ISSN 1346-7328
国総研資料 第939号
平成２８年１２月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.939 December 2016

B-DASHプロジェクト No.15
ICTを活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術導入ガイドライン（案）

下水道研究部下水処理研究室

B-DASH Project No.15
Guideline for introducing ICT-based advanced process control and remote diagnosis technology for efficient wastewater treatment plant operation

Wastewater and Sludge Management Division
Water Quality Control Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure,Transport and Tourism,Japan

国土技術政策総合研究所資料　　Technical Note of NILIM
第 939 号　2016 年 12 月　　No.939　December 2016

B-DASHプロジェクト No.15

ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術導入ガイドライン（案）

下水道研究部　下水処理研究室

B-DASH Project No.15

Guideline for introducing ICT-based advanced process control and remote diagnosis technology for efficient wastewater treatment plant operation

Wastewater and Sludge Management Division
Water Quality Control Department

概要

本ガイドラインは、下水道事業におけるコスト縮減を目指し、下水道革新的技術の一つである「ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術」について、下水道事業者が導入検討する際に参考にできる資料として策定したものである。

ｷｰﾜｰﾄﾞ：アンモニア性窒素計、ICT、維持管理

Synopsis

This Guideline for introducing ICT-based advanced process control and remote diagnosis technology for efficient wastewater treatment plant operation, which is one of sewage high technologies, is designed to reduce sewage service costs and support Japanese enterprises' overseas water business expansion.

Key Words ： ammonia sensor , Information and communication technology, operation and maintenance

〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地
電話：029-864-3933 Fax：029-864-2817 E-mail：gesuishori@nilim.go.jp

執筆担当者一覧

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 室　　長 ・・・山下　洋正

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官 ・・・太田　太一

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 主任研究官 ・・・田隝　淳
（京都府環境部水環境対策課課長）

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 ・・・板倉　舞

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 ・・・大西　宵平
（国土交通省大臣官房技術調査課係長）

※研究当時の所属（括弧書きは現所属）

はじめに

我が国の下水道は、国民生活に不可欠な社会資本として、77.8%（平成 27 年度末下水道処理人口普及率）まで普及が進んできており、水洗トイレが普及するとともに川や海の水質の改善につながっている。しかし、その一方で、大量に発生する汚水の浄化には大きな電力を要し、それだけで我が国の総電力消費量の 0.7%近くを占めている。これは、下水処理場の維持管理費を押し上げる要因ともなっている。

また、下水や汚泥の処理に伴い温室効果ガスが排出されるため、地方公共団体の公共事業の中でも最大級の温室効果ガス排出源となっている。今後、下水道の未普及地域の解消や高度処理化など、排出を増加させる要因が引き続き見込まれることから、地球温暖化防止に一定の役割を果たそうとする我が国において、その削減が急がれる。

そのため下水道で消費するエネルギーや排出する温室効果ガスを削減することが「新下水道ビジョン」（平成 26 年７月　国土交通省水管理・国土保全局下水道部、公益社団法人日本下水道協会）でも中期目標として打ち出されており、特に下水道における電力消費量の約５割をしめている下水処理工程での削減が求められているが、対策状況は下水道事業者ごとに差が大きく、優れた新技術が開発されても、実績が少ないため導入に慎重な下水道事業者も多い状況である。

このため、国土交通省下水道部では、優れた革新的技術の実証、普及により下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー等の創出を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、「下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト※）」を平成 23 年度から開始し、国土技術政策総合研究所下水道研究部が実証研究の実施機関となっている。

本ガイドライン「ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術導入ガイドライン（案）」で示す技術は、NH_4-N センサーを活用した曝気風量制御技術、制御性能改善技術、多変量統計的プロセス監視技術の3 つの要素技術を組み合わせた効率的な維持管理技術である。実証研究において本技術を導入することにより、要求水質に応じた処理機能を確保しつつ、従来の維持管理手法に比較して水処理施設における消費エネルギーの削減効果、維持管理性の向上効果が得られることを確認している。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術実証研究　受託者：株式会社東芝・日本下水道事業団・福岡県・公益財団法人福岡県下水道管理センター共同研究体　実施期間：平成26～27年度）において実施した成果を踏まえ、下水道事業者が革新的技術の導入を検討する際に参考にできる資料として策定したものであり、これらの優れた技術が全国そして海外にも普及されることを強く願うものである。

技術選定から実証研究施設の設置、実運転による実証を踏まえたガイドラインの策定までを 2 年間という短期間でまとめるにあたり、大変なご尽力をいただいた下水道革新的技術実証事業評価委員会の委員各位、およびガイドラインに対する意見聴取にご協力いただいた下水道事業者の各位をはじめ、実証研究に精力的に取り組まれた研究体各位等全ての関係者に深く感謝申し上げる。

※B-DASH プロジェクト：Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

国土交通省国土技術政策総合研究所　下水道研究部長　榊原　隆

目次

第１章　総則 1
第１節　目的 1
§1　目的 1
第２節　ガイドラインの適用範囲 3
§2　ガイドラインの適用範囲 3
第３節　ガイドラインの構成 4
§3　ガイドラインの構成 4
第４節　用語の定義 6
§4　用語の定義 6
第２章　技術の概要と評価 8
第１節　技術の概要 8
§5　技術の目的 8
§6　技術の概要と特徴 10
§7　NH_4-N センサーを活用した曝気風量制御（NH_4-N/DO 制御）技術の概要と特徴 13
§8　制御性能改善技術の概要と特徴 16
§9　多変量統計的プロセス監視（MSPC）技術の概要と特徴 18
§10　技術の適用条件 22
§11　導入シナリオ例 25
第２節　実証研究に基づく評価の概要 30
§12　技術の評価項目 30
§13　技術の評価結果 34
第３章　導入検討 50
第１節　導入検討手法 50
§14　導入検討手順 50
§15　適用条件の確認 52
§16　導入効果の検討 54
§17　導入判断 72
第２節　導入効果の検討例 73
§18　導入効果の検討例 73
第４章　計画・設計 82
第１節　導入計画 82
§19　導入計画の検討手順 82
§20　詳細調査 83
§21　システム構成の検討 84
§22　導入効果の検証 85

§23　導入計画の策定 86
第２節　本技術導入のための設計 87
§24　NH_4-N/DO 制御技術の設計 87
§25　制御性能改善技術の設計 92
§26　MSPC 技術の設計 96
第５章　維持管理 102
第１節　本技術の運転管理 102
§27　本技術の運転管理 102
第２節　本技術の維持管理 118
§28　本技術の維持管理 118
§29　本技術の保守点検 122
§30　異常時の対応と対策 124
参考文献 128

第１章　総則

第１節　目的

§１　目的

本ガイドラインは、下水道事業における大幅なコスト縮減や省エネルギー・創エネルギー効果の増大に寄与するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の革新的技術の１つである「ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術」（以下、本技術とする）について、実証研究の成果を踏まえて、技術の概要、導入検討、計画・設計および維持管理等に関する技術的事項について明らかにし、もって導入の促進に資することを目的とする。

【解　説】

下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）は、新技術の研究開発および実用化を加速することにより、下水道事業における資源回収、大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、国土交通省が実施しているものである。

B-DASH プロジェクト全体の概要は、**図 1-1** に示すとおりである。各実証事業においては、国土技術政策総合研究所からの委託研究として、実証研究を実施している。

平成 23 年度は、①水処理における固液分離技術（高度処理を除く）、バイオガス回収技術、バイオガス精製技術、バイオガス発電技術に係る革新的技術を含むシステムについて公募を行い、２件の実証研究を採択・実施し、平成 25 年 7 月にガイドライン案を策定している。

平成 24 年度は、②下水汚泥固形燃料化技術、③下水熱利用技術（未処理下水の熱利用に限る）、④栄養塩（窒素）除去技術（水処理に係る技術は除く）、⑤栄養塩（りん）除去技術（水処理に係る技術は除く。回収技術を含むことは可）に係る革新的技術について公募を行い、5 件の実証研究を採択・実施し、平成 26 年 8 月にガイドライン案を策定している。

平成 25 年度は、⑥下水汚泥バイオマス発電システム技術（低含水率化技術、エネルギー回収技術、エネルギー変換技術を組み合わせたシステム技術）、⑦管きょマネジメント技術に係る革新的技術について公募を行い、5 件の実証研究を採択・実施し、平成 27 年 9 月にガイドライン案を策定している。

平成 26 年度は、⑧下水汚泥から水素を創出する創エネ技術、⑨既存施設を活用した省エネ型水処理技術（標準活性汚泥法代替技術・高度処理代替技術）、⑩ICT による既存施設を活用した戦略的水処理管理技術および既存施設を活用した ICT による都市浸水対策機能向上技術に係る革新的技術について公募を行い、6 件の実証研究を採択・実施している。

平成 27 年度は、⑪複数の下水処理場からバイオガスを効率的に集約・活用する技術、⑫バイオガスから CO_2 を分離・回収・活用する技術、⑬設備劣化診断技術、⑭都市域における局所的集中豪雨に対する降雨及び浸水予測技術、⑮下水管路に起因する道路陥没の兆候を検知可能な技術、⑯下水処理水の再生利用技術について公募を行い、9 件の実証研究を採択・実施している。

本技術は、⑩に係る革新的技術であり、実証研究のとりまとめにあたっては、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取したうえで、学識経験者で構成される「下水道革新的技術実証事業評価委員会」（以下、評価委員会とする。（http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm））の評価を受け、十分な成果が得られたと評価された。本ガイドラインは、下水道事業における大幅な省エネルギー効果やコスト縮減を実現するため、評価委員会で評価された本技術の実証研究の成果を踏まえ、本技術の導入の促進に資することを目的として、国土技術政策総合研究所において策定するものである。このため、本ガイドラインでは、地方公共団体等の下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるように、技術の概要と評価、導入検討、計画・設計および維持管理等に関する技術的事項についてとりまとめている。

なお、本ガイドラインについても、実証研究の成果と同様に、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取のうえ、評価委員会の評価を受け、了承されたものである。

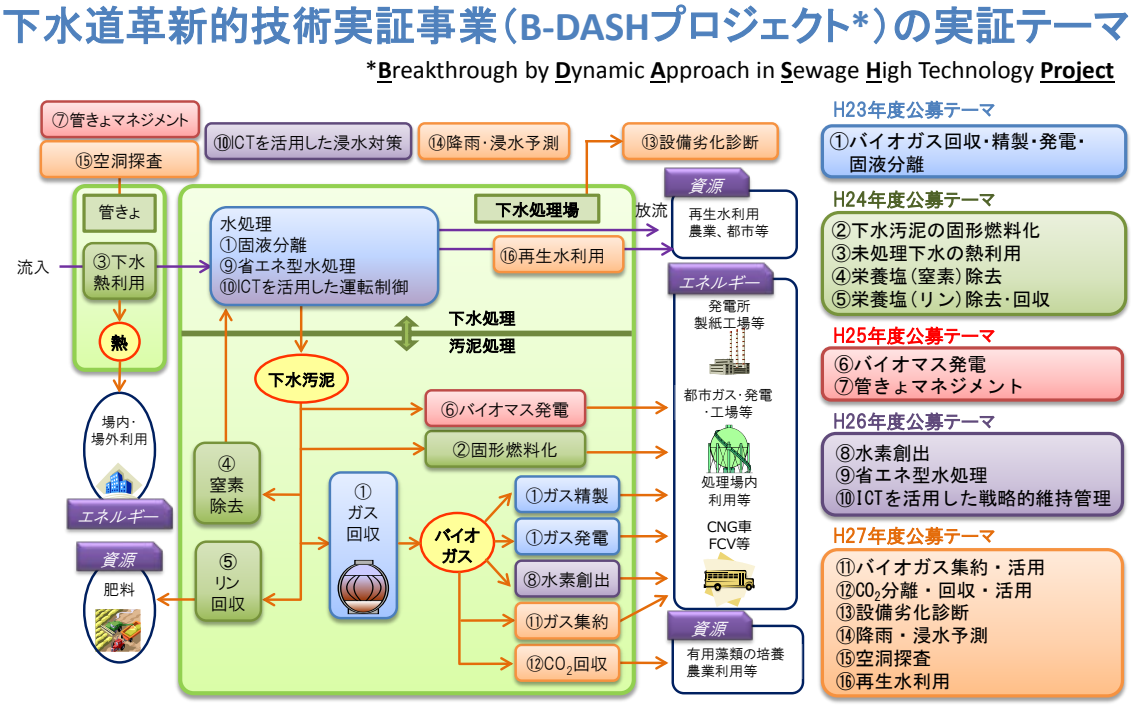


図 1-1　下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の概要（全体）

第２節　ガイドラインの適用範囲

§２　ガイドラインの適用範囲

本ガイドラインは、本技術のシステム全体または一部についての、下水道施設を対象とした導入検討、計画・設計および維持管理に適用する。

【解　説】

本ガイドラインは、下水道施設の新・増設あるいは既存施設・設備の更新に際して、本技術のシステム全体または一部の導入を促進することを目的として、本技術の導入検討、計画・設計、維持管理の参考となるようにとりまとめたものである。

本技術のシステム全体を同時にまたは段階的に導入する場合、または、一部の要素技術のみを導入する場合のどちらにも、本ガイドラインは適用される。

本ガイドラインは、地方公共団体等の下水道事業者および関連する民間企業等に利用されることを想定して策定している。

第３節　ガイドラインの構成

§３　ガイドラインの構成

本ガイドラインは、総則、革新的技術の概要と評価、導入検討、計画・設計、維持管理および資料編から構成される。

【解　説】

本ガイドラインは、**図 1-2** に示す構成から成る。

各章の内容は、以下のとおりとする。

（１）　第１章　総則

第１章では、目的、ガイドラインの適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義について記述する。

（２）　第２章　技術の概要と評価

第２章では、革新的技術の目的、概要、特徴、適用条件、導入シナリオ例について整理する。また、実証研究で得られた成果に基づく革新的技術の評価結果を示す。

（３）　第３章　導入検討

第３章では、革新的技術の導入を検討する際に必要な手順、手法を整理する。

（４）　第４章　計画・設計

第４章では、導入検討の結果として、革新的技術の導入効果が期待できると判断された場合に、導入に向けてより具体的に実施設計を進めるための方法について整理する。

（５）　第５章　維持管理

第５章では、革新的技術を導入した場合において、下水道管理者等が実施すべき維持管理の具体的方法について整理する。

その他、資料編として、実証研究結果、ケーススタディ、問い合わせ先等に関する資料を示す。

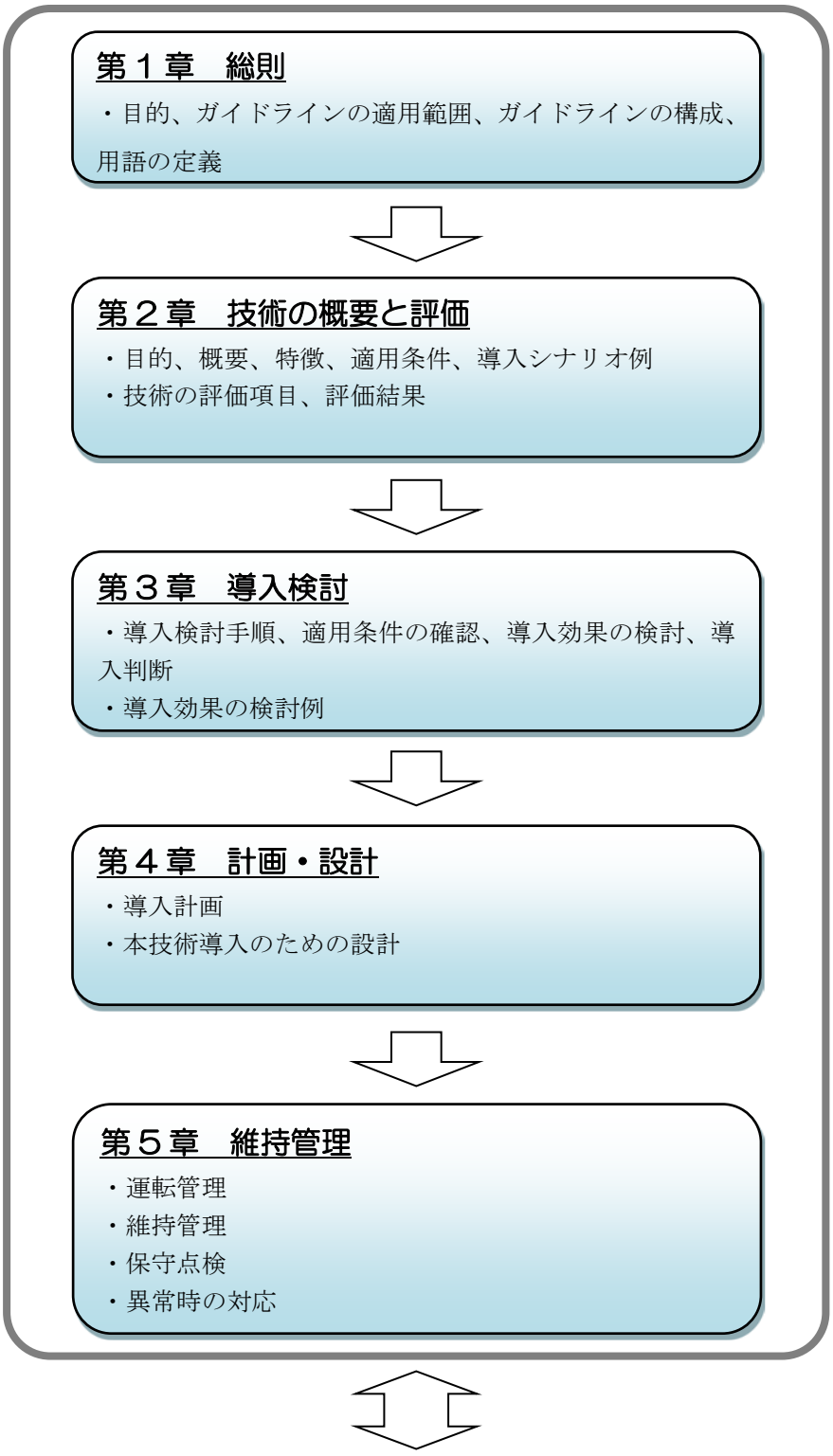


図 1-2　本ガイドラインの構成

第４節　用語の定義

§４　用語の定義

本ガイドラインで取り扱う用語は、以下に示すように定義する。なお、下水道施設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 年版（以下、設計指針とする）」（公益社団法人日本下水道協会）、「下水道用語集 2000 年版」（公益社団法人日本下水道協会）に準拠する。

（１）ICT（情報通信技術：Information and Communication Technology）

各種情報端末のデバイスやサーバ技術、ネットワーク技術や通信技術、情報処理技術等の一連の技術の総称をいう。

（２）プロセス制御

水処理プロセス、石油化学プロセス、鉄鋼プロセス等、各種処理あるいは製造等を行うプロセスで行われる制御のことをいう。本ガイドラインでは、水処理プロセスにおける制御のことをいう。

（３）リモート診断

下水処理場で計測しているオンラインセンサーの計測データを、ネットワークを介し、当該下水処理場以外の場所（リモート）に設置されたサーバへ伝送し、このサーバにおいて、計測データを利用した各種演算により行われる、プロセスや施設における異常の有無、制御や運転状況の良否、等に関する各種診断のことをいう。ただし、この診断が当該下水処理場内に設置されたサーバで行われる場合も含むものとする。

（４）アンモニア性窒素（NH_4-N）

水中のアンモニア、又はアンモニウム塩をその窒素量で表したものをいう。

（５）アンモニア性窒素（NH_4-N）センサー

アンモニア性窒素（NH_4-N）を計測するセンサーのことをいう。

（６）硝化

水中のアンモニア性窒素を、硝化細菌の働きにより、亜硝酸性窒素、または硝酸性窒素へ酸化することをいう。本ガイドラインでは、硝酸性窒素まで変換される硝化を想定する。

（７）曝気風量

反応タンクに供給する空気量のことをいう。

（８）曝気風量制御

曝気風量を制御することをいう。なお、曝気風量を変えるために、送風機の回転数を変化させたり、送風機の運転台数を変更するといったことが行われる。

（９）DO 一定制御

反応タンクにおける DO（溶存酸素）濃度を設定された目標値で一定となるように曝気風量制御を行うことをいう。

（１０）送風量一定制御

曝気風量を、時間帯や流入量等によらずに、常時一定となるようにする曝気風量制御を行うことをいう。

（１１）送風倍率一定制御

曝気風量を、下水処理場に流入する下水量にある一定の倍率をかけて求められた量として曝気風量制御を行うことをいう。

（１２）PID 制御

制御工学におけるフィードバック制御の一種で、目標信号（SV：Setting Value）と測定信号（PV：Process Value）との差（偏差）を、比例（Proportional）、積分（Integral）、微分（Derivative）の各要素と制御パラメータの値にもとづいて、操作信号（MV：Manipulated Variable）を制御することをいう。

（１３）制御パラメータ

PID 制御の演算式中の比例、積分、微分の各要素に設定される係数のことをいう。各係数は、それぞれ、比例ゲイン、積分時間、微分時間と呼ばれる。

第２章　技術の概要と評価

第１節　技術の概要

§５　技術の目的

本ガイドラインの対象技術である「ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術」は、活性汚泥法による水処理施設を対象に、

①要求水質に応じた水処理機能の確保

②消費エネルギーの削減

③維持管理性の向上

を図ることを目的とする。

【解　説】

下水道事業は、全国の全消費電力量の約 0.7%という多くのエネルギーを消費しており、温室効果ガス排出量の削減や省エネルギー化について積極的な対応が求められている。下水処理場では、維持管理が容易で、安定した処理水質を確保しつつ、温室効果ガス排出量の削減や省エネルギー化を実現する水処理技術が必要である。また、市町村合併による広域化の進展により管理施設数が増加する一方で、技術者数は減少する傾向にあることから、複数の施設を効率的に管理するための技術も求められている。さらに、近年、各種情報端末やネットワーク技術、ビッグデータ利活用等の情報通信技術（ICT）が大きく進展している。下水道事業においても、ICT を活用して、下水道施設の運転管理のみならず、事業運営・経営まで効率的に行いたいというニーズが徐々に高まっている。

このような状況において、既存の施設に ICT を活用することでより効率的な水処理運転管理を実現する技術は、財政状況が厳しい地方公共団体にとって、コスト縮減効果や省エネルギー効果等、多くの導入効果をもたらすことが期待されている。

本ガイドラインの対象技術である「ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術」は、反応タンクにおける新たな曝気風量制御技術に、リモート側[1]で運用する二つの診断技術（リモート診断技術[2]）により提供される運転支援情報を組み合わせることで、以下の実現を図るものである。

[1] 本曝気風量制御技術を適用する下水処理場以外の場所を意味する。ただし、リモート側の設備を当該下水処理場内に設置する場合も含む。

[2] その下水処理場以外の場所で行う診断のことを意味する。ただし、前注釈のとおり、同診断技術が当該下水処理場内に設置されたリモート側の設備に導入される場合も含む。

①要求水質に応じた水処理機能の確保

当該下水処理場における要求水質（処理水質の基準等）を、年間を通じて満たすことができるように安定した水処理を行うことができる。

②消費エネルギーの削減

当該下水処理場における電力量等の消費エネルギーを従来よりも削減することができる。

③維持管理性の向上

当該下水処理場における運転管理者の維持管理業務の負担を軽減したり、維持管理に有効な情報の提供を行うことができる。

なお、本技術については**§6 技術の概要と特徴**を参照されたい。

§６　技術の概要と特徴

「ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術」は、①NH_4-N センサーを活用した曝気風量制御（以下、NH_4-N/DO 制御とする）技術、②制御性能改善技術、③多変量統計的プロセス監視（以下、MSPC[3] とする）技術、の３つの要素技術を組み合わせた技術であり、要求水質に応じた処理機能の確保しながら、水処理施設における消費エネルギーの削減および維持管理性の向上を図るものである。

①のプロセス制御技術に、ICT を活用した②、③のリモート診断技術を組み合わせることで、従来の曝気風量制御技術に比べて、以下の特長を有する。

・年間を通じた処理水質の安定化を図ることができる。

・消費エネルギーの削減を実現することができる。

【解　説】

本技術は、反応タンクにおける新たな曝気風量制御技術にリモートからの支援技術（リモート診断技術）を組み合わせることで、要求水質に応じた処理機能の確保しながら、水処理施設における消費エネルギーの削減および維持管理性の向上を図るものである。

本技術は、**図 2-1** に示すとおり、

①NH_4-N センサーを活用した曝気風量制御（NH_4-N/DO 制御）技術

②制御性能改善技術

③多変量統計的プロセス監視（MSPC）技術

という３つの要素技術を組み合わせた技術である。

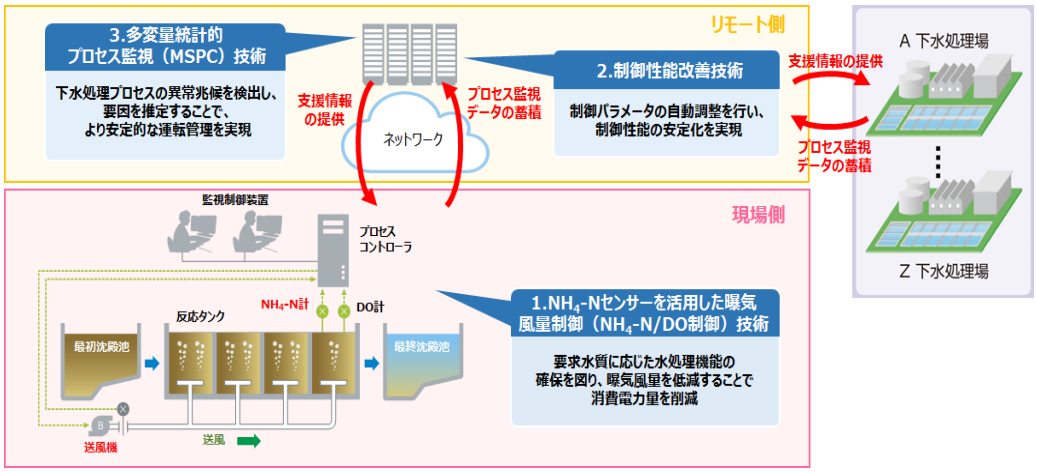


図 2-1　ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術のイメージ図

[3] MSPC：Multivariate Statistical Process Control

本技術では、新たな曝気風量制御技術である①NH_4-N センサーを活用した曝気風量制御（NH_4-N/DO 制御）技術を反応タンクに導入することで、既存施設を活用し、処理水質を維持しながら、送風機に係る消費エネルギーの削減を図る。さらに、ICT を活用したリモート診断技術である②制御性能改善技術と③多変量統計的プロセス監視（MSPC）技術を組み合わせることにより、曝気風量制御にかかわる制御パラメータを常に適正に保ちつつ、プロセスやセンサーの異常兆候をいち早く検知することにより、処理水質の悪化や機器･センサーの異常等の維持管理を行う上での大きな問題が発生する可能性を低減するとともに、当該下水処理場における維持管理コストの低減を図ることができる。また、リモート診断技術は、リモート側から複数の下水処理場に対して提供できるため、リモート側の設備に多くの下水処理場が接続できるほど、リモート診断技術の 1 施設あたりの導入コストおよび維持管理コストを低減することができる。

本技術の導入により得られる効果は以下のとおりである。

1）反応タンクにおける硝化機能が維持されることで、処理水質が安定化し、放流水質の安定化を図ることができる。

2）曝気風量の最適化、制御パラメータ値の最適化により、送風機動力を低減することができ、消費電力量や温室効果ガス排出量の低減を図ることができる。

3）制御パラメータ値の最適化、異常予兆の検知やその要因解析ができることにより、維持管理性が向上し、維持管理コストを低減するとともに、維持管理上の問題が発生する可能性を低減することができる。

4）制御パラメータ値の最適化や、異常予兆の検知等を遠隔（リモート）で、また複数の下水処理場に対して行うことができることにより、総合的に低コストで導入することができる。

要素技術の機能と想定効果の関係を整理したものを**図 2-2** に示す。

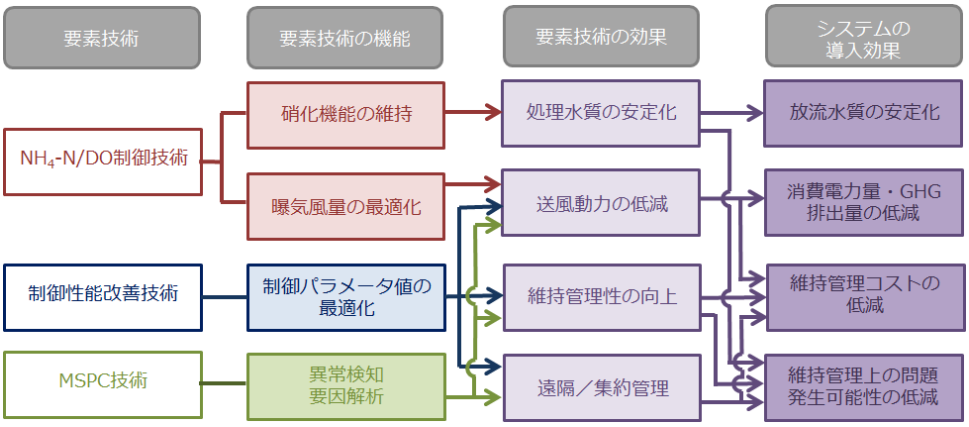


図 2-2　要素技術の機能と想定効果の関係

②制御性能改善技術と③多変量統計的プロセス監視（MSPC）技術の各診断技術については、膨大なプロセス監視データを使って、有効な支援情報を提供する技術である。これらの診断技術は、リモート側でシステムを構築し、複数の下水処理場のデータの収集・管理を行うことで、本技術に係る維持管理コストの低減ならびに複数処理場における異常パターンデータの蓄積、ICT を活用した集約管理の観点からも大きな利点を有している。

また、各診断技術により提供される支援情報については、緊急の状況に至る前の段階で提供されると想定されることから、運転管理者にとっては運転管理におけるある種の「気づき」を与え、余裕のある対応を可能とする。このような診断機能が動作していることにより、運転管理を行う運転管理者の負担を軽減し、運転管理の安全性に繋がるものと考えられる。

地方公共団体にとっては、このような診断技術を利用することにより、管轄する下水処理場等の施設の効率的な運転管理を実現することができる。

本技術による水処理運転管理と従来技術（DO 一定制御）による水処理運転管理において、実現されている内容と、運転管理者が行う対応内容とを比較したものを**表 2-1** に示す。

表 2-1　本技術と従来技術における水処理運転管理の比較

	本技術における水処理運転管理（ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術）	従来技術における水処理運転管理（DO 一定制御による水処理運転管理技術）
実現内容	・曝気風量を最適化して、処理水質を安定化 ・PID 制御のパラメータ値の最適化 ・複数信号の相関関係にもとづく異常兆候の検知および異常要因候補データを通知 ・複数の下水処理場の水処理運転に関する診断を実施	・DO の確保による、処理水質の安定化 ・個別信号の上下限しきい値にもとづく異常の検知
運転管理者の実施事項	・処理状況の確認 ・適用する PID 制御のパラメータ値の確認 ・異常予兆が検出された段階で、その異常予兆に対する対応（早い段階での対応可能）	・処理状況の確認 ・DO 不足時に、DO 制御目標値の変更や曝気風量を増加するための対応が必要 ・必要に応じて、PID 制御のパラメータ調整を実施 ・異常検出時にその異常に対する対応（対応が遅れる可能性有り）

§７　NH_4-N センサーを活用した曝気風量制御（NH_4-N/DO 制御）技術の概要と特徴

（１）NH_4-N センサーを活用した曝気風量制御（NH_4-N/DO 制御）技術は、アンモニア性窒素（NH_4-N）センサーで反応タンク内の硝化状況を監視し、これに応じて DO 制御目標値を変化させることで、処理状況に応じて曝気風量を最適化し、省エネ化を図る技術である。

（２）本技術により得られる効果は以下の通りである。

・硝化機能の維持

・曝気風量の低減、ならびにそれに伴う消費電力量の削減

【解　説】

（１）要素技術の概要

NH_4-N センサーを活用した曝気風量制御（NH_4-N/DO 制御）技術は、NH_4-N の処理状況に応じて DO 一定制御の制御目標値を変化させる可変 DO 制御の一種であり、反応タンクの下流側区画に設置する NH_4-N センサーの計測値に基づいて、DO 一定制御の制御目標値を演算する曝気風量制御技術である。

NH_4-N/DO 制御技術の概要を**図 2-3** に示す。

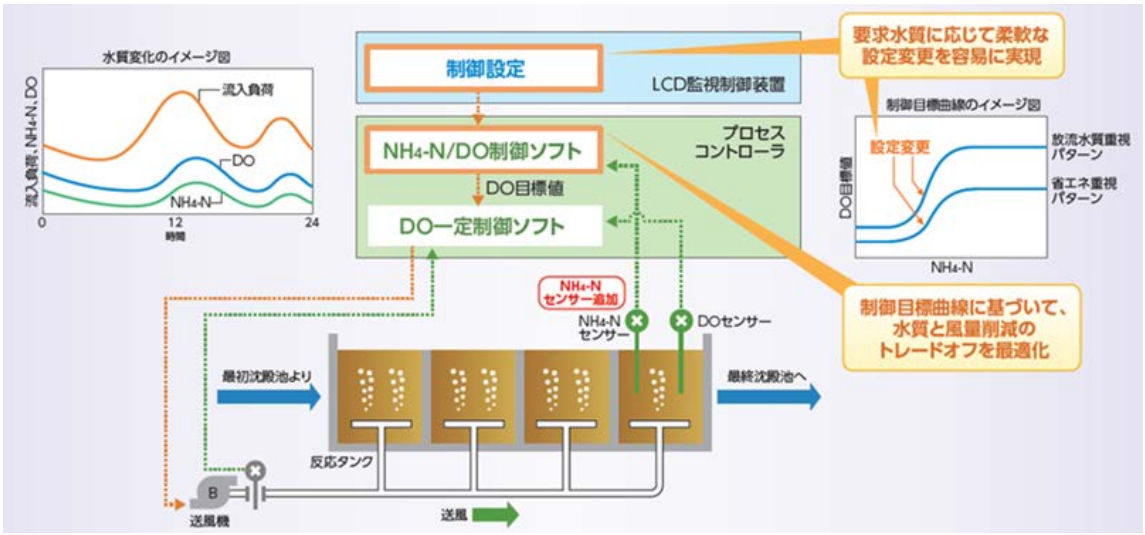


図 2-3　NH_4-N センサーを活用した曝気風量制御（NH_4-N/DO 制御）技術

従来の曝気風量制御方式としては、曝気風量を一定に保つ「送風量一定制御」、曝気風量を流入水量に一定比率を乗じた量とする「送風倍率一定制御」、反応タンク内に DO センサーを設置し、DO 濃度が一定となるように曝気風量を制御する「DO 一定制御」が多くの下水処理施設で採用されている。これらの制御方式では、処理水質を悪化させることなく処理施設の運転を行うためには、送風量、送風倍率、DO 濃度の制御目標値を流入負荷の高い時間帯に

併せて設定する必要があり、負荷の低い時間帯には、過剰な曝気となる場合が多く、送風機の動力費が大きいという課題があった。

これに対し、NH_4-N/DO制御技術は、NH_4-Nの処理状況に応じて、DO制御目標値を増減させることで、従来の曝気風量制御技術と比較し、硝化機能を維持しながら、曝気風量の低減（省エネ）を図ることが可能な技術である。

NH_4-N/DO 制御導入時の日変動の制御イメージ図を DO 一定制御時と対比して、**図 2-4** に示す。DO 一定制御では、流入負荷量に関わらず DO 濃度を一定で運転するのに対し、NH_4-N/DO 制御では、夜間等の流入負荷が低いことにより処理水 NH_4-N 濃度が低くなる時間帯では、低い DO 制御目標値（例えば、0.5mg/L 程度）となるように曝気風量を制御する。この制御動作により、DO 一定制御に比べ、処理水 NH_4-N 濃度は若干高くなるものの、その分曝気風量低減効果を得ることができる。一方で、日中の流入負荷が高く処理水 NH_4-N 濃度が高くなる時間帯では、処理水 NH_4-N 濃度の上昇度合いに応じ、DO 制御目標値を上昇させ、処理水 NH_4-N 濃度を低く抑えるように曝気風量を制御する。この制御動作により、高負荷時間帯においては、DO 一定制御よりも曝気風量が大きくなる場合もあるが、処理水 NH_4-N 濃度のピーク抑制を行い、硝化機能を安定化させる効果が得られる。このような制御動作により、DO 一定制御との比較において、曝気風量低減効果を得ることができる。

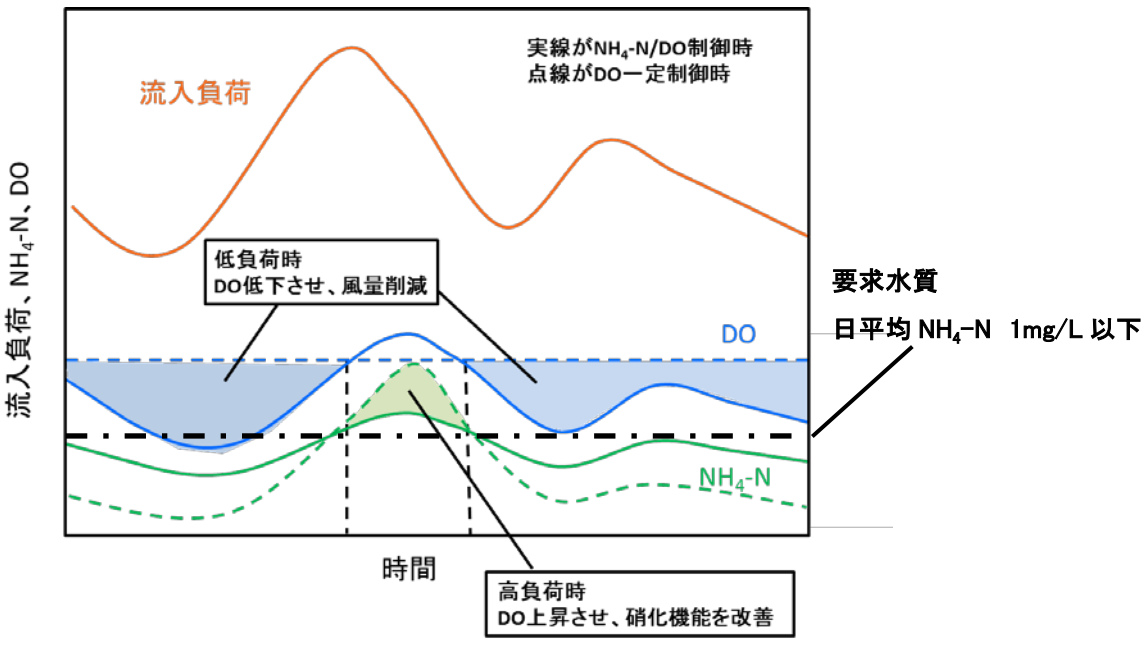


図 2-4　NH_4-N/DO 制御導入時の制御イメージ図（日変動）

NH_4-N/DO 制御技術における NH_4-N センサーの計測値と DO 制御目標値の対応付けは、**図 2-5** に示すような「制御目標曲線」により行う。本例では、DO 濃度目標値の下限を 0.5 mg/L、上限を 3.5 mg/L として、その間で NH_4-N 濃度が高いほど DO 濃度の制御目標値が上昇する曲線が設定されている。曲線の形状は任意に設定でき、赤色の曲線側に近いほど、NH_4-N 濃度の上昇に対する DO の上昇が大きいため、硝化機能の改善（水質）を重視したものとなり、青色の曲線側にいくほど、省エネを重視した曲線となる。このように使用する制御目標曲線の変更により、硝化機能の維持・改善と曝気風量の低減（省エネ）のバランスを考慮した機能設定が可能な技術である。

また、従来技術の DO 一定制御のコントローラと同等の簡単な制御系構成で実現でき、技術導入が容易であるという点も本技術のメリットである。

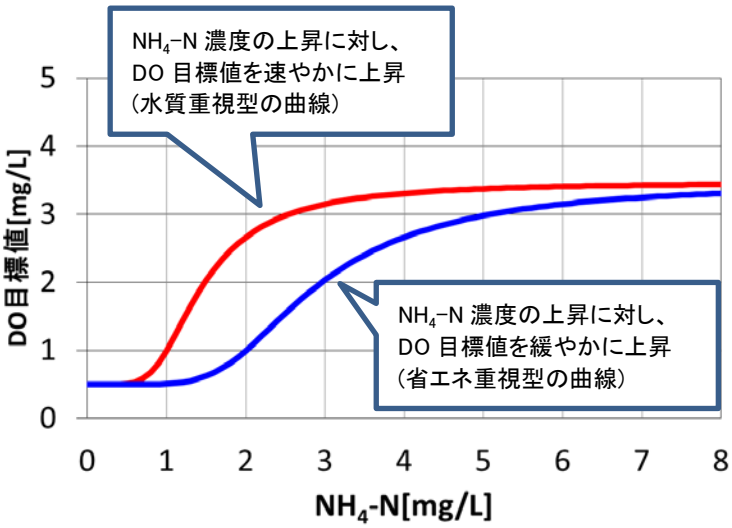


図 2-5　制御目標曲線の設定例

（２）導入効果

NH_4-N/DO 制御技術の導入により得られる効果は、以下のとおりである。

１）硝化機能の維持

NH_4-N の処理状況に応じて DO 制御目標値を増減させることで、曝気風量の適正化により、硝化機能を維持することができる。

２）曝気風量の低減、ならびにそれに伴う消費電力量の削減

従来技術である送風量一定制御、送風倍率一定制御、DO 一定制御と比較して、負荷の低い時間帯における過剰な曝気を抑制することで、曝気風量の低減を図るとともに、送風機動力に係る消費電力量を削減することができる。

§８　制御性能改善技術の概要と特徴

（１）制御性能改善技術は、NH_4-N/DO 制御技術の PID 制御に関連するプロセス監視データを利用して、制御パラメータの妥当性を自動で診断し、最適値を見出すことにより、曝気風量制御の性能を改善する技術である。

（２）本技術により得られる効果は以下の通りである。

・制御性能の安定化

・施設運用の安定化

【解　説】

（１）要素技術の概要

制御性能改善技術は、ポンプやブロワの制御に汎用的に用いられている PID 制御に設定される制御パラメータ（比例ゲイン、積分時間）の良否を診断・改善することにより、制御の安定化を図る技術である。前述のように NH_4-N/DO 制御は、NH_4-N センサーの計測値を基に DO 制御目標値を演算し、その目標値に沿うように PID 制御（DO 一定制御）を実施する。

したがって、PID 制御の制御性能を常に安定的に維持することが、NH_4-N/DO 制御が適切に機能する上で非常に重要な要素となる。制御性能改善技術を組み込んだ曝気風量制御システムの構成と制御性能改善技術による効果のイメージを**図 2-6** に示す。

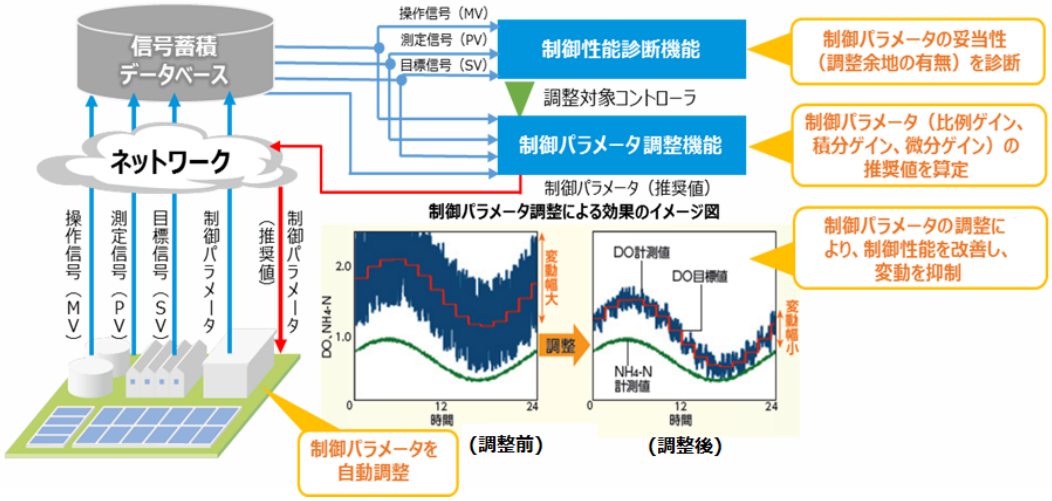


図 2-6　制御性能改善技術

NH_4-N/DO 制御における PID 制御では、DO 濃度の計測値をもとに操作量である曝気風量を決定する。この操作量を決定する上で用いられる係数が制御パラメータであるが、当初の設定からの時間経過や設備更新等により、制御パラメータが処理状況に適合しなくなる恐れがある。

その場合、調整前のイメージ図にあるように、DO 濃度の計測値（青線）が、NH_4-N/DO 制御で設定される DO 濃度の制御目標値（赤線）への追従性が低下し、変動幅が大きくなることで、NH_4-N/DO 制御が要求する DO 濃度を実現できなくなる恐れがある。つまり、NH_4-N/DO 制御による硝化機能の維持および曝気風量の低減に関して十分な効果が得られなくなる。

これに対して制御性能改善技術は、日々変化する反応タンクの状態に応じて、操作信号、測定信号、目標信号のプロセス監視データを利用して、制御性能を診断するとともに、最適な制御パラメータを自動で演算する。そして、この値を NH_4-N/DO 制御における PID 制御に適用することで、調整後のイメージ図にあるように、DO 濃度の計測値（青線）が DO 濃度の制御目標値（赤線）に追従し、変動幅も抑えられるようになり、制御性能を安定化し、NH_4-N/DO 制御の効果を最大限に得られるように支援できる。また、一般に制御性能が低下すると、DO 濃度の制御目標値だけでなく、処理量の変動等にも対応できなくなり、処理水質の悪化等を引起こす可能性があるが、制御性能を改善することでこのような事態を回避する効果も期待できる。

（２）導入効果

制御性能改善技術の導入により得られる効果は下記のとおりである。

１）制御性能の安定化

制御パラメータを改善することで、DO 濃度の制御目標値付近で安定した制御を行うことが可能となる。

２）施設運用の安定化

制御性能が低下して DO 濃度の制御目標値への追従性が低下している場合、処理水質の悪化等を引き起こす可能性がある制御パラメータを改善することで、このような事態を回避することができ、施設の運転がより安定的になる。

§９　多変量統計的プロセス監視（MSPC）技術の概要と特徴

（１）多変量統計的プロセス監視（MSPC）技術は、センサー等で計測される多数のデータ（プロセス監視データ）を利用して、下水処理プロセスで生じる各種の異常兆候と、これに関連するプロセス監視データを検出し、当該異常の要因の推定を支援する技術である。

（２）本技術により得られる効果は以下の通りである。

・プロセスの異常兆候検出による運用上有用な支援情報の提供

・異常兆候検出時の早期対応による曝気風量および電力量増加の回避

【解　説】

（１）要素技術の概要

多変量統計的プロセス監視（MSPC）技術は、**図 2-7** に示すような水処理プロセスで生じると想定される各種の異常の兆候を、プロセス監視データから検出する技術である。ここで、プロセス監視データとは、下水処理施設に導入されている監視制御装置等で定周期で計測されている水質や水量あるいは運転操作に関するデータである。

MSPC 技術を用いたプロセス監視の概念を**図 2-8** に示す。MSPC 技術では、プロセス監視データ間の相関情報を利用して、「Q 統計量」や「T^2 統計量」と呼ばれる異常指標を用いて、異常兆候の発生の有無を監視する。異常兆候を検知すると、統計量への寄与量の大きい変数を抽出し、要因候補となる変数のプロセス監視データを運転管理者に提示し、異常要因の推定を支援する。この仕組みにより、運用上重要な情報を重点的に監視することで、プロセス監視の効率化を図ることができる。

本技術を適用することにより、早期の検出が想定される水処理プロセスの各種異常と、その検出により期待される効果についてまとめたものを**表 2-2** に示す。

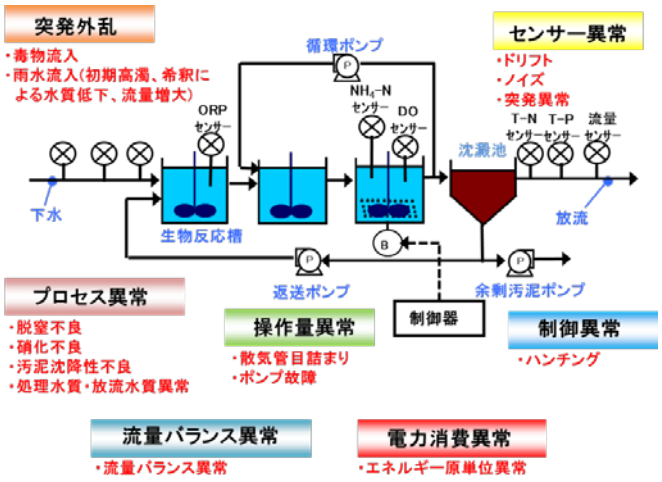


図 2-7　水処理プロセスの各種異常の例

表 2-2　水処理プロセスの各種異常の早期検出により期待される効果

異常の種類	現象	早期検出による期待される効果	実証*
センサー異常	ドリフト	制御センサードリフトに伴う消費電力増加の回避	○
	ノイズ	電磁ノイズ等による制御の不安定化の回避	
	突発異常	制御の不安定化の回避	
制御異常	ハンチング	制御機器（ポンプ，ブロワ等）の劣化の回避 制御の安定化	
操作量異常	散気管目詰まり	目詰まりによる効率低下の回避	○
	ポンプ故障	故障の回避	○
プロセス異常	硝化不良	適切な運用変更による放流水質悪化の回避	
	脱窒不良	適切な運用変更による放流水質悪化の回避	
	汚泥沈降性不良	適切な運用変更による汚泥流出の回避	
	処理水質・放流水質異常	適切な運用変更による放流水質悪化の早期回復	
突発外乱	雨水流入（初期高濁、希釈による水質低下、流量増大）	雨天時運用変更方針の参考情報	
	その他流入異常（毒物流入等）	処理施設の停止リスクの回避	
流量バランス異常	流量バランス異常	適切な水量分配や HRT 設定の参考情報	○
電力消費異常	エネルギー原単位異常	効率的な運用方針の参考情報	○

*実証：実証研究にて、異常シナリオによる検証を行ったものに○印を付した。

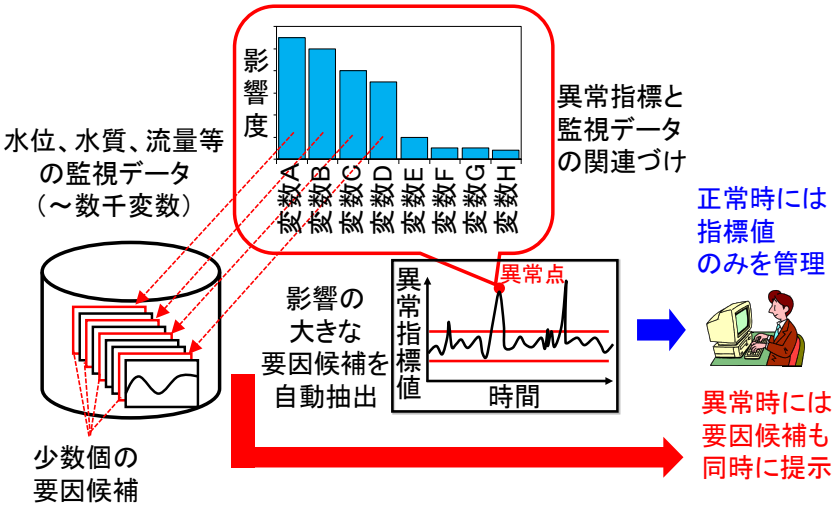


図 2-8　MSPC 技術を用いたプロセス監視の概念図

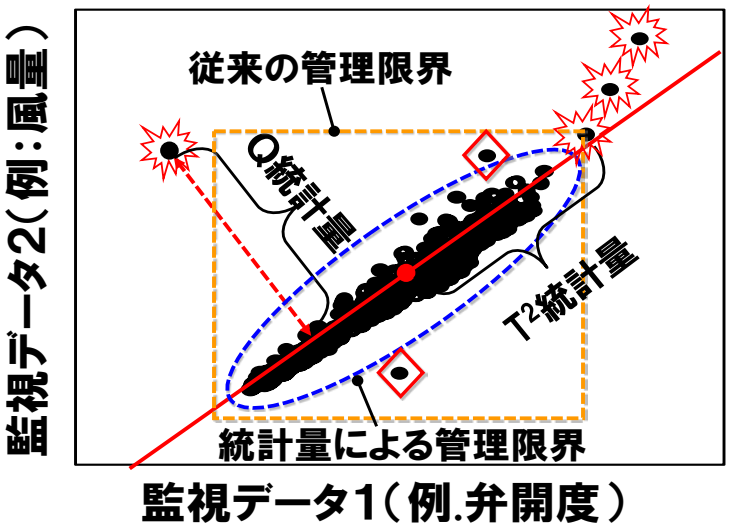


図 2-9　MSPC 技術によるプロセス異常診断の原理の概念図

図 2-9 は、MSPC 技術によるプロセス異常診断の原理を模式的に示したものである。従来の監視制御装置では、水質や水量等のプロセス監視データに個別のしきい値（管理限界）を設定して、異常の有無を判断している。一方、本技術では、各変数間の相関を利用し、相関軸からのずれを表す Q 統計量と、相関軸上の中心からのばらつきを表す T^2 統計量の 2 つの異常指標により異常兆候の有無を判断する。**図 2-9** の点線の四角の外が従来のシステムで検出できる異常、点線の楕円の外が MSPC 技術で検出できる異常である。図中◇印で示したような異常は、変数間の相関を利用することによって初めて検出できる異常であり、従来のシステムでは管理限界内にある軽微な段階で異常兆候を検出できることがわかる。**図 2-9** は 2 変数の場合の模式図であるが、3 変数以上の多変数であっても、主成分分析という多変量解析手法を用いることにより、Q 統計量と T^2 統計量の 2 つの指標で異常を検出できる。また、これらの統計量はプロセス監視データから合成しているため、異常兆候検出時に各変数が統計量に与える影響度（寄与量）を逆算することにより、異常兆候の要因となった変数を推定できる。

（２）導入効果

MSPC 技術の導入により得られる効果は下記のとおりである。

１）プロセスの異常兆候検出による運用上有用な支援情報の提供

運転管理者は、各々のプロセス監視データの管理限界到達前にプロセスの異常兆候を知ることができ、リスクの顕在化や非効率な運用を事前に回避し、施設運用を改善するための対応をとることができる。

２）異常兆候検出時の早期対応による曝気風量および電力量増加の回避

NH_4-N/DO 制御と併用することで、センサー、コントローラ、操作量等の異常に伴う曝気風量や電力量の増加を回避し、NH_4-N/DO 制御の導入効果の維持を支援することができる。例えば、センサーのドリフトを本技術により早期に検出し、センサーの洗浄等の対応を適切に行うことで、ドリフトを放置することによる曝気風量と電力量の増加を回避できる。また、センサー等の機器の点検頻度を低減し、保守費等の維持管理費の低減を図ることができる。

§10　技術の適用条件

本技術の適用条件、適用対象、推奨条件は以下の通りである。

（１）適用条件

本技術は、以下の条件全てに該当する下水処理場へ適用可能である。

① 水処理方法として活性汚泥法を採用している。

② 反応タンクにおいて硝化促進運転が可能である。

③ 反応タンクにおける曝気風量の低減により送風機動力の低減が可能である。

（２）本ガイドラインにおける適用対象

本ガイドラインでは、原則として標準活性汚泥法を採用している下水処理場への適用を想定する。

（３）推奨条件

本技術の導入効果および導入コストは、対象施設の規模や運転方法等の条件により大きく異なることから、以下の推奨条件を示す。

① 導入効果が大きくなる条件

② 導入コストが相対的に小さくなる条件

【解　説】

本技術の導入効果は、下水処理場における現在の施設状況や運転状況、また地方公共団体における管理体制等によって異なるため、「適用条件」を満たすことを基本とし、その中でも導入効果が高くなることが予想される「推奨条件」を満たす施設においては、積極的に本技術の導入を図る。

（１）適用条件

本技術は、以下の条件全てに該当する下水処理場へ適用可能である。

①　水処理方法として活性汚泥法を採用している。

本技術は、活性汚泥法における反応タンクの曝気風量を自動で制御するものである。したがって適用対象は、水処理方法として活性汚泥法を採用する施設に限定する。

②　反応タンクにおいて硝化促進運転が可能である。

本技術は、水処理における硝化機能を維持することを目的の一つとしているため、反応タンクにおいて硝化促進運転が可能である施設を適用対象とする。

③反応タンクにおける曝気風量の低減により送風機動力の低減が可能である。

本技術は、曝気風量の最適化により、送風機動力の低減を図るものであるが、送風機・送風系統や散気装置の特性によっては、曝気風量が低減したとしても、送風機動力の削減に繋がらない場合もある。例えば、曝気風量の調整を、送風機の風量制御と連動させずに、風量調節弁開度のみで行っている場合には、直接送風機動力の削減に繋がらないこととなる。したがって、曝気風量の低減により、送風機動力の低減が可能である設備や特性を備えていることが適用条件となる。

なお、効果の観点を除けば、施設規模についても特に限定することなく適用することが可能である。また、リモート診断技術に関しての適用条件に特段の制約は無く、NH_4-N/DO 制御等に関連する一連の信号を監視制御装置に取り込むことで、適用可能である。

しかしながら、実際に本技術の導入を進める上では、導入効果や導入コストの視点が必要となる。そこで、本技術を導入するための推奨条件を後述する。

（２）本ガイドラインにおける適用対象

前述の通り、本技術は硝化を行う各種活性汚泥法に汎用的に適用可能であるが、実証研究では標準活性汚泥法への導入を想定した実証試験を実施したことから、本ガイドラインでは適用対象として標準活性汚泥法を採用している下水処理場を想定する。

このため、その他の処理方法（各種高度処理方法を含む）への適用を検討する場合には、システム構成、設備仕様、導入効果･コスト等に関して、本ガイドラインで提示する事例や諸元値等が必ずしもそのまま使用できない点に留意する必要がある。

（３）推奨条件

本技術の導入効果および導入コストは、対象施設の規模や運転方法等の条件に応じて、大きく変化する。

そこで、原理的に、本技術の導入効果が高くなる、もしくは導入コストが小さくなる条件を推奨条件として、以下に示す。

①導入効果が大きくなる条件

１）硝化機能の維持が必要であるが、現時点で硝化機能が不安定な下水処理場

本技術は、反応タンクの NH_4-N 濃度に応じた曝気風量制御を行うことから、処理水の N-BOD 対策や窒素濃度低減のために硝化機能の維持や安定化を図りたい下水処理場に対して、導入効果が期待できる。

２）送風機の運転や制御方法の最適化が不十分で、エネルギー削減余地が大きいと想定される下水処理場

本技術は、反応タンクの NH_4-N 濃度に応じて曝気風量制御の最適化を図る技術であることから、当該下水処理場において、送風機の運転や制御方法の最適化が不十分な場合には、エネルギー削減余地があるものと想定される。

例えば、送風量一定制御での運転を行っている場合には、処理水質が悪化しないように流入負荷の高い時間帯に合わせて曝気風量の設定が行われることが多く、その場合には流入負荷が小さい時間帯の曝気風量が過大になる。このように過大となっている曝気風量が多いほど、本技術による曝気風量の低減効果が大きくなり、高い省エネ化効果を期待することができる。

３）曝気風量の低減量に対し、送風機動力の低減量が大きい送風機、及び送風機の風量調整方法を採用している下水処理場

本技術は、曝気風量の低減を目的とした曝気風量制御技術であるため、曝気風量の低減量に対する送風機動力の低減量が大きい下水処理場で導入効果が高い。

曝気風量の低減量に対する送風機動力の低減量は送風機の動力特性と風量調整方法により決まる。一般的には、風量調整方法としては、インバータ制御＞インレットベーン制御＞吐出弁のダンパー制御の順に省エネ効果が高いため、インバータ制御方式、インレットベーン制御方式を採用している下水処理場の方が高い省エネ効果を期待することができる。

②導入コストが相対的に小さくなる条件

１）施設規模や 1 池あたりの処理量が大きく、一括での制御範囲を広く取ることが可能な下水処理場

本技術の導入にあたっては、NH_4-N センサーの追加、監視制御装置やコントローラ等の改造が必要となるが、同一の追加・改造内容に対して、施設規模や１池あたりの処理量が大きく、一括での制御範囲を広く取ることができれば、多くの消費電力量の削減効果を得ることができ、導入コストが相対的に小さくなる。

２）維持管理体制（人員）の縮小を要する下水処理場もしくは地方公共団体、また管理する下水処理場数が多い地方公共団体

広域化の進展等により、管理する下水処理場数が増加する一方で、維持管理体制（人員）の縮小を要する場合には、複数の下水処理場を効率的に管理することが必要なる。本技術のうち、リモート診断技術については、リモート側から複数の下水処理場に対して提供できることから、リモート側の設備にかかる建設コストを１施設あたりの導入費用としてみた場合には、一括管理する下水処理場が増えることにより、導入コストが相対的に小さくなる。

§11　導入シナリオ例

本技術が導入される典型的なケースとして、四つのシナリオ例を示す。

（１）既設へ本技術を単独で導入して、省エネ化や硝化の安定化を図る場合

（２）散気装置や送風機等の既設更新時に一括で導入して、総合的に省エネ化を図る場合

（３）系列の増設時に一括で導入して、総合的に省エネ化を図る場合

（４）将来的な集約管理を想定して、本技術を段階的に導入する場合

【解　説】

本技術の導入が有効と考えられる典型的なシナリオ例を以下の（１）～（４）に示す。また、それぞれの導入イメージを**図 2-10～13** に示す。

（１）既設へ本技術を導入して、省エネ化や硝化の安定化を図る場合

現在、既に稼働している下水処理場においては、一部または全ての系列へ本技術を追加で導入することで、当該水処理施設の省エネ化や硝化の安定化を図ることが可能である。この場合には、NH_4-N センサーおよびリモートサーバ設備の追加設置、監視制御装置およびコントローラの改造により導入することが可能であり、他の工事に拠らず、本工事のみを対象にした短い工期で導入することが可能である。

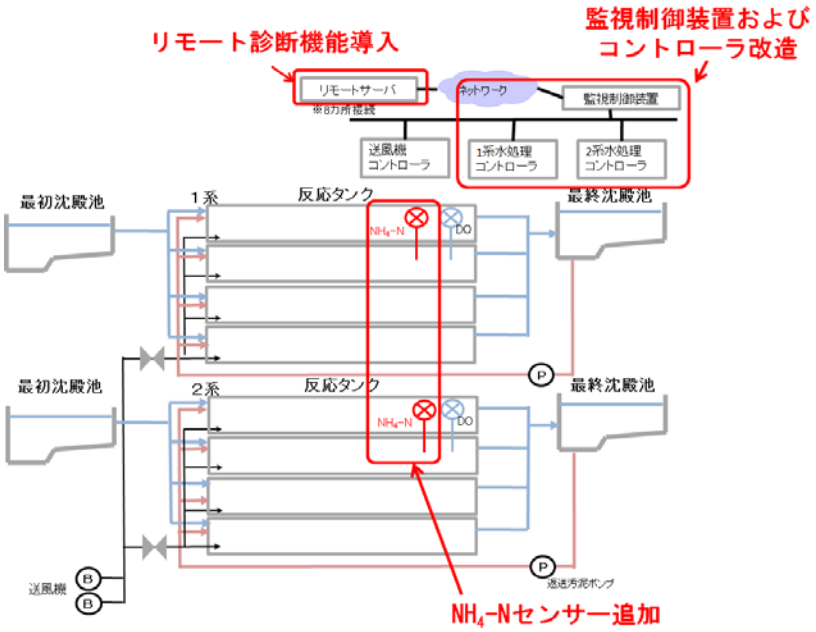


図 2-10　導入シナリオ（１）の導入イメージ

（２）散気装置や送風機等の更新時に一括で導入して総合的に省エネ化を図る場合

稼働中の下水処理場において、散気装置や送風機の更新が予定されている場合には、当該更新工事と合わせて本技術を導入することにより、総合的に水処理施設の省エネ化を図ることが可能である。

