

*15



雨水吐から未処理の下水放流
引用：京都市上下水道局HP

<https://www.city.kyoto.lg.jp/suido/page/0000008679.html>

*17 合流式下水管渠のマンホール（東京都, 神田）

T-20：荷重区分
（通行可能車種の総重量20t）



合流か分流の区分

直径60cm, 清掃のため30mおきに設置



4つのキャップ（記号）
左3つ：マンホールの番号
左端が黄色：合流管か污水管
左端が青色：雨水管
右：下水道管の設置年度（西暦下2桁）
黄色：1900年代（写真は1968年設置）
青色：2000年代



マンホールトイレ



東京23区内マンホールの端に、青いゴムキャップの表示があれば災害時に避難所内のトイレが不足する場合、マンホール上部に仮設トイレの設置が可能
下水道管の耐震化が完了、尿尿が堆積しない水量が有り、交通や応急活動の支障にならない場所（東京都内で約4,600箇所）

*20 将来人口の推定方法 1/3

①年間平均増加数による方法：

年間平均人口増加量が一定であるという考え方に基づく。

短期の推定に適し,発展が緩慢な都市または発展しつくした比較的大きな都市など,急激な人口増加のない都市に適用

②年間平均増加率による方法：

年間の人口増加率が一定であるという考え方に基づく。

相当期間同じ増加率を持続してきた,開発活動が活発な若い都市,発展的な都市に適用。

但し,経過年数が長くなると人口が過大になる傾向がある。

③べき曲線式による方法：

実績初年度の人口を P_0 とすると,t年経過した後の推定人口Pは次式で表現できる。

$P = P_0 + At^a$ A, a: 最小二乗法より決定される定数

多くの都市の人口推定に適用されるが,データのばらつきが大きい場合,推計値が変動しやすく,計算結果が得られない場合も多い。

将来人口の推定方法

2/3

④論理曲線式（ロジスティック式）による方法：

人口増加率 dP/dt が、そのときの人口 P と収容能力 $(L-P)$ に比例するという考え

$$\frac{dP}{dt} = aP(L-P)$$

P : t 年経過した後の人口, L :飽和人口, a :比例定数

P について積分すると（部分分数に分解後）

$$P = \frac{L}{1 + e^{a+bt}}$$

この式をロジスティック式という

人口増加率は初期が小さいが年とともに増加し、中間で増加率が最大となる。その後、増加率が減少し、飽和人口 L に達すると、人口は増加しなくなるという推移を想定している。

将来人口の推定方法 3/3

表 2・6 各種の人口推定法

推定法	回 帰 関 数 と 係 数 の 決 定	備 考
年平均増加数 による方法	$y = ax + b$ 最小二乗法により, $a = \frac{N \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{N \sum x^2 - \sum x \cdot \sum x}, \quad b = \frac{\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \cdot \sum xy}{N \sum x^2 - \sum x \cdot \sum x}$	短期の推定に適 す。発展が緩慢な 都市または発展し つくした比較的大 きな都市に適用 可。
年平均増加率 による方法	$y = y_0(1+r)^n$ $r = (y_n/y_0)^{\frac{1}{n}} - 1$	相当期間同じ増加 率を持続してきた 発展的な都市に適。
べき曲線式に よる方法	$y = y_0 + Ax^a$ $\log(y - y_0) = \log A + a \log x$ $\log(y - y_0) = Y, \log x = X,$ $\log A = b$ とおくと $Y = aX + b$ となり, 最小二乗法により, $a = \frac{N \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{N \sum X^2 - \sum X \cdot \sum X},$ $b = \frac{\sum X^2 \cdot \sum Y - \sum X \cdot \sum XY}{N \sum X^2 - \sum X \cdot \sum X}$	多くの都市に適用 可能である。
論理曲線式に よる方法	$y = \frac{K}{1 + e^{a-bx}}$ 最小二乗法 (K が与えられ, a, b 未知の場合): 与式を変形して, $bx \log e - a \log e = \log y - \log(K - y)$ ここで, $x \log e = X, a \log e = C, \log y - \log(K - y) =$ Y とおくと, $bX - C = Y$ となり, 最小二乗法で解くと, $a = \frac{C}{\log e} = \frac{1}{\log e} \cdot \frac{\sum X \cdot \sum XY - \sum X^2 \cdot \sum Y}{N \sum X^2 - \sum X \cdot \sum X},$ $b = \frac{N \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{N \sum X^2 - \sum X \cdot \sum X}$ 三点法 (K, a, b が未知の場合): 過去の実績人口 (年数は等間隔にとる) を $y_{(0)}, y_{(1)}, y_{(2)}$ と したとき, $0 < y_{(0)} < y_{(1)} < y_{(2)}, y_{(1)}^2 > y_{(0)} \cdot y_{(2)}$ を満足すると き用いられる解法である。 $d_1 = \frac{1}{y_{(0)}} - \frac{1}{y_{(1)}}, \quad d_2 = \frac{1}{y_{(1)}} - \frac{1}{y_{(2)}}$ とすれば, $K = \frac{y_{(0)}(d_1 - d_2)}{d_1(1 - d_1 y_{(0)}) - d_2}, \quad a = \frac{1}{\log e} \cdot \log \frac{K \cdot d_1^2}{d_1 - d_2}$ $b = \frac{\log d_1 - \log d_2}{\log e}$	この式では, 人口 が無限年前に 0, 年月の経過ととも に漸増, 中間の増 加率顕著, ついで 増加率が減少し, 無限年後に飽和に 達するという推移 を想定している。

