

水質とエネルギーの最適管理のためのガイドライン
～下水処理場における二軸管理～

平成 30 年 3 月

国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部

はじめに

国土交通省では、「新下水道ビジョン（平成 26 年 7 月）」の中期目標の一つに能動的な水環境管理の実現を掲げ、また平成 27 年 1 月、「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説」を改訂し、従前の水質環境基準の達成維持といった「水質」の軸に加え、「エネルギー」「時間」「空間」の三つの軸も考慮した「四次元流総」の策定を推進しているところである。

そのようななか、効率的かつ能動的な水環境管理の観点から、特に下水処理場の運転管理に着目した場合、主に「水質」と「エネルギー」の二点からの評価が重要になる。一方、処理水質と消費エネルギーは、トレードオフの関係にあるものもあり、これに留意しながら、水質の管理目標とエネルギー低減化の目標をバランス良く設定し、PDCA サイクルを構築するなど、最適な管理を推進することが求められる。

本ガイドラインは、下水処理場の運転・維持管理における処理水質と消費エネルギーの両面からの最適管理を実施するためのツールとして、二軸管理手法を用いることを提案している。二軸管理とは、関連する 2 つの指標について時間的な変化の状況や他との相対的な差異についてグラフを用いて“見える化”し、現状の把握や課題の抽出を行うことで最適な方向に改善を行うものである。本ガイドラインでは、二軸管理手法の目的や進め方を示したうえで、二軸グラフの作り方、見方、PDCA を活用した二軸管理の例を紹介するとともに、二軸管理の課題についても整理を行っている。

二軸管理手法は、地域のニーズに応じて季節毎に水質を管理する能動的管理や、高度処理化を見据えたなかで段階的な水質の向上を図る段階的高度処理等の運転管理において、様々な切り口で現況評価や改善を行うことが可能であり、また、重要な運転・維持管理データを水質管理部門とエネルギー管理部門で情報共有し、連携しながら運転・維持管理の改善を図ることや、維持管理部門と計画部門で情報共有することで効果的な改築・更新等の計画・設計に反映し、将来的な運転・維持管理の改善に資することなど、運転・維持管理視点におけるマネジメントサイクルの構築にも資すると考えられる。

本ガイドラインを参考に、多くの自治体において、まず二軸グラフを作成して頂き、運転・維持管理における現状把握・評価（Check）を行い、PDCA サイクルを構築することにより、各自治体や各下水処理場の実情等に応じた、水質とエネルギーの最適な管理が進められることを期待するものである。

下水処理場における二軸管理方策検討会 委員等名簿

平成 30 年 3 月現在

(順不同、敬称略)

委員	片倉 洋一	茨城県土木部都市局下水道課 主任
〃	若狭 公一	埼玉県下水道局下水道事業課 主査
〃	豊嶋 喜貴	東京都下水道局施設管理部環境管理課水質管理担当 課長代理
〃	竹内 幹顕	愛知県建設部下水道課 主幹
〃	松本 寛	滋賀県南部流域下水道事務所 専門員 兼湖南中部施設管理係長
〃	江原 俊之	京都府流域下水道事務所 技術次長
〃	坂田 敦	大阪府都市整備部下水道室事業課 課長
〃	長滝谷 幸治	大阪府都市整備部下水道室事業課維持管理グループ 主査
〃	近藤 和広	兵庫県県土整備部土木局下水道課計画指導班 主幹
〃	永田 仁美	福岡県建築都市部下水道課 課長技術補佐
〃	西澤 直幸	船橋市建設局下水道部下水道施設課 課長補佐
〃	浅野 卓哉	横浜市環境創造局下水道施設部下水道水質課 担当係長
〃	中村 正一郎	周南市上下水道局徳山中央浄化センター 所長補佐
〃	森山 勝	久留米市企業局上下水道部下水道施設課 課長補佐
〃	江頭 聖司	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 課長
〃	高橋 務	公益財団法人 埼玉県下水道公社本社技術課 主査
〃	小堂 賢	公益財団法人 福岡県下水道管理センター総務部管理課 課長
〃	藤井 都弥子	国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室 研究官

(平成 28 年度委員)

(順不同、敬称略)

委員	片倉 洋一	茨城県土木部都市局下水道課 主任
〃	茂田 義巳	茨城県流域下水道事務所 所長
〃	関根 和則	埼玉県下水道局下水道事業課 主査
〃	豊嶋 喜貴	東京都下水道局施設管理部環境管理課水質管理担当 課長代理
〃	橋谷 珠世	東京都下水道局施設管理部環境管理課調整担当 主事
〃	高木 淳	愛知県建設部下水道課 主幹
〃	茨木 誠	滋賀県琵琶湖環境部下水道課 課長
〃	松本 寛	滋賀県南部流域下水道事務所 専門員
〃	小林 保	大阪府都市整備部下水道室事業課 課長
〃	長滝谷 幸治	大阪府都市整備部下水道室事業課維持管理グループ 主査
〃	永田 仁美	福岡県建築都市部下水道課 課長技術補佐
〃	丸山 信之	公益財団法人 埼玉県下水道公社本社技術課 主査
〃	丸山 司	公益財団法人 愛知水と緑の公社 下水道部管理課 課長補佐
〃	筓場 寛	公益財団法人 福岡県下水道管理センター総務部管理課 課長
〃	藤井 都弥子	国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室 研究官

【目次】

1 総則.....	1
1.1 目的.....	1
1.2 適用範囲.....	1
1.3 用語の定義.....	2
2 二軸管理の目的及び進め方.....	4
2.1 二軸管理の目的.....	4
2.2 二軸グラフの作り方.....	5
2.3 二軸グラフによる“見える化”.....	6
2.4 二軸グラフを活用したPDCAサイクル.....	8
3 二軸管理の実施.....	10
3.1 基本的な考え方.....	10
3.2 二軸グラフの作成.....	11
3.3 二軸グラフによる評価.....	23
3.4 二軸管理による運転管理等の改善.....	29
4 今後の課題.....	42
5 Q&A集.....	43
<<資料編>>:支援情報.....	47
【二軸グラフ作図の仕方】.....	47
【サンプルファイルを用いた二軸グラフの見方】.....	49
【全国平均値等との比較検討】.....	52

1 総則

1.1 目的

本ガイドラインは、下水処理場における処理水質と消費エネルギーの現状を、二軸管理手法を用いて“見える化”することにより、現状把握や課題の抽出を行い、水質とエネルギーの両面を考慮した管理目標を設定し、適切な処理水質と消費エネルギーを両立させた最適管理を行う際に活用されることを目的とする。

本書では、適切な処理水質と消費エネルギーを両立させた最適管理を行うためのツールとして二軸管理手法を用いることを提案している。二軸管理を活用し、PDCA サイクルを構築することで定期的な振り返りを実施し、その効果や課題を確認し、目標設定や対策の立案を行い、各下水処理場がそれぞれの特色や状況に応じた最適な管理が行われることを期待するものである。このような目的により、本書は、二軸管理の目的及び進め方、二軸グラフの作り方、二軸グラフによる評価、二軸管理による運転管理等の改善、今後の課題について整理し、二軸管理の実施方法をまとめたものである。

なお、本書は主に水質管理やエネルギー管理、運転管理を担当する職員、またはそれらを総括する立場の職員、計画策定に関わる職員等を対象としたガイドラインとしている。

1.2 適用範囲

下水道管理者が下水処理場において、水質とエネルギーの最適管理として二軸管理を行う際に適用する。

本書は、下水処理場における運転管理や施設計画等において、処理水質と消費エネルギーの両面を考慮した現況評価、目標・対策の見直し、目標・対策の立案、対策の実施、効果の確認を行う際に適用する。

1.3 用語の定義

本書のなかで取り扱う用語の定義は、それぞれ以下に示すように定義する。なお、下水道の基本的な用語に関しては、「下水道施設計画・設計指針と解説 2009年度版」(社団法人 日本下水道協会)、「下水道用語集 2000年版」(社団法人 日本下水道協会)に準拠する。

(1) 二軸グラフ

二軸グラフとは、2つの評価軸(縦軸, 横軸)を設定し、データを入力することで作成するグラフである。グラフを用いて運転状況を“見える化”することで評価軸の項目に関する現状の把握や課題の抽出が可能になる。

(2) 二軸管理

二軸管理とは、二軸グラフを活用したPDCAサイクルによる管理手法である。

(3) 二軸カルテ

二軸カルテとは、二軸グラフだけでは表現できない必要な情報(グラフデータの背景, 運転管理上で気づいた点, グラフを見る際の留意点等)について最低限, 補完するものであり必要に応じて作成し, 二軸グラフに併記するものである。

(4) 季節別運転管理

水質環境基準の達成・維持が担保できること, 放流先の水環境に大きな影響が想定されないことを確認したうえで, 必要に応じたかたちで, 下水処理水放流先で不足する窒素やりん配慮し, 例えば冬季に下水処理水中の栄養塩類(窒素やりん)濃度を上げるなど, 地域のニーズに応じて季節毎に水質を能動的に管理すること。

※参照:「下水処理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)」
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000466.html

(5) 段階的高度処理

水域の早期水質改善に向けて, 既存設備の一部改造や運転管理の工夫により, 段階的に高度処理化を図る手法である。従来は改築更新時期に全面的に改築し, 高度処理化を図っていたが, 段階的高度処理ではその時期を待つことなく, 既存設備を最大限活用して, 流域別下水道整備計画(以下,「流総計画」という)に定める目標水質の確保等に向けて段階的に水質の向上を図るものである。

※参照:「既存施設を活用した段階的高度処理の普及ガイドライン(案)」
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000466.html

(6) 電力量原単位

消費したエネルギーの指標である電力量を，処理水量で除したもの。本書においては，下水処理場によって異なる消費エネルギー量や処理水量について，比較評価をしやすいするために電力量原単位を代表的な評価軸の1つとして用いている。

(7) 流入負荷量

水質項目に関する流入濃度に処理水量を乗じたもの。本書において，二軸グラフの代表的な横軸は電力量原単位 kWh/m³（処理水 1m³あたりの消費エネルギー）としているが，例えば水質項目として BOD について，流入濃度も考慮する場合は，kWh/kg-BOD（処理水中の BOD 1kg あたりの消費エネルギー）として，流入負荷量あたりの消費エネルギー量として表すことができる。

(8) 送風倍率

反応槽へ送風した空気量を，処理水量で除したもの。値が大きければ，単位処理水量に対して送風する空気量が多い状態を表し，値が小さければ，単位処理水量に対して送風する空気量が少ない状態を表す。本書においては，電力量原単位のデータが得られない処理場において，その代替指標として用いることを推奨している。なお，送風倍率は BOD や T-N の流入負荷量，散気装置の酸素移動効率，送風制御の方法等によって変動する値であり，複数処理場の比較評価を行う際は一概に比較ができないために，前述(3) **二軸カルテ**を作成する等，情報補完が必要となる。

2 二軸管理の目的及び進め方

2.1 二軸管理の目的

下水処理場における運転管理や施設計画等において、処理水質と消費エネルギーの両面を考慮した現況評価、目標・対策の見直し、目標・対策の立案、対策の実施、効果の確認を行う際のツールとすることを目的とする。

一般に、処理水質と消費エネルギーはトレードオフの関係にあり、水質向上を行うと消費エネルギーが増大し、省エネ運転を行うと処理水質濃度が上昇するという課題が存在する。しかしながら、通年における処理水質向上を目的とした運転から、例えば、季節別運転管理により冬季の硝化抑制運転を行うことで、年間平均として処理水質濃度は上昇するものの、消費エネルギーの低減化に繋がることも想定される。

このように、放流先の水域全体を視野に入れ、水質のみ、あるいは消費エネルギーのみで目標を定めるのではなく、処理水質と消費エネルギーのトレードオフの関係を考慮し、両面から管理目標を設定し、適切な処理水質と消費エネルギーを両立させた最適管理に取り組むことが重要となる。処理水質と消費エネルギーの関係（一般的なイメージ図）を図 2.1 に示す。

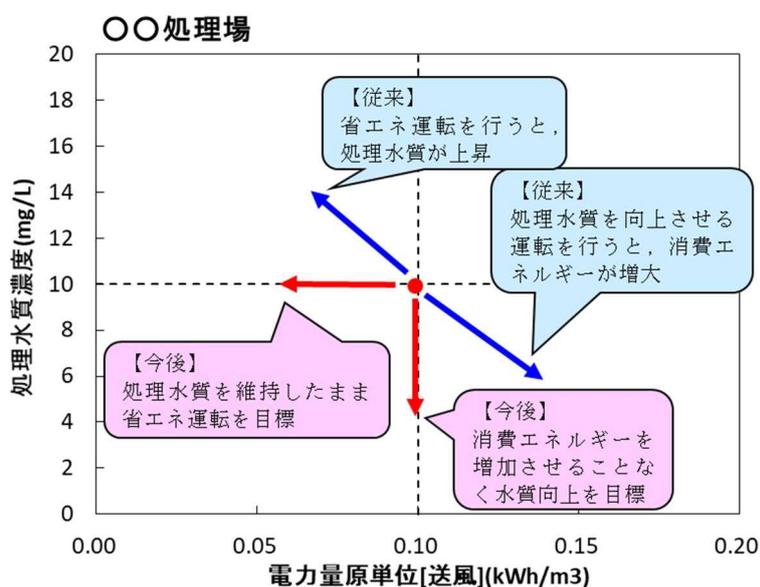


図 2.1 処理水質と消費エネルギーの関係（一般的なイメージ図）

2.2 二軸グラフの作り方

二軸グラフの評価軸（縦軸，横軸）として，縦軸に処理水質濃度，横軸に消費エネルギーを取り，作図することを基本とする。

二軸グラフのデータとなる水質項目や消費エネルギーの範囲は，二軸管理を用いて検討する目的に応じて使い分けるものとするが，縦軸を処理水質濃度，横軸を電力量原単位とすることを基本とする。

基本的な二軸グラフの作成例を図 2.2 に示す。例えば，複数の処理場で比較を行いたい場合は，左側【1】のようなグラフを，1つの処理場の経時変化を確認したい場合は，右側【2】のようなグラフを作成することが望ましい。なお，縦軸と横軸には幾つかのパターンがあり，二軸グラフの作り方や評価の仕方に関する具体例については第3章を参照されたい。

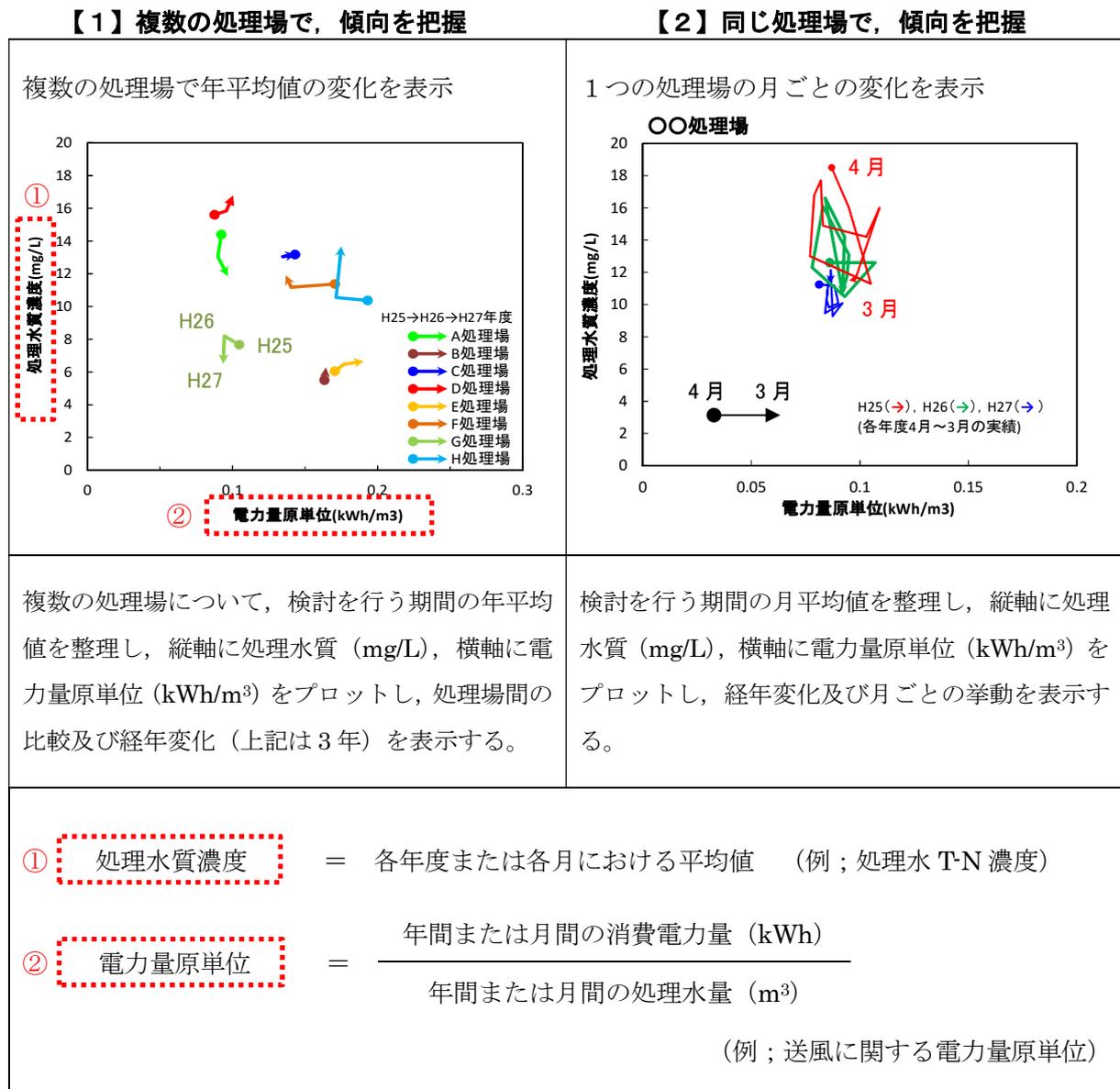


図 2.2 基本的な二軸グラフの作成例

2.3 二軸グラフによる“見える化”

二軸グラフを作成することで、現状把握や課題の抽出といった評価を行うことができる。

従来の運転管理においては、処理水質の向上と省エネルギー対策をそれぞれ実施している場合が多いが、二軸グラフを作成し、両方の現状を同時に“見える化”し、評価を行うことは今後の最適管理を進めるうえで、重要な第一段階となる。以下に、下水処理場の特色に応じた“見える化”について示す。

(1) 一般的な運転管理

一般的に、複数の下水処理場の経年データを整理すると、例えば図 2.3 の左図のように表されるが、ある処理場がどのような目標や範囲で運転管理されているか、把握することは難しい。また他の処理場と比較することについては、視覚的にも、年度単位等の狭い範囲での確認にとどまる可能性が高い。これに対して、図 2.3 の右図のような二軸グラフを作成することにより、処理水質と消費エネルギーの両方の視点で同時に“見える化”することが可能となり、これらをもとに、現況評価を行い、PDCA を構築することで、二軸管理を実施することができる。

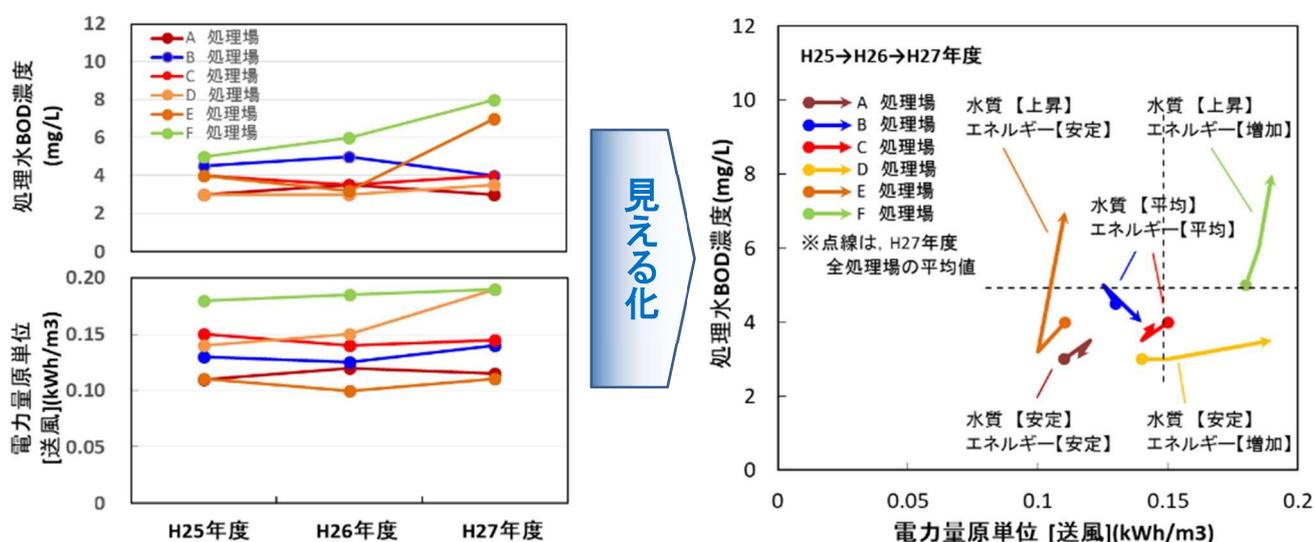


図 2.3 標準的な運転管理における“見える化”のイメージ

図 2.3 で示した二軸グラフにて“見える化”されるものとして、下記が挙げられる。

- A 処理場 : 処理水質と消費エネルギーともに安定している。
- B,C 処理場 : 処理水質, 消費エネルギーともに概ね平均レベルにある。
- D 処理場 : 処理水質は安定して低いが, 消費エネルギーが増加傾向である。
- E 処理場 : 水質が直近年度 (H29) に上昇しているが, 概ね消費エネルギーは安定している。
- F 処理場 : 水質と消費エネルギーが共に直近年度 (H29) に上昇している。

(2) 季節別運転管理

季節別運転管理は、地域のニーズに応じて処理水中の栄養塩濃度（例えば窒素類）を高めて排出する運転であるが、栄養塩濃度と消費エネルギーを軸とした二軸グラフを作成することで“見える化”が可能となる。そのイメージを図 2.4 として示す。

