

カーボンニュートラルと ZEB

関根賢太郎*¹・豊原範之*²・砂賀浩之*³

Keywords : carbon neutral, ZEB (Zero Energy Building), LCA (Life Cycle Assessment)

カーボンニュートラル, ゼロ・エネルギービルディング, ライフサイクルアセスメント

1. はじめに

ZEB (Zero Energy Building) とは、快適な室内環境を保ちながら省エネに努め、太陽光発電などの創エネを組み合わせ、建物全体での年間エネルギー消費の収支をゼロにする建物のことである(図-1)。エネルギー問題や CO₂ 排出量増大による地球温暖化が大きな社会的課題となるなか、パリ協定における日本の温室効果ガス削減目標である 2030 年 26%削減(2013 年度比)を確実に達成するためには建築物からの CO₂ 排出量削減が非常に重要である。政府のSDGsアクションプランにも掲げられているように ZEB による CO₂ 削減は喫緊の課題でかつ、ZEB の普及による CO₂ 削減効果は非常に大きなポテンシャルを持っていると考える。

このような背景の中、2020 年 10 月 26 日に菅首相は、所信表明で『2050 年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち 2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す』ことを宣言した。『排出を全体としてゼロ』とは、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出量から、森林などによる吸収量を差し引いてゼロを達成することを意味している。さらに、2021 年 4 月 22 日には、2030 年度の削減目標について、パリ協定における削減目標である 2013 年度比 26%から 46%削減と大幅に上積みし、さらに、50%の高みに向けて、挑戦を続けていくと発表した(図-2)。これにより日本国内を含め CO₂ 削減はもとより、カーボンニュートラル化に向けた動きが一気に加速するものと考えられる。

図-3 に日本の部門別 CO₂ 排出量の割合を示す。部門別では、建物の運用時に排出される CO₂ 排出量が含ま

れている業務その他部門の割合が産業、運輸部門に次いで多く、その割合は排出量全体の 17%となっており、この分野での CO₂ 削減、すなわち運用時の CO₂ 削減が非常に重要であることが分かる。表-1 に工業プロセスの CO₂ 排出量の内訳を示す。建設業が関わる部分としてセメント製造がある。工業プロセスの 56%をセメント製造が占めており、建設時のコンクリート使用量削

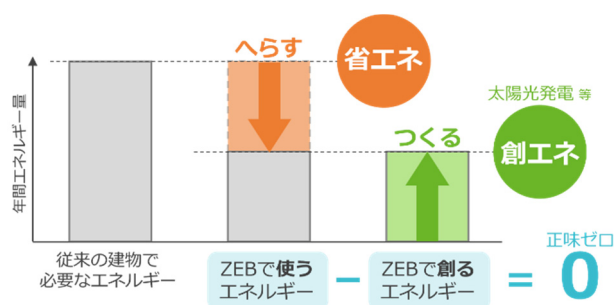


図-1 ZEB (Zero Energy Building) とは¹⁾
Fig.1 ZEB (Zero Energy Building)

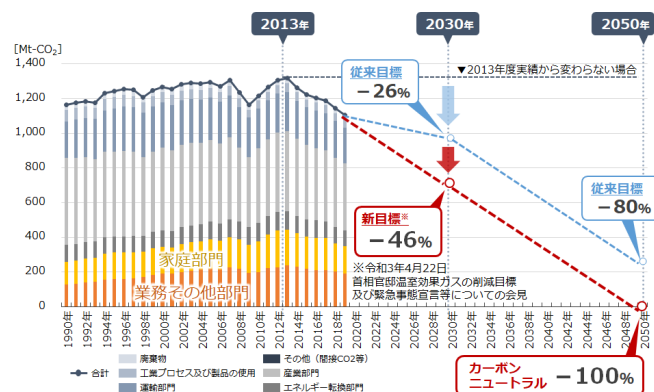


図-2 日本の CO₂ 排出量の推移と 2013 年度比目標
(1990~2019 年 : 実績値 2020~2050 年 : イメージ)²⁾
Fig.2 Transition of CO₂ Emissions in Japan