(注) 表中の y は推定人口[人], y_0 は基準年の人口[人], N は人口資料の年数, x は基準年からの経過年数, a, b, A は人口資料から算出される定数, r は年平均増加率, y_t は現在から t 年前の人口[人], K は計画区域内の飽和人口で表 2・8 の数値をもとに算出される。 e は自然対数の底 (=2.7182……)。

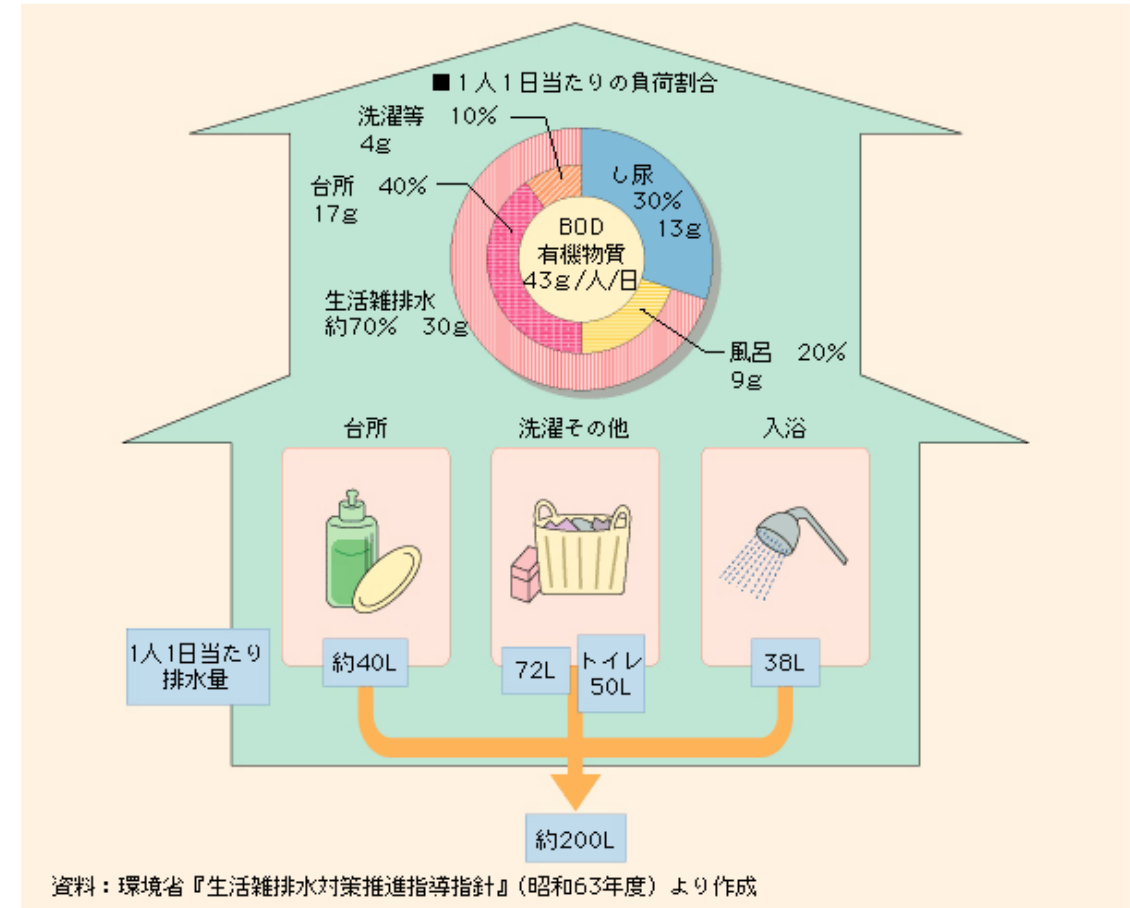
計画汚水量の推定方法

1/4

計画汚水量は、①家庭汚水量（基礎家庭汚水量と営業汚水量）、②工場排水量、③地下水量、④その他の汚水量の合計で計算される。

①家庭汚水量とは、人間活動の結果生じる、厨房、浴場、洗濯、掃除等から排出される雑排水と、水洗トイレから排出される屎尿で構成される。概ね1人1日当たり、200Lの汚水を排出する。計画汚水量の算出において、家庭汚水量は、基礎家庭汚水量と営業汚水量とに分けて考える。基礎家庭汚水量とは、一般家庭からの汚水量で、炊事、洗濯、風呂などの生活用水が使用後汚染され、排水になって排出される水量で、定住人口（夜間人口）を計算基礎とする。

