

上下水道分野のIoTを支える 監視制御システム

日々の上下水道設備の運転・維持管理業務に、監視制御システムが適用されている。これに加え、システムを通じて収集（Sense）しているOT情報を、AIや統計解析技術で分析（Think）して、得られた知見を計画・インフラ更新・改善業務に反映（Act）するサイクルを回すことで、上下水道事業の持続に貢献するデジタルイノベーションを推進している。このためには、監視制御システムをIoTプラットフォームとつなげ、システムの持つOTデータを有効活用できる環境が欠かせない。これを実現するための仕組みとしてNX IoT Gatewayを開発した。

また、これまで収集できなかった情報をセンシングし、IoTプラットフォームに集めて活用することも、新たな価値創生に寄与すると考えている。センシングの取り組みとして、電源供給の課題を解決し、下水管路内の情報を収集可能とした光ファイバーセンシングや、画像解析、音声認識の活用を進めている。

田所 秀之 | Tadokoro Hideyuki

中村 信幸 | Nakamura Nobuyuki

西村 卓真 | Nishimura Takuma

植村 一徳 | Uemura Kazunori

菊池 信彦 | Kikuchi Nobuhiko

畑山 正美 | Hatayama Masayoshi

1. はじめに

高度経済成長期以降、整備が進められてきた日本の上下水道インフラは更新時期を迎えており、安全・安心な水環境の持続のため、的確な維持管理を行いつつ、これらの更新を進めていかねばならない。一方で、人口減少社会に移行していることから、厳しい財政状況の中、限られた人員で効率的に対応していく必要がある。このような背景から、監視制御システムにおいては、日常の設備運転、維持管理業務だけでなく、これらを通じて得られたOT（Operational Technology）データを有効に活用することで、上下水道インフラを取り巻く課題を解決し、持続可能な水環境に貢献するべく取り組んでいる。

また、近年のIoT（Internet of Things）ではセンシング技術の可能性が広がりつつあり、よりきめ細かな情報

や、これまでセンシング情報として扱うことのできなかった画像データなどの活用を検討している。

本稿ではこの中から、監視制御システムの持つOTデータをIoTプラットフォームで活用可能にするゲートウェイ、従来センシングが困難であった下水管路のセンシング技術としての光ファイバーセンシングシステム、および新たなセンシング媒体として画像・音声情報を活用した事例を紹介する。

2. IoT時代の監視制御システム

監視制御の分野では、もともと設備を直接制御するために、設備の近くにPLC（Programmable Logic Controller）やPCS（Process Control Station）といったコンピュータを組み込んだ制御機器が分散配置されている。また、これらの制御機器を制御LAN（Local Area Network）

に接続することで、中央監視操作機器に情報を集約し、集中監視操作を実現している。さらに、浄水場、下水処理場、ポンプ施設といった個々の機場の監視制御システムとしてだけでなく、テレメータやIP (Internet Protocol) 専用線によって、事業体内に分散しているこれら機場を相互接続し、広域管理を可能としている。このように監視制御システムは、それ自体がモノのネットワークであるということが出来る。

しかし、これらの監視制御システムは、ネットワークシステム化されているとはいえ、リアルタイム性と信頼性が優先されるために、ベンダーごとに異なるクローズドなシステムとして進化してきた経緯がある。そのうえ、社会インフラである上下水道分野では、セキュリティ確保が必須であるためクローズドなネットワークが採用されてきたという事情もある。このためNetwork of ThingsではあってもInternet of Thingsとはなっていない。

第1章で述べた課題解決のためには、収集 (Sense) →分析 (Think) →実行 (Act) サイクルを回し、上下水道インフラの計画、業務改善につなげていくことが大切であり、監視制御 (OT)系データを利活用できるオープンな環境が望まれる。また、広域化、流域管理といった施策^{7), 8)}においても、監視制御システム間の連携を容易にする仕組みが求められている。

