

建設業界全体で 持続可能な成果を 推進するために

建築設計者・エンジニア・施工業者が
持続可能性の取り組みを通じて
新たなビジネスチャンスを創出する方法

建設業界全体で 持続可能な成果を推進するために



二酸化炭素排出にかかるコストは今後さらに上昇します。何もアクションを起こさない企業の製品やサービスに対する需要は減っていくでしょう。そして利益率が低下し、今の利益の最大 50 パーセントがリスクにさらされることになるでしょう。”

Yvonne Ruf 氏

Roland Berger 社 パートナー兼監督委員会メンバー

現在、持続可能性に関する共通目標の多くは、「ネット ゼロ」の達成を通じて気候変動への影響を最小限に抑えることにフォーカスしています。ネット ゼロとは、人為的に発生する温室効果ガス (GHG) の排出量を可能な限り削減するとともに、排出量と同量の温室効果ガスを大気中から除去することで、温室効果ガス排出量を正味ゼロ (= ネットゼロ) にすることです。

ネット ゼロは、今や企業にとっての最重要課題であり、消費者の意識に第一に上るキーワードであり、世界中の法律規制や政府予算に共通するテーマとなっています。温室効果ガスの 1 つである二酸化炭素 (CO₂) の排出量に最も大きな影響を与えているのは、建設業界とその顧客です。全世界の原材料使用量の 50%、最終的なエネルギー使用量の 36% を、建設業界が占めています。¹ こうした事実から、建設業界は他の業界よりも、二酸化炭素排出量を削減しなければならないというプレッシャーを感じています。

各国政府は、温室効果ガス「ネット ゼロ」への移行を推進しています。現在、温室効果ガスの排出量が最も多い中国、米国、欧州連合を含む 70 カ国以上がネット ゼロの目標を設定し、世界の排出量の 76% がその対象となっています。² 世界各国が「欧州グリーンディール」、「シンガポール グリーン プラン」などのさまざまな取り組みや資金提供の手法を取り入れるとともに、新たな規制も導入しています。ヨーロッパでは EU が法的規制を課しており、年々厳しくなりつつあります。米国では、建物エネルギーに関する新たな規則³が施行されました。これにより、米国の建設業界による気候変動への影響を低減し、二酸化炭素排出量を 9 億トン削減することを目指しています。

ビジネスにおいては、現在、ほとんどの大企業が、国連の掲げる「持続可能な開発目標」(SDGs) に対応するためのビジネス戦略を策定し、クロスチェックを行っています。

そして二酸化炭素排出量の削減が、そこでの中心的な目標となっています。また、この取り組みから生まれた環境・社会・ガバナンス (ESG) ポリシーが、投資の意思決定を推進しています。国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会議 (COP26) では、総資産額 130 兆米ドルを超える世界最大手の銀行や年金基金が 450 社以上参加し、温室効果ガス排出量の抑制に取り組む意思を表明しました。⁴

ESG の取り組みに対して懐疑的な意見も一部の企業から上がりました。これについて、コンサルタントを手がける Roland Berger 社は次のように述べています。「二酸化炭素排出にかかるコストは今後さらに上昇します。何もアクションを起こさない企業の製品やサービスに対する需要は減っていくでしょう。そして利益率が低下し、今の利益の最大 50 パーセントがリスクにさらされることになるでしょう」⁵

この eBook では、建設業界がより持続可能な成果を達成するための推進要因や、現在欠けていること、潜在的な機会を特定しています。そしてレジリエント、サステナブルかつ公正な建設環境を構築することを最終的な目標としています。

私たちは、規制の罰則ばかりに気を取られるべきではありません。その先に目を向け、持続可能性の取り組みによって業界にもたらされる価値を考えれば、わくわくするようなビジョンが開けるでしょう。他にはないオリジナル自社製品の実現、ワークフローの効率化、利益率の向上といった素晴らしい価値ももたらされます。持続可能性の取り組みは、これまでの「代償」であると同時に「機会」でもあると、オートデスクは信じています。

ニコラ・マンゴン

Autodesk AEC インダストリー ストラテジー
バイス プレジデント

1. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221005623
2. www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition
3. www.energy.gov/articles/secretary-granholm-announces-new-building-energy-codes-save-consumers-money-reduce-impacts
4. www.theguardian.com/environment/2021/nov/03/worlds-biggest-banks-to-play-a-role-in-limiting-greenhouse-gas-emissions
5. www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Climate-action-A-new-competitiveness-paradigm.html

目次

- 4 第1章
ネット ゼロのその先へ
- 5 第2章
リニア エコノミーからサーキュラー エコノミーへの移行
- 15 第3章
建設業界と地球の両方にもたらされるメリット



第1章

ネット ゼロのその先へ

建築物の排出する二酸化炭素には2種類あります。建物を構成する材料に含まれる「エンボディド カーボン」と、建物の運用によって日々排出される「オペレーショナル カーボン」です。

