

主要設備は1トン・ポンベ容器、ポンベ計量機、気化器、流入防止器、空気溜り、塩素注入機、エゼクター、エゼクター給水ポンプより成り、さらに配管、計装が組合わされている。その他除外設備としての中和設備、塩素ガス漏洩検知器を含む。

1トン・ポンベ2個は各々ポンベ計量機に固定後秤量される。液化塩素は4～5kg/cm²・Gのポンベ内の塩素ガス圧で圧送されて気化器図3.1.15に入る。気化器は蛇管式加温槽（またはペイアニット式）で、温水槽には40℃以下にヒーターで加熱された温水で満たされている。この中で気化した塩素ガスは流入防止器に入る。図3.1.16は流入防止器を示し、気化器から流出してくる液体塩素をここで捕捉し、塩素注入器の方への流入を防ぐ。気体塩素に液体塩素が混入すると、原水に対する塩素濃度が大きく振れてしまうことを避けるためである。

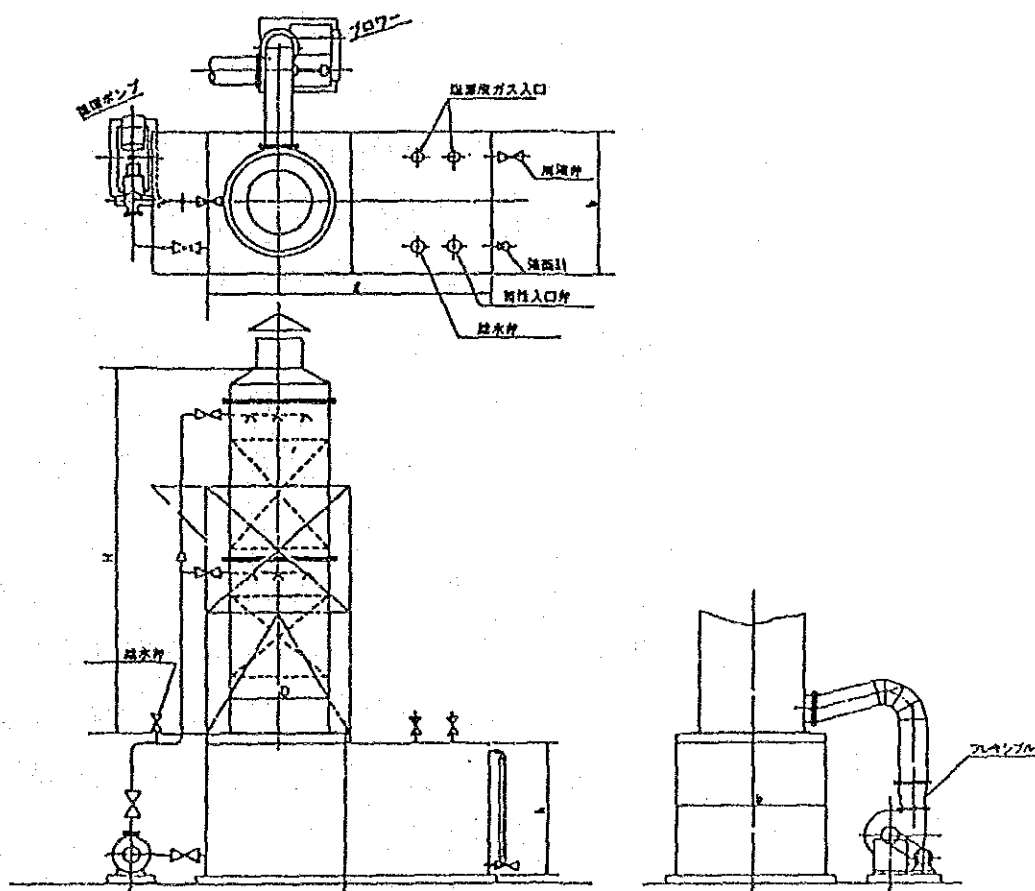


図3.1.17塩素除外設備（日東機械(株)パンフレット）

さらに塩素ガスは直接塩素注入器に入るか、または消費塩素量が大量の場合はガス溜り（約1m³）を経て塩素注入器に入る。塩素注入器を出た塩素ガス（液体を含んでならないことは前述した通りである）は給水ポンプから送水される圧力水によってエゼクターで混合され、塩素水溶液となる。

図3.1.17は塩素除外設備を示す。プラントの定期修理時、系列機器内の残留塩素ガスを取除き、中和する目的のほか、塩素ガスの漏洩事故の発生に対処するために欠かせない。ブローで吸入れた塩素ガスは塔の下部より吹上げられ、上方よりシャワー状の苛性ソーダ水溶液で中和される。また漏洩塩素ガス検知器を設置する。

1) 各機器の設置台数；

- ポンベ計重機 : 最大塩素消費量に対処し、2本掛用ポンベ計量機 1台、予備機 1台を設置する
- ポンベ : 1 トン・ポンベ 4本を常に設置する
- 気化器 : 2 セット設置、内 1セットは予備
- 流入防止器 : 2 セット設置、内 1セットは予備
- 空気溜 : 1 セット設置、内 1セットは予備
- 塩素注入機およびエジェクター : 2 セット設置、内 1セットは予備
通常上水場では、工程管理上、前処理、中処理としての塩素注入を行い、さらに後処理で浄水の残留塩素を1ppmに調整し、給水している。ただし今回の技術調査では要求仕様が確定していないので前処理のみとする
- 塩素除外設備 : 1 セット設置、処理時間の長短の選択により容量の大小が変る
- 配管 : 2 系列配管とし、機器を相互に使用可能とする。配管工事は建屋内に限定する
- 計装 : 2 系列計装とする。但し 1セット設備に対しては 1系列とする
計装用空気は供給のこと、塩素ガス漏洩検知器を含む
- 材質 : 塩素注入機まで塩素接触部はSTPG(JIS規格) とする。但し圧送空気を使用する場合の水分は露点、-45 °C以下のこと
- 負荷変動への対応 : 要求仕様を充分満足しうること
- 空調 : サウジでは屋外が酷熱で搬入ポンベは高温であり、ポンベ内の平衡蒸気圧が高くなるので取扱上からも受入、機器室内は空調の必要がある

2) 必要建屋スペース；

- 受入設備室 : 2 本掛用ポンベ計量機 2セット、貯蔵ポンベ10本、空ポンベ 2本

主要機器室 : 主要機器、エジェクター、除害設備、配管、計装はこの室に収めるものとする

必要建屋スペースはおおよそ図3.1.18のごとくなる。

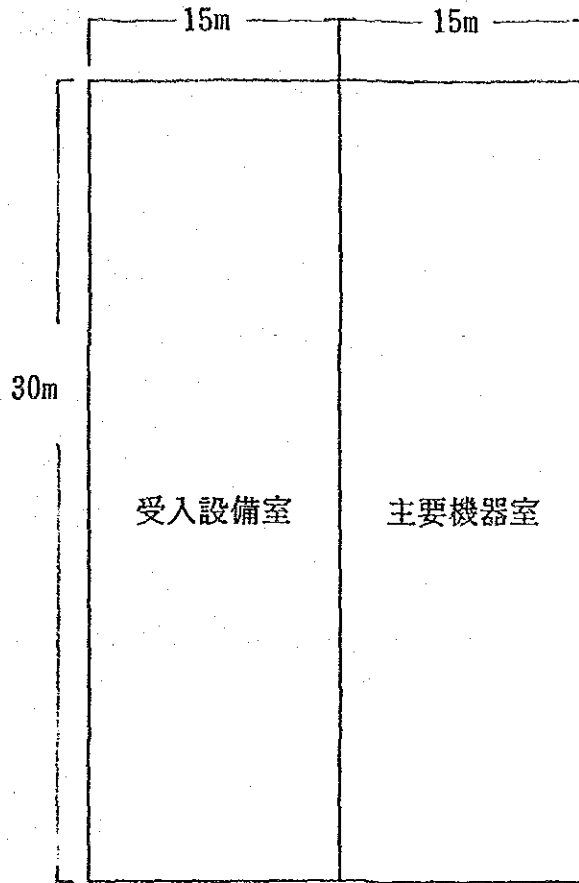


図 3.1.18 必要建屋スペース

延建屋面積 : 900m²

建屋水準 : 鉄筋コンクリート構造、空調が可能な構造とすること室温は22~23°Cに保持する必要がある。但し空調の設備費は本調査では検討外

ボンベ貯蔵、倉庫 : 別途必要となる

3) 塩素注入設備建設費 :

各機器費 : 100 百万円 a) 項を内容とする

配管費 : 20 百万円 同上

諸掛り : 10 百万円 荷造、検査、船賃、保険の各費用

工事人件費 : 10 百万円 ; 内訳 : 60人・日 (サウジにて建設の場合)
直接人件費 : 6百万円
渡航費、宿泊費 : 4百万円
計 : 10百万円

合 計 : 140 百万円
建屋建設費 : 135 百万円 ; 延面積 : 900m² × 単価150 千円/m²
鉄筋コンクリート構造とし、日本における
単価を示す。空調設備費は含まれていない。

4) 必要運転要員

中央管理要員 : 1人/直、3 人/日 ; Skillmanであること。塩素についての知識があること。

現場作業員 : 2人/直、6 人/日 ; プラントは自動運転。但し、ボンベ切替え時の事故発生を予防する上から安全サイドの人員配置をする。技能レベルにより削減は可能

合 計 : 9人/日

5) ユーティリティ : 無視しうるほど小 ; 但し、空調関係は別とする。

6) 耐用年数 : 化学工業一般と同じ7年。

3.1.6 塩素による殺菌コスト

(1) 材料費

A. 前提

原水の前処理工程において被処理原水 100,000T/D に5ppmの濃度で塩素を投入し、脱塩素工程、脱塩素剤の使用はないものとする。また他の薬剤は塩素殺菌コスト計算の範囲外とする。造水量は30,000T/D とする。

B. コスト計算

一日当り塩素使用量 : 0.5T/D (100,000T/D × 5ppm)

塩素トン当り単価 : 60千円/T (鹿島コンビナート製 5~6T/D購入時の単価)

一日当り塩素コスト : 30千円/D (0.5T × 60千円/T)

造水トン当り塩素コスト : 1円/T (30 千円/D/30,000T/D)

(2) 労務費

(A) 前提

必要運転要員は9人/日とする。この要員数は安全サイドでゆとりがあるため予備要員はおかない。労働賃金は4百万円/年・人とする。

(B) コスト計算

年間労務費 : 36百万円/年 要員; 9人/日×4百万円/年・人

日当り労務費 : 98.7千円/日

造水トン当り労務費 : 3.3円/T

(3) 設備費と減価償却費

装置費として塩素注入設備建設費140百万円、建屋費135百万円を計上する。耐用年数については前者は化学工業一般と同じとして7年定額とし、後者は35年定額とする。

(4) ユーティリティ費

無視しうるほど小さい。但し空調運転費は別とする。

(5) 殺菌コスト計算

A. 年間償却費 : 23.9百万円/年 内訳、設備償却費 140百万円/7年
建屋償却費 135百万円/35年
合計償却費23.9百万円/年

B. 日当り償却費 : 65,400円/日 造水30,000T/D 当り

C. 造水1トン当り減価償却費 : 2.2円/T

D. ユーティリティ費 : ~0 但し空調運転費は別とする。

E. 30,000T/D 当りの殺菌費

材 料 費 : 30.0 千円

労 務 費 : 98.7 千円

減価償却費 : 65.4 千円

ユーティリティ費 : ~0 千円

合 計 : 194.1 千円

F. 造水1トン当り殺菌費 (円/T)

材 料 費 : 1.0 円

労 務 費 : 3.3 円

減価償却費 : 2.2 円

ユーティリティ費 : ~0 円

合 計 : 6.5 円

3.2 紫外線照射による殺菌法

3.2.1 概要

細菌や藻に対する殺菌・殺藻手段として従来の加熱処理、薬剤添加、あるいは凝集、濾過による除菌などに加えて、近年紫外線による殺菌処理プロセスが広く使われるようになってきた⁷¹⁾。これは蛍光灯の発明以来60年、70年代に紫外線による殺菌技術の応用技術が広く研究され、また紫外線源としてのランプ技術も確固たるものとなり、応用分野が大きく拡大してきたためである⁷²⁾。

(1) 紫外線殺菌の特徴⁷³⁾

紫外線殺菌法を他の殺菌法と比較した場合次のような特徴を挙げることができる。

- ①他の方法と比べ安全で、しかも使い方が比較的簡単である。
- ②菌種に対する選択性が少なく、全ての菌を殺菌することができる。
- ③薬剤殺菌のように有害物質の生成を引き起すことがなく、微生物の菌体を破壊せず殺菌するため、水質に二次汚染の問題がほとんどない。したがって、水質に二次的な変化を与えない。
- ④処理時間が数秒から数十秒と他の方法と比べ非常に短時間で済むため、大きな装置スペースを必要としない。

以上は紫外線殺菌のメリットといえることができる。

(2) 紫外線殺菌技術の応用分野

前述のような利点を有するため、現在特に最も純度の要求される超純水製造ラインでは欠くことのできないプロセスとされている。電子産業をはじめ、バイオテクノロジーやメディカルエンジニアリングなど、最先端技術分野ではますます清浄度の高いシステムが求められており、紫外線殺菌法はその厳しい要求に対応できる優れた殺菌操作としてますます重要性が増してくるものと認められている⁷⁴⁾。また前述の分野の他、食品工業、水産養殖、冷却水殺菌、上下水道殺菌など幅広い水処理にも欠かせない技術となっており、次世代のより優れた殺菌法として注目を集めていると報ぜられている⁷⁵⁾。

(3) RO膜法海水淡水化技術における紫外線殺菌法の可能性

このように将来性に富む紫外線殺菌法ではあるが、この紫外線殺菌技術分野で商業ベースとしての実績を有する(株)日本フォートサイエンスに対する筆者らの技術調査⁷⁶⁾によれば、国の内外を問わず、海水淡水化プラントでは現在のところ紫外線を大がかりのスケールで殺菌に使用しているところはほとんどないという見方をしており、こ

のような要請がある場合にはRO膜法海水淡水化技術に対応した紫外線殺菌技術を新たに形成することが必要であると述べ、一、二の提案をしている⁷⁷⁾。しかしながら、別の報文⁷⁸⁾では塩素殺菌はスライム形成の抑制はするが残留塩素が微生物による酢酸セルロース膜分解の引き金になるとして塩素殺菌の限界を指摘しながら、このような場合においては殺菌のための紫外線照射法もひとつの方法であると提言している。

さらにまた日本公開特許昭56-129009⁷⁹⁾では、被処理原水を塩素などで殺菌することなくRO膜に導入し、透過水の一部を再度RO膜に循環して膜面の洗浄を繰り返し、透過水の他の部分を紫外線による殺菌処理を行うことの利点を主張している。

このようにRO膜法においても殺菌法として紫外線を利用したい、という技術的関心は少なくないようである。

(4) 紫外線殺菌の注意点⁸⁰⁾

紫外線殺菌は前述のごとく優れた特徴を持つ反面、実際に応用する場合弱点となってしまう特性もあるので留意する必要がある。

- ①水質によって紫外線の透過率が変り、被処理水自体によってその効果が減衰する。
- ②浮遊物質は遮蔽し、微生物に対する紫外線効果が減殺される。
- ③紫外線源である低圧水銀ランプは、周辺温度によって紫外線照度が変わる。
- ④薬剤処理に比べ、殺菌効果の持続性が少ない。したがって紫外線殺菌装置を実際に使う場合は、これらの弱点をカバーする処置を採らなければならない。

3.2.2 原理

(1) 紫外線による殺菌のメカニズム

紫外線による殺菌や突然変異などのメカニズムは複雑で、現在光生物学的に明らかにされつつあるが、これら原理に関する報文⁸¹⁾はいずれも同一の基調に立っているものと認められる。

A. UV-Cの存在

太陽光線に殺菌作用があることは古くから知られていた。これは太陽光に含まれる紫外線によるものであるが、紫外線は図3.2.1に示したように、各放射エネルギーのうちX線と可視光線との間の約100～400nmの波長域の電磁波を総称したものである。またその物理的、化学的な性質はもとより生物に対する作用もそれぞれの波長によって大きく異なるとされている。

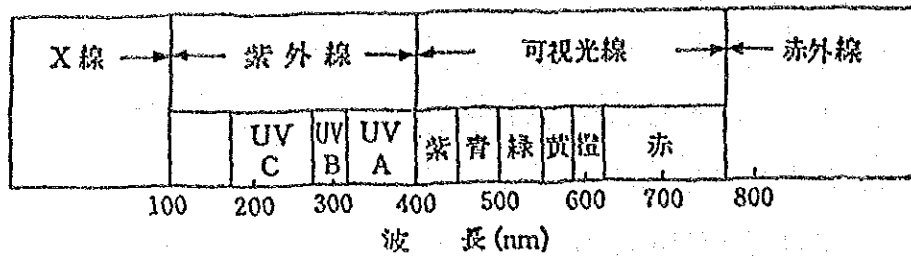


図3.2.1 光の波長とその名称⁸²⁾

このように強い太陽光線に含まれている紫外線を、光生物学ではその作用により次のように分類している。

表3.2.1 紫外線の分類

区分	波長 (nm)	作用
UV-A	320 ~400	人の皮膚に単純な色素増加を起こすなど、色素沈着作用や光化学作用がある。
UV-B	280 ~320	皮膚に紅斑を形成させ、やがて皮膚は黒化するなど、紅斑生成やビタミンの生成作用がある。
UV-C	180 ~280	影響は著しく増大し、生命にとって極めて危険なエネルギーである。微生物には突然異変や殺菌などの現象が発生する。マウスの皮膚にガンを発生させる。

このように太陽光線の中には殺菌光線UV-Cが存在するのである。

B. 殺菌のメカニズム

① 260nm 波長紫外線の殺傷力

図3.2.2 は光の各波長に対する殺菌の相対効果を示しているが、紫外線のなかでも、特に260nm 近辺の波長で殺菌のエネルギーがピークを示していることがわかる。

このように微生物が紫外線によって障害を引き起こしてしまう最大の原因は元来、生体の生命維持と複製に必要であり、生体の最も重要な構成成分である核酸(DNA) が紫外線領

域に吸収のピークを持っていることにある⁸⁶⁾。

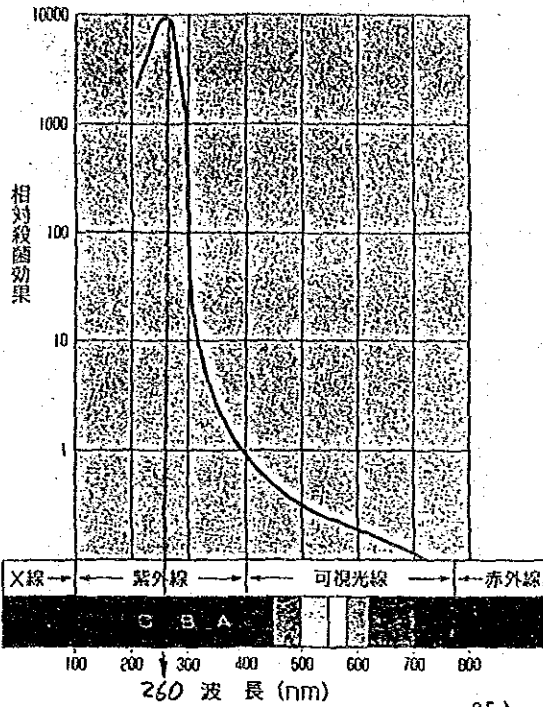


図 3.2.2 光の波長と殺菌効果

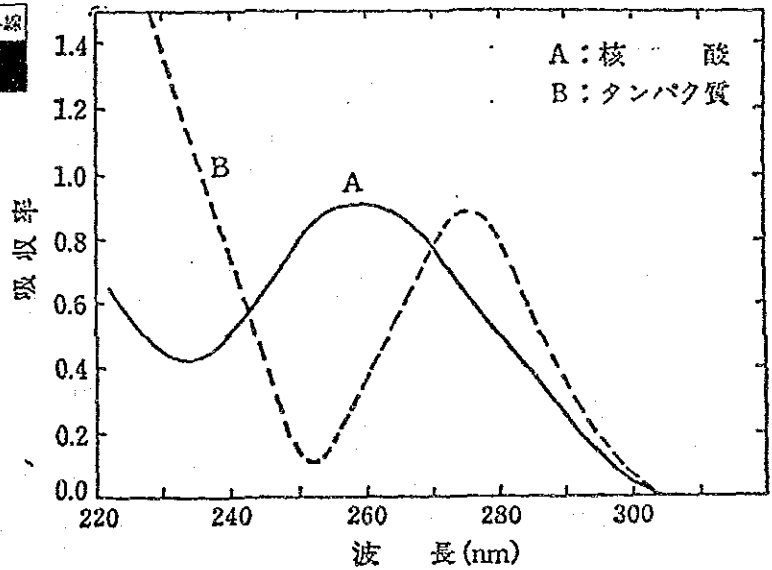


図 3.2.3 核酸とタンパク質の紫外線吸収曲線

図3.2.3⁸⁶⁾は紫外線に対する核酸(DNA)と蛋白質の吸収を表している。核酸は260nm 近辺の紫外線に吸収の極大があり、これは図3.2.2で示した紫外線の各波長に対する相対殺菌効果曲線の特徴と極めてよく一致している。

光化学反応の第一条件はまず光が分子に吸収されることであるが、核酸は260nmの紫外線エネルギーを非常によく吸収するためにその照射を受けると核酸分子は励起状態となり大きな化学変化を起すといわれる。

② 致死への反応⁸⁷⁾

なかでも最も重要な反応は核酸分子内のピリミジン塩素の二量化反応で、紫外線による

致死の主因は現在ではこのピリミジンダイマーの生成によるものと認められている。

またこのほか核酸内での紫外線による光水和反応や核酸と蛋白質が相互作用状態にあるとき、光架橋反応なども起っており、これらの反応も紫外線致死に対して何らかの影響を与えていると報告されている。

③ 大腸菌による具体例

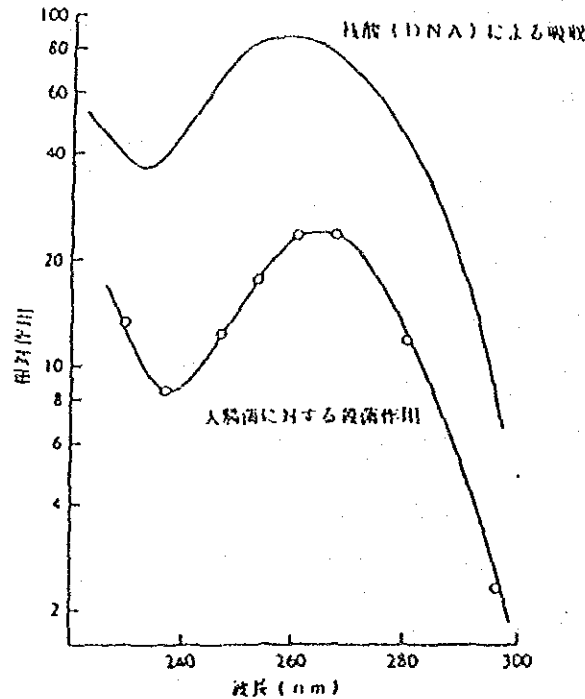


図3.2.4 大腸菌に対する紫外線の殺菌作用と核酸による吸収特性⁸⁸⁾

図3.2.4 は大腸菌に対する紫外線の殺菌作用と核酸による吸収特性を対比したものであるが、大腸菌の細胞内の核酸に吸収される波長の吸収率のカーブは紫外線の殺菌作用とほぼ一致していることがわかる。

