

報告

脱炭素化を取り巻く現状と課題

—住宅・建築分野の対応—



令和5年（2023年）8月25日

日本学術会議

土木工学・建築学委員会・環境学委員会合同

脱炭素社会分科会

この報告は、土木工学・建築学委員会・環境学委員会合同脱炭素社会分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議土木工学・建築学委員会・環境学委員会合同脱炭素社会分科会

委員長	田辺 新一	(第三部会員)	早稲田大学創造理工学部建築学科教授
副委員長	伊香賀 俊治	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科教授
幹事	大岡 龍三	(連携会員)	東京大学生産技術研究所教授
幹事	萩島 理	(連携会員)	九州大学大学院総合理工学研究院教授
	上野 佳奈子	(連携会員)	明治大学理工学部建築学科専任教授
	加藤 信介	(連携会員)	工学院大学非常勤特任教授
	菊地 優	(連携会員)	北海道大学大学院工学研究院教授
	下田 吉之	(連携会員)	大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻教授
	都築 和代	(連携会員)	関西大学環境都市工学部建築学科教授
	羽山 広文	(連携会員)	
	森口 祐一	(連携会員)	国立研究開発法人国立環境研究所理事、東京大学名誉教授
	持田 灯	(連携会員)	東北大学大学院工学研究科教授
	山本 佳世子	(連携会員)	電気通信大学大学院情報理工学研究科教授
	吉野 博	(連携会員)	東北大学名誉教授、秋田県立大学客員教授、前橋工科大学客員教授
	渡邊 朗子	(連携会員)	東洋大学情報連携学部情報連携学科教授

本報告の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務	松室 寛治	参事官 (審議第二担当) (令和4年7月まで)
	佐々木 亨	参事官 (審議第二担当) (令和4年8月から)
	高橋 直也	参事官 (審議第二担当) 付参事官補佐 (令和5年3月まで)
	柳原 情子	参事官 (審議第二担当) 付参事官補佐 (令和5年4月から)
	石川 絵里	参事官 (審議第二担当) 付専門職付 (令和4年12月まで)
	池川 教乃	参事官 (審議第二担当) 付専門職付専門職 (令和5年3月まで)
	藤田 崇志	参事官 (審議第二担当) 付専門職付専門職 (令和5年4月から)

要 旨

1 作成の背景

我が国の 2021 年度の温室効果ガス排出量の約 3 分の 1 を占める住宅・建築に関連する分野のあり方は、我が国の脱炭素化社会実現の成否に大きな影響を与える。一方で、建設業、不動産業、素材メーカー、消費者など多様なプレイヤーが介在する領域であるが故に包括的な対策が必要である。これに対し本報告は、住宅・建築分野の脱炭素化に向けた最新の動向と現在の課題を、多面的な視野で精査した結果を取りまとめたものである。本報告が行政、学術関係者のみならず、住宅・建築に関わる産業界、一般消費者の方々にとって現状を俯瞰し、それぞれの立場で脱炭素化に向けて取り組む指針となれば幸いである。

2 我が国の住宅・建築分野における脱炭素化の現状

我が国が 2050 年までにカーボン・ニュートラルを達成するためには、住宅・建築分野において 3 つの方策、即ち、1) 運用段階の徹底した省エネルギー、2) 再生可能エネルギーの導入、3) 建築材料、施工、改修、廃棄に伴う炭素排出（エンボディド・カーボン）の削減を可及的速やかに国内の新築及び既築の建物に遍く実施する必要がある。前二者により運用段階の二酸化炭素（CO₂）排出のネットゼロを目指す住宅・建築物は ZEH（ネット・ゼロエネルギー・ハウス）・ZEB（ネット・ゼロエネルギー・ビル）と呼ばれ、その拡大普及は急務である。政府はエネルギー基本計画などのロードマップに基づき、省エネ法、温対法、建築物省エネ法など関連法規等を通じて様々な施策を実施しているが、現実の進捗は低調である。

3 報告等の内容

(1) 住宅における省エネルギーの推進と再エネ可能エネルギーの導入

第六次エネルギー基本計画では 2030 年以降の新築住宅の 100% が ZEH 水準の省エネ性能を有し、新築戸建住宅の 60% の太陽光導入を目標としているが、2021 年度の新築戸建住宅の ZEH 割合は 26.8% で目標には遠い水準にある。脱炭素化対策に加え昨今のエネルギー価格高騰やエネルギー安全保障など幅広い観点に立ち、屋根置き太陽光発電の導入に加え第二の発電所と呼ばれるエネルギー需要の削減を推進するため、より一層の取組が必要である。戸建住宅や分譲住宅に関しては、省エネルギー推進が居住者の健康や快適性、光熱費削減などのベネフィットをもたらすことを社会に周知する一方、賃貸住宅に対しては省エネルギーや ZEH 化への投資がオーナーに利得をもたらす仕組みの構築が必要である。

(2) 非住宅建築物における省エネルギー対策の推進

中高層建物は床面積に対する太陽光発電設置可能容量が小さいため、太陽光発電による消費電力のオフセットは難しい。しかしそのような条件であっても、大幅な省エネルギーにより脱炭素化へ貢献することは可能であり、対応する認証制度も整備されている。

しかし、現在の新築件数における ZEB Ready¹の割合は工場で 27.3%、オフィス、ホテル、病院はいずれも 5%未満で低い。これを 100%近くに引き上げるためには、抜本的な取組が不可欠である。

(3) エンボディド・カーボン対策

住宅・建築のライフサイクルにおいて材料製造、施工、廃棄における CO₂ 排出の占める割合は大きく対策は急務である。特に、鉄鋼やコンクリート等は CO₂ 強度が高いことから、安価で大規模に導入可能な低炭素型素材の技術開発は喫緊の課題である。一方、産学で開発が進む低炭素型建設材料や施工法等を適切に評価する LCA（ライフサイクルアセスメント）ツールが我が国では整備されていない。国際的な流通性を有する基準や評価の枠組を産官学の協力の下、早急に構築する必要がある。

(4) 既築対策

住宅・建築物は他の製品と比較して長寿命である故に、新技術がストック全体に波及するには長期間を要する。2050 年時点でも、省エネ基準導入以前に建設された既存建築物が相当数残る可能性は高いことから、不動産評価、金融、税制など多様で長期的観点に立ち、既存住宅・建築物対策を検討・実施する必要がある。なお、既存建物の改修・建替の意思決定は、コストだけでなくエンボディド・カーボンを考慮したライフサイクルで評価する戦略も必要となる。

(5) 異分野協働の促進

住宅・建築分野は裾野が広く関連する産業分野也多岐に渡る。例えば、再生可能エネルギー電源の増加により喫緊の課題となったエネルギーマネジメントは電気・電力、情報分野との境界領域である。一方、コンクリート・鉄鋼など共通の構造材料を使う土木インフラ分野とは低炭素型素材の開発や基準化における協働が求められる。気候変動による災害の頻発や高温化による熱中症増加などを背景として、社会安全分野、健康・医療分野、冷凍空調分野との協力も期待される。

(6) 学術・産業分野における国際社会への貢献と国際的競争力

住宅・建築分野の脱炭素化は欧米のみならず、中国でも加速している。このような状況下、建築物の環境性能の認証や格付け、低炭素型材料の規格、ライフサイクルアセスメントツールなど、脱炭素化対策の国際的評価の枠組構築に日本が積極的にコミットし、日本のみならずアジアの気候風土や社会特性を踏まえた適切な評価が行われるよう産官学一体となって取り組む必要がある。また、学術分野においては日本から海外への研究発信が低調であり、日本の研究力の世界的プレゼンスが極めて低い現状を重く受け止め、学術コミュニティにおける組織的な取組が必要である。

¹ ZEB を見据えた先進建築物として外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備えた建築物。

目 次

1	はじめに.....	1
2	脱炭素化に向けた住宅・建築分野に関する海外の状況.....	2
(1)	世界における脱炭素化に向けた住宅・建築分野の役割.....	2
(2)	各国の施策実施の動向.....	3
(3)	世界における冷房需要の拡大.....	3
3	国内における住宅・建築の脱炭素化に関する動向.....	4
(1)	脱炭素化目標.....	4
(2)	省エネ法の概要とその変遷.....	4
①	制定の経緯.....	4
②	脱炭素化に向けた法改正.....	5
③	省エネルギーと非化石エネルギー転換.....	5
(3)	温対法の概要とその変遷.....	6
①	制定の経緯と京都議定書と連動した法改正.....	6
②	京都議定書第一約束期間後の改正.....	6
③	パリ協定を踏まえた法改正.....	7
(4)	建築物の省エネルギーと脱炭素化の現状.....	8
①	建築物省エネ法.....	8
②	求められる建物の省エネルギーと再生可能エネルギー電源の導入促進.....	8
③	ライフサイクルを通じた包括的な脱炭素対策.....	10
④	再生可能エネルギー電源増加に即して求められるエネルギーマネジメント.....	10
⑤	既築建築物への対策.....	11
4	脱炭素社会実現のための LCA（ライフサイクルアセスメント）評価.....	12
(1)	我が国の LCA 指針とツール.....	12
(2)	海外におけるエンボディド・カーボン評価の動向.....	13
5	脱炭素社会を支える DX 及び AI の現状と動向.....	14
(1)	脱炭素社会における DX と AI の役割.....	14
(2)	DX の土木・建築分野における利用.....	14
(3)	AI の土木・建築分野における利用.....	14
6	各学協会の動向.....	15
(1)	日本建築学会.....	15
(2)	土木学会.....	16
(3)	廃棄物資源循環学会.....	16
(4)	空気調和・衛生工学会.....	17
(5)	エネルギー・資源学会.....	18
(6)	脱炭素社会推進会議.....	18
(7)	学術分野連携の必要性和国際発信.....	19

7 課題.....	19
<用語の説明>.....	22
<参考文献>.....	24
<参考資料1>審議経過.....	28
<参考資料2>シンポジウム開催.....	29

1 はじめに

2015年11月から12月に開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（Conference of the Parties: COP21）において、世界共通の長期目標として産業革命以前からの温度上昇を2℃に抑え、また、1.5℃を目指すという目標「パリ協定」が取り決められた[1]。この目標実現のために、世界全体で今世紀後半には、温室効果ガス排出量を実質的にゼロにすることが必要となる。我が国では、これらを踏まえ、2020年10月に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が宣言された。2021年10月には、地球温暖化対策計画が改定され、我が国の中期目標として2030年度に温室効果ガスを2013年度比で46%削減することを目指し、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けて行くことが定められた。

