

令和6年度 B-DASHガイドライン説明会

AIを用いた分流式下水道における
雨天時浸入水対策技術実証

ガイドライン（案） 説明会

三菱電機(株)・(大)東京大学・(公財)愛知水と緑の公社・愛知県共同研究体

目次

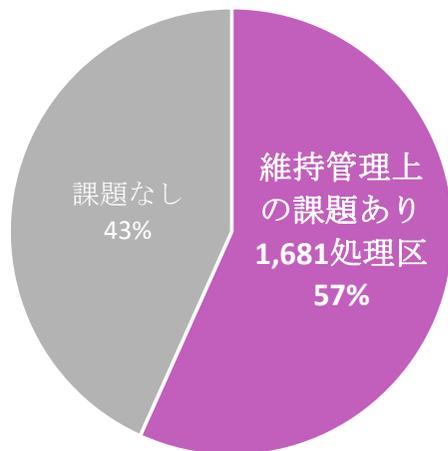
- 1 革新的技術の概要
- 2 技術の概要と特徴
- 3 技術の評価
- 4 導入検討
- 5 問い合わせ先

革新的技術の概要

技術の背景と目的

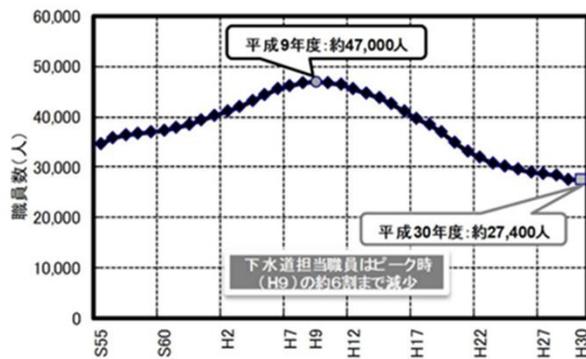
分流式下水道においても、「施設老朽化」「地震などの被災」「高強度降雨の増加」により雨天時浸入水に起因する維持管理上の課題を感じている自治体が増えている。

また、下水道職員数も年々減少しており雨天時運転管理に対する熟練ノウハウの継承が課題



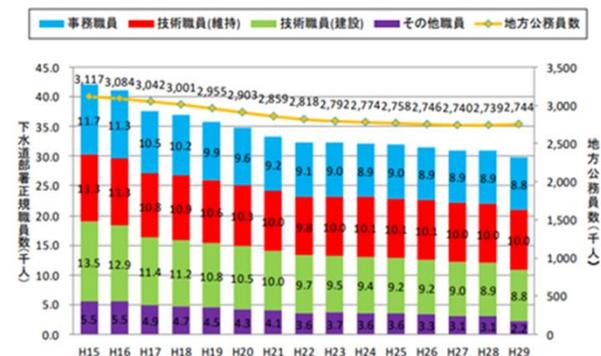
雨天時浸入水に関するアンケート調査結果
 分流式下水道を採用する地方公共団体回答数
 :2,962処理区(H30年度、国土交通省)

【下水道部門の職員数の推移】



(出典)「地方公共団体定員管理調査結果」(総務省)

【下水道部門の職層別職員数の推移】



※下水道部署正規職員職員数は、公共下水道、特定環境保全公共下水道、特定公共下水道、流域下水道を対象とする
 (出典)地方公務員数:「地方公務員給与実態調査」(総務省)

下水道部門の職層別職員数の推移
 (「人口減少下における維持管理時代の下水道経営のあり方検討会」
 報告書より)

技術の概要と特徴

下水処理場における雨天時運転操作の課題



分流式処理場



熟練操作員

熟練操作員が雨天時運転操作で考慮している事項

- ①浸水・溢水リスクの低減
処理場が浸水しないように...揚水量を大きく...
- ②放流水質の確保
放流水質(総量値)を守り、汚泥界面を
低くするために揚水量を下げて...
- ③処理コストの低減
電気代を使い過ぎないように、
揚水量は抑えないと...

(現状)熟練操作員の経験・予測に基づき運転操作している

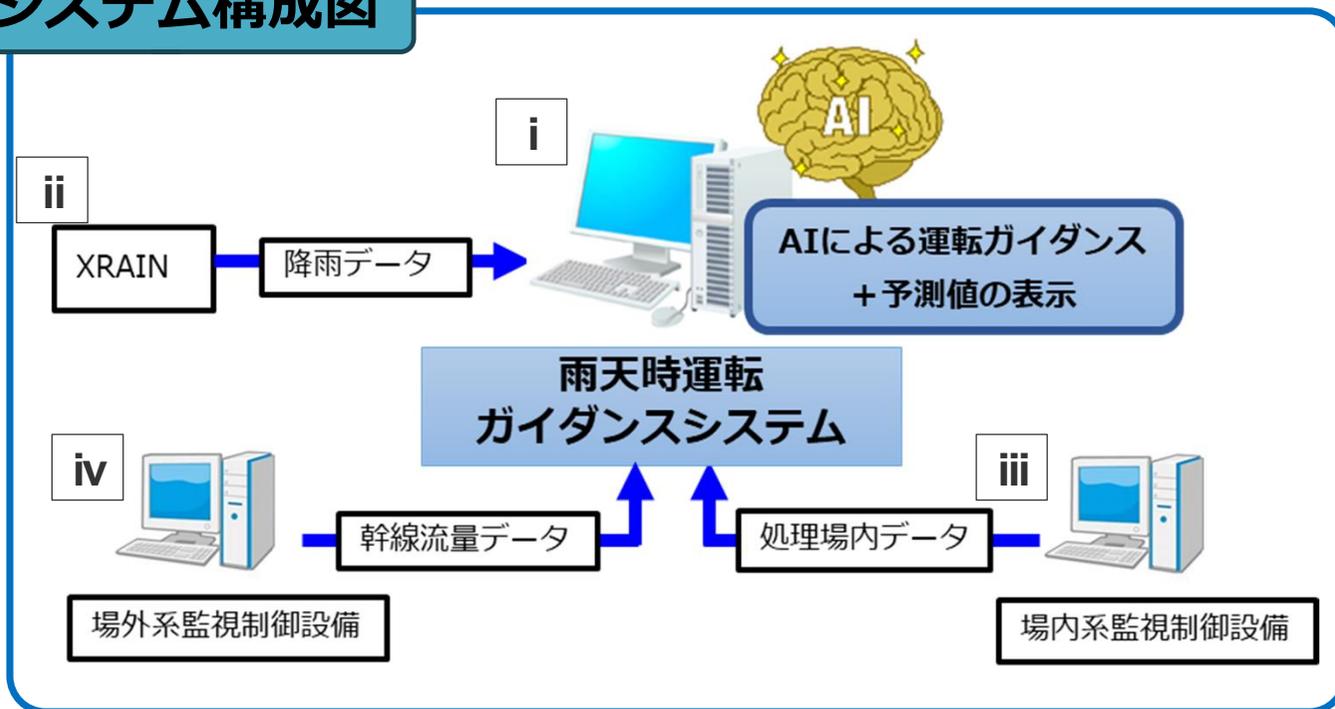
⇒(解決案)**AIを用いて3つの課題を解析し、**
処理場における**最適な運転操作をガイダンス** する。

技術の概要と特徴

システム構成

・3つの課題(「浸水・溢水リスク低減」「放流水質確保」「処理コストの削減」)を解決する運転操作を実現するため、**雨天時運転ガイダンスシステム**を構築し、AI技術により操作員に**運転ガイダンス値と各種予測値を提示**する。

