

AI 技術を活用した汚水マンホールポンプ 維持管理の実規模実証研究

堀 孝成¹・阿曾 克司²・市森 友明³

¹ 法人正会員 株式会社新日本コンサルタント インフラマネジメント事業本部 水環境部
(〒930-0857 富山県富山市奥田新町1番23号)

E-mail: t.hori@shinnihon-cst.co.jp

² 法人正会員 株式会社新日本コンサルタント プロジェクト事業本部 PPP 事業推進室
(〒930-0857 富山県富山市奥田新町1番23号)

E-mail: aso@shinnihon-cst.co.jp

³ 法人正会員 株式会社新日本コンサルタント
(〒930-0857 富山県富山市奥田新町1番23号)

E-mail: ichimori@shinnihon-cst.co.jp

下水道管路ネットワークのなかで中継の役割を担う汚水マンホールポンプは、下水道事業における重要なアセットの要素の一つである。地方自治体におけるアセットの維持管理においては官民の人材不足・財政難などの将来における課題を抱え顕在化しつつあり、戦略的なアセットマネジメントに基づいた意思決定・計画・活動をMP施設管理者が行うためには、ICT技術の活用は重要かつ基礎的で不可欠な取り組みとなっている。本実証はICT技術により課題解決する取り組みとして、これまでの維持管理において蓄積されている運転データ・点検データを教師データとしたAI技術を活用した異常の早期検知や劣化予測を行うシステムを構築することで、点検の効率化、予防保全活動への展開、施設管理者等が有する暗黙知の形式知化および夜間待機体制緩和などによる労働環境の改善等を目指すものである。また、これと同時にクラウドデータベースにて情報の一元管理を行うとともに、ストックマネジメントを効率的かつ最適な計画立案を支援するシステムの構築を目指すものである。

キーワード：アセットマネジメント、汚水マンホールポンプ、AI技術、異常検知、劣化予測、クラウドデータベース、ストックマネジメント、共有化・広域化

1. はじめに

(1) 下水道マンホールポンプ管理の現状と課題

下水道の管路ネットワークのなかで中継の役割を担う汚水マンホールポンプ（以下「MP」と記載、図-1）は、下水道事業における重要なアセットの要素の一つである。

行政の下水道部局は、数多くのアセットを保有・管理（特に中小自治体）し、住民サービスに直結する多くの便益を生み出している。MPは全国で約1,400の自治体・事業体で導入されており、その箇所数は約47,000箇所である。高度経済成長期に築造された多数のMPを有する自治体において、設置してから相当な年数を経過したMPを、将来的な人口減少下において適切に管理するために、管理職員数の減少や非効率な管理状況が課題となっている。

MPの主たる構成要素は電気機械部で、腐食環境な

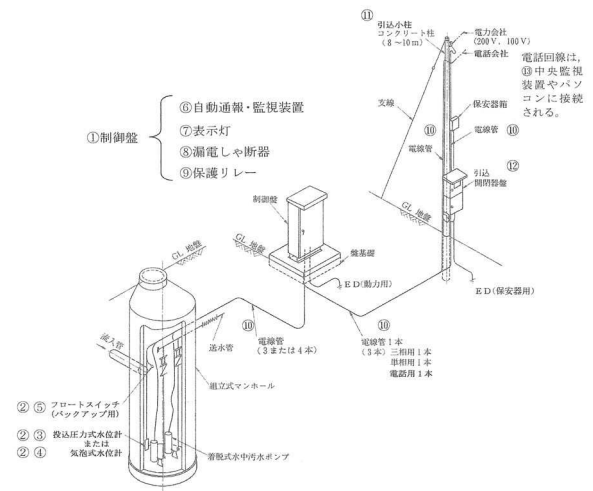


図-1 マンホールポンプ概要¹⁾

どシビアな環境下にあるため適切に管理されなければ、期待する便益をもたらさず、損失を与える可能性がある。一方、現状では、施設情報や維持管理情報の電子化・データベース化の進展は不十分かつ点検調査履歴等の情報収集・分析が十分に実施されていない。このため、関係部署間の情報共有が不十分で、ペーパーの保管・運用の限界等の運用面の課題への解決や情報のネットワーク化・情報電子化の促進、管理の確実性・安定性向上、分析手段の確立、情報活用による劣化診断・予測などのニーズを満足するために、適性なマネジメントを支援するための情報システムの開発・導入が求められている。