機械設備の更新工事では、関連する電気設備の改造も発生することから、このタイミングで本技術を導入することができれば、（１）の導入シナリオ例のように本技術を単独で導入するケースと比較して、本技術の導入に係る工事費の低減を図ることができる。

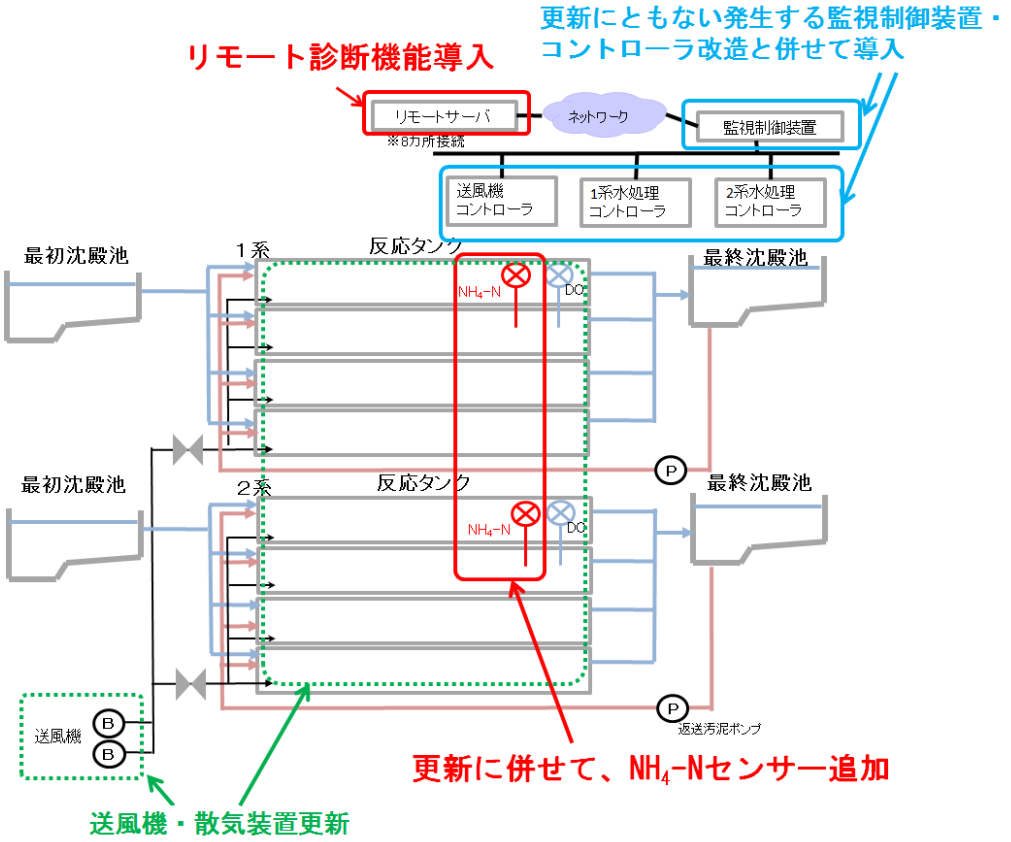


図 2-11　導入シナリオ（２）の導入イメージ

（３）水処理施設の新増設時に一括で導入して総合的に省エネ化を図る場合

現在、既にいくつかの水処理系列が運用されており、流入量の増大にともない、新たな水処理系列の増設が予定されている下水処理場では、系列の増設と合わせて本技術を導入することにより、総合的に水処理施設の省エネ化を図ることが可能である。

系列の増設が予定されている場合には、計画当初から本技術の導入を組み入れておくことにより、本技術の効率的な導入が可能である。この場合には、既に運用が行われている系列についても、その影響について検討する必要があり、場合によっては、前述の（１）、（２）の導入シナリオ例と同様の対応も合わせて実施することを考慮する必要がある。

また、新設の下水処理場に導入する場合も、その計画の当初から本技術の導入を組み入れておくことにより、本技術の効率的な導入が可能である。

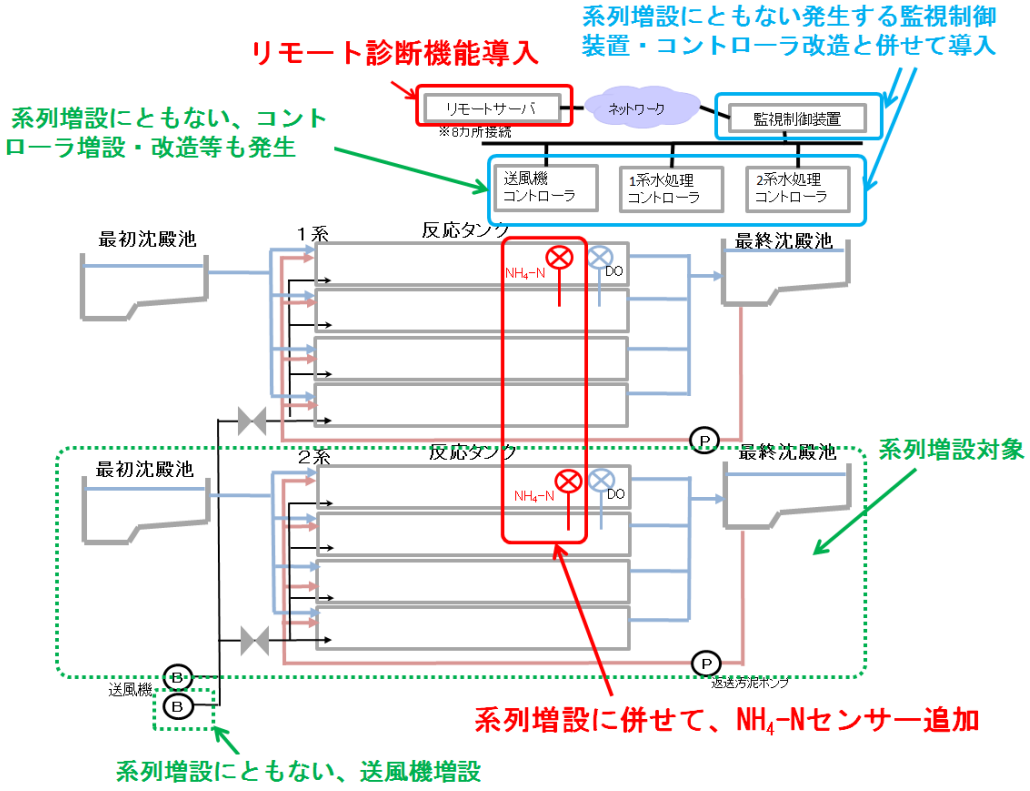


図 2-12　導入シナリオ（３）の導入イメージ

（４）将来的な集約管理を想定して、本技術を段階的に導入する場合

前述の（１）～（３）の導入シナリオ例のように、本技術を一括で導入できればよいが、リモート診断技術である制御性能改善技術および MSPC 技術については、地方公共団体において策定されている ICT 活用に関する計画や維持管理方針に関する計画等により、必ずしも同時に導入することが得策でないことが想定される。また、導入時のコスト面での制約により、同時に導入することができないことも想定される。

そこで、前述の（１）～（３）のような導入シナリオ例において、まず NH_4-N/DO 制御技術を反応タンクに導入し（一部系列への先行的な導入も含む）、その後、地方公共団体においてリモート診断技術を導入するためのデータセンター等の計画が整った段階で、制御性能改善技術および MSPC 技術を導入するケースが想定される。

NH_4-N/DO 制御技術を先行して導入することで、硝化機能の維持効果や省エネ効果を迅速かつ低コストで得ることができる一方で、適切なタイミングでリモート診断技術を導入することにより、更なる効果を得ることが期待できる。

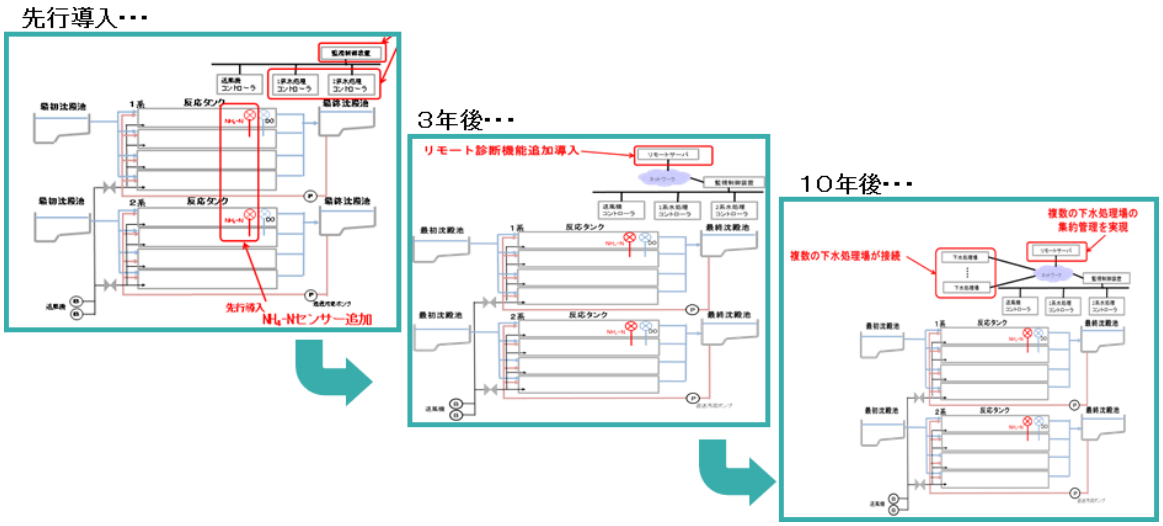


図 2-13　導入シナリオ（４）の導入イメージ

（補足）

各診断技術については、リモート側で実現することとしているが、技術的には現場側の監視制御装置内で実現することも可能である。

リモート診断技術のメリット・デメリットを、現場側の監視制御装置内で実現した場合と比較して整理したものを**表 2-3** に示す。

表 2-3　リモート診断技術のメリット・デメリット

項目	メリット	デメリット
維持管理性	・複数の下水処理場等の診断機能をリモート側でまとめて実現することができる。 ・複数の下水処理場等の情報を集約管理することができる。	・診断周期は、現場側で行うよりも長くなるため、その診断周期未満で診断が必要な異常事象については検知することが難しい。
コスト	・リモート側に接続する下水処理場等が多くなることにより、現場側の省力化を図ることができる。	・通信費、プロバイダ費に関する費用が継続して発生する。
その他	・現場側に影響を与えることなく、診断機能を導入することが可能となる。	・診断周期が長くなるため、現場での確認が遅れる。

表 2-3 より、各診断技術をリモート側で実現することは、診断周期や継続的な費用の発生等のデメリットがあるものの、複数の下水処理場等の情報を集約し、診断を行うことができ、また**§6 技術の概要と特徴**で解説したように総合的に低コストで導入することができる、といったメリットが大きいことから、本ガイドラインでは、リモート側に設置することを想定する。

第２節　実証研究に基づく評価の概要

§12　技術の評価項目

実証研究に基づく本技術の評価項目を以下に示す。

（１）硝化機能の維持効果

（２）曝気風量低減効果

（３）電力量削減効果

（４）温室効果ガス削減効果

（５）コスト面での導入容易性（経済性）

【解　説】

本技術の性能を定量的に評価するにあたり、本実証研究では、（１）硝化機能の維持効果、（２）曝気風量低減効果、（３）電力量削減効果、（４）温室効果ガス削減効果、（５）コスト面での導入容易性(経済性)、という評価項目を設定し、これらの項目について評価を行った。

このうち、評価項目の（１)、（２）については、本実証研究における実証試験結果に基づき、日平均処理水 NH_4-N 濃度および曝気風量低減率を指標として評価を行った。

また、（３）～（５）の試算にあたっては、**表 2-4** および**図 2-14**～**図 2-16** に示す３通りの処理規模の仮想の下水処理場を想定し、その条件により、本実証における運転データや評価結果等をもとに、本技術一括導入時（**§11　導入シナリオ例**（１）の条件）の削減電力量、温室効果ガス削減量、経費回収年、について試算を行った。

表 2-4　本技術の評価における試算条件

区分	項目	条件１	条件２	条件３	備考
対象施設の既設条件	流入下水量	10,000m³/日(日最大) 8,000m³/日(日平均)	50,000m³/日(日最大) 40,000m³/日(日平均)	100,000m³/日(日最大) 80,000m³/日(日平均)	国土交通省国土技術政策総合研究所より提示された試算条件
	水処理方法	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法	
	従来制御方式	送風量一定制御、 DO 一定制御	送風量一定制御、 DO 一定制御	送風量一定制御 DO 一定制御	
	送風倍率	14.2 倍	13.5 倍	11.9 倍	
	水処理系列数	2 系列	2 系列	4 系列	
	送風機型式	ルーツブロワ	鋳鉄製多段 ターボブロワ	鋳鉄製多段 ターボブロワ	
	送風機台数	2 台	2 台	4 台	
	風量調節機構	インバータ制御 ／台数制御	インレットベーン 制御／台数制御	インレットベーン 制御／台数制御	
	軸動力／送風量比	1.064	0.79	0.81	
	散気装置型式	散気板	散気板	散気板	
	各系列における池数	2 池	4 池	2 池	
	DO センサー台数	2 台 （各系列に 1 台）	2 台 （各系列に 1 台）	4 台 （各系列に 1 台）	
	返送汚泥系統数	2 系列	2 系列	4 系列	
本技術の導入条件	NH_4-N センサー台数	2 台	2 台	4 台	上記試算条件に基づいて、共同研究体にて設定
	水処理コントローラ数	2 台	2 台	4 台	
	監視制御装置台数	1 台	1 台	2 台	
	リモートサーバへの接続機場数	8 カ所	8 カ所	8 カ所	

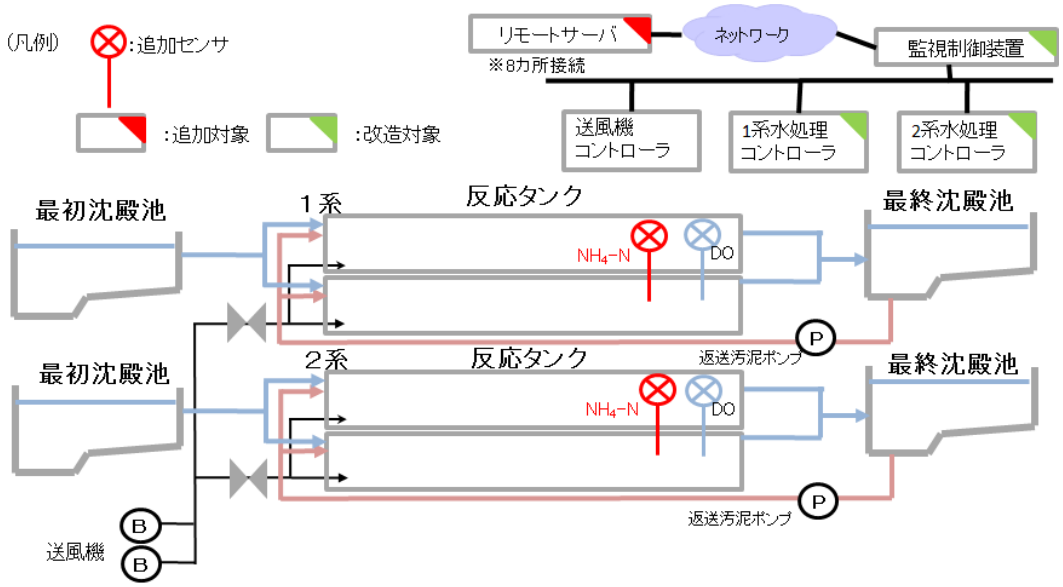


図 2-14　試算条件 1（処理量：10,000m³/日）で想定するフローおよびシステム

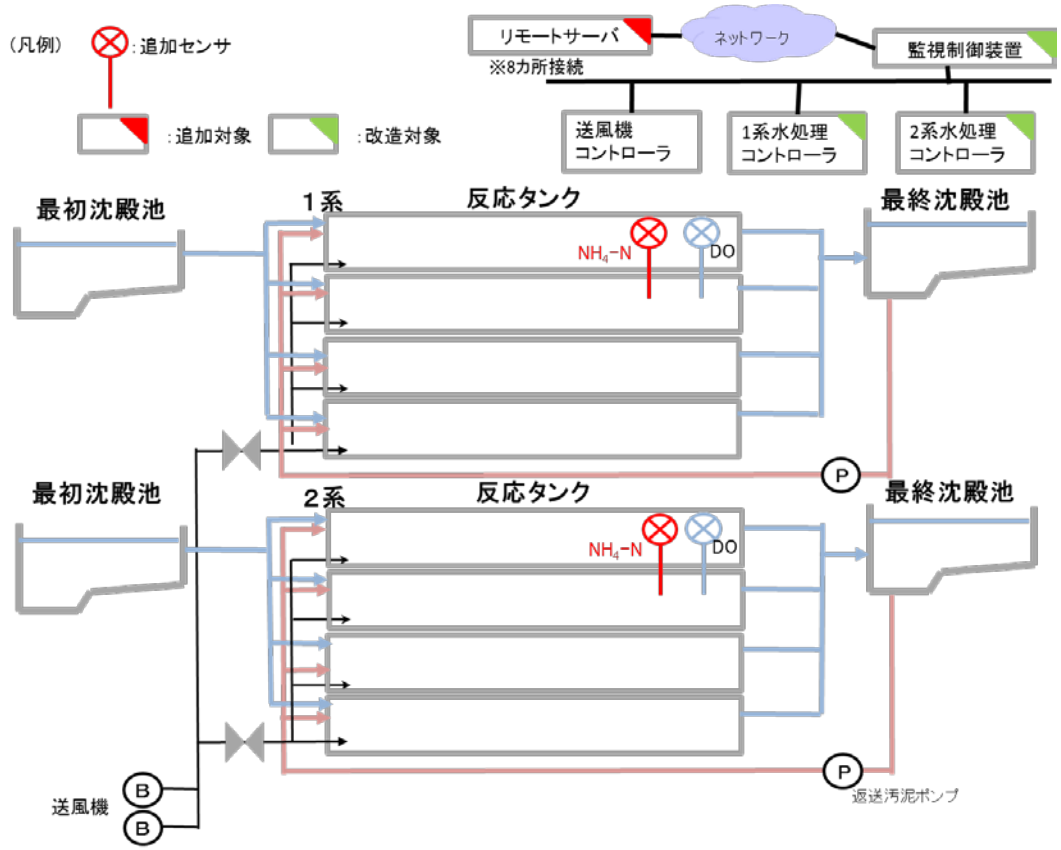


図 2-15　試算条件 2（処理量：50,000m³/日）で想定するフローおよびシステム

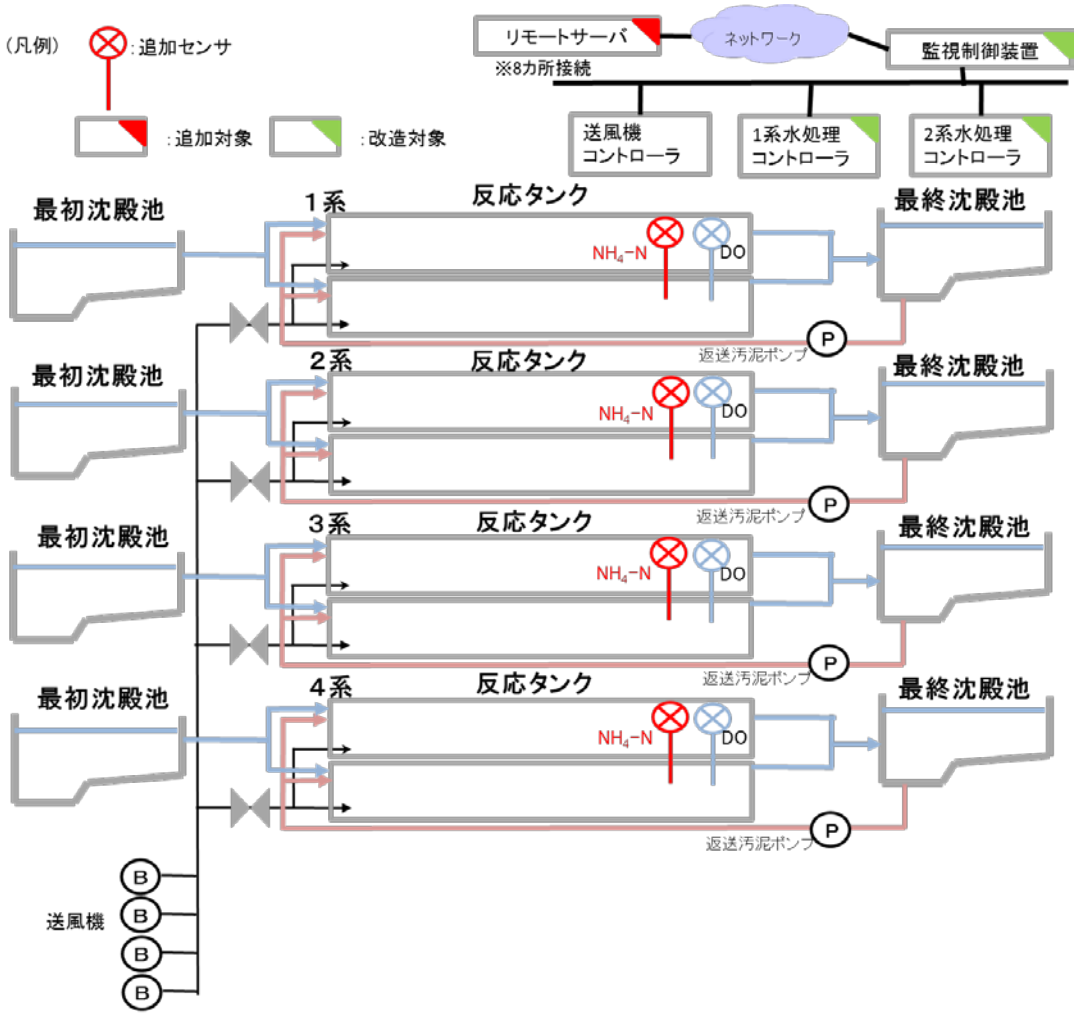


図 2-16　試算条件 3（処理量：100,000m³/日）で想定するフローおよびシステム

§13　技術の評価結果

実証研究に基づく本技術の評価結果を以下に示す。

（１）硝化機能の維持効果

（２）曝気風量低減効果

（３）電力量削減効果

（４）温室効果ガス削減効果

（５）コスト面での導入容易性（経済性）

【解　説】

まず、実証研究における実証試験結果に基づく評価項目である、（１）硝化機能の維持効果、および（２）曝気風量低減効果について、日平均処理水 NH_4-N 濃度および曝気風量低減率を指標として、その評価を行った。

また、（３）電力量削減効果、（４）温室効果ガス削減効果、および（５）コスト面での導入容易性（経済性）については、**表 2-4** に示した 3 つの処理規模の仮想の下水処理場を想定した試算条件をもとに、本技術単独導入時（**§11　導入シナリオ**（１）の条件）の削減電力量、温室効果ガス削減量、経費回収年、について試算を行った。

これらの評価結果、試算結果について以下に説明する。

なお、本結果の詳細については、**資料編　２．ケーススタディ**に記載しているので、参照されたい。

（１）硝化機能の維持効果

実証研究期間における硝化機能の維持効果についてまとめたものを**図 2-17** に示す。ここでは、NH_4-N/DO 制御において、制御目標曲線として省エネ重視型曲線を適用し、年間の評価を行った結果を示す。なお、実証研究において使用した制御目標曲線を**図 2-18** [4]に示す。

本評価では、反応タンクに設置した NH_4-N センサー計測値を使用したが、実証研究期間中のデータから、「硝化機能の維持効果」としての目標処理水質（最終沈澱池流出水の日平均 NH_4-N 濃度 1mg/L）に相当する NH_4-N センサー値の日平均値が 1.5mg/L であったことから、この NH_4-N センサー値の日平均値 1.5mg/L 以下を目標として、その評価を行った。

年末・年始期間である「期間 I」で、反応タンク NH_4-N センサー計測値が 1.5mg/L 以上となり、目標値を超過したが、それ以外の期間については、目標を達成することができた。評価指標の処理水の日平均 NH_4-N 濃度目標値達成率は、91.9%であった。

したがって、年末・年始の高負荷期間を除いて、硝化機能の維持効果を確認することができた。

[4] 制御目標曲線の名称（曲線○）については、実証研究期間中に使用していた名称で記載している。なお、平成 26 年度の実証研究では、曲線２という別の曲線での運転を行った。

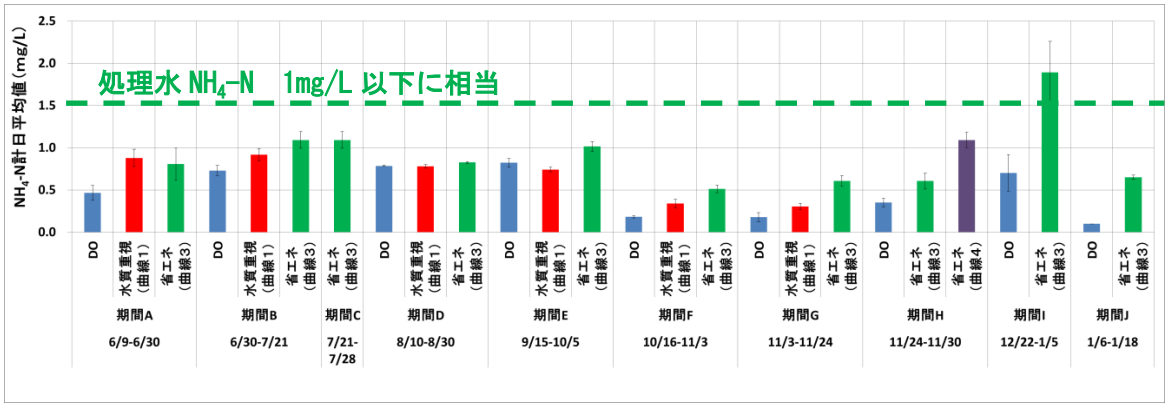


図 2-17　硝化機能の維持効果の評価結果

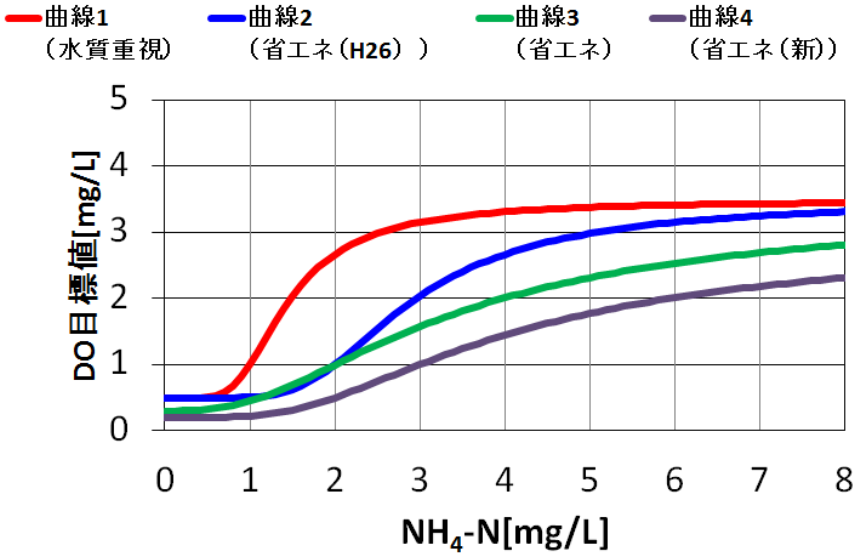


図 2-18　実証試験で使用した制御目標曲線

（２）曝気風量低減効果

実証研究期間における曝気風量低減効果として、ここでは、NH_4-N/DO 制御において、制御目標曲線として省エネ重視型曲線、および水質重視型曲線を適用し、それぞれの曲線について、年間の評価を行った結果を示す。

曝気風量低減率の評価結果を**図 2-19** に、水質重視型曲線（曲線１）、省エネ重視型曲線（曲線３）の各々について算出した曝気風量低減率の平均値と標準偏差を**表 2-5** に示す。

曝気風量低減率については制御有効時間帯[5]で評価を行ったが、曝気風量低減率の平均値は、水質重視型曲線の場合で 6.4%、省エネ重視型曲線の場合で 10.3%であった。また、新省エネ重視型曲線（曲線４）を設定した期間に関しては、13.3%の曝気風量低減率を達成でき、制御目標曲線の設定により、更なる省エネルギー効果が得られる可能性が示された。

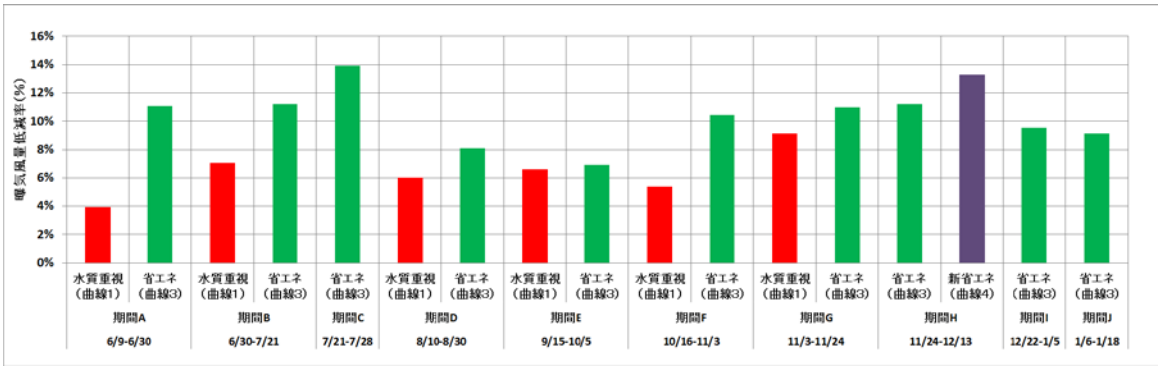


図 2-19　曝気風量低減率の評価結果（性能評価期間）

表 2-5　制御目標曲線別の曝気風量低減率の平均値と標準偏差

評価	水質重視（曲線１）		省エネ重視（曲線３）	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
曝気風量低減率	6.4%	1.7%	10.3%	2.2%

[5] 曝気風量が制御下限値とならず、NH_4-N/DO 制御の出力値である DO 目標値に DO 計測値が追従し、制御が有効に機能している時間帯のこと。

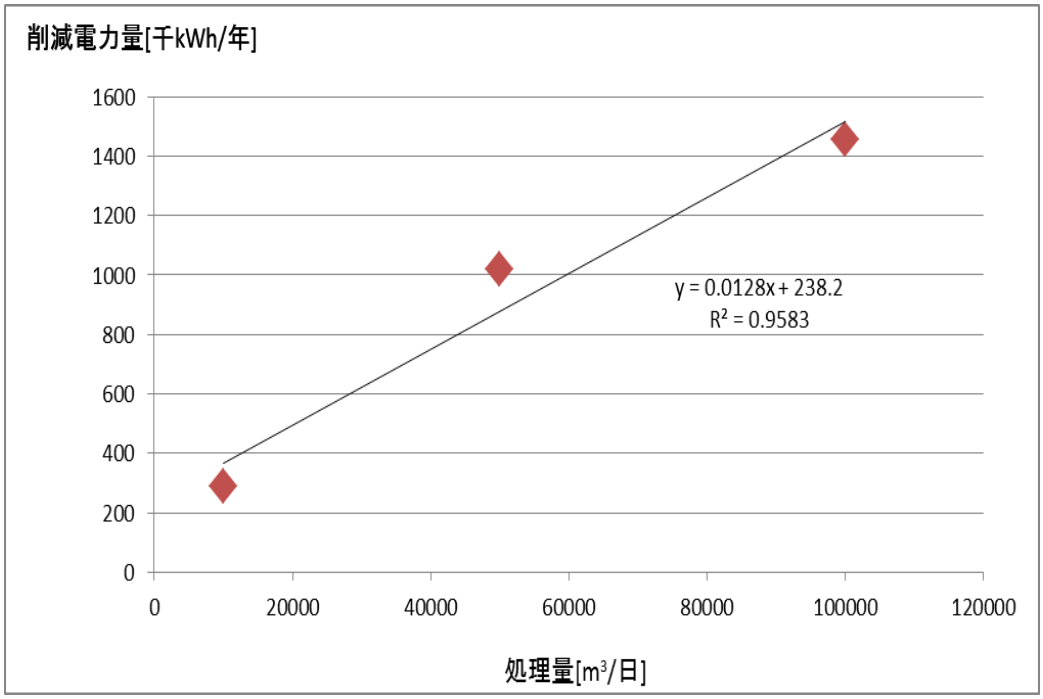
（３）電力量削減効果

電力量削減効果の評価指標として、削減電力量の算出を行った。**表 2-4** に示した 3 つの処理規模の仮想の下水処理場を想定して、従来技術を送風量一定制御、DO 一定制御として、各条件の試算結果をまとめたものを**表 2-6** に示す。また、削減電力量の試算結果をグラフにしたものを**図 2-20** に示す。

表 2-6 各条件における削減電力量の試算結果

	条件１（処理能力 10,000m³/日）	条件２（処理能力 50,000m³/日）	条件３（処理能力 100,000m³/日）
削減電力量［千 kWh/年］（従来技術：送風量一定制御）	289.1 (30.4%)	1,016.9 (23.0%)	1,456.4 (18.8%)
削減電力量［千 kWh/年］（従来技術：DO 一定制御）	65.7 (9.04%)	315.7 (8.49%)	726.4 (10.3%)

*（　）内の数値は削減率



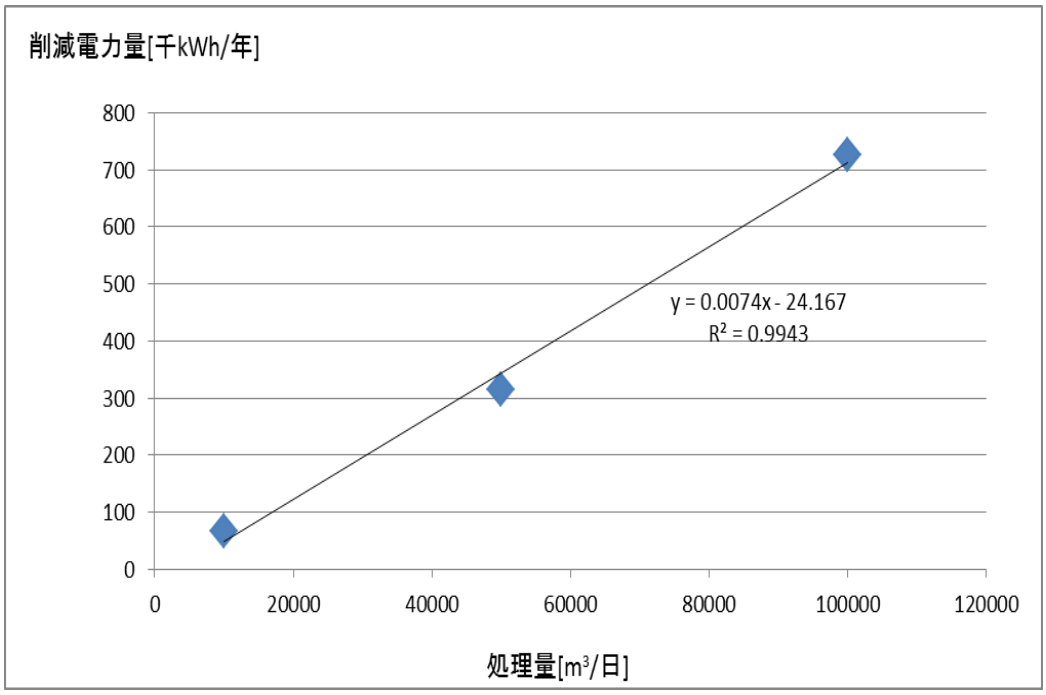


図 2-20　削減電力量の試算結果（上：従来技術送風量一定制御、下：同 DO 一定制御）

（４）温室効果ガス削減効果

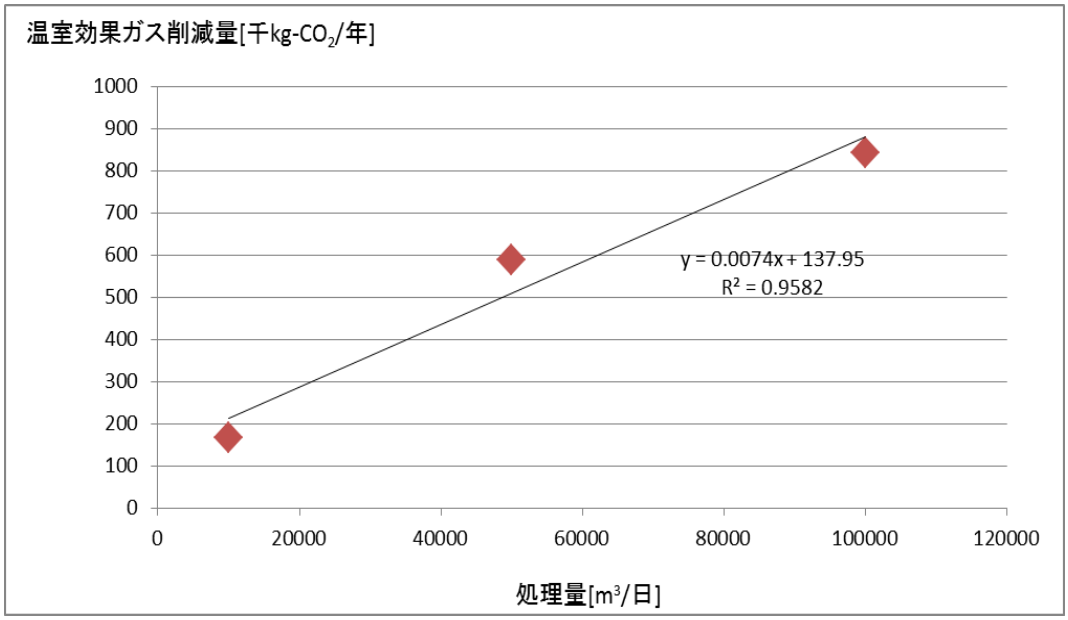
温室効果ガス削減効果の評価指標として、**表 2-4** に示した 3 つの処理規模の仮想の下水処理場を想定して、温室効果ガス削減量の算出を行った。温室効果ガスの対象は、二酸化炭素（CO_2）のみとし、削減電力量を CO_2 排出係数（0.579kg-CO_2/kWh[6]）により CO_2 換算して、算出した。**表 2-4** に示した 3 つの処理規模の仮想の下水処理場を想定して、従来技術を送風量一定制御、DO 一定制御として、各条件の試算結果をまとめたものを**表 2-7** に示す。また、温室効果ガス削減量の試算結果をグラフにしたものを**図 2-21** に示す。

表 2-7 各条件における温室効果ガス削減量の試算結果

	条件１（処理能力 10,000m³/日）	条件２（処理能力 50,000m³/日）	条件３（処理能力 100,000m³/日）
温室効果ガス削減量［千 kg-CO_2/年］（従来技術：送風量一定制御）	167.4（30.4%）	588.8（23.0%）	843.2（18.8%）
温室効果ガス削減量［千 kg-CO_2/年］（従来技術：DO 一定制御）	38.0（9.04%）	182.8（8.49%）	420.6（10.3%）

*（　）内の数値は削減率

6　他人から供給された電気の使用に伴う CO_2 排出係数。
電力会社別の排出係数については、算定省令に定める値を下回るものを環境大臣・経済産業大臣において公表することとされており、その値を用いることができる。
なお、自らが消費している電気の排出係数がわからない場合等は、政令又は算定省令で定められた値である 0.561 t-CO_2/千 kWh（平成 22 年 3 月改正「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」）を一般的に使用できる排出係数として用いることができる。



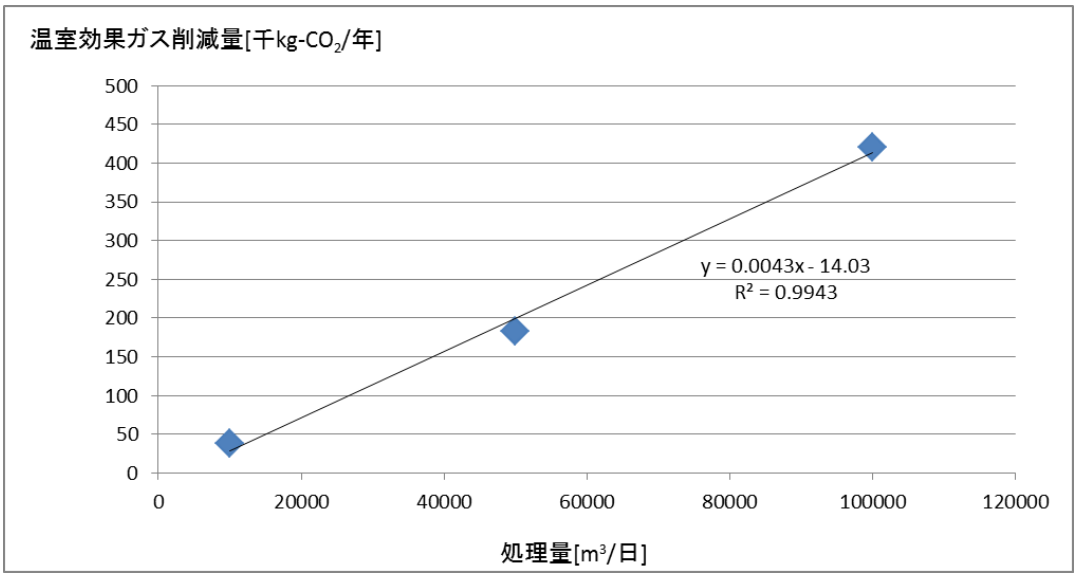


図 2-21　温室効果ガス削減量の試算結果（上：従来技術送風量一定制御、下：同 DO 一定制御）

（５）コスト面での導入容易性（経済性）

コスト面での導入容易性（経済性）の評価指標として、経費回収年の算出を行った。そのために、本技術の導入に伴う建設コスト、維持管理コスト、削減電力費を算出し、これらの費用から経費回収年を算出した。なお、これらの算出にあたり、**表 2-4** に示した 3 つの処理規模の仮想の下水処理場を想定して、想定した従来技術は、送風量一定制御とした。

建設コストについては、リモートサーバに関わる構築コストを接続機場数で案分したコストを、維持管理コストについては、リモートサーバに関わる維持管理コストを案分したコスト、およびリモート診断機能の活用により、NH_4-N/DO 制御として低減される維持管理コストを、それぞれ加味して算出した。また、経費回収年は、建設コストを、削減電力量から維持管理コストを差し引いた値で割ることで算出した。

建設コスト、維持管理コスト、削減電力費に含まれる項目は、**表 2-8** のとおりである。

なお、DO センサーについては既設であるものとし、同センサーに係る費用については、本試算では含めないものとする。

表 2-8　建設コスト、維持管理コスト、削減電力費に含む内容

項目	項目名称	定義	左記項目に含む内容	備考
建設コスト	NH_4-N/DO 制御技術導入費	NH_4-N/DO 制御技術の導入に関する追加の建設費	・NH_4-N センサー費用 ・コントローラ改造費 ・監視制御装置改造費 ・計装盤改造費 ・工事作業費 ・現地調整作業費	**図 2-22**、**図 2-24**、**図 2-26** における項目Ｄに該当
	リモート診断技術導入費	リモート診断技術の導入に関する追加の建設費	・リモートサーバ構築費 ・リモートサーバ側初期設定費	同項目Ｅに該当
維持管理コスト	NH_4-N/DO 制御技術に関する維持管理費	NH_4-N/DO 制御技術の運用に関する追加の維持管理費	・NH_4-N センサー電極交換費、メーカー点検費 ・NH_4-N センサーメンテナンス費 ・制御パラメータ調整費	同項目Ｂに該当
	リモート診断技術に関する維持管理費	リモート診断技術の運用に関する追加の維持管理費	・リモート診断機能に関わる通信費 ・リモート診断機能に関わる維持管理費	同項目Ｃに該当
	リモート診断技術による維持管理費低減額	NH_4-N/DO 制御技術に関する維持管理費のうち、リモート診断技術の導入による低減額	・NH_4-N/DO 制御に関して低減される維持管理費（センサーメンテナンス） ・リモート診断機能により削減される維持管理費（NH_4-N/DO 制御の制御パラメータ調整作業）	
削減電力費	削減電力費	従来技術を送風量一定制御とした場合の削減電力費	・送風機に関する削減電力費	同項目Ａに該当

それぞれの算定にあたっては、以下のケースを想定した。

ケース①：NH_4-N/DO 制御のみを導入する場合

ケース②：3 つの技術を組み合わせた技術を導入する場合（リモートサーバに接続する下水処理場数は１カ所）

ケース③：3 つの技術を組み合わせた技術を導入する場合（リモートサーバに接続する下水処理場数は８カ所）

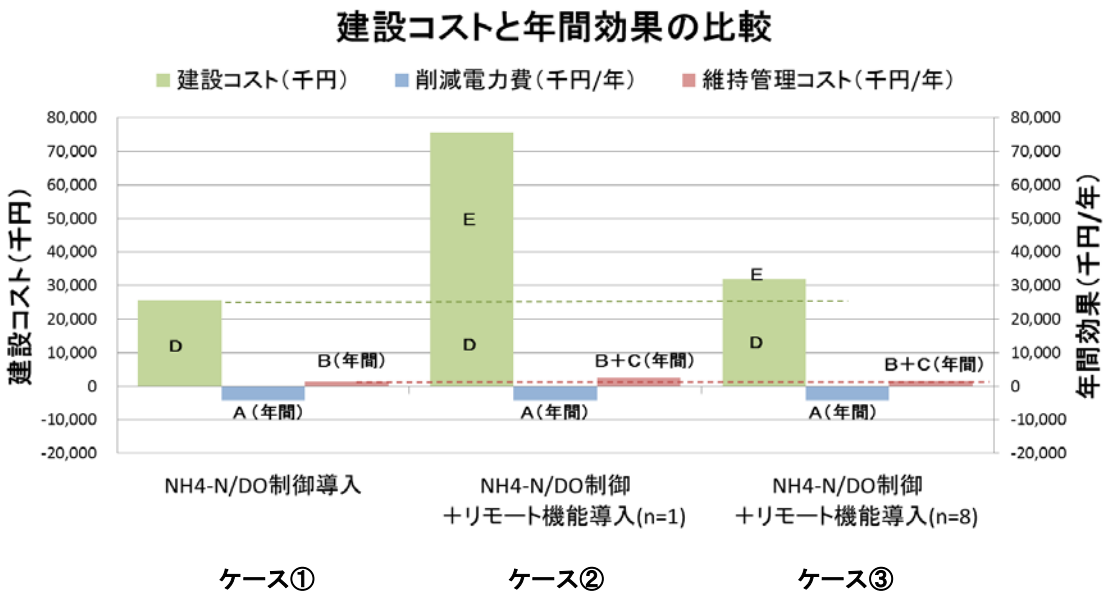
以下に、各評価規模における試算結果について示す。なお、ここでは、当該下水処理場 1 カ所あたりの試算を行った。

１）標準活性汚泥法、処理量　日平均 8,000m³/日、日最大 10,000m³/日の場合

従来技術として、送風量一定制御を想定した場合のコストおよび経費回収年の試算結果を**表 2-9** に示す。また、建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係を示したグラフを**図 2-22** に示す。

表 2-9　コストおよび経費回収年の試算結果（従来技術：送風量一定制御の場合）

項目	ケース①	ケース②	ケース③
建設コスト［千円］	25,600.0	75,600.0	31,850.0
維持管理コスト［千円／年］	1,334.8	2,549.8	1,587.3
削減電力費［千円／年］	4,338.0	4,338.0	4,338.0
経費回収年［年］	8.52	42.28	11.58



※図中の記号Ａ～Ｅについては、**表 2-8** を参照

図 2-22　建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係
（処理量　日平均 8,000m³/日、日最大 10,000m³/日の場合）

また、各ケースで、使用年数 10 年を想定した場合の導入後の総コストを比較したグラフを**図 2-23** に示す。この総コストは、建設コスト、導入後 10 年間にかかる電力コストおよび維持管理コストを合わせたコストである。

なお、使用年数 10 年の想定については、本技術の導入により、増設および改造となる設備の標準耐用年数を考慮して、設定した（以降の（２）、（３）の試算についても同様）。

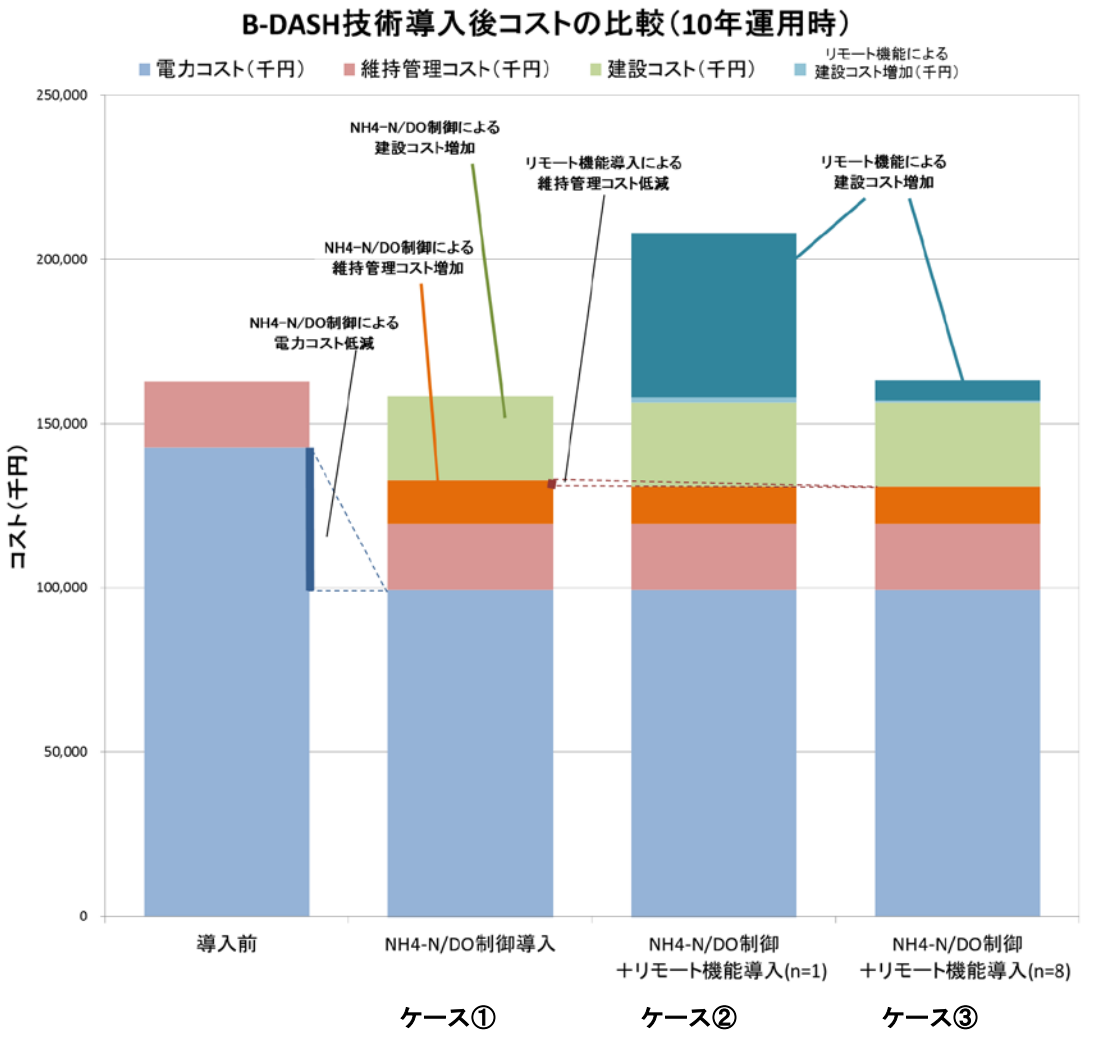


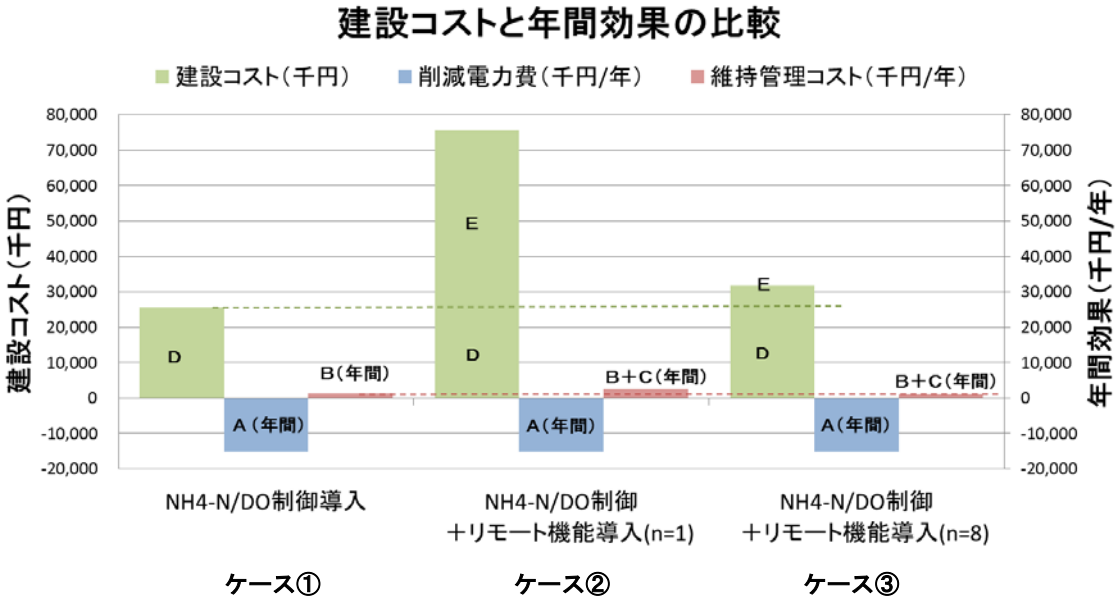
図 2-23　使用年数 10 年を想定した場合の導入後のコスト比較
（処理量　日平均 8,000㎥/日、日最大 10,000㎥/日の場合）

２）標準活性汚泥法、処理量　日平均 40,000m³/日、日最大 50,000m³/日の場合

従来技術として、送風量一定制御を想定した場合のコストおよび経費回収年の試算結果を**表 2-10** に示す。また、建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係を示したグラフを**図 2-24** に示す。

表 2-10　コストおよび経費回収年の試算結果（従来技術：送風量一定制御の場合）

項目	ケース①	ケース②	ケース③
建設コスト［千円］	25,600.0	75,600.0	31,850.0
維持管理コスト［千円／年］	1,334.8	2,549.8	1,587.3
削減電力費［千円／年］	15,253.5	15,253.5	15,253.5
経費回収年［年］	1.84	5.95	2.33



※図中の記号Ａ～Ｅについては、**表 2-8** を参照

図 2-24　建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係
（処理量　日平均 40,000m³/日、日最大 50,000m³/日の場合）

また、各ケースで、使用年数 10 年を想定した場合の導入後の総コストを比較したグラフを**図 2-25** に示す。

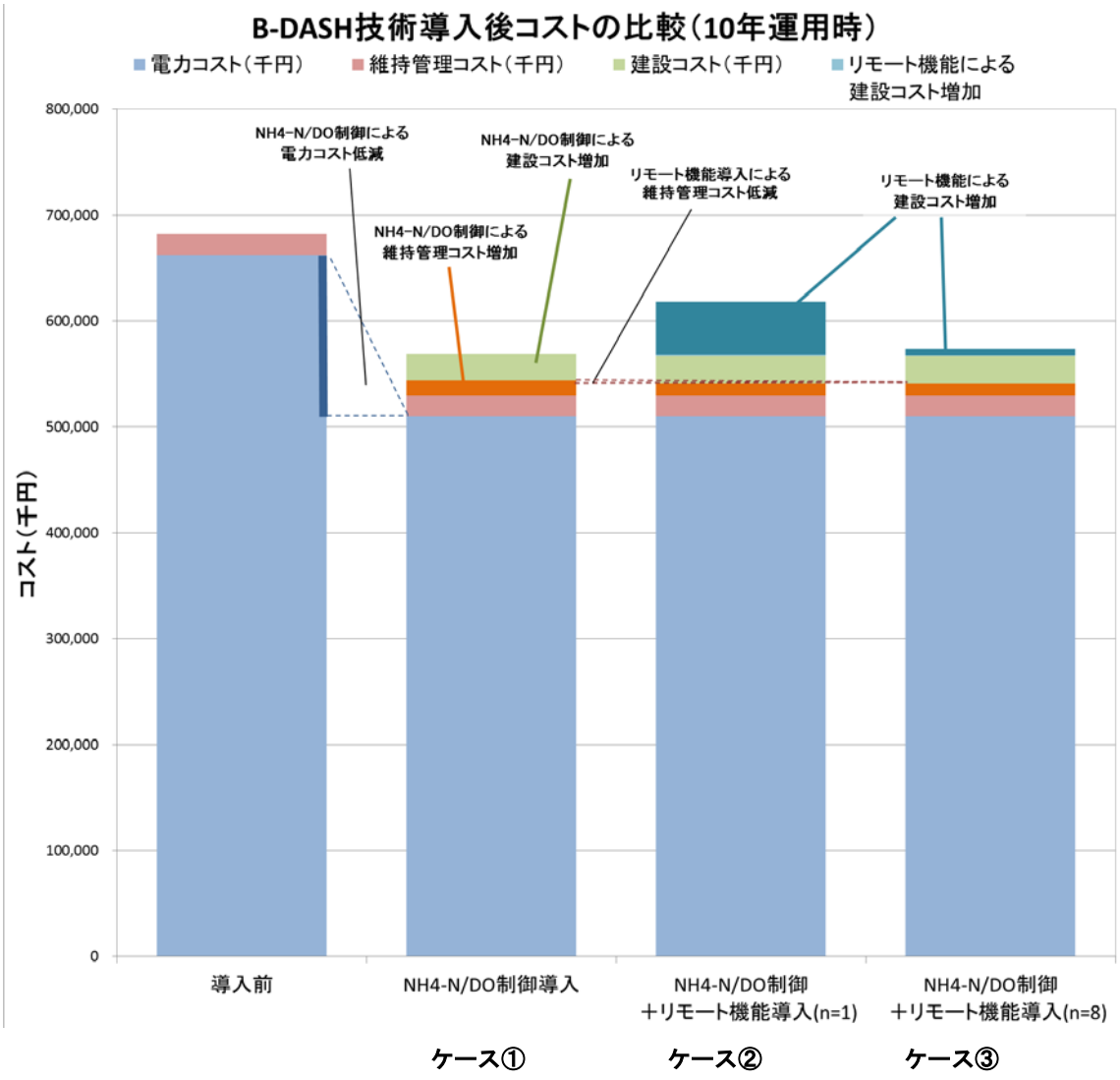


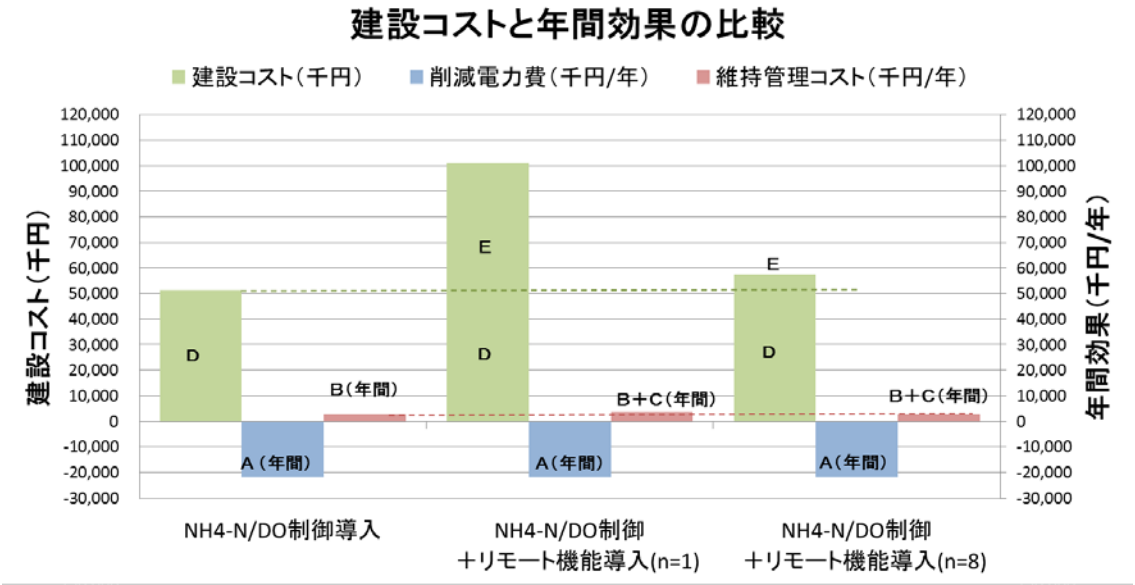
図 2-25　使用年数 10 年を想定した場合の導入後のコスト比較
（処理量　日平均 40,000m³/日、日最大 50,000m³/日の場合）

３）標準活性汚泥法、処理量　日平均 80,000m³/日、日最大 100,000m³/日の場合

従来技術として、送風量一定制御を想定した場合のコストおよび経費回収年の試算結果を**表 2-11** に示す。また、建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係を示したグラフを**図 2-26** に示す。

表 2-11　コストおよび経費回収年の試算結果（従来技術：送風量一定制御の場合）

項目	ケース①	ケース②	ケース③
建設コスト小計［千円］	51,200.0	101,200.0	57,450.0
維持管理コスト小計［千円／年］	2,669.6	3,699.6	2,737.1
削減電力費［千円／年］	21,845.3	21,845.3	21,845.3
経費回収年［年］	2.67	5.58	3.01



ケース①　　**ケース②**　　**ケース③**

※図中の記号Ａ～Ｅについては、**表 2-8** を参照

図 2-26　建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係
（処理量　日平均 80,000m³/日、日最大 100,000m³/日の場合）

