

# IoT 及びドローンを活用した設備診断技術 の開発

増屋 征訓<sup>1</sup>・中澤 純平<sup>1</sup>・川高 大佑<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社N J S 東部支社東京総合事務所アセットマネジメント部

(〒105-0023 東京都港区芝浦一丁目1番1号)

E-mail: yukinori\_masuya@njs.co.jp

本技術の開発は、高精度かつ効率的な劣化診断技術と劣化情報収集技術の確立により、下水道設備の予防保全的な資産管理の質的向上及び効率化を目的としている。具体的には、下水道設備に対して機器設置型無線センサーやクラウドセンター等による IoT を活用した劣化兆候の把握、劣化原因の想定、ドローンが撮影した画像の自動解析により劣化原因を特定するものである。本論文では、本技術開発の内、①劣化兆候の把握が困難な水没機器である汚泥かき寄せ機に着目した劣化兆候の把握及び劣化原因の想定、②下水処理場内におけるドローンの有効性確認までの成果を報告する。

**Key Words:** *Equipment diagnosis, Vibration analysis, Internet of Things, Artificial intelligence, Drone*

## 1. はじめに

日本国内は、人口減少及び高齢化の進展により、「人」「物」「金」に関する課題が顕在化している。自治体によっては、事業費不足により、劣化が著しい下水道設備の改築を先送りする場合も見受けられる。こうした深刻な課題を抱える一方、安定した下水道サービスの継続が求められており、適切な設備診断に基づく資産管理（ストックマネジメント）が必須である。現在の設備診断は、振動値や電流値等の確認による定量的な診断手法があるものの、大部分は作業員の五感による定性的な診断である。そのため、作業員による診断精度のバラツキが発生しやすい。更に、劣化進行中の膨大な下水道ストックに対して設備診断を継続していく上でのコスト増と人員（執行体制）の確保も懸念される。

以上のことから、下水道設備の予防保全的な資産管理の質的向上及び効率化が求められている。

そのため筆者等は、より高精度かつ効率的な劣化診断技術と劣化情報収集技術の開発を2015年から始め、2017年5月23日から、横須賀市上下水道局、JFEプラントエンジニア株式会社と共同研究を開始している。本技術開発のフィールド概要と現在までの主な成果の概要を以下に示す。

◇フィールド名称：横須賀市上下水道局下町浄化センター

◇フィールド規模：計画下水量 117,400m<sup>3</sup>/日（全体計画）

◇主な成果の概要

- ①強制振動試験により駆動装置部での劣化兆候の検知可否を検証
- ②短時間・長時間の振動試験により劣化兆候の把握と劣化原因の特定を実施
- ③汚泥かき寄せ機の水上部駆動装置の振動試験による異常診断について特許出願中
- ④非 GPS 環境下及び設備からの磁気発生環境下におけるドローンの自律飛行

## 2. 本技術開発の全体像

本技術開発の全体像は、機器設置型無線センサーやクラウドセンター等による IoT 及びドローンを活用した設備診断システムを開発することである。図-1 に本システムのイメージ図を示す。また、図-2 に設備診断フローと開発内容を示す。

本システムは、図-1 に示すように、各機器に設置した無線センサーにより劣化情報を集積することから始まる。振動情報は、クラウドセンターにて解析後、異常の程度を検知する。クラウドセンターは、異常機器の状況確認と劣化原因を特定するため、ドローンに現地確認を指示する。ドローンは、異常機器の画像を取得し、クラ

ドローンによる劣化状況確認結果の情報を集積させる。クラウドセンターでは、ドローンから集積した画像を元に AI による劣化画像解析を行い、劣化原因を特定する。なお、図-1 では、当面の技術開発対象として送風機、汚水ポンプ、汚泥かき寄せ機を図示しているが、本システムにより下水処理場内の大部分の機器に適用可能となることを想定している。設備診断フローは、図-2 に示すように、「劣化の兆候の把握」、「劣化の原因の想定」、「劣化の原因の特定」のフェーズに区分され、劣化の兆候の把握と原因の想定段階では、機器設置型無線センサーやクラウドセンターによる振動解析等の IoT 技術を開発する。また、劣化の原因の特定段階では、ドローンによる情報収集および AI による劣化画像解析を技術開発する。それらの技術の確立により、限られた人、金のなかで、現場管理の省力化、IoT 及び AI 技術によりストックマネジメントの最適化が期待される。