図2-3-6 生活排水と生物化学的酸素要求量（BOD）の割合



家庭から排出される汚水量およびBOD汚濁負荷（環境白書）

計画汚水量の推定方法

2/4

営業汚水量とは、学校、ホテル、レストラン、デパート、事務所等の営業用水が使用後汚染され、排出される水量で、用途地域別に基礎家庭汚水量と営業汚水量との割合である営業用水率を考慮して算出する。

表 用途地域別の営業用水率（日平均）

表 用途地域別の営業用水率（日平均）		
用途地域	営業用水率	備考
商業地域	0.6～0.8	用途地域別に営業用水量と営業用地率との相関を求めたあと、1人当り基礎家庭用水量に対する率としてセットしたもの。
住居地域	0.3	
準工業地域	0.5	
工業地域	0.2	

(注) 都市規模によって営業用水率に多少の変動がある。
出典：下水道施設設計指針と解説 1984年版，p. 28，表 1-3，日本下水道協会。

例えば、A市の下水道計画において、住居地域が主に占め、処理人口1,000人基礎家庭汚水量が200L/人・日であるときの家庭汚水量は、

$$200\text{L/人} \cdot \text{日} \times 1,000\text{人} \times (1 + 0.3) = 260,000\text{L/日} = 260\text{m}^3/\text{日}$$

計画汚水量の推定方法

3/4

②工場排水は、管渠、下水処理などに悪影響を及ぼすことがないように除害施設にて有害物質や汚濁物質を処理し、一定の排水基準を満たせば、下水道にて受け入れることができる。原則では工場個々の場合において調査をする必要があるが、概略では、業種別の工場製品出荷額（100万円単位）当たり、工場敷地面積（1m³）当たりの排水量原単位によって推定する。

例えば、1年間の全工業出荷額250億円の食品工場があり、食品工場排水量が5m³/100万円（排水量原単位、仮定値）の場合、工場排水量は、

$$250\text{億円}/100\text{万円} \times 5\text{m}^3/100\text{万円} \div 365\text{日} = 342.5\text{m}^3/\text{日}$$

計画汚水量の推定方法

4/4

③地下水は、污水管渠が地下水位の高い場所に埋設されている場合には、管渠内の流れは自由水面を持っているため、管渠の継手などより多少の地下水が流入する。地下水の浸入量を推定することは理論的には不可能に近いため、経験的に家庭汚水量に対する1人1日最大汚水量の10～20%を見込むものとしている。

④その他の汚水量として、下水道計画地域によっては、観光地では観光客による汚水量、養豚などの家畜産業が盛んな地域では、畜舎排水などを考慮する。

下水道施設設計に必要な汚水量の推定 1/1

表 施設計画のための汚水量

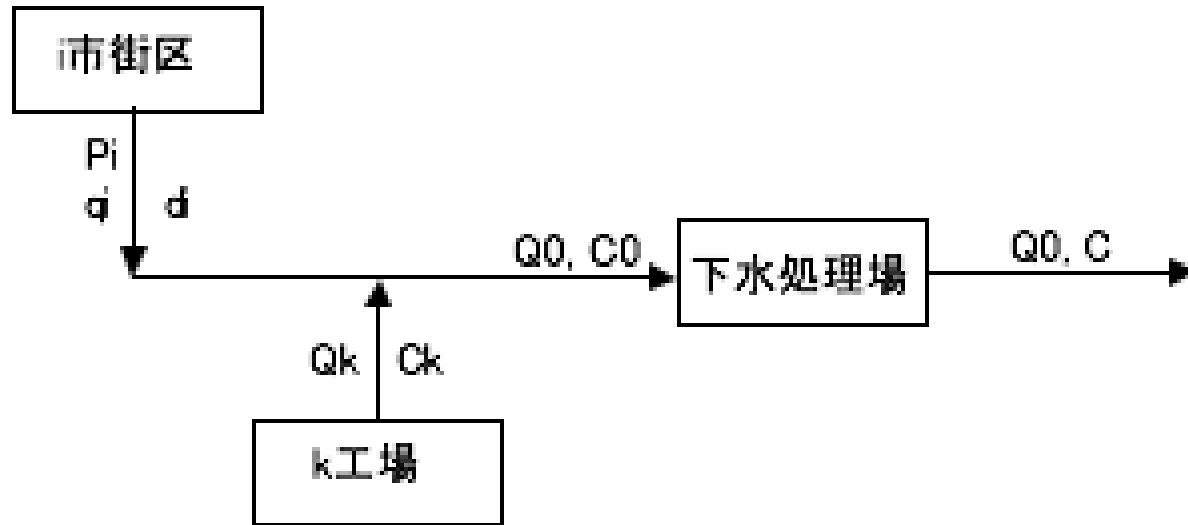
	処 理 場			ポ ン プ 場	管 き よ	遮 集 管
	導水きよ, 沈砂池	最初沈殿池消毒設備	曝気槽, 最終沈殿池			
分流式	時間最大	1 日最大	1 日最大	時間最大	時間最大	—
合流式	時間最大×3	時間最大×3	1 日最大	時間最大×3	時間最大	時間最大×3

