

カーボンニュートラルでレジリエントな 社会づくりプロジェクト

～気候変動に対する緩和と適応に向けて、何を改善すればよいのか～

【提言】

**令和 8 年 5 月
土木学会**

2025年度土木学会会長プロジェクト

「カーボンニュートラルでレジリエントな社会づくりプロジェクト」 特別委員会

委員構成

	氏名 (五十音順)	所属
委員長	池内 幸司	(公社) 土木学会 第 113 代会長
副委員長	小澤 一雅	政策研究大学院大学
幹事長	三輪 準二	(公社) 土木学会
委員	植松 龍二	(公財) 日本下水道新技術機構
委員	王尾 英明	清水建設(株)
委員	大坪 祐介	関西電力(株)
委員	大脇 崇	(公社) 日本港湾協会
委員	加藤 佳孝	東京理科大学
委員	川端 雄一郎	(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
委員	神野 竜之介	パシフィックコンサルタンツ(株)
委員	菊池 雅彦	埼玉大学
委員	木村 嘉富	(一財) 橋梁調査会
委員	斉藤 文彦	電源開発(株)
委員	佐藤 律子	日本工営(株)
委員	柴田 千穂子	(株) 大林組
委員	島崎 勝	大成ロテック(株)
委員	角 哲也	京都大学
委員	高橋 章	東京電力リニューアブルパワー(株)
委員	田村 秀夫	日本工営(株)
委員	深澤 裕紀	大成建設(株)
委員	福田 大輔	東京大学
委員	松嶋 健太	(株) 建設技術研究所
委員	松本 亨	北九州市立大学
委員	村木 美貴	千葉大学
委員	山岸 宏	(株) NIPPO
委員	吉村 美毅	鹿島建設(株)
幹事	福田 悠太	日本工営(株)
幹事	中島 敬介	(公社) 土木学会

目次

第1章	はじめに	1
1.1	プロジェクトの趣旨	1
1.2	構成	4
第2章	土木分野においてCNの実現に向けて考えるべき視点	5
2.1	長期的な視点：100年を見据えたインフラ整備	7
2.2	空間的な視点：国土スケール、流域スケールでの検討	8
2.3	エネルギー形態の視点：利用・貯蔵特性に応じたエネルギー形態の最適化	10
2.4	レジリエンス強化の視点	12
第3章	土木分野におけるCNへの取組	13
3.1	土木分野におけるCNへの取組の全体像	13
3.2	再生可能エネルギー等の供給・貯蔵・利用	16
3.3	エネルギー利用の効率化・省エネ	22
3.4	インフラの整備・維持管理・更新	27
3.5	CO ₂ の吸収	31
3.6	レジリエンス強化につながるCNへの取組	35
第4章	CNを進める上での課題と障壁、今後の方向性	38
4.1	再生可能エネルギー等の供給・貯蔵・利用	38
4.2	エネルギー利用の効率化・省エネ	46
4.3	インフラの整備・維持管理・更新	50
4.4	CO ₂ の吸収	54
4.5	レジリエンス強化につながるCNへの取組	58
第5章	おわりに	61
出典		63

第1章はじめに

1.1 プロジェクトの趣旨

近年、地球温暖化の進行に伴い、気温上昇、海面上昇、極端気象の増加など、社会経済活動に深刻な影響を及ぼす事象が顕在化している。日本においては、2018年の西日本豪雨や2019年の東日本台風など、気候変動の影響が指摘される極端気象により、自然災害が激甚化・頻発化し、毎年のように甚大な被害が発生している。このため、気候変動への対応は中長期的課題にとどまらず、喫緊の国家的課題となっている。

気候変動対策は、温室効果ガスの排出量を削減する「緩和」と、気候変動の影響に備えて社会や自然環境の脆弱性を減らす「適応」に大別されるが、両者を車の両輪として一体的に推進することが不可欠である。そのためには、産業界・学術界・行政が連携して、分野横断的かつ実効性の高い対策を強力に推進していくことが求められている。

2020年10月、日本政府は「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」と宣言した。土木分野では、自然災害の発災前の「事前防災・減災」、発災後の「復旧・復興」、さらには「強靱な国づくり」を通じて、気候変動への「適応」に従来から精力的に取り組んできたが、温室効果ガスの排出量を削減する「緩和」についても、社会基盤整備を担う分野として、これまで以上に積極的に取り組むことが強く求められている。

例えば、適応策においては、河川管理者等が中心となって取り組む治水対策から、流域のあらゆる関係者が協働して水害リスクの低減を図る「流域治水」への政策転換が進められている。緩和策についても同様に、土木分野単独の取組にとどまらず、関連産業、地域社会、利用者を含む多様な主体が連携・協働する枠組みの構築が不可欠である。

日本全体のCO₂排出量のうち、インフラ等の整備（建設機械からの排出や、主要資材の製造や輸送による排出）が約13%、インフラ等の運用（道路利用や鉄道・船舶・航空輸送、家庭やオフィス等の使用による排出）が約49%を占め、全体の約3分の2がインフラ等に関連する排出である。インフラ等の「つくり方」と「使い方」を同時に見直すことは、日本のCO₂排出量削減に大きく寄与し得る。

こうした背景から、土木分野のカーボンニュートラル（以下「CN」という*1。）推進においては、資材製造・施工・改修・解体等に伴う排出に加え、供用・運用段階で生じる排出も含め、ライフサイクル全体で温室効果ガス排出量を削減することを基本的な考え方として共有することが重要である。

その上で、インフラ等の整備・運用に携わる土木分野の技術者には、日本におけるCNの実現に向け、政策形成・技術開発・社会実装の各段階で主導的役割を担うことが求められる。

*1 本提言では、カーボンニュートラル及びカーボンニュートラルの実現に向けた取組を「CN」という。

このため、2025年度会長プロジェクトとして「カーボンニュートラルでレジリエントな社会づくりプロジェクト」を立ち上げた。

本プロジェクトでは、土木分野におけるCNへの取組加速を主目的としつつ、CNの推進が、非常時の機能維持や地域のレジリエンス強化にも資する点に着目し、両者の相乗効果を生む取組を併せて整理・発信する。

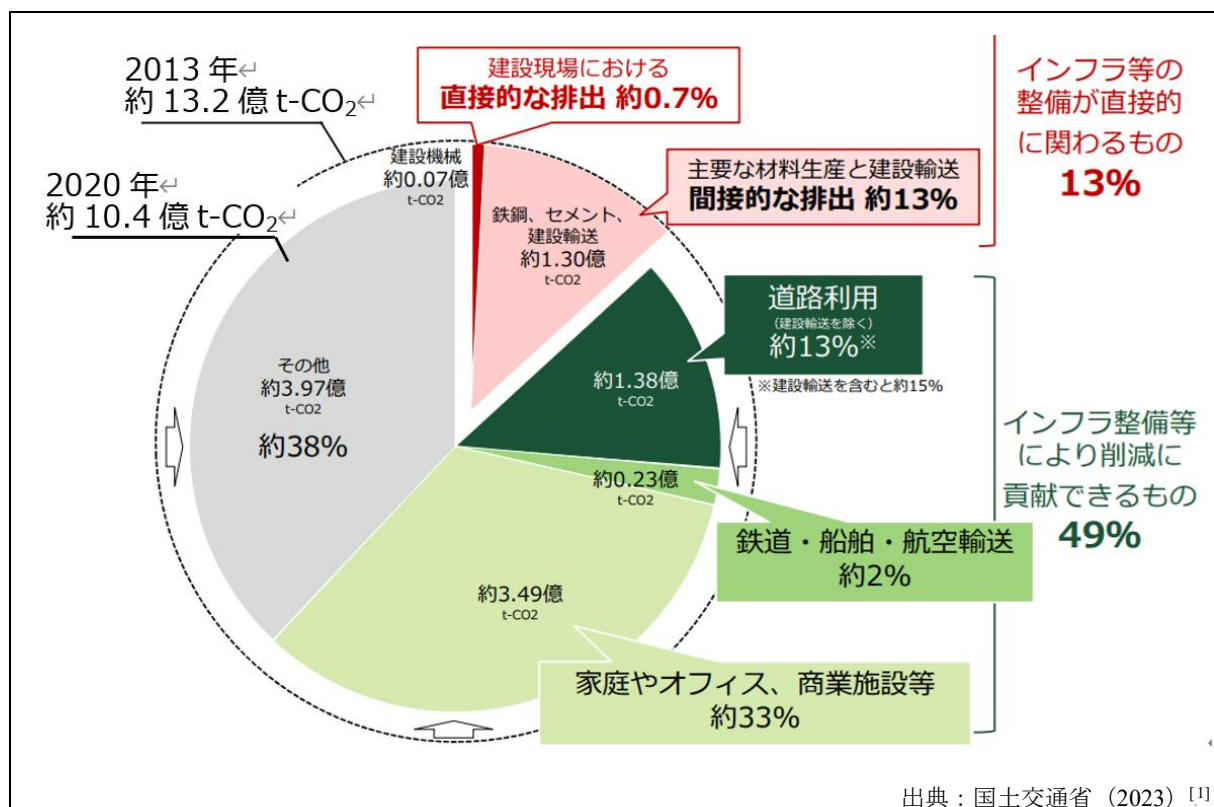


図 1-1 日本におけるCO₂排出量の内訳

本プロジェクトの立ち上げに当たり、日本の土木分野を支える様々な企業及び大学等の関係者を対象にヒアリングを実施した。その結果、土木分野におけるCNの推進において、主として以下の三つの課題が明らかとなった。

第1の課題は、土木分野における取組が多数存在するにもかかわらず、土木分野全体としての整理及び可視化が不十分で、連携と普及が進みにくいことである。

各主体においては非常に熱心にCNへの取組が進められている一方で、それらの取組は個別に展開されたままとなっており、土木分野全体として俯瞰的・体系的に整理されていない。そのため、各主体の活動内容や進捗状況が十分に共有・発信されていない。各所で優れた取組が進められているにもかかわらず、全体として「何が、どのように、どの程度行われているのか」が見えにくい状況にある。

このような整理の不足は、各種取組に共通する課題や隘路に関する認識の形成を妨げ、主体間の連携不足を招き、取組が相互に結び付かないまま進められる要因となっている。その結果、土木分野全体としての効率的・効果的なCNの展開が困難となり、取組が断片的・局所的なものにとどまりやすくなっている。

また、土木分野全体としての方向性や成果が俯瞰的に示されていないため、地域住民にとって取組の意義が分かりにくく、理解や協力を得にくい状況も生じている。

さらに、気候変動対策において土木分野が果たしている役割や価値が十分に可視化されていないことにより、土木分野としての魅力や将来性が十分に認識されず、人材確保や社会的評価の面において、本来得られるはずの評価や支持を十分に確保できていない状況にある。

第2の課題は、災害時等の非常時における電源確保（電力・熱・燃料）が人命及び社会機能を左右するにもかかわらず、その整備及び運用が十分とは言えないことである。

近年の災害対応を通じて、災害時における電源確保の重要性は一段と高まっているが、現状では十分な対応がなされているとは言い難い。実際、災害による直接的な死者に加え、停電等により必要な電源を確保できないことを契機として健康を害し、命を落とす事例も生じている。災害時の電源確保は人命を支える基盤であり、非常用電源の確保及びその運用に関わるCNへの取組は、災害時のレジリエンス強化にも直結するものである。

第3の課題は、実証や先進事例が「普及・定着」に移行しにくい状況にあることである。背景には、普及・定着に向けた共通の論点整理が十分ではないことに加え、既存の基準・規制・制度・運用等が障壁となっていることがある。

ヒアリングの結果、取組の成立性や横展開の観点から、評価の物差しや関係主体の役割分担といった論点が十分に整理・共有されていないことが明らかとなった。さらに、既存の基準・規制・制度・運用等が障壁となり、優れた取組であっても普及・定着に至らない事例が少なからず存在することも明らかとなった。

以上を踏まえ、本プロジェクトでは、主として次の3点に取り組むこととする。

第1に、排出量の約3分の2を占めるインフラ等の運用に広く関わる土木分野として、長期にわたり、国や地域の安全や社会経済活動を支えるというインフラの特質を踏まえた上で、CNを進めるに当たって不可欠な視点を提示する。あわせて、土木分野におけるCN関連の取組を俯瞰し、体系的に整理・取りまとめた上で、取組の「見える化」を図り、社会に分かりやすく発信する。

第2に、災害時の電源確保に資するCNへの取組を整理・取りまとめ、発信する。エネルギーの脱炭素化、分散型電源、蓄電等の取組は、平時におけるCNの推進に資するだけでなく、災害時等の非常時における電源確保を通じて災害対応力の強化にも寄与する。この相乗効果を具体的に示し、レジリエンス強化の観点からも土木分野としての貢献の姿を提示する。

第3に、CNの推進に当たり、普及・定着に向けて関係者が共通に押さえるべき課題を整理するとともに、普及を阻害している具体的な障壁（既存の基準・規制・制度・運用等）を明確化する。実効性のある見直しや運用改善の方向性を提示することで、先進的な取組が社会に広がるための環境整備を図る。

本プロジェクトは、土木分野におけるCNへの取組を体系的に整理・発信し、これらの社会実装を阻む課題の解消に向けた改善方策を提示することで、我が国におけるCNの実現に向けた取組を加速させることを目指す。

1.2 構成

本提言は、第1章から第5章までで構成される。

第1章では、気候変動を巡る背景を整理し、土木分野における課題と本プロジェクトの狙いを示す。

第2章では、CNの実現に向けて共有すべき基本的視点（長期・空間・エネルギー形態・レジリエンス）を示す。

第3章では、土木分野のCNへの取組を俯瞰的に整理し、全体像と現状を示す。

第4章では、取組推進上の課題と、基準・規制・制度・運用等の障壁を整理し、改善の方向性を示す。

第5章では、全体のまとめと土木学会としての今後の取組を示す。

第2章 土木分野においてCNの実現に向けて考えるべき視点

土木分野は、インフラの「つくり方」と「使い方」双方に關与するため、排出削減の検討対象がライフサイクル全体に及ぶ。土木分野におけるCNの実現には、短期的な排出削減にとどまらず、インフラが長期にわたり利用されるという特質を踏まえた中長期的かつ統合的な視点が不可欠である。また、インフラは一度整備すると長期間にわたり地域の活動様式を規定するため、整備の際に何を優先するのか、その意思決定に当たっての評価の視点を共有した上で施策・投資・運用を組み合わせることが重要となる。特に重要となる視点として、以下の4点を本提言の共通の視点として整理する。

① 長期的な視点

政府が掲げるCNの実現の目標年次である2050年は重要な節目として位置づけられている。その一方、橋梁やダムなど耐用年数が長いインフラを多く扱う土木分野では、2050年におけるCNの実現の目標と整合する形で、100年程度の時間軸を意識した取組が求められる。その際、将来の人口動態・技術・需要の不確実性を前提に、段階的更新や更新時期の分散など「将来の選択肢を残す設計・投資」を組み込むことが重要である。

② 空間的な視点

CNの実現には、様々な社会経済活動のスケールに応じた空間的視点を持ち、国土全体を俯瞰する広域的な視点から街区単位に至るまで、各スケールの取組を統合的に推進することが不可欠である。そのため、エネルギー・土地利用・インフラ配置を空間上で統合・可視化し、一体的に扱うことが必要となる。その際、行政区域にとらわれず、国土全体を俯瞰する視点に加え、流域単位の視点及び街区単位の視点を組み合わせ、国土・流域・街区といった複数の空間スケールでCNの実現に向けた取組を進めることが重要である。あわせて、こうした取組を政策・投資・制度運用と整合させることが求められる。さらに、エネルギーの供給側と需要側を同時に扱い、実装可能な配置と手順に落とし込むことが鍵となる。

③ エネルギー形態の視点

CNの実現には、電気エネルギー、熱エネルギー、化学エネルギーといった多様なエネルギー形態を、利用・貯蔵特性に応じて最適に組み合わせ、システム全体のエネルギー効率の向上を図る必要がある。特に、熱需要と電力需要の時間変動及び空間分布を踏まえ、エネルギーの「変換」「貯蔵」「融通」を組み合わせることで、需給バランスの確保とエネルギー損失の低減を両立させ、全体最適を図ることが重要である。

④ レジリエンス強化の視点

CNの実現への取組は、エネルギー供給の冗長性や自立性の確保とも密接に關

わる。このため、CNの推進に当たり、平時の温室効果ガスの排出削減を主軸としつつ、非常時の機能維持にも資する取組を併せて進めることが必要である。特に、大規模災害時における必要最小限の電力・熱・燃料の供給は、災害関連死の抑制や復旧の迅速化に直結するため、CN施策と一体的に計画・運用する必要がある。その際、「誰の、どの機能を、どの空間単位で、どのくらいの期間」維持するのかを先に定義し、それに必要なエネルギーと運用体制を設計することが重要となる。

2.1 長期的な視点：100年を見据えたインフラ整備

現在、政府を挙げて、2050年CNの実現に向け、温室効果ガス排出量を着実に削減するための各種取組が推進されている。2050年はCNの実現に向けた重要な節目として位置づけられており、気候変動による影響が現実のものとなった現状において、この目標達成に向けて土木分野においても最大限の貢献をしていく必要がある。

一方で、検討の時間軸を2050年という単一の節目に過度に集中させることには留意が必要である。我々がこれまで整備してきたインフラの中には、100年以上にわたり利用されてきたものが数多く存在する。橋梁やダムなどはその典型であり、今後も長期にわたって社会を支え続ける存在である。もし2050年という一点のみに強く焦点を当てて最適化を進めた場合、特定の技術や施設への投資が短期間に集中し、その結果、数十年後に更新・廃棄の時期が一斉に到来するといった課題が生じ得る。2050年CNの実現だけを重視するあまり、かえって長期的な視点での持続性を損なうリスクがあることにも留意する必要がある。

したがって、人口動態の変化や技術革新の進展といった不確実性を踏まえつつ、2050年にとどまらず、100年程度の時間スパンを意識した長期的な視点に立って、CNに取り組むことが重要である。具体的には、①更新時期の分散と段階的更新、②将来の技術転換に対応可能な設計（拡張性・改修容易性）、③ライフサイクル評価（ライフサイクルCO₂（以下「LCCO₂」という。）・ライフサイクルコスト（以下「LCC」という。）等）に基づく意思決定の徹底、を基本方針として、長期的に持続可能なCNの実装を図る必要がある。また、将来の人口動態・技術・需要の不確実性を前提に、段階的更新や更新時期の分散など「将来の選択肢を残す設計・投資」を組み込むことが重要である。



犀川大橋（国道157号金沢市）
1924年開通：102歳

出典：国土交通省（2014）^[2]



大井ダムならびに大井発電所（岐阜県）
1924年竣工：102歳

出典：土木学会（2025）^[3]

図 2-1 長寿命で活躍しているインフラの例

2.2 空間的な視点：国土スケール、流域スケールでの検討

現在、国土形成計画やエネルギー基本計画等において、CNに向けた基本的な方向性や数値目標は示されている。一方で、これらの目標が、実際の国土空間の中でどのような姿として具現化されるのかについては、全国を俯瞰した形での空間的な整理・可視化は必ずしも十分とは言えない。

CNの実現に向けては、各種エネルギーの貯蔵・利用状況、国土利用の形態やその分布、それらを支える様々なインフラを一体的に捉え、取組を進めることが重要である。そのため、まず国土スケールにおいて、エネルギー需給、土地利用、インフラ配置を空間上で統合・可視化し、国土全体を俯瞰したランドデザインを策定するとともに、その実現に向け、関係主体の役割分担と実施手順を明確化した上で、統合的に推進することが求められる。

CNの実現に向けた取組の実施段階においては、将来の国土利用のあり方を踏まえ、地域ごとのエネルギー需要の見通し、再生可能エネルギーの供給ポテンシャル、さらに送電系統や促進区域といった制約条件をどのように組み合わせるかが重要な課題である。これらの要素を実際の地理空間に落とし込み、統合的に整理・可視化した上で、政策・投資・制度運用を整合させる枠組みを構築することが求められる。すなわち、エネルギーの供給側（立地・系統）と需要側（産業集積・都市構造・交通）の空間的整合を同時に扱うことが重要である。

さらに、空間的な視点の単位として「流域」を重視すべきである。流域は、降雨が集水し下流へ流下する自然に区切られた地理的単位であると同時に、歴史的に水利用や土地利用を通じて人々の暮らしや社会的つながりが形成されてきた社会的まとまりを有する単位でもある。また、流域というスケールは、広すぎず狭すぎず、市町村単位では解決が難しい課題に対しても、関係者が連携して解決に向けた合意形成を図りやすい単位である。加えて、流域は「治水・利水・環境」だけでなく、森林（吸収源）や上下水道（エネルギー需要・創エネルギー）など、CNの主要要素が連結しやすい単位でもある。

治水、水利用、森林管理等は流域単位での統合的な取組が有効な領域であり、実際、一部の地域で取組が進められている。これらは、単独の地方公共団体や個別実施主体では対応が困難であった課題が、流域という単位で連携することにより前進し得ることを示している。

以上より、国全体を俯瞰したランドデザインと、流域単位での最適化という二つの空間的視点を組み合わせることにより、現実的かつ持続可能なカーボンニュートラル社会の姿を具体化できると考える。CNの実現に向けては、全国スケールの統合的可視化と、流域スケールでの関係者連携による取組とが連動するよう、制度・計画・データ基盤の整備を進めていくことが重要である。その際、地理情報・需給データ・系統制約等を共通基盤として「見える化」し、その基盤を意思決定（計画・投資・合意形成）に接続することが鍵となる。

