

**建物のライフサイクルを通じた
発注者による BIM 活用の有効性検証（令和 4 年度事業）**

2023 年（令和 5 年）3 月

日建設計コンストラクション・マネジメント株式会社

学校法人武蔵野大学

1 提案内容のまとめ.....	4
1-2 CO2 算出の重要性と BIM 利用の可能性.....	5
1-3 やさしい BIM の定義.....	7
1-4 本事業における目標.....	9
2 検証 発注者によるプロジェクト方針決定の効率化検証.....	10
2-1 検証の対象.....	10
2-2 検証の手法概要.....	10
2-2-1 『LCA 指針』の概要.....	11
2-2-2 「LCA ツール」の概要.....	12
2-3 LCCO2 算出における『やさしい BIM®』、「LCA 指針の取り扱い、留意点.....	13
2-4 検証フロー.....	14
2-5 検証体制.....	15
3 発注者によるプロジェクト方針決定の効率化検証.....	16
3-1 効率化目標.....	16
3-1-1 目標①および目標②の検証手法.....	16
3-1-2 目標③の検証手法（LCA 業務に関するアンケート）★.....	16
3-1-2-1 アンケートの手法.....	17
3-1-2-2 アンケートの概要.....	17
3-1-2-3 アンケート結果の概要.....	18
3-1-2-4 効率化検証の手法.....	19
3-2 検証結果について★.....	20
3-2-1 目標①の検証結果.....	20
3-2-2 目標②の検証結果.....	20
3-2-3 目標③の検証結果.....	20
3-3 考察.....	22
3-3-1 目標①の検証考察.....	22
3-3-2 目標②の検証考察.....	22
3-3-3 目標③の検証考察.....	22
4 データ連携検証.....	23
4-1 『やさしい BIM®』化手法.....	23
4-1-1 エlementテーブルの更新.....	23
4-1-2 複合原単位の設定.....	24
4-1-3 維持管理段階の LCCO2 を念頭に置いた部材設定.....	24
4-1-4 維持管理段階の CO2 排出量の算出手法.....	25
4-1-5 設備項目における算出手法.....	25
4-1-6 統計値から算出する項目と設備機材重量から算出する項目について.....	26

4-1-7 運用段階における算出手法	26
4-2 LCCO2 の算出結果とその考察	31
4-2-1 LCCO2 算出結果及び建物ライフサイクルにおける CO2 排出バランス	31
4-2-2 新築段階で排出される CO2	32
4-2-3 『やさしい BIM®』を用いて算出した LCCO2 の的中率.....	34
4-2-3-1 新築・建替・修繕・廃棄処分（建築・電気・機械）	35
4-2-3-2 運用エネルギー（エネルギー）	36
5 検証の結果を受けた今後の課題.....	37
5-1 業務効率化検証の課題.....	37
5-1-1 BIM 作業に対するトレーニング方法の検討.....	37
5-1-2 モデルチェッカー・入力確認の担当者の役割の明確化.....	37
5-2 データ連携検証の課題.....	37
5-2-1 検証量の拡大による LCA 算出精度の向上	37
5-2-2 設備に関する LCCO2 の算出に関する課題	37
5-2-3 『やさしい BIM®』専用複合原単位のデータベース化.....	38
5-2-4 モデルで算出されない情報の取り扱い	38
6 BIM 発注者情報要件（EIR）・BIM 実行計画（BEP）について.....	39
7 結論と今後の展望.....	40
8 執筆担当その他	41

(別添資料一覧)

別添① LCCO2 算出用エレメントテーブルサンプル

別添② BEP・EIR

別添③業務ヒアリング内容・ヒアリング結果（各事例）

1 提案内容のまとめ

昨今の BIM の利用の実態は、設計・施工段階で利用されることに留まっている。設計・施工段階では、設計者・施工者が BIM を用いて図面データの作成・メンテナンス・プレゼンテーション利用などを行うため、発注者は、BIM のメリットを享受できる。しかし、設計者や施工者等が参画しない、建設プロジェクトの企画段階（国交省ガイドラインで言うところの S0・S1 段階）及び建物運用段階（同じく S7 段階）において、発注者が BIM のメリットを享受するためには、何らかのリソースを発注者または発注者から委託された企業が用意しなくてはならない。しかしながら、現在の日本の建設及び建物に関わる発注者において、そういったリソースを有するものは皆無と言ってもよい状況である。

そこで、「建物のライフサイクルを通じた発注者による BIM 活用の有効性検証（令和 4 年度事業）」（以下、本事業）では、「建物のライフサイクルを通じた発注者による BIM 活用の有効性検証（令和 2 年度事業）」（以下、令和 2 年度事業）および「建物のライフサイクルを通じた発注者による BIM 活用の有効性検証（令和 3 年度事業）」（以下、令和 3 年度事業）の継続課題等とあわせて、発注者にメリットのある BIM の利用方法を検討し、その効果を検証する。これにより、さらなる BIM 利用の拡大を刺激し、発注者を含む建設関連産業における生産性向上に寄与する。

本事業では、建設プロジェクトの企画段階で、日建設計コンストラクション・マネジメント（以下、NCM）のようなマネジメント会社が BIM を利用し、発注者に BIM のメリットを提供するソリューションの構築を目指す。

具体的には、昨今発注者の業務として必要性が高まっている LCA（ライフサイクルアセスメント）業務における LCC02（ライフサイクル CO2）算出方法および算出の省力化について、BIM の活用方法を検証することで、企画段階での発注者の BIM 利用のメリットを創出する。言い換えると、設計者/施工者が介在しないプロジェクトの企画・基本計画段階において、NCM が令和 2 年度事業および令和 3 年度事業で検証を実施した、発注者でも理解しやすく、メンテナンス性なども考慮し導入しやすい『やさしい BIM[®]』を発展させることで LCC02 算出方法およびその省力化方法を検証する。また、LCC02 とコスト情報と紐づけることで、発注者のプロジェクト進行に与えるメリットを検証する。これにより、『やさしい BIM[®]』が発注者業務に対して発展的かつ、「今後確実に実施しなければならない業務」を履行できることを証明する。

本検証が汎用的な手法となるように、LCA 業務に関する ISO 基準である ISO14000 シリーズのワークフローに倣い、クリティカルレビュー相当するような業務となるように心がける。本検証では日本建築学会が提唱する「建物の LCA 指針 温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール改訂版（以下、LCA 指針）」を活用し LCC02 を算出するが、『やさしい BIM[®]』を活用した際にもそのコンセプトから逸脱していないかを、適正と言えるレベルであるかどうかを確認しながら検証を進める。

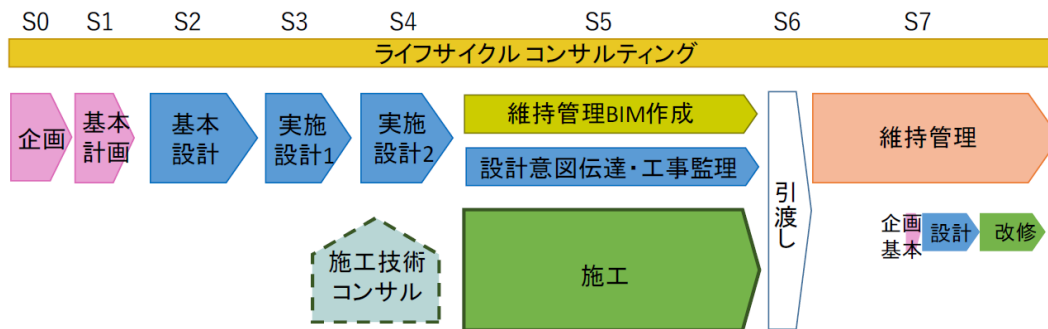


図1 標準ワークフローと業務区分（ステージ）

（国土交通省/建築分野におけるBIMの標準ワークフローとその活用方策に関するガイドライン（第1版）より引用）

1-2 CO2 算出の重要性と BIM 利用の可能性

この項目では、建物のオーナーや建設の発注者が建築に関するCO2をマネジメントすることがいかに重要かを説明する。昨今、東京証券取引所の「プライム市場」上場に企業に対し、「気候変動リスク」の開示が求められ、コーポレート・ガバナンス報告書等の中で、CO2等の温暖化ガスの排出増加に伴う気候変動によって、経済や社会が被るリスクを公表することが求められるようになった。マクロな企業の経済活動にも根拠のある環境配慮のコミットメントが必須となってきたといえる。



上場区分 (会社数：2022/5/19時点)	TCFD提言に沿う開示要否
プライム市場(1,837)	実質的に義務化 (開示しない場合、その理由を説明)
スタンダード市場(1,462) グロース市場(470)	任意 (ただし、推奨)

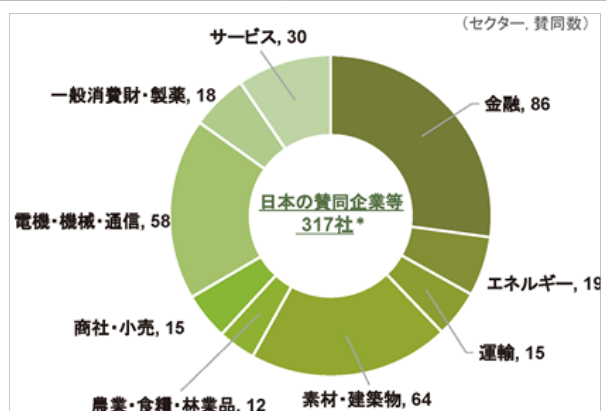


図2左：TCFD 提言 最終報告書（出典：TCFD コンソーシアム HP）、右：TCFD に係る上場区分および TCFD 賛同企業等のセクター内訳（出典：環境省 HP/TCFD を活用した経営戦略立案のススメより）

一方で、建設産業において CO2 排出を見ると、日本国において排出される CO2 の 40% を超えるとされている。この事実は、建設産業に身を置く我々の社会的な責任が非常に大きいものである。建築オーナーとなる「発注者」にとっては、設計や建設の結果として、LCCO2 を適切に把握することだけではなく、新規投資検討するプロジェクトの諸金段階（企画・基本計画段階（S0、S1 段階）」で、LCCO2 試算し、分析・調整するような LCA 業務が必須となっていくと考える。実際に、コンストラクション・マネジャー（以下、CMr）として建設プロジェクトにかかわる中で、近年発注者が LCCO2 の削減のために様々な検証業務を行っていることを実感しているが、それらの検証業務は多くが、基本設計以降に設計者や施工者が関与し、削減できる LCCO2 の試算ができ、そのコストが算出できるようになってからというケースがほとんどである。基本設計以降に、発注者が環境施策¹などを実装するために割くことができる予算は建設全体のコストからみれば非常に限られており、実際のプロジェクトにおいてそれらの環境施策が実装される機会は非常に限られていると感じる。前述したように、建設のみならずプロジェクト全体の予算が決定される企画・基本計画段階に、如何にこれらの環境施策に対する費用対効果を分析し予算化しておくかが、この問題の解消の糸口となるだろう。

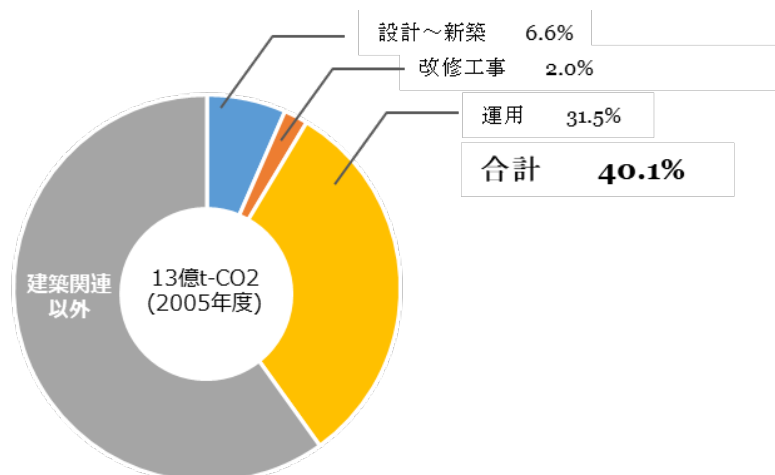


図 3 日本の CO2 排出量に占める建築関連の割合

NCM では BIM を用いることが、この課題の解消するための手法であるのではないかと考えた。本事業で検証する LCA 業務は LCCO2 のマネジメントに関わる内容だが、LCCO2 算出の主要な技術は建築の要素の数量を算出、その数量に単位当りの CO2 量を乗じることで算出する（詳細は後述）。NCM では、これが NCM が令和 2 年のモデル事業で検証を行った、設計者や施工者が介在しない企画・基本計画段階（S0、S1 段階）での『やさしい

