資料４

# 栄養塩類の能動的運転管理の効果的な実施に向けたガイドライン（案）

国土交通省 水管理・国土保全局
下水道部

令和4年10月

# ガイドラインの構成【目次】

国土交通省


1. 総則
- 1.1 ガイドラインの目的
- 1.2 ガイドラインの構成
- 1.3 語句の説明

2. 能動的運転管理の概説
- 2.1 目的
- 2.2 背景
- 2.3 水質環境基準と閉鎖性水域の水質汚濁
- 2.4 効果
- 2.5 流域別下水道整備総合計画等との関連性
- 2.6 実施状況
- 2.7 栄養塩類増加手法の概要
- 2.8 関係機関等との調整・連絡体制等
- 2.9 検討フロー

3. 基本事項の確認
- 3.1 法令・関連計画等の確認
- 3.2 放流先の状況の確認
- 3.3 水処理・汚泥処理に関する現状の確認
- 3.4 水処理・汚泥処理の操作指標等の確認
- 3.5 水処理・汚泥処理施設・設備の確認
- 3.6 水処理・汚泥処理に関する現状の確認

4. 試運転案の作成
- 4.1 栄養塩類増加手法の種類と特徴
  - 4.1.1 窒素除去を抑制する運転の特徴
  - 4.1.2 りん除去を抑制する運転の特徴
- 4.2 栄養塩類増加手法の選定
- 4.3 排出目標値の設定

5. 能動的運転管理の概説
- 5.1 年間の運転サイクルの設定
- 5.2 移行期および回復期の作業内容
- 5.3 放流水質管理値の設定
- 5.4 運転指標管理値の設定
  - 5.4.1 運転指標項目の確認
  - 5.4.2 運転指標管理値の設定
- 5.5 水質悪化時の対応方針の検討
- 5.6 運転中止条件の設定

6. 能動的運転管理の試行

7. 栄養塩類増加状況の確認と効果の検証
- 7.1 処理水質の評価
- 7.2 放流先のモニタリング

8. 流総計画への位置づけ

# 1. 総則 1.1 ガイドラインの目的

国土交通省

本ガイドラインは、地域の生物多様性や水産資源の持続的な利用の観点から「きれい」なだけではなく「豊かな」水環境の実現に向けて、下水道管理者が下水処理場の放流水に含まれる栄養塩類の能動的管理の普及・促進に向けて、より効果的な運転管理を行う際に活用されることを目的とする。

- 下水処理場を運転管理する自治体職員をはじめとする関係者が、栄養塩類の能動的運転管理の導入の検討や具体的に運転を行う際に活用。
- 栄養塩類の能動的運転管理の導入に向けた関係機関との連携・調整、具体的な運転管理の方法、効果検証方法等を整理し、検討項目をとりまとめ。
- 令和2年度末までの自治体の運転状況等の調査に基づき、基本的な運転管理手法について示す。

  ※引き続き、技術的な知見や実績等の収集を図り、適宜見直しを図る。

| ガイドラインの構成 | | | 下水道部局 | | | 環境・水産部局他 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 新規導入予定 | 試運転中 | 試行中・本運用 | |
| 基本事項 | 1. 総則 | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 2. 能動的運転管理 の概説 | | ○ | | | ○ |
| | 3. 基本事項の確認 | ・法令・関連計画等の確認<br>・ 放流先の状況の確認 | ○ | | | ○ |
| | | ・水処理・汚泥処理に関する現状の確認等 | ○ | | | |
| 導入手順 | 4. 試運転案の作成 | | ○ | | | |
| | 5. 運転ルールの検討 | | ○ | ○ | | |
| | 6. 能動的運転管理の試行 | | | ○ | | |
| | 7. 栄養塩類増加状況の確認と効果の検証 | | | | ○ | ○ |
| | 8. 流総計画への 位置づけ | | | | ○ | |

# 2. 能動的運転管理の概説

国土交通省

## 2.1 目的

栄養塩類の能動的運転管理は、地域の関係者（環境部局、水産部局、漁業関係者など）と合意形成を図りながら、下水放流先の養殖業等に配慮し、季節別に下水処理水中の栄養塩類濃度を上げることで、水域で不足する栄養塩類を供給するなど、豊かな水環境の実現を目指すものである。

- 水質環境基準の達成・維持が担保できること、地先の周辺水質等へ大きな影響が想定されないことを前提としつつ、地域の実情等を十分に勘案したうえで、実施を検討

## 2.2 背景　2.3 水質環境基準と閉鎖性水域の水質汚濁

これまでの下水道事業では、公共用水域の水質環境基準の達成のために、汚水処理施設の普及、高度処理施設の整備を進めてきた。一方、従来の水質規制を中心とした水環境行政の大きな転換を図る契機として、令和3年に瀬戸内海環境保全特別措置法が改正され「栄養塩類管理制度」が創設されるなど、生物多様性・水産資源の持続的な利用の確保の観点から「きれい」なだけでなく、「豊かな」水環境を求めるニーズが高まってきている。

- 閉鎖性水域の窒素・りんの環境基準達成率は高い水準
- しかし、一部の海域では、富栄養化による赤潮被害等が発生している一方、海域によっては、栄養塩類の不足による水産資源への悪影響が指摘されるなど、栄養塩類の偏在化が課題

- 瀬戸内海環境保全特別措置法の改正：水質規制を中心とした水環境行政の大きな転換を図る契機

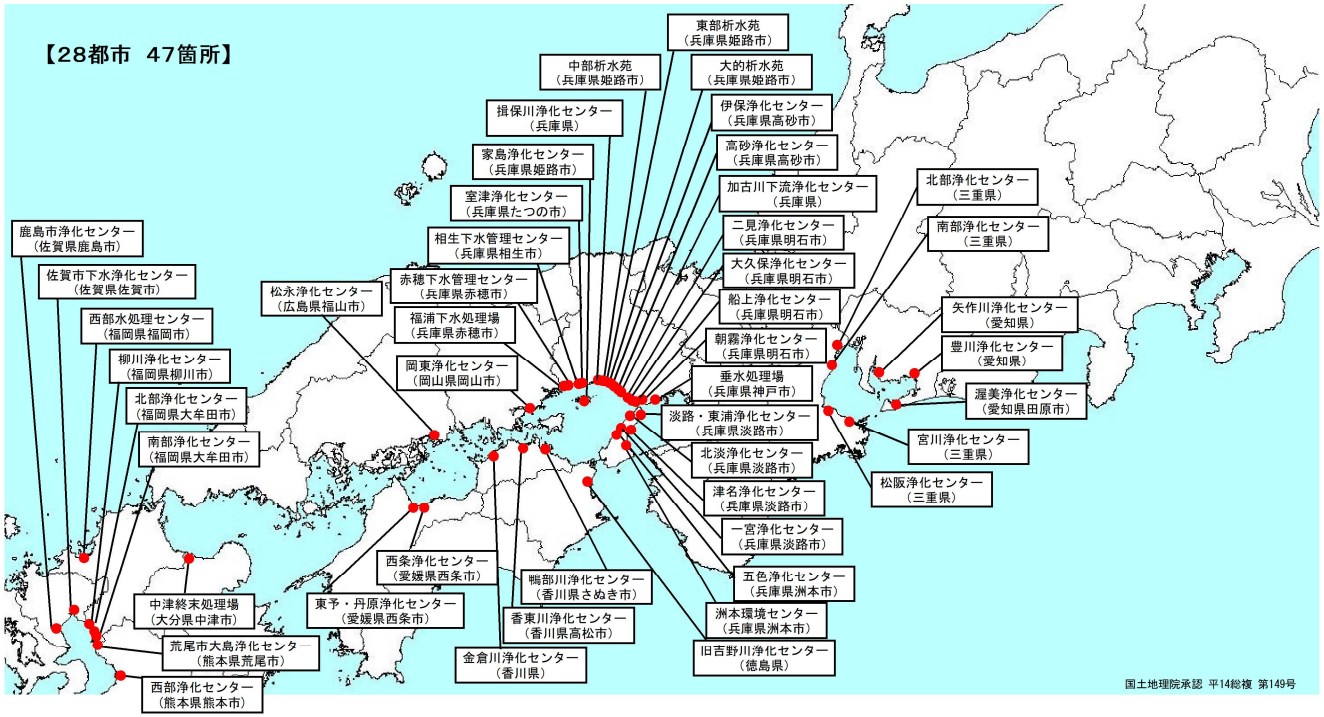
- 栄養塩類管理制度に基づき、兵庫県栄養塩類管理計画が全国で初めて策定（予定）

→ 28箇所の処理場が栄養塩類実施措置者に位置付けられるなど、能動的運転管理の実施・拡大が見込まれるところ

- 能動的運転管理は、低層DOの悪化等、環境基準の達成とトレードオフの関係にあるため、留意が必要

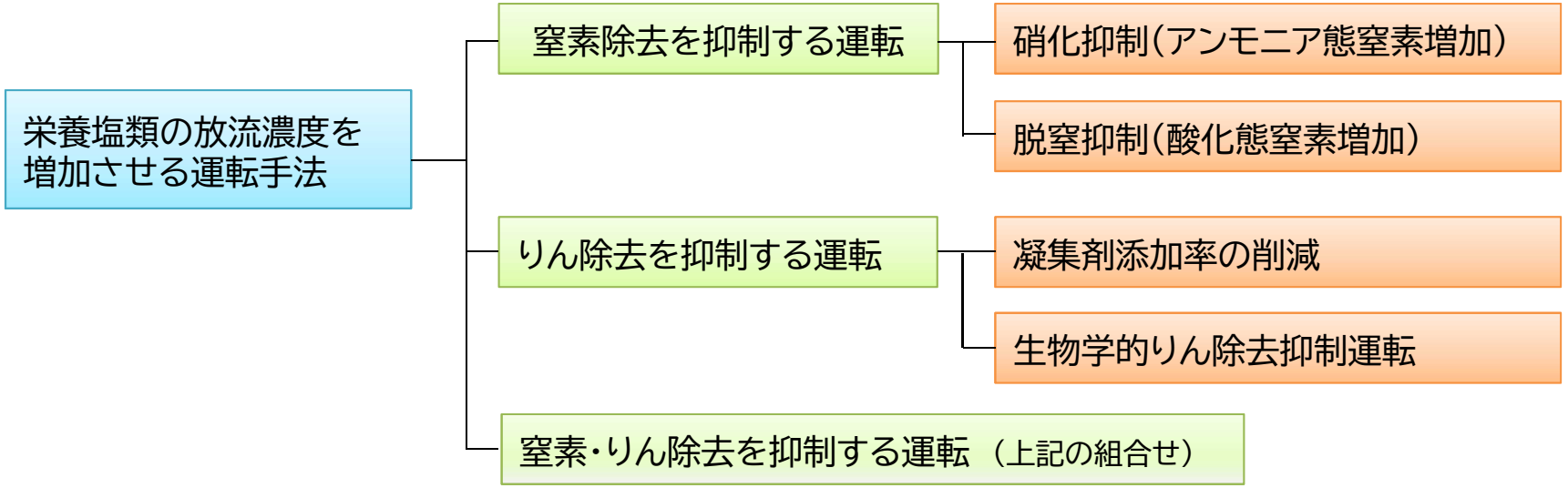
国土交通省

試行・本運用の実績は、伊勢湾・瀬戸内海・有明海を中心に令和3年度末時点で全国28都市、47処理場であり、年々拡大している。




| | 現有施設 ※1 | 対象栄養塩類 | | | 備　考 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 窒素 | りん | 窒素及びりん | |
| 生物処理 | 標準活性汚泥法 | 21 | 0 | 3 | 酸素活性汚泥法を含む |
| | OD法 | 4 | 0 | 2 | 長時間エアレーション法（単槽式）はOD法に分類 ※2 |
| | 高度処理 | 4 | 8 | 2 | A2O法［2箇所］は窒素除去抑制 |
| | 高度処理OD法 | 5 | 0 | 0 | |
| 凝集剤 | 反応槽・終沈添加 | 7 | 8 | 3 | 窒素対象では凝集剤添加は制御していない |
| | 下水処理場数 | 32 | 8 | 6 | 放流系統数として |

栄養塩類の放流濃度を増加させる運転手法は、窒素除去を抑制する運転である硝化抑制・脱窒抑制と、りん除去を抑制する運転である凝集剤添加率の削減・生物学的りん除去抑制に大別される。




| 対象 | 栄養塩増加運転手法 | 放流系統数 | |
|---|---|---|---|
| | | 令和1年度 | 令和2年度 |
| 窒素増加 | 硝化抑制 | 30 | 31 |
| | 硝化・脱窒抑制併用 | 4 | 4 |
| | 脱窒抑制 | 3 | 4 |
| りん増加 | 凝集剤添加率の削減 | 10 | 10 |
| | 生物学的りん除去抑制 | 3 | 3 |