システム構成図



i 雨天時運転ガイダンスシステム

AI技術により操作員に運転ガイダンス値と各種予測値を提示するシステム

ii XRAIN:降雨データ配信サービス

iii 場内系監視制御設備
処理場内を監視制御するシステム
本装置より処理場内データを取得する

iv 場外系監視制御設備
処理場内を監視制御するシステム
本装置より処理場内データを取得する

技術の概要と特徴

提供機能

① 流入量予測機能

幹線流量データや降雨データから処理場内に流入する流入量を予測する機能

② 流入渠予測機能

①で得られた流入量と揚水量から水位を予測する機能

③ 水質予測機能

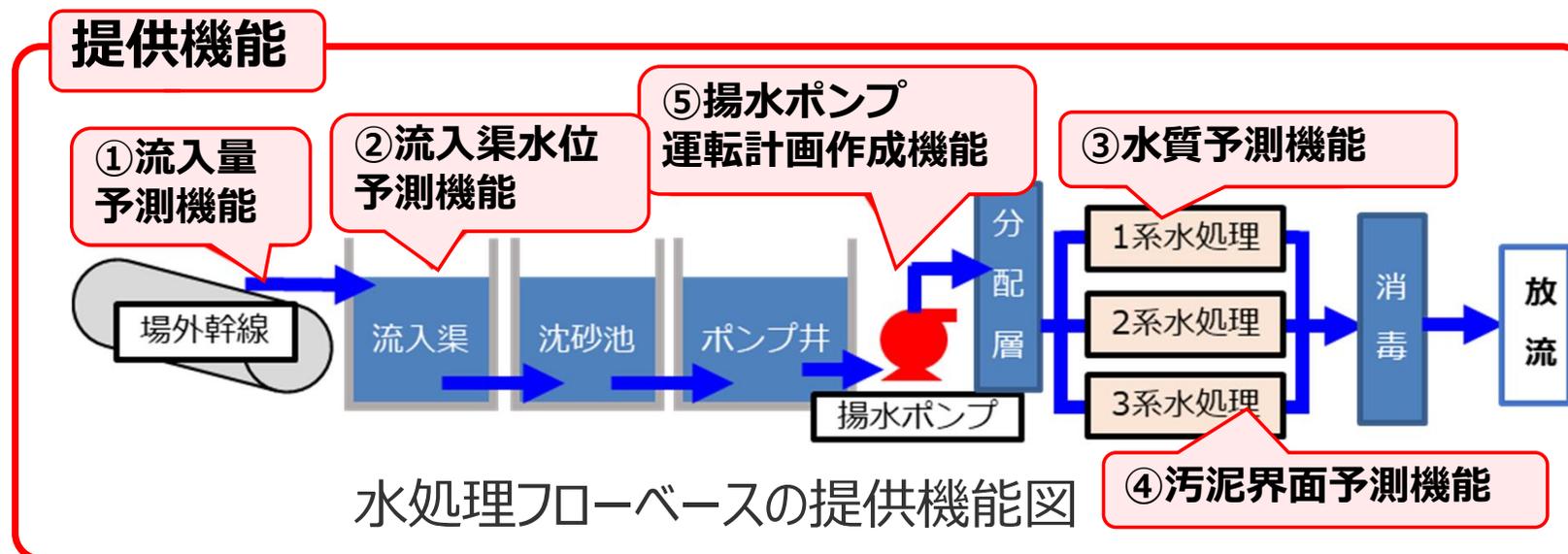
活性汚泥モデル(ASM)から、処理水質を予測する機能

④ 汚泥界面予測機能

Vesilind沈殿モデルに基づき最終沈殿池の汚泥界面高さを予測する機能

⑤ 揚水ポンプ 運転計画作成機能

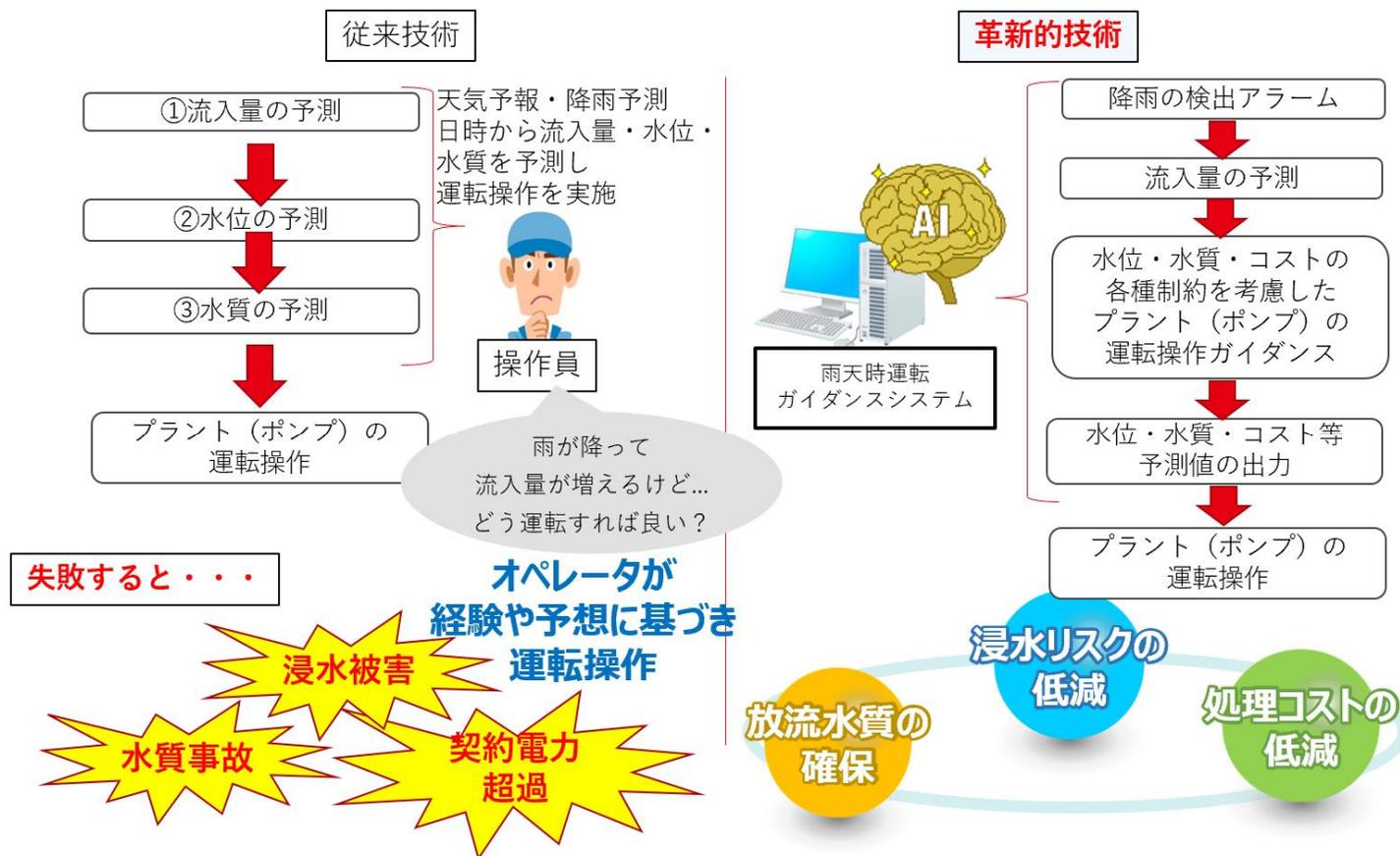
「水位」「コスト」「水質」といった雨天時に考慮すべき事項を目的関数とし、AI技術である多目的最適化を適用し、最適な運転操作をガイダンスする機能