④ まとめ

結論として、この核酸は生命の遺伝現象と全ての重要生物機能を担っている生命の本質ともいえる物質であるために、それらに引き起こされた変化や損傷は生命にとってまさに致命的とならざるを得ないと論じられている⁸⁹⁾。

(2) 低圧水銀灯の波長分布⁹⁰⁾

紫外線殺菌法はこの紫外線のもつ顕著な生物作用を利用したものであるが、太陽光線の殺菌作用の数千倍の殺菌力をもつUV-Cを低圧水銀ランプによって人工的に作り出し、得られる253.7nmの紫外線エネルギーを利用して効率よく殺菌できるように開発されている。

図3.2.5 に低圧水銀ランプの波長分布が記載してあるごとく、このランプは水銀の共鳴

によって発生するエネルギーのうち殺菌作用に顕著な効果のある253.7nmの波長を90%近い効率で発生することができるとされている。

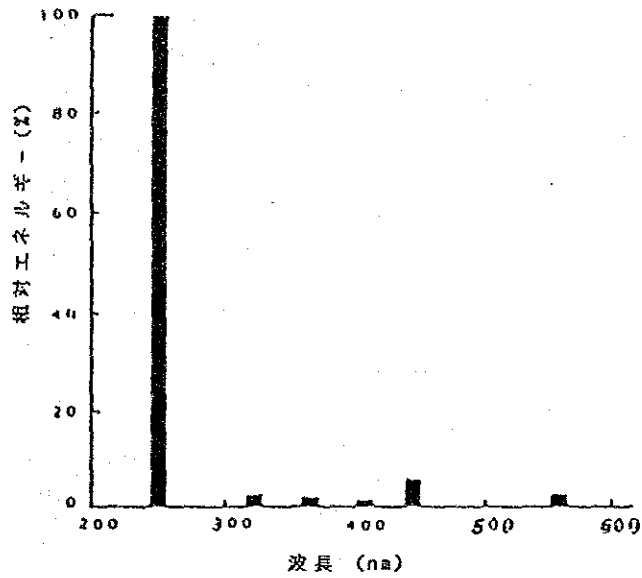


図 3.2.5 低圧水銀ランプの波長分布⁹⁰⁾

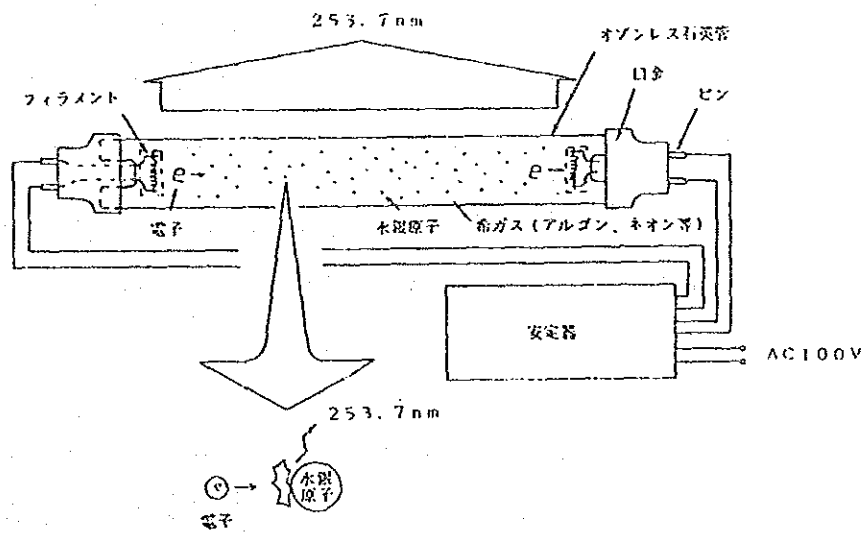


図 3.2.6 低圧水銀ランプの構造 (点灯回路の例)⁹⁰⁾

3.2.3 紫外線照射による殺菌効果

このような顕著な殺菌作用を発揮できる低圧水銀ランプであるが、そのエネルギー源は

光としての特性を持っており、効果を有効に引き出すためには前述の「紫外線殺菌の注意点」を守らなければならないことはすでに述べた通りである。さらに微生物の中には様々な種類があり、またそれぞれ形体も性質も異なっており、このためこれを殺菌するに必要な紫外線照射量が変わってくる。

$$\text{紫外線照射量 (mWsec/cm}^2\text{)} = \text{紫外線照度 (mW/cm}^2\text{)} \times \text{照射時間 (s)}^{91)}$$

(1) 種々の菌を殺菌するために必要なD値 (紫外線照射量)

表 3.2.2 各種菌の紫外線照射量 (D値)⁹²⁾

W.F. E. Zinnbauer : Pharm. Eng., March, 36, (1985) より抜粋

Organism	Dose*
<i>Serratia marcescens</i>	2.42
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5.5
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	6.0
<i>Salmonella enteritidis</i>	4.0
<i>Salmonella typhimurium</i>	8.0
<i>Shigella paradysenteriae</i>	1.68
<i>Escherichia coli</i>	3.0
<i>Proteus vulgaris</i>	2.7
<i>Bacillus subtilis</i> (Cell & Spores)	7.1
<i>Bacillus subtilis</i> (Spores)	12.0
<i>Clostridium tetani</i>	4.9
<i>Staphylococcus aureus</i>	2.18
<i>Streptococcus viridans</i>	2.0
<i>Streptococcus pyrogenes</i>	2.16
<i>Micrococcus candidus</i>	6.05
<i>Sarcina lutea</i>	19.7
<i>Micrococcus radiodurans</i>	20.5
Yeasts (Average)	4.0
Algae, blue-green	300~600
<i>Aspergillus niger</i> (bread)	100
<i>Penicillium chrysogenum</i> (fruits)	30~50

* Dose (mWsec/cm²) given above is for UV light at 254nm required for a 90% killing. Multiply dose by 4 times for a 99% kill.

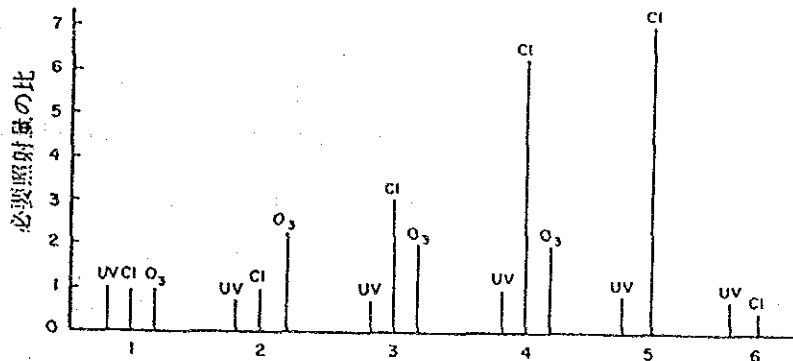
一定の照度の紫外線照射をした場合、生残菌数は時間の経過と共に対数的に低下することが多く、微生物の紫外線感受性はD値で表される。表4.2は種々の菌を90%殺傷するのに必要な紫外線照射量を示している。99%の殺菌率にアップするためには表示の各値の4倍量の照射量が必要であると記されている。

表3.2.3はさらに殺菌率を99.9%までアップするために必要な照射量を示している。表から認められるように、微生物の紫外線に対する感受性は一般的にグラム陰性菌、芽胞の順に小さくなるとされている。カビ類は細菌類より抵抗性が大きく、藻類はさらに抵抗性が大きいと引用報文⁹⁴⁾は述べている。

表 3.2.3 各種菌を殺菌するのに必要な照射量⁹³⁾

各種の菌を殺菌するのに必要な紫外線照射量 ($\mu\text{W} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$) (殺菌率99.9%)		
〈一般細菌(グラム陰性菌)〉		
<i>Escherichia coli</i>	大腸菌	6.600
<i>Shigella dysenteriae</i>	赤痢菌	3.400
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	緑膿菌	10.500
〈一般細菌(グラム陽性菌)〉		
<i>Bacillus subtilis</i>	枯草菌	11.000
<i>Bacillus subtilis spores</i>	枯草菌芽胞体	22.000
<i>Streptococcus hemolyticus</i>	溶血性連鎖球菌	5.500
<i>Staphylococcus aureus</i>	黄色ブドウ状球菌	6.600
<i>Staphylococcus albus</i>	白色ブドウ状球菌	5.700
〈酵母〉		
<i>Saccharomyces Sp.</i>	(清酒醸酵に使用)	17.600
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	(各種醸酵に使用)	13.200
〈カビ胞子〉		
<i>Penicillium roqueforti</i>	チーズカビ(緑)	26.400
<i>Penicillium expansam</i>	果物カビ(緑)	22.000
<i>Aspergillus niger</i>	クロカビ(黒)	330.000
<i>Aspergillus flavus</i>	殺物カビ(緑)	99.000
<i>Rhizopus nigricans</i>	クモノスカビ(黒)	226.000
〈ビールス〉		
Influenza	インフルエンザビールス	6.600
Polio Type I	ポリオビールス	6.000
Coxsachie A2	コクサッキービールス	4.800
Adeno virus Type III	アデノビールス	4.500

(2) 菌の種類による選択性



様々な菌に対する紫外線の相対効果
 (1) 大腸菌 (2) サルモネラ菌 (3) 黄色ブドウ状球菌
 (4) ポリオウイルス (5) コクサッキーウイルス (6) アデノウイルス

図 3.2.7 様々な菌に対する紫外線の相対効果²⁵⁾

前項4.3.1の報文と別に、(株)日本フォトサイエンスの技術資料は紫外線により殺菌処理する場合、菌による選択性が少なく全ての菌を殺菌することができるとして図3.2.7

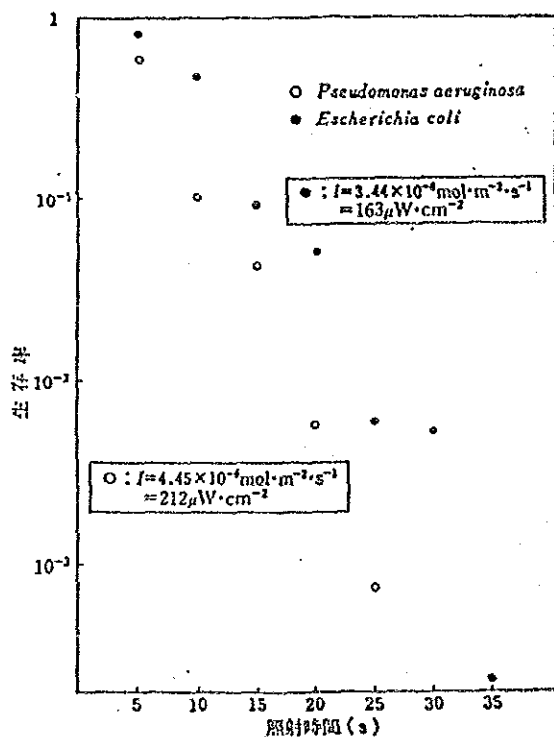
95) を掲げて塩素、オゾンと必要照射量を比較提示し、紫外線がオールマイティーであると強調している。またこれに同調している他の報文⁹⁶⁾もある。

(3) 必要紫外線照射量の決定⁹⁷⁾

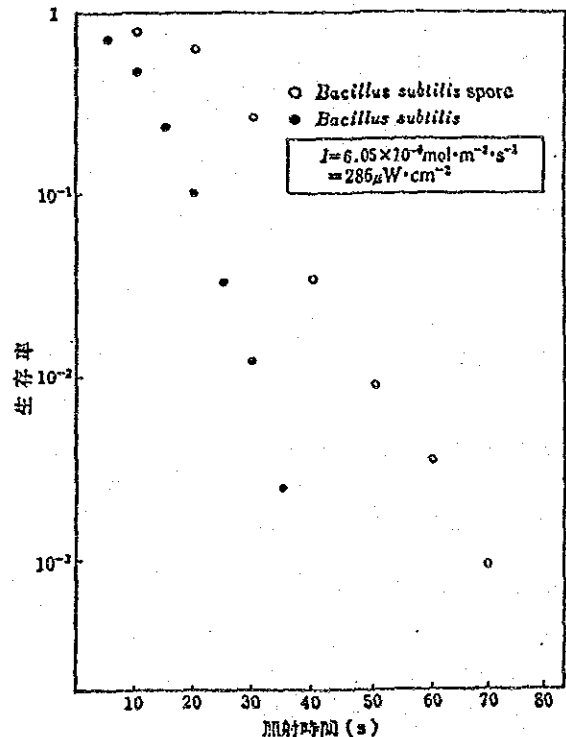
殺菌装置としての必要な紫外線照射量を定めるための手順は、次のように進められる。まず化学光量計の測定によってパラメーターとしての紫外線照度の絶対値を求めておき、次いで照射時間(s)に対する生残菌数(生存率)を調べる。生残菌数は時間の経過と共に対数的に低下することが多いが、これらの値から紫外線不活性化速度を定式化し、これによって極めて高い殺菌率の領域に至るまで必要な紫外線照射量を推定する。

図3.2.8及び図3.2.9には代表的な菌種である緑膿菌や大腸菌、及び枯草菌、同芽胞体の不活性化速度を示している。

これらの基本的データに加え、装置化するにあたっては更に処理水の紫外線透過率や装置内の紫外線分布、流体混合特性をカウントして装置としての必要紫外線照射が決められている。したがって、装置を具体的に製作する場合対象菌種、処理水の水質、水温などの諸条件を十分検討する必要がある。



紫外線による菌の不活性化速度
○ 緑膿菌 (紫外線照度: 212 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)
● 大腸菌 (紫外線照度: 163 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)



紫外線による菌の不活性化速度
○ 枯草菌芽胞体, ● 枯草菌
(紫外線照度: 286 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)

図3.2.8 紫外線による菌の不活性化速度⁹⁷⁾ 図3.2.9 紫外線による菌の不活性化速度⁹⁷⁾

(4) 紫外線透過率に対する水質の影響⁹⁸⁾

被処理原水の水質によって紫外線透過率は大きく影響を受け、ひいては紫外線殺菌も影響を受けることになる。これは紫外線透過率が悪い水の中では照射された紫外線エネルギーが目標に達する前に処理水自体によって減衰させられ、殺菌に必要な紫外線の照射量が得られないためである。

河川水の場合では1cmごとに2/3、清浄な水の場合でも5mごとに2/3が吸収されるといわれている。水中の微粒子、鉄分、有機物のような紫外線吸収物質が多いときには著しく紫外線の効果は減衰する。図3.2.10⁹⁹⁾は各種の液体の深さに対する紫外線透過率を示す。

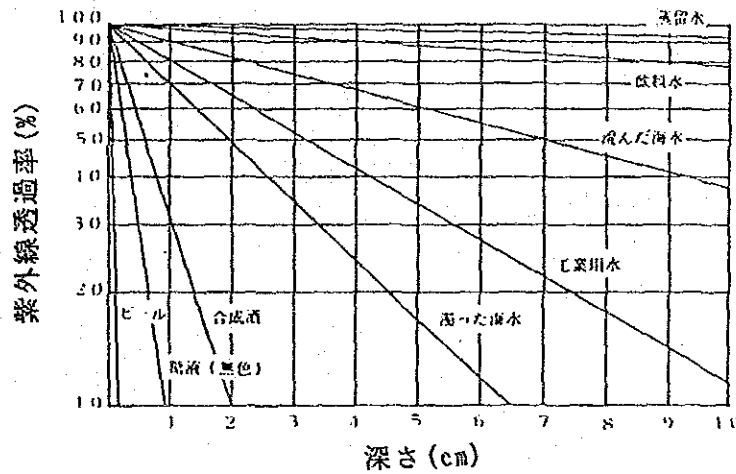


図3.2.10 各種液体の紫外線透過率の例⁹⁹⁾

紫外線透過率と液深との関係は「ランバート-ベールの法則」によって表され、1点での測定によって、任意の深さにおける到達紫外線照射量を予測している。

$$\log_{10} I_0/I = \alpha c l$$

$\alpha c l$; 吸光度 l ; 液深
 α ; 吸光係数 c ; 対象物質の濃度
 I_0/I ; 透過率

純水のように紫外線透過率が100%近い場合は問題とならないが、その他の原水の場合は、予め紫外線透過率を測定した後、処理流量における紫外線照射量の設定をする必要があるとされている。

(5) 殺菌効果の残留性¹⁰⁰⁾

紫外線殺菌は先に記述した通り残留性がない。したがって殺菌後のラインが汚れていると再び菌が混入する恐れがある。二次汚染の起こらないよう殺菌後のラインは常に清浄に保たなければならないが、何よりもまず殺菌装置をユース・ポイントの直前で使用する必要がある。具体的にも紫外線殺菌を利用する場合はこのプロセスを採っている例が多い。

3.2.4 低圧・水銀ランプの諸特性

(1) 殺菌線出力の温度特性

図3.2.6 に示した通り、低圧水銀ランプは水銀が内封され、ランプから放射される紫外線の各波長の出力は水銀の蒸気圧によって変化し、蒸気圧が高いほど長波長側の紫外線の放出される割合が大きくなり、逆に殺菌線(253.7nm)の放射される割合が少なくなる¹⁰¹⁾。

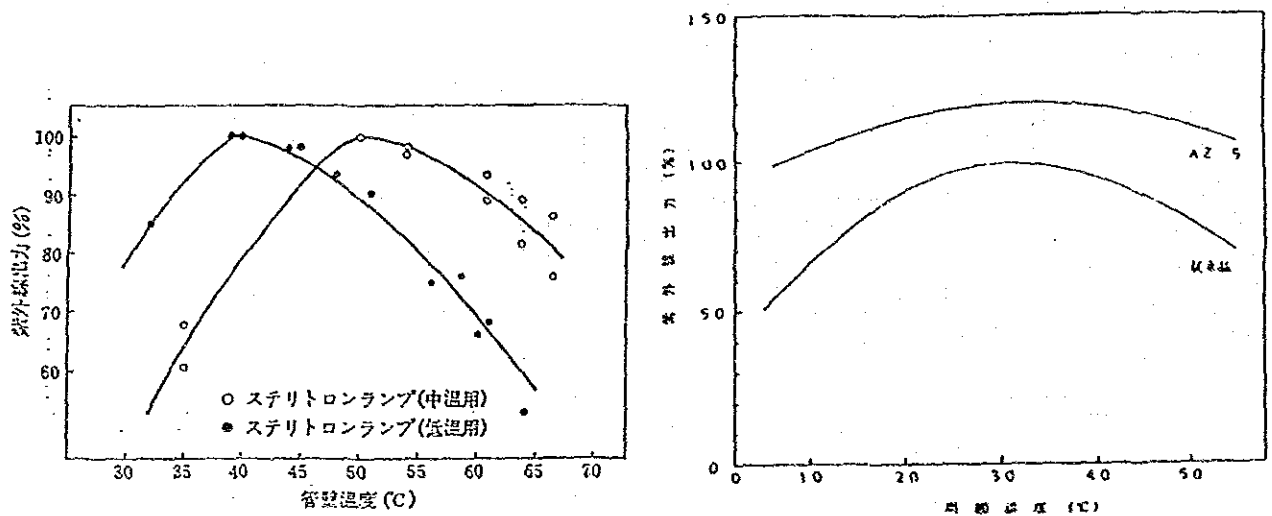


図 3.2.11 ランプの管壁温度と紫外線出力との関係¹⁰²⁾ 図 3.2.12 温度特性曲線¹⁰⁴⁾

図3.2.11¹⁰²⁾ はランプ管壁温度を変化させた場合の紫外線(殺菌線)の出力の変化を示しているが、ランプの水銀蒸気圧はランプの周囲温度、あるいはランプの管壁温度によって著しく変化することがわかる。

一般の低圧水銀ランプはその特性から管壁温度が約40°Cの時に最も効率よく殺菌線を放出する¹⁰³⁾。しかし管内の封入ガスや管の形状を工夫すると、その温度特性を変化しうるとして図3.2.12¹⁰⁴⁾に示すような例が報告されている。さらに同報文は超純水製造プロセスの例を挙げ、超純水製造ライン上の水温が20~25°Cの場合は装置内の低圧・水銀ランプの管壁温度は50°C以上になっており、中温用の殺菌ランプの方が効率が良いと述べている。

別に、紫外線殺菌に関する技術資料を提示している（株）日本フォトサイエンスでは、「温度の変化に伴う水銀蒸気圧の変化を抑えるため、ランプ管内に特殊な合金（アマルガム）を封入して水銀蒸気圧をコントロールし、これによってランプ周囲温度による紫外線出力の変化が極めて少なくすることができた」として図3.2.12を提示している。

(2) 紫外線照度の水温に対する補正

このように低圧水銀ランプは周囲温度によって紫外線出力は変化するため、ランプを液中に内蔵する内照式の場合は処理水温が極めて高いか、あるいは極めて低いときには注意を要し、ランプの周囲温度をコントロールするか、照度の補正を行う必要が求められている¹⁰⁶⁾。

(3) 殺菌装置設計に必要な基本データ¹⁰⁷⁾

紫外線照射量は紫外線照度と照射時間の積で表されることはすでに述べたが、微生物を殺菌するために必要な紫外線照射量が把握されていても具体的な装置でこの値を確保できなければならない。照度分布については使用ランプの配置の仕方、処理水の紫外線透過率などのデータから計算によって設計する。また照射区間で処理水が受ける照射時間、すなわち滞留時間の分布は水力学特性であり、石英外管の配置、流出入口の形状、還流板の有無、レイノルズ数などが影響するので、実際にトレーサーを使用して滞留時間分布を測定し確認する方法を採る。

図3.2.13ではトレーサー注入後の経過時間と流出トレーサーの濃度分布を示し、流れ方の良否を表している。

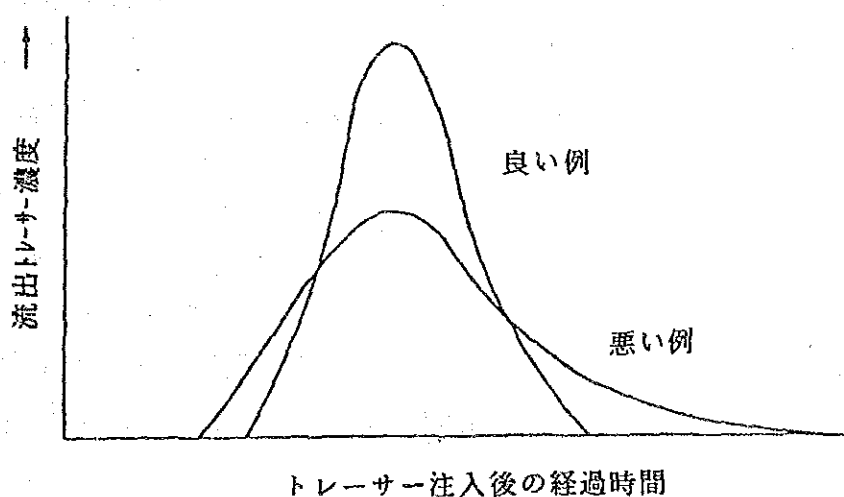


図3.2.13 トレーサー試験による装置内の滞留時間分布の例¹⁰⁷⁾

(4) 低圧水銀ランプの耐用年数¹⁰⁸⁾

低圧水銀ランプも一般の蛍光灯と同様に寿命があり、通常その耐用年数は一年とされている。ランプから放射される紫外線の出力は使用時間に応じて次第に減少していく。これは、ランプ管材の劣化に伴う紫外線透過率の低下と電極物質の蒸気等による管内面の黒化のためであるとされている。また点灯時間に応じて、ランプ切れの頻度も高くなるとし、(株)日本フォトサイエンスでは装置能力の維持のためランプの紫外線照度が初期出力の70% (連続点灯で8,000 ~ 8,500 時間) を交換時間 (寿命) として装置設計を行っていると述べている。

