

トンネル現場を対象としたIoT リモートセンシングシステムの開発と運用

Development and Operation of Remote Sensing System for Tunnel Construction Site

木村 圭 佑^{*1}
Keisuke Kimura

松田 浩 朗^{*1}
Hiroaki Matsuda

寺島 佳 宏^{*2}
Yoshihiro Terashima

寺島 巧^{*2}
Takumi Terashima

【要旨】

ICT を活用した、安全性や生産性を向上させるシステムは従前より開発されており、工事現場で運用がされている。しかし、1つの課題に対して1つのシステムを導入する必要があり、その保守・管理に労力を要している。また、各システムが工事現場での確認のみにとどまっていることが多く一元管理の壁となっている。

これらの課題を解決するため、筆者らは気象・ガス・油膜・排水ポンプ等のアナログ出力を含むセンサ群にIoT ゲートウェイを接続し、データをクラウドで集中管理する新たなシステムの開発を行った。

開発したシステムをトンネル建設現場で試行し、センサで計測した情報を一元管理できることが確認できた。さらに、試行時における運用上の課題と、今後の課題について整理した。

【キーワード】 モニタリング 生産性向上 IoT ゲートウェイ クラウド

1. はじめに

建設工事において、熟練技能労働者の減少による労働力不足が問題となっており、安全性および生産性の向上が喫緊の課題となっている。この対応として、人・機械・環境の情報に基づき、建設機械との接触防止、労働環境の管理など、安全性や生産性の向上につながるシステムの開発が進められているが、これらのシステムはそれぞれ1つの現場の課題に対応する独立したものとなっていることが多い。そのため、複数の課題に対応するためには、複数のシステムの導入が必要であることから、保守・管理に対する職員の労力の増大や、システム間のデータ連携が困難といった課題が発生する。

これらの課題を解決するために、各情報を統合的に取得し活用できる基盤が必要と考え、人・機械・環境の情報を容易に取得し、安全性や生産性の向上を目的とした各種自動管理システムの開発の迅速化と、開発システム間の情報連携の円滑化を実現するプラットフォームを開発し、現場に適用した¹⁾。

本論文では、既往のシステムの現場運用による課題と、システム開発方針、開発内容、現場での運用結果、および課題と今後の開発計画を示す。

2. 既往のシステムの課題と開発方針

開発するシステムは、既往のシステムの課題を整理したのちに、その解決を図る手法で実施した。また、開発にあたり、試行対象であるトンネル建設工事現場職員にヒアリングも実施した。

既往のシステムの課題として、

- ①計測センサごとに1台のPCを設置する必要があり、それぞれで表示画面が分かれており、一元管理が行えていない。
- ②データ表示画面が現場内に設置してあり、情報を確認するためには現場に赴く必要がある。
- ③既存他社システムで計測したデータも一元管理したいことが挙げられる。

これらの課題に対して、

- ①計測したデータが一元的に確認できる表示機構、
 - ②インターネット回線を用いて、計測したデータをクラウドへアップロードし、工事事務所や本支店といった、遠隔地でもデータを確認できる機構、
 - ③4~20mAのアナログ出力等の外部出力に対応したセンサと接続するIoTゲートウェイ、
- の開発を行うこととした。

また、現場職員へのヒアリングにより、計測を行う項目として、(i) 気象情報 (温度, 湿度, 風速), (ii) ガス濃度 (酸素, 一酸化炭素, メタン, 硫化水素), (iii) 湧水を一時保管しているタンク中の油膜, (iv) 排水ポンプ稼働状況, 及び既存の (v) 入坑管理システムを選定した。選定した理由は、(i) 気象情報のうち、温湿度は熱中症予防のためのWBGT値を求めるため、風速はクレーン作業の可否および坑内の換気状況を把握するため、(ii) ガス濃度は、安衛則に定められている坑内労働環境を確認するため、(iii) 油膜は、坑内で発生した湧水を濁水として排出する際に適切に処理されているかを確認するた