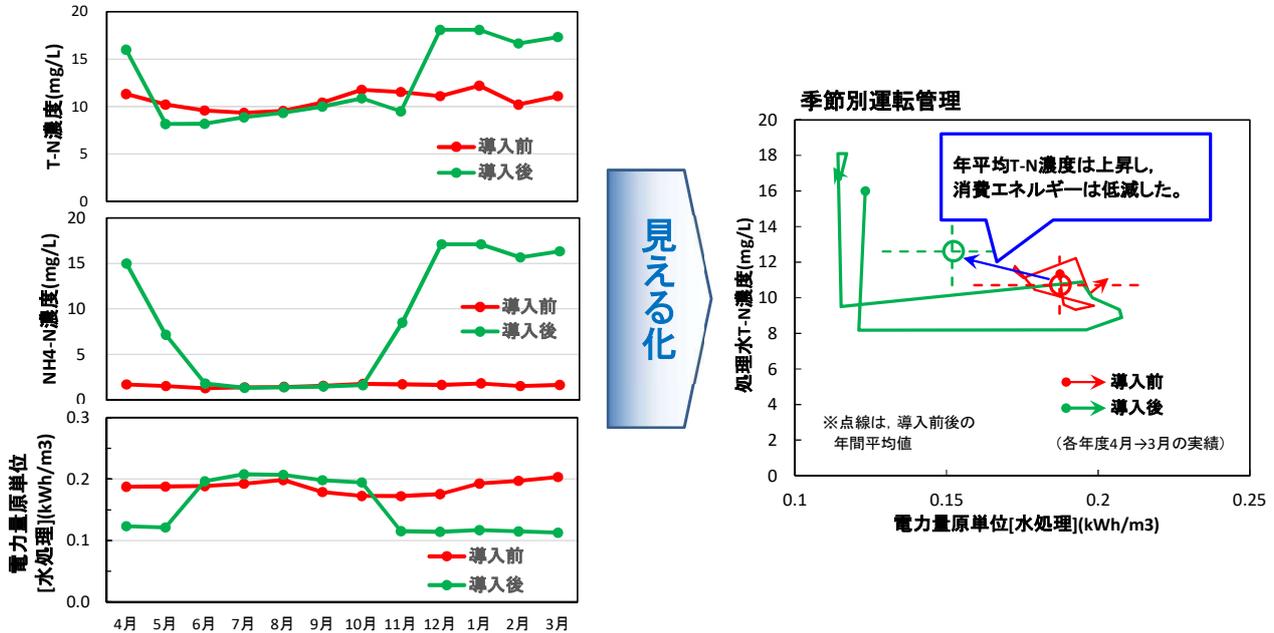


図 2.4 季節別運転管理における“見える化”のイメージ

(3) 段階的高度処理

段階的高度処理により処理水質の向上を実現できる可能性があるが、硝化抑制運転から硝化促進運転とする場合には、硝化に伴い電力量原単位（必要送风量）も増加することが想定される。このような場合に、処理水質の向上とエネルギー消費とのトレードオフの関係や段階的高度処理の導入効果をわかりやすく“見える化”することができる。段階的高度処理の“見える化”のイメージを図 2.5 に示す。なお、硝化に関わる運転方式を区別せずに見せる際は、縦軸を処理水 T-N 濃度ならびに処理水 NH₄-N 濃度の両方で記載することが望ましい。

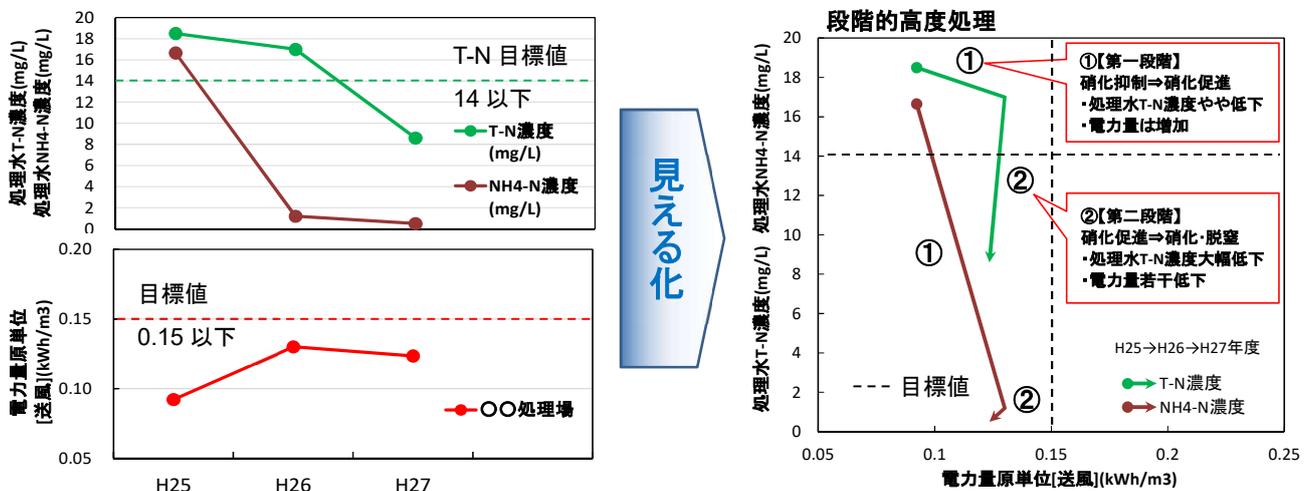


図 2.5 段階的高度処理における“見える化”のイメージ

2.4 二軸グラフを活用した PDCA サイクル

二軸管理においては、二軸グラフを作成し、水質とエネルギーの両方の観点で現状把握と評価を行い、PDCA サイクルを構築・運用していくことを基本とする。

二軸グラフにより現状を“見える化”することで、現状把握や課題の抽出を行うとともに、それらに基づき、処理水質と消費エネルギーの両面を考慮した目標設定や運転管理を進め、PDCA サイクルを構築することにより、水質とエネルギーの最適化を図ることが重要となる。二軸グラフを活用した PDCA サイクルによる管理（二軸管理）のイメージを、図 2.6 に示す。

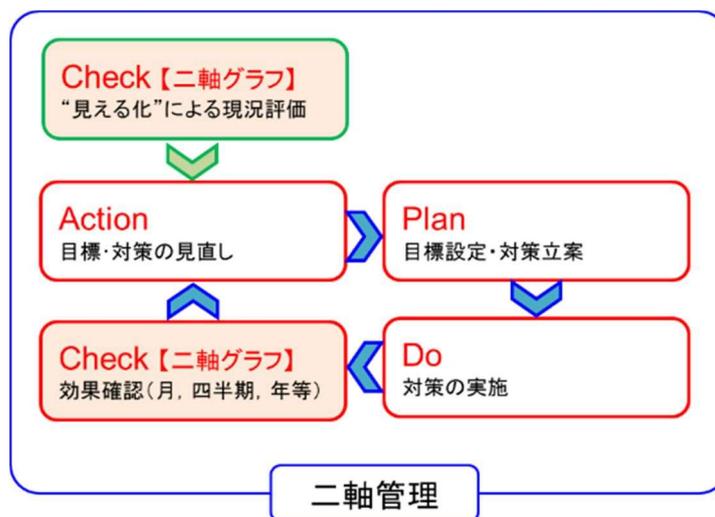


図 2.6 二軸グラフを活用した PDCA サイクルによる管理（二軸管理）

二軸グラフを活用した PDCA サイクルによる管理における各項目の具体的な内容を下記に示す。

① “見える化” による現況評価（Check【二軸グラフ】）

二軸グラフを作成し、現状把握や課題の抽出等、“見える化”による現況評価を行う。

② 目標・対策の見直し（Action）

現況評価に基づき、目標や対策の見直しを行う。

③ 目標設定・対策立案（Plan）

今後の取り組みの方向性を検討し、目標の設定や対策の立案を検討する。

④ 対策の実施（Do）

前述の Plan の内容に基づき、実際の運転管理や対策を実施する。

⑤ 効果の確認（Check【二軸グラフ】）

二軸グラフに対策の実施や結果を追記し、効果を確認する。効果が得られていない場合には、その原因についての検討を行い、次の目標・対策の見直し（Action）に繋げる。

二軸グラフを用いて PDCA サイクルを構築した二軸管理の一例（反応槽の散気装置を従来型散気板から省エネ型散気装置に更新した場合）を図 2.7 に示す。

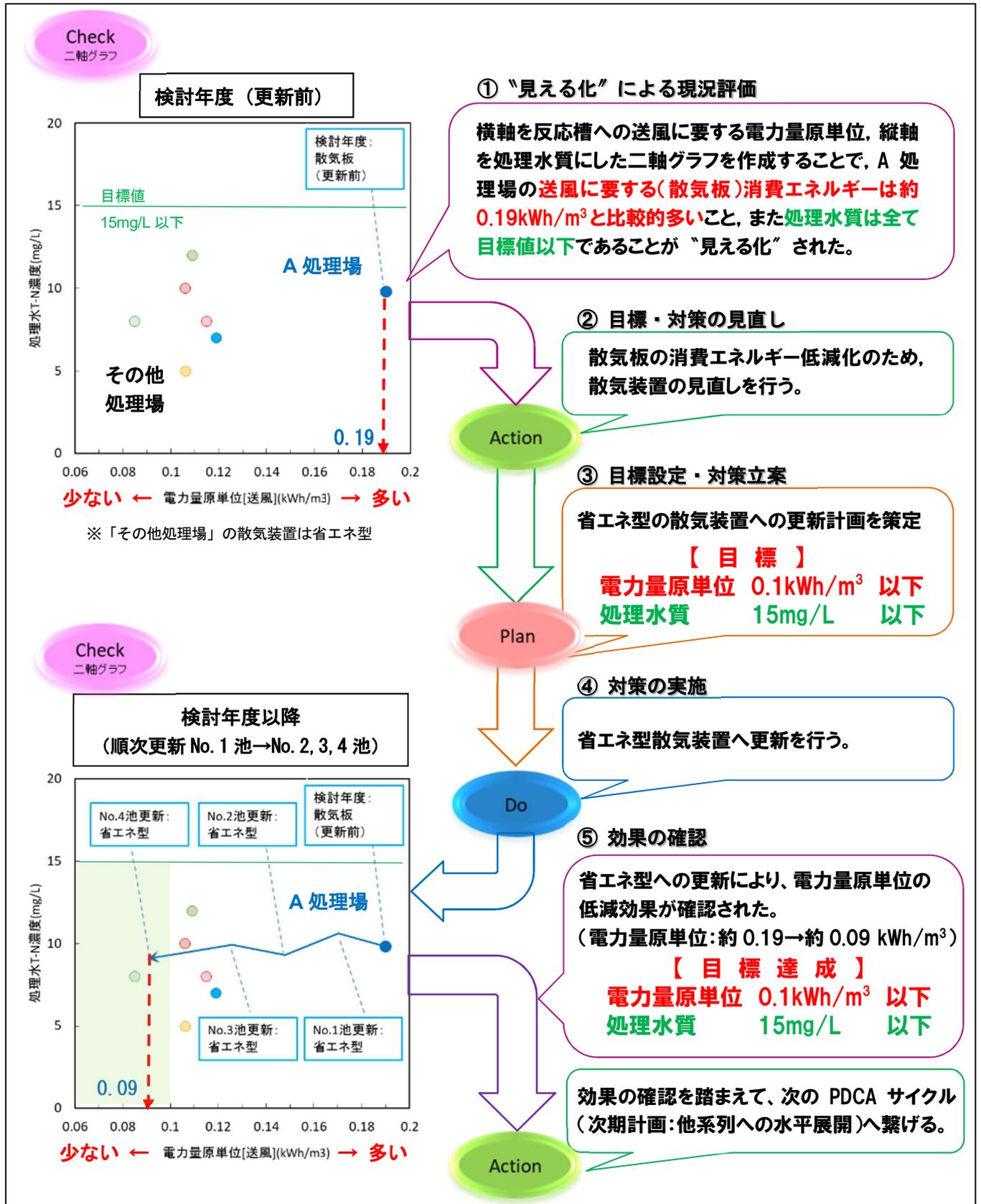


図 2.7 PDCA サイクルを用いた二軸管理の一例（イメージ）

3 二軸管理の実施

3.1 基本的な考え方

二軸管理は、目標を達成することのみを目的とするのではなく、下水処理場にとって最適な管理を行うための取り組みを引き出すことを基本的な考え方とする。

二軸管理は、各下水処理場の様々な目的において、関係者が連携しながら運用されるものであり、そのような取り組みを引き出すことが重要である。

本章では、まず二軸グラフが容易に作成できるよう支援するため、留意点とともに作成の仕方を示す。(3.2 二軸グラフの作成) また、運用時に想定される目的やテーマに沿った二軸グラフの見方や評価の仕方を示す。(3.3 二軸グラフによる評価) さらに、実際に二軸管理が運用される際の参考となるよう、運転管理の改善等に関する事例について紹介する。(3.4 二軸管理による運転管理等の改善) なお、二軸グラフにおいては左下のエリアを目標とする管理が一般的に考えられるが、下水処理場によって目標の設定内容は様々であり、必ずしも左下のエリアが目標になるとは限らない点に留意する。また、二軸管理は例えば水質とエネルギーの2つの評価軸で整理を行い、最適管理の手法とするものであるが、必要に応じて補完情報や他の手法を併用することで、より最適な管理を目指すことが可能となる。

3.2 二軸グラフの作成

二軸グラフを作成することが、二軸管理への重要な第一歩となる。そこで、比較的容易に整理できる作り方の例を以下に示す。

作り方①②が作成時の主な基本事項である。また、作成の際に詳細について確認する際は③以降の作り方の例も参考とされたい。なお、作成の際、《資料編》：支援情報のサンプルファイルを使用することで容易な作成が可能となる。

作り方① 縦軸（水質項目）の項目設定

作り方② 横軸（消費エネルギー）の項目設定

作り方③ 評価軸の目盛り範囲設定

作り方④ 目安線の表示

作り方⑤ 入力するデータの考え方

作り方⑥ 二軸カルテの作成例（散気装置高効率化のケース）

作り方⑦ 二軸カルテの作成例（横軸の設定を変化させたケース）

作り方⑧ 電力量の測定が困難な場合（代替指標の採用）

二軸グラフの作成は、“見える化”により現状の把握や評価を行い、PDCAサイクルの構築を行うことを目的としており、下記の要件を勘案し、評価軸としては「処理水質」及び「消費エネルギー」（電力量原単位）を基本とする。また二軸管理を運用するなかで、二軸グラフを作成し、見えてくること、考えることがないか、関係者で議論したり、各下水処理場の管理に最も適した評価軸を模索するなど、創意工夫を行うことが望ましい。

（要件1）運転管理の工夫や変更等で、ある程度コントロールできる項目とする。

- ・ コントロールが全くできない項目では、現状の把握だけにとどまる。
- ・ 水質の向上、あるいは省エネを目的とした運転管理の工夫、改築更新等の施策において、「処理水質」「消費エネルギー」はある程度コントロールすることができる。

（要件2）縦軸と横軸がトレードオフの関係になりやすい項目とする。

- ・ 異なる視点の両面から目標設定や対策立案を進めることが二軸管理の目的であり、トレードオフの関係になるような項目の“見える化”が重要になる。
- ・ 「処理水質」を向上させるためには、曝気量の増大（有機物除去能の向上、硝化促進）や循環率（返送汚泥＋硝化液）の上昇（脱窒率の増加）などが必要であり、「消費エネルギー」が増加する傾向があるため、トレードオフの関係になりやすい。

なお、二軸グラフを作成する際には、下記について留意が必要である。

1) 生物処理に関する基本原理の理解

二軸グラフの作成だけでなく、二軸グラフを見る際や PDCA サイクルによる二軸管理を行う際には、生物処理の基本原理等を理解、把握したうえで現状把握や評価を行うことに留意が必要である。

下水処理場における生物処理の基本原理としては、生物反応槽内において送風により好気条件を確保することで、好気性微生物によって有機物 (BOD) や浮遊物質 (SS) 除去が行われるほか、硝化菌の代謝によってアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) の硝化 ($\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N}, \text{NO}_3\text{-N}$) が進むことにより、処理水中の BOD, SS, $\text{NH}_4\text{-N}$ に関する水質向上等が行われる。必要送風量は、有機物のみを処理対象とする場合 (硝化抑制運転) に比べ、硝化促進運転時において増加する。さらに脱窒 (窒素除去) を行う高度処理 (循環法, A_2O 法等) においては、硝化が促進した条件下で生物反応槽内に嫌気・無酸素ゾーンを設け、返送・循環ポンプにより硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) が存在する汚泥を循環させることで脱窒菌による脱窒反応が生じ、最終的に窒素ガスとして大気へ放出されることにより、処理水 T-N の水質向上が行われる。

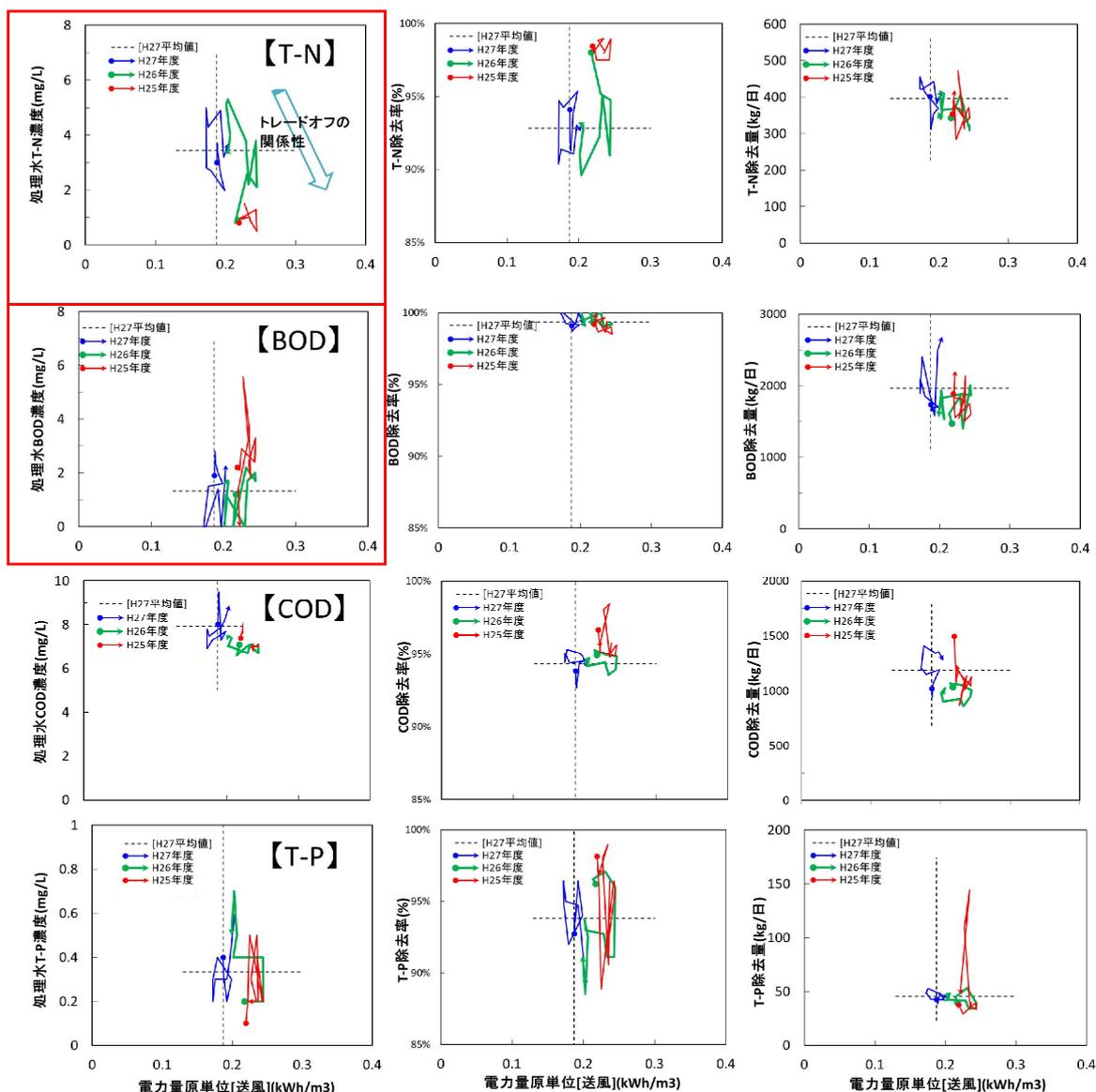
2) 雨による影響のあるデータの取り扱い

降雨によって、特に合流式下水道においては下水処理場への流入水質濃度や、反応槽における溶存酸素濃度 (DO) 等が変動する。これによる処理水質 (縦軸) や消費エネルギー (横軸) への影響は避けられないものであり、雨による影響を踏まえた評価は難しい。データを取り扱う際には、例えば短期間 (月ごと等) での比較検討においては、四半期や複数年度毎にデータを整理して二軸グラフを作成することで降雨の影響を緩和することや、必要に応じて補完情報の作成・追記を行う等、留意が必要である。なお、分流式の下水処理場においては、雨等を除外したデータで二軸グラフを作成することも対策となるが、全体のデータに対して雨天時のデータが及ぼす影響の度合いや、雨天時データの除外作業に要する労力等も考慮したうえで実施することが望ましい。

作り方の例 ① 縦軸(水質項目)の項目設定

二軸グラフの縦軸については、下水処理場で管理する代表的な水質項目である、有機物(BOD, COD)、窒素, りん等が考えられる。また、除去量(濃度差や負荷量), 除去率等も考えられる。

縦軸については様々な項目が考えられ、二軸管理を活用する目的, 処理場特性や管理目標の項目を踏まえ、対象の処理場に合った水質項目を設定することが望ましい。



【縦軸(水質項目)の例】

代表的な縦軸

Check 二軸グラフ

- 縦軸を処理水質濃度に設定すると、二軸グラフの作成により、管理項目(計画放流水質や独自の目標値)との比較が容易になる。
- 縦軸を除去率(量)とする場合、処理水質だけでなく、流入濃度を考慮した評価が可能となる。
- 本書では、横軸(主に電力量原単位)とトレードオフの関係が現れやすい「窒素項目」を基本に、また全ての下水道管理者が管理しているBODを代表的な縦軸としている。

a. 窒素

消費エネルギーとのトレードオフが生じやすい水質項目としては、窒素項目が挙げられる。処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ の水質向上(硝化促進)を行うには、硝化抑制運転と比べると必要曝気量が増大し、送風に関わる電力量が増大する。また、脱窒を行うには嫌気ゾーンにおける攪拌機や循環率(返送汚泥+硝化液循環)を上げるためのポンプに関わる電力量の増加が考えられる。

これらの状況により、二軸グラフにおいて横軸に消費エネルギーを用いた場合には、縦軸は窒素項目とすることで両者の関係性を“見える化”することが可能となる。窒素項目としては、T-N濃度の他に、窒素除去を目的としない処理場(処理系列)の場合等は、縦軸に処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を設定することも有効である。(下図参照)

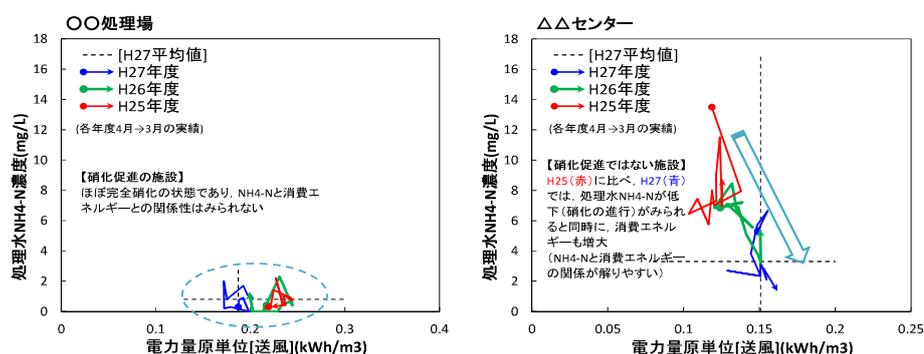


図 縦軸に $\text{NH}_4\text{-N}$ を設定した二軸グラフの例

b. 有機物(以降、BOD・CODと表記)と浮遊物質(以降、SSと表記)