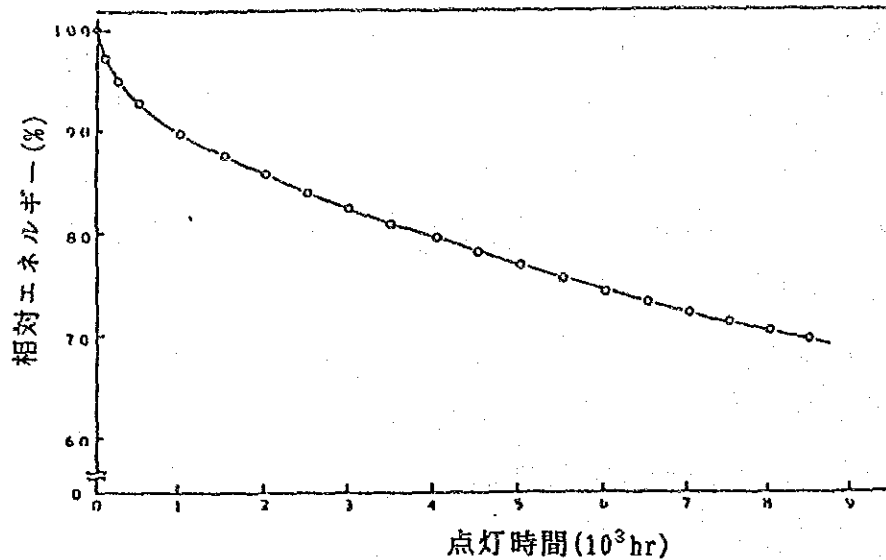


図3.2.14 低圧紫外線ランプの殺菌線出力の減衰曲線の例¹⁰⁸⁾

3.2.5 紫外線殺菌装置の種類と構造¹⁰⁹⁾

紫外線殺菌装置の型式は照射方式から大別して外照式と内照式のタイプに分けられる。前者は処理水の外側から紫外線を照射する方式であり、後者はランプを処理水に浸漬し、その内側から照射する方式である。それらはそれぞれ特徴があり、その目的や用途に応じて使われてきた。

(1) 外照式装置

A. その利点¹¹⁰⁾

- ①処理水の温度や水質による影響を受けにくく、安定した効果が得られる。
- ②ランプが直接処理水と接触していないので、外管の石英ガラスに汚れが付きにくい。
- ③比較的構造がシンプルで、メンテナンスがしやすい。

B. 不利な点¹¹¹⁾

エネルギー効率は内照式に比べて劣る。

C. 具体例¹¹²⁾

- ①フロンファインタイプ：図3.2.15のごとく処理水を紫外線透過性のチューブ（テフロン樹脂製）の中を通し、外から紫外線を照射する。汚水処理におけるメンテナンスを大幅に向上することができる。
- ②トラフタイプ：図3.2.16のごとくトラフに処理水を流しその上にラジエーターを設置して照射する。紫外線透過率の悪い水の殺菌に向いている。中ないし小規模スケール。

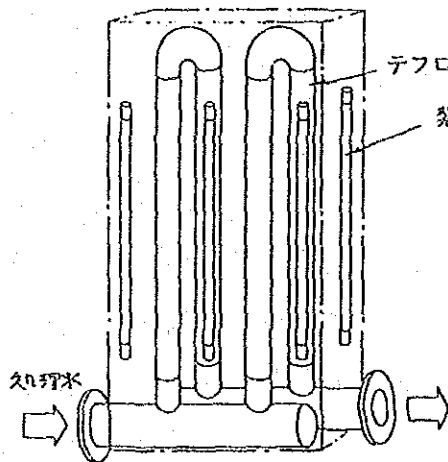


図3.2.15 フロンファインタイプ¹¹²⁾

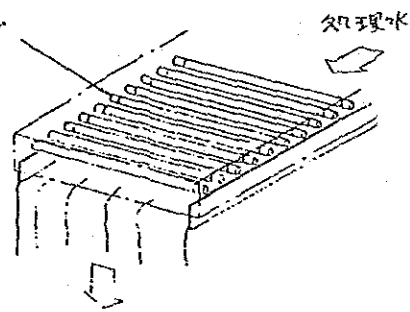


図 3.2.16 トラフタイプ¹¹²⁾

(2) 内照式装置

A. その利点

ランプが内部に設置されているのでエネルギー効率が良い。最も普及している。

B. 不利な点

外照式の利点があるまま逆に内照式ではマイナスとなる。

C. 具体例¹¹³⁾

- ①ステリファインタイプ：図3.2.17のごとく構造上から水圧の高い場所での使用に耐えられ、純水等の高いレベルの水の殺菌に向く。
- ②オープンチャネルタイプ：図3.2.18のごとく重力フローで使用され、ユニットを多数横に並べて大規模処理に使用できる。海水淡水化に紫外線殺菌を用いるとすればこのタイプとなる。

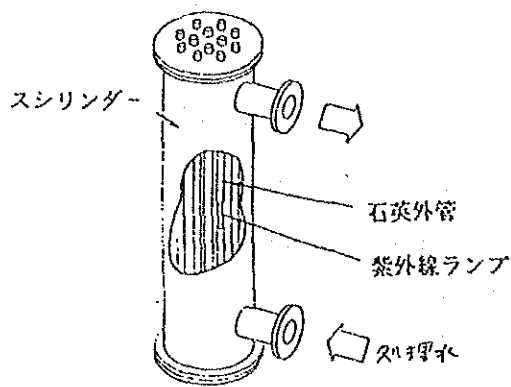


図3.2.17 ステリファインタイプ¹¹³⁾

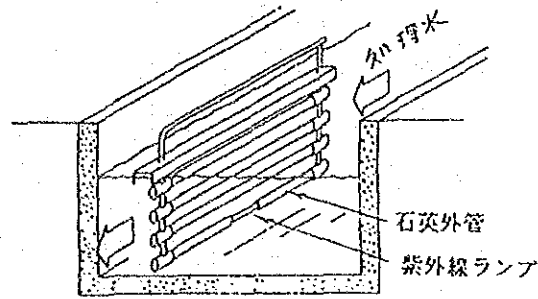


図3.2.18 オープンチャネルタイプ¹¹³⁾

3.2.6 紫外線照射による殺菌コスト

(1) 設備設計の前提と設備費

A. はじめに

紫外線が菌種に対する選択性が少なく、また薬剤処理のように有害物質の生成を引き起こすことなく、水質に二次汚染の問題がほとんどないため、紫外線殺菌法が電子産業、バイオテクノロジーやメディカルエンジニアリングなど最先端産業を始め、幅広い水処理に欠かせない技術となっており、次世代のより優れた殺菌法として注目されていることはすでに述べたが、RO膜法海水淡水化プラントの適用例の情報は少ない。

RO膜法海水淡水化プラント殺菌装置への紫外線の適用を検討するに当たって、その可能性、具体的装置、設備費、運転コスト等の知見をうるためこの分野での技術と商業ベースでの実績を持つ(株)日本フォトサイエンスを調査したが本項はこの調査に基づいてレポートを作成する。

調査メーカーの会社名、所在地

会社名 : (株)日本フォトサイエンス

本社所在地 : 東京都新宿区西早稲田3-17-21 日信ビル

B. 設備設計の前提条件

被処理原水量 : 100,000T/D

造水量 : 30,000T/D

原水の取水 : 砂炉過 (サウジでの設置化を想定)

殺菌の対象菌 : 大腸菌、Vibrio菌クラスを対象とする。消費エネルギーの大き

い植物プランクトン等は含まないものとする。

紫外線照射箇所：RO膜前とする。殺菌のみでなく、ROの効果を上、維持も目的とするため。

運転時間：一日24時間連続

C. 適用設備および設備費

① 適用設備

海水淡水化プラントの殺菌装置として紫外線装置を利用しようとする場合、特に原水の性状を把握する必要があり、新たに海水淡水化用として技術形成する必要があるとして現有の機器、方法についての提案があった。これを基に計算を行った。

100,000T/D(4,167T/hr) 処理設備

基本型式の処理水量：115T/hr/セット

基本型式のランプ本数：32本/セット

基本型式の消費電力：1.92KW/セット

必要セット数：37セット

必要ランプ数：1,184本

設備スケルトン：モジュールを37としオープンチャンネル内に原水を流し、ランプを束として整理、設置する。図3.2.19参照。

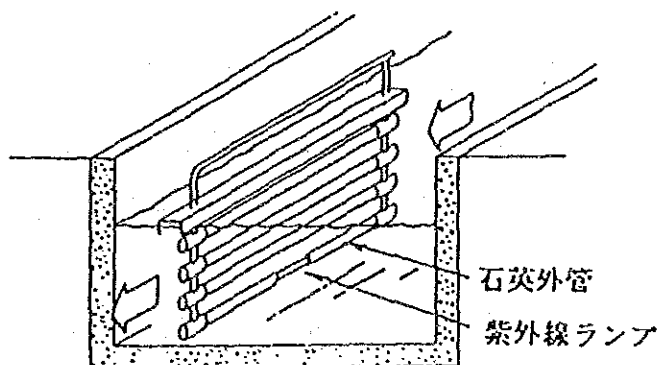


図3.2.19 設備の概念図¹¹³⁾

② 初期投資

- 1) 基本型式 1セット価格：8,500 千円/1セット；日本国内に設置した場合の価格。
パネル等付帯設備を含む。
チャンネル等の工事費は除外。

2) 必要設備初期投資 : 314,500 千円 ; 内訳8,500 千円/セット×37セット
内訳、ランプ費 : 47,360 千円 ; 40千円/本×32本/セット×37セット
取付用及び付帯設備 : 267,140 千円

(2) コスト計算

A. はじめに

塩素殺菌コスト計算と比べ紫外線殺菌コスト計算は元来海水淡水化プラントでの建設の情報が少ないためサウジでの建設費運転費等を推算すると誤る恐れがある。従って日本国内での建設、運転を前提とする。

B. 減価償却費

① 前提

初期投資額のうちランプ費についてはランプの耐用年数が一年であり、消耗品に近いので維持費として計算する。減価償却費はランプの取付用設備、および計装を含めた付帯設備のみを検討の対象とする。処理原水を流すチャンネル、電源、建屋等は検討の対象としない。償却は7年定額とする。

② コスト計算

年間償却費 : 38,163千円/年 ; 内訳、267,140 千円/7年
日当り償却費 : 105 千円/日 ; 造水量30,000T/D
造水1 トン当り減価償却費 : 3.49円/T

C. 設備維持費

① 前提

前述のごとくランプの耐用年数は一年であり、ランプのみ計算対象とする。
ランプは全体取り換えを行うものとする。

② コスト計算

年間維持費 : 47,360千円/年 ; 40千円/1本×1,184 本
日当り維持費 : 130 千円/日 ; 造水量、30,000T/D 当り
造水1 トン当り維持費 : 4.33円/T

D. 電力費

① 前提

提案された機器のカタログの記載値、1.92KW/セットより計算する。電力単価は日本においても産業の種類、規模によって差はあるが17円/KWHと設定する。

② コスト計算

年間電力費 : 10,580千円/年 ; 内訳、
1.92KW/1セット × 37セット × 8,760H/年 × 円/KWH

日当り電力費 : 29千円/日 ; 造水量30,000T/D 当り

造水 1トン当り電力費 : 0.97円/T

注) 電源設備としては71KW(1.92KW/1セット×37セット)で十分であり、償却費は小さい。

E. 労務費

① 前提

ほとんどゼロと考えてよい。海水淡水化プラント全体の中央管理室の監視とプラント全体の保守、点検とに含めて考えてよく、特別に運転のために人を配置する必要はないと述べている。ただし原水の性状によってはランプの保守、点検の必要性があり、ランプの交換時は人手を要するので、1日1時間の点検の労務費を試算しておく。

② コスト計算

年間労務費 : 719 千円/年 ; 労働日数 ; 290 日/年、実働時間 ; 7時間/日
労賃 ; 4 百万円/年ベースとする。

日当り労務費 : 1,970 円/日 ; 造水量30,000T/D 当り

造水 1トン当り労務費 : 0.07円/T

F. 30,000T/D 当りの殺菌費

減価償却費 : 105 千円/D

設備維持費 : 130 千円/D

電力費 : 29 千円/D

労務費 : 1.97千円/D

合計 260 千円/D

G. 単位殺菌費

減価償却費 : 3.49円/T

設備維持費 : 4.33円/T

電力費 : 0.97円/T

労務費 : 0.07円/T

合計 8.86円/T

3.3 硫酸銅による殺菌法

3.3.1 概要

金属自体がバクテリア増殖を抑制する力、言い換えれば殺菌力のあることはずっと以前から知られており、特に重金属塩が外科手術時の傷の消毒に用いられてきたことは注目に値する¹¹⁴⁾。飲料水の殺菌剤として硫酸銅が長く用いられていることもよく知られていることであるが、特に藻類に対して特に効果があることも広く認められていることである¹¹⁵⁾。

(1) 硫酸銅の長所¹¹⁶⁾

固体であり、気体塩素と比べて取扱いに危険がなく、原水に対する処理作業も容易であり、しかも薬効にかなりの接続性があるので殺藻剤として最も広く使用されている。また硫酸銅は沈積汚泥中の有機物の分解を抑制する働きがあり、汚泥の腐敗が起らないといわれている。

(2) 硫酸銅の短所¹¹⁷⁾

効果が現われるまでにかかなりの時間がかかること、銅に強い藻類の繁殖を逆に誘発する恐れがあると報告されている。

(3) RO膜の耐硫酸銅性

RO膜海水淡水化プラントでの殺菌、または殺藻剤として硫酸銅を使用している例は文献情報からみると少なく、具体的な殺菌・殺藻効果のデータ、膜に対する長期の使用運転のデータは明らかでないが、モデル実験についての情報¹¹⁸⁾によれば酢酸セルロース膜に対しては硫酸銅は微生物の増殖を抑制し、膜に対してははっきりした損傷は与えていないことが報告されている。

3.3.2 原理

(1) 硫酸銅(Copper sulfate)の物理的、化学的性質¹¹⁹⁾

化学式	;	Cu_2SO_4
状態	;	無色の粉末、比重：3.606
五水塩	;	空気中から水分を吸収し青色の含水塩($\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)となる。
毒性	;	有毒
対水溶解度	;	0 °C 約14%
		30 °C 約25%
		100 °C 75% 以上

取扱い性状；生物処理には通常防湿紙袋入りの工業規格品を用いる。

(2) 殺菌処理剤としての諸機能

硫酸銅による殺菌、殺藻処理は特に貯水池や湖沼のような止水の藻類の駆除に最も多く用いられており¹²⁰⁾、海水淡水化プラントでは適合がないように見られ易いが、海から取水する場合でも海流から隔離された湾等に面する海水淡水化プラントでは環境が湖沼に類似してくる。この点について、中東地域でのRO膜海水淡水プラント群の前処理工程を総覧している報文¹²¹⁾はサウジアラビアのUmm LujjのROプラントおよびJeddahのROプラントでは原水を紅海(the Red Sea)より得ていることを報した後、海水の汚染と使用しているRO膜のタイプ(芳香族ポリアミド)の二つの点からコスト的にも、生物駆除の点からも、最も有利な塩素を避け、殺藻剤としての硫酸銅を選択していると述べている。

① 生物処理標準注入率¹²²⁾

生物駆除に要する硫酸銅の注入率は生物の種類によって異なるが、この値を表3.3.1に記載する。

② 硫酸銅の殺菌、殺藻力の条件依存性¹²³⁾

実際に殺菌、殺藻処理をする場合は表3.3.1の注入率を基準として、硬度、アルカリ度、有機物水温などを考慮に入れ、止水の場合はさらに日射などの影響をカウントして決定する。硬度、アルカリ度、有機物などは硫酸銅の効力を減殺する方向に働き、水温、日射などは効力を増長させる方へ働く。

水温が15°Cを中心として1°C上昇する毎に、表3.3.1に示した注入率より2.5%を減じてよく、反対に1°C下がる毎に2.5%増やさなければならないとされている。

有機物については濃度が10ppm増す毎に注入率は2%ずつ増す必要があるという意見がある。

アルカリ度についてはその濃度が10ppm増す毎に0.5～5%だけ注入率を増やすべきであるという意見も報告されている。

これらの処方化学的根拠としては硬度やアルカリ度が高い場合は、水中で硫酸銅がアルカリと反応して溶解度の低い水酸化物を作って沈殿するためであり、また有機物が多いと効力が低下するのも同じ理由であるとされている。

③ RO膜の耐硫酸銅性と膜汚染

硫酸銅を生物処理剤、特に殺藻剤として使用する場合、単に被処理体としての藻や、バ

表3.3.1 生物駆除に要する硫酸銅の注入率 (22)

生 物	硫酸銅 (CUSO ₄ · 5H ₂ O) [ppm]
硫黄バクテリア <i>Beggiatoa</i> <i>Thiothrix</i>	0.50
鉄バクテリア <i>Crenothrix</i> <i>Gallionella</i> <i>Sphaerotilus</i>	0.33~0.50 0.40
菌 類 <i>Leptomitus</i> <i>Saprolegnia</i>	0.40 0.18
藍 藻 類 <i>Anabaena</i> <i>Aphanizomenon</i> <i>Oscillatoria</i> <i>Phormidium</i> <i>Polycystis</i>	0.12~0.48 0.12~0.50 0.20~0.50 0.12~0.25
ケイ藻類 <i>Achnanthes</i> <i>Asterionella</i> <i>Attheya</i> <i>Cyclotella</i> <i>Fragilaria</i> <i>Melosira</i> <i>Navicula</i> <i>Nitzschia</i> <i>Rhizosolenia</i> <i>Stephanodiscus</i> <i>Synedra</i> <i>Tabellaria</i>	0.50 0.12~0.20 0.20 0.50 0.25 0.33 0.07 0.50 0.20~0.70 0.25 0.50~1.00 0.12~0.50
緑藻類 <i>Ankistrodesmus</i> <i>Chlamydomonas</i> <i>Closterium</i> <i>Coccomyxa</i> <i>Cosmarium</i> <i>Draparnaldia</i> <i>Eudorina</i> <i>Gloeocystis</i> <i>Hydrodictyon</i> <i>Microspora</i> <i>Palmella</i> <i>Scenedesmus</i> <i>Sphaerocystis</i> <i>Spirogyra</i> <i>Staurastrum</i> <i>Tetraspora</i> <i>Ulothrix</i> <i>Volvox</i> <i>Zygnema</i>	1.00 0.50 0.17 2.00~3.00 10.33 0.00 0.50 0.10 0.40 0.50~1.00 1.00 0.25 0.12~0.20 1.50 0.30 0.20 0.25 0.50
黄藻類 <i>Dinobryon</i> <i>Mallomonas</i> <i>Synura</i> <i>Uroglenopsis</i>	0.25 0.50 0.12~0.25 0.05~0.20
渦鞭藻類 <i>Ceratium</i> <i>Peridinium</i>	0.33 0.50~2.00
甲殻類 <i>Cyclops</i> <i>Daphnia</i>	2.00
貧毛類 <i>Nais</i>	—
昆 虫 類 <i>Chironomus</i>	—

クテリア、その他の微生物のみに注目してその注入量、濃度、添加法を決められないことは前項においてすでに述べているが、さらにRO膜法海水淡水化においては膜自体に硫酸銅が化学的損傷、劣化を与えないか、また原水中の生残微生物との相乗効果による汚染の進行による膜の透過性能低下を帰さないか検証しながら処方を調整しなければならない。これに関して酢酸セルロースを使用した場合の硫酸銅が与える膜の劣化、またバクテリア藻等の微生物の増殖抑制効果を基礎的に検証した文献¹²⁴⁾があるので報告する。

実験は45か月にわたって20種類の異種の薬剤について行われているが、硫酸銅の場合では膜の表面には微生物の増殖は抑制され、また膜の明らかな損傷も認められなかったことを述べているが、これに関する一連のテスト結果を3.3.2に示す。

表3.3.2 硫酸銅による微生物の増殖抑制効果¹²⁴⁾

Storage Solution Conditions	Observed			
	Storage pH time (months)	Membrane constant ($10^{-5} \text{g/cm}^2\text{-atm}$)	Salt rejection (%)	Total plate count (counts/ml)
Distilled Water	0~6.5	0.43	98.2	no data
	26 no data	0.48	97.1	no data
	31~6.7	0.68	98.4	no data
	44~7.2	0.70	97.8	3600
Cupric Sulfate (800ppm)	0~5.1	0.43	98.2	no data
	26 no data	0.45	98.1	no data
	31~5.1	0.59	98.8	no data
	44~5.4	0.68	96.9	0

1) Measured at 800 psi and 25 ± 5 °C

2) Test periods of time up to 45 months

3.3.3 海水淡水化プラントにおける硫酸銅の使用例

(1) 概要

硫酸銅による生物処理は、原水が止水の場合の特に藻類の駆除については広く用いられていることはすでに述べたが、海水淡水化プラントで実際に使用されている例、また試験段階にしても検討している例は少ない。

今回の文献調査の結果、硫酸銅を使用しているプラント例は 2例¹²⁵⁾である。しかしこの 2例のプラントともサウジアラビアの紅海海岸側に位置しており、さらにRO膜として、TFC ポリアミド膜を使用していることは注目を引く。

(2) Umm Lujj RO Plant-Saudi Arabia

プラント位置 ; Yanbu 市北 154km 、紅海海岸

造水設計量 ; 4,400M³/D

全溶存固形分 ; 200mg/l 以下

使用逆浸透膜 ; TFC 1501ポリアミド

設計SDI ; 5以下

塩素量 ; 0

構成工程 ; 塩素処理 (当初) 、凝集、沈降、濾過、脱塩素、RO膜

当初は殺菌、殺藻は塩素で行い、脱塩素して膜に圧入していたが、28日間の運転後、プラントの造水能力および造水水質が低下し始めた。膜分解検討の結果、ハロゲン化合物によって膜が損傷されていることが判明したので、硫酸銅(2.5mg/l)を塩素に替えて殺菌、殺藻剤とした結果、問題の解決をみた。ただし硫酸銅の周辺に与える効果などの情報はな
いとされている。いずれにしろ長期間連続運転した結果としてのコマーシャルベースのプラ
ント情報ではない。

(3) Jeddah 12,000T/D RO Plant-Saudi Arabia

プラント位置 : Jeddah市

操業開始 ; 1979年

造水量 ; 12,000T/D 、飲料水

殺菌・殺藻剤 : CuSO₄ · 5H₂O

この報文¹²⁶⁾は本プラントについての情報を1979年の操業開始当時のレポートから得ているが、その運転状況を示す別の紹介書¹²⁷⁾は殺菌・殺藻剤を塩素とし、RO膜もTFC ポリアミド膜でなくPA-3000 ポリエーテル/アミドの複合膜として紹介している。この紹介書が記載している全体のフローダイアグラムを図3.3.1に示して硫酸銅使用時の状況も含めて説明する。