(2) アセットマネジメント導入の意義と本実証の役割

MP の管理方法としては、分散配置型である特性から時間計画対応・事後対応が基本となっている。これらを改善していくには、アセットマネジメント（以下「AM」と記載）の考えをベースに、計画的・戦略的にアセットである MP の価値を維持し、高めるという取り組みが必要となる。また、MP というアセットからの価値創出やコスト・リスク・パフォーマンスの最適なバランスを達成するように組織（施設管理者）様々な活動を調整するためにマネジメントシステムが必須で、AM としては、リスクに基づいたアプローチを用いて施設管理者の目標をアセットに関連する意思決定・計画及び活動に変換していくことの実践が必要となる。

本実証研究は、国土技術政策研究所の委託研究（B-DASH 事業）として、新日本コンサルタント・日水コン・エコモット・北海道大学・富山市共同研究体が実施している。MP を対象として IoT デバイスを用いたリアルタイムの情報収集、施設諸元・点検履歴などのクラウド上での一元管理、計測データおよび維持管理実務者の暗黙知などをデータベース化しての AI による短期・長期の異常検知・劣化予測およびこれらの情報を活用した AM の高度化を念頭に、維持修繕レベルでの将来の AM の具体化への礎を構築する取り組みを行っているものである。

2. アセットマネジメントシステムの構築

(1) 実証フィールドにおける現状と課題

実証フィールドとして高度経済成長期に築造された多数の MP を有する富山市において、適切な管理実施のために顕在化している課題を以下に示す。

a) 将来的な人口減少による管理職員数の減少

中小規模の自治体においては職員数が 5 名以下であることが多く、管理職員数の減少は MP が管理不能となる事態にまで及ぶことから、管理職員数減少への対策が急

務となる。なお、富山市は 366 施設存在する MP を 3 管理区分に分割して管理している。

b) 非効率な管理状況

高度成長期に整備された MP 施設は、施設情報・維持管理の情報が整理されていないことにより、点検対象施設の抽出、点検時期の見極め、更新時期の予測および管理平準化が困難なため計画的更新・事業費確保が困難である。事業費確保が困難な自治体に至っては下水道の使用制限措置などを取る必要性が高まるため、このような事態を避けるために、予算の平滑化を図り事業計画を容易に立案することが必要となる。

また、日常及び定期点検情報は各マンホールポンプ場において取得する必要があるとともに、ペーパーにて民間委託業者より管理者（維持管理部署）へ報告され、維持管理部署においてのみ共有・保管され、計画的な点検・更新計画を策定するための基礎情報として有益に活用されず、管理労力の増加を招いている。

なお、富山市では、MP 保守管理は仕様発注による民間業務委託により実施しており、事後保全による故障対応、設備の更新は時間計画保全により実施されている。

(2) アセットマネジメントシステムの適用範囲

リスクに基づいたアプローチを用いた意思決定・計画・活動を MP 施設管理者が行うための、本実証研究による課題解決として以下の取り組みを行うことを目的としている。

- ①事後対応型であった MP を状態監視保全型（予防保全）へ管理区分及び体制のシフトとして、汚水流送機能について必要最小限の投資で最大限の効果をを得るために必要となるように、AHP を用いて重要度、リスクを評価して管理対象とする MP を選定
- ②IoT デバイス・異常の早期検知技術導入による維持管理の省力化、AI 活用による熟練技術者不足への対応、夜間待機体制の緩和
- ③容易な予算平準化・更新計画立案の仕組み構築により、状態監視によるリアルタイムな状況変化の組み込み
- ④効率的に下水道事業を運営するために、クラウドシステムの導入による情報の一元管理

