

下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備 のあり方について【参考資料】

目次

1. AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況

- 1.1.AIの概要
- 1.2.各事例の取組み概要
- 1.3.AIの導入効果

2. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

- 2.1.AI導入及び運用に必要な運転データの取得（ベンダーロックイン解消に向けた環境整備）
- 2.2.信頼性の確保
- 2.3.透明性の確保
- 2.4.AIの開発及び導入の促進

3. 下水道分野におけるAI技術の今後

【付録】

- 付録1：AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況
- 付録2：海外及び国内の下水道システムに関するAI技術の現状
- 付録3：ベンダーロックイン解消に向けた解説資料
- 付録4：ベンダーロックイン解消に向けた取組状況
- 付録5：ベンダーロックインに関する地方公共団体へのアンケート結果
- 付録6：AI技術の調達方法

1. AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況

1.1. AIの概要

(1) AIと機械学習・深層学習の関係

現在実施中のAIを活用した処理場運転操作に係る実証研究等では「機械学習」が核となる技術として使われている。

機械学習（マシーンラーニング、ML）とは、人間の学習に相当する仕組みをコンピューター等で実現するものであり、一定の計算方法（アルゴリズム）に基づき、入力されたデータからコンピューターがパターンやルールを発見し、そのパターンやルールを新たなデータに当てはめることで、その新たなデータに関する識別や予測等を可能とする手法である。

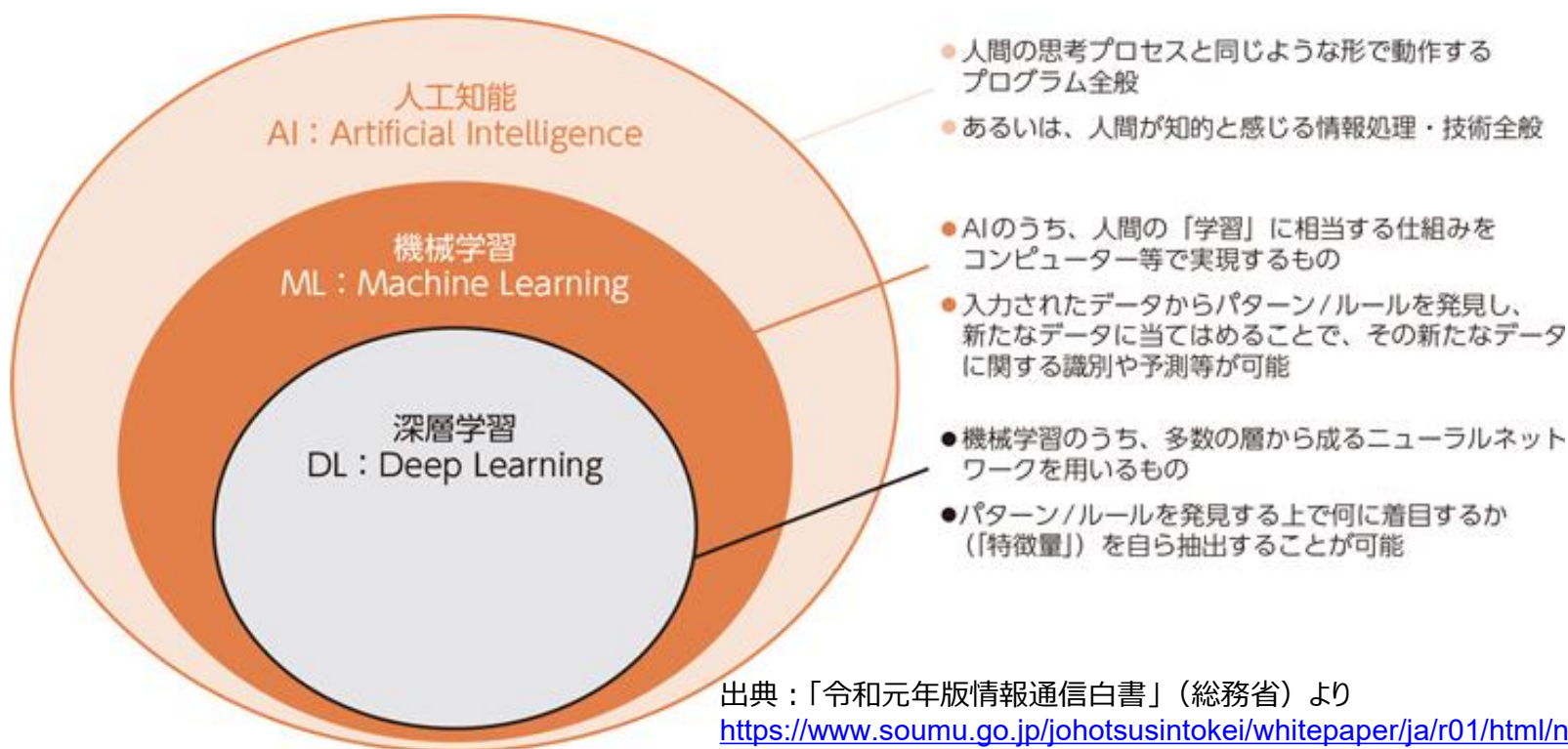


図1.1 AI・機械学習・深層学習の関係

1. AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況

(2) 機械学習の分類と目的

機械学習は、真実のデータや人間による判別から得られた正解に相当する「教師データ」の与えられ方によって、大きく、教師あり学習、教師なし学習、強化学習に分類される。

「教師あり学習」は、回帰や分類に利用されるケースが多く、「教師なし学習」はグループ分けや情報の要約に利用されるケースが多くなっている。

「教師あり学習」と「教師なし学習」は統計学に基づいた「統計的機械学習」が一般的な一方で、「強化学習」は、概ね統計学とは無関係である。「強化学習」では、報酬（評価）が与えられ、将棋のようなゲーム用の人工知能に応用される。

