

ITが変革する、建築設計と監理

—IT系から見た建築生産システムの現状と課題、設計・管理段階について—

株式会社日建設計 常務執行役員 設計部門副統括 山梨 知彦

1 設計監理を取り巻く状況について

産業革命以後の機械による大量生産に支えられてきたモノづくりが、ITにより大きく変わろうとしている。詳細を知らずとも、日々の生活の中に入り込んだITに触れるたびに直感的に感じるができる。こうした状況を、工業製品の分野では、「インダストリー 4.0」として、ITによる大きなモノづくりの変革ととらえている。

ここでは、本号のテーマである「IT系から見た建築生産システムの現状と課題」を、建築分野におけるインダストリー 4.0としてとらえ、ITが建築をどのように変えつつあるのか、建築設計や監理の視点から考えてみたい。

2 設計監理業務に関わるIT系の変化

少々乱暴ではあるが、現時点で設計監理業務におけるIT系に起因する変化を、五つに区分し、キーワードとともに、以下のように整理してみた。

1. 「設計技術自体の変化」
⇒コンピュータ・シミュレーション
2. 「形態生成技術の変化」
⇒コンピューショナル・デザイン
3. 「建築情報統合技術の変化」
⇒BIM (Building Information Model)
4. 「建築生産技術の変化」
⇒デジタル・ファブリケーション
5. 「建築自体の変化」
⇒建築のIoT

それでは、これら五つの変化について、より詳しく見ていきたい。

3 設計技術自体の変化 —コンピュータ・シミュレーション—

ITがもたらした建築設計上の変化というと、CADを思い浮かべる方もいるだろう。確かにCADにより、設計図作成効率が上がった。しかしながらCADは、人間が鉛筆で線を描く作業を、コンピュータが代行しているにしか過ぎない。あくまでCADは、図面を描く道具でしかなく、設計のプロセスそのものを変革するものではない。

余談となるが、CADのように道具をコンピュータ化することを「コンピュータライズ」という。一方で、コンピュータならではの特性を活かし、作業プロセスや人間の役割すら変える使い方は、「コンピューショナル」と呼ばれ区別されている。CADは鉛筆をコンピュータライズしたものに過ぎず、大事なことは設計プロセスをコンピューショナルに改革するものだ。

この意味で設計プロセスを改革したものは、コンピュータ・シミュレーション（以下、シミュレーション）である。一品生産である建築物を、実際に建てる前に建設後のふるまいが確認できるシミュレーションは、設計の品質を激変させる。最初は構造の分野で、やがて環境への関心の高まりとともに、風の流れや温熱空間の状況把握に使われ出した。最近では、人間が建築空間の中でどのような行動をとるかのシミュレーションも進

み、避難や大型建築での入退場時などの混雑を予測するために用いられている。

更には、「見える／見えない」といった、設計の根源に関わる事項にもシミュレーションを用いるようになった。設計に先立ち、敷地周辺条件自体を3次元モデル化したり、3次元スキャン技術を使って「点群」として測定したりすることで、「リビングに腰を掛けたとき、窓から山の頂が切れずに望むことができるか」といった微細な問題に対しても、直感ではなく、シミュレーションで確認をしながら設計できる状況になっている。

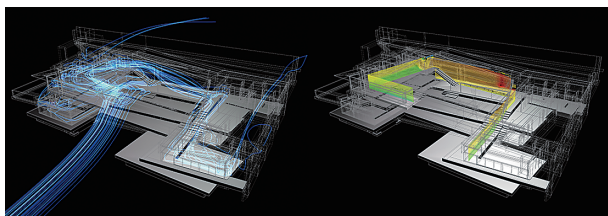


図1 住宅でスケールでの通風・温熱シミュレーションの例 (日建設計DDL)



図2 完成した住宅 (On the water/日建設計 2015年)

このように、設計品質の向上のためには、設計のプロセスの中でシミュレーションの頻度を上げ、設計へとフィードバックすることが大きな力となる。一方でネックとなるのは、シミュレーションに要するコストと、シミュレーションに必要な3次元モデルと建築情報（部材の強度や、温熱特性、太陽光透過率など）のデータインプットに要するコストということになる。現在では、主要なシミュレーション・ソフトウェアがパーソナルコンピュータ上で作動する状況となり、前者の問題は小さくなった。また後者に関しては、後述するBIMが設計で用いられるようになり、これ

