

資料編

1. 実証研究結果

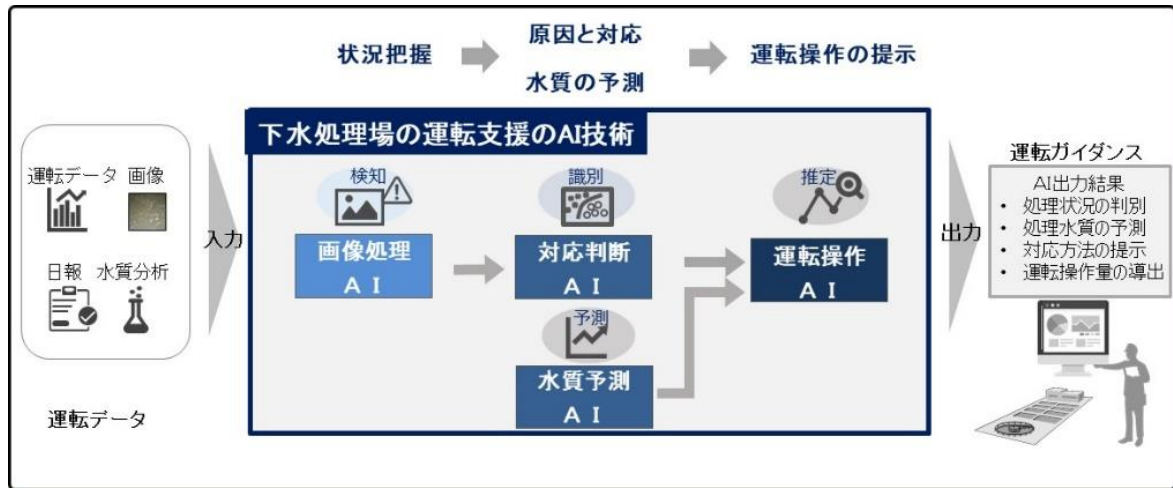
1 実証研究の概要

熟練技術者は、下水処理場のプロセスデータや水質分析結果、処理場の目視点検結果、運転結果をまとめた日誌等を確認することで、運用状況を把握し、現状の運転での放流水質を予測しながら、運転変更が必要と判断すればその対応策と操作量の決定を行っている。この判断過程を AI で表現するため、実証する AI 技術では、**図資 1-1** に示すように 4 つの AI 技術が連動することで、運転操作ガイダンスを行う。このような判断過程や根拠を見える化することで技術継承をすることができる。また、多くのデータを蓄積して効率の良いデータを選定した上で AI を学習することで、従来の運転操作と比較してコストの維持もしくは低減を図る先進的な運転操作支援の実現を目指す。

実証研究は、広島市西部水資源再生センター及び船橋市高瀬下水処理場を対象とし、令和 3 年度から令和 5 年度にかけて実施した。連続運転結果やオフライン評価結果を元に、自主的に実施した期間を含めて、**表資 1-1** に示した検証項目を評価した。

表資 1-1 実証研究概要

研究名称	A I を活用した下水処理場運転操作の先進的支援技術に関する実証研究
実施期間	令和 3 年度（令和 3 年 6 月 29 日～令和 4 年 3 月 31 日） 令和 4 年度（令和 4 年 7 月 15 日～令和 5 年 3 月 31 日） 令和 5 年度（令和 5 年 6 月 27 日～令和 6 年 3 月 31 日）
実施者	（株）明電舎・（株）NJS・広島市・船橋市共同研究体
実施場所	広島県広島市 西部水資源再生センター（データ収集機場、パイロット有り） 千葉県船橋市 高瀬下水処理場（データ収集機場、パイロット有り）
革新技術	①画像処理 AI：人の目の代わりとなり沈殿池の水面等の画像から状況や異常を検知する。 ②対応判断 AI：水質や画像から原因と対応の関連を見える化し、取るべき対策を絞込む。 ③運転操作 AI：数値データから、対策を踏まえた最適な運転操作量を推定する。 ④水質予測 AI：現在及び推定した運転操作量に対して処理水質を予測する。
検証項目	①AI により導出される操作量や状況判別の精度 ②AI による維持管理費の維持・削減の効果



図資 1-1 本技術の全体像

2 機場の説明

(1) 広島市西部水資源再生センター

①設備概要

広島市西部水資源再生センターは、広島市西部及び北部の汚水を処理するために作られた下水処理場である。概要を**表資 2-1**に示す。

昭和 56 年度から全体計画の 1/9 (57,300 m³/日) で処理開始され、平成 27 年度からは全体計画の 6/9 (307,200 m³/日) で運転している。

平成 23 年度から広島市内のし尿及び浄化槽汚泥を下水汚泥とともに処理し、汚泥処理から発生した返流水の高度処理を行っている。

表資 2-1 広島市西部水資源再生センター概要

所在地	広島市西区扇一丁目 1 番 1 号	
敷地面積	26.26 ha (全体計画)	
下水排除方式	分流式	
処理方式	汚水処理	活性汚泥法及び循環式硝化脱窒法による高級処理
	汚泥処理	濃縮・消化・洗浄・脱水
計画区域	11,761 ha (全体計画)	
計画人口	676,760 人 (全体計画)	
処理能力	334,670 m ³ /日 (全体計画)	

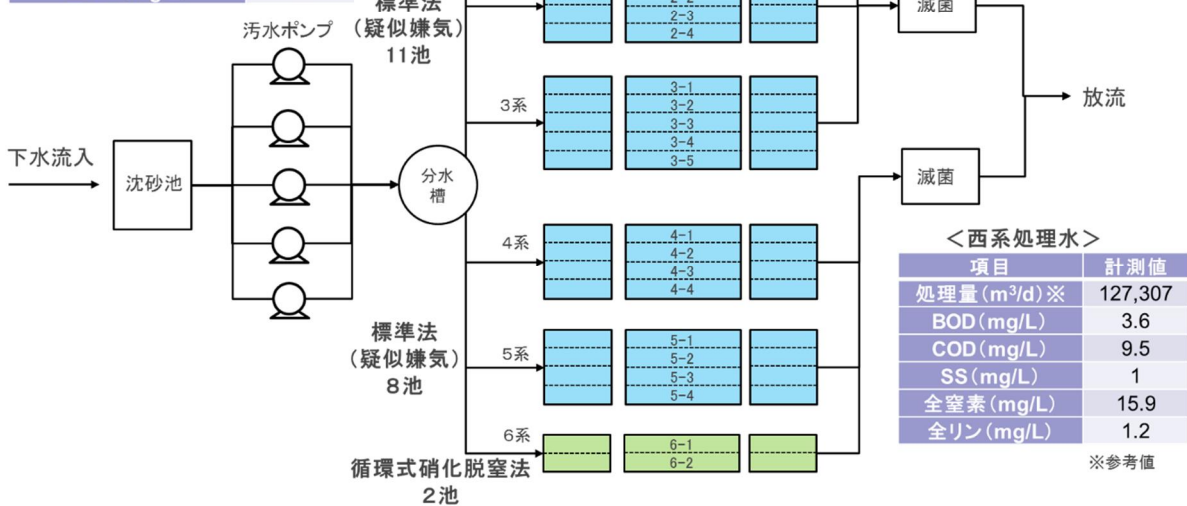
②処理方式

水処理系列の概略を**図資 2-1**に示す。1 系は 2 池が返流水処理、残り 2 池が標準活性汚泥法を採用している。2 系から 5 系は擬似嫌気標準活性汚泥法である。6 系は循環式硝化脱窒法を採用している。

汚水ポンプは最大 6 台が稼働し、1 系から 3 系 (東系)、4 系から 6 系 (西系) に分けて送水している。東系には揚程の関係で分水槽を介さないで送水する配管が設けられ、通常の水量ではこの経路で池に導水する。

＜流入 H29年度平均値＞

項目	計測値
流入量(処理量)m ³ /d	206,380
BOD(mg/L)	150
COD(mg/L)	87
SS(mg/L)	130
全窒素(mg/L)	29.9
全リン(mg/L)	4.0



図資 2-1 広島市西部水資源再生センター 水処理概要

水処理施設の能力を表資 2-2 に示す。

表資 2-2 広島市西部水資源再生センター 水処理施設能力

施設名	項目	能力
最初沈殿池	沈殿時間	東系：1.72 時間 4, 5 系：1.98 時間 6 系：1.44 時間
	水面積負荷	東系：46.1 m ³ /m ² ・日 4, 5 系：48.6 m ³ /m ² ・日 6 系：50.0 m ³ /m ² ・日
	越流負荷	250 m ³ /m ² ・日
反応タンク	処理方式	東系：標準活性汚泥法 4, 5 系：標準活性汚泥法 6 系：循環式硝化脱窒法
	エアレーション時間	東系：6.4 時間 4, 5 系：8.4 時間 6 系：11.3 時間
	汚泥日令	東系：5.36 日 西系：6.81 日
	BOD 負荷	東系：0.25 kgBOD/kgSS・日 西系：0.2 kgBOD/kgSS・日
	返送汚泥比	42.9%（最大 50%）
最終沈殿池	沈殿時間	東系：3.42 時間 4, 5 系：3.95 時間 6 系：上層 5.6 時間、下層 5.95 時間
	水面積負荷	東系：28.1 m ³ /m ² ・日 4, 5 系：24.3 m ³ /m ² ・日 6 系：上層 15.0 m ³ /m ² ・日 下層 14.1 m ³ /m ² ・日
	越流負荷	東系：150 m ³ /m ² ・日 西系：120 m ³ /m ² ・日

③制御方式

制御項目の一覧を**表資 2-3**に示す。

・沈殿池

最初沈殿池の生污泥引抜、最終沈殿池の余剰引抜制御は、プリセットによる設定流量又は引抜時間による切替制御を行っている。

・反応タンク

標準活性汚泥法の反応タンクは、東系は最終段で DO 一定制御、西系は送風量制御を採用することが多い。

・汚水ポンプ

沈砂池の水位やその変化傾向により、運転員がポンプ台数の増減を決める。東系と西系の水量の割合は、原則 35 : 65 であるが、40 : 60 または 30 : 70 に変更することもある。東系への導水は、分水槽を介さないため、東系バイパス電動弁を操作する。

・返流水処理系

送風量制御の他、無酸素槽へのメタノール注入制御、苛性ソーダや凝集剤（PAC）の注入制御を行っている。

・高度処理系

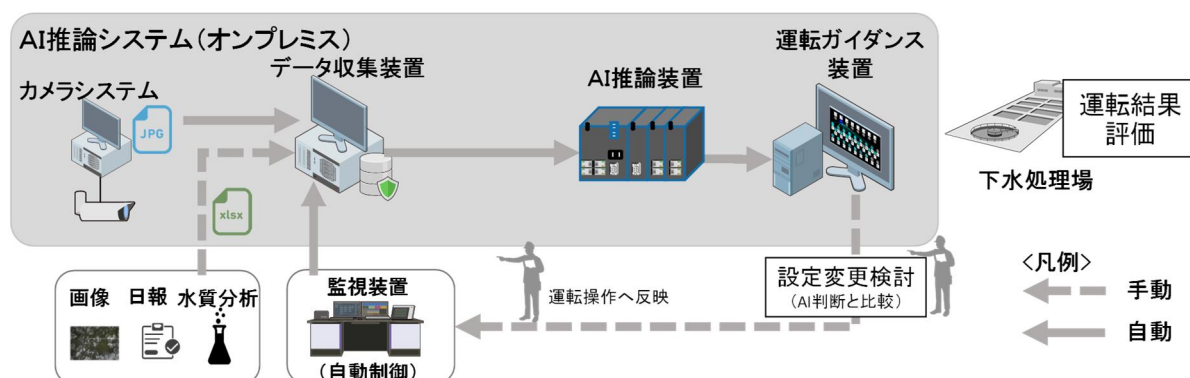
反応タンクは 3 段の無酸素槽と好気槽が直列でつながっており、各段にステップ流入が可能である。硝化液循環ポンプはなく、返送汚泥として 1 段目の無酸素槽に戻る。

表資 2-3 水処理制御項目一覧

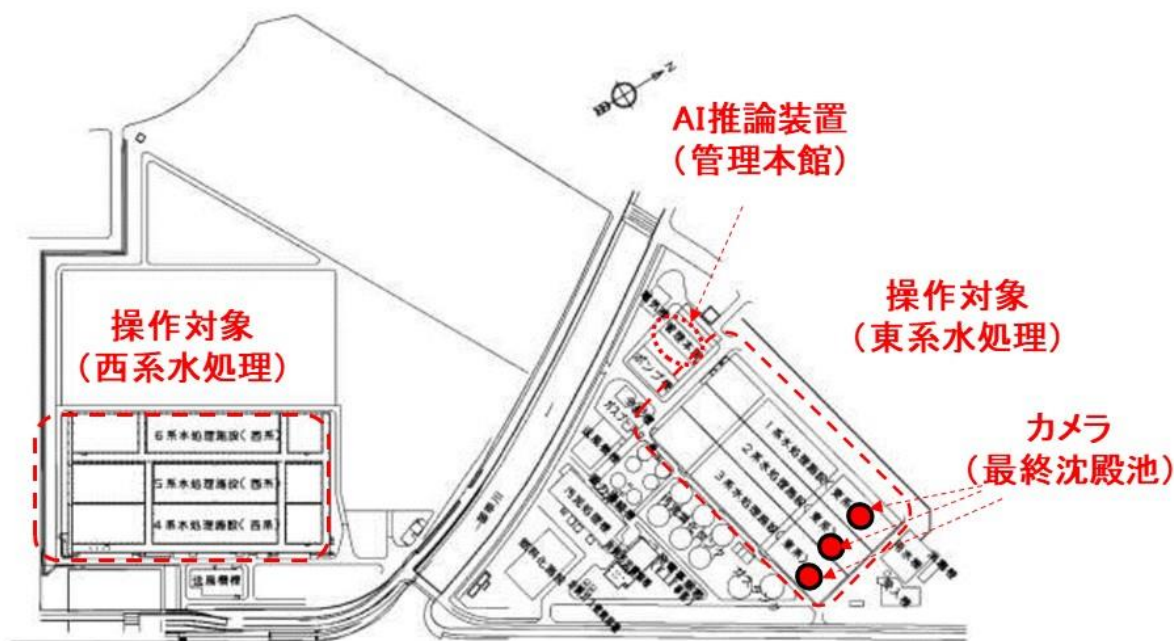
返流水好気槽 1 風量	1 系 DO／送風量	4 系 DO／送風量	返流水送水
返流水好気槽 2 風量	1 系返送汚泥流量	4 系返送汚泥流量	循環水流量
返流水返送汚泥流量	1 系余剰汚泥引抜	4 系余剰汚泥引抜	終沈処理水移送流量
第 1 無酸素槽 メタノール注入	2 系生污泥引抜	5 系生污泥引抜	し尿受入
第 2 無酸素槽 メタノール注入	2 系 DO／送風量	5 系 DO／送風量	西系高度処理送風機
苛性ソーダ注入量	2 系返送汚泥流量	5 系返送汚泥流量	西系標準法送風機
分配槽用凝集剤注入	2 系余剰汚泥引抜	5 系余剰汚泥引抜	東系バイパス電動弁
再曝気槽凝集剤注入	3 系生污泥引抜	6 系生污泥引抜	放流水次亜塩注入
返流水生污泥引抜	3 系 DO／送風量	6-1 系 DO／送風量	放流水量
返流水余剰汚泥引抜	3 系返送汚泥流量	6-2 系 DO／送風量	東系標準法送風機
汚水ポンプ台数制御	3 系余剰汚泥引抜	6 系返送汚泥流量	返流水系送風機
1 系生污泥引抜	4 系生污泥引抜	6 系余剰汚泥引抜	西系次亜塩注入

④設置した実証設備

広島市西部水資源再生センターの中央監視室には、**図資 2-2** に示す通り、カメラシステム、データ収集装置、AI 推論装置、運転ガイダンス装置、カメラシステムを設置した。配置図は**図資 2-3** の通りである。同センターの最終沈殿池にネットワークカメラを 6 台設置し、撮影した画像を LAN ケーブル経由で常時中央監視室に伝送し記録するとともに、AI で最終沈殿池の異常を 30 分周期で判定している。同時にこのシステムを用いて同センター水処理系の監視制御システムと連動しオンラインでデータを取得するとともに、手分析データを取り込むことで、1 日 2 回の頻度で連続的な水処理運転に関する AI 推論を実施している。



図資 2-2 広島市西部水資源再生センターに設置した AI 推論システム



図資 2-3 広島市西部水資源再生センター 施設概要と実証設備の配置

(2) 船橋市高瀬下水処理場

①設備概要

船橋市高瀬下水処理場は、計画面積 3,223 ha、計画人口 263,500 人の汚水を処理するための施設であり、全体処理能力 153,000 m³/日を計画している。

平成 5 年度より建設に着手し、平成 11 年度に標準活性汚泥法による水処理施設の供用を開始した。平成 14 年度から高度処理を行う水処理施設の供用を開始した。平成 17 年度に既設の水処理施設の改修を行い、全施設が高度処理対応となった。平成 28 年度に水処理施設第 5 系列の供用を開始した。現在 102,000 m³/日の処理能力を有している。

令和 2 年度より下水汚泥を発酵させ消化ガスを発生させる汚泥消化施設、民設民営で消化ガスを元に発電を行う消化ガス発電設備の工事に着手し、令和 4 年度より発電を開始した。

概要を表資 2-4 に示す。

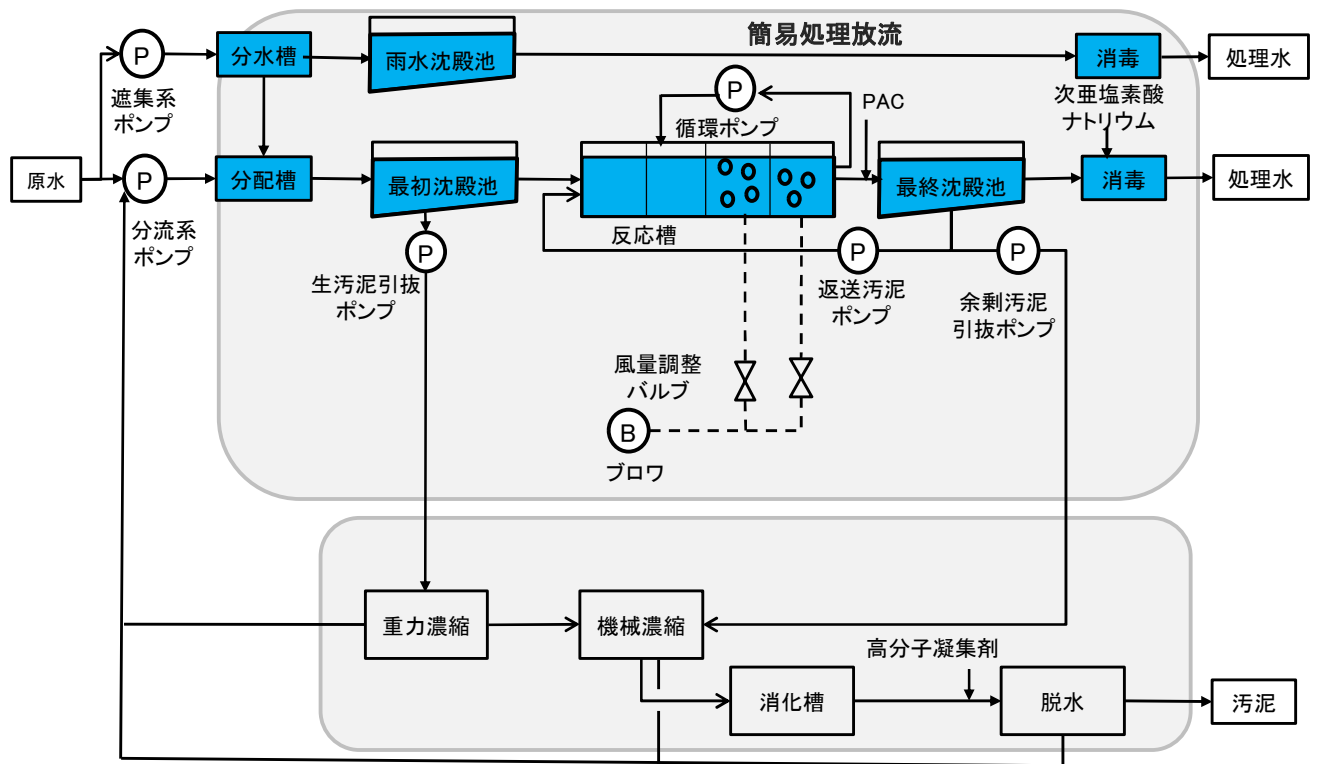
表資 2-4 高瀬下水処理場の計画概要

所在地	船橋市高瀬町 56 番地	
敷地面積	21.1 ha	
下水排除方式	分流式（一部合流式）	
処理方式	水処理	嫌気無酸素好気法 （凝集剤併用）＋急速ろ過法
	汚泥処理	濃縮・消化・脱水・焼却 ※消化は令和 4 年度稼働
計画人口	263,500 人（全体計画）	
処理能力	153,000 m ³ /日（全体計画）	

②処理方式

水処理及び汚泥処理方式の概略を図資 2-4 に示す。水処理方式は 1～5 系の全系列が嫌気無酸素好気法である。好気槽は DO 一定制御を採用している。返送汚泥率はほぼ一定で運用している。リン除去のため、最終沈殿池に PAC を注入する。

汚泥処理は令和 3 年度までは濃縮、脱水であるが、令和 4 年度から消化槽の運用が開始された。返流水のリンや窒素濃度が増加することで、水処理方法に影響が出ると予想される。



③制御方式

制御項目の一覧を**表資 2-5**に示す。

- ・沈殿池

最初沈殿池の生污泥引抜、最終沈殿池の余剰引抜制御は、プリセットによる設定流量又は引抜時間による切替制御を行っている。

- ・反応タンク

嫌気無酸素好気法の反応タンクは、最終段で DO 一定制御、又は比率制御が設定可能であるが、通常は DO 一定制御を実施している。

- ・返送汚泥

MLSS 又は流入比率一定制御が選択できるが、通常は流入比率一定制御を実施している。

- ・循環水量

水量を一定にする制御を実施している。

- ・薬品

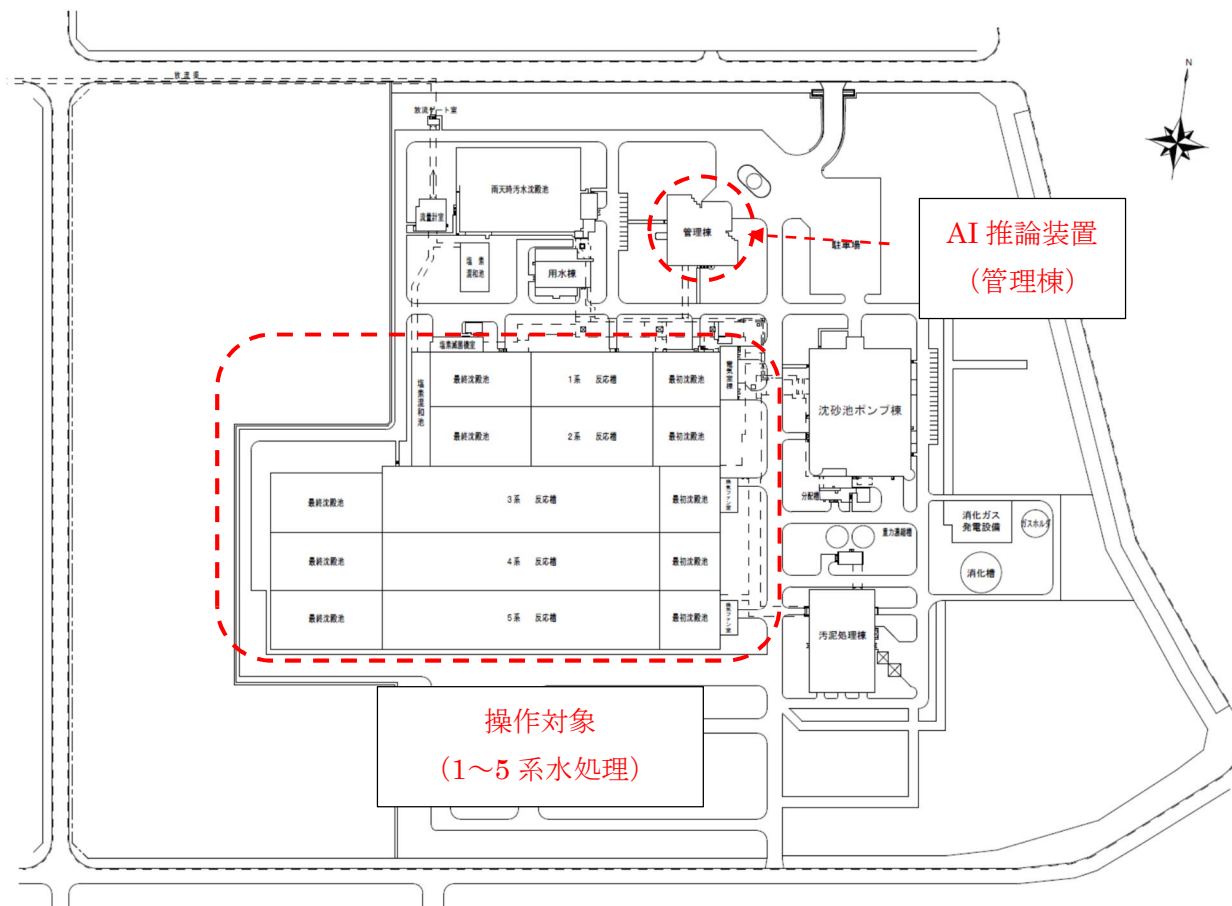
凝集剤（ポリ塩化アルミニウム：PAC）、次亜塩素酸ナトリウムの注入率制御を実施している。苛性ソーダ注入設備も存在しているが、未使用である。

表資 2-5 水処理制御項目一覧

汚水ポンプ 回転数制御	曝気風量 流入比率制御	凝集剤注入量 注入量一定制御
分流系ポンプ井 水位制御	曝気風量 DO 一定制御	凝集剤注入量 注入比率一定制御
遮集系ポンプ井 水位制御	返送汚泥流量 MLSS 一定制御	苛性ソーダ 注入量制御
汚水ポンプ 流量制御	返送汚泥流量 流入比率一定制御	循環水量制御
送風機 吸込風量制御	生污泥流量 タイムスケジュール	高級処理系放流次亜塩 注入率制御
送風機 吐出圧力制御	余剰汚泥流量 タイムスケジュール	簡易処理系放流次亜塩 注入率制御

④設置した実証設備

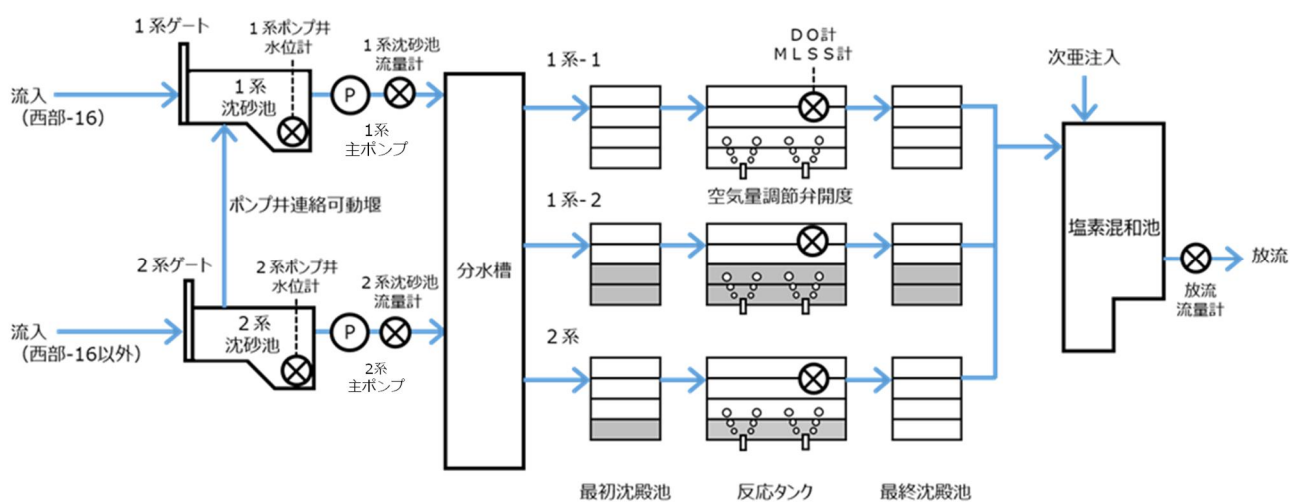
船橋市高瀬下水処理場の中央監視室には、データ収集装置、AI 推論装置、運転ガイダンス装置を設置した。配置図は図資 2-5 の通りである。同センターの最終沈殿池にネットワークカメラを 4 台設置し、撮影した画像は SD カードで回収し、画像処理 AI の元データとしていたが、令和 4 年度の 12 月にカメラとデータ収集装置間を無線で接続し、オンラインで画像処理を可能とした。同下水処理場の監視制御システムと連動しオンラインでデータを取得するとともに、手分析データを取り込むことで、PAC 注入量設定を 1 時間周期に AI 推論し運転員の判断と比較検証した。



