インフラモニタリング情報モデル標準化に向けた取組み

沖電気工業株式会社　ソリューションシステム事業本部 IoTプラットフォーム事業部　原田（はらだ）　崇（たかし）

1. インフラモニタリングの現状と課題

(1) インフラ維持管理の現状

日本では高度成長期に数多くのインフラが建設され、築30年～50年を超えるインフラが増加している。国土交通省の発表によると、全国約70万橋のうち43%、約1万トンネルのうち34%が2023年には築50年超を迎えると言われている。また、経年劣化による老朽化に加えて、台風・大雨・地震等の災害がインフラへ大きなダメージを与えることも珍しくない。このような老朽化したインフラに対する長寿命化対策、あるいは災害復旧後の効果確認をどのように行うかは日本の重要施策の1つとされている。

国内では2012年の笹子トンネル天井崩落をきっかけとしてインフラ維持管理の重要性が再認識され、2014年の点検要領改訂により5年ごとの近接目視点検が義務化、さらに2019年の点検要領改訂により近接目視同等と判断した点検方法による点検が認められるようになった。国土交通省は、点検支援技術性能カタログとして点検に活用可能な技術を公開しているが、近接目視同等であるかどうかは現時点では点検者の判断に委ねられている。

このようにインフラ維持管理は、専門家による近接目視点検が基本とされているが、その一方で技術者の高齢化や若年層減少による点検技術者の不足、インフラ管理者（公共団体）の財政力不足、設計図面・点検調書・補修履歴など多くの情報管理など、多くの課題を抱えている。

(2) インフラモニタリングとは

国土交通省の定義によると、従来の「点検」が「構造物の状況をある時間断面（定期点検等）で計測し、基準等に照らして評価する技術」であるのに対して、「インフラモニタリング」とは「構造物の状況を常時もしくは複数回（常時／定期／不定期、最低2時点）で計測し、状態の変化を客観的に把握する技術」とされており、時間経過による変化をとらえることが特徴である。

また、モニタリングシステム技術組合（RAIMS）では、「インフラモニタリングシステム」を「構造物の状態変化を把握する技術」「ネットワーク等を介したデータ収集」「データの保存・蓄積及び必要時に活用する技術」の3つを実現するためのシステムであると定義している。この3つの構成要素は情報通信分野で開発・導入が進むIoTシステムの得意分野であり、インフラモニタリングシステムへIoT技術を適用することによる効果が期待されている。

【参考】モニタリングシステム技術研究組合（RAIMS）

道路・高速道路の管理者、ゼネコン、建設コンサルタント、電気・通信メーカー、センサー・設備メーカーと各分野の専門家が参加し、管理者のニーズに合致した最先端のモニタリングシステムの早期実用化を目指すことを目的に立ち上げられた。

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「社会インフラのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」の活動（5年間）の一環として2014年に結成。各種モニタリング実証を実施、その成果をモニタリングシステム活用ガイドラインとして発行し、2021年4月に解散した。

(3) インフラモニタリングの課題

国内では2014年頃からインフラモニタリングの実証実験が実施されるようになり、現在では実証実験の成果としてインフラモニタリングに関するユースケースや製品が生み出されている。しかしながら、多くの実証実験は前述したインフラモニタリングシステムを構成する3つの技術のうち、「構造物の状態変化を把握する技術」に偏っており、「ネットワーク等を介したデータ収集」「データの保存・蓄積及び必要時に活用する技術」にはあまり重きを置いていないことが多い。RAIMSが発行するガイドラインでは「データ伝送」「データ蓄積・活用」についても触れられているが、ケーススタディが中心で、システム構成の共通化やシステム間の連携には踏み込めていない。

結果として、ベンダー、システムごとに独立したモニタリングシステムが乱立した状態になっており、同じ事業者であっても管理するインフラごとに別のシステムが構築されており、インフラごとに測定されるデータが異なり、同一の指標で異なるインフラを比較することが難しいといった課題がある。

2. インフラモニタリング情報モデル

(1) インフラモニタリングシステムの特徴

インフラモニタリングシステムのシステム構成は一般的なIoTシステムと大きくは変わらないが、インフラモニタリングシステムには一般的なIoTシステムと異なる点として2つの特徴がある。

1つ目の特徴は、構造物の変化を構造力学的な解析によって検出するために、センサーが測定したデータだけでは十分ではなく、センサーが構造物にどのように設置されているかを表す情報（設置位置、方向、取付方法等）との組合せが重要になるということ。このため、センサー測定データと設置情報の関連付けを行う仕組みが必要とされる。