また比較的小さな問題になりつつあり、コンピュータ・シミュレーションは建築設計における必須のIT系アイテムとなりつつある。

今後の課題としては、BIMやコスト情報データベース、そして人工知能の連動による、精度の高いシミュレーションの実現となる。加えて、シミュレーションで設計を行い、実現した後の、調査とシミュレーション結果のかい離の把握と蓄積、シミュレーションへのフィードバックループの確立も、シミュレーションの精度を高めていくために欠くことのできない課題となっている。

4 形態生成技術の変化 —コンピュータショナル・デザイン—

多様な条件を取り込み、一つの建築物へと落とし込んでいく建築設計では、元来、建築家が直接形を決め込むのではなく、建築家は根本となる考え方（アルゴリズム）を考え、その他の条件を変数（パラメータ）として取り込み、パラメータを変えつつ試行錯誤を繰り返し、最終的な形にたどり着くケースが多い。

例えば、均質なグリッド空間を作りたいというアルゴリズムに対して、それを構成する部材の強度、それが最適となるスパンや材料の太さをパラメータとして、パラメータを少しずつ変えながら膨大な数の試行錯誤を行った末に、ある一つの、美しくも合理的な均質グリッドを見出す通常「スタディ」と呼ばれるプロセスを想像していただければ、意味するところを理解いただけるだろう。

このスタディのプロセスで、アルゴリズムをプログラム化することで、パラメータをコンピュータに入れ替えさせ、膨大な検討作業を人間に代わって行わせようという発想が生まれてきた。アルゴリズムに着目して「アルゴリズムック・デザイン」と呼ばれたり、パラメータに着目して「パラメトリック・デザイン」と呼ばれたり、より広く「デジタル・デザイン」としてまとめて取り上げられることもあるが、ここでは「コンピュータならではの特性を活かしたデザイン」という点に着目して、「コンピュータショナル・デザイン」

という呼称を用いることにする。

コンピューターショナル・デザインにおいては、最終的な建築の形態は建築家の手ではなく、コンピュータによって生み出されるため、このプロセスを「生成的=ジェネラティブ」と呼んで区別している。

ジェネラティブに建築を生み出すアルゴリズムは、それぞれ建築家の数だけ存在し得るわけであるが、現時点で実務的に最も有力視されているのは、前述したコンピュータ・シミュレーションを複数連動させ、それらすべてのベストバランスを図る形態を生成することを目指す「多目的最適化」である。

コンピューターショナル・デザインの実現には、アルゴリズムの記述が容易なソフトウェア環境、シミュレーション・ソフトウェアの相互通信を容易にするための情報公開（API）などが必要であるが、Rhinoceros+Grasshopperなどの登場により、パーソナルコンピュータでのコンピューターショナル・デザイン的环境が整い、一気に世界中でブレイクし始めている。

現時点では、まだ建築の表層の生成に留まっているものがほとんどであるが、更なるソフトウェアと、それらの相互連動の深化、そして人工知能の参画による、より高度で実用的なコンピューターショナル・デザインの出現が期待されている。

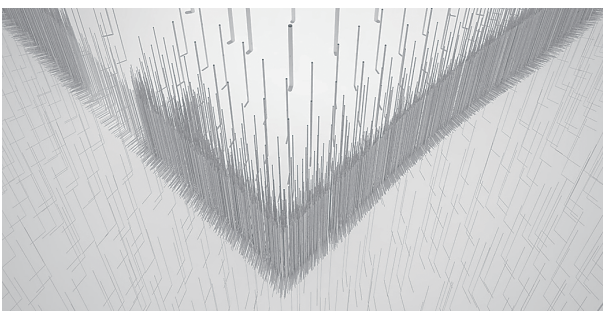


図3 垂直ルーバーをアルゴリズムに沿って自動的に配置するプログラムの例（日建設計DDL 2011年）



図4 図3のプログラムを使用して発生した外観の例（ラゾーナ川崎東芝ビル/野村不動産、日建設計、大林組）

5 建築情報統合技術の変化 —BIM—

これまでに述べてきた、シミュレーションもコンピューターショナル・デザインも、そしてこの後触れていくデジタル・ファブリケーションや建築のIoTも、すべてITによってもたらされたものであるため、それぞれの情報はデジタル化されている。

このデジタル化された情報を取り扱い、応用していくためには、これまでの紙をベースとして描かれた2次元の図面では心もとない。デジタル時代の建築情報プラットフォームが必要になってくる。トレーシングペーパーに代わり、その座を占めたのがBIMである。