* 1 技術センター 都市基盤技術研究部 空間研究室
* 2 設計本部 設備計画部
* 3 エネルギー本部 ZEB・スマートコミュニティ部

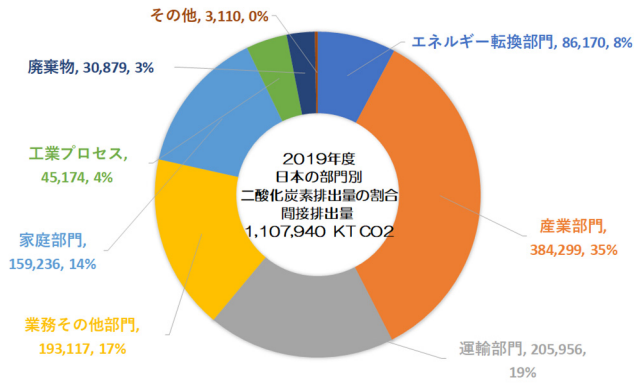


図-3 日本の部門別 CO₂ 排出量の割合²⁾ 注1)
Fig.3 Ratio of CO₂ Emissions in Japan

表-1 工業プロセスの CO₂ 排出量内訳
Table 1 Items of industrial process

工業プロセス [kt-CO ₂]	45,174	100%
セメント製造	25,328	56%
石灰製造	5,481	12%
ガラス製造	191	0%
その他プロセスにおける炭酸塩の使用	1,605	4%
アンモニア製造	1,704	4%
エチレン、カーバイド製造ほか	2,643	6%
金属製造	5,515	12%
燃料からの非IUPAC-製品及び溶剤の使用	2,605	6%
その他 (ドライアイスの利用)	100	0%

減も日本全体の CO₂ 排出量削減に間接的に関与することが読み取れる。

2. ZEB (Zero Energy Building)

2.1 国の施策と定義

2014 年に閣議決定されたエネルギー基本計画では『2020 年までに新築の公共建築物等で、2030 年までに新築建築物の平均で、ZEB の実現を目指す』ことが示されている。ZEB は、「省エネ量」と「創エネ量」により、図-4 に示す 4 つの ZEB レベルに定義付けられる。例えば、「50%省エネ+25%創エネ」の場合、TOTAL : 75%省エネとなり、Nearly ZEB となる。

2.2 当社の取組

2.2.1 ZEB 実証棟

当社は国の施策に先駆けて、2014 年に建物単独で年間エネルギー収支をゼロにする建物として、都心の狭小なエリアでも ZEB を実現することのできる「都市型 ZEB」の実証モデルとして技術センター内に「ZEB 実証棟」建設 (写真-1)。オフィスとして利用しながら導入した省エネルギー技術や太陽光パネルによる創エネルギー技術の検証を行い、ビル単体での年間エネルギー収支ゼロを竣工以来 5 年間達成した (図-5)。