表1.1 機械学習の分類と目的

	学習データ		代表的なアルゴリズム	主な活用事例
	入力に関するデータ [質問]	出力に関するデータ (教師データ) [正しい答え]		
教師あり 学習	与えられる	与えられる	決定木、ランダムフォレスト、 ディープラーニング	回帰、分類
教師なし 学習	与えられる	与えられない	クラスタリング、 アソシエーション分析	グループ分け、 情報の要約
強化学 習	与えられる (試行する)	正しい答え自体は与えられない が、報酬（評価）が与えられる	SARSA、方策勾配法、 Actor-Critic	将棋、囲碁、ロボットの歩行学習

出典：総務省 ICTスキル総合習得教材，[コース3] データ分析，3-5：人工知能と機械学習を参考に作成
https://www.soumu.go.jp/ict_skill/pdf/ict_skill_3_5.pdf

1. AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況

(3) 自動化のレベル

AI システムは、自動化のレベル、及びそれらが外部制御の対象であるかどうかに基づいて比較可能である。範囲の一方の端に自律が、もう一方の端に完全に人間が制御するシステムがあり、その間に他律の度合いがある。以下の表は、自動化なしのケースを含む、自律、他律、及び自動化の間の関係を示している。本資料で対象となる自動化のレベルは「2-部分自動化」に該当する。

表1.2 自動化レベル

		自動化のレベル	概要
自動化システム	自律的	6-自律	システムは、外部の介入、制御、又はオーバーサイトなしに、意図された使用領域又はその目標を変更することが可能である。
	他律的	5-完全自動化	システムは、外部の介入なしに、そのミッション全体を実行することが可能である。
		4-高度な自動化	外部からの介入なしに、任務の一部を行う。
		3-条件付き自動化	システムによる継続的かつ特定の実行であり、必要に応じて、外部のエージェントが引き継ぐ準備が整っている。
		2-部分自動化	システムは、外部エージェントの制御下にあるが、一部の副次的な機能は、完全に自動化されている。
		1-支援	システムは、オペレーターを支援する。
		0-自動化なし	オペレーターがシステムを完全に制御する。

出典：JIS X 22989「情報技術－人工知能－人工知能の概念及び用語」より

1. AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況

(4) 本検討会で取り扱うAI技術の範囲

本検討会で対象となるAIの自動化レベルは、JIS X 22989の定義に当てはめると「2-部分自動化」、「3-条件付き自動化」に該当する。

- 「2-部分自動化」：AIシステムは、人の制御下にあるが、一部の運転に係る機能は、完全に自動化されている。（＝システムは、外部エージェントの制御下にあるが、一部の副次的な機能は、完全に自動化されている。）
- 「3-条件付き自動化」：基本的にAIシステムが運転を行い、必要に応じて（異常時に）人が対応する。（＝システムによる継続的かつ特定の実行であり、必要に応じて、外部のエージェントが引き継ぐ準備が整っている。）

更にAIを活用した下水処理場水処理運転操作の概要を3つの観点（1.機械の関与度合い、2.適用範囲、3.運転内容）で整理するための定義を示す。

表1.3 本検討会で取り扱うAI技術の範囲

1.機械の関与度合

操作 区分	運転パラメータ設定	運転パラメータ決定	概要
①	人	人	全てを人の判断、操作で行う運転
②	機械	人	AIが運転パラメータを提案し、人が妥当性を判断・入力した後に自動で運転する
③	機械	機械	通常時はAIが運転を自動で行い、AIが対応できない非常時（故障時含む）に人が手動対応を実施

2.適用範囲

範囲	概要
a	部分自動運転 水処理に係る各運転プロセス（曝気風量の調節など）単体を適用範囲とした自動運転
b	複数機能自動運転 水処理に係る複数の運転プロセスを適用範囲とした自動運転

3.運転内容

運転内容	概要
A	過去の運転再現 これまでに実績のある運転を再現することを目的としたAIによる運転
B	最適化運転 設定した目標（水質、コスト削減など）を達成するために最適な運転を行うことを目的としたAIによる運転

 ：本検討会で取り扱うAI技術

1. AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況

■機械の関与度合について

処理場の運転操作を「制御パラメータの設定」と「制御パラメータの決定」における機械の関与度合で3つに分類した。「制御パラメータの設定」は入力する運転パラメータの算出、「制御パラメータの決定」は運転パラメータの設定をそれぞれ表す。