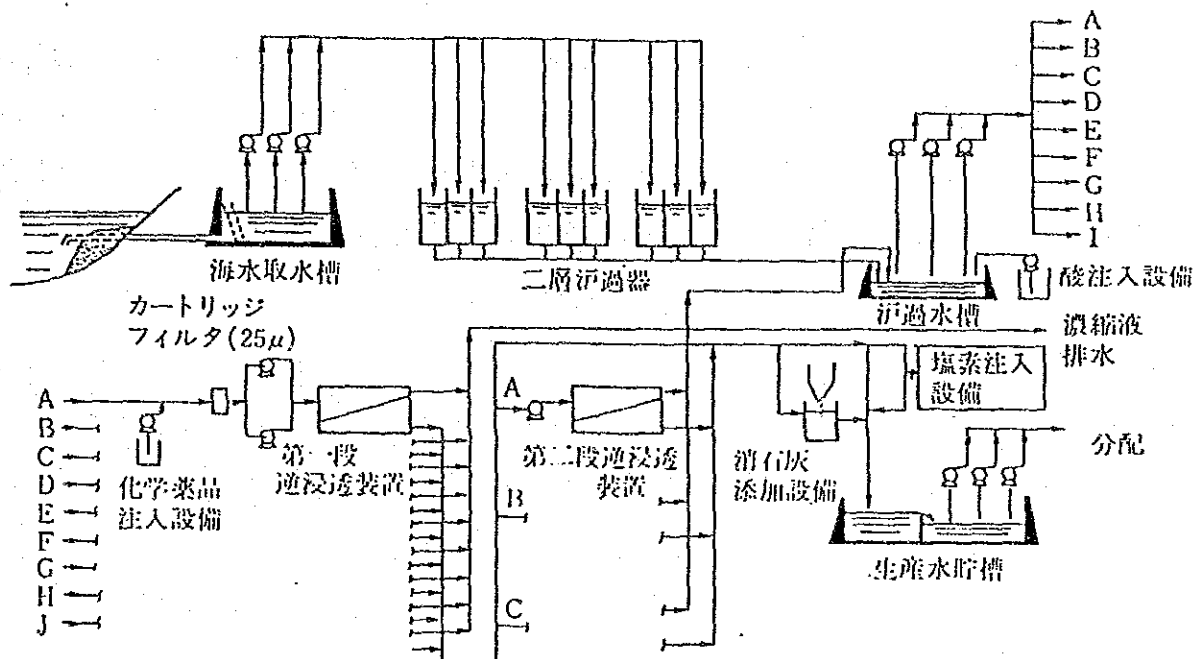


図3.3.1 Jeddahプラントのフローダイアグラム¹²⁷⁾

前処理工程は砂濾過、殺菌処理、重力式濾過より成り立っている。紅海から取水の原水はA点にて殺藻剤、 CuSO_4 1.0mg/l で処理された後、さらに二層濾過器を通過してから濾過水槽に集められる。次に硫酸を注入し、pHを低下させた後、RO設備に送られる。

プラント全体の操作は順調に推移し、120時間の受入テストを成功裡に終わったと報告されている¹²⁶⁾。しかしその後、生物処理は前処理工程では行わずポリエーテル/アミド膜が微生物によっては汚染されないという利点¹²⁸⁾を生かし、そのままRO膜を透過させた後、B点で塩素注入し、生産水貯槽に送られポンプで飲料水として分配される。塩素による損傷を避け、しかも高性能膜使用により生産効率の向上を目指したものと考えられる。

3.3.4 硫酸銅による殺菌コスト

(1) 概要

塩素殺菌剤が標準状態で気体であり、極めて危険な有毒ガスであるのに比べ硫酸銅は有毒ではあるが、固体でありまた水にも溶解するので投入設備についても高度な技術やこれによる高額な投資を必要とするという特別な情報はない。元来硫酸銅による生物処理は湖沼や貯水池等止水の藻類駆除が最適とされており、このための投入設備も船上に設置する等の方法が報告されている¹²⁹⁾。

また硫酸銅を散布する方法として、溶液散布法、粉末散布法、連続散布法などの方法が報告されている。このような方法もSaudi ArabiaのAl-Birk Bay から取水しているような場合¹³⁰⁾ 参考となるかも知れないが、海水淡水化プラントの一般的方法としては適合性はない。

いずれにしても造水コスト全体から見れば、硫酸銅投入設備のコストは極めて小さいものと考えられ、塩素注入設備と比べても小さいとみてよい。したがって、本報告では生物処理に必要な硫酸銅自体の薬品コストのみ試算している。

(2) 薬品コスト

① 前提

生物処理には硫酸銅は通常防湿紙袋入りの工業用規格品を用いる¹³¹⁾。硫酸銅は5水塩の形でトン単位で日本において入手するものとする。

標準注入率は表5.1 に記載しているが、菌、藻によって著しく差があり、対象とする菌または藻が決まらなければ選択できない。

硫酸銅による生物処理を行い、一通りの目標を達した例として、先にSaudi ArabiaにおけるUmm Lujj RO Plant(CuSO_4 (2.5mg/l))、Jeddah RO Plant(CuSO_4 (1.0mg/l)) が挙げられる。これらの値はSaudi Arabiaの紅海から原水を前提にしているので一つの基準となる。安全サイドの値として2.5mg/l を選択する。造水量は30,000T/D とし、被処理原水量は、100,000T/Dとする。

② コスト計算

一日当りの硫酸銅使用量	: 0.25T/D	; 内訳、100,000T/D×2.5ppm
硫酸銅($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)トン当り単価	: 200 千円/T	
一日当りの硫酸銅コスト	: 50千円/日	; 造水30,000T/D 当り
造水トン当り硫酸銅コスト	: 1.7 円/T	; 50千円/30,000T/D

3.4 SBS(Sodium bisulfite) による殺菌法

3.4.1 概要

SBS は強い還元性を示し、このため用いられる分野として還元剤、染料医薬品の合成、染色、漂白から始まり、殺菌剤、脱塩素剤、防腐剤等が挙げられている¹³²⁾。

しかし、今回のRO膜法海水淡水化プラントにおける殺菌処理の調査において、SBS が殺菌剤として使用されているプラント例は一例のみであり、総説書においても¹³³⁾、SBS についての解説、言及はほとんどない。

これに対してSBS を塩素殺菌後の脱塩素剤として使用している例は特に芳香族ポリアミド、ポリエーテル膜製のRO膜を使用している海水淡水化プラントの場合にみられる。

3.4.2 原理

(1) 亜硫酸水素ナトリウム(Sodium bisulfite, SBS)の物理的、化学的性質

化学式	: NaHSO ₃
状態	: 無色単斜晶系晶粉
化学的性質	: 強い還元性を示す
水溶性	: 水に溶解易く酸性を示す

(2) 生物処理剤標準注入率

今回の文献調査範囲では記載例はない。

3.4.3 海水淡水化プラントにおけるSBS の使用例

(1) RAS ABU JARJUR RO PLANT ¹³⁴⁾ ¹³⁵⁾

SBS を殺菌剤として使用しているRO法海水淡水化プラントの事例が、文献調査の段階ではほとんど見受けられない中であって、その造水量からみて海水淡水化プラントとして最大級の規模で、しかもSBS を本格的に検討導入しているのは注目に値しよう。

1) 概要

RAS ABU JARJUR RO PLANT はH₂S を含有する深層地下水を利用しているが、過去 4年間大きな問題はなく操業してきた。しかしながら膜の汚染が次第に形成し始め、運転 2年後操業成績に影響し始めた。これについては注入剤SHMP(Sodium hexa-meta phosphate)タンクが生物相互作用の主原因であることが判明した。SHMPは濃度、温度、時間、pHによってOrtho phosphate に転化する。またこのフリーのPhosphate は生物体にとって栄養源であ

ることはよく知られたことであり、SHMPに対するフリーのPhosphateの検討が行われた。しかしながらこのプラントの原水にはH₂Sが含まれているため、微量でも塩素の使用は避けなければならない、したがってSHMPタンクおよび注入管系統の殺菌剤としてSBSが検討の対象とされた。

その結果、フリーのPhosphateへの転化を最低限に抑え、しかも液の殺菌効果が得られるSHMPタンクへのSBSの最適注入濃度があることが判明したと報告している。

2) プラントデザイン

① プラントの仕様

名称 : The Ras Abu Jarjur RO Desalination Plant of the Ministry of Works
Power and Water

場所 : State of Bahrain

造水量 : 46,000m³/D

水質 : 飲料水

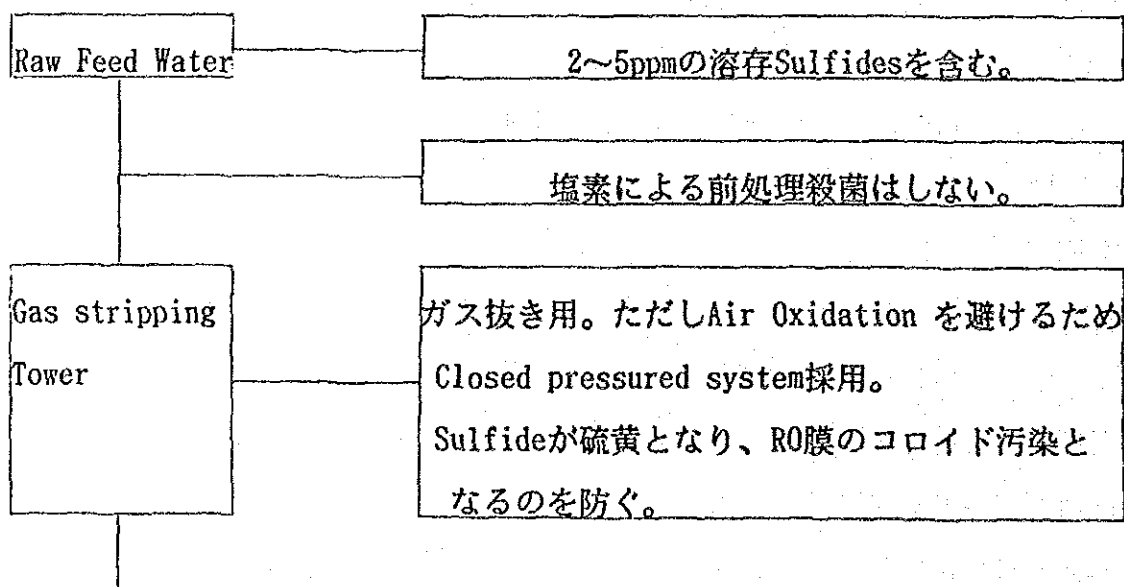
操業開始 : 1984年11月

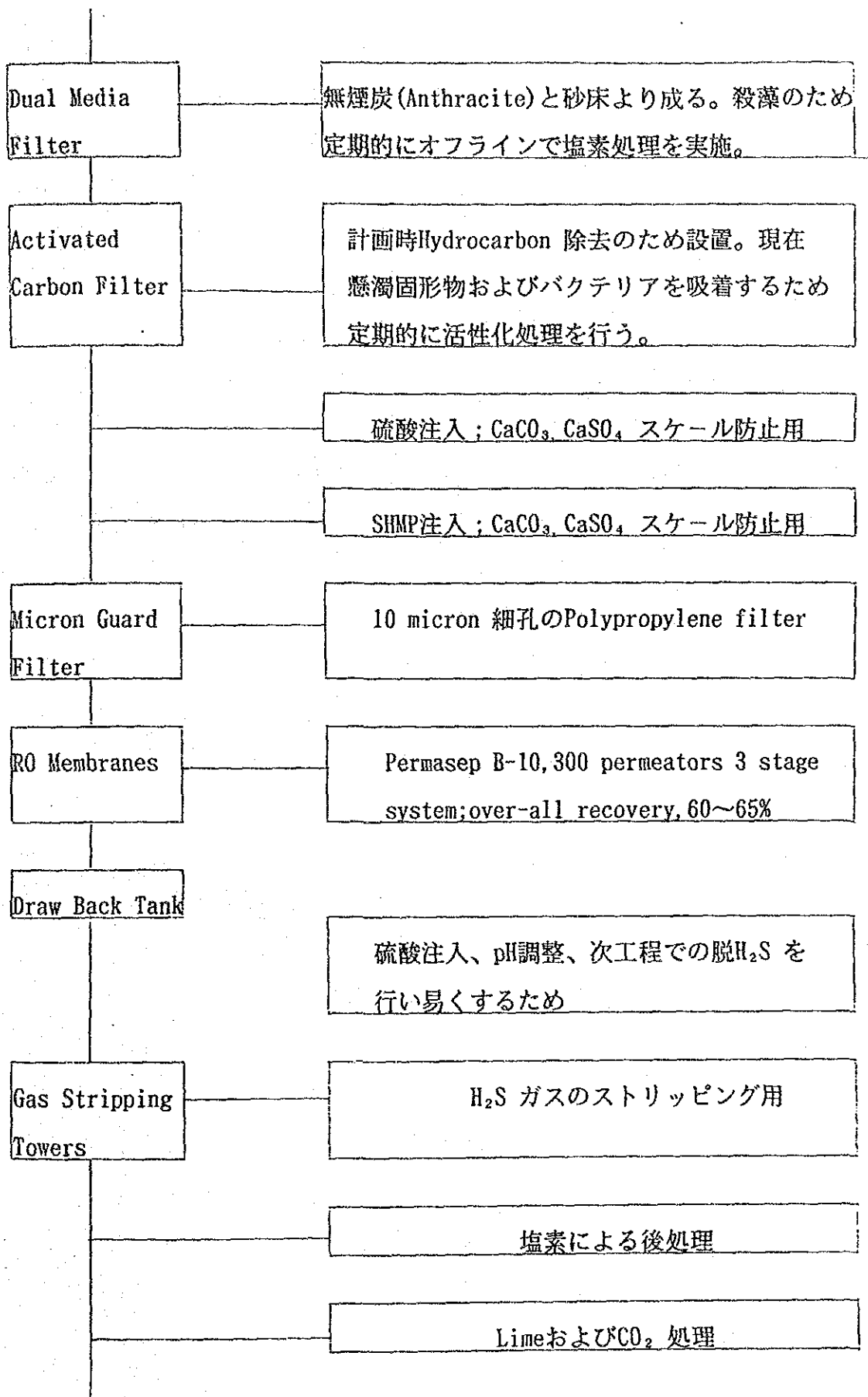
原水 : 15個の深井戸水より採取、高度の塩水
(Total Dissolved Solid, TDS 12000mg/l¹³⁵⁾)

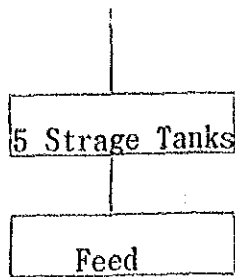
RO膜 : "Permasep" B-10 684D Permeator (8")¹³⁶⁾ (芳香族ポリアミド膜)

② プラントプロセス

プラントのフロー・ダイアグラムが本報文には記載されていないので、プラントのプロセスを整理して記載しておく。







3) 生物汚染

生物汚染の始まりは濁度計内の H_2S の臭いであった。次いでDual media filterに藻の積層膜が現われ、ついにMicron guard filterまで藻が出始めた。プラント全体の配管がGRPで日光を通し易く、このため藻種の光合成活動をし易くしていることも分かり、ペイント塗装する他、D.M. Filterの定期的オフラインの塩素処理を行った。この間の主要な殺菌処理を整理すると次のように要約できる。しかもこの最初の2年間は大きな問題はなかった。

- a. D.M. Filterの定期的塩素殺菌処理
- b. 活性炭Filterの定期的活性化
- c. Micron guard filterの定期的殺菌処理
- d. RO膜に対してSBSによる衝撃的殺菌処理
- e. RO膜をSBSで定期的殺菌処理
- f. SHMP槽の定期的殺菌処理(週1回塩素水溶液を使用する)

以上のようにオンラインでは、RO膜に対してSBSによる間欠的な衝撃的処理が殺菌、殺藻処理であった。

しかるに1986年11月から1987年1月にかけてRO装置が造水量の低下、脱差圧の上昇、通過塩の増加の現象が出始めた。RO膜の洗浄、膜数の追加等、アクションをとったが、当初はよくてもすぐ生産低下し、安定しなかった。これらの第一RO膜装置の兆候はいつでも生物汚染に関係するものであり、生物汚染の発生源は次のように分類されるとしている。

- a. 井戸水から入る硫酸塩還元性バクテリア(SRB, sulfate reducing bacteria)と嫌気性バクテリア(anaerobic bacteria)
- b. GRPパイプを通った光で刺激された藻類増殖
- c. RO膜中に棲みついて除去できないバクテリア
- d. SHMPタンク中の好気性(Aerobic)バクテリア
- e. 既に棲みついていてバクテリアに栄養を供給するフリーの PO_4

4) 汚染物の特定

① 硫酸塩還元性バクテリア(SRB)

本原水のバクテリア種は、生き残るためには栄養となるものは何でも利用してしまう傾向があり、酸素を絶たれると SO_4 根のごとき酸素リッチな物質をすぐエネルギー源にしてしまう。SRBは嫌気性のバクテリアで、栄養源として硫酸塩(Sulfate)を利用し、亜硫酸塩(Sulfate)へと還元し、特徴的な腐卵臭を出すに至る。

この原水を培養テストした、結果1-10 cols/mlの数のSRBに対しても原水がpositiveであることがわかった。

② 光浸入による藻の成長

プラント全体のパイプがGRP材であり材質は通常光を充分通過させることがわかった。プラント中の水も栄養が充分であり、収集パイプ、D.M. Filter bedの他、GRPが用いられている他の場所にも大量の藻の増殖が認められた。これはバクテリアと共にFilterを閉塞してしまう。

③ RO膜に巣うバクテリア

種々の検討の結果、0.5wt.%SBS溶液に72時間浸漬、ついで10時間Aviel浸漬、さらにPT-B(0.5wt.%)による循環流処理がRO装置を安定化するのに役立つ処置であることがわかった。

5) SHMPにより増殖する好気性バクテリア

この報文はSHMPは栄養源とする好気性バクテリアがパイプ、フィルター類、RO膜等の汚染、ひいてはプラント操業成績に大きな影響を与えているとして、その解析とSBS殺菌処理による効果を試験研究とプラント・テストの両面から検討を行い、その結果について詳しく報告している。

SHMPはSulfateのスケール防止のため、7mg/lの濃度でCarbon filterの後で添加される。その調製はライン用1基、スタンバイ用1基のタンクで行われ共通のGRPおよびPVCのパイプで供給される。操業早々の段階からすでにバクテリア数はTNTC(Too numerous to count)の状態であったので、週一度の割合でSHMPタンクの塩素処理をしている。

しかしSHMPはそのpH、時間、温度、濃度に従って加水分解し、Ortho phosphateに変ることはよく知られ、これが好気性バクテリアの栄養となっていたのである。その結果バクテリアはSHMPの添加配管系ばかりでなく、M.G. filterひいてはRO膜まで汚染が進んだ。

ただ H_2S が原水に含まれているので塩素をオンラインでSHMPに用いることはできなかつ

た。これは塩素が H_2S と反応してコロイド状の硫黄を作り出し、これが修正のきかぬ膜の閉塞を引き起こすためである。コロイド状の硫黄による汚れは通常の化学的洗浄処理のうちでは最も復元が難しい汚れの一つであるといわれている。

6) 現行プラントへのSBS の適用

① SHMPタンク中のTBS

実験室的データに基づいて、0.25% 濃度のSBS が日毎SHMP調整タンクに加えられた。図3.4.1 はSBS を添加する前と添加した後のTBC 水準を調べた結果を示している。TBC 値の傾向ははっきりと好気性バクテリアがSHMPタンク内ではゼロ値に抑制されていることが判かる。

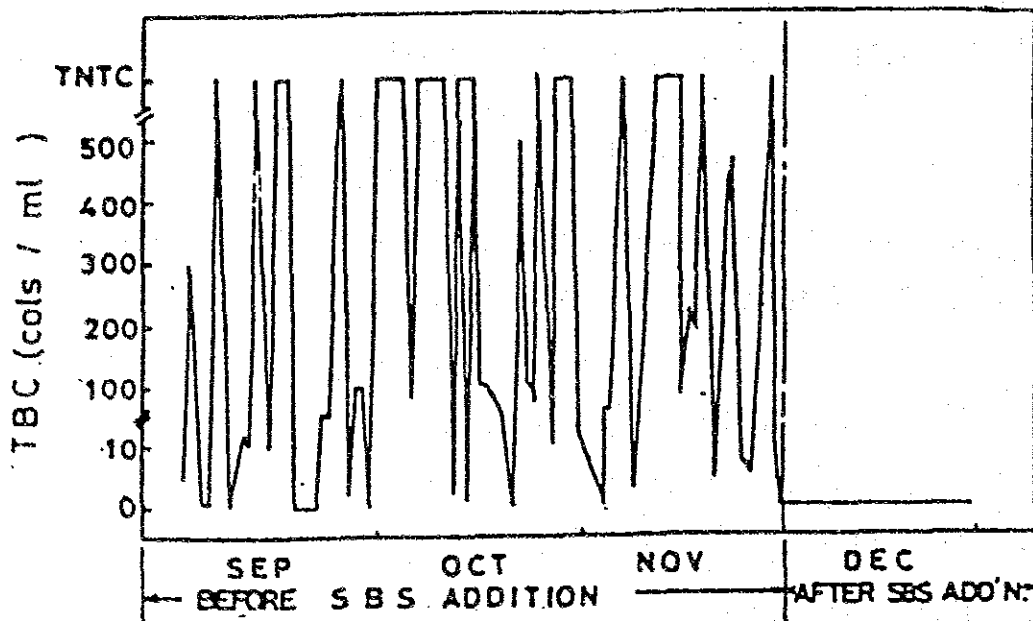


図 3.4.1 SHMPタンクのTBCレベル¹³⁴⁾

② MGF の運転成績性

Micron Guard Filter (MGF) の運転成績性をチェックした結果を表3.4.1 と図3.4.2 に示す。7基のMGF は並列運転のため、MGF 前後の差圧は同じように見える。しかしMGF の閉塞のため通常は図3.4.2 に示すようなはっきりした流量のパターンに落ち込むようになる。14日の使用期間後、MGF を通る水量は $325m^3/hr$ まで低下するが、SBS を添加した後は $408m^3/hr$ の値を維持している。SDI の値の相異も使用期間の最終の改善されたことを示している。すなわち当初のSDI は0.45の値で同じである一方、最終的にはSBS なしでは1.27、SBS 使用した場合0.85となる。

表3.4.1 ミクロン・ガード・フィルターの平均的性能

	フィルター使用期間	通過水量 (m ³ /h)		SDI	フィルター洗浄時間
	(日)	(当初)	(最終)	(-)	(時間)
SBS 添加なし	14	436	325	1.27	13.0
SBS 添加	14	435	408	0.85	3.0