オペレーショナル カーボンは、建物の空調施設や照明などの電力の消費から発生する二酸化炭素です。エンボディド カーボンには、資源の採掘から精製、製造、物流に至るまでのサプライチェーン全体で発生する二酸化炭素の総排出量が含まれます。エンボディド カーボンは、建物の寿命全体における二酸化炭素排出量の最大70%を占め、さらにその半分以上が建物への入居前に生じるとわれています。750人用のオフィスは、1万トンのエンボディド カーボンを排出する可能性があります。これは、車で3,000万マイル(約4,800万キロ)を走行する場合の排出量とほぼ同じです。⁶

建設業界は過去20年間にわたり、建物の運用に伴う二酸化炭素排出についての理解を深め、対応し、策を講じながら、大きな前進を遂げてきました。トータルカーボンマネジメント(TCM)とは、建物のオペレーショナル カーボンとエンボディドカーボンの総量を測定し、最小限に抑えるための信頼性の高い手法です。

これを実践すれば、ネット ゼロという目標のさらに上を行き、建物のライフサイクル全体にわたって排出される温室効果ガスを上回る量を削減するような建物造ることだって不可能ではありません(後述の再生可能エネルギーと炭素隔離を参照してください)。

ただし、これは建設業界においてはまだ比較的新しい指針です。Sweco Sweden 社サステナビリティ部門の前責任者であり、現在はリサーチ会社の Frost and Sullivan 社に務める Mattias Goldmann 氏は、建設業界がこの取り組みで成果を達成するためには、まだまだ長い道のりを進む必要があると話します。「私たちはまだ、建設に必要な材料を正確に算出することができないため、とにかく建材を追加して建物を補強するという最も簡単で誰もが安心できる方法を取っています。必要な材料をきちんと算出できないために、非常に大量の材料を無駄にしているのです」



“私たちの持続可能性の取り組みによる影響は、自社のビジネスだけでなく、サプライチェーン全体へと波及します。私たちは厳格な要件のリストを作成し、依頼先の施工業者や彼らの提携業者にも、徹底的に従うように依頼しました。そして彼らの報告をそのまま信じるのではなく、現場で自ら監査し、粘り強く進捗状況を追跡しています。”

Nils Rage 氏

Landsec 社 サステナブル デザイン・イノベーション
マネージャー

6. www.theconversation.com/we-have-reusable-cups-bags-and-bottles-so-why-are-our-buildings-still-single-use-171345

取り組み の目標



この世界的な取り組みに参加しましょう。世界の大手企業の上位2,000社のうち21%は、すでにネット ゼロのポリシーを掲げています。残り79%の企業はまだネット ゼロに取り組んでいません。さらにこれらの上位2,000社以外の企業では、ネット ゼロに取り組んでいない企業の割合はもっと高くなるでしょう。では、貴社はどうですか？

政府の規制に従う形でも、自主規制でも構いません。建設業界が二酸化炭素排出量の削減に大きく貢献できれば、世界的な変革のきっかけとなるでしょう。そのための最初の一步は、持続可能性を実現するための道筋を定義することから始まります。持続可能な建設業の実現に向けた自社の戦略を、世界をリードする先駆者的な企業と比較して評価できるベンチマークツールを、オートデスクは提供しています。このツールによって得られるインサイトを活用して、既存のポリシーを審査し、循環型モデルに基づいたビジネス モデルのイノベーションを評価し、関連する重要業績評価指標 (KPI) を設定できます。

オペレーショナル カーボンの削減

現場の解析と最適化

世界中の住宅需要を満たすためには、特に中国、アフリカ、および南半球を中心に、2050 年まで毎日平均 13,000 棟の建物を建設する必要があります。⁷ この需要に追いつくために、世界中の都市は、かつてないほどの高速スピードで建設を進め、高層化・高密度化していく必要があります。それと同時に人々に質の高い生活を提供し、真に持続可能な都市環境を構築することも重要です。

建築設計者やエンジニアはデジタル ツールを取り入れることで、設計の初期段階から、スマートかつ持続可能な道を選択することが可能になります。また、ジェネレーティブ デザインや建設シミュレーションのテクノロジーを活用すれば、さまざまなパラメーターを入力するだけで最適かつ施工可能な設計案を生成し、現場の詳細なレイアウトを作成することができます。建築設計者や都市計画者、デベロッパーは、こうしたソリューションを活用することで、日照、騒音、景観、風、雨水などのあらゆる要素が考慮された最適な設計案を、簡単かつ迅速に導き出すことが可能になります。

