

第 1 章 試験研究調査活動

1. 試験研究調査

1. 1 令和3年度試験研究調査一覧

研究費目	試験研究テーマ	委託団体	研究担当者	頁
試験研究費	膜分離活性汚泥法の更なる省エネ化の推進	—	糸川浩紀 山本明広 相川えりか	2
	新たな生物反応等を用いた次世代水処理技術の開発	—	糸川浩紀 相川えりか 山本明広	3
	低含水率脱水機の評価	—	新川祐二 村岡正季 鈴木博子	4
	嫌気性消化・バイオガス利用の拡大	—	新川祐二 熊越瑛 島田正夫	5
	燃料化・肥料化による下水汚泥の資源利用の拡大	—	新川祐二 熊越瑛 島田正夫	6
	処理能力増強技術の導入手法の確立	—	糸川浩紀 山森隼人	7
	耐硫酸防食被覆工法の事後調査	—	糸川浩紀 瀧本由樹 山森隼人 橋本敏一	8
	有機酸・炭酸による腐食の対策技術の確立	—	糸川浩紀 山森隼人 瀧本由樹 橋本敏一	9
	施設運転管理効率化・高度化・自動化技術の開発	—	糸川浩紀 山本明広 相川えりか	10
	下水処理場の全体最適化手法の確立	—	糸川浩紀 山本明広 山森隼人	11
受託研究調査費 (国受託)	車両型地中レーダ探査装置と空洞判定AIを用いたスクリーニング技術の実用化に向けた調査事業（B-DASH FS調査）	国土交通省 国土技術政策 総合研究所	猪木博雅 山森隼人 山本明広 瀧本由樹	12
	ICTの活用による下水道施設広域監視制御システム実証研究（B-DASH）	国土交通省 国土技術政策 総合研究所	井上剛 井上賀雅 小川剛	13
	下水道分野における脱炭素化に関する方策検討業務	国土交通省	新川祐二 村岡正季 鈴木博子	非掲載
受託研究調査費 (地方受託)	木津川流域下水道洛南浄化センターにおける水処理能力の増強方策検討業務	京都府	糸川浩紀 山本明広 瀧本由樹	非掲載
	仙塩流域下水道仙塩浄化センター消化ガス供給に関する調査業務	宮城県	新川祐二 村岡正季 鈴木博子	非掲載
	富山市公共下水道浜黒崎浄化センター設備更新に係る履行監視実施検討に係る技術的援助（受託連携）	富山市	山本明広 山森隼人	非掲載
	南蒲生浄化センター汚泥処理施設再構築事業業務委託（受託連携）	仙台市	新川祐二 熊越瑛 島田正夫	非掲載
その他	3件			
合計 20 テーマ			令和3年度完了 18 テーマ	

1. 2 令和3年度試験研究調査結果の概要

研究テーマ名	膜分離活性汚泥法の更なる省エネ化の推進		
研究期間	平成29年度～令和3年度	研究費目	試験研究費
研究担当者	糸川浩紀（研究主任），山本明広（主担当），相川えりか		

1. 目的

本開発課題は、第4期公募型共同研究における省エネ目標（処理水量あたり電力使用量原単位 0.4kWh/m³以下）を上回る省エネ性能等を有する新たな MBR を開発すると共に、省エネ性能を含む MBR の性能評価方法や要求性能水準、概算コストの試算方法等を確立することを目的とする。

2. 本年度の研究成果

（1）新たな膜洗浄方法や処理フローを適用した MBR の実証実験

過年度から継続して、省エネ化等を図る MBR システムの開発に関する共同研究を行った。オゾン水を用いた新たな膜洗浄技術により省エネ・低コスト化を図る MBR や、多段式の処理フローにより 90%以上の窒素除去率を達成可能な MBR 等に関する実証実験を完了した。

（2）MBR の省エネ性能等の明確化

上述の実証実験に先立つ共同研究4件の成果を統合し、当該点での MBR の省エネ性能について明確化した。主たる成果は以下の通りである。

- これまでの省エネ化の方法は、送風機を中心とした消費電力の削減である。
- 処理能力 50,000m³/d 規模の試算では、日平均水量を処理する条件での電力使用量原単位（処理水量当り）は 0.25～0.38kWh/m³ の範囲となり、0.3kWh/m³ 以下で運転可能な MBR が現実的となっている（図-1）。
- 膜の長尺化や集積率の向上等により、省エネ化だけでなく機械・電気設備の建設コストの削減も期待できる。

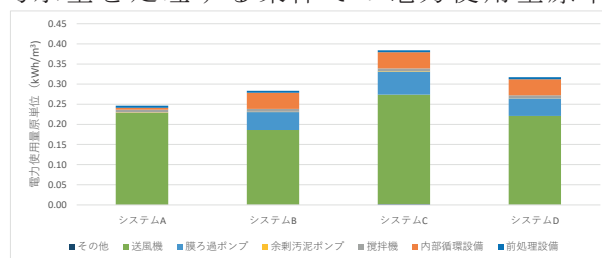


図-1 4種の省エネ型 MBR における電力使用量原単位の試算結果

（3）MBR における膜の交換実績の収集・整理

MBR のコスト因子として影響が大きい膜の交換費の水準を明確にするための基礎的情報として、国内で 10 年以上の稼働実績を持つ MBR 施設 15 箇所を対象に、膜の交換実績に関する情報を施工業者へのアンケート調査により収集・整理した。主たる成果は以下のとおりである。

- 稼働から 10 年が経過した時点で膜を交換していない施設が 7 箇所、設置膜面積に占める累積交換率が 10%未満の施設を含めると 11 箇所であった。
- 5 施設において、メーカー推奨又は膜ユニットの標準耐用年数に基づき、11～16 年が経過した時点で、膜ユニット単位での交換が行われていた。

（4）技術評価（第3次）の実施

① MBR の省エネルギー性能、② MBR における流量変動対応、③ MBR の性能評価方法、④ 膜の交換実績の4点について JS 技術評価委員会による技術評価を実施し、「膜分離活性汚泥法の技術評価に関する第3次報告書 - MBR の省エネ化と流量変動対応 -」を公表した。

3. 研究期間全体の総括

5 か年の調査研究では、更なる省エネ化や高効率の窒素除去を可能とする MBR システムの開発を行った。また、MBR の適用拡大や導入促進を図るため、各 MBR システムの経済性を評価するための標準的な検討条件および検討手法の検討や、現時点の MBR の技術性能を明確化するため、省エネ性能等に関する技術評価を行った。

キーワード	膜分離活性汚泥法，MBR，省エネ
-------	------------------

研究テーマ名	新たな生物反応等を用いた次世代水処理技術の開発		
研究期間	平成29年度～令和3年度	研究費目	試験研究費
研究担当者	糸川浩紀（研究主任），相川えりか（主担当），山本明広		