# 2. 能動的運転管理の概説 2.8 関係機関等との調整・連絡体制等

能動的運転管理は、水産部局等の要望や基本事項の確認をはじめとして、試運転、試行結果の共有や効果の検証など、関係機関と調整・連携しながら実施する必要がある。このため、情報の共有・調整、合意形成の場として、検討の段階から協議会や検討会等を設置することが望ましい。

- 栄養塩類の供給源　陸域：工場・事業場、下水処理場からの排水や山林・農地からの流出等
  海域：底質からの溶出等
- 水域全体の栄養塩類のバランス（供給源）や水環境・水資源へ及ぼす影響について評価された事例が少ない。
- 下水処理場の栄養塩類濃度が直接海域に及ぼす影響については、十分な知見が得られていない。

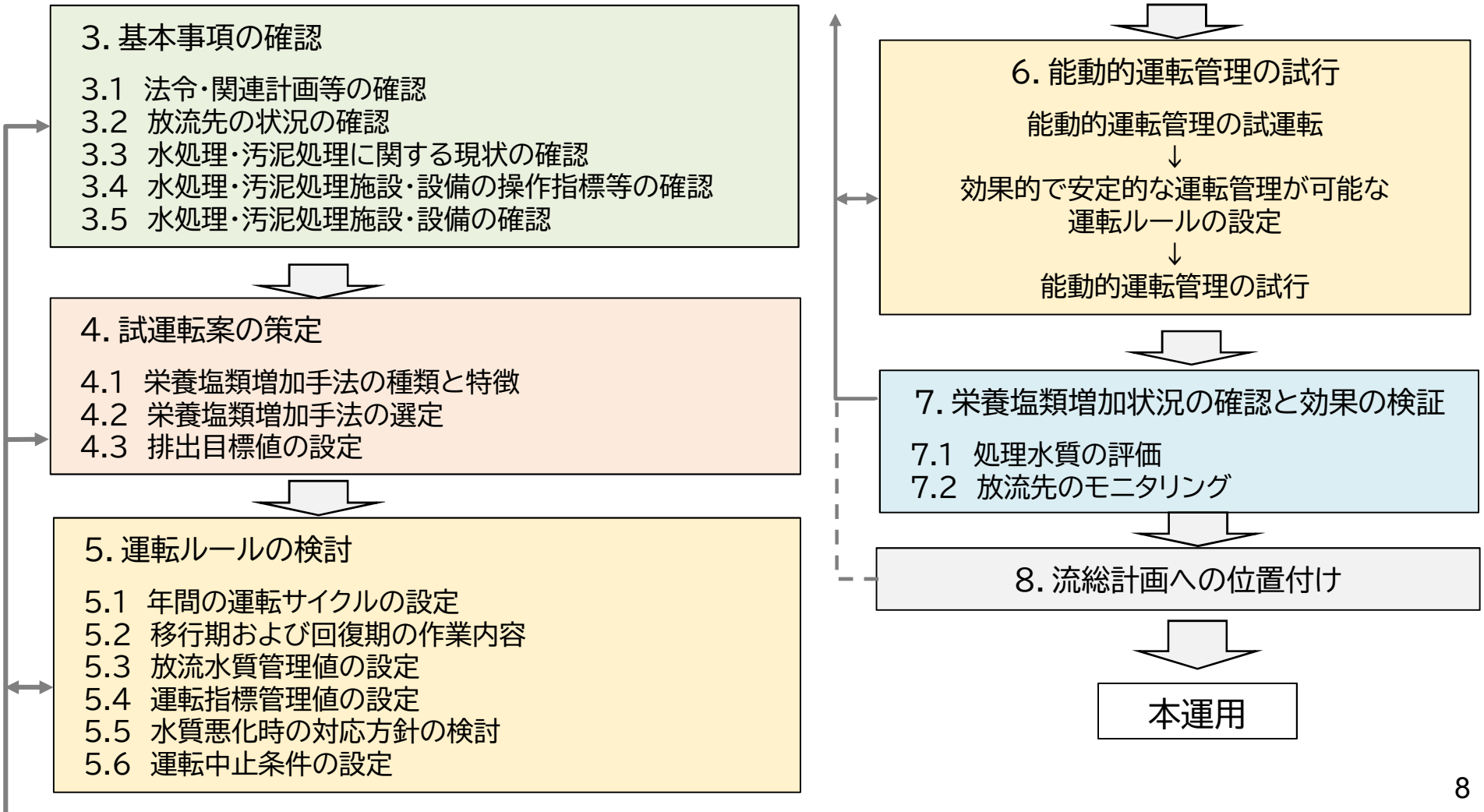
→ 放流先の関係者（環境部局、水産部局等）、専門家や学識者で構成される協議会等で、栄養塩類を評価・管理する制度的な対応や、近傍河川や藻場・干潟の再生等、様々な主体の連携が必要

⇒ 能動的運転管理の実施は、協議会等を活用し、水域における望ましい栄養塩類濃度や処理場からの排出目標値の設定など、検討の段階から地域関係者との合意形成を図ることが望ましい

【 具体的な調整・連携・確認例 】
・地域のニーズ、要望　・放流先海域の状況　・水域の水環境に係る法令、関連計画等
・海域に望ましい栄養塩類濃度
・他の栄養塩類の増加策（河川からの負荷量及び対策、施肥、海底耕耘、ダムの放流、かいぼり等）
・栄養塩類増加の目的、増加が求められる栄養塩類、排出目標値、実施期間等
・効果の検証方法（モニタリング）、試行結果

# 2. 能動的運転管理の概説　2.9 検討フロー

能動的運転管理の検討は、以下に示すフローに基づいて行う。能動的運転管理への要望や処理場の特性は地域毎に様々であるため、より効果的で安定した運転にするためには、試運転・試行結果に基づいてPDCAを繰り返すことが重要である。



国土交通省

## 4.1.1 窒素除去を抑制する運転の特徴

| | 硝化抑制 | 脱窒抑制 |
|---|---|---|
| 原理 | ・アンモニア態窒素を酸化態窒素に酸化する硝化反応を抑制する。 | ・酸化態窒素を窒素(分子態)に還元する脱窒反応を抑制する。 |
| 処理水中の窒素の形態 | ・アンモニア態窒素が主。 | ・酸化態窒素が主。 |
| 処理水窒素濃度の増加効果 | ・脱窒抑制と比較して大きい。 | ・硝化抑制と比較して小さい。 |
| 実績(増加期間反応タンク流入T-N排出率) | ・標準法:38～86%[19]<br>・OD法:6～51%[4]<br>・高度処理法:23～55%[3]<br>・高度処理OD法:4～28%[4] | ・標準法:24～39%[2]※<br>・OD法:[0]<br>・高度処理:[0]<br>・高度処理OD法:[0] |
| 汚泥処理への影響例 | ・ASRTを短縮することにより、汚泥発生量が増加する場合がある。 | |
| 水質障害の例 | ・栄養塩類以外の水質項目の濃度上昇・変動<br>・糸状性バルキングの発生<br>・臭気の増加　等 | ・最終沈殿池の汚泥浮上 |
| その他の特徴 | ・送風量削減により、送風機電力の抑制効果が得られる場合もあり得る。 | ・硝化促進することを前提として、処理水質が安定しやすい。 |

※標準法施設であるが、通常時はステップ流入式の多段硝化脱窒法に近い運転が行われている1系列を含む。[ ]内は処理系列数(R1～2年度有効データ)

国土交通省

## 4.1.1 窒素除去を抑制する運転の特徴：硝化抑制運転

| 要件 | | 制御方法 | 特徴 | 必要な運転操作 |
|---|---|---|---|---|
| 硝化率を下げる | 硝化細菌の生育環境に適さない条件とする（増殖抑制） | ①ASRTを短縮 | ○硝化細菌生育に不適な環境が得られた後は、抑制効果は安定する。<br>●必要ASRTは水温により変化することから、切替時期と操作幅を適切に管理する必要がある。<br>●操作から効果が現れるまで時間遅れがあるなど、移行期、回復期の期間や時期の設定に影響する。<br>●抑制が過度になると活性汚泥の沈降性が悪化するなど、処理に影響を及ぼすことがある。 | 主：余剰汚泥引抜量を増やす（MLSSの低減）。<br>連：余剰汚泥を汚泥処理施設で処理する。<br>副：（初沈池数を減らすなど）反応槽流入SSを増やし、汚泥発生率を高める。<br>主：好気槽容量を削減する。 |
| | 硝化反応を生じさせないようにする（機能抑制） | ②酸素供給量を削減 | ○即効性がある。<br>●抑制が過度になると活性汚泥の沈降性が悪化するなど、生物処理に必要な細菌叢に影響を与える。 | 主：送風量を低減する。<br>連：各槽の散気装置の分配量を調整する。 |
| | 流入T-N負荷＞硝化能力とする（過負荷） | ③上記①②の進捗に応じた硝化能力以上のT-N/好気槽容積負荷を与える | ○即効性がある。<br>○ASRT短縮と同様の運転操作である。<br>●運転池数の調整が必要になる。<br>●運転操作量が多く、切り替え完了までに時間を要する。 | 主：好気槽容量を削減する（例：OOOO⇒AOOO）。<br>連：撹拌、散気を調整。<br>主：反応タンク運転池数を削減する。<br>連：休止池汚泥を汚泥処理施設で処理する。 |

【備考】主：主に行う操作　連：連動して行う操作　副：実施できる操作が限定的なもの　反：他の操作に反するもの　○：特長　●課題（状況による）

国土交通省

## 4.1.1 窒素除去を抑制する運転の特徴：脱窒抑制運転

| 要件 | | 制御方法 | 特徴 | 必要な運転操作 |
|---|---|---|---|---|
| 脱窒量を下げる | 脱窒反応を生じさせないようにする（機能抑制） | 無酸素槽の好気化（単段） | ○即効性がある。<br>●切替槽への送気が可能なことが前提となる。<br>●硝化が促進されるため、脱窒量を減らし過ぎると最終沈殿池で汚泥浮上が生じる場合がある。 | 主：切替槽への送気 |
| | | 無酸素槽の好気化（ステップ処理） | ○即効性がある。<br>●切替槽への送気が可能なことが前提となる。<br>●ステップ流入位置切替え後は反応タンク末端のMLSSが急増するため、引抜量操作や最終沈殿池の固液分離に留意が必要。 | 主：ステップ流入位置の変更（段数減を含む）<br>連：余剰汚泥引抜量の増加<br>主：切替槽への送気 |
| | 脱窒量を削減する | 酸化態窒素循環量を削減する | ○即効性がある。<br>●汚泥返送率を下げる場合はMLSS濃度や余剰汚泥濃度のバランスが変わる。<br>●好気槽で処理すべきBOD量が増えることに留意が必要。 | 主：ポンプによる循環量を削減する<br>主：エアリフト循環が生じないよう隔壁を塞ぐ<br>主：汚泥返送率を下げる |
| | | 酸化態窒素持ち込み量を削減する（ステップ処理） | ○即効性がある。<br>●ステップ流入位置切替え後は反応タンク末端のMLSSが急増するため、引抜量操作や最終沈殿池の固液分離に留意が必要。 | 主：ステップ流入位置の変更（段数減を含む）<br>連：余剰汚泥引抜量の増加 |

【備考】※硝化抑制により脱窒対象負荷量（酸化態窒素負荷量）が減少することに伴うケースは含まない
主：主に行う操作　連：連動して行う操作　副：実施できる操作が限定的なもの　反：他の操作に反するもの　○：特長　●課題（状況による）

## 4.1.2 りん除去を抑制する運転の特徴

| | 凝集剤添加率の削減 | 生物学的りん除去抑制 |
|---|---|---|
| 原理 | ・りんの凝集反応量を削減する。 | ・活性汚泥のりんの吐き出しの抑制<br>・活性汚泥のりんの過剰摂取の抑制 |
| 処理水中のりんの形態 | ・リン酸態リン | ・リン酸態リン |
| 処理水りん濃度の増加効果 | ・凝集剤添加率の増減により、りん濃度の増加効果は変動する。 | ・既往実績ではりん増加の効果は大きい。 |
| 実績(増加期間の放流水T-P濃度平均値) | ・標準法:[0]<br>・OD法:0.4～0.5mg/L[1]<br>・高度処理:0.2～1.1mg/L[7]<br>・高度処理OD法:[－] | ・標準法:1.8～2.4mg/L[1]<br>・OD法:[－]<br>・高度処理:0.8～1.0mg/L[1]※<br>・高度処理OD法:[－] |
| 汚泥処理への影響例 | ・凝集剤添加率の削減により、汚泥発生量の減量が見込まれる。 | |
| 水質障害の例 | ・凝集剤添加率の削減に伴い、終沈で濁りが見られる場合がある。 | |
| その他の特徴 | ・放流水りん濃度の応答にタイムラグがある。<br>・放流水りん濃度の変動が大きくなりやすい。 | ・降雨の影響を受けやすい。 |