一般的な下水処理場では、BODやCOD、SS除去を目的としているが、下水処理場において、それら処理水質(BOD、COD、SS)の差は大きくないと想定される。よって、評価を行う場合は、目標とする処理水質を考慮しながら、省エネを目指した目標設定を行うことが望ましい。

縦軸をBODで評価する際は、バルキング等による沈降性の悪化やN-BODに起因するBODの上昇などの影響にも留意する。なお、縦軸をBODとして整理し、PDCAを活用した二軸管理の例を「事例⑩標準法設備における二軸管理の活用」に示す。

SSについては、処理水SS濃度と消費エネルギーとの間にトレードオフ等の関係は成り立ちにくいと考えられ、本書においては縦軸の設定項目として考慮しないものとする。

CODについては、流入水中の難分解性CODの割合が濃度へ与える影響が大きく、消費エネルギーだけではなく、このような流入水特性の影響にも留意する。

c. りん

生物学的りん除去(嫌気好気法)は、標準法と比較して反応槽容量や送風倍率に大きな差がないことから、消費エネルギーとの関係性が見られないことが想定されるが、化学的りん除去(凝集剤の添加)の場合は、もう一方の評価軸(横軸)としては、消費エネルギーではなく凝集剤添加量等との関係で表現することが適切であると考えられる。

d. 除去率, 除去量

縦軸を除去率や除去量で示す場合、その水質項目の流入濃度を考慮した評価が可能となる。なお、縦軸を処理水質で示す場合と異なり、「目標値」と直接比較できないことから、二軸管理を行う際の目的によって、使い分けることが望ましい。

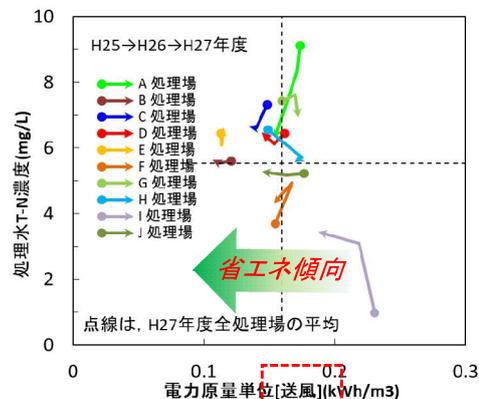
作り方の例 ② 横軸(消費エネルギー)の項目設定

二軸グラフの横軸については、下水処理場における消費エネルギーの約9割を占める電力量で評価することが有効と考えられるが、電力量の範囲としては下記のように大別でき、現状の設備における電力量の計測可能な範囲や必要に応じた使い分けを行うものとする。

横軸：送風に関する電力量

(主な対象:ブロウ)

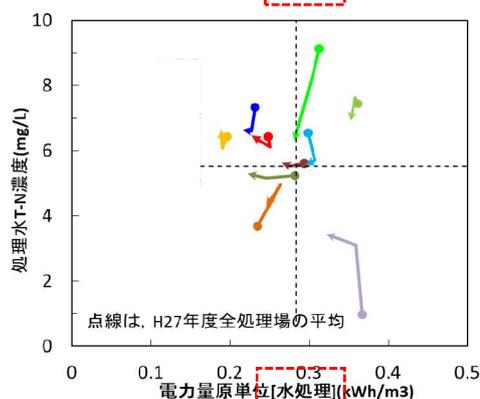
- ・送風に係る電力量が大半を占めると考えられる場合
- ・送風以外の電力量については変動がほとんどないと考えられる場合



横軸：水処理設備に関する電力量

(主な対象:ブロウ, 掻寄機, 返送・循環汚泥ポンプ, 攪拌機等)

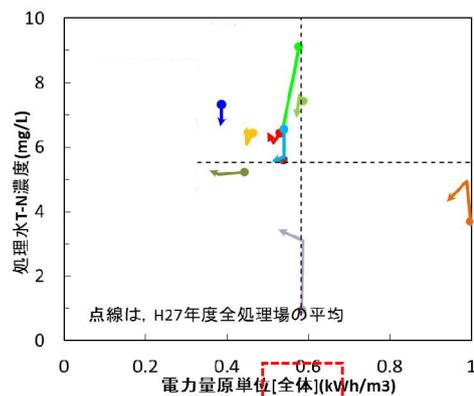
- ・高度処理を導入している等, ブロウ以外の消費電力の割合(反応タンク内の攪拌機, 返送・循環ポンプ)が無視できない場合
- ・省エネ対策等で, 返送汚泥率の変更や攪拌機の運転停止等, ブロウ以外の電力量の変化が無視できない場合



横軸：処理場全体における電力量

(主な対象:水処理～汚泥処理, 焼却炉等)

- ・水処理だけでなく, 汚泥処理(焼却設備)も含めた処理場全体で比較評価をする際や水処理方式の変更等, 運転方法の変更等で発生汚泥の性状や量が変化する可能性がある場合



Check

二軸グラフ

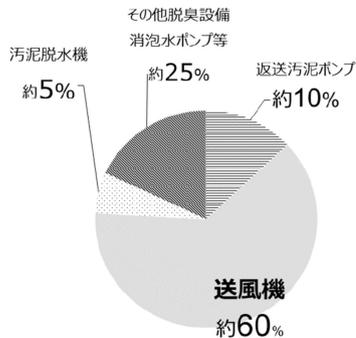
○設備の実情等により, 用いたい範囲での電力量の値をデータ化できない場合は, 可能な範囲における消費エネルギーで作図を行うが, 複数の処理場で比較を行う場合などは, 同一のエネルギー区分となるように留意する。

○処理水量が異なる複数の処理場で比較するために, 横軸は, 電力量を処理水量で除した電力量原単位とする。

【横軸(電力量原単位)の例】

a. 下水処理場における電力消費量の内訳について

下水処理場における電力消費量の内訳については、機器別では送風機が最も多く約60%の電力量を消費しており、返送汚泥ポンプを加味すると、下図のように電力消費量の約70%が水処理系となる。



出典:下水道における地球温暖化対策マニュアル, H27.3. 環境省・国土交通省 (H21年度下水道統計の全国処理場のエネルギー消費量を原油換算した値から計算)

図 下水処理場における電力消費状況

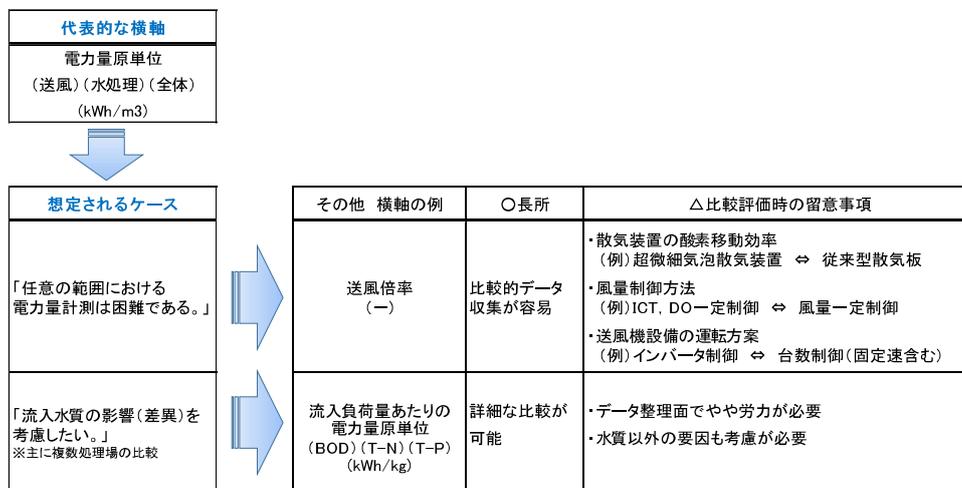
b. その他横軸の設定について

多くの処理場においては水処理にかかる大半の電力量消費が送風機であることから、二軸管理を行う際の消費エネルギー(横軸)は、「送風に関する電力量」を代表的な横軸として考える。

主として窒素除去を行うなど、水処理の運転状況や導入設備により、送風以外の設備(返送汚泥・硝化液循環ポンプ、攪拌機など)の電力量割合が多い場合や運転の変更がある場合には、送風電力量だけでは水処理に関連する電力量を表現できないために、「水処理施設における電力量」を横軸にすることも有効である。

また、水処理方式の変更や凝集剤添加量の多寡により、発生汚泥量や性状が変化する場合(凝集剤の添加の多寡により汚泥発生量が増減など)もあり、汚泥処理も含めた「処理場全体における電力量」で検討を行うことが望ましい場合もある。

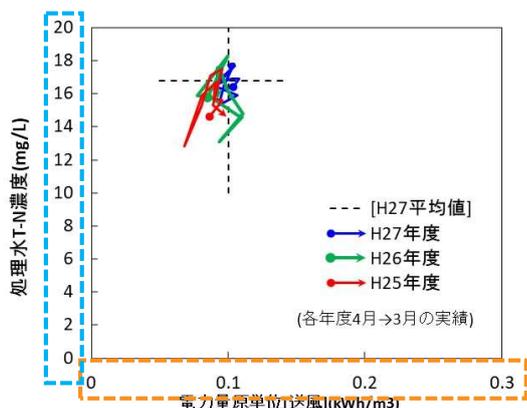
さらに、横軸の基本とする「処理水量あたりの電力量原単位」を、BOD負荷(kg-BOD)やT-N負荷(kg-N)で除した形で横軸を表すことで、流入水質濃度(流入負荷量)も含めた消費エネルギーとの関係や傾向をより把握することも可能となる。このように、評価軸を検討して二軸グラフを作成することによって、様々な見え方やPDCAを活用した二軸管理に繋げることが可能になる。



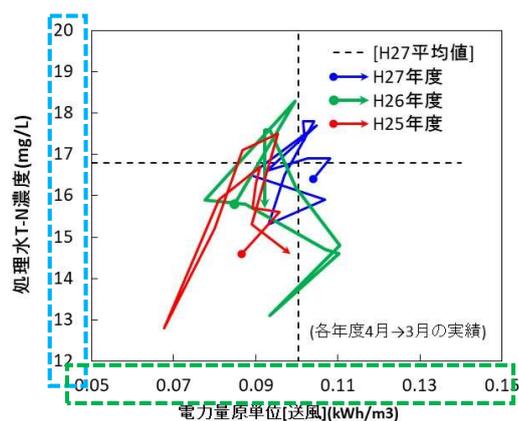
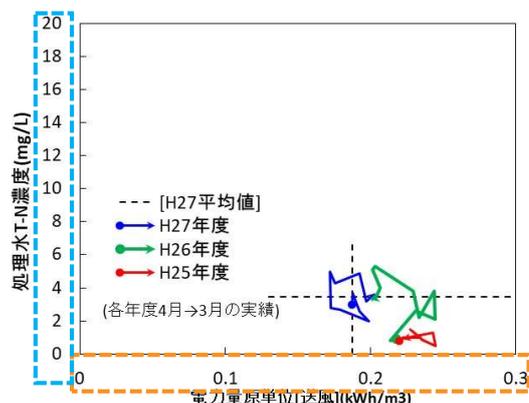
【 横軸の項目設定例と特徴 】

作り方の例 ③ 評価軸の目盛り範囲設定

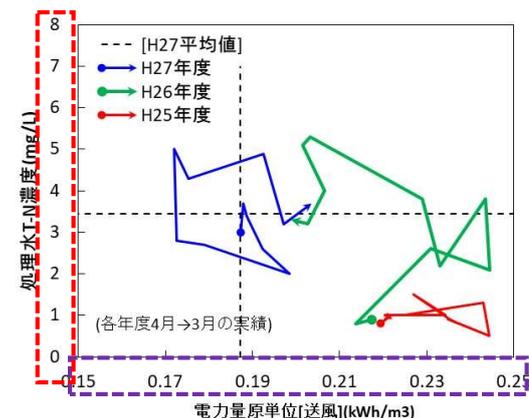
評価軸の目盛りの範囲により、グラフの見え方も大きく異なる。図に示すように他処理場との相対的な差異を見る場合には上段の図のように目盛り範囲を同様にし、また個々のグラフの動きを詳細に見る場合には、下段の図のように詳細な動きが見えるような目盛り範囲とすることが望ましい。



横軸と縦軸が
同じ目盛り
⇔
相対比較が
しやすい



個々のデータに
併せた目盛り
⇔
それぞれ詳細が
確認しやすい



【 目盛り設定による見え方の違い 】

上 図 : 横軸・縦軸が同じ目盛り
下 図 : 横軸・縦軸が異なる目盛り

Check 二軸グラフ

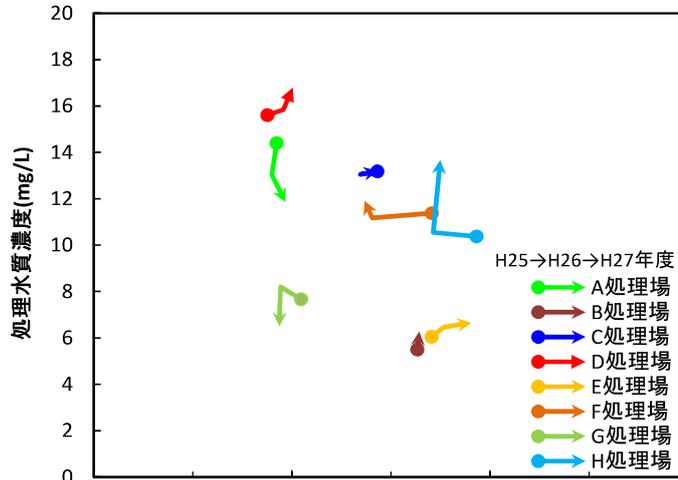
- 目盛りの範囲は、二軸グラフを作成する目的によって、設定を行うものとする。
- 二軸グラフを並べて複数評価する際には、目盛りを同じ範囲に設定し、また現況把握などで、二軸グラフを詳細に確認したい際には、個々のデータに合った範囲設定として作成することが望ましい。

作り方の例 ④ 目安線の表示

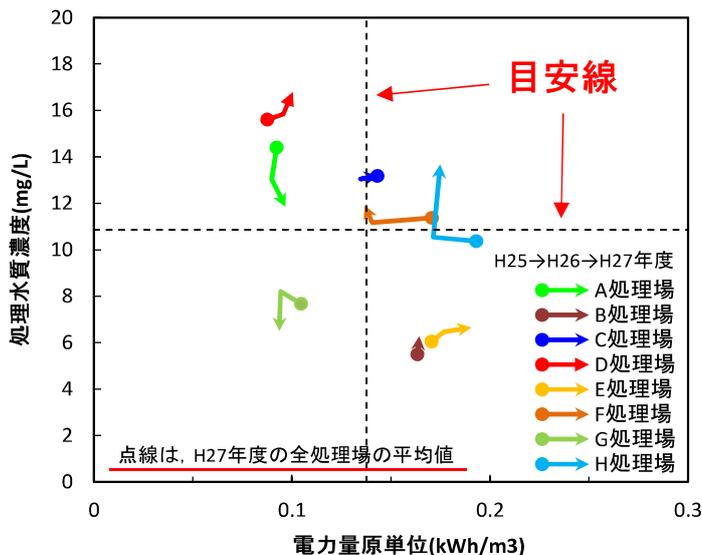
二軸グラフにおいて、図中に管理上の目安となる線(比較対象年度の平均値, 目標値等)を併記することで、複数処理場や経年変化による相対的な位置関係や、目指す目標が見やすくなることもある。

ただし、各処理場のデータの大小が強調されるなど、二軸グラフで整理する意図と異なる場合等、必ずしも目安線を記入する必要はなく、必要に応じて使い分ける。

目安線: 表示無し



目安線: 表示有り



【 目安線の有無による見え方の違い 】

Check
二軸グラフ

- 二軸グラフを作成する目的によって、目安線となる内容(平均値, 目標値等)を検討し、必要に応じて記載する。
- 目安線を、例えば複数処理場の平均値とすることで比較評価が可能となり、また過年度の平均値とすることで最近の傾向を過去と比較できる。また、目安線を各処理場で検討した目標値とすることで、現状との差も含めた共通認識を関係者間で持つことも可能となる。目安線は必要に応じて記入を検討することが望ましい。

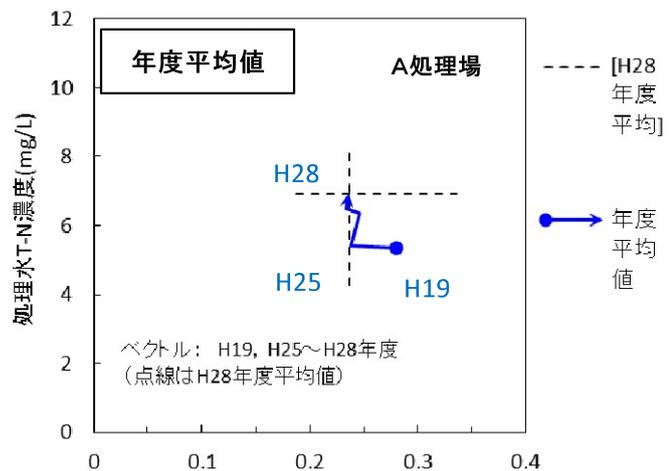
作り方の例 ⑤ 入力するデータの考え方

横軸に【電力量原単位(水処理)】を、縦軸に【処理水T-N濃度】を設定し、二軸グラフに
入力するデータを、例えば、「年度平均値」、「月平均値」、「複数年度平均値」等とすること
により、処理場の水質とエネルギー消費に関する様々な“見える化”が可能になる。

Check
二軸グラフ

入力データ：年度平均値

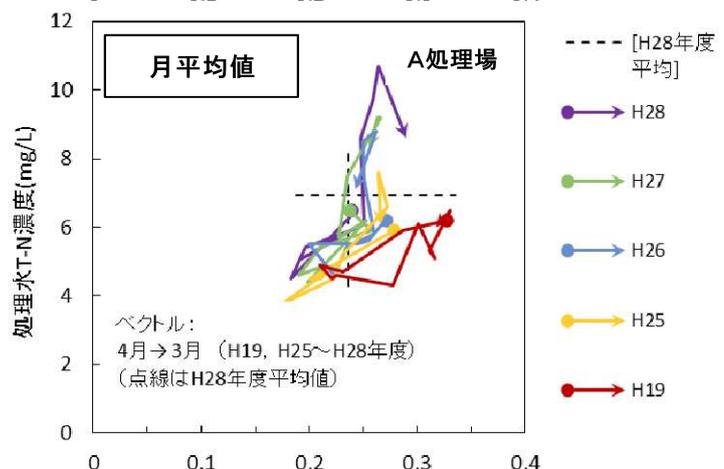
各年度における水質とエネルギー消費のバランスについて、経年的な年度ごとの大きな変化を把握することができる。



入力データ：月平均値

各月や季節における運転管理のトレンドが“見える化”され、また定期的な運転管理の確認や振り返り、目標設定に役立てることができる。

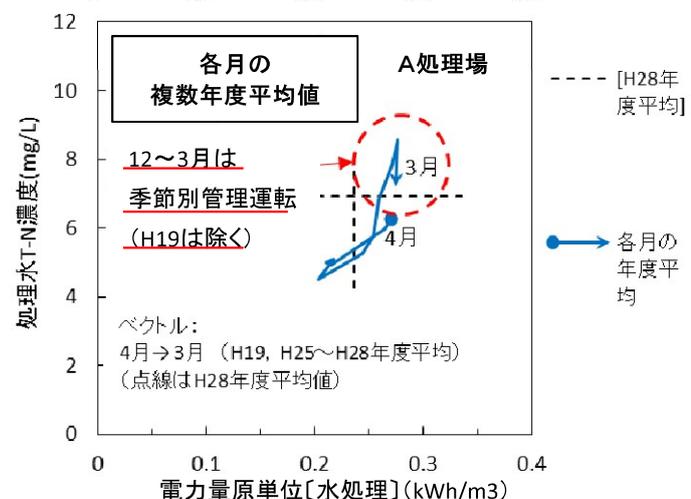
※ここで、入力するデータ数によってはグラフが見えにくくなることに留意する。



入力データ：各月の複数年度平均値

過年度の各月の「複数年度平均値」で評価をした場合、各月や季節における運転管理のトレンドが“見える化”される。

例えば、放流先の栄養塩を季節別で管理する運転を実施している処理場において、定期的な振り返りを行う場合は、複数年度平均値による各月の入力や上記のような月平均値によるデータ入力を行うことが望ましい。



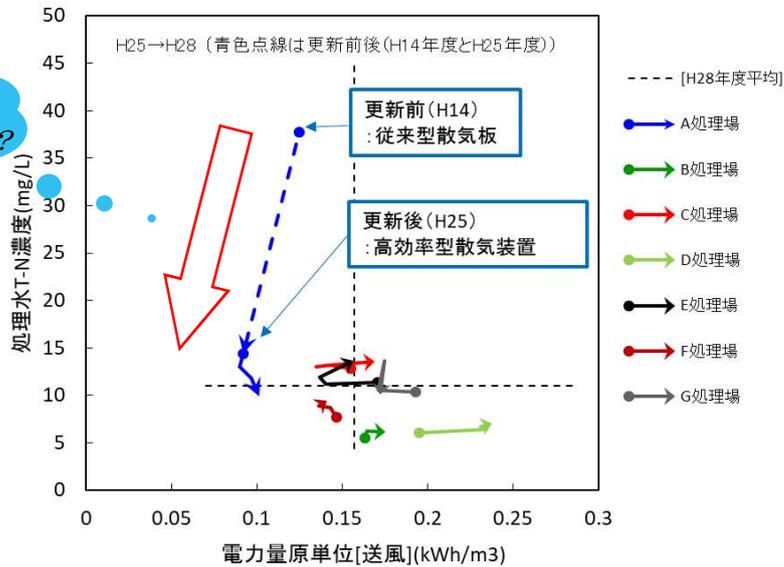
【様々なデータ入力方法による整理例】

⑥ 二軸カルテの作成例(散気装置高効率化のケース)

二軸グラフを作成する際には、適切な現況把握のために必要に応じて最低限の情報を記載したカルテを作成することが望ましい。

例えば、散気装置を高効率化した場合、二軸グラフにおいては顕著な変化が“見える化”されるが、その際に二軸カルテ(グラフ補完情報)の作成を行う例について以下に示す。

全て散気装置
高効率化による効果?