技術の概要と特徴

本技術を用いた運転操作の改善

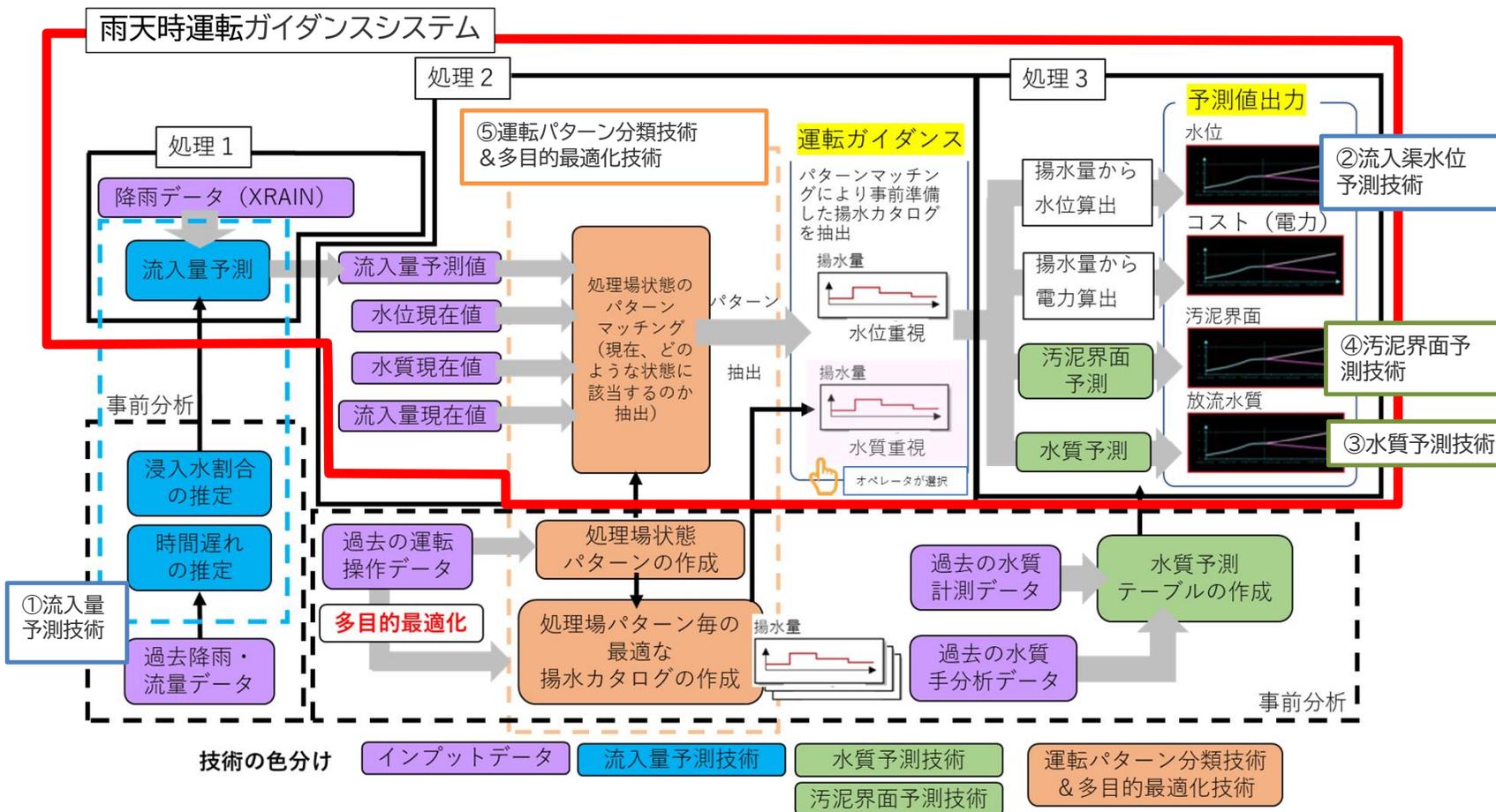
本技術を活用した運転操作により、経験や予想に基づいていた運転操作が不要となり、**AI技術によるガイダンス+予測値の確認により誰もが安心した運転時運転**ができるようになります。



技術の概要と特徴

雨天時運転ガイダンスシステムの演算フロー

雨天時運転ガイダンスシステムは、以下演算フローで実行します。



処理1:雨量情報取得

レーダ降雨データ(XRAIN)から処理場に到達する流入量を予測する

処理2:揚水ポンプ運転ガイダンス

得られた流入量予測値や、現在値などから処理場の状態を抽出し、事前にAI(多目的最適化)により作成された最適な運転ガイダンス値を抽出する【現地計算時間の短縮】

処理3:予測値出力

各種予測値を出力する

技術の概要と特徴

技術の適用条件

本技術を適用するためには必要となる過去データがあるため、各要素技術ごとに「必須条件」「推奨条件」を整理

条件整理表

要素技術	条件レベル	必須条件	推奨条件
流入量予測技術		<ul style="list-style-type: none"> 下水処理場内流入側に水位計（流量計）がある 	<ul style="list-style-type: none"> 下水処理場外に流量計がある 計画処理区域図が整備されている
水質予測技術		<ul style="list-style-type: none"> 水質に関する以下データを計測している （反応槽MLSS、DO、揚水量、水温、曝気風量、放流の全窒素・全リン・COD） 	<ul style="list-style-type: none"> 「ガイドライン表2.5」に記載のデータを計測している 処理方式による注意点は資料編に記載
汚泥界面予測技術		<ul style="list-style-type: none"> 汚泥界面を計測している 	<ul style="list-style-type: none"> 手分析等でSVIを計測している
運転パターン分類技術・多目的最適化技術		<ul style="list-style-type: none"> 中央監視制御装置に1分間隔の監視制御データが蓄積されている 主ポンプが手動にて運用されている 	<ul style="list-style-type: none"> 危険管理水位、非常時警戒態勢水位等の運転管理基準値が存在する。

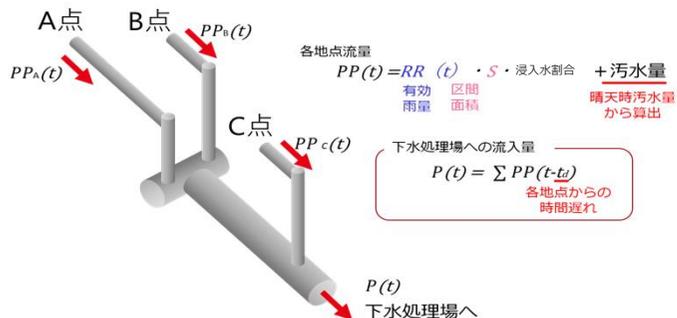
※全データは1分間隔で概ね4か月以上のデータが必要
（放流水質データに関しては1時間間隔）

技術の評価

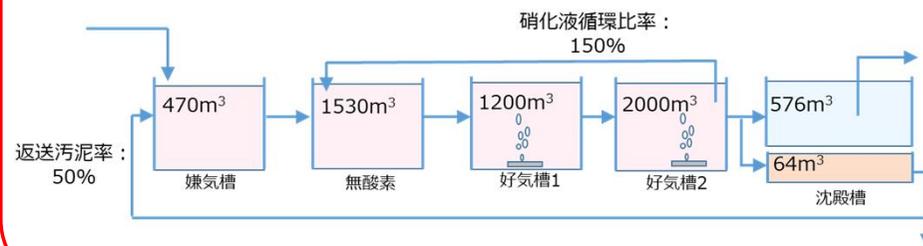
技術の評価

技術の評価は「**運転ガイドンス**」「**各予測技術**」それぞれに評価を実施

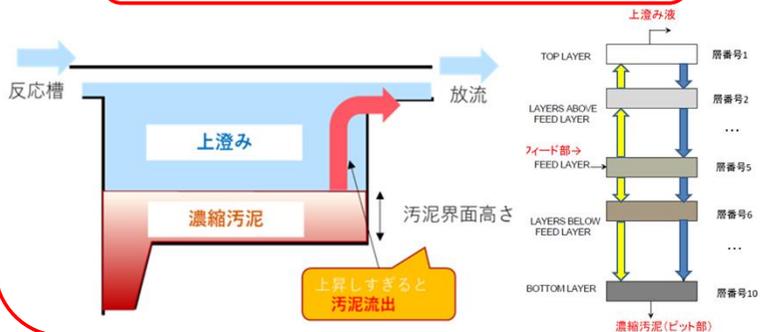
第2章第4節 第1項 流入量予測技術の評価



第2章第4節 第2項 水質予測技術の評価



第2章第4節 第3項 污泥界面予測技術の評価



第2章第4節 第4項 多目的最適化技術の評価

ガイドンス値の算出方法「多目的最適化」

- 雨天時運転操作（揚水量）において考慮すべき事項

目的関数： f_1

浸水しないように...