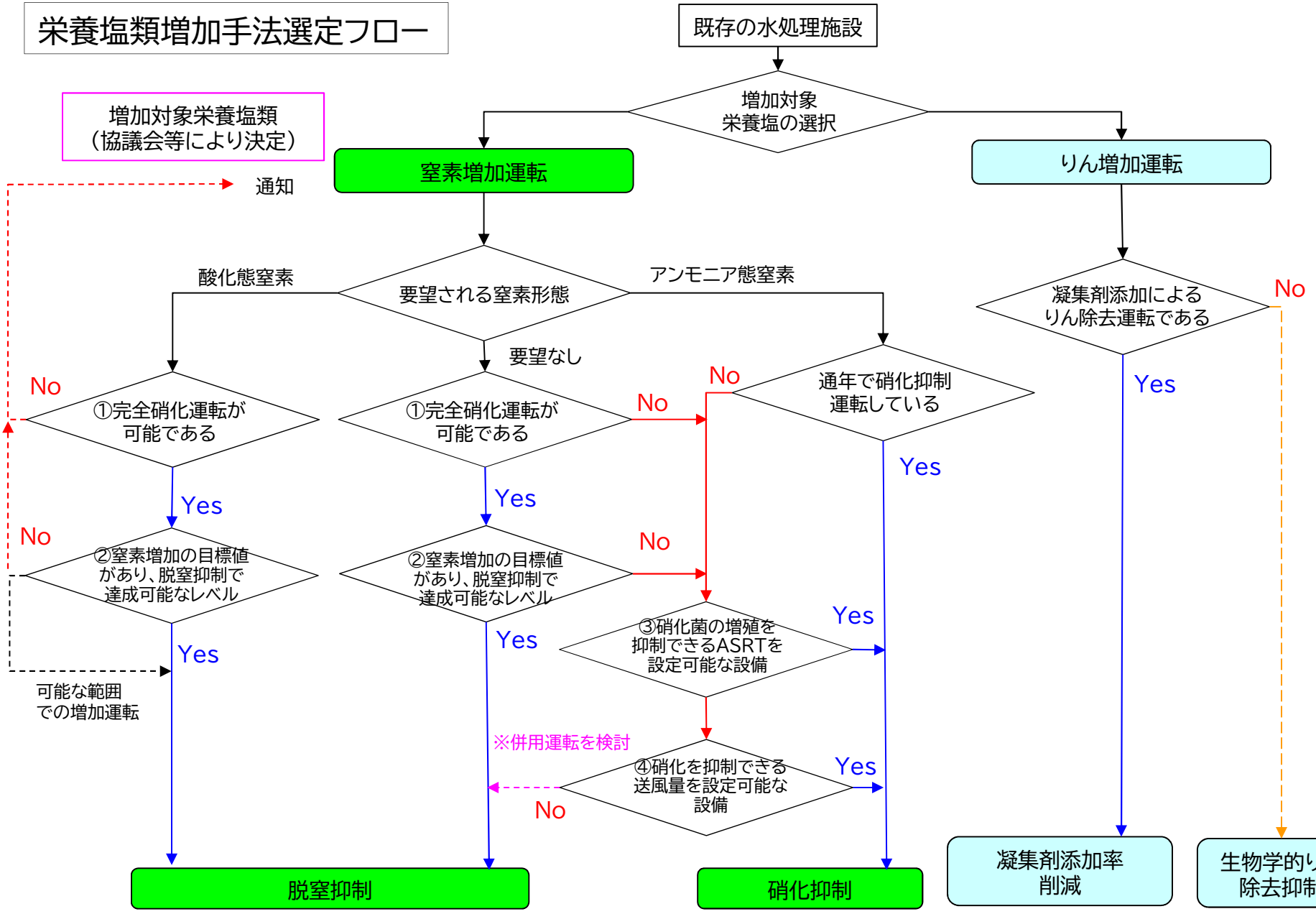
[ ]内は処理系列数(令和元年度～2年度有効データ)　－:当該処理方法での運転が確認されていない場合　※一部系列で凝集剤添加率の削減を実施

国土交通省

## 4.1.2 りん除去を抑制する運転の特徴：生物学的りん除去抑制

| 要件 | | 制御方法 | 特徴 | 必要な運転操作 |
|---|---|---|---|---|
| りん放出量を減らす | りんの放出に適さない条件とする<br>（嫌気抑制） | ①嫌気槽にDOや酸化態窒素を供給する | ○好気槽でのりん過剰摂取の抑制にもつながることが期待できる。<br>●他の方法に比べて放流水のりん濃度の変動が大きくなる可能性がある。<br>●他の方法に比べて移行期間が長くなる可能性がある。<br>●反応タンク全体での硝化量が多くなり最終沈殿池での汚泥浮上（脱窒ガスによる浮上）が生じる可能性がある。<br>●状態の変化と維持条件についての知見が少ない。 | 主：嫌気槽に送風する。<br>主：ポンプによる硝化液の循環（返送、内部循環量の増加）<br>主：嫌気槽と好気タンク間の阻流壁開口面積の拡張（スカム流出用切欠角落しを使用など） |
| | りんの放出に適さない条件とする（有機物削減） | ②嫌気槽への有機物量を削減する（低分子有機物供給量の抑制） | ●他の方法に比べて移行期間が長くなる可能性がある。<br>○生物学的りん除去への高度化前の知見が活用が期待できる。 | 主：初沈水面積負荷の抑制（運転池数の増加、初沈パイパスの停止）<br>主：対象系列への水量分配比の削減<br>主：初沈汚泥投入の停止<br>参：管渠内の汚泥堆積抑制 |
| 過剰摂取量を減らす | りん蓄積細菌（PAO）によるりんの過剰摂取を阻害する（機能抑制） | ③酸素供給量を削減する | ○即効性が期待できる。<br>●抑制が過度になると、活性汚泥の沈降性が悪化するなど、処理に影響を及ぼすことがある。<br>●状態の変化と維持条件についての知見が少ない。 | 主：好気槽の送風量を低減する<br>連：各槽の散気装置の分配量を調整する |
| | りん蓄積細菌（PAO）によるりんの過剰摂取を阻害する（至適pH抑制） | ④好気槽での硝化促進する（アルカリ度消費に伴うpH低下） | ○硝化を促進させるためにASRTを長くする場合、余剰汚泥に伴う系外へのりん持ち出し量の抑制効果が期待できる。<br>●③の手法とは反する。<br>●反応タンク全体での硝化量が多くなり最終沈殿池での汚泥浮上（脱窒ガスによる浮上）が生じる可能性がある。<br>●状態の変化と維持条件についての知見が少ない。 | 主：好気槽の送風量を増加させる<br>主：好気槽比率を高める。 |
| りんを再放出させる | りんの再放出<br>（最終沈殿池内） | 好気槽末端での送風量抑制（最終沈殿池内での再放出） | ○他の方法に比べて移行期間が短い可能性がある。<br>●処理水のDO濃度が低下する可能性がある。<br>●最終沈殿池内で脱窒が生じないことの確認が必要である。<br>●状態の変化と維持条件についての知見が少ない。 | 主：好気槽末端の送風量を低減する。 |

国土交通省


栄養塩類増加手法選定フロー
既存の水処理施設
増加対象
栄養塩の選択
増加対象栄養塩類
（協議会等により決定）
窒素増加運転
りん増加運転
通知
酸化態窒素
要望される窒素形態
アンモニア態窒素
要望なし
凝集剤添加による
りん除去運転である
No
Yes
①完全硝化運転が
可能である
①完全硝化運転が
可能である
通年で硝化抑制
運転している
No
No
Yes
Yes
Yes
②窒素増加の目標値
があり、脱窒抑制で
達成可能なレベル
②窒素増加の目標値
があり、脱窒抑制で
達成可能なレベル
No
No
Yes
Yes
③硝化菌の増殖を
抑制できるASRTを
設定可能な設備
Yes
可能な範囲
での増加運転
※併用運転を検討
④硝化を抑制できる
送風量を設定可能な
設備
Yes
No
脱窒抑制
硝化抑制
凝集剤添加率
削減
生物学的りん
除去抑制

# 4. 試運転案の作成　4.3 排出目標値の設定

処理場への流入水質や選定した栄養塩類増加手法等を踏まえ、協議会等との調整の上、水質環境基準の達成・維持が可能な範囲内において、栄養塩類の排出目標値を設定する。

- 栄養塩類の増加運転は、通常運転と比較して、運転管理が難しくなるとともに、処理水質は不安定なものとなりやすいことから、放流先の海域の水質等に大きく影響する可能性がある。
- このため、協議会等との調整の上、水質環境基準の達成・維持が可能な範囲において、対象となる栄養塩類の排出目標値が設定されることが望ましい。

## ○ 排出目標値：日間平均値の増加期間平均値

【 排出目標値の具体的な設定例 】

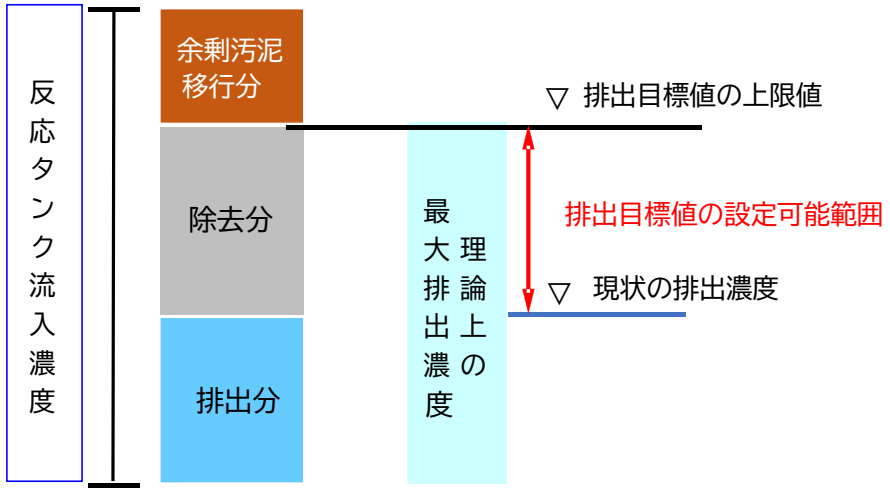
ア　流総計画で季節別の処理水質を設定した場合

イ　「栄養塩類管理計画」における目標値

ウ　各水域において個別に設定された目標値

エ　当該下水処理場での実績を基に定められた目標値

【 排出目標値の設定イメージ 】




| 現状 | 窒素濃度（mg/L） | 備考 |
|---|---|---|
| 処理場流入水T-N | 30 | |
| 初沈汚泥中の窒素 | 3 | 初沈除去率10%を想定 |
| 余剰汚泥中の窒素 | 6.8 | 反応タンク流入水に対して25%を想定 |
| 硝化による減少NH4-N | 15.2 | 硝化対象窒素に対して75%を想定 |
| 放流水のNH4-N | 5 | |

※年間平均値

能動的運転管理（試運転）の開始

| 能動的運転管理（試運転①） | 窒素濃度（mg/L） | 備考 |
|---|---|---|
| 処理場流入水T-N | 30 | |
| 初沈汚泥中の窒素 | 3 | 初沈除去率10%を想定 |
| 余剰汚泥中の窒素 | 6.8 | 反応タンク流入水に対して25%を想定 |
| 硝化による減少NH4-N | 10.1 | 硝化対象窒素に対して50%を想定 |
| 放流水のNH4-N | 10.1 | 能動的運転管理の排出目標値（試運転①） |

※増加期の期間平均値

能動的運転管理（試運転）の向上

| 能動的運転管理（試運転②） | 窒素濃度（mg/L） | 備考 |
|---|---|---|
| 処理場流入水T-N | 30 | |
| 初沈汚泥中の窒素 | 3 | 初沈除去率10%を想定 |
| 余剰汚泥中の窒素 | 6.8 | 反応タンク流入水に対して25%を想定 |
| 硝化による減少NH4-N | 5.1 | 硝化対象窒素に対して25%を想定 |
| 放流水のNH4-N | 15.1 | 能動的運転管理の排出目標値（試運転②） |

