

エネルギー環境保全マネジメント研究部会

カーボンニュートラルと持続可能性



横山 健児 (部会長)

株式会社 NTT アーバンソリューションズ総合研究所
街づくりデザイン部 上席研究員
工学博士

1. はじめに

2015年9月に「持続可能な開発目標(SDGs)」(図表1)が国連サミットで採択された。持続可能性とは、ブルントラント報告書「Our Common Future」(1987年)では「将来世代が自らのニーズを充足する能力を損なわずに、現代世代のニーズを満たすような発展」と定義づけられ、自然資本の減少を人工・人的資本で代替可能であるとした。一方、ロックストロームの概念(“Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity” Ecology and Society, 14(2) : 32, 2009年)では「人類の活動はすでに地球許容範囲を超えている」として、人工・人的資本で代替できない自然資本があるとしている。これらの観点から弱い持続可能性と強い持続可能性という概念が生まれ、人々の持続可能性へのアプローチ方法が分かれている。(図表2)

図表3には、国連で実施しているSDGs17の目標のなかで関心のある項目に対するグローバルなアンケート調査結果を示す。最も関心の高い項目は、経済成長で、健康・福祉、ジェンダー平等、教育と続く。気候変動対策は8番目で必ずしも優先度が高くないことがわかる。よって、経済的に強固な社会基盤を構築した上でカーボンニュートラルを実現する必要がある。

以上の点から、カーボンニュートラルを達成する上で、

弱いまたは強い持続可能性、いずれのスタンスで臨むべきか、また、優先順位の低い気候変動対策をどう進めていくべきかが論点となる。本レポートでは、カーボンニュートラルに向けた動向を紹介するとともに、持続可能性を生み出す脱炭素化には長期的な視点とすべてのステークホルダーが協調した適切なコスト負担が重要であることを示す。

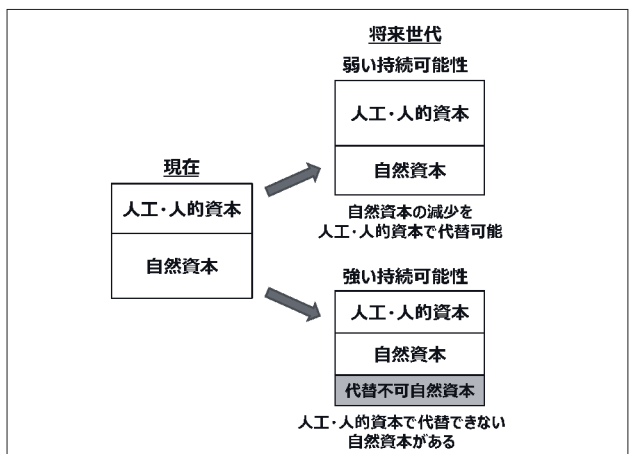
2. カーボンニュートラルに向けた国内外の動向

2015年11月に国連気候変動枠組条約締約国会議(COP21)においてパリ協定が採択され、2020年以降の温室効果ガス排出削減の新たな国際枠組みが形成された。ここでは、世界共通の長期目標として、平均気温上昇を産業革命前から2℃より十分低く保ち、また、1.5℃以下に抑える努力を追求することが合意された。また、2021年8月にはIPCC第6次評価報告書(AR6)WG1報告書(自然科学的根拠)が承認され、そこには人間の活動が温暖化を引き起こしていることは「疑う余地がない」と初めて明記された。(図表4)

一方、企業を取り巻く状況としては、従来の財務情報に加えて、環境(Environment)・社会(Social)・ガバナンス(Governance)要素も考慮したESG投資が活発化した。これを受けて、CDPやTCFD等で情報開示を行い、RE100やEP100などの環境イニシアティブを宣言する企