出典：藤田賢二，下水道工学演習，p. 38，表 4・1，学献社（1988）。

*23

計画汚濁負荷量の推定, 計画流入水質の推定 1/5

下水処理場流入負荷及び計画流入水質および処理水質との関係



P_i : i 市街区の計画年次人口 (人)

q_i : i 市街区の汚水量原単位

(L/人・日, 1人1日平均汚水量)

d_i : i 市街区の生活廃水汚濁負荷量原単位

(g/人・日)

Q_k : k 工場の工場排水量 (m^3 /日)

C_k : k 工場の汚濁物質濃度 (mg/L)

Q_0 : 計画1日平均汚水量 (m^3 /日)

C_0 : 計画流入水質 (mg/L)

C : 処理水質 (mg/L)

計画汚濁負荷量の推定, 計画流入水質の推定 2/5

①生活排水による発生汚濁負荷量：
家庭より排出される家庭污水（雑排水および屎尿）の, 1 人 1 日当たりの汚濁物質の発生量, すなわち, 汚濁負荷量原単位が統計的にまとめられている。

すなわち,
家庭発生汚濁負荷量(kg/日) = 夜間人口 (人)
× 汚濁負荷量原単位(g/人・日) × 10⁻³

(i市街区の発生汚濁負荷量 (g/日) =
Pi(人) × di(g/人・日) × 10⁻³)

各営業種における, 1 人, 1 日当たりの汚濁物質の発生量が統計的にまとめられている。家庭污水と同様に,
営業発生汚濁負荷量(kg/日) = (昼間人口-夜間人口)
(人) × 汚濁負荷量原単位(g/人・人) × 10⁻³

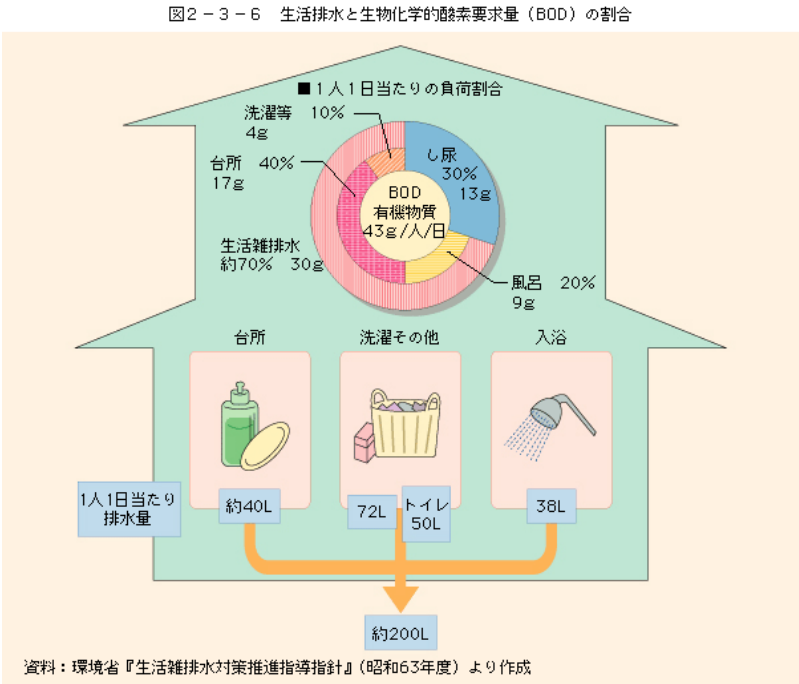


表 生活廃水汚濁負荷原単位(g/人・日)

項 目	昭和45年			平成2年		
	し尿	雑排水	合計	し尿	雑排水	合 計
BOD	13	31	44	13	51～71	64～84
COD	6.5	15.5	22	6.5	25.5～35.5	32～42
SS	10	30	40	10	48～66	58～76
TN	9	3	12	9	4	13
TP	0.57	0.83	1.4	0.57	1.63	2.2

計画汚濁負荷量の推定, 計画流入水質の推定 3/5

②工場排水による発生汚濁負荷量：

排水水質,排水量の実測値がある場合に,次式より算出する。

$$\begin{aligned}\text{工場発生汚濁負荷量(kg/日)} &= \text{工場排水水質(mg/L)} \times \text{工場排水量(m}^3\text{/日)} \times 10^{-3} \\ (\text{k工場の発生汚濁負荷量(kg/日)}) &= C_k(\text{mg/L}) \times Q_k(\text{m}^3\text{/日)} \times 10^{-3}\end{aligned}$$