また、初期段階から現場解析を行うことで、都市のヒートアイランド現象を緩和することもできます。ヒートアイランド現象における問題の 1 つは、都市が高温化することで熱波が発生し、熱波によって都市が高温化するという現象が繰り返されてしまうことです。そこで設計上の重要な意思決定を下す前に、建築設計者やデベロッパーはテクノロジーを活用して、屋外空間の熱の快適性評価を行い、問題のある地域を検出し、シミュレーションによって理想的なソリューションを導き出し、効率的かつ持続可能な設計へと変更することが可能になります。

人々が快適に過ごし、生活の質を高めることができる都市や空間を生み出すためには、さまざまな要因を考慮する必要があります。例えば、魅力的なカフェや活気ある歩道などもそうした要因の一部です。「そこには、騒音、風、微気候など、数多くの目に見えない要素があります」⁸ と、オランダのロッテルダムに拠点を置く Mei architects and planners 社のアーバン プランニング責任者の Rob Grim 氏は話します。「音の影響を人々に示すのは難しいですが、これは新しい地区を設計する際に検討すべき非常に重要な要素です。例えば、駅の隣に住む人々は、交通の便が良いだけでなく、夜間によく眠れることも望みます。建築設計者や都市計画者は、建設プロジェクトの初期段階に現場分析ツールを使用することで、こうした要因を可視化し、検討することができます。



Mei architects and planners が設計した「SAWA」は、「オランダで最も健全な建物」と呼ばれる、ロッテルダム初の木造高層住宅だ。クロス ラミネイティド ティンバー (CLT) という工法が広範に適用されている。画像提供: Mei architects and planners

初期段階にエネルギー解析を実施

建築設計チームとエンジニアリングチームは、テクノロジーを駆使することで、建物のエネルギー消費量を調整することもできます。エネルギー解析ツールを使用すれば、プロジェクトにおける概念設計から竣工後の引き渡しまでのどの時点でも、設計した建物のエネルギー予測使用量をモデル化できます。

このモデルでエネルギーの予測使用量や運用コストなどのKPIをリアルタイムに可視化し、効果的にフィードバックして反映させていくことができます。例えば、建物設計における窓と壁の大きさの比率は、建物に入る日射量に大きな影響を与えます。簡単な例を上げると、温暖な気候の地域に全面コンクリートで小さな窓が1つしかない、高い断熱性を備えた2階建ての建物がある場合、大量の熱が入ることはないものの、人工照明が必要になります。逆に、同じような温暖な気候の地域に、ほぼ全面がガラス張りの2階建ての建物がある場合、(まさに温室のように)すぐに高温化するため、室内を快適な温度に保つためには強力な空調が必要ですが、照明は不要です。

このように、建物の設計全体における窓と壁の比率(およびその他さまざまなパラメーター)の増減がエネルギーにどのような影響を及ぼすかを理解することで、エネルギー使用量(およびコスト)の要件を満たすように設計を変更できます。つまり、情報に基づいた意思決定を行うことが可能になるのです。



中国、解放南路の地域文化スポーツ センター

中国に拠点を置く天津市建築設計院 (Tianjin Architecture Design Institute) のチームは、解放南路 (Jie Fang Nan Lu) 地域文化スポーツ センターの建設プロジェクトで、この地域の気候や地理的位置、機能性に適した建物を設計することを目指しました。革新的な機械・電気・配管システムを取り入れることで、開発による環境への影響を抑え、エネルギー消費量を削減することを目指したのです。⁹

チームはまず、4つの異なる設計を比較検討しました。採光、風、熱、地形などのさまざまな要素を評価した上で、太陽光や地熱などの再生可能エネルギーを活用した理想的な設計を採用しました。プロジェクトでは全関係者が、各専門分野の解析データが含まれる最新状態のモデルにリアルタイムで直接アクセスできました。

設計チームは、シミュレーションや解析を行いながら設計を改善しました。そして現場のシミュレーションや光の解析に基づき、気候に対応した設計を導き出しました。また、室内の機能や照明を解析して窓の開口部を最適化し、遮光と採光の均一性を考慮して窓の高さを決定しました。こうして窓と壁の比率を計算して最適化することで、エネルギー消費量を削減することができました。チームは、建物の外側を吹く風のシミュレーションを行いながら微気候を生み出す吹き抜け空間を作り、建物の外側から取り入れた空気での他の部屋の温度が調節されるように設計しました。そして太陽光発電のデータを活用して 15 度に傾斜した屋根の詳細な解析モデルを作成するとともに、現地の気候条件を基に毎月出力される電力の 1 年間の合計量を算出しました。



画像提供: 天津市建築設計院 BIM Design Centre

再生可能エネルギーと炭素隔離

建物が、太陽光発電などの再生可能エネルギーを活用して必要なエネルギーを通年にわたり自給自足できる機能を備えることは、ネット ゼロを達成し、さらにその先に進むための方法の1つです。太陽光発電やオンサイト エネルギー貯蔵システムが従来よりも安価で入手できるようになった今、ネット ゼロ目標を超える建物を実現できる可能性は高まっています。

