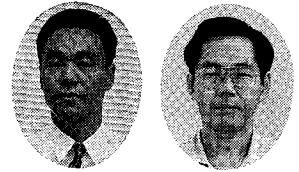


神戸市における 下水の高度処理実験施設の紹介

Experimental Sewage Water Reclamation Facility in Kobe City



(環)環境装置部 計画第2課
真 鍋 恵
Megumi Manabe
(環)技術室
加 治 正 廣
Masahiro Kaji

The demand for more efficient sewage treatment is becoming keen, as increased attention is attracted to treated water from two aspects; environmental protection of waterfront and water resource. Kobe City constructed an experimental water reclamation facility at the existing sewage treatment plant in Port Island for the purpose of improving quality of treated water for discharge to the closed sea area and treated water recycling. Tests are now being carried out there. This paper describes the outline of the test facility composed of several combinations of processes.

まえがき

近年、下水の処理水は、放流水域の環境保全（水辺環境の回復や富栄養化の防止）及び有用な水資源（都市域における各種の水需要のための用水源）としての活用の両面から、より高度な水質が望まれている。

神戸市においても、下水処理水の放流先が閉鎖性海域の瀬戸内海であるため、環境保全上、放流水の水質向上が必要となってきている。また、都市機能の充実拡大のための各種用水源として、下水処理水の再利用を図ることも重要な課題となってきている。

このような状況の下で、神戸市は、ポートアイランド処理場内に、下水の高度処理を目的とした実験施設の建設を行った。この施設の主要な設備は、循環式硝化脱窒設備、汙過設備、オゾン処理設備、活性炭処理設備、膜処理設備及び修景水路となっている。この施設の建設を当社が担当したので、次にその概要を紹介する。

1. 実験施設の建設の背景

閉鎖性海域の環境基準を達成するため、1979年に、各海域に対し、CODの総量削減基本方針が示され、続いて1984年に実施された第二次削減目標で、1989年度を目標年度として、瀬戸内海に対して、生活排水のCOD総量443 T/dを402 T/dに削減することが示された。更に、COD排出負荷量を削減するため、第三次総量規制が1991年3月にスタートした。これによると、瀬戸内海では、生活排水のCOD排出負荷量を、1994年度を目標年度として、359 T/dに削減することが示された。このように、閉鎖性海域への下水の放流水の水質向上への要望は、近年徐々に強くなってきている。

また、水需要の面においても、神戸市は、近畿圏における中核都市としての都市機能の充実を図る上で、生活用水、産業用水、都市に潤いをもたらす修景・親水用水、防災用水等の多種多様な用水の確保の必要にせまられている。そのため、下水処理水を高度処理し、水資源として活用することが重要な課題となっている。

このような状況の下で、神戸市では、基礎調査に基づいて高度処理方法を検討し、実験施設をポートアイランド処理場に建設したものである。

2. 事業の概要

2.1 建設計画

本施設は、第一期分の循環式硝化脱窒設備（基本施設）が1992年3月に完成し、第二期分の高度処理設備（付加施設）が1992年9月完成予定で、現在、当社が建設中である。

2.2 規模

1) 計画水量：最大300 m³/d（基本施設能力）

2) 敷地面積：約680 m²

2.3 実験期間

本施設の実験は第一期分の完成と同時に開始されており、終了は1994年3月予定である。

なお、実験は(株)日水コン、運転管理は(財)神戸市下水道公社で担当されている。

3. 施設の概要

3.1 処理プロセスの概要

本施設は、各種処理プロセスの組合せによる処理水質のレベルを、実験で明らかにしていくことを目的としている。その単位処理プロセスは次の通りとなっている。

1) 生物処理

単位処理プロセス：循環式硝化脱窒法（浮遊生物方式。以後、従来形と呼ぶ）
 循環式硝化脱窒法（固着生物方式。以後、改良形と呼ぶ）
 生物処理工程に凝集剤添加する方法

