

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）

令和5年3月

国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部

## はじめに

昭和45年の第64回国会（いわゆる公害国会）において、下水道法に「公共用水域の水質保全」が規定されて以降、重点的な下水道の整備が進められてきた結果、令和3年度末時点の下水道処理人口普及率は80.6%（浄化槽など他の汚水処理施設も含めた汚水処理人口普及率は92.6%）に達しており、河川、湖沼、海域など公共水域の環境基準達成率は着実に向上してきている。

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6月の瀬戸内海環境保全特別措置法の改正により「栄養塩類管理制度」が創設されるなど、生物多様性の確保・水産資源の持続的な利用の観点から「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いる状況にある。

このような中で、近年、瀬戸内海や有明海・八代海、伊勢湾等において、下水処理水放流先のアサリやノリ養殖業等に配慮し、関係機関からの要請に基づき、冬季に下水処理水中の栄養塩類（窒素やりん）濃度を上げることで不足する窒素やりんを水域へ供給する能動的運転管理の取組が進められてきている。

国土交通省では、栄養塩類の能動的運転管理のさらなる普及・促進や、より効果的・安定的な運転の実現に向けた技術的な支援のため、令和3年より有識者による構成される「能動的運転管理の効果的な実施に向けた検討委員会」を設置し、技術資料の策定に向けた検討を進めてきたところである。本検討委員会の議論を経て、令和3年3月には、平成26年3月に公表した事例集の改訂版として、最新の実施事例とその内容について紹介した「栄養塩類の能動的運転管理に関する事例集」を公表した。

また、検討委員会の最終的な成果として、令和5年3月に「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）」をとりまとめたところである。

本ガイドライン（案）は、これまでに栄養塩類の能動的運転管理を実施している自治体の運転状況等の調査に基づき、導入に向けた関係機関との連携・調整方法をはじめ、栄養塩類の効果的な排出と安定的な運転方法の確立に向けた道筋を示したものである。能動的運転管理の検討・実施中の関係者の皆様には、技術的な参考にされたい。

なお、引き続き、国土交通省では、全国の下水道関係者と連携し、能動的運転管理の技術的な課題や新たな知見を共有していくとともに、本ガイドライン（案）を随時内容の充実を図りながら、栄養塩類の能動的運転管理の取組を支援していく予定である。

令和5年3月

国土交通省水管理・国土保全局下水道部

能動的運転管理の効果的な実施に向けた検討委員会  
委員名簿

(順不同・敬称略)  
(令和5年3月現在)

(委員長)

京都大学 名誉教授 ・ 信州大学工学部 特任教授 田中 宏明

(委員)

佐賀市上下水道局下水プロジェクト推進部下水道施設課長 江口 和宏  
佐賀大学農学部 招聘教授 川村 嘉応  
大阪公立大学工学研究科 教授 貫上 佳則  
国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室長 重村 浩之  
神戸市建設局下水道部計画課長 寺岡 宏  
熊本市上下水道局維持管理部水再生課長 堀 正直  
国立研究開発法人 土木研究所流域水環境研究グループ上席研究員 山下 洋正

(旧委員)

熊本市上下水道局維持管理部長 正代 徳明  
国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室長 田嶋 淳  
佐賀市上下水道局下水プロジェクト推進部副理事兼下水道施設課長 花島 勲  
神戸市建設局下水道部計画課長 脇本 英伸

(事務局)

国土交通省水管理・国土保全局下水道部流域管理官

# 目 次

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 1. 総則.....                      | 1  |
| 1.1 ガイドラインの目的.....              | 1  |
| 1.2 ガイドラインの構成.....              | 1  |
| 1.3 語句の説明.....                  | 3  |
| 2. 能動的運転管理の概説.....              | 4  |
| 2.1 目的.....                     | 4  |
| 2.2 背景.....                     | 6  |
| 2.3 水質環境基準と閉鎖性海域の水質汚濁.....      | 7  |
| 2.4 効果.....                     | 9  |
| 2.5 流域別下水道整備総合計画等との関連性.....     | 10 |
| 2.6 実施状況.....                   | 13 |
| 2.7 栄養塩類増加手法の概要.....            | 14 |
| 2.8 関係機関等との調整・連携体制等.....        | 16 |
| 2.9 検討フロー.....                  | 19 |
| 3. 基本事項の確認.....                 | 23 |
| 3.1 法令・関連計画等の確認.....            | 23 |
| 3.2 放流先の状況の確認.....              | 24 |
| 3.3 水処理・汚泥処理に関する現状の確認.....      | 25 |
| 3.4 水処理・汚泥処理施設・設備の操作指標等の確認..... | 26 |
| 3.5 水処理・汚泥処理施設・設備の確認.....       | 31 |
| 4. 試運転案の作成.....                 | 37 |
| 4.1 栄養塩類増加手法の種類と特徴.....         | 37 |
| 4.1.1 窒素除去を抑制する運転の特徴.....       | 37 |
| 4.1.2 リン除去を抑制する運転の特徴.....       | 41 |



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 4.2 栄養塩類増加手法の選定 .....      | 43  |
| 4.3 排出目標値の設定 .....         | 48  |
| 5. 運転ルール of 検討 .....       | 53  |
| 5.1 年間の運転サイクルの設定 .....     | 53  |
| 5.2 移行期及び回復期の作業内容 .....    | 56  |
| 5.3 放流水質管理値の設定 .....       | 68  |
| 5.4 運転指標管理値の設定 .....       | 87  |
| 5.4.1 運転指標項目の確認 .....      | 87  |
| 5.4.2 運転指標管理値の設定 .....     | 88  |
| 5.5 水質悪化時の対応方針の検討 .....    | 102 |
| 5.6 運転中止条件の設定 .....        | 106 |
| 6. 能動的運転管理の試行 .....        | 107 |
| 7. 栄養塩類増加状況の確認と効果の検証 ..... | 108 |
| 7.1 処理水質の評価 .....          | 108 |
| 7.2 放流先のモニタリング .....       | 114 |
| 8. 流総計画への位置づけ .....        | 122 |

# 1. 総則

## 1.1 ガイドラインの目的

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な管理の普及・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。

### 【解説】

本ガイドラインは、下水処理場の放流水に含まれる栄養塩類の能動的な管理の普及・促進のため、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、栄養塩類の能動的な運転管理の導入の検討や具体的に運転を行う際に活用されることを期待するものである。このため、本ガイドラインは、栄養塩類の能動的な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た。

一方、全国の下水道管理者の置かれている状況は、地域のニーズや周辺の環境状況、あるいは水処理方式や処理能力など一義的に定めるのは困難な状況にある。このため、本ガイドラインは、令和2年度末までに栄養塩類の能動的な運転管理を実施している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したものであり、今後も引き続き、技術的な知見や実績等の収集を図り、適宜見直しを図っていくものとする。

## 1.2 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、栄養塩類の能動的な運転管理の導入に向けて、栄養塩類の能動的な運転管理の実施状況や特徴、基本事項、試行案、運転ルール、効果検証、流域別下水道整備総合計画への位置づけ等を手順に沿って構成している。

### 【解説】

本ガイドラインは、下水道管理者のみならず、環境部局、水産部局などの行政機関のほか、関係者が参考にできるように、実施状況や運転管理手法の特徴等の基本的な事項を3章までに示している。一方、4章から9章は、下水道管理者が具体的に能動的な運転管理を実施する際の手順に沿って構成している。

新たに栄養塩類の能動的な運転管理の導入を検討している自治体は、2,3章を踏まえた上で『4.基本事項の確認』以降に示す内容を検討する。また、既に試運転中の自治体や運転ルールの見直しを検討したい自治体は『5.運転ルールの検討』以降で整理している運転事例を参考にされたい。さらに、既に試行中・本運用中の自治体は、『7.栄養塩類増加状況の確認と効果の検証』以降の、効果の検証や流域別下水道整備総合計画（以下、流総計画という）への位置づけを参考にされたい。

表 1-1 ガイドラインの構成と主な関連部局

| 章  |  | 下水道部局                         |      |             | 環境・<br>水産部局<br>他 |   |
|--|--|-------------------------------|------|-------------|------------------|---|
|  |  | 新規<br>導入予定                    | 試運転中 | 試行中・<br>本運用 |                  |   |
| 1. 総則                                    | 1.1 ガイドラインの目的<br>1.2 ガイドラインの構成<br>1.3 語句の説明  | ○                             | ○    | ○           | ○                |   |
| 2. 能動的運転<br>管理の概説                        | 2.1 目的<br>2.2 背景<br>2.3 水質環境基準と閉鎖性海域の水質汚濁<br>2.4 効果<br>2.5 流域別下水道整備総合計画等との関連性<br>2.6 実施状況<br>2.7 栄養塩類増加手法の概要<br>2.8 関係機関等との調整・連携体制等<br>2.9 検討フロー | ○                             |      |             | ○                |   |
| 3. 基本事項の<br>確認                           | 3.1 法令・関連計画等の確認<br>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<br>3.4 水処理・汚泥処理施設・設備の操作指標<br>等の確認  | ○                             |      |             |                  |   |
|  | 3.5 水処理・汚泥処理施設・設備の確認   |                               |      |             |                  |   |
| 能動的<br>運転<br>管理<br>の<br>導<br>入<br>手<br>順 | 4. 試運転<br>案の作成   | ○                             |      |             |                  |   |
|  | 5. 運転ル<br>ールの検<br>討  | ○                             | ○    |             |                  |   |
|  | 6. 能動的<br>運転管理<br>の試行  |                               | ○    |             |                  |   |
|  | 7. 栄養塩<br>類増加状<br>況の確認<br>と効果の<br>検証   | 7.1 処理水質の評価<br>7.2 放流先のモニタリング |      |             | ○                | ○ |
|  | 8. 流総計<br>画への位<br>置づけ  |                               |      | ○           |                  |   |

注) ○：各行政機関が特に関連する章を示す。

### 1.3 語句の説明

本ガイドラインで用いる語句の定義を以下に示す。

◆能動的運転管理

年間のある一定期間または通年で栄養塩類（窒素、りん）の放流濃度を従来の運転よりも増加させるために行う、きめ細やかな運転管理をいう。

◆栄養塩類増加運転

従来の運転よりも栄養塩類の増加を図る運転をいう。

◆通常運転

季節別運転管理において栄養塩類の増加を実施していない期間（通常期）の運転をいう。

◆季節別運転管理

年間のある一定期間において放流水の栄養塩類を増加させるための運転管理を実施することをいう。

◆通年増加運転管理

年間を通じて栄養塩類を増加させるための運転管理を実施することをいう。

◆通常期、準備期、移行期、増加運転期、回復期

通常期は、通常運転を実施する期間をいう。準備期は、栄養塩類増加運転に切替えるための準備を行う期間をいう。移行期は、通常期から増加運転期へ移行させる期間をいう。増加運転期は、移行期から安定した増加運転を実施する期間をいう。回復期は、増加運転期から通常期へ回復させる期間を回復期という。

◆増加期

栄養塩類増加運転を行う一定期間をいい、移行期、増加運転期、回復期を合わせた期間である。

◆試運転

一部の系列、又は全系列を対象に試験的に運転操作を能動的運転管理に切替え、運転上の課題を把握するとともに、他系列を含めて安定的な運転が可能か点検している段階をいう。

◆試行

試運転を数カ年にわたって試行錯誤しながら安定的に運転し、より効果的な運転を目指している段階をいう。

◆本運用

試行と同様の運転を継続し、かつ季節別処理水質を流総計画の計画書に位置付け、長期的な運用を図る段階をいう。

◆期間平均値

増加運転期全体の平均水質をいう。

◆排出目標値

増加運転期の放流水中の栄養塩類濃度の目標値（本ガイドラインでは、日間平均の期間平均値を例として示す）を指す。効果発現対象の栄養塩類について設定する。

◆放流水質管理値

法令に定められた水質基準値を遵守しつつ、効果的に能動的運転管理を実施するために、栄養塩類を含む法令で定められた放流水質項目ごとに設定する管理値（本ガイドラインでは、日間平均の期間平均値を例として示す）をいう。

◆運転指標管理値

放流水質管理値で安定して運転するために、各運転指標項目（ASRT、MLDO、凝集剤添加モル比等）に設定する値、または範囲を指す。

## 2. 能動的運転管理の概説

### 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。

なお、栄養塩類の能動的運転管理は、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、実施を検討する。

#### 【解説】

これまで、公共用水域の水質保全是、有機汚濁負荷や栄養塩類の削減により、水質環境基準の達成を図ることが重要と考えられてきた。しかし、近年、地域の生物多様性の確保や水産資源の持続的利用の観点から豊かな海の再生に向けて、海域や季節毎に栄養塩類のきめ細やかな管理が求められている。

また、気候変動による水温上昇等の環境変化とも相まって、一部の水域では、これまで削減されてきた窒素・りんなどの栄養塩類の不足等によるノリの色落ち（写真2-1）や不作が課題となっている。これは、海水中の栄養塩類の濃度低下によるものとされているが、栄養塩類の濃度低下は、陸域からの負荷量の減少、冬季の少雨による河川からの補給不足、珪藻プランクトンの増加による栄養塩類消費量の増加による海域の水質変化等、生態系を含めた複合的な要因による影響を受けているものと考えられる。

栄養塩類の能動的運転管理は、水域に不足する窒素やりんへの対策の一つとして、下水処理場が安定的に運転できる範囲内において運転を季節別に切替え、放流される栄養塩類の濃度を能動的に管理するものである（図2-1参照）。

栄養分のない海域で生長したノリは重要な品質の一つである「黒み」がなくなり、著しく商品価値が低下する。



写真 2-1 色落ちしたノリ

出典) 第1回水環境マネジメント検討会/H24.8.16  
資料4 兵庫県提出資料, p.7

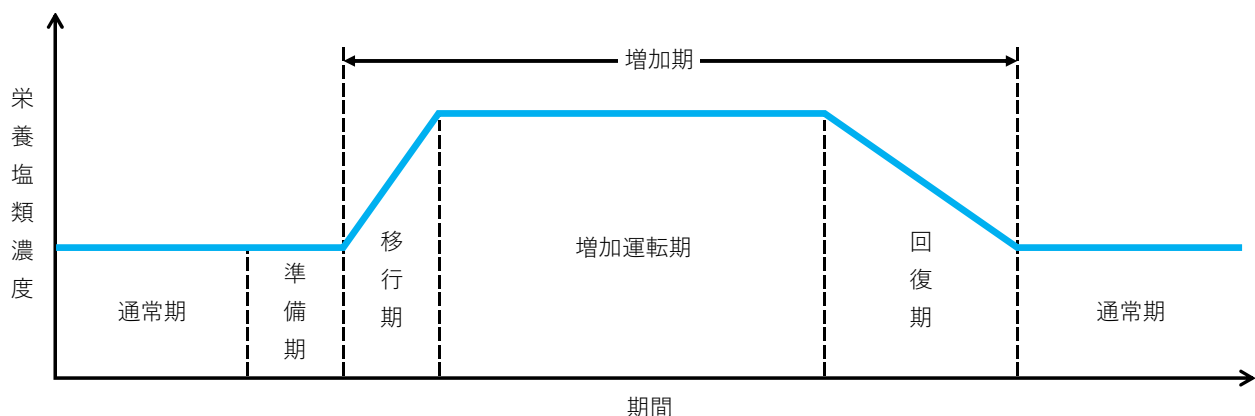


図 2-1 能動的運転管理における栄養塩類濃度（季節別運転管理）のイメージ

## 『養殖ノリの色落ちのメカニズム (仮説)』

ノリも植物であることから、緑色の色素である葉緑素（クロロフィル a : Chl. a）を有している。また、紅藻やラン藻特有のフィコピリン色素で赤色を呈するフィコエリスリン（PE）、青色を呈するフィコシアニン（PC）やアロフィコシアニンを有している。

これらの色素が多いと黒いノリとなり、色素が少ないと色落ちしたノリとなる。瀬戸内海等でノリの色落ちが起きる原因は海水中の窒素不足のためと言われている。

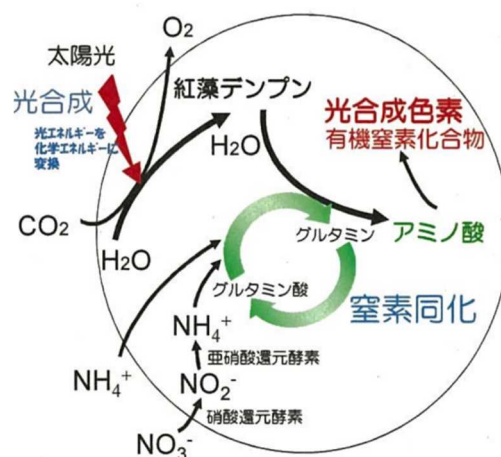
光合成色素であるクロロフィル a、フィコエリスリンやフィコシアニンは、二酸化炭素や水から光合成によって紅藻デンプンへ、紅藻デンプンから窒素同化によって各種アミノ酸へ、各種アミノ酸から色素合成によって作り出されている。

この一連の過程の窒素同化において窒素が欠乏すると光合成色素が合成できなくなる（窒素が欠乏しても光合成そのものは行われ、紅藻デンプンは合成されるが、窒素同化が行えず、色素合成が進まない）。ラン藻では、窒素が欠乏するとフィコビリゾーム（集光性アンテナ色素）を分解して窒素源として再利用するため、フィコエリスリンやフィコシアニンが減少して色落ちする。

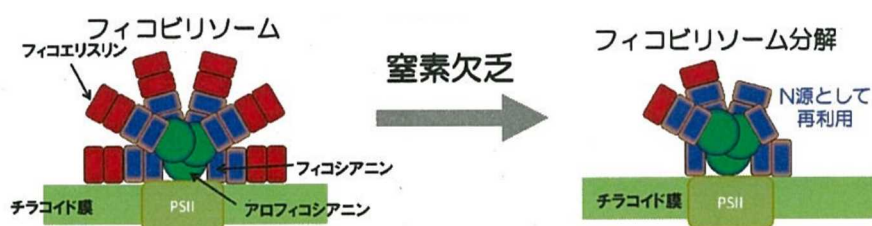
### 発色の元となる光合成色素



### 光合成色素の合成プロセス



### ラン藻の色落ちメカニズム



養殖ノリでは、総窒素含有のうち PE 色素の占める割合は、ラン藻やオゴノリほど高くないため、窒素欠乏時にフィコピリン色素は窒素源としてそれほど利用されていないと思われること、養殖ノリは窒素欠乏下でも、一定の期間、細胞分裂を行いながら生長することから、細胞あたりの色素含有量が低下して色落ちするものと考えられる。

出典) 中央環境審議会水環境部会総量削減専門委員会 (第 3 回), 平成 27 年 1 月 20 日, 参考資料 長崎委員提出資料

(<http://www.env.go.jp/council/09water/y0917-03/ref01.pdf>) を基に作成



## 2.2 背景

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、生物多様性の確保及び水産資源の持続的な利用の観点から「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。

### 【解説】

栄養塩類の能動的運転管理を行うこととなったきっかけは、全国でも有名なノリの養殖場を有する有明海における平成12年のノリの大不作であった。これを契機に、地先にノリの養殖場を有する大牟田市と国土交通省が季節別運転管理について調査・研究を進め、大牟田市の南部浄化センター及び北部浄化センターが平成16年12月より季節別運転管理を開始した。大牟田市では、ノリの養殖期と休養殖期の2期に分け、養殖期には窒素・りんを法令の範囲内で出来る限り放流し、休養殖期には可能な限り窒素・りんを除去することとした。また、瀬戸内海でも栄養塩類の減少によりノリの色落ちが新聞で報じられるなど、一部の水域で冬季の栄養塩類の減少が問題視されるようになってきた。

一方、近年、東京湾、伊勢湾、大阪湾、瀬戸内海では、これまで8次にわたる水質総量削減の取組等により、水質は一定程度改善され、窒素・りんの環境基準達成率は高い水準となっている。しかし、湾奥部など一部の海域では、依然として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となっており、海域ごとの状況に応じて、生物多様性の確保及び水産資源の持続的な利用の観点から、栄養塩類のきめ細やかな管理が必要となっている。

また、底層溶存酸素量（以下、「底層D0」とする。）が新たに環境基準化され、海域での類型が指定され始めている。特に、東京湾、伊勢湾、大阪湾など、夏季に底層D0の低下がみられる水域がある。酸素を消費する底層の有機物には内部生産されたものが多く含まれることから、底層D0の悪化は、通年の栄養塩類の状況に影響されることも指摘されている。このため、底層D0の環境基準の達成は、栄養塩類濃度にも関係があることに留意が必要である。

このような状況下において、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6月に瀬戸内海環境保全特別措置法の改正により、栄養塩類管理制度が創設された。本制度は、瀬戸内海における関係府県知事が策定する計画に基づき、計画区域、水質の目標値及び栄養塩類供給の実施方法等を定めることで、特定の海域への栄養塩類の供給を可能としている。また、栄養塩類増加措置の対象とする物質による汚濁負荷量の総量の削減に係る規定の適用を除外するものである。

令和4年10月には、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され、対象物質<sup>※1</sup>、対象海域の水質目標値<sup>※2</sup>及び栄養塩類増加措置の対象<sup>※3</sup>が設定された。また、本計画では、栄養塩類増加措置実施者として28箇所の下水処理場が、栄養塩類を供給するため季節別に能動的運転管理を実施することとしており、栄養塩類の能動的運転管理の実施・拡大が見込まれている。

※1：対象物質：全窒素及び全りん

※2：対象海域の水質目標値：瀬戸内海の海域における良好な水質を保全し、かつ、豊かな生態系を確保する上で望ましい栄養塩類濃度<sup>※4</sup>

※3：栄養塩類増加措置の対象：当面、全窒素（全りんは全ての水域で水質の目標値を達成）

※4：県条例に基づく下限値（以上）～環境基準値（以下）

## 2.3 水質環境基準と閉鎖性海域の水質汚濁

栄養塩類の能動的運転管理は、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する。また、能動的運転管理は、海域に放流する栄養塩類濃度を増加させるため、底層 D0 にも留意する必要がある。

### 【解説】

水生生物の保全に係る水質環境基準は、平成 15 年 11 月に制定され、以後、海域においては 9 海域（東京湾、伊勢湾、大阪湾、播磨灘北西部、備讃瀬戸、燧灘東部、燧灘北西部、広島湾西部、響灘及び周防灘）に次いで、平成 30 年 3 月 28 日に、有明海の水域類型が指定された。

また、底層を利用する水生生物の個体群が維持できる場を保全・再生することを目的に、底層 D0 の類型と基準値が制定され（平成 28 年 3 月 30 日に施行）、令和 3 年 12 月 28 日には、国が直接類型指定を行う水域のうち、全国で初めて、琵琶湖と東京湾の水域類型が指定された。さらに、令和 4 年 12 月 20 日には、伊勢湾、大阪湾（湾奥部のみ）についても類型が指定された。

閉鎖性海域における水質汚濁に影響する主な要因には、陸域（河川、工場・事業場・下水処理場等）からの汚濁負荷や栄養塩類の流入、河川からの淡水の流入、有機物の内部生産、沈降、堆積及び分解、底質からの栄養塩類の溶出、外海との海水交換、潮流による海水の移動・攪拌等がある。閉鎖性海域においては、海水が滞留し汚濁物質が海域内部に蓄積しやすい。また、夏季には、海面の水温上昇と河川からの淡水の流入により成層構造が発達し、底層 D0 が低下しやすくなる特徴を有している。これにより、貧酸素水塊が気象条件により沿岸域に湧昇すると青潮（苦潮とも呼ばれる。）となり、貝類、甲殻類、魚類等をはじめ沿岸域に生息する生物の死滅等の被害が発生することがある。さらには、その死骸が腐敗することにより悪臭の発生にもつながる。また、底層 D0 の低下は魚類や底生生物の生息に適さない環境となることに加え、硫化水素の発生や底泥からの栄養塩類の溶出量が増加する原因となる<sup>※1</sup>。

このため、令和 4 年 2 月 25 日に閣議決定された「瀬戸内海環境保全基本計画の変更について」に基づく瀬戸内海環境保全基本計画において、底層 D0 と既存の環境基準を併せて活用して、各地域の海域利用の在り方に照らした水環境管理に関する検討や順応的な取組の推進に努めることとされている。

※1：第 9 次水質総量削減の在り方について（答申）

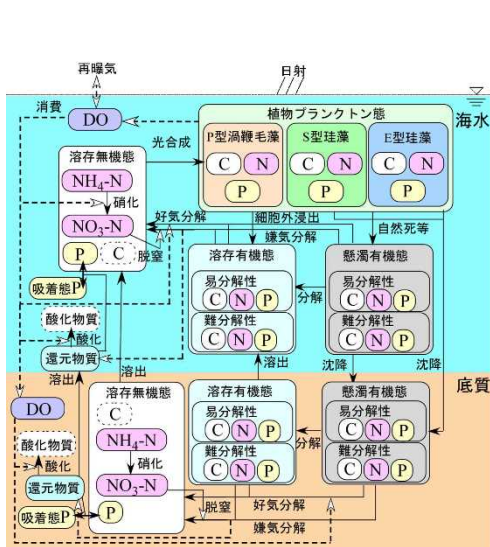


図 2-3 水質-底質モデルの構造<sup>※2</sup>

※2、※3：第 9 次水質総量削減の在り方について（答申） p. 157、p. 138

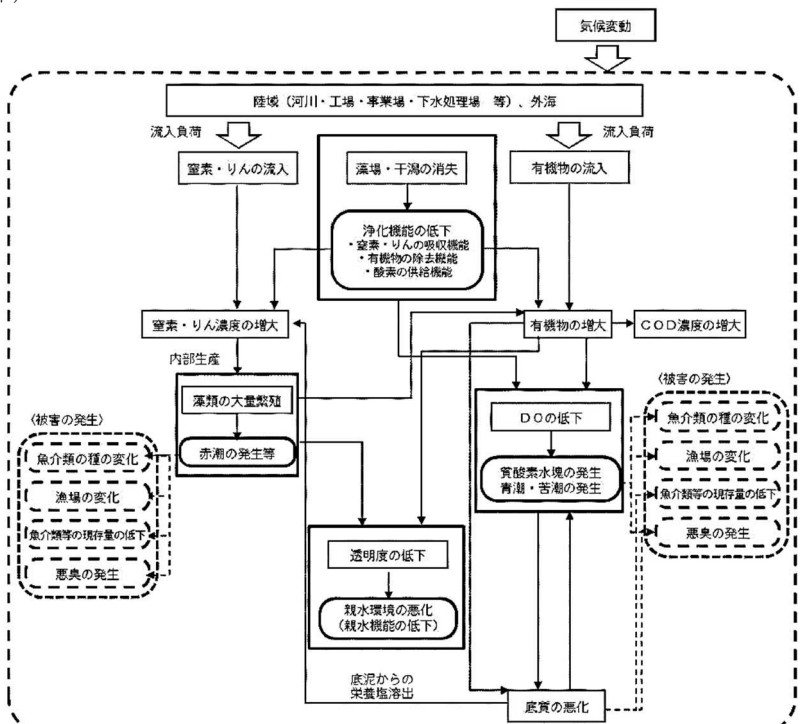
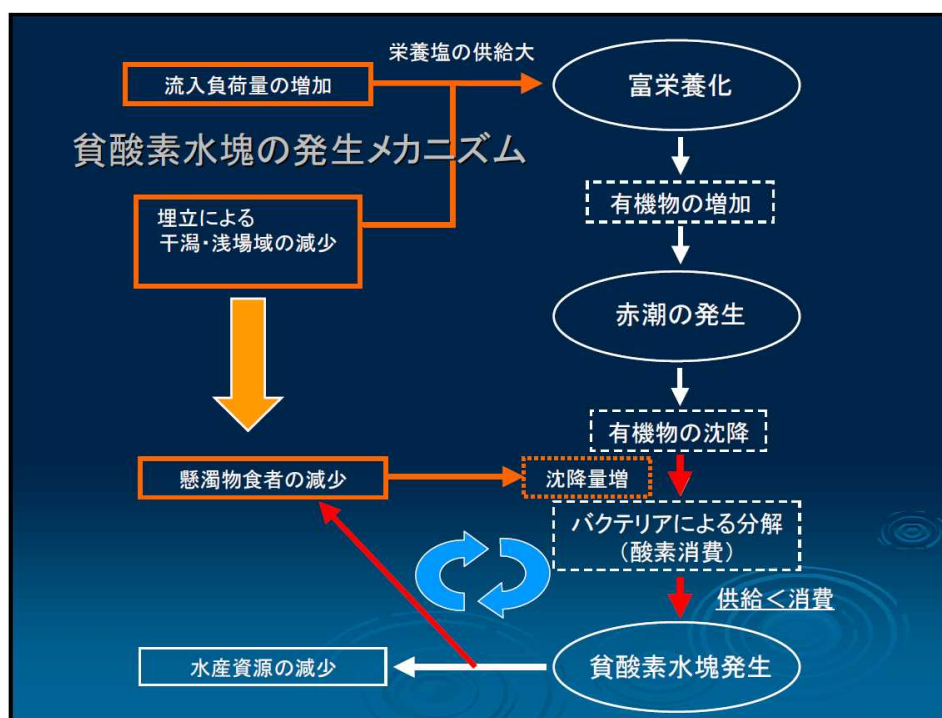


図 2-2 閉鎖性海域における水質汚濁に影響を与える要因<sup>※3</sup>



『貧酸素水塊の発生メカニズム』

陸域からの負荷量の増加による富栄養化に伴う内部生産の増加や赤潮発生、また、埋立て等による干潟・浅場域の減少に伴う有機物除去能力の低下は、大量の有機物の沈降と海底への堆積を促す。堆積した有機物がバクテリアにより無機化される過程で大量の酸素が消費され、貧酸素水塊が発生する。また、埋立て等により干潟・浅場域が減少することで海域に生息する二枚貝などの懸濁物食者が減少すること、また窪地や防波堤内、埋立地間の水路等において底層海水の流動が妨げられること等も、有機物の堆積及び貧酸素水塊の発生を助長する要因になっていると考えられる。



| 区分   | 要因           | 内容                              |
|------|--------------|---------------------------------|
| 直接要因 | 酸素消費過多       | 酸素供給量に対し酸素消費量が過多になることにより生じる     |
| 減少要因 | バクテリアによる分解   | 底質の有機物などをバクテリアが分解する際に酸素を消費する    |
|      | 硝化作用         | アンモニア性窒素が硝化作用により酸素が消費される        |
|      | 生物による呼吸      | 生物の呼吸により酸素を消費する                 |
|      | 大気への放出       | 大気と海水の境界面から大気に放出される             |
|      | 外洋への流出       | 外洋との海水交換のうち流出分                  |
| 増加要因 | 光合成による供給     | 植物プランクトンの光合成活動による供給             |
|      | 大気からの溶解      | 大気と海水の境界面から水塊に溶解される             |
|      | 外洋からの流入      | 外洋との海水交換のうち流入分                  |
|      | 陸域からの流入      | 河川等を通じ陸域からの流入分                  |
| 誘発要因 | 上下混合の減少      | 夏期の成層期において上下混合が減少し、底層への酸素供給が阻害  |
|      | 底質への有機物供給量増加 | 動物プランクトンなどが死滅し、底質に有機物が沈降する      |
|      | →プランクトンの増加   | 植物プランクトンが増殖することにより、有機物の沈降量が増加する |
|      | →富栄養化        | 富栄養化により、植物プランクトンが増殖する           |
|      | →陸域からの流入     | 陸域からの栄養塩が流入することで富栄養化する          |
|      | →底質からの溶出     | 底質が貧酸素状態になることで栄養塩が溶出し易くなる       |
|      | 干潟・浅場の減少     | 干潟・浅場が減少することで海域の浄化機能が低下する       |

出典) 中田喜三郎ら, 2008. 三河湾における貧酸素水塊形成過程に関する研究. 海洋理工学会誌 14(1), pp. 1-14.

出典) 第9次水質総量削減の在り方について (答申) p. 20, p. 103

## 2.4 効果

能動的運転管理による効果発現が明確となっている対象は、主に栄養塩類を直接摂取する海藻（ノリ、ワカメ等の植物性のもの）である。

栄養塩類の増加に伴って増える植物プランクトンを餌とする貝類（カキ、アサリ等）にもその効果は及ぶと考えられるが、貝類をとりまく周辺環境の影響も大きく科学的な知見が及んでいないことから、科学的知見の進展と海洋環境や生態系の長期モニタリングによる積み重ねが必要である。

### 【解説】

栄養塩類は、直接取り込む海藻類（ノリ、ワカメ）には良い効果が認められている。特に、下水処理水に含まれる栄養塩類がノリに与える良い効果については、（独）土木研究所、大牟田市企業局、佐賀市上下水道局から報告がなされている<sup>1)2)3)</sup>。一般にノリ中の全窒素量が多いほど品質が良いとされているように、窒素はノリの品質に関係が深く、りんも同様である<sup>4)</sup>。

また、ノリの場合、窒素の形態としてアンモニア態窒素は硝酸態窒素の8倍以上の速度で葉体に取り込まれるため、ノリ養殖場への窒素の施肥はアンモニア態窒素が適していることが報告されている<sup>5)</sup>。さらに、アンモニア態窒素と硝酸態窒素が共存する環境下においてノリ葉体による色調回復試験を行い、アンモニア態窒素の濃度が低下した後に硝酸態窒素の濃度が低下したことから、アンモニア態窒素を優先的に取り込んでいることが報告されている<sup>6)</sup>。ただし、アンモニア態窒素濃度が低い状態では硝酸態窒素も同様に取り込まれていることから、必ずしもアンモニア態窒素のまま放流しなければ効果がないと言うものではない。

一方、アンモニアの毒性は、魚介類などの生態系に影響をおよぼす恐れがあることや、底層D0の低下にもつながる可能性がある（第2.3章参照）ことに注意が必要である。

貝類に関しては、生長速度の増大や軟体部の肥満度を増大させるものの、貝殻の生長は一定の栄養水準が保たれている範囲内では水温等の物理的環境条件に強く支配されており、一概に栄養塩類の増加の効果を期待するのは難しい<sup>4)</sup>。しかし、アサリ等の二枚貝は植物プランクトンを餌としており、植物プランクトンは海水中の栄養塩類を利用して増殖するため、これらを餌にする二枚貝の生産量には栄養塩類が強く関係する<sup>7)</sup>と考えられる。海の生態ピラミッドの例（図2-4参照）に示すように、栄養塩類の増加がもたらす効果は、高次の生物（魚）への影響もあると想定されるが、関係性の有無については学術的にも明らかにはなっていない。

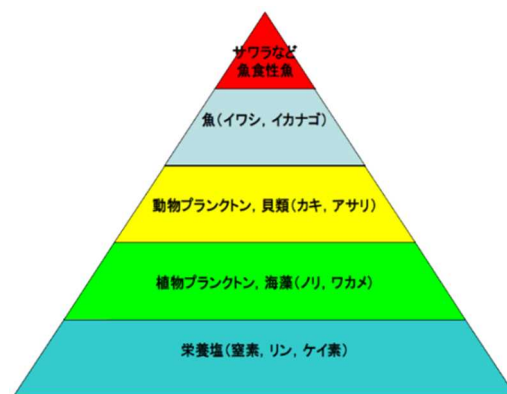


図 2-4 海の生態ピラミッドの例  
出典) 岡山県農林水産総合センター水産研究所だより、

平成 23 年 2 月 1 日第 378 号

1) 阿部千雅, 鈴木稔. 下水処理水に含まれる栄養塩がノリの品質に与える影響に関する調査. : 日本下水道協会, 2006. pp. 479-481, 下水道研究発表会講演集.

2) 古賀みな子, 星良和. 大牟田海域ノリ養殖のための下水放流モデルについて. : 日本下水道協会, 2006. pp. 16-18, 下水道研究発表会講演集.

3) 城戸知昭, 古賀みな子, 星良和. 放流水のノリ養殖に与える影響調査(その1). : 日本下水道協会, 2006. pp. 482-484, 下水道研究発表会講演集.

4) 水産学シリーズ [1] 水圏の富栄養化と水産増養殖. (編) 社団法人日本水産学会. : 株式会社恒星社, 1973, pp. 68-87.

5) スサビノリ *Porphyra yezoensis* 葉体によるアンモニア態および硝酸態窒素の定速度取り込み, 広島大学生物生産学部生物生産学研究 第31巻 第2号, 1992年12月, 山本 民次

6) 播磨灘北部海域における窒素・リンの動態解明と栄養塩の有効利用技術の開発, 沿岸海域の栄養塩管理技術の開発委託事業成果報告書, 平成22年度, 原田 和弘ら

7) 浜口昌巳, 阿保勝之. 水清くして魚住まず? -変わりゆく水圏環境へのリクエスト-. 環境研究機関連絡会第11回環境研究シンポジウム ポスターセッション資料. : 発行元不明, 2013年.

## 2.5 流域別下水道整備総合計画等との関連性

国土交通省では、これまで栄養塩類の能動的運転管理の普及・促進のため、下水道法施行規則の改正とともに、「流域別下水道整備総合計画調査—指針と解説」を改訂し、季節別に処理水質の設定を可能とした。

### 【解説】

平成 27 年の「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」の改訂により、流域別下水道整備総合計画（以下、流総計画）において、従来の目標である水質環境基準の達成に加え、地域の実情に応じて水質環境基準以外の目標設定を可能とした。具体的には、「豊かな海の実現」を目標とし、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の大きな影響が想定されないことを確認した上で、季節別処理水質を定められることとした（図 2-5）。さらに、平成 27 年 7 月に施行した下水道法施行規則の一部改正において、季節別の処理水質の設定に係る流域別下水道整備総合計画書の様式を変更した。

また、平成 27 年 9 月に「下水放流水に含まれる栄養塩類の能動的運転管理のための運転方法に係る手順書（案）」を策定し、栄養塩類の能動的な運転管理の取組を水平展開している。さらに、平成 26 年 3 月に公表した「栄養塩類の循環バランスに配慮した運転管理ナレッジに関する事例集」の改訂版として、令和 3 年 3 月に最新の実施事例を「栄養塩類の能動的運転管理に関する事例集」としてとりまとめている。

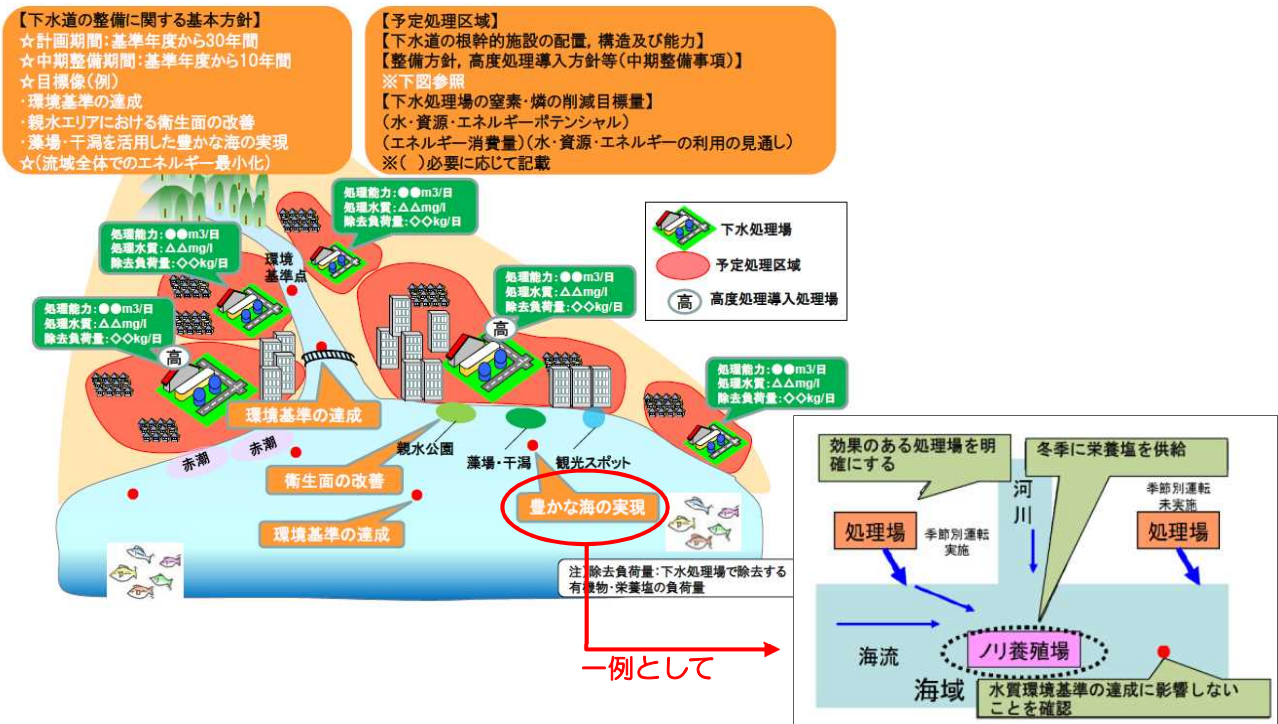
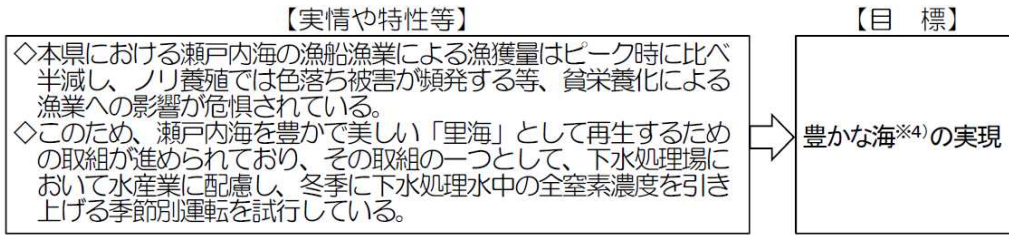


図 2-5 流総計画における季節別の能動的運転管理の考え方



『流総計画に季節別の処理水質を位置づけた例：播磨灘流総計画』



※4) 水質が良好な状態で保全され、生物多様性や生物生産性が確保される等、様々な価値や機能が最大限発揮された海

**豊かな海の実現**

■中期的な整備方針

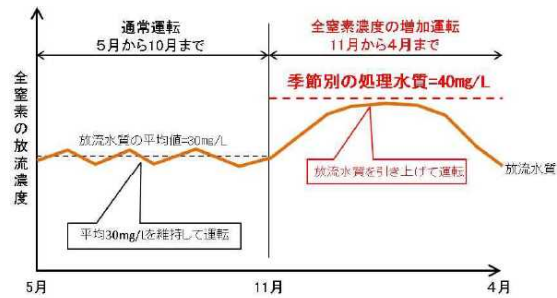
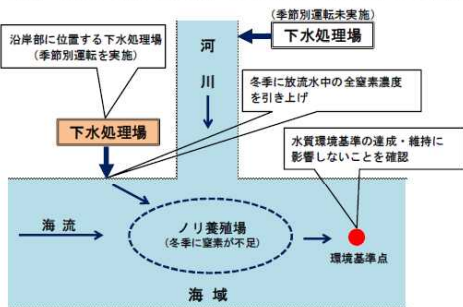
下水処理場において栄養塩類の循環バランスに配慮した運転管理を実施します。

■おおむね10年間に優先的に整備する内容

沿岸部に位置する下水処理場（24箇所）において、以下の取組を実施します。

- (ア) 全国で初めて全窒素の季節別の処理水質※6)を設定し、季節別運転の本運用を位置付け。  
加古川下流浄化センター等3処理場において、11月から4月に下水処理場からの放流水中の全窒素濃度を引き上げる季節別の処理水質を全国で初めて設定し、季節別運転の本運用を開始します。
- (イ) 季節別運転の試行を位置付け。  
その他21処理場において季節別運転を試行し、本運用への移行を目指します。
- (ウ) 豊かな海の実現に配慮した運転管理を配慮規定として設定。  
配慮規定：処理水質の範囲内において可能な限り全窒素の放流濃度を高める運転管理に努めます。

※6) 目標（豊かな海の実現）を達成するために処理水質を季節に応じて変更するもの



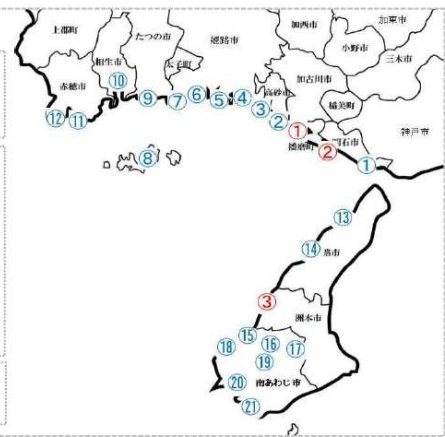
季節別運転のイメージ

【取組を実施する下水処理場】

- (ア) 季節別の処理水質を設定し、季節別運転の本運用を位置付ける下水処理場
- ①加古川下流浄化センター
  - ②二見浄化センター
  - ③五色浄化センター

- (イ) 季節別運転の試行を位置付ける下水処理場
- ①船上浄化センター
  - ②高砂浄化センター
  - ③伊保浄化センター
  - ④大的析水苑
  - ⑤東部析水苑
  - ⑥中部析水苑
  - ⑦揖保川浄化センター
  - ⑧家島浄化センター
  - ⑨室津浄化センター
  - ⑩相生浄化センター
  - ⑪赤穂下水管理センター
  - ⑫福浦浄化センター
  - ⑬北炭浄化センター
  - ⑭一宮浄化センター
  - ⑮松帆・湊浄化センター
  - ⑯市・榎列浄化センター
  - ⑰八木・榎列浄化センター
  - ⑱津井浄化センター
  - ⑲賀集浄化センター
  - ⑳福良浄化センター
  - ㉑阿万浄化センター

- (ウ) 豊かな海の実現に配慮した運転管理を配慮規定として設定する下水処理場
- (ア) 及び (イ) の下水処理場



出典) 兵庫県 HP <https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks21/harimanadahenkou.html>  
「播磨灘流域別下水道整備総合計画」概要版より抜粋

整備計画年度

2015年度（平成27年度）より2045年度まで

（第2表）処理施設

| 名称                    | 位置   | 予定処理区<br>の名称             | 処理方法     | 処理能力<br>(m3/日) | 削減<br>目標量<br>(kg/日) | 削減方法   |   | 放流先の<br>名称及び<br>位置 | 摘要                   |                           |                         |
|-----------------------|------|--------------------------|----------|----------------|---------------------|--------|---|--------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|
|                       |      |                          |          |                |                     | 当<br>該 | 他 |                    | 計画下水量<br>(m3/日)      | 日平均<br>日最大                |                         |
| 二見<br>浄化センター          | 明石市  | 二見                       | 標準活性汚泥法等 | 43,300         | -                   | -      | - | 播磨灘                | 計画下水量                | 日平均                       | 36,000                  |
|                       |      |                          |          |                |                     |        |   |                    |                      | 日最大                       | 43,300                  |
|                       |      |                          |          |                |                     |        |   |                    | 計画<br>流入水質<br>(mg/L) | BOD<br>COD<br>T-N<br>T-P  | 130<br>110<br>55<br>8.0 |
|                       |      |                          |          |                |                     |        |   |                    | 計画<br>処理水質<br>(mg/L) | BOD<br>COD<br>T-N※<br>T-P | 15<br>20<br>30<br>3     |
| 季節別<br>処理水質<br>(mg/L) | T-N  | 30(5月～10月)<br>40(11月～4月) |          |                |                     |        |   |                    |                      |                           |                         |
| 五色<br>浄化センター          | 洲本市  | 都志                       | 標準活性汚泥法等 | 720            | -                   | -      | - | 播磨灘                | 計画下水量                | 日平均                       | 450                     |
|                       |      |                          |          |                |                     |        |   |                    |                      | 日最大                       | 720                     |
|                       |      |                          |          |                |                     |        |   |                    | 計画<br>流入水質<br>(mg/L) | BOD<br>COD<br>T-N<br>T-P  | 230<br>110<br>45<br>5.0 |
|                       |      |                          |          |                |                     |        |   |                    | 計画<br>処理水質<br>(mg/L) | BOD<br>COD<br>T-N※<br>T-P | 15<br>20<br>30<br>3.0   |
| 季節別<br>処理水質<br>(mg/L) | T-N  | 30(5月～10月)<br>40(11月～4月) |          |                |                     |        |   |                    |                      |                           |                         |
| 加古川下流<br>浄化センター       | 加古川市 | 加古川下流                    | 標準活性汚泥法等 | 125,800        | -                   | -      | - | 泊川（左岸）             | 計画下水量                | 日平均                       | 101,400                 |
|                       |      |                          |          |                |                     |        |   |                    |                      | 日最大                       | 125,800                 |
|                       |      |                          |          |                |                     |        |   |                    | 計画<br>流入水質<br>(mg/L) | BOD<br>COD<br>T-N<br>T-P  | 160<br>95<br>30<br>3.5  |
|                       |      |                          |          |                |                     |        |   |                    | 計画<br>処理水質<br>(mg/L) | BOD<br>COD<br>T-N※<br>T-P | 15<br>20<br>30<br>3.0   |
| 季節別<br>処理水質<br>(mg/L) | T-N  | 30(5月～10月)<br>40(11月～4月) |          |                |                     |        |   |                    |                      |                           |                         |

注1. 標準活性汚泥法等とは、下水道法施行令第5条の5第1項第2号の表の区分における標準活性汚泥法と同程度に下水を処理することができる方法とする。

2. 窒素、磷ともに水質環境基準を継続的に達成・維持できる見込みであるため削減目標量は定めていない。

※ここでの計画処理水質は、季節別処理水質を適用しない期間における処理水の予定水質である。

（第3表）中期的な整備方針

（イ）中期整備計画年度

2015年度（平成27年度）より2025年度まで

（ハ）処理施設別中期整備方針

| 都市名  | 予定処理区<br>の名称 | 処理施設<br>の名称 | 中期的な整備の目標   | 下水道の整備事業<br>の実施順位         |      |
|------|--------------|-------------|---|---------------------------|------|
|      |              |             |   | 面整備                       | 高度処理 |
| 明石市  | 二見           | 二見浄化センター    | ①季節別運転を開始する。冬季(11月～4月)の季節別処理水質をT-N=40mg/Lとする。<br>②計画処理水質及び季節別処理水質の範囲内において可能な限りT-Nの放流濃度を高める運転管理に努める。 | B                         | -    |
| 洲本市  | 都志           | 五色浄化センター    | ①季節別運転を開始する。冬季(11月～4月)の季節別処理水質をT-N=40mg/Lとする。<br>②計画処理水質及び季節別処理水質の範囲内において可能な限りT-Nの放流濃度を高める運転管理に努める。 | A                         | -    |
| 加古川市 | 加古川下流        | 加古川下流浄化センター | ①季節別運転を開始する。冬季(11月～4月)の季節別処理水質をT-N=40mg/Lとする。<br>②計画処理水質及び季節別処理水質の範囲内において可能な限りT-Nの放流濃度を高める運転管理に努める。 | A: 加古川市、高砂市、播磨町<br>B: 稲美町 | -    |

注) A: 中期整備計画年度内に面整備を優先して実施する。

B: 概成に近づいている面整備を進めるとともに、他の目標達成に向けた整備を進める。

高度処理「-」: 高度処理が不要な箇所

## 2.6 実施状況

試行・本運用の実績は、瀬戸内海・有明海・八代海・伊勢湾を中心に令和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。

### 【解説】

令和4年3月時点において、全国で栄養塩類の能動的運転管理を導入している28都市、47処理場の位置及び過去5カ年における能動的運転管理の導入状況の推移をそれぞれ図2-6、表2-1に示す。