二軸カルテ	A処理場 経年比較	
項目	平成14年度	平成25年度
処理方式	標準法(硝化抑制)	同左
散気装置	従来型散気板	高効率型散気装置
運転管理上の気付きや対応事項	△消費エネルギー大 △T-N流入負荷変動大	○設備更新で省エネ化
次年度目標案	・散気装置の高効率化による省エネ	・他処理場への水平展開の検討 ・風量制御方法の見直し検討
備考		処理水質の改善は流入水質濃度の変動によるもので、散気装置を高効率化した単独の影響ではない。

※運転管理で大きく変化した事項や特記事項を備考欄に記入

【二軸カルテの作成例1】

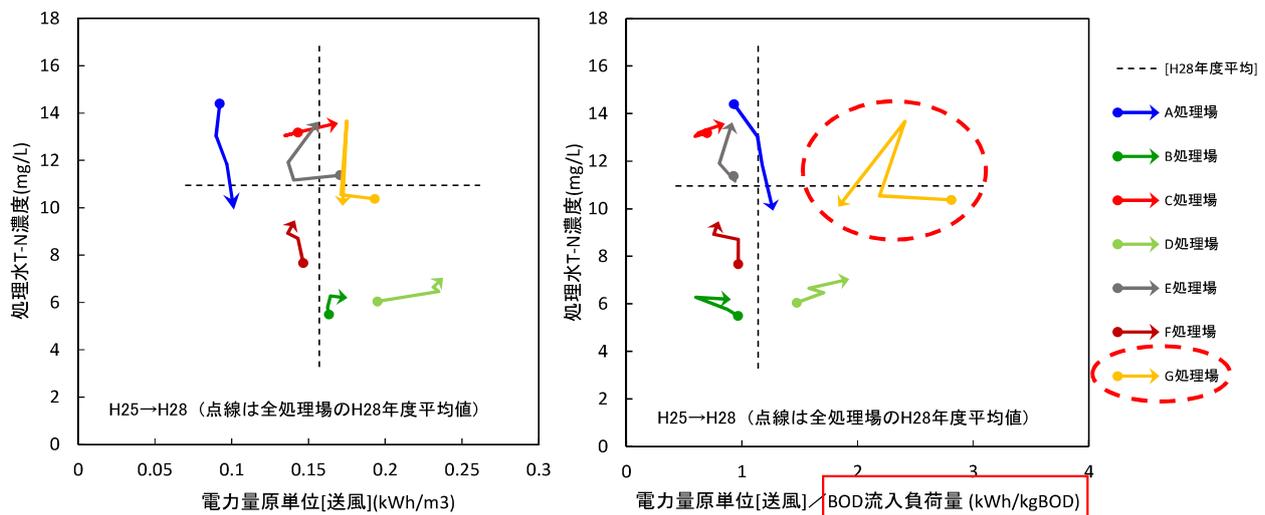
Check 二軸グラフ

○横軸(省エネ)だけでなく、縦軸(水質)の大幅な改善も散気装置の高効率化による効果のように見えるが、縦軸の顕著な変化は別途要因によることもある。特に二軸グラフの作成時や見る際に、グラフで顕著な変化が現れた場合、その背景や情報をしっかりと把握することが水質とエネルギーの最適管理に繋がる。

作り方の例 ⑦ 二軸カルテの作成例(横軸の設定を変化させたケース)

二軸グラフを作成する際には、適切な現況把握のために必要に応じて最低限の情報を記載したカルテを作成することが望ましい。

例えば、複数の下水処理場を比較した場合、横軸の設定の仕方によって新たに“見える”ことがある。そのような際にグラフの情報を補完するため、二軸カルテ(グラフ補完情報)の作成を行う例について以下に示す。



※流入水中に含まれるBOD1kgを処理するために送風で消費した電力量

二軸カルテ 項目	処理場 複数比較	
	A~F処理場	G処理場
処理方式	標準法及び高度処理法	標準法
送風制御	インレットベーン制御	台数制御のみ
散気装置	高効率型及び従来型散気板	従来型散気板
運転管理上の気付きや対応事項	送風量制御によって、運転管理	送風量の自動制御が不可能のため、余剰空気は放風
次年度目標案	運転管理の工夫による水質向上や散気装置高効率化による省エネの検討	風量制御方法の見直し検討
備考		電力量原単位/BOD負荷量の減少傾向は、流入BOD負荷量の増加によるもの。

※運転管理で大きく変化した事項や特記事項を備考欄に記入

【二軸カルテの作成例2】

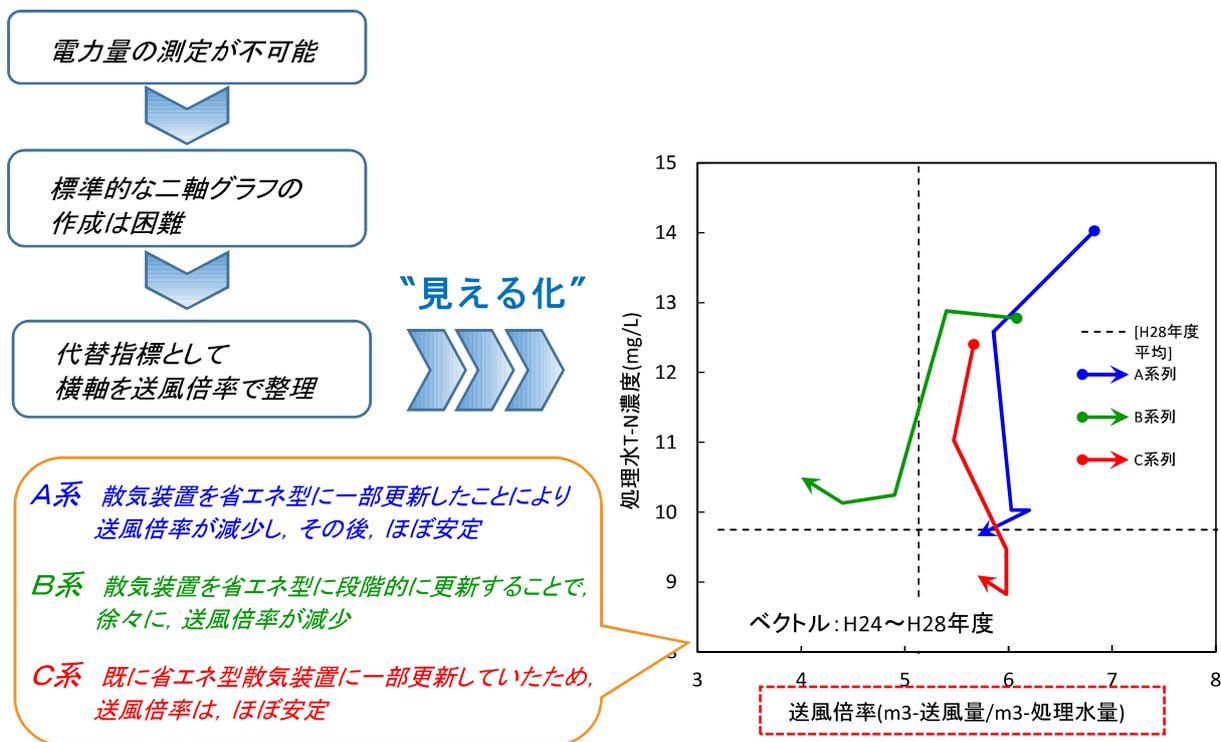
Check 二軸グラフ

- 横軸について、BOD流入負荷量を考慮した電力量原単位とすることで、特徴的な処理場が“見える化”されることがある。
- 二軸カルテの補完情報により、詳細に現況を把握することで要因分析を行うことが可能となり、次期以降の計画策定や目標設定に活用しながら、その後のPDCAを構築していくことが望ましい。

作り方の例 ⑧ 電力量の測定が困難な場合(代替指標の採用)

二軸グラフの作成において、横軸に代表的な評価軸として電力量原単位を設定する際に、処理場の電気設備の状況によっては、電力量計測が困難な場合も想定される。

このような場合、例えば送風倍率(送風量を処理水量で除したもの)を用いて二軸グラフを作成することも有効である。以下にその例を記す。



【横軸を送風倍率とした二軸グラフ】

Check 二軸グラフ

○横軸を送風倍率とすることで、処理水量に対して送風が安定しているか否か、縦軸の処理水質とあわせて“見える化”することができる。また、系列比較を行いたい場合に、電力量原単位に比べてデータの取得が容易となる可能性がある。

○横軸を送風倍率で整理し、様々な比較を行う場合には、主に下記の点について留意する。

- ・反応槽設備における攪拌機や返送・循環ポンプ等機器の稼働状況を十分に勘案すること。
(例:攪拌機や循環ポンプ等、他機器の消費エネルギーが大きく異なる場合、送風倍率だけでは評価できない。)
- ・設備上の都合による、放風の有無について把握したうえで比較等を行なうこと。
(例:送風機や風量調整弁等の風量制御方法に起因して、送風倍率(量)が変化)
- ・施設余裕率(=設計処理水量/実績処理水量)を把握したうえで比較等を行なうこと。
(例:設備上の都合により送風量がほとんど変わらず、余裕のある運転状況のなか流入水量が徐々に増加し、その影響で送風倍率が減少する。)

○横軸を送風倍率とする場合においては、比較の際に様々な条件の相異が想定されるため、基本的には、二軸カルテを作成することが望ましい。

3.3 二軸グラフによる評価

二軸グラフの基本となる作り方だけでなく、各下水処理場における目的や今後の見通しを念頭に整理を行い、現況評価を行うことが二軸管理において重要となる。具体的には、設備・系列・運転方法・条件・時系列等について比較・整理し、評価を行うことで、当該年度の目標や対策の見直しに繋げることが可能となる。

設備の省エネ化については見方①，系列での比較は見方②③に，条件の変化は見方④，時系列での比較は見方⑤として記載するので参考とされたい。

- 見方① 省エネ設備を導入した場合
- 見方② 水処理系列で比較する場合
- 見方③ 運転方法で比較，グルーピングする場合
- 見方④ 流入負荷量（流入濃度）を考慮する場合
- 見方⑤ 過年度実績と比較する場合

二軸グラフを作成し、評価することにより、処理水質向上と省エネの両立に対する現在までの取り組みや、各処理場の特色や系列間の相違点等について、「振り返る」ためのツールとして使うことが可能となる。また、このように作成した二軸グラフを評価することにより、「新たな気づき」に繋がることも期待され、関係者が連携し、水質向上と省エネについての考察を深める契機となる。

このように、関係者が連携、議論しながら二軸グラフを作成し、現況評価を行い、目的を持ち、PDCA サイクルを構築していくことが二軸管理においては重要である。

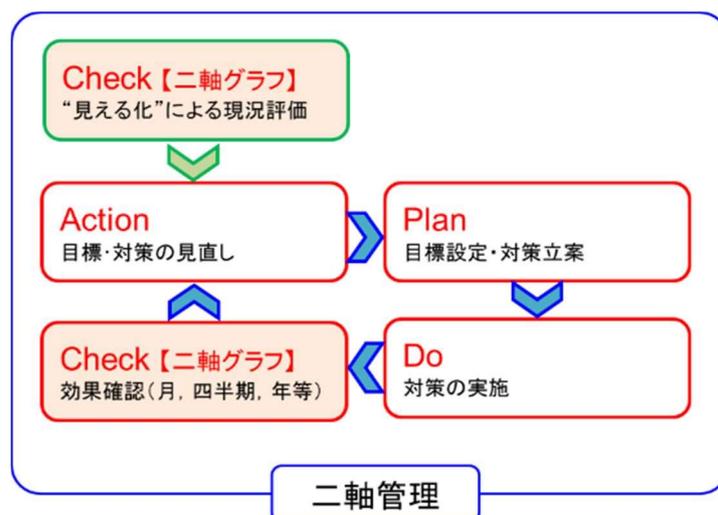


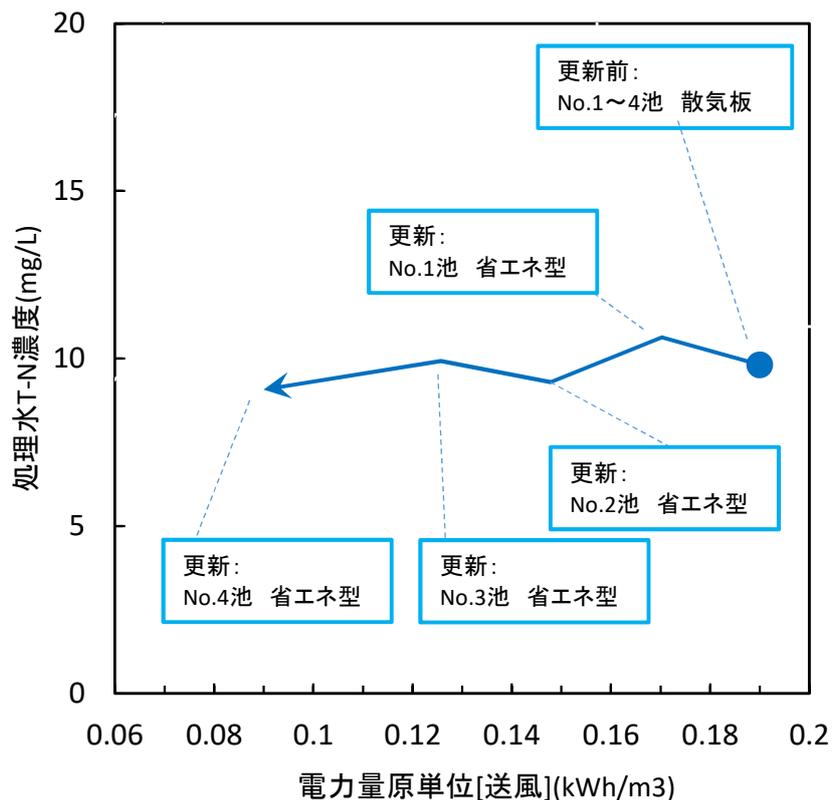
図 3.1 二軸グラフを活用した PDCA サイクルによる管理（二軸管理）

※図 2.6 再掲

見方の
例

① 省エネ設備を導入した場合

横軸に【電力量原単位(送風機)】を、縦軸に【処理水T-N濃度】を設定して、任意の処理場におけるデータを過年度も含めて入力することで、二軸グラフを作成することができる。下記に、散気装置を省エネ型の機器に、段階的に更新した場合のイメージについて示す。



【省エネ設備を導入した場合のイメージ】

Check 二軸グラフ

○横軸を【電力量原単位(送風機)】に設定

⇒省エネ型散気装置への更新により、送風に要する電力量原単位の低減が想定され、“見える化”が可能となる。整理した結果、散気装置の更新前から更新を進めるにつれて、段階的に電力量原単位が低減しており、更新による省エネの効果が現れていることがわかる。

○縦軸を【処理水質T-N濃度】に設定

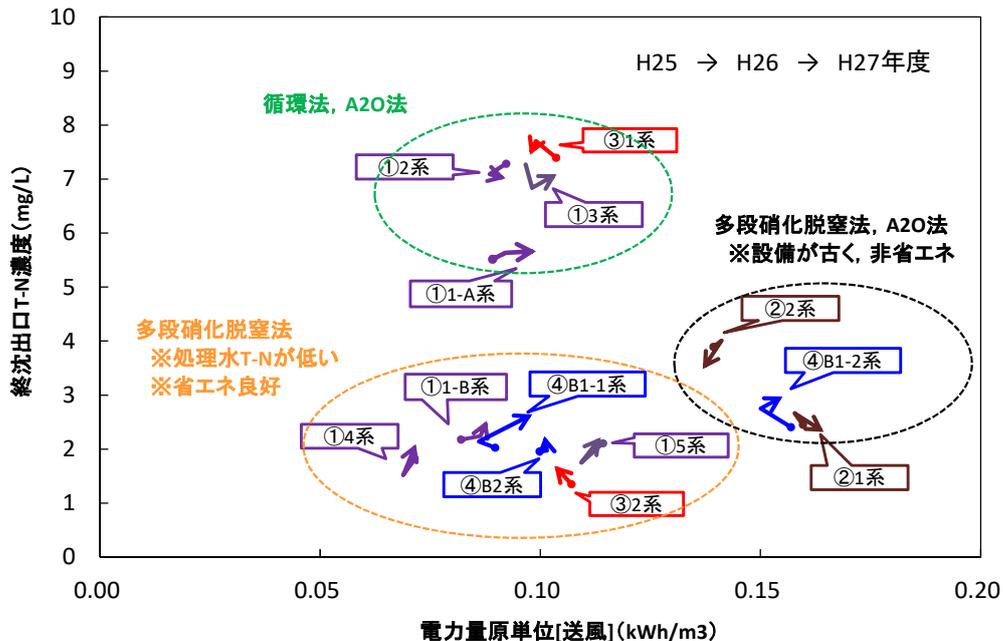
⇒散気装置の高効率化による電力量原単位の低減だけでなく、処理水質の経年的な把握をあわせて行うことができる。

●PDCAを活用した二軸管理へ

② 水処理系列で比較する場合

複数の処理系列があり、処理方式や導入設備が異なる場合は、系列別に作図することで、それぞれの特徴がつかみやすい場合がある。ただし、電気設備の状況により、系列別の電力量を把握できないと、データ整理段階で課題が生じる場合があり、例えば送風倍率等を代替指標とすることも考えられる。

下記に、処理場だけでなく、系列によっても処理方式が異なる場合において比較整理を行った例を示す。



①	1-A系	循環式硝化脱窒法
	1-B系	多段硝化脱窒法
	2系	A2O法
	3系	A2O法
	5系	多段硝化脱窒法
②	1系	多段硝化脱窒法+循環式硝化脱窒法
	2系	多段硝化脱窒法+A2O法
③	1系	循環式硝化脱窒法
	2系	多段硝化脱窒法
④	B1-1系	多段硝化脱窒法
	B1-2系	多段硝化脱窒法
	B2系	多段硝化脱窒法

【水処理系列毎の比較例(処理場は①~④)】

Check 二軸グラフ

- 各処理場を系列別に整理して二軸グラフにて現況評価を行い、整理することで例えば循環法やA₂O法に比べて、多段硝化脱窒法の系列が処理水質がより良好であることが“見える化”された。
- 老朽化している系列の電力量原単位が比較的高い値となった。要因としては、経年劣化等による散気装置や送風機の効率低下が推察された。
- 今後は、エネルギー消費の観点から更新を必要とする系列について検討し、機器に関する改築更新計画を策定することが望まれる。

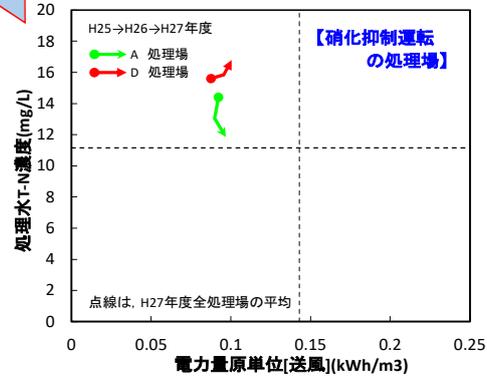
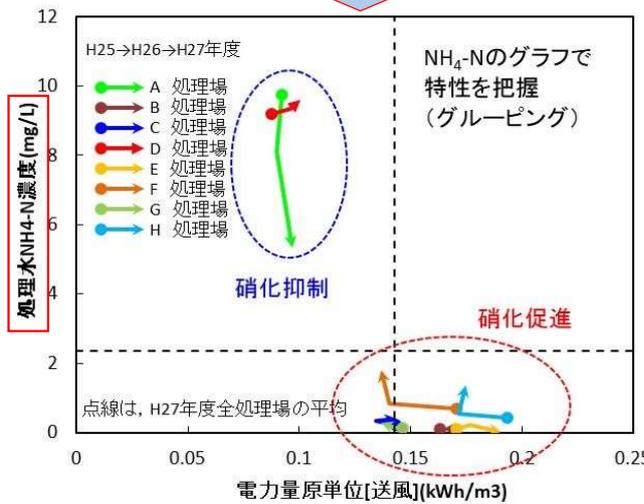
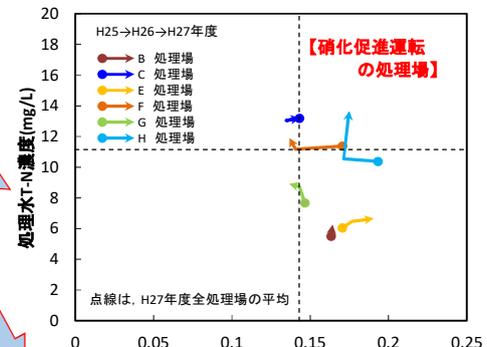
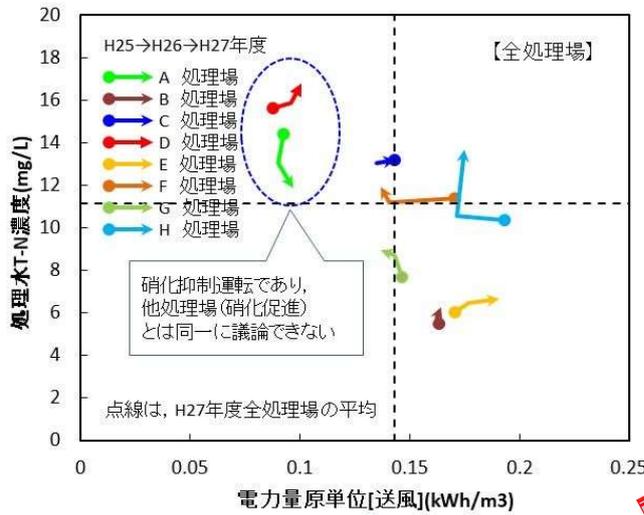


●PDCAを活用した二軸管理へ

見方の例

③ 運転方法で比較, グルーピングする場合

二軸グラフを作成する際には、目的に応じた整理が重要である。例えば、処理場の水処理運転方法に応じたグルーピングを行うことで、より詳細な評価が可能となり、以降のPDCAが適切に行われることに繋がると考えられる。



【運転方法によるグルーピング例】

Check
二軸グラフ

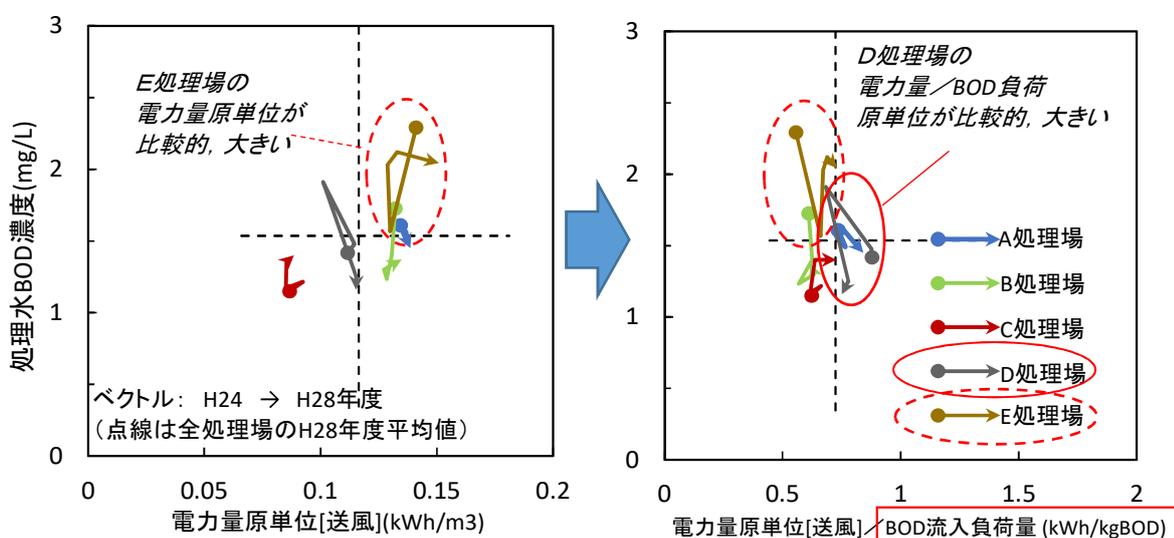
- 硝化抑制と硝化促進の運転状況を同じ二軸グラフで把握する際は、縦軸をNH₄-Nとすることが望ましい。またはグラフを分けることも必要に応じて行う。
- グルーピングを行い、二軸グラフをそれぞれ作成することにより、条件を揃えた比較評価が可能となる。また、状況に応じて軸の目盛範囲を任意の範囲に設定することで、二軸グラフの細部を確認することが可能となり、以降のPDCAをより具体的に構築することもできる。

