

## (65) 橋梁プロダクトモデルとセンサデータモデルとの連携データモデルの開発

矢吹 信喜<sup>1</sup>・有賀 貴志<sup>2</sup>・小山 誠稀<sup>3</sup>・福田 知弘<sup>4</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻  
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社コンポート 代表取締役  
(〒191-0011 東京都日野市日野本町 3-8-3)

E-mail: t.aruga@conport.jp

<sup>3</sup>学生会員 大阪大学 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻 博士前期課程  
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: koyama@it.see.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻  
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: fukuda@see.eng.osaka-u.ac.jp

今後、各種センサ類が橋梁に多数設置され、センシングデータから AI などを用いて異常検知や補修時期の推定などを支援できるようになると期待されている。しかし、センサが橋梁のどの部材のどの位置にどのような方法で設置され、周囲の環境はどのようになっているのか、といったコンテキストがコンピュータに理解できるように記述する必要があると考えられる。そこで、本研究では現在 buildingSMART International で開発中の 3 次元橋梁プロダクトモデル IFC Bridge を拡張することにより橋梁データモデルを開発し、さらにセンサデータモデルとこれらを連携するデータモデルを開発した。

**Key Words:** bridge product model, sensor data model, maintenance, integrated data model

### 1. はじめに

国土交通省では、2012年度から CIM (Construction Information Modeling, Management) の試行を開始し、2019 年度にはその試行件数は年間 400 件を上回るレベルに達しており、数年後の BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling, Management) の原則導入に向けて各種基準・要領類や実施体制などを鋭意整備しつつある<sup>1)</sup>。BIM/CIM を推進するに当たり、3 次元モデルデータを発注者、設計者、施工者らが共有できるようにすることは極めて重要である。現在、道路や河川の線形と土工については、通称「J-LandXML」<sup>2)</sup>がデータ交換標準として用いられ、鋼・コンクリート構造物などについては、建築物のプロダクトモデルの標準である IFC (Industry Foundation Classes, ISO 16739: 2013)<sup>3)</sup>を現在は使用している。土木関係の 3 次元モデルデータの標準は、現在、国際団体 bSI

(buildingSMART International) が IFC をインフラストラクチャに拡張することにより開発中であり、近々に IFC 4.3 と称した PAS (Publicly Available Specification) として公表され、近い将来 ISO の国際標準になる予定である。橋梁については、IFC 4.3 の中の IFC Bridge として開発されているが、bSI の開発資金などの関係で、すべての橋梁タイプや部材の種類をカバーしているわけではない。そこで、本研究では、将来の IFC Bridge の更新を見越して、すべての橋梁タイプと部材の種類をカバーする橋梁 3D プロダクトモデル「橋梁データモデル (DM)」を開発することとした。

一方、2012年の笹子トンネルの天井板落下事故を契機に、2014年度から橋梁とトンネルについて5年に1回の近接目視と打音による点検が義務付けられている。今後はセンサ類の小型軽量化、低価格化、無線化、Internet への直接接続などにより、センサ類は IoT (Internet of Things)

としてインフラ、とりわけ橋梁に多数設置しモニタリングがなされるようになる。すると、センシングデータは「ビッグデータ」になり、データマイニングや機械学習、すなわち AI により、コンピュータが自動的に異常を発見したり、補修時期の推定などを行ってくれるようになる。一部の IT 関係の人々は考えている。しかし、筆者はそれほど簡単ではないと考える。そもそも、土木技術者は、構造物にセンサを設置した場合、センサのデータだけを見ているのではなく、センサの方向、設置条件、設置方法、設置してある部材の性質や境界条件、周辺の環境などのコンテキストを、適宜使用して推論しているのである。コンテキストは、通常、2次元の図面、画像情報等、人間にはわかりやすいが、コンピュータには理解させ難い情報である。従って、コンピュータが理解できる3次元プロダクトモデルとIoT（センサ）のデータモデルを連携したモデルがないと、コンピュータに橋梁の異常発見や補修時期の推定などを自動的に行わせることは難しいと考えられる。

そこで、本研究では、センサおよびその周辺装置類とセンシングデータを包括的に表現できる「センサデータモデル (DM)」を開発し、本研究で開発した橋梁 DM と連携して、各種コンテキストを表現できる「連携データモデル (DM)」を開発することとした。