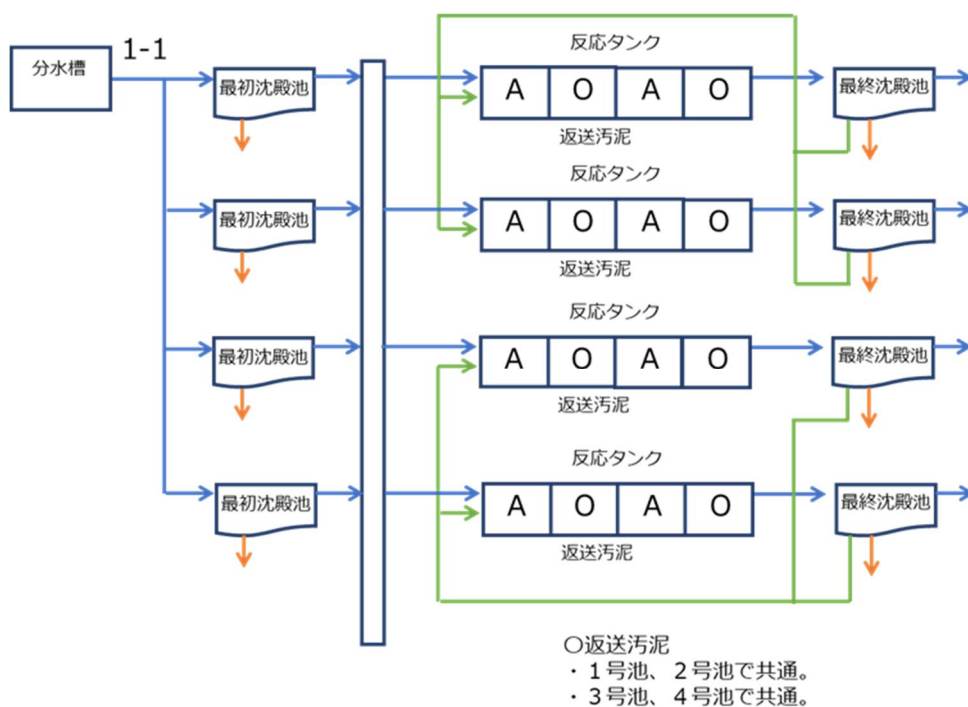
図資 2-5 船橋市高瀬下水処理場 施設概要と実証設備の配置

(3) A 処理場

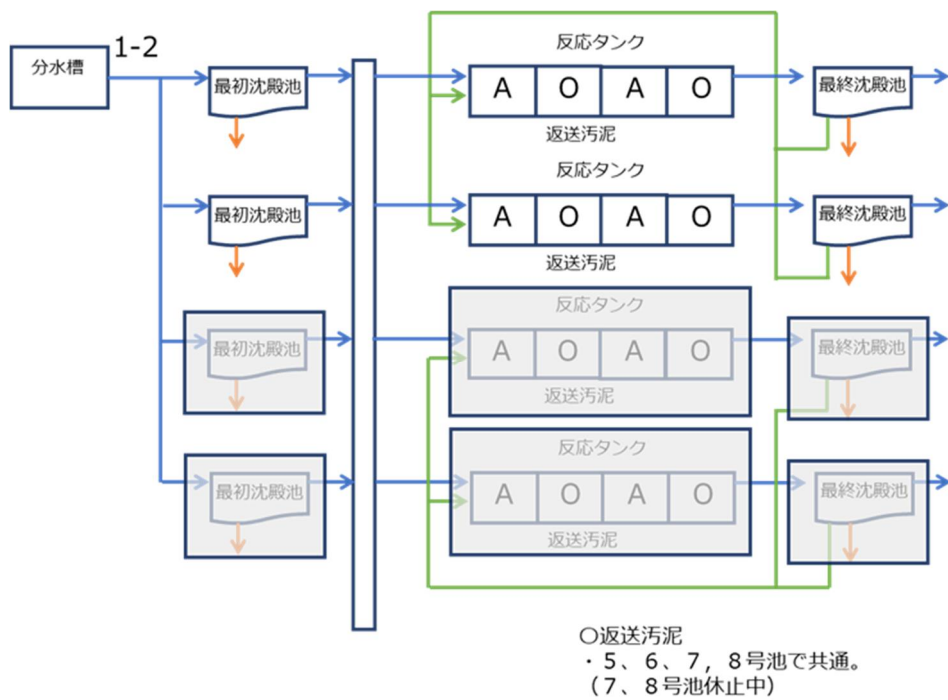
A 処理場の水処理系全景および、分配槽から各初沈、反応タンク、終沈までの簡易フロー図を図資 2-6～図資 2-9 に示す。



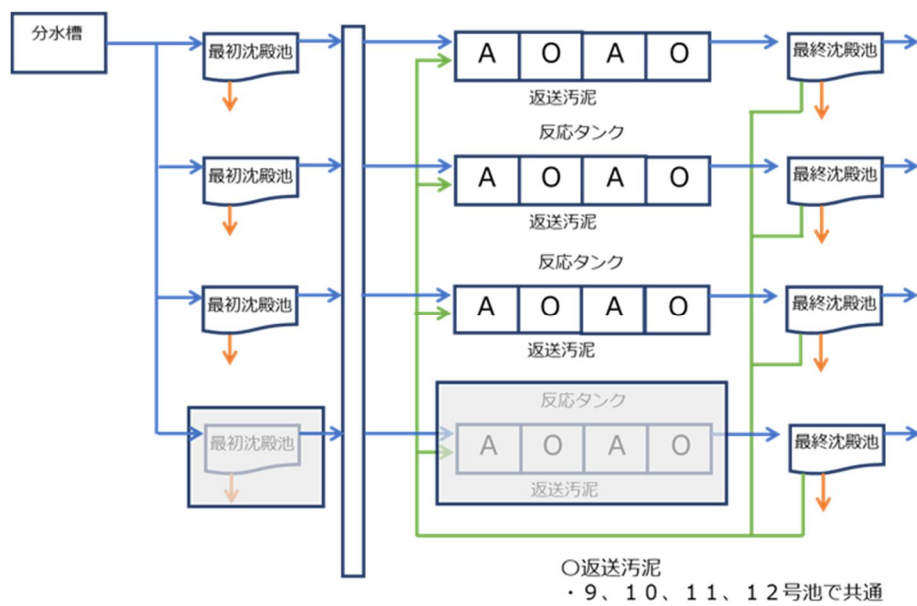
図資 2-6 水処理系フロー図全景



図資 2-7 1系-1 No1~No4 反応タンク フロー図



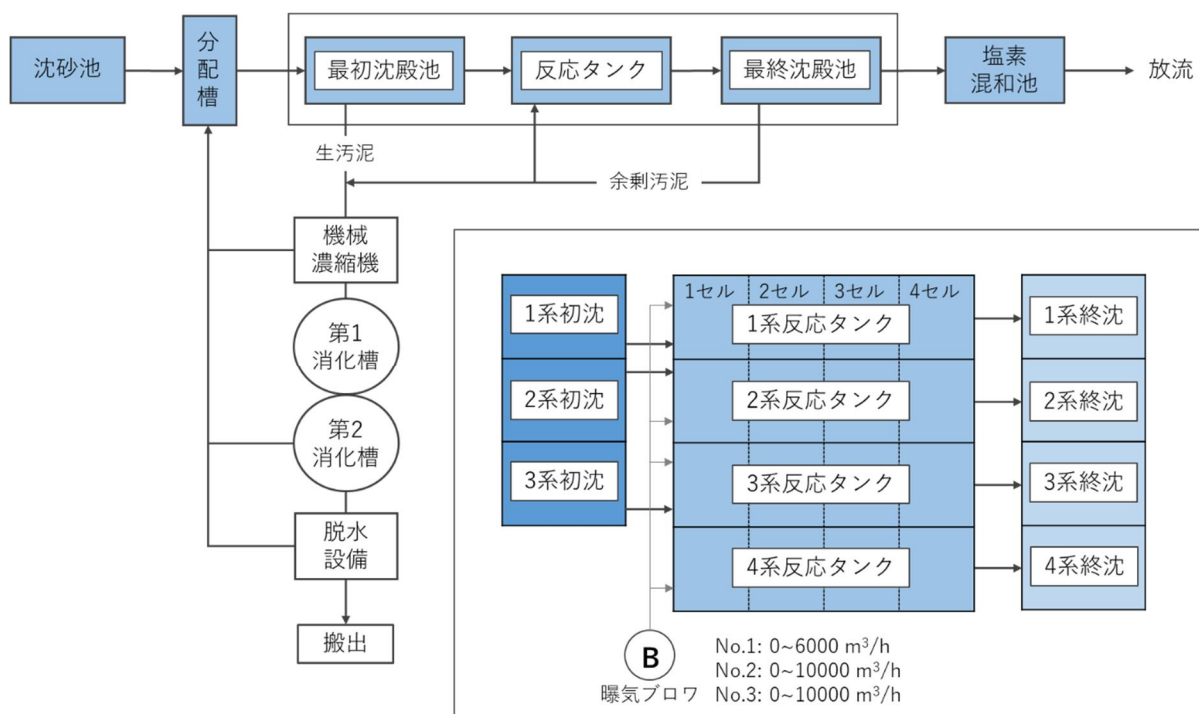
図資 2-8 1系-2 No5、No6 反応タンク フロー図



図資 2-9 2系-1 フロー図

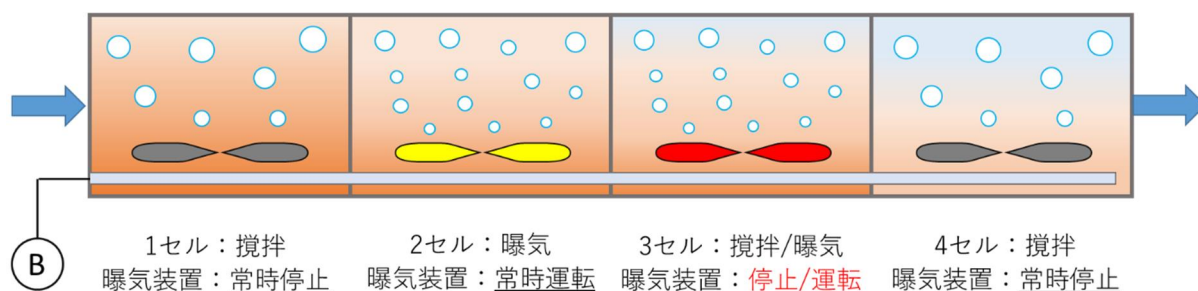
(4) B 処理場

B 処理場の処理フロー・構成図を図資 2-10 に示す。令和 3 年度における平均一日処理水量は 25,350 m³/日であった。



図資 2-10 B 処理場の処理フロー・構成図

反応タンクの各セルの運転状況を図資 2-11 に示す。B 処理場では、反応タンクの 1～4 セル目まで常にエアレータによる散気が行われており、各セルに設置された攪拌機を曝気装置として運転・停止の切替えによる曝気制御を行っている。B 処理場は硝化抑制運転の方針であり、曝気装置の運転は 1 セル目と 4 セル目が常時停止・2 セル目が常時運転でほぼ固定、3 セル目（第 3 曝気装置）の運転・停止により水質を管理している。

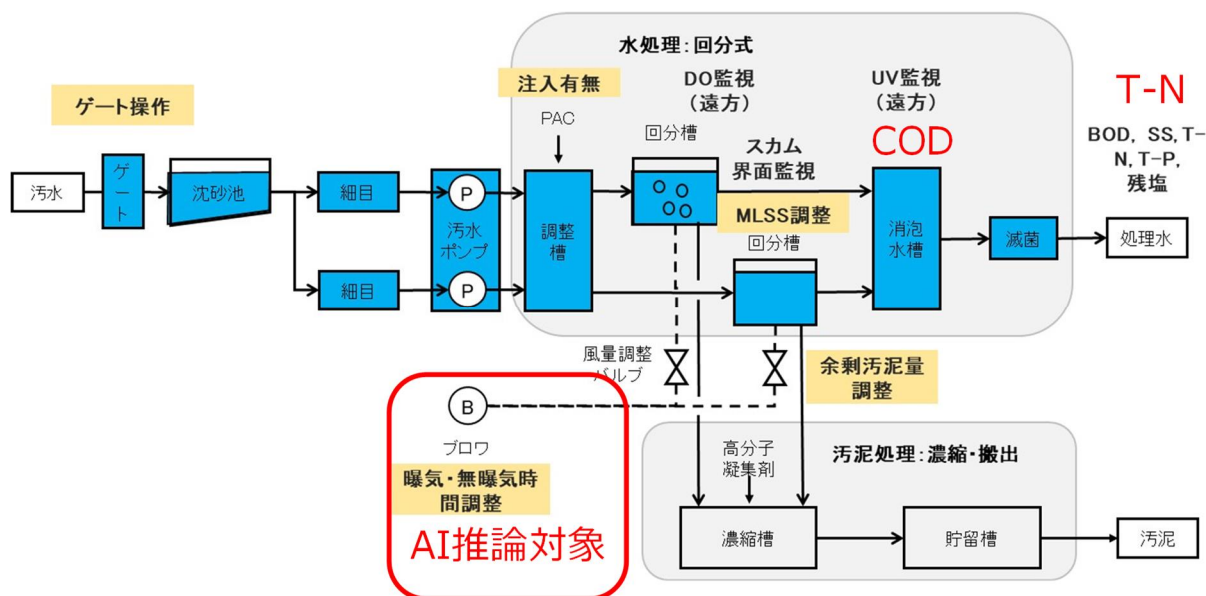


図資 2-11 反応タンク各セルの運転状況

3セル目の曝気装置の運転方法は、①反応タンクの目標 pH を定め、それを保つように曝気装置の運転・停止を操作する pH 基準の運転、②朝から夜まで運転し夜間は停止する長時間曝気運転の 2 パターンに分類できる。

(5) C 処理場

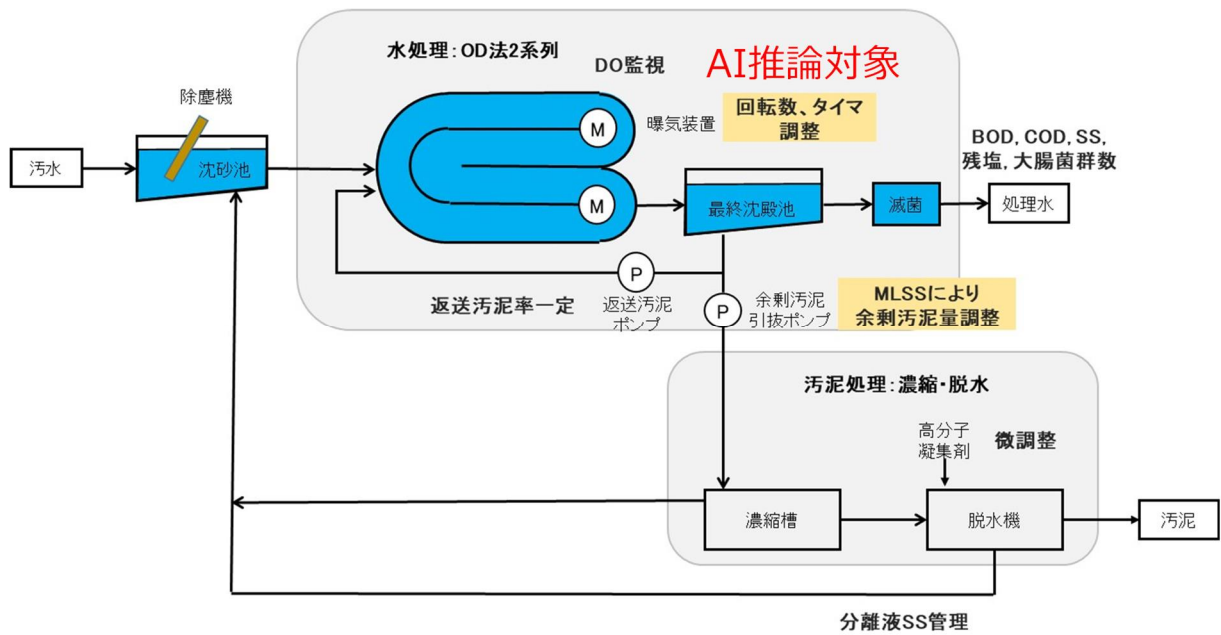
C 処理場の水処理及び汚泥処理方式の概略を図資 2-12 に示す。C 処理場は回分式処理法を採用した処理場であり、沈砂池、調整槽、2 系列の回分槽、消泡ポンプ槽、放流ポンプ槽、汚泥処理設備からなる。



図資 2-12 C 処理場 水処理・汚泥処理概要

(6) D 処理場

D 処理場の水処理及び汚泥処理方式の概略を図資 2-13 に示す。D 処理場はオキシデーショディッチ法を採用した処理場で、沈砂池、2 系列のオキシデーショディッチ、最終沈殿池、塩素混和池、および汚泥処理設備から成り立っている。特徴としては、自衛隊学校からの流入水が全体の約 3 割を占めており、正月や盆のような長期休暇期間中には流入水量が低下することが挙げられる。流入方式は分流式であり、管路が比較的短く、不明水も少ないため、雨天時の流量変動はほとんど見られない。



図資 2-13 D 処理場 水処理・汚泥処理概要

3 評価結果

3. 1 画像処理 AI

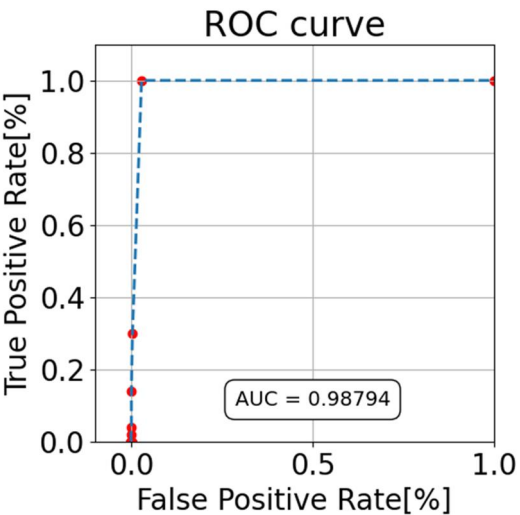
(1) 広島市西部水資源再生センター

広島市西部水資源再生センターにおいて、画像処理 AI が最終沈殿池異常としてフロック浮遊を判定した結果を表資 3-1 に示す。フロック浮遊については目標精度真陽性率 90%以上、偽陽性率 10%未満を満たした。

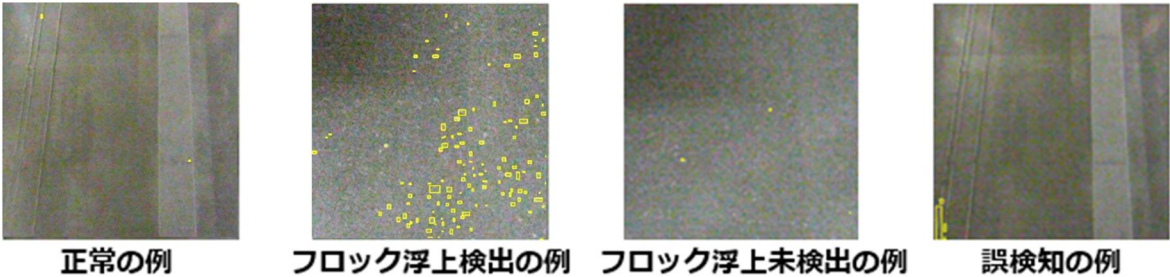
表資 3-1 広島市西部水資源再生センターのフロック浮遊に関する検出性能

	フロック浮遊
真陽性率	94% (47/50)
偽陽性率	0.25% (1/400)

ROC 曲線と検出結果の代表的な例をそれぞれ図資 3-1、図資 3-2 に示す。

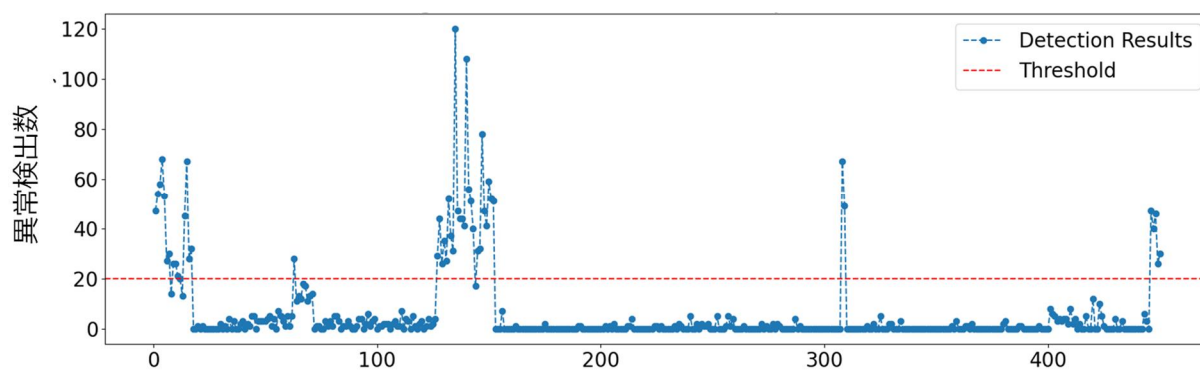


図資 3-1 フロック浮遊検出の ROC 曲線



図資 3-2 2 系最終沈殿池における検出結果の代表的な例

評価画像 450 枚について、異常検出箇所の個数を検出指標とした場合の指標の推移を図資 3-3 に示す。



図資 3-3 評価画像 450 枚に対する異常検出箇所の個数の推移

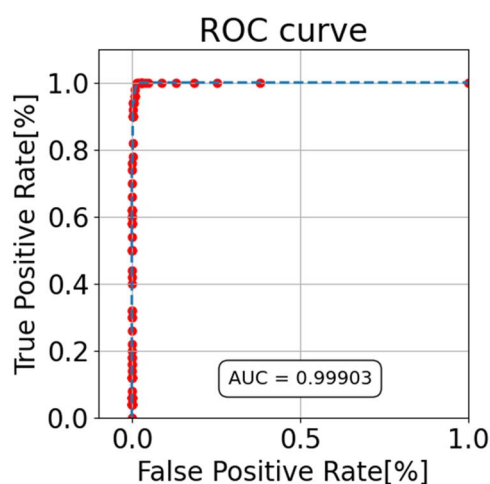
(2) 船橋市高瀬下水処理場

船橋市高瀬下水処理場において、画像処理 AI が最終沈殿池異常としてスカム浮上を判定した結果を表資 3-2 に示す。スカム浮上については目標精度真陽性率 $\geq 90\%$ 以上、偽陽性率 10%未満を満たした。

表資 3-2 船橋市高瀬下水処理場のスカム浮上に関する検出性能

	スカム浮上
真陽性率	100% (50/50)
偽陽性率	3.0% (30/1000)

ROC 曲線と検出結果の代表的な例をそれぞれ図資 3-4、図資 3-5 に示す。



図資 3-4 スカム浮上検出の ROC 曲線



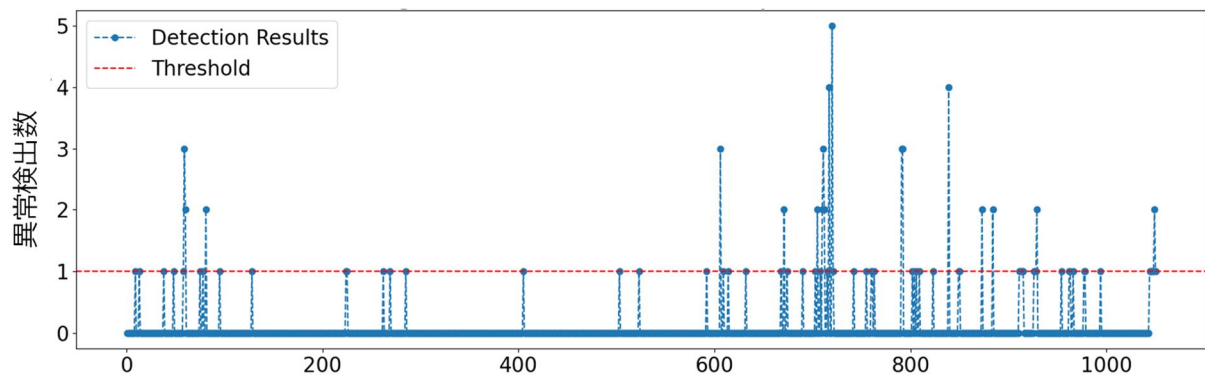
正常の例



スカム浮上検出の例

図資 3-5 5系最終沈殿池におけるスカム浮上検出結果の代表的な例

評価画像 1,050 枚について、異常検出箇所の個数を検出指標とした場合の指標の推移を図資 3-6 に示す。



図資 3-6 評価画像 1050 枚に対する異常検出箇所の個数の推移

3. 2 対応判断・運転操作 AI

(1) 広島市西部水資源再生センターでの対応判断・運転操作 AI の評価

AI の提示した対応判断と熟練技術者の判断の合否判定は○・△・×として、下記の根拠に基づき示す。

- : 熟練技術者の判断と一致
- △ : 熟練技術者の判断と異なるが許容可能で、実運転への適用可
- × : 熟練技術者の判断と異なり許容不可で、実運転へは適用できない

結果として、AI の判断結果は、12 項目の AI × 263 回の推論、計 3,156 点の試験のうち 3,059 点で実運転への適用「可」と判定され、運転適用率 97%となった。計 3,059 点の試験のうち、2,852 回 (90%) が AI の判断と運転員の判断が一致、207 回 (7%) が不一致であるが実運転適用可、97 回 (3%) が許容不可で実運転適用不可と判定された。一致率は△以上の判定のもので評価することとし、**表資 3-3** に示す通り、目標を達成した。

なお、不一致の内容の一例として、DO 制御の場合には、熟練技術者は現状変更する必要はないと考えたが、AI は運転変更したこと（ただし、AI の方も次の推論時に元に戻すと指示）等が挙げられた。また、実証期間中には、高風量におけるリン吐出し回避への対応、現状の水質から想定される送風量上下限設定機能の追加等、現地の運転のきめ細やかな考えを AI に取り入れることで、一致率を向上させた。

表資 3-3 対応判断・運転操作 AI の現地実証での検証結果（広島市）

評価	回数	割合
○	2,852	90%
△	207	7%
×	97	3%
合計	3,156	-

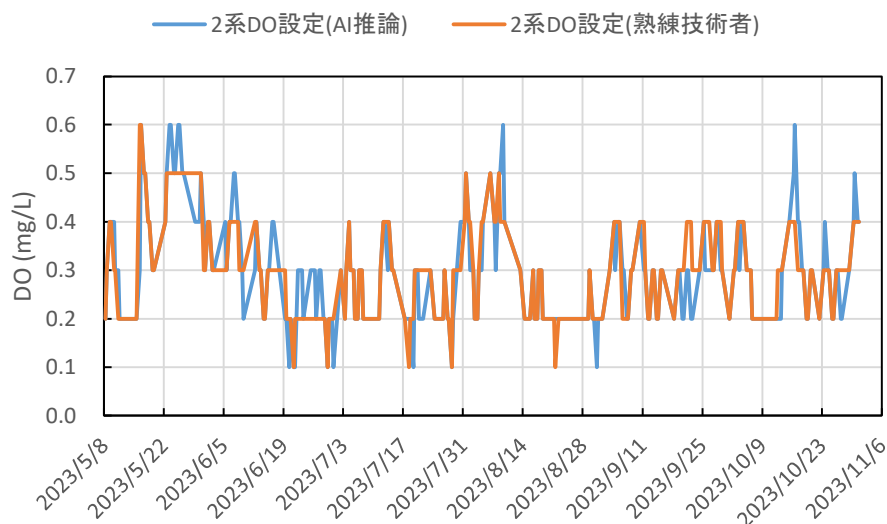
各推論項目での AI の判断と運転員の判断が一致した割合を**表資 3-4**に、不一致ではあるが実運転適用可も含めた割合（実際に AI 推論の結果で運転した割合）を**表資 3-5**に示す。評価指標として、一致率 60%未満は×、60%以上、80%未満は△、80%以上は○とした。また、各推論項目での AI の判断と熟練技術者の判断の推移を**図資 3-7**～**図資 3-18**に示す。

