



Sustainable Buildings (日本語版)

**Designing, building, and operating to
help create a greener future**

日本語版発行に寄せて

本レポートは、建物ライフサイクル全体での脱炭素化に向けた取り組みの潮流をエンジニアリング&コンストラクション (E&C) 業界の視点から論じている。米国からの視点を前提とするレポートではあるが、日本国内におけるE&C業界の取り組みにおいても以下の2点で示唆があると考えられる。

- ① 米国と日本国内の潮流の類似性
- ② 建物ライフサイクル全体での脱炭素化に向けたバリューチェーン横断での取り組みの重要性

① 米国の潮流と日本国内の潮流の類似性

本レポート内では、排出削減を加速する因子として“イノベーション”や“デジタル技術”について触れている。本レポートで紹介される技術を念頭に、国内で相次いで公表される技術を見渡すと、両者同じ方向での開発が進んでいることが読み取られ、先進的な技術の開発が進んでいることがわかる。

例えば、フライアッシュ、高炉スラグ等を活用した次世代型コンクリートや外壁・ガラスでの断熱技術等があげられているが、国内においてもE&C関連業界の様々なプレーヤーで環境配慮型コンクリートの開発が進められており、実証段階へ移行しつつある。建物の断熱技術についても既存建築物へのレトロフィットすなわちリニューアルや改修を前提とするZEB化技術が相次いで発表されている。

複数の選択肢を比較検証しながら最適な案を決定するジェネレーティブデザイン技術であるオプションニングについても触れているが、国内においても複数あるZEB仕様の選択肢の中からAIを活用し、最適な仕様パターンを提案していくといった試みも発表されている。

このように米国と国内で技術開発の潮流が重なっていることがわかる。それはすなわち、これらを普及させていくための課題も類似するところがあるということが想定される。

② 建物ライフサイクル全体での脱炭素化に向けたバリューチェーン横断での取り組みの重要性

本レポートでは、開発される新素材・デジタル技術の活用や、その他の排出量実質ゼロに向けた取り組みが加速するための課題や次なるアクションについても触れている。“今後求められる動き”の章に、「企業は持続可能性を目標に掲げる建設や改修・リノベーションプロジェクトを、政策や規制、罰則、または炭素税を通じて促進し、優先することを検討すべきである。こうした取り組みには、デベロッパーや不動産会社、技術提供者を巻き込むべきである」と記載があるが、国内においても例外ではない。

国内では、政府・自治体によるZEB化を促進する法制度が議論されつつある。その一方で、E&C企業だけでなく、建築物の所有者であるデベロッパー（賃貸ビルを主とする不動産デベロッパーだけでなく、自社ビルや工場等の開発者・施主となる広義のデベロッパー）、運営を担う管理受託者、設計・施工を担う施工者・技術提供者が一丸となって、これら技術の適用を考えていく素地が整っていない状況にある。

前段で触れた環境配慮型コンクリートの活用（エンボデイドカーボンの削減）や、ビルのZEB化（オペレーショナルカーボンの削減）等は、当然、これまでの新築や既存建築物の改修よりもイニシャルコストが高くなる。投資の意思決定において、炭素排出の観点からのライフサイクル全体での評価（LCA）を通じて、技術導入の可否を判断する。その際には、排出削減という「守り」の観点だけではなく、建築物の環境価値向上によるビジネス貢献といった「攻め」の観点でも関係者が議論していくべきである。

こと日本においては不動産・建設業バリューチェーンにおける業種ごとの機能分化が進んでいることから、排出量実質ゼロの目標達成、建築物の環境価値向上に向けて、早期に業界を超えた検討を進めることが重要となる。本レポートがE&C業界、更には業界を超えたサステナブルな建築物の実現に向けた取り組みの一助になれば幸いである。

上杉 利次
執行役員 マネージングディレクター

小笠原 峻志
シニアマネジャー

デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
Industrial Products & Construction
建設セクター

目次

序論	4
排出削減を加速する要因（イノベーション・デジタル技術・政府によるインセンティブ・支援制度）	5
持続可能な建築物の推進に貢献する業界の3大ソリューション	9
今後の道筋：根本的な変化をもたらすための論点	11
今後求められる動き	13
発行人・執筆者	14

原著・注意事項

本稿は Deloitte US が発表した「Sustainable Buildings」をもとに、デロイト トーマツ グループが翻訳・加筆し、2023年10月に発行したものです。本稿（和訳）と原文（英語）に差異が発生した場合には、原文を優先します。

序論

エンジニアリング& コンストラクション (E&C) 業界では、持続可能な開発とエネルギー消費・温室効果ガスの排出に注目が集まっている。世界全体で見ると、建造環境からの排出量は年間炭素総排出量の39%を占める¹。この炭素排出量は、日々の使用により継続的に排出されるオペレーショナルカーボンと、建築資材の生産、輸送、および処分にて排出されるエンボディドカーボンから成る。排出量実質ゼロの追求によりE&C企業とサプライヤーは、新築・改修に伴うカーボンフットプリントの削減を迫られている。Dodge Construction Networkが実施した調査によると、米国のE&C企業の90%以上が、建設プロジェクトに使用するエンボディドカーボンを削減するよう顧客から求められている²。

しかし、こうした構想の実現には相当の投資を伴うことになる。持続可能な建築物に対する新しい見方からは、新築、改修のいずれにおいても、必要な投資に資する効果が得られるかもしれない。国際エネルギー機関 (IEA: International Energy Agency) は2019年、持続可能な建築物の潜在効果を実現することで2050年までに1.1兆ドルを節約できると試算した。ただ、同試算によると、2030年まで年間資本的支出は2,700億ドルの増加を余儀なくされ、そのうち70%が新築と改修向けの支出になる³。