ライフサイクルコストや投資平準化を考慮した更新計画立案のため、アセットマネジメントの推進が推奨されているが、ここではOT系だけでなく、設備台帳や顧客サービスといった情報システム (IT: Information Technology) 系データも必要となるため、OTとIT間のシステム連携も欠かせない。

以上から、日立は、セキュリティに配慮しながらも監視制御システム間および情報系システム間での連携が可能なオープンな場を提供するIoTプラットフォームの整備を進めている (図1参照)。

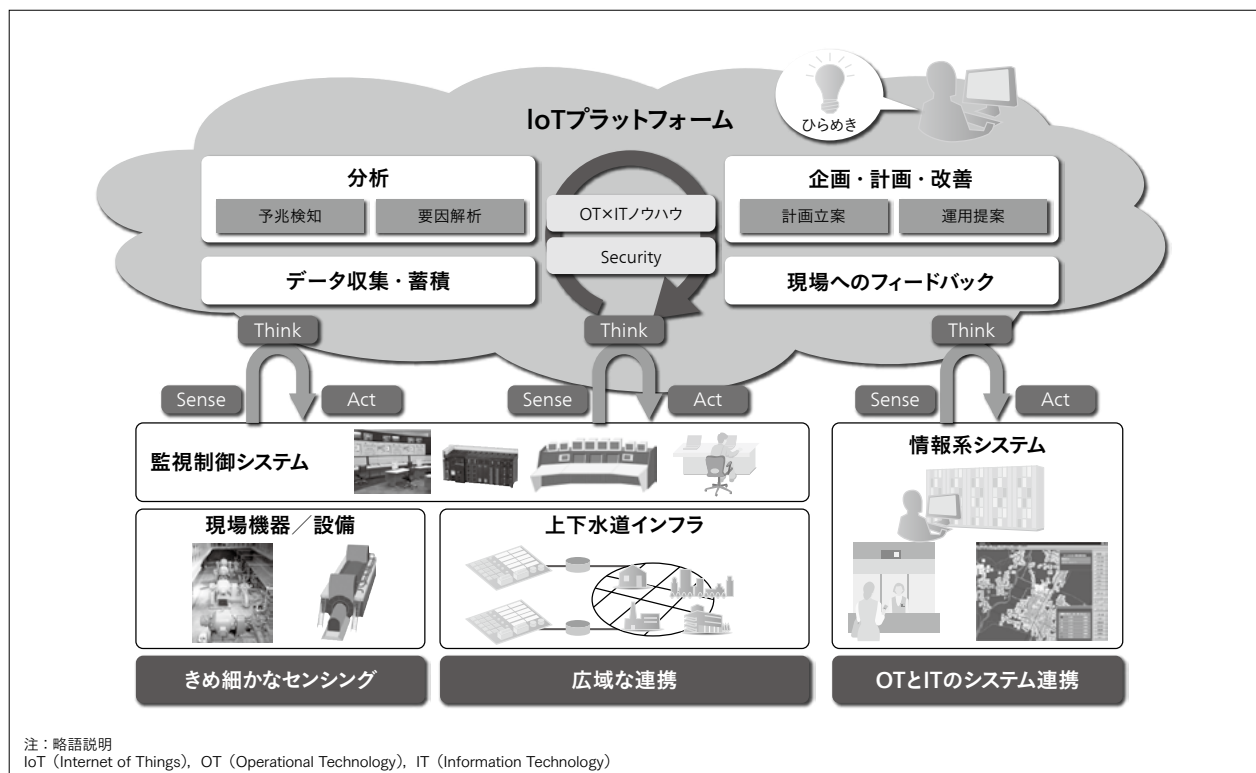
一方で、あらゆるモノがネットワークにつながるIoT時代の監視制御システムでは、よりきめ細かに機器・設備をセンシングすることが可能となりつつあり、これをIoTプラットフォームを通じて利活用することで、運転・維持管理業務の効率化だけでなく、機器・設備の劣化・異常診断への展開も考えられる。