処理対象水質項目：BOD, COD, T-N, T-P

2) 汙過処理

単位処理プロセス：砂汙過法
 繊維素材汙過法

処理対象水質項目：SS

3) オゾン処理

単位処理プロセス：オゾン酸化法
 処理対象水質項目：COD, 色度

4) 活性炭処理

単位処理プロセス：活性炭吸着法
 生物活性炭法
 処理対象水質項目：COD, 色度

5) 膜分離処理

単位処理プロセス：精密汙過法（MF）
 逆浸透膜法（RO）
 処理対象水質項目：MF……SS
 RO……溶解性物質, 細菌

3.2 フローシート

本施設のフローシートを、第1図(循環式硝化脱窒設備)及び第2図(高度処理設備)に示す。
 実験用原水は、ポートアイランド処理場の最初沈殿池処

理水(下水一次処理水)とし、その全量を循環式硝化脱窒法による処理(二次処理に相当する)を行い、更にその処理水を高度処理設備の原水とするものである。

高度処理フローは、前項の単位処理プロセスの組合せによるもので、基本ラインは次の通りとなっている。

- (1) 砂汙過法 → オゾン処理法 → 生物活性炭法
- (2) 砂汙過法 → 活性炭吸着法
- (3) 砂汙過法 → MF, RO法
- (4) 繊維素材汙過法 → オゾン処理法 → 生物活性炭法
- (5) 繊維素材汙過法 → オゾン処理法 → MF, RO法

また、各プロセスの組合せによる各種の高度処理水は、修景水路用原水として使用されることになっている。

4. 設備の概要

4.1 循環式硝化脱窒設備

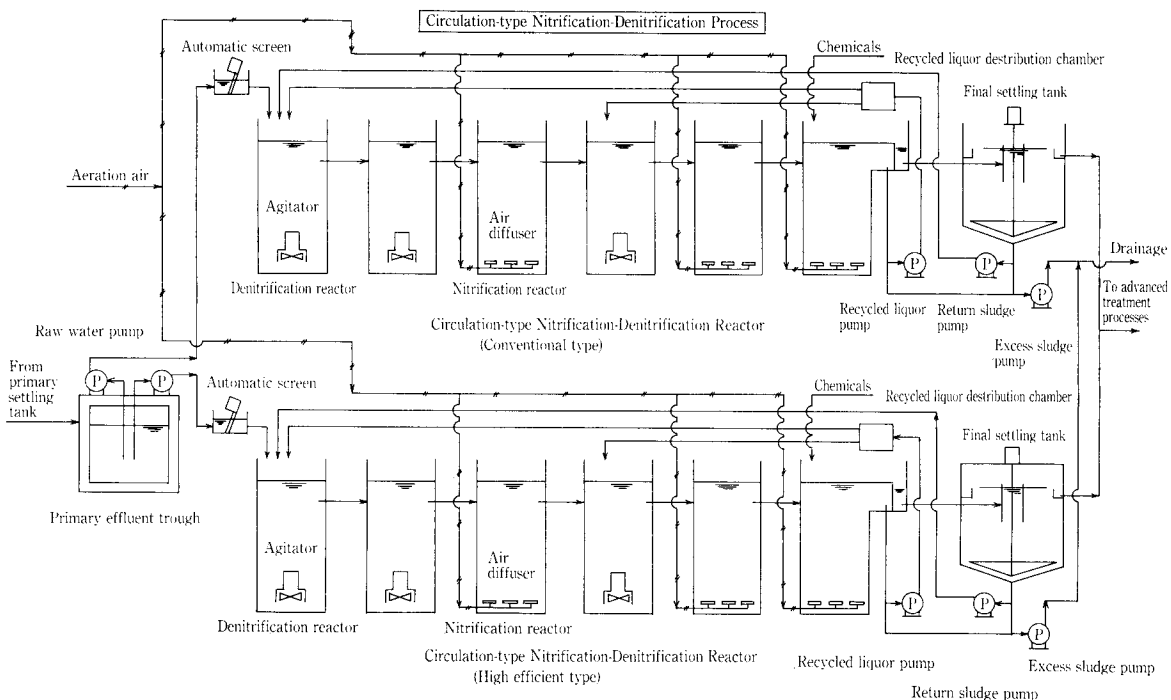
4.1.1 実験の目的

主に、窒素の除去を目的とした設備である。

窒素除去は生物処理で行われるものとし、その処理方法として循環式硝化脱窒法が採用されている。実験では、BOD除去能力、硝化速度、好気嫌気の水槽の分割や組合せ方法等の検証が行われる。