また、各処理場で採用している水処理方式を表2-2に示す。

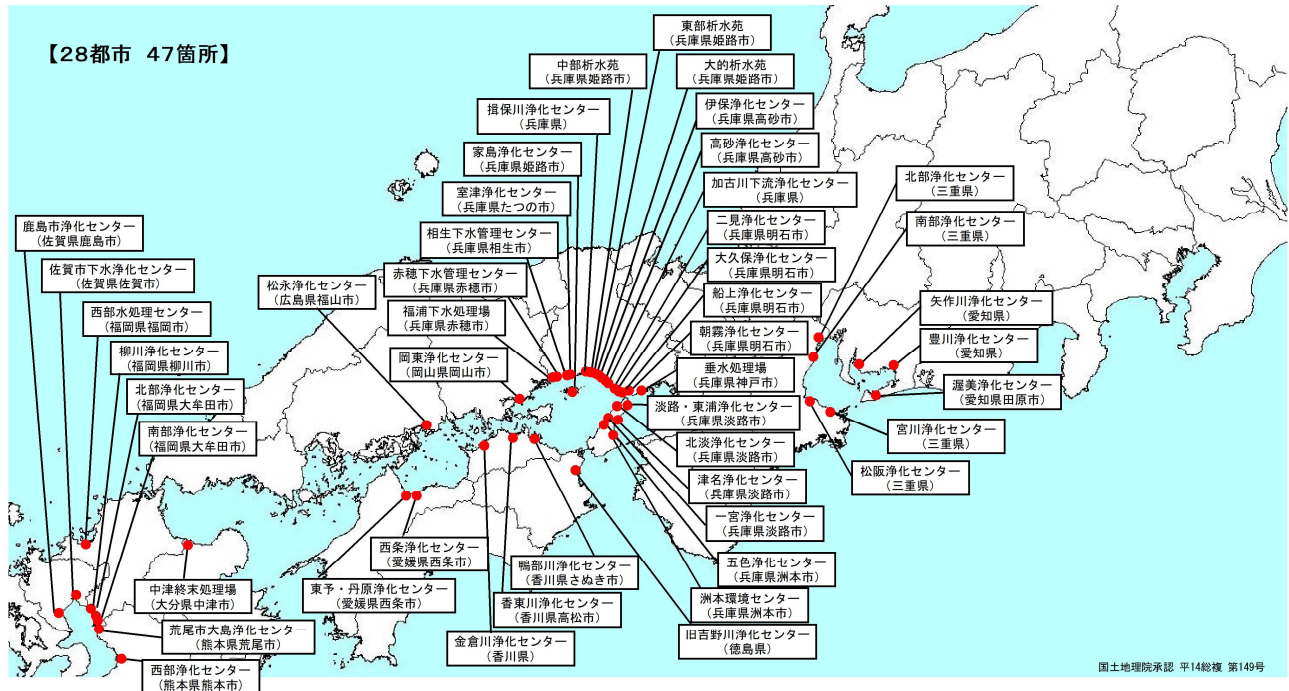


図 2-6 能動的運転管理を導入している下水処理場（令和4年3月時点）

表 2-1 過去5カ年における能動的運転管理導入状況の推移（既公表数）

|     | H29 | H30 | R元 | R2 | R3 |
|-----|-----|-----|----|----|----|
| 都市数 | 20  | 24  | 22 | 25 | 28 |
| 箇所数 | 26  | 31  | 30 | 35 | 47 |

※R元～3年度には、「通年増加運転管理」の下水処理場を含む

表 2-2 能動的運転管理を実施している水処理方式

|      | 現有施設 ※1  | 対象栄養塩類 |    |         | 備考                         |
|------|----------|--------|----|---------|----------------------------|
|      |          | 窒素     | りん | 窒素およびりん |                            |
| 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 ※3   | 8  | 3       | 窒素対象としては凝集剤添加制御していない       |
|      | 下水処理場数   | 34     | 8  | 6       | 放流系統数として                   |

※1：設計処理方式として ※2：本資料のみの限定的な分類区分として ※3：目的が窒素除去抑制ではないので下水処理場数には含まない

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート（令和3年度実施）

## 2.7 栄養塩類増加手法の概要

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。求められる栄養塩類の種類（形態）に応じて、既存施設や設備の維持管理性等を考慮して効果的と考えられる方法を選定する。

### 【解説】

栄養塩類の放流濃度を増加させる運転の手法は、図 2-7 のように大別できる。

窒素の放流濃度を増加させる手法は、既往の例としてアンモニア態窒素を増加させる硝化抑制と、酸化態窒素を増加させる脱窒抑制がある。

りんの放流濃度を増加させる手法は、凝集剤添加率の削減と、生物学的りん除去抑制がある。

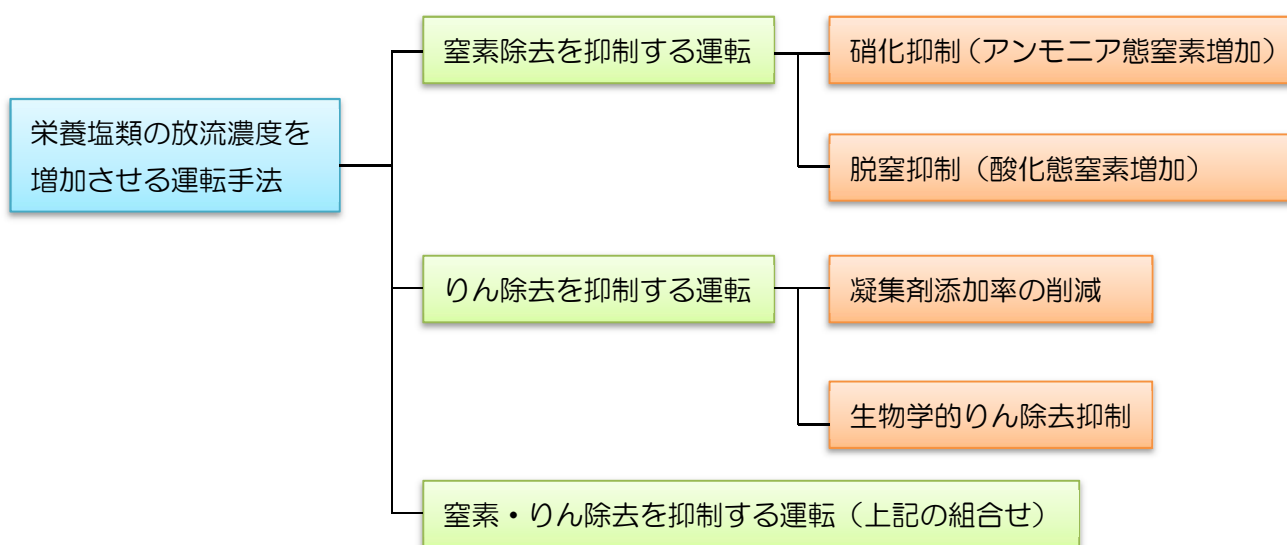


図 2-7 栄養塩類の放流濃度を増加させる運転手法

『(事例) 栄養塩類の増加運転手法の採用事例と採用理由』

令和元年度と令和2年度の運転状況を見ると、窒素の増加を行う場合、脱窒抑制よりも硝化抑制を採用している下水処理場が多い(表 2-3 参照)。

一方、りん増加手法のうち、生物学的りん除去抑制を採用している下水処理場は2箇所にとどまり、多くは凝集剤添加率の削減によるりん除去抑制を採用している。

表 2-3 栄養塩類増加運転手法の採用事例

| 対象   | 栄養塩増加運転手法  | 放流系統数 |       |
|------|------------|-------|-------|
|      |            | 令和元年度 | 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 | 2     | 2     |

※窒素増加とりん増加の併用がある場合、双方に重複して計上。

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート(令和3年度実施)

栄養塩類増加手法の採用理由は、「運転操作の容易さ」、「既存施設の活用」、「経済性」、「汚泥処理への影響性」、「放流水質の管理性」が多い(表 2-4 参照)。

表 2-4 栄養塩類増加手法の採用理由

|                           | 栄養塩類増加手法 |      |       |            |
|---------------------------|----------|------|-------|------------|
|                           | 窒素増加     |      | りん増加  |            |
|                           | 硝化抑制     | 脱窒抑制 | 凝集剤削減 | 生物学的りん除去抑制 |
| ア. 運転操作が容易                | 15       | 1    | 3     | 0          |
| イ. 既存施設での実施が可能            | 31       | 1    | 6     | 2          |
| ウ. 維持管理費が削減可能             | 7        | 1    | 0     | 0          |
| エ. 汚泥処理への影響が小さい           | 0        | 1    | 0     | 0          |
| オ. 放流水質を管理しやすい            | 8        | 1    | 2     | 0          |
| カ. 有機物等の処理機能が低下しない        | 2        | 2    | 0     | 0          |
| キ. SSの処理機能が低下しない          | 1        | 1    | 0     | 0          |
| ク. N-BODの発現抑制に適しているため     | 0        | 0    | 0     | 0          |
| ケ. 窒素・りん双方を増加させるバランス調整が容易 | 5        | 0    | 0     | 0          |

※窒素増加とりん増加の併用がある場合、採用理由がどちらに対応するのか不明なため、併用のケースは含まない。

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート(令和3年度実施) 設問 Q5-1-2 栄養塩増加時の具体的な運転方法 ※有効回答数=43



## 2.8 関係機関等との調整・連携体制等

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。

### 【解説】

#### (1) 調整・連携・確認項目等

能動的運転管理は、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高めることで、不足する栄養塩類を供給するものである。しかし、湾奥部など一部の海域では、栄養塩類の増加に伴う富栄養化による赤潮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影響など、栄養塩類の偏在化が課題となっている。また、栄養塩類の供給源には、陸域では、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、海域では、底質からの溶出等があるものの、海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は少なく（第7.2章参照）、下水処理場の栄養塩類濃度が直接海域へ及ぼす影響については、十分な知見が得られていない状況にある。

このような状況下において、「豊かな海」の実現に向けては、放流先の関係者（環境部局、水産部局、漁業関係者）、専門家や学識者等から構成される協議会や検討会等（以下、「協議会等」とする。）により、栄養塩類を評価・管理する制度的対応に加え、近傍河川や藻場・干潟の保全・再生、漂流ごみ等の対策の推進など、様々な主体が連携していくことが求められる。

このため、能動的運転管理の実施にあたっては、下水道管理者は、協議会等を活用し、放流先の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を設定するなど、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・確認項目例は以下の通りである。なお、協議会等にあたっては、流総計画を策定する際のデータや検討資料を、調整のツールの一つとして活用することも考えられる。

#### <調整・連携・確認項目例>

- ・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、ダムの放流、施肥、海底耕耘、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（アンモニア態窒素、酸化態窒素、りん）、実施期間※、排出目標値等
- ・効果の検証方法（モニタリング）、試行結果

※栄養塩類の増加手法の多くは、下水処理過程における生物化学的反応に基づくものであることから、栄養塩類増加運転への切替えから放流水の栄養塩類濃度に変化が表れるまで（移行期）に、月単位の時間を要する場合がある。協議会等において増加運転期を指定される場合には、このような特性について、調整の段階から関係者の理解を得ておくことが望ましい。

## (2) 連携体制

能動的運転管理の導入に際しては、検討の段階から放流先の漁業関係者や関係機関との調整や連携を図ることを目的に協議会等を設ける例が多い（表 2-5）。

協議会等を設置している自治体では、年に 1 回程度の頻度で、定期的に能動的運転管理の経過報告が行われている。

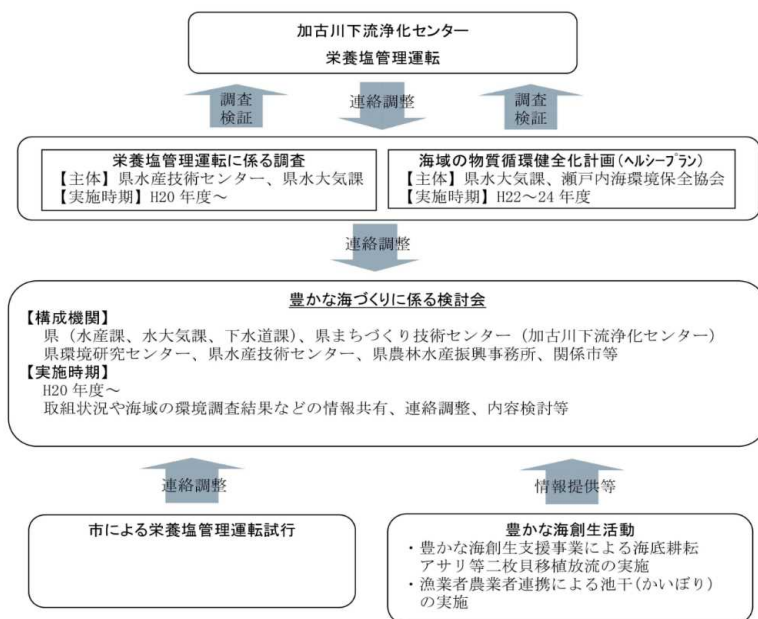
表 2-5 栄養塩類増加運転の導入要望者の内訳（処理場数）

| 要望者     | 処理場数 |
|---------|------|
| 漁業関係者 ※ | 27   |
| 自治体他部局  | 5    |
| 計       | 32   |

※漁連、漁協、漁業者、水産振興対策協議会、水産振興会

### 『(事例) 関係機関との調整・連絡体制の設置例：兵庫県』

瀬戸内海環境保全特別措置法では、法第 4 条第 2 項に基づき、府県計画を定めようとするときは、湾、灘その他の海域の実情に応じたものとなるよう、当該湾、灘その他の海域を単位として関係者により構成される協議会の意見を聴き、その他広く住民の意見を求める等、必要な措置を講ずるものとされている。湾・灘協議会は、令和 5 年 1 月現在、6 県で計 8 協議会が設置されており、これらを能動的運転管理の協議の場として活用されている。



### 「豊かな海づくりに係る検討会」(H20.9～)

### 『湾・灘協議会の設置状況（参考）』 出典）環境省提供資料

| 府県  | 協議会等の名称            |
|-----|--------------------|
| 兵庫県 | 播磨灘等環境保全協議会        |
| 岡山県 | 播磨灘・備讃瀬戸環境保全岡山県協議会 |
| 広島県 | 広島県東部湾灘協議会         |
|     | 広島県中部湾灘協議会         |
|     | 広島県西部湾灘協議会         |
| 山口県 | 山口県瀬戸内海環境保全協会      |
| 香川県 | かがわ「里海」づくり協議会      |
| 徳島県 | 徳島県湾・灘協議会          |

### (3) 栄養塩類増加の目的、対象栄養塩類、実施期間

下水道管理者は、栄養塩類増加の目的や実施期間等に関する要望などを確認し、下水処理場で行う能動的運転管理の実施について、協議会等において合意形成を図った上で開始することが望ましい。

既に能動的運転管理を導入している処理場では、放流先におけるノリの生育や色落ち防止を目的として、窒素を増加させる運転を行っている事例が多い。また、福岡市では放流先（博多湾）における水産生物の生育等にとって、りんが不足している調査結果に基づき、りんを増加させる運転を行っている。

なお、栄養塩類の増加運転期は平均：5ヶ月程度である。

表 2-6 能動的運転管理の導入目的（対象水産生物・対象栄養塩類）別の下水処理場数内訳

| 対象         | 対象       | 下水処理場総数・内訳 ※1   |     |     |      |     |
|------------|----------|-----------------|-----|-----|------|-----|
|            |          | 総数              | 有明海 | 博多湾 | 瀬戸内海 | 伊勢湾 |
| 対象水産生物     | ノリ       | 39              | 5   | 1   | 28   | 5   |
|            | アサリ      | 4               |     |     | 1    | 3   |
|            | カキ       | 2               |     |     | 2    |     |
|            | ワカメ・昆布   | 5               |     |     | 5    |     |
|            | 稚魚類 ※2   | 4               |     |     | 4    |     |
|            | 植物プランクトン | 1               |     |     |      | 1   |
| ※1：複数回答を含む |          | ※2：ちりめん・イカナゴの稚魚 |     |     |      |     |

対象水産生物

対象栄養塩類

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート（令和3年度実施）

表 2-7 季節別運転の増加運転期（月数）の実績

|    | 令和元年度 | 令和2年度 ※2 |
|----|-------|----------|
| 最長 | 7.5   | 7.0      |
| 最短 | 2.5   | 2.0      |
| 平均 | 5.0   | 5.0      |

※1：準備、切替期間（移行期・回復期）を除く

※2：令和2年度は一部の処理場を除き、R3.3までの期間で集計

表 2-8 増加運転期の期間と季節別運転開始月の関係

| 増加期間区分 | 令和元年度の増加期間開始区分           |
|--------|--------------------------|
| 7ヶ月以上  | 10月から11月から。計3放流系統        |
| 6ヶ月前後  | 10月あるいは11月からが主。12月から1処理場 |
| 5ヶ月前後  | 11月からが主、一部10月から          |
| 4ヶ月前後  | 12月からが主。11月下旬から1系統       |
| 4ヶ月未満  | 11月から、1月下旬から各1処理場        |

※通年増加運転のピーク増加期例（1箇所）：11月～6ヶ月

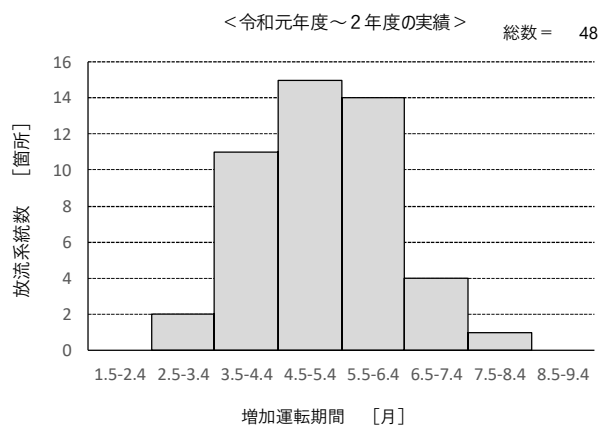


図 2-8 季節別運転の増加運転期の期間（月数）の分布

## 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。

### 【解説】

能動的運転管理の検討フローを図 2-9 に示す。導入の検討にあたっては、基本事項の確認、試運転案の策定、運転ルールの検討を行った上で試運転を開始する。

試運転にあたっては、一部の系列の運転を切替え、水質データを集積することから開始することが望ましい。その後、BOD などの法令項目の放流水質基準を遵守しつつ、安定的な運転管理が行えるかを検証し、PDCA を繰り返しながら試行に移行するとともに、試行段階では、より効果的な運転管理を目指す。これまでの事例では、安定的な運転管理（試行）までには数年以上の期間を要する場合が多く、関係機関からの要請に対して、運転方法を試行的に変更している場合も多い。このため、能動的運転管理を実施する下水道管理者は、運転データの蓄積状況や運転管理の熟度に応じて、図 2-9 に示す検討フローに基づき、効果的で安定した運転方法の確立を目指すとともに、将来的には、流総計画の季節別処理水質を定める等、長期的な運用を図ることとする（本運用）。

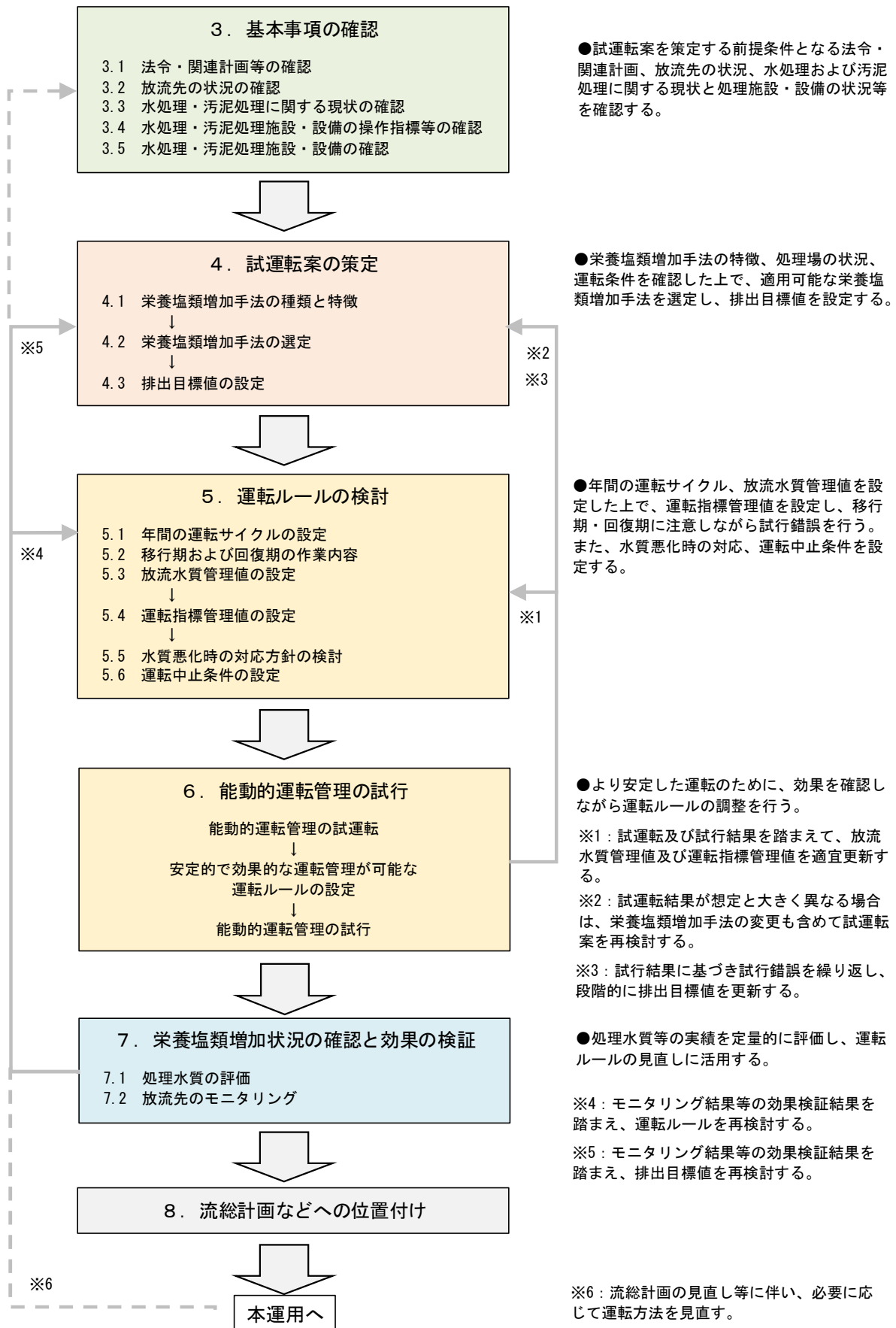


図 2-9 能動的運転管理の検討フロー

検討フローの各項目で行う確認事項のリスト例を示す。

(1) 法令・関連計画等の確認

|   |
|---|
| 下水処理場及び水環境に係る法令・関連計画等に基づき、以下の確認を行う                  |
| <input type="checkbox"/> 水質汚濁に係る環境基準                |
| <input type="checkbox"/> 排水基準、上乘せ排水基準（水質汚濁防止法）      |
| <input type="checkbox"/> 総量規制基準L値及びC値（水質汚濁防止法・瀬戸内法） |
| <input type="checkbox"/> 計画処理水質（流域別下水道整備総合計画）       |
| <input type="checkbox"/> 計画放流水質（事業計画）               |

(2) 放流先の状況の確認

|  |
|--|
| 協議会等を通じて、以下の確認を行う  |
| <input type="checkbox"/> 海域環境（環境基準の類型・達成状況、水質、赤潮・青潮発生件数など） |
| <input type="checkbox"/> 水産生物（漁場、養殖場等の位置、漁期など）             |
| <input type="checkbox"/> 流況（季節ごとの流向、流速、潮位など）               |
| <input type="checkbox"/> 河川から海域への流入負荷                      |
| <input type="checkbox"/> 水辺利用（海水浴、ヨットなど）の状況                |

(3) 水処理・汚泥処理に関する現状の確認

|   |
|---|
| 水処理や汚泥処理の現状の基本事項として、以下の確認を行う                                      |
| <input type="checkbox"/> 水処理能力（各処理工程、汚泥処理返流水の処理水量、水質、負荷量、運転条件等）   |
| <input type="checkbox"/> 汚泥処理能力（各処理工程の処理汚泥量、汚泥性状、物質収支、運転条件、稼働時間等） |

(4) 水処理・汚泥処理施設・設備の操作指標等の確認

|   |
|---|
| 既存施設・設備について、以下の確認を行う  |
| <input type="checkbox"/> 栄養塩類増加運転に関わる運転指標、運転条件項目と操作指標と操作量項目の関係の理解 |
| <input type="checkbox"/> 既存の汚水処理施設・設備の操作指標と操作量項目及び関連する計装設備        |
| <input type="checkbox"/> 既存の汚泥処理施設・設備の操作指標と操作量項目及び関連する計装設備        |

(5) 水処理・汚泥処理施設・設備の確認

|   |
|---|
| 既存の処理施設・機械設備・電気計装設備等について以下の確認を行う  |
| <input type="checkbox"/> 水処理施設土木躯体の施設諸元、構造、運用状況（分配槽やステップ水路等も含む）                   |
| <input type="checkbox"/> 水処理施設機械設備の設備能力、操作可能範囲、操作量調節方法、分配制御方式等                    |
| <input type="checkbox"/> 水処理施設電気計装設備の設置状況<br>（計測器の種類、設置場所、計測範囲等、制御装置の制御対象と制御方式 等） |
| <input type="checkbox"/> 消毒設備（消毒方法、消毒強度の調整可能範囲）                                   |
| <input type="checkbox"/> 既存の汚泥処理施設・設備の処理能力の確認結果を踏まえた、総合的な設備調整範囲の確認                |
| <input type="checkbox"/> 汚泥処理返流水の現状（返流水の流入箇所など）                                   |

(6) 栄養塩類増加手法の選定

|   |
|---|
| 以下の確認及び選定を行う                              |
| <input type="checkbox"/> 増加手法の選定に必要な項目の確認 |

(増加が求められる栄養塩類の種類、要望されている排出目標値、窒素・りん除去に関する現在の運転方法、現状の施設・設備の条件、既存施設・設備の能力や調整範囲)

- 栄養塩類増加手法の選定
- 系列の設定 (試運転を行う系列、バックアップ系列)

#### (7) 排出目標値の設定

以下の確認及び設定を行う

- 余剰汚泥中の窒素・りん含有率の確認
- 栄養塩類の理論上の最大放流負荷量の算出
- 流総計画で位置づけられた目標値の確認
- 瀬戸法第12条の6第2項第2号の栄養塩類管理計画における目標値の確認
- 地域の計画において設定された目標値の確認
- 当該下水処理場での実績に基づく目標値の設定
- 試運転結果の確認と試行錯誤の繰り返しによる排出目標値の段階的な更新

#### (8) 運転ルールの検討

以下の項目等の方針設定を行う

- 年間の運転サイクル (通常期、準備期、移行期、増加運転期、回復期) の各期間の運転方針と切替時期
- 移行期及び回復期の作業内容
- 放流水質管理値
- 運転指標項目等 (運転指標と運転条件、操作指標と操作量)
- 運転指標管理値 (送風倍率、MLDO、MLSS 等)
- 水質悪化時の対応方針
- 運転中止条件
- 水産部局、環境部局の理解のもと、放流先水域の関係者の合意形成が図られているか

#### (9) 能動的運転管理の試行

試運転において運転ルールを試行錯誤し、以下を評価して試行に移行する

- 安定的かつ効果的な運転管理が可能な運転ルールであること

#### (10) 栄養塩類増加状況の確認と効果の検証

以下の情報を蓄積し、運転ルールの見直しに活用することが望ましい

- 運転条件と放流水の水量・水質変化の関係性・効果に関するデータの集積  
(機能調査：運転項目の操作範囲と効果の関係、対象栄養塩類以外の水質への影響等)
- 放流先の水質や環境変化のモニタリング。効果等の傾向分析結果の情報  
(関係部局との適切な役割分担により実施)

#### (11) 流総計画への位置づけ

効果的で安定した運転方法を確立し、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

- 試行中：中長期整備方針の見直しに合わせて、流総計画へ定める
- 本運用：効果的で安定した運転方法を確立した上で、流総計画に季節別処理水質を定める



### 3. 基本事項の確認

#### 3.1 法令・関連計画等の確認

能動的運転管理の導入の検討にあたっては、放流先の水域及び下水処理場の放流水に係る法令や関連計画等を確認する。

#### 【解説】

能動的運転管理は、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、導入を検討する必要がある。

このため、放流先の水域及び下水処理場の放流水に係る法令や関係計画等に留意する。

また、人口減少等に伴う流入水量・水質の見通しや水処理の計画、統廃合計画等の将来計画との整合を図る。特に、高度処理の導入にあたっては窒素やりんの排出率に影響を及ぼすため、留意が必要である。

| 水質規制関連   | 関連計画   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・環境基本法（水質環境基準）</li> </ul>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・水質汚濁防止法、施行令、施行規則</li> <li>・排水基準を定める省令</li> <li>・排水基準を定める省令の規定に基づく環境大臣が定める排水基準に係る検定方法</li> <li>・化学的酸素要求量についての総量規制基準に係る業種その他の区分及びその区分ごとの範囲</li> <li>・化学的酸素要求量に係る汚濁負荷量の測定方法</li> <li>・窒素含有量についての総量規制基準に係る業種その他の区分及びその区分ごとの範囲</li> <li>・りん含有量についての総量規制基準に係る業種その他の区分及びその区分ごとの範囲</li> <li>・都道府県条例による上乘せ基準 等</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・水質汚濁防止法に基づく総量削減計画、総量削減基準</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・下水道法、施行令、施行規則</li> <li>・下水の水質の検定方法等に関する省令</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・流域別下水道整備総合計画（基本方針、当該府県の流総計画）</li> <li>・事業計画</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・瀬戸内海環境保全特別措置法、施行令、施行規則</li> <li>・有明海及び八代海等を再生するための特別措置に関する法律、施行令、施行規則</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・瀬戸内海特別措置法に基づく府県計画、栄養塩類管理計画</li> <li>・有明海及び八代海等を再生するための特別措置に関する法律に基づく基本方針、県計画</li> <li>・その他、特定の海域等における府県計画</li> <li>・当該湾環境保全計画</li> </ul> |



### 3.2 放流先の状況の確認

能動的運転管理の導入にあたっては、協議会等を通じて、放流先の海域の環境、水産生物の状況、流況などを確認する。

#### 【解説】

能動的運転管理の導入にあたっては、下水処理場の放流水が周辺海域におよぼす効果や影響を把握するために、協議会等を通じて各種情報を確認しておくことが望ましい。

確認が必要な情報としては、以下の事項が考えられる。

- ・ 海域環境（環境基準の類型・達成状況、水質、赤潮・青潮発生件数など）
- ・ 水産生物（漁場、養殖場等の位置、漁期など）
- ・ 流況（季節ごとの流向、流速、潮位など）
- ・ 河川から海域への流入負荷量
- ・ 水辺利用（海水浴、ヨットなど）の状況

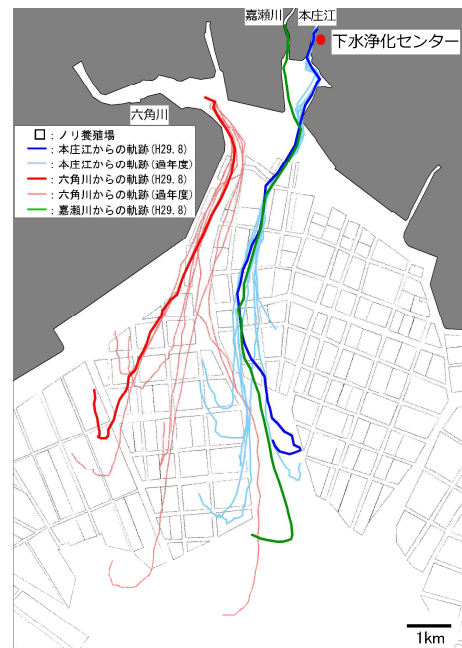
佐賀市の事例では、能動的運転管理の導入時にノリの養殖への影響を確認するため、放流水の流況調査を行っている。具体的には、満潮時に放流口に浮かべたブイの動き（位置）を1時間毎に記録し、図3-1のような流況図を作成し、放流水がノリ養殖場に到達するかを確認している。また、大牟田市などでも同様に潮流調査を行っている。

目的: 処理水のノリ養殖海域における流れを把握するため。



調査ブイの漂流状況(嘉瀬川河口)

本庄江、嘉瀬川及び六角川からの流れは、それぞれの**滞筋を流下してノリ養殖場に到達している**こと、六角川からの流れの方向は、本庄江及び嘉瀬川からの流れと比べて西側に流れる傾向であることを確認した。



本庄江・嘉瀬川・六角川からの流況

図 3-1 放流水の流況調査の事例（佐賀市）

### 3.3 水処理・汚泥処理に関する現状の確認

当該処理場の水量・水質、処理方法、処理能力、汚泥量・汚泥性状、汚泥処理能力等の基本事項を確認する。

#### 【解説】

能動的運転管理の導入にあたっては、水処理能力や汚泥処理能力を把握するため、流入水量・水質、汚泥量・汚泥性状など、現状の基本事項を処理プロセス及び系列毎に確認する。水処理に関する主な確認事項を表 3-1 に、汚泥処理に関する事項を表 3-2 に示す。

表 3-1 水処理に関する主な現状確認項目

|           | 項目                 | 系列別          |             |              |             |     |                         | 総合  |
|-----------|--------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-----|-------------------------|-----|
|           |                    | 反応タンク<br>流入水 | 嫌気タンク<br>末端 | 無酸素タンク<br>末端 | 好気タンク       | 処理水 | 返送汚泥                    | 放流水 |
| 量的項目      | 水量                 | ○            |             |              | ○<br>(循環水量) |     | ○                       |     |
|           | 送風量                |              |             |              | ○           |     |                         |     |
| 質的項目      | BOD                | ○            | ○           | ○            |             | ○   |                         | ○   |
|           | S-BOD              |              |             |              |             | ○   |                         | ○   |
|           | C-BOD              |              |             |              |             | ○   |                         | ○   |
|           | SS                 | ○            |             |              |             | ○   |                         | ○   |
|           | T-N                | ○            |             |              |             | ○   | ○ <sup>*</sup><br>(汚泥中) | ○   |
|           | NO <sub>2</sub> -N |              | ○           | ○            | ○           | ○   |                         | ○   |
|           | NO <sub>3</sub> -N |              |             |              |             |     |                         |     |
|           | NH <sub>4</sub> -N | ○            |             |              | ○           | ○   |                         | ○   |
|           | T-P                | ○            |             |              |             | ○   | ○ <sup>*</sup><br>(汚泥中) | ○   |
|           | PO <sub>4</sub> -P | ○            | ○           | △            | ○           | ○   | △<br>(ろ液中)              | ○   |
|           | 水温                 |              |             |              | ○           |     |                         |     |
|           | ORP                |              | ○           | ○            |             |     |                         |     |
|           | pH                 | ○            |             |              | ○           | ○   |                         | ○   |
|           | MLSS<br>RSSS       |              |             |              | ○           |     | ○ <sup>*</sup>          |     |
| SV<br>SVI |                    |              |             | △            |             |     |                         |     |
| MLDO      |                    |              |             | ○            |             |     |                         |     |

○：水質管理を目的として定期的に行う項目

△：適宜試験を行うことが望ましい項目

※：返送汚泥と余剰汚泥が異なる場合は余剰汚泥で測定

出典) 下水道施設計画・設計指針と解説 後編, 2019 年版, 公益社団法人 日本下水道協会 (p. 225, 表 6.7.35) を参考に加筆

なお、硝化速度試験<sup>\*1</sup>や脱窒速度試験<sup>\*2</sup>を行っている場合は、これらの試験結果も活用することが望ましい。

※1：下水試験方法上巻-2012 年版- (公財) 日本下水道協会 p. 706 参照

※2：下水試験方法上巻-2012 年版- (公財) 日本下水道協会 p. 708 参照

表 3-2 汚泥処理に関する主な現状確認項目

| 汚泥処理プロセス | 量的項目 |            | 質的項目   |        | 処理状況 |
|----------|------|------------|--------|--------|------|
|          | 投入量  | 引抜量<br>発生量 | 投入汚泥性状 | 処理汚泥性状 | 稼働時間 |
| 重力濃縮     | ○    | ○          | ○      | ○      | —    |
| 機械濃縮     | ○    | ○          | ○      | ○      | ○    |
| 脱水       | ○    | ○          | ○      | ○      | ○    |
| 焼却・最終処理  | ○    | ○          | ○      | ○      | ○    |

栄養塩類増加状況の確認と効果の検証には、窒素やりん収支の把握が重要となるため(第7.1章参照)、標準法施設においても増加対象となる窒素・りんに関する項目に加え、余剰汚泥固形物中の窒素やりん含有率も測定が必要となる。また、最終沈殿池の固液分離が課題になる場合があるため、その指標としてSV(SVI)と水温も併せて確認することが重要である。

また、SRT(ASRT)を運転指標とする場合には、汚泥量や性状が変動するため、現状の汚泥量及び性状や処理プロセスの稼働時間の把握が必要となる。

なお、増加対象とする栄養塩類の種類や既存の処理方法に応じて、各槽及び各系列にかかる有機物や栄養塩類の負荷条件を変更する手法を選択する機会が多いため、下水道事業計画や容量計算の考え方等を用いて、現状の処理能力や施設数(池数や反応槽数)を把握しておく必要がある。

### 3.4 水処理・汚泥処理施設・設備の操作指標等の確認

能動的運転管理において栄養塩類の増加を行うために必要な既存の施設・設備について、操作指標と操作量に関する項目を確認する。

#### 【解説】

栄養塩類の増加手法の選定やその運転条件\*は、既存の施設や設備の操作指標と操作量に基づいて設定する必要がある。このため、汚水処理や汚泥処理の施設・設備の操作指標と操作量及び関連する計装設備等に関する情報を整理し、留意事項や課題点を確認する。

栄養塩類増加運転に関わる主要な操作指標と操作量に関する項目を図3-2～図3-5に示す。

※操作指標と操作量はその操作を行う目的である運転指標、運転条件項目との関係を理解しておくことが重要であるため、インプット指標として【運転指標と運転条件】についても図3-2～図3-5に合わせて示す(第4章、第5.4章、第7.1章参照)。

●硝化抑制

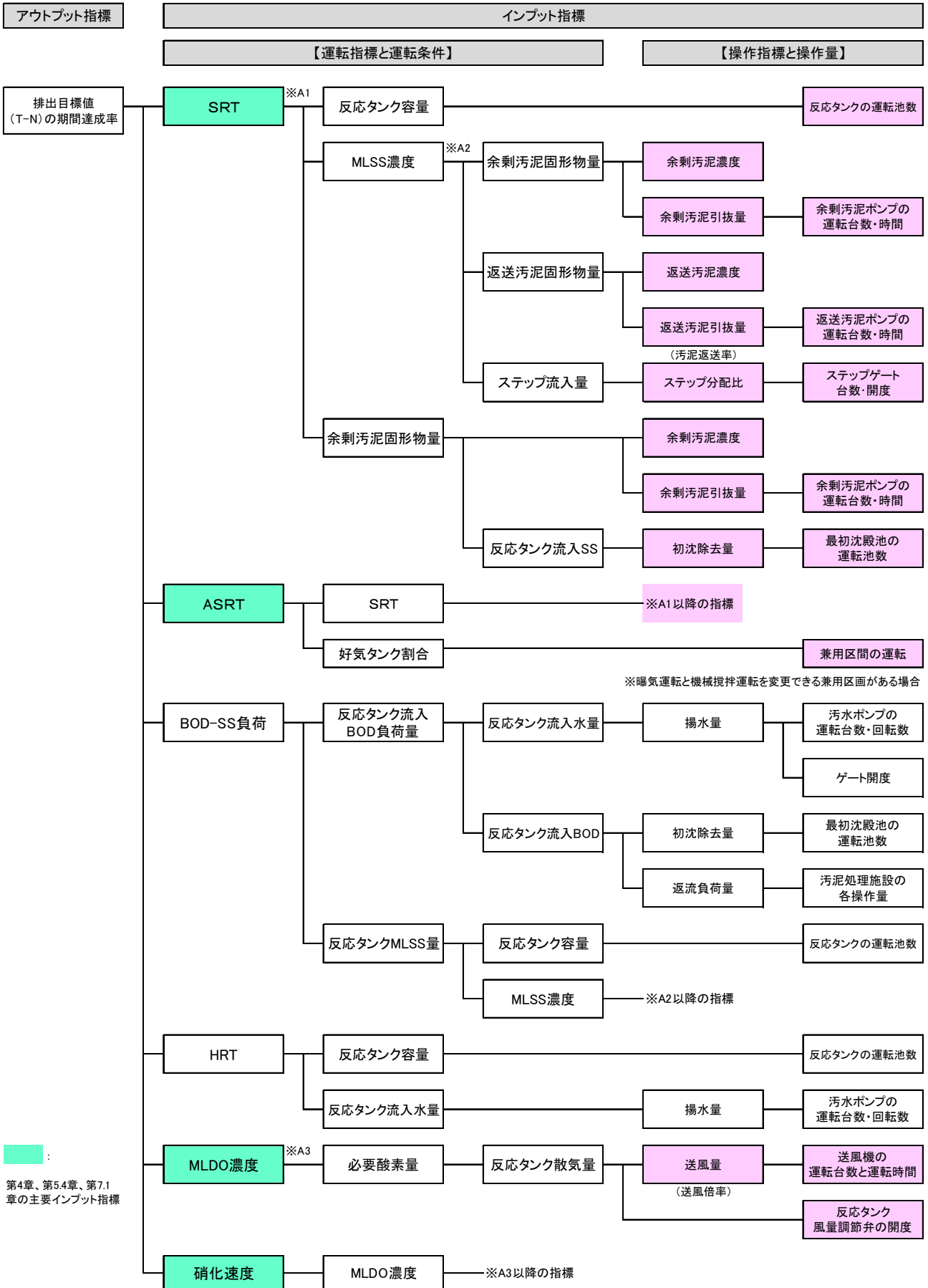
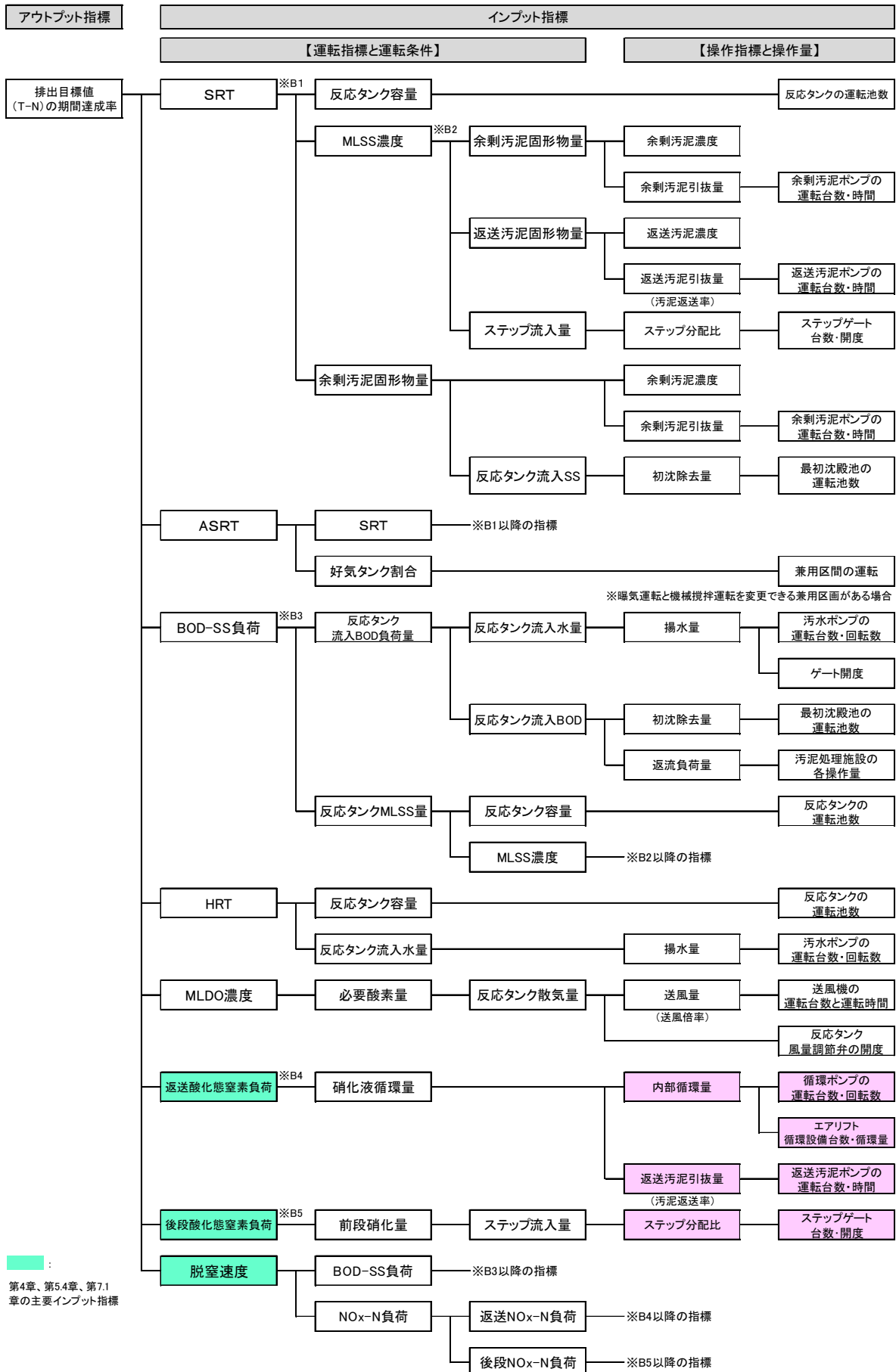


図 3-2 硝化抑制の主要な運転・操作因子

●脱窒抑制



第4章、第5.4章、第7.1章の主要インプット指標

図 3-3 脱窒抑制の主要な運転・操作因子

●凝集剤添加率の削減

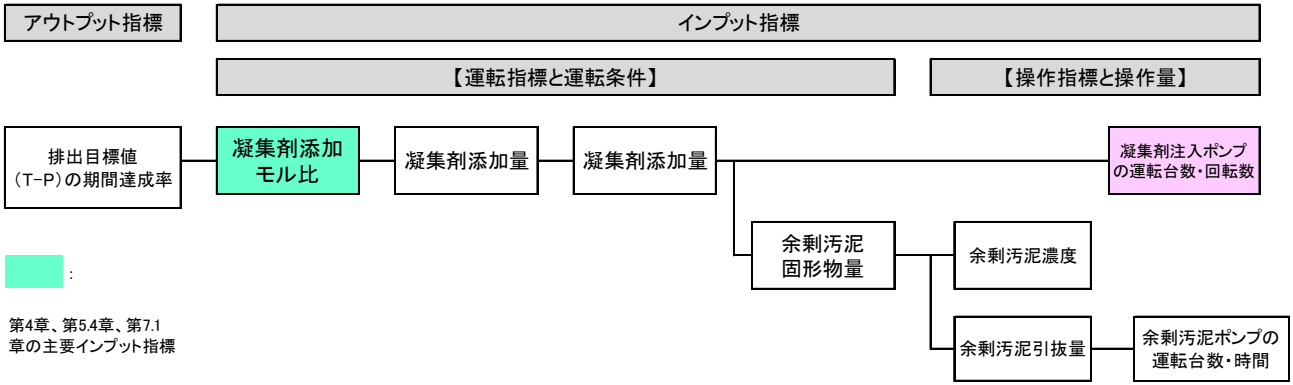


図 3-4 凝集剤添加率の削減の主要な運転・操作因子\*

※ 凝集剤添加率の削減状況とりんの増加状況（第 4.3 章、第 7.1 章参照）の確認結果等を踏まえて、必要に応じて生物学的りん除去抑制の主要な運転・操作因子（図 3-5）を参照する。

●生物学的りん除去抑制

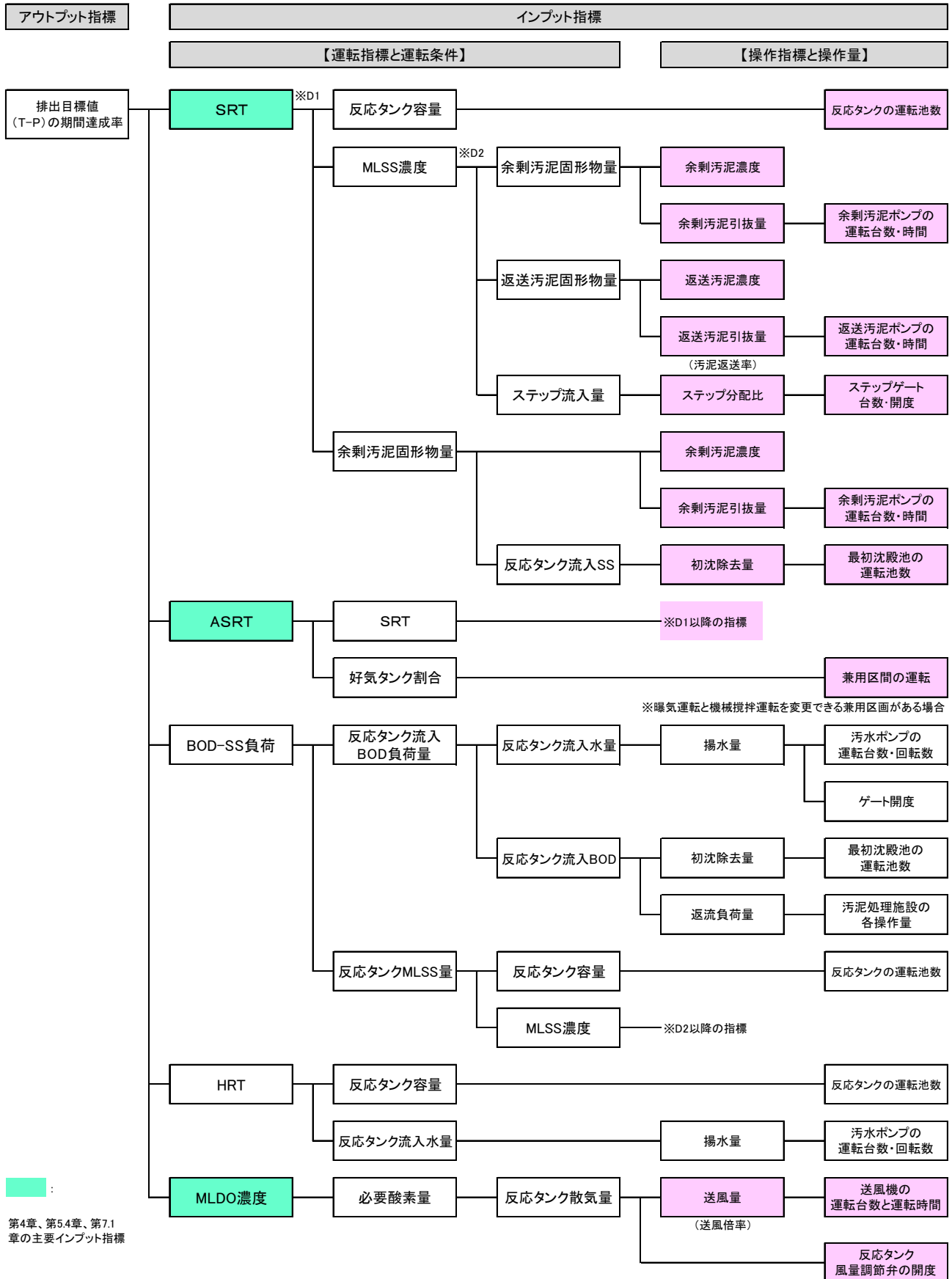


図 3-5 生物学的りん除去抑制の主要な運転・操作因子

### 3.5 水処理・汚泥処理施設・設備の確認

能動的運転管理の導入にあたっては、既存の処理施設・機械設備・電気計装設備等の整備状況や操作可能な範囲を確認する。

#### 【解説】

#### (1) 水処理施設の確認

##### 1) 土木躯体

既存施設の土木躯体については、現状の各系列の反応槽の運用方法（全面好気、前槽の風量制限状況等）に加え、反応槽の寸法や容量、槽内を嫌気槽・無酸素槽・好気槽等に仕切る隔壁の設置位置や形状を把握する。