これに対し日本学術会議は、2019年9月19日に山極寿一会長（当時）が日本学術会議会長談話、「地球温暖化」への取組に関する緊急メッセージを发出している[2]。その中で、「私たちには、ただ「我慢や負担」をするのではなく、エネルギー、交通、都市、農業などの経済と社会のシステムを変えることで、豊かになりながらこれを実現する道が、まだ残されています。世界でそのための取組は始まっていますが、わが国を含め世界の現状はスピードが遅すぎます。」と述べている。25期には「カーボンニュートラル（ネットゼロ）に関する連絡会議」が設置され、分野横断的に脱炭素社会実現への議論が行われている。

我々の日々の生活と密接に関連した住宅・建築に関連する分野は、我が国の2021年度の温室効果ガス排出量の約3分の1を占めるため、住宅・建築関連分野の今後のあり方は我が国の脱炭素化社会実現の成否に極めて大きな影響を与える。住宅・建築物は一般の消費財・耐久消費財に比べ寿命が長い上に、建設業、不動産業、ハウスメーカー、建築材料関連の製造業、一般消費者など様々なステークホルダーが存在することから、長期的かつ包括的な視点での対策が必要である。

こうした状況を踏まえ、日本学術会議土木工学・建築学委員会及び環境学委員会合同として設けられた分科会において継続的に議論が行われてきた。20期では建設と社会分科会村上周三委員長が「対外報告：民生用エネルギー消費量削減に関する政策提言」[3]を、21期では低炭素建築・都市分科会村上周三委員長と社会資本分科会浅見泰司委員長が合同で「低炭素化に向けた経済・社会・エネルギーのあり方と実現のシナリオ」を記録として、22期では低炭素建築・都市マネジメント分科会吉野博委員長が、「低炭素建築・都市マネジメント分科会」を記録として、23期では低炭素・健康社会の実現への道筋と生活様式・消費者行動分科会吉野博委員長が、「低炭素・健康なライフスタイルと都市・建築への道筋」を提言としてまとめた[4]。24期では土木工学・建築学委員会と環境学委員会に設置された長寿・低炭素化分科会田辺新一委員長が「長寿社会における脱炭素健康住宅への道筋」を提言としてとりまとめた[5]。

本報告は、これらの提言、報告や記録を踏まえ、本分科会において審議した住宅・建築分野の脱炭素化に向けた最新の動向と課題を報告として取りまとめた。本報告が行政、学術関係者のみならず、住宅・建築に関わる産業界、一般消費者の方々が現状とその課題を

概観し、それぞれの立場で脱炭素化に向けて取り組む指針となれば幸いである。

2 脱炭素化に向けた住宅・建築分野に関する海外の状況

(1) 世界における脱炭素化に向けた住宅・建築分野の役割

2021年英国グラスゴーで開催されたCOP26においてフォーカスされたパリ協定の1.5°C目標達成に対し、2021年11月時点で154カ国、1地域が2050年～2070年までの脱炭素実現を表明している[6]。パリ協定順守に向けて先行していた欧州に加え、中国が2020年9月の国連総会で2060年の脱炭素実現の目標を表明したことで、脱炭素化の技術開発の国際競争は今後更に激しくなっていくことが予測される。

各国の脱炭素化に向けた温室効果ガス排出削減のロードマップは様々であるが、2020年における世界の最終エネルギー消費の36%、エネルギー由来CO₂排出の37%を占める住宅・建築分野(2020年時点[7])の対策は多くの国においても重要課題として挙げられている。国際エネルギー機関(International Energy Agency: IEA)が2021年に公表したロードマップ(Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector[8])においても、2050年の脱炭素化達成のシナリオの中では世界の建築ストックの85%をzero-carbon-readyとする必要性が指摘されている。

新型コロナウイルス感染症の世界的な流行により2020年の建築床面積当たりの排出量及びエネルギー消費量は2015年比でそれぞれ17.2%、5.7%減少しているが、世界の延床面積は9.8%増加しており、今後も長期にわたり建設需要の高まりが排出量を押し上げることが予測されている。特に、アジア及びアフリカでは2050年の建設ストックは現在の2倍になると予測されている。これに対し、建物の省エネ性能改善への世界の投資額は2015年に比べ2020年では40%増加しているが、投資の大半は欧米の一部の国、地域に集中している[7]。今後は、世界のより広範な地域で住宅・建築分野における脱炭素に向けた方策を実施するため、世界的な協働の枠組が求められている。

住宅・建築分野の排出量削減のためには3つの戦略、即ち、エネルギー需要削減(行動変容と省エネルギー)、エネルギーの脱炭素化(電化と再生可能エネルギー電源・熱の導入、脱炭素暖房技術の導入促進など)、建築材料、施工、改修、廃棄に伴う炭素排出(エンボディド・カーボン)低減対策、の全てを着実に実施することが不可欠である。特に、前二者については様々な論文や国際機関のレポートにおいて2050年時点で建物運用におけるCO₂排出量を再生可能エネルギーの発電との相殺によりネットでゼロとするシナリオが示されている。一方で、建築資材や建設段階における排出量の削減は新しい技術開発を要する喫緊の課題となっている。特に中心的な建設材料のセメント、鉄鋼への対策は不可欠である。運用段階のCO₂排出量削減のための新築や改修がエンボディド・カーボンの増加に繋がるケースもあることから建物のライフサイクルでの温室効果ガス排出量を包括的に評価することが、住宅・建築分野の脱炭素化においては極めて重要になっている。

(2) 各国の施策実施の動向

2021年9月時点で、80カ国が国もしくは州レベルでの強制もしくは任意の建物省エネ基準を有しており、そのうち43カ国は国レベルでの住宅・非住宅建築物を対象とした強制的な基準を有している。特に、ヨーロッパの一部の都市や地域、国においては運用段階の排出量だけでなくエンボディド・カーボンについての認証、規制、ガイドライン策定などが開始されている。加えて、建物のライフサイクルにおける温室効果ガス排出量の低減に向けてEU圏域内での統一した政策の導入が検討されている。更に2022年10月にEUは建物の脱炭素化を目指したエネルギー性能規則の厳格化に加盟国が合意したと発表している[9]。これにより2030年には全ての新築建物、2027年までには全ての公共団体所有の新築建物のゼロエミッション化が義務化されることになる。また、EUのグリーンディールの一環として、リノベーションウェーブ戦略と銘打ち2030年までに既築建築の年間改修率を2倍に引き上げ、省エネ性能を向上させることを表明している[10]。

米国では建築基準の整備運用は州により異なるが、カリフォルニア州は2030年までにすべての新築建物をゼロエミッションにするという野心的な目標を掲げている。また、2020年7月に発表されたバイデン大統領のインフラ・クリーンエネルギー投資計画には、今後4年間で400万棟の建築と200万棟の住宅に対する省エネルギーへの投資により雇用創出することが謳われている[11]。

一方、建築ストックの増加が続く開発途上国の多くは強制力のある建築基準が整備されておらず、特にサブサハラアフリカ、中南米では建築基準は殆ど整備されていない[12]。建築の脱炭素化に関する研究のレビューを行ったMata et al. 2020 [13]も同様に、住宅・建築の脱炭素化に関するケーススタディや政策分析、実証プロジェクトなどの研究報告に大きな地域不均衡があることを指摘している。先進国のみならず世界の各国で産業分野、運輸分野に比較して遅れが指摘されている住宅・建築分野の取組が急務である。

(3) 世界における冷房需要の拡大

IEAが2018年に出版した将来の冷房(The Future of Cooling)という報告書において、冷房のためのエネルギー消費量が急増していることを指摘している[14]。これは、アジアを中心とした熱帯・亜熱帯地域での経済発展が大きな要因で、インド、中国、インドネシアの3カ国が2050年までの世界の冷房エネルギー需要の伸びの半分を占めると予想されている。加えて、従来は冷房が使用されていなかった北米やヨーロッパにおいても、気候変動の影響による熱波の頻発により熱中症による死者数が増加傾向にあるため、今後は冷房の導入普及が進むと目される。ヒートポンプなどの冷凍空調技術は我が国の産業界が強みを有する分野であることから、引き続きこの優位を維持しつつ、エネルギー効率の高い冷房機器の海外での普及を後押しする戦略や支援が必要である。

なお、IEAはエアコンの効率向上の必要性を指摘するとともに、建物躯体の適切な断

熱、日射熱の適切な取得や遮蔽を可能とする開口部デザインなど、建築本体の設計による室内熱環境の調整を可能とするデザイン、いわゆる、パッシブデザインやピーク負荷を抑える建築計画、半屋外などの緩衝空間を利用する都市計画など行動変容をともなう住宅・建築・都市のデザインの重要性を強調している。貧富格差の大きな熱帯・亜熱帯地域の開発途上国においては、冷房機器を導入できない低所得階層における気候変動による高温化の健康リスクを抑制するためにもパッシブな対策は重要となる。

3 国内における住宅・建築の脱炭素化に関する動向

(1) 脱炭素化目標

我が国は 2050 年脱炭素社会の実現を目指し、そのゴールと総合的で野心的な目標として、2030 年度に 2013 年度比 46%の温室効果ガス排出量削減を目指し、さらに 50%の高みに向け挑戦を続けることを表明している。住宅・建築と関係が深い家庭部門は 66%、業務その他は 51%の削減が目標である。この目標達成に向けて後述する省エネ法、建築物省エネ法が 2022 年の通常国会で改正されている[15]。

一方、CO₂排出量の相当部分が都市において発生していることを踏まえ、国土交通省では 2012 年 9 月に公布された「都市の低炭素化の促進に関する法律」[16]、通称、エコまち法により、市町村による低炭素まちづくり計画の作成や低炭素建築物の普及促進などを図っている。更に、エコまち法に基づく低炭素建築物の認定制度は 2022 年に強化された。加えて、住生活基本法に基づく住生活基本計画が 2021 年に改訂され、目標 6 に脱炭素社会に向けた住宅循環システムの構築と良質な住宅ストックの形成が加えられた[17]。また、環境省では地域の魅力と質を向上させる地方創生に資する地域脱炭素の実現を目指し、その牽引役となる地域を「脱炭素先行地域」として指定し先行的な取組を支援することとしている[18]。既に 2022 年 1 月には 26 の自治体が選定され、今後も 2025 年までに少なくとも 100 箇所が選定される予定である。また、世界の巨大な脱炭素市場を巡る競争が激しくなることから、2019 年 12 月に経団連が企業による脱炭素社会実現に向けた積極的対応を促進するチャレンジ・ゼロ構想を発表するなど、産業界でも積極的な脱炭素推進の動きがある。東京都などの自治体も 2030 年にカーボンハーフ、2050 年にゼロエミ東京の実現を目指し規制などの強化を行っている[19]。