表資 3-4 各推論項目での AI の判断と運転員の判断が一致した割合

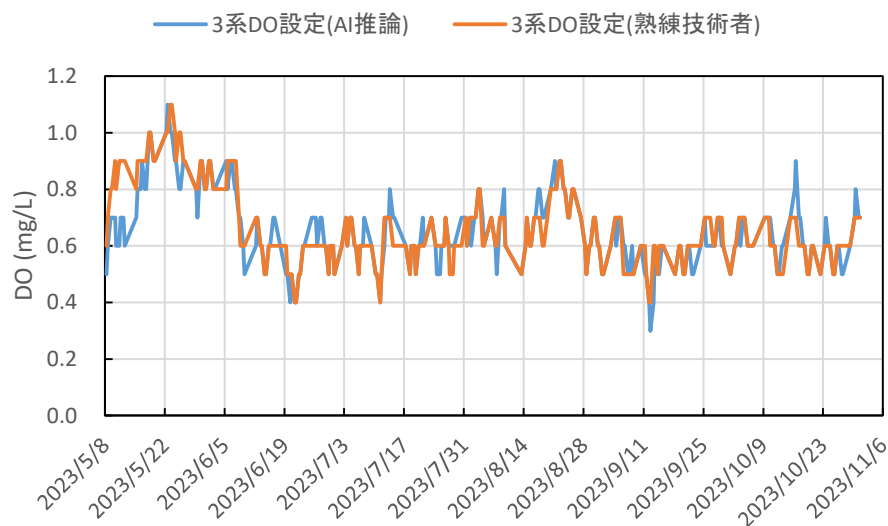
項目	一致率	評価	備考
2 系 DO	74% (195/263)	△	
3 系 DO	68% (180/263)	△	
2 系返送汚泥量	96% (253/263)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
3 系返送汚泥量	96% (253/263)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
東系次亜注入率	94% (247/263)	○	
分配槽 PAC 注入量	87% (228/263)	○	
再曝気槽 PAC 注入量	100% (263/263)	○	
4 系送風量	91% (240/263)	○	
5 系送風量	91% (240/263)	○	
4 系返送汚泥量	96% (253/263)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
5 系返送汚泥量	96% (253/263)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
西系次亜注入率	94% (247/263)	○	
合計	90% (2852/3156)	○	

表資 3-5 各推論項目での実際に AI 推論の結果で運転した割合

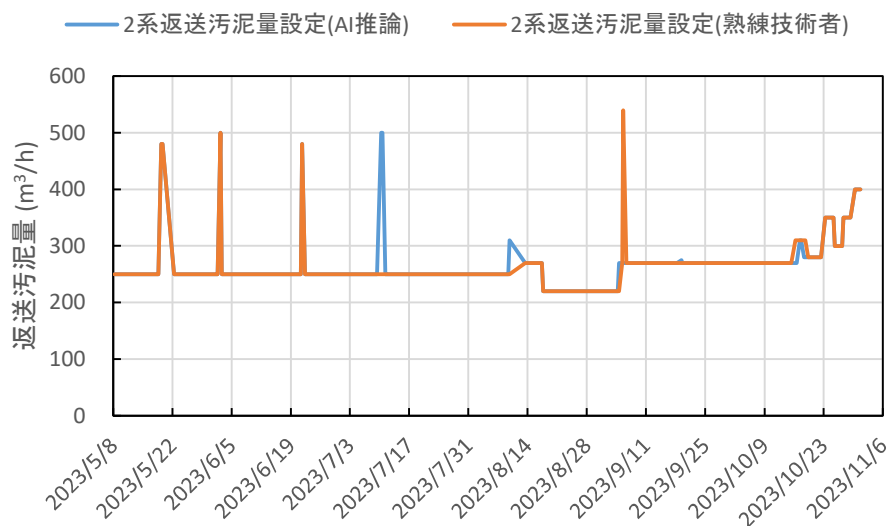
項目	一致率	評価	備考
2 系 DO	89% (235/263)	○	
3 系 DO	90% (236/263)	○	
2 系返送汚泥量	98% (259/263)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
3 系返送汚泥量	98% (259/263)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
東系次亜注入率	97% (256/263)	○	
分配槽 PAC 注入量	99% (261/263)	○	
再曝気槽 PAC 注入量	100% (263/263)	○	
4 系送風量	99% (261/263)	○	
5 系送風量	99% (260/263)	○	
4 系返送汚泥量	98% (257/263)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
5 系返送汚泥量	98% (257/263)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
西系次亜注入率	97% (255/263)	○	
合計	97% (3059/3156)	○	



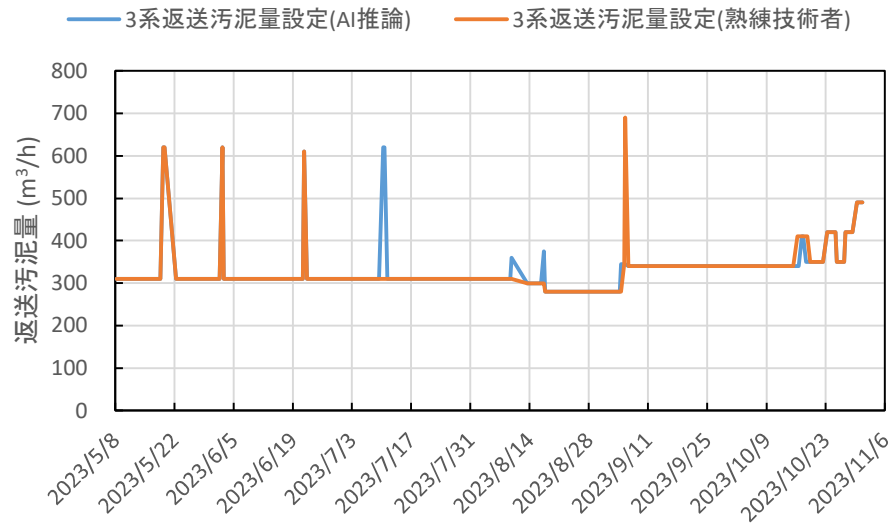
図資 3-7 広島市 2 系 DO 設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



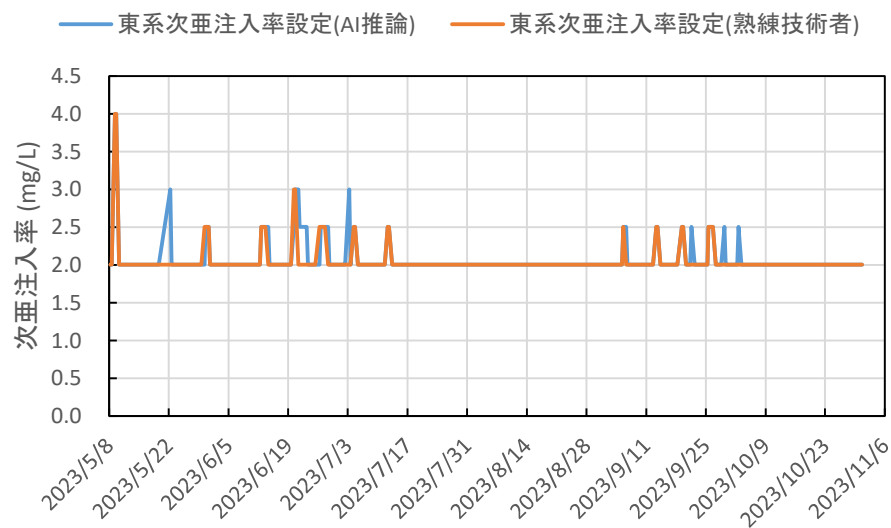
図資 3-8 広島市 3 系 DO 設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



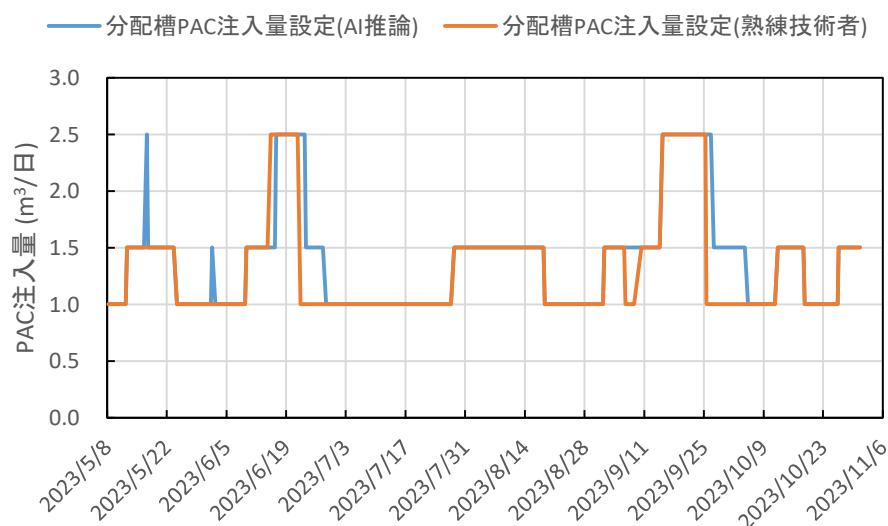
図資 3-9 広島市 2 系返送汚泥量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



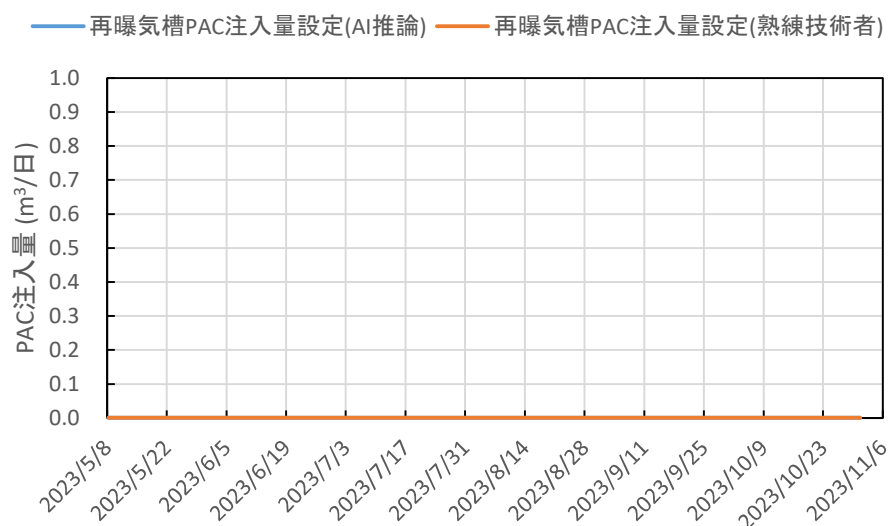
図資 3-10 広島市 3 系返送汚泥量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



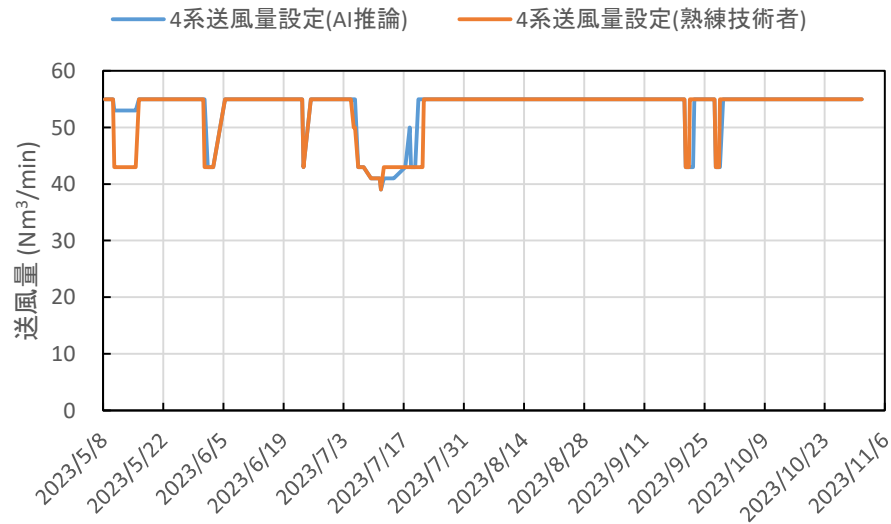
図資 3-11 広島市東系次亜注入率設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



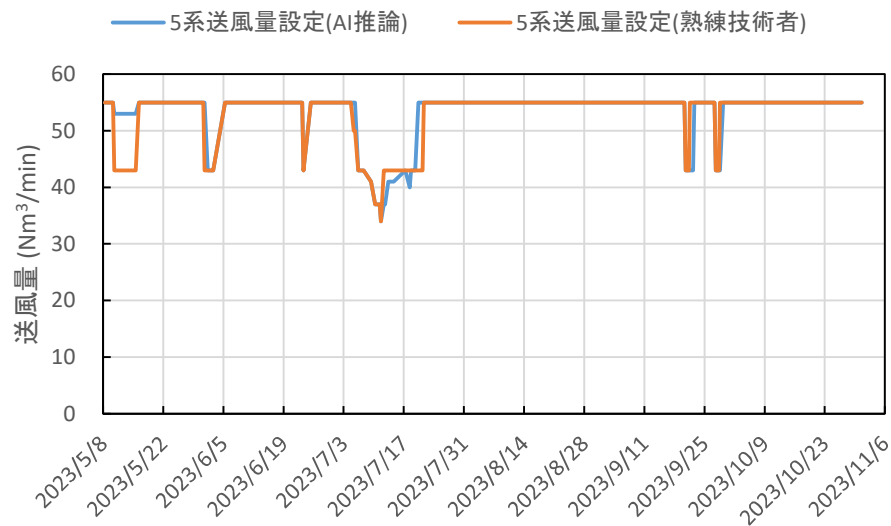
図資 3-12 広島市分配槽 PAC 注入量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



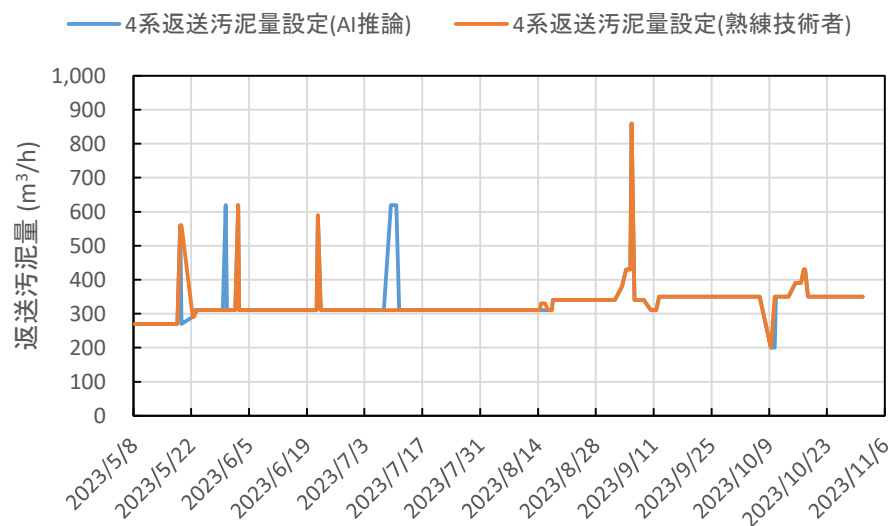
図資 3-13 広島市再曝気槽 PAC 注入量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



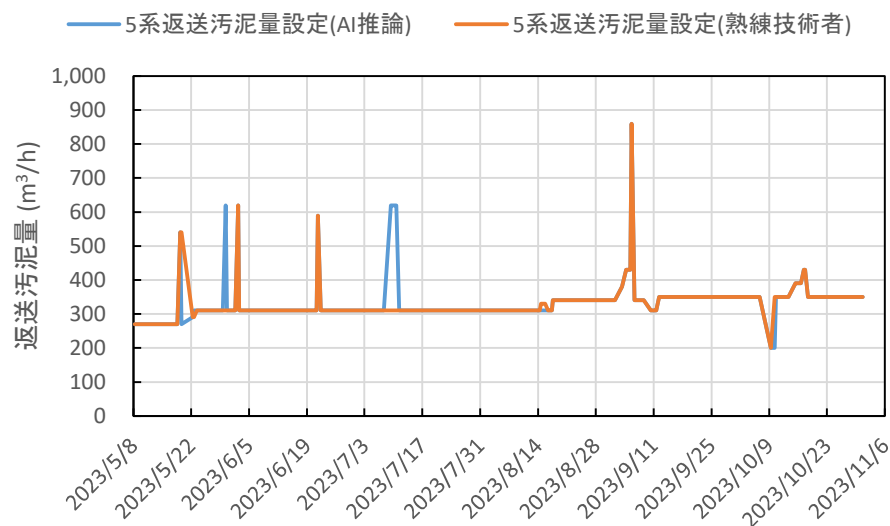
図資 3-14 広島市 4 系送風量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



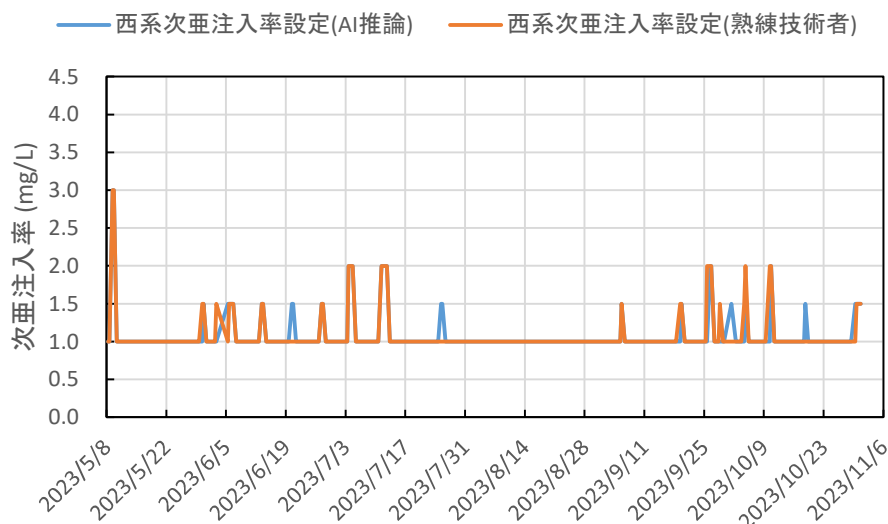
図資 3-15 広島市 5 系送風量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



図資 3-16 広島市 4 系返送汚泥量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



図資 3-17 広島市 5 系返送汚泥量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



図資 3-18 広島市西系次亜注入率設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断

熟練技術者の判断とは不一致ではあるが、実運転適用可と判断された場合も含めた、実際に AI 推論の結果で運転した割合は全ての推論項目で 80%以上となった。しかし、熟練技術者の判断と一致した割合のみとすると、東系 DO（2 系 DO、3 系 DO）設定の一致率は 80%未満となった。

東系 DO 設定は週数回運転変更を行う操作量であり、毎回判断が重要となってくる操作量である。熟練技術者は DO 設定値だけでなく、送風量の実測値も考慮し、硝化の度合いやリン蓄積細菌の活性を推定しながら、適切な DO 設定であるかどうかを判断している。令和 4 年度までの東系 DO 設定の AI モデルでは送風量の過不足に関する考え方が不足していたため、令和 5 年度の AI 実証期間では送風量に基づく DO 設定推論の調整要素を適宜改善していった。東系 DO 設定に関する主な調整内容を表資 3-6 に示す。2023 年 5 月 8 日の令和 5 年度 AI 実証開始時には、高風量におけるリン吐出し回避への対応を実装しており、送風量が過剰な状況でのリン蓄積細菌の活性低下度合いを推定できるように努めた。5 月 29 日には、送風量の過剰だけでなく過少も含めた送風量実測値 24 時間平均に基づく DO 設定出力の調整を、6 月 29 日には、送風量の増加・減少傾向を早く察知するため、送風量実測値 6 時間平均に基づく DO 設定出力の調整を実装した。8 月 2 日には、これまで固定値であった送風量の上下限を、大まかな水質（流入水全窒素、全リン、放流水 pH）や雨量、水質懸念に基づいて判断できるようにし、可変となるようにした。そして 8 月 30 日には、下水道施設計画・設計指針と解説に基づいた有機物酸化、硝化反応、内生呼吸、DO 維持に必要な酸素量をそれぞれ算出する必要空気量計算を行い、より柔軟に送風量上下限を設定できるようにした。

表資 3-6 東系 DO 設定に関する主な調整内容

日付け	内容
2023/5/8	高風量におけるリン吐出し回避への対応実装
2023/5/29	送風量実測値 24 時間平均に基づく DO 設定出力調整実装
2023/6/29	送風量実測値 6 時間平均に基づく DO 設定出力調整実装
2023/8/2	水質・懸念に基づく送風量上下限設定実装
2023/8/21	送風量上下限設定再調整
2023/8/25	変更指示書への送風量上下限設定の記載開始
2023/8/30	必要空気量計算に基づく送風量上下制限実装

これらの DO 設定に関する送風量に基づく調整を反映し安定化した 8 月 21 日から、DO 設定に関する別の検討（放流水 pH の離散化の試験的な調整）を始めた 9 月 20 日までの 1 か月間での、AI の判断と運転員の判断が一致した割合を**表資 3-7**に示す。令和 5 年度の AI 実証期間全期間では 2 系 DO 設定および 3 系 DO 設定の運転員との判断が一致した割合は 80%未満となっていたが、DO 設定に送風量に基づく調整を反映し安定化した**表資 3-7**の期間では、2 系 DO 設定、3 系 DO 設定の一致率はそれぞれ 83%、81%と 80%以上となった。その他推論項目も一致率が 80%以上となっている。これらの結果は、水質・懸念に基づく送風量上下限の調整、特に必要空気量計算に基づく送風量上下限調整が効いたものと考えられる。熟練技術者が普段参考にしているような水理モデルの要素を AI に導入することで、より熟練技術者の考え方に近く、納得して頂ける推論となる可能性が考えられた。

**表資 3-7 送風量に基づく調整を反映し安定化期間での、各推論項目での実際に AI の判断と
運転員の判断が一致した割合**

項目	一致率	評価	備考
2 系 DO	83% (40/48)	○	
3 系 DO	81% (39/48)	○	
2 系返送汚泥量	94% (45/48)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
3 系返送汚泥量	96% (46/48)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
東系次亜注入率	98% (47/48)	○	
分配槽 PAC 注入量	90% (43/48)	○	
再曝気槽 PAC 注入量	100% (48/48)	○	
4 系送風量	100% (48/48)	○	
5 系送風量	100% (48/48)	○	
4 系返送汚泥量	100% (48/48)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
5 系返送汚泥量	100% (48/48)	○	降雨時等の対応は AI 評価対象外
西系次亜注入率	98% (47/48)	○	
合計	95% (547/576)	○	

次亜注入率は、令和 4 年度の実証では運転員の判断と一致した割合が 80%未満であったが、令和 5 年度の実証では 80%以上となった。この一致率は令和 4 年度途中から改善されつつあり、令和 4 年度途中から説明変数を選別し、熟練技術者が参考にされるもので学習をしておいた結果改善されたものと考えられる。令和 5 年度は更に、降雨時の考え方や、N-BOD の考え方、過曝気時の SS 流出への対応の仕方などの修正も加え、適切に推論できるようになった。

西系返送汚泥量も、令和 4 年度の実証では運転員の判断と一致した割合が 80%未満であったが、令和 5 年度の実証では 80%以上となった。令和 4 年度は汚泥処理能力の制約に関する要素を適切に組み込めていなかったことが課題となっていたが、令和 5 年度では完全には汚泥処理能力の制約を組み込むことはできなかったものの、水処理側で観測できる MLSS の増加具合や、BOD、SS 負荷などから算出される汚泥発生量などを説明変数として導入し、制約条件を組み込んだ。その結果一致率が改善したものと考えられる。

(2) 船橋市高瀬下水処理場での対応判断・運転操作 AI の評価

船橋市高瀬下水処理場では消化槽の導入が令和3年度の12月頃より始まったこともあり、返流水負荷が10月以前より変化している。このような状況であるため、熟練技術者も PAC 注入の運転方針を検討している状況となっている。また、返流水負荷による放流水全リン濃度の変動のため、PAC 注入は夕方開始となり、深夜に停止となるパターンが多い。したがって、現地の状況と推論結果の反映し易さを考慮し、船橋市高瀬下水処理場での PAC 注入の対応判断・運転操作 AI の評価は AI の提示した判断結果の実運転への反映や熟練技術者へのアンケートを行わず、AI の出力と実運転を比較することとした。

PAC 注入の対応判断・運転操作 AI の推論は1時間に1回行っている。推論結果と熟練技術者の運転の比較で、熟練技術者にも許容可能な数時間の注入開始時間、停止時間のズレは生じる可能性があると考えられるが、今回熟練技術者へのアンケートは無く実運転との比較のみであった。そのため、合否判定は熟練技術者の注入状態の対応判断と一致するか否かを根拠として、下記の○・×として示した。合否判定を行う点数は熟練技術者の対応判断を行った点のみとした。

○ : 熟練技術者の注入状態の判断と一致

× : 熟練技術者の注入状態の判断と異なる

結果として、AI の判断結果は表資 3-8 に示す通り 5 項目の AI × 4,695 回の推論の計 23,475 点の試験のうち 22,209 点で熟練技術者の判断と一致しており、一致率 95%であった。よって、目標を達成した。

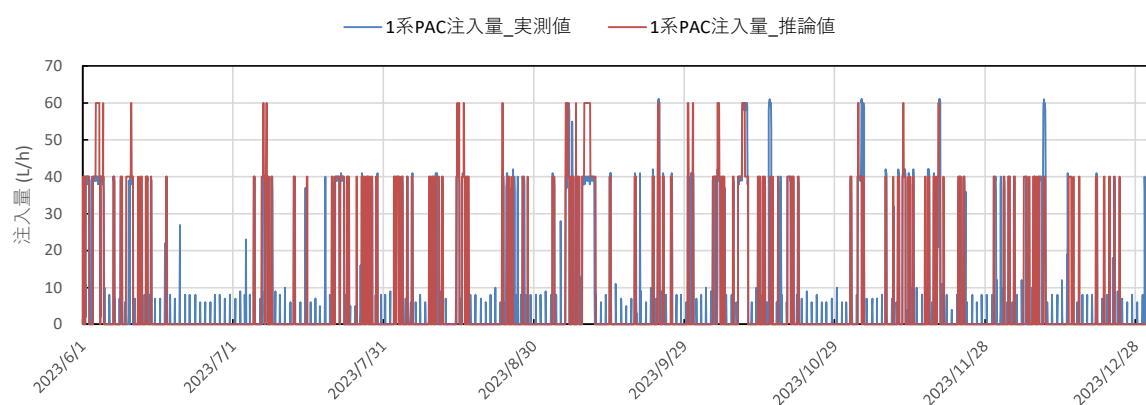
表資 3-8 対応判断・運転操作 AI の現地実証での検証結果（船橋市）

評価	回数	割合
○	22,209	95%
×	1,266	5%
合計	23,475	-

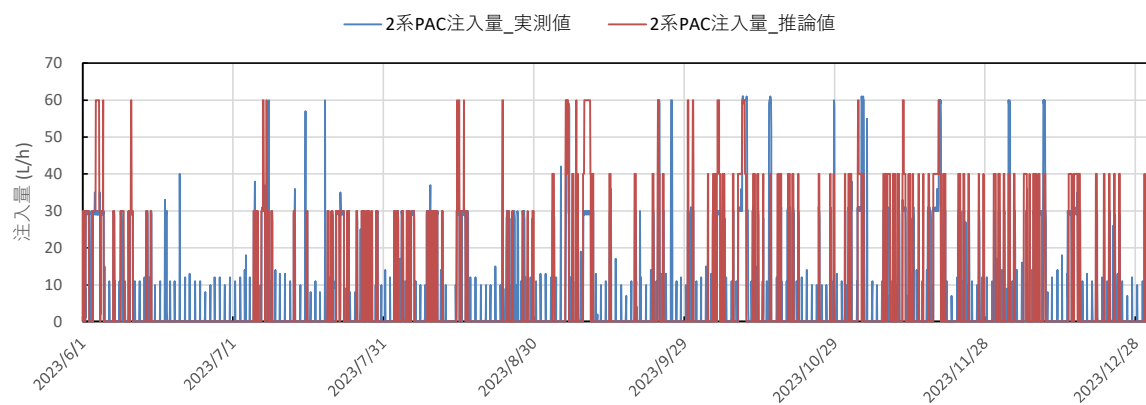
各推論項目での AI の判断と運転員の判断が一致した割合を表資 3-9 に示す。評価指標として、一致率 60%未満は×、60%以上、80%未満は△、80%以上は○とした。また、各推論項目での AI の判断と熟練技術者の判断の推移を図資 3-19～図資 3-23 に示す。図資 3-19～図資 3-23 で示している熟練技術者の判断である PAC 注入量実測値（青色）では、各系で 10 L/h 程度の注入が頻繁に行われているが、これは 1 日 1 回午前中に行われる配管閉塞防止用の注入であり、この注入は一致率の算出から除いた。