1. 目的

本開発課題では、従来技術と比較して省エネ・省コスト等が期待できる新たな生物反応等を用いた水処理技術の開発を目的とする。過年度の検討において、従来は汚泥処理返流水等の処理に用いられてきたアナモックス反応を下水の高度処理に適用する新たな窒素除去技術の対象として選定した上で、下水の高度処理の条件（低水温・低窒素濃度）下での処理性能や処理特性に関する基礎的な実験を行った。

2. 本年度の研究成果

過年度のラボスケールでの連続処理実験（ラボ実験）において、低水温・低窒素濃度の原水に対して、一槽式アナモックス槽（微好気槽）を組み込んだ循環式硝化脱窒法（循環法）により内部循環比（R）を低く抑えながら現実的な窒素除去率が得られる見込みを得たことから、引続き図-1に示す装置を用いたラボ実験により水温・原水濃度・内部循環比等の処理条件が窒素除去性能に与える影響を確認すると共に、ベンチスケールへと装置規模を上げた実験プラントの運転を開始した。

（1）処理条件が窒素除去性能に与える影響の確認

水温を 20℃又は 15℃、原水の C/N（炭素/窒素）比を 0.5-3.0、R を 0.5-3.0 の範囲で変化させた運転を行った。

C/N 比が 2 の条件において、通常の方法と同様に、R を上げると T-N 除去率が向上する傾向が見られた一方で、アナモックス寄与率（T-N 除去量全体に対する微好気槽での除去量の寄与率）は R が 0.5-1.0 と低い条件で高くなる傾向が見られた。（図-2）

また、C/N 比が大きくなるとプロセス全体の T-N 除去率は向上するが、微好気槽における T-N 除去率は低下する傾向がみられた。さらに、微好気槽への流入 TOC（全有機炭素）濃度と同槽の T-N 除去率の関係（図-3）から、流入 TOC 濃度を 30mg/L 程度より低く維持することで同槽の T-N 除去率が 20%を超える可能性が示唆された。

以上より、原水の C/N 比が 2.0 以下、微好気槽の流入 TOC 濃度が 30mg/L 以下の範囲において、プロセス全体で、通常の方法に比べ低い R（0.5-1.0 程度）すなわち少ない電力量でほぼ同等の窒素除去率を期待できる。

（2）ベンチプラントの立ち上げ

図-1と同様の槽構成からなるベンチプラント（処理能力 100L/d×2 系列）を JS 技術開発実験センター内に整備し、実下水（沈後水）を用いた立ち上げ運転を実施した。

3. 研究期間全体の総括

新技術に関する文献調査からアナモックスを研究対象とし、研究開発動向調査を実施した。ラボ実験により低水温・低窒素濃度においてもアナモックスによる窒素除去が可能であることを確認し、省エネ型高度処理プロセスとして通常の方法とほぼ同等の窒素除去率を期待できる C/N 比・微好気槽流入水質条件を検討した。令和4年度以降、ベンチプラントでの SS 阻害の影響や低水温下での処理性能等について研究を続けていく。

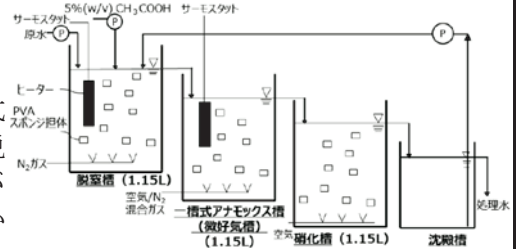


図-1 ラボ実験装置

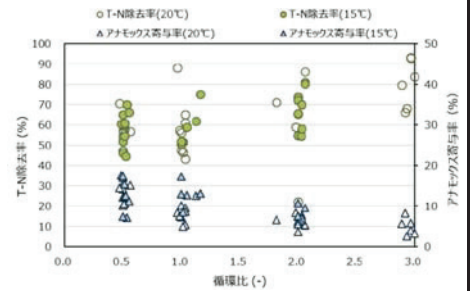


図-2 T-N 除去率とアナモックス寄与率に及ぼす循環比の影響（C/N 比=2）

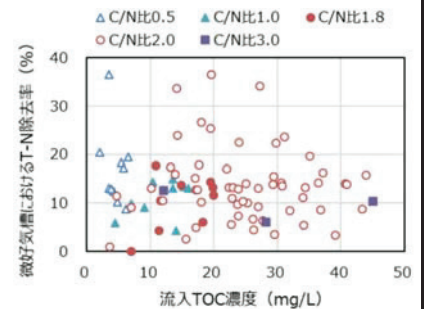


図-3 微好気槽における流入 TOC 濃度と T-N 除去率の関係

キーワード	一槽式アナモックス，低水温，低窒素濃度排水
-------	-----------------------

研究テーマ名	低含水率脱水機の評価		
研究期間	平成30年度～令和3年度	研究費目	試験研究費
研究担当者	新川祐二（研究主任），村岡正季（主担当），鈴木博子		

1. 目的

本研究では、低含水率型脱水機^{*}の事後評価調査として、導入後の性能発揮状況や維持管理状況、運転管理上の課題等を把握、整理することにより、低含水率型脱水機の改良や技術の向上、さらに普及拡大に資することを目的とする。

^{*}圧入式スクリーブレス脱水機Ⅱ型・Ⅲ型、遠心脱水機高効率Ⅱ型・機内二液調質型、回転加圧脱水機Ⅱ型の総称として使用。

2. 本年度の研究成果

過年度の低含水率型脱水機の事後評価調査を通じて、汚泥性状による脱水性能への影響について課題が明確となった。令和3年度は、下水道統計（公益社団法人日本下水道協会）における汚泥性状の長期的な経年変化（2005～2018年度）を整理・解析するとともに、低含水率型脱水機の試運転データを基に、供給汚泥性状（固形物濃度、強熱減量、繊維状物）と脱水性能（脱水ケーキ含水率又は処理量）との関係性を調査した。

(1) 汚泥性状の経年変化

濃縮汚泥、嫌気性消化汚泥とともに、2005年度から2018年度にかけて強熱減量が増加傾向であり、各年度の中央値で比較すると、濃縮汚泥では83.0%から86.0%に、嫌気性消化汚泥では68.9%から73.7%に、ほぼ直線的に推移していた。

また、嫌気性消化汚泥の強熱減量の値ごとの処理場数分布を整理した（図-1）。その結果、2005年度と比較して、2018年度は処理場数のピークが高濃度側にスライドし、機械設備標準仕様書（日本下水道事業団）における標準汚泥の設定範囲（57～70%）を超える割合が約4割から約8割に増加していた。