また、各ケースで、使用年数 10 年を想定した場合の導入後の総コストを比較したグラフを**図 2-27** に示す。

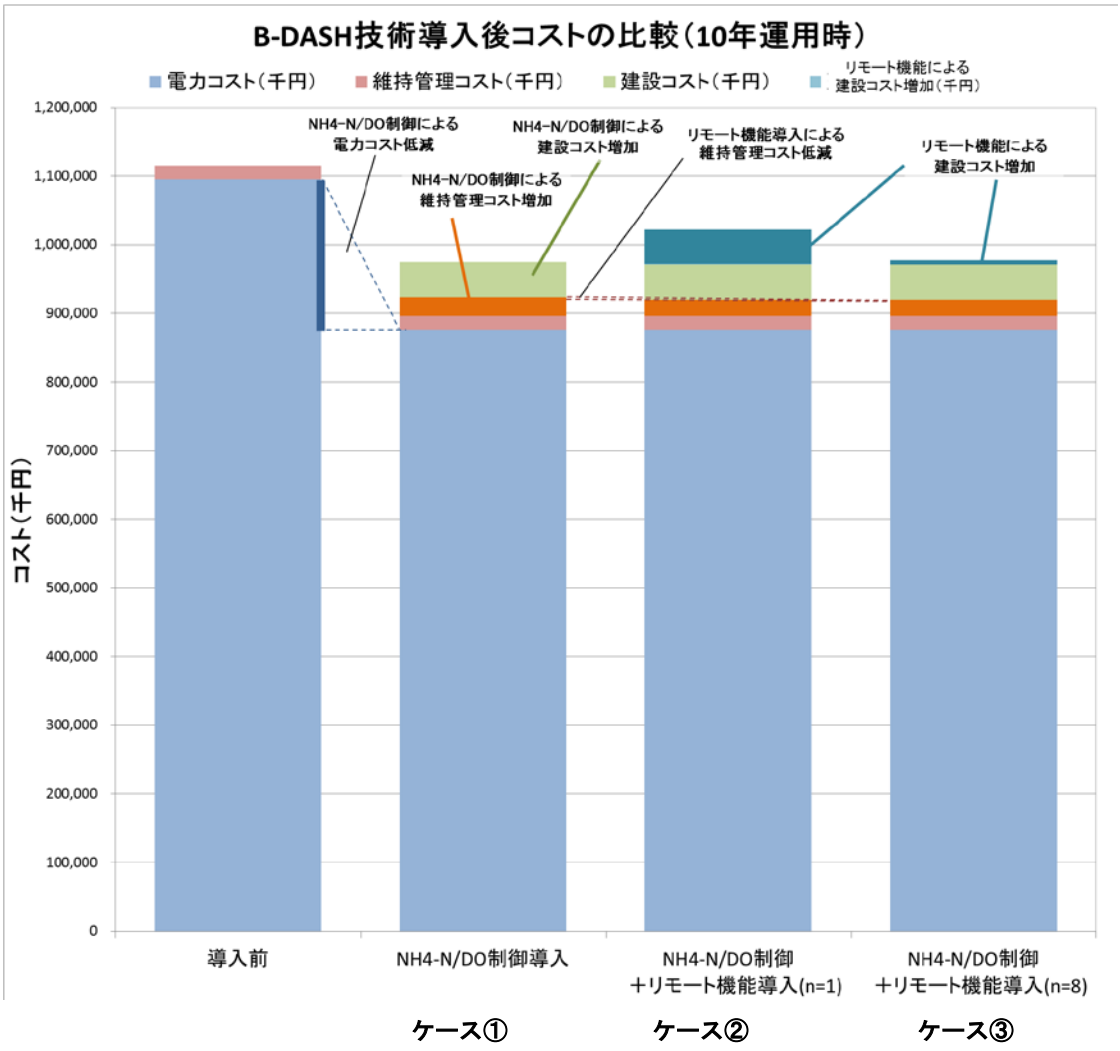


図 2-27　使用年数 10 年を想定した場合の導入後のコスト比較
（処理量　日平均 80,000㎥/日、日最大 100,000㎥/日の場合）

以上の実証研究結果についてまとめたものを**表 2-12** に示す。

表 2-12　実証研究結果のまとめ

評価項目	評価指標	目標	成果
（１）硝化機能の維持効果※1	処理水の日平均 NH_4-N 濃度目標値（1.0mg/L 以下）達成率	DO 一定制御の達成率以上（100%）	91.9% （年末・年始の高負荷期間を除いて達成）
（２）曝気風量低減効果※1	曝気風量低減率	DO 一定制御比※3 10%以上 送風量一定制御比 20%以上	DO 一定制御比 10.3% 送風量一定制御比 32.9%
（３）電力量削減効果※2	電力量削減率	DO 一定制御比※3 10%以上 送風量一定制御比 20%以上	DO 一定制御比 8.49% （削減電力量：315.7 千 kWh／年） 送風量一定制御比 23.0% （削減電力量：1,016.9 千 kWh／年）
（４）温室効果ガス削減効果※2	CO_2 削減率	DO 一定制御比※3 10%以上 送風量一定制御比 20%以上	DO 一定制御比 8.49% （CO_2 削減量：182.8 千 kg-CO_2／年） 送風量一定制御比 23.0% （CO_2 削減量：588.8 千 kg-CO_2／年）
（５）コスト面での導入容易性（経済性）※2	経費回収年	4 年未満（従来技術を送風量一定制御として）	2.33 年※4

※1　評価項目（1）、（2）については、実証試験結果に基づく評価結果
※2　評価項目（3）～（5）については、委託元からの試算条件に基づく試算結果（処理能力 50,000m³/日の場合）
※3　DO 一定制御比については、DO 制御目標値 2.0mg/L との比較
※4　リモート側に接続する下水処理場数を 8 カ所とした場合の試算

なお、実証研究では、各要素技術についても評価を行った。その結果を**表 2-13** に示す。各要素技術の基本的な性能について確認することができた。

表 2-13　各要素技術の評価結果のまとめ

評価対象	評価項目	評価指標	目標	成果
NH_4-N/DO 制御技術	曝気風量の低減効果	曝気風量低減率	DO 一定制御比※1 10%以上 送風量一定制御比 20%以上	DO 一定制御比 10.3% 送風量一定制御比 32.9%
	電力量の削減効果	電力量削減率	DO 一定制御比※1 10%以上 送風量一定制御比 20%以上	DO 一定制御比 8.5% 送風量一定制御比 23.0%
	硝化機能の維持効果	処理水の日平均 NH_4-N 濃度（1.0mg/L 以下）目標値達成率	DO 一定制御の達成率以上（100%）	91.9% （年末・年始の高負荷期間を除くと、100%）
制御性能改善技術	制御の安定化効果	DO 計測値平均二乗誤差	制御パラメータ調整前の DO 濃度の平均二乗誤差以下	0.082mg/L 0.163mg/L
MSPC 技術	異常兆候検出による運転支援情報の有用性	有効検出率（オフライン評価）	―	1 （異常事象数 7）
		有効検出率（オンライン評価）	―	0.926 （異常発報件数 27）
	センサードリフトによる曝気風量増加リスク回避効果	曝気風量増加量回避率	―	3.8%

※1　DO 一定制御比については、DO 制御目標値 2.0mg/L との比較

第３章　導入検討

第１節　導入検討手法

§14　導入検討手順

本技術の導入の検討にあたっては、対象とする下水処理場について現況および課題等を把握し、導入効果の評価を行った上で、導入の是非を判断する。

【解　説】

本技術の導入にあたっては、**図 3-1** に示す検討手順にしたがって、必要な情報を収集・整理し、導入効果の概略試算を行った上で、導入の是非を判断する。

（１）適用条件の確認

当該下水処理場における現状の課題を抽出し、当該下水処理場へ本技術を導入する意義・目的を明確にする。

併せて当該下水処理場が、**第２章 第１節 §10 技術の適用条件**に示した「適用条件」を満たしているか、もしくは将来的に満たす可能性があるかを確認する。

（２）導入効果の検討

本技術を当該下水処理場に導入した場合の効果について検討する。

本検討では、当該下水処理場における本技術の導入効果について、「概略検討」（**【**導入検討 I**】**）、「詳細検討」（**【**導入検討 II**】**）の２段階で検討を行う。

【導入検討 I**】**では、施設規模および既往の送風倍率に基づくチャート図（**§16 導入効果の検討 図 3-4～図 3-6** 参照）を用いて、本技術の省エネルギー効果に関する指標として電力量削減量、および経済性に関する指標として経費回収年を簡便に推定し、十分な効果が見込めるかどうかのスクリーニングを行う。

一方、**【**導入検討 II**】**では、当該下水処理場固有の条件を更に反映させた試算により、省エネルギー効果に関する指標として電力量削減量、経済性に関する指標として経費回収年、および温室効果ガス削減効果に関する指標として温室効果ガス削減量をそれぞれ概算し、これらの指標や導入形態の比較等を踏まえ、見込める効果について検討・整理を行う。

（３）導入判断

「導入効果の検討」の結果をもとに、本技術の導入について判断を行う。本技術の導入の是非、導入形態に係る意思決定を行い、計画・設計（**第４章 計画・設計** 参照）に移る。

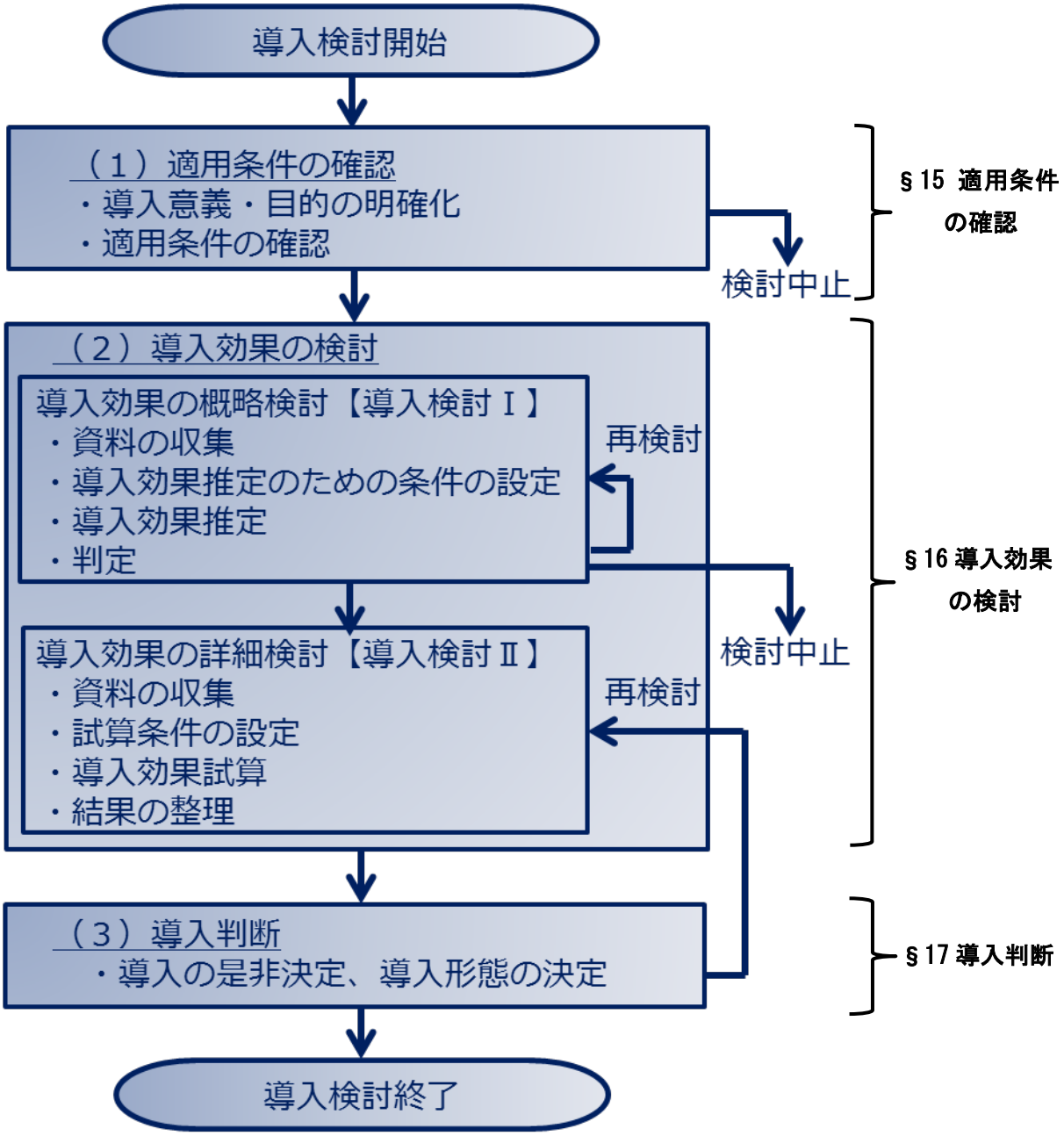


図 3-1　導入検討の手順

§15　適用条件の確認

導入検討対象の下水処理場における現状の課題を抽出し、本技術を導入する意義・目的を明確にする。

その上で、当該下水処理場が、**第２章 第１節 §10 技術の適用条件**に示した「適用条件」に合致するかどうかを確認する。

【解　説】

導入検討対象の下水処理場における課題を抽出し、本技術を導入する意義・目的を明確にする。

その上で、当該下水処理場が、**第２章 第１節 §10 技術の適用条件**に示した「適用条件」に合致することを確認する。

（１）導入意義・目的の明確化

当該下水処理場に本技術を導入するための意義や目的を明確にする必要がある。そのために、当該下水処理場に係わる各種下水道計画（全体計画、事業計画、長寿命化計画等）や運転状況を把握した上で、当該下水処理場における現状および将来の課題を抽出する。課題の抽出にあたっては、本技術の「推奨条件」（**§10** 参照）に示したような条件に該当するかどうかという視点で抽出することも有効である。想定される課題の一例を以下に示す。

・N-BOD 対策や窒素低減のために完全硝化を維持する必要があるが、硝化が不安定となっている。
・現状の送風量制御/調整方法では、送風量の過不足が生じることがある。
・他の下水処理場と比較して、水処理施設における消費電力量やエネルギー使用量原単位が大きく、低減を図る必要がある。
・処理場全体として省エネルギー化を進める必要があるが、水処理施設で十分な省エネルギーを行う方策が見出せていない。
・熟練技術者数が減少してきており、維持管理水準の確保に懸念がある。
・市町村の統合等にともない管理する下水処理場数が増加し、維持管理の効率化を図る必要がある。

このような課題を有する下水処理場であれば、本技術の導入により課題の解決を図れる可能性があり、導入の意義・目的が明確となる。

（２）適用条件の確認

当該下水処理場が、本技術の「適用条件」（**§10** 参照）に合致するかどうかを確認する。本技術の「適用条件」は、以下のとおりである。

①水処理方法として、活性汚泥法を採用している。
②反応タンクにおいて硝化促進運転が可能である。
③反応タンクにおける曝気風量の低減により、送風機動力の低減が可能である。

以上の条件の全てに合致すれば、引き続き**§16 導入効果の検討**のステップに進む。

なお、現時点ではこれらの条件を満たしていない場合であっても、将来的に満たすと見込まれる場合にも同様とする。

§16　導入効果の検討

本技術の導入可能性を判断するために、以下の二段階で導入効果を検討する。

（１）導入効果の概略検討（【導入検討Ⅰ】）

最低限の情報にもとづく簡便な手法により導入効果を推定し、導入是非のスクリーニングを行う。

（２）導入効果の詳細検討（【導入検討Ⅱ】）

以下の二通りについて、より定量的に導入効果およびコストを概算する。

①NH_4-N/DO 制御技術単独での導入効果

②3 つの技術を組み合わせた導入効果

【解　説】

本技術の導入を検討するには、当該下水処理場へ導入した場合の効果を定量的に推定する必要がある。ただし、各下水処理場固有の条件を反映して定量的に導入効果を推定するには、ある程度の既設に係る情報収集を要することから、ここでは、まず最低限の情報に基づく簡易な推定（【導入検討Ⅰ】）により導入是非のスクリーニングを実施した上で、追加の情報収集を行い、導入効果をより定量的に試算する【導入検討Ⅱ】へ進むという二段階のステップによる検討を基本とする。

（１）導入効果の概略検討（【導入検討Ⅰ】）

【導入検討Ⅰ】として、対象水量と送風倍率に基づく簡便な手法により、本技術の導入による電力量削減量および経費回収年を推定する。なお、ここでは検討の簡素化のために、NH_4-N/DO 制御技術の導入に伴う効果およびコストのみを計上対象とする。

本検討を行う手順について**図 3-2** に示す。

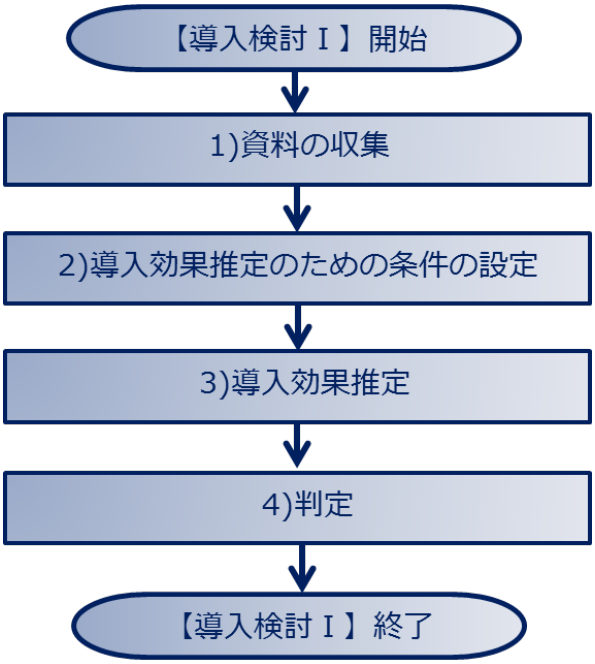


図 3-2　【導入検討Ⅰ】の手順

以降、**図 3-2** の各手順において実施する内容について説明する。

1）　資料の収集

まず、効果推定のための条件の設定に必要となる各種資料の収集を行う。

収集する資料とその目的をまとめたものを**表 3-1** に示す。

表 3-1　収集する資料とその目的（【導入検討Ⅰ】）

収集する資料	目的
計画図面（事業計画書）、施設図面、フローシート	・本技術を導入する範囲（導入検討範囲）を設定する。 ・導入ユニット数を設定する。
管理帳票（日報、月報、年報）	・導入範囲、および 1 ユニットが対象とする日平均処理水量を設定する。 ・比較対象とする制御方法を設定する。 ・導入範囲、および 1 ユニットが対象とする範囲の送風量を設定する。

２）　導入効果推定のための条件の設定

収集した資料をもとに、導入効果を推定するための条件を設定する。

必要な項目とその設定方法をまとめたものを**表 3-2** に示す。

表 3-2　効果推定のための条件とその設定方法（【導入検討Ⅰ】）

項目	設定方法
導入検討範囲	・計画図面（事業計画書）、施設図面、フローシートを参考に、本技術を導入する範囲を設定
導入ユニット数	・導入検討範囲における水処理施設構成や汚泥返送系統等のフローを確認し、導入するユニット数を設定（後述の説明を参照）
1 ユニットあたりの日平均処理水量	・1 ユニットが対象とする日平均処理水量について、実績もしくは計画値等から設定
比較対象とする制御方法	・現在の曝気風量制御の実績、もしくは将来適用が想定される曝気風量制御方法から、送風量一定制御、送風倍率一定制御、DO 一定制御のいずれかを設定
送風倍率	・1 ユニットあたりの日平均処理水量と送風量の実績から算出して設定

試算条件の中で、特に導入ユニット数を定めることが重要である。

1 ユニットとは、1 台の NH_4-N センサーを設置して、一括制御を行う施設の範囲を示す概念である。この範囲の設定にあたっては、同一の活性汚泥に対して、同様な処理条件となっていることが目安となる。これを判断するためのポイントとしては以下のとおりである。

①反応タンク流入水および返送汚泥系を共有している。

②反応タンクの処理条件（処理フローおよび運転条件）が概ね同等である。

例えば、**図 3-3** においては、1 系、2 系それぞれの系列において、反応タンクの流入水および返送汚泥系を共有しており、反応タンクの処理条件が同等であると見なすことができることから、この範囲において、それぞれ 1 ユニットを導入することとなる。

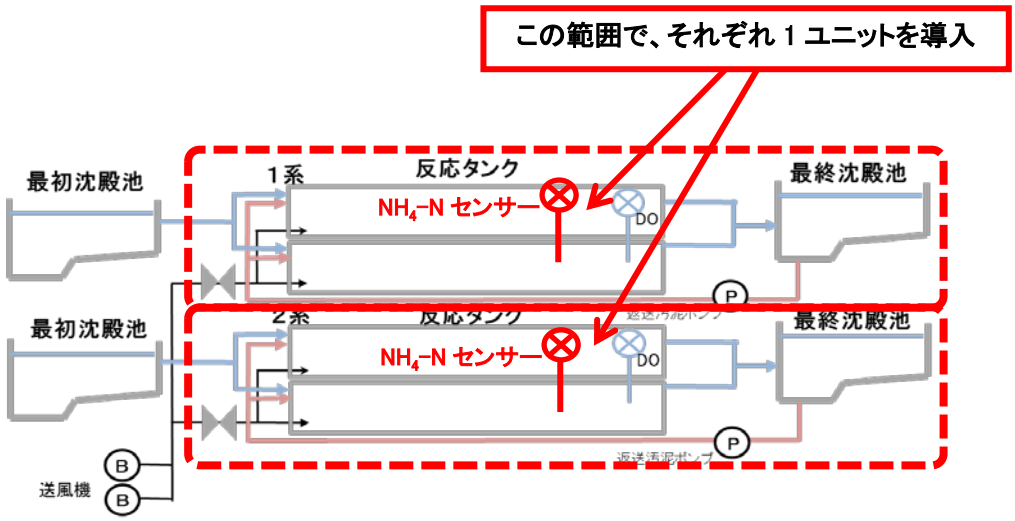


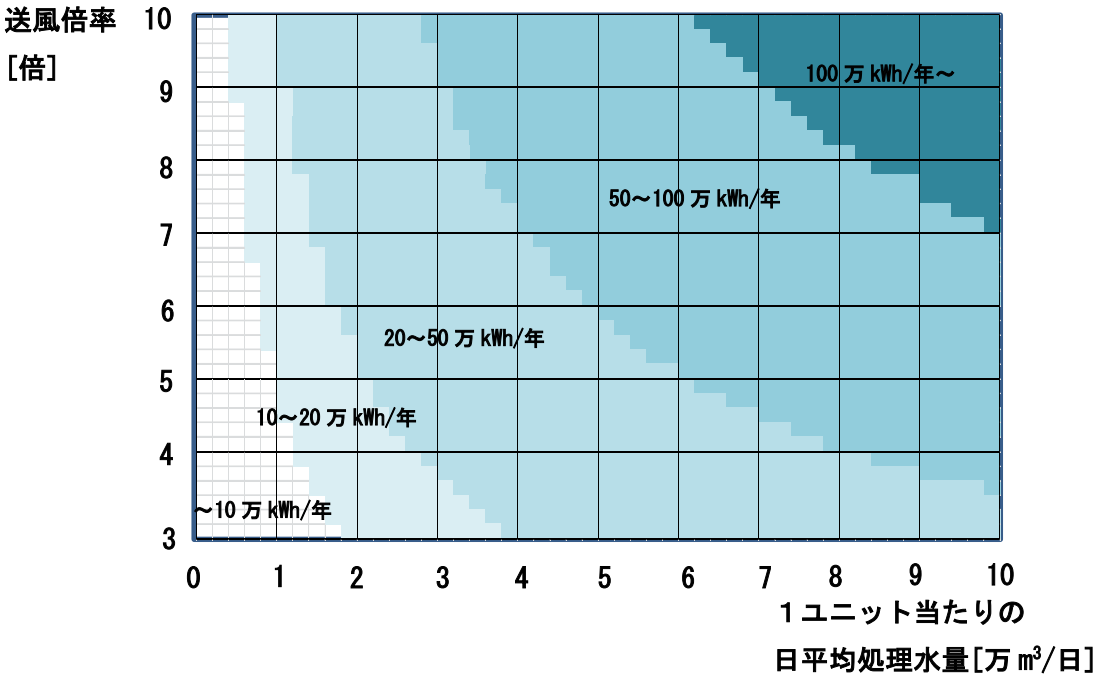
図 3-3　導入ユニットの設定例

３）　導入効果の推定

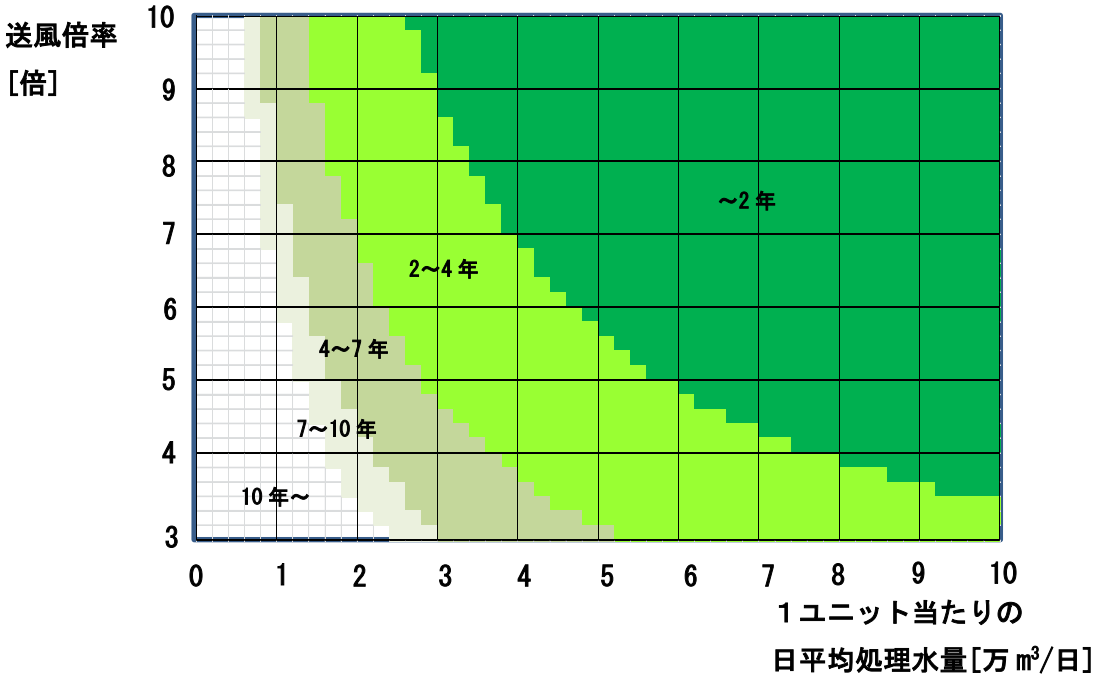
前項で設定した条件をもとに、本技術による電力量削減量および経費回収年を推定する。ここでの推定方法は、**図 3-4**～**図 3-6** のチャート図を用いて行うが、導入検討範囲の日平均処理水量と送風倍率を設定し、その交わった箇所が、導入効果として期待されるおおよその電力量削減量および経費回収年となる。

これらの推定にあたっては、比較対象として想定する制御方法に応じて、送風量一定制御を想定する場合は**図 3-4** を、送風倍率一定制御を想定する場合は**図 3-5** を、DO 一定制御を想定する場合は**図 3-6** に示すチャート図を使用する。

本チャート図は、曝気風量削減効果として、送風量一定制御の場合は 30%、送風倍率一定制御の場合は 20%、DO 一定制御の場合は 10%が得られ、また電気料金単価を 15 円/kWh と仮定して、電力量削減量および経費回収年を算定し、図示したものである。

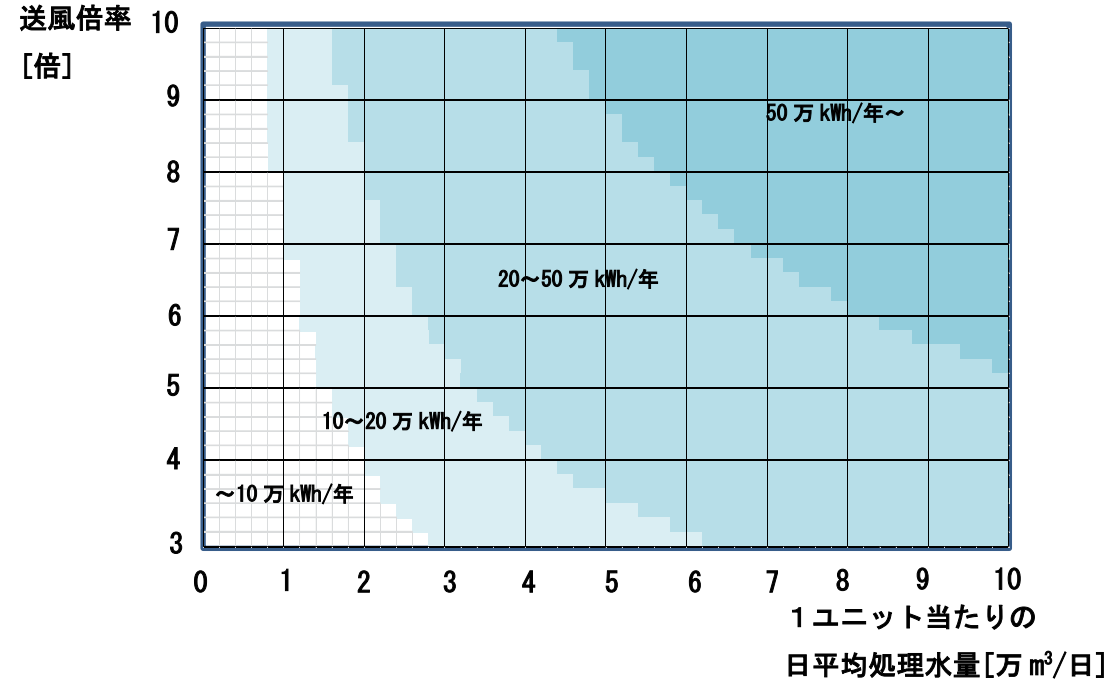


a）電力量削減量

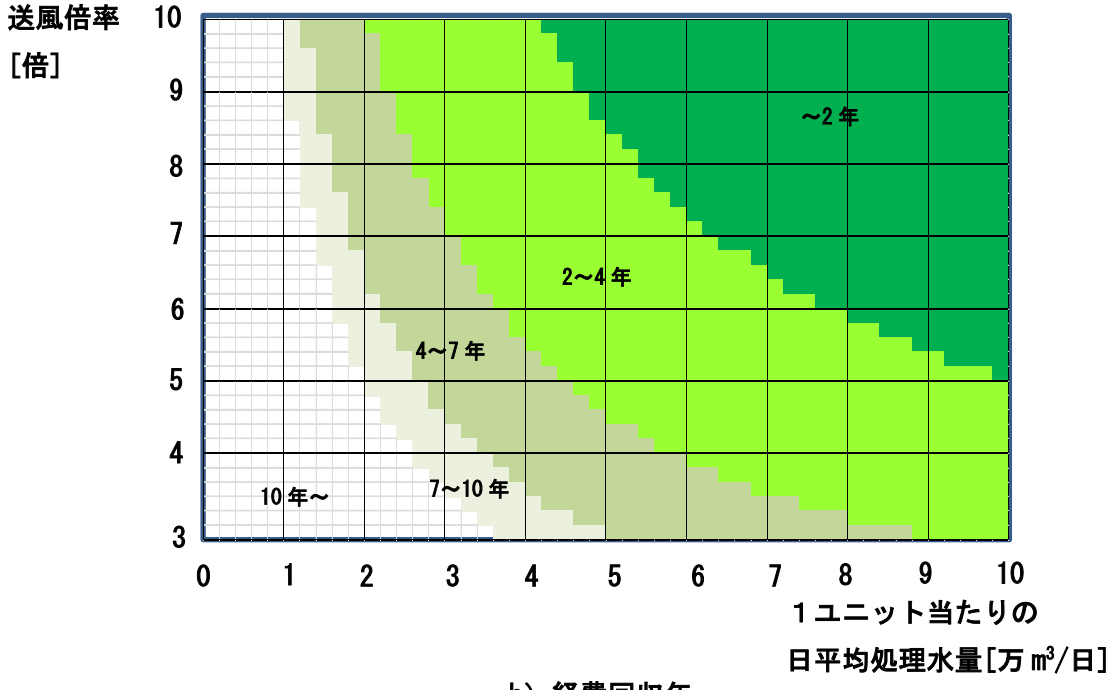


b）経費回収年

図 3-4　導入効果の推定（比較対象：送風量一定制御）

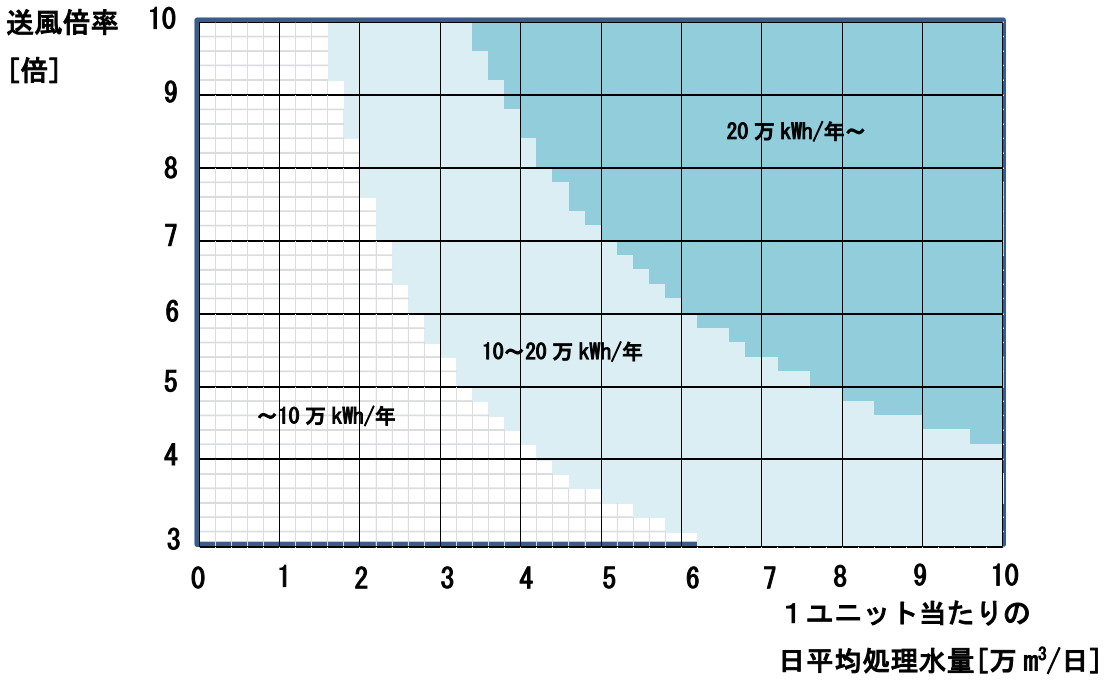


a）電力量削減量

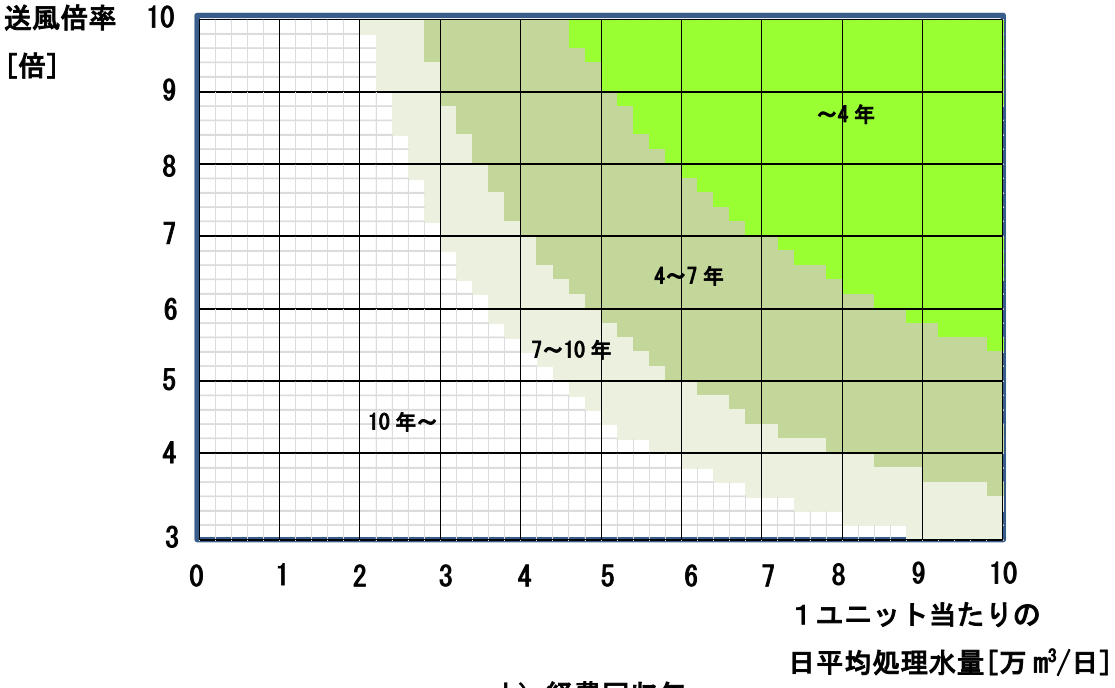


b）経費回収年

図 3-5　導入効果の推定（比較対象：送風倍率一定制御）



a）電力量削減量



b）経費回収年

図 3-6　導入効果の推定（比較対象：DO 一定制御）

４）判定

電力量削減量および経費回収年の推定結果をもとに、省エネルギー効果および経済性が見込めると判断できる場合には、引き続き【導入検討Ⅱ】のステップに進む。

一方、省エネルギー効果や経済性が見込めない場合には、必要に応じて、設定した条件を見直し、再度導入効果の推定を行う。例えば、制御対象範囲と導入ユニット数の見直しを行い、再度前述の方法にしたがって電力量削減量および経費回収年の推定を行い、省エネルギー効果および経済性の見込みを判断する。

本ステップにおいて、省エネルギー効果および経済性が見込めないと判断した場合には、【導入検討Ⅱ】のステップには進まずに、導入検討を終了する。

（２）導入効果の詳細検討（【導入検討Ⅱ】）

【導入検討Ⅱ】として、当該下水処理場固有の条件を更に反映させた概算により、本技術の導入による電力量削減量、経費回収年および温室効果ガス削減量をそれぞれ算出する。

ここでは、①NH_4-N/DO 制御技術単独での導入効果、②3 つの技術を組み合わせた導入効果、の二通りについて検討を行う。なお、NH_4-N/DO 制御技術単独での導入形態を「導入形態①」、3 つの技術を組み合わせた導入形態を「導入形態②」とする。

本検討行う手順について**図 3-7** に示す。

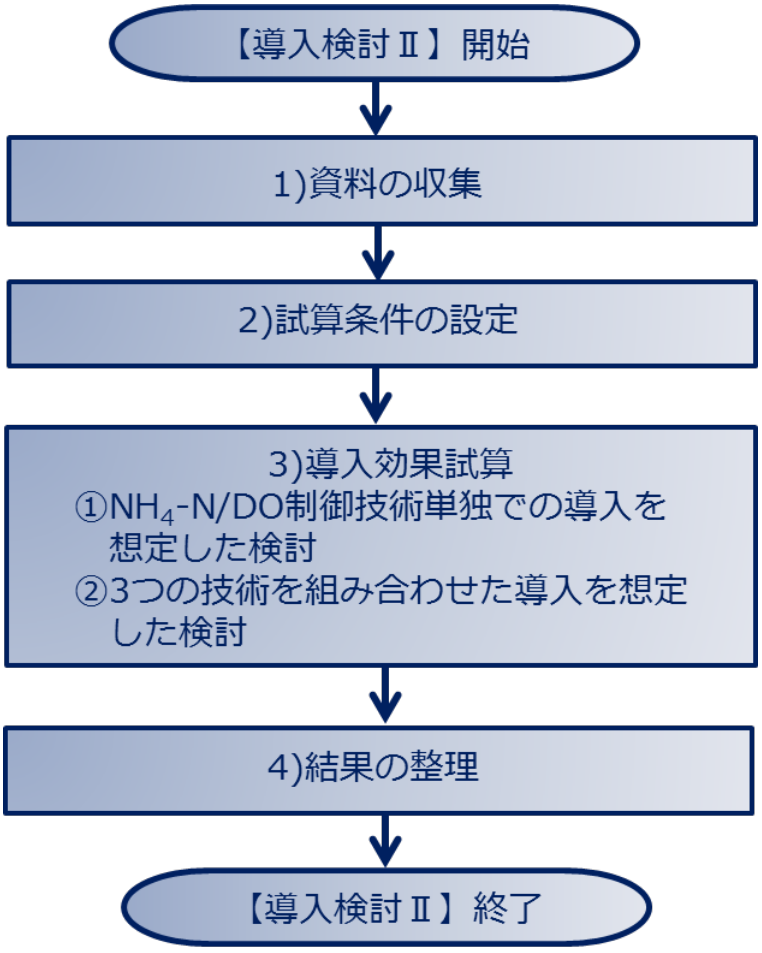


図 3-7　【導入検討Ⅱ】の手順

以降、**図 3-7** の各手順において実施する内容について説明する。

１）　資料の収集

まず、試算条件の設定に必要となる各種資料の収集を行う。

収集する資料とその目的をまとめたものを**表 3-3** に示す。

なお、【導入検討Ⅰ】で既に収集している資料については、新たに収集しなくてもよい。

表 3-3　収集する資料とその目的（【導入検討Ⅱ】）

収集する資料	目的	備考
計画図面（事業計画書）、施設図面、フローシート	・本技術を導入する範囲（導入検討範囲）を設定する。 ・導入ユニット数を設定する。	【導入検討Ⅰ】で既に収集している資料については、新たに収集しなくてもよい。
管理帳票（日報、月報、年報）	・導入範囲、および１ユニットが対象とする日平均処理水量を設定する。 ・比較対象となる制御方法を設定する。 ・導入範囲、および１ユニットが対象とする範囲の送風量を設定する。	
機械関連図面（送風機特性曲線）	・送風量 1m³ 当たりの電力量を設定する。	
電力契約に関する資料	・電力量 1kWh 当たりの電気料金単価を設定する。	
ICT 活用に関する計画資料、維持管理方針に関する資料	・リモートサーバの使用年数内に接続すると見込まれる下水処理場数を設定する。	

２）　試算条件の設定

収集した資料をもとに、導入効果試算を行うための試算条件を設定する。

試算条件の項目とその設定方法をまとめたものを**表 3-4** に示す。

なお、【導入検討Ⅰ】と同じ項目については、同様な値を設定してもよい。

表 3-4　試算条件とその設定方法（【導入検討Ⅱ】）

項目	設定方法	備考
導入範囲	・計画図面（事業計画書）、施設図面、フローシートを参考に、本技術を導入する範囲を設定	【導入検討Ⅰ】と同じ項目については、同様な値を設定してもよい。
導入ユニット数	・導入検討範囲における水処理施設構成や汚泥返送系統等のフローを確認し、導入するユニット数を設定	
1 ユニットあたりの日平均処理水量	・1 ユニットが対象とする日平均処理水量について、実績もしくは計画値等から設定	
比較対象となる制御方法	・現在の曝気風量制御の実績から、送風量一定制御、送風倍率一定制御、DO 一定制御のいずれかを設定	
送風倍率	・1 ユニットあたりの日平均処理水量と送風量の実績から算出し設定	
送風量 1m^3 当たりの電力量	・送風機特性曲線における軸動力／送風量比から、送風量 1m^3 当たりの電力量を設定	
電力量 1kWh 当たりの単価（電気料金単価）	・電力契約に関する資料から、電力量 1kWh 当たりの単価（電気料金単価）を設定	
リモートサーバの使用年数内に接続すると見込まれる下水処理場数	・ICT 活用に関する計画資料、維持管理方針に関する資料から、リモートサーバの使用年数内に接続すると見込まれる下水処理場数を設定	

３）　導入効果試算

手順２）で得られた情報をもとに、導入効果の試算を行う。

①NH_4-N/DO 制御技術単独での導入効果の試算

表 3-4 の設定条件をもとに、NH_4-N/DO 制御技術を単独で導入した場合の電力量削減量、経費回収年、および温室効果ガス削減量をそれぞれ算出する。

a. 電力量削減量の算出

NH_4-N/DO 制御技術の導入により削減できる電力量（電力量削減量）の算出を行う。電力量削減量は、導入検討範囲の日平均流入量、比較対象とする送風量制御方式における曝気風量削減率を利用して算出する。

電力量削減量⊿W［kWh／年］は、以下の**式 3.1** により算出する。

$$⊿W = ⊿Qair \times Ut \times 365 \quad \cdots \textbf{式 3.1}$$

ここで、各記号は、以下のとおりである。

⊿Qair：風量削減量［m^3／日］

Ut：送風量 $1m^3$ あたりの電力量［kWh／m^3］（送風機の特性曲線等に基づいて設定）

上記⊿Qair については、**式 3.2** により算出する。

$$⊿Qair = Qin \times M \times x \times ⊿Qr \quad \cdots \textbf{式 3.2}$$

ここで、

Qin：１ユニットあたりの日平均処理水量［m^3／日］

M：送風倍率［倍］

X：導入ユニット数［ユニット］

⊿Qr：曝気風量削減率［－］（比較対象とする制御により以下の値を使用する）[7]

送風量一定制御　　：0.3

送風倍率一定制御　　：0.2

DO 一定制御　　：0.1

[7] 実証研究の結果、従来技術を送風量一定制御、および DO 一定制御とした場合の曝気風量削減率が、それぞれ、10.3%、32.9%であったことから、その結果をもとに、安全側に丸めた数値として、それぞれ、0.1、0.3 を設定した。そして、従来技術を送風倍率一定制御とした場合の曝気風量削減率は、従来技術を送風量一定制御、および DO 一定制御とした場合の曝気風量削減率の中間の値である 0.2 を設定した。

b. 経費回収年

NH_4-N/DO 制御技術の導入に係る経費回収年の算出を行う。経費回収年は、建設コスト、維持管理コストおよび削減電力費から、NH_4-N/DO 制御技術の単独導入による経費回収年を算出し、その内容について検討を行う。

経費回収年 Y［年］は、以下の**式 3.3** により算出する。

$$Y = Yc \ / \ (Ye - Ym) \qquad \cdots \textbf{式 3.3}$$

ここで、各記号は、以下のとおりである。

Yc：建設コスト［円］

Ye：削減電力費［円／年］

Ym：維持管理コスト［円／年］

なお、維持管理コストについては、本技術の導入により追加で発生する費用である。

各項目の算出方法を以下に示す。

・建設コストの算出

NH_4-N/DO 制御技術の導入に係る建設コストの算出を行う。建設コストは、導入ユニット数により概算する。1 導入ユニットには、NH_4-N センサー費、コントローラ改造費、監視制御装置改造費、NH_4-N センサー設置やケーブル敷設等の工事費等が含まれる。なお、DO センサーに係る費用については、ここでは含まない。

建設コスト Yc［円］は、以下の**式 3.4** により算出する。

$$Yc = Ac \times x \times \alpha \qquad \cdots \textbf{式 3.4}$$

ここで、記号は、以下のとおりである。

x：導入ユニット数［ユニット］

Ac：ユニットあたりの建設コスト［円／ユニット］（＝12.8 百万円／ユニット）

α：他工事を加味した係数[8]［－］（以下の値を使用する）

本技術のみを単独の工事で導入する場合：1.0

散気装置や送風機の更新工事と併せて導入する場合：0.8

水処理施設の増設工事と併せて導入する場合：0.7（増設する系列に導入）

0.8（増設する系列でない系列に導入）

水処理施設の新設工事と併せて導入する場合：0.6

[8] 本技術を他の工事と併せて導入する場合には、本技術の導入に係る改造範囲と、他の工事に係る改造範囲もしくは新増設範囲との共通度合に応じて、設計、試験、工事、現地調整等の一連の作業における共通的な作業の効率化を図ることができることから、その内容を勘案して本係数を定めた。

・削減電力費の算出

NH_4-N/DO 制御技術の導入による削減電力費の算出を行う。削減電力費 Ye［円／年］は、前述の電力量削減量をもとに以下の**式 3.5** により算出する。

$$Ye = \Delta W \times Up \quad \cdots \textbf{式 3.5}$$

ここで、各記号は、以下のとおりである。

⊿W：電力量削減量［kWh／年］

Up：電気料金単価[9]［円／kWh］

・維持管理コストの算出

NH_4-N/DO 制御技術の維持管理コストの算出を行う。維持管理コストとしては、NH_4-N センサーに関する維持管理費、コントローラや監視制御装置に関する維持管理費が含まれる。なお、DO センサーに係る維持管理費については、ここでは含まない。

維持管理コスト Ym［円／年］は、以下の**式 3.6** により算出する。

$$Ym = Am \times x \quad \cdots \textbf{式 3.6}$$

ここで、各記号は、以下のとおりである。

x：導入ユニット数［ユニット］

Am：ユニットあたりの年間の維持管理コスト［円／ユニット・年］

（＝0.667 百万円／ユニット・年）

c. 温室効果ガス削減量

NH_4-N/DO 制御技術の導入により削減できる温室効果ガス削減量の算出を行う。温室効果ガス削減量は、導入検討範囲の日平均流入水量、比較対象とする送風量制御方式における曝気風量削減率を利用して算出する。

温室効果ガス削減量⊿Yg［kg-CO_2／年］は、以下の**式 3.7** により算出する。

$$\Delta Yg = \Delta W \times Ue \quad \cdots \textbf{式 3.7}$$

ここで、各記号は、以下のとおりである。

⊿W：電力量削減量［kWh／年］（**式 3.1** を参照）

Ue：電力量 1kWh あたりの二酸化炭素排出係数［kg-CO_2/kWh］（＝0.579kg-CO_2/kWh）（※1「エネルギー源別標準発熱量及び炭素排出係数の改訂について」（平成 26 年 11 月 14 日資源エネルギー庁）より）

[9] 導入検討下水処理場において、適用されている電力料金単価の設定が困難な場合には、15 円/kWh を使用しても良い。

②3 つの技術を組み合わせた導入効果の試算

引き続き、**表 3-4** の条件をもとに、3 つの要素技術を全て導入する場合の電力量削減量、経費回収年、および温室効果ガス削減量をそれぞれ算出する。

ここでは、①で算出した電力量削減量、経費回収年、温室効果ガス削減量について、リモート側の技術となる制御性能改善技術および MSPC 技術による各種コストや導入効果を加味して、それぞれ算出を行う。

a. 電力量削減量の算出

電力量削減量⊿W［kWh／年］は、①の電力量削減量の算出と同様に、**式 3.1** により算出する。

b. 経費回収年

本技術の導入に係る経費回収年の算出を行う。経費回収年は、建設コスト、維持管理コストおよび削減電力費から、本技術の導入による経費回収年を算出し、その内容について検討を行う。

経費回収年 Y［年］は、以下の**式 3.8** により算出する。

$$Y = Yc \quad / \quad (Ye - Ym) \qquad \cdots \textbf{式 3.8}$$

ここで、各記号は、以下のとおりである。

Yc：建設コスト［円］

Ye：削減電力費［円／年］

Ym：維持管理コスト［円／年］

なお、維持管理コストについては、本技術の導入により追加で発生する費用である。

各項目の算出方法を以下に示す。

・建設コストの算出

本技術の建設コストの算出を行う。建設コストとしては、①で算出した内容に加えて、リモート機能を構築するための建設コストが追加で必要となる。ここでは、ICT 活用関連の計画、維持管理方針関連計画等をもとに、将来的にリモートサーバに接続すると見込まれる下水処理場数を想定し、加味する。

建設コスト Yc［円］は、以下の**式 3.9** により算出する。

$$Yc = Ac \times x \times \alpha + R / n \qquad \cdots \textbf{式 3.9}$$

ここで、各記号は、以下のとおりである。

x：導入ユニット数［ユニット］

n：リモートサーバの使用年数内に接続すると見込まれる下水処理場数［カ所］

Ac：ユニットあたりの建設コスト［円／ユニット］（＝12.8 百万円／ユニット）

R：リモートサーバ構築費［円］（＝50 百万円）

α：他工事を加味した係数［－］（①で設定した値を設定）

・削減電力費の算出

削減電力費 Ye［円／年］は、①の削減電力費の算出と同様に、**式 3.5** により算出する。

・維持管理コストの算出

本技術の維持管理コストの算出を行う。維持管理コストとしては、①で算出した内容に加えて、リモート機能に関わる維持管理費が追加で必要となる。その一方で、リモート機能を導入することにより、NH_4-N/DO 制御に関わる維持管理費が軽減できると考えられるため、これも見込んで算出することを基本とする。

維持管理コスト Ym［円／年］は、以下の**式 3.10** により算出する。

$$Ym = (Am - Dm) \times x + Rms + Rmv / n \quad \cdots \text{式 3.10}$$

ここで、各記号は、以下のとおりである。

x：導入ユニット数［ユニット］

n：リモートサーバの使用年数内に接続すると見込まれる下水処理場数［カ所］

Am：ユニットあたりの年間の維持管理コスト［円／ユニット・年］

（＝0.667 百万円／ユニット・年）

Dm：軽減される NH_4-N/DO 制御に関わる維持管理費［円／ユニット・年］

（＝0.093 百万円／ユニット・年）

Rms：リモート機能に関する維持管理費［円／年］（＝0.3 百万円／年）

Rmv：リモート機能に関する維持管理費［円／年］（＝1.1 百万円／年）

c. 温室効果ガス削減量

温室効果ガス削減量⊿Yg［kg-CO_2／年］は、①の温室効果ガス削減量の算出と同様に、**式 3.7** により算出する。

d. その他定性的な効果

MSPC 技術については、NH_4-N/DO 制御技術と組み合わせることによる維持管理コストの低減を見込んで経費回収年の定量化を行ったが、それ以外に期待できる定性的な効果として、MSPC 技術の導入により検出したい事象を、以下の**表 3-5** を参考にリストアップする。

表 3-5　MSPC 技術の導入により期待できる検出を想定する事象の例

検出を想定する事象	実証*
散気管バルブ目詰まり	
ブロワ故障	
制御センサードリフト	○
制御センサー故障	
風量制御（DO 制御）異常	
流量・水位センサー故障	
ポンプ目詰まり・故障	○
センサー計測値異常	○
センサードリフト	○
センサー過大ノイズ（電磁ノイズ等）	
センサー異常（通信異常、校正異常等）	○
制御異常（過剰なハンチング等）	
制御用センサー異常・ドリフト	
嫌気・無酸素槽酸素混入（脱窒阻害・りん吐出阻害）	
硝化阻害	
りん除去不良	
水質センサードリフト（NH_4-N、NO_3-N、PO_4-P、ORP、DO 等）	○
毒物混入等による処理能力低下	
汚泥掻き寄せ機故障	○
返送汚泥ポンプ故障	○
余剰汚泥ポンプ故障	

*実証：実証研究にて当該異常シナリオによる検証を行ったものに○印を付した。

また、**資料編　１．実証研究結果**では、実証研究で行った具体的な事例についても紹介している。このような事象の検出が運転管理上有効であると見込まれる場合には、MSPC 技術の定性的な効果として、導入判断の際に考慮する。

４）　結果の整理

以上の検討で求められた経費回収年、電力量削減量、温室効果ガス削減量等の内容を**表 3-6** のような形で整理し、**§17 導入判断**に移る。

表 3-6　【導入検討Ⅱ】の結果総括表の例

項目	導入形態① （NH_4-N/DO 制御単独導入）	導入形態② （3 つの技術すべてを導入）	導入判断の目安
経費回収年	X.XX 年	Y.YY 年	Z.ZZ 年以内
電力量削減量	XXX kWh/年	YYY kWh/年	ZZZ kWh/年以上
温室効果ガス削減量	XXX kg-CO_2/年	YYY kg-CO_2/年	ZZZ kg-CO_2 /年
その他定性的な効果等			
その他の考慮点			

表 3-6 を整理する際に、導入判断の目安を設定することが重要である。電力量削減量については、当該下水処理場における運転実績から定める電力量削減目標や、地方公共団体が定める使用エネルギー削減目標等から、温室効果ガス削減量については、地方公共団体が定める温室効果ガス削減目標等から設定する方法が挙げられる。経費回収年については、標準的な使用年数 10 年[10]を踏まえ、現実的な目標年数を設定する。

10　使用年数 10 年は、「下水道施設の改築について」（平成 25.5.16 国水下事第 7 号下水道事業課長通知）の別表における「3.電気設備」の大分類「電気計装設備」、中分類「計測設備」「監視制御設備」を考慮して定めた。

§17　導入判断

導入効果の検討結果を踏まえて、本技術の導入について判断する。

【解　説】

§16 導入効果の検討において、**表 3-6** のように整理した導入効果の検討結果をもとに、本技術の導入について判断する。導入判断については、以下のとおり進める。

（１）導入の是非の決定

導入形態①、導入形態②のいずれか一方、もしくは両方の導入形態において、導入判断の目安を見たす場合には、本技術の導入効果が見込めると判断して、本技術の導入を進める意思決定を行う。

（２）導入形態の決定

導入形態については、以下の判断基準により決定する。

・導入形態②の効果において、導入判断の目安を満たす場合には、導入形態②での導入を優先する。

・導入形態②の効果において、導入判断の目安を満たさない場合には、導入形態①の効果において、導入判断の目安を満たすかどうかを確認する。導入判断の目安を満たす場合には、導入形態①での導入を優先する。

この基準により、導入形態①、もしくは導入形態②のいずれの導入形態を採用するかについての最終的な意思決定を行う。決定した導入形態に基づいて、具体的な計画・設計（**第４章 計画・設計**）に移る。

なお、（１）での判断の結果、導入形態①、導入形態②のいずれでも十分な効果が見込めないと判断した場合には、必要に応じて、設定した条件を見直し、再度導入効果の算出を行う。例えば、制御対象範囲と水量の見直し行い、再度前述の方法にしたがって、各指標の算出を行い、その効果の見込みを判断する。

最終的にこれらの評価指標について十分な効果の見込めないと判断した場合には、導入検討を終了する。

第２節　導入効果の検討例

§18　導入効果の検討例

前節の導入効果検討手法の具体例として、流入下水量 40,000m³/日（日平均）、50,000m³/日（日最大）、標準活性汚泥法による水処理を行う仮想の下水処理場に、本技術を導入するケーススタディの結果について紹介する。

【解　説】

導入効果検討手法の具体例として、ここでは、流入下水量 40,000m³/日（日平均）、50,000m³/日（日最大）、標準活性汚泥法による水処理を行う仮想の下水処理場（本セクションでは、以降、Ａ下水処理場という）に、本技術を導入するケーススタディを行う。

設定する検討条件を**表 3-7** に、また検討を進めるための想定条件を**表 3-8** にそれぞれ示す。

また、Ａ下水処理場のフローおよびシステム構成を**図 3-8** に示す。

表 3-7　本技術導入における検討条件等

項目	設定条件
流入下水量（計画）	40,000m³/日（日平均）、50,000m³/日（日最大）
流入下水量（実績）	35,000m³/日（日平均）、43,000m³/日（日最大）
水処理方式	標準活性汚泥法
現状制御方式	送風量一定制御
水処理系列数	2 系列
各系列における池数	4 池
返送汚泥系統数	2 系列
送風機型式	鋳鉄製多段ターボブロワ
送風機台数	2 台
風量調節機構	インレットベーン制御／台数制御
軸動力／送風量比	0.79
送風量（実績）	280,000m³/日
送風倍率（実績）	8.0 倍
散気装置型式	散気板
水処理コントローラ数	2 台
監視制御装置台数	1 台
リモートサーバに接続する下水処理場数	8 カ所

表 3-8　本技術導入における想定条件等

項目	想定条件
処理場における課題	N-BOD 対策や窒素低減のために現状は送風量一定制御を行い、完全硝化を維持している。このため、曝気風量が過大となっている。そこで、完全硝化を維持しつつ、効率的に曝気風量を低減し、省エネ化を図りたい。
その他計画	・A 下水処理場における直近の更新や系列増設等の計画はなし。 ・今後 3～5 年程度で計画値に近い流入が見込まれる。 ・下水処理場等 8 カ所を統括管理するリモートサーバの新設計画を 5 年後に予定。
導入判断の目安	・経費回収年 6 年以内 ・削減電力量 30 万 kWh/年以上

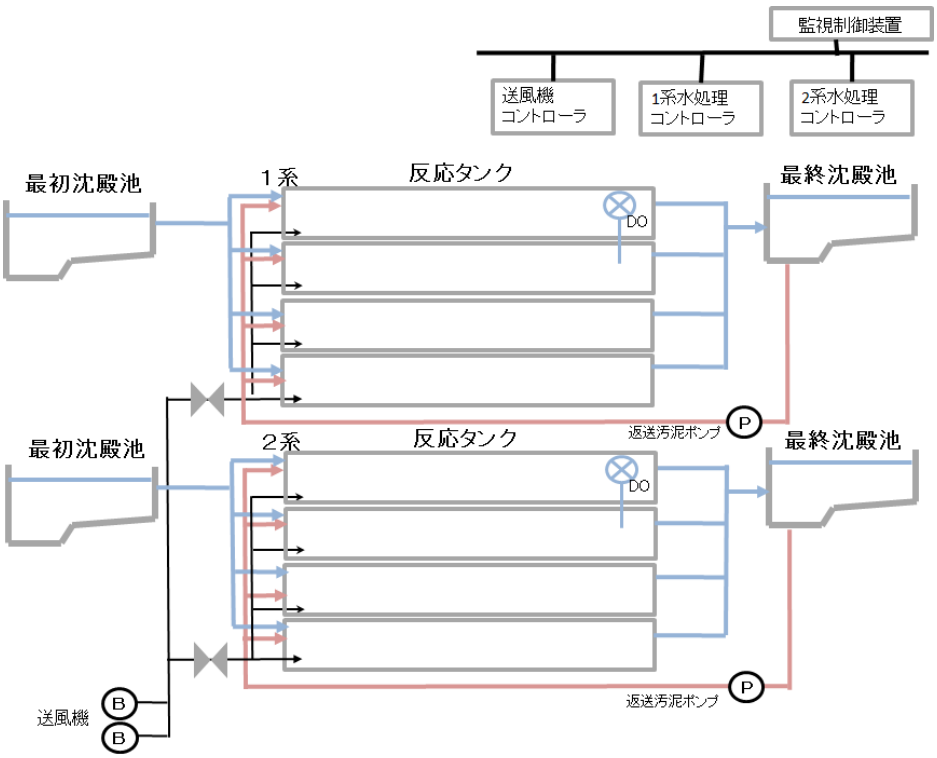


図 3-8　A 下水処理場のフローおよびシステム構成

§15～§17 で説明した導入効果の検討手順にしたがい、その検討を進めていく。

（１）適用条件の確認

１）導入意義・目的の明確化

Ａ下水処理場では、N-BOD 対策や窒素低減のために現状は送風量一定制御を行い、完全硝化を維持している。このため、曝気風量が過大になるとともに、消費電力量が多くなるという課題があった。そこで、本技術を導入することにより、完全硝化を維持しつつ、効率的に曝気風量を低減し、省エネ化を図ることを実現し、前述の課題を解決する可能性がある。

したがって、本技術を導入する意義があり、導入する目的も明確である。

２）適用条件の確認

①水処理方法として活性汚泥法を採用している。

Ａ下水処理場では、標準活性汚泥法による処理を行っていることから、本条件を満たす。

②反応タンクにおいて硝化促進運転が可能である。

Ａ下水処理場では、硝化促進運転を行っていることから、本条件を満たす。

③反応タンクにおける曝気風量の低減により送風機動力の低減が可能である。

送風機の風量調節機構ととしてインレットベーン制御を行っており、曝気風量の低減にともない、送風機動力の低減が見込めることから、本条件を満たす。

以上の３つの適用条件にすべて合致し、適用条件を満たしたことから、本技術の導入可能性について、具体的に検討を進める。

（２）導入効果の概略検討【導入検討Ｉ】

１）資料の収集

表 3-1 にしたがい、計画図面（事業計画書）、施設図面、フローシート、管理帳票を収集する。

２）導入効果推定のための条件の設定

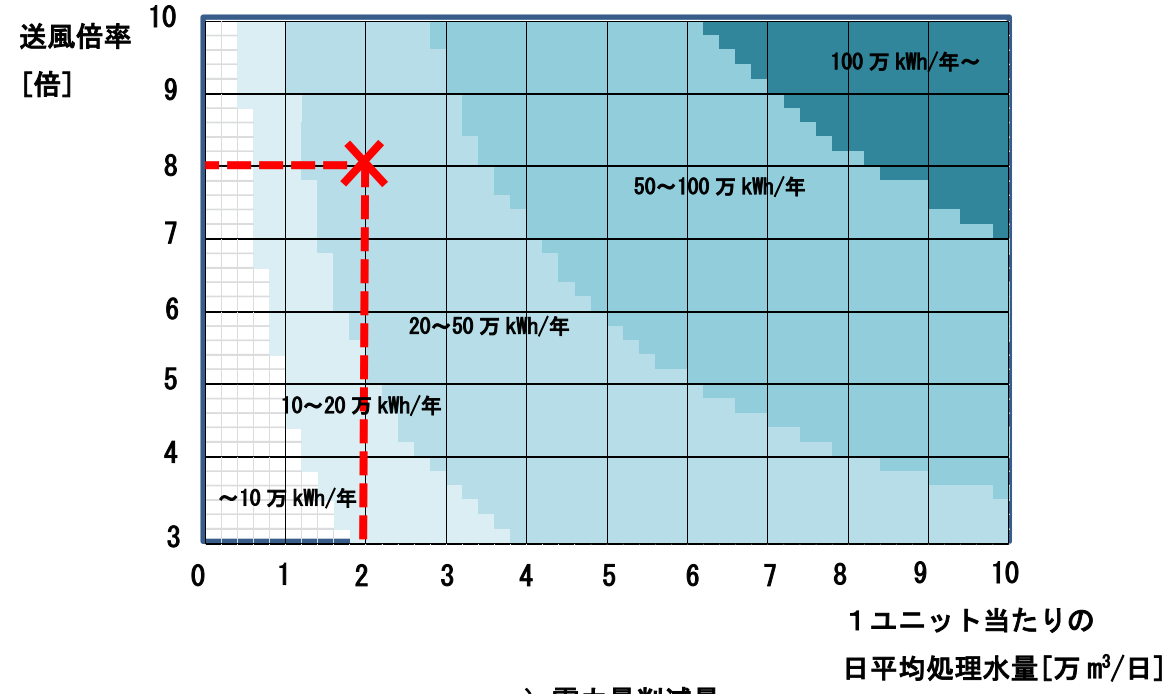
収集した資料をもとに、導入効果を推定するための条件を、**表 3-9** のとおり設定した。