## 2. 橋梁、センサおよび連携 DM の開発

### (1) 橋梁 DM の開発

開発した橋梁 DM は図-1 に示すように、UML (Unified Modeling Language) で記述し、4つのクラスで構成している。Bridge クラスの Bridge Type は、橋梁の種類（道路橋、鉄道橋、水路橋、仮設橋など）を項目とするアトリビュート（属性）である。Bridge Part クラスは Bridge Part Type で上部構造と下部構造に分割する。その下の Member（部材）クラスは橋梁を構成する具体的な部材（橋桁、橋脚など）を表し、Member Type は桁橋、アーチ橋、トラス橋などの構造形式や主桁、横桁、対傾構などの部材を項目として取る。一番下の Member Part（部材区分）クラスは、ウェブ、フランジ、補剛材といった項目を Member Part Type として区分する。

### (2) センサ DM の開発

センサ DM は、インフラモニタリングの対象とするセンサを表すモデルである。図-2 に UML によるセンサ DM を示す。「Sensing Network」クラスと「Sensor Device」クラスの関係は集約であり、ひとつの「Sensing Network」インスタンスに対して、ひとつ以上の「Sensor Device」インスタンスがあることを示している。例えば、複数の

センサでひとつのネットワークを形成することを表す。このとき、橋梁に設置するセンサがひとつであっても必ずネットワークを形成しなければならない。「Sensor Device」クラスと「Sensor」クラス、「Sensing Device」および「Support Device」の関係は継承であり、「Sensor Device」は下位クラスの一般化の概念型 (Abstract) である。「Sensing Network」（センシング・ネットワーク）は、センサによる計測に必要な機器類が接続されたネットワークを表す。ネットワークは、ひとつのセンサで物理量を取得するケースから、複数のセンサの組み合わせで物理量を同期して取得するケースまでを想定する。センサ

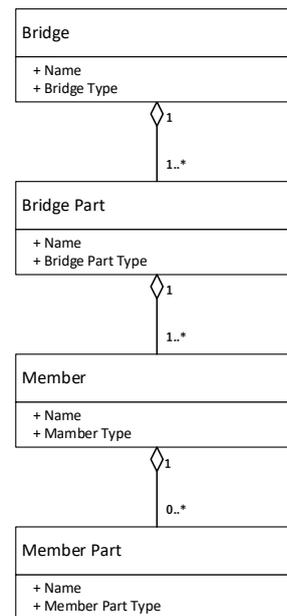


図-1 橋梁 DM の UML 図

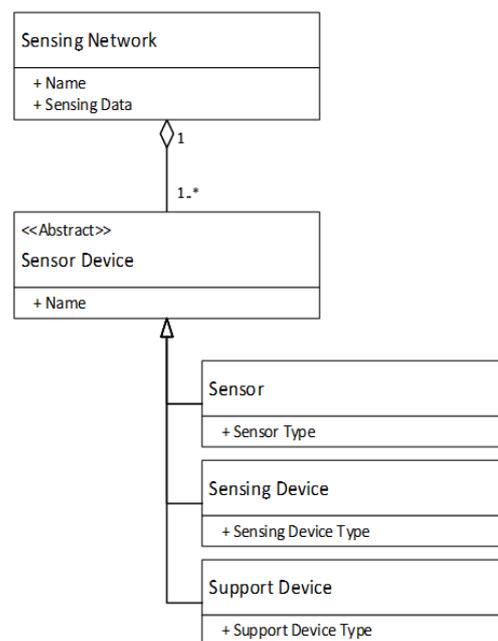


図-2 センサ DM の UML 図

DM のセマンティクスでは、センサは必ず「Sensing Network」に関連付けられる。「Sensing Data」アトリビュートは、ネットワークに含むセンサで測定した物理量のデータを定義する。

「Sensor Device」（センサデバイス）は、「Sensor」、「Sensing Device」および「Support Device」の概念的汎化要素である。共通項目の属性情報には、名称、説明、型番、製造者、管理者、製造年月日、外径寸法、分類（新規、中古、リース）がある。

「Sensor」（センサ）は、物理量を測定し、観測者または機器が読み取ることができる信号に変換するデバイスで、物理的に存在する個々のセンサを表す。センサ以外の通信、計測、記録等の装置と一体型でセンサとしての機能を持つものは「Sensor」で表す。「Sensor Type」アトリビュートには、画像センサ、光ファイバセンサ、加速度センサ、変位センサ、ひずみセンサ、温度計、水位計などの項目がある。「Sensor」クラスに関連付ける属性情報としては、画像センサに対しては、カメラ（シャッタ方式、画素数など）、レンズ（焦点距離、キャリブレーションパラメータなど）など、加速度センサに対しては、加速度センサ（最大検知加速度、サンプリング周波数、加速度分解能など）、センサユニット（給電方式、固定方式など）、無線センサモジュール（応答周波数、測定時間など）などがある。