図表1 持続可能な開発目標 (SDGs) 出典：環境省ホームページ



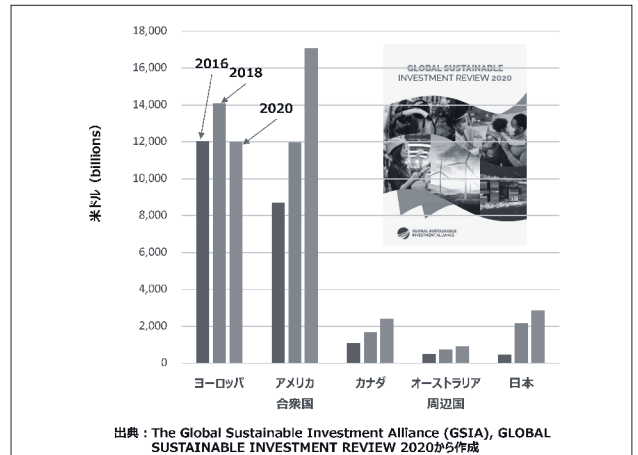
図表2 弱い持続可能性と強い持続可能性

業が増えている。環境エネルギー問題は単なる CSR 活動ではなく事業継続の必須目標となった。図表 5 には、世界の持続可能に対する投資資産の状況を示す。2020 年の総資産は約 35 兆米ドルで、ヨーロッパでは 2020 年に算出方法が変更となったため減少しているが、世界全体として 2018-2020 年は 15%、2016-2020 年は 55% という大きな成長率を示している。

この状況下、日本は、2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル」を宣言し、2020 年 12 月には「経済と環境の好循環」をつくるため、「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を公表した。図表 6 に 2050 年カーボンニュートラルの実現に向けたシナリオを示す。チャレンジな目標を立てて新技術の創出と規制緩和による導入促進を目指す政策である。技術面では、再生可能エネルギー（以下、再エネ）を最大限に導入する。特に、太陽光発電に代わる洋上風力発電の導入を促進する。また、蓄電池、再エネ由来水素、CO₂ 回収・貯蔵技術の活用を目指す。政策面では、研究開発に対する優遇措置や規制改革、規格・標準化の推進があげられ、コス

ト負担から経済的好循環を生み出す仕組みを構築中である。また、2021 年 10 月に第 6 次エネルギー基本計画が策定された。2030 年度のエネルギーミックスとして、再エネを 36~38%、原子力を 20~22%、化石燃料由来を 41% 程度とした。（図表 7）

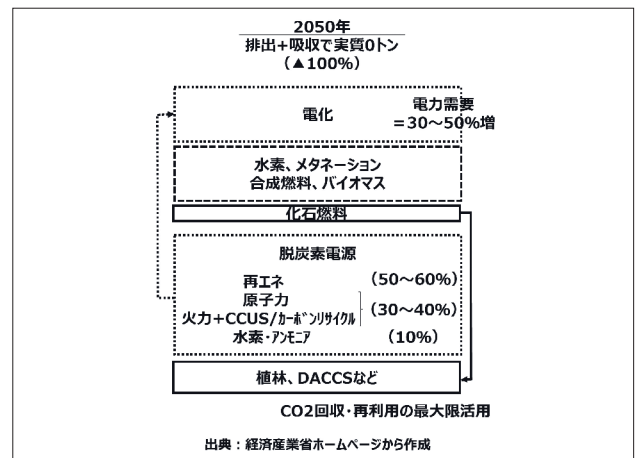
こんな中、2022 年 7 月夏季に電力不足が起こった。原因は、再エネへの転換に伴い火力発電所の休廃止が増加