建物の太陽光発電の潜在能力は、地理的条件や気候、屋根の大きさや勾配、周囲の建物による遮光など、さまざまな要素の影響を受けます。設計について情報に基づいた意思決定を行うためには、こうした影響について理解することが重要です。

設計者は、予測分析の機能を活用することで、各設計案における太陽光発電の潜在能力を可視化できます。そしてさまざまな設計変更(建物の方向、大きさ、高さの勾配など)による日射負荷への影響を理解できるほか、太陽光発電パネルによるエネルギー生成の潜在能力を理解することができます(前述の **解放南路 地域文化スポーツ センター**を参照してください)。

新しい材料を採用することで、二酸化炭素の総排出量を大幅に削減することもできます。従来のレンガの1立法メートルあたりのエンボディド カーボン⁷は 357kg ですが、同じ体積のコンクリートのエンボディド カーボンは約 3,507kg で、レンガの約 10 倍になります。一方、麻と石灰の混合物であるヘンプクリートの1立法メートルあたりのエンボディド カーボンは -108kg¹⁰ で、マイナスの排出量となります。これは、麻をヘンプクリートに加工する際に排出される二酸化炭素よりも、麻が成長する過程で吸収(または隔離)される二酸化炭素の方が多いためです。

この炭素隔離とエンボディド カーボン削減の原理は、人工木材のクロス ラミネイティド ティンバー (CLT) など、ヘンプクリート以外にも数多くの材料で実現します。CLT は、成長過程で吸収した二酸化炭素を封じ込める特性を持つため、CLT のエンボディド カーボンは非常に少量です。一例として、米国テキサス州オースティンのダウントウンにある建築事務所 Lake|Flato Architects 社が手掛けたホテル マグダレナ¹¹ は、



ホテル マグダレナ (画像提供: Casey Dunn 氏)

北米初のマスティンバーを取り入れたブティック ホテルです。マスティンバーの構造システムに切り替えたことで、38% ~ 58% のエンボディド カーボンを削減できました(削減率は、コンクリートや鉄骨の代わりにマスティンバーをどのくらい用いるかによって異なります)。

7. <https://redshift.autodesk.co.jp/building-the-future/>

8. <https://www.spacemakerai.com/blog/data-driven-mei-happy-healthy>

9. www.cimtechnologies.com/wp-content/uploads/2018/03/tianjin-architecture-design-institute-customer-success-story-en.pdf

10. www.researchportal.bath.ac.uk/en/publications/hemp-lime-construction-a-guide-to-building-with-hemp-lime-composi

11. <https://www.autodesk.com/customer-stories/lake-flato>

取り組み の目標



多くの企業は、オペレーショナル カーボンの計算については、すでにかかなり高い能力を備えています。建設分野が大きな影響を発揮できる可能性があるのはエンボディド カーボンの部分なのですが、大半の企業は、まだこれについて詳細な調査を行っていません。

設計チームは、そうした複雑な作業の一部をデジタル ツールで自動化することで、クライアントの理念的な要望に応えるソリューションを生み出し、テストすることが可能になります。まずは、[Embodied Carbon in Construction Calculator \(EC3\)](#) について調査することから始めましょう。これは世界中の設計者が無料で入手できるオープンソースのツールで、設計や材料調達による影響を明確に把握できます。

第2章

リニア エコノミーから サーキュラー エコノミーへの移行



今、「サーキュラリティ」(循環性)という新しい考え方が台頭しつつあります。建設業界が成功するためには、テクノロジーによって意識を変革する必要があります。私たちの主な目的は、サーキュラリティの推進を通じて、持続可能性の目標達成に向けた顧客の取り組みをサポートすることです。”

Janicke Poulsen Garmann 氏
Norconsult 社 エグゼクティブ バイス プレジデント
(ノルウェー)

持続可能性を推進する上での非常に大きな課題の解決策として台頭しつつあるのが、サーキュラー エコノミー (循環型経済) という考え方です。そのアプローチは、現代社会の消費モデルのあり方を根底から覆します。現在でも依然として主流なのは、資源を採掘して加工し、消費して廃棄するという「使い捨て」のリニア エコノミー (直線型経済) です。サーキュラー (循環型) モデルでは、無駄を省き、資源を循環させ、自然を再生させます。

そして今、このアプローチが急速に広がりつつあります。年に1回発行される「サーキュラリティ ギャップ レポート」によると、現在、世界における循環型経済の割合はわずか 9%¹² で、各国政府の移行も遅れていることが明らかになっています。ヨーロッパでは、EU が「Circular Economy Action Plan」(循環経済行動計画)¹³ を発表し、オランダ政府は 2030 年までに 50%、2050 年までに 100% の循環型経済を実現する目標を策定しました。中国は最近、国内の循環型経済を発展させるための新たな複数年計画を発表しました。これによって資源効率を向上させ、技術革新を促進し、気候への取り組みに対応することを目指しています。¹⁴