(2) 省エネ法の概要とその変遷

① 制定の経緯

「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」、通称「省エネ法」は、二度のオイルショックを契機に1979年に制定された法律であり、我が国の省エネルギーに長年、大きく貢献してきた。本法律は国内の様々なセクターに対し、3種のエネルギー、即ち、燃料、燃料起源の熱、電気を対象としてその合理的な使用を求めている。例えば、年間エネルギー使用量が原油換算1,500kL以上の事業者は、エネルギーの使用状況等の定期報告義務がある。2022年度の対象事業者は全国で約12,000事業者になる。対象事

業者の報告する省エネ措置の取組状況、エネルギー消費原単位の推移、ベンチマーク指標の状況が著しく不十分と判断されれば、国による指導や立入検査、指示、公表、命令、罰則が課される。なお、ベンチマーク制度は産業分野だけではなく近年はコンビニ、ホテル、百貨店、食品スーパー、ショッピングセンター、貸事務所、大学、パチンコホール、官公庁施設などへ拡大しており、産業・業務部門の7割をカバーするに至っている。建築物の省エネルギーに関しては建材トップランナー制度として2013年には断熱材、2014年にはサッシ・ガラスが対象に加えられ、2022年には基準値の引き上げが行われている。加えて、電力・都市ガス・LPガスなどの小売事業者を対象に、一般消費者向けの省エネ情報提供やサービスの充実度を評価する省エネコミュニケーションランキング制度が2022年度から開始されている。なお、2015年に住宅・建築物に関しては建築物省エネ法「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」として分離された。

② 脱炭素化に向けた法改正

カーボン・ニュートラルに向けた非化石エネルギーへの転換が重要なことを踏まえ、省エネ法は「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」から「エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律」に名称が変わり、2022年5月13日に成立した[20]。新しい省エネ法成立の約5ヶ月後の2022年10月28日に出された政府の物価高克服・経済再生実現のための総合経済対策の中では、危機に強いエネルギー供給体制の構築について触れられている。わが国では化石燃料等の海外依存度の高さゆえに、これまで輸入物価上昇時に海外に所得が流出するという事態が続いてきた。こうした経済の脆弱性を家庭・企業の省エネ対策の抜本強化、非化石電源の最大限の活用によりエネルギー危機に強い経済構造に転換していくとしている。

省エネ法が対象とするエネルギー使用合理化の対象の拡大に関しては、電気と熱の2つの論点がある。電気に関してはこれまで2003年の火力発電の発電効率実績値に基づき一次エネルギー換算係数を9.76 MJ/kWhとして定数のように取り扱われてきた。しかし、火力発電の効率は近年向上しているのに加え、再生可能エネルギーの導入が増えると原単位も改善される。なお、電気の一次エネルギー換算係数は、2018～2020年度直近3年間の全電源平均係数は8.64 MJ/kWhである。米国では直近数年の全電源平均値を採用しているが、英国など将来値を政策的に利用している国もある。これは電化を加速するための方策で、我が国においても、電気自動車の電費評価においてはこの方法が用いられている。現在の建築物省エネ法などの計画値は火力平均原単位が使用されているが、将来的には全電力原単位に変更して行く必要がある。

③ 省エネルギーと非化石エネルギー転換

省エネルギーと非化石エネルギー導入は脱炭素化実現のための両輪である。昨今は、ロシアのウクライナ侵攻による世界的なエネルギー資源の価格高騰の影響もあり、我

が国のエネルギーコストは上昇している。一次エネルギー自給率がわずか13%（2021年度）という現状を踏まえると、非化石エネルギーの導入促進によりエネルギー自給率を上げることは勿論、第二の発電所ともいわれる省エネ対策によりエネルギー需要を削減することは、脱炭素の観点のみならず国の安全保障上も大きな意味を有する。特に、他の先進国と比較して太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーの立地に恵まれない我が国においては、今後のエネルギー供給側の脱炭素化の進行に伴い、省エネ対策のコストと非化石エネルギー導入のコストを大局的に検討し戦略を策定することがより重要になるであろう。

(3) 温対法の概要とその変遷

① 制定の経緯と京都議定書と連動した法改正

地球温暖化対策の推進に関する法律（通称、温対法）は1998年に制定され、以後、何度かの改正を経ている[21]。温対法の制定以前は、1990年に地球環境保全に関する関係閣僚会議が決定した地球温暖化防止行動計画が温暖化対策の基本的枠組みであった。温対法制定の前年の1997年に、国連気候変動枠組条約のCOP 3が京都で開催され、京都議定書が採択されるという情勢の中で、温対法は、地球温暖化対策に関する基本的な方針を定めるとともに、国、地方公共団体、事業者、国民という各主体の責務を明らかにするためのものであった。

最初の法改正は、我が国が京都議定書を締結したことへの対処として2002年に行われた。また、1997年に閣議決定で設置されていた地球温暖化対策推進本部が改めて法の下に位置付けられた。この2002年改正は法的拘束力のある同議定書の実施を確保するためのものであり、その施行は京都議定書が発効した2005年である。

議定書が発効した2005年にも新たな改正が行われた。要点は「長期的展望に立った地球温暖化対策の実施の推進に関する総合調整」を地球温暖化対策推進本部の所掌事務に加えたことと、「温室効果ガスの算定・報告・公表制度」（算定・報告・公表の頭文字をとって「SHK制度」と呼ばれることもある）の導入である。これは、温室効果ガスを一定量以上排出する者に対し、温室効果ガスの排出量を算定し、国に報告することを義務付けた上で、国が報告されたデータを集計・公表するものである。

次いで2006年には、議定書の目標達成のために途上国での排出削減プロジェクトによる削減量を自国の削減量に算入する、いわゆる「京都メカニズム」による削減量（クレジット）の活用に関する事項を定めるための改正が行われた。さらに2008年には、議定書の目標達成を確実にするため、事業者の排出抑制等に関する指針の策定、地方公共団体実行計画の策定事項の追加、植林事業から生じる認証された排出削減量に係る国際的な決定により求められる措置の義務付けなどについて追加改正が行われた。

② 京都議定書第一約束期間後の改正

これら一連の改正を牽引した京都議定書の第一約束期間は2012年度で終了し、我が

国は第二約束期間には加わらなかった。そこで、京都議定書目標達成計画を拠り所としてきた我が国の温暖化対策を再編すべく、国（地球温暖化対策推進本部）が策定する「地球温暖化対策計画」を新たな柱とする法改正が2013年に行われた。なお、京都議定書ではいわゆる6ガス（CO₂、メタン、亜酸化窒素、HFC、PFC、SF₆）に加え、第二約束期間では新たに三フッ化窒素(NF₃)が対象とされたことから、これと整合をとるために国内法も7ガスが対象となった。その後、条約事務局に2015年7月に提出したINDC（Intended Nationally Determined Contributions、約束草案）において、2030年度に2013年度比で温室効果ガス排出量を26%削減する目標を掲げ同年12月にパリ協定が合意に至った。INDCの目標達成のためには家庭・業務部門での約4割の排出削減が必要と見込まれたことから、2016年には国民一人一人の自発的な行動を促進する普及啓発の強化や地方公共団体の実行計画策定などによる対策推進の措置を盛り込んだ改正が行われた。

③ パリ協定を踏まえた法改正

歴史的合意とも評価されるパリ協定が2016年に発効し、多くの国が野心的な高い目標を掲げる中、我が国でも2020年10月に2050年カーボン・ニュートラル（排出実質ゼロ）が宣言され、さらなる対策の推進が求められる状況となった。2021年の法改正では、パリ協定、カーボン・ニュートラル宣言等を踏まえた基本理念として、2050年までの脱炭素社会の実現、環境保全、経済及び社会の発展の統合的推進、国民、国、地方公共団体、事業者、民間団体等の密接な連携を掲げた。列記された主体の筆頭に国民を挙げるのは異例であるが、国民一人一人の取り組みの重要性を強調する意図であろう。地域における脱炭素の促進に関しては、都道府県、市町村の実行計画を拡充して施策の実施に関する目標を追加することに加え、地域課題の解決に資する取組として再生可能エネルギーの導入促進事業の措置が盛り込まれた。また、脱炭素経営の促進という観点からは、2005年改正で導入されていた温室効果ガス排出量の算定・報告・公表制度における排出量情報のデジタル化・オープンデータ化を推進するため、電子システムによる報告を原則化するとともに、事業所ごとの排出量情報が開示請求手続なしで公表される仕組みとなった。

なお、温対法の排出量報告制度は、事業「所」を単位としているが、昨今、事業「者」に対して温室効果ガスの排出量の算定、自主的公表を求める国際的な潮流が高まっている。国際的なプロトコルとの互換性を高めることも含め、同制度の算定方法改善の検討に、本分科会委員も加わっている。土木・建築分野に関わりの深い問題としては、例えば、施工現場でのエネルギー消費（建設機械の燃料、現場事務所の光熱のための電力など）が挙げられる。温対法の諸施策は前述した省エネ法（エネルギーの使用の合理化等に関する法律）との結びつきも意識されてきており、従来制度では対象外であった事業「所」の敷地外でのエネルギー消費を事業「者」に対する取り組みとすることで、排出量の削減機会を適切に捉えることが期待される。

直近の2022年改正は資金面に着目したもので、財政投融资からの出資と民間からの出資を原資にファンド事業を行う(株)脱炭素化支援機構が設立されるとともに、地方公共団体に対する財政上の支援措置として地域脱炭素移行・再エネ推進交付金制度が設けられた。温対法の制定や一連の改正は、京都議定書、パリ協定などの国際的動向を色濃く反映したものといえるが、制定から既に四半世紀が経過している。カーボン・ニュートラルの目標年とされる2050年までの残された時間も四半世紀と少しであり、対策を加速するための新たな局面を迎えている。

(4) 建築物の省エネルギーと脱炭素化の現状

① 建築物省エネ法

2015年7月8日に公布された「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」(通称、建築物省エネ法)は、省エネ法と分離する形で、建築物のエネルギー消費性能の向上を図るために制定されたものである。2017年4月からは、2000m²を超える大規模非住宅建築物のエネルギー消費性能基準への適合義務が開始された。さらに、2021年4月からは、300m²以上2000m²未満の中規模非住宅建築物にも拡張された。さらに、脱炭素化の推進が必要になったため、本法は、「脱炭素社会の実現に資するための建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律等の一部を改正する法律」として改正され、2022年6月13日に通常国会で可決成立し、2022年6月17日に公布された[22]。この改正により、従来まではエネルギー消費性能基準に対する適合努力義務であった小規模非住宅建築物や住宅を含む全ての新築建築物に対し2025年4月から省エネ基準への適合が義務化される。また、大規模非住宅建築物に関しては2024年4月から義務水準が2割強化される。加えて、一年間に一定戸数以上の住宅を供給する事業者に対し、国が目標年次と省エネ基準を超える水準の基準を定め、新たに供給する住宅について、その基準を平均的に満たすことを努力義務として課すトップランナー制度の対象が分譲マンションにも拡大された。