BIMは、Building Information Modelの頭文字をとった略語で、建築の基本となる3次元の形態情報と、それに柱や梁といった建築、コスト、温熱的特性などの情報（建築情報と呼ばれる）を関連付けて取り扱うことができるシステム（データとコンピュータ・プログラム）である。コンピュータ上のバーチャルな空間の中にBIMを設計してしまえば、透視図はもとより、平面図や断面図といった2次元の図面、コンピュータ・シミュレーションに要する建築情報付きの3次元形態データ、面積表や建具表といった一覧表、そして建設コストなどの情報を、コンピュータがほぼ自動で切り出してくることができる。そればかりではなく、BIMはそこから切り出された情報とリン

クされているため、図面や一覧表の方を修正しても、BIMがそれに基づき修正され、同時にBIMから切り出されている透視図や図面や一覧表やシミュレーションやコスト情報といったものが自動的に更新され、修正された状態になる。設計に伴う膨大な作図や作表作業が軽減され、単一のBIMとすべての図面が連動しているため図面相互の食い違いはなくなる。

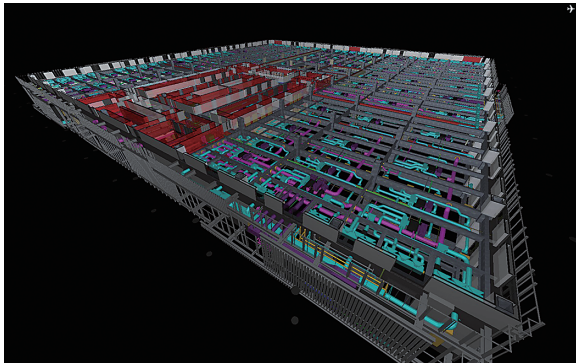


図5 BIMの例（ラゾーナ川崎東芝ビルのBIM/日建設計）

残念ながら現状のBIMは、この理想的な状態には達していないものの、少なくとも図面相互の食い違いの減少や、シミュレーションやコンピューショナル・デザインとの連動により、設計の品質を向上するところには至っている。

現状での課題は、設計者が作成したBIMが施工者にボタンタッチされ、施工において有効なBIMとして使われているような、デジタルであることを活かした事例がまだ極めて少ない状況にあること。更には、BIMがビル管理者に手渡されビル管理の効率化に活かされた事例となると、国内ではほとんど実例がない。現状では設計と施工とでそれぞれ別に動いているBIMの動きを統合し、更にはビル管理にまで至る、建築のライフサイクル全般に渡り有効なBIMを構築していく必要がある。

また監理段階に固有の課題としては、設計BIMと竣工物件の3次元スキャンデータとの比較検討などといったBIMの利用や、設備設計BIMと完成建物がはき出すデジタルデータの比較によるコミコミの省力化、正確化、迅速化などが挙げられる。

6 建設手法の変化 —デジタル・ファブリケーション—

現時点における設計と施工の区分は、20世紀的なモノづくりに起因されていると思われるが、ITによりモノづくりに変化が起これば、設計と施工、更には専門工事業者やメーカーの関係、区分にも変化が生じるはずである。

現時点で最も先進的な建設手法の変化は、デジタル・ファブリケーションと呼ばれる、設計BIMや施工BIMのデジタルデータを、部材メーカーや施工者や建築家自身が所有する3Dプリンター、レーザーカッター、CNCなどのデジタル工作機、工業用ロボットなどに直結することで、複雑な形状を高品質でありながら安価に実現する手法である。



図6 木材加工におけるデジタル・ファブリケーションの例（コンピュータ制御の工作機で木材を加工）（木材会館/日建設計）



図7 完成した外観（木材会館/日建設計 2009年）

また建築家が自らは部材の製作は行わないものの、製作図に近い検討をBIM上で行うことで、建築部材コストの最適化を図り、複雑な形状を現実

的なコストで実現を図っている例も見え始めてきた。例えば、フランク・ゲーリーやザハ・ハジドは、複雑な曲面形状を用いるデザインで有名であるが、建設コストを抑えるため、設計者自身が曲面の最適化（最適化）を入念に行っている。具体的には、複雑に見える曲面を、コンピュータを使って整理して、なるべくコストが最も安い平パネルや、一方向曲げのパネルで近似させ、コストがかさむ二方向曲げのパネルを最小に抑えるなどの工夫をしている。



図8 設計者による曲面の最適化の例（東大門デザインセンター／ザハ・ハジド 2014年）

とはいえ、ここで行われている合理化は、デザイナーが求める曲面に対して、20世紀的大量生産の技術を応用して、近似した曲面を作る作業である。今後、このデジタル・ファブリケーションで求められるものは、金型などによらず、デザイナーやカスタマーが求める形状を、大量生産に負けないコストや品質で、必要な時に必要なだけ一品生産ができる環境にやさしい生産システムの発明（現時点では3Dプリンターが最もその位置に近づいている）と、シミュレーション、コンピューショナル・デザイン、BIMといったIT時代の設計技術の連動による、新しい設計-生産体系、マスプロダクションに対して「マスカスタマイゼーション」と呼ばれる生産体系の確立であろう。

