

スマート建築都市を実現する BIM 連携センシング・プラットフォーム

○倉田 成人^{*1} 有馬 仁志^{*2}

キーワード：スマート建築都市 BIM (Building Information Modeling) センシング・プラットフォーム
ビッグデータ VR (Virtual Reality) 自動運転

1. はじめに

2000年代、情報通信分野では、ユビキタス・コンピューティング／ネットワークが注目を集め、社会的にも大きなインパクトを与えた。あらゆるモノや環境に超小型のコンピュータが埋め込まれ、これらがネットワークに接続されて状況を自動認識し、便利・快適・安全なサービスを提供する、というコンセプトであった。超小型のコンピュータには、実空間の状況を捉えるためのセンサも含まれる。例えば、加速度センサであれば建築構造モニタリング、温度・湿度・照度センサであれば建築環境モニタリング、人の位置情報などを扱う場合は建築計画に役立つモニタリングとなり、ユビキタス・コンピューティング／ネットワークによって示されたコンセプトは、建築空間のスマート化であり、さらには、スマートハウス、スマートビル等の「スマート建築」のありかたにつながるものであった。

2. センサネットワークと MEMS

ユビキタス・コンピューティング／ネットワークの基盤技術として脚光を浴びていたのが、センサネットワークと MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) であった。特に、米国・国防高等研究計画局 (DARPA) によるプロモーションで、無線ネットワーク機能と MEMS センサを有する超小型コンピュータの開発プロジェクト「スマートダスト」が注目を集め、その後の情報通信分野での研究開発の方向性に大きな影響をもたらした[1]。筆者らは、構造モニタリング／地震モニタリングに利用できるセンサを、様々な構造物に設置することを目標に、MEMS 技術と無線センサネットワーク技術を組み合わせたユビキタス・モニタリングシステムの研究開発を行い[2]、センサ同士が、無線で自由自在につながったり離れたりしながら時刻同期を取り、地震を検知すれば、地震時の計測データを欠損なく収集するという、アドホックネットワーク、マルチホップ通信の機能を持つシステムを完成し、実際の超高層ビルで実証した[3], [4]。空間にランダムにばらまかれたセンサ群の時刻同期を取るとは最も難しい技術課題であったが、これによって、天井と床に設置した加速度センサの計測波形の差分を取る

ことで、建築構造物の層間変形を求めて、地震後の損傷評価を行う手法を提案した[4]。こうしたシステムによれば、各階に加速度センサを設置すれば、シミュレーションによらず、実測値から、地震後の高層ビルの損傷評価が可能となり、地震ごとに、「今の地震では損傷は無いので避難は不要。建物もそのまま利用可能」、あるいは、「今の地震では損傷の恐れがあるので速やかな避難が必要。建物が利用できるかどうかは詳細な検討が必要」といった情報を出すことができる。

3. ユビキタスから、クラウド、ビッグデータ、人工知能へ

センサネットワークは、ZigBee 等の標準化や、900MHz 帯の無線の利用も行われ、商品化と普及が進んだ。また、ユビキタス・コンピューティング／ネットワークで、あらゆるモノがネットワークにつながるだけでなく、モノとモノがつながって通信し合う M2M (Machine to Machine)、IoT (Internet of Things) という概念が生まれて、現在も発展を続けている。同時に、国内では 2008 年に iPhone が発売され、以後、スマートフォンが爆発的に普及する。これに合わせて、Wi-Fi が急速に展開していく。プロバイダによる公衆無線 LAN サービスだけでなく、キャリアが電話回線のネットワークの混雑解消のため、自前でどんどん Wi-Fi スポットを打っていった。新幹線や航空機でも Wi-Fi が使えるようになった。3G、LTE、Wi-Fi の組み合わせで「誰でもどこでも」ネットワークにつながり、インターネットを利用することができるようになっていく。さらに、ネットワークの高速化とともに、ストレージの大容量化・低価格化が起り、クラウドコンピューティングの時代となった。AWS (Amazon Web Service) [5]、GCP (Google Cloud Platform) [6]、Microsoft Azure [7]などにより、安価にサーバ、ストレージ、データベース、アプリケーションサービスを利用することが可能である。例えば、AWS を利用してセンサからのデータを収集するには、AWS IoT [8]というサービスがある。これによって、様々なセンサを他のセンサや AWS の各種 サービスに接続し、データと通信を保護し、センサデータに対する処理やアクションを実行すること