●PDCAを活用した二軸管理へ

④ 流入負荷量(流入濃度)を考慮する場合

複数の処理場を比較する際に、BODやT-N等の流入濃度の相異の影響を考慮したい場合や、代表的な横軸として【電力量原単位(送風機)】のグラフを作成した際に、他と異なるグラフエリアに位置する処理場がある場合においては、BODやT-Nの流入負荷量を考慮したグラフを作成することが望ましい。

例えばBODについて検討する場合、横軸に【電力量原単位(送風機)／BOD流入負荷量】を設定することで流入負荷の影響を考慮したグラフになる。このような“見える化”を行ったうえで表される横軸の差異については、例えば各処理場で異なる、「送風機や散気装置等の機器効率の差異」等がその要因として想定される。下記に、各処理場についてBOD流入負荷量を考慮したケースの整理例を示す。



【流入負荷量(流入濃度)を考慮した整理例】

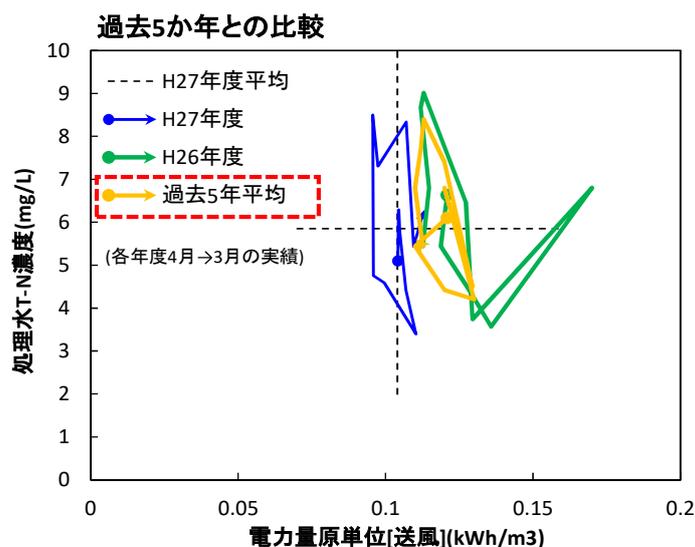
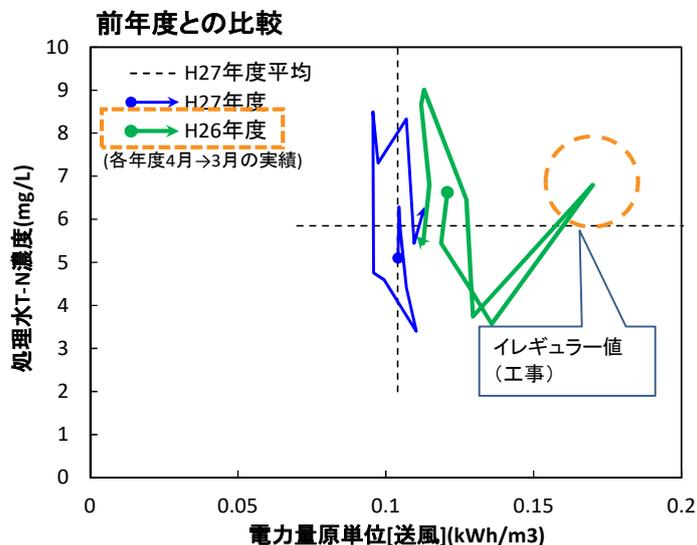
Check
二軸グラフ

- 横軸を【電力量原単位(送風機)】に設定
⇒E処理場の電力量原単位が近年増加傾向で、全処理場の中で、比較的大きいことがわかる。(左図)
- BOD流入負荷量も考慮し、横軸を【電力量原単位(送風機)／BOD流入負荷量】で設定
⇒E処理場が、エネルギー消費の観点からも平均的な処理場であることが“見える化”できる。(右図)
※E処理場の流入BOD濃度は他よりも30%程度高い傾向にあった。
- E処理場よりもD処理場がBOD流入負荷量あたりの電力量原単位が大きいことが明らかとなった。
⇒例えば、比較的数字が大きいD処理場に着目し、運転管理目標値を0.75kWh/kgBODとして次年度の維持管理計画を策定する。

●PDCAを活用した二軸管理へ

見方の例 ⑤ 過年度実績と比較する場合

過年度実績と比較を行う際に、イレギュラー値を含んでいることも把握し、単年度で比較をする場合と、イレギュラー値の影響を緩和することも考慮のうえで、複数年度(3~5年程度)の平均値と比較するなど、同じ過年度のデータを用いる場合においても、採用するデータの取扱い方によって、様々な見方が可能になる。



【 過年度実績データの違いによる見え方の違い 】

上 図 : 単年度 下 図 : 複数年度平均

Check
二軸グラフ

○二軸グラフの代表的な活用方法に現状分析があるが、その際に過年度との併記を行い比較検討することで、検討対象年度の特徴を把握できることがある。その場合、過年度のデータを単年度または、複数年度平均で比較すると、例えば、各年度の特有の条件によるイレギュラー値(例:改築更新工事等や豪雨等)による影響が見えることがある。

●PDCAを活用した二軸管理へ

3.4 二軸管理による運転管理等の改善

二軸管理の運用は下水処理場における運転管理方法等の改善を行う際に実施されるが、PDCAサイクルの構築を行うなかで、各自治体や各下水処理場において、テーマとして整理できると考えられる例を下記に示す。

- 事例① 各下水処理場の現状を踏まえた PDCA の構築
- 事例② 省エネ設備導入効果の“見える化”
- 事例③ 季節別運転管理（その1）
- 事例④ 季節別運転管理（その2）
- 事例⑤ 段階的・高度処理における二軸管理の活用
- 事例⑥ 運転管理の工夫例（系列間での汚泥転送による T・N の処理）
- 事例⑦ 運転管理の工夫例（運転方式の変更による効果の“見える化”）
- 事例⑧ 送風効率の“見える化”と対応策の検討
- 事例⑨ 段階的・高度処理と高度処理方式の比較検討
- 事例⑩ 凝集剤の添加量管理における二軸管理の活用
- 事例⑪ 標準法設備における二軸管理の活用
- 事例⑫ オキシデーションディッチ（OD）法設備における二軸管理の活用

適切な PDCA サイクルを構築するためには、年度途中においても適宜状況の把握を行い、必要に応じた方針の見直しが有効であり、柔軟な対応を行うことで効果の発現を早めたり、予定の効果が得られない場合の方向転換が可能となる。そのため、少なくとも月ごとの結果について、水質及びエネルギーを二軸グラフで整理し確認を行うことを基本とし、例えば概ね四半期ごとの間隔で関係者による協議の場を設け、結果の確認、取り組みの方向性の確認等を行うことが望ましい。

事例 ① 各下水処理場の現状を踏まえたPDCAの構築

二軸管理においてPDCAを活用することで、処理水質と消費エネルギーの最適なバランスを維持・向上させていくことが可能となる。複数の処理場を管理する自治体において、“見える化”による現況把握を行い、PDCAサイクルを構築することで運転管理の工夫に繋げたり、運転管理側の視点から設備の計画策定を実施した例について、以下に示す。

平成27年度

Check
二軸グラフ

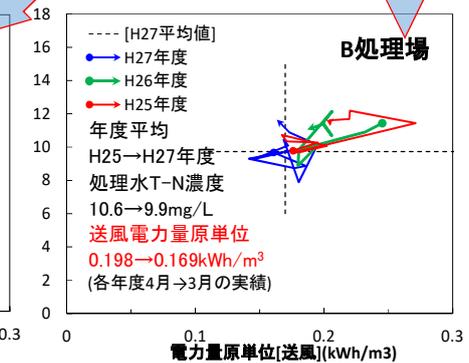
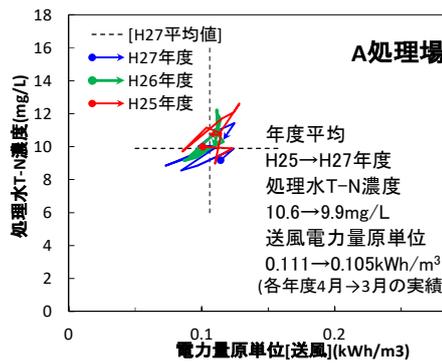
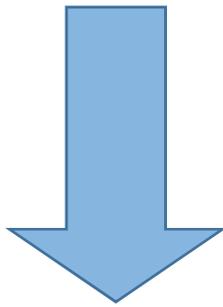
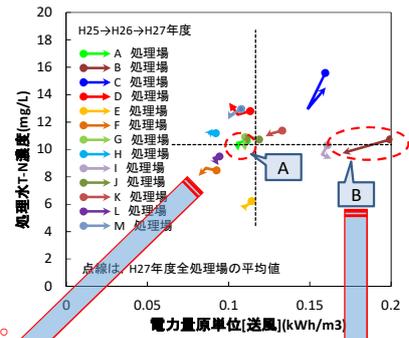
Action

A処理場

- ・水質、エネルギーとも概ね平均レベルである。
- ・今後は、より良好な処理水質の確保が目標である。

B処理場

- ・水質は平均レベルであるが、消費エネルギーが平均よりも、かなり高い。
- ・処理場の再構築を進めている段階であり、省エネ化が求められる。



平成28年度

Plan

Do

【PDCA構築のための二軸グラフによる"見える化"】

A処理場

- ・好気槽中間部の送風量を絞る、脱窒ゾーンを形成し、省エネ及び脱窒促進
- ・高度処理系列への増量を行い、全体の処理水質改善
- ・設備の省エネ化(高効率型散気装置の導入)による送風電力原単位の改善

B処理場

- ・再構築により、処理能力を増大し、処理水質の向上及び安定化
- ・再構築に伴う設備の省エネ化による送風電力原単位の改善

- 二軸グラフを作成して、処理場毎の現状を“見える化”した。
- 運転管理における工夫(脱窒ゾーンの形成、水量配分の見直し)や、省エネ設備への更新計画に沿った実施を行う。

● PDCAを活用した二軸管理

事例 ② 省エネ設備導入効果の“見える化”

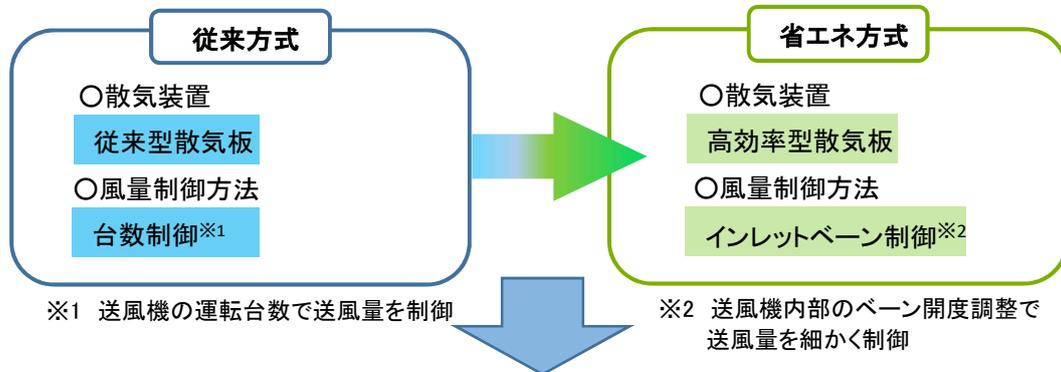
省エネ設備の導入は、二軸管理において比較的、有効な改善となるが、この観点で整理し、導入効果の“見える化”を行い、さらに従来の他系列と比較できる二軸グラフを作成することによって、省エネ設備の水平展開の必要性を説明できるツールともなる。
省エネ設備導入効果に関する事例を下記に示す。

平成23年度

Plan

Do

平成23年度までに、C処理場において設備の省エネ化による見直しが計画された。
計画は主に、C処理場内のb施設(系列)における反応槽の散気装置と風量制御方法について見直すものであり、その内容を下記に示す。

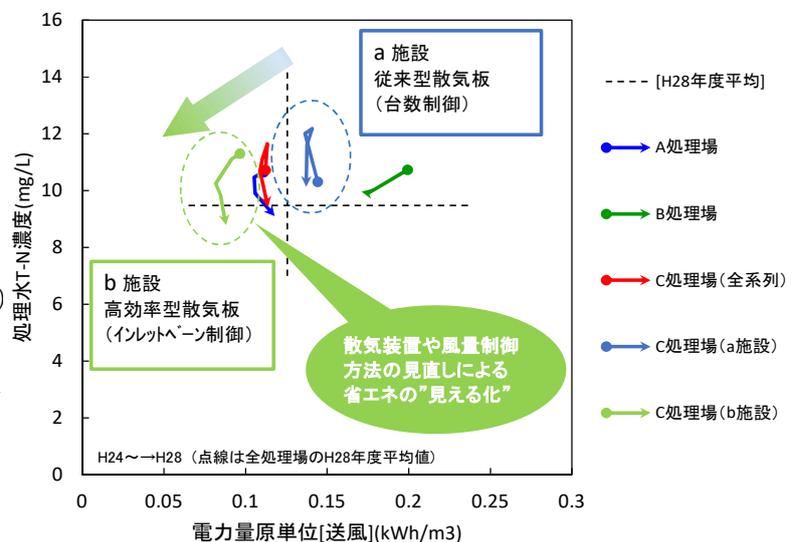


平成24年度以降

Check
二軸グラフ

Action

・散気装置を省エネ型に更新し、また風量制御方法については、台数制御(稼働台数で送風量を調整)から、インレットベーン制御(細やかな送風量の調整が可能)へ変更したことにより、約40%程度の大規模な省エネを実現した。



【省エネ設備導入効果の“見える化”】

- 省エネ設備を導入した効果について、“見える化”を行い、約40%程度の省エネを実現した。今後、他系列や他処理場へ水平展開を図ることが可能になる。
- 運転管理面においては、系列間における処理水量の配分の見直しによる電力量原単位の低減化を図ることが可能になる。

●PDCAを活用した二軸管理

事例 ③ 季節別運転管理(その1)

水環境中の栄養塩類のバランスを適切に保つことで豊かな海を再生し、生物の多様性を保全していくという季節別運転管理を行う地域において、消費エネルギーとのバランスを把握・検討し、それらの両立を目指すツールとして、二軸管理が活用できる。
季節別運転管理の取り組みを進めていく際の参考として、下記に事例を示す。

平成23年度迄



A処理場において、放流先の内湾において漁業組合等から養殖海苔の色落ち被害を訴える声が寄せられたことを受けて、処理水中に含まれる養殖海苔に有用な栄養塩類濃度を上げて処理水を放流することを検討した。

流総計画で定めるT-N処理水質は年間平均値であるため、年間を通した水質管理が重要であることを念頭に、栄養塩を必要とする冬季は硝化抑制(嫌気槽を増やす)を、夏季は硝化促進運転を行うことで窒素の管理運転を行うこととした。



平成24年度以降

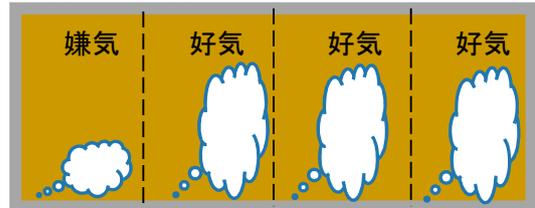


海苔の休漁期である夏季は硝化促進運転、海苔の養殖期である冬季は硝化抑制運転として運転を変え、栄養塩管理運転の計画に基づき運転を実施中である。二軸グラフを年平均値で表すのではなく、毎月の平均データ(複数年度)で表すことで、"見える化"がより明確となる。これにより、冬季における栄養塩の放流と夏季における処理のバランスを、より現実的に管理することができる。なお、N-BODについて考慮し、縦軸をBODとしたグラフを併せて作成することも望ましい。

海苔(ノリ)休漁期

4月～10月

硝化促進・脱窒運転



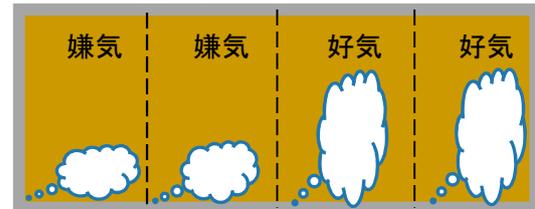
硝化促進のために多くの空気を吹き込む

海苔(ノリ)養殖期

11月～翌3月

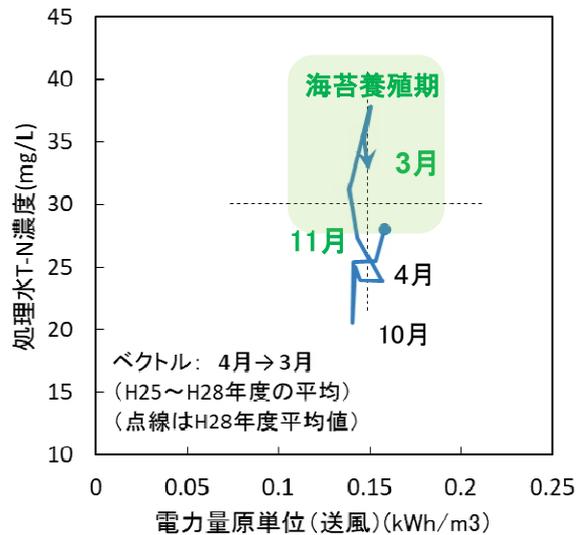
硝化抑制運転

(栄養塩類濃度を上げて放流)



嫌気槽を増やし空気量を控える

【運転フロー概要図(季節ごと)】



【季節別運転管理の事例1】

●二軸グラフ(特に月毎のデータ記入)を活用することで、季節別運転管理において処理水質と消費エネルギーのバランスを把握できる。また過年度の振り返りや、次の季節の目標設定において活用することができる。

●PDCAを活用した二軸管理

事例 ④ 季節別運転管理(その2)

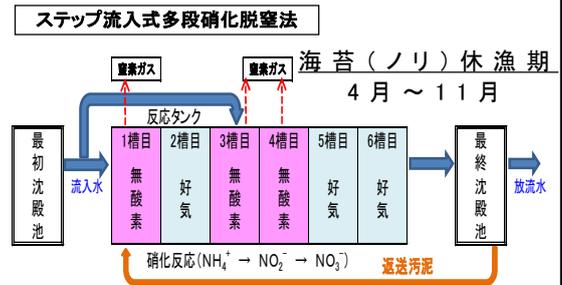
水環境中の栄養塩類のバランスを適切に保つことで豊かな海を再生し、生物の多様性を保全していくという季節別運転管理を行う地域において、消費エネルギーとのバランスを把握・検討し、それらの両立を目指すツールとして、二軸管理が活用できる。
季節別運転管理の取り組みを進めていく際の参考として、下記に事例を示す。

平成19年度迄



A処理場において、放流先の内湾における栄養塩類の不足による養殖海苔の色落ち被害に対し、漁業組合から下水処理場の処理水の栄養塩類濃度を上げて処理水を放流してほしいとの要望があった。

流総計画で定めるT-N処理水質は年間平均値であるため、年間を通した水質管理が重要であることを念頭に、通常はステップ流入式多段硝化脱窒法で窒素除去を行うが、放流先である海苔の養殖時期(12月から3月)は放流水中の窒素を増加させるため、一部切り替えを行い、単段硝化脱窒運転とする計画を行った。

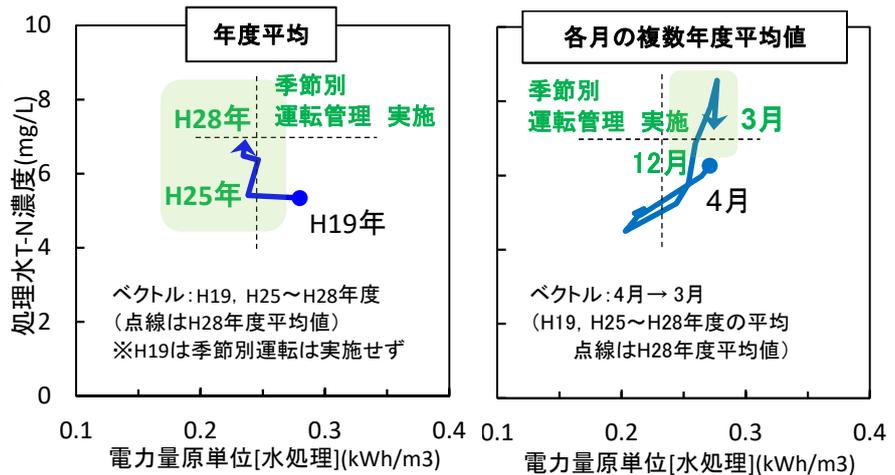


【運転フロー概要図(季節ごと)】

平成20年度以降



栄養塩管理運転の計画に基づき運転を実施している。二軸管理を行うことで、年間平均値での運転管理と消費エネルギーのバランスを把握することができる。



【季節別運転管理の事例2】

- 二軸グラフ(特に月毎のデータ記入)を活用することで、季節別運転管理において処理水質と消費エネルギーのバランスを把握できる。また過年度の振り返りや、次の季節の目標設定において活用することができる。

●PDCAを活用した二軸管理

事例 ⑤ 段階的高度処理における二軸管理の活用

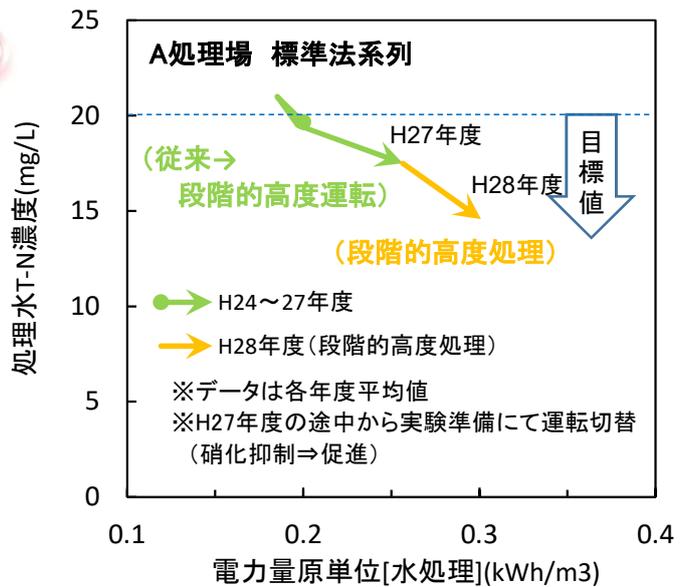
標準法設備において段階的高度処理を行う場合、硝化促進や脱窒によって処理水質(T-N等)は向上するが、一方で硝化促進に伴い、空気量(消費エネルギー)の増加が想定される。