また、ステップ処理<sup>※1</sup>を行う場合には、ステップ流入水路やステップ流入ゲートの有無、反応槽内の流入箇所や分配方法等を確認する。同様に、最初沈殿池のバイパスを行う可能性を考慮して、最初沈殿池のバイパス水路・ゲート類について確認する。

※1：ステップ流入ゲートがある場合でも、既存施設をステップ流入式多段硝化脱窒法として運用する場合には、硝化を完全に進行させる反応槽容量と空気量、及び脱窒を行うための無酸素槽容量が必要なため、その適否について容量計算の考え方を用いて確認する必要がある（第3.3章参照）。

表 3-3 施設・設備の確認内容例（土木躯体）

|    | 運用                                | 施設諸元※                      | 構造                      | ステップ水路等※   |
|----|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|--|
| 内容 | 例)<br>O000<br>O000（前段微曝気）<br>AOAO | 例)<br>寸法<br>容量<br>池数<br>階層 | 例)<br>隔壁の設置位置<br>隔壁の形状※ | 例)<br>ステップ流入水路<br>ステップ流入位置<br>ステップ流入ゲート<br>初沈バイパス水路<br>初沈バイパスゲート |
| 備考 | O：好気槽<br>A：嫌気槽                    | ※分配槽（流入、返送）を含む             | ※底部のみならず上部開口、スリット位置など   | ※分配堰を含む  |

##### 2) 機械設備

栄養塩類の増加運転では、各系、各池の流入負荷配分や槽配分（槽割）の変更や、処理水質の変動に応じた細やかな管理を行うことが求められる。このため、操作可能な運転操作項目とその操作範囲を把握することを目的に、主に以下に示す項目について確認・把握する。



表 3-4 施設・設備の確認内容例（機械設備）

| 対 象     | 内 容   | 備 考  |
|---------|---|--|
| 送風設備    | <ul style="list-style-type: none"> <li>送風機能力（容量・台数）</li> <li>送風機風量調整可能範囲※1</li> <li>送風機風量調節方法</li> <li>系列・池への分配制御方式※2、※3</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>※1：サージング領域を確認すること</li> <li>※2：槽単位での風量調整方式、計量器の設置状況を確認すること</li> </ul>  |
| 散気設備    | <ul style="list-style-type: none"> <li>散気装置の設置場所（槽）※1</li> <li>散気水深</li> <li>散気装置の種類※3</li> <li>エアレーション方式※3</li> <li>散気装置の能力（容量・基数）</li> <li>散気装置の調整可能範囲※4※5</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>※1：嫌気槽を含む（生物学的りん除去抑制を想定する場合）※2</li> <li>※2：送気設備の有無を確認（嫌気槽）</li> <li>※3：送風量抑制時に混合液の攪拌性能の低下が懸念される場合は要調査。</li> <li>※4：散気装置の種類により、低風量を継続した場合に設備寿命が短くなる場合があることに留意</li> <li>※5：OD 法や長時間エアレーション法の場合は好気時間等の範囲を含む</li> </ul> |
| 返送設備    | <ul style="list-style-type: none"> <li>返送汚泥ポンプ能力（容量・台数）</li> <li>返送汚泥ポンプ調整可能範囲</li> <li>系列内の分配制御方式※1</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>※1：池単位か共通（分配か）</li> </ul>   |
| 循環設備    | <ul style="list-style-type: none"> <li>循環方式※1</li> <li>循環ポンプ能力（容量・台数）</li> <li>循環ポンプ調整可能範囲</li> <li>系列内の分配制御方式※3</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>※1：エアリフト循環※2かどうか</li> <li>※2：エアリフトポンプの場合も含めて、その定量方法や制御方法を確認</li> <li>※3：配管方式（池単独）か共通水路方式（2池共通）か等</li> </ul>   |
| 攪拌設備    | <ul style="list-style-type: none"> <li>攪拌方式※1</li> <li>攪拌機能力（容量・台数）</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>※1：攪拌機か微曝気攪拌※2かどうか</li> <li>※2：微曝気攪拌の場合、散気設備を参照</li> </ul>  |
| 凝集剤注入設備 | <ul style="list-style-type: none"> <li>凝集剤注入ポンプ能力（容量・台数）</li> <li>凝集剤注入ポンプ調整可能範囲</li> <li>系列内の分配制御方式※1</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>※1：池単位か共通（分配か）</li> </ul>   |

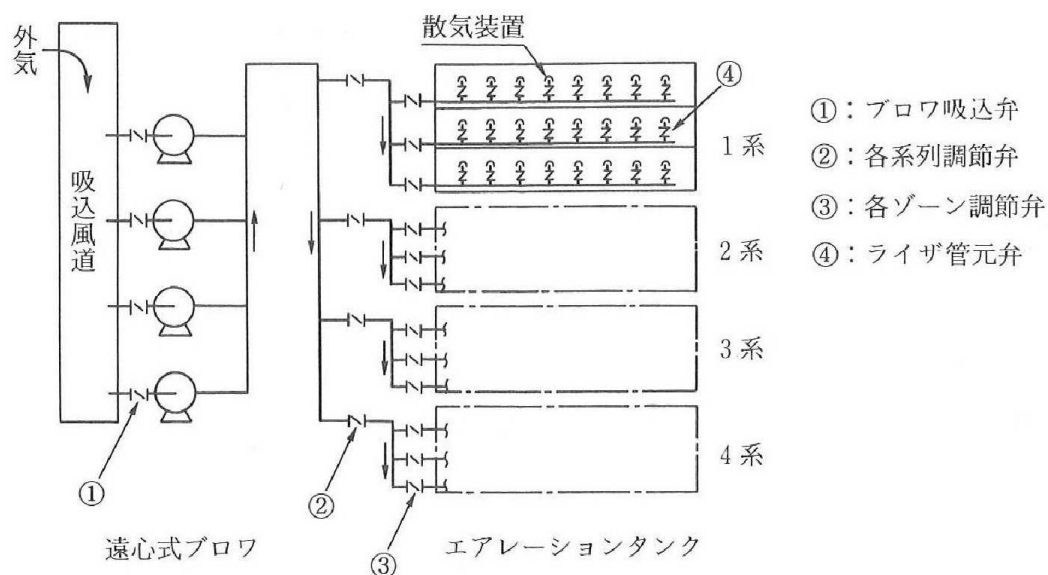


図 3-6 反応槽送風量調節系統図の例  
 出典) 下水道維持管理指針実務編-2014年版-

- ・送風機能力と調整制御方式：硝化抑制や生物学的りん除去抑制では、槽配分（槽割）の変更や送風量の変更が想定されることから、送風機の容量及び台数、送風機の風量調整可能範囲を確認する。また、系列や池への分配制御方式や槽単位での風量調整方式（図 3-6）を確認する。フローメーターの設置状況など、槽単位の空気吹き込み量の把握の可否について確認を行う。
- ・散気装置の能力：好気槽における送風量の抑制や槽配分（槽割）変更の可否、散気装置の設置位置、及び調整可能範囲を確認する。なお、散気装置の種類やエアレーション方式によっては、送風量を抑制した場合に混合液の攪拌性能が大きく低下し、活性汚泥の凝集性や処理水質に影響を及ぼす可能性があるため、必要送風量の容量計算の結果、それらが懸念される場合は、空気吹き込み量と槽内の攪拌状況についての詳細調査を行うことも検討する。オキシデーショondiッチ法の場合<sup>\*1</sup>は、無酸素ゾーンは攪拌・エアレーション装置の回転数制御又は間欠運転により設定されることに留意して設備の確認を行う必要がある（切替期の作業内容例は第 5.2 章参照）。また、長時間エアレーション法のように、好気時間帯と無酸素時間帯のサイクルを設定する設備の場合は、サイクル設定の調整範囲の確認が必要となる。
- ・嫌気槽・無酸素槽への送風運転の可否：A0 法や A<sub>2</sub>O 法において生物学的りん除去抑制を検討する場合、嫌気槽（又は無酸素槽）に送風する運転が想定されることから、散気装置の有無や能力、調整可能範囲を確認する。
- ・返送汚泥系統とポンプ能力：脱窒抑制において返送汚泥ポンプを用いて硝化液循環を抑制する場合は、返送汚泥を共有する系列／池等の単位となる。このため、返送汚泥系統について、現状の運用及び施設・設備的にどのような運用が可能か確認する。また、従来よりも返送汚泥引抜量を少なくすることが想定されることから、ポンプの形式や台数、汚泥量の調整方法、調整可能範囲及び分配制御方式を確認する。分配槽にて各池に分配している場合、各池の SRT（ASRT）条件を同程度に管理しやすいメリットと比較実験を行いにくいというデメリットの両面がある。
- ・内部循環量の調整方法：脱窒抑制では特に、内部循環量の操作性や定量性が求められる。循環ポンプを使用して内部循環を行っている場合は、返送汚泥と同様に循環系統について、現状の運用及び施設・設備的にどのような運用が可能か確認する。また、従来よりも内部循環量を少なくすることが想定されることから、ポンプの形式や台数、汚泥量の調整方法や調整可能範囲を確認する。内部循環をエアリフト方式で行っている場合は、循環量の定量方法や制御方法、停止の可否などを確認する。
- ・嫌気槽／無酸素槽の槽配分（槽割）変更に伴う攪拌運転：反応槽内の槽又はゾーンを嫌気状態（又は無酸素状態）に変更の可否を確認する。なお、嫌気槽（又は無酸素槽）においては、必ずしも機械攪拌を要しないことから、攪拌機の設置状況に加え、散気装置の微曝気運転による攪拌の可能性を確認する。オキシデーショondiッチ法の場合は<sup>\*1</sup>、前述の通り、無酸素ゾーンの設定は攪拌・エアレーション装置の回転数制御又は間欠運転により行われることから、タンク内で活性汚泥が沈殿しやすくなる場合があることに留意する必要がある。

- 凝集剤添加設備の有無：りんの増加手法の選定に必要である。凝集剤添加率の削減によるりん除去抑制を検討する場合には、凝集剤注入ポンプの調整可能範囲を確認する。凝集剤添加率の調整幅とりんの増加の応答性が池単位で大きく異なる場合があることから、凝集剤の分配制御方式についても確認する。なお、最終沈殿池での汚泥浮上や SS の流出が生じる恐れがある場合の対応についても確認が必要である。

※1：高度処理オキシデーションディッチ法を含む

### 3) 計装設備

硝化が進行し、最終沈殿池での脱窒が生じると活性汚泥が浮上し、これが処理水とともに流出して処理水の悪化や pH 低下が起こる場合もある。また、硝化が不十分な状態では残留したアンモニア態窒素が酸素を消費するため BOD 測定値が高くなる、亜硝酸によって COD 測定値が高くなる、あるいは大腸菌群数が増加する場合などがある。これらの可能性を踏まえ、主に以下に示す設備について把握する必要がある。

- 流入水量計、風量計及び返送汚泥流量計の設置状況（設置箇所、計測施設範囲等）を確認する。
- 水質計測装置としては、系列毎に pH 計、DO 計、MLSS 計、返送汚泥濃度計、COD 計、T-N 計、T-P 計、アンモニア濃度計等の設置状況（設置箇所、計測施設範囲等）を確認する。
- 制御装置としては、DO 計等による送風量制御の可否や、返送汚泥や余剰汚泥に係る制御方式を確認する。

表 3-5 水処理施設の制御方式と計測器の例(1)

| 区分        | 制 御 対 象 |  | 制 御 方 式             |   | 主な<br>関連計測器   | 備考                                |
|-----------|---------|--|---------------------|---|---|-----------------------------------|
|           | 設備名称    | 被制御機器群   | 制御ループ名称             | 制御内容  |   |                                   |
| 反応<br>タンク | 送気設備    | 風量調整弁<br>油圧装置  | ・送気風量制御<br>・DO 一定制御 | ・開度制御<br>空気調整弁の開度を汚水流量に比率、又は DO により制御する。  | ・DO 計<br>・風量計<br>・ORP 計                                     | 送気風量を一定に保つ制御もある。                  |
|           | 送風機設備   | 送風機<br>吸込弁<br>吐出弁<br>冷却水ポンプ<br>潤滑油ポンプ<br>冷却塔<br>エアフィルタ | 送風機制御               | ・送気圧力一定制御<br>送風機の吸い込み風量の制御及び台数制御を行い、送風機群の送気圧力を一定に保つ制御。<br>・連動制御<br>エアフィルタ、冷却水ポンプ等を主機に連動させる制御。 | ・送気風量計<br>・送気圧力計<br>・吸込温度計<br>・送気温度計<br>・吸込ベーン開度計<br>・吸込風量計 | 送風機の形式によっては速度制御を行う。送気設備との制御特性に注意。 |
|           | 返送汚泥設備  | 返送汚泥調整弁<br>返送汚泥可動堰<br>返送汚泥ポンプ<br>汚泥引抜き弁                | ・返送汚泥比率制御           | ・比率制御<br>汚水流量による比率制御、返送ポンプは台数及び速度制御。調整弁等は、開度制御。   | ・返送汚泥濃度計<br>・返送汚泥流量計<br>・MLSS 計                             | 返送汚泥量を一定に保つ制御もある。                 |

表 3-6 水処理施設の制御方式と計測器の例(2)

| 区分    | 制御対象                 |  | 制御方式     |  | 主な関連計測器                        | 備考                    |
|-------|----------------------|--|----------|--|--------------------------------|-----------------------|
|       | 設備名称                 | 被制御機器群                                 | 制御ループ名称  | 制御内容                                     |                                |                       |
| 最終沈殿池 | 汚泥かき寄せ機設備            | 汚泥かき寄せ機                                | ・継続運転制御  | ・復電後に自動的に再度運転にはいる。                       |                                | 連続かき寄せのための処置。         |
|       | スカム除去設備<br>(最初沈殿池参照) | スカムスキマ<br>スカム排水ポンプ<br>スカム洗浄機<br>スカム脱水機 | ・スカム除去制御 | ・定時制御<br>一定時間毎にスキマの開閉を行う制御。              | ・スカム排水槽液位計                     | スカム排水先の制御条件を考慮する。     |
|       | 余剰汚泥設備               | 余剰汚泥ポンプ<br>汚泥引抜弁                       | ・余剰汚泥制御  | ・定時制御<br>スケジュールタイマー等により一定時間の汚泥の移送を行う制御。  | ・余剰汚泥流量計<br>・汚泥界面計<br>・SV計     | 汚泥濃度や流量プリセットによる制御もある。 |
| 消毒設備  | 次亜塩注入設備              | 次亜塩注入ポンプ<br>次亜塩貯留槽                     | ・次亜塩注入制御 | ・注入量一定制御<br>・注入量比率制御<br>注入量を放流量の比率で制御する。 | ・次亜塩注入量計<br>・次亜塩貯留槽液位計<br>・残塩計 | 過注入に注意する。             |

出典) 下水道維持管理指針実務編-2014年版-

#### 4) 消毒設備

大腸菌群数やN-BODが増加する可能性を踏まえ、消毒強度の調整可能範囲を確認する(第5.5章参照)。

能動的運転管理を導入している下水処理場では、運転操作が容易で建設費、維持管理費双方の経済性に優れている塩素消毒が最も多く採用されており、放流先の水生生物への影響に配慮して運転管理が行われている。消毒方法の検討にあたっては、放流先の状況に配慮するとともに、消毒方法と栄養塩類の増加手法の組合せを考慮した上で、選定することも必要である。

塩素消毒(次亜塩素酸ナトリウム)と紫外線消毒、オゾン消毒技術の特徴を表3-7に示す。

#### (2) 汚泥処理施設の確認

能動的運転管理では、硝化抑制運転でASRTを短くする場合や最初沈殿池の操作などにより、処理汚泥量(汚泥引抜き量や引抜固形物量)が従来の運転よりも増加することが考えられる。このため、既存の汚泥処理設備(送泥設備、濃縮設備、脱水設備、焼却施設等)の処理能力の確認結果(第3.3章参照)を踏まえて、総合的に調整可能範囲を確認する必要がある。

また、汚泥処理の返流水に高濃度に含まれる栄養塩類を活用するため、返流水の水処理への流入箇所の変更も考えられることから、返流水の現状を確認する必要がある。(第7.1章(4)1)項参照)

表 3-7 消毒方法の概要

|      |                | 塩素消毒（次亜塩素酸ナトリウム）  | 紫外線消毒  | オゾン消毒   |
|------|----------------|---|--|---|
| 消毒原理 |                | 細胞壁、細胞膜を含めた細胞構造を破壊し、透過性を阻害し、その他の酵素や補酵素と反応し、さらに塩素化した毒性物質を形成して消毒効果を表す。なお、次亜塩素酸（HClO）はアンモニア態窒素や有機態窒素とも反応し、クロラミン（結合残留塩素）を形成する。<br>$\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{NaOH}$ $\text{HClO} \rightleftharpoons \text{ClO}^- + \text{H}^+$ | 消毒に適した 250～270nm の波長の紫外線への曝露により、微生物の DNA に二重結合が生じたり、DNA 鎖が断裂したりする。紫外線の光子が細菌や原生動物の DNA やウイルスの DNA や RNA に吸収されると、隣接する DNA のチミンや RNA のウラシルが二量体を形成する。二重結合の形成は転写過程を阻害するので、微生物は増殖できなくなり、不活化されたことになる。       | 直接酸化／細胞壁の破壊により、細胞内物質を細胞外へ漏洩させる。ウイルスに対しては直接 DNA や RNA を切断・損傷させ不活化させる。  |
| 特徴   | 消毒効果           | <ul style="list-style-type: none"> <li>他の消毒剤よりも比較的長い接触時間を要する。</li> <li>クロラミンでも十分に殺菌効果があるので不連続点以上に塩素を注入する必要はなく、一般的に 15 分接触後の残留塩素が 0.1mg/L 程度存在すれば十分である。</li> <li>大腸菌群に用いられる低い注入率では、結合塩素の効果が低いウイルス、孢子、シストがある。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>多くのウイルス、孢子、シストに対して塩素よりも効果的（大腸菌群に用いられる低い線量では、効果が低い場合がある）。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>塩素よりも多くのウイルス、孢子、シスト、オーシストの不活化でより効果的（大腸菌群に用いられる低注入率では、効果が低い場合がある）。</li> <li>生物殺傷能力が pH の影響を受けない。</li> </ul>   |
|      | 効果阻害物質・消毒剤消費物質 | <ul style="list-style-type: none"> <li>アンモニア、有機物、亜硝酸塩、硫化水素、第一鉄塩等の還元性物質や懸濁物とも反応し、消毒効果が低下する。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>照射された紫外線は、下水中の SS、濁度や有機性物質等により吸収される。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>有機物や SS、亜硝酸性窒素等の還元性物質が多い場合にはオゾン消費量が多くなる。</li> <li>鉄、マンガンや他の無機化合物及び様々な有機化合物の酸化に伴い消費される。</li> </ul>  |
|      | 残留性            | <ul style="list-style-type: none"> <li>遊離塩素として存在する場合、消毒効果は高いが、残留性は低下する。一方、アンモニアと反応して生成する結合塩素で存在すると消毒効果は低下するが、残留塩素を維持できる。</li> <li>遊離塩素は毒性が強く、残存する有機物と反応して消毒副生成物が生成するため、残留に注意が必要。結合塩素は、毒性は低下するが、保存性が高いので広範囲に影響が広がる場合があり、残留濃度に注意が必要である。</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>残留する毒性はほとんど無い。（導水管や放流渠延長が長い場合に管渠内で硝化細菌が増殖し、N-BOD が発現することがある）</li> <li>消毒に用いられる線量では、消毒副生成物の生成が無い。</li> <li>可視光照射で細菌の活性が回復し（光回復）、放流先で消毒効果が低減することがある。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>残効性が無い。</li> <li>臭素酸やブロモホルム等が生成する場合があるが、微量であること等から一般的に放流先への影響は問題にならない。</li> <li>処理水に海水が多く含まれている場合は、オゾンを過剰に注入すると塩素が発生する場合があるため、注入率に注意が必要である。</li> </ul> |
|      | 放流先の水生生物への影響   | <ul style="list-style-type: none"> <li>残留塩素や消毒副生成物の濃度によっては影響する可能性がある（水産や生態系により配慮が必要な場合は中和等の対策も検討）。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>無視できるくらい小さい。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>無視できるくらい小さい。</li> </ul>  |
|      | 維持管理性          | <ul style="list-style-type: none"> <li>塩素注入する場合は残留塩素を監視して適切な濃度に制御することができる。固形塩素では、塩素濃度の制御が困難である。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>過剰照射による水質への影響ほとんど無い。</li> <li>残留効果が無い。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>溶存オゾンの監視が必要である。</li> <li>排オゾンの処理が必要である。</li> <li>運転管理の影響を受けやすい。</li> </ul>   |

## 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

窒素除去を抑制する運転方法は、各処理場の特徴や協議会等において調整した結果に基づき、硝化抑制と脱窒抑制から選定する。

#### 【解説】

窒素除去を抑制する「硝化抑制」と「脱窒抑制」の特徴を以下に示す。

表 4-1 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。   |
| 反応槽流入 T-N 排出率※1 | ・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：20～22% [1]<br>・OD法：[0]<br>・高度処理法：39～42% [2] ※2<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。  | ・硝化促進が前提となるため、処理水質が安定しやすい。   |

※1：増加運転期平均値の範囲

※2：事業計画では標準法施設であるが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系列を含む。

[ ] 内は処理系列数（令和元年度～2年度有効データ）

表 4-2 硝化抑制の要件と制御・運転操作

| 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<br>(増殖抑制) | ①ASRT を短縮する                         | <p>○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。</p> <p>●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。</p> <p>●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。</p> <p>●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。</p> | <p>主：余剰汚泥引抜量を増やす (MLSS の低減)。</p> <p>連：余剰汚泥を汚泥処理施設で処理する。</p> <p>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。</p> <p>主：好気槽容量を削減する。</p> |
|         | 硝化反応を生じさせないようにする<br>(機能抑制)    | ②酸素供給量を削減する                         | <p>○即効性がある。</p> <p>●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。</p>   | <p>主：送風量を低減する。</p> <p>連：各槽の散気装置の分配量を調整する。</p>   |
|         | 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 | <p>○即効性がある。</p> <p>○ASRT 短縮と同様の運転操作である。</p> <p>●運転池数の調整が必要になる。</p> <p>●運転操作量が多く、切り替え完了までに時間を要する。</p>   | <p>主：好気槽容量を削減する (例：0000⇒A000)。</p> <p>連：攪拌、散気を調整。</p> <p>主：反応槽運転池数を削減する。</p> <p>連：休止池汚泥を汚泥処理施設で処理する。</p>                        |

【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)

表 4-3 脱窒抑制の要件と制御・運転操作\*

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



『窒素増加運転に関する処理機能の概念』

表 4-4 窒素増加運転（硝化抑制、脱窒抑制）に関する処理機能

|  |  |
|--|--|
| <p>＜窒素を除去する処理方法の原理と特徴＞</p> <p>(a) 循環式硝化脱窒法のフロー</p> <p>硝化液を循環するのは、脱窒に必要な有機物に流入水のBODを利用するため。標準活性汚泥法には硝化液循環は無い</p> <p>(b) 循環式硝化脱窒法の反応タンクにおけるBODと窒素の挙動</p> <p>図参1.7 循環方式の生物学的脱窒の原理</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○窒素除去は、「硝化」(<math>Kj-N \Rightarrow NH_4-N \Rightarrow NO_x-N</math>)により生成した<math>NO_x-N</math>を「脱窒」(<math>NO_x-N \Rightarrow N_2</math>)する生物化学的反応。</li> <li>○反応槽に流入した<math>Kj-N</math>の内、主に活性汚泥微生物の細胞合成に伴う減量分（：①）以外の<math>Kj-N</math>が、硝化細菌と酸素の共存下で硝化される（：②）。なお、好気槽内に未分解の有機物（BOD）が存在する間は、硝化速度は小さい（：④）。</li> <li>○反応槽流入水中の<math>NO_x-N</math>は微量で、無酸素タンク流入部の<math>NO_x-N</math>は、最終沈殿池からの返送汚泥と硝化液循環によりもたらされ、流入水由来のBODを利用して脱窒される（：③）。</li> <li>○無酸素タンク、好気タンクの容量は、各々③、②の反応の完了に必要な容量。</li> </ul> <p>※脱窒は無酸素槽の他に、最終沈殿池や返送汚泥ルート内、好気タンクでも無視できない量が生じる場合がある。</p> |
| <p>【硝化抑制方式】</p> <p>※①、③の操作は共に、硝化細菌の増殖抑制を目的であるが、完全硝化に必要なASRTに対する抑制ASRTの目安（比率）の一般値は無い。</p> <p>※<math>NO_x-N</math>が抑制されるため無酸素槽は嫌気槽となり脱窒に伴うBOD消費は無い。</p> <p>※④=③相当の嫌気槽増</p>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>○硝化を抑制する方法は、硝化機能を低下させる方法と硝化が進行する時間的空間を削減する方法に大別される。</li> <li>○前者では、硝化細菌の増殖抑制のためMLSSを下げる操作（：①）や硝化に必要な酸素を供給しないように送風量を減らす操作（：②）が行われる。</li> <li>○後者は、好気タンク容量を削減（：③）することにより、硝化反応や硝化細菌の増殖に必要な時間を不十分にする。</li> </ul>  |
| <p>【脱窒抑制方式】</p> <p>※削減した無酸素槽は、設備的に可能な範囲で好気槽として運転し、完全硝化が可能な反応槽末槽MLSS条件を低くすることにより、終沈の固液分離可能水量を高め、1池あたりの処理水量を増やす。（HRT減。総池数減。）</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○脱窒を抑制する方法は、脱窒ゾーンの削減（：①灰色）と、無酸素タンクに持ち込まれる<math>NO_x-N</math>負荷量の削減（：②）、BOD削減（後述）の3通り。</li> <li>○①には無酸素タンク数減と1池あたり処理水量増があるが、後者はBOD処理の安定化が図りやすいという本方式のメリットを活かせる範囲とする必要がある。</li> <li>○②硝化液循環量や返送汚泥量の削減によって行う。標準活性汚泥法は後者のみ。</li> </ul>  |
| <p>(参考) 生物学的りん除去について</p> <p>※A0法やA20法では、嫌気槽滞留時間が3時間以上となると硫酸イオンの還元による硫化水素臭が発生するため、滞留時間を1～2時間程度に定めていることに留意が必要。</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○硝化が抑制されて<math>NO_x-N</math>が生成なくなると、硝化液循環や返送汚泥の操作に関係なく無酸素タンクは実質上、嫌気タンクとなる。よって、嫌気好気法（A0法）の槽割と同様となる。</li> <li>○この場合、流入水中の揮発性有機酸の量にもよるが、嫌気でりんの放出が生じる可能性がある。しかし、左図に示すように、嫌気タンクで活性汚泥から放出される濃度は、流下方向（滞留時間）に対して通増状態にある。同様に、好気タンクのりん濃度（過剰摂取）は通減傾向を示すことから、硝化抑制運転時の状態を把握するためには詳細な調査が必要。（第4.2章(2)項参照）</li> </ul>  |

#### 4.1.2 リン除去を抑制する運転の特徴

リン除去を抑制する運転方法は、各処理場の特徴や協議会等において調整した結果に基づき、凝集剤添加率の削減と生物学的リン除去抑制から選定する。

#### 【解説】

栄養塩類増加手法の選定のための基礎資料とすることを目的として「凝集剤添加率の削減」と「生物学的リン除去抑制」の特徴を以下に示す。

表 4-5 リン増加手法の特徴

|                          | 凝集剤添加率の削減  | 生物学的リン除去抑制   |
|--------------------------|--|--|
| 原理                       | ・リンの凝集反応量を削減する。  | ・活性汚泥のリンの吐き出しの抑制<br>・活性汚泥のリンの過剰摂取の抑制   |
| 処理水中のリンの形態               | ・りん酸態りん  | ・りん酸態りん  |
| 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。  |
| 放流水 T-P 濃度 <sup>※1</sup> | ・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] <sup>※2</sup><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。  |

※1：増加運転期平均値の範囲

[ ] 内は放流系統数（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

※2：一部系列で凝集剤添加率の削減を実施

表 4-6 生物学的りん除去抑制において利用される機能の要件と制御・運転操作

| 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（嫌気抑制）                | ①嫌気槽に DO や酸化態窒素を供給する<br>○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>●反応槽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）<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>○高度処理化以前の知見の活用が期待できる。  | 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<br>○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好気槽で硝化促進する（アルカリ度消費に伴う pH 低下）<br>○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>●反応槽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 | 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。   |

【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）

## 4.2 栄養塩類増加手法の選定

法令や放流先の状況等基本事項の確認を踏まえ、図 4-1 に示すフローに従って栄養塩類の増加手法を選定する。

### 【解説】

#### (1) 増加対象栄養塩類の選定

増加対象とする栄養塩類は、協議会等の調整や要望に基づき決定する（第 2.8 章参照）。

#### (2) 栄養塩類増加手法の選定方法

栄養塩類増加手法の選定フロー例を図 4-1 に示す。また、同選定過程において必要な検討内容を表 4-7 に示す\*。

※図 4-1 中の①～④番号の検討内容を表 4-7 の同番号欄に記載。

窒素増加運転の場合、その運転手法は硝化抑制と脱窒抑制に分類される。その選定方法は以下の通りである。

- 1) 反応槽に流入する窒素の形態は、アンモニア態窒素と有機態窒素である。このため、要望される窒素の形態が酸化態窒素の場合は反応槽内に硝化工程が必要となることから、当該施設・設備で完全硝化運転が可能かどうかを確認する（：①参照）。また、排出目標値を満足するような脱窒抑制手法の採用可否を検討するとともに、窒素ガスによる汚泥浮上やアルカリ度不足による pH 低下の防止策が採用可能かどうかを確認する（：②参照）。
- 2) 窒素の形態に要望が無い場合も、1)と同様の手順により脱窒抑制を検討する。ただし、脱窒抑制は、硝化抑制に比べて理論的に窒素排出率が低いため、窒素増加の排出目標値が定められており、脱窒抑制ではそれを満足できない場合は硝化抑制を検討する。
- 3) 既に通年で硝化抑制運転を行っている場合は、要望される窒素形態がアンモニア態窒素であれば、硝化抑制運転を継続する。
- 4) 硝化抑制の採否は、当該施設・設備を用いて、ASRT を硝化細菌の増殖に必要な日数未満にまで短縮可能かどうかの確認（：③参照）、及び、硝化を抑制できる送風量に調整できるかの確認（：④参照）によって判断する。
- 5) 窒素増加運転で行う MLDO や MLSS の管理は、りんの除去あるいは除去抑制に影響する可能性があることに留意が必要である\*<sup>1</sup>。

りん増加運転の場合、その手法は凝集剤添加率削減と生物学的りん除去抑制に分類される。凝集剤添加によるりん除去運転が行われている場合は添加率削減を選択し、行われていない場合は生物学的りん除去抑制を選択する。なお、りんの増加運転による管理は、窒素の除去あるいは除去抑制に影響する可能性があるため、生物学的りん除去抑制を採用する場合は、留意が必要である\*<sup>1</sup>。

※1：表 4-4、表 4-6 参照

また、硝化抑制・脱窒抑制及び生物学的りん除去抑制は、それぞれ送風量や MLSS 等の複数の操作により制御が可能である。各運転手法と操作因子の関係性及び採用されている実績数を図 4-2 に参考として示す。

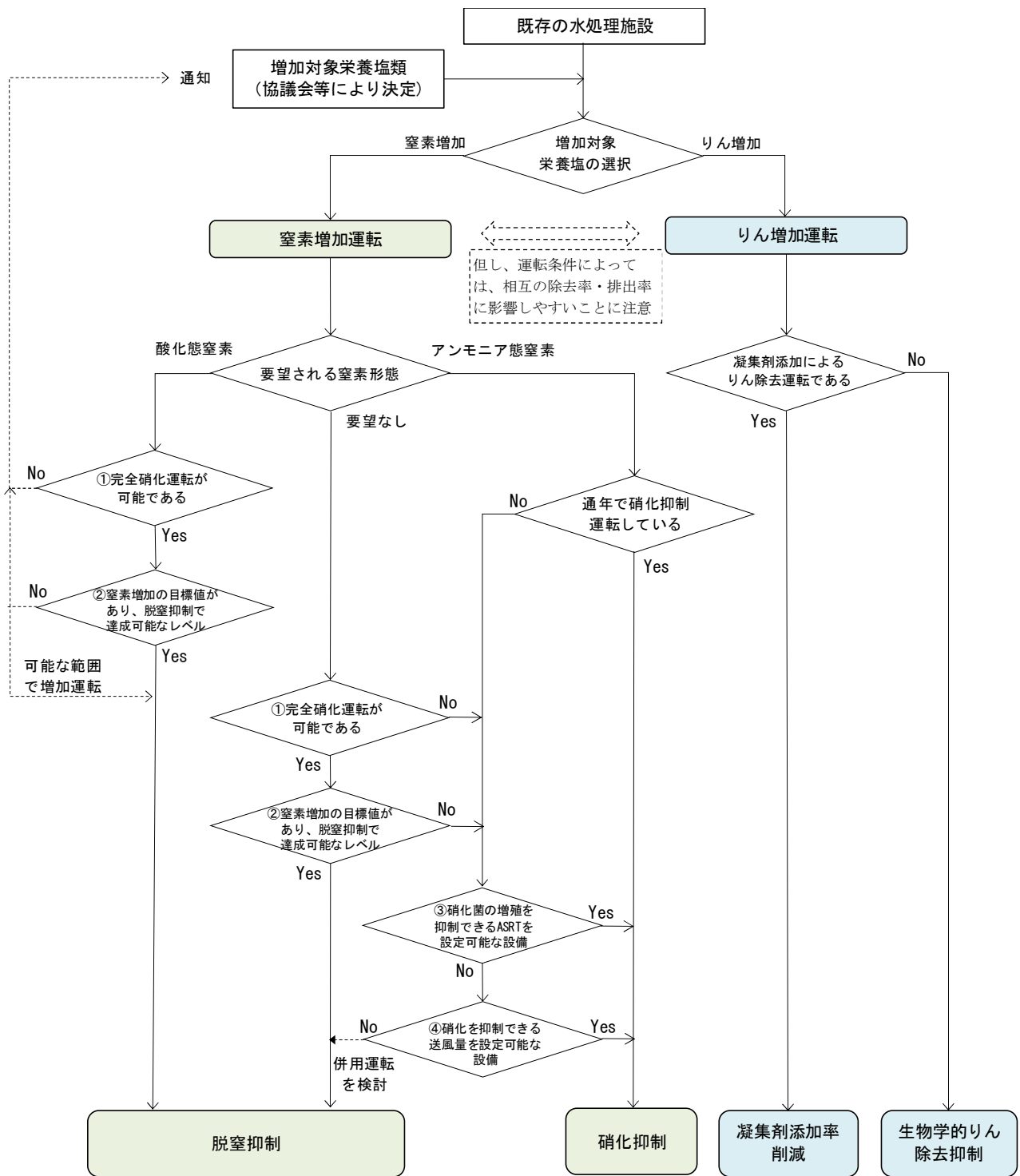


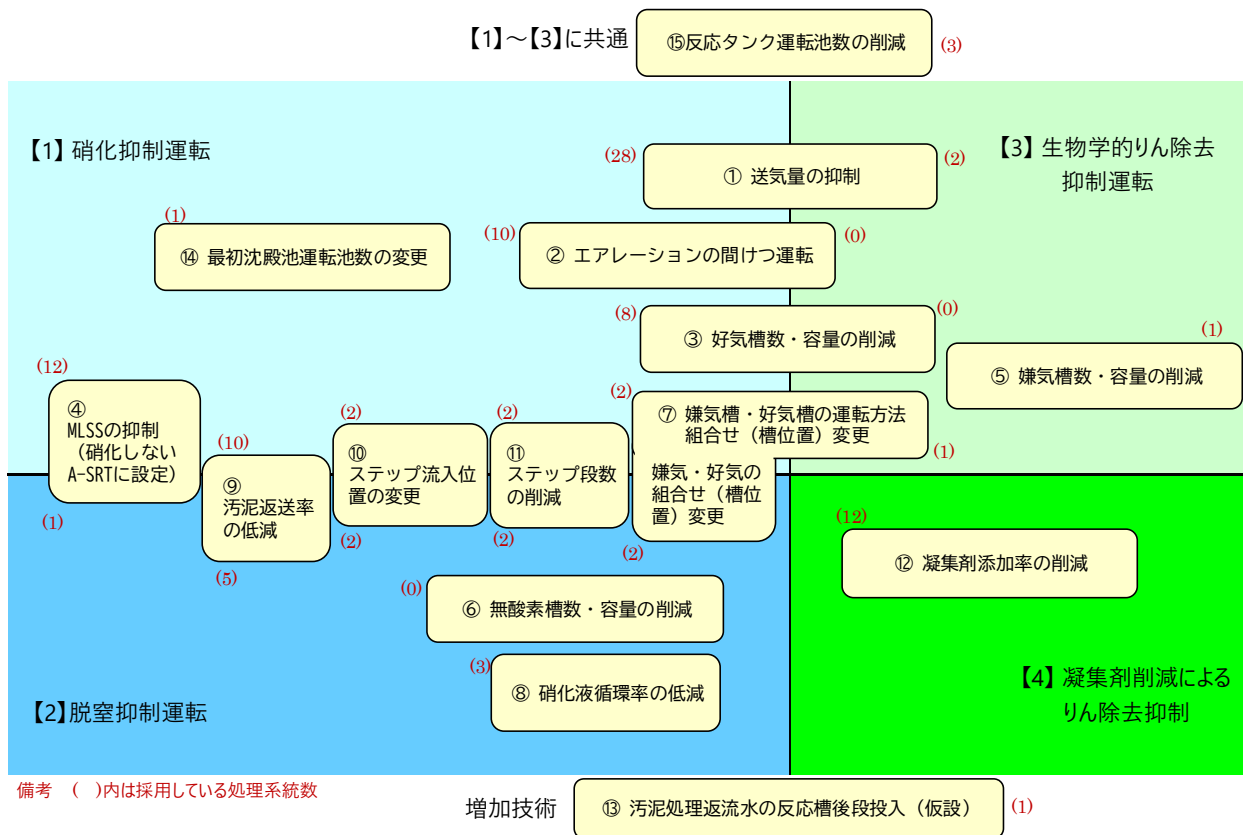
図 4-1 栄養塩類増加手法の選定フロー



表 4-7 窒素増加運転において必要となる検討内容

| 窒素増加運転の手法        | 運転指標※              | 検討項目              | 確認事項   |
|------------------|--------------------|-------------------|--|
| 脱窒抑制             | ASRTの増加<br>(①完全硝化) | 好気槽容量の増加方法        | 無酸素槽を好気槽に転換可能か<br>1系列(池)あたりの負荷を下げる事が可能な系列(池)数か |
|                  |                    | 嫌気槽・無酸素槽の散気方法     |  |
|                  |                    | 水処理系列(池)数の増加      |  |
|                  | 送風量の増加<br>(①完全硝化)  | 送風機能力(調整範囲)       | 送風量の増加が可能か                                     |
|                  |                    | 散気設備能力(運転可能範囲、分配) |  |
|                  | ②酸化態窒素負荷の抑制        | ②酸化態窒素負荷の抑制       | ステップ流入の有無、位置、段数                                |
| 返送ポンプ、硝化液循環ポンプ能力 |                    |                   | 総循環率の抑制が可能か                                    |
| 終沈での脱窒浮上抑制対策     |                    |                   | 反応タンクの必要脱窒量などの調整が可能か                           |
| アルカリ度回収量とpHの関係   |                    |                   | アルカリ度が不足してpHが低下しないか                            |
| 硝化抑制             | ③ASRTの抑制           | 汚泥引抜き量の増加対策       | 汚泥処理能力が不足しないか                                  |
|                  |                    | 好気槽容量の削減方法        | 好気槽を無酸素槽に転換可能か<br>1系列(池)あたりの負荷を高める事が可能な系列(池)数か |
|                  |                    | 攪拌方法              |  |
|                  |                    | 水処理系列(池)数の削減方法    |  |
|                  | ④送風量の抑制            | 送風機能力(調整範囲)       | 送風能力を抑制可能か                                     |
|                  |                    | 散気設備能力(運転可能範囲、分配) | 各段の送風量調整が可能か                                   |

※○数字は図 4-1 の分岐点における確認事項に該当する。



備考 ( )内は採用している処理系統数

図 4-2 栄養塩類の増加手法と操作因子の関係模式図【参考】

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート(令和3年度実施)

＜硝化抑制運転におけるりん濃度の変動＞

硝化抑制運転の場合、図 4-3 に示すとおり、放流水りん濃度が通常期よりも増加運転期の方が高くなる場合がある。りん濃度上昇の要因として、活性汚泥の凝集性低下に伴う固形性りん濃度の増加や、送風量の抑制が生物学的りん除去抑制手法の一手法に類似していること（表 4-4、表 4-6、表 5-17 参照）、亜硝酸型硝化が生じた場合などが想定される。硝化抑制の場合は、りん濃度にも影響を及ぼすことに留意が必要である（表 5-13、表 5-18 参照）。

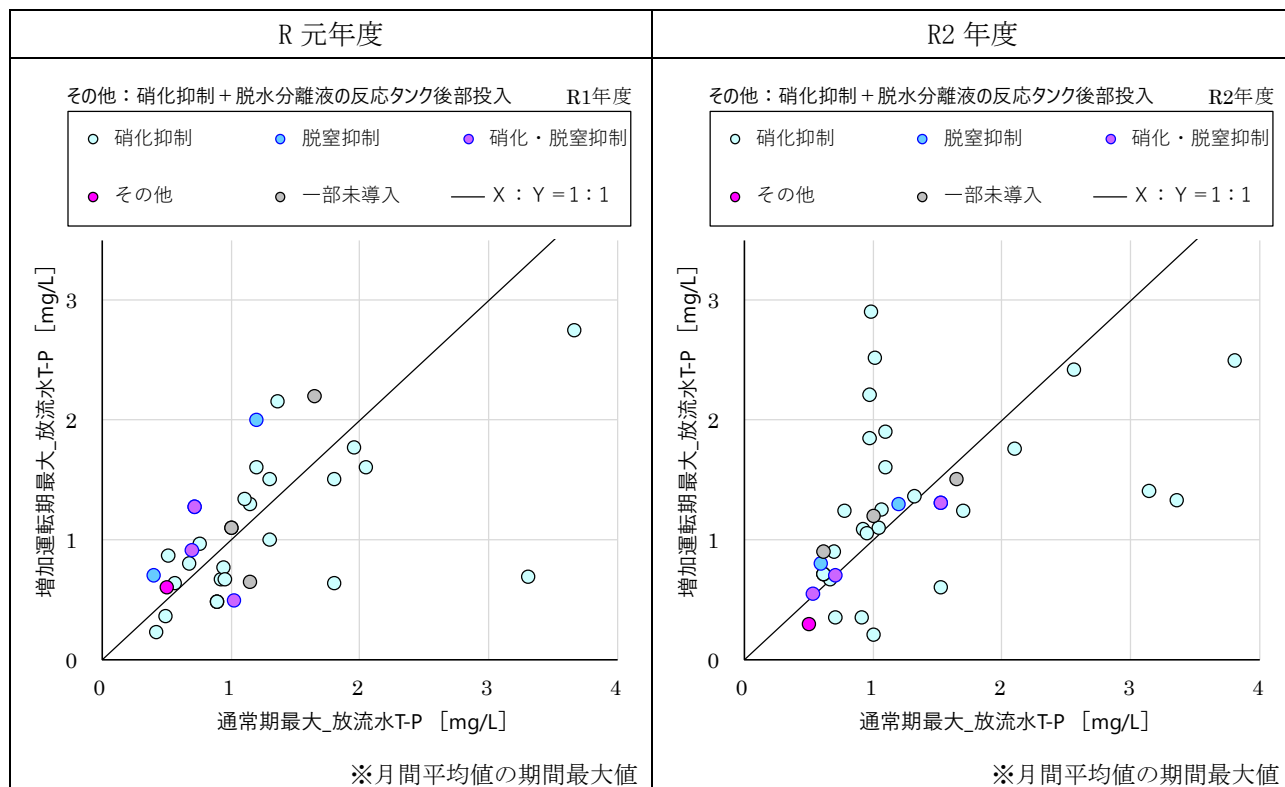


図 4-3 窒素増加運転下水処理場における放流水全りん濃度の分布（凝集剤添加率削減併用を除く）

＜生物学的りん除去抑制運転における窒素濃度の変動＞

生物学的りん除去抑制運転例では、図 4-4 のとおり、増加運転期に放流水の窒素濃度が高くなる特性を踏まえた運転管理が行われている（表 4-4、表 5-17 参照）。

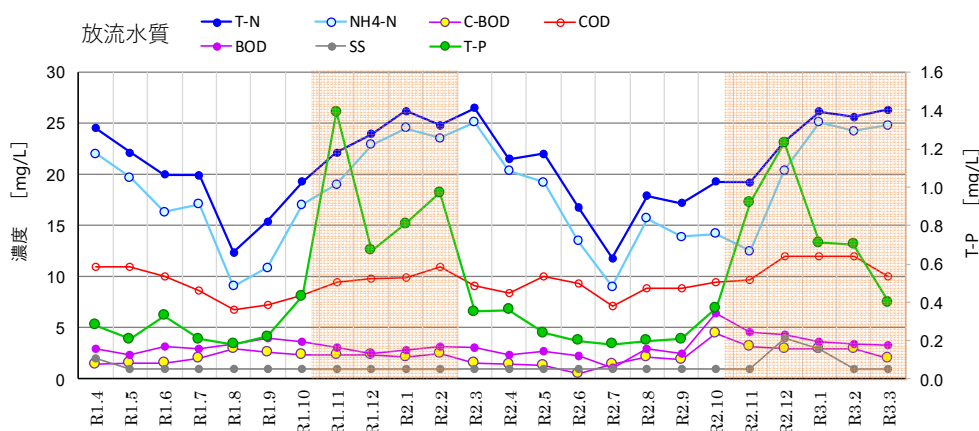


図 4-4 生物学的りん除去抑制を行っている下水処理場（AO 法）の放流水質の変動例（一部に凝集剤削減によるりん増加系列（A20 法）を含む）

### (3) 系列の設定

同一処理場において、系列や池ごとに設備や運転可能な範囲等が異なる場合が想定される。栄養塩類増加運転を実施する系列の選定にあたっては、第 3.4 章で整理した系列や池ごとの設備や運転条件等に基づいて判断する。また、回復期における栄養塩類増加運転から通常運転への円滑な切替えや、放流水質の悪化や設備の故障等を想定して、バックアップ系列を確保することが重要である。

排出目標値、及び放流水質管理値は、栄養塩類増加運転を実施する系列とバックアップ系列の水量・水質を勘案した上で設定することが望ましい。(第 4.3 章、第 5.5 章(2)項参照)

一方、以下の通り、栄養塩類増加運転期に系列や池数を変更する場合も想定される。

- ・ 負荷を高めるために池数を減少させる手法を採用する場合。
- ・ 放流水質管理値を遵守できない状態が発生し、速やかな回復が困難と予想される場合、負荷を低減するために池数を増加させる場合。



### 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、法令に定められた放流水質基準の遵守及び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ことが望ましい。

#### 【解説】

栄養塩類の増加運転は、通常運転と比較して、法令に定められた BOD などの放流水質基準を遵守するための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く、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、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。

排出目標値の設定にあたっては、法令に定められた放流水質基準を遵守し、水質環境基準の達成・維持が可能な範囲内において設定することを前提とするため、流総計画や事業計画等の下水道計画と整合を図ることが望ましい。また、運転データの蓄積状況や運転管理の熟度に応じて、試運転・試行・本運用の各段階に応じて、排出目標値を段階的に設定することも考えられる。(図 4-4 参照)

これまでの事例としては、放流水中の栄養塩類濃度の上限値として排出目標値(管理目標値)を設定している事例や、年間の総負荷量として設定している事例など様々であるが(図 4-5 参照)、本ガイドラインにおいては、流総計画の計画処理水質と整合を図るため、増加運転期の日間平均の期間平均値を設定例として示した。

また、排出目標値は、栄養塩類増加運転を実施する系列とバックアップ系列の水量・水質に加えて、これまでの処理場への流入水質や放流水質の栄養塩類濃度のポテンシャルを勘案して設定する。(図 4-6、図 4-7 参照)

また、地域によっては、試行データが集積された場合には、実績データの 90% 値(昇順)といった統計的な考え方に基づく設定も考えられる。

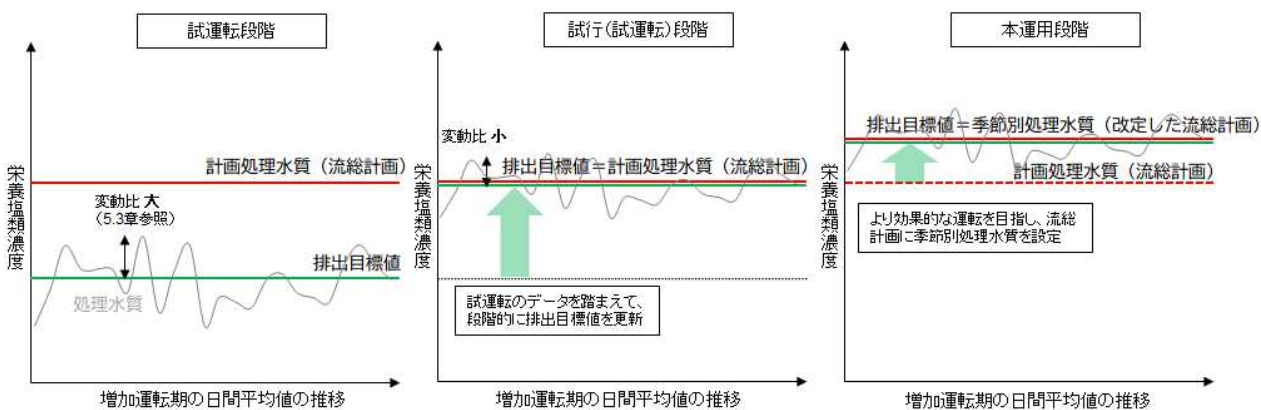


図 4-4 試運転・試行(試運転)・本運用における排出目標値の段階的な設定イメージ

『排出目標値の設定事例』

※これまでは、管理目標値として設定。

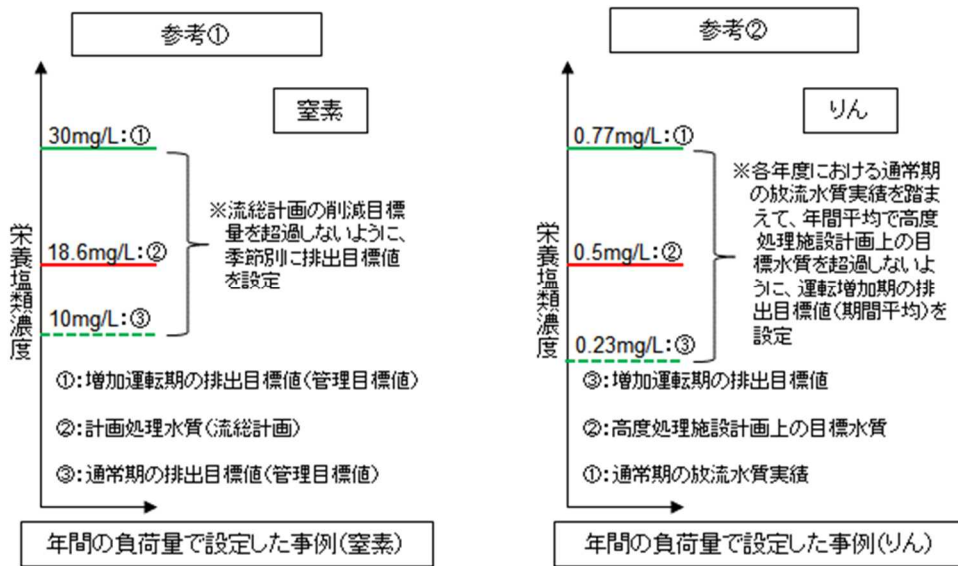
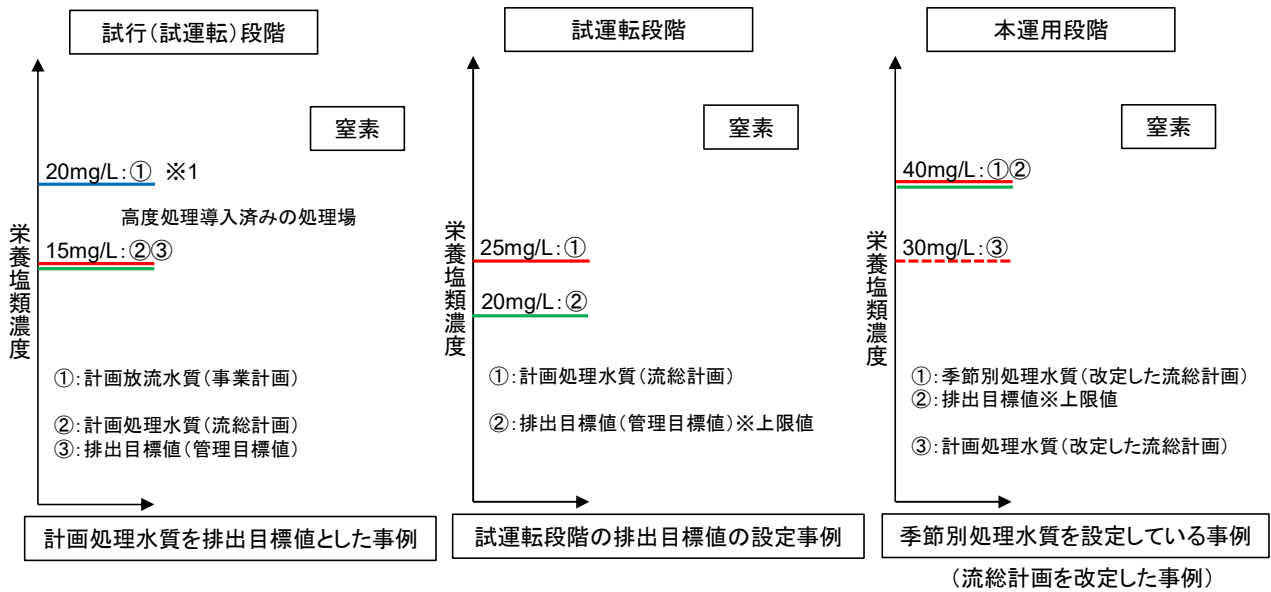


