

建築物ライフサイクル CO₂ の評価ツール 「T-LCA シミュレーター CO₂」の開発

調達から解体までの CO₂ 排出量と削減効果の算出がスピーディに

信 藤 邦 太

建築物のライフサイクル CO₂ の概算値を短時間で容易に算出可能なツール「T-LCA シミュレーター CO₂」を開発した。本ツールは、建築物のライフサイクル「調達、施工、運用、修繕、解体」に係る CO₂ 排出量や削減効果を、建築物の初期計画段階からライフサイクルに応じて概算値として算出することが可能で、お客様の CO₂ 排出削減目標を意識した建設計画を支援し、カーボンニュートラル社会の実現に寄与するものである。本報では、そのシミュレーターの特長と評価の方法について紹介する。

キーワード：ライフサイクル CO₂, LCA, ZEB, 調達・施工・運用・修繕・解体, ゼロカーボンビル

1. はじめに

2018年7月に政府は第5次エネルギー基本計画で「2020年までに国を含めた新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEB（Net Zero Energy Building：ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）を実現することを旨とする」ことを発表した。引き続き2021年10月の第6次エネルギー基本計画において「2030年度以降に新築される建築物についてZEB基準の水準の省エネルギー性能の確保を目指す」ことが閣議決定され、日本は温室効果ガスの削減目標においてCO₂排出量を2030年に2013年度比で-46%とすることを決定した。

そのような中、単に建物の運用段階のエネルギー消費量の削減を図るだけでなく、サプライチェーン全体でのCO₂削減の取組みが重要となってきている。すなわち、「調達・施工・運用・修繕・解体」までを含

めた建物のライフサイクル全体でのCO₂把握・削減が不可欠となってきている（図-1）。

2. 現状のライフサイクル CO₂ 評価の課題

現状の建物のライフサイクルCO₂の評価としては、日本建築学会の「建築物のLCAツール」¹⁾と「CASBEE」²⁾の2つが指標として用いられることが多い。LCAツールは、評価対象となる建築物の資材消費量や、建設時の物資輸送距離、空調や照明等のエネルギー消費量を算定していた。これに、産業連関表を基にした各CO₂の排出原単位を乗じてライフサイクルCO₂を算出するため、建設工事の見積内訳が必要で、かつそれらを参照しながらの細かな入力を要するため膨大な時間と手間がかかっていた。また最終的に出てくるCO₂排出量は総量で表されるため削減技術との関連が見づらいという課題があった。

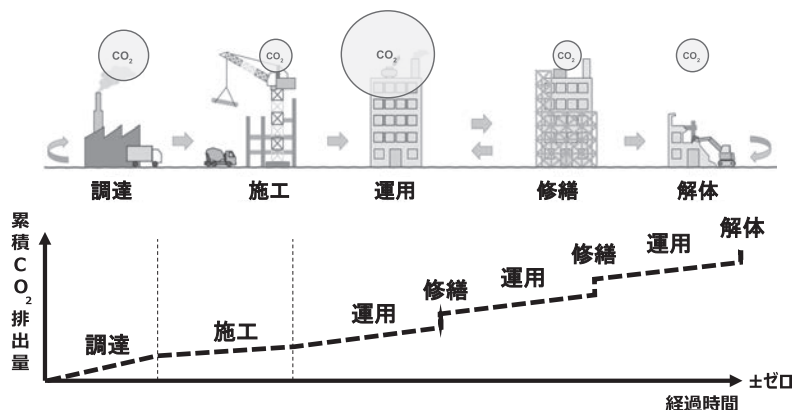


図-1 建築物におけるライフサイクル CO₂ 排出量のイメージ (円の大きさは段階毎の CO₂ 排出量)

一方 CASBEE におけるライフサイクル CO₂ の評価は、従来からある CASBEE での評価項目を入力していくとライフサイクル CO₂ の計算が自動的に行われ、ライフサイクル CO₂ の削減率が算出されるのだが、ライフサイクル CO₂ に特化したツールではないため、削減取組みと CO₂ 排出削減量の相関が追えないという課題があった。

社会がカーボンニュートラルな建物を求める中、住宅分野では LCCM 住宅³⁾ 等のライフサイクルでの CO₂ 削減の取組みが先行して一方で、非住宅建築物はライフサイクル全体の CO₂ 算定や目標設定に関する明確なルールが存在しないため遅々として進んでいない。また、建物の企画・設計時にどのような取組みをすればどれだけ削減できるのかを把握することができず、設計時に脱炭素技術を採用しづらいのも、普及に至っていない理由の一つと考えられる (図-2)。

