IoTを利用したインフラモニタリングにおけるセンサー情報モデル標準化の取組み

TTC　IoTエリアネットワーク専門委員会 委員
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
インフラモニタリングタスクフォース リーダ
OKI　川西（かわにし）　素春（もとはる）

1. はじめに

我が国では1960年代～1970年代の高度経済成長期に整備された高速道路などの老朽化が進み、「インフラ長寿命化計画」[1]では、建設から50年以上を経過するインフラの割合が今後50%を越え増加することが示されるなど、社会インフラの長寿命化が必要とされている。インフラ長寿命化には適切な維持管理が重要だが、ノウハウを持った技術者の高齢化、建設投資の減少に伴う若年就業者の減少などの課題がある。

これを補完するためにICT技術の活用が期待されており、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）などにより、点検や診断等の効率化・高度化技術が研究されてきた。OKIも組合員として参加するモニタリングシステム技術研究組合（RAIMS）では、SIP等の委託を受けてインフラモニタリングシステムの早期実用化へ向けた研究と実証実験を行い、対象インフラの劣化度合いやモニタリングの目的に応じて各種センサーの適用性を評価・検証し、管理水準に応じたモニタリングシステムの活用に関するガイドラインを2019年12月に公開した[2]。

インフラモニタリング技術は主に建設・土木などの分野で、大規模構造物の構造力学や、コンクリート・鋼・土などの材料力学に関する研究成果や知見に基づいて検討されている。一方、インフラモニタリングを現場で広く普及させるためには、情報通信やシステム化に関する検討も重要で、効果的なインフラモニタリングシステムは、両分野が一体となって実現できるものである。このため、検討結果は双方の業界から参照できるよう、公開文書として残すことが望ましい。

そこで、スマートIoT推進フォーラムの技術戦略検討部会技術・標準化分科会［分科会長：丹康雄氏（北陸先端科学技術大学院大学/国立研究開発法人情報通信研究機構）］にインフラモニタリングタスクフォースを設置し、情報通信業界だけでなく道路管理者、建設業者、土木コンサルタント、関連業界団体・学術研究機関等の有識者に参加していただき、幅広い観点から意見交換を行っている。その上で、検討結果を一般社団法人情報通信技術委員会（TTC）のIoTエリアネットワーク専門委員会［委員長：布引純史氏（日本電信電話株式会社）］へ提案し、審議を経て複数のTTC文書を作成している。

本稿では、この枠組で検討を進めている、IoT技術を活用したインフラモニタリングシステムの構築に関する標準化の取組みを紹介する。検討の結果は、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」[3]、TR -1081「インフラモニタリング情報モデルのユースケース」[4]、TTC標準JJ-300.30「橋梁モニタリング用加速度センサーの情報モデル及び低消費電力無線通信における動作」[5]などで順次公開している。

2. インフラモニタリングの現状

インフラ構造物の維持管理とは、定期的な点検により構造物の状態を把握し、適切な判断・措置を取る活動である。変状や損傷が確認される場合には、的確な診断を行い適切な措置を講じることで構造物を健全に保つことができるほか、長期的には維持管理費用を最小化できる。構造物の状態の把握は、国土交通省の道路点検要領[6]で近接目視により行うことが基本とされているが、同等の健全性診断ができる情報が得られると判断した場合には別の方法を用いることができるとされ、ここにICT技術利用の可能性がある。

RAIMSのガイドライン[2]によると、インフラモニタリングは、インフラ構造物の状態に関するデータを常時または複数回にわたって計測し、それを比較・分析することにより、時間経過に伴う変状の発生や進行などを把握する作業である。インフラモニタリングは点検における状態変化の検知、診断における健全性評価、補修/補強工事後の効果の確認、災害時の変状の把握、など複数の目的で利用できるデータを得るための有効な手段と考えられ、インフラ維持管理業務の効率化や高度化に役立つことが期待されている。インフラモニタリングはセンサーや計測器を現場に持ち込んで作業員が帳票に計測値を記載したり、計測したデータを記憶媒体に入れて回収したりすることでも実施できるため、現状ではIoTの導入が必須でない場合もあるが、現場作業の煩雑さの回避や、大規模・広範に適用する場合にはIoT技術の利用が有効と考えられる。