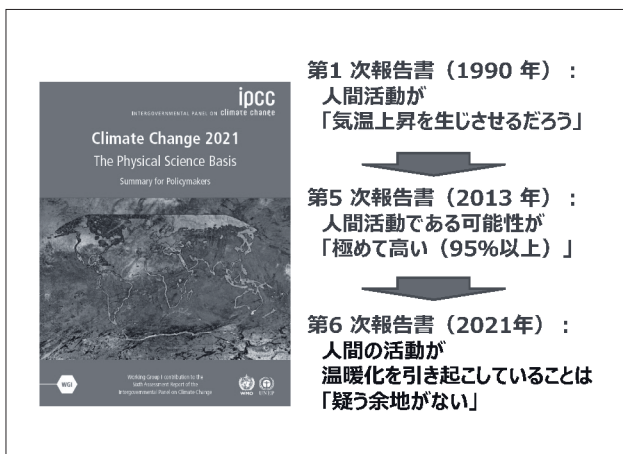
図表 5 持続可能に対する投資資産の状況



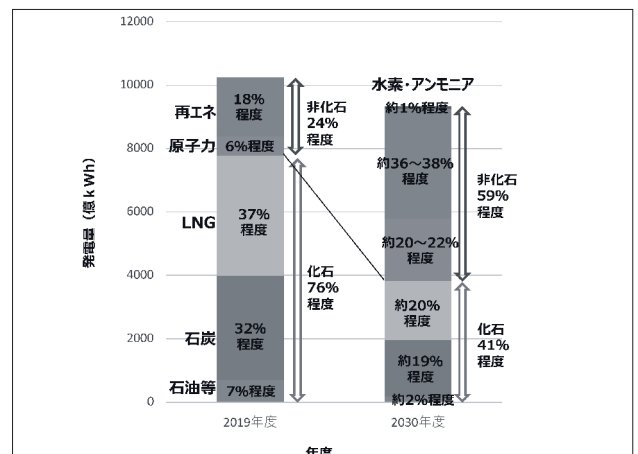
図表 3 SDGs17 項目のなかで関心のある項目に対するグローバルなアンケート調査 (2019 年 6 月 19 日現在)



図表 6 グリーン成長戦略の全体像



図表 4 IPCC第6次評価報告書 第1作業部会報告書(自然科学的根拠)



図表 7 エネルギー基本計画(案)における電源構成

し、温室効果ガス排出量が少ない液化天然ガス（LNG：Liquefied Natural Gas）の価格が高騰し、コロナ禍やウクライナ情勢等により燃料調達リスクが向上したためである。対策として、休止火力の稼働や安全性が確保された原子力の活用が考えられており、性急な再エネへの移行は難しい状況となっている。国際エネルギー機関（IEA）が発行した「A 10-Point Plan to Reduce the European Union's Reliance on Russian Natural Gas, 2022」にある欧州連合（EU）のロシア天然ガス依存低減プランにおいても原子力の活用が謳われており、世界的にも再エネへの移行期間中は現有資産を有効活用して経済的負担を軽減する方向にある。

カーボンニュートラルに向けては、経済状況をみながら長期的な視点で進める必要がある。次章では、2050年カーボンニュートラルに向けた方策と試算例について紹介する。

3. カーボンニュートラルに向けた方策と試算

(1) IRENA (International Renewable Energy Agency)

図表 8 には、IRENAの「WORLD ENERGY TRANSITIONS OUTLOOK 1.5°C PATHWAY, 2021」に記載されているカーボンニュートラルに向けた達成シナリオを示す。カーボンニュートラルには 2050 年で 36.9GtCO₂/年の削減が必要で、①再エネ、②省エネルギー（以下、省エネ）・高効率化、③エンドユーザの電化、④水素とその誘導体、⑤ CCS/U（Carbon Capture and Storage/Utilization）および⑥ BECCS（Bioenergy with CCS）の 6 つの方策を想定している。原子力は現在と同じレベルに留まる見通しで、化石燃料ベースは 10%程度残る。現実的にはすべて再エネとすることは難しく、CCS/U の活用が必須である。

(2) 米国プリンストン大学

米国プリンストン大学が中心となってまとめられた「Net-

Zero America: Potential Pathways, Infrastructure, and Impacts, 2021」では、カーボンニュートラルに向けた方策として、IRENA の 6 項目に加えて、CO₂ 以外の温室効果ガス排出量の削減と地盤吸収の拡大を挙げている。ここでは図表 9 にあるように 5 つのシナリオを設定して、必要となるコストも試算している。いずれの場合も成り行き（Ref）よりもコスト負担が必要となるが、GDP に対するコストとしては 4.4 ~ 5.7% で、オイルショック時の 13.7%、世界金融危機時の 10% と比較して小さい。カーボンニュートラルは、コンセンサスさえ得られれば、コスト負担可能なレベルで実現できるといえる。

