膜分離法によるビル排水の再生利用

西 村 正 人

大阪市立工業研究所 〒530 大阪市北区扇町 2-1-1
昭和55年 8 月 30 日 第24回膜研究会 学士会赤門分館にて講演

Membrane Separation Processes for Renovation and Reuse of Wastewaters Discharged from Office Buildings

Masato Nishimura

Osaka Municipal Technical Research Institute, 2-1-1 Ōgimachi, Kita-ku, Osaka, 530

The renovation of office building wastewaters by membrane separation treatment was investigated by using polymer membranes with various molecular cut-off separation characteristics. The distribution of molecular weight of solutes in feeds and products have been checked by gel permeation chromatography, and appropriate treatment systems have been examined. Insoluble macromolecular substances and soluble low-molecular weight organic acids were contained in wastewater. Therefore, only ultrafiltration did not produce a good quality renovated water. The reuseable good water was produced by reverse osmosis treatment with membranes of more than 60% NaCl rejection. PH adjustment of the feed at ca. 7 gave better results. The processes and technical problems for renovation and reuse of wastewaters were discussed.

-
1. はじめに
 2. ビル雑排水の特色
 3. ビル雑排水の水質
 4. ビル雑排水の膜処理実験
 - 4.1 船場センタービル雑排水の処理
 - 4.2 大阪市水道局庁舎ビル雑排水の処理
 5. 造水促進センターの実プラントでの実験
 6. 限外滲過によるビル生活排水の再利用システム
 7. 再利用における問題点
-

1. はじめに

膜分離法によるビル雑排水の再生利用研究の一端をご紹介します。大都市周辺地域では、近い将来に予想される深刻な水不足に対処するために、水資源の有効利用による節水対策ならびに各種雑排水の循環再利用システムの開発が積極的に進められています。循環再利用システムには、次のような、広域、中域、個別の3

つのシステムが考えられます。

雑排水の循環再利用システム

- 1) 広域再利用システム…都市下水のリサイクル化による中水道の普及
- 2) 中域再利用システム…住宅団地、コミュニティーでの生活排水の地域的再利用
- 3) 個別再利用システム…大型ビル内での雑排水の循環再利用

とくに最近都市近郊での大規模な住宅地域の開発や市街地再開発による大型ビルの出現に伴う局所的な用水需要の増大に対処するため、中域および個別システムの開発が重要になってきています。とくに首都圏の都心に建設される新設ビルでは、節水と既設給排水施設の容量的制約から、ビル雑排水をある程度循環再利用することが義務付けられています。そのため(財)造水促進センターでは、昭和52～55年の4年間にわたり、ビル雑排水再生利用技術開発をとりあげ、生物処理、物理化学的処理、膜処理の3つを中心とする各種の処理システムを研究し、

実証プラントを運転して、多くの技術的な成果をあげています。私もこの分科会の一員として計画に参加し、とくに膜処理法について、実証プラントの運転結果を見ながら、いろいろな技術的問題点について、私どもの研究室で実験を行いました結果を中心にお話しを進めてまいりたいと思います。

2. ビル雑排水の特色

標準的な大型事務所ビルにおいては、用水は Table 1 に示すような各種の用途に利用されています。最も多く使用されるトイレ水洗水を除いた雑排水を集めて、その半分を浄化してトイレ水洗水として再利用しますと、ビルの用水需要量を30%前後おさえることができますので、さし当りこの目的にそった技術の開発が行なわれています。ビル排水の特色としては、水量、水質の負荷変動が極めて大きく、通常午前10時と午後2時に2つのピークがあります。膜分離法は、ビル雑排水処理に次のような多くの利点をもっています。

- 1) 水質、水量の大きな負荷変動に対応できる。
- 2) 処理装置はコンパクトで設置面積も少なく、スケールアップも容易である。

Table 1 大型事務所ビル使用目的別水量構成比

順位	使用目的	構成比	累積構成比
1	※トイレ水洗用	32.81	32.81
2	食堂（喫茶を含む）用	31.04	63.85
3	給湯・飲料用	10.42	74.27
4	※パッケージ型空調機用	6.61	80.88
5	トイレ手洗用	5.45	86.33
6	※クーリングタワー補給水用	5.17	91.50
7	※洗車用	2.29	93.79
8	※ボイラー用	2.11	95.90
9	※掃除用	1.05	96.95
10	※冷蔵庫冷却水用	0.92	97.87
11	診療所用	0.92	98.79

※は、中水の適用が考えられる用途

- 3) 操作および維持管理も容易で、無人および間歇運転が可能である。
- 4) 前処理も簡単で、臭気の発生も少なく、濃縮水を下水に放流することができる場合には、スラッジの処理が不要となる。
- 5) 各種の目的に再利用可能な良質の処理水が得られ、