目的関数： f_3

目的関数： f_2

契約電力超過しないよう 電力も抑えて...

放流水質も守らないと...

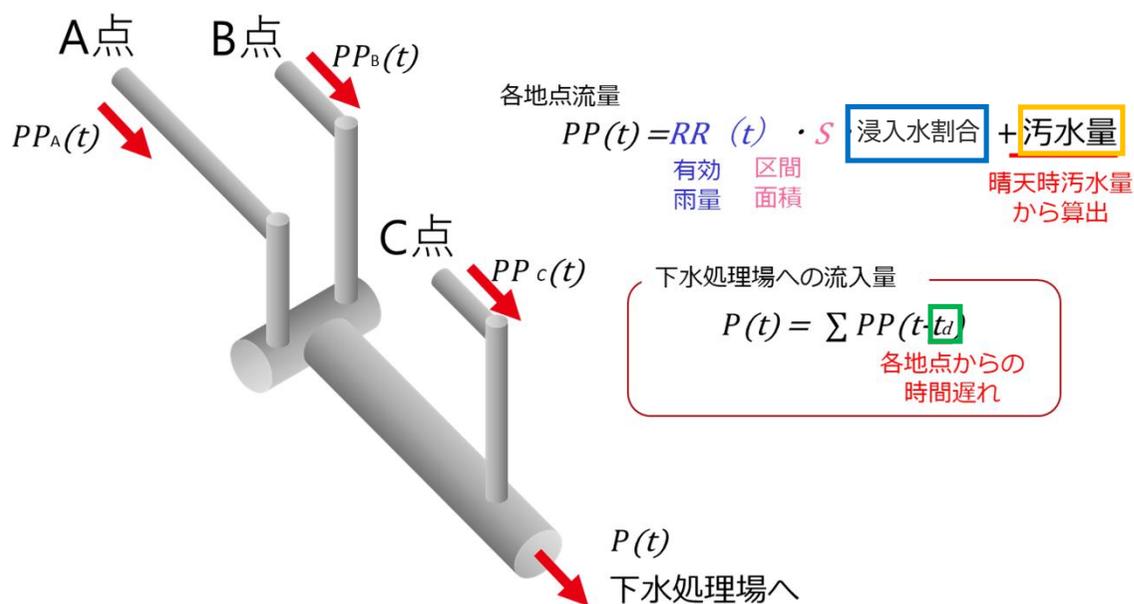
「多目的最適化」 目的関数を最小化する解（揚水量）を探索・学習し、発見する手法

$$F(X) = \alpha f_1 + \beta f_2 + \gamma f_3 + \dots \quad (\alpha, \beta, \gamma \dots \text{の重みづけにより「水位重視」「水質重視」... と呼んでいる})$$

技術の評価

技術の評価(流入予測技術)

流入量予測技術は**タイムエリア法**により**予測**を実施



タイムエリア法の原理図

汚水量:晴天時汚水量から算出

雨水量:

「浸入水割合(降雨量の内、汚水幹線に流入する流量)」

「到達時間遅れ(その地点の降雨がどれだけの時間遅れで処理場(計測点)に到達するか)」

を加味し、流入量を予測

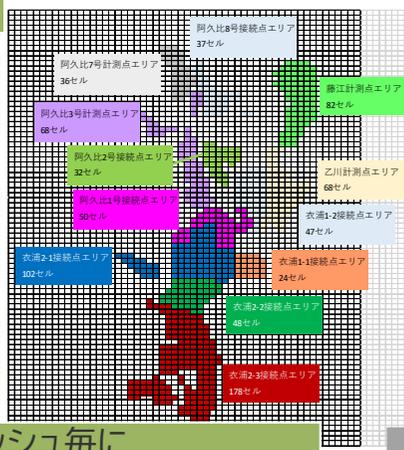
(※)浸入水割合 = $\frac{\text{浸入水量}}{\text{降雨量総量}}$ は、浸入率 = $\frac{\text{雨水流入高}}{\text{雨量}}$ とは異なる

技術の評価

技術の評価(流入予測技術)

流入量予測技術は**タイムエリア法**により**予測**を実施

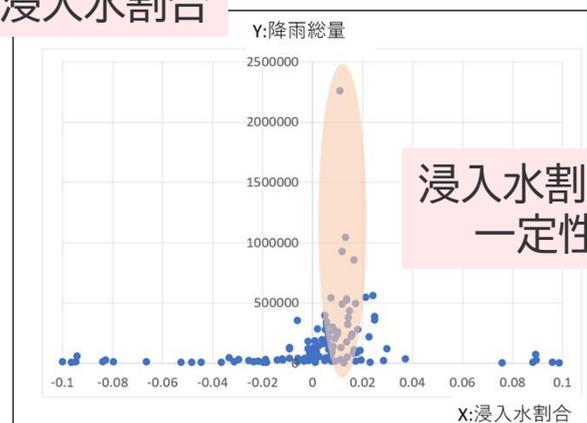
流出時間(時間遅れ)