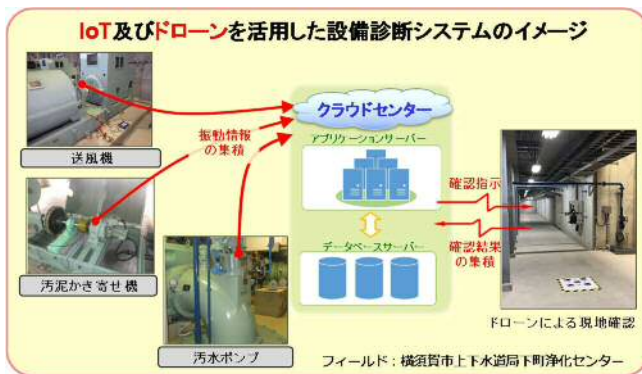


図-1 IoT 及びドローンを活用した設備診断システムのイメージ図

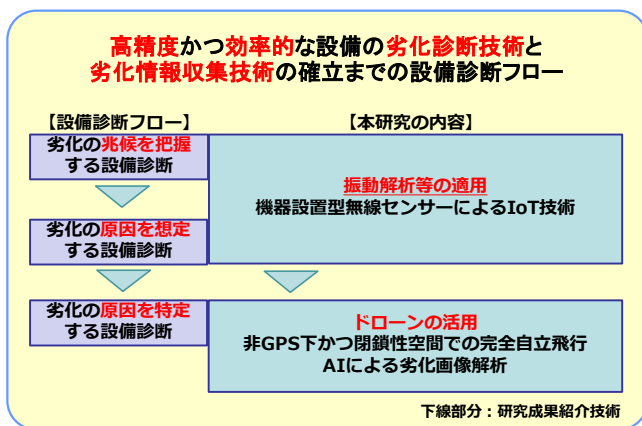


図-2 設備診断フローと開発内容

### 3. 対象設備の概要及び課題

技術開発の対象設備の一覧を表-1 に示す。本技術開発では、下水処理場における回転機械として、汚水ポンプ、送風機、汚泥かき寄せ機を調査対象としている。

一般的に高回転機器の診断技術は、広く活用されてお

り、本報告では、特に技術開発が乏しい低回転機器である汚泥かき寄せ機に着目する。

汚泥かき寄せ機は、図-3 に示すように無端チェーン、スプロケット等の多くの部品が常時水没しているため、水上部からの劣化の兆候を把握することは困難である。

表-1 対象設備の一覧

設備	台数
汚水ポンプ	9台
送風機	10台
初沈汚泥かき寄せ機	13台
終沈汚泥かき寄せ機	23台

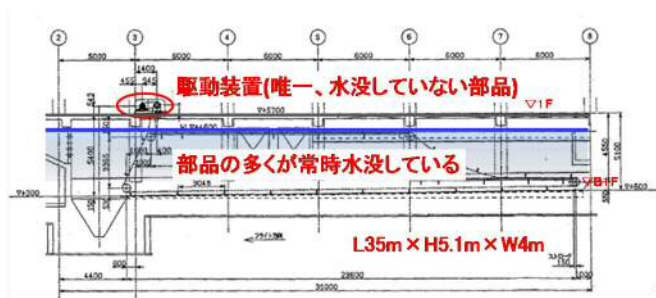


図-3 汚泥かき寄せ機の構造図

現状の劣化診断作業は、水抜き・清掃を伴い、作業員により無端チェーンの伸び、スプロケットの摩耗を確認するものであり、現状の劣化診断の手順及び課題は以下のとおりである。

#### (a) 現状の劣化診断手順

- ① 該当系列を停止する〔処理能力低下〕
- ② 水抜きを行い、高圧洗浄にて主要部品を露出させる〔手間がかかる〕
- ③ 調査作業員が沈殿池の池底に降りて、各部の劣化診断を行う〔危険を伴う〕
- ④ 診断後に復旧作業を行い、該当系列の運転を再開する

#### (b) 劣化診断における現状の課題

現状の劣化診断では、一時的な処理能力の低下や危険を伴う作業でもあるが、診断結果が、時期尚早(劣化無し)の場合や、手遅れ(劣化が極度に進行)の場合もあり、適切な診断時期の選定が困難である。