3. 監視制御データ活用基盤 NX IoT Gateway

OTデータの利活用を推進するためには、監視制御システムとIoTプラットフォームを接続し、相互にデータの送受信を行うことが必須である。しかし、監視制御シ

図1 | IoT時代の監視制御システム

監視制御システムにはIoTプラットフォームを通じて相互に連携するだけでなく、情報系システムとも連携することで、それらが持つデータを業務改善や計画業務に利活用していくことが求められる。



システムを構成する制御機器やそのデータ構造、および通信方式は、その用途・目的・システムのベンダーによって多種多様である。さらにIoTプラットフォームにおいても、用途別のアプリケーションやOS (Operating System)、ネットワーク環境の違いなどがあるため、それらをつないでデータ送受信を行うことは容易ではない。

また、監視制御システムのデータをIoTプラットフォーム上のサービスで活用するためには、単に通信を実現するだけでは不十分である。監視制御システム内で使用されるデータはデータ名称やID番号 (タグナンバーなど)、デバイスアドレス値などで識別されるが、そのデータがどのように使われているかといった情報は付与されていないことが多い。そのため、IoTプラットフォームでOTデータだけを取得してもデータの意味が分からず、大量のデータ分析や見える化は困難である。

日立は、以上の課題を解決し、監視制御システムのOTデータをIoTプラットフォームで活用できるソフトウェア「NX IoT Gateway」を開発した。

NX IoT Gatewayの主な特長は以下のとおりである (図2参照)。

(1) 3層ソフトウェア構造で、さまざまなシステムに柔軟に対応

NX IoT Gatewayでは、ソフトウェアを「GW(Gateway)

コネクタ]、「NXGWマネージャ」,「GWアダプタ」の3層で構成している。下層のGWコネクタ層は、監視制御システムとの通信処理、上層のGWアダプタ層は、IoTプラットフォームとの通信処理、中間層のNXGWマネージャは上下層間のデータ中継処理を、抽象化されたインタフェースで提供する。GWコネクタとGWアダプタは、接続される監視制御システム、情報システムのプロトコルやセキュリティレベルに合わせて適用するモジュールを入れ替えることで、柔軟なシステム構築を可能としている。

(2) コンテキスト情報付与による、IoTプラットフォームでの制御データ利活用促進

それぞれの通信モジュールをつなぐNXGWマネージャのデータ集配信機構では、OTデータを説明する情報 [コンテキスト情報：データ単位、データ異常判定閾 (しきい) 値、取得日時など] を、監視制御データにひも付け付与して、意味を持ったデータとしてIoTプラットフォームへ配信するようにした。さらに、IoTプラットフォーム上でコンテキストとOTデータを統合管理することにより、IoTプラットフォームでのOTデータの管理が容易となり、利活用が促進される。

