

特別企画② 今後の建築技術の展望

木造建築技術の今後の展望 ー混在と融合ー

Hybrid and Integration: Future Prospects for Wooden Building Technologies

小見山 陽介*1

1. 半世紀前に予見された混在と融合

日本建築学会の会誌『建築雑誌』昭和46年12月号所収の論考「木質プレファブ住宅と構造体」において杉山英男は、「現在シロウト的な表現で木造建築と称しているものの種類はきわめて多い」としたうえで、「構法的にも、材料使用面でもたがいに大きな相違がある」それらを総称する言葉として「木質構造」を提唱した¹⁾。そのとき杉山が想像していたのは「混在している各種の構法がやがて融合し」「在来のが国の木造構法とはかなり異種なものが生まれる」ことであった。また杉山は「その母体・主流をなすものはおそらく木質パネル構法ではないか」とも述べている。その後の紆余曲折を経た現在においては、依然として「融合」はなされておらず、木造建築が指すものはますます広がっているようにも思える。一方で、杉山が予見したような〈壁式〉の〈プレファブリケーション〉は、CLT（直交集成板）等の大判パネルを用いたマスティンバー構法として定着しつつあると言えるだろう。本稿では、そうした現代の木造建築における構法的な試みに着目し、それらの現況と展望について「ハイブリッド」「モジュラー」「サーキュラー」の3つの視点から紹介する。

2. 技術の現況・今後の課題・将来展望①：

木と異種材料とのハイブリッド

筆者は昨年9月にミラノに滞在し、現地の木造建築の試みを視察する機会を得た。木造関連産業が発達したスイス・オーストリア・ドイツとも近い北部イタリアでは、それら中欧諸国の企業とも連携しつつ先進的な試みがなされていた。ここにその一部を紹介したい²⁾。

MIND（ミラノ・イノベーション・ディストリクト）は、2015年に開催されたミラノ万博会場跡地の再開発である。その一角を占めるオフィス棟の設計者には英国で木造建築を強力に推進している設計事務所 Waugh Thistleton Architects も含まれ、再開発の公式サイト³⁾ではCLTを使ったDfMA（Design For Manufacture and Assembly、製造容易性および組立容易性を考慮して設計すること）による建設が謳われている。工事現場の仮囲いには、完成後の計画全体のイメージやオフィスの内観と仕様の紹介のほか、2025年までにネットゼロカーボン達成することと建設廃棄物の95%を再利用するとの目標が謳われていた（図-1）。



図-1 MINDの建設現場の仮囲い

公式サイトに記載された説明図では、せい340mmのリブが付いた140mm厚CLTをせい840mmの集成材梁で支えて9mのスパンを飛ばす計画が示されているが、別案として30mm厚の木板にプレキャストコンクリートパネルを合成する方法も検討されているようであった。この別案はPREPANELと呼ばれるプレファブリケー

*1 KOMIYAMA Yosuke：京都大学講師

ションされた木板とコンクリートのハイブリッドパネルで、床スラブとしても屋根スラブとしても使用できる。高い剛性を確保しつつ木製床スラブの美観を維持し、工場生産することで高品質を保证することが謳われている。開発したWOODBETON社は木質部材のプレファブリケーションから現場施工まで多面的な顔を持つ建設会社であり⁴⁾、社名にも現れるように木と異種材料とのハイブリッド化への考え方が興味深い。

また同再開発地域内のMIND ヴィレッジと呼ばれる一角には同じ見た目の低層木造棟が集まって建てられており、テナント型オフィスおよび商業施設として使われていた。それらは新築ではなくミラノ万博で建てられた展示施設の再利用である。なお低層木造棟に入居するカフェ併設のコンビニの入口にはLEED GOLDの銘板が掲げられていた(図-2)。同地域内にはこの低層棟以外にもいくつかの木造建築が建てられている。外壁に木質プレファブ複合パネルが使われているものもあれば⁵⁾、厚み18mmの300×600mm木板を外装にしているものもあった。遊歩道の突き当たりにはミラノ万博で建設されたTree of Life/Albero Della Vita (Marco Balich, 2015)も残されている。鉄骨と木のハイブリッド構造による高さ40mのタワーで、仮設足場の高さを抑えるため樹冠部分は地上で組み立ててジャッキアップされたという⁶⁾(図-3)。