循環式硝化脱窒法は、活性汚泥法と同様の浮遊生物方式(従来形)が一般的であるが、最近では、硝化槽内に担体を投入した固着生物方式(改良形)の研究開発が進んでいる。本実験では、従来形と改良形の二系列の設備となっており、処理能力や処理コストを考慮した比較や、適切な担体の選定も行われる。

また、リンの除去については、本法に凝集剤(PAC, 硫酸バンド等)を添加する方法が採用されている。



第1図 フローシート(基本施設)
 Fig. 1 Flow sheet for biological treatment system

4. 1. 2 設備の特長

1) 改良形への対応

原理：硝化槽内の特殊な担体に硝化菌を固定して、槽内に多量の菌体を保持することにより、処理能力の向上を図るものである。

構造：担体の槽外への流出防止のため、各槽出口にはスクリーン（目開き1.0 mm）を設置した。更に、スクリーンの、きょう雑物による閉塞防止のため、スクリーン下部に空気吹込管を設置した。

また、槽底部に担体が沈積しないよう、散気板レベルまでコンクリートで敷き均し、槽底部を平坦にした。

2) 散気装置及び攪拌装置

好気、嫌気の組合せを変更自在とするため、ばっ気装置は全槽に固定、攪拌装置は着脱式とした。

4. 1. 3 予想水質

予想水質は次の通りである。

	原水 [mg/ℓ]	処理水 [mg/ℓ]	除去率 [%]	備考
BOD	150	7.5	95	()内数字は、凝集剤を添加した場合を示す。
COD	100	20	80	
SS	100	5	95	
T-N	32	9.6	70	
T-P	3.6	1.4(0.7)	60(80)	

4. 1. 4 設計条件

1) 処理水量

従来形： 最大120 m³/d

改良形： 最大180 m³/d

2) 反応槽滞留時間

従来形： 12 hr

改良形： 8 hr

3) 反応槽水深

4.5 m^H

4) 反応槽数

2室/槽×3槽/系列×1系列(従来形)

2室/槽×3槽/系列×1系列(改良形)

5) ばっ気方式

散気板による全面ばっ気方式

6) 嫌気攪拌方式

水中機械攪拌方式

7) 沈殿槽面積負荷

15~25 m³/m²・d

8) 沈殿槽水深

2.5 m^H

9) 沈殿槽数

2槽(1槽/系列×2系列)

10) かき寄せ機形式

中央駆動けん垂式(ピケットフェンス付)

11) 循環水量

処理水量の200%(最大)