### 4. 強制振動試験

汚泥かき寄せ機において、水上部の駆動装置の振動診断により、スプロケットの摩耗やチェーンのたるみ・発錆による劣化の兆候の把握が可能か検証した。検証には、ゴム製のハンマーを用いて、スプロケットを強制的に振動させ、水上部にある駆動装置への振動伝達を評価した(図4参照)。

下町浄化センターの汚泥かき寄せ機は、最大で L70m

×H4m×W5m であり、駆動装置から末端のスプロケットまで、約 80mを要する大型機器である。

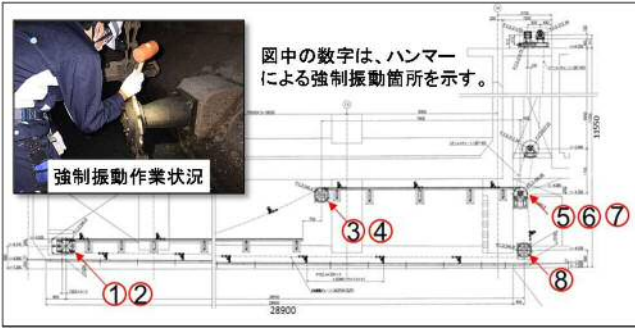


図4 強制振動作業状況と実施箇所

試験結果（速度波形）の抜粋を図-5 に示す。検証の結果、以下の3点が導き出された。

- ◆ 振動発生箇所が計測地点から近いほど、衝撃波形が明瞭となる
- ◆ チェーン張力が大きいほど、衝撃波形が明瞭となる
- ◆ 振動発生箇所をスプロケットのほか、チェーン、フライトとしても振動振幅に大きな差異は無く、間接的にもチェーンが振動することで振動伝達が行われると推定できる

以上より、振動波形の明瞭さは、打撃力やチェーン張力により異なるが、槽内で発生した異常振動は、駆動装置部へ伝達され、槽内の劣化の兆候（スプロケットの摩擦によるかみ合わせの不具合等）を駆動装置部の振動診断で検知可能であることが判明した。

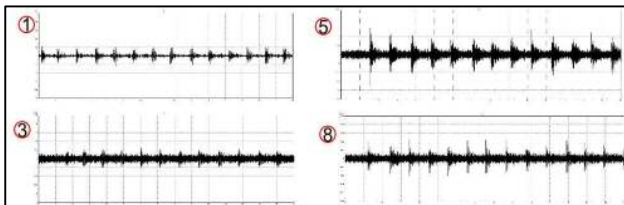


図-5 強制振動試験結果（速度波形）

## 5. 振動試験による劣化診断

本試験では、稼働している全ての汚泥かき寄せ機に対し、短時間振動試験を行い、劣化の兆候がある機器を想定した上で、長時間振動試験を行い、劣化の原因を想定した。短時間振動試験では、3分程度の測定時間で、速度・加速度の Peak 値・RMS 値・波高率による劣化の兆候を診断した。

図-6、図-7 に示す短時間振動試験結果から、速度・加速度の Peak 値・RMS 値ともに高い値を示す 2系 No2-2 終沈汚泥かき寄せ機と、2系 No2-4 終沈汚泥かき寄せ機を長時間振動試験の対象とした。