図 4-5 排出目標値の設定事例

注) 底層 D0 の類型が指定され始めていることから、夏季に底層 D0 の低下が見られる海域においては、必要に応じて夏季の放流水の栄養塩類濃度の低下を図る必要がある。

※1: 下水道法施行令においては、下水道管理者が放流先の状況等を考慮して計画処理水質を自ら定め、当該計画放流水質の区分に応じた処理方法を選択するとともに、計画放流水質を放流水質基準として適用するとしている。一方、能動的な運転管理は、季節別に運転を切替え、放流水質を能動的に管理することを目的としていることから、国土交通省では、下水道法施行令の計画放流水質の柔軟な運用について、今後検討していく必要がある。

『排出目標値の設定可能範囲について』

放流水中の栄養塩類濃度は、反応槽流入水中の濃度と比較して低くなる。(図 4-6 参照)。

これは、図 4-7 の通り、余剰汚泥の引抜きにより栄養塩類が水処理系外に移行するため、理論上の最大の排出濃度を把握した上で排出目標値を設定することが望ましい。

また、試行では、試運転のデータを踏まえて試行錯誤を繰り返し、段階的に排出目標値を更新する(第 6 章参照)。

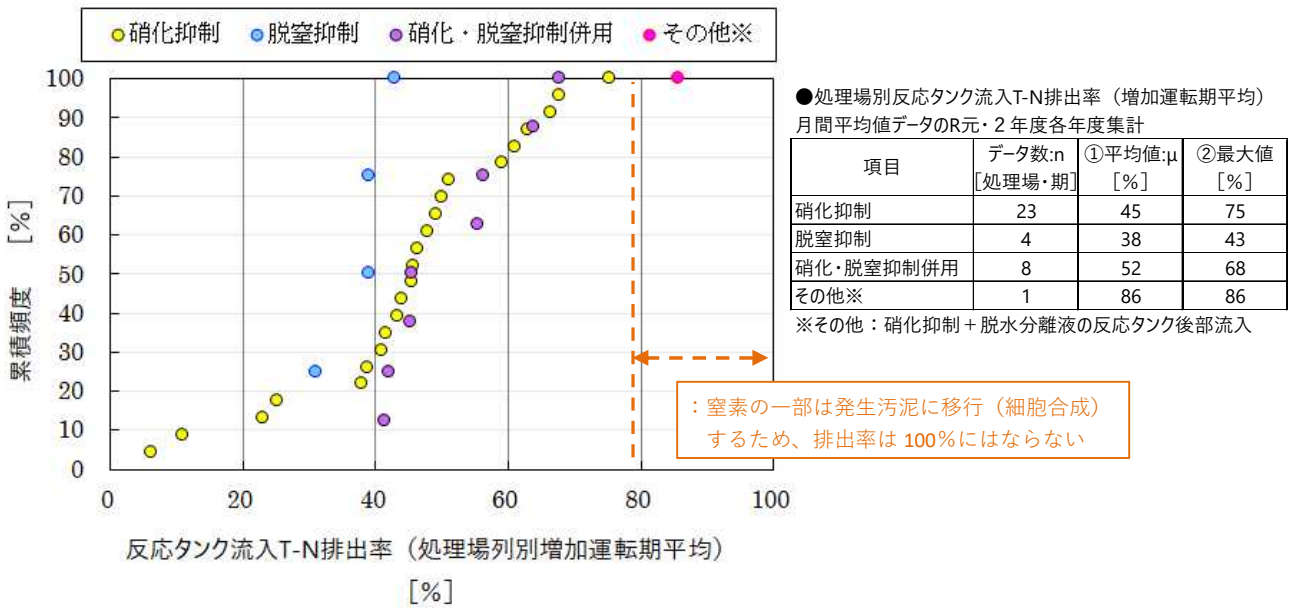


図 4-6 栄養塩類増加運転期における窒素排出率<sup>※1</sup>の分布

(標準法、OD法、高度処理法(高度処理OD法を除く)施設データ)

※1：排出率 = 処理水 T-N / 反応槽流入水 T-N<sup>※2</sup> × 100      ※2：脱水分離液の反応タンク後部流入負荷は含まない

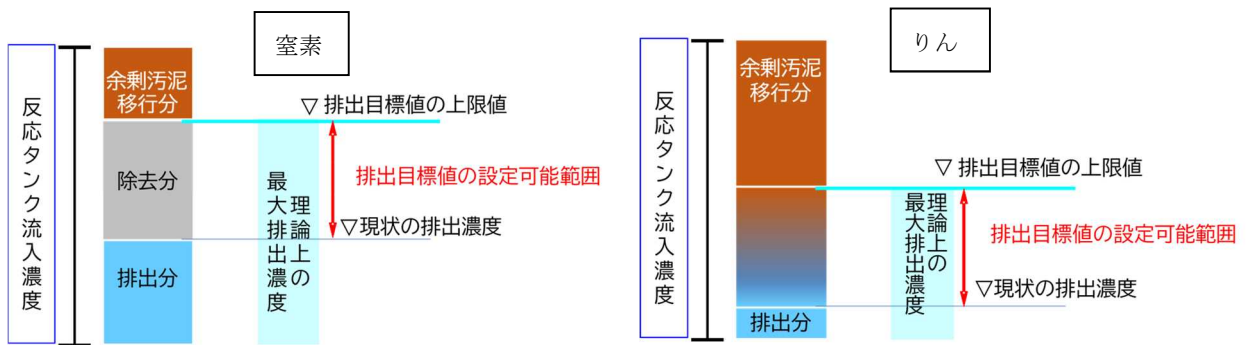


図 4-7 排出目標値の設定可能範囲

余剰汚泥として引抜かれる栄養塩類の割合は、以下に示す方法によって算出する。

**【計算例】**

①余剰汚泥により系外に引抜かれる栄養塩類量： $L_{w,E}$  (kg/d) は以下の式で算出する。

$$L_{w,E} = Q_w \cdot X_w \div 10^3 \cdot Ex$$

ここに、

$Q_w \cdot X_w \div 10^3$  : 余剰汚泥発生量 (kg/d)

$Q_w$  : 余剰汚泥量 (m<sup>3</sup>/d)

$X_w$  : 余剰汚泥の平均 SS 濃度 (mg/L)

$Ex$  : 汚泥中の栄養塩類含有率

ただし、

$Ex$  : 当該処理場の実測値とし、実測値がない場合、窒素 : 0.08 (gN/gMLSS)、りん : 0.03 (gP/gMLSS) と仮定する。

②余剰汚泥発生量： $Q_w \cdot X_w$  は、以下の式で算出する。

$$Q_w \cdot X_w = Q_{in} (a \cdot C_{S-BOD, in} - b \cdot C_{SS, in} + c \cdot \tau_A \cdot X)$$

ここに、

$Q_{in}$  : 流入水量 (m<sup>3</sup>/d)

$a$  : S-BOD (溶解性 BOD) に対する汚泥転換率 (gMLSS/gS-BOD)

$C_{S-BOD, in}$  : 反応槽流入水溶解性 BOD (mg/L)

$b$  : SS に対する汚泥転換率 (gMLSS/gSS)

$C_{SS, in}$  : 反応槽流入水 SS (mg/L)

$c$  : 活性汚泥微生物の内生呼吸による減量を表す係数 (1/d)

$\tau_A$  : 好気タンク滞留時間 (d)

$X$  : MLSS 濃度 (mg/L)

ただし、

$a = 0.4 \sim 0.6$ ,  $b = 0.9 \sim 1.0$ ,  $c = 0.03 \sim 0.05$

**【計算例】**

反応槽流入水量、水質、処理条件を以下の通りとする。

$Q_{in}$  : 10,000 (m<sup>3</sup>/d)

$C_{S-BOD, in}$  : 80 (mg/L)

$C_{SS, in}$  : 90 (mg/L)

$X$  : 1,500 (mg/L)

$\tau_A$  : 8/24 (d)

$a$  : 0.5 (gMLSS/gS-BOD)

$b$  : 0.95 (gMLSS/gSS)

$c$  : 0.04 (1/d)

また、窒素、りんに係る諸条件を以下の通りとする。

$N_{in}'$  (処理場流入窒素濃度) : 35 (mgN/L)

$P_{in}'$  (処理場流入りん濃度) : 5 (mgP/L)

$N_{in}$  (反応槽流入窒素濃度) : 31.5 (mgN/L) (初沈除去率 : 10%の場合)

$P_{in}$  (反応槽流入りん濃度) : 4.5 (mgP/L) (初沈除去率 : 10%の場合)

$N_x$  (活性汚泥中の窒素含有率) : 0.08

$P_x$  (活性汚泥中のりん含有率) : 0.03

(1) 余剰汚泥発生量

$$\begin{aligned} Q_w \cdot X_w \div 10^3 &= Q_{in} (a \cdot C_{S-BOD, in} + b \cdot C_{SS, in} - c \cdot \tau_A \cdot X) \div 10^3 \\ &= 10,000 \times (0.5 \times 80 + 0.95 \times 90 - 0.04 \times 8/24 \times 1,500) \div 10^3 \\ &= 1,055 \text{ (kg/d)} \end{aligned}$$

(2) 余剰汚泥による栄養塩類引抜き量

$$\begin{aligned} L_{w, N} \text{ (余剰汚泥による窒素引抜き量)} &= Q_w \cdot X_w \div 10^3 \cdot N_x \\ &= 1,055 \times 0.08 = 84.4 \text{ (kgN/d)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{w, P} \text{ (余剰汚泥によるりん引抜き量)} &= Q_w \cdot X_w \div 10^3 \cdot P_x \\ &= 1,055 \times 0.03 = 31.65 \text{ (kgP/d)} \end{aligned}$$

(3) 反応槽流入栄養塩類負荷量

$$\begin{aligned} L_{in, N} \text{ (反応槽流入窒素量)} &= Q_{in} \cdot N_{in} \div 10^3 \\ &= 10,000 \times 31.5 \div 10^3 = 315 \text{ (kgN/d)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{in, P} \text{ (反応槽流入りん量)} &= Q_{in} \cdot P_{in} \div 10^3 \\ &= 10,000 \times 4.5 \div 10^3 = 45 \text{ (kgP/d)} \end{aligned}$$

(4) 余剰汚泥による栄養塩類除去率

$$\begin{aligned} \eta_{, wN} \text{ (窒素除去率)} &= L_{w, N} \div L_{in, N} \times 100 \\ &= 84.4 \div 315 \times 100 \approx 27 \text{ (\%)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_{, wP} \text{ (りん除去率)} &= L_{w, P} \div L_{in, P} \times 100 \\ &= 31.65 \div 45 \times 100 \approx 70 \text{ (\%)} \end{aligned}$$

(5) 栄養塩類排出率の理論的な上限

窒素 :  $100 - 27 = 73$  (%)

りん :  $100 - 70 = 30$  (%)

## 5. 運転ルール の 検討

### 5.1 年間の運転サイクルの設定

協議会等において調整した結果に基づき、年間の運転サイクル（通常期、準備期、移行期、増加運転期、回復期）を設定する。

#### 【解説】

季節別運転管理の年間運転サイクル例を図 5-1 に示す。また、各期間の役割や留意事項について、記述する。

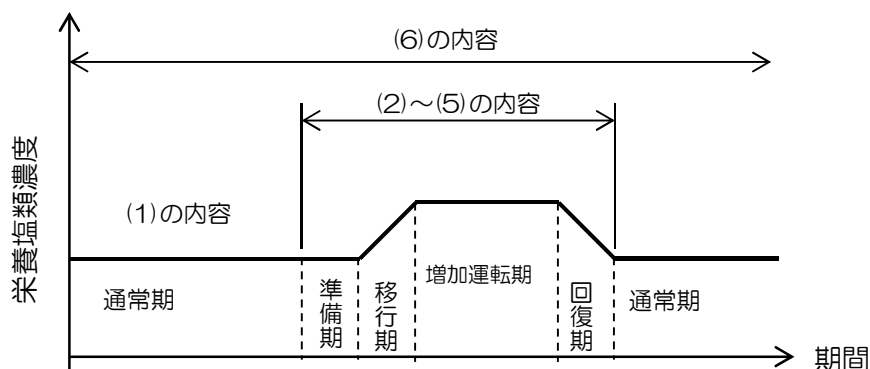


図 5-1 季節別運転管理のイメージ

#### (1) 通常期

栄養塩類増加運転は、下水処理場の処理能力による運転を通常期の基準とし、運転操作の範囲を変更することで栄養塩類を増加させる。

また、年間の運転サイクルは、当該下水処理場の運転方針や協議会等で調整された栄養塩類の増加運転期によって定まり、増加運転期と通常期には運転の切替えが必要となる（移行期・回復期）。

通常期の運転管理方針の設定例を以下に示す。

- ・窒素濃度の低減が必要な農業用水や環境用水への処理水の再利用を行うため、その利用期間と供給水質要件は維持する。
- ・総量規制基準の対象となる場合、年間の栄養塩類の排出量に制限があることから、増加運転期の栄養塩類の排出量を確保するため、通常期の栄養塩類排出量を削減する。

#### (2) 準備期

栄養塩類増加運転に切替える準備を行うために、手順の確認、薬品等を準備する期間である。また、維持管理方法や運転技術の周知等の期間として設定している事例や、包括委託業者との工程等の調整や運転を切替えるための手順が系列によって異なるため、準備期を確保している事例もある。

#### (3) 移行期

栄養塩類増加運転に切替える操作を行い、栄養塩類の放流濃度を徐々に増加させる期間である。

反応槽の状態や放流水質の変化を確認しながら水路の切替え、送風量の調整、余剰汚泥引抜量あるいは返送汚泥引抜量の調整などを行い、徐々に放流水中の栄養塩類を増加させる。切替えに要する期間は、概ね半月～1 ヶ月程度の期間を要する処理場が多い。移行期の具体的な作業内容については第 5.2 章に示す。



#### (4) 栄養塩類増加運転期

栄養塩類の放流濃度を目標とする濃度まで高め、安定的に運転を行う期間である。

#### (5) 回復期

通常運転に戻すため、運転方法を切替える作業を行い、栄養塩類の放流濃度を徐々に低減させる期間である。窒素増加運転において、栄養塩類の増加と通常期の水質管理の両立が求められる場合は、回復期は移行期に比べて長くなる傾向があることから、硝化細菌を確保するためにバックアップ系列を設ける場合がある（第 5.5 章(2)項参照）。また、りん増加運転では、増加運転期の後半から凝集剤添加率を徐々に高める運転を行う場合がある。回復期の具体的な作業内容については第 5.2 章に示す。

#### (6) 通年増加運転管理の年間運転サイクル

通年増加運転は、漁業関係者から栄養塩類増加運転を季別から通年に切替える要請があり、これに応じるよう通年で栄養塩類の増加運転を行っている例がある。

また、図 5-2 に示す通り、従来の通常運転よりも栄養塩類の増加運転（増加運転期 1）を行い、ノリの養殖期にはさらに濃度を増加する運転（増加運転期 2）を行っている例もある。

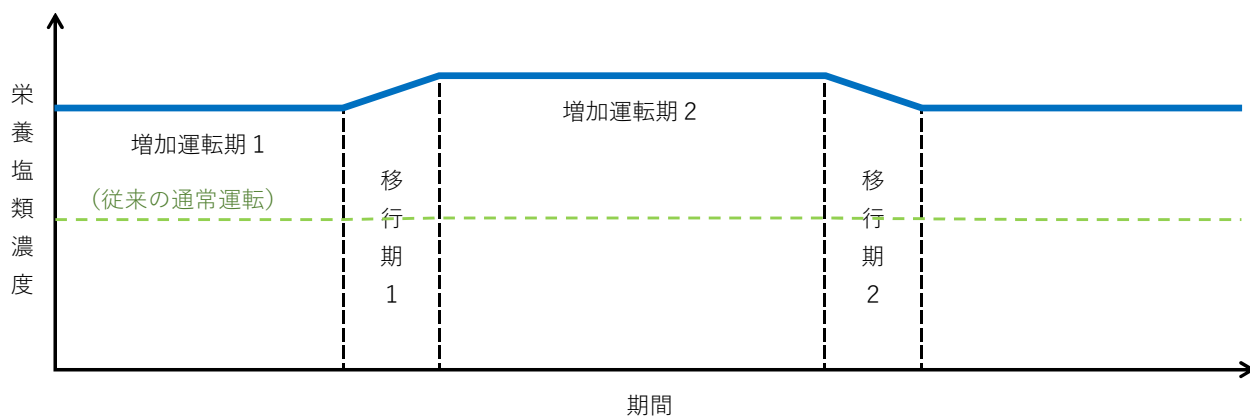


図 5-2 「通年増加運転管理」のイメージ

『窒素増加運転の回復期について』

図 5-3 に示す通り、窒素増加運転を行っている下水処理場の多くは 4 月を回復期に設定しており、流入水温が低くなるため、硝化細菌の増殖に時間を要する傾向にある。また、移行期の 10 月は水温が高く、硝化細菌が増殖しやすい時期であることから、硝化細菌を排出するために、余剰汚泥の引抜き量を増加させる運転を行っている場合もある。

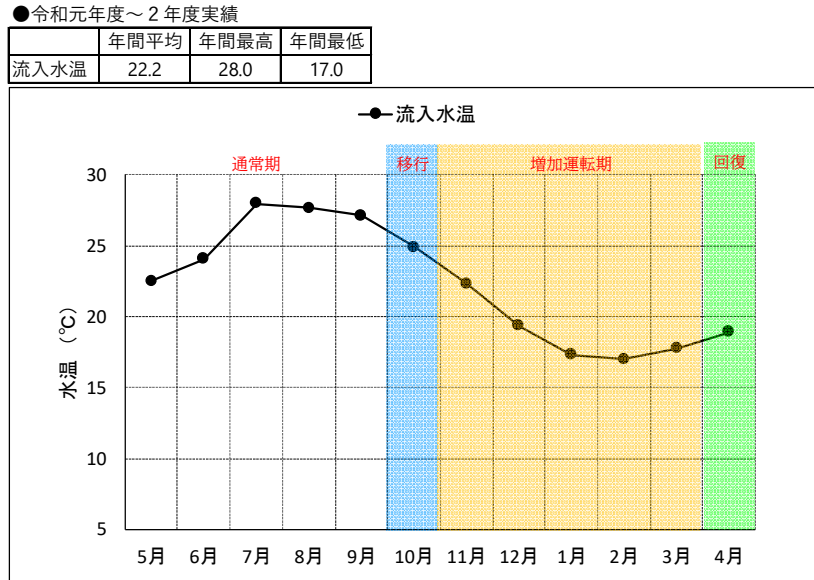


図 5-3 窒素増加運転実施処理場の流入水温の平均値の年間変動  
 ※窒素増加運転実施処理場：計 36 流入系統の令和元年度、2 年度実績を集計。  
 ※増加運転期の開始月及び期間は表 2-8、図 2-8 より設定

『凝集剤添加率の削減によるりん増加運転の増加運転期から回復期について』

図 5-4 の事例では、放流水のりん濃度を高めるため凝集剤 (PAC) の添加率を変更しているが、増加運転期前半 (9 月～12 月) は、放流りん濃度が増加しづらいのに対して、増加運転期後半 (1 月～3 月) は、前半と比べて放流りん濃度が増加しやすい特性が確認されている。このため、増加運転期後半に凝集剤添加率の削減を継続した場合は、通常期初期の放流水りん濃度の増加が長引くことが想定される。

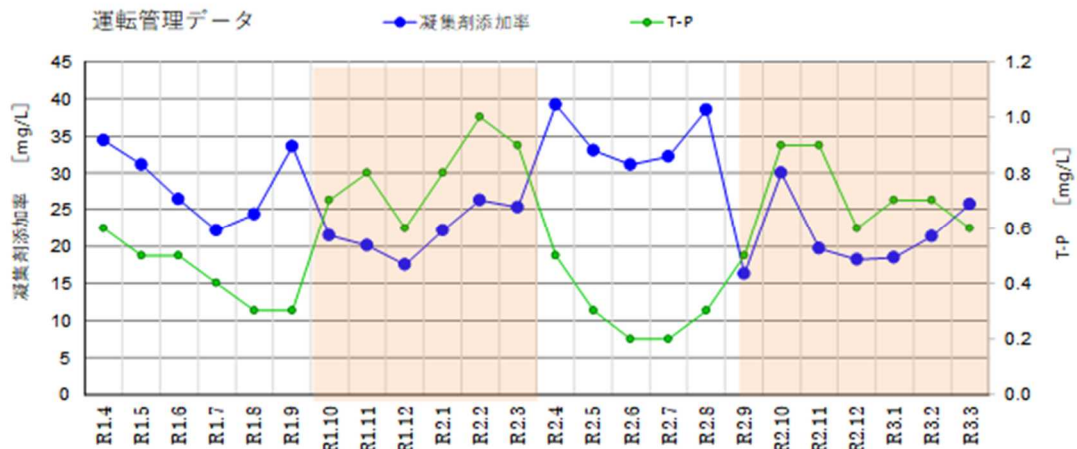


図 5-4 凝集剤添加率と放流水りん濃度の推移例

## 5.2 移行期及び回復期の作業内容

通常期、移行期、増加運転期、回復期の各期間における最適な運転ルールを検討し、試行錯誤しながら試運転から試行へ移行する。特に移行期と回復期は、放流水質が不安定な期間となるため、留意が必要である。

### 【解説】

各運転手法における移行期及び回復期の作業工程例を以下に示す。

#### (1) 硝化抑制①（嫌気好気割合の変更）

##### ◆移行期

標準活性汚泥法での硝化抑制運転において、通常期と移行期を同じ系列で運転する場合について、通常期の作業工程の例を表 5-1 に示す。

- ・ 余剰汚泥引抜量を増量し MLSS 濃度を下げるとともに、SRT（ASRT）の短縮により硝化抑制を図る。
- ・ 反応槽の一部の好気槽を嫌気槽に切替えて、送風量を下げて硝化抑制運転に移行する。
- ・ 硝化抑制の状態を維持した後、活性汚泥（微生物種）や最終沈殿池の水質を考慮しながら、一部の嫌気槽を好気槽への切替え、MLSS 濃度を上げるなど、状況の変化に応じた運転を行う。

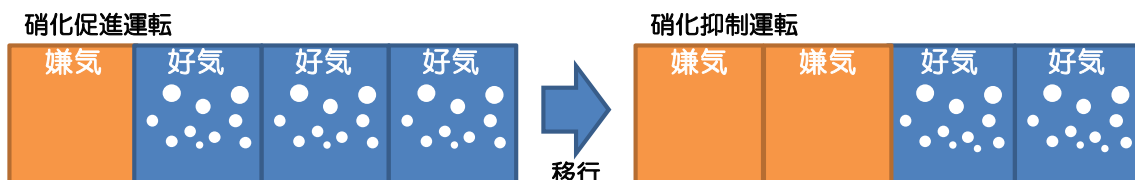
表 5-1 移行期の作業工程の例 窒素増加：硝化抑制運転（標準活性汚泥法）の場合

| 作業項目                                   | 1ヶ月目 | 2ヶ月目 | 備考                                  |
|--|------|------|-------------------------------------|
| 1. 硝化抑制への運転方法の変更                       |      |      |                                     |
| (1) 余剰汚泥引抜量の増量                         | ■    |      |                                     |
| (2) 反応槽2槽目を好気から嫌気へ切替                   | ■    |      |                                     |
| (3) 送風量調整                              | ■    |      |                                     |
| 2. 硝化抑制への移行(送風量調整)                     | ■    |      |                                     |
| 3. 硝化抑制移行終了                            |      | ■    | 以後随時、余剰汚泥引抜量・送風量調整                  |
| 4. 反応槽2槽目を嫌気から好気へ切替                    |      | ■    |                                     |
| 5. 水処理状況の確認<br>(水質測定、顕微鏡観察、活性汚泥凝集性の確認) |      |      | 通年実施(運転変更後は終沈水の透視度低下、活性汚泥凝集性の変化に留意) |

注：合流式であり、糸状性細菌による SVI の上昇が起こりやすい処理場の例である。

注：水質測定にあたっては、硝化速度試験\*を行うことにより硝化細菌の状況を把握することが望ましい（第 3.3 章参照）。

※：下水試験方法上巻-2012年版-（公財）日本下水道協会 p.706 参照



◆回復期

標準活性汚泥法での硝化抑制運転において、通常期と移行期を同じ系列で運転する場合について、回復期の作業工程の例を表 5-2 に示す。

- ・ 余剰汚泥引抜量を減量して MLSS 濃度を上げるとともに、ASRT の増加によって硝化促進を図る。
- ・ 反応槽の一部の嫌気槽を好気槽に切替えて、送風量を上げることによって硝化促進運転を行う。

表 5-2 回復期（硝化抑制→硝化促進）の作業工程の例（標準活性汚泥法）の場合

| 作業項目                    | 1ヶ月目 | 2ヶ月目 | 備考   |
|-------------------------|------|------|------|
| 1. 硝化促進への運転方法の変更        |      |      |      |
| (1)余剰汚泥引抜量の減量           | ■    |      |      |
| (2)送風量調整                | ■    |      |      |
| 2. 硝化促進への移行(送風量・MLSS調整) | ■    | ■    |      |
| 3. 硝化抑制移行終了             |      | ■    |      |
| (以後、水処理状況を見ながら随時)       |      |      |      |
| 余剰汚泥引抜量の増減によるMLSS調節     |      |      |      |
| 送風量調整                   |      |      |      |
| 終沈での脱窒による汚泥浮上の監視        |      |      |      |
| 4. 水処理状況の確認             |      |      | 通年実施 |
| (水質測定、顕微鏡観察、活性汚泥凝集性の確認) |      |      |      |

注：当該処理場は合流式の処理場である。また、糸状性細菌による SVI の上昇が起こりやすい処理場である。

注：水質測定にあたっては、硝化速度試験\*を行うことにより硝化細菌の状況を把握することが望ましい（第 3.3 章参照）。

※：下水試験方法上巻-2012 年版-（公財）日本下水道協会 p. 706 参照

(2) 硝化抑制② (運転池数の変更)

◆移行期

標準活性汚泥法での硝化抑制運転において、反応槽への流入負荷を高めるため、運転池数を減少させる場合について、移行期の作業工程の例を表 5-3 に示す。

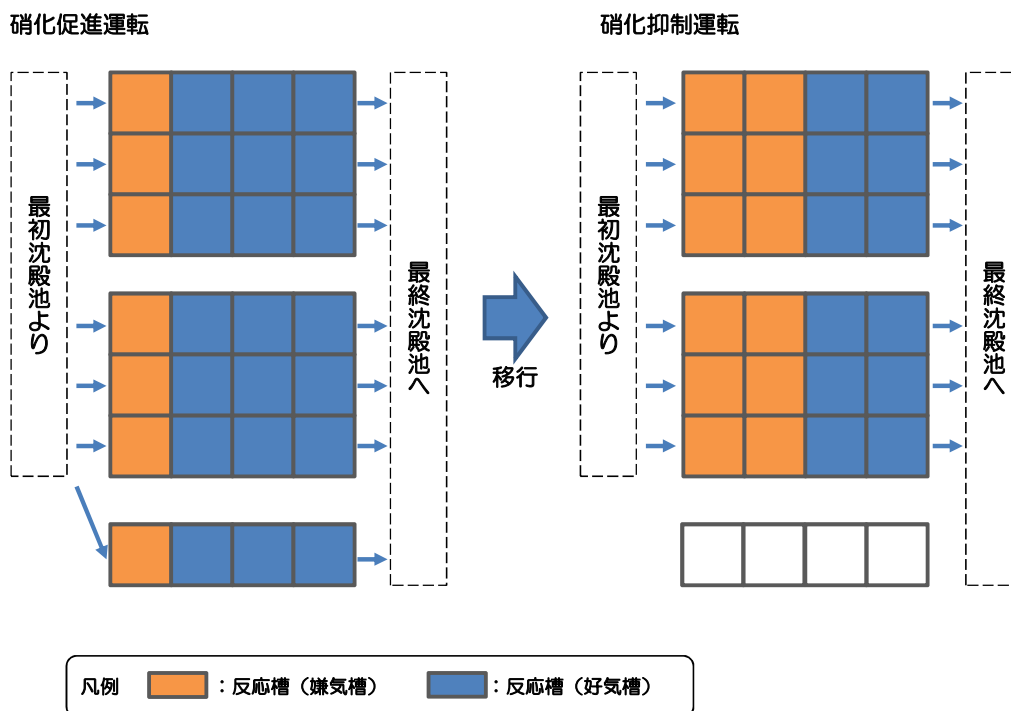
- ・ 反応槽の 1 系列分への流入を停止し、他の系列の反応槽への流入負荷を高める。
- ・ 汚泥の返送率 (返送量) を変えて MLSS 濃度を下げるとともに ASRT の短縮によって硝化抑制を図る。
- ・ 反応槽の一部の好気槽を嫌気槽に切替え、送風量を下げた硝化抑制運転を行う。

表 5-3 移行期の作業工程の例 窒素増加：硝化抑制運転 (標準活性汚泥法) の場合

| 作業項目            | 1ヶ月目 | 備考 |
|-----------------|------|----|
| 1. 運転変更         |      |    |
| (1) 反応槽流入方法変更   |      |    |
| 反応槽1系列使用停止      | ■    |    |
| (2) 反応槽運転方法変更   |      |    |
| 2槽目を好気槽から嫌気槽へ切替 | ■    |    |
| 2. 立ち上がり確認      |      |    |
| (1) 水質分析        | ■    |    |
| (2) 運転調整及び状況監視  |      |    |
| 1) 曝気量調整        | ■    |    |
| 2) 汚泥返送率調整      | ■    |    |

注：立ち上がり確認の水質測定にあたっては、硝化速度試験\*を行うことにより硝化細菌の状況を把握することが望ましい (第 3.3 章参照)。

※：下水試験方法上巻-2012年版-(公財)日本下水道協会 p.706 参照



◆回復期

標準活性汚泥法での硝化抑制運転において、反応槽への流入負荷を高めるため、運転池数を減少させる場合について、回復期における作業工程の一例を表 5-4 に示す。

- ・ 反応槽の 1 系列分への流入を復旧し、他の系列の反応槽への流入負荷を下げる。
- ・ 汚泥の返送率（返送量）を変えて MLSS を上げるとともに、ASRT の増加により硝化促進を図る。
- ・ 反応槽の一部の嫌気槽を好気槽に切替えて、送風量を増やして硝化促進運転を行う。

表 5-4 回復期（硝化抑制→硝化促進）の作業工程の例（標準活性汚泥法）の場合

| 作業項目            | 1ヶ月目 | 備考           |
|-----------------|------|--------------|
| 1. 運転変更         |      |              |
| (1)反応槽流入方法変更    |      |              |
| 反応槽1系列復旧(使用開始)  |      |              |
| (2)反応槽運転方法変更    |      |              |
| 2槽目を嫌気槽から好気槽へ切替 |      |              |
| 2. 復旧確認         |      |              |
| (1)水質分析         |      |              |
| (2)運転調整及び状況監視   |      |              |
| 1)曝気量調整         |      |              |
| 2)汚泥返送率調整       |      |              |
| (3)復旧完了確認       |      | 日常の確認作業として実施 |

注：復旧確認の水質測定にあたっては、硝化速度試験<sup>\*</sup>を行うことにより硝化細菌の状況を把握することが望ましい（第 3.3 章参照）。

※：下水試験方法上巻-2012 年版-（公財）日本下水道協会 p.706 参照



### (3) 硝化抑制③ (オキシデーションディッチ法)

#### ◆移行期

オキシデーションディッチ法<sup>\*</sup>での硝化抑制運転において、移行期における作業工程の一例を表 5-5 に示す。

- ・エアレーション装置の間欠運転による曝気時間の変更や、回転数制御によって送風量を下げ、返送汚泥率を下げて硝化抑制を図る。
- ・運転の立ち上がりの確認では、細かな送風量調整は行わず、返送汚泥率もほぼ一定としている。

※：高度処理オキシデーションディッチ法も含む

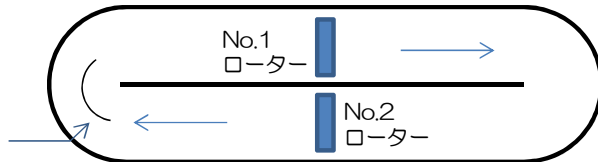
表 5-5 移行期の作業工程の例 窒素増加：硝化抑制運転（オキシデーションディッチ法）の場合

| 作業項目          | 1ヶ月目 | 備考                  |
|---------------|------|---------------------|
| 1. 運転変更       |      |                     |
| 曝気時間変更(段階低減)  |      | 段階的に低減(嫌気攪拌併用)      |
| 2. 立ち上がり確認    |      |                     |
| (1)水質分析及び簡易測定 |      | 継続監視                |
|               |      | ※細やかな曝気量調整は不要       |
|               |      | 汚泥返送率は、ほぼ一定で運転      |
| (2)立ち上がり完了確認  |      | 以後も継続監視             |
|               |      | (水温低下に伴う放流水質の悪化に注意) |

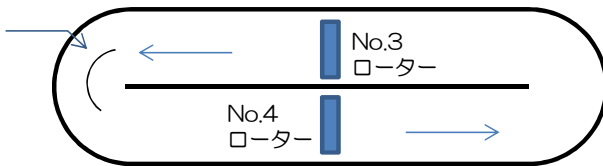
注：立ち上がり確認の水質測定にあたっては、硝化速度試験<sup>\*</sup>を行うことにより硝化細菌の状況を把握することが望ましい（第 3.3 章参照）。

※：下水試験方法上巻-2012年版-（公財）日本下水道協会 p.706 参照

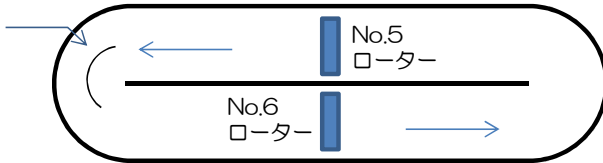
No.1オキシデーションディッチ槽



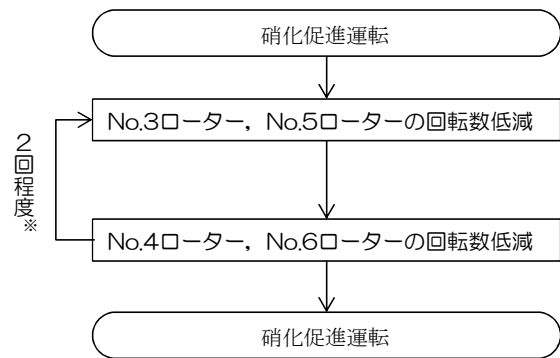
No.2オキシデーションディッチ槽



No.3オキシデーションディッチ槽



オキシデーションディッチ槽の配置平面図



※：水量や水質等の状況を見ながら調整

運転変更フロー

◆回復期

オキシデーショondiッチ法<sup>※</sup>での硝化抑制運転において、回復期における作業工程の一例を表 5-6 に示す。

- ・エアレーション装置の間欠運転による曝気時間を段階的に増加し、回転数制御によって送風量を増やし、返送汚泥率を上げて硝化促進を図る。
- ・運転の立ち上がり時期における確認では、細かな送風量調整は行わず、返送汚泥率もほぼ一定としている。

※：高度処理オキシデーショondiッチ法も含む

表 5-6 回復期（硝化抑制→硝化促進）の作業工程の例（オキシデーショondiッチ法）の場合

| 作業項目          | 1ヶ月目 | 備考                      |
|---------------|------|-------------------------|
| 1. 運転変更       |      |                         |
| 曝気時間変更(段階増加)  |      | 段階的に増加(嫌気攪拌併用)          |
| 2. 立ち上がり確認    |      |                         |
| (1)水質分析及び簡易測定 |      | 継続監視                    |
|               |      | ※細やかな曝気量調整は不要           |
|               |      | 汚泥返送率は、ほぼ一定で運転          |
| (2)立ち上がり完了確認  |      | 以後も継続監視                 |
|               |      | (水温上昇に伴う水質改善による過剰水質に留意) |

注：立ち上がり確認の水質測定にあたっては、硝化速度試験<sup>※</sup>を行うことにより硝化細菌の状況を把握することが望ましい（第 3.3 章参照）。

※：下水試験方法上巻-2012年版-（公財）日本下水道協会 p.706 参照

#### (4) 脱窒抑制（ステップ分配比の変更）

##### ◆移行期

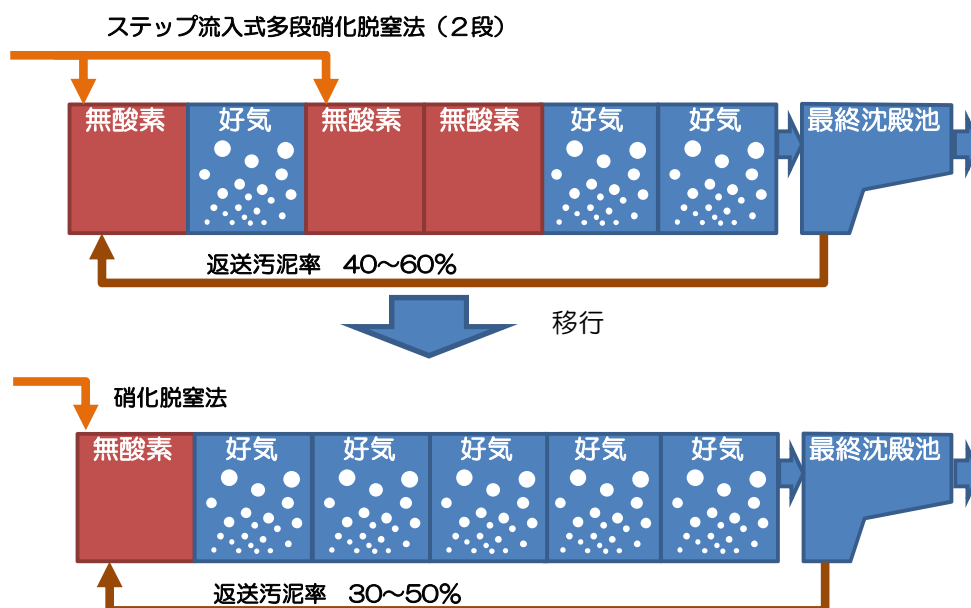
ステップ流入式多段硝化脱窒法での脱窒抑制運転において、移行期の作業工程の一例を表 5-7 に示す。この例では、標準活性汚泥法施設を通常時にはステップ流入式の多段硝化脱窒法として運用している処理場である。

- ・ステップ流入を停止して段数を減らし、無酸素槽（脱窒槽）を好気槽に切替えて酸化態窒素の脱窒量を低減する。

ステップ流入を停止して多段から単段に変更することで、全槽で同じ MLSS となり反応槽内の活性汚泥量が減少し、BOD 等の水質悪化につながる恐れがあるため、返送汚泥引抜量や余剰汚泥引抜量を調整し、反応槽内全体の活性汚泥量を維持している。

表 5-7 移行期の作業工程の例 窒素増加：脱窒抑制運転の一例

| 作業項目          | 1ヶ月目 | 備考 |
|---------------|------|----|
| 第1段階          |      |    |
| 1. 運転変更       |      |    |
| (1)反応槽流入方法変更  |      |    |
| 1)ステップ流入停止    |      |    |
| 2)槽切替(無酸素→好気) |      |    |
| 2. 立ち上がり確認    |      |    |
| (1)水質分析及び簡易測定 |      |    |
| (2)運転調整及び状況監視 |      |    |
| 1)曝気量調整       |      |    |
| 2)汚泥返送率調整     |      |    |
| 3)余剰汚泥引抜量調整   |      |    |
| (3)立ち上がり完了確認  |      |    |
| 第2段階(第1段階と同じ) |      |    |
| 第3段階(第1段階と同じ) |      |    |










◆回復期

ステップ流入式多段硝化脱窒法での脱窒抑制運転において、回復期の作業工程の一例を表 5-8 に示す。

- ・ステップ流入を再開して段数を増やし、好気槽を無酸素槽（脱窒槽）に切替えて酸化態窒素の脱窒量を促進させる。

表 5-8 回復期（脱窒抑制→脱窒促進）の作業工程の例

| 作業項目          | 1ヶ月目   | 備考 |
|---------------|--|----|
| 第1段階          |  |    |
| 1. 運転変更       |  |    |
| (1)反応槽流入方法変更  |  |    |
| 1)ステップ流入開始    |     |    |
| 2)槽切替(好気→無酸素) |     |    |
| 2. 復旧確認       |  |    |
| (1)水質分析及び簡易測定 |    |    |
| (2)運転調整及び状況監視 |  |    |
| 1)曝気量調整       |    |    |
| 2)汚泥返送率調整     |    |    |
| 3)余剰汚泥引抜量調整   |   |    |
| 第2段階(第1段階と同じ) |  |    |
| 第3段階(第1段階と同じ) |  |    |

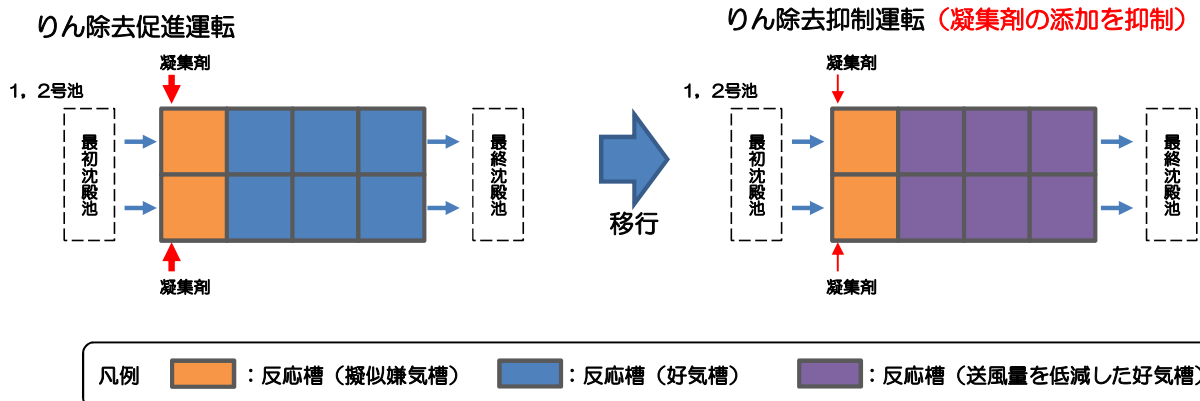
(5) 凝集剤添加率の削減

◆移行期

凝集剤添加率の削減でのりん増加運転において、移行期の作業工程の一例を表 5-9 に示す。この例では、窒素除去の抑制も同時に行っているが、りん除去の例に含めて示す。

表 5-9 移行期の作業工程の例 凝集剤添加率を削減する運転

| 作業項目             | 1ヶ月目 | 備考 |
|------------------|------|----|
| 1, 2号池           |      |    |
| 1. 運転変更          |      |    |
| (1)反応槽運転方法変更     |      |    |
| 1)1槽目疑似嫌気 2~4槽好気 |      |    |
|                  |      |    |
| 2. 立ち上がり確認       |      |    |
| (1)水質分析及び簡易測定    |      |    |
| (2)運転調整及び状況監視    |      |    |
| 1)曝気量調整          |      |    |
| 2)汚泥返送率調整        |      |    |
| 3)余剰汚泥引抜量調整      |      |    |
| (3)立ち上がり完了確認     |      |    |



注：当該処理場の例は、硝化抑制も同時に実施している。送風量低減は硝化抑制が主な目的である。

◆回復期

凝集剤添加率の削減でのりん増加運転において、回復期の作業工程の一例を表 5-10 に示す。

りん除去を抑制する運転からりん除去を促進する運転に回復するためには、削減した凝集剤添加率を戻す。

表 5-10 回復期の作業工程の例 凝集剤添加率を戻す運転

| 作業項目             | 1ヶ月目 | 備考 |
|------------------|------|----|
| 1, 2号池           |      |    |
| 1. 運転変更          |      |    |
| (1)反応槽運転方法変更     |      |    |
| 1)1槽目疑似嫌気 2~4槽好気 |      |    |
|                  |      |    |
| 2. 立ち上がり確認       |      |    |
| (1)水質分析及び簡易測定    |      |    |
| (2)運転調整及び状況監視    |      |    |
| 1)曝気量調整          |      |    |
| 2)汚泥返送率調整        |      |    |
| 3)余剰汚泥引抜量調整      |      |    |
| (3)立ち上がり完了確認     |      |    |

・T-N、NOxを週1回実施し管理

・T-PIについてはポリ鉄注入管理

注：本処理場の例は、窒素除去の抑制も同時に実施している。

(6) 生物学的りん除去抑制

◆移行期

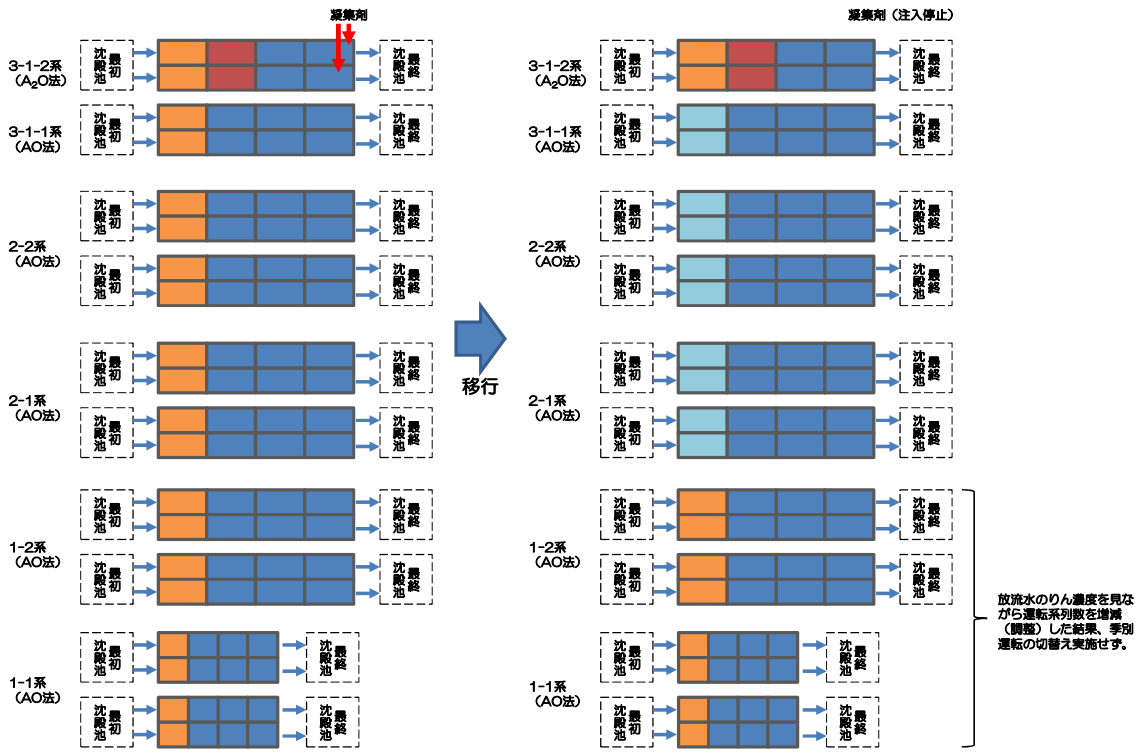
生物学的りん除去抑制において、移行期の作業工程の一例を表 5-11 に示す。本事例は凝集剤添加 A<sub>2</sub>O 法（上段）及び AO 法（下段）のものである。

- ・嫌気槽に送風して擬似的な好気槽とすることで、生物学的りん除去における工程の 1 つであるりんの放出を抑制している。

表 5-11 移行期の作業工程の例 りん除去を抑制する運転

| 作業項目                      | 1ヶ月目 | 備考      |
|---------------------------|------|---------|
| 3-1-2系(A <sub>2</sub> O法) |      |         |
| 1 運転変更                    |      |         |
| (1)反応槽運転方法変更              |      |         |
| 1)凝集剤注入量抑制運転開始            |      |         |
| 2 立ち上がり確認                 |      |         |
| (1)水質分析及び簡易測定             |      | 継続監視    |
| (2)運転調整及び状況監視             |      | 継続監視    |
| (3)立ち上がり完了                |      | 以降も継続監視 |

| 作業項目             | 1ヶ月目 | 備考                             |
|------------------|------|--------------------------------|
| 1-1系~3-1-1系(AO法) |      |                                |
| 1 運転変更           |      |                                |
| (1)反応槽運転方法       |      |                                |
| 1)嫌気槽への送気        |      | 段階的に系列増減                       |
| 2 立ち上がり確認        |      |                                |
| (1)水質分析及び簡易測定    |      | 継続監視                           |
| (2)運転調整及び状況監視    |      | 継続監視                           |
| (3)立ち上がり完了       |      | 以降も継続監視                        |
| 1,2の繰り返し         |      | 放流水りん濃度を見ながら、運転を切り替える系列を増減(調整) |