12) 返送汚泥量

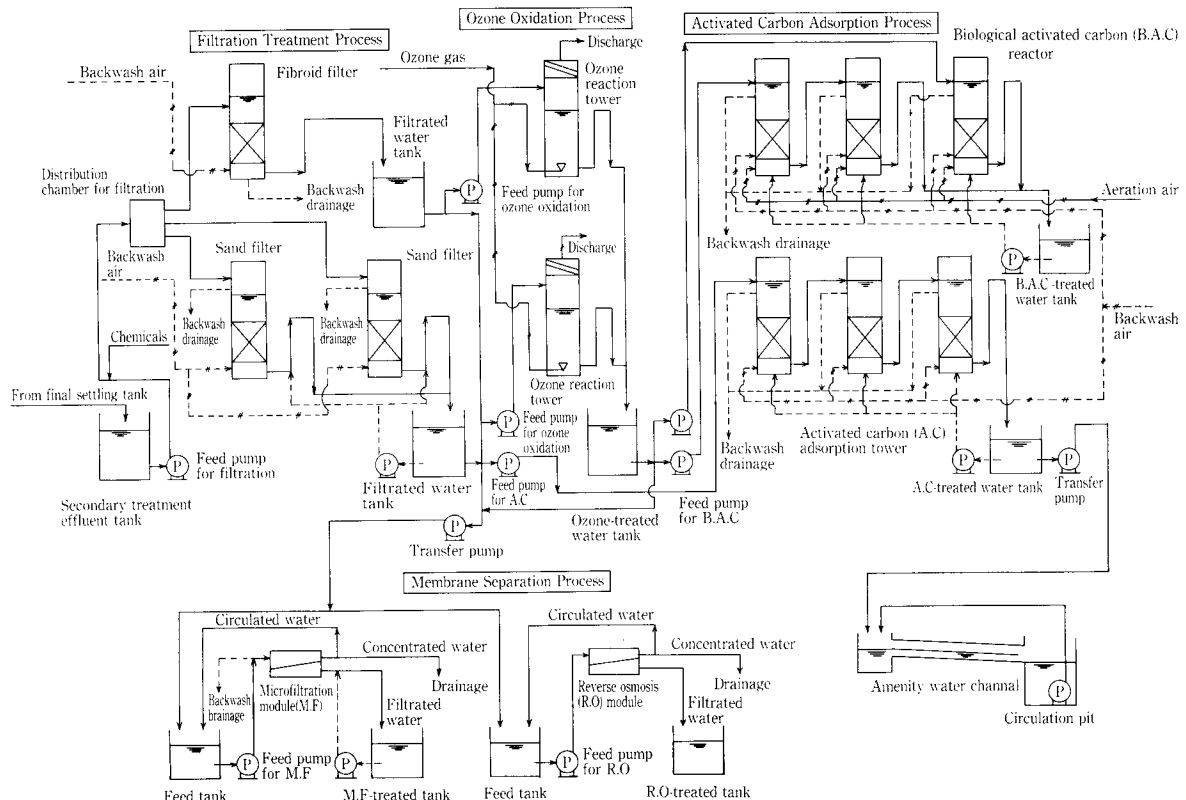
処理水量の100%(最大)

13) 送風量

処理水量の20倍(最大)

14) その他

好気、嫌気の組合せを自在とするため、反応槽は6室/系列としているが、バイパス水路を設け水槽数の調整も可能な構造とした。



第2図 フローシート(付加施設)

Fig. 2 Advanced treatment processes for water reclamation

4. 1. 5 主要設備の仕様

1) 反応槽 (硝化槽/脱窒槽)

- 形式： 鋼製角形槽
 仕様： $1.1 \text{ m}^W \times 2.0 \text{ m}^L \times 5.0 \text{ m}^H (4.5 \text{ m}^D) / \text{室}$
 有効容量 $9.9 \text{ m}^3 / \text{室}$
 数量： 従来形 6室 (3槽)
 改良形 6室 (3槽)

2) 最終沈殿槽

- 形式： 鋼製円形槽 (下部コーン形)
 仕様： $3.2 \text{ m} \phi \times 3.2 \text{ m}^H (2.5 \text{ m}^D) / \text{槽}$
 有効容量 $20.1 \text{ m}^3 / \text{槽}$
 数量： 従来形 1槽
 改良形 1槽

3) 原水ポンプ

- 形式： 一軸ネジポンプ
 仕様： $\phi 65 \times 1.1 \sim 11 \text{ m}^3 / \text{h} \times 20 \text{ m} \times 3.7 \text{ kW}$
 数量： 3台 (内1台予備)

4) 循環水ポンプ

- 形式： 一軸ネジポンプ
 仕様： $\phi 80 \times 2.0 \sim 20 \text{ m}^3 / \text{h} \times 10 \text{ m} \times 5.5 \text{ kW}$
 数量： 3台 (内1台予備)

5) 返送汚泥ポンプ

- 形式： 一軸ネジポンプ
 仕様： $\phi 65 \times 0.8 \sim 8.0 \text{ m}^3 / \text{h} \times 10 \text{ m} \times 2.2 \text{ kW}$
 数量： 3台 (内1台予備)

6) プロップ

- 形式： 水中プロップ
 仕様： $\phi 50 \times 2.0 \text{ m}^3 / \text{min} \times 5.0 \text{ m} \times 3.7 \text{ kW}$
 数量： 4台 (内1台予備)

7) 余剰汚泥ポンプ

- 形式： 一軸ネジポンプ
 仕様： $\phi 50 \times 1.0 \sim 3.0 \text{ m}^3 / \text{h} \times 20 \text{ m} \times 0.75 \text{ kW}$
 数量： 2台