以降、数多くの ZEB の設計・施工・運用を手掛ける

とともに ZEB に寄与する技術開発を継続しながら、建物の設計段階から環境配慮に注力し、快適な室内環境

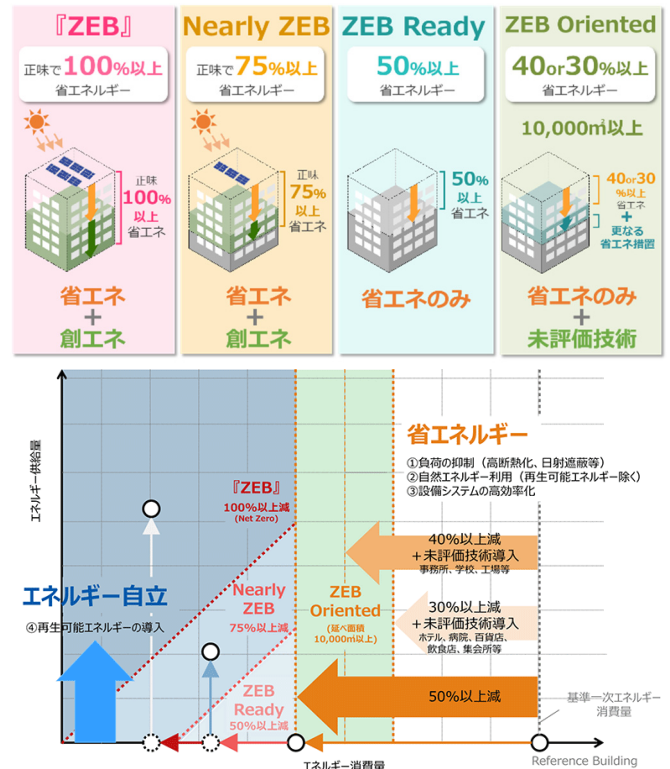


図-4 ZEB の定義³⁾
Fig.4 Definition of ZEB



写真-1 ZEB 実証棟
Photo.1 ZEB demonstration building

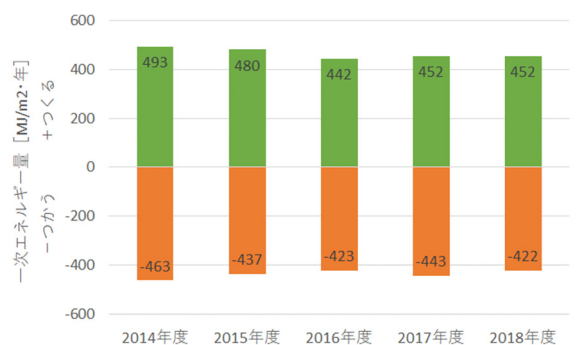


図-5 ZEB 実証棟 年間エネルギー収支結果
Fig.5 Energy income and expenditure

を保ちながら省エネに努め、太陽光発電などの創エネを組み合わせることで建物全体でのエネルギー消費を削減する ZEB の普及に努めている。

2.2.2 ZEB 実証棟から人と空間のラボへ

2019 年 5 月には建物・室内環境評価システムである米国・健康建築性能評価制度「WELL Building Standard™」の最高位となる「プラチナ（新築/既存建物全体）」を世界で初めて取得し、建物の環境性能と執務者の健康増進が両立可能であることを示した。

そして 2020 年 2 月に経済性を考慮した更なるエネルギー性能の向上と健康経営時代に相応しいオフィスへの進化など次世代の執務環境を目指し、新技術と AI・IoT を活用した ZEB とウェルネスの機能を同時に実証する「人と空間のラボ」としてリニューアルを実施、2020 年 3 月より運用を再開した（写真-2）。主な実施項目は以下である。

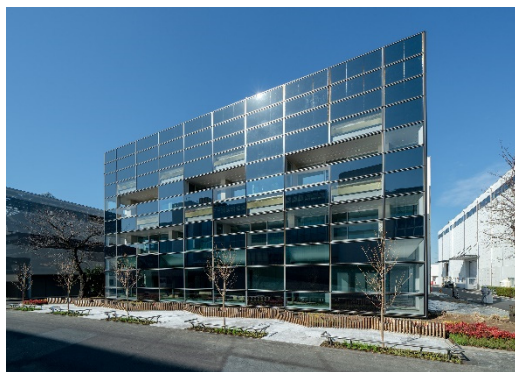
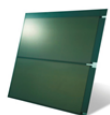


写真-2 人と空間のラボ（ZEB 実証棟）
Photo.2 Human space Lab

① 高効率壁面太陽光発電パネルへの更新

高効率化による創エネルギー量の増加を図った。

【更新前】



有機薄膜太陽電池モジュール
発電効率（PV単体）3～5%

【更新後】



高効率カラー太陽電池モジュール
発電素子の最高発電効率24%
（発電モジュール平均発電効率18%）
定格発電量：約70kW

図-6 壁面太陽光発電パネル
Fig.6 Photovoltaic panel for Wall

② 高断熱・高性能ガラスへの更新

断熱厚さを 25mm から 50mm、窓ガラスを真空ガラスへ変更した。

③ 高エネルギー効率型ビルマルチの追加

汎用技術での ZEB 実現のため、2~3 階床下にビルマルチ空調機を設置し、ゾーン毎に温度の異なる空間を作り、個人が好みのエリアを選択し執務を可能とした。

④ 高効率 LED 照明器具への更新

最高効率 LED（20~30% 効率向上 106lm/W → 135lm/W）に更新や 4 灯制御から 1 灯制御に変更し、更にきめ細やかな制御による省エネや色温度を可変にすることで、シーンに応じたり、個人の好みにも合わせることを可能とした。