(3) AQUAMAX-AZシリーズと連携

日立の上下水道監視制御システムAQUAMAX-AZシ

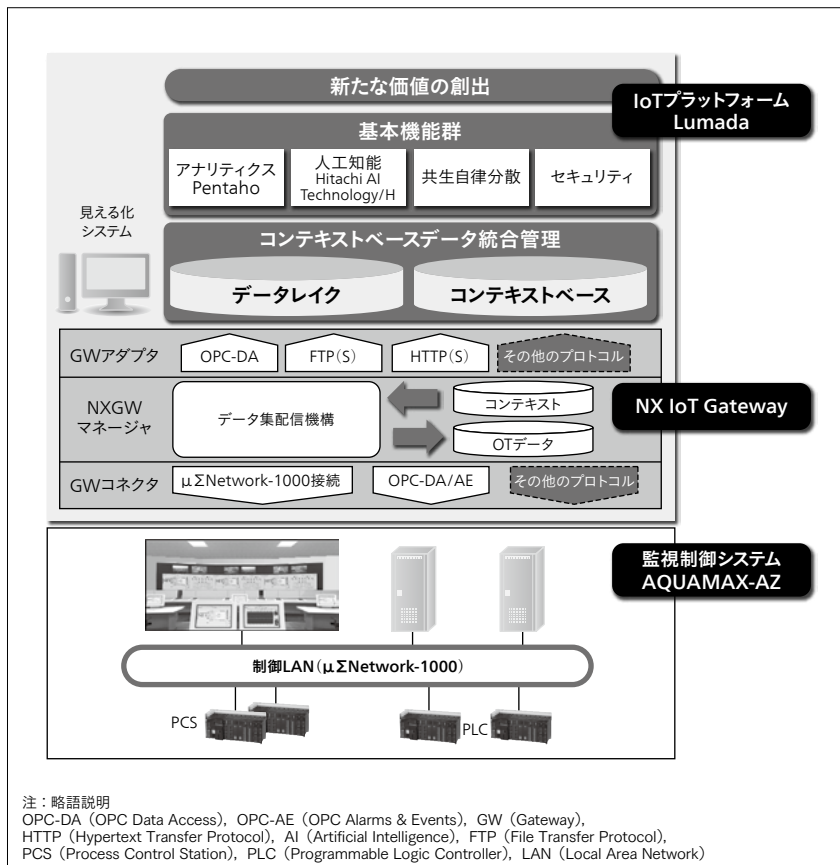


図2|NX IoT Gatewayの構成

「GWコネクタ」,「NXGWマネージャ」,「GWアダプタ」の3層で構成している。GWコネクタ層は、監視制御システムとの通信処理、上層のGWアダプタ層は、情報システムとの通信処理、中間層のNXGWマネージャは上下層間のデータ中継処理を、抽象化されたインタフェースで提供する。

リーズ¹⁾が持つシステム構築情報などから、コンテキスト情報を自動で取得するようにした。また、GWコネクタのモジュールとして、制御LAN「μΣNetwork-1000」の接続モジュールを準備しており、制御LANから直接データを収集する用途にも対応可能である。

4. 下水道光ファイバマルチセンシングシステム

2015年に水防法の一部が改定され²⁾、都市の内水氾濫対策が求められる中、危機管理面では、浸水対策のため水位計測の必要性が高まっている。また、維持管理面では管路施設の老朽化が課題となっている。このため、水位、腐食性ガスや水質といった「管渠（きょ）内情報の見える化」が重要であるが、遠方からのリアルタイム監視は管渠内での電源確保が難点である。

一方、下水道管路には光ファイバーの敷設が進められており、2015年度末には全国で総延長2,250.1 kmに達し³⁾、下水道事業の監視制御やIT業務のネットワークとして活用されている。また、2011年の東北地方太平洋沖地震の際、他の通信網に比べてほとんど損傷を受けなかったことから、近年は地震に強い通信ネットワークとしても注目されている。

そこで、上述の問題を解決する手段として下水道管路光ファイバーに注目し、光給電方式により、通信路としてだけでなく電源供給手段としても光ファイバーを用い、管路内の水位、腐食性ガス、水質などを計測するマ

ルチセンシングシステムを開発した⁴⁾（図3参照）。

下水処理場・ポンプ場に設置され、中央監視システムとの通信を行うマルチセンシングボックス（MSBox：Multi Sensing Box）親局と、管渠内に設置され、センサーを接続する複数台のMSBoxが1芯のシングルモード（SM：Single Mode）光ファイバーを介して接続される。

MSBox親局は光源装置を有しており、光ファイバーを通じてMSBoxへ強いレーザー光を送出する。一方、MSBoxは受信したレーザー光をフォトダイオードで電力に変換し、これを電源としてMSBoxに搭載のセンサーでのセンシングやMSBox親局との光通信を行う。MSBoxでは、光給電にて供給される電力量に限りがあることから、Box内のデバイスを間歇（けつ）動作させるなどきめ細かな電力制御で低消費電力を実現している。

図3の例では、MSBoxに4種類の異なるセンサー（液面スイッチ、圧力式水位計、電気電導度計、硫化水素センサー）が接続された構成となっている。

センサーの接続には、着脱を容易とするために防水コネクタを用いる工夫がなされている。また、MSBoxは下水道管路内に設置するため、防水防食性を有している（図4参照）。

