

# 水 質 汚 染 に つ い て

木 村 恒 行

## 1. は じ め に

水質汚染の問題は大気汚染や騒音・地盤沈下・振動の問題とともに公害として、近年特に世論の注目を集めているものの一つである。都市周辺、工業地区に位置する河川や海域などは著しく汚染されてきており、漁業や農業に対する被害はもちろん、環境衛生、公衆衛生の面で一般市民生活にも被害を与えるに及んで、事態は深刻化している。河川などの汚染は工場廃水・都市下水・じん芥・し尿などが直接放流される結果起こるものであるから、それを防止するには廃水の処理施設を完備することが根本的な解決策になるわけである。しかし、工場側にとっては処理施設に投資することは、除害と廃品回収の一石二鳥式をねらわぬ限り経済効果を期待できぬだけに、困難な場合が多い。一方都市下水に対しては下水道の整備が先決問題であることはいうまでもないが、非常に資金がかかるため完全整備までかなりの時間が必要と考えられる。ここでは具体的な工業廃水処理例を含めて水質汚染問題について述べてみる。

## 2. 被 害 の 種 類

### (1) 水産業に与える被害

廃水汚染による被害は主として淡水域と浅海区域に見られる。淡水域には湖沼や河川などがあるが、湖沼などは一度汚染すると静水だけに再びもとの状態にもどるためには相当長期間かかるのが普通である。一方河川の場合にはある流域が汚染されると、その部分あるいはその下流には魚類は生息できなくなるのはもちろん、河川で一定期間をすごす習性を持つ魚類や産卵のために上ろうとする魚類の生活を乱すことになり問題は大きい。浅海区はノリ・カキ・真珠などの養殖場として、またワカメ・コンブ・アワビなどの藻類や底生々物の繁殖場として適しているので集約的に利用されることが多い。そして、そこが工業の立地条件にも一致することがしばしばであり、これまで幾多の工・漁業間のトラブルが起きている。

水産物に有害な成分または要因を次のように四つに分けてみる。

#### 1) 毒性のある成分

銅・鉛・水銀などの重金属類、シアン、石炭酸、農薬などは致死量が定まっており、急性毒物質と考えられる。

#### 2) 毒物ではないが水産物に対して悪影響を与える成分あるいは要因

水温、溶存酸素、pH、溶存塩類、色相および温度などは水産生物に対してさまざまな影響を与える。たとえばノリは水温に対して敏感といわれ、色相および温度は日

光の透過を妨げ藻類・貝などの生育に障害を与え、その原因となる懸濁物は魚のエラにつまり、へい死させたりする。

#### 3) 二次的に害作用のある成分

生物化学的に酸化されるような物質は溶存酸素を消費し極端な場合には水産生物の生存を不可能にする。

#### 4) 商品価値を低下または失わせる成分

石油精製工場から油の含まれた廃水が放流されると、これが付近の海で漁獲された魚に油臭を与え商品価値を低下させたり、養殖ノリに対してはまったく商品としての価値を失わせたりする。汚染区域が広範にわたること、汚染源がはっきりしにくいこと、防御がむずかしいことなどから大きい問題になりつつある。この外にも油送船の油槽洗浄排水、海洋投棄されたし尿などがある。

### (2) 農業に与える被害

廃水が農作物に与える被害は相当大きい。水田を利用する稲作農業が主体だけに一度問題が起これば比較的広範囲に被害が及びやすい。被害はその特徴によって次の三つに分けられる。

#### 1) 可溶性有毒物質による直接被害

銅・亜鉛などの重金属を多量に含んだ廃水（おもに鉱山廃水）は農地に流れ込み農作物に直接被害を与える。またこれらの有毒物質もある一定量では逆に農作物の収量を増加させることも知られている。

#### 2) 土壌悪化による間接被害

かんがい用水が長期にわたって運んだ有害物質が土壌に集積され、徐々にその量も増し、植物に吸収され被害を与える場合。

#### 3) 環境悪化による被害

不溶性無機物による土壌の理化学的性質の悪化、廃水中の過剰有機物による被害およびバクテリア異状発生などによる被害がそれである。

### (3) 公衆衛生に与える影響

次のように分けられる。

#### 1) 人体に直接与える生理的影響

廃水中の病原生物や病原物質がさまざまな経路をへて人体に侵入し、し尿などを含んだ廃水を媒介として発病させてゆくものなどがこの部類に入る。

#### 2) 環境の悪化

悪臭、有害ガスの発生により嘔吐、食欲不振、不眠、咽喉粘膜の炎症や不快感、嫌悪感などの精神面に対する害も悪環境のなせる業といえる。

#### 3) 上水・下水への影響

汚染の程度が進めば飲料水として利用する場合その処理が大変になるだろうし、場合によっては利用不可能なことにもなる。また下水処理のさい廃水中に微生物の活動を妨害するような毒物が含まれていると生物化学的処理が不可能になる場合がある。

#### (4) 建造物に与える被害

酸性の強い廃水はコンクリート建造物（橋桁、護岸堤防など）を著しく侵す。また有機物の多いところに発生する水綿などは農作物の生育を阻止したり、かんがい用水路を閉塞したりすることがある。

#### (5) 工業自体に与える被害

近時工業用水不足のため天然水を汚すことは「加害者か被害者になる」という公害の原理にしたがって、工業自体が被害を受ける結果となり出した。

### 3. 汚 染 の 指 標

#### (1) pH

pH の変化によって廃水の理化学的性質は変わる。したがって pH 値はある一定範囲内にあることが必要で、この範囲を越えると水中生物、建造物などに被害を与える。また酸味、苦味の原因ともなるので飲料水に利用する場合は注意することが大切である。

#### (2) 浮遊物 (S.S., Suspended Solids)

廃水中の有機物の約 70%、無機物の約 30% は浮遊物または懸濁物である。これらの一部が静水域で沈殿して底質を汚染し、そこに棲む生物の生活を脅したり、藻類などに付着して呼吸作用を妨害する。また日光の透過を妨げ水中生物の生育に悪影響を与える。浮遊物の量は蒸発残留物として求めることに定められているが加熱による誤差が多いのでガラス・フィルターを用いて測定する方が実用的であるといえる。