一方で、インフラ維持管理に用いる構造物の設計図面、

点検調書、補修履歴などの様々な帳票や情報の記録には、紙や電子ファイルなど多様な媒体が用いられ、帳票の様式やデータ形式も異なる場合が多い。これらを管理する複数のシステムの存在や、データの継続性などを考慮すると、情報を関連付けて維持管理システムとして統合することが必要と考えられる。インフラ設計情報のモデル化は、国土交通省が提唱するCIM（Construction Information Modeling）や、国際的な業界団体であるbuildingSmart International（bSI）のBIM（Building Information Modeling）等により、ビルや建物の建築における調査・測量・設計・施工・検査等で実用化が進んでいる。BIMで用いる構造物の3次元データモデルの記述様式であるIndustry Foundation Classes（IFC）はISO 16739-1[7]として国際標準化され、建築業界で普及している。近年、bSIでは土木インフラ建設にも対象を広げ、2020年末を目途に、橋梁、トンネル、港湾、道路、鉄道における基本的なIFCモデルの策定を進めている。現在は建築・建設工程での利用が先行しているが、維持管理への適用も視野に入れた検討が行われている。

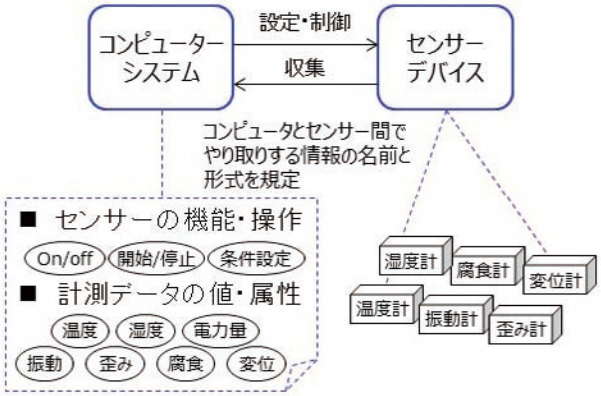
これよりインフラモニタリングシステムの構築において、構造物の3DモデルとIoTのセンサー情報モデルの連携方法を検討することで、設計図面等を含む維持管理情報とセンサー情報の統合が可能となると考えられる。

3. 情報モデルの考え方

IoTを活用したモニタリングシステムには、センサーデバイスの管理・制御や、収集したデータの伝送・処理・蓄積などの機能があるが、これに必要な情報やデータの種別・形式などは機器やシステムなどにより異なるのが現状で、異なるデータを組み合わせた分析や、他のシステム等との連携などが困難となることが予想される。さらにインフラ構造物は50年以上利用されるのに対し、情報通信技術の発展は早く機器の更改周期は短いため、データの継続性も課題となる。今後データが長期的に蓄積され維持管理等に活用されることを考えると、一般的に利用されるセンサーに関する共通的な情報については予め規格を定めておくことが重要と考えられる。

このため、インフラモニタリングシステムを構築する際に、コンピューターとセンサーデバイスの間でやり取りする情報の意味や形式などの仕様を策定することとし、本稿ではこれを情報モデルと呼ぶ。

図1にTTC TR-1074における情報モデルの概念を示す。図の上段は、対象とするIoTシステムがコンピューターシステムとセンサーデバイスで構成されることを示す。両者間ではデバイスの設定・制御と、データやイベントの収集を行うものとする。前者ではデバイスのON/OFF、計測の開始/停止、計測条件設定などの情報を取り扱う。後者では一般に温度、変位量、振動量などの単位のついた数値情報と、これに付随する計測時刻や条件などの属性情報を取り扱う。これをネットワーク経由で実施する場合には、昨今ではIoT向けに種々の新しい通信方式やデータ収集プラットフォームが利用できるため、ユーザーにとって最適な技術を選択できることが望ましい。また作業員が直接デバイス操作や記憶媒体の回収を行う場合にも、コンピューターで取り扱う情報は共通であることが望ましい。そこで、IoT技術の高度化へ追随しつつ、蓄積されていくデータの継続性を保つため、通信方式やプラットフォーム技術に依存しない項目に絞って情報モデルを作成する方針とした。

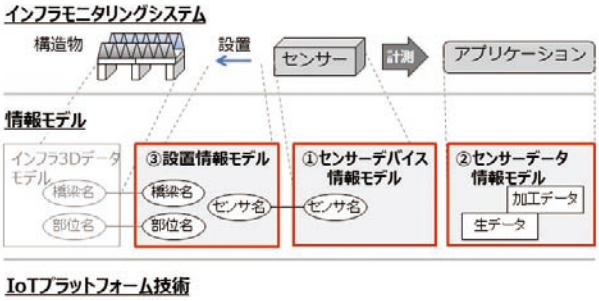


（出典：TTC TR-1074[3] 図5より抜粋）

■図1.　情報モデルの考え方

4. センサー情報モデル

標準化する情報モデルの概念図を**図2**に示す。3階層の上段はインフラモニタリングシステムの構成要素で、モニタリング対象の構造物、構造物に設置するセンサー及びデータ収集するアプリケーションで構成することとする。中段が本取組みにおける標準化対象で、右から、センサーで計測したデータ形式と属性情報を示す「センサーデータ情報モデル」、センサーデバイスを管理・制御するための「センサーデバイス情報モデル」、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「設置情報モデル」に分類した。左端のインフラ3Dデータモデルは、BIMなどの標準を参照することとし、新たな規定を避けることとした。下段はIoTプラットフォームの情報通信技術で、ベンダーやサービスプロバイダーなどが提供する様々な技術の利用を想定する。



