

## 2. 汚水等処理技術一般

### 2.1.2 工場内処理

向流洗浄 排水量を著しく減少できる (汚濁負荷量は減らない)  
めっき工場、静置式の水洗浴を多段 排水量、汚濁負荷量を軽減

濃厚で少量の排水は、希薄で大量の排水との混合を避けて、個別に処理した方が経済的。

### 2.1.3 排水処理計画

工場のすべての操業条件 (平常時とピーク時) に対する水収支を把握する。

(処理プロセス)

排水の種類と処理目的に応じた最適のプロセス (方法) を選定する。

処理装置の形式ではない

静置沈殿 (沈降) 試験 … 凝集剤を使用しない普通の処理

(処理装置の形式選定)

発生する廃棄物 (汚泥) 量等を考慮に入れる。

## 2.2 物理・化学的処理法

### 2.2.1 汚水処理法の概要

(ア) 固液分離 [SS、油分]

(イ) 有機物、還元性物質の酸化・分解 [BOD、COD] 生物学的方法

(ウ) pHの調節

(エ) 有害物質の除去

(オ) 無機栄養塩類の除去 [リン、窒素化合物]

(カ) 汚泥 (スラッジ) の処理 [80%以上の水分含有]

(1次処理) SSをスクリーン、沈降などにより物理的に除去

(2次処理) 排水中の有機物 (BOD) を分解又は除去するプロセス

・生物学的方法による (活性汚泥法など)

・BODの90%以上を除去。CODも付随していくらか除去。

(3次処理) 2次処理で除去できなかった有機物 (BOD、COD)、栄養、塩類 (窒素、リン) 等を除去する操作をひっくるめて総称。 (コスト高)

### 2.2.2 沈降分離

(1) 粒子の沈降速度

(終末沈降速度) … 粒子に働く重力と抵抗力 (速度の2乗に比例) が等しい一定速度の沈降

(Re レイノルズ数)

$$Re = \frac{d v \rho}{\mu}$$

$d$ : 粒子の直径 (cm)  
 $v$ : 粒子の沈降速度 (cm/s)

・レイノルズ数は粒子の直径  $d$ 、沈降速度  $v$  に比例する。

・排水処理の粒子は、 $d$  も  $v$  も小さく以下のストークスの式に従う。

(ストークスの式)

$$Re < 2 ; v = \frac{g(P_s - P)d^2}{18\mu}$$

$g$ : 重力加速度 ( $cm/s^2$ )  
 $P_s, P$ : 粒子、水の密度 ( $g/cm^3$ )  
 $\mu$ : 水の粘度 ( $g/cm \cdot s$ )

- ・なお  $2 < Re < 500$  アレンの式  
 $500 < Re < 10^5$  ニュートンの式
- ・粒子は球形であると仮定している (上記の式)
- ・沈降速度  $v$  は粒子の直径の 2 乗に比例する。
- ・沈降速度  $v$  は水温により変化する ( $\mu$  粘度に影響する)

(2) 沈降速度分布

アンドレアゼンピペットを用いる (デンマーク人の名前)

(3) 沈殿池の分離効率

$$v = \frac{Q}{A}$$

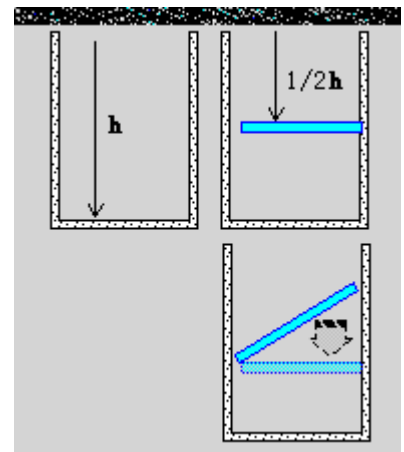
$v$ : 表面積負荷 = 上昇速度  
 $Q$ : 流入水量 ( $m^3/s$ )  
 $A$ : 表面積 ( $m^2$ )

- ・固形物の分離効率は沈降速度分布と表面積負荷によって決まる。
- ・沈降速度が  $v$  よりも大きい粒子はすべて沈降分離され小さいと流出する。
- ・横流沈殿池では沈降速度が表面積負荷より小さい粒子でも部分的に除去される。

(4) 沈殿池 (沈砂池)

下水処理の沈砂池は  $0.2\text{ mm}$  以上の土砂の分離  
 $0.3\text{ m/s}$  の平均流速

活性汚泥法における最初沈殿池の表面積  
 負荷  $40\text{ m/d}$  を設計基準



(6) 傾斜板

- ・右図のように水平板を 1 枚入れると清澄になる時間は  $1/2$  になる。
- ・言い換えれば水平板の表面積の分が増え、表面積負荷  $v$  は小さくなる。
- ・沈降速度は同じであるが、沈降時間が短縮される。
- ・傾斜板の場合、水平投影面積が有効面積である。
- ・傾斜板の場合、沈積したスラッジは自重で滑り落ちる。

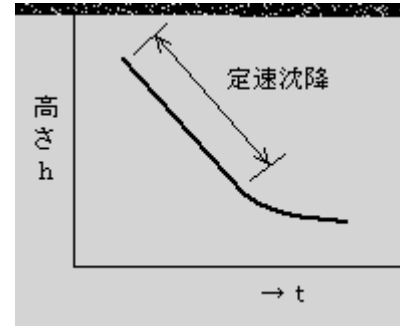
(7) 沈降濃縮

沈降の状態と回分沈降曲線

名前	沈降速度	形態
自由沈降	(一定)	固体濃度が希薄では 個々の粒子は固有の速度でそれぞれ沈降
界面沈降 (干渉沈降)	(遅い)	粒子濃度が高くなると、スラリーと清澄液との境界面に明瞭な界面を形成して沈降。 粒子同士が集合、干渉している。
圧縮沈降	(もっとも遅い)	さらに濃度が高くなると、上層粒子の重さによって下層粒子が圧縮される。

### 回分沈降曲線

- 定速沈降区間 … 界面の沈降速度一定で直線
- 圧縮脱水区間 … 沈降速度が急に減少  
(減速沈降区間)



### シックナー

シックナーの構造は、沈殿池と同じ。  
連続シックナーの汚泥槽を、かき寄せ機に立てたフェンスでゆっくり攪拌すると水の通り道ができ、濃縮が促進される。

### 2.2.3 凝集分離

粒子  $1\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$  ; 普通沈殿、ろ過法  
 $1\ \mu\text{m}$ 以下 ; 凝集法

#### コロイド(粒子)

- $0.001 \sim 1\ \mu\text{m}$
- 水中でブラウン運動
- 粒子表面が負に帯電し、相互に反発することで安定な分散状態を保つ
- ジーター電位  $-20 \sim -30\ \text{mV}$ 、この分散系に正荷電のコロイドやイオンで粒子のジーター電位を  $\pm 10\ \text{mV}$  にすると、凝集が起こる。(粒子間の引力が荷電による反発力を上回る)

このような目的の薬品を凝集剤と呼ぶ。

ジーター電位 コロイド粒子が表面に水分子を吸着させて動くときの水和層のせん断面の電位

#### (1) 凝集剤

- 水に溶けて加水分解し、正荷電の金属水酸化物のコロイドを生じる金属塩
- 鉄、アルミニウムの塩類が主に用いられる。
- 金属水酸化物はゲル状の沈殿で、多孔質のためその表面積が著しく大きい。  
物理化学的な吸着作用もある(表面荷電だけではない)

#### (無機凝集剤)

		最適 pH	特徴
Al	硫酸アルミニウム (硫酸バンド)	6 ~ 8 (中性)	・最も一般的 ・安価
	塩基性塩化アルミニウム ポリ塩化アルミニウム(PAC)		・液の pH を変えない ・色成分の除去
Fe	硫酸鉄(2)(3)	9 ~ 11 (アルカリ)	・鉄分が残り、着色することもある
	塩化鉄		

- 硫酸アルミニウムを水に溶かすと加水分解して水酸化アルミニウム  $[2\text{Al}(\text{OH})_3]$  のコロイド状沈殿を生じる。その際水中のアルカリが消費され、水の pH が低下(酸性)する。  
上表のように最適 pH 域となるように主にアルカリで pH 調整する。
- 無機凝集剤によってできるフロックの機械的強度はあまり小さくなく、フロックの大きさや沈降速度には限界がある。

- ・一般的にアルミ系は凝集力に優れ、鉄系は荷電中和力に優れる。

(有機高分子凝集剤)

- ・少量の添加量で凝集効果大。コロイドの結合力を強める。
- ・水に溶かしたときの荷電により、次の3種に分類。

**陽**イオン性ポリマー

- ・単独で使用
- ・負に荷電している粒子の表面荷電の中和と架橋作用

**陰**イオン性ポリマー (ポリアクリルアミドの部分加水分解塩)

- ・無機凝集剤と併用。粒子間に吸着架橋
- ・pH **6** 以上

**非**イオン性ポリマー (ポリアクリルアミド プラスティック)

- ・pH **8** 以上
- ・分子量が大きいほど凝集効果が大きい
- ・無機凝集剤と併用。粒子間に吸着架橋

・使用方法

無機凝集剤混入	<b>急速</b> 攪拌	フロックの形成
陰,非イオン性ポリマー混入	<b>緩速</b> 攪拌	より大きなフロックの形成

(2) ジャーテスター (凝集試験法)

500ml x 4ヶの試料  
 120 ~ 150 rpmで**急速**攪拌  
 凝集剤の濃度を変え 4ヶに注入 (1 ~ 5分間**急速**攪拌)  
 5分後 30 ~ 60 rpmで10 ~ 20分間**緩速**攪拌  
 沈降速度やフロックを観察する

与えられた原水に対してどんな凝集剤をどのくらい添加するかを推定する方法はまだ確立しておらず、ジャーテストによって実験的に決定する方法がとられている。

(3) 粒子濃度

凝集剤の添加によって表面電荷を電氣的に中和された粒子が、互いに接触して**凝集するときの反応の速さは、粒子濃度の2乗**に比例する。

$$\frac{dn}{dt} = -k n^2$$

(4) 水平流形 凝集沈殿装置 (上水道の**浄水場**で用いられる)

- ・フラッシュミキサー : 原水と凝集剤を**急速**混合
- ・フロキュレーター : **緩速**攪拌  
 フロックの破壊を避けるため攪拌強度を段階的に下げる  
 攪拌時間は30分 ~ 1h  
粒子濃度が**低**く、水温が**低**いときは攪拌時間を**長**くする
- ・沈殿池

(5) 接触凝集沈殿

径の大きい**母**フロック (既成フロック) を混在させれば、凝集反応の速さは飛躍的に大きくなる。

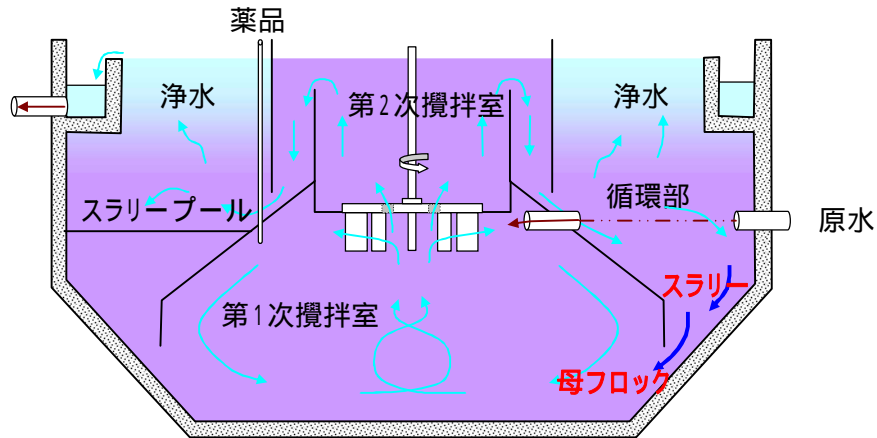
(通常)  $\frac{dn}{dt} = -kn^2$

(母フロック)  $\frac{dn}{dt} = -3 \sqrt{\frac{\sigma}{\mu}} \times D^3 Nn$

上記のように凝集反応の速さは母フロックの直径の3乗に比例し、濃度に比例する。  
この原理に基づき下記3種類に分類される。

- スラリー循環形
- スラリーブランケット形
- 複合形

- ・接触凝集沈殿装置は、設置面積当たりの処理水量が水平流形より大きい
- ・水温の影響大。槽内対流 高濃度スラリー流出となりやすい。



(6) 凝集分離適用範囲

以下のコロイド分散系

- ・COD
- ・色度
- ・微量油分(エマルジョン)
- ・重金属

2.2.4 浮上分離

- ・浮上は沈降の逆だが、ともに重力を利用しており重力式分離法と呼ばれる。
- ・空気の泡を臭濁物質と接着させると、見掛け密度が小さくなり速やかに浮上する。  
(水との密度差が小さいSS等に適用)
- ・浮上したフロス(浮きカス:フロッティングスラッジ)は空気の泡を包含しており、  
沈降汚泥よりも水分が少ない。
- ・加圧浮上法では、空気を加圧していったん水に溶解してから大気圧に解放する方法。
- ・浮上法ではコロイド状のSSは分離できないので、あらかじめ凝集分離しておく。