建設業界で真の循環型アプローチを実現するためには、建物のあらゆる構成要素をくまなく考慮した上で、堅牢な計画を策定し、データ収集を行う必要があります。そして概念設計の初期段階から施工、最終的な運用に至るまでのプロジェクト全体をデジタル化することが、循環型の建設環境の実現に向けた重要な最初の一步となります。

2021 年東京オリンピックで 重要な役割を果たした 循環型社会への取り組み

2021 年に開催された東京オリンピックは、調達物資の 99%、排出された廃棄物の 65% を再利用またはリサイクルすることを目標に掲げ、統合された循環型アプローチの可能性を示しました。¹⁵ 再利用と分解性設計の原理は、競技会場を含む大会全体に採用されました。全 43 会場のうち、新設されたのは 8 会場のみでした。オリンピック選手村ビレッジ プラザには、地方自治体から寄付された木材などの資材が使用され、大会後は返還されるか、他の公共インフラプロジェクトに使用されました。

東京の調達戦略には再利用も含まれ、物品の大半は、生産者との買い戻し契約の一環としてリースまたは購入されたものでした。レンタルできない物品については、大会終了後に再利用されるように、大会組織が再販システムを構築しました。



12. www.raconteur.net/construction/circular-economy-construction

13. www.ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/new_circular_economy_action_plan.pdf

14. www.china-briefing.com/news/chinas-circular-economy-understanding-the-new-five-year-plan/

15. www.planetark.azurewebsites.net/newsroom/news/how-the-tokyo-olympics-are-embracing-the-circular-economy

建設廃棄物

Reduce (削減)、Reuse (再利用)、Recycle (リサイクル) の 3 つの頭文字をとった「3R」は、循環型社会の実現に向けた取り組みのキーワードとなっています。「3R」とは、廃棄物、汚染、そして資源の需要をすべてなくすことで、人間の活動による環境への影響を低減することにフォーカスしたアイデアです。また、Remediation (浄化)、Restoration (修復)、Regeneration (再生) の頭文字をとった 2 つ目の 3R もあります。これは、破壊されたエコシステムを元に戻すことを目指すものです。

地球上の原材料を最も多く消費している建設業界で、原材料を最大限に活用できるようになれば、世界なネット ゼロ実現の大きな推進要因となります。しかし、エレン マッカーサー財団(サーキュラー エコノミーに関する意見で大きな影響力をもつ)によると、建造物の大半は、寿命が終わった後はただ取り壊されるだけで、現在は世界中の建設廃材(CDW)のうちリサイクルまたは再利用されているのはわずか 20% ~ 30% ということです。

世界各地における状況はさまざまです。EU の廃棄物枠組指令(WFD)では、2020 年までに建設・解体廃棄物(CDW)のリサイクル率 70% を達成することが義務化されました。これによって 2016 年以来、ヨーロッパ大陸全体が目標を上回るリサイクル率を維持することに成功しています。中国では、2050 年までにさらに 3,230 億トン分の建物が建設されると予想されていますが、CDW のリサイクル率は平均約 5% しかありません。¹⁶ 日本では、住宅が取り壊されるか廃棄されるまでの平均寿命はわずか 25 年ですが、CDW のリサイクル率は 97% で、韓国と並んで世界トップクラスです。¹⁷ 日本は天然資源に乏しいため、サーキュラー エコノミーがすでに確立されています。石油への依存や廃棄物、環境負荷を低減し、国民の意識を高め、教育を推進するための政策が長期にわたって実施されてきました。



“

TATA Projects 社は、SDGs 目標に沿った持続可能性 KPI として、施工監視のデジタル化に取り組んでいます。また、デジタル テクノロジーによる統合サービスを提供するほか、空気の質、水やエネルギーの消費量を計測するなど、さまざまな IoT ソリューションも活用しています。”

Sashidhar Karamballi 氏
Tata Projects Ltd. プロジェクト サービス責任者
(サービス SBG)

これからの循環型社会におけるテクノロジーの役割

テクノロジーを活用すれば、建設プロジェクトに必要な資材の量を大幅に削減することが可能になります。「これを実現するには、サーキュラー デザイン(循環型設計)が不可欠です」と、Norconsult 社のテクノロジー マネージャーを務める Marius Jablonskis 氏は話します。「データや機械学習などのプロセスをどのように使用すれば、業務をもっとスマートに行い、材料の廃棄物を削減できるかという点に、私たちはますます注目するようになりました。例えば、図面でなく 3D モデルを使用して作業することで、3D モデルのデータに基づいてプロジェクトに必要なコンクリートの量を正確に把握し、無駄を減らすことが可能になります」