3. 開発ツールの概要

ライフサイクル CO₂ を把握するニーズが高まる中、当社は建築物のライフサイクル CO₂ の概算値を短時間で容易に算出可能なツール「T-LCA シミュレーター CO₂」を開発した。本ツールは、建築物のライフサイクル「調達、施工、運用、修繕、解体」に係る CO₂ 排出量や削減効果を、建築物の初期計画段階からライフサイクルに応じて概算値として算出することが可能で、お客様の CO₂ 排出削減目標を意識した建設計画を支援し、カーボンニュートラル社会の実現に寄与するものである。

本ツールの評価項目は、「調達、施工、運用、修繕、解体」の段階に分類され、ライフサイクル CO₂ 削減に寄与する主要な 40 項目程度の取組みについて、5 つのレベルから各々選定し、その際の CO₂ 排出量や削減効果の評価値を算出する。特に運用段階は全体で

の CO₂ 排出量の占める割合が大きく、他の段階に比べて正確性が求められるため、WEB プログラム (建築物のエネルギー消費性能計算プログラム)⁴⁾ と連携させることで数値を算出している。開発にあたっては、LCA の研究に長けた法政大学・川久保教授と共同研究を行い、学識的な信頼性を確保している。表-1 に開発ツールの概要を示す。

4. 開発ツールの特長

(1) 早期にかつ容易に算出・評価可能

本ツールは、LCA 指針¹⁾ に準拠した評価体系は維持しつつ、当社独自の評価手法と蓄積したノウハウを利用することにより、ライフサイクル CO₂ に影響の大きい項目のみに評価を絞ることで、設計や見積りに着手していなくても定量的な評価が可能である。絞り込んだ約 40 項目から、短時間で容易に概算値を算出し、評価することができる。

表-1 T-LCA シミュレーター CO₂ の概要

適用範囲	新築の事務所用途 (今後、工場や学校用途等にも対応予定。既存建築物にも対応予定)
ソフトウェア	Microsoft Excel
開発期間	2021 年 9 月 ~ 2022 年 3 月
評価項目	基準建物・設計建物の調達/施工/運用/修繕/解体時における CO ₂ 排出量
特長	<ul style="list-style-type: none"> ・早期にかつ容易にライフサイクル CO₂ を算出・評価可能 ・ZEB の簡易評価 (ZEB レベルと BEI) が可能 ・ライフサイクルの各段階の CO₂ 評価をわかりやすく見える化 ・ライフサイクル CO₂ 削減アイテムの導入検討が可能

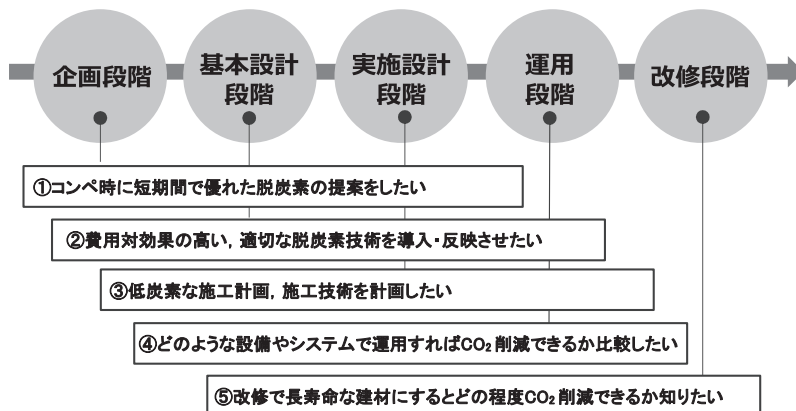


図-2 各フェーズでのライフサイクル CO₂ 算定のニーズ

(2) ZEBの簡易評価が可能

本ツールは、当社のZEBに関する豊富な実績と知見を基に、省エネルギー設備や実施内容などの評価項目を設定し、その適用率（一部仕様）を入力するだけでエネルギー削減量や省エネルギー性能指標BEIの算出が可能となり、ZEBの簡易評価にも活用できる。