凡例  : 反応槽 (嫌気槽)  : 反応槽 (無酸素槽)  : 反応槽 (好気槽)  : 反応槽 (嫌気槽への送気による擬似的な好気槽)



◆回復期

生物学的りん除去抑制において、回復期の作業工程の例を表 5-12 に示す。

- ・嫌気槽への送風を解除して嫌気状態に戻すことにより、りんの放出を促進している。

表 5-12 回復期の作業工程の例 りん除去を抑制する運転

| 作業項目           | 1ヶ月目 | 備考 |
|----------------|------|----|
| 3-1-2系(A2O法)   |      |    |
| 1 運転変更         |      |    |
| (1)反応槽運転方法変更   |      |    |
| 1)凝集剤注入量抑制運転解除 | ■    |    |
| 2 立ち上がり確認      |      |    |
| (1)水質分析及び簡易測定  | ■    |    |
| (2)運転調整及び状況監視  | ■    |    |
| (3)立ち上がり完了     | ■    |    |

| 作業項目             | 1ヶ月目 | 備考 |
|------------------|------|----|
| 1-1系～3-1-1系(AO法) |      |    |
| 1 運転変更           |      |    |
| (1)反応槽運転方法       |      |    |
| 1)嫌気槽への送気解除      | ■    |    |
| 2 立ち上がり確認        |      |    |
| (1)水質分析及び簡易測定    | ■    |    |
| (2)運転調整及び状況監視    | ■    |    |
| (3)立ち上がり完了       | ■    |    |

注：立ち上がり確認の水質分析には、嫌気タンク、好気タンク内の $PO_4-P$ 濃度分析によるりんの放出や過剰摂取状態の確認を含む（表 3-1、表 4-4、表 4-6 参照）。また、りんの除去に関与する細菌群の試験\*を行うことによりりんの除去に関与する細菌群の状況を把握することが望ましい。

※：下水試験方法下巻-2012年版-（公財）日本下水道協会 p. 320 参照

### 5.3 放流水質管理値の設定

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、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、変動比を考慮した放流水質管理値を設定することが望ましい。また、放流水質管理値は、栄養塩類増加運転を実施する系列とバックアップ系列の水量・水質を勘案して設定することとし、試運転の結果を踏まえて、実施可能な放流水質管理値を適宜更新する。

※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、④一律排水基準のうち、最も厳しい値とする。

#### 【解説】

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、安定した運転を実施することが求められる。能動的運転管理では、栄養塩類の放流水質を高める運転に伴い、対象とする栄養塩類以外の放流水質項目の濃度が高くなる傾向にある（図 5-5、図 5-7～図 5-10、図 4-3、図 4-4 参照）。また、増加運転期は、通常期よりも水質の変動が大きくなる傾向がある（図 5-11～図 5-15 参照）。

特に、図 5-16～図 5-17（p. 81～82）のとおり、移行期・回復期は放流水質が不安定な状況となるため、これらの切替え期を含む増加期の変動比は、増加運転期よりも大きくなりやすいことに留意する必要がある。

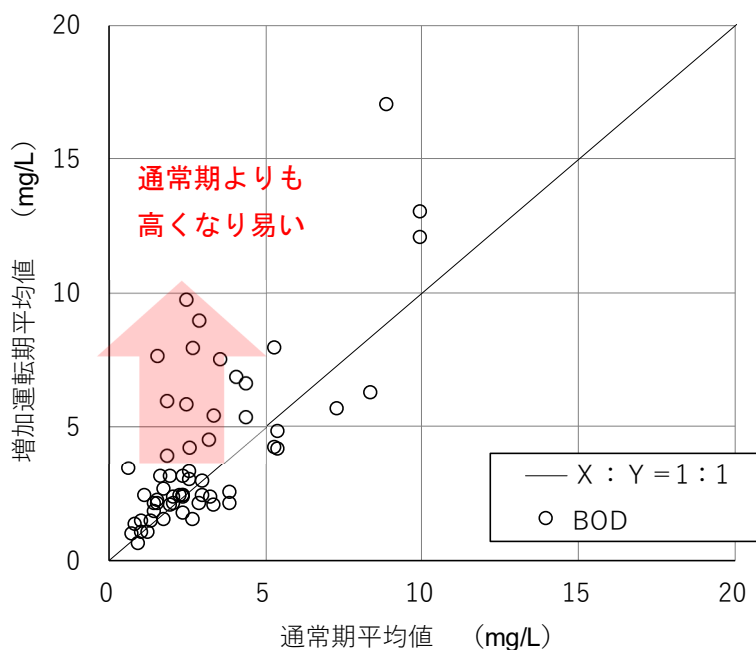


図 5-5 能動的運転管理における通常期と増加運転期の放流水 BOD の関係（硝化抑制の例）

これまでの放流水質管理値の設定例としては、各処理場において放流水質の上限値や日間平均値として設定している事例など様々である。本ガイドラインにおいては、処理レベルの低下による放流水質の変動比を考慮して放流水質管理値（増加運転期の日間平均の期間平均値）を設定することとし、参考として設定例を以下に示す。

- ・原則、変動比は、増加運転の実績や一部の系列での試運転結果など、当該下水処理場における実績データを整理して求める。

◆変動比（ $\alpha$ ）：増加運転期の日間平均の最大値（実績）<sup>※3</sup> ÷ 増加運転期の日間平均の期間平均値（実績）

- ・放流水質管理値は、任意の水質項目の運転の目安として、変動比（ $\alpha$ ）を乗じた値が水質基準値を下回るように設定する。（図 5-6 参照）

◆ 水質基準値 > 変動比（ $\alpha$ ） × 放流水質管理値

※3：各下水処理場の増加運転期の実績データは 10 個程度（単年度）であることが多かったことから、本ガイドラインでは最大値を使用した例としているが、水質の測定頻度を高く設定できる場合は、データの信頼区間を考慮して 99% 値あるいは 95% 値といった統計値を推定することも考えられる。

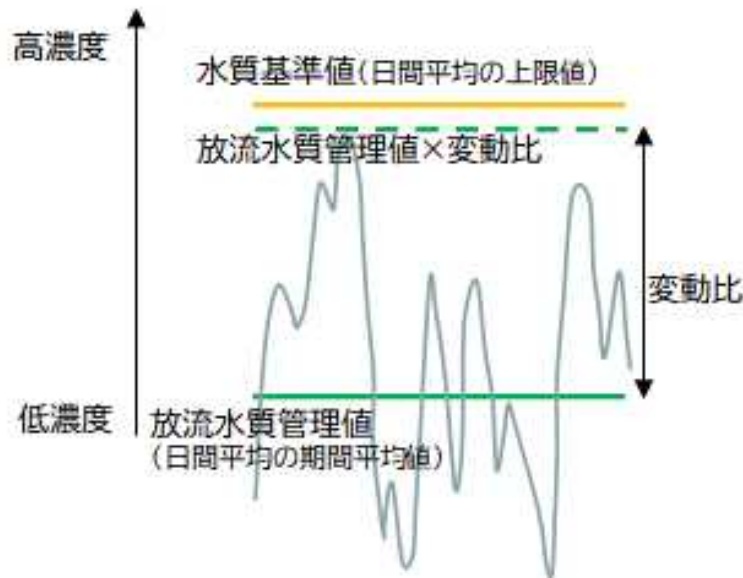


図 5-6 放流水質管理値のイメージ（日間平均値に法規制がある水質項目）

- ・設備の条件等により一部の系列での試運転データが取得できない場合は、当該処理場での運転実績（第 3.3 章参照）に基づき、通常期の日間平均の期間平均値のデータを整理する。
- ・既に能動的運転管理を導入している下水処理場における期間平均値比（ $\beta$ ）（図 5-7～図 5-10 参照）を通常期の日間平均の期間平均値（実績）に乗じて、増加運転期の日間平均の期間平均値を推定する。

◆ 増加運転期の日間平均の期間平均値 = 通常期の日間平均の期間平均値（実績） × 期間平均値比（ $\beta$ ）

- ・増加運転期の日間平均の期間平均値（推定）に変動比（参考）の実績（表 5-13）を乗じた値が水質基準値を下回ることを確認した上で放流水質管理値として設定する。
- ・下回ることを確認できない場合は、選定する増加運転手法の再検討やバックアップ系列の導入の検討、現地実験による検証を行う※1。

※1：実施設を用いた試験的運転に伴う放流水質の悪化リスクを軽減することを目的に、水質の変動の予測や実績データの解析・検証に、活性汚泥モデルに基づく活性汚泥プロセスのシミュレーションを活用することも考えられる（第 7.1 章(4)項参照）。

- ・硝化抑制を行った場合、これまでの知見※2と同様に、増加運転期に処理水の大腸菌群数が増加した事例が確認されている（図 5-20～図 5-21 参照）。

※2：（出典）下水道維持管理指針実務編 2014 年版（公社）日本下水道協会 p.553

- ・大腸菌群数の変動は、大腸菌群数が反応槽における生物処理や最終沈殿池における固液分離の影響を受けることに加えて、消毒効果に影響を与えるアンモニア濃度も変化することから、消毒方法の検討にあたっては、各処理場における既存の従来運転におけるデータを考慮するとともに、塩素注入量の確認のために実験を行うことが望ましい。

表 5-13 栄養塩類増加運転期の放流水の処理場毎の変動比（ $\alpha$ ）の実績範囲（参考）

| 水質項目      |                | n  | BOD                 | COD                 | SS                  | T-N                 | T-P                 |
|-----------|----------------|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 標準法       | 硝化抑制           | 30 | 1.91<br>(1.25~3.37) | 1.21<br>(1.04~1.71) | 1.77<br>(1.18~2.93) | 1.24<br>(1.06~1.48) | 1.88<br>(1.21~4.50) |
| 標準法<br>以外 | 硝化抑制           | 23 | 1.85<br>(1.29~2.56) | 1.36<br>(1.02~2.23) | 1.86<br>(1.11~3.49) | 1.54<br>(1.18~2.25) | 1.81<br>(1.14~2.91) |
|           | 脱窒抑制           | 4  | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   |
|           | 凝集剤添加率<br>削減   | 9  | -                   | -                   | -                   | -                   | 1.92<br>(1.18~5.16) |
|           | 生物学的<br>りん除去抑制 | 2  | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   |

n : R1, R2 年度の合計箇所数。脱窒抑制と生物学的りん除去抑制は実績数が少ないため、非集計。  
処理場毎に異なるバックアップ系列の割合を含めた放流水質であることに注意。

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート（令和3年度実施）結果に基づいて算出  
( ) は、処理場の変動比の範囲

表 5-14 栄養塩類増加運転の放流水の期間平均値比<sup>※</sup>（ $\beta$ ）の実績範囲（参考）

| 水質項目      |                | n  | BOD                 | COD                 | SS                  | T-N                 | T-P                 |
|-----------|----------------|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 標準法       | 硝化抑制           | 30 | 1.25<br>(0.64~4.75) | 1.16<br>(0.87~1.78) | 1.17<br>(0.46~2.64) | 1.31<br>(0.92~3.77) | 1.01<br>(0.35~1.81) |
| 標準法<br>以外 | 硝化抑制           | 23 | 1.18<br>(0.54~5.23) | 1.15<br>(0.37~2.02) | 1.36<br>(0.24~3.92) | 1.83<br>(0.86~7.14) | 0.63<br>(0.16~2.55) |
|           | 脱窒抑制           | 4  | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   |
|           | 凝集剤添加率<br>削減   | 9  | -                   | -                   | -                   | -                   | 1.06<br>(0.39~2.75) |
|           | 生物学的<br>りん除去抑制 | 2  | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   |

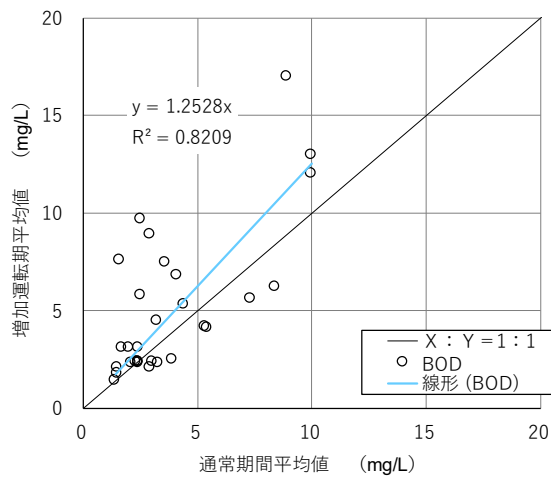
※期間平均値比：増加運転期平均値/通常期平均値  
n : R1, R2 年度の合計箇所数。脱窒抑制と生物学的りん除去抑制は実績数が少ないため、非集計。  
処理場毎に異なるバックアップ系列の割合を含めた放流水質であることに注意。  
( ) は、処理場の期間平均値比の範囲

【参考】能動的運転管理を行っている処理場放流水濃度の通常期と増加運転期の関係

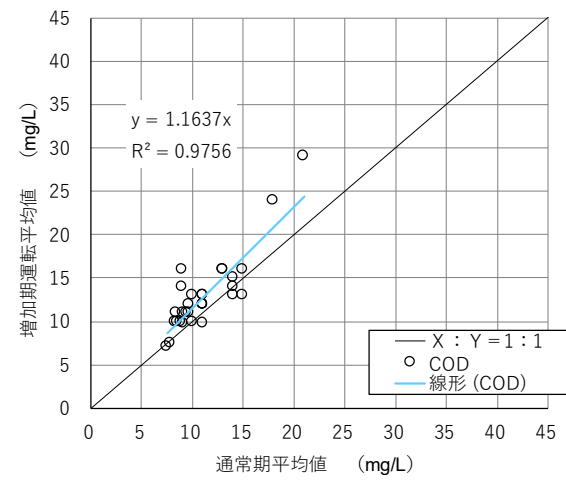
■硝化抑制（標準法）

日間平均値ベース

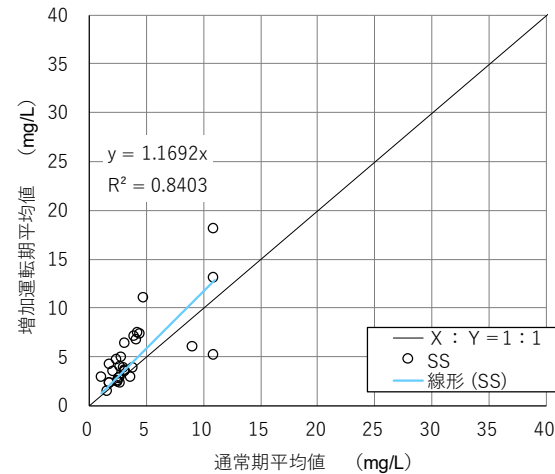
■BOD



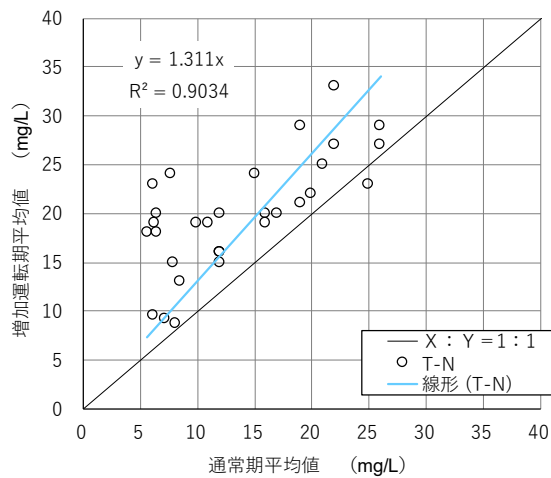
■COD



■SS



■T-N



■T-P

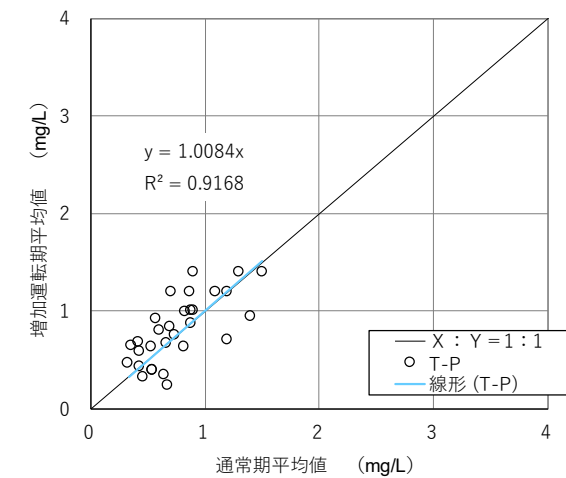


図 5-7 放流水濃度における通常期と増加運転期の関係 (R1, 2年度実績・硝化抑制)

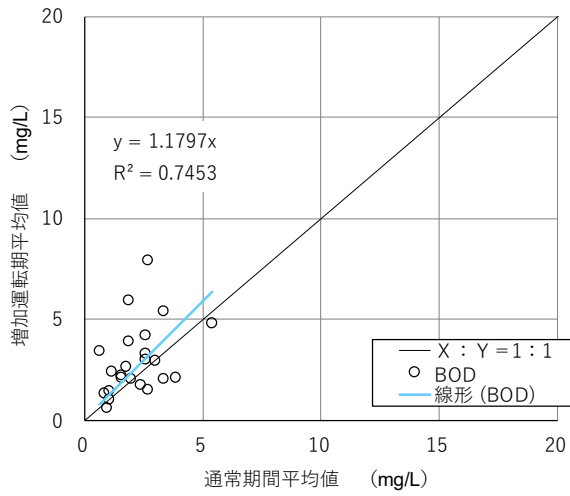
※R1、R2年度各年度データより算出 合計箇所数 n=30

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート (令和3年度実施) 結果

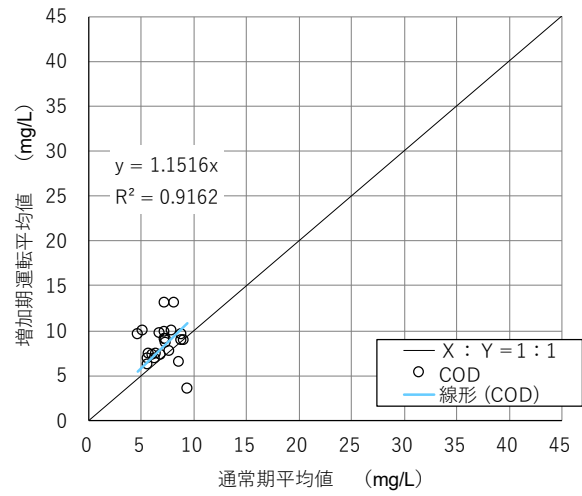
■硝化抑制（標準法以外）

日間平均値ベース

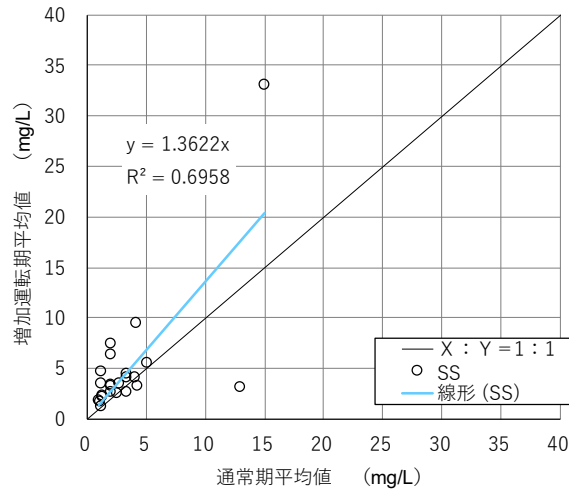
■BOD



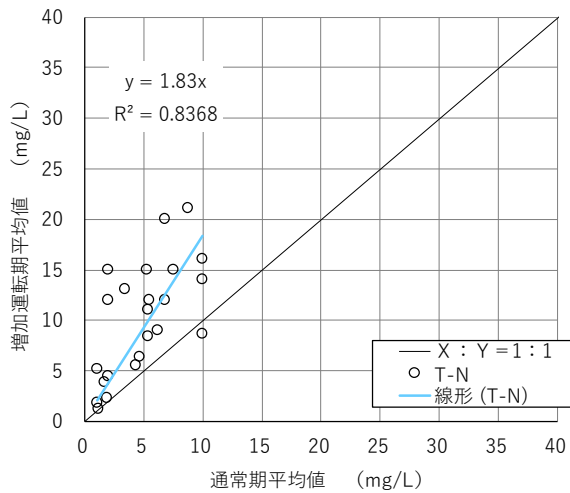
■COD



■SS



■T-N



■T-P

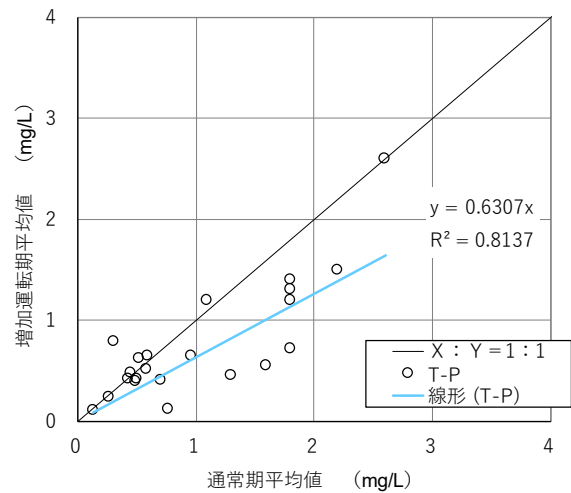


図 5-8 放流水濃度における通常期と増加運転期の関係 (R1, 2年度実績・硝化抑制)

※R1、R2年度各年度データより算出 合計箇所数 n=30

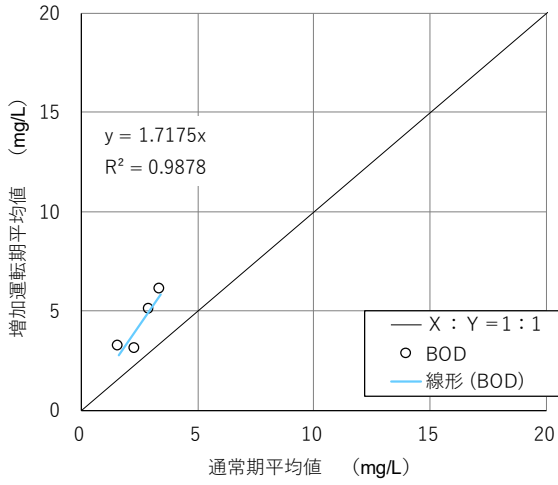
出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート (令和3年度実施) 結果



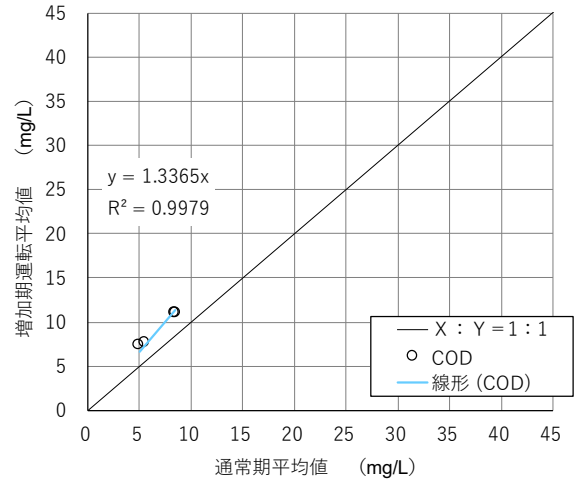
## ■脱窒抑制

日間平均値ベース

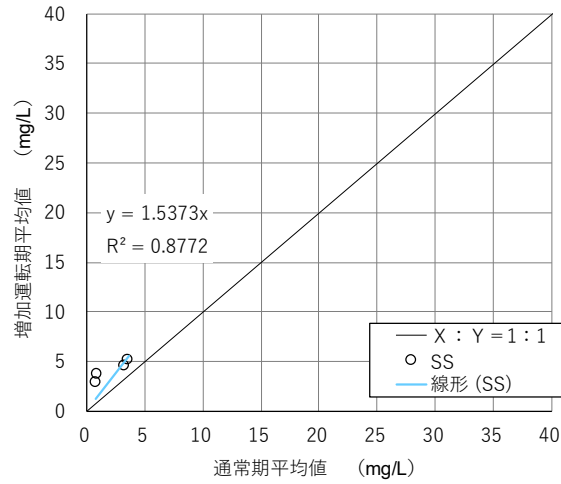
■BOD



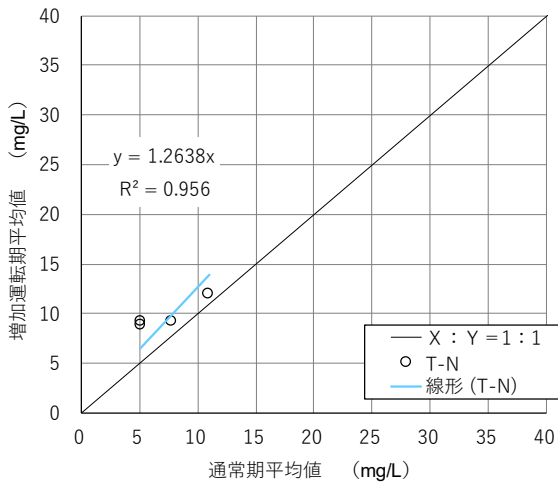
■COD



■SS



■T-N



■T-P

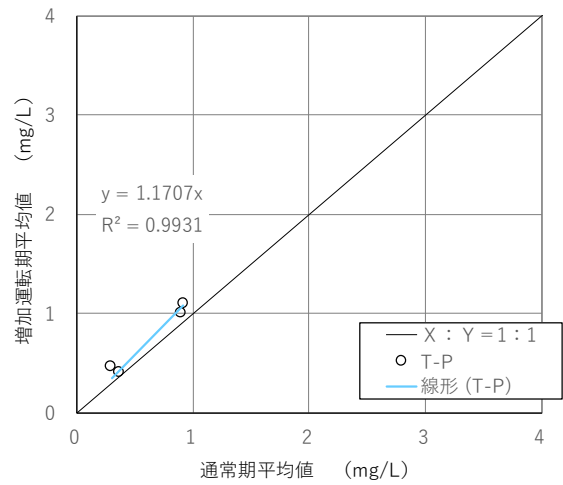


図 5-9 放流水濃度における通常期と増加運転期の関係(脱窒抑制)

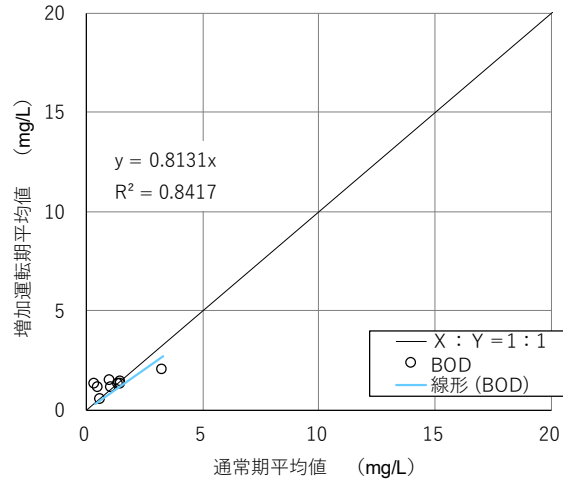
※R1、R2年度各年度データより算出 合計箇所数 n=4

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート(令和3年度実施)結果

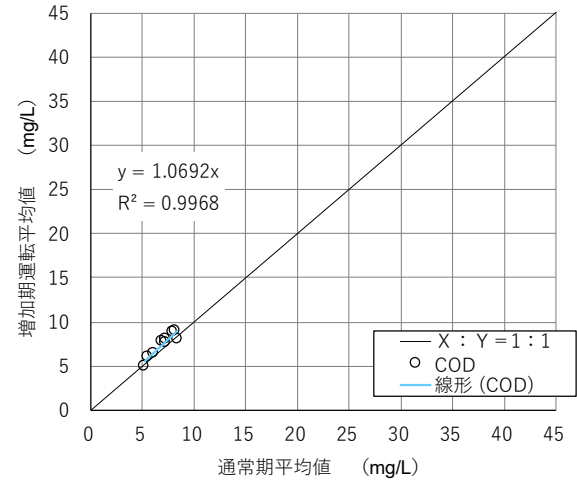
## 凝集剤添加率の削減

日間平均値ベース

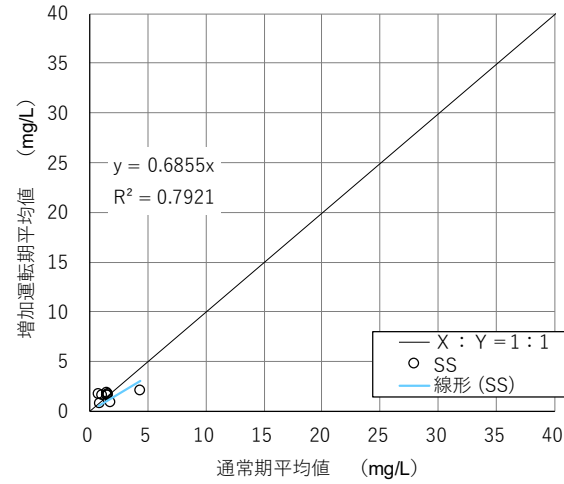
■ BOD



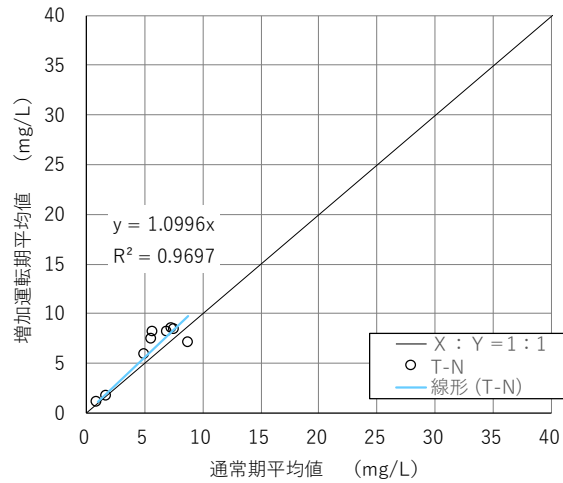
■ COD



■ SS



■ T-N



■ T-P

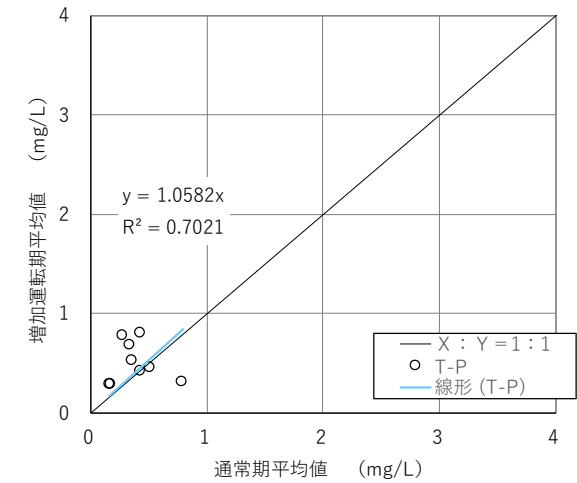


図 5-10 放流水濃度における通常期と増加運転期の関係 (凝集剤添加率の削減)

※R1、R2 年度各年度データより算出 ※窒素増加併用系列データは含まない 合計箇所数 n=9

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート (令和3年度実施) 結果

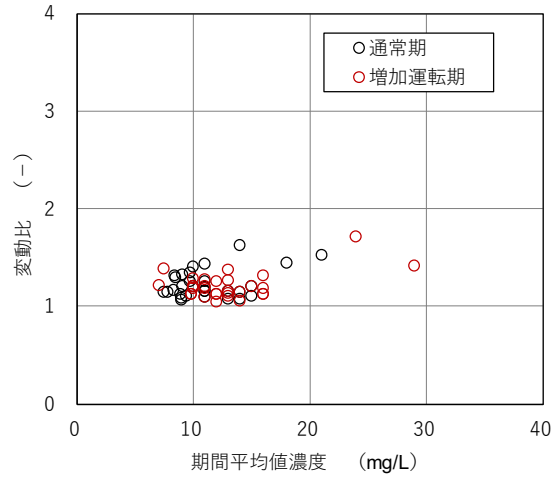
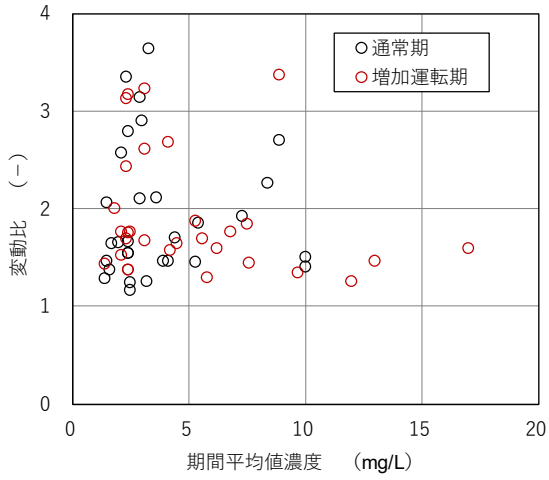
【参考】能動的運転管理を行っている処理場放流水の変動比

■硝化抑制（標準法）

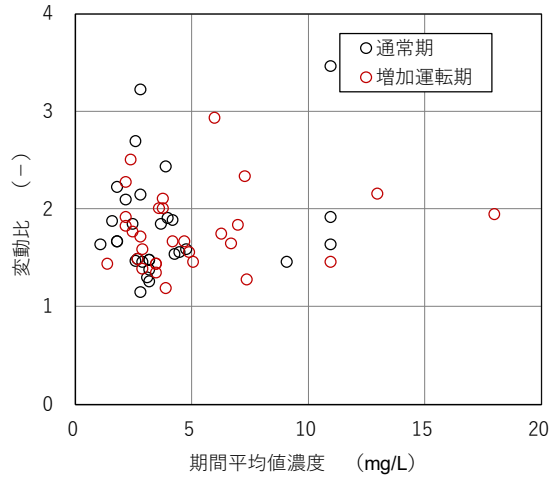
日間平均値ベース

■BOD 期間最大 = 通常期： 3.64 増加運転期： 3.37

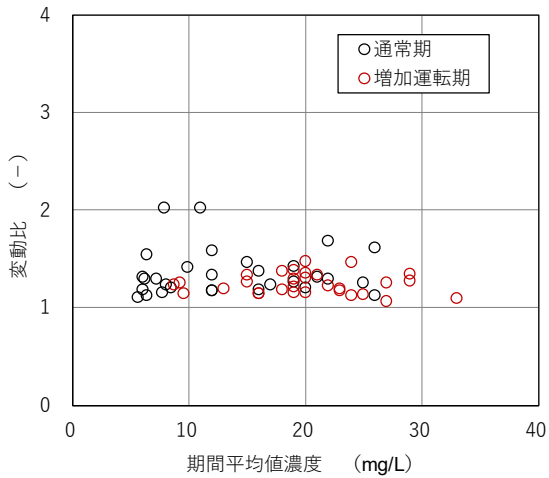
■COD 期間最大 = 通常期： 1.62 増加運転期： 1.71



■SS 期間最大 = 通常期： 3.45 増加運転期： 2.93



■T-N 期間最大 = 通常期： 2.03 増加運転期： 1.48



■T-P 期間最大 = 通常期： 3.78 増加運転期： 4.50

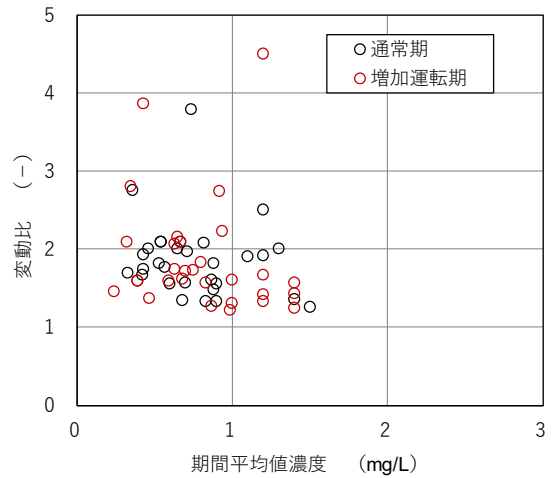


図 5-11 放流水における変動比（硝化抑制）

※R1、R2年度各年度データより算出 合計箇所数 n=30

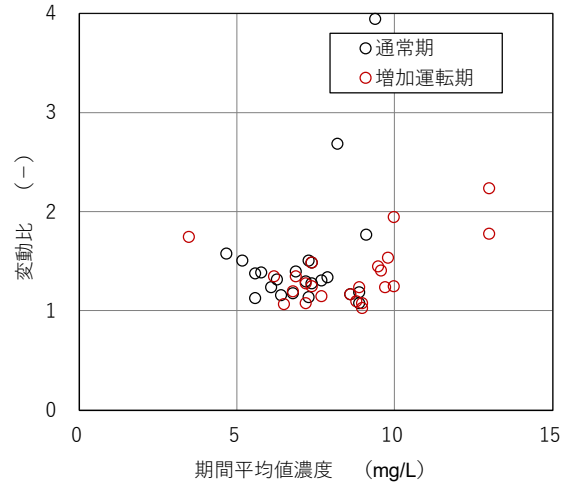
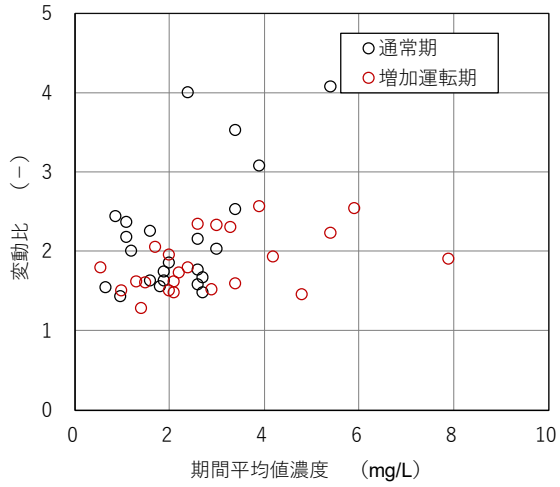
出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート（令和3年度実施）結果

■硝化抑制（標準法以外）

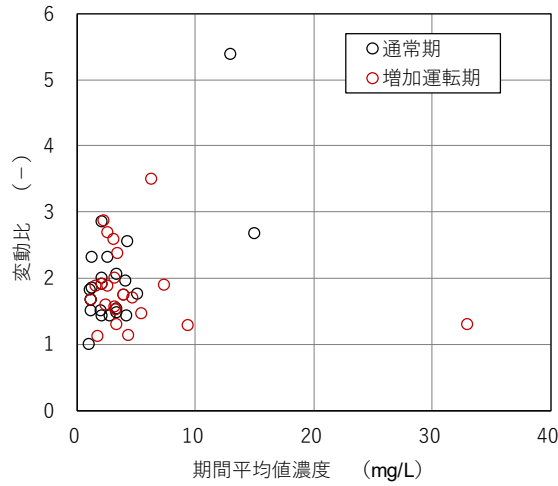
日間平均値ベース

■BOD 期間最大 = 通常期： 4.07 増加運転期： 2.56

■COD 期間最大 = 通常期： 3.94 増加運転期： 2.23



■SS 期間最大 = 通常期： 5.38 増加運転期： 3.49



■T-N 期間最大 = 通常期： 4.00 増加運転期： 2.25

■T-P 期間最大 = 通常期： 2.62 増加運転期： 2.91

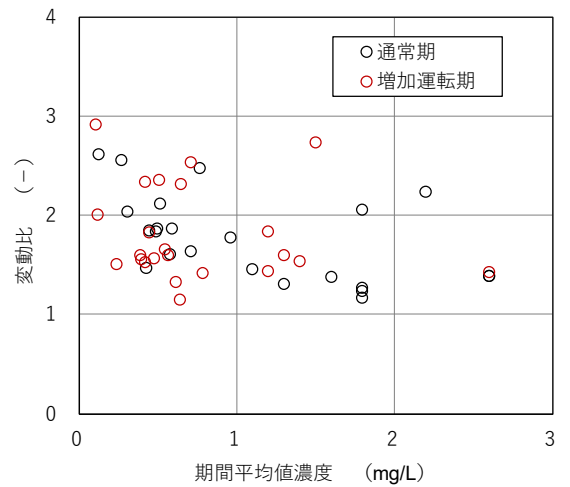
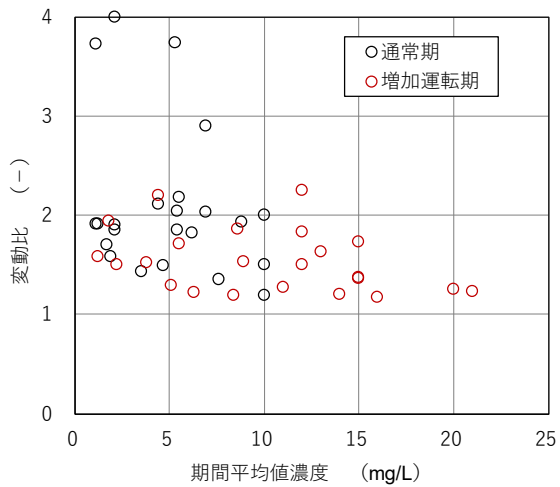


図 5-12 放流水における変動比（硝化抑制）

※R1、R2 年度各年度データより算出 合計箇所数 n=23

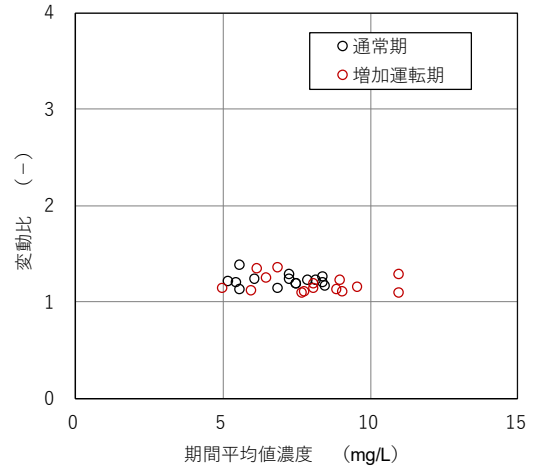
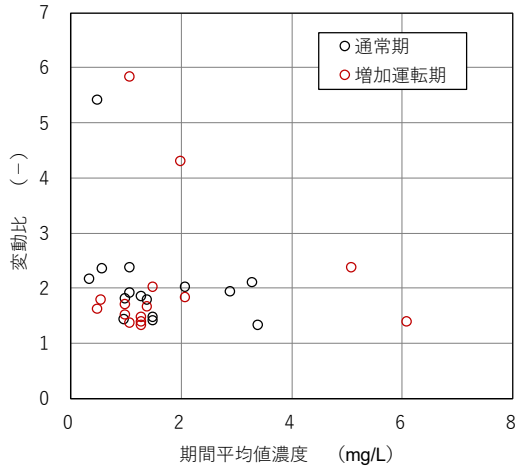
出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート（令和3年度実施）結果

## 凝集剤添加率の削減

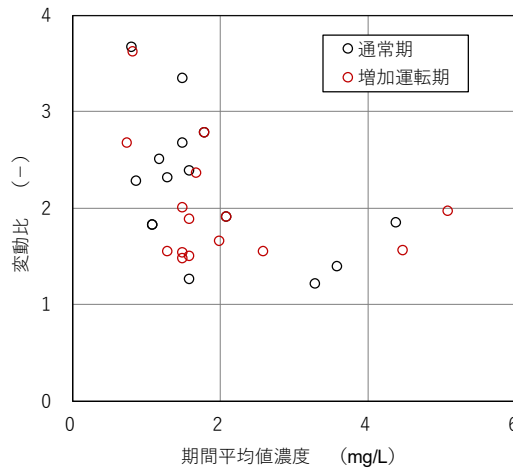
日間平均値ベース

■BOD 期間最大 = 通常期： 5.40 増加運転期： 5.82

■COD 期間最大 = 通常期： 1.38 増加運転期： 1.35



■SS 期間最大 = 通常期： 3.66 増加運転期： 3.61



■T-N 期間最大 = 通常期： 2.23 増加運転期： 1.53

■T-P 期間最大 = 通常期： 7.25 増加運転期： 5.16

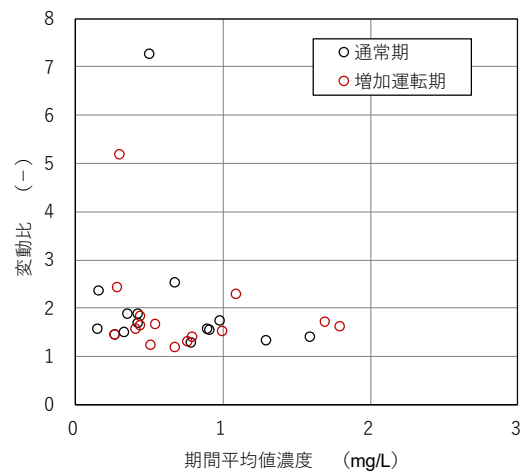
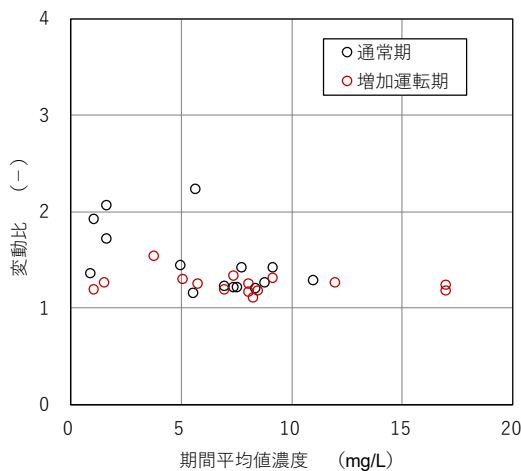


図 5-13 放流水における変動比（凝集剤添加率の削減）

※R1、R2 年度各年度データより算出 ※窒素増加併用系列データは含まない 合計箇所数 n=9

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート（令和3年度実施）結果

注) 平均値が低濃度域で変動幅が大きいケースは、通常期に放流水質が良好（低濃度）であることが多く、まれに濃度が高まった場合が想定される。

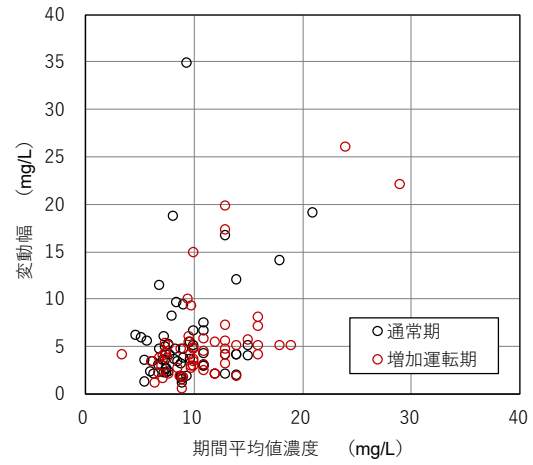
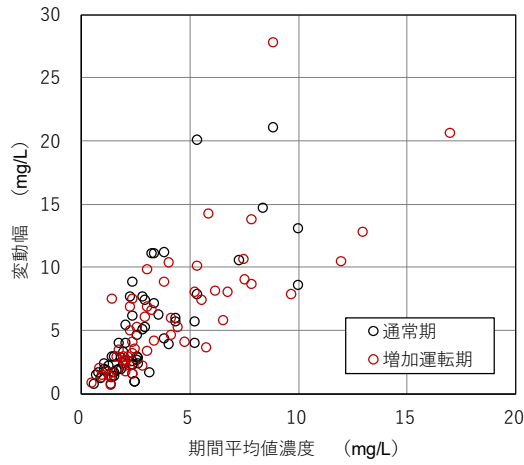
【参考】能動的運転管理を行っている処理場放流水の変動幅

■硝化抑制

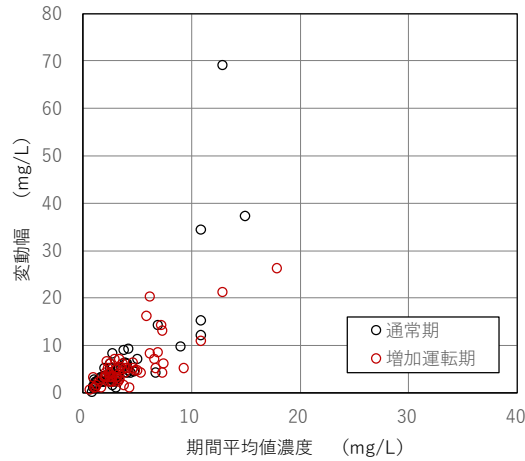
日間平均値ベース

■BOD 期間最大幅 = 通常期： 21.0 増加運転期： 27.7

■COD 期間最大幅 = 通常期： 34.8 増加運転期： 26.0



■SS 期間最大幅 = 通常期： 69.0 増加運転期： 26.0



■T-N 期間最大幅 = 通常期： 29.0 増加運転期： 25.1

■T-P 期間最大幅 = 通常期： 4.5 増加運転期： 5.1

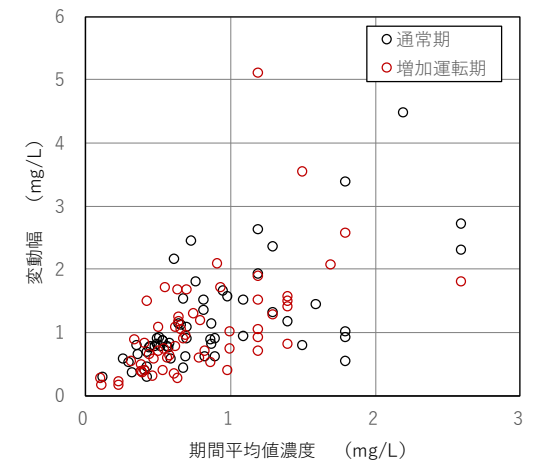
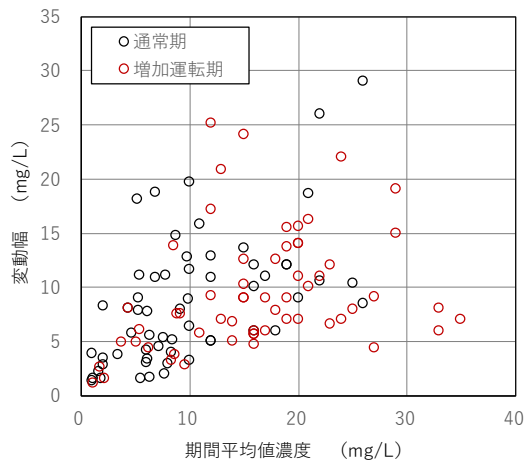


図 5-14 放流水における変動幅（硝化抑制）

変動幅 = 日間平均の期間最大値 - 日間平均の期間最小値

※R1、R2 年度各年度データより算出 合計箇所数 n=59

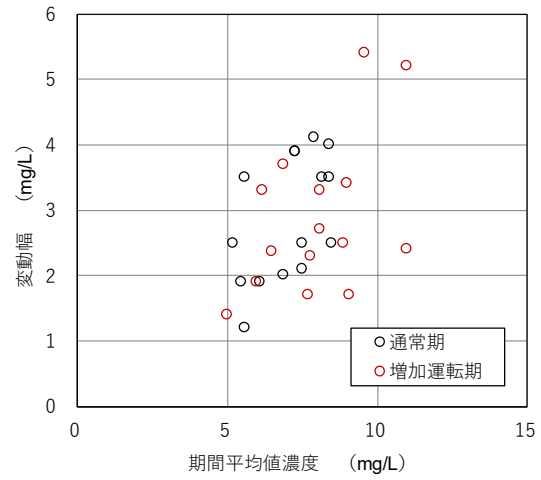
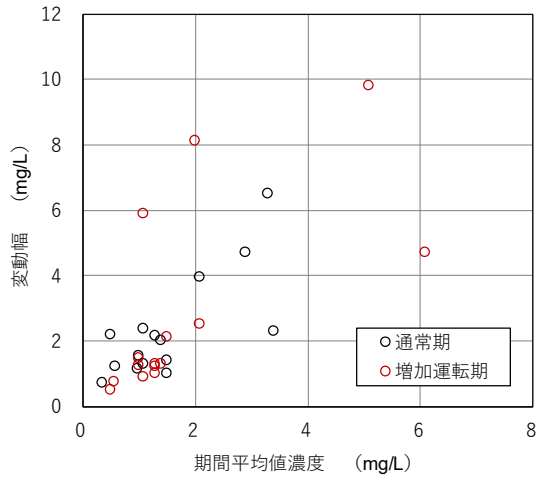
出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート（令和3年度実施）結果