1.技術研究所 研究開発G 第一研究室 2.土木本部 北海道新幹線札幌トンネル作業所

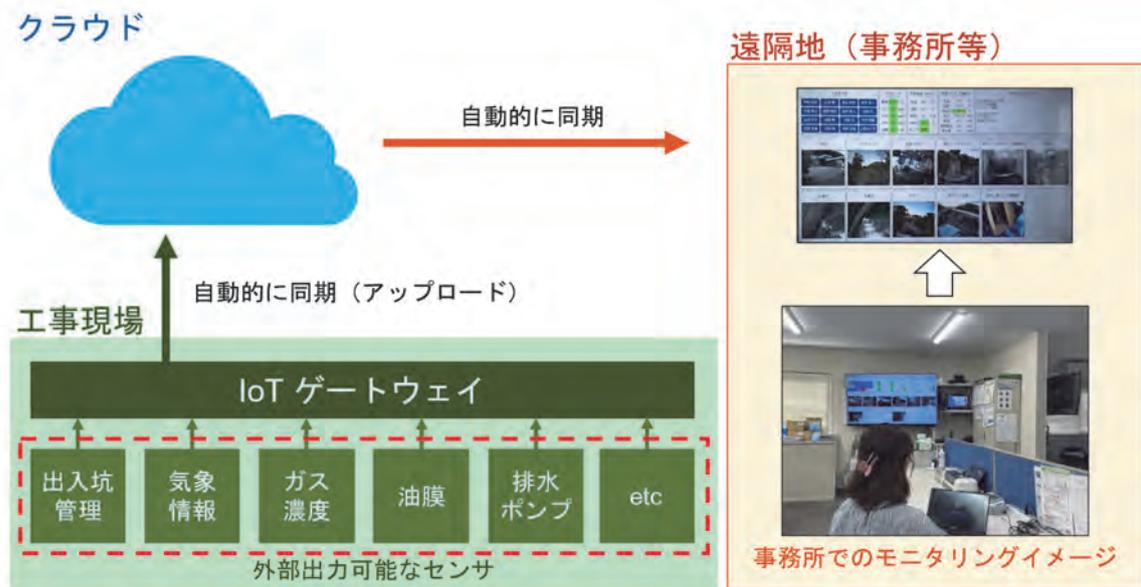


図-1 システムイメージ

め、(iv) 排水ポンプの稼働状況は、坑内で発生した湧水を坑外へ排出する際に、ポンプ故障での事故を防ぐためである。また(v) 入坑管理システムについても、システムのクラウド化対応を実施し、遠隔地から入坑者情報を確認できるようにする。

3. 開発したシステムの概要

開発方針に基づき開発したシステムについて述べる。システムイメージ図を図-1で示す。

3.1 計測機器

設置する計測機器及びIoTゲートウェイは、現場内既存のWi-Fi環境下で用いることを前提に開発を行った。

計測機器(センサ)は、安価かつ、外部へのデータ出力が容易であるものを選定した。また、他社既存システムを用いる場合においても、IoTゲートウェイを接続することで、開発したシステムに接続できるような構成とし、計測機器で取得したデータを、IoTゲートウェイ経由でクラウドへアップロードする仕組みとした。なお、IoTゲートウェイは、センサに応じたデータロガーと、Wi-Fiアクセスポイントで構成されている。また、各計測機器とIoTゲートウェイは一つの防水ボックス内に収まる形としている。そのため、現場への設置は、電源を接続するのみであり、設置・管理に関する職員への負担を軽減できる。

3.2 データ表示部

現場事務所に設置する表示画面は、図-1の右側に示すように、大型ディスプレイ上にデータが一覧表示できるものとした。また、計測機器で取得した値が、あらかじめ設定した閾値を超えるとアラートを出し、事務所にいる職員が即時で確認できる機構とした。また、計測項目は工種により必要なものが異なることが考えられるため、