#### (3) 溶存酸素 (D.O., Dissolved Oxygen)

水中生物の生存のために酸素は必要欠くことのできないものであるが、一方において生物化学的に行なわれている自然浄化作用にも重要な働きをする。溶存酸素量は温度、その他の条件によって大気中の酸素と一定の平衡関係をなしており、水中生物によって消費されると大気中から補給される。しかし、汚染の程度が進んでいる場合、つまり有機物質や還元性物質が多い場合には消費と補給のバランスが破れて溶存酸素の不足をきたす。この状態では嫌気性菌（酸素のない状況下で活動する）が優勢をなし、俗にいう汚濁の靨を呈する。溶存酸素の測定値には測定方法により相当の幅があり、測定のさいには特に共存する妨害物質に注意する必要がある。最近では直示式の D.O. メーターも、まだ問題があるとされているが、開発されており、従来の純化学的方法が測定に相当時間を費やすだけにその将来が期待される。第 1 表は水中の飽和溶存酸素量を示している。

第 1 表 水中の飽和溶存酸素量  
(気圧 760 mm 酸素 20.9% の大気中)

温度 (°C)	純水中の 溶存酸素 量 (ppm)	塩素イオン 100 ppm ごとに減 ずべき溶存酸素 量 (ppm)	温度 (°C)	純水中の 溶存酸素 量 (ppm)	塩素イオン 100 ppm ごとに減 ずべき溶存酸素 量 (ppm)
0	14.62	0.0165	16	9.95	0.0098
1	14.23	0.0160	17	9.74	0.0095
2	13.84	0.0154	18	9.54	0.0092
3	13.48	0.0149	19	9.35	0.0089
4	13.13	0.0144	20	9.17	0.0088
5	12.80	0.0140	21	8.99	0.0086
6	12.48	0.0135	22	8.83	0.0084
7	12.17	0.0130	23	8.68	0.0083
8	11.87	0.0125	24	8.53	0.0083
9	11.59	0.0121	25	8.38	0.0082
10	11.33	0.0118	26	8.22	0.0080
11	11.08	0.0114	27	8.07	0.0079
12	10.83	0.0110	28	7.92	0.0078
13	10.60	0.0107	29	7.77	0.0076
14	10.37	0.0104	30	7.63	0.0075
15	10.15	0.0100			

(例) 気圧 760 mm, 水温 10°C において塩素イオン 3.000 ppm を含む水中の飽和溶存酸素量はつぎのようにして求める。まず上表から 10°C における純水中の溶存酸素量 11.33 ppm を求める。つぎに同温度における塩素イオン 100 ppm ごとに減すべき量 0.0118 に 3000/100=30 を乗じた数 0.354 ppm を求め 11.33 ppm との差 10.976≒10.98 ppm をその飽和溶存酸素量とする。

#### (4) 化学的酸素要求量 (C.O.D., Chemical Oxygen Demand)

COD とは水中の還元性物質（おもに有機物）を過マンガン酸カリウムや重クロム酸カリウムなどの酸化剤によって化学的に酸化する場合に消費される酸化剤の量を酸素量に換算したものである。同一試料の場合でも酸化剤の種類、濃度、温度などにより COD 値は異なるから得られたデータは十分検討することが必要である。一般には過マンガン酸カリウムを使った方法より重クロム酸カリウム法の方が再現性が良いとされている。

#### (5) 生物化学的酸素要求量 (B.O.C., Biochemical Oxygen Demand)

BOD とは、水中に存在する微生物がその生物化学的作用によって有機物を分解するのに必要な酸素量のことである。検水を酸素の飽和した水で希釈し、その他必要に応じた各種の予備処理を行なった後で一定期間 5 日間 20°C に保つ。そして、その前後に測った溶存酸素量の差から BOD を算出する。BOD には二つの段階があり、第 1 段 BOD は主として炭素化合物の酸化によるもので、第 2 段は有機物中の窒素化合物の酸化（硝化）によるものである。第 1 段は 20°C で 13~14 日くらいで完了し、ついで硝化が始まり、完了までに 100 日以上を必要とするとされている。普通 BOD といえば 5 日間 BOD を指す。BOD は汚染の指標としてより自然に近いものといえるが、測定に時間がかかるのが難点であり、放置する期間を 2 日間に短縮した 2 日間 BOD なども提案さ

れている。第1図に BOD 曲線を示す。

第1段 BOD は生物化学的酸化を受ける物質に関して一次反応として次のように表わされる。

$$y = L(1 - e^{-kt})$$

$$= L(1 - 10^{-Kt})$$

ここで

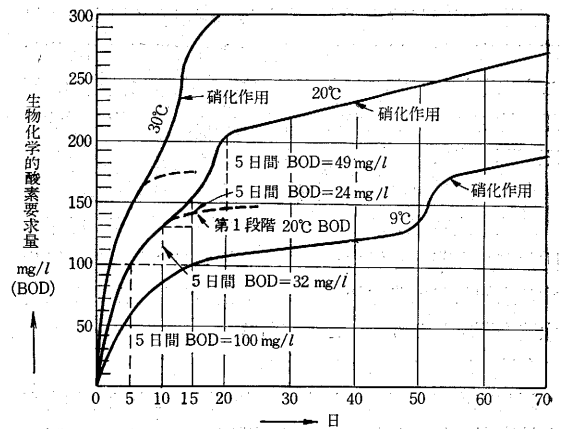
$y$ : 時間  $t$  までに消費された酸素量 (BOD)

$t$ : 時間 (日)

$L$ : 最終的の第1段 BOD

#### (6) 生物学的判定

汚水中では、そこに含まれる各種の物質およびその外の理化学的条件によって、そこに繁殖する動植物相も変化する。そこで、その状態を観察すれば汚染の状況を判定することができる。そして、ある点で観察される生物の状態は過去にその生物がある一定期間置かれた環境を示すものである。現在では、生物学的水級区分として強