■適用範囲について

「a 部分自動運転」は、AIを活用した水処理運転のうち、運転プロセス単体を適用範囲とした自動運転とする。AIが関与する運転プロセスが複数ある場合も、運転プロセス間の連動にAIが関与せず、個々の運転プロセスのみを適用範囲としたAIが複数ある場合は部分自動運転とする。

「b 複数機能自動運転」は、AIを活用した水処理運転のうち、運転プロセス間の連動にAIが関与する機能があるものとする。aの部分自動運転の機能が存在してもよい。また、AIが関与する運転プロセスとAIが関与しない運転プロセスが混在してもよい。

■運転内容について

【過去の運転再現】

①熟練技術者の運転を学習し、同レベルの運転を行う。

当該施設の過去の運転データまたは類似施設の過去の運転データを機械学習し、あらかじめ設定した制御項目に対して、機械学習の結果をもとに最適な設定値を導くなどの制御を行う。

②既知の水処理技術を用いた施設の運転について、あらかじめ設定した制御項目に対してAIの技術を用いて最適な設定値を導くもの。

汚水の水質と必要風量の相関など制御の元となる物理モデルが存在し、物理モデルのパラメータを演算する手段としてAI技術を利用する。町田市の単槽型硝化脱窒プロセスの事例などが該当する。

【最適化運転】

過去の運転再現で得られる成果は原則としてそれらの元となる熟練技術者や既知のモデル式の範囲内となる。将来的にはAIを活用して、それらの前提条件なしに最適解を求めることで既存の技術より優れた水処理技術を実現する可能性がある。

①流入汚水と気象など環境条件の過去データと放流水の目標水質から、前提条件なしに新たな水処理技術を開発する。

②現有施設の最適な運転について、過去の運転データを参照せず、環境・流入水（気象や流入汚水水質など）の過去データ、放流水の水質目標から最適解を求める。

1. AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況

1.2. 各事例の取組み概要

AI活用の事例として、国内5事例と海外の1事例を整理

詳細は、「付録1：AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況」を参照。

表1.4 各事例の概要（1/3）

実施者	目的	概要（適用範囲）	機械の関与度合い	運転内容
北九州市、 安川オート メーションド ライブ (株)	・処理水質の確保と使用電力の削減を両立 ・熟練技術者のノウハウ蓄積 ・経験が少ない技術者の運転補助	【複数機能自動運転】 ・過去の運転データからA Iモデルを構築 ・リアルタイムの計測データから予測対象の最適な目標値のガイダンスを実施	【AIが制御パラメータを提案し、人が妥当性を判断・入力した後に自動で運転する】 ①AIのガイダンスにより人が判断および操作・調節する ②AI故障時は手動運転を行う	【過去の運転再現】 ・過去のデータより、各データ間の関係を考慮した風量設定の予測を行う ・影響する項目の重要度（寄与率）を表示し、予測根拠を明確にすることで、運転の参考とする
東京都、 三菱電機 (株)	反応槽送風量の低減による、電力使用量及びCO ₂ の削減、水質の向上の支援 反応槽における脱窒量を最大化し、放流水の全窒素濃度低減（放流水質の改善）の支援	【部分自動運転】 流入水質と処理水質から、脱窒量が最大となる処理水アンモニア濃度の目標値を出力、AIにより流入水質を予測し、 <u>制御目標値に見合う曝気風量制御を目指す</u>	【AIが制御パラメータを提案し、人が妥当性を判断・入力した後に自動で運転する】 ①ガイダンス装置内で分析、制御目標値を推定、出力する <u>手動、またはコントローラから自動でプロセスコントローラへ入力する</u> ②予測値と実測値の差を常に監視し、<u>閾値を超えた場合、予測値を実測値に置き換えて制御の支援を行う。</u>	【過去の運転再現】 ①フィードフォワード制御とフィードバック制御の組み合わせで曝気風量の制御を支援 ②監視制御システムに取り込まれているプラント監視データから算出した制御目標をC T Rへ出力

1. AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況

表1.4 各事例の概要（2/3）

実施者	目的	概要（適用範囲）	機械の関与度合い	運転内容
(B-DASH) 船橋市、 広島市、 (株)明電舎、 (株)NJS	過去の熟練技術者によるブロー等の省エネ運転や薬剤削減によるコスト削減効果を学習することで、同レベルの運転をAIガイダンスで実現する 対応判断AIにて、水質等の状況に応じた適切な対応判断を根拠とともに提示することで、熟練技術者と同レベルな運転判断を可能とする	【複数機能自動運転】 ・処理場の水処理状況に応じた運転支援として、運転設定値のガイダンスをAIで実現する。 ・対応判断が見える化することで技術継承に繋げる	【AIが制御パラメータを提案し、人が妥当性を判断・入力した後に自動で運転する】 ①データをオンラインで入力し、AI推論を常時実行、 <u>人が提示された設定値（目標値）を運転に反映する。</u> ②工事、停電等の設備停止時にAIが判断不能な部分について <u>運転を変更する</u>	【過去の運転再現】 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が見える化し、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
(B-DASH) 町田市、 日本下水道事業団、 メタウォーター（株）	①短HRTでA2O法と同等の処理水質を達成 ②運転電力の削減 ③維持管理業務負担の軽減	【部分自動運転】 ICTとAIを活用し負荷変動追従風量制御により、攪拌機や硝化液循環ポンプを用いずに短HRTでA2O法同等処理水質を達成するとともに、 <u>送風機の最適吐出圧力を必要風量からリアルタイムに演算し、吐出圧力を自動制御することにより送風電力を削減する</u>	【AIが制御パラメータを提案し、人が妥当性を判断・入力した後に自動で運転する】 ①反応タンク必要風量・送風機最適吐出圧を自動演算する、 <u>人を介さずにプラント制御を行う</u> ②AIが制御異常の場合にアラートを発報、 <u>従前の運転などに変更する</u>	【過去の運転再現】 センサー情報を基に、反応タンク必要空気量、送風機最適吐出圧力を自動演算（負荷変動、季節変動に対応）

1. AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況

表1.4 各事例の概要（3/3）

実施者	目的	概要（適用範囲）	機械の関与度合い	運転内容
（日本下水道事業団提案型共同研究） 三菱商事（株）、日本工営（株）、磐田市	- 曝気風量/電力削減効果 - 本邦下水処理場へ導入可能とする	【部分自動運転】 - 処理場の過去のデータを元にAIモデルを構築し、処理プロセスの予測値と制御ガイダンス（曝気風量）を出力し、<u>処理水質を維持しつつ電力削減効果が得られるかを確認する</u> - 予測データや制御ガイダンスが、<u>運転管理の業務効率向上に資する様に出力方法、画面構成等をより使いやすいものにカスタマイズする</u>	【AIが制御パラメータを提案し、人が妥当性を判断・入力した後に自動で運転する】 制御ガイダンスに基づき実機運転を行う	【過去の運転再現】 リアルタイムデータによるAIガイダンスの風量推奨値を提示し、反応槽の運転を行った
ヴェリア・ジ・ネッリ（株） 【海外事例】	AIを用いた処理場の運転支援（オンラインチューニング）による運転効率化、消費電力の削減、温室効果ガス排出量低減	【部分自動運転】 各設備の制御値の上限と下限を現場プロセスエンジニアが設定し、その範囲内で一部にAIを用いたアルゴリズムが算出した最適な制御値を現場PLCが採用し、一部設備の自動制御（オンラインチューニング）を行う	【AIが制御パラメータを提案し、人が妥当性を判断・入力した後に自動で運転する】 制御値の上限と下限を現場プロセスエンジニアが設定	【過去の運転再現】 AIが算出した最適な制御値を現場PLCが採用し、自動制御を行う。

1. AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況

1.3. AIの導入効果

水処理運転操作へのAI活用で期待される効果について、実際に実証研究を行っている団体へヒアリングを行い整理した。

表1.5 下水処理場の運転操作へのAI活用で期待される効果

AI活用 段階	運転操作へのAI活用で期待される効果		
	項目	地方公共団体及び市民の視点	運転操作を行う企業の視点
第1段階 過去の 良好な 運転の 再現	安定運転・ 業務継続	- 地方公共団体職員及び委託先企業双方の体制・技術力の補完 ↓ - 安定運転の維持 - 公共用水域の安定的な水質改善	- 技術者不足の補完による業務継続 - 運転員の経験や熟練度による運転のばらつきの低減 - ヒューマンエラーの低減
	業務効率化 ↓ コスト削減	- 運転方針の検討・指示に要する時間の削減 - 運転操作を委託する企業側の効率化（右欄参照） - 将来的には、自動運転、省人化等 ↓ - 運転操作コスト及び下水道使用料金適正化に寄与	- 運転操作業務の作業効率化（例えば、操作値変更の検討時間の削減） - 将来的には監視制御システムに組み込み自動運転も可能と想定 ↓ - 運転操作コスト適正化に寄与
	働き方改革	勤務場所を選ばない、柔軟な働き方の実現（例えば、予測技術による余裕のある働き方の実現）	- 運転員間の負担の平準化 - 夜間勤務の縮減 - 勤務場所を選ばない、柔軟な働き方の実現
第2段階 最適化 運転	処理水質 向上 省エネ ↓ コスト削減 CO₂削減	- 処理水質の向上 - 消費電力量の削減 ↓ - 電力コストの削減 - 下水道使用料金適正化に寄与 - 温室効果ガス排出量削減	- 処理水質の向上 - 消費電力量の削減 ↓ - 電力コストの削減 - 温室効果ガス排出量削減

2. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

2.1. AIの構築及び運用に必要な運転データの取得（ベンダーロックイン解消に向けた環境整備）

(1) AIの構築及び運用に必要な運転データについて

AIは下水処理場の運転データを基に構築するため、過去複数年の日報・月報や施設情報を取得する必要がある。
また、構築したAIを運用するためには、現時点における水量・水質など運転データが必要となる。これらの運転データは下水処理場に設置された監視制御システムに集約・格納されており、AIの構築及び運用するにあたっては、監視制御システムと運転データのやり取りを行う必要がある。

(2) ベンダーロックインについて

監視制御システムは構築したメーカ（ベンダー）が独自で開発した専用のプロトコル（通信仕様）を採用しているため、図2.1に示すように既存監視制御システムメーカ（図中A社所掌の監視制御システム）以外の設備（図中B社所掌設備）やAIシステム（図中C、D社所掌）が接続できず、運転データを取得できないといった状態が発生する。