Table 2 原水水質（船場センタービル）

処理方式および期間			No. 2 方式 (53年6/5～9/22)		No. 1 方式 (10/3～54年1/25)	
			平均	最小～最大	平均	最小～最大
水	温	°C	31.3	25.0～33.5	19.0	17.0～27.0
	pH	—	5.3	4.8～6.3	5.6	5.3～7.0
濁	度	度	32	26～60	104	30～150
色	度	＃	32	29～34	45	28～55
	SS	mg/l	38	27～60	75	48～110
	BOD	＃	253	100～560	283	130～500
	溶解性 BOD	＃	106	60～140	156	88～190
	COD	＃	89.8	40.4～137	95.5	57.9～130
	溶解性 COD	＃	52.6	32.8～70.8	59.4	41.7～80.6
n-ヘキサン抽出物質			21.0	9.0～31.0	25.0	15.0～37.0
	MBSA	＃	5.9	3.5～12.0	8.6	6.3～12.0
	Cl ⁻	＃	55.7	50.1～69.5	66.2	55.3～83.7
	全 硬 度	＃	44.7	42.0～51.0	75	53～98
	導 電 率	μs/cm	323	290～380	370	260～440
	蒸 発 残 留 物	mg/l	280	240～340	42.3	310～480
	T-N	＃	6.39	5.04～7.70	7.3	6.6～9.8
	PO ₄ ³⁻ -P	＃	0.47	0.36～0.62	0.29	0.01～1.11
	大 腸 菌 群 数	MPN/100ml	>24×10 ⁶	>24×10 ⁶	15×10 ⁶	18×10 ⁵ ～ 24×10 ⁵

Table 3 原水水質 (季節別) (水道庁舎ビル)

項目	単位	季節	夏季 (S 53.6.21 ~9.13)		冬季 (S 53.9.14 ~55.4.31)	
			平均	最小~最大	平均	最小~最大
水 温	°C		30.0	22.5~32.5	20.0	14.5~29.5
pH	—		5.8	4.3~7.0	6.1	5.1~7.3
BOD	mg/l		265	100~440	355	230~610
COD	"		87.7	52.9~146	123	81.9~185
SS	"		69	23~194	116	65~240
n-ヘキサン抽出物質	"		27	7~47	—	—
MBAS	"		7.2	3.5~13	13	7.8~17
濁 度	度		68	16~129	140	18~260
色 度	"		48	24~96	74	37~160

バクテリアも除去される。

しかし、膜分離法の特徴を十分に生かすためのキーポイントとしては、次のことが考えられます。

- 1) 溶解性溶質の分離…不溶性物質の前処理による除去
- 2) 最適な分離性をもつ膜およびモジュールの選択…溶質成分の分子量分布と処理水の性状
- 3) 溶質を膜で分離されやすい分子の形に変換…会合ミセル化、解離

そのためには、ビル雑排水の有機汚染質を BOD, COD 値としてとらえるだけでなく、排水中の溶質の分子量分布や性状についての知見が必要となります。

3. ビル雑排水の水質

ビル雑排水の水質は、一日における時間変動および季節による期間変動が大きく、一般に冷房用などのために用水需要量の多い夏期では、水質はよくなります。実験の対象となりました船場センタービルおよび大阪市水道局庁舎ビルの雑排水(し尿を含まない)の水質は、Table 2, 3 に示すように、雑排水の BOD は、大体 300ppm 前後で、水温は 20~30°C で、冷期でも原水の水温は比較的高く、生物処理や膜処理の効率から見て好ましい状態です。実験には、一日の平均的組成をもったコンポジット試料を使用します。雑排水を沓紙 (No. 2) で沓過して不溶性物質を除去し、室温で濃縮して Sephadex G-25 や Toyo Pearl HW-50F を用いて、ゲルクロマトで分画し、各フラクションの TOC 値と 280nm の吸光度を測定しますと、Fig. 1, 2 のようなゲルクロマトグラムが得られます。この結果から、ビル雑排水中には、前者では 15 と 30 前後、後者では 30 と 40 前後のフラクションに、

Fig. 1 ビル雑排水のゲルクロマトグラム (船場センタービル)
ゲルクロマト条件
Sephadex G-25 184ml
展開液 0.125N NH_4Cl
流速 11.34ml/hr
1 フラクション 5.67ml