持続可能な素材・メソッド・モデルから成る業界の3大ソリューションが、持続可能な建築物の推進に貢献できる。本稿では、建築物によるカーボンフットプリントを削減するという顧客の目標を現実的な資本支出の範囲内で達成するためのアプローチと提言を、E&C企業に向けて示すことにする。

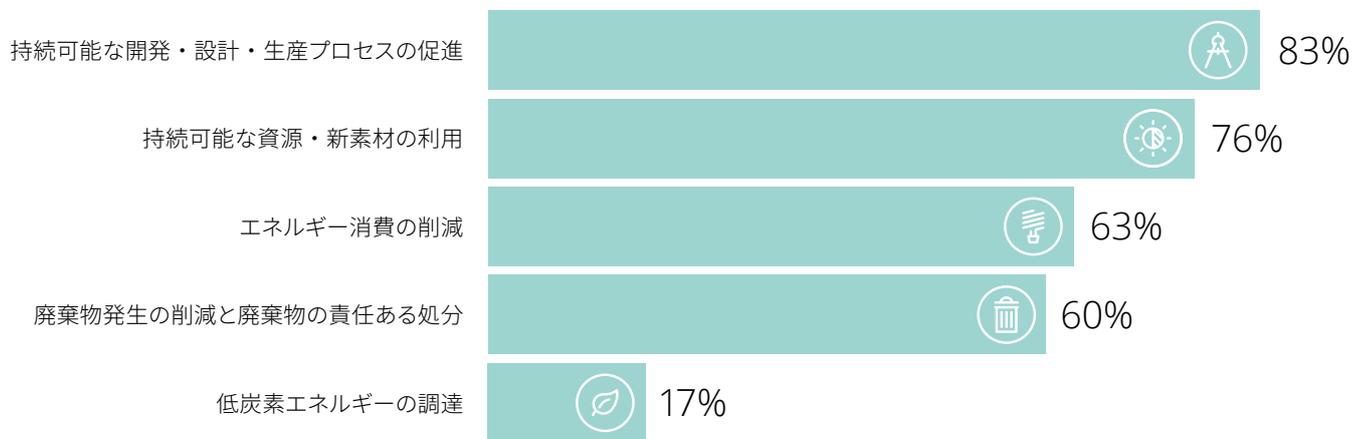
建築物を社会・環境への影響が最小限となるように設計、建築、運営することで、持続可能な開発に貢献できる。

排出削減を加速する要因 (イノベーション・デジタル技術・ 政府によるインセンティブ・支援制度)

2050年までに排出量実質ゼロを達成するために、E&C、不動産、建物管理サービス (BMS) の企業の中には、再生可能エネルギーや効率的な建設方法を新築において組み込み始めた企業もある。The 2021 World Green Building Trendsは、環境に優しい建築を加速するというコミットメントは依然活発であると強調している。例えば、米国の

調査対象会社の34%が環境に優しい建築物に注力しているほか、46%が3年以内にそうすると答えている⁴。気候変動に対する世界的な関心の高まりを背景に、建設会社が持続可能性をプロジェクトや施工手順、設計に組み込むようになる可能性がある (図1)。

図1. 持続可能性を促進するに当たってのE&C企業の最優先課題



出所: Deloitte Outlook Survey, September 2022.

排出削減を加速する因子

現在、建設されている建築物は2070年以降も継続して利用されることが見込まれる。しかし、その建築物を取り巻く気候は著しく変化していることが予測されるため、ライフサイクルを通じた脱炭素化を可能にする効果的な低炭素ソリューションを建築物に導入する必要がある(図2)。イノベーション、デジタル技術、政府によるインセンティブ、そして支援制度が排出量実質ゼロに向けた業界の前進を促す要因となる。