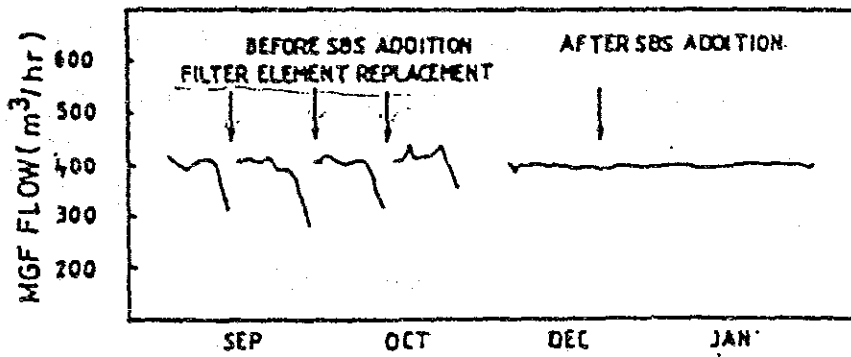


図3.4.2 典型的なミクロンガードフィルターフロー

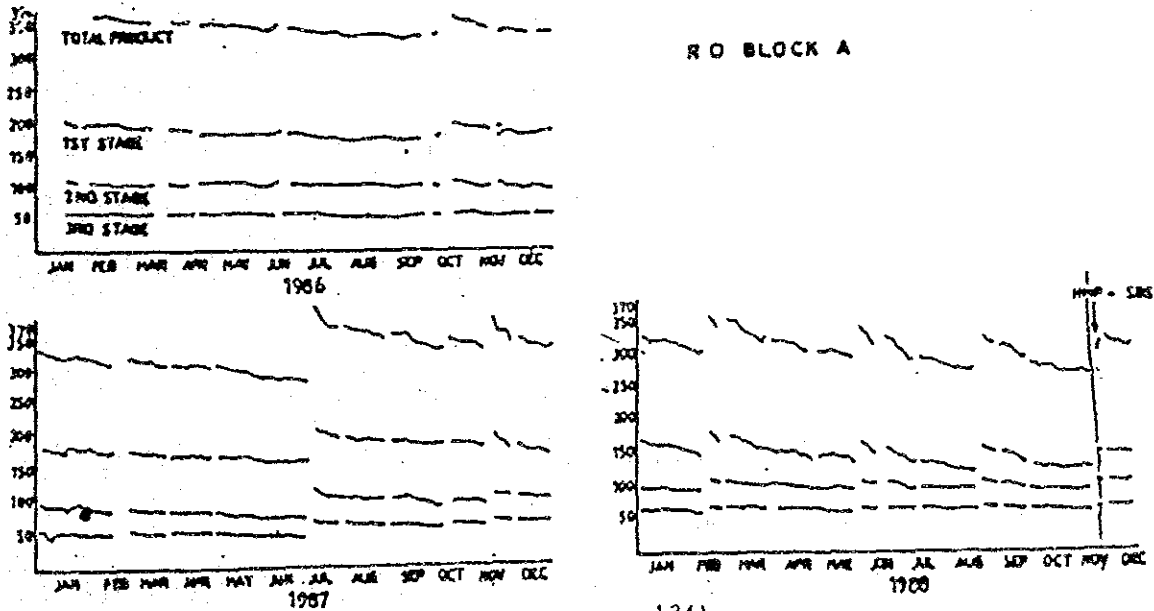


図3.4.3 RO性能動向

③ RO膜の運転成績

図3.4.3はRO Black Aの代表的な造水量変化の傾向を示す。1985年までは生物汚染は起きていないが、1987年には発生し始めている。1988年には確かに問題となってきた。この期間は洗浄の強化やSBS浸漬のための休転などで造水量を回復、増大する処置が採られた。図3.4.3に示しているように、SBSをSHMPタンクに添加するようになった以後、収集水量低下の傾向は正常になった。

(2) SBS殺菌に関するその他の文献

1) SBSの間欠高濃度添加(Shock法)

SBS殺菌法として間欠的な高濃度添加がコマシャル・ベースでのRO法海水淡水化プラントにおいて実際に用いられていることは前項で述べた通りであるが、このRas Abu Jarjur RO Desalination Plantが1984年11月に操業開始する以前に(財)造水促進センター茅ヶ崎臨海研究施設では、この間欠的高濃度添加法(Shock法)の効果について研究され、プラントの運転結果からみても効果のあることが確認されており、すでに国定等によって1983年に報告されている¹³⁷⁾

2) SBSの殺菌剤としての限界

しかしながらSBSが殺菌剤としての効果を認めながら、その限界があるという事実に言及している報文として日本公開特許、昭62-110705¹³⁸⁾がある。

酢酸セルロース膜以外の芳香族ポリアミド、芳香族ポリエーテル膜が酸化性の強い残留塩素はもとより溶存酸素によって酸化劣化するため、これらの膜を使用しているRO海水淡水化プラントではSBSの添加、および脱気工程を前処理工程として取り入れていることは既に述べたが、上記公開特許は、このような脱酸素状態の例として被処理液中の溶存酸素濃度が2ppm以下の場合、被処理液中に硫化水素が存在するか、または経時的に発生する場合の多いことが知られており、被処理液中に硫化水素が存在する場合には殺菌剤の選定を誤ると微生物対策の効果を示さないどころか、逆に膜面汚染を加速する結果になると述べている。

一般に被処理液中に硫化水素が存在する場合の影響として

- a. 水中の溶存酸素によって硫化水素が酸化され、コロイド状の単体硫黄となって析出しファウリングの原因となる。
- b. 水中の金属イオン(特に鉄、銅)と反応し、不溶性の金属硫化物を生成しファウリングの原因となる。

上記公開特許が提起している内容としては、溶存酸素濃度が2ppm以下という脱酸素状態の被処理液については、硫化水素の発生を考慮して非酸化性であり、かつ重金属イオンを含まない殺菌剤を用いるのが望ましいこと。また硫化水素の発生を防ぐために、硫酸還元菌（この菌については Ras Abu Jarjur RO Desalination Plantにおいても原水中に生息する anaerobic bacteria として、その存在が言及されている）のごとき硫化水素生成菌に対して殺菌効果の大きい殺菌剤が望ましいこと。このような殺菌剤としては経済的な点、環境への影響を考慮に入れると、被処理液に対してSBS が500 ~ 1000ppm の濃度となるよう間欠的に添加する方法が用いられているとして、SBS の殺菌効果を紹介している。

しかし、さらに同公開特許はSBS 自体、硫化水素生成菌に対して殺菌効果がなく、硫化水素の発生防止という観点からより殺菌力のある殺菌剤が望まれるとして第4級アンモニウム塩を用いることを提案している。

以上の観点からみて、Ras Abu Jarjur RO Desalination PlantでのSBS による殺菌処理が原水の性状との関連からみて、最終的処理方法であると結論づけることにはなお検討が必要とみられる。

3.4.4 SBS による殺菌コスト

SBS 殺菌法の採用例は今回の文献調査では数少なく、さらに各菌、各藻に対する標準注入量に関する文献も収集できなかった。また工業プラントにおいてもショック処理の際のSBS 濃度の記載例はあるものの、造水量トン当りの必要SBS 量の明確な記載はなかった。SBS 必要量を硫酸銅と同程度(2~3ppm) と推定すると、SBS の単価も200 千円/T(1,539\$/T)と硫酸銅とほぼ同価格であることから、硫酸銅による殺菌コストと同等と見なしてよいと思われる。

3.5 現行殺菌法の技術的課題と今後の展開

3.5.1 各国のRO法海水淡水化プラントにおける殺菌法のまとめ

今回の文献調査およびRO法プラント機器メーカーから聴取した情報を基に各国のRO法海水淡水化プラントにおける原水の殺菌法を下記の表にまとめた。

日本のプラントは全て塩素による殺菌法が採用されており、RO膜が酢酸セルロース(CA)の場合は塩素殺菌後の脱塩素処理は不要であるがCA膜以外の場合はSBS(Sodium bisulfite, NaHSO_3)等による脱塩素化を実施している。米国におけるプラントの場合も同様の考え方である。

中東地域でもほぼこれと同じ技術的思想であるが、僅かな例として硫酸銅法、SBS法を殺菌剤として採用しているプラントも見受けられる。これは原水の性状によるものであろう。(原水中に H_2S などの硫化物が存在する場合は塩素法は採用できない)

表3.5.1 各国のRO法海水淡水化プラントにおける殺菌法

プラント名	場所	造水能力 m^3/D	メムロン 商品	膜素材	殺菌剤	脱塩素剤
Yuma Desalination Plant	Arizona (U. S. A)	273,000	(1)Signal (2)Hydronautics	CA	Cl_2	Not used
Dona RO Plant (DROP)	Kuwait	3,000	UOP-PA 1501	PA	Cl_2	NaHSO_3
			UOP-PA 8600		Cl_2	NaHSO_3
			DuPont B-10		Cl_2	NaHSO_4
			DuPont B-9		Cl_2	NaHSO_4
			Enroscheicher		Cl_2	NaHSO_4
Hydronautics 8040 B	Cl_2	NaHSO_4				

表 3.5.1 各国のRO法海水淡水化プラントにおける殺菌法（つづき）

プラント名	場所	造水能力 m ³ /D	メブロン 商品	膜素材	殺菌剤	脱塩素剤
RA'S Abu Jarjur	Bahrain	46,000	DuPont B-10	PA	NaHSO ₃	Not used
Al-Birk	Saudi Arabia	2,275	DuPont B-10	PA	Cl ₂ +NaOCl	
Umm Lujj	Saudi Arabia	4,400	UOP-TFC-1501	PA	Cl ₂ shock treatment、 後にCuSO ₄ へ	Na ₂ S ₂ O ₃
Jeddah①	Saudi Arabia	12,000	UOP-TFC	PA	CuSO ₄	—
RA'S AL-Khafji	Saudi Arabia	40	UOP-TFC -LOGA 6085 -LOGA 4160	PA CA CA	NaOCl	—
Culebra	Puerto Rico	575	DuPont B-10	PA	Cl ₂	NaHSO ₃
Grand Cayman Island	British West Indians	400	DuPont B-10	PA	Not used	—
Malta	Malta	20,000	DuPont B-10	PA	Not used	—

表 3.5.1 各国のRO法海水淡水化プラントにおける殺菌法（つづき）

プラント名	場所	造水能力 m ³ /D	メム商品	膜素材	殺菌剤	脱塩素剤
Balbuku	Saudi Arabia	60,000	DuPont B-10	PA	SBS Cl ₂ 後処理	
Buwayb	Saudi Arabia	45,000		CA	Cl ₂	—
Jeddah② (操業中)	Saudi Arabia	56,800	TOYOBO- HOLLOSEP	CA	NaOCl	NaHSO ₃
Jeddah③ (製作中)	Saudi Arabia	56,800	TOYOBO- HOLLOSEP	CA	NaOCl	NaHSO ₃
造水促進センター 茅ヶ崎研究所	日本	800	(1) 東レ PEC-10	PE	Cl ₂	NaHSO ₃
			(2) 東洋紡 HOLLOSEP	CA	Cl ₂	なし
鹿島工業用水	日本	13,400	(1) ROGA	CA	Cl ₂	なし
			(2) 東レ	CA	Cl ₂	なし
福島町浄水場	日本	730	—	CA	Cl ₂	なし
渡名喜村 簡易水道	日本	240	—	PS	NaOCl	あり

表 3.5.1 各国のRO法海水淡水化プラントにおける殺菌法（つづき）

プラント名	場所	造水能力 m ³ /D	メムブ商品	膜素材	殺菌剤	脱塩素剤
北大東村簡易水道	日本	240	東レ PEC-1000	PE	NaOCl	NaHSO ₃
伯方島海水淡水化プラント	日本	300	—	PA	NaOCl	NaHSO ₃
長崎村ノ村 三菱RO法プラント (建設中)	日本	1,000	—	CA	NaOCl	Not used

膜素材；CA(Cellulose Acetate), PA(Polyamide), PE(Polyether), PS(Polysulfone)

3.5.2 現行殺菌法の技術的課題

(1) 塩素法の問題点

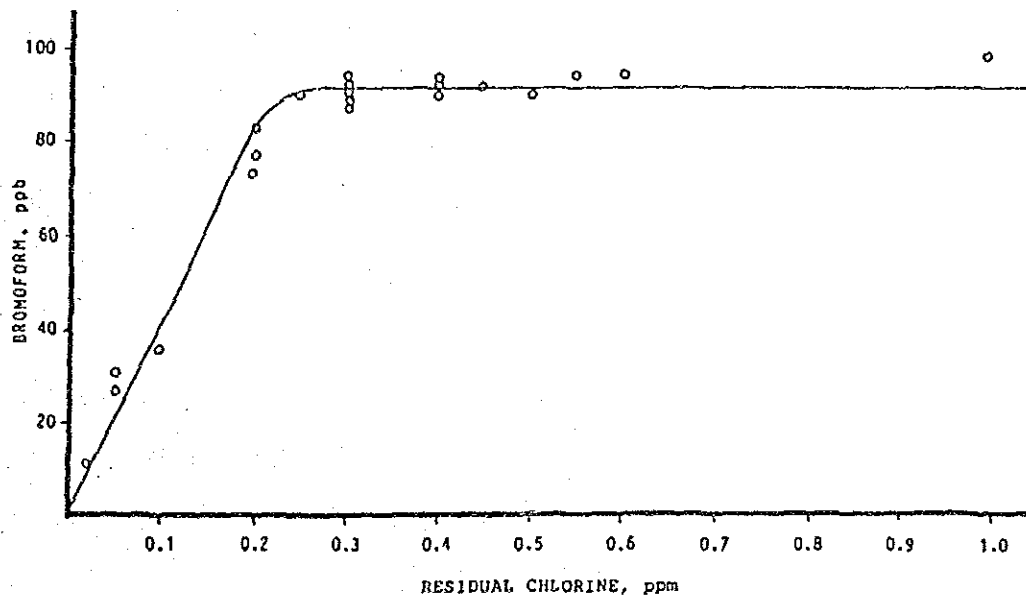


図3.5.1 塩素化によるプロモホルムの生成

塩素殺菌法の大きな問題点は、海水を塩素殺菌する際にトリハロメタンが生成すること

である¹³⁹⁾。同文献によれば、アラビア湾岸の海水の塩素殺菌において、特に油汚染された海水を塩素殺菌する場合、ブロモホルム (bromoform) やジブロモクロロメタン (di-bromochloromethane)、ジクロロブロモメタン (di-chlorobromomethane) のような臭素成分の多いトリハロメタンが生成し、塩素濃度と共にトリハロメタンの生成量も増加すると述べている。

さらに生成したトリハロメタンのRO膜 (いずれもDu Pont 製) による阻止率について言及した文献が発表され¹⁴⁰⁾、それによると酢酸セルロース (CA) 膜による阻止率が最も少なく次いで芳香族ポリアミド (PA) 膜、先端複合 (AC) 膜の順となっている。AC膜が最も高い阻止率を示すが、それでもクロロホルムに対しては僅か38% の阻止率しか示さない。(図3.5.2)

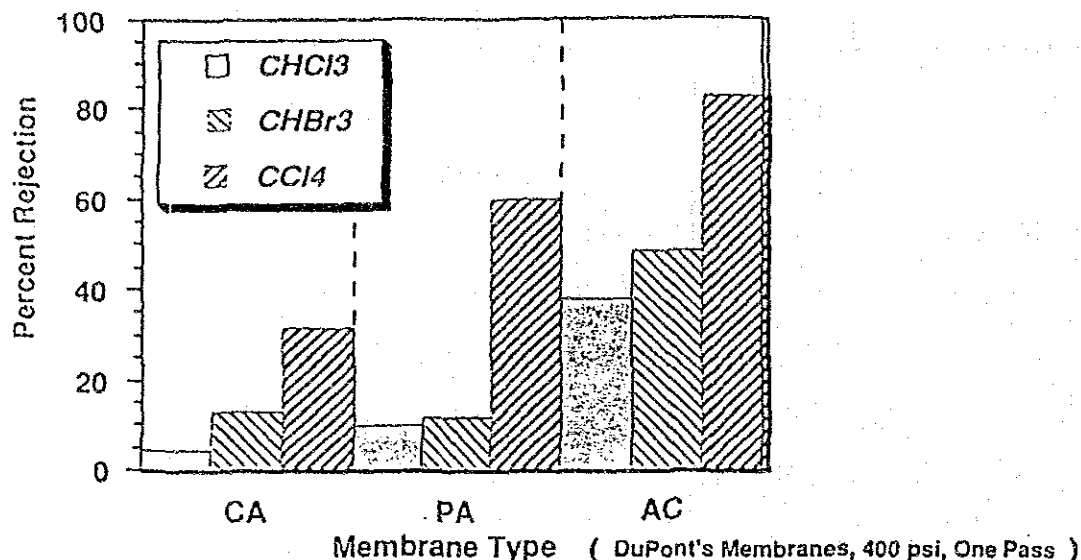


図3.5.2 CA, PA, AC膜におけるトリハロメタン阻止率¹⁴⁰⁾

通常、酢酸セルロース膜を用いたRO法海水淡水化における殺菌処理は、ほとんどが塩素法であるが、生成したトリハロメタンの阻止率が低い酢酸セルロース膜との組み合わせに対しては今後厳しい問題点が指摘される可能性もあろう。

(2) 塩素殺菌/脱塩素法の問題点

ポリエーテル膜やポリアミド膜を用いたRO法海水淡水化原水の殺菌法としては、これらの膜素材が塩素によって劣化を起しやすいことから、原水を塩素殺菌した後RO膜工程に入れる前段階でSBS (Sodium bisulfite) 等による脱塩素処理が不可欠となっている。しかし塩素殺菌処理を行ってもバクテリアがすべて死滅するわけではなく、生存している僅かのバクテリアが脱塩素後に後増殖 (aftergrowth) を起し、やがては生物汚染となる¹⁴¹⁾。同文献はバクテリアの後増殖は温度やpHにも依存し、特に温度が25~35°Cといった高温になるとバクテリアの後増殖が激しく起り、従って生物汚染も速くなると述べている。

塩素がフミン酸類を分解させることはよく知られており、同文献はバクテリアの後増殖や生物汚染も塩素によるフミン酸類の分解と関係が深いとしてその温度やpHの影響を検討している。

表3.5.2 塩素によるフミン酸分解に与えるpH及び温度の効果

pH	Temp. (°C)	% Degradation				
		1 Min.	5 Min.	10 Min.	15 Min.	30 Min.
8.0	35	41.9	54.6	60.2	65.7	72.2
	25	7.2	19.2	27.0	32.9	47.9
	18	9.3	18.5	27.7	31.3	37.8
7.0	35	40.1	52.3	61.8	64.3	69.7
	25	10.2	18.5	27.0	31.6	42.4
	18	7.1	16.7	22.3	25.4	28.7
6.0	35	13.7	23.6	31.0	36.2	40.7
	25	1.1	7.6	14.2	19.0	22.8
	18	0.5	10.3	17.2	19.8	24.0

^aHumic acid 2.5 mg/L; HOCl 5.0 mg/L.

3.5.3 新規殺菌法の提案（特にクロラミンによる殺菌法）

(1) 先に紹介した文献¹⁴¹⁾でL. E. Applegate (Du Pont)らは、クロラミンが塩素に替る優れた殺菌剤になる得ることを提案しており、クロラミンの長所を次のように述べている。

- ①クロラミンはフミン酸を分解しない。
- ②クロラミン処理中にバクテリアの後増殖が見られない。
- ③クロラミンはアラミド膜との親和性があるが、悪影響を及ぼさない。
- ④クロラミンは一応の殺菌力を有する。

上記のクロラミンの長所を支持するデータの2~3の例を挙げる。表3.5.3はフミン酸の分解に及ぼすNH₄Cl/HOCl比（クロラミンの比率と見なしうる）、pHの影響を調べたデータである。

NH₄Clの比率が高くなるに従って、即ちクロラミンの比率が多いほどフミン酸の分解が抑制されることを示している。

表3.5.4はバクテリアの後増殖の結果を示す。

表3.5.4からわかるように、塩素処理(F₂, F₄)の場合はバクテリアの後増殖が起りやすいのに対し、クロラミン処理(F₃, F₅)の場合は起りにくく、温度が35°Cという高温ではバクテリアの後増殖が認められるが、それでも塩素処理の場合に比べると格段に少ない。

表 3.5.3 クロラミンによるフミン酸の分解

141)

pH	NH ₄ Cl (mg/L)	NH ₄ Cl:HOC1 Ratio ^b	% Degradation				
			1 Min.	5 Min.	10 Min.	15 Min.	30 Min.
8.0	10.0	2:1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	5.0	1:1	7.5	12.9	14.8	16.6	20.1
	2.5	0.5:1	20.3	26.6	29.9	31.3	34.4
	1.0	0.2:1	33.3	39.6	42.9	46.3	47.1
	0.0	0:1	41.9	54.6	60.2	65.7	72.2
7.0	10.0	2:1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	5.0	1:1	2.4	4.7	7.3	9.5	14.2
	2.5	0.5:1	4.0	10.6	13.3	18.0	18.8
	1.0	0.2:1	33.3	38.7	41.1	46.2	51.9
	0.0	0:1	40.1	52.3	61.8	64.3	69.7
6.5	15.0	3:1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	10.0	2:1	3.5	6.5	12.5	15.0	17.2
	5.0	1:1	6.8	9.6	15.3	19.2	23.7
	2.5	0.5:1	19.2	26.8	34.8	41.8	46.2
	1.0	0.2:1	22.8	31.6	37.5	40.2	46.2
	0.0	0:1	21.2	33.3	39.4	42.4	48.3

^aHumic acid 2.5 mg/L; HOC1 5.0 mg/L; 35°C.
^bWeight ratio.

表 3.5.4 クロラミン及び塩素処理のバクテリア後増殖

141)

pH	Temp. (°C)	Media ^b	CFU (X 10 ¹)/ml After 24 Hours ^a			
			F2	F3	F4	F5
6.1	15	TSBA	<1	<1	11	<1
		MA	2	<1	3	<1
5.3	25	TSBA	<1	<1	<1	1
		MA	<1	<1	<1	<1
5.7	35	TSBA	190	<1	<1	<1
		MA	220	<1	1	<1
7.3	15	TSBA	600	70	41	7
		MA	3,000	75	3,100	550
7.1	27	TSBA	16,000	<1	280,000	<1
		MA	3,100,000	<1	2,300,000	<1
6.7	35	TSBA	930,000	60,000	210,000	<1
		MA	500,000	1,700	210,000	<1
8.2	15	TSBA	25	<1	74	62
		MA	540	7	45	30
7.6	25	TSBA	100,000	<1	140,000	<1
		MA	420,000	<1	650,000	<1
7.6	35	TSBA	50,000	460,000	950,000	610,000
		MA	60,000	510,000	1,300,000	580,000

^aLimit of Detection 1 X 10¹ CFU/mL.
^bTSBA (Trypticase^R Soy Broth Agar); MA (Marine Agar 2216).