Fig. 2 ビル雑排水のゲルクロマトグラム (水道局庁舎ビル)
ゲルクロマト条件
Toyo Pearl HW-50

2つのピークが認められ、分子量分布からみて、典型的な高分子と低分子の2種の溶質成分が存在していて、中間程度の分子量をもつ溶質はほとんどなく、とくにピークの高さから見て、低分子の有機汚染質が多量含まれていることがわかります。このような組成をもつ雑排水を、いろいろな目的に再利用可能な用水として使用するためには、用水としての水質を一応 BOD 10ppm 以下、電導度 $20\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下と仮定しますと、有機および無機汚染質をいずれも 1/20 以下にまで、低減することが必要となります。

4. ビル雑排水の膜処理実験

4.1 船場センタービル雑排水の処理¹⁾

雑排水は次のような前処理をしたのち、逆浸透処理を行って、それぞれについて処理前後の水質を調べました。

雑排水	凝集沈殿—砂戸過—逆浸透	システム 1
	—砂戸過—逆浸透	システム 2
	—生物酸化—砂戸過—逆浸透	システム 3

凝集沈殿には、50ppm の硫酸バンドまたはポリ塩化アルミニウムを添加して凝集効果を調べた。生物酸化は、MLSS 濃度 1,000ppm、曝気時間 3 時間、1 時間当りの曝気量は、原水の15~20倍量の条件で行いました。逆浸透は、Table 4 に示すように、分離性能の異なる 7 種の膜を用いて、平膜型のバッチセル(膜有効面積162.8

Table 4 使用逆浸透膜の性能^{a)}

膜 番 号	透 過 流 束 ($l/m^2 \cdot \text{時}$)	塩 排 除 率 (%)
1	64.5	80.0
2	42.9	91.2
3	21.6	95.5
4	67.9	84.4
5	85.4	81.6
6	34.5	92.9
7	64.9	76.0
8	28.9	94.5

a) 5,000mg/l NaCl を用い、40kg/cm² で測定、25°C に換算して示した。

cm²) で、操作圧 40kg/cm²、攪拌速度 800rpm、回収率 50%で、膜透過を行いました。各システムにおける前処理後の水質および逆浸透処理後の水質を Table 5、Table 6 に示しました。凝集沈殿、砂戸過の前処理で、SS、油分は1/3くらいに、TOC は 2/3~1/2 くらいに減少しますが、界面活性剤の除去に対してはあまり効果がありません。しかし通常の生物処理 (MLSS 濃度 5,000ppm、曝気時間 8~10 時間) に比べて、極めて簡単な前記のような生物酸化を行ったシステム 3 では、TOC 値も小さくなり、界面活性剤、油分も効果的に分解されることがわかります。このような前処理水を、食塩排除率80%と90%の膜を用いて逆浸透処理しますと、界面活性剤と油分はほとんど除去されますが、生物酸化をしない前処理

Fig. 3 各種前処理水と逆浸透処理水のゲルクロマトグラム

Table 5 各前処理後の水質

	pH	電導度 ($\mu S/cm$)	SS (mg/l)	TOC (mg/l)	アニオン界面活性剤 (mg/l)	油 分 (mg/l)
雑 排 水	5.5	397.5	32.5	117	8.0	10.9
システム 1	5.4	522.0	13.2	84	5.5	3.2
システム 2	6.3	434.0	13.0	55	6.6	3.7
システム 3	7.2	392.0	6.8	25	1.3	1.9

Table 6 前処理水の逆浸透処理後の水質

前処理システム	膜	平均透過流速 ($l/m^2 \cdot \text{時}$)	電導度 ($\mu S/cm$)	TOC (mg/l)	アニオン界面活性剤 (mg/l)	油 分 (mg/l)
システム 1	1	73.5	84.7	27.2	0.5	0.8
	2	50.4	43.7	14.6	0.5	0.7
システム 2	1	73.0	64.6	9.5	0.8	0.8
	2	46.6	36.4	8.3	—	1.0
システム 3	1	79.3	77.2	< 4	0.2	0.6

Fig. 4 各濃縮比における透過流束の変化

Fig. 5 濃縮比と処理水の TOC との関係

Fig. 6 濃縮比と処理水の電導度との関係

水では、膜透過水の TOC 値は、生物酸化を行った処理水程低くはなりません。これは、膜を透過しやすい有機汚染質が、前処理で分解され除去されていることを示しています。各種前処理水と逆浸透処理水のゲルクロマトグラムは、Fig. 3 のようになります。高分子の有機汚染質は、いずれも前処理で除去されていますが、低分子のものは凝集沈殿、砂濾過ではほとんど除去されず、生物酸化を行うと、極めて有効に除去できること、システム 1, 2 の前処理水を逆浸透した透過水中には、まだ若干の低分子汚染質が含まれていることがわかります。次に分離度のことなる 3, 4, 5 の膜を用いて、水回収率（濃縮比）を変化させたときの透過流束の変化および処理水の TOC 値、電導度を調べ、真の排除率 (R_t : 濃縮比を補正した排除率) を求めて、その結果を Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 に示しました。透過流束が大きく食塩排除率の低い 4, 5 の膜では、透過流束 (Flux) は、濃縮比 (X) の対数と反比例し、典型的な濃度分極支配によって Flux は直線的に減少しますが高排除性の 3 膜では、Flux は X によってほとんど変化しません。また透過水の TOC 値や電導度は、4, 5 の膜を用いた場合には、濃縮比の増加とともに漸次増加する傾向を示しますが、3 膜の場合には、透過水の水質はほとんど変化しないことがわかります。つまり水回収率を高めても、処理水の水質が安定しています。