「Sensing Device」は計測器などを表す。「Sensing Device」クラスに関連付ける属性情報は、「Sensing Device Type」アトリビュートに応じて、例えば、光ファイバ用計測器ならば、計測方式、パルス幅、ダイナミックレンジなどの属性情報を関連付ける。

「Support Device」は、センサの設置に用いる測量機材、センサを固定する治具、センシングに必要な補助機器等を表す。「Support Device」クラスの「Support Device Type」アトリビュートは、補助装置の種類を定義する。

「Support Device Type」アトリビュートは列挙型とし、項目としては、標定点、格子シート、照明、測量機器などがある。「Support Device」クラスに関連付ける属性情報を示す。「Support Device Type」アトリビュートに応じて、例えば、標定点に対しては、分類、座標値を関連付ける。

### (3) 連携 DM の開発

連携 DM は、インフラモニタリングの対象とする橋梁 DM とセンサ DM の連携を表すモデルであり、どこにどのように設置されているのかを示すものである。図-3 に連携するクラスを示す。「Sensor Installation」（センサ設置）は、センサの設置を表す。

「Position」アトリビュートは、センサの位置を定義するもので、列挙型とし、以下の5つの項目を持つ。「三次元座標上の位置」は、橋梁モデルの三次元座標内のセン

サの中心点の位置情報とし、地理上の位置、線形上の位置、部材上の位置を算定する基準になる。「地理上の位置」は、緯度、経度および標高で表す。「線形上の位置」は、中心線形のキロ程で表す。「部材上の位置」は、部材軸に関する距離、部材軸に関する角度で表す。

センサの座標軸の部材軸に関する距離と角度は、図-4 に示すように、部材軸の原点を  $Mo$ 、センサの座標軸の原点を  $So$  とすると、 $Lx, Ly, Lz, \kappa, \omega$  の5個のパラメータで表現できる。事例として、溝形鋼の上下フランジの内側にセンサを各1個取り付けた場合のセンサ位置を図-5 に示す。

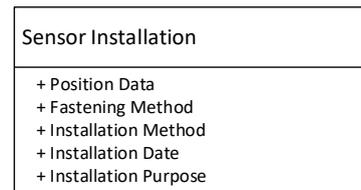


図-3 連携 DM の UML 図

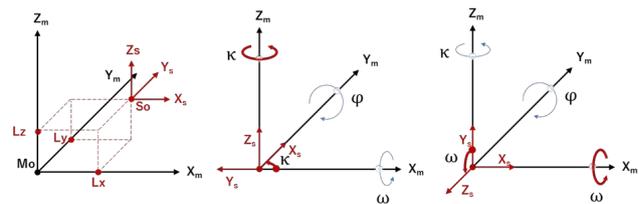
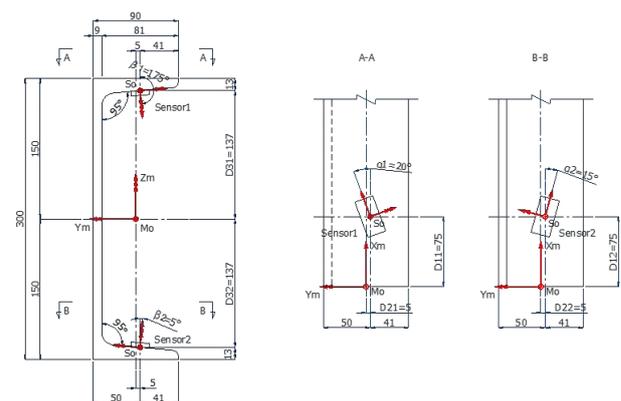


図-4 センサの座標軸と部材軸に関する距離と角度



センサ	$Lx$	$Ly$	$Lz$	$\kappa$ (X)	$\omega$ (Z)
Sensor1	75 (D11)	-5 (-D21)	137 (D31)	340 ( $360 - \alpha 1$ )	175 ( $\beta 1$ )
Sensor2	75 (D12)	-5 (-D22)	-137 (-D32)	15 ( $\alpha 2$ )	5 ( $\beta 2$ )