¹ 例えば、太陽光パネルの設置は直接的に LCCO2 をキャンセルするような試みであるし、排出する CO2 の低いコンクリート材料、CO2 排出量の低い設備機器（照明装置・空調機）など CO2 の排出そのものを低減させるような試み、電気自動車用の急速充電器の設置など排出される CO2 をマクロ的な観点で低減させるものなど様々な取り組みが考えられる。

BIM®』を用いた数量積算の技術やワークフローをほとんどそのまま活用できると考えた。コスト概算とともに、発注者が必要としている LCA 業務が履行できれば、これまでの業務の質や効率向上のみならず、まったく新しい付加価値を創出できると考える。

本事業においては社会的な需要の高まるニーズに対して、BIM がソリューションになりえることを証明したい。本事業の検証結果によって、BIM が「モノづくり」だけでなく、発注者の多くの業務に対して有用であることを印象付けることができれば幸甚である。

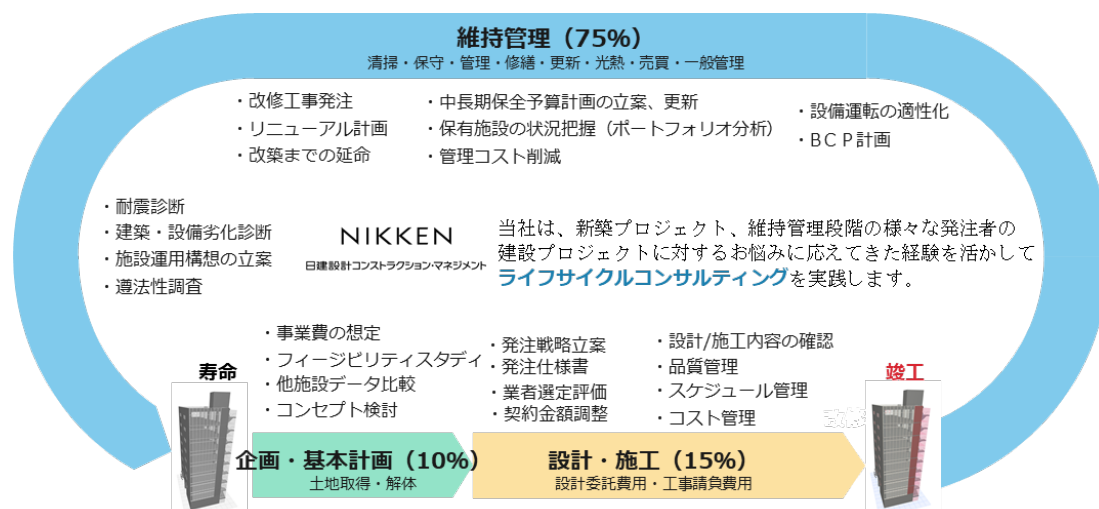


図 4 建物ライフサイクルとライフサイクルコンサルティング業務の例 (カッコ内は LCC での費用内訳)

1-3 やさしい BIM の定義

「企画・基本計画」及び「維持管理段階」などの設計者や施工者が介在しにくいフェーズで、BIM 利用・普及させるのに重要なポイントは、「いかに発注者にとってわかりやすいメリットを BIM より享受できるか」という点にある。NCM の業務及び、BIM の利用の可能性検討のために発注者等へのヒアリングを通じ、発注者の業務への直接的なメリットに対するアイデアではなく、設計や施工段階の業務効率化及び業務の質向上のための利用であることが分かった。これは、これまで日本のほとんどの BIM の利用に関する検討が、設計者や施工者が実施する「設計・施工段階」を中心とするモノづくりのために BIM の利用に即していたものであるからと考える。

「設計・施工段階」で BIM のメリットを引き出すには、LOD (Level of Development または Level of Detail) と呼ばれるモデルの詳細度を上げていかななくてはならない。設計検討や施工検討によって、発注者が視覚的に空間を把握が可能になり、要望を伝達しやすくなる等のメリットが考えられる。

一方で、それら高い LOD のモデルを「企画・基本計画」及び「維持管理段階」で発注者が作成・管理することはほぼ不可能に近い状況である。BIM を操作できる技術者を持たない発注者においては、一般の OA スキルで管理できる仕組みづくりが必須である。ここで、

BIM を操作できる技術者の確保や外部への委託という可能性も考えられるが、上記の通り発注者が感じることができる BIM のメリットが十分に見出されていない中で、現状以上の投資への判断は発注者にとって難しいのが現状である。

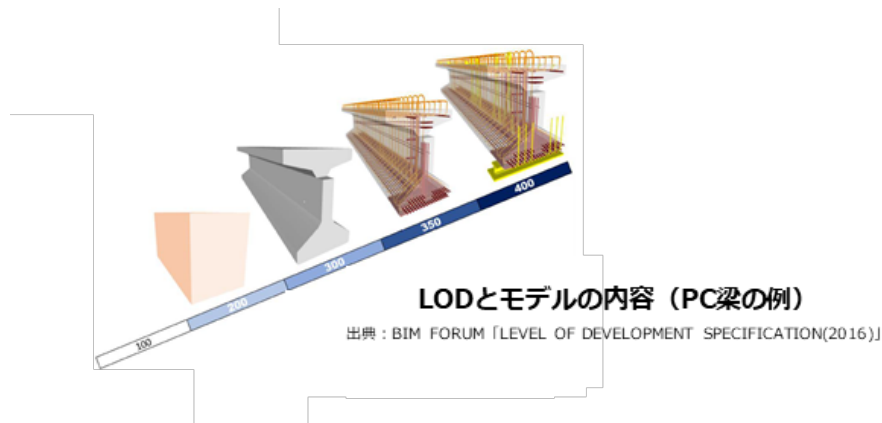


図 5 LOD とモデルの内容 (PC 梁の例)

そこで、NCM では発注者でも十分に BIM が利用できる手法の開発を実施した。LOD が低く、BIM モデルのハンドリング（ファイルサイズの大小や成果品等のファイル形式）が、発注者だけでも不可能ではない、もしくは、メンテナンスが非常に少なく済む方法を見据えた BIM モデルの構築である。この考え方に基づいた BIM を、NCM では「やさしい BIM」と名付けた。この「やさしい BIM」は、決まった構成規則で定義されるのではなく、基本的な LOD や LOI（Level of Information）を整備しつつ、「企画・基本計画」及び「維持管理段階」で、それぞれの利用目的・手段に併せて細部の構成規則等をアレンジするというのが BIM 作成の概念である。発注者メリットの高い「やさしい BIM」を整備できれば、前述の通り発注者の直接的なメリットとなり、また、建物ライフサイクルにわたったマネジメントに BIM を活用できるなど、「モノづくり」だけでなく建物関わるあらゆるプロジェクトに BIM が必要不可欠になるような環境を生み出すことができると考える。

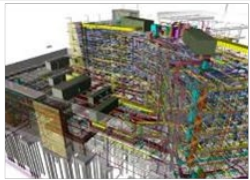

	モデルイメージ	LOD	メリット/デメリット
設計/施工 BIM (モノづくり用 BIM)	 出典: DETAILING EXPRESS	設計 200~300 施工 200~400	<ul style="list-style-type: none"> ○ 設計/施工に必要な詳細情報が取得可能 ○ 精緻な竣工情報を管理できる × 新築建物しか BIM 化できない × データが重くなり高スペックの PC や BIM 操作のスキルが必要 × 現状で全て情報を BIM で表現することが困難 × 運用情報を蓄積しづらい
やさしい BIM (発注者用 BIM)		100~200	<ul style="list-style-type: none"> ○ 設計/施工で BIM を利用していなくても作成可能（既存建物でも作成可能） ○ データが軽く、普通スペックの PC で利用可能 ○ 維持管理段階での情報を反映しやすく、様々な外部アプリケーションと連携しやすい × 設計/施工で利用した BIM から LOD を落とす必要がある。（維持管理用 BIM の作成が必要）

図 6 設計/施工段階の BIM 燃えると「やさしい BIM」のイメージと特徴

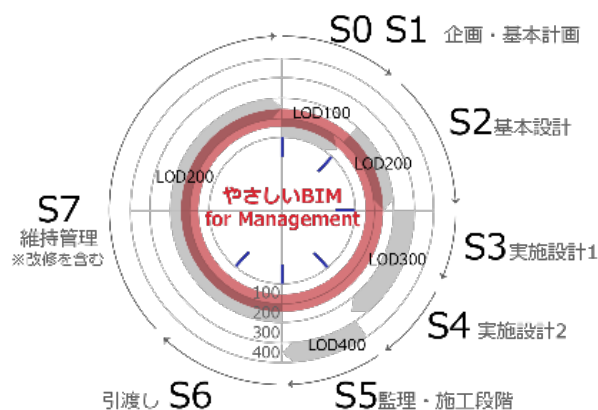


図 7 LOD を低く設定しマネジメントに利用するイメージ

1-4 本事業における目標

本事業では令和 2 年度の NCM の事業で検証した、『やさしい BIM®』を用いた建築の要素の数量算出の技術を用いて、設計者/施工者が介在しない「企画・基本計画段階」においても、LCC02 を数量積み上げによる手法によって算出し、コストに加え、LCC02 といった費用対効果の観点から発注者の環境施策に対する検証業務（LCA 業務）を実施することに BIM が寄与することを実証することを目標とする。

また、これらのソリューションはこれまでモノづくりのための BIM 利用にとどまらず、BIM を用いた空間情報や数量情報を発注者業務に寄り添ったものとするための非常に大きな一歩となることが考えられる。

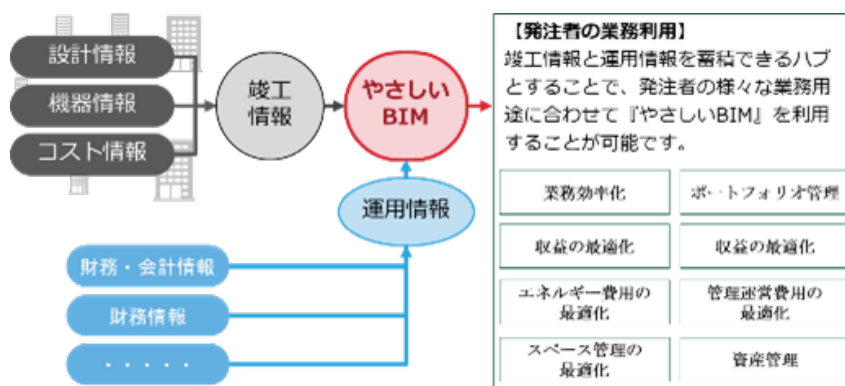


図 8 竣工情報と運用情報のハブとなる「やさしい BIM」のイメージ

2 検証 発注者によるプロジェクト方針決定の効率化検証

この章では、『やさしい BIM®』を用いた LCCO2 算出により、発注者の LCA 業務がどの程度効率化するかを検証する。

2-1 検証の対象

本事業では、下記の 2 棟の民間企業の保有不動産の情報提供を受け、それらを用いて検証を行った。

【建物 A】

用途：事務所ビル（本社ビル）

築年数：20 年

規模：約 20,000m²

構造：地下 1 階 鉄骨鉄筋コンクリート造、一部鉄筋コンクリート造、1 階~14 階 鉄骨造

階数：地下 1 階、地上 14 階、塔屋 1 階

【建物 B】

用途：事務所ビル（賃貸ビル）

築年数：31 年

規模：約 6,000m²

構造：鉄骨鉄筋コンクリート造

階数：地下 1 階、地上 8 階、塔屋 1 階

2-2 検証の手法概要

企画・基本計画段階で実施するフィージビリティスタディ（以下、FS という）においては、事業決定を行うために、手法や正確性の如何を問わず、計画案に対してのコストの分析を行うことが常である。NCM は、令和 2 年度の NCM の事業において、企画・基本計画段階の FS において、坪単価ベースの概算ではなく、数量積み上げによる概算を行い、非常に精度の良いコスト算出が可能であることを証明した。本事業では、令和 2 年度事業におけるコスト概算のための『やさしい BIM®』を作成し、その数量を建築学会が提供する『LCA 指針』に付属する「LCA ツール」というシステムを用いて LCCO2 を算出する。これによって、コストと LCCO2 を定量的に分析する。なお、前述したように、既往の発注者業務において、これらの LCCO2 の検証を行うような LCA 業務はある程度の建物部材数量のわかる図面、数量内訳書が存在する基本設計以降に行われることが多いため、今回の