※増加期の期間平均値

# 5. 運転ルールの検討　5.3 放流水質管理値の設定

国土交通省

下水道管理者は、法令等に定められた水質基準値を遵守しつつ、効果的で安定した運転を実施するために、各放流水質項目に対して、その変動比を考慮した放流水質管理値を設定する。また、試運転の結果を踏まえて、適宜最適な放流水質管理値に更新する。

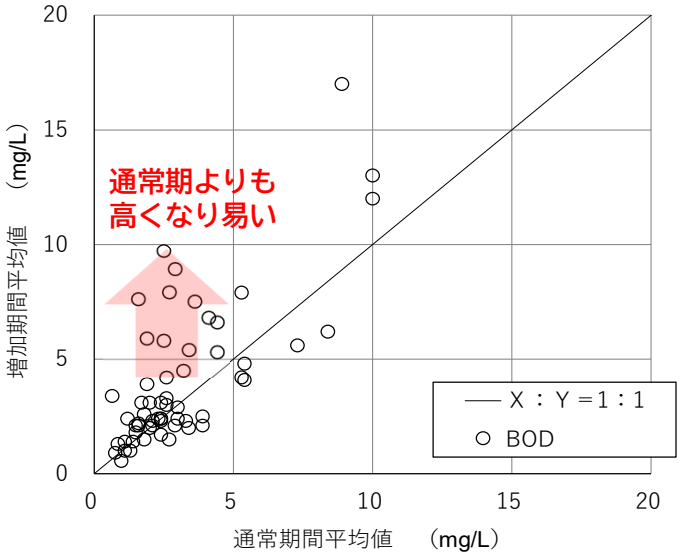
- 能動的運転管理値においては、栄養塩類排出目標値を設定した項目以外の放流水質項目も高くなる傾向にある

→ 法令等に基づいて定められた水質基準値を遵守するため、放流水質項目毎に放流水質の変動を考慮した放流水質管理値を定め、その範囲内で運転管理を行う

- 原則、変動比は、当該下水処理場の実績データを整理して設定する

○ 放流水質管理値：日間平均値の増加期間平均値

⇔ 日常の運転の目安




【通常期と増加期の放流水BODの関係(硝化抑制の例)】

【放流水質管理値の設定例】

【①窒素・りん以外の水質項目、③窒素・りん(放流水質が厳しい場合※)】

・放流水質管理値　×　変動比　＜　水質基準値(日間平均の上限)

となるよう放流水質管理値を設定

(変動比の設定例)

・日間平均値の増加運転期間最大値　÷　〃　増加運転期間平均値

【②窒素・りん(放流水質が緩い場合)】

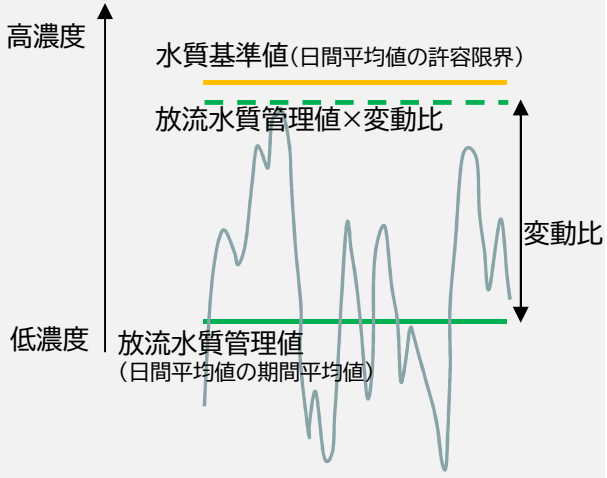
・放流水質管理値≒排出目標値

※水質基準値：放流水に係る
①計画放流水質、
②総量規制C 値、
③上乗せ排水基準、
④一律排水基準等のうち、最も厳しい値

国土交通省

## ①窒素・りん以外の水質項目（BOD・COD等）

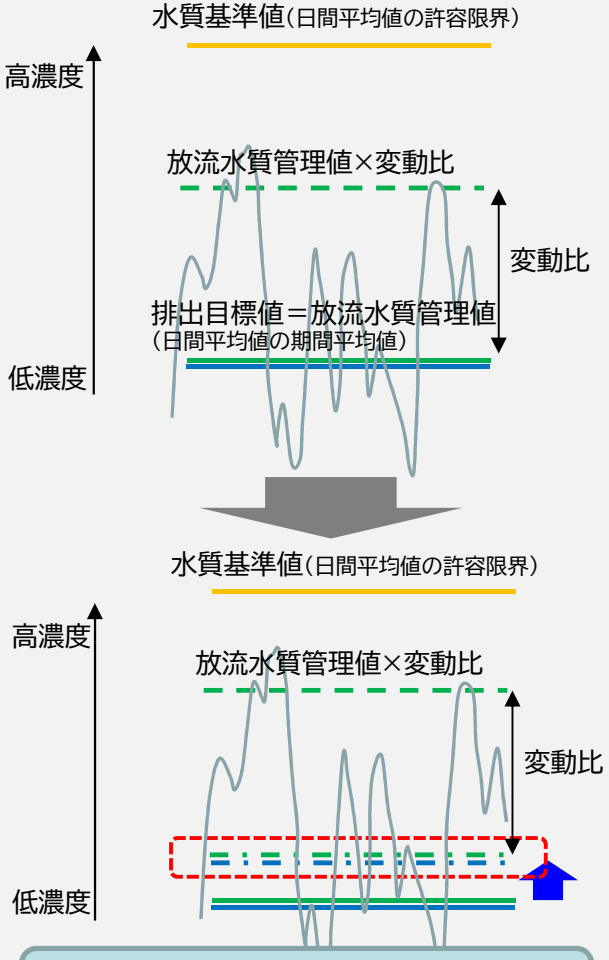
放流水質管理値×変動比＜水質基準値




水質基準値の遵守が前提となる

## ②窒素・りん（水質基準値が緩い場合）

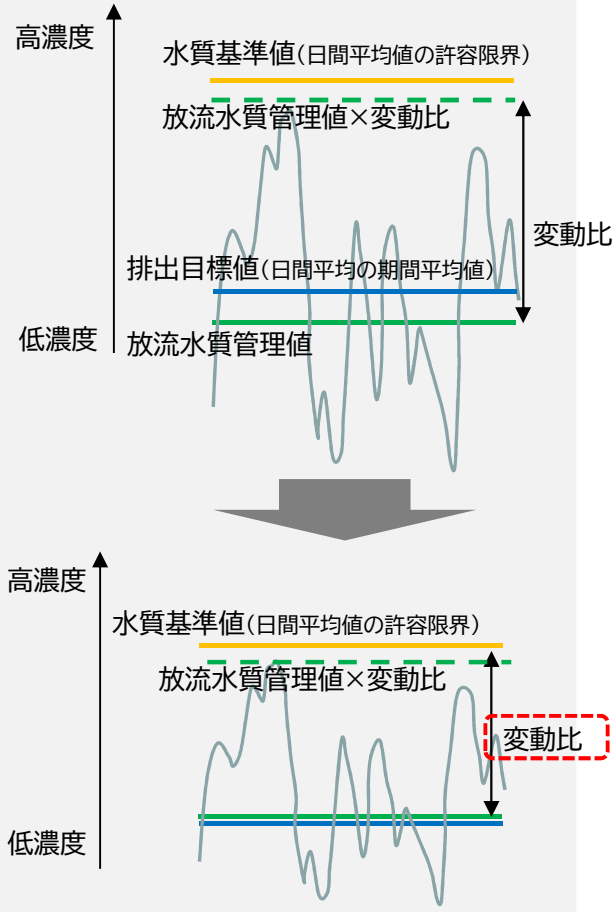
放流水質管理値≒排出目標値




他の水質項目の遵守を前提に、高い放流水質管理値（＝排出目標値）の設定が可能

## ③窒素・りん（水質基準値が厳しい場合）

放流水質管理値×変動比＜水質基準値




運転管理の工夫により変動比を小さくすることで排出目標値に近づける

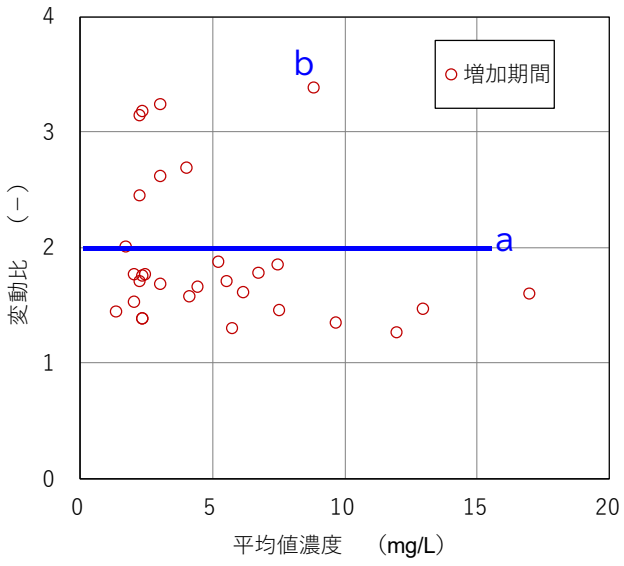
国土交通省

【参考① 試運転・試行中の下水処理場における増加運転期の放流水の変動比実績】

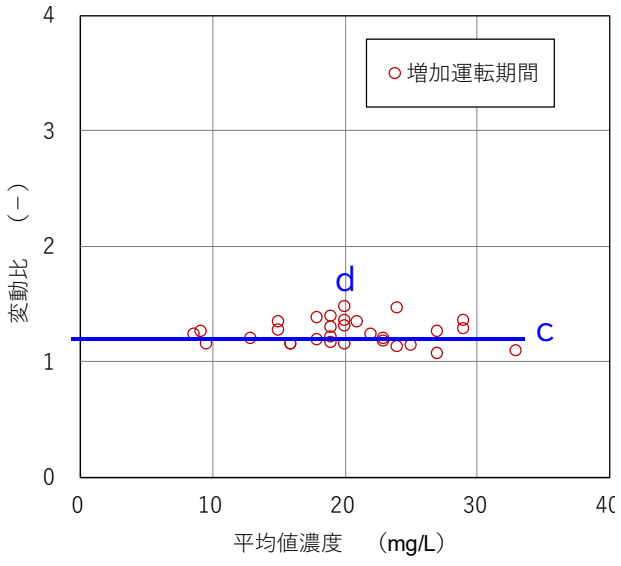
| 水質項目 | | n | BOD | COD | SS | T-N | T-P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 標準法 | 硝化抑制 | 22 | 2.00[a] [b] (1.25～3.37) | 1.22 (1.04～1.71) | 1.77 (1.18～2.50) | 1.25[c] [d] (1.06～1.48) | 1.80 (1.21～4.50) |
| 標準法以外 | 硝化抑制 | 15 | 1.82 (1.29～2.56) | 1.28 (1.02～1.94) | 1.72 (1.11～2.87) | 1.57 (1.19～2.20) | 1.79 (1.14～2.91) |
| | 脱窒抑制 | 2 | – | – | – | – | – |
| | 凝集剤添加率削減 | 10 | – | – | – | – | 1.86[e] [f] (1.18～5.16) |
| | 生物学的りん除去抑制 | 2 | – | – | – | – | – |

平均(最小～最大)

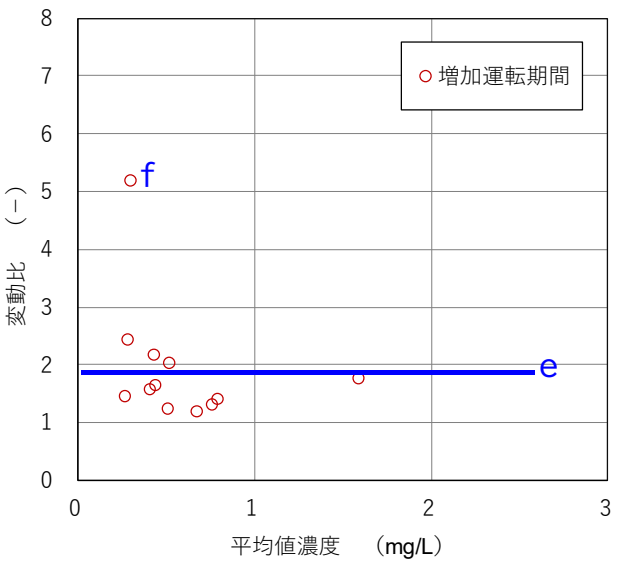
標準法／硝化抑制(BOD)