降雨メッシュ毎に
流出時間(処理場までの到達時間)を設定

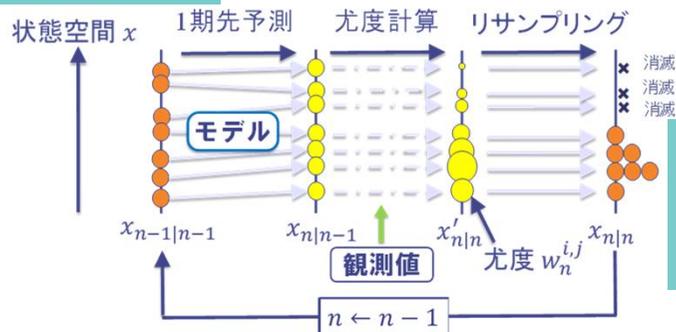
粒子フィルタによる補正

浸入水割合



浸入水割合の
一定性を確認

エリア毎に浸入水割合
(降雨量のうち幹線に流入する割合)を設定



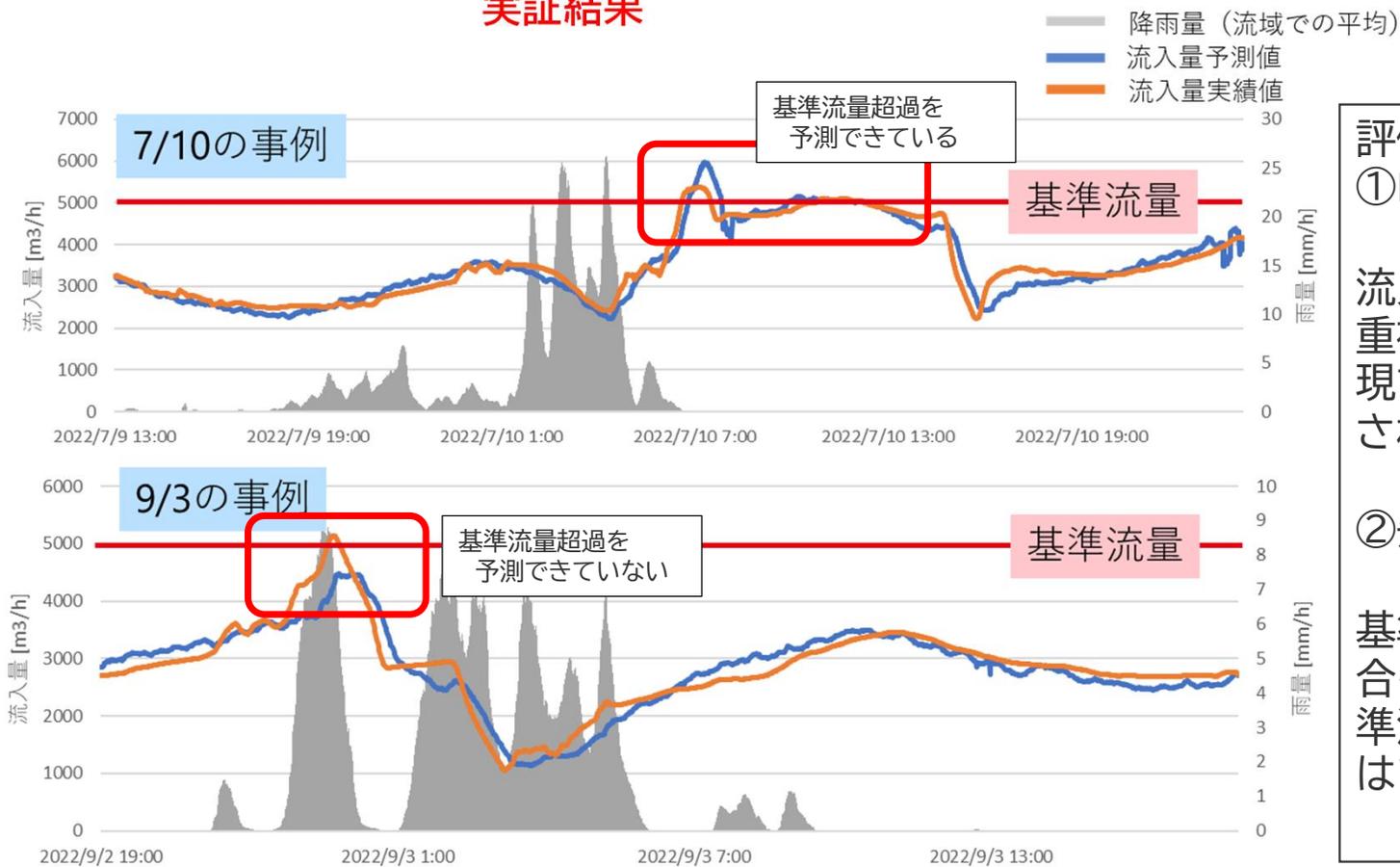
汚水量の変動等
流入予測に必要なパラメータ
を補正する

各パラメータの調整・設定方法は
第3章第2節第1項に記載

技術の評価

技術の評価(流入予測技術)

実証結果



評価結果:○

①NS係数:0.912 >0.7

流入量予測のカーブ(立ち上がり部を重視)が適正に再現できているかを表現する統計学的手法。0.7以上で良とされる

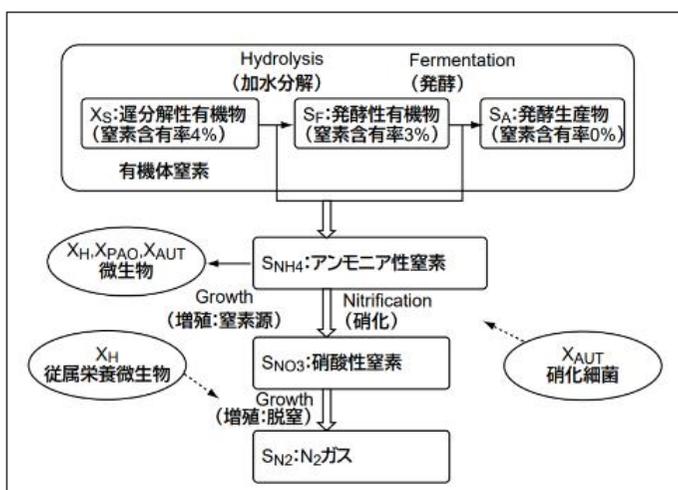
②失報率:6.3%(16例中1例) ≤ 10%

基準流量超過を予測できなかった割合を評価する指標。実証期間中に基準流量超過を予測できなかった事例は1例のみ

技術の評価

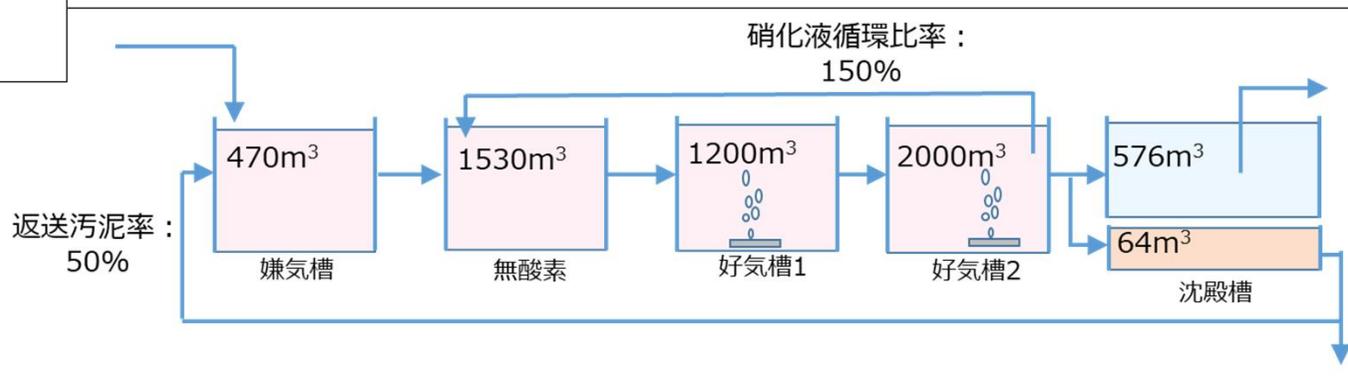
技術の評価(水質予測技術)