図-7 に運用を開始した 2020 年度の実績を示す。創エネとなる『つくる』が 587 MJ/m²・年、建物で使ったエネルギーを示す『つかう』が 575 MJ/m²・年となり、リニューアル後も『ZEB』を達成することが出来た。

ここで創エネとなる『つくる』は、改修前の 2018 年度（452 MJ/m²・年）と比較すると 1.3 倍となり、高効率壁面太陽光発電パネルへの改修効果を確認した。一方、建物で使ったエネルギーを示す『つかう』も改修前の 2018 年度（422 MJ/m²・年）と比較すると 1.36 倍となり『ZEB』は達成したが、更なる省エネ効果を確認することが出来なかった。これは、新型コロナウイルス対策のため、居住者への配慮から意図的に窓を開けたまま空調を行ったことや執務者の増加によるものと考えられる。

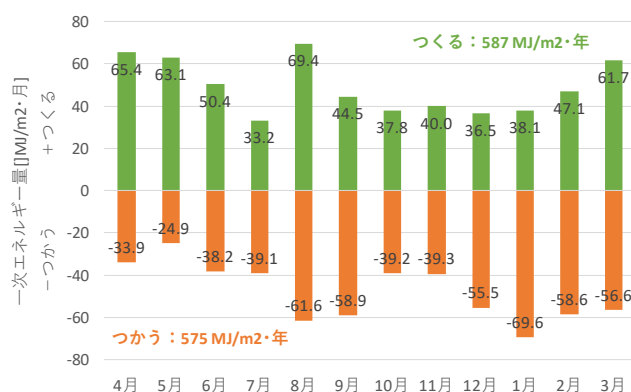


図-7 人と空間のラボ エネルギー収支（2020 年度）
Fig.7 Energy income and expenditure

2.2.3 ZEB のロードマップ

図-8 に当社の ZEB ロードマップを示す。ZEB 実証棟の建設・実証、人と空間のラボへの改修と実証を踏まえ、効果的な技術の組み合わせや新技術の開発を進め、2016 年に大成札幌ビル（札幌市中央区）の ZEB 化リニューアルを実施、運用実績でも「ZEB Ready」を実現した。2018 年に竣工した JS 博多渡辺ビル（福岡市博多区）は、ZEB の実現が難しいとされたテナントオフィスビ

ルで、国土交通省が主導する建築物省エネルギー性能表示制度（BELS）における「ZEB Ready」（エネルギー消費量を50%以上削減）と「最高ランク☆☆☆☆（5つ星）」の認証を国内で初めて取得した。

その後、2019年には、公共研究施設初のZEBとなる愛知県環境調査センター・愛知県衛生研究所、高層ビル初のZEB Readyとなる近畿産業信用組合新本店、技術センター次世代研究開発棟（材料と環境のラボ）のリニューアル、大規模オフィスビルでのZEB Readyを達成した品川シーズンテラスなど、ZEBへの着実な取り組みとイノベティブな技術開発により、適用実績を積み重ねてきている。

2.2.4 更なる付加価値のための技術開発

これまでの実証や技術開発の成果を更に生かしてZEBの普及拡大を目指すためにも更なる付加価値のための技術開発も進めている。その一つに建物の外装（壁面や窓面）を有効活用し、太陽光発電を効率的に行うT-Green Multi Solarがある。これは太陽電池を合わせガラスで挟みこむことで、外装そのものが発電システムとなり、様々な規模の建物に導入できる発電システムである。図-9~10に概念とその特徴を示す。今後は、ZEB普及のため、本技術の実案件への導入促進を行っていく。

2.2.5 リニューアルZEB

2050年までにカーボンニュートラルを目指すためには、新築ZEBも重要であるが、既存建物の『リニュー

アルZEB』の推進が必須となる。今後、電気代・炭素税高騰による支払いの増加やESG評価のような環境評価の低下、投資家や取引先からの信頼の低下などZEB



導入イメージ
(中・小規模ビルの外装)