実測が困難な場合（新規工場の立地など）は,工場排水量の推定と同様に,

工場発生汚濁負荷量=工場製品出荷額×汚濁負荷量原単位を使用することもある。

計画汚濁負荷量の推定, 計画流入水質の推定 4/5

③畜舎排水による発生汚濁負荷量：

下水道計画区域内に畜舎がある場合, 家畜頭数（頭）および家畜廃水汚濁負荷量原単位（g/頭・日）より, 発生汚濁負荷量を求める。

$$\text{畜舎発生汚濁負荷量(kg/日)} = \text{家畜頭数(頭)} \times \text{家畜廃水汚濁負荷量原単位(g/頭・日)} \times 10^{-3}$$

表 家畜による汚濁負荷量原単位⁷⁾

項 目	牛	豚	馬
水 量 (l/頭/日)	45~135	13.5	
BOD (g/頭/日)	640	200	220
SS (g/頭/日)	3000	700	5000
T-N (g/頭/日)	290	40	170
T-P (g/頭/日)	50	25	40
COD (g/頭/日)	530	130	700

注1) ニワトリの排泄物^{せつ}は、肥料として使用されるので、実質的にゼロと考えてよい。

2) 牛、馬は野外で排泄することが多いので、流出率は10%以下とする。

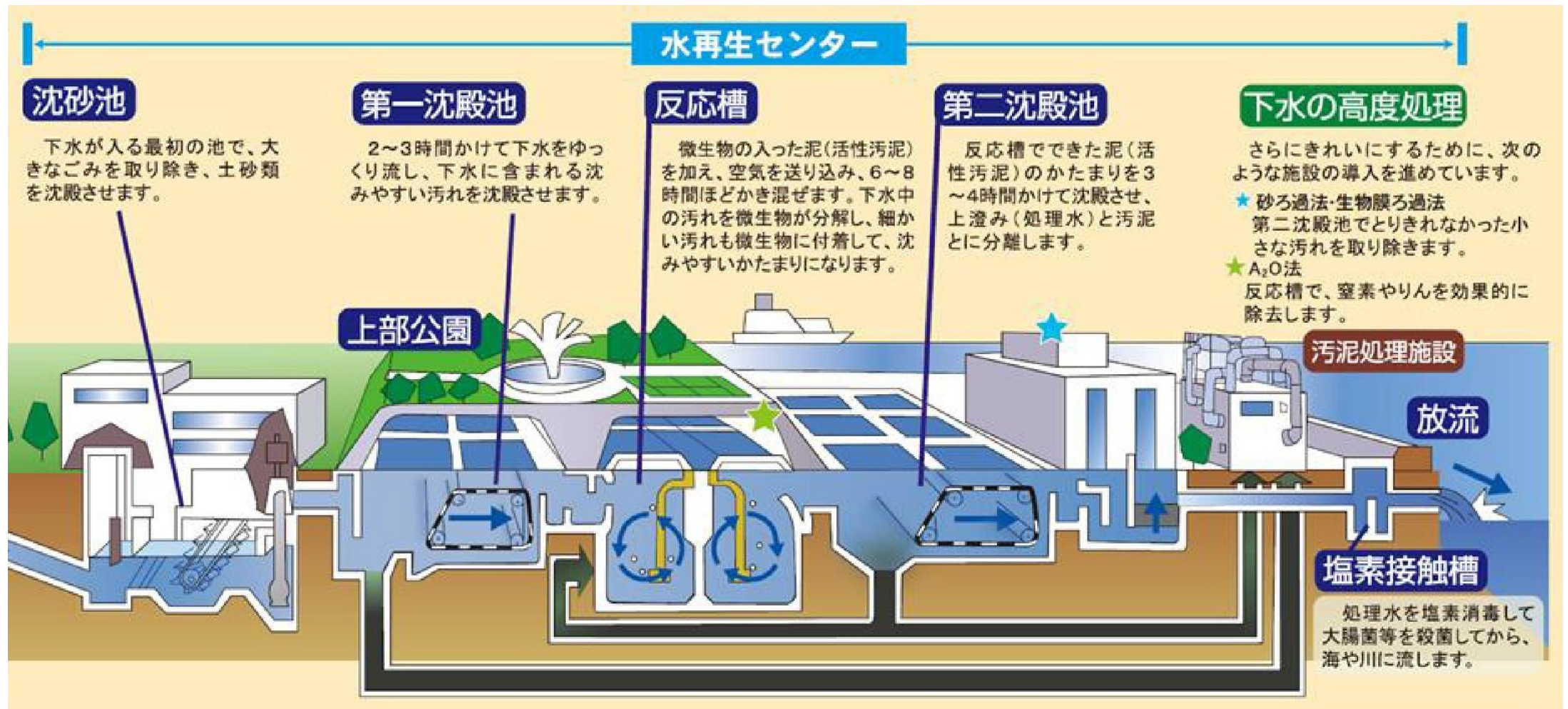
中島重旗：衛生工学入門, 朝倉書店, p.102より引用

計画汚濁負荷量の推定, 計画流入水質の推定 5/5

下水処理場の計画汚濁負荷量は,発生汚濁負荷量①～③を総和したものであり,計画流入水質は計画汚濁負荷量を計画 1 日平均汚水量にて除したものである。

$$\begin{aligned} \text{計画流入水質}(\text{mg/L}) = \\ \text{計画汚濁負荷量}(\text{kg/日}) / \text{計画 1 日平均汚水量}(\text{m}^3/\text{日}) \times 10^3 \end{aligned}$$