水質予測技術は活性汚泥モデル(ASM)により予測を実施



例) 窒素に対する収支計算構造モデル
 窒素化合物に対する化学反応等が記載されており、本モデルに基づき窒素に関する量的変動(処理水質)を予測する

処理場における反応槽をモデル化し、
 処理水質を予測する



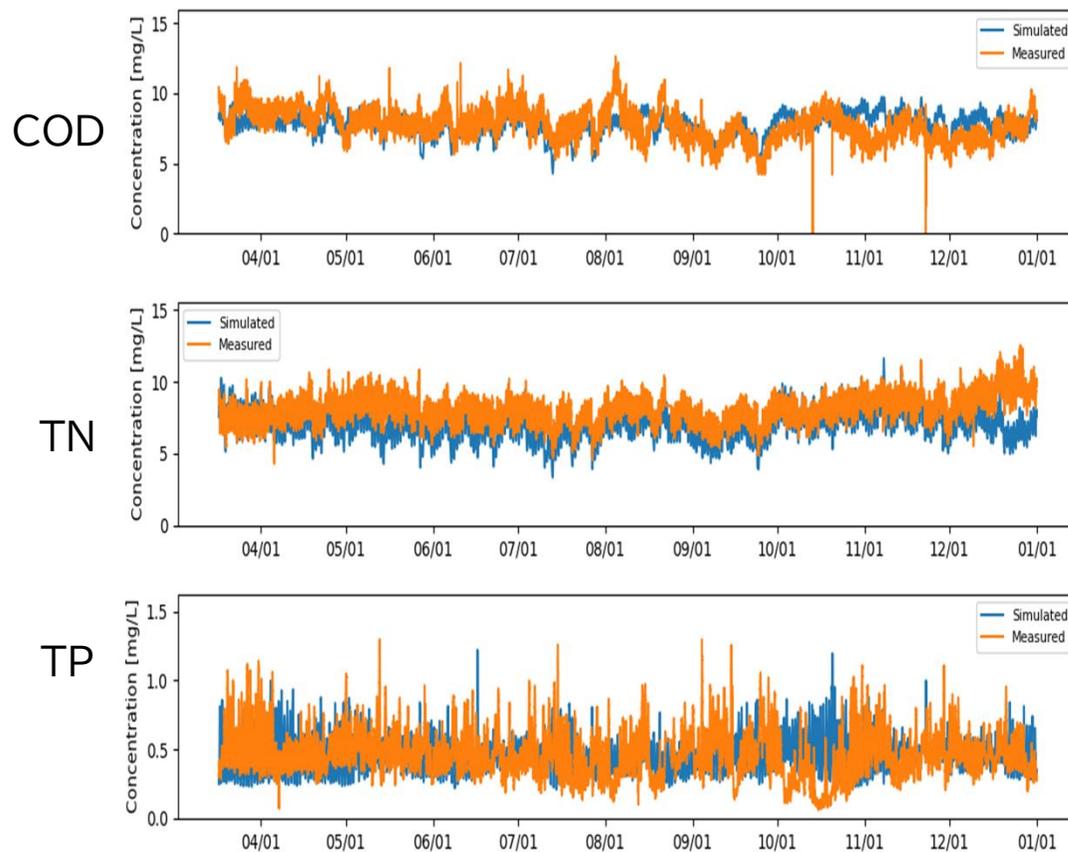
各パラメータの調整・設定方法は
 第3章第2節第2項に記載

技術の評価

技術の評価(水質予測技術)

実証結果

実測値(オレンジ)と予測値(青)



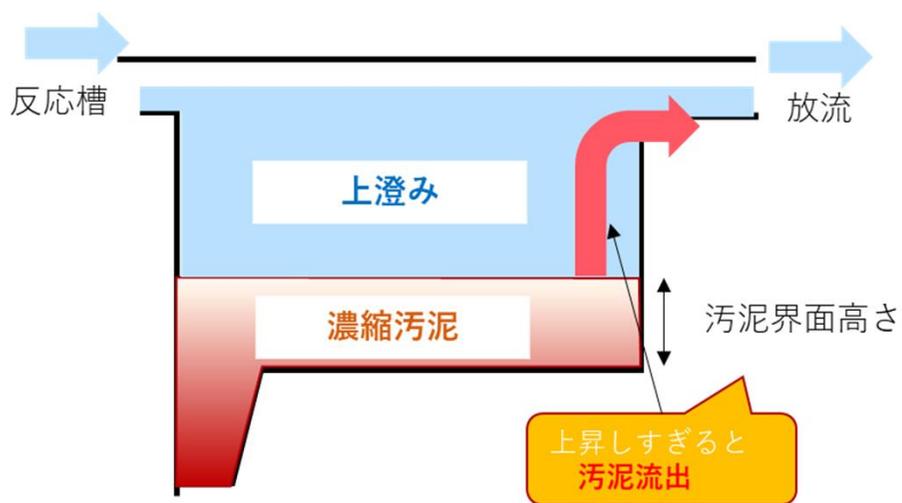
	COD	TN	TP
全期間の 平均絶対誤差率[%]	11.3	13.4	34.5

評価結果: △
TPのみ目標誤差率 30%以下 を達成しなかったが、水質事故までにつながるような重大な誤差ではなかったため、△とした

技術の評価

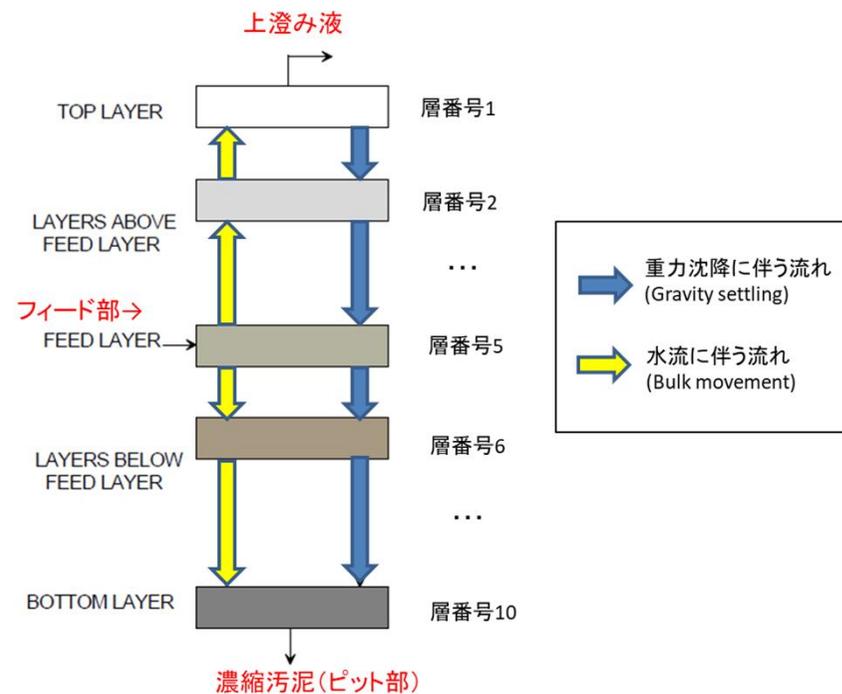
技術の評価(汚泥界面予測技術)

汚泥界面予測技術は最終沈澱池における汚泥の沈降を表現する「Vesilindモデル」を用いて汚泥界面高さを予測



最終沈澱池の構造

各パラメータの調整・設定方法は第3章第2節第3項に記載

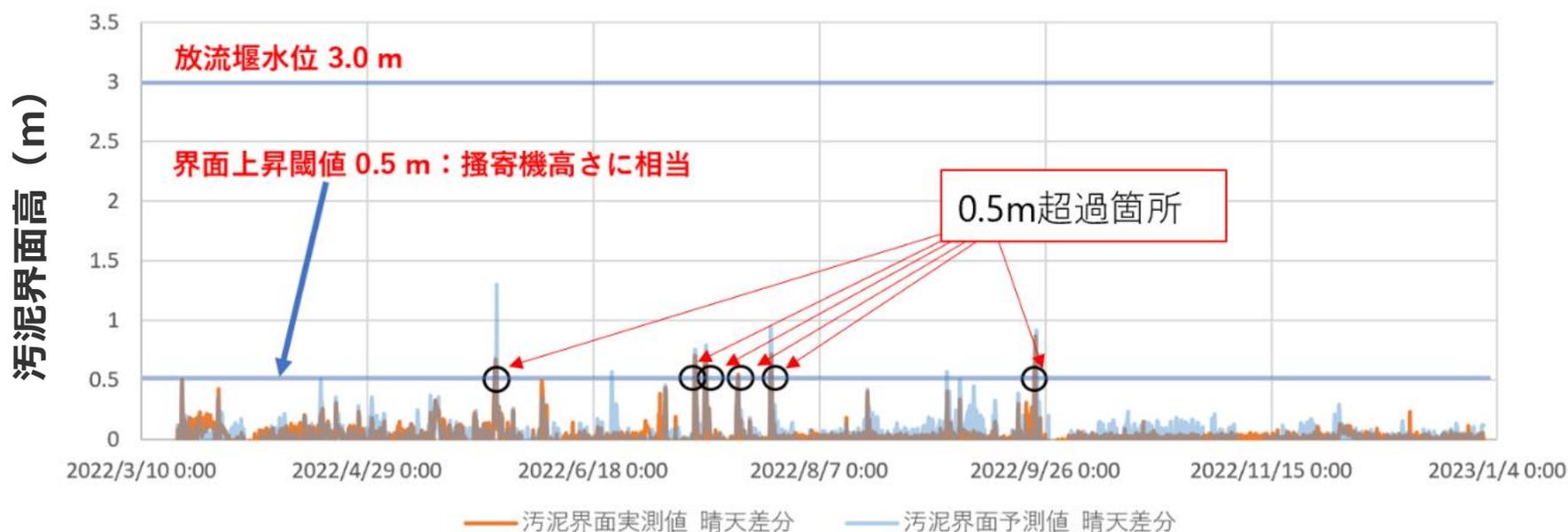


最終沈澱池の物質収支モデル(Vesilindモデル)
(最終沈澱池を縦方向に“層”として分割し、
汚泥の沈降を表現するモデル)