ある学術研究¹⁸ は、建設環境におけるサーキュラー エコノミーを促進する 10 のデジタル テクノロジーを特定しています(積層造形・製造用ロボット、人工知能、ビッグ データと解析、ブロックチェーン技術、ビルディング インフォメーション モデリング (BIM)、デジタル プラットフォーム/マーケットプレイス、デジタル ツイン、地理情報システム、マテリアル パスポート/データバンク、モノのインターネット (IoT))。

例えば、地理情報システム (GIS) と BIM を共に活用することで、建物に含まれる資源を特定し、データの関連付けや管理を行うことで、将来的に再利用またはリサイクルできるようになります。日本の北九州市では、地理情報システムを解析して空き家とそこに含まれる資材を特定する調査が実施されました。将来的にこれらの資源を利用する際に、情報に基づいて意思決定できるようにすることがその目的です。¹⁹

16. www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344917303142

17. www.sciencedirect.com/pdf/10.2478/ncr-2021-0009

18. www.res.mdpi.com/d_attachment/sustainability/sustainability-13-06348/article_deploy/sustainability-13-06348-v2.pdf

19. www.mdpi.com/2071-1050/12/13/5363

取り組み の目標



現代の循環型社会という原理に基づき、貴社は急な設計・建設指示にどの程度対応できますか？

テクノロジーとデータを活用することで、さらに高度かつ持続可能な成果が実現します。BIM は、循環型のプロジェクトのカギとなる重要な手法です。建築設計者やエンジニアは BIM を活用することで、1つの構造物に含まれる各要素をドキュメント化し、追跡管理できるようになります。建設会社は、古いものを捨てて新しいものを作るのではなく、ナットやボルトから空調システム全体までの資材を分解して再利用できるようになります。

人工知能によるジェネレーティブ デザインを活用すれば、1つの構造物に含まれる部品のうち、分解して再利用できるものを特定し、資材についてより良い意思決定を行うことが可能になります。設計者やエンジニアは、設計目標や機能、空間条件、材料、製造方法、予算などのパラメーターをジェネレーティブ デザイン ソフトウェアに入力します。ソフトウェアは、可能性のあるソリューションをすべて洗い出し、設計案をすばやく生成します。そしてテストを反復しながら、どの設計案が成功し、どの設計案が失敗するかを学びます。

このアプローチでは、あらゆる建物が「マテリアル バンク」となり得ます（後述の**適応型再利用（アダプティブ リユース）**を参照してください）。このマテリアル バンクには、価値ある資材や構成部品を保管しておき、後日、あるいはその建物の寿命が尽きたときに取り出して再利用できます。

適応型再利用（アダプティブ リユース）

建設業界をリードする先取的な企業は、リサイクルされた建設廃材（CDW）の有効活用とともに、循環型社会の2つ目の R、「Reuse（再利用）」にも目を向けています。建設業界の企業は、すべての案件で無条件に「新築」というソリューションを採用するのではなく、まず初めに既存の構造物や建物を改築することでクライアントの要望に応えられるかどうかを評価します。それから、既存の建物の資材を再利用またはリサイクルする方法を検討します。

これは、大型案件の獲得につながる素晴らしい手法です。新しい材料の使用量や環境への影響を大きく低減できるとともに、クライアントのコストも大幅に削減できます。

スコットランドにある築 50 年の橋フォース ロード ブリッジの代わりに、新しい橋、クイーンズフェリー クロッシングを建設するプロジェクトの入札で、コンサルタント会社の Arup 社とパートナーの Jacobs Engineering Group Inc. 社は、「すべての交通量に対応するためには新しい橋が必要だ」という意見に異議を唱え、古い橋を残すことで交通量を少なくする方法を提案しました。そうして新たに建設された橋は当初の予定よりも小規模になり、大量の資材と、プロジェクト予算の 3 分の 2 を削減（42 億ポンドから 14 億ポンド）するという異例の成功につながりました。²⁰



またフランスでは、管理会計組合である CDER が「シャンパンの首都」と呼ばれるエペルネーにオフィスを拡張することを計画し、当時目障りとして悪評だった 1960 年代の建物を建て替えることとなりました。²¹ しかし、パリの建築設計事務所である OUYOUT 社は、第三者の視点から観察した上で、この古い建物の空間が効率的に使用されていることに着目しました。そこでこの建物を低コストで改修し、悪評だった外観を周囲の環境と調和させて生まれ変わらせるというグリーンリノベーションを提案しました。

