

## 環境対策、環境負荷の無害化処理、発生源処理

### 4.1.7 排水の排出基準と処理工程

排水には主に工場から排出される産業排水と生活排水がありますが、排出基準は共通に設定されています。産業排水は含まれている環境負荷物質が多様なので、一般的に発生源処理が必要です。しかし水質が生活排水に近い場合は、固形物を除去した後下水道に放流できる場合もあります。本稿では排水の発生源処理と集中処理の区分、排出基準、排水の処理技術と処理工程を概説します。

排水処理は事業活動で発生する排水、または家庭で発生する排水を、環境に影響を与えない水準にまで浄化して公共用水域に放流する役割を担っています。雨水は人為的な活動では発生しないので、工場や家庭の敷地から流出しても環境負荷物質を含んでいません。このため、固形物を除去するだけで公共用水域に放流されます。公共用水域は水質汚濁防止法で定められた公共利用のための水域や水路で、河川、湖沼、港湾、沿岸海域、公共溝渠、かんがい水路です。下水道は公共用水域に含まれていませんが、雨水と排水を分けて集めている分流式下水道の場合は、雨水の集水路だけが公共用水域に認められています。なお、下水処理場は下水道法で「終末処理場」となっていますが、好ましいイメージを与えようと、水再生センターとか、浄化センターと呼ぶ地方自治体が少なくありません。

#### 1. 発生源処理と集中処理

排水処理には発生者が自ら処理する発生源処理と、下水処理場で処理する集中処理の二つの形態があります。産業排水も専用の処理施設に集めて処理する場合がありますが、ほとんどが工場団地

内の小規模施設なので発生源処理に含めます。製造業から排出される産業排水は、一般的に含まれている汚染物質の種類や濃度が多様なので、集中処理には適していません。したがって通常は発生源処理になります。しかし製造業でも食品加工業の排水などは、水質が生活排水に近いので下水処理と同様の生物処理が中心になります。このため、下水処理場での集中処理が可能な場合があり、水質が下水処理場の受け入れ基準(事業場の排除基準)に適合すれば、

固形物を除去した後下水道に放流できます。排出源が業務施設(オフィス、流通、販売、サービス、宿泊、教育、医療など)の場合も、排水の水質が生活排水に近いので、多くが下水処理場の集中処理対象になります。

一方、生活排水でも下水道が普及していない地区は排出源処理が必要です。都市部は下水道の普及率が高いので、ほとんどの生活排水が集中処理の対象になるでしょう。しかし人口密度が低い地域は、下水道の普及率が5割に満たない地区が少なくありません。人口密度が低いと、下水道の費用対効果が小さいからです。また下水道があっても、地理的に下水道から遠い場合があります。観光地の宿泊施設やリゾートホテルは下水道から遠いことが多く、その場合は排出源処理が必要です。排出源処理と集中処理の区分は表1になります。

表1. 発生源処理と集中処理の区分

産業排水	非生活排水→発生源処理(分散処理)
	生活排水系→発生源処理(下水道なし) →集中処理(下水道利用可)
生活排水	→発生源処理(下水道なし)
	→集中処理(下水道利用可)

## 2. 排水設備（特定施設）と排水基準

公共用水域に排水を放流できる設備は、水質汚濁防止法の規定で特定施設とされています。ほとんどすべての業種にわたって詳細に規定されているので、該当設備は概ね 400～500 種類に達しています。これらの設備を設置する事業者は、管轄する都道府県に設備の内容と、排水の排出量や水質を届け出る義務があります。もし排水基準や環境負荷物質の総量規制に適合しなければ、設備や排水計画の変更命令が出されます。設備を変更した場合も、変更内容の届け出が必要です。都道府県は、特定施設の設置と改廃の届け出で地域の環境負荷を把握することができ、環境行政に大いに役立っています。