標準法／硝化抑制(T-N)




凝集剤添加率抑制(T-P)




【放流水における変動比(R1・R2年度実績)】

# 5.4 運転指標管理値の設定



放流水に含まれる栄養塩類を能動的に管理するために、栄養塩類増加手法において対象となる運転指標項目を確認する。

- 栄養塩類の増加運転を行う場合、運転指標項目と対応する運転条件を定め、各処理場において操作可能な操作指標(と操作量)に基づいて運転操作を行う。

【 運転指標項目と操作の方向性】

| 運転管理手法 | 運転指標項目※1 | 目的 | 指標の方向性※2 |
|---|---|---|---|
| 硝化抑制 | ASRT | 硝化菌の増殖を抑制する。 | 下げる。 |
| | MLDO濃度（硝化速度） | 硝化菌による硝化能力を抑制する。 | 下げる。 |
| 脱窒抑制 | 返送酸化態窒素負荷 | 脱窒量を制限する。 | 下げる。 |
| | 後段酸化態窒素負荷 | 脱窒量を制限する。 | 下げる。 |
| 凝集剤添加率の削減 | 凝集剤添加モル比 | 凝集剤によるりん除去量を抑制する。 | 下げる。 |
| 生物学的<br>りん除去抑制 | MLDO濃度 | 好気槽におけるりんの過剰摂取能力を抑制する。 | 下げる。 |
| | | 嫌気槽におけるりんの放出を抑制する。 | 上げる。※3 |
| | SRT | 余剰汚泥引抜によるりん除去量を抑制する。 | 上げる。 |

※1:BOD除去に関する運転指標項目項目は省略。
※2:増加期において栄養塩増加運転の効果を高めることを目的とした方向性。
※3:通常期は嫌気槽で曝気しないため、実際には曝気を行うことになる。

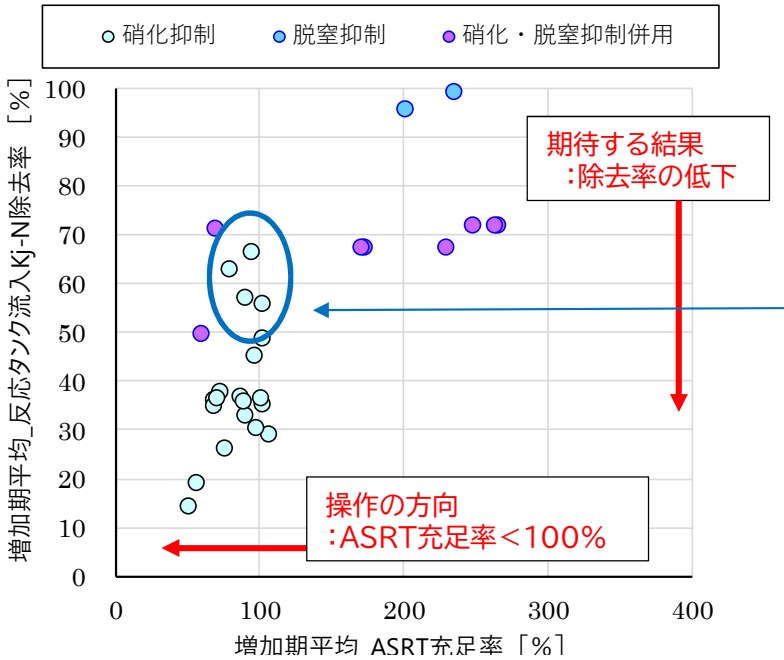
# 5.4 運転指標管理値の設定

増加運転期間における放流水の栄養塩類濃度を高めるために、各運転指標項目について、望ましい値、または範囲として運転指標管理値を設定する。また、試運転による試行錯誤の結果を踏まえて、適宜最適な管理値に更新する。

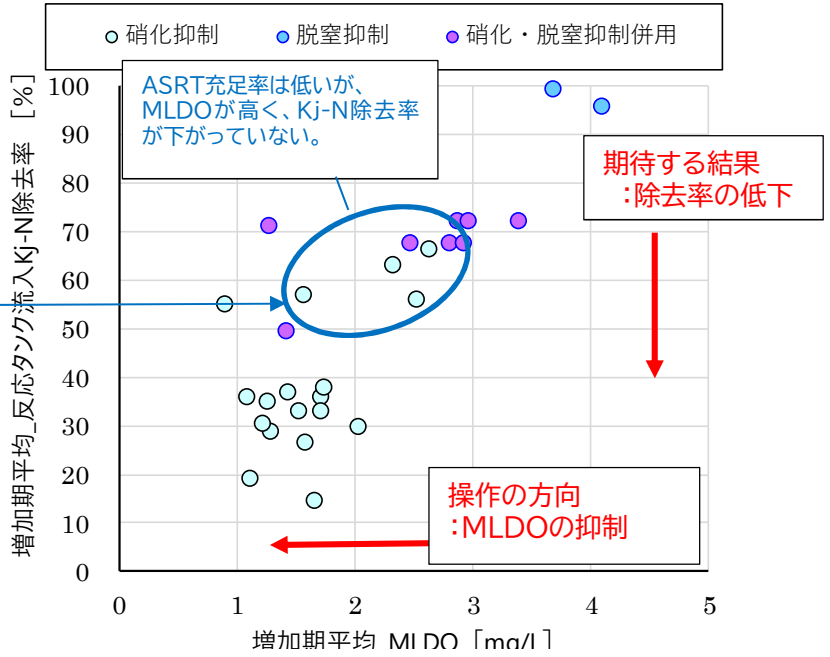
**【硝化抑制運転の場合】** ①ASRT充足率と②MLDOを以下の操作指標をもとに、操作する。

- ➢ ①ASRTを抑制し、硝化菌の増殖を抑制する。
- → 硝化菌の増殖に必要なASRTに対する充足率が100%未満となるよう操作を行う。
- ➢ ②ASRTの抑制に併せて、MLDOを下げる。
- → 実績では、MLDOを2mg/L以下(期間平均値)に操作している事例でKj-N除去率が低下

※MLDOが1mg/L以下で急激に硝化速度が低下する傾向があり、慎重な操作が必要




ASRT充足率とKj-N除去率の関係




MLDOとKj-N除去率の関係

# 5.4 運転指標管理値の設定

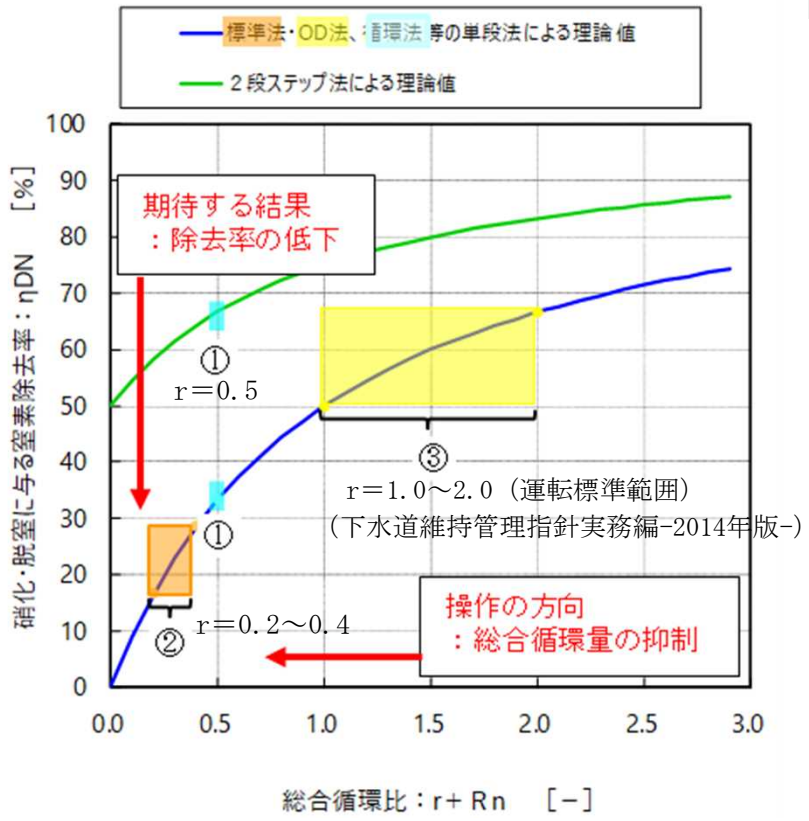
国土交通省

**【脱窒抑制運転の場合】**①返送酸化態窒素負荷、②後段酸化態窒素負荷の操作指標をもとに操作する。

**①返送酸化態窒素負荷**

- 返送汚泥量や内部循環量の操作により硝化液循環量を小さくし、脱窒槽（無酸素槽）に持ち込まれる酸化態窒素量（ ①返送酸化態窒素負荷）を少なくすることにより、窒素の排出率を高めることができる。
- 完全硝化脱窒を前提とした生物学的窒素除去法であるため、理論上の窒素除去率（※）を算出し、設定した排出目標値と処理水T-N濃度の関係から、必要となる操作量を設定する。

操作の方向性



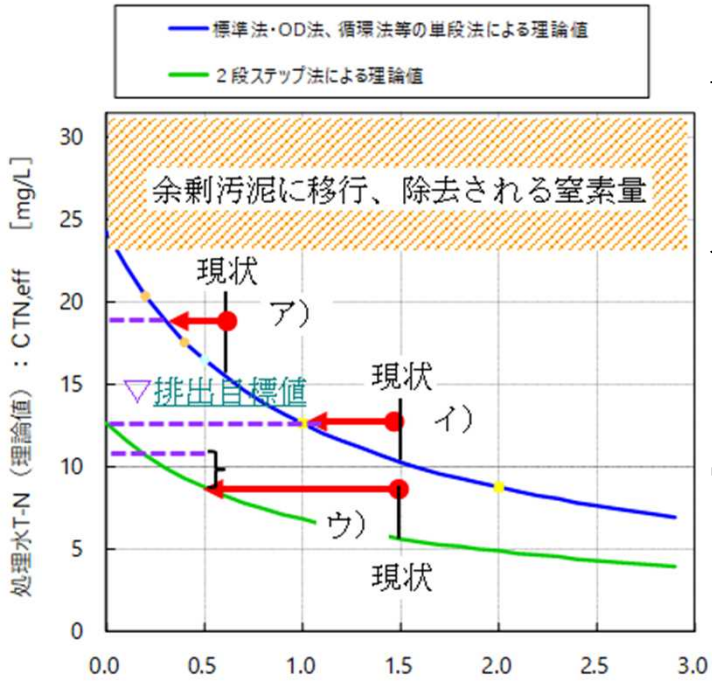

硝化・脱窒に与る窒素除去率（対硝化量）

※【脱窒率の計算】$\eta DN = 1 - 1 / (N \cdot (1 + r + R_N))$

N：ステップ数（－），r：返送汚泥比（－），$R_N$：最終段の内部循環比（－）

$r + R_N$：総合循環比（－）

【 計算例 】




ア） 標準法運転の場合
・排出目標設定値18mg/L
・汚泥返送比を：0.7
⇒増加運転：0.35に抑制

イ） 循環式硝化脱窒法の場合
・排出目標設定値13mg/L
・循環ポンプの回転数制御
・総合循環比を：1.5
⇒ 増加運転：1.0 に抑制
（r＝0.5変更無し）

ウ） ステップ流入式2段
硝化脱窒法の場合
・排出目標設定値11mg/L
・エアリフト循環停止（角落し）
・総合循環比を現状：1.5
⇒増加運転：0.5に抑制
（r＝0.5変更無し）