（出典：TTC TR-1074 [3] 図7より抜粋）

■図2.　標準化対象の情報モデル

以降、図2の3つの情報モデルを説明する。

①センサーデバイス情報モデル

センサーデバイス情報モデルは、図2のアプリケーションから見たセンサーデバイスの設定・制御情報を示す。センサーデバイスには、ネットワークを介した遠隔操作に対応するものだけでなく、人が直接操作するものも含め、センサーの機能と、共通属性を規定する。センサーは、インフラモニタリングで一般に利用されるもの、実証実験等で検証されたものなどから選定する。

②センサーデータ情報モデル

センサーデータ情報モデルは、センサーで計測したデータと、これを利用する際に必要となる属性情報のモデルとする。属性情報とは、例えばデータを計測した日付、時刻、タイムゾーン、計測周期などの設定条件、センサーの種類、位置情報などである。これを定めることにより、保存するデータの利用性向上や、新手法による分析・シミュレーションへの活用などが容易となることが考えられる。センサーには、計測したデータそのものを出力するものと、一次処理したデータを生成するものがある。前者を生データ、後者を加工データと呼び、それぞれについて属性情報を規定する。

③設置情報モデル

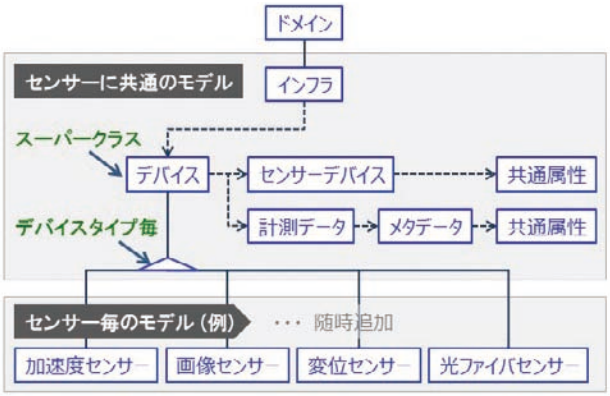
インフラモニタリングで用いるセンサーは、計測データ単独では意味を持たず、インフラ構造物のどの部分に何の目的で設置したセンサーかといった情報と組み合わせると有効な情報が得られるものが多い。このため、設置情報モデルは、橋梁などのインフラ構造物と、センサーデバイスとの位置、方向などの関係を示すものとする。インフラ構造物自体のモデル化は行わず、BIM等の成果を参照する。

5.　情報モデルの規定

前項の3種類の情報モデルの仕様を、仕様記述言語を用いて記載する。IoTの情報モデルは適用分野ごとにいくつかの団体で検討されているが、国際標準化団体のoneM2MがIoTフレームワークの体系立った仕様書を発行し、業界で認知されている。インフラモニタリングにおけるセンサー情報モデルの策定には、oneM2Mが宅内機器の情報モデル作成に利用したSDT（Smart Device Template、oneM2M TS-0023[8]）と親和性が高いと考え、これを利用してオブジェクト指向モデリングにより記述することとした。

図3にセンサー情報モデルの構成を示す。図上部のセンサー共通モデルはインフラモニタリングに用いるセンサーに共通の構造である。ここで“デバイス”スーパークラスはセンサーデバイスと計測データで構成され、センサーデバイスは共通属性を持つこととする。また計測データはメタデータと共通属性を持つ。共通属性は、製造者名、製品名、シリアル番号など、システムの稼働状況に拠らず変化しない情報である。

図3下段のセンサー毎のモデルでは、センサー共通モデルと同じ構造でセンサー種別毎の情報を規定する。例えば加速度センサーデバイスでは、計測データとして加速度値と計測時刻等のメタデータを定義するほか、センサーデバイス固有の情報として、動作開始時刻、トリガー、バッテリー電圧などを規定する。加速度センサーの情報モデルは、TTC標準JJ-300.30 [5] [8] が制定されている。