② 求められる建物の省エネルギーと再生可能エネルギー電源の導入促進

省エネルギーと再生可能エネルギーの利用により運用段階のCO₂収支ゼロを目指す住宅・建築、即ちZEB(ネット・ゼロエネルギー・ビル)・ZEH(ネット・ゼロエネルギー・ハウス)[23],[24]の普及は世界的な課題である。省エネのためには、建物外皮の高断熱高気密化、季節に応じた日射受熱制御を考慮した開口部デザイン、給湯・空調・照明等の設備機器のエネルギー性能向上などを包括的に行う必要がある。一方、再生可能エネルギーに関しては、屋根置き太陽光パネルの導入が主に想定される。我が国の太陽光発電の導入は着実に増加し、2020年実績の容量72GWで世界第三位、国土の平地面積当たり導入容量は世界一位となっている。しかし、近年では山間部での太陽光パネル設置による災害リスクや景観への影響を危惧する声の高まりもあることから、今後は建物の屋根が太陽光導入の適地として重要性を増すことが予測される。

これに対し、低層が多く床面積辺りの太陽光発電容量を確保しやすい住宅に関しては、2021年度の新築注文戸建住宅の26.8%がZEHである。大手ハウスメーカーのZEH率は61.3%と上昇傾向にあるが、一般工務店ではまだ10.7%と低く底上げが必要となっている[23]。分譲住宅、賃貸住宅、マンションに関しては中高層が多いことから太陽光導入の屋根面積が確保しにくいこともありZEH化は進んでいない。

住宅以外の建築物については、BELS認証²の取得件数に拠ると2020年度の新築約48,000棟におけるZEBはわずか204棟（約0.42%）でZEBの普及にはほど遠い状況にある[24]。床面積に比して屋根面積の小さな中高層建築物では、概して太陽光導入によるネットゼロを達成することは難しい。そのようなケースでも大幅な省エネにより社会の脱炭素化に貢献できることは間違いない。そこで経産省は、一次エネルギー消費量の大幅な削減を行う建築物をその削減量に応じZEB Ready、ZEB Oriented³と呼称している。しかし、省エネ適合判定に申請された建築物のデータを解析した宮田の研究[25]によれば、ZEB Ready（太陽光設置なし、一次エネルギー消費量削減率50%以上）の達成率は工場で27.3%、飲食店で7.5%、事務所で4.3%、ホテル及び病院の達成率は1%程度と小さい。住宅に比べ対策が大幅に遅れているこれらの建築物に対しては、建物種別に応じた新たな取組が必要である。

2021年10月に公表された6次エネルギー基本計画[26]においては、前述の目標達成が難しい状況を踏まえ、2030年に向けて規制と支援の更なる強化に取り組むことが表明され、以下の目標が記載されている。

- 2030年度以降に新築される住宅・建築物についてZEH・ZEB基準の水準の省エネ性能の確保を目指す。
- 2030年において新築戸建住宅の6割に太陽光発電設備が設置される。
- 2050年において設置が合理的な住宅・建築物には太陽光発電設備が設置されていることが一般的になる。

なお、公共建築物のZEB化に関して、国土交通省は「官庁施設の環境保全性基準」を2022年3月28日に改定し[27]、2022年4月1日から新築する場合は原則ZEB Oriented相当以上とすることを規定している。本基準は、国の各府省庁が共通して使用する「統一基準」として位置付けられ、事例集も公開されている。また、文部科学省も2022年5月20日にZEB事例集を公表している[28]。環境省が進めている地方公共団体実行計画の策定においても公共施設におけるZEB化推進や太陽光導入の検討が求められている。加えて、2022年7月5日に全国知事会は脱炭素・地球温暖化行動宣言において、都道府県が整備する新築建築物についてZEB Ready相当（50%以上の省エネ）を目指すことを表明している[29]。

² 「Building-Housing Energy-efficiency Labeling System」の略称で、建築物省エネ法第7条に基づき建築物の省エネ性能を表示する第三者認証制度の1つで、一次エネルギー消費量をもとに省エネ性を5段階の星マークで表示する。

³ ZEB Ready を見据えた建築物として外皮の高性能化及び高効率な省エネルギー設備に加え、更なる省エネルギーの実現に向けた措置を講じた建築物。

③ ライフサイクルを通じた包括的な脱炭素対策

前述のZEBやZEHは運用段階におけるエネルギー消費が再生可能エネルギーによる発電量で相殺されるネットゼロを目指したものであるが、長期間での脱炭素を考える上では、建設材料や製造、施工、廃棄におけるCO₂排出量を含むライフサイクルでの評価が重要である。なお、ライフサイクルにおける炭素排出量がマイナスとなる住宅はLCCM（ライフサイクル・カーボンマイナス）住宅と呼ばれ、国土交通省による住生活基本計画[14]においては、LCCM住宅など、長寿命でライフサイクルCO₂排出量が少ない住宅ストック形成への取組が記載されている。

建築物や都市インフラ設備における基盤的構造材料であるコンクリートや鉄は製造過程におけるCO₂排出量が特に大きいため、抜本的な対策が求められている。そこで、セメントを別の素材に置き換えた低炭素型コンクリートやCO₂固定コンクリート、鉄骨部材の標準化によるリユースの促進など、様々な技術開発が国内外で進行中である。今後、我が国で開発された低炭素型技術を積極的に国内外に普及させるためには、技術のクオリティや価格競争力だけでなく国際的流通性を有する基準の制定が不可欠である。例えば、従来から建築物と土木構造物ではコンクリートの基準や指針等が別々に策定・運用されてきた経緯があるが、今後は、日本建築学会及び土木学会が産官と協働して低炭素型コンクリートの基準化に取り組む必要があるだろう。

材料製造・建設段階における排出量削減の一手として、CO₂の吸収媒体である木材の活用促進も注目が集まっている。従来から日本では木造は低層住宅での利用が大半であったが、構造や耐火性などの要件を満たした木造中高層建築物に関する技術開発も行われている。但し、我が国の年間1億m²の着工床面積の3分の2は既に木造住宅であり、残りの建築をすべて木造に置き換えても我が国の年間CO₂排出量の1～2%程度の固定化にしかならない。木材使用だけでは炭素の移動に過ぎないことから、国産材を使用し国内に植樹をして初めて炭素固定化が達成されることに注意が必要である[30]。

④ 再生可能エネルギー電源増加に即して求められるエネルギーマネジメント

天候による出力変動の大きな太陽光発電や風力発電の導入拡大に伴い、スマートグリッドなど電力の供給・需要側が一体となったエネルギーシステムの重要性が高まっている。供給サイドにおいては大型の系統用蓄電池設備が2022年3月の電気事業法改正により発電事業の一類型として位置づけられた一方、住宅や建築などの需要サイドにおいては、供給力の逼迫や余剰に応じて柔軟に電力需要を調整する、いわゆるデマンド・レスポンスへの注目が高まっている。デマンド・レスポンスには、ピークタイム、オフピークタイムに応じた電気料金設定や緊急の節電要請に対するインセンティブ付与により需要家に節電や電力消費の時間シフトを促す方法に加え、蓄電、蓄熱による需要調整など、様々な手法が検討されている。米国ではGrid-Interactive Efficient Building (GEB) という概念が提唱されている[31]。これは天気予報、発電、

使用状況情報をもとに空調機、照明、開口部、室内環境、蓄電池、電気自動車などを制御して再生可能エネルギーを有効活用することを可能とする建物を意味する。今後は年間総量での省エネルギーと脱炭素だけではなく、時間的に変動するエネルギーのCO₂排出原単位に従って設備機器を運用することで、快適性を維持しつつ社会全体として再生可能エネルギーを最大限活用できる住宅・建築物を目指す必要がある。そのためには、電気・電力工学分野、情報科学分野と建築工学分野の協働が求められる。

⑤ 既築建築物への対策

建築物・住宅の耐用年数は50～70年程度[32]で一般的な設備や家電機器に比べ長いことから、新築におけるZEH及びZEBの比率が今後増加したとしても、2050年時点で断熱性能の低い既存建築物が一定数残ると推計されている。今後、こうした現行の省エネ基準に合致しないストックへの対応が強く望まれる。しかし、建築物の大半は個人資産であることから、支出負担を伴う断熱改修やエネルギー性能の高い設備機器への更新を促進するための仕組みを構築する必要がある。特に、賃貸住宅の場合は建物のエネルギーコストを入居者が負担するケースが大半であることから、建物のオーナーが省エネ改修や設備更新に投資するインセンティブが少なく、対策が進みにくい。

これに対し、例えば欧州では建設、売却、または賃貸される建物に対してはEPC (Energy Performance Certificate) という建物に関する省エネ表示の取得が必須となっている[33]。2022年12月時点で24,712,116件の住宅・建築がこの省エネ表示を取得している。更に、英国やフランスなどでは、このラベルの下位評価を受けた住宅・建築は賃貸ができなくなる規制をかけることで、建築物のオーナーに改修を強く促す仕組みを採用している。米国においては、Energy Starといわれるラベル制度や既存建築物の評価制度がある。

一方、国際財務報告基準 (International Financial Reporting Standards : IFRS) の国際的なサステナビリティ開示基準案 (International Sustainability Standards Board: ISSB) [34]においては、不動産サービス分野において所有する建物やテナントに関するエネルギー及びサステナビリティに関するデータ、例えば、エネルギー格付けやEnergy Star認証を取得した適格ポートフォリオの割合などの開示が求められる可能性が記載されている。これを受けて、国内不動産分野でも既存建築物の評価システムの整備を求める動きがある。

こうした海外で既に広がりつつある既存建物の省エネ性能の評価、格付け、表示の枠組は、賃貸住宅やテナントのオーナーが建物の環境性能向上に要したコストを適切に賃貸料金に転嫁する一方で、環境性能が高く光熱費が低い物件を入居者が選択するよう誘導する際に極めて重要である。加えて、長寿・低炭素化分科会において2020年に発出された提言「長寿社会における脱炭素健康住宅への道筋」[35]で指摘されている通り、建物の省エネルギー・脱炭素対応は、冬季や夏季における室内温度の不均一を解消し、ヒートショックや熱中症のリスクを軽減するなど、健康増進のコベネフィ

ットをもたらす。こうした脱炭素化の複合的な便益をデータに基づき分析し、積極的に社会に発信することは建築の学術分野に期待される役割である。残念ながら我が国ではこうした取組が組織的に行われているとは言い難い現状にある。既存建築物の省エネルギー化を進めるには重要なポイントであることから、対策は急務である。