R_t は、濃縮比 X が 5 くらいまではほとんど一定ですが、TOC および電導度排除率は、いずれの場合も、膜の食塩排除率に比べて若干低い値が得られます。このことから、膜を透過しやすい汚染質はイオン性の溶質で、電導度に関する低分子有機酸のようなものでないかと予想されます。そこで原水の pH を変化させて、逆浸透

Fig. 7 逆浸透供給水の pH と処理水の水質との関係

処理を行なってみました。Fig. 7 に示すように、供給水の pH が増加するにつれて、透過水の TOC 値、電導度は減少し、pH 6.5 くらいで一定になります。つまり pH を増大させることによって、膜を透過していた溶質は、解離して膜で阻止されるようになり、この事実は、Fig. 8 のゲルクロマトグラムからもわかり、供給水の pH を 6.5 に調整して、逆浸透処理すると、低分子溶質のめりはほとんどなくなり、非常に水質のよい回収水が得られます。雑排水について、各種処理システムにおける TOC 除去率を図式的に示しますと Fig. 9 のように

Fig. 8 各 pH 値の供給水を逆浸透処理した処理水のゲルマトグラム

Fig. 9 船場センタービル雑排水についての各種処理システムと TOC 除去率
逆浸透膜の食塩分離率：5000ppm
NaCl 40kg/cm², 96%

なります。そして簡単で最良の処理法としては、雑排水に、次亜塩素酸ソーダを遊離塩素として、1ppm 程度になるように添加して、処理工程中において、雑排水の変敗による水質の変化を防ぎながら、pH を 6.5 前後に調節して、逆浸透することであることがわかりました。この方法では、原水は、若干の濁質を含んでいるため、使用できるのは、ボール洗浄可能な管状チューブに限られ

Table 7 使用膜の性能^{a)}

膜	透過流束 (l/m ² ・時)	溶質排除率 (%)
高分子電解質系		
G-05H	21.3	シュクロース 93.9
UH-1	15.4	ビタミン B ₁₂ 93.7
UK-10	167.2	チトクロームC 91.2
UP-20	312.0	α-キモトリプシン 90.0
UK-50	1,265	ヘモグロビン 97.0
ポリスルホン系		
PS-15	720 ^{b)}	デキストランT-20 95 ^{b)}
セルロースアセテート系		
RM-15S	130.1	シュクロース 15 ^{b)} , NaCl 15.2
RM-30S	87.8	シュクロース 30 ^{b)} , NaCl 19.4
RM-90S	36.1	シュクロース 90 ^{b)} , NaCl 60.6
RM-89	26.0	NaCl 89.4

a) 測定圧力：G-05H, UH-1, UK-10, UP-20, UK-50, PS-15：4kg/cm², RM-15S, RM-30S, RM-90S：20kg/cm², RM-89：40kg/cm²

以後の実験も同圧力で使用した。

b) カタログ値

ます。酢酸セルロース膜を用いたときには、pH 6.5 での長期にわたる膜の安定性が今後の問題として考えなければなりません。

4.2 大阪市水道局庁舎ビル雑排水の処理²⁾

水道庁舎ビル雑排水については、Table 7 に示すような各種の分子量分画性を有する限外濾過膜および分離度の逆浸透膜を用いて、マイクロ濾過、限外濾過、逆浸透の一連の膜処理を試みました。処理水は、200~210 nm のところに Max の紫外吸収をもっていますので、この近傍で、各処理水についての紫外吸収スペクトルを調べ、あわせて、TOC を測定しました。雑排水を孔径 0.45 μ のマイクロフィルターで濾過しますと、TOC 成分は46%除去されます。次いで、分画分子量50,000から500までの限外濾過膜を用いて処理し、透過水の紫外吸収スペクトルを測定して、Fig. 10 に、膜の分画分子量と TOC 除去率との関係を Fig. 11 に示した。この結果、膜の分画分子量が減少するにつれて、若干 TOC 除去率が増加するにすぎず、分子分画性が1/100 になっても、TOC 除去率は、僅かに17%しか減少せず、溶解性の TOC 成