(3) 導入システムの全体像と要素の役割

(2)に示す基本方針に基づき、本実証研究では、状態監視を行うためにリアルタイム電流計等の IoT デバイスを新規に設置し、実証フィールド内の MP 施設で蓄積されている運転データ・点検データならびにリアルタイム電流値等を教師データとした AI 技術で MP の異常の早期検知や劣化予測を行う AI モデルを構築する。また、分散化している地区の日報情報等をクラウドシステムにて情報を一元管理するとともに、異常・劣化予測 AI モ

デルを導入することで、MP の余寿命を算定し劣化予測結果を踏まえたMP の効率的かつ最適なAM 計画立案を実現する。図-2 に下水道事業への ICT (クラウド AI システム) の導入効果イメージを示す。

3. システムを支える要素技術の紹介

(1) 異常の予兆を捕らえる技術 (早期異常検知)

a) 早期異常検知の目的

現状のMP 管理におけるMP の状態を把握する方法として、定期的実施する点検調査と緊急時対応による点検・修繕がある。緊急時には停電・落雷、水位計故障や汚水の過大流入等によるポンプ異常が遠隔監視により確

認された時点で現地における点検・修繕を実施する。

MP 管理においては施設管理者がアラート発報後に事後対応を行う実情であるため、MP 管理の効率化・省力化を図るために、AI により MP の早期異常検知を行いMP の異常を事前に検知する仕組み構築を進めている。

b) 早期異常検知の内容

「早期異常検知」としての手順を以下に示す (図-3)。

- ① MP 運転状況の「通常」「異常」状態の峻別を行う「異常検知識別器」の構築と「異常」状態の抽出
- ② MP 運転時の「IoT デバイス」の計測値に基づく「通常」「異常」状態のAI 学習
- ③ ②のAI 学習結果に基づく「早期異常検知」モデルの構築