7 建築自体の変化 —建築のIoT—

当然のことながら、ITの影響は設計技術や生産技術といった建築に間接的に関わる分野のみな

らず、建築にも直接影響を与え始めている。

例えば、建築内部でのエネルギー消費を抑えるため自然環境を利用しようと思えば、建築内外の温度、風、太陽光などの状況をセンシングして、最大の効果を得られる建築の状態をシミュレーションして、その結果をもとに窓やブラインド、日射遮蔽ルーバー、そして空調設備などを動かし、制御することが必要になる。更に、単一建築毎のエネルギーの偏在を制御し、街区や都市スケールでのエネルギー消費を抑えようと考えれば、各種制御情報を複数のビル間でやり取りする必要がある。そして、今日では、全体からの統一的制御のみならず、個人の要望に対応した個別制御にも対応する必要があるだろう。

このためには、設備機器系はもちろんのこと、建築各部にセンサーを仕込み、制御に必要な情報が検知できるようにしなければならないし、実際に建築各部を動かし制御するためのロボットを組み込まなければならない。またそれらをいかに制御するかを考える知能を持ったコンピュータを組み込まなければならないし、それら相互が情報を交換できるようにネットワーク化されなければならない。



図9 各種センサーを組み込み、雨水を用いてファサードを冷やし、ヒートアイランドを抑制する、最初期のIoTファサード「バイオスキン」の例（NBF大崎ビル／日建設計 2011年）

現時点で最も有力であるのが、インターネット

を介したセンシングデバイス、ロボット制御、建築相互、個人のモバイルデバイスのネットワーク化であり、これは建築自体のインターネット化=IoTと言えるのではなかろうか。

IoTとは、インターネット・オブ・シングズの略で、個別のものがインターネットで繋がれ、人間の介在なしに制御される状態で、インダストリー 4.0を実現する基礎的な技術でもある。実際、設備機器に加えて、建築に数多く設置されている防災用・防犯用デバイスは既に、建築の中のエネルギー情報、防災情報、人間の入室などを検知して、デジタル情報化して発信している状況であり、その情報交換ネットワークインフラはインターネットに移行しつつあり、建築のIoT化は進行中である。

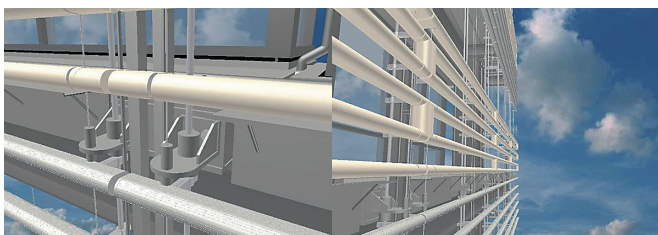


図10 バイオスキンの詳細BIM (日建設計)

今後の課題の一つは、デバイスが発する情報の公開、相互情報交換における情報管理の方法やルールとなるが、これは建築分野単独の議論ではなく、モノづくり全般に広がるIoTの動きの中で議論され、モノから建築や都市そして個人のモバイルデバイスまでがインターネットでシームレスに、便利かつ安全に接続された状態を目指す必要がある。

一方、建築の設計・監理に特有の課題としては、これまで電気設備系の技術者を更に強化、分化して、建築のIoT化の時代に即した新しい職能を持ったエンジニアを育てることにありそうだ。

8 建築設計・生産における分業の在り方の変化

ここで見てきたように、ITは、設計技術、形態生成技術、設計情報統合技術 (BIM)、建築生産技術、そして建築自体を変革させつつある。

こうした状況の中で、世界中の設計事務所が、IT時代に対応した新しい設計体制を構築し始めている。著名なところでは、フランク・ゲーリーが彼の个性的かつ芸術的なデザインを実現可能な設計図書としてまとめるため、BIMを用いた設計サポート組織、「ゲーリーテクノロジー」(2002年、以下GT) を立ち上げたことが挙げられる。興味深いのは、GTは今ではゲーリー自身のデザイン以外に対しても、施工可能とするオプティマイゼーションやBIM作成のサービスを提供するようになり、建築家と施工者の間に介在する新しい職能を形成するに至ったことだ。



図11 ビルバオ・グッゲンハイム (フランク・ゲーリー 1997年)