(1) 油水分離装置

- ・自然に放置しておけば浮いてくる遊離油を浮上させてかき取る。
- ・油の浮上速度はストークスの式がそのまま適用される。

	分離油直径	特徴	残留油滴濃度
API	0.015cm (150um)	流速 1 m / min	10 ~ 20 mg / l
PPI	0.006cm (60um)	槽内に傾斜板を取付け	

- ・乳化油や比重が1.0に近いSS質の分離はできない。
- ・残留濃度を5mg/l以下にするには重力式オイルセパレータの後に凝集処理、砂ろ過の処理が必要。

(2) 加圧浮上分離装置

- ・加圧下で空気を水に溶解させてから大気圧に解放すると、極めて微細な気泡が発生。
- ・親水性(水に濡れやすい)の界面より疎水性の界面の方が空気との接触力が大きい。

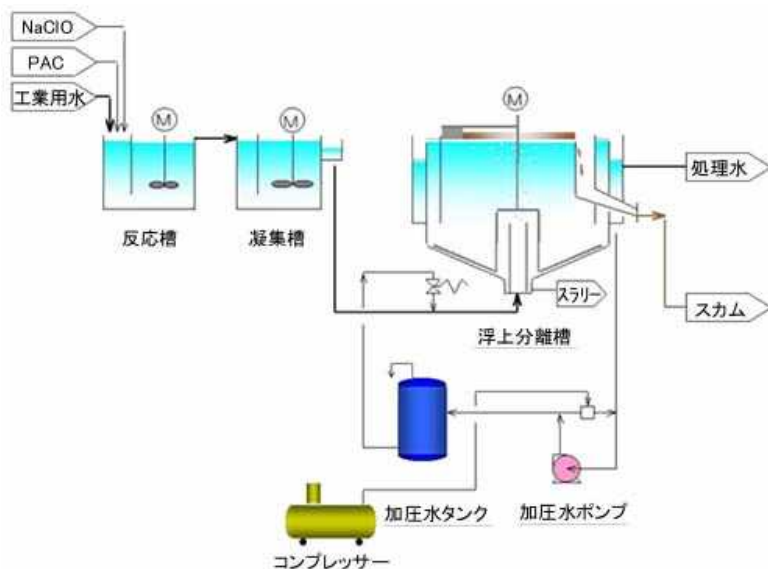
- ・分離しようとするSSの界面張力を問題にすることはなく、実験的に分離効率を測定している。

空気の溶解はヘンリーの法則に従う

溶解度大：水温低、圧力大

圧力変化による析出気泡量は、加圧下と大気圧下の溶解度の差から計算する。

(用途) 石油精製、自動車、機械加工などの含油排水。  
製紙工場の排水



#### 実験法

排水について気固比と除去特性を求め、装置設計を行う。

#### 装置

- ・空気は加圧ポンプの吸込側へ供給する。  
(この項おかしい?)
- ・空気溶解槽では、
  - (a) 加圧状態のまま、1 ~ 2分ぐらいの滞留時間を与える。
  - (b) 頂部に空気抜弁 過剰空気が浮上分離槽にいくと大きな気泡となり、槽内をかく乱、対流となり分離効率を低下させる。
  - (c) 溶解槽の圧力は  $200 \sim 500 \text{ kPa} \{ 2 \sim 5 \text{ kgf/cm}^2 \}$

(凝集沈殿法と浮上分離法の比較)

	(加圧浮上法)	(凝集沈殿法)
浮上速度と沈降速度	速い	× 遅い
所要動力	大	小
処理水の濁度	悪い	良い
汚泥中の水分	低い	高い
原水温度の影響	安定	不安定
滞留時間	15 ~ 30 分間	1 ~ 2 時間



## 2.2.5 清澄ろ過

- ・重力式分離（沈降、浮上）で除去できなかった微量のSSをさらに除去するものである
- ・ろ材として一般に砂が用いられるので 砂ろ過と呼ばれるが、粒状層ろ過、深層ろ過などと呼ばれることもある。

（砂ろ過において）

- ・懸濁物質はろ床内部のろ材間の空げきに捕捉抑留される。
- ・捕捉される粒子の大きさは、ろ材空げきの大きさに比べてはるかに小さい。
- ・SSが接着捕捉される機構は、凝集作用が主体的で、機械的なふるい分け作用が副次的にある。
- ・凝集性のないコロイド粒子は、砂ろ過ではほとんど除去できない。
- ・1サイクルのろ過水収量が大きく、洗浄水量の少ないものが良い。

圧力式

重力式：ろ過圧力を大きくするためには、落差を大きくせねばならず構造物が高くなる。

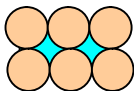
（1）ろ材

有効径 … 全質量の10%通過するふるい目の大きさに相当する粒径

均等係数 =  $\frac{\text{全質量の60\%通過するふるい目の大きさ}}{\text{全質量の10\%通過するふるい目の大きさ（有効径）}}$       大きい  
小さい

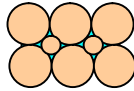
- ・均等係数は1以上である。
- ・砂の粒子が不揃いなものほど均等係数が大きくなり、ろ材として好ましくない。
- ・ろ材層の厚さは、500～700mmのものが多い。
- ・上水道では、砂の有効径0.5～0.7mm、均等係数1.7以下が望ましい。
- ・均等係数が小さいほど、ろ層の空げき率は大きくなる。

（均等係数 小）



空間が大

（均等係数 大）



すき間に小さいのが詰まっている。

（2）ろ過抵抗

ろ材層に生じる水頭差をろ過抵抗 又は ろ過損失水頭と呼ぶ。

ろ過抵抗を表す式として、Kozeny-Carman（コゼニー・カマン）の式がある。

$$h_o = k \frac{\mu u L}{d^2} \times \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3}$$

$h_o$ : ろ過抵抗 (Pa)

$u$ : ろ過速度 (m/s)

$d$ : ろ材粒径 (m)

$\epsilon$ : ろ材の空げき率

上式から、

- ・ろ過抵抗はろ材粒径の2乗に反比例する。
- ・空げき率が小さくなると、急激に増大する。

ろ層の表層部だけにSSが集中して捕捉されると、ろ過抵抗の上昇が急速になる。

（空げき率）通常の砂では 0.4～0.5

（3）ろ材の洗浄

- ・洗浄を行うろ過抵抗の設定値は通常15～20kPa { 1.5～2 mH<sub>2</sub>O }
  - ・逆流洗浄と表面洗浄が併用される。
- （逆流洗浄）

- ろ材層が流動化されてろ材粒子同士の**衝突回数**が最も多いとき効果大
- 最適逆洗速度として**沈降速度の1/10**とされる。

$$U_B = \frac{V_t}{10} \text{ (m/s)} \quad V_t: \text{沈降速度}$$

(マッドボール)

- 洗浄が不十分で長い期間の間にマッドボールが生成しやすい。
- マッドボールとは、  
ろ材粒子 + SS + 粘着性物質からなる小塊  
球状をなし、藻類など微生物を多く含む原水をろ過する  
ときに特に発生しやすい

(4) 多層ろ過

逆洗を繰り返すことにより、上層に細かい粒子層ができてしまい、上層でSSの大部分が捕捉される過抵抗の大部分が集中する。中下層のろ材は機能を発揮しないうち逆洗となり不経済である。これら为了避免のため、上層に常に粗粒がきて下層にいくほど細粒となり、しかも逆洗によってこれらが逆転しないように比重の異なるろ材を組み合わせる。

		有効径 mm	厚さ cm	比重		
2層	3層	アンスラサイト (無煙炭)	1.0 粗	60	1.5	上層
		砂	0.35	15	2.7	中層
		ザクロ石 (ガーネット)	0.18 細	7.5	3.5	下層

ろ過においては、フロックは大径である必要はない

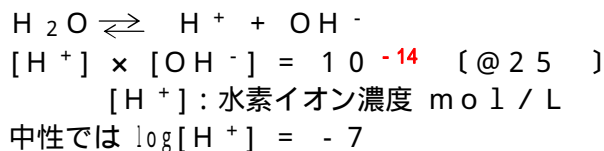
(5) 繊維質のろ材

砂ろ過に比べて

- 空げき率 大
- 比表面積 大
- 圧力損失 小
- 3 ~ 10 倍の高速ろ過が可能
- 処理水質は劣る。

## 2.2.6 pH調整操作

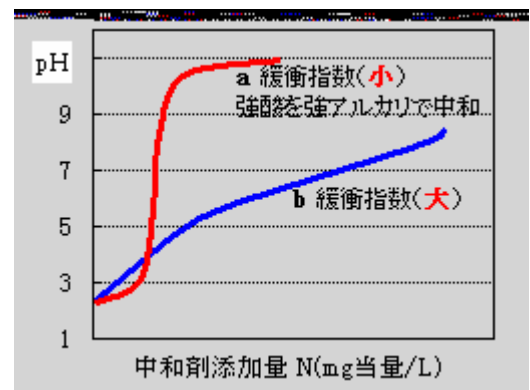
(1) pHの定義



(2) 中和曲線

$$\text{緩衝指数} = \frac{\text{中和剤添加量 } N}{\text{pH}}$$

右の曲線 a は強酸を強アルカリで中和した時で、pH 7 付近で大きく変化している  
(緩衝指数 小)





曲線 b は強酸を炭酸ナトリウム溶液で中和した時で、中性付近の pH の変化が緩やかである。

曲線 b は緩衝指数が **大きく**、pH の調整は **やりやすい**。

緩衝指数の大きい系では、pH 調整剤添加量当たりの pH 変化が小さい。

### (3) 中和剤

			溶解度 (g/100gH <sub>2</sub> O)	
アルカリ	苛性ソーダ	NaOH	42	・溶解度、反応時間ともに <b>大</b> ・価格が <b>高い</b>
	炭酸ナトリウム	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	22	
	生石灰	CaO		・溶解度 <b>小</b> スラリーとして供給 <u>スケール</u> が発生 しやすい (反応時間 <b>小</b> ) ・価格が <b>安い</b>
	消石灰	Ca(OH) <sub>2</sub>	0.2	
	石灰石	CaCO <sub>3</sub>	0.01	
酸	硫酸	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		・溶解度、反応時間 <b>大</b>
	塩酸	HCl		・制御容易 (液体)

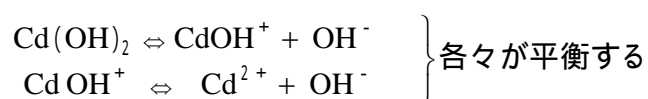
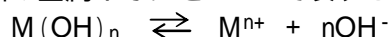
- ・生石灰は必ず消化 (Shake) してから注入。
- ・硫酸を含む排水では、石灰石の表面に石膏 (CaSO<sub>4</sub>) が生じ反応が進まなくなる。

### (4) 金属イオンを含む排水の中和

- ・金属イオンを含む排水は一般に**酸性**である。
  - ・金属は酸に溶解する。
  - ・アルカリ性では水酸化物となって沈殿する。
- ・これにアルカリを加えて pH を上げていくと、水酸化物イオンの濃度が高くなり、金属イオンの溶解度が小さくなり、金属イオンは水酸化物イオンと反応して水酸化物の沈殿を生じる。