Fig. 10 高分子電解質系膜での処理水の紫外部吸収スペクトル

Fig. 11 高分子電解質系膜の分画分子量と TOC 排除率との関係

Fig. 12 高分子電解質系膜における用水回収率と透過流束との関係

Fig. 13 セルロースアセテート系膜の NaCl と TOC、電導度排除率との関係

分の大部分は分子量 500 以下の低分子物であることがわかりました。分画分子量 500 の限外濾過膜で処理した透過水のゲルクロマトグラムも、低分子のフラクションはほとんど除去されないことを示しています。原水に硫酸バントやポリ塩化アルミニウムを添加して、凝集して高分子化することを試みましたが、結果はほとんど変わりませんでした。限外濾過での透過流束と水回収率との関係を調べてみますと、Fig. 12 のようになり、透過流束の大きい UP-20, 50 膜では、上に凹型の減少曲線となり、膜面でのゲル層と濃度分極によって、透過流束は、回収率の増加とともに急激に減少します。次に限外濾過膜で除去できない低分子物を除去するために、食塩排除率の異なる逆浸透膜を用いて処理し、透過水の TOC および電導度排除率が膜の分離性能によって、どのように変化するかを調べ、Fig. 13 に示しました。当然、膜の

食塩排除率が増加するにつれて、阻止率は増加しますが、上に凸型の曲線となり、この場合も処理水の pH を 5.6 から 7.0 にしますと、TOC 除去率は 20% 前後増加し、とくにルーズな逆浸透の領域では、その差が顕著に現われることがわかります。そして 90% 以上の TOC 除去率を得るためには、かなり食塩排除率の高いタイトな逆浸透膜での処理が必要となります。各種分離性能をもった逆浸透膜で処理した透過水の紫外吸収スペクトルを pH 5.6 と pH 7.0 の場合について Fig. 14, Fig. 15 に示しました。pH 5.6 では吸光度の変化はあまり顕著ではありませんが、pH 7.0 では膜の分離度とともに著しく変化してきます。また透過流束と水回収率との関係を pH 7 の場合に示すと、Fig. 16 のようになります。次に雑排水に含まれる低分子有機成分の同定を行うために、雑排水中の有機成分をジクロロエタンを用いて抽出を試み、濃縮して抽出物の IR スペクトルの測定を行いました。

Fig. 14 セルロースアセート系膜での処理水の紫外外部吸収スペクトル (pH 5.6)

Fig. 15 セルロースアセート系膜での処理水の紫外外部吸収スペクトル (pH 7.0)

Fig. 16 セルロースアセート系膜における用水回収率と透過流束との関係

Fig. 17 ジクロロエタン抽出物の IR スペクトル

Fig. 18 ジクロロエタン抽出物のガスクロマトグラム
DEGS 20% on Shimalite 2m 180°C
F: 不飽和度

Fig. 19 市水道局庁舎ビル雑排水の性状と各処理システムによる除去率

その結果、Fig. 17 に示すように、長鎖アルキル基、エステル基、カルボン酸基の存在を示す深い吸収帯が認められました。そこでこの抽出物をメチル化したのち、ガスクロマトグラムを測定しましたところ、Fig. 18 に示すようなパターンが得られ、炭素数 8 から 18 までの飽和および不飽和脂肪酸であることが確認されました。もちろん炭素数 8 以下の低沸点の低分子脂肪酸も存在することが十分考えられます。そして、ビル雑排水中に含まれ、

逆浸透膜を透過していた低分子有機質の多くは、これら脂肪酸で、pH を増加させて解離させると、膜での阻止率が増加して、その結果処理水の TOC 値が減少することが明らかになりました。市水道局庁舎ビル雑排水について、一連の膜処理を行なったときの TOC 除去率は、まとめてみますと Fig. 19 のようになります。

以上両ビルにおける雑排水の膜処理実験の結果、雑排水中には、容易に簡単な前処理で除去できる高分子汚染質と、分子量 500 以下の比較的膜を透過しやすい低分子有機汚染質が含まれていて、BOD 10ppm 以下の良質の回収水を得るためには、pH を調節し、高排除性の逆浸透膜を使用する必要があることが明らかとなりました。そして分子量分画のことなる限外逕過膜では、膜処理だけで十分な効果を期待できないことがわかりました。