Flask 1 (F1) - Cells Only (Control)

Flask 2 (F2) - Cells + HOCl (5 mg/L)

Flask 3 (F3) - Cells + NH₄Cl (10 mg/L) + HOCl (5 mg/L)

Flask 4 (F4) - Cells + Humic Acid (2.5 mg/L) + HOCl (5 mg/L)

Flask 5 (F5) - Cells + Humic Acid (2.5 mg/L) + NH₄Cl (10 mg/L) + HOCl (5 mg/L)

(2) 日本公開特許, 平01-135506(東レ) ¹⁴²⁾

本公開特許は膜劣化を少なくして微生物の殺菌を可能とする目的で、殺菌剤として特定の有機結合塩素化合物、例えばクロアミンT、ジクロラミン T、クロラミン B、ハラゾン、クロロジメチルヒダントイン、N-クロロアセトアニリド、N-ジクロロアセトアニリド、N-クロロニトロアセトアニリド、N-クロロアセトルイドから選ばれる少なくとも一つを用いることを提案している。これにより微生物の繁殖が抑制され、微生物ファウリングが減少し、長時間の連続運転が可能となるとしている。

(引用文献)

- 1) G. V. ジェームス著, 内藤幸穂訳; 水処理技術事典, P 49~50
- 2) G. V. ジェームス著, 内藤幸穂訳; 水処理技術事典, P 51
- 3) 用廃水便覧, P 437 ~439
- 4) 用廃水便覧, P 439
- 5) 日本公開特許, 昭62-11075 (東レ)
- 6) 日本公開特許, 平1-135506 (東レ)
日本公開特許, 昭62-11075 (東レ)
高分子材料・技術総覧, 88-12, P 364
Desalination, 35(1980), P 384
- 7) Desalination, 35(1980), P 384
井手哲夫編著; 水処理学, P 632
井手哲夫編著; 水処理学, P 605
- 8) 木村尚史、中尾真一; 膜の劣化, P 66
木曾, 北尾; 水処理技術, Vol 25, No 2, 1984, P 83~85
井手哲夫編著; 水処理学, P 604 ~605
- 9) 用廃水便覧, P 437, 439
- 10) G. V. ジェームス著, 内藤幸穂訳; 水処理技術事典, P 44
用廃水便覧, P 441
- 11) S. R. Ahmed ; Desalination, 74(1989), 69-84
G. V. ジェームス著, 内藤幸穂訳; 水処理技術事典, P 45
- 12) Desalination, 74(1989), P 51
G. V. ジェームス著, 内藤幸穂訳; 水処理技術事典, P 45
- 13) 用廃水便覧, P 441
- 14) 用廃水便覧, P 442
- 15) 用廃水便覧, P 442
- 16) 用廃水便覧, P 442
- 17) 用廃水便覧, P 442
- 18) Desalination, 74(1989), P 51~67
G. V. ジェームス著, 内藤幸穂訳; 水処理技術事典, P 45

- 19) 用廃水便覧, P 442 ~443
G. V. ジェームス著, 内藤幸穂訳; 水処理技術事典, P 45
- 20) 用廃水便覧, P 442 ~443
- 21) 用廃水便覧, P 442
- 22) 用廃水便覧, P 442
- 23) G. V. ジェームス著, 内藤幸穂訳; 水処理技術事典, P 47
- 24) 用廃水便覧, P 443
- 25) 用廃水便覧, P 438, 443
- 26) 用廃水便覧, P 443
- 27) 井手哲夫編著; 水処理学, P 604
- 28) A. Y. AL-BORNO ANDM. ABDEL-JAWAD ; Desalination, 74(1989), P 3 ~36
用廃水便覧, P 435, 436
木曾, 北尾; 水処理技術, Vol 25, No 2, 1984, P 90~91
- 29) S. R. Ahmed ; Desalination, 74(1989), 69-84
Lynn E. Applegate; Desalination , 74(1989), 51-67
日本公開特許, 昭62-11075, (東レ)
桑名, 藤本, 森岡; PPM , 1980.11 , P42~45
- 30) 高分子材料・技術総覧, 1988.12 , 第6節, 逆浸透膜, P369
- 31) 埼玉県営水道; パンフレット (埼玉県企業局)
- 32) DIRASSレポート, 13-8, 高分子分離膜の製造法及び応用, P 631, 637
- 33) 井手哲夫編著; 水処理学, P 632
- 34) 木村ら編著; 膜分離技術マニュアル, 前処理及び逆浸透法プラントの構成機器と運転時の諸問題, P 214
- 35) 日本公開特許, 平1-135506 , (東レ)
桑名, 藤本, 森岡 ; PPM , 1980.11, P 44
MRC テクノ技術調査, 1991.10.26, 通産省茅ヶ崎臨海施設における技術調査
- 36) 井手哲夫編著; 水処理学, P 632
- 37) MRC テクノ技術調査, 1991.10.26, 通産省茅ヶ崎臨海施設における技術調査
- 38) 木曾, 北尾; 水処理技術, Vol 25, No 2, 1984, P 83

- 39) 日本公開特許, 昭62-11075, (東レ)
MRC テクノ技術調査; 1991. 10. 26, 通産省茅ヶ崎臨海施設における技術調査
高分子材料・技術総覧, 88-12, 第 4章, 物理化学機能材料, P364
- 40) 木村ら編著; 膜分離技術マニュアル, 前処理及び逆浸透法プラントの構成機器と運転時の諸問題, P 214
- 41) MRC テクノ技術調査, 1991. 10. 26, 通産省茅ヶ崎臨海施設における技術調査
- 42) 同上
- 43) 同上
- 44) DIRASSレポート, 13-8, 高分子分離膜の製造法及び応用, P9, 23, 24
MRC テクノ技術調査, 1991. 10. 26, 通産省茅ヶ崎臨海施設における技術調査
- 45) 木曾, 北尾; 水処理技術, Vol 25, No 2, 1984, P 89
- 46) 井手哲夫編著; 水処理学, P 631 ~632
- 47) 沖縄県渡名喜村発行パンフレット, 「渡名喜村簡易水道海水淡水化施設」, P1~4
- 48) 三菱重工業発行カタログ, 「長崎オランダ村ハウステンボス(株) 向け三菱逆浸透法海水淡水化プラント設備」
- 49) 膜処理技術体系(下巻), 第 2章, 精製, P 70, 71
- 50) 井手哲夫編著; 水処理学, P 637
膜処理技術体系(下巻), 第 2章, 精製, P 70
- 51) 同上, P 71
- 52) 同上, P 72
- 53) 中垣正幸監修; 膜処理技術大系(上巻), 第 3章, 逆浸透システム, P 837
- 54) 同上, P 830
- 55) 同上, P 831, 836
- 56) 同上, P 836
- 57) 同上, P 837, 838
- 58) 大矢他; 化学工学論文集, 1981, 7(3), P 272~277
- 59) H. Motomura, Y. Taniguchi; ACS SYMPOSIUM, SERIES No153, 1981, P 79~88
- 60) 中垣正幸監修; 膜処理技術大系(上巻), 第 3章, 逆浸透システム, P 835, 837
- 61) 用廃水便覧, P 443
- 62) 用廃水便覧, P 444

- 63) 用廃水便覧, P 436
- 64) A. Y. AL-BORNO, M. ABDEL-JAWAD ; Desalination, 74(1989), P 26
- 65) Desalination , 38(1981) , P 419 ~421
- 66) WATER/Engineering & Management, APRIL 1982, P 30
- 67) MAHMOOD. Y. ARI, J. P. RILEY ; Desalination, Vol. 23, No 9, P 1099 ~1106
- 68) MILL WITCHURCH HANTS ; Desalination, 35(1980), P 388~391
- 69) 桑名, 藤本, 森岡 ; PPM , 1980. 11, P 42~47
- 70) K. D. VOS I. NUSBAUM ; Desalination, 5(1968), P157~166
- 71) 大矢晴彦監修 ; 純水・超純水製造法 (幸書房、昭60) , P 96
- 72) 紫外線殺菌技術資料 ((株) 日本フォトサイエンス) , P 1
- 73) 71) と同じ, P 96
- 74) 71) と同じ, P 96
- 75) 72) と同じ, P 1
- 76) (株) 日本フォトサイエンスにおける筆者の技術調査 (1991年10月)
- 77) 76) と同じ
- 78) 水処理技術, 25巻 (No. 2) 1984, P 9
- 79) 日本公開特許, 昭56-129009(今井)
- 80) 71) と同じ, P 103
- 81) C. S. Rupert他 ; Comparative Effects of Radiation, New York, 1960, P 49 ~61
- 82) 71) と同じ, P 97
- 83) 71) と同じ, P 9
- 84) (株) 日本フォトサイエンス, パンフレット, P 2
- 85) 72) と同じ, P 2
- 86) 71) と同じ, P 98
- 87) 71) と同じ, P 98
- 88) 81) と同じ, P 49~61
- 89) 71) と同じ, P 98
- 90) 72) と同じ, P 2
- 91) 71) と同じ, P 105

- 92) GMP テクニカルレポート, (薬業時報社, 1988年) 4. 注射用水の製造に関するバリデーション
- 93) J. E. Kaufman; IES LIGHTING HAND BOOK, P 197
- 94) 92) と同じ, P 36
- 95) Yip, R. W. and Konasewich, D. E. ; Canadian Journal Water and Pollution Control, June , 1972
"Ultraviolet Sterilization of Water-Its Potential and Limiations"
- 96) 71) と同じ, P 103
- 97) 71) と同じ, P 104 ~106
- 98) 71) と同じ, P 105
- 99) 71) と同じ, P 105
- 100) 71)と同じ, P 103
- 101) 72)と同じ, P 8
- 102) 71)と同じ, P 103
- 103) 71)と同じ, P 103
- 104) 72)と同じ, P 8
- 105) 71)と同じ, P 104
- 106) 72)と同じ, P 5
- 107) 72)と同じ, P 8
- 108) 72)と同じ, P 9
- 109) 71)と同じ, P 99
- 110) 71)と同じ, P 102
- 111) 72)と同じ, P 6
- 112) 72)と同じ, P 7
- 113) 72)と同じ, P 7
- 114) G. V. ジェームス著、内藤幸穂訳 ; 水処理技術事典, P 46
- 115) 用廃水便覧, P 437
- 116) 同上, P 437
- 117) 同上, P 437
- 118) K. D. NUSBAUM ; Desalination, 5(1968), 157 ~166

- 119) 岩波理化学辞典, P 1427
用廃水便覧, P 437
- 120) 同上, P 439
- 121) A. Y. AL-BORNO ; Desalination , 74(1989), 3 ~36
- 122) 用廃水便覧, P 438
- 123) 同上, P 437
- 124) Desalination , 5(1968)157 ~166
- 125) A. Y. AL-BORNO ; Desalination , 74(1989), 3 ~36
- 126) 同上
- 127) 水処理工学 ; P 628, 629
- 128) 桑名, 藤本, 森岡 ; PPM , P 44
- 129) 用廃水便覧, P 439 ~441
- 130) A. Y. AL-BORNO ; Desalination, 74(1989), 3~36
- 131) 用廃水便覧, P 439
- 132) 理化学辞典, 亜硫酸水素ナトリウム, P 41
- 133) G. V. ジェームス著、内藤幸穂訳 ; 水処理技術事典, P 35~62
用廃水便覧, P 434 ~447 井手哲夫編著 ; 水処理工学, P 598 ~607
- 134) S. R. AHMED ; Desalination, 74(1989), 69~84
- 135) A. Y. AL-BORNO ; Desalination, 74(1989)3 ~36
- 136) 同上 , P19
- 137) 国定勇一, 岡田清, 園田敏彦, 瀬戸川茂, 石渡哲朗 ; 造水技術, 9(4), 13(1983)
- 138) 日本公開特許, 昭62-110705(東レ)
- 139) A. M. SHAMS EL DIN et al. ; Desalination, 85(1991)13-32
- 140) R. CHENG et al. ; Desalination, 85(1991)33-44
- 141) L. E. Applegate et al. ; Desalination, 74(1989)51-67
- 142) 日本公開特許, 平01-135506(東レ)

4.4 R-3 膜洗浄排水の処理に関する研究

R O 海水淡水化

文献調査研究、その4、R-3

膜洗浄排水の処理に関する研究

1992年7月

久保 幸彦

国際協力事業団

Ibrahim Al-Tisan

SALINE WATER CONVERSION CORPORATION

目 次

1. 緒言	4. 4. 1
2. 調査方法	4. 4. 2
2.1 文献調査方法	4. 4. 2
2.2 膜製造会社からの情報収集	4. 4. 2
2.3 SWCCへの依頼資料	4. 4. 2
3. 文献調査	4. 4. 3
3.1 文献調査の目的	4. 4. 3
3.1.1 調査概要	4. 4. 3
3.1.2 文献調査の結果	4. 4. 7
3.1.3 ホルマリン処理についての追加調査	4. 4. 8
3.1.4 文献調査のまとめ	4. 4. 8
3.2 膜メーカー及びプラントメーカーの調査	4. 4. 10
3.2.1 実装置のフロー	4. 4. 10
3.2.2 各排水発生点の排水の発生量と水質	4. 4. 11
3.2.3 プラントからの排水のまとめ	4. 4. 19
3.3 日本における法規制	4. 4. 21
3.3.1 日本の環境関連法律の体系	4. 4. 21
3.3.2 公害対策基本法について	4. 4. 21
3.3.3 環境基準	4. 4. 23
3.3.4 排水基準	4. 4. 27
3.4 日本におけるRO海水淡水化装置の排水処理	4. 4. 33
3.4.1 発電所におけるRO海水淡水化装置の排水処理の実例	4. 4. 33
3.4.2 リゾート施設におけるRO海水淡水化装置の 排水処理の実例	4. 4. 36
3.4.3 日本における産業廃棄物処理	4. 4. 38

3.5 RO海水淡水化装置の排水処理	4.4.41
3.5.1 排水処理の一般事項	4.4.41
3.5.2 RO海水淡水化装置の排水処理設備の計画	4.4.45
3.6 RO海水淡水化装置からの排水処理の現状と課題	4.4.55
引用文献	4.4.56

表 目 次

表 3.1.1	調査対象ファイル	4.4.4
表 3.2.1	日本の主要RO膜メーカーの推奨洗浄液	4.4.14
表 3.2.2	日本の主要RO膜メーカーの推奨保存液	4.4.17
表 3.2.3	東洋紡(株)のモジュールの保存液量	4.4.18
表 3.2.4	RO海水淡水化プラントからの排水のまとめ	4.4.19
表 3.3.1	人の健康の保護に関する環境基準	4.4.23
表 3.3.2	生活環境の保全に関する環境基準	4.4.24
表 3.3.3	水質汚濁防止法に基づく一律排水基準	4.4.28
表 3.3.4	有害物質の海洋投入処分に係る判定基準	4.4.30
表 3.3.5	工場に係る排水基準	4.4.31
表 3.4.1	東京都の中間処理業者の処理施設設置状況	4.4.40
表 3.5.1	排水処理に適用する単位操作	4.4.41
表 3.5.2	RO海水淡水化装置の想定仕様	4.4.45
表 3.5.3	排水量と排水水質の推定	4.4.48
表 3.5.4	混合排水の性状の試算	4.4.49
表 3.5.5	ホルマリン含有排水の生物処理実験結果	4.4.52

目 次

図 3.2.1	RO海水淡水化装置からの排水発生点	4.4.10
図 3.3.1	日本の環境関連法律の体系	4.4.21
図 3.4.1	排水処理の概略フロー（発電所）	4.4.34
図 3.4.2	排水処理の概略フロー（リゾート施設）	4.4.37
図 3.4.3	日本における産業廃棄物の発生量、中間処理量、 最終処分量	4.4.39
図 3.5.1	排水処理システムの構成	4.4.44

1. 緒言

逆浸透法海水淡水化装置から排出される排水を、発生源により分類すると、前処理装置からの排水、逆浸透膜の保存液の廃液、逆浸透膜洗浄液廃液等に分けられる。これらの排水、廃液は、発生源により量、水質、発生頻度が異なる。また、使用する逆浸透膜の材質、形式によっても、用いる薬液が異なるため、廃液の性質が異なる。使用する薬液によっては、有害物質を含む廃液発生することがあり得る。

逆浸透法海水淡水化装置の設置数は、今後増加すると予想される。また、1ユニットあたりの容量も50万 /日程度の規模まで拡大することが予想される。このため、これらの設備からの排水量は、無視できない量に達すると考えられる。

また、日本国内においては、産業活動により生ずる有害廃液の処理は、事業所に処理設備がない場合、専門処理業者に委託処分することが可能である。しかし、サウディ・アラビア王国において、このような処理方法が可能か否かは、廃棄物の処理業の有無などの社会システムに依存する。社会システム如何によって、装置設置場所に適した洗浄液、保存液の種類、洗浄方法及びプラントの設計仕様を見直すことも考えなければならない。

したがって、逆浸透法海水淡水化装置の普及、拡大に伴う環境への悪影響を最小限に留めるために、排水の量、質及び装置設置場所の社会システムを含めた調査が必要である。

以上のことからまず逆浸透法海水淡水化装置から発生する排水の、量及び質について調査を行なうとともに、この処理方法の調査を主として文献検索により行なう。排水の量及び質は、プロセス、膜材質、洗浄方式、また発生源によって異なる。これらの緒因子ごとに、排水の量及び質を予測するための資料を収集、整理するものとする。次いで、この結果より予測される一般的な排水に対し、処理方法の検討を行なうものとする。

なお、サウディ・アラビア王国の社会システムとの対応に関しては、swccから環境関連法律及び規制、自然条件、廃棄物の処理の実態、習慣などの情報提供を受け、これらについてのみ整理を行なう。

2. 調査方法

2.1 文献調査方法

JOIS, DIALG等のデータベースを用いて、過去15年間のデータをスクリーニングし、逆浸透膜の洗浄方法、洗浄排水、その処理方法に関するデータの拾い出しを行なう。また、膜及び海水淡水化に関する主要文献については、この期間にかぎらず調査を行なう。

2.2 膜製造会社からの情報収集

日東電工(株)、東レ(株)、東洋紡(株)の膜素材についてはこれらの会社から洗浄液、保存液、洗浄方法等についての提供情報を受け、これを整理するものとする。また、日本の膜メーカー以外の膜素材については、swccから資料の提供を受け、これについてのみ整理を行なう。

2.3 swccへの依頼資料

既存の逆浸透法海水淡水化装置の排水の量と質については、swccから情報提供を受け、これを整理するものとする。また、サウディ・アラビア王国における環境関連法律及び規則、産業廃棄物の処理実態、自然条件、習慣などについても、swccから情報提供を受け、これを整理するものとする。

3. 文献調査

3.1 文献調査の目的

逆浸透法による海水淡水化装置は、すでに大規模のプラントがいくつも建設されており、技術的な報告も数多くなされている。しかし、装置から排出される排水についての報告は、かならずしも多くない。そこで、これまでに公開された文献を調べ、排水についての報告内容を整理することは意義のあることである。ここでは、逆浸透法海水淡水化装置の排水（前処理装置、薬液洗浄、保存液等）の処理方法ならびに関連事項（排水の性質、量、頻度等）について、世界的に最多のデータベースを擁する D I A L O G と、日本の最多の J I C S T の水処理技術専門のファイル 1 3 種を検索して、得られる情報を整理するものとする。

3.1.1 調査概要

(1) 調査対象

調査対象とした 2 システム 1 3 ファイルを、表 3.1.1. に示す。

表 3.1.1 調査対象ファイル

システム	ファイルNo.	データベース名	プロデューサー名	主題の収録範囲	調査期間	検索件数	原本検索件数
DIALOG	245	Waternet	アメリカ水道協会 (AWWA)	飲料水産業・水の利用 ・水質・廃水利用・配 水システム・脱塩	1981 ～ 1991	50	2
DIALOG	117	Water Resources Abstracts	米国内務省 Office of Water Research & Technology	水の性質と特性・水の 循環系・給水の増加と 保全・水質の管理と保 護・制御・水資源計画	1981 ～ 1991	97	9
DIALOG	399	CA Search	Chemical Ab- stract Services	応用化学・生化学と生 物学・化学工学・化学 物質の総称・物性と反 応・高分子化学	1981 ～ 1991	64	5
DIALOG	28	Oceanic Abstracts	Cambridge Scien- tific Abstracts	海洋生物学・海洋汚染 と環境保護・物理海洋 学・地球物理学・地球 化学・工学と材料	1981 ～ 1991	74	5
DIALOG	44	Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA)	同 左 (FAO. UNESCO の共 同事業)	水耕法・生態学・海洋 化学・海洋工学・海洋 資源(飲用水・鉱物な ど) ・海洋汚染	1981 ～ 1991	89	9

システム	ファイルNo.	データベース名	プロデューサー名	主題の収録範囲	調査期間	検索件数	原本検索件数
DIALOG	8	Complex plus	Engineering Information	航空工学・応用物理学 ・化学工学・海洋工学 ・生物工学・環境工学	1981 ～ 1991	60	2
DIALOG	41	Pollution Abstracts	Cambridge Scientific Abstracts	大気汚染・下水と汚水 処理・淡水汚染・海洋 汚染・廃棄物処理・陸 地汚染	1981 ～ 1991	39	5
DIALOG	350 351	World Patents Index World Patents Index Latest	Derwent Publication	海外特許・WPI(1976～ 1980) WPIL(1981～ 〔化学・電気・機械・ 化学工学など〕	1976 ～ 1991	146	内日 本特 許60
DIALOG	6	NTIS	米国商務省 National Technical Information Service	環境汚染と防止・大気 圏科学・海洋技術と工 学・天然資源と地球科 学	1981 ～ 1991	58	11
DIALOG	144	PASCAL	仏国CNRSの科学技 術情報協会 INST	世界中の科学技術文献 (ヨーロッパ系のもの に特色がある)	1981 ～ 1991	25	5

システム	ファイルNo.	データベース名	プロデューサー名	主題の収録範囲	調査期間	検索件数	原本検索件数
DIALOG	6	Fluidex	BHRA Engineering Abstracts	流体力学・処理工学・ 海洋学・一般流体力学 ・流体素子工学・海上 技術	1981 ～ 1991	23	8
JOIS	011 010	JICST 科学技術文献ファ イル	日本科学技術情報 センター	日本及び海外の科学技 術全分野文献情報	1976 ～ 1991	34	27
合 計						759	

(2) 文献の選択方法

添付資料1に示す検索式により選別された文献のアブストラクトを画面で読み、本テーマに関わりのあるものについて原報を取り寄せ解析を行った。DIALOGでは、検索された延べ748件のうち、延べ148件について原報解析を行い、延べ34件が該当データとして選択された。複数ファイルに重複して収録されていたものを除き、12件のデータを選び出した。また、JOISで検索された34件のうち、27件について原報解析を行い、13件を該当データとして選択した。

3.1.2 文献調査の結果

原報解析の結果、DIALOGから12件、JOISから13件の合計25件が有用なデータとして検出された。この一覧表を、添付資料2に示す。このうち、英文で記述された20件は、SWCCに要約を作成する。和文で記述された5件について、本調査テーマに関わる事項の要約を添付資料3に示す。

選択した25件のデータのうち5件は、実際の設備もしくはこれに準じる実験設備の運転の紹介である。このうち、3件(整理No.1,15,16)は海水の淡水化で、2件(整理No.7,24)は鹹水を処理対象にしている。整理No.1の文献では、使用する薬液の種類と総量を紹介し、この廃液を無処理で放出していることから、環境に与える影響を懸念している。整理No.7の文献は、前処理および後処理についての記述が多い。ここで紹介されているプラントは、水源を高濃度の鹹水としているが、同時に海水用膜の設備としても記述されている。整理No.15,16の文献は、小規模な海水淡水化設備であるが、16には洗浄頻度、洗浄薬液が記されている。運転開始後1年3ヶ月でクエン酸による洗浄で回復したことが記されているが、整理No.24の文献では洗浄周期は2~3ヶ月となっており、処理対象の水質によってあるいは使用する膜によって、洗浄頻度が大きく異なることがわかる。