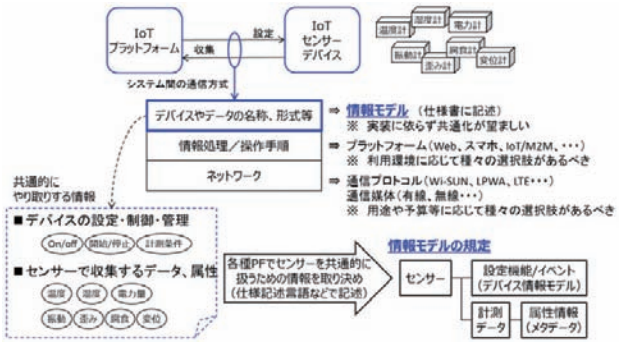
2つ目の特徴は、一般的なIoTシステムと比較して、インフラ構造物の運用期間（50年超）は非常に長く、運用期間中のセンサーデバイスの交換やモデルチェンジ、同種の別デバイスへの置換、新技術の採用は避けられず、その一方で、構造物の変化は緩やかに進むため、測定データは継続して評価・分析できなくてはならないということ。このため、長期間にわたるデータ継続性の確保が必要とされる。

これらの特徴的な条件を満たすためには、異なるシステム間でインフラモニタリングデータの取り扱い方を共通化する情報モデルが必要だと考えられる。

(2) センサー情報モデル

インフラモニタリングシステムにおいて共通的にやり取りするセンサー情報としては、センサーデバイスの設定・制御項目及びセンサーで計測するデータの属性などが考えられる。

これらの情報を取り扱う情報処理手順やネットワーク技術は、システムの用途や予算に応じて種々の選択肢があり、



出典：TTC技術レポートTR-1081「インフラモニタリング情報モデルのユースケース」、2020年2月4日制定、一般社団法人情報通信技術委員会

■図1. センサー情報モデル

また長期の運用にあたっては、その時代に合った技術の変遷を受け入れる必要がある。このような変化に対応するためには、システムやベンダーによらず共通化できる項目を、汎用的な「センサー情報モデル」として仕様化する必要がある。この情報モデルに準拠したセンサーやシステムでは、プラットフォームやネットワークに依存せず一定のモニタリング結果が得られることが期待される。

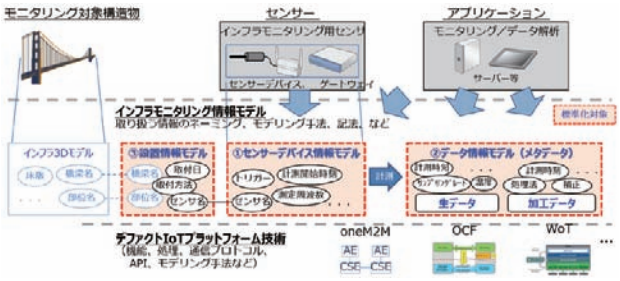
(3) 標準化するインフラモニタリング情報モデル

標準化するインフラモニタリング情報モデルとして、次の3つの情報モデルを検討している。

①センサーデバイス情報モデル：センサー機器の属性、設定条件、発生イベント、データ収集単位などを示す。

②メタデータ情報モデル：計測・収集したデータの属性を示す。センサーデバイスで測定された生データだけではなく、デバイスやプラットフォームにて補正や変化、特徴値抽出等を行った加工データもデータとして扱う。

③設置情報モデル：モニタリング対象とする構造物とセンサーの関係を示す。構造物の名称やセンサーが取り付けられた部位、センサーの取り付け方法（設置位置、方向、固定方法等）などが含まれる。



出典：TTC技術レポートTR-1074「インフラモニタリング情報モデル標準化のためのガイドライン」、2019/3/15、一般社団法人情報通信技術委員会

■図2. インフラモニタリング情報モデル

3. 標準化に向けた取組み

(1) 標準化の検討・審議団体

2017年12月、いわゆるICT企業だけでなく、道路会社、ゼネコン、土木コンサル、業界団体、大学といった関連業界の有識者を集め、インフラモニタリングに関する情報交換、標準化・方針に関する議論を行うため、スマートIoT推進フォーラム 技術戦略検討部会 技術・標準化分科会の下にインフラモニタリングタスクフォースを設立した。