5. 造水促進センターの実プラントでの実験³⁾

次のような 2 方式による実験が行なわれました。

No. 1 方式 原水→凝集沈殿→砂逕過→逆浸透

No. 2 方式 原水→殺菌→逆浸透

実験装置のプロシートは Fig. 20 のように、No. 1 では UOP の管状膜が、No. 2 ではボール洗浄可能な日東電

Fig. 20 船場センタービル内の実験装置フローシート
★水質分析用試料取水箇所

Table 8 各方式の仕様と結果

方式	前 処 理	逆 浸 透						
		膜	食塩排除率 (%)	操作圧力 (kg/cm ²)	流 速 (m/sec)	洗 浄	m 値	3 年後の透過流量 (m ³ /m ² ・日)
1	凝集沈殿 50ppm 硫酸バント 2 層逕過	#320	65～75	32	1	フラッシング 1 回/日 薬洗 1 回/週	-0.035 (1000時間)	0.84
		#620	97～98	32	1	"	-0.025 (600時間)	0.31
2	殺 菌 20ppm NaClO	NT-95	95	40	1	ボール洗浄 30分 / 1 回 薬洗 (20分) 1 回/100時間	-0.036 (1000時間)	初期値の 31% 減

工の国産管状膜が使用され、その仕様と結果をまとめて示しますと、Table 8 のようになります。用水回収率は50%前後で、1000時間前後の運転が行われて、No. 1, 2方式による水質分析結果は、Table 9, Table 10 に示しました。実プラントの実験においても、原水の pH を6.5に調節して処理すると、BOD 除去率はかなり増加し、塩排除率の高い膜モジュールを用いますと、処理水のBOD 値を 10ppm 前後にまで低減することで可能であります。詳細については、別に報告³⁾ されさせていただき、興味のある方は、ご参照していただきたい。

6. 限外滲過によるビル生活排水の再生利用システム⁴⁾

限外滲過を用いる排水の再生利用システムには、Fig. 21に示すような方式が試みられています。a) 方式は、高濃度活性汚泥法と限外滲過とを組み合わせた方式で、造水促進センターによって、大阪市水道庁舎ビル雑排水で試みられた方式で、この場合、限外滲過は、排水中の溶解汚染質の除去が目的ではなくて、濃厚な活性汚泥の滲過分離には使用されています。高濃度活性汚泥法によって、負荷変動の大きいビル雑排水の処理に対応し、かつ汚泥の自己消化を行わせて、余剰汚泥の発生を少なくすることが目的で、限外滲過で、汚泥や細菌類が完全に除去されて、清澄な回収水が得られます。b) 方式は、スクリーンとパイブロススクリーンで、排水中の爽雑物と界面活性剤を除去したのち、限外滲過で、高分子汚染質

を取り、さらに必要に応じて、活性炭吸着で、低分子物を除去するもので、この方式はすでに数ヵ所のビルで実際に行われています。c) 方式は、限外滲過では除去できない低分子有機汚染質を接触酸化法で除去して、用水を回収し再利用するものです。限外滲過だけで良質の回収水を得ることは難しく、いずれも前後になんらかの低分子物を除去するプロセスが必要となります。各方式による処理水の水質は、Table 11 のようです。原水がし尿を含んだ生活排水の場合には、アンモニアや尿素らの低分子のかつ臭気成分が含まれているため、そのための処理が必要となり、し尿を含まない雑排水に比べて、やっかいになります。

6. 再利用における問題点

いままで申しあげました再生水を利用する場合には、まだ解決しなければならない多くの問題点があります。用途に応じて再生水の水質はこととなりますが、そうすれば、どの用途に利用するにはどの程度にまで雑排水を浄化すればよいのか、がまだ明確でないことです。再生水の水質は、再利用する場合、できるだけ良質であることにこしたことはありませんが、そのための再生コストは非常に高くなりますので、近い将来には、どうしても用途別に、再生水の水質目標の設定を行うことが必要となります。