一部の適応型再利用プロジェクトでは、元の建物に使用されている材料の 90% が再利用されるか、現場にそのまま残されています。²² マテリアル パスポートとは、そうした高レベルな再利用の実現に役立つ、革新的かつ重要な技術です。マテリアル パスポートとはデジタル ドキュメントで、ここには製品や建物に含まれるすべての材料が記録されます。また、それらの材料を回収して、リサイクルまたは再利用する場合の価値を示すデータが含まれます。このマテリアル パスポートは、オランダの非営利団体 Madaster Foundation による革新的な技術です。建物に使用されている資源とデータの関連付けを行い、建物の解体時に再利用可能な資源を可視化して、リサイクル率を高めることができます。

建物に使用されるすべての材料にタグ付けし、詳細な説明を作成することで、建物を「マテリアル バンク」と見なすことが可能になります。建物を別の用途に利用する予定の場合（刑務所を手頃な価格の住宅に造り変えたり、ホテルをオフィスビルに改装したりする場合）、建物のすべての構成部品を評価し、適応型再利用の計画を立てることができます。また、建物が耐用年数を超えたと判断された場合は、取り壊すのではなく解体することで、建物に使用されていた材料を他の建物に転用することができます。

マテリアル バンクやマテリアル パスポートは、ますます重要なリソースとなりつつあります。そしてこれらを効率的に維持するためにはテクノロジーが不可欠です。再利用する材料の特定や分類、抽出を行うためには、BIM や GIS が必要となります。こうしたアプローチは、新たな価値を創造する基盤にもなっています。アムステルダムスキポール空港における第 18 貨物ビルが国内企業に売却された後、この貨物ビルはマテリアル パスポートのデータに基づいて解体され、新しい場所へと移設されました。その結果、300 万 kg 以上の二酸化炭素排出量の削減に成功しています。²³



フランス、シャンパーニュ地方の、リノベーション後の CDER ビルのレンダリング画像。グリーンなダブル ファサードを採用している。画像提供：OYOUT Architects

革新的で持続可能な設計の ケンダビルにおける回収材料の再利用

米国ジョージア工科大学のキャンパス内にある建物「Kendeda Building for Innovative Sustainable Design」²⁴（革新的で持続可能な設計のケンダビル）のプロジェクトチームは、世界の最も厳しいグリーンビルディング標準であるリビングビルディングチャレンジ（LBC）認証の取得を目指しています。回収された材料は、リサイクル要件の90～100%を満たすための重要な要素となりました。このプロジェクトでは、構造物と建設用地に多くの回収材料が使用されています。かつてキャンパス内の塔の改修後に廃棄された1880年代の松の梁が階段に再利用されるなど、キャンパスから回収された材料も使用されています。

さらにこのプロジェクトでは、コンポストトイレ、屋根のソーラーパネル、雨水を自然処理するための湿地など、持続可能な要素を取り入れることで、消費するエネルギーよりも多くのエネルギーを生み出し、消費する水よりも多くの水を節約しています。

製造組立容易性設計 (DfMA) と工業化建築 (IC)

Circularity Gap Reporting Initiative (CGRI) は、都市の建設環境は2050年までに60%成長する必要があるという事実を報告しています。²⁵

この困難な目標を達成するために理想的なのは、建物を設計・建設する際に、リサイクルを前提とするのではなく、適応型再利用や、解体して再利用することを前提とした方法を採用することです。リサイクルには、再利用よりも多くのエネルギーが消費され、環境を破壊するプロセスが含まれるからです。

現在、この課題に対処するためのビジネスモデルの開発に向けた調査が進められている一方で、工業化建築 (IC) はすでに重要な役割を果たしています。工業化建築とは、製造技術を建設環境に応用し、バリューチェーンの大部分をプレハブ工法へ移行する手法です。「将来的な世界のインフラ需要に応えるためには、プレハブ工法を取り入れた工業化建設を取り入れることが不可欠です」と、オートデスクの工業化建築ストラテジーバイスプレジデントを務めるエイミー・マークスは話します。

工業化建築を取り入れると、廃棄物の面で大きな影響がもたらされます。ある構造物の大部分が標準化された「製品」で構成されており、これを現地以外の場所で製造し、現地で組み立てることができる場合、材料の使用効率が大幅に向上し、無駄を大幅に削減することができます。

20. www.arup.com/projects/queensferry-crossing

21. www.redshift.autodesk.com/green-renovation/

22. www.ribaj.com/intelligence/step-4-closed-loop-systems-from-the-re-use-atlas-duncan-baker-brown-intelligence

23. www.schiphol.nl/en/real-estate/news/circular-dismantling-of-cargo-building-18-at-schiphol-completed/

24. www.redshift.autodesk.com/reusing-construction-materials/

25. ww3.rics.org/uk/en/modus/natural-environment/climate-change/material-world.html

建設業界と地球の両方にもたらされるメリット

サーキュラー エコノミー モデルの一部は、現在の建設業界におけるビジネス手法と大きく異なるように見えますが、建設業界における新たなビジネス手法は、このモデルから創出されています。競合他社よりもコストを削減することで、差別化を図り、より高い利益率でより多くの受注を勝ち取ることが可能になります。