第1図 9°C, 20°C および 30°C における BOD 変化

腐水性、 $\alpha$ -中腐水性、 $\beta$ -中腐水性、貧腐水性の4階級に分けられる場合が多い。第2表にそれを示す。

第2表

	強腐水性水域	$\alpha$ -中腐水性水域	$\beta$ -中腐水性水域	貧腐水性水域
化学的過程	還元および分解による腐敗現象がいちじるしく起こる	水中および底泥に酸化過程があらわれる	酸化過程がさらに進行する	酸化ないし無機化の完成した段階
溶存酸素	全然ないか、あってもきわめてわずか	かなりある	かなり多い	多い
BOD	常にすこぶる高い	高い	かなり低くなる	低い
H <sub>2</sub> Sの形成	たいてい認められる: 強い硫化水素臭がある	強い硫化水素臭はなくなる	ない	ない
水中の有機物	炭酸および高分子窒素化合物ことにたんぱく質、ポリペプチドおよびその高次分解産物が豊富に存在	高分子化合物の分解によるアミノ酸が豊富に存在	脂肪酸のアモニア化合物が多い	有機物は分解されてしまっている
底泥	黒色の硫化鉄がしばしば存在: 底泥は黒色	硫化鉄が酸化されて水酸化鉄になるために底泥はもはや黒色を呈しない		底泥がほとんど酸化されている
水中のバクテリア	大量に存在: ときには 1cc につき 100 万以上もある	バクテリアの数はまだ多い: 通常 1cc あたり 10 万以上	バクテリア数減少 1cc あたり 10 万以下	少ない: 1cc あたり 100 以下
生息生物の生態学的特徴	動物はほとんど例外なくバクテリア摂食者; pH の変化に強く、少量の酸素でも、耐える嫌気性の生物; すべて腐敗菌、とくに H <sub>2</sub> S および NH <sub>3</sub> に対し強い抵抗性をもつ	動物ではバクテリア摂食者がまだ優占的であるがそのほかに肉食動物もふえてくる; すべて pH および酸素の変化に対し高い適応性を示す; NH <sub>3</sub> に対してはたいていのものが抵抗性をもつが、H <sub>2</sub> S に対してはかなり弱いものがある	pH の変動および酸素の変動にすこぶる弱い; また腐敗菌に長時間耐えることができない	腐敗性汚濁に対し弱く、pH の変動、溶存酸素の変化に弱い; 腐敗産物ことに H <sub>2</sub> S に耐えることができない
植物では	ケイソウ、緑藻、接合藻、および高等植物は出現しない	藻類が大量に発生: 藍藻緑藻、接合藻、ケイソウが出現	硅藻、緑藻、接合藻の多くの種類が出現: 鼓藻類はここが主要な分布域	水中の藻類は少ない; ただし着生藻類は多い
動物では	ミクロなものが主で原生動物が優勢	まだミクロなものが大多数を占める	多種多様になる	多種多様
とくに原生動物では	アミーバ類、鞭毛虫類、繊毛虫類が出現: 太陽虫類、双鞭毛虫類、吸管虫類は出現しない	太陽虫、吸管虫類がボツボツあらわれる; 双鞭毛虫はまだ出ない	太陽虫、吸管虫類の汚濁に弱い種類が出現; 双鞭毛虫類も出現	鞭毛虫、繊毛虫類は少類あらわれるのみ
後生動物では	輪虫、蠕形動物、こん虫幼虫が少数出現することがある程度; ヒドラ、淡水海綿、蘚苔動物、小形甲殻類貝類、魚類は生息しない	淡水海綿および蘚苔動物はまだ出現しない: 貝類、甲殻類、昆虫が出現; 魚類のうち、コイ・フナ・ナマズなどはここにも生息する	淡水海綿、蘚苔動物、ヒドラ、貝類、小形甲殻類昆虫の多くの種類が出現; 両生類および魚類も多くの種類が出現	昆虫幼虫の種類が多い; ほかに各種の動物が出現
水域の例	はなはだしく汚染した川、たとえば、桂川(淀川支流)の山崎付近、大阪市内道頓堀川、横堀川、など; 都市の下水溝; 散布ろ床の表面	淀川では枚方右岸、鳥飼右岸; 散布ろ床の中層以下; 活性汚泥法のばっ気槽	枚方左岸: 琵琶湖の南湖盆: 完全な活性汚泥処理場の放流水	鞍馬川、貴船川、鴨川上流: 宇治川宇治付近: 琵琶湖北湖盆

津田「汚水生物学」(北隆館) 70-71.

#### 4. 自 浄 作 用

河川や海域などに廃水が流れ込む場合必ずしもそこを汚染するとは限らないのは自浄作用のためである。特に河川の自浄作用というときには、河川に放流された汚染物質が物理、化学あるいは生物化学的に流水中で浄化される作用を指す。一般に廃水が無害化される機構には次のようなものがある。

##### 1) 希釈による浄化

廃水が希釈されることによって害作用を及ぼさなくなった場合で、河川水量が多いときや海域などで起こると考えられる。

##### 2) 物理的浄化

廃水中の有害物質が重力による沈殿、河底物質による吸着あるいは揮発などによって除去される場合。

##### 3) 化学的浄化

廃水中の有害物質が中和、凝集、酸化、還元などの諸反応を起こして無害化される場合。

##### 4) 生物化学的浄化

廃水中に含まれる有機物が生物化学的酸化作用によって分解され無機物、気体などになって浄化が進む場合。

以上のうち 1) および 4) は自浄作用として特に重要なものである。4) の中で生物化学的酸化作用というのは、廃水中に含まれている発酵性有機物（主としてたんぱく質、炭水化物、脂肪）が水中に存在する各種の微生物、菌類および細菌などによって水中に溶存している酸素を消費して水や炭酸ガス、アンモニアなどの気体に分解する作用を指している。生物化学的酸化作用が盛んであればそれに要する酸素量も増大するから、溶存酸素量は減少する。したがって、もし酸素が不足することなく補給されるとすれば、生物化学反応によって消費される酸素量は水中に存在する有機物の量に比例すると考えられる。水中の有機物量を知る目安としてこの溶存酸素消費量が使用される。すなわち、前述したように BOD は 20℃ で 5 日間放置したときの試水 1 l 当たりの酸素消費量 (mg/l) で表わされる。このように浄化作用によって水中に溶存する酸素は、非常に重要な役割をしているが、溶解量にはおのずから限界があるから当然外部から補給されることが必要になってくる。消費、補給の過程はそれぞれ脱酸素、再曝気といわれる過程に分けて考えることができる。

##### a. 脱酸素

脱酸素の状況を図示すれば第 1 図のような BOD 曲線が得られる。そして脱酸素の過程は炭素化合物の分解による第 1 段階と窒素化合物の分解による第 2 段階とに分けられることは前述したとおりである。