図-5 溝形鋼の上下フランジの内側にセンサを1個ずつ設置した場合の部材とセンサの距離と角度の事例

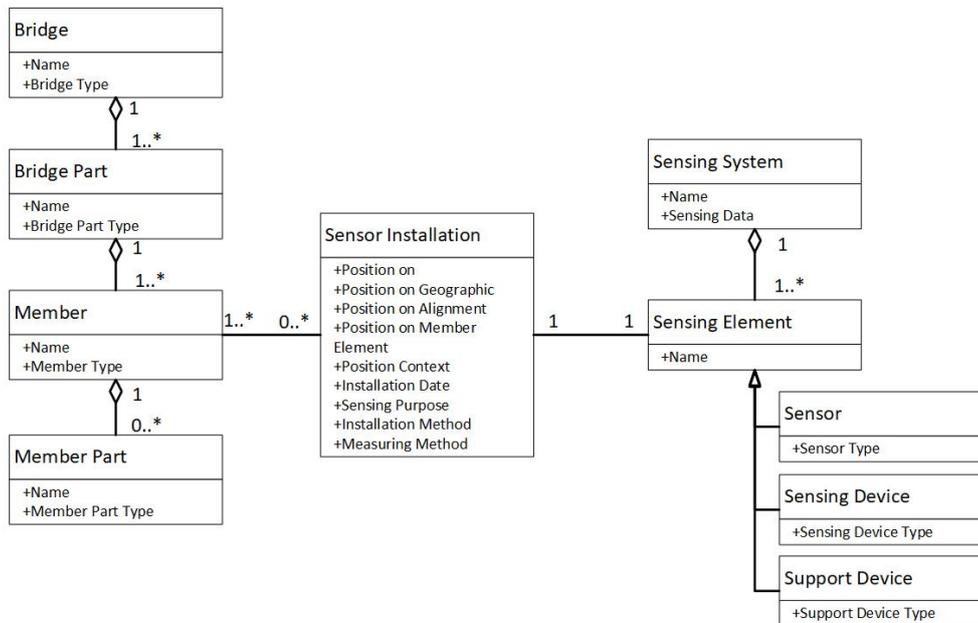


図-6 センサを橋梁部材に直接設置する場合の橋梁 DM とセンサ DM の連携 DM による関係付け

「Fastening Method」アトリビュートは、接着、溶接、ボルト、クリップ、マグネット、モルタル、アンカーなどを項目として持つ。「Installation Method」は、トータルステーション、メジャー、GPSなどを項目として持つ。

「Installation Date」アトリビュートは、センサを設置した日時を定義する。「Installation Purpose」アトリビュートは、センサを設置した目的を定義する。

#### (4) 連携 DM による部材とセンサ機器の連携

連携 DM により、センサを部材のどの位置に、どういふ方法で、いつ、どんな目的で設置したのかを表現することができる。図-6 にセンサを直接部材に設置する場合の関係を UML により示す。「Member」クラスと「Sensor installation」クラスは関連であり、ひとつ以上 (1..\*) の「Member」インスタンスに対して、0 以上 (0..\*) の「Sensor Device」インスタンスがあることを示している。これは、センサは橋梁の部材に関連することを示している。例えば、ひとつの部材にひとつのセンサを設置する場合、ひとつの部材に複数のセンサを設置する場合、複数の部材に跨ってひとつのセンサを設置する場合、部材のセンサが設置されない場合を表す。

「Sensor installation」クラスと「Sensor Device」クラスは関連であり、0 から 1 の「Sensor Device」インスタンスに対して、ひとつの「Sensor Device」の下位クラスのインスタンスがあることを示している。ひとつのセンサにひとつの設置が必要であること、橋梁の部材に設置しないセンサがあることを示している。

尚、センサを直接部材に設置しない場合は、カメラなどを用いる場合であるが、ここでは省略する。

### 3. おわりに

本論では、現在の IFC および bSI で開発中の IFC Bridge をベースにして構築した橋梁 DM、センサ DM および連携 DM について述べた。開発したデータモデルは UML で記述後、さらに、IFC の表記言語である EXPRESS および EXPRESS-G (ISO 10303) で記述し、さらに、関係データベース言語 SQL で記述した。

今後は、実際の橋梁および設置したセンサ類を対象に開発した 3 つのデータモデルを用いてデータベースを構築し、クエリの実行や機械学習用の学習データセットの作成を行っていく予定である。

**謝辞：**本研究の一部は、総務省の平成 30～令和 2 年度「戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 国際標準獲得型」JPJ000595 における「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」の受託研究として実施しているものである。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：第 3 回 BIM/CIM 推進委員会 (令和 2 年 2 月 5 日) 資料、<[https://www.mlit.go.jp/tec/tec\\_mn\\_000020.html](https://www.mlit.go.jp/tec/tec_mn_000020.html)>, (入手 2020.06.15)
- 2) 国土交通省：LandXML1.2 に準じた 3 次元設計データ交換標準 (案) Ver.1.3, 2019. <[http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/information/files/h31\\_based-LandXML1.2.v1.3.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/information/files/h31_based-LandXML1.2.v1.3.pdf)>, (入手 2020.06.15)
- 3) 矢吹信喜：CIM 入門, 理工図書, 2016