MINDの近くに立つショッピングモールMerlata Bloom Milano (Callison Rtkl, 2023)では、モールの約半分を占める食事エリアのスパン34m高さ15mの大空間を集成材とCLTの架構が支え、巨大さに圧倒される⁷⁾(図-4)。

木材と異種材料、またCLTパネルと木質部材との混合によるハイブリッド構造は、担い手となる企業の裾野を広げつつ日々開発が試みられていることが感じられた。



図-2 万博施設が転用されたMIND ヴィレッジ



図-3 Tree of Life_Albero Della Vita



図-4 Merlata Bloom Milano

3. 技術の現況・今後の課題・将来展望②： モジュラーによる高度な工業化

冒頭の杉山の論考でも登場する木造のmodular構法は、地球環境負荷低減と施工効率の向上の両立という面から、依然として期待を集めている。中でもイギリスは制度整備の面からも積極的にそれを進めてきた⁸⁾。2017年に大ロンドン市の都市計画委員会に提出されたOSM (Off-Site Manufacturing、すなわちプレファブ)に関する提言書『Designed, sealed, delivered』⁹⁾に基づき、英国における工業化住宅再興の背景をまず整理したい。

ロンドンでは年間50,000棟の住宅供給が必要とされるが、実際の充足率はその半分程度。建設労働力の高齢化、建設材料費の高騰などから、従来の方法で目標値にたどり着くのは不可能と考えられている。直近で最もその目標に近付いたのが1970年代初頭であることから、当時隆盛したプレファブやシステム工法を見直そうと提

言書は始まる。第二次世界大戦時に空襲で100万戸以上の住宅を失ったロンドンは、戦後、軍需産業の生産方式を転用し、また工場の空きスペースを活用することで、急速な住宅供給をプレファブにより実現した。その特徴のひとつは、現場の基礎や設備配管工事と同時並行で、住宅ユニットを工場生産することができる点にある。現代ではBIMを活用したデジタルコンストラクションにより「Precision-Manufactured（精度高く製造された）」住宅とも称される。精度高い施工により、環境性能はより高く、施工期間は短く、建設現場は健康的で安全。省エネルギーで地球環境負荷も小さい。軽量で様々な敷地条件に当てはめられることから未利用地の有効利用につながり、製造を現場から工場に移すことで建設産業に女性や若者の参画を促す効果、関連産業による地域経済の活性化も期待されている。

提言書の中でOSMは5つのカテゴリーに分類される。

- 1) Volumetric (Modular)：箱型ユニット。フレキシブル性と標準化のバランスが求められる。
- 2) Panellised：プレファブ化されたパネルを現場で施工。少ない需要でもカスタマイズで対応可能。
- 3) Hybrid：1と2の混合。住宅に加えて学校や公共建築など工期が短い場合に採用されやすい。
- 4) Sub-assemblies & components：従来工法の住宅でも、今や部分的にプレファブ化されている。
- 5) Non-offsite manufactured elements：工場ではなく現場で部材を製造する。

より包括的な概念として近年OSMに変わって使われ始めている言葉がMMC (Modern Methods of Construction、近代的建設手法)である。2019年に英国政府の住宅・コミュニティ・地方自治省のワーキンググループがMMCを定義しており¹⁰⁾、住宅建設を取り巻く技術が次のようにカテゴリー分けされている。