(3) ライフサイクル毎の評価をわかりやすく見える化

算出結果として、横軸に年数、縦軸に累積のCO₂排出量を表示し、建築物のライフサイクルにおいて、各々の段階で排出したCO₂の削減状況等が視覚的に把握することが可能となり、CO₂削減率に応じてランク付けして評価できる。ライフサイクルCO₂を総合的に可視化することにより自社事業所の脱炭素社会へ寄与度をアピールすることが可能となる。

(4) ライフサイクルCO₂削減策を考慮した検討が可能

本ツールの適用により、建築物ライフサイクルの段階毎に設定されたCO₂削減策を選択することで、CO₂排出量や削減効果が算定できる。このため、初期検討段階である基本計画・設計で脱炭素技術の効果の高いものから優先的に導入できる。そして、どの脱炭素技術がどの程度CO₂削減に寄与しているかを分析・検討することが可能となる。

また、削減度合いに応じたレベリングが可能になるため、建設業界全体のCO₂削減と脱炭素化に貢献できると考えている。

5. 開発ツールの評価における入力方法

(1) 調達

躯体材料や設備機器における取組みを評価する。チェックリストに、取組んだものをチェックしていく作業となる。調達段階の主な削減項目を下記に示す。グリーン調達の促進を促すために主要4品目に加えて内装・外装・設備も考慮している。

- ・資材使用量の削減として鉄骨使用量の削減や杭本数の削減
- ・低炭素型建材として高炉セメントB種・C種の採用や鉄骨の電炉鋼採用
- ・長寿命化建材の採用による各建材・設備の更新周期の長期化
- ・CO₂吸収・固定建材としてCO₂吸収コンクリートの建物への適用や地場産材料の利用

(2) 施工

施工時における重機や作業所での取組みを評価する。施工段階の主な削減項目を下記に示す。当社が独自開発している施工時のCO₂削減技術システムから主だった技術を抜粋している。杭、山留、土、躯体、仕上の各工事で必要な重機、作業用機器で使用される燃料、電気によって排出されるCO₂、及び搬出車両（掘削土、廃棄物）によって使用される燃料によって排出されるCO₂を削減する技術を評価する。

- ・燃料由来CO₂削減として重機の適用機種をEV・ハイブリッド化、適用燃料をGTL（Gas To Liquid：ガス液化油）やBDF（Bio Diesel Fuel：バイオディーゼル燃料）、水素に変更
- ・車両運搬における削減として、掘削土を削減、場内再利用、廃棄物削減、巡回回収
- ・電気由来CO₂削減としてZEB作業所事務所やLED工事用照明を採用
- ・再エネ電源の採用としてグリーン電力活用や非化石証書で電気使用に伴い発生するCO₂排出係数をゼロ
- ・ユニット工法等の新しいCO₂削減に配慮した構工法の採用

(3) 運用

パッシブ技術、高効率省エネ機器の採用等のZEB化技術や、太陽光発電設備等の創エネ技術を評価する。運用段階の主な削減技術を下記に示す。

- ・省エネとしてリアルタイムに空調や照明を人検知で自動制御するシステム
- ・外皮負荷削減として、AIを活用したZEBファサード、高断熱高性能な外壁パネルの採用、日射・通風・眺望の多目的最適化
- ・空調負荷削減として、自然換気やクールチューブ、高効率設備機器の採用
- ・創エネについては太陽光発電設備等の再生可能エネルギーの活用

(4) 修繕

内外装や設備機器の長寿命化等を評価する。修繕段階の主な削減技術を下記に示す。

- ・長寿命化建材の採用による各建材・設備の更新周期の長期化
- ・フィルター交換の頻度を低減化

(5) 解体

施工と同様に重機や作業所での取組みを評価する。

他にリサイクルや躯体の再利用化等を評価する。解体段階の主な削減技術を下記に示す。

- ・燃料由来 CO₂ 削減として重機の適用機種を EV・ハイブリッド化、適用燃料を GTL や BDF、水素に変更
- ・再エネ電源の採用としてグリーン電力活用や非化石証書で電気使用に伴い発生する CO₂ 排出係数をゼロ
- ・廃材のゼロエミッション化
- ・省エネ解体工法等の新しい CO₂ 削減に配慮した構工法の採用