図-2 気象センサ設置状況

今後、他工種へ展開することも踏まえ、表示項目は容易に変更できるようにしている。

4. 現場での運用

開発したシステムをトンネル建設現場内に設置し、試行を行った結果を示す。

4.1 気象センサ(温度・湿度・風速)

図-2は、温度・湿度・風速センサが一体となった市販の気象観測装置をトンネル坑内に設置した状況である。この気象観測装置は、センサとコンソール(データロガー機能を有する)の2台で構成されている。センサで計測したデータはコンソールに送信され、IoTゲートウェイによりクラウドにアップロードする機構となっている。

4.2 ガス濃度センサ

ガスセンサをトンネル坑内に設置した状況を図-3で示す。ガスセンサは、計測項目毎のセンサ(今回は酸素、一酸化炭素、メタン、硫化水素を計測するためセンサ4つ)と、データ収集ボックスから構成されている。

データ収集ボックス内に設置したIoTゲートウェイ経由でクラウドへアップロードする機構となっている。



図-3 ガスセンサ設置状況

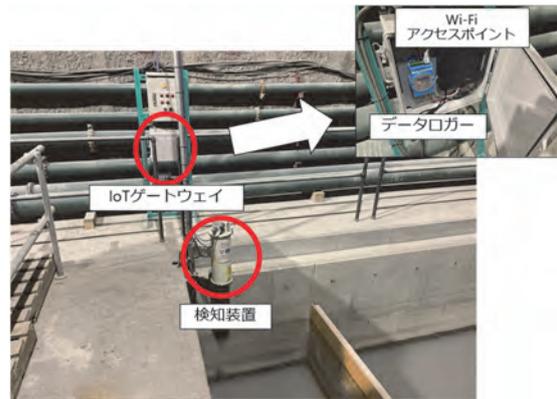


図-4 油膜センサ設置状況

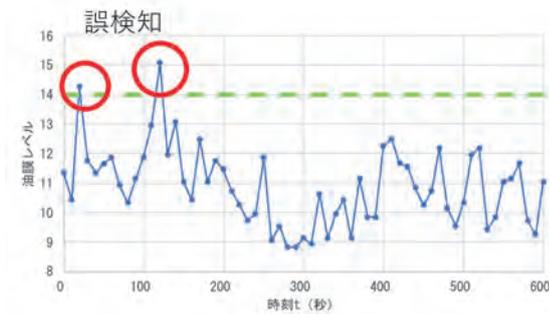


図-5 油膜レベル計測値



図-6 排水ポンプ稼働確認センサ設置状況

4.3 油膜センサ

油膜センサをトンネル坑内の水槽直上に設置した状況を図-4で示す。油膜センサは、検知装置とIoTゲートウェイで構成されており、検知装置は既存のもの（他社開発）を用いている。検知装置で取得したデータ油膜レベルは、4~20mAのアナログ出力が可能で、IoTゲートウェイ内のデータロガーで受信しクラウドへアップロードする機構となっている。

この検知装置で計測した油膜レベルが閾値（今回は標準の設定である14としている）を超えた場合、油膜が存在すると判定しているが、浮遊物による誤検知が瞬間的に発生するという事象が、設置時の試験で発生した（図-5）。この対策として、検知間隔の変更と、3連続で閾値を超えた場合に油膜が存在するという判定を行うことで誤検知を防ぐ仕組みとしている。

4.4 排水ポンプセンサ

排水ポンプの稼働確認センサを設置した状況を図-6で示す。排水ポンプセンサには、既存のシステムであるフロート式のセンサを採用した。坑内の水槽内にフロート式のセンサを設置し、排水ポンプが稼働していない場合、水槽の水位が上昇しフロートスイッチの状態が変化することで検知を行う仕組みとなっている。こちらについても、フロート式のセンサにIoTゲートウェイを接続し、クラウドへデータをアップロードする機構としている。

4.5 大型ディスプレイ表示システム

現場事務所に設置したディスプレイを図-7で示す。ディスプレイには、気象、ガス濃度、油膜、排水ポンプの各センサ、および以前に開発した入坑者データと現場内に設置している監視カメラ映像を表示している。