下水処理のフロー



引用：東京都下水道局HP

二次処理の分類



図 2次処理（生物処理）の分類

*37 活性汚泥による有機物除去のメカニズム

活性汚泥とは、高い有機物分解能力を持つ好気性細菌を主体として原生動物や後生動物が加わった泥状の微生物集塊であり、有機性物質の除去メカニズムは以下のステップで進行する。

①有機物の吸着：

活性汚泥の表面に有機物が物理的および化学的に濃縮される現象である。下水と活性汚泥の接触後20分以内に急激に発生し、吸着した有機物は、その後、微生物体内に取り込まれて酸化および同化され、再び新たな有機物を吸着する（生物吸着）。

②有機物の酸化および同化：

活性汚泥に吸着された有機物は、酸化または同化され、下水が浄化される。下水中の有機物が減少すると、活性汚泥微生物は生命維持に必要なエネルギーを獲得するために、自己の細胞を酸化する（異化）。これを内生呼吸という。

③生物フロックの形成：

下水の浄化は、有機物の吸着→酸化・同化の進行により達成される。きれいな処理水を得るためには、活性汚泥の凝集性や沈降性が良好である必要がある。このバランスが崩れると、活性汚泥集塊（フロック）の状態が悪化する。

吸着が酸化より過剰な場合、活性汚泥集塊（フロック）が軽くなり、沈殿分離が困難になる。原因としては、酸素不足、過剰有機物、微生物の活動を阻害する物質混在などである。一方、酸化が吸着より過剰な場合、菌体自己細胞の酸化により、フロックが細分化して、沈殿が困難になる。原因として、過剰酸素、有機物不足などである。

処理速度、浄化に影響を与える因子

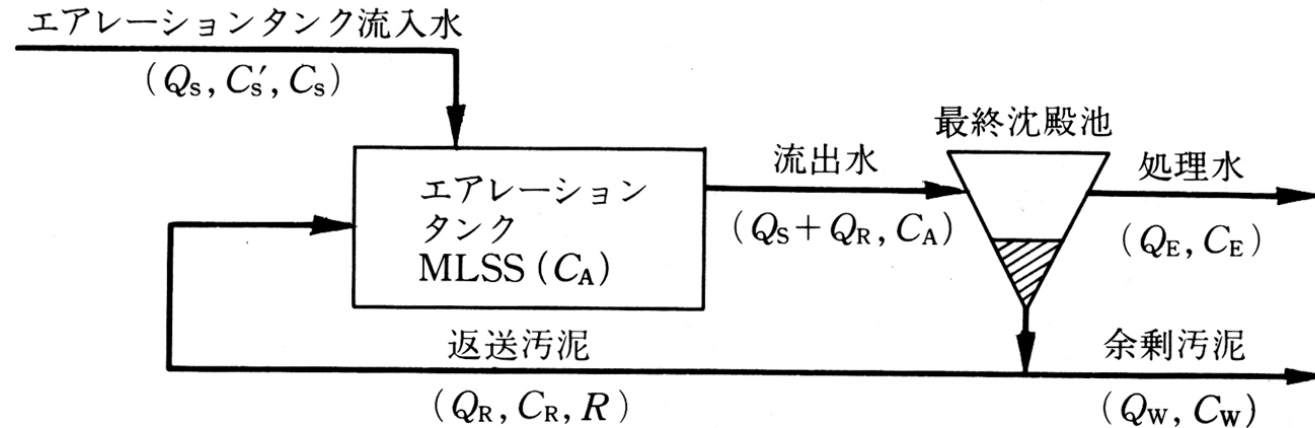
- ①水温：20～30℃が適温 10℃以下あるいは35℃以上になると浄化能力低下する。
- ②溶存酸素：無酸素状態が続くと、活性汚泥を構成する好気性微生物は死滅・解体する。反応タンク内で最低でも0.1mg/L,通常1～3mg/L必要である。
- ③栄養分：微生物にとって必要な有機物,無機物がバランスよく存在していること。
BOD:窒素(N)：リン(P)=100:5:1が理想とされている。
- ④pH：最適pH域は6～8で極端な酸性やアルカリ性は微生物の機能停止を招く。
- ⑤毒性物質：好気性微生物にとって有害な毒性物質は浄化反応を阻害する。重金属,フェノール,シアンなどである。