- カテゴリー 1 3次元 (ボリュメトリック、箱型ユニット)
- カテゴリー 2 2次元 (パネライズド、工場組み立てされた複合パネル)
- カテゴリー 3 工法システム化されていない単体の部材 (CLTパネルなど)
- カテゴリー 4 3Dプリント
- カテゴリー 5 水回りやファサードなど非構造部材
- カテゴリー 6 建材合理化による労働量削減や生産性向上 (建材の大型化など)
- カテゴリー 7 施工合理化による労働量削減や生産性・確実性向上 (AR / VR、ドローンなど)

英国ではオフサイト (プレファブ)、オンサイト (現場

施工)に加えて、ニアサイト (現場近くのプロテクトされた作業空間) なる概念もある。カテゴリー1から5までは、オフサイトまたはニアサイトの技術に分類される。カテゴリー6以降はオンサイトの技術である。MMCは必ずしもプレファブ技術だけを言うのではなく、VRやドローンなど現場施工におけるイノベーションも想定されていることがわかる。報道によれば、政府はアフォーダブル住宅 (低所得者層など通常の方法での住宅購入が困難な人々のための住宅。供給量が不足している) の主要な供給パートナーたちに、供給量の25%をMMCとすることを求めている¹¹⁾。



図-5 MMCの促進や住宅産業の工業化を訴えるレポートの表紙

『Designed, sealed, delivered』に先立つ2016年、住宅の工業化を求めるレポート『Modernise or Die』¹²⁾ (Mark Farmer, Cast Consultancy) が発表された。著者の名前から通称「ファーマー・レビュー」と呼ばれ、「住宅危機」解消のため建築業界に根本的な変革を迫るものであった。2020年には同じマーク・ファーマーによる新しいレポート『Build Homes, Build Jobs, Build Innovation. A blueprint for a housing led industrial strategy』¹³⁾ (Mike De'Ath and Mark Farmer, HTA Design and Cast Consultancy) が発表された。年間75,000棟のMMC住宅需要を新たに生むことが、50,000人の雇用、GDPの0.75%増、新築住宅分野でのCO₂排出量40%減につながるとしている¹⁴⁾ (図-6)。

MMC概念の整備に合わせ、オンサイト／オフサイト比率を示す指標としてPMV (Pre-Manufactured Value) が提唱された。いくつかの定義があるが、代表的な計算式は「PMV (%) = (建設費 - 諸経費 - 現場人件費) ÷ 建設費 × 100」である¹⁵⁾。伝統的な工法の場合は40%程度で、ボリュメトリック (MMC カテゴリー1) の場合は70%超とされる¹⁶⁾。PMV向上を住宅供給に対する



図-6 Tophat社の木造モジュラー構法による住宅地開発

公的資金援助の条件とすべきとの提案もある一方で¹⁷⁾、PMVは「高い」「低い」程度の定性的なものとして考えるべきという意見もある¹⁸⁾。提唱者であるマーク・ファーマー自身は、PMV50%以上を目指すべきと提言しており¹⁹⁾、より高いPMVを得ることが、建物の品質・安全性・性能の向上に寄与すると考えているようだ²⁰⁾。PMVを上げるためには、住宅供給者たちの垂直統合²¹⁾や水平連携²²⁾、新しいデータ共有基準²³⁾が必要との声もある。



図-7 MMCの推進と英国が抱える社会問題の解決とを結びつけるレポートの表紙

2021年2月にはレポート『Skills for a Green Recovery – A call to action for the UK construction sector』(the Institute for Public Policy Research) が発表され、今後15年間のうちに750,000人の建設労働者が引退し、30歳未満の建設労働者は全体の20%にまで落ち込むと予測した²⁴⁾。それを受けて業界からは、2050年までのネットゼロカーボン目標は、技術者教育とMMCの推進がなければ実現できなくなるとの警鐘も鳴らされている²⁵⁾。政府が2021年3月に発表した翌年度予算案の中で、MMCを使った建設を加速させるためのタスクフォースが組織されたことも報道されている²⁶⁾。タスク