(2) 汚泥性状と脱水性能との関係性

各種汚泥性状と脱水性能の関係を脱水機種別に解析した結果、脱水ケーキ含水率と繊維状物に顕著な相関が見られた。

(3) まとめ

- ・2005年から2018年にかけて濃縮汚泥や嫌気性消化汚泥の強熱減量は年々増加傾向にあり、難脱水化の進行がうかがえた。強熱減量の増加に伴い、機械設備標準仕様書における標準汚泥の設定範囲と実態との乖離が見られた。
- ・供給汚泥の固形物濃度や強熱減量と同様に、繊維状物は脱水機の運転管理を行う上で、また、改築時には脱水機の最適な機種選定と能力評価を行うために、重要な基礎データであると考えられる。

3. 研究期間全体の総括

- R3 は脱水機供給汚泥の経年変化を調査し、強熱減量について標準汚泥の設定範囲と実態との乖離が見られたことから、今後の基準改訂等に資する基礎資料となった。
- H31～R2 にかけて低含水率型脱水機の性能発揮状況を調査し、各脱水機ともに機械設備標準仕様書の性能値を概ね満足していることが確認できた。
- 本研究成果を基に、R3より圧入式スクリーブレス脱水機Ⅲ型を標準化した。

キーワード 低含水率型脱水機，強熱減量，繊維状物，脱水ケーキ含水率

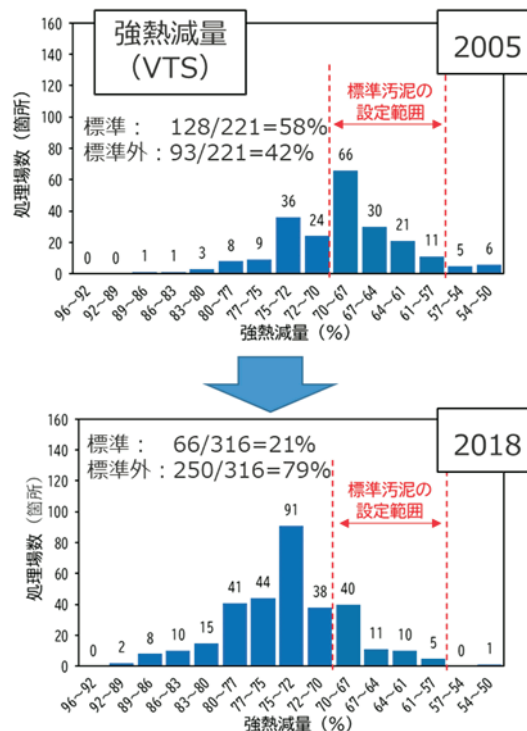


図-1 強熱減量ごとの処理場数分布

研究テーマ名	嫌気性消化・バイオガス利用の拡大		
研究期間	平成29年度～令和3年度	研究費目	試験研究費
研究担当者	新川祐二（研究主任），熊越瑛（主担当），島田正夫		

1. 目的

地球温暖化対策や循環型社会構築の面から、下水汚泥の嫌気性消化により得られるバイオガスの利用が注目されている。また、国土交通省では下水処理場を「水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化」とすることを目標として掲げている。このような背景のもと、本研究は、下水汚泥および地域バイオマスの嫌気性消化特性の把握や、地域バイオマスを受け入れる際の受け入れ方法・影響等について検討を行い、嫌気性消化・バイオガス利用の拡大を図ることを目的とする。

2. 過年度の経過

- ・平成30年度：下水汚泥および地域バイオマスの嫌気性消化特性の把握、シミュレーターを用いたバイオマス受け入れ時の水処理などへの影響検討を実施
- ・令和元年度：し尿・浄化槽汚泥を受け入れている下水処理場を対象とした不具合事例調査を実施
- ・令和2年度：鋼板製消化タンク導入後の運転実態調査を実施

3. 本年度の研究成果

過年度の成果では、地域バイオマス受け入れによる影響についてシミュレーターを用いて検討を行ったが、精緻なキャリブレーションを要する課題があった。そこで本年度は、より簡易に嫌気性消化施設の導入および地域バイオマスの受け入れによる影響を予測することを目的に、シミュレーターの代替として汎用表計算ソフトを用いた検討ツールを開発した。

本検討ツールの試算例として、仮想の下水処理場（処理規模 35,000m³/日）に嫌気性消化施設を新規導入した場合、さらに生ごみ、し尿、浄化槽汚泥をそれぞれ 15m³/日ずつ受け入れた場合について、図-1に示す。嫌気性消化施設を導入する際やバイオマスを受け入れる場合の消化ガス発生量、脱水汚泥量、返流水負荷量等を簡易に把握することが出来る。

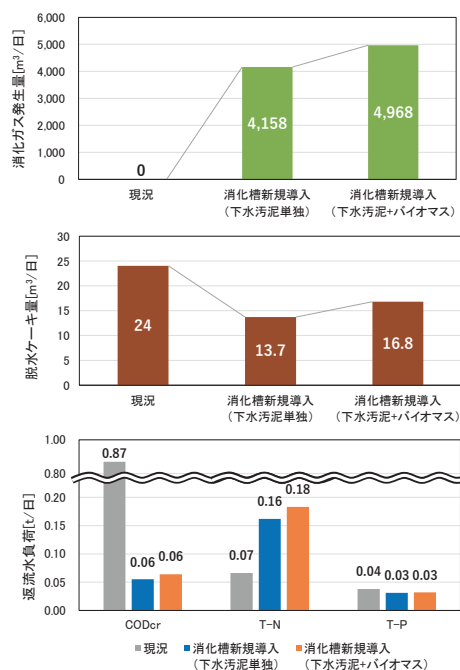


図-1 検討ツールによる試算

4. 研究期間全体の総括

5年間の調査において、下水汚泥および地域バイオマスのガス発生量等の嫌気性消化特性を比較し、消化ガス発生量増加を見込めるバイオマスを確認した。バイオマス等の受け入れに際しては、水処理や汚泥処理の運転に影響を及ぼすことがあるため、施設設計や維持管理で留意する必要がある。また、近年普及が進んでいる鋼板製消化タンクは、従来のコンクリート製消化タンクと同等の消化性能を有し、攪拌動力の低減や建設工期の短縮等の効果が確認された。嫌気性消化施設の導入検討や地域バイオマス受け入れ前後の変化については、本検討ツールを用いることで簡易に予測することができる。また、詳細な検討が必要な場合は、シミュレーターによる検討を行うことで、より詳細な検討が可能となる。