表 3-9　効果推定のために設定した条件

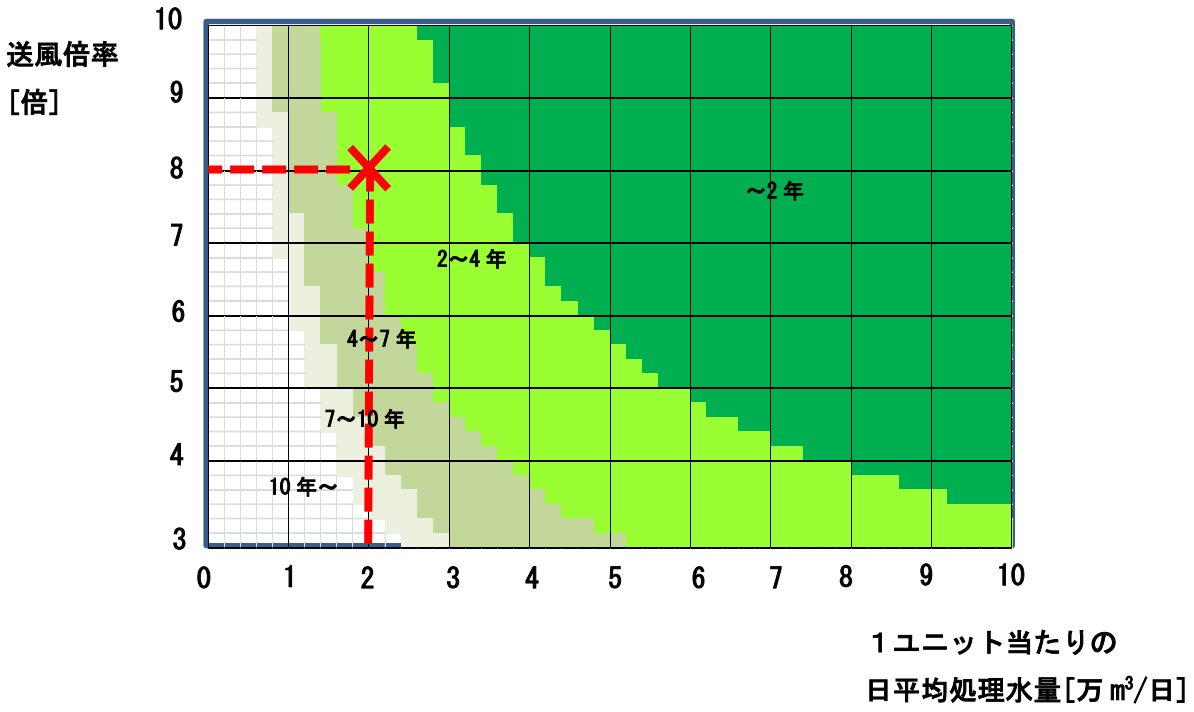
項目	設定した条件
導入検討範囲	施設図面より、A下水処理場全体への導入ということで１系、２系の２系列に導入
導入ユニット数	フローシートより、系列ごとに反応タンク流入水および返送汚泥系を共有している。また、管理帳票より、同一の活性汚泥に対して同等の処理条件で運用していることから、4 池一括制御を想定し、２ユニットを導入
１ユニットあたりの日平均処理水量	施設図面より、両系列の処理能力が同一であること、また事業計画書より、今後 3～5 年で計画値に近い流入が見込まれることから、1 系列の計画処理水量である 20,000m³/日とする。
比較対象とする制御方法	管理帳票より、現状の制御方式である送風量一定制御とする。
送風倍率	管理帳票より、現状の実績である 8.0 倍とする。

３）導入効果推定

表 3-9 で設定した条件をもとに、電力量削減量、および経費回収年の推定を行う。本検討では、比較対象とする制御方法を送風量一定制御としていることから、**図 3-4** を使用して、1 ユニット当たりの日平均処理水量２万 m³/日、送風倍率８倍として、その推定を行う（**図 3-9**）。



a）電力量削減量



b）経費回収年

図 3-9　導入効果の推定

４）判定

図 3-9 による推定の結果、電力量削減量は、1 ユニットあたり年間 20～30 万 kWh 程度、経費回収年は 4 年程度が期待できる。A処理場全体では、2 ユニットの導入を想定しているので、電力量削減量については、年間 40～60 万 kWh 程度が期待できる。

したがって、一定の省エネルギー効果および経済性が見込めることから、引き続き詳細な検討を進める。

（３）導入効果の詳細検討【導入検討Ⅱ】

１）資料の収集

表 3-3 にしたがい、すでに収集した図面に加えて、機械関連図面、電力契約に関する資料、ICT 活用計画に関する資料を収集した。

２）試算条件の設定

収集した資料をもとに、導入効果を試算するための条件として、新たに以下の条件を**表 3-10** のとおり設定した。これ以外の項目については、【導入検討Ⅰ】で設定した条件（**表 3-9**）と同様とする。

表 3-10　効果試算のために設定した条件

項目	設定した条件
送風機 1m³ あたりの電力量	送風機の送風機特性図面より、軸動力／送風量比（＝0.79）をもとに 0.01317kWh/m³ とする。
電力量 1kWh あたりの単価（電気料金単価）	電力契約に関する資料より、15 円/kWh とする。
リモートサーバの使用年数内に接続すると見込まれる下水処理場数	ICT 活用に関する計画資料より、8 カ所とする。

３）導入効果試算

表 3-9、表 3-10 で設定した条件をもとに、電力量削減率、経費回収年、および温室効果ガス削減量の試算を行う。

①NH_4-N/DO 制御技術単独での導入効果

a. 電力量削減量

電力量削減量⊿W は、**式 3.1**、**式 3.2** より、以下のとおりとなる。

⊿W＝20,000［m³/日］×8.0［倍］×2［ユニット］×0.3［－］
×0.01317［kWh/m³］×365［日/年］
＝461.5［千 kWh/年］

b. 経費回収年

建設コスト Yc は、**式 3.4** より、以下のとおりとなる。

Yc＝12.8［百万円/ユニット］×2［ユニット］×1.0［－］

＝25.6［百万円］

削減電力費 Ye は、**式 3.5** より、以下のとおりとなる。

Ye＝461.5［千 kWh/年］×15［円/kWh］

＝6.922［百万円/年］

維持管理コスト Ym は、**式 3.6** より、以下のとおりとなる。

Ym＝0.667［百万円/ユニット・年］×2［ユニット］

＝1.334［百万円/年］

したがって、経費回収年 Y は、**式 3.3** より、以下のとおりとなる。

Y＝25.6［百万円］／（6.922［百万円/年］－1.334［百万円/年］）

＝4.58 年

c. 温室効果ガス削減量

温室効果ガス削減量⊿Yg は、**式 3.7** より、以下のとおりとなる。

⊿Yg＝461.5［千 kWh/年］×0.579［kg-CO_2/kWh］

＝267.2［千 kg-CO_2/年］

②3 つの技術を組み合わせた導入効果

a. 電力量削減量

電力量削減量⊿W は、前述の①における電力量削減量と同様に、461.5［千 kWh/年］となる。

b. 経費回収年

建設コスト Yc は、**式 3.9** より、以下のとおりとなる。

Yc＝12.8［百万円/ユニット］×2［ユニット］×1.0［－］＋50［百万円］／8［カ所］

＝31.85［百万円］

削減電力費 Ye は、前述の①における削減電力費と同様に、6.922［百万円/年］となる。

維持管理コスト Ym は、**式 3.10** より、以下のとおりとなる。

Ym＝（0.667［百万円/ユニット・年］－0.093［百万円/ユニット・年］）

×2［ユニット］＋0.3［百万円/年］＋1.1［百万円/年］／8［カ所］

＝1.586［百万円/年］

したがって、経費回収年 Y は、**式 3.8** より、以下のとおりとなる。

Y＝31.85［百万円］／（6.922［百万円/年］－1.586［百万円/年］）

＝5.97 年

c. 温室効果ガス削減量

温室効果ガス削減量⊿Yg は、前述の①における温室効果ガス削減量と同様に、267.2［千 kg-CO_2/年］となる。

d. その他定性的な効果

MSPC 技術については、**表 3-5** にあるような水処理に関する異常予兆を検出し、運用に役立つ可能性が期待できることから、この点を加味する。

４）結果の整理

以上の試算等を整理した結果を**表 3-11** に示す。

表 3-11　Ａ下水処理場における本技術導入における試算結果

項目	導入形態①（NH_4-N/DO 制御単独導入）	導入形態②（3 つの技術を組み合わせた導入）	導入判断の目安
経費回収年	4.58 年	5.97 年	6 年以内
電力量削減量	461.5 千 kWh/年	461.5 千 kWh/年	300 千 kWh/年以上
温室効果ガス削減量	267.2 千 kg-CO_2/年	267.2 千 kg-CO_2/年	
その他定性的な効果等		・MSPC 技術により、水処理に関する異常予兆を検出し、運用に役立つ可能性がある。	
その他の考慮点	・流入下水量の増加により、経費回収年はさらに短くなると見込まれる。	・リモートサーバの新設計画を 5 年後に予定。 ・流入下水量の増加により、経費回収年はさらに短くなると見込まれる。	

（４）導入判断

表 3-11 の結果をもとに、本技術の導入について判断する。

（１）導入の是非の決定

導入形態①、導入形態②の両方の導入形態において、導入判断の目安を見たしたことから、本技術の導入効果が見込めると判断して、本技術の導入を進めることに決定した。

（２）導入形態の決定

導入形態②において、経費回収年、電力量削減量のいずれの導入判断の目安を満たした。また、導入形態②では、MSPC 技術による定性的な効果が期待できる。したがって、A下水処理場では、3 つの技術を組み合わせた技術の導入を進めていくことに決定した。

なお、A下水処理場を含む地方公共団体では、下水処理場等 8 カ所を統括管理するリモートサーバの新設計画を 5 年後に予定していることから、まずは、NH_4-N/DO 制御を単独で導入することで、硝化機能の安定化と省エネルギー効果を受けつつ、5 年後のリモートサーバの新設計画に合わせてリモート診断技術を導入することが、他の計画との整合性もとることができると考えられる。

これにより、このA下水処理場における導入効果検討の例では、3 つの技術を組み合わせた技術を導入することを前提とし、第 1 段階として NH_4-N/DO 制御技術を導入、第 2 段階としてリモート診断技術である制御性能改善技術、MSPC 技術を導入、という 2 段階で進めるという方針で、具体的な計画・設計を進めていくこととした。

第４章　計画・設計

第１節　導入計画

§19　導入計画の検討手順

本技術の導入に関する計画は、以下の手順で実施する。

（１）詳細調査

（２）システム構成の検討

（３）導入効果の検証

（４）導入計画の策定

【解　説】

第３章 導入検討において検討を行った結果、本技術の導入効果が見込まれると判断された場合には、導入計画を策定する。ここでは、**図 4-1** に示す通り、詳細調査、システム構成の検討、導入効果の検証、導入計画の策定、の手順で検討を行う。

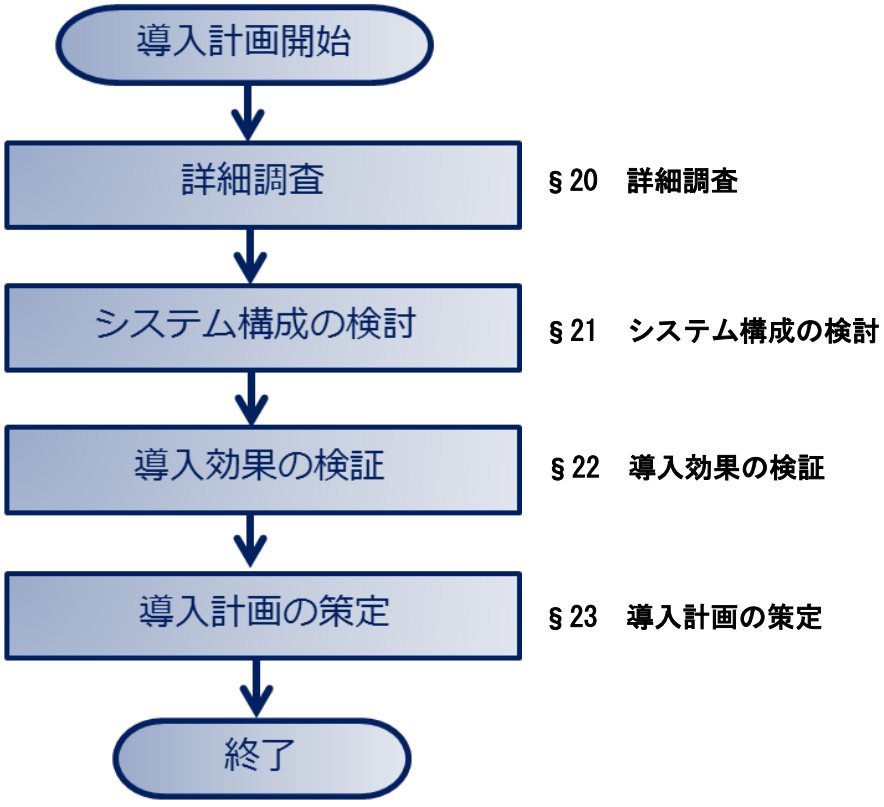


図 4-1　導入計画の手順

§20　詳細調査

システム構成の検討に先立ち、詳細調査を行うことにより、施設・設備の計画・現状等について把握する。

【解　説】

導入検討時に検討に必要な項目について調査を実施しているが、ここでは導入検討時から導入計画時までの状況変化の確認を行うとともに、より詳細な調査を行う。

詳細調査項目を**表 4-1** に示す。

表 4-1　詳細調査項目

調査項目	手段	目的
水処理設備の運転状況	施設図面、フローシート、管理日報等	・現状の水処理設備の運転状況や処理状況を確認する。
水処理設備の電気設備の状況	システム設計仕様書、信号項目表等	・電気設備の現在の状況を確認する。 ・本技術を導入することにより、発生する改造内容を確認する。
下水処理場の将来計画	計画図面等	・当該下水処理場の将来計画として、設備の計画、計画流入下水量、計画流入水質、計画処理水質等を確認する。
地方公共団体の将来計画 （ICT 活用計画、維持管理計画等）	ICT 活用に関する計画資料、維持管理方針に関する計画資料、サーバ計画図面、施設図面等	・リモート診断機能を導入するために、リモートサーバの設置状況、将来計画等を確認する。

§21　システム構成の検討

本技術の導入計画にあたり、システム構成に係る以下の項目について検討を行う。

（１）NH_4-N センサー設置に関する検討

（２）送風量制御方式に関する検討

（３）システム改造範囲の検討

（４）リモート診断システムに関する検討

【解　説】

本技術の導入計画にあたり、システム構成に係る以下の項目について検討を行う。

（１）NH_4-N センサー設置に関する検討

（２）送風量制御方式に関する検討

（３）システム改造範囲の検討

（４）リモート診断システムに関する検討

各項目について必要な検討内容を**表 4-2** に示す。

表 4-2　システム構成の検討項目

検討項目	検討・確認内容
（１）NH_4-N センサー設置に関する検討	・設置台数、設置位置（反応タンクのどの位置に設置するか）の検討 ・導入する NH_4-N センサーの仕様検討
（２）送風量制御方式に関する検討	・現状の送風量制御方法の確認 ・送風量範囲の確認 ・送風量削減可能性の確認
（３）システム改造範囲の検討	・改造範囲の確認 ・改造対象となる機器等において発生する改造内容の確認 ・DO センサーの設置状況、使用状況の確認
（４）リモート診断システムに関する検討	・サーバの設置場所、管理状況の確認 ・診断機能を導入するサーバの使用状況の確認 ・ネットワーク（キャリア、サービス内容）の確認

§22　**導入効果の検証**

システム構成の検討に基づいて、導入効果について再検討を行い、**第３章 第１節 §16 導入効果の検討**で試算した導入効果が得られるかについて検証する。

【解　説】

導入検討時に**§16 導入効果の検討**で簡易な方法による本技術の導入効果の検証を行ったが、ここでは、**§21 システム構成の検討**で検討したシステム構成に基づいて、本技術の導入による各種コスト（建設コスト、維持管理コスト、削減電力費）に基づいた経費回収年、温室効果ガス排出削減量を算出し、十分な導入効果が得られるかについて検証する。

建設コストについては、検討したシステム構成に対して、より詳細に費用の積算を行う。必要に応じてメーカーへのヒヤリングを行い、試算精度を上げるようにする。維持管理コストについては、検討したシステム構成にもとづいて、発生することが想定される維持管理項目および必要な費用を算出する。削減電力費については、管理帳票からの送風量実績や将来の見通し、機械図面等から、削減電力量の見直しを行い、その精度を上げるようにする。

検討したシステム構成について、試算した結果から十分な導入効果（経済性、電力量削減効果、温室効果ガス削減効果）が得られるかについて再度確認する。

§23　導入計画の策定

本技術の導入についての検討結果を、詳細調査、システム構成の検討、および導入効果の検証の各結果について導入計画書等としてとりまとめる。

【解　説】

導入効果が得られることが確認できた場合には、本技術の導入についての検討結果を導入計画書等として取りまとめる。

導入計画書としては、詳細調査（施設・設備の計画・現状等の把握）、システム構成の検討を行った結果に加え、導入効果の検証結果を含めて取りまとめるものとする。

第２節　本技術導入のための設計

§24　NH_4-N/DO 制御技術の設計

NH_4-N/DO 制御技術として、以下の項目の設計を行う。

（１）システム構成の検討

（２）システム設計

（３）機能設計

【解　説】

NH_4-N/DO 制御技術の設計にあたっては、大きく（１）システム構成の検討、（２）システム設計、（３）機能設計を行う。これらの設計内容およびその留意点について説明する。

（１）システム構成の検討

本技術のシステム構成の概略を**図 4-2** に示す。赤枠の部分が、NH_4-N/DO 制御技術として対象となる範囲である。NH_4-N/DO 制御技術として必要となる設備を**表 4-3** に示す。

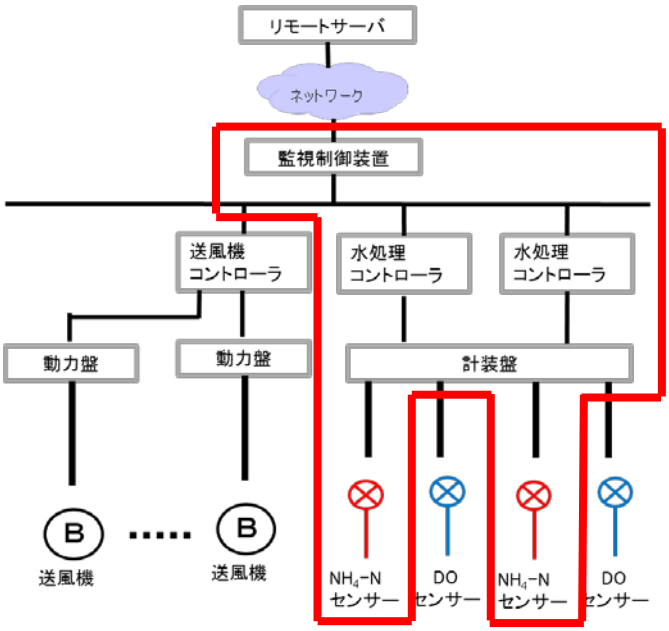


図 4-2　本技術のシステム構成と NH_4-N/DO 制御技術の範囲

表 4-3　NH_4-N/DO 制御技術において必要な設備

設備	用途	新設／既設流用／改造の別
NH_4-N センサー	NH_4-N 濃度を計測する。	新設
DO センサー	DO 濃度を計測する。	既設流用
計装盤	計装機器への電源の供給、計装信号の取り込みを行う。	改造（用途を満たす場合、改造は必須ではない。）
コントローラ	NH_4-N 濃度信号、DO 濃度信号を取り込み、これらの信号にもとづいて、NH_4-N/DO 制御を行う。	改造
監視制御装置	水処理運転の状況、NH_4-N/DO 制御の状況等の監視を行う。	改造

＊新設、系列増設の場合は、全て新設となる。

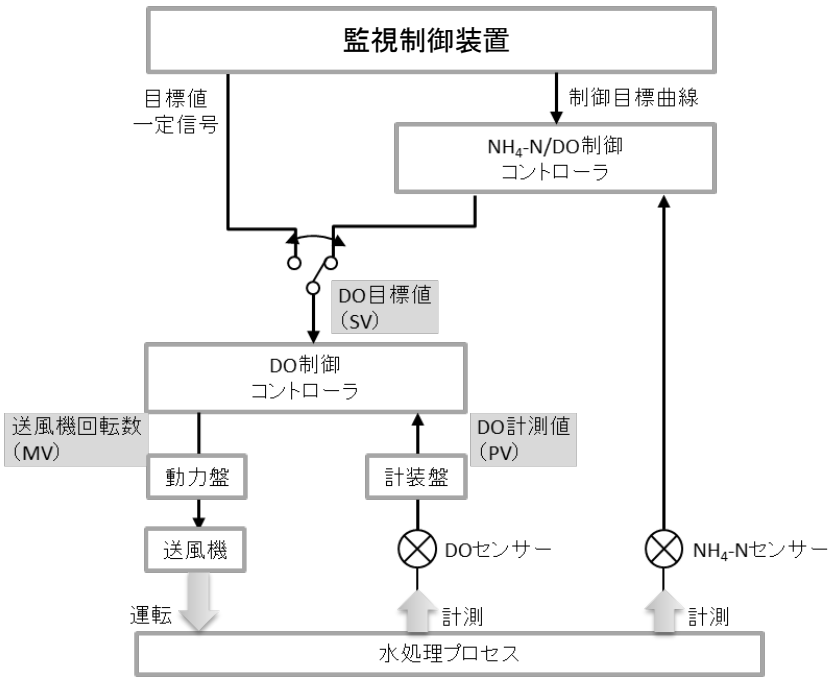


図 4-3　NH_4-N/DO 制御システム（1 ユニット）

（２）システム設計

１）システムの増設および改造範囲

まず、NH_4-N/DO 制御技術の設計にあたり、システムの増設および改造範囲を確定する。基本的には、NH_4-N センサーの新設、コントローラ（PLC：プロマブルロジックコントローラ）の改造、監視制御装置（HIS：ヒューマンインターフェースステーション）の改造、が発生することが想定され、これらの内容がシステムの増設および改造範囲となる。

２）NH_4-N センサーに関連した設計

導入計画にしたがい、追加する NH_4-N センサーおよびこれに関連した設計を行う。

①導入する NH_4-N センサーを選定する。本 NH_4-N/DO 制御の制御性の観点からイオン電極型で連続測定方式の NH_4-N センサー（センサーレンジ：0～10mg/L）を採用することを基本とする。

②NH_4-N センサーの導入台数およびその設置位置を定める。基本的には、好気槽の後段部に NH_4-N センサーの設置を行う。NH_4-N センサーの設置位置は、好気槽後段部の10～30%の位置に設置することが好ましい。複数池一括で制御を行う場合には、返送汚泥が共通である系列に NH_4-N センサーを 1 台導入することが基本となるが、どの池に NH_4-N センサーを設置するのかについては、pH センサー、MLSS センサー等が設置され、その系列の代表池扱いになっている池に設置することを目安とする。

③NH_4-N センサーの設置位置からコントローラまでのケーブルルートを決定する。

④NH_4-N センサーのための計装用電源の供給ルートを決定する。

３）コントローラ（PLC：プロマブルロジックコントローラ）に関する設計

コントローラについては、NH_4-N/DO 制御を導入する対象コントローラを決定する。改造となるコントローラが複数台になる場合もある。

また、NH_4-N センサーの追加にともない NH_4-N 濃度信号を入力する必要があることから、その信号を入力するための入力基板に必要入力点数分の空きがあるかどうかについて確認する必要がある。入力基板に空きがある場合には、入力する基板およびチャンネルを明確にする必要がある。また、入力基板に空きがない場合には、新たな基板の追加が必要となる。

４）監視制御装置（HIS：ヒューマンインターフェースステーション）に関する設計

NH_4-N/DO 制御技術の導入にあたり、改造対象となる監視制御装置とその範囲について明確にする必要がある。主な項目としては、「フロー画面の改造」（水処理設備や送風機設備監視操作用フロー画面に新たに設置する NH_4-N センサーの信号や機器情報を追加する）と「制御目標曲線の設定画面の追加」の必要がある。

５）DO センサーの設置に関して

DO センサーについては、既設のものがあれば流用することも可能であるが、その正確性や安定性について、あらかじめ確認しておく必要がある。また、DO センサーを新規に設置する必要がある場合には、反応タンクの後段部に設置し、空気の泡が直接触れない位置となるように留意する必要がある（DO センサーの設置に関しては、従来の考え方と同様である）。

（３）機能設計

１）NH_4-N/DO 制御技術の適用対象（制御ループ）と入出力信号項目の設計

NH_4-N/DO 制御技術の適用対象（制御ループ）について確認する。すでに、DO 一定制御が導入されている場合には、その制御ループに NH_4-N/DO 制御の機能を付加する形で実現することができる。また、その他の制御が導入されている場合には、その既存の制御内容やその仕様を踏まえて、改造する範囲を明確にする必要がある。また、NH_4-N/DO 制御には、NH_4-N センサーの計測値を入力する必要があり、その設計を行う必要がある。

２）制御目標曲線の設計

NH_4-N/DO 制御の制御目標曲線については、設計の段階では、基本的な曲線として、3 つの標準曲線（標準曲線、省エネ型曲線、水質重視型曲線）を設計する。この曲線の変更は監視制御装置（HIS）の画面から容易に設定変更ができるように設計する。また、この曲線はカスタマイズできるように構成する。カスタマイズ機能は、最低 DO 制御目標値、最大 DO 制御目標値、中間値（NH_4-N＝1mg/L の時の DO 制御目標値））の 3 点を設定すれば、自動的に曲線を引くことができる機能として提供する。

３）インターフェース画面の設計

NH_4-N/DO 制御技術の導入にあたり、改造対象となる画面、表示する信号および表示位置等について明確にする必要がある。水処理設備や送風機設備の監視操作用フロー画面に新たに設置する NH_4-N センサーの信号や機器情報を追加する改造と制御目標曲線を設定する画面を作成する。標準曲線、省エネ型曲線、水質重視型曲線の曲線が選択できるようにインターフェースを構築するとともに曲線のカスタマイズ機能として、最低 DO 制御目標値、最大 DO 制御目標値、中間値（NH_4-N＝1mg/L の時の DO 制御目標値）の 3 点を設定すれば、自動的に曲線を構築できる機能を設ける。また、曲線設定画面には、NH_4-N センサーの計測値と NH_4-N/DO 制御の出力である DO 制御目標値も併せて表示するように設計する。

４）その他留意点

既設の DO 一定制御を流用し、NH_4-N/DO 制御の制御機能を追加する場合には、DO 一定制御の性能が NH_4-N/DO 制御の性能に大きく影響するため、事前に DO 一定制御の実測値と DO 制御目標値の情報を入手し、DO 一定制御の性能を確認しておくことが望ましい。

§25　制御性能改善技術の設計

制御性能改善技術として、以下の項目の設計を行う。

（１）システム構成の検討

（２）システム設計

（３）機能設計

【解　説】

制御性能改善技術の設計にあたっては、大きく（１）システム構成の検討、（２）システム設計、（３）機能設計を行う。これらの設計内容およびその留意点について説明する。

（１）システム構成の検討

本技術のシステム構成の概略を**図 4-4** に示す。赤枠の部分が、制御性能改善技術として対象となる範囲である。制御性能改善技術として必要となる設備を**表 4-4** に示す。

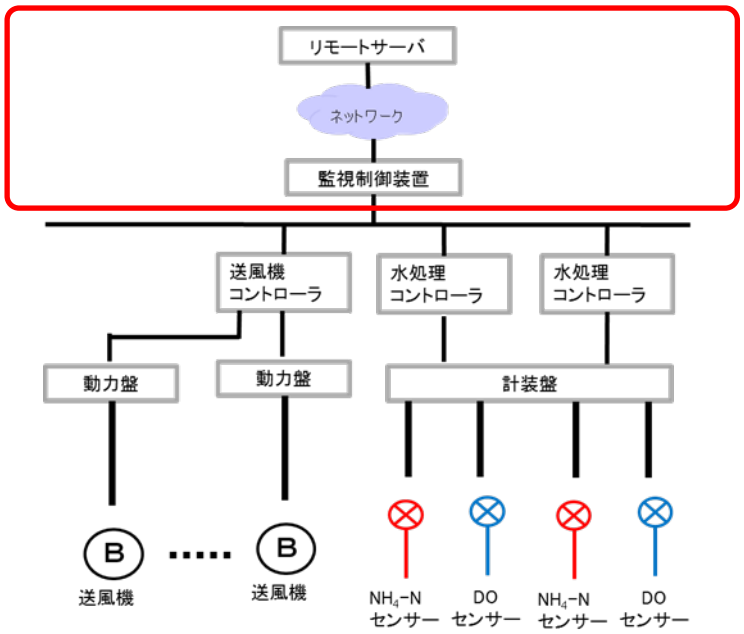


図 4-4　本技術のシステム構成と制御性能改善技術の範囲

表 4-4　制御性能改善技術で必要となる設備

設備	用途	新設／既設流用／改造の別
リモートサーバ	制御性能改善技術を実装し、制御性能の判定および制御パラメータの演算を行う。	新設もしくは改造
ネットワーク	リモートサーバと監視制御装置間を接続し、制御性能改善技術に関連する信号の授受を行う。	新設
監視制御装置	制御性能改善技術に必要な信号の監視や診断結果の表示、設定等を行う。	改造

（２）システム設計（ハードウェア、ネットワーク）

制御性能改善技術を搭載するリモートサーバの設計にあたっては、サーバのハードウェアについては、24 時間連続稼働が可能で、将来リモートサーバに接続する下水処理場数を考慮して、制御性能改善技術に関する処理を行うことが可能な性能を有するサーバを選定する。また、後述する診断結果の通知方法により、例えば画面情報を提供する場合には Web サーバの機能を、メールにより提供する場合にはメールサーバの機能をサーバに搭載する必要があり、その処理能力も考慮して、サーバを選定し、設計する必要がある。

また、ネットワークについては、常時接続可能なネットワークで、セキュリティを考慮して、インターネット VPN や IP-VPN の導入を検討する。また、地方公共団体において独自のネットワークを保有・運用している場合には、その利用についても考慮する。

（３）機能設計

１）制御性能改善技術の適用対象（制御ループ）と入出力信号項目の設計

制御性能改善技術を適用する制御ループを決定し、制御性能改善技術に必要な入出力信号項目について設計する。なお、制御ループとは**図 4-5** に示すような計測に使用するセンサーと運転に使用する操作機器で構成されるループである。制御性能改善技術はこのような制御ループを単位として設計する。

DO 一定制御の制御ループにおいて、ネットワークを介してリモートサーバへ入力する信号項目は、DO 計測値（PV）、DO 制御目標値（SV）、送風機回転数（MV）、およびコントローラが持つ PID 制御パラメータ（比例ゲイン、積分時間）である。また、出力する信号項目としては、推奨する PID 制御パラメータ（比例ゲイン、積分時間）となる。

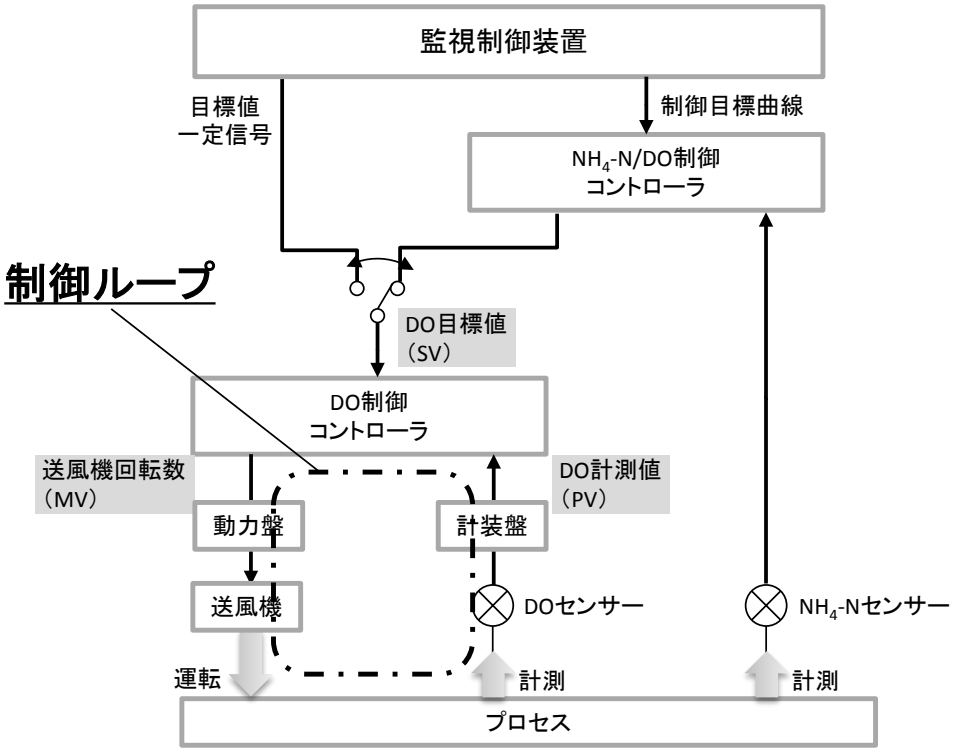


図 4-5 制御ループの概念

２）診断周期

制御性能改善技術の診断周期については、１回/1 日を基本とする。

３）診断結果の出力と通知方法

制御性能改善技術により出力される診断結果の通知方法については、画面情報により表示する方法やメールにより通知する方法が想定される。

画面情報により表示する場合には、**図 4-6** に示すように現在の PID 制御パラメータや、推奨する PID 制御パラメータの表示の他、推奨する PID 制御パラメータを、実際の制御ループに反映するための設定ボタン等を用意する必要があり、その画面設計が必要となる。

図 4-6　画面情報による表示例

また、メールにより通知する場合には、メールの件名や本文に記載する情報についての設計が必要となる。

４）その他留意点

制御性能改善技術は、**図 4-5** に示すようにセンサーの計測信号をもとに診断および推奨制御パラメータを演算するため、使用するセンサーは適切にメンテナンスされる必要がある。メンテナンス性を向上させる施策として、MSPC 技術を利用する方法がある。

§26　MSPC 技術の設計

MSPC 技術として、以下の項目の設計を行う。

（１）システム構成の検討

（２）システム設計

（３）機能設計

【解　説】

MSPC 技術の設定にあたっては、大きく（１）システム構成の検討、（２）システム設計、（３）機能設計を行う。これらの設計内容およびその留意点について説明する。

（１）システム構成の検討

本技術のシステム構成の概略を**図 4-7** に示す。赤枠の部分が、MSPC 技術として対象となる範囲である。MSPC 技術として必要となる設備を**表 4-5** に示す。

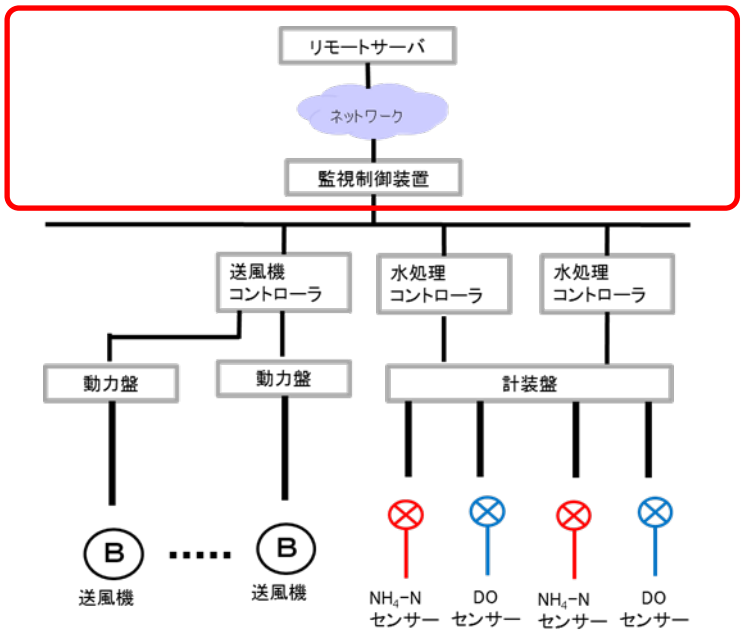


図 4-7　本技術のシステム構成と MSPC 技術の範囲

表 4-5　MSPC 技術で必要な設備

設備	用途	新設／既設流用／改造の別
リモートサーバ	MSPC 技術を実装し、診断モデルの更新、診断モデルにもとづく異常兆候判定の演算を行う。	新設もしくは改造
ネットワーク	リモートサーバと監視制御装置間を接続し、MSPC 技術に関連する信号情報の授受を行う。	新設
監視制御装置	MSPC 技術に必要な信号の監視や、異常兆候判定結果の表示等を行う。	改造

（２）システムの設計（ハードウェア、ネットワーク）

MSPC 技術を搭載するリモートサーバおよびネットワークの設計にあたっては、制御性能改善技術と同様に設計を行う。

（３）機能設計

１）MSPC 技術に必要な入出力信号項目の設計

MSPC 技術に必要となる入出力信号項目について設計する。後述する診断ユニットにおいて使用する入力信号項目については、もれなく入力する必要がある。また、MSPC 技術から出力される情報については、Q 統計量、Q 統計量寄与量、T^2 統計量、T^2 統計量寄与量となる。なお、これらの量については、診断ユニットごとにそれぞれ出力されることになる。

２）診断ユニットの設計

MSPC 技術において診断を行うための診断ユニットを設計する。設計する基本的な診断ユニットを以下に示す。

①ブロワ関連異常診断ユニット：ブロワに関連する異常を検出するユニット

②ポンプ・流量・水位関連異常診断ユニット：ポンプ・流量・水位に関連する異常を検出するユニット

③センサー異常診断ユニット：(特に異系列の同種) センサーの異常を検出するユニット

④制御ループ異常診断ユニット：フィードバック制御ループの異常を検出するユニット

⑤エネルギー原単位異常診断ユニット：エネルギー原単位の異常を検出するユニット

⑥水質関連異常診断ユニット：窒素やりん等の水質に関連する異常を検出するユニット

⑦汚泥関連異常診断ユニット：汚泥関連の異常を検出するユニット

表 4-6、表 4-7 は①～⑦の診断ユニットの定義例である。**表 4-6** は、上記の 7 種類の診断ユニットで検出を想定する事象を示しており、**表 4-7** は、各診断ユニットを構成に入力する変数を定義している。**表 4-7** において、○印をつけた項目は対応する診断ユニットを構築する際には、基本的に入力すべき変数であり、△印をつけた項目は必要に応じて入力する変数である。ただし、○印や△印の項目が計測されていない場合は、それらの変数は除外して構築する。

表 4-6 異常診断ユニットの定義例：各診断ユニットが想定する異常事象の例

番号	異常診断ユニット名称	検出を想定する事象	実証対象
1	ブロワ関連異常診断ユニット	散気管バルブ誤作動・誤動作（閉方向）	○
		散気管バルブ誤作動・誤動作（開方向）	○
		ブロワ故障・メンテナンス	
		制御センサードリフト	○
		制御センサー故障・メンテナンス	
		風量制御（DO 制御）異常	
		ブロワ制御異常	
		制御モード変更	
2	ポンプ・流量・水位関連異常診断ユニット	ブロワ運転切り替え・メンテナンス	
		系列間流入量アンバランス	
		流量・水位センサー故障・メンテナンス	
		流入渠・汚水ポンプ井・調整池水位変動	
		ポンプ目詰まり・故障	○
3	センサー異常診断ユニット	センサー計測値異常	○
		センサードリフト	○
		センサー過大ノイズ（電磁ノイズ等）	
		センサー異常（通信異常、校正異常等）	○
		センサーメンテナンス	
4	制御ループ異常診断ユニット	制御異常（過剰なハンチング等）	
		制御センサー異常・ドリフト	
		制御モード切り替え	
5	エネルギー原単位異常診断ユニット	流入水質負荷変動	
		ブロワ関連エネルギー利用効率変化	○
		主ポンプ関連エネルギー利用効率変化	
		返送・循環ポンプ関連エネルギー利用効率変化	○
		撹拌機関連エネルギー利用効率変化	
6	水質関連異常診断ユニット	ポンプ運転切り替え・メンテナンス	
		嫌気・無酸素槽酸素混入（脱窒阻害・りん吐出阻害）	
		硝化阻害	
		りん除去不良	
		流入水質負荷変動	○
		水質センサー計測値異常	○
		水質センサードリフト（NH_4-N、NO_3-N、PO_4-P、ORP、DO 等）	○
		水質センサー故障・メンテナンス	
		毒物混入等による処理能力低下	
7	汚泥関連異常診断ユニット	SRT・A-SRT 変動	
		MLSS センサー故障	
		バルキング	
		汚泥掻き寄せ機故障・メンテナンス	○
		返送汚泥ポンプ故障・メンテナンス	○
		余剰汚泥ポンプ故障・メンテナンス	

表 4-7 異常診断ユニットの定義例：診断モデルに入力するプロセス監視データの例

項目名称	診断ユニット名						
	ブロワ	ポンプ・流量・水位	センサー	制御ループ	エネルギー原単位	水質	汚泥
流入渠水位		○					
ポンプ井水位		○			○		
汚水揚水流量		○			○		
主ポンプ回転数		○			○		
主ポンプ電流					○		
最初沈澱池流入量		○					○
平滑化最初沈澱池汚泥流量		○					○
平滑化最初沈澱池汚泥量							○
反応槽流入流量	○	○	○	○	○	○	○
送風機電力量	○				○		
送風機回転速度	○			○	○		
曝気温度	○						
曝気圧力	○						
曝気風量	○			○	○	○	
空気倍率	△				△	△	
曝気原単位（流入量）					○		
返送汚泥流量		○			△	○	○
返送汚泥調節弁開度					△		
返送汚泥ポンプ回転数		○			△		
返送率						○	○
循環流量		△			△		
循環ポンプ回転数					△	△	
循環率						△	
平滑化余剰汚泥流量		○				○	○
平滑化余剰汚泥量						○	○
余剰汚泥引抜率						○	○
放流流量	△	○	○			△	
流入 COD			△			△	
流入 SS			△			△	
流入 T-N			△			△	
流入 T-P			△			△	
反応槽水温			○			○	
反応槽 ORP	△		○			○	
反応槽 pH			△			○	
反応槽 NH_4-N			△			○	
反応槽 NO_3-N			△			○	
反応槽 PO_4-P			△			○	
反応槽 MLSS			○			○	○
反応槽 DO	○		○	○		○	
放流 COD			△			△	
放流 SS			△			△	
放流 T-N			△			△	
放流 T-P			△			△	
SRT						△	○
A-SRT						○	○
受電電圧				○	○		
受電電流				○	○		
受電電力				○	○		
全体エネルギー原単位				○	○		

３）しきい値の設計

MSPC 技術では、異常検出指標として、2 種類の統計量（Q 統計量および T^2 統計量）を用いている。異常兆候の有無は、各統計量の値と予め設定したしきい値を比較することで判断する。統計量がしきい値を超過した場合に異常兆候を検出と判定するため、これを適切に設定する必要がある。しきい値は、診断ユニットごとに定める必要があるが、基本的には、Q 統計量および T^2 統計量に対してある信頼水準α（あるいは有意水準＝1－信頼水準）を設定し、この信頼水準に対応する信頼限界を、診断ユニットごとに診断モデル更新時に自動的に算出し、各統計量のしきい値とする。

信頼水準αは設定パラメータである。ただし、設計者が設定しやすいように、$K_\alpha = 2$の時に信頼水準 95%になるようなパラメータ（信頼水準αに対応する Z 値）を導入し、K_αの値を設計者が設定する。通常、K_αは、2～4 程度の値をとり、K_αを小さくすると、軽微な異常兆候を検出するようになり、大きくすると、明確な異常のみ検出するようになる。
設定パラメータK_αは、運用開始後に監視画面もしくはリモート画面のインターフェースを通じて変更できるように設計することが望ましい。

４）診断モデル更新周期の設計

MSPC 技術では、「通常の運用状態」を診断モデルで定義し、その状態からのずれを 2 種類の統計量で評価しているため、「通常の運用状態」を規定する診断モデルを定期的に再構築して更新することが望ましい。診断モデルを定期的に更新する更新周期については、1 週間～1 カ月程度の範囲で、設計者が設定する。デフォルト値としては 2 週間程度とする。診断モデルは、更新時と前回の更新時の間のデータを使って構築される。

センサーのドリフト等の緩やかな変化を検出したい場合は、更新周期を長くし、比較的急峻な変化を検出したい場合は更新周期を短くする。ただし、更新周期が短すぎるとセンサーのドリフト等の現象は検出不可能になる。更新周期を長くしすぎると、運用変更等があった場合、これを異常として検出した後、その状態が次回の更新時まで継続するため、その間に新たに生じた異常兆候を検出不可能になる可能性が高くなる。これらの事項を勘案して、各診断モデルの更新周期を設計する。

また、急峻な変化と緩やかな変化を両方検出したい場合には、2 種類の更新周期を持つ診断モデルを同時に適用するように設計することもできる。

５）診断周期

診断周期については、リモートシステムにおける通信回線の速度および MSPC 技術における演算速度を考慮して、5 分以上の値として設定する。5 分以上であれば、任意の周期で診断は実行可能であるが、一般的に異常診断の観点からは診断周期は短い方が望ましいため、データサーバの容量等の制約等特別な事情が無い場合には、診断周期は 5 分とする。

なお、5 分未満の周期での診断が必要な信号項目の異常に関しては、原則として MSPC 技術の適用範囲外となる。

６）診断結果の出力と表示方法

MSPC 技術により出力される診断結果の通知方法については、画面情報により表示する方法が想定される。

画面情報により通知する場合には、MSPC 技術から出力される情報である Q 統計量、T^2 統計量のトレンドグラフ表示、Q 統計量寄与量、T^2 統計量寄与量のバーグラフ表示の他、これらの情報を診断ユニットごとに表示する必要があることから、診断ユニットを選択するためのボタン等を用意する必要があり、その画面設計が必要となる。

第５章　維持管理

第１節　本技術の運転管理

§27　本技術の運転管理

本技術の運転管理は、以下に示す内容について実施する。

（１）基本的な運転管理

（２）NH_4-N/DO 制御技術の運転管理

（３）制御性能改善技術を利用した運転管理

（４）MSPC 技術を利用した運転管理

【解　説】

本技術の導入により、以下のような水処理運転管理を実現することができる。

・処理水質を維持しながら、送風機に係る消費エネルギーの削減を図る。

・曝気風量制御にかかわる制御パラメータを常に適正に保ちつつ、プロセスやセンサーの異常兆候をいち早く検知することにより、処理水質の悪化や機器･センサーの異常等の維持管理を行う上での大きな問題が発生する可能性を低減する。

そこで、このような実現内容を踏まえ、運転管理者が本技術に関する運転管理として実施する、以下の項目について説明する。

（１）基本的な運転管理

（２）NH_4-N/DO 制御技術の運転管理

（３）制御性能改善技術を利用した運転管理

（４）MSPC 技術を利用した運転管理

（１） 基本的な運転管理

本技術は、NH_4-N/DO 制御技術単独の導入および、3 技術を組み合わせた導入が可能である。ここでは、単独導入の場合と 3 技術を組み合わせて導入した場合の運転管理の基本的な考え方について述べる。

NH_4-N/DO 制御技術の単独導入の場合は、本節（２）に記載の事項に関して、適切に維持管理することにより、硝化機能を維持・改善しながら、曝気風量低減に伴う省エネ効果を得ることができる。

NH_4-N/DO 制御技術の単独導入の場合は、

① 反応タンクの運転管理（硝化ができるように汚泥管理等を実施する。）

② 制御目標曲線の管理

③ NH_4-N センサーの管理

が必要となる（詳細は、本節（２）に記載）。

3 技術を組み合わせて導入した場合は、制御性能改善技術、MSPC 技術により、NH_4-N/DO 制御技術の制御効果の継続的な維持に重要な制御パラメータやセンサーの状態を常に診断しながら運転できるため、NH_4-N/DO 制御技術の制御効果を継続的に最大限発揮させることが可能となる。

また、MSPC 技術は、NH_4-N/DO 制御技術との組み合わせ効果以外にも、異常兆候の早期検知により、各種機器・センサー・水処理プロセスの安定化等の維持管理上の有用な情報を維持管理者に提供する。この情報を維持管理に活用することにより、維持管理の更なる効率化を図ることが可能となる。

3 技術を組み合わせて導入する場合においては、NH_4-N/DO 制御単独導入の場合の運転管理に加えて、以下の管理が必要となる。

・制御性能改善技術による制御パラメータの管理

・MSPC 技術による診断結果を利用した日常の運転管理

以降でそれぞれの技術の管理方法の詳細について述べる。

（２） NH_4-N/DO 制御技術の運転管理

ここでは、NH_4-N/DO 制御技術の運転管理について述べる。

運転管理にあたっては、以下の設定、管理が必要となる。

① 処理水の NH_4-N 濃度（日平均値）の管理目標値の設定

② NH_4-N センサー設置位置における NH_4-N 濃度の管理目標値の設定

③ 制御目標曲線の管理

また、本技術の機能を適切に維持・発揮するためには、以下の維持管理が必要となる。

a) 必要 ASRT の確保

b) NH_4-N センサーの維持管理

なお、a)、b)の内容については、**§28 本技術の維持管理**で説明する。

① 処理水 NH_4-N 濃度（日平均値）の管理目標値の設定

NH_4-N/DO 制御にて、運転管理を行うにあたって、硝化機能の維持基準として、処理水 NH_4-N 濃度（日平均値）の管理目標値の設定を行う。処理施設の運転状況に応じて、適宜設定するものとする。

標準的な管理目標値　処理水 NH_4-N 濃度（日平均値）　1mg/L 以下

② NH_4-N センサー設置位置における NH_4-N 管理目標値の設定

一般的に反応タンクの流れ方向で後段に進むにしたがって硝化が進行するため、反応タンク内の NH_4-N センサー設置位置における NH_4-N 濃度は処理水 NH_4-N 濃度よりも高くなる。NH_4-N/DO 制御を使って適切に運転管理を行うためには、制御目標曲線の管理が重要であるが、処理水 NH_4-N 濃度が管理目標値以下であるか否かの管理に関しては、連続測定を実施している NH_4-N センサーにより行うことを推奨する。

システム導入時に NH_4-N センサー設置位置と処理水それぞれの位置からサンプリングし、従来技術を各地点間における NH_4-N 濃度の関係を評価するとともに、定期的に処理水 NH_4-N の測定を実施し、監視制御装置に保存されている NH_4-N センサーの計測値との相関関係を評価する。

この相関関係から、NH_4-N 濃度（日平均値）の管理目標値を満たすための「NH_4-N センサー設置位置における NH_4-N 管理目標値」を設定する。

③制御目標曲線の管理

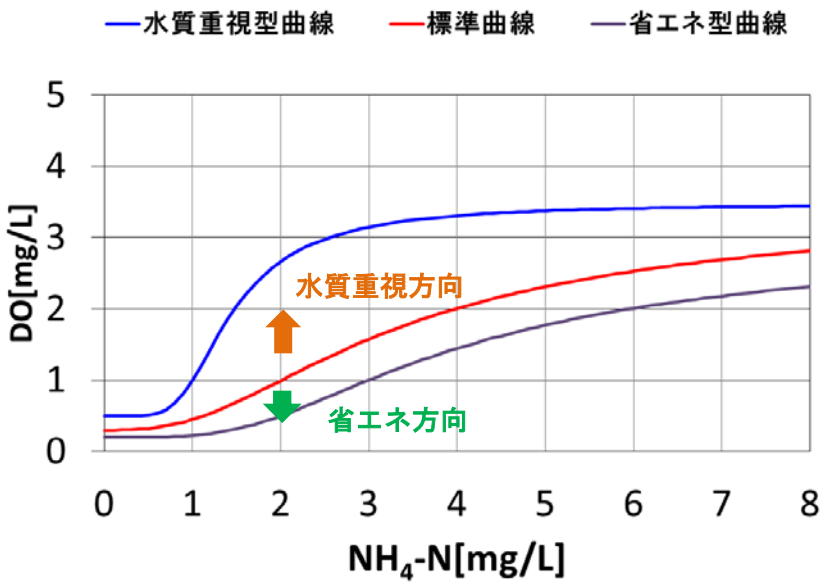
ここでは、NH_4-N/DO 制御を適切に運用するに当たって重要な制御目標曲線の管理方法について述べる。制御目標曲線は、標準曲線、省エネ重視型の曲線、水質重視型の曲線が監視制御装置の画面上から、容易に切り替え可能なように設定されている。運転を実施していく中でこの制御目標曲線を適宜、見直し調整していくことで、より適切な運転管理を行うことができる。

システム導入時には、標準曲線で運転を行うものとするが、運転を実施していく中で以下の１）～３）の状況が生じる場合は、必要な対応を行い、制御目標曲線の見直しを実施することが望ましい。

１）硝化性能悪化時の対応

日平均 NH_4-N 濃度が管理目標値以上となる場合には、まず、必要 ASRT の確保、NH_4-センサーの維持管理が適切になされているかを確認する（維持管理については、**§28 本技術の維持管理**（１）を参照）。これらが、適切に維持管理されている場合は、制御目標曲線をあらかじめシステムが保有する水質重視型の曲線に変更するか、もしくは、カスタ

マイズ機能を使って、より水質重視となるように水質重視方向に曲線の設定変更を行うことで制御目標曲線のチューニングを行う（**図 5-1** 参照）。



（NH_4-N 濃度に対する DO 制御目標値を上昇させる方向に曲線変更することにより水質重視、
NH_4-N 濃度に対する DO 制御目標値を下げる方向に曲線変更することにより省エネ重視に変更できる。）

図 5-1　制御目標曲線の運転管理例

２）NH_4-N 濃度の管理目標値に対して余裕がある場合の対応

処理水 NH_4-N 濃度（日平均値）の管理目標値に対して、実績の処理水 NH_4-N 濃度が十分に低い場合は、更なる省エネルギー化が期待できる。更なる省エネルギー化を図る場合は、制御目標曲線をあらかじめシステムが保有している省エネ重視型の曲線に変更するか、もしくは、カスタマイズ機能を使ってより省エネとなるように省エネ方向に曲線の設定変更を行うことで制御目標曲線のチューニングを行う（**図 5-1** 参照）。

３）流入負荷異常時に対する対応

大雨、長期連休等により、流入水質・水量の負荷が大きく異なることが予想される場合には、DO 一定制御モード等の他の制御モードに切り替えるか、もしくは、NH_4-N/DO 制御の制御目標曲線の設定変更を行う。

高負荷が予想される場合は、水質重視型の曲線に変更するか、もしくは、カスタマイズ機能を使って、より水質重視となるように水質重視方向に曲線の設定変更を行う。

低負荷が予想される場合は、省エネ重視型の曲線に変更するか、もしくは、カスタマイズ機能を使って、より省エネ重視となるように曲線の設定変更を行う。

また、休日と平日の負荷パターンが大きく異なる場合については、必要に応じて、曲線の設定変更を実施する。

（３） 制御性能改善技術を利用した運転管理

制御性能改善技術では、1 回/日の頻度で制御パラメータ（PID 制御の比例ゲイン、積分時間）の現状値の妥当性が診断される。診断は前日のデータを利用して行われる。

図 5-2 に示すように制御パラメータを改善した方が良い場合、システムより通知がある（**図 5-2** 中の A.)。通知があった場合、前日の曝気風量制御周りのデータに異常が見られなかったか（曝気風量計計測値、DO 計測値の欠測、異常流入等）について、確認する（**図 5-2** 中の B.)。

異常が見られなかった場合、制御性能が低下している可能性があるため、前日の目標値信号（例：DO 制御目標値）と計測信号（例：DO 計測値）のデータを確認し、制御性能が低下しているかトレンドを確認する（**図 5-2** 中の C.)。制御パラメータが適合しなくなったことにより制御性能が低下した際の典型的なトレンドを**図 5-3** に示す。コントローラの挙動は制御パラメータによって決定されており、その大小によって計測値がうまく目標値へ追従できずに遅れたり、上下振動（ハンチング）したりする。

前日のデータに異常が見られず、**図 5-3** のような制御パラメータによる制御性能劣化の傾向が見られた場合には、システムによる通知が妥当であると判断し、制御性能改善技術の出力である推奨パラメータ値への変更を行う（**図 5-2** 中の D.)。そして、その後のデータから制御性能の改善を確認する（**図 5-2** 中の E.)。**図 5-3** に記載した以外の傾向としては、例えば、DO センサーや送風機の異常等で制御性能が劣化する場合が考えられる（**資料編　1. 実証研究結果**（２）制御性能改善技術の評価結果の例）ため、**図 5-3** と傾向が異なる場合は、DO センサーや送風機の調査を行う。

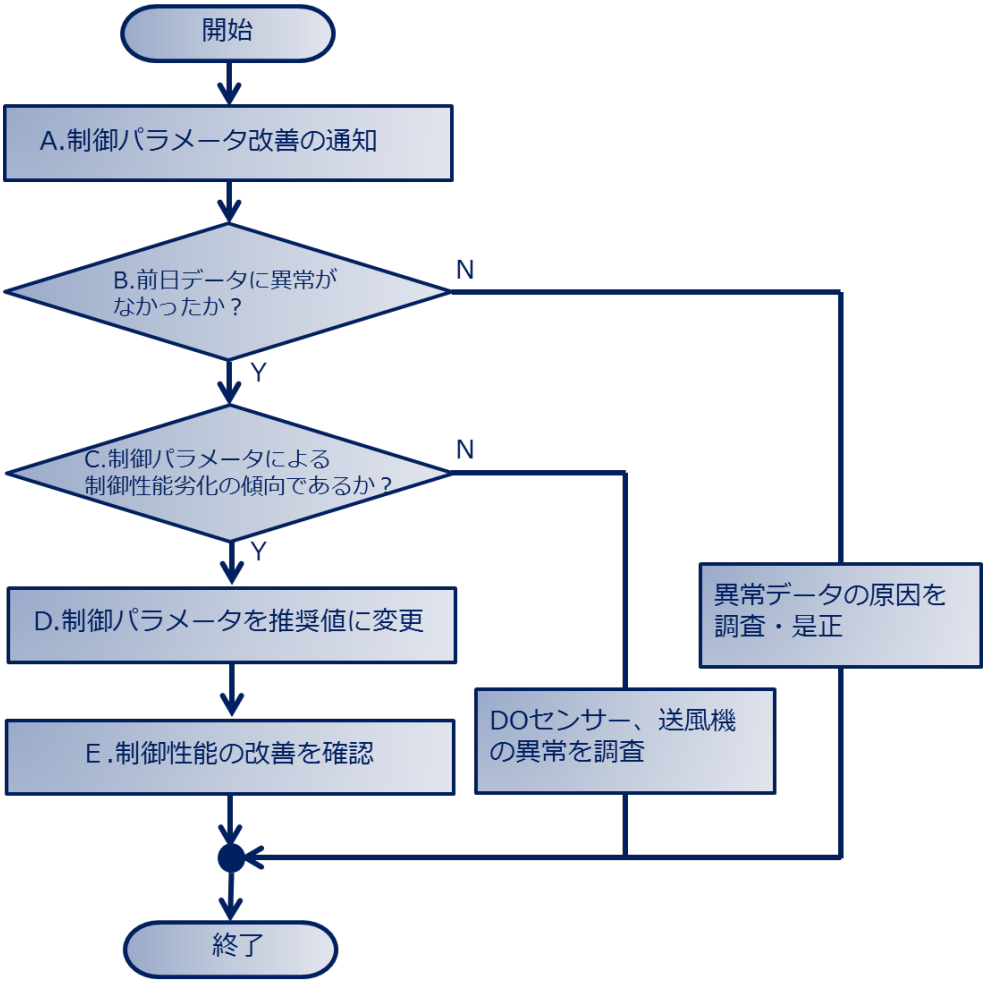


図 5-2　制御性能改善機能による制御性能劣化診断時の対応フロー

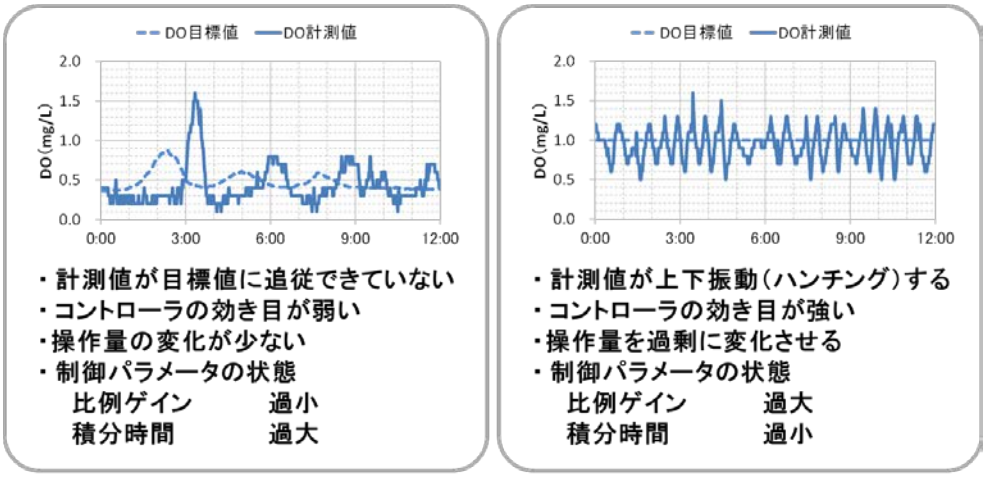


図 5-3　制御パラメータが適合しなくなったことによる制御性能の劣化例

（４）MSPC 技術を利用した運転管理

MSPC 技術は、通常の運用状態とは異なる状態を異常兆候として検出し、その要因の可能性があるプロセス変数をバーグラフとして監視画面等に表示する。日常の運転管理において、異常兆候が検出された場合は、**図 5-4** に示すフローに従って対応を行う。