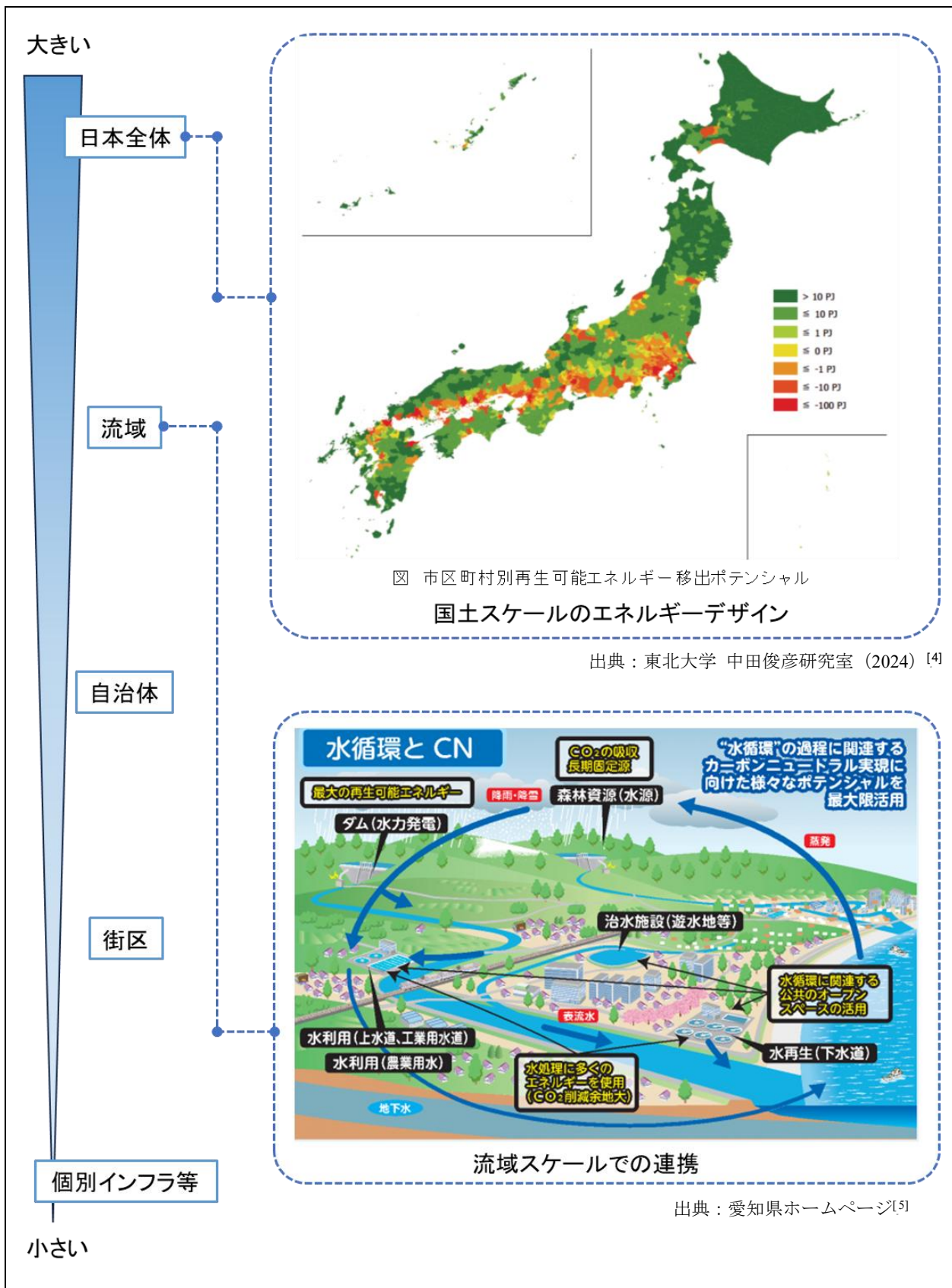


図 2-2 日本のCN検討に係る空間スケールの違い (イメージ)

2.3 エネルギー形態の視点：利用・貯蔵特性に応じたエネルギー形態の最適化

CNの実現に向けては、電気エネルギー、熱エネルギー、化学エネルギー（燃料）といった多様なエネルギー形態を、それぞれの利用特性及び貯蔵特性に応じて適切に組み合わせ、システム全体としてのエネルギー効率を最大化することが必要となる。電気だけでなく、熱や燃料といったエネルギー形態を用途に応じて最適に選択・活用するとともに、時間的・空間的な需給の不整合に対しては、エネルギーの「変換」「貯蔵」「融通」を組み合わせることで調整を図ることが重要である。とくに、需要の時間変動（季節・日内）や空間分布と、供給における再生可能エネルギーの変動性（太陽光・風力等）を踏まえ、利用時におけるエネルギー形態の選択と、貯蔵時におけるエネルギー形態の変換・蓄積を一体的に設計することで、需給バランスの確保とエネルギー損失の低減を両立させ、全体最適を図る必要がある。

2.3.1. 利用時のエネルギー形態

エネルギー消費の形態として、電気エネルギーだけでなく、熱エネルギーや化学エネルギー（燃料）を直接利用する視点が重要となる。現在、日本における再生可能エネルギーの多くは、電気として利用されているが、民生部門では冷暖房・給湯、工業部門では蒸気・工業炉など、熱や燃料の形態での需要が依然として大きい。

暖房や給湯等の用途において、熱を一度電気に変換してから利用する場合、変換過程における損失によりエネルギー効率が低下する。例えば、バイオマス発電所の発電効率は一般的に約20～30%程度であり、燃料を燃焼させて発電し、さらに電気を熱に変換して利用する場合、一次エネルギーの大部分が失われることとなる。

一方、地域熱供給やコージェネレーション（熱電併給）等のシステムでは、発電時に発生する廃熱を直接利用することで、総合効率が70～90%に達する場合もある。このように、熱需要に対しては、可能な限り熱の形態のまま供給することが、エネルギー効率の観点から有効である。

したがって、給湯や冷暖房等の熱需要については、電力で賄うことのみを前提とするのではなく、熱利用や燃料利用を含む複数の選択肢を比較検討し、用途ごとに最適なエネルギー形態を選択することが重要である。その際には、熱需要密度、熱源の立地条件、導管敷設の可否や損失、将来の需要変動等を踏まえ、供給圏（街区／地区等）単位で最適な供給方式を選択する必要がある。

2.3.2. 貯蔵時のエネルギー形態

エネルギー需給の時間的・空間的な不整合を調整するためには、貯蔵段階におけるエネルギー形態の選択と変換が重要となる。エネルギーの貯蔵手段としては、短周期の充放電に適した蓄電池に加え、位置エネルギーとして長期間の貯蔵が可能な揚水発電や重力式蓄電、さらにエネルギー形態を化学エネルギーに変換する水素化やメタネ

ーション等の燃料化がある。また、熱エネルギーについても、顕熱蓄熱、潜熱蓄熱、化学蓄熱など、貯蔵期間や用途に応じた多様な手法が存在する。

これらの貯蔵技術は、応答速度、貯蔵期間、変換効率、適用規模といった特性が大きく異なるため、単一の技術に依存するのではなく、時間スケールや用途に応じた組み合わせが必要である。例えば、日中の太陽光発電の余剰分を夜間需要に対応させる短周期の調整には蓄電池が有効である。一方、風力発電等の季節変動に対応するためには、水素等への燃料転換による長期貯蔵が有効である。

さらに、水素や合成燃料を用いた発電や燃料電池により、電力需要や熱需要に対して高効率でエネルギーを供給することも可能となる。加えて、家庭におけるヒートポンプ式給湯機による温水の製造・貯蔵や、氷蓄熱による冷房需要対応など、電気を熱に変換して貯蔵する手法も、需給調整の有効な選択肢となる。

時間		電気	熱
短期	数秒 ～月	蓄電池	顕熱蓄熱
		位置 エネルギー	潜熱蓄熱
長期	月 ～年	燃料化	化学蓄熱

図 2-3 蓄エネルギーの技術と適用

2.4 レジリエンス強化の視点

CNの推進に当たっては、気候変動の進行に伴い激甚化・頻発化する自然災害への備えとして、非常時における社会・インフラ機能の維持・継続に資する観点も適切に織り込む必要がある。土木分野は社会基盤を担う立場から、CNへの取組において、平時のCNと非常時の対応力強化が両立する方策を検討・推進することが求められる。

この観点から、災害時等の非常時においても重要設備への電力供給を途絶させないためには、複数の電源経路や予備電源を確保するなど、エネルギー供給の冗長性・自立性を高めることが不可欠である。さらに、単に設備を整備するだけでなく、平時からの運用（点検・訓練・燃料確保）と、非常時への切替手順・責任分担まで含めて設計することが実効性を左右する。

レジリエンス強化の観点からは、とりわけ災害時の電源確保は大きな課題である。例えば、電気で稼働する医療機器が多数ある病院では、電源喪失が生命に重大なリスクをもたらす要因となる。実際、2005年8月のアメリカのハリケーン・カトリーナでは、停電が医療や生活環境に深刻な影響を及ぼし、災害関連死の一因となった。こうした災害時の電源確保の課題に対する解決策の一つとなり得るのが、地域の系統線を活用したエネルギー面的利用システムである。これは、再生可能エネルギーの活用やエネルギー利用の効率化等によるCNへの貢献に加え、災害時に周辺系統から切り離された状態でもマイクログリッドとして電力を供給することで、非常時の電力確保対策として機能し、CNと災害時のレジリエンス強化の両方の側面を持つものである。また、医療・通信・上下水道・避難所等の「優先して維持すべき機能」を明確化し、それに必要な電力・熱・燃料を空間単位（施設／街区／地区）で設計することが重要である。

このように、CNへの取組を、排出削減にとどまらず、非常時における機能維持・継続を通じた地域のレジリエンス強化にも資するものとして捉え、両者の相乗効果を意識して進めていくという視点が重要である。

第3章 土木分野におけるCNへの取組

土木分野におけるCNへの取組は、再生可能エネルギー等の活用、都市・交通の省エネ、インフラの整備・維持管理における低炭素化、CO₂吸収源の拡大、非常時の電源確保に資する分散型エネルギーの導入など、多岐にわたり、行政・企業・大学・地域など多様な主体がそれぞれの立場で推進している。一方で、広範囲にわたる取組が各主体で個別に展開されているため、土木分野全体として「何が、どのように、どの程度行われているのか」を体系的に把握しにくく、相互の関係性や全体の中での位置づけが見えにくいという課題がある。

本章では、第2章で整理した「長期」「空間」「エネルギー形態」「レジリエンス強化」の四つの視点を踏まえ、土木分野におけるCNへの取組を俯瞰的に整理し、分野横断での位置づけ（どの取組がどの視点に効くのか）と代表的な取組例を示す。

3.1 土木分野におけるCNへの取組の全体像

わが国の土木分野におけるCNに向けた様々な取組は、多様な主体・分野において個別に展開されている。これらの個別の取組は、それぞれ異なる対象や手法を有しているものの、第2章で整理した「長期的な視点」「空間的な視点」「エネルギー形態の視点」「レジリエンス強化の視点」と密接に関係しており、また、相互に補完し合う関係にある。これらの取組を本プロジェクトでは下記の五つのカテゴリーに分類した。

①～④はCNに直接資する取組（気候変動の緩和策）、⑤はCNへの貢献に加えて、災害時の電力確保や地域防災機能の向上などのレジリエンス強化にも資する取組である。⑤は独立した取組分野であると同時に、①～④の各取組と重なり合いながら、CNへの取組を非常時の機能維持、地域のレジリエンス強化へと接続する横断的な性格を有している。

- ① 再生可能エネルギー等の供給・貯蔵・利用
水力や風力発電等の再生可能エネルギーや、水素や軽油代替燃料、下水汚泥などの未利用エネルギー等（以下「再生可能エネルギー等」という。）の供給・貯蔵・利用によるCNの推進
- ② エネルギー利用の効率化・省エネ
交通の効率化によるCO₂排出削減、街区・流域単位など空間的視点での分野横断的な連携を通じたエネルギー利用の効率化、省エネ等によるCNの推進
- ③ インフラの整備・維持管理・更新
低炭素材料の開発とインフラ整備への導入、建設機械の脱炭素化、インフラの長寿命化など、インフラの整備・維持管理・更新のライフサイクル全体を通じたCNの推進

④ CO₂の吸収

ブルーカーボン、CO₂を固定するコンクリートの活用、木材利用及び地下貯留等による排出されたCO₂の回収と長期的な固定によるCNの推進

⑤ レジリエンス強化につながるCNへの取組

地域マイクログリッド等による脱炭素化の推進と、これらを通じた災害時の機能維持、地域レジリエンスの強化

これらの取組のうち、①及び②は、検討対象エリアにおける社会経済活動の内容やスケールに応じて、エネルギーの利用と貯蔵を最適化する必要がある、「空間的な視点」と「エネルギー形態の視点」が特に重要となる。③及び④は、インフラの耐用年数や炭素固定の持続性を踏まえた検討が不可欠であり、「長期的な視点」が重要となる。⑤は、「レジリエンス強化の視点」を軸としつつ、他の取組分野と組み合わせることで相乗効果を生む取組である。以下では、各カテゴリーについて代表的な取組を示す。

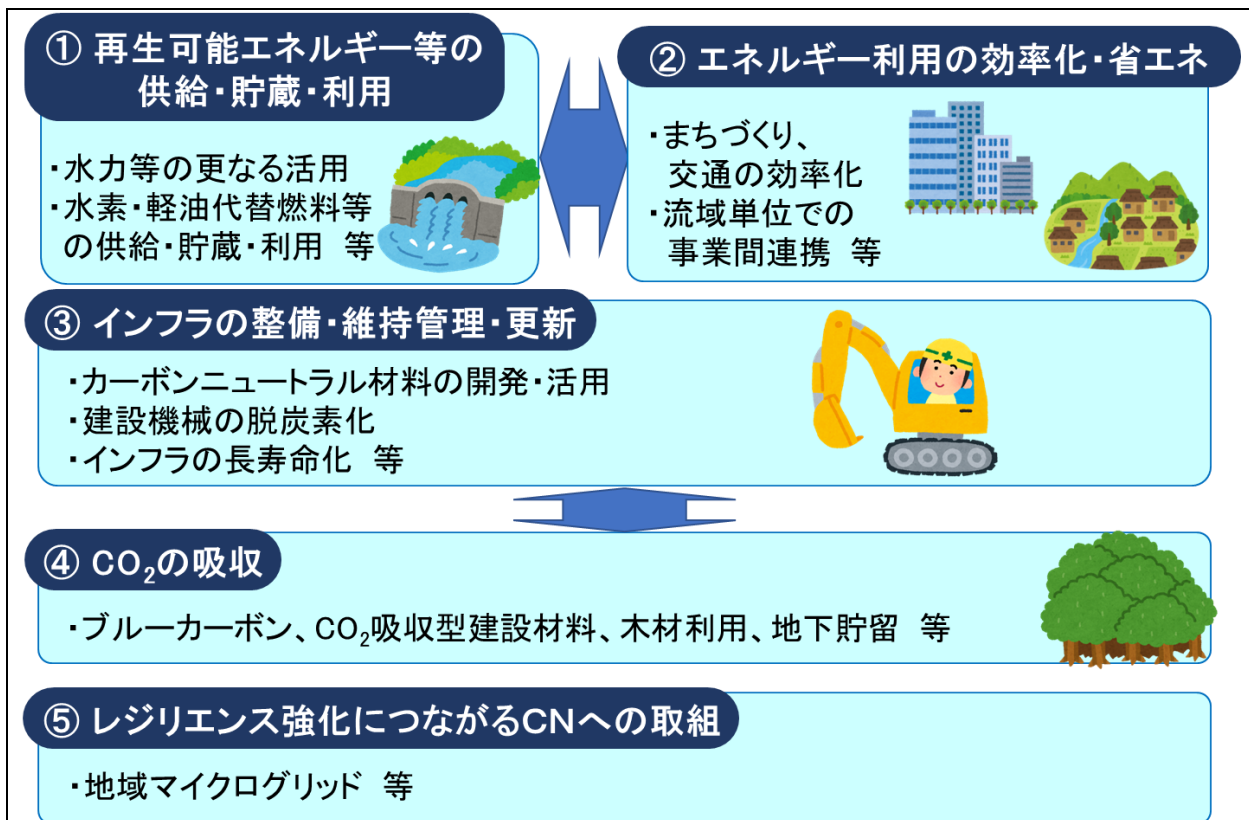


図 3-1 土木分野におけるCNへの取組例



図 3-2 土木分野におけるCNへの取組の全体像

3.2 再生可能エネルギー等の供給・貯蔵・利用

CNの実現に向けては、再生可能エネルギー等を効率的な形態で供給・貯蔵・利用することが必要であり、位置エネルギーとして固定することで長期間の貯蔵を可能とする揚水発電や重力式蓄電、エネルギー形態を変えることでさらに安定した蓄エネルギーを可能とする水素化やメタネーション等の燃料化が対策として挙げられる。

土木分野では、その一環として水力等の再生可能エネルギーの活用や、水素・軽油代替燃料等の活用といった取組が行われている。

また、化石燃料から再生可能エネルギー等への転換は、エネルギー安全保障の観点からも重要である。

3.2.1. 水力等の再生可能エネルギーの更なる活用

CNへ向けた再生可能エネルギーの導入・拡大が図られているなか、水力発電は、太陽光発電や風力発電に比べて気象条件の影響を受けにくく、安定的な発電が可能である。計画から運転開始まで長期間を要し、初期投資も大きくなるが、設備の管理・維持にかかるコストが安価であり、他の再生可能エネルギーと比べて施設・設備の耐用年数が長いという特徴がある。ライフサイクル全体で見ても「CO₂ 排出原単位」が極めて小さく、「発電原価」も他電源と比較して低水準にあることから、長期にわたって低コストで電力供給が可能である。

また、水力発電は、河川等に流れ込む水を利用する貴重な国産自然エネルギーであり、電気エネルギーが本来有する貯蔵の困難性についても、ダムによる調整や、揚水式発電所で上池に水を汲み上げることによって対応することが可能である。特に揚水発電は、電力を位置エネルギーとして蓄え、需要ピーク時等に電力供給できるほか、短い応動時間で周波数変動を調整できる電源として、太陽光・風力等の需給調整にも大いに貢献できることから、その重要性は一層高まっている。

こうした特徴を持つ水力発電は、既存施設の有効活用等を通じて更なる活用の余地があり、2025年2月に決定された「第7次エネルギー基本計画」^[6]において、水力エネルギーの最大限活用に向け、治水機能の強化と水力発電の促進を両立させるダム運用の高度化や既設ダムの発電施設の新増設の促進などが位置付けられ、検討が進められている。

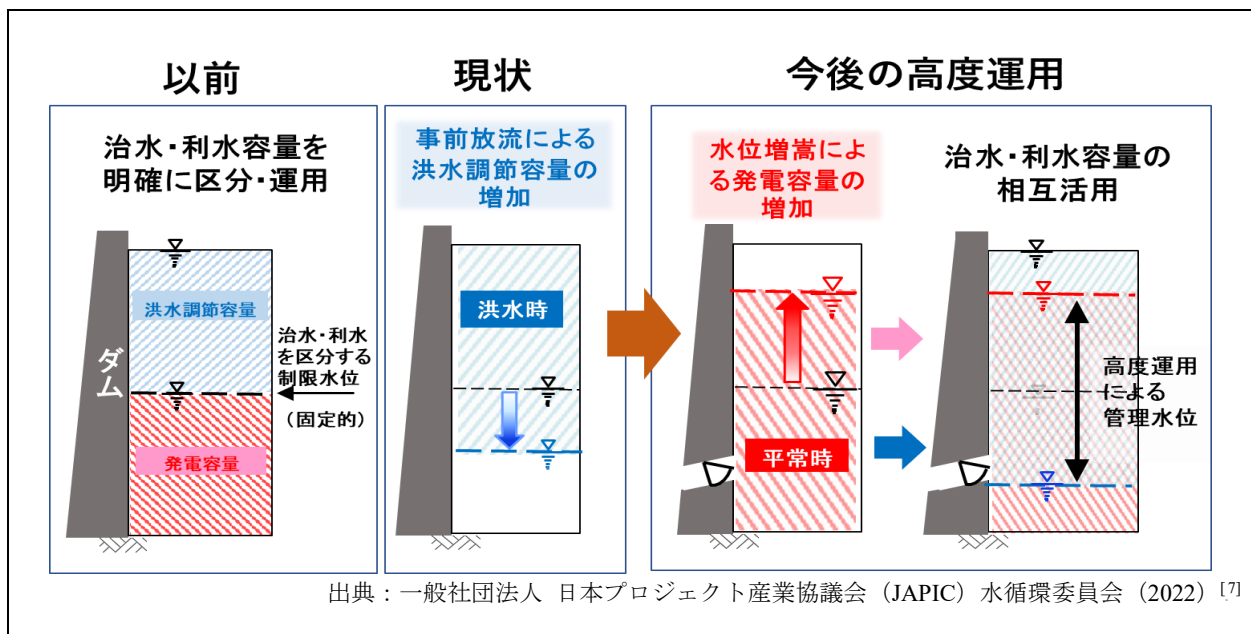


図 3-3 ダムにおける治水・利水の高度運用

3.2.2. 水素・軽油代替燃料等の供給・貯蔵・利用

水素、軽油代替燃料、アンモニア等は、2050年CNの実現に向けた鍵となる。

水素は製造方法や環境負荷の違いにより複数の呼称で分類され、主に、化石燃料から製造される「グレー水素」、化石燃料から製造し発生したCO₂を回収・貯留・利用する「ブルー水素」、再生可能エネルギー由来の電気による水の電気分解で製造される「グリーン水素」の三つが代表的である。現在、日本で使用される水素の多くが「グレー水素」と言われているが、一部では再生可能エネルギーの余剰電力による水の電気分解によって製造されている。製造された水素は、下図に示すとおり駅等の鉄道施設を水素ステーションとして活用し、燃料電池車両やトラック、バス、乗用車への水素供給や貨物列車による水素輸送の拠点として利用する等、鉄道アセットを活用した水素利活用の取組が行われている。