排出が許容される水質の基準（排出基準）には全国一律の基準、都道府県による上乘せ基準、閉鎖性水域を対象とした総量規制基準があります。全国一律の基準には、生活環境項目として水素イオン濃度（pH）など 15 項目、健康項目としてカドミウムやシアンなど 28 項目が設定されています。上乘せ基準は、一律基準で地域の環境基準を達成するのが困難な場合に、都道府県知事が実態に合わせて設定できることになっています。総量規制制度は、上乘せ基準も含めた排水基準でもなお環境基準を達成するのが困難な場合に採用されます。閉鎖性水域に流入する汚染負荷を総合的に削減するのが目的で、現在は東京湾、伊勢湾、瀬戸内海、大阪湾が対象水域に指定されています。表 2 に生活環境項目の排水基準を、表 3 に健康項目の排水基準を示します。なお、下水道に放流できる産業排水の水質基準（事業場の排除基準）は、各下水処理場が個別に設定しています。一般的に健康

表 2. 生活環境項目の排出基準（全国一律）

項目	許容限度
水素イオン濃度（pH）	海域外：5.8～8.6 海域：5.0～9.0
生物化学的酸素要求量（BOD）	160mg/L （日間平均 120mg/L）
化学的酸素要求量（COD）	160mg/L （日間平均 120mg/L）
浮遊物質（SS）	200mg/L （日間平均 150mg/L）
ノルマルヘキサン抽出物質含有量	5mg/L（鉱油類含有量） 30mg/L（動植物油脂類含有量）
フェノール類含有量	5mg/L
銅含有量	3mg/L
亜鉛含有量	2mg/L
溶解性鉄含有量	10mg/L
溶解性マンガン含有量	10mg/L
クロム含有量	2mg/L
大腸菌群数	3000 個/cc （日間平均）
窒素含有量	120mg/L （日間平均 60mg/L）
リン含有量	16mg/L （日間平均 8mg/L）

表 3. 健康項目の排出基準（全国一律）

有害物質の種類	許容限度
カドミウムとその化合物	0.03mg/L
シアン化合物	1 mg/L
有機リン化合物（注 1）	1mg/L
鉛とその化合物	0.1 mg/L
六価クロム化合物	0.5 mg/L

表 3. 健康項目の排出基準（全国一律）（続き）

有害物質の種類	許容限度
砒素とその化合物	0.1 mg/L
水銀とアルキル水銀その他の水銀化合物	0.005 mg/L
アルキル水銀化合物	検出されないこと
ポリ塩化ビフェニル	0.003mg/L
トリクロロエチレン	0.1mg/L
テトラクロロエチレン	0.1mg/L
ジクロロメタン	0.2mg/L
四塩化炭素	0.02mg/L
1,2-ジクロロエタン	0.04mg/L
1,1-ジクロロエチレン	1mg/L
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4mg/L
1,1,1-トリクロロエタン	3mg/L
1,1,2-トリクロロエタン	0.06mg/L
1,3-ジクロロプロペン	0.02mg/L
チウラム	0.06mg/L
シマジン	0.03mg/L
チオベンカルブ	0.2mg/L
ベンゼン	0.1mg/L
セレンとその化合物	0.1 mg/L
ほう素とその化合物	海域外：10 mg/L 海域：230 mg/L
ふっ素とその化合物	海域外：8 mg/L 海域：15 mg/L
アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物、硝酸化合物（注2）	100mg/L
1,4-ジオキサン	0.5mg/L

注1：パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン、EPN（農薬）

注2：アンモニア性窒素に0.4を乗じたもの、亜硝酸性窒素と硝酸性窒素の合計量

項目は一律の排出基準に準拠しており、生活環境項目は生物化学的酸素要求量（BOD）と浮遊物質（SS）が概ね600mg/Lで、一律の排出基準より緩い例が多いです。下水処理場にBODとSSの処理能力があるからです。