4 脱炭素社会実現のための LCA（ライフサイクルアセスメント）評価

(1) 我が国の LCA 指針とツール

LCA（ライフサイクルアセスメント）とは、ある製品・サービスのライフサイクル全体（資源採取、原料生産、製品生産、流通、消費・使用、廃棄）またはその特定段階における環境負荷を定量的に評価する手法である。建築物は一部の工業化住宅を除けば基本的に単品生産であり、ごく一部の大手の設計事務所と建設会社を除けば、ほとんどが中小・零細企業であるため、他の産業界が取り組んでいるような詳細な LCA を実務に適用することは極めて難しかった。

そのような背景から、1990 年に設置された日本建築学会「建築と地球環境特別研究委員会」において、建築物の LCA に関する研究を実施し、1992 年 6 月に、フロンとメタンガスの温室効果も含めたライフサイクル CO₂ 排出量（以下、略して LCCO₂）の計算手法が提案された。そのような背景から日本建築学会は、1997 年 12 月に COP 3 に呼応して、「新築建物で LCCO₂ 30%削減、耐用年数 3 倍延伸を目指すべき」との学会声明を公表した。1999 年 11 月には、建物の LCA 指針（案）を出版、その後 2003 年 2 月に正式な学会指針となり、2006 年と 2013 年に改訂され幅広く使用されている[36]。

国土交通省大臣官房官庁営繕部は、官庁施設整備における環境負荷低減指針として、「環境配慮型官庁施設（グリーン庁舎）計画指針」を 1998 年 3 月に策定した[37]。また、日本建築学会の建物の LCA 指針を官庁施設向けに簡略化し、各種対策の費用効果分析が可能な LCA ツールを開発している。既存官庁施設に対しては、「官庁施設の環境配慮診断・改修計画指針（グリーン診断・改修計画指針）」が 2000 年 12 月に策定され、その解説と計算ソフトが「グリーン診断・改修計画指針及び同解説」[38]として 2001 年 3 月に公開された。さらに、LCCO₂ 以外に、LCR（資源消費）、LCW（廃棄物）、CASBEE（建築環境総合性能評価システム）を加えた評価システムが「グリーン庁舎基準及び同解説」[39]と「グリーン診断・改修計画基準及び同解説」[40]とともに 2006 年に公表された。更には、2007 年 11 月から施行された環境配慮契約法によって、国や独立行政法人の施設設計におけるライフサイクルでの CO₂ 評価が義務づけられたことにより、建築 LCA の普及が進んでいる。また、自治体の建築 LCA ツールもこの時期に整備された。

CASBEE は、国土交通省住宅局の支援のもとに、産官学共同プロジェクトとして開発され、建物の環境品質を環境負荷で除すことで定義された環境効率の大きさに応じて建物を格付けする手法である[41]。現在までに開発・利用されている CASBEE ツール群は、戸建住宅から大規模建築物、街区、都市の評価までをカバーしている。現在、全国 24 の自治体において、一定規模（延床面積 2,000m² または 5,000m²）以上の建築物を新築する際

の簡易 LCA を含む CASBEE 計画書の届け出と工事完了届けが義務化され、その結果は自治体のウェブサイト上で公開されている。このように我が国は 1990 年頃から LCA 評価に関して先駆的な活動を行ってきた。

(2) 海外におけるエンボディド・カーボン評価の動向

我が国が先行していた建築物の LCA 評価であるが、建築物の環境性能に関する国際的な認証制度 LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) においては、延床面積あたりのエンボディド・カーボンを評価に組み込もうという動きがある。WBCSD (World Business Council For Sustainable Development : 持続可能な開発のための世界経済人会議) は、欧州における複数のオフィスや住宅などにおけるエンボディド・カーボンを推算し、それらが $500\sim 600\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ であること、この数値が世界的にもターゲットとなるだろうと述べている [42]。一方、我が国の一般的な RC 造集合住宅で試算すると $1,000\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ 程度であるが、これは耐震性確保のため構造躯体の設計荷重が欧州に比べ大きいことに起因すると考えられる。今後、世界的な評価基準を決めるときに立地条件などの違いに配慮するよう積極的に提言する必要がある。

欧米のエンボディド・カーボン評価においては、建築材料や製品などに関して積み上げ方式の温室効果ガス排出量が示されており、低炭素建築材料の開発を後押ししている。一方、我が国では、住宅・建築分野の EPD (Environmental Product Declaration : 環境製品宣言) データベースの整備が遅れている。建築材料や施工時のエンボディド・カーボンに関しては、建築規制に馴染みやすく英国、デンマーク、米国の都市では規制導入の動向もある。なお、低炭素を意図して開発された製品や素材の価格が一般の製品に比べ高くなる場合がある。このような状況で、一般的な建材や建設費用当たりの原単位を用いてエンボディド・カーボンを算出すると、無対策で安価な建築物ほど低炭素と評価されることになる。それを避けるためには、積み上げ方式の算出方法とそのデータベースの整備を早急に行う必要がある。

なお、近年、事業所の温暖化対策への取組評価に用いられる温室効果ガスプロトコル⁴では、温室効果ガスの排出方法・主体による 3 分類、即ち、「Scope 1 (直接排出量)」「Scope 2 (間接排出量)」「Scope 3 (その他の排出量)」の合計を「サプライチェーン全体の排出量」と定義している。建築材料の製造や施工段階の炭素排出、即ちエンボディド・カーボンは建設業や不動産業における Scope 3 に含まれライフサイクル全体の排出量の相当割合を占める。技術開発により低炭素排出型の建材や施工法が次々に開発される状況下で、それらを適切に評価するシステムの確立は喫緊の課題である。

こうした国内外の状況を受けて、2022年度から国土交通省の支援を受けて IBECs (住宅・建築 SDGs 推進センター) に産官学によるゼロカーボンビル (LCCO₂ ネットゼロ) 推進会議が設置され、総合的に LCCO₂ を実質ゼロにする建築物 (「ゼロカーボンビル」) につい

⁴温室効果ガス排出量の算定、報告の基準、事業者などの組織のためのガイドラインを開発する国際的な枠組で 1998 年に世界環境経済人協議会と世界資源研究所により共同設立された。

て、その評価手法を整備し、普及促進を図ること目的として活動を開始している[43]。

5 脱炭素社会を支える DX 及び AI の現状と動向

(1) 脱炭素社会における DX と AI の役割

現代社会は多くの産業、ステークホルダー、要素・要因が密接に絡みあって構成されている。脱炭素社会の実現のためには、このような複雑な社会の膨大なデータを取得し、それを適切に処理・運用し、最適化をはかる必要がある。そのためには、社会の様々な情報をデジタル化するとともに、近年発展の著しい人工知能(Artificial Intelligence: AI) を活用することが期待される。本節では、脱炭素のうち特に土木工学・建築学やそれに関連する建設業に関わるデジタル・トランスフォーメーション(Digital Transformation: DX) と AI の活用状況について説明する。

(2) DX の土木・建築分野における利用

単品受注生産が大半の土木インフラや建築物を支える建設業は、設計・施工のいずれにおいても労働集約性が高く、他業種に比べて労働時間が長い傾向にある。昨今の少子高齢化による就業人口の減少や働き方改革などの潮流を受け、DX 技術による効率化、生産性の向上、熟練労働者のスムーズな技術伝承などに期待が寄せられている。具体的には BIM (Building Information Modeling) /CIM (Construction Information Modeling) の活用による業務効率化や稼働人員の削減、設計段階における各種材料の選択によるコストや環境性能の容易な試算、建材の切り出しや現場への搬送の最適化による建設段階の産業廃棄物の削減、ICT (Information and Communication Technology: 情報通信技術) を活用した建設機械の導入による施工作業の自動化や工期短縮など、既に我が国の現場への導入が進みつつある。加えて、3D プリンターによるプレキャストコンクリート部材や型枠の製作など様々な技術開発が行われている。海外では3D プリンターを使った建築物や橋梁が既に報告されている。更には、デジタルツインやメタバース空間によるサービスの展開などが期待されている。

(3) AI の土木・建築分野における利用

AI の分類については用語説明に示すように現在かなり細分化されているが、各分類要素は相互に関連性を有する。AI のもつ様々な能力のうち、特に予測能力や最適解の探索能力は、土木建築分野の脱炭素化において大きな役割を果たすと期待される。例えば、多様な選択肢の中から環境性能の高いデザインや材料を選ぶ設計プロセス、天候や室内利用状況に応じてエネルギー効率を高める空調設備機器の運転方法のリアルタイム探索、画像や動画による建物やインフラ構造物の劣化診断や欠陥検出による適切な維持管理と長寿命化の実現など、既に AI の導入は広がりつつある。加えて、再生可能エネルギーの導入が進む中で、天候により時々刻々変化する発電量や電力価格に応じたデマンド・レスポンスに関しても、建物の蓄電池や電気給湯器等の運転制御において AI の活用

が始まっている。

6 各学協会の動向

(1) 日本建築学会

一般社団法人日本建築学会は、建築に関する学術・技術・芸術の進歩発達をはかることを目的とし、1886年に設立された学会である。現在、会員数は3万5千名余であり、会員の所属は研究教育機関、総合建設業、設計事務所をはじめ、官公庁、公社公団、建築材料・機器メーカー、コンサルタント、学生など多岐にわたっている。同学会では、1990年から地球環境問題について組織的、分野横断的な調査研究に取り組んでおり、1995年からは常設の調査研究委員会のひとつとして地球環境委員会を新設し、進行する地球温暖化への対策などについて検討を重ねている。1997年には、その成果として「地球環境行動計画」を策定したほか、同年12月のCOP3に向けて、地球温暖化防止のため「ライフサイクルCO₂の30%削減と建築寿命の3倍増」という学会としての目標をまとめ、会長声明として発表した。「地球環境・建築憲章」は、その基本目標を実現するための基本的なガイドラインとして(社)日本建築学会、(社)日本建築士連合会、(社)日本建築士事務所協会連合会、(社)日本建築家協会、(社)建築業協会の5団体が地球環境・建築憲章委員会を作り、共同で2000年6月に制定したもので、9月には、新たに空調調和・衛生工学会と建築・設備維持保全推進協会が加わって、「憲章」の内容を平易にした形の「運用指針」も作成している。