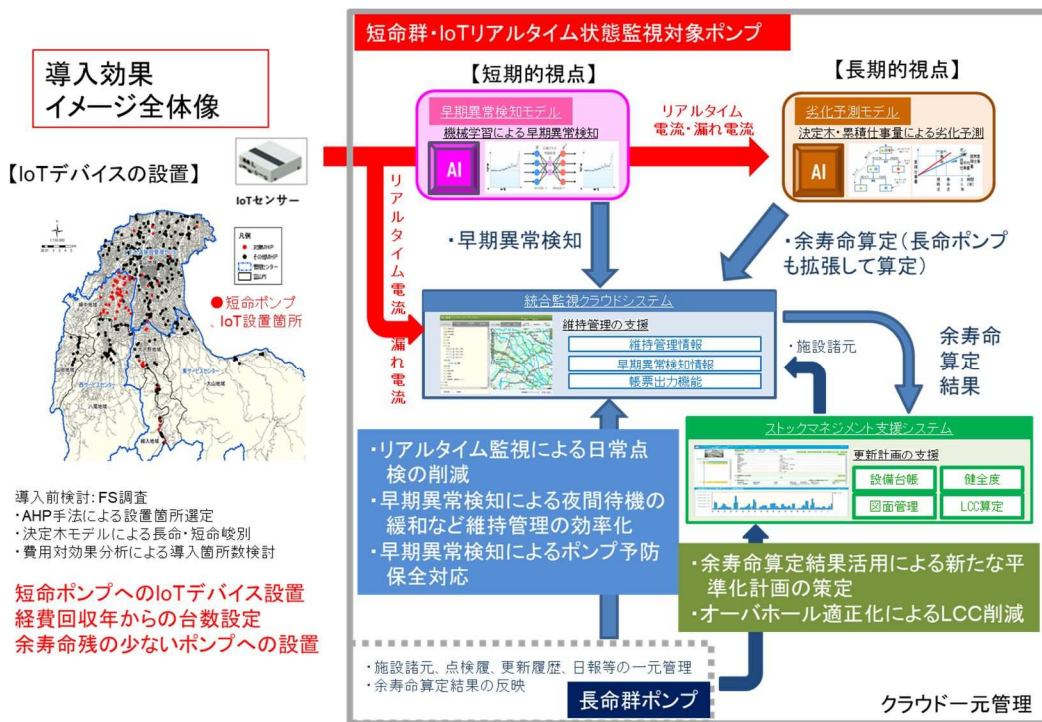


図-2 開発システムの運用イメージ

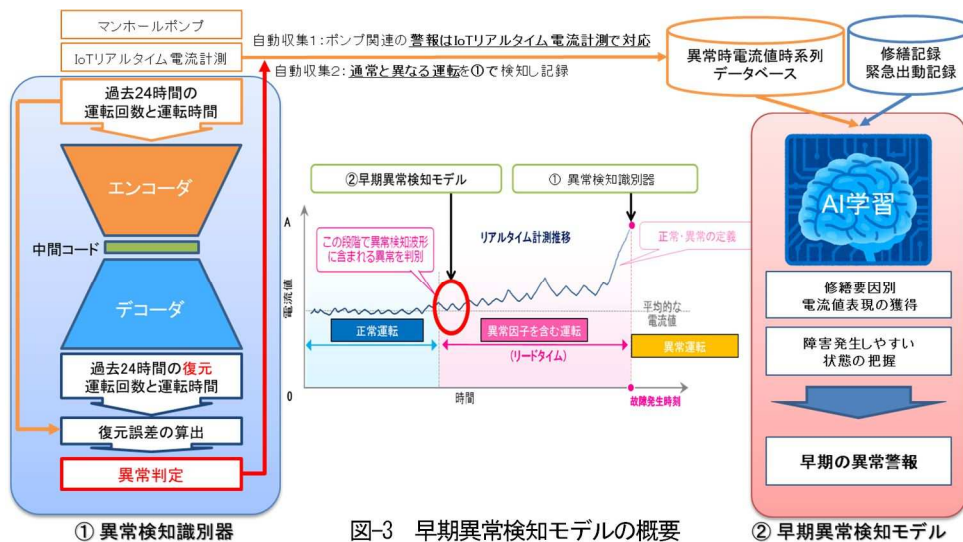


図-3 早期異常検知モデルの概要

MP 運用における「異常」の発生頻度（以下「異常確率」と記す）はわずかであり、「IoT デバイス」からの計測値（時系列データ）からの「異常」峻別・定義は複雑かつ困難である。また、全状態に占める「異常」の割合がとても小さいことため、誤認する確率は異常確率よりも大きくなる。これらの課題を解決するため、どの MP 管理においても記録されている「日報データ」（日電流値、運転時間等）を基に「通常」を定義し、「通常」から逸脱した状態を「異常」と定義する方法を採用する。

「通常」の定義方法については、表現力が高いニューラルネットワーク（ノードを束ねた層や活性化関数の組み合わせによるネットワーク）を用いた深層学習（多層パーセプトロンなど）として AutoEncoder（自己符号化器、以下「AE」と記す、図-4）を活用した「異常検知識別器」を構築した。「異常検知識別器」を用いて「日報データ」ならびに「IoT デバイス」から得られる時系列データから「通常」「異常」の区別を行った。

さらに、IoT デバイスによるリアルタイム計測を開始し、早期異常検知のための学習データを蓄積する。学習データについては、「IoT リアルタイム計測データ」および「異常検知識別器」を用いることで異常を識別し、IoT デバイスの時系列計測値を自動的に切り出すことで、「早期異常検知」モデルの学習データとなる以下のデータ①②の作成を自動化する（図-5）。