洗浄方法、洗浄による膜の回復、ファウリング物質などを記述した文献は、上記の文献を除き11件あった。このうち3件(整理No.14,20,21)は、一般的な膜の説明を行い、洗浄薬液についても触れているものである。5件(整理No.2,4,17,18,25)は、洗浄方法の改善に関するものである。その他、ファウリング物質の調査と前処理法(整理No.8)、洗浄の手順(整理No.21)、洗浄による回復度のテスト(整理No.22)などがあった。

ブラインについて記述されたものは5件(整理No.3,5,6,10,11)あった。このうち、整理No.5,6はブラインの処理方法について述べたもので、ブラインの処理が重要な問題となることがうかがえる。

その他の4件は、排水処理の重要性を述べたもの(整理No.3)、鹹水を処理する場合には、前処理に硫酸塩スケールの対策が必要なことをのべたもの(整理No.12)、EDRによる塩水の淡水化設備を紹介したもの(整理No.13)、化学物質の回収を考慮したプロセスについて述べたもの(整理No.18)などであった。

3.1.3 ホルマリン処理についての追加調査

上記の検索では、逆浸透膜の洗浄方法、洗浄液について記述された文献が検出された。しかし、逆浸透膜の主な保存液であるホルマリンの処理については、検出されなかった。そこで、このテーマについては、別途J O I Sの検索を行った。画面検索を行った28件のアブストラクトから、10件の文献の原報を選択した。この要約を、添付資料4に示す。

3.1.4 文献調査のまとめ

広範囲の文献調査を行ったが、本調査テーマに関わる文献は比較的少なく、本調査テーマに関わる文献でも、運転結果の報告の中にわずかに触れられているものがほとんどである。しかし、検出される文献の数は、最近2~3年若しくは4~5年までの新しいデータにおいて増加しており、今後、同テーマでの継続調査を実施することによって、より有用なデータが入手でき

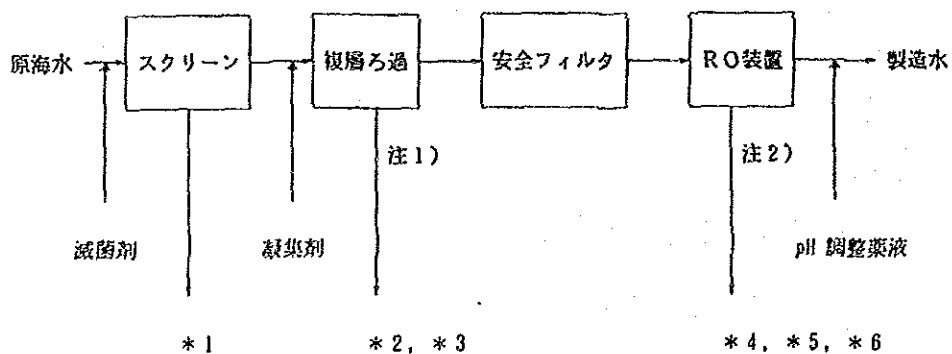
る可能性が高い。

3.2 膜メーカー及びプラントメーカーの調査

RO海水淡水化装置からの排水について、文献から得られた情報は断片的なものである。そこで、日本の代表的な逆浸透膜メーカー3社と、大規模なプラント建設の実績のあるプラントメーカー2社を選定し排水に関する情報を集めた。原海水の水質、製造水の水質、膜素材、立地条件などによって、フロー、使用薬液、排水などに多少の相違はあるが、実プラントにおける排水の実態を以下にまとめる。

3.2.1 実装置のフロー

問い合わせを行ったプラントメーカー2社の、実際の設備においては、基本的なフローは同じである。いずれも、RO膜の前処理として、スクリーンと複層ろ過を用いており、それぞれから排水が発生する。また、RO膜からも濃縮海水と洗浄排水が発生するが、使用膜素材によって多少洗浄排水の水質は異なる下図に、RO海水淡水化装置の概略フローと、排水発生点を示す。なお、図3.2.1は、基本的なフローであり実際の設備では、立地条件と製造水の水質に応じて、様々な工夫がとられている。



*1 : スクリーン洗浄排水

*2 : 複層ろ過洗浄排水

*3 : 複層ろ過リンス排水

*4 : RO装置薬液洗浄排水

*5 : 濃縮海水

*6 : RO装置膜保存液排水

注1) 複層ろ過単独のもの、複層ろ過と砂ろ過とを2段に組み合わせたものがある。

注2) 製造水の水質により、1段、2段が選択される。

図3.2.1 海水淡水化装置からの排水発生点

3.2.2 各排水発生点の排水の発生量と水質

(1) スクリーン洗浄排水

1) 概要

本排水は、前処理の最前部のスクリーンの洗浄時に発生する。洗浄はスクリーンの形式により異なるが、一般的に用いられるトラベリングスクリーンでは、間欠的である。スクリーンの目的が、原海水中に浮遊する比較的粗大な固形物の除去であり、洗浄によりスクリーンで捕捉した粗大固形物を含む排水が発生する。

2) 水質

洗浄に用いる水は、スクリーン通過水を用いる。したがって、原海水に粗大固形物を含んだ排水が発生する。原海水に多重の粗大固形物を含むことは考えにくく、この排水は、原海水とほぼ同等の水質とみなして差し支えない。したがって、排水処理の対象とする必要はない。

3) 排水量

排水量は、スクリーンの幅、形式、台数などにより異なる。1日に1～2回程度の洗浄が一般的である。洗浄の継続時間は1台当たり5分程度である。

淡水製造能力が50,000 m³/日の装置の場合、排水量は20³/日程度である。

(2) 複層ろ過洗浄排水

1) 概要

本排水は、RO膜前処理に設ける複層ろ過装置の逆洗浄時に発生する。複層ろ過装置に供給する海水は、塩化第二鉄を凝集剤として添加する。したがって、複層ろ過装置からの洗浄排水には、原海水の浮遊物(SS)と共に、塩化第二鉄から発生する水酸化第二鉄が含まれる。洗浄は、間欠的に行うので、排水も間欠的に発生する。なお、ポリッシャとして砂ろ過を複層ろ過の後に設けることも多いが、この場合、ポリッシャからも洗浄排

水が発生する。

2) 水質

洗浄に用いる水は、複層ろ過装置透過水である。これに、原海水の浮遊物（SS）と、水酸化第二鉄を含む。また、滅菌のために塩素を加えてあるため、微量の残留塩素を含む。排水の浮遊物濃度は逆洗浄初期に高いが、速やかに低下する。平均の浮遊物濃度は、100～300 ppm 程度である。

原海水の浮遊物、水酸化第二鉄共に、有害物質ではない。また、平均の浮遊物濃度は、運転操作によってはその地域の排出基準を下回る。したがって、濃度を平均化して排出するか、濃縮海水で希釈すれば、海域への放流に支障はない。しかし、多量の鉄分を含むため、赤褐色に着色している。放流水域の規制、環境条件などを考慮して、沈澱等の手段で固形物を除去する場合がある。

3) 排水量

複層ろ過装置の1基あたりの洗浄頻度は、1～2日に1回である。洗浄1回の継続時間は、10～15分程度である。また、洗浄排水の流量は、複層ろ過装置の1基あたりのろ過面積により異なる。淡水製造能力が50,000 m³/日の装置の場合、排水量は4,000～6,000 m³/日程度である。なお、原海水の浮遊物濃度が高いと、洗浄排水量は増加する。

なお、ポリッシャを設ける場合複層ろ過の排水量が減少するため、総排水量はポリッシャなしの場合とほぼ同じである。

(3) リンス排水

1) 概要

本排水は、複層ろ過装置の逆洗浄直後に、水質が安定するまで排出されるろ過水である。

2) 水質

排水とはいえ、ろ過水であり、浮遊物はほぼ完全に除去された海水であ

る。したがって、海域への放流のために処理を必要としない。

3) 排水量

本排水の排出頻度は、複層ろ過装置の洗浄頻度と同じである。また、排水の継続時間は、RO膜の要求するSDIにより異なる。要求されるSDIが低ければ、継続時間は長くなる。SDIを3まで低下させるとすれば、1.5時間程度の継続が必要になる。SDIを4まで低下させるとすると、30～40分程度の継続時間である。流量は、複層ろ過装置の透過水量と同じである。淡水製造能力が50,000 m³/日の装置の場合、排水量は2,000～6,000 m³/日程度である。

(4) 薬液洗浄排水

1) 概要

本排水は、RO膜の薬液洗浄時に発生する排水である。RO膜は、長期間使用すると、膜表面の汚れのために、透過抵抗が増加する。この値が規定値を越えると、薬液で洗浄を行い、膜の透過性の回復を行う。洗浄の頻度は、1～10回/年であり、原海水の水質により幅がある。

2) 水質

薬液洗浄排水には、洗浄液のほかにRO膜に付着した汚れが含まれる。洗浄液は、汚れが無機性主体であれば、クエン酸あるいはシュウ酸をアンモニア水でpH調整したものが用いられる。汚れが有機性主体であれば、界面活性剤を洗浄液として用いる。RO膜に無機性の汚れが付着する原因は、複層ろ過装置を透過した極微量の鉄分がRO膜で捕捉されることである。したがって、洗浄排水の中には洗浄液のほかに、鉄分が含まれる。また、RO膜に有機性の汚れが付着する原因は、膜表面に微生物が繁殖することが主である。この点は、膜の材質によっても状況が異なることがあり得る。RO膜が塩素にたいして耐える材質であれば、残留塩素がある供給水を用いるが、耐塩素性の無い材質の膜であれば、脱塩素処理した供給水を用いる。この違いが、膜の汚れ成分の有機物、無機物の割合に影響を与えるこ

とが考えられる。なお、サウジアラビアに建設された大規模装置の実例では、無機性の汚れにたいする洗浄液のみが用いられている。

無機性汚れ用、有機性汚れ用のいずれの洗浄液でも、排水は高いCODとなる。したがって、濃縮海水での十分な希釈、薬液洗浄排水の単独の処理などの対応が必要である。

表 3.2.1 に、日本の主要RO膜メーカーの推奨洗浄液を示す。

表3.2.1 日本の主要RO膜メーカーの推奨洗浄液

汚れの種類	東レ(株)		東洋紡(株)		日東電工(株)	
	薬品	調合法	薬品	調合法	薬品	調合法
無機性	クエン酸	1～2%水溶液をアンモニア水でpH 2～4に調整	クエン酸	2%水溶液をアンモニア水でpH 4に調整	クエン酸	2%水溶液を苛性ソーダでpH 4に調整
	シュウ酸 界面 活性剤	0.1～0.2%水溶液をアンモニア水でpH 2～4に調整				
有機性	界面 活性剤	ドデシル硫酸ナトリウム0.1～1%水溶液をトリポリリン酸ソーダでpH 8～10に調整				トリポリリン酸ナトリウム2%、EDTA 3ナトリウム塩0.8%を硫酸でpH 10に調整

3) 排水量

モジュールの大きさ、トレインの構成、配管の長さなどにより、排水量は異なる。

淡水製造能力が $50,000 \text{ m}^3/\text{日}$ の装置の場合、排水量は $1,000 \text{ m}^3/\text{年}$ 程度である。

(5) 濃縮海水

1) 概要

本排水は、RO膜の供給水のうち、透過せずに分離された海水である。

透過水の塩分は除去されるため、本排水の塩分濃度は供給水より高くなる。

2) 水質

RO膜への供給水は、複層ろ過装置で浮遊物をほぼ完全に除去してある。したがって、濃縮海水には浮遊物は含まれない。塩分濃度が高いこと、およびpHが6.5～7と低いことが、通常の海水とは異なる。RO膜の回収率が35%の場合、濃縮海水の塩分濃度は、供給水の1.5倍程度となる。

本排水を海洋に放流する場合は、処理の必要はない。ただし、濃縮海水の比重は通常の海水より大きいため、放流後海底近くを密度流となって流れる。狭い海域に大規模設備が集中するような場合は放流管の工夫等が必要となることあり得る。

3) 排水量

RO膜の回収率により、排水量は異なる。回収率が35%の場合、排水量は、製造水量の1.86倍となる。したがって、淡水製造能力が $50,000 \text{ m}^3/\text{日}$ の装置の場合、排水量は $93,000 \text{ m}^3/\text{日}$ 程度となる。

(6) 膜保存液排水

1) 概要

RO膜は、建設時に、モジュールのなかに殺菌を目的とした保存液を封入した状態で工場から出荷される。この保存液は、プラントにおいて、配管と接続される時にモジュールから流れ出て、排水となる。

また、膜の交換時には、特別の容器に膜エレメントを保存液とともに入れて、工場から出荷する。この保存液も、プラントにおいて、使用済みのエレメントと交換する際に、排水となる。

さらに、RO膜装置を長期にわたり停止する際は、モジュールのなかを保存液で満たし、停止中の微生物の発生を防止する。この装置を再び運転する際に、モジュールの中に満たされた保存液は、排水となる。

2) 水質

保存液は、微生物の繁殖を防止することを目的としており、ホルマリンあるいは重亜硫酸ソーダ等が用いられる。この廃液は、そのまま放流すると、魚の浮上などの原因となり得る。したがって、希釈、酸化、燃焼などの処理を行う必要がある。

日本国内の装置に出荷する場合、保存液は重亜硫酸ソーダを用いることが多い。一方、日本からサウジアラビアに出荷する場合、ほとんどすべての場合、ホルマリンが保存液として用いられている。重亜硫酸ソーダは強い還元剤であるが、曝気により比較的容易に無害化できる。一方、ホルマリンは酸化剤により分解は可能であるが、重亜硫酸ソーダと比べると処理に手間がかかる。にもかかわらずサウジアラビアのプラントに対してホルマリンを用いるのは、国内需要と比べると、運搬期間、出荷から試運転までの期間などに不確定要因があるために、ホルマリンの強い殺菌力に頼らざるを得ないからである。

表 3.2.2 に、日本の代表的RO膜メーカー3社の推奨する保存液を記す。

表 3.2.2 日本の主要膜メーカーの推奨保存液

		東レ(株)	東洋紡(株)	日東電工(株)
工場から の出荷時	保存液 1	ホルマリン水溶液 0.5%濃度	ホルマリン水溶液 0.5%濃度	ホルマリン水溶液 0.5%濃度
	保存液 2	重亜硫酸ソーダ水溶液 500ppm 濃度		重亜硫酸ソーダ水溶液 1%濃度
長期保管 の時	保存液 1	ホルマリン水溶液 0.5%濃度	ホルマリン水溶液 0.5%濃度	ホルマリン水溶液 0.5%濃度
	保存液 2	重亜硫酸ソーダ水溶液 500ppm 濃度		重亜硫酸ソーダ水溶液 1%濃度
備 考		凍結防止の対策を必要とする場合は、上記の保存液にグリセリン水溶液 (20%濃度)を加える。		

3) 排水量

保存液の排水量は、モジュールの工場出荷時の場合、モジュール容積の約半分である。膜エレメントの交換時の排水量は、エレメントの専用容器の容量にほぼ等しい。また、長期保管時の保存液排水量は、膜モジュールの容積の約2倍である。モジュールの容積は、製造メーカーによって、異なる。

表 3.2.3 は、東洋紡(株)のモジュールおよびスペアエレメントの工場出荷時の保存液量を示す。

表 3.2.3 東洋紡(株)モジュールの保存液量 ³⁾

モジュール品番 (エレメント)	タイプ	液 量	モジュール のサイズ	透過水量及び 回収率
HM 8255FI 8155EI	モジュール スペアエレメント	30ℓ 3ℓ	298mmφ ×2640mm	27.5m ³ /日 30%
HM 9255FI 9155EI	モジュール スペアエレメント	35ℓ 4ℓ	360mmφ ×2665mm	35 m ³ /日 30%
HM10255FI 10155EI	モジュール スペアエレメント	50ℓ 5ℓ	395mmφ ×2910mm	40 m ³ /日 30%

保存液の排水は、建設時のほか、膜エレメントの交換時及び長期保後の運転開始時に発生する。膜エレメントの交換頻度は、使用条件によって異なるが、5年に1回程度である。長期保管を行うのは、季節によって透過水量が大きく異なる場合、季節によって水需要が大きく異なる場合、大口の水需要工場が休止する場合などであるが、この発生頻度は予測できない。

淡水製造能力が50,000m³/日の装置の場合の、保存液排水量は、およそ次の値である。

建設時の保存液排水 75 m³
 膜交換時の保存液排水 7.5m³/5年 = 1.5m³/年
 長期保管時の保存液排水 50 m³/1トレイン
 (1トレイン5000m³/日として)

3.2.3 プラントからの排水のまとめ

RO海水淡水化装置からの排水の水質と量を、淡水製造能力が50,000 m³ /日について、表3.2.4にまとめる。膜素材、プロセスの組み方、原海水の濃度及び水温などの要因で、排水の質も量も異なってくる。実際の排水処理設備の設計では、各要因を踏まえて、物質収支を作成し排水の質と量を求める。なお、複層ろ過器の後にポリッシャ（砂ろ過）を設ける例も多い。この場合はポリッシャからの排水の増加量と複層ろ過器からの排水減少量が見合い、合計排水量は表3.2.4とほぼ差がない。

表3.2.4 RO海水淡水化プラントからのまとめ

排水種類 (発生の 形態)	排水量 (連続・ 平均)	排水量 (1バッチ)	水 質					単独放流 の可否
			TDS	pH	SS	残留塩素	COD	
スクリーン 洗浄排水 (間欠)	m ³ /日 20	m ³ /回 10 m ³ /回 ×2回/日	mg/l 43,000		1~5	0	1	可
複層ろ過洗浄 排水 (間欠)	m ³ /日 4,000 ~6,000	(400~600) m ³ /回 ×10回/日	43,000		100~ 300	0.1~ 0.3	10~30	否 *1
リンス水 (間欠)	m ³ /日 2,000 ~6,000	(200~600) m ³ /回 ×10回/日	43,000		0	0.1~ 0.3	1	可
濃縮海水 (連続)	m ³ /日 93,000	—	66,000	6.5 ~ 7.0	0	0.1~ 0.3	0.8	場合によ り、否 *2

排水種類 (発生の 形態)	排水量 (連続・ 平均)	排水量 1バッチ)	水 質					単独放流 の可否
			TDS	pH	SS	残留塩素	COD	
薬液洗浄排水 (間欠)	m ³ /年 1,000 (2.7m ³ /日)	50m ³ /回 ×20回/年		4		0	10,000 以上	否 *3
保存液排水 建設時 (間欠)	—	75m ³				0	4,000 程度	否 *4
保存液排水 交換時 (間欠)	m ³ /年 1.5	0.75m ³ /1回 ×2/年				0	4,000 程度	否 *4
保存液排水 長期保管時 (間欠)	—	50m ³ /1回				0	1,000 程度	否 *4

*1 : SS濃度が高い。また、鉄を含んでいるために、赤褐色に着色している。ただし、SSの成分は原海水に含まれているSSと、水酸化鉄であり、環境に有害ではない。

*2 : 一般的には無処理で放流可能。場合により残留塩素を含むため、処理する場合がある。

*3 : pHが低い。CODが高い。

*4 : CODが高い。なお、保存液は強い殺菌剤であり、単独で放流する場合は無害化の処置が必要。

3.3 日本における法規制

1991年10月～11月の第1次現地調査団とSWCCとの会議で、日本の排出規制値についての情報を、SWCCから求められた。そこで、日本の環境関連法律の構成と、水質に関わる規制値を以下に述べる。また、公害対策基本法、水質汚濁防止法、海洋汚染防止法の詳細は、添付資料5に記載されている。

3.3.1 日本の環境関連法律の体系

日本の環境関連法律の体系を図3.3.1に示す。

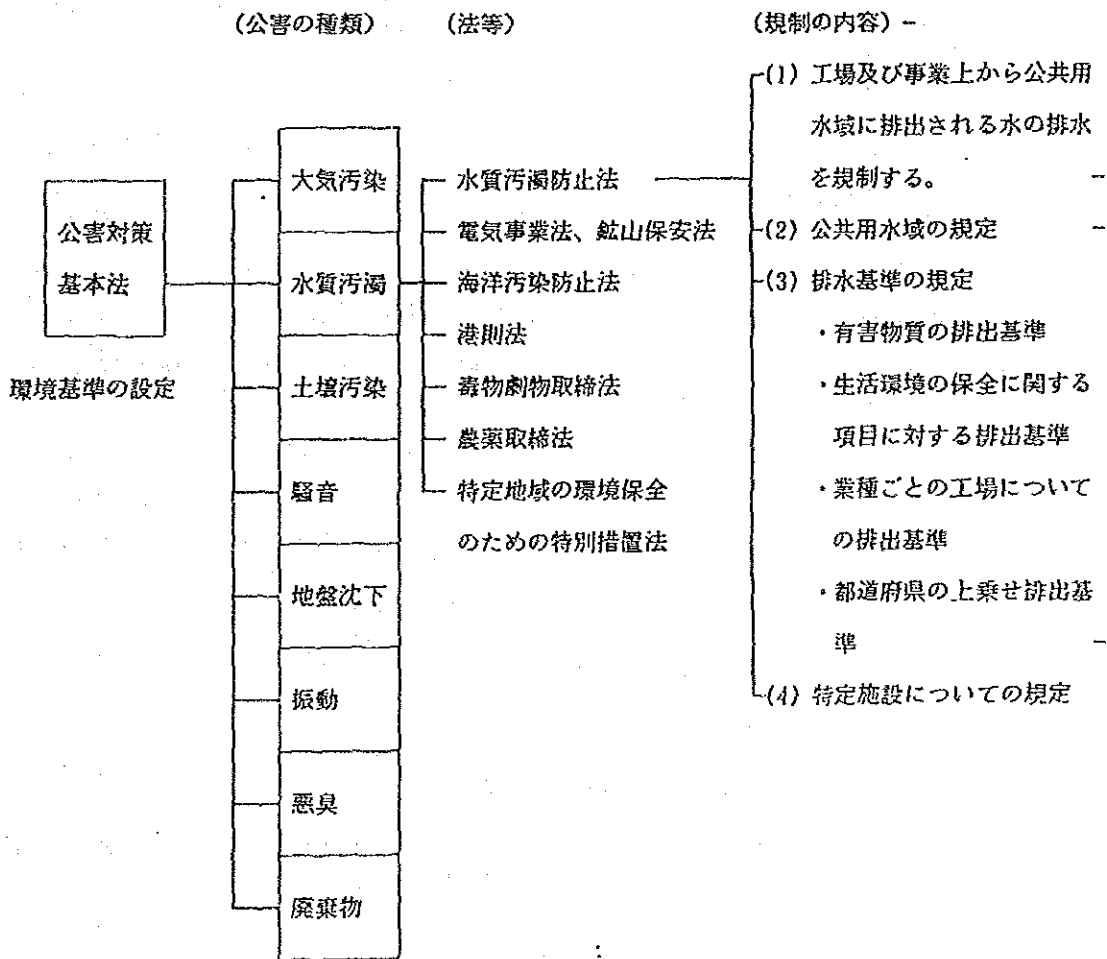


図 3.3.1 日本の環境関連法律の体系

3.3.2 公害対策基本法について

本法は、国民の健康を保護するとともに、生活環境の保全を目的とするもので、日本の環境関連法律の基本となる法律である。ここで定める事項の概要は、以下の通りである。

(1) 公害の定義

国が行政的に取り組む公害の対象を、次の7項目として示している。

- 1) 大気の汚染
- 2) 水質の汚濁
- 3) 土壌の汚染
- 4) 騒音
- 5) 振動
- 6) 地盤の沈下
- 7) 悪臭

(2) 事業者の責務

事業活動により公害が発生しないように、事業者に対し防止措置を義務付けるとともに、国または地方公共団体が実施する公害防止のための施策に協力することを義務付けている。