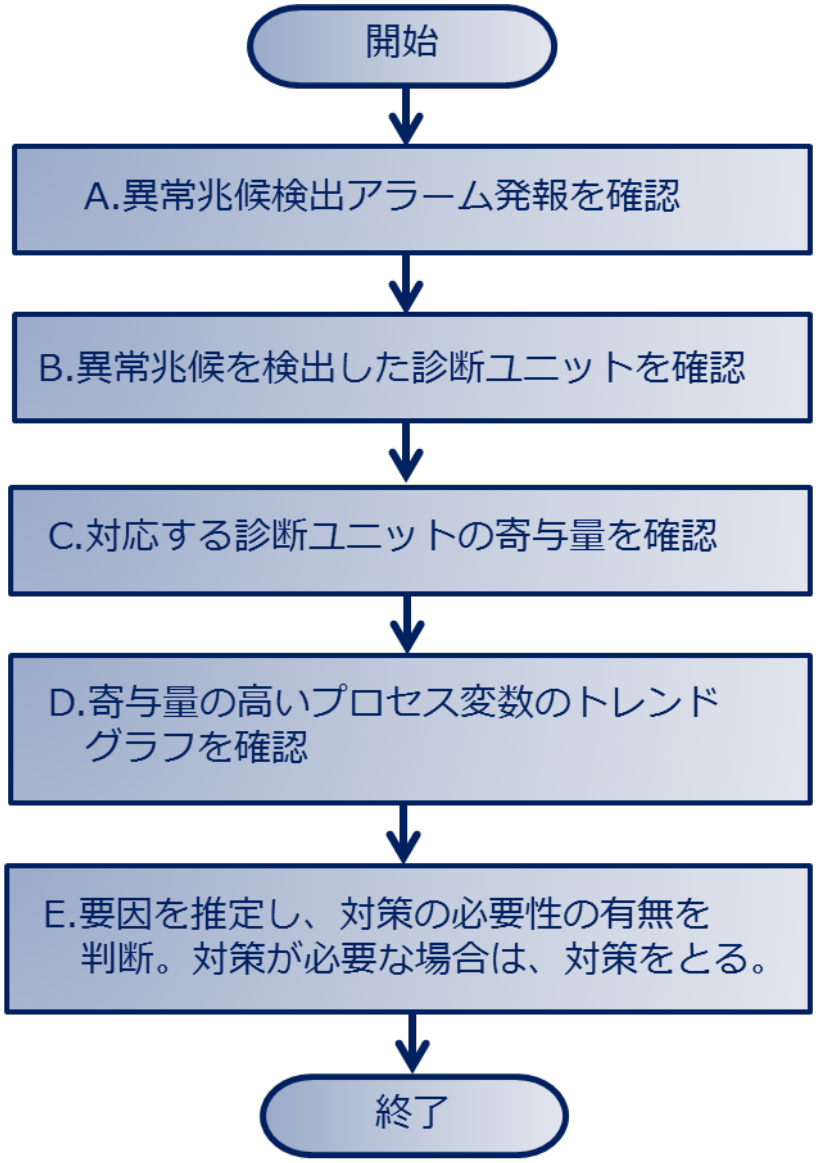


図 5-4 MSPC 技術による異常兆候検出時の対応フロー

以下、本フローの A.～E.のステップにおける具体的な対応方法を示す。

A. 異常兆候検出アラーム発報を確認

異常診断ユニットのいずれか一つ以上で異常兆候が検出された場合には、その旨が、監視室の監視画面等にアラームとして通知される。もしくは、メールにより通知される（**図 5-5**）。これをトリガーとして、運転管理者は B.以降の対応をとる。

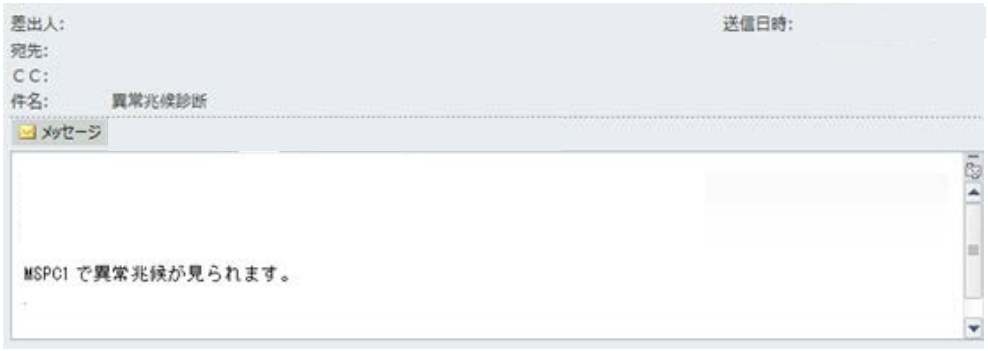


図 5-5 異常兆候検出アラーム発報のイメージ

B. 異常兆候を検出した診断ユニットを確認

アラーム発報の際、発報された診断ユニット（**表 4-6** 参照）が同時に通知される。運転管理者は、この情報から該当する診断ユニットを確認する。その後、診断ユニット名称から、可能性のある異常要因の範囲を把握する。例えば、検出した診断ユニットがブロワ関連異常診断ユニットであれば、異常要因は、ブロワに関連したプロセス監視データや運転データの異常である可能性が高く、以降のステップではその可能性を念頭において判断を行う。

C. 異常兆候を検出した診断ユニットの寄与量を確認

異常兆候を検出した診断ユニットの寄与量を確認し、アラーム発報の要因となったプロセス変数（風量、流量、水位、DO 等の運転データや水質データ）を推測する。

寄与量は、例えば、**図 5-6** に示すようなバーグラフで Q 統計量と T^2 統計量について個別に提示される。この図では、上の段に Q 統計量の寄与量を、下の段に T^2 統計量の寄与量のバーグラフを表示するイメージとなっている。

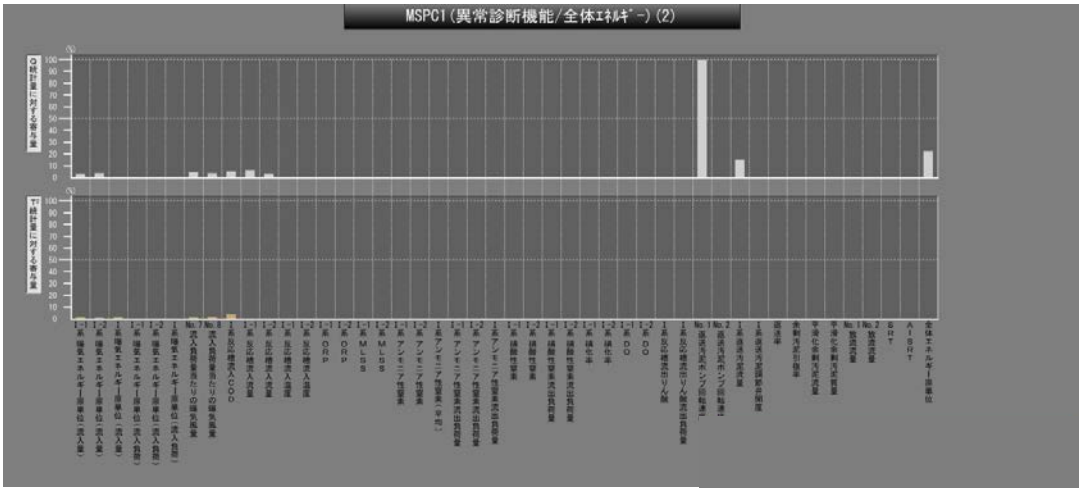


図 5-6 寄与量バーグラフのイメージ

寄与量は 0～100%の割合で提示される。通常の運用時においても、ほとんどのプロセス変数は、10～20%程度までの寄与量を持っているため、要因となるプロセス変数の推定にあたっては、例えば 50%以上の寄与量を示すプロセス変数を中心に確認する。10～20%未満の寄与量を示す変数については通常変動の範囲内であることが多く、20～50%程度の寄与量のプロセス変数については、異常兆候検出の要因の可能性があるので注意する必要がある。

なお、寄与量が高いプロセス変数であっても、その変動範囲が通常の変動範囲内である場合もある。MSPC 技術では、複数のプロセス変数間の相関情報を利用して異常検出を行うため、あるプロセス変数が異常な挙動を示した場合、それと相関持つ他のプロセス変数が通常の変動範囲内であっても、異常要因候補として寄与量が高くなる場合があるためである。特に、このような傾向は、相関情報のずれを直接的に評価する Q 統計量で現れる場合がある。したがって、寄与量が高いプロセス変数は、その全てが異常な挙動を示しているとは限らず、寄与量の高いプロセス変数の中のいずれか一つ以上の変数にアラーム発報の要因となるものが存在することを示しているので、その点に注意して確認する必要がある。

D. プロセス変数のトレンドグラフ確認

C.で寄与量が高いと判断したプロセス変数のトレンドグラフ（時系列データ）を、**図 5-7** に示すようなプラント監視画面上で確認し、そのプロセス変数の時間的な変化を見る。

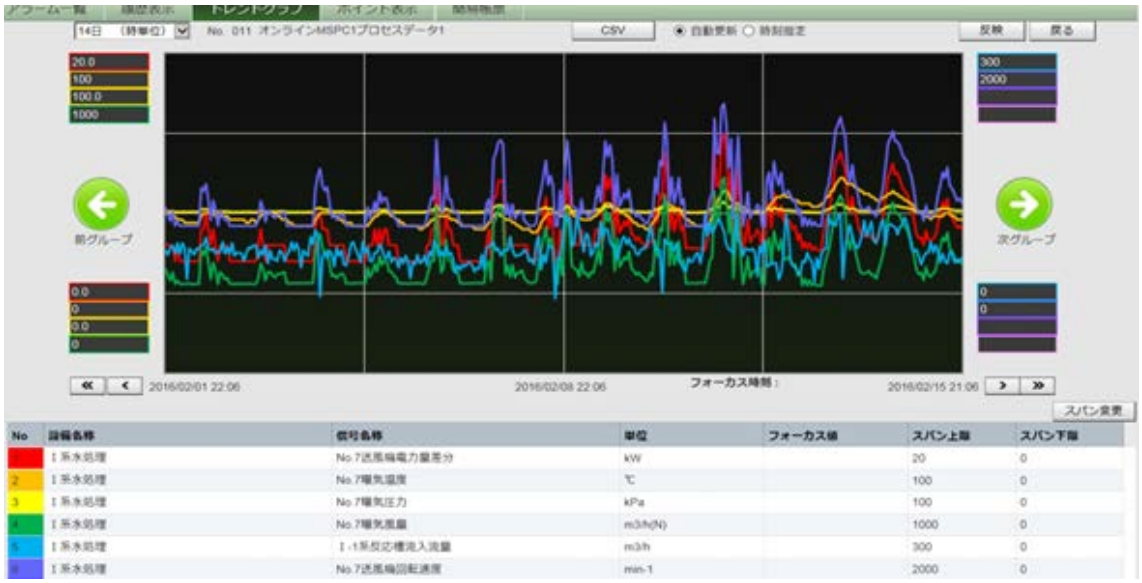


図 5-7 寄与量の高いプロセス変数のトレンドグラフのイメージ

E. 要因の推定と対策

図 5-6 の寄与量バーグラフと**図 5-7** の寄与量の高いプロセス変数のトレンドグラフから、異常兆候検出のアラームが発報された要因を推定する。MSPC 技術では、通常の運用状態と異なる状態を異常兆候として、アラーム発報するため、運転条件の変更や流入負荷量の変更等もアラームとして発報される場合がある。そのため、運転管理者は、運転条件の変更や流入負荷量の変更と実際の異常の兆候を識別する必要がある。

異常兆候検出の例、運転条件変更の例、流入負荷変化の例等、検出時の要因となる例を**表 5-1** に挙げる。

表 5-1　異常兆候検出、運転条件変更、流入負荷変化時の要因例

番号	分類記号	分類名称	要因例
1	a	異常兆候	センサー異常（計測異常やドリフト等）
2			ポンプの目詰まり
3			ブロワの目詰まり
4			汚泥掻き寄せ機故障
5			流量・水位のアンバランス
6			水質異常（窒素やりんおよびそれらに関する管理指標）
7			汚泥沈降性不良（バルキング等による汚泥濃度低下や SS 流出）
8			制御異常・ハンチング（制御量や操作量が振動する現象）
9			誤操作（バルブ開閉操作、制御モード誤選定等）
10	b	運転条件変更	ポンプやブロワ運転台数や運転する号機の切り替え
11			返送量（返送率）や循環量（循環率）の設定変更
12			SRT や ASRT の設定変更。あるいは、余剰汚泥引抜量（引抜率）の変更
13			調整池等の運用の変更
14			稼働している水処理系列の変更
15			風量制御等の制御モードの切り替え
16	c	流入負荷変化	降雨・降雪等による流入量の増加
17			水処理系列の一部停止等に伴う流入量増加
18			年末年始等、特別イベント時の水質・水量負荷の変動
19			祝祭日等に伴う負荷変動

b や c に該当せずに a に関連する異常兆候があると認められた場合には、運転管理者は、推定されたプロセス要因変数等を参考に、真の要因を調査し、適宜必要な対策をとる。

以下では、a の異常兆候検出の事例として、2 つの事例を示す。

■異常兆候検出例１：NH_4-N センサードリフト

A. 異常兆候検出アラーム発報を確認

図 5-8 のような異常兆候検出のアラーム発報メールを受信する。

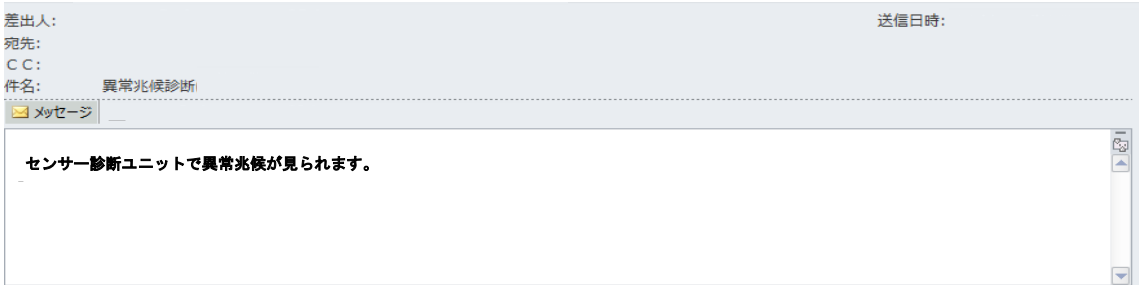


図 5-8 受信した異常兆候検出アラーム発報メール

B. 異常兆候を検出した診断ユニットを確認

センサー診断ユニットで異常兆候を検出していることを確認し、何等かのセンサーに異常があった可能性を推測する。

C. 異常兆候を検出した診断ユニットの寄与量を確認

図 5-9 の寄与量バーグラフを確認すると、NH_4-N センサーの寄与が 50%程度となっており、NH_4-N に関連する何等かの異常兆候がある可能性が疑われる。

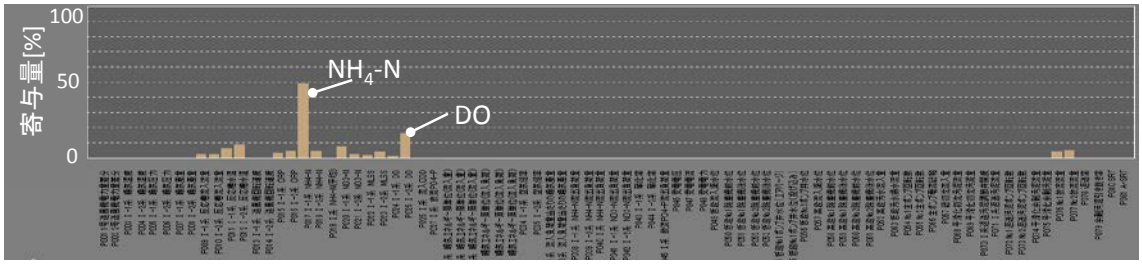


図 5-9 寄与量バーグラフの確認

D. プロセス変数のトレンドグラフ確認

NH_4-N センサーと、参考として、次に寄与量の大きい DO センサーのトレンドグラフを確認する。1 日分のトレンドグラフを確認しても、特に異常兆候と思われる事象はわからない。そこで、時間を長くとり、10 日分のトレンドグラフを確認すると、NH_4-N が徐々に上昇してきている傾向がわかる。

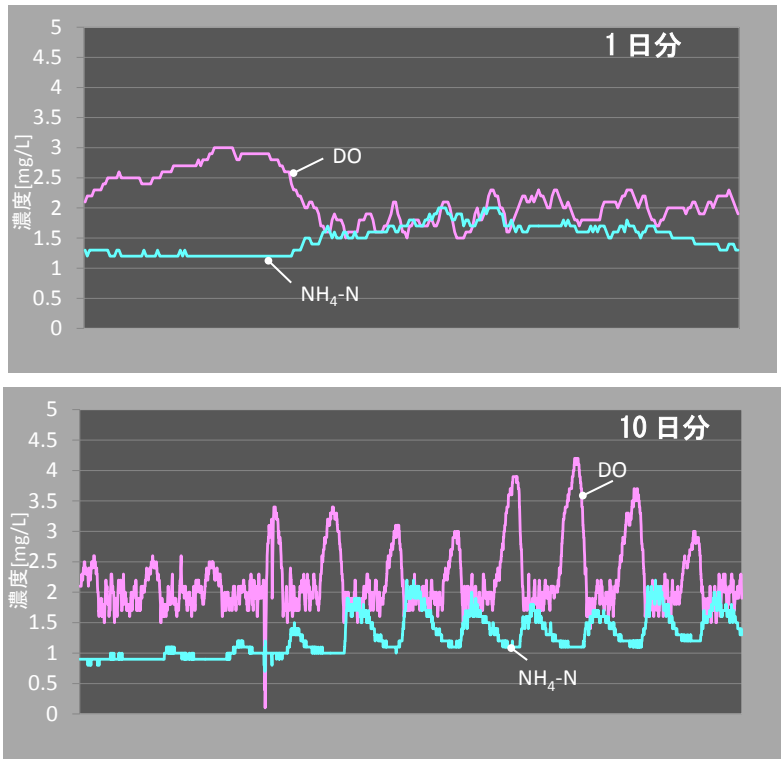


図 5-10 DO、NH_4-N のトレンドグラフの確認

E. 要因の推定と対策

図 5-10 のように、10 日程度の期間のトレンドグラフから、NH_4-N センサーがドリフトしている可能性が疑われるので、手分析によるモニタリング結果と照合し、ドリフトが生じている事を確認した場合には、センサーの校正を行う。

■異常兆候検出例２：散気管目詰まり／散気管バルブ誤操作（閉操作）

A. 異常兆候検出アラーム発報を確認

図 5-11 のような異常兆候検出のアラーム発報メールを受信する。

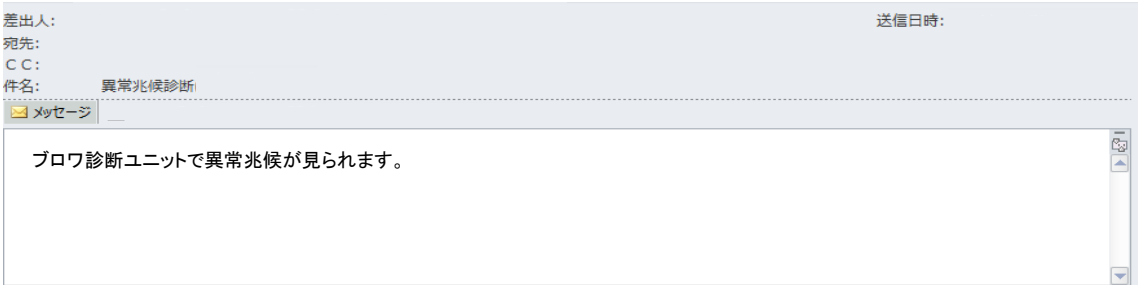


図 5-11 受信した異常兆候検出アラーム発報メール

B. 異常兆候を検出した診断ユニットを確認

ブロワ診断ユニットで異常兆候を検出していることを確認し、ブロワや曝気風量制御に関連する何らかの異常があった可能性を推測する。

C. 異常兆候を検出した診断ユニットの寄与量を確認

図 5-12 の寄与量バーグラフを確認すると、DO 濃度、曝気風量、ブロワ電力、ブロワ回転数等の寄与量が高くなっており、特に DO 濃度の寄与量が著しく高い。これから、DO 濃度に影響を与えるブロワ関連の何等かの異常兆候がある可能性が疑われる。

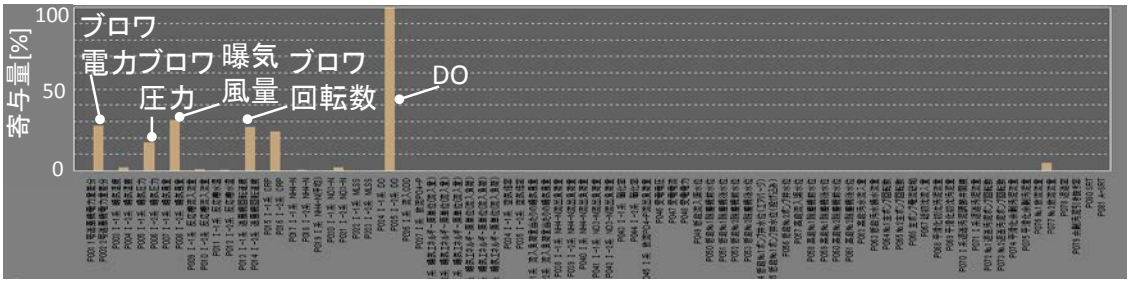


図 5-12 寄与量バーグラフの確認

D. プロセス変数のトレンドグラフ確認

寄与量の高い、DO 濃度、曝気風量、ブロワ電力、ブロワ回転数のトレンドグラフを確認する。すると、ブロワ電力、ブロワ回転数、曝気風量等が増加しているにも関わらず、DO 濃度が低下していることがわかる。

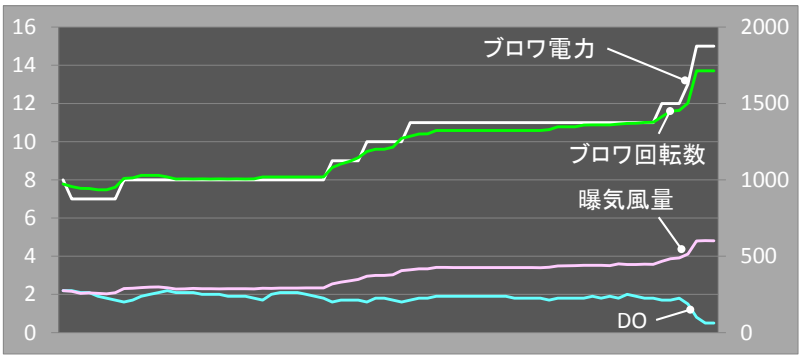


図 5-13 DO 濃度、曝気風量、ブロワ電力、ブロワ回転数のトレンドグラフの確認

E. 要因の推定と対策

ブロワ風量、ブロワ電力、回転数が増加しているにもかかわらず、DO 濃度が低くなっているため、①流入負荷の増加、②散気管等ブロワ配管関係の目詰まり、等が要因として推定される。①の可能性を確認するために、例えば、**図 5-14** のように、流入量や NH_4-N 濃度のトレンドグラフを確認する。

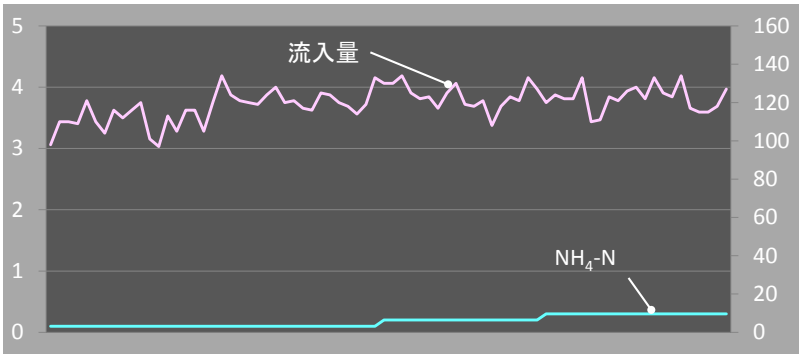


図 5-14 流入量、NH_4-N 濃度のトレンドグラフの確認

図 5-14 のトレンドグラフからは、流入量や NH_4-N 濃度に特別な変化は認められないので、②の可能性を疑う。ブロワ圧力の寄与量もやや高いため、**図 5-15** のように、ブロワ圧力のトレンドグラフを確認する。

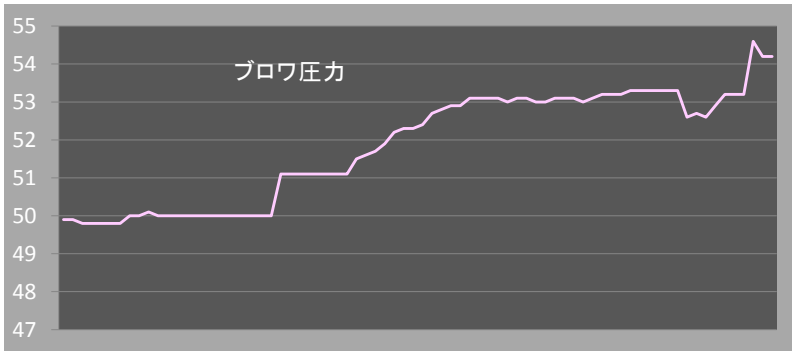


図 5-15 ブロワ圧力のトレンドグラフの確認

図 5-15 のトレンドグラフからは、ブロワ圧力が増加する傾向が認められるため、ブロワ配管関係の目詰まりの可能性が高いと判断する。そして、目詰まりの原因を調査し、必要な対策をとる。

第２節　本技術の維持管理

§28　本技術の維持管理

本技術の機能を適切に維持・発揮させるために、以下に示す内容の維持管理を実施する。

（１）NH_4-N/DO 制御技術の維持管理

（２）制御性能改善技術の維持管理

（３）MSPC 技術の維持管理

【解　説】

ここでは、本技術の機能を適切に維持、発揮させるために、以下に示す内容の維持管理の内容について説明する。

（１）NH_4-N/DO 制御技術の維持管理

（２）制御性能改善技術の維持管理

（３）MSPC 技術の維持管理

（１）NH_4-N/DO 制御技術の維持管理

NH_4-N/DO 制御技術の機能を適切に維持、発揮するためには、以下の維持管理が必要となる。

a）必要 ASRT の確保

b）NH_4-N センサーの維持管理

a）必要 ASRT の確保

NH_4-N/DO 制御技術の機能を発揮させるためには、硝化反応が進行し得る条件で反応タンクを運転管理する必要がある。硝化反応が進行するためには、反応タンク内に硝化細菌が十分に確保できている必要があるため、必要 ASRT を確保する必要がある。

式 5.1 に示す下水道設計指針に記載の計算式等に基づいて、その時の水温に応じて、硝化性能を維持するための ASRT を必要日数以上確保するように活性汚泥濃度の管理を行う必要がある。

必要 ASRT＝20.65exp（－0.0639・T）　　…**式 5.1**

（T：水温）

b) NH_4-N センサーの維持管理

NH_4-N/DO 制御技術の機能を適切に発揮させるためには、NH_4-N センサーの精度の確保が重要である。NH_4-N センサーの精度を確保するために、NH_4-N センサーを適切にメンテナンスする必要がある。

イオン電極式の NH_4-N センサーで必要となる基本的なメンテナンス項目は、以下のとおりである。

１）センサーの校正作業

２）センサーの引上げ洗浄

３）センサー電極の交換作業

センサーの具体的な保守の方法については、**§29 本技術の保守点検**ならびにセンサーのマニュアルにゆだねるが、本節では、その精度を確保するために必要な頻度に関して記述する。

NH_4-N/DO 制御技術の性能を発揮するためには、１）に関しては、センサーのドリフト異常の回避の視点から、2 週間に 1 回程度、２）に関しては、1 回/月程度実施することが望ましい。また、３）についてはセンサーにより異なると考えられるが、概ね 6 カ月～1 年に 1 回の交換が必要となる。

ただし、センサーの校正作業の頻度に関しては、後述する MSPC により、センサーの状態を診断している場合については、MSPC で異常検知時に校正を実施することにより、校正周期を平均的に 2 週間程度より長くすることが可能である。

（２）制御性能改善技術の維持管理

制御性能改善技術の機能を適切に維持・発揮するためには、以下の維持管理が必要となる。

a) 信号計測値の信頼性確保

b) ネットワーク通信品質の確保

a) 信号計測値の信頼性確保

制御性能改善技術では、DO 計測値や送風機回転数といった制御ループの信号値を入力とするため、性能を発揮するためには計測値の信頼性を確保する必要がある。DO センサーのメンテナンスに加え、伝送路となる信号線や接続される計装盤や動力盤の端子、基板についても定期的に点検を行うことが望ましい。

b) ネットワーク通信品質の確保

ネットワークに過度な遅延が生じた場合、リモートサーバにて制御性能改善機能に必要データを収集できない可能性があるため、ネットワークの帯域に対して過度なトラフィックとならないように留意する必要がある。近年では、サイバー攻撃の脅威も増加しているため、データ収集の障害とならないようにセキュリティ対策を実施することが望ましい。

（３）MSPC 技術の維持管理

診断モデルが有する各種のパラメータは設計時に適切に設定されるが、必要に応じて、設計したパラメータを再調整・再設定することが可能である。以下、主なパラメータの再設定方法について述べる。

a) 異常兆候検出しきい値の再設定

しきい値の変更によって、異常兆候の検出感度を調整することができる。そのため、確認不要と思われる軽微な異常兆候を検出し、異常発報数が多すぎる場合には、しきい値の感度を調整するK_α値を大きくするように調整する。例えば、K_α＝3 の場合は、K_α＝4 等に変更すると、検出感度を弱め、発報数が減少する。一方、異常兆候の検出感度を高めたい場合は、K_α値を小さくするように調整する。例えば、K_α＝3 の場合は、K_α＝2 等に変更とすると、検出感度を高め、発報数が増加する。K_α値の通常の調整範囲は、おおよそ $2 \leqq K_\alpha \leqq 4$ 程度であり、この範囲を超えて調整を行う場合も $1 \leqq K_\alpha \leqq 6$ の範囲に留めることが好ましい。

b) 異常診断モデル更新周期の再調整

下水処理プロセスの運用状態に適合するように、診断モデルの更新周期を調整することができる。下水処理プロセスの運用状態は、季節の変化に伴う水温の変化や SRT 設定の調整等に伴う汚泥性状の変化等により、常に変化していると考えてよい。

モデル更新周期と下水処理プロセスの運用状態の変化とが適合しない場合は、運用状態の変化を異常兆候として検出してしまう場合がある。このような場合は、以下のいずれかの方法で、モデル更新周期を再調整する。異常診断の主な目的にセンサードリフト等の緩やかな異常兆候の検出が含まれない場合は、運用状態の変化を検出しないようにモデル更新周期をより短く設定する。この方法では、運用状態の変化を検出しにくくなるが、同時にセンサードリフト等の緩やかに生じる異常も検出しにくくなる。一方、センサードリフト検出等も目的とする場合には、モデル更新周期をより長く設定して長期間のデータを用いて診断モデルを構築することで、運用状態の変化に対する検出感度を低下させる。

c) 診断ユニットの変更・追加

第４章 第２節 §26 MSPC 技術の設計で示した診断ユニットは、運転の中でも追加･変更が可能である。基本的な修正は、各診断ユニットの入力変数の追加あるいは削除で対応できる。**表 4-7** の△印で示した項目等、新たにセンサーを導入した場合等は、それらの項目を入力に追加することができる。

一方、センサーが長期間故障している場合や計測値が不安定な場合は、該当する項目を削除して診断モデルを運用することも検討する。このような項目を含んだままで診断を継続すると、常時異常状態となり、本来の診断が不可能となる恐れがある。

また、新たに検出したい目的が生じた場合には、**表 4-7** にならって、新たな診断ユニットをユーザで定義することも可能である。

§29　本技術の保守点検

本技術における各設備・機器がその機能を良好・安全に維持するため、定期的に保守点検を行う。

【解　説】

本技術における各設備・機器がその機能を良好・安全に維持するため、定期的に保守点検を行う必要がある。本技術において導入する、もしくは関係する設備・機器は、大きく

①電気設備（監視制御装置、コントローラ、センサー類）

②リモートサーバ設備

③ネットワーク設備

に分けられる。

そこで、これらの設備、機器の保守点検項目を**表 5-2** に示す。保守点検にあたっては、保守点検の頻度や具体的なチェック項目を定めて、計画的に実施していく必要がある。

なお、実際にこれらの機器の保守点検の実施にあたっては、各機器の保守点検マニュアルを参考にされたい。また、機器によっては、製造メーカーの技術員による定期的な保守等が必要になるものもあることから、あらかじめ必要な予算を確保する等の計画的な対応も必要となる。

表 5-2　本技術における主要機器の保守点検項目一覧

設備	機器	保守点検内容	保守点検頻度
電気設備	監視制御装置	メーカーで定める保守点検を実施する。	定められた内容に従う
	コントローラ	メーカーで定める保守点検を実施する。	定められた内容に従う
	NH_4-N センサー	NH_4-N センサーが正常に取り付けられていることを確認する。	日常
		NH_4-N センサーが下水に十分に浸漬していることを確認する。	日常
		センサー部に汚れが付着していないかどうかについて確認する。	日常
		測定値が正常であること。	日常
		洗浄装置が正常に動作していることを確認する。	日常
		センサー部に汚れが付着していた場合に、洗浄を行う。	月次
		測定値が正常でない（誤差がある）と想定された場合に、校正を実施する。	月次（**§28 本技術の維持管理**参照）
		NH_4-N センサーに用いられる各種電極の交換を行う。	年次
	DO センサー	メーカーで定める保守点検を実施する。	定められた内容に従う
リモートサーバ設備	サーバ	サーバの稼働状況確認	日常
		アプリケーションの稼働状況確認	日常
		メーカーで定める保守点検を実施する。	定められた内容に従う
ネットワーク設備	ネットワーク	ネットワーク機器の稼働状況確認	日常

§30　異常時の対応と対策

本技術の運転において発生し得る異常に対して、その影響および対処方法を事前に想定し、異常が発生した場合は適切に対処する。

【解　説】

本技術の運転において発生し得る異常に対して、その影響および対処方法を事前に想定し、異常が発生した場合は適切に対処する必要がある。想定される異常としては、以下の項目が挙げられる。

① 硝化性能（処理水質）の異常
② 省エネ性能の異常
③ 制御センサーの異常
④ 機器の異常
⑤ システムの異常

これらの異常が発生した場合の対応と対策について、**表 5-3** に示す。また、これらの異常を検出する可能性のある MSPC の診断ユニット一覧を**表 5-4** に示す。MSPC で異常を検出した場合には、その要因候補の変数（プロセス監視データ項目）を参考に、**表 5-3** の対応を行う。

表 5-3　異常時の対応と対策

事象	調査項目	対策
硝化性能（処理水質）の異常	ASRT の確認	ASRT が不足の場合は、必要日数を確保できるように汚泥管理を行う。
	流入水質の確認	突発的なものか、継続的なものかを確認し、継続的なものと判断される場合は、制御目標曲線を水質重視方向に変更する。
	活性汚泥の状態確認	制御モードを DO 一定制御もしくは送風量一定制御とし、異常要因の調査を行うとともに、状態が戻るように運転管理を行う。
	制御センサー異常	DO 一定制御もしくは送風量一定制御に制御モードの切り替えを行い、NH_4-N センサー、DO センサーの調査、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
	送風機、電動弁等の機器異常	調査を行い、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
	散気管異常	調査を行い、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
省エネ性能の異常	制御センサー異常	DO 一定制御もしくは送風量一定制御に制御モードの切り替えを行い、NH_4-N センサー、DO センサーの調査、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
	NH_4-N センサードリフト異常	DO 一定制御もしくは送風量一定制御に制御モードの切り替えを行うとともに、NH_4-N センサーの計測値のトレンドデータの確認を行う。ドリフトと判断される場合は、校正を行う。また、ドリフトの進行が速い場合は、電極の調査や交換等の対応を行う。
	DO センサードリフト異常	送風量一定制御に制御モードの切り替えを行うとともに、DO センサーの計測値のトレンドデータの確認を行う。ドリフトと判断される場合は、校正を行う。また、ドリフトの進行が速い場合は、電極の調査や交換等の対応を行う。
	送風機、電動弁等の機器異常	調査を行い、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
	散気管異常	調査を行い、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。

表 5-3　異常時の対応と対策（つづき）

事象	調査項目	対策
省エネ性能の異常	流入水質の確認	突発的なものか、継続的なものかを確認し、継続的なものと判断される場合は、処理水 NH_4-N の管理目標値に対する余裕度を考慮の上、制御目標曲線を省エネ重視方向に変更する。
制御センサーの異常	センサー異常要因の調査	DO 一定制御もしくは送風量一定制御に制御モードの切り替えを行い、原因の調査、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
機器の異常	送風機の異常	調査を行い、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
	風量調節弁の異常	調査を行い、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
	散気管の異常	調査を行い、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
システムの異常	コントローラ異常	調査を行い、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
	サーバ異常	調査を行い、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。
	ネットワーク異常	調査を行い、マニュアルに沿った対応、ならびに修繕対応を行う。

表 5-4　異常を検出する可能性のある診断ユニット

事象	異常原因 ・異常箇所	異常事象を検出する可能性のある診断ユニット						
		ブロワ	流量・水位	センサー	制御	原単位	水質	汚泥
硝化性能（処理水質）の異常	ASRT 異常						○	○
	流入水質異常	○					○	
	活性汚泥の状態異常						○	○
	制御センサー異常	○	○	○	○		○	
	送風機、電動弁等の機器異常	○				○	○	
	散気管異常	○				○	○	
省エネ性能の異常	制御センサー異常	○	○	○	○	○		
	NH_4-N センサードリフト異常	○		○		○		
	DO センサードリフト異常	○		○		○		
	送風機、電動弁等の機器異常	○	○		○	○		
	散気管異常	○	○		○	○		
	流入水質の確認	○				○	○	
制御センサーの異常	センサー異常	○	○	○	○	○	○	
機器の異常	送風機の異常	○						
	風量調節弁の異常	○						
	散気管異常	○						
システムの異常	コントローラ異常		○		○		○	
	サーバ異常							
	ネットワーク異常							

参考文献

1) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 －2009 年版－、2009.
2) 日本下水道協会：下水道用語集 2000 年版、2000.
3) 国立研究開発法人国立環境研究所: 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2016 年、2016.
4) 国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道事業課長：下水道施設の改築について、平成 15 年 6 月 19 日付け国都下事第 77 号国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道事業課長通知、2003.
5) 国土交通省土地・建設産業局：平成 28 年 2 月から適用する公共工事設計労務単価について（国土交通省プレスリリース)、平成 28 年 1 月 20 日付け国土交通省土地・建設産業局、2016.
6) 小原卓巳、山中理、難波諒、平岡由紀夫、橋本敏一、糸川浩紀、中村正次、小齊平和良、大西宵平：ICT を活用した革新的水処理運転管理技術の実証、第 52 回下水道研究発表会講演集、pp.893-895、2015.
7) 小原卓巳、山中理、難波諒、山本浩嗣、平岡由紀夫、中川祐一、橋本敏一、糸川浩紀、井上英男、矢野洋一郎、板倉舞：リモート診断機能を付加した NH_4-N/DO 制御による省エネ風量制御技術の実証、第 53 回下水道研究発表会講演集、pp.854-856、2016.
8) 中川祐一、山中理、小原卓巳、難波諒、平岡由紀夫、山本浩嗣、橋本敏一、糸川浩紀、井上英男、矢野洋一郎、板倉舞：水処理運転管理における多変量統計的プロセス監視技術の有効性評価、第 53 回下水道研究発表会講演集、pp.1142-1144、2016.
9) 平岡由紀夫、山本浩嗣、橋本敏一、糸川浩紀、野上和孝、中村圭一、筌場寛、矢野洋一郎、田隝淳、板倉舞：ICT を活用した効率的水処理運転管理技術の実証－リモート診断技術への ICT の活用－、土木施工、Vol.57 No.1、pp.64-65、2015.
10) 難波諒、平岡由紀夫、橋本敏一、糸川浩紀、井上英男、矢野洋一郎、板倉舞：遠隔監視システムによる制御性能改善技術の実証と有効性評価、学会誌 EICA、Vol.21 No.2/3、pp.60-64、2016.
11) 川本直樹、山中理、江口義樹：窒素除去型曝気風量制御システムの実プロセスへの適用～実証実験による評価～、第 50 回下水道研究発表会講演集、pp.805-807、2013.
12) 難波諒、山中理、横川勝也、杉野寿治：測定可能な外乱フィードフォワードを組み込んだ PID 制御への実用的な外乱抑制型 FRIT、電気学会研究会資料.IIC 2014、pp.49-54、2014.
13) 山中理、平岡由紀夫、佐野勝実、吉澤直人、佐々木稔：プロセス監視データを活用したエネルギー原単位上昇の要因発見支援、第 48 回下水道研究発表会講演集、pp.184-186、2011.

資　料　編

目次

１．　実証研究結果 129
　１.１．　実証研究概要 129
　１.２．　実証研究の成果 132
２．　ケーススタディ 174
　２.１．　評価規模および検討条件について 174
　２.２．　設置及び運転に係るコスト構造について 178
　２.３．　送風量および消費電力量の試算について 192
３．　革新的技術に関する図面 200
４．　問い合わせ先 202

１．実証研究結果

１.１.実証研究概要

（１）実証研究

１）研究名称

ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術実証研究

２）実施者

株式会社東芝・日本下水道事業団・福岡県・公益財団法人福岡県下水道管理センター
共同研究体

３）実施期間

平成 26 年 7 月 15 日～平成 27 年 3 月 25 日（平成 26 年度委託研究期間）
平成 27 年 6 月 10 日～平成 28 年 3 月 29 日（平成 27 年度委託研究期間）

４）実施場所

実証施設設置場所：福岡県宝満川流域下水道　宝満川浄化センター
（所在地：福岡県小郡市津古 153 番地）

５）処理対象

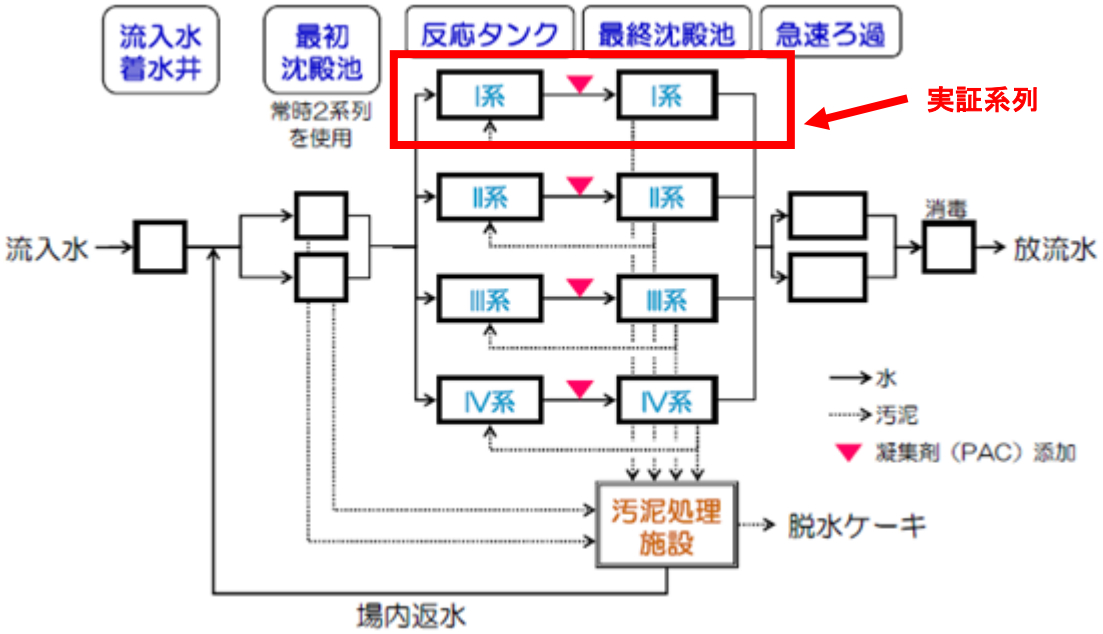
処理対象は、実証施設への流入下水を対象とした。

６）処理水量

処理水量は、実証施設（宝満川浄化センターⅠ系）の処理能力である 5,400 m^3/日（2,700 m^3/日×2 系列）とした。

７）実証施設フロー

実証施設の概略フローを**図資 1-1** に示す。



図資 1-1　実証施設の概略フロー

８）実証工程

実証研究の実証工程を**表資 1-1** に示す。

表資 1-1　実証工程

実証項目		平成 26 年度			平成 27 年度		
		7～9 月	10～12 月	1～3 月	6～9 月	10～12 月	1～3 月
準備期間	実証施設の設計・製作	→	→				
	実証施設設置工事		→				
試験期間	機器動作試験・立上げ		→				
	実証施設連続運転			→	→	→	→
	実証施設データ収集			→	→	→	→
	NH_4-N/DO 制御技術評価			→	→	→	→
	制御性能改善技術評価			→	→		
	MSPC 技術評価			→	→	→	
	総合評価（ｵﾝﾗｲﾝ適用）						→

（2）結果まとめ

実証研究結果のまとめを**表資 1-2** に示す。

表資 1-2　実証研究結果のまとめ

評価項目	評価指標	目標	成果
（1）硝化機能の維持効果※1	処理水の日平均 NH_4-N 濃度目標値（1.0mg/L 以下）達成率	DO 一定制御の達成率以上（100%）	91.9% （年末・年始の高負荷期間を除いて達成）
（2）曝気風量低減効果※1	曝気風量低減率	DO 一定制御比※3 10%以上 送風量一定制御比 20%以上	DO 一定制御比 10.3% 送風量一定制御比 32.9%
（3）電力量削減効果※2	電力量削減率	DO 一定制御比※3 10%以上 送風量一定制御比 20%以上	DO 一定制御比 8.49% （削減電力量：315.7 千 kWh／年） 送風量一定制御比 23.0% （削減電力量：1,016.9 千 kWh／年）
（4）温室効果ガス削減効果※2	CO_2 削減率	DO 一定制御比※3 10%以上 送風量一定制御比 20%以上	DO 一定制御比 8.49% （CO_2削減量：182.8 千 kg-CO_2／年） 送風量一定制御比 23.0% （CO_2削減量：588.8 千 kg-CO_2／年）
（5）コスト面での導入容易性（経済性）※2	経費回収年	4 年未満（従来技術を送風量一定制御として）	2.33 年※4

※1　評価項目（1）、（2）については、実証試験結果に基づく評価結果
※2　評価項目（3）～（5）については、委託元からの試算条件に基づく試算結果（処理能力 50,000m^3/日の場合）
※3　DO 一定制御比については、DO 制御目標値 2.0mg/L との比較
※4　リモート側に接続する下水処理場数を 8 カ所とした場合の試算

なお、本実証研究では、各要素技術についても評価を行い、その結果を**表資 1-3** に示す。各要素技術の基本的な性能について確認することができた。

表資 1-3　各要素技術の評価結果のまとめ

評価対象	評価項目	評価指標	目標	成果
NH_4-N/DO 制御技術	曝気風量の低減効果	曝気風量低減率	DO 一定制御比※1 10%以上 送風量一定制御比 20%以上	DO 一定制御比 10.3% 送風量一定制御比 32.9%
	電力量の削減効果	電力量削減率	DO 一定制御比※1 10%以上 送風量一定制御比 20%以上	DO 一定制御比 8.5% 送風量一定制御比 23.0%
	硝化機能の維持効果	処理水の日平均 NH_4-N 濃度（1.0mg/L 以下）目標値達成率	DO 一定制御の達成率以上（100%）	91.9% （年末・年始の高負荷期間を除くと、100%）
制御性能改善技術	制御の安定化効果	DO 計測値平均二乗誤差	制御パラメータ調整前の DO 濃度の平均二乗誤差以下	0.082mg/L 0.163mg/L
MSPC 技術	異常兆候検出による運転支援情報の有用性	有効検出率（オフライン評価）	—	1 （異常事象数 7）
		有効検出率（オンライン評価）	—	0.926 （異常発報件数 27）
	センサードリフトによる曝気風量増加リスク回避効果	曝気風量増加量回避率	—	3.8%

※1　DO 一定制御比については、DO 制御目標値 2.0mg/L との比較

１.２．　実証研究の成果

ここでは、実証研究において、実証施設の運転等を通じて得られた計測データ、測定データをもとに、得られた成果について示す。

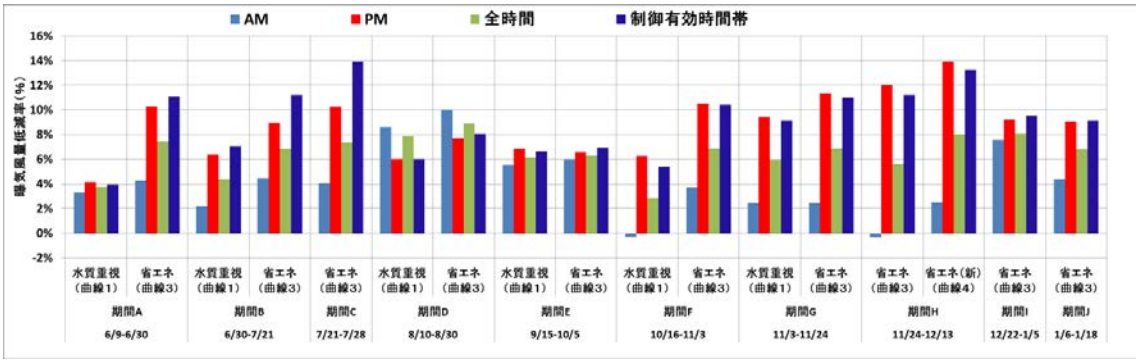
（１）NH_4-N/DO 制御技術に関する結果

NH_4-N/DO 制御技術については、曝気風量低減効果および硝化機能の維持効果を評価項目として、それぞれ曝気風量低減率、日平均 NH_4-N 濃度の評価を行った。その結果を以下に示す。

１）曝気風量低減率の評価結果

曝気風量低減率の評価結果を**図資 1-2**、水質重視型曲線（曲線１）、省エネ型曲線（曲線３）別に曝気風量低減率の平均値と標準偏差を**表資 1-4** に示す。

制御有効時間帯（送風量下限値とならず、曝気風量制御が有効に行われた時間帯）の曝気風量低減率の平均値は、水質重視型曲線の場合が 6.4%、省エネ型曲線の場合が 10.3%であった。また、新省エネ型の曲線（曲線４）を設定した期間に関しては、13.3%の曝気風量低減率を達成でき、制御目標曲線を省エネルギー方向に変更することにより、更なる省エネルギー効果が期待できることがわかった。



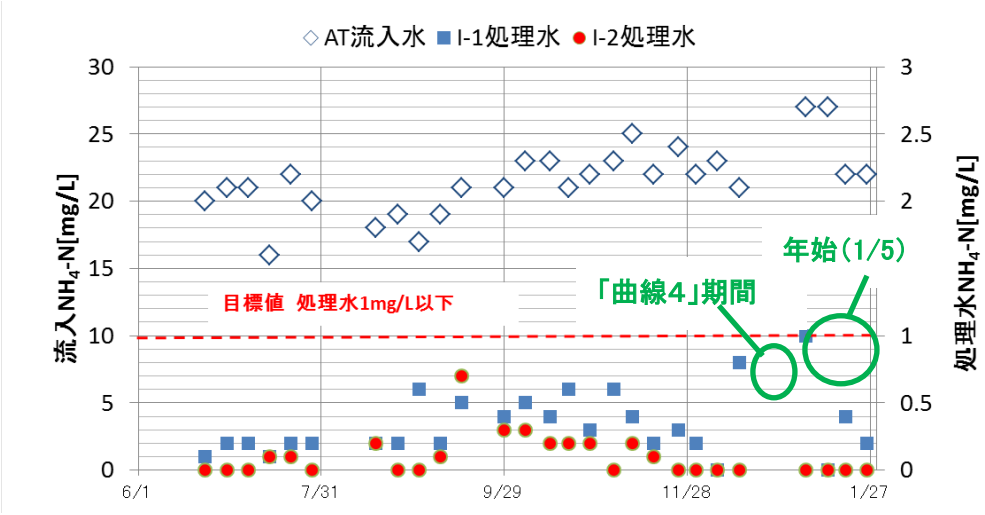
図資 1-2　曝気風量低減率の評価結果（性能評価期間）

表資 1-4　制御目標曲線別の曝気風量低減率の平均値と標準偏差

	水質重視（曲線 1）		省エネ（曲線 3）	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
午前	3.6%	3.1%	4.7%	2.9%
午後	6.5%	1.7%	9.6%	2.1%
全期間	5.2%	1.8%	7.1%	0.9%
制御有効時間帯	6.4%	1.7%	10.3%	2.2%

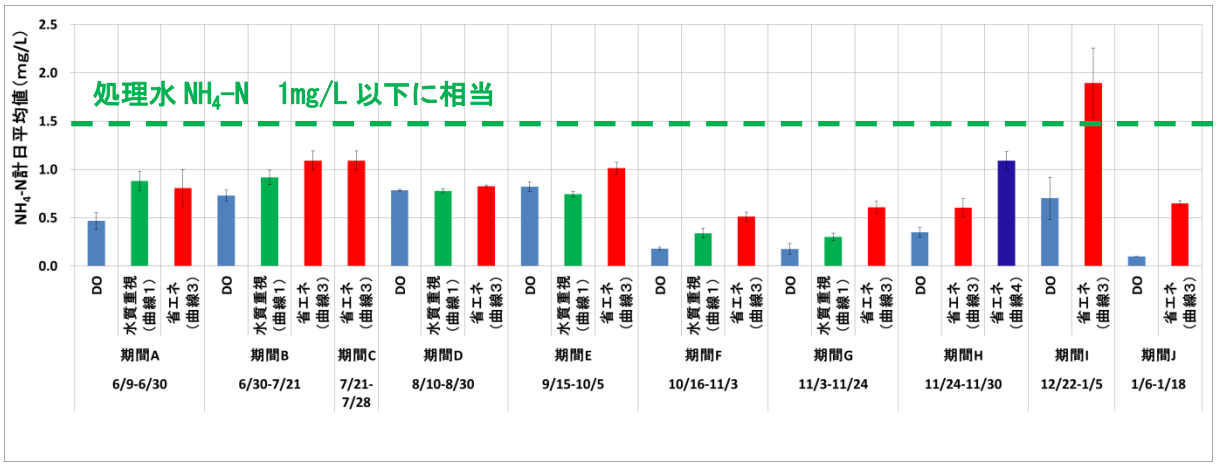
２）日平均 NH_4-N 濃度の評価結果

定例採水調査サンプルの NH_4-N 濃度の評価結果を**図資 1-3** に示す。定例採水調査は 3 時間ごとのコンポジットサンプルを分析している。定例採水サンプルに関しては、すべての期間で硝化機能の維持基準である処理水 NH_4-N　1mg/L 以下の目標を達成でき、「硝化機能の維持基準」を 100%達成した。比較的 NH_4-N 濃度が高いデータは、新省エネ型の制御目標曲線（曲線４）を設定していた期間のサンプル（12/13 9:00～12/14 9:00 のコンポジット）、ならびに年始の 1/5 のサンプル（1/4　9:00～1/5　9:00 のコンポジット）でそれぞれ、0.8mg/L、1.0mg/L であった。



図資 1-3　定例採水調査による処理水 NH_4-N 濃度の評価結果

次に、I-1 系 NH_4-N センサー計測値の日平均値を**図資 1-4** に示す。**図資 1-4** に示すように年末・年始期間である「期間 I」の省エネ型の制御目標曲線（曲線３）を設定している期間で、反応タンク NH_4-N センサー計測値の日平均値が 1.5mg/L 以上となり目標を超過したものの、それ以外の期間については、目標を達成できた。評価指標の処理水の日平均 NH_4-N 濃度目標値達成率は 91.9%であった。

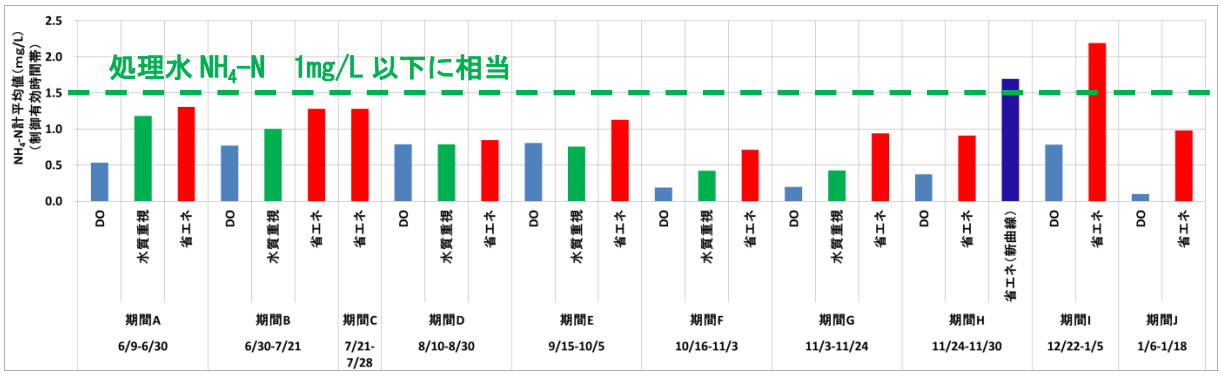


図資 1-4　I-1 系 NH_4-N センサー計測値の日平均値（性能評価期間）

「期間 I」で目標を達成できなかったのは、年末から年始にかけて窒素の流入負荷が高くなったためと考えられる。2015/12/29～2016/1/5 の期間の BOD/MLSS 負荷、NH_4-N /MLSS 負荷ともに高く、2015/12/22～29 の期間に比べ、BOD/MLSS 負荷は 40%、NH_4-N /MLSS 負荷は 50%高かった。このように流入負荷が高くなることがあらかじめ予想される場合には、あらかじめ制御目標曲線を水質重視型の曲線に変更する等の対応が必要と考えられる。

図資 1-5 に I-1 系 NH_4-N センサー計測値の制御有効時間帯の平均値を示す。制御有効時間帯の評価では負荷の低い夜間の時間帯を除いた評価となるため、日平均値よりも制御有効時間帯の平均値の方が、値が高くなる。その結果、**図資 1-5** に示すように年末・年始の「期間 I」の他に新たに「期間 H」の新省エネ型の制御目標曲線（曲線４）を設定したケースでも平均値が 1.5mg/L を超過する結果となった。

「期間 H」に関しては、**図資 1-4** に示すように日平均値では目標をクリアしているが、負荷の低い夜間の時間帯を除いた制御有効時間帯の評価では、1.5mg/L を超過する結果となった。ただし、負荷の低い時間帯も含めて、1 日間制御が有効に機能した場合においては、日平均で目標値の硝化機能の維持効果を達成できる可能性もある。



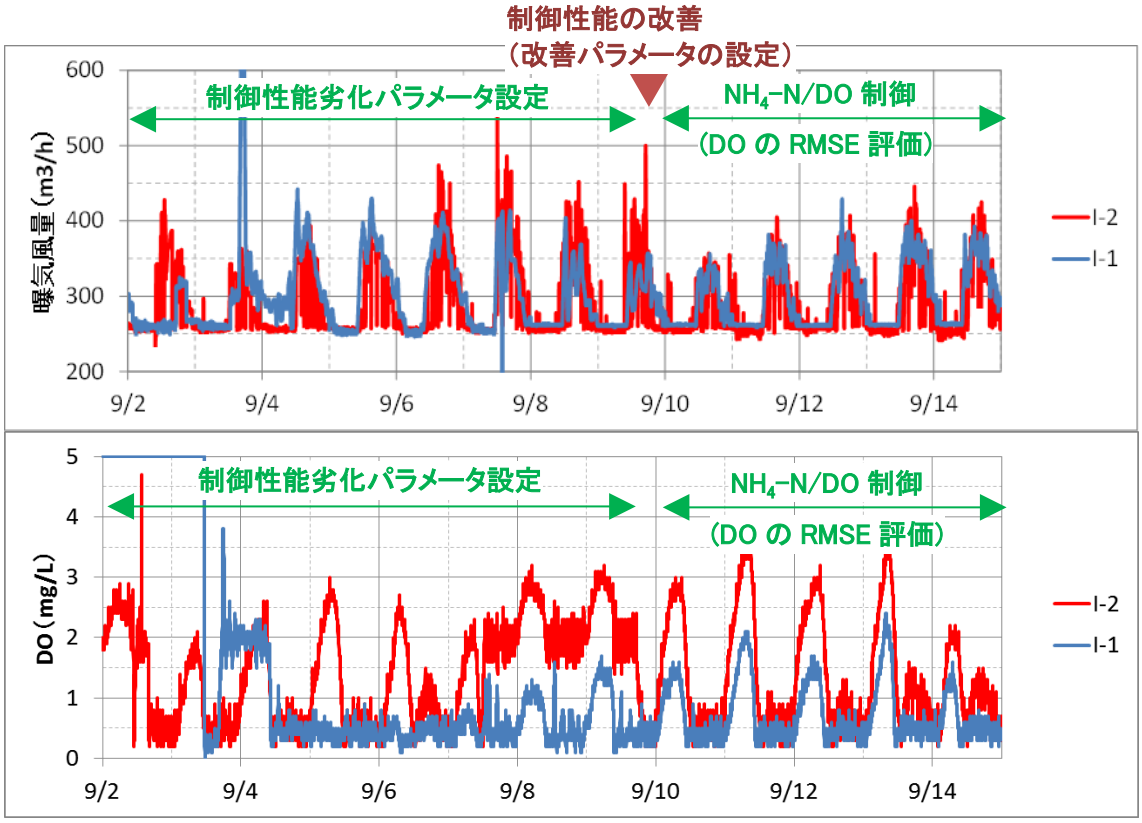
図資 1-5　I-1 系 NH_4-N センサー計測値の制御有効時間帯平均値（性能評価期間）

（２）制御性能改善技術に関する結果

制御性能改善技術については、制御の安定化効果を評価指標として、DO 計測値の平均二乗誤差の評価を行った。その結果を以下に示す。

１）制御の安定化効果の評価

2015/9/2～15 の期間の曝気風量と DO 計測値のトレンドを**図資 1-6** に示す。2015/9/2～9 の間、制御パラメータが劣化した場合を想定したパラメータ設定を行い、制御性能劣化時データの収集を行った。その後、2015/9/9 に収集したデータを制御性能改善技術に適用して、改善パラメータを算出した。結果を**表資 1-5** に示す。



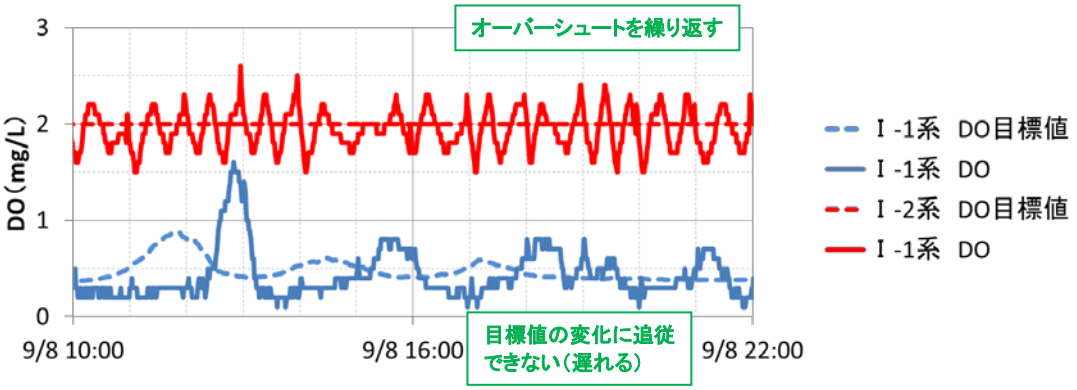
図資 1-6　2015/9/2～9/15 の曝気風量と DO の推移

表資 1-5　パラメータ改善前後の制御パラメータ値

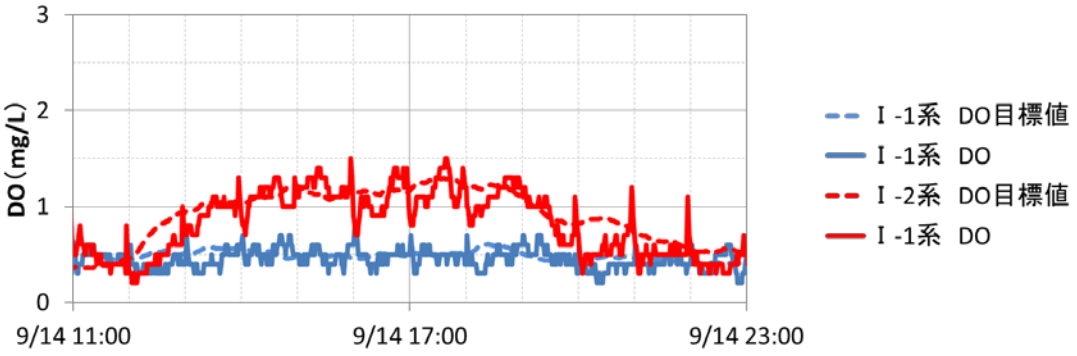
系列	制御パラメータ	改善前	改善後
I-1 系	Kp（比例ゲイン）	0.14	0.94
	Ti（積分時間）	3.77	18.30
I-2 系	Kp（比例ゲイン）	3.26	2.98
	Ti（積分時間）	12.64	58.78