このような、水質とエネルギーに関するトレードオフの関係を“見える化”した例を下記に示す。

平成27年度



A処理場の標準法系列においては硝化抑制運転を行っており、処理水T-N濃度は約20mg/L程度(17.5~21mg/L)であった。二軸グラフで現況評価し、放流先河川が流入する湾の水質の早期改善と段階的高度処理(硝化促進運転)に伴い増加する消費電力量の把握を目的として、既存設備の運転管理を工夫することによる段階的高度処理の実証実験(評価2)を平成27年度に計画した。1年の実証実験における処理水質の目標値はT-N濃度20mg/L以下とした。

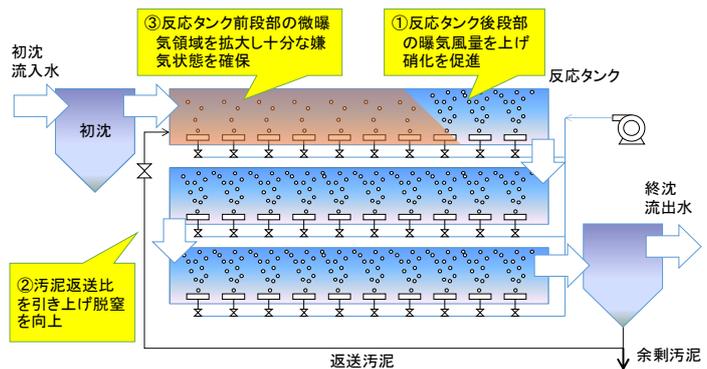


【段階的高度処理におけるトレードオフの“見える化”】

平成28年度



平成28年度に1年間の実証実験(評価2)を実施した。硝化促進による曝気風量の増加や、汚泥返送比を上げたことによる返送汚泥ポンプの返送量の増加により、約50%程度の電力量原単位の増加となったが、処理水T-N濃度は約15mg/L程度以下に改善され、評価2における目標値(処理水T-N濃度20mg/L以下)は達成された。



【段階的高度処理の概要フロー】

- 二軸グラフにより、増加する電力量原単位と処理水質の向上の関係を“見える化”した。
- 二軸グラフを作成して現況評価を行い、目標(実証実験計画)を策定した。
- 段階的高度処理の実証実験(評価2)を1年間実施し、目標値を達成した。
- 次年度以降は、電力量原単位の低減(例:省エネ機器導入の検討等)を目標とする。

●PDCAを活用した二軸管理

事例 ⑥ 運転管理の工夫例(系列間での汚泥転送によるT-Nの処理)

自治体の計画において省エネへの取り組みが必要とされるが、省エネのために送風量を減らすと、一般的に処理水質濃度は上昇する。そのような場合、設備更新にあわせた改築が当面見込めない処理場においては、運転管理の工夫による一定の処理水質の改善が必要とされる。

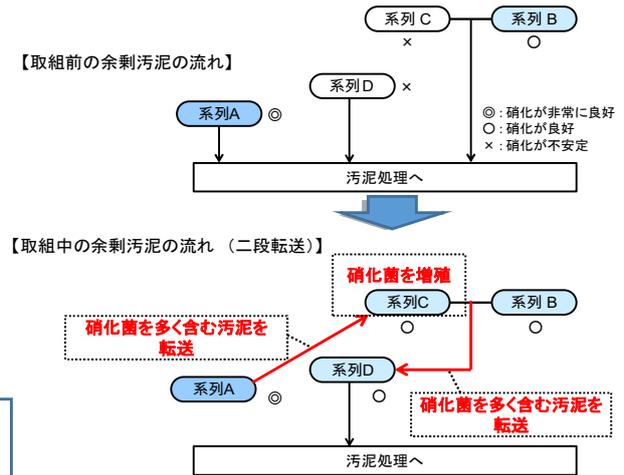
処理水質と省エネルギーの両立を図った事例を下記に示す。

平成23～27年度

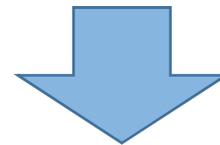


省エネ施策の推進をするなかで、効率の悪い系列でいかに送風量(消費エネルギー)を増やさずに硝化を維持し、処理水質を安定化させるかといった課題がA処理場にあった。そこで、系列間で硝化の安定性に差があることに着目し、下記対応策を計画・実施した。

硝化が非常に安定している系列Aで硝化菌を確保し、硝化が不安定な系列Cへ汚泥転送することで硝化菌の増殖を行い安定化させる。またさらに、不安定な系列Dへ硝化菌を多く含む汚泥を転送し、系列Dの硝化を安定させる。(二段転送)



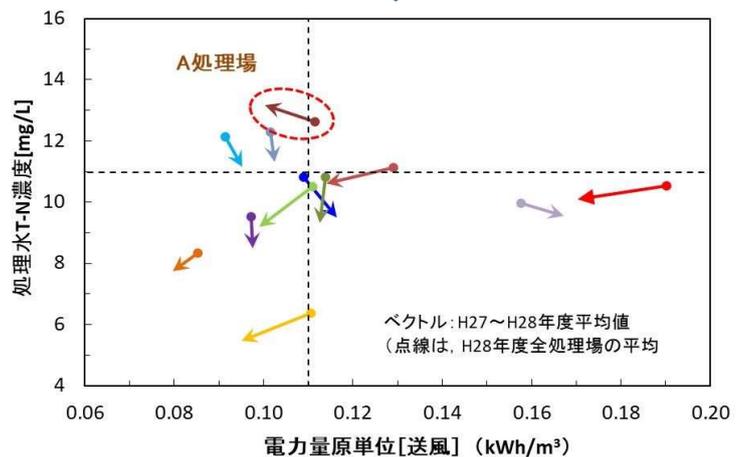
【汚泥転送のフロー概要】



平成28年度(上記年度以降)



二軸グラフにて現況評価を行った。その結果、A処理場は他の処理場に比べてT-Nの処理水質が比較的高い状況ではあるものの、全系列で硝化を安定させながら、従来よりも約10%程度の省エネが確認された。汚泥転送を実施することにより、省エネを進めながらも、施設全体の水処理の安定化が図られた。



【運転管理の工夫例】

- 二軸グラフを活用して現況評価を行い、省エネが実行されていることを“見える化”した。
- A処理場の現状において、硝化が不安定な系列に着目し、安定した系列から汚泥転送を段階的に行うことで処理水質濃度を大きく上昇させることなく、省エネを実現した。

●PDCAを活用した二軸管理

事例 ⑦ 運転管理の工夫例(運転方式の変更による効果の“見える化”)

処理水質と消費エネルギーを“見える化”し、季節によって運転方式を変えて、水質とバランスを保ちながら省エネを図った事例を下記に示す。

硝化が安定する夏場においては、比較的消費エネルギーが大きい循環ポンプを一部間欠運転とし、エアリフトにより脱窒を行うことによって、省エネを図った。

平成18年度

Plan

Do

1年を通して循環式硝化式脱窒法で運転を行っていたが、夏季と冬季で運転方式を変えることで省エネを図る運転管理計画を行った。

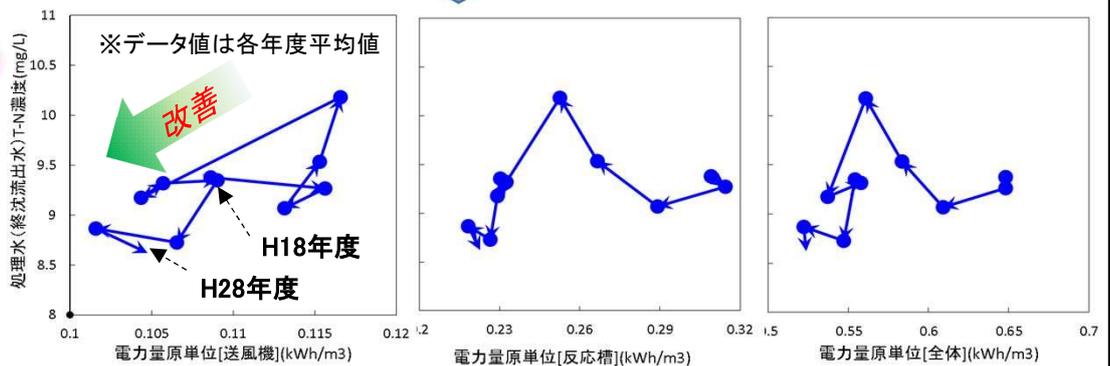
		循環水							
冬季		1槽目	2槽目	3槽目	4槽目	5槽目	6槽目	7槽目	8槽目
		嫌気	無酸素	無酸素	好気	好気	好気	好気	好気
水中攪拌機 運転状況		間欠 5(25)	間欠 5(25)	停止	連続	間欠 50(10)	連続	間欠 50(10)	連続
休止機器 運転日時				毎週火曜日 8:56~9:56					
循環ポンプ 運転状況	3.7kW循環ポンプ終日連続運転 7.5kW循環ポンプ間欠運転(毎週日曜9:00~火曜17:00迄運転)								

		エアリフト							
夏季		1槽目	2槽目	3槽目	4槽目	5槽目	6槽目	7槽目	8槽目
		嫌気	嫌気	無酸素	好気	無酸素	好気	無酸素	好気
水中攪拌機 運転状況		間欠 5(25)	間欠 5(25)	停止	連続	停止	連続	停止	連続
休止機器 運転日時				毎週火曜日 8:56~9:56		毎週火曜日 10:00~11:00		毎週火曜日 10:00~11:00	
循環ポンプ 運転状況	終日停止								

※運転状況に記載の数字(単位:分)は
左側:運転時間、右側:(停止時間)

平成19年度以降

Check
二軸グラフ



Action

【季節ごとの運転変更による省エネの例 平成18~28年度】

- 二軸グラフを作成して現況評価を行い、省エネが実現されていることを“見える化”した。
- 定期的に振り返りながら、エアリフトや循環ポンプの間欠運転による省エネの状況確認を行い、徐々に他の系列にも展開した。
- 二軸グラフからも、年々、運転管理の工夫による省エネの波及効果が進んでいることが把握でき、次年度以降も安定した処理水質を確保しつつ、省エネを維持・向上できるような運転管理計画を策定する。

● PDCAを活用した二軸管理

事例 ⑧ 送風効率の“見える化”と対応策の検討

複数の処理場を比較して“見える化”を行った際に二軸グラフの横軸（主に送風に関する電力量原単位）で大きな差が生じる場合がある。これは、例えば各処理場で送風の方法（送風機や散気装置等の機器効率の差異、送風制御方式等）が異なることが、その要因として想定される。

送風効率が比較的低い処理場の“見える化”と、その要因と対応策について検討した事例を下記に示す。

過年度

Check
二軸グラフ

Action

横軸を電力量原単位でなく、BODの流入負荷量を考慮した電力量原単位として、複数処理場を二軸グラフで評価した。

その結果、他処理場に比べD処理場の値が比較的高い値となった。（全処理場において、アンモニア性窒素は、ほぼ完全硝化の状態）

要因を検討した結果、D処理場は流入水のBOD濃度が比較的低いにも関わらず、送風量の制御においてインレットバーン制御やインバータ制御※1等の機能が無いため、適切な送風制御が困難であるといった実情により、余剰空気を放風し、結果として効率の低い送風となっていることが明らかとなった。

（→電力量原単位の増加）



※1 送風機の回転数を変速させて送風量を制御

当該年度以降

Plan

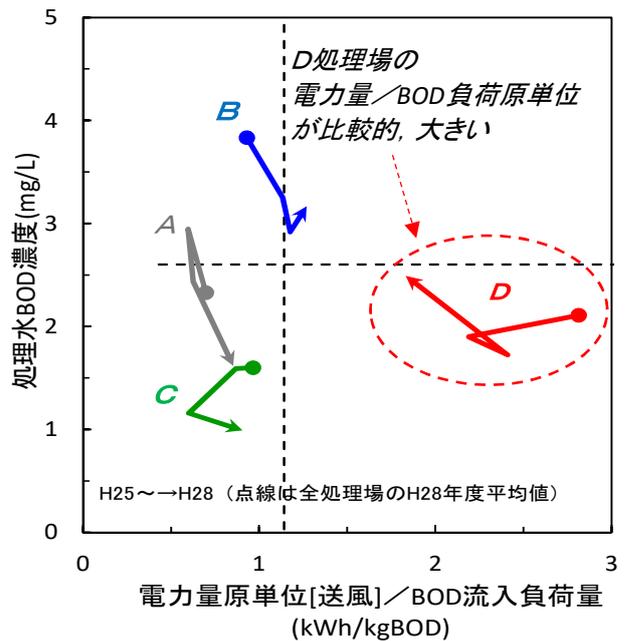
Do

適切な送風量となるよう見直すため、下記に関する検討を行うものとする。

- (1) 送風設備におけるインレットバーン制御やインバータ制御の採用
- (2) 余剰空気を有効利用した運転管理の工夫（硝化促進運転）や段階的・高度処理の実施検討

- 二軸グラフを作成して現況評価を行い、BOD流入負荷量あたりのエネルギー消費量が多い処理場を“見える化”した。
- D処理場の現状において、適切な送風制御が困難であることが明らかとなり、機械・電気設備の改築更新計画の見直しや、運転管理面での工夫等を実施するものとする。
- 二軸カルテを用いて、補完情報（送風制御の関係で放風していること）を記録することが望ましい。

● PDCAを活用した二軸管理



【二軸グラフからの送風効率の“見える化”】

事例 ⑨ 段階的高度処理と高度処理方式の比較検討

運転管理の工夫で処理水質を段階的に向上させる段階的高度処理による実験系列と高度処理系列を運用している処理場における、比較検討事例を下記に示す。

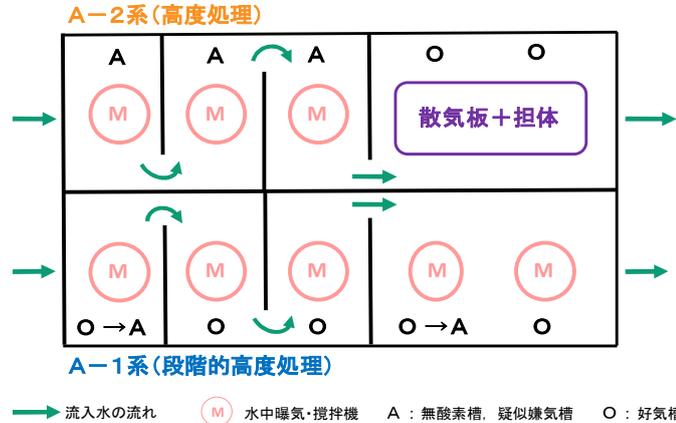
平成23～28年度



A処理場では、平成18年度から多数の水処理系列において高度処理化が進められていくなか、A-1系のみ、標準法施設にて平成23年度から汚泥返送率の増加等による運転管理の工夫が実施されていた。

放流先河川が流入する湾の流総計画を念頭に、処理水質のさらなる向上を目指していたが耐用年数等の条件もあり、高度

処理化には時間を要するため、平成28年度にA-1系(実験系)において、段階的高度処理の実証実験(評価2)を計画した。実験の目標とする処理水質はT-N:15mg/L以下とした。目標を達成した際はA-1系を高度処理として事業計画の変更を行う計画とし、また隣接する高度処理のA-2系と比較評価を行った。なお、A-1系における消費エネルギーの目標は既存の高度処理施設と同等程度以下であることとした。



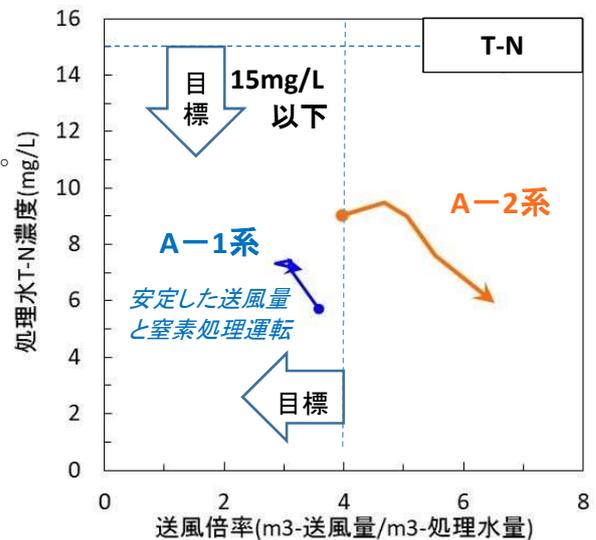
【A処理場における段階的高度処理と高度処理系列の概要】

平成29年度



平成29年度に1年間の実証実験(評価2)を実施した。

- A-1系においてT-N, T-Pともに良好な結果であることを二軸グラフを作成し、確認した。
- 横軸は系列毎の電力量が測定不可であったため、送風倍率で整理した。
- A-2系(高度処理)において送風倍率(送風量)が経年的に増加していることが“見える化”された。要因としては、従来型散気板の目詰まりであることが明確となり、維持管理計画を見直すこととした。



【段階的高度処理と高度処理系列の二軸グラフ】

- 良好な結果をもとに、A-1系を「高度処理」として位置づけ、事業計画を変更する。
- 対照系であるA-2系や、その他系列についても送風量や散気装置の点検を行うなど、必要に応じた維持管理計画や改築更新計画の見直しを今後実施する。

●PDCAを活用した二軸管理

事例 ⑩ 凝集剤の添加量管理における二軸管理の活用

標準法における運転管理の工夫(段階的・高度処理含む)や高度処理において、りんの水質管理を行う際に、二軸グラフによる“見える化”を活用した二軸管理が有効となる。管理する下水処理場や各系列のデータを採取し、取りまとめた事例を下記に示す。

平成24年度迄



A県において、施設整備は概ね終わり、下水道普及率は約90%と高い水準を維持している。

今後は既存の施設の維持管理を重点的に推し進める必要があり、適正化と効率化のため、包括的民間委託を計画・実施していた。また、処理方式も段階的に、ステップ流入式多段硝化脱窒法へ転換し、凝集剤(PAC)使用量の低減も必要とされた。

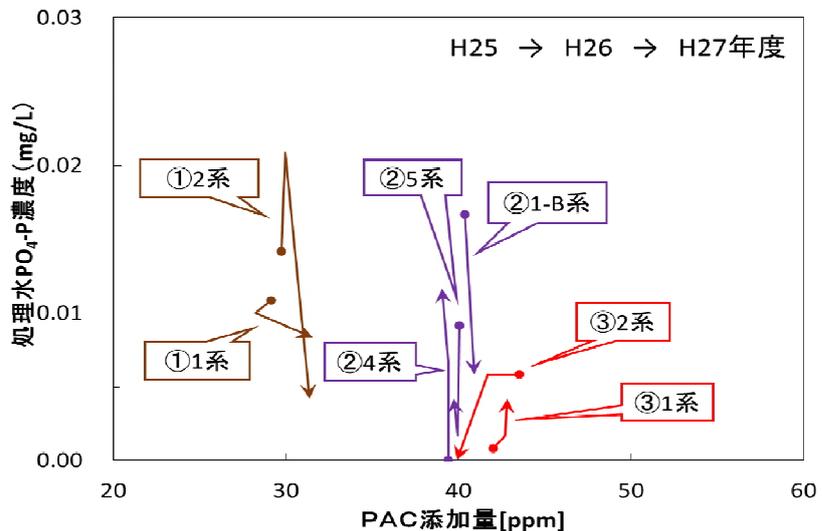


平成25年度以降



処理方式は一部異なるが、凝集剤(PAC)添加量の低減という目標に対して、処理場(委託先)や系列毎における違いが確認された。特に、処理水質を優先する安全側の考え方で凝集剤を添加している委託先(右図②③)と、必要最小限に留めて凝集剤を添加している委託先(右図①)を“見える化”した。

凝集剤の添加量低減は、凝集剤のコスト節減だけでなく、発生汚泥量の低減(汚泥処理コスト節減)も期待でき、今後も水質とのバランスを見極めながら、凝集剤の添加量低減を目指すものとする。



必要最小限の
PAC添加量管理

処理水質優先の
安全側管理

①	1系	多段硝化脱窒法+循環式硝化脱窒法
	2系	多段硝化脱窒法+A2O法
②	1-B系	多段硝化脱窒法
	4系	多段硝化脱窒法
	5系	多段硝化脱窒法
③	1系	循環式硝化脱窒法
	2系	多段硝化脱窒法

【凝集剤の添加量と処理水PO₄-P濃度に関する二軸管理の活用】

- 二軸グラフを作成して現況評価を行い、凝集剤添加量と処理水質(りん)の関係を処理場及び系列毎に“見える化”を行った。
- 包括的民間委託の委託先に対して、本件を水平展開するとともに、今後の維持管理計画等に資するものとする。

●PDCAを活用した二軸管理

事例 ⑪ 標準法設備における二軸管理の活用

主に窒素項目等が消費エネルギーとトレードオフの関係になる傾向とは対照的に、BODについては、一定のエネルギー(送風)があれば、処理水質において大きな差は生じないと考えられる。

標準法設備における二軸管理では、主に横軸(電力量原単位)に着目し、管理していくことが特に重要と考えられる。縦軸に処理水BOD濃度とした事例を下記に示す。

平成28年度迄

Check
二軸グラフ

Action

平成28年度まで各処理場における、処理水BOD濃度と電力量原単位について二軸グラフにて整理した。なお、全て窒素やりんを除去するの無い標準法による下水処理場である。

二軸グラフより“見える化”されたことを下記に示す。なお、処理水BOD濃度については、全て1~2.5mg/Lの範囲であり、良好な処理が行われている。

○ A処理場

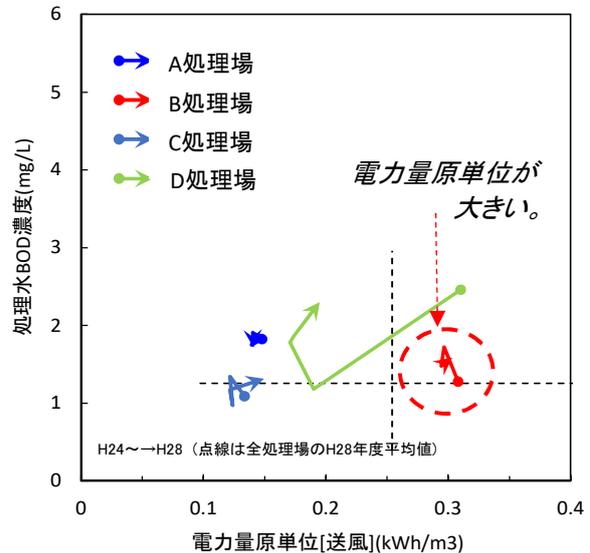
エネルギー消費が比較的少なく最も安定している。

⇒A~Dの中で最大の処理場のため変動が少ない。

○ B処理場

エネルギー消費が最も多い傾向にある。

⇒送風機の容量が大きく、台数制御を行っている。



【標準法設備における二軸グラフの事例】

○ C処理場

エネルギー消費が最も低く安定している。

○ D処理場

エネルギー消費が年々減少傾向である。

⇒A~Dの中で最小の処理場のため、エネルギー消費はほぼ一定であるが、水量増加に伴い、スケールメリットがはたらき、電力量原単位が減少している。(平成28年度は微増)

平成29年度以降

Plan

Do

○ A,C処理場

今後も引き続き、安定した運転管理を行うとともに、二軸管理を用いた維持・向上を目指す。

○ B処理場

今後の省エネ施策も考慮し、送風機の容量見直しや省エネ型散気装置の採用や新たな送風制御方式を検討する。また当面は設備の状況を考慮のうえ、間欠曝気を行うなどといった運転管理面での工夫を行う。