#### (溶解度積)

n 価の金属イオンを M<sup>n+</sup> で表すと、



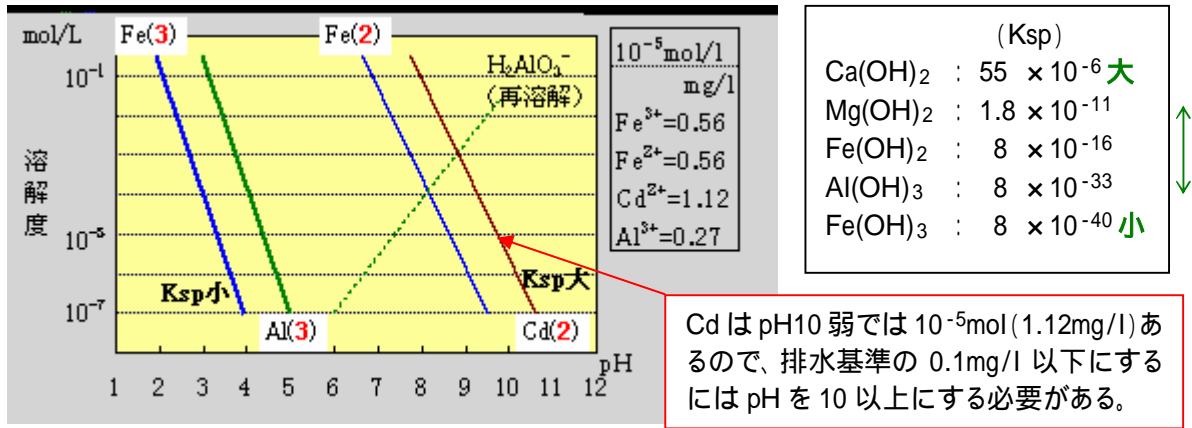
$$K = \frac{[CdOH^+] \times [OH^-]}{[Cd(OH)_2]} \times \frac{[Cd^{2+}] \times [OH^-]}{[CdOH^+]} = \frac{[Cd^{2+}] \times [OH^-]^2}{[Cd(OH)_2]}$$

上式の分母は分子に比べて圧倒的に大きく、K に組み込み K<sub>sp</sub> とする。

$$(\text{溶解度積}) K_{sp} = [M^{n+}] + [OH^-]^n$$

$$\begin{aligned} \log [M^{n+}] &= \log K_{sp} - n \log [OH^-] \\ &= (\log K_{sp} + 14n) - n pH \\ &= C - n pH \quad \text{直線関係} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [H^+][OH^-] &= 1 \times 10^{-14} \\ \log [OH^-] &= -14 + pH \end{aligned}$$



溶解度積の大きい金属の方が水に溶けやすく、沈殿しにくい。  
 Fe(3)の方が低いpHで沈殿し、Fe(2)はpH9程度でようやく沈殿する  
 多くの金属(アルミ、鉛、亜鉛、クロム)の水酸化物は両性化合物であり、高いpHでは過剰の水酸化物イオンと反応して金属錯イオンとなり再溶解する。  
**鉄だけ例外**で、錯体となり再溶解しない。  
 (両性 : 酸にもアルカリにも溶けること)

## 2.2.7 酸化と還元

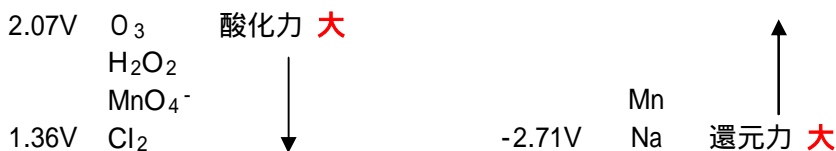
### (1) 酸化、還元の定義

(酸化)	(還元)
ある物質が酸素と結合すること $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO}$	化合物が酸素を失う化学変化 $\text{CuO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$
物質から水素を奪うこと	水素の添加
金属の原子価が増加すること 負原子価の減少	金属の正原子価の減少 負原子価の増加
原子又は化合物から電子が失われること $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$	電子を得ること 酸化 還元 $\text{Mg}^{2+} + \text{O}^{2-}$ 2ヶ電子を与えてイオン結合している
生物による好気性処理	

- 酸化と還元は必ず同時に起こっている。
- 酸化剤とは電子を受入れることのできる物質  
還元剤とは電子を供与することのできる物質

### (2) 酸化還元電位

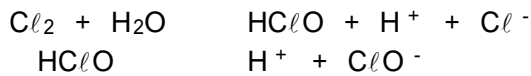
溶液に白金電極を水素電極を入れると両極間に電位差が生じる。  
これを酸化還元電位(ORP)という。



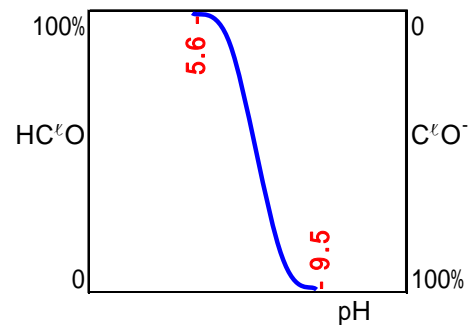
- ・反応するためには、2つの電位差が0.4V以上必要
- ・ORPが高いことは、すなわち酸化力が高いことを意味する。

### (3) 塩素による酸化

- ・塩素は殺菌剤としてや、水中の有機物やH<sub>2</sub>S、シアン酸の酸化分解に用いられる。塩素を水に溶かすと次のように反応する。



	ClO <sup>-</sup>	HClO
pH 9.5以上	100%	0%
pH 5.6以下	0%	100%

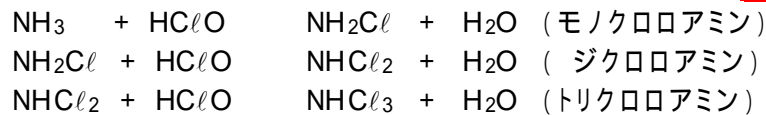


(遊離塩素) Cl<sub>2</sub>、HClO、ClO<sup>-</sup>

(遊離有効塩素濃度) HClO + ClO<sup>-</sup>

**HClO : 次亜塩素酸**

- ・塩素の殺菌力は酸性時の方が強いことから、殺菌作用は主としてHClOによるものと考えられる。
- ・水中にアンモニアや有機アミンが存在すると、塩素と結合して**クロロアミン**を生じる。



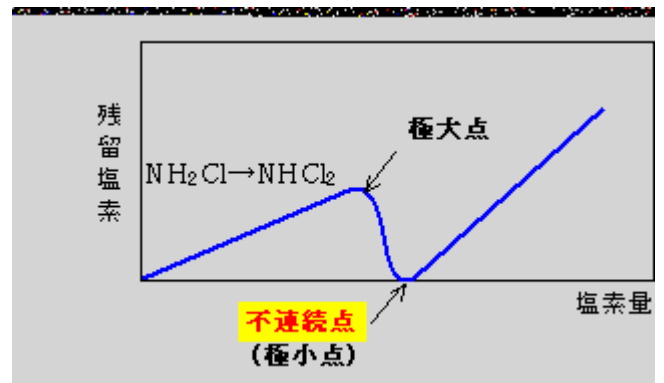
### (残留塩素)

水中に残留する酸化力を有する形の**有効塩素**のこと。

遊離有効塩素 (HClO、ClO<sup>-</sup>) と結合有効塩素 (クロロアミン) がある。

結合有効塩素は殺菌力は弱いながく存在する。

NaCl が溶解したときの塩化物イオン Cl<sup>-</sup> は反応性がないため有効塩素ではない。



- ・アンモニアを含む水に塩素を入れていくと、アンモニアに比べて塩素が少ない範囲ではモノクロロアミン、ジクロロアミンの順に生成し、残留塩素は次第に増えていく。極大点を過ぎると、



などの反応により、結合塩素が消費され残留塩素がほとんど検出されない。

この極小点を**不連続点**と呼ぶ。

不連続点まで添加する塩素量を塩素要求量という。

### (まとめ)

- ・塩素を水に溶かすとき、pHが上昇するほどClO<sup>-</sup>が増える。
- ・同じ遊離塩素濃度でも低pHほど殺菌力は強い (HClOが増えるから)
- ・アンモニアを塩素で処理するとN<sub>2</sub>ガスに酸化分解される。
- ・残留塩素は、  
不連続点までは結合有効塩素 (クロロアミン) として

- 不連続点以降は遊離有効塩素 (HClO) として検出される。  
 ・ ClO<sup>-</sup> (次亜塩素酸イオン) は殺菌力 (酸化力) が HClO の 1/80 程度とかなり低い。

#### (4) オゾンによる酸化

塩素と比較して以下の利点がある。

- 塩素よりも ORP が高く、従って酸化力が強い。
- 貯蔵や輸送の心配がいない (どこでも発生できる)
- 水中ではほとんど溶けず、短時間で分解して消滅する (悪影響が出ない)
- 塩素のように水中に塩分 (塩化物イオン) を増加させることがない。
- トリハロメタンの心配がない。
- 塩素に比べて高価である。
- 塩素では分解できない有機物や色度の除去に用いられる。

#### (オゾン発生機)

- ・ 高圧無声放電法
- ・ 誘電体 (ガラス)
- ・ 9000 ~ 19000 V (10 ~ 20 kV) 40 kWh / 0.1 kg
- ・ 原料の空気は乾燥していること。湿度 露点 -50 以下  
シリカゲル等の吸着乾燥機が必要。

#### (5) クロム (6) 還元処理

- ・ 還元反応を利用した廃水処理はあまり多くない。
- ・ クロム (6) を含む排水をクロム (3) に還元し、不溶性の水酸化物として沈殿除去する

### 2.2.8 活性炭吸着

生物学的、物理・化学的な方法で分離できないような微量の溶存有機物 (COD) を除去するために用いられる。

活性炭表面の濃度が溶液の濃度よりも大きくなる場合を正吸着という。

細孔 : 10<sup>-7</sup> ~ 10<sup>-3</sup> cm { 10 ~ 10万 }  
 比表面積 : 500 ~ 1500 m<sup>2</sup>/g と大きい

#### (1) 吸着されやすさ

芳香族化合物はよく吸着される  
 溶液の界面張力を減少させる物質ほど  
 疎水性のもの (活性炭は疎水性)  
 弱電解質の有機物では、イオン化しているときよりも  
 非解離の分子状態にあるほうが  
 分子量が大きくなるほど  
 pH を 2 ~ 3 まで下げると、有機物の除去率が増加  
 水中の有機物濃度が増すと指数関数的に増加  
 温度の影響は水処理では無視できる (気相では影響大)

芳香族: ベンゼン環を持つ  
 界面活性: 表面張力を減少させるもの  
 疎水性: 水に溶けにくい

- ・ 無機イオンは影響なし
- ・ 鉄、クロムの金属イオンは有機物の粒内拡散を妨害する
- ・ 有機物 (BOD、COD) は単一の物質ではないから、その吸着性を予測することは困難 吸着実験を行う

(2) 吸着等温線

フロイントリヒの式

$$X = kC^n$$

X : 活性炭の単位質量当たりの吸着量

C : 平衡濃度 (活性炭と排水を接触させて平衡したときの溶質濃度)

k, n : 定数

$$\log X = \log k + n \log C$$

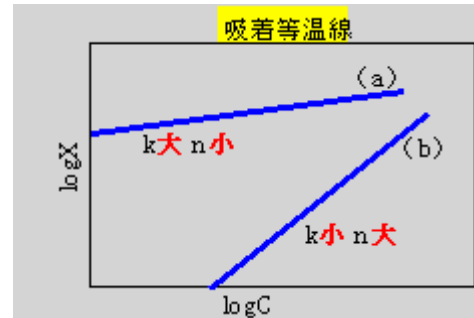
定数      傾き

良好な吸着剤は

$$k \text{ が大きくて、} n \text{ が小さい}$$

(a) のカーブ

低濃度から高濃度まで高い吸着量を示している。



(3) 吸着速度

吸着速度は以下に支配される。

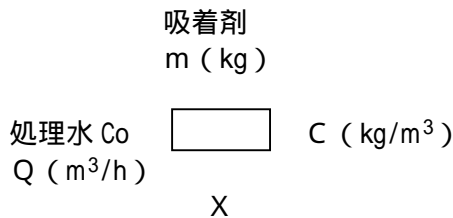
活性炭近傍の液境膜における物質移動速度

活性炭粒内の拡散速度

(4) 吸着装置

攪拌槽吸着

反応槽内の処理水に粉末活性炭を添加し、攪拌して固液接触させる方法



m: 活性炭供給量 (kg)  
 X: 吸着量 (kg/kg)  
 Q: 処理水量 (m<sup>3</sup>/h)  
 Co: 初濃度 (kg/m<sup>3</sup>)  
 C: 吸着後濃度 (kg/m<sup>3</sup>)