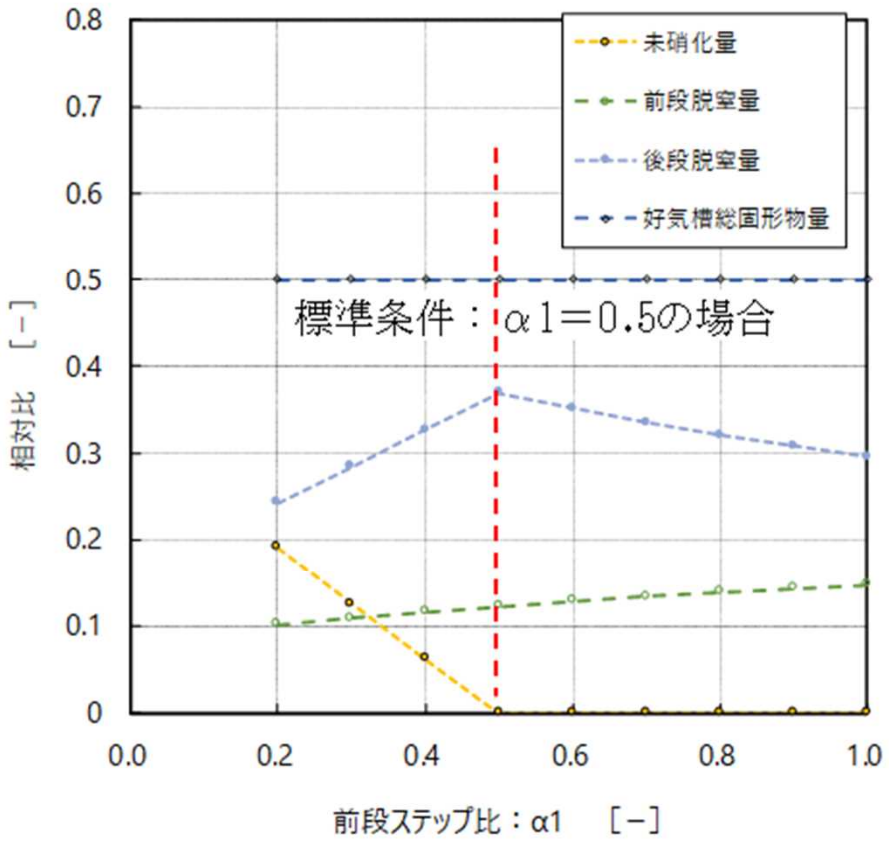
# 5.4 運転指標管理値の設定

国土交通省

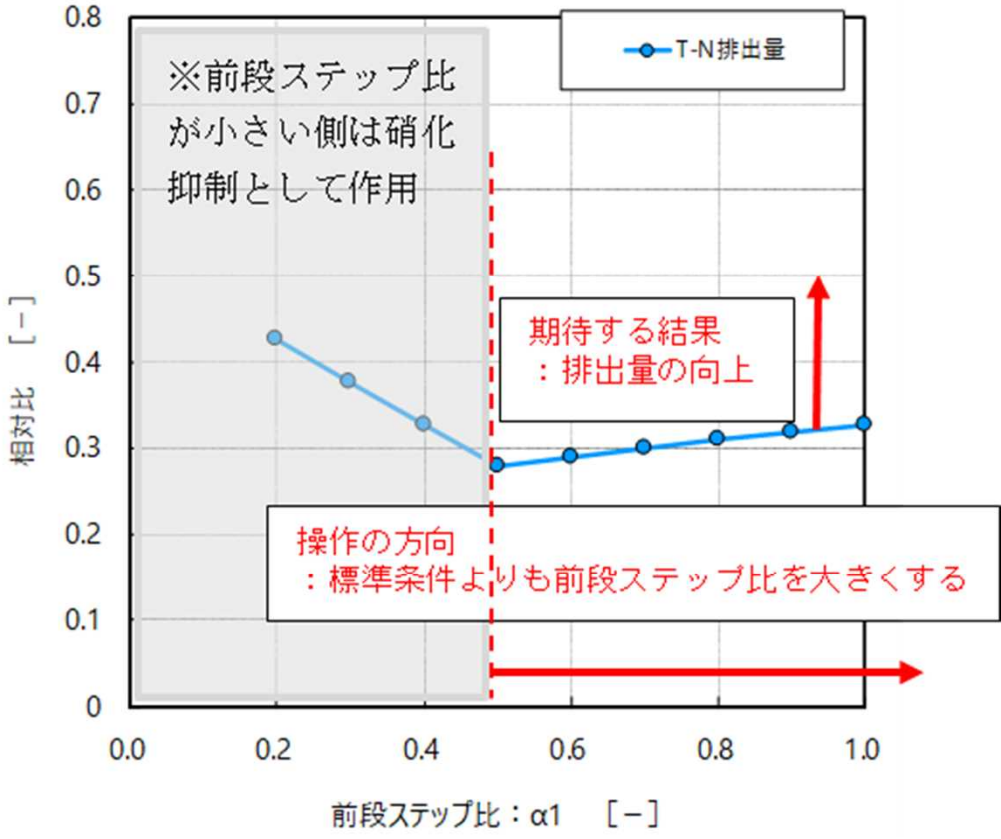
**【脱窒抑制運転の場合】**①返送酸化態窒素負荷、②後段酸化態窒素負荷の操作指標をもとに操作する。

**②後段酸化態窒素負荷**

- ステップ流入式多段硝化脱窒法の場合、ステップ流入比を変更し、各ステップ段の硝化脱窒量のバランスを変更することによって、窒素排出量が高まることが期待できる。
- 2段式のステップ流入式硝化脱窒法において、ステップ比(前段比:α1、後段比:α2)を変更したケースについて各槽内の物質収支により算出する。



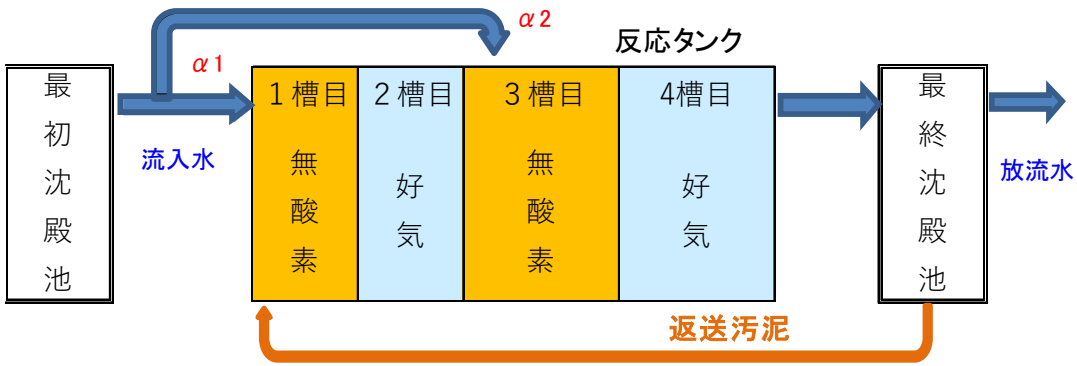

ステップ比操作により生じる物質収支の変化




操作の方向と排出量の変化

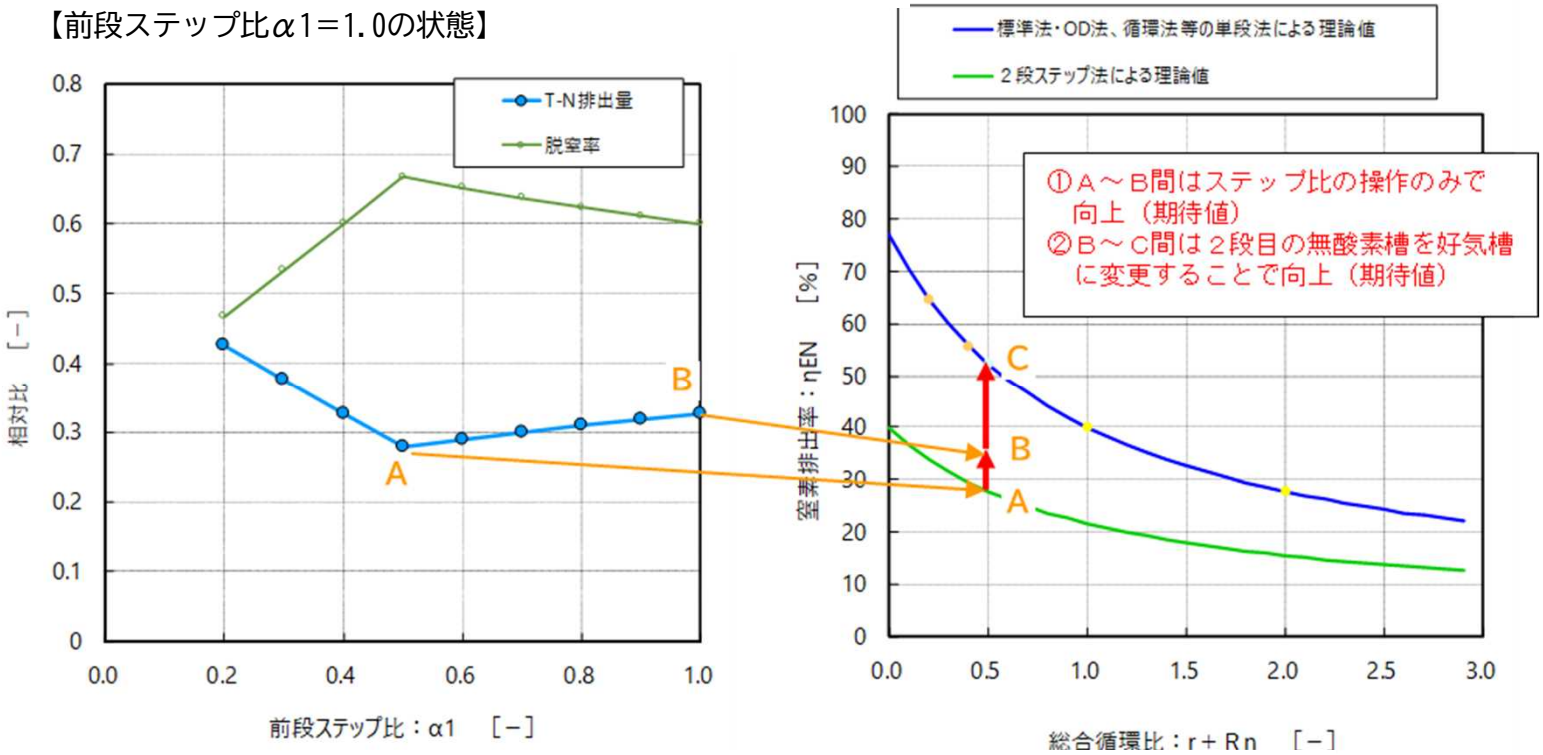
国土交通省

## ②後段酸化態窒素負荷の計算例




【α1＝1.0のケース】
- ステップ流入を停止した運転となり、単段運転となる。
- 後段の無酸素槽（図例の場合３槽目）を維持した場合は、脱窒が生じるため、排出率の増加幅はＢ点までとなる。
- 無酸素槽への送気が可能な場合は、Ｃ点に至ることが期待できる。

【前段ステップ比α1＝1.0の状態】




ステップ配分比操作と無酸素槽の好気槽切替え操作を併用した場合の計算例

# 5.4 運転指標管理値の設定

国土交通省

【りん除去抑制運転の場合】

凝集剤(一般的に、Al塩・Fe)添加を操作指標とし、操作を行う。

- 添加率と除去率が一定の関係とはならない傾向や、添加率を下げてから処理水りん濃度が上昇するまでにタイムラグが発生
- 数ヶ月に亘って添加率の削減を継続する場合、期間の前半と後半では添加率の削減幅に対する処理水りん濃度の上昇量が異なるケースなどが報告されている

→ 処理場毎に、抑制を開始してからの経過期間や活性汚泥中のりん含有率と処理水りん濃度データの蓄積が必要

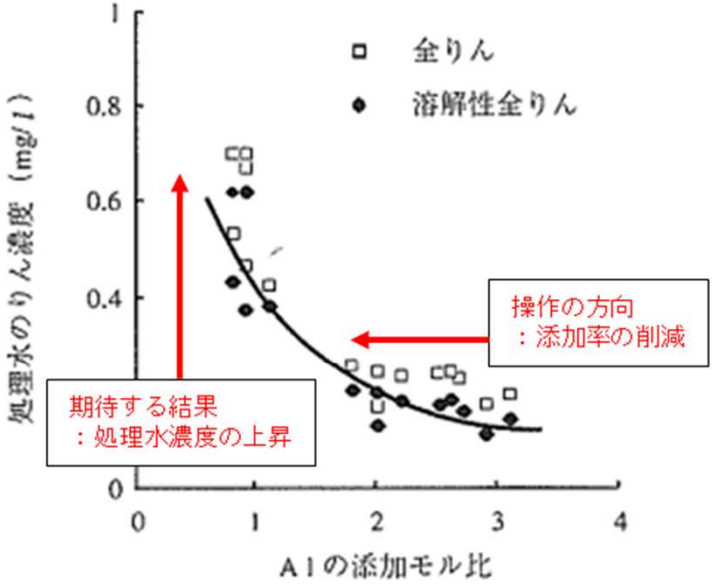



図-3-1-3 処理水のりん濃度とAl/Pモル比の関係
(霞ケ浦浄化センターの例)