データ①：IoT リアルタイム計測から計測値から判断できるポンプに関する異常を直接検知

データ②：IoT リアルタイム計測を日報形式の運転回数・運転時間に変換し「異常検知識別器」により異常検知

なお、データ②が何に起因しているかを分析することで、予知不可能な現象なのかどうかを仕分けて学習データに追加する。これにより学習データは現在考えられる

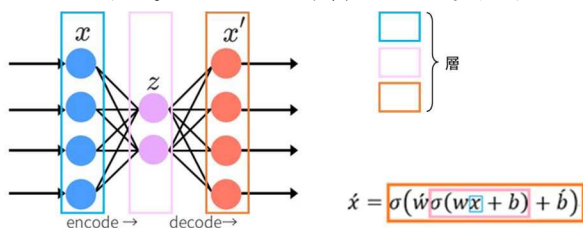


図-4 AE (3層オートエンコーダ) 概要

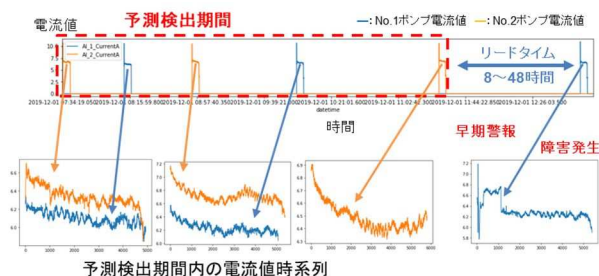


図-5 IoT デバイス計測値の整理概念図

異常要因がカバーされることが想定されるため、深層学習により異常度（異常の発生しやすさ）を出力するネットワークが構築可能になる。

c) 異常の検知識別

「通常」「異常」の識別に際し、MP の警報発令内容ならびに修繕要因を施設管理者からヒアリングし分析を行った。分析の結果、最も多い警報は「ポンプ過負荷」で全体の 43%を占めており、「ポンプ長時間運転」、「ポンプ故障」と続き、この3警報が警報全体の約94%以上を占めていた。警報の 94%以上を占める「ポンプ過負荷」、「ポンプ長時間運転」、「ポンプ故障」については、「IoT デバイス」からのリアルタイム電流値によって検出可能であると考ええる。

AI による異常検知においては、これらの警報に加え「ポンプ浸水」「異常高水位」等も捉えることで利用価値の向上が図られるが、「異常」として識別する入力データの中にこれらの警報が含まれていなければシステムによる検知可能性は低くなる。このため、クラスタリング手法によるグルーピングを行うことで、オートエンコーダによって圧縮されたデータに含まれる情報の性質について分析した。

クラスタリング結果に「測定月」、「測定曜日」、「測定時刻」の判別を適用した結果（図-6）からは、「測定時刻」による寄与が大きいことが示された。これは、下水道の利用が生活の時間リズムに対応しているため、運転回数や運転時間などの情報に反映されていることが原因と考えられる。また、「測定月」や「測定曜日」の要素の寄与が確認できる MP が一部見られており、クラスタリングの判別指標として MP の運転状況に強く影響を与えている項目を捉えられたこと、単なるポンプの故障要因のほかに通常の利用実態からかけ離れた運転回数や運転時間が通常と違う状態となる場合に「異常」として捉えることに利用できる可能性がある。

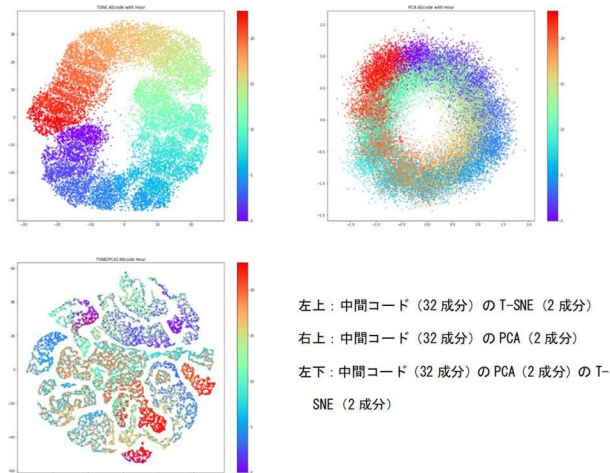


図-6 クラスタリング例（「測定時刻」の判別要素を適用）

(2) 長期の劣化を予測する技術（余寿命算定）の提案

AM計画立案におけるMPの劣化予測を行う際に、現状においては農業水利施設の劣化曲線の考え方²⁾を基に設定される。この方法は以下の課題を有している。

- ・劣化曲線の作成にあたり個別の詳細点検が定期的に必要となり、管理台数が多い場合は、コスト面で現実的に困難である。
- ・環境や運転状況に応じて、劣化の進行が大きく相違し、劣化曲線の想定が困難である。
- ・ポンプ全体の健全度を表現できる指標が無い。

本実証研究では、以上の課題に対応しAM計画の適正化を実現するために、MP特有の劣化予測手法の検討を行っている。MPの劣化予測の考え方としては、「ポンプの経年劣化は、単なる時間経過ではなく、運転した仕事量に依存する」と仮定し、MPの現在までの「累積仕事量実績値」とMPの「限界累積仕事量」との関係に基づき、現在からMP使用限界までの期間である「余寿命」を算定することで劣化予測を行う方法を提案している。