加えて、2005年8月「温暖化防止型ライフスタイル推進のための行動計画」、2009年12月には「提言：建築関連分野の地球温暖化対策ビジョン2050ーカーボン・ニュートラル化を目指してー」（17団体と合同）、2015年3月には「提言 地球温暖化対策アクションプラン2050ー建築関連分野のカーボン・ニュートラル化への道筋ー」を作成した。現在地球環境委員会では11の小委員会と、その直下に、脱炭素社会推進・建築分野WG、脱炭素社会推進・都市分野WG、低炭素社会推進・技術分野WG、グローバル研究ネットワークWGが組織されている。2021年1月に「気候非常事態宣言」を行うとともに、「脱炭素都市・建築タスクフォース」を設置して、2050年脱炭素社会実現に向けて活動してきた。2022年3月18日に日本学術会議の後援を得て総括的なシンポジウム「カーボンニュートラル実現に建築分野はどう対応すべきか」を開催した。ここではZEB、ZEHなどの運用時の温室効果ガス排出削減対策だけではなく、材料や施工時等のエンボディド・カーボンが大きな話題になった。シンポジウム報告は学会ホームページで一般公開している。現在、建築SDGs宣言推進特別調査委員会[44]と脱炭素都市・建築アクションプラン特別調査委員会が活動を行っており、提言の作成を目指している。2023年3月には日本建築学会が「国内建築分野のLCAツール整備に関する今後の課題について」を公表した。関係者と協力してLCA指針等をさらに整備するとともに脱炭素社会の実現に向けて努力するとしている[45]。

(2) 土木学会

公益社団法人土木学会は、「土木工学の進歩および土木事業の発達ならびに土木技術者の資質向上を図り、学術文化の進展と社会の発展に寄与する」（土木学会定款）ことを目的とし、1914年に設立された。現在、会員数は約3万9千名であり、会員の所属は、教育・研究機関のほか、建設業、建設コンサルタント、エネルギー関係、鉄道・道路関係、行政機関、地方自治体など多岐にわたっている。本部のほか、地域ごとに設置された9つの支部と、さらに海外支部には9つの分会がある。また、海外の25学協会と協力協定を締結している。土木学会の調査研究部門はその直下の企画委員会と土木学会論文編集委員会を除き、8分野に分かれ、その下に29の委員会が活動をしている。

土木学会には統一的な脱炭素に関わる固有の委員会は現時点で存在しないが、日本建築学会と合同での土木・建築タスクフォース傘下の脱炭素WGに加え、各調査研究委員会で独自の研究が進められている。脱炭素に関連する土木学会の取組みとして2009年に地球温暖化対策特別委員会報告書「地球温暖化に挑む土木工学」を出版[46]し、その第3編に地球温暖化に対する緩和策がまとめられている。さらに2010年には緊急提言「地球温暖化の緩和策に向けた建設分野からの具体的取組み」が発出され、2014年の「土木学会創立100周年宣言」において「炭素中立社会の実現に貢献する」ことを宣言するとともに、「社会と土木の100年ビジョン」において地球環境問題に対する緩和策が述べられている。また調査研究部門においては、コンクリート委員会傘下の「カーボンニュートラルに向けたコンクリート分野の新技术活用に関する研究小委員会」が設置され、コンクリート分野の低炭素化が検討されている。環境システム委員会では、2021年土木学会全国大会にて討論会「2050年ゼロカーボンシティの実現に向けて」が実施され、2022年には環境システムシンポジウム「脱炭素化による地域の持続可能性の向上」において広く議論を行っている。その他複合構造委員会、木材工学委員会、海洋開発委員会、エネルギー委員会、原子力土木委員会などで脱炭素に関わる検討が進められている。

(3) 廃棄物資源循環学会

廃棄物資源循環学会は、1990年に廃棄物学会という呼称で設立され、2008年に廃棄物資源循環学会と改称し、同時に一般社団法人として法人格を得た。会員数は個人会員が約2100名、企業などの法人会員、自治体などの公益会員を合わせた団体会員が約200団体を数える。廃棄物資源循環学会への改称を機に、2009年に3巻の書籍（「地球温暖化と廃棄物」、「循環型社会をつくる－3R推進への展望と課題」、「災害廃棄物」）を刊行した他、災害廃棄物に関するマニュアルやガイドラインを出版している。近年、気候災害の激甚化が懸念される点で、温暖化は災害廃棄物問題ともつながっている。なお、過去の地震・水害において木質建築の損壊・廃棄物化率は他構造と比較してかなり高いことから、特に構造物の木質化に関しては炭素固定効果と災害被害のトレードオフに留意する必要がある。

隔月発行の学会誌においては、パリ協定採択の翌年の2016年には、「気候変動枠組条約に

におけるコベネフィットメニューの新潮流」と題する特集が組まれた他、2022年には特集「資源循環と脱炭素」が組まれた。学会の定例行事として、秋の研究発表会（年会）と春の研究討論会があり、年会でのプレナリーセッションにあたる特別プログラムの2021年のテーマとして「脱炭素社会をどう創るか ～将来展望と産官学民の役割～」が掲げられた。また、2022年春の研究討論会では、「一般廃棄物焼却施設におけるカーボンニュートラルの可能性」が廃棄物焼却研究部会主催のセミナーのテーマとされた。他にも2021年度中には「廃棄物処理システムにおける脱炭素化に向けた普及促進方策に係るシンポジウム」が3回にわたって環境省との共催により開催され、2023年1月にも「廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO₂対策普及促進に係るシンポジウム」が同じく環境省との共催により開催されるなど、脱炭素に関わる行事企画が続いている。廃棄物処理やリサイクルと温暖化に関わる研究として、焼却発電やプラスチック等のリサイクルによるCO₂排出削減効果の定量化などが実施されてきたが、昨今では、廃棄物焼却炉に着目したCCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage: CO₂吸収・利用・貯蔵）などの新たなテーマも展開されつつある。

(4) 空気調和・衛生工学会

公益社団法人空気調和・衛生工学会は、暖冷房・換気、給水・排水、衛生設備など一般市民の生活と密着した設備やその仕組み・原理などを扱う学問領域で活動する学術団体である。同学会はこの領域の研究者と実際にこれらの設備の設計や施工を行う設計者・技術者、装置を製作するエンジニア、運転・管理技術者等の会員で構成され、日本にある工学系の中では10番目の規模の学会である。また、創立時より「学理と工業は両輪である」との理念と「空気調和と衛生設備に関する専門学会」との立場をもって運営され、現在もこれを継承している。

同学会では、2012年策定の21世紀ビジョンの中で、2030年までの「ZEB化技術の確立」、2050年までの「関連分野のゼロ・エネルギー化完全移行」への重点的な寄与を重要テーマと位置づけ、空気調和設備委員会「ZEB定義検討小委員会」を設立、ZEBの定義や評価方法について、国内外の動向を踏まえた議論、検討を重ね、2015年9月にガイドライン（SHASE-G 0017-2015）としてとりまとめた。その後、2016年からは、ZEBの具現化に焦点をあてた「ZEB実現可能性検討小委員会」を、2018年からは、計画指針の策定を目的とした「ZEB計画指針検討小委員会」が設置され、「ZEBの先進事例集 ZEB in Japan」（百周年記念パンフレット、2017年12月）、ZEBの計画手法を体系的に取り纏めた「ZEBのデザインメソッド」（技報堂出版、2019年9月）[47]を発刊するに至った。これらの成果は、ZEBの定義と評価方法、デザインメソッドについての基本的な考え方を確立し、我が国のZEBの定義と評価方法に先導的役割を果たした。そして、この基本的な考え方は、その後の経済産業省による定義と評価方法に踏襲されていった。

一方、同学会は2017年12月1日に「21世紀ビジョン・プラス 新技術との連携による建築設備分野の領域拡大と高度合理化ー超低炭素社会の実現を目指してー」を発表して、

継続的に活動を実行しているところであるが、その後の社会情勢の急激な変化や技術開発の進展を鑑みて、2022年度より「カーボンニュートラル社会実現に向けての学会方針検討委員会」を設置し、ZEH・ZEBによる住宅・建築物の省エネ化・低炭素化の推進、既存建築物を活用した良質なストック形成、AI・IoT等を活用したエネルギーマネジメント、高性能設備の活用、オフサイトの再エネ評価や施工時のCO₂排出量評価など検討すべき課題を整理して、学会方針を取りまとめている。

(5) エネルギー・資源学会

一般社団法人エネルギー・資源学会は第2次石油危機を契機に1980年4月「エネルギー・資源研究会」として設立され、1990年に「エネルギー・資源学会」と改称し、2009年の法人化を経て現在に至っている。この間、エネルギー・資源・環境という幅広い分野に総合的視点で取り組むため、電気工学、システム工学、機械工学、建築学、土木工学、化学、経済学など様々な分野の研究者が個別の専門領域を超えて交流できる学際的な場を提供し、行政・産業界を含む幅広い社会層と意見交換や議論を深めてきた。

学会誌「エネルギー・資源」はその時々に関心の高いトピックスを特集として取りまとめて提供しており、最近では「光エネルギーによる化学変換の最前線」、「2050年のエネルギー需給への変革の方向性」、「建築・都市におけるカーボンニュートラル (CN) 推進の動向」、「サーキュラー・エコノミーの今とこれから」、「持続可能なまちづくり」等が取り上げられている。行事としては、毎年8月に開催されるエネルギー・資源学会研究発表会と1月に開催されるエネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（関連研究組織との共催）において様々なテーマの研究結果が発表されている。また、「第6次エネルギー基本計画」等の講習会を開催し、広く社会へ情報提供を行っている。更に政策懇話会ではエネルギー政策に関する喫緊の話題を取り上げ、「本格化するVPP（バーチャルパワープラント）ビジネス」、「気候モデル研究の系譜とその政策的意義」、「温室効果ガス排出量見える化の実践と課題」、「グリーンイノベーション基金」等について産官学の第一線の担当者から話題提供を受け参加者全員で意見交換を行っている。研究活動として、産学の連携で実施する研究プロジェクトでは「スマートエネルギーシステム」「エネルギーのカーボンニュートラル化」等をテーマに6年間国内調査・海外調査を含めた調査研究を実施し、その成果は書籍として取りまとめられている。また、会員で構成する研究委員会には「2050年に向けた日本のエネルギー需給」、「家庭部門のCO₂排出実態統計調査利用研究会」がある。

(6) 脱炭素社会推進会議

建築関連団体により構成される「脱炭素社会推進会議」の設立は、2009年12月に建築関連の17団体が「提言：建築関連分野の地球温暖化対策ビジョン2050 カーボンニュートラル化を目指して」を発表したことに遡る。この提言の内容を具体的な行動に移すため、2014年7月に建築・都市関連の18団体は、低炭素社会推進会議を立ち上げた。発足