### 3. 排水処理の役割と環境負荷物質

産業排水にも生活排水にも含まれている環境負荷物質は、浮上または沈殿している固形物、粒子状の浮遊物、油分、溶解している有機物、有害物質です。水に浮く固形物は景観を台無しにし、流れをせき止めます。水に沈む固形物は水路の障害になり、底泥の小動物や魚介類の生存を妨げます。粒子状の浮遊物は水を濁らせて太陽光の入射を妨げ、光合成を阻害して水中生物の生育を阻害します。浮遊物が有機物なら、水中の酸素を奪って分解するので水域を酸欠にし、魚介類の死滅に結びつきます。溶解している有機物も、放流された水域で分解して酸素を奪うので、水中生物の環境を劣化させます。有害物質が水域に放出されれば魚介類の生命を奪い、飲料水に混入すれば地域に住む人々の健康に障害を与えます。排水処理は、排水が公共水域に放流される前に環境負荷物質を除去する役割を担い、具体的には技術に裏付けされた多様な設備で実施されています。

### 4. 排水処理の要素技術

多様な排水があるので必要な処理技術も多様ですが、大きく分けると物理化学処理と生物処理の2分野があり、それぞれの分野が多くの要素技術で構成されています。

#### 4.1 物理化学処理

表 4 に物理化学的処理の構成を示します。固液分離は、家庭からの排水でさえキッチンのシンクに水切り升があり、排水路には砂や泥を分離するコンクリートの升がります。キッチンのシンクにある水切り升はスクリーンの 1 種で、排水路にあるコンクリートの升は自然沈殿の一種です。このように固液分離は、どんな排水処理にも共通の基本的な要素技術です。

表 4. 物理化学処理の構成

大区分	中区分	要素技術
pH 調整		
分離技術	固液分離 油水分離	スクリーン
		自然沈殿
		油水分離
		凝集沈殿
		加圧浮上
		清澄ろ過
		膜分離
	溶解物質 分離	活性炭吸着
	イオン交換	
分解殺菌技術		酸化・還元
		殺菌
		紫外線照射

#### 4.1.1 自然沈殿

装置は沈殿槽または沈殿池といわれ、主に 0.2mm 以上の砂の分離を目的に設計されます。有機物は沈殿しないので次の処理装置に送ります。沈殿槽は円形か長方形で、沈殿物は底部の 1 か所に集まるように設計し、エアリフトポンプで抜き出します。下水処理場の沈殿池は大規模なので、底部に砂泥をかき寄せる機械装置を設置していません。

#### 4.1.2 油水分離

油水分離装置は細長い長方形で、油分を含む排水を分速 1メートル程度で流し、0.15mm 以上の油滴を集めてスキマーで機械的にかき取ります。

#### 4.1.3 凝集沈殿

排水中に浮遊している粒子のうち、大きさが 10 μm くらいまでは自然沈殿やろ過で分離することができます。しかし μm 以下の粒子は多くが水中でブラウン運動をしており、粒子の表面が負に帯電していて、相互に反発し合って懸濁状態を保っています。したがって正の電荷をもつイオンを添加すると反発力が弱まって凝集し、沈降速度の大きいフロックになります。この機能を発揮するのが凝集剤で、水に溶けて加水分解し、正の電荷をもつ金属酸化物を生成します。凝集沈殿は排水槽に凝集剤を投入して攪拌し、浮遊物を凝集させて沈殿させ、排水から分離する処理です。凝集剤には表 5 に示す無機の凝集剤と高分子凝集剤があり、凝集効果を確認するテストで適切な凝集剤を選択します。凝集によって生じた粗大粒子はフロックと呼ばれますが、硫酸アルミニウムを代表とする無機の凝集剤で生じるフロックには大きさに限界があります。一方、高分子凝集剤は高価格ですが、少量の添加で大きなフロックを形成します。このため、無機の凝集剤と高分子凝集剤を組み合わせる使用するのが一般的です。

#### 4.1.4 加圧浮上

加圧下で空気を水に溶解させてから大気圧に開放すると、極めて微細な気泡が発生します。この気泡は水中の固体と液体の境界面に発生しやすいので、排水中の浮遊物質に付着して表面に浮上させます。加圧浮上はこの原理を装置に具体化した