が可能となる（図 1）。もはや、いくらでもセンサを設置し、何も気にせずに、センシングデータをクラウドに収集して、ビッグデータを生み出すことができる。クラウド

の IT リソースを存分に活用し、人工知能（AI）、機械学習、ディープラーニングといった分析技術を利用できる環境が整った。

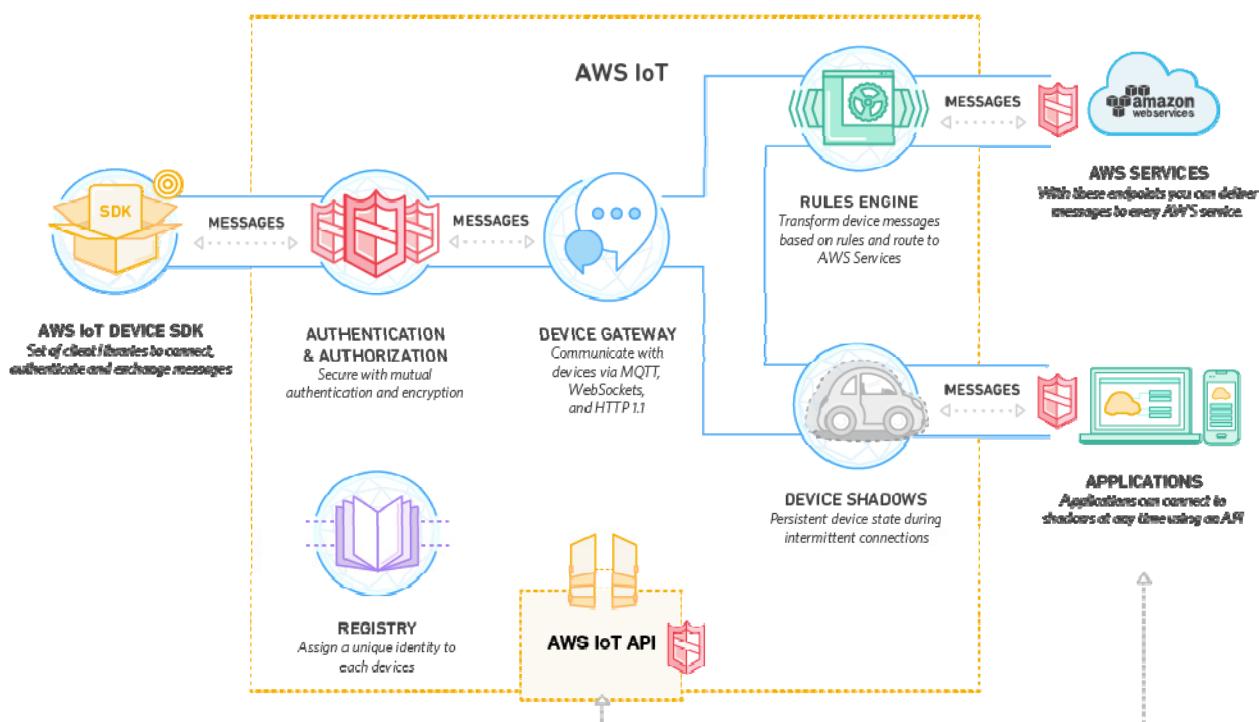


図 1 AWS-IoT の仕組み[8]

4. BIM とセンシング・プラットフォーム

センシングデータをクラウドに収集し、クラウド上で様々な解析を行うことが可能であるが、現時点で、建築物を対象とした解析プラットフォームサービスが提供されているわけではない。建築物の解析は、構造解析、環境解析など各々の目的に合致した個別のツールによって行われているのが現状である。一方、建築物の設計から施工、維持管理までを効率的、効果的に行うため、建築物の統合的な 3 次元モデルを構築するシステムが BIM（Building Information Modeling）であり、各種解析システムと連携する取り組みが行われている[9]。まだ一般的ではないが、BIM ソフトから、構造解析用モデルを出力することも行われている。解析手法は最新の研究成果を反映して進化し続けているし、解析ツールはパッケージ化された市販品や、建設会社が自前で開発しているものなどもあり多様である。将来的には、BIM システムに、最新の研究成果を反映する更新可能な解析ツールが組み込まれ、設計行為の中で各種解析を行い、設計にフィードバックできるようなことが望ましい。その解析作業には、実際に建築物でセンシングしたデータを取り込んで、解析モデルの妥当性を検証したり、解析精度を向上させることも必要となる。また、建築物のセンシングデータは、

竣工後の維持管理にも利用されるため、完成した建築物のモデルとの対応付けをするセンシング・プラットフォームが求められる。これも将来的には BIM システムの中で実現され、BIM システムがクラウドと連携しながら、竣工後の建物や住宅で提供される各種情報サービスや、維持管理システムのセンシング・プラットフォームとしても機能することが考えられる。