上図から次式が成り立つ

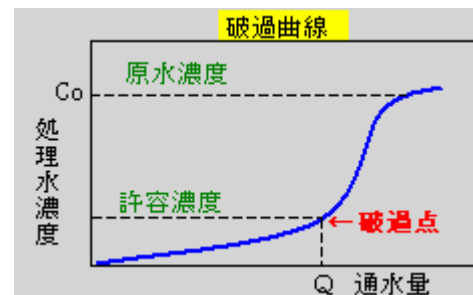
$$mX = Q(C_0 - C)$$

固定層吸着

ろ過機とほとんど同じ

(破過点)

処理水の有機物濃度が許容値に達する点を破過点という。



(メリーゴーランド方式)

右図で a 塔が破過点になったら、内容物を新しい活性炭と交換し、通水を b c a と切り替えること

(微生物)

活性炭層内では有機物が蓄積され微生物が繁殖すると、生物作用によって有機物が分解され、見掛けの活性炭吸着量が著しく増加する。

反面、嫌気性状態が続くと硫化水素が発生し臭気や着色がおこる。

(5) 再生

乾式加熱法 700 ~ 1000 で賦活する。

2.2.9 イオン交換

- ・ 2 相間においてイオンが互いに入れ替わる反応をイオン交換反応という
- ・ 排水からの有価物の回収、微量の重金属のイオンの除去に用いられる。

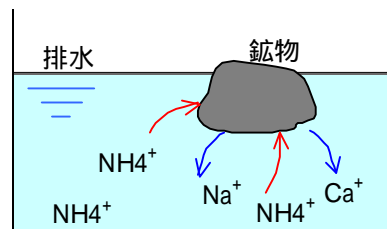
- ・イオン交換樹脂は高価であるため再生するが、強酸・強アルカリ・食塩などの濃厚溶液が使用され、再生廃液の処分（中和）も考慮しておく

(1) 種類

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・有機質イオン交換体</li> <li>・無機質イオン交換体</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・陽イオン交換樹脂（強酸、弱酸性）</li> <li>・陰イオン交換樹脂（強塩基性、弱塩基）</li> <li>・キレート樹脂</li> <li>・有機物吸着樹脂</li> <li>・天然ゼオライト</li> <li>・合成ゼオライト</li> </ul> |
|--|---|

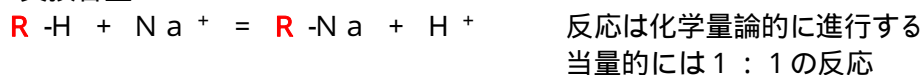
(活性基)

- スルホン酸基 : 強酸性
- カルボキシル基 : 弱酸性
- 第4級アンモニウム基 : 強塩基性
- 第3～2級アミン : 弱塩基性



- キレート樹脂 微量の重金属を**選択的に**吸着する目的で使用  
樹脂と金属がキレートを形成して強く結合する
- 有機物吸着樹脂 イオン交換容量は小さいが**多孔質**の樹脂  
母体に有機物を吸着する能力がある（**陰イオン**と同じ作用をする）

(2) イオン交換容量



- ・イオン交換可能な全活性基の量を表したものを（全）イオン交換容量といい当量に換算して表示する（keq/m<sup>3</sup>樹脂、kgCaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>樹脂）炭酸カルシウムに換算して表示

（**貫流容量**） **破過点**まで吸着できるイオン量（実用上のイオン交換容量）  
全イオン交換容量の**50～80%**である

(3) イオン交換装置

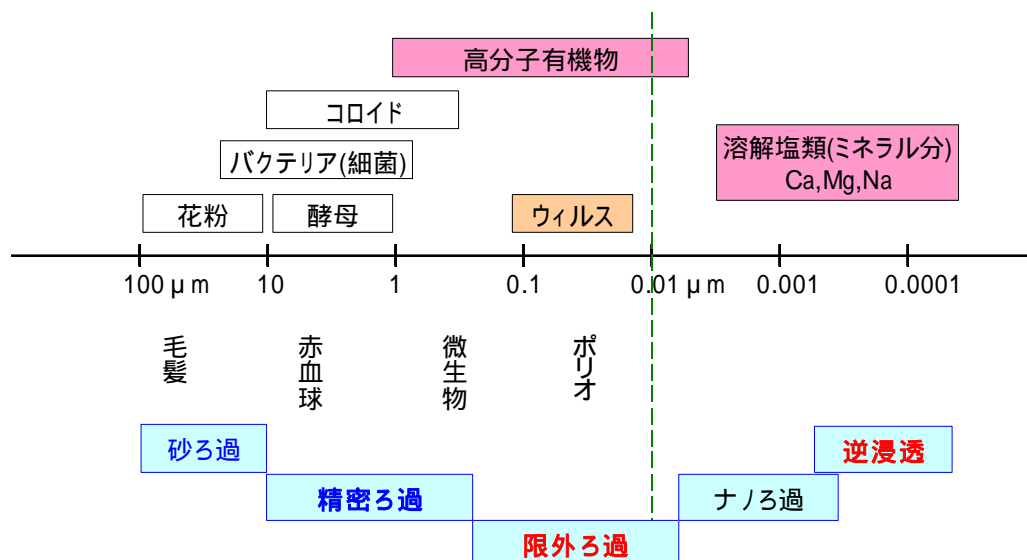
- ・イオン交換の対象となる原水は、イオン濃度が1000mg/l以下  
2000mg/l 超は、電気透析法又は逆浸透法による
- ・樹脂有効径0.5mmの球形粒子
- ・SS、油分がある場合、前処理を行う必要がある

(空間速度)

$$SV = \frac{\text{流速} (m^3/h)}{\text{充填樹脂量} (m^3)} [1/h] \quad \text{1時間で樹脂量の何倍の排水を処理したか}$$

脱塩装置のSV = 5 ~ 40 h<sup>-1</sup>

## 2.2.10 膜分離法



	厚さ	除去物質
精密ろ過膜 (MF:Microfiltration)	1 μm	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SS</li> <li>・細菌</li> <li>・微生物</li> </ul>
限外ろ過膜 (UF:Ultrafiltration)	0.01 μm	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高分子物質(多糖類、タンパク質)</li> <li>・ウィルス</li> <li>× 金属はダメ</li> </ul>
逆浸透膜 (RO:Reverse Osmosis)	0.0001 μm	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無機塩</li> </ul>

- (1) 精密ろ過 粒子サイズ既知のラテックス粒子を用いて分画試験を行い、一定の阻止率(90%)を与える粒子サイズを代表孔径としている。  
〔ラテックス〕ゴムの微粒子がコロイド状の安定な懸濁物となったもの

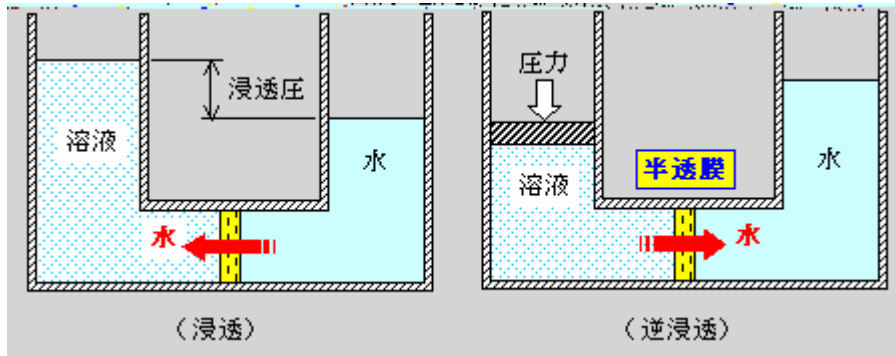
- (2) 限外ろ過 **ポリエチレングリコール**のような分子量既知の物質をトレーサーとして、一定の阻止率(90%)を与える分子量をその膜の分画分子量とする。

どちらも透水性能を維持するために定期的に薬品洗浄をする。

- (3) 逆浸透法  
 (逆浸透膜) 水は透過するが溶質はほとんど透過しない(半透膜ともいう)  
 (浸透) 半透膜を介して溶液と水を置くと、水だけが溶液側に移動すること。  
 (浸透圧) 浸透時、溶液側の水位が上昇しある高さで平衡したときの水位差。  
 溶液の濃度が高いほど水位差は高くなる。  
 (逆浸透) 上記の状態ですべて溶液側に浸透圧の2倍以上の圧力をかけると、溶液中の水だけが水側へ移動する。

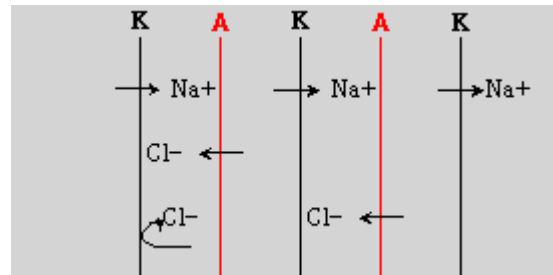
- ・海水の淡水化に多くの実績あり(排水処理は少ない)
- ・油分を含んでいると膜に張り付き機能低下する。
- ・純水としては得られない(低塩濃度)





(4) 電気透析法

陽イオン又は陰イオンのいずれかを通す膜を交互に配列し、**直流電圧**を加えると各イオンがそれぞれの膜を透過して移動する。セル内には、脱塩水と濃縮液がひとつ置きに生成する。



- ・このように膜を通してイオンあるいは溶質が移動する現象を透析と呼ぶ。  
 (透析) **イオン、溶質**が移動  
 (浸透) **水**だけが移動

- ・透析膜はイオン交換樹脂を膜状に成型する。
- ・電気透析法は溶解塩類の除去に用いられる。
- ・水溶性電解質でないコロイド質や有機物は除去できない。
- ・鉄、マンガン、高分子有機酸は膜に沈積するので前処理で除去する。
- ・海水の脱塩に実績あり。
- ・経済性 数百～**数千**mg / l 1番経済的  
 上記以上 電気消費量が増加し不経済

2.2.11 汚泥の処理

沈殿分離によって発生する汚泥の固形物濃度は**5%**以下のものが多い。したがって、流動性があるので脱水の必要がある。

脱水費用 (安) ・沈降濃縮  
 ↓ ・機械脱水  
 (高) ・熱による蒸発、乾燥

(1) 脱水ろ過の基礎

(Ruthのろ過方程式) ルース：人の名

$$\frac{\theta}{V} = \frac{V}{K} + \frac{2C}{K}$$

：ろ過時間(s)  
 V：ろ液量(m<sup>3</sup>)  
 K = 定数 a / **ケーキ比抵抗** (m/kg)  
 C = 定数 b /

(ヌッチェ試験) ヌッチェ：ロート形の器具名

ヌッチェ試験を行い、 $1/V$  対  $V$ をプロットして得られた直線の勾配から  $1/K$ 、縦軸との交点から  $2C/K$ を得る。

凝集剤を選定するためには、汚泥に各種の凝集剤を加えてヌッチェ試験を行い、比抵抗を比較する。

(ケーキ比抵抗)

ケーキ比抵抗 はろ過脱水のしやすさの目安となる。

大の汚泥は、ろ過助剤や薬品を添加して を引き下げないと連続ろ過ができない。

10 <sup>11</sup> 以下	ろ過できない
10 <sup>12</sup> ~ 10 <sup>13</sup>	普通
10 <sup>13</sup> 以上	難ろ過性