##### b. 再曝気

酸素が水中に溶け込む場合の理論は一般に二重境膜説 (double film theory) によって説明されている。それに

よれば水側に存在する境膜が溶解速度を支配する抵抗になると考えられるから、水側に乱れが存在することが接触面積を広げる点からも望ましい。

以上の二つの過程の総合された結果として溶存酸素量は決まる。

#### 5. 廃 水 処 理

##### (1) 処理基準

廃水をいかなる程度まで浄化するかは廃水の量、質、放流する場所（下水道・河川・海域）、立地条件などにより異なってくる。わが国の工業廃水の規制の方式は、廃水そのものの放流を規制するものであるから、立地条件や河川の状況などにより水質の基準は異なる。下水道に対する廃水の放流を例に取って考えてみる。現在の既設の公共下水道の処理場は、最初から産業廃水を予想して計画設計されたものは少ない。したがって処理場はほとんど過負荷の状態にあるといつてよい。下水道に放流する産業廃水に対して水道協会は各種の許容限界を規定しているがこれは産業廃水の流入量が全下水水量の一応 25% として規定された許容限度であり、産業廃水は増加の一途をたどっているの、25% 以上になる場合も予想する必要がある。沢田敬一氏は産業廃水が 50% まで許容できるとすると、その放流許容限度は第 3 表のように考えるのが合理的であるとしている。なお、下水処理の程度はおおよそ第 4 表の内容を持つと考えてよい。水質 2 法によって、指定された河川の水質基準の 1 例を第 5 表に示す。表中の数値は廃水の質と量との積、すなわち河川に対する負荷を意味するもので、各工場、事業場からの廃水に適用される。

第 3 表 工業廃水の放流許容限度（沢田）

項目	BOD (ppm)	SS (ppm)	油類 (ppm)	硫化物 (ppm)	フェノール (ppm)	シアン (ppm)	クロム (ppm)
処理程度							
簡易処理	180	250	70	10	20	2	3
中級処理	400	500	100	30	50	2	3
高級処理	400	500	100	30	50	2	3

第 6 表は水質基準設定河川の比較を示している。

問題となる廃水の成分と、それを排出する産業の種類との関係を示せば大略第 7 表のとおりである。

##### (2) 処理方法

廃水の処理方法をその作用機構により分類すると次のようになる。

##### 1) 物理的処理

廃水中の化学変化を含め処理をいい、沈殿・浮上・スクリーン・浮過などの機械的な分離と、熱処理・冷却・煮沸・蒸発などの物理的操作をいう。

##### 2) 化学的処理

廃水中の成分の化学変化をいい、薬品を加えて起こる反応も含む。酸・アルカリの中和、水酸化金属イオンによる沈殿、空気・オゾン・塩素などによる酸化、イオン

第4表 下水処理方法と処理水の水質基準（下水道法，政 147 号）

処理程度	項目 処理方法	水素イオン濃度 (水素指数)	生物化学的酸素要求量 (単位1リットルにつき 5日間にミリグラム)	浮遊物質 (単位1リットルに つきミリグラム)	大腸菌群数 (単位1立方センチ メートルにつき個)
高級処理	活性汚泥法，標準散水汚床法，その他，これらと同程度に下水を処理することができる方法により下水を処理する場合	5.8 以上 8.6 以下	20 以下	70 以下	3,000 以下
中級処理	高速散水汚床法，モデファイドエアレーション法，その他，これらと同程度に下水を処理することができる方法により，下水を処理する場合	5.8 以上 8.6 以下	60 以下	120 以下	3,000 以下
簡易処理	沈殿法により下水を処理する場合	5.8 以上 8.6 以下	120 以下	150 以下	3,000 以下
無処理	その他の場合	5.8 以上 8.6 以下	150 以下	200 以下	3,000 以下

第5表 江戸川水域（甲）に排出される水の水質基準

区 分	項 目	水素イオン濃度 (pH)		化学的酸素要求量 (mg/l)		浮遊物質 (mg/l)	
		日間平均	最 大	日間平均	最 大	日間平均	最 大
蒸留酒または混成酒製造業						500以下	600
毛紡績業（染色を行なうもの）		5.8以上 8.6以下	600以下	720	500以下	700	
紙製造業（パルプ製造設備をもつもの）		5.8以上 8.6以下	600以下	720	100以下	120	
紙製造業（パルプ製造設備をもたないもの）		5.8以上 8.6以下	40以下	60	100以下	120	
植物油脂製造業		5.8以上 8.6以下	150以下	200	250以下	350	
セッケンまたは硬化油製造業		5.8以上 8.6以下	300以下	360	100以下	120	
廃油再生業		5.8以上 8.6以下	30以下	40	20以下	30	
電気メッキ業		5.8以上 8.6以下			50以下	60	
天然ガス鉍業		5.8以上 8.6以下					
上記以外の業種であって酸またはアルカリ洗浄施設をもったもの		5.8以上 8.6以下			50以下	60	

第6表 水質基準設定河川の比較表

河川名	問題点	水 質 COD(ppm)	自然流量 m³/sec	「処理前」 負荷量 COD t/D	改善率
江戸川	漁業	7	68～80	35	70～80
木曽川(上)	上水道	2.5	100	65	80
木曽川(下)	漁業	4.3	100	65	80
淀川	上水道	(2.5) 5.0	216	(60)	65～86
石狩川(A)	農業	(5.0) 10.0	140	(81)	50
荒川(B) (隅田川)	環境	規制目標10.0 現状26.4	29	195	25

注（ ）内は BOD

交換などがあげられる。

## 3) 生物学的（生物化学的）処理

微生物の代謝作用を利用して，主として有機物を分解する方法である。好気性処理が一般的で湛水池，生物学的汚過，活性汚泥法があげられ，嫌気性処理としてはスラッジの消化がある。

以上のような分類の仕方は便宜的なもので，実際には各種の単位操作が複合，組み合わせられて成立している場合があるから，いずれの分類に入れるか困難な場合も多い。次に各処理方法について簡単に述べてみたい。