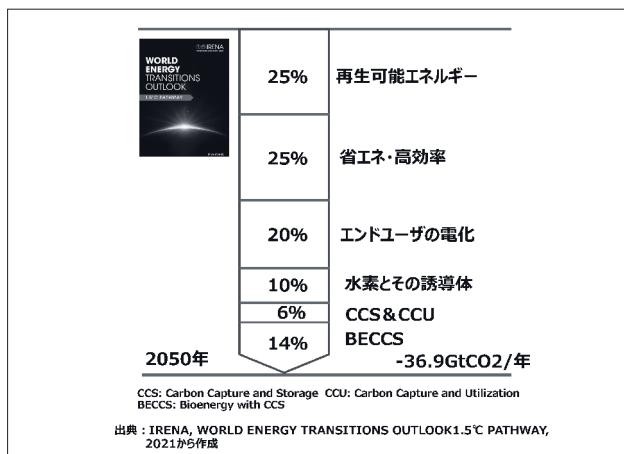
以上、世界的なカーボンニュートラルに向けた方策と試算を 2 例紹介したが、いずれも方向性は一致しており、一定量の化石燃料と原子力は許容されている。

4. 環境関連法および新聞等報道から見た国内状況

本章では環境関連法と新聞等報道から国内における取り組み状況を概観する。

(1) 環境関連法

2022 年 4 月に施行された環境関連法の主なキーワードを図表 10 に示す。地球温暖化対策推進法では地域の再エネを活用して脱炭素化を目指すことが特徴で、少なくとも 100 か所の「脱炭素先行地域」を選定して地方創生に資する地域脱炭素の実現を全国に広げる活動を行っている。省エネ法ではエネルギー使用の合理化に非化石エネルギーを追加したこと、電気需要平準化を電気需要最適化に見直したことが特徴である。これはエネルギー全体の利用効率化を目的としている。さらに、再エネ、水素・アンモニア、CCS を重要項目と位置付けている。再エネ特措法では、FIP（Feed-in-Premium）制度の導入、システムの増強に加えて、



図表 8 CO₂削減に向けた6つの要素

シナリオ	エネルギーシステムコスト (Trillion 2018\$)*1		エネルギーシステムコスト (% of GDP)*2
	2020-2030	2020-2050	
Ref 成り行き	9.4	22	3.2
E+ 積極的なエンドユーザの電化。2050年の正味ゼロ排出の目標を達成するためのコスト制約は受けない。	9.7	26	4.5
E- 積極的にはエンドユーザの電化を想定しない。	9.7	28	5.5
E- B+ E-の電化レベル。より多くのバイオマスベースの液体燃料の生産が可能。	9.7	27	4.6
E+ RE- E+の電化レベル。再エネ (RE) の増加率は建設率に制限される。より多くの CO2 貯蔵が可能に。	9.7	26	4.4
E+ RE+ E+の電化レベル。2050年までに100%RE。	9.7	28	5.7

*1 社会的現在価値。
*2 2050年の目標グラフから推定。オイルショック時は13.7%、世界金融危機時は10%。
出典：Net-Zero America: Potential Pathways, Infrastructure, and Impactsから作成

図表 9 ネット-ゼロに必要なコスト

再エネ設備の適切な廃棄を加えたことが新しい。建築物のエネルギー消費性能に関する法律では省エネ対策と木材利用が促進されている。

再エネ導入と一層の省エネ対策、水素、CCSの活用が主で世界の動きと一致する。

(2) 新聞等報道

図表 11 には新聞記事サイトで、検索キーワードとして環境、エネルギー、カーボンクレジットを入力した場合にヒットした記事の件数を示す。期間は 2022 年 4 月から 6 月である。カーボンクレジットは個別キーワードとして入力したため大きな数となっているが、企業、水素、自治体、カーボンクレジット、CO₂ 貯蔵の順となった。これは先に示した 2022 年 4 月に施行された環境関連法の内容が反映していると思われる。図表 12 には新聞記事における主なキーワードを示す。特徴的なワードとしては、グリーン/ブルー水素、アンモニア、メタネーション、CO₂ 地下貯留、太陽光パネル大量廃棄、全固体電池、脱炭素先行地域、太陽光パネル税、インターナルカーボンプライシング、CO₂ 算定、分散電源、次世代小型炉、グリーンバブルがあげられる。カーボンニュートラルを進める上で、CO₂ 算定や税制などの新たな仕組み作り、大量廃棄やグリーンバブルなどの課題が顕在化してきていることがうかがえる。