軽油代替燃料としては、B100など従来から国内で生産されてきた従来型バイオディーゼル燃料 FAME (Fatty Acid Methyl Ester：脂肪酸メチルエステル)、世界的な量産化により輸入が始まった SAF の連産品である RD (Renewable Diesel) などの次世代型バイオディーゼル燃料 HVO (Hydrotreated Vegetable Oils：水素化植物油)、及び天然ガスを液体化した GTL (Gas to Liquids) などがある。軽油代替燃料のひとつであるバイオディーゼルは、軽油に混合して使用されることが多く、その混合率によって B5 (5%)、B20 (20%)、B100 (100%) などがあり、B5 は工事現場での使用も増えている。

アンモニアは、燃料転換及び混焼により火力発電所の脱炭素化が期待されており、その輸入拠点となる港湾(カーボンニュートラルポート)でアンモニアを「受け入れ、貯蔵、配送」するための環境整備が進められている。

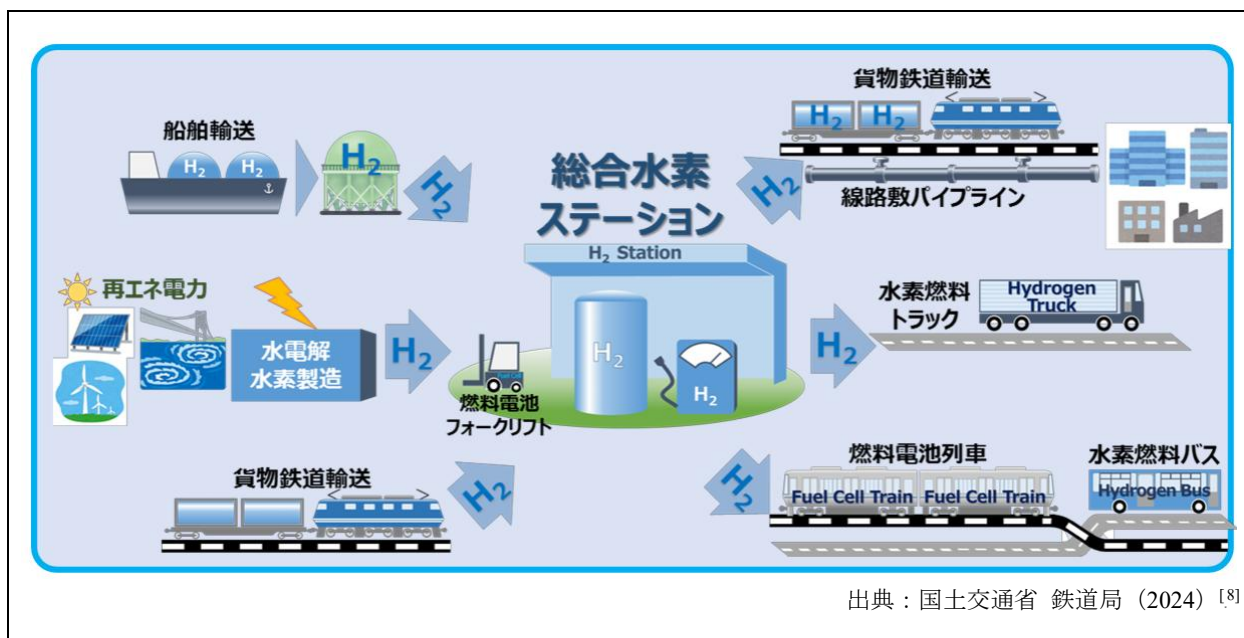


図 3-4 鉄道アセットを活用した水素利活用イメージ

3.2.3. 下水汚泥の活用による創エネルギー

下水処理場で発生する下水汚泥は、量・質ともに安定したバイオマス資源であり、これを活用した発電や水素製造などによって、処理場自体がエネルギー生産の場となることが期待される。さらに、下水汚泥の肥料化や下水熱の利用は、循環型社会の形成に貢献し、また、災害時には非常用電源や燃料供給の拠点として地域を支える役割も果たす。このように下水道施設は大きなエネルギーポテンシャルを活かし、地域のエネルギー需要に応じた需給調整にも貢献できる可能性がある。

さらに、後述するエネルギー利用の効率化・省エネに関する取組として、下水処理場では、下水処理や汚泥処理の過程で多くのエネルギーを使用し、 N_2O や CH_4 を含む温室効果ガスも排出していることから、省エネルギーや再生可能エネルギーの導入が進められている。また、処理場の機能確保を前提に、電力会社からの要請に応じて設備の運転抑制などを行い、電力需要パターンを変化させるインセンティブ型デマンド・レスポンスの導入も期待されている。現在、全国の地方公共団体では、2030年度に2013年度比で208万t- CO_2 削減することを目標に下水道において脱炭素の取組が進められており、焼却の高度化や燃料化等の技術開発も行われている。さらに、国土交通省ではCNに効果的な技術を集約したショーケースとして「カーボンニュートラル地域モデル処理場計画」を募集し、全国への普及展開が図られている。

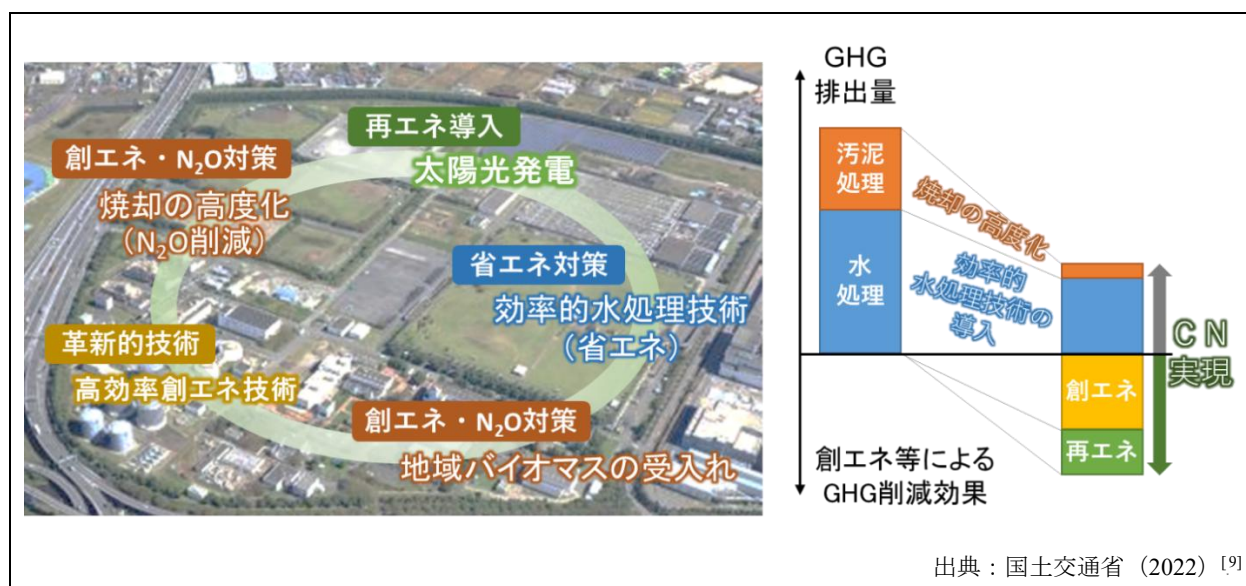


図 3-5 カーボンニュートラル地域モデル処理場計画のイメージ

3.2.4. 洋上風力発電

四方を海に囲まれている日本にとって、洋上風力発電は、導入ポテンシャルが高く再生可能エネルギーの主力電源化に向けた切り札とされている。政府は、2030年までに10GW、2040年までに浮体式も含む30GW～45GWの案件形成目標を掲げるとともに、より風況の良い大水深海域への展開を目指して、2040年までに15GW以上の浮体式風力発電の案件形成を目標とし、現在、国内各地で建設事業が進められている。

2025年10月時点で、促進区域12海域、有望区域9区域、準備区域17区域が指定、洋上風力の施工・維持管理の拠点となる基地港湾として7港湾が指定されている。また、政府は2040年までの案件形成目標の達成に向け、「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」（以下「再エネ海域利用法」という。）を改正しEEZにおける海洋再生可能エネルギー発電設備の設置に係る許可制度を創設（2025年6月3日成立）した。さらに、浮体式洋上風力等に関する取組について、エネルギー政策的視点のみならず、産業政策的視点にもより重きを置いて戦略を策定し、これを着実に実行することにより日本経済を支える一大産業として成長させていくため、「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」（2020年7月設置）において、「洋上風力産業ビジョン（第2次）〔浮体式洋上風力等に関する産業戦略〕」（2025年8月）をとりまとめた。浮体式の導入目標の明示（上述の「2040年までに15GW以上」）、施工・O&Mに必要な港湾等の基盤整備、技術開発の推進等を掲げている。

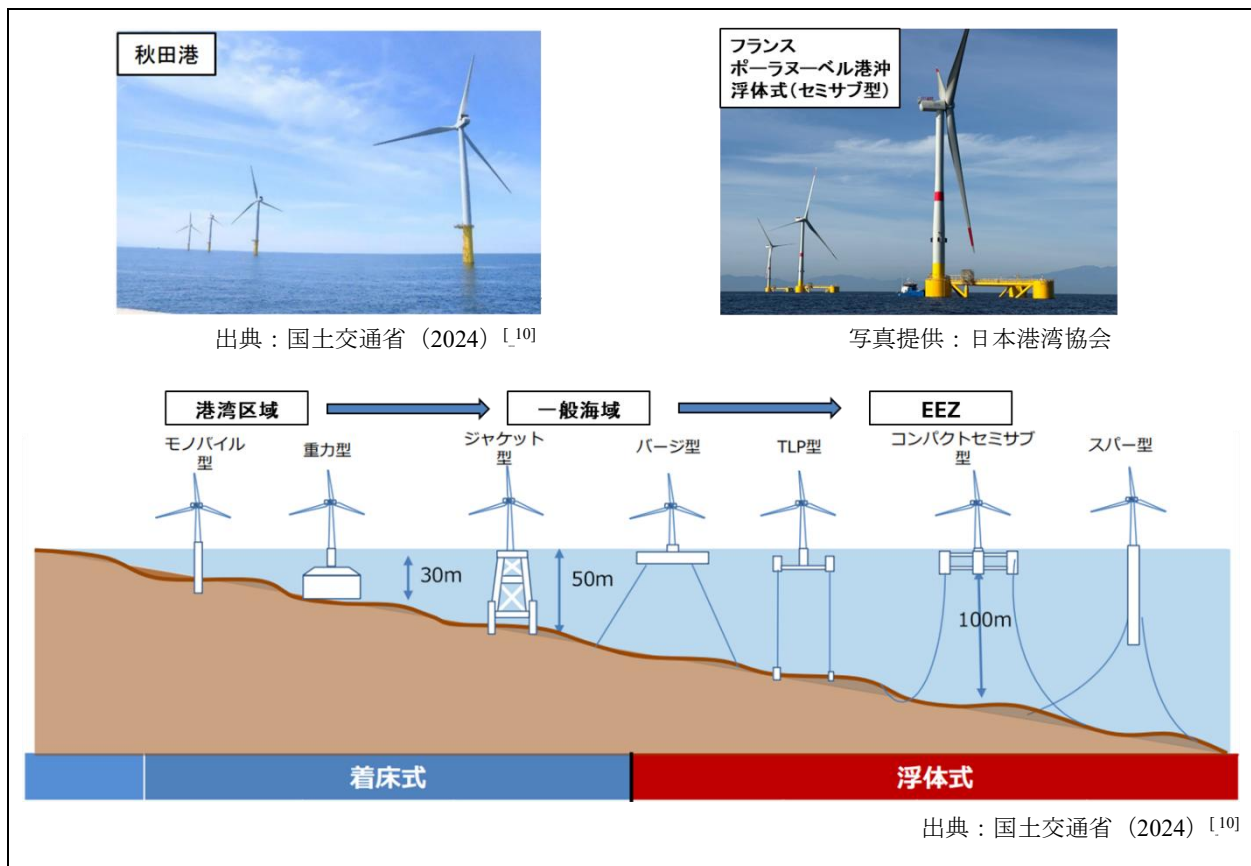


図 3-6 洋上風力発電のイメージ

3.2.5. カーボンニュートラルポートの形成

港湾及び臨海部には、CO₂ 排出量の約 6 割を占める産業の多くが集積するため、脱炭素化に向けて先導的な取組を進めることが必要である。

エネルギーの供給・貯蔵・利用に関する取組として、港湾分野では水素・アンモニア等の安全かつ効率的な供給に必要な環境整備が進められている。また、臨海部に立地する発電所や工場等の産業の脱炭素化を港湾施策と連動させることにより、地域全体の CO₂ 排出削減を図っている。

さらに、後述するエネルギー利用の効率化・省エネに関する取組として、港湾機能そのものについて、物流の効率化や再生可能エネルギーの導入、船舶への陸上電力供給等、脱炭素化に資する高度化が進められている。



図 3-7 カーボンニュートラルポートのイメージ

3.3 エネルギー利用の効率化・省エネ

CNの実現に向けては、空間的視点でのエネルギー利用の効率化や省エネが必要である。街区、流域単位といった空間スケールで、エネルギーの需要と供給（再生可能エネルギー・未利用エネルギー）を面的に最適化するとともに、エネルギー形態の観点から、熱需要に対する排熱の直接供給等によりエネルギーロスを低減することが有効である。

土木分野ではその一環として、まちづくり、交通の効率化や流域単位での事業間連携の取組が進められている。

3.3.1. まちづくり

国内におけるCO₂排出量のうち、都市活動に由来するものは約5割^[12]となっており、CNの実現に向けて都市部での徹底的な省エネ及び非化石エネルギーへの転換が喫緊の課題である。このため、「都市構造の変革」、「街区単位での取組」、「都市における緑とオープンスペース」を重点取組テーマとして進められている。特に、エネルギーの面的利用と省エネ、創エネの組み合わせへの支援により、段階的な取組や先進的・総合的な取組を推進することで、街区の防災性能の強化に加え、省エネ機能の向上や再生可能エネルギーの拡大を行い、ネット・ゼロ・エネルギー街区の実現を目指している。

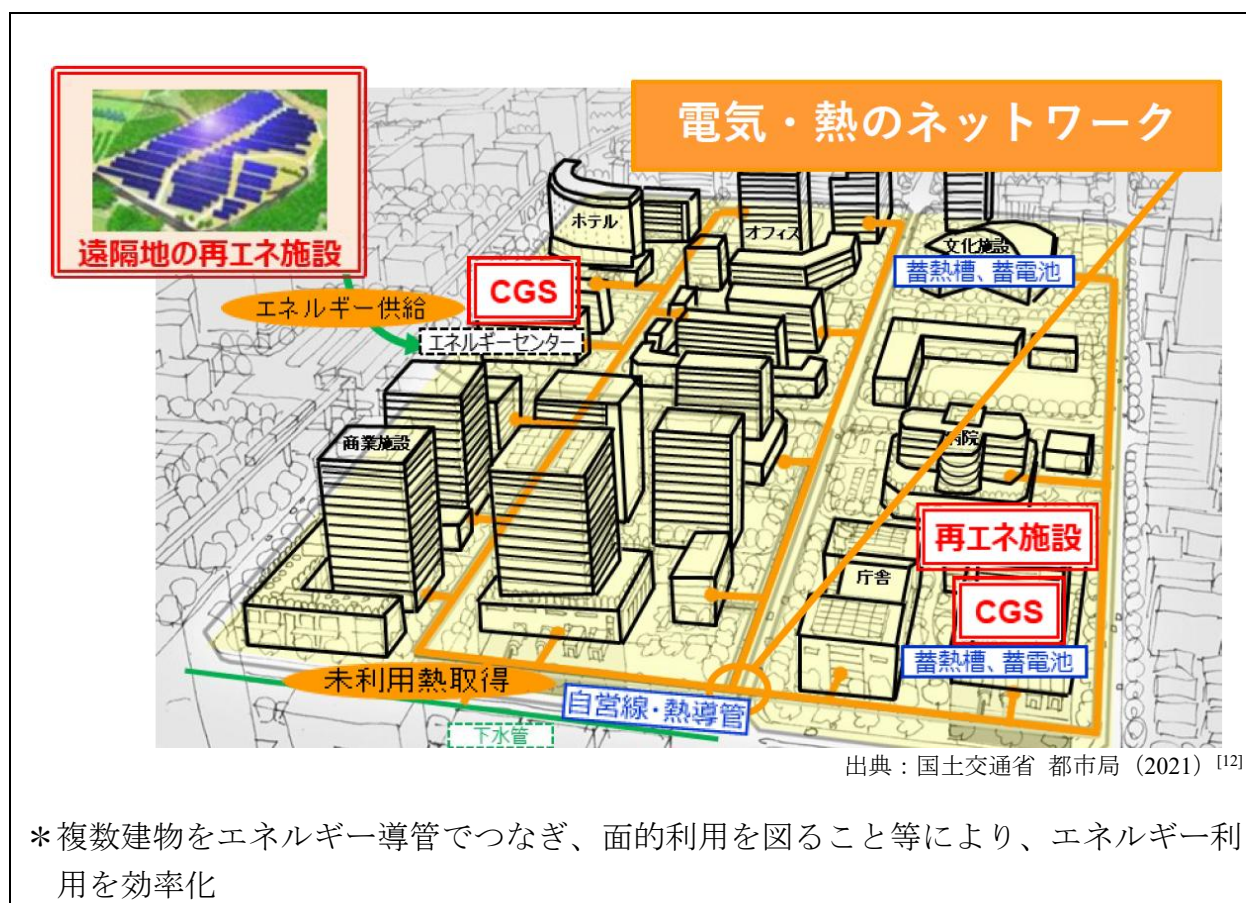


図 3-8 街区単位でのCNの取組：エネルギーの面的利用

3.3.2. 流域単位での事業間連携

CNに資する取組の一つとして、愛知県では「矢作川・豊川CNプロジェクト」を推進している。この「矢作川・豊川CNプロジェクト」では、「水循環」をキーワードに、再生可能エネルギー等の導入による国土強靱化を始め、森林保全・治水・水道からエネルギーまでを含めた、官民連携で総合的かつ分野横断的にCNの実現を目指すこととしている。

「水循環」とは、雨が山に降ってから河川を通じて海に流れ出るまでの一連の過程であり、その過程には、森林、河川、ダム、浄水場、下水処理場等が含まれる。森林はCO₂吸収源として重要な役割を果たし、ダムは再生可能エネルギーとして高いポテンシャルを有する水力発電と一体となった施設である。また、浄水場及び下水処理場は、水処理に多くのエネルギーを使用することから、エネルギー起源の温室効果ガス排出の削減に向けた取組が求められる施設である。これらの点から、水循環というテーマはCNと親和性が高い。

加えて、森林や湿地、河川空間など自然の機能を活用するグリーンインフラは、流域全体での水循環の健全化や洪水緩和に寄与するとともに、生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）の観点からも重要な役割を果たしている。



図 3-9 矢作川・豊川CNプロジェクト

3.3.3. 交通分野の脱炭素化

道路は、日本の経済成長を支え安全・安心な暮らしを確保する重要な社会基盤であると同時に、道路部門からの CO₂ 排出量は国内 CO₂ 排出量の約 18% を占めており、C N の実現に向けて道路部門の脱炭素化の取組の推進が求められている。具体的には、2030 年度までに 2013 年度比で排出量を 46% 削減することを目指し、国や関係機関が中心となって新技術の開発や交通需要マネジメント等を総動員して、取組を実施している。これらの取組は分野横断的に、複数の施策を組み合わせられて実施されている。

基本的な方向性として、①道路のライフサイクル全体の低炭素化、②道路交通のグリーン化を支える道路空間の創出、③低炭素な人流・物流への転換、④道路交通の適正化の四つの柱に沿って施策を構築し、道路管理者の協働や関係者の連携の下で積極的な取組が進められている。

例えば、道路照明の LED 化、SA・PA や道の駅での EV 急速充電器の設置促進、自転車の利用促進、渋滞対策による交通の適正化等、様々な脱炭素化施策が展開されている。物流分野では、中継輸送拠点の整備や路車協調システムの構築を通じて、省人化・省エネ化に資する自動運転トラック導入に向けた環境整備も進められている。

2025 年 4 月の道路法改正を受け、同年 10 月には国が「道路脱炭素化基本方針」を策定した。今後、各道路管理者はこの基本方針に基づき「道路脱炭素化基本計画」を策定する。また、脱炭素技術の活用を促進するため、道路の構造に関する原則に脱炭素化の推進等への配慮を位置づけるとともに、推進計画に基づく脱炭素化に資する施設等の占用許可基準が緩和される。これらにより、多様な主体が協働した脱炭素化の取組を推進することとしている。