以来、推進会議では脱炭素社会実現に向けて取り組むべき課題を整理し、4つのタスクフォークにて議論を続けるとともに、毎年シンポジウムを開催してきた。これらの活動の成果は2018年の活動記録にまとめられているが、これを凝縮し、2020年7月に「2050年のカーボンニュートラル化に向けた三つの提言―ストック社会形成による脱炭素・レジリエントな建築・都市・農村の作り方」を公表した。2023年1月に開催したシンポジウムのテーマは、「脱炭素型の都市づくりに向けた緩和策と適応策―今後の都市再生の道筋をどう描くのか、2030年への緊急応答―」であった。2021年5月に名称を現在の「脱炭素社会推進会議」と変更した。2023年3月時点の参加団体は24団体になる[48]。

脱炭素社会の実現が、SDGsの理念である「誰も置き去りにしない世界」にどのように貢献できるか、そのために、SDGsに含まれていて推進会議の課題に含まれていないものを精査し、再開発問題を含めて、SDGsの目標11、13の推進が他の目標に与えるプラス、マイナスの効果を検証し、SDGsの幅広い目標の実現に貢献すること、そして2030年に向けた具体的行動計画の作成と推進を行うことを目的に活動を行っている。

(7) 学術分野連携の必要性と国際発信

このように各学協会において住宅・建築分野の脱炭素に関する取組が進展しているが、これらの活動や知見を統合し政策立案に貢献できるよう更に連携を図る必要がある。一方で、我が国の住宅建築分野の国際的な発信力が他分野と同様に現下、極めて低調と謂わざるを得ない。例えば、IPCC第6次報告書(IPCC AR6 WG3 Chap. 9) [49]の低エネルギー建築物の章における世界各地のZEBの動向がレビューされている中では、欧米には多数のZEBが建設されていることが示されている一方で、日本で(英語にて)報告されたZEBは1棟のみであると記載されている。実際には、日本では毎年6万棟を超える戸建住宅のZEBが新築されているが、そうした我が国の脱炭素化への取り組みの実態は海外に全く知られていない状況にある。IPCC報告書で引用された1158本の論文の中で日本発は1.4%程度、WG3に限定しても1.9%である。報告書はシステムティックレビューに基づき作成されているため、恣意的に日本の論文が外されている訳ではなく、単純に国際ジャーナルにおける論文発表数が少ないことを意味している。脱炭素、温暖化対策などに関する我が国からの英語による発信を増やし、更にそれが多数回引用されることは、我が国の国際社会への貢献を強めるだけでなく、脱炭素分野における我が国のプレゼンスを高め、優秀な人材を海外から吸引する上でも極めて重要である。研究者・技術者個々の奮起に期待するだけでなく、関連学会などがリーダーシップを取り国内の研究者の海外発信力の増進についての組織的取組を検討する必要がある。

7 課題

我が国が2050年までに脱炭素社会の実現を達成するためには、住宅・建築分野において3つの方策、即ち、1) 運用段階の徹底した省エネルギー、2) 再生可能エネルギー電源の導入、3) エンボディド・カーボンの削減を可及的速やかに国内のあらゆる種類の新築及び

既築の建物に遍く実施する必要がある。政府は省エネ法、温対法、建築物省エネ法などの関連法制を基盤に様々な施策を展開しているが、目標の達成には多くの課題がある。

(1) 住宅における省エネ推進と再生可能エネルギー電源の導入

第六次エネルギー基本計画では2030年以降、新築住宅の100%がZEH水準省エネ性能、新築戸建住宅の60%に太陽光発電導入を目標としている。平坦地が少ない我が国で戸建住宅の屋根が今後の太陽光導入に果たす役割は大きい。しかし、2021年度の新築戸建住宅のZEH割合は26.8%で目標にはほど遠い。また、脱炭素化対策に加えて、昨今のエネルギー価格高騰やエネルギー安全保障など幅広い観点で、建物外皮の高断熱化や機器のエネルギー効率改善等の省エネ対策を広範囲に推進するため、より一層の取組が必要である。戸建住宅や分譲住宅に関しては、省エネ推進が居住者の健康や快適性、光熱費削減などのベネフィットをもたらすことを社会に周知する一方、賃貸住宅に対しては省エネルギーやZEH化への投資がオーナーに利得をもたらす仕組みの構築が必要である。

(2) 非住宅建築物における省エネルギー対策の推進

中高層建物は床面積に対する太陽光発電容量が小さいため、太陽光発電による消費電力のオフセットは難しい。しかしそのような条件であっても、大幅な省エネにより脱炭素化へ貢献することは可能であり、実際にZEB Ready、ZEB Orientedなどの名称で認証が行われている。しかし現在の新築件数におけるZEB Readyの割合は工場で27.3%、オフィス、ホテル、病院はいずれも5%未満で低い。これを100%近くに引き上げるためには、抜本的な取組が不可欠である。

(3) エンボディド・カーボン対策

住宅・建築のライフサイクルにおいて材料製造、施工、廃棄におけるCO₂排出の影響は大きく対策は急務である。特に、鉄やコンクリート等はCO₂強度が高いことから、安価で大規模に導入可能な低炭素型素材の技術開発は喫緊の課題である。一方、産学で開発が進む低炭素型建設材料や施工法等を適切に評価するLCAツールが現在は十分に整備されていない。国際的な流通性を有する基準や評価の枠組を産官学の協力の下、早急に構築する必要がある。

(4) 既築対策

住宅・建築物は他の製品と比較して長寿命である故に、新技術がストック全体に波及するには長期間を要する。2050年時点でも、省エネ基準導入以前に建設された古い建築物が相当数残る可能性は高いことから、不動産評価、金融、税制など多様で長期的観点に立ち、既存住宅・建築物対策を検討・実施する必要がある。なお、古い建物の改修・建替の意思決定は、コストだけでなくエンボディド・カーボンを考慮したライフサイクルで評価する戦略も必要となる。

(5) 異分野協働の促進

住宅・建築分野は裾野が広く関連する産業分野も多岐に渡る。例えば、再生可能エネルギー増加により喫緊の課題となった受給一体のエネルギーマネジメントは電気・電力分野、情報分野との境界領域である。双方の分野の強みを活かし、居住者の利便性・快適性と社会全体でのエネルギーシステム最適化の両立を目指すことが期待される。一方、コンクリート・鉄など共通の構造材料を使う土木インフラ分野とは低炭素型素材の開発や基準化における協働が求められる。気候変動による災害の頻発や高温化による熱中症増加などを背景として、社会安全分野、健康・医療分野、冷凍空調分野との協力も期待される。

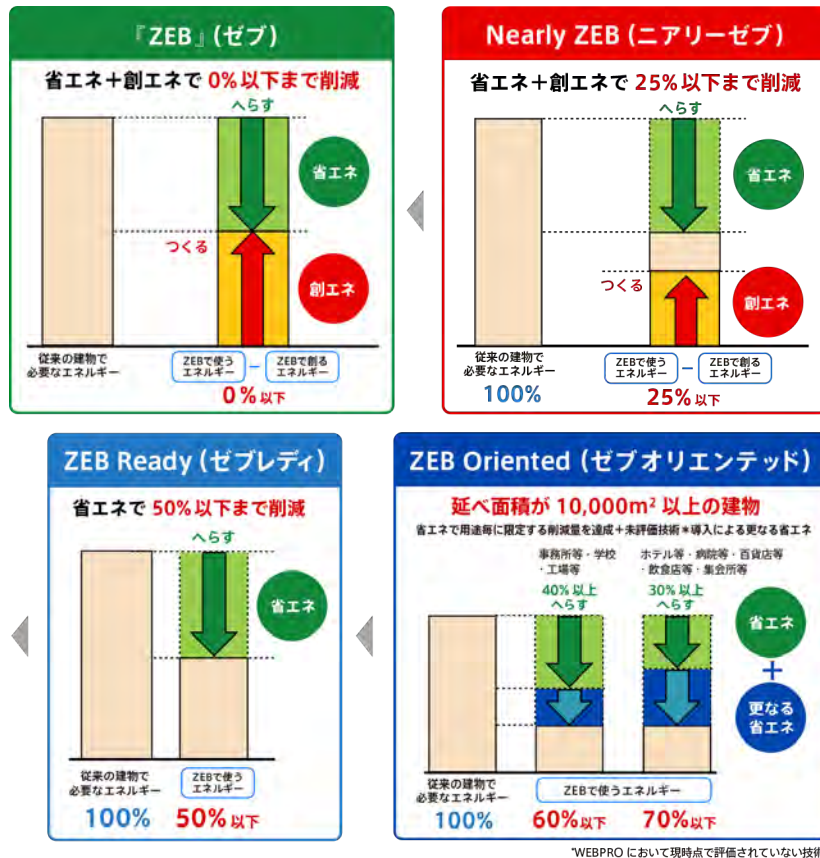
(6) 学術・産業分野における国際社会への貢献と国際競争力

住宅・建築分野の脱炭素化は欧米のみならず、中国でも加速している。このような状況下、建築物の環境性能の認証や格付け、低炭素型材料の規格、LCA ツールなど、脱炭素化対策を評価する国際的枠組の構築に日本が積極的にコミットし、日本のみならずアジアの気候風土や社会特性を踏まえた適切な評価が行われるよう産官学一体となって取り組む必要がある。また、学術分野においては日本から海外への研究発信が低調であり、日本の研究力の世界的プレゼンスが極めて低い現状を重く受け止め、学術コミュニティにおける組織的な取組が必要である。

<用語の説明>

ZEB（ネット・ゼロエネルギー・ビル）の定義 [50]

経済産業省資源エネルギー庁「ZEB ロードマップ検討委員会とりまとめ」において、ZEBを「先進的な建築設計によるエネルギー負荷の抑制やパッシブ技術⁵の採用による自然エネルギーの積極的な活用、高効率な設備システムの導入等により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギー化を実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、エネルギー自立度を極力高め、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロとすることを目指した建築物」と定義している。実際には、高層建物で屋根置き太陽光発電の設置可能容量に限られる、など、建物毎に状況は異なることから、建物の省エネ性能と再生可能エネルギーの導入状況に応じて、4段階のZEBの分類が提示されている。



(図は環境省から引用[51])

DX（デジタル・トランスフォーメーション）

DX(Digital Transformation:デジタル・トランスフォーメーション)とは、2004年にスウェーデンのウメオ大学教授、エリック・ストルターマン[52]が提唱した概念であり、「情

⁵ 機械設備に頼らず、躯体の高断熱・高气密化、日射熱利用、自然通風を確保する開口部など建築本体の設計により室内熱環境を調整するデザイン手法。

報技術の浸透が、人々の生活をあらゆる面でより良い方向に変化させる」という仮説である。経済産業省は、「DX 推進ガイドライン」(現デジタルガバナンス・コード) [53]において、DX を以下のように定義している。「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること。」

AI(人工知能)