次章では、それぞれの項目に関連した国内の取り組み状況について詳細に解説する。

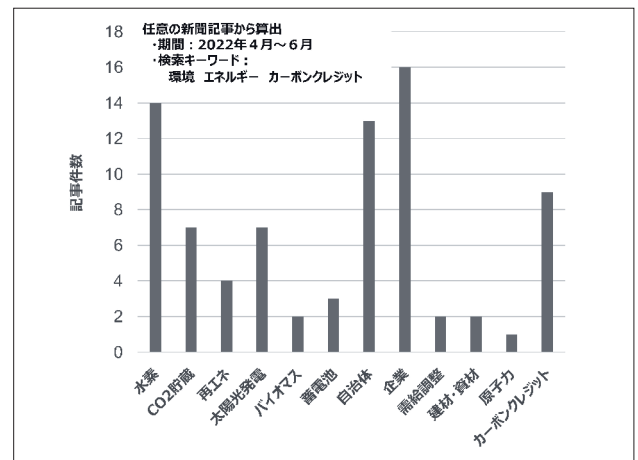
5. 国内の取り組み状況

(1) 自治体 / 企業の動き

少なくとも 100 カ所の「脱炭素先行地域」の選定では、2022 年 4 月に 26 件の計画提案を採択した。これは地域で「経済と環境の好循環」を生み出す興味深い取り組みであるが、持続的な経済発展を生むモデルが本当に創出

できるかが鍵である。また、2021 年 12 月に岡山県美作（みまさか）市が「美作市事業用発電パネル税条例」を可決させた。固定価格買取（FIT）制度に支えられ大量に導入された太陽光発電が環境や景観等の問題を引き起こしていることが発端であるが、国が市に対して大口納税者となる事業者に理解を得ることを求めるなど波紋を広げている。脱炭素に対する適切なコスト負担の必要性を示す良い事例である。

一方、企業の動きとして、インターナルカーボンプライシング（ICP）制度の導入や取引先も含めた CO₂ 算定の動きが特徴的である。ICP 制度は、低炭素投資・対策推進に向けて企業内部で独自に炭素価格を設定し、省エネ推進へのインセンティブや投資意思決定の指針として活用される。CO₂ 算定は後に説明するサプライチェーン排出量に関係するもので、事業者自らの排出だけでなく、事業活動全体の CO₂ 排出量を評価する。このため取引事業者間での協力が必要となる。業界全体で CO₂ 排出量を見える化して、削減に向けた基準整備をすすめることが重要である。



図表 11 新聞記事から見た環境エネルギーの動向

環境法	キーワード
地球温暖化対策推進法 (地球温暖化対策の推進に関する法律)	あらゆる主体に対して予見可能性を与え、取り組みやイノベーションを促進 ・地域の再エネを活用した脱炭素化 ・企業の排出量に係る算定報告公表制度について、電子システムによる報告を原則化
省エネルギー法 (エネルギーの使用の合理化等に関する法律)	・非化石エネルギーを含むエネルギー全体の使用の合理化 ・ダイヤモンドリソス等の電気需要の最適化 ・再生可能エネルギーの導入促進 ・水素・アンモニア等の脱炭素燃料の利用促進 ・CCSの利用促進
再生可能エネルギー特措法 (電気事業者による再生可能エネルギーの発電に関する特別措置法)	・FIT制度の創設 ・再生可能エネルギーポテンシャルを活かす系統増強 ・再生可能エネルギー発電設備の適切な破棄
建築物のエネルギー消費性能に関する法律 (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案)	・省エネ性能の底上げ、より高い省エネ性能への誘導 ・ストックの省エネ改修や再エネ設備の導入促進 ・木材利用の促進