表資 3-9 各推論項目での AI の判断と運転員の判断が一致した割合

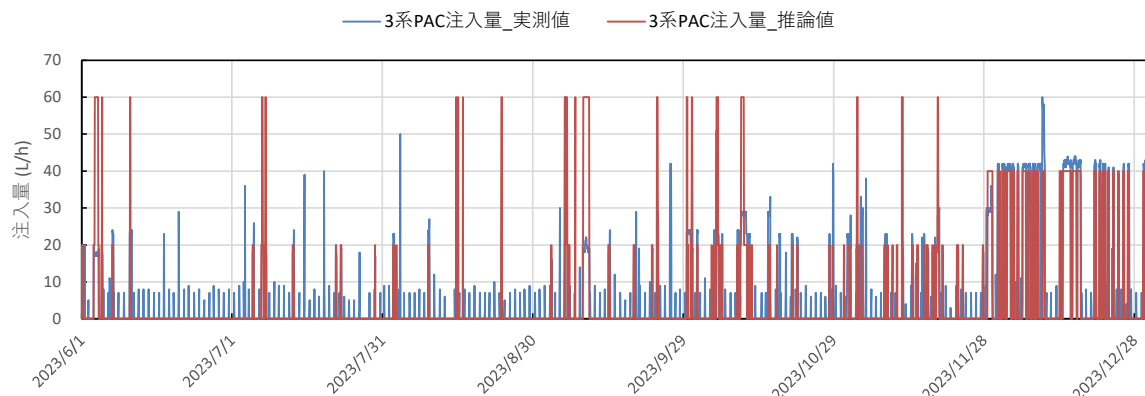
項目	一致率	評価	備考
1 系 PAC 注入量	94% (4,410/4,695)	○	
2 系 PAC 注入量	93% (4,365/4,695)	○	
3 系 PAC 注入量	95% (4,467/4,695)	○	
4 系 PAC 注入量	96% (4,528/4,695)	○	
5 系 PAC 注入量	95% (4,439/4,695)	○	



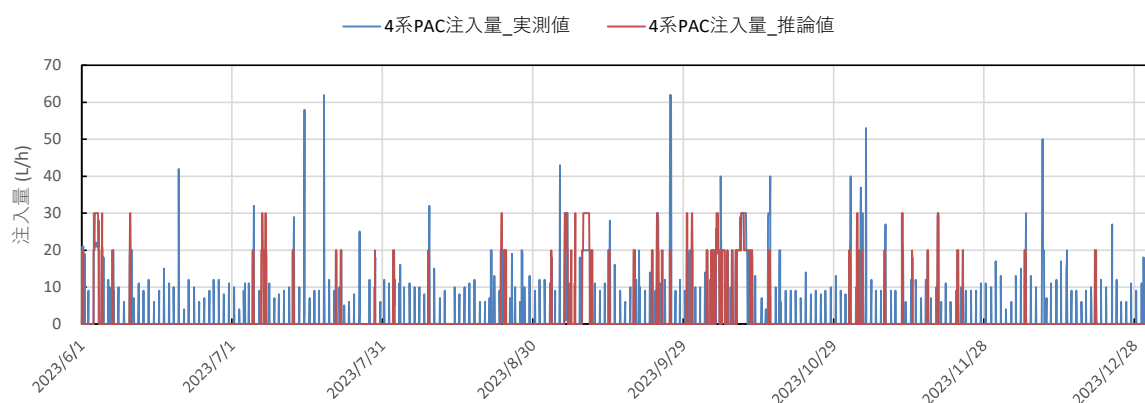
図資 3-19 船橋市 1 系 PAC 注入量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



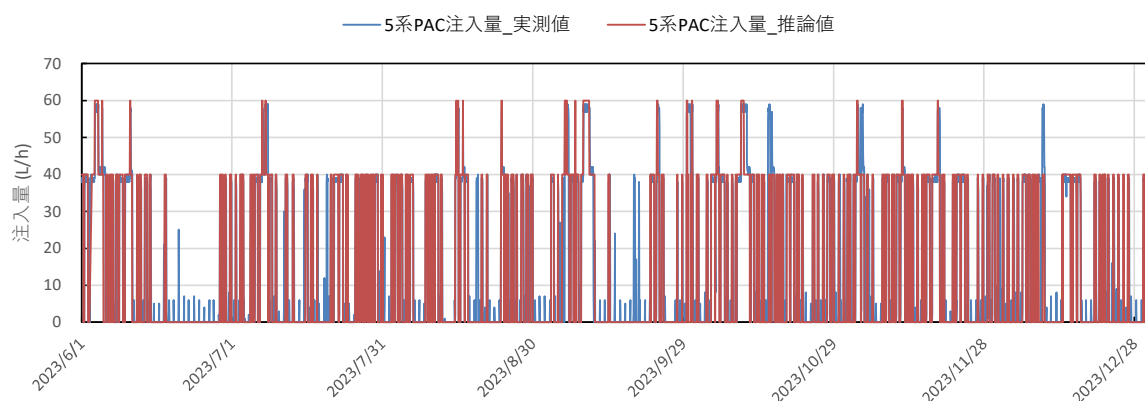
図資 3-20 船橋市 2 系 PAC 注入量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



図資 3-21 船橋市 3 系 PAC 注入量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



図資 3-22 船橋市 4 系 PAC 注入量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断



図資 3-23 船橋市 5 系 PAC 注入量設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断

令和 4 年度の船橋市の PAC 推論は 3 系で一致率が 80%未満となっていたが、令和 5 年度の船橋市の PAC 推論は全ての系で一致率が 80%以上となった。これは令和 4 年度に、3 系が 10 月中旬より点検整備を終えて運用を再開したこともあり、十分な学習データが無かったためであることが考えられている。令和 5 年度は 3 系の運用開始から十分期間が経っており、3 系の運転データの蓄積が進んだ。そのため令和 5 年度は 3 系の一致率が改善したものと考えられる。また、令和 5 年度は他の系の一致率も全体的

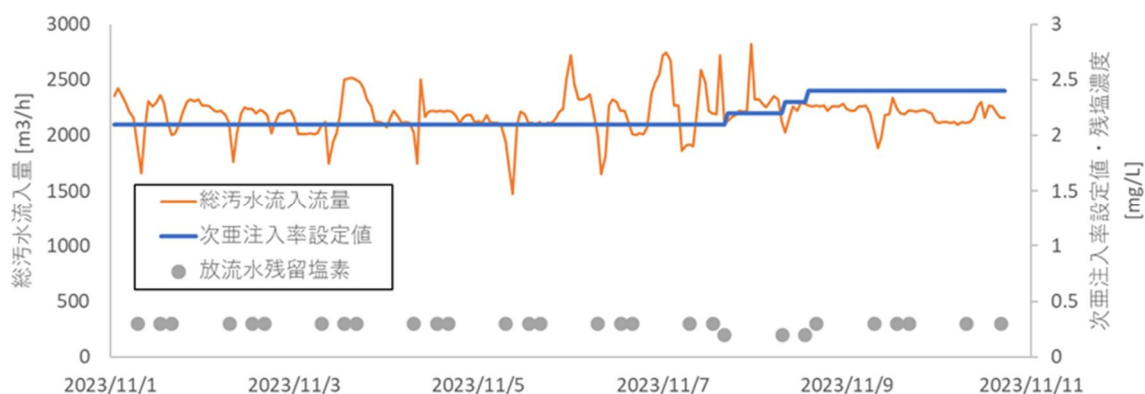
に改善した。令和 5 年度の PAC 推論モデルにはヒアリング結果に基づき、消化槽導入後に追加で分析するようになった臨時分析値の結果に基づく各系の優先度合いの判断を組み込んだ。熟練技術者の考える各系の処理の悪化具合に基づく判断を組み込むことで全体的に一致率が改善したものと考えられる。

(3)A 処理場での対応判断・運転操作 AI の評価

検証期間中の説明変数各値を図資 3-24 に示す。放流水残塩濃度は 7:00、13:00、16:00 の 3 回/日分析を行い、0.2 mg/L が 3 回、0.3 mg/L が 26 回であった。次亜塩注入比率設定値は 3 回変更させており、いずれも 0.1 mg/L の増加操作であった。

表資 3-10～表資 3-12 に、現地検証での減少操作・増加操作のスコア表およびスレットスコアと見逃し・空振り率を示す。現地検証期間中、次亜注入比率設定値の AI による減少操作予測出力は無く、実際の減少操作も行われなかった。増加操作は 3 回行われ、同タイミングで AI でも増加操作予測出力が行われた。その際の予測結果表示画面の例を図資 3-25 に示す。放流水残塩濃度が 0.2 mg/L と低い値であったことを主な要因として、増加操作を予測出力した。現地検証期間中増加操作を行った 3 回いずれも、放流水残塩濃度が低いことを主な要因として AI による増加操作予測が出力された。

検証結果のトレンドグラフを図資 3-26 に示す。増加操作を適切なタイミングで予測出力したことを確認した。アンケートでも、熟練技術者の判断と一致したことを確認した。



図資 3-24 現地実証期間中流入流量、次亜塩注入率設定値、放流水残留塩素濃度のトレンド

表資 3-10 現地実証での次亜塩注入率減少操作スコア

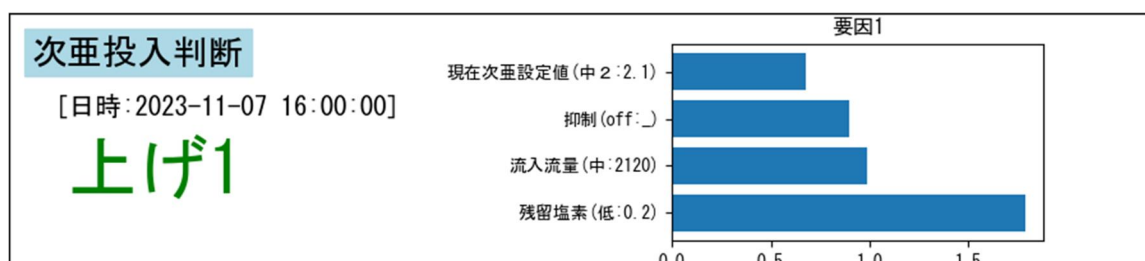
減少操作		実測	
		あり	なし
予測	あり	0	0
	なし	0	

表資 3-11 現地実証での次亜塩注入率増加操作スコア

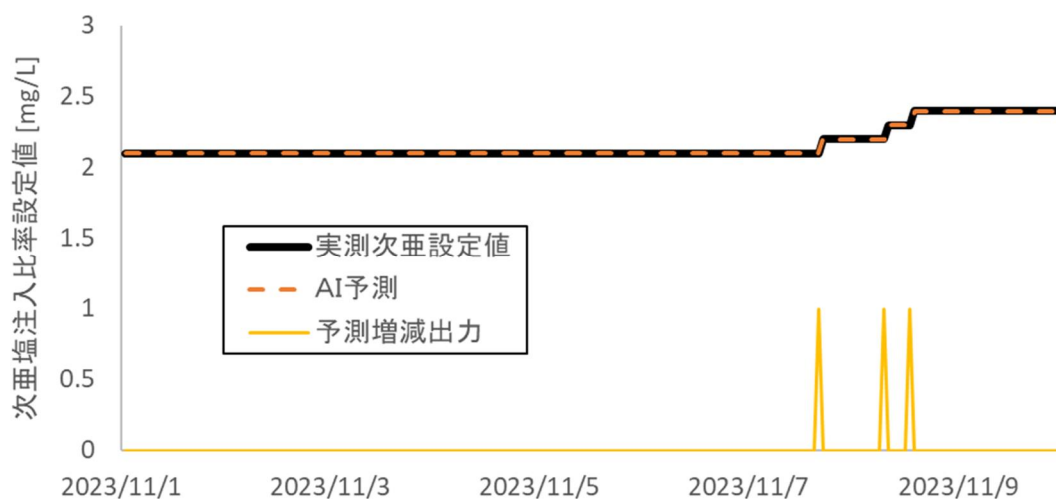
増加操作		実測	
		あり	なし
予測	あり	3	0
	なし	0	

表資 3-12 現地実証でのスレットスコアと見逃し・空振り率

	減少操作	増加操作
スレットスコア [-]	-	1
見逃し率 [%]	-	0
空振り率 [%]	-	0



図資 3-25 現地実証での AI 予測結果表示画面



図資 3-26 A 処理場次亜塩注入率設定の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断

(4)B 処理場での対応判断・運転操作 AI の評価

AI の提示した対応判断と熟練技術者の判断の合否判定は○・△・×として、下記の根拠に基づき示す。

- : 熟練技術者の判断と ON または OFF の判断の時間ずれが 1 時間以内であるとき。時間ずれが不明の場合は、推論値と pH トレンドの差が 0.03 以内であるとき。
- △ : 熟練技術者の判断と ON または OFF の判断の時間ずれが 2 時間以内であるとき。時間ずれが不明の場合は、推論値と pH トレンドの差が 0.05 以内であるとき。また、判断の一致しない理由が現場都合によるものであるとき。
- × : 熟練技術者の判断と ON または OFF の判断の時間ずれが 3 時間以上であるとき。時間ずれが不明の場合は、推論値と pH トレンドの差が 0.05 以上であるとき。

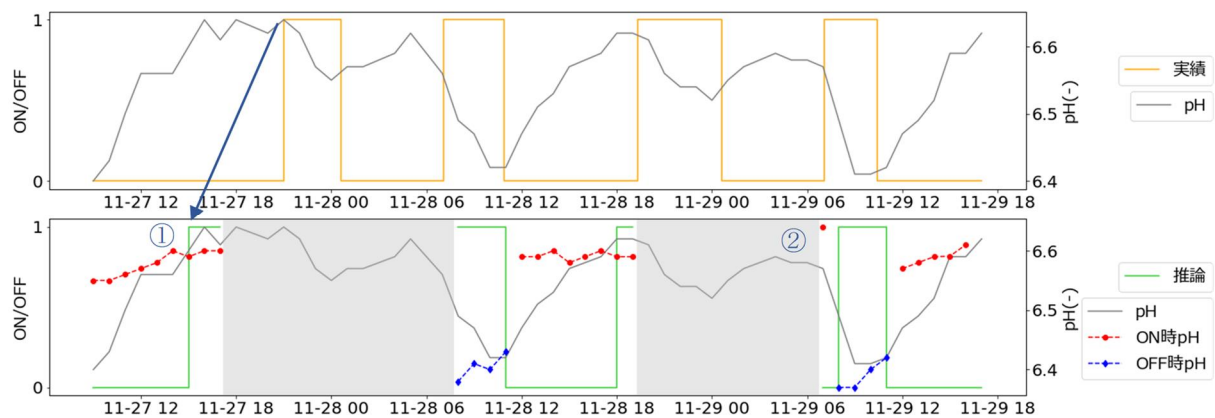
結果として AI の判断結果は、4 項目の AI ×10 日間の実証期間で熟練技術者による運転変更があった回数の計 29 点の試験のうち 26 点で○または△と判定され、一致率 90%となった。計 29 点の試験のうち、18 回 (62%) が AI の判断と運転員の判断が一致となる○と判定され、8 回 (28%) がほぼ一致の△、3 回 (10%) が許容不可の×と判定された。一致率は△以上の判定のもので評価することとし、**表資 3-13** に示す通り、90%と目標を達成した。

表資 3-13 対応判断・運転操作 AI の現地実証での検証結果 (B 処理場)

評価	回数	割合
○	18	62%
△	8	28%
×	3	10%
合計	29	-

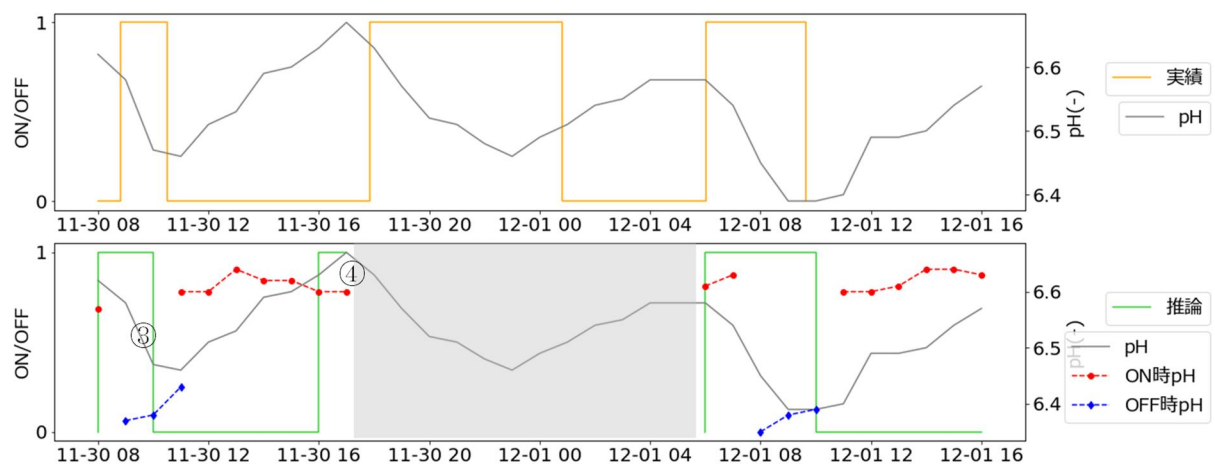
①1 系および 2 系の推論結果

実証期間の推論結果による曝気装置運転状況と運転実績を示す。グラフ上段は現場判断による運転実績（橙線）を pH トレンドとともに示している。下段の緑線は推論結果による曝気装置の運転状況で、この動きが上段と近ければ AI は実際の運転を再現できているといえる。赤破線は ON 時 pH の推論値で、pH トレンドがこの値を上回ると ON の判断となる。**図資 3-27** の①では pH トレンドが ON 時 pH の推論値を上回ったため ON 判定が出たが、実際の運転は 6 時間後であり、評価としては×となっている。また、**図資 3-27** の②では ON 時 pH の推論値がトレンドより大きいが、この時点で実際の運転が ON になったため pH が低下し始め、AI 判断の場合何時間後に ON 判定が出たかはわからない。このような場合は、推論値と pH トレンドの差によって評価した。青破線は OFF 時 pH の推論値で、pH トレンドがこの値を上回ると OFF の判断となる。**図資 3-27** の期間では OFF 判定のタイミングは実績とほぼ一致していた。



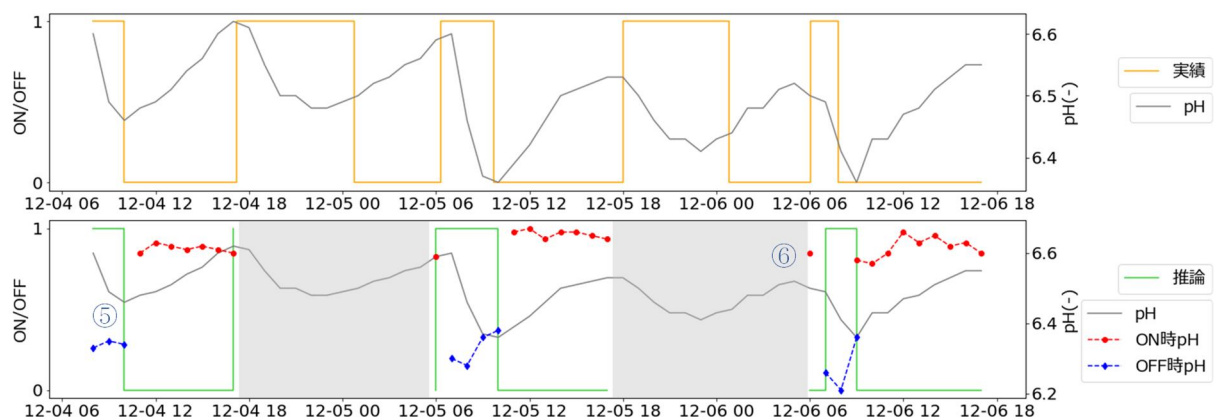
図資 3-27 B 処理場 1 系および 2 系の推論結果 1 [11/27-11/29]

図資 3-28 の③では、OFF 時推論値にトレンドが到達していないが、1 時間後の推論値を採用してトレンドとの差から△の評価とした。④では実績より約 2 時間早く ON の判定が出ており、△の評価とした。



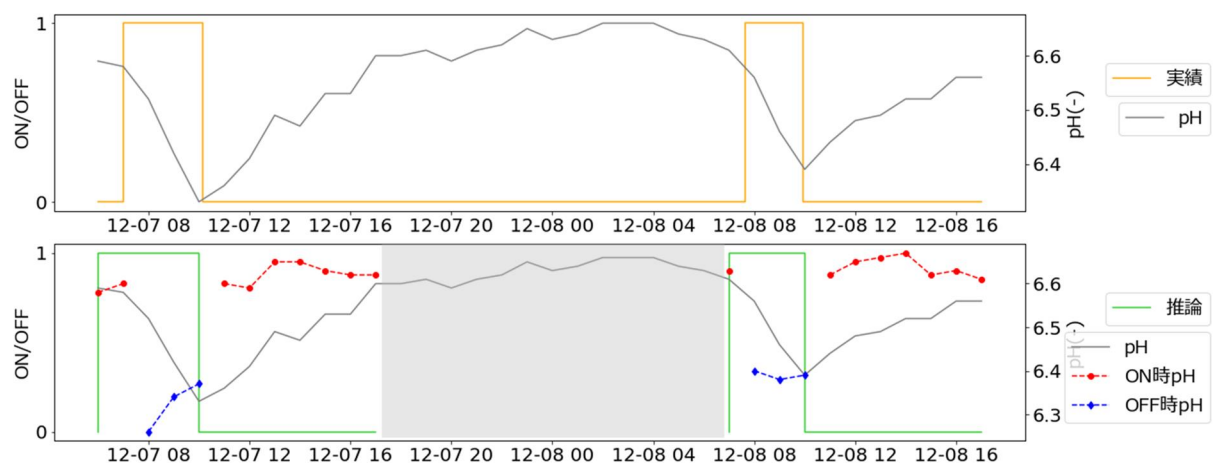
図資 3-28 B 処理場 1 系および 2 系の推論結果 2 [11/30-12/1]

図資 3-29 の⑤ではトレンド値が推論値に達していないが、このときの OFF 操作は現場都合で少しタイミングが早かったため△の評価とした。⑥ではトレンド値が推論値に達せず、またその差も大きいことから×評価とした。



図資 3-29 B 処理場 1 系および 2 系の推論結果 3 [12/4-12/6]

図資 3-30 の期間では概ね実績と推論が一致していた。



図資 3-30 B 処理場 1 系および 2 系の推論結果 4 [12/7-12/8]

B 処理場 1 系および 2 系の推論結果のまとめを表資 3-14、表資 3-15 に示す。時間ずれによる評価を優先し、時間ずれが不明な場合は pH の推論値との差による評価とした。ON 時推論は正解率 80%、OFF 時推論は正解率 100%となった。

表資 3-14 B 処理場 1 系および 2 系の ON 時推論結果

	日にち	実績の 判断時間	AIの 判断時間	時間ずれに よる評価	pH トレンド	推論値	推論値差に よる評価
1	11月27日	21:00	15:00	×			
2	11月28日	19:19	18:00	△			
3	11月29日	7:04	-	-	6.57	6.62	△
4	11月30日	8:48	8:00	○			
5	11月30日	17:51	16:00	△			
6	12月1日	6:01	-	-	6.58	6.61	○
7	12月5日	6:17	6:00	○			
8	12月6日	6:03	-	-	6.5	6.6	×
9	12月7日	7:00	6:00	○			
10	12月8日	7:39	-	-	6.61	6.63	○
						正解率	80%

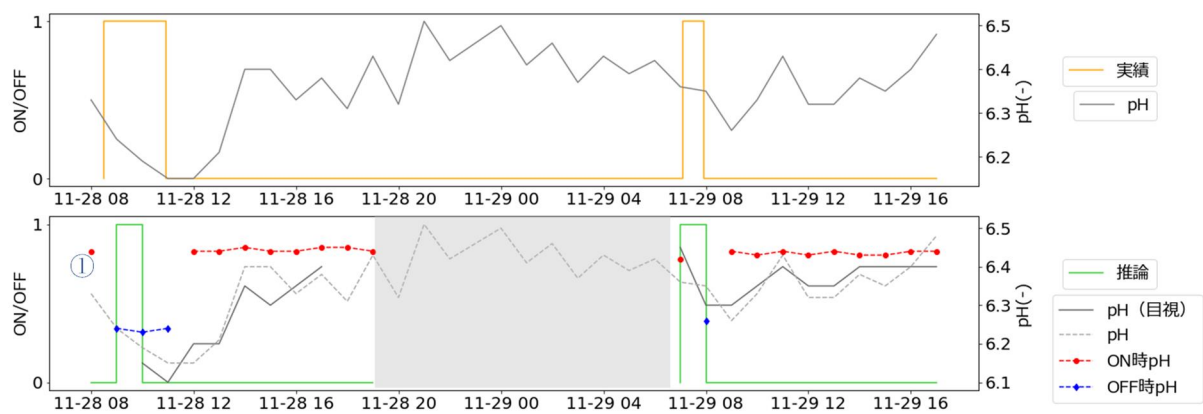
表資 3-15 B 処理場 1 系および 2 系の OFF 時推論結果

	日にち	実績の 判断時間	AIの 判断時間	時間ずれに よる評価	pH トレンド	推論値	推論値差に よる評価
1	11月28日	10:55	11:00	○			
2	11月29日	10:24	11:00	○			
3	11月30日	10:30	-	-	6.47	6.43	△
4	12月1日	9:38	10:00	○			
5	12月4日	10:00	-	-	6.46	6.35	△現場都合
6	12月5日	9:44	10:00	○			
7	12月6日	7:50	9:00	△			
8	12月7日	10:08	10:00	○			
9	12月8日	9:56	10:00	○			
						正解率	100%

②3 系および 4 系の推論結果

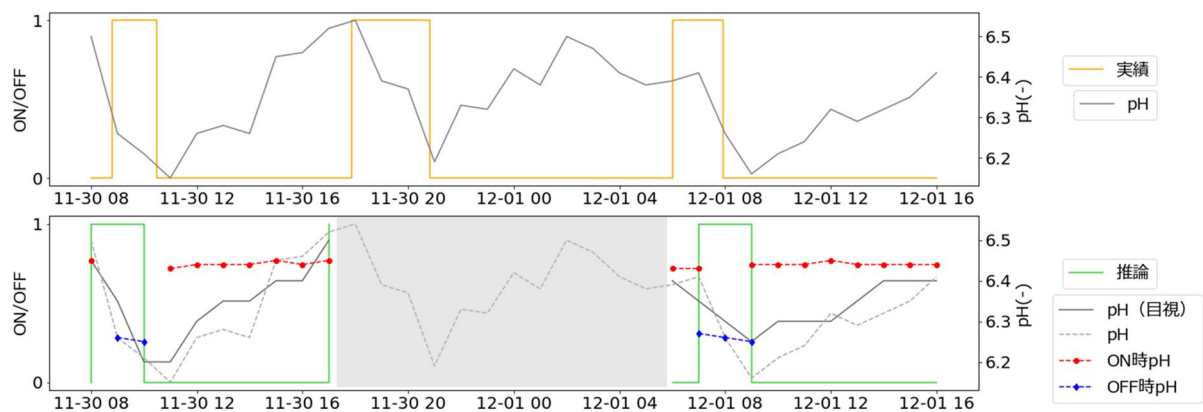
B 処理場 3 系および 4 系の推論結果を示す。3 系および 4 系はオンライン pH 計の性質上、pH トレンドの値が 0.2 程度上下に振れており、現場ではトレンドグラフを確認しておよその中央値を現在の値と考えているとのことであった。そこで、同様に現場にてトレンドグラフを確認した値を pH（目視）として下段グラフ上に黒実線で示した。

図資 3-31 の①では、トレンド pH が ON 時推論値に到達せず、またその差も大きいことから×評価とした。他の推論についてはほぼ実績と一致した。



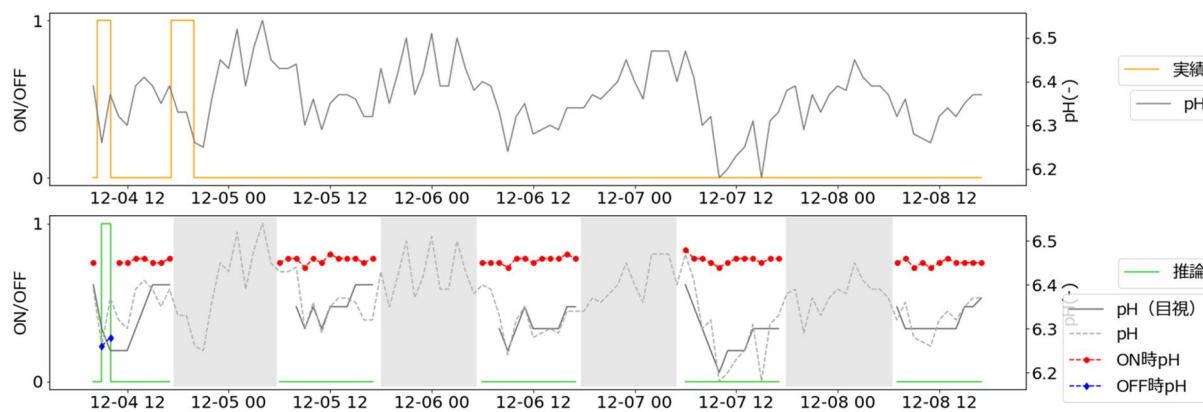
図資 3-31 B 処理場 3 系および 4 系の推論結果 1 [11/27-11/29]

図資 3-32 は、推論結果と実績に 1~2 時間以内のずれはあるものの、ほぼ一致した。



図資 3-32 B 処理場 3 系および 4 系の推論結果 2 [11/30-12/1]