評価指標である目標値に対する DO 計測値の平均二乗誤差（RMSE: Root Mean Square Error）については、I-1 系が 0.22mg/L から 0.12mg/L となり改善がみられたが、I-2 系は 0.19mg/L のまま変わらず改善がみられなかった。

制御性能劣化設定期間（制御パラメータ改善前）と制御性能改善技術で制御性能を改善した期間（制御パラメータ改善後）の DO の詳細なトレンドを**図資 1-7**、**図資 1-8** に、その際の制御モードを**表資 1-6** に示す。



図資 1-7　制御パラメータ改善前の期間の DO 目標値と DO 値の推移

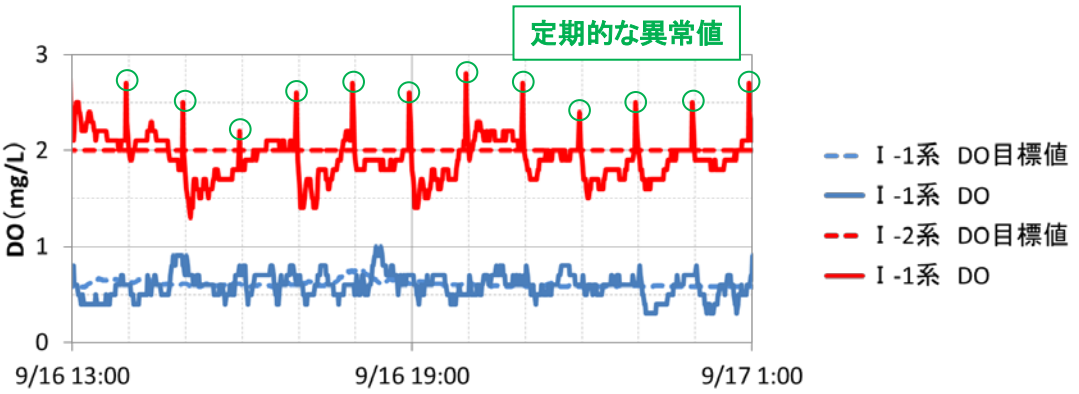


図資 1-8　制御パラメータ改善後の期間の DO 目標値と DO 値の推移

表資 1-6　トレンドの図番号と制御モード

期間		改善前	改善後		再改善後
図番号		**図資 1-7**	**図資 1-8**	**図資 1-9**	**図資 1-10**
I-1 系	制御モード	NH_4-N/DO	NH_4-N/DO	NH_4-N/DO	
	DO 目標値	可変	可変	可変	
I-2 系	制御モード	DO 一定	NH_4-N/DO	DO 一定	
	DO 目標値	2.0mg/L	可変	2.0mg/L	

I-2 系が改善されなかった理由に関して調査を実施したところ、**図資 1-9** に示すように 2015/9/16 のトレンドから、定期的に DO 計測値に突起状の異常値が含まれており、その結果、平均二乗誤差が改善されていないことが判明した。

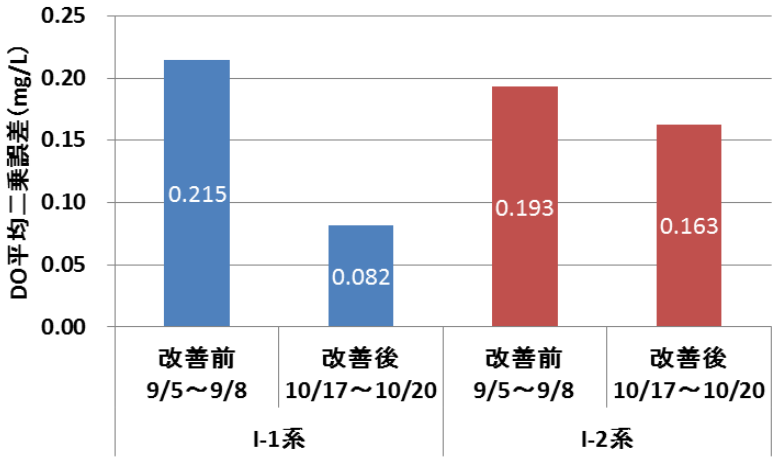


図資 1-9　制御パラメータ改善後の期間の DO 目標値と DO 値の推移

異常値が発生する周期が DO 計の定期洗浄周期である約 1 時間となっていたことから、DO 計の定期洗浄設定を確認したところ、洗浄時間 30 秒に対し、センサー値の待機（ホールド）時間が 30 秒であった。本実証における DO 一定制御の制御周期は 1 分であり、待機時間が短いと定期洗浄時の異常値を収集して捉えてしまうため、待機時間を 3 分に設定し直し、再度、制御性能改善技術による制御パラメータを算出した。結果を**表資 1-7** に示す。

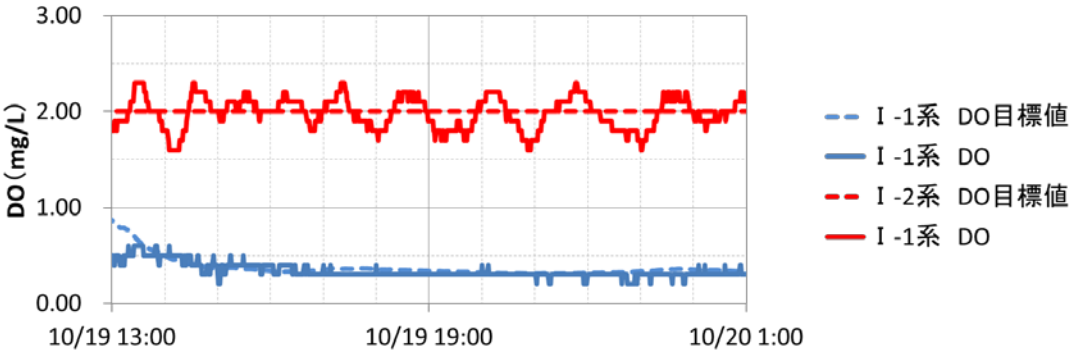
表資 1-7　パラメータ改善前後の制御パラメータ値

系列	制御パラメータ	改善前	改善後	再改善後
I-1 系	Kp（比例ゲイン）	0.14	0.94	—
	Ti（積分時間）	3.77	18.30	—
I-2 系	Kp（比例ゲイン）	3.26	2.98	1.10
	Ti（積分時間）	12.64	58.78	14.16



図資 1-10　制御パラメータ調整前後の平均二乗誤差の変化

最終的に制御性能劣化設定を実施した 9 月第 1 週の DO 平均二乗誤差と再改善後の 2015/10/15 以降の平均二乗誤差を比較したところ、I-1 系が 0.22mg/L から 0.08mg/L へ、I-2 系が 0.19mg/L から 0.16mg/L となり、平均二乗誤差がともに改善した（**図資 1-11**）。平均二乗誤差の改善幅はプロセスの状態に依存するが、改善後に増加することはなく、目標を達成した。



図資 1-11　制御パラメータ再改善後の期間の DO 目標値と DO 値の推移

（3）MSPC 技術に関する結果

MSPC 技術については、異常兆候検出による運転支援情報の有用性、センサードリフトによる曝気風量増加リスク回避効果を評価項目として、それぞれ有効検出率、曝気風量増加量回避率の評価を行った。その結果を以下に示す。

1）有効検出率の評価結果

○オフライン評価結果

① 有効検出率

表資 1-8 に示した 7 種類の異常シナリオに対し、**表資 1-9** に示した 7 種類（8 個）の異常診断ユニットを適用して、異常検出の可否を評価した。その結果、全ての異常事象について、いずれか一つ以上の異常診断ユニットでその状態を検出できた。これにより、有効検出率（オフライン評価）は、有効検出率＝異常検出数÷異常事象数＝7÷7＝1 となった。すなわち、対象とした 7 種類の異常シナリオは、本技術を適切に適用することにより検出可能であることがわかった。

表資 1-8　平成 27 年度に実施した異常シナリオ試験と実際に生じた異常事象

番号	異常シナリオ・事象名称	想定する異常	実施日
模擬 1	センサー校正異常	センサーのゼロ点校正不良によるセンサー値異常	2015 年 9 月 8 日
模擬 2	返送汚泥ポンプ故障	返送汚泥ポンプのつまりによるポンプ回転数－流量関連の異常	2015 年 9 月 9 日
模擬 3	散気管バルブ誤作動・誤操作（開方向）	散気管バルブ操作ミス（開方向）による水質変化・異常	2015 年 10 月 5～12 日
模擬 4	流入量・流入水質変動	流入負荷変動の増大によるプロセス状態変化	2015 年 10 月 14 日～11 月 3 日
模擬 5	散気管バルブ誤作動・誤操作（閉方向）	散気管閉塞（散気管バルブ閉方向）による水質変化・ブロワ異常	2015 年 12 月 14～15 日
模擬 6	系列間流入量アンバランス	系列への流入量のアンバランスによる放流水質の悪化・不均一化	2015 年 12 月 16～22 日
実際 1	NH_4-N センサードリフト異常	NH_4-N センサードリフトによるブロワおよび電力量の増加	2015 年 4 月中旬～6 月 9 日(6 月 9 日校正)

表資 1-9　異常診断ユニットの定義と概要

番号	異常診断ユニット名称（略称）	検出を想定する事象
1	ブロワ関連異常（ブロワ）	ブロワ故障やブロワ風量の急変等の検出を想定
2	ポンプ・流量・水位関連異常（流量・水位）	ポンプ故障、水量収支の異常、処理水量の急変等の検出を想定
3	窒素・りん水質関連異常（水質）	窒素やりんの水質に関連する指標の変化等の検出を想定
4	エネルギー原単位関連異常（原単位）	ブロワやポンプのエネルギー原単位の変化等の検出を想定
5	センサー関連異常（センサー）	主に異系列に設置した同種のセンサーの異常の検出を想定
6	制御ループ異常（制御）	フィードバック制御ループの異常の検出を想定
7	汚泥関連異常（汚泥）	汚泥引き抜きに関する異常や MLSS 濃度の急変等の検出を想定

② 各異常シナリオを検出可能な異常診断ユニット

7 種類の各異常シナリオについて、異常兆候を検出した異常診断ユニットを**表資 1-10** に示す。**表資 1-10** の○あるいは△の記号は、対応する異常事象を検出できた異常診断ユニットを示す。○で示した異常診断ユニットは、各異常事象に関連する変数（監視項目）の少なくとも一つ以上の寄与量が統計量（Q 統計量あるいは T^2 統計量）のしきい値の 50%を超えて異常事象を明確に検出したことを意味する。

表資 1-10　シナリオおよび実際の異常事象を検出した異常診断ユニット

番号	異常シナリオ・事象名称	異常事象を検出した異常診断ユニット						
		ブロワ	流量・水位	水質	原単位	センサー	制御	汚泥
模擬 1	センサー校正異常	○		○		○		
模擬 2	返送汚泥ポンプ故障		○		○			○
模擬 3	散気管バルブ誤作動・誤操作（開方向）	○		△		○		
模擬 4	流入量・流入水質変動	○	△	○	△	○	○	
模擬 5	散気管バルブ誤作動・誤操作（閉方向）	○						
模擬 6	系列間流入量アンバランス				△	○		○
実際 1	NH_4-N センサードリフト異常	○		○		○		

表資 1-10 より、各異常シナリオについて、少なくとも二つ以上の異常診断ユニットにより、シナリオで定義した異常事象を検出できることが確認できた。

③ 検出時間と検出レベル

7 つの各異常シナリオを最も感度よく検出した異常診断ユニットにおいて、異常発生時から異常検出時までに要した時間（検出時間）と、検出時に各事象に関連する主な変数の変化量（検出レベル）を**表資 1-11** に示す。検出時間や検出レベルは、診断モデル構築に用いるデータ長や異常検出を判定しきい値等の判断基準に依存するため、一般性があるとは言えないが、参考情報として有用であると考え、**表資 1-11** に示した。**表資 1-11** は、実証で用いたデータ長 1 週間、しきい値 99.9%信頼限界、の場合の結果である。

なお、括弧で示した検出時間は、異常発生時刻が特定できない、あるいは、異常に関連する変数を特定することが困難、等の理由で明確に検出時間を定義することが難しい場合の、おおよその値を示している。

表資 1-11　シナリオおよび実際の異常事象の検出時間と検出レベル

番号	異常シナリオ・事象名称	検出時間	検出レベル*
模擬 1	センサー校正異常	20 分	ORP 50～100mV 程度
模擬 2	返送汚泥ポンプ故障	5 分	返送ポンプ回転数 5～10%程度
模擬 3	散気管バルブ誤作動・誤操作（開方向）	4 時間 5 分	ORP 25～30mV 程度
模擬 4	流入量・流入水質変動	（2～6 時間程度）	流入量変動標準偏差 1.67 倍（12m³/h→20m³/h）
模擬 5	散気管バルブ誤作動・誤操作（閉方向）	30 分	DO 1.5mg/L 程度
模擬 6	系列間流入量アンバランス	1 時間	流入量差 400m³/日
実際 1	NH_4-N センサードリフト異常	（1～2 週間程度）	NH_4-N 0.5～1mg/L 程度

*各数値は変化量

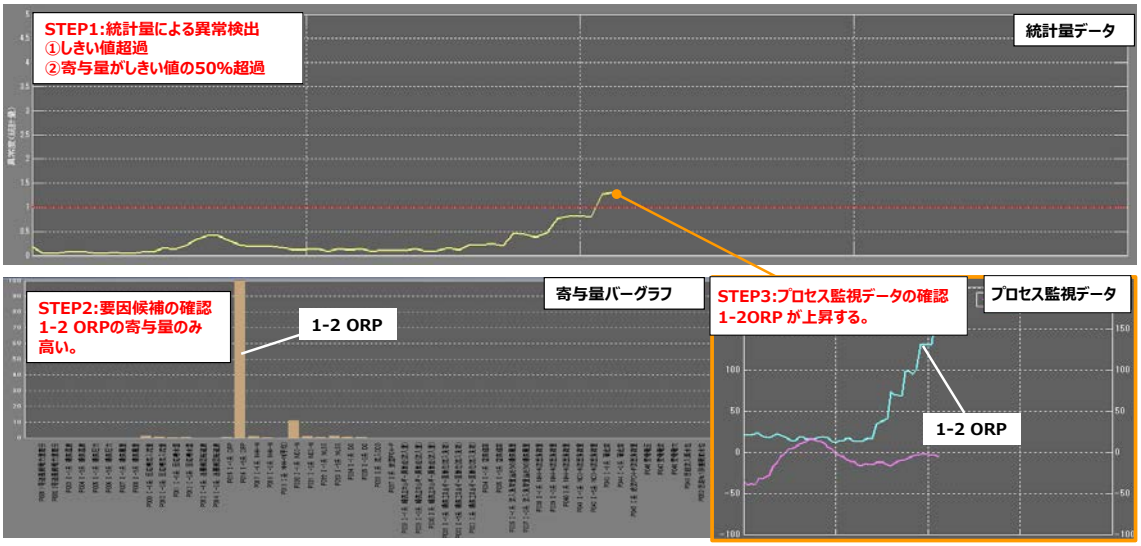
表資 1-11 に記載した検出レベルは、通常の監視で行われる計測項目（変数）ごとの管理限界によるアラーム発報のレベルよりも十分に小さい値である。従って、本技術により、通常の運転管理における異常検出レベルよりも高い感度で、異常兆候を検出できることを確認できた。

④　各異常シナリオの診断例

各異常シナリオの異常事象がどのように検出されたかを可視化するため、異常シナリオごとの異常診断例を**図資 1-12**～**図資 1-18** に示す。

a）センサー校正異常

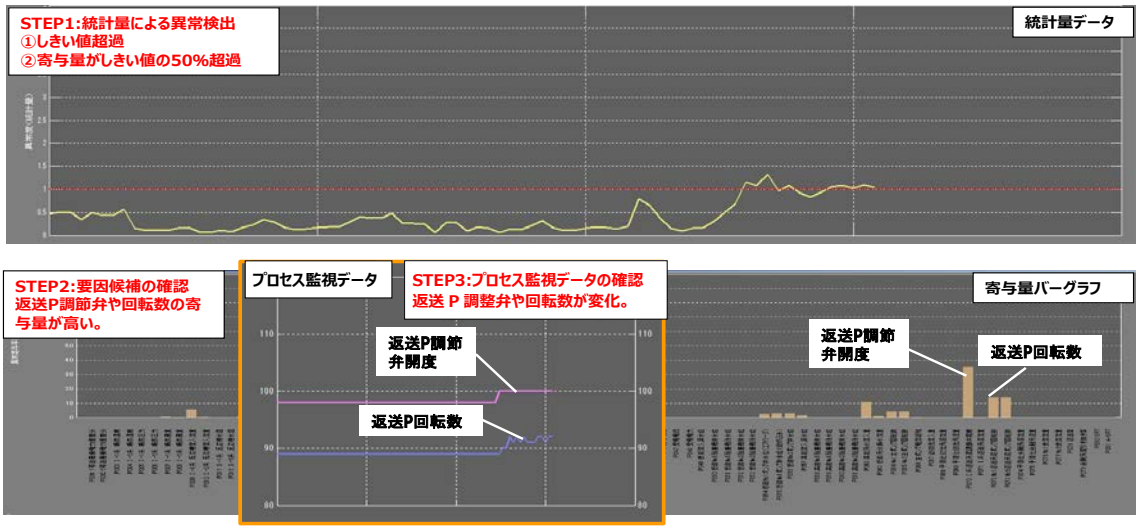
図資 1-12 は、I-2 系の ORP センサーの校正異常時のセンサー診断ユニットによる検出の様子である。センサー診断ユニットの Q 統計量が正規化されたしきい値 1 を超過し、その時、I-2 系 ORP の寄与が高くなっている。実際に I-2 系 ORP の時系列データを確認すると、その値が増加している様子がわかる。



図資 1-12 センサー校正異常の異常診断結果（センサー診断ユニット）

b）返送汚泥ポンプ故障

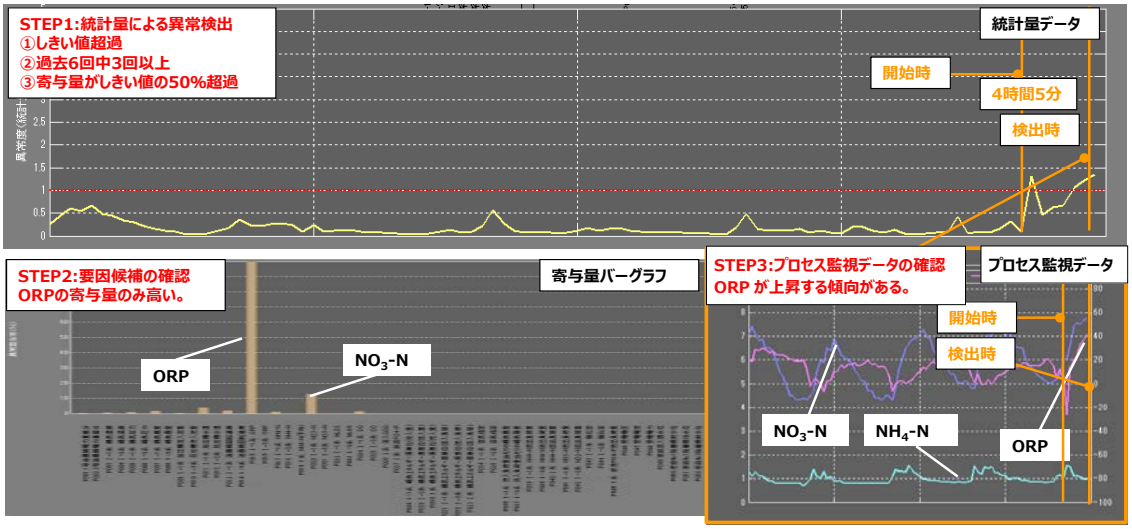
図資 1-13 は、返送汚泥ポンプの目詰まりを模擬した場合のエネルギー原単位診断ユニットでの検出の様子である。エネルギー原単位診断ユニットにおいて、Q 統計量がしきい値 1 を超過し、その時返送汚泥ポンプの調節弁開度や返送汚泥ポンプの回転数の寄与量が高くなっている。実際にこれらの時系列データを確認すると、返送汚泥ポンプ回転数や調節弁開度に変化が認められる。返送汚泥ポンプの回転数は、年間を通してみると、異常時や起動・停止時を除いて 55～97min^{-1}程度の範囲で動作しているのに対し、本試験では、回転数は 88～93min^{-1}程度に約 5%程度増加した変化を検出しており、MSPC 技術により高い検出感度で回転数や調節弁開度の変化を検出できることを確認できた。



図資 1-13　返送汚泥ポンプ故障の異常診断結果（エネルギー原単位診断ユニット）

c) 散気管バルブ誤作動・誤操作（開方向）

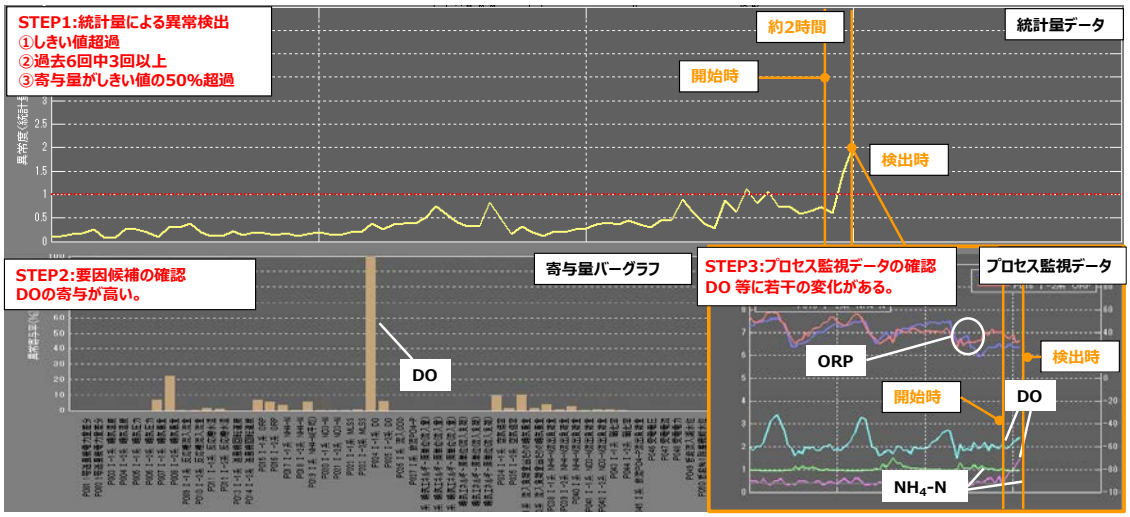
図資 1-14 は、疑似嫌気好気処理となっている水処理プロセスの前段の散気管バルブを開方向にした場合の結果である。I-1 系ブロワ診断ユニットの Q 統計量で、バルブを開方向にした後 4 時間程度で異常が検出され、その時の I-1 系 ORP の寄与が高くなった。実際に I-1 系 ORP の時系列データを確認すると値が上昇していることが確認できた。なお、本試験期間中において NO_3-N 濃度が 1mg/L 未満の若干量増加したことを水質分析データからは確認しているが、MSPC 技術ではこの事象については検出することができなかった。



図資 1-14　散気管バルブ誤作動・誤操作（開方向）の異常診断結果（I-1 系ブロワ診断ユニット）

d) 流入量・流入水質変動

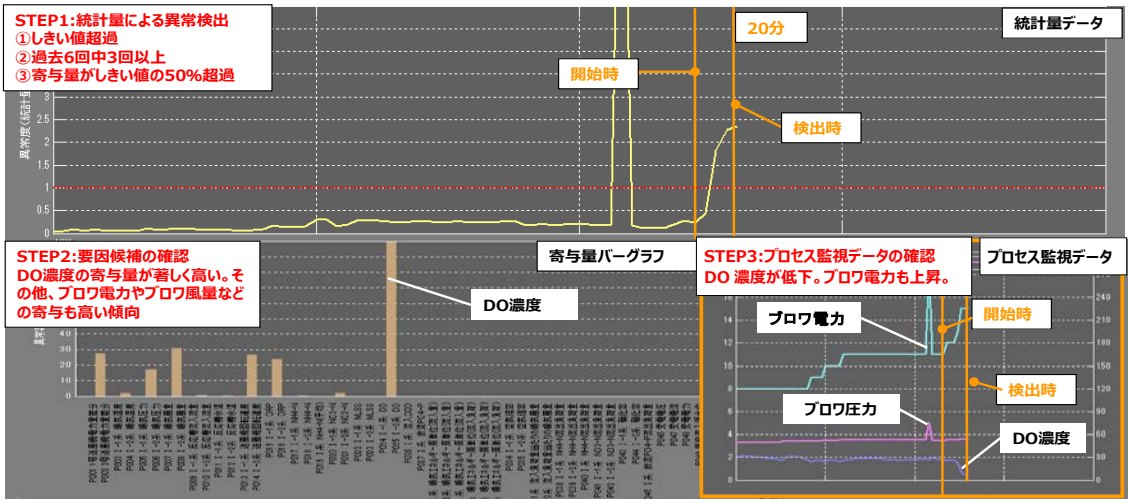
図資 1-15 は、流入量・流入水質変動時の水質診断ユニットによる異常診断の様子である。汚水調整池の運用を停止して流入量変動幅を標準偏差で約 1.7 倍に大きくした時、流入量変動幅を変更後 2 時間程度で水質診断ユニット等により、その事象が検出された。この時、I-1 系 DO 濃度の寄与量が高くなっており、その時系列データを確認すると、若干 DO 濃度の上昇が見られた。流入量・流入水質の変動は、ORP や NH_4-N 濃度、NO_3-N 濃度にも影響を与えており、しばらく時間が経過すると、これらの変数も要因候補変数に含まれ、統計量は明らかに異常な状態を示した。このように、流入量や流入水質の変化は処理プロセスに大きな影響を与えるため、時間の経過と共に、明らかな異常状態を示すようになる一方、ある程度時間が経過してしまうと、MSPC に取り込んでいる様々なプロセス変数に影響が及ぶため、多くの変数の寄与量が同時に高くなり、その要因を推定することは困難になってくる。



図資 1-15　流入量・流入水質変動時の異常診断結果（水質診断ユニット）

e) 散気管バルブ誤作動・誤操作（閉方向）

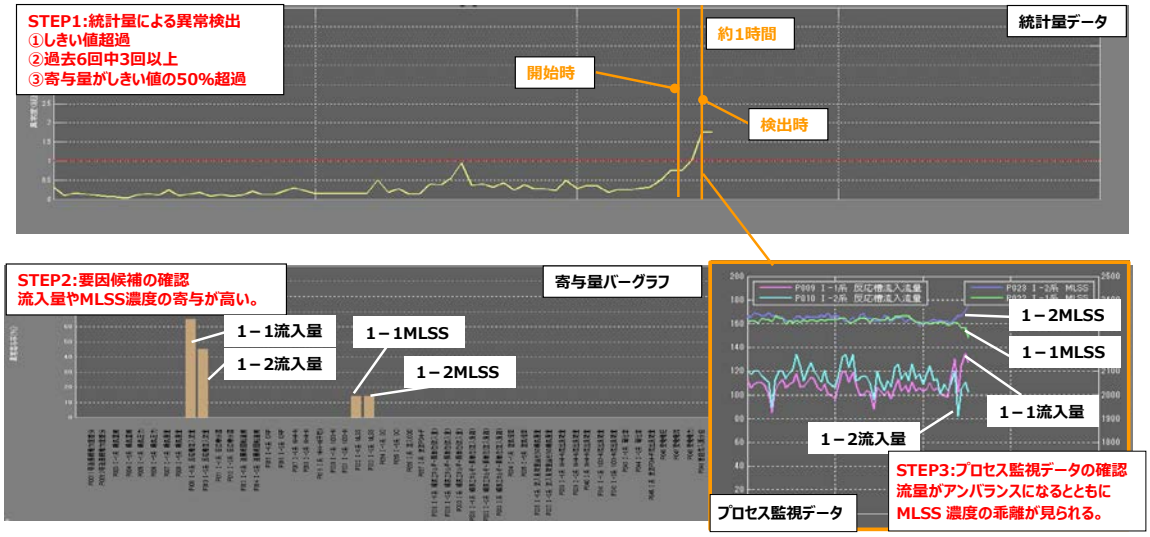
図資 1-16 は、流れ方向に 4 つに分割された反応タンクの第 4 区画の散気管バルブを閉方向に操作した時の、I-2 系ブロワ診断ユニットによる検出の様子である。閉操作後 20 分程度で、異常を検出し、その要因候補変数として I-2 系 DO 濃度が抽出された。実際に I-2 系 DO 濃度の時系列データを確認すると、DO 濃度レベルの低下が認められる。これは、空気供給が不十分になったことが、DO 濃度低下を引き起こしたためである。**図資 1-16** において、開始時よりも前のところで明確な異常が現れている部分は、全区画の散気管バルブを閉操作した時の結果であり、ブロワ電力やブロワ圧力が要因候補として抽出された。この時、ブロワ電力やブロワ圧力に大きな変化が現れていることは、**図資 1-16** のプロセス監視データからも明確にわかる。



図資 1-16　散気管バルブ誤作動・誤操作（閉方向）の異常診断結果（I-2 系ブロワ診断ユニット）

f) 系列間流入量アンバランス

図資 1-17 は、I-1 系と I-2 系の流入量を意図的に変化させた場合の汚泥診断ユニットによる異常診断の様子を示している。流入ゲートの高さを調整して、流入量を変化させた後、約 1 時間程度で検出されており、異常要因候補変数として、I-1 系と I-2 系の流入量の寄与量が高くなっていることに加え、I-1 系と I-2 系の MLSS 濃度の寄与量も若干高くなっている。その後、MLSS 濃度の寄与量が徐々に大きくなっていくことも確認している。実際にプロセス監視データを確認すると、流入量を増加させた I-1 系 MLSS 濃度は低下方向に、流入量を減少させた I-2 系 MLSS 濃度は増加減少方向に変化していく様子がわかる。



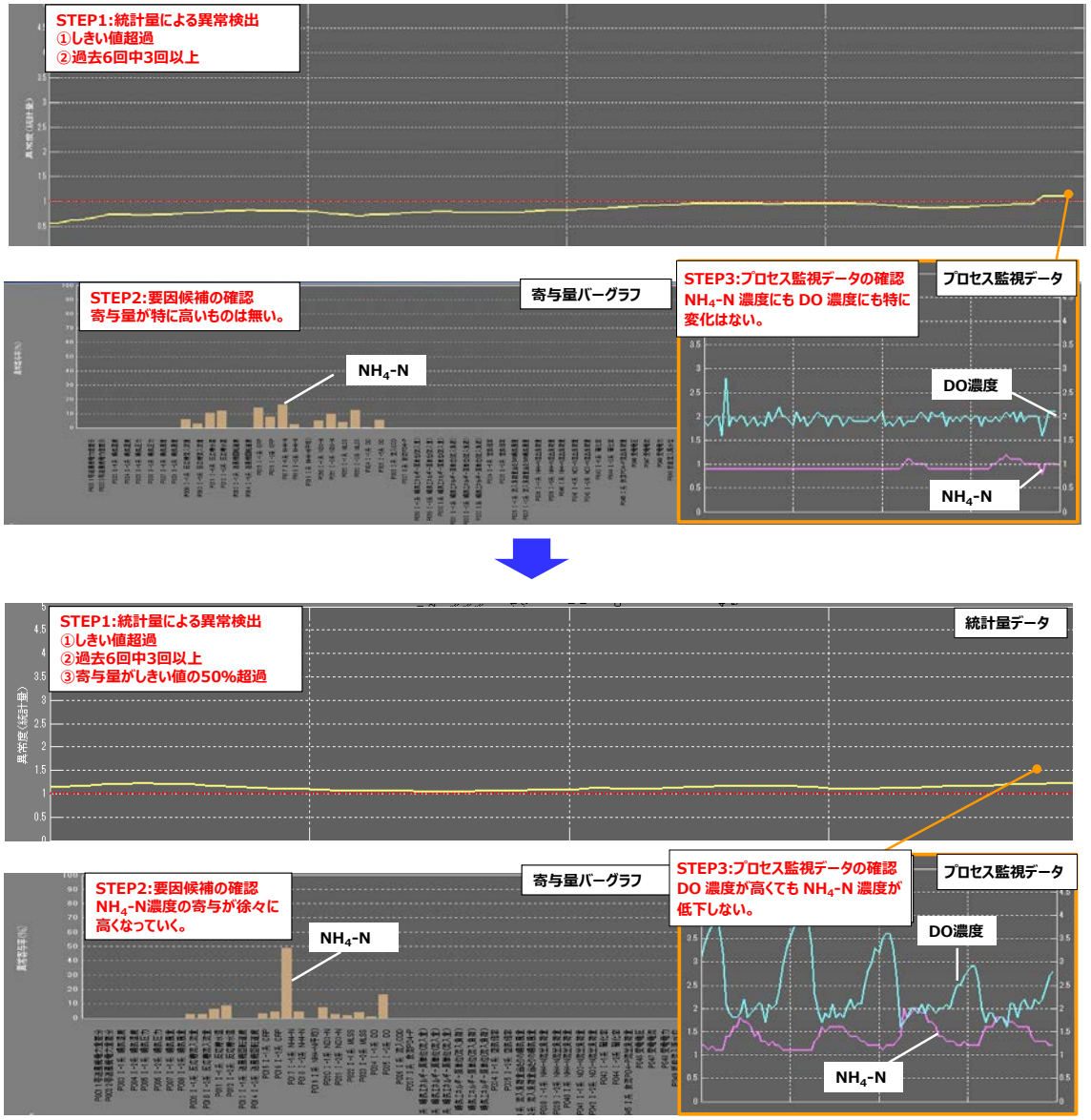
図資 1-17　系列間流入量アンバランス時の異常診断結果（汚泥診断ユニット）

g) NH_4-N センサードリフト

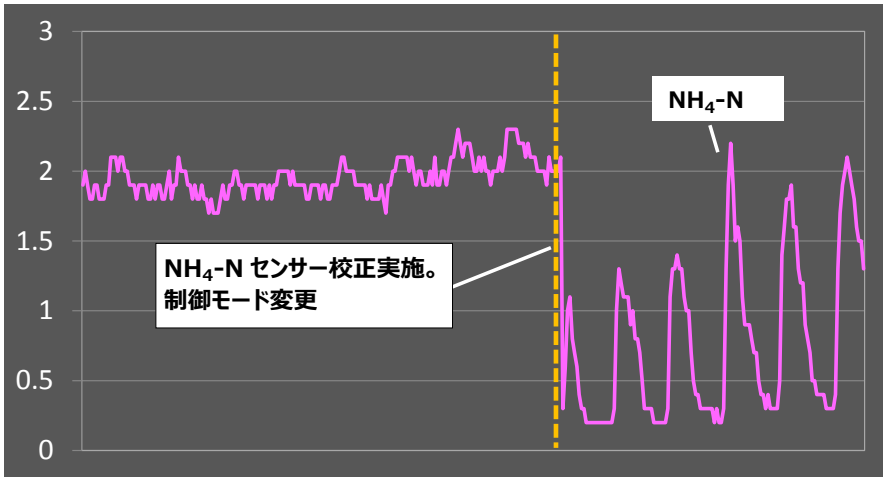
図資 1-18 は、NH_4-N センサーが実際にドリフトした時期のセンサー診断ユニットによる異常検出の様子である。**図資 1-18** 上段は、Q 統計量が初めて 1 を超えた直後の状況を示している。この時点では、特別寄与量の高いものは無いため、異常の要因を推定することは困難である。念のため、実際にドリフトしていた NH_4-N 濃度の時系列データと関連する DO 濃度の時系列データを確認しても、特に変わった動きは認められない。ただし、DO 濃度が 2mg /L 程度に対して、NH_4-N 濃度が 1mg/L 常時残存しているため、センサーがドリフトしていた事実を既知とすると、その可能性があることも理解できるが、ドリフトの事実を知らない段階では要因を推定することは困難である。**図資 1-18** 下段は、その後時間が経過して、NH_4-N センサーの寄与量が 50%程度になった時点のデータを示しており、Q 統計量は 1 を若干超過したあたりで推移している。NH_4-N センサーの寄与量が 50%程度になった時点のプロセス監視データを確認しても、一見するだけでは NH_4-N センサーが異常であることはわかりづらい。しかし、DO 濃度が 3.5mg /L を超えるような高い濃度になる場

合でも、NH_4-N 濃度が 1mg/L 以下になることは無いため、**図資 1-18** 下段の寄与量が NH_4-N の異常を強く示唆している事と併せて判断すると、NH_4-N センサーの異常の可能性が高いと推測される。特に、寄与量の変化を継続的に確認すると、NH_4-N センサーの寄与量が徐々に増加していくため、NH_4-N センサーのドリフトの可能性が高いと推測できる。

なお、この事象については、実際に NH_4-N センサーを校正することによって、NH_4-N センサーのドリフトであったことが確認されている。 NH_4-N センサーを校正前後の NH_4-N 濃度の時系列データを**図資 1-19** に示す。



図資 1-18 NH_4-N センサードリフト時の異常診断結果（センサー診断ユニット）



図資 1-19 NH_4-N センサードリフト校正前後の NH_4-N 濃度の時系列データ

○オンライン評価結果

①　有効検出率

異常兆候検出時のメール自動配信を開始した 2016/2/1～3/8 の 9:00～17:00 の評価期間に発報されたアラーム発報件数は 39 件であった。この中で、実証機場の運転管理者の方に評価を頂いた、平日に発報された、27 件を評価対象とした。その結果、27 件中 2 件が発報の原因不明と判断された。それ以外の 25 件は、全て運用変更か流入変化によるものと判断され、異常事象は検出されなかった。これより、有効検出率（オンライン評価）は、有効検出率＝有効発報数÷異常発報数＝25÷27=0.926（92.6%）となった。

②　アラーム発報数と推定要因の分類

表資 1-12 は、評価期間中の日ごとのアラーム発報数と、運転管理者が判断した要因分類をまとめたものであり[1]、ここから有効検出率＝0.926 が算出される。

表資 1-12 から、運転管理者が「異常」と判断した事象は 1 件も無く、不明の 2 件を除く、すべての事象は「運用変更」もしくは「流入変化」として推定されている。

また、MSPC1（I-1 系ブロワ診断ユニット）によるアラーム発報と MSPC2（水質診断ユニット）によるアラーム発報は、MSPC2 の方が多かった。この原因として、MSPC2 の方が変数の数が多く様々な異常を検出しやすいことや、MSPC2 には余剰汚泥引き抜き率等運転条件に関係する変数を含むため運用変更という事象を検出しやすいこと、等が考えられる。

[1]**表資 1-12** の要因分類は重複してチェックされたものがあるため、要因分類の各項目の総和はアラーム発報数より多くなっている。また、MSPC1 と MSPC2 で同時に異常発報があったアラームが 1 件あるため、MSPC1 と MSPC2 の総和はアラーム発報数＋1 となっている。

表資 1-12　オンライン評価期間中のアラーム発報数とその要因分類

月日	曜日	アラーム発報数	要因分類				MSPC1	MSPC2
			異常	運用変更	流入変化	不明		
2月1日	月	0	0	0	0	0	0	0
2月2日	火	0	0	0	0	0	0	0
2月3日	水	0	0	0	0	0	0	0
2月4日	木	0	0	0	0	0	0	0
2月5日	金	0	0	0	0	0	0	0
2月6日	土	1	－	－	－	－	0	1
2月7日	日	3	－	－	－	－	1	2
2月8日	月	5	0	5	5	0	2	3
2月9日	火	2	0	2	2	0	0	2
2月10日	水	2	0	0	1	2	1	1
2月11日	木	2	－	－	－	－	1	1
2月12日	金	3	0	3	3	0	2	1
2月13日	土	2	－	－	－	－	0	2
2月14日	日	2	－	－	－	－	1	1
2月15日	月	2	0	0	2	0	1	1
2月16日	火	0	0	0	0	0	0	0
2月17日	水	1	0	1	1	0	0	1
2月18日	木	2	0	2	0	0	1	1
2月19日	金	0	0	0	0	0	0	0
2月20日	土	0	－	－	－	－	0	0
2月21日	日	0	－	－	－	－	0	0
2月22日	月	0	0	0	0	0	0	0
2月23日	火	0	0	0	0	0	0	0
2月24日	水	1	0	1	0	0	0	1
2月25日	木	1	0	1	0	0	0	1
2月26日	金	1	0	1	0	0	0	1
2月27日	土	2	－	－	－	－	0	2
2月28日	日	0	－	－	－	－	0	0
2月29日	月	0	0	0	0	0	0	0
3月1日	火	2	0	1	1	0	2	1
3月2日	水	4	0	4	4	0	4	0
3月3日	木	0	0	0	0	0	0	0
3月4日	金	0	0	0	0	0	0	0
3月5日	土	0	－	－	－	－	0	0
3月6日	日	0	－	－	－	－	0	0
3月7日	月	1	0	1	1	0	0	1
3月8日	火	0	0	0	0	0	0	0

③　運転管理者による評価の妥当性検証

運転管理者による要因推定結果が妥当であったか否かを検証するため、要因推定結果と、運転管理者に提示した MSPC の結果と対応するプロセス監視データを照合し、その整合性をを確認する。ここでは、特に発報回数が最も多かった 2/8 の記録を確認した。運転管理者は、**図資 1-20** に示すように、水処理系列の一部の運用を停止し、流入量を他の水処理系列に分配する運用変更を要因として推測している。この時、異常兆候を検出した時点における MSPC1（I-1 系ブロワ関連診断ユニット）と MSPC2（水質関連診断ユニット）の寄与量バーグラフ（**図資 1-21** と**図資 1-22**）を確認すると、曝気風量やこれに関連するブロワ（送風機）の回転速度や電力が関連する変数として抽出されていることが確認できる。以上のことを念頭において、**図資 1-23** に示すリモート監視画面で、2 月初旬から中旬までの監視

項目のトレンドグラフを確認すると、2/8 付近から実証系列への流入量が増加し、これに伴い、ブロワ回転速度、ブロワ電力、曝気風量が増加していたことが確認できる。このことから、**図資 1-20** の記録に記載された推定要因のとおりの事象が生じていたと考えられる。

その他の運転管理者による要因推定結果についても、ほとんどのものについてその推定を裏付けるプロセス監視データの変化があることが確認できた。以上より、運転管理者による判断は、ほぼ適切であったと考えられ、運転管理者が判断するための MSPC のアラーム発報も適切になされていたと考えられる。

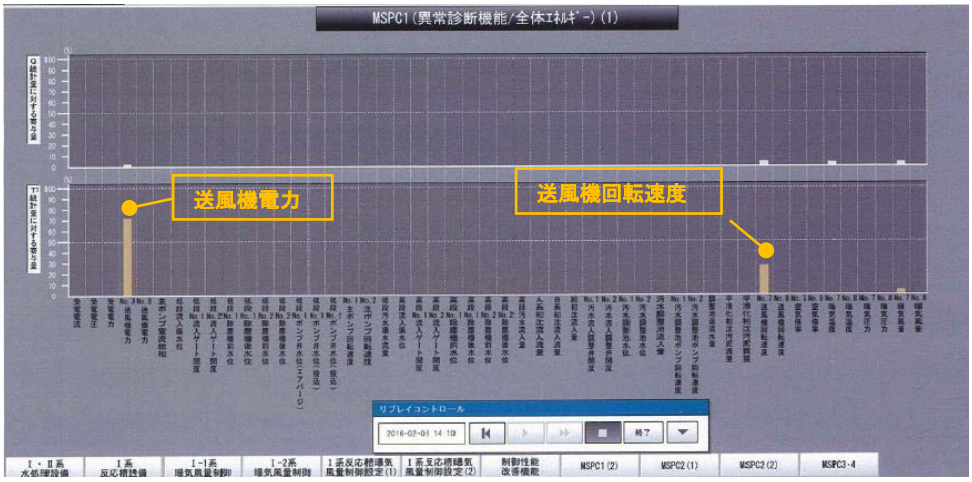
ただし、この評価期間中に I-2 系の NH_4-N センサーにドリフトが生じていたが、これについては、運転管理者がその可能性を疑うことは無かった。その最大の理由として、NH_4-N センサーのドリフトが顕著に検出されたセンサー診断ユニットを運転管理者による評価対象としていなかったため、センサー診断ユニットからの情報を運転管理者が認識していなかったことが考えられる。ただし、評価対象とした水質診断ユニット（MSPC2）でも、**図資 1-24** に示すように 2/10 頃には、I-2 系 NH_4-N 濃度の寄与量が高くなっており、NH_4-N センサーの異常が若干疑われる。しかし、I-2 系 NH_4-N 濃度の寄与量は最大となっていないため、見逃されたと考えられる。実際、2/10 は、**図資 1-20** の記録に記載された運用変更が継続しており、この運用変更とは無関係の I-2 系の NH_4-N センサーのドリフトが同時に発生していたと考えられる。そのため、運用変更に伴って高くなった曝気風量の寄与量が最大となり、NH_4-N 濃度の寄与量は、これよりは低い値になった。このように、複数の事象が同時に発生する場合は、要因となる事象自身が複数あるため、判断が難しく、このような場合の診断方法およびその提示方法は今後の検討課題である。

異常発報メール受信時記録

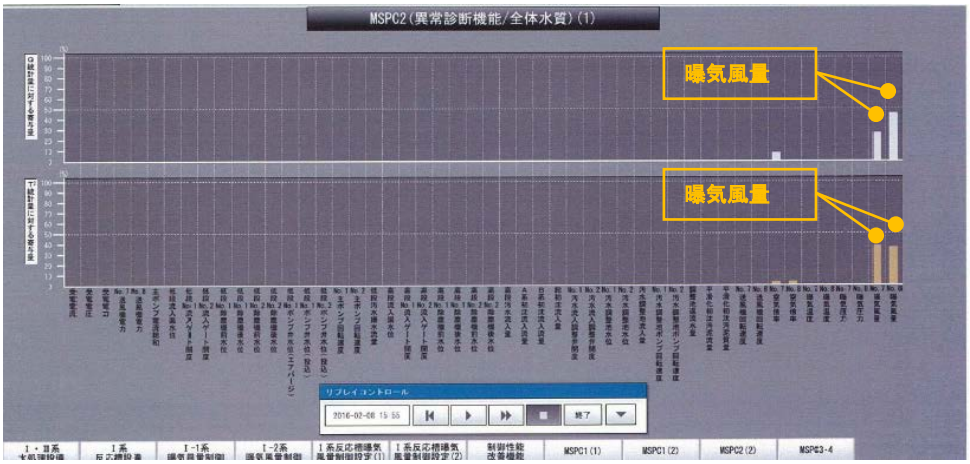
平成　28　年　2　月　8　日

イベント番号	発生時刻	MSPCの種類	分類	推測される要因
1	14:11	■MSPC1 □MSPC2	□異常 ■運用変更 ■流入変化 □不明	Ⅲ-1反応槽工事に伴い、Ⅲ-1槽の水を他系列（Ⅲ-2、Ⅳ-1、2）へ振り分けている影響がＩ系にも及んでいると推測される。
2	14:36	□MSPC1 ■MSPC2	□異常 ■運用変更 ■流入変化 □不明	Ⅲ-1反応槽工事に伴い、Ⅲ-1槽の水を他系列（Ⅲ-2、Ⅳ-1、2）へ振り分けている影響がＩ系にも及んでいると推測される。
3	15:21	■MSPC1 □MSPC2	□異常 ■運用変更 ■流入変化 □不明	Ⅲ-1反応槽工事に伴い、Ⅲ-1槽の水を他系列（Ⅲ-2、Ⅳ-1、2）へ振り分けている影響がＩ系にも及んでいると推測される。
4	15:56	□MSPC1 ■MSPC2	□異常 ■運用変更 ■流入変化 □不明	Ⅲ-1反応槽工事に伴い、Ⅲ-1槽の水を他系列（Ⅲ-2、Ⅳ-1、2）へ振り分けている影響がＩ系にも及んでいると推測される。
5	16:06	□MSPC1 ■MSPC2	□異常 ■運用変更 ■流入変化 □不明	Ⅲ-1反応槽工事に伴い、Ⅲ-1槽の水を他系列（Ⅲ-2、Ⅳ-1、2）へ振り分けている影響がＩ系にも及んでいると推測される。

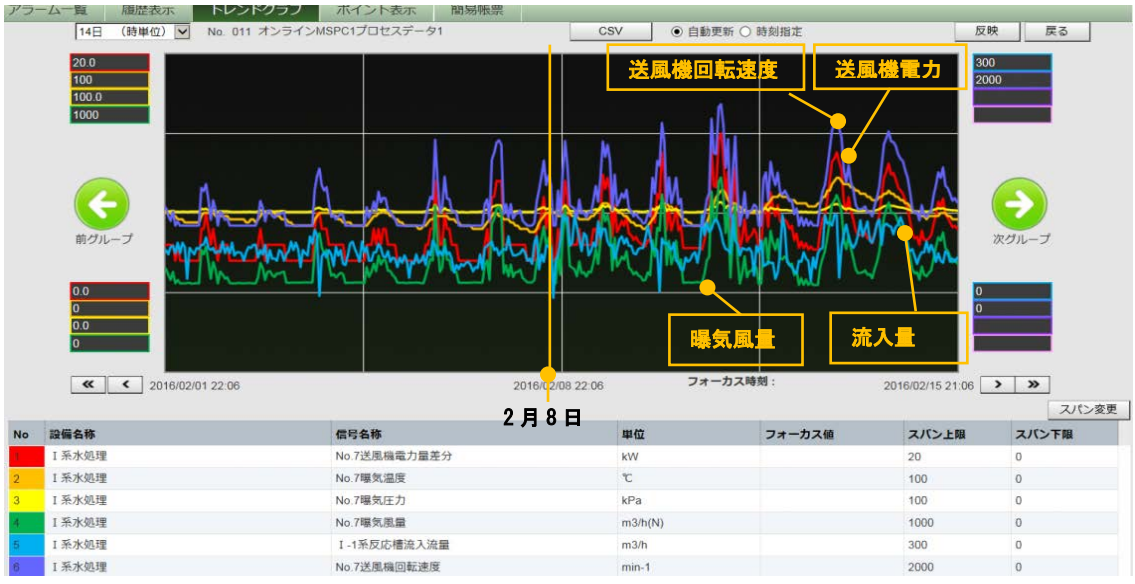
図資 1-20　アラーム発報回数が最多となった 2 月 8 日の記録



図資 1-21　アラーム発報時（2 月 8 日 14 時 11 分）の MSPC1 の寄与量バーグラフ

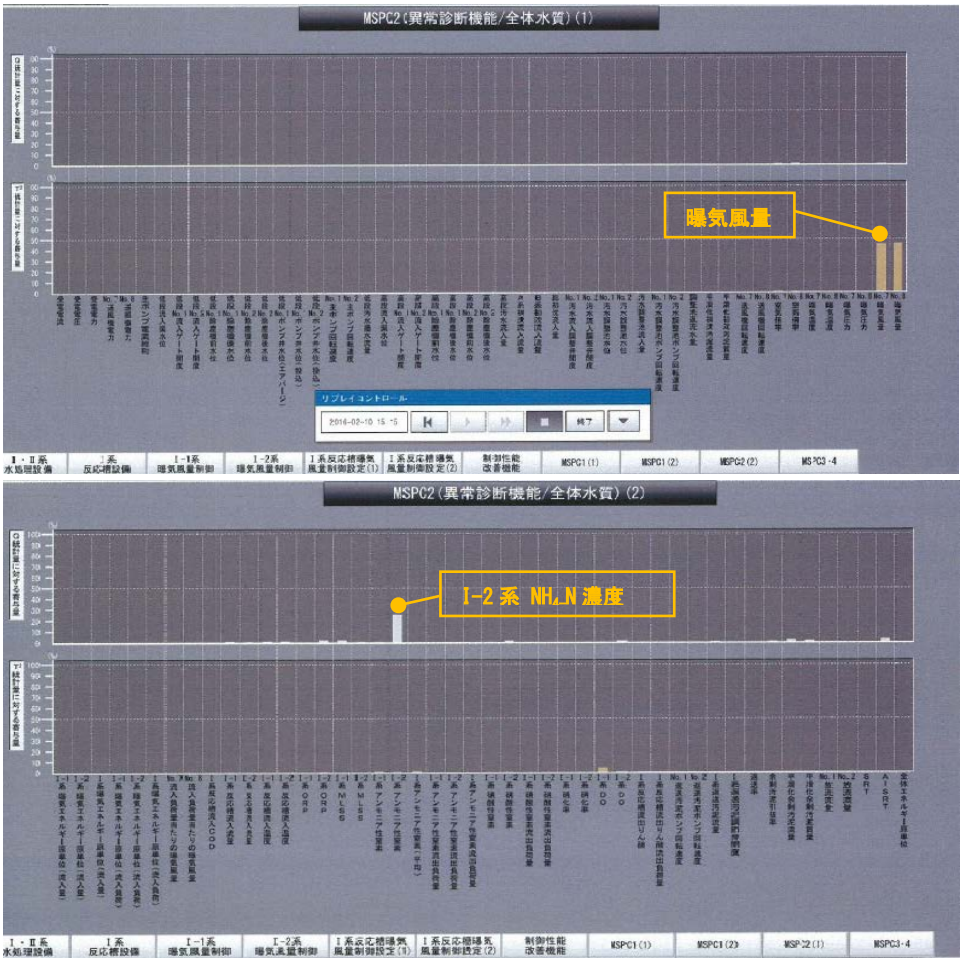


図資 1-22　アラーム発報時（2 月 8 日 15 時 56 分）の MSPC2 の寄与量バーグラフ



No	設備名称	信号名称	単位	フォーカス値	スパン上限	スパン下限
1	Ｉ系水処理	No.7送風機電力量差分	kW		20	0
2	Ｉ系水処理	No.7曝気温度	℃		100	0
3	Ｉ系水処理	No.7曝気圧力	kPa		100	0
4	Ｉ系水処理	No.7曝気風量	m3/h(N)		1000	0
5	Ｉ系水処理	Ｉ-1系反応槽流入流量	m3/h		300	0
6	Ｉ系水処理	No.7送風機回転速度	min-1		2000	0

図資 1-23　２月８日を含む前後２週間の監視項目の時系列データ



図資 1-24　アラーム発報時（2 月 10 日 15 時 16 分）の MSPC2 の寄与量バーグラフ

④　　運転管理者へのインタビュー結果

本オンライン評価を実施後、実際に評価を実施頂いた運転管理者の方へのインタビューを実施し、本技術の有効性についての意見を伺った。主な意見を以下に列挙する。

（ア）プラントの運用状態が変化したことを検知し、関連する変数を寄与量バーグラフで提示できることは良い。ただし、バーの数が多くなる傾向がある事やバーの高さと異常の強さの関係等がわかりづらいため、維持管理に用いるためには、もう一歩踏み込んだ要因の絞り込みが必要と思う。

（イ）変数単位の要因である必要はなく、「ブロワに関連する異常」、「ポンプに関連する異常」、「流入負荷に関連する異常」、「センサーに関連する異常」等、何を確認すれば良いのかが分かるメッセージ機能があると維持管理に活用できる可能性がある。

（ウ）寄与量バーグラフでは、異常が生じた変数が多い側か少ない側かの符号がわからないので、符号がわかると良い。また、バーグラフとトレンドグラフ（時系列データ）

が連動していないため、操作性が悪い。バーグラフから、上位の要因候補となる変数のトレンドグラフを一括して見ることができると、維持管理に活用できる可能性がある。

これらのコメントから、基本的な異常診断ロジックには問題が無いが、a）要因の抽出と提示方法、b）監視画面の操作性、の 2 点に改善の余地があることがわかる。本技術を維持管理に活用するためには、これらの改善を継続的に実施していく必要がある。

２）曝気風量増加量回避率の評価結果

4～6 月にかけて NH_4-N センサーのドリフトがあったと考えられたことから、この期間のデータを用いて（１）で NH_4-N センサーのドリフトの検出可否を評価した。その結果、3 種類の異常診断ユニットで NH_4-N センサーのドリフトを検出できた（**表資 1-10**）。最も検出感度の高かったブロワ関連診断モデルでは、4 月初旬の 1 週間のデータを使って構築した診断モデルにより、4/27 の時点で NH_4-N センサーのドリフトを検出できていたが、実際の運転では、NH_4-N センサーがドリフト異常のまま運転を継続しており、センサーの校正を行った日は 6/9 であった。制御目標曲線検討期間におけるセンサードリフト異常を検知する前の期間（2015/4/21～27））と、ドリフト異常の状態で NH_4-N /DO 制御で運転した期間（2015/5/19～25））の曝気風量低減率の評価結果のデータを用いて、以下のように曝気風量増加量の回避率を試算した。

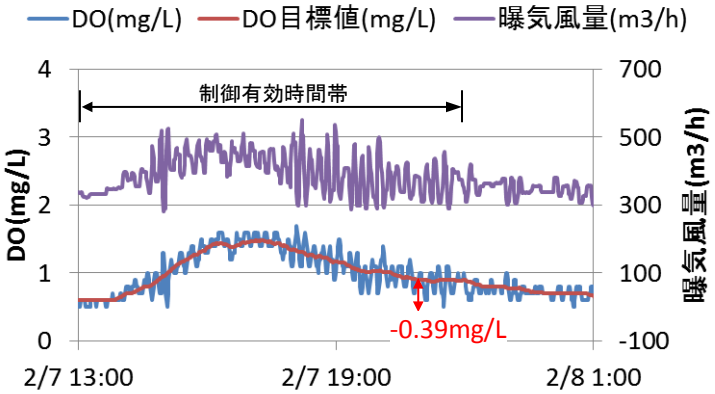
ドリフト異常を検出する直前の 4/19～27 の期間、ドリフト異常の状態で運転した 5/19～25 の期間、の曝気風量低減率は、午後データで、それぞれ 9.6%と 5.8%であった。前者は NH_4-N センサーのドリフトを診断ユニットで検出した時期にほぼ相当し、後者はドリフト異常状態のまま NH_4-N/DO 制御を行った期間に相当するため、この差分をドリフト異常検知による曝気風量増加量回避率として評価した。すなわち、曝気風量増加量回避率＝正常時曝気風量低減率－異常時曝気風量低減率＝9.6－5.8＝3.8%となる。

なお、本評価は、診断技術が曝気風量増加を招くリスクを回避するために有用であることを示すための試算による評価であり、実際の運用では、本試算ケースのようにセンサーのドリフトを放置したまま運用を継続することはないと考えられる。従って、本評価による効果は、3 つの技術を組み合わせたコスト試算では考慮しないが、実際に NH_4-N センサーのドリフト異常を放置した場合に、曝気風量が増加（≒風量低減率が低下）してしまうリスクがあり、このドリフト異常を早期に気づくことで、曝気風量の増加リスク（電力量の増加リスク）を低減するために MSPC 技術が有効であることを示す具体的な事例として評価し、記載したものである。

（４）３つの技術を組み合わせた技術に関する結果

１）曝気風量低減率の維持効果に関する結果

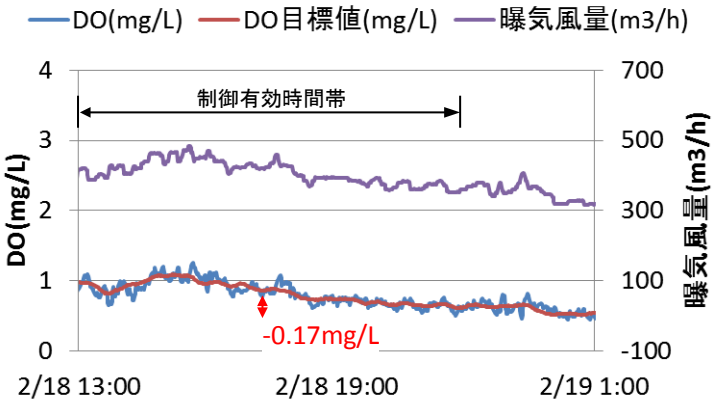
2016/2/5～11 の制御性能劣化設定期間に、制御性能改善技術の評価に使用した制御パラメータ（比例ゲイン 3.26、積分時間 12.64）を、制御目標曲線を劣化設定のものに設定し、相対風量を評価した。制御性能劣化設定期間中の DO および曝気風量のトレンドを**図資 1-25** に示す。



図資 1-25 制御性能劣化設定期間中の DO および曝気風量のトレンド

制御性能劣化設定期間中の相対風量[2]は 1.182 であった。なお、評価期間の中では、制御有効時間帯は 13:00～21:59 であった。

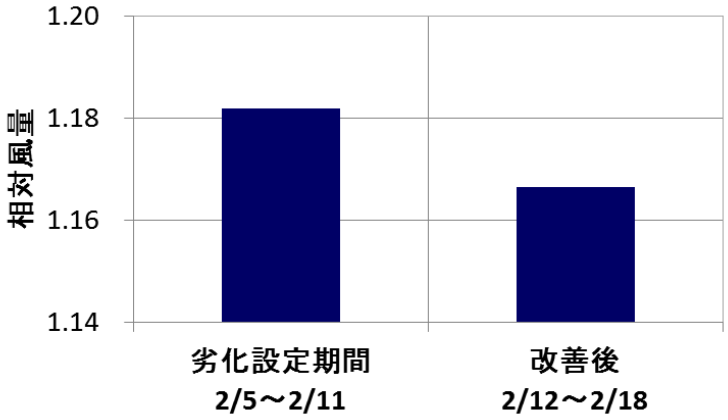
2016/2/12 に制御性能改善機能によって制御パラメータを制御性能改善機能の出力である比例ゲイン 1.24、積分時間 15.03 に設定し、制御目標曲線を省エネ型曲線に設定し、相対風量を評価した。制御性能改善後の DO および曝気風量のトレンドを**図資 1-26** に示す。



図資 1-26　制御性能改善後の DO および曝気風量のトレンド

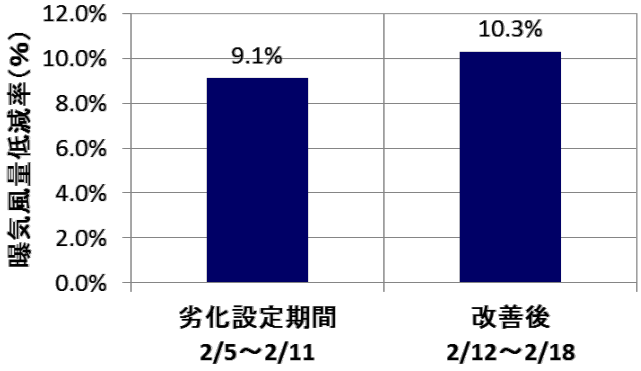
[2] 対照系列である I-2 系の風量に対する風量。I-2 系は DO 目標値 2.0mg/L の DO 一定制御。

