

建築物の維持管理を目的とした BIM と IoT の連携

Integration of BIM and IoT for Building Maintenance Management

○倉田 成人^{*1}, 小西 貴裕^{*2}, 山岡 弘文^{*2}, 近藤 伸一^{*2}
Narito Kurata^{*1}, Takahiro Konishi^{*2}, Hirofumi Yamaoka^{*2} and Shinichi Kondo^{*2}

*1 筑波技術大学 教授 博士 (工学)

Professor, Tsukuba University of Technology, Ph.D.

*2 応用技術株式会社

Applied Technology Co., Ltd.

キーワード : BIM、IoT、維持管理、構造ヘルスマモニタリング、チップスケール原子時計、地震観測

Keywords: Building Information Modeling; Internet of Things; maintenance management; structural health monitoring; chip scale atomic clock; earthquake observation.

1. はじめに

建築物の設計・施工・維持管理のプロセスに対し、コスト低減、作業効率化、工期短縮、付加価値の創造を目的として、一貫して BIM モデルを利用することが求められている。また、建築物の維持管理においては、第 5 世代移動通信システム (5G) の導入を視野に入れ、多くのセンサ利用を可能とする IoT の応用が期待されている。近年、実空間情報を収集する IoT と、BIM モデルを連携するクラウド開発基盤が利用できるようになってきた。筆者らは、理想的な IoT システムとして、チップスケール原子時計 (CSAC) を利用し、高精度な絶対時刻情報を保持する自律型時刻同期センシングシステムを開発した^{1)・3)}。製作した CSAC 搭載センサモジュール/データロガーは、広域かつ高密度に設置しても、ネットワークや GPS 信号に頼らず、時刻同期を確保した計測データを取得することができる。一方、筆者らは、BIM の活用サービス⁴⁾を展開しており、BIM クラウド拡張支援開発プラットフォーム Forge⁵⁾の利用が可能である。これらを利用し、筆者らは、IoT と BIM を連携した建築物管理システムを提案し、実用化を進めている。具体的には、CSAC 搭載センサモジュールを実建物に設置して、地震ごとに計測する加速度データを 3G/LTE によりクラウドサーバへ収集する。Forge により、建物の BIM モデル上に加速度、層間変形角と建物の健全性評価結果の 3D 表示を行う建築物管理システムを構築した。

2. 自律型時刻同期センシングシステム

複数台のセンサを GPS 信号が受信できない屋内に設置して、時刻同期を確保した計測を行うためには、専用線の敷設、有線あるいは無線のネットワーク等が必要で

ある。これらを不要とし、どのような環境に設置しても、自律的に高精度な絶対時刻情報を保持する IoT センサモジュール/データロガーを開発した^{1)・3)}。写真 1 に示す筐体には、メイン制御部、センサ部、無線通信部を収納している。メイン制御部には、CPU、CSAC、CSAC 用集積回路 (FPGA)、メモリ、ストレージ、Ethernet によるネットワークインタフェース等を装備している。センサ部には 3 軸 MEMS 加速度センサ、3 チャンネルの外部アナログセンサ入力インタフェース、温度センサ、アンチエリアシング・フィルタ、A/D コンバータ等を装備した。本モジュールは、内蔵 MEMS 加速度センサを使えば 1 台のセンサとなり、外部アナログセンサ入力インタフェースにより外付けセンサを接続すればデータロガーとして機能する。無線通信部は市販の Raspberry Pi で実現し、Wi-Fi、3G/LTE による通信機能を持たせ、新しい通信方式にも速やかに対応可能である。IoT デバイスとしての本モジュールにより、様々なセンサを利用した自律型時刻同期センシングシステムを構築することができる。