図資 3-33 は 12 月 5 日以降曝気装置の運転がなかったが、12 月 4 日の現場滞在中の推論についてはほぼ実績と一致した。



図資 3-33 B 処理場 3 系および 4 系の推論結果 3 [12/4-12/6]

B 処理場 3 系および 4 系の推論結果のまとめを**表資 3-16**、**表資 3-17** に示す。3 系および 4 系では、ON 時推論は 80%、OFF 時推論は 100%の正解率であった。

表資 3-16 B 処理場 3 系および 4 系の ON 時推論結果

	日にち	実績の 判断時間	AIの 判断時間	時間ずれに よる評価	pH トレンド	推論値	推論値差に よる評価
1	11月28日	8:29	-	-	6.33	6.44	×
2	11月29日	7:06	7:00	○			
3	11月30日	8:48	8:00	○			
4	12月1日	6:00	-	-	6.4	6.43	○
5	12月4日	8:26	-	-	6.4	6.45	△
						正解率	80%

表資 3-17 B 処理場 3 系および 4 系の OFF 時推論結果

	日にち	実績の 判断時間	AIの 判断時間	時間ずれに よる評価	pH トレンド	推論値	推論値差に よる評価
1	11月28日	10:55	10:00	○			
2	11月29日	7:56	8:00	○			
3	11月30日	10:30	10:00	○			
4	12月1日	7:55	9:00	△			
5	12月4日	10:00	10:00	○			
						正解率	100%

③現場における判断方法について

現場では、水質の状況、オンライン pH 計とポータブル pH 計の測定値ずれ、時間帯や系列による流入負荷の違いなどから 8 時と 15 時の pH 目標値（オンライン値）を設定している。令和 5 年度の実証を実施した 2023 年 11 月 27 日から 12 月 8 日の期間については**表資 3-18** の目標値が設定されており、8 時と 15 時に pH がこの値になることを目安に曝気装置運転が行われていた。また、1 時から 6 時の深夜帯は曝気装置停止時間に設定されており、夜から曝気装置の運転を ON にした場合 1 時前に OFF にし、朝は 6 時を過ぎた頃に ON にするという運転が行われている場合が多かった。

表資 3-18 pH 目標値

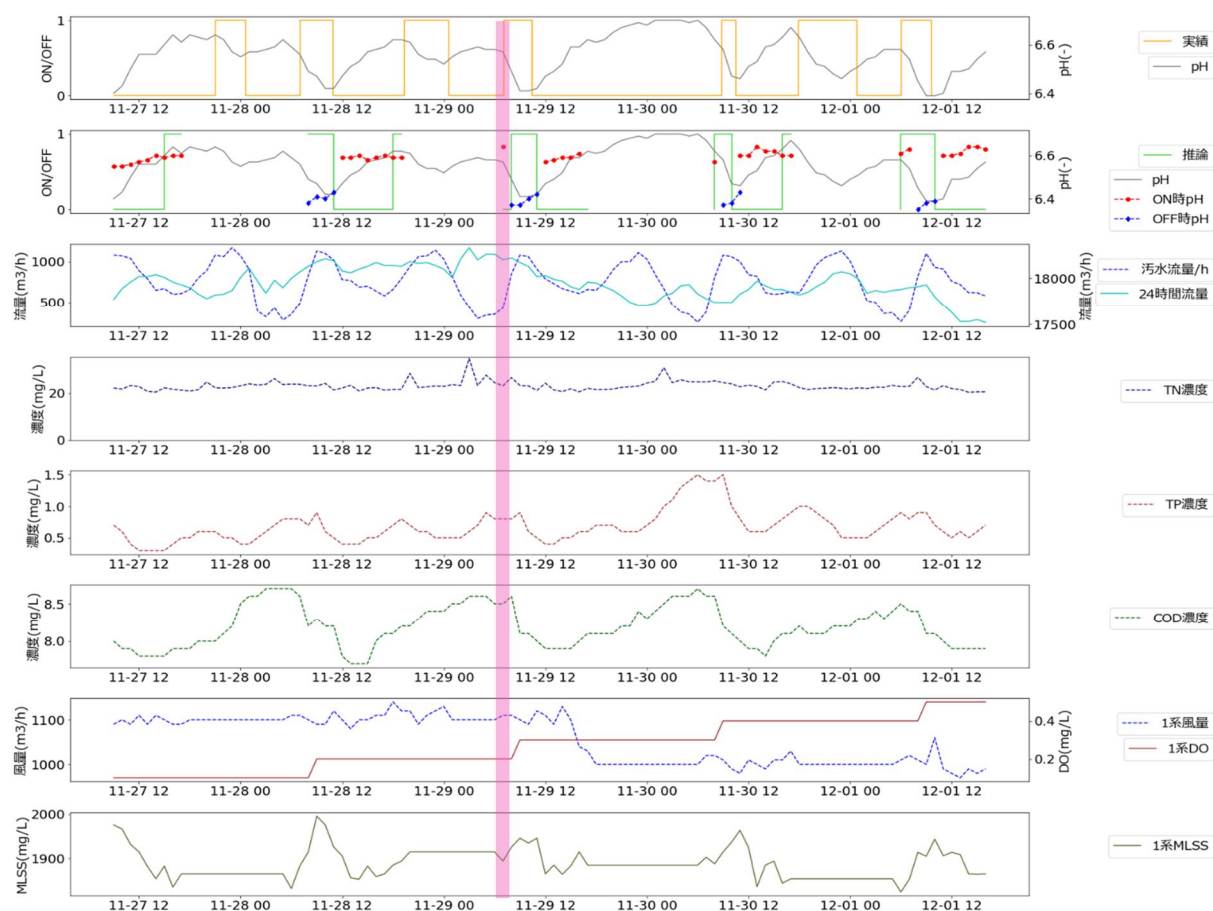
	1/2 系	3/4 系
8 時	6.4	6.3
15 時	6.5	6.4

また、朝夜の高負荷流入に合わせて曝気を行う場合が多く、pH が高くなっても高負荷流入のタイミングに合わせるため曝気開始を待つ場合がある。ただ、曝気装置の運転変更は現場での手作業であり、運転

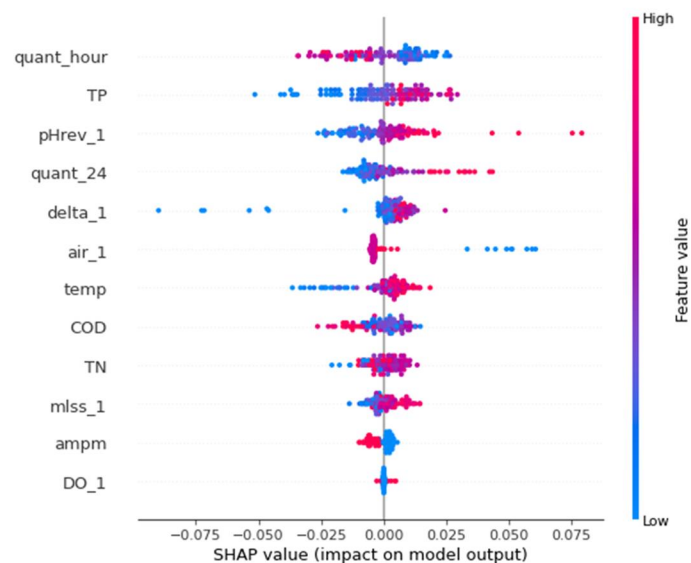
作業員の手が空いているときや場内巡回と一緒に行為れるため、1~2 時間程度のタイミングずれは許容範囲である。

④パラメータ比較

図資 3-34 は 1 系および 2 系の推論結果と説明変数となるパラメータのトレンドグラフである。11 月 29 日 7 時の推論では、推論値がトレンド値より少し高かった。このときの推論への各パラメータの寄与を参照すると図資 3-35 のようになっており、時間当たり汚水流量の小ささと 24 時間流量の大きさが推論値を上方に動かしたとみられた。



図資 3-34 B 処理場 1 系および 2 系の推論結果と各パラメータトレンド [11/27-12/1]



図資 3-35 寄与度確認 寄与度：上から時間当たり汚水流量、T-P、pH 補正值（オンラインとハンディの差）、24 時間流量、pH 変化量、送風量、水温、COD、T-N、MLSS、午前午後、DO

(5) C 処理場での対応判断・運転操作 AI の評価

AI の提示した対応判断と熟練技術者の判断の合否判定は○・×として、下記の根拠に基づき示す。

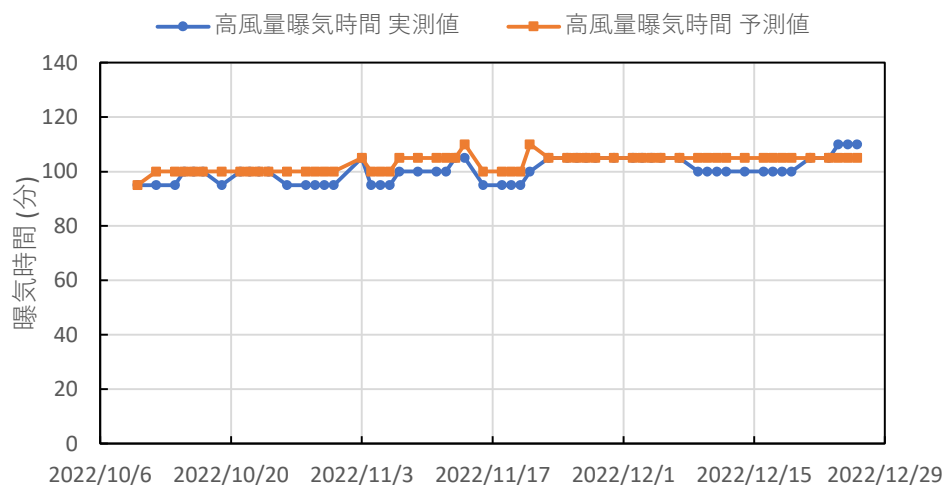
- ： 熟練技術者の判断と一致
- × ： 熟練技術者の判断と異なる

77 日間の実証期間で運転データがある日数の計 56 点に対し推論を行い、うち 45 点で熟練技術者の判断と一致していた。その結果、表資 3-19 に示す通り一致率は 80%となった。

表資 3-19 対応判断・運転操作 AI の現地実証での検証結果（C 処理場）

評価	回数	割合
○	45	80%
×	11	20%
合計	56	-

オフサイト実証期間の曝気装置高曝気時間の推論結果と運転実績を図資 3-36 に示す。高曝気時間の増加・維持・減少の傾向が実測値と予測値で概ね一致している。高曝気時間の実測値と予測値の RMSE は 4.0 分となり、曝気時間の変更幅の最小値である 5 分よりも短くなった。これらの結果より、モデルが良好であることが示された。



図資 3-36 C 処理場 No. 1 曝気装置高曝気時間の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断

目的変数（No.1 曝気装置高曝気時間）に対する各説明変数の相関係数を表資 3-20 に示す。UV 値や回分槽水位下限は比較的高い正の相関を示し、流入量、放流量は比較的高い負の相関を示した。UV 値は放流水の有機物量をモニタリングするもので、負荷が高まっている際に高曝気時間を増やすものと思われる。回分槽水位下限は処理水量を調整するものであり、こちらも負荷に伴う説明変数が現れているものと考えられる。これらの結果から、UV 値や回分槽水位、流量などの重要なパラメータに対して、曝気時間を増加/減少をすることで安定的な処理を達成していることが示唆された。

表資 3-20 目的変数に対する各説明変数の相関係数（G 処理場）

No.	説明変数	相関係数
1	流入量	-0.4594
2	放流量	-0.4758
3	流入水_水温	-0.2779
4	流入水_pH	0.3418
5	回分槽_pH	0.0903
6	回分槽_MLSS	-0.2149
7	回分槽_SV	-0.2332
8	回分槽汚泥界面	-0.1084
9	UV 値 %	0.5206
10	放流水_pH	0.1116
11	放流水_透視度	-0.0283
12	回分槽 水位上限	-0.1002
13	回分槽 水位下限	0.3854

(6) D 処理場での対応判断・運転操作 AI の評価

AI の提示した対応判断と熟練技術者の判断の合否判定は○・×として、下記の根拠に基づき示す。

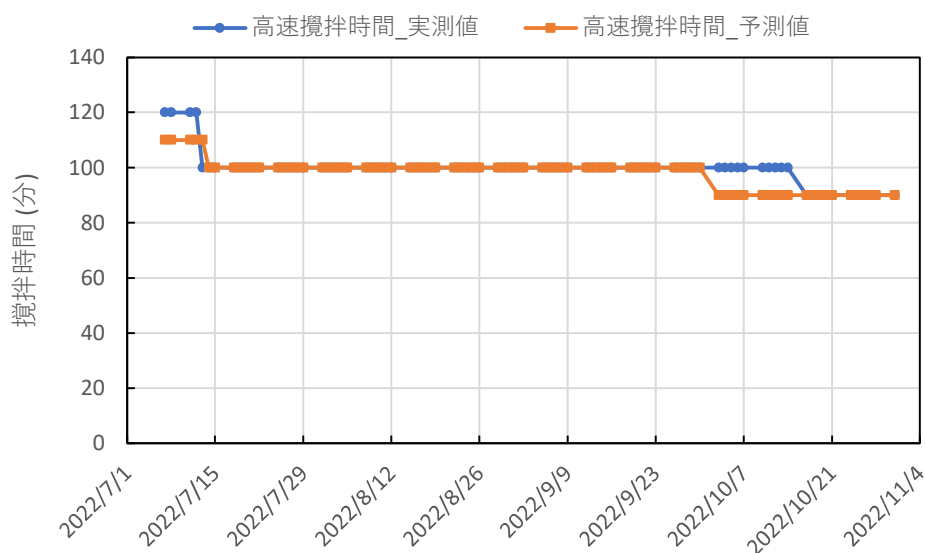
- : 熟練技術者の判断と一致
- × : 熟練技術者の判断と異なる

116 日間の実証期間で運転データがある平日の日数の計 83 点に対し推論を行い、うち 68 点で熟練技術者の判断と一致していた。その結果、表資 3-21 に示す通り一致率は 82%となった。

表資 3-21 対応判断・運転操作 AI の現地実証での検証結果 (D 処理場)

評価	回数	割合
○	68	82%
×	15	18%
合計	83	-

オフサイト実証期間の曝気装置高速撹拌時間の推論結果と運転実績を図資 3-37 に示す。高速撹拌時間の増加・維持・減少の傾向が実測値と予測値で概ね一致している。高速撹拌時間の実測値と予測値の RMSE は 4.25 分となり、高速撹拌時間の変更幅の最小値である 10 分よりも短くなった。これらの結果より、モデルが良好であることが示された。



図資 3-37 D 処理場 No. 1 曝気装置タイマー設定高速撹拌時間の対応判断 AI、運転操作 AI の推論結果と熟練技術者の判断

目的変数 (No.1 曝気装置高速撹拌時間) に対する各説明変数の相関係数を表資 3-22 に示す。流入水水温や放流水水温は比較的高い正の相関を示し、OD 槽 MLSS は比較的高い負の相関を示した。これらの結果から、水温や MLSS などの重要なパラメータに対して、高速撹拌時間を増加または減少をするこ

とで安定的な処理を達成していることが示唆された。

表資 3-22 目的変数に対する各説明変数の相関係数 (D 処理場)

No.	説明変数	相関係数
1	流入_水温	0.72
2	1 系 OD 槽_MLSS	-0.30
3	放流_水温	0.78
4	最終沈殿池_返送汚泥濃度	-0.16
5	放流_透視度	-0.06
6	最終沈殿池_返送汚泥率	-0.13

3. 3 水質予測 AI

広島市西部水資源再生センターにおける、T-N[放流水]、T-P[放流水]、pH[放流水]の3つの水質について、24 時間先、48 時間先を予測対象とした現地実証評価の結果は、**表資 3-23** に示す通り、RMSE に基づいた誤差比率の評価では $\geq 80\%$ （誤差 20%以下）の目標精度を満たしている。以下、水質ごとに予測結果の詳細を示す。

表資 3-23 水質予測 AI の現地実証評価での検証結果一覧

No	予測対象	24 時間先		48 時間先		評価	値幅
		RMSE	精度	RMSE	精度		
1	放流水 T-N [mg/L]	2.06	88%	2.47	85%	○	7.27～24.2[mg/L]
2	放流水 T-P [mg/L]	0.80	82%	0.87	80%	○	0.47～4.80[mg/L]
3	放流水 pH	0.066	89%	0.056	91%	○	6.43～7.01

※精度=100×(1-RMSE/値幅)[%]

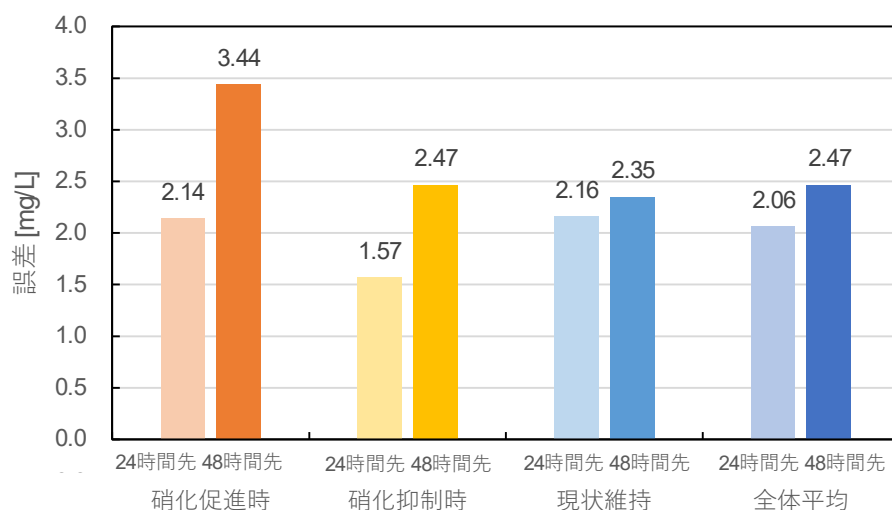
(1) T-N 予測

24 時間先、48 時間先の T-N 予測の結果を**表資 3-24**、**図資 3-38** に示す。どの項目も評価指標 $\geq 80\%$ を満たしている。また 24 時間先と比較して 48 時間先の予測精度が低いことから、予測対象時刻が予測時点から離れるにしたがって予測精度が低下する傾向が見て取れる。

表資 3-24 T-N 予測の検証結果

No	予測対象	24 時間先		48 時間先	
		RMSE	精度	RMSE	精度
1	硝化促進時	2.14	87%	3.44	80%
2	硝化抑制時	1.57	91%	2.47	85%
3	現状維持時	2.16	87%	2.35	86%
全体平均		1.89	88%	2.47	83%

T-N 変動幅 7.27~24.2 [mg/L]



図資 3-38 T-N 予測の予測誤差 (RMSE)

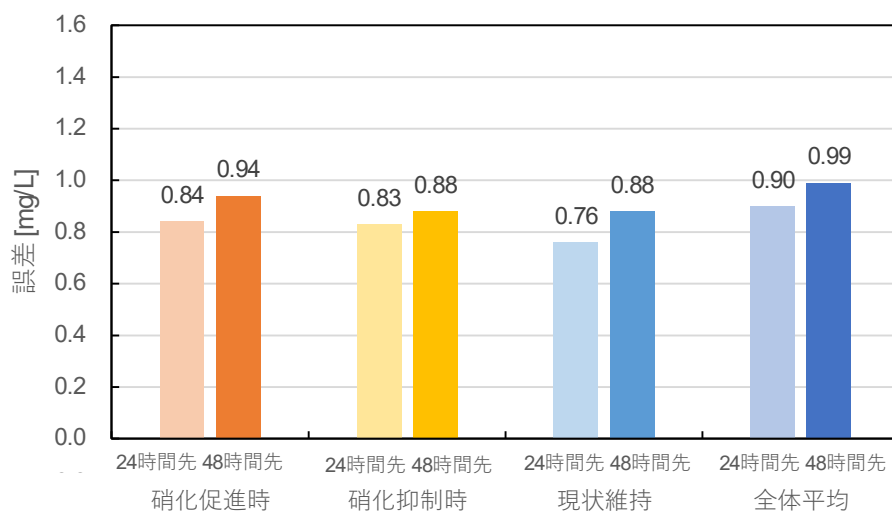
(2) T-P 予測

24 時間先、48 時間先の T-P 予測の結果を**表資 3-25**、**図資 3-39** に示す。48 時間先の現状維持時の推定精度が若干、8 割を下回っているが、それ以外のケースでは評価指標 $\geq 80\%$ を満たしている。

表資 3-25 T-P 予測の検証結果

No	予測対象	24 時間先		48 時間先	
		RMSE	精度	RMSE	精度
1	硝化促進時	0.84	81%	0.94	78%
2	硝化抑制時	0.83	81%	0.88	80%
3	現状維持時	0.76	82%	0.88	80%
全体平均		0.90	82%	0.99	80%

T-P 変動幅 0.47~4.80[mg/L]



図資 3-39 T-P 予測の予測誤差 (RMSE)

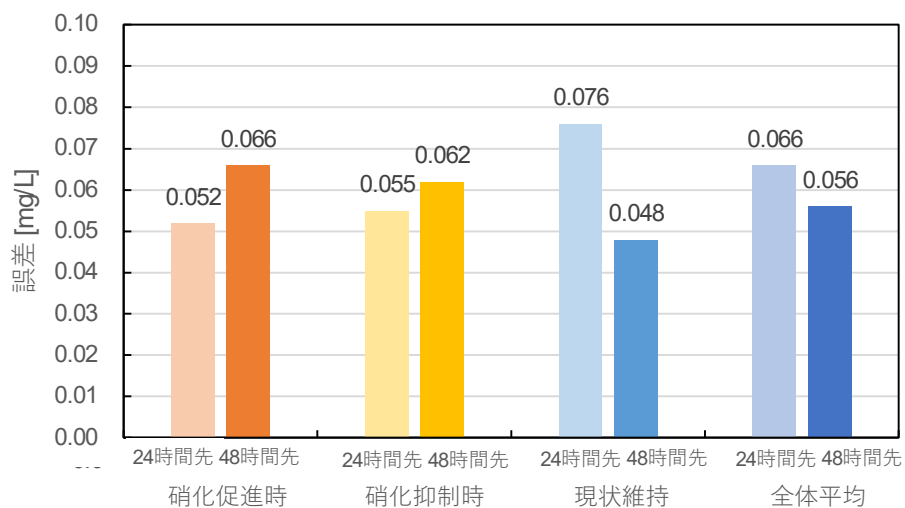
(3) pH 予測

24 時間先、48 時間先の pH 予測の結果を表資 3-26、図資 3-40 に示す。どの項目も評価指標 $\geq 80\%$ を満たしている。また、現状維持と全体平均については、48 時間先の予測結果がわずかながら上昇を示した。

表資 3-26 pH 予測の検証結果

No	予測対象	24 時間先		48 時間先	
		RMSE	精度	RMSE	精度
1	硝化促進時	0.052	91%	0.066	89%
2	硝化抑制時	0.055	91%	0.062	89%
3	現状維持時	0.076	87%	0.048	91%
全体平均		0.066	89%	0.056	91%

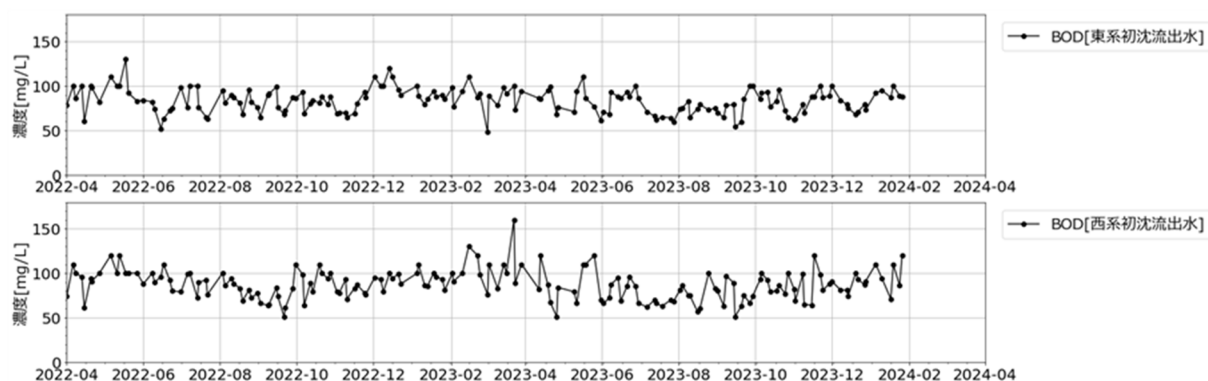
pH 変動幅 6.43~7.01



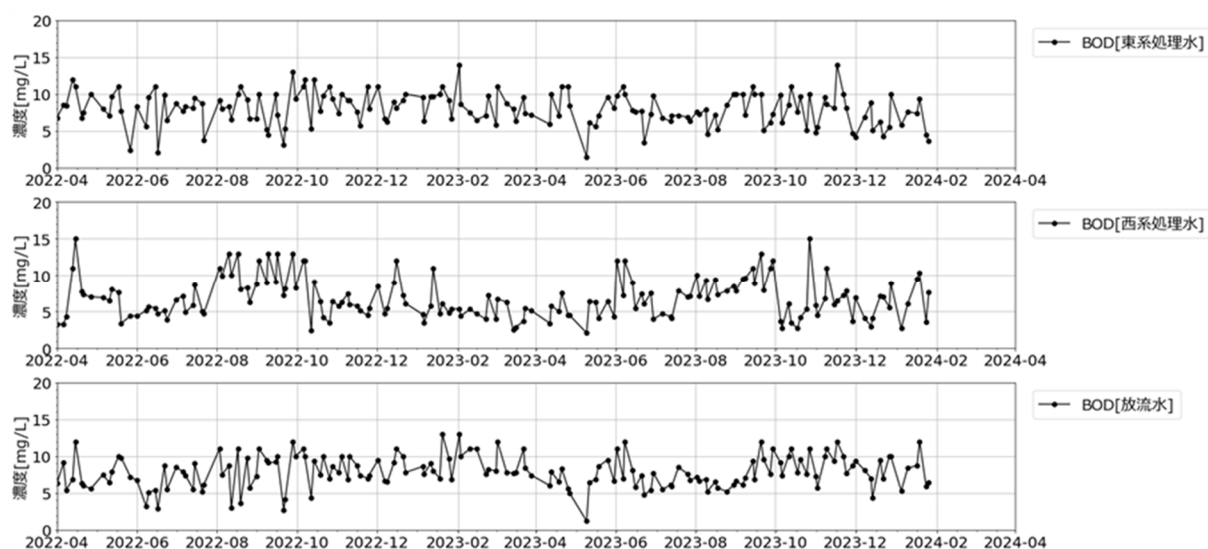
図資 3-40 pH 予測の予測誤差 (RMSE)

3. 4 処理の安定性

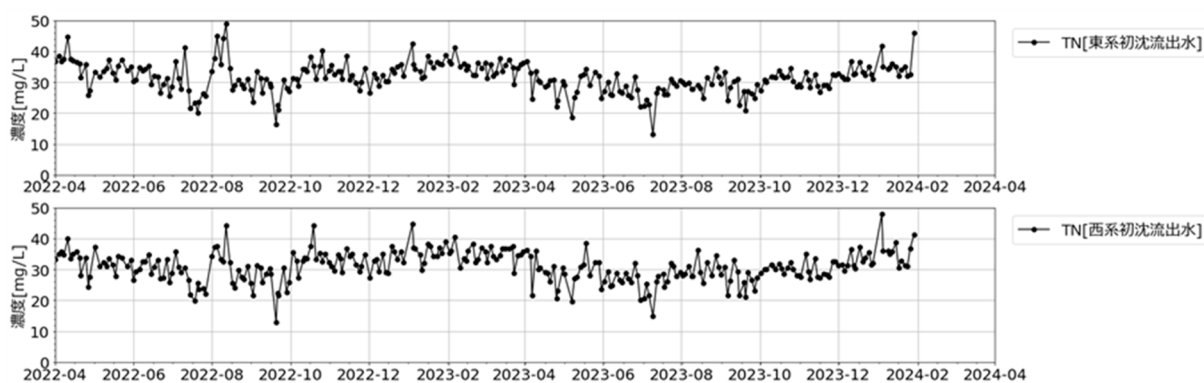
広島市西部水資源再生センターの令和4年度、令和5年度の流入水及び処理水・放流水のBOD、T-N、T-Pの推移をそれぞれ図資3-41～図資3-46に示す。令和5年度のAI実証運転は2023年5月8日～10月31日に実施した。AIによる運転期間でも熟練技術者による運転期間と比較して処理水質が悪化する傾向は見られず、AIによる運転での処理の安定性を確認した。