この状態を「ベンダーロックイン」と言い、既存メーカ以外ではAI構築が困難であることに加え、情報システム調達の公平性、競争性を阻害する要因となっている。

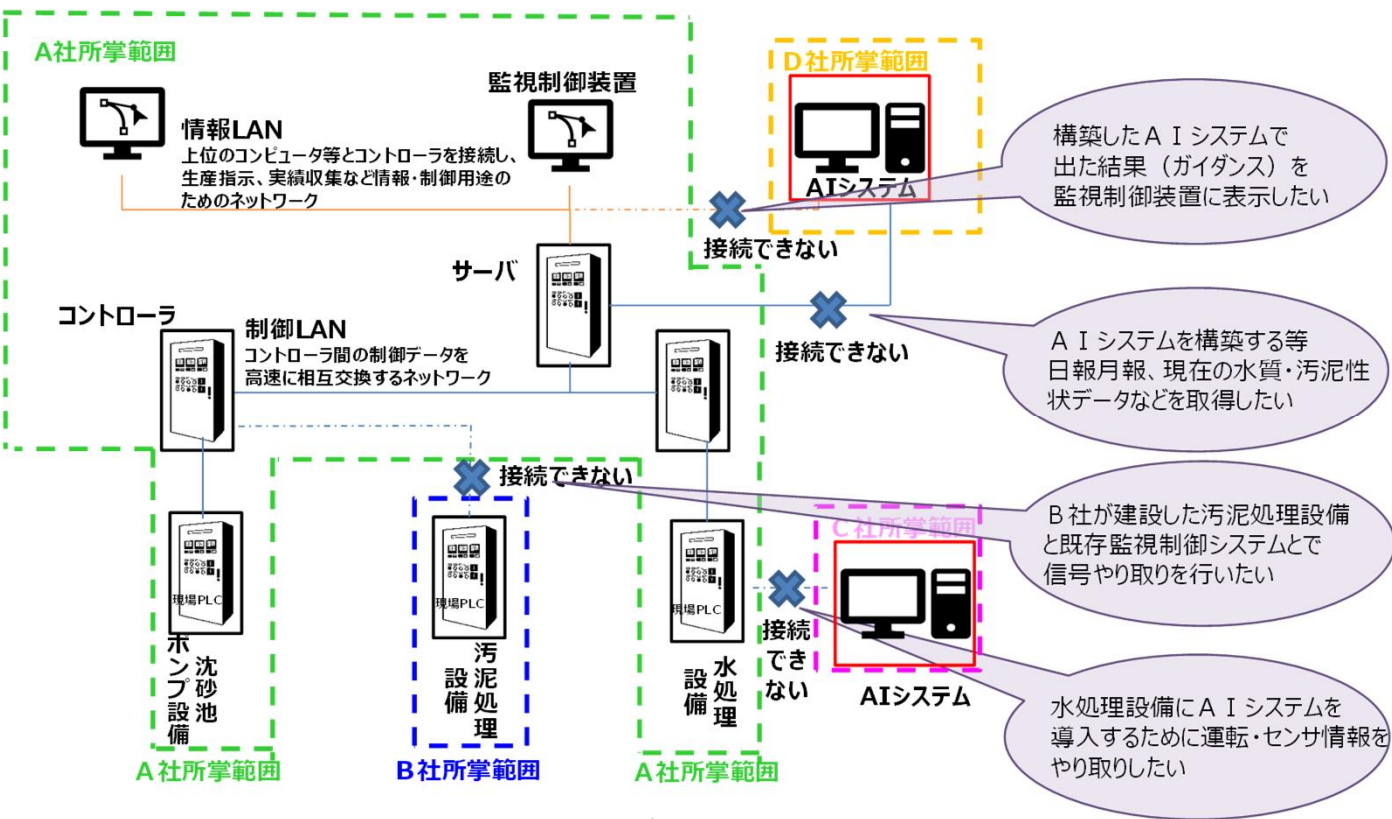


図2.1 ベンダーロックインの概要図

詳細は、「付録3：ベンダーロックイン解消に向けた解説資料」を参照。

2. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

(3) ベンダーロックイン解消に向けた対応

ベンダーロックイン解消に向けた対応として、次に示す汎用プロトコル化及びデータプラットフォーム化が挙げられる。

■汎用プロトコル化

既存メーカシステムと他社メーカ設備・AIの間にゲートウェイ（信号変換器）を設置し、業界で標準化された汎用プロトコルを用い日報や月報などのデータをやり取りする。

■データプラットフォーム化

既存メーカシステムと既存メーカ設備・AIの間に誰でもアクセス可能なデータプラットフォームを設置し、指定されたデータフォルダを参照し、日報や月報などのデータをやり取りする。