また、MPの使用開始から使用限界までの「寿命」は、MPの運転状況・環境等により異なることから、AI技術のうちの「決定木モデル」を用いてMPを寿命が平均的な値より短い「短命」と平均的な値より長い「長命」とに峻別し、峻別結果を踏まえ「長命」「短命」毎にMPの「余寿命」を推定する方法を提案している。

今後は実証フィールド内のポンプ諸元、ポンプ稼働情報等「日報データ」およびIoTデバイスによるリアルタイム計測値等を基に、余寿命算定の実施および精度向上を図るように実証研究を進めている。

4. 今後の展望

(1) システム成熟度評価

施設管理者が実施するAMにおいて、現在の成熟度評価はレベル1（無関心）からレベル2（意欲的）に留まっている。本実証研究により、AMの構造化、予算平滑化、アセットの計画的な管理、プロセス記述の管理・文書化・定量的な構築等、レベル3（構造化）の確立およびレベル4（熟達）、レベル5（最適化）の礎を築くことが期待できる。³⁾

具体的には、以下の詳細プロセスに対する役割を担うこととなる（【】は評価項目番号を示す）。

- ・【5】AMプロセスの適用範囲の認識
- ・【14】AM活動に必要な資源の特定と確保
- ・【21】AMに関する文書と記録管理の枠組み整備
- ・【31】運転・保全コストの把握
- ・【35】SCADAの導入と操作の実施
- ・【39】情報システム間の連携整備

(2) 今後の展望

本実証研究は2ヵ年計画にて実証研究を実施している。令和2年度より67箇所の対象施設にリアルタイム電流値を計測するIoTデバイスを設置し、約1年分の運転データを取得している。また、早期異常検知および劣化予測にあたり、過去の日報データから異常識別の分析を行っている。

今後、IoTリアルタイム計測による緊急出動の上位3警報の検知および通常の動きと異なる現象の異常検知(AE)での学習、リアルタイム電流値・漏れ電流値計測を行うIoTデバイスとの連携により、MPの状態監視・異常運転の早期検知をAIにより行う「早期異常検知」モデルを構築する。維持管理並びにストックマネジメント計画の効率化を図るために、IoTデバイスによるリアルタイム計測データを活用し、個別の詳細点検調査を実施せずに「余寿命」を算定することで、マンホールポンプの将来的な改築量を推定するように努める。

また、維持管理支援として、定量的な判断が可能となるAHP法（階層化意思決定法）を用いたシステム構築・IoTデバイスの最適配置の検討、ポンプ長命・短命峻別等の暗黙知の形式知化ならびに維持管理項目⁴⁾に対する点検項目の削減・夜間待機体制緩和など働き方改革に資する労働時間削減に繋げるよう研究を進める。

なお、これらの技術については現在特許出願中である。

謝辞：本論文は令和元年度下水道革新的技術実証事業「ICT技術（クラウドAIシステム）を用いた汚水マンホールポンプのスマートオペレーションの実証」の実証研究の成果の一部をまとめたものである。実証研究は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ならびに共同研究体構成員である日水コン・エコモット・北海道大学・富山市のご助言を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (公財)日本下水道新技術機構：下水道マンホールポンプ施設の改築計画に関する技術資料－2016年3月－, p.5, 2016.
- 2) 農林水産省農村振興局整備部設計課：農業水利施設の機能保全の手引き ポンプ場（ポンプ設備）, p.18・29, 2013(2015 正誤表対応版).
- 3) JAAM 成熟度評価小委員会：「JAAM ガイドブック シリーズ 実務者のためのアセットマネジメントプロセスと成熟度評価」, 2019
- 4) (公財)日本下水道新技術機構：下水道マンホールポンプ施設の改築計画に関する技術資料－2016年3月－, pp.37-48, 2016.
- 5) (公財)日本下水道新技術機構：「下水道マンホールポンプ施設技術マニュアル－1997年6月－」, pp.68-72, 1997.