検証において、既存の手法は、企画・計画段階に LCCO2 算出を行うために発注者が実施する必要のある業務フローを仮定して検証を行う。

2-2-1 『LCA 指針』の概要

建築学会が刊行している LCA 指針は、建築学会が地球温暖化影響に係る LCCO2 の実用的な算定手法を中心とした建物の LCA 手法の一例とそのためのデータベースを提案したものに端を発し、その後、建築学会にて改定がなされてきた建築物の LCCO2 を評価する一つの手法である。総じて、書籍に附属されている LCA 評価ツールおよびデータベースを含めた総称である。初版は 1999 年に刊行され、建築学会地球環境委員会の LCA 小委員会にて継続的に改定がなされ、最新版は 2013 年に刊行されたものとなっている。(図 9)

建物の LCA 指針

— 温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール —



日本建築学会

図 9 建物の LCA 指針

その特徴としては、設計初期段階において設計者が、自ら建物のライフサイクル全体を視野に入れた環境配慮設計の代替案を検討する際の LCA 手法の一例を提示したものとなっており、ライフサイクル全体を評価するために、設計、建設、運用、解体・廃棄に至るライフサイクル全体を捉えた、各種パラメータが整備されており、建築物の LCCO2 を評価することが可能となっている。その他、建築物の LCA に関連するデータベースなどとして国内では、国立環境研究所が公表している産業連関表ベースのデータである 3EID や、産業技術

総合研究所が開発した積上法により作成された IDEA といったデータベースがいくつか存在しているが、建築物に関連する各種パラメータやデータベースが整備されていることから日本国内における建築物の評価では一般的なものとして広く活用されているものとなっている。

2-2-2 「LCA ツール」の概要

LCA ツールは、LCA 指針の一つの成果物として表計算ソフト上で開発されたもので、評価可能な対象建物は、事務所、物販店舗、飲食店舗、ホテル、学校、病院と集合住宅となっている。出力結果としては、建設などの各プロセスに対応したインベントリ項目ごとの計算結果の他に、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性化、大気汚染起因の健康障害、エネルギー資源枯渇といった環境影響項目ごとに整理がなされている。

具体的評価は、計算に必要な情報を所定の入力欄にてメニュー選択または数値入力することで自動的に計算が行われ、結果が得られるものとなっている。主な入力シートは、入力 1 シート（基本情報）、入力 2 シート（建築工事データ）、入力 3 シート（エネルギー消費量集計表）、入力 4 シート（地球温暖化物質とオゾン層破壊物質使用量集計表）の 4 つがある。その他、設備に関連するシート、原単位を作成する複合原単位シートなどがある。以下、主な入力シートについて解説する。（図 10）

入力-1シート 基本情報

建物名: 1033103 商業系水産加工品流通センター
 建物用途: 事務所
 主要構造: RC造
 延床面積: 7583 m²
 評価期間: 基準年 2005年, 対象年 2012年
 建築工事補正: 電気設備 (1.05), 空調設備 (1.05), 衛生設備 (1.05), 昇降機設備 (1.05)
 設計監理料率: 3% (6000円/延床面積)
 新設工事率: 3%
 改修工事率: 3%
 計算年次: 2005年 (基準年), 2012年 (対象年)
 消費税率: 1.05
 廃棄物: 0.534, 1.009
 電気設備: 0.871, 1.089
 空調設備: 0.924, 1.082
 衛生設備: 0.921, 1.085
 昇降機設備: 0.778, 1.017
 設計監理: 0.865, 0.997
 維持管理: 0.882, 0.922
 廃棄物処分: 0.922, 1.009

入力-2シート 建築工事データ

工務科目・細目	工種	更新原単位		更新回数	修繕率	延床面積あたり物量	基準年	対象年	備考			
		基準原単位	修正原単位									
1. 直接仮設	1.0-01 直接仮設	35	100	0%	0%	9	5.3	5.3 kJ/m ²	40,200千円	—		
2. 土工・地業	2.1 土工	発生土搬出	2.1-01 残土	35	100	0%	0%	0.81	0.71	0.71 m ³ /m ²	5400m ³	発生土現場利用
		汚泥処理	2.1-02 汚泥(泥水)	35	100	0%	0%	0.16	0.16	0.16 m ³ /m ²	—	—
2.2 杭・基礎	既設杭	2.2-01 現場打RC杭(φ14×1.4)	Fc24N/mm ²	35	100	0%	0%	0.18	0.180	m ³ /m ²	ポルトランド	高炉白埋
	現場打杭	2.2-11 現場打RC杭(φ18種高炉)	Fc24N/mm ²	35	100	0%	0%	0	0.160	m ³ /m ²	—	—
3. 躯体	3.1 コンクリート	3.1-01 ショウパイク(高炉白埋)	Fc24N/mm ²	35	100	0%	0%	0.8	0.58	0.483 m ³ /m ²	4400m ³	+1.05
		3.1-11 ショウパイク(普通高炉)	Fc24N/mm ²	35	100	0%	0%	0	0.126	m ³ /m ²	—	2割が高炉白埋
	3.2 型枠	3.2-01 型枠		35	100	0%	0%	1	1	1.05 m ² /m ²	30600m ² /4回	+1.05
	3.3 鉄骨	3.3-01 鉄骨		35	100	0%	0%	0	0	kg/m ²	—	—
	3.3-09 鉄骨敷	3.3-09 鉄骨敷		35	100	0%	0%	0	2.6	2.6 kg/m ²	20t(鉄材)	—
	3.4 鉄筋	3.4-01 鉄筋		35	100	0%	0%	100	80	80.45 kg/m ²	—	+1.05
	3.9 その他			35	100	0%	0%					

図 10 LCA 算定ツール入力シートのイメージ

入力シート 1（基本情報）は、建物の基本情報、物価補正、システム境界などを入力もしくは選択するシートとなっており、評価の基本的な条件を整理するシートとなっている。入力シート 2（建築工事データ）は、建築主要資材の資源投入量、各資材の耐用年数、修繕率を入力するシートとなっている。上記、入力項目に応じて CO₂ 等の算定に関する原単位と資源投入量を乗じることで建築工事に係る CO₂ 排出量を算定するシートとなっている。入力シート 3（エネルギー消費量集計表）は、空調・換気・照明・昇降機・給湯などの消費エネルギー量を入力し、運用時の CO₂ 排出量を算定するシートとなる。入力シート 4（地

球温暖化物質とオゾン層破壊物質使用量集計表)は、発泡断熱材や空調冷媒、ガス消火剤などに使用されるフロン類等の地球温暖化物質とオゾン層破壊物質の使用量を入力し、フロン類などの漏洩によるCO2排出量を算定するシートとなる。

更に、算定ツールにおいては、産業連関表を応用したエネルギー消費、CO₂、SO_x、NO_x 排出原単位を、国内/海外、消費支出分/資本形成分、生産段階/流通段階/最終消費段階別にデータベース化されたものが LCA 算定ツールに内蔵されており、上記、入力シート of 情報を反映し、原単位に基づき評価結果が算定されるツールとなっている。(図 11)

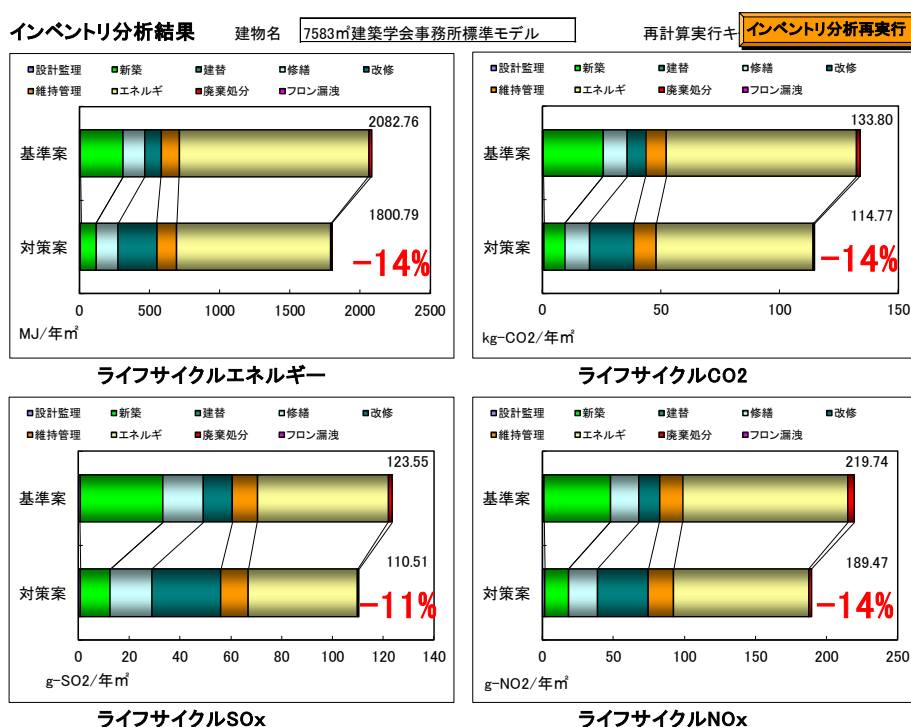


図 11 LCA 算定ツールにおけるインベントリ分析結果

2-3 LCCO2 算出における『やさしい BIM®』、『LCA 指針』の取り扱い、留意点

前項までで『やさしい BIM®』および、本事業で用いる LCCO2 算出ツールである「LCA ツール」について記載したが、『やさしい BIM®』によって算出された建築部材数量を「LCA ツール」で LCCO2 算出を行うためには、『やさしい BIM®』手法に若干の変更を加えたり、逆に LCA ツールの設定を『やさしい BIM®』モデルにあわせて変更を加える事が必要となる。具体的には『やさしい BIM®』によって算出される建築数量はその入力ルールに沿った複合要素で算出されるため、「LCA ツール」内で定義されている CO2 算出の複合原単位を『やさしい BIM®』のモデル入力ルールに沿った構成に修正する必要がある。

2-4 検証フロー

本事業では、『やさしいBIM®』でのLCCO2算出と、その評価のために下記の手順を実施した。

- 1 BIMモデルの作成：
本検証においては、実際に存在する建物の竣工図面・内訳から、基本計画図を想定しモデルを作成した。
- 2 構造断面の仮定・モデル化：
基本計画段階でも設定可能なレベルで設定寸法を設定した。
- 3 要素過不足の確認：
「やさしいBIM」のエレメントテーブルに属していないとしても、LCCO2算出数量に含める事が望ましいと判断された項目は追加して、数量算出を行った。
- 4 要素の数量取得：
数量はLCAツールに入力するため、LCAツールに合わせた出力フォーマットを整理し数量取得を行った。
- 5 BIMモデルより省エネ計算：
BIMの入力情報をベースに省エネ計算を行うソフトを利用しLCCO2算出に必要な省エネ計算を行った。
- 6 複合原単位の作成：
本事業における『やさしいBIM®』を用いたLCCO2算出は、LODが低く数量の算出が複合的になるため、新規に複合原単位の作成を行った。
- 7 LCAツールの与条件の設定：
評価期間・建物の耐用年数等評価の前提となる与条件設定を行った。
- 8 LCCO2の取得：
LCAツール内で計算をかける事で結果を得る。