凝集沈殿汚泥や活性汚泥のケーキは圧縮性があり、ろ過圧力を上げて  
もろ過速度は比例して速くはならない。

(2) 真空ろ過

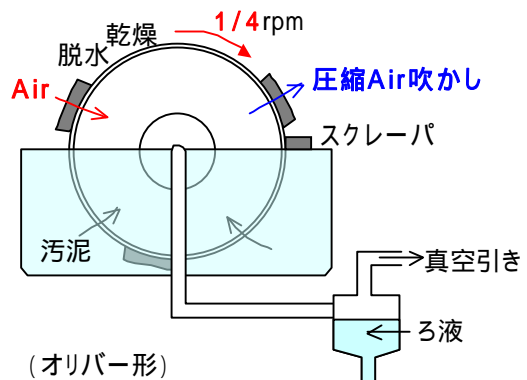
(オリバー形)

ドラムにろ材を巻き付け回転させ汚泥に浸漬しているとき、真空により汚泥がろ布面に吸い付けられる。

回転によってケーキが汚泥を離れると空気が吸引されケーキの脱水が進む。

次に圧縮空気を内側から吹き、ケーキをろ布面から浮かした後、スクレーパでかく離する。

- ・回転数は **1/4rpm** と低速である。
- ・ケーキの厚さが **3mm**
- 以下の場合にはケーキのはく離困難。  
通常 3 ~ 10mm、含水率 70 ~ 85%
- ・脱水率は高くなく、大量の処理には適さない。
- ・真空度 50 ~ **80kPa**  
{400 ~ **600mmHg**}
- あまり高くない
- ・オリバーの他にベルト形がある。



(リーフテスト)

リーフテストは真空ろ過法のろ過試験である。  
ろ過速度等を得られる。

(3) 加圧ろ過 (酒蔵から発生)

(フィルタープレス)

汚泥を加圧ポンプで各ろ過室に押し込み、一定時間後、  
汚泥の供給停止 ろ過板はずし ケーキ排水 再運転

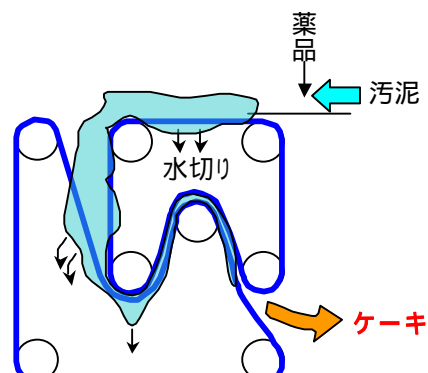
- ・回分式である (連続式ではない)
- ・圧力は 200 ~ **800kPa** {2 ~ 8kgf/cm<sup>2</sup>}
- ・真空ろ過に比べ、ろ過圧力を大きくとれる。

(4) 加圧ロール脱水 (新しい技術)

(ベルトプレス)

高分子凝集剤を添加して凝集させ、目の粗いベルト状のろ布の上で重力で自然脱水してからろ布の間に挟み上下からロールを介して圧搾して脱水する。

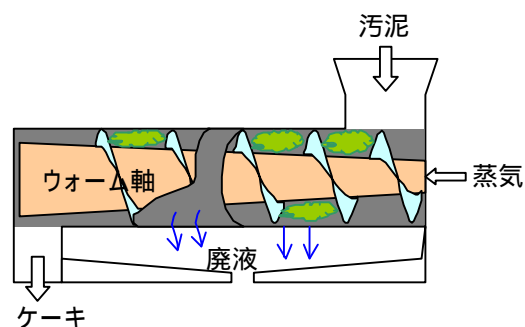
- ・少量の高分子凝集剤を用いる。
- ・騒音が小さい。



- ・ケーキの**含水率が低い**（他の方法に比べて）
- ・連続式である。
- ・たくさん処理すると横漏れを起こす。
- ・ろ布の代わりにスポンジを用いた場合、毛細管作用を利用

### (5) スクリュープレス

ウォームの回転によってスラッジを  
ケージ（パンチングメタル）内へ  
送り込み、次第に狭隙発生する圧力で  
圧縮脱水する。  
圧縮水はパンチ  
ングメタルの細  
孔から流出する。



- ・パンチングメタルの孔 2 ~ 3 mm
- ・脱水ケーキの水分 70 %（下水汚泥）
- ・**繊維分**に富む汚泥の脱水に適する。
- ・連続式である。

### (6) 遠心脱水

- ・回転数 2000 ~ 4000rpm（高速回転）
- ・連続式、**大量**の汚泥 水平形デカンター
- ・遠心効果（遠心力と重力の比）1000 ~ 3000g
- ・ケーキ含水率 70 ~ 85 %（遠心分離機）
- ・高周波数**騒音**が問題となる。

### (7) 汚泥の前処理

水処理から発生する汚泥の大部分は、比抵抗が大きいのでそのままでは過脱水が困難である。  
**比抵抗を下げて機械脱水できるようにすることを汚泥の前処理と呼ぶ。**

#### ろ過助剤の添加

- ・珪藻土
- ・おがくず
- ・繊維質
- ・フライアッシュ

**大量**に添加しないと効果が現れない  
脱水ケーキ量増大 処分コスト高

#### 凝集剤添加

微粒子を凝集して粗大粒子とすることにより、ろ過の比抵抗を下げる。

- ・**塩化鉄(3)**
  - ・**消石灰**
  - ・有機系高分子凝集剤
- 無機凝集剤

凝集剤の選定は、ヌッチェ試験（ろ過実験）を行い比抵抗を比較する。

#### 水洗

汚泥を 3 ~ 4 倍の水で水洗すると、**比抵抗**が低下する。

- (イ) 水洗による汚泥の**アルカリ度**の低下による効果
- (ロ) 水洗により汚泥中の**コロイド性**微粒子が除去される効果
- (ハ) 下水やし尿の消化汚泥に対して有効である。

#### 熱処理

- × 下水処理
  - ・タンパク質、炭化水素、油脂、無機質（灰分）含む
  - ・物理的には親水性コロイド 脱水困難

- 加圧下で加熱（170℃、60分）すると、変質し
  - ・沈降濃縮、ろ過脱水が容易となる
  - ・反面 分離水の **BODが高くなる**（5000～8000mg/l）
- ・熱処理後、フィルタプレスで脱水すれば、水分は50%まで下がる。（薬品の添加を必要としない）

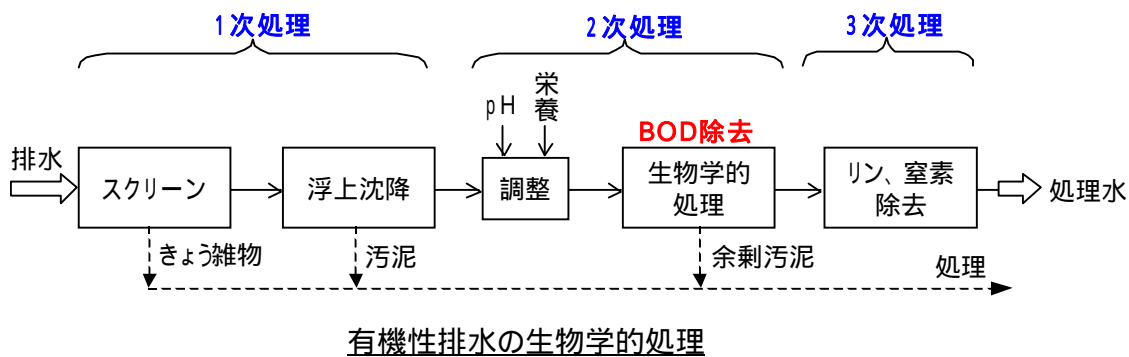
#### 凍結・融解

これによりコロイド的な性質が一変し、濃縮と脱水が容易となる。

#### (8) 汚泥焼却

低位発熱量 2500kcal/kg

### 2.3 生物学的処理法



#### 2.3.1 概要

排水処理は、水中の汚濁物質の不溶化、**固液分離技術**といわれる。その意味では、生物学的処理技術は、**溶解性有機物の生物菌体への変換**、不溶化技術として、2次処理技術として位置付けられている。

- (1次処理) 油、固形物の除去
- (2次処理) BOD 除去
- (3次処理) 残存する有機物・無機物の除去、窒素やリンの除去

#### (1) 生物学的処理法の分類

処理対象物質 別

- ・ BOD 処理法 …… 生物学的処理法の主体
- ・ 窒素、リン処理法
- ・ 重金属処理法 …… 重金属類の**酸化・還元機能がある微生物**が存在

空気の有無別 分子状 O<sub>2</sub> を利用

(a) **好気性処理法** (活性汚泥法、生物膜法、酸化池法)

(有機汚濁物質) (好気性微生物の代謝反応 (**酸化**) による生成物)

- ・ 炭素化合物      CO<sub>2</sub>、水
- ・ 窒素化合物      アンモニア、硝酸塩
- ・ 硫黄化合物      硫酸塩

(b) **嫌気性処理法** (メタン発酵法)

(有機汚濁物質) (中間生成物) (嫌気性微生物の代謝反応 (**還元**) による最終生成物)

・有機物

アミノ酸 有機酸 アルコール	水素 CO <sub>2</sub> 硫化水素 N <sub>2</sub> メタン
----------------------	--

好気性、嫌気性とも微生物の代謝反応によってエネルギーを得、微生物菌体の合成が行われる。

		好気性	嫌気性
菌体レベル	エネルギー生成効率	高い	低
	菌体生成量(汚泥生成量)	多い	少ない
	除去 BOD の菌体転換率	1 / 2	1 / 10
装置	装置としての微生物密度	低	高い
	装置としての効率	低	好気性の 10 倍

微生物の存在状態

- ・浮遊生物法（活性汚泥法）  
 フロック状の微生物を水中に浮遊 排水と接触
- ・生物膜法（散水ろ床法）  
 微生物を砕石などに付着、固定化

(2) 生物相

(微生物) 細菌、藻類、原生動物(ゾウリムシ、ミドリムシ)、後生動物 の総称

	活性汚泥法	生物膜法
微生物の種類	少	多い
食物連鎖	短い	長い
余剰汚泥の生成量	多い	少ない
凝集(SS除去)能力	普通	低い
阻害物質への抵抗力	低	大

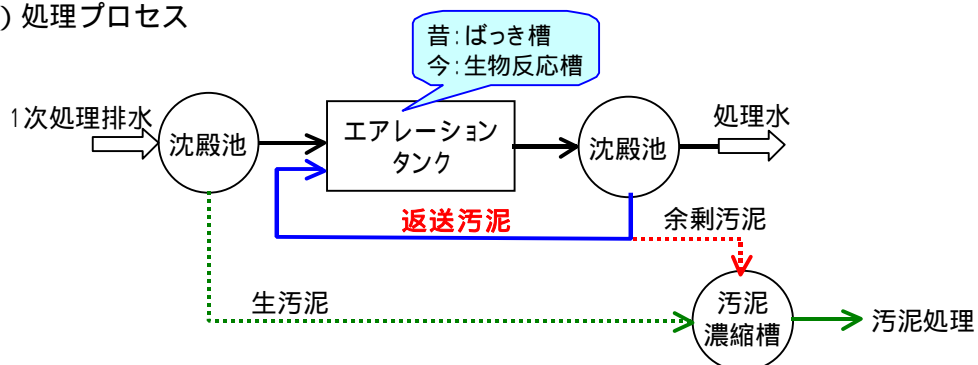
生物の増殖量は餌の量より必ず少ない。  
原生動物は細菌を捕食するため余剰汚泥量を減少させる。

2.3.2 活性汚泥法

(活性汚泥)

- ・多数の好気性微生物や、有機・無機性の浮遊物質などからなるゼラチン状のフロック
- ・排水中に含まれる有機物を吸着して酸化(好気性)したり、凝集して沈降分離する能力に優れる。

(1) 処理プロセス



排水はエアレーションタンクに導かれ、通気攪拌下で活性汚泥と接触する(4~24h)

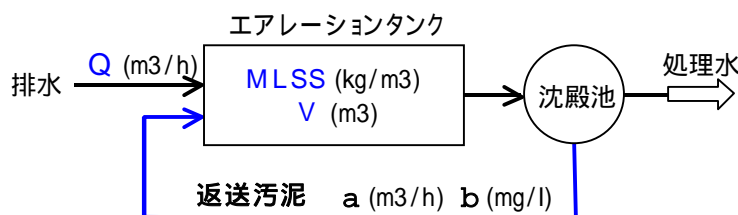
ここで排水中の有機物は活性汚泥により吸着・酸化される。  
 活性汚泥混合液は次の沈殿池で重力沈降により活性汚泥と処理水とに分離される  
 ( 滞留時間 2 ~ 3 h )