マルチファイバーセンシングシステムで、これまで困難であった地下下水道の「見える化」を実現し、管路の維持管理、腐食・異臭対策、不明水対策、合流改善といった課題解決が期待できる。

図3 | 下水道光ファイバマルチセンシングシステムの構成

下水処理場またはポンプ場のMSBox親局と、管渠内に設置された複数のMSBoxが1芯のシングルモード（SM）光ファイバーを介して接続される。MSBoxに各種センサーを接続することで、下水管渠の状態のモニタリングが可能となる。光ファイバーは伝送路であるとともに、光給電技術によりセンサー電源供給路としても利用される。

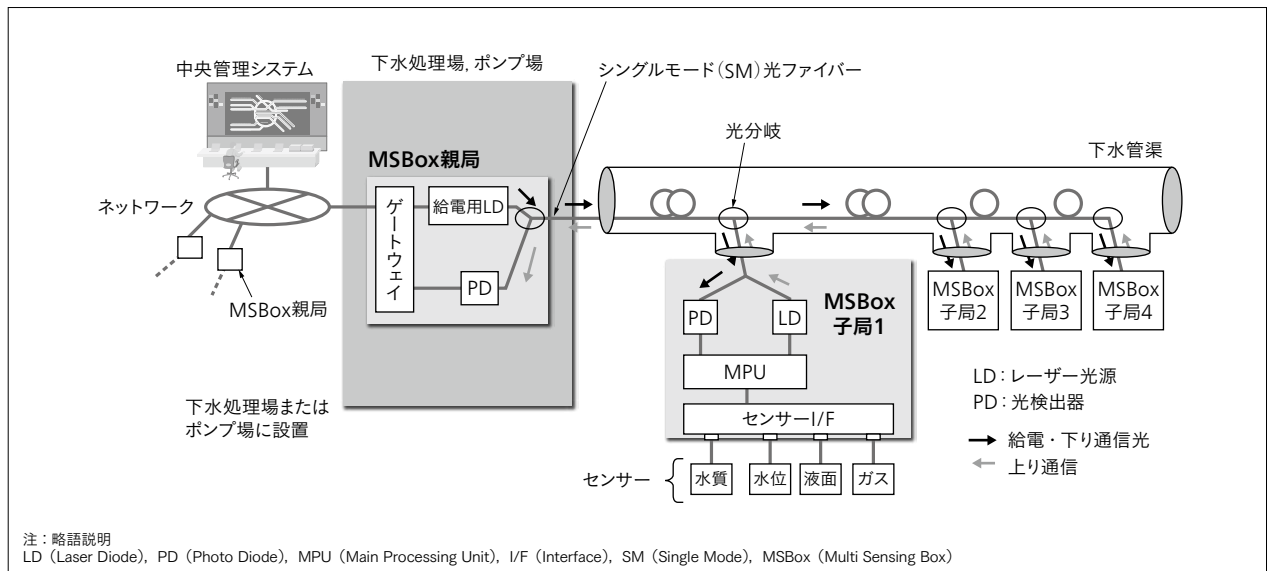
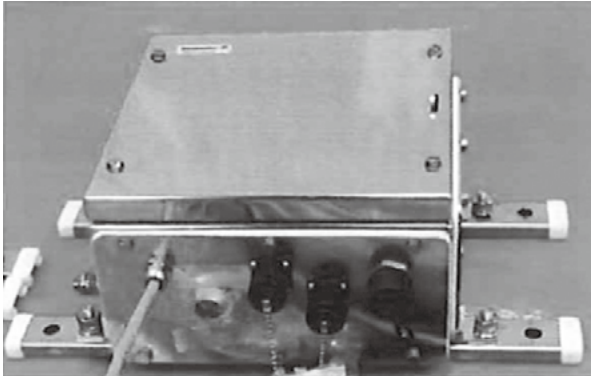


図4|MSBoxの外観

筐（きょう）体は防水防食性を持つ。同じく防水のセンサーコネクタは、筐体の底部に配置される [筐体寸法 (LWH) : 260 mm×260 mm×150 mm]。