○ D処理場

今後は、二軸管理を行いながら実績データを収集し、今後の増設計画へ順次反映する。

●二軸グラフを作成して現況評価を行い、処理水BOD濃度と電力量原単位の関係の“見える化”を行った。BOD処理は全て良好であり、今後も一定の範囲から外れないような安定した運転管理を維持しつつ、省エネを目指していくものとする。

●二軸グラフによる現況評価により、各処理場の運用年数や設備の状況等の特色によって、それぞれの今後の課題が明確になった。

●PDCAを活用した二軸管理

事例 ⑫ オキシレーションディッチ(OD)法設備における二軸管理の活用

オキシレーションディッチ法(以下、OD法)を採用するなど、計画処理水量が比較的少ない下水処理場においても、二軸管理は有効な管理手法となる。

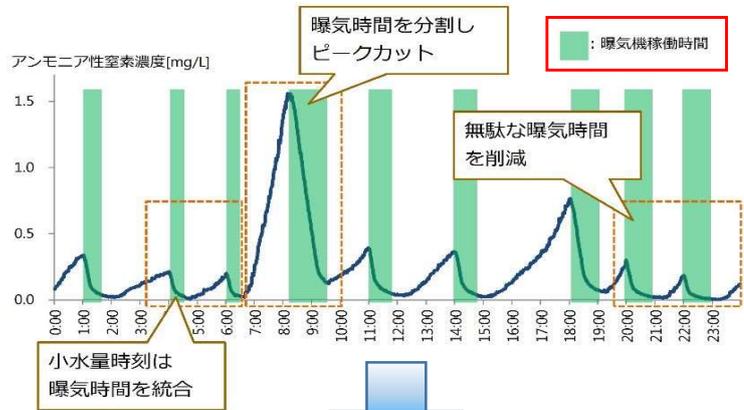
例えばBOD処理だけでなく、アンモニア性窒素を硝化する際に必要な曝気装置の適切な運転管理について、可搬式のアンモニアセンサーを用いることにより省エネを図っている事例について下記に示す。

過年度迄

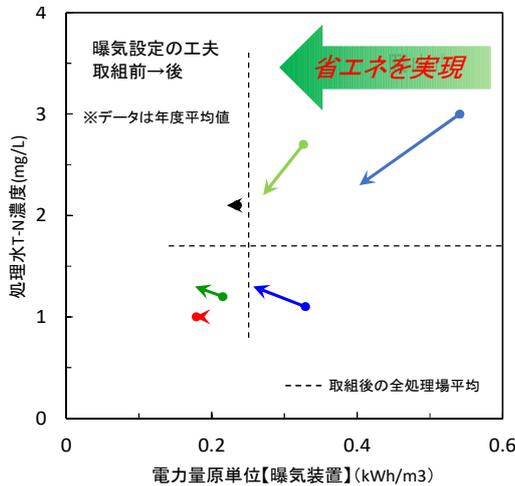


A市において、アンモニアセンサーを用いた反応槽内のアンモニア性窒素のモニタリングを市内6箇所のOD法の下水処理場で行い、その挙動を確認した。

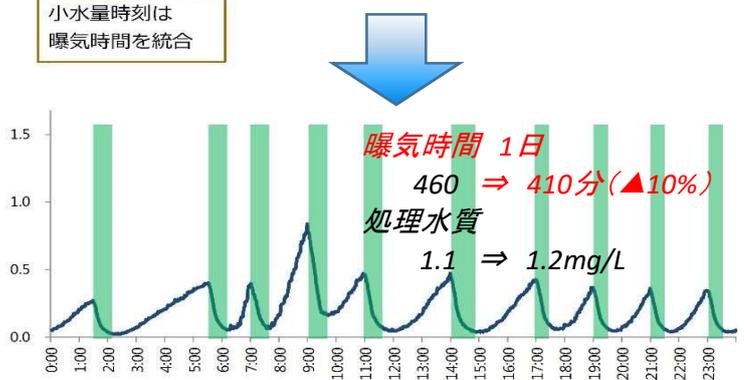
各処理場において、流入変動のパターンはそれぞれ安定していたため、把握した各処理場の反応槽内のアンモニア性窒素濃度の挙動に合わせて曝気装置の運転制御(タイマーによる曝気装置の運転・停止)を行うことで、省エネを図る計画とした。



当該年度以降



【OD法処理場(6箇所)における二軸管理活用事例】



【運転管理の工夫による省エネ実現の一例】

A市内6箇所のOD法の下水処理場において、運転管理の工夫により、処理水質をほぼ維持した状態で省エネを実現することができた。

- 処理水量が比較的少ない下水処理場における運転管理の工夫について、二軸グラフで整理し、工夫の効果について“見える化”を行った。
- 今後もPDCAを回すとともに、OD法以外の下水処理場についても水平展開を図る。

● PDCAを活用した二軸管理

4 今後の課題

二軸管理は、水質とエネルギーの両立を目標としたツールとして有効であるが、今回のガイドラインによって明らかとなった課題について下記に示す。

本書では二軸管理に関する作り方や評価の仕方、事例等を紹介したが、各下水処理場において適用可能なものや、より良い活用方法について関係者間にて議論がなされ、今後、二軸管理が普及促進するとともに更なる検討や運転管理の工夫、必要に応じた省エネ設備等の設置が進められ、水質とエネルギーの最適な管理が継続的になされることを期待する。

(1) 下水道全国データベース(以下、G-NDB)の活用

二軸管理を行うにあたり、対象とする下水処理場が、条件として類似した全国の処理場に対してどのような立ち位置（電力量原単位、処理水質濃度等）にあるかといった内容について統計資料を用いて比較し、確認するツールとして G-NDB の活用が検討される。しかしながら、現状、G-NDB が試用期間ということもあり、例えば年間の電力使用量（「水処理設備」もしくは「全体」でのみ表示）を抽出することは可能であるが、処理水質は1つの処理場につき複数データ（系列毎）があるケースが存在するなど、幾つか課題があり、G-NDB の活用にあたっては更なる検討が必要と考えられる。

(2) 新たな手法の収集と水平展開

二軸管理は、関係者間の連携のもと、各下水処理場にとって最適な水質とエネルギーの管理を行うための取り組みを引き出すための手法であるが、下水処理場の特性を二軸グラフで全て表現することはできず、補完情報や他の手法を併用することで、成り立つものである。今後も最適管理を目指し、二軸管理手法をさらに発展させることや、新たな手法が検討・提案され、継続的に水平展開されていくことが重要である。

5 Q&A 集

Q.1 縦軸を例えば処理水 T-N 濃度とすると、トレードオフの傾向になることについて、説明をお願いします。

A.1

下水処理場における処理機構を考えると、送風により好気条件を確保することで、有機物除去が行われるほか、硝化が進むことにより処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ の水質向上が行われます。必要送風量は、有機物のみを目的とする場合（硝化抑制運転）に比べ、硝化促進時において増加します。さらに窒素除去を行う高度処理（循環法、 A_2O 法等）においては、硝化が促進した条件下で生物反応タンク内に嫌気・無酸素ゾーンを設け、返送・循環ポンプにより $\text{NO}_3\text{-N}$ が存在する汚泥を循環させることで脱窒反応が生じ、処理水 T-N の水質向上が行われます。嫌気・無酸素ゾーンにおいても有機物除去は生じることから、必要送風量（消費エネルギー）については、硝化促進のみの運転と比べてやや減少しますが、嫌気・無酸素ゾーンにおける攪拌機、汚泥の返送・循環量の上昇に伴う汚泥ポンプに関する電力量（消費エネルギー）の上昇が予想されます。このように、T-N の処理水質を向上させる場合には、それに伴って電力（エネルギー）を消費することになるため、トレードオフの傾向になると考えられます。

Q.2 二軸管理を運用する際に、どのようなデータがあるとよいですか？

A.2

一般的に下水処理場で測定する処理水の水質項目と、電力量もしくは送風倍率等のデータがあれば二軸グラフの作成は可能です。また、電力量については例えば系列ごとのデータがあれば、より詳細な現況評価が可能になります。なお、二軸グラフを作成する際には「資料編」の支援情報に記載されているサンプルファイルをご活用ください。

Q.3 二軸管理で、二軸グラフを作成した後に行うことや、電力量原単位を改善させるための対応策について教えてください。

A.3

二軸グラフを作成した際に、まず他と比べて異なる点がないかを確認することが重要です。その点について関係者で要因を想定し、考えられる対応策について、可能な範囲で確認を行い、今後の目標設定を行うなど、PDCAを回していくことが望ましいです。また、処理水質が目標値を満足する範囲において更なる省エネを図りたい、という視点では、運転管理の工夫の他に、例えば超微細気泡散気装置等の省エネ機器の採用、インバータ（送風量可変）タイプの送風機の採用、インレットベーン制御やICT等を用いた風量制御方法の採用などが挙げられます。いずれにしても費用がかかりますので、改築更新時期とあわせて実施することが効果的と考えられます。

Q.4 二軸管理の活用例としては、その他にどのようなものが考えられますか？

A.4 ①設備点検等の運転管理面における活用

実際の二軸管理による事例として、H27,28年度において、それまでの実績に比べ、送風機の電力量の顕著な増加が確認された下水処理場がありました。(図 5.1 参照) 運転管理側にて点検を実施したところ、反応槽内の散気装置の目詰まりが発生し、また送風配管においてピンホールが確認されました。これらが要因となり送風機の負荷を増加させ、電力量が増加していたことが明らかとなりました。このように、二軸管理を行うことで「運転管理における設備の経年的な変化や異常への気づき」の契機にもなると考えられます。二軸グラフにおいて顕著な変化が確認された場合は、その要因を分析し、対策を講ずるなど、二軸管理は運転管理面における設備点検の指標としても活用できます。

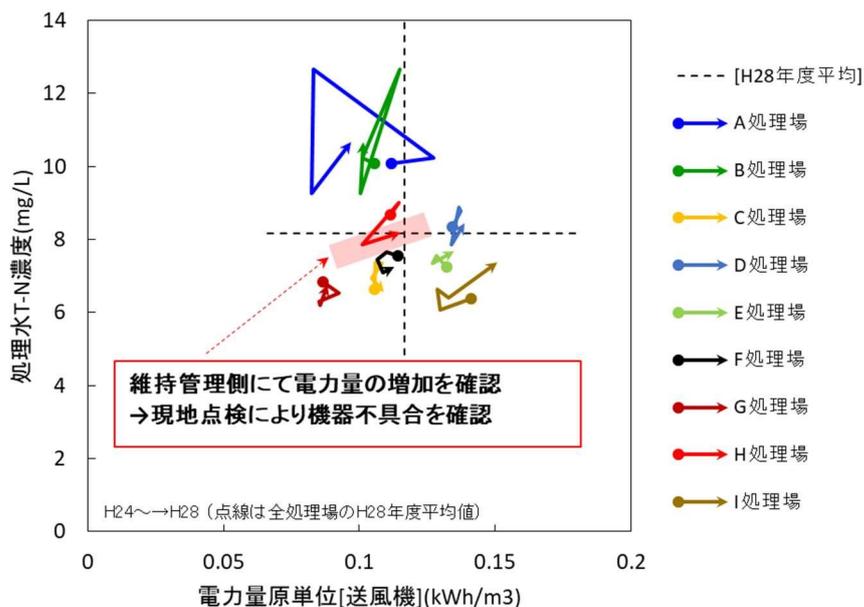


図 5.1 設備点検等の運転管理面における活用

A.4 ② 汚泥焼却工程における補助燃料と汚泥含水率に関する“見える化”

汚泥処理工程でコスト割合の大きい焼却について、汚泥含水率と焼却における補助燃料により二軸グラフを作図した場合の例を、図 5.2 に示します。これにより、含水率が低いほど必要な補助燃料が低減する傾向が“見える化”されます。ただし、汚泥含水率の低下には、脱水工程におけるエネルギーが関係することも考えられ、最適な含水率を検討する際には、処理場や汚泥処理工程全体における消費エネルギーを勘案することが重要となります。

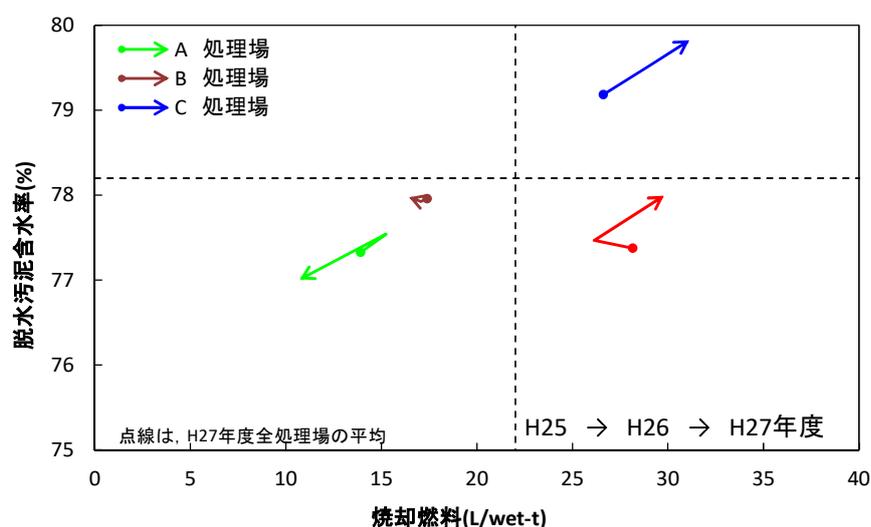


図 5.2 焼却における燃料と脱水汚泥含水率の関係の一例

《その他に想定される評価軸》

- ・ 処理水質と温室効果ガス排出量や処理コスト
- ・ 処理水質と凝集剤添加量
- ・ 処理水質と循環率（返送汚泥＋硝化液循環）
- ・ 脱水汚泥含水率と脱水助剤（凝集剤）使用量 など

A.4 ③ 他形式の図を併用した処理場特性等のさらなる“見える化”

現状分析において、処理水質と消費エネルギーを評価軸とした二軸グラフのみで処理特性等を全て表現することは難しく、他の形式による作図、例えば下記のような PI 等と併用することで、対象とする処理場（系列）の特性や状況がより考察しやすくなります。

【業務管理指標検討の例】

- ・ 水処理～汚泥処理において、様々な業務管理指標（電力、薬品、コスト等）の整理を行い、処理場間、経年変化を指標化した例を図 5.3 に示します。二軸グラフだけでは表現できない部分について、各処理場の特性を明確化することができます。
- ・ 様々な業務管理指標の検討と、二軸管理を組み合わせることで、最適目標値の設定や効果の検証などを、より明確に表現することが可能となります。

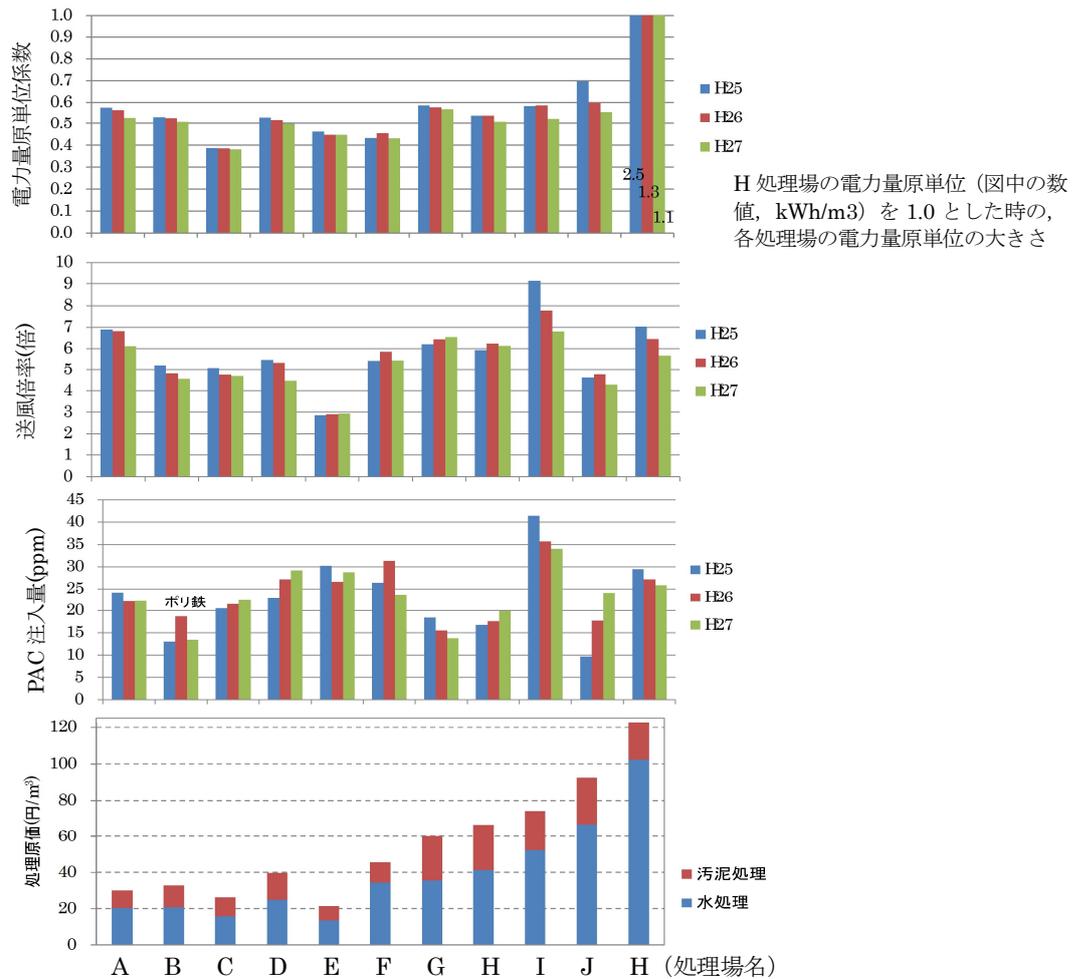


図 5.3 業務管理指標の一例

A.4 ④ 経営管理ツール等としての活用例

良好な結果が得られた工夫を水平展開し、取り組みを充実させることや、成果を解りやすく説明できる形にすることで、経営管理への活用が考えられます。また、包括的民間委託においては、図 5.4 に示すように、水質及びエネルギーの最適化の両方を勘案した評価（履行評価）の手法の 1 つとして、二軸管理の活用の可能性が考えられます。

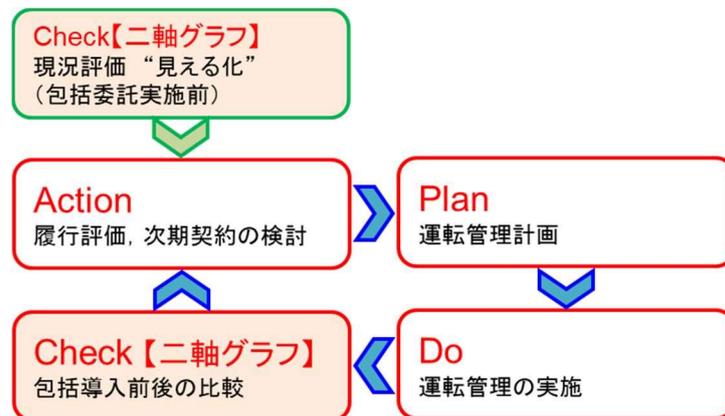


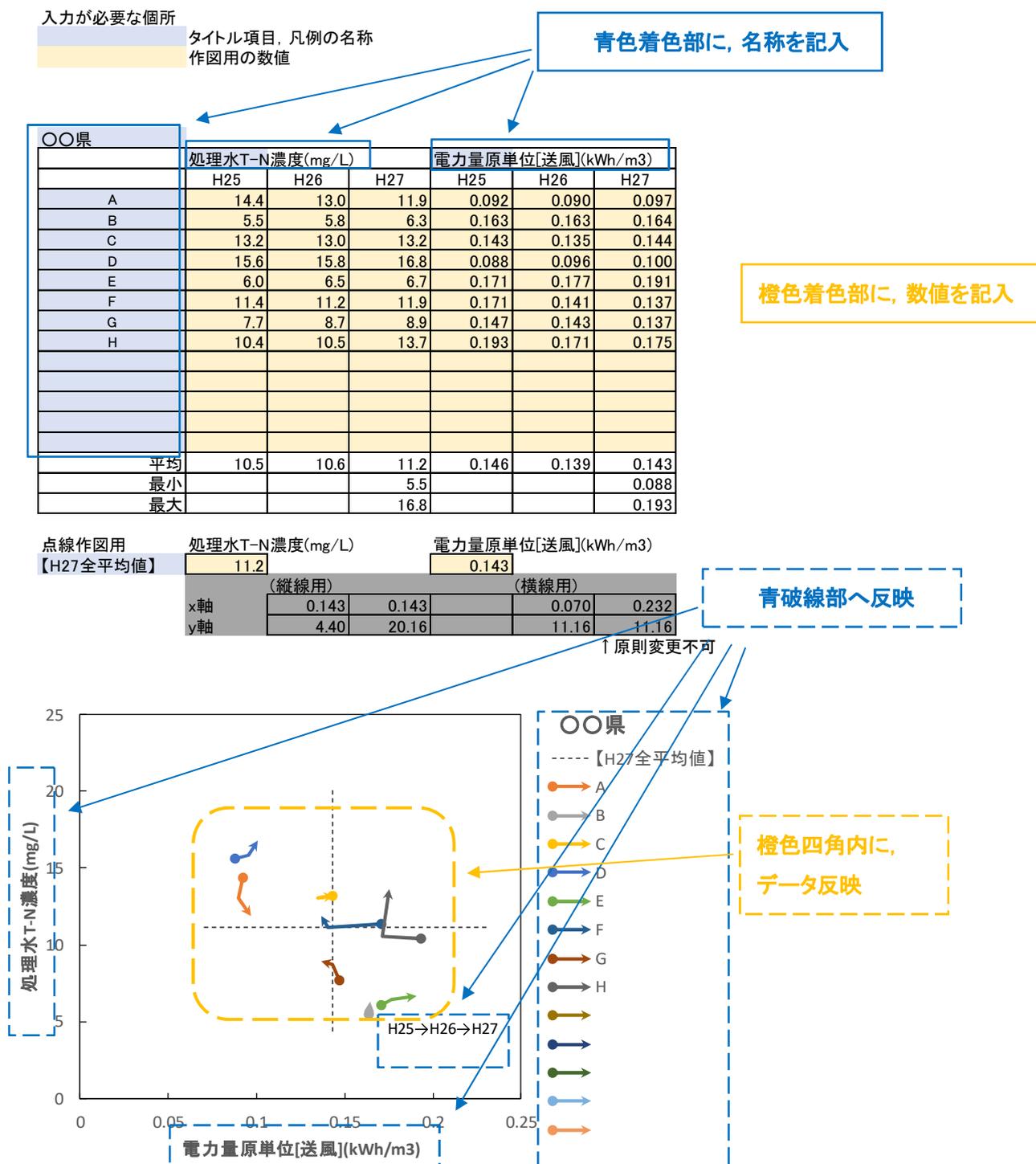
図 5.4 包括的民間委託における活用例

《資料編》: 支援情報

【二軸グラフ作図の仕方】

実際に二軸グラフを作図する際には、本サンプルファイル（エクセル）で、着色部分に文字や数値を入力することで、二軸グラフの基本パターンの作成が可能になる。必要に応じてアレンジされたい。（作図用の数値は別途シートヘデータを貼り付けるか、もしくは下記のように直接入力）