## 凝集剤添加率の削減

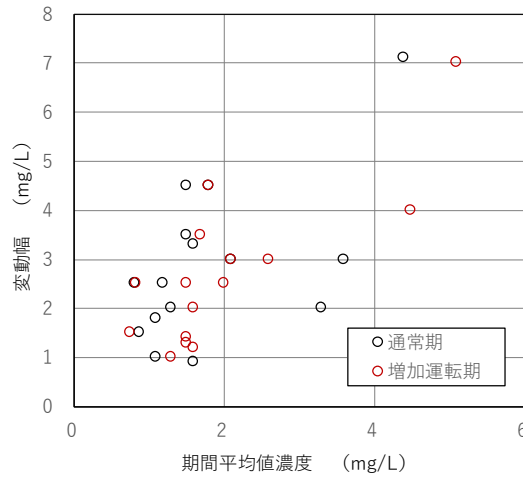
日間平均値ベース

■BOD 期間最大幅 = 通常期： 6.5 増加運転期： 9.8

■COD 期間最大幅 = 通常期： 4.1 増加運転期： 5.4



■SS 期間最大幅 = 通常期： 7.1 増加運転期： 7.0



■T-N 期間最大幅 = 通常期： 8.9 増加運転期： 9.0

■T-P 期間最大幅 = 通常期： 3.6 増加運転期： 2.6

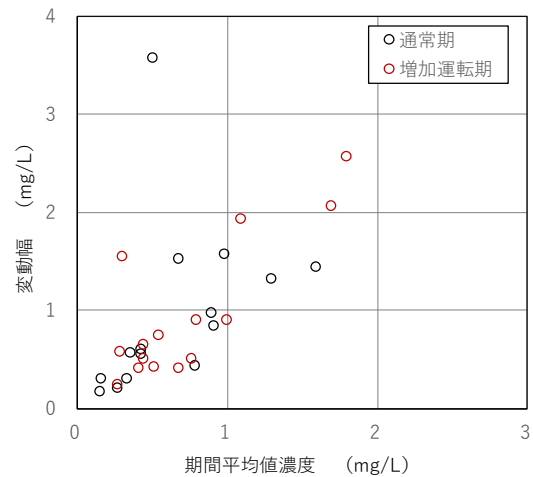
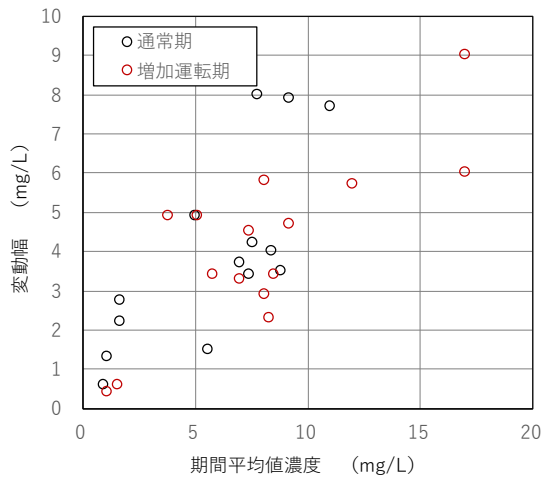


図 5-15 放流水における変動幅（凝集剤添加率の削減）

変動幅 = 日間平均の期間最大値 - 日間平均の期間最小値

※R1、R2 年度各年度データより算出 ※窒素増加併用系列データは含まない 合計箇所数 n=9

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート (令和3年度実施) 結果



## 『増加期（移行期・回復期含む）の放流水質の変動特性』

移行期・回復期の水質データを有する下水処理場における、増加期の放流水質の変動特性を図 5-16～図 5-19 に示す。変動比は、図 5-16 及び図 5-17 に示すように、増加運転期よりも大きくなる場合がある。硝化抑制の場合は、BOD、COD、SS、T-N、T-P のいずれの項目について、多くの下水処理場でその傾向が認められる。

また、硝化抑制の場合は、T-N については放流水の最大濃度が増加運転期となる場合が多い。一方、BOD、COD、SS、T-P は、最大値が移行期・回復期となる場合が多いことから、移行期・回復期は、放流水質が不安定な状況となることに留意が必要である。

凝集剤添加率削減によるりん除去抑制の場合は、図 5-19 に示すように、増加対象栄養塩類（T-P）以外の水質項目の移行期・回復期の変動は、硝化抑制ほど大きくないため、増加運転期の変動比を参考にすることも考えられる。

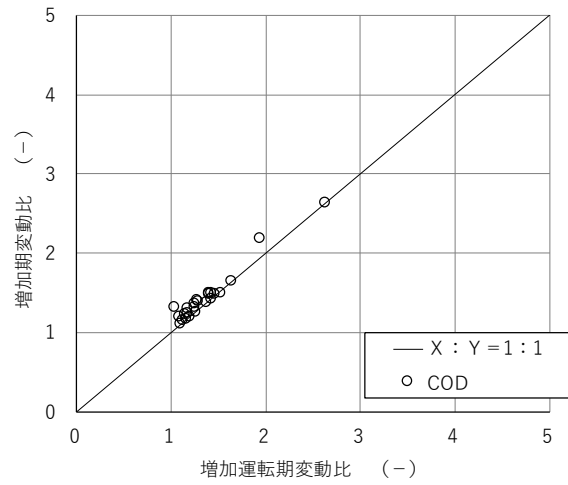
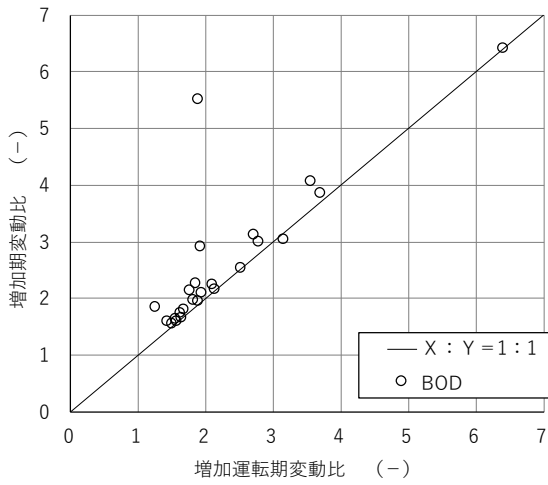
【参考】能動的運転管理を行っている処理場の増加運転期と増加期の放流水質変動比の関係

■硝化抑制

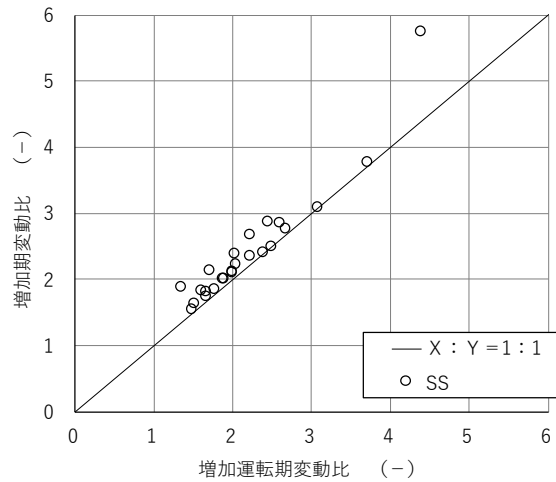
日間平均値ベース

■BOD 期間最大=増加運転期： 6.42 増加期： 6.42

■COD 期間最大=増加運転期： 2.64 増加期： 2.64



■SS 期間最大=増加運転期： 4.40 増加期： 5.74



■T-N 期間最大=増加運転期： 2.00 増加期： 2.22

■T-P 期間最大=増加運転期： 5.63 増加期： 6.28

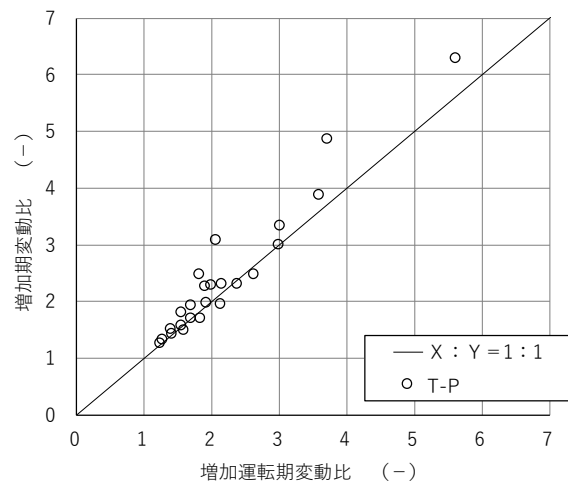
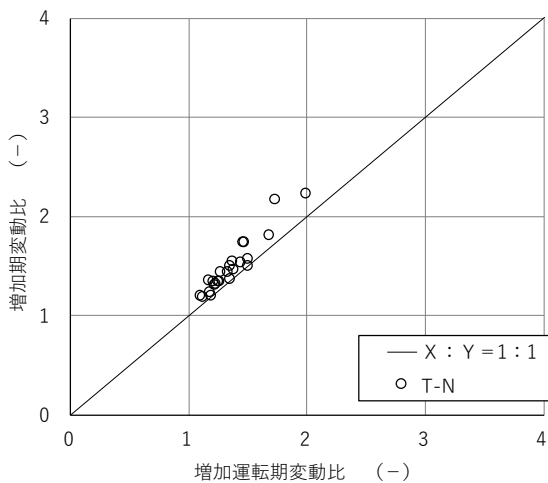


図 5-16 放流水における変動比（硝化抑制）

※R1~R2年度2ヶ年データより算出 ※箇所数 n=24

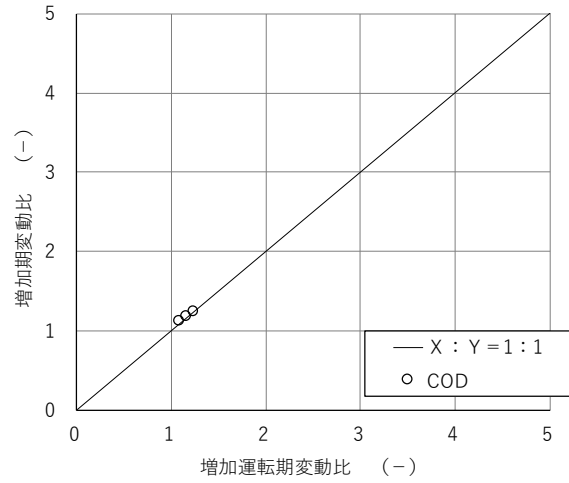
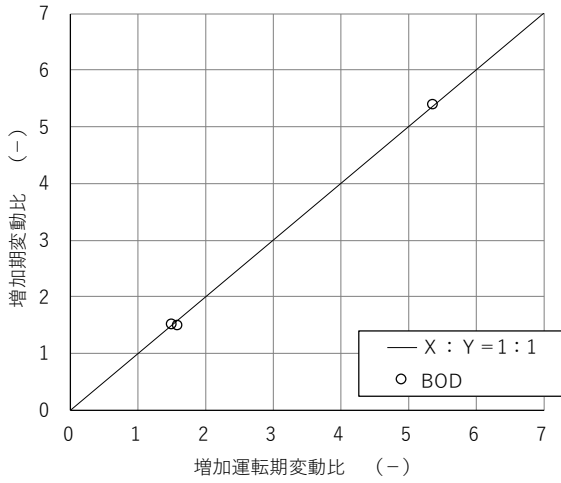
出典)国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート(令和3年度実施)結果

## 凝集剤添加率の削減

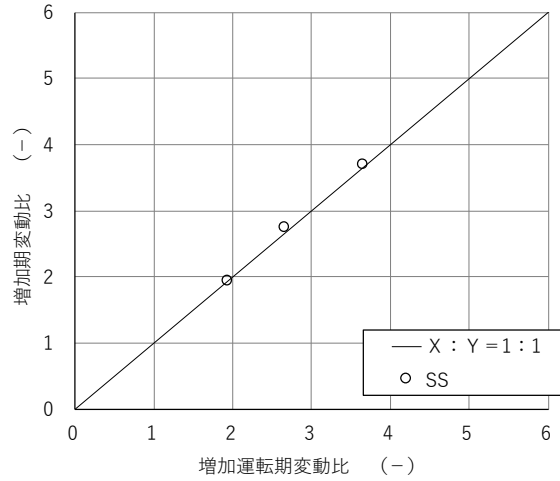
日間平均値ベース

■BOD 期間最大増加運転期： 5.38 増加期： 5.38

■COD 期間最大増加運転期： 1.24 増加期： 1.24



■SS 期間最大増加運転期： 3.66 増加期： 3.70



■T-N 期間最大増加運転期： 1.31 増加期： 1.41

■T-P 期間最大増加運転期： 5.71 増加期： 4.10

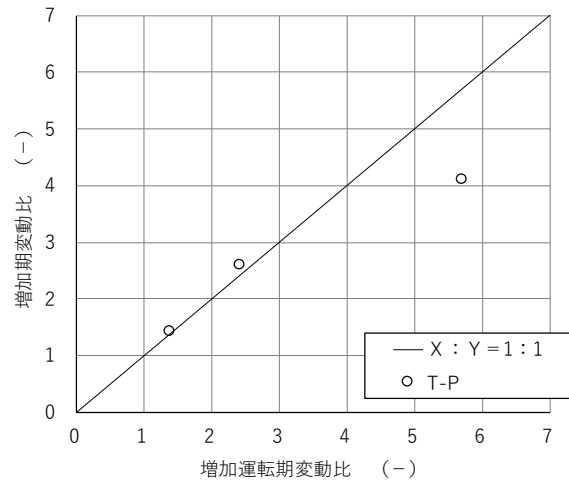
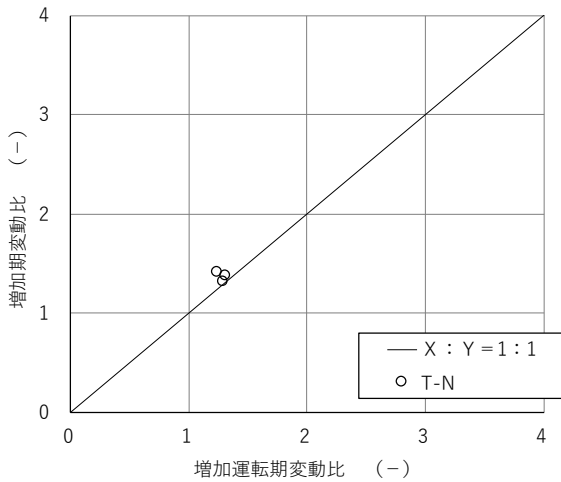


図 5-17 放流水における変動比 (凝集剤添加率の削減)

※R1~R2年度2ヶ年データより算出

※窒素増加併用系列データは含まない 箇所数 n=3

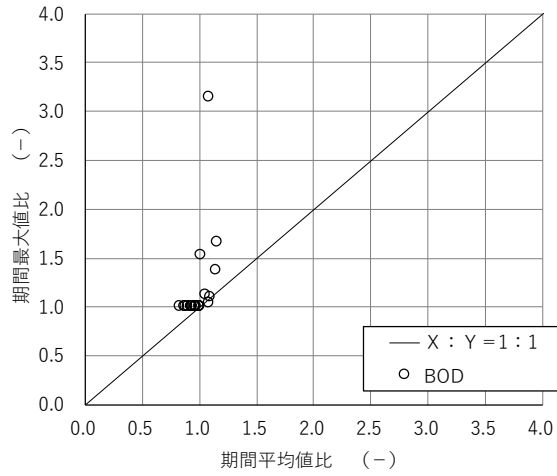
出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート (令和3年度実施) 結果

【参考】能動的運転管理を行っている処理場の増加運転期と増加期の放流水質の関係

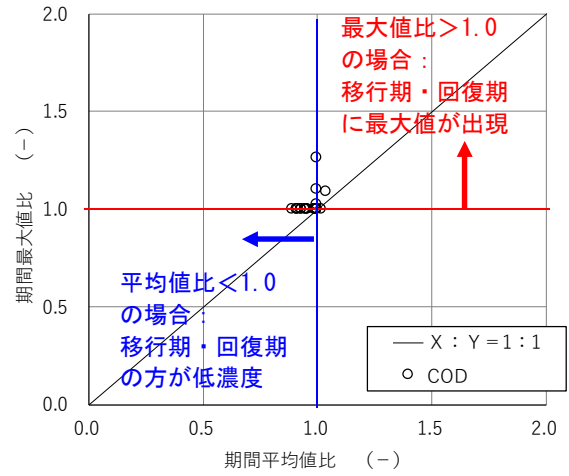
■硝化抑制

日間平均値ベース

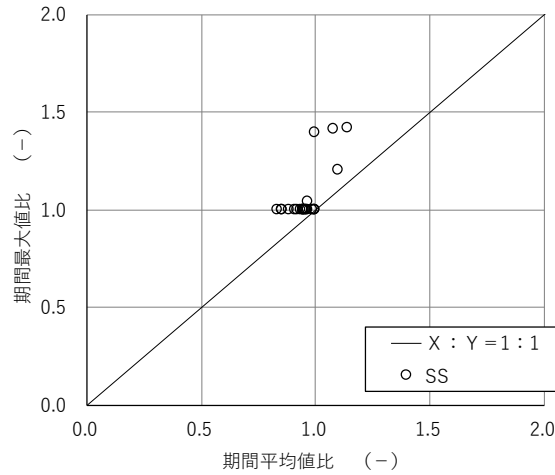
■BOD ※比 = 増加期集計値 / 増加運転期集計値



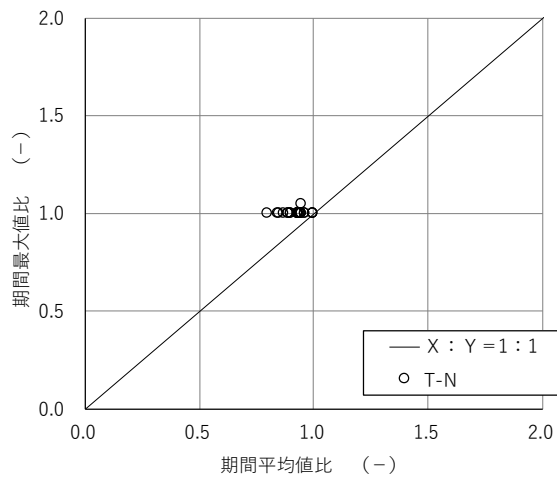
■COD ※比 = 増加期集計値 / 増加運転期集計値



■SS ※比 = 増加期集計値 / 増加運転期集計値



■T-N ※比 = 増加期集計値 / 増加運転期集計値



■T-P ※比 = 増加期集計値 / 増加運転期集計値

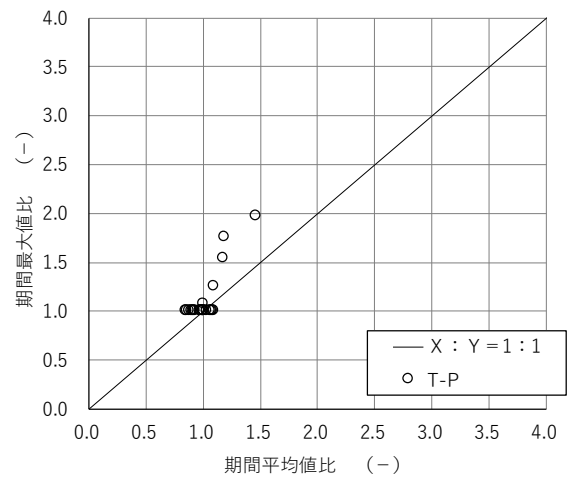


図 5-18 放流水における期間集計値比の関係 (硝化抑制)

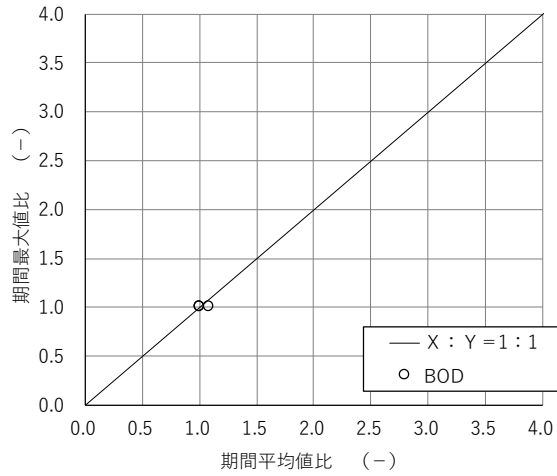
※R1~R2年度2ヶ年データより算出 ※箇所数 n=24

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート (令和3年度実施) 結果

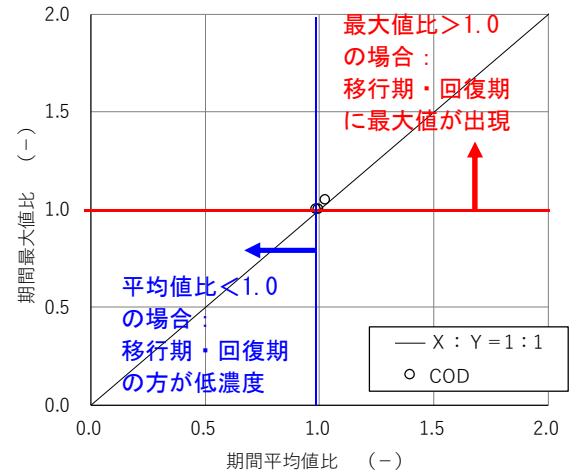
## 凝集剤添加率の削減

日間平均値ベース

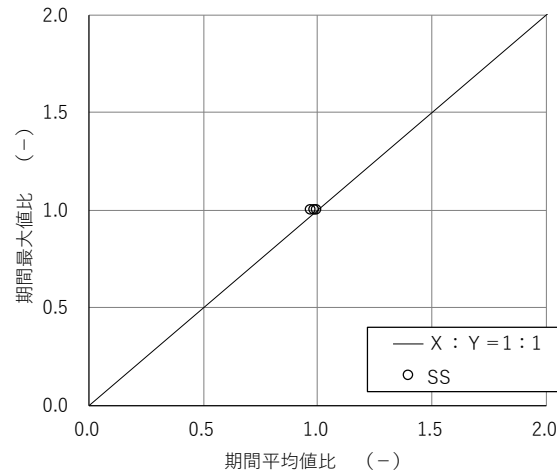
■ BOD ※比 = 増加期集計値 / 増加運転期集計値



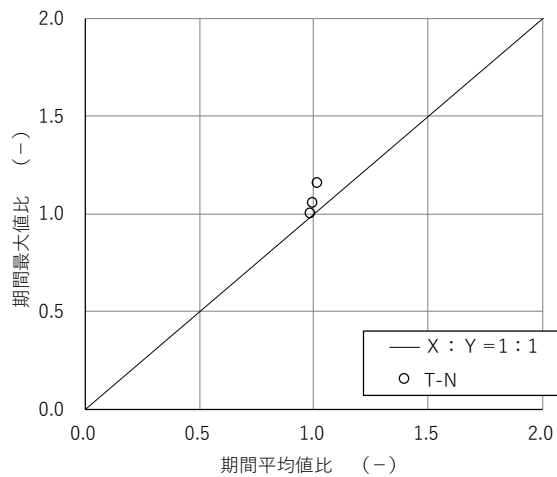
■ COD ※比 = 増加期集計値 / 増加運転期集計値



■ SS ※比 = 増加期集計値 / 増加運転期集計値



■ T-N ※比 = 増加期集計値 / 増加運転期集計値



■ T-P ※比 = 増加期集計値 / 増加運転期集計値

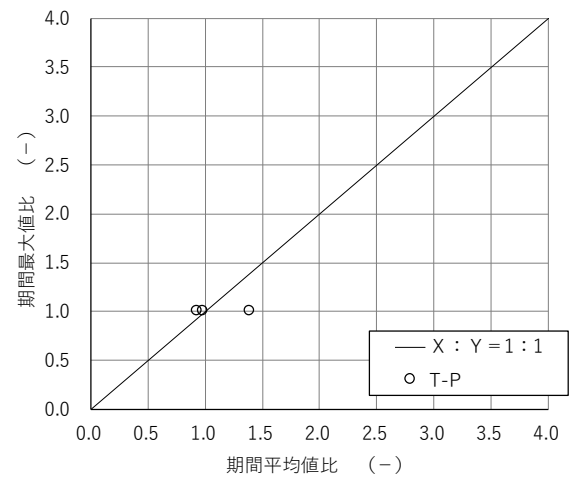


図 5-19 放流水における期間集計値比の関係 (凝集剤添加率の削減)

※2ヶ年データより算出 ※窒素増加併用系列データは含まない 箇所数 n=3

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート (令和3年度実施) 結果

【参考】能動的運転管理を行っている処理場の大腸菌群数の変動

■窒素増加運転∩塩素消毒

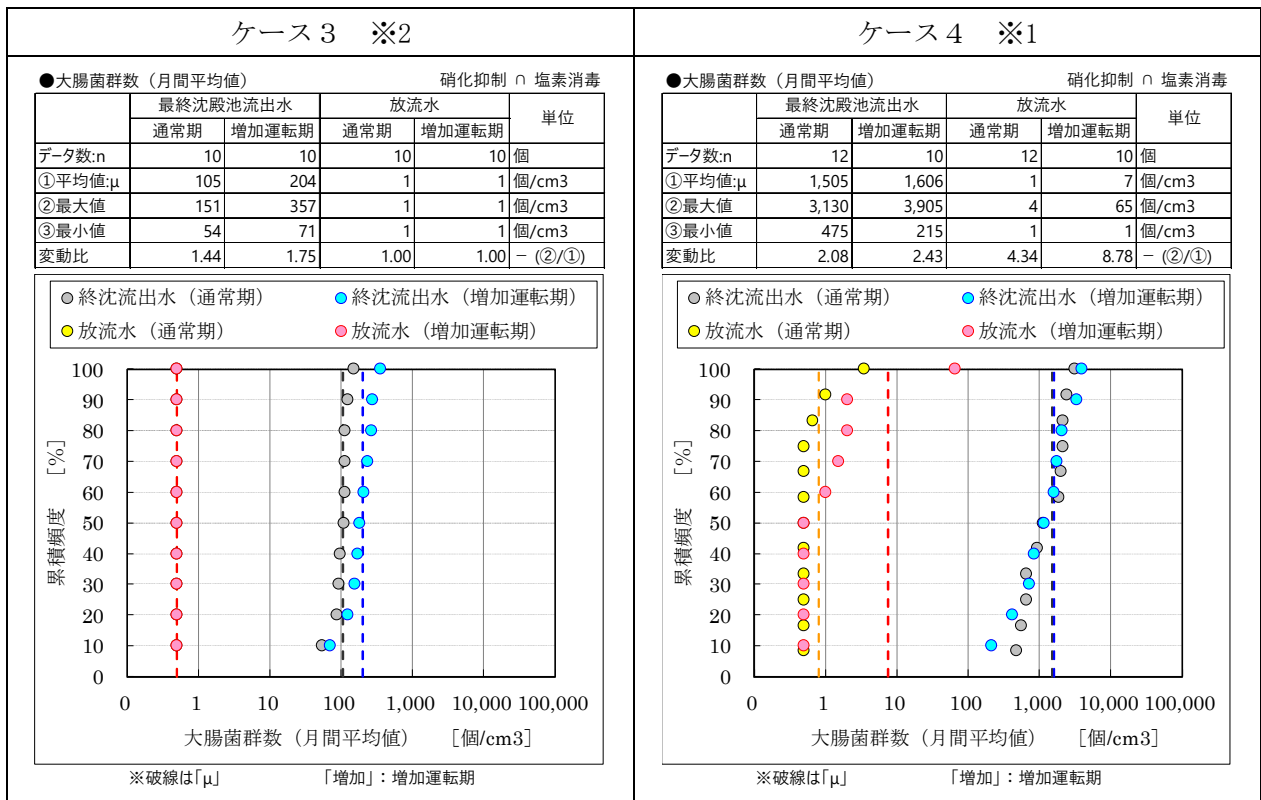
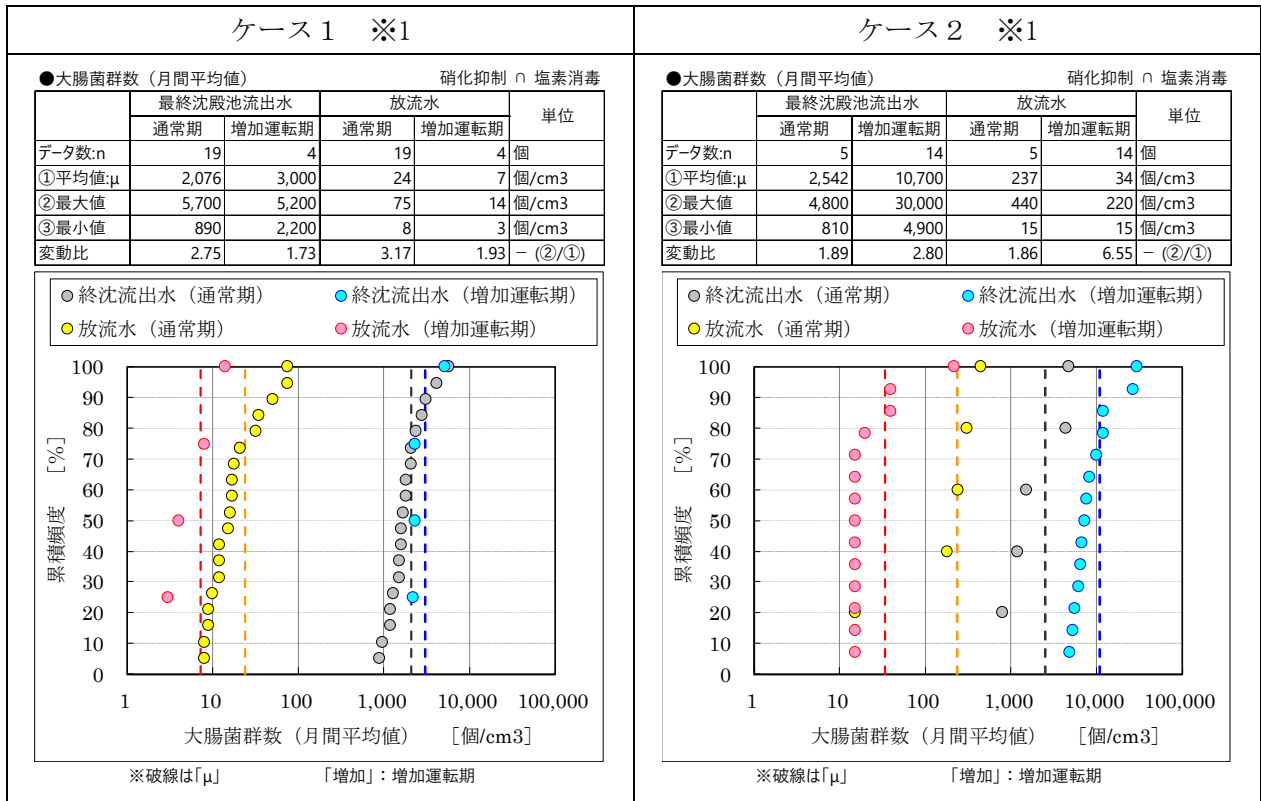


図 5-20 最終沈殿池流出水と放流水の通常期及び増加運転期の大腸菌群数の月間平均値のR1、R2年度2ヶ年の分布

※1：硝化抑制、※2：硝化抑制、脱窒抑制併用

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート (令和3年度実施) 結果

■窒素増加運転と紫外線消毒

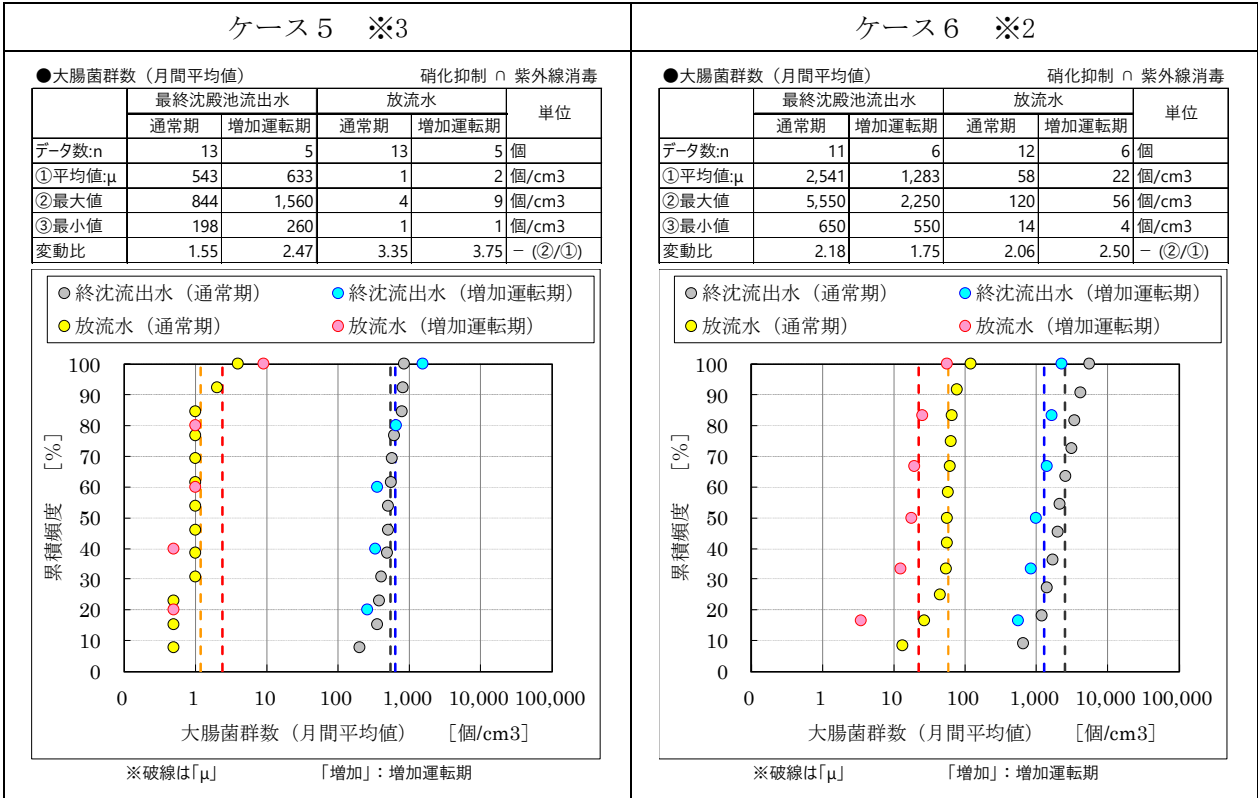


図 5-21 最終沈殿池流出水と放流水の通常期及び増加運転期の大腸菌群数の月間平均値の R1、R2 年度 2 ヶ年の分布

※2: 硝化抑制、脱窒抑制併用 ※3: 硝化抑制系列、硝化抑制+脱水分離液の反応タンク後部流入系列の組合せ

■放流水の大腸菌群数の消毒方法による比較 (処理場毎の期間平均値の分布)

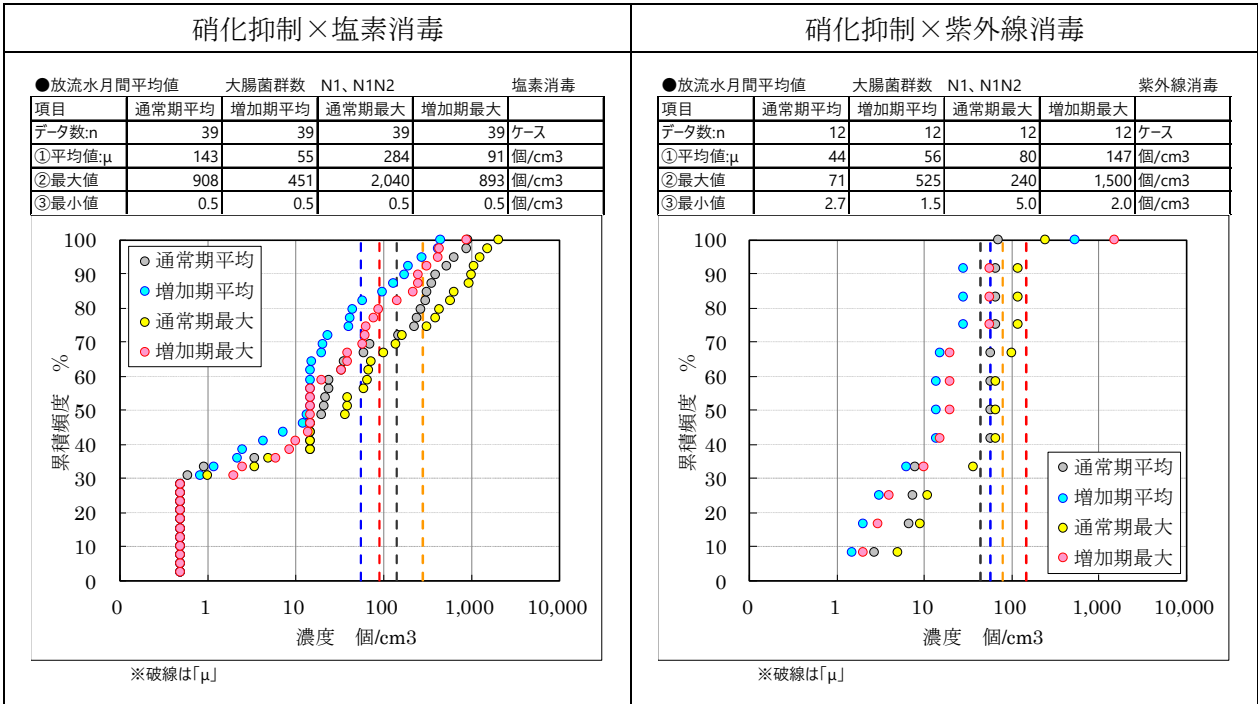


図 5-22 放流水の大腸菌群数の消毒方法による比較

R1、R2 年度各年度の月間平均データより算出

出典) 国土交通省が実施した能動的運転管理を行っている自治体へのアンケート (令和 3 年度実施) 結果



## 5.4 運転指標管理値の設定

### 5.4.1 運転指標項目の確認

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。

#### 【解説】

栄養塩類の増加運転を行う場合、図 3-2～図 3-5 に示した運転指標項目を基本とし、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（第 3.4 章参照）に基づいて運転操作を行う。

表 5-15 運転指標項目と指標として設定する目的

| 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          | 硝化細菌の増殖を抑制する。          | 下げる。     |
|            | MLDO 濃度（硝化速度） | 硝化細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：図 3-2～図 3-5 に示した運転指標項目のうち、BOD 除去に関する項目は除く。

※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。

#### 5.4.2 運転指標管理値の設定

増加運転期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、管理値、またはその範囲として運転指標管理値を設定することが望ましい。また、試運転による試行錯誤の結果を踏まえて、最適な管理値に適宜更新する。

##### 【解説】

栄養塩類の増加を図る系列について、通常期よりも栄養塩類濃度を高めるため、各運転指標項目（表 5-16 に例示）について運転指標管理値を設定する。これまでの実績では、同一処理場内でも系列や年度ごとに管理値を変更している事例も多く、設定にあたっては、通常期の管理値を基に試行錯誤を繰り返し、適切な値を採用することが望ましい。

#### (1) 硝化抑制運転

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

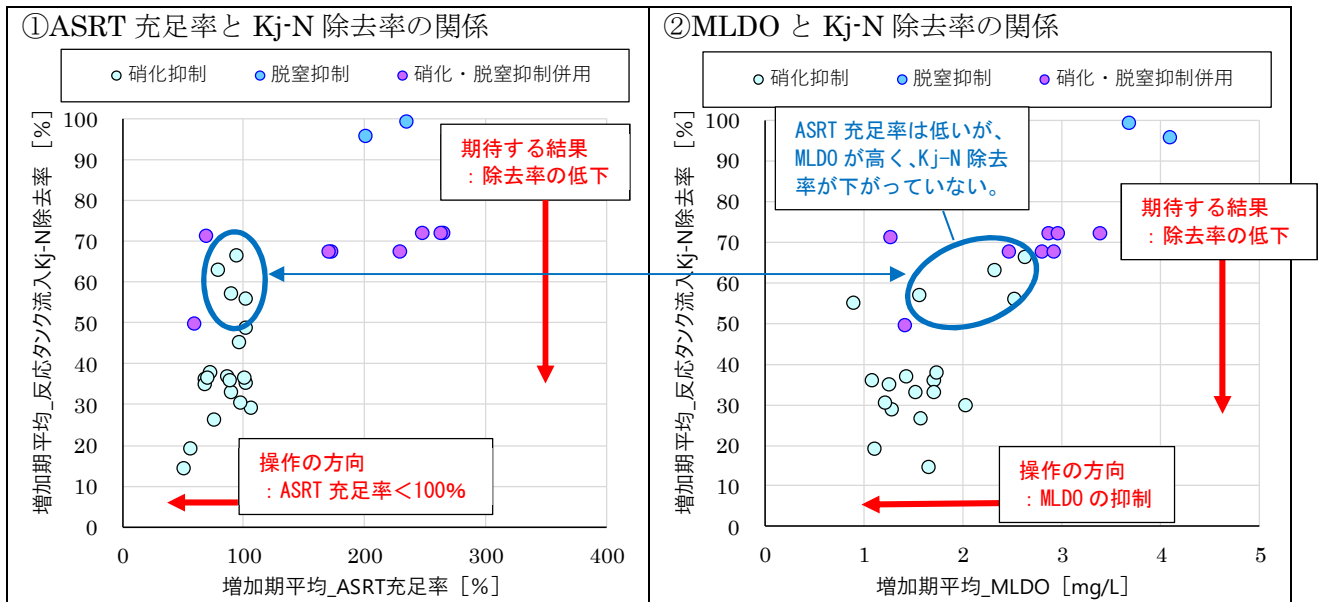
##### ①ASRT 充足率について

ASRT を抑制することで硝化細菌の増殖を抑制する。この場合、硝化細菌の増殖に必要な ASRT に対し、充足率が 100%未満となるように操作を行う。ASRT 充足率が 100%未満としても活性汚泥中の硝化細菌が直ちに減少することにはならないため、硝化が直ちに抑制されるものではない。また、ASRT を下げすぎると有機物の処理へも影響をおよぼす。このため、図 5-23 に示す通り、ASRT 充足率を下げる操作を行うと同時に MLDO を下げることで、効果的に Kj-N 除去率を低くすることが可能となる。

##### ②MLDO について

これまでの実績では、MLDO を 2mg/L 以下（期間平均値）となるように操作している事例で Kj-N 除去率が低くなっている。なお、図 5-24 に示すように、MLDO が 1mg/L 以下になったところで急激に硝化速度が低下する傾向があり、僅かな MLDO の変動に対する硝化速度の変化幅が大きいため、慎重に操作することが求められる。

通常の維持管理では硝化速度は測定しない場合が多いが、能動的運転管理において硝化抑制を行う場合、硝化速度を把握することで、硝化状況の目安とすることができる。



注) 期待する結果と操作の方向は、硝化抑制運転を意図した場合。

図 5-23 標準法施設における窒素増加運転に係る運転指標管理値と Kj-N 除去率の関係

『MLDO と硝化速度の関係 (参考)』

エアレーションの目的は、活性汚泥微生物による有機物の酸化及び同化（有機物分解及び活性汚泥の増殖）と硝化に必要な酸素の供給である。なお、散気式のエアレーションでは、下水と活性汚泥の混合液を攪拌し、活性汚泥を浮遊状態に保つこともエアレーションの目的になっている。

活性汚泥法の下水処理において硝化の促進を前提に運転を行う場合には、反応タンク当たりの必要酸素量が増加するので、特に、反応タンクのDO濃度の維持に注意を払う必要がある。図参1.23に活性汚泥混合液のDO濃度と硝化速度の関係の例を示すが、DO濃度が1 mg/L以下になると硝化速度が低下することがわかる<sup>39)</sup>。実施設による運転実績によると、反応タンク末端の溶存酸素濃度を1.5～2.0mg/L程度に管理すれば、硝化反応は遅滞なく進行する。

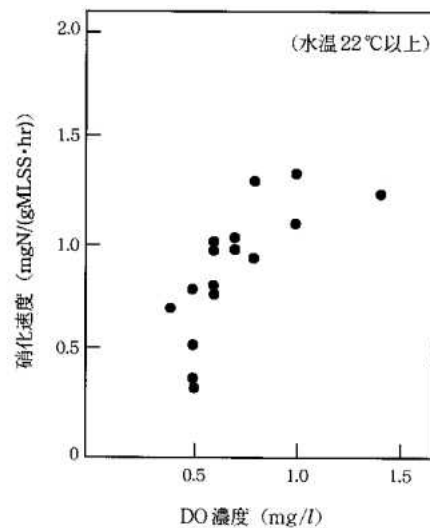


図 参1.23 活性汚泥混合液のDO濃度と硝化速度の関係<sup>39)</sup>

出典) 下水道施設計画・設計指針と解説 2019年度, 日本下水道協会

図 5-24 MLDO と硝化速度の関係

表 5-16 運転指標項目の設定事例

| 判断指標項目       | 処理方法<br>事例数 | 設定事例数 |     |       |         |    |     | 合計 |
|--------------|-------------|-------|-----|-------|---------|----|-----|----|
|              |             | 標準法   | OD法 | 高度処理法 | 高度処理OD法 | 複合 | その他 |    |
|              |             | 22    | 5   | 12    | 4       | 4  | 6   |    |
| ASRT         | MLSS        | 9     | 1   | 4     | 0       | 1  | 0   | 15 |
|              | ASRT        | 0     | 0   | 2     | 0       | 0  | 0   | 2  |
|              | 嫌気・好気時間比    | 0     | 1   | 0     | 0       | 0  | 0   | 1  |
| 必要酸素量        | MLDO        | 4     | 1   | 4     | 0       | 3  | 0   | 12 |
|              | 送風量         | 4     | 0   | 0     | 0       | 0  | 0   | 4  |
|              | 送風倍率        | 2     | 0   | 0     | 0       | 0  | 0   | 2  |
| 総合循環率        | 返送率         | 5     | 0   | 0     | 0       | 0  | 0   | 5  |
| 処理水質<br>放流水質 | 残留塩素        | 0     | 0   | 0     | 0       | 2  | 0   | 2  |
|              | pH          | 3     | 1   | 1     | 0       | 1  | 0   | 6  |
|              | 放流水T-N      | 7     | 1   | 3     | 0       | 0  | 0   | 11 |
|              | 放流水T-P      | 2     | 0   | 3     | 0       | 0  | 0   | 5  |
|              | 放流水COD      | 1     | 0   | 0     | 0       | 0  | 0   | 1  |
|              | 放流水アルカリ度    | 1     | 0   | 0     | 0       | 0  | 0   | 1  |
|              | SVI         | 1     | 0   | 0     | 0       | 0  | 0   | 1  |
| その他          | 流入水分配比      | 2     | 0   | 0     | 0       | 0  | 0   | 2  |

出典) R3 年度アンケート調査結果

- ・必要酸素量を判断指標とする場合、MLDO を運転操作項目としている事例が多い。MLDO の管理は送風量及び送風倍率を操作することで行うため、合計 18 事例と最も多く採用されている。
- ・次いで、ASRT を判断指標とするため、MLSS を運転操作項目としている事例が多い。ASRT の回答は、実際の操作は MLSS であるため、合計 17 事例で採用されている。
- ・処理水質や放流水質は運転操作項目には該当しないが、判断指標として活用されている。その際、増加対象である T-N、T-P に加えて、他の水質項目も判断指標とされている。残留塩素、pH、COD は自動測定が可能であることと、硝化状態の代替指標となり得ることから選択されている。
- ・SVI は運転操作項目には該当しないが、硝化抑制により汚泥の沈降性が課題となっている処理場で、指標項目とされている。

## (2) 脱窒抑制運転

脱窒抑制運転の場合は、①返送酸化態窒素負荷、②後段酸化態窒素負荷、③脱窒速度の操作指標より、以下の通り操作する。

### ①返送酸化態窒素負荷について

完全硝化を前提とした生物学的窒素除去法の、硝化量： $L_{NF}$  に対する理論上の窒素除去率（以下、「硝化・脱窒に与る窒素除去率（脱窒率）」とする）： $\eta_{DN}$  は、ステップ段数： $N$  との関係で以下の式によって算出される。

$$\eta_{DN} = 1 - 1 / (N \cdot (1 + r + R_N)) \quad \text{-----式(5.1)}$$

ここに、 $r$ ：返送汚泥比（－）

$R_N$ ：最終段の内部循環比（－）

$r + R_N$ ：総合循環比（－）

脱窒抑制は完全硝化を前提とした窒素増加手法であることから、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。

試運転条件を検討する際の操作量は、以下の通り行う。

- 1) 対象期間の流入水質と標準的な運転条件から、余剰汚泥による窒素除去率： $\eta_w$ を算出する（第4.3章【計算例】参照）。
- 2) 処理水中に残存するケルダール窒素濃度を設定し、その残存率： $\eta_{EK}$ と $\eta_w$ より、硝化量： $L_{NF}$ 及び硝化率： $\eta_{NF}$ を算出する（第7.1章参照）。
- 3) 式(5.1)～(5.6)より、総合窒素除去率： $\eta_{TN}$ 及び窒素排出率 $\eta_{EN}$ 及び処理水 T-N 濃度： $C_{EN}$ を算出する。

$$\eta_{TN} = \eta_w + \eta_{NF} \cdot \eta_{DN} \quad (一) \quad \text{-----式(5.2)}$$

$$\eta_{EN} = 1 - \eta_{TN} \quad (一) \quad \text{-----式(5.3)}$$

$$\eta_{NF} = 1 - \eta_w - \eta_{EK} \quad (一) \quad \text{-----式(5.4)}$$

$$\eta_{KF} = C_{EK} / C_{Nin} \quad (一) \quad \text{-----式(5.5)}$$

$$C_{EN} = C_{Nin} \cdot \eta_{EN} \quad (一) \quad \text{-----式(5.6)}$$

ここに、 $\eta_w$ ：余剰汚泥による窒素除去率（一） ※第4.3章【計算例】参照

$\eta_{NF}$ ：硝化率（一） ※第7.1章参照

$C_{EK}$ ：処理水中に残存するケルダール窒素濃度（mg/L） ※1～2mg/L とする。

$C_{Nin}$ ：反応槽流入窒素濃度（mg/L） ※第4.3章【計算例】参照

$C_{EN}$ ：処理水 T-N 濃度（mg/L）

- 4) 3)項で算定した処理水 T-N 濃度：と、第0章で設定した放流水質管理値（窒素の場合は、排出目標値に相当）の関係から、窒素の増加及び放流水質管理値にて運転するための操作量（総合循環量）を設定する。