5. 新たなセンシングへの取り組み

これまでの監視制御システムでは扱うことのできなかった情報も、センシングしてデジタルデータとして活用することが可能となってきている。

本稿ではこれらの取り組みから、目視で対応していたアナログ計器などの表示をデジタル化して伝送し、時系列データとしての活用を可能とする画像解析無線モジュールと、人手による巡回点検において、手書きで収集されてきた情報を音声入力によってその場でデータとして取り込むハンズフリー点検支援システムを紹介する。

5.1

画像解析無線モジュール⁵⁾

上下水道設備においても、監視制御システムに取り込んでいないアナログ計器が相当数存在する。きめ細かな維持管理にはこれらのデータの収集が必要であり、従来、巡回点検によって対応してきた。これらは紙ベースで管

理されてきたため、設備管理、アセットマネジメントにデジタルデータとして有効活用されてきたとは言い難い。

そこで、既存のアナログ計器の表示をカメラ撮影と画像解析で数値化し、内蔵電源による自律駆動と無線通信によって数値化したデータを伝送する画像解析無線モジュールを開発した。図5にその外観を、図6に無線モジュールをネットワーク接続した点検自動化システムの例をそれぞれ示す。

本システムの導入に際しては、現場のアナログ計器が配管と直結しているため、取り外しや置き換えが困難なことが多い。また、屋外や高所などでは電源供給やデータ伝送のためにケーブル敷設が別途必要になるという課題がある。画像解析無線モジュールは、これらの課題を解決するべく以下の特長を有する。

- (1) 計器はそのままに後付け設置が可能で、設備停止が不要である。
- (2) ケーブル敷設工事が不要である。
- (3) おおむね複数回の定期点検期間を超える3年間は装置のメンテナンスが不要である。

無線ネットワークには空間的冗長性、周波数冗長性などにより高い信頼性を確保するとともに、2.4 GHz帯で国際的にも導入しやすい主流の方式を採用した。この方式では、メッシュ型の無線ネットワークを自動的に構成する。無線モジュール間の通信距離は最大30 m程度だが、複数のノードを経由するマルチホップ通信により、広範囲なデータの伝送が可能である。

無線モジュールは低消費電力化技術および伝送データの軽量化により、1日1回の点検（メータ読み）を実施しつつ、3年間にわたって内蔵電池のみで駆動できる。低消費電力化は、きめ細かな給電制御で待機時の消費電力を削減することで実現した。

低消費電力の無線通信において、画像データの伝送は、

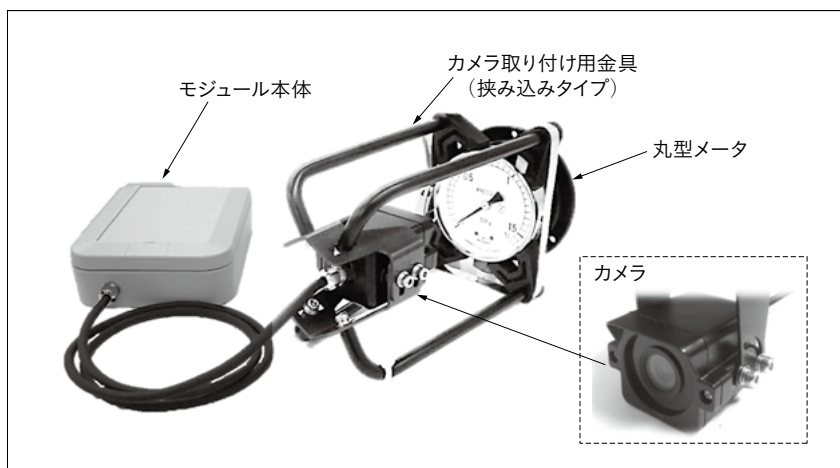
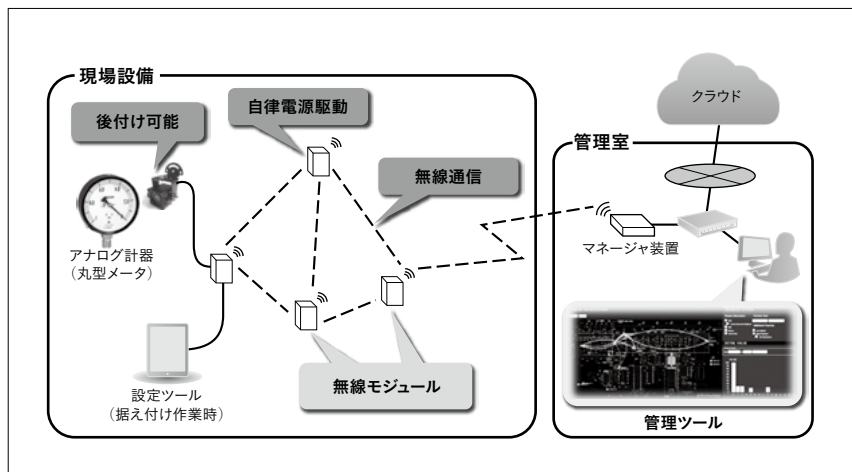