ガスセンサや油膜センサの値が閾値を超えた場合には、事務所に設置した警告灯も併せて点灯する機構とし、リアルタイムで現場環境の把握が遠隔地で可能となるものとしている。

また、気象センサにより得られた温度・湿度・風速から、WBGTの換算式³⁾を用いて計算し、表示する機構も備えている。

5. 運用上の課題と今後の対応

トンネル建設現場で試行を行った上で発生した課題について述べる。

気象センサ：コンソールやIoTゲートウェイは、外部電源で動作するが、センサは屋外設置を想定したものであるため、定期的にセンサの電池を交換する必要がある。

ガス濃度センサ：トンネル掘削が進行するにつれ、機器を移設する必要があるが、その際にセンサとデータ収集ボックスが分離しているため、ケーブルの取り外しといった作業が必要であるため、労力を要する。

また、複数個所でガスの計測を行いたい場合、センサのコストが高く、費用面でハードルが高い点が挙げられる。



図-7 事務所でのモニタリング状況

油膜センサ：瞬間的な誤検知に関して、前述の対応を実施したが、その対応について検証を行う必要がある。

排水ポンプセンサ：今回の検証では1か所に設置したが、実運用を行う上では、計測箇所を増やす必要があるため、センサが多く必要である。そのため、1個当たりのセンサコストを削減する必要がある。

6. まとめ

アナログ出力を含むセンサ群にIoTゲートウェイを接続し、データをクラウドで集中管理する新たなシステムを開発し現場試行を行った結果、以下の知見が得られた。

- ・計測センサごとに独立したシステムを、IoTゲートウェイを用いることで、既存他社システムも含め一元管理可能であることを確認した。
- ・機器設置作業を、電源ケーブルの接続のみとすることで、現場職員による機器移設の負担軽減が可能であることを確認した。
- ・取得したデータをクラウドに保存することで、インターネットに接続可能な場所であれば、どこでも情報を確認可能であることを確認した。
- ・ディスプレイに、取得した情報を一覧表示することで、現場環境の把握が遠隔地で可能であることを確認した。

今後は、前項の課題に関する対応や、センサ計測値が

閾値を超えた場合の警告方法として、メールやSNSを用いる方法の追加、各種センサコストのさらなる削減や、現場職員におけるフィードバックをもとに、システムの改良を行い、トンネル他現場や他工種の現場への展開を進めていく予定である。

【参考文献】

- 1) 木村圭佑, 松田浩朗, 筒井隆規, 宮原宏史, 野口幸一, 河西哲夫: BLE ビーコンを使用した重機接近警告システムの開発と試行, とびしま技報, No.67, pp. 21-22, 2019.
- 2) 飛島建設: DX (デジタルトランスフォーメーション) 推進の一環としてスピーディーなシステム開発とシームレスなシステム間情報連携を実現する山岳トンネル建設工事向け IoT プラットフォーム「IoT-Smart-CIP」を開発, (取得日: 2023.9.7 : https://www.tobishima.co.jp/press_release/detail/20200403100090.html)
- 3) 小野雅司, 登内道彦: 通常観測気象要素を用いたWBGT (湿球黒球温度) の推定, 日本生気象学会雑誌, No.50(4), pp. 147-157, 2014.

Summary Systems that improve safety and productivity using ICT have been developed and are in use at construction sites. However, it is necessary to introduce one system for each issue, and the maintenance and management of such systems are labor intensive. In addition, each system is often used only for checking at the construction site, which is a barrier to centralized management.

To solve these problems, the authors developed a new system that connects an IoT gateway to a group of sensors with analog outputs, including weather, gas, oil film, and drainage pumps, and centrally manages the data in the cloud.

In this report, the developed system was tested at a tunnel construction site, and it was verified that the information measured by the sensors could be centrally managed. Furthermore, issues related to the operation during testing and those in the future were summarized.

Key Words: Monitoring, Productivity Improvement, IoT Gateway, Cloud