- ・ 活性汚泥は排水とともに移動するので、必ず汚泥を返送する必要がある。
- ・ この活性汚泥処理プロセスで排水中の BOD は 95 % 以上が除去される。  
 ( 産業排水の BOD 除去率 90 % )

(2) 基本的な操作条件

SS (Suspended Solids) : 懸濁物質

MLSS (Mixed Liquor SS) : 混合液 懸濁物質 曝気槽内の混合液中の SS 量 (kg/m<sup>3</sup>)



BOD 負荷

- ・ 排水中の有機物 (食物 : Food) と活性汚泥 (微生物 : Microbe) の比 ( F / M )
- ・ 有機物濃度 BOD
- ・ 活性汚泥濃度 MLSS

(BOD 容積負荷) エアレーションタンク容積 (m<sup>3</sup>) 当たり 1 日に流入する BOD (kg)  
 0.5 ~ 1

$$\text{BOD容積負荷} = \frac{Q (\text{m}^3/\text{d}) \times \text{BOD 濃度} (\text{kg}/\text{m}^3)}{V (\text{m}^3)} \quad (\text{kgBOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

Q : 排水量 (m<sup>3</sup>/d)

V : エアレーションタンク容積 (m<sup>3</sup>)

(BOD 汚泥負荷) MLSS 1kg 当たり 1日に流入する BOD (kg)  
 0.2 ~ 0.4

$$\begin{aligned} \text{BOD汚泥負荷} &= \frac{Q (\text{m}^3/\text{d}) \times \text{BOD 濃度} (\text{kg}/\text{m}^3)}{V (\text{m}^3) \times \text{MLSS 濃度} (\text{kg}/\text{m}^3)} \quad (\text{kgBOD}/\text{kgMLSS} \cdot \text{d}) \\ &= \frac{\text{BOD 容積負荷}}{\text{MLSS 濃度} (\text{kg}/\text{m}^3)} = \frac{F}{M} \text{ 比} \end{aligned}$$

$$\text{エアレーションタンク内の活性汚泥量} = \text{MLSS} (\text{kg}/\text{m}^3) \times \text{エアレーションタンク容量} (\text{m}^3)$$

汚泥容積指標 ( S V I ) Sludge Volume Index

沈殿池で活性汚泥と処理水を分離するときの指標として、活性汚泥の沈降性を S V I で示す。

( S V I )

エアレーションタンク内汚泥混合液を 1ℓ のメスシリンダに入れ、30 分間静置して活性汚泥を沈降させたとき、1g の活性汚泥が占める容積 ( m ℓ )

$$SVI = \frac{30\text{分間放置後の汚泥容積(mL/L)}{MLSS \text{ 濃度(g/L)}} \quad (\text{mL/g})$$

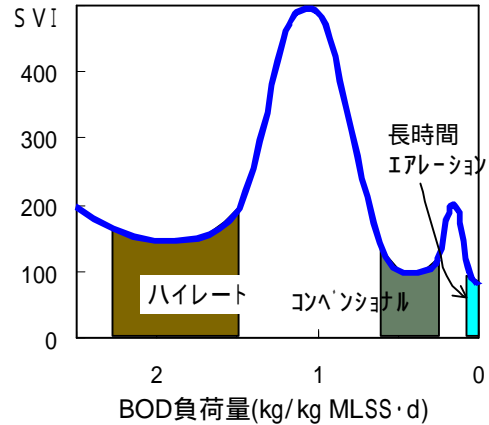
普通 MLSS は 2000 ~ 3000mg/ℓ程度

SVI 値

- 50 ~ 150 : 正常な活性汚泥
- 200 超 : 沈殿池で汚泥界面が水面近くまで上がり、汚泥が処理水中に流出するおそれがある。  
汚泥の**バルキング**と呼ぶ

(バルキングの原因)

食品工場の排水に起こりやすい  
糸状性微生物が O<sub>2</sub> 過多になり、異常に増殖して起こる。  
これによりカサが増え沈降しにくくなる。



SVIは右のグラフのように  
BOD 負荷と密接な関係がある

汚泥返送率 (返送汚泥率)

$$\text{返送汚泥率 } R = \frac{a \text{ (m}^3/\text{h)}}{Q \text{ (m}^3/\text{h)}}$$

a : 返送汚泥量 (m<sup>3</sup>/h)

Q : 排水量 (m<sup>3</sup>/h)

b : 返送汚泥の SS 濃度 (mg/L)

$$MLSS \text{ (mg/L)} = \frac{a \text{ (m}^3/\text{h)} \times b \text{ (mg/L)}}{Q \text{ (m}^3/\text{h)} + a \text{ (m}^3/\text{h)}} = b \times \frac{a/Q}{1 + a/Q}$$

$$\therefore MLSS \text{ (mg/L)} = b \times \frac{R}{1 + R}$$

$$MLSS = \frac{10^6}{SVI} \times \frac{R}{1 + R}$$

$$R = \frac{MLSS}{b - MLSS}$$

BOD 汚泥負荷を一定にするために、沈殿池からの返送汚泥率を変え MLSS 濃度を調節する。

汚泥生成率

$$\text{汚泥生成量} = CLr - dSa \text{ (kg/d)}$$

- ・微生物自身の消費カロリー (内生呼吸 = d) が高いと、汚泥生成量が少なくなる。
- ・汚泥への転換率 (C) 0.5 ~ 0.8
- 汚泥の自己酸化率 (d) 0.01 ~ 0.07

Lr : 除去 BOD (kg/d)

C : 除去 BOD の汚泥への転換率

Sa : エアレーションタンク内汚泥量 (kg)

d : 内生呼吸による汚泥の自己酸化

汚泥日令

エアレーションタンクでの活性汚泥の平均滞留時間を示す。

$$\text{汚泥日令 (日)} = \frac{\text{エアレーションタンク内汚泥量 (kg)}}{Q \text{ (m}^3/\text{h)} \times \text{流入排水の SS 濃度 (kg/m}^3\text{)}} = \frac{MLSS \times V}{Q \times SS}$$

汚泥滞留時間 (SRT) (日)



汚泥の増殖等を考慮したもの（汚泥日令と概念は同じ。式が異なる）

一般的な日数

汚泥日令 : 3 ~ 7日

SRT : 5 ~ 10日

pH

最適pH : 中性 (pH 6 ~ 8)

活性汚泥を構成する微生物の多くは中性で増殖が最大となる。

水温

- ・微生物の増殖は温度の影響を受ける（魔の15 活動量が極端に落ちる）
- ・温度が10 以上上昇すると、生物化学反応速度は2倍程度に増加する。

栄養源のバランス

BOD : N : P = 100 : 5 : 1 (経験則)

活性汚泥  $C_{118}H_{70}O_5N_{17}P$

### (3) 各種の活性汚泥法

F / M比により微生物の増殖は3期に大別される。

(対数期) モディファイエアレーション法

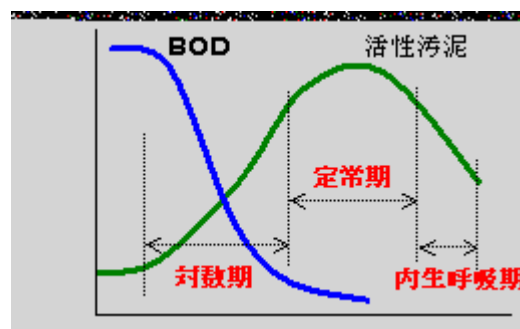
活性汚泥に対するBODの量的割合が高く、活性汚泥のエネルギーレベルは高く、フロック不形成、分散増殖となる。

(定常期) 活性汚泥法

BOD不足から汚泥の増殖は次第に減少し、内生呼吸が顕著になり、汚泥内蓄積物質は減少する。エネルギー不足のため、フロック形成。

(内生呼吸期) 長時間ばっ気法

活性汚泥は汚泥内蓄積物質を消耗し、自己分解する。これにより活性汚泥は解体して分散する。



モディファイエアレーション法

- ・ばっ気時間 1.5~2.5h と短い。
- ・出口のBOD、SSともに悪い
- ・前述(対数期)に対処した処理法

標準活性汚泥法

- ・ばっき時間 6 ~ 8 h
- ・(定常期)の処理法

長時間ばっ気法

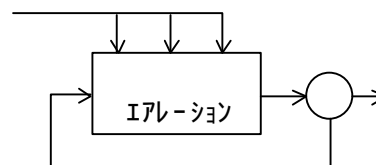
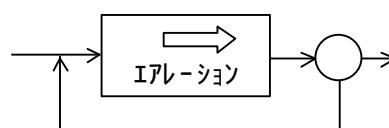
- ・ばっ気時間 16~24h
- ・(内生呼吸期)の処理法
- ・余剰汚泥の発生量が少ない

押し出し流れ法(標準活性汚泥法)

- ・BOD(基質)の濃度勾配が生じる

分注法(ステップエアレーション法)

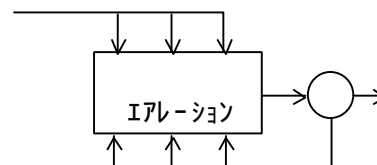
- ・排水を分割して導入
- ・濃厚排水や有害物質を含む排水の



## 活性汚泥に対する影響の緩和

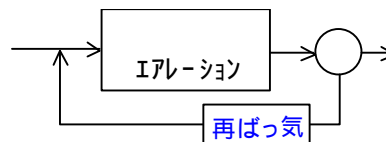
### 完全混合法

- ・排水と返送汚泥を分割して均一に導入
- ・BOD（基質）の濃度勾配は少ない
- ・有害物質の影響が小さくなる



### 再ばっ気法

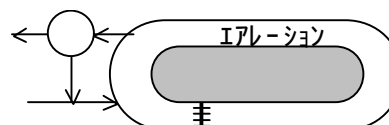
- ・活性汚泥の優れた吸着作用を活用した方法
- ・再ばっ気槽で吸着した基質を分解し汚泥を活性化した後エアレーションタンクへ返送する。



### 酸化溝法（オキシデーションディッチ法）

- ・環状で浅いエアレーションタンク
- ・回転ブラシなどの機械ばっ気装置によりばっ気と流動が同時に行われる。

返送汚泥はないため、BOD 汚泥負荷は標準法より小さい。（0.04kgBOD/kgMLSS）



### 純酸素法

- ・生物活動度の増大
  - ・汚泥発生量の減少
  - ・エアレーションタンク容積の縮小
  - ・汚泥沈殿の安定化
- （欠点）
- ・装置を密閉する必要がある。
  - ・純酸素はイニシャルコストが高い。

### 超深層ばっ気法

- ・30～150m と深い管状のエアレーション
- ・深いため酸素の溶解効率が非常に高い
- ・濃厚な有機性排水の処理に適している
- ・敷地面積を著しく節約できる

### 回分式活性汚泥法

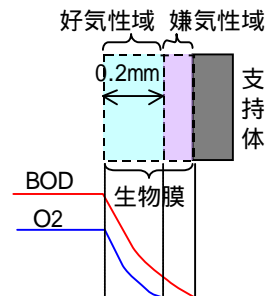
- ・1槽で沈殿、ばっ気、上水後流を行う。バルキング防止に効果あり。
- ・限られた時間帯に排水を排出する中小規模工場向け
- ・最近は日間を通して連続的に排出される排水に対応できる各種変法もある

	BOD 汚泥負荷 (kgBOD/kgMLSS)	MLSS (mg/L)	汚泥日令 (日)	ばっ気時間 (h)
エアレーション	1.5～2.3			1.5～2.5
標準活性汚泥法	0.2～0.4	1500～2000	2～4	6～8
長時間ばっ気法	0.04	3000～6000	15～30(1ヵ月)	16～24(1日)
分注法	0.3	1000～1500	2～4	4～6
再ばっ気法	0.2	2000～8000	4	5以上
酸化溝法	0.04	3000～4000	15～30	24～48
純酸素法	0.4	3000～4000	2.3	1～3
回分式	0.05～0.2			