表 5. 主な無機凝集剤と代表的な高分子凝集剤

主な無機凝集剤	アルミニウム塩	硫酸アルミニウム
		アルミン酸ナトリウム
		塩化アルミニウム
		ポリ塩化アルミニウム
	鉄塩	硫酸鉄(Ⅱ)
		硫酸鉄(Ⅲ)
		塩化鉄(Ⅲ)
		塩化コッパラス
		ポリシリカ鉄
	代表的な高分子凝集剤	陰イオン性ポリマー
CMCナトリウム塩		
ポリアクリル酸ナトリウム		
ポリアクリルアミドの部分加水分解塩		
マレイン酸共重合体		
陽イオン性ポリマー		水溶性アニリン樹脂
		ポリチオ尿素
		ポリエチレンイミン
		第4級アンモニウム塩
		ポリビニルピリジン塩
非イオン性ポリマー		ポリアクリルアミド
		ポリオキシエチレン
		カセイ化デンプン

処理方法で、図 1 に処理工程を示します。凝集剤と混合された排水(原液)は空気溶解槽に送り、加

圧状態で圧縮空気と数分間混合して、空気を溶解させます。空気溶解槽は空気の完全溶解と過剰空気の分離を兼ねているので、頂部に空気抜き弁を設けます。空気を溶解した排水は円形か長方形の浮上分離槽に送られ、スキマーが減圧されて浮上した固形物をかき寄せます。浮上せず逆に沈殿する固形物もあるので、底部からも抜き出します。

#### 4.1.5 清澄ろ過

凝集沈殿や加圧浮上でも分離できなかった固形物を、ろ過装置で分離するのが清澄ろ過です。ろ材として一般的に砂を利用するので、砂ろ過ともいわれています。装置は図 2 に示す円筒形の密閉構造が多く、排水はポンプで通常は上から下に流します。一般的なる過速度は 1 日に 100m 程度の急速ろ過ですが、大規模な浄水場の砂ろ過には緩速ろ過(1 日に 5m 程度)が広く採用されてきました。ろ材には固形物が徐々に蓄積してろ過抵抗が大きくなるので、適切なタイミングで排水を逆流させ洗浄します。

#### 4.1.6 膜分離

微細な穴をもつ膜を通して排水をろ過し、細菌のような大きさの懸濁物質を分離するのが膜分離です。分離膜は高分子化合物でできた緻密なるろ過器で、いくつかの形式がモジュール化され市販されています。分離装置として使う膜は、ほとんどが平膜か中空糸膜です。

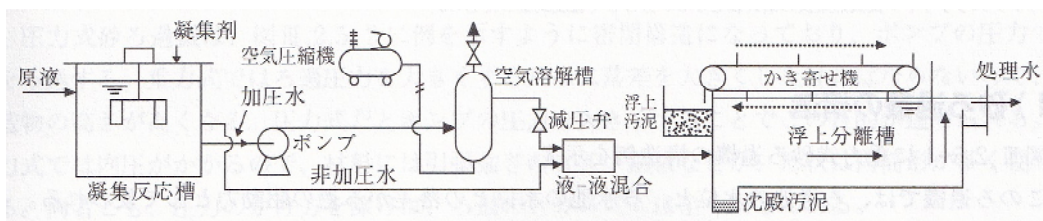


図 1: 加圧浮上装置の構成 (出典: 末尾に記載)

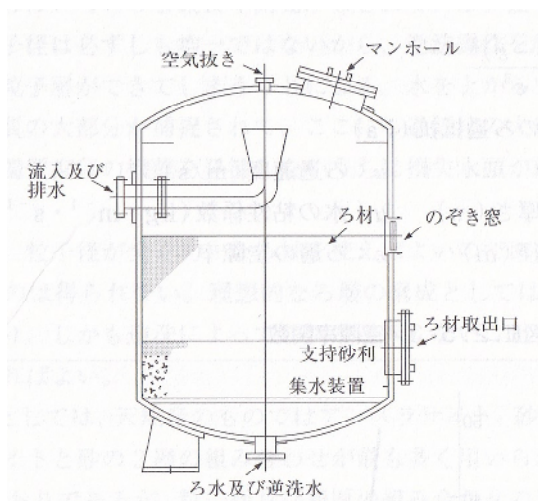


図 2. 砂ろ過装置の例 (出典：末尾に記載)