a. イノベーション：

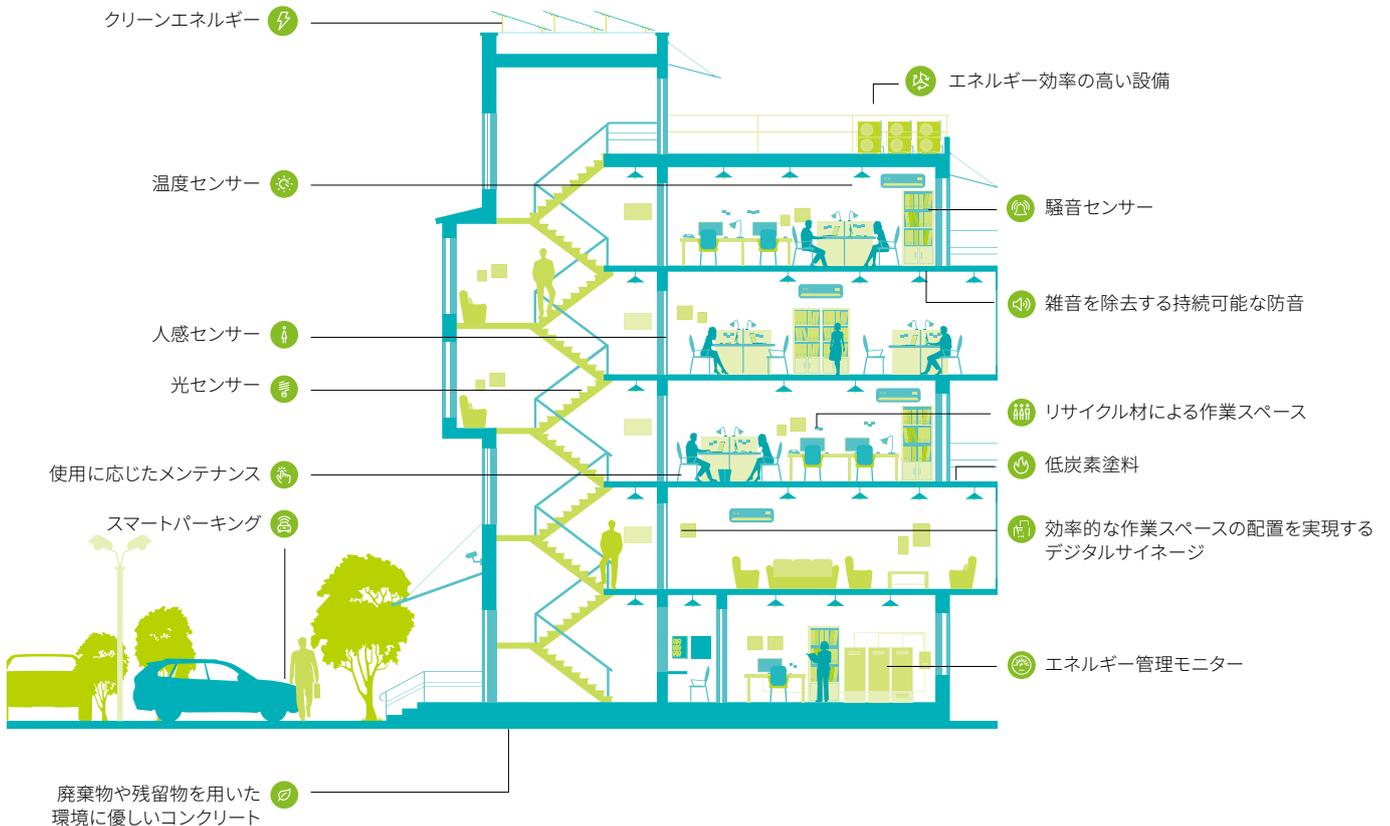
E&C業界では、進化したコンクリートや有機混和材、再生ガラス、プラスチックなどの代替物および環境に優しい建築素材の使用が広がっている：

- 木材の羽目板の代わりに水害に強いポリ塩化ビニル樹脂またはポリプロピレン樹脂を使用し、高頻度の再塗装やシーリングの必要性を減らす⁵

- プラスチックやガラスを模した処理木材の使用。軽量で、熱を蓄え、エネルギー消費量を減らす⁶
- 建物内の熱量や空調負荷に応じて断熱能力を変えることができる、スマートガラス窓の設置⁷
- 培養した藻類を原料とする石灰石を利用したセメントの使用⁸
- フライアッシュを40%使用した低炭素レンガやフライアッシュと高炉水砕スラグで代替した環境に優しいコンクリートの利用。これにより排出量を約46%削減可能⁹

こうしたイノベーションが市場に登場している一方で規制が追いついてない現状がある。企業がこれらの先進的な素材をより早く採用するためには、業界の後押しや技術的認可が必要である。

図2. 画期的な素材や先端デジタル技術を活用した持続可能な建築物の例



出所：Deloitte analysis.

b. デジタル技術：

IoTやセンサー、コネクテッドデバイス、先端アナリティクス、ジェネレーティブデザイン、シミュレーションソフトウェアなどのデジタル技術は、排出削減を促し、デベロッパーがエネルギー利用や廃棄物管理、予知保全、その他の機能において資源を保護することを可能にする：

- ビッグデータや人工知能 (AI)・機械学習は、企業が自らのカーボンフットプリントを把握し管理するのに役立つ
- IoTセンサーは、エネルギー効率の把握・観察に利用できるデータを増やし、効率的な運営と保守管理を可能にする
- 最先端の制御装置、システムインテグレーション、データ分析、エネルギー最適化技術はエネルギーの必要量及び消費量を大幅に減らす可能性がある。スマート機器や家電製品における、デジタルツイン基盤や没入型統合デジタル体験のようなデジタル機能の統合は、ダウンタイムの減少や稼働率や信頼性の改善、リモート管理、エネルギーおよび排出量の削減など各種便益をもたらす
- ジェネレーティブデザイン技術の機能の一つであるオプションニング (Optioneering) 機能^{*}によって、カーボンフットプリントによるさまざまな影響の評価が可能になる
- 持続可能な建築物のためのシミュレーションソフトウェアを用いることで、デベロッパーや運営者は、プロジェクトの期間短縮を実現しながらエネルギーや資源を節約できる

^{*}建築物の設計時に活用されるジェネレーティブデザイン技術の機能の一つ。複数の選択肢を比較検証しながら案を決定することを可能にする

c. 政府によるインセンティブ：

世界における建築物のエネルギー効率化への投資額は、2015年の1,290億ドルから2020年には1,800億ドルに達した。これは主に欧州諸国による投資に押し上げられたものである¹⁰。欧州委員会は欧州連合 (EU) において持続可能な建造環境を実現するための戦略を導入し、建設製品の持続可能性に取り組んでいる。例えば、一部の建設資材に対するリサイクル材含有量要件や循環経済の設計の原則に従った建造物の耐久性・適応性の促進、ライフサイクル評価の統合などを進めている¹¹。