(3) 国の責務

公害防止のための基本的かつ総合的施策の策定と実施を、国に義務付けている。具体的な施策は、次の項目である。

- 1) 環境基準の設定とその確保
- 2) 排出等に関する規制の実施
- 3) 土地利用および施設の設置に関する規制の実施
- 4) 公害防止に頑する施設の整備等の推進（下水道の整備、廃棄物の公共的な処理施設等）
- 5) 監視、測定等の体制の整備
- 6) 調査の実施
- 7) 科学技術の振興
- 8) 知識の普及等

9) 地域開発施策等における公害防止の配慮

10) 自然環境の保護（緑地の保全等）

3.3.3 環境基準

1) 概要

環境基準は、大気汚染、水質汚濁、騒音および土壌汚染について設定されている。環境基準は環境汚染の改善目標である。すなわち、個別の工場や事業場から排出される汚染物質の集積によって生ずる地域（水域）全体の環境汚染の改善目標を示すものである。国あるいは地方公共団体が個別の事業場に対し排出基準を設定する際に、環境基準の達成を目標にして、適切な規制値を定める。排出基準が、事業者に対し施設の改善命令、罰則などの強制力を伴うのに対し、環境基準には強制力を伴わない。

また、環境基準は科学的判断のもとに、見直しを加えられ、必要な改定がなされている。

2) 水質汚濁に係る環境基準

水質汚濁に係る環境基準では、表 3.3.1 に示す人の環境の保護に対する環境基準と、表 3.3.2 に示す生活環境の保全に関する環境基準に分けて、目標とする値を示している。

表3.3.1 人の健康の保護に関する環境基準

項目	基準値	項目	基準値
カドミウム	0.01 mg/l 以下	ヒ素	0.05 mg/l 以下
シアン	検出されないこと	総水銀	0.0005 mg/l 以下
有機燐	検出されないこと	アルキル水銀	検出されないこと
鉛	0.1 mg/l 以下	PCB	検出されないこと
クロム	0.05 mg/l 以下		

表 3.3.2 生活環境の保全に関する環境基準

1) 河川 (湖沼を除く)

	利用目的の適応性	基準値				
		水素イオン 濃度 (pH)	生物化学的酸 素要求量(BOD)	浮遊物量 (SS)	溶解酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級 自然環境保全	6.5以上 8.5以下	1 mg/l 以下	25 mg/l 以下	7.5 mg/l 以上	50 MPN/100ml 以下
A	水道2級 水産1級、水浴	6.5以上 8.5以下	2 mg/l 以下	25 mg/l 以下	7.5 mg/l 以上	1,000 MPN /100ml以下
B	水道3級 水産2級	6.5以上 8.5以下	3 mg/l 以下	25 mg/l 以下	5 mg/l 以上	5,000 MPN /100ml以下
C	水産3級 工業用水1級	6.5以上 8.5以下	5 mg/l 以下	50 mg/l 以下	5 mg/l 以上	—
D	工業用水2級 農業用水	6.0以上 8.5以下	8 mg/l 以下	100 mg/l 以下	2 mg/l 以上	—
E	工業用水3級 環境保全	6.0以上 8.5以下	10 mg/l 以下	ごみ等の浮遊 が認められな いこと	2 mg/l 以上	—

備考 1. 自然環境保全：自然探勝等の環境保全

2. 水道1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの

水道2級：沈澱、ろ過等の通常の浄水操作を行うもの

水道3級：前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの

3. 工業用水1級：沈澱等による通常の浄水操作を行うもの

工業用水1級：特殊の浄水操作を行うもの

4. 水産1級：ヤマメ、イワナ等貧腐水性水域の水産用生物用

水産2級：サケ科魚類及びアユ等貧腐水性水域の水産用生物用

水産3級：コイ、フナ等β-中腐水性水域の水産用生物用

5. 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩道を含む。）において不快感を生じない限度

2) 湖沼

	利用目的の適応性	基準値				
		水素イオン濃度 (pH)	生物化学的酸素要求量 (BOD)	浮遊物量 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級、水産1級、自然環境保全	6.5以上 8.5以下	1 mg/l 以下	1 mg/l 以下	7.5 mg/l 以上	50 MPN/100ml 以下
A	水道2、3級 水産2級、水浴	6.5以上 8.5以下	3 mg/l 以下	5 mg/l 以下	7.5 mg/l 以上	1,000 MPN /100ml以下
B	水産3級、工業用水1級、農業用水	6.5以上 8.5以下	5 mg/l 以下	15 mg/l 以下	5 mg/l 以上	——
C	工業用水2級 環境保全	6.0以上 8.5以下	8 mg/l 以下	ごみ等の浮遊 が認められな いこと	2 mg/l 以上	——

備考 1. 自然環境保全：自然探勝等の環境保全

2. 水道1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの

水道2級：沈澱、ろ過等の通常の浄水操作を行うもの

水道3級：前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの

3. 工業用水1級：沈澱等による通常の浄水操作を行うもの

工業用水1級：特殊の浄水操作を行うもの

4. 水産1級：ヒメマス等貧腐水性水域の水産用生物用

水産2級：サケ科魚類及びアユ等貧腐水性水域の水産用生物用

水産3級：コイ、フナ等β-中腐水性水域の水産用生物用

5. 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩道を含む。）において不快感を生じない限度

3) 海域

	利用目的の適応性	基準値				
		水素イオン濃度 (pH)	化学的酸素要求量 (COD)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数	n-ヘキサン抽出物質 (油分)
A	水産2級 水浴	7.8以上 8.3以下	2 mg/l 以下	7.5 mg/l 以上	1,000 MPN /100ml以下	検出されない こと
B	水産2級 工業用水	7.8以上 8.3以下	3 mg/l 以下	5 mg/l 以上	—	検出されない こと
C	環境保全	7.0以上 8.3以下	8 mg/l 以下	2 mg/l 以上	—	—

備考 1. 自然環境保全：自然探勝等の環境保全

2. 水産1級：マグイ、ブリ、ワカメ等の水産生物用

水産2級：ボラ、ノリ等の水産生物用

3. 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩道を含む。）において不快感を生じない限度

3.3.4 排水基準

1) 概要

排水の水質に対する基準は、水質汚濁防止法に基づいて定められた水質汚濁防止法施行令により、全国一律に定められている。この他、生活環境に関わる水質環境項目については、各地域の状況に応じて、都道府県がさらに厳しい条例を定めている。

2) 水質汚濁に係る排水基準

廃水の汚染状態についても、水銀、PCB等の人の健康に被害を及ぼすおそれのある有害物質と、BOD、COD、pH、SS等生活環境に係る汚染項目について、それぞれ排水基準が定められており、表 3.3.3に水質汚濁防止法に基づく一律排水基準を示す。

また、有害物質の海洋投入処分に係る判定基準も設置されており、以下の表 3.3.4に示す。

排水基準の規定にはその他に、業種ごとの工場についての排出基準、都道府県の上乗せ排出基準も設置されている。都道府県の上乗せ排出基準の一例として、東京都の工場に係る排水基準を表 3.3.5に示す。なお、東京都は、日本で最も人口の密集した地域であり、各都道府県の上乗せ排出基準の中でも最も厳しい基準の一つである。

表 3.3.3 水質汚濁防止法に基づく一律排水基準

(有害物質)

水 質 項 目	一 律 排 水 基 準 (総 理 府 令)	
カドミウム及びその化合物	0. 1	mg/l
シアン化合物	1. 0	mg/l
有機リン化合物	1. 0	mg/l
鉛及びその化合物	1. 0	mg/l
六価クロム化合物	0. 5	mg/l
砒素及びその化合物	0. 5	mg/l
水銀及びアルキル水銀		
その他の水銀化合物	0. 0 0 5	mg/l
アルキル水銀化合物	検出されないこと	
P C B	0. 0 0 3	mg/l
トリクロロエチレン	0. 3	mg/l (平成元年10月1日施行)
テトラクロロエチレン	0. 1	mg/l (同 上)

(生活環境項目)

水 質 項 目	一 律 排 水 基 準 (総 理 府 令)
水素イオン濃度 (pH)	5. 8 ~ 8. 6 (但し, 海域は 5. 0 ~ 9. 0)
BOD	1 6 0 mg/l (日間平均 1 2 0 mg/l)
COD	1 6 0 mg/l (")
SS	2 0 0 mg/l (")
ノルマルヘキサン抽出物質 (鉱油類)	5 mg/l
ノルマルヘキサン抽出物質 (動植物油脂類)	3 0 mg/l
フェノール類	5 mg/l
銅	3 mg/l
亜鉛	5 mg/l
溶解性鉄	1 0 mg/l
溶解性マンガン	1 0 mg/l
クロム	2 mg/l
フッ素	1 5 mg/l
大腸菌群数	日平均 3 0 0 0 個 / cm ³
窒素	1 2 0 mg/l
リン	1 6 mg/l

(注) 1. BODは河川に, CODは湖沼及び海域に排出される排水に適用される

2. 窒素及びリンは定められた湖沼及びこれに流入する公共用水域に排出される排水に適用される

3. 『検出されないこと』は, 定量限界を下回ることをいう

また、有害物質の海洋投入処分に係る判定基準も設置されており、表3.3.4に示す。

表 3.3.4 有害物質の海洋投入処分に係る判定基準 (総理府令第5号)

有害物質の名称	溶出試験による濃度基準 (沈降堆積性のもの)	溶出試験による濃度基準 (拡散性のもの)
アルキル水銀化合物	検出されないこと	検出されないこと
水銀またはその化合物	0.1 mg/l	2.0 mg/kg
カドミウムまたはその化合物	0.1 mg/l	5.0 mg/kg
鉛またはその化合物	1.0 mg/l	5.0 mg/kg
有機リン化合物	1.0 mg/l	5.0 mg/kg
六価クロム化合物	0.5 mg/l	2.5 mg/kg
砒素またはその化合物	0.5 mg/l	2.5 mg/kg
シアン化合物	1.0 mg/l	5.0 mg/kg
PCB	0.003 mg/l	0.15 mg/kg
有機塩素化合物	—	4.0 mg/kg
油分	100 mg/l	100 mg/l
	海洋投入処分によりし視認で きる油膜が海面に生じないも のであること	海洋投入処分によりし視認で きる油膜が海面に生じないも のであること

排水基準の規定にはその他に、業種ごとの工場についての排出基準、都道府県の上乗せ排出基準も設置も設置されている。都道府県の上乗せ排出基準の一例として、東京都の工場に係る排水水準を表3.3.5に示す。なお、東京都は、日本で最も人口の密集した地域であり、各都道府県の上乗せ排出基準の中でも最も厳しい基準の一つである。

表. 3.3.5 工場に係る排水基準 (東京都)

工場の種類		と畜施設を有する工場				その他の工場						
		水域		B		C				D		
項目	排水量規制	全ての水域		第1, 2類		第1類工場		第2類工場		第1類工場		第2類
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
生物化学的酸素要求量 (BOD)		30	60	20	25	20	25	60	90	20	25	160
化学的酸素要求量 (COD)		30	60	—	—	20	25	60	90	20	25	160
浮遊物質(SS)		60	120	40	50	40	50	120	160	40	50	200
n-ヘキサン 抽出物質	鉱油類	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	動植物油類	30	30	5	5	10	10	10	10	30	30	30
フェノール類		5	5	1	1	5(但し特定の河川では1)				5	5	5
銅		3	3	1	1	3	3	3	3	3	3	3
亜鉛		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
その他の規制項目 (全水域共通)		pH:5.8~8.6、 外観: 異常な着色又は発泡が認められないこと。 臭気: 臭気度4 をこえる不快な臭気をおびていないこと。 温度:40℃、クロム:2、溶解性鉄:10、溶解性マンガン:10、弗素:15 大腸菌群数:3,000(個/ m ³)										

3.4 日本におけるRO海水淡水化装置の排水処理

1991年10月～11月の第1次現地調査団とSWCCとの会議で、日本における排水処理の状況についての情報を求められた。そこで、日本におけるRO海水淡水化装置の排水処理の紹介を本項に、また排水処理技術の一般事項を5項に述べる。

日本においては、大規模な海水淡水化装置の建設数は少ない。日本の平均降水量は、1,800 mm程度であり、特殊な場合を除き、海水淡水化により用水をつくる必然性が乏しかったからである。しかし、RO海水淡水化技術の発展とともに、安価に海水から淡水を得られることになり、離島、船舶などの小規模な海水淡水化設備だけではなく、やや大規模な設備にまで適用範囲が広がりつつある。このような設備で、排水処理がどのようにされているか、また、日本の廃棄物処理のなかで重要な位置を占める、産業廃棄物の中間処理業についても以下に紹介する。

3.4.1 発電所におけるRO海水淡水化装置の排水処理の実例

(1) RO海水淡水化装置の仕様

- 1) 生産水量 1,3000 m³/日×2基
- 2) 生産水の用途 原子力発電所冷却水
- 3) RO膜 三酢酸セルロース系中空糸膜(2段使用)

(2) 排水処理の考え方

本施設は原子力発電所の用水供給のために設けられている。したがって、要求される水質が厳しい。また、日本では原子力発電所が環境に与える影響は、非常に厳密に検査されており、法律的に問題がなくても、排水は十分に処理されることが社会的に要求されている。本施設の排水処理設備は、この観点で設けられている。

(3) 排水処理の方法

- 1) スクリーン洗浄排水 無処理放流
- 2) 複層ろ過洗浄排水 他の排水と混合して希釈放流

3) 閉鎖性水域での水質汚濁について

後背地に大きな汚濁源を有する内海、内湾、湖沼等の閉鎖性水域は、流入する汚濁負荷が大きい上に汚濁物質が蓄積しやすい。このため、他の水域に比較して環境基準の達成状況が悪い。また、排水基準によっては規制を行わない窒素、リンにより、富栄養化の現象がみられる。そこで、これらの特定の地域においては、CODの総量規制が実施されている。また富栄養化の防止のために、窒素、リンの排出規制の制定も計画されている。

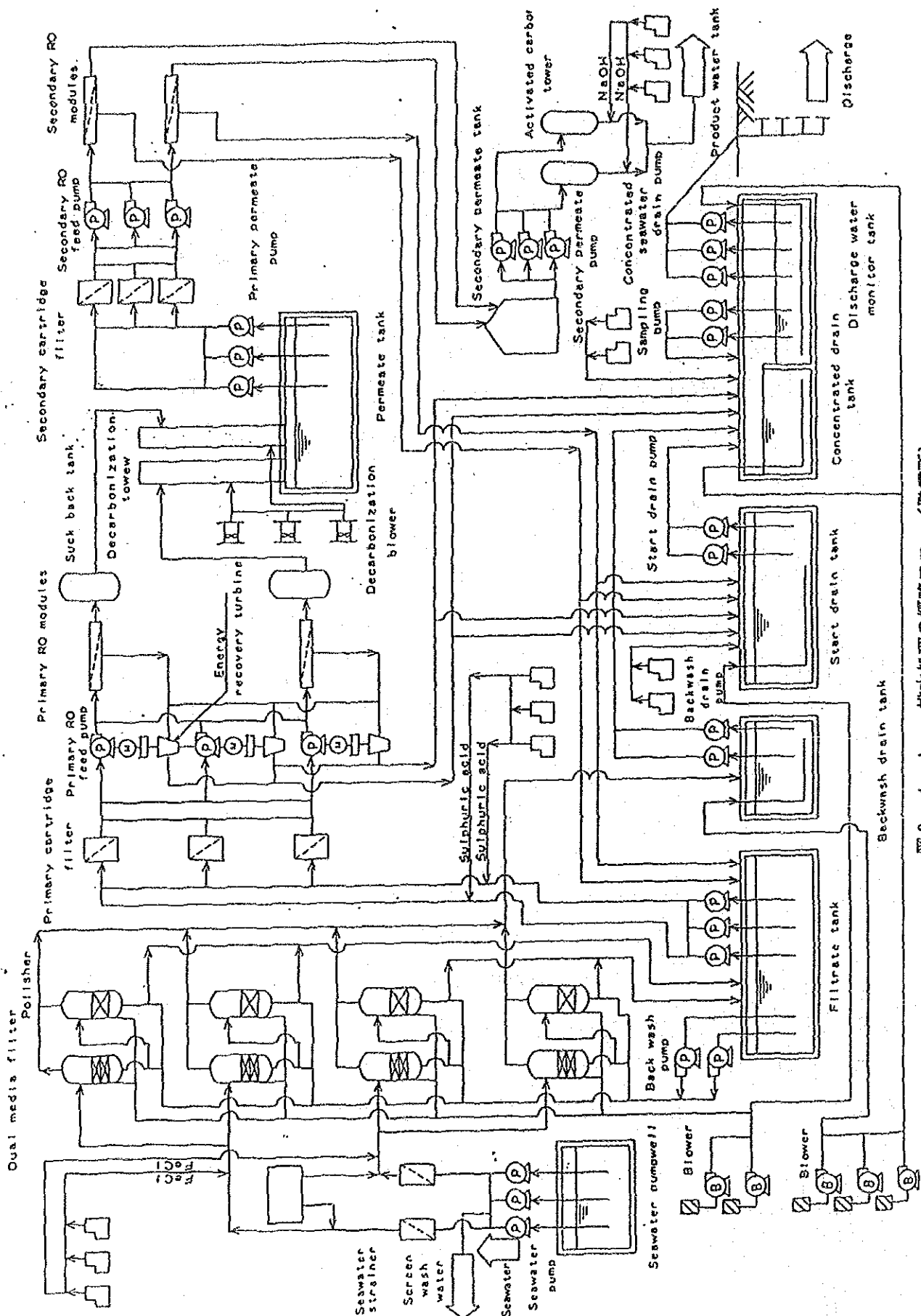


図 3. 4. 1 排水処理の概略フロー (発電所)

- | | |
|-----------|------------------------|
| 3) リンス排水 | 無処理放流 |
| 4) 薬液洗浄排水 | 曝気、pH調整後、他の排水と混合して希釈放流 |
| 5) 濃縮海水 | 曝気、pH調整後、他の排水と混合して放流 |
| 6) 膜保存液排水 | 曝気、pH調整後、他の排水と混合して希釈放流 |

なお、この施設では、膜保存液として重亜硫酸ソーダを使用しており、曝気により、無害化が可能である。

排水処理の概略フローを図 3.4.1 に示す。

3.4.2 リゾート施設におけるRO海水淡水化装置の排水処理の実例

(1) RO海水淡水化装置の仕様

- 1) 生産水量 1,000 m³/日
- 2) 生産水の用途 上水道
- 3) RO膜 三酢酸セルロース系中空糸膜 (1段使用)

(2) 排水処理の考え方

本施設は県の事業として行うリゾート施設に設けられている。このため、複層ろ過装置の洗浄排水は県あるいは市の事業として建設する浄水場と同様の処理がとられている。すなわち、洗浄水に含まれる固形物を除去するとともに、脱水して固形化するまで処理している。また、薬液排水は、濃縮海水と混合して、希釈した後に放流されている。

(3) 排水処理の方法

- 1) 複層ろ過洗浄排水 固形物を沈殿除去した上澄水を、他の排水と混合して希釈放流
沈殿除去した固形物は、凝集ろ過により濃縮し、さらにベルトプレスで脱水して固形化して投棄処分
- 2) リンス排水 無処理放流
- 3) 薬液洗浄排水 濃縮海水と混合し、希釈して放流
- 4) 濃縮海水 無処理放流
- 5) 膜保存液排水 濃縮海水と混合し、希釈して放流

排水処理の概略フローを図 3.4.2 に示す。

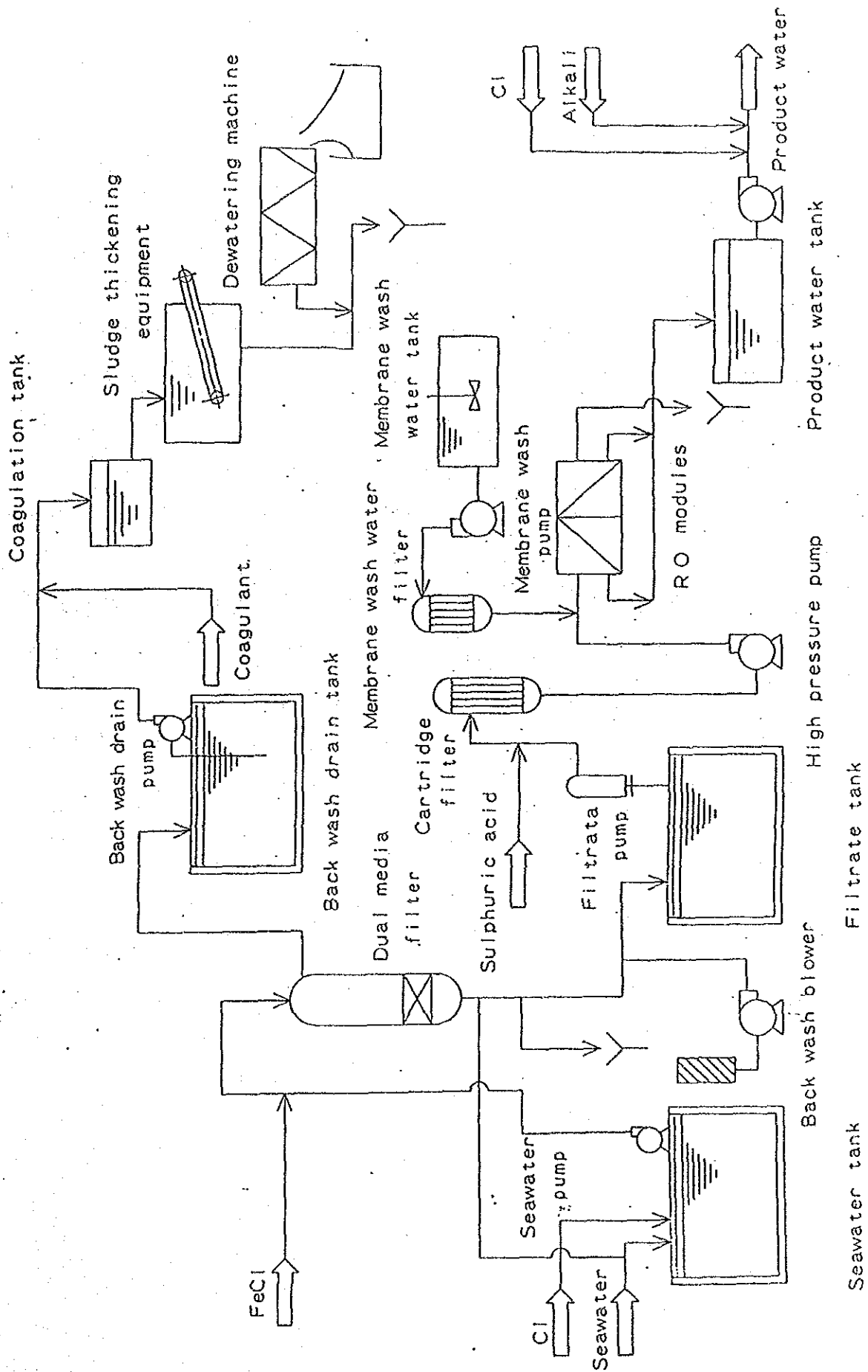


図 3. 4. 2 排水処理の概略フロー（リゾート施設）