



巻頭寄稿文 |||||

BIM とオープン・モジュラー・ アーキテクチャ

千葉大学 名誉教授
安藤 正雄

1. はじめに

BIM の一つの目的は生産性改善であり、そのためにフロント・ローディングの効果が強調され、またデザイン・チームの協働が推進される。これは施設の「実現」段階にかかわる効用である。BIM のもう一つの目的は、発注者のプロジェクト・ライフ・サイクルへの関与を容易にすることにあり、設計初期段階においては予算内で発注者要求が確実に具現化されるように導き、竣工後は建物の維持管理に役立つことが期待されている。こちらは施設の「実現」段階のみならず、「利用」段階にもかかわる効用である。ところで、BIM に対する日本の関心は「施工 BIM」という言葉に集約されているような「実現」段階の一局面にとどまっているかに見える。本稿の目的はその理由を考察してみることにある。ま

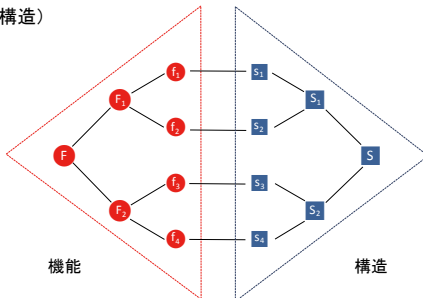
た、その理由を明らかにしたうえで、BIM 活用の今後を展望することにある。今後、その鍵を握るのは発注者であると筆者は考えている。

2. 〈アーキテクチャ〉の型：モジュラー／インテグラルとオープン／クローズド

まず、日本の建築ものづくりは〈クローズド・インテグラル〉という特性を強く持つということを明らかにしよう。分析の軸となるのは、「ものづくり経営学」と呼ばれる経済学の一分野で応用されている〈アーキテクチャ〉という工学的概念である。

〈アーキテクチャ〉とは、人工物の設計思想、すなわち、ある使用目的を持つ人工物をどのような機能要素に分解し、物的要素として組み立てるかということに関する基本的な思想、スタンスである。

モジュラー(組み合わせ)型
(ツリー構造)



インテグラル(擦り合わせ)型
(ラティス構造)

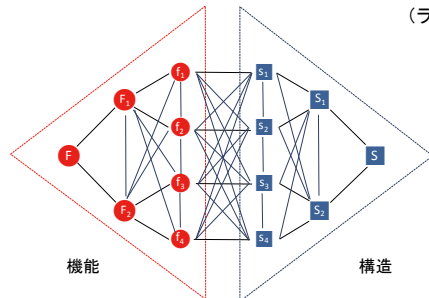


図 1 製品アーキテクチャの二つの型

アーキテクチャは人工物一つ一つの特性であるが、特定の企業等、一つのコミュニティに一定の設計思想が共有されていればそれはある種の〈カルチャー〉と見てよく、それがある国に共通して認められる特性であれば、その国のものづくりの特性としてよい。日本と米国の建築ものづくりのアーキテクチャは対照的である。後に確認されるように、米国の〈モジュラー〉型に対して、日本のそれは〈インテグラル〉型である。BIM の発想、受容に関する日米の決定的な差異はここに由来する。

人工物（製品）のアーキテクチャには二つの基本的な型がある（図 1）。モジュラー（組み合わせ）型とインテグラル（擦り合わせ）型である。製品アーキテクチャは、〈機能〉および〈構造〉ⁱⁱ という二つの視点から製品全体をその要素へ分割したものと表現される。モジュラー型のアーキテクチャはツリー状の単純な要素分割構造をもち、要素間の境界（インターフェイス）も明瞭である。また、要素分割の最下層においても、〈機能〉と〈構造〉は1対1の明解な対応関係にある。一方、インテグラル型のアーキテクチャはラティス状の複雑な階層関係

を持ち、〈機能〉要素と〈構造〉要素の対応も複雑である。

製品アーキテクチャには、さらに〈オープン〉、〈クローズド〉の別がある（図 2）。モジュラー型の場合、〈機能〉要素と〈構造〉要素が1対1に対応した機能完結型部品が支配的なので、これらのインターフェイスを標準化すれば単一の企業、産業を超えた部品の組み合わせが可能になる。こうした思想に基づいたアーキテクチャはオープン・モジュラー型、あるいは単にオープン・アーキテクチャと呼ばれる。本稿の論旨にとって重要なのは、〈オープン・インテグラル〉というアーキテクチャの型は存在しないということ、言い換えれば、インテグラル・アーキテクチャは必ずクローズド・アーキテクチャとなるということである。もう一つ重要なこととして、〈在来構法〉（一般構法）はオープン・モジュラーなアーキテクチャとみなすことができることがある。大工棟梁によって木造住宅が建てられていた時代を想起してみればよい。用いられたのは間取りや空間の大きさをあらわす板図と矩計のみで、精妙な擦り合わせを目的とした設計図は必