## 1) 物理的処理法

## a. スクリーニング

機械的に廃水中の浮遊物をスクリーンによって処理除去する方法を指すが，これは次に設置されるポンプ・水

第7表 問題になる水質とその源

問題になる水質	産 業 の 種 類
BOD	甜菜製糖所，醸造所，食品工場，蒸留工場，洗たく工場，パルプ工場，鞣皮工場，織物工場
浮遊物	醸造所，かんづめ工場，選炭場，コークス・ガス工場，蒸留工場，製紙工場，鞣皮工場
油脂	洗たく工場，金属仕上工場，油田，かんづめ工場，石油精製工場，鞣皮工場，羊毛洗浄工場
色度	メッキ工場，製紙工場，鞣皮工場，織物染色工場
臭味	化学薬品工場，コークスおよびガス製造，精油所
酸	化学工場，製鉄所，鉍山，酸洗工程廃水，織物製造，電池製造
アルカリ	生綿と麦藁の煮沸，羊毛洗浄，洗濯工場
遊離塩素	洗濯工場，製紙工場，織物漂白
アンモニア	ガスおよびコークス工場，化学工場
シアン化物	ガス製造，メッキ工場
硫化物	織物の硫化色染，鞣皮製革工場，ガス製造，ビスコースレーヨン製造
亜硫酸塩	木材パルプ製造，ビスコースフィルム製造
クロム	メッキ工場，クロム鞣皮
鉛	電池製造，鉛鉍山，ペイント製造
ニッケル	メッキ工場
カドミウム	メッキ工場
亜鉛	亜鉛メッキ，ビスコースレーヨン製造，ゴム製造，金属鉍山
銅	銅メッキ，銅の酸洗浄廃水，銅アンモニア法レーヨン製造
糖類	酪農工場，酒造所，甜菜製糖工場，食品工場
でんぶん	食品工業，織物工場，でんぶん製造
フェノール類	ガスおよびコークス製造，合成樹脂製造，織物工場，鞣皮製革所，タール蒸留所
ホルマリン	合成樹脂製造，ペニシリン製造

路・管路その他の機械施設の損耗や閉塞を起こさせないために用いられることが多い。目の間隔の大小、構造および可動装置の有無、形式などにより各種のものがある。

#### b. 沈殿法

沈殿法は廃水中の沈降性物質を除去する最も安価な処理法の一つである。廃水処理の中でその使用目的によって次の三つの場合に分けられる。

- 沈殿が主体となる場合、すなわち沈殿放流処理
- 化学的または生物学的処理に先立つ予備処理として使用される場合
- 上記の処理後に形成される浮遊質やフロック除去のために使用される場合

#### c. 浮上

廃水に気泡を導入してやると、その気泡が固形粒子に付着してみかけの比重が水より小さくなり、水の表面に浮かぶ。この原理を利用して分離する方法を浮上法という。浮上法の理論は水・気体、浮上される固形物質などの物理化学的性質やそれを取りまく環境条件に複雑に関連しているから、実際に採用する条件は経済性、後処理などの問題を十分考慮した上で決定する必要がある。浮上法には拡散空気浮上式と溶解空気浮上式がある。前者は送風機などによって空気を吹き込むか、インペラーまたは多孔板などを通じて空気を拡散させ、この際発生する気泡によって固体を浮上分離するものであり、後者は空気を飽和または過飽和に廃水に溶解させ、そのあとで圧力を減じ、そのさい発生する気泡で固体を浮上する方法である。圧力の加減の仕方により真空式、加圧式の別がある。

#### d. 浮過

多孔質の浮材を使用して、浮遊物と液体を分離する操作を指すわけであるが、廃水の性質に応じて浮材の種類、分離方法などを適当に選定することが必要である。浮過装置には急速砂浮過、真空式、プレス式、遠心分離式などの各装置がある。

#### e. 加熱・蒸発・冷却

これらの処理法はいずれも熱経済上有利なものとはいえない。しかし、余分な多量の熱が蒸気その他の形で得られる場合や特殊な濃縮廃液の処理、有価物の回収、生物学的反応の促進などに用いられることがある。

### 2) 化学的処理

#### a. 中和

廃水処理としての中和は廃水の pH が酸またはアルカリに片よっている場合にこれをある許容範囲内に是正する操作を指す。ここで許容範囲とは、河川などに放流されたさい動植物相や建造物に被害を与えぬような pH 値を意味する。装置として一般に中和タンクが用いられる。これは内部に攪拌のためのインペラや邪魔板を備えた簡単なものである。使用される中和剤のおもなものは生石

灰、消石灰、石灰石、炭酸ガス、カセイソーダ、炭酸ナトリウムなどである。

#### b. 酸化・還元

廃水処理に酸化・還元反応を利用する目的は、これらの反応によって廃水中の有害物を無害な物質に変化させたり、沈殿物にして除去、回収を行なうことであり、2 次的には滅菌、脱色などの効果も期待できる。酸化剤、還元剤はたとえその作用がすぐれていても経済的な制約が大きければ利用できない。酸化・還元剤に要求される条件として次のようなものがあげられる。

- 価格が合理的であること。
- 酸化剤・還元剤自身が無害であり、2 次的処理の必要がないものであること。
- 廃水中の特定汚染物質に対して選択的に作用すること。

○常温で反応速度がある程度大きいこと。

○反応時の pH に極端な偏向のないこと。

代表的な酸化剤、還元剤としては塩素、次亜塩素酸塩、2 酸化塩素、オゾン、空気、亜硫酸ガス、第 1 鉄塩などがある。過マンガン酸塩、重クロム酸塩、硝酸などは酸化作用は大きいが上記の条件のいくつかに抵触するので不適格である。

#### c. 凝集

廃水処理における凝集とは普通に行なわれる沈殿処理では除去できないような浮遊物、コロイドなどの小粒を互にくっつけ合わせて大きい粒子（フロック）にし、重力による沈殿を可能ならしめる操作をいう。小さい粒子が大きい粒子に成長する過程は、電気的な力、化学的な力および物理的な力の三つによって支配される。一般に水中に浮遊する微粒子は正または負に帯電していて、同種の電荷を有する粒子は互いに反発し合って容易に結合することはない。その上、粒子の粒径が小さくなればなるほど表面積が大きくなるから電荷の粒子に対する影響が大きくなる。このような正または負の電荷を持った粒子群の中にそれと反対の電荷を持った物質を加えてやれば、粒子は電氣的に中和され粒子が接近したさいに結合しやすくなる。このような作用を有する物質を凝集剤というが、それらには電解質、金属水酸化物、界面活性剤および高分子物質などがある。また電氣的中和作用のほかに生成する沈殿が多孔質でゲル状のため表面積が大きく、吸着による粒子の捕捉や包含力も強く働くとされている。凝集装置として最近では急速凝集沈殿装置が使用される。これは凝集と沈殿を同一タンク中で行なうもので、処理時間が短いことと、装置の敷地面積が小さいのが特長である。