キーワード	嫌気性消化，バイオガス，地域バイオマス，シミュレーター
-------	-----------------------------

研究テーマ名	燃料化・肥料化による下水汚泥の資源利用の拡大		
研究期間	平成29年度～令和3年度	研究費目	試験研究費
研究担当者	新川祐二（研究主任），熊越瑛（主担当），島田正夫		
<p>1. 目的 平成27年度の下水道法の改正により、下水道管理者に対して発生汚泥等を燃料又は肥料として再生利用することが努力義務化された。本研究は、下水汚泥の燃料化・肥料化の技術開発、実態調査等により、下水汚泥の更なる資源利用の拡大に寄与することを目的とする。</p> <p>2. 過年度の経過 平成29～平成30年度 下水汚泥固形燃料化事業に係る実態調査を実施 令和元年度 小型コンポスト化試験装置を用いた肥料製造試験を実施 令和2年度 大型肥料化試験装置を開発、下水汚泥肥料の利用に係るヒアリング調査を実施</p> <p>3. 本年度の研究成果 (1) 下水汚泥コンポスト肥料の運転条件の検討 数十～100kg程度 of 下水汚泥コンポスト肥料を簡易に試験製造する方法を確立することを目的に、前年度に開発した大型肥料化試験装置を用いて運転条件の検討を行った。種汚泥約70～80kgと脱水汚泥（嫌気性消化汚泥、OD法汚泥）を5～25kg/日の範囲で投入量を段階的に増やしながら4週間投入し、2次発酵期間を含めて9週間程度で、発酵促進剤や副資材を添加せずに250kg程度の脱水汚泥を簡易にコンポスト化製造することが可能となった。これにより、試験施肥する場合にも十分な量の肥料を、簡易に製造可能な運転条件を確立した。</p> <div data-bbox="1117 779 1428 1003" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">図－1 大型肥料化試験装置（内部）</p> (2) 下水汚泥コンポスト肥料の事業性の検証 立型密閉式発酵槽方式と堆積式発酵槽方式の2種類の下水汚泥コンポスト化方式を対象に、脱水汚泥量5～50t/日規模で事業性の検証を行った。脱水汚泥量50t/日規模において、脱水汚泥1t当たりの建設・処理に係る事業費は、補助金を考慮しない場合でも19～31千円/tとなり、一般的な脱水汚泥処分費用と比較して安価となる場合もあるため事業化の可能性が期待できる。一方、5t/日規模では補助金を考慮しても25～41千円/tとなり、事業性は低いと考えられた。 (3) 下水汚泥コンポスト肥料の高付加価値化に係る調査 過年度のヒアリング調査から得られた課題を踏まえ、ペレット化、篩分け、袋詰め等の高付加価値化方法について、事業実施に際しての追加コストを試算した。3つの方法を全て行った場合には、脱水汚泥量5～50t/日規模における脱水汚泥1t当たりの処理に係る追加コストは、補助金を考慮しない場合で3.3～11.1千円増加となった。このうち、篩分けや袋詰めは比較的安価であり、導入しやすい高付加価値化の方法であると考えられた。 <p>4. 研究期間全体の総括 下水汚泥の燃料化・肥料化による資源利用は、中小規模の下水処理場では、初期投資に要するコストが大きくスケールメリットが働かないため、集約処理等により効率化を図ることが期待される。燃料化や肥料化の検討を行う場合には、想定される需要者のニーズ等を事前に調査し、製造物の高付加価値化を図りながら事業性を検討することが望まれる。</p>			
キーワード	下水汚泥固形燃料，下水汚泥コンポスト肥料，事業性，高付加価値化		

研究テーマ名	処理能力増強技術の導入手法の確立		
研究期間	平成29年度～令和3年度	研究費目	試験研究費
研究担当者	糸川浩紀（研究主任）、山森隼人（主担当）		

1. 目的

本開発課題では、人口減少下での施設統廃合等に伴う処理能力の不足に柔軟に対応すべく、最初沈殿池、反応タンク、最終沈殿池、急速ろ過といった水処理工程の代替・処理能力増強技術について、新たな技術開発や導入施設における事後調査等を実施すると共に、再構築時等における導入検討手法を確立することにより、更なる普及促進を図ることを目的とする。

2. 本年度の研究成果

(1) 各種処理能力増強技術および代替技術の実証実験

水処理工程各所の処理能力増強技術や代替技術について、共同研究や B-DASH プロジェクト（自主研究を含む）による実証実験を継続した。

- ・初沈代替高速ろ過システム（R2 年度共同研究完了→R3 年度新技術 I 類選定）
- ・能力増強型水処理システム（共同研究継続）
- ・高効率固液分離技術と二点 DO 制御技術を用いた省エネ型水処理技術
- ・（R3 年度 B-DASH 自主研究完了）
- ・最終沈殿池の処理能力向上技術（B-DASH 自主研究継続）
- ・ディスク式特殊長毛ろ布ろ過装置（R2 年度共同研究完了→R3 年度新技術 I 類選定）

(2) OD 法における二点 DO 制御システム（新技術 I 類）の事後調査

昨年度に引き続き、本技術の導入施設 1 箇所を対象に、水質調査（定期、通日）等の事後調査を行った。通日調査において、好気ゾーンおよび無酸素ゾーンの各 2 箇所における DO 濃度の計測値から、安定して DO 濃度勾配が形成されていることを確認した。更に、流入水質等から推定した酸素要求量の時間変動に対応して送風量が変化していること（図-1）を確認した。なお、本技術の導入系列では、対照系列と比較して OD 槽容積当りの流入水量が約 2 倍の高負荷条件で運転されているにも拘らず、両系列の処理水の BOD 濃度は同程度（3 ヶ月間の最大値で 10mg/L 以下）であった。

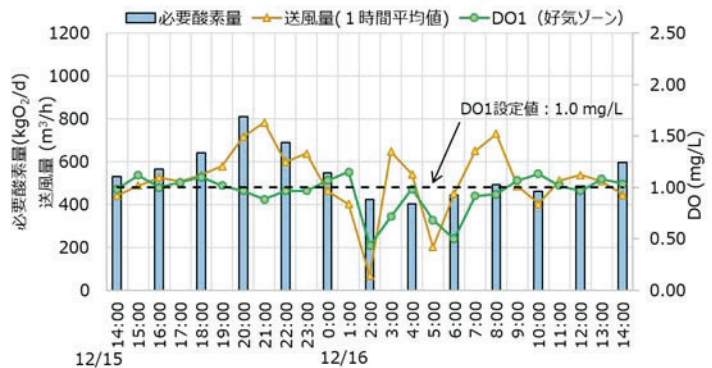


図-1 通日調査（冬季）における酸素要求量（推定値）、送風量、DO 濃度の経時変化

(3) 処理能力増強技術の導入検討手法の検討

多数の処理能力増強技術の組合せから、コスト的に有利な少数の候補を簡易に抽出する手法を見出した。

3. 研究期間全体の総括

5 年間の調査研究の成果として、新たに 2 つの処理能力増強技術が新技術 I 類に選定された。OD 法における二点 DO 制御システムについては、導入施設での事後調査により処理性能等の検証を行い、本システムの機能が有効に発揮されること、良好な処理水質が得られることを確認した。令和 4 年度も事後調査を継続し、調査結果に基づき本技術の基準化を図る。一方、実用化された処理能力増強技術について、導入促進等に供する汎用的な導入検討手法案を見出した。今後、更に汎用的な導入検討手法として確立するために継続して検討を行う。