【計算例】（第4.3章【計算例】参照）

- 1) 余剰汚泥による窒素除去率： $\eta_w=23$ （%）
- 2) 処理水中に残存するケルダール窒素濃度： $C_{EK}=1$ （mg/L）  
 反応槽流入窒素濃度： $C_{Nin}=31.5$ （mg/L）  
 処理水中に残存するケルダール窒素残存率： $\eta_{EK}=3.2$ （%）  
 硝化率： $\eta_{NF} = (1-23/100-3.2/100) \times 100 = 73.8 \Rightarrow 74$ （%）
- 3) 硝化・脱窒に与る窒素除去率（脱窒率）： $\eta_{DN}$ ・・・・・・ 図 5-25 参照
- 4) 総合循環量の設定イメージ・・・・・・ 図 5-26 参照

計算例として、標準法、循環式硝化脱窒法、ステップ流入式2段硝化脱窒法を想定し、各々の排出目標値を、ア) 標準法運転：18mg/L、イ) 循環式硝化脱窒法：11mg/Lとした場合、総合循環量の操作量を以下のように設定する。

ア) 標準法運転の場合

排出目標設定値 18mg/L に対し、汚泥返送比を：0.7⇒増加運転：0.35 に抑制する。また、試運転期間中は、最終沈殿池で汚泥浮上（脱窒浮上）が生じないかどうかを確認する。

イ) 循環式硝化脱窒法の場合

排出目標設定値 13mg/L に対し、循環ポンプの回転数制御より硝化液循環量の削減を計画。

総合循環比を現状：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 に対し、エアリフト循環の停止（角落し設置）により硝化液循環量の削減を計画。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）。管理値に対して不足する排出量は、他の増加手法との組合せを検討する。

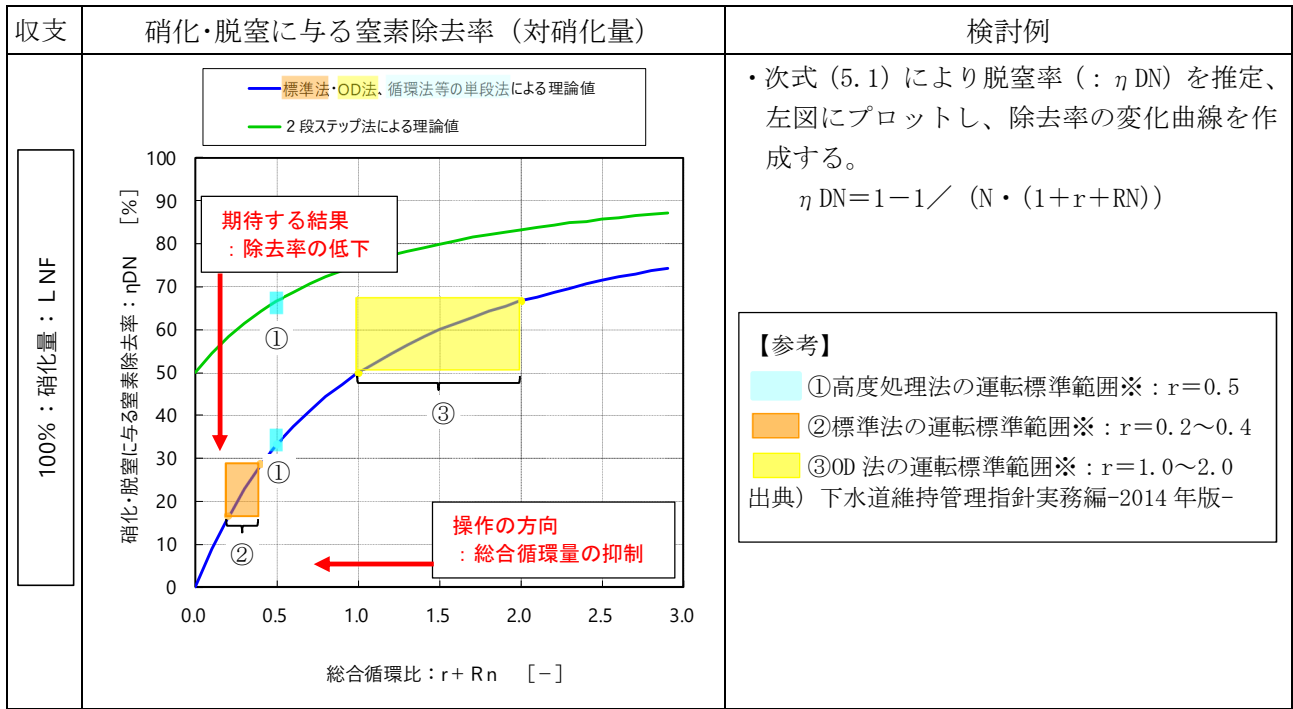


図 5-25 脱窒抑制運転における総合循環比の操作量と硝化・脱窒に与る窒素除去率（脱窒率）の関係（※理論値）

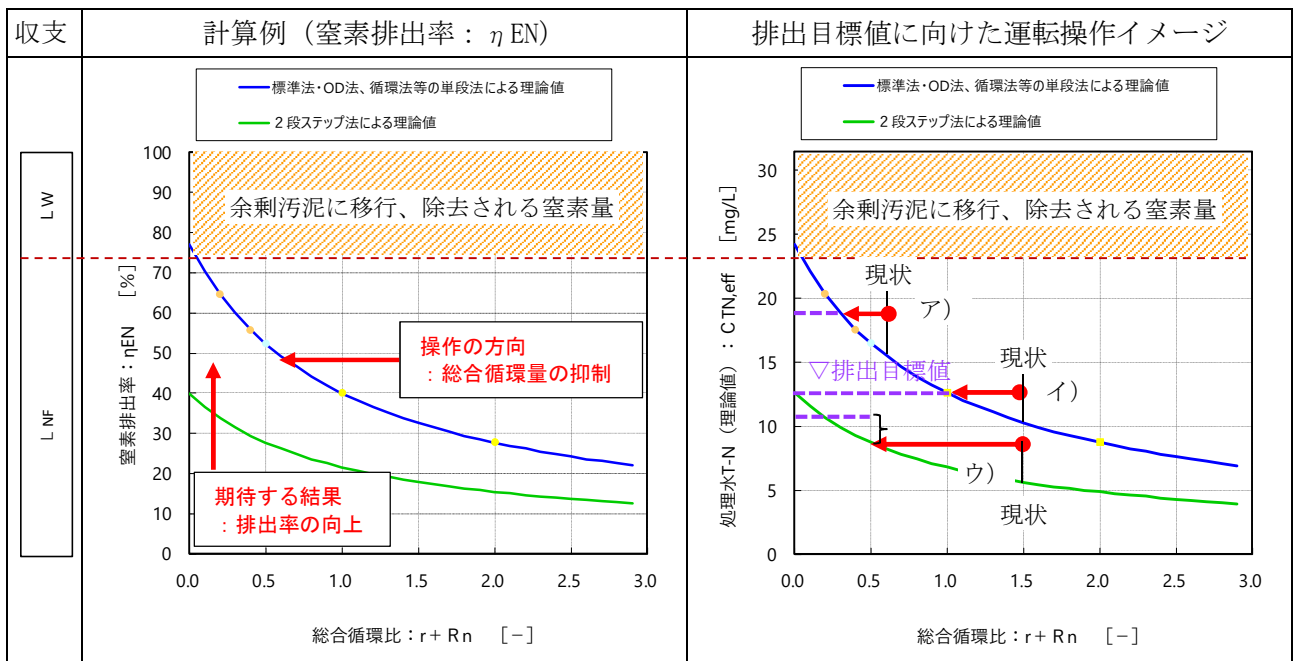


図 5-26 総合循環比の操作量と排出率の関係（※理論値）、排出目標値に向けた操作量設定

＜操作量設定における留意事項＞

- ・ 標準活性汚泥法の場合は、主に返送汚泥比を小さくすることにより酸化態窒素負荷を抑制するため、返送汚泥量の操作可能範囲や、返送汚泥比の低減に伴う MLSS と返送汚泥濃度の比の変化に留意する必要がある。脱窒抑制は、完全硝化促進を前提に考えると MLSS を下げられないため、返送汚泥比を小さくすると返送汚泥濃度が高くなるとともに、引き抜く余剰汚泥濃度も高くなるため、後段の汚泥処理の能力不足につながる可能性がある。また、この状態が継続すると ASRT が短くなることによる硝化量の低下を招く場合があることから、操作が及ぼす影響範囲を総合的に判断して返送汚泥比を調整することが求められる。
- ・ また、最終沈殿池内や返送汚泥配管内、好気槽内での脱窒など、硝化液循環量の操作は、理論値以上に脱窒量が多くなる傾向があるため、窒素収支の確認や詳細な調査により、要因とその影響量を把握することが必要となる。(第 7.1 章(3)項参照)



## ②後段酸化態窒素負荷について

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。

図 5-27 に示すような 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： $\alpha 1$ 、後段比： $\alpha 2$ ）を変更したケースについて各槽内の物質収支を算出すると、図 5-28 のように、T-N 排出量が  $\alpha 1 : \alpha 2 = 0.5 : 0.5$  の条件が、排出率が最小となる結果が得られる。

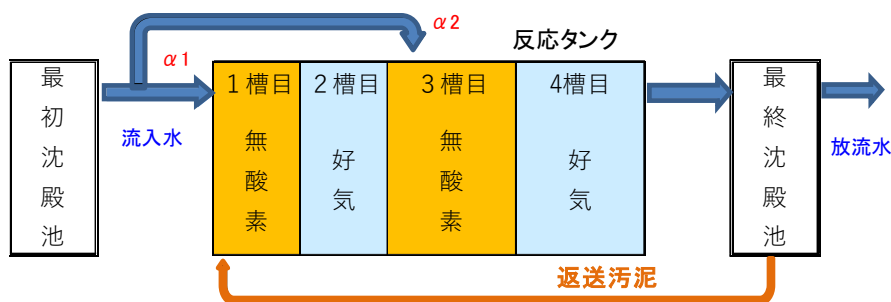


図 5-27 ステップ流入式硝化脱窒法（2 段）のステップ比操作

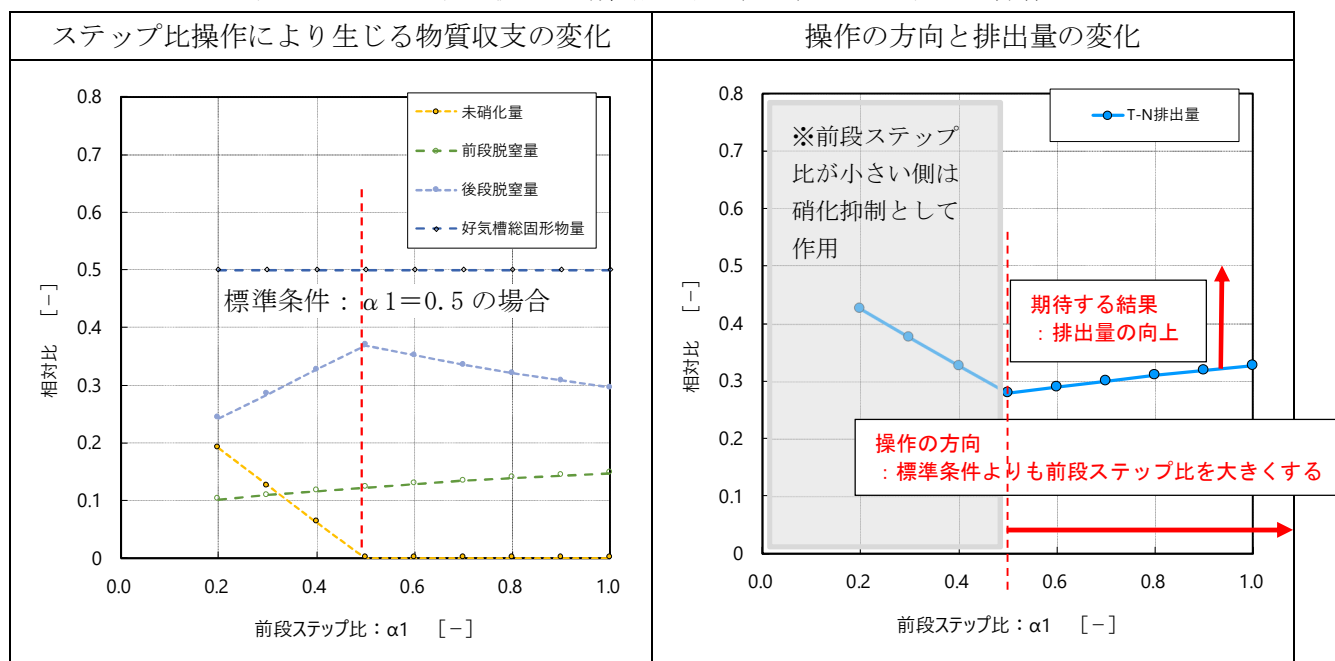


図 5-28 ステップ比を変更した場合の T-N 排出量の試算例（2 段式）

（ $\alpha 1 : \alpha 2 = 0.5 : 0.5$  を標準運転条件として設計された施設の場合。汚泥返送比=0.5 一律）

（相対比：未硝化量、各種脱窒量は、反応槽流入 T-N 量を 1.0 とした比率）

（相対比：好気槽総固形物量は、 $\alpha 1 : \alpha 2 = 0.5 : 0.5$  のケースの反応槽総固形物量を 1.0 とした比率）

### < 操作量設定における留意事項 >

- 標準運転条件において、各槽で容量的に過不足無く硝化及び脱窒が完了していることを前提とした試算例であり、実運転における硝化速度や脱窒速度が設計値よりも余裕がある場合は、同試算値よりも排出量は低くなる。
- 図 5-28 に示したように、前段のステップ比を小さくすると未硝化量が増えるため、完全硝化を維持したい場合は、前段の比率を高める設定となる。

- ・なお、 $\alpha 1=1.0$  のケースは、ステップ流入を停止した運転となり、単段運転となる。この場合、2つ目の無酸素槽を維持した場合（図 5-29 参照）は、2つ目の無酸素槽で脱窒が生じるため、排出率の増加幅は図 5-30 の B 点となる。
  - ・一方、ステップ流入式多段硝化脱窒法を採用しているケースで、図 5-31 のように無酸素槽への送気が可能な場合\*は、図 5-30 の C 点に至ることが期待できる。
- ※標準法施設としての運用は、硝化促進に必要な ASRT を確保するために、無酸素槽を好気槽に切り替える必要が生じることが想定される。

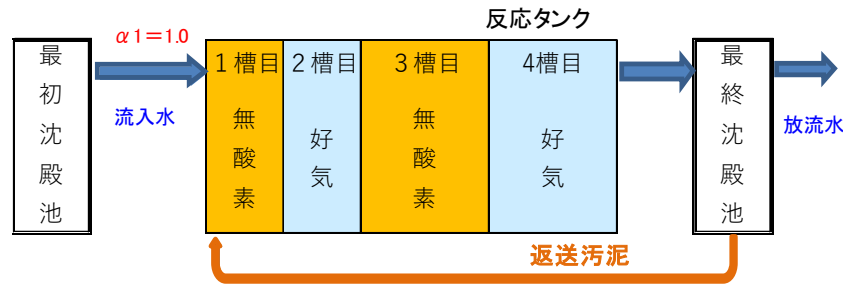


図 5-29 前段ステップ比  $\alpha 1=1.0$  の状態

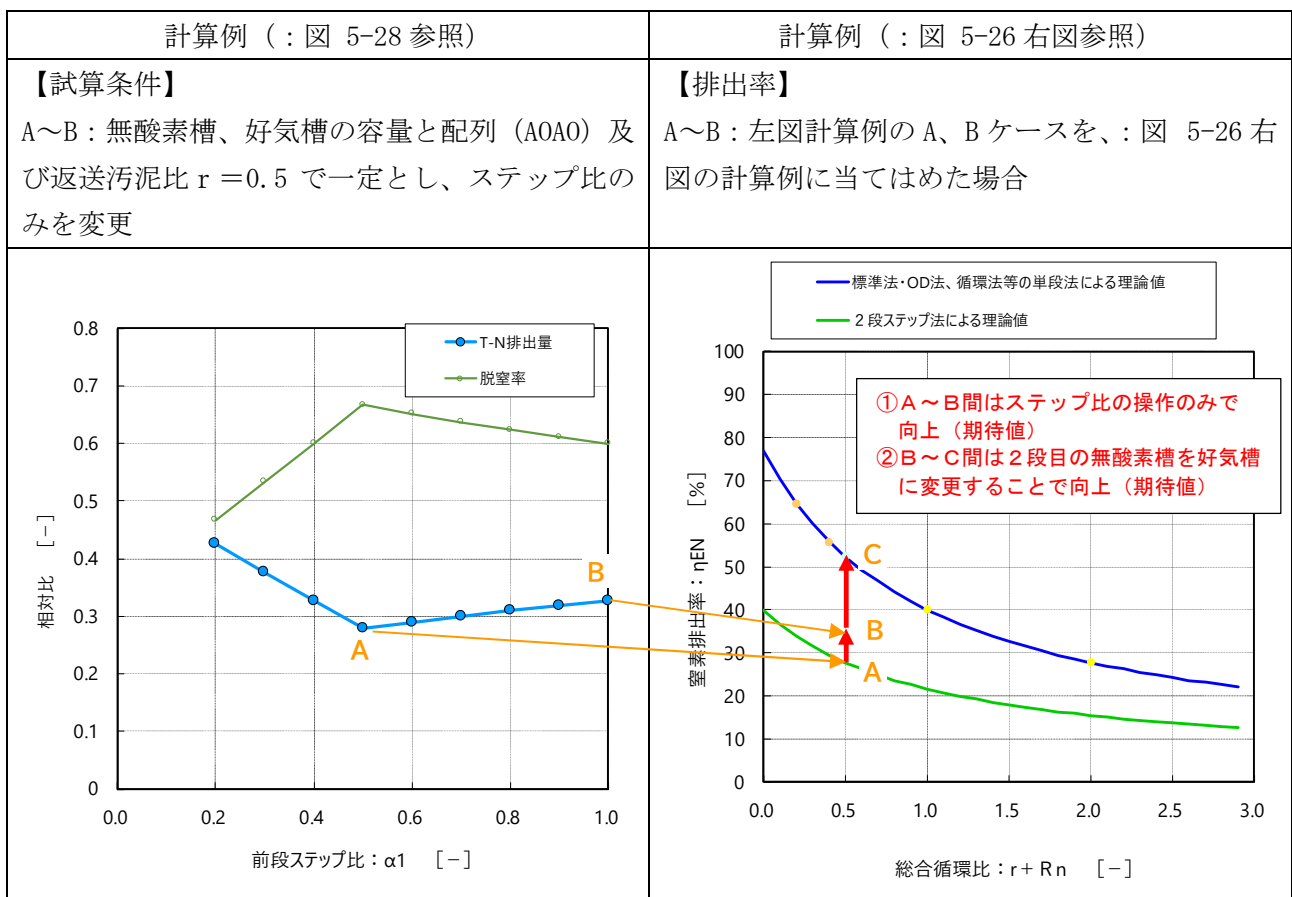
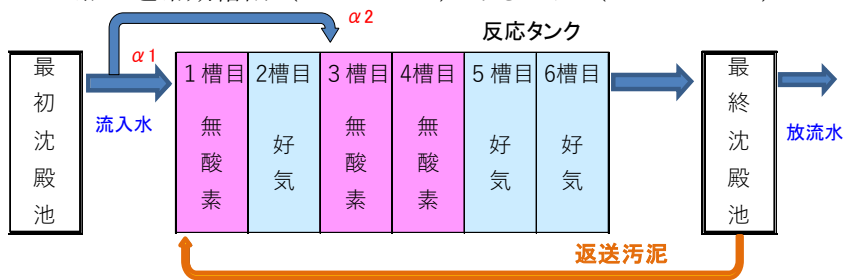


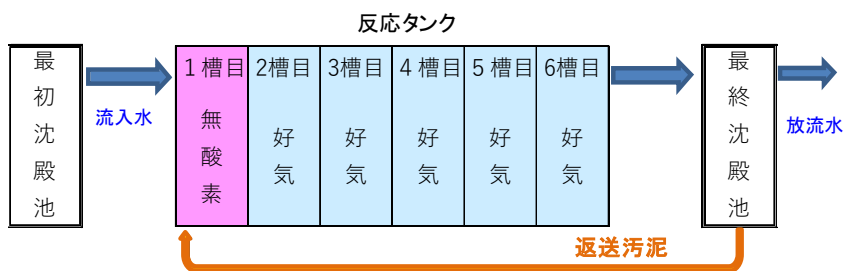
図 5-30 ステップ比操作と無酸素槽の好気槽切替え操作を併用した場合の計算例（B→C）

【標準法のステップ多段法運用の場合】

A点：通常期槽割 (A' OA' A' 0) あるいは (a' OA' A' 0)



C点：増加運転期槽割 (A' OA' A' 0) あるいは (a' OA' A' 0)



A' : 無酸素槽、a' : 無酸素槽 (微曝気)、0 : 好気槽

図 5-31 2 段目の無酸素槽を好気槽に切替えた場合

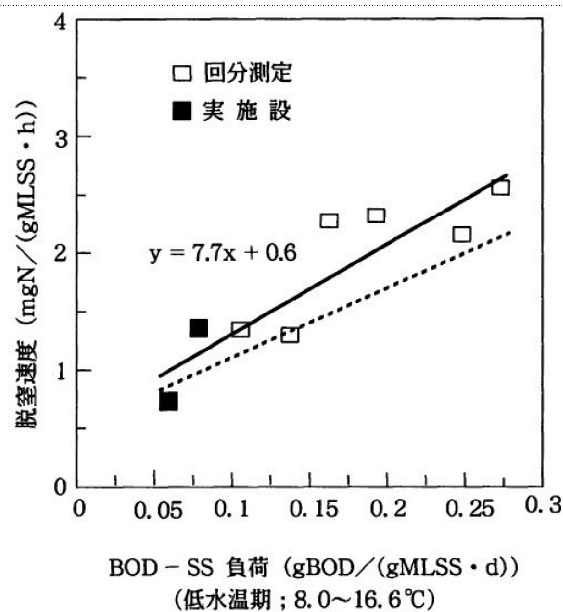
### ③脱窒速度の抑制について

活性汚泥の脱窒速度はBOD-SS 負荷の影響を受けることが知られており、BOD-SS 負荷を小さくすることで脱窒速度を抑制し、窒素排出率を高めることが期待される。

ただし、脱窒抑制は、既存の反応槽内において、完全硝化と脱窒の双方を行うことができる場合に採用されるものであることから、以下の理由により、BOD-SS 負荷の調整によって脱窒速度を抑制することは困難である。

- ・ 反応槽への BOD 負荷を小さくする方法として、最初沈殿池の水面積負荷を小さくすることが考えられるが、そのためには、通常運転で最初沈殿池が休止中である必要がある。
- ・ 完全硝化に必要な MLSS 量を上回る MLSS 量を確保しようとする、好気槽への送風量を増加する必要があるため、不経済である。
- ・ 同様に、必要以上の MLSS 量を確保しようとする、最終沈殿池への固形物負荷が増大し、固液分離機能の管理が難しくなる。
- ・ MLSS 濃度を高める場合においても、活性汚泥フロックの沈降速度が低下し、最終沈殿池の固液分離機能の管理が難しくなる。

『BOD-SS 負荷と脱窒速度の関係 (参考)』



注) BOD-SS 負荷に対する脱窒速度は、図中直線で表される。

脱窒速度に余裕を持たせたい場合には、図中点線 (直線の脱窒速度を 0.8 倍したものの  $[y = 6.2X + 0.5]$ ) を使用する。

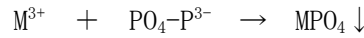
図 6.7.70 BOD-SS 負荷と脱窒速度の関係(低水温期)<sup>4)</sup>

出典) 下水道施設計画・設計指針と解説 2019 年度, 日本下水道協会

図 5-32 BOD-SS 負荷と脱窒速度の関係

### (3) 凝集剤添加率の削減

凝集剤添加によるりん（P）の除去は、3価の金属イオンが下水中の  $PO_4\text{-P}$  と反応して難水溶性の固形物を生成する反応に基づくものであり、一般的には中性領域で沈殿生成が可能なアルミニウム塩や鉄（III）が凝集剤として使用される。



これより、本法の場合、凝集剤添加モル比を操作指標として、図 5-33 のように操作する。

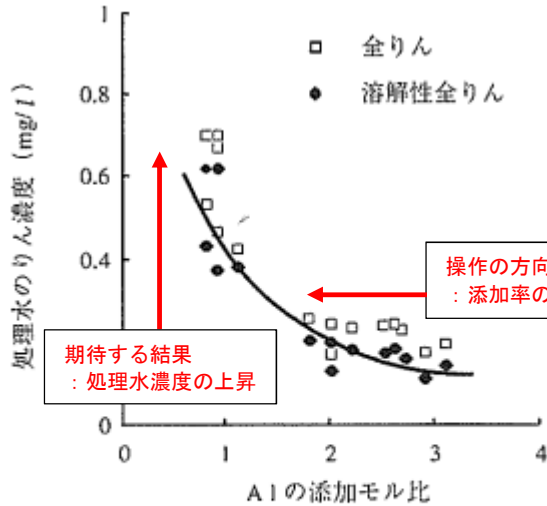


図-3-1-3 処理水のりん濃度とAl/Pモル比の関係  
(霞ヶ浦浄化センターの例)

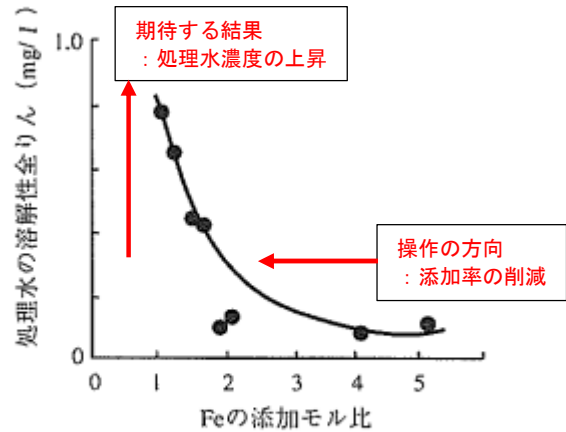


図-3-1-4 処理水りん濃度とFe/Pモル比の関係  
(西山処理場の例)

出典) 高度処理施設設計マニュアル (案) (H6) p. 83

図 5-33 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

#### <操作量設定における留意事項>

- ・ 添加された金属イオンが全て  $PO_4\text{-P}$  と反応するわけではなく、一部は水酸化物として沈殿するものもある。また、反応槽の流入りん濃度は、污泥処理返流水の性状や降雨や工場排水の流入の影響を受けて変動する。このため、必ずしも添加率と除去率が一定の関係とはならない。
- ・ 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生じること、あるいは、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 (表 5-20 参照)。
- ・ これらの理由から、凝集剤添加モル比と処理水のりん濃度の関係は、必ずしも設計値の関係が適用できるものではなく、抑制を開始してからの経過期間や活性污泥中のりん含有率等によって区分したデータを整理する必要がある。
- ・ また、添加率を削減して処理水のりん濃度が高くなるほど変動幅が大きくなることが報告されている (図 5-15 及び表 5-20 参照)。

#### (4) 生物学的りん除去抑制

生物学的りん除去法を採用している下水処理場において処理水りん濃度を高める場合、嫌気槽におけるりんの放出量を抑制するか、好気槽におけるりん摂取量を抑制する操作のいずれか、あるいは双方を行う手法が考えられる。これまでに行われた試運転事例ではその双方が行われている。

一方、生物学的りん除去法のりん除去性能は、ASRT や MLDO 濃度など図 3-5 に示した運転指標や操作指標の他、流入水の T-P 濃度や汚泥処理系からの逆流負荷、あるいは雨天時の流入水質の性状の変動など多くの項目の影響を受ける。また、図 5-35 に例示されるように、除去を目的とした場合の各運転条件の実績値についても、施設間で幅があることも特徴である。

このため、りん除去抑制の運転指標を定める場合は、当該施設での操作の容易さや、指標の操作量の変化率が処理水りん濃度の変化に表れやすい指標を優先的に設定することが効果的と考えられる。

生物学的りん除去抑制の試運転事例を表 5-17 に示す。

##### <操作量設定における留意事項>

- ・生物学的りん除去法の嫌気タンク滞留時間は、設計：1～2 時間程度、実運転：1.5～2 時間程度で運転されていることが多く、1 池に嫌気槽を複数設けている施設が少ないことから、嫌気タンク滞留時間の抑制は困難である。
- ・嫌気タンクの滞留時間が 3 時間以上となると硫酸イオンの還元が促進し、硫化水素が発生する可能性があるため、好気タンクの送気量抑制を行う場合は、大気あるいは脱臭空気中の硫化水素濃度に配慮することが望ましい。
- ・設定した水質管理値以上に処理水のりん濃度が高くなった場合、りん濃度の回復に時間を要することが懸念されることから、りん濃度の変動要因を特定しやすいように、同時に操作する指標項目を限定するか、操作量を徐々に変化させるようにする。あるいは、生物学的りん除去法の処理水量の比率が高い場合は、池あるいは系列毎の特性が把握できるまでは、一斉に操作を行うことを避けることが考えられる。
- ・凝集剤添加率抑制と同様に、処理水のりん濃度が高くなるほど変動幅が大きくなることが報告されている。
- ・生物学的りん除去抑制の運転指標は、ASRT や BOD-SS 負荷、MLDO その他、窒素増加運転と共通する指標が多いため、処理水や槽毎の各態窒素濃度の変動にも配慮することが望ましい。



表 5-17 生物学的りん除去抑制の操作項目の事例と操作の方向

| 検討例*   | 操作項目と操作方向   |
|--|---|
| <p>①好気槽風量抑制</p> <p>1) 好気槽全体の風量を抑制</p>  <p>2) 好気槽末端の風量を抑制</p>  | <p>【操作項目】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>好気槽の送気量</li> </ul> <p>【操作の方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>送気量を抑制する。</li> </ul> <p>【期待する結果】</p> <p>1) の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>好気槽におけるりんの摂取速度（摂取量）を低下させ、りんの除去率を抑制する。</li> </ul> <p>2) の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>好気槽の末端で DO や NO<sub>x</sub> 濃度を低下させることにより最終沈殿池の堆積汚泥の嫌気化が促され、最終沈殿池内でりんの再放出によって処理水濃度が増加する。</li> </ul> |
| <p>②嫌気槽への送気</p>   | <p>【操作項目】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>嫌気槽への送気（量）</li> </ul> <p>【操作の方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>送気する。</li> </ul> <p>【期待する結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>分子状の酸素を供給することにより（嫌気抑制）、りんの放出量を抑制し、ひいては、りん固定量を抑制する。</li> </ul>  |
| <p>③硝化した酸化態窒素の返送</p>    | <p>【操作項目】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>好気槽の送気量</li> <li>最終沈殿池の汚泥返送量</li> </ul> <p>【操作の方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>送気量を増加する。</li> <li>汚泥返送量を高める。</li> </ul> <p>【期待する結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>好気槽の硝化促進によるアルカリ度の消費に伴う pH の低下により、りんの摂取速度（摂取量）を低下させる。</li> <li>硝化により生成した酸化態窒素の返送量を高めることで嫌気状態を抑制し、りんの吐出しを阻害する。</li> </ul>  |

\*出典) 「西部水処理センターにおけるりん放流水質の季節別管理」について、平成 31 年 1 月 10 日、福岡市道路下水道局西部水処理センター



『生物学的りん除去法におけるりんの放出と過剰摂取（参考）』

生物学的りん除去法では、活性汚泥中のりん蓄積細菌がりんを過剰摂取する現象を利用して流入水中からりんを除去する。生物反応槽の前段を嫌気槽（分子状の酸素（ $O_2$ ）も、原子としての酸素（ $NO_x-N$  中の  $O$  など）もない状態）において、りん蓄積細菌は体内から  $PO_4-P$  を放出する性質がある。このため、反応槽内の  $PO_4-P$  濃度は一旦増加する。この活性汚泥を好気状態に置くと、りん蓄積細菌は放出した以上に  $PO_4-P$  を体内に摂取するため、処理水中のりん濃度が低下する。りん蓄積細菌に過剰摂取されたりんは、余剰汚泥として水処理系外引き抜かれる。嫌気タンクでのりん放出量が多いほど好気タンク内でのりん固定量（りん摂取量－りん放出量）は大きい傾向がある。

なお、図 5-34 中の COD は揮発性有機酸を指す。

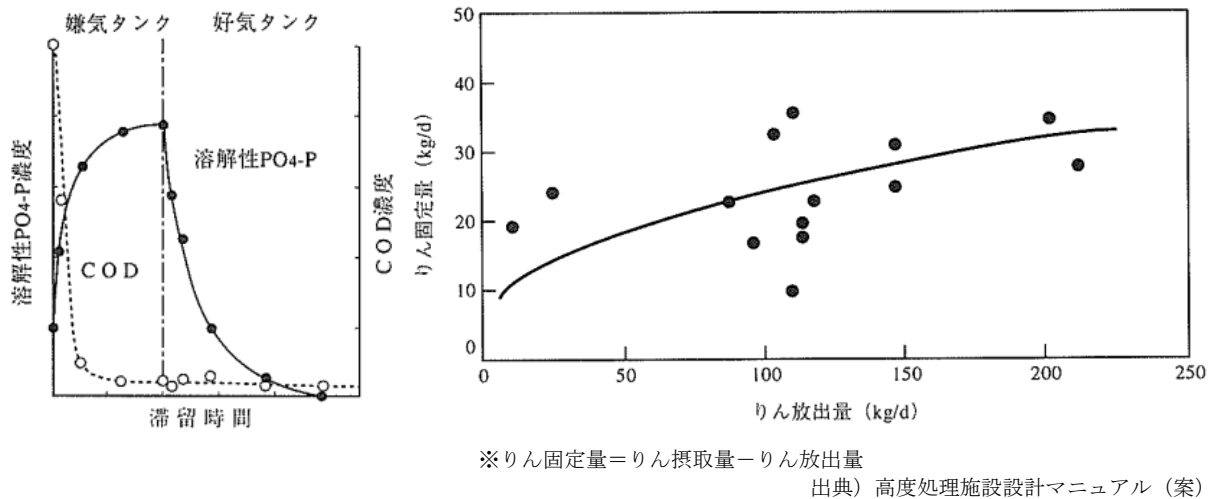


図 5-34 生物学的りん除去における COD・りんの挙動、嫌気槽におけるりん放出量と固定量の関係

80%以上のりん除去率が得られている下水処理場の例では、BOD-SS 負荷は 0.1～0.4 ( $kgBOD/(kgMLSS \cdot d)$ ) の間で運転されている例が多く、また、この時の ASRT は 6.8～1.7 日と、いずれも広い範囲に分布していることが報告されている (図 5-35 参照)。

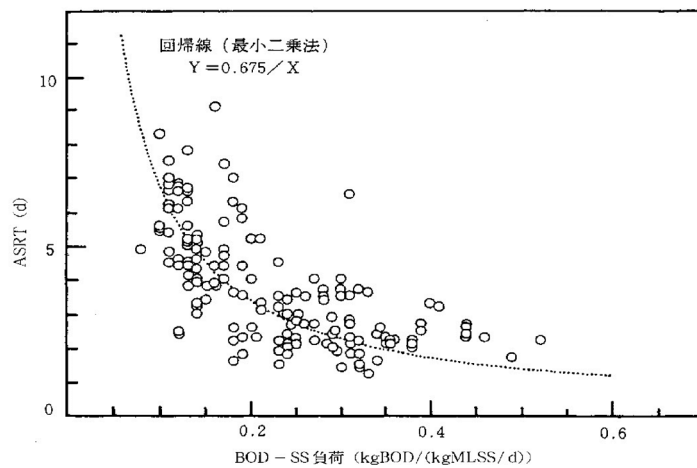


図 5-35 生物学的りん除去における好気タンク BOD-SS 負荷と ASRT の関係

## 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。

### 【解説】

下水の処理は一般に生物処理であるため、ひとたび異常が発生すると、その原因を排除しても、再度、良質な処理水質を得るまでには多大な時間を要するため、異常が起きないように適正に管理することが求められる。また、異常の発生を想定し、対応方針や中止条件について具体的な検討を行い、それらの判断基準や判断フロー図を作成することが望ましい。

### 『水質悪化時の対応方針検討例』

<栄養塩類増加運転期及び通常運転期 対応手順の一例>

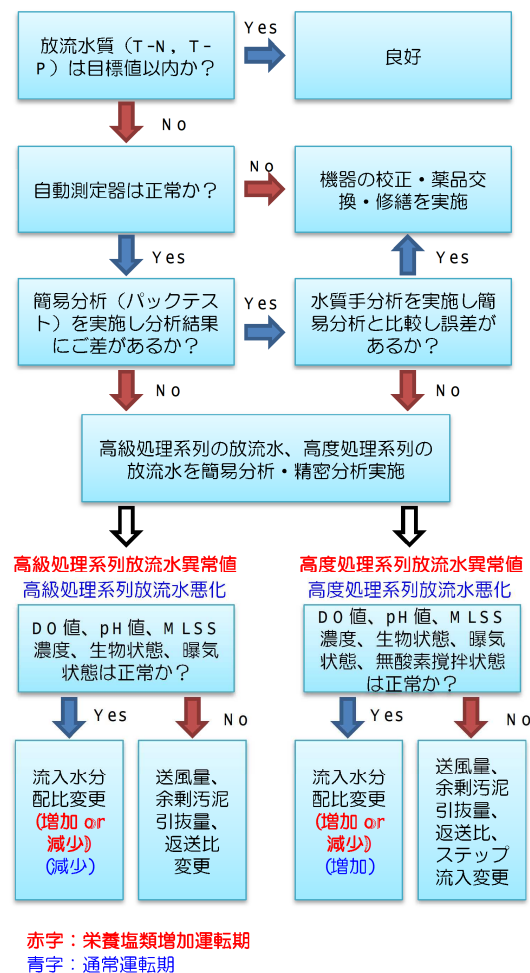


図 5-36 増加運転期及び通常運転期の対応手順の例

出典) 下水放流水に含まれる栄養塩類の能動的管理のための運転方法に係る手順書(案)(本文) / 国土交通省

## (1) 水質等の悪化現象と対策例

能動的運転管理を実施した処理場の対応事例を参考に、当該処理場における過去の経験などを踏まえ、水質等が悪化した際の対応方針を設定する。これまで、以下の水質悪化事例が確認されている。

表 5-18 窒素増加運転における水質等の悪化現象と対策例（硝化抑制）

| 現象                     | 特徴と対策   |
|------------------------|---|
| BOD 濃度の上昇<br>(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 <sup>※1</sup> 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）   |
| 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りんへの影響など） ③ASRT が短くなることから有機物除去が不十分となる場合<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。 |
| 大腸菌群数の増加               | 要因：①MLSS や MLD0 不足による活性汚泥浄化機能の低下や、②攪拌不足による反応槽滞留時間の短縮等のほか、③ステップ法の場合、最終ステップの注入比率が高いときや、④凝集性の低下（フロック）等の要因により、処理水中の大腸菌群数が増加することが考えられる。<br>対策：①消毒強度の適正管理 ②光回復を考慮した大腸菌群数の管理目標値に配慮した硝化抑制管理（紫外線消毒の場合）               |
| 溶解性有機物の残留              | 要因：有機物除去機能の低下<br>対策：①酸素の供給 ②ASRT の増加 ③BOD-SS 負荷の調整。   |
| 凝集性の低下<br>(フロック)       | 要因：①ASRT 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。②好気槽での長時間曝気による汚泥分解<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の回避 ③ASRT の増加 ④BOD-SS 負荷の調整 ⑤酸素の供給                |
| 凝集性の低下<br>(バルキング)      | 要因：Type021N 型の糸状性細菌の場合、硫化水素、酢酸、溶存酸素が同時に存在する場所での増殖が考えられる。<br>対策：①最初沈殿池の池数減（活性汚泥の沈降性を高めるための SS、凝集性細菌を増やす） ②生物相観察による早期対策。③反応槽各槽の混合・攪拌性向上（曝気）   |
| 臭気・活性汚泥の黒色化            | 要因：反応槽や最終沈殿池内で硫化物が発生している場合は、反応槽内での汚泥堆積（デッドスペースの存在）、最終沈殿池での汚泥堆積、有機物負荷とエアレーションの不均衡による反応槽の嫌気化等による硫化物の発生・蓄積が考えられる <sup>※1</sup> 。なお、硫化物が蓄積した場合、反応槽は硫化水素臭を発する。<br>対策：①酸素の供給 ②反応槽各槽の混合・攪拌性向上（曝気、攪拌機）              |
| スライムの発生                | 要因：最終沈殿池の越流トラフや反応槽等の計測機器や配管類にスライムが付着することがある。ベギアトア ( <i>Beggiatoa</i> ) やチオトリックス ( <i>Thiothrix</i> ) などの硫黄細菌が出現している状態が考えられる（活性汚泥の黒色化参照）。<br>対策：①点検、清掃頻度の増加 ②洗浄機構付の計器に更新 ③酸素の供給。④反応槽各槽の混合・攪拌性向上（曝気、攪拌機）      |
| 反応槽内の活性汚泥の沈殿・堆積 (OD 法) | 要因：オキシデーションディッチ法では反応槽の DO の抑制を攪拌・エアレーション装置の制御で行うため、反応槽内の攪拌力低下が考えられる。<br>対策：①OD 槽からの活性汚泥の流出を促進させる流出装置を設置 ②攪拌装置を横軸型から縦軸型に変更（予定）   |

※1：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。

※2：嫌気好気活性汚泥法において、嫌気タンクでの滞留時間が 3 時間以上となると硫酸イオンの還元が促進し、硫化水素が発生する場合がある。（出典：維持管理指針実務編-2014 年版-）

表 5-19 窒素除去抑制運転における水質等の悪化現象と対策例（脱窒抑制）

| 現象            | 要因と対策  |
|---------------|--|
| 最終沈殿池における汚泥浮上 | <p>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。</p> <p>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反応槽の一部に脱窒槽（ゾーン）を設置（切替） ④硝化の抑制 ⑤スカム防止板の設置</p> |
| 処理水の pH 低下    | <p>要因：硝化の進行によるアルカリ度の消費</p> <p>対策：①反応槽の一部に脱窒槽（ゾーン）を設置（切替） ②水酸化ナトリウムの添加</p>  |

表 5-20 りん増加運転における水質等の悪化現象と対策例（凝集剤添加率削減）

| 現象                             | 特徴と対策  |
|--------------------------------|--|
| 放流水の T-P 濃度の変動幅の増加             | <p>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。</p> <p>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</p>  |
| 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 | <p>特徴：①凝集剤（ポリ硫酸第二鉄）の添加率を下げた後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 月を増加運転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、③生物学的りん除去のバランスも変化する、などの事例がある。</p> <p>対策：①タイムラグに留意した添加率管理の実施 ②通年で、系列毎や各反応槽、終沈レベルでりん酸態りん（P04-P）の分析や凝集剤添加率設定の見直しを行い、増加運転期・回復期に見直し頻度を高めるなど。</p> |

## (2) バックアップ系列の確保

栄養塩類増加運転にあたっては、放流水質の悪化や設備の故障等、非常時を想定して、通常運転を行う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。バックアップ系列を確保する目的として、以下の事例が想定される。

①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円滑な切換えを行う場合

：回復期の短縮が求められる場合や、硝化促進の回復時期の予測が困難であり、放流水質の円滑な回復が懸念される場合は、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。

②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する恐れがある場合

：バックアップ系列の処理水と混合することにより希釈し、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。

：非常時に栄養塩類増加運転系列の負荷を抑制する場合に、バックアップ系列での処理水量を増やす。

『バックアップ系列の採用例』

バックアップ系列を採用している事例の目的、系列数、池数（いずれも運転数）を以下に示す。

表 5-21 バックアップ系列の採用例

| 目的・対象                            | ケース番号           | 【栄養塩類増加手法】<br>(処理方法) |                      | 増加運転期施設運転規模        |   |      |    | 備考      |               |
|----------------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|--------------------|---|------|----|---------|---------------|
|                                  |                 | ①                    | ②                    | 運転系列数              |   | 運転池数 |    |         |               |
|                                  |                 | 増加運転系列               | バックアップ系列             | ①                  | ② | ①    | ②  |         |               |
| 1. 回復期の<br>期間短縮<br>(硝化細菌の<br>確保) | 余剰汚泥<br>移送      | 1-①                  | 【硝化抑制】<br>(標準法)      | 【脱窒抑制】<br>(標準法)    | 4 | 1    | 11 | 5       | 令和2年度実績<br>※1 |
|                                  | 余剰汚泥<br>移送      | 1-②                  | 【硝化抑制】<br>(標準法)      | 【脱窒抑制】<br>(標準法)    | 1 | 1    | 6  | 6       | 令和2年度実績       |
|                                  | 余剰汚泥<br>移送      | 1-③                  | 【硝化抑制】<br>(標準法 ※2)   | 硝化促進<br>(標準法 ※2)   | 2 | 1    | 6  | 1       | 令和3年度以後～      |
|                                  | 余剰汚泥<br>移送      | 1-④                  | 【硝化抑制】<br>(標準法)      | 【硝化抑制】(弱)<br>(標準法) | 1 | 1    | 2  | 1       | 令和2年度実績       |
| 2. 法令水質基準<br>の遵守                 | T-N             | 2-①                  | 【脱窒抑制】<br>(標準法)      | 増加させていない<br>(標準法)  | 1 | 1    | 6  | 8       | 令和2年度実績       |
|                                  | 【硝化抑制】<br>(標準法) |                      | 【※4】<br>(高度処理法 ※5)   | 1                  | 1 | 6    | 4  |         |               |
|                                  | BOD             | 2-②                  | 【硝化抑制】<br>(標準法)      | 【硝化抑制】(弱)<br>(標準法) | 1 | 1    | 2  | 2       | 令和2年度実績       |
| COD                              | 2-③             | 【硝化抑制】<br>(標準法)      | 硝化促進<br>(標準法)        | 2                  | 2 | 4    | 3  | 令和2年度実績 |               |
| 3. 試運転                           | データ蓄積           | 3-①                  | 【脱窒抑制】<br>(高度処理法 ※3) | 増加させていない<br>(標準法)  | 1 | 1    | 3  | 2       | 令和2年度実績       |
|                                  | データ蓄積           | 3-②                  | 【硝化抑制】<br>(標準法)      | 増加させていない<br>(標準法)  | 1 | 7    | 2  | 13      | 令和元年度実績       |
|                                  | データ蓄積           | 3-③                  | 【硝化抑制】<br>(標準法)      | 増加させていない<br>(標準法)  | 1 | 1    | 2  | 2       | 令和元年度実績       |
|                                  | データ蓄積           | 3-④                  | 【硝化抑制】<br>(標準法)      | 増加させていない<br>(標準法)  | 2 | 2    | 2  | 2       | 令和元年度実績       |
|                                  | データ蓄積           | 3-⑤                  | 【硝化抑制】<br>(標準法)      | 増加させていない<br>(標準法)  | 1 | 1    | 1  | 3       | 令和2年度実績       |
| 4. その他                           | 臭気・外観           | 4-①                  | 【硝化抑制】<br>(OD法)      | 【硝化抑制】(弱)<br>(OD法) | 1 | 1    | 3  | 1       | 令和2年度実績       |

※1：運転池数は、過年度の傾向分析等に基づき、準備期に計画を策定  
 ※2：①、②の一部の池に有機物処理能力向上目的の担体添加（栄養塩類増加運転導入前から）  
 ※3：嫌気無酸素好気法＋砂ろ過  
 ※4：凝集剤添加率削減によるりん除去抑制（りん増加目的）  
 ※5：ステップ流入式多段硝化脱窒法＋凝集剤添加  
 (弱)：①に対して硝化の抑制強度を低めたものであり、設定DO値や送気時間、好気槽比率などを調整している。

## 5.6 運転中止条件の設定

能動的運転管理は、増加運転期に加えて通常期や移行期、回復期など、年間を通して適切な処理水質を確保することが重要である。このため、運転中に処理機能上の不具合が生じて水質基準値が遵守されない恐れがある場合や、他の施設の維持管理に影響をおよぼす場合を想定し、中止条件を設定する。

### 【解説】

下水処理場の運転管理は、水質基準値の遵守が前提であり、能動的運転管理においても例外ではなく、年間を通して適切な水質を維持しなければならない。このため、水質基準値が遵守されない恐れがある場合には運転を中止する必要がある。

また、処理水を他の施設に供給している場合（例：処理水を冷却水として利用）、求められる水質条件を確認し、維持管理に影響をおよぼす場合には運転を中止する。

### 【参考】中止判断条件設定例（二見浄化センター）

- ・以下の片方でも成立しなければ試行運転の取り止め

#### ①法令遵守

窒素濃度及び大腸菌群数等の水質基準値

#### ②安定した処理の継続

処理水を冷却水として使用しており、水質悪化により、焼却炉にも悪影響

## 6. 能動的運転管理の試行

能動的運転管理の試運転において運転ルールを試行錯誤し、安定した運転が可能なルールを定めた段階で試行に移行する。試行では、より効果的な運転を目指すとともに、排出目標値等の試運転案や運転ルールを適宜更新する。

### 【解説】

第5章で検討した運転ルールに基づき、試運転を行う。試運転では運転ルールを試行錯誤することにより、安定した運転条件を検討する期間となる。試運転の結果が想定と大きく異なる場合には、栄養塩類増加手法の変更も含めて試運転案の策定から見直すこともあり得る。（図 2-9 参照）

安定した運転管理が可能な運転ルールを定めることができれば、試行に移行する。

試運転：第5章で検討した運転ルールに基づき、能動的運転管理を行う。試運転では、より安定して水質基準値を遵守できる運転を目指し、運転ルールを試行錯誤する。

試行：試運転において「安定した運転が可能なルール」を確立できれば、試行に移行する。試行では、より効果的な運転を目指し、排出目標値等の試運転案や運転ルールを適宜更新する。

能動的運転管理における栄養塩類排出目標値（アウトプット指標：図 3-2～図 3-5 参照）を達成するため、各放流水質管理値及び運転指標管理値（インプット指標）は、試運転結果に基づき PDCA サイクルにより適切に設定する必要がある。

放流水質の変動比が小さくなる運転の段階においては、放流水質管理値に余裕が生じるため、安定した運転となることに加え、排出目標値の達成のため、栄養塩類濃度を効果的に高めることが可能となる。

表 6-1 試行錯誤による段階的な排出目標値の更新イメージ（窒素）

|                            | 窒素濃度 (mg/L) |        |        | 備考                 |
|----------------------------|-------------|--------|--------|--------------------|
|                            | 現状①         | 試行の開始② | 運転の改善③ |                    |
| (1) 処理場流入水T-N              | 30          | 30     | 30     | 汚泥処理等からの返流負荷を含む    |
| (2) (1)に対して初沈汚泥で引き抜かれる濃度相当 | 3           | 3      | 3      | 初沈除去率10%を想定        |
| (3) (1)に対して余剰汚泥で引き抜かれる濃度相当 | 6.8         | 6.8    | 6.8    | 反応タンク流入水に対して25%を想定 |
| (4) 硝化による減少NH4-N           | 15.2        | 10.1   | 5.1    | 硝化対象窒素に対する減少率想定値：※ |
| (5) 放流水のNH4-N              | 5           | 10.1   | 15.1   |                    |

※：①：75%を想定、②：50%を想定、③：25%を想定

表 6-2 試行錯誤による段階的な排出目標値の更新イメージ（りん）

|                            | りん濃度 (mg/L) |        |        | 備考                     |
|----------------------------|-------------|--------|--------|------------------------|
|                            | 現状①         | 試行の開始② | 運転の改善③ |                        |
| (1) 処理場流入水T-P              | 5.0         | 5.0    | 5.0    | 汚泥処理等からの返流負荷を含むもの      |
| (2) (1)に対して初沈汚泥で引き抜かれる濃度相当 | 1.0         | 1.0    | 1.0    | 初沈除去率10%を想定            |
| (3) (1)に対して余剰汚泥で引き抜かれる濃度相当 | 3.6         | 2.8    | 2.0    | 反応タンク流入水に対する引き抜き率想定値：※ |
| (4) 放流水のT-P                | 0.4         | 1.2    | 2.0    |                        |