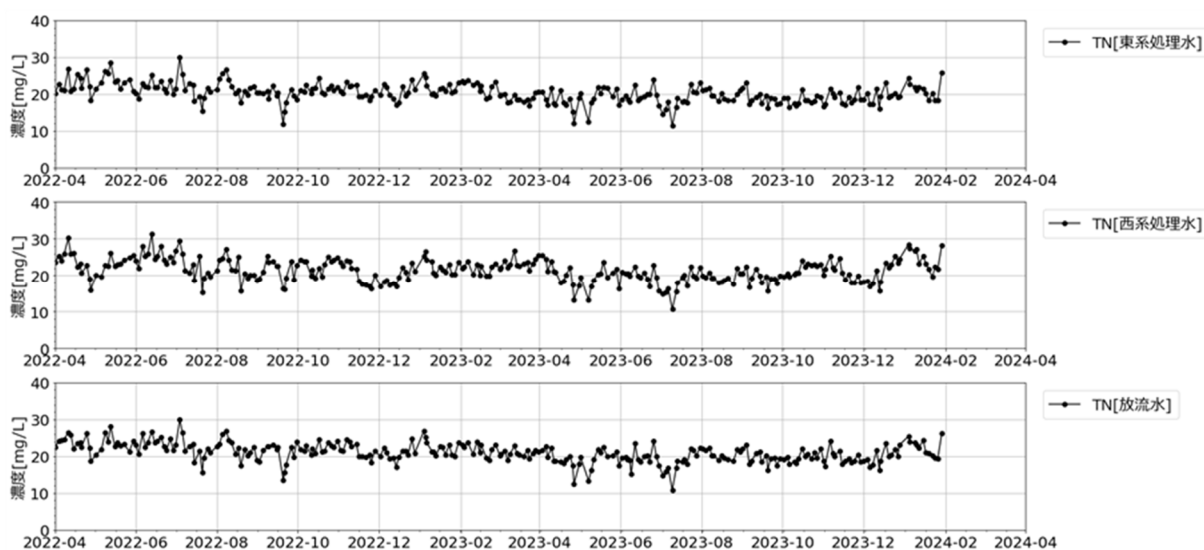
図資 3-41 広島市西部水資源再生センター流入 BOD の推移



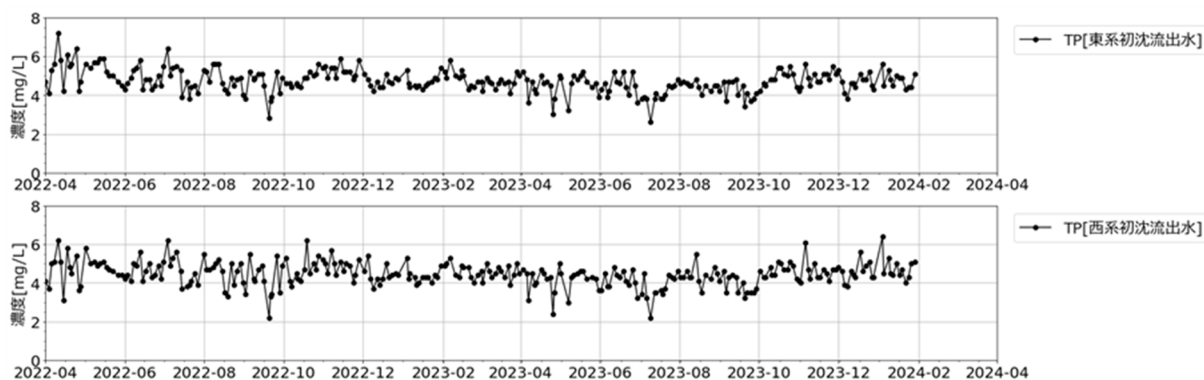
図資 3-42 広島市西部水資源再生センター処理水 BOD の推移



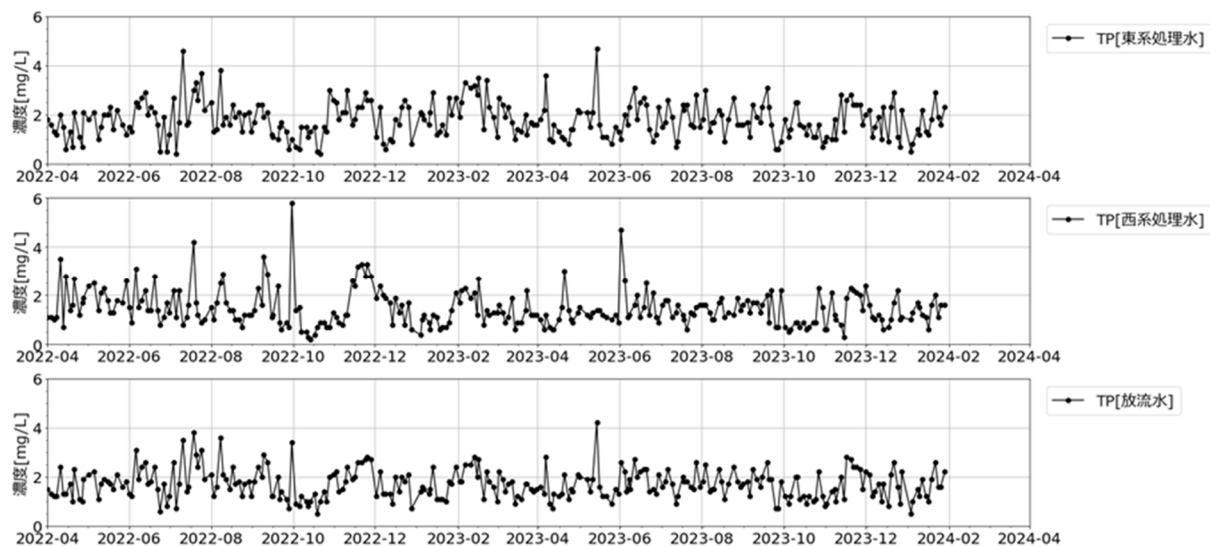
図資 3-43 広島市西部水資源再生センター流入 T-N の推移



図資 3-44 広島市西部水資源再生センター処理水 T-N の推移



図資 3-45 広島市西部水資源再生センター流入 T-P の推移



図資 3-46 広島市西部水資源再生センター処理水 T-P の推移

4 N₂O 発生量の把握

4. 1 背景

一酸化二窒素（N₂O）は温室効果が CO₂ の約 300 倍と温室効果の高いガスとして知られており、2050 年のカーボンニュートラル達成に向けて排出量を削減していく必要がある。下水処理の過程では、水処理工程や汚泥焼却工程で発生することが知られており、水処理工程での N₂O による温室効果ガス発生量は下水道事業から発生する温室効果ガスの約 7.4%を、汚泥焼却工程では約 20.4%を占める。

水処理工程で発生する N₂O は、アンモニアの硝化過程や、脱窒過程で発生することが知られている。これまで N₂O 排出量に関して、様々な処理方式での調査や、反応槽間での違いの調査、季節変動の調査などが行われてきた。しかしながら、それらの調査はスポットでのサンプル採取による調査が多く、日中で数点、年間で数日のデータしか取れていない場合が多い。N₂O 排出量の日変動や季節変動、降雨の影響などを正確に評価していくためにも、N₂O を連続的にモニタリングしていくことが望ましいと考えられる。

下水処理工程の N₂O の連続測定は国内外でいくつかの調査の事例がある。それらの事例を参考に、今回 AI 運転期間と熟練技術者運転期間で N₂O を連続的に測定し、AI 適用により N₂O による温室効果ガス排出量が増加するかどうか調査することとした。

4. 2 実験方法

（1）調査対象・調査期間

N₂O 排出量の連続測定は広島市西部水資源再生センターの 3 系水処理設備で実施した。N₂O の排出先としてガス態での発生ガスへの排出と、溶存態での処理水への排出がある。そのため、**図資 4-1** のように 3 系水処理設備の脱臭装置入口（脱臭ファン出口）でガス態 N₂O を、3 系水処理設備の最終沈殿池上向流部分で溶存態 N₂O を連続的に測定した。

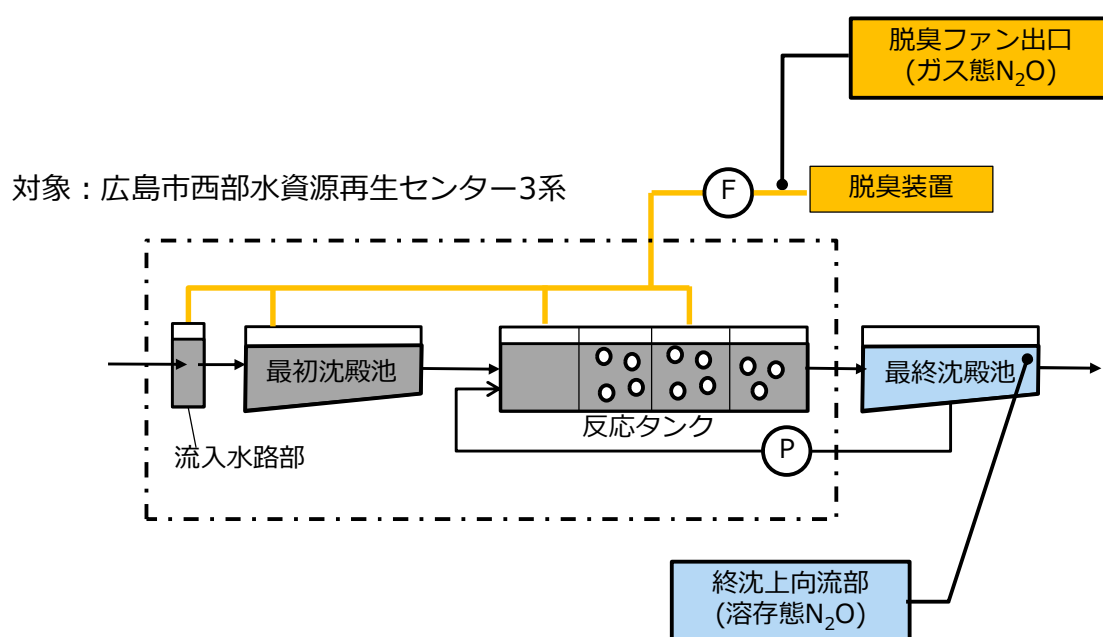
令和 5 年度の調査期間は**表資 4-1** のように、令和 4 年度末に発生したガス態 N₂O 計の故障を修理した後、2023 年 5 月 23 日～2024 年 2 月 7 日とした。N₂O 調査期間内での熟練技術者運転期間は 2023 年 11 月 1 日～2024 年 2 月 7 日、AI 運転期間は 2023 年 5 月 23 日～2023 年 10 月 31 日である。なお、2023 年 10 月 6 日～2023 年 10 月 10 日、2023 年 10 月 31 日～2023 年 11 月 7 日、2023 年 11 月 24 日～2023 年 11 月 28 日は停電によりガス態 N₂O 濃度および溶存態 N₂O 濃度データの欠損、2023 年 5 月 29 日～2023 年 6 月 7 日、2023 年 6 月 19 日～2023 年 6 月 26 日、2023 年 8 月 1 日～2023 年 8 月 8 日、2023 年 9 月 15 日～2023 年 9 月 21 日は溶存態 N₂O 測定装置のフリーズにより溶存態 N₂O 濃度データの欠損となった。

表資 4-1 N₂O 測定期間

2022年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
運転	熟練	熟練	熟練	AI	AI	AI	AI	熟練	AI	AI	熟練	熟練
N ₂ O測定								11/10			2/26	※1

2023年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
運転	熟練	AI	AI	AI	AI	AI	AI	熟練	熟練	熟練	熟練	熟練
N ₂ O測定	※1	5/23									2/7	

※1：2023/2/26にガス態N₂O計が故障 3月、4月で修理



図資 4-1 N₂O 測定箇所

(2) ガス態 N₂O 測定方法

ガス態 N₂O は 3 系水処理設備の脱臭装置入口（脱臭ファン出口）から測定した。図資 4-2 にガス態 N₂O の測定システムを示す。脱臭ファンにより吸引されている脱臭ガスは、流入水路部、最初沈殿池、反応タンクから発生したガスとなっている。脱臭ダクトは図資 4-2 に示すように、流入水路部、最初沈殿池、反応タンク前段、反応タンク中段に接続されており、各部分では（一部見学箇所を除いて）覆蓋がされている。

脱臭ファン出口と脱臭装置入口を繋ぐ脱臭配管にある既設サンプリングロを分岐し、脱臭ガスをガス態 N₂O 測定装置に供した。ガス態 N₂O 測定装置の前段にはミストトラップ、活性炭フィルターを設置し、脱臭ガスに含まれる水分や H₂S を除去した。ガス態 N₂O 測定装置本体を図資 4-3 に示す。ガス態 N₂O 測定装置はサンプリングユニットと分析ユニットに分けられる。サンプリングユニットでは試料ガスを一定の流量で採取し、分析ユニットでは試料ガスの対象物質の濃度を赤外線吸収方式にて測定する。

サンプリングユニットは堀場製作所製の VS-5001、分析ユニットは堀場製作所製の VA-5001 を使用した。サンプリングユニットの流量は 0.5 L/min とした。分析ユニットの N₂O 測定レンジは 0~100 ppm とした。分析ユニットの測定間隔は 1 分とした。ガス態 N₂O 測定装置による脱臭ガスの連続測定に加えて、月に 1 回ほどスポットで脱臭ガスのサンプリングを行い、ガスクロマトグラフでのクロスチェックを行った。直近のクロスチェック結果をもとに脱臭ガスのガス態 N₂O 濃度の補正を行った。

ガス態 N₂O 測定装置で測定した N₂O 濃度を標準状態での濃度に換算するため、ミストトラップと活性炭フィルターの間で、脱臭ガスの温度と圧力を測定した。脱臭ガスの温度は、ティアンドデイ製のサーミスタ式温度計 RTR-52A を用いて測定した。脱臭ガスのゲージ圧は、A-Gas Japan 製の圧力計 PS100-2BAR を用いて測定し、広島市西部水資源再生センター内で測定されている大気圧と合計して絶対圧とした。脱臭ガスの温度、ゲージ圧の測定間隔は 5 分とした。

N₂O 排出量の算出に用いる脱臭ガス流量は、令和 4 年度では 3 系曝気風量としていたが、曝気風量だけでは過小評価となる可能性があった。そのため、後述の脱臭ダクト内の風速測定を行いその結果に基づき、脱臭ガス流量は脱臭ファンの定格能力とした。過去の N₂O 排出量として参照している令和 4 年度のデータも今回のまとめでは、脱臭ガス流量を脱臭ガスの定格能力として用い、まとめ直した。

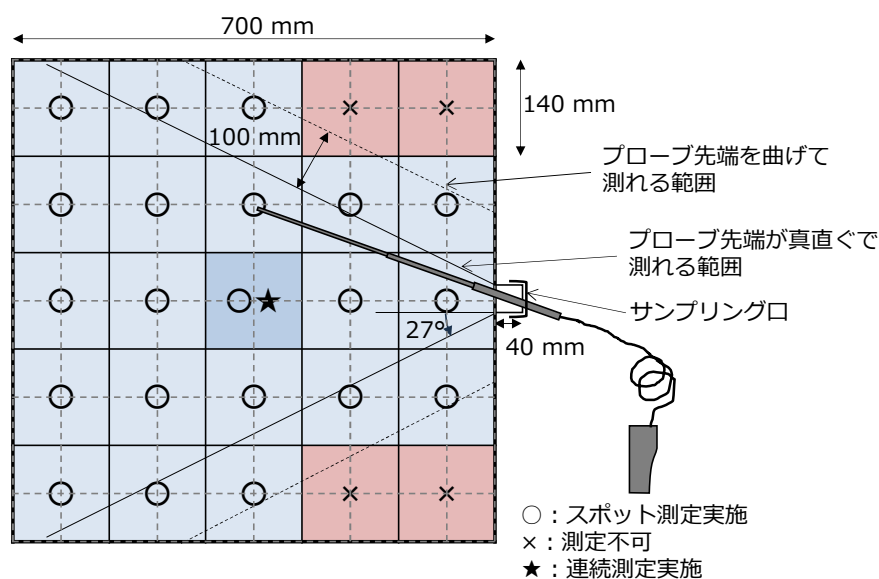
脱臭ガス流量は脱臭ダクト断面の複数点の風速を測定するスポット測定と、脱臭ダクト断面の 1 点を連続的に測定する連続測定の 2 種類で調査した。スポット測定は、JIS B 8330:2000 送風機の試験及び検査方法の解説部分を参考に、脱臭ダクト内の断面を等面積に分割し、その各中心点の風速の平均値に断面積を掛けることで算出した。脱臭ガス流量を測定する脱臭ダクトは脱臭設備後段の直管部とした。脱臭ダクトの断面は 700 mm×700 mm であったため、140 mm 四方の 25 個の正方形に分割し、サンプリング口から測定可能な 21 か所について風速測定を行った。このスポット測定を 3 回実施し、脱臭ファンの定格能力と比較した。連続測定は、ダクト内の代表点 1 点で 1 分間隔、24 時間風速を測定し、脱臭ファンの定格能力と比較した。ダクト内の代表点はダクト断面の中心とした。脱臭ダクト内風速測定の模式図を図資 4-4 に示す。風速はカノマックス製の熱式風速計 ANEMOMASTER 6036-A0 を用いて測定した（図資 4-5）。

脱臭ガスからの N₂O 排出量は、標準状態に換算した脱臭ガス N₂O 濃度に脱臭ガス流量（脱臭ファンの定格能力）を掛けて算出した。

水処理工程から発生するガス態 N₂O を評価するために、脱臭ガスの測定で算出された N₂O 排出量から、微量ではあるが、曝気空気中にもともと含まれている N₂O 濃度の影響を差し引いた。広島市西部水資源再生センター内の大気中の N₂O 濃度はスポット採取にて複数回（令和 5 年度は 2023 年 1 月末までで 6 回）測定した。大気中の N₂O 濃度は広島市西部水資源再生センター内で測定されている気温、大気圧を用いて標準状態での濃度に換算した。

曝気空気中にもともと含まれている、ブロウによって吸い込まれた N₂O 量は、標準状態に換算した大気中の N₂O 濃度に脱臭ガス流量（脱臭ファンの定格能力）を掛けて算出した。

水処理工程から発生するガス態 N₂O は、発生量を通水量で除し、通水量当たりのガス態 N₂O 発生量として評価した。



図資 4-4 ダクト内風速測定の模式図



図資 4-5 ダクト内風速測定で用いた熱式風速計

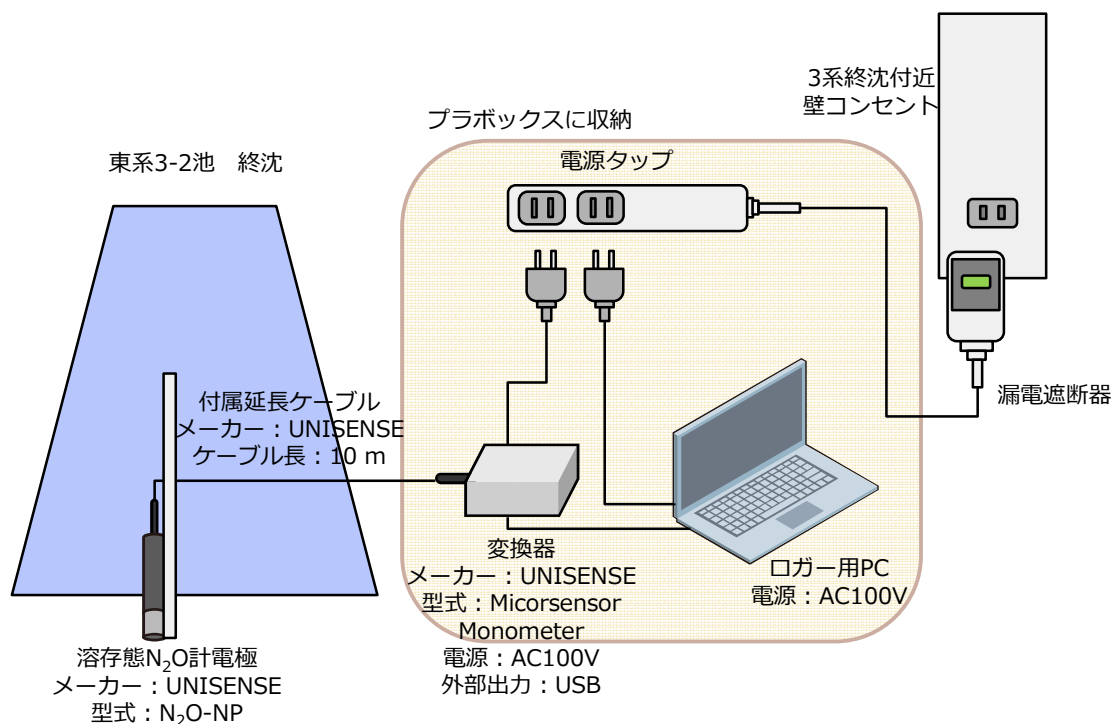
(3) 溶存態 N_2O 測定方法

溶存態 N_2O は 3 系水処理設備の最終沈殿池上向流部分で測定した。3 系水処理設備は 5 池で構成されているが、代表として 3-2 池に溶存態 N_2O 電極を設置した。図資 4-6 に溶存態 N_2O の測定システムを示す。

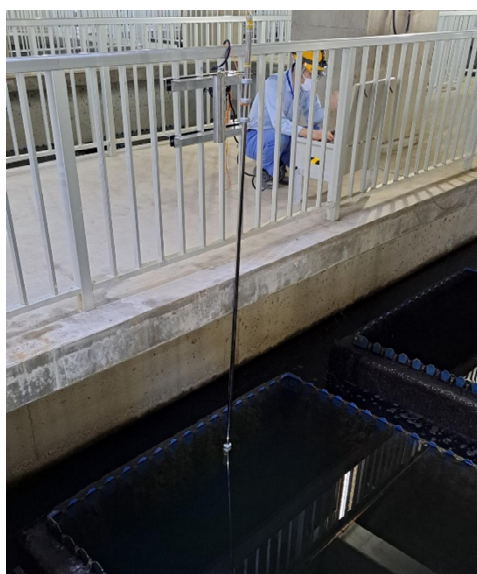
処理水の溶存態 N_2O 濃度は UNISENSE 製のクラーク電極 N_2O -NP を用いて測定した。溶存態 N_2O 電極本体を図資 4-7 に示す。電極の測定レンジは 4.4～22,000 $\mu\text{g/L}$ である。測定間隔は 1 分とした。溶存態 N_2O 電極による処理水の連続測定に加えて、月に 1 回ほどスポットで処理水のサンプリングを行

い、ガスクロマトグラフでのクロスチェックを行った。直近のクロスチェック結果をもとに処理水の溶存態 N_2O 濃度の補正を行った。

水処理工程から発生する溶存態 N_2O は、処理水の溶存態 N_2O 濃度に通水量を掛け合わせることで発生量とし、またこれを通水量で除すことで、通水量当たりの溶存態 N_2O 発生量として評価した（測定した濃度そのものが通水量当たりの溶存態 N_2O 発生量となる）。



図資 4-6 溶存態 N_2O 測定システム



図資 4-7 溶存態 N_2O 電極

4. 2 測定結果

(1) 脱臭ガス流量

脱臭ダクト内風速測定のスポット測定の風速分布の例を図資 4-8 に示す。概ねダクト内の端では風速が小さく、やや上部寄りの中心部では風速が大きいことが確認された。これらの結果を流量としてまとめ、3 回測定した結果を図資 4-9 に示す。3 回の測定結果はそれぞれ 377、346、349 m³/min となっており、概ね変動は無かった。脱臭ファン定格能力が 350 m³/min であったのに対して、3 回の測定結果の平均値は 344 m³/min となり、定格能力の 98%ほどであった。

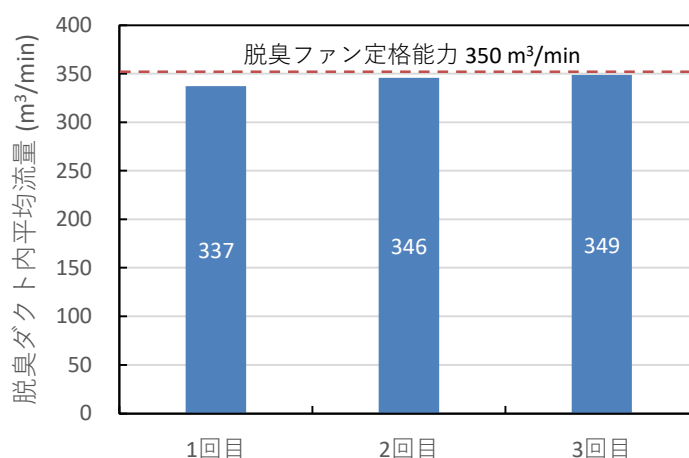
脱臭ダクト内風速測定の連続測定の結果を図資 4-10 に示す。連続測定は脱臭ダクト断面の中心で行ったが、中心部の風速から全体の平均流量への換算は、3 回のスポット測定での中心部の風速と全体の平均風速の比率から換算し、脱臭ダクトの断面積を掛けることで行った。24 時間の連続測定でも概ね流量に変動は無く、平均で 345 m³/min と、脱臭ファン定格能力の 99%ほどであった。

以上の結果から、脱臭ガスの流量は脱臭ファン定格能力とほぼ同等であることが分かり、以降のガス態 N₂O 排出量の算出で用いる脱臭ガス流量は、脱臭ファン定格能力 (350 m³/min) とした。

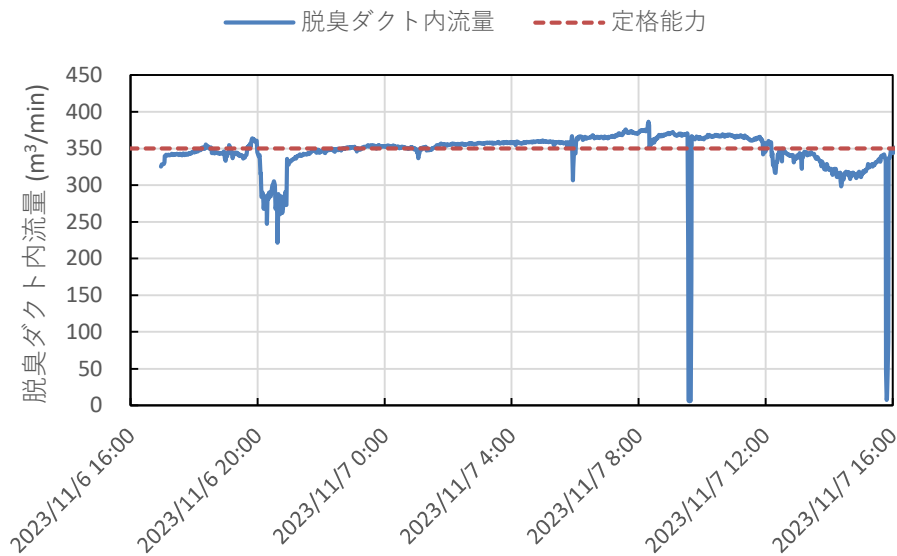
8.9	11.0	12.0		
13.3	14.1	13.1	14.2	12.1
10.2	11.0	13.7	11.3	12.4
10.3	11.6	11.8	11.3	9.7
9.3	9.9	9.6		

風速測定結果 (m/s)