キーワード	処理能力増強技術，二点 DO 制御システム
-------	-----------------------

研究テーマ名	耐硫酸防食被覆工法の事後調査		
研究期間	平成29年度～令和3年度	研究費目	試験研究費
研究担当者	糸川浩紀（研究主任），瀧本由樹（主担当），山森隼人，橋本敏一		

1. 目的

本開発課題では、(a)耐硫酸防食被覆工法が施工された下水道施設を対象にした事後調査（現地調査）と(b)実施設にて試験施工した耐硫酸モルタルのフォローアップ調査を実施することで、「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル」（以下、「防食マニュアル」という。）における耐硫酸防食被覆工法の課題を明らかにし、技術の改良・向上に資することを目的とする。

2. 調査内容

- ・耐硫酸防食被覆工法の事後調査：平成29年度に、全国の下水処理場を対象にアンケート調査を実施し、防食被覆層の設置・供用状況等に係る実態を把握した。その後、平成30年度から令和3年度にかけて、供用年数が10年を超過している防食被覆層を有する下水処理場の計14施設を対象に、腐食環境（液相中及び気相中の腐食環境指標等）と防食被覆層の劣化状況（接着強さ、硫酸侵入深さ等）について現地調査を実施した。
- ・耐硫酸モルタルのフォローアップ調査：実施設において試験施工された耐硫酸モルタルについて、試験施工箇所や試験体の劣化状況、同箇所の腐食環境等を10年間の長期に亘り追跡調査した（令和元年度完了）。

3. 本年度の研究成果

本年度は、工法規格がC種又はD種の塗布型ライニング工法による防食被覆層が施工され、供用年数が10年を超過している5処理場各1施設（施設①～⑤）を対象に、腐食環境と劣化状況の調査を実施した（表-1）。主要な結果は以下の通りである。

接着強さについて、4施設にて「防食マニュアル」が求める施工完了後の現地検査基準（標準状態で1.5N/mm²以上）を下回っており、コンクリートとの一体性が低下していると判断された。

硫酸侵入深さについては、全施設で同マニュアルにおける工法規格毎の品質規格（C種：0.2mm以下、D種：0.1mm以下）未満であった。一方、防食厚さに対する硫酸侵入深さの割合は、2施設において同品質規格（C種：10%以下、D種：5%以下）を超過していた。しかし、硫酸侵入深さの割合は最大でも約26%であり、硫酸の侵入に対する遮断性は長期間の供用後も機能していると考えられた。

4. 研究期間全体の総括

本調査研究において、塗布型ライニング工法については、標準的な設計耐用年数である10年を超過後も防食被覆層の基本的な性能である硫酸の遮断性は機能していると考えられた。一方、コンクリートとの一体性が低下していると判断でき、防食被覆層の長寿命化に向けて接着性の維持・向上が課題であると考えられた。また、耐硫酸モルタルについては、標準的な設計耐用年数である10年を経過後も表面劣化や断面欠損は確認されなかった。

表-1 令和3年度の調査結果の概要

	施設①	施設②	施設③	施設④	施設⑤
対象施設	最初沈殿池	貯留槽 (余剰汚泥)	最初沈殿池	重力濃縮槽	沈砂池水路
防食被覆層					
工法規格	D種	D種	C種	D種	C種
材料	エキボシ 樹脂	エキボシ 樹脂	ビニル エステル樹脂	エキボシ 樹脂	エキボシ 樹脂
防食被覆供用年数(調査当時)	16	26	21	22	19
腐食環境調査					
液相中の環境調査					
水温	°C	19	21.5	28	29.5
pH		8.7	6.9	7	12.5
酸化還元電位	mV	-83	217	105	-209
溶存酸素濃度	mg/L	0.67	0.47	0.09	1.33
気相中の環境調査					
硫化水素ガス(平均)	ppm	6.4	0	1.8	28.5
硫化水素ガス(最大)	ppm	36	0	14	150
二酸化炭素	ppm	300	300	300	1200
防食被覆表面のpH		3	7	8	6
劣化状況調査					
現地調査					
接着強さ	N/mm	0.42	1.11	1.21	0.99
防食厚さ	mm	1.03	0.83	1.63	0.6
コンクリート中性化深さ	mm	0	0.5	0	0
物性試験					
硫酸侵入深さ	mm	0.053	0.006	0.046	0.023
硫酸侵入深さの割合	%	5.15	0.72	2.82	3.83

キーワード 防食被覆層，硫化水素，硫酸侵入深さ，接着強さ

研究テーマ名	有機酸・炭酸による腐食の対策技術の確立		
研究期間	平成29年度～令和3年度	研究費目	試験研究費
研究担当者	糸川浩紀（研究主任），山森隼人（主担当），瀧本由樹，橋本敏一		

1. 目的

近年、下水道施設における有機酸による防食被覆層の劣化や、炭酸によるコンクリート躯体の劣化が懸念されているが、その実態について知見が少ない。

本開発課題では、有機酸や炭酸による防食被覆層等の劣化について、劣化環境および劣化状況等の実態を把握すると共に、対策技術の確立を図ることを目的とする。

2. 本年度の研究成果

(1) 防食被覆材の耐有機酸性能調査

過年度に引き続き、新たに4種類のエポキシ樹脂の防食被覆材（一般型：2種、耐有機酸型：2種）を用いて、複数の試験条件（酢酸水溶液濃度：0,5,10%）で60日間の酢酸浸漬試験を実施し、供試体の外観変化や重量変化、形状変化（長さ、幅、厚さ）、物性変化（バーコル硬さ、曲げ強さ、たわみ量）を比較した。更に、過年度の実施分を含む計10種類の材料における試験データを総合的に整理・解析した上で、「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル」（以下、「JS防食マニュアル」とする。）における耐有機酸性能を求める場合の品質規格の妥当性等の検証を行った。