フォースには1,000万ポンド(約15億円)の活動スタート資金が割り当てられ、英国でMMC住宅の提供を加速させるために政府と業界から世界をリードする専門家たちを結集し、MMCの採用を最短距離で進めていくという。MMCに必要な工場整備のハードルを下げるため、大幅な減税も合わせて発表された。これらは2019年にマーク・ファーマーが責任者に任命された工場生産住宅振興政策の一環であり、これまでも何百万ポンドもの公的資金が投入された²⁷⁾。

最後に、英国における近年の報道からMMC住宅の最新動向の一端を紹介したい。

記事「Cast and KOPE launch MMC knowledge-sharing platform」²⁸⁾は、CAST(マーク・ファーマー氏)とKOPE(ソフトウェア会社)が共同で、MMCに関する情報プラットフォーム(<https://mmc.market/suppliers>)を立ち上げたことを伝えている。各カテゴリーごとにMMCを提供できるメーカー252社などをリスト化し、どんなレベルの技術を持っているかがわかるようになっているという。

記事「Housing association closes modular factories」²⁹⁾は、ボリュメトリックに積極的に取り組んできたアフォーダブル住宅供給会社であるSwanがモジュラー住宅工場を閉鎖するとの報道である。Swan自体も他のハウジングアソシエーションに子会社化されるという。同社のCEOによれば、工場は赤字であり、経済的な理由からモジュラー工法で住宅建設を続けていくことができなくなったとのこと。記事では対照的に同業他社のL&Gがモジュラー住宅の供給を加速させていることが伝えられており、同社のCEOによれば「住宅需要は依然として収まることはなく、生活費と光熱費の高騰によって、アフォーダブルで省エネルギーな住宅が求められている」という(図-8)。



図-8 Swan社の木造モジュラー構法による住宅地開発

記事「Modular specialist secures £100m funding

to scale up」³⁰⁾は、Ilke Homesが1億ポンドの追加融資を得て、年間4000戸の生産能力を目指してモジュラー住宅工場を拡充すると伝えている。同社のCEOによれば「ネットゼロ達成へ向かう競争において、今後数年間が重要」とのこと。またエネルギー会社と合併し「光熱費を払わなくて良い住宅」の供給を計画しているとのことである。

住宅危機の解消、地球環境負荷低減への国際協調、CLT等新興木造技術の勃興。それぞれは別個の動きだが、それらが重なり合うところにいまの英国の工業化住宅再興の背景がある。さらにはGrenfell Tower火災による防耐火規制強化、Planning制度の抜本的改革（一定条件のもと一部地域では自動的に建設許可）、新型コロナ禍による住宅要求性能の向上など、住宅生産をめぐる英国の社会問題をも引き受けながら、木造の工業化住宅再興がこれからどう展開していくのか、引き続き注目したい。

4. 技術の現況・今後の課題・将来展望③：

サーキュラー・コンストラクション

これまで筆者はいくつかの媒体で連載・特集記事に携わり、世界の木造建築動向を取材する機会を得た。そうしたなかで、世界各地において状況は違えども、木造建築プロジェクトのスローガンとして提示されるダイアグラムの多くが「円環状」であることに気が付いた³¹⁾（図-9）。環状のダイアグラムは、建設分野からの持続可能な循環型社会への寄与を示す。しかしこの単純化された図式は、わかりやすさと引き換えに木造建築をめぐる物語を単一化しているようにも思える。ともすると建築プロジェクトの免罪符であると同時に木造建築の在り方を自縄自縛してはいないか。これは「サークル・オブセッションズ（閉じた環への強迫観念）」とも呼べる世界的現象にさえ感じられる。そうした中でも、木造建築に関しては概念だけでなく実行的な方法論を模索している試みも存在する。Maestro Technologies (Carlo Rattiら)によるプロジェクトAI Timber (2023)は、丸太から挽いた板材を3Dスキャンし、直方体形に加工することなくそのままの形状で組み合わせて集成し、歩留りの高いCLTをつくる技術である^{32) 33) 34)}。イギリスのUCLでは、中古の木材を直交集成してCLTを製造するcross-laminated secondary timber (CLST)の研究もなされている^{35) 36)}。