再生水の水質設定に対する基本的事項として、次のよ

Table 9 No. 1 方式による水質分析結果

標準運転条件			原水供給量 440〜650 l/時			処理水回収率 50〜55%						
項目 単位			処理水		原 水		供 給 水		逆 浸 透 処 理 水			
			分析値		平均 最小〜最大		平均 最小〜最大		320モジュール		620モジュール	
									平均	最小〜最大	平均	最小〜最大
水 温	℃		19	17〜27	22	18〜30	23	17〜32	—	23	17〜32	—
pH	—		5.6	5.3〜7.0	6.6	6.3〜6.9	6.2	6.0〜6.6	—	6.1	6.0〜6.5	—
濁 度	度		104	30〜150	25	12〜34	2	1〜8	98.1	2	1〜5	98.1
色 度	度	〃	45	28〜55	42	8〜60	2	1〜5	95.6	2	1〜5	95.6
SS	mg/l		75	48〜110	18	5〜73	<5			<5		
BOD	〃		283	135〜550	153	73〜240	40.4	6.3〜67	85.7	14.1	1.0〜32	95.0
溶解性 BOD	〃		156	88〜190	130	80〜180						
COD	〃		95.5	57.9〜130	65.3	43.5〜111	11.4	3.5〜19.0	88.1	5.5	1.7〜10.5	94.2
溶解性 COD	〃		59.4	41.7〜80.6	55.5	31.4〜89.2						
n-ヘキサン抽出物	〃		25.0	15.0〜37.0	8.0	<5.0〜12.0	<5.0			<5.0		
MBAS	〃		8.6	6.3〜12.0	2.0	5.0〜0.53	0.8	0.44〜1.7	90.7	0.10	0.04〜0.23	98.8
Cl	〃		66.2	55.3〜83.7	97.3	71.4〜116	43.1	52.5〜30.6	34.9	9.3	5.0〜16.7	86.0
全 硬 度	〃		75	53〜98	109	57〜140	9	7〜12	88.0	4	1〜6	94.7
導 電 率	μs/cm		370	260〜440	577	420〜690	169	97〜200	54.3	22	17〜30	94.1
蒸 発 残 留 物	mg/l		423	310〜480	503	330〜590	150	140〜170	64.5	40	34〜46	90.5
T-N	〃		7.3	6.6〜9.8	3.0	1.8〜4.8	0.55	ND〜0.97	92.6	0.37	ND〜1.03	94.9
PO ₄ ³⁻ -P	〃		2.29	0.01〜1.11	0.04	ND〜0.13	ND			ND		
大腸菌群数	MPN/100ml		15×10 ⁶	18×10 ⁶ 〜24×10 ⁶		0〜35×10 ⁵	5	0〜33		0	0	

除去率は原水に対する値（平均）である。

うなことが考えられています⁵⁾。

- (1) 衛生上の問題が生じないこと (病原微生物, 有害物質等)
- (2) 利用上支障がないこと (にごり, 色, 臭気, 発泡性物質, 付着物質, 着色物質)
- (3) 利用上の不快感がないこと
- (4) 施設や器具の機能に悪影響のないこと (スライム,

スケール, つまり, 腐蝕)

- (5) 水処理技術の安定性が確立していること
 - (6) 管理水準の確保および判定のための適切な指標があること
 - (7) 水質を維持するための処理コストが合理的であること
- 再生水のコストとしては, 現在の上水道料金を下ま

Table 10 No. 2 方式による水質分析結果一覧表

(53年6/5~9/22)

運転条件 原水供給量 900^l/時, 処理水量回収率38~54%

項 目	採水場所 数値 単位	原 水		供 給 水		逆浸透処理水	
		平均	最小~最大	平均	最小~最大	平均	最小~最大
COD	mg/l	89.8	40.4~137	113	49.9~141	6.2	2.6~10.5
溶 解 性 COD	"	52.6	32.8~70.8	78.7	50.8~104		
BOD	"	253	100~506	263	82~550	26.8	4.0~62
溶 解 性 BOD	"	106	60.0~140	133	82~180		
MBAS	"	5.9	3.5~12.0	7.5	4.2~18	0.2	0.08~0.49
n-ヘキサン抽出物質	"	21	9~31	22	7~31	<5	—
Cl ⁻	"	55.7	50.1~69.5	117.8	89.0~143	9.7	5.2~15.0
T-N	"	6.39	5.04~7.70	6.80	3.92~9.80	0.32	0.06~0.93
PO ₄ ³⁻ -P	"	0.47	0.36~0.62	0.27	0.05~0.64	不検出	—
濁 度	度	32	26~60	61	17~94	7	2~8
色 度	"	32	29~34	63	51~80	4	2~7
全蒸発残留物	mg/l	280	240~340	488	380~610	43	13~100
全 硬 度	"	44.7	42.0~51.0	59.8	50.5~67.2	<1	—
大 腸 菌 群 数	MPN/100ml	>24×10 ⁶	—	14×10 ⁵	13×10 ³ ~ 46×10 ⁵	不検出	—
導 電 率	μs/cm	323	290~380	578	430~780	62	23~170
SS	mg/l	38	27~60	47	22~70	<5	—

a) 活性汚泥—限外ろ過方式

MLSS 1200~7000mg/l

溶存酸素 6.2mg/l

滞留時間 4~6 時間

操作圧 0.12~0.21kg/cm²

平均速度 1.8m/sec

膜の分画分子量 24,000(塩化ビニルアクリルニトル共重合膜)

膜面積 1.62m²×12カートリッジ=19.6m²

b) スクリーン—限外ろ過方式

限外ろ過装置仕様

操作圧最高 10kg/cm²

分画分子量 13,000 (ポリアクリルニトル膜)