図 3-10 道路部門の脱炭素化に関する取組

鉄道は、他の交通機関と比較してエネルギー効率がよく、単位輸送量当たりの CO₂ 排出量が交通分野の中で最も低い。我が国の鉄道は、世界トップクラスの旅客輸送量を誇るとともに、輸送分担率も諸外国に比べて高い。また、駅舎、車両基地、線路用敷地などの豊富なアセットを有し、地域の拠点となる鉄道駅や広域ネットワークを形成する路線網が整備されている。

現在、鉄道部門では、高効率な車両の導入等による鉄道事業（運行）そのものの脱炭素化に加え、駅舎等への再生可能エネルギー発電設備の設置など鉄道アセットを活用した脱炭素化、さらに、環境優位性のある鉄道利用の拡大（モーダルシフト等）を通じた交通部門全体の排出削減に向けた取組が進められている。

- 駅施設での太陽光発電の導入

【小田急電鉄・小田原駅】



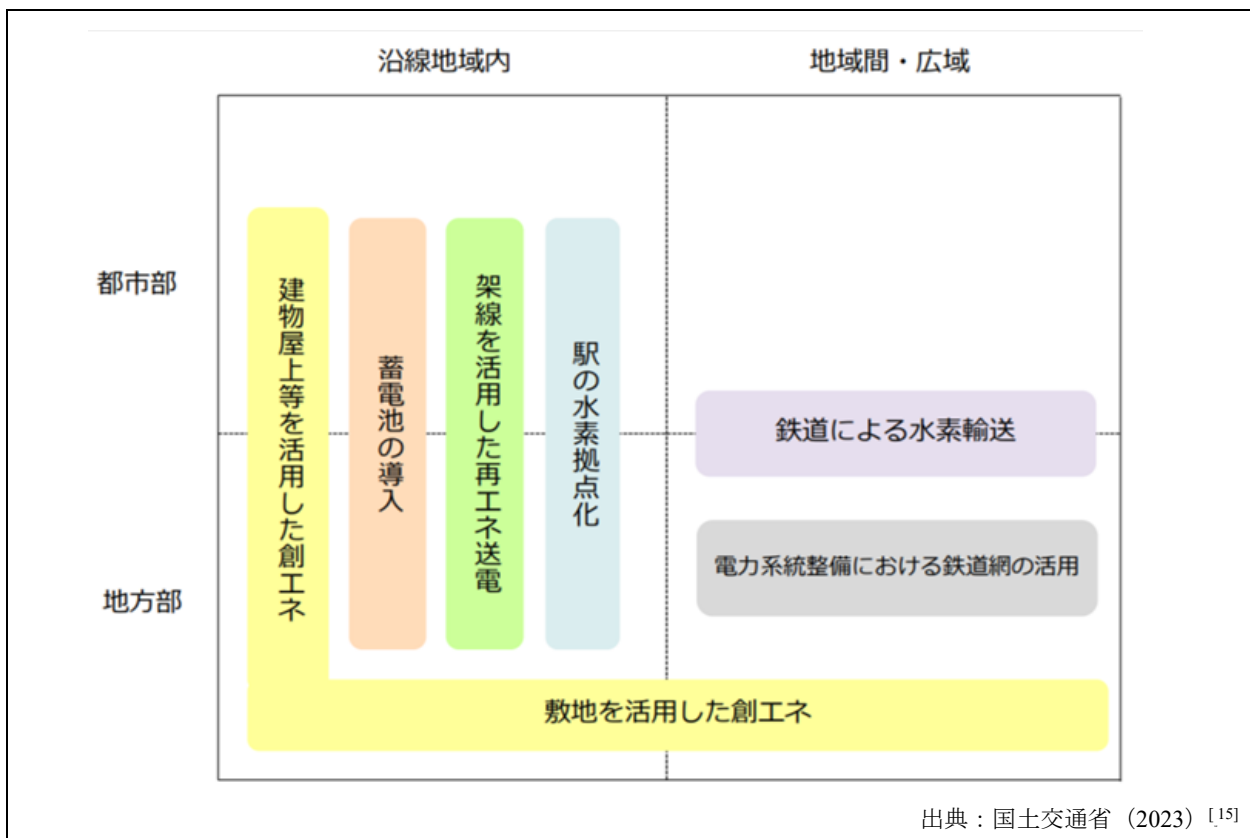
画像提供：小田急電鉄

【東京地下鉄・四ツ谷駅】



出典：東京地下鉄 HP^[14]

図 3-11 鉄道部門の脱炭素化に関する取組



出典：国土交通省（2023）^[15]

図 3-12 鉄道による脱炭素の取組類型

航空部門では、官民協議会の場等を活用して関係省庁や民間事業者と連携しながら、SAF（Sustainable Aviation Fuel、持続可能な航空燃料）の導入促進、管制の高度化等による運航の改善、機材・装備品等への環境新技術の導入等に取り組んでいる。また、各空港での空港脱炭素化推進計画の策定を進め、計画に基づいた空港施設や車両等からのCO₂の排出削減、空港への再生可能エネルギーの導入等に取り組んでいる。

港湾部門では、3.2.5.で記載したとおり、カーボンニュートラルレポートの形成を推進している。



出典：国土交通省 航空局 (2026)^[16]

図 3-13 空港脱炭素化推進のイメージ

3.4 インフラの整備・維持管理・更新

インフラ整備に係る温室効果ガスの排出は、建設前の段階から資材調達段階、建設段階、使用段階（維持管理含む）、そして解体・撤去段階に至るまで発生する。さらに、解体後に「再利用・リサイクル」を経て再び資材調達へとつなげる資源循環の視点を組み込むことで、解体・撤去段階での分別・回収を徹底し、回収した資材を再使用・再資材化して、資材調達段階における排出削減にも波及させることで、ライフサイクル全体の排出削減効果を高めることができる。

建設前の調査・試験・設計における工夫は、その後のライフサイクル全体の排出削減につながるため、極めて重要である。省エネ設計や維持管理の容易さ、長寿命化を見据えた計画を立てることにより、資材や維持管理に伴う排出を大幅に減らすことができる。加えて、将来の解体・更新を見据えて部材の分解・回収が容易な構造とし、再利用・リサイクルを前提とした材料・工法を選定することは、資源循環と排出削減の両面で有効である。次の資材調達段階では、セメントや鉄鋼の製造・輸送に多くの排出が伴うため、グリーン資材の活用や輸送の効率化が必要であり、続く建設段階では建設機械の脱炭素化や施工の省力化が重要である。また、発生土や副産物の有効利用を進め、廃棄物の発生抑制と再資源化を徹底することが求められる。そして使用段階では、維持・補修・改修が中心であり、省エネ改修や低炭素材料の導入によって排出を抑制する。

解体・撤去・廃棄の段階では、混合廃棄物の発生抑制や有害物の適正処理に加え、リサイクル材の品質確保やトレーサビリティの確立を通じて、資源循環を実効性あるものとして運用することが重要である。

このように、調査・設計から解体・撤去、再利用・リサイクルを経て次の資材調達へと一貫して削減策を講じることが、持続可能で低炭素な建設産業の実現に直結する。

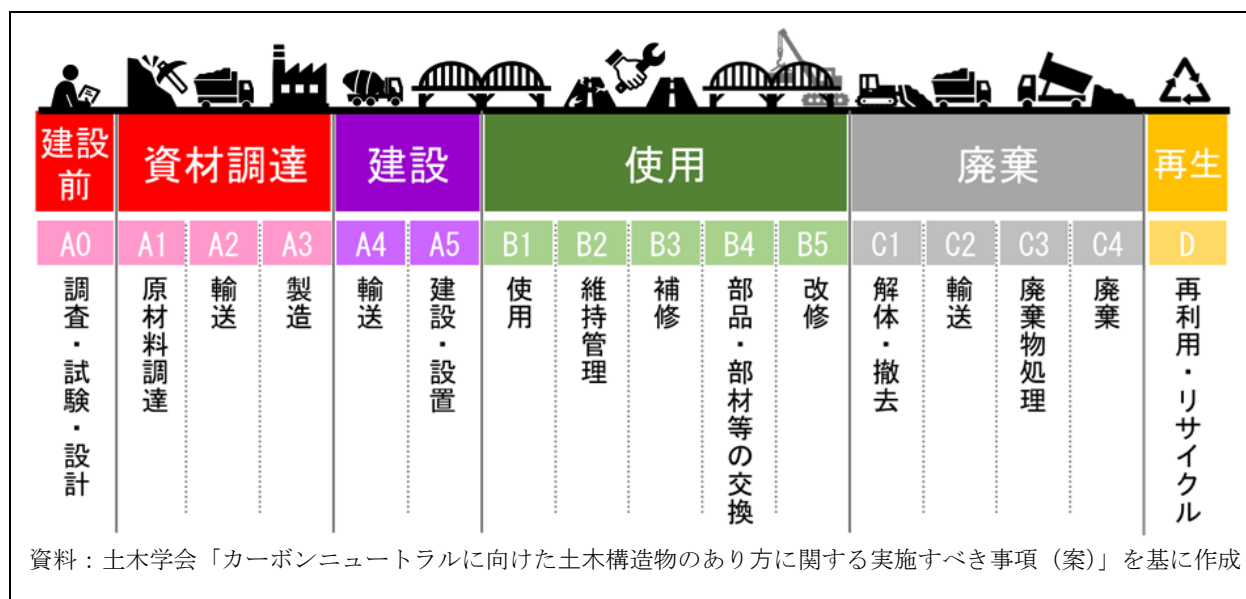


図 3-14 インフラのライフサイクルイメージ

3.4.1. 低炭素材料の開発・活用

インフラ整備の各プロセスにおける低炭素材料の導入は、温室効果ガス排出量の削減に大きく寄与する。土木分野では、主要構造材にコンクリートや鋼材等が大量に使用されるため、これらの製造・施工に伴うCO₂排出の削減が重要な課題となっている。再生可能資源の活用や製造工程の脱炭素化、使用後のリサイクル性向上等を通じて、低炭素材料の開発が進められている。

国土交通省では、ポルトランドセメントの置換率が55%以上のコンクリート、またはこれと同等以上のCO₂排出削減効果を有するコンクリートを低炭素型コンクリートと呼称している。セメントの量を減らして高炉スラグ微粉末など別の素材を使用することで、コンクリートの生産時に発生するCO₂を大きく減少させる。中には、セメント・ゼロ型のコンクリートなどの技術開発も盛んとなっている。2024年度末時点で全国17道府県51件の直轄工事に導入されており、現状の導入実績は直轄の公共工事が中心だが、今後は直轄以外の事業や民間工事での利用拡大が望まれる^[17]。

舗装分野においても、低炭素（中温化）アスファルト混合物（以下「中温化アスファルト混合物」という。）の活用は、CNの実現に資する有効な取組である。中温化アスファルト混合物は、混合・敷均し・転圧温度を従来の加熱アスファルト混合物より低く設定できるため、アスファルトプラントでの燃料使用量を抑制し、製造・施工段階のCO₂排出削減に寄与する。さらに、施工時の煙や臭気の低減、作業環境の改善にもつながるほか、再生骨材等の再生材の利用拡大と組み合わせることで、資源循環と脱炭素の両面から効果が期待できる。中温化アスファルト舗装の普及によって、2030年度に約0.5万t-CO₂、2040年度に約1.2万t-CO₂の削減が見込まれている^[18]。

さらに、鉄鋼分野においても脱炭素化に向けた取組が進められている。国はグリーンイノベーション基金を活用し、「製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト」を推進している。具体的には、高炉プロセスに水素を導入してCO₂排出を削減する高炉水素還元製鉄技術や、水素を用いて低品位鉄鉱石を直接還元する直接水素還元製鉄技術の開発が進められており、2030年までにCO₂排出量を50%以上削減する技術の実証・実装を目標としている。国内大手鉄鋼各社も連携し、技術開発と実証を強化することで、鉄鋼業の脱炭素化と国際競争力の両立を目指している。

これらの材料のインフラ整備への導入を拡大することで、ライフサイクル全体での環境負荷を抑えつつ、耐久性や施工性といった性能面でも従来材料と同等以上の品質を確保することが可能となる。さらに今後は、設計・施工・維持管理の各段階での最適な活用方法の確立が求められる。

CO₂ 排出削減
 セメント混合割合を
 45%以下とし、
 高炉スラグ微粉末に
 置き換え 等



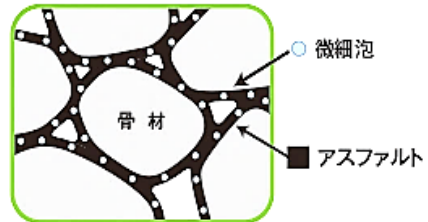
出典：国土交通省 総合政策局（2025）^[19]

図 3-15 低炭素型コンクリート

中温化アスファルト混合物「ECO フォームド」のしくみ



ECO フォームドの締固め効果



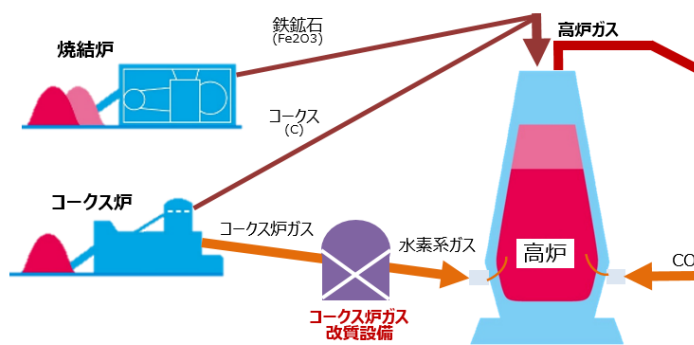
微細泡がアスファルトの中に
 多数存在し、
 温度が下がっても締まりやすい

出典：国土交通省 道路局（2025）^[20]

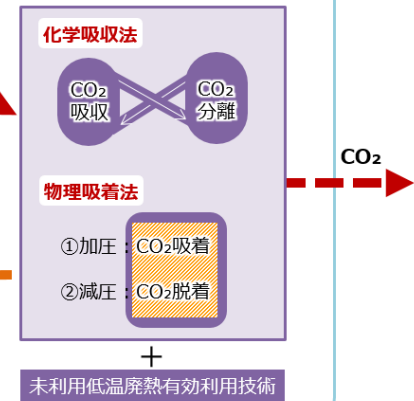
出典：株式会社 NIPPO（2025）^[21]

図 3-16 中温化アスファルト混合物

① 高炉水素還元技術 (CO₂ 10%削減)



② CO₂分離・回収技術
 (CO₂ 20%削減)



出典：資源エネルギー庁（2021）^[22]

図 3-17 水素還元製鉄に関する技術

3.4.2. 建設機械の脱炭素化

施工現場における CO₂ 排出の要因の 1 つが、建設機械の燃料消費である。この課題に対して、電動化、軽油代替燃料の活用、ICT 技術による稼働効率の向上等、機械の脱炭素化に向けた技術開発が進められている。これらの取組は、環境負荷の低減のみならず、施工の省力化や安全性向上にも効果をもたらしている。



図 3-18 低炭素な建設機械の導入

3.4.3. インフラの長寿命化

維持管理を容易にし、構造物の耐久性を高め、長期的な機能維持を図ることは、インフラの新規整備に伴う環境負荷の低減に直結する重要な施策である。高耐久材料の採用や劣化予測技術の活用、予防保全型の維持管理手法の導入等により、更新や改修の頻度を抑える取組が進められており、資材の使用や施工に伴う CO₂ 排出の削減が期待される。

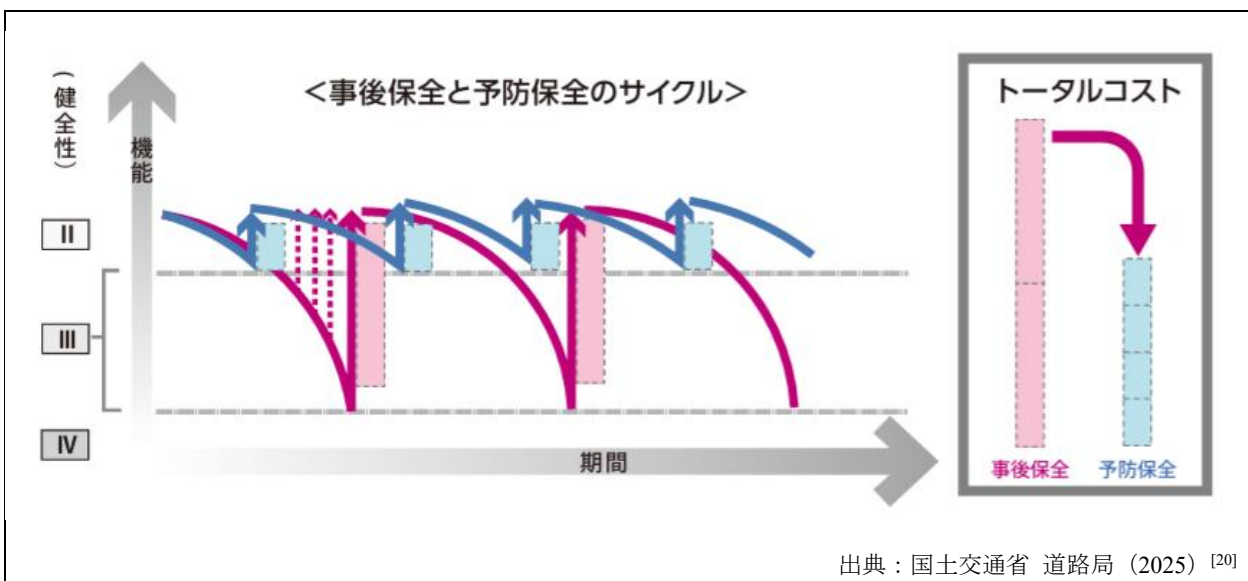


図 3-19 事後保全と予防保全のサイクルイメージ

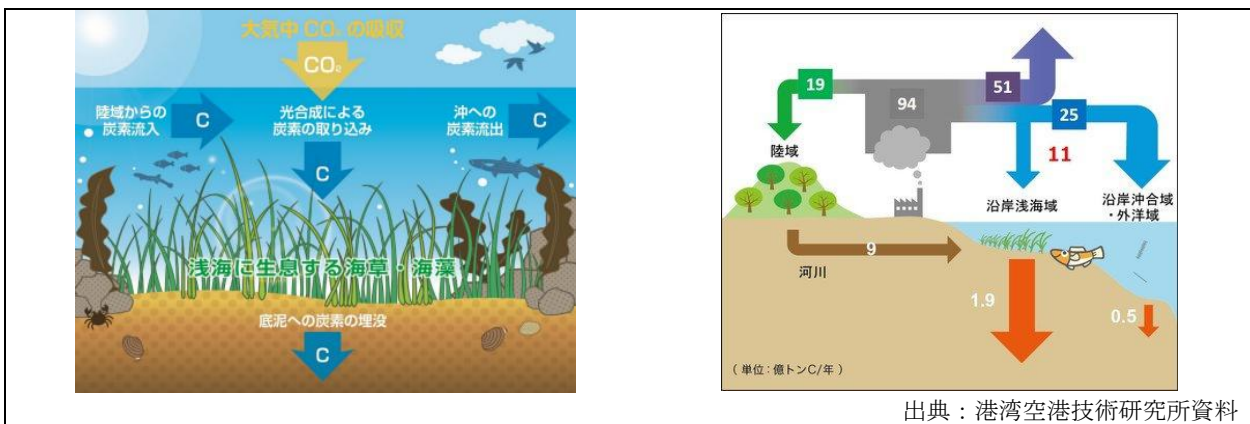
3.5 CO₂の吸収

CNの実現に向けて、再生可能エネルギー等の供給・貯蔵・利用、エネルギー利用の効率化・省エネ、インフラの整備・維持管理・更新に係るCO₂排出量の削減に加えて、排出されたCO₂を回収・吸収し、長期的に固定することも重要である。土木分野ではその一環として、ブルーカーボンに係る取組の推進、CO₂を固定するコンクリートの活用や木材利用、地下貯留等が行われている。

3.5.1. ブルーカーボン

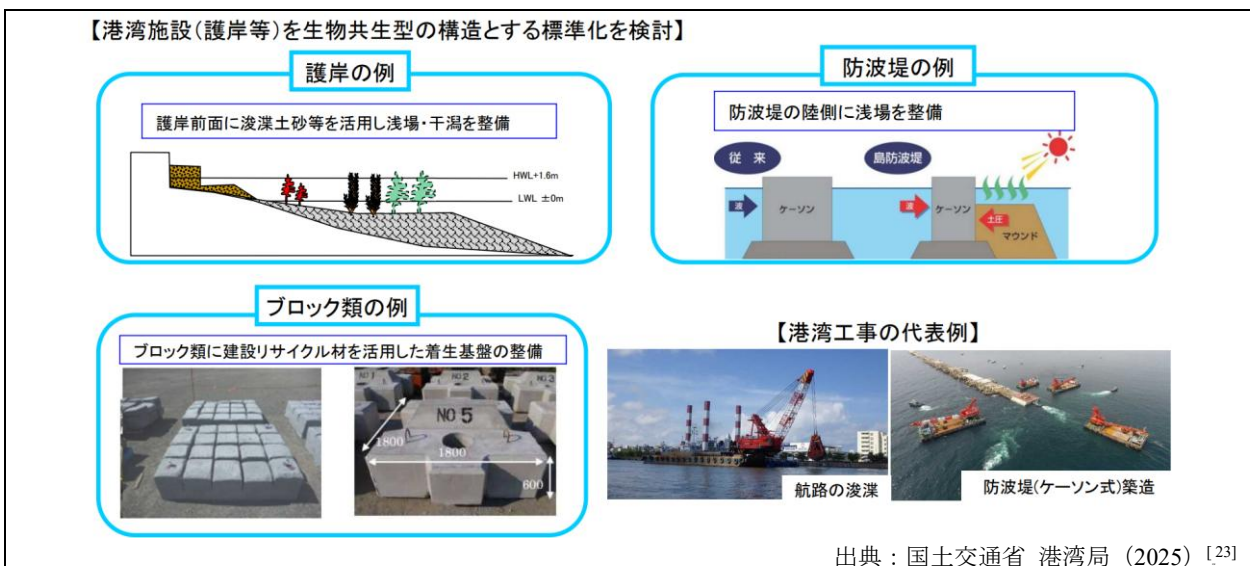
ブルーカーボンは、藻場（海草、海藻）、塩性湿地・干潟、マングローブ林等の沿岸・海洋生態系が光合成によりCO₂を吸収し、その後、長期間にわたって有機物として海底や深海に蓄積する炭素を指す。