続いて本項では「資源貯蔵庫としての建築 (BAMB, Building as Material Banks)」の概念を紹介したい³⁷⁾。BAMBは2014年から2020年にかけて実施された欧州

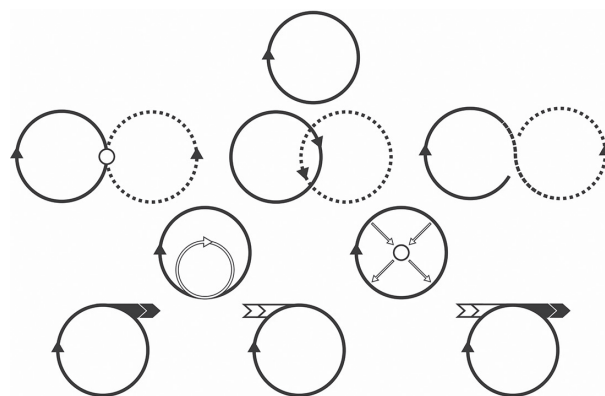


図-9 木造建築をめぐる環状ダイアグラムの収集

連合の研究助成プログラム「ホライゾン2020」³⁸⁾の採択事業として、欧州連合が出資した国際研究プロジェクトである。建設産業に循環型の解決をもたらすシステム変更を起こすことを目的とし、7カ国から15団体が参加した³⁹⁾。

レンガ、ボード材、木片、ガラス…、建物の構成要素全ては元々価値を持っているにもかかわらず、多くの場合それらは解体や改修後に廃棄され、価値を生むどころか廃棄費用の負担を迫るとBAMBは問題提起する。EU圏内における2015年時点の統計で、建設部門は総廃棄物量の38%を占め、CO₂排出量は総量の40%に達し、資源の50%を消費している⁴⁰⁾。建築の終わり方 (end-of-life) に対し一つのシナリオを定めて設計するこれまでの直線的アプローチではなく、建築が複数の生を保証された設計手法がBAMBでは模索された。すなわち、解体や変形による建物自体または材料レベルでの再利用である。



図-10 リバーシブル・デザインの理論と実践を解説しているレポートの表紙

建築部材が解体後にも価値を有していることが材料の再利用を促進するという観点から、BAMBでは「材料の旅券 (Material Passport)」と「反転可能デザイン (Reversible Design)」の2つのコンセプトが開発された。材料の旅券は、建築に使用される材料のバリューチェーンの履歴と、その材料のより適切なリサイクル等の方法をデータベース化することで、ユーザーが材料の利用を最適化できるようサポートすることが目的である⁴¹⁾。

反転可能デザインは、効果的に材料を再利用することを念頭に置いたデザイン手法と手続きの提案である⁴²⁾。反転可能デザインの鍵となる2つの要素は、「空間的反転可能性 (spatial reversibility)」と「技術的反転可能性 (technical reversibility)」である。それぞれをテーマとして、2016年と2017年にはEU圏内の7大学で合同デザインスタジオが実行された⁴³⁾。

このうち技術的反転可能性は、建築部品の「独立性 (independency)」と「交換性 (exchangeability)」という2つの性質に現れるが、いずれも解体可能なデザイン (Design for disassembly) といえることができる。(再利用できない) 廃棄物を生むことはデザイン上の欠陥であるとBAMBは断罪する⁴⁴⁾。

解体廃棄物の発生はデザイン上の欠陥であるとの価値観は、製品を構成する材料や部品に、解体時に別の利用可能な製品に再生可能であることを求める。これは、長期的視野に立った持続可能戦略として自動車など工業デザイン業界ではすでに試みられてきたことである。「反転可能性 (Reversibility)」とは、建築を変形させるプロセス、または建物自体／部分／部材へ損壊を与えずにそのシステム／製品／部品を取り外すプロセス、と定義されている⁴⁵⁾。