図資 4-8 脱臭ダクト内風速測定 スポット測定での風速分布の例



図資 4-9 脱臭ダクト内風速測定 スポット測定結果

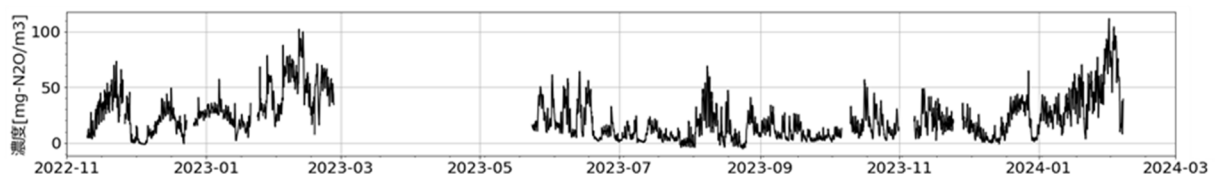


図資 4-10 脱臭ダクト内風速測定 連続測定結果

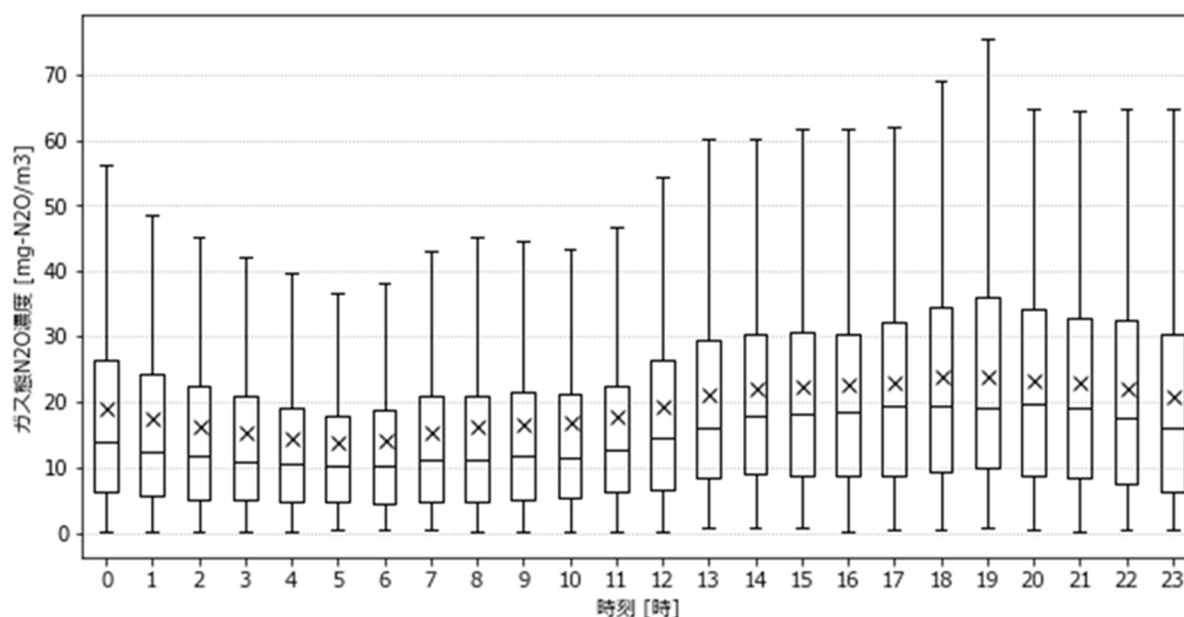
(2) ガス態 N_2O 測定結果

令和 4 年度も含めた調査期間全体でのガス態 N_2O 濃度（標準状態変換、クロスチェック補正後）の推移を図資 4-11 に、各時間帯におけるガス態 N_2O 濃度の箱ひげ図（外れ値を除く）を図資 4-12 に示す。ガス態 N_2O 濃度は $0 \sim 112 \text{ mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ で推移し、図資 4-12 に示すように概ね夕方時間帯に高濃度（19 時に平均値が最大）に、明け方の時間帯に低濃度（5 時に平均値が最小）になっていた。連続的な N_2O の測定により、日間でもガス態 N_2O 濃度は大きく変動することがわかった。広島市西部水資源再生センターの東系では放流流量が 23 時頃に最大となり、7 時頃に最小となる傾向となっている。また、水量と N_2O 濃度の間には相関が見られた。

スポット採水でのガス態 N_2O 濃度のクロスチェックの結果、スポット採水での測定値とガス態 N_2O 装置での測定値の乖離は小さく、平均 5%（-39～+56%）であった。

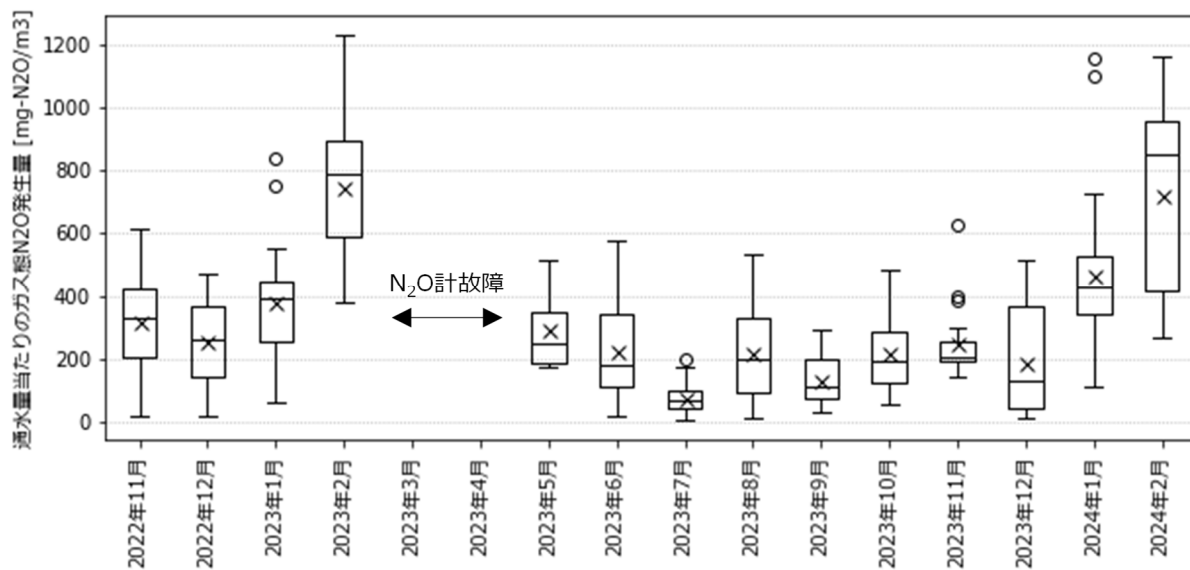


図資 4-11 ガス態 N_2O 濃度の推移

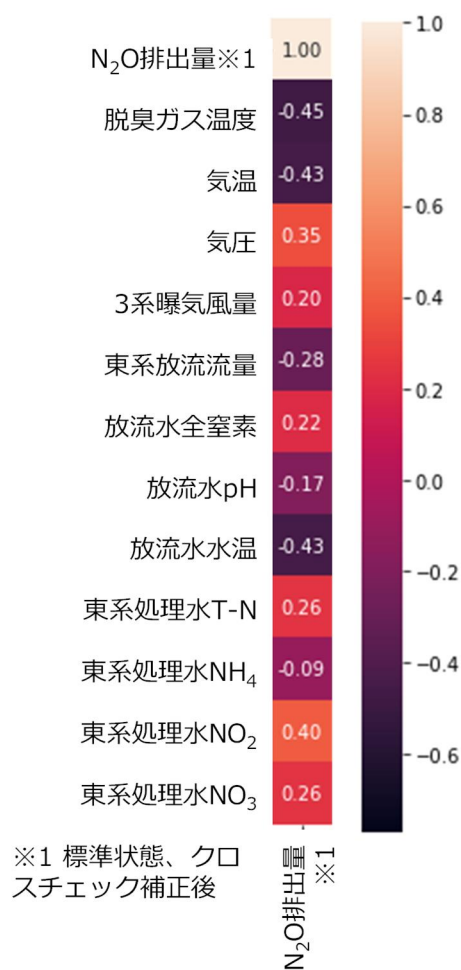


図資 4-12 各時間帯におけるガス態 N₂O 濃度の箱ひげ図（外れ値を除く）

月毎における通水量あたりのガス態 N₂O 排出量の箱ひげ図を図資 4-13 に示す。概ね 1 月から 2 月の冬季に N₂O 排出量が増加し、7 月から 8 月の夏季に N₂O 排出量が低減する傾向が確認された。通水量あたりのガス態 N₂O 排出量と気温や水質、曝気風量や水量などのデータとの相関を確認したところ、通水量あたりのガス N₂O 排出量は脱臭ガス温度、気温、放流水水温のような温度データと負の相関が大きくなっていた（図資 4-14）。これまで報告されている通り、水温の低下により N₂O 排出量が多くなるという傾向が確認できた。また、水質については処理水の亜硝酸性窒素濃度と比較的大きな正の相関関係が確認できた。反応タンクでの亜硝酸性窒素濃度は今回調査できていないが、広島市西部水資源再生センターの 3 系水処理設備は疑似嫌気好気法により運転されており、窒素処理に関しては完全硝化を行わず、アンモニア性窒素の形で窒素の多くを排出している。亜硝酸性窒素の蓄積が確認されるような硝化の不完全な運転では N₂O 排出量が増加し易いことが知られており、処理水の亜硝酸性窒素増加に伴い N₂O 排出量が増加したものと考えられる。



図資 4-13 通水量当たりのガス態 N₂O 排出量の推移

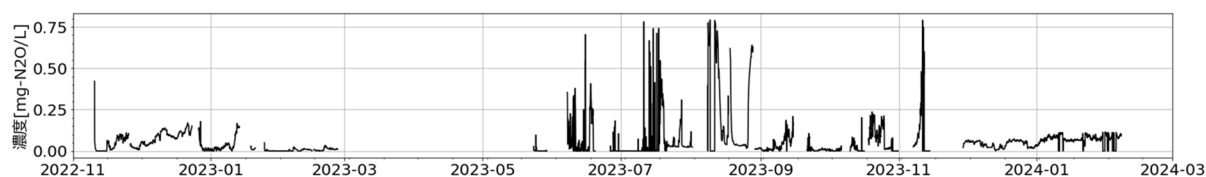


図資 4-14 通水量当たりのガス態 N₂O 排出量と気温、風量、水量、水質等との相関係数

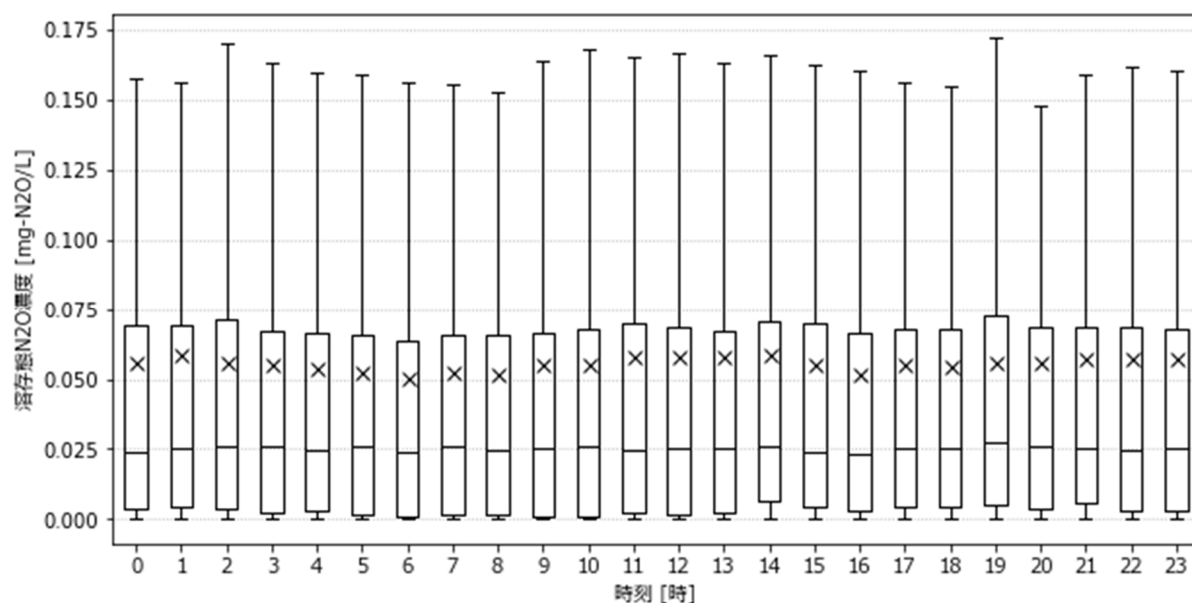
(3) 溶存態 N₂O 測定結果

令和 4 年度も含めた調査期間全体での溶存態 N₂O 濃度（クロスチェック補正後）の推移を図資 4-15 に、各時間帯における溶存態 N₂O 濃度の箱ひげ図（外れ値を除く）を図資 4-16 に示す。溶存態 N₂O 濃度は 0～0.79 mg-N₂O/L で推移していた。図資 4-16 に示すように溶存態 N₂O では、ガス態 N₂O でみられたような日間での大きな変動の傾向は確認されなかった。

N₂O 電極での溶存態 N₂O の測定値は、クロスチェックの結果、スポット採水での測定値との乖離が激しかった（誤差-1,500～192,000%）。

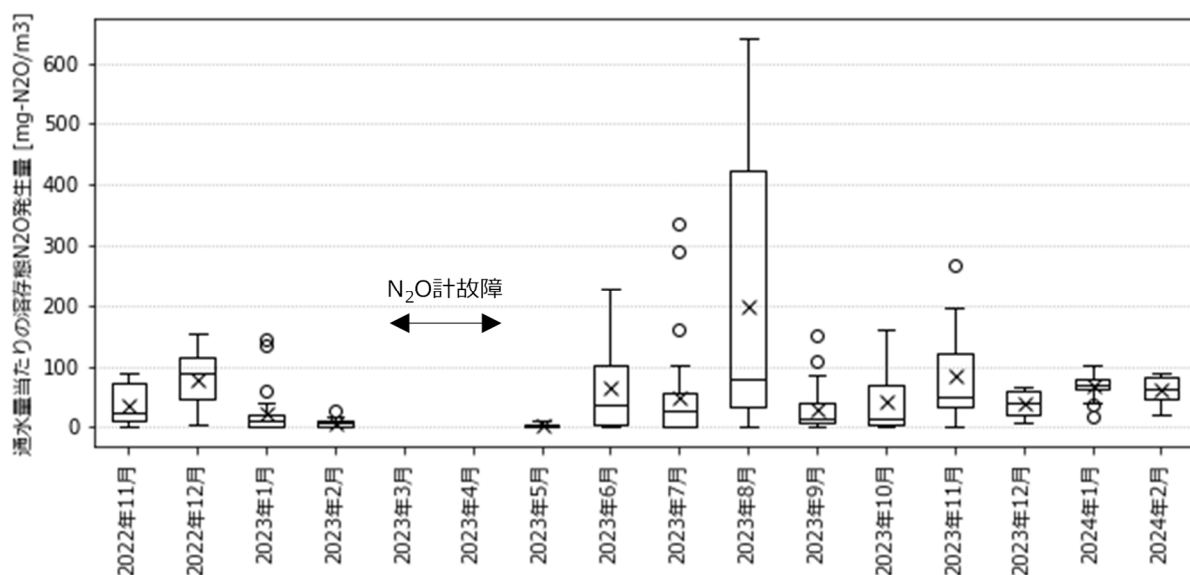


図資 4-15 溶存態 N₂O 濃度の推移



図資 4-16 各時間帯における溶存態 N₂O 濃度の箱ひげ図（外れ値を除く）

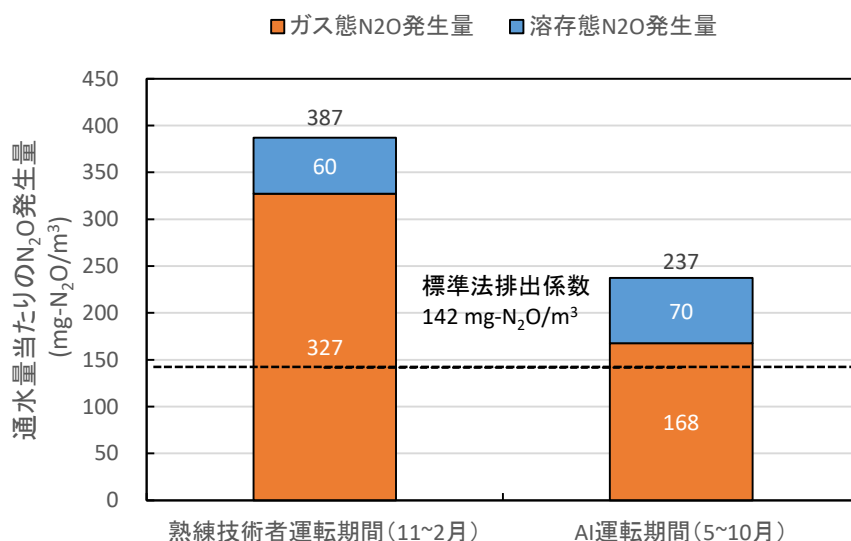
月毎における通水量あたりの溶存態 N₂O 排出量の箱ひげ図を図資 4-17 に示す。ガス態 N₂O 排出量で確認されたような冬季の N₂O 排出量増加は確認されなかったが、2023 年 8 月に比較的排出量が多くなっていた。2023 年 8 月下旬までは 3 系 DO 設定推論の AI に必要空気量による制限要素を組み込んでおらず、2023 年 8 月の曝気風量は熟練技術者の考える適正な風量より大きくなる機会が多かった。そのため、過曝気気味な機会が多かったと考えられ、溶存態 N₂O 排出量が増加したものと考えられる。



図資 4-17 通水量当たりの溶存態 N₂O 排出量の推移

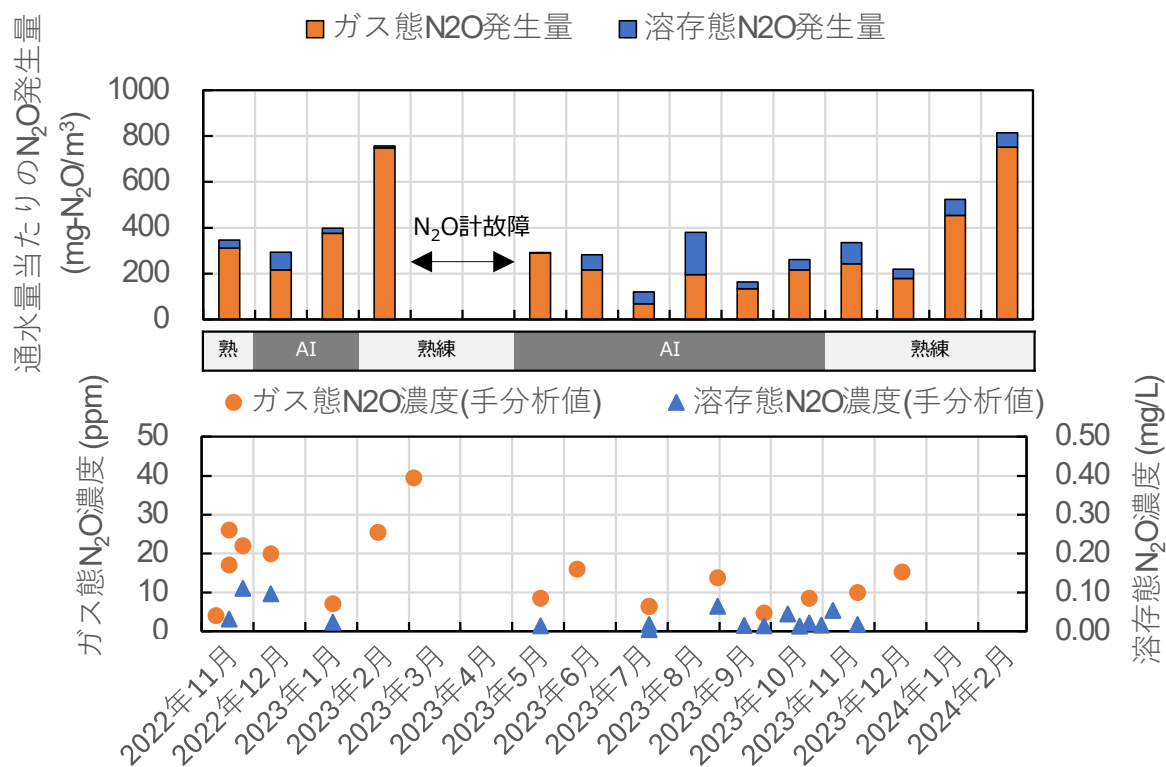
(4) 水処理工程での N₂O 排出量、N₂O 由来の温室効果ガス排出量

令和 5 年度の熟練技術者運転期間、AI 運転期間でのガス態、溶存態を合計した通水量当たりの N₂O 排出量の比較を図資 4-18 に示す。下水処理に伴う N₂O の排出係数のうち、標準法でのガス態 N₂O の排出係数は 142 mg-N₂O/m³ であるが、AI 運転期間においても、熟練技術者運転期間においても通水量当たりの N₂O 排出量は 142 mg-N₂O/m³ を超過しており、熟練技術者運転期間で 327 mg-N₂O/m³、AI 運転期間で 168 mg-N₂O/m³ であった。また、ガス態、溶存態の合計では熟練技術者運転期間で 387 mg-N₂O/m³、AI 運転期間で 237 mg-N₂O/m³ と AI 適用により N₂O 排出量は増加しないことが確認された。しかしながら、熟練技術者運転期間は AI 実証の都合冬季が多かったこともあり、水温低下により N₂O 排出量が多くなったものと考えられる。



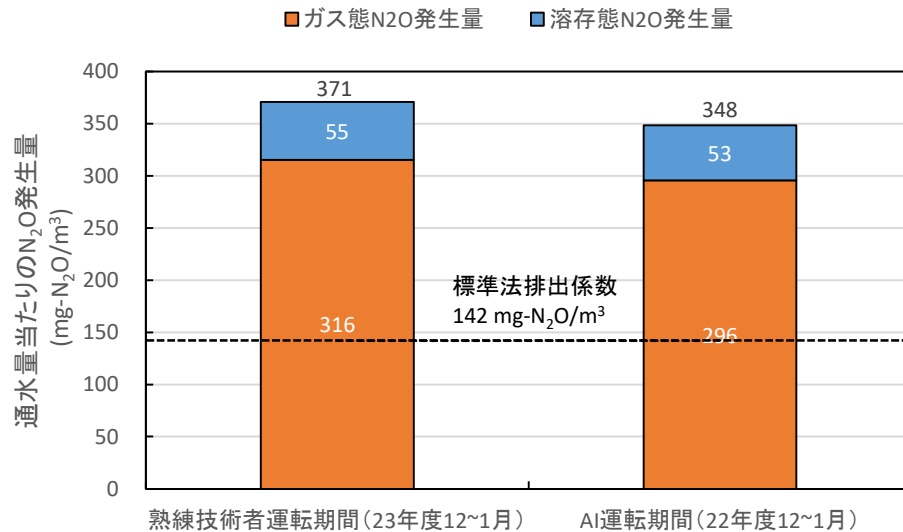
図資 4-18 令和 5 年度の熟練技術者運転期間、AI 運転期間での通水量当たりの N₂O 排出量の比較

令和 4～5 年度の月毎における熟練技術者運転期間、AI 運転期間のガス態、溶存態の通水量当たりの N_2O 排出量とクロスチェックで測定したガス態、溶存態 N_2O 濃度の推移を図資 4-19 に示す。冬季で N_2O 排出量は増加し、夏季で N_2O 排出量は減少する傾向が確認できる。溶存態 N_2O 排出量はガス態 N_2O 排出量に対し平均 26%ほどであった。



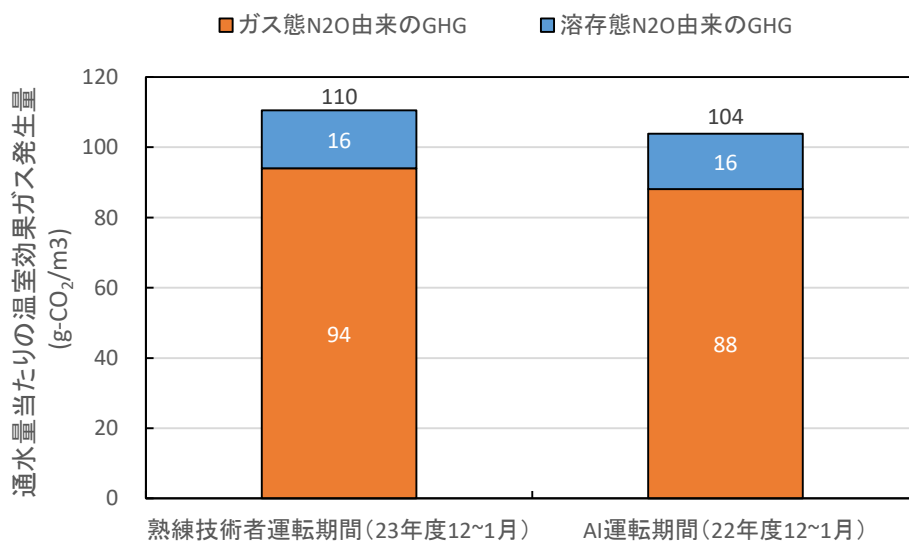
図資 4-19 令和 4～5 年度の通水量当たりの N_2O 排出量の推移（上）と
クロスチェックで測定したガス態、溶存態 N_2O 濃度の推移（下）

令和 4 年度と令和 5 年度の 12 月と 1 月は、令和 4 年度では AI 運転期間、令和 5 年度では熟練技術者運転期間と、同じ月で運転指示者が異なっていた（表資 4-1）。そのため、水温の影響を除いた比較ができると考え、令和 4 年度の 12 月～1 月と、令和 5 年度の 12 月～1 月の N_2O 排出量のデータを比較した（図資 4-20）。その結果、ガス態 N_2O 排出量は熟練技術者運転期間で $316 \text{ mg-}\text{N}_2\text{O}/\text{m}^3$ 、AI 運転期間で $296 \text{ mg-}\text{N}_2\text{O}/\text{m}^3$ とほぼ同等、ガス態、溶存態 N_2O 排出量の合計でも熟練技術者運転期間で $371 \text{ mg-}\text{N}_2\text{O}/\text{m}^3$ 、AI 運転期間で $348 \text{ mg-}\text{N}_2\text{O}/\text{m}^3$ とほぼ同等となった。以上の結果から、AI の適用により N_2O 排出量は増加しないと考えられる。



図資 4-20 令和 4 年度 12～1 月、令和 5 年度 12～1 月のみで比較した通水量当たりの N_2O 排出量の比較

図資 4-20 の N_2O 排出量の結果に N_2O の地球温暖化係数 298 を乗じ、熟練技術者運転期間、AI 運転期間での N_2O 由来の温室効果ガス排出量の比較を図資 4-21 に示す。AI の適用により N_2O 由来の温室効果ガス排出量は増えることが無いことが確認できた。



図資 4-21 熟練技術者運転期間、AI 運転期間での通水量当たりの N_2O 由来の温室効果ガス排出量の比較

2. 経費回収年の検討

1.1 革新的技術を用いた設置及び運転に係るコスト構造の把握及び縮減方策

(1) AI 設置及び運転に係るコスト構造の把握

AI 設置及び運転に係るコストは、イニシャルコスト、ランニングコストが挙げられる。

イニシャルコストの内訳は、産業用コンピュータ、AI プログラミング費用、カメラ、画像ソフト費用、工事費等である。なお、AI プログラミング費用はフィールドのデータ項目数（1,550 項目）からプラント運転状況を把握し、入力項目候補の選定および洗い出しの工数から算出した。

ランニングコストの内訳は、PC 消耗品交換、AI メンテナンスとしてイニシャルコストの 3%を見込むものとした。なお、AI メンテナンスでは定期的なパラメータ確認および調整（季節、運用の変化など）を行う。

以上より算出した AI 導入費用を表資 5-1 に示す。

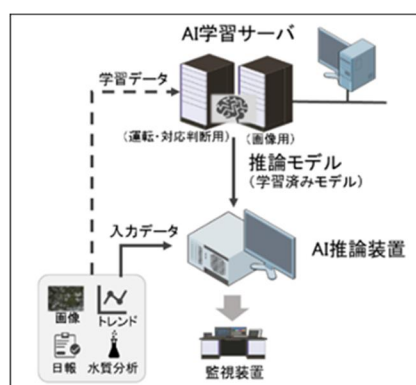
表資 5-1 AI 導入費用

項目	内訳	AI 導入費用 (水処理の運転操作に係る)
①イニシャルコスト (AI 設置費用)	・ AI 装置費用 ・ AI 用周辺装置費用 ・ AI 設定費用 ・ 工事費用	80 百万円
②ランニングコスト (AI 運用費用) (年価)	・ AI 装置保守費用 ・ AI 用周辺装置保守費用 ・ AI 再設定費用	2.4 百万円

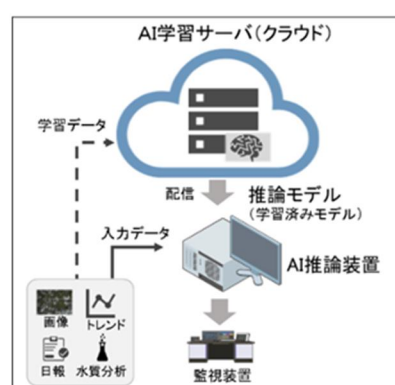
(2) AI コスト縮減方策

前項 AI は図資 5-1 左側に示すオンプレミス型システムを想定している。このシステム構成は、高性能な AI 学習サーバを処理場に個別に設置し、推論モデルを構築する手法である。この場合、AI 導入費用の大半を高性能な AI 学習サーバが占めることになり、イニシャルコストの増大を招いていた。

イニシャルコストの縮減を図るために、導入費用の大半を占める AI 学習サーバをクラウド型（図資 5-1 右側）のシステム構成を検討する。



オンプレミス型システム構成図



クラウド型システム構成図

図資 5-1 AI 装置システム構成図

クラウド型システムの場合の AI 導入費用を表資 5-2 に示す。クラウド型システムは、オンプレミス型システムと比べて下記の特徴があり、結果としてオンプレミス型の従来のシステムと比較して AI 導入費用を抑えることができる。

【クラウド型システムの特徴】

- ・高性能な AI 学習サーバを個別に設ける必要がなく設備投資費が抑えられる
- ・通信 (AI 推論モデルの配信) にかかる費用は現在様々な格安プランがあり低く抑えることができる。

表資 5-2 AI 導入費用 (クラウド型システム)

