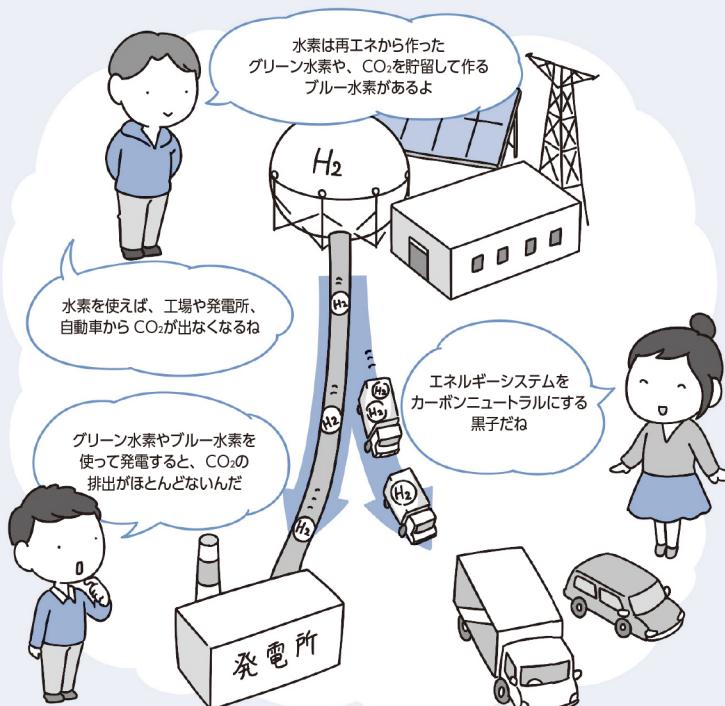


第6章 概要

二次エネルギーである水素はさまざまな一次エネルギー資源から製造でき、圧縮・液化などの状態変化や化学変化により輸送・貯蔵可能な状態・物質に変換できる。また、水素は電力に比べて大容量・長期間の貯蔵が容易である。

したがって、水素は、さまざまな脱炭素の一次エネルギー資源と多様なエネルギー需要技術を結ぶ媒体として、エネルギーシステムのカーボンニュートラルの達成に寄与する。

本章では、エネルギーシステムにおける水素の役割、水素の製造、輸送・貯蔵、利用について解説する。



6.1 > 水素エネルギーの特徴と現状

1 エネルギーキャリアとしての水素

① 水素の基本的な物性

水素分子は、水素原子が2つ結合した状態で、気体の中でもっとも分子量の小さな気体である。水素原子は、地球上では、分子やほかの元素との化合物の状態で存在し、原子のままで存在することはあまりない。水素の密度は、温度273.15K(0°C)、圧力0.1013MPa¹(常圧)において0.089860kg/m³である。水素の液化温度と密度は、常圧において20.368K(-252.8°C)、70.849kg/m³²である。水素は、燃焼しても水を生ずるのみでCO₂を発生せず、その燃焼熱は、119.83MJ/kg(低位発熱量基準)である。水素は、都市ガスの主成分であるメタンと比較して着火しやすい、燃焼範囲が広い、燃焼した場合の燃焼速度が大きい、という特徴があり、これらを踏まえて利用や安全対策が行われる。

② カーボンニュートラルへの水素の貢献度

カーボンニュートラルへの水素の寄与を一言で表現すると、「水素が持つエネルギーの輸送・貯蔵の性質により、エネルギー分野、産業分野のさまざまな需要を直接・間接に脱炭素する」となる。

カーボンニュートラルを目指し、エネルギー利用に起因するCO₂排出を削減するには、エネルギーのサプライチェーン全体で発生するCO₂を削減する必要がある。水素は利用時にCO₂を排出しないため、製造・輸送時にCO₂を排出しないようにすることによりサプライチェーン全体でCO₂を排出しないようにすることができます³。

図6.1で示すように水素のサプライチェーンは、一次エネルギー、水素製造技術、貯蔵輸送技術、利用技術、輸送規模を組み合わせることで、新規なエネルギー