図-9 T-Green Multi Solar の概念図

Fig.9 Concept of T-Green Multi Solar

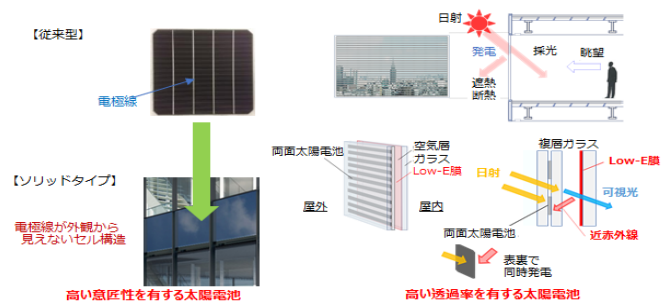


図-10 ソリッドタイプ（外壁部：左）
シースルータイプ（窓部：右）の特長

Fig.10 Solid type for outer wall :Left & See-through type for window: Right



※ 2020年までに新築公共建築物において用途・規模別（8区分）でZEBの計画を実現
2030年までに新築建築物にかかるエネルギー消費量の平均でZEB相当となることを実現
用途別（庁舎／学校／病院／集会所）
規模別（延床面積10,000㎡未満／10,000㎡以上）

図-8 当社のZEBのロードマップ

Fig.8 TAISEI's roadmap of ZEB

化しないリスクが増える可能性がある。当社は新築のみでなく、『大成建設グリーンリニューアル ZEB』として、調査・設計・改修・運用までトータルマネジメントにより図-11 に示すようにリニューアルの ZEB 化にも積極的に取り組んでいく予定である。

2.2.6 「ZEF」(Net Zero Energy Factory)

2021 年 5 月、当社は ZEB 化が難しいとされていたエネルギー多消費施設である生産工場において、年間で消費する一次エネルギー収支ゼロを目指す工場を「ZEF」(Net Zero Energy Factory)と定義することを他社に先駆けて発表した。

図-12 に示すようにエネルギー多消費施設である生産工場でのゼロエネルギー化の取組みでは、従来の建築物省エネ法^{注2)}に基づく ZEB 評価における対象範囲が事務室や倉庫等に限られており、工場内の大部分を占める生産エリアでの空調、換気、照明設備などのエネルギー消費が評価対象外とされている。そのため、生産エリアが大部分を占める工場全体での一次エネルギー消費量の適正な評価が難しい状況であった。

そこで当社は独自に、建築物のエネルギー消費に含まれない生産設備を除く工場全体の設備を評価対象として「ZEF」を定義した。「ZEF」とは、工場全体の空調・換気・照明設備のスマート化などによる省エネルギーおよび再生可能エネルギー導入による創エネルギーによって、生産工場に必要な年間の一次エネルギー収支をゼロにすることを目指した工場と位置付けている。

具体的には、生産稼働状況によって空調や換気、照明を制御して省エネを図る当社開発技術の「T-Factory NEXT」や太陽光発電設備を導入、また当社のエネルギーサポートセンターで、クラウドシステムを用いて工場内のエネルギーデータを遠隔監視・分析することで、運用段階での『ZEF』も目指すなどを行う。

当社は生産工場でのカーボンニュートラルを加速させるため、「ZEF」の提案を推進するとともに、創エネルギー、蓄エネルギーの最適化技術や CO₂ を発生しない電源、工場木質化等を積極的に顧客に対して提案を行い、普及展開を図っていく。

3. カーボンニュートラルに関して

3.1 ライフサイクル CO₂

図-13 に CASBEE における LCCO₂ の評価範囲を示す。建築物のライフサイクルは、建設・運用・改修・解体・廃棄などに分けられ、その様々な段階で地球温暖化に影響を与えるのでこれらをトータルで評価しな

TAISEI RENEWAL ZEB Total Management

- ・既存建物の「調査・ZEB化設計・認証取得・使いながら改修・ZEB運用」まで One STOP で実施し、リニューアルZEBを実現させます
- ・トータルマネジメントは、スーパーゼネコンの強み