- 一般型樹脂の多くで光沢の消失や空気跡の発現等の外観変化が確認されたが、耐有機酸型樹脂でも一部の材料で同様の外観変化が確認された。
- 一般型樹脂では、酢酸濃度0%（水中浸漬）と比較して、10%の条件でバーコル硬さおよび曲げ強さが顕著に低下したのに対し、耐有機酸型樹脂ではこれら物性値の変化が明らかに小さかった（バーコル硬さの結果を図-1に例示）。

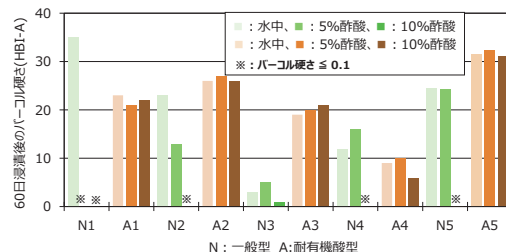


図-1 酢酸浸漬試験におけるバーコル硬さの測定結果

- JS防食マニュアルでは、防食被覆材に耐有機酸性能を求める場合の品質規格について「酢酸濃度5%（23℃±2℃）に60日間浸漬しても被覆に膨れ、割れ、軟化、溶出がないこと」とされているが、一般型樹脂および耐有機酸型樹脂の両方で、これらの外観変化は確認されなかった。このことから、耐有機酸性能の評価方法として、(a)規定の酢酸濃度の10%への見直し、(b)バーコル硬さ・曲げ強さ等の物性試験の追加等により、よりの確かな評価が可能になると考えられた。

(2) 炭酸によるコンクリート劣化に係る現地調査

過年度に引き続き、新たに2箇所の下水処理場において、覆蓋を有する反応タンク内の炭酸ガス濃度等の劣化環境や、躯体コンクリートの中性化深さ等の劣化状況の調査を行うと共に、過年度の実施分を含む計6施設での調査結果を総合的に整理・解析した。

- 気相部では、すべての施設において、高濃度の炭酸ガスと中性化の進行が確認されたが、1施設を除いてコンクリート躯体の顕著な外観上の劣化は確認されなかった。
- 液相部では、すべての施設において中性化の進行が確認され、4施設ではコンクリート表面の脆弱化や骨材の露出が確認された。

3. 研究期間全体の総括

5年間の調査研究の結果、有機酸による防食被覆層の劣化については、下水処理場の処理工程各所での有機酸の発生状況を調査し、有機酸が高濃度となりやすい箇所等を見出すと共に、多数の防食被覆材を用いた酢酸浸漬試験により、現行のJS防食マニュアルの品質規格において見直すべき事項を提示した。一方、炭酸によるコンクリートの劣化については、調査施設数が限定的であるものの、反応タンクの気相部・液相部において炭酸が高濃度となる点、これらの環境においてコンクリートの中性化の進行が見られる点等の実態を明らかにした。

キーワード	有機酸，炭酸，防食被覆層劣化，コンクリート劣化
-------	-------------------------

研究テーマ名	施設運転管理効率化・高度化・自動化技術の開発		
研究期間	平成29年度～令和3年度	研究費目	試験研究費
研究担当者	糸川浩紀（研究主任）、山本明広（主担当）、相川えりか		

1. 目的

本開発課題は、ベテラン技術者の減少による実施体制の脆弱化や更なる省エネ・省コスト化等の課題に対し、下水処理施設の運転管理の効率化や高度化、自動化を可能とする技術の開発を目的とする。近年、技術革新や他分野での技術導入が進む各種センサーを用いた ICT・IoT 技術、AI 技術等の下水道分野への適用可能性等、実用化に向けた検討を行う。

2. 本年度の研究成果

(1) ICT・AI を活用した施設運転管理技術の実証等

共同研究や B-DASH プロジェクトにより、以下に示す技術の実証実験等を行った。

- 単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による高度処理技術（B-DASH 自主研究）
- AI による運転管理支援技術（共同研究）
- 下水道施設広域監視制御システム（B-DASH 実規模実証）

(2) AI を活用した新たな水処理運転支援・制御技術の開発*

B-DASH プロジェクトで FS 調査（平成30年度～令和元年度）を行った「水処理制御支援技術」を応用し、AI 技術を水処理施設の自動制御へ適用する「AI 自動制御」の可能性について実験的検討を行った。具体的には、JS が保有する標準活性汚泥法の実験プラント（処理能力 50m³/d×2 系列）において、運転データに基づき AI 予測モデルを生成した上で、同モデルが出力する曝気風量のガイダンス値をリアルタイムの操作量として制御に返す自動運転を行い、曝気風量制御としての性能や特性を確認した。

先ず、2 系列の実験プラントを DO 一定制御（目標 DO 濃度：1mg/L）にて運転し、実験系（1 系）の運転データ（曝気風量・DO 濃度等 10 項目×5 分毎×3 か月）を学習データとして AI 予測モデルを生成した。次いで、1 系の風量制御方法を切替え、AI 予測モデルによる出力値を用いた自動制御運転を学習データ取得時と同じ流入条件（パターン①）の他、水量を増減させた 2 条件で 4 日間ずつ行った。2 系（対照系）は、1 系と同等の流入水量、運転条件（MLSS 濃度等）で DO 一定制御による運転を継続した。

ここではパターン①の結果を示す。AI 自動制御運転を行った期間について、2 系において送風機の制御範囲内で運転された時間帯を対象に、両系列の DO 濃度の挙動を比較すると（図-1）、1 系で 1.01±0.14mg/L（平均値±標準偏差；以下同様）、2 系で 0.98±0.23mg/L と、DO 一定制御を「学習」した AI 自動制御にて、対照系と概ね同等の DO 濃度による運転が行われた。今回の実験結果より、AI による曝気風量の自動制御が現実的である可能性が示された。今後、水温や運転条件が異なる多様な条件で、AI 制御の安定性や追従性等の検証を継続する予定である。

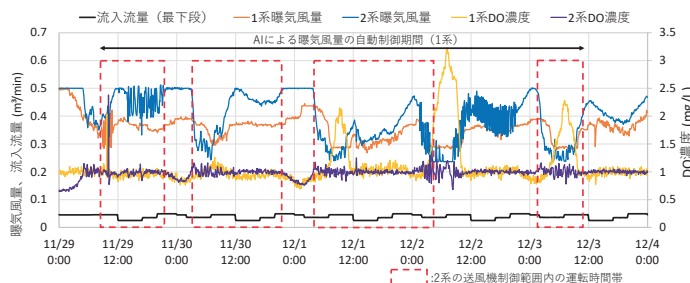


図-1 曝気風量の自動制御運転の結果

※本検討は、安川オートメーション・ドライブ㈱を共同研究者とする特定共同研究により実施した。

3. 研究期間全体の総括

5 か年の調査研究では、下水道分野で研究開発すべき AI・ICT 技術の研究テーマについて文献等調査を行い整理した。また、ICT・AI を活用した施設の広域監視や水処理の運転管理支援技術等の技術開発を行い、これら技術による省エネや運転管理の効率化等の導入効果を明らかにした。AI 技術の水処理自動制御への適用可能性については、実際に曝気風量の AI 自動制御運転を行い、その可能性が現実的であることが確認された。