制御性能劣化設定期間後の相対風量は 1.166 であった。相対風量の変化を**図資 1-27** にまとめる。



図資 1-27　制御性能改善前後の相対風量

オンライン総合評価期間中は I-1 系による DO 一定制御を実施しないため、DO 一定制御と比較した曝気風量低減率の評価を実施することはできなかった [3]。改善後の曝気風量 1.166 が低減率 10.3%となった結果と仮定すると、DO 一定制御に対応する相対風量は 1.166 ÷（1－0.103）＝1.300 となる。このとき、制御性能劣化設定期間中の相対風量 1.182 は曝気風量低減率 9.1%に相当する。この結果を**図資 1-28** に示す。本評価試験の条件では、制御性能改善技術が寄与する NH_4-N/DO 制御技術の曝気風量低減率の維持効果は約 1.2%と考えられる。



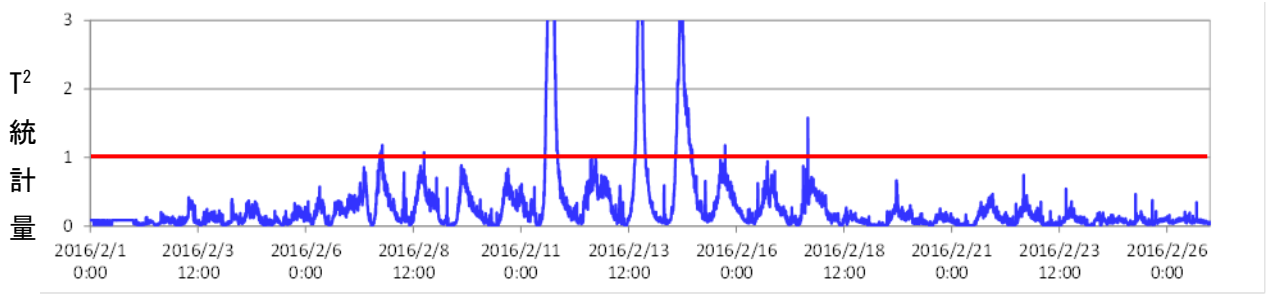
図資 1-28　制御性能改善前後の曝気風量低減率

[3] 直近の I-1 系 DO 一定制御時の相対風量を使用することも検討したが、2 月より実証系列とは別の系列の運用変更による影響で直接比較することはできなかった。

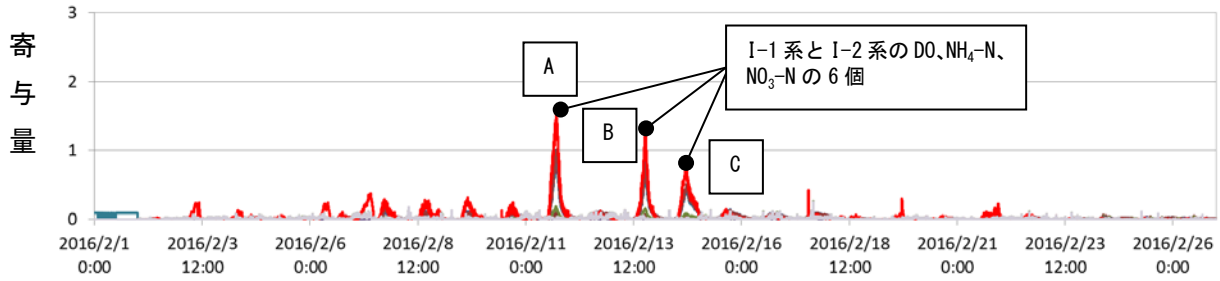
２）硝化機能に関する結果

2016/2/1～26 の期間にオンラインで稼働をさせた**表資 1-9** に示す 7 種類（8 個）の異常診断ユニットの中の一つであるセンサー診断ユニットにおいて、硝化に関連する NH_4-N 濃度が高い状態や I-2 系の NH_4-N センサーのドリフトが疑われる状態が検出されていることが確認できた。

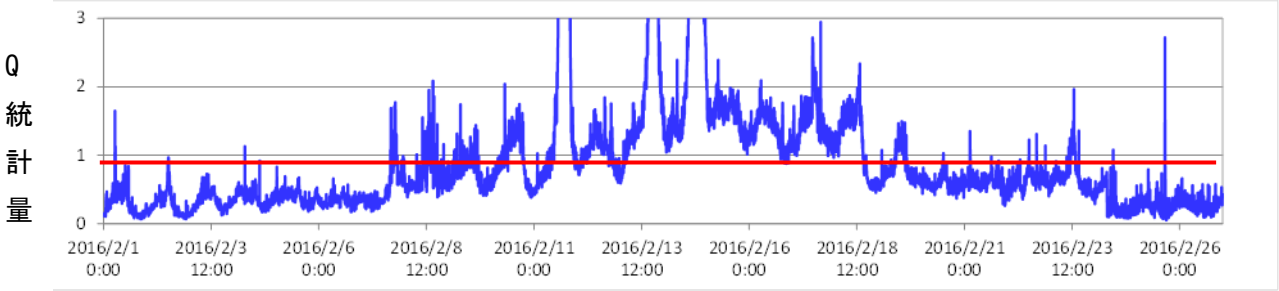
図資 1-29～図資 1-32 に T^2 統計量および Q 統計量とその寄与量のグラフを示す。



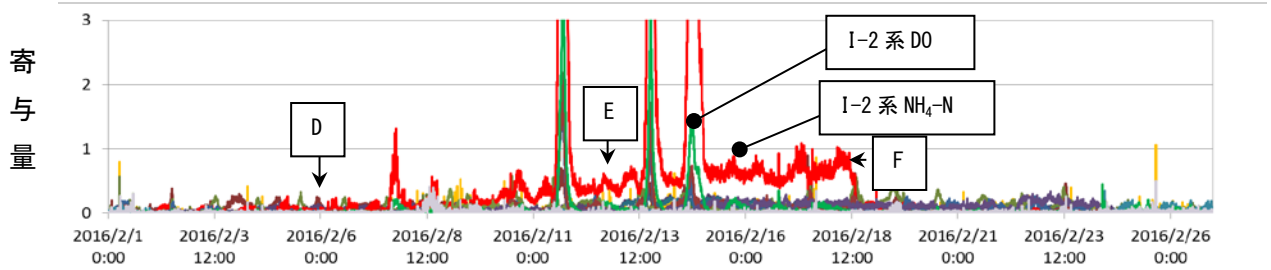
図資 1-29 総合評価期間中のセンサー診断ユニットの T^2 統計量



図資 1-30 総合評価期間中のセンサー診断ユニットの T^2 統計量に対する寄与量



図資 1-31 総合評価期間中のセンサー診断ユニットの Q 統計量



図資 1-32 総合評価期間中のセンサー診断ユニットの Q 統計量に対する寄与量

図資 1-29 と**図資 1-30** の T^2 統計量とその寄与量からは、土日祝日であった 2/11、13、14 に、硝化や脱窒等、窒素に関連する監視データに大きな変動があったことが疑われた。一方、**図資 1-31** と**図資 1-32** の Q 統計量とその寄与量からは、I-2 系の NH_4-N センサー（もしくは DO センサー）にドリフトが生じている可能性が疑われた。

そこで、対応する期間の NH_4-N 濃度、NO_3-N 濃度、DO 濃度の時系列データを確認すると、**図資 1-33**～**図資 1-35** に示すとおりであった。

図資 1-33 を見ると、土日祝日に NH_4-N 濃度が高くなっていることが確認できた。また、**図資 1-32** から I-2 系の NH_4-N センサーにドリフトが生じている可能性が示唆されていることを念頭において I-2 系の NH_4-N 濃度の変化を確認すると、わずかに上昇傾向があるようにも見える。そのため、I-2 系の NH_4-N センサーにドリフトが生じている可能性も考えられるが、NH_4-N 濃度のデータだけからは判断が難しい状態であった。

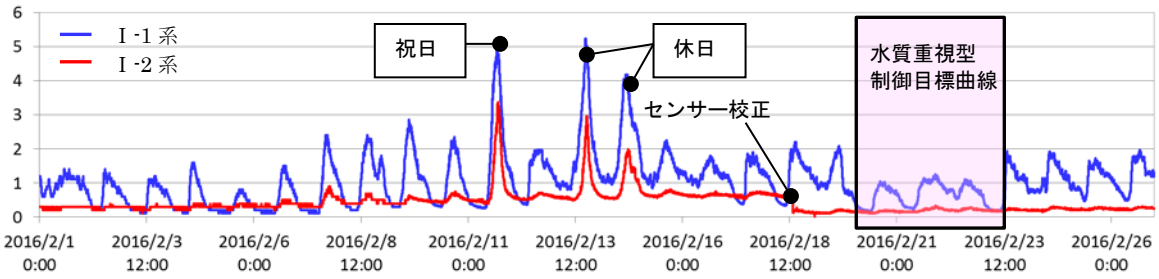
NH_4-N 濃度が高くなった要因として、負荷が高くなる祝日であることに加え、別の水処理系列の停止に伴い流入負荷がより高くなったことが推測されたため、翌週の土日である 2/20 と 2/21 の制御目標曲線を水質重視型に切り替えた。

一方、NH_4-N センサーのドリフトについては、明確な判断はできなかったが、ドリフトの可能性が疑われたため、NH_4-N センサーの校正を行うこととし、2/18 に校正を行った。

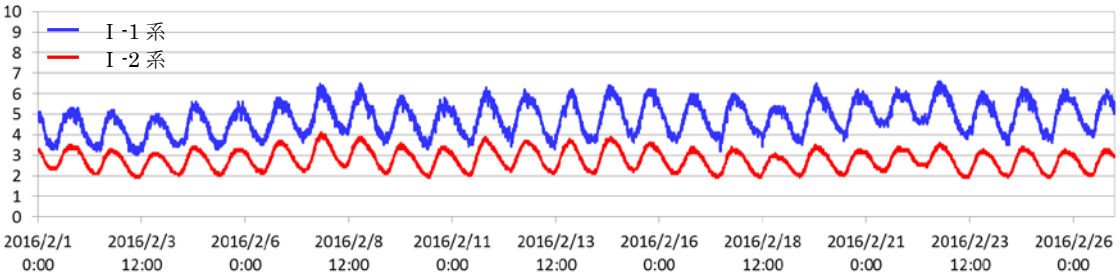
その結果、**図資 1-33** からわかるように、制御目標曲線の変更により 2/20 と 2/21 の NH_4-N 濃度を低く抑制することができ、2/11、13、14 の NH_4-N 濃度の平均値がそれぞれ 1.6mg/L、2.0mg/L、2.1mg/L に対し、2/20、21 の NH_4-N 濃度平均値は 0.6mg/L、0.7mg/L となった。

一方、I-2 系の NH_4-N センサーが実際に 0.5mg/L 程度ドリフトしていたことを確認できた。また、MSPC 技術による異常を判定では、2/10 の 11:00 頃に異常と判定され、センサーを校正した 1/18 から約 3 週間（23 日）でドリフトを検出したと考えられた。この結果より、NH_4-N センサーのドリフト異常が 3 週間程度で生じうること、及びそのドリフト異常を MSPC 技術により、検知可能なことを確認した。この結果と 2015/10/19～2016/1/19 の運転実績に基づいて、NH_4-N センサーのメンテナンスに関しては、以下のように考えて、コスト試算を行った。

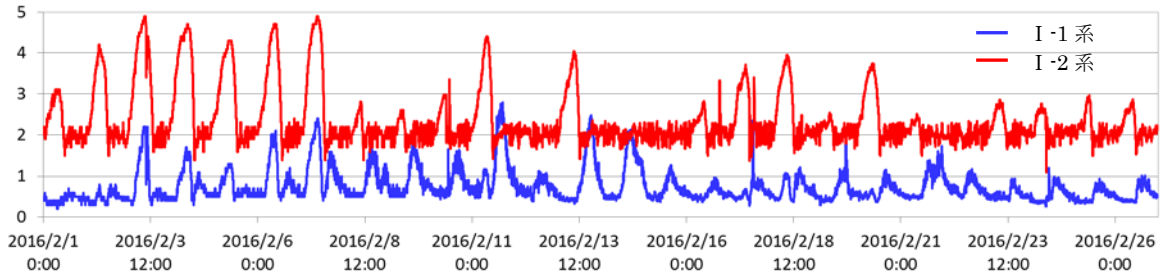
・従来のセンサーメンテナンス周期（センサーメーカーの推奨）
　引上洗浄　1 回/週、校正　1 回/月
・実証技術導入時のセンサーメンテナンス周期
　引上洗浄　1 回/3 週、校正　1 回/3 週



図資 1-33　総合評価期間中の NH_4-N 濃度の時系列データ

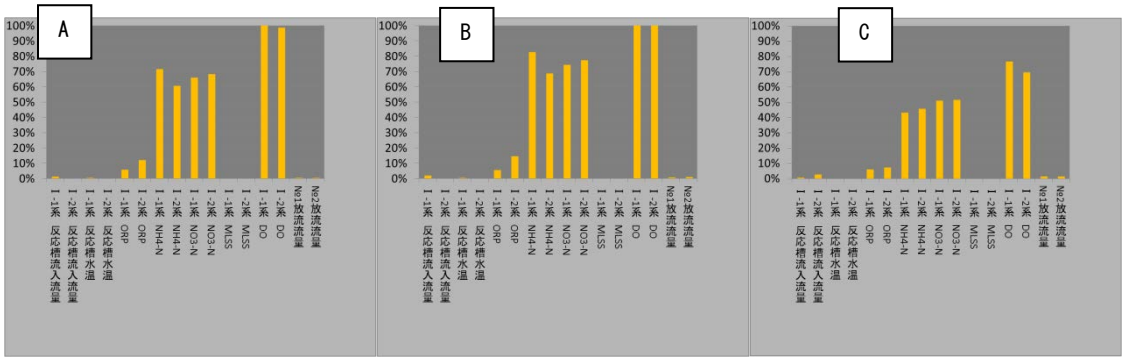


図資 1-34　総合評価期間中の NO_3-N 濃度の時系列データ

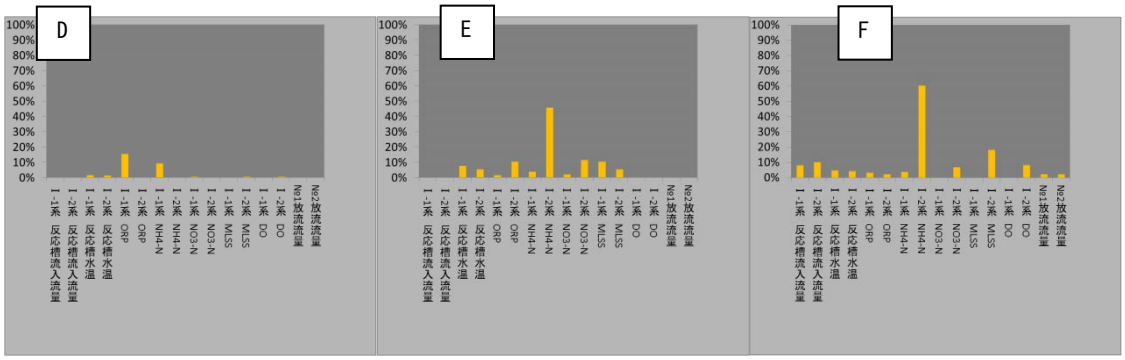


図資 1-35　総合評価期間中の DO 濃度の時系列データ

センサー診断ユニットは、リモート側で稼働させており、実証施設の監視画面には情報を提示していなかったが、参考のため、**図資 1-30** の A～C の時点と**図資 1-32** の D～F の時点の寄与量バーグラフを表示すると、**図資 1-36** と**図資 1-37** のようになる。**図資 1-36** からは、NH_4-N 濃度、NO_3-N 濃度、DO 濃度等に何らかの変化があることが推測され、**図資 1-37** からは、I-2 系の NH_4-N センサーのドリフトの可能性が強く疑われることを確認できる。



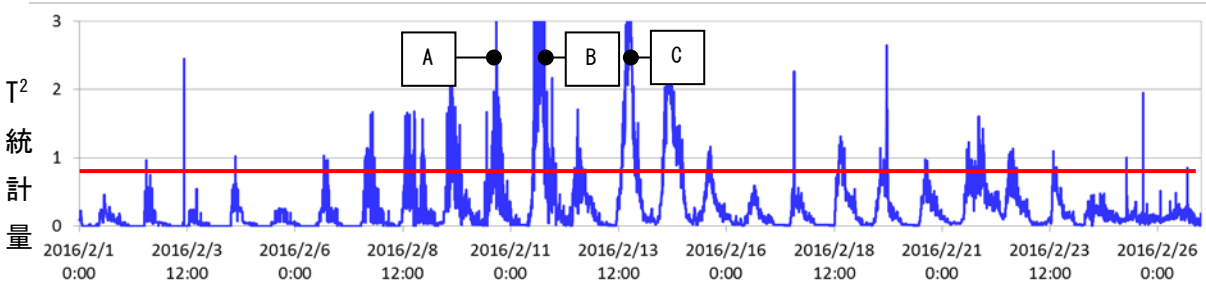
図資 1-36　時点 A～C における T^2 統計量に対する寄与量



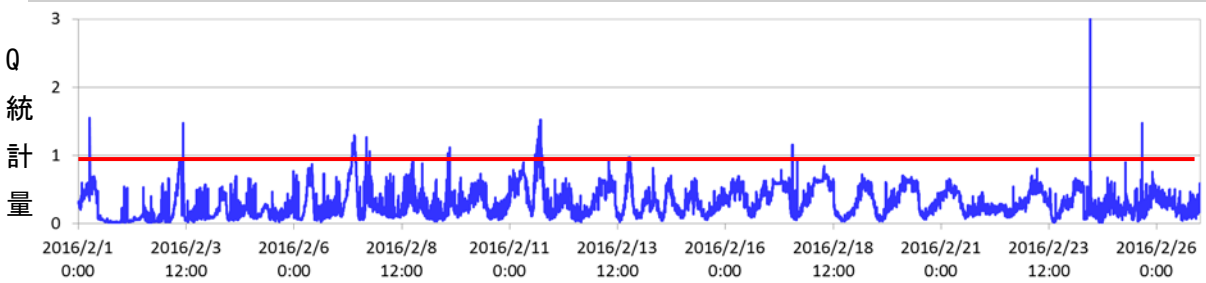
図資 1-37　時点 D～F における Q 統計量に対する寄与量

最後に、実証施設の監視画面に情報を提示し、異常兆候検出時のアラーム発報に用いた I-1 系ブロワ関連診断ユニットと水質関連診断ユニットによる結果について補足する。これらの異常診断ユニットでも、センサー診断ユニットの結果ほどわかりやすい形ではないが、上記の関連する診断結果が得られている。

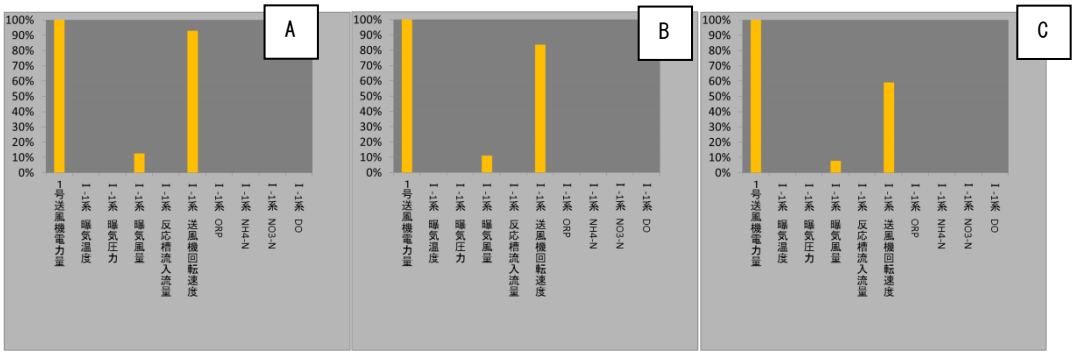
NH_4-N 濃度の水質変動に関しては、**図資 1-38** に示すように、I-1 系ブロワ関連診断ユニットの T^2 統計量で顕著な異常として検出され、関連する主な変数はブロワ電力や回転数となっていた（**図資 1-40**）。これは、負荷が高い状態であることを間接的に示すものであると考えられ、実際これらの値も大きくなっていた。



図資 1-38　総合評価期間中の I-1 系ブロワ関連診断ユニットの T^2 統計量

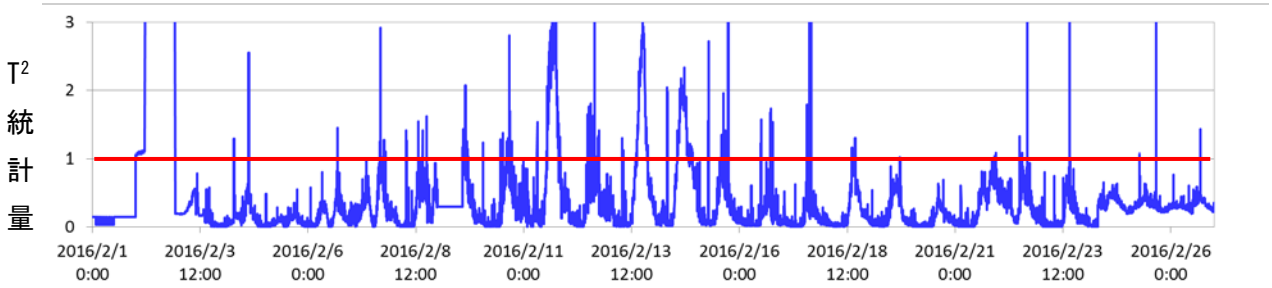


図資 1-39 総合評価期間中の I-1 系ブロワ関連診断ユニットの Q 統計量

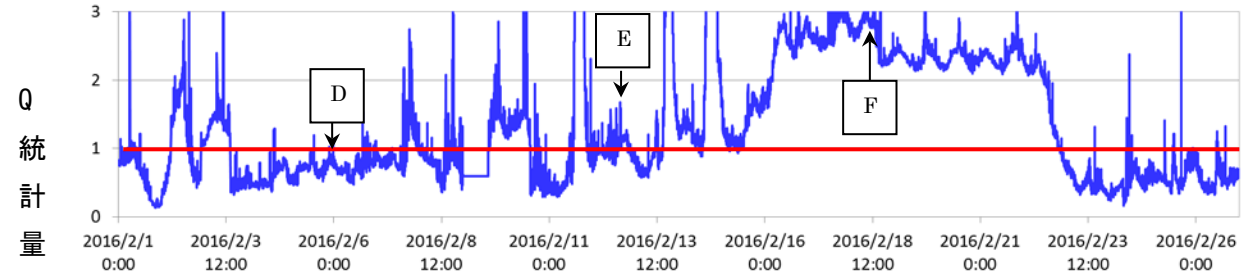


図資 1-40　時点 A～C における T^2 統計量に対する寄与量（I-1 系ブロワ関連診断ユニット）

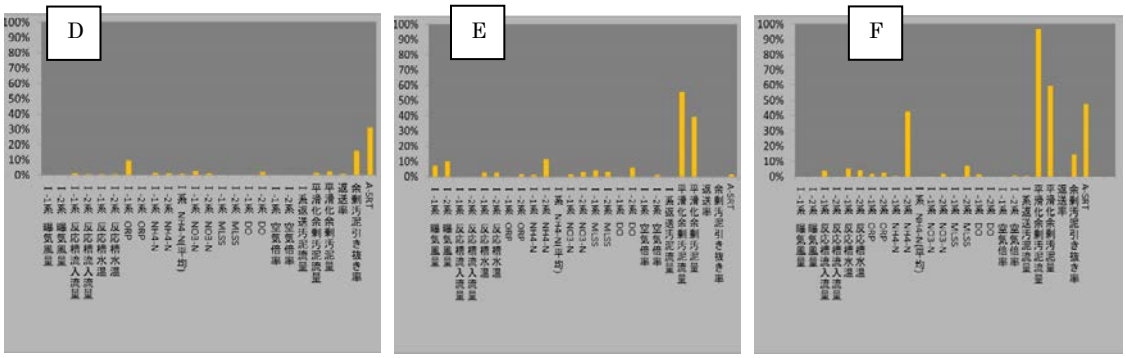
一方、I-2 系の NH_4-N センサーのドリフトについては、水質関連診断ユニットの Q 統計量で、その傾向が検出されている。**図資 1-32** の D～F と同じ時点（＝**図資 1-41**、**図資 1-42** の D～F）における寄与量バーグラフ（**図資 1-43**）を確認すると、E の時点で若干傾向が現れ、F の時点で比較的高い寄与量となっている。ただし、診断モデルを構築した時期（1 月の最終週）の余剰汚泥引き抜き量や ASRT がほぼ一定であったのに対し、その後運用を変更したため、余剰汚泥引き抜き量に関連する変数の寄与量の方が高い状態となっており、I-2 系の NH_4-N センサーのドリフトを疑うには、ややわかりにくい結果となっている。



図資 1-41　総合評価期間中の水質関連診断ユニットの T^2 統計量



図資 1-42　総合評価期間中の水質関連診断ユニットの Q 統計量



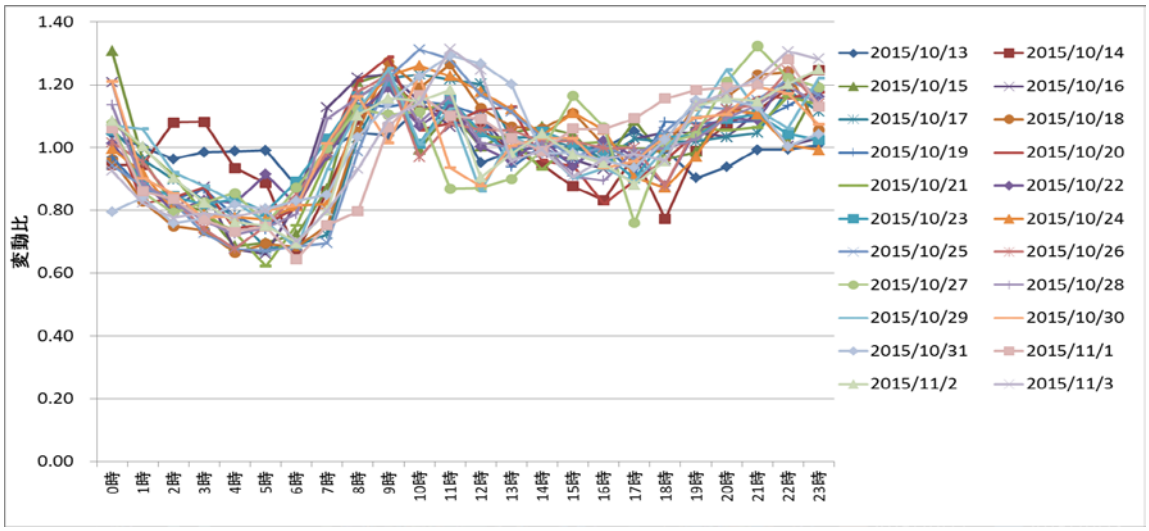
図資 1-43　時点 D～F における Q 統計量に対する寄与量（水質診断ユニット）

以上より、適切な異常診断ユニットを適用することで、硝化機能に関わる NH_4-N 濃度等に関連する異常状態を検出でき、制御目標曲線の適切な選定やセンサーの適切なタイミングでの校正に関する情報を与えることができると考えられる。

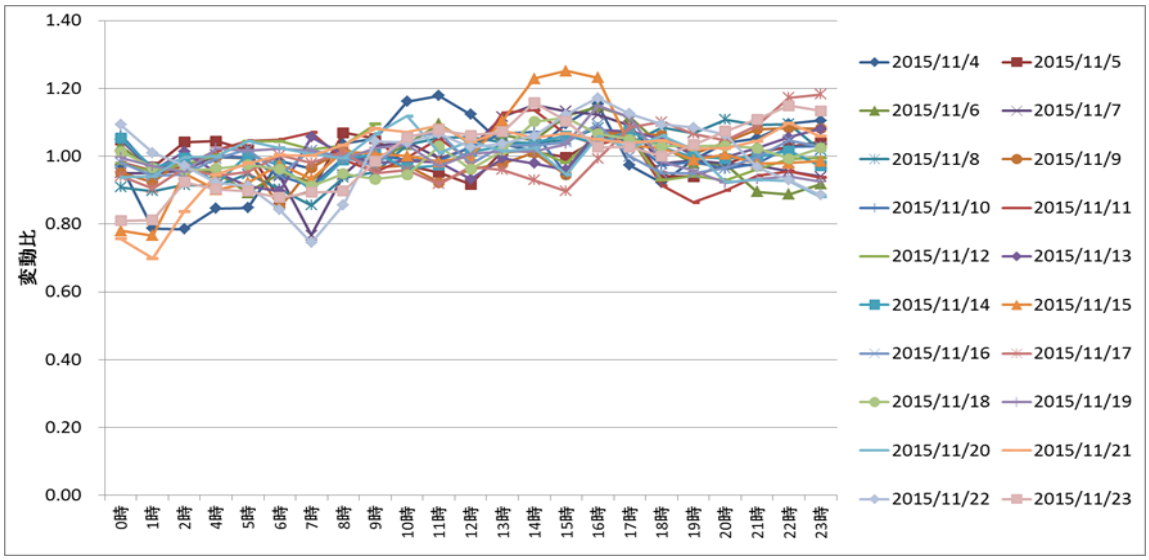
（５）質的・量的変動に対する処理の安定性に関する結果

１）流量調整池の運用停止期間における処理の安定性

本処理施設では、通常、流量調整池を運用することにより、反応タンクへの流入水量を平滑化しているが、2015/10/13～11/3 の期間は汚水調整池の運用を停止し、水量変動を大きくする試験を実施した。流入調整槽の運用停止期間の I-1 系流入量変動比の推移を**図資 1-44** に、流入調整槽の運用を開始し、通常運用に戻した期間の I-1 系流入量変動比を**図資 1-45** に示す。通常運用期間の変動比（**図資 1-45**）はおおよそ 0.8～1.2 であるのに対し、汚水調整池運用停止期間（**図資 1-44**）の変動比は 0.6～1.3 であり、流入量の変動が大きくなっていることがわかる。

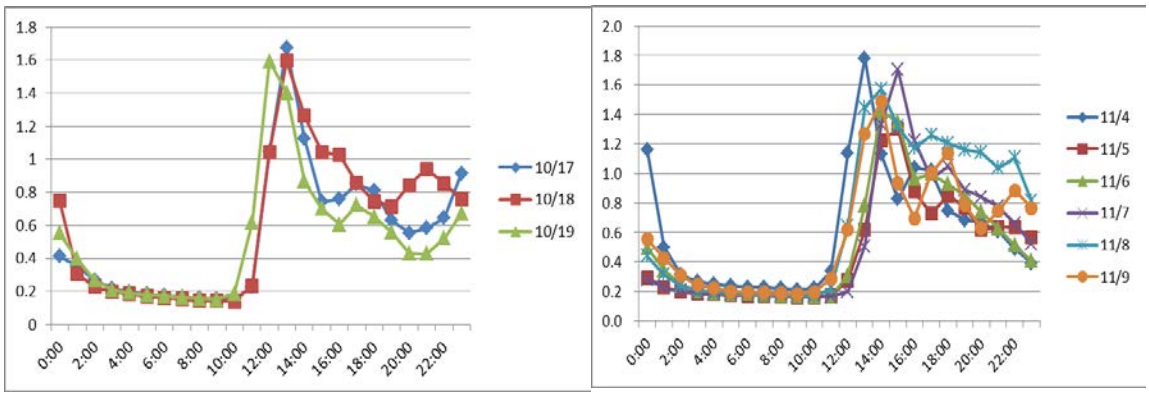


図資 1-44　流量調整槽運用停止期間（2015/10/13～11/3）の I-1 系流入量変動比



図資 1-45　流量調整槽の運用期間（通常運用）（2015/11/4～23）の I-1 系流入量変動比

これに対し、NH_4-N/DO 制御の省エネ型制御目標曲線（曲線 3）を設定した期間の NH_4-N 計測値の変動に関して、流量調整池運用停止期間、通常運用期間別に**図資 1-46** に示す。水量変動の前後において、NH_4-N 計測値の変化パターンに大きな変化はなく、また、NH_4-N の日平均値についても、流量調整池運用停止時 0.52mg/L、通常運用時 0.6mg/L と大きな変化はなく、水量変動が 0.6～1.3 の範囲においては、概ね今回の評価結果とほぼ同様の性能が得られると推定された。



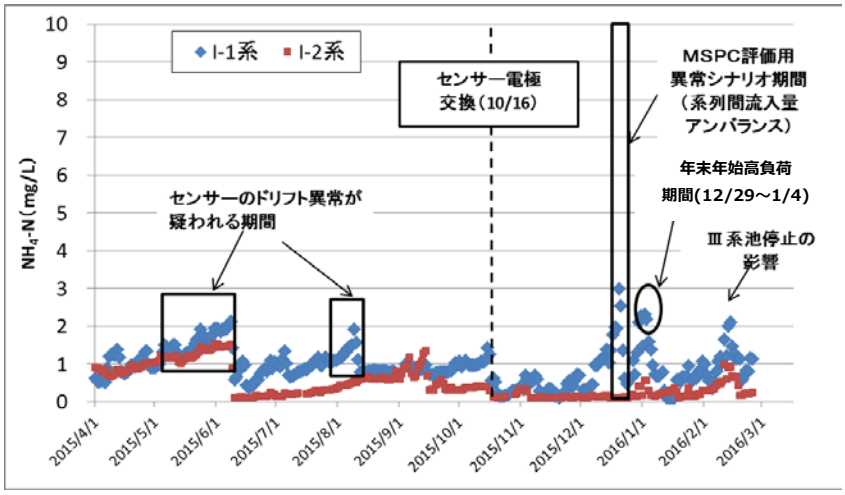
図資 1-46　NH_4-N/DO 制御（曲線３）時の NH_4-N 計測値の変化
（左図：流量調整池運用停止時（電極交換後の 10/17～19 データ）、右図：流量調整池通常運用時）

２）実証運転期間中の処理の安定性

流入水量、水温、ならびに流入水質の日平均に関して、平均値ならびに変動幅を**表資 1-13** に示す。**表資 1-13** に示す変動に対して、定例水質調査の結果では、実証系列（I-1 系）、対象系列（I-2 系）ともに、処理水 BOD に関しては、計画放流水質である処理水 BOD　8mg/L 以下の水質を常に達成するとともに、処理水 NH_4-N に関しては、1mg/L 以下の処理水質を常に達成でき、安定的な処理が可能であった。

表資 1-13　流入量、水温、流入水質の日平均値の平均と変動幅

項目	単位	平均値	変動幅 最小値～最大値	備考
I -1 系流入量	m^3/h	112.6	96.5 ～ 135.8	オンラインセンサー
I -2 系流入量	m^3/h	110.0	84.0 ～ 133.3	オンラインセンサー
I -1 系水温	℃	23.1	17.2 ～ 27.8	オンラインセンサー
I -2 系水温	℃	23.3	17.4 ～ 27.9	オンラインセンサー
流入 BOD	mg/L	100.7	77.0 ～ 160.0	定例調査（週 1 回）
流入 SS	mg/L	60.4	52.0 ～ 100.0	定例調査（週 1 回）
流入 T-N	mg/L	29.9	22.3 ～ 36.4	定例調査（週 1 回）
流入 NH_4-N	mg/L	21.8	16.0 ～ 27.0	定例調査（週 1 回）



図資 1-47　センサー設置位置における日平均 NH_4-N 濃度のトレンドグラフ

一方で、I-1 系の NH_4-N 計の計測値からは、**図資 1-47** に示すように冬季の a）～c）の期間で、センサー設置位置の日平均 NH_4-N が 1.5mg/L（処理水　NH_4-N　1mg/L に相当）を超過する場合があった。

a）系列間流入量アンバランス期間

b）年末年始の高負荷期間

c）Ⅲ系の池停止直後の休祝日（2016/2/11、13、14）

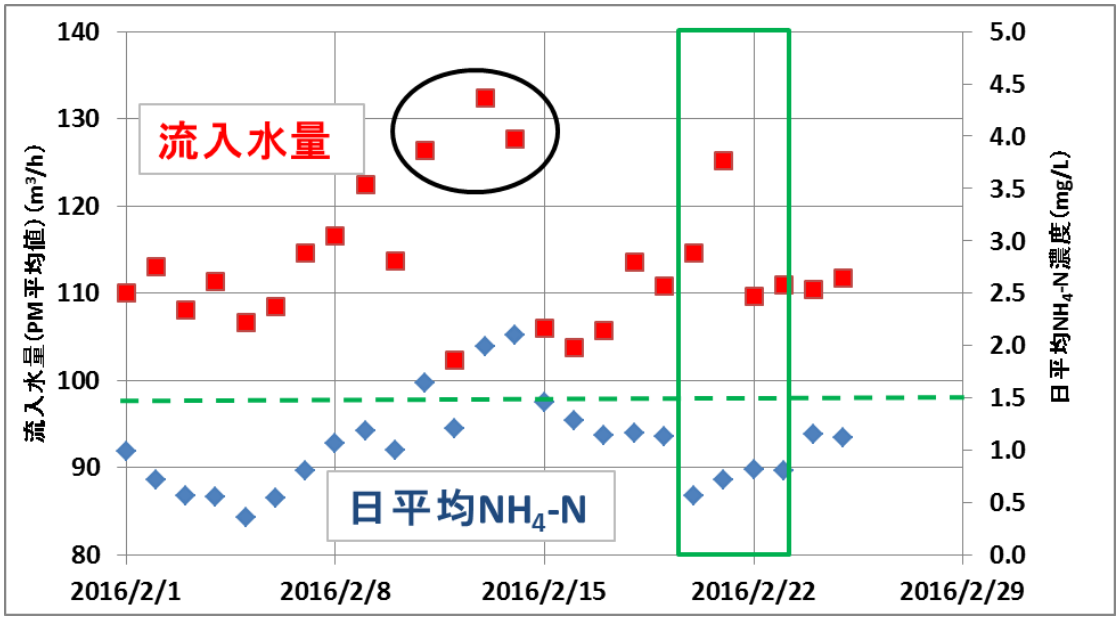
この a）～c）の期間で NH_4-N が高くなった理由に関して考察する。

a）の期間において、I-1 系では NH_4-N/DO 制御を実施しており、省エネ型の制御目標曲線（曲線３）よりも、さらに省エネルギーを指向した制御目標曲線（曲線４）を設定していた。この制御目標曲線の設定に加え、MSPC 技術の系列間流入量アンバランスシナリオの評価のために、I-1 系の流入水量が通常日平均　2,600m^3/日に対し、日平均　2,900m^3/日以上の流入量があった期間であった。（曲線４）の制御目標曲線に関しては、省エネルギー効果は高いものの 2,600m^3/日の水量に対して、NH_4-N 計設置位置での日平均 NH_4-N 1.5mg/L 以下の硝化機能維持基準をぎりぎり満たす曲線であった。これらのことから、制御目標曲線として（曲線４）を設定していたこと、流入水量が 10%以上増えたことにより、NH_4-N が高くなったものと推察される。

b）の期間において、I-1 系では NH_4-N/DO 制御を実施しており、省エネ型の制御目標曲線（曲線３）を設定していた。この期間中に採水を実施した、2016/1/4 の朝 9:00 のスポットサンプルで流入の NH_4-N 濃度が 40mg/L と通常よりも高かったことが影響していると考えられる。流入の NH_4-N/SS 負荷は年末前の１週間では、0.032kgNH_4-N/kgSS であったのに対し、2015/12/29～2016/1/4 の１週間は 0.048kgNH_4-N/kgSS となっており、このような高負荷が予想される場合には、あらかじめ制御目標曲線を水質重視型の曲線に切り替える等の対応が必要と考えられる。

c）の期間において、I-1 系では NH_4-N/DO 制御を実施しており、省エネ型の制御目標曲線（曲線３）を設定していた。Ⅲ系の池停止の影響等により、センサー設置位置における NH_4-N 濃度が 1.5mg/L を超過した日（2/11、2/13、2/14）に関しては、日平均水量の増加はそれほど顕著ではなかったが、**図資 1-48** に示すように午後の平均水量がいずれも 3,000m^3/日（＝125m^3/h）を超え、通常に比べ約 15%増の水量となっていた。休祝日の流入水質に関しては、測定を行っていないが、この流入水量の増加に加え、流入水質も高くなっていた可能性が推定され、これに伴い、NH_4-N 濃度が高くなったものと推察される。この週末の NH_4-N 濃度の悪化を MSPC 技術で検知できたことから、翌週の週末の期間（図中の□で囲った期間）を水質重視型の制御目標曲線（曲線１）を設定して運転した。その結果、処理水 NH_4-N 濃度を改善することができた。

今回のような NH_4-N 濃度の悪化は、センサーの上下限の管理限界値に比べると小さな変動であり、従来型の異常検知システムでは検知できないレベルであるが、MSPC 技術をオンラインで適用しながら運転することにより、NH_4-N/DO 制御の硝化機能の維持効果を安定化することが可能となる。



（□で囲った期間は、水質重視型の制御目標曲線（曲線１）を、それ以外の期間は省エネ型の制御目標曲線（曲線３）をそれぞれ設定し運転）

図資 1-48　I-1 系の流入水量の PM 平均値と日平均 NH_4-N 濃度のトレンド

大部分の期間において安定した処理が可能であったが、週末、年末・年始に NH_4-N が高くなる傾向にあった。流入水量としては、通常処理 2,600m^3/日に対して、約 10～15%増で、かつ流入する NH_4-N 濃度が高いと推測される場合に悪化する傾向がわかった。

今回の実証試験で得られた知見より、年末・年始等の長期連休期間や冬季の週末で高負荷が予想されるような期間や MSPC 技術により NH_4-N 濃度の悪化傾向が事前に予想できるケースでは、制御目標曲線の管理方法として、制御目標曲線を水質重視型で設定し、硝化機能の維持を行う運用にする等が必要になると考えられる。

（６）N_2O 排出量に関する調査結果

I-1 系、I-2 系それぞれの反応タンク第 1～第 4 区画からガスを採取し、採取したガス中の N_2O 濃度をガスクロマトグラフにより測定することで、反応タンクからの N_2O 排出状況について、調査を行った結果を示す。

１）調査計画

調査は、予備調査 1 回、本調査 2 回を実施することとした。調査項目に関して**表資 1-14** に示す。反応タンクからの N_2O 排出状況を窒素の処理状況と共に把握するために、ガスを採取するとともに反応タンク流入水（AT 流入水）ならびに処理水、反応タンクの第 1～第 4 区画の NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N の水質調査も併せて実施することとした。なお、予備調査、本調査日ともに I-1 系は NH_4-N/DO 制御の省エネ型制御目標曲線（曲線３）とし、I-2 系は DO 一定制御で運転を行い、調査を実施した。

予備調査は 2015/9/8 に実施し、ガス試料、溶存態 N_2O 試料、AT プロファイル試料について、13:00 に実施し、定例水質調査についても、同日に実施した。予備調査は実証施設における N_2O の排出状況の把握と液中 N_2O の調査頻度、調査箇所を決定するために行った。

本調査は、2015/9/28、2016/1/19 の 2 回を予定し、**表資 1-15** に示す試料および頻度で採水・採ガスする計画とした。予備調査の結果、実証技術が N_2O 排出状況に与えることが多いと判断した場合には、採ガス頻度や溶存態 N_2O 試料の採取頻度を増やす等の計画の見直しを実施する予定とした。

表資 1-14　N_2O 排出状況調査の調査計画

サンプル	調査項目	AT 流入水	I-1 系および I-2 系						返送汚泥
			第１区画	第２区画	第３区画	第４区画	処理水	活性汚泥	
ガス試料	N_2O		○	○	○	○			
溶存態 N_2O 試料	N_2O		○	○	○	○			
AT プロファイル試料	NH_4-N、NO_3-N、NO_2-N、PO_4-P		○	○	○	○			
定例調査試料	NH_4-N、NO_3-N、NO_2-N、ケルダール窒素、T-P、汚泥中の窒素、リン	○					○	○	○
通日調査試料	NH_4-N、NO_3-N、NO_2-N、ケルダール窒素、PO_4-P	○					○		

表資 1-15　本調査時の試料採取計画

サンプル	調査項目	9:00	13:00	17:00	21:00
ガス試料	N_2O	○	○	○	○
溶存態 N_2O 試料	N_2O	○		○	
AT プロファイル試料	NH_4-N、NO_3-N、NO_2-N、PO_4-P	○	○	○	

N_2O 排出量は、調査時に採取したガスの N_2O 濃度分析結果から I-1 系、I-2 系別に、反応タンクの第 1～第 4 区画から排出される N_2O 排出量をそれぞれ演算し、第 1～第 4 区画からの排出量を合算することで、N_2O 排出量［gN_2O/日］を算出する。本調査の際には、**表資 1-15** に示すように 4 回/日のガス採取を行う計画であるが、4 回の調査の平均値を N_2O 排出量とし、その値を下水処理量［m^3/日］で割ることで、N_2O 排出係数（1m^3 の下水処理あたりの N_2O 排出量）を算出する。

調査時には、I-1 系の結果を NH_4-N/DO 制御、I-2 系を DO 制御することで制御方式別の排出係数の算出を行い、比較を行う。また、排出係数の評価に当たっては、標準的な処理施設との比較のために、「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2015 年 4 月）」に記載の N_2O 排出係数との比較により、一般的な下水処理施設と比較した際の N_2O 排出量の大小関係について評価を行うこととした。

$$La = \Sigma x \times 10^{-6} \times \frac{1}{22.4 \times \frac{c+273}{273} \times 10^{-3}} \times Qn \times 24 \times 44 \qquad \textbf{式 5-1}$$

ここで、各記号は、以下のとおりである。

L_a：N_2O 排出量　［gN_2O/日］

x：ガス中の N_2O 測定値　［ppm］

c：サンプリング時の気温　［℃］

Qn：第 n 区画の 曝気風量　［m^3/h］　（n＝1、2、3、4）

なお、上記の式の第 n 区画の曝気風量 Qn に関しては、ガス試料のサンプリング時に現場の各区画に設置されたフロート式の曝気風量計の値を読み取ることでデータを取得した。

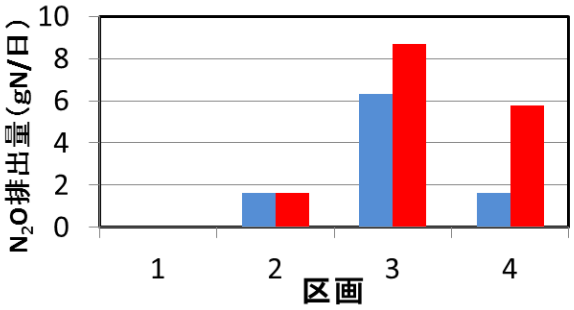
２）予備調査結果（2015/9/8 13:00）

予備調査時の N_2O ガス濃度、水質濃度の分析結果を**表資 1-16** に示す。各区画へのガス発生量とガス中 N_2O 濃度から求めた N_2O 排出量を**図資 1-49** に示す。**図資 1-49** より、いずれのケースも第 3 区画からの排出量が最も大きいことがわかる。また、**表資 1-16** に示すようにガス中 N_2O 濃度は、1.0～3.3ppm と低い濃度であった。

表資 1-16　N_2O 排出量の予備調査結果（2015/9/8 実施）

項目	単位	I -1 系				I -2 系			
		第 1 区画	第 2 区画	第 3 区画	第 4 区画	第 1 区画	第 2 区画	第 3 区画	第 4 区画
気温	℃	25.5	25.5	25.5	26.0	25.5	25.5	25.5	26.0
ガス中 N_2O 濃度	ppm	検出せず	1	2.1	1	検出せず	1	3.3	1.4
水温	℃	26.6	26.4	26.4	26.5	26.1	26.2	26.1	26.1
pH	—	6.76	6.68	6.26	6.12	6.72	6.59	6.25	6.08
DO	mg/L	0	0.2	0.5	0.7	0	0.1	0.4	2.3
NH_4-N	mg/L	12	11	1.5	＜0.1	15	8.9	3.0	＜0.1
NO_2-N	mg/L	0.3	＜0.1	0.1	＜0.1	＜0.1	0.3	0.1	＜0.1
NO_3-N	mg/L	0.8	0.2	9.2	11	＜0.1	2.0	8.7	12
液中 N_2O 濃度	mg/L	0.0066	0.0040	0.0070	0.0073	0.0033	0.0040	0.0078	0.0049

＊ガス中の N_2O の検出限界濃度は、0.5ppm 以下



図資 1-49　N_2O 排出量の予備調査結果（2015/9/8 実施）

図資 1-49 の結果に基づいて算出した N_2O 排出係数（1m³ の下水処理あたりの N_2O 排出量）は、「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2015 年 4 月）」にて報告されている標準活性汚泥法の排出係数 142mgN_2O/m³ 下水 と比較すると、今回調査結果の排出係数は I-1 系 5.8mgN_2O/m³ 下水、I-2 系 9.7mgN_2O/m³ 下水 であり、非常に小さく、硝化を伴う高度処理方式の数値と同等レベルであった。これは、宝満川浄化センターでは、両系列共にほぼ完全硝化が実現できていることが要因となっていると推定される。

いずれの系列ともに採取ガスの N_2O ガス濃度が低く、以下のことがわかった。

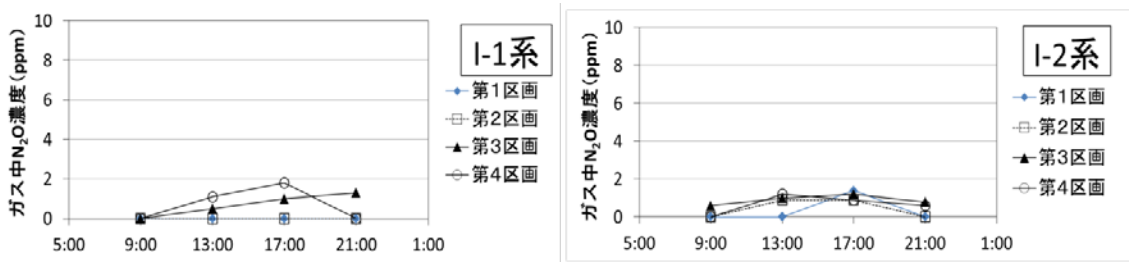
①硝化状況が良好であることに起因し、N_2O 排出係数は非常に小さく、CO_2 排出量をベースとした温室効果ガスの排出量算定に大きな影響を与えない可能性が高い。

②NH_4-N/DO 制御では、低 DO 運転であることから、DO 一定制御に比べ、N_2O の排出量が増加する懸念があったが、その影響は小さい可能性が高い。

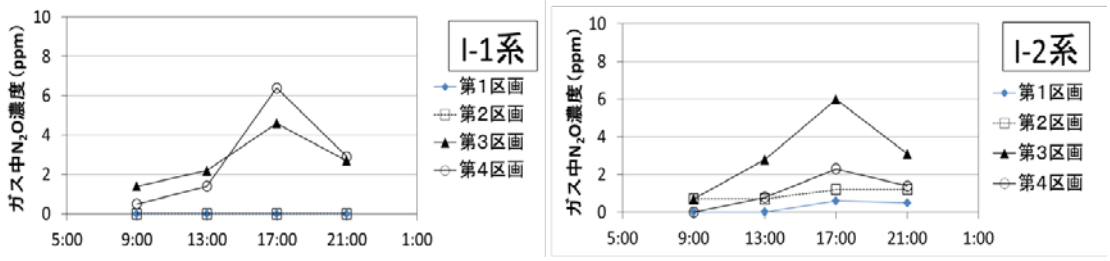
この結果を受けて、本調査に関しては、追加の詳細調査を行う必要性は低く、当初の計画通りで十分と判断し、本調査を実施した。

３）本調査結果（2015/9/29（第 1 回調査）、2016/1/19（第 2 回調査））

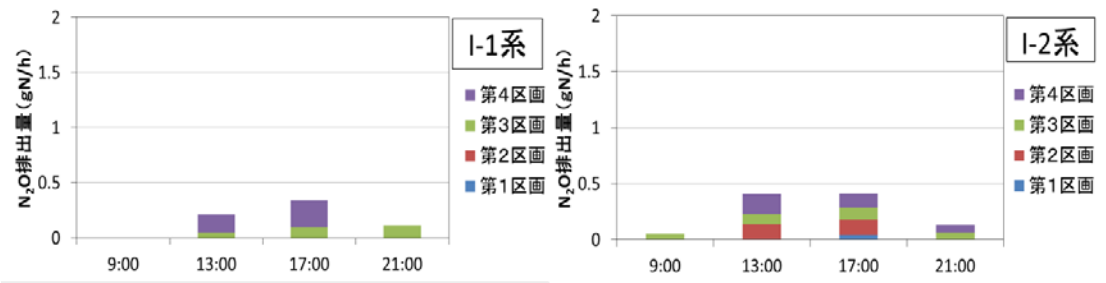
2015/9/29 の第 1 回調査、2016/1/19 の第 2 回調査に関して、ガス中の N_2O 濃度をそれぞれ**図資 1-50**、**図資 1-51** に示す。各区画のガス濃度に各区画の曝気風量を乗じて求めたガス中の N_2O 排出量をそれぞれ**図資 1-52**、**図資 1-53** に示す。傾向として、第 1 回調査に比べ、第2回調査において、N_2O 排出量が I-1 系、I-2 系ともに多いこと、時間経過で見ると、13:00、17:00 の排出量が多い傾向にあった。この時間傾向は、流入水の NH_4-N 濃度が 9:00～17:00 にかけて高いことが影響していると考えられる。また 19:00 以降、流入水の NH_4-N 濃度は小さくなっていくため、N_2O の排出量は小さくなる方向になると考えられる。このため、今回調査した時間の平均値から N_2O 排出係数を求めることで、排出係数が過小に評価される可能性は低いと考えられる。



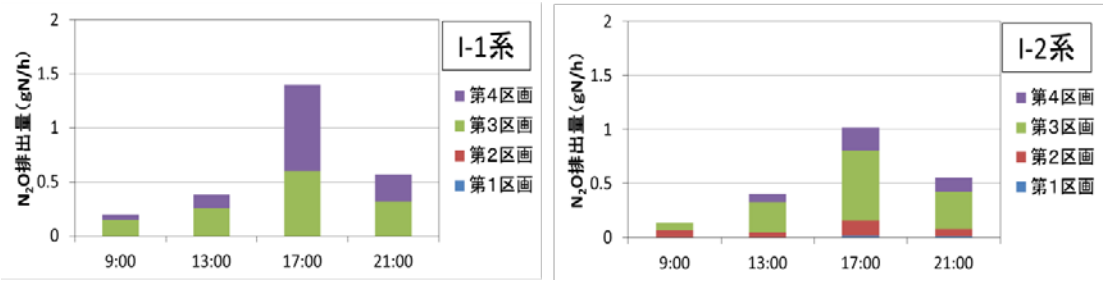
図資 1-50　ガス中 N_2O 濃度の調査結果（第 1 回本調査（2015/9/29 実施））



図資 1-51　ガス中 N_2O 濃度の調査結果（第 2 回本調査（2016/1/19 実施））

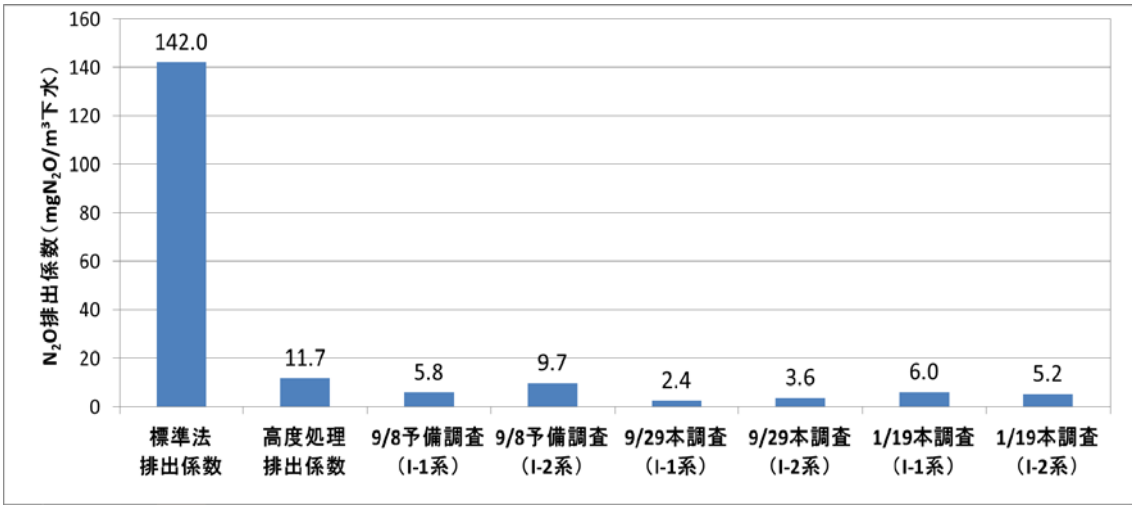


図資 1-52　N_2O 排出量の調査結果（第 1 回本調査（2015/9/29 実施））



図資 1-53　N_2O 排出量の調査結果（第 2 回本調査（2016/1/19 実施））

図資 1-52、**図資 1-53** に示す調査結果に基づいて、N_2O 排出係数を算出した結果を**図資 1-54** に示す。予備調査、2 回の本調査全てにおいて、I-1 系、I-2 系ともに N_2O 排出係数は、標準活性汚泥法の公表値に比べ、非常に小さく、硝化を伴う高度処理施設並みの数値と同等レベルに低いことが分かった。また、N_2O 排出係数の大小関係については、予備調査ならびに第 1 回本調査においては NH_4-N/DO 制御を実施した I-1 系の方が小さい一方で、第 2 回本調査では I-1 系の排出係数が大きくなった。2 回の本調査の平均値をとると、I-1 系 4.2mgN_2O/m^3 下水、I-2 系 4.4mgN_2O/m^3 下水 となり、大きな差はなかった。



（標準法・高度処理（A_2O 法、循環式硝化脱窒法）の排出係数は、
「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2015 年 4 月）」記載の報告値）

図資 1-54　N_2O 排出係数の評価結果

予備調査、2 回の本調査の結果から、以下のことがわかった。

1) 排出係数は標準活性汚泥法の排出係数と比べ非常に小さく、硝化を伴う高度処理施設並みの数値と同等レベルに低い。
2) 実証技術導入により N_2O 排出係数が増加することが懸念されたが、その影響は小さい。

よって、温室効果ガス低減効果の算出においては、「実証技術と DO 一定制御の N_2O 排出係数に変化はない」として、温室効果ガスとしては、CO_2 排出量のみを考慮することとした。

２．ケーススタディ

ここでは、ケーススタディとして、本革新的技術を導入した場合のコスト及び温室効果ガス排出量の削減効果について、その試算ならびに評価を行った結果を示す。

２.１.評価規模および検討条件について

本革新的技術のコスト面での評価にあたり必要となる評価規模・検討条件について、以下に示す。ここでは、本革新的技術のコスト構造の試算を行うための評価規模とその技術フローについて説明する。

委託元である国土交通省国土技術政策総合研究所より、以下の評価規模の下水処理場について、基本条件および想定するフローについて提示された。

（１）標準活性汚泥法、処理量 日平均 8,000m³/日、日最大 10,000m³/日の場合

（２）標準活性汚泥法、処理量 日平均 40,000m³/日、日最大 50,000m³/日の場合

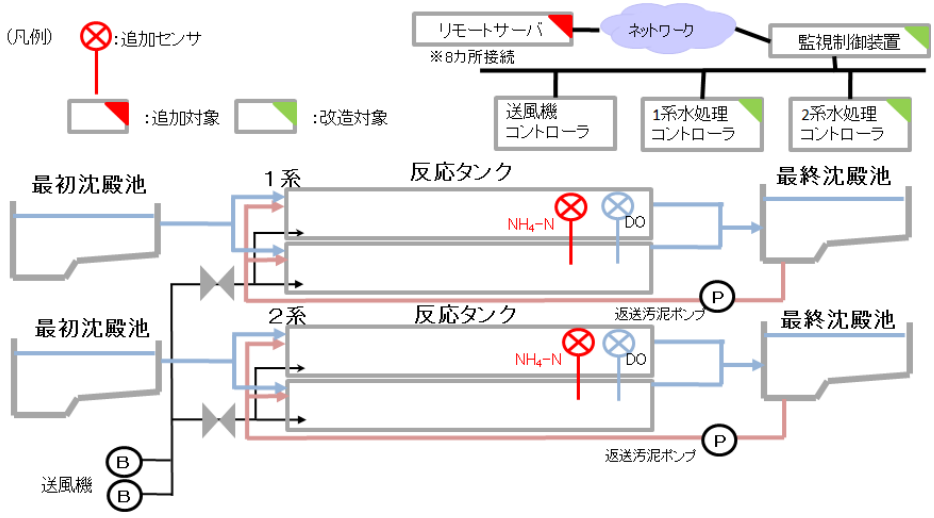
（３）標準活性汚泥法、処理量 日平均 80,000m³/日、日最大 100,000m³/日の場合

そして、これらの下水処理場について、本革新的技術の各種効果試算を行うための条件を共同研究体で設定した。

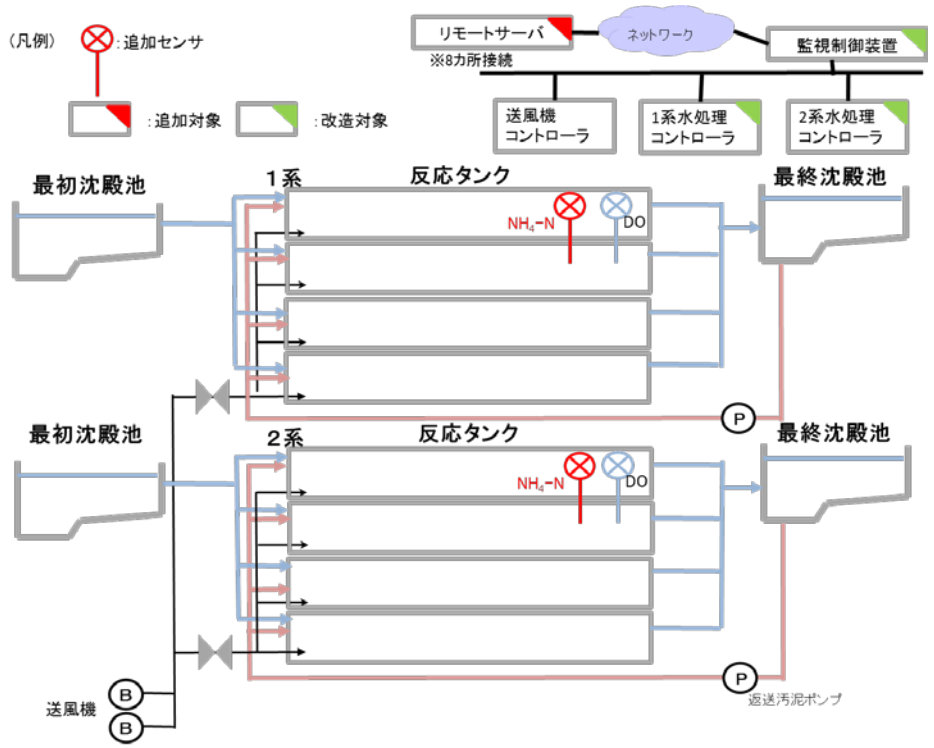
そこで、各評価規模における主な検討条件を示したものを**表資 2-1** に示す。また、上記の（１）～（３）において想定した技術フローを**図資 2-1** から**図資 2-3** に示す。