米国では、インフラ投資・雇用法 (IIJA: Infrastructure Investment and Jobs Act) により、1.2兆ドルに上る運輸とインフラへの投資が承認され、そのうち5,500億ドルが、エネルギー・電力インフラと水道インフラを含む新規の投資や計画向けに確保された¹²。エネルギー効率の高い商業・公共建築物に対する税額控除や、米連邦調達庁 (GSA: General Services Administration) の建築物の建設 (新築・改修) における低炭素素材の調達および使用に対する20億ドル余りの出資など、インフレ抑制法 (IRA: Inflation Reduction Act) による投資も、持続可能な建設に弾みを与えている¹³。具体的には、IRAにより、コストの50%相当の補助金 (35%以上の省エネを実現する建築物の改修に対しては最大40万ドル、20%以上の省エネを達成する改修に対しては最大20万ドル) が支給される¹⁴。

d. 支援制度：

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED：米国グリーンビルディング協議会が運営する建築物環境評価制度) は、環境に優しい建築物の世界的な開発拡大の一翼を担っている。建築物単位では設計過程において効率性指標を分析し、環境負荷の軽減と暖房・換気・空調 (HVAC：heating, ventilation, and air conditioning) 関連戦略に注力することで、エネルギー性能の最適化に関するLEED認証を取得できる¹⁵。

同様に、建築物全体のエネルギー利用を把握できる機器または結合可能なサブ計測器を新たに設置する、あるいは既存の機器を利用して建築物全体のエネルギー利用状況を示す建築物レベルのデータを生成することで、建設プロジェクト単位では建築物の運営および保守管理に関するLEED認証を取得できる¹⁶。

持続可能な建築物の推進に 貢献する業界の3大ソリューション

世界的な平均気温上昇を（産業革命以前に比べて）2°Cより十分低く保つというパリ協定の目標を達成するために、国連は次の目標を掲げている：「2030年までに建造環境は排出量を半減しなければならない。そのために、新築の建物全てが運営時における排出量実質ゼロを実現しなければならないほか、既存資産のエネルギー効率改善を目的とする改修を広く進める必要がある。また、エンボディドカーボンについても、主要プロジェクトでは50%以上の削減を達成し、全体で40%以上削減しなければならない。遅くとも2050年までに、新築・既築に関わらず、オペレーショナルカーボンとエンボディドカーボンを含め、全ライフサイクルにわたり排出量実質ゼロを達成しなければならない」¹⁷

パリ協定の目標を達成するには、世界のE&C業界とその顧客である建物の運営を担う所有者は、2050年までにカーボンニュートラルを達成しなければならない¹⁸が、この実現は厳しいものになるだろう。なぜなら、発展途上諸国では建築物の床面積に対する需要増大と経済活動の拡大が生じており、世界のエネルギー需要が2050年までに倍増すると予想されるからである¹⁹。2030年までに増加すると予想される人口の82%が、建築基準法が整備されていない国や任意の基準しか整備されていない国で暮らすことが見込まれる²⁰ため、排出量実質ゼロのエネルギー効率の高い建築物の実現のために立ちはだかる壁は大きい。E&C業界に属する企業が持続可能な取り組みを行う際に直面する最も大きな課題の一つは、下請業者を含めた、プロセスの統合的な可視化である。

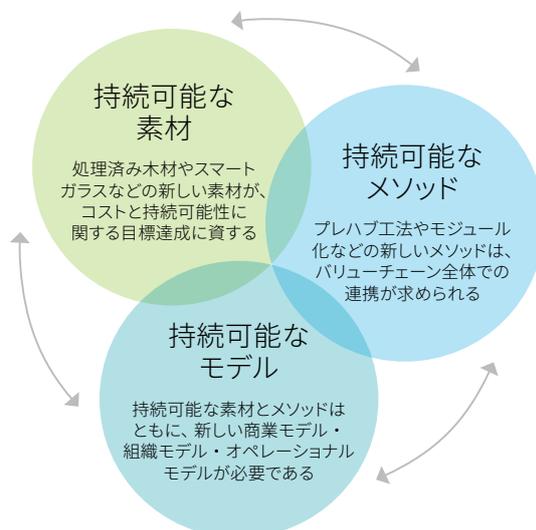
排出削減達成への道のりは、建築士、設計士、建設会社、下請会社、サプライヤー、技術的サービス会社、および建物運営を担う所有者等

すべてのステークホルダーの協力が必要である。また、デベロッパーにおいては全ての炭素排出源を正確に測定し、可能な限り削減、再利用、再生する必要があるほか、自社ビジネスモデルのさまざまな側面を検討する必要がある。

持続可能な素材やメソッド、そして持続可能なモデルは、エンボディドカーボンの削減と排出量ゼロの建設業界実現に繋がる（図3）。持続可能な素材を作るには、コスト・品質・サプライヤー管理を含め徹底した戦略的調達力が求められるほか、持続可能なメソッドの実現には、コストとリスクを管理するためのサプライヤーとの連携が求められる。そして持続可能なモデルの実現には、調達から支払いに至るプロセスのモニタリングと予算遵守の徹底が求められる。

2050年までに排出量実質ゼロを達成するために、一部の建設・不動産会社は効率的な建設プロセスの導入と再生可能エネルギーを建物の新築に組み込み始めている。また、この取り組みを後押しするためには、大量の炭素を排出する何百万の既存建築物の脱炭素化を進めなければならない。これは建物の改修によって実現することができる。改修は初期的には支出を伴うが、完了すれば、所有者はエネルギー管理システムなどの新しいテクノロジーを通じ初期費用を回収することができる。リノベーションやリユースは、新しい建築物を建てるよりもエンボディドカーボンの排出が50%から75%少なくなる可能性がある²¹。

図3. E&C業界のリーダーがコスト削減と持続可能なソリューション拡大のために注力すべき持続可能な素材・メソッド・モデル



出所：Deloitte analysis.