キーワード	AI, ICT, IoT, 広域監視, 運転管理支援, 自動制御
-------	----------------------------------

研究テーマ名	下水処理場の全体最適化手法の確立		
研究期間	平成29年度～令和3年度	研究費目	試験研究費
研究担当者	糸川浩紀（研究主任），山本明広（主担当），山森隼人		

1. 目的

本開発課題は、下水処理場における消費エネルギーや温室効果ガス（以下、「GHG」という。）排出量の最小化、下水が有するエネルギーの利用最大化など、下水処理場を「全体最適化」する水処理・汚泥処理システムの検討手法の確立を目的とする。具体的には、省エネルギーに優れた新技術等の導入による消費エネルギー・GHG 排出の削減量や、創エネルギー等を簡易に試算し、全体最適化の概略検討を可能とする「全体最適化検討ツール」（以下、「検討ツール」という。）を開発する。

2. 本年度の研究成果

(1) 検討ツールの改良

消化ガス発電技術を検討ツールに追加し、創エネルギー量を試算可能とした。

(2) ケーススタディの実施

処理能力 50,000m³/日（日最大）の仮想の標準活性汚泥法の下水処理場を対象に、現状の汚泥処理方式（分離濃縮(重力+遠心)→脱水(遠心)) に対して、脱水機の更新や消化（一段消化）工程の新設（ガスエンジンによる消化ガス発電の導入有無を含む）を行う複数の新技術導入ケースを設定（表-1）し、各ケースの年間の電力消費量・GHG 排出量を試算して効果的な新技術導入の組合せを検討した。試算の対象範囲は、水処理（初沈、反応タンク、終沈）及び各ケースの汚泥処理工程とした。試算の結果、電力消費量（図-1）は、脱水機のみを新技術へ更新するケース1で5%減少した。一方、消化工程を新設するケース2では16%、ケース1と2を組合せたケース4では10%の増加となったが、ケース2、4に消化ガス発電を追加したケース3、5ではそれぞれ89%、94%と電力消費量が正味で大きく減少した。GHG 排出量（図-2）は、電力消費量と同様にケース1でわずかに減少、ケース2、4で増加したが、ケース3、5ではそれぞれ53%、57%減少した。GHG 排出量は、水処理工程で発生するGHG（N₂O、CH₄）を含むため、電力消費量に比べて削減率が小さい結果となっている。本ケーススタディでは、電力消費量やGHG 排出量は、脱水機の更新のみでも削減されるが、消化ガス発電を行う消化工程の追加により大幅に削減される結果となり、省エネやGHG 排出量削減の観点からケース5が最も効果的な導入ケースと考えられる。

表-1 導入ケースの設定

処理場規模	日最大	50,000m ³ /日		
	日平均	40,000m ³ /日		
水処理方式	標準活性汚泥法			
汚泥処理方式	分離濃縮-脱水(遠心)			
要素技術	難脱水対応強化型スクリープレス脱水機(2液調質)	担体充填型高速メタン発酵システム	消化ガス発電(ガスエンジン)	
ケース1	○	—	—	
ケース2	—	○	—	
ケース3	—	○	○	
ケース4	○	○	—	
ケース5	○	○	○	

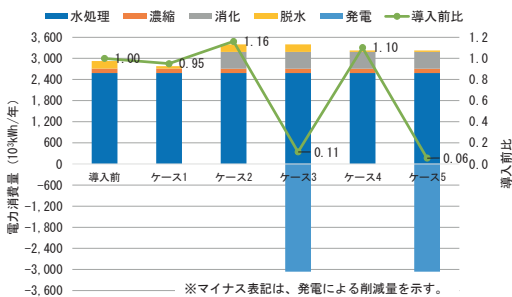


図-1 各ケースの電力消費量試算結果

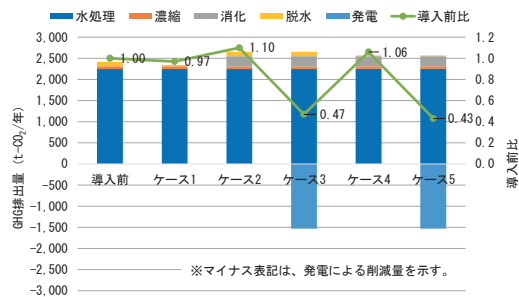


図-2 各ケースのGHG 排出量試算結果

3. 研究期間全体の総括

省エネ性能等に優れた新技術の導入による下水処理場の全体最適化を概略検討するツールを開発した。本検討ツールにより新技術の組合せによる省エネ等の導入効果を簡単な操作で試算することで、水処理・汚泥処理システムを検討する作業量を削減できる。

キーワード	全体最適化，省エネ，温室効果ガス
-------	------------------

研究テーマ名	車両型地中レーダ探査装置と空洞判定 AI を用いたスクリーニング技術の実用化に向けた調査事業（B-DASH FS 調査）		
研究期間	令和2年度～令和3年度	研究費目	受託研究調査費（国土交通省 国土技術政策総合研究所）
研究担当者	猪木博雅（研究主任），山森隼人（主担当），山本明広，瀧本由樹		

1. 目的

本研究では、「変化する空洞」に着目し、車両型地中レーダ探査で取得したデータと AI による画像解析技術を活用することにより、路面変状及び道路陥没のリスクが高まるような下水道管路施設の異状箇所をスクリーニングする技術確立することを目的とした。なお、本研究は、令和2・3年度の国土交通省 B-DASH プロジェクト（FS 調査）として採択され、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究として「川崎地質・日本下水道事業団共同研究体」が実施したものである。

2. 研究方法

①車両型地中レーダ探査+AI 解析：図-1 に示すとおり、車両型地中レーダ探査によって得られるデータに対して、AI によって異常信号の解析を行い、空洞の可能性のある異常信号を抽出する。これを1年間に複数回繰り返し実施し、変化する異常信号（浅部への移動および新たに発生するもの）を特定すると共に、最適な探査頻度を検討する。

