膜処理方式の場合にあっては、COD 30 mg/l 以下
- (2) 大腸菌群数 : 10 個/ml 以下
- (3) pH : 5.8~8.6
- (4) 臭気 : 不快でないこと
- (5) 外観 : 不快でないこと

本実験期間中の原水のBODは80~120 mg/l、CODは70~80 mg/l であり透過液は第10図に示すようにBOD 5 mg/l 以下、COD 15 mg/l 以下と安定した良好な水质が得られた。本実験から得た透過液の水质は、これらを充分満足するものであった。

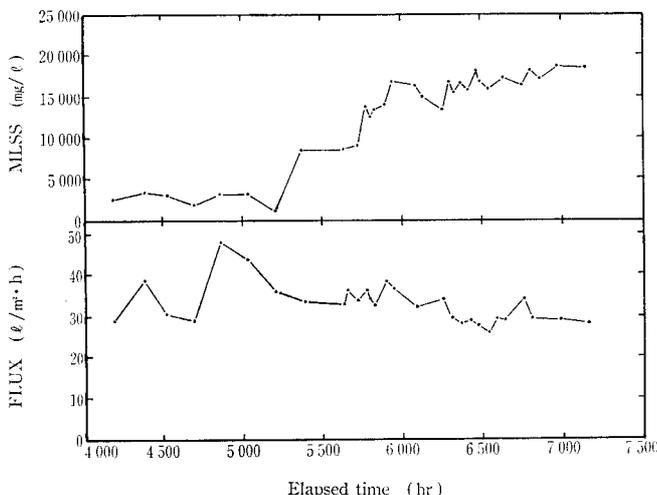
### 4. 維持管理費の試算

実証運転の結果から、処理規模90 m<sup>3</sup>/d のビル排水再利用設備の維持管理費の試算結果を第3表に示す。電力費、薬品費、汚泥処分費、膜交換費の合計で中水 m<sup>3</sup> 当たり約216 円となる。このうちUF装置の占める電力費の割合は約22%、膜交換費は50%となる。

したがって、東京都で処理規模90 m<sup>3</sup>/d のビル排水再利用設備を設置すると、上下水道料金約670 円/m<sup>3</sup> に対して約454 円/m<sup>3</sup> (40860 円/日) の経済メリットがでる。

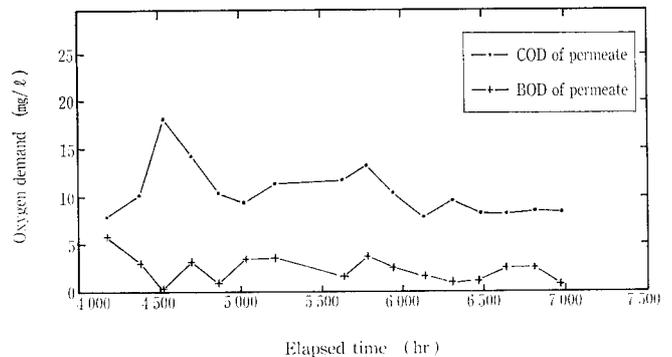
### 5. 「UFくるくる」仕様

中水道向「UFくるくる」の標準寸法を第4表に示す。標準型式は、処理量50 m<sup>3</sup>/d、100 m<sup>3</sup>/d の2種であるが、大きな処理量に対しては複数機の組み合わせとなる。



第9図 MLSS と FLUX の経時変化

Fig. 9 Temporal change of MLSS and FLUX

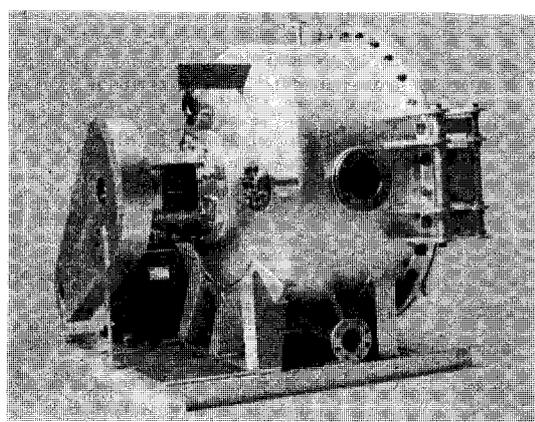


第10図 処理水BOD、CODの経時変化

Fig. 10 Temporal change of BOD and COD of permeate

第3表 維持管理費の試算  
Table 3 Running cost analysis

	Running cost		Remarks
	¥/d	¥/m <sup>3</sup>	
Electricity	9 400	104	470 kWh/d× ¥ 20/kWh
Sterilizing agent	200	2	0.4 kg/d× ¥ 500/kg
Detergent for membrane	40	1	0.4 kg/d× ¥ 100/kg
Sludge disposal	213	3	16.4 kg/d× ¥ 13/kg
Membrane exchange	9 590	106	Durability 2 years
Total	19 443	216	



第4表 「UFくるくる」の標準寸法  
Table 4 Specification of 「UF-KURU-KURU」

Type	Capacity m <sup>3</sup> /d	L	W mm	H	Drive unit kW	Operating weight t
UFK-50	50	1 600	1 800	1 600	5.5	3.0
UFK-100	100	2 200	1 800	1 600	11.0	4.5

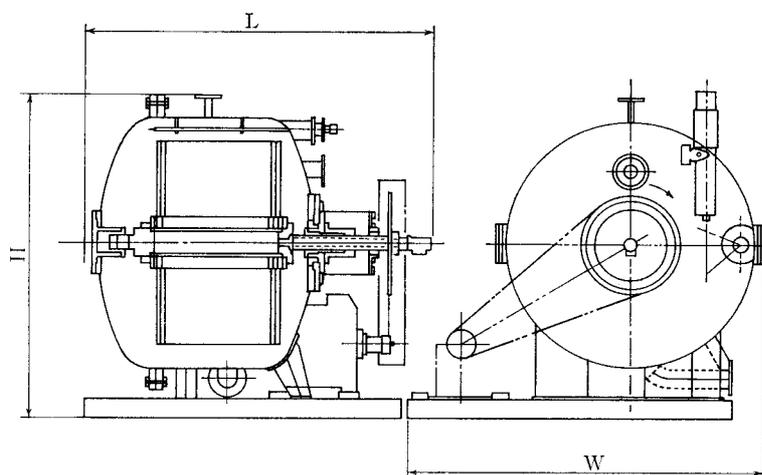


写真1 50 m<sup>3</sup>/d「UFくるくる」  
Photo. 1 UF-KURU-KURU capacity 50 m<sup>3</sup>/d

## むすび

以上、回転式限外汚過装置「UFくるくる」(写真1)の概要について紹介した。現在中水道分野で一般的に使用されている平膜型、チューブラー型に比較して、操作が容易で、動力費の少ない回転式平膜モジュールの開発に成功した。本装置は中水道のみならずSSを含む排水の処理に対しても簡単な前処理を行うだけで、活性汚泥法による工場排水処理、嫌気処理など多方面への適用が可能である。

最後に、本実証実験を行うに当たり、ご指導、ご協力いただいた神戸市下水道局の方々に謝意を表します。

### 〔参考文献〕

- 1) 化学工学協会関西支部：初歩化学工学（新版），いずみ書房，（昭和51年3月30日）
- 2) 厚産省，再利用水を原水とする雑用水道の水洗便所用水の暫定水質基準等の設定について，環計第46号，昭和56年4月3日
- 3) 建設省，排水再利用の配管設備の取り扱いについて（通知），建設省住指発第91号