以上が評価の概要である。図-3 に評価項目の一覧を、図-4 に評価項目の一例を示す。建築・設備に精通していれば入力作業自体は数時間で完了する。

【提案モデルスコアシート】

配慮項目	提案モデル		CO ₂ 削減量 [t-CO ₂]	該当Scope (3はカテゴリまで)	全体削減効果
	評価点	削減効果			
調達			207.95		-3.64%
1. 調達(建築)			201.66		
1.1 CO ₂ 吸収コンクリート	5.0	-0.6%	34.28	Scope3 カテゴリ1-4	
1.2 躯体材料における高炉セメントの採用	5.0	-0.7%	39.99	Scope3 カテゴリ1-4	
1.3 躯体材料における電炉鋼の採用	5.0	-0.6%	34.28	Scope3 カテゴリ1-4	
1.4 躯体材料における木質化	4.0	-1.6%	91.41	Scope3 カテゴリ1-4	
1.5 躯体のグリーン調達品の採用	1.0	0.0%	0.00	Scope3 カテゴリ1-4	
1.6 敷地・建物の緑化	5.0	-0.03%	1.71	Scope3 カテゴリ1-4	
2. 調達(設備)			6.28		
2.1 空調機台数の削減	1.0	0.0%	0.00	Scope3 カテゴリ1-4	
2.2 照明器具の削減	5.0	-0.03%	1.71	Scope3 カテゴリ1-4	
2.3 ダクト・配管の再生材活用	3.0	-0.08%	4.57	Scope3 カテゴリ1-4	
施工			63.70		-1.12%
3.1 重機燃料の低炭素型	3.0	-0.05%	2.86	Scope1 -	
3.2 重機のハイブリッド化	5.0	-0.18%	10.28	Scope2 -	
3.3 作業所のZEB化	3.0	-0.1%	5.71	Scope2 -	
3.4 廃材のゼロエミッション化	5.0	-0.06%	3.43	Scope1 -	
3.5 掘削土量の削減化	3.0	-0.13%	7.14	Scope1 -	
3.6 再エネ電源の採用	3.0	-0.6%	34.28	Scope2 -	
3.7 エコドライブの実施	4.0	-0.09%	5.14	Scope1 -	
3.8 自動「クワッド」重機を採用	4.0	-0.01%	0.57	Scope1 -	
3.9 PCaの採用	4.0	-0.03%	1.71	Scope1 -	
運用			872.82		-15.28%
4.1 建物断熱強化	5.0	-1.1%	62.78	Scope3 カテゴリ11	
4.2 高効率設備	5.0	-4.23%	241.78	Scope3 カテゴリ11	
4.3 省エネ制御	4.2	-1.51%	86.47	Scope3 カテゴリ11	
4.4 最適設計	4.5	-6.41%	366.29	Scope3 カテゴリ11	
4.5 自然換気	2.1	-0.5%	28.40	Scope3 カテゴリ11	
4.6 マネジメント	5.0	-1.52%	87.10	Scope3 カテゴリ11	
修繕・改修			147.39		-2.58%
5.1 外装(外壁と屋根)の長寿命化	3.0	-0.8%	45.70	Scope3 カテゴリ10	
5.2 内装の長寿命化	4.0	-0.92%	52.56	Scope3 カテゴリ10	
5.3 設備更新材の再生化	3.0	-0.08%	4.57	Scope3 カテゴリ10	
5.4 設備機器の長寿命化	5.0	-0.78%	44.56	Scope3 カテゴリ10	
解体			14.85		-0.26%
6.1 重機燃料の低炭素型	3.0	-0.01%	0.57	Scope3 カテゴリ12	
6.2 重機のハイブリッド化	1.0	0.0%	0.00	Scope3 カテゴリ12	
6.3 作業所のZEB化	4.0	-0.2%	11.43	Scope3 カテゴリ12	
6.4 廃材のゼロエミッション化	1.0	0.0%	0.00	Scope3 カテゴリ12	
6.5 躯体の再利用化	3.0	-0.01%	0.57	Scope3 カテゴリ12	
6.6 エコドライブの実施	4.0	-0.02%	1.14	Scope3 カテゴリ12	
6.7 自動「クワッド」重機を採用	4.0	-0.02%	1.14	Scope3 カテゴリ12	

図-3 評価項目 (提案モデルスコアシート)

1.1 CO₂吸収コンクリート

レベル	提案モデルにおける取組み	削減率	
レベル1	レベル3を満たさない		0.0%
レベル2			
レベル3	躯体コンクリートに、CO ₂ 吸収コンクリートを採用している	削減率	0.1%
レベル4	躯体コンクリートの5%以上に、CO ₂ 吸収コンクリートを採用している	削減率	0.4%
レベル5	躯体コンクリートの10%以上に、CO ₂ 吸収コンクリートを採用している	削減率	0.6%