図5| 画像解析無線モジュールの外観

内蔵電源と無線通信により、既存設備への後付けを可能とした。

図6 画像解析無線モジュール応用点検自動化システム

現場設備に設置した無線モジュールが計器の計測値を読み取り、無線通信にて伝送する。計測値はマネージャ装置に集約保存され、サーバやクラウド上で活用される。



通信速度や1回の通信で送信できるデータ量に制限があることから不向きであり、伝送データの軽量化が重要となる。軽量化には一般的に画像圧縮技術が挙げられるが、既存の方法では十分なデータの軽量化は困難であった。そこで、画像情報を無線モジュール側で解析し、メータ読み値に変換することで対応した。

機械式丸型メータを読み取る場合では、カメラ画像を解析し、指示針の角度を求めて計器の指示値を数値化する。これにより、伝送するデータ量を約120キロバイトから4バイトと約3万分の1に、伝送回数を約1,200回から1回に軽量化することができた。

5.2

ハンズフリー点検支援システム⁶⁾

あらゆるものがネットワークにつながるIoT時代であっても、維持管理担当者自身が実際に現場に行く「三現主義」の重要性は変わらないものと考えている。巡回点検においては、メータ読みなどの値やチェックリストのチェックだけでなく、現場で知りえた情報をテキスト

として記録するケースも想定される。このような情報をデジタル化して活用するためには、点検員が音声で入力し、音声認識によってデータ化すること、すなわち音声入力情報を広義のセンシングデータとして扱うことが解決策として考えられる。

また、巡回点検においては安全の面から、点検表、筆記用具などを携行せず、手ぶら（ハンズフリー）で点検できることが望ましく、この観点からも音声入力のニーズがある。

しかし、多くの設備が常時稼働しているため、音声認識技術を上下水道分野の点検システムに採用するには、100 dBAを超える高騒音下での認識が必要である。特に下水道施設では地下の通信ネットワークが利用できない環境下での動作が求められるため、ネットワーク接続されたサーバの処理能力に頼ることなく、モバイル機器のみで音声認識処理を実行しなければならない。

図7は開発したハンズフリー点検支援システムの概要である。上述の課題に応えるべく以下の開発を行った。

(1) 騒音の影響を受けにくい声帯マイクを活用した。雑



図7 ハンズフリー点検支援システムの構成

現場巡回点検業務の効率化、品質確保、安全性を図るべく、タブレットPC (Personal Computer) と音声入力による巡回点検システムを開発した。高騒音で無線LANの適用が困難な環境下での音声入力を可能とするため、声帯マイクと短時間で学習可能な「適応個人音響モデル」を適用している。