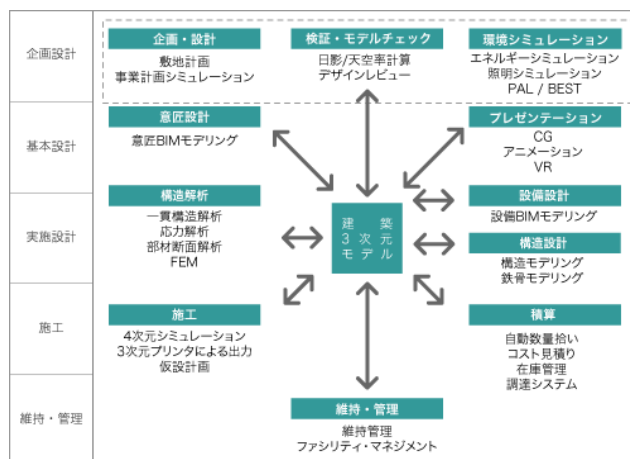


図 2 BIM モデル（建築 3 次元モデル）を中核とした概念図 [9]

5. 各種 BIM ソフトを統合するプラットフォームと VR 技術

BIM システムが、設計から施工、運用まで利用される建築物のデータベースとして利用されるようになるといわれている。しかし、BIM ソフトにも複数の製品が存在し、標準が決まっているわけではなく、3D モデルのフォーマットも複数ある。また、現在の BIM ソフトだけで建築設計がすべて行われるわけではなく、モデリングツールも存在する。そうすると、実は様々な BIM ソフトやモデリングツールによるデータを入力でき、相互に連携可能なシステムが、プラットフォームとしての機能を満たす可能性がある。

その一例として、図 3 に示す Fuzor は、Autodesk Revit、ARCHICAD 等の BIM データや Rhinoceros、Navisworks 等のデータを読み込むことができ、ゲーム用に開発された技術を元とした高速なシミュレーションエンジンにより、リアルタイムレンダリングでのビジュアライズを実現しているソフトウェアである。また、BIM データを読み込んで高速表示するだけではなく、相互連携が可能で、例えば、Autodesk Revit で行った修正内容を Fuzor に瞬時に反映でき、BIM 情報も常時連携しているため、Autodesk Revit 側の材料が変更された場合でも、Fuzor 上の BIM 情報や関連付けされているテキスト情報等も自動的に更新する。Fuzor 側でも、降雨検証、太陽の設定、夜間用の照明シミュレーション、気象シミュレーション、衝突解析等の機能があり、Fuzor 側で修正した内容を Autodesk Revit にフィードバックすることも可能となっている。

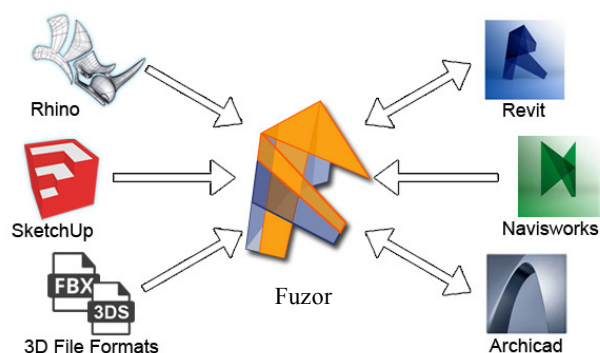


図 3 BIM、モデリングシステム相互に連携可能なシステム FUZOR [10]

こうした機能は設計やプレゼンテーションに有効であるが、さらに VR 技術にも対応している。Fuzor の VR モードを利用し、ヘッドマウントディスプレイを着けると、アバター視点で建築データ内に入り、建築物内側からの閲覧・検討が可能である。写真 1 に示すように、設計者が設計中の建築物を VR 技術で体験しながら、完成度を高めていくということが実用的にも可能となってい

る。また、クライアントに住宅内を VR 技術で体験してもらい、要望を設計にフィードバックすることもできる。BIM ソフトのみによるプレゼンテーションとは、別次元の“没入感”を得ることができる。2016 年は VR 元年と言われるほど、安価で高性能なヘッドマウントディスプレイが次々と販売されているが、Fuzor でも、HTC Vive、Oculus Rift はもちろん、Google Cardboard も利用可能となっている。ただし、VR 技術に対応するための一定水準以上のスペックは PC に求められる。現在、大学における建築情報教育の一環として、住宅の設計課題への VR 技術の応用を進めている。



写真 1 VR 技術による設計 [10]

Fuzor のような各種 BIM ソフトを統合するプラットフォームが登場し、限定的とはいえ種々の解析機能を備え、VR 技術も容易に使えるようになれば、実世界に設置されたセンサからの情報を収集するセンシング・プラットフォームとしてのポテンシャルも有することとなる。もし実現すれば、建築物の計測データを用いて、データ同化によるシミュレーションまでが視野に入り、「実世界（フィジカル空間）にある多様なデータをセンサネットワーク等で収集し、サイバー空間で大規模データ処理技術等を駆使して分析／知識化を行い、そこで創出した情報／価値によって、産業の活性化や社会問題の解決を図っていく」とされる CPS（サイバーフィジカルシステム）[11] の実現に近づくこととなる。