8) 自動スクリーン

- 形式： FRP製角形槽 (自動スクリーン内蔵)
 仕様： 処理能力 $7.5 \text{ m}^3 / \text{h}$ 以上
 スクリーン目開き 2.0 mm
 数量： 2台

9) ばっ気装置

- 形式： 散気板固定式
 仕様： 気孔径 $260 \mu \times 14 \text{ 枚} / \text{組}$
 数量： 12組

10) 攪拌機

- 形式： 水中機械攪拌機
 仕様： 攪拌容量 $10 \text{ m}^3 \times 0.4 \text{ kW}$
 数量： 6台

11) 汚泥かき寄せ機

- 形式： 中央駆動けん垂式
 仕様： 径 $3.2 \text{ m} \phi \times 0.2 \text{ kW}$
 数量： 2基

4. 2 汚過設備

4. 2. 1 実験の目的

主に、SSの除去を目的とした設備で、他の高度処理設備の前処理としての機能の検証が行われる。

実験では、汚過速度、損失水頭、汚過継続時間、SS捕捉量が中心に調査され、汚過装置の特性が検討される。更に、汚過処理水のSSの粒径分布の調査が行われ、汚過機能の特性も合わせて検討される。

汚過法としては、実績の多い砂汚過法と、最近実用化されてきた繊維素材汚過法について調査が行われる。

4. 2. 2 設備の特長

1) 繊維素材汚過法の特長

原理：合成高分子の繊維状素材を汚過塔内に充填し、下向流で汚過を行う。

汚材：繊維状のものを束ねたもので、その形状は塊状、糸状等であり、汚材の支持方法は、汚材を塔に固定しない方法や、塔下部に固定する方法がある。

機能：砂汚過法に比べ、除去性能に若干劣る傾向はあるが、処理能力は大である。

2) 凝集材の注入

汚過原水ラインに凝集剤注入ラインを設け、凝集汚過も可能とした。よって凝集汚過と直接汚過の対比も可能となっている。

4. 2. 3 予想水質

予想水質は次の通りである。

1) 砂汚過法

	原水 [mg/l]	処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備考
BOD	7.5	5.2	30	原水は、循環式硝化脱窒法処理水とする。
COD	20	17	15	
SS	5	2.5	50	
T-N	9.6	8.6	10	
T-P	1.4	1.2	15	

2) 繊維素材汚過法

	原水 [mg/l]	処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備考
BOD	7.5	5.6	25	原水は、循環式硝化脱窒法処理水とする。
COD	20	18	10	
SS	5	3	40	
T-N	9.6	8.6	10	
T-P	1.4	1.3	10	

4. 2. 4 設計条件

1) 処理水量

砂汚過 : 最大 $70 \text{ m}^3 / \text{d}$ ($35 \text{ m}^3 / \text{d} \cdot \text{塔} \times 2 \text{ 塔}$)
 繊維素材汚過 : 最大 $140 \text{ m}^3 / \text{d}$

2) 塔数

砂汚過 : 2塔
 繊維素材汚過 : 1塔

3) 汚過形式

砂汚過 : 二層重力式下向流
 繊維素材汚過 : 重力式下向流

4) 汚層構成

砂汚過 : 砂 (有効径 0.65 mm) 250 mm^H
 アンストラ (有効径 1.5 mm) 500 mm^H
 繊維素材汚過 : 塊状 600 mm^H , 糸状 1500 mm^H

- 5) 沝過速度
 砂沝過 : 200~500 m/d
 纖維素材沝過 : 400~2 000 m/d
- 6) 逆洗速度
 砂沝過 : 72 m/h
- 7) 空洗速度
 砂沝過 : 36 m/h
 纖維素材沝過 : 400 m/h

4. 2. 5 主要設備の仕様

1) 砂沝過塔

形 式 : 円筒形プラスチック製
 仕 様 : 300 mm ϕ × 3.5 m^H
 数 量 : 2 塔

2) 纖維素材沝過塔

形 式 : 円筒形プラスチック製
 仕 様 : 300 mm ϕ × 3.5 m^H
 数 量 : 1 塔

3) 沝過原水ポンプ

形 式 : 一軸ネジポンプ
 仕 様 : $\phi 65 \times 1.1 \sim 11 \text{ m}^3/\text{h} \times 10 \text{ m} \times 3.7 \text{ kW}$
 数 量 : 2 台 (内 1 台予備)