最初沈殿池と最終沈殿池の比較

表 最初沈殿池および最終沈殿池の設計因子

設計因子	最初沈殿池	最終沈殿池
水面積負荷率 $m^3 / (m^2 \cdot \text{日})$	25～50	20～30
有効水深 m	2.5～4.0	2.5～4.0
余裕高 cm	50	50
沈殿時間（公称滞留時間） 時間	沈殿法； 3 散水ろ床法； 2 標準活性汚泥法； 1.5	3
堰の越流負荷 $m^3 / (m \cdot \text{日})$	250以下	150以下
形状	長方形，正方形，円形	長方形，正方形，円形
長方形池での長さ と 幅の比	3：1～5：1 程度	3：1～5：1 程度
汚泥かき寄せ機	チェーンフライト式，ミーダ式	チェーンフライト式，ミーダ式
その他設備	整流設備，スカム除去装置	整流設備，汚泥返送システム

活性汚泥の設計, 管理指標 (1/3)



- | | |
|--|---|
| Q_s : エアレーションタンク流入下水
流量 [$\text{m}^3/\text{日}$], | C_R : 返送汚泥濃度 [mg/l], |
| C_s : エアレーションタンク流入下水
BOD 濃度 [mg/l], | C_A : MLSS (エアレーションタンク
流出混合液浮遊物濃度) [mg/l], |
| Q_R : 返送汚泥流量 [$\text{m}^3/\text{日}$], | C_E : 処理水浮遊物質濃度 [mg/l], |
| Q_E : 処理水流量 [$\text{m}^3/\text{日}$], | C_W : 余剰汚泥濃度 ($C_W = C_R$) [mg/l], |
| Q_W : 余剰汚泥流量 [$\text{m}^3/\text{日}$], | R : 返送汚泥比 = Q_R / Q_s |
| C'_s : エアレーションタンク流入下水
浮遊物濃度 [mg/l], | |

図 活性汚泥法の管理因子

活性汚泥の設計, 管理指標 (2/3)

①MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid) : C_A (mg/L)

反応タンク内の浮遊物質濃度であり, 下水中の浮遊物質および活性汚泥で構成されるが, ほぼ活性汚泥濃度と等しい。標準活性汚泥法では, 1,500~2,000mg/L程度で維持する。

②BOD容積負荷: $(\text{kgBOD}/\text{m}^3 \cdot \text{日}) \quad C_s \times Q_s \times 10^{-3} / V$

反応タンク単位容積 (1m^3) 当たりに1日に流入するBOD負荷量である。標準活性汚泥法では, 0.3-0.8kgBOD/ $\text{m}^3 \cdot \text{日}$ 程度である。

③BOD汚泥負荷: $(\text{kgBOD}/\text{kgMLSS} \cdot \text{日}) \quad C_s \times Q_s / C_A \times V$

反応タンク内の活性汚泥単位容積 (1kg) 当たりに1日に流入 (負荷) するBOD負荷量である。標準活性汚泥法では, 0.2-0.4kgBOD/kgMLSS $\cdot \text{日}$ 程度である。数値が大きいくほど, 単位活性汚泥当たりに処理すべきBOD量が大きくなる。

④水理学的滞留時間: (時間) $V / Q_s \times 24$

反応タンクに流入して, 流出するまでの時間で, 曝気時間 (処理時間) と同等の意味を持つ。標準活性汚泥法では, 6~8時間程度である。

⑤汚泥返送率: $Q_s \times 0.2 \sim 0.4$

最終沈殿池にて濃縮沈殿された汚泥の反応タンクへの返送の割合である。標準活性汚泥法では, 流入下水量に対して20~40%である。この返送汚泥の調整によりMLSS濃度を1,500~2,000mg/Lになるようにする。

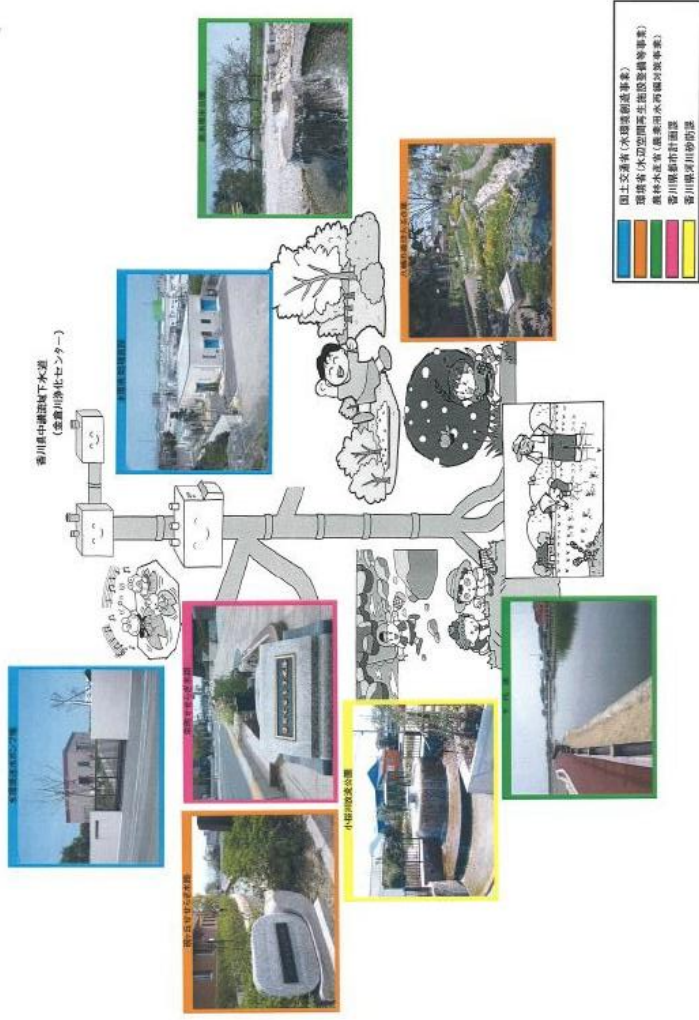
活性汚泥の設計, 管理指標 (3/3)