技術の評価

技術の評価(汚泥界面予測技術)

実証結果



実測値カウント	予測値カウント (実測値超過時のカウント)	失報率
6	6	0%

評価結果:○
失報率:0%(6例中0例) ≤ 10%

汚泥界面高の閾値超過を確実に予測できた

技術の評価

技術の評価(多目的最適化:運転ガイドンス)

運転ガイドンスは**多目的最適化**により、**運転ガイドンス**を作成・評価

- 雨天時運転操作 (揚水量) において考慮すべき事項



「多目的最適化」 目的関数を最小化する解 (揚水量) を探索・学習し、発見する手法

$$F(X) = \alpha f_1 + \beta f_2 + \gamma f_3 + \dots \quad (\alpha, \beta, \gamma \dots \text{の重みづけにより「水位重視」「水質重視」...と呼んでいる})$$

目的関数

$$f_1 = \text{mean}\left(\left(\frac{y_1 - z}{4 - 2.3}\right)^2\right) \quad \text{水位は低くしたい}$$

$$f_2 = \text{mean}(y_2 [\text{kWh}]) \quad \text{電力は低くしたい}$$

$$f_3 = \max\left(\frac{\text{COD}(z)}{20[\text{mg/L}]}, \frac{\text{TN}(z)}{16.5[\text{mg/L}]}, \frac{\text{TP}(z)}{1[\text{mg/L}]}\right) + Q_{\text{Total}} \quad \text{水質(総量値)は低くしたい}$$

トレードオフ

制約関数

$$g_1 = y_1 < 5.8[\text{m}], \quad \text{水位は5.8m(管理基準値)を超過しないように}$$

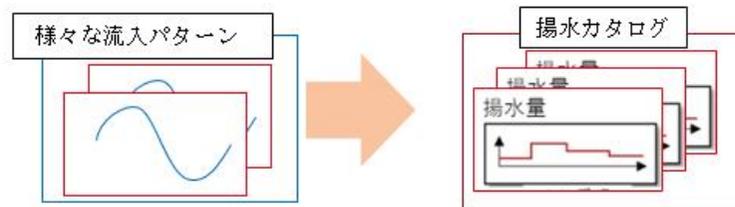
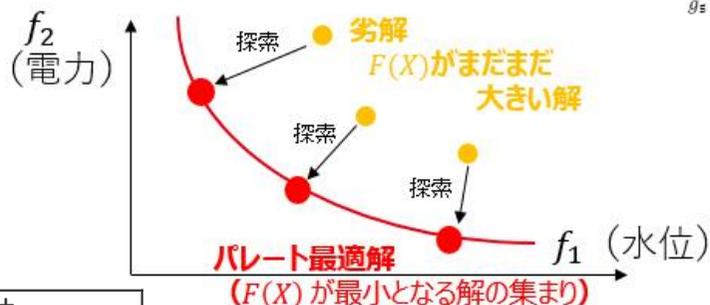
$$g_2 = u(t) < 4000[\text{m}^3/\text{h}] \quad \text{揚水量もできるだけ大きくしたくない}$$

$$g_3 = u(t) < 6000[\text{m}^3/\text{h}] \quad \text{契約電力値(1990kW)を超過しないように}$$

$$g_4 = \text{Demand}(u(t)) < 1990$$

$$g_5 = Q_{\text{Total}} < 0.8 \quad \text{総量規制値の80%以下になるように}$$

※具体的数値は衣浦西部浄化センター用に設定

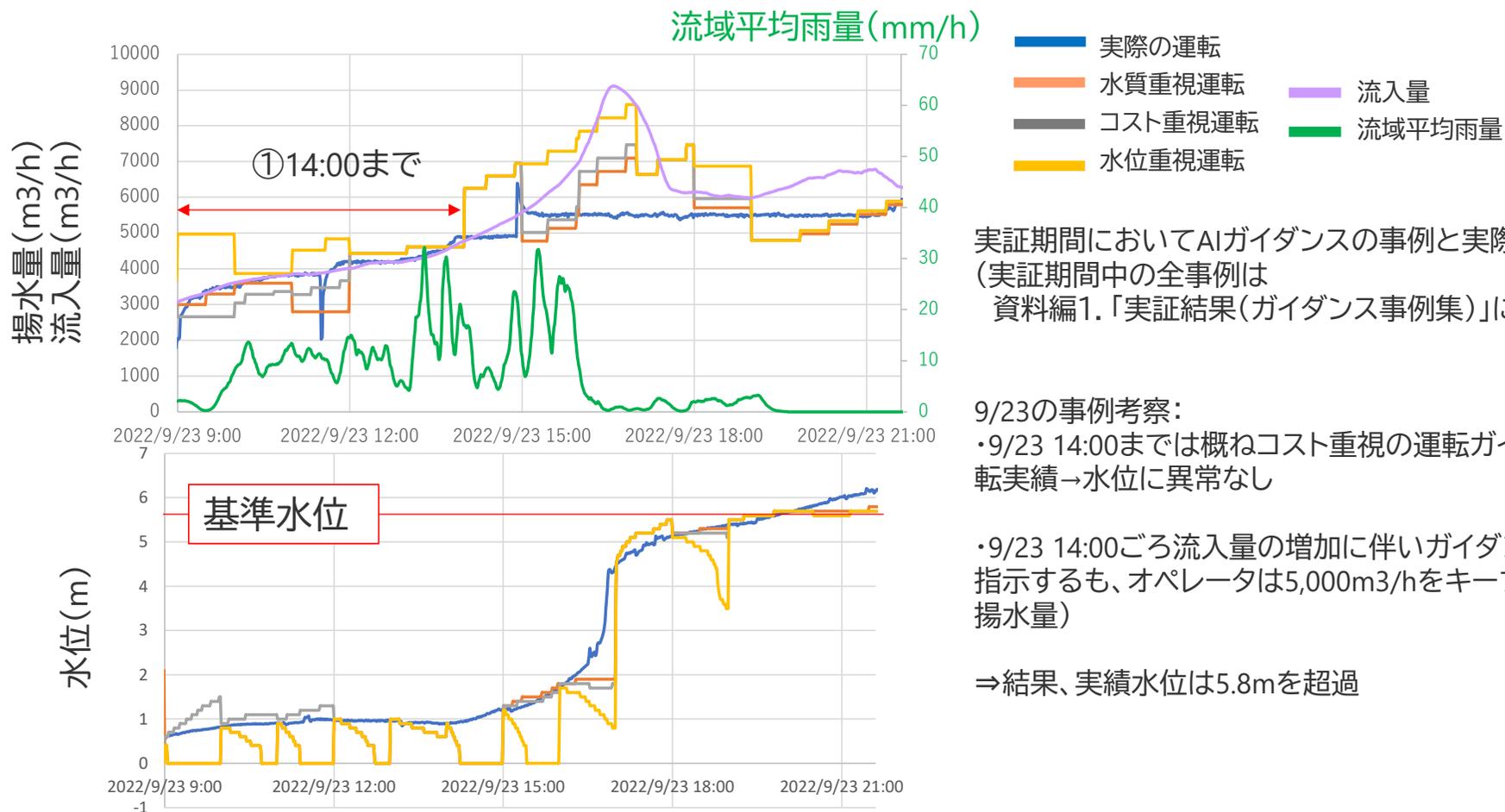


目的関数の設定方法等は第3章第2節第4項に記載

技術の評価

技術の評価(多目的最適化:運転ガイドンス)