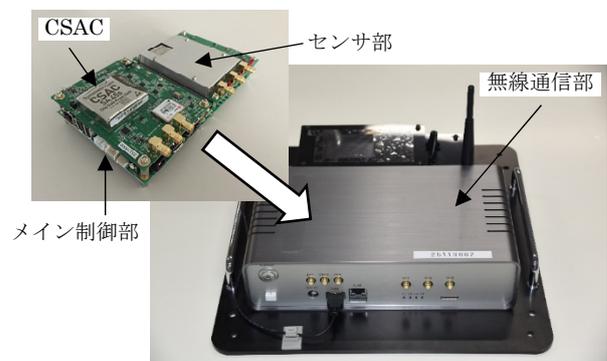


写真 1 CSAC 搭載センサモジュール/データロガー

本 IoT デバイスと BIM モデルを連携することで、BIM を基軸として、コスト低減と付加価値の創造を実現する建築物管理システム (図 1) を構築する。

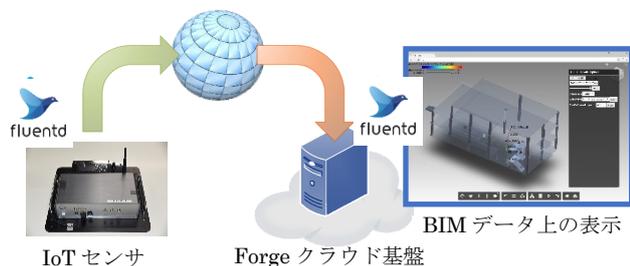


図 1 BIM と IoT を連携した建築物管理システム

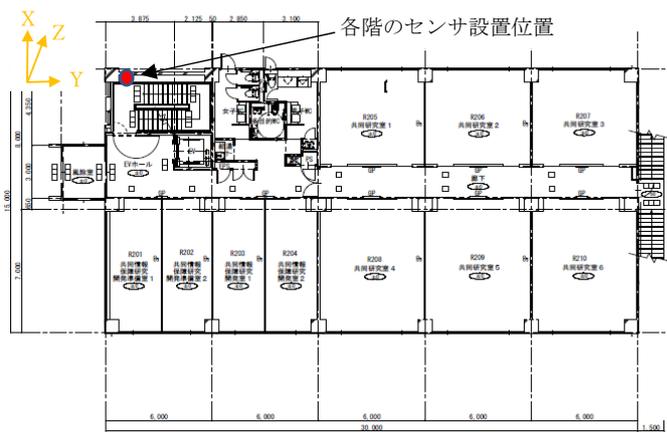


図 2 CSAC 搭載センサモジュールの設置 (2 階平面図)

3. 適用建物と地震時の構造健全性評価

自律型時刻同期センシングシステムを適用した建物は、つくば地区に建設された鉄筋コンクリート造 3 階建て (写真 2) であり、図 2 に示す各階階段室脇の専用スペースに合計 4 台の CSAC 搭載センサモジュールを設置した。今回の適用では、全モジュールとも内蔵の MEMS 加速度センサを利用した。表 1 に、2017 年 10 月から 11 月に計測した地震のリストを示す。地震計測のトリガー設定は、概ね 1 cm/sec^2 を超えるレベルとしたが、この期間につくば地区で発生した震度 1 以上の地震時のデータが計測された。表 1 に示した計測データの中で、最大の震度 3 を記録した茨城県北部地震 (表 1 No. 8) について、各階の加速度波形の積分処理により、各層の層間変形を算出した。図 3 に各層の層間変形と最大加速度分布を示す。震度 3 の小地震であるため、最大層間変形角は微小で構造健全性には全く影響は無い。しかしながら、計測データを取得し、層間変形を評価することで、定量的に構造健全性を確認することが可能となる。

表 1 計測した地震データ

No	日時	時刻	震源地	マグニチュード/ 深さ(km)	現地/最大震度
1	06/10/2017	16:59	福島県沖	6.3/57	1/2
2	06/10/2017	23:56	福島県沖	5.9/53	2/5 弱
3	07/10/2017	16:20	茨城県南部	3.4/43	1/1
4	12/10/2017	15:12	福島県沖	5.2/26	1/2
5	15/10/2017	19:05	茨城県北部	3.0/7	1/1
6	18/10/2017	07:40	茨城県南部	3.7/45	1/2
7	02/11/2017	22:31	茨城県沖	4.3/74	1/3
8	03/11/2017	21:38	茨城県北部	4.8/8	3/3
9	05/11/2017	17:40	茨城県南部	2.9/43	1/1
10	15/11/2017	01:21	茨城県南部	3.8/20	1/2
11	26/11/2017	15:55	茨城県北部	3.9/4	1/2
12	30/11/2017	22:02	茨城県南部	3.9/42	1/3