(4) ベンダーロックイン解消で期待できる効果と想定される課題

■ベンダーロックイン解消で期待できる効果

- ・情報の活用範囲が広がる
- ・情報システム調達の公平性、競争性が確保され、コスト縮減が図れる可能性がある
- ・多様な機器の中から採用する機器を選定できる

■ベンダーロックイン解消で想定される課題

- ・システムのセキュリティを強化する必要がある
- ・システムの規模や構成によってはコスト増となる可能性がある
- ・維持管理が煩雑になりやすい

詳細は、「付録3：ベンダーロックイン解消に向けた解説資料」及び
「付録4：ベンダーロックイン解消に向けた取組状況」を参照。

2. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

(5) ベンダーロックインに対する地方公共団体の対応状況

下水処理場を有する地方公共団体に対し、監視制御システムのベンダーロックインへの対応状況について、表2.1に示すとおり、規模別にランダムに抽出した176の団体（回答団体数163）にアンケートを実施した。

表2.1 ベンダーロックインに関するアンケート対象団体数

	都道府県	政令市	中核市	一般市	町村	合計
アンケート依頼団体数	42	20	25	43	46	176
アンケート回答数	51	18	21	39	34	163

※流域下水道ごとに回答している都道府県があるため、依頼団体数よりも回答数が多くなっている。

主なアンケート結果を以下に示す。アンケート結果の全内容は、「付録5：ベンダーロックインに関する地方公共団体へのアンケート結果」を参照

■現状の監視制御システムにおける複数ベンダーの混在状況

表3.2に示すとおり、規模が大きい団体の方が複数ベンダーが混在している状況である。1つの下水処理場でベンダーが1社となっている理由としては、「競争入札の結果1社となった」が49.5%、「運用面の安定性、安全性の確保のため」が30.8%となっている。

表2.2 現状の監視制御システムにおける複数ベンダーの混在状況

団体 区分	回答 団体数	A		B		C		B + C	
		回答数	回答割合	回答数	回答割合	回答数	回答割合	回答数	回答割合
都道府県	51	41	80.4%	1	2.0%	9	17.6%	10	19.6%
政令市	18	13	72.2%	0	0.0%	5	27.8%	5	27.8%
中核市	21	15	71.4%	3	14.3%	3	14.3%	6	28.6%
一般市	39	36	92.3%	1	2.6%	2	5.1%	3	7.7%
町村	34	32	94.1%	1	2.9%	1	2.9%	2	5.9%
合計	163	137	84.0%	6	3.7%	20	12.3%	26	16.0%

※1 A：1つの下水処理場について、1社のシステムを導入

※2 B：1つの下水処理場について、複数社のシステムを導入

※3 C：下水処理場により、A④どちらも存在する

3. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

■ベンダーロックインの認知度

本アンケートを行う前からベンダーロックインという言葉を知っていたかどうかアンケートした結果を表2.3に示す。
規模が小さい団体の方が知名度が低い状況である。

表2.3 ベンダーロックインの認知度

団体 区分	回答 団体数	知らなかった		知っていた	
		回答数	回答割合	回答数	回答割合
都道府県	51	30	58.8%	21	41.2%
政令市	18	6	33.3%	12	66.7%
中核市	21	11	52.4%	10	47.6%
一般市	39	33	84.6%	6	15.4%
町村	34	31	91.2%	3	8.8%
合計	163	111	68.1%	52	31.9%

- 随意契約或いは結果的に 1 社入札に対する契約部門あるいは内部監査部門からの指摘状況
表2.4に契約部門あるいは内部監査部門からの指摘状況を示す。
規模が大きい団体の程、指摘される割合が大きくなっている状況である。

表2.4 契約部門あるいは内部監査部門からの指摘状況

団体 区分	回答 団体数	有効 回答数※	これまで指摘等なかった		指摘等あった	
			回答数	回答割合	回答数	回答割合
都道府県	51	48	39	81.3%	9	18.8%
政令市	18	18	15	83.3%	3	16.7%
中核市	21	20	17	85.0%	3	15.0%
一般市	39	38	36	94.7%	2	5.3%
町村	34	30	30	100.0%	0	0.0%
合計	163	154	137	89.0%	17	11.0%

※未回答の団体数を除いた回答数

2. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

(6) ベンダーロックイン解消に向けた環境整備のあり方

AI導入及び運用に必要な運転管理データが容易に取得できる環境を整備するためには、ベンダーロックインを解消する必要がある。ベンダーロックインの解消は、公共事業参入の公平な競争性確保の観点から取り組んでいくべき課題である。

■ 地方公共団体における環境整備

AI導入及び運用のためには、本検討会で調査した各地方公共団体の取組状況を参考に、地方公共団体が発注する際に、監視制御システム等の発注資料（図面、仕様書等）等を整備する必要がある。

■ 国を含む関係団体における環境整備

データプラットフォームサーバーを導入するためには、データ構造を標準化する必要がある。各地方公共団体単独で実施することも考えられるが、全国的な普及展開を考慮すると、国も含め、関係団体にて今後検討が必要である。

2. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

2.2. 信頼性の確保

(1) AI構築時の性能評価の取組状況

- ・評価項目は、AI活用による期待する効果に沿った項目を設定している。
- ・評価基準は、現行運転との比較による評価が一般的である。

各事業体、ベンダーのヒアリング結果を表2.5に示す。詳細は、「付録1：AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況」を参照。