図表 10 環境法におけるキーワード

記事項目	キーワード
水素	・欧州「グリーン水素」製造装置を福産 ・「ブルー水素」のCO ₂ 削減基準設定 ・アンモニアと同時に「ブルーメタン」を福産 ・メタネーションにより合成メタンを製造し25年にも供給
CO ₂ 貯蔵	・火力発電の排ガスCO ₂ 回収を低コストで実現 ・北海道苫小牧市のCO ₂ 貯蔵タンク、船舶輸送実証 ・経産省がCO ₂ 地下貯留の法整備を検討
再エネ	・洋上風力発電の公募で1社独占を制限 ・「FIT」最優発電を予測AIが支援
太陽光発電	・太陽光の設備義務化「できるだけ早く」 ・太陽光パネル大量廃棄が急るなか、リサイクル体制整備
蓄電池	・全固体電池25年実用化 ・蓄電池の産業育成へ「3兆円基金」
自治体	・(企業と自治体が)地域創生へ連携、脱炭素へ向けて包括協定 ・「脱炭素先行地域」に26自治体 環境省 ・岡山で全国初、太陽光パネル税の導入
企業	・インターナルカーボンプライシング制度を導入、社内炭素価格を設定 ・主要取引先にCO ₂ 算定促す
需給調整	・分散電源活用の実証実験を開始
建材・資材	・住宅改修のCO ₂ は建て替えの半分に ・非鉄や建材、環境配慮で商機
原子力	・次世代小型炉E検討
カーボンクレジット	・CO ₂ 排出枠創出事業者社に出資 ・J-PMと経産省が排出量取引市場開設 ・カーボンクレジット光と影 グリーンバブル

図表 12 新聞記事における主なキーワード

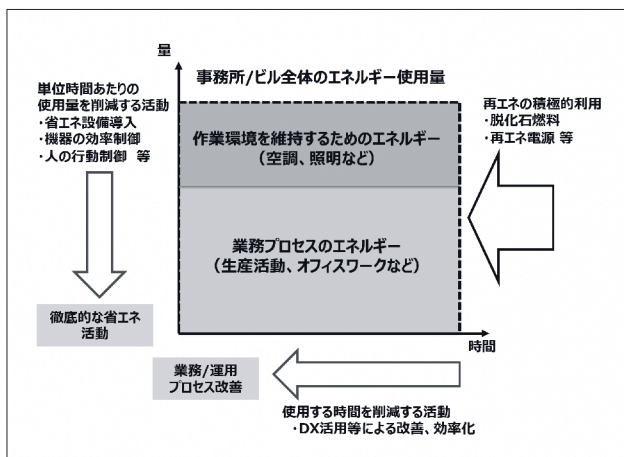
(2) 省エネ / 需給調整

省エネに関しては、高効率機器への交換という時代は終わり、全体最適化が求められている。米国のエネルギー条例においても、建物を構成する要素が最低限持つべき基準 Prescriptive Path からベースラインに対して準拠すべきエネルギー使用量の基準を規定した Performance based codes へ変化している。建築物のより高い省エネ性能への誘導と IoT & AI によるエネルギーマネジメントで省エネが実現される。日本の建物設計においても空調設備と意匠設計を組み合わせ、快適性と両立させた事例が多くみられる。今後、さらなる省エネを実現するためには、デジタルトランスフォーメーション (DX) による業務プロセスの改善が重要となってくる。図表 13 には業務 / 運用プロセスと省エネの関係を示す。高効率設備による量の削減に加えて、時間を削減することが重要である。

ディマンドリスポンス等の電気需要の最適化に関係する需給調整に関しては、2021 年 4 月から需給調整市場が開始され順次サービスメニューが拡大されている。高速応答が必要な一次～二次調整力に関しては蓄電池の活用が期待されているが、電気自動車 (EV) の中古バッテリーが出回り始めたことから、定置型へ再利用して調整力に活用する動きがみられる。中古蓄電池の低価格化で市場が活性化されるかが注目される。

(3) 水素 / アンモニア / メタン

水素には、化石燃料由来、再エネ由来、廃プラ由来水素と化学工場や製鉄所等からの副生水素がある。図表 12 の水素関連記事にあるように化石燃料由来と再エネ由来は明確に区別される。化石燃料由来で CO₂ を回収するものはブルー水素 (回収しないものはグレー水素)、再エネ由来はグリーン水素と呼ばれる。図表 14 には水素の製造から輸送、利用までの流れを示す。製造された水素は輸送の