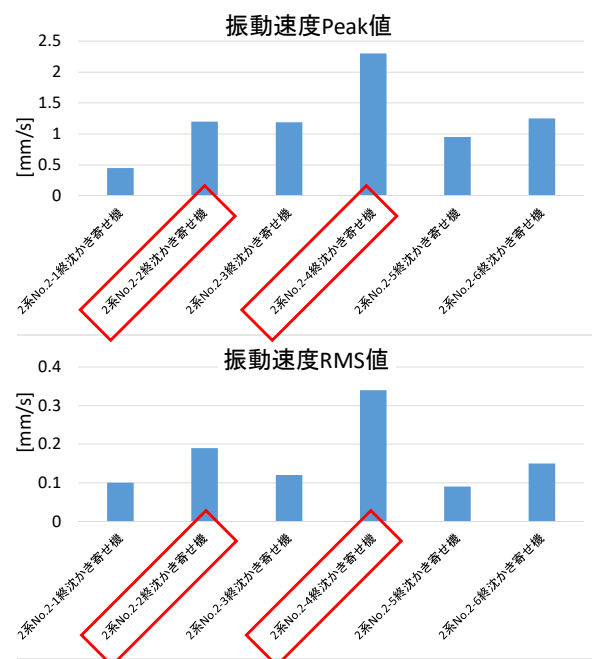


図-6 短時間振動試験結果（振動速度試験結果）

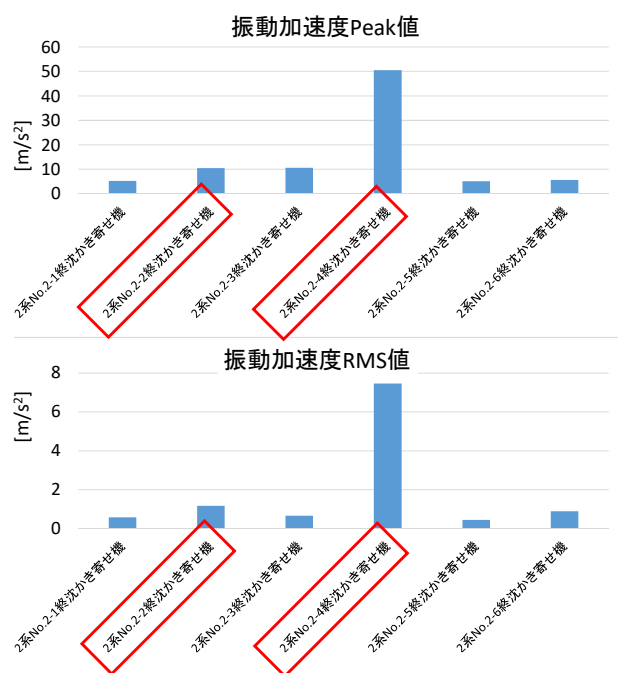


図-7 短時間振動試験結果（振動加速度試験結果）

長時間振動試験の結果を図-8 に示す。2系 No2-2 終沈汚泥かき寄せ機では、両調査日ともに、Peak 値は高い値を示した。一方、2系 No2-4 終沈汚泥かき寄せ機は、1回目の前半は Peak 値が高い値を示したものの、1回目の後半・2回目の調査では、低い値を示した。この低い値は、汚濁物の目詰まりが原因と想定された。