	インテグラル (擦り合わせ)	モジュラー (組み合わせ)
クローズド (囲い込み)	クローズド・インテグラル 自動車、ラップトップPC 複雑/革新的建築物	クローズド・モジュラー レゴ、工作機械 プレファブ住宅
オープン (業界標準)		オープン・モジュラー 自転車、デスクトップPC 在来構法、Open BIM

図 2 モジュラー／インテグラルとオープン／クローズド

要とされなかった。発注者と受注者の双方が、木造住宅という人工物の機能、構造をそのようなものとして熟知、諒解していたからである。建築の一部を構成する構法とその担い手が広く認知されており、誰にでも利用できるものであれば、それは在来構法であり、オープン・モジュラーなアーキテクチャの一部を構成すると考えてよい。

3. 日本の建築ものづくりはクローズド・インテグラル型

日本のものづくりは総じてインテグラルなアーキテクチャを持つことに特徴がある。特に貿易財に限って言えば、自動車等のインテグラル型製品に強みを持つ一方、コモディティ化した部品を組み合わせで作られるモジュラー型製品には弱いとされる。

日本の建築ものづくりもまたインテグラルな性格を色濃く有している。端的に言えば、受注者（ゼネコン：GC）による生産設計段階の擦り合わせがそれである。筆者は、それが戦後長期間続いた成長の産物であり、そのことはリスクとレントによって説明できるということをこれまで示してきた。改めて要約すれば次のようになる。

すなわち、戦後半世紀近く続いた経済成長期（売手市場）を通じ、工費・工期・品質に関するプロジェクトのリスクは常に発注者の側にあった。しかし、諸外国と異なり、我が国においてはこのリスクをすべてGCが引き取ってきた。品質重視と契約価額、工期の遵守という慣行がそれである。この一見逆説的なGCの行動を説明するのが、レント（資産や投資から得られる利益）である。リスク引き取りによる損失を上回るレントを期待して、GCは追加的投

資を継続してきた。リスク引き取りによる信用の獲得、信用にもとづく受発注者間の長期的関係の樹立、長期的関係によるさらなるレントの増大という好循環により、結局GCが引き取ったリスクが顕在化することはまれであった。その好循環を保証したのが長期の継続的成長である。

追加的投資はプロジェクト単位で行われることもあれば、より長期的な効果を期待して行われることもある。いわゆる生産設計は前者に相当し、GC各社が有する研究開発部門における旺盛な基礎研究、応用研究投資は後者に相当する。しかし、投資対象はソフト、ハードの技術にとどまらない。人的資源もまたその対象である。設計者の直接雇用は日本のGCに特有の投資行動であり、これが設計施工一貫方式を可能にした。受注者に許された設計上の裁量は、リスクの極小化、レントの極大化のために必要不可欠である。こうして、日本の建築ものづくりはインテグラル型のアーキテクチャを備えるに至ったと説明できる。また、そのアーキテクチャは必然的に〈クローズド・インテグラル〉となる。受注者によるリスクの全面的引き取りを歓迎する発注者、リスクを相殺して余りあるレントを期待する受注者双方の思惑が合致した以上、これは成長市場における社会全体の合理的な選択であったという事実を見落としてはならない。設計施工分離方式の場合でも、米国と比較した場合、工事入札段階での設計図書の完成度は低いとされる。ただし、成長が終わった現在、〈クローズド・インテグラル〉型が今後とも市場に適合した〈アーキテクチャ〉の型であるとは言えないことは、以上の議論からあきらかであろう。

4. 米国の建築ものづくりはオープン・モジュラー型

米国の建築ものづくりは、日本のそれとは対照的に、オープン・モジュラー型の特性を持つ。このことを説明するために、建築の〈ありよう〉を指示する標準分類体系に着目してみよう。

アーキテクチャはそれ自体言語との類縁性を持っている。〈機能〉、〈構造〉のいずれも、各階層を構成する要素はそれぞれ同じ階層の他の要素と分節された意味と名称を与えられている。これは言語学でいうところの語彙論に相当する。一方、各階層の要素間の関係、および〈機能〉要素と〈構造〉要素の間関係は、その人工物全体がどのような要素をどのように組み合わせで作られており、また全体としてどのような意味を持つかを示すものとして、一つの文を扱う統語論とみなしてよい。