物理的に一つの部品で複数の機能が発揮されている状態は、これまで統合化・高度化として好ましく捉えられていたが、BAMBではリスクとなる。それら統合された機能のうち1つでも取り替える必要が生じた際に、他の機能を満足しているにも関わらずその部品自体を破壊する必要が生じるからである。すなわち、機能的な複合性・相互依存性が問題となり、独立性がむしろ大事なのだ。異なる機能、異なる耐用年数をもった部品を相互に独立に配置することが優先され、2つ以上の機能をひとつの部品に統合することは、変化を阻害しうるため避けられる。機能的自律性、すなわち同じ系の中他の部品に影響を与えない (without effecting other elements of the system) ことが求められる⁴⁶⁾。

しかし現実には、より多くの手間が解体にかかってし

まう場合は、分解よりも破壊が選択されてしまう。特に解体現場で多くの手数がかかってしまう場合は経済的理由から再利用は採用されづらい。また、パイロットプロジェクトを経験した設計者のインタビュー映像からも伺えるように、室内環境向上のために付加される気密テープや防水シートなど部品と部品の隙間を埋める材料は、再利用することはかなり難しい。そのため、どの段階の分解までを意図するかが重要となる⁴⁷⁾。

伝統的に建築は、材料が複雑な関係性で結び付けられたものとして特徴づけられてきた。ひとつの統合的 (相互依存的) 構造体に、すべての建築部品を最大限統合することが目指されてきたのである。

しかし反転可能デザインにおいてはそうではない。部品同士は相互に貫入することなく離して配置され、乾式で接合されていることが求められ、究極的には重力によってのみ接合されている状態が理想とさえ提唱される⁴⁸⁾。

英国の国家規格 (British Standard) では、Disassemblyは「組み立てられた製品を、破壊的ではない方法で、それを構成する材料・部品に分解すること」と定義されているという。具体的には、より分ける、除去する、加える、移動させる、取り換える、といった操作を破壊を伴わずに行うことを意味し、破壊し廃棄物を生み出す Demolition とは明確に言い分けられている⁴⁹⁾。

リバーシブルとは、付加的なプロセスを想定するのではなく、assembly と disassembly のあいだでフローを逆回転すれば良いという考え方である。動的で反転可能な構造体。建物を完成した静的なものとしてみるのではなく、時間と共に変化していくものとしてとらえる視点だ。

「建築の終わり方」のデザインは、伝統的には建築デザインの範疇とはみなされてこなかった。建築は組み立てられるためにデザインされるのであり、部品へと解体し再生するためにデザインされてはいなかった。むしろ逆に、変更や解体が容易ではない、ひとつの完結した相互依存性の高い構造体へと統合されることが良しとされてきたのである。しかし建築は、耐用年数の異なる何千もの部品から成り、その技術的な耐用年数は10年から500年まで様々である。ゆえに耐久性は、その材料自身よりも、それがいかに組み合わせられるかによって決まってきたのだ、とGTBlabの創設者Elma Durmisevic (オランダ・トゥウェンテ大学/4D architects) は訴える⁵⁰⁾。

5. おわりに

以上、現代木造建築の現況と展望について「ハイブ

リッド」「モジュラー」「サーキュラー」の3つの視点から紹介した。半世紀前に杉山が予見した木造建築における混在と融合は、様々な主体の参画による木造建築のますますの混在と、構造技術に留まらない様々な領域との融合的発展として、捉え直すことが可能であろう。有限な資源の有効活用や都市化による人口集中への対策といった社会問題に対応しつつ、木造建築の技術は今後もさらなる発展が続くに違いない。