図-11 グリーンリニューアル ZEB

Fig.11 Green renewal ZEB

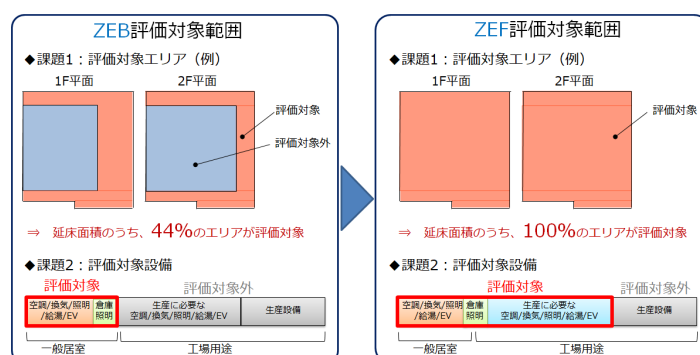


図-12 ZEF 評価の特徴

Fig.12 Zero energy factory



図-13 CASBEE-建築(新築)における LCCO₂ 評価範囲⁴⁾

Fig.13 LCCO₂ assessment

ればならない。例えば、建設時では建設現場で使われる建材の製造、現場までの輸送、現場で使う重機などで資材・エネルギーを使う。また運用時には冷暖房・給湯・照明・OA 機器などでエネルギーを消費し、改修工事においても、新たに追加される建材の製造や除去した建材の処分などにエネルギーを使う。そして、最後の解体時にも解体工事と解体材の処分にエネルギーを使う。こうして使った資材・エネルギーを地球温暖化の影響を計るために CO₂ 排出の量に換算し、これらを全て足し合わせたものが『ライフサイクル CO₂: LCCO₂』である。

建築物の新築、運用、改修に関わる二酸化炭素の排出量は、日本の二酸化炭素の全 CO₂ 排出量(2005 年度

13.0 億 t-CO₂) のうち約 40%を占めている。その内訳は、設計・新築で 6.6%, 改修工事で 2.0%, 建物運用で 32.0%であり、運用時の CO₂ 排出量が多く、カーボンニュートラルに向けて建築に関わる者の責任は重く、更に運用時の CO₂ 排出量の削減が大きく寄与する。⁶⁾

3.2 サプライチェーン排出量

図-14 にサプライチェーン排出量を示す。サプライチェーン排出量とは、事業者の原料調達・製造・物流・販売・廃棄などの一連の流れ全体（サプライチェーン）における組織活動に伴って発生する温室効果ガスの排出量のことを指す。Scope1~3 から構成されておりそれぞれ以下に区分される。

Scope1：事業者自らによる温室効果ガスの直接排出（燃料の燃焼、工業プロセス）

Scope2：他社から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出

Scope3：Scope1, 2 以外の間接排出（事業者の活動に関連する他社の排出）

近年、世界ではCDP（旧：カーボン・ディスクロージャー・プロジェクト）をはじめ、企業が関連するサプライチェーン全体での温室効果ガス排出量として Scope3 まで管理し、対外的に開示する動きが強まっている。

当社は中長期目標である 2050 年環境目標【TAISEI Green Target 2050】（図-15）を 2021 年 2 月に改定、2050 年までに事業活動における CO₂ 排出量実質 0 を目指すこととしている。そのため、Scope1・2 となる事業活動による CO₂ 排出量目標を『実質ゼロ』（カーボンニュートラル）へ、さらに Scope3 においても ZEB 性能の向上とグリーン調達拡大へとし、サプライチェーン排出量全体での CO₂ 削減を目指している。

3.3 ZEB とライフサイクル CO₂ の関係

ZEB により建物のライフサイクル CO₂ がどのように削減されるかの試算を行った。表-2 に算出条件を示す。運用時の CO₂ 排出量は、基準一次エネルギー消費量を全て電気で賄ったと想定して計算を行った。ZEB の定義における省エネ・創エネ量の想定を表-3 に示す。ZEB Ready は、50%省エネ。Nearly ZEB は、50%省エネに加え 25%の創エネ（PV：太陽光発電）。『ZEB』は、75%省エネに加え 25%の創エネとした。