処理の安定化には,設計・管理基準値内にて,かつ変動が少なく,安定していることが重要である。加えて,浄化反応に影響を与える因子で述べた,水温,pHや溶存酸素は,反応タンク内に計測器を設置し,連続的にモニタリングを行い,異常の発生 of 早期発見や,冬期の低水温時における,微生物の活性低下に対する流入水量調整やMLSS濃度調整などを複合的に組み合わせ,運転を行う。

再生水資源事例

要業概要

水の大切さを認識し「安定的な水資源の確保」や「環境保全」というテーマをもって、水循環型社会を実現するため、下水道処理水を新たな水資源として、多目的に利用しています。



多度津町には1市3町の下水道を処理している「香川県中讃流域下水道金倉川浄化センター」があります。そこで処理した水は今までは、瀬戸内海に放流していましたが処理水を循環利用しようと「水環境処理施設」で日量最大1万トンを高度処理しています。

渇水時にも安定した量を供給できるよう農業用水に日量2,000トン、河川の水不足による悪臭の発生等を解消できるよう河川維持用水に日量5,500トン、公園施設等へ利用する親水用水に日量2,455トン、水辺空間を復活させるせせらぎ水路に日量455トンを供給しています。

[处理方法]

「水環境処理施設」では2種類の処理を行っています

せせらぎ用水…凝集ろ過・オゾン処理・活性炭吸着処理

親水用水…凝集過濾・活性炭吸着処理・塩素消毒

香川県多度津町における水環境ネットワーク

(引用: 多度津町HP)

災害に強い下水道 1/1

「下水道ネットワークシステムとは」

一般的な下水道システムは、家庭や工場等から排出される汚水を、地下に埋設した下水道管きよを通じて1つの下水処理場を集め処理します。

下水道ネットワークシステムは、汚水の集め方は同じですが、1つの下水処理場からさらに別の下水処理場へ大口径の下水道管きよ（ネットワーク幹線）で繋ぎます。このネットワーク幹線を利用して、集めた汚水を他の下水処理場へ送ることができるため、複数の下水処理場で汚水処理が可能になります。

災害に
強いシステム

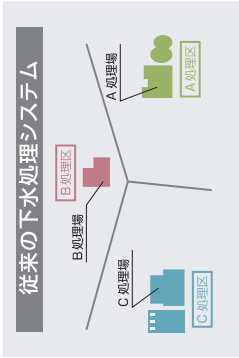
平成7年1月に起こった阪神・淡路大震災で、下水道は大きな被害を受け、東灘処理場は約100日もの間、汚水の処理ができませんでした。
下水道ネットワークシステムの活用によって、1つの下水処理場が機能停止した場合でも汚水をネットワーク化した別の下水処理場へ送水し処理することが可能となります。



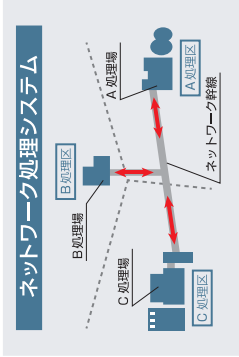
下水処理場の
バックアップ化

今までは各処理区（東灘・中央・鈴蘭台・垂水の各処理区）で発生した汚水は、東灘・西部・中部・鈴蘭台・垂水の5つの各処理場で個別に処理を行っていました。

下水道ネットワークシステムの完成により、これからは他の処理場に汚水を送水できる（鈴蘭台処理場への送水はできません）ことから、下水処理場が機能停止した場合のバックアップが可能になります。



各処理区で発生した汚水は、各処理場で個別に処理を行う



ネットワーク化により、機能停止した処理場のバックアップが可能になる

処理場間を
結ぶ動脈

神戸市のネットワーク幹線は、東西方向に深く長く埋設されており、既設の汚水幹線とも有機的に連絡し、下水処理場を結び動脈として活用されます。



災害に強い神戸市下水道ネットワーク

（引用：神戸市HP）