#### d. 吸着および吸収

吸着が廃水処理に利用されることは少ない。有価物の回収などに用いられることが考えられるが、回収が採算

にあうとすれば、廃水となる以前に回収操作が行なわれているのがより一般である。一方吸収は単独操作あるいは補助操作として利用されている。たとえばアルカリ廃水への炭酸ガスまたは煙道ガスの吸収、エアレーションとしての酸素吸収などがあげられる。

#### e. イオン交換

廃水処理の分野では有価物の回収、有害物の除去、濃縮などに利用される。一般にイオン交換樹脂はその交換容量がそれほど大きくないから、除去される物質の濃度は比較的小さい(0.3~0.5%)ことが望ましい。一方その交換反応はほとんど定量的に起こるので除去は比較的完全な場合が多い。したがってその処理水が再使用できるのは大きい特徴といえる。

### 3) 生物学的(生物化学的)処理

#### a. 散水汙床法

廃水がコロイド状の有機物や凝集、沈殿などの処理で除去できない溶解性有機物を含んでいるとき生物学的処理が必要となるわけであるが、散水汙床法では碎石などを積み重ねて汙床としたものに廃水を散水してその中で生物化学反応を行なわせ安定化した水を汙液として汙床の下部から取り出す形式のものである。汙床中での浄化機構は次のように説明されている。廃水を汙床に散水し続けると、やがて腐水中の微生物が汙材の表面につきゼラチン状の膜(生物膜)ができる。この膜が新しい廃水のコロイド状あるいは溶解性有機物を吸着、吸収し清澄作用をするとともに生物化学的な作用(細胞合成、合成成分の異性化など)をする。この方法の特徴をまとめると次のようになる。

○水質、水量の変化に対して安定性がある。

○維持管理費が安い。

○運転操作が容易である。

などの長所のほかに欠点としては、

○標準汙床法では場所をとること。

○建設費が高い。

○ハエが発生したり、悪臭が出る。

のようなものがあげられる。なおこの外に類似のものとしては、砂などの細かい汙床を有するものに廃水を間接的に注入し、汙過と通気をくりかえす間けつ汙過法、碎石をつめた槽中で圧縮空気による曝気を行ないながら廃水を通す接触汙床法などがある。

#### b. 活性汚泥法

廃水をおる一定時間空気と接触させると、やがてゼラチン状の汚泥が沈殿して上澄液がきれいになる。これは廃水中にその水質に適した微生物が繁殖し、ゼラチン状の汚泥をつくり、これが有機物を吸着し、生物化学的酸化作用で分解し浄化作用をするからである。この原理を応用したのが活性汚泥法と呼ばれる好気性廃水処理法である。この方法は一般に第1沈殿池、曝気槽、第2沈殿

池および汚泥の返送の四つの処理操作からなりたつ。まず廃水を第1沈殿池に導き重い沈殿物を除去する。そのあと第2沈殿池から返送されてきた活性汚泥と混合し、曝気槽中で曝気(普通6~8時間)を行なう。このさい活性汚泥の働きで有機物は吸着、凝集、酸化などの作用を受け汚泥とともに、第2沈殿池に送り込まれ分離される。この標準法の外にさらに高能率化をねらった方法として階段曝気法、バイオソープション法、クラウス法、ハイレート法などがある。

#### c. 嫌気性消化法

別名メタン発酵とも呼ばれている。嫌気的な状態のもとで有機物は嫌気性菌による分解を受け、メタン、炭酸ガス、水、硫化水素、アンモニウム塩などの安定した物質に変わる。この方法の特長は好気性処理(汙床法、活性汚泥法)のように大きい表面積を必要としないことと運転費が安いことである。しかし、有機物の濃度が1%以上でないとき経済的でなく4~5%が最適とされている。また処理水は臭気が相当強く色相も濃い、BODも一般に500~3,000ppmで相当大きいなどの欠点がある。主として凝集法や活性汚泥法などで得られた汚泥の処理に利用され、処理水はさらに好気性処理法などで2次処理を行なう。