【参考文献】

- 1) 杉山英男：木質プレファブ住宅と構造体（主集 構造体とプレファブリケーション），建築雑誌，Vol.1045，pp.1033-1038，1971.
- 2) 本節の記述は筆者の視察記とも連動している。現地で撮影した写真や図面等は下記リンク先を参照いただきたい。<https://posfie.com/@yosukekomiyama/p/mAQXnZE>（2025年3月5日閲覧）
- 3) <https://www.mindwestgate.it/>（2025年3月5日閲覧）
- 4) <https://woodbeton.it/en/the-group/>（2025年3月5日閲覧）
- 5) https://www.youtube.com/watch?si=1kKLpfOqs2ihnp_j&v=9fKAVY2BIGk&feature=youtu.be（2025年3月5日閲覧）
- 6) <https://woodbeton.it/en/works/albero-della-vita/>（2025年3月5日閲覧）
- 7) <https://www.rubner.com/en/references/timber-construction/merlata-bloom-milano/>（2025年3月5日閲覧）
- 8) 本節の記述は日本建築学会『建築雑誌』2021年6月号特集「建築生産をアップデートする」所収の論考「英国における工業化住宅再興の背景」を改題し加筆したものである。
- 9) London Assembly, Planning Committee: Designed, sealed, delivered : The contribution of offsite manufactured homes to solving London's housing crisis, 2017 <https://www.london.gov.uk/about-us/london-assembly/london-assembly-publications/designed-sealed-delivered-offsite-manufactured-homes>（2025年3月5日閲覧）
- 10) <https://www.gov.uk/government/publications/modern-methods-of-construction-working-group-developing-a-definition-framework>（2025年3月5日閲覧）
- 11) <https://www.housingtoday.co.uk/news/a-quarter-of-affordable-homes-must-be-mmc/5107883.article>（2025年3月5日閲覧）
- 12) <http://www.cast-consultancy.com/news-casts/farmer-review-uk-construction-labour-model-3/>（2025年3月5日閲覧）
- 13) <https://thinkhouse.org.uk/site/assets/files/2225/farmer0920.pdf>（2025年3月5日閲覧）
- 14) <https://www.bdonline.co.uk/news/build-75000-modular-homes-a-year-hta-report-tells-government/5108044.article>（2025年3月5日閲覧）
- 15) <https://www.construction.cam.ac.uk/resources/featured-articles/methodology-quantifying-benefits-offsite-construction>（2025年3月5日閲覧）
- 16) <https://thinkhouse.org.uk/site/assets/files/2225/farmer0920.pdf>（2025年3月5日閲覧）
- 17) <https://governance.wmca.org.uk/documents/s4556/AMC%20Routemap%20Appendix%201.pdf>（2025年3月5日閲覧）
- 18) <https://www.construction.cam.ac.uk/resources/featured-articles/methodology-quantifying-benefits-offsite-construction>（2025年3月5日閲覧）
- 19) <https://constructingexcellence.org.uk/wp-content/uploads/2018/12/Mark-Farmer.pdf>（2025年3月5日時点でリンク切れ）
- 20) <https://constructioninnovationhub.org.uk/construction-sector-recovery-needs-a-transformed-delivery-approach-to-assure-safety-and-quality/>（2025年3月5日時点でリンク切れ）
- 21) <https://www.aecmag.com/comment-mainmenu-36/1916-the-panacea-of-offsite-construction-and-dfma-what-legal-risks>（2025年3月5日閲覧）
- 22) <https://www.ribaj.com/intelligence/mass-customisation-housing-variety-in-mmc-homes>（2025年3月5日閲覧）
- 23) <https://www.burohappold.com/news/new-aec-industry-standard-for-data-sharing-nears-completion/>（2025年3月5日閲覧）
- 24) <https://www.ippr.org/research/publications/skills-for-a-green-recovery>（2025年3月5日閲覧）
- 25) <https://www.bdcmagazine.com/2021/03/jobs-employment/training-skills-learning/think-tanks-construction-skills-gap-report-highlights-need-for-more-mmc-says-actis/>（2025年3月5日閲覧）
- 26) <https://www.building.co.uk/taskforce-to-boost-construction-using-mmc/5110732.article>（2025年3月5日閲覧）
- 27) <https://www.insidehousing.co.uk/news/news/government-to-launch-taskforce-to-accelerate-delivery-of-mmc-housing-69856>（2025年3月5日閲覧）
- 28) <https://www.bimplus.co.uk/cast-launches-mmc-knowledge-sharing-platform/>（2025年3月5日閲覧）
- 29) <https://www.constructionnews.co.uk/tech/offsite-mmc/housing-association-closes-modular-factories-05-12-2022/>（2025年3月5日閲覧）
- 30) <https://www.constructionnews.co.uk/tech/offsite-mmc/modular-specialist-secures-100m-funding-to-scale-up-06-12-2022/>（2025年3月5日閲覧）
- 31) 本節の記述は日本建築学会『建築討論』2019年6月号特集「木造建築のサークル・オブセッションズを超えて」所収の特集趣旨文を改題し加筆したものである。<https://medium.com/kenchikutouron/033-201906-特集-木造建築のサークル-オブセッションズを超えて-f96adb4a2106>（2025年3月5日閲覧）
- 32) <https://carlorattiasociati.com/project/ai-timber/>