現在、港湾事業を中心として生物共生型港湾構造物の整備や浚渫土砂を活用した藻場・干潟の整備が進められている。これらはブルーインフラと呼ばれ、生物多様性の保全や防災機能の向上にも寄与する。



出典：港湾空港技術研究所資料

図 3-20 ブルーカーボンの全体イメージ



出典：国土交通省 港湾局（2025）^[23]

図 3-21 ブルーインフラに係る港湾設計・工事等での取組イメージ

3.5.2. CO₂を固定するコンクリート

CO₂を固定するコンクリートは、練混ぜや養生過程でのCO₂固定化等により、CO₂排出削減を図るものである。また、昨今では固化する過程でCO₂を吸収するコンクリートが開発される等、技術発展が進んできている。加えて、コンクリートに用いる材料の一部にCCU（Carbon Capture and Utilization）材料（回収したCO₂を鉱物化して得られる炭酸カルシウム〔炭カル〕や、バイオマスを炭化して得られるバイオ炭等）を活用し、材料中にCO₂（炭素）を固定化したまま利用する取組も進められている。

CO₂吸収型

工場排ガスを用いてコンクリートを練り混ぜたり養生したりすることで、排ガス中に含まれるCO₂をコンクリートに固定

CCU 材料添加型

CO₂を固定した炭酸カルシウムをコンクリート材料として添加してCO₂をコンクリートに固定



出典：国土交通省（2025）^[24]

図 3-22 CO₂を固定するコンクリートの使用例

3.5.3. 木材利用

樹木は成長過程でCO₂を吸収し、炭素として固定する。構造物建設において木材を積極利用することで炭素を長期的に固定できることに加え、コンクリート等のエネルギー集約的資材の代替やバイオマス燃料としての利用という面でもCNに貢献するものである。また、木材の利用促進は長期的な視点から森林の適正な管理・保全につながる。

土木分野では、公園、河川、道路、港湾等の分野において、木材利用の推進が図られている。



【都市公園事業】木橋（千葉県山武市）



【河川事業】護岸工（宮崎県延岡市）



【道路事業】木製防護柵設置（長野県大桑村）



【港湾事業】ボードウォーク（熊本県宇城市）

出典：国土交通省（2022）^[25]

図 3-23 河川や港湾、道路構造物等における木材利用の事例

3.5.4. CO₂回収と地下貯留（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）

CCSはCO₂の回収、輸送、貯留を一体として成立させるインフラである。2024年5月に貯留事業の許可制度等を盛り込んだ「二酸化炭素の貯留事業に関する法律」が成立し、日本における事業化に向けた大きな一歩となった。目標として、2050年時点で年間約1.2～2.4億tのCO₂貯留を可能とすることを目安に、2030年までの事業開始に向けた事業環境を整備し、2030年以降に本格的にCCS事業を展開する計画である^[26]。

CCSの実施に当たっては、地盤調査や掘削、貯留層への圧入・貯留に係る設計・施工、モニタリング等において、土木分野の知見・技術が大きな役割を果たすことが期待される。

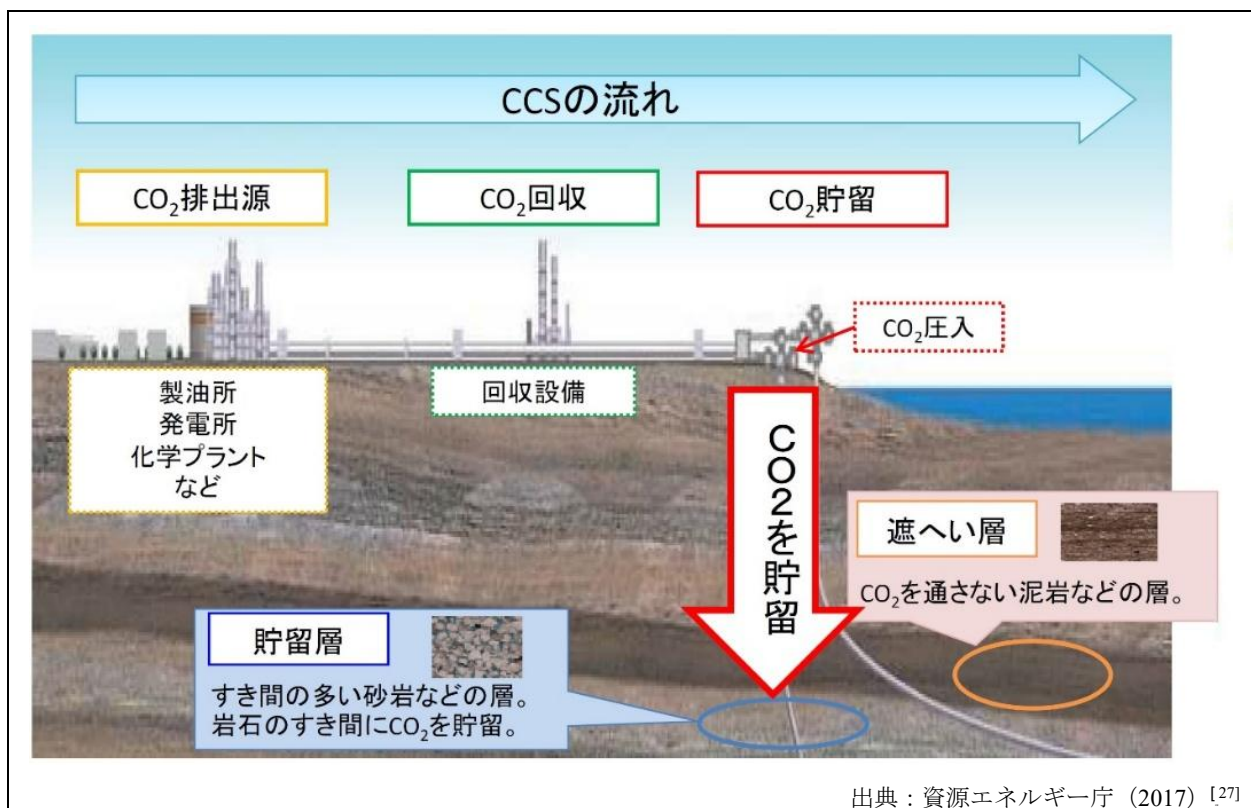


図 3-24 CCS のイメージ

3.6 レジリエンス強化につながるCNへの取組

平時におけるエネルギー利用の効率化や省エネ、再生可能エネルギーの活用を進めることは、分散型エネルギー源が自立した電源として機能することを通じて、レジリエンス強化にもつながり得る取組である。すなわち、これらは気候変動の緩和と、災害対応力の強化という適応の両方の側面を有している。特に、まちづくりと自立型エネルギー源の確保、地域マイクログリッドの取組を一体的に進めることで、災害時に系統電源の供給が停止した場合でも、都市機能の維持に必要な電気・熱を継続的に供給することが可能となる。

また、災害リスクの増大に対し、災害・停電時に公共施設へのエネルギー供給等が可能な再生可能エネルギー設備等が整備されている例も見られ、地域によっては、地域のレジリエンス強化と地域の脱炭素化が同時に進展しつつある。2019年9月の台風15号では、広範囲の停電が発生したが、防災拠点として再生可能エネルギー設備が整備・導入された道の駅では、停電時にも電力が供給され、台風の翌日から避難所として活用できた。

下水汚泥等を活用した下水処理場の災害時のエネルギー供給拠点化等も有効な取組である。さらに、地域の特性に合わせて太陽光や風力、バイオマス、小水力発電等の地産地消型の再生可能エネルギーを導入することは、平時のCNに資するだけでなく、災害時には地域の避難所等を支えることにもつながり得る。

これらの電力（必要に応じて熱）を、地域内で相互に融通し、エネルギーマネジメント等と組み合わせて利用効率化を推進する取組も進められている。このような取組は、CNの推進に資するとともに、災害時の機能維持を通じた地域のレジリエンス強化にも資するものであり、併せて雇用創出や経済循環等の地域活性化にもつながることが期待される。

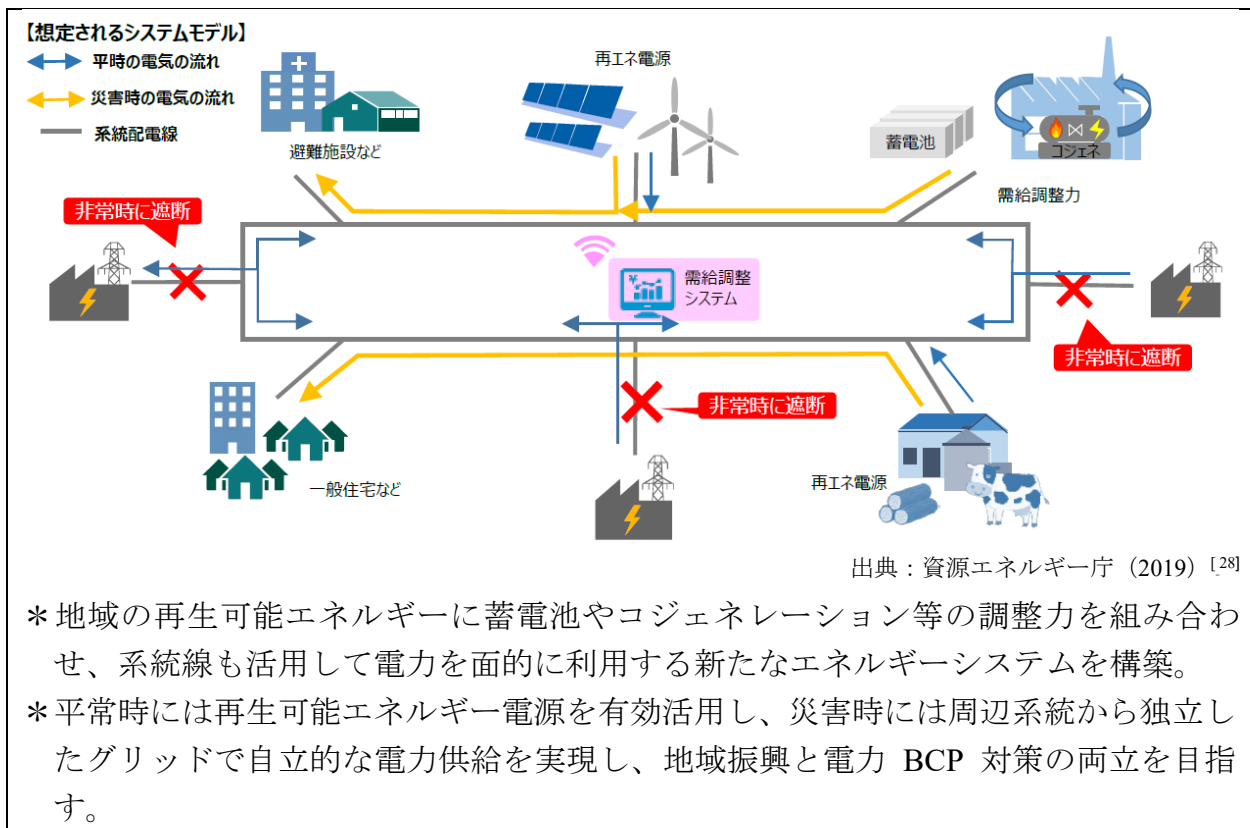
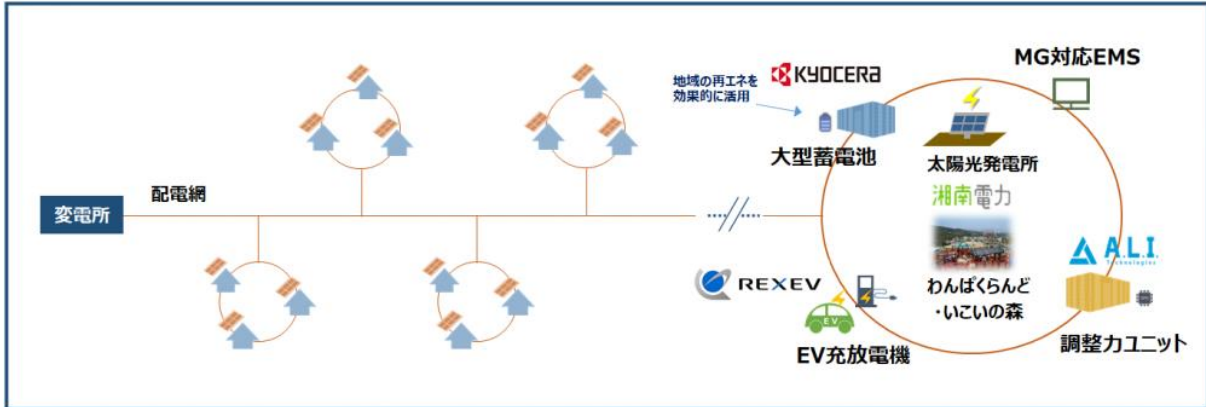


図 3-25 地域の系統線を活用したエネルギー面的利用システム

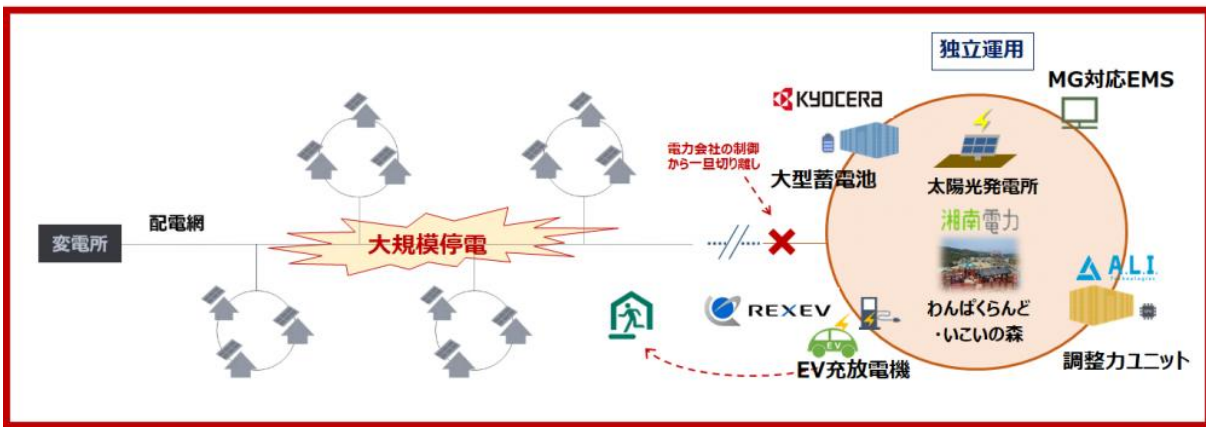


図 3-26 地域のレジリエンス強化・脱炭素化を同時実現する道の駅事例

平時：再エネの導入拡大につながるよう蓄電池等を制御



非常時（大規模停電等）：太陽光発電設備と蓄電池等で独立運用



出典：小田原市（2022）^[30]

*既存の配電網を活用した地域マイクログリッドの運用に向けた検討・課題整理について、公民連携で推進。小田原市内の再生可能エネルギーを充当する仕組みを構築することで、地産地消による部分的CNの実現も見据えた取組を推進

図 3-27 小田原市における地域マイクログリッドを活用したエネルギーマネジメント

第4章 CNを進める上での課題と障壁、今後の方向性

本章では、第1章で示したプロジェクトの趣旨、第2章で整理した「長期」「空間」「エネルギー形態」「レジリエンス強化」の視点、第3章で俯瞰した土木分野におけるCNへの取組の現状を踏まえ、前章で示した五つのカテゴリー別にCNを進める上での「課題」と「障壁」、及び今後の方向性を示す。

ここでの「課題」とは、当該分野の取組を進めるために共通に押さえるべき要点（前提条件、導入拡大の鍵、役割分担、効果評価の考え方等）を指す。

一方、「障壁」とは、既存の基準・規制・制度・市場設計・手続・運用が、事業の成立性や予見性（投資回収見通しを含む）を損ね、社会実装・普及を妨げている具体的なボトルネックを指す。

以下では、まず各分野の方向性の概要を示し、その上で主な課題と障壁を整理する。

4.1 再生可能エネルギー等の供給・貯蔵・利用

再生可能エネルギー等の供給・貯蔵・利用に係るCNへの取組を進めるに当たっては、供給・貯蔵・利用を「長期（投資回収・更新）」「空間（立地・需要・系統接続）」「系統全体（調整力・制約）」の観点で捉え、事業の成立性と系統全体への影響を踏まえて検討することが重要である。あわせて、案件形成の予見性を高める観点から、制度・手続・評価の改善を通じて導入拡大を後押しする必要がある。

4.1.1. 水力等の再生可能エネルギーの更なる活用

CNの観点から、再生可能エネルギーとしての水力発電をさらに進めていくためには、初期投資の負担が大きいという特徴を踏まえ、資本回収のための長期にわたる安定した経済性の確保や、初期投資を軽減する補助制度、事業化の予見性を高めるための運転開始までのリードタイムの短縮等、各種支援策を講じることが必要である。

環境に調和した小水力発電の新規開発については、流域内の本川筋ではなく、支川や溪流に多くのポテンシャルが残されている。ただし、これまで未開発であった地点は、事業スケールや採算性の面で大規模事業に比べて開発優先順位が劣後していた場所が多く、より発電コストが高くなる傾向が強くなっている。今後は、これらの未開発地点の水力開発を、環境に調和しつつ、地域資産活用の観点から地元参画を考慮した形で進める必要がある。

既存の水力発電所のリパワリング（発電所設備の強化による出力増強）に当たっては、経年劣化の進んだ発電所の発電機能や安全性の向上と併せ、堆砂対策等による環境適合性・持続可能性を高める形で再開発していく必要がある。なお、水力発電単独での本格的な再開発が困難な場合には、治水機能を加えた形での事業化が有効な場合があり、これに合わせた環境適合性・持続可能性を高める再開発が求められる。

一方で、これらの再開発を担うべき発電事業者・メーカー・施工会社等においては、FIT・FIP制度による新規開発・設備更新は一過性であるとの懸念があることから、人材の確保・育成や工場維持・拡充への投資が進まず、水力発電産業の基盤強化は進ん

でない。このため、発電事業者に加え、関連するメーカー、施工会社及びメンテナンス会社等が長期間安心して事業を営める事業環境の醸成と技術継承がなされる環境整備が求められる。

発電用ダム以外の既存ダムの水力エネルギー活用に当たっては、これまで発電に利用されていない多目的ダムや利水ダム、水量の豊富な比較的大規模な砂防ダム等の発電利用のほか、治水機能の強化を目的とした事前放流や、洪水調節後の後期放流や融雪出水を活用した増電も有効な方策である。事前放流や後期放流を一層発電に活用するためには、現在用いられている3日程度の降雨予測に加え、より長期の予測も併用することが効果的である。現在、アンサンブル手法を用いた長時間の降雨予測に関する研究・技術開発と、社会実装に向けた取組が進められており、最新の手法の導入により、最大限発電設備を活用した事前放流や洪水後期の放流の緩速化、さらには洪水が予測されない場合の高水位運用等により増電につなげることができる。

また、治水・利水・発電を「単体ダム」ではなく「流域ダム群」で最適化する観点（治水・利水容量の再編、予測精度向上、運用ルール整備、設備増強等）を、CNとレジリエンスの両面から一体的に推進することが重要である。例えば、治水に有利なダムについては、事前放流の強化を図る一方、洪水のピーク時に事前放流による容量増大の効果が期待できないようなダムにおいては、現在の事前放流に相当する容量を洪水調節容量内に確保し発電の強化等に活用するなど、流域全体で適応策と緩和策の両立を図っていくことが求められる。

【主な課題と障壁】

- ① 初期投資等の支援充実、FIT・FIPの交付期間等の見直し
 - 「水力発電の事業性評価に必要な調査及び設計等を行う事業」、「既存設備有効活用支援事業」等の各種補助制度があるが、取水設備や導水路、発電所建屋などの初期投資が大きい一方で、耐用年数が長期にわたる特性を考慮した初期投資の軽減、調査・設計段階での資金支援、技術開発や既設水力発電所の機能維持・増強に効果的な各種支援措置を充実させていくことが引き続き重要である。
 - FIT・FIPの調達期間及び交付期間（20年）が、水力発電施設の平均耐用年数（約40年）に対応していない。このため、関係制度は、施設の耐用年数や更新計画と整合する期間設定となるよう見直しを検討し、投資回収の予見性を高める必要がある。
- ② 運転開始までのリードタイムの短縮等
 - 環境影響評価法、自然公園法、国有林野法、森林法、河川法等の各種法規制の手続が煩雑であり、他の再生可能エネルギーでは簡素化が進められている部分があるが、水力では進んでおらず、手続の簡素化に向けた取組が必要である。
 - 具体的には、通常約3～4年要する環境アセスメント実施における手続期間の短縮や、他の法律の許認可手続完了後となっている国有林野法及び森林法の申請手続の開始を他の法規制と並行して行えるようにすることが重要である。