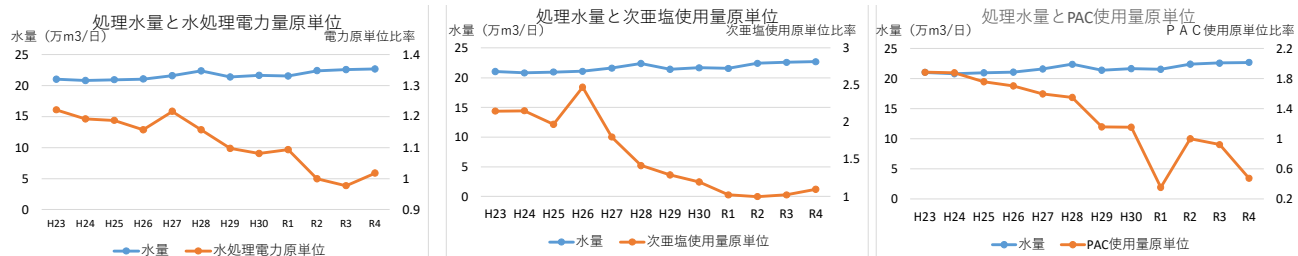
項目	内訳	AI 導入費用 (水処理の運転操作に係る)
①イニシャルコスト (AI 設置費用)	・AI 装置費用 ・ AI 用周辺装置費用 ・ AI 設定費用 ・ 工事費用	50 百万円
②ランニングコスト (AI 運用費用) (年価)	・ サーバ利用費用 ・ 通信費用 ・ AI 装置保守費用 ・ AI 用周辺装置保守費用 ・ AI 再設定費用	3.5 百万円

(オンプレミス型システムとの内訳の違いは赤字で示す)

1.2 電力消費量・薬品使用量の整理

(1) 広島市西部水資源再生センター

広島市西部水資源再生センターにおける流入水量・電力・薬品消費量について、平成23年度以降の整理結果を図資5-2に示す。グラフ中、水色の折れ線は処理水量を示しており、やや増加傾向である。橙色の折れ線は水処理電力・次亜塩・PACの処理原単位を示している。

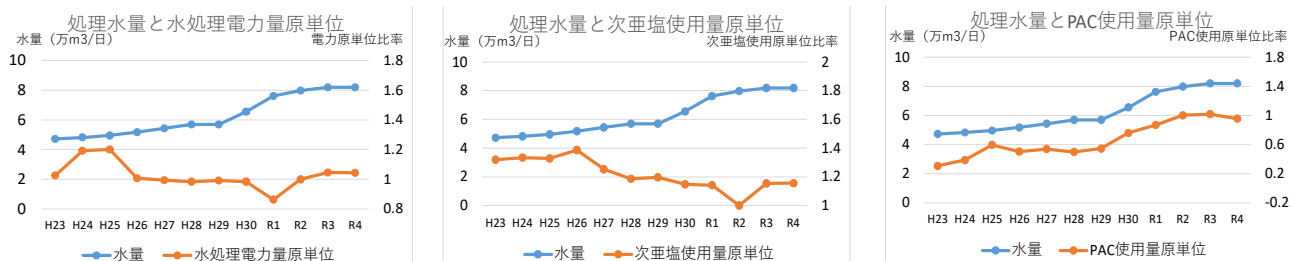


年度	流入水量 (m3)	流入水量 (m3/日)	電力量(kWh)				薬品(kg)		イベント
			ポンプ設備	フロア	水処理	汚泥処理	次亜塩 (水処理)	PAC (水処理)	
H23	76,847,460	210,541	7,871,560	14,578,210	8,725,940	6,647,100	2,183,371	2,156,646	し尿受入開始、返流水処理施設稼働
H24	76,025,490	208,289	7,652,890	14,201,600	8,294,750	6,762,200	2,183,523	2,145,782	燃料化施設稼働（排水を沈砂池に戻し始める）
H25	76,538,340	209,694	7,774,170	14,216,860	8,345,590	6,595,200	1,992,873	2,003,180	
H26	76,990,710	210,933	7,709,710	13,140,660	8,971,890	6,508,600	2,530,220	1,966,104	
H27	78,928,540	216,243	8,110,220	14,480,550	9,352,878	6,254,610	1,895,528	1,893,685	西系送風機1台追加、6系2池稼働（高度処理）
H28	81,761,870	224,005	8,465,090	14,846,420	8,644,067	6,165,070	1,531,243	1,885,075	
H29	78,145,430	214,097	7,989,310	13,461,570	7,820,466	5,463,960	1,346,861	1,361,681	
H30	79,107,790	216,734	8,013,180	14,033,180	7,188,797	5,513,860	1,254,731	1,361,681	H30 8月雨天時活性汚泥法を導入
R1	78,755,680	215,769	7,853,030	13,989,060	7,383,510	5,508,370	1,073,791	418,807	意図的にイレギュラーな運転（PAC注入停止）
R2	81,862,830	224,282	8,076,860	12,711,530	7,595,942	5,200,650	1,079,835	1,216,861	R2 8月から2系のメンブレンパネル本稼働
R3	82,502,250	226,034	8,248,910	12,541,160	7,464,536	5,217,380	1,098,938	1,116,373	
R4	55,416,830	227,118	5,468,770	9,103,550	4,889,412	3,444,540	814,991	396,348	6末-10末までAⅠ運転

図資5-2 流入水量・電力・薬品消費量を平成23年度以降の整理結果（広島市西部）

(2) 船橋市高瀬下水処理場

船橋市高瀬下水処理場における流入水量・電力・薬品消費量について、平成 23 年度以降の整理結果を図資 5-3 に示す。グラフ中、水色の折れ線は処理水量を示しており、増加傾向である。橙色の折れ線は水処理電力・次亜塩・PAC の処理原単位を示している。



年度	流入水量(m³)	汚水(m³)	雨水(m³)	電力量(kWh)				薬品(kg)			備 考
				ポンプ設備	ブローア	水処理	汚泥処理	次亜塩(管線)	次亜塩(簡易)	PAC(水処理)	
H23	19,074,054	17,219,148	1,854,906	5,702,250	2,362,190	2,319,750	1,361,770	90,262	13,214	51,920	
H24	19,426,155	17,596,153	1,830,002	3,621,880	2,682,960	2,871,310	1,489,030	93,251	13,889	67,131	
H25	20,173,732	18,090,753	2,082,979	3,692,950	2,880,610	2,869,210	1,442,920	95,479	18,491	106,128	薬力濃縮機増設
H26	21,195,845	18,887,555	2,308,290	3,779,470	2,288,060	2,746,260	1,509,410	104,036	19,035	93,808	No.6風機増設
H27	22,172,620	19,832,480	2,340,140	3,907,550	2,425,990	2,791,030	1,647,020	98,639	19,996	105,382	
H28	22,953,034	20,794,911	2,158,123	4,168,470	2,774,460	2,646,320	1,728,210	97,980	15,361	102,288	5系列水処理機増設(容量処理能力25,500m³/日)増設
H29	24,434,511	20,794,911	2,248,526	4,537,610	2,990,080	2,470,400	1,727,180	98,857	17,744	111,757	
H30	25,523,224	23,898,018	1,625,206	4,681,160	3,255,080	2,974,280	1,689,250	108,984	11,387	179,074	
H31	30,596,900	27,802,598	2,794,302	5,338,200	3,462,720	2,892,700	1,913,140	126,087	23,482	237,967	
R2	31,728,005	29,093,985	2,634,020	5,462,520	4,319,800	3,379,840	2,066,560	115,652	23,719	237,319	
R3	32,614,220	29,873,210	2,741,010	5,602,610	4,415,730	3,851,230	2,160,850	136,992	24,038	299,479	
R4	22,192,655	19,982,335	2,210,320	3,775,070	2,933,450	2,591,930	1,513,280	91,766	17,330	188,198	R4.4に消化タンク運転

図資 5-3 流入水量・電力・薬品消費量を平成 23 年度以降の整理結果（船橋市高瀬）

1.3 AI 導入によるユーティリティ削減

1.3.1 AI 導入によるユーティリティ削減評価年度の条件整理

現段階（基準年度）の運転管理が熟練技術者による運転で、それを AI が代行できるという前提とし、熟練技術者による運転ではない年度を評価年度と設定して、比較評価をする必要がある。評価年度は下記の条件を整理し決定する。

- ①熟練技術者が創意工夫してユーティリティ削減を行う前の年度
（例：ユーティリティ調達を含む包括的民間委託導入する前の年度）
- ②ユーティリティの削減に大きく影響するような改築更新が終わり、落ち着いている年度
（例：メンブレン導入等）
- ③施設の稼働率が落ち着いた年度
（例：統廃合・増設等による稼働率の大幅な変化が落ち着いている年度）

西部水資源再生センター及び高瀬下水処理場における評価年度の条件整理を下記に示す。

(1) 広島市西部水資源再生センターの評価年度条件整理

- ・包括委託は平成 18 年度から実施しており、現在第 5 期目である。委託にはユーティリティ（電力・薬品）調達を含む。
- ・平成 27 年度に送風機追加、6 系 2 池稼働。

表資 5-3 西部水資源再生センター 評価年度条件整理

年度	包括	イベント
平成 23 年度	第 2 期	し尿受入開始、返流水処理施設稼働
平成 24 年度	第 3 期	燃料化施設稼働（排水を沈砂池に戻し始める）
平成 25 年度		
平成 26 年度		
平成 27 年度		西系送風機 1 台追加、6 系 2 池稼働（高度処理）
平成 28 年度	第 4 期	
平成 29 年度		
平成 30 年度		
平成 31 年度		
令和 2 年度	第 5 期	8 月から 2 系のメンブレンパネル本稼働
令和 3 年度		
令和 4 年度		6 月末～AI 運転開始

(2) 船橋市高瀬下水処理場の評価年度条件整理

- ・包括委託は平成 17 年度から実施しており、現在第 7 期目である。委託には薬品調達を含み、電力調達は含まない(市の担当)。
- ・平成 26 年度に No.6 送風機増設、平成 28 年度に 5 系列水処理施設増設。

表資 5-4 船橋市高瀬下水処理場 評価年度条件整理

年度	包括	イベント
平成 23 年度	第 3 期	
平成 24 年度		
平成 25 年度		重力濃縮槽増設
平成 26 年度	第 4 期	No.6 送風機増設
平成 27 年度		
平成 28 年度		5 系列水処理施設増設
平成 29 年度	第 5 期	
平成 30 年度		
平成 31 年度		
令和 2 年度	第 6 期	
令和 3 年度		
令和 4 年度		消化槽運用開始

1.3.2 AI 導入によるユーティリティ削減評価年度の設定

前項までの評価年度の条件整理をもとに西部水資源再生センター及び高瀬下水処理場における評価年度を設定する。

(1) 広島市西部水資源再生センターの評価年度設定

電力量の評価年度

- ・増改築等イベントはあるが電力原単位は減少傾向である。令和 2 年度はメンブレンが導入され水処理の効率に影響している。評価年度は平成 23 年度と令和元年度の原単位を用い評価する。

次亜・PAC の評価年度

- ・直近では平成 30 年度の雨天時活性汚泥法導入や令和元年設備故障の影響が出ている。増改築が安定している時期として平成 23 年度と平成 29 年度の原単位を用い評価する。



図資 5-4 広島市西部水資源再生センター 評価年度設定

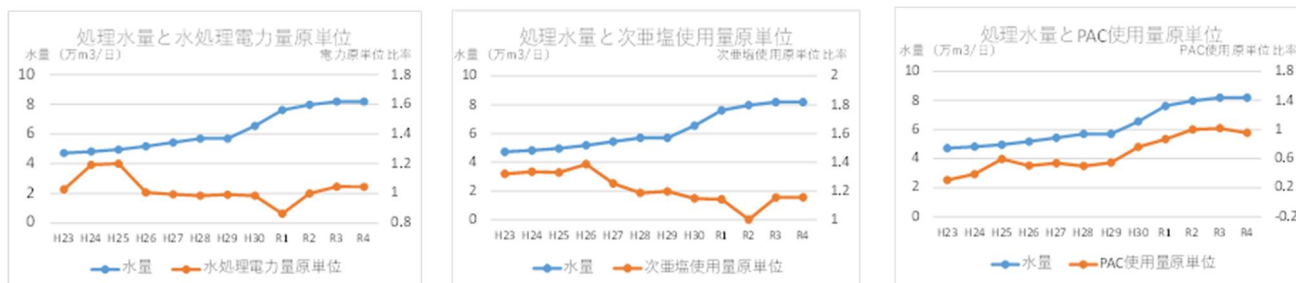
(2) 船橋市高瀬下水処理場の評価年度設定

電力量・次亜・PAC

- ・電力量：令和元年度を除き、直近の原単位はほぼ横ばいである。
- ・次亜：令和 2 年度を除き、直近の原単位はほぼ横ばいである。
- ・PAC：原単位が水量比例で増加している。

(平成 23 年度の使用量 5 t/年に対し令和 2 年度は 29 t/年)

以上より、データからユーティリティ原単位低減より水質を重視した運転を行っていることが読み取れる。そのため、高瀬下水処理場では今後 AI 導入による更なる省エネ運転の可能性について検証する。



図資 5-5 船橋市高瀬下水処理場 評価年度設定

1.4 AI 導入によるユーティリティ削減費用の算出

1.4.1 単価の設定

普及促進ではガイドラインをもとに削減費用算出できるようにするため、各ユーティリティの単価設定方法を検討する。単価の設定方法には下記2種類が考えられる。

単価設定方法①：実費の単価を設定する

実際に処理場で使用した電力・薬品費からユーティリティ単価を設定する

単価設定方法②：公開情報から概略単価を設定する

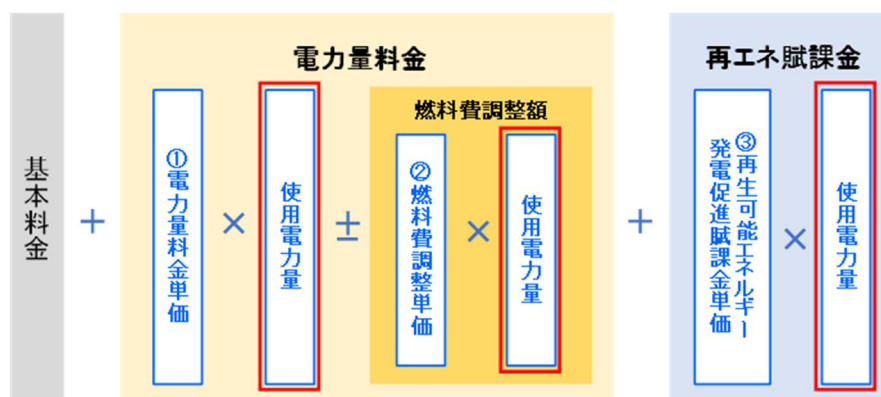
今回は公開情報から概略単価を設定し算出する方法について検討した。

なお、電力量料金単価及び薬品単価については国総研調べの単価を採用する。

■電力料金設定例

大手電力会社の料金体系は、①電力量料金単価、②燃料費調達単価、③再生可能エネルギー発電 促進 賦課金単価に使用電力量を掛け合わせ算出される。

電力会社 HP にてそれぞれの単価が公開されている。その単価と使用電力量を掛け合わせ算出する。電力料金単価については国総研調べを採用する。



図資 5-6 電力料金体系（赤枠はAI 導入により削減が見込める項目）

■薬品料金設定例

国総研調べの単価を採用する。

1.4.2 削減費の算出

前項で示した単価設定による削減費のユーティリティ単価設定・削減費計算例を下記に示す。

■電力：

[計算条件]

① 電力量料金単価の設定は下記に基づく。

国総研調べ (26.54 円) とする。

② 燃料費調整単価は令和 5 年度（基準年度）の平均値 (-0.01 円/kWh) とする。

③ 再生可能エネルギー発電促進賦課金単価は近年上昇傾向であるため、直近かつ最高額の令和 4 年度の単価「3.45 円/kWh」とする。

[計算]

電力量料金単価 (26.54 円) × 使用電力量 (令和元年度 21,372,570 kWh) +
(②燃料費調整単価 (-0.01 円/kWh) × 使用電力量) + ③賦課金 (3.45 円/kWh) × 使用電力量)

→ 令和元年度電力料金 = 600 百万円

令和元年度電力原単位 = 水処理電力量 (kWh) ÷ 令和元年度流入水量(m³) = 21,372,570 kWh ÷
75,773,170 m³ = 0.2821 kWh/m³

平成 23 年度電力原単位 = 水処理電力量 (kWh) ÷ 平成 23 年度流入水量(m³) = 23,304,150 kWh ÷
73,291,270 m³ = 0.3180 kWh/m³

平成 23 年度電力原単位 ÷ 令和元年度電力原単位 = 0.3180 kWh/m³ ÷ 0.2821 kWh/m³ = 1.127

平成 23 年度電力原単位を用いた場合の令和元年度電力料金 = 600 百万 × 1.127 ≒ 676 百万円

熟練技術者 (AI) による電力削減費用 = 平成 23 年度電力原単位を用いた場合の令和元年度電力料金
－ 令和元年度電力料金 = 676 百万円 － 600 百万円

= 76 百万円 / 8 年 (令和元年度－平成 23 年度の 8 年間の削減費)

≒ 9.5 百万円 / 年

■薬品：

価格は、国総研調べより次亜塩 40.8 円/kg、PAC 29.9 円/kg で推移しているため、本単価にて削減効果を算出する。電力同様に原単位から削減費を算出する。

AI による薬品削減費用 (次亜・PAC) = 平成 23 年度薬品原単位を用いた場合の平成 29 年度薬品料金
－ 平成 29 年度薬品料金 = 158 百万円 － 96 百万円

= 62 百万円 / 年 (平成 29 年度－平成 23 年度の 6 年間の削減費)

= 10.3 百万円 / 年

1.4.3 経費回収年

経費回収年は広島市西部水資源再生センターに限っては下記の通り処分制限期間内となった。他機場や水平展開については今後検討する必要がある。

(1) 電力・薬品削減費のみを対象とした場合

電力・薬品削減費を効果とした場合の経費回収年は 4.6 年と処分制限期間（7 年）以内となった。

表資 5-5 AI 導入によるユーティリティ削減効果の経費回収年

項目	内訳	水処理の運転操作に AI を導入した場合
①イニシャルコスト (AI 導入費用)	・ AI 用周辺装置費用 ・ AI 設定費用 ・ 工事費用	80 百万円
②ランニングコスト (AI 運用費用) (年価)	・ サーバ利用費用 ・ 通信費用 ・ AI 主変装置保守費用 ・ AI 再設定費用	2.4 百万円
③電力料金削減費 (年価)	AI 導入による電力費削減費用	9.5 百万円
④薬品料金削減費 (年価)	AI 導入による薬品費削減費用	10.3 百万円
経費回収年	①÷ (③+④-②)	4.6 年
検討結果	経費回収年が処分制限期間（7 年）以内 であるか	○

(2) 電力・薬品削減費に人件費削減費を加えた場合

表資 5-6 に示す通り、人件費削減費による経費回収年（22.2 年）に対し、電力・薬品削減費を加えた場合、経費回収年は 3.3 年と処分制限期間（7 年）以内まで改善できた。

表資 5-6 AI 導入による経費回収年

【効果は人件費削減費のみ】

項目	内訳	水処理の運転操作に AIを導入した場合
①イニシャルコスト (AI導入費用)	・AI用周辺装置費用 ・AI設定費用 ・工事費用	80百万円
②ランニングコスト (AI運用費用) (年価)	・サーバ利用費用 ・通信費用 ・AI主変装置保守費用 ・AI再設定費用	3.5百万円
③人件費削減費 (年価)	AI導入による人件費削減費用	7.1百万円
経費回収年	①÷(③-②)	22.2年
検討結果	経費回収年が目標耐用年数(15年)以内であるか	○

【効果は人件費削減費及び電力・薬品削減費】

項目	内訳	水処理の運転操作に AIを導入した場合
①イニシャルコスト (AI導入費用)	・AI用周辺装置費用 ・AI設定費用 ・工事費用	80百万円
②ランニングコスト (AI運用費用) (年価)	・サーバ利用費用 ・通信費用 ・AI主変装置保守費用 ・AI再設定費用	2.4百万円
③電力料金削減費 (年価)	AI導入による電力費削減費用	9.5百万円
④薬品料金削減費 (年価)	AI導入による薬品費削減費用	10.3百万円
⑤人件費削減費 (年価)	AI導入による人件費削減費用	7.1百万円
経費回収年	①÷(③+④+⑤-②)	3.3年
検討結果	経費回収年が処分制限期間(7年)以内であるか	○

1.4.4 維持管理費・電力削減率

導入効果について維持管理費率、電力削減率を検討する。

維持管理削減率は本実証で検証した広島市西部水資源再生センターの経費回収年検討における基準年度から評価年度までの電力・薬品削減原単位率により算出する。

なお、算出した削減率は広島市西部水資源再生センターのものであり、他の下水処理場では運転方法や履歴、処理規模等で変わる可能性がある。

〔電力削減計算〕

A 評価年度：令和元年度電力原単位 = 0.271 kWh/m³

B 基準年度：平成 23 年度電力原単位 = 0.303 kWh/m³

(計算式)

$$1 - (A \div B) = 0.105$$

$$= 10.5\% \text{ の削減率 (令和元年度 - 平成 23 年度の 8 年間での削減率)}$$

$$= 1.31\% / \text{年} \text{ の削減率}$$

〔次亜削減計算〕

A 評価年度：平成 29 年度電力原単位 = 0.0179 kg/m³

B 基準年度：平成 23 年度電力原単位 = 0.0298 kg/m³

(計算式)

$$1 - (A \div B) = 0.399$$

$$\begin{aligned}
 &= 40\% \text{の削減率（平成 29 年度－平成 23 年度の 6 年間での削減率）} \\
 &= 6.6\% \text{／年の削減率}
 \end{aligned}$$

[PAC 削減計算]

$$\text{A 評価年度：平成 29 年度電力原単位} = 1.08 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{B 基準年度：平成 23 年度電力原単位} = 1.63 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 1 - (\text{A} \div \text{B}) &= 0.337 \\
 &= 33\% \text{の削減率（平成 29 年度－平成 23 年度の 6 年間での削減率）} \\
 &= 5.6\% \text{／年の削減率}
 \end{aligned}$$

3. 温室効果ガス排出量の削減

1.1 AI による温室効果ガス排出削減量の算出

(1) 革新的技術を用いた運転に係るエネルギー使用量の把握

前章では、現段階（基準年度）の運転管理が熟練技術者による運転で、それを AI が代行できるという前提とし、熟練技術者による運転ではない年度を評価年度と設定して、比較評価を検討し、AI 導入効果を検討した。

評価年度と比較し現段階（基準年度）において熟練技術者による運転がなされた場合（AI が導入された場合）の電力削減量は図資 6-1 となる。

項目	①電力・薬品使用量	②削減率	③削減量
電力	13,992,962 kWh/年	1.3%/年	181,908kWh/年
薬品（次亜）	814 t/年	6.6%/年	53 t/年
薬品（PAC）	396 t/年	5.6%/年	22 t/年

図資 6-1 電力・薬品削減量

(2) 革新的技術を用いた運転に係る温室効果ガス排出量の把握

温室効果ガス排出削減量は、「下水道における地球温暖化対策マニュアル（環境省・国土交通省、2016 年）」に基づき、下記の計算式から温室効果ガス（CO₂）排出削減量を算出する。

- ・電気の使用に伴う二酸化炭素の排出量（t-CO₂/年）

$$= \text{電気年間使用量（kWh/年）} \times \text{電気 1kWh あたりの二酸化炭素排出量（排出係数）}$$
- ・薬品の使用に伴う二酸化炭素の排出量（t-CO₂/年）

$$= \text{薬品年間使用量（kg/年）} \times \text{薬品 1kg あたりの二酸化炭素排出量（排出係数）}$$

	電力・薬品削減量	排出係数	CO ₂ 削減量
電力	181,908kWh/年	0.441 kg-CO ₂ /kWh ^{※1}	80 t-CO ₂ /年
薬品（次亜）	53 t/年	0.32 t-CO ₂ /t ^{※1}	16 t-CO ₂ /年
薬品（PAC）	22 t/年	0.41 t-CO ₂ /t ^{※1}	9 t-CO ₂ /年
合計	—	—	105t-CO ₂ /年

図資 6-2 温室効果ガス排出削減量の算出

上記計算より、105 t-CO₂ の温室効果ガス（CO₂）の削減効果が期待できる。

これは約 30 世帯^{※2}が 1 年間に排出する CO₂に相当し、約 12 ha のスギ植林^{※3}に相当する削減効果である。

※1 国総研調べ

※2 1世帯当たりのCO₂排出量（全国平均）2.91 t-CO₂を基にして算出

※3 36～40年生のスギ人工林1haが1年間に吸収するCO₂量約8.8tを基に算出

1.2 温室効果ガス排出量の削減方法

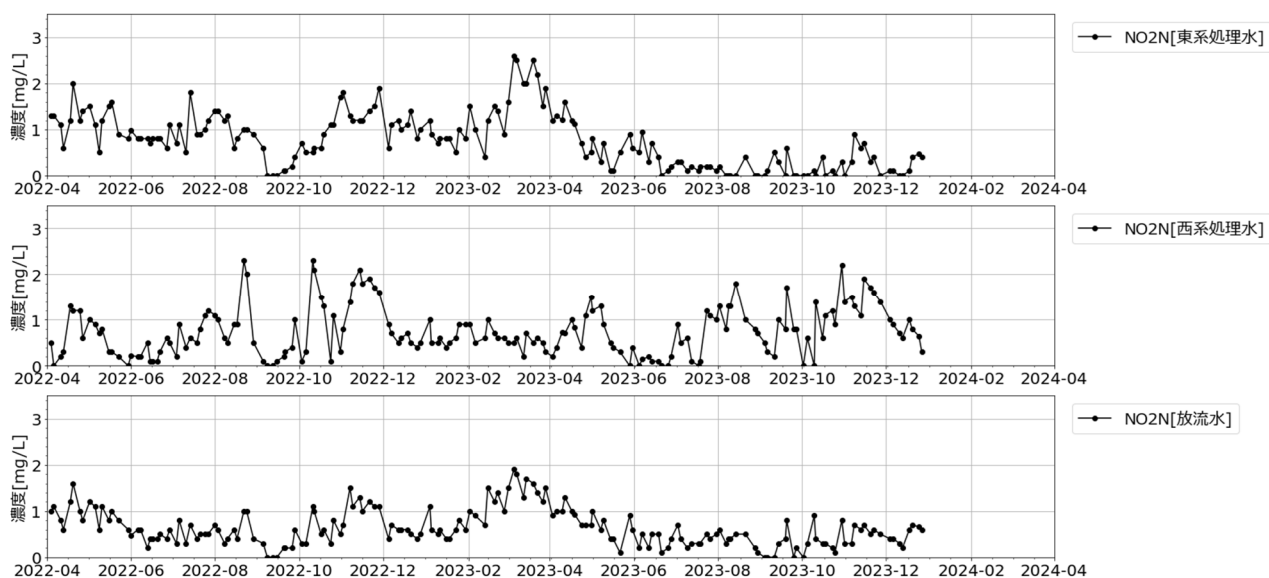
温室効果ガス排出量を削減するためには、以下の方法を実施することが重要である。

①熟練技術者が実施してきた電力量や薬品使用量削減のノウハウをAIで実現する。

②N₂Oの発生を抑制するため、処理水NO₂-Nが少なくなる運転を実施する。

①については、本研究が目指しているAIが熟練技術者の運転を真似る技術を構築することで、電力量や薬品量由来の温室効果ガス排出量が基準年度と比較して削減することが期待できる。

②については、**図資 6-3**で示した通りガス態N₂O排出量と処理水NO₂-Nが比較的相関が高かったため、処理水NO₂-Nが少なくなる運転を実施することで温室効果ガス排出量を削減することが期待できる。このため、水処理過程での硝化の状況をNO₂-NやpHでモニタリングしながらデータを継続的に蓄積することで、水処理過程で発生するN₂Oが削減可能な運転をAI化することが可能となる。



図資 6-3 令和4年度、令和5年度の処理水NO₂-Nの推移

4. 問い合わせ先

本技術ガイドライン案に対する問い合わせは、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	国土交通省 国土技術政策総合研究所 上下水道研究部 下水処理研究室 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-3933 FAX 029-864-2817 URL http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/index.htm
----------------------	---

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、その成果をとりまとめたものです。

<実証研究者 連絡先>

株式会社明電舎	水インフラ技術本部 技術部 企画開発部 〒141-6029 東京都品川区大崎二丁目1番1号 ThinkPark Tower TEL : 050-3664-2071 FAX : 03-5745-3047 URL : https://www.meidensha.co.jp
株式会社 NJS	東京総合事務所 〒105-0023 東京都港区芝浦一丁目1番1号 TEL : 03-6324-4307 FAX : 03-6324-4321 URL : https://www.njs.co.jp/
広島市	下水道局施設部計画調整課 〒730-8586 広島市中区国泰寺町一丁目6番34号 TEL : 082-504-2413 FAX : 082-504-2429 URL : https://www.city.hiroshima.lg.jp/shisei/gyosei/1003081/1027061/index.html
船橋市	建設局下水道部下水道施設課 〒273-0014 船橋市高瀬町56番地 TEL : 047-432-9040 FAX : 047-432-9073 URL : https://www.city.funabashi.lg.jp/soshiki/110000/110400/110411/index.html