平幕は透水性の多穴板の表裏に膜を装着し、多数の多穴板を重ね合わせて使用します。中空糸膜は繊維をマカロニ状に成形した製品で、中心の空間部分とそれを取り囲む壁の部分から成り、壁の部分分離膜として使用します。1本のチューブは、内径が 100～400  $\mu\text{m}$ 、膜厚は数 $\mu\text{m}$ から 200  $\mu\text{m}$ 程度で、多数を束ねて使います。中空糸膜は平膜に比べて、装置に組み込むと同一容積で膜として利用できる面積が非常に大きいのが特徴です。分離膜には細孔の大きさの違いから次の 4 種類がありますが、装置の構成はほぼ共通です。逆浸透膜を使用する分離工程を図 3 に示します。

- ①精密濾過膜 (略称 MF) : 孔径が 0.05～数 $\mu\text{m}$ 程度で、微細な懸濁粒子や細菌の分離に使用。
- ②限外濾過膜(UF) : 分子量が 1000～百万程度の溶質または粒子の分離に使用。0.1  $\mu\text{m}$ ～2 nm の範囲の粒子や高分子が分離される。
- ③ナノ濾過膜(NF) : 2 nm より小さい粒子や高分子の分離に使用。
- ④逆浸透膜(RO) : 加圧により浸透圧差と逆方向に溶媒が移動する。水溶液からの水の分離に使用。

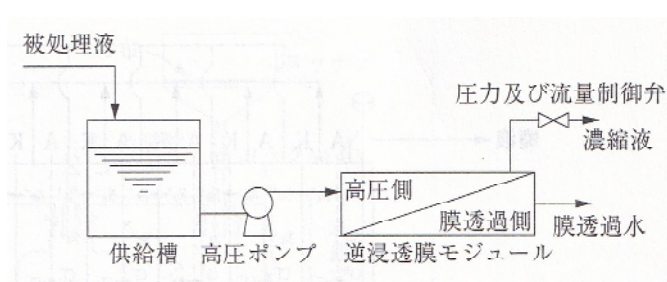


図 3. 膜分離の工程 (出典：末尾に記載)

これまでに述べた 4.1.1～4.1.6 の自然沈殿、油水分離、凝集沈殿、加圧浮上、清澄ろ過、膜分離は、排水中の固形物と油分の分離方法です。一方、溶解している環境負荷物質の分離には、活性炭吸着とイオン交換が利用されます。

#### 4.1.7 活性炭吸着

活性炭は木質系原料(ヤシ殻、木材、おがくずなど)か石炭を炭化し、賦活化することで得られます。賦活化は炭化した原料を水蒸気と二酸化炭素と共に 700℃～1000℃に加熱する処理で、炭素の部分反応によって微細孔(直径 10～200Å)が生成します。通常は二酸化炭素の代わりに空気を使いますが、空気は原料の燃焼で二酸化炭素を発生させるからです。活性炭の微細孔には莫大な比表面積があり、排水に溶解している有機物を効率よく吸着する能力があります。活性炭吸着装置は砂ろ過とほぼ同じ構造で、ポンプを使って排水を活性炭の層に通します。有機物を吸着した活性炭は吸着容量が飽和に達すると、それ以上の吸着ができなくなるので再生処理が必要です。活性炭の一般的な再生方法は流動燃焼炉による高温処理で、吸着した有機物が放出され活性を取り戻します。

## 4.2 生物処理

生物処理の代表は好気性微生物を利用する活性汚泥法ですが、微生物への酸素の供給形態の違いから回転円盤方式、接触曝気方式、散水ろ床方式など微生物を膜状に固定する方法もあります。活性汚泥法は生物化学的酸素要求量（BOD）が約3000mg/L以下の排水処理に適しており、それより高濃度の排水処理は困難です。一方、酸素を必要としない嫌気性の細菌を利用する嫌気処理は、BODが数千mg/L～数万mg/Lの高濃度処理に適しており、醸造排水やし尿処理に使われています。