図表 13 エネルギー使用量削減に向けた方策

ため、そのまま冷やされる有機ハイドライド、アンモニア、メタンに転化される。輸送された後は水素に戻される、もしくはアンモニアやメタンのまま使用されることになる。アンモニアは利用時に CO₂ が発生しない、メタンは天然ガスとほぼ同じ成分なので特殊な設備を建設する必要がないという利点がある。これらはすでに実用化のレベルにあり、コスト削減が最大の課題である。

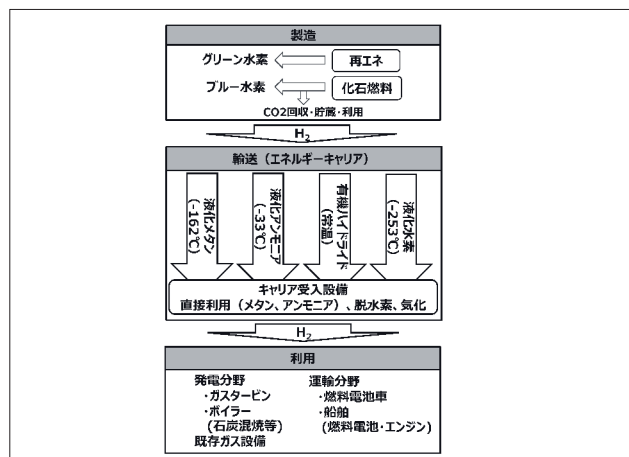
(4) CCS/U

図表 8 のカーボンニュートラルに向けたシナリオでも示したが、CCS/U は 2050 年には CO₂ 削減の 20% を占める重要な技術となっている。現状、CCS で最も利用されているのは CO₂ 原油増進回収 (EOR) で直接脱炭素を目指したものではない。化学品や燃料に転換する CCU (カーボンリサイクル) も検討されているがまだ研究段階である。CCS の課題は、やはり CO₂ 回収・運搬コストで、貯留地と排出源が近隣できるというマッチングが重要となる。日本では苫小牧で CCS 大規模実証プロジェクトが行われている。経産省の試算では 2030 年の CCS 事業の開始には、2023 年からフィージビリティスタディ (FS) を開始して 2026 年までに最終投資判断をする必要がある。今後、コスト負担のコンセンサスが得られるかどうか鍵となる。

(5) FIT 制度 / 系統増強 / 太陽光発電破棄

FIT 制度が縮小し、市場価格にプレミアムとして補助金が上乘せされる FIT 制度が 2022 年 4 月に導入された。これは国民負担である FIT 制度における「賦課金」を抑えることを目的としており、再エネ拡大の政策から市場原理に移行したものと見える。

また、地方に設置される再エネは設備容量の関係で系統に接続できない問題があり導入拡大の障壁となっていたが、既存系統を最大限に有効活用するための取り組みが進んでいる。既存系統を最大限に有効活用するため、設備の共有



図表 14 水素・アンモニア・メタン等の脱炭素燃料の利用

を拡大させた想定潮流の合理化やコネクト&マネージが開始された（図表 15）。さらに、地域間連系線の増強による再エネ拡大の便益は全国で発生することに着目し、その増強費用を全国で支える仕組みに変更されている。

新しい動きとしては、環境省から「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン」が発出された。多量に導入された太陽光パネルを適切に処理することを求めており、今後、増え続ける再エネ設備の処理が問題化する可能性がある。

これらはステークホルダーが協力して、既存設備とコスト負担を共有する事例といえる。

(6) サプライチェーン排出量 / 内包 CO₂ (Embodied CO₂)