(1) 複数処理場における経年変化図



(2) 同じ処理場における月別の経年変化図

青色着色部に、名称を記入

入力が必要な箇所
 タイトル項目、凡例の名称
 作図用の数値

橙色着色部に、数値を記入

処理場名 ○○浄化センター

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	平均	最小	最大
H27年度	処理水T-N濃度(mg/L)	12.6	12.5	11.3	11.0									11.9	11.0	12.6
	電力量原単位[送風](kWh/m3)	0.091	0.099	0.101	0.096									0.097	0.091	0.101
H26年度	処理水T-N濃度(mg/L)	12.6	12.6	10.5	12.3									12.0	10.5	12.6
	電力量原単位[送風](kWh/m3)	0.086	0.107	0.093	0.078									0.091	0.078	0.107
H25年度	処理水T-N濃度(mg/L)	18.5	16.0	11.3	13.0									14.7	11.3	18.5
	電力量原単位[送風](kWh/m3)	0.087	0.095	0.105	0.077									0.091	0.077	0.105
	処理水T-N濃度(mg/L)													-	-	-
	電力量原単位[送風](kWh/m3)													-	-	-
	処理水T-N濃度(mg/L)													-	-	-
	電力量原単位[送風](kWh/m3)													-	-	-
(全体)	処理水T-N濃度(mg/L)													12.9	10.5	18.5
	電力量原単位[送風](kWh/m3)													0.093	0.077	0.107

点線作図用

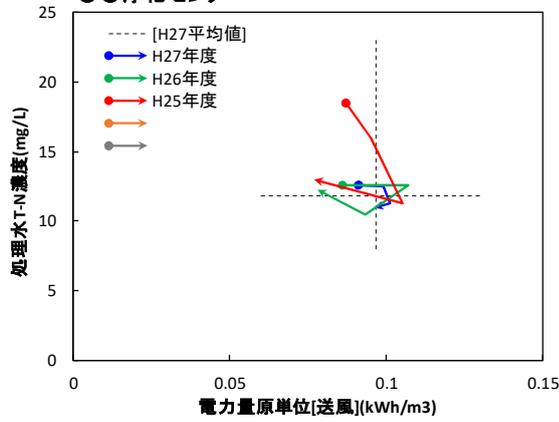
[H27平均値]	
処理水T-N濃度(mg/L)	11.9
電力量原単位[送風](kWh/m3)	0.097

(数値無しの場合は点線表示なし)

	(縦線用)		(横線用)	
x軸	0.097	0.097	0.060	0.130
y軸	8.0	23.0	11.9	11.9

←原則変更不可

○○浄化センター

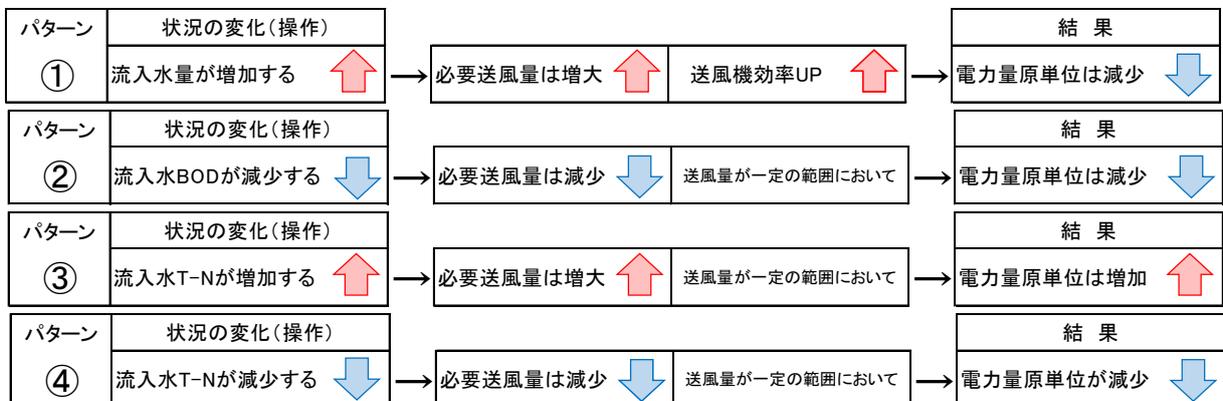
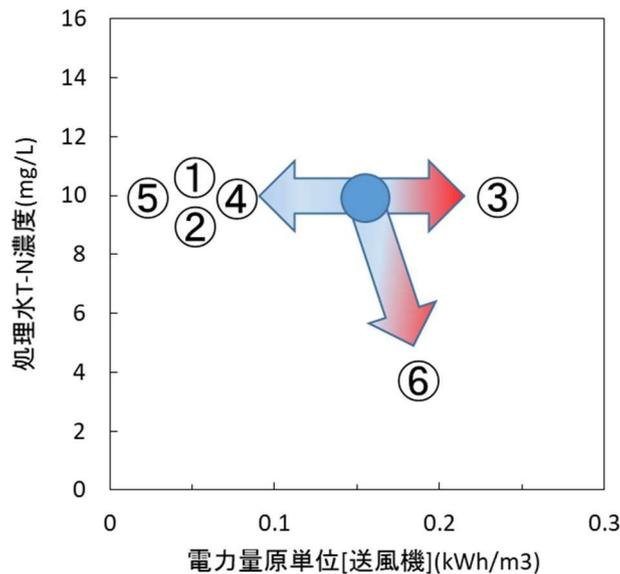


【サンプルファイルを用いた二軸グラフの見方】

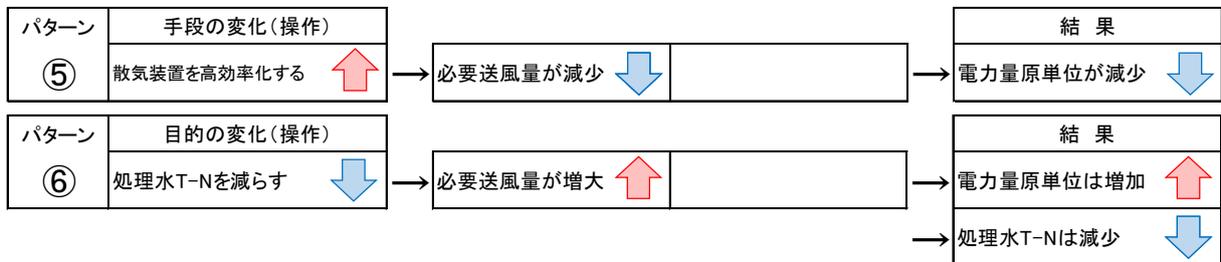
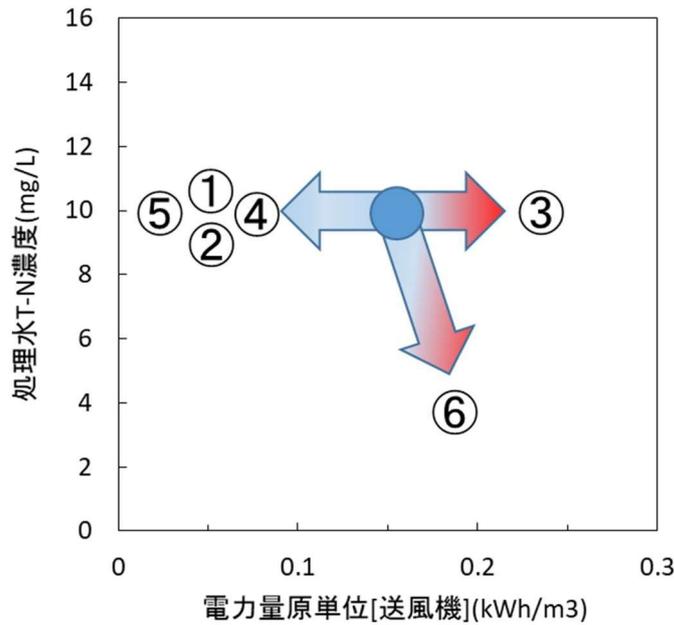
二軸グラフを用いて現況評価や次期管理計画、運転管理計画を作成する際に、例えば検討している処理水質や電力量原単位について、どのような設定を行うか、またそれによりどのような結果になるか、ある程度の予測をたてることが重要になる。しかし、ある程度二軸グラフを見ることに慣れていないと判断が難しい場合がある。そのような際、下記サンプルファイルを用いることで、何が変われば（操作すれば）どのように二軸グラフが動くか、把握することができる。

このサンプルファイル（Excel 版）の目的は、着色部分に文字や数値を入力することで、二軸グラフがどのようなベクトルとなるか、おおよそを理解することを支援するものである。これらと過去の運転データ等を参考にすることにより、評価や計画を立てる際にある程度、結果を予測することも可能と考えられる。厳密に定量的な判断のために使用するものではないが、二軸グラフに慣れる必要がある場合など、本ファイルを使用され、様々な目的や方法のためにも必要に応じてアレンジされたい。

以下に、代表的な二軸グラフの動きを示す。



【変化のパターンによる二軸グラフの動き方のイメージ（その1）】



【変化パターンによる二軸グラフの動き方のイメージ (その2)】

下記, サンプルファイルに数値入力することにより, 二軸グラフが表示され, 動きを把握することができる。

二軸グラフ サンプルファイル(案) ~二軸グラフの見方や感覚をつかむ~

基本条件	
流入水量	電力量原単位(送風)
10,000 m ³ /d	0.15 kWh/m ³
流入水質	処理水質
BOD 80	5 mg/L
SS 80	10 mg/L
T-N 30	10 mg/L
NH ₄ -N 21	7 mg/L
T-P 5	2 mg/L

数値入力
定数設定 (初期もしくは適宜)
数値入力 (送風量の簡易計算シートでの計算結果)

※下記に限らず様々なパターンを想定し、数字そのものではなく、ベクトルがどちらに、どの程度動かすか、数値を入力することで二軸グラフの見方や感覚がわかります。
 ※簡易的な比較が目的であり、各パターンにおいて条件を変える項目は原則1つにすることを推奨します。
 ※別途「二軸グラフ作図」ファイルを活用して、各自のデータでグラフを作成してみてください。

橙色着色部に, 数値を記入

青色着色部は初期入力済
もしくは適宜設定

緑色着色部に, 数値を記入
(別途シートにて簡易計算)

変化のパターン		
① 流入水量 (10,000→20,000m ³ /d)		
流入水量	電力量原単位(送風)	単位風量あたりの入力動力
m ³ /d	kWh/m ³	(kW/m ³) ※1
10,000	0.15	1.56
↓	↓ × 0.86	↓
20,000	0.13	1.34
前提: 流入水量以外の、流入水質や処理水質は原則一定		
作図データ		
電力量原単位	前 ⇒ 後	
	0.15 ⇒ 0.13 kWh/m ³	
処理水T-N	10 ⇒ 10 mg/L	

※1 流入水量に応じた入力動力の目安

流入水量	入力動力
10,000	→ 1.56
20,000	→ 1.34
※107m ³ /minのプロウを想定	
30,000	→ 1.51
40,000	→ 1.32
50,000	→ 1.2
※300m ³ /minのプロウを想定	

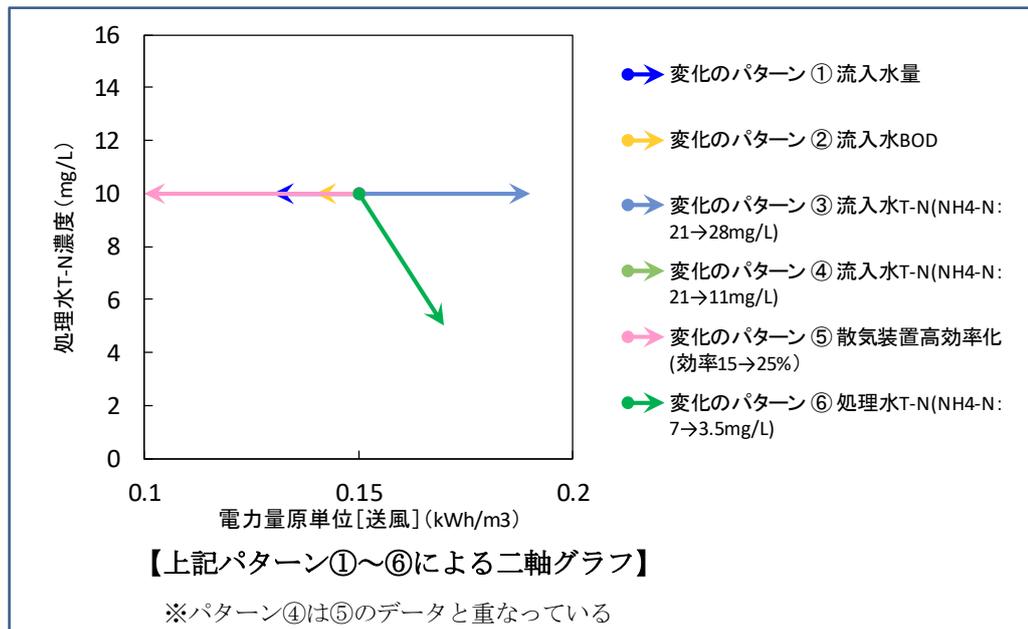
変化のパターン			② 流入水BOD (80→40mg/L)		
流入水BOD mg/L	電力量原単位(送風) kWh/m ³	必要送風量が減少 (m ³ /min) ^{※2}			
80	0.15	28			
↓	↓ × 0.90	↓ 必要送風量が減少			
40	0.14	23			
前提: 流入水BOD濃度以外、原則一定					
作図データ			前 ⇒ 後		
電力量原単位	0.15	0.14	kWh/m ³		
処理水T-N	10	10	mg/L		
※2: 別途計算書参照とする。					

変化のパターン			③ 流入水T-N(NH ₄ -N: 21→28mg/L)		
流入水T-N(NH ₄ -N) mg/L	電力量原単位(送風) kWh/m ³	必要送風量が增加 (m ³ /min) ^{※2}			
30	0.15	28			
↓	↓ × 1.25	↓ 必要送風量が增加			
40	0.19	35			
前提: 流入水T-N濃度以外、原則一定					
作図データ			前 ⇒ 後		
電力量原単位	0.15	0.19	kWh/m ³		
処理水T-N	10	10	mg/L		
※2: 別途計算書参照とする。					

変化のパターン			④ 流入水T-N(NH ₄ -N: 21→11mg/L)		
流入水T-N(NH ₄ -N) mg/L	電力量原単位(送風) kWh/m ³	必要送風量が減少 (m ³ /min) ^{※2}			
30	0.15	28			
↓	↓ × 0.66	↓ 必要送風量が減少			
15	0.10	17			
前提: 流入水T-N濃度以外、原則一定					
作図データ			前 ⇒ 後		
電力量原単位	0.15	0.10	kWh/m ³		
処理水T-N	10	10	mg/L		
※2: 別途計算書参照とする。					

変化のパターン			⑤ 散気装置高効率化(効率15→25%)		
酸素移動効率OTE %	電力量原単位(送風) kWh/m ³	必要送風量が減少 (m ³ /min) ^{※2}			
15 (例)散気板	0.15	28			
↓	↓ × 0.66	↓ 必要送風量が減少			
25 (例)高効率型散気装置	0.10	17			
前提: 流入水量、流入水質や処理水質は原則一定					
作図データ			前 ⇒ 後		
電力量原単位	0.15	0.10	kWh/m ³		
処理水T-N	10	10	mg/L		
※2: 別途計算書参照とする。					

変化のパターン			⑥ 処理水T-N(NH ₄ -N: 7→3.5mg/L)		
処理水T-N(NH ₄ -N) mg/L	電力量原単位(送風) kWh/m ³	必要送風量が增加 (m ³ /min) ^{※2}			
7	0.15	28			
↓	↓ × 1.1	↓ 必要送風量が增加			
5	0.17	31			
前提: 処理水T-N濃度以外、原則一定					
作図データ			前 ⇒ 後		
電力量原単位	0.15	0.17	kWh/m ³		
処理水T-N	10	5	mg/L		
※2: 別途計算書参照とする。					



【全国平均値等との比較検討】

消費エネルギーについては、下記【参考1】や【参考2】を参照することにより、全国的な平均値等とおおよその比較を行うことで一つの目安とすることができる。ただし、処理場の規模や設備等（省エネ機器導入の有無、制御方法等）により異なるため、目安とする。

【参考1】（全国の平均的な値）

「下水道における地球温暖化対策マニュアル ～下水道部門における温室効果ガス排出量抑制指針の解説～（平成28年3月、環境省・国土交通省）」より全国平均値を参照できる。

出典：<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/gel/pdf/manua160530b.pdf>

エネルギー起源二酸化炭素（t-CO₂/千 m³）の全国平均値

- ①汚泥焼却炉有 $=10^{(-0.282 \times \log_{10} \cdot Q + 0.846)}$
- ②標準法 $=10^{(-0.208 \times \log_{10} \cdot Q + 0.059 \times \log_{10} \cdot BOD_{in} - 0.368 \times \log_{10} \cdot R + 0.092)}$
- ③高度処理 $=10^{(-0.293 \times \log_{10} \cdot Q + 0.811)}$
- ④OD法 $=10^{(-0.234 \times \log_{10} \cdot Q - 0.302 \times \log_{10} \cdot R + 0.258)}$

Q：日平均処理水量（m³/日）

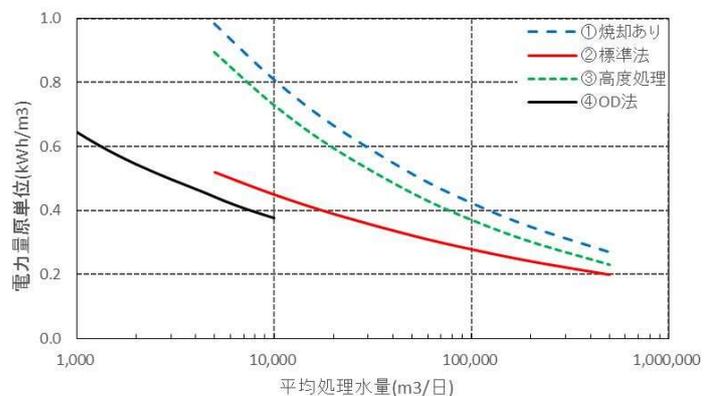
BOD_{in}：流入 BOD 濃度（mg/L）

R：流入量比率（実績日平均処理水量／計画日平均水量）

ここで、温室効果ガス排出量係数は、電力が 0.555t-CO₂/千 kWh（全国平均的な値）であること、同書においてエネルギー種別の割合として電力が全体の 93%（汚泥焼却炉有の場合は 86%）が示されていることから、消費電力の全国平均値に読み替えることができる。

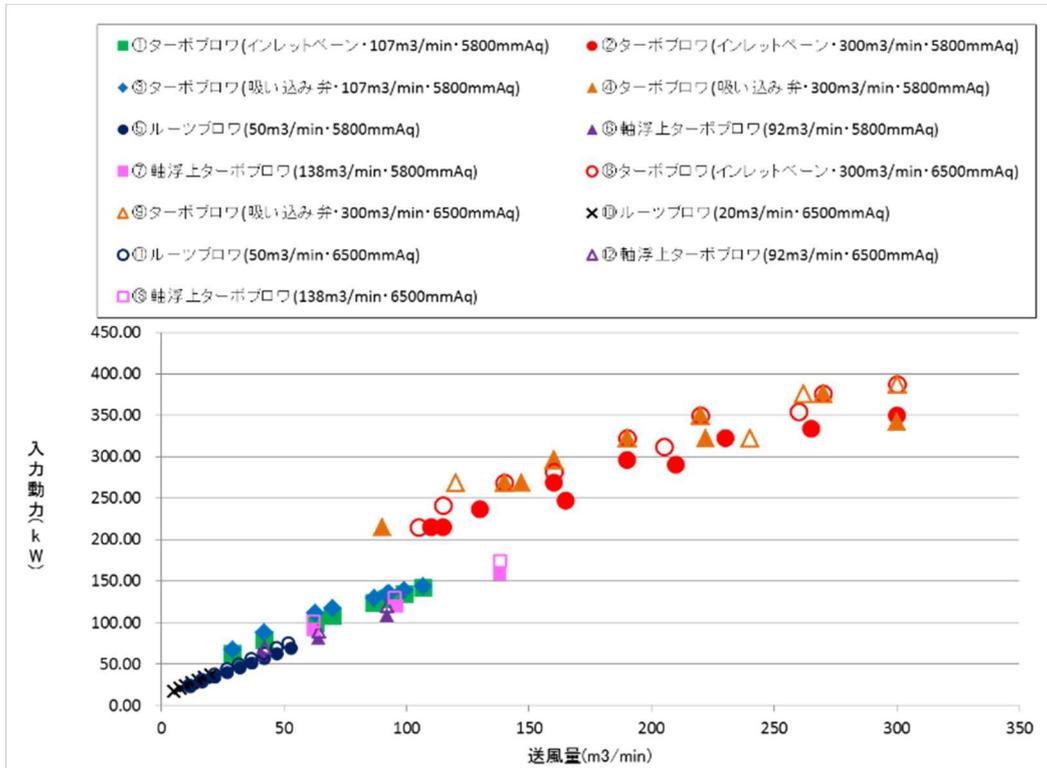
消費電力量（kWh/m³）の全国平均値

- ①汚泥焼却炉有 $=\{10^{(-0.282 \times \log_{10} \cdot Q + 0.846)}\} \times 0.86 / 0.555$
- ②標準法 $=\{10^{(-0.208 \times \log_{10} \cdot Q + 0.059 \times \log_{10} \cdot BOD_{in} - 0.368 \times \log_{10} \cdot R + 0.092)}\} \times 0.93 / 0.555$
- ③高度処理 $=\{10^{(-0.293 \times \log_{10} \cdot Q + 0.811)}\} \times 0.93 / 0.555$
- ④OD法 $=\{10^{(-0.234 \times \log_{10} \cdot Q - 0.302 \times \log_{10} \cdot R + 0.258)}\} \times 0.93 / 0.555$



（上式を図化したもの、ただし流入 BOD=180mg/L,R=0.8 と仮定）

【参考 2】 機器・容量別の送風量と軸動力の関係（国総研資料）



送風機 型式	No.	関係式
ターボブロワ	①	$y = 1.0069x + 35.367$
	②	$y = 0.7419x + 138.31$
	③	$y = 0.9475x + 46.501$
	④	$y = 0.6834x + 174.83$
	⑧	$y = 0.846x + 144.78$
	⑨	$y = 0.7018x + 181.44$
ルーツブロワ	⑤	$y = 1.1224x + 9.9661$
	⑩	$y = 1.2902x + 11.346$
	⑪	$y = 1.2532x + 11.207$
軸浮上 ターボブロワ	⑥	$y = 0.9244x + 23.299$
	⑦	$y = 0.8834x + 36.505$
	⑫	$y = 1.0032x + 27.123$
	⑬	$y = 0.9648x + 40.798$