## 2.3.3 生物膜法

生物固定法あるいは接触ばっ気法ともいう

膜の表面近くは好気性だが 0.2mm 程度で O<sub>2</sub> は消費されてしまい、支持体までは嫌気性。  
BOD が生物膜内部で消費されると、それより内側にある微生物は活性を失って死滅し生物膜は支持体からはく離する。



**生物相多様** (昆虫、原生動物、細菌 好気性 / 嫌気性菌)

**食物連鎖長い**

**余剰汚泥少ない**

(活性汚泥法と比較して)

- ・ **SS 除去能力劣る**
  - ・ 排水と生物の接触機会少。凝集能力乏しい。
  - ・ 処理水の透明度悪い。
- ・ 阻害物質に対する**抵抗力が大きい**
  - ・ 最外側の微生物にはダメージを与えるが内部のダメージは小さい。

(余剰汚泥)

余剰汚泥は**膜表面からはく離したもの**(新鮮な微生物)  
死滅して支持体から剥離するもとは別もの

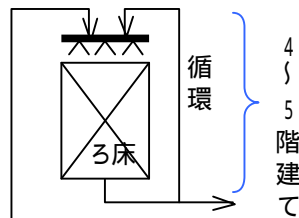
流出水の SS は **BOD** として測定され高い値となる。

(1) 各種の生物膜法

- ・ 散水ろ床法 (表面積負荷 5 ~ 10 gBOD/m<sup>2</sup>d)
- ・ 回転接触体 (円板) 法 (表面積負荷 10 ~ 30 gBOD/m<sup>2</sup>d)
- ・ 接触ばっ気法 (浸漬ろ床法)
- ・ 生物ろ過法

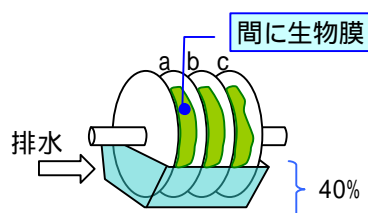
**散水ろ床法**

- ・ 出口水を循環して散水量を多くして**生物膜を洗い落とし**、過度な増殖を防ぐ
- ・ ろ床の閉そくを防止するためにも散水量は多くなる。
- ・ **八工**の発生と**臭気**が大きな欠点である。



**回転接触体法 (円板法)**

- ・ 円板面積の **40%** を浸漬させる。
- ・ 周速度は **20m/min**
- ・ BOD 負荷が高いほど、回転速度が遅いほど生物膜は厚くなる。
- ・ 好気性処理の中で最も**所内動力が小さい**。
- ・ a, b, c それぞれ適用した生物が繁殖する
- ・ 上流の a 部が高負荷で、下流が低負荷となる。
- ・ 生物の不連続性が特徴
- ・ 表面積は表裏使えるので注意する。



**接触ばっ気法 (浸漬ろ床法)**

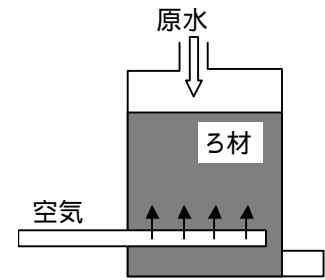
- ・ ハニカムチューブ等生物の付着しやすい材料を水中に浸漬させ生物膜を形成。
- ・ エアレーションタンクの容積は活性汚泥法と大差なく、滞留時間も長くなる。従って、水質変動を受けにくい。
- ・ SS も比較的よく除去される
- ・ 生物膜のはく離作用が弱く、水中にあるため生物膜が厚くなり、

支持材間で生物膜による閉そくを起こしやすい。

- ・硝化にも利用される。
- ・SS 濃度が高いと閉そくしやすい。

### 生物ろ過法

構造は砂ろ過器と大差なく、砂、プラスチック等の粒状の支持体（ろ材）を使用する。溶存酸素だけでは酸素が不足するため、空気を下部から吹き込むため、ろ過能力（SS 捕捉機能）は劣る。吹込管より下部はろ過器として働き、SS が捕捉される。



- ・ろ材粒径 3 ~ 10mm
- ・硝化工程に有効 硝化細菌は増殖速度が小さく、逆洗なしに長時間連続運転可能

### 自己造粒法

UASB 法（嫌気性）でよく利用される

### 流動床法

砂や活性炭を支持材としてばっ気によって流動状態とする。

## 2.3.4 嫌気性処理法

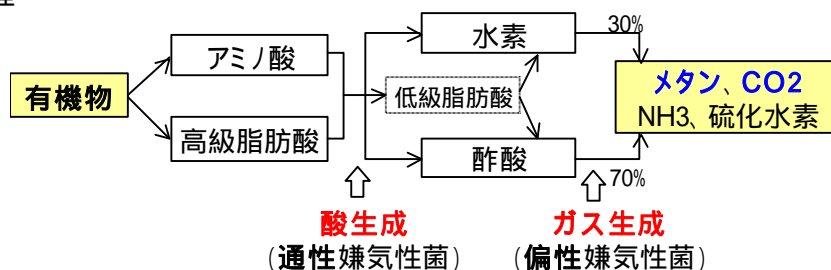
有機物   メタン、CO<sub>2</sub> に還元分解

（メタン発酵法の大きな特徴）

- ・所要動力が少ない（空気を供給しなくてよい）
- ・回収ガスが燃料として利用。

		活性汚泥法	メタン発酵慣用	UASB 法	
処理排水濃度		低～中	高	中～高	
COD 負荷量 (容積負荷)	kg/m <sup>3</sup> ・d	1～3	1～3	20	汚泥保持量の差
滞留時間	日	1	30	3	
MLSS	mg/L	5000	1万	5万	
COD 除去率	%	95	90	90	
汚泥生成率	%	50	10	10	余剰汚泥発生量少
所要動力		大	小	小	
スタートアップ	月	0.5	4	4	

（1）原理



- ・メタン発酵は、多くの嫌気性菌が関与する逐次反応系である。
- ・偏性嫌気性菌（ガス生成）は通気嫌気性菌（酸生成）より環境条件や阻害物質の影響を受けやすい。
- ・有機物からメタン生成の70%が酢酸を経由して行われる。

- ・生成ガスはメタンが主で、CO<sub>2</sub>は少ない。
- ・H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>は還元反応によりほぼ100%の硫化水素に変換される。

**偏性嫌気性菌**：酸素がほとんどないところでのみ生育できる。

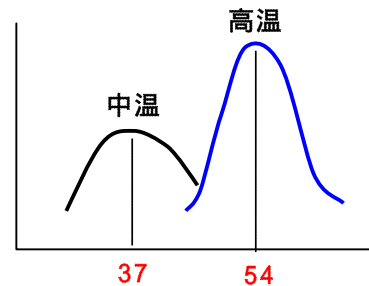
**通性嫌気性菌**：酸素があるときは呼吸で、ないときは発酵でエネルギーを生成する。

## (2) pH

- ・メタン発酵の最適pH 6.8~7.5 (**中性**) 活性汚泥法も6~8
- ・過負荷に原因する低級脂肪酸の蓄積 (pHが低下する)は、メタン生成過程に致命的な影響を及ぼす。

## (3) 温度

- 高温発酵 **54** : 中温の2.5倍の処理能力
- 中温発酵 **37** : 負荷変動など環境条件の変化に対して安定



## (4) BOD / N = 10~20

BOD / P = 100

## (5) 各種の嫌気性処理法

嫌気性ろ床

嫌気性流動床

- ・**粒状担体**に付着した汚泥を用いる
- ・**低濃度**の溶解性有機物性排水の**高速処理**に用いる

上向流式嫌気性汚泥床 (**UASB**)

- ・担体は投入せず**自己造粒化**した

**グラニュール**汚泥 (1~2mm)を用いる。

- ・汚泥濃度 **50,000mg/L** (活性汚泥の10倍)、**溶解性有機性排水の高負荷処理が可能**

- ・**ガスの発生・上昇を必要**とし、COD負荷 **2~3 kg/m<sup>3</sup>・d**以上かける必要あり。

- ・**スタートアップ**

最低**2~3ヶ月**

必要(自己造

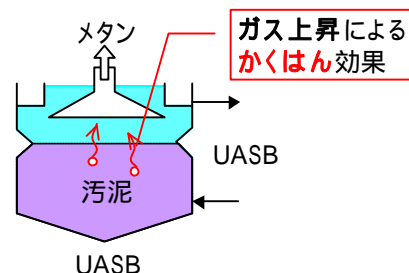
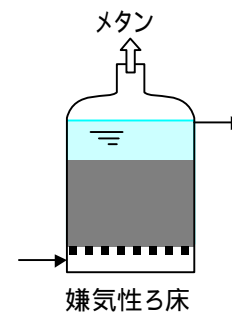
粒化のため)

近年**2~3週間**(余剰グラニュール使用)

- ・汚泥の**沈降速度が大きい**(20~40m/h)

グラニュールでマリモ状のため

- ・懸濁性の有機物には適さないので、前処理でSSを除去しておく。



### (自己造粒)

微生物が増殖するとき、微生物相互が密に集合し粒状に成長した微生物塊 (ペレット又はグラニュールと呼ぶ)

## 2.3.5 窒素の除去

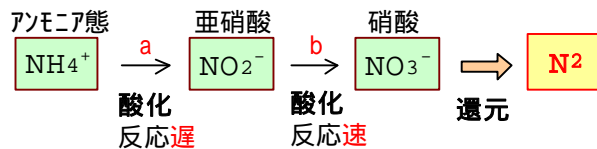
排水中の窒素化合物の除去技術

- (ア) 物理学的方法 電気透析、イオン交換、逆浸透、蒸留
- (イ) 化学的方法 アンモニアストリッピング、ゼオライト吸着、不連続塩素処理
- (ウ) 生物学的方法 酸化池 (藻類、光合成菌 微生物菌体として固定化) 硝化 (アンモニア態N 硝酸態Nへの酸化)

脱窒 (NO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub> 窒素へ還元)

(1)

	(硝化工程)	(脱窒工程)
工程	$a \text{ NH}_4^+ + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ $b \text{ NO}_2^- + 0.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$ 合成 $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ pH 低下	$\text{NO}_2^- + 3\text{H}^+ \rightarrow 1/2\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^-$ (H は水素供与体) $\text{NO}_3^- + 5\text{H}^+ \rightarrow 1/2\text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{OH}^-$ この酸素を奪って 呼吸し有機物を分解 pH 上昇
	好気性条件 (DO 2 ~ 3mg/L)	嫌気性条件
微生物	独立栄養細菌 (自栄養) $a$ アンモニア態窒素の酸化 Nitrosomonas (ニトロソモナス) $b$ 亜硝酸態窒素の酸化 Nitrobacter (ニトロバクター)	従属栄養細菌 (他栄養) ・通性嫌気性細菌 ・菌の増殖が速く、脱窒は反応が速い
エネルギー源	無機炭素化合物を利用して増殖 $a, b$ の酸化でエネルギーを得る	増殖に有機物を必要とする ORP -200 ~ -300mV 4.6kgO <sub>2</sub> / (NH <sub>3</sub> -N 1kg 当たり)
特徴	・pH 低下するためアルカリの添加が必要な場合あり ・温度影響大 ・毒物の感受性高い ・日令 3 ~ 5 日	・還元のための水素供与体 (有機物) が必要 ・水素供与体 メタノール、酢酸、排水中 BOD



(2) 菌

- (硝化菌) ・絶対好気性菌で硝化脱窒法の成否を決める  
 ・短時間であれば嫌気性条件下で活性を失うことはない
- (脱窒菌) ・硝化槽で十分増殖できる

(3) 操作条件

硝化工程

(イ) 汚泥日令

- ・硝化反応に係わる独立栄養細菌の増殖速度は、従属栄養細菌に比べて非常に小さい。(BOD 酸化菌の 1/10)
- ・したがって硝化菌の維持が最も重要となり汚泥日令は 3 ~ 5 日 (20 ) が必要である。

硝化プロセス設計では、

BOD/N 高い排水 汚泥日令 基本  
 BOD/N 低い排水 硝化速度 基本

(ロ) pH

- ・硝化菌の増殖は pH の影響が大きい (最適 pH)  
 Nitrosomonas 8 ~ 8.5  
 Nitrobacter 7 ~ 8
- ・硝化槽内 pH は中性付近に保つ