持続可能な建設は、必ずしも高くつくとは限らない。プライシング戦略、プログラム管理、環境計画を初めから開発プロセスに盛り込む場合には、特にそうしたことが言える。持続可能な建築素材の使用は初期費用が高むときもあるが、それらの使用によって建設コストは抑制され、素材自体の耐久性も踏まえると竣工後に必要な保守管理のコストも少なくなる²²。建築基準が世界的に厳格化しているほか、持続可能な素材のサプライチェーンやテクノロジーが発達し、持続可能な建築物の施工について業界の熟練度が上がっているため、設計や建設コストは減少傾向にある²³。

- **持続可能な素材**：持続可能または低炭素の建設素材のコストは、再生材や副産物素材の原料コスト低下により通常の素材よりも次第にコストを抑えられることが見込まれる。高くなりがちな持続可能な建築物の初期費用は、ライフサイクル費用の逡減により相殺できる。高性能なファサードやエネルギー効率の高いシステムであれば尚更である。

- **持続可能なメソッド**：プレハブ工法やモジュール建設、3Dプリンタ、先端製造技術、ジェネレーティブデザインを活用した素材利用の最適化は、建設プロジェクトにおける廃棄物を減らし、その結果としてコスト削減に繋がる。素材コスト以外にも、プレハブ工法やモジュール化は人件費の削減にも貢献するほか、より優れた設計・品質管理を確保し、また工程を短縮することは予算超過の抑制にも繋がる²⁴。

- **持続可能なモデル**：低炭素のビジネスモデルや戦略は、さまざまな建設工程を加速し、プロジェクトのコストを削減する。例えば、建築物のエネルギー効率の向上は、建物ライフサイクルにおけるエネルギー費用の削減に資する。また、コネクテッド・コンストラクション・エコシステムは、デベロッパーと運営事業者においてデータと情報のフローが途切えない状態を確保する。こうすることで、建築基準や労働者の安全基準、その他規制上の規定からプロセスが逸脱しないようにできる。こうした新たなエコシステムを可能にするには、企業は自らの組織、オペレーション、ビジネスモデルを見直す必要があるだろう。



今後の道筋： 根本的な変化をもたらすための論点

次の9つの側面に着目することで、設計から建築、そして運営・保守管理に至るまでの建築物（新築・改修のいずれについても）の全ライフサイクルで炭素排出を削減することができる：(1) 持続可能性と排出削減の計画を立てる、(2) 最低限のエネルギー性能を義務付ける、(3) 低炭素素材の使用を増やす、(4) エネルギー効率が高く環境に優

しい設備の利用を推進する、(5) 効率的な改修を促す、(6) 建築物の運営・管理手法を向上させる、(7) 持続可能な素材を供給するレジリエントなサプライチェーンを構築し運営する、(8) 労働者の安全衛生と生産性を向上させる、(9) 優秀な「サステナビリティ」人材を惹きつけ、雇用し、維持する (図4)。

図4：建築物の脱炭素化を後押しする建築の各段階での根本的な変化

設計、建築、運営・保守管理段階において次のアイデアを検討する：	設計段階	建築段階	運営・保守管理段階
1. 持続可能性と排出削減の計画を立てる	<p>ライフサイクルアプローチを用いて、要件、設計戦略、仕様、設計上の各選択を評価する</p> <p>脱炭素化戦略・計画を策定することでエネルギー効率を建築物に組み込む</p>	<p>排出炭素による環境負荷を最小化させる方法を模索する（無駄のない建設、低炭素素材、建設工程など）</p> <p>デベロッパーと連携して、プロジェクト全体にエネルギー効率の観点を組み込む</p>	<p>既存建築物を最大限改装可能な設計にする</p> <p>建築物の運営者と協力して持続可能な取り組みを実践する</p>
2. 最低限のエネルギー性能を義務付ける	<p>必要エネルギー量の削減、エネルギー効率の達成、クリーンエネルギーの使用促進に向けた計画を策定する</p> <p>環境に優しい電力の利用可能性促進に焦点を当てる</p>	<p>高いエネルギー効率標準を優先し、炭素を排出しない暖房技術を使用する</p> <p>再生可能エネルギー源を通じた電化により電力供給と暖房の脱炭素化を図る</p>	<p>建築物における義務的エネルギー基準を導入し、また（使用エネルギー量を制限して）効率性向上と耐久性・耐用性の向上を実現する高性能な建築物にインセンティブを与える</p> <p>施設内設置型の再生可能エネルギー電力またはグリーン電力を使用する</p>
3. 低炭素素材の使用を増やす	<p>設計工程の早い段階で低炭素素材を組み込み、ジェネレーティブデザインを活用することで、建造資産のカーボンフットプリントを最小限に抑制する</p> <p>例：プラスチックを混和したコンクリート製で、中が空洞になっており、建築物内に空気の流れを起こし、汚染物質を吸収し、空気の質を改善するブロックを利用する</p> <p>最適な素材選定のために、サプライチェーン、カテゴリーマネジメント、設計部門間のフィードバックとデータ共有の仕組みを構築する</p>	<p>ブロックチェーンテクノロジーを活用し、素材のトレーサビリティを実現する。サプライヤーの契約、各種書式、および記録のデジタル化はプロセスの合理化に資する</p> <p>素材の追跡にクイックレスポンス (QR) コードと無線周波数識別システム (RFID) チップを導入する</p> <p>素材の質を点検し瑕疵の可能性を特定できる、自動ドローン、Reality Capture、Visual Intelligence、AIを使用する</p>	<p>新しい素材の健康・環境への影響をより深く理解し、より情報に基づいた意思決定をするためのライフサイクルアセスメント (LCA) 手法を使用する</p> <p>新しい素材と有力な代替品に関して、空気、水、土地、エネルギーの観点から見た影響を継続的に評価する</p>
4. エネルギー効率が高く環境に優しい設備の利用を推進する	<p>BIM方式およびデジタルツインなどの新たなテクノロジーを利用し、エネルギー使用量の計算、サイトロジスティクス計画の策定とテスト、水・照明の使用最適化を行う</p> <p>エネルギーと資源の保護を可能にする一方でプロジェクトの期間短縮を実現する、持続可能な建設のためのシミュレーションソフトウェアを導入する</p>	<p>最新のテクノロジーを活用することで設備、機器、およびシステムの平均効率を改善する。新しいテクノロジーのコストは長期にわたり低下し、低炭素の持続可能な建築物の資産価値は上昇するため、デベロッパーは費用を削減できる</p> <p>例：ヒートポンプやLEDといった選択肢など効率性向上へ1ドル投資するごとに、電力費用を2ドル節約できる²⁵</p>	<p>ビッグデータを用いた高度な分析と組み合わせてAIを活用し、リサイクル可能な素材、再利用可能な素材、廃棄物の量を予測する</p> <p>規模の経済の達成を目指し、現行基準に則った建築物とエネルギー消費がゼロに近い建築物の維持費用の差を縮小する</p> <p>例：暖房・冷房費用を減らす</p>
5. 効率的な改修を促す	<p>リノベーション、将来の改良、および再利用の可能性を最大化させる</p> <p>改装・改修に関する排出削減計画を策定する</p>	<p>建築物の稼働率に応じて調整するスマート照明や、エネルギー消費量を測定・削減するためのセンサー、廃棄物の堆肥化・リサイクルなど、持続可能な選択肢により建築物をアップグレードする</p> <p>ロボット技術を活用し、建築物の解体および解体資材の分別を容易にする</p>	<p>改修に3Dプリンタを使用し、開発における資材・水の利用削減と廃棄物の最小化を図る</p>