#### 4.2.1 活性汚泥法

活性汚泥法は、排水中で好気的な微生物を培養しながら、その微生物で有機物を分解する処理方法です。活性汚泥は多くの好気性微生物と有機・

は汚泥の濃度を一定に保つ必要があるため、沈降層の汚泥の一部を曝気槽に戻します。残る汚泥は沈殿槽の底部から抜き出して、脱水や埋め立てなど別途に処理・処分します。活性汚泥処理で溶解性のBODは10mg/L以下、固形物を含めても20mg/L以下になります。

#### 4.2.2 生物膜法

活性汚泥法は微生物を均一に浮遊させて有機物と接触させますが、生物膜法は微生物を支持機材の表面に膜状に固着させて処理する方法です。回転円盤方式は円盤の表面に微生物を固着させ、下半分を排水槽に浸し、上半分を水面上に出して回転させます。微生物は円盤が水中にある時に有機物を分解し、水面上に出ているときは空気から酸素を吸収します。曝気が不要なのが長所です。

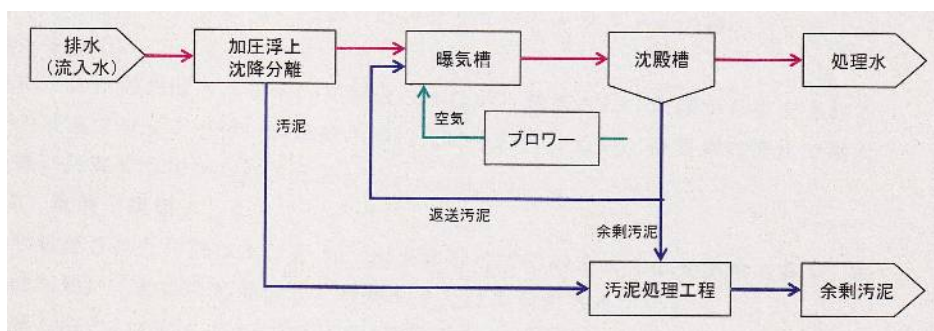


図4. 標準的な活性汚泥処理工程

無機性の浮遊物質で構成するフロック（小さな塊）で、微生物は数μmから数百μmの細菌類、原生動物（単細胞）、藻類、水生昆虫類などです。図4に標準的な活性汚泥処理工程を示します。排水は浮遊物を凝集沈殿や加圧浮上で分離してから、下から空気の気泡を吹き出す曝気槽に導かれます。曝気は好気的な微生物に酸素を供給するためです。曝気槽で排水中の有機物は大部分が炭酸ガスと水に分解され、汚泥は曝気槽の底に沈むので下流の沈殿層に移します。効率よく有機物を分解させるに

接触曝気方式は、排水槽に沈めた充填剤の表面に微生物を固着させて曝気します。微生物が固定化されているので、負荷変動や運転休止への対応に優れていますが、高負荷運転が続くと微生物膜が肥大化し、閉塞を起こすことがあります。散水ろ床方式では碎石やプラスチックの表面に微生物を固着させ、上から排水を散水します。BODの除去率は大きくありませんが、装置が簡便で動力費が少ないのが長所です。

#### 4.2.3 嫌気処理法

嫌気処理法は、嫌気細菌の作用で高分子有機物をメタンや二酸化炭素に分解します。メタン発酵

法がその代表で、好気性処理と違う三つの長所があります。一つは嫌気細菌を利用するので曝気の動力が不要な点です。二つ目はメタンガスが得られるのでエネルギーとして利用できる点です。三つめは汚泥の発生量が少ない点です。一方、発酵槽の滞留時間が長いので装置が大型になり、所要スペースと費用の負担が大きいのが短所です。

発酵に長時間を要するのは、図5に示すように発酵に3段階の逐次反応が必要だからです。排水中の有機物は加水分解と発酵で高級脂肪酸に変わり、次に水素と酢酸になり、それからメタンと二酸化炭素に変わります。図6にメタン発酵の工程を示します。