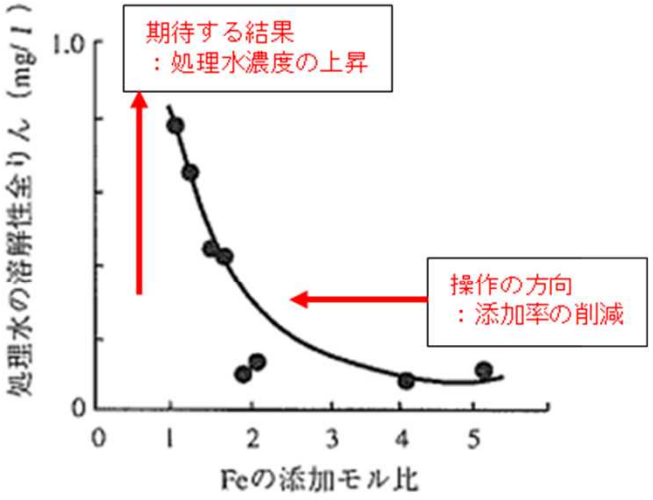



図-3-1-4 処理水りん濃度とFe/Pモル比の関係
(西山処理場の例)

処理水のりん濃度と凝集剤添加モル比の関係に基づく操作量設定イメージ

# 5.5 水質悪化時の対応方針の検討



能動的運転管理の実施にあたっては、処理水質が悪化した場合の対応方針・中止条件を検討する。また、処理水質が悪化した場合に備え、通常運転系列をバックアップ系列として確保することが望ましい。

【バックアップ系列の確保】

- 栄養塩類増加運転から通常運転へ移行する際、回復期に硝化促進への切替を円滑に行う場合
  → バックアップ系列で硝化細菌を確保し、硝化細菌が豊富な汚泥を栄養塩類増加運転系列に導入する。
- 栄養塩類増加運転系列の処理水が一時的に放流水質管理値を超過した場合
  → バックアップ系列の処理水の混合により希釈し、下水処理場全体の放流水質として管理値を超過させない。
  → （硝化抑制運転の場合）バックアップ系列から硝化細菌が豊富な種汚泥を供給し、速やかに通常運転に切り替える。
- 非常時に栄養塩類増加運転を中止する場合
  → バックアップ系列での処理水量を増やすなど、栄養塩類増加運転系列の負荷を抑制し、速やかに通常運転に切り替える。

主な硝化抑制における水質等の悪化現象と対策例（抜粋）

| 現　象 | 特徴と対策 |
|---|---|
| BOD濃度の上昇（N-BOD） | 要因：硝化反応が生じている際に、処理水にアンモニア態窒素と硝化細菌が含まれていると、N-BODに起因して、処理水のBODが高くなる場合がある。<br>対策：①消毒強度の適正管理、②（大腸菌群数の増加参照：紫外線消毒）、③硝化促進への変更（完全硝化）。<br>※塩素消毒を行っている場合、消毒を強化することでクロラミンが増加するなど、放流先の漁業に対して影響が生じる場合があることに注意が必要。 |
| C-BOD、COD、T-P濃度の上昇 | 要因：①凝集性低下に伴うSSに連動する場合。②亜硝酸性窒素の残留による場合（COD測定への影響、毒性による凝集性や生物脱リンへの影響など）。<br>対策：①の場合、COD計など自動計測装置による状態変化を早期に確認し、凝集性の低下同様の対策を実施。②硝化促進系列からの種汚泥の移送（亜硝酸型硝化）。③硝化抑制の徹底あるいは硝化促進への変更。 |
| 凝集性の低下（フロック） | 要因：ASRTの短縮によるF/M比（微生物に対する有機物の比率）の増大に伴い活性汚泥微生物の増殖過程が変化し、凝集性や沈降性に乏しい対数増殖期の状態に近づいたことが考えられる。<br>対策：①透視度、SV、生物相観察による早期対策。②ASRTや送風量の急激な変更を避ける。③ASRTの増加、④BOD-SS負荷の調整、⑤酸素の供給、 |

# 5.5 水質悪化時の対応方針の検討

国土交通省

## 脱窒抑制における水質等の悪化現象と対策例

| 現　象 | 要因と対策 |
|---|---|
| 最終沈殿池における汚泥浮上 | 要因：硝化の進行した活性汚泥混合液が、最終沈殿池で無酸素状態となり、生物学的脱窒で発生した窒素ガスが沈殿汚泥に付着し、浮上させる。<br>対策：①返送汚泥量の増加（沈殿池内汚泥滞留時間の短縮）。②汚泥界面を所定以下に維持する引抜き操作。③反応タンクの一部に脱窒槽（ゾーン）を設ける。④硝化の抑制。⑤スカム防止板の設置。 |
| 処理水のpH低下 | 要因：硝化の進行によるアルカリ度の消費<br>対策：①反応タンクの一部に脱窒槽（ゾーン）を設ける。②水酸化ナトリウムの添加。 |

## 凝集剤添加率削減における水質等の悪化現象と対策例

| 現　象 | 特徴と対策 |
|---|---|
| 放流水のT-P濃度の変動幅の増加 | 特徴：既設の処理方法（生物処理）に関係無く、凝集剤の削減に伴い放流水のりん濃度は変動が大きくなりやすく、変動が大きくなると安定するまでに時間を要する。また、土日に上昇するなど週間変動や、分流式の下水処理場でも大雨などの影響を受けやすい。<br>対策：①系列毎のT-P濃度を確認した添加率の調整。②土日と平日のそれぞれに凝集剤注入マニュアルを作成。 |
| 凝集剤添加量の削減に対する放流水T-Pの応答のタイムラグ | 特徴：①凝集剤（ポリ硫酸第二鉄）の添加率を下げてから処理水りん濃度が上昇するまでの約2週間のタイムラグが生じるケース、②9～3月を増加期としている下水処理場において、前半と後半ではPAC添加率の削減幅に対する放流水T-Pの上昇量が異なるケースなど。<br>対策：タイムラグに留意した添加率管理を行う。通年で、系列毎や各反応槽、終沈レベルでリン酸態リン（PO4-P）の分析や凝集剤添加率設定の見直しを行い、増加期・回復期に見直し頻度を高めるなど。 |