※：①：90%を想定 (Px: 3.4%)、②：70%を想定 (Px: 2.7%)、③：50%を想定 (Px: 1.9%)



## 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

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。

#### 【解説】

##### (1) 栄養塩類増加状況の確認

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確認・評価し、その結果をPDCAのサイクルにより安定的・効果的な運転ルールの見直しに活用する。

運転ルールの見直しに向けた効果検証にあたっては、各種水質試験結果に加えて、日常の維持管理データ等を用いて、運転状況を定量的に評価する。

定量的な評価指標には、栄養塩類の「濃度」、「負荷量」、「除去率」、「排出率」が代表的である<sup>※1※2※3</sup>が、放流先海域の状況や能動的運転管理の導入段階（試運転、試行、本運用）に応じて、適した指標を用いる。窒素について栄養塩類の増加運転を行う場合の指標例を図7-1に示す。

※1：排出率＝処理水 T-N / 反応槽流入水 T-N × 100

※2：(Kj-N 除去率<sup>\*</sup>で代用可)

※Kj-N 除去率＝反応槽流入 Kj-N 除去量 / 反応槽流入 T-N × 100

※3：処理水の「濃度」を指標としている事例や、流総計画の年間排出量を遵守するため「負荷量」に基づき評価している事例がある。

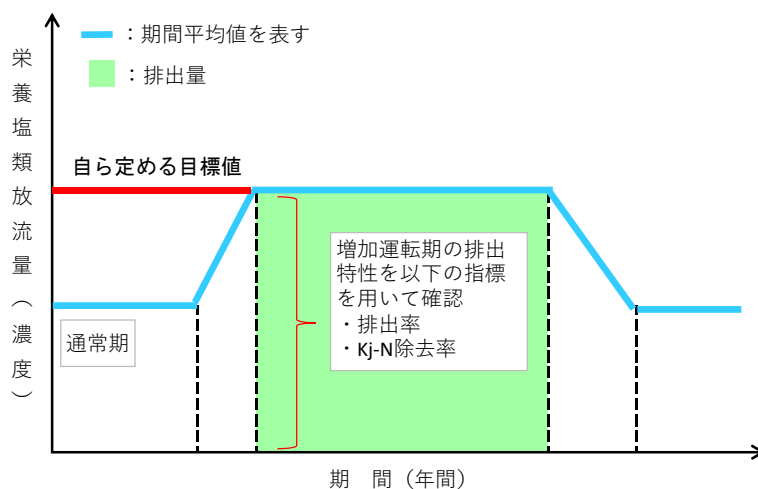


図 7-1 栄養塩類増加運転期の排出量の考え方



## (2) 排出実績の定量化

能動的運転管理においては、栄養塩類の収支を用いて、排出実績の確認・状態の評価が可能である。なお、生物反応槽の運転操作により栄養塩類を制御する場合は、流入水質よりも反応槽の流入水質を用いて排出率を算出する方が、状態把握が明確になる。

窒素を対象とする栄養塩類増加運転を行う場合において、収支による状態把握のメリットを以下に示す。

- ・脱窒量は水質分析結果に表れないため、引抜窒素量（余剰汚泥）を算出することにより硝化量、脱窒量を定量的に把握できる。
- ・排出可能量（ポテンシャル）を推定することができるため、暫定的な排出目標量を設定できる。
- ・現有施設で可能な排出可能量を定量的に示すことができるため、次期の設備更新や対外的な説明資料として活用しやすい。

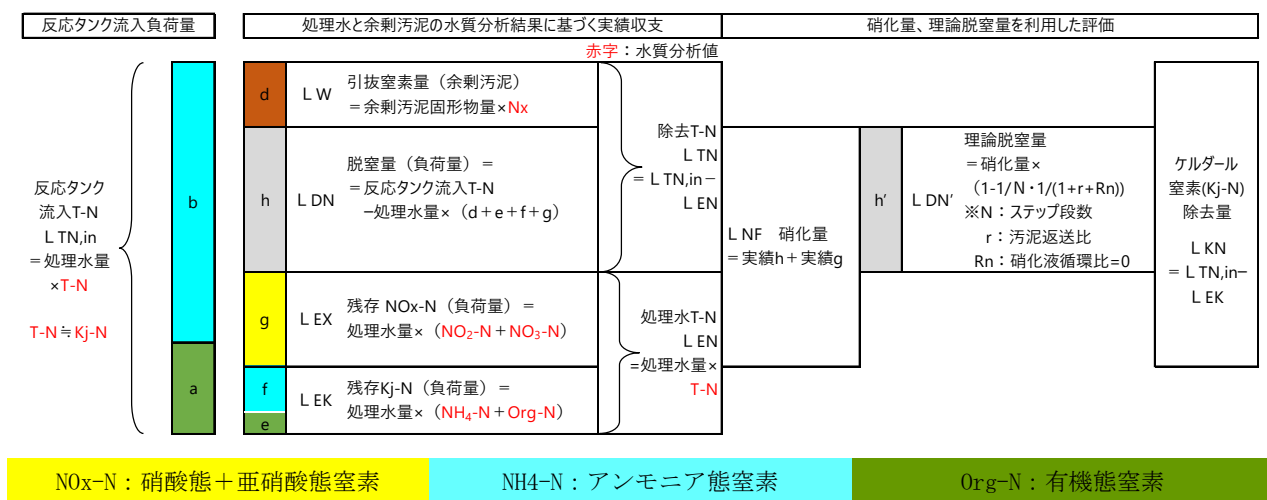


図 7-2 窒素収支模式図

排出実績の定量化に際し、以下の通り、水質、負荷量を整理する。

◇処理水各態窒素（濃度）：月毎や試運転期間など、任意の期間の各態窒素<sup>※1</sup>の平均水質を整理する。

- ・有機態窒素（Org-N）
- ・アンモニア態窒素（NH<sub>4</sub>-N）
- ・亜硝酸態窒素（NO<sub>2</sub>-N）
- ・硝酸態窒素（NO<sub>3</sub>-N）

※1：図 7-2 では亜硝酸態窒素と硝酸態窒素をあわせて酸化態窒素として扱っているが、亜硝酸型硝化が発生しやすい場合などは、個別に整理することが望ましい。

◇処理水各態窒素（負荷量）：各態窒素濃度に処理水量を乗じて算出する。

◇処理水 T-N（濃度・負荷量）：処理水 T-N 濃度<sup>※2</sup>を用いて濃度、負荷量の期間平均値を算出する。

※2：全窒素を紫外線吸光度法で測定している場合は、各態窒素の合計値と一致しているか比較することが望ましい。

◇T-N 排出率（η<sub>EN</sub>） = 処理水 T-N / 反応槽流入水 T-N<sup>※3</sup> × 100

※3：反応槽流入水窒素濃度に処理水の各態窒素と同様の整理を行い、算定に用いる。

### (3) 実績窒素収支の確認

以下の負荷量を算出し、実績値の内訳を把握する。実績脱窒量は水質測定値では把握できないため、収支計算（差分）により算出する必要がある。

◇引抜き窒素量（余剰汚泥）： $L_w = \text{余剰汚泥固形物量}^{*1} \times \text{固形物中の窒素含有率}（：N_x^{*2}）$

※1：反応槽や最終沈殿池内の固形物量の変化率が大きい期間は、水処理系内の固形物の蓄積あるいは排出量を考慮し、反応槽流入水質由来の汚泥発生量を算出する必要がある。または、系内固形物量が概ね同程度の期間を対象に整理する。

※2：固形物中の窒素含有率は、実測値を用いることが望ましい（表 3-1 参照）。実績値が無い場合は、一般値を使用する（第 4.3 章【計算例】参照）。

◇実績脱窒量： $L_{DN} = L_{TN, in} - (L_w + L_{Ex} + L_{Ek})$   
 = 反応槽流入 T-N 負荷量 - (引抜き窒素量 + 残存  $NO_x-N$  負荷量 + 残存  $Kj-N$  負荷量)

◇硝化量： $L_{NF} = L_{DN} + L_{EX} = \text{残存 } NO_x-N \text{ 負荷量} + \text{実績脱窒量}$

◇理論脱窒量： $L_{DN} = \text{硝化量} \times \text{総合循環比}$

### (4) 窒素収支の活用方法

窒素収支の活用イメージを図 7-3 に示す（第 4.3 章参照）。

当面：例) 現状の窒素収支を確認し、硝化・脱窒の双方が進んでいる場合に、硝化抑制を試運転・試行する。

工夫①：例) 工夫により得られた知見を活かし、管理性の向上につながる設備改造を行う（表 7-1 参照）。

工夫②：例) 水質測定の高頻度を高める、年間の ASRT 設定範囲を見直す、池や槽毎に MLDO の日間変動特性を調査するなどの試行錯誤により、硝化率の低減や安定化に努める。

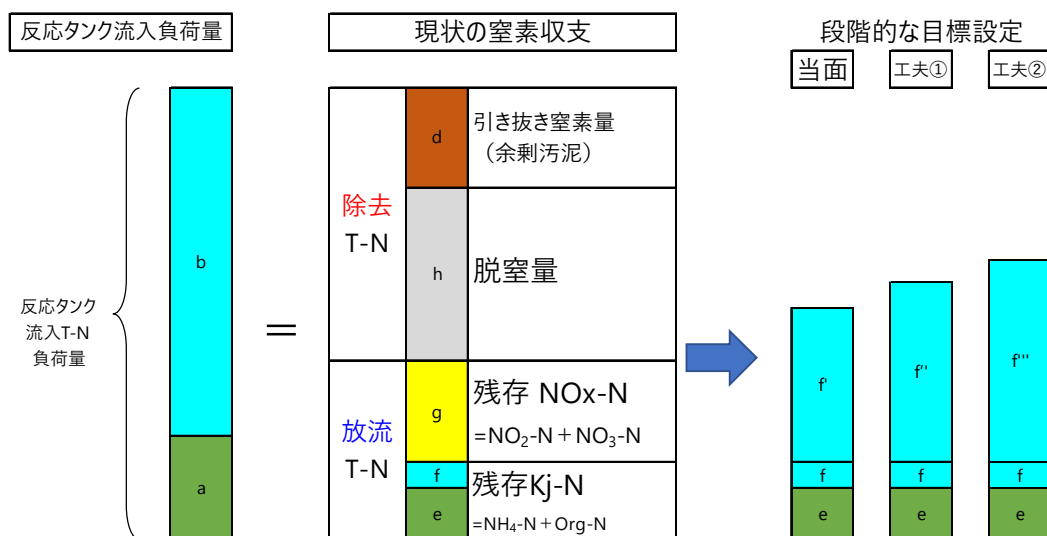


図 7-3 窒素収支の活用イメージ

表 7-1 能動的運転管理の導入に伴う施設・設備の改造例（予定を含む）

| 既設   | 栄養塩類増加手法   | 改造内容  |
|------|------------|---|
| AO 法 | 生物学的りん除去抑制 | 施設更新時に嫌気槽への送気装置を設置                                  |
| OD 法 | 硝化抑制       | OD 槽からの活性汚泥の流出装置の設置                                 |
| OD 法 | 硝化抑制       | スライム付着防止のため洗浄機構付の DO 計に更新                           |
| OD 法 | 硝化抑制       | OD 槽内の MLSS の沈殿堆積を軽減するため、次期設備更新時に攪拌装置を横軸型から縦軸型に変更予定 |

【参考】運転管理と排出実態の検討例

標準活性汚泥法で設計された下水処理場（B 処理場）において、脱窒抑制から硝化抑制に切替えた前後の窒素収支を確認した事例では、硝化抑制に切替えたことで脱窒がほぼ生じなくなったことから、硝化抑制運転時の当該下水処理場の排出率目標値を概ね 60%程度とすることができ、かつ、継続して余剰汚泥固形物中の窒素含有率を測定し、窒素収支特性を確認する方針とした

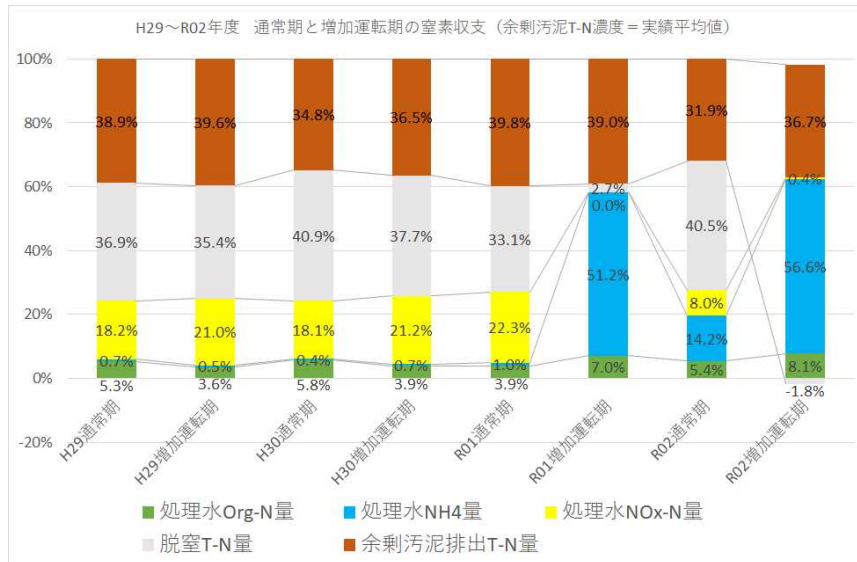


図 7-4 運転管理と排出実態の検討例

出典) 令和 2 年度「効果的な下水道栄養塩管理運転に関する有識者会議 (第 2 回)」資料 兵庫県提供

『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』

窒素増加運転を行っている下水処理場（系列）について、窒素排出率の分布を図 7-5 に整理した。プロットを□で囲んだA、B、Cの下水処理場では、平成 30 年度～令和 2 年度の間を試運転の結果を運転ルールへフィードバックし、一部の処理系列の窒素増加手法を変更することで窒素排出率の増加が確認できた例である。

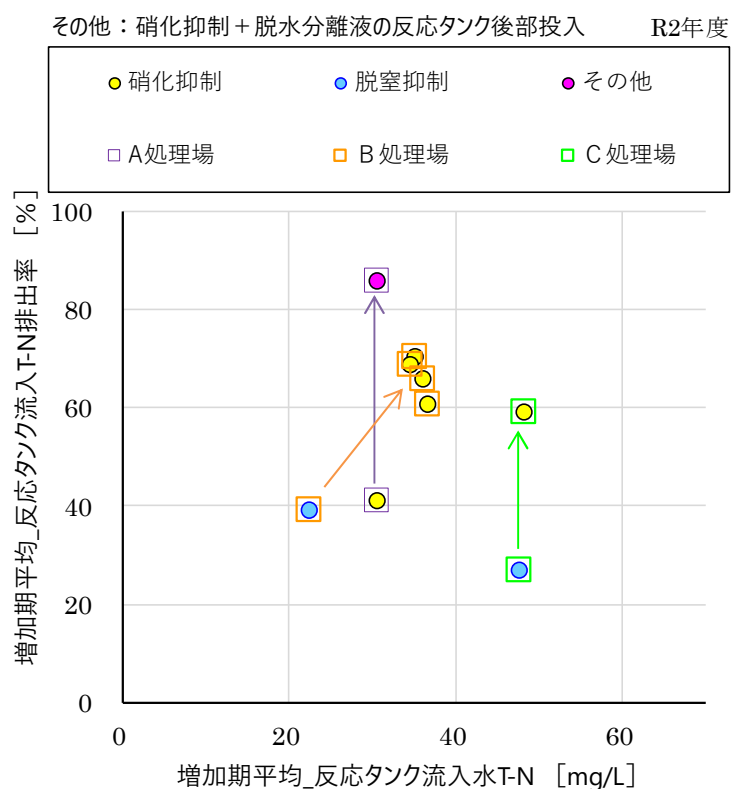


図 7-5 窒素増加運転を行っている下水処理場（系列）の排出率の分布  
（系列別月間平均排出率の増加運転期平均値をプロット）

1) A処理場：脱水汚泥分離液を活用した栄養塩類増加運転

硝化抑制運転において、「回復期間の短縮」と「風量調整の簡素化」が課題となったことから、脱水汚泥分離液を活用した運転の見直しに取り組んでいる。

- ①「回復期間の短縮」：達成（1ヶ月以上→2週間程度に回復）
- ②「風量調整の簡素化」：一部達成
- ③「汚濁物質の処理」：良好
- ④「栄養塩の増加量」：脱水汚泥分離液の投入位置変更のみでは目標に対して不十分であったため硝化抑制と併用

汚泥処理の返流水は栄養塩類濃度が高いため、栄養塩類増加運転系列への返流水の返送比率を高く設定している処理場もある。同様に、し尿や浄化槽汚泥の受入を行っている下水処理場では、し尿等を水処理施設に受け入れている事例もある（7例）。

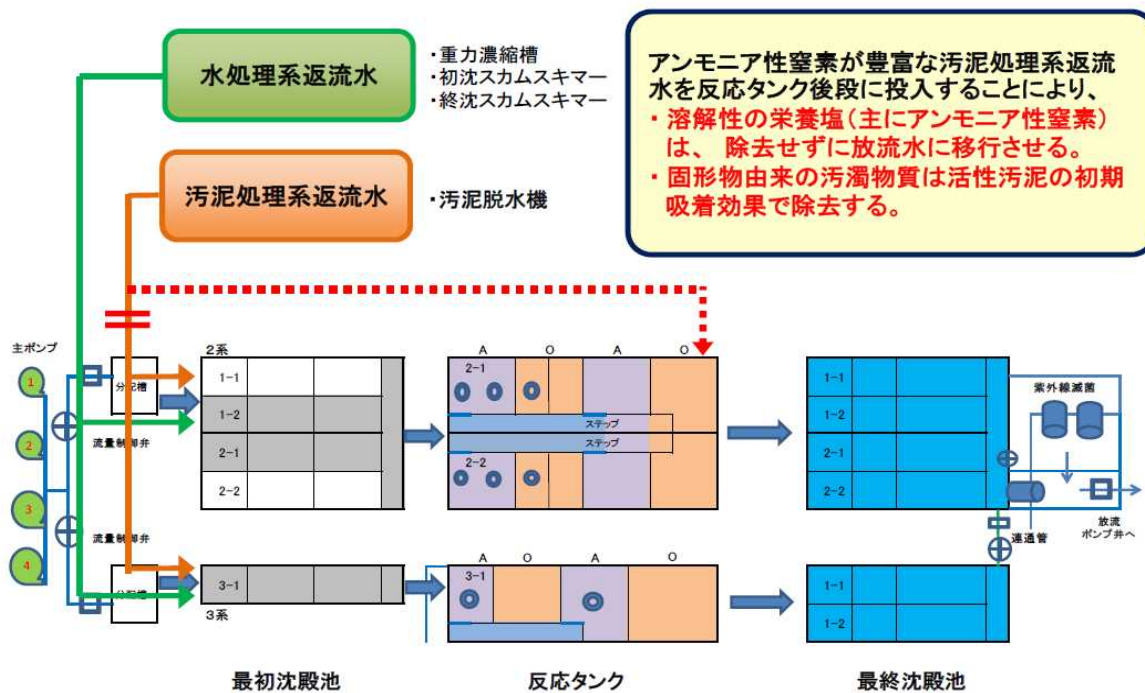


図 7-6 脱水分離液を活用した栄養塩類増加運転 (概要図)

## 2) B処理場：脱窒抑制から硝化抑制への変更による栄養塩類増加運転

県のBOD上乘せ基準に対してBOD上昇を懸念し、脱窒抑制を行ってきた。条例が改正され、BOD基準が一部撤廃されたことから、安定的に栄養塩管理運転を行うために、一部系列を硝化抑制に切り替えたところ、図 7-5 の通り、20ポイント以上の排出率の増加が図られている。

## 3) C処理場：脱窒抑制から硝化抑制への変更による栄養塩類増加運転

漁業者からの要請を受け、ノリの養殖時期に当たる冬期に窒素の排出量を増加させる季節別運転(試行：脱窒抑制運転)を行ってきた。流域別下水道整備総合計画において全窒素の季節別の処理水質を設定した運転の本運用が位置づけられたことを踏まえ、更なる窒素排出量増加運転手法として硝化抑制運転に取り組むこととした。脱窒抑制系列と硝化抑制系列とでは、図 7-5 の通り、30ポイント以上の排出率の増加が図られている。

なお、以下の手法については実績が少ないが、導入事例を蓄積し、定量的な効果や課題(トレードオフ関係など)を共有する必要がある。

### ◇アンモニアセンサーを用いた送風量制御

- ・期待される効果：送風量制御及び処理水アンモニア態窒素濃度の安定化
- ・トレードオフ：硝化抑制運転時に送風量を抑制することによる有機物除去の悪化

### ◇最初沈殿池の池数減少運転

- ・期待される効果：反応槽への有機物負荷を高めることによる硝化抑制
- ・トレードオフ：初沈汚泥量の減少、ASRT管理を併用する場合の余剰汚泥量の増加(硝化抑制)

### ◇紫外線消毒の消毒強度の調整

- ・期待される効果：N-BODの抑制
- ・トレードオフ：エネルギー消費量の増大(大腸菌群数に必要な消毒強度より高くなる)

### ◇活性汚泥モデルによる活性汚泥プロセスシミュレーション※

- ・期待される効果：栄養塩類増加運転による放流水質の変動の予測や運転条件の絞り込み

※：下水道施設計画・設計指針と解説 後編-2019年版 (公社)日本下水道協会 -pp. 302-309



## 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。

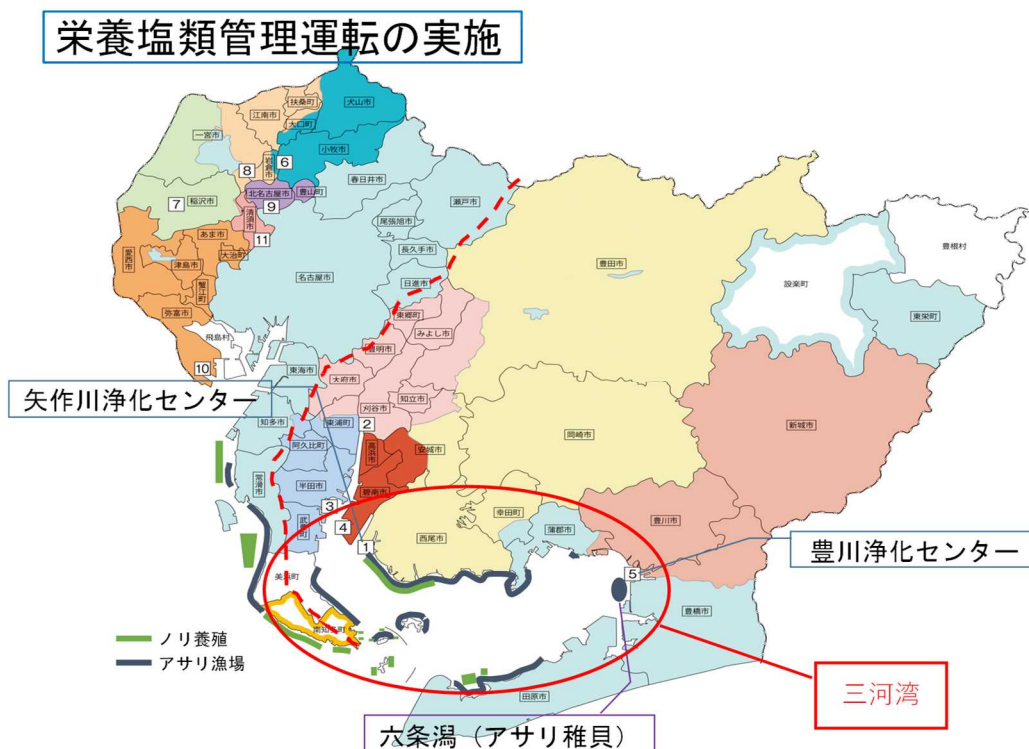
### 【解説】

季節別運転管理による栄養塩類の増加がもたらす効果は、海の生態ピラミッド（図 2-4）の例に示す通り、ノリなどの低次の生物から高次の生物（魚）にも及ぶと想定される。しかし、ノリへの効果についても、季節別運転管理との関係性について明らかにはなっていないことから、モニタリングによる情報の蓄積や傾向分析が必要である。なお、放流先の海域での効果をどのように評価するかを一義的に定めることは難しいため、モニタリングにあたっては、海域への影響の調査主体や手法を協議会等で十分な検討を行った上で運転管理にフィードバックすることが望ましい。

### 【参考】 周辺海域やアサリの肥満度のモニタリング例／愛知県

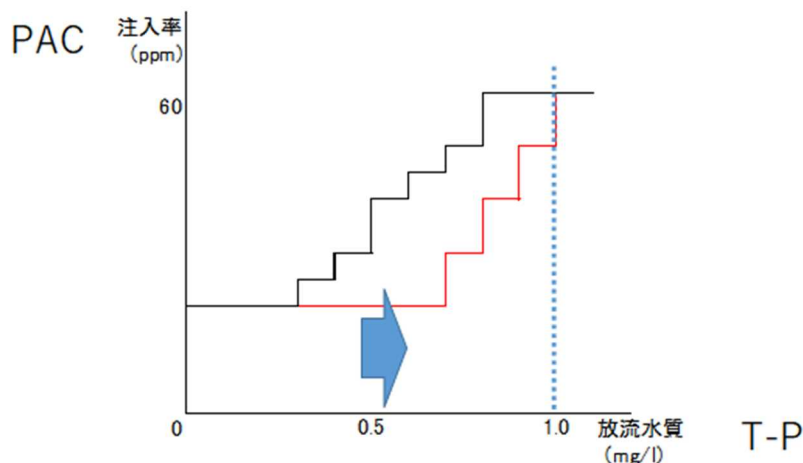
愛知県では、「三河湾環境再生プロジェクト行動計画」にて適切な栄養塩類補給等の検討のため、社会実験を行うことを推奨していることや県漁連の要望もあり、環境部局、水産部局、下水道部局で検討し、試験的に栄養塩類増加運転を実施することとした。実施にあたっては、生物の多様性の保全を考え、漁場に近い矢作川浄化センターと豊川浄化センターの2処理場で実施することとした。

#### (1) 栄養塩類管理運転の実施範囲



(2)りん増加運転の運用

水処理は通常運転し、凝集剤（PAC）添加率の増減により、放流水りん濃度を調整。  
りん増加運転時はPAC添加率を上げるタイミングを通常運転より遅らせる。



(3)モニタリングの役割分担

【下水道課】 T-P濃度（日平均値、1日の変動値）、りん負荷量（kg/日）、PAC使用量、COD・T-N濃度（日平均値）

【水産部局】 漁場内の水質、ノリの色調・りん含有量、アサリの肥満度・成長

【環境部局】 環境基準への影響

(4)モニタリング（環境への影響）

放流先の海域（三河湾西部及び東部海域）の水質については、試験運転期間において、昨年と同程度となっており、試験運転による影響は見られなかった。

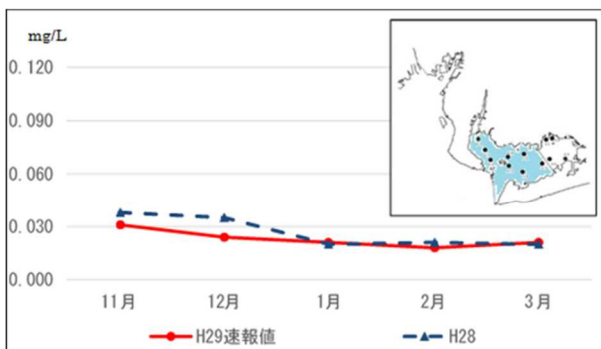


図3 三河湾西部海域のりん濃度の推移

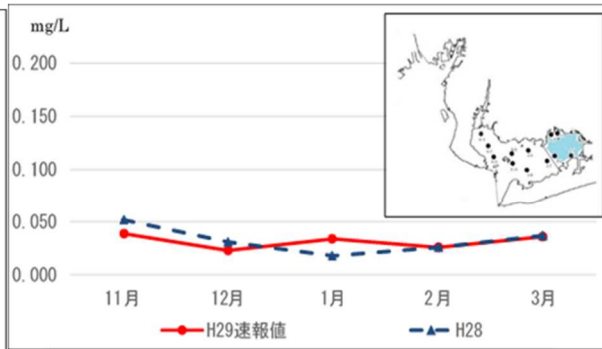


図4 三河湾東部海域のりん濃度の推移

(5)モニタリング（周辺海域へのりんの供給）

試験運転により、浄化センター周辺海域にはりん（ノリや植物プランクトンに利用されるりん酸態りん）の供給が観測された。



図5 リン酸態リン（PO<sub>4</sub>-P）の分布結果の一例-矢作川浄化センター周辺海域



図6 リン酸態リン（PO<sub>4</sub>-P）の分布結果の一例-豊川浄化センター周辺海域

(7) モニタリング (アサリへの影響)

平成 28 年度に調査が行われていなかったため前年度との比較はできないが、平成 29 年度において、アサリの成長は低水温期であるためわずかであったが、身入り (肥満度) は 10 月から 3 月にかけて上昇した。

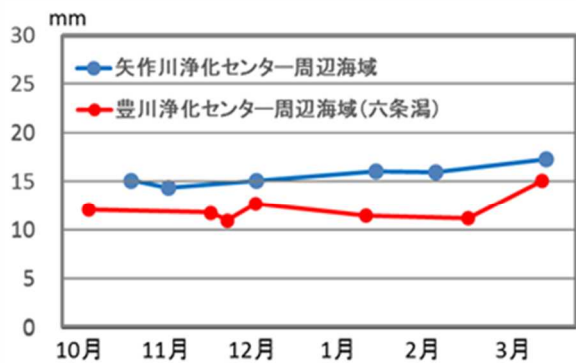


図9 アサリの殻長

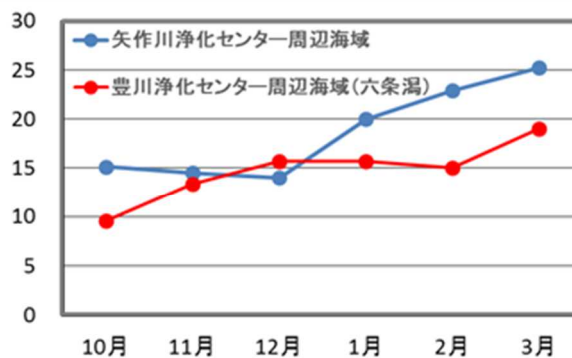


図10 アサリの肥満度

出典)平成 30 年度ナレッジ共有会議「適切な能動的運転管理の実施に向けた検討会議」(平成 31 年 2 月 20 日)愛知県提供資料



【参考】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例

- ◆加古川から供給される負荷量は、降雨が比較的少ない T-N 増加運転期の 11 月～4 月が年間平均の 6 割程度にまで減少している。
- ◆脱窒抑制運転から硝化抑制運転に切り替えたことで、加古川からの排出負荷量に対する加古川下流浄化センターの負荷量の割合は、T-N 増加運転期で 22%から 60%にまで増加している。加古川からの排出量と同程度以上排出している月もあり、加古川下流浄化センターからの T-N 供給量はかなり多いと言える。

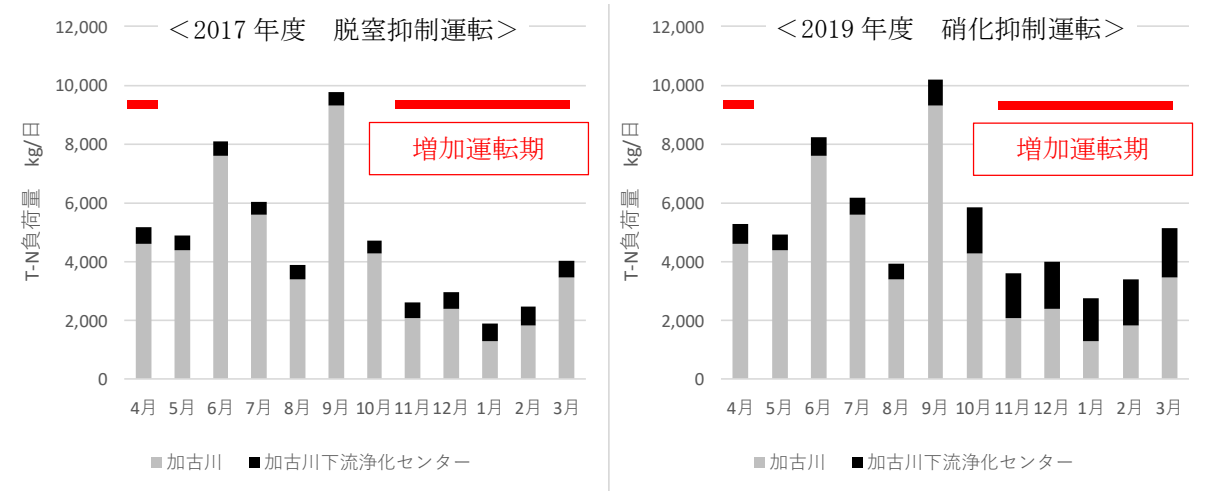
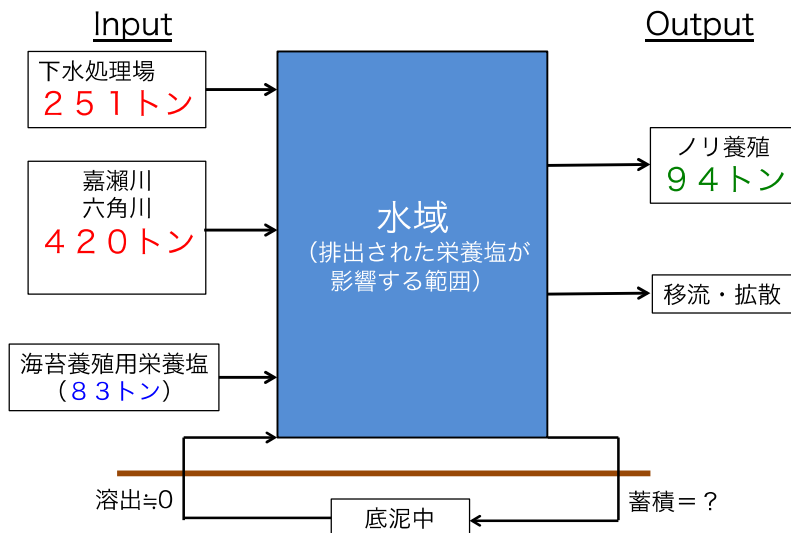


図 7-7 加古川と加古川下流浄化センターからの月別 T-N 排出量

出典) 令和 2 年度「効果的な下水道栄養塩管理運転に関する有識者会議 (第 3 回)」資料 兵庫県提供

【参考】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例

- ◆季節別運転期間中の下水処理場からの放流窒素負荷量は、ノリの養殖期間を 11 月 1 日から 3 月 31 日とし、この期間について水質データと放流データを基に求めた。
- ◆季節別運転期間中の河川からの窒素排出量は、文献から喜瀬川と六角川の年間推定値を算出し、ノリ養殖期間 (11 月 1 日から 3 月 31 日) の量を年間合計量の 2 割として年間排出量に 0.2 を乗じて求めた。
- ◆底泥と直上水間の物質収支は考慮せず、底泥による窒素固定量は含まれていない。



注) 図中の排出量は、ノリの養殖期間を 11 月 1 日から 3 月 31 日とした期間の値であり、単位はトン/11 月～3 月末の期間 である。)

図 7-8 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例

出典) 佐賀大学提供資料 H28 年度 多様な生態系の確保に向けた下水道における能動的な管理ナレッジ共有会議

能動的運転管理を行うことで、放流先海域への栄養塩類負荷量を増加させることになるため、海域への影響をモニタリングすることが望ましい。モニタリングの事例を下記に示す。

【参考】岡山市岡東浄化センターにおける取組（児島湾のモニタリング）

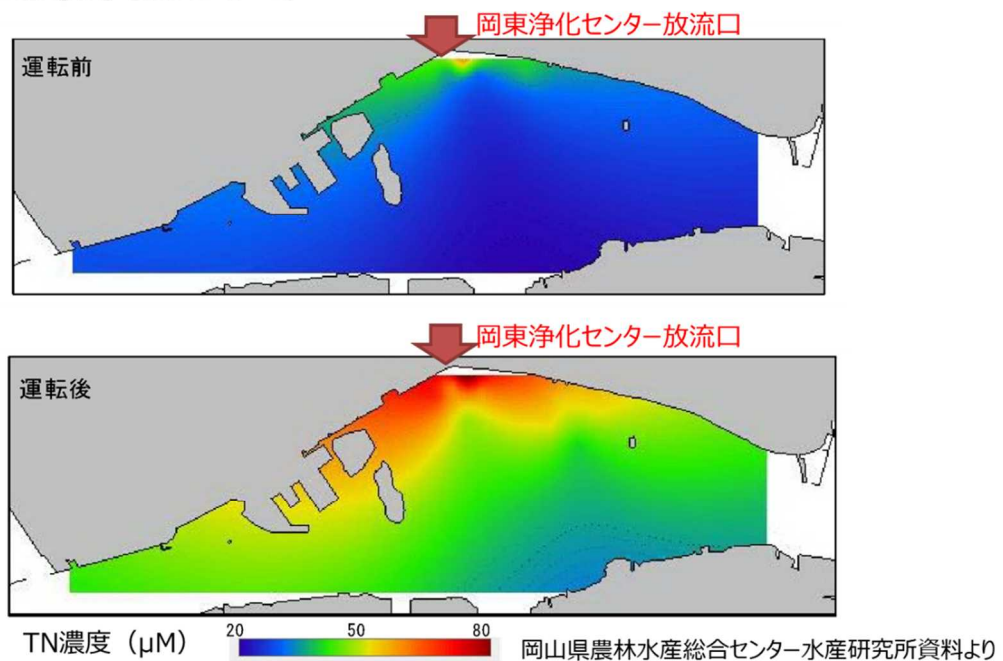
岡山市では、平成 29 年度より岡山県と栄養塩管理運転の協議を開始し、平成 29 年度より岡山市岡東浄化センターにおいて栄養塩管理運転を試行している。栄養塩管理運転の調査の結果、海域への影響について、管理運転前と比較し、りんは年間約 1.3 トン、窒素は年間約 15.5 トン増加する結果が得られた。また、岡山県により児島湾への影響調査が行われた。

◆岡東浄化センターにおける栄養塩管理運転の取組（役割分担）

|     |  |
|-----|--|
| 岡山市 | <ul style="list-style-type: none"><li>岡東浄化センターにおける栄養塩管理運転の実施</li><li>岡東浄化センター放流水質のモニタリング</li></ul> |
| 岡山県 | <ul style="list-style-type: none"><li>放流先である児島湾のモニタリング</li><li>児島湾への影響調査</li></ul>                 |

◆児島湾影響調査結果

### 児島湾への影響について



- 管理運転後に岡東浄化センター放流口から放射線状に全窒素濃度が上昇
- 放流口から1.5～2.0km付近まで窒素濃度が上昇

出典) 令和元年度ナレッジ共有会議「適切な能動的運転管理の実施に向けたナレッジ共有会議」（令和元年 12 月 19 日）岡山市提供資料 p. 5、p. 14

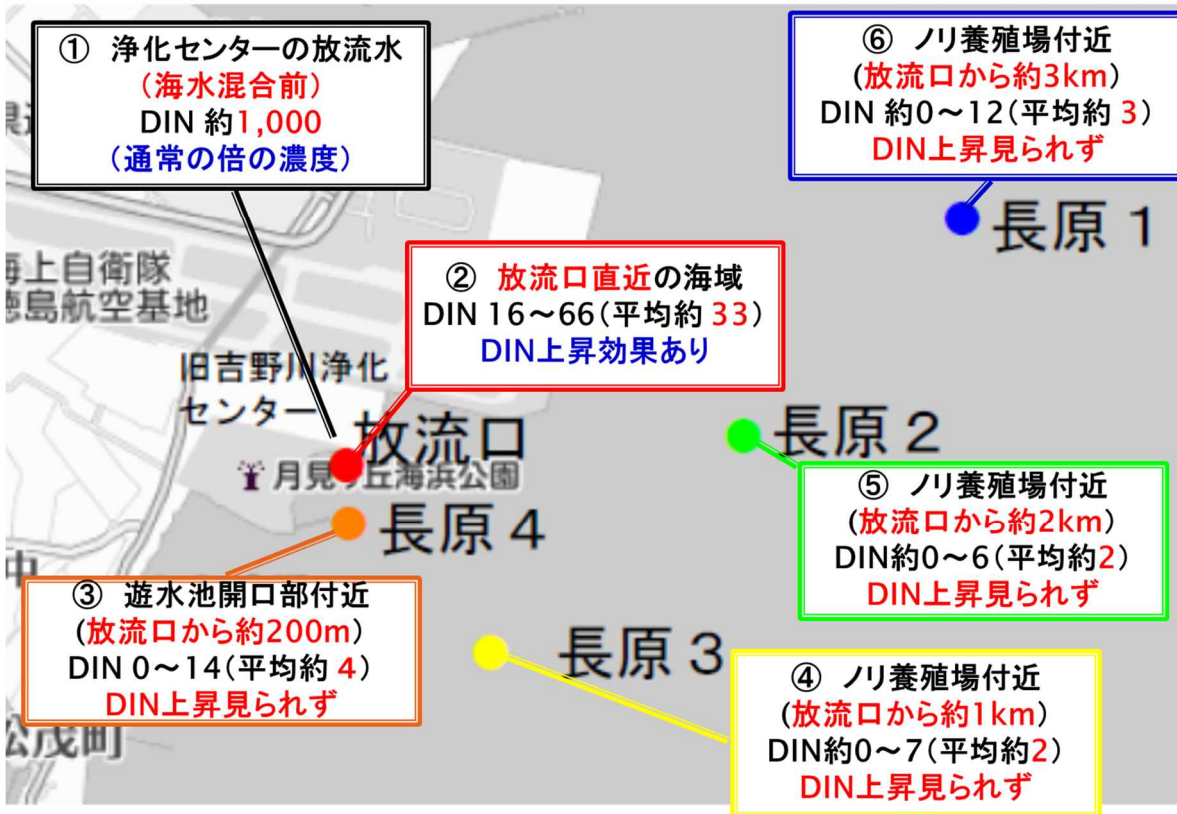
【参考】徳島県の例

徳島県では平成 27 年末のノリ養殖の不作から県議会において「栄養分の増加運転」について提案を受け、平成 28 年度に専門家による検討委員会を設置し、検討した結果、平成 28 年 10 月から旧吉野川浄化センターからの放流水の栄養塩（窒素）の濃度を上げる「実証実験運転」を開始した。

平成 30 年度に行われた実証実験では、処理場周辺の水質（DON 濃度、塩分濃度、水温等）の他、周辺の水環境への影響についても調査した。

(1) 周辺水域

▶ H30-31 実証実験中の各地点の DIN 濃度(μg-at/L)

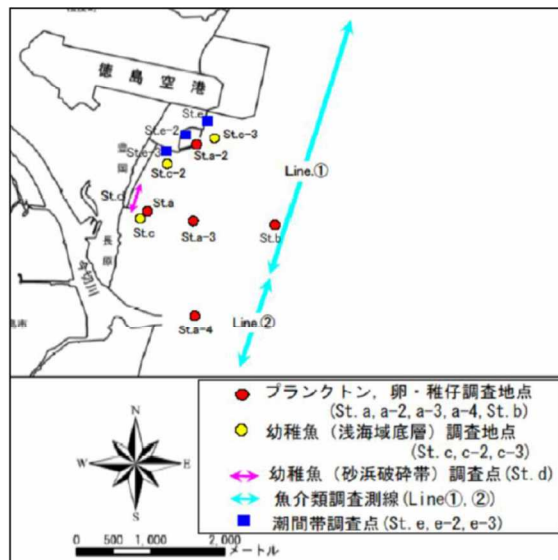


出典) 令和元年度ナレヅ共有会議「適切な能動的運転管理の実施に向けたナレヅ共有会議」(令和元年 12 月 19 日) 徳島県提供資料

(2) 周辺の水環境への影響

- ▶ <課題> 処理場周辺海域で、富栄養化など悪影響が生じないか確認が必要

- ▶ ・そこで昨年度に引き続き
- ▶ 実証実験中の平成31年2月に、生物環境調査を実施
- ▶ <調査項目>
- ▶ ・プランクトン、卵、稚仔の調査
- ▶ ・幼稚魚調査  
(砂浜破碎帯、浅海域底層)
- ▶ ・魚介類調査
- ▶ ・潮間帯調査(藻類等の調査)



- ▶ <調査結果について>
- ▶ ・他の海域と同様、「遊水池内」の環境は良好であった。
- ▶ ・前年度以前と経年的に比較しても良好な環境を維持。

▶ 調査時の遊水池内の状況(H31.2)



出典) 令和元年度ナレヅ共有会議「適切な能動的運転管理の実施に向けたナレヅ共有会議」(令和元年12月19日) 徳島県提供資料



また、養殖生物などの病気等についても、協議会等において合意形成を図る配慮が必要である。  
 海域の塩分が低下するとノリ幼芽への障害が発生するとの報告があることから、塩分濃度について調査した事例がある。

周辺の水環境への影響

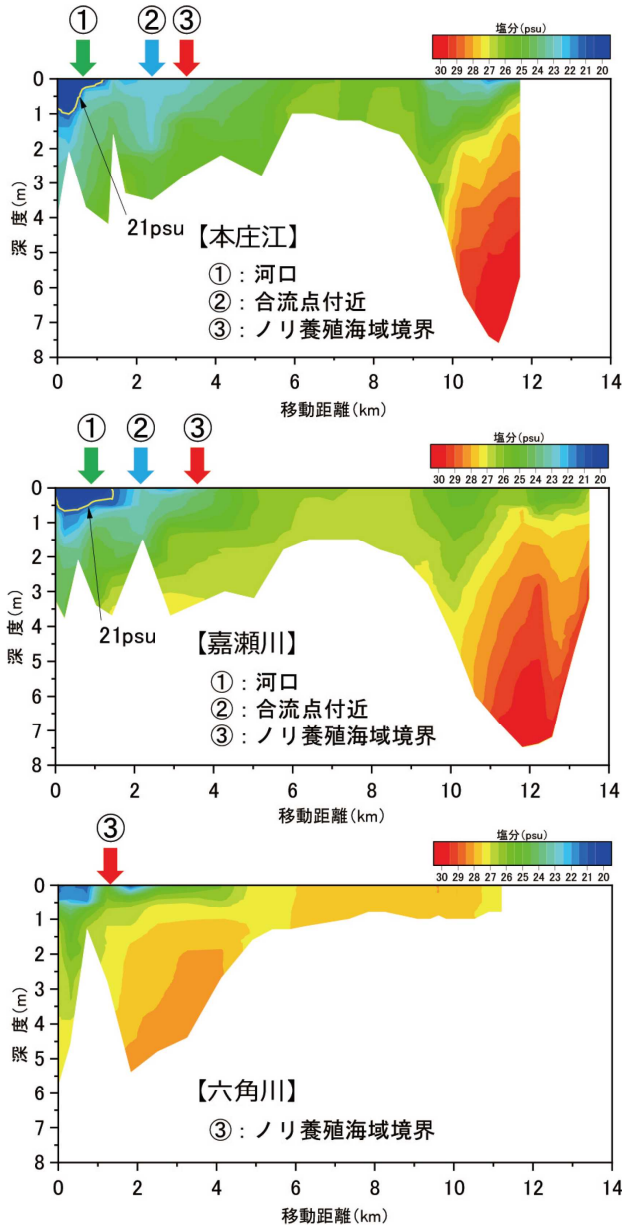


図-15 各河川からの流下に伴う塩分変化

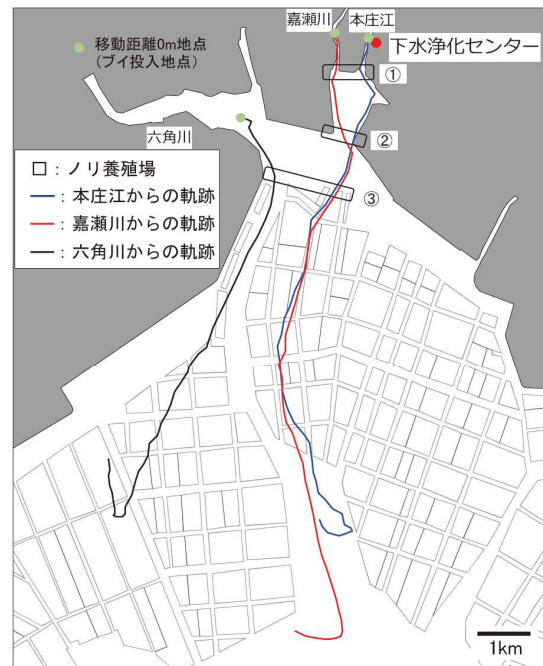


図-14 各河川からの流況

【考察】下水浄化センター処理水は、河川感潮域や近接する河川と合流する水域で希釈・混合され、その低塩分水塊が直接ノリ養殖海域へ流入することはなく、直接的な影響は比較的少ないものと考えられた。

出典) 不動寺、松尾、花島、三島「下水処理場の季節別運転管理中におけるノリ養殖海域の栄養塩及び塩分の現地調査」下水道協会誌第58巻(2021)705号

## 8. 流総計画への位置づけ

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。

### 【解説】

流総計画では、従来目標である水質環境基準の達成に加え、地域の実情に応じた水質環境基準以外の目標設定を可能としている。具体的には、「豊かな海の実現」を目標とし、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の大きな影響が想定されないことを確認した上で、季節別処理水質を定めることができるとされている。このため、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。

流総計画には、中期的な整備の目標を具体的に掲げる必要があることから、流総計画の見直しを検討する段階においては、試運転や試行の状況や栄養塩類増加による効果検証の状況を把握する。また、必要に応じて処理水質の評価（第7.1章参照）や放流先のモニタリング（第7.2章参照）の効果検証について関係機関との調整を図ることが望ましい。

### ◆計画書第2表への記載

表 8-1 計画書第2表 処理施設への記載例

| 名称           | 位置  | 予定処理区<br>の名称 | 処理<br>方法 | 処理<br>能力<br>(m3/日) | 削減<br>目標量<br>(kg/日) | 削減方法 |    | 放流先の名称<br>及び位置           | 摘要   |
|--------------|-----|--------------|----------|--------------------|---------------------|------|----|--------------------------|--|
|              |     |              |          |                    |                     | 当該   | 他  |                          |  |
| 〇〇浄化セ<br>ンター | 〇市  | 〇〇           | 〇法       | 〇〇                 | 〇〇                  | 〇〇   | 〇〇 | 〇川左岸<br><br>〇〇川合流点上<br>流 | 計画下水量(m3/日)<br>・日平均：〇<br>・日最大：〇<br>計画流入水質(mg/L)<br>・BOD：〇<br>・COD：〇<br>・T-N：〇<br>・T-P：〇<br>計画処理水質(mg/L)<br>・BOD：〇<br>・COD：〇<br>・T-N：〇<br>・T-P：〇<br>季節別処理水質(mg/L)<br>・COD：〇(7~9月)<br>・T-N：〇(12月~3月) |
|              | ... |              |          |                    |                     |      |    |                          |  |
| 計            |     |              |          |                    |                     |      |    | X                        | X  |

### ◆計画書第3表（ロ）への記載

表 8-2 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<br>称 | 処理施設の名<br>称  | 中期的な整備の目標  | 下水道の整備事業の<br>実施順位   |
|-----|--------------|--------------|--|---------------------|
| 〇市  | 〇〇           | 〇〇浄化<br>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<br>節別処理水質をT-N=40mg/Lとする。 | 面整備 : A<br>高度処理 : B |
| 〇市  | 〇〇           | 〇〇浄化<br>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>・段階的の高度処理を導入する。  | 面整備 : A<br>高度処理 : A |