音抑制を必要としない音声認識を実現することで、作業服のポケットなどで携行可能なタブレット端末上で高速認識を可能とした。

(2) 声帯マイク用に適応(変換)した音響モデル(音声のデータベース)を構築した。声帯マイク音声の認識は、一般の気導マイク用音響モデルでは音声的特徴の不一致のため十分な認識率が得られない。また、音声データを学習して音響モデルを構築する一般的な手法では、100時間を超える学習データが必要なことから困難であった。そこで、気導マイク用音響モデルを声帯マイク用音響モデルに適応的に変換するソフトウェアを開発し対応した。

(3) 不特定話者の音響モデルから個人用の音響モデルを生成する「適応個人音響モデル」を開発した。この個人用音響モデルは、5分程度の発話音声データ収録により構築可能である。

以上により、89~97%の高い認識率を達成しており、ガスタービンや100 dBAを超える遠心脱水機などが稼働する高騒音下でも利用可能となった。

6. おわりに

本稿では、上下水道分野の監視制御システムが持つOTデータをIoTプラットフォームにつなげて、計画、業務に活用するための基盤技術となるIoT Gatewayについて述べた。また、IoTのキーとなるセンシング技術の中から、光ファイバーを活用した下水管路状況のモニタリングや、画像・音声も含めた広義のセンシング技術についても紹介した。

これらの技術が、監視制御システムを通じて得られるOTデータの計画、業務改善での利活用を推進し、上下水道事業の持続に貢献するものと考えている。

謝辞

本稿で述べた下水道光ファイバーセンシングシステムは、東京都下水道サービス株式会社、一般社団法人日本下水道光ファイバー技術協会と共に、また、ハンズフリー点検支援システムは、東京都下水道サービス株式会社と共同で開発したものである。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献など

- 1) 武本剛, 外: 上下水道向け情報制御システムの進化, 日立評論, 95, 8, 528~533 (2013.8)
- 2) 橋有加里: 水防法等の一部を改正する法律の概要について, 下水道協会誌, 52, 634, 56~63 (2015.8)
- 3) 一般社団法人日本下水道光ファイバー技術協会, <http://www.softa.or.jp/>
- 4) 川上博行, 外: 下水道光ファイバーと各種センサの接続技術の開発, 第53回下水道研究発表会講演集 (2016.7)
- 5) 藤森司, 外: 現場設備の目視点検のデジタル化, 日立評論, 99, 3, 315~319 (2017.5)
- 6) 川上博行, 外: ICT技術を用いたハンズフリー点検システムの開発, 第52回下水道研究発表会講演集 (2015.7)
- 7) 厚生労働省: 水道事業における広域化事例及び広域化に向けた検討事例集, <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/houkoku/suidou/140326-1.html>
- 8) 国土交通省下水道部: 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 (2015.1)

執筆者紹介



田所 秀之

日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット
制御プラットフォーム統括本部 情報制御第一本部
社会制御システム設計部 所属
現在, 上下水道向け監視制御システムの開発に従事
技術士(情報工学, 上下水道, 総合技術監理)
電気学会会員, 環境システム計測制御学会会員,
計測自動制御学会会員



中村 信幸

日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット
制御プラットフォーム統括本部 情報制御第一本部
社会制御システム設計部 所属
現在, 上下水道向け監視制御システムの開発・設計に従事



西村 卓真

日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット
制御プラットフォーム統括本部 制御プラットフォーム開発本部
制御プラットフォーム開発部 所属
現在, 制御システムのコンポーネント開発に従事



植村 一徳

日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット
制御プラットフォーム統括本部 制御プラットフォーム開発本部
制御プラットフォーム開発部 所属
現在, 制御システムのコンポーネント開発に従事



菊池 信彦

日立製作所 研究開発グループ
デジタルテクノロジーイノベーションセンタ コネクティビティ研究部
所属
現在, 光ファイバー通信・給電・監視制御技術の研究開発に従事
博士(工学)
電子情報通信学会会員, IEEE会員



畑山 正美

日立製作所 水ビジネスユニット 水事業部 社会システム本部
事業企画部 所属
現在, 上下水道システムの研究開発企画業務に従事
博士(工学), 技術士(上下水道)