（TTCセミナー資料 [9] より抜粋）

■図3.　センサーデバイス情報モデルの構成

6.　参照モデルとユースケース

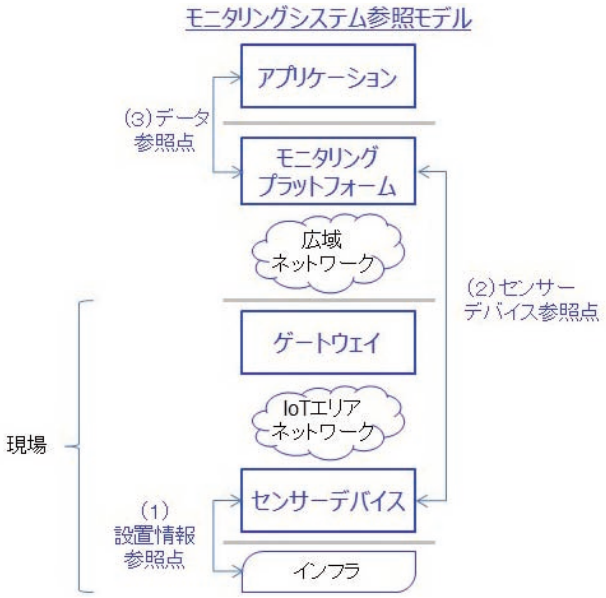
最後に、インフラモニタリングの機能参照モデルに基づくユースケースを紹介する。図4は、インフラモニタリングシステムの機能参照モデルを図示したものである。ここでは、モニタリングシステムの主な機能を、対象とするインフラ構造物、構造物に設置するセンサーデバイス、現場でデバイ

ス間を接続するIoTエリアネットワーク、これを管理事務所やクラウドと接続するゲートウェイ、センサーデータを格納するモニタリングプラットフォームに分類し、機能間に3つの参照点を定めた。

(1) 設置情報参照点は、インフラ構造物とセンサーデバイスの関係を示すもので、**図2**の設置情報モデルを用いてBIMシステムとIoTシステム間でインタフェースを取るものとする。また、現場で設置位置を特定する機器などを使う場合もこの参照点に該当する。(2) センサーデバイス参照点は、モニタリングプラットフォームとセンサーデバイス間の参照点で、**図2**のセンサーデバイス情報モデルを用いたインタフェースとする。(3) データ参照点は、モニタリングプラットフォームが参照点 (1) (2) を用いて収集・蓄積したデータを、アプリケーションが利用する場合に、**図2**のセンサーデータ情報モデルを用いたインタフェースとする。

TTC TR-1081[4] では、この参照モデルにインフラモニタリングの現実的なユースケースを当てはめて、モニタリングに用いる機器の機能配置やその間での情報モデルの適用例を示した。ユースケースの抽出に当たってはRAIMSガイドラインを参考にし、以下の4ケースを選定した。

・画像によるひび割れのモニタリング
・変位計による変位のモニタリング
・光ファイバーによる床版抜け落ちのモニタリング
・加速度センサーによる構造性能変化のモニタリング



(出典：TTC TR-1081[4] 図4より抜粋)

■図4. モニタリングシステム参照モデル

また、作成したユースケースをITU-T SG20へ提案し、スマートシティにおけるユースケース集の1項目として採用され、2019年12月にITU-T Y.Suppl. 56[10] が制定された。

7. おわりに

本稿ではIoTを利用したインフラモニタリングにおける情報モデル標準化の取組みを紹介した。引き続き対象とするセンサーを増やすなどの検討を進め、IoTを活用したインフラモニタリングの普及に取り組んでいく。

なお、本標準化活動の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業「インフラモニタリングにおけるインフラ3DモデルとIoTセンサー情報モデルの異分野間連携に関する研究開発と標準化」の委託を受けて実施された研究開発に基づくものである。

参考文献

[1] 国土交通省、「インフラ長寿命化基本計画」、平成25年11月29日
[2] モニタリングシステム技術研究組合、「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（案）」令和元年12月
[3] 一般社団法人情報通信技術委員会、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年
[4] 一般社団法人情報通信技術委員会、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
[5] 一般社団法人情報通信技術委員会、TTC標準JJ-300.30「橋梁モニタリング用加速度センサー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
[6] 国土交通省　道路局「道路橋定期点検要領」平成31年2月
[7] ISO 16739-1：2018 “Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries−Part 1：Data schema”, 2018年
[8] oneM2M TS-0023, Home Appliances Information Model and Mapping,
[9] 川西素春、「IoTを活用したインフラモニタリングへ向けたセンサー情報モデル標準化の取り組み」、2019年度情報通信月間参加行事 TTCセミナー IoTエリアネットワークに関わる標準化・技術動向〜スマートシティの実現に向けて〜、2019年7月19日
[10] Y Suppl. 56：ITU-T Y.4000-series−Use cases of smart cities and communities, 6 December 2019