6. 建築と自動車開発との融合

自動車開発の分野においても VR 技術の応用が進んでいる。米フォード社は、自動車の設計のために作成した CAD データと VR を組み合わせた AR（拡張現実）ラボ、「FiVE (Ford's immersive Vehicle Environment)」[12] の実用化に取り組んでいる。写真 2 のように、車両の室内の各種スイッチ操作を行う場合の適切な配置をシミュレーションすることができる。この設備の利点は、設計中の自動車が実車として完成する以前の段階から、その設計内容が実際の運転操作に反映できるかを体験できることである。単なる CAD データではなく、ヘッドマウ

ントディスプレイを装着して、車両デザインを外観から内装まで、立体視によって確認できる。現在、自動車業界ではドライバーアシスタントの機能としてパーキング・アシスト機能が装備され、リモコン操作で狭いガレージに駐車できるオプションが提供されるようになった[13]。自動車はさらに先の技術として自動運転機能の開発を進めている。

このように自動車が、狭いガレージに駐車できる機能を持つことは、家のガレージの設計もこのパーキング・アシスト機能や、自動運転機能が標準となれば、ガレージの使い方の概念が代わり相互に関係する設計が必要になることを意味している。また、家のフロアと自動車のフロアの高さや間隔をあらかじめ協調設計する事が求められる。建築系 CAD と自動車設計に用いる機械系の CAD を融合し、バリアフリーで居間から自動車に乗り込めるような新たな利用シーンが可能となる。図 4 に協調設計のイメージを示す。このように建築空間に自動車を組み込んだイメージや活用シーンを演出する CAD ソリューションがこれから必要になることが予想される。次の段階として建築業界、自動車業界がそれぞれ融合して設計環境、ツールを業界で協調して標準化し適切に競争する環境を整えることが望まれる。



写真 2 米フォード社の「FiVE」で用いているヘッドマウントディスプレイ



図 4 建築系 CAD と機械系 CAD の協調設計イメージ

7. まとめ

スマート建築都市の実現を念頭に、2000 年代からのユビキタス、クラウド、ビッグデータ、人工知能までの流れを背景として、建築物の統合的な 3 次元モデルを構築するシステムである BIM ソフトと解析技術、センシング技術との関係を整理し、これらを統合する BIM 連携センシング・プラットフォームの展望について述べた。こうしたプラットフォームにより、建築設計への VR 技術の応用も容易となり、建築情報教育の場でも活用が進んでいくことが予想される。さらに、スマート建築と自動運転車の一体的な設計を視野に、建築系 CAD と自動車設計に用いる機械系の CAD の融合についても示した。

【参考文献】

- [1] SMART DUST-Autonomous sensing and communication in a cubic millimeter, <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust>
- [2] N. Kurata, B.F. Spencer, M. Ruiz-Sandoval, “Risk Monitoring of Buildings Using Wireless Sensor Network”, *Journal of Structural Control and Monitoring*, Vol.12, pp. 315-327, 2005.
- [3] N. Kurata, M. Suzuki, S. Saruwatari and H. Morikawa, “Actual Application of Ubiquitous Structural Monitoring System using Wireless Sensor Networks”, *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE)*, Beijing, China, October 2008.
- [4] N. Kurata, M. Suzuki, S. Saruwatari and H. Morikawa, “Application of Ubiquitous Structural Monitoring System by Wireless Sensor Networks to Actual High-rise Building”, *Proceedings of 5th World Conference on Structural Control and Monitoring (5WCSCM)*, Tokyo, 2010.
- [5] amazon web services, <https://aws.amazon.com/jp/>
- [6] Google Cloud Platform, <https://cloud.google.com/>
- [7] Microsoft Azure, <https://azure.microsoft.com/ja-jp/>
- [8] AWS IoT, <https://aws.amazon.com/jp/iot/>
- [9] AUTODESK, <http://bim-design.com/about/process/>
- [10] Fuzor, <http://redstack.jp/product/>
- [11] JEITA, <http://www.jeita.or.jp/cps/about/>
- [12] <https://redshift.autodesk.com/virtual-reality-prototyping/>
- [13] BMW 7 シリーズ, <http://www.bmw.co.jp/ja/all-models/7-series/sedan/2015/driv-er-assistance.html>

*1 筑波技術大学産業技術学部 教授 博士（工学）

*2 有馬マネジメントデザイン株式会社 代表 修士（工学）