2018年度には、タスクフォースでの業界を横断した議論

を基に、インフラモニタリング情報モデルの標準化を情報通信技術委員会（TTC）IoTエリアネットワーク専門委員会へ提案し、標準化課題として採択、以降インフラモニタリング情報モデルの国内標準、ガイドライン等の策定を継続している。

また、2019年度からは、IoT及びスマートシティ・コミュニティを研究対象とするITU-T SG20へIoTを用いたインフラ維持管理に関する提案を開始。提案当初、国際標準化の世界ではインフラモニタリングを標準化対象とする議論はほとんどなされていなかったため、まずはインフラモニタリングの認知度を高めるために、国内の実証事例を基にスマートシティユースケースの1つとしてインフラモニタリングを提案するところから開始した。

(2) インフラモニタリングシステム構成とユースケース例

インフラモニタリングタスクフォースでは、それまでに国内で実施されていたインフラモニタリング実証実験をベースとしたユースケースの検討を行い、そのユースケースからインフラモニタリングの特性を反映したIoTシステムを検討した。

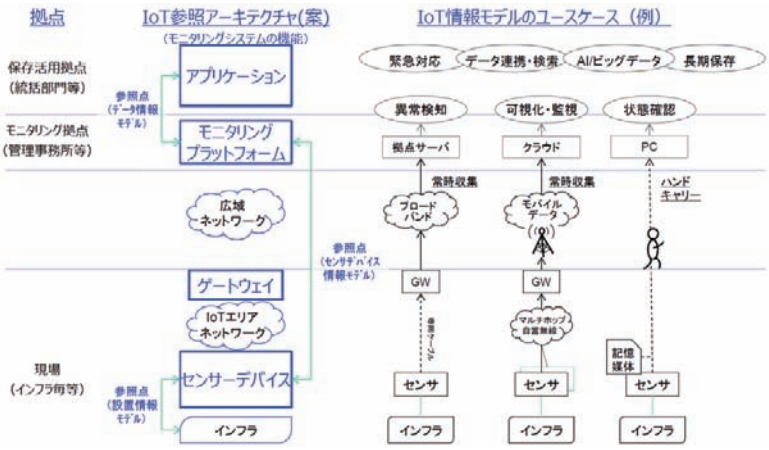
図3は、インフラ構造物に設置されたセンサーデバイスで測定されたデータをゲートウェイ経由でモニタリングプラットフォームに集約し、アプリケーションからデータを利用するIoT参照アーキテクチャとIoT情報モデルのユースケース例を示している。インフラモニタリングで使用される様々な接続方式が存在し、有線接続あるいは無線接続だけでなく、デジタルカメラのように記憶媒体を点検作業者がハンドキャリーし、事務所のPC・サーバーへ登録するようなケースも存在する。

また、同じインフラモニタリングシステムであっても利用者の立ち位置によってシステムの利用目的が異なる場合がある。例えば、個別のインフラを管理する現場では、異常検知や状態の可視化が主な目的であるのに対して、管理区域内の複数インフラを管理するモニタリング拠点（管理事務所等）では直近の点検計画の策定を目的としたり、さらに複数の管理区域を統括して管理する保存活用拠点では将来的な老朽化の予測を目的としたり、様々な目的でインフラモニタリングシステムを利用することができることを示している。

(3) センサー情報モデル標準化の構成

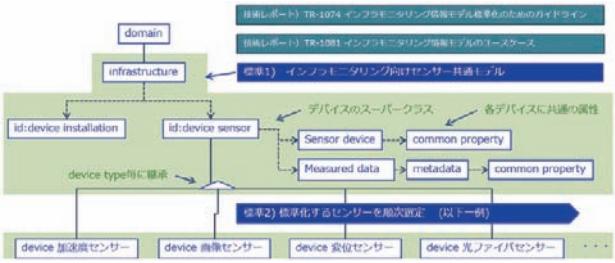
センサー情報モデルの標準化にあたって、まずは標準化に向けたガイドライン（TTC技術レポート TR-1074）及びユースケース（TTC 技術レポート TR-1081）の整備を行い、一般的なIoTモデルをインフラモニタリングに適用する場合に、標準化するセンサー情報モデルのユースケース、参照モデル、要求事項などを整理した。

現在は、具体的なセンサー情報モデルの属性について、インフラモニタリングで一般に利用されている、加速度、画像、変位、光ファイバーセンサーを対象に検討を進めている。センサー情報モデルのモデリング手法としてはoneM2MのSmart Device Template（SDT）3.0テンプレートを利用している。SDTは元々、家電向けの情報モデルであるが、バージョン3.0ではドメインという概念が追加され、スマート工場やスマートシティ、自動車関連等、家電以外の領域へ拡張できるようになった。インフラモニタリング用のドメイ