人工知能 (Artificial Intelligence: AI) を IT 用語辞典 [54]で調べると「人工知能とは、人間にしかできなかったような高度に知的な作業や判断を、コンピュータを中心とする人工的なシステムにより行えるようにしたもの」とある。しかしながら、上記はかなり広い内容の定義であり、具体的な定義になると研究者ごとに異なり、明確な定義は存在しない状態である。AI の歴史は 1950 年代頃から始まり、2023 年現在、AI の第三次ブームに渦中にあるといわれている。

<参考文献>

- [1] 環境省、国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）及び京都議定書第11回締約国会合（COP/MOP11）の結果について、<https://www.env.go.jp/earth/cop/cop21/>（2023年3月12日閲覧）
- [2] 日本学術会議会長談話、「地球温暖化」への取組に関する緊急メッセージ、<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-d4.pdf>（2023年3月12日閲覧）
- [3] 日本学術会議 土木工学・建築学委員会、対外報告 民生用エネルギー消費量削減に関する政策提言（2007年5月24日）、<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t38-3.pdf>（2023年7月17日閲覧）
- [4] 日本学術会議 環境学委員会・土木工学・建築学委員会合同 低炭素・健康社会の実現への道筋と生活様式・消費者行動分科会、提言 低炭素・健康なライフスタイルと都市・建築への道筋（2017年8月24日）、<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t249-2.pdf>（2023年7月17日閲覧）
- [5] 日本学術会議 環境学委員会・土木工学・建築学委員会合同 長寿・低炭素化分科会、提言 長寿社会における 脱炭素健康住宅への道筋、（2020年6月23日）、<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t290-4.pdf>、（2023年7月17日閲覧）
- [6] 資源エネルギー庁 令和3年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2022）、<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/pdf/>（2023年3月12日閲覧）
- [7] United Nations Environment Programme (2021). 2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector、<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/34572>（2023年3月12日閲覧）
- [8] International Energy Agency 2021, Net Zero by 2050: A roadmap for the global energy sector、<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>（2023年3月12日閲覧）
- [9] European Commission、Nearly zero-energy buildings、https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en（2023年3月12日閲覧）
- [10] European Commission、Renovation wave、https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en（2023年3月12日閲覧）
- [11] Department of Energy、Biden-Harris Administration Announces Historic Investments to Support America's Energy and Industrial Communities <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-historic-investments-support-americas-energy-and>（2023年3月12日閲覧）
- [12] IEA (2022), All countries targeted for zero-carbon-ready codes for new

buildings by 2030, <https://www.iea.org/reports/all-countries-targeted-for-zero-carbon-ready-codes-for-new-buildings-by-2030-2> (2023年3月12日閲覧)

[13] É Mata et al 2020, A map of roadmaps for zero and low energy and carbon buildings worldwide, Environ. Res. Lett. 15 113003, DOI 10.1088/1748-9326/abb69f (2023年3月12日閲覧)

[14] IEA(2018), The Future of Cooling, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling> (2023年3月12日閲覧)

[15] 環境省、日本のNDC (国が決定する貢献)、
<https://www.env.go.jp/earth/earth/ondanka/ndc.html> (2023年3月12日閲覧)

[16] 国土交通省、都市の低炭素化の促進に関する法律 (略称: エコまち法)、
https://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/eco-machi.html (2023年3月12日閲覧)

[17] 国土交通省、住生活基本計画、
https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk2_000032.html
(2023年3月12日閲覧)

[18] 環境省、脱炭素地域づくり支援サイト
<https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/preceding-region/> (2023年3月12日閲覧)

[19] 東京都、ゼロエミッション東京
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/policy_others/zeroemission_tokyo/index.html
(2023年3月12日閲覧)

[20] 経済産業省、省エネ法の概要、
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/overview/
(2023年7月17日閲覧)

[21] 環境省、地球温暖化対策推進法と地球温暖化対策計画、
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/domestic.html> (2023年3月12日閲覧)

[22] 国土交通省、建築物省エネ法について、
https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/jutakukentiku_house_tk4_000103.html
(2023年3月12日閲覧)

[23] 資源エネルギー庁、ZEH (ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス)、
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/index03.html (2023年3月12日閲覧)

[24] 資源エネルギー庁、ZEB (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)、
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/support/index02.html (2023年3月12日閲覧)

[25] 宮田征門、三木保弘、非住宅建築物の外皮・設備設計仕様とエネルギー消費性能の実態調査 ―省エネ基準適合性判定プログラムの入出力データ(2020年度)の分析―
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1184.htm> (2023年3月12日閲覧)

[26] 経済産業省、第6次エネルギー基本計画、

<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005.html> (2023年3月12日閲覧)

[27] 国土交通省、脱炭素社会の実現に向け、官庁施設整備において ZEB 化を推進！
～「官庁施設の環境保全性基準」を改定しました～、

https://www.mlit.go.jp/report/press/eizen08_hh_000003.html (2023年3月12日閲覧)

[28] 文部科学省、「ZEB 事例集」の取りまとめについて、

https://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/shuppan/mext_000003.html (2023年3月12日閲覧)

[29] 全国知事会、脱炭素・地球温暖化対策行動宣言、

<https://www.nga.gr.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/2/20220705datsutanso3.pdf> (2023年3月12日閲覧)

[30] 日本学術会議農学委員会林学分科会、提言 地球温暖化対策としての建築分野での木材利用の促進、<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t289-3.pdf> (2023年7月14日閲覧)

[31] Department of Energy, Grid-Interactive Efficient Buildings、

<https://www.energy.gov/eere/buildings/grid-interactive-efficient-buildings>
(2023年3月12日閲覧)

[32] 小松幸夫、建物の寿命と耐用年数、鑑定おおさか No. 46、p. 2-7

[33] European Commission、Energy performance of buildings directive

https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en (2023年3月12日閲覧)

[34] IFRS サステナビリティ開示基準 公開草案 2022年3月、IFRS S2号「気候関連開示」[案] 付録B 産業別開示要求、B37 巻不動産サービス <https://www.asb.or.jp/jp/wp-content/uploads/ed-2022-s2-b37.pdf> (2023年3月12日閲覧)

[35] 日本学術会議、提言「長寿社会における脱炭素健康住宅への道筋」、2020年

<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-24-t290-4-abstract.html>
(2023年3月12日閲覧)

[36] 日本建築学会、建物の LCA 指針 ー温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール ー 改訂版、2013年

[37] 建設大臣官房官庁営繕部 監修、公共建築協会、グリーン庁舎計画指針及び同解説 : 環境配慮型官庁施設計画指針 平成 11年、公共建築協会、1999年

[38] 国土交通省、グリーン診断・改修計画指針及び同解説 平成 13年ー官庁施設の環境配慮診断・改修計画指針、建築保全センター、2001年

[39] 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修、グリーン庁舎基準及び同解説 (平成 17年版)、公共建築協会、2006年

[40] 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備課、グリーン診断・改修計画基準及び同解説 平成 18年 官庁施設の環境保全性に関する診断・改修計画基準及び同解説、建築保全センタ

一、2006年

[41] 住宅・建築SDGs推進センター、<https://www.ibec.or.jp/CASBEE/> (2023年3月12日閲覧)

[42] WBCSD、Net-zero buildings, Where do we stand?
<https://www.wbcd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Sustainable-Cities/Transforming-the-Built-Environment/Decarbonization/Resources/Net-zero-buildings-Where-do-we-stand> (2023年3月12日閲覧)

[43] 住宅・建築SDGs推進センター、ゼロカーボンビル (LCCO₂ ネットゼロ) 推進会議
https://www.ibec.or.jp/zero-carbon_building/
(2023年3月12日閲覧)

[44] 日本建築学会、日本建築学会 2021 年度総合研究協議会資料：建築学会 SDGs 宣言とアクション、2021
https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2022/220606_20-21SDGsReport.pdf (2023年3月26日閲覧)

[45] 日本建築学会、国内建築分野の LCA ツール整備に関する今後の課題について (2023年3月1日)、https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2023/230301_LCA.pdf
(2023年3月12日閲覧)

[46] 土木学会地球温暖化対策特別委員会、報告書 地球温暖化に挑む土木工学 (2009年5月)
https://www.jsce.or.jp/committee/ondanka-taisaku/files/ondanka_houkoku0905.pdf
(2023年7月17日閲覧)

[47] 空気調和・衛生工学会、ZEB のデザインメソッド、技報道出版、2019年

[48] 脱炭素社会推進会議、<https://www.aij.or.jp/low-carbon.html> (2023年3月12日閲覧)

[49] IPCC、Sixth Assessment Report、<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (2023年3月12日閲覧)

[50] 経済産業省資源エネルギー庁、ZEB (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル) に関する情報公開について、
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/support/index02.html (2023年7月15日閲覧)

[51] 環境省 ZEB PORTAL [ゼブ・ポータル]、ZEB の定義
<https://www.env.go.jp/earth/zeb/detail/01.html> (2023年4月30日閲覧)

[52] Erik Stolterman and Anna Croon Fors, Information Technology and the Good Life, Information Systems Research, pp.687-692, 2004, Springer

[53] 経済産業省、デジタルガバナンス・コード
https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/investment/dgc/dgc.html (2023年7月17日閲覧)

[54] IT用語辞典, <http://e-words.jp/w/人工知能.html#Summary> (2023年7月17日閲覧)

<参考資料1>審議経過

令和3年

2月3日 脱炭素社会分科会 (第1回)

役員の選出、今後の活動方針について

5月26日 脱炭素社会分科会 (第2回)

脱炭素社会に向けた各省庁の活動状況について

8月16日 脱炭素社会分科会 (第3回)

民生部門における持続的なエネルギーシステムについて

12月27日 脱炭素社会分科会 (第4回)

モデル予測制御、AIによる建物空調の予測制御について

令和4年

5月19日 脱炭素社会分科会 (第5回)

日本建築学会タスクフォースの活動について

11月1日 脱炭素社会分科会 (第6回)

意思の表出として報告を行うことを決定

令和5年

1月18日 脱炭素社会分科会 (第7回)

意思の表出として報告を行うことを決定

3月8日 脱炭素社会分科会 (第8回)

報告(案)の承認

3月14日 土木工学・建築学委員会 (第13回)

報告(案)の説明

3月18日 環境学委員会 (第5回)

報告(案)の説明

8月1日 日本学術会議第三部役員会

報告「脱炭素化を取り巻く現状と課題ー住宅・建築分野の対応ー」について承認

＜参考資料2＞シンポジウム開催

令和5年

3月18日 シンポジウム「カーボンニュートラル実現に建築分野はどう対応すべきか」

＜主催＞日本建築学会 企画運営委員会 脱炭素都市・建築タスクフォース ＜後援＞日本
学会議

報告提出後にシンポジウムを開催予定