表2.5 各事例の性能評価項目・基準（1/2）

実施者	評価項目	評価基準
北九州市、 安川オートメーション ドライブ（株）	評価基準は定めていないが、BOD、SSや電気使用量削減等を想定	設定していないが、水質基準逸脱の有無にて評価を想定
		設定していないが、導入前の電気使用量との比較を想定
東京都、三菱電機 （株）	水質(放流水全窒素濃度・降雨時処理水りん濃度)	従来のシステムにより運転している系列との比較
	CO ₂ 削減（反応槽への送風量）	
(B-DASH) 船橋市、広島市、 (株) 明電舎、 (株) NJS	水質	法規制値、学習時の管理目標値
	CO ₂ 削減	学習時の管理目標値
	次亜注入率・PAC注入率	学習時の管理目標値（船橋市はPAC注入率のみ）
	運転判断一致率	熟練技術者の判断との一致率80%以上
	画像による異常診断（最終沈殿池のスカム、フロック検出）	真陽性率が90%以上、偽陽性率が10%以下

2. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

表2.5 各事例の性能評価項目・基準（2/2）

実施者	評価項目	評価基準
(B-DASH) 町田市、日本下水道事業 団、メタウォーター（株）	処理水水質	従来（A2O法）同等処理水水質の達成
	運転電力の削減	従来（A2O法）比 20 %以上削減
	維持管理業務負担	従来（A2O法）に比して、業務負担を軽減
（日本下水道事業団提 案型共同研究） 三菱商事（株）、日本工 営（株）、磐田市	電力使用量	ガイドランスの運転により、以下の設備の電力使用量の改善効果进行评估する。 ・送風量 ・可能な範囲で、その他設備別で整理
	処理水質	系列別の流出水を調査する。（1系列：AI導入、2系列：通常運転、3系列：WA自動制御、系列での比較等）
	汚泥	水処理施設の運転にAIによる運転支援を導入したことより、汚泥処理施設に不具合が生じていないか、
	薬品使用量	現在使用している薬品使用量（凝集剤、次亜塩素など）の変化
ヴェオリア・ジェネッツ（株） 【海外の事例】	水質	AI導入前の実績を基準として比較
	CO ₂ 削減	
	電力消費量削減	

2. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

(2) AI運用中のバックアップの取組状況

- ・実証事業では、アラート機能を実装せずに既設の指示計で制御範囲や異常を判断する事例が多く、バックアップは各事業体とも人の判断で従来の制御に戻す運用となっている。
- ・ベンダーでは各社とも流入量などに上下限を設定し、AIの運用はその範囲内としている。範囲を逸脱した場合は、アラートを表示し、現場の判断に委ねるかPLCなど従来の制御に切替えるとしている。

各自治体、メーカーへのヒアリング結果を表2.6に示す。

詳細は、「付録1：AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況」を参照。

表2.6 各事例の運用中のバックアップ方法（1 / 2）

実施者	評価項目
北九州市、安川オートメーションドライブ（株）	バックアップシステムなし（人的操作にて対応） メーカーとの実証研究の段階であり、バックアップまでは考慮していない
東京都、三菱電機（株）	処理水側の水質測定計器による上限値の設定（水質悪化防止） これまでの経験上からの送風量上限値の設定（過剰送風の防止）
（B-DASH） 船橋市、広島市、（株）明電舎、（株）NJS	なし（水質目標値を逸脱した場合に、水質を目標値以内に収めるようフィードバック的な出力となるように調整しています） （運転支援のガイダンスのため、ハード的なバックアップシステムは設けていない。AI故障時は、従来の人による運転判断の運用に戻す）
（B-DASH） 町田市、日本下水道事業団、メタウォーター（株）	AIシステムが機能しない場合は、ハードソフトとも従来のシステムにて運用する。

2. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

表2.6 各事例の運用中のバックアップ方法（2 / 2）

実施者	評価項目
（日本下水道事業団提案 型共同研究） 三菱商事（株）、日本工 営（株）、磐田市	災害や異常流入の発生時においては、現場の判断においてAIガイダンスへの追従を止めて、運転責任者による操作に切り替えることを想定している。
ヴェオリア・ジェネツ（株） （海外の事例）	バックアップシステムは自動化されており、故障などが発生した場合は自動的に代替手段を選択する。 代替手段が機能しない場合は、従前の（手動）運転制御に切り替えて運転を行う。

（3）信頼性確保に向けたあり方

下水処理場は、適切な運転操作を行うことで、良好な放流水質を保っている。運転操作にAI導入した場合、放流水質や放流先である公共用水域の水質に影響を与えることから、AIの性能を適切に評価するとともに、非常時やAI故障時等のバックアップの仕組みを構築する必要がある。

具体的には、放流水質の改善や消費電力の削減など、AI導入の目的に応じた評価項目・評価基準を設定し、実フィールドで適切な評価を行うことで、信頼性の確保を図ることが必要である。

また、放流水質の悪化や過剰送風の防止をするための放流水質や送風量の閾値を設定し、閾値を超えた際のアラート機能の整備とともに、AI運転と従来運転の切り替え方法など示した運用マニュアルを整備するなど、ソフト・ハード両面でバックアップ体制を構築する必要がある。

2. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

2.3. 透明性の確保

(1)各事例の取組状況

AIの出力に影響を与える事象の寄与度、AIの出力に対する根拠や参考情報を示したり、AI出力の判断を数学的ロジックで解釈可能とし、見える化を図っている。

各事業体、ベンダーのヒアリング結果を表2.7に示す。詳細は、「付録1：AIを活用した下水処理場水処理運転操作の取組状況」を参照。

表2.7 各事例のAI出力根拠の見える化の内容（1/2）

実施者	評価項目
北九州市、安川オートメーションドライブ（株）	■ AIからの出力に影響を与える各事象の寄与度（学習段階での提示、運用段階での表示） 内容：重要項目のトレンドグラフの表示 ■ AIからの出力に対する根拠や参考情報を表示 ■ 水質事故時などの調査時に、AIからの出力を解釈可能であること
東京都、三菱電機（株）	■ ユーザーによるデータチェックは不要との認識。 異常なデータ（アラートが発生中のデータ）は本装置の処理の参照に取らないようにしており、参照するデータは自動的に最新のものに更新され続けるため、データの傾向が変動しても、自動的にその変動に適応します。また万が一、本装置が異常な設定値を算出してしまったとしても、指定した上下限範囲外の値は設定されないようにしているため、既設へは悪影響は与えないと考えている。
（B-DASH） 船橋市、広島市、（株）明電舎、（株）N J S	■ AIからの出力に影響を与える各事象の寄与度（学習段階での提示、運用段階での表示） ■ AIからの出力に対する根拠や参考情報を表示 ■ 水質事故時などの調査時に、AIからの出力を解釈可能であること、過去の運転を確認可能であること ■ 上記の具体的な数値を熟練技術者が評価

3. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

表2.7 各事例のAI出力根拠の見える化の内容（2/2）

実施者	評価項目
（B-DASH） 町田市、日本下水道事業団、メタウォーター（株）	AIとしてはアウトプットに至るまでの判断をロジックとして説明できるものを適用することが望ましいと考える。アルゴリズムによっては判断をロジックとして説明できないが、本システムは数学的な手法でありロジックとして説明可能。
（日本下水道事業団提案型共同研究） 三菱商事（株）、日本工営（株）、磐田市	AIからの出力に影響を与える各事象の寄与度を表示
ヴェオリア・ジェネッツ（株） （海外の事例）	システムのインターフェースにおいて、処理水質基準の達成状況や制御設備の設定値等、AIによるすべての動作や設定を可視化しています。また、AIの演算に使用される計測器のデータの信頼度を常にモニタリングし、信頼度の高いデータのみを演算に用いています

(2)AI出力根拠の見える化のあり方

AIの性能が高まるにつれて、AIモデルは複雑になり、人間には理解が難しくなる傾向にある。その結果、取得したデータに基づいてAIが判断する過程が「ブラックボックス」の状態になりやすい。ブラックボックス化することで、AIの判断の根拠が分からなくなり、AIの判断の検証や改善を行うことができなくなる。このような状況を解決するためには、AIの判断根拠を「見える化」する必要がある。

AIによる判断プロセス・根拠の見える化は、下水を管理する上での判断や学習、技術継承などの観点からも重要である。AI導入に当たっては、下水道管理者が求める事項（判断プロセス・根拠、重要な特徴量、重要な学習データ、学習モデルの可読化等）が整備されていることが望ましい。

3. 下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備のあり方

3.4. AIの開発及び導入の促進

AI技術は日々急速に発展している。下水処理場の運転操作にAIを導入するに当たっては、目的や役割を明確にし、より適切なAI技術の導入に関する評価を継続的に検討することや、国において最先端の導入事例を水平展開するなど、AI技術の開発を促進する取組みを整備する必要がある。

■ AIの開発促進のための取組案

- ・最先端のAI導入事例の公表
- ・技術者の育成のために、下水道AI技術者資格の創立
- ・モデル処理場を定め、AI構築に必要な情報（日報など）の開示

また、AI技術は、内容が不透明な場合が多く、仕様を明確にすることが困難である。付録6を参考にAI技術の調達方法を検討し、AI技術の導入を促進する必要がある。

また、付録1の取組事例でも示されているとおり、各地方公共団体や日本下水道事業団等が実施している共同研究やB-DASHを活用して導入を検討することも有効である。

4. 下水道分野におけるAI技術の今後

■ AI技術の今後について

今後の下水道の役割として、下水道施設のマネジメントだけでなく、下水道が保有する資源を地域内に循環させ、地域内での生産、消費を促進することで、地域の活性化へ寄与することや地域防災や地域エネルギーマネジメント等において上水道、廃棄物、農林水産業等の他分野と連携し、下水道施設を有効活用することが考えられる。国は、このような取り組みを積極的に推進すべきである。

これまでの技術や人では対応が困難なことについても、AI技術の特性を活かし、今後の下水道に求められる役割に貢献することが期待される。

AI技術は、今後の下水道に求められる役割に貢献するために以下のような活用が期待される。

- 汚泥資源活用の最適化：地域バイオマスの 受け入れ可能量の予測、農業等需要とのマッチング
- 地域エネルギーの最適化：地域バイオマスの受け入れに関する消化ガスの発生量予測、下水処理場の余剰エネルギー（熱や消化ガス）の供給調整
- 水産資源への貢献：栄養塩類の能動的運転管理、漁業需要とのマッチング
- 地域防災への貢献：雨水ポンプ運転の最適化、再生水提供支援