コスト面については、ネット ゼロに準拠しない場合、炭素価格付けの仕組みによって、今後ますます多くのコストがかかるようになるでしょう。Orica 社サステナビリティ責任者の Troy Powell 氏によると、その影響はすでに表れているといいます。「(炭素市場は) 温室効果ガス排出量削減プロジェクトの促進に役立ちます。当社はプロセスの最適化、テクノロジーの導入、スマートなソリューションの開発を通じて、国際的な競争力を高めています。製品に含まれるエンボディド カーボン削減し、再生可能エネルギーを積極的に利用し、材料の再利用を推進しています」

顧客へのアドバイスに循環型社会の原理を取り入れた企業は、他社との差別化に成功しています。コンサルタント会社の Arup 社は、スコットランドにある築 50 年の橋フォース ロードブリッジに代わる新しい橋の建設プロジェクトに向けた入札で、そのことを経験しました(上述の適応型再利用(アダプティブリユース)を参照してください)。

循環型の原理によって、利益率を向上させることもできます。「一般的に多くの企業が、持続可能性への取り組みによって、企業の収益がすぐに向上することは難しいと考えています」と、SK ecoplant 社デジタルトランスフォーメーション バイスプレジデントを務める Jae Yeon Cho 氏は話します。「しかし当社は、持続可能性を強化するためにさまざまな取り組みを行うことは、企業の収益につながると考えています」

“

規制当局や顧客からの要求に従うだけでなく、ESG にフォーカスした戦略を持っていることは、間違いなく競争上のメリットとなっています。当社も上場企業ですが、これはますます一般的になりつつあります。”

Ong Jee Lian 氏
Gamuda 社 グループ サステナビリティ最高責任者

このレポートでご紹介したように、「ネット ゼロ」と「循環型社会」は、建設業界のあり方を変革し、ESG の取り組みを成功へと導くさまざまな機会をもたらしました。企業組織はデータとインサイトを活用することで、優れた意思決定を行い、設計やプロセスを最適化し、持続可能な成果を実現できると、オートデスクは考えます。

これを実現するためのプロセスは、手作業のプロセスよりも複雑です。閉ループ経済の中で資源をどのように消費・保持すべきかについてのシステム思考のアプローチに、デジタルソリューションは欠かせません。コンサルタント会社の Roland Berger 社は、「建設業界における持続可能性と新たなビジネス機会が、サーキュラーエコノミーによってどのように促進されるか」²⁶というレポートで、次のように結論づけています。「デジタルテクノロジーの急速な普及によって、革新的な循環型のビジネスモデルが飛躍的に成長するでしょう。計画・設計フェーズについては、2020 年から 2025 年までの間に 20% の年平均成長率を達成できると予想しています。

同時に、運用に関連するビジネスモデルは、全世界で 13%、ヨーロッパで 18% 成長すると予想されます。これまでほとんど開発されていなかった分野として、耐用年数を越えた段階にある建物に関するビジネスモデルは、今後 4 年間の間に、ヨーロッパで 33%、全世界で 27% と、最大の年平均成長率が見込まれるでしょう」

ネット ゼロと真のサーキュラーエコノミーを目指す取り組みは、非常に活発になっています。このレポートでご紹介した実例やメリットが示すように、建設業界は、ネット ゼロ戦略や循環型社会の原理を調査し、取り入れることによって、この必然的な変化の流れからビジネス機会を見出すことができます。多大なコストをかける必要はありません。

取り組みの目標



貴社のプロジェクトでは、使用される材料とそのリサイクル可能性を完全にドキュメント化していますか？

大量の原材料を建設に使用する場合は、プロジェクト チーム全体のドキュメントやグラフィカル モデル、非グラフィカル データを収集・管理・共有し、すべてのデータを一元管理できる共通データ環境が必要となります。BAMB (マテリアルバンクとしての建物)²⁷などの取り組みでは、持続可能な建物への全体的な移行を進め、リサイクル可能な材料に関するデータの収集・共有・活用を効率化するための手段としてマテリアル パスポートを推進します。

こうしたアプローチは、閉ループ経済の中で資源をどのように消費・保持すべきかについてのシステム思考に基づいています。ソフトウェア アプリケーションを使用すれば、設計を最適化して構造システムのレイアウトを予測し、他の設計案 (例えば、建物構造に使用される構成部品の重量を最小限に抑えた設計など) を提示することができます。工業化建築の原理 (建設用コンポーネントをプレハブ工法でオフサイト製造するなど) やデジタル ツールを導入し、経済効率、エネルギー効率、資源効率、環境パフォーマンスを建設の各段階に取り入れることで、建設における持続可能性を高めることができます。

26. www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/It%e2%80%99s-time-for-construction-to-embrace-the-circular-economy.html

27. www.bamb2020.eu/