計算結果を表-4 に示す。ライフサイクル CO₂ は、基準に比べ、ZEB Ready で 35%, Nearly ZEB で 50%, 『ZEB』で 68%の削減効果があることを確認した。創エネのための PV の設置により CO₂ 排出量は 1.82kg-

CO₂/年・m² 増加するが、ZEB 化によってライフサイクル CO₂ が大幅に削減できることを確認した。



図-14 サプライチェーン排出量⁵⁾

Fig.14 Emissions of supply chain



図-15 「TAISEI Green Target 2050」と『TAISEI Sustainable Action』

Fig.15 TAISEI Green Target 2050

表-2 ライフサイクル CO₂ 算出条件

Table 2 Calculation conditions

基本条件	延床面積:1万m ² 未満 用途:事務所 構造:RC造 耐用年数:60年, 修繕・更新:15年
CO ₂ 排出量 ⁴⁾	建設段階:13.23 kg-CO ₂ /年・m ² 修繕・更新・解体:16.46 kg-CO ₂ /年・m ²
基準一次エネルギー消費量 ⁴⁾	1,480 MJ/年・m ²
電力一次エネルギー換算値 電気(CO ₂ 排出係数)	9.76 MJ/kWh 0.445 kg-CO ₂ /kWh (0.0456 kg-CO ₂ /MJ)
太陽光発電時 CO ₂ 排出量 ⁷⁾	0.048 kg-CO ₂ /kWh

表-3 運用時の省エネ・創エネ量の想定
Table 3 Assumption of energy saving & creation

	基準	ZEB Ready	Nearly ZEB	『ZEB』
一次エネルギー消費量 [MJ/年・m ²]	1,480	740	370	0
省エネ[MJ/年・m ²]	-	740 (50%)	740 (50%)	1,110 (75%)
創エネ[MJ/年・m ²]	-	-	370 (25%)	370 (25%)
PV 発電量[kWh/m ² ・年]	-	-	37.9	37.9

表-4 ZEB によるライフサイクル CO₂ の効果Table 4 Effect of LCCO₂ by ZEB

kg-CO ₂ /年・m ²	基準	ZEB Ready	Nearly ZEB	『ZEB』
建設段階	13.23			
修繕・更新・解体	16.46			
運用	67.48	33.74	16.87	0
PV 設置	-	-	1.82	1.82
合計	97.17 (100%)	63.43 (65%)	48.38 (50%)	31.51 (32%)

4. おわりに

2050 年カーボンニュートラルに向けて、CO₂ 削減のためには、建物運用時の CO₂ 削減、すなわち ZEB 化が非常に重要であることを再度確認した。ただし、我々建築業が関係する CO₂ 排出量は、運用段階のみでなく、建設工事・資材などからの排出も多い。今後は ZEB 化の推進と共に建設段階や修繕・更新・解体などで CO₂ 削減が可能なコンクリートや木などの利用も推進する必要がある。

注

- 注1) 部門別排出量には、直接排出量と間接排出量がある。直接排出量は、発電に伴う排出量をエネルギー転換部門からの排出量として計算したもの。間接排出量は、それを電力消費量に応じて最終需要部門に配分して計算したものの。
- 注2) 建築物省エネ法：当該法の告示に基づき必要な数値を算出して ZEB 評価を行うが、告示では工場の「倉庫」と「屋外駐車場又は駐輪場」のみが対象となっており、倉庫で空調・換気設備が実装される場合でも「照明」のみが評価対象となっている

参考文献

- 1) 環境省 ZEB ポータル HP より作成
- 2) 国立環境研究所 国内向け公開資料 日本の温室効果ガス排出量データより作成
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁「平成 30 年度 ZEB ロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」(平成 31 年 3 月)
- 4) CASBEE-建築(新築) 建築環境総合性能評価システム評価マニュアル(2016 年版)
- 5) 環境省 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム HP
- 6) 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 日本建築学会
- 7) 国立研究開発法人産業総合研究所 太陽光発電技術 太陽光発電の特徴 1 https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/about_pv/e_source/RE-energypayback.html