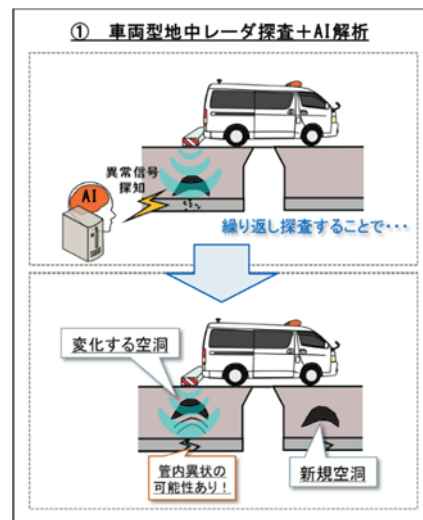
②空洞確認調査：異常信号が検出された箇所の路面に30mm 程度の孔を空けて、実際の空洞の有無を確認する。

③管内確認調査：異常信号が検出された箇所および確認されなかった箇所において、管内 TV カメラ調査を実施し、管内異状の有無を確認する。

3. 本年度の研究成果

(1) 異常信号が検出された 53 箇所において空洞確認調査を行い、44 箇所空洞が確認され、異常信号は平均 0.03m/年で浅くなっていることが確認された。一方、

図-1 車両型地中レーダによる探査イメージ



は、最大で 0.03m/年未満の変化にとどまる結果であったことから、0.03m/年以上の速度で変化する異常信号（以下、変化する異常信号）は空洞である可能性が確認された。

(2) 変化する異常信号は降水量が多い時期に多くなる傾向にあると共に、梅雨～夏と秋～冬で 0.01m/月程度の移動が確認された（冬～春ではほとんど移動がなかった）。これを踏まえ、調査頻度は年3回程度（梅雨前、夏、秋）が望ましいことが考えられた。

(3) 管内確認調査では、変化する異常信号近傍の下水道管路施設において、約 90% の割合で管内異状が確認され、中程度～重篤な管きょ劣化や取付け管関連の異状の割合が 70% と高かった。既往の研究では、管路施設が原因となった道路陥没の内、取付け管関連に起因する割合が最も高いことから、変化する空洞を事前に抽出し、詳細調査の優先付けと重篤な管内異状の有無の確認を行うことで、道路陥没等のリスクを低減することが可能であることが示唆された。

4. 研究期間全体の総括

本技術は、車両型地中レーダ探査装置を使用しながら路面状態を巡視できると共に、管内異状によって道路陥没等を引き起こす可能性のある下水道管路施設の異状を効率的にスクリーニングできる。また、その結果を GIS 上で一括管理することも可能であることから、効果的に詳細調査箇所や修繕箇所を絞り込むことができる有用な技術である。今後は有効な活用方策や効果の検証を行うことで、管路マネジメント技術としての技術向上が期待される。

キーワード	地中レーダ，空洞探査，管内異状，スクリーニング，AI		
-------	----------------------------	--	--

研究テーマ名	ICT の活用による下水道施設広域監視制御システム実証研究（B-DASH）		
研究期間	令和3年度～令和5年度	研究費目	受託研究調査費（国土交通省 国土技術政策総合研究所）
研究担当者	井上剛（研究主任），井上賀雅（主担当），小川剛		

1. 目的及び概要

本研究では、「ICT の活用による下水道施設広域監視制御システム」の実規模実証実験を行い、通信の信頼性・安定性、建設費・改修費および維持管理費の削減効果等を評価することを目的とした。

なお、本研究は令和3年度の国土交通省 B-DASH プロジェクトとして採択され、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究として「日本下水道事業団・東芝インフラシステムズ・日立製作所・三菱電機・明電舎・メタウォーター・倉敷市共同研究体」が実施したものである。

本技術は、以下の2つの技術により構成されており、(1)、(2)を適宜組み合わせることで、従来技術と比べて新規設置機器数を減らすこと等が可能となり、建設費・改修費および維持管理費の削減効果等が見込まれる。

(1) 共通プロトコル方式

共通の通信仕様（共通プロトコル）を定めることで、製造業者が異なる監視制御設備間の接続を容易とする技術である（図-1）。これにより、監視制御盤が設置されている複数の処理場・ポンプ場の監視・制御、帳票作成、監視制御装置が設置されている処理場・ポンプ場の警報統合、データ統合が可能となる。

(2) リモートデスクトッププロトコル（RDP）方式

監視制御装置が設置されている処理場等において、リモートで各施設の監視制御装置を操作するための技術である（図-2）。

2. 本年度の研究成果

(1) 共通プロトコル方式

各社工場にて、模擬装置により共通プロトコルの通信確認を実施した。異なる製造業者間でトレンドデータ、帳票データ等の通信ができ、データ欠損が生じない等の良好な結果が得られた。

(2) RDP 方式

本方式を適用した際の応答速度の評価目標である表示応答速度（1秒程度）、操作応答時間（3秒程度）に対して良好な結果が得られた。

3. 研究期間全体の総括

本技術の実規模実証実験にて、下水道施設における共通プロトコルの通信信頼性、RDP方式による操作性・応答性が良好であることが確認された。次年度以降は、使用するデジタル通信回線の評価や現地における長期的な性能等の検証を進める。

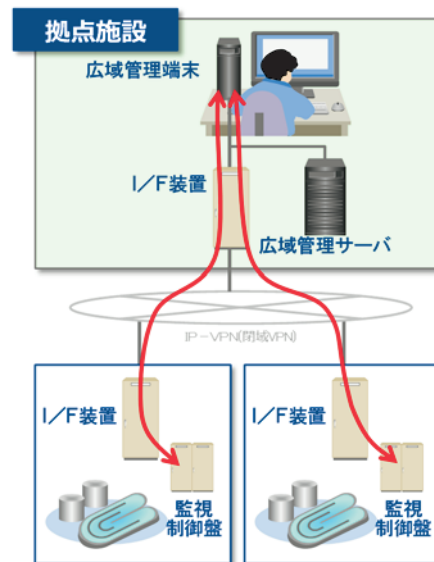


図-1 共通プロトコル方式

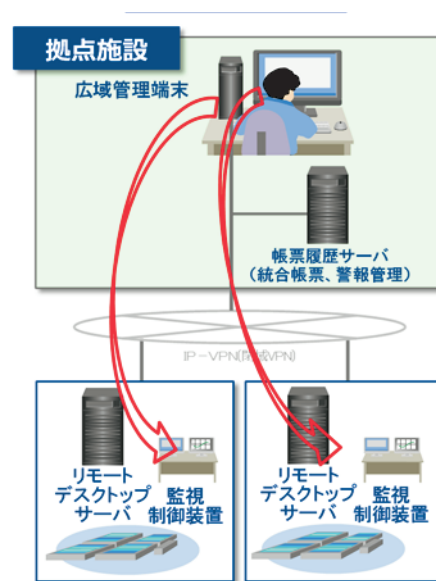


図-2 RDP方式

キーワード	ICT, 広域管理, 監視制御システム
-------	---------------------