写真 2 自律型時刻同期センシングシステム適用建物

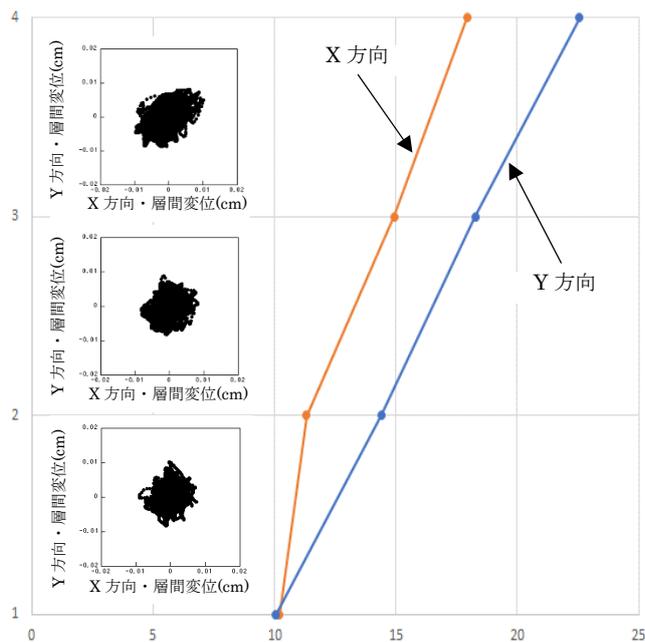


図 3 各層層間変形と最大加速度

4. BIM と IoT を連携した建築物管理システム

Forge は、デスクトップアプリケーションベースの BIM から、クラウドベースの BIM への拡張を支援する BIM クラウド拡張支援開発プラットフォームである。最大の特徴は BIM データをブラウザ上で表示する 3DViewer を備え、WebGL により 3D 図形要素の追加、移動、回転や着色等の表現をカスタマイズできることである。そして、インターネット経由で接続されるデバイスのデータを受信し、その可視化を実現することができる。

図 4 に、筆者らが展開する toBIM サービスプラットフォーム⁴⁾を示す。Forge は、このプラットフォームと連携可能な建築物管理システムのクラウド基盤である。ブラウザより特定の URL にアクセスすると、クラウド上の BIM モデルを取得して、目的にあわせた表示機能を備えた 3D 表示機能を提供する。これにより BIM ソフトウェアを保有しないユーザー (non BIM user) に対して、BIM を活用する様々なサービス提供が可能となる。例えば、「BIM 上に配置された設備を選択し、その機種や性能、メンテナンス時期などを確認できる FM システム」や「屋内測位センサと人に取り付けたバイオセンサを活用し、BIM モデル上で人の位置と体温等の情報をリアルタイム表示するモニタリングシステム」といったサービス提供が可能となる。近い将来、これらのサービス提供が可能となることを想定し、実証を進めている。

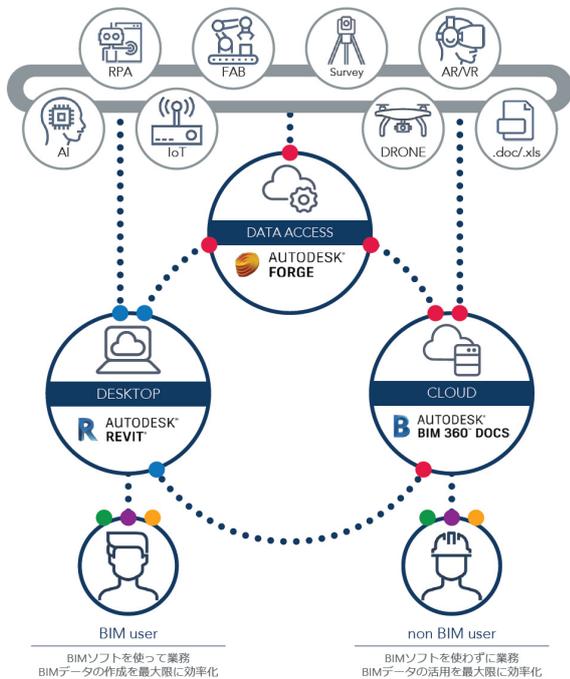


図 4 サービスプラットフォーム概要

5. Forge と IoT 地震センシングシステムを連携した地震時の構造健全性評価

建築物管理システムの実現に向けた取り組みとして、

第 3 章に示した IoT としての自律型時刻同期センシングシステムを、Forge と連携する実証を行った。建築物管理システムのクラウド環境は、図 5 に示す AWS Cloud 上で構築されている。クラウドと IoT 間のデータ送受信には、Fluentd⁶⁾を用いた。Fluentd は、複数の場所に分散したデータや常に増え続けるデータの安全な転送・収集・集約・保存を実現するソフトウェアであり、オープンソースで提供されている。筆者らがオープンソースを採用する理由は、これらの技術がこれからも発展的なものであり、多くのユーザーによって精査されることで品質とセキュリティの向上が期待できるからである。受信したデータは Amazon Elasticsearch Service により分析され、KIBANA⁷⁾ に連携してリアルタイムでグラフ化される。Amazon S3 にログを蓄積し、過去の収集結果の閲覧も可能とする。