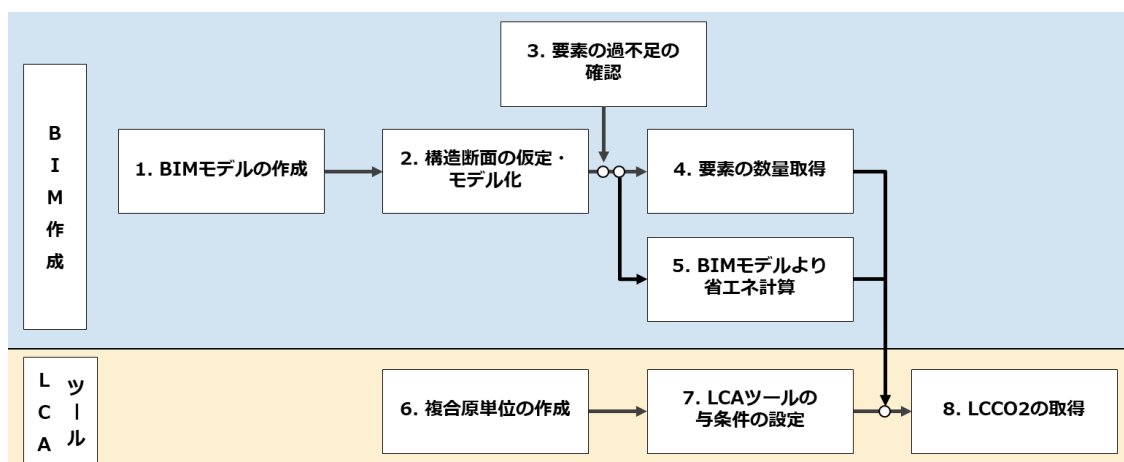


図 12 本事業における LCCO2 算出のワークフロー

2-5 検証体制

本検証における検証の対象は図 13 のとおりである。NCM のデジタルソリューションドメインをはじめとした社内チームが『やさしい BIM®』による LCCO2 算出を実施する。また、本事業における『やさしい BIM®』を用いた LCCO2 算出は、LOD が低いため、数量の算出が複合的になるため、『LCA 指針』にある CO2 排出量の原単位をそのまま利用できない。そのため、本事業における LCCO2 算出がこれらの条件から、『LCA 指針』の主旨からそれないように、LCA 業務の ISO 基準である 14000 シリーズに規定されているクリティカルレビュー相当のチェック体制を築くこととした。具体的には、『LCA 指針』を作成する、建築学会の LCA 小委員会の構成員である、学校法人武蔵野大学の磯部講師をはじめとしたチームにインベントリ分析などの手法が一般化された内容として妥当かどうかを確認しながら事業を行った。

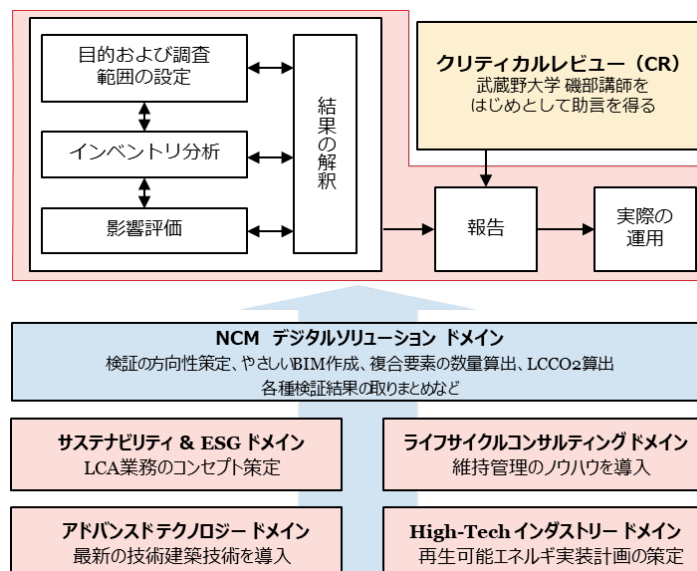


図 13 本事業の体制

3 発注者によるプロジェクト方針決定の効率化検証

本章では、『やさしい BIM®』を用いて算出した LCCO₂ やそれを基にしたコスト検証を伴った発注者による LCA 業務がどの程度発注者業務を効率化させるかを検証する。

3-1 効率化目標

本検証における業務効率化の目標を下記に記す。

目標① 建設段階・解体の LCCO₂ を算出する業務時間:4 割減

目標② 維持管理段階の LCCO₂ を算出する業務時間:2 割減

目標③ 建設完了までに、LCCO₂ 対策の施策の調整にかける業務時間(発注者):2 割減

前述したとおり、企画・基本計画段階では、LCCO₂ 削減を目的とした定量的な LCA 業務があまり実施されていないことから、BIM 由来の積み上げによる LCCO₂ 算出を実施する本検証の作業時間と比較することは難しいが、①と②については、発注者が CO₂ の量を算出するためだけにプロジェクトを行った場合にかかるであろう時間を想定し、比較を行う。

また③については、基本設計以降で竣工までに発注者が実施する環境施策に対する検証業務(費用対効果検証、社内検討、採否判断)について 15 社に対してアンケート形式のヒアリング依頼をすることで、一般的な時間を算出し、本事業の手法がどのように効果が出るかを類推する。

3-1-1 目標①および目標②の検証手法

目標①及び目標②における検証の詳細については、本検証における『やさしい BIM®』による LCCO₂ 算出に対しては、コストを算出するために基礎的な BIM はすでに作られており、各所の数量がすでに算出されている前提となるため、実際の目標①及び目標②のフローは下図 14 及び 15 のとおりである。一方で、既往の手法に関しては、LCCO₂ 算出のための各所の数量を算出する行ため自体を外注の積算事務所等を利用して算出するため、図 14 及び 15 のとおりとなる。本検証では、それぞれのフローにかかるであろう時間を想定し、効率化の検証を行った。

3-1-2 目標③の検証手法 (LCA 業務に関するアンケート) ★

前項に記載した通り、発注者が実施する環境施策に対する検証業務(費用対効果検証、社内検討、採否判断)についてどの程度の時間をかけているかアンケート調査を参照しながら、一般的な時間を算出し、本事業の手法がどのように効果が出るかを類推する。

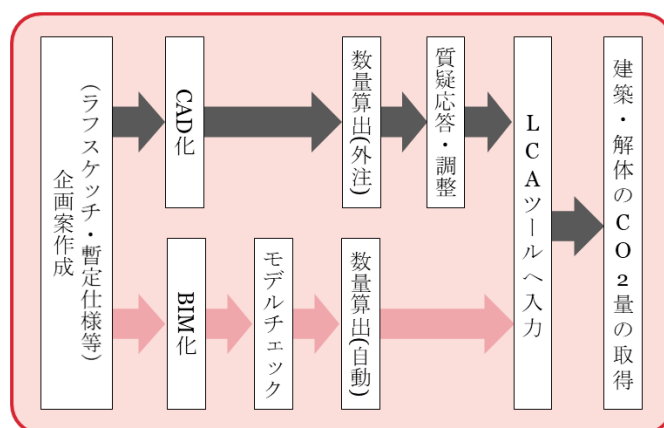


図 14 目標①のワークフロー（やさしい BIM）

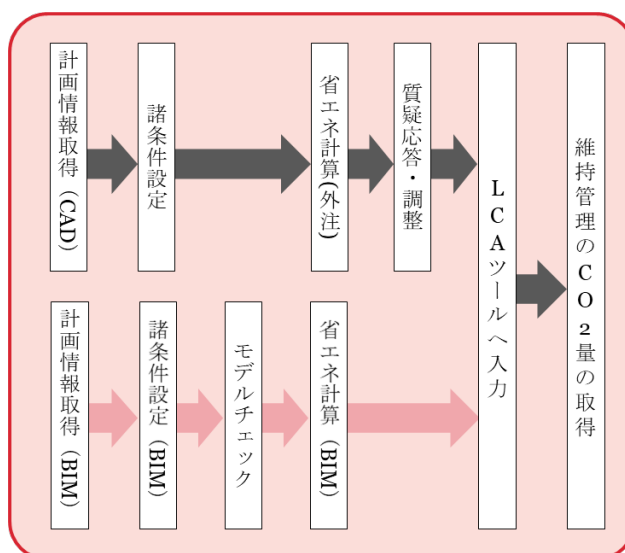


図 15 目標②のワークフロー（やさしい BIM）

3-1-2-1 アンケートの手法

アンケートの徴取方法は下記に記す通りで、質問内容は LCCO₂ 削減を目的とした LCA 業務の経験の有無や LCA 業務を行ったフェーズやその時間に関して質問を行ったもので、詳細の内容は添付資料 3 に記す。なお、本アンケート結果に関しては、実際のプロジェクトの実施状況を表す内容となるため、NCM によって内容の匿名性を持たせるために一部改変を行った。

3-1-2-2 アンケートの概要

アンケート実施手法：ウェブアンケート（Microsoft Forms®）

アンケート回答者の属性：発注者組織において LCA 業務を行う可能性があるプロジェクト担当者（不動産会社、地方自治体、研究機関、物流、データセンターなど）

アンケート送付数（社数）：15 社

アンケート有効回答数（社数）：6社

回答率：40%

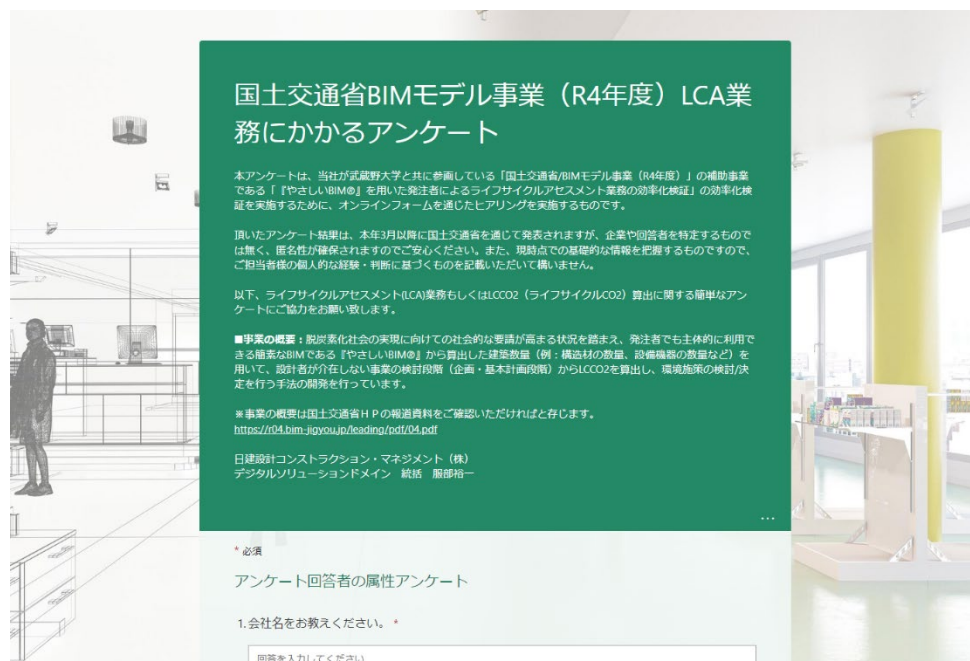


図 16 アンケート用オンラインフォーム

3-1-2-3 アンケート結果の概要

まず、前提として、有効回答を得た企業・団体にて、社会的要請もしくは企業方針として建設プロジェクトにおける CO2 削減検討（LCA 業務）を何らかの形で求められている状況が把握できた。一方で、プロジェクトの個別性が高いことや LCA 業務ワークフローが確立していないこと等を要因として、回答が類型化できるほどの傾向は示さなかった。初期段階にて LCA 検討を行うことで、施策実施に関する意思決定に係る効率化が図れる可能性を示唆する内容となった。

その上で、本項では主要な結果の概要を記載する（アンケート調査詳細は添付資料 3 として添付）。

- **LCA 業務を企画・基本計画段階で実施している発注者割合：75%**

プロジェクト方針策定段階において、保有施設の脱炭素関連（SCOPE3）対応、改修方針策定等で概略的な LCA 業務を実施しているとの回答を得た。

- **LCA 業務を基本設計以降で実施している発注者の割合：75%**

設計フェーズにおいて、設計者等のリソースを活用しながら、具体的な機器や省エネ仕様等の施策採用検討に絡む LCA 業務を実施しているとの回答を得た。

また、上記 2 つの結果に関連して、CO2 削減施策のための予算確保について、半数で

「なし」との回答を得た。これは予算確保と CO2 削減施策検討が連動していない可能性を示唆するものであった。

・ LCA 業務における発注者業務にかかる時間：24 時間

LCA 業務を担当する部署所管での想定業務量は、2 人工～8 人工程度との回答を得た。

またアンケートの中では、建設プロジェクトの初期段階（企画・基本計画段階）において簡単な BIM を用いたコスト把握と LCCO2 シミュレーションが可能になることで、一定の判断材料が揃い、適切な意思決定を可能にする可能性があるため、発注者の業務フロー効率化に寄与するのではないかというメリットに関するコメントが見られた。