出典：TTC技術レポートTR-1081「インフラモニタリング情報モデルのユースケース」、2021年2月4日制定、一般社団法人情報通信技術委員会

■図3. インフラモニタリングシステム構成とユースケース例



出典：スマートIoT推進フォーラム 技術・標準化分科会 インフラモニタリングタスクフォース 第10回会合資料、Infra-mon-tf-No10-5、2019/3/19

■図4. センサー情報モデル標準化の構成

ンを拡張し、どのセンサーでも共通的に使用するセンサー共通モデルと、加速度、画像、変位、光ファイバー等の個別に定義するセンサー固有モデルを分けて定義し、センサー固有モデルについてはセンサーの種類に応じて順次拡張できる形式とする。

表に現在までの標準化成果物を示す。TTCでは、TR-1066、TR-1074、TR-1081の技術レポート3件とJJ-300.30の標準1件が発行済み、現在センサー情報モデルの標準化が進行中である。また、国際標準としてはITU-T SG20にて標準化が進行中であり、補足文書（Supplement）としてY Suppl. 56のスマートシティ・コミュニティのユースケースの1つとしてインフラモニタリングの事例を紹介し、現在はインフラモニタリングシステムの要求条件をまとめた勧告案を議論中である。

(4) TR-1081/Y Sup.56インフラモニタリングのユースケース

本節では、TTC TR-1081及びITU-T Y.Supl.56として発行しているインフラモニタリングのユースケースについて説明する。

インフラモニタリングシステム技術研究組合（RAIMS）が公開している「土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン」を参照し、下記の4つの事例について、IoT推進フォーラム インフラモニタリングTF及びTTC IoTエリアネットワーク委員会にて議論した結果、モニタリングシステムのアーキテクチャ、構成要素、シナリオ、プロセスをインフラモニタリングのユースケースとしてまとめた。

①画像によるひび割れのモニタリング：橋梁下の地面から床版底面をカメラで撮影し、ひび割れの現状、経年変化をモニタリングし、損傷状態を評価する。

②変位計によるモニタリング：損傷が発見された床版と橋梁下に設置した不動梁との変位を測定し、変位量の閾値判定によって、床版の損傷状態をモニタリングし、事故を未然に防ぐ。

③光ファイバーによるモニタリング：橋梁の床版下面に光ファイバーを網羅的に設置し、光の透過量の変化によって、変形や歪みを検知する。

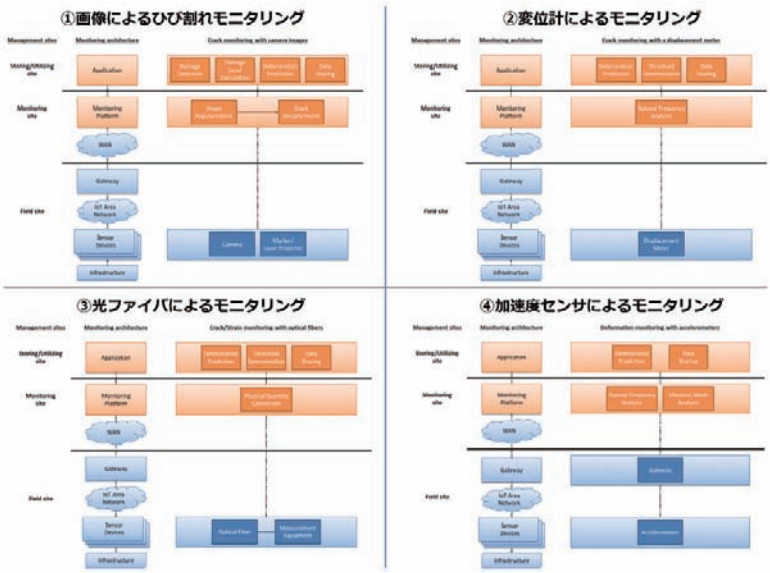
④加速度センサーによるモニタリング：構造物に加速度センサーを設置し、構造物の固有振動数や振動モードから構造性能の変化をモニタリングする。