### (3) 廃水処理の状況

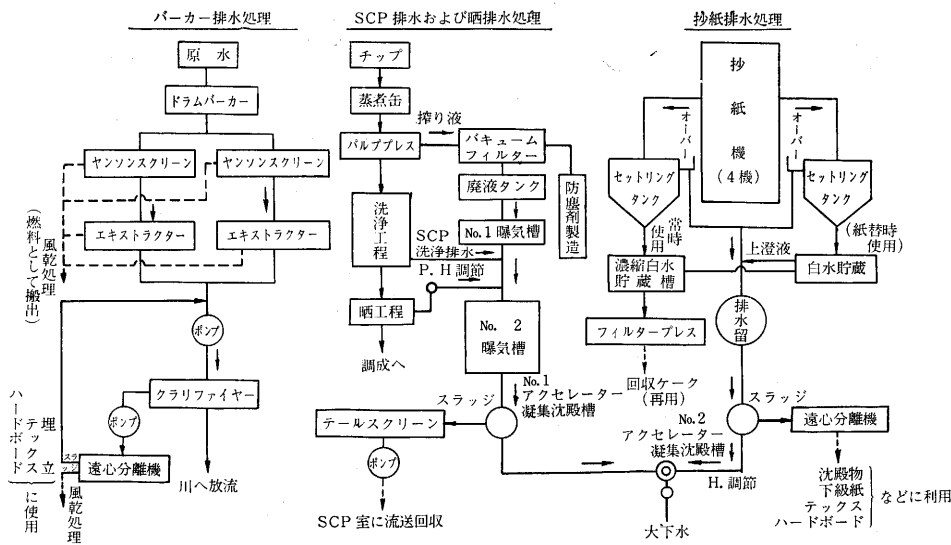
#### 1) 現 況

きびしい国際競争からけおとされないため生産技術の早急な開発と生産規模の拡大化の必要性に迫られてきたわが国の産業は、直接生産にプラスすることの少ない廃

第8表 工業別廃水処理状況

業種名	工場数	浄化処理設備				放 流 先		
		化学的	物理的	化学併用	無	下水	河川	海
肥料	62	6	4	8	44	9	37	20
硫酸	21	11	1	6	3	1	14	6
ソーダ工業薬品	21	1	5	—	15	1	7	13
無機薬品および顔料	216	16	39	14	147	62	97	57
高圧ガス	170	—	31	2	137	73	64	33
火薬類	22	2	1	1	18	10	11	1
タール製品	26	2	9	1	14	5	16	10
中間物および合成染料	72	4	15	4	49	20	48	6
有機薬品	25	1	4	—	20	9	17	2
醸酵製品	21	1	8	3	9	—	16	5
硝化綿およびセルロイド	29	1	1	—	27	17	10	3
合成樹脂および可塑性	80	3	9	2	66	41	30	9
写真感光材料	7	3	2	—	2	2	5	—
油脂製品	292	2	22	—	268	204	66	22
塗料	184	—	9	—	175	142	41	8
印刷インキ	108	1	6	—	101	97	11	—
総 合	28	4	9	6	9	3	13	3
計	1,384	58	175	47	1,104	696	503	208

(注) 通商産業大臣官房調査統計部編「昭和33年版本邦化学工業設備の現況」による。



第 2 図 廃水処理フローシート

水処理施設の設置のための余裕を欠いたといえる。昭和33年版本邦化学工業設備の現況を第 8 表に示す。

## 2) 業種別処理例

### a. 紙・パルプ工業廃水

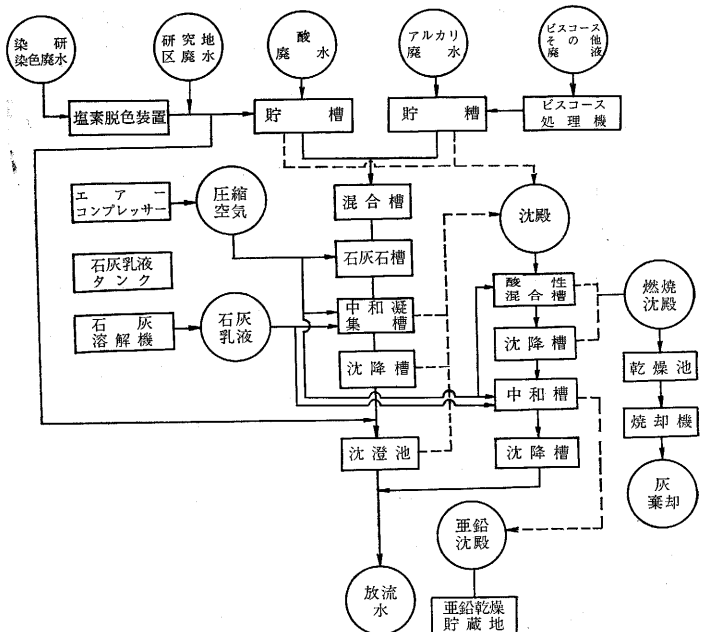
紙・パルプの製造には大量の水を必要とし、パルプ 1 トン当たりだいたい 500m<sup>3</sup>、紙では 300~500 m<sup>3</sup> 程度の水が使用される。パルプおよび製紙工場において、廃水源として廃水量、汚染物量の点で問題となるものはパーカー廃水、パルプ廃水、洗晒廃水、製紙廃水の四つで、このうち最も汚染されているのはパルプと洗晒からの廃水であって、これに次いで製紙廃水、パーカー廃水の順になる。紙・パルプ工業廃水の一般的な特徴としては、廃水量の多いこと、汚染度が高いことなどがあげられるが、木材から紙をつくるさいその成分の 30~50% が溶解性または浮遊性物質として廃水中に投棄されるほどだから当然といえる。処理方法は各種のものが採用されているが、技術的にも経済的にも完全なものはないのが実状である。凝集沈殿法、単純曝気法、活性汚泥法などが主として使用されている。第 2 図は紙・パルプ工業の廃水処理フローシートの 1 例である。

### b. レーヨン工業廃水

レーヨン工業は多量の水を使用する工業であり、廃水もしたがって多量である。廃水としては i. 原液工程(アルカリ廃水)、ii. 紡糸工程(酸廃水)、iii. 後処理工程(酸およびアルカリ廃水)の三つに分けられる。量的に多いのは後処理工程の廃水である。工程中で排出する酸、アルカリ性の廃水を混合して酸性とし、硫化物などを分解、曝気を行なって H<sub>2</sub>S などを追い出し、石灰石、消石灰で中和して水酸化亜鉛(亜鉛は紡糸溶液に由来する)を主にした沈殿をつくる。一般に処理の困難な色や沈殿しにくい濁りもこの沈殿に吸着され、これを沈降分離して清澄な排水を得る。第 3 図に廃水処理フローシートを示す。

### c. 石炭乾留工業廃水

ガス液(安水)、ガス洗浄廃水が石炭乾留工業廃水のおもなものである。ガス液とは石炭中の水分が熱分解生成物の一部を溶解してタールとともに留出した液をいい、その量は石炭重量の 7~8% に相当する。この中にはアンモニアのほかにフェノール硫化物、シアン化物など多種多様の物質が含まれている。ガス洗浄廃水は石炭ガスを冷却するとともにガス中にあるナフタ



第 3 図 廃水処理フローシート

リン、ダスト類を除去することを目的とした装置からの排水で、ナフタリン、ダストのような固形物のほかに、複雑な水溶性成分を含有する。汚染物質のうち、油、タール、ナフタリン、ダストのような比重分離の可能なものは沈殿池または油分離槽を設けて除去する。これらの操作をすませたのち、アンモニア類およびフェノール類は次のような各種の方法で処理される。

- |        |                    |
|--------|--------------------|
| アンモニア類 | 回収法……蒸留法           |
|        | 非回収法……中和法          |
| フェノール類 | 回収法……抽出法、追出法、吸着法、  |
|        | 沈殿法                |
|        | 非回収法……廃棄法、消化法、蒸発法、 |
|        | 化学的酸化法、微生物酸化法      |