1.2 躯体材料における高炉セメントの採用

レベル	提案モデルにおける取組み	削減率	
レベル1	レベル3を満たさない		0.0%
レベル2			
レベル3	躯体コンクリートに、高炉セメントB種を採用している	削減率	0.1%
レベル4	躯体コンクリートの10%以上に、高炉セメントB種を採用している	削減率	0.3%
レベル5	躯体コンクリートの20%以上に、高炉セメントB種を採用している	削減率	0.7%

図-4 評価内容

6. 開発ツールの評価結果

図-5 に評価結果の一例を示す。標準的な建物と提案建物(計画建物)における各段階での CO₂ 排出量を可視化できる。Scope 別及びカテゴリ別の割合を確認できる円グラフも用意している。評価の高い項目や取組み内容がわかりやすく表示される。さらに、CO₂ 削減量ランキングによって、どの脱炭素技術が CO₂ 削減に寄与しているかを、初期計画段階から検討・分析することが可能である。

7. ゼロカーボンビルへの取組み

ライフサイクル CO₂ の評価結果は、最終的には図-6 に示すように、建物の脱炭素化を体系的に評価するシステム「T-ZCB(ゼロカーボンビル)」^{※1}によって可視化している。建築物のライフサイクルでの CO₂ 排出量を正味ゼロにするゼロカーボンビルの建設を推進するため、初期計画段階で建物の CO₂ 排出量及び CO₂ 削減技術の効果を可視化し、建物の脱炭素化を体系的に評価するシステムとなっている。

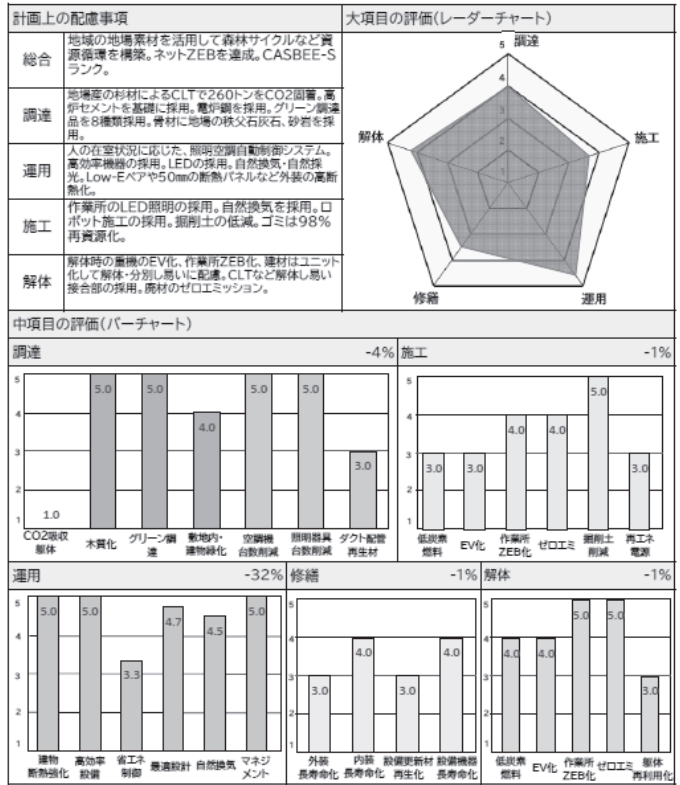
本システムにより、建築物のライフサイクルで発生する CO₂ 排出量と削減効果を「調達、施工、運用、修繕、解体」の段階毎に可視化して評価するとともに、その削減に寄与する主要な技術や当社が注力する ZEB 化技術と組み合わせ、連携させることで、段階的に建築物の建設計画を推進し、ゼロカーボンビルの実現を目指す。今後は、大成建設グループ次世代技術研究所における「T-ZCB」の実証を踏まえ、新規案件において本システムを積極的に活用しながら脱炭素技術の提案・導入を推進し、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していきたい。

※1 CO₂ 排出量削減効果の評価システム。大成建設独自で構築したシステム https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/220909_8933.html