実証結果(例)



実証期間においてAIガイドンスの事例と実際の運転を評価
(実証期間中の全事例は
資料編1.「実証結果(ガイドンス事例集)」に記載)

9/23の事例考察:

・9/23 14:00までは概ねコスト重視の運転ガイドンスを参考にした運転実績→水位に異常なし

・9/23 14:00ごろ流入量の増加に伴いガイドンス値は揚水量増加を指示するも、オペレータは5,000m³/hをキープ(公社許可が必要な揚水量)

⇒結果、実績水位は5.8mを超過

技術の評価

技術の評価(多目的最適化:運転ガイドンス)

運転ガイドンスの評価

(2022/6/1~12/31)

	6/21	7/3	7/9	7/12	7/19	7/26	8/12	8/25	9/2	9/8	9/23	10/7	11/13	11/20	11/23	11/28	12/12	12/21	全体評価	
水位超過(実績)	-	-	-	-	-	超過	-	-	-	-	超過	-	-	-	-	-	-	-	-	○ (水位5.8m 超過回数10%削減 達成)
水位超過 (水位重視 ガイドンス)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
電力量削減効果 (コスト重視 ガイドンス)	-5%	8%	-13%	9%	20%	21%	-13%	-4%	14%	11%	-4%	2%	19%	-2%	18%	3%	-2%	-1%	5.0% (雨天時電力量 1.5%削減達成)	
水質総量【24時間 換算】 (COD、水質重視 ガイドンス)	38.8 %	33.6 %	37.7 %	38.1 %	29.4 %	42.8 %	35.0 %	29.8 %	34.6 %	33.7 %	41.3 %	34.3 %	31.7 %	33.6 %	35.5 %	38.5 %	31.2 %	31.7 %	○ (総量規制値の60% 以下達成)	
水質総量【24時間 換算】 (TN、水質重視ガ イドンス)	47.2 %	40.7 %	46.1 %	46.9 %	33.8 %	52.2 %	42.0 %	34.6 %	42.0 %	40.9 %	47.7 %	41.7 %	36.6 %	41.0 %	43.3 %	47.2 %	38.0 %	38.7 %	○ (総量規制値の60% 以下達成)	
水質総量【24時間 換算】 (TP、水質重視ガ イドンス)	29.7 %	23.1 %	21.2 %	39.5 %	20.0 %	55.5 %	20.9 %	17.5 %	24.0 %	24.5 %	43.8 %	22.9 %	15.7 %	23.2 %	25.7 %	28.2 %	20.2 %	20.0 %	○ (総量規制値の60% 以下達成)	

※水位超過の「-」は5.8m超過していないことを示す。
電力量の削減効果は各ケースにおける電力量削減効果割合の平均をとった値

評価結果:○
各運転ガイドンスモードに対して目標値達成
(雨天時制約を考慮した運転が可能)

導入検討

導入効果の検証

今回システムで得られる導入効果を検証

革新的技術により得られる便益

①年平均浸水被害軽減額

5,283千円

年平均超過確率	浸水指標				下水処理場への流入量 (m ³ /h)	被害額(千円)			区域平均被害額(千円)	区域率	年平均被害額(千円)	年平均被害額の累計-年平均被害軽減期待額(千円)	
	60分間雨量 (mm)	浸水面積	想定流入水割合	浸水への総雨量 (mm)		①事業を実施しない場合	②事業を実施した場合	③被害軽減額 (①-②)					
1/2	38.2	3497	0.50%	1,335,854	2,800	9,479	0	0	0	30.0%	0	0	
1/5	53.9	3497	0.50%	1,884,883	2,800	12,224	0	0	2,500	10.0%	250	250	
1/10	65.1	3497	0.50%	2,276,547	2,800	14,183	5,000	0	5,000	20.0%	1,000	1,250	
1/20	78.5	3497	0.50%	2,675,205	2,800	16,176	35,000	0	35,000	80.0%	1,333	2,583	
1/30	83.4	3497	0.50%	2,916,498	2,800	17,382	125,000	0	125,000	142.500	1,900	4,483	
1/50	92.3	3497	0.50%	3,227,731	2,800	18,939	285,000	125,000	160,000	80.0%	1,000	5,283	
1/100	104.7	3497	0.50%	3,661,359	2,800	21,107	285,000	285,000	0	0	0.5%	0	5,283
1/200	117.7	3497	0.50%	4,115,969	2,800	23,380	285,000	285,000	0	0	0	0	

「下水道事業における費用対効果分析マニュアル」により作成

②年平均維持管理費軽減期待額

400千円

水位管理基準値超過回数の低減による

職員の呼び出し回数の低減

年間4回

(参考)雨天時電力量削減による電力コストの低減

38.5kW × 1,650円/月 × 12か月

762千円

得られる便益 5,683千円 / 年

他機場に展開する場合の「費用対効果算出ツール」は資料編2.に記載

概算必要費用

①初期コスト

建設費

47,000千円

水質モデル構築用計装センサ
(初年度レンタルと想定)

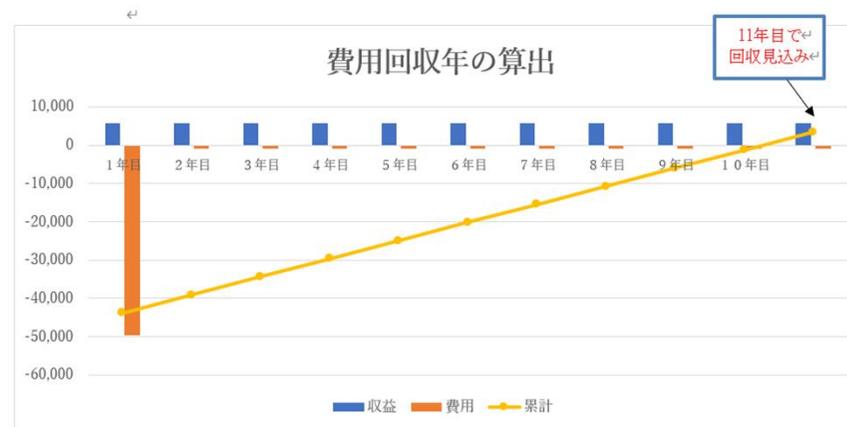
2,500千円

②ランニングコスト

通信費

960千円(年間)

(XRAIN利用料含む)



問い合わせ先

ガイドラインに対する問い合わせ

国土交通省 国土技術政策総合研究所

下水道研究部 下水道研究室
〒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>

実証技術に対する問い合わせ

三菱電機(株)

三菱電機株式会社 社会環境事業部 社会システム第一部 第一課
〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
TEL 03-3218-1156 FAX 03-3218-2893
URL <https://www.mitsubishielectric.co.jp/>

(大)東京大学

東京大学経営企画部 国際戦略課東京カレッジチーム
〒113-8654 東京都文京区本郷7-3-1
TEL 03(3812)2111
URL <https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/index.html>

(公財)愛知水と緑の公社

愛知水と緑の公社 下水道部管理課
〒460-0002 名古屋市中区丸の内三丁目19-30
TEL 052-971-3045 FAX 052-971-3053
URL <http://aichi-mizutomidori.or.jp/>

愛知県

愛知県 知多建設事務所 都市施設整備課
〒475-0828 愛知県半田市瑞穂町2-2-1
TEL 0569-21-3314
URL <https://www.pref.aichi.jp/>