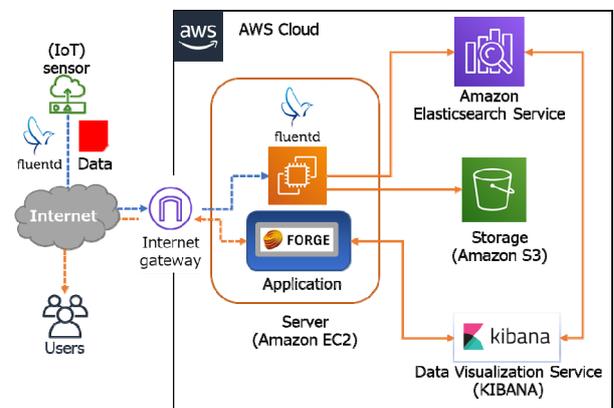


図 5 建築物管理システムのクラウド構成

BIM モデルを表示する Forge の 3DViewer のカスタマイズを図 6、7 に記す。建物の各階に設置された IoT センサに最も近い柱の端部に対し、表示用ノードを表示し、その色調により加速度の大きさを表現した。そしてノード間を線要素で接続した状態でノードを移動させることにより、各層の層間変位および層間変形角の可視化を実現した。計測データは 0.01 秒ごとにサンプリングされる時刻歴データとなっているが、地震のイベントごとに加速度データを抽出し、二重積分により各階の変位量を算出する。これを連続的に可視化することでアニメーション表示が可能となっている。計測結果の中から最大となる層間変形角を抽出し、その瞬間の変形状態を確認することも可能とした。今回の実証により、地震時の建築物の構造安全性評価方法として BIM を活用した 3D 表現を用いることで、視認性が飛躍的に向上することが確認できた。BIM を建築物の設計から生産、維持管理まで一貫して利用する将来像に向けて、本研究では IoT による維持管理に応用する事例を示した。

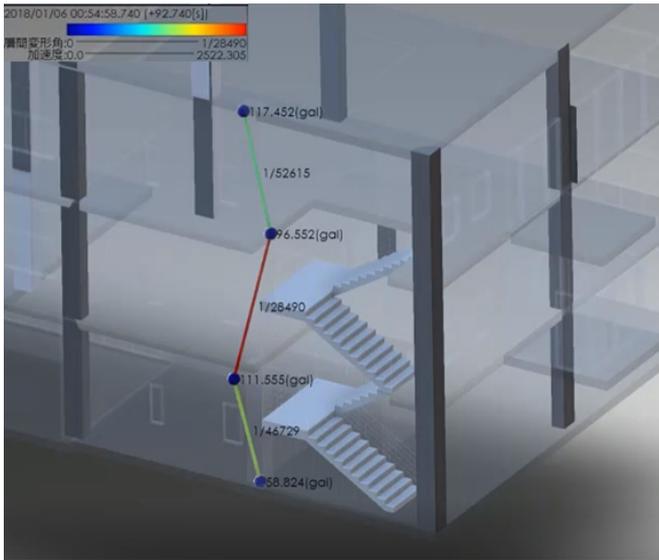


図6 Forgeによる地震計測結果の可視化

- ①過去の地震計測選択
- ②アニメーション表示
- ③再生スピード調整
- ④最大層間変形角の確認
- ⑤モード倍率設定

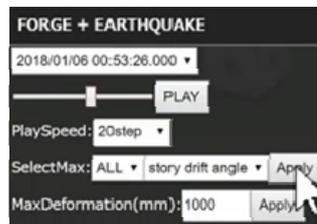


図7 結果表示画面コマンド

6. 結論

本論文では、IoTデバイスとしてのCSAC搭載センサモジュールと、これを設置した建物の概要、地震観測と層間変形の評価結果の事例、建築物管理システムの提案とその将来像について記した。実証として、IoTとしての自律型時刻同期センシングシステムと、BIMクラウド拡張支援開発プラットフォーム Forge を連携し、地震時の構造健全性評価結果を BIM モデル上に表現した取組み事例を報告した。IoT と BIM を連携することで、コスト低減と付加価値の創造をもたらす建築物管理システムの実現に向けた取り組みを進めていく予定である。

謝辞

本研究における自律型時刻同期センシングシステムに関する研究開発は、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」において、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務として実施したものである。また、本研究はJSPS 科研費 16K01283 の助成を受けた。

[参考文献]

- 1) 倉田成人, “自律型時刻同期センシングシステムの基礎的研究,” 構造工学論文集 Vol. 62A, pp. 185-192, 2016.

- 2) 倉田成人, “チップスケール原子時計(CSAC)を搭載した自律型時刻同期センシングモジュール実用版の開発”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 11036, pp. 71-72, 2017.
- 3) Narito Kurata, “Seismic Observation and Structural Health Monitoring of Buildings by Improved Sensor Device Capable of Autonomously Keeping Accurate Time Information”, International Journal on Advances in Systems and Measurements, Vol. 12, No. 1&2, pp. 41-50, 2019.
- 4) 応用技術株式会社, <https://tobim.net/>
- 5) Autodesk, Inc., <https://forge.autodesk.com/>
- 6) Fluentd, <https://www.fluentd.org/>
- 7) Elastic, <https://www.elastic.co/jp/products/kibana>