全体評価

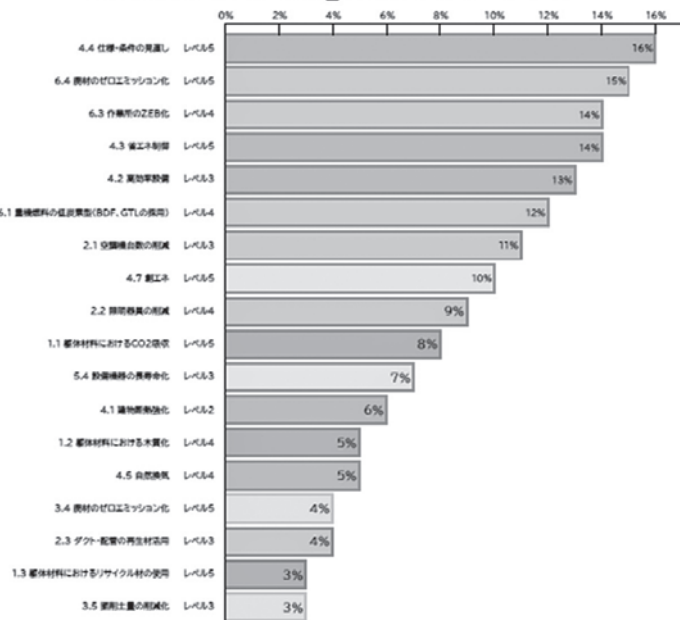


配慮事項・削減詳細評価



削減フェーズ	調達の削減				施工の削減				運用フェーズの削減				解体フェーズの削減			
	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率
1 コンクリート	2.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
2 鉄筋	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
3 鉄骨	2.7%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%
4 資材運搬	1.7%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
5 廃棄物	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
6 その他削減	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8 その他	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
合計	10%	10%	10%	10%	5%	5%	5%	5%	7%	7%	7%	7%	10%	10%	10%	2%

各取組み毎のCO2削減率ランキング

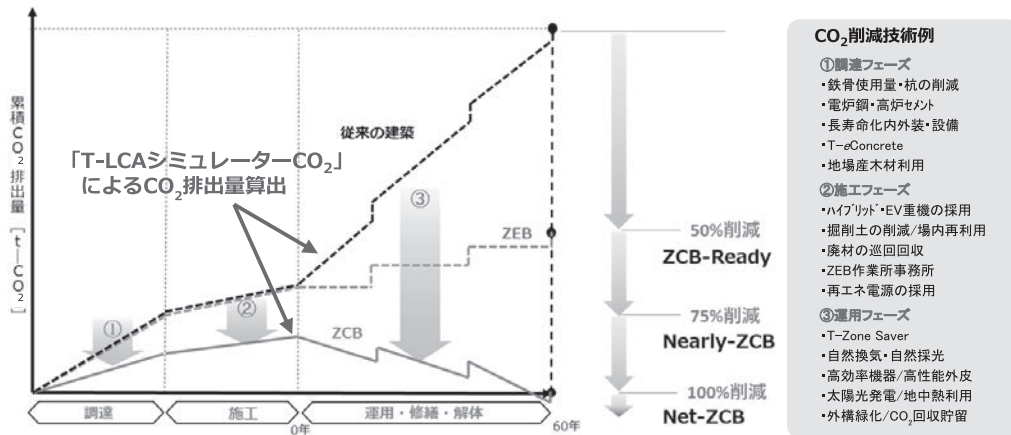


図一5 評価結果例

8. おわりに

T-LCA シミュレーター CO₂ を今後実案件へ適用し、算出精度の検証および向上を図り、実運用を開始していく予定である。さらに、新規・改修案件で本ツ

ルを積極的に利用しながら脱炭素技術の提案・導入を推進していく。現時点では建物用途は事務所のみだが、学校や工場、集合住宅等の他用途にも拡張していく。評価対象の母数を増やして、精度向上・チューニングを実施していきたい。



図一6 T-ZCB（ゼロカーボンビル）の概要



【筆者紹介】

信藤 邦太（しんどう くにた）

大成建設㈱

設計本部 設備設計第三部兼

設計戦略部デジタル・ソリューション室

プロジェクト・エンジニア



《参考文献》

- 1) 「建物の LCA 指針」, 日本建築学会, 2013.2
- 2) 「CASBEE - 建築（新築）評価マニュアル」, 2016.9
- 3) 「LCCM 住宅関連事業（補助金）」, 国土交通省, 2022.3
- 4) 「建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報」, 国土研究開発法人 建築研究所, 2022.10