3-1-2-4 効率化検証の手法

前の結果より、企画・基本計画段階で LCA 業務を実施している発注者はかなり少ないことがわかる。LCA 業務を実施している発注者においても、本事業のような LCCO2 などの数量根拠を基に LCA 業務を実施している発注者はないことが分かった。ただし、事業のフェーズが異なっても、LCCO2 の排出量を削減する環境施策の採否の検討においては、同様の手続き（ワークフロー）であることが想定できるため、発注者が基本設計以降で実施する LCA 業務にかかる業務時間から既往の手段を想定して定量評価（時間評価）を行う。また定量的な検証を実施するためには、特定の環境施策を想定する必要がある。本検証では、発注者の省 LCCO2 の削減の手法として一般的な「省エネルギー設備機器の採否」に関して、各目標の効率化検証が可能となるように「従来の手法によるフロー」と「BIM 手法によるフロー」の比較を想定した。

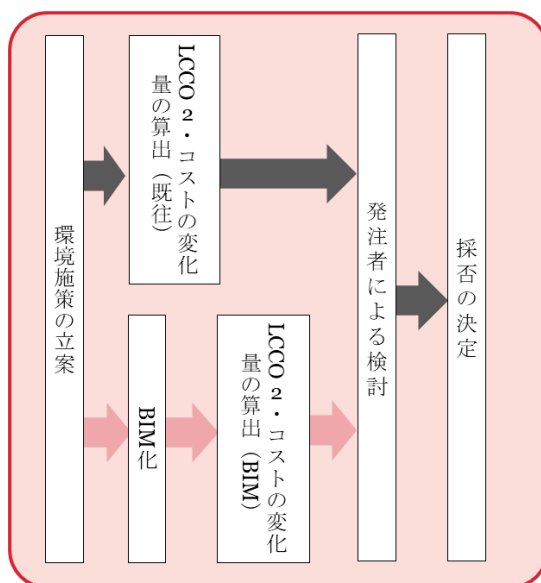


図 17 目標③のワークフロー（やさしい BIM）

3-2 検証結果について★

本項目では検証の内容と検証結果を述べる。なお想定される日数については、業務間の調整などによる待ち時間を考慮していない。

3-2-1 目標①の検証結果

目標①の検証結果を図 17 に示す。企画案立案開始から建築・解体の CO2 排出量の取得までに、従来手法が 36 日、BIM 手法が 24 日かかることが想定でき、事前に試算していた削減効果 40%をやや下回る 33.3%の削減効果となった。

3-2-2 目標②の検証結果

目標②の検証結果を図 18 に示す。CAD や BIM 由来の計画情報の取得から、維持管理の CO2 排出量の取得までに、従来手法が 15 日、BIM 手法が 4 日かかることが想定でき、事前に試算していた削減効果 20%を大きく上回る 73.3%の削減効果となった。

3-2-3 目標③の検証結果

目標③ 建設完了までに、LCCO2 対策の施策の調整にかける業務時間(発注者)の 2 割減について、どの程度の時間をかけているかアンケート調査を参照しながら、一般的な時間を算出(既往手法)し、BIM 手法によるフローと比較した。両手法とも施策の調整にかける業務時間(発注者)の合計は 3 日となり、事前に試算していた 20%削減効果を下回った。

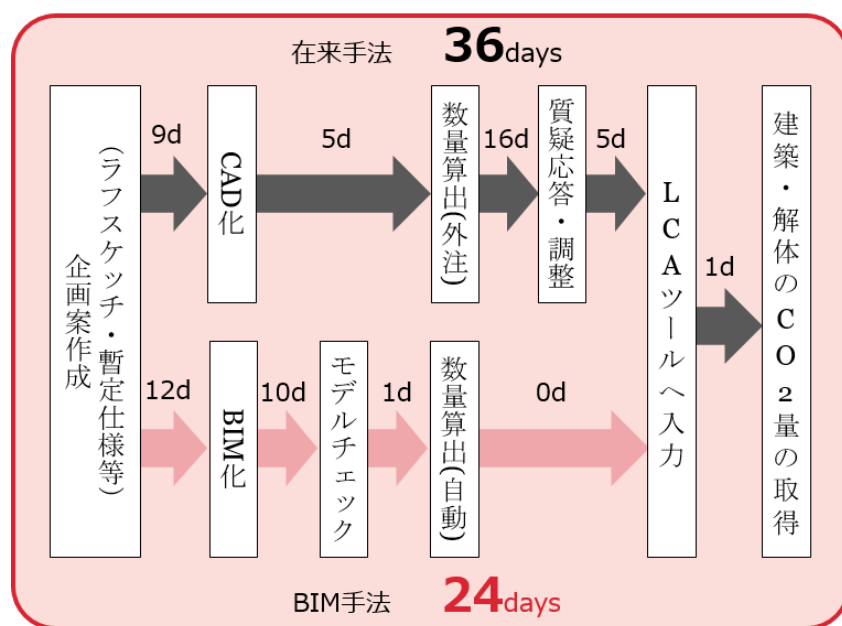


図 18 目標①の検証結果

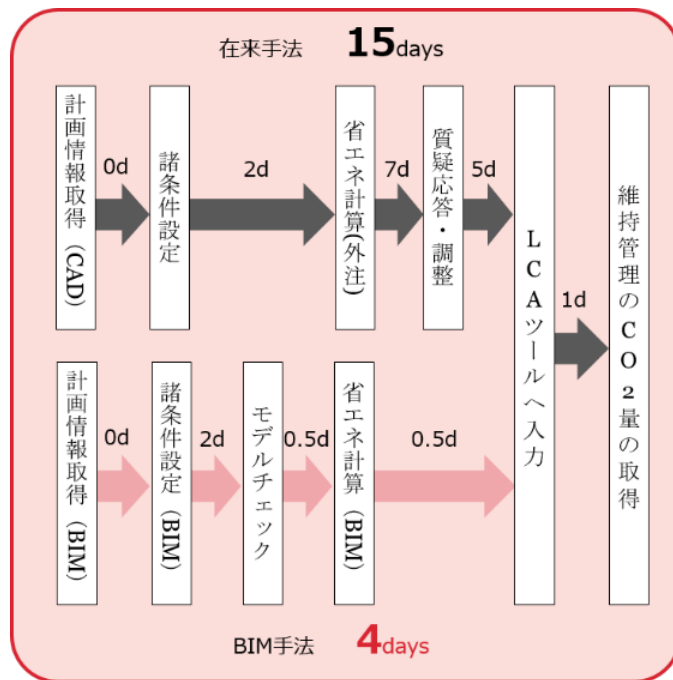


図 19 目標②の検証結果

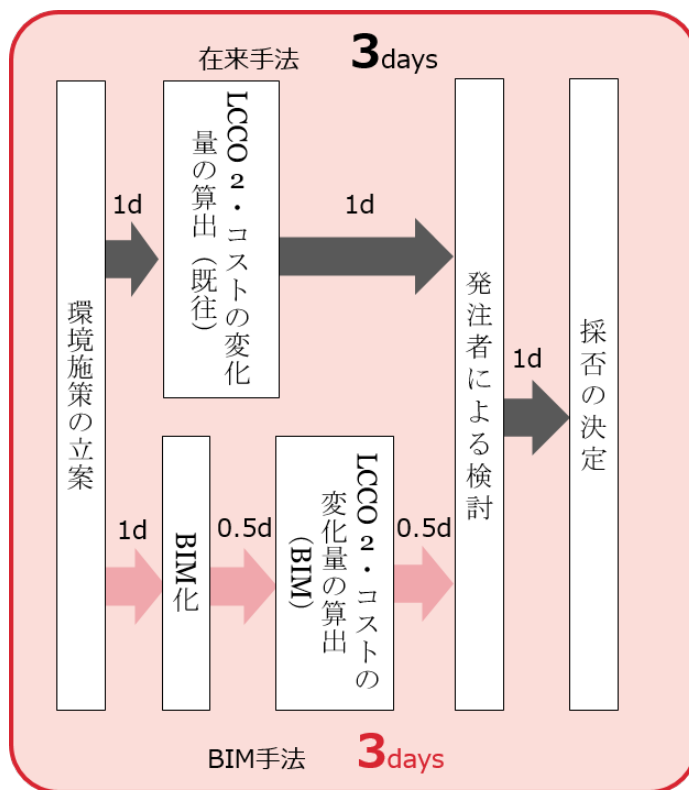


図 20 目標③の検証結果

3-3 考察

本項目では各目標に関する検証を踏まえ考察を述べる。

3-3-1 目標①の検証考察

目標①では、若干目標値に届かない結果となった。これは、BIM 化に必要な情報量が CAD の場合よりも多く作業に時間を要するためだと予想される。ただし、在来の手法が LCCO2 算出のために、数量算出を行っているのに対して、BIM 化手法はプロジェクトにおいてコスト概算を実施する過程で取得できる数量を用いていることを考慮すると、業務時間の効率化以上に付加価値の高い業務となっていると考えられる。

3-3-2 目標②の検証考察

目標②では、予想した効果を大きく上回る結果となった。「BIM sustaina for Energy」を利用することにより、維持管理段階の CO2 排出量は、『やさしい BIM®』モデルから効率的に算出できることがわかり、業務にかかる時間が大幅に短縮されることが見込まれる。

3-3-3 目標③の検証考察

目標③の建設完了までに、LCCO2 対策の施策の調整にかかる業務時間(発注者)の 2 割減については、単純な在来手法と BIM 手法の比較による発注者業務時間に関する差は想定できなかった。しかしながら、建設プロジェクトの初期段階(企画・基本計画段階)において簡単な BIM を用いたコスト把握と LCCO2 シミュレーションが可能となることから、当該比較には表れない発注者業務フロー効率化に寄与することが想定できる。

また、各段階における環境施策の立案、予算調整、検討、採否判断はセットで繰り返し行われることを考慮すると業務効率化の削減に寄与する可能性がある。

4 データ連携検証

本章では、『やさしいBIM®』を用いてLCCO2を算出するためのデータ連携課題に関する検証を実施する。

4-1 『やさしいBIM®』化手法

4-1-1 エレメントテーブルの更新

本事業では、令和2年度のNCMの事業におけるBIMの作成方法を準用する。令和2年度のNCMの検証にて、積み上げの概算数量を算出するために、「Archicad」というBIMソフトを用いて建築モデルとして26項目のエレメントをモデル化した。設備のBIM化に関してNCMの令和2年度事業では、建築の面積に対する坪単価の情報によって概算を行っていたが、本事業においては、令和2年度事業同様Archicadを用いてこれまでのエレメントに6項目を加えLCCO2算出に対して重要なエレメントを加えた。また、一覧表作成時に部材数量をLCAツールで採用されている単位に整合させ拾い出すため、一部の単位を変更した。設備においては一覧表の機能を使用し、BIMで算出された各室の面積情報から基本設計で行うような設備緒元を簡易に作成し、空調機器を選定するなど、令和2年度の検証よりも高度な数量算出を行っている。