(2025年3月5日閲覧)

- 33) <https://www.youtube.com/watch?v=QXvyoZpvoGs>
(2025年3月5日閲覧)
- 34) <https://woodcentral.com.au/more-timber-less-steel-ais-role-in-grand-designs-of-the-future/> (2025年3月5日閲覧)
- 35) <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10061947/> (2025年3月5日閲覧)
- 36) <https://www.ribaj.com/products/structural-timber-prototype-uses-waste-from-demolition-ucl-circular-economy> (2025年3月5日閲覧)
- 37) 以降の記述は日本建築学会『建築討論』2020年5月号特集「築と分解 ― 終わり方から考える建築デザイン」所収の小見山陽介：ばらす建築：資源貯蔵庫としての建築と資材性を改題し加筆したものである。写真や図版等は下記リンク先の元記事を参照いただきたい。
<https://medium.com/kenchikutouron/ばらす建築-資源貯蔵庫としての建築と資材性-249fde55eb5f> (2025年3月5日閲覧)
- 38) EU公式サイトでは、「[ホライゾン2020]とは、複数のパートナーによる研究・イノベーションプロジェクトを助成する欧州連合の枠組み」であり、「産業と学術研究を結びつけることを狙い」に、「世界で最大かつ最もオープンな研究助成プログラム」と説明されている。
https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/hi/h2020_intro_en_jp.pdf (2025年3月5日閲覧)
- 39) BAMBプロジェクトの公式サイトから「About Bamb」より <https://www.bamb2020.eu/about-bamb/> (2025年3月5日閲覧)
- 40) Durmisevic, E.: Circular economy in construction design strategies for reversible buildings (以降、Strategiesと略記), p.9. (2019).
- 41) 後藤 豊 (2019) <https://link.medium.com/VORIEBf0Q5> (2025年3月5日閲覧)
- 42) BAMBプロジェクトの公式サイトから「Reversible building design」より <https://www.bamb2020.eu/toxpics/reversible-building-design/> (2025年3月5日閲覧)
- 43) Durmisevic, E. (2019). Exploration for reversible buildings, p.5.
- 44) Durmisevic, E. (2019). Strategies, p.18.
- 45) 'Reversibility' is defined as a process of transforming buildings or dismantling its systems, products and elements without causing damage to building and its parts and materials. Durmisevic, E. (2019). Exploration, p.5
- 46) Durmisevic, E. (2019). Strategies, p.57.
- 47) Durmisevic, E. (2019). Strategies, p.59.
- 48) Durmisevic, E. (2019). Strategies, p.69.
- 49) Durmisevic, E. (2019). Strategies, p.13.
- 50) Durmisevic, E. (2019). Strategies, pp.13-15.

【執筆者】



*1 小見山 陽介
(KOMIYAMA Yosuke)