表資 2-1　本技術の評価における試算条件

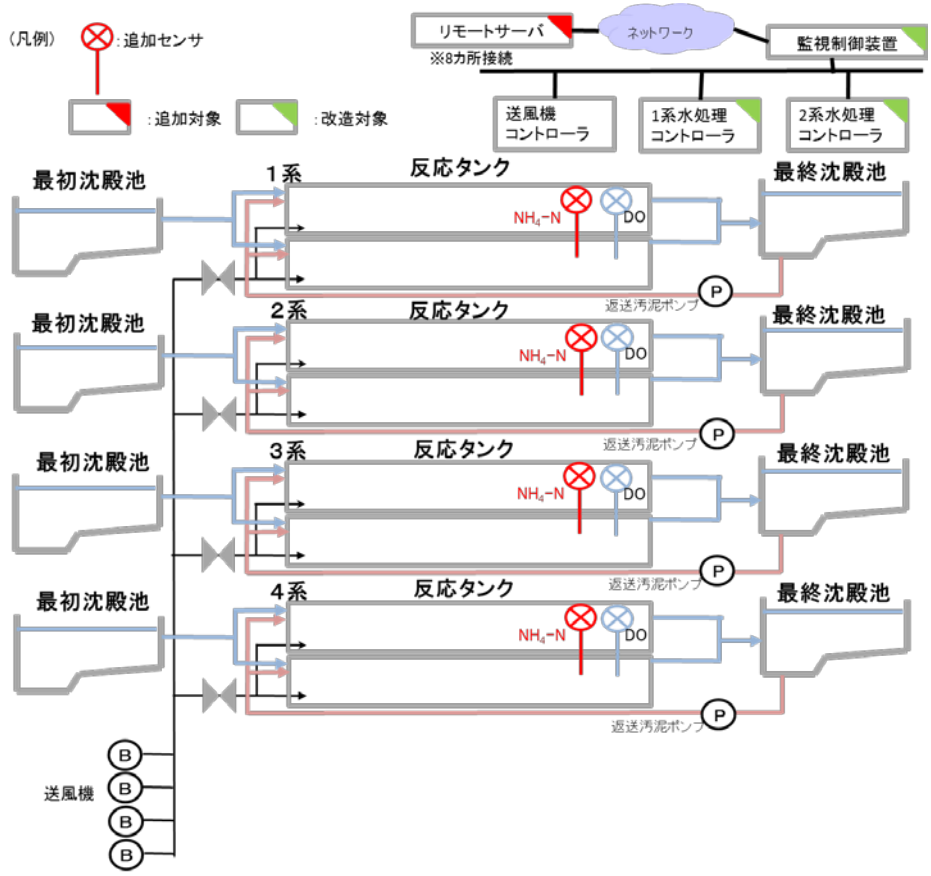
区分	項目	条件１	条件２	条件３	備考
対象施設の既設条件	流入下水量	10,000m³/日(日最大) 8,000m³/日(日平均)	50,000m³/日(日最大) 40,000m³/日(日平均)	100,000m³/日(日最大) 80,000m³/日(日平均)	国土交通省国土技術政策総合研究所より提示された試算条件
	水処理方法	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法	
	従来制御方式	送風量一定制御	送風量一定制御	送風量一定制御	
	水処理系列数	2 系列	2 系列	4 系列	
	送風機型式	ルーツブロワ	鋳鉄製多段 ターボブロワ	鋳鉄製多段 ターボブロワ	
	送風機台数	2 台	2 台	4 台	
	風量調節機構	インバータ制御 ／台数制御	インレットベーン 制御／台数制御	インレットベーン 制御／台数制御	
	軸動力／送風量比	1.064	0.79	0.81	
	散気装置型式	散気板	散気板	散気板	
	各系列における池数	2 池	4 池	2 池	
	DO センサー台数	2 台 （各系列に 1 台）	2 台 （各系列に 1 台）	4 台 （各系列に 1 台）	
	返送汚泥系統数	2 系統	2 系統	4 系統	
本技術の導入条件	NH_4-N センサー台数	2 台	2 台	4 台	上記試算条件に基づいて、共同研究体にて設定
	水処理コントローラ数	2 台	2 台	4 台	
	監視制御装置台数	1 台	1 台	2 台	
	リモートサーバへの接続機場数	8 カ所	8 カ所	8 カ所	



図資 2-1　試算条件 1（処理量：10,000m³/日（日最大））で想定するフローおよびシステム



図資 2-2　試算条件 2（処理量：50,000m³/日（日最大））で想定するフローおよびシステム



図資 2-3　試算条件 3（処理量：100,000m³/日（日最大））で想定するフローおよびシステム

２.２.設置及び運転に係るコスト構造について

ここでは、革新的技術の導入にあたり、**2.1 節**の評価規模および各種検討条件にしたがいコストの算定を行う。コストとして、建設コスト、維持管理コストおよび削減電力費を算定し、これらにもとづいて経費回収年を算定する。コストおよび経費回収年を算出するための従来技術として、送風量一定制御を想定し、その算定を行う。

それぞれの算定については、以下のケースを想定した。

ケース①：NH_4-N/DO 制御のみを導入する場合

ケース②：3 つの技術を組み合わせた技術を導入する場合（リモートサーバに接続する下水処理場数は 1 カ所）

ケース③：3 つの技術を組み合わせた技術を導入する場合（リモートサーバに接続する下水処理場数は 8 カ所）

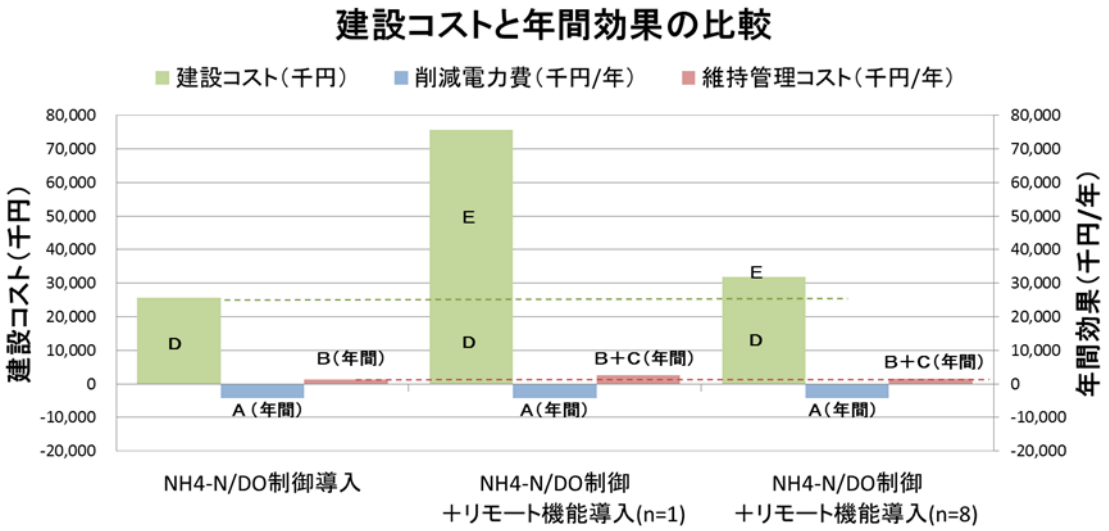
以下に、各評価規模における試算結果について示す。

（1）標準活性汚泥法、処理量 日平均 8,000 m³/日、日最大 10,000 m³/日の場合

従来技術として、送風量一定制御を想定した場合のコストおよび経費回収年の試算結果を**表資 2-2** に示す。また、建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係を示したグラフを**図資 2-4** に示す。

表資 2-2 コストおよび経費回収年の算定結果（従来技術：送風量一定制御の場合）

項目	左記項目に含む内容	ケース①	ケース②	ケース③	備考
建設コスト［千円］	・NH_4-N センサー2 台 ・コントローラ改造費 ・監視制御装置改造費 ・計装盤改造費 ・工事作業費 ・現地調整作業費	25,600.0	25,600.0	25,600.0	項目Ｄに該当
	・リモートサーバ構築費 ・リモートサーバ側初期設定費	－	50,000.0	6,250.0	項目Ｅに該当
建設コスト小計［千円］		25,600.0	75,600.0	31,850.0	
維持管理コスト［千円／年］	・NH_4-N センサー電極交換費、メーカー点検費	900.0	900.0	900.0	項目Ｂに該当
	・NH_4-N センサーメンテナンス費	360.8	360.8	360.8	
	・制御パラメータ調整費	74.0	74.0	74.0	
	・リモート診断機能に関わる通信費 ・リモート診断機能に関わる維持管理費	－	1,400.0	437.5	項目Ｃに該当 「NH_4-N/DO 制御に関して低減される維持管理費」については※①を参照 「リモート診断機能により削減される維持管理費」については、※②を参照
	・NH_4-N/DO 制御に関して低減される維持管理費（センサーメンテナンス）	－	－111.0	－111.0	
	・リモート診断機能により削減される維持管理費（NH_4-N/DO 制御の制御パラメータ調整作業）	－	－74.0	－74.0	
維持管理コスト小計［千円／年］		1,334.8	2,549.8	1,587.3	
削減電力費［千円／年］	・従来技術を送風量一定制御とした場合の削減電力費	4,338.0	4,338.0	4,338.0	項目Ａに該当 ※③を参照
経費回収年［年］		8.52	42.28	11.58	



図資 2-4 建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係
（処理量　日平均 8,000 ㎥/日、日最大 10,000 ㎥/日の場合）

※①リモート診断機能導入により削減される維持管理コストの算定について

（試算対象）NH_4-N センサーのメンテナンス作業工数削減

導入前：1 回／2 週間の頻度で、校正、引上げ洗浄等のメンテナンス作業を実施

導入後：1 回／3 週間の頻度で、校正、引上げ洗浄等のメンテナンス作業を実施

台数：NH_4-N センサー2 台を想定

効果試算：

・1 台のメンテナンスにかかる工数を NH_4-N センサー：1.5H とする。
　すなわち 1 回のメンテナンスにかかる工数は 6H（1.5H×2 人×2 台）となる。

・年間削減できる回数は 8 回とする（26 回－18 回）。

・作業費用は、1 日 8 時間作業と想定し、公共工事設計労務単価の電工費（全国平均）より、18.5 千円とする。

　導入前：6H×26 回／8H/日×18.5 千円/日＝360.8 千円

　導入後：6H×18 回／8H/日×18.5 千円/日＝249.8 千円

　導入効果：360.8 千円－249.8 千円＝111.0 千円

※②リモート診断機能により削減される維持管理費の算定について

（試算対象）　NH_4-N/DO 制御の制御パラメータ調整作業の削減費

効果試算：

・1 つの NH_4-N/DO 制御の制御パラメータにかかる工数を 8H とする。
　1 回の制御パラメータ調整にかかる工数は 16H（8H×2 つ分）となる。

・この制御パラメータ調整を年 2 回行う。

・作業費用は、1 日 8 時間作業と想定し、公共工事設計労務単価の電工費（全国平均）より、18.5 千円とする。

8H×2 カ所分×2 回×18.5 千円/日＝74.0 千円/年

※③従来技術を送風量一定制御とした場合の削減電力費の算定について

・年間消費電力量：

送風量一定制御：951.6 千 kWh（2,607kWh/日×365 日）

本技術：662.4 千 kWh（1,815kWh/日×365 日）

（委託元での試算結果による（**表資 2-10** 参照））

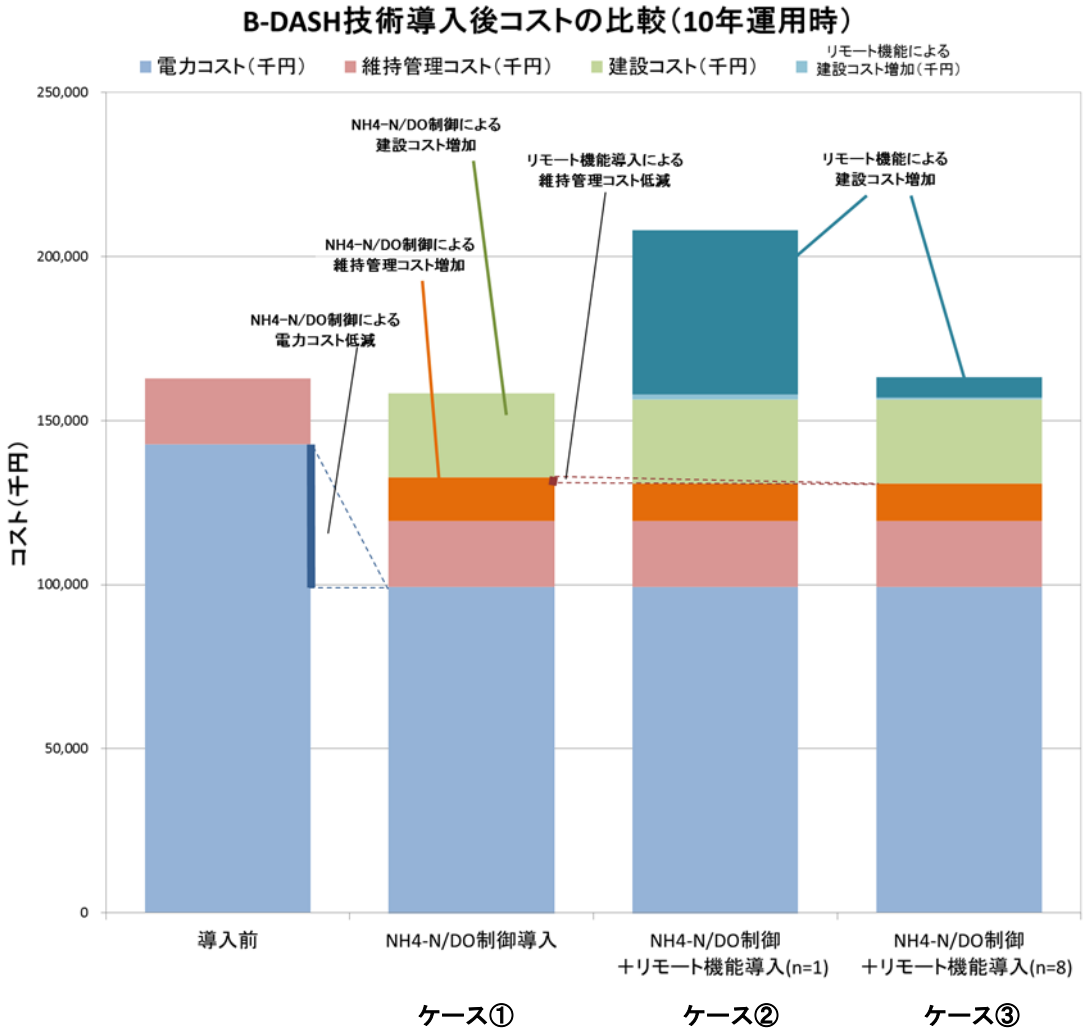
・電気料金単価：15 円/kWh

以上より、削減効果（従来技術:送風量一定制御の場合）は、下記のとおりとなる。

（951.6 千 kWh－662.4 千 kWh）×15 円/kWh＝4,338 千円/年

また、各ケースで、使用年数 10 年※を想定した場合の導入後のコストを比較したグラフを**図資 2-5** に示す。

※ 使用年数 10 年は、「下水道施設の改築について」（平成 25.5.16 国水下事第 7 号下水道事業課長通知）の別表における「3.電気設備」の大分類「電気計装設備」、中分類「計測設備」「監視制御設備」を考慮して定めた。



図資 2-5 使用年数 10 年を想定した場合の導入後のコストを比較

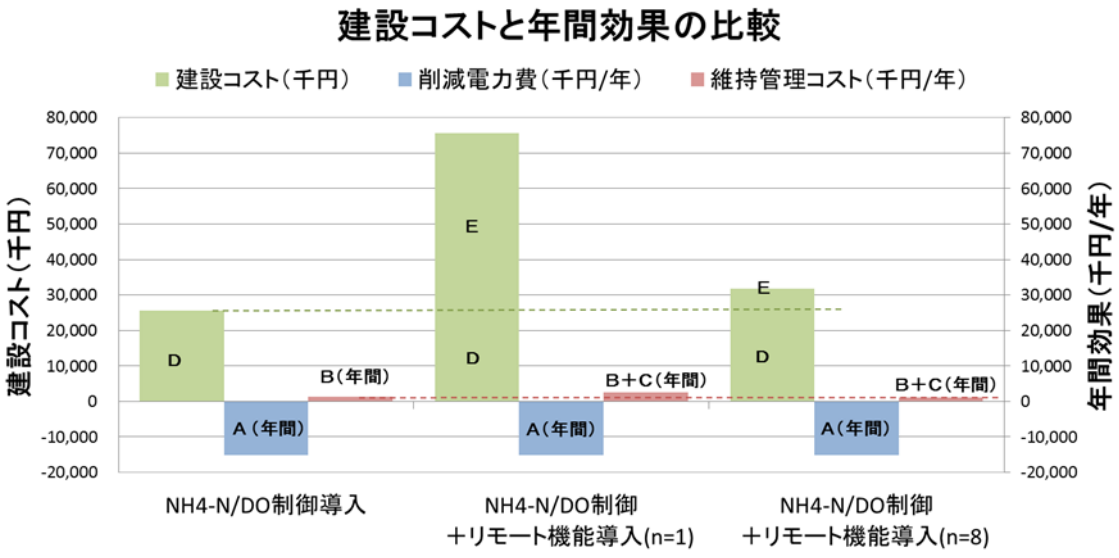
（処理量　日平均 8,000 ㎥/日、日最大 10,000 ㎥/日の場合）

（2）標準活性汚泥法、処理量 日平均 40,000 m³/日、日最大 50,000 m³/日の場合

従来技術として、送風量一定制御を想定した場合のコストおよび経費回収年の試算結果を**表資 2-3** に示す。また、建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係を示したグラフを**図資 2-6** に示す。

表資 2-3 コストおよび経費回収年の算定結果（従来技術：送風量一定制御の場合）

項目	左記項目に含む内容	ケース①	ケース②	ケース③	備考
建設コスト［千円］	・NH_4-N センサー2 台 ・コントローラ改造費 ・監視制御装置改造費 ・計装盤改造費 ・工事作業費 ・現地調整作業費	25,600.0	25,600.0	25,600.0	項目Ｄに該当
	・リモートサーバ構築費 ・リモートサーバ側初期設定費	－	50,000.0	6,250.0	項目Ｅに該当
建設コスト小計［千円］		25,600.0	75,600.0	31,850.0	
維持管理コスト［千円／年］	・NH_4-N センサー電極交換費、メーカー点検費	900.0	900.0	900.0	項目Ｂに該当
	・NH_4-N センサーメンテナンス費	360.8	360.8	360.8	
	・制御パラメータ調整費	74.0	74.0	74.0	
	・リモート診断機能に関わる通信費 ・リモート診断機能に関わる維持管理費	－	1,400.0	437.5	項目Ｃに該当 「NH_4-N/DO 制御に関して低減される維持管理費」については※①を参照 「リモート診断機能により削減される維持管理費」については、※②を参照
	・NH_4-N/DO 制御に関して低減される維持管理費（センサーメンテナンス）	－	－111.0	－111.0	
	・リモート診断機能により削減される維持管理費（NH_4-N/DO 制御の制御パラメータ調整作業）	－	－74.0	－74.0	
維持管理コスト小計［千円／年］		1,334.8	2,549.8	1,587.3	
削減電力費［千円／年］	・従来技術を送風量一定制御とした場合の削減電力費	15,253.5	15,253.5	15,253.5	項目Ａに該当 ※③を参照
経費回収年［年］		1.84	5.95	2.33	



図資 2-6 建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係
（処理量　日平均 40,000 ㎥/日、日最大 50,000 ㎥/日の場合）

※①リモート診断機能導入により削減される維持管理コストの算定について

（試算対象）NH_4-N センサーのメンテナンス作業工数削減

導入前：1 回／2 週間の頻度で、校正、引上げ洗浄等のメンテナンス作業を実施

導入後：1 回／3 週間の頻度で、校正、引上げ洗浄等のメンテナンス作業を実施

台数：NH_4-N センサー2 台を想定

効果試算：

・1 台のメンテナンスにかかる工数を NH_4-N センサー：1.5H とする。
　すなわち 1 回のメンテナンスにかかる工数は 6H（1.5H×2 人×2 台）となる。

・年間削減できる回数は 8 回とする（26 回－18 回）。

・作業費用は、1 日 8 時間作業と想定し、公共工事設計労務単価の電工費（全国平均）より、18.5 千円とする。

　導入前：6H×26 回／8H/日×18.5 千円/日＝360.8 千円

　導入後：6H×18 回／8H/日×18.5 千円/日＝249.8 千円

　導入効果：360.8 千円－249.8 千円＝111.0 千円

※②リモート診断機能により削減される維持管理費の算定について

（試算対象）　NH_4-N/DO 制御の制御パラメータ調整作業の削減費

効果試算：

・1 つの NH_4-N/DO 制御の制御パラメータにかかる工数を 8H とする。
　1 回の制御パラメータ調整にかかる工数は 16H（8H×2 つ分）となる。

・この制御パラメータ調整を年 2 回行う。

・作業費用は、1 日 8 時間作業と想定し、公共工事設計労務単価の電工費（全国平均）より、18.5 千円とする。

8H×2 カ所分×2 回×18.5 千円/日＝74.0 千円/年

※③従来技術を送風量一定制御とした場合の削減電力費の算定について

・年間消費電力量：

送風量一定制御：4,418.3 千 kWh（12,105kWh/日×365 日）

本技術：3,401.4 千 kWh（9,319kWh/日×365 日）

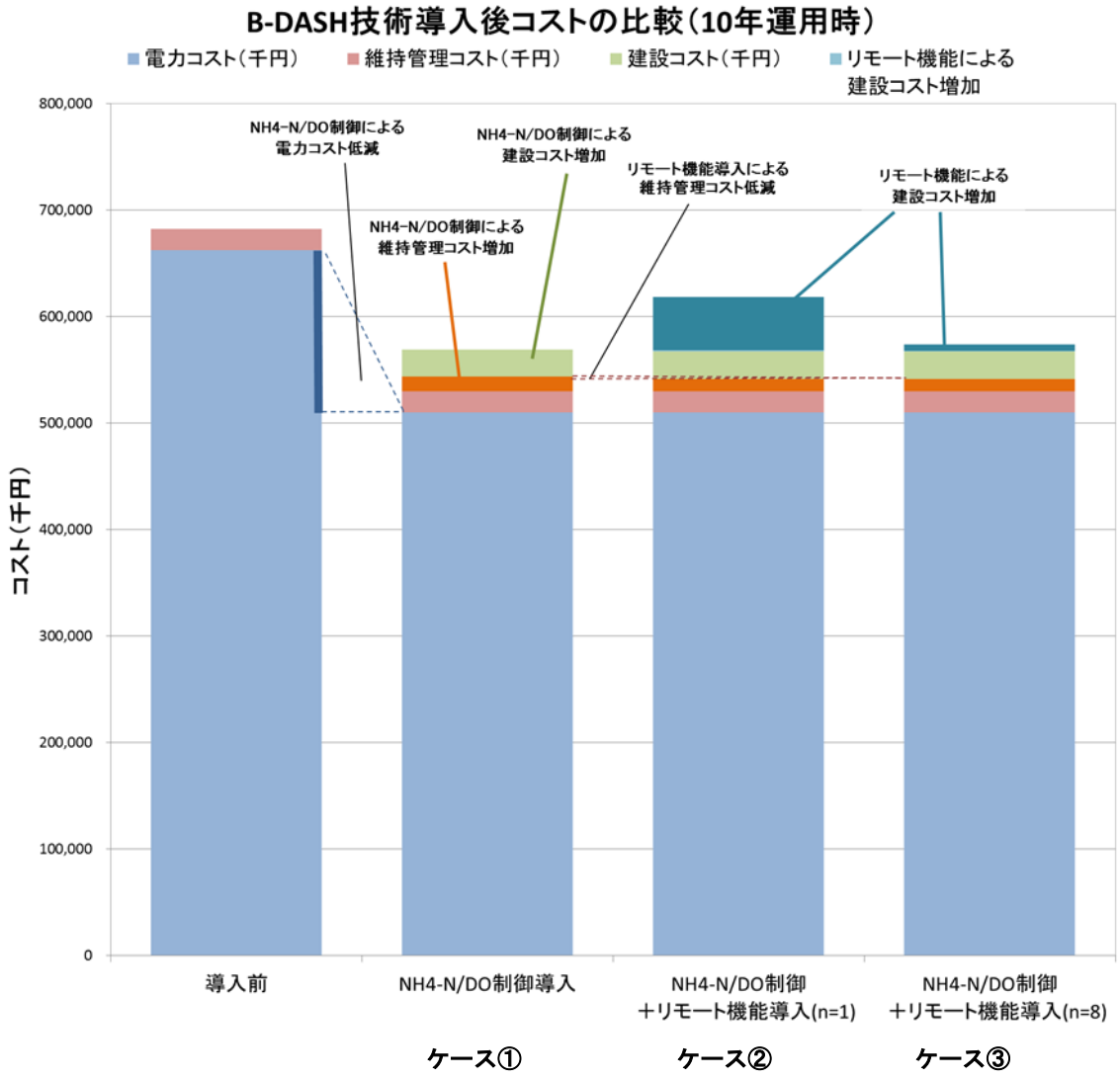
（委託元での試算結果による（**表資 2-10** 参照））

・電気料金単価：15 円/kWh

以上より、削減効果（従来技術:送風量一定制御の場合）となる。

（4,418 .3 千 kWh－3,401.4 千 kWh）×15 円/kWh＝15,253.5 千円/年

また、各ケースで、使用年数 10 年を想定した場合の導入後のコストを比較したグラフを**図資 2-7** に示す。



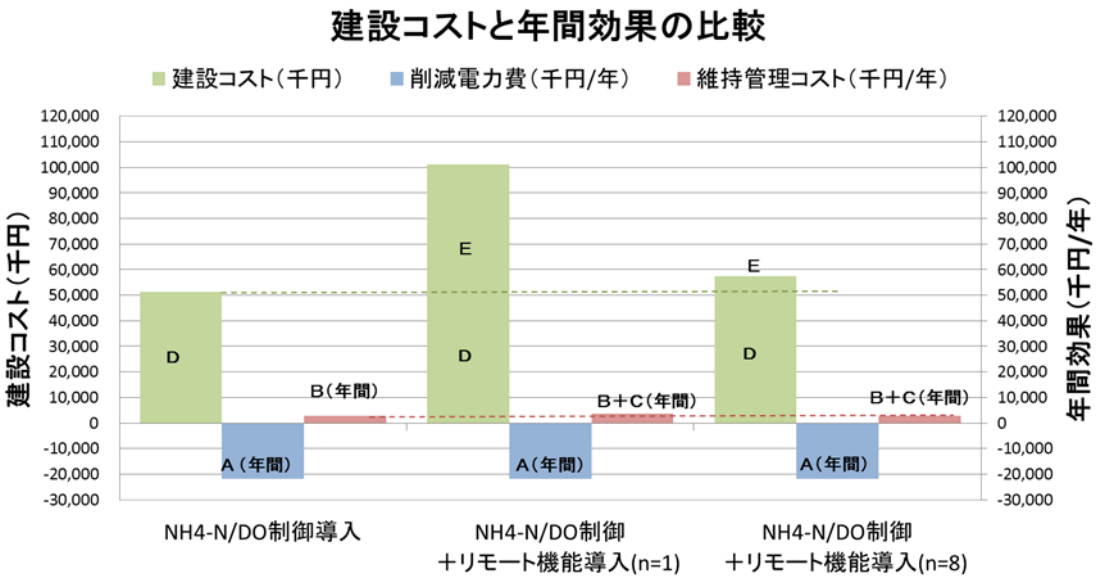
図資 2-7 使用年数 10 年を想定した場合の導入後のコストを比較
（処理量　日平均 40,000 ㎥/日、日最大 50,000 ㎥/日の場合）

（3）標準活性汚泥法、処理量 日平均 80,000 m³/日、日最大 100,000 m³/日の場合

従来技術として、送風量一定制御を想定した場合のコストおよび経費回収年の試算結果を**表資 2-4** に示す。また、建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係を示したグラフを**図資 2-8** に示す。

表資 2-4 コストおよび経費回収年の算定結果（従来技術：送風量一定制御の場合）

項目	左記項目に含む内容	ケース①	ケース②	ケース③	備考
建設コスト［千円］	・NH_4-N センサー4 台 ・コントローラ改造費 ・監視制御装置改造費 ・計装盤改造費 ・工事作業費 ・現地調整作業費	51,200.0	51,200.0	51,200.0	項目Ｄに該当
	・リモートサーバ構築費 ・リモートサーバ側初期設定費	－	50,000.0	6,250.0	項目Ｅに該当
建設コスト小計［千円］		51,200.0	101,200.0	57,450.0	
維持管理コスト［千円／年］	・NH_4-N センサー電極交換費、メーカー点検費	1,800.0	1,800.0	1,800.0	項目Ｂに該当
	・NH_4-N センサーメンテナンス費	721.6	721.6	721.6	
	・制御パラメータ調整費	148.0	148.0	148.0	
	・リモート診断機能に関わる通信費 ・リモート診断機能に関わる維持管理費	－	1,400.0	437.5	項目Ｃに該当 「NH_4-N/DO 制御に関して低減される維持管理費」については※①を参照 「リモート診断機能により削減される維持管理費」については、※②を参照
	・NH_4-N/DO 制御に関して低減される維持管理費（センサーメンテナンス）	－	－222.0	－222.0	
	・リモート診断機能により削減される維持管理費（NH_4-N/DO 制御の制御パラメータ調整作業）	－	－148.0	－148.0	
維持管理コスト小計［千円／年］		2,669.6	3,699.6	2,737.1	
削減電力費［千円／年］	・従来技術を送風量一定制御とした場合の削減電力費	21,846.0	21,846.0	21,846.0	項目Ａに該当 ※③を参照
経費回収年［年］		2.67	5.58	3.01	



図資 2-8 建設コスト、維持管理コスト、削減電力費の関係
（処理量　日平均 80,000 ㎥/日、日最大 100,000 ㎥/日の場合）

※①リモート診断機能導入により削減される維持管理コストの算定について

（試算対象）NH_4-N センサーのメンテナンス作業工数削減

導入前：1 回／2 週間の頻度で、校正、引上げ洗浄等のメンテナンス作業を実施

導入後：1 回／3 週間の頻度で、校正、引上げ洗浄等のメンテナンス作業を実施

台数：NH_4-N センサー2 台を想定

効果試算：

・1 台のメンテナンスにかかる工数を NH_4-N センサー：1.5H とする。
すなわち 1 回のメンテナンスにかかる工数は 12H（1.5H×2 人×4 台）となる。

・年間削減できる回数は 8 回とする（26 回－18 回）。

・作業費用は、1 日 8 時間作業と想定し、公共工事設計労務単価の電工費（全国平均）より、18.5 千円とする。

導入前：12H×26 回／8H/日×18.5 千円/日＝721.6 千円

導入後：12H×18 回／8H/日×18.5 千円/日＝499.6 千円

導入効果：721.6 千円－499.6 千円＝222.0 千円

※②リモート診断機能により削減される維持管理費の算定について

（試算対象）　NH_4-N/DO 制御の制御パラメータ調整作業の削減費

効果試算：

・1 つの NH_4-N/DO 制御の制御パラメータにかかる工数を 8H とする。
　1 回の制御パラメータ調整にかかる工数は 16H（8H×2 つ分）となる。

・この制御パラメータ調整を年 2 回行う。

・作業費用は、1 日 8 時間作業と想定し、公共工事設計労務単価の電工費（全国平均）より、18.5 千円とする。

8H×4 カ所分×2 回×18.5 千円/日＝148.0 千円/年

※③従来技術を送風量一定制御とした場合の削減電力費の算定について

・年間消費電力量：

送風量一定制御：7,763.6 千 kWh（21,270kWh/日×365 日）

本技術：6,307.2 千 kWh（17,280kWh/日×365 日）

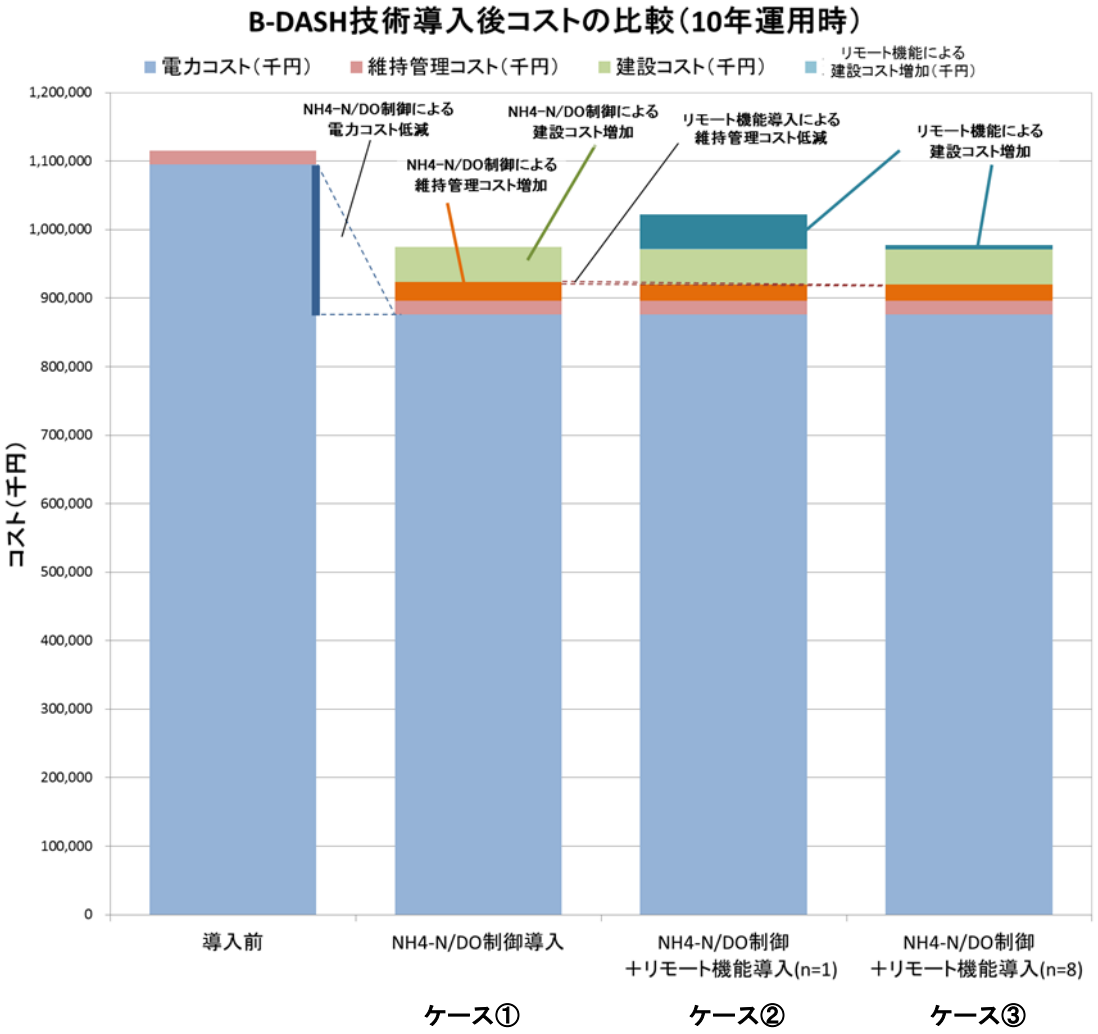
（委託元での試算結果による（**表資 2-10** 参照））

・電気料金単価：15 円/kWh

以上より、削減効果（従来技術:送風量一定制御の場合）となる。

（7,763.6 千 kWh－6,307.2 千 kWh）×15 円/kWh＝21,846.0 千円/年

また、各ケースで、使用年数 10 年を想定した場合の導入後のコストを比較したグラフを**図資 2-9** に示す。



図資 2-9 使用年数 10 年を想定した場合の導入後のコストを比較
（処理量　日平均 80,000 ㎥/日、日最大 100,000 ㎥/日の場合）

以上の各評価規模の試算結果から、ケース③の 3 つの技術を組み合わせた技術を導入する場合（リモートサーバに接続する下水処理場数は 8 カ所）における経費回収年は、それぞれ以下のようになった。

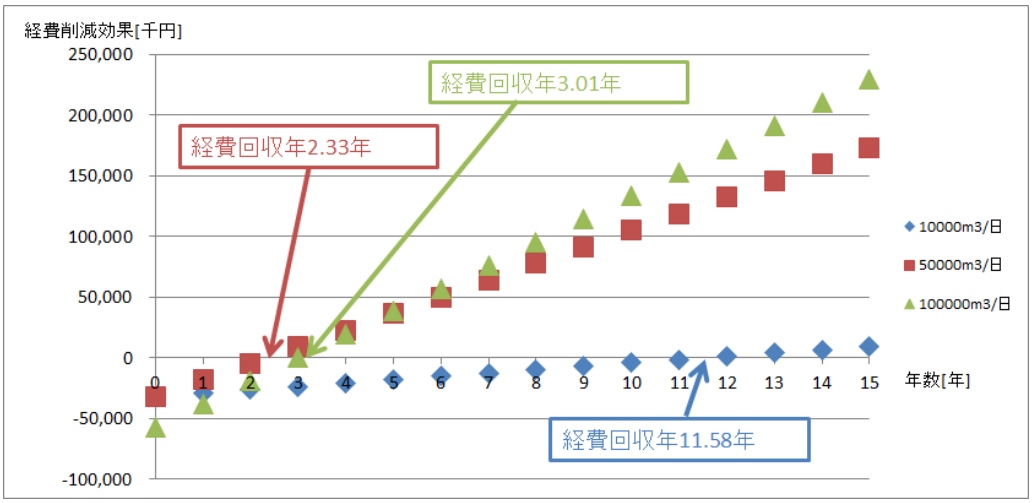
（1）処理量 日平均 8,000m³/日、日最大 10,000m³/日の場合：11.58 年
（2）処理量 日平均 40,000m³/日、日最大 50,000m³/日の場合：2.33 年
（3）処理量 日平均 80,000m³/日、日最大 100,000m³/日の場合：3.01 年

各評価規模において導入する NH_4-N センサーは、各検討条件にもとづいて系列ごとに 1 台ずつ導入することとしており、評価規模（1）、（2）、（3）について、それぞれ 2 台、2 台、4 台である。これにより、NH_4-N センサー1 台あたりの対象処理水量は、それぞれ

5,000m³/日、25,000m³/日、25,000m³/日となる。

評価規模（１）～（３）の経費回収年を比較すると、評価規模（２）、（３）はほぼ同様の年数であるの対して、評価規模（１）の年数はやや長くなっている。前述した NH_4-N センサー1 台あたりの対象処理水量が多くなれば、経費回収年としては短くなる傾向にあることから、NH_4-N センサー1 台あたりの対象処理水量をできるだけ多くすることが、経済性の観点では重要であるといえる。

また、経費回収年と経費削減効果の推移をグラフ化したものを**図資 2-10** に示す。経費回収年の試算では、評価規模（２）、（３）はほぼ同様の年数であり、これは NH_4-N センサー1 台あたりの対象処理水量が同じであることが関係していると想定されるが、**図資 2-10** のように、経費削減効果の推移としてみた場合には、評価規模（３）の経費削減効果が、使用年数が長くなるとともに、同（２）の経費削減効果に比べて徐々に大きくなっていくことがわかる。このことから、NH_4-N センサー1 台あたりの対象処理水量が同じであっても、処理規模が大きい下水処理場に本技術を導入し、一定の期間使用を継続することで、より大きな経費削減効果を得ることができるといえる。



図資 2-10 経費回収年と経費削減効果の推移

２.３.送風量および消費電力量の試算について

ここでは、**2.1 節**の評価結果において、革新的技術および従来技術で運用した場合の送風量および消費電力量の試算を行う。なお、**2.2 節**のコスト試算の際に用いられている削減電力費については、この試算結果を反映したものである。

（１）検討条件

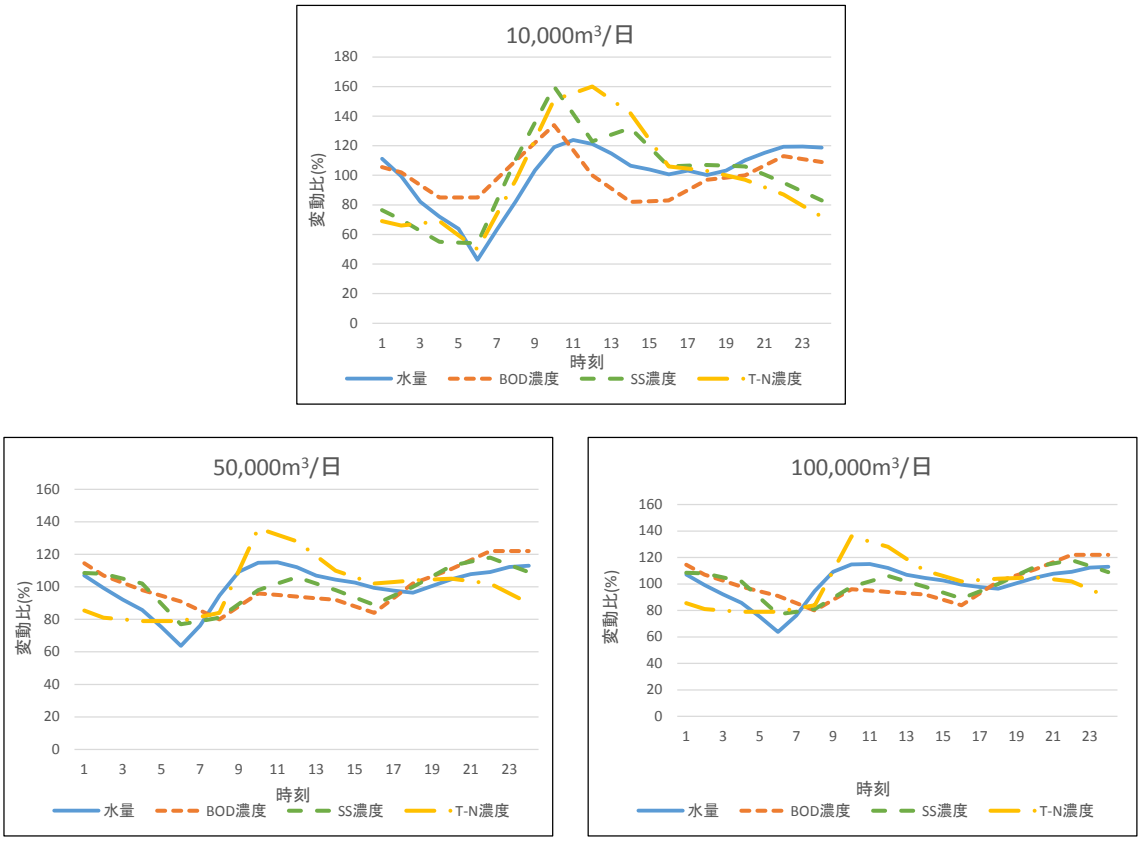
処理場規模は計画日最大汚水量が、10,000m³、50,000m³、100,000m³ の 3 パターンを想定し、送風量制御方法は NH_4-N/DO 制御と、従来技術として送風量一定制御、DO 一定制御の計 2 パターンとした。技術の導入を検討する下水処理場の諸元について下記の**表資 2-5** に示す通り設定した。また流入水質、流出水質の条件を**表資 2-6** に示した。流入水量、流入水質（BOD 濃度、SS 濃度、T-N 濃度）に関しては時間帯による変動を考慮するため、それぞれの日平均値に対するする各時間帯の変動比を**図資 2-11** に示す通り設定した。

表資 2-5 導入検討する下水処理場の設定条件

項目	設定条件		
流入汚水量 （計画日最大値）	10,000 m³/日	50,000 m³/日	100,000 m³/日
流入汚水量 （日平均値）	8,000 m³/日	40,000m³/日	80,000m³/日
水処理系列数	2 系	2 系	4 系
反応タンク池数	4 池	4 池	8 池
送風機常用台数	2 台	2 台	4 台
送風機種	ルーツブロワ	多段式ターボブロワ	多段式ターボブロワ
送風量制御機構	インバータ制御	インレットベーン制御	インレットベーン制御
散気装置	散気板		
好気槽 HRT	8 時間		
反応タンク水深	5.0 m		
散気装置設置水深	4.5 m		
MLSS 濃度	1,500 mg/L		

表資 2-6 導入検討する下水処理場の流入・流出水質条件

流入水質項目	水質条件（日平均値）
BOD 濃度	118 mg/L
S-BOD 濃度	BOD 濃度の 66.7%
SS 濃度	49 mg/L
T-N 濃度	28 mg/L
流出水質項目	水質条件
BOD 濃度	5.0 mg/L
T-N 濃度	2.0 mg/L
DO 濃度（反応槽末端）	2.0 mg/L



図資 2-11 流入水質の時間変動条件

（2）試算方法

1）送風量

必要酸素量は「下水道施設計画・設計指針と解説（2009)」に基づいて、①有機物の酸化に必要な酸素量（=D_B)、②硝化反応に必要な酸素量（=D_N)、③内生呼吸に必要な酸素量（=D_E)、④DO 濃度の維持に必要な酸素量（=D_O）の和から各時間帯で計算した。算出に必要な下記項目は設計指針の値を参考とした。各設定値は**表資 2-7** に示す。

①有機物の酸化に必要な酸素量 D_B

- 無酸素槽 NOx-N 負荷量
- 無酸素槽 NOx-N 流出量
- 脱窒に消費される BOD 量
- 除去 BOD あたりに必要な酸素量

②硝化反応に必要な酸素量 D_N

- 硝化反応に伴い消費される酸素量
- 溶解性 BOD の汚泥転換率
- SS に対する汚泥転換率
- 活性汚泥微生物の内生呼吸による減量を表す係数
- 余剰汚泥の窒素含有率

③内生呼吸に必要な酸素量 D_E

- 単位 MLVSS あたりの内生呼吸による酸素消費量
- MLVSS/MLSS

④DO 濃度の維持に必要な酸素量 D_O

- 返送水量
- 循環水量比

表資 2-7　AOR 算出のための設定値

名称	単位	設定値
①有機物の酸化に必要な酸素量 D_B		
脱窒に消費される BOD 量	kgBOD/kgN	2.86
除去 BOD あたりに必要な酸素量	kgO_2/kgBOD	0.60
②硝化反応に必要な酸素量 D_N		
硝化反応に伴い硝化される酸素量	kgO_2/kgN	4.57
溶解性 BOD の汚泥転換率	gMLSS/gS-BOD	0.5
SS に対する汚泥転換率	gMLSS/gSS	0.95
活性汚泥微生物の内生呼吸による減量を表す係数	1/d	0.04
余剰汚泥の窒素含有率	%	8.0
③内生呼吸に必要な酸素量 D_E		
単位 MLVSS あたりの内生呼吸による酸素消費量	kgO_2/kgMLVSS･d	0.1
MLVSS/MLSS	－	0.8
④DO 濃度の維持に必要な酸素量 D_O		
汚泥返送比	－	0.50

２） 必要空気量

送風量の算出は１）で計算した下水での AOR を、一旦清水での酸素供給量（SOR）に換算し、酸素移動効率から必要空気量を求めた。算出に必要な下記項目は上記の「下水道施設計画・設計指針と解説（2009)」より設定した。各項目の設定値を**表資 2-8** に示す。

- 20℃における酸素飽和濃度
- エアレーション装置性能の前提となる清水温度
- 反応タンク内水温
- 清水中 13℃および 20℃での飽和酸素濃度
- Kla の補正係数
- 酸素飽和濃度の補正係数
- 大気圧
- 散気水深による CS_2 の補正係数（酸素移動効率、空気密度、酸素含有量）

表資 2-8　送風量算出のための設定値

名称	単位	採用値
		標準活性汚泥法
20℃における酸素飽和濃度	mg/L	8.84
エアレーション装置性能の前提となる清水温度（＝T_1℃）	℃	20.0
反応タンク内水温（＝T_2℃）	℃	13.0
清水中 T_1℃での飽和酸素濃度	mg/L	8.84
清水中 T_2℃での飽和酸素濃度	mg/L	10.20
Kla の補正係数	－	0.83
酸素飽和濃度の補正係数	－	0.95
大気圧	kPa	101.3
酸素移動効率	%	12.0
空気密度	kg/m^3-AIR	1.293
酸素含有量	kgO_2/kg-AIR	0.232

3）　送風量および送風機消費電力

・送風機は2）で求めた必要空気量の最大値に余裕率 10%を考慮し、**表資 2-5** で示した常用台数で除した送風量を定格風量とした。また多段式ターボブロワに関してはメーカーヒアリングにより得られた**表資 2-9** の 3 機種の性能線から、設定した定格風量の機種の性能線を仮想設定した。設定した性能線は次式にて消費電力へ換算した。

（消費電力）＝（入力動力）＝（軸動力）／（効率※）

※効率にはターボブロワには電動機効率として 93%、インレットベーンではインバータ効率として 95%を採用した。

表資 2-9　ヒアリングにより得られたブロワの性能線

送風機種	定格風量	吐出圧	性能曲線
ルーツブロワ	50m³/min	5800 mmAq	軸動力（kW）＝1.064×送風量（m³/min）＋9.565
多段式ターボブロワ	92m³/min		軸動力（kW）＝0.875×送風量（m³/min）＋32.88
	110m³/min		軸動力（kW）＝0.936×送風量（m³/min）＋32.89
	300m³/min		軸動力（kW）＝0.665×送風量（m³/min）＋132.1

・送風量の制御方式として、送風量一定制御、DO 一定制御、NH_4-N/DO 制御の 3 パターンとし、台数制御も併せて行う条件で試算を行った。台数制御における運転台数変更の方針は以下とした。

台数制御方針：運転台数を減らした場合に、送風機 1 台当たりの送風量が定格送風量の 90%以下となり、また 3 時間以上同一台数で運転できる時間帯は運転台数を減らす。

・DO 一定制御は各時間帯の必要空気量を送風量とした。

・送風量一定制御では必要空気量の最大値を一定の送風量とした。

・NH_4-N/DO 制御では実証試験により得られた結果を反映し、DO 一定制御の送風量に対して 10.3%低減した値を送風量とした。

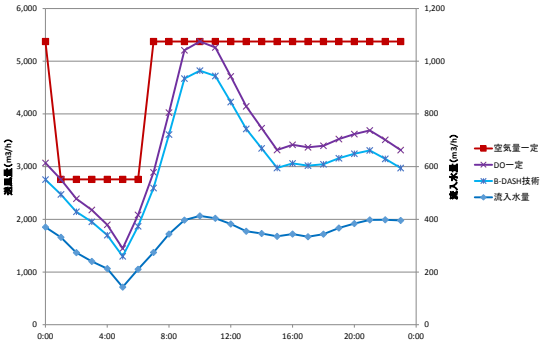
（3）試算結果

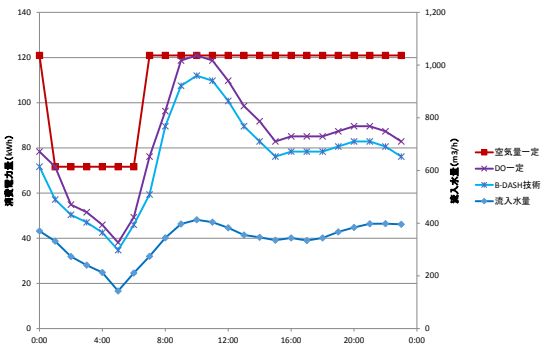
表資 2-10 に標準活性汚泥法を実施している下水処理場を想定した試算結果を示す。

また、**図資 2-12**～**図資 2-14** に時間帯での送風量・消費電力量の試算結果の時間推移を示す。

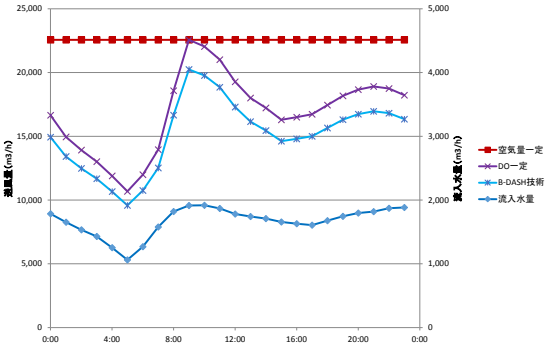
表資 2-10　試算結果

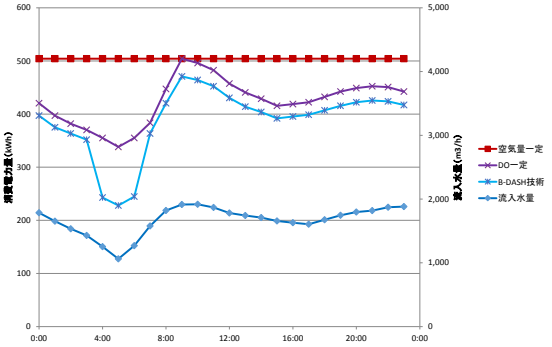
処理流量	処理方式	制御方法	風量［m^3/日］	消費電力量［kWh/日］
10,000m^3/日	標準法	風量一定制御	113,000	2,607
		DO 一定制御	82,300	1,995
		NH_4-N/DO 制御	73,800	1,815
50,000 m^3/日	標準法	風量一定制御	542,000	12,105
		DO 一定制御	405,000	10,184
		NH_4-N/DO 制御	364,000	9,319
100,000 m^3/日	標準法	風量一定制御	951,000	21,270
		DO 一定制御	810,000	19,270
		NH_4-N/DO 制御	726,000	17,280



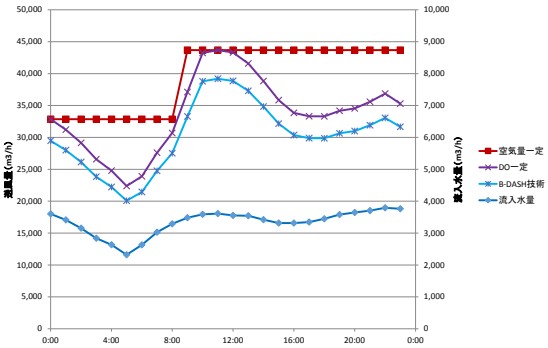


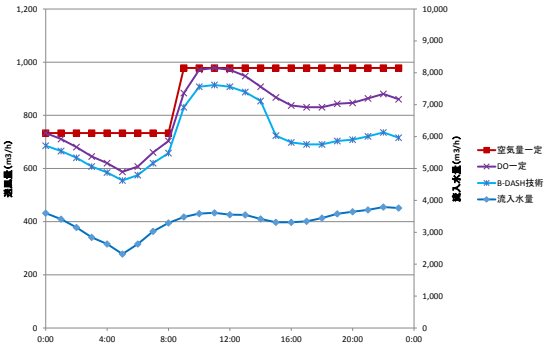
図資 2-12 10,000m³/日の試算結果　（左）送風量　（右）消費電力量





図資 2-13 50,000m³/日の試算結果　（左）送風量　（右）消費電力量



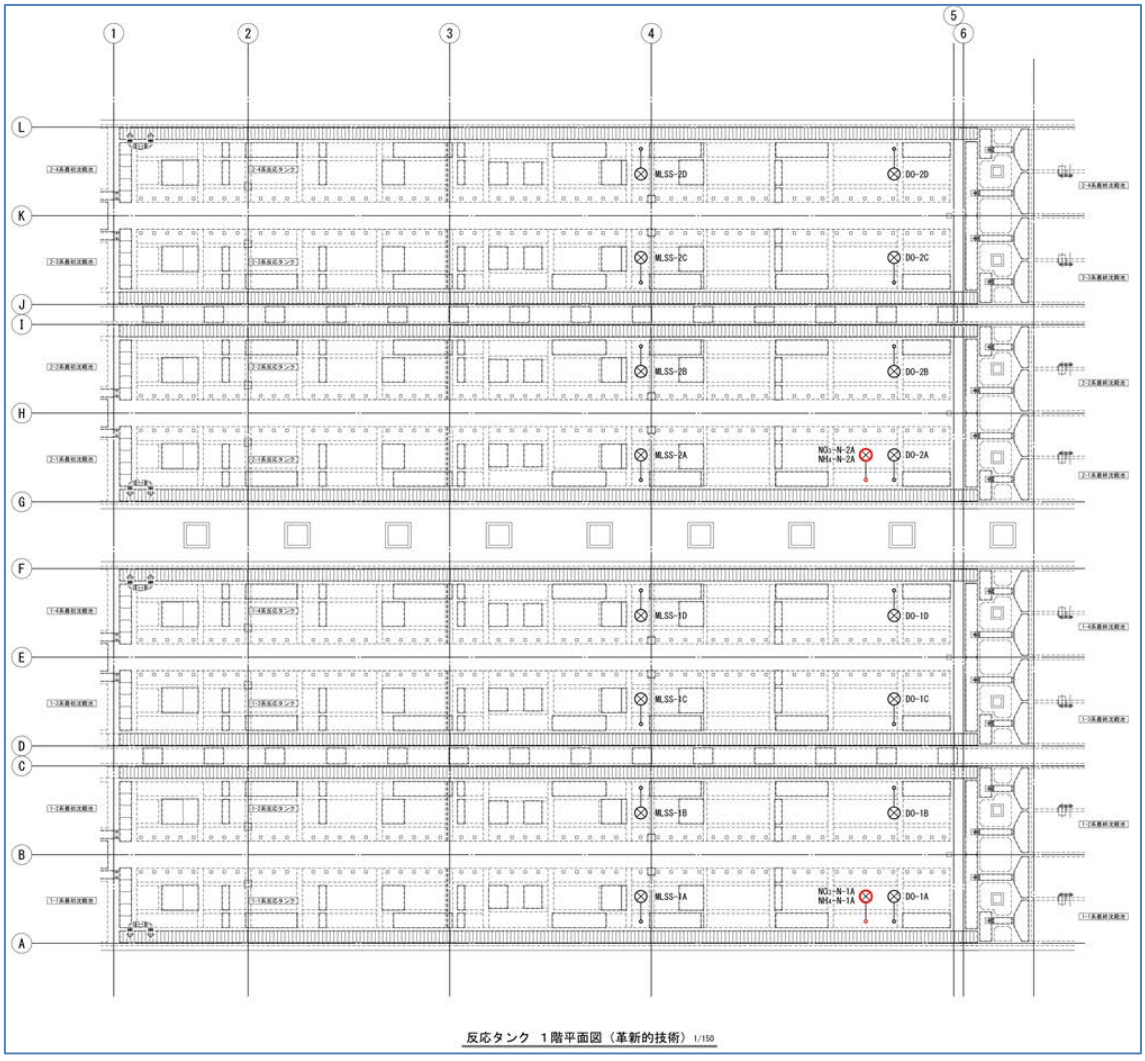


図資 2-14 100,000m³/日の試算結果　（左）送風量　（右）消費電力量

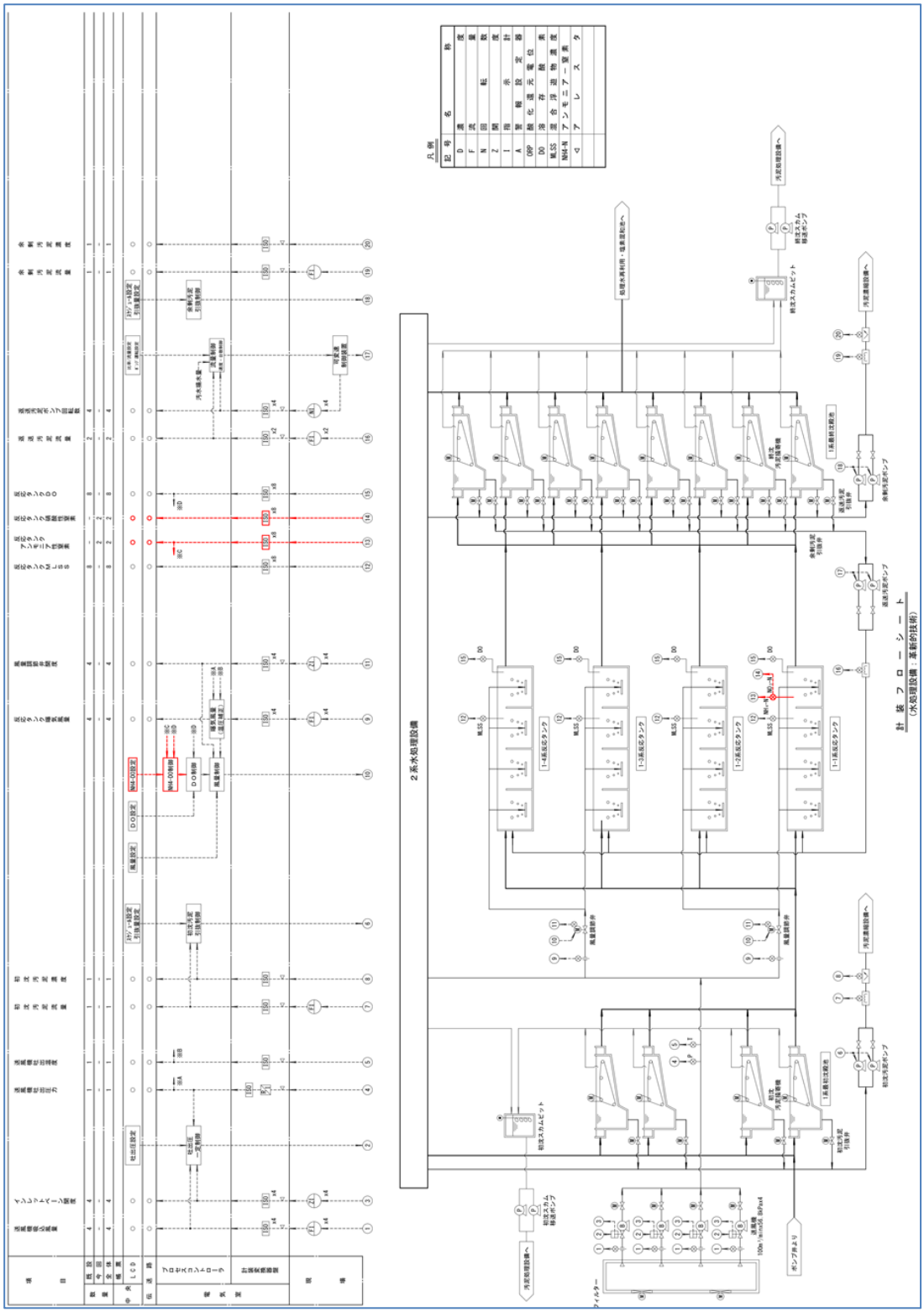
３．革新的技術に関する図面

ここでは、革新的技術に関する図面として、反応タンク平面図および計装フロー図を、それぞれ**図資 3-1**、**図資 3-2** に示す。

本図面は、処理規模 日最大 50,000m³/日の下水処理場として、2 系列 8 池の反応タンクの各系列に NH_4-N/DO 制御を導入することを想定した図を示したものである。



図資 3-1　革新的技術（反応タンク平面図）



図資 3-2　革新的技術（計装フロー図）

４．問い合わせ先

本技術ガイドラインに関する問い合わせは、以下にお願いします。

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 〒305-0804　茨城県つくば市旭 1 番地 TEL　029-864-3933 URL　http://www.nilim.go.jp/

本書は、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）により国土交通省国土技術政策総合研究所が、以下の企業・団体に研究委託を行い、その成果を取りまとめたものです。

＜実証研究者連絡先＞

株式会社東芝	社会インフラシステムソリューション社 水・環境システム事業部 〒212-8585　神奈川県川崎市幸区堀川町 72-34 TEL　044-331-0807 URL　http://www.toshiba.co.jp/
日本下水道事業団	技術戦略部　技術開発企画課 〒113-0034　東京都文京区湯島 2-31-27 TEL　03-6361-7849 URL　https://www.jswa.go.jp/
福岡県	建築都市部　下水道課 〒812-8577　福岡県福岡市博多区東公園 7-7 TEL　092-643-3728 URL　http://www.pref.fukuoka.lg.jp/
公益財団法人 福岡県下水道管理センター	総務部　管理課 〒812-0893　福岡県福岡市博多区那珂 4-5-1 TEL　092-451-4944 URL　http://fukuoka-spc.or.jp/

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
No.939　　December 2016

編集・発行　©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804　茨城県つくば市旭1番地
企画部研究評価・推進課　　TEL 029-864-2675