米国には、建築物の物的部分 (functional elements (機能要素) と呼ばれる) の名称とコードに関する標準体系 UniFormat™ が存在ⁱⁱⁱする。UniFormat の要素はあくまで〈機能〉に基づいて分割されたものであり、〈構造〉 (構成材) や〈工程〉に分割された work results (構工法の (設計) 解) とは異なる。^{iv}work results のための情報標準体系は別途 MasterFormat® として制定されており^v、両者は連結されて相互に補完的な役割を果たす。

UniFormat は、ツリー状の 4 層の階層構造を持つ。レベル 1 から 3 が規定するのは、建築物の用途や構造を問わず建築一般に適用できる functional elements の標準分類とコーディングである。シェル (レベル 1)、地上構造 (レベル 2)、床 (レベル 3) 等はあくまで〈機能〉に即した建築の物的要素の括りであって、具体的な設計解を指示して

いないことに注意する必要がある。一方、具体的な〈部位〉は、レベル 4 に示す床構造フレーム、床用デッキ・スラブ・被覆材といった要素に達して初めて示唆されるかにも見える。しかし、〈部位〉は〈機能〉と〈構造〉の複合体であると考えれば、レベル 4 も〈部位〉と呼ぶには至っていない。〈構造〉を指示するのに不可欠な構造システムや構造材料、構法、さらには工法が指示されていないからである。そこで UniFormat ではレベル 4 のさらに下にチェックリストと称して具体的な構工法を例示し、設計解を選択できるようにしている (表 1)。構工法設計解の仕様を指示する MasterFormat とは、ここにおいて初めてリンクが可能になることから、これらには MasterFormat のコードが付記されているが、これらは UniFormat のコードを持たないことに注意する必要がある。

ここで強調すべきことは以下である。

表 1 床構造フレーム (レベル4) に対応する
チェックリスト

B 10 10.10 床構造フレーム	
チェックリスト	
床を支持する柱	
現場打ちコンクリート	03 30 00 MF*
プレキャスト・コンクリート	03 40 00
レンガ・コンクリートブロック	04 20 00
金属製フレーム	05 10 00
木造枠組	06 11 00
ヘビーティンバー	06 13 00
集成材	06 18 16
構造用プラスチック	06 50 00
床梁	
床トラス	
根太床	
B 10 10.20	床用デッキ・スラブ・被覆材
B 10 10.30	バルコニー床
B 10 10.40	メザニン床
B 10 10.50	斜路
B 10 10.90	床用補足材

*MasterFormat™ のコーディングを示す。

第一に、〈機能〉に〈構造〉概念の一部を〈部位〉として包摂させた functional elements のツリー状の階層構造は、明らかに米国に卓越するモジュラー型の設計思想を示している。また、レベル4以下において多種多様なビルディング・システムの部位分割をツリー状に分類整理することは不可能であるから、レベル4の先は一般構法(在来構法)による部位別の構工法設計解の例をチェックリストとして与え、選択指示できるようにしている。在来構法はすでに述べたようにオープン・モジュラーなアーキテクチャであるから、全体としてオープン・モジュラー型の思想は貫かれている。

第二に、こうしたモジュラー型の思想は、設計プロセスをレベル1から4にいたる functional elements の詳細化ととらえることを可能にし、ひいては発注者要求、設計の要求条件を直接かつ確実に仕様に展開することを可能にしている。物的要素のわかりやすい体裁を装いながら、未決の〈構造〉を排除し、性能仕様のモジュラーな器を規定するこの枠組みから学ぶべきことは多い^{vi}。UniFormatはMasterFormatに、またMasterFormatはASTM等の規格に接続されて、仕様と設計責任の体系化が完結する。表2に、UniFormat、MasterFormatの視点、用途を整理して示す。

表2 UniFormat、MasterFormatの視点、利用フェイズ、用途

	UniFormat	MasterFormat
視点	<ul style="list-style-type: none"> ・ユーザー ・オーナー ・積算士 ・設計者 	<ul style="list-style-type: none"> ・製品製造者 ・サプライヤー ・詳細設計者 ・スペック・ライター ・積算士 ・コントラクター
利用のフェイズ	<ul style="list-style-type: none"> ・設計初期フェイズ ・竣工後 	<ul style="list-style-type: none"> ・詳細設計フェイズ ・施工フェイズ
用途	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクトの概要記述 ・コスト概算 ・全エレメントの性能仕様 (Performance specifications) 	<ul style="list-style-type: none"> ・コスト精算および分析 ・設計解の仕様 (Descriptive specifications) および詳細情報