設計、建築、運営・保守管理段階において次のアイデアを検討する：	設計段階	建築段階	運営・保守管理段階
6. 建築物の運営・管理手法を向上させる	HVACのスケジューリングや最適な運転制御、省エネに資する水温・気温の再設定など、自動建物制御装置の設置を計画する	性能の欠陥を特定、診断し、運営者に注意を促すことができるデジタルツイン等の欠陥検知システムを導入し、各パラメータを定期的に微調整し、エネルギー消費を削減できるようにする エネルギー効率の追跡・監視のためのデータの利用可能性を高め、高度な分析のためのデジタルソリューションを供給し、より効率的な運営・保守管理を実現できるIoTセンサーを設置する	エネルギー性能に関するツール、システム、および管理標準を絶えず調整し、エネルギー管理の評価および観察を容易にする
7. 持続可能な素材を供給するレジリエントなサプライチェーンを構築し運営する	主要利害関係者と事前に新しい要件を定め、効果的な戦略的調達を後押しする サプライチェーン全体の相互運営性を実現し、データやリアルタイムの情報を共有できるエコシステムアプローチを採用することで、レジリエンスを確立する 契約条件を交渉し、仕入れの継続性を確保するためのインセンティブや罰金を盛り込む	仕入れ（国内、域内、国外）の多様化を図り、輸送コストおよびそれに関連する排出を減らしながら仕入れの継続性を確保する サプライヤーと協力し、環境に優しい建築・建築設計のトレンドの把握、継続的な品質改善、素材の新しい使用例を見極めることで、変化する要求に応える	継続的かつ定期的なサプライヤーの審査手続を策定し、サプライヤーを切り替える必要がある場合のタイムロス削減する 建築物のLEED認証に寄与する、運営および保守管理用の素材を500マイル以内で調達し、国産品の需要を押し上げる
8. 労働者の安全衛生と生産性を向上させる	米国立労働安全衛生研究所（NIOSH）と米国グリーンビルディング協会（U.S. Green Building Council）の共同研究である「設計による予防（PtD：Prevention through Design）」等のプログラムからの学びを活かし、建設の全段階において労働者のリスクと危険を最小限にすることで、労働災害・疾病・死亡事故および職業暴露を防止する	労働者の安全基準に関する米労働安全衛生局（OSHA）の指針遵守を徹底する。具体的には、コンクリートの取り扱い、有害なガスや粉塵への暴露基準、個人用防護具（PPE：personal protective equipment）の設計・使用基準、新しいテクノロジーを使用する際のインパクト（例：内蔵型電池で動く新しい種類の埋め込みセンサー）、持続可能な建設素材に適用されるその他基準	備品室や再生利用物質の保管エリアの確保、建物外の囲いの設置または採光システムの確保、必要に応じたPPEの使用の提言を含む安全な運営と保守管理の計画の整備など、各種基準を整備する
9. 優秀な「サステナビリティ」人材を惹きつけ、雇用し、維持する	サステナビリティと環境配慮型の建築物に関するスキルを持つ人材プールへアクセスするための長期計画を策定する 例：国際エネルギー機関（IEA）によると、エネルギー効率の優れた建築または改修に100万ドルを投資すると、最大15の雇用が生まれる ²⁶	代替素材の取り扱い方法を向上させるために、代替素材の特徴や構成に関する労働者向けの研修プログラム（スキル向上、再訓練）に投資する エネルギー効率の高い機器の設置に従事する労働者に特別研修を行う	ブランド形成の機会として最先端の素材を使用し、運営・保守管理に必要な人材を惹きつける 何が持続可能な建築物に該当するかを説明する長期的な認識改革プログラムを策定・導入し、産業としての建設に対する従来の認識を解消し、仕事の高度性を訴求する

出所：Deloitte analysis.