(ハ) 温度

- ・硝化菌の増殖速度は BOD 酸化菌に比べて温度の影響が大きい

1.5 以下では硝化速度は著しく低下する。

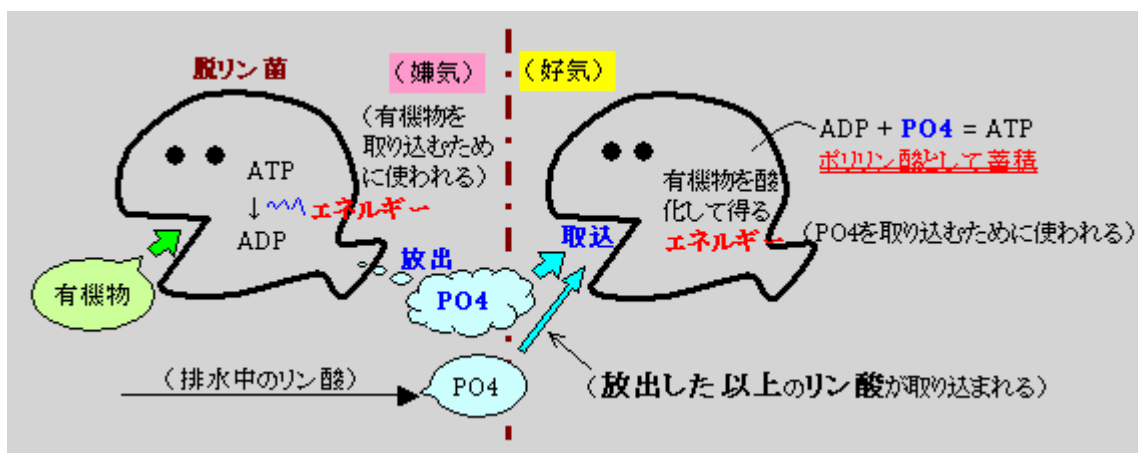
- (二) 毒性物質 硝化菌の毒性物質に対する感受性はBOD酸化菌に比べ高い
- (ホ) DO 2~3mg/Lの槽内溶存酸素濃度が必要である

### 脱窒工程

- ・脱窒槽（密閉槽）内混合液の酸化還元電位は -200 ~ -300mV(還元)である

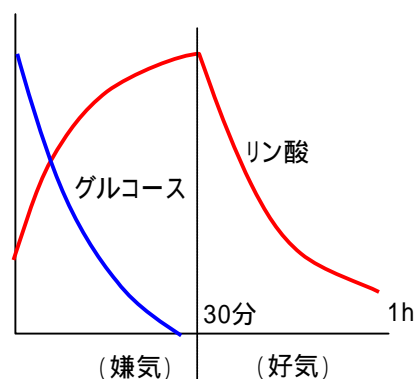
### 2.3.6 リンの除去

- ATP : アデノシン3リン酸 (生物活動のエネルギーの源)
- ADP : アデノシン2リン酸 = (ATP) - (リン酸) **このときエネルギーが得られる**
- アデノシン : DNAの構成要素
- グルコース : ブドウ糖のこと。炭化水素が分解されてできる。  
ATPの最大の原資
- リン酸 : 化学名 オルソリン酸 (正リン酸) と呼ばれる。  
 $H_3PO_4$  ortho dox (オーソドックス)
- オルトリン酸 :  $PO_4 =$  オルソリン酸 Ortho Phosphate
- 強リン酸 : 化学名 ポリリン酸  $H_{(n+2)} P_n O_{(3n+1)}$

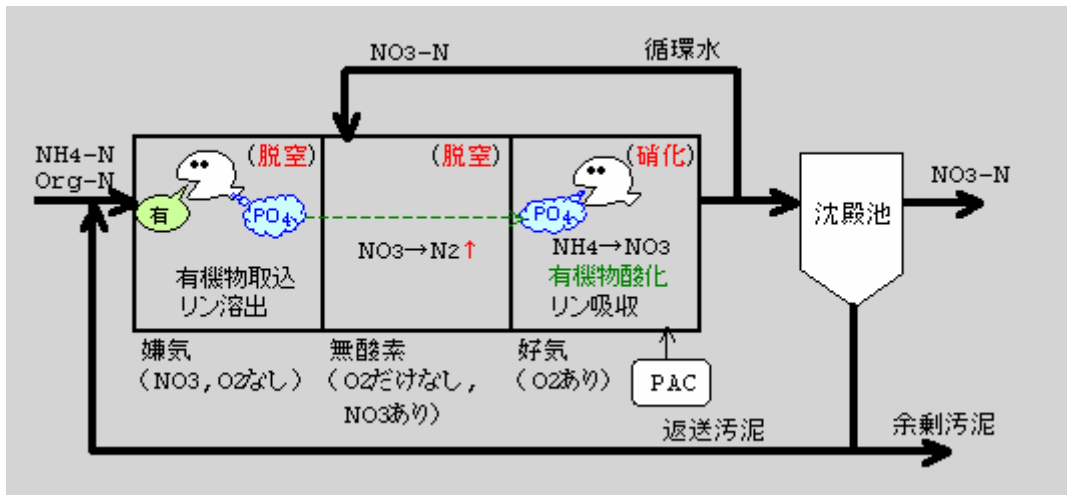


#### (1) 原理

- ・脱リン菌は嫌気条件でATPから $PO_4$ を放出して得られるエネルギーで有機物を取り込み、好気条件で有機物を酸化して得られるエネルギーで $PO_4$ を取り込む。
- ・リンは生物細胞に濃縮され、菌体(汚泥)として水系から除去される。
- ・嫌気条件でリン放出され、好気条件でより以上のリンが取り込まれポリリン酸として細胞に蓄積する。
- ・バルキング防止としても効果がある。
- ・細菌は好気性菌であり、好気条件で有機物を分解することによって増殖している。
- ・余剰汚泥からリンが再溶出しやすい。







BOD : N : P = 100 : 5 : 3 の排水  
 流入 BOD に対する汚泥転換率 40%  
 リン除去率 80%  
 汚泥のリン含有率は  $= 3 \times 0.8 / (100 \times 0.4) = 0.06$

## 2.4 汚水等処理装置の管理

### 2.4.1 物理化学処理

- ・密閉状態に近い貯留層に作業のため入るときは、十分に換気を行い酸欠や硫化水素による中毒に注意する。
- ・汚水の貯留槽を密閉すると、嫌気性になり発生した硫化水素が天井や壁の水滴に溶解し、硫化水素は微生物により硫酸となり pH を低下させ、コンクリートを激しく腐食する。
- ・分離板形の油分離装置は排水中の浮遊物質によって閉そくを起こすので定期的に清掃する。
- ・活性炭吸着は COD 除去として最終的な処理法である。  
 粉末炭は凝集直前の排水に直接添加し、凝集剤により SS とともにフロックとして沈殿除去する。
- ・流動層による吸着は目詰まりの恐れがなく、充填塔より小粒径の活性炭が使用できる。
- ・AC はメーカーで熱再生する。
- ・AC を新たに充填した槽の内部に入るときは、AC が酸素を吸収して酸欠になっている恐れがある。

### 2.4.2 活性汚泥

エアレーションタンク内 pH 中性付近  
 " DO 1 mg/L 以上となるよう散気量調節  
 DO が急に高くなった場合、生物活動の低下が予想され 以下が考えられる。

- ・ pH の異常
- ・ 毒性物質の流入
- ・ 返送汚泥の停止

BOD 負荷が低い方が SVI が小さく、汚泥の沈降性が良好に保たれる。

### 2.4.3 嫌気性処理

余剰汚泥発生量が少ない  
 装置は密閉された構造のため内部が見えない  
 酸生成槽ではアルカリを添加して過度の pH 低下を防止する。

pHの低下は有機酸の蓄積を予測させる兆候である。

- ・直ちに排水の流入を停止
  - ・pH計、アルカリを注入しているときは異常注入の有無
  - ・有機酸（酢酸は弱酸性）の蓄積を check し、認められたらアルカリにより中和する
- ガス発生量の低下    メタン生成菌の活性低下    と同様の処置をする

水温の管理    **極めて重要**

- ・中温消化（37）    排水流入が停止しても生物活性の低下は起こらない。
- ・高温消化（54）    排水流入が停止すると、無負荷高温下に汚泥が保持され、生物活性が急速に低下する

### 2.5.3 冷却水 利用

工場用水全体の60%が冷却水

$$\begin{aligned} \text{濃縮倍数} &= \frac{E + B + W}{B + W} > 1 \\ &= \frac{M}{B + W} \end{aligned}$$

E, W, M, B は Q に対する%

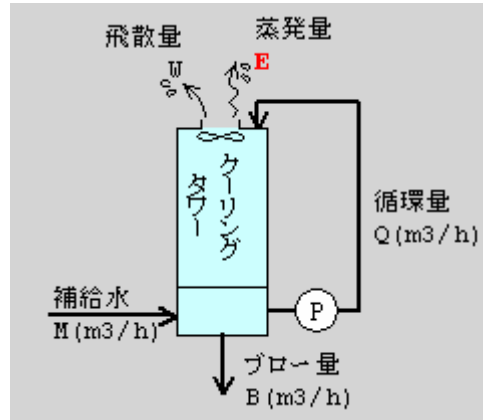
E は水だけが蒸発し、塩類が濃縮される。

W, B は塩類も同時に失う。

従って **E** だけが濃縮の問題となる

E = 0 で N = 1 (濃縮無し)

B は N を小さくするための排水の量。



### 汚泥脱水

各処理形式特徴一覧

	真空ろ過	加圧ろ過	加圧ロール脱水	スクリーンプレス	遠心脱水
	オリバー形	フィルタプレス	ベルトプレス		水平形デカンタ
回転数	1 / 4 rpm				2000 ~ 4000 rpm
含水率	70 ~ 85%		他の方法に比べて低い	70%	75 ~ 85%
圧力	- 80 kPa {600mmHg}	200 ~ 800 kPa			
	連続式	回分式	連続式	連続式	連続式
特徴	ケーキ厚3mm以下ははく離困難		騒音が小さい	ハンチングメタルの孔 3mm	高周波騒音が問題
	大量の処理には適さない		高分子凝集剤	繊維質の汚泥に最適	大量の汚泥処理可能

		好気性	嫌気性
菌体レベル	エネルギー生成効率	高い	低い
	菌体生成量（汚泥生成量）	多い	少ない
	除去 COD の菌体転換率	1 / 2	1 / 10
装置レベル	装置としての微生物密度	低	高い
	装置としての効率	低	好気性の 10 倍高い

	活性汚泥法	生物膜法
微生物の種類	少	多い
食物連鎖	短い	長い
余剰汚泥の生成量	多い	少ない
凝集（SS 除去）能力	普通	低い
阻害物質への抵抗力	低	大

レイノルズ数	Re	レイノルズ数は粒子の直径 d、沈降速度 v に比例する
ストークスの式	Re < 2	沈降速度は粒子の直径の 2 乗に比例する。
ジャーテスター	凝集剤	凝集試験法 150 rpm 急速 × 5 分 60 rpm 緩速 × 20 分
凝集反応速度	凝集剤	凝集剤の添加後の凝集速度は粒子濃度の 2 乗に比例
凝集反応速度	接触凝集	母フロックの直径の 3 乗に比例し、濃度に比例する
有効径	ろ材	全質量の 10% が通過するふるい目の大きさに相当する粒径
均等係数	ろ材	全質量の 60% が通過する目の大きさ 全質量の 10% が通過する目の大きさ（有効径）
kozeny-Carman の式	ろ過抵抗	ろ過抵抗はろ材粒径の 2 乗に反比例する 空げき率 が小さくなるとろ過抵抗は急激に増大する
フロイントリヒの式	$X = k C^n$	良好な吸着剤は k が大きくて、n が小さい
Ruth のろ過方程式		ケーキ比抵抗
ヌッチェ試験	ケーキ比抵抗	凝集剤を選定するため、汚泥に各種の凝集剤を加えて、ヌッチェ試験を行い、比抵抗を比較する。
リーフテスト		真空ろ過法のろ過試験 （ろ過速度等を得られる）
濃縮倍数	冷却水	$\frac{\text{蒸発水量} + \text{ブロー量}}{\text{ブロー量}}$