## d. 石油精製工業廃水

廃水の大部分は冷却水なので、装置などの漏洩事故などのないときは、たいした汚染はない。ただし約2%をしめる洗浄水は油、その他化学薬品を含有するので処理を必要とする。

石油精製では通常原油に対して0.1~2%の損失があるが、バイパースを除いた大部分が廃水となって流出する。したがって汚染問題を解決する上で油を回収する必要があるのみならず、損失防止という経済上の立場からあるいは引火事故の防止の立場から必要とされる。分離回収のための装置としては普通の形の油分離槽や加圧浮上分離装置が使用されている。

## e. 工業廃硫酸

硫酸廃液を排出する最も大きな源は、鉄鋼工場のピッキング工程および酸化チタン製造工程である。ピッキング廃酸は遊離の硫酸1~8%、硫酸第1鉄14~25%程度を含んでおり、酸化チタン廃酸は原料と製造方式によって異なるが、高チタン滓を使用した場合の例では全硫酸330%、遊離硫酸220%、鉄(硫酸鉄)33%、そのほかアルミ、チタン、マグネシウムなどの硫酸塩を含んでいる。ピッキング用および酸化チタン製造用として年間40万tも使用される硫酸の廃液処理方法として考えられるものは次のようなものである。

## i アルカリによる中和

廃棄の予備処理として、アルカリ性の物質、たとえば石灰、石灰石、ドロマイト、アセチレン発生のカーバイド滓などで中和する方法が広く行なわれている。

## ii 廃酸の利用

酸化チタンの廃酸をピッキングや廃アルカリの中和に用いたり、鉍石の処理、たとえば軟マンガン鉍、重晶石の処理に用いたりするほかに、アンモニアと反応させて硫酸を製造する方法が確立された。

## iii 硫酸の濃縮と含有塩類の回収

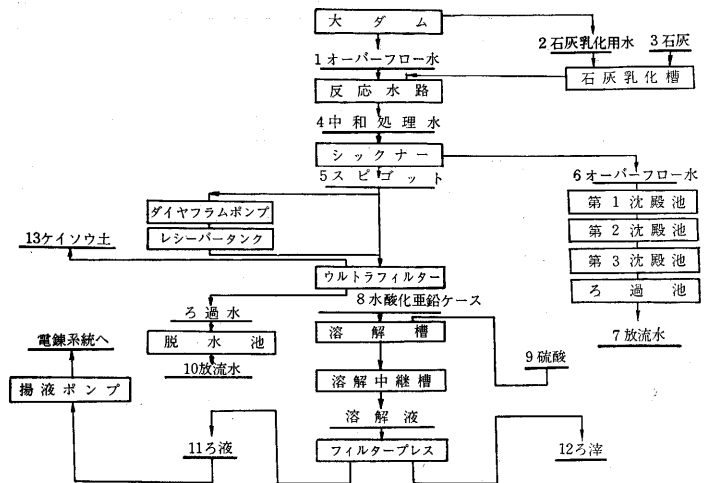
廃硫酸から硫酸を回収するには、濃縮と同時に含有塩類を析出させて回収を行なう方法が考えられている。

## f. 鉍山廃水

鉍山の廃水は中和して金属を沈殿物として除去する処理方式が一般的であるが、防害設備に莫大な資金を要するので、最近では鉍水中の含有物を一つの資源と考え、積極的に回収しようとしている。硫化鉍物を産する鉍山の場合、鉍水を処理した沈殿は銅を3~4%含むが、水酸化物で膠状沈殿のため物理的脱水はなかなか困難で、かつその量が多いので脱水の経費も多くかかるため含有金属は有効に利用されず廃棄されていた。研究の結果、金属の沈殿するpHが異なる点に着目し、分別沈殿を行えば銅分の多い沈殿の得られることがわかり第4図のような処理方法が確立された。

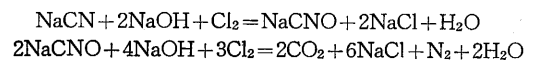
## g. メッキ工業廃水

メッキ工業廃水の特徴はBOD成分や浮遊物がほとんど含まれておらず、そのかわり銅、ニッケル、クローム、



第4図 廃水処理フローシート

亜鉛などの金属イオンやシアン、塩素などの有害物質を含むことである。そしてそのpHはほとんどの場合酸またはアルカリに片よっている。したがって処理方法としては消石灰、カセイソーダなどによる中和、金属イオンおよびシアンの除去などが重要な操作となる。シアン化物はきわめて少量(0.5~2ppm程度)でも魚を数分間で殺すので、その処理には十分注意する必要がある。アルカリ性として塩素により分解し、無害な炭酸ガス、窒素ガスとして放出する方法が用いられている。塩素のかわりに次亜塩素酸塩またはサラン粉を用いてもよい。塩素の場合の反応式を示せば次のとおりである。



## h. 食品工業廃水

業種により量、質とも多種多様であるが、いずれの場合も比較的多量のBOD成分を含有しており、河川などの溶存酸素を消費してそこを汚染する。したがって処理が必要になる。まず廃水中の粗大な浮遊物や夾雑物をスクリーンなどで除去し、沈砂地に導き、流速と滞留時間を適当にして土砂以外はなるべく沈殿させないようにする。ついで沈殿池に導き、有機性懸濁物を沈殿除去する。これだけで放流可能な場合もあるが、廃水量が多く、沈殿分離が十分でないときはさらに高級な処理が必要になる。

(1965年10月5日受理)

## 参考文献

- 1) 木村恒行著; 産業公害(日刊工業)
- 2) 水利科学研究所編; 水文学大系第7, 8巻(地人書館)
- 3) 用水廃水便覧編集委員会編; 用水廃水便覧(丸善)
- 4) 沢田敬一; 用水と廃水, 1(2), 35(1959)
- 5) 三浦義明; SCP 廃水の酸化処理, 化学技術, 4(8), 140(1960)
- 6) 中根康雄; 除害と回収, 化学工業, 13(臨時増刊2), 153, 155(1962)
- 7) 通商産業公害課編集; 産業と公害, 205

## 正誤表(10月号)

ページ	段	行	種別	正	誤
4	右	下9	本文	過大評価	過大評過