表1 BIMのエレメントテーブル（建築）

部材	ツール	LOD	単位	パラメーター	フィールド
1 柱（鉄骨量・RC）（型枠・鉄筋等を含む）	柱	200	m	構成要素	層/構成要素体積
2 梁（鉄骨量・RC）（型枠・鉄筋等を含む）	梁	200	m	構成要素	層/構成要素体積
3 その他躯体（鉄骨量・RC）（型枠・鉄筋等を含む）	ゾーン	100	m	ゾーン	計算した面積
4 外壁（PC、ECP、カーテンウォール）	壁	150	m	壁	外面正味表面積
5 防水	スラブ	100	m	スラブ	上部表面積
6 防水立ち上がり+笠木（表面おさえ、防水、笠木など）	梁	100	m	梁	外・内面・上面正味表面積
7 壁付防水立ち上げ+笠木（表面おさえ、防水、笠木など）	梁	100	m	梁	外・内面・上面正味表面積
8 各種建具	ドア・窓	100	個数	一般	数量
9 床仕上（躯体仕上げ、表層仕上など）	ゾーン	100	m	ゾーン	計算した面積
10 天井仕上（天井下地、表層材料など）	ゾーン	100	m	ゾーン	計算した面積
11 巾木	ゾーン	100	m	ゾーン	内面正味表面積
12 廻り縁	ゾーン	100	m	ゾーン	内面正味表面積
13 各種内壁（下地ボード、表層仕上など）	ゾーン+壁	100	m	ゾーン	壁表面積
14 WCブース	壁	100	m	壁	内面正味表面積
15 ライニングカウンター	梁	100	m	梁	上部表面積
16 洗面カウンター	オブジェクト	-	個数	一般	数量
17 ミニキッチン	オブジェクト	-	個数	一般	数量
18 EV・エスカレーター	オブジェクト	-	個数	一般	数量
19 階段	階段	100	個数	一般	数量
20 屋外階段	階段	100	個数	一般	数量
21 屋外階段手摺	手摺	200	m	一般	外面正味表面積
22 手摺	手摺	200	m	一般	外面正味表面積
23 屋上緑化	スラブ	100	m	スラブ	上部表面積
24 ゴンドラレール	梁	100	m	梁	上部表面積
25 防煙垂れ壁	壁	100	m	壁	外面正味表面積
26 メンテナンス通路（鋼製床材等）	スラブ	100	m	スラブ	上部表面積

4-1-2 複合原単位の設定

本検証においては、実際に存在する建物の竣工図面からプロジェクト初期段階での計画を想定しモデル入力を行った。まずは竣工図から『やさしいBIM®』で定義されたエレメントテーブルに沿って各エレメントの詳細項目をリスト化した。そのリストに対し、整合するLCA ツールで用意された「複合原単位」にマッチングしているか否か確認し、マッチングしていない場合にはLCA ツールの「資材構成」でリストされている複合原単位の資材情報を元に新たな複合原単位を作成した。

『やさしいBIM®』では、モデルの作成および算出手法上、例えば内壁を構成する要素として「LGS+PB+仕上げ」と計画している場合においても、「LGS」とその他の「PB+仕上げ」は別に設定する必要がある。このようなルールに合わせて、LCA ツールでデフォルトとして設定されている複合原単位を一部新たに分解、組換える事も行った。

表 2 壁エレメントの複合原単位表の一部

仕様	複合原単位	単位
1 モルタル金ゴテの上、100角半磁器タイル貼り	5.2-13 壁仕上 タイル	m2
2 モルタル金ゴテ下地ビニールクロス貼り	5.2-34 壁仕上 モルタル+ビニールクロス	m2
3 モルタルt20金ゴテ仕上	5.2-35 壁仕上 モルタル金ゴテ(20t)	m2
4 モルタル金ゴテ下地EP塗装仕上げ	5.2-36 壁仕上 モルタル+塗装	m2
5 コンクリート打放補修	-	-
6 コンクリート打放補修EP塗装仕上げ	5.2-11 壁仕上 塗装	m2
7 コンクリート化粧打放し補修のうえりシン吹付	4.2-24 外壁仕上 吹付タイル	m2
8 コンクリート打放補修 CB化粧積	4.2-49 セメント製品	m3
9 PBt12(LGS)ビニールクロス貼り	5.2-37 PB+ビニールクロス	m2
10 PB12GL下地 ビニールクロス貼り	5.2-38 PB(GL工法)+ビニールクロス	m2
11 PBt12(LGS)EP塗装仕上げ	5.2-39 PB+塗装	m2
12 PB12GL下地 EP塗装仕上げ	5.2-40 PB(GL工法)+塗装	m2
13 PB12(LGS)、コンクリート打放補修	5.2-41 PB	m2
14 耐火間仕切り、コンクリート打放補修	耐火間仕切り 1時間 5階以上 2時間 4階以下	5.2-43 PB(耐火2時間) 5.2-43 PB(耐火2時間)
15 磁器質タイル貼り	5.2-13 壁仕上 タイル	m2
16 セメント防水t20金ゴテ仕上	5.2-35 壁仕上 モルタル金ゴテ(20t)	m2
17 大理石t20	5.2-01 壁仕上 石	m2

4-1-3 維持管理段階の LCCO2 を念頭に置いた部材設定

LCA ツールにおいては「修繕」は各マテリアルに一定の修繕率を、「改修」については各マテリアルの更新周期を設定することでそれぞれの CO2 算出がされる。「改修」算出のための設定には公益社団法人ロングライフビル推進協会の「LC 評価、長期修繕計画、診断、資産評価、ER のための建築物のライフサイクルマネジメント用データ集改訂版」から更新周期を採用した。ただし、『やさしい BIM®』の主要建築数量の単位はマテリアルの複合で出来ているため、各複合的なマテリアルに一律の修繕率と更新周期を設定する必要がある。基本的には過少評価とならないように、複合部材の中で一番短い更新周期を有する物を基準として設定したが、それで過大となってしまう場合には修繕率と更新周期を調整し、より精度を高める工夫を行った。

表 3 壁エレメントの更新周期・修繕率表の一部

複合原単位		単位	更新周期	修繕率
5.2-13	壁仕上 タイル	m2	40	2%
5.2-34	壁仕上 モルタル+ビニールクロス	m2	20	2%
5.2-35	壁仕上 モルタル金ゴテ(20t)	m2	建耐	
5.2-36	壁仕上 モルタル+塗装	m2	20	2%
-	-		建耐	
5.2-11	壁仕上 塗装	m2	20	2%
4.2-24	外壁仕上 吹付タイル	m2	30	2%
4.2-49	セメント製品	m3	建耐	
5.2-37	PB+ビニールクロス	m2	20	2%
5.2-38	PB (GL工法)+ビニールクロス	m2	20	2%
5.2-39	PB+塗装	m2	20	2%
5.2-40	PB (GL工法)+塗装	m2	20	2%
5.2-41	PB	m2	30	2%
5.2-43	PB(耐火2時間)	m2	35	2%
5.2-43	PB(耐火2時間)	m2	35	2%
5.2-13	壁仕上 タイル	m2	40	2%
5.2-35	壁仕上 モルタル金ゴテ(20t)	m2	建耐	
5.2-01	壁仕上 石	m2	40	2%

4-1-4 維持管理段階の CO2 排出量の算出手法

『LCA 指針』において維持管理段階の CO2 排出量は、年間消費エネルギー量設定が基礎となる。企画・基本計画段階といったプロジェクト初期段階において、従来のプロジェクトスキームでは、省エネ計算等のエネルギー消費量が算出されていないと想定できるため、本事業で想定するコスト概算における数量算出の業務だけでは、維持管理段階の CO2 量は算出できない。

今回の検証では、企画・基本計画段階の LOD の BIM モデルから効率的に省エネ計算が可能な方法を検討した。具体的には、Archicad のアドオンソフト「BIM sustaina for Energy (one building 社作成)」を採用した。「BIM sustaina for Energy」を用いると概算用の『やさしい BIM®』作成後に、建物情報を省エネ計算入力シートに自動変換させ、モデル建物法により省エネ計算を行う事が可能となる。なお、「BIM sustaina for Energy」を使用するために、令和 2 年度事業で整備した『やさしい BIM®』の定義からモデルの一貫性を失わない程度に、入力方法を適宜修正した。

4-1-5 設備項目における算出手法

新築、改修における設備に関する LCCO2 の算出は統計的に算出された原単位（以下、統計データ）から算出されることが一般的である。「LCA ツール」では、前記のような統計データから算出する方法の他に、計画建物に合わせて設備の機材重量から算出する方法が用意されている。今回の検証においては、データの精度上昇と『やさしい BIM®』での作

業可能な範囲を考慮し、統計データから算出する方法と設備機材重量から算出する方法を組み合わせ算出する。

4-1-6 統計値から算出する項目と設備機材重量から算出する項目について

i) 電気設備

電気設備における LCCO₂ の算出項目と、統計値から算出しているか、建築計画に合わせた機器重量から算出しているかの区分を表 4 に示す。

電気設備においてキュービクルは、基本計画段階で概略検討を行い、構造担当者に重量情報提供することも多い。そのため、「LCA ツール」への入力重量からの算出する方法を試みた。しかし、キュービクルは各部の対応年数、更新周期などの違いから内部構造ごと（盤、変圧器、リアクトル・コンデンサなど）に重量を算出する必要があった。基本計画の段階では、内部構造ごとの概略設計を行うための材料が不足していることが多く算定が困難であったため、基本計画段階で算定しうる手法として統計値を採用することとした。照明器具については、部屋の面積、天井高さ、設定照度から機器台数を想定することで、器具の重量を概算した。

ii) 空調設備

空調設備における LCCO₂ の算出項目と、統計値から算出しているか、建築計画に合わせた機器重量から算出しているかの区分を表 5 に示す。

Archicad の一覧表機能を使い、空調設備の諸元を表した。合わせて概略空調負荷から空調機器を想定し、パッケージエアコンの重量を概算した。ここで、中央熱源方式は熱源機器の組み合わせによりシステムが様々であるため、今回は算出の対象外としている。

iii) 衛生設備

衛生設備における LCCO₂ の算出項目と、統計値から算出しているか、建築計画に合わせた機器重量から算出しているかの区分を表 6 に示す。

今回の算出において、衛生設備は全て統計データからの算出とした。受水槽、ポンプなどについては建物の想定人員から算出することも可能と考えるが、人員条件が明確でないため、止む無く統計値からの算出とした。また、直結増圧方式、高架水槽方式など給水方式によってもブレが大きくなるため、インフラの状況が不明確で給水方式が決まらない段階を想定し統計値からの算出とした。

4-1-7 運用段階における算出手法

運用段階の LCCO₂ の排出量は、運用段階でのエネルギー使用量と言い換えることが可能である。運用段階のエネルギー消費量は、建物の特性、利用形態、利用時間、気象状況など様々な事象から影響をうけるため、算出は非常に困難である。

すでに 1 年間以上使用されている建物であれば、電気使用量、ガス使用量などの実績を参考とすることが可能であるが、今回は企画段階で運用段階のエネルギー消費量を算定することを想定しているため、運用段階のエネルギー消費量を予想する方法を検討した。そのうちの一つとして、今回は省エネ計算（WEBPRO）により運用段階のエネルギー消費量を算定する方法を採用した。

一般化されている省エネ計算プログラム（WEBPRO）を用いることで、複数の案件で検討を行う場合でもエネルギー算定基準を統一できる。また、異なる担当者が算定を行う場合でも、計算の条件を統一できるなどのメリットがある。

表 4 電気設備の新築の CO2 算出基準

工事科目・細目	重量から算出	統計データから算出	備考
1. 変電設備			
1.1キュービクル 盤類		○	キュービクル内部の構成が明確にならない
変圧器		○	
リアクトル、コンデンサ		○	
1.2自立開放式 盤類		○	
変圧器		○	
リアクトル、コンデンサ		○	
2. 自家発電装置 原動機		○	
発電機		○	
盤類		○	
その他		○	
3. 蓄電池設備			
3.1鉛蓄電池		○	
3.2アルカリ蓄電池		○	
4. 盤類			
4.1動力盤		○	
4.2分電盤		○	
4.3監視盤		○	
4.4その他(端子盤)		○	
5. 弱電機器			
5.1一般機器		○	
5.2特殊機器		○	
6. 防災機器			
6.1自火報機器 盤、感知器等		○	
6.2防排煙機器 電磁リリース等		○	
6.3非常放送機器 アンブ、スピーカ		○	
6.4その他 非常警報等		○	
7. 照明器具			
7.1一般照明器具 器具	○		
電球		○	
7.2非常用照明器具 器具		○	
電球		○	
7.3その他 シャンデリア等		○	
8. 配線材			
8.1電線		○	
8.2ケーブル		○	
8.3バスダクト		○	
8.4その他		○	
9. 配管材			
9.1電線管 鋼板製電線管		○	
合成樹脂電線管		○	
フロアダクト		○	
9.2ボックス類		○	
9.3その他 ケーブルラック		○	
10. 配線器具		○	
11. 雑材 支持鋼材		○	
吊ボルト類		○	
磚子、磚管		○	
12. コンクリート類 柱、ハンドホール		○	
		○	
13. 塗装(材工共) 塗料		○	
労務		○	
14. 労務費		○	
15. 運搬費		○	
16. 現場雑費		○	
17. その他		○	
資機材製造+流通分小計		○	
共通費(共通仮設+現場経費+一般管理費等)分		○	