E&C業界は低炭素ソリューションの推進と環境に優しい未来の実現のために努力しているものの、設計、建築、および運営の段階にわたり、画期的な製品やプロセスを絶えず開発し生み出す必要がある。E&C企業は、自身のソリューションが持続可能性目標の達成に寄与するように、バリューチェーンを構成するパートナーやエンドユーザーと協力する必要がある。むしろ、炭素排出に関する課題に単独で対処できる企業など一社として存在しない。建設業界でのエコシステムを構築することで、E&C企業は自らが持ち合わせていない資産やソリューションを導入・駆使し、これまでより遥かに多数のバリューチェーンパートナーと連携・結集できるようになり、排出量削減に寄与しうる。

英国に本拠を置く多国籍プロフェッショナルサービス会社のArupは、ロンドンにある1 Triton Squareの改修を進めている。ファサードと上部構造を残しながらオフィス空間を2倍に増やし、建築物環境性能認証制度（BREEAM：Building Research Establishment Environmental Assessment Method）の「Outstanding（最高評価）」の持続可能性評価の獲得を目指している。

出所：Arup, “Building retrofit: Transform and reuse - low carbon futures for existing buildings”.

テキサス州オースティンにて、「House Zero」と称する試験プロジェクト用の住宅が「ラバクリート（Lavacrete）」と呼ばれる3Dプリンタ用の独自のセメント系材料を用いて建てられた。補強に鋼鉄が用いられ、ソフトウェアによって管理される。この材料は耐久性が強く、使用する資源が少ないほか、エネルギー消費量も少ない。

出所：Craftcloud, “3D Printed House Materials: What Are They Made of in 2022?”, July 30, 2022.

今後求められる動き

それでは、E&C企業が目下の課題を克服し、持続可能な建築物を実現させていくためには何ができるだろうか。E&C企業は、気候変動の悪影響の軽減に資する課題解決のために必要な新たなテクノロジーやソリューションを活用するに当たり、次の4点を検討してはどうか：

1. ビジョンを明確にし、道筋を描く：E&C企業は、成功実現は多くの場合ビジョンから始まるということを認識する必要がある。ビジョンを明確にするとは、次のことをいう：
 - a) あらゆる利害関係者に価値をもたらす技術の発展を分析・選択する
 - b) サプライヤーが要求を満たしシナジー効果を実現するのに役立つテクノロジーに関するガイドラインを策定する
 - c) 実行に向けたロードマップを描く
2. 持続可能性を目標に掲げる建設・改修プロジェクトを推進し優先する：運営上のエネルギー効率の改善と炭素排出量の削減を確保するためには、企業は持続可能性を目標に掲げる建設や改修・リノベーションプロジェクトを、政策や規制、罰則、または炭素税を通じて促進し、優先することを検討すべきである。こうした取り組みには、デベロッパーや不動産会社、技術提供者を巻き込むべきである。さらに、建築物の有益な目的に応じたインセンティブを設定してもいいだろう。
3. インセンティブを使用して代替素材を推進する：E&C企業は、確固としたエコシステムを構築することで、低炭素の代替素材の使用を後押しできる。例えば、欧州委員会の「リノベーションウェーブ (Renovation Wave)」などのイニチアチブを通じて、企業は持続可能な素材に重点を置いた連携や知識交流の機会を創造できる²⁷。
4. データ共有標準を促進する：単独でデータを生成しても、持続可能な建築物の成功・効果を実現するにはおそらく十分ではない。デベロッパーと運営者がデータをどのように使用し得るかを十分に理解したうえで、データを集約すべきである。情報は、相互運営性と標準を世界的に向上させることで、実用的なものにできる。例えば、欧州委員会の「デジタルアジェンダ (Digital Agenda)」は、欧州連合の成長のために特定された7つの柱の一つであり、情報や通信テクノロジーと持続可能な建設の融合がその趣旨である²⁸。

持続可能な建築物を実現するためのビジョンを達成し、炭素を排出しない建造環境を構築するには、既存の枠にとらわれないアプローチの採用、世界的なプラットフォームを通じた連携、新しいソリューションを商業規模に発展させるためのインセンティブに関する政府との協力が求められるだろう。

E&C企業は、規制の定めと投資家の要求に適合し、事業を営んでいる地域社会に利益をもたらすサステナビリティ戦略を特定、計画、実行することを、優先事項とすべきである。