また、前述した図3のインフラモニタリングの参照アーキテクチャを挙げて、インフラモニタリングシステムの構成要素が現場、モニタリング拠点、データ保存・活用拠点の3つのレイヤに配置され、インフラ構造物に設置されたセンサーデバイスに関連するデータが複数の伝送手段（ネットワークを構成せず、記憶媒体をハンドキャリーする場合も含む）によってモニタリング拠点、データ保存・活用拠点へ伝送され、様々なアプリケーションで利用される例を示している。

また、図5では、ユースケースとして挙げた画像、変位計、

■表. インフラモニタリング標準化成果物

標準化団体	種別	文書名	発行日
TTC	標準	JJ-300.30「橋梁モニタリング用加速度センサの情報モデル及び低消費電力無線通信における動作」	2017年5月
		JJ-300.xx「IoTセンサーデバイス共通情報モデル（仮）」	検討中 2021年12月見込
		JJ-300.yy「インフラモニタリング向けセンサーデバイス情報モデル（○○センサー編）（仮）」	検討中
	技術レポート	TR-1066「橋梁モニタリングのための低消費電力無線通信方式ガイドライン」	2017年3月
		TR-1074「インフラモニタリング情報モデル標準化のためのガイドライン」	2019年3月
		TR-1081「インフラモニタリング情報モデルのユースケース」	2020年2月
ITU-T SG20	Recommendation 勧告	Y.IoT-CEIHMon-Reqts “Requirements of IoT-based civil engineering infrastructure health monitoring system”	検討中 2021年10月見込
	Supplement 補足文書	Y Suppl. 56 “ITU-T Y.4000-series - Use cases of smart cities and communities”	2019年12月



出典：Y Suppl. 56 “ITU-T Y.4000-series-Use cases of smart cities and communities”, 2019/12/9

■図5. インフラモニタリングのユースケース

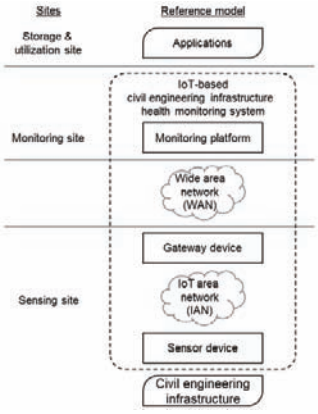
光ファイバー、加速度センサーによるインフラモニタリングシステムにおいて、実際に使用されるセンサーデバイスやモニタリングプラットフォーム上の機能ブロックが参照アーキテクチャ上でどのように配置されているかを示している。

(5) Y.IoT-CEIHMon-Reqtsインフラモニタリングシステムの要求条件

本節では、ITU-T SG20にて標準化が進行中のインフラモニタリングシステムの要求条件勧告案について説明する。

本文書では、橋梁・道路・トンネルなどの土木インフラに設置したセンサーデバイスの管理や、センサーデバイスによって測定されるデータを収集・蓄積する機能を持ち、そのデータをインフラ構造物の変状の監視、老朽化度合あるいはメンテナンス必要性の推定を行うアプリケーションへ提供するシステムを『土木インフラヘルスモニタリングシステム』と定義し、システムの参照モデル及び要求条件を勧告している。

前述したように、土木インフラヘルスモニタリングシステムは一般的なIoTシステムと同様のシステム構成で実現されるが、測定データと設置情報の関連性や長期間の運用という特徴を持っており、これらの特徴を反映したシステム全般的な要求条件として、①長期運用、②測定データ、③情報モデル、④設置情報、に関する要求条件を定義している。また、図6に示す参照モデルの各要素（センサーデバイス、ゲートウェイデバイス、モニタリングプラットフォーム、ネットワーク）に関する要求条件、を定義している。



出典：ITU-T SG 20 TD-2303, Output text of draft Recommendation ITU-T Y. IoT-CEIHMon-Reqts “Requirements of IoT-based civil engineering infrastructure health monitoring system”, Q2/20 Rapporteur e-meeting, 28 June-2 July 2021, 2021/7/16

■図6. 土木インフラヘルスモニタリングシステムの参照モデル

4. おわりに

今回、インフラモニタリング情報モデル標準化に向けた取組みについて説明する機会をいただきましたが、取組みはまだ道半ばであり、維持管理の現場、点検・異常検知へのデータ活用に明るい土木分野と、プラットフォームやネットワーク技術、データ蓄積に明るい情報通信分野が協力してシステム化を進めていくことがより重要になると考えます。もしご興味を持っていただけましたら、インフラモニタリング情報モデル標準化活動へのご協力、また各標準化団体へのご参加、ご提案を歓迎します。