4. 3 オゾン処理設備

4. 3. 1 実験の目的

オゾン処理では、消毒や色度除去の他、難分解性有機物を易分解化する特性を有するため、生物活性炭処理の前処理としての機能の検証が行われる。

除去対象は、生物活性炭処理との組合せの中で、主に COD とされている。

実験では、オゾン処理の操作因子である、オゾン注入率、反応槽の滞留時間、気液比等の調査が行われる。

4. 3. 2 設備の特長

1) オゾンナイザー形式

形 式 : P S A 酸素発生機組込形

原料ガスとしては空気と酸素がある。オゾン発生効率も酸素ガスを使用した方が優れるが、酸素ガスの場合は、貯蔵及び取扱いに制約が多い。よって原料ガスが空気であり、酸素ガスに変換してオゾン発生が行える構造である P S A 方式が採用された。

冷却方式 : 水冷式と空冷式があるが、水冷式とした場合、機械用水が多量に必要となる。実験設備で規模も小さく、給水能力を考慮して空冷式が採用された。

2) オゾン反応塔の水深調節

反応塔は、オゾン吸収効率の検討のため、水深を段階的に調節できる機構とした。その方法は、オゾン処理水流出管のレベル可変で対応するものである。

4. 3. 3 予想水質

予想水質は次の通りである。

	原 水 [mg/ℓ]		処 理 水 [mg/ℓ]	除 去 率 [%]	備 考
	砂 沝 過	纖 維 沝 過			
B O D	5.2	5.6	2.1~2.2	60	
C O D	17	18	12~13	30	
S S	2.5	3	2.5~3	—	

4. 3. 4 設計条件

- 1) 処理水量 最大 100 m³/d
- 2) 反応塔数 2 塔
- 3) 形式 向流式気液接触形
- 4) 反応塔接触時間 5~10 min
- 5) オゾン注入率 5~30 gO₃/m³

4. 3. 5 主要設備の仕様

1) オゾン反応塔

形 式 : 円筒形プラスチック製
 仕 様 : 250 mm ϕ × 6.0 m^H
 数 量 : 2 塔

2) オゾンナイザー

形 式 : P S A 酸素発生機組込形
 仕 様 : 酸素発生量 80 gO₃/h
 数 量 : 1 基

4. 4 活性炭処理設備

4. 4. 1 実験の目的

1) 生物活性炭法

主に、オゾン処理との組合せの中で、CODの除去を目的とするもので、実験では、処理効果の確認及びCOD等の分解特性の調査が行われる。

2) 活性炭吸着法

主に、CODの除去を目的とした設備で、実験では、処理効果の確認及びCODの除去特性の調査が行われ、水温、通水速度と接触時間、塔内のCOD濃度分布等の測定によって検討されることになっている。

4. 4. 2 設備の特長

1) 生物活性炭法と活性炭吸着法

活性炭は、上水や下水の高度処理に、従来よく用いられてきた。これは、活性炭粒子の無数の細孔が、水溶液中の有機物をよく吸着するため、他にも色度や臭気の除去にも効果的である。この吸着能力を利用した処理方法を、活性炭吸着法と呼んでいる。但し、活性炭の吸着能力には限度があり、多量の処理を行うには、多量の活性炭が必要となるため、本法の最大の欠点は、処理コストが高くなるということである。

生物活性炭法は、活性炭を担体として繁殖したバクテリアが、活性炭に、物理的に吸着された有機物を分解する作用を利用した方法で、活性炭の吸着能力の再生が、生物によって連続的に行われる。このため、塔内のばっ気設備が必要となるが、活性炭のライフが大幅に延びるため、処理コストが低い利点を有する。

2) 塔の配列

活性炭吸着塔は、3塔/組とし、メリーゴーランド配列とした。生物活性炭塔は、2塔直列と1塔単独形の2種類を並列配置とした。

4. 4. 3 予想水質

予想水質は次の通りである。

1) 生物活性炭法

	原水 [mg/l]	処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備 考
BOD	2.1~2.2	1.3	40	原水は、オゾン処理水とする。
COD	12~13	7.2~7.8	40	
SS	2.5~3	1.5~1.8	40	
色 度	—	—	80	