環境省は、サプライチェーン全体の CO₂ 排出量を算定し、情報開示することを企業に求めている。サプライチェーン排出量とは、事業者自らの CO₂ 排出量だけでなく事業活動に関係する原材料調達・製造・物流・販売・廃棄などの一連の流れ全体から発生する CO₂ 排出量を指す。このため、新聞記事にあったように取引先に CO₂ の算定を求める事例が増えてきている。このサプライチェーン排出量の中で注目されるのは、建材・資材に含まれる CO₂ である。なぜなら建築物の運用時は ZEB/ZEH 化で CO₂ 排出量がゼロとなり、建物自体における建材・資材の環境負荷が建物ライフサイクル全体で大きな部分を占めるからである。この考えは Embodied Energy/GHG Emissions(EEG) として IEA で研究されたものである。図表 16 には IEA が示しているゼロカーボンビルに求められる項目をまとめた。建物の運用に加えて、建物の建設資材およびコンポーネントから排出される CO₂ をカバーすべきと明記されている。建物に内包する CO₂ の割合は現在 20%程度であるが、この 20%をいかに削減するのが重要な要素となる。

取組	従来	見直後
想定潮流の合理化	想定潮流として、最小需要時においても電源がフル稼働できる状態を想定。	将来の電源稼働の蓋然性をエリア全体の需給バランスなどから評価し、需要と電源出力の差が最大になる断面を想定潮流として評価。
コネクト&マネージ	N-1 電制 電力系統は、1回線故障 (N-1故障) が発生しても、送電可能な信頼性を確保。	N-1故障時に、あらかじめ決められた電源を瞬時に抑制することで、接続可能な電源を増やす。
	ノンファーム型接続 平常時に発電するために必要な容量を確保。	平常時に運用容量超過が予想される場合には、出力抑制することを前提に新規電源を系統に接続する。

出典：電力広域的運営推進機関第26回広域系統整備委員会（2017年9月26日）資料から作成

図表 15 既存システムを最大限に有効活用するための取り組み

(7) カーボנקレジット

カーボנקレジットには、国連や国が主導する公的なカーボנקレジットと民間が主導するボランタリークレジットがある。公的なカーボנקレジットは算出根拠や規定が明確であるが、民間クレジットは規制に基づかない自主的な取り組みで、最近算出根拠が不透明、削減効果の監視性がない等の課題が指摘されている。単なるアピールや収入源として悪用されている可能性があり、国際社会での監視を強化する必要がある。

6. おわりに

国内外のカーボンニュートラルに向けた動向を概観したが、課題はあるものの着実に進展しており、世界は人々の生活を支えるため弱い持続可能性を追求しているようにみえる。よって、SDGs のなかで優先順位が低いカーボンニュートラルを実現するには持続的な経済発展が必須であり、コロナ禍やウクライナ情勢を受けて、ゼロイチではなく既存設備の再利用も含めた長期的な視点で進める必要がある。技術的發展に伴う CO₂ 排出量の削減だけでなく、業界全体で CO₂ 排出量の見える化を実現して削減に向けた基準や目標を定め、適正なコスト負担とコスト分担のもと、ステークホルダーが協調していくことが重要である。また、算出根拠や規定の明確化を行った上で信憑性のある CO₂ 原単位やカーボנקレジットのデータベースを整備し、世界共通で活用できる基盤を構築する必要がある。さらに、容易でセキュアな取引が可能となるマーケットプレイスやトレーサビリティの高い資源循環プラットフォームの構築が望まれる。これらを通して堅実な経済成長を伴う SDGs とカーボンニュートラルが共に達成されることを期待したい。

ただし、地球温暖化問題は不可逆的要素を含むため、強い持続可能性の概念を忘れずに進める必要がある。◀

Net Zero by 2050 Accelerating Climate Action for All	建物の運用と、建物の建設資材およびコンポーネントから排出される CO ₂ をカバーすべき。
エネルギー使用	パッシブ設計機能、建物外皮の改善、および高性能機器がエネルギー需要を削減し、建物の運用コストとエネルギー供給の脱炭素化コストの両方を削減することが重要。
エネルギー供給	可能な限りエネルギー供給を減らすため、地域で利用可能な再生可能資源を活用すべき。熱またはバッテリー等のエネルギー貯蔵が必要。
電力システムとの統合	建物がエネルギーシステムのフレキシビリティリソースになる必要がある。

出典：IEA, Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector (May 2021)から作成

図表 16 ゼロカーボンビルに求められる項目