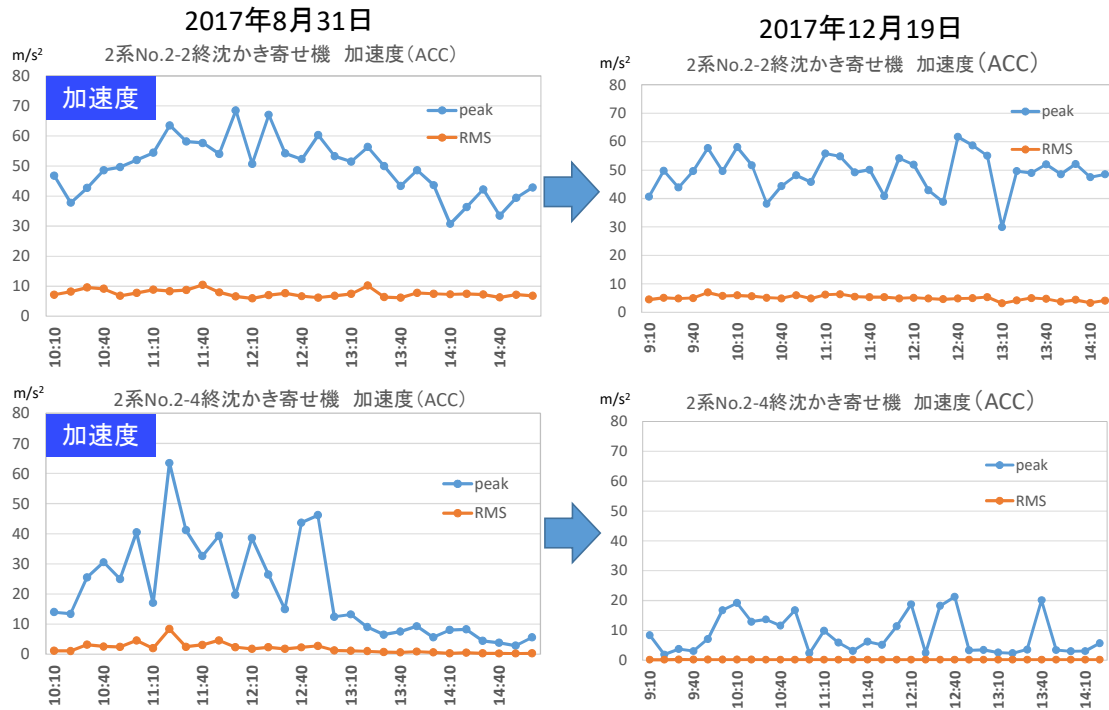


図-8 長時間振動試験結果



図-9 No.2-2 終沈汚泥かき寄せ機の周波数分析結果

長時間振動試験で劣化の兆候が特定された No2-2 終沈汚泥かき寄せ機の加速度波形をエンベロープ処理し、周波数分析した結果を図-9 に示す。その結果、0.1Hz の周波数成分の卓越が確認された。No2-2 終沈汚泥かき寄せ機のスプロケットかみ合い周期から算出したスプロケットかみ合い周波数を確認すると、中間軸スプロケットと駆動軸駆動スプロケットが周波数分析結果と整合した。そのため、No2-2 終沈汚泥かき寄せ機は、中間軸スプロケット、もしくは駆動軸駆動スプロケットの劣化が想定された。

## 6. 下水処理場内におけるドローンの有効性

下水処理場内における設備の劣化情報収集のためのドローンの有効性を評価する。ドローンを活用することで、定点観測が可能となるだけでなく、危険箇所での有人に

よる点検・調査の回避、作業人員の削減が期待できる。ただし、下水処理場内でのドローン飛行は、①非GPS環境下であること、②設備からの磁気発生によるジャイロの誤作動などによる安定飛行が困難などの課題がある。また、ドローンの操縦に専門的な技術を要することも課題の1つとして挙げられる。その解決策として、画像認識による位置特定技術：VISUAL SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)による自律飛行機構を搭載したドローンを試作した(写真-1 参照)。この技術を活用することで、飛行に必要な専門技術は不要となる。実証実験の結果、下水処理場内で画像認識による位置特定の有効性が確認でき、作業員の侵入が困難な箇所の劣化診断に有効であることが分かった。



写真-1 上部：管廊での自動飛行状況  
下部：沈殿池内での飛行時取得画像

## 7. おわりに

下水処理場には、汚泥かき寄せ機同様、機器の殆どが水没し、劣化の兆候の把握に手間・コスト・危険が伴う機器が散在している。

本技術開発で、汚泥かき寄せ機の水上部の駆動装置の振動試験により、水没部品の劣化の兆候を確認できることが分かった。本成果を活用することで、水没機器の劣化診断の精度を向上させ、劣化診断に係る手間・コスト・危険が軽減されることが期待できる。今後は、劣化診断をさらに効率化するため、機器設置型無線センサー及びクラウドセンターによるIoTを活用した設備診断システムを開発し、高回転機器だけでなく低回転機器も含めた様々な設備のネットワーク管理を構築する予定である。

またドローンは、非GPS環境下・設備からの磁気発生環境下で自律飛行が出来た。今後、自律飛行の精度を向上させるとともに、ドローンで撮影した映像の画像解析による変状データを、AIにより分類する技術を確立させ、下水処理場内の回転機器・静止機器全般の劣化診断技術の精度向上を図る予定である。

謝辞：本技術の開発を進めるにあたり、ご協力頂きました関係各位に深く感謝の意を評します。

## Development of Equipment Diagnosis Technology Using IoT and Drone

Yukinori MASUYA, Junpei NAKAZAWA and Daisuke KAWATAKA

Development of equipment diagnosis technology using IoT and drone aims to improve the quality and efficiency of asset management for preventive maintenance of sewerage facilities through establishment of high-precision and efficient deterioration diagnosis technology and deterioration information collection technology. The main function of the development is identifying the signs of deterioration of sewerage facilities and assumption of cause of deterioration using IoT with wireless sensors on equipment and cloud centers, and automatic analysis of photographs taken by drone.

In this paper, the followings are reported in the technology development: (1) identification of deterioration signs and cause of deterioration on sludge collectors that submerged underwater, and (2) effectiveness of drones in sewage treatment plants.