第三に、このように階層化され、標準化された建築の部分に関する概念は、SD (Schematic Design)、DD (Design Development)、CD (Construction Documents)といった設計フェイズや LOD (Level of Development)等の概念と結び付けられて、設計、積算、施工等にかかわる各種プロフェッショナル間のアクティビティ調整や意思疎通のための標準言語として機能しているということがある。BIMには、このような米国のオープン・モジュラー・アーキテクチャの伝統がスムーズに接続されているのである。

5. BIMの普及はモジュラー化を要請する

以上のように、日本の建築ものづくりのアーキテクチャが〈クローズド・インテグラル〉型であるのに対し、米国のそれは〈オープン・モジュラー〉型である。その特性は、BIMの発想や受容の仕方にも大きく関係している。たしかにBIMが持つ干渉チェックという機能は設計・施工の確実化、効率化に極めて大きな役割を果たす。しかし、日本の社会は、BIMの機能をこのような擦り合わせの機能とみなす傾向が強いと言えないだろうか。すなわち、BIMをクローズド・インテグラル型のアーキテクチャのための道具とみなす傾向である。筆者が言いたいことは、米国生まれのBIMは明らかに〈オープン・モジュラー〉な思想の上に立脚しているということである。生産性向上といった文脈では、オープン化＝標準化＝ルーティンのストリーム・ライン化が果たす役割はきわめて大きい。BIMは、ICT技術が可能にするフロント・ローディングやデザイン・チーム内部の協働によりそれを一層進化させたものという認識が必要である。

標準化を前提としたオープン・モジュラー型のアーキテクチャは、エレメント間のインターフェイスを越えた擦り合わせを許さないため、設計の革新には一定の制約をもたらす。その点では、インテグラル型、すなわち日常的に擦り合わせを行っている日本型の建築ものづくりに利点があると考えられることもできる。また、インテグラル・アーキテクチャが日本の GC とひいては建築生産システム全体に優れた能力と能力構築能力を与え続けてきたことは否めない。にもかかわらず、BIM の普及を一つの契機として、日本の建築はモジュラー型に向かうことを強く要請されていると考えるべき理由がいくつかある。

第一に、成長が終わり縮小市場へと向かう日本において、GC による擦り合わせはかつての合理性を失っている。引き取ったリスクを相殺して余りあるレントはもはや期待できないからである。加えて、長期の好循環がもたらした成功体験の結果として、総じてインテグラル型のものづくり作法を是とする思い込みが蔓延している。特に難しいことを要求しない(モジュラー性の強い)顧客要求にも常にインテグラル型アーキテクチャで応じることは本来あり得ない。それは過剰サービス、過剰設計でしかない。

第二に、成長市場が GC を頂点とするインテグラル型の高効率なサプライ・チェーンを築くことを可能にしたとしても、それは発注者の存在を欠いた不完全なサプライ・チェーンに過ぎなかった。縮小市場に転じた今こそ、発注者のイニシアティブが必要である。言わばデマンド・チェーンといった視点からのサプライ・チェーンの再構築が求められているといつてよい。そのためには、発注者、建築家、

各種コンサルタント、施工者すべての間のコミュニケーションを可能にする〈標準言語〉が必要である。すでに述べたように、そのような〈標準言語〉は、今のところ、オープン・モジュラー・アーキテクチャによってしか可能にはならない。特に重要なことは、〈機能〉的要求を仕様を展開することができる言語的機能である。

第三の理由として、オープンな BIM ライブラリーのための基盤が整備されることにより、インテグラル・アーキテクチャー辺倒の世界が一挙に変革される可能性があることに触れておく。擦り合わせを是とする GC はサブ・コントラクターやサプライヤーにも擦り合わせを要求するくらいがないとは言えない。パラメトリックな情報を含むライブラリーは、設計者が GC を飛び越えて情報にアクセスすることを許す。その結果、オープン・モジュラーなアーキテクチャが GC の存在を除いたかたちで実現し、サプライ・チェーンが直接デマンド側に接続される可能性が生ずるのである。

最後に、オープン・モジュラー・アーキテクチャはオープン・イノベーションを促すということを指摘しておこう。米国の建築ものづくりに代表されるオープン・モジュラー型のアーキテクチャのカルチャーは、有力な BIM ソフトウェアを生み出すとともに、さまざまな ICT の基幹技術とリンクして応用開発を推進することを可能にする。「オープン・アーキテクチャの設計思想にもとづいてグローバルな業界インターフェイスを確立し、ネットワーク外部性を梃子に雪だるま式に独り勝ちの状況に持ち込む〈プラットフォーム盟主企業〉^{vi}」が日本に生まれることは望むべくもないにしても、この動きから取り残されることの損失は計り知れず大きい。