コンピューターショナル・デザインで知られるアメリカの設計事務所、SHoPは、コンピューターショナル・デザインをスムーズに施工へと繋げるために、SHoPコンストラクションという施工会社を立ち上げたが、GT同様に、SHoP以外の建築家に対しても、BIMの作成サービスや施工を提供している。

日本でも、設計者と施工者の間に立ち、複雑なジオメトリをコンピューターショナルなノウハウを使って製作や製作支援を行う、AnSスタジオ(2009年)などが既に登場している。

設計事務所内部でも、同様に、新しい職能が生まれ始めている。私が所属する日建設計においても、2011年にコンピューターショナル・デザインやコンピュータ・シミュレーションを担う「デジタルデザインラボ (DDL)」と、BIMの作成や社内コンサルを担う「デジタル・デザイン・ディベロップメント・センター (3DC)」を新設したのだが、

この5年間で増え続ける需要に応えるために人数が増大し、今では意匠設計者の1割を超える約80人の組織へと急成長を遂げている。

同じく、日本のゼネコン各社も、設計施工一貫の強みを活かすIT利用を多々試みている状況で、日本発のガラパゴス的な設計施工一貫のビジネスモデルが、明日のグローバル・スタンダードとなる可能性もある。

ITは今、建築設計・生産における分業の在り方に、大きな変革をもたらしつつある。

9 次への課題

本論で示した、ITがもたらしつつある五つの変化自体が、未だ現在進行形であり、それぞれがより完成度を高めることが、最初の課題として挙げられる。

次に、五つの変化のどれもが、未だ人工知能の技術が活かされていない状況にあることを指摘しておきたい。建築の設計監理は、膨大な建築情報の処理を、コンピュータの助けは得ているものの、未だ人力に頼って処理をしている段階に留まっている。五つの変化自体の完成度を上げると同時に、人工知能化を図り膨大な省力化を図ること。これが二つ目の課題として挙げられると思う。

三つ目の課題は、監理分野におけるITの活用になるだろう。BIMに関連して若干触れたが、BIMやレーザースキャン技術など、監理業務をより高度化する技術は揃い始めた。施工者側の品質管理と歩調を揃えつつ、監理業務やコミッションングをIT化し、高度化していく必要がある。

四つ目の課題は、現在は竣工で完結してしまっている設計監理業務を、竣工後の施設管理へとシームレスに繋げていくことにある。一般に、竣工後のビル管理に要するランニングコストの合計は、ビル建設までのインシャルコストに比べると3倍から5倍になると言われている。例えば設計BIMを、施工BIMへ、更には竣工図BIMへと繋げ、竣工後の施設管理に応用し、シミュレーション技術やコンピューショナル・デザイン技術を

使ってビルの最適な運用が設計者からビル管理者に提示できれば、ランニングコストを大幅に削減できる可能性がある。またビル管理上の問題点や、センシングデバイスからの情報を、IT技術を使って設計者に随時フィードバックできれば、設計品質は著しく向上するはずである。管理段階のIT化は急務かつ本命と言えるだろう。

このようにITは、現状でも建築設計や監理に大きな変化をもたらしつつあるが、本格的な変動が始まるのはこれからの業界の努力にかかっている。

10 建築におけるマスカスタマイゼーション

ルネサンス期においては、建築は総合芸術とモノづくりの頂点として位置づけられていた。しかし20世紀以来、建築は自動車に代表される大量生産された精密機械の品質、生産速度、価格などを範として、つまりマスコプロダクションを手本に種々の改善を図る、やや遅れたビジネスの位置に甘んじていた。初期のITの取り込みもそうした状況の改善を目指して、他産業から移植されたものだった（BIMも元々は、自動車産業の3次元CAD化によるモデルチェンジの省力化を範にしたものと言われている）。

ところが21世紀に至り、手本であった精密機械の方が、ITをより積極的に取り込みインダストリー4.0を標榜し、大量生産のメリットは活かしつつ、顧客が個別に求める条件に合致した個別のモノづくり、「マスカスタマイゼーション」を目指すに至った。そして、そのための具体的戦略の一つがIoTということになるだろうか。

一方で建築は元来が、クライアントの求めに応じて設計・生産される一品生産品である。そこにITを適切に投入すれば、大量生産のメリットを超えた「マスカスタマイゼーション」を、他産業のモノづくりに先駆け実現できそうな気もする。ITは、これまで他産業の影を追いかけてきた建築関連ビジネスを、マスカスタマイゼーションを実現したビジネスとして、モノづくりの最先端へと押し戻す可能性があるかもしれない。