2) 活性炭吸着法

	原水 [mg/l]	処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備 考
BOD	5.2	1.6	70	原水は、砂ろ過処理水とする。
COD	17	5.1	70	
SS	2.5	2	20	
色 度	—	—	80	

4. 4. 4 設計条件

1) 処理水量

生物活性炭： 最大7.5 m³/d (2塔直列)

最大7.5 m³/d (1塔単独)

活性炭吸着： 最大13 m³/d

(3塔メリーゴーランド)

2) 塔数

生物活性炭： 3塔 (2塔/組, 1塔/組)

活性炭吸着： 3塔 (3塔/組)

3) ろ過形式

重力式下向流

4) 層高

最大2.0 m^H

5) ろ過速度

生物活性炭： 75~150 m/d

活性炭吸着： 150~250 m/d

6) 逆洗速度

60 m/h

7) 空洗速度

100 m/h

4. 4. 5 主要設備の仕様

1) 生物活性炭塔

形 式： 円筒形プラスチック製

仕 様： 250 mm ϕ × 5.5 m^H

数 量： 3塔

2) 活性炭吸着塔

形 式： 円筒形プラスチック製

仕 様： 250 mm ϕ × 5.5 m^H

数 量： 3塔

4. 5 膜分離設備

4. 5. 1 実験の目的

1) 逆浸透膜 (RO)

主に、溶解性物質の除去を目的とした設備である。

実験では、通水量と透過水量の関係の中で、水温、ろ過圧力、ろ過継続時間の調査により、装置の特性が検討されるもので、更に細菌類の調査も行われることになっている。

2) 精密ろ過膜 (MF)

主に、浮遊物の除去を目的とした設備である。

実験では、逆浸透膜と同様の調査が行われ、装置の特性が検討されることになっている。

4. 5. 2 設備の特長

1) 逆浸透膜

膜モジュールの形式は、平膜形、チューブ形、スパイラル形、中空糸形に分類される。本装置は、他分野の実績も含めて、実績が多く、構造上目詰りし難いスパイラル形が採用された。

洗浄は、手動による薬液洗浄のみとし、逆洗は行わないものとした。

2) 精密ろ過膜

膜モジュールの形式は、逆浸透膜と同様に分類される。本装置では、実績が多く、コンパクトに配置が可能である中空糸形が採用された。

洗浄は、自己処理水を使用した自動逆洗、及び手動による薬液浸漬方法の併用とした。

3) 原水ポンプ及び膜の保護

原水ポンプ及び膜モジュール内に異物が混入しないよう、原水の送水ライン(膜処理水ポンプ~膜処理原水貯槽)には、ミクロンフィルターを設置した。

4. 5. 3 予想水質

予想水質は次の通りである。

1) 逆浸透膜

	原水 [mg/l]		処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備 考
	砂ろ過	オゾン			
BOD	5.2	2.1~2.2	<1	90	
COD	17	12~13	1.7~1.2	90	
SS	2.5	2.5~3	—	100	
T-N	8.6	8.6	1.7	80	
T-P	1.2	1.3	0.2~0.3	80	

2) 精密ろ過膜

	原水 [mg/l]		処理水 [mg/l]	除去率 [%]	備 考
	砂ろ過	オゾン			
BOD	5.2	2.1~2.2	3~1	50	
COD	17	12~13	9~7	50	
SS	2.5	2.5~3	—	100	

4. 5. 4 設計条件

1) 処理水量 (透過水量)

逆浸透膜： 最大12 m³/d

精密ろ過膜： 最大24 m³/d

2) 数量

逆浸透膜： 1式 (膜モジュール4本/式)

精密ろ過膜： 1式 (膜モジュール2本/式)

4. 5. 5 主要設備の仕様

1) 逆浸透膜モジュール

形 式： スパイラル形

仕 様： 透過水量0.5 m³/h

(膜サイズ4インチ)

数 量： 4本

2) 逆浸透膜原水ポンプ

形 式： 立形多段渦巻ポンプ

仕 様： $\phi 32 \times 21$ l/min $\times 220$ m $\times 4.0$ kW

数 量： 1台