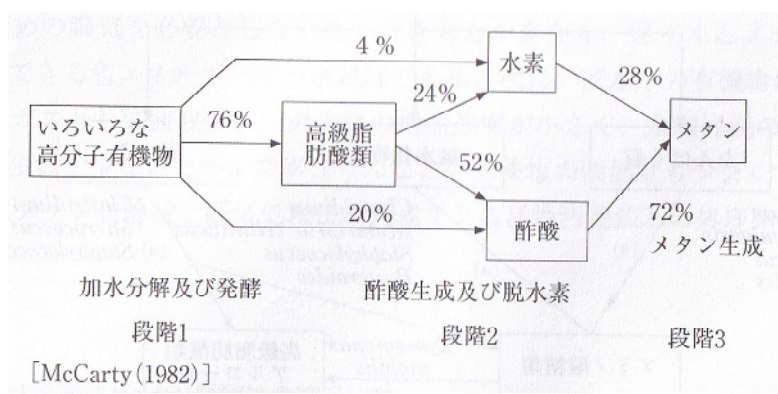


図5. メタン発酵の3段階 (出典：末尾に記載)

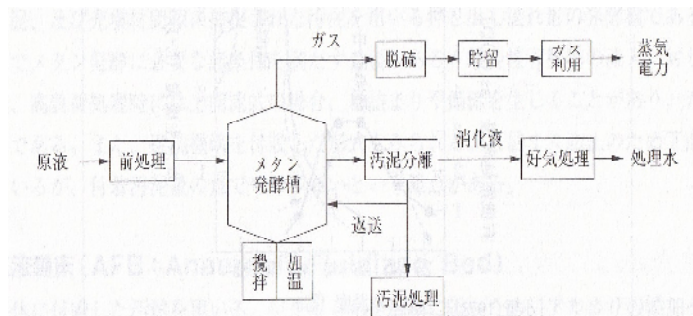


図6. メタン発酵 (嫌気処理) の工程 (出典：末尾に記載)

## 5. 産業排水の処理工程

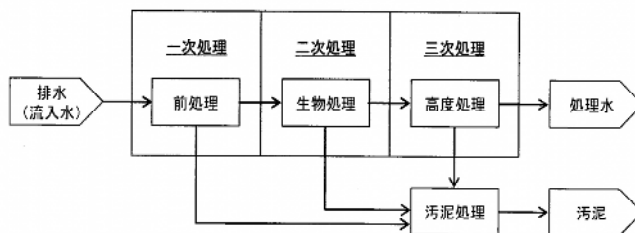


図7. 一般的な産業排水の処理工程

図7に一般的な産業排水の処理工程を示します。一次処理の目的は固形物、懸濁物質、油分の除去で、物理化学処理が中心です。二次処理は溶解している有機物の分解が目的で、生物処理の活性汚泥法が中心です。有害物質も多くが生物処理で生

じる汚泥に取り込まれます。三次処理は高度処理といわれ、二次処理でも除去できなかった有害物質、細菌類、窒素とリンが除去されます。技術的には物理化学処理のpH調整、分離技術、分解技術が中心的な役割を果たしますが、生物学的な窒素とリンの除去技術も利用されています。吸着やイオン交換も、溶解金属類の分離に有効です。トリクロロエチレンなどの有機塩素化合物と、ベンゼン類の除去には活性炭吸着と膜分離が利用されています。農薬類の除去にも活性炭吸着や膜分離が採用されます。

アンモニアの処理にはイオン交換、硝酸と亜硝酸の処理には生物処理が採用されています。以上は一般的な処理工程ですが、実際に採用する工程は排水量と水質をよく吟味し、費用対効果を考慮して慎重に選定する必要があります。日本には経験の豊富な水処理エンジニアリング企業もあるので、彼らに提案を求めるのも有益と思われます。 (おわり)

参考と図1~3および図5.6の引用：

公害防止の技術と法規 2020 (産業環境管理協会)