発行人

デロイト トーマツ グループ
Industrial Products & Construction 建設セクター

庄崎 政則

執行役員 パートナー

mshosaki@tohatsu.co.jp

上杉 利次

執行役員 マネージングディレクター

touesugi@tohatsu.co.jp

小笠原 峻志

シニアマネジャー

taogasawara@tohatsu.co.jp

秦 奕人

マネジャー

yiqin@tohatsu.co.jp

榎田 啓文

コンサルタント

中村 遼

コンサルタント

執筆者

Michelle Meisels

Principal

Engineering & Construction Leader

Deloitte Consulting LLP

mmeisels@deloitte.com

+1 213 688 3293

Faisal Yousuf

Principal

US Industrial Products & Construction

Deloitte Consulting LLP

fyousuf@deloitte.com

+1 312 486 3046

Aijaz Hussain

Senior Manager

US Industrial Products & Construction

Deloitte Services LP

aihussain@deloitte.com

+1 469 395 3759

Kate Hardin

Executive Director

Deloitte Research Center

for Energy & Industrials

khardin@deloitte.com

+1 617 437 3332

文末脚注

1. World Economic Forum, "[This is the next hurdle in the construction industry's race to net-zero](#)", September 20, 2022.
2. Dodge Construction Network, "[Building Sustainably: The Drive to Reduce Embodied Carbon in Concrete Construction](#)".
3. International Energy Agency, "[The Critical Role of Buildings](#)", April 2019.
4. Dodge Construction Network, "[World Green Building Trends 2021](#)".
5. Green Building Solutions, "[New Focus on the Benefits of Plastic Building Materials](#)".
6. Construction Digital, "[Top ten sustainability innovations in Construction](#)", August 27, 2021.
7. Construction21 International, "[Sustainable Building Materials to Look for in 2022](#)", November 02, 2021.
8. University of Colorado Boulder, "[Cities of the future may be built with algae-grown limestone](#)", June 23 2022.
9. The Dirt, "[Future Materials Here Today: Self-Healing Concrete, Biological Bricks, and More](#)", April 17, 2017.
10. Global Alliance for Buildings and Construction, "[2021 Global Status Report for Buildings and Construction](#)", October 19, 2021.
11. European Commission, "[Buildings and construction](#)".
12. Government Finance Officers Association, "[Infrastructure Investment and Jobs Act \(IIJA\) Implementation Resources](#)".
13. U.S. Green Building Council, "[Inflation Reduction Act of 2022](#)".
14. Ibid.
15. U.S. Green Building Council, "[LEED for Building Design and Construction](#)".
16. Ibid.
17. United Nations Climate Change, "[Marrakech Partnership for Global Climate Action](#)".
18. UN Environment Programme, "[CO2 emissions from buildings and construction hit new high, leaving sector off track to decarbonize by 2050: UN](#)", November 09, 2022.
19. Global Alliance for Buildings and Construction, "[2021 Global Status Report for Buildings and Construction](#)", October 19, 2021.
20. Ibid.
21. The American Institute of Architects, "[10 steps to reducing embodied carbon](#)".
22. Aranca, "[The Need for Sustainable Building Material](#)", September 28, 2020.
23. GreenBiz, "[Navigating climate disruption in the building sector](#)", August 26, 2022.
24. Dodge Data & Analytics, "[Prefabrication and modular construction](#)," 2020.
25. World Resources Institute, "[The Health, Economic and Community Benefits of Zero-carbon Buildings](#)", September 23, 2022.
26. International Labour Organization (ILO), "[Green Construction: Building the future with sustainable jobs](#)".
27. European Commission, "[Renovation wave: Renovating the EU building stock will improve energy efficiency while driving the clean energy transition](#)".
28. European Commission, "[Europe's Digital Decade: digital targets for 2030](#)".

Deloitte.

デロイト トーマツ

デロイト トーマツ グループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイトネットワークのメンバーであるデロイト トーマツ 合同会社ならびにそのグループ法人（有限責任監査法人トーマツ、デロイト トーマツ コンサルティング 合同会社、デロイト トーマツ ファイナンシャル アドバイザリー 合同会社、デロイト トーマツ 税理士 法人、DT 弁護士 法人およびデロイト トーマツ グループ 合同会社を含む）の総称です。デロイト トーマツ グループは、日本で最大級のプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査・保証業務、リスクアドバイザリー、コンサルティング、ファイナンシャル アドバイザリー、税務、法務等を提供しています。また、国内約30都市に約1万7千名の専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループ Web サイト (www.deloitte.com/jp) をご覧ください。

Deloitte (デロイト) とは、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド (“DTTL”)、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して “デロイト ネットワーク”) のひとつまたは複数を指します。DTTL (または “Deloitte Global”) ならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。DTTL および DTTL の各メンバーファームならびに関係法人は、自らの作為および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の作為および不作為について責任を負うものではありません。DTTL はクライアントへのサービス提供を行いません。詳細は www.deloitte.com/jp/about をご覧ください。デロイト アジア パシフィック リミテッドは DTTL のメンバーファームであり、保証有限責任会社です。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィック における 100 を超える都市（オーストラリア、バンコク、北京、ベンガルール、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、ムンバイ、ニューデリー、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte (デロイト) は、監査・保証業務、コンサルティング、ファイナンシャル アドバイザリー、リスクアドバイザリー、税務、法務などに関連する最先端のサービスを、Fortune Global 500® の約 9 割の企業や多数のプライベート（非公開）企業を含むクライアントに提供しています。デロイトは、資本市場に対する社会的な信頼を高め、クライアントの変革と繁栄を促し、より豊かな経済、公正な社会、持続可能な世界の実現に向けて自ら率先して取り組むことを通じて、計測可能で継続性のある成果をもたらすプロフェッショナルの集団です。デロイトは、創設以来 175 年余りの歴史を有し、150 を超える国・地域にわたって活動を展開しています。“Making an impact that matters” をパーパス（存在理由）として標榜するデロイトの約 415,000 名の人材の活動の詳細については、(www.deloitte.com) をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、DTTL、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。また DTTL、そのメンバーファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接または間接に発生したいかなる損失および損害に対して責任を負いません。

Member of
Deloitte Touche Tohmatsu Limited

© 2023. For information, contact Deloitte Tohmatsu Group.



IS 669126 / ISO 27001



BCMS 764479 / ISO 22301