表 5 空調設備の新築の CO2 算出基準

工事科目・細目	重量から算出	統計データから算出	備考
1. ボイラ類			
1.1セウシャルボイラ			中央熱源は想定していない
1.2炉筒煙管ボイラ			
1.3鋼板製温水ボイラ			
1.4その他のボイラ			
2. 冷凍機			
2.1レシプロ式			中央熱源は想定していない
2.2遠心式			
2.3吸収式			
2.4その他式			
3. 冷却塔			中央熱源は想定していない
4. 空調機類			
4.1ユニット型			中央熱源は想定していない
4.2パッケージ型	○		
4.3全熱交換器		○	
4.4ファンコイル			
4.5放熱器			
4.6その他(VAV,CAV等)			
5. ポンプ類(防振架台、弁類含む)			中央熱源は想定していない
6. ファン類(防振架台含む)		○	
7. 製作類			中央熱源は想定していない
8. ダクト類(材工共)			
鋼板		○	
鋼材ボルト等		○	
ダクト工		○	
9. 配管材			
9.1鋼管			
直管		○	
継ぎ手		○	
接合材		○	
支持金物		○	
9.2ステンレス管			
直管		○	
継ぎ手		○	
接合材		○	
支持金物		○	
9.3銅管			
直管		○	
継ぎ手		○	
接合材		○	
支持金物		○	
9.4その他(樹脂管等)			
直管		○	
継ぎ手		○	
接合材		○	
支持金物		○	
10. 自動制御			
10.1自動制御機器		○	
10.2盤		○	
10.3計装工事			
電線		○	
ケーブル		○	
配線器具		○	
鋼板製電線管		○	
合成樹脂電線管		○	
ボックス類		○	
ケーブルラック		○	
労務費		○	
11. 制気口類		○	
12. 弁、計器、雑金物類		○	
10. 雑材			
鉄線		○	
ビニルテープ等		○	
14. コンクリート類		○	
柱、ハンドホール		○	
15. 保温、塗装			
ガラス繊維保温		○	
ポリスチレンフォーム		○	
亜鉛鉄板		○	
アルミ板・箔		○	
塗料		○	
労務		○	
14. 労務費		○	
15. 運搬費		○	
16. 現場雑費		○	
17. その他		○	
資機材製造+流通分小計		○	
共通費(共通仮設+現場経費+一般管理費等)分		○	

表 6 衛生設備の新築の CO2 算出基準

工事科目・細目	重量から算出	統計データから算出	備考
1. 水槽類			
1.1 樹脂製 FRPパネルタンク		○	水量算定に関する人員条件が明確でない
鋼製平架台		○	
1.2 その他 鉄パネルタンク		○	
鋼製平架台		○	
2. 製缶類			
3. ポンプ類			
3.1 一般ポンプ		○	水量算定に関する人員条件が明確でない
3.2 特殊ポンプ		○	
4. ボイラ類			
4.1 給湯ボイラ		○	
4.2 湯沸器		○	
4.3 その他		○	
5. 衛生器具			
衛生陶器		○	
衛生用金具		○	
6. 消火栓			
7. 特殊消火設備			
7.1 スプリンクラー機器		○	
7.2 化学消火機器		○	
8. 網管、錬鉄管類			
8.1 鋼管			
直管		○	
継ぎ手		○	
接合材		○	
支持金物		○	
8.2 ステンレス管			
直管		○	
継ぎ手		○	
接合材		○	
支持金物		○	
8.3 錬鉄管			
直管		○	
継ぎ手		○	
支持金物		○	
8.4 鋼管			
直管		○	
継ぎ手		○	
接合材		○	
支持金物		○	
8.5 ビニール管			
直管		○	
継ぎ手		○	
接合材		○	
支持金物		○	
8.6 その他			
ヒューム管		○	
9. 弁、計器、鍍金物類			
10. 雑材			
鉄線		○	
ビニルテープ等		○	
11. コンクリート類			
基礎、柱、排水槽		○	
12. 保温、塗装			
ガラス繊維保温		○	
ポリスチレンフォーム		○	
亜鉛鉄板		○	
アルミ板・箔		○	
塗料		○	
労務		○	
13. ガス工事			
鋼管		○	
継ぎ手		○	
接合材		○	
支持金物		○	
弁等		○	
労務費		○	
14. 労務費(搬入据付、根切、埋戻)			
15. 運搬費			
16. 現場雑費			
17. 引き込み工事費			
鋼管		○	
継ぎ手		○	
接合材		○	
弁等		○	
労務費		○	
18. その他			
資機材製造+流通分小計			
共通費(共通仮設+現場経費+一般管理費等)分			

4-2 LCCO2 の算出結果とその考察

本項目では、検証結果とその考察を示す。

4-2-1 LCCO2 算出結果及び建物ライフサイクルにおける CO2 排出バランス

『やさしい BIM®』を用いて算出したそれぞれのインベントリ分析の値を算出した結果および、建物ライフサイクル全体に対する各工事段階での排出 CO2 は表 7,8 の通りとなる。LCA 指針において日本の CO2 排出量に占める建築関連の割合では、2005 年において建築関連からの CO2 排出量は社会全体の 40.1%であり（図 3 日本の CO2 排出量に占める建築関連の割合より）、その内訳としては運用段階が 31.5%、それ以外が 8.6%を占めると報告されている。これは 40.1%を 100%とおきかえれば約 78.5%程度の割合が運用段階での CO2 排出量である。

建物 A、建物 B においてもエネルギー（運用エネルギー）約は 81.5~84.0%となり、本検証対象の建物のライフサイクルにおいても日本の CO2 排出量に占める建築関連の割合で示されている値に近い LCCO2 排出バランスとなっている事がわかる。

表 7 建物 A の LCCO2 算出結果及び建物ライフサイクルにおける CO2 排出バランス

段階	内訳	kg-CO2/年㎡	
		①やさしいBIM	CO2排出量 比率
主要諸元	評価期間	60	①/LCI小計
	建替周期	60	
設計監理		0.748	0.24%
新築	建築	13.364	
	電気	2.418	
	機械	3.241	
	小計	19.023	
建替	建築	0.000	
	電気	0.000	
	機械	0.000	
	小計	0.000	0.00%
修繕	建築	6.286	
	電気	2.661	
	機械	5.040	
	小計	13.987	
改修	建築	5.431	
	電気	3.605	
	機械	5.984	
	小計	15.020	
維持管理		8.430	2.70%
エネルギー	エネルギー	248.400	
	上水道	0.800	
	下水道	3.000	
	一般廃棄物	2.000	
	小計	254.200	
廃棄処分	廃材搬出(建築)	0.118	
	廃材搬出(電気)	0.009	
	廃材搬出(機械)	0.030	
	解体処理	0.316	
	小計	0.473	
LCI小計		311.881	100.00%

表 8 建物 B の LCCO₂ 算出結果及び建物ライフサイクルにおける CO₂ 排出バランス

段階	内訳	kg-CO ₂ /年m ²	
		①やさしいBIM	CO ₂ 排出量 比率 ①/LCI小計
主要諸元	評価期間	60	
	建替周期	60	
設計監理		0.712	0.20%
新築	建築	15.805	
	電気	1.994	
	機械	2.759	
	小計	20.558	5.84%
建替	建築	0.000	
	電気	0.000	
	機械	0.000	
	小計	0.000	0.00%
修繕	建築	5.835	
	電気	2.127	
	機械	4.272	
	小計	12.234	3.48%
改修	建築	5.107	
	電気	3.057	
	機械	5.330	
	小計	13.494	3.84%
維持管理		8.700	2.47%
エネルギー	エネルギー	284.200	
	上水道	1.900	
	下水道	7.300	
	一般廃棄物	2.000	
	小計	295.400	83.96%
廃棄処分	廃材搬出(建築)	0.213	
	廃材搬出(電気)	0.007	
	廃材搬出(機械)	0.023	
	解体処理	0.514	
	小計	0.757	0.22%
LCI小計		351.855	100.00%

4-2-2 新築段階で排出される CO₂

やさしい BIM のルールに沿って入力した結果、躯体の建設にて排出される CO₂ は 50% を超える結果となった。また躯体の中でも鉄骨部材の利用に占める CO₂ 排出量は全体に対して 30% となる。やさしい BIM モデル作成時に躯体数量、得に鉄骨の数量を的確に入力し、数量を導き出す事が重要である事がわかる。次に内部仕上げの床に対する CO₂ 排出量が大きい事がわかるが、これは OA フロアに金属が使われているためだと考察する。金属部材については CO₂ 算出結果を大きく左右するため、プロジェクト初期段階で金属系の部材の利用を想定するかどうか、算出結果に影響を与えられられる。

表 9 建物 A の新築時 建築 LCCO2 算出比率

工事科目	仕様	初期建設CO2割合		
直接仮設	-	-	-	
土工・地業	砕石	10.32%	0.019%	
	杭		コンクリート	3.500%
			鉄筋	0.001%
	基礎		捨てコンクリート	0.176%
			コンクリート	5.050%
			鉄筋	1.574%
躯体	コンクリート	50.29%	10.634%	
	型枠		0.518%	
	鉄骨		31.702%	
	鉄筋		3.308%	
	耐火被覆		0.384%	
	デッキプレート		3.742%	
外部仕上げ	屋根防水	11.62%	3.515%	
	外壁仕上げ		6.623%	
	断熱		1.194%	
	防水立上り		0.288%	
内部仕上げ	床	18.17%	15.168%	
	壁		2.477%	
	天井		0.464%	
	巾木・廻縁		0.060%	
建具	内部・外部	8.80%	8.796%	
その他	手摺	0.81%	0.719%	
	WCブース		0.026%	
	キッチン		0.057%	
	洗面カウンタ		0.003%	
	ライニング		0.000%	
合計		100.00%	100.00%	

表 10 建物 B の新築時 建築 LCCO2 算出比率

工事科目	仕様	初期建設CO2割合		
直接仮設	-	-	-	
土工・地業	砕石	11.95%	0.029%	
	杭		コンクリート	4.150%
			鉄筋	0.001%
	基礎		捨てコンクリート	0.461%
			コンクリート	5.569%
			鉄筋	1.741%
躯体	コンクリート	57.08%	25.625%	
	型枠		3.506%	
	鉄骨		16.624%	
	鉄筋		7.994%	
	耐火被覆		0.100%	
	デッキプレート		3.227%	
外部仕上げ	屋根防水	4.14%	1.065%	
	外壁仕上げ		2.628%	
	断熱		0.160%	
	防水立上り		0.175%	
	外部階段		0.115%	
内部仕上げ	床	18.07%	15.220%	
	壁		1.635%	
	天井		1.168%	
	巾木・廻縁		0.052%	
建具	内部・外部	8.67%	8.671%	
その他	手摺	0.09%	0.013%	
	WCブース		0.022%	
	キッチン		0.049%	
	洗面カウンタ		0.002%	
	ライニング		0.000%	
合計		100.00%	100.00%	

4-2-3 『やさしいBIM®』を用いて算出した LCCO2 の的中率

本検証では、4-1、4-2 で述べたデータベースを利用した『やさしい BIM®』を用いて算出した LCCO2 の正確性を検証するために、インベントリ分析における、それぞれの項目の的中率を計算した。結果を表 11,12 に乗せる。排出 LCCO2 全体の合計（表中の LCI 小計）の誤差は 10% 以下となっており、従来手法と大差ない結果となっている。