③ 揚水発電の価値の評価

- 揚水発電について、電圧調整等の系統安定化、再生可能エネルギー出力抑制の低減等の価値等、市場制度化されていない価値があるが、十分な評価がなされていない。また、国としての揚水発電の必要導入量が見通せないことから多額の投資が必要な揚水発電の新增設、維持更新への支障となっている。このため、市場制度における適正な価値化、今後老朽化する揚水発電所の維持・更新・拡大等への支援措置の充実が必要である。
- 市場制度において、系統安定化・調整力等の価値が投資判断に反映されるよう、評価の枠組みの明確化と、必要導入量の見通しの提示が求められる。

④ 発電機能を維持するための堆砂対策

- 堆砂の進行による有効貯水容量の減少による発電電力量の減少など、ダム本来の発電ポテンシャルを有効活用できなくなっている事例が見られる。また、今後の気候変動に伴う集中豪雨の増加による流域からの土砂生産量増加も懸念される。このため、ダムへの流入土砂量低減のための対策の実施、堆砂対策実施のための経済的支援、土砂浚渫作業や浚渫後の処理や再利用等に係る各種手続の簡素化・緩和等の対策を講じる必要がある。

⑤ 発電用ダムの事前放流に資する気象予測精度等の向上

- 発電用ダムにおいては、発電設備を活用した事前放流により治水容量の確保時の減電が回避されることとなっているが、降雨予測が外れて緊急的にダム放流を行わなければならない場合（見逃し）や、貯水が未回復となった場合（空振り）には、発電・利水側の予見性（計画運用・投資回収）が損なわれ、CN電源としての最大活用の障害となり得る。
- 現在の事前放流ガイドラインには、空振りにより必要な水量が確保できず、利水者に特別の負担が生じた場合にあっては損失の補填制度を充てることのできるものとされているものの、CNの実現に対しては、見逃し、空振りリスクを排除するために、降雨予測（GSM、MSM等）の精度を向上させること、アンサンブル予測の本格導入を図ること、及び予測結果公開をリアルタイム化することが重要である。

⑥ 治水運用（事前放流等）と利水・発電の運用調整ルールの明確化

- 治水機能強化に向けて事前放流が拡大する中、治水・利水・発電の運用調整（容量配分、放流判断、回復運用等）のルールが不明確な場合、発電・利水側の予見性（計画運用・投資回収）が損なわれ、CN電源としての最大活用の障害となり得る。
- 治水・利水・発電を「ダム群」で最適化する観点から、治水・利水（発電）両面の機能強化を目指すハイブリッドダムの推進を制度・運用面で支える枠組み（同一サイトのFIT・FIPの追加認定など）を整備する必要がある。

- ⑦ 認定・更新における期限設定が事業予見性に与える影響
- FIT・FIP 認定時及び施設更新時の条件において、以下のような各種の期間制約が、水力発電事業の特性を踏まえたものになっておらず、水力発電の新規開発・施設更新の制約となっている。関係省庁・許認可主体は、実態に即した期限設定、並行審査の拡大、標準様式の整備等により、案件形成の予見性を高める必要がある。
 - FIT・FIP の認定日後 180 日で認定取り消しとなるルール（180 日以内に送電網への接続工事着工の申し込み等、一定の取手が取られない場合に認定が取り消される。法的に土地利用の制限がかかっている土地を事業用地に含む場合、着工のタイミングまで認定を取得できない、もしくは取得しても認定取り消しとなる可能性がある。）の廃止もしくは緩和が必要である。
 - リプレース認定における既設発電設備の廃止期限（「認定日から 2 年以内に既存発電設備を廃止すること」とされている）や、運転開始期限（「事業認定を受けた日から起算して 7 年を経過する日まで」とされている。）の廃止もしくは緩和が必要である。
- ⑧ 水力発電のバックアロケーション（分担金）
- 従来、ダム再開発において新たな機能が追加する場合には、建設当初に立ち返って費用負担を見直す、いわゆるバックアロケーションを適用するのが一般的であった。この場合、既存ダムに発電機能を追加する際の発電事業者の負担が大きくなり、事業化の妨げとなる場合がある。このため、水力発電を拡大、促進するという観点から、発電事業者が参加しやすい制度運用へと見直す必要がある。
 - 治水と発電機能を一体的に強化するハイブリッド化を進める際には、災害の激甚化に伴う治水の緊急性やその効用の大きさを勘案し、優先支出法を積極的に適用するなど、発電事業者が参画しやすい環境を構築していく必要がある。
- ⑨ 地域還元制度の適用範囲と中小水力の位置付け
- 主な電源立地地域対策交付金の対象は、電力需給上、重要な電源である大規模新規水力発電や複数の発電所が所在する地域等となっており、中小水力発電は対象となっていない。このため、中小水力発電促進の観点から、交付要件の緩和を行い、立地地域の水力発電所所在市町村との共生関係の形成や理解醸成策を拡充していくことが必要である。

4.1.2. 水素・軽油代替燃料等の供給・貯蔵・利用

2050 年 CN の実現に向けて、水素等は様々な用途で活用が期待される原燃料として注目されており、2024 年 10 月より施行されている「脱炭素成長型経済構造への円滑な移行のための低炭素水素等の供給及び利用の促進に関する法律」に基づき、既存燃料との価格差に着目した支援や拠点整備支援、保安規制の最適化や合理的な技術基準の適用等により、低炭素水素等の供給及び利用促進が図られている。

一方、普及段階に移行するためには、価格差支援の拡充・長期化、拠点整備の加速、関係法令にまたがる規制・手続の整理（標準化・迅速化）、実証から実装への移行を見

据えた認可の合理化、燃料規格・認証や保証の整備等を進める必要がある。

また、軽油代替燃料は、廃食油や廃棄物から製造され、原料の植物等が成長過程で大気中の CO₂ を吸収するため、化石燃料と比べ低炭素な燃料である。軽油代替燃料の一つである FAME は国内で原料調達から生産まで行えるため、地産地消エネルギーとして 2000 年代から利用が始まっている。ただし、税制による給油に関する制度運用等が利用拡大の制約となっており、実務負担を抑えつつ安全性を確保する観点から、手続の簡素化・定型化等の見直しが必要である。

水素・軽油代替燃料は、複数の法体系・手続が重なり合って導入障壁となりやすいため、個別規制の点検に加えて、関係制度の整合と手続の定型化を進める必要がある。

【主な課題と障壁】

① 軽油代替燃料の公道利用上の規制

- 軽油代替燃料を公道で使用するには、車検証への使用燃料の記載（追記）、軽油引取税の支払い等、様々な手続きが必要になっており普及の妨げとなっている。このため、軽油と同様に使用できるように制度見直しが必要である。

② 軽油代替燃料の使用と建機メーカー等による保証適用範囲の明確化

- 軽油代替燃料は、大幅な CO₂ 排出削減効果を有する有効な手段である一方、製造コストが高く、軽油と比較して価格が高額であることから、現場における導入が十分に進んでいない状況にある。このため、軽油代替燃料の利用拡大を図るには、積算基準の見直し（燃料費を軽油代替燃料の単価に基づき設定すること）に加え、補助金やインセンティブ制度の導入等、制度的・恒久的な支援措置を講じることが必要である。
- 軽油代替燃料として多くの種類が燃料メーカーから供給されているが、それらの使用には建機メーカー等の保証が適用外となるケースが多い。このため、軽油代替燃料の規格や建機メーカー等による保証適用範囲の明確化、建設機械向け高濃度 FAME、HVO、GTL 等の使用に関するメーカー保証制度の創設、メーカー側の対応への技術開発とコスト転嫁へのインセンティブを促す補助金制度の構築等が必要である。

③ 工事現場での軽油代替燃料供給にかかる少量危険物貯蔵タンク設置基準

- 軽油代替燃料の工事現場での安定的使用には、備蓄・現地給油体制の整備が必要である。タンクローリーによる現地給油は特例的に緩和されているが、簡易な少量危険物貯蔵タンク設置は地方公共団体ごとに運用が分かれ、設置不可となる場合もある。このため、工事現場における簡易な少量危険物貯蔵タンクの設置に関する統一的な基準及び運用の全国的な統一等が必要である。

④ 税制インセンティブの配慮

- 軽油と FAME、HVO を混合して税法上「軽油」と扱われる燃料（以下「混合燃料」という。）は、全量が軽油引取税の課税対象となるが、軽油引取税免税事業者が使う場合には軽油部分が免税となっている。また、混合燃料が課税対象となっていない使用者もある。さらに、脱炭素化への支援の観点から、混合燃料のうち FAME、HVO 相当分について免税又はそれに準じた扱いがなされるケースもある。これらの運用の差異は、コスト面や課税の複雑さなどの観点から軽油代替燃料の普及拡大の障害となる。このため、「軽油代替燃料」の税制上の定義を整理し、混合燃料の課税について統一したルールを明確にする必要がある。

⑤ 建築基準法等による水素貯蔵・取扱いの制約

- 用途地域ごとに「危険物の貯蔵・処理に供する建築物」に対する立地規制・数量規制が設けられており、設置可能な場所が限定されている。その結果、住居系地域を中心に、需要地（駅前、医療・福祉施設周辺、物流拠点近傍等）において、水素の貯蔵・消費・供給設備を配置しにくい状況が生じている。
- このため、用途地域による一律の立地・数量規制に依存するのではなく、漏えい時の影響を踏まえた性能（リスク）基準へ段階的に移行し、設備仕様と、離隔距離・QRA（Quantitative Risk Assessment：定量的リスク評価）を組み合わせることで、「一般市街地においても安全を確保できる条件」を明確化すべきである。
- あわせて、特例許可や事前協議における審査観点及び手続きを標準化し、判断の予見性と迅速性を高める必要がある。

⑥ 道路法による水素等危険物積載車両の走行禁止・制限

- 水底や長大トンネル等において水素等の危険物を積載する車両の通行は禁止または制限されている。一部に規制緩和対象や災害時の通行規制緩和があるが、技術の進展に応じた省令の見直しや制限緩和等の措置が必要である。

⑦ 水素関連設備で多くの法体系が交錯していることによる煩雑な手続

- 高压ガス保安法・ガス事業法・建築基準法等が交錯し、法律適用の対象範囲が明確になっていないため、どの法律が適用されるのかわかりにくくなっている。標準手続・審査観点・モデル仕様（手引き）の整備により、事業者が見通しを持って計画できる環境を整える必要がある。

4.1.3. 下水汚泥の活用による創エネルギー

下水汚泥の消化ガスを用いた発電・熱供給、汚泥の燃料化、肥料化等の利活用は、各地の下水処理場で導入が進み、処理場自体がエネルギー生産の場として機能しつつある。これらは循環型社会の形成と災害時の非常用電源・燃料供給拠点の確保に寄与している。今後、一層の推進を図るため、下水汚泥に関する既存の基準・規制・運用等の見直しが必要である。

【主な課題と障壁】

① 消化ガスに対する都市ガス受入要求基準

- 都市ガス事業者が消化ガスを受入れる際には、不純物除去や成分調整等の処理を行い、都市ガスの品質基準に適合させる必要があり、その処理コストの負担が導入の障壁となっている。このため不純物許容値の見直しや混合比率の調整による段階的導入等の措置が必要である。

② 下水汚泥等に対する廃掃法の適用基準

- 有価物である下水汚泥の炭化物等は、明確に「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（以下「廃掃法」という。）の適用外とはされていないため、産業廃棄物としての規制等の対象となり運搬費用等のコスト負担が大きく、資源として利用する上での障壁となっている。当該下水汚泥は有価物であることを踏まえ、廃掃法の適用外とすることを明確化する等の措置が必要である。
- 下水処理場へ木材チップ、生ごみ等を外部から受け入れて発電等のエネルギー利用をする場合、下水処理場に廃掃法が適用され、新たに生活環境影響調査等を行う必要が生じる場合がある。バイオマスのエネルギーとしての利用を進めるために、廃掃法の適用の緩和措置を講じることが必要である。

4.1.4. 洋上風力発電

我が国の洋上風力発電は黎明期にあり、エネルギー安全保障やコスト低減に資する国内サプライチェーンの構築や人材育成等の産業基盤の確立はまだ緒に就いたばかりであるため、初期の案件形成を着実に進めることにより産業基盤を構築していくことが必要である。

また、世界的な資材価格の高騰等による事業者の撤退も見られる厳しい事業環境への対応や国内市場の創出により、EEZ（排他的経済水域）への展開も見据えた浮体式洋上風力等の産業競争力強化にも取り組む必要がある。

【主な課題と障壁】

① 事業実現性の高い案件形成の促進

- 欧州と異なる厳しい自然条件（台風、高波、津波、地震等）下で行われる我が国の洋上風力発電事業は黎明期にあり、十分な実績・知見が蓄積されておらず、予見性が低い。
- そのため、再エネ海域利用法において採用されている公募制度において、適正な工期・工事費の確保、現場不一致等の不測の事態への対応、事業期間の延長等の柔軟な対応を行い、建設事業者等が施工に必要な特殊船舶等に対する先行投資の判断をしやすい環境整備が必要である。

② 産業・技術基盤の充実によるコスト低減

- 再生可能エネルギー主力電源化の切り札である洋上風力発電の導入を促進するためには、さらなるコスト低減の努力によって他の再生可能エネルギーと同等水準の売電価格とする必要がある。
- そのため、官民一体となった産業育成策に基づき国内に強靱なサプライチェーンを構築するとともに、浮体式基礎の製造技術、海上施工技術、維持管理技術等の技術研究開発の推進、さらに港湾インフラなどの整備・運用による産業・技術基盤の構築を進めることが必要である。
- 加えて、系統連系に係る費用を事業者が実質的に負担する仕組みとなっており、そのことが事業採算性を低下させ、事業開発の制約要因の一つとなっている。欧州の事例等を踏まえた適切な役割・費用負担の在り方を検討する必要がある。

4.1.5. カーボンニュートラルポートの形成

2022年に改正された港湾法に基づき、各港湾において、港湾管理者が組織した官民連携の協議会による「港湾脱炭素化推進計画」の策定が進んでおり、温室効果ガス排出の現状把握、削減目標の設定、取り組むべき事業などが整理され、今後は計画内容の実現を促進する段階となる。

特に、港湾における水素・アンモニア等の受入・貯蔵・利用については、サプライチェーンが適時適切に構築されるよう、官民の関係主体が連携して取組を進める必要がある。各港湾に設置された協議会の活用が期待される。また、新たな技術・サービスを取り入れるための環境整備も必要であり、同様の課題に直面している海外港湾との協力・連携を深めることも重要である。加えて、取組に必要な資金・人材・技術を確保するためには、温室効果ガスの排出削減のみならず、産業構造や社会経済の変革を通じて排出削減と経済成長の同時実現を目指すグリーン・トランスフォーメーション（以下「GX」という。）として捉え、既存インフラの陳腐化・老朽化、少子高齢化に伴う労働力不足などの社会課題解決とも結び付け、付加価値を高めるとともに経済合理性を伴う取組とする必要がある。

【主な課題と障壁】

① 官民の関係主体の連携

- 国際的な政治・経済情勢の変化や技術開発への依存といった不確実性が存在することに加え、関係主体も多岐にわたる。
- 港湾における水素・アンモニア等の受入・貯蔵・利用は、社会全体の脱炭素化に貢献することを目的とするものであり、その動きと歩調をあわせて、着実に取組を進めていく必要がある。

② 新技術・サービス活用のための環境整備

- 荷役機械における水素等の利用、メタノール・アンモニア等の燃料の供給など、新たな技術やサービスを積極的に取り入れていく必要がある。

- これまでに例のない新たな取組であり、十分な知見が集積されておらず、また、適用される法令やその運用も明確でないため、安全かつ円滑な実施に向けた環境整備が必要である。

③ 資金・人材・技術の確保

- 港湾には、量的・質的に大きな転換が求められ、多額の資金が必要となるが、実施主体の多くが民間企業となるため、公的資金はもとより、民間投資を呼び込む取組が不可欠である。専門的知見を有する人材や課題解決のための技術も求められる。
- 脱炭素化の取組には十分な収益性を確保することが難しいものが多いため、それを克服する工夫や環境整備が必要である。

4.2 エネルギー利用の効率化・省エネ

エネルギー利用の効率化・省エネに係るCNへの取組を進めるに当たっては、エネルギーの生産から利用に至るプロセスを、空間的な視点とエネルギー形態の視点の両面から捉えることが重要である。

熱は長距離移送が困難であることから、熱を利用するための地域インフラや仕組みをまちづくりに組み込み、計画段階から必要な施設をあらかじめ整備する必要がある。また、貯蔵技術は単体で最適なものにはなりにくく、系統制約・需要特性・非常時利用（レジリエンス）を含めて、空間スケール（街区／地区／流域）ごとに組合せを設計することが重要である。

都市・交通・上下水道等の施策は相互に関連しており、計画段階から運用までを一体的に捉えることで、取組の実効性を高めていくことが求められる。

4.2.1. まちづくり

現在、都市活動に由来するCO₂排出量は日本全体の約5割¹²を占めており、都市分野における脱炭素施策は「都市構造の変革」、「街区単位での取組」、「都市における緑とオープンスペース」の重点取組テーマとして進められている。しかし、これらの施策をさらに促進していくためには、多様な関係者が関与する都市施策を一体的に進めるための制度や体制の整備及び財源の確保等が重要である。

いずれの施策も行政部局間や民間事業者、住民など多様な主体が関わり、通常のみまちづくりと連動させて取り組む必要があるが、立地適正化計画等のこれら施策を推進するための計画の策定や調整を進めるためのルールや合意形成の枠組みが十分でなく、意思決定がなかなか進まない。また、地方公共団体では、計画を立てる上で必要な人材・データ等が不足しており、計画策定や事業化を促進していく体制が十分とは言えない。

さらに、これらの施策はいずれも初期投資が大きく、効果が長期的に現れるという特徴を持つため、地方公共団体の財源だけでは限界がある一方、民間投資を誘導するインセンティブが弱くなるという点も課題である。その結果、事業の採算性が見えにくく、事業者・地方公共団体双方が積極的に取り組みづらい状況が生じている。

このため、まちづくりにおける取組を促進していくためには、多様な関係者が協働できる計画や制度、調整の枠組みを整えることが重要である。また、計画を進めるための人材・データ・体制を強化し、必要な投資を支える財源確保と民間参画を促すインセンティブを整備することが重要である。

【主な課題と障壁】

① 都市構造の変革

- 持続可能なまちづくりの必要性が高い市町村においても立地適正化計画等による取組が進んでいない場合がある。また、計画が未作成である地方公共団体では、現状認識や広域連携、政策判断、実施体制、合意形成などの面で課題を抱えている場合が多い。
- 市町村が現状を的確に認識するための情報やデータの提供、広域連携の推進、施策の効果と都市経営上のメリットの提示・施策連携の強化、人材等の確保に向けた支援、多様な関係者に対する制度理解の醸成等の措置が必要である。

② 街区単位での取組

- 大規模開発時におけるエネルギーの面的利用の導入促進、建物の建替え時の省エネルギーへの誘導、再生可能エネルギーの利用拡大が課題であり、推進のための検討体制の整備や公的支援の充実が必要である。特に、開発において早期に検討することや、導入時にコスト・効果の両面で選択されやすいシステム設計とすることが課題であり、大規模な開発をする際に面的エネルギーの検討を義務化する等の措置が必要である。

③ 緑とオープンスペース整備

- 緑地には新たな機能への期待が高まっているが、地方公共団体等による緑地保全・整備の推進には限界があり、国の支援や民間の参画が十分に活用されていない。
- 都市の緑地に対する民間投資も十分に促進されておらず、資金確保や事業評価の仕組みが課題である。民間開発での緑地確保のインセンティブ、民間の緑地保全へのインセンティブ等の措置の充実が必要である。

4.2.2. 流域単位での事業間連携

流域単位での事業間連携によるCNは、流域スケールでの連携・協働により、上下水道、ダム運用、森林管理、エネルギー供給等を相互に関連付けながら最適化し、エネルギー消費や処理コストの低減、再生可能エネルギーの活用の拡大を図る取組である。3.3.2で示した流域プロジェクトのように、関係主体（地方公共団体、水道事業者、下水道管理者、河川管理者、発電事業者、企業、住民等）が目的と効果を共有し、計画・投資・運用を連動させることが重要となる。

また、水需要の変化も踏まえつつ、流域における取排水システムを、エネルギー負荷の小さいものへと転換する視点が重要である。

この一例として「カスケード型水利用」は、地形の高低差（位置エネルギー）を活かして、上流・高位側で確保した水を段階的（カスケード状）に利用し、可能な限り自然流下で送水・配水することで、ポンプ圧送に伴う電力（移送エネルギー）を低減する考え方である。浄水場・配水池・管路の再編や運用変更と一体で検討することで、省エネと運用レジリエンス（停電時の脆弱性低減）にも資する。