日本の GC は〈施工 BIM〉にもっとも大きな有用性を見出しているようである。〈施工 BIM〉を「生産設計を含む施工段階の BIM」と理解すれば、それはアーキテクチャの〈構造〉部分のみにかかわる擦り合わせということになる。発注者は〈構造〉に主たる関心を持たない。〈機能〉の擦り合わせは発注者のための価値を生み、発注者はその価値に見合う価格を支払う。〈構造〉の擦り合わせは受注者側のコスト低減にもつぱら関係し、その効果が還元されない限り、発注者の関知するところのものではない。そもそも、受注サイド内部で発揮される擦り合わせ型の調整能力は発注者に見えにくく、その効果も説明力を持たないのである。

もう一つ、日本の GC はサプライ・チェーンを統括するジェネラル・コントラクターであると同時に、躯体パッケージのコントラクターを兼ねるという特殊性を持つ。そのことが、躯体パッケージ内部のクローズドな擦り合わせに GC が特別な意味と関心を見出す原因になっていないであろうか。オープン・アーキテクチャの目指すところからすれば、クローズドな擦り合わせは大きな意味も待たないのである。

この先、日本においてもインテグラル型からモジュラー型への転換が図られるとすれば、それは発注者のイニシアティブを抜きにして考えられない。

6. おわりに：〈インテグラル〉と〈モジュラー〉は両立する

以上、モジュラー化の必要性について、筆者の考えを述べてきた。しかし、BIM の普及によってインテグラル・アーキテクチャがモジュラー・アーキテクチャに駆逐されてしまうと述べたわけではない。

今日、コンピュータは、かつては及びもつかない複雑な形状の設計や施工を可能にしつつある。コンピューショナル・デザインやデジタル・ファブリケーションの世界がそれである。これら、既成の概念にすら変更を迫る新しい建築は、もちろんインテグラル・アーキテクチャにはかならない。このとき、オープン・モジュラーなプラットフォーム上で実務はどのように進められているのであろうか。筆者が米国で見聞した限り、次のような進め方が一般的である。すなわち、このような場合、デザインを具現化する知識、技術を持ち合わせた専門家、専門企業が設計の早い段階で招かれ、デザイン・アシスト・サービスを提供する。その過程で構造や材料、その仕様が決定され、BIM のプラットフォーム上に組み込まれるのである。インテグラルな扱いを要しないそれ以外の部分は、オープン・モジュラー・アーキテクチャのルーティンとして効率的に処理されることになる。

すなわち、〈インテグラル〉と〈モジュラー〉は両立する。多かれ少なかれ、必要な部分はインテグラルな取り扱いの効果が最大限に発揮されるようにすること、そうでない部分はオープン・モジュラーな仕組みによって最大限の効率を追求することが重要なのである。日本について言えば、後者の視点が弱いと繰り返しておこう。

-
- i 参考書として次をあげておく。藤本隆宏：『能力構築競争』、中公新書、2003年。藤本隆宏：『ものづくり経営学』、光文社新書、2007年。藤本隆宏・野城智也・安藤正雄・吉田敏編：『建築ものづくり論』、有斐閣、2015年。
- ii 建築でいう構造ではなく、人工物の物的構成をいう。建築の場合、主として構成材がそれにあたるが、部屋などの空間単位を用いて〈構造〉を表現することもある。
- iii 1989年、CSI（米国建設仕様書協会）により制定。以後何回かの改定を経て、現在のものはCSC（カナダ建設仕様書協会）と共同制定。
- iv ものづくり経営学では、製品アーキテクチャを規定する〈機能〉、〈構造〉に第3の軸〈工程〉を加えることがある。建築の場合、〈工程〉は工法と考えてよいから、work resultsは〈構造〉・〈工程〉アーキテクチャに相当する構工法の解であると言える。
- v 同じくCSI、CSCによる仕様書記述のための標準。
- vi ただし、次のことに注意しておく必要がある。米国の建築設計者は設計に際してUniFormatを念頭に置いていない。また、UniFormatは設計の早い段階で概算コストを算出するために用いられるとされるが、設計解を想定せずにかに信頼に足る数量を用いることができるかについては、不明なことも多い。この点に疑問を持つ筆者が、米国で関係者に問い合わせたところ、用途が決まっていればUniFormatの利用が想定されているSD段階でも、おおそ構法解は想定できるということであった。CD段階のフル・スペック作成を主たる業務とするスペック・ライターがSD段階で作成したアウトライン・スペックにも、構法解を具体的に想定した詳細なものがあつた。
- vii 藤本隆宏、現場から見上げる企業戦略論、角川新書、2017年。