膜内径 24mm 長さ 3000mm 1500mm

膜有効面積 0.226m² 0.113m²

中 24mm×3000mm のチューブ 12 本直列に連結したものをも 1 単位とする

透水量 70^l/m hr. atm

c) 限外ろ過—接触酸化方式

限外ろ過 モジュール ACV 4010

有効膜面積 47m²

分画分子量 13,000

中空系 外径 1.4mm 内径 0.8mm 200本

平均ろ過圧 1.0kg/cm² (入口 1.4kg/cm² 出口 0.6kg/cm²)

線 速 1.2m/sec

逆洗頻度 20分ろ過/30秒逆洗

濃縮倍数 3 (67%回収)

Fig. 21 限外ろ過を用いるビル生活排水再生利用システム

Table 11 各方式による処理水の水質

水 質 項 目	a) 方 式		b) 方 式		c) 方 式		
	原 水	処理水	原 水	UF処理水	原 水	UF 処理水	最終処理水
pH	6.54 (4.8~8.0)	6.9~7.4	7.4 (7.3~7.8)	7.4 (6.9~7.8)			
濁 度 (ppm)	200	0			250	1.4	3
色 度 (度)	66 (46~120)	5~11	黄褐色	ほぼ無色	425m μ (-log T) 0.220	0.050	0.028
SS (ppm)	136 (50~245)	<5	74 (46~110)	0	180	2	3
BOD (ppm)	303 (110~480)	<4.1	153 (132~233)	17 (5~27)	115	25	4
COD (ppm)	137 (74~206)	0.7~9.5	55 (56~67)	13 (8~18)	100	20	13
n-ヘキサン抽出物質 (ppm)	51 (21~26)	<5					
Cl ⁻ (ppm)	89 (71~106)	変化なし		44			
全硬度 (ppm)	61 (52~71)	変化なし					
ABS (ppm)	12.1 (12~24)	0.08~0.80	5.06 (1.8~6.0)	0.53 (0.2~0.9)	1.7	0.5	0.03
蒸発残留物 (ppm)	529 (330~900)	—	TDS 360 (327~410)	325 (300~350)	425	350	345
NH ₄ ⁺ -N (ppm)	0.6 (0.12~1.53)	<0.14	15 (2~20)	8 (5~10)	45	40	28
PO ₄ ³⁻ -P (ppm)	0.31 (0.06~0.80)	<0.07					
TOC (ppm)	140 (64~280)	—					
大腸菌群数 (MPN/100ml)	13~24×10 ⁶	~0					
臭 気			下水臭	ほぼ無臭	し尿臭	不快臭 なし	不快臭 なし

a) 原水はビル雑排水（し尿を含まない）

b) c) 原水はし尿を含む総合生活排水

Table 12 再生利用水の水質

項 目	値	項 目	値
pH	5.8~8.6	KMnO ₄ 消費量	60ppm
濁 度 (度)	<10 (C)	蒸発残留物	<800ppm (B)
	<20 (その他)		500ppm (C)
色 度	<30	硬 度	<300ppm (B)
	<40 (A)	鉄, マンガン	<0.5ppm
臭 気	不快感なし	MBAS	<1ppm
BOD	<8ppm		

わる 200円/m²~300円/m³ を目標として、技術開発が進められています。

再生水の用途には、次のようなことが考えられています。

- (a) 水洗便所用水
- (b) 冷却用水（補給水）
- (c) 洗車用水、散水用水、消火用水、清掃用水（道路、オフィスなど）、融雪用水
- (d) レクリエーション用水（池、噴水など）

さし当り水洗便所用水として考えられていますが、逆浸透などで脱塩した場合には冷却用水としても再利用可能で、今後は、再生水の水質によっては、これ以外に洗

たく用水や風呂用水として再利用することも可能になると考えられます。再生水の水質は、前述しましたように用途によって大幅に異なりますが、一応の水質として Table 12 に示すような値が出ています。

将来の水資源の不足を克服し、明日の豊かな生活を維持するためには、水使用の合理化と生活排水の一部再生利用は不可欠の問題といえます。節水型社会の実現のため再生利用技術の開発は、今後ますます重要性を増し、強力的に推進されることでしょう。

このお話しが、なにかのご参考になれば幸いです。どうも長時間のご静聴誠に有難うございました。

文 献

- 1) 小山清・西村正人：下水道協会誌，**16** (No. 187), 33 (1979)
- 2) 小山清・西村正人：Ibid, **17** (No. 199), 14 (1980)
- 3) 井上源之助・岡部利之・室谷憲男：造水技術，**6** (4), 11 (1980)
- 4) 西村正人：“下水、廃水、汚泥処理ガイドブック”環境技術研究会発行，373 (1979)
- 5) 雑用水道（中水道）基準調査研究中間報告書，日本水道協会発行 (1976)