【主な課題と障壁】

① 取水地点の見直しにおける関係者間の調整

- 上水道の取水地点を上流部に切り替え、自然流下による導水が可能になれば、CO₂排出削減につながるほか、大規模災害時における停電時の断水リスクの低減や、水源から取水地点までの河川の流下距離が短縮されることによる水質事故による取水停止といったリスクの低減にもつながる。
- こうした、水需要の変化等も踏まえた流域全体での水循環の健全化とCNとの両立を図るための取排水系統の再編を進めるに当たっては、当該流域の関係利水者や漁業関係者等の河川利用者との調整、河川管理者、関係する地方公共団体等多くの関係者間における調整が必要となる。また取排水系統の再編に当たっては、新たな取水施設、導水施設の整備や既存施設の改良等に多額の費用負担が生じる場合も考えられる。
- こうした取組を円滑に推進するために、流域総合水管理の考え方にに基づき、流域の水管理を調整するための仕組みの構築、流域内が有する水ポテンシャルを最大限引き出すための水関係施設の全体最適化（4.1.1 で記述した流域ダム群の再編等）等必要な措置を講じていくとともに、CNに資する取水系統の見直しを促進するための必要な財政支援措置等についても検討を進めるべきである
- あわせて、水利権の円滑な見直しに向けて、水需要の変化に円滑に対応するための水利権の扱いに対する制度上の整理を行う必要がある。

② 下水道技術のイノベーションとその普及

- 従来 of 下水処理・汚泥処理方式では、CNの確実な実現に限界があり、技術的な制約が課題となっている。この課題解決に向けて、長期的な視点に立ち、従来方式にとらわれず膜ろ過・嫌気処理による省エネ・創エネ型水処理技術、カーボンフリー水素を活用したメタネーション技術等の新しい下水処理・汚泥処理技術の革新を進めるとともに、その普及を推進していく必要がある。

③ 下水の排水管理

- 下水の排水管理においては、窒素やリンの放流水質が日間平均値で定められており、これを上限値としてきめ細かい厳密な管理が必要となっている。しかしながら、例えば閉鎖性水域における環境基準達成との関係でいえば、過大な運用となり、また、管理者にとって管理負担が大きく、省エネルギーの観点からも効率的とは言えない場合も生じている。この運用基準を、放流先の状況により、放流水質の平均値が季

節別の目標値を満たすよう管理することもできるように変更する等の柔軟な対応を行い、省エネルギー効果を高めることが重要である。

- さらに、このような放流水質の柔軟な運用を行う下水処理場を増やしていくことが必要である。

4.2.3. 交通分野の脱炭素化

交通分野の脱炭素化においては、次世代交通技術の社会実装が大きな課題である。脱炭素燃料等の技術は進展しているものの、導入コストや充電・燃料供給インフラの制約により普及は必ずしも十分に進んでいない。加えて、EVは分散型・移動型の蓄電池として電力の需給調整等に貢献し得るという点でも重要であるが、電力システムとの連携が十分に機能しない場合、EVの導入効果が限定的となる。今後は、車両・インフラ・エネルギー供給を一体として捉え、EVの電力システムの中での役割や価値を明確化しながら、地域特性に応じた段階的導入を進める必要がある。

また、自家用車依存型の移動構造が根強く、公共交通やシェアリング等への転換が進みにくいことも課題である。特に地方部では、交通サービスの維持と脱炭素化の両立が求められている。公共交通の再編や需要応答型交通、MaaSの活用により、利便性を確保しつつ移動の効率化を図るとともに、まちづくりと交通政策を一体的に進めることで、自家用車に過度に依存しないコンパクト・プラス・ネットワークのまちづくりを推進し、移動の最適化と交通分野のCO₂排出量の削減の同時実現を目指すことが重要である。

さらに、物流分野ではトラック輸送への依存度が高く、モーダルシフトや物流効率化を通じて、輸送効率と環境性能を同時に高める方向性が求められる。特に都市部では、ネットショッピング等の普及に伴い小口配送が増加し配送の多頻度化・高密度化が進む反面、受取不在での再配達等による走行距離の増加が課題となっている。したがって、幹線輸送のモーダルシフトに加え、共同配送や配送計画の高度化、受取方法の多様化（置き配や宅配ロッカー等）等による物流の全体最適化を進める必要がある。あわせて、施策効果を適切に評価するため、インフラの整備・維持管理を含めたライフサイクル全体でのCO₂排出量評価を導入することが必要である。

【主な課題と障壁】

① 既存の基準・規制・制度

- 自動運転、水素・軽油代替燃料等の新技術は、従来の車両・運行形態を前提とした安全基準や制度と必ずしも整合しておらず、実証や本格導入に時間を要している。特に、道路運送・交通管理・インフラ管理の各制度が縦割りで運用されていることにより、新たな交通サービスの社会実装が進みにくい状況が生じている。
- 例えば自動運転については、車両の保安基準及び運転者不在の運行を認める「特定自動運行」許可制度が整備・運用され、制度骨格の整合は進んでいる。一方で、審査・手続については、走行環境条件付与（道路運送車両法、国土交通省）、道路使用許可及び特定自動運行許可（道路交通法、警察）、旅客自動車運送事業/貨物自動車運送事業の計画に係る許可・変更認可等（道路運送法・貨物自動車運送事業法、国土

交通省) といった所管横断の審査・手続が必要な状況であり、公道での自動運転の申請に関する手引きの公表や審査のデジタル化等が進みつつも、依然として個別調整負担が大きい。

- 安全性を確保しつつ、自動運転、水素・軽油代替燃料等の新技術の段階的導入を可能とする柔軟な制度設計が必要である。実証事業の成果を踏まえた基準の見直しや、特例制度の活用・常設化を進めるとともに、交通・道路・都市計画分野を横断した制度調整を図ることが望ましい。

② 事業採算性・投資回収の不確実性

- EV 充電設備や次世代交通システム等への初期投資は大きい一方で、需要や収益見通しが不透明であり、地方公共団体や事業者にとって投資判断が困難となっている。特に地方部では、利用者数が限られるため、脱炭素技術導入が財政的な負担として認識されやすい。
- 国による補助制度や税制優遇、低利融資等を通じて初期投資負担を軽減するとともに、環境価値を評価・収益化する仕組みを整備する必要がある。加えて、官民連携やグリーンファイナンス等を活用し、長期的視点での投資回収が可能となる事業スキームを構築することが求められる。

③ 利用者の行動変容を促すための社会的受容性の醸成

- 環境負荷の低い交通手段が必ずしも利用者を選択されておらず、脱炭素化の効果が十分に発現しにくい場合がある。環境配慮型交通の利点が利用者には十分伝わっていないことや、利便性・コスト面での不利が、行動変容を妨げる要因となっている。
- 運賃施策や利便性向上、情報提供を通じて、利用者が環境負荷の低い交通手段を選択しやすい環境を整備する必要がある。あわせて、脱炭素化の効果を「見える化」し、社会的受容性を高めていく必要がある。

4.3 インフラの整備・維持管理・更新

インフラの整備・維持管理・更新の分野でCNを推進するに当たっては、①建設機械のエネルギー効率向上、水素・軽油代替燃料等の導入促進、新技術による施工の効率化、②低炭素型コンクリートの普及促進、③脱炭素技術の排出削減効果の見える化とインセンティブによる技術開発促進が必要であり、このためには排出量の算定・評価方法の研究の促進や標準化への取組、調達・入札での反映、供給体制・性能評価の整備等を通じて、脱炭素の取組が継続的に選択される環境を整えることが重要である。

4.3.1. 低炭素材料の開発・活用

低炭素材料（低炭素型コンクリート等）の開発・活用を推進するためには、材料そのものの性能向上に加え、導入拡大に対して、発注者・施工者・材料メーカーなど関係主体が、評価・選定・供給・施工・維持管理に関する情報を共有し、役割分担の下で連携を強化することが重要である。

現状では、CO₂ 排出削減効果を比較可能な形で評価する手法や、調達・入札における位置付けが十分に整っていない。また、新材料の安全性・耐久性に関する評価や、供給体制・適用条件に関する情報が限定的であるため、導入判断の根拠やリスクの所在が関係主体間で共有されにくく、取組が個別事例にとどまりやすい。こうした中、国土交通省では、低炭素型コンクリートの導入実績を拡大しつつ、評価手法や基準の整備を進めている。

設計・施工・維持管理の各段階で最適な活用方法を確認し、設計段階では用途・部位に応じた適用範囲や要求性能、LCCO₂算定的前提を明確化するとともに、調達段階では LCCO₂等に基づく評価や総合評価方式での加点などにより、低炭素材料が選択され得る仕組みを整備する必要がある。あわせて、施工段階の品質管理・施工条件、維持管理段階の点検・補修と耐久性評価の考え方を整理し、供用後データを蓄積・共有して設計・調達へフィードバックする仕組みを構築することが重要である。

これらを通じて、発注者は評価・調達ルールの整備と実績の蓄積、材料メーカーは性能・環境データの提示と安定供給、施工者は施工品質の確保とデータ共有を担い、低炭素材料を試行段階から通常の実用段階へと定着させていくことが求められる。

【主な課題と障壁】

① 工事発注時の評価手法が未整備

- 建設工事における CO₂排出量算定のための原単位や工事発注における評価手法が未整備であるため、導入が必ずしも十分に進んでいない。このため評価手法を整備するとともに、工事発注時に低炭素材料を採用することで加算評価を行う制度を拡げる等の措置が必要である。

② 低炭素材料の安全性評価基準が未整備

- 新素材である低炭素材料を用いた場合の構造物の安全性や耐久性等の評価が十分でない点があるため、それが障壁となり普及が進んでいない低炭素材料もある。このため、材料評価や評価基準の整備等の措置が必要である。
- 材料評価や評価基準の整備に当たっては、パイロット事業を実施した上で、安全性や耐久性の評価を行い、標準化・規準化へつなげる段階的プロセスを設定し、複数事業での実証データをもって暫定基準、恒久基準へ移行する。安全性、耐久性、施工性、LCCO₂といった評価項目、報告様式、採否基準を統一することで、工事費用の適正評価へとつなげる。

③ 工事費用の適正評価

- 低炭素材料は製造コストが高く、既存の一般材料と比較して割高となる。現状では、CO₂削減効果等が工事費用に反映されにくく、適正な工事価格の評価が十分に行われていない。環境価値を工事価格に反映できる仕組み・制度の整備（カーボンプライシング等）、低炭素材料の普及のための予算措置、補助金制度の拡充が求められる。

- ④ 低炭素建設材料の市場形成（供給・試行・補助）のための仕組み不足
- 低炭素材料は初期コストが高く、適用数量が少ない段階では割高になりやすい。環境価値が価格・調達に十分反映されない場合、継続利用によるコスト低減の前に採用が途切れ、普及が進みにくい状況となる。
 - 導入初期の試行導入（公共工事等）を後押しする調達設計、供給側の投資を促す需要見通しの提示、期間限定の補助・インセンティブ等により、市場形成を支える必要がある。
- ⑤ 低炭素型コンクリートの供給体制・統一的評価基準の未整備
- 低炭素型コンクリート（高置換材活用等）は、製造・供給設備（サイロ、計量、品質管理等）や供給エリアが限定される場合があり、安定供給の見通しが立ちにくいことが普及の障壁となっている。
 - また、発注者によって採用姿勢や要求事項が異なると、提案・横展開が進みにくい。モデル工事等で実績を蓄積しつつ、性能・耐久性・施工性・環境性能（LCCO₂等）を一体で扱う統一的な評価枠組みを整備する必要がある。
- ⑥ 中温化アスファルト舗装の耐久性検証
- 中温化アスファルト混合物は製造直後の品質が認知されつつあるが、中温化アスファルト舗装の長期耐久性への検証が十分ではない。現場への実装を促進するためには、企業単独での検証では件数や規模に限界があり、統一した評価方法で耐久性の検証を行うことが必要である。
 - 耐久性の検証は、公道で実車両を用いて行うことが確実であり、信頼度も高くなる。このため、国交省等の発注者機関が全国でパイロット工事を積み重ね、関係機関で共通的な評価とすることが必要である。

4.3.2. 建設機械の脱炭素化

建設現場における排出削減に向けては、建設機械そのものの脱炭素化を進めることが重要である。具体的には、電動化や軽油代替燃料等の活用により、施工時に使用するエネルギーの低炭素化を図る取組である。一方で、導入コスト、充電・燃料供給インフラ、稼働時間、保証・安全基準等の課題が残っており、普及に向けては支援策や評価・調達の仕組みの整備が不可欠である。

あわせて、施工プロセス全体の省エネ・効率化を進めることも重要である。ICT施工やデータ活用、ロボット施工・無人化施工等は、稼働の最適化や施工の省力化を通じて、燃料消費や稼働時間の削減に寄与する取組である。これらの効果を継続的に発現させるためには、人材育成、データ標準・連携基盤の整備、発注・検査との接続、共同開発の枠組みの構築など、現場実装を支える環境整備が求められる。

【主な課題と障壁】

① 電動建機の導入促進へ向けた補助

- 電動建機は従来機に比べて高価であるため、採用が進みにくい。特に大型建機は大きなCO₂削減効果が期待できるが、導入・普及に向けては、車両価格や周辺設備（充電・移動電源）への高い初期投資が障壁となる。また、ダンプトラックについては広く流通している電動車が無く、導入が困難である。そのため、電動建機の導入促進のためには、導入のための補助金・インセンティブ導入や減価償却制度の整備、評価方法の整備・適切な評価、GX建機認定と補助の紐付け等が必要である。

② 公道走行に関する制約

- 電動・軽油代替燃料建機は、道路運送車両法の安全基準（第41条）に適合しない場合があり、公道走行に制約がある。軽油代替燃料建機は、燃料供給・貯蔵方式が特殊で、既存の燃料タンク、配管、圧力管理等の安全基準に該当しない部分がある。そのため、個別性能基準への転換（機能安全・電動安全・水素安全）や型式認証の柔軟化、試行枠の設定、道路運送車両法の安全基準の緩和等が必要である。

③ 建機メーカー等による保証の適用範囲の明確化

- 電動・軽油代替燃料建機は、電動化改造や新燃料（FAME、HVO、GTL等）により、エンジン・駆動系のメーカー保証が適用外となるケースが多い。そのため、利用者が安全性や耐久性に不安を抱え、導入に当たっての懸念要因となっている。電動化改造・軽油代替燃料に対応した建設機械に対して、メーカー保証の適用範囲を明確化する制度設計や、安全性・耐久性・互換性等に関する技術指針の策定が必要である。

④ GX建機認定制度の導入拡大に資する調達・評価・支援上の位置付けの明確化

- GX建機認定制度を普及段階へつなげるには、認定が現場の導入判断に反映されるよう、公共調達における評価の扱いと、導入支援の位置付けを分かりやすく整理することが課題である。具体的には、認定区分・性能要件が、総合評価方式の評価項目、標準仕様、積算・予定価格の考え方の中でどのように扱われるのかを明確化することが重要となる。
- 今後は、試行工事の拡大により実績とデータを蓄積しつつ、認定取得が調達上の評価や導入支援の対象として適切に扱われる仕組みを段階的に整備する必要がある。あわせて、充電・燃料供給等の実装条件も含めて導入環境を整え、制度・調達・現場運用が一体となってGX建機の導入を後押しすることが求められる。

⑤ 施工の効率化（ICT施工・DX・ロボット施工等）を進めるための基盤整備

- ICT施工やデータ活用、ロボット施工・無人化施工は、施工プロセスの最適化を通じて省力化・省エネを図り、燃料消費や稼働時間の削減に寄与し得る。一方で、効果の継続的な発現と横展開に向けては、データ仕様・連携ルール・共有範囲の不統

一により現場・企業・発注者間の接続コストが増大し、導入が進みにくいことが課題となっている。あわせて、ロボット施工等の高度化に必要な共同開発・実証についても、協調領域の設定、費用負担、知財・データの取扱い、成果の公開範囲等が明確でない場合、連携が進まず普及が遅れるおそれがある。

- このため、標準データ仕様と運用ルールを整備し、発注・検査・出来形管理等の実務に接続する基盤を構築するとともに、共同開発・実証を進めるための標準的な枠組み（コンソーシアム等）を整備し、現場実装から標準化への移行を後押しする必要がある。

4.3.3. インフラの長寿命化

インフラの長寿命化は、更新頻度の低減を通じて建設・更新段階での資材投入や施工に伴う CO₂排出を抑制する観点から、CNの実現に資する重要な取組である。一方で、長寿命化による排出削減効果やコスト低減効果が、ライフサイクル全体を通じて定量的に評価され、設計・調達に十分反映されているとは言い難い。

このため、更新・補修・再構築を含む複数の選択肢について、LCCO₂やLCC等を用いて比較・評価できる考え方を整理し、長寿命化の効果が適切に評価される環境を整えることが重要である。あわせて、こうした評価結果が、調達に活用される仕組みを構築していく必要がある。

【主な課題と障壁】

① LCCO₂ 評価制度の未整備

- 長寿命化による CO₂ 排出削減効果の定量評価が制度化されておらず、長寿命化に資する材料や工法の導入などを円滑に進めるための環境が整備されていない。
- そのため、インフラの長寿命化による CO₂ 排出削減効果を定量評価する制度（例：LCCO₂ 指標）を創設し、公共工事の総合評価方式において加点対象とすることや、脱炭素型材料・工法の導入支援を後押しする仕組みを整えることが効果的である。
- インフラの LCCO₂ 評価のためには、建設前の段階から資材調達段階、建設段階、使用段階、そして廃棄段階に至るまでの各段階の履歴の登録・管理が有効である。各段階の履歴の登録・管理は、温室効果ガス排出量の削減だけでなく、廃材の再生利用のマッチングやインフラ間の維持管理のタイミングの調整等、インフラ管理にも貢献できる可能性がある。

4.4 CO₂ の吸収

CO₂の吸収に係るCNへの取組を進めるに当たっては、吸収源の形成や固定効果を長期的かつ空間的な視点で捉え、取組の継続性と安定性を確保していくことが重要である。あわせて、継続的な運営や評価の在り方を整理し、取組が着実に広がる条件を整える必要がある。

4.4.1. ブルーカーボン

ブルーカーボンは、沿岸・海洋生態系が吸収した炭素が有機物等として系外へ移行・蓄積することにより、長期的な炭素貯留に寄与し得る取組として期待される。一方、藻場・干潟等の造成・保全は、漁業利用、水質改善、防災・減災などの便益と併せて評価・運用されることが多く、港湾整備や環境施策、地域産業の目的が整理されないまま事業が進むと、関係主体間の役割分担や維持管理の責任が不明確となり、継続的な管理が難しくなるおそれがある。また、吸収・貯留効果の把握には不確実性が伴い、短期的な成果のみを重視すると、適切な管理・改善につながりにくい側面がある。

今後は、沿岸域におけるブルーカーボンを、CO₂の吸収への寄与に加え、地域の多面的便益を含む取組として位置付けを明確にし、事業の目的と評価の観点を整理することが重要である。あわせて、単一地点での取組にとどまらず、地域単位で複数地点を組み合わせた面的展開により、効果のばらつきや自然条件に起因するリスクを踏まえた計画とすることが求められる。さらに、合意形成、モニタリング、維持管理、改善までを含む長期的な運営枠組みを構築し、計測・評価手順の標準化とデータの蓄積・共有を進めることで、社会実装と普及を段階的かつ着実に進めていくことが求められる。

【主な課題と障壁】

① ブルーカーボン生態系の減少

- 海水温の上昇、埋立、透明度の低下、化学物質の流入、磯焼けなどによって、沿岸域の藻場は大幅に減少し、特に瀬戸内海では、30年間で7割ものアマモ場が減少した。ブロックを用いた藻床の整備など、藻場を維持、拡大するための技術開発や、種苗生産や中間育成など海藻養殖技術の高度化に取組み、藻場の保全・拡大を進める必要がある。

② 関係者が連携したブルーカーボン推進の取組

- 汽水域や沖合の海域などで、水産・環境・鉄鋼・エネルギー関係企業、国土交通省、環境省等関係省庁も含む様々な部門が連携してブルーカーボンの取組を推進する必要がある。
- 計測精度向上のためのデータ収集などは、レーザー測量など他分野の技術を有する民間企業とも連携して実施することでコスト縮減、精度向上が期待できる。

③ ブルーカーボンの効果量を評価できる仕組みの構築

- ブルーカーボンのCO₂貯留量を正確に計測することは難しく、特に広大な面積を対象とする場合の精度確保が難しい。広域での計測を可能にする新技術の研究開発を推進し、計測精度を高め、貯留量を適切に評価できる仕組みの構築が必要である。
- 利用者にとってわかりやすい藻場の保全・計測等のマニュアルが十分に整備されていないため、現場での保全・計測等が容易ではない。利用者が容易に活用できる計測マニュアルを整備し、普及環境を整えることが必要である。

4.4.2. CO₂を固定するコンクリート

CO₂を固定するコンクリートは、養生時の炭酸化や製造プロセス上の工夫によりCO₂を固定化し得る材料として注目されている。公共調達や設計実務の中でCO₂を固定するコンクリートの更なる普及を進めるためには、CO₂の吸収・固定化の評価条件、構造性能、耐久性、施工条件、コスト等の関係を統一的に整理し、設計段階で選択肢として扱える評価体系を整備することが重要となる。あわせて、CO₂固定化の算定方法と評価範囲（境界条件）を明確にし、LCCO₂やLCC、施工性、維持管理性を同一の枠組みで比較できる形に整理する必要がある。さらに、試行導入で得られるデータを共通資産として蓄積し、設計標準、積算、総合評価方式へ段階的に接続することで、実証から普及への道筋を関係者が共有できる形で示していくことが求められる。