表 11 建物 A の LCCO2 算出結果と『やさしい BIM®』を用いて算出した LCCO2 の的中率

段階	内訳	kg-CO2/年m ²		マッチング率 ①/②
		①やさしいBIM	②従来手法	
主要諸元	評価期間	60	60	
	建替周期	60	60	
設計監理		0.748	0.642	117%
新築	建築	13.364	15.745	
	電気	2.418	2.533	
	機械	3.241	4.283	
	小計	19.023	22.561	
建替	建築	0.000	0.000	
	電気	0.000	0.000	
	機械	0.000	0.000	
	小計	0.000	0.000	
修繕	建築	6.286	5.801	
	電気	2.661	2.786	
	機械	5.040	6.337	
	小計	13.987	14.924	
改修	建築	5.431	5.634	
	電気	3.605	3.776	
	機械	5.984	8.842	
	小計	15.020	18.252	
維持管理		8.430	8.430	100%
エネルギー	エネルギー	248.400	225.300	
	上水道	0.800	0.300	
	下水道	3.000	1.100	
	一般廃棄物	2.000	1.800	
	小計	254.200	228.500	
廃棄処分	廃材搬出(建築)	0.118	0.178	
	廃材搬出(電気)	0.009	0.009	
	廃材搬出(機械)	0.030	0.034	
	解体処理	0.316	0.445	
	小計	0.473	0.666	
LCI小計		311.881	293.975	106%

表 12 建物 B の LCCO2 算出結果と『やさしい BIM®』を用いて算出した LCCO2 の的中率

段階	内訳	kg-CO2/年㎡		マッチング率 ①/②
		①やさしいBIM	②従来手法	
主要諸元	評価期間	60	60	
	建替周期	60	60	
設計監理		0.712	0.605	118%
新築	建築	15.805	16.939	
	電気	1.994	2.080	
	機械	2.759	3.981	
	小計	20.558	23.000	
建替	建築	0.000	0.000	
	電気	0.000	0.000	
	機械	0.000	0.000	
	小計	0.000	0.000	
修繕	建築	5.835	5.640	
	電気	2.127	2.217	
	機械	4.272	5.803	
	小計	12.234	13.660	
改修	建築	5.107	5.651	
	電気	3.057	3.189	
	機械	5.330	8.627	
	小計	13.494	17.467	
維持管理		8.700	8.700	100%
エネルギー	エネルギー	284.200	249.700	
	上水道	1.900	0.200	
	下水道	7.300	0.900	
	一般廃棄物	2.000	2.000	
	小計	295.400	252.800	
廃棄処分	廃材搬出(建築)	0.213	0.242	
	廃材搬出(電気)	0.007	0.008	
	廃材搬出(機械)	0.023	0.028	
	解体処理	0.514	0.590	
	小計	0.757	0.868	
LCI小計		351.855	316.232	111%

4-2-3-1 新築・建替・修繕・廃棄処分（建築・電気・機械）

新築について、建物 A 84%、建物 B 89%の的中率となった。

新築のうち、建築については『やさしい BIM®』で算出した結果より、従来手法で算出した結果の方が大きくなった。これは『やさしい BIM®』での算出項目数が従来手法より限定的であるため小さくなる事が予想できる。よって妥当な結果であると判断している。

新築の内、設備については統計データから算出した結果より、建物の計画に合わせて算出した結果の方が、LCCO2 が小さい結果となった。統計データから算出する場合と比較し、

建物計画に合わせて算出した結果の方が正確であることは明らかであると考えているが、建物の用途や規模に応じて、統計データより小さくなるか、大きくなるかについては、検証案を増やすことで知見を深めていく必要がある。

建替について、本事業の検証では、建物評価期間と建替周期を同一の年数と設定した事から、評価期間の間に建替工事は発生しないため CO2 は発生しない結果となった。修繕・改修・廃棄処分については、77~94%の的中率となった。修繕・改修・廃棄処分については新築時の算出結果を基本に、建築部材の修繕率・更新周期等の各影響を加えたものであるが、手法による相違は本来発生しづらいため、設定精度を高めていく必要がある。

4-2-3-2 運用エネルギー（エネルギー）

『やさしい BIM®』を基に省エネ計算を行った結果と、竣工図を基に省エネ計算を行った結果では、114%の的中率となり、『やさしい BIM®』を基に省エネ計算を行った結果の方が大きい結果となった。『やさしい BIM®』を基に省エネ計算を行った結果では、空調機器、照明台数が概算による算定となるため、実施設計完了時の機器よりも空調容量や、照明機器台数が多く設置されていることが予想できるため、概ね妥当な乖離だと判断している。

5 検証の結果を受けた今後の課題

検証の結果や考察、実際の作業を受けて、今後の課題を抽出する。

5-1 業務効率化検証の課題

5-1-1 BIM 作業に対するトレーニング方法の検討

BIM を企画・基本計画段階で利用するために、『やさしい BIM®』が技術者でない人々にも理解しやすいものであっても、実際に BIM を作成する作業（オペレーターなど）は必要となる。作業員に対して、BIM 作成の標準方法をインプットするためには BEP に加え、作成マニュアル等が必須である。令和 2 年度事業の結果、概算用の BIM 作成マニュアルの重要性に関して触れたが、本事業において若干概算用の『やさしい BIM®』作成ルールに変更を加えたため、本事業のモデル作成の手法を含んだマニュアル等の整備が求められる。

5-1-2 モデルチェッカー・入力確認の担当者の役割の明確化

BIM モデルについては、『やさしい BIM®』によって入力要素を減らしているため、モデル入力に当たってモデルの精度の差や計画との齟齬が生じにくいようになっている。ただし、モデルの作成手順や干渉等が起きていないかなど、算出する数量に誤差を与える可能性がある部分のモデルチェックを行う必要がある。また、本検証では見積内訳書において、数量を確認することができたため、モデルから算出された数量が確からしい数量となっているかなどの調整が可能だった。また、LCCO₂ の算出においても、「LCA ツール」「BIM sustaina for Energy」の使い方などに作業員による「作業のブレ」が生じないように入力ルールの作成をする必要がある。

5-2 データ連携検証の課題

5-2-1 検証量の拡大による LCA 算出精度の向上

計画段階による LCA 削減シミュレーションの実用化を考えた際にさらに用途・規模などを増やしていく必要がある。例えば、今回の建築のモデル化の要素は 26 項目となったが、一般的なプロジェクトに適用した場合は過不足などが生じる可能性があるため、引き続き、他の事例でも検証を続けていく必要がある。また、今後精度を向上させるためにも、検証量を増やしプロジェクトの用途や規模によるマッチング補正等のノウハウを積み上げることが必要となる。

5-2-2 設備に関する LCCO₂ の算出に関する課題

LCCO₂ の算出精度について、統計データに比べ、建物の計画に合わせた機器重量から算

出した方が建物の実態に合っていることは想像するに明らかである。今回の検証では、重量から算出した項目はかなり限定的でありほぼ統計値からの算定となっている。今後は、それらの項目に対し、重量算定の手法を確立し、より実態に近い LCCO2 が算出できるよう検討を進める必要がある。ただし、これには計画の詳細化とともに、機器重量を想定するための手法を機器メーカーなどと協力しながら開発する必要があると考える。

5-2-3 『やさしい BIM®』専用複合原単位のデータベース化

『やさしい BIM®』は BIM に明るくない発注者にも扱いやすいよう LOD を低く設定している。そのため、『やさしい BIM®』の構成要素にあわせた複合原単位の作成と紐づけが必要となる。今後、部材の LCCO2 算出における汎用性、重要性に沿ってさらに精度よく複合原単位のデータベース化を図ることにより、高精度、高効率な LCA 業務に役立てることが可能となる。

5-2-4 モデルで算出されない情報の取り扱い

「企画・計画段階」で『やさしい BIM®』を用いることにより、これまでよりも精緻に数量算出できるようになるが、設計や施工が進まないと仕様が確定されず、算出されない要素も当然ながら存在する。それらに対する LCCO2 算出の考え方を整理する必要がある。今後も引き続き用途や規模の異なる建物で、検証を続け BIM では直接的に算出できない項目の算出手法、構造設計者に確認すべき項目の整理、これらについてマニュアル化を進める必要がある。

6 BIM 発注者情報要件 (EIR)・BIM 実行計画 (BEP) について

本章ではどのような BIM 発注者情報要件 (EIR)、BIM 実行計画 (BEP) を整備する必要があるかを記載する。今回 CMr がライフサイクルコンサルタント業務の一環として BIM を作成し、LCA 業務の基本となる LCCO2 の算出を行った。実際に業務として実施する場合、EIR および BEP は前述したような業務仕様を CMr が実施するように発注者から提示した EIR と、それに回答する BEP といった形式で作成されるべきである。また、BEP における業務の内容や成果品などは一定の自由度を与えられ、発注者と協議をして決定することが一般的である。

今回必要と考えられる EIR・BEP は添付資料 3 に示す。

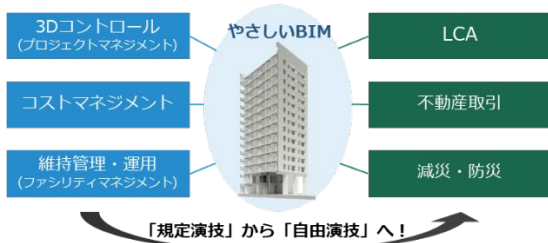
7 結論と今後の展望

今回の検証によって、企画・基本計画段階で作成できる『やさしい BIM®』を用いて非常に高度な LCCO2 の算出ができることが分かった。また、本事業で実施したアンケートの中でも発注者の多くが LCA 業務を実施する立場にあるものの、その業務に関しては体系だった手法がとられていないことがわかった。これらから、『やさしい BIM®』を用いて高度な LCA 業務が実行できるということは、ライフサイクルコンサルティングという枠にとどまらず、発注者が実施すべき業務に対して、これまでできなかった質の高いサービスを提供できる可能性があるといえるだろう。

設計や施工のための BIM ではなく、発注者のビジネスを支えるための BIM となり、空間に関連する新しいビジネスを生み出していく礎となるような BIM の使い方を、NCM をはじめとするようなライフサイクルコンサルタントたちが、生み出していくことができれば、BIM を導入するコストパフォーマンスに見合った空間情報の利用ができると考える。

また、国交省が作成する「建築分野における BIM の標準ワークフローとその活用方策に関するガイドライン（第2版）」においても、例えば 3-1 や 3-4 章において、設計や施工などの品質や効率化向上のほかに、発注者の業務やサービスへの付加価値や新たなユースケースの紹介に関する記載の充実が望まれる。

1) 『やさしいBIM』に建築にまつわるビジネスが融合する未来へ



上図の左側の青いボックスに表示したのは、建設プロジェクトが成功するために必ず必要になる業務で、令和2年度、令和3年度事業において『やさしい BIM』を用いて実施できることを示しました。一方で、右側の緑色のボックスは本事業の提案するLCA業務など、発注者業務をBIMでトレースしきれていないタスクです。BIMによって単純な業務効率化だけでなく、付加価値を創出するイノベーションを追加していくことが必要と考えます。

課題
建設プロジェクトのためのBIMではなく、発注者のためのBIMとするために更なるユースケースを『やさしいBIM』に実装していく必要があります。

2) ビックデータを活用した建築DXのためのBIM



↑ (出典：国土交通省、PLATEJ ホームページより)

BIMが発注者や事業者にとって必要なソリューションであることが認識されれば、新築だけでなく、既存建物を含めたすべての建物に対してBIMを作成していく潮流ができ、ますます新しいBIMを通したソリューションやサービスが高度化していくと考えます。個々の建物だけではなく、日本全国の不動産情報を収集できる基盤としてのBIMを開発することができれば、建築に対するビックデータを活用したDXは劇的に進んでいくと想定します。

課題
都市基盤（基礎情報、安心・安全など）やデータ活用方法の開発や情報セキュリティの取り扱いについて検討する必要があります。

『やさしいBIM』は建築に対するDXを実現するための総合ソリューションとなります！

図 21 今後の「やさしい BIM」活用の事例

8 執筆担当その他

本書は日建設計コンストラクション・マネジメント株式会社および学校法人武蔵野大学（2-4-1 および 2-4-2）により執筆した。本書をいかなる理由があっても、執筆者の許可なく引用・転載してはならない。

編集責任者：

日建設計コンストラクション・マネジメント株式会社 服部裕一

執筆担当者：

①日建設計コンストラクション・マネジメント株式会社

担当者：服部裕一、吉本圭二、吉岡優一、平山英幸、小林裕平、光安るり、亀山久未果

②学校法人武蔵野大学（2-4-1、2-4-2）

担当者：磯部 孝行

添付資料：

別添① LCCO₂ 算出用エレメントテーブルサンプル

別添② BEP・EIR

別添③業務ヒアリング内容・ヒアリング結果（各事例）