# 7.1 処理水質の評価

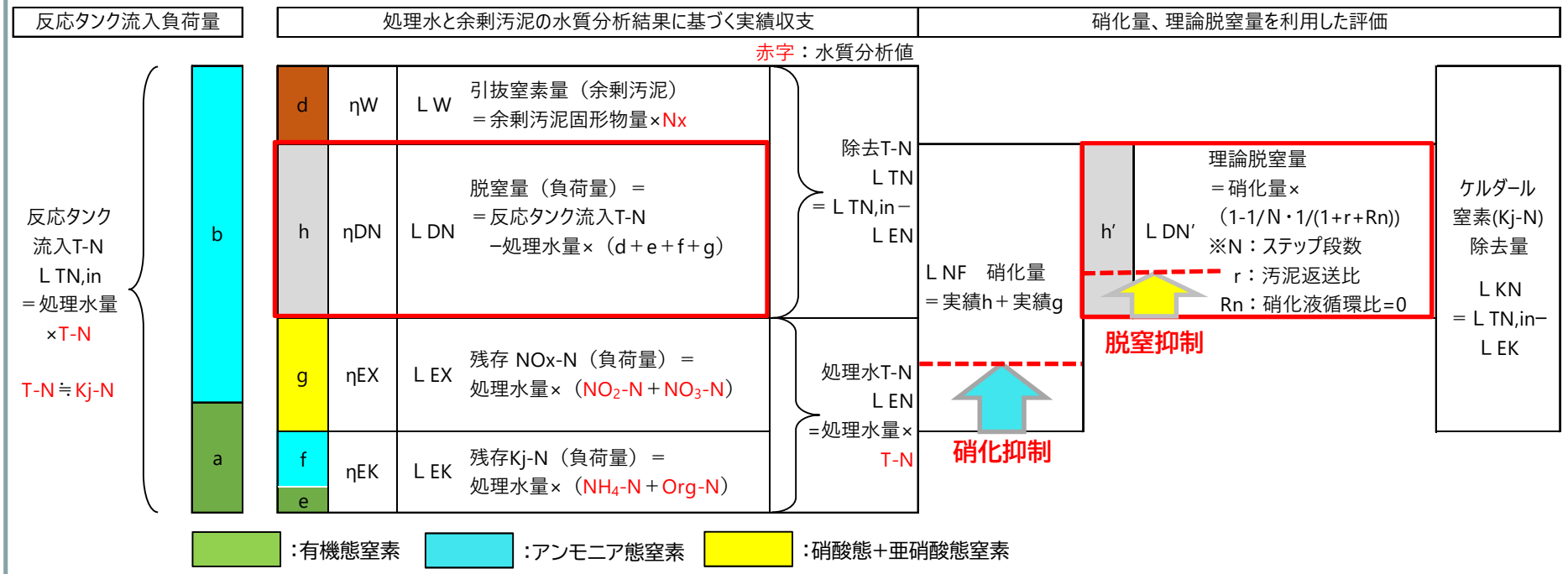
国土交通省

下水道管理者は、栄養塩類の増加運転において処理水質等の実績を定量的に評価し、運転ルールの見直しに活用する

- 栄養塩類の「濃度」、「負荷量」などを用いて、処理水質等の実績を定量的に評価する。

→ 硝化量や脱窒量の定量的な把握と、排出可能ポテンシャルの推定が可能

## 窒素収支を用いた評価方法

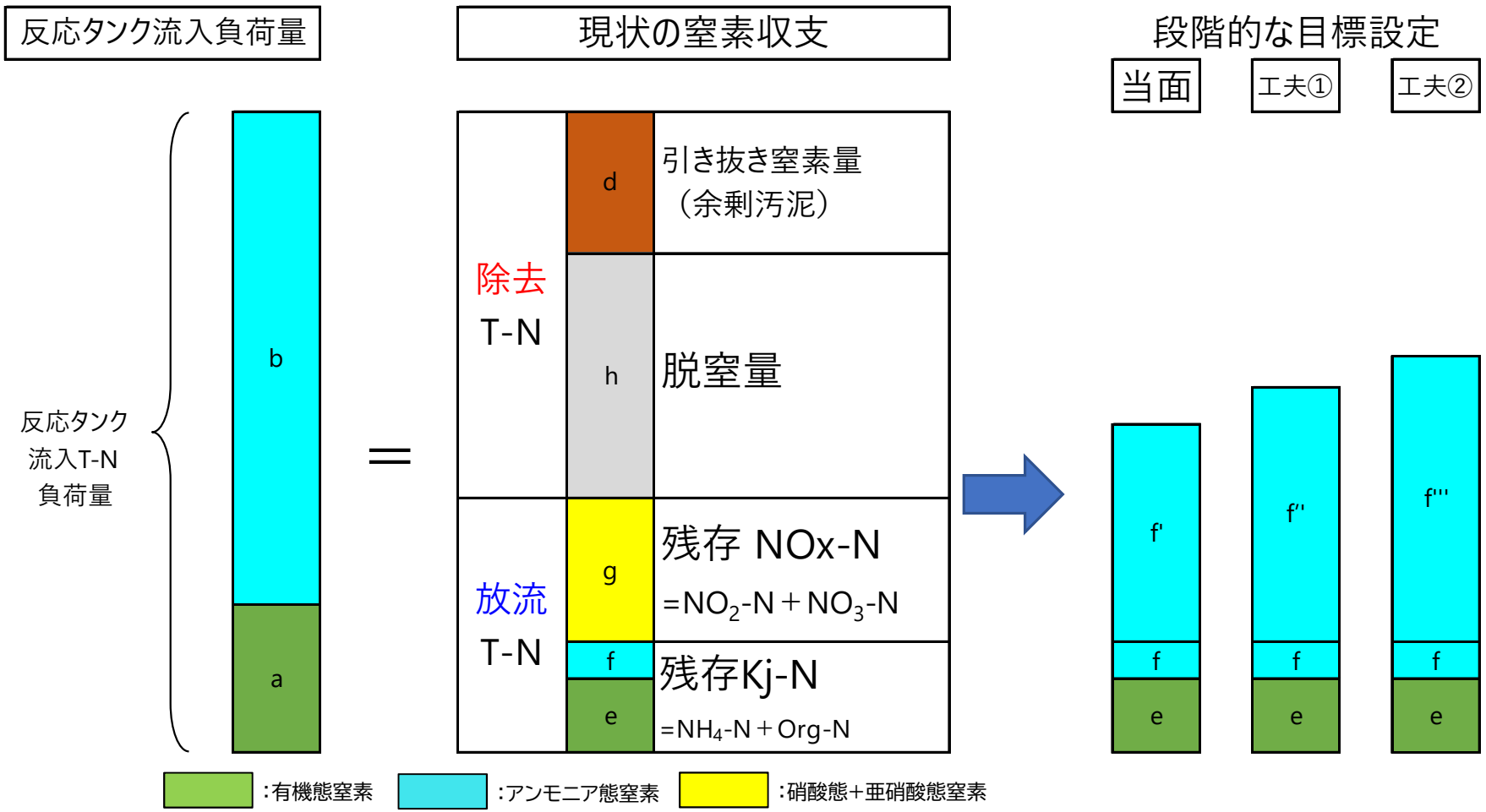



LDN（脱窒量（実績））とLDN‘（理論脱窒量）を比較し、運転ルールの見直しに活用

# 7.1 処理水質の評価

国土交通省

窒素収支を活用した運転ルールの見直しのイメージ

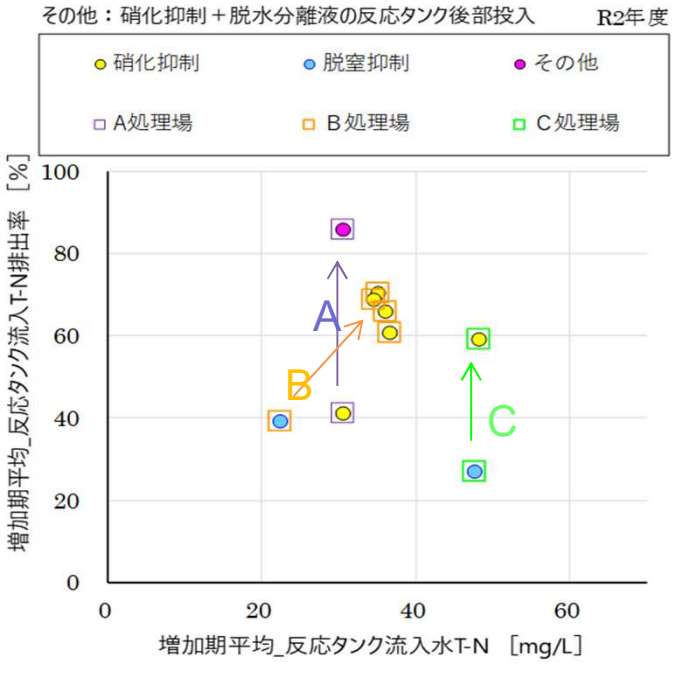


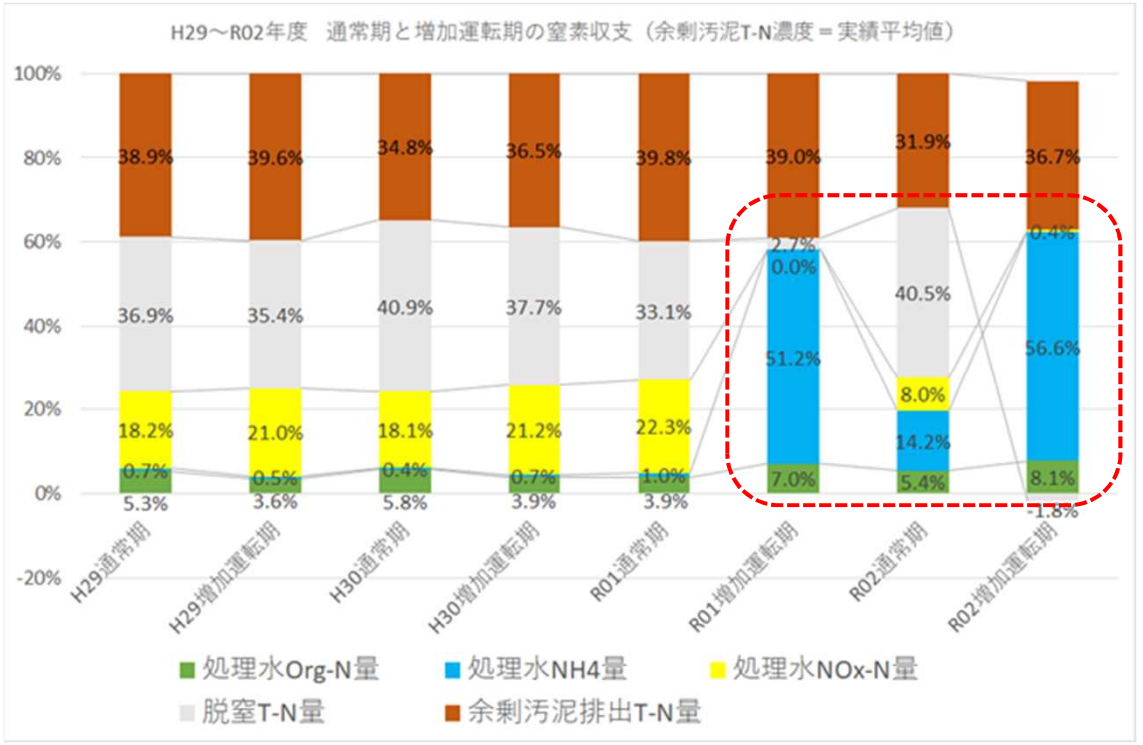

窒素収支を確認した上で、段階的な目標設定による運転ルールの見直しに活用

# 7.1 処理水質の評価

国土交通省

栄養塩類増加手法の見直しにより排出率の増加が図られた事例




B処理場の事例

A処理場：脱水汚泥分離液を活用した運転の見直し

B処理場：脱窒抑制運転から硝化抑制運転への変更

C処理場：脱窒抑制運転から硝化抑制運転への変更

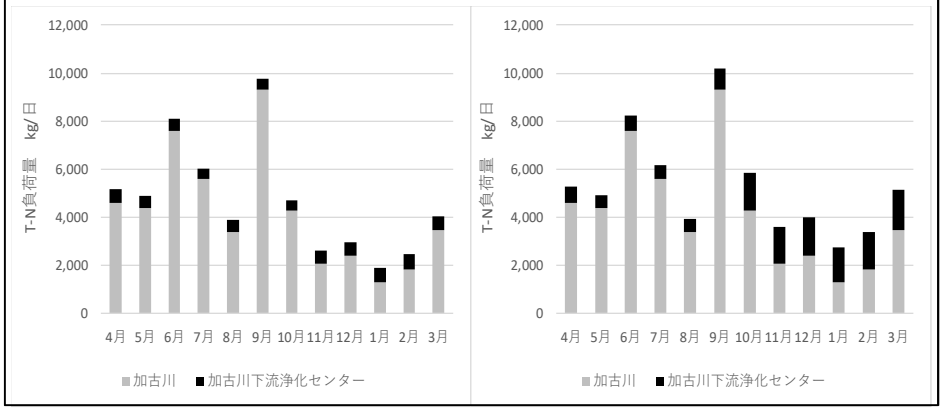
# 7.2 放流先のモニタリング



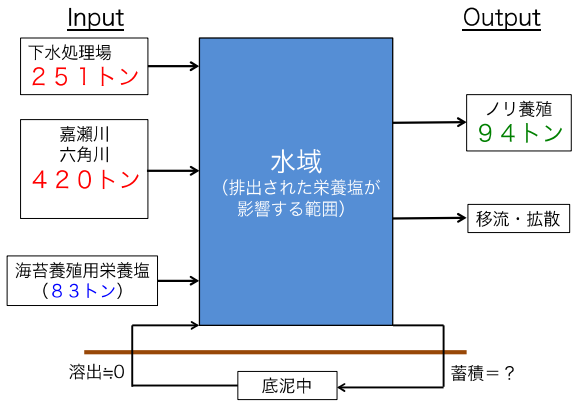
能動的運転管理の放流先への効果は、未だ明らかになっていないことが多い。このため、放流先の水質や環境の変化、対象水生生物やそれらを取り巻く環境について、関係部局と適切な役割分担に基づきモニタリングを行い、効果等の傾向分析、運転管理方策の検討に資する情報の蓄積を図ることが望ましい。

➢ 関係部局との適切な役割分担に基づく、モニタリングが必要

## 加古川と加古川下流浄化センターからの月別T-N排出量




## 下水処理場から放流される負荷量と近傍河川からの負荷量の比較




## 水生生物への影響

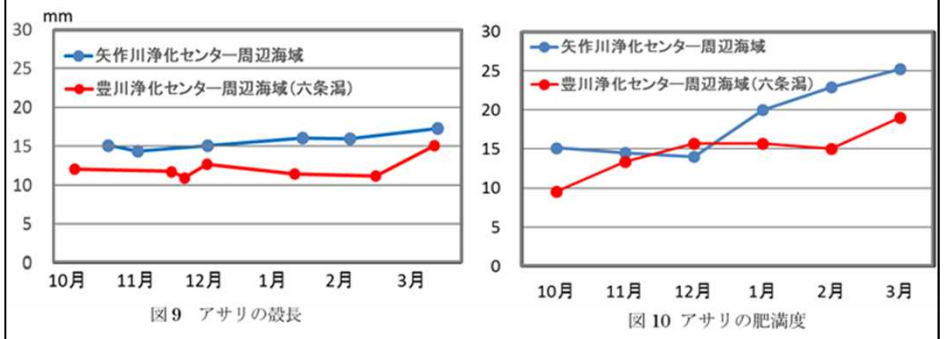
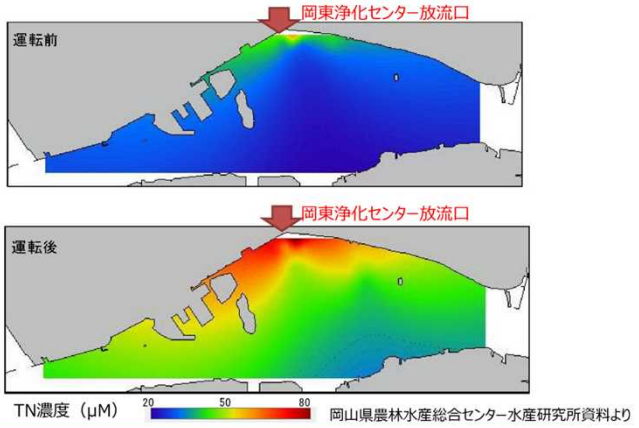



図９　アサリの殻長

図 10 アサリの肥満度

## T-N濃度増加による海域への影響



# 8 流総計画への位置付け

能動的運転管理は、試運転・試行結果に基づき、効果的で安定した運転方法を確立し、将来的には、本運用として流総計画に季節別処理水質を定める等、長期的な運用を図ることが望ましい。

計画書第２表　処理施設への記載例

| 名称 | 位置 | 予定処理区の名称 | 処理方法 | 処理能力（m3/日） | 削減目標量（kg/日） | 削減方法 | | 放流先の名称及び位置 | 摘要 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 当該 | 他 | | |
| | ○市 | ○○ | ○法 | ○○ | ○○ | ○○ | ○○ | ○川左岸<br><br>○○川合流点上流 | 計画下水量(m3/日)<br>・日平均：○<br>・日最大：○<br>計画流入水質(mg/L)<br>・BOD：○<br>・COD：○<br>・T-N：○<br>・T-P：○<br>計画処理水質(mg/L)<br>・BOD：○<br>・COD：○<br>・T-N：○<br>・T-P：○<br>季節別処理水質(mg/L)<br>・T-N：○（12月～3月）<br>・T-P：○（12月～3月） |
| | ・・・ | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| 計 | | | | | | | | | |

計画書第３表（ロ）処理施設別中期整備方針への記載例

| 都市名 | 予定処理区の名称 | 処理施設の名称 | 中期的な整備の目標 | 下水道の整備事業の実施順位 |
|---|---|---|---|---|
| ○市 | ○○ | ○○浄化センター | ・低コストな整備を図りつつ面整備を概成する。<br>・処理水の再利用を推進する。<br>・季節別運転を開始する。冬季の（11月～4月）の季節別処理水質をT-N＝40mg/Lとする。 | 面整備　：A<br>高度処理：B |
| ○市 | ○○ | ○○浄化センター | ・低コストな整備を図りつつ面整備を概成する。<br>・段階的高度処理を導入する。 | 面整備　：A<br>高度処理：A |