【主な課題と障壁】

① CO₂を固定するコンクリートの技術体系・指針の整備

- コンクリート中へのCO₂の吸収・固定化には様々な方法があるが、設計・施工・評価に関する体系が未整備であるため普及の障壁となっている。また、現状ではコンクリート二次製品への適用にほぼ限定されているのが実態である。本格的に適用するためには、設計・施工・品質評価の技術指針策定や生コンのJIS改訂を行うほか、公共工事における試行の拡大で標準化を加速する必要がある。

② 本格適用に向けた支援

- 従来材料を含む、新たな環境配慮型コンクリート用材料のサプライチェーンが未整備であることが大きな障壁となっている。このため、国全体として当該コンクリートの普及に向けた取組を明確化し、さらに拡充することが必要である。また、モデル工事における費用補助や設備更新への支援等が必要である。

4.4.3. 木材利用

木材利用は、木材中への炭素貯蔵による炭素固定に加え、吸収源としての森林整備や資源循環・地域経済への波及といった多面的価値を有する。また、製材残材、建設発生木材、間伐材、維持管理や災害対応で生じる伐採木等を木質バイオマスとして燃料利用（熱利用・発電）することは、化石燃料代替による温室効果ガス排出削減に資する。

国の公的資料においても、建設発生木材等は再使用・再資源化を優先し、材料利用が困難なものを燃料として活用する「カスケード利用」の考え方が示されている。

さらに、木質バイオマスは熱利用との親和性が高く、発電に偏らず地域熱供給・ボイラー・コージェネレーション等と組み合わせることで高効率なCNが可能である。加えて、地産地消型エネルギーとして災害時の燃料確保にもつながり、地域レジリエンスの強化にも寄与し得る。

一方で、土木分野では用途が多様で、適用条件や耐用期間、維持管理の考え方が整理されていない場合、導入判断が難しい。また、初期費用中心の評価ではライフサイ

クル全体の便益・環境価値が反映されにくく、燃料利用を含む継続的拡大には、発生量把握、分別・集積、品質管理、調達・物流等を一体で整備する必要がある。

【主な課題と障壁】

- ① 木質資源の循環利用を支える供給・活用システムの構築
 - 木材及び木質バイオマスの利用を持続的に拡大するためには、森林整備、建設工事、河川・道路・公園等の維持管理、災害対応に伴って発生する木質資源について、発生から分別・集積、前処理、物流、利用（材料利用・燃料利用）までを地域単位で一体的に捉える仕組みが必要である。
 - 材料利用を優先し、利用が困難なものを燃料利用へ回す「カスケード利用」を実装するには、発生主体が分散している現状を踏まえ、量や時期の不確実性、含水率や土砂付着等による品質のばらつきに対応できる体制整備が不可欠である。加えて、燃料利用、とりわけ熱利用は需要側（公共施設、産業施設、福祉・防災拠点等）の立地・規模に左右されるため、需要と供給を結び付けた計画（集積拠点、物流、保管、用途配分）を同時に設計する必要がある。
 - このため、用途別の受入基準や品質管理の明確化、集積・保管・チップ化等の前処理機能の整備、需要側とのマッチングを含め、複数の管理主体を横断して情報・在庫・用途を束ねる枠組みを構築することが重要である。
- ② 適用条件・設計・維持管理の考え方の整理と標準化
 - 土木分野における木材利用は用途が多様であり、要求性能、耐久性、使用期間、維持管理方法について、設計者や発注者が判断しにくい場合が少なくない。防腐・防蟻対策や腐朽リスクへの対応、更新・補修の考え方が体系的に整理されていないことが、導入の広がり进行を妨げる要因となっている。
 - 今後は、用途別に求められる性能水準や耐久性確保策、維持管理の基本的考え方を整理し、設計・発注段階で参照可能な選定指標として提示することで、木材利用を合理的に選択可能な技術として位置付ける必要がある。また、燃料利用（熱利用・発電）についても、含水率管理、異物混入防止、前処理仕様、貯蔵・供給の運用条件等を整理し、設備側要件と資源側要件の“つなぎ”を標準化することが、安定運用と横展開の前提となる。
- ③ 評価・公共調達における環境価値・地域価値の反映
 - 木材利用は、炭素固定や化石燃料代替による排出削減効果に加え、地域産業・雇用への波及、災害時の燃料確保といった多面的価値を有する。一方で、公共事業では初期費用を中心とした評価に偏りやすく、ライフサイクル全体での便益や環境価値が意思決定に十分反映されにくい。
 - このため、LCCO₂やLCCに加え、化石燃料代替効果や地域レジリエンスの強化といった要素を適切に見える化し、公共調達において比較可能な形で評価できる枠組みを整備することが求められる。特に木質バイオマスは、発電に偏らず熱利用を含め

た高効率利用の効果（燃料代替量、供給安定性、非常時運用可能性等）が評価に反映されるよう、計画・調達・運用の各段階で指標化して扱うことが重要である。

4.4.4. CO₂回収と地下貯留（CCS）

CCSは、CO₂の回収、輸送、貯留を一体として成立させる必要があるインフラであり、計画から調査、設計、建設、運用、閉鎖後の管理まで長期にわたる対応が必要となる。このため、事業の各段階での意思決定の主体や責任の所在が明確でない場合、事業の見通しやリスクを正確に評価できないことから投資判断が難しくなることに加え、地域住民や関係者にとっても将来像が見えにくくなり、社会的受容が進みにくくなるおそれがある。また、CCSは将来にわたって一定量のCO₂が安定的に発生することを前提として成り立つが、脱炭素技術の進展、生産拠点の再編、エネルギー需給の変化等によりCO₂の排出量や排出源の分布は将来的に変化し得るため、当初想定していた回収量や輸送ルート、貯留計画の前提条件が変化する可能性がある。こうした不確実性を踏まえ、CCSの整備に当たっては、段階的な整備と、前提条件の変化に応じた計画の柔軟な見直しを可能とする制度的枠組みが重要である。

今後は、個々の排出源を単独で扱うのではなく、複数の排出源と輸送・貯留地点を束ねたクラスター形成を基本とし、調査、設計、建設、運用、閉鎖後管理までの各段階で判断基準や責任分担、リスク管理の考え方を明確化することが重要である。あわせて、事業の初期段階から情報公開と対話の機会を確保し、地域や関係産業との合意形成を段階的に進める必要がある。さらに、モニタリングや異常時対応を含む長期管理の枠組みを整備し、関係主体が将来の見通しを持って参画できる制度・運用を段階的に構築していくことが求められる。

【主な課題と障壁】

- ① 議論の共通前提の整理と、リスク・不確実性の見える化
 - 各種技術の動向と併せて、土木分野としての役割・適用条件（サイト特性、輸送手段、運用・閉鎖後管理の要件等）を踏まえ、CCSを位置付けるための共通前提を関係者間で整理・共有する必要がある。
 - その上で、技術ロードマップやシナリオ分析等を活用し、事業成立性や安全性・長期管理に関わる要点を「リスク・不確実性」として整理し、比較可能な形で見える化する仕組みを構築することが重要である。

4.5 レジリエンス強化につながるCNへの取組

レジリエンス強化につながるCNへの取組に係る課題を解決するためには、第2章で整理した「レジリエンス強化の視点」を踏まえ、災害時に維持・確保すべき機能と、それを支えるエネルギー・関連設備を空間的・機能的な観点から整理していくことが重要となる。

平時における「再生可能エネルギー等の供給・貯蔵・利用」や「エネルギー利用の効率化・省エネ」の取組は、例えば再生可能エネルギー発電施設が災害時の地域電源

として活用できる可能性がある等、レジリエンス強化に関連している。このため、4.1、4.2、4.3 で整理した取組を着実に進めていくことが、平時のCNと同時に、非常時の機能維持につながる基盤形成となる。

レジリエンス強化につながるCNへの取組は、平時の脱炭素施策（再生可能エネルギー導入、省エネ、地域マイクログリッド等）と、非常時のエネルギー確保（電力・熱・燃料）を切り分けて考えるのではなく、一体として計画・運用する点に意義がある。一方で、優先して維持すべき機能（医療、通信、上下水道、避難所等）や、確保すべき自立性の範囲（施設、街区、地区等）の整理が不十分なまま設備導入が進むと、非常時に十分な効果を発揮しないおそれがある。

また、設備を整備しても、平時運用から非常時運用への切替、責任分担、維持管理、訓練等を含む運用設計が不十分な場合、実効性が確保されにくい。さらに、集合住宅や公共施設では、費用負担、合意形成、管理規約・運用ルール等の制約により、充電・給電設備の導入や活用が進みにくい。

今後は、地域の重要機能を踏まえたエネルギー需要を整理し、分散型電源、蓄電、給電設備、面的利用等を組み合わせたレジリエンスを意識したエネルギー設計を行うことが重要である。平時の運用と非常時の運用への切替を一体で計画し、維持管理や訓練まで含めた運用枠組みを整備する必要がある。あわせて、集合住宅や公共施設を優先対象として、導入に必要な標準仕様や合意形成手順、運用ルールの整備と支援制度の充実を進め、CNと防災を同時に達成する取組として、その相乗効果を地域全体で確保していくことが求められる。

【主な課題と障壁】

- ① 平時利用を前提とした設備設計・運用と、非常時活用との接続
 - 再生可能エネルギー設備、蓄電池、エネルギーマネジメントシステム等は、平時の効率性や経済性を重視して設計・運用される場合が多く、非常時に維持すべき機能やエネルギー需要が明確に位置付けられていないケースが見られる。このケースでは、非常時における電力供給やエネルギー利用が限定的となり、レジリエンス強化の効果が十分に発揮されにくい。
 - レジリエンス強化に資する取組が、非常時対応として個別に位置付けられ、平時のCN施策と十分に連動していない場合、設備整備や運用が断片的となってしまう。
 - 平時利用と非常時利用を一体的に捉え、非常時に優先的に支える機能を踏まえた設備仕様・配置・運用方針をあらかじめ整理しておくことが重要である。
- ② 平時運用から非常時運用への切替ルールの不明確さ
 - 分散型電源や蓄電設備等について、平時運用から非常時運用へ移行する際の判断基準、手順、責任分担が明確でない場合、災害発生時に円滑な切替が行われぬおそれがある。
 - 特に、複数主体が関与する施設や地区では、運用判断の遅れや混乱が生じやすく、結果としてエネルギー供給の継続性が確保されにくい。非常時を想定した運用ルー

ルや切替手順を、平時から関係者間で共有しておくことが求められる。

③ 自立分散型エネルギーシステムの導入・維持に伴う負担

- 自立分散型エネルギーシステムは、災害時のレジリエンス強化に有効である一方、導入時の初期費用や維持管理に一定のコストを要することから、導入判断が進みにくい場合がある。
- 災害時のエネルギー確保には、国、地方公共団体、施設管理者、エネルギー事業者、地域住民など多様な主体が関与するが、非常時に誰が判断し、誰が運用を担うのかといった役割分担が必ずしも明確でない。平時から連携体制と意思決定プロセスを整理しておくことが求められる。
- 非常時利用を想定した設備については、平時の利用頻度が低くなりやすく、費用対効果の評価が難しい。このため、平時の脱炭素施策と一体で活用し、平常時にも価値を発揮する設計・運用とすることが重要である。

④ 効果の評価・見える化の不足

- レジリエンス強化につながるCNへの取組は、その効果が平時には見えにくいいため、平時の評価指標だけでは取組の意義が十分に共有されにくい。
- 非常時の機能維持効果やリスク低減効果を含めた評価の考え方を整理し、投資判断や優先順位付けに活用できる形で見える化することが重要である。

⑤ 集合住宅・公共施設における合意形成・運用設計の難しさ

- 集合住宅や公共施設においては、費用負担の調整、合意形成、管理規約や運用ルール（災害時の優先利用、給電手順、責任分担等）の整備が十分でないことが、導入や活用を進める上での制約要因となっている。
- 平時の充電のタイムシフトと非常時の給電を両立させるため、標準仕様や合意形成手順、運用ルールをあらかじめ整理し、必要な支援制度と併せて整備することが求められる。

第5章 おわりに

CNの実現に向けた取組は、インフラの整備・運用の在り方を見直し、社会の持続可能性と強靱性を同時に高めるための基盤的な営みでもある。土木分野は、インフラの「つくり方」と「使い方」の双方に深く関与し、排出量の相当部分に対して影響を及ぼし得る分野である。このため、緩和と適応を車の両輪として一体的に進める上で、重要な役割を担っている。とりわけ、気候変動の影響が顕在化する今日においては、CNの推進とともに、災害等の非常時においても機能を確実に維持し得る社会の実現が強く求められる。

本提言では、第1章から第3章において、土木分野におけるCNの実現に向けた取組を俯瞰的に整理し、長期的な視点・空間的な視点・エネルギー形態の視点・レジリエンス強化の視点という四つの視点を示した。さらに第4章では、各分野において推進に際しての「課題」（取組全体として押さえるべき要点）と、「障壁」（基準・規制・制度・運用上のボトルネック）を明確化し、社会実装と普及を阻害している要因と改善の方向性を示した。

土木分野のCNを社会に定着させるには、個別技術の開発・導入促進に加え、基準・規制・制度・運用といった周辺条件を整備し、事業の意思決定から実施に至るプロセス全体において「より低炭素な取組が選択される」環境を構築することが不可欠である。第4章で整理した課題と障壁を踏まえ、分野別の方向性に沿って、計画段階から設計、施工、維持管理に至る各局面で、阻害要因の見直しと運用改善を着実に推進する必要がある。

とりわけ、排出削減効果を客観的に評価し得る共通指標（例：LCCO₂等）を整備し、これを計画策定、公共調達、補助制度、評価制度に一貫して組み込むことが重要となる。これにより、投資判断や技術選定が「費用」のみならず「削減効果」を含めた総合的な比較に基づいて行われるようになり、関係者が説明責任を果たしやすくなる。さらに、先行事例の成果やデータを体系的に蓄積・共有し、計画や基準の改定、運用改善へとつなげるフィードバックの循環を確立することで、普及・定着の一層の加速が期待される。

加えて、人材及び組織の観点からも、評価手法やデータ整備を担う体制の確立、地方公共団体・事業者・研究機関の連携強化、標準化やガイドライン整備を推進する枠組みの充実が求められる。とりわけ、CNの推進には、土木分野内にとどまらない多様な分野の知見と実践の連携が不可欠であり、分野横断・異分野連携を促進するとともに、技術者の資質向上を支援する学習プログラムの充実や、未来の技術者へのアウトリーチの強化など、CNに資する人材育成を進めることが重要である。制度・指標・体制の整備に加え、分野横断的な連携と人材育成を継続的に進めることにより、CNは特別な取組ではなく、日常のインフラの整備・運用の中に組み込まれ、継続的な前進が可能となる。

また、この過程で導入される分散型電源やエネルギー貯蔵等は、平時の脱炭素化を主目的としつつ、非常時の機能維持を確保する上でも有効である。

土木学会は、本提言で示した方向性を具体の取組につなげるため、次の三点を重点的に推進する。第一に、第4章で整理した課題と障壁について、改善の進捗を継続的に把握し、成果と残された課題・障壁を取りまとめ、見える化した上で、関係者に対し分かりやすく発信する。第二に、CNに資する土木技術について、開発済み・開発中を含めて体系的に整理し、必要な技術の標準化に向けた取組を推進する。第三に、CNに資するインフラに関する研究成果を継続的に発信し、土木分野における知見の共有と理解の深化を図る。

すなわち、土木学会は、①課題や障壁の改善状況の把握と見える化、②CNに資する土木技術の体系化と標準化の推進、③CNに資する研究成果の発信を通じて、土木分野におけるCNの普及・定着を継続的に支えていく。

本提言が、カーボンニュートラルでレジリエントな社会づくりに向けて、関係者間の連携を促進し、取組の具体化と普及・定着に資することを期待する。

出典

- ¹ 国土交通省（2023）「脱炭素化に向けた取組」社会資本整備・交通政策審議会 技術分科会第 32 回技術部会 資料 3
(<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001587784.pdf>)
- ² 国土交通省（2014）「老朽化対策の本格実施について」社会資本整備審議会道路分科会第 44 回基本政策部会 資料 5
(<https://www.mlit.go.jp/common/001027125.pdf>)
- ³ 土木学会 選奨土木遺産「大井ダムならびに大井発電所」WEB ページ（取得年月：2026 年 3 月）
(<https://committees.jsce.or.jp/heritage/node/1258>)
- ⁴ 東北大学中田俊彦研究室, 地域エネルギー需給データベース（Version 2.11）（更新年月日：2024 年 12 月 6 日）
(<https://energy-sustainability.jp/guideline/>)
- ⁵ 愛知県ホームページ「矢作川・豊川 CN プロジェクトとは」（最終確認：2026 年 5 月 18 日）
(<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/kasen/cn-sub1.html>)
- ⁶ 資源エネルギー庁（2025）「第 7 次エネルギー基本計画 地球温暖化対策計画」
(<https://climateintegrate.org/wp-content/uploads/2025/02/2025-SEP-NDC-GX.pdf>)
- ⁷ 一般社団法人 日本プロジェクト産業協議会[JAPIC]水循環委員会（2022）「激化する気候変動に備えた治水対策の強化と水力発電の増強」
(https://www.japic.org/information/assets_c/2022/05/20220513_02.pdf)
- ⁸ 国土交通省 鉄道局（2024）「脱炭素関連の R7 年度予算要求状況および税制改正要望について」
(<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001768385.pdf>)
- ⁹ 国土交通省 水管理・国土保全局（2022）「『カーボンニュートラル地域モデル処理場計画』の概要」
(<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/seweraage/content/001518053.pdf>)
- ¹⁰ 国土交通省（2024）「洋上風力の海上施工等を取りまく状況」
(<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001743885.pdf>)
- ¹¹ 国土交通省「カーボンニュートラルレポート（CNP）のイメージ」WEB ページ（取得年月：2026 年 3 月）
(https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk4_000054.html#0)
- ¹² 国土交通省（2024）「都市行政におけるカーボンニュートラルに向けた取組事例集（第 2 版）」
(<https://www.mlit.go.jp/toshi/kankyo/content/001735424.pdf>)
- ¹³ 国土交通省（2025）「道路脱炭素化基本方針（概要版）」
(https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutannsoka/kihonhousin_gaiyo.pdf)
- ¹⁴ 東京メトロニュースリリース「丸ノ内線四ツ谷駅 太陽光発電システム稼働開始！」
(<https://www.tokyometro.jp/news/2021/209981.html>)
- ¹⁵ 国土交通省（2023）「鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿 本文」
(<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001611767.pdf>)
- ¹⁶ 国土交通省航空局（2026）「空港技術基本計画の概要」
(<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001717448.pdf>)
- ¹⁷ 国土交通省（2025）「（別紙 1）低炭素型コンクリート試行工事のポイント」
(<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001874480.pdf>)
- ¹⁸ 国土交通省（2025）「道路分野の脱炭素化政策集 Ver.2.0」
(<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutannsoka/collv2.pdf>)
- ¹⁹ 国土交通省 総合政策局（2025）「国土交通省における運輸分野の脱炭素に向けた取組について」
(https://www.jttri.or.jp/symposium250421_8-2.pdf)

-
- 20 国土交通省 道路局 (2025)「道路分野の脱炭素化政策集 Vol.2.0」
(<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutannsoka/collv2.pdf>)
- 21 株式会社 NIPPO 製品・技術のご案内「フォームドアスファルトによる中温化（低炭素）アスファルト混合物 ECO フォームド」WEB ページ（取得年月：2026 年 3 月）
(https://www.nippo-c.co.jp/tech_info/general/SG02040_g.html)
- 22 資源エネルギー庁ウェブサイト 水素を活用した製鉄技術、今どこまで進んでる？
(https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/suiso_seitetu.html)
- 23 国土交通省 港湾局 (2025)「港湾における海域環境改善の取組について」
(<https://www.env.go.jp/council/content/49wat-doj02/000289056.pdf>)
- 24 国土交通省 (2025)「土木工事の脱炭素アクションプラン ～建設現場のカーボンニュートラルに向けて～」
(<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001887668.pdf>)
- 25 国土交通省 (2022)「国土交通省における木材利用推進の取組について（令和 4 年度）」
(<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001736366.pdf>)
- 26 資源エネルギー庁 (2024)「先進的 CCS 支援等事業について」
(https://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/review2024/kokai/2024gaiyo05.pdf)
- 27 資源エネルギー庁「知っておきたいエネルギーの基礎用語 ～CO₂を集めて埋めて役立つ「CCUS」」WEB ページ
(最終更新日：2017 年 11 月 14 日)
(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ccus.html>)
- 28 資源エネルギー庁 (2019)「地域の系統線を活用したエネルギー面的利用システム（地域マイクログリッド）について」第 4 回地域社会における持続的な再エネ導入に関する情報連絡会 資料 6
(https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saene/community/dl/04_06.pdf)
- 29 環境省「再エネスタート ～はじめてみませんか 再エネ活用～ ヒロガッテルネ！サイエネ！ 木更津市、蓄電池付太陽光発電導入で安心安全な防災拠点と CO₂削減を同時実現」WEB ページ（取得年月：2026 年 3 月）
(<https://ondankataisaku.env.go.jp/re-start/interview/16/>)
- 30 小田原市「地域マイクログリッドの非常時発動訓練を実施」WEB ページ（最終更新日：2022 年 5 月 31 日）
(<https://www.city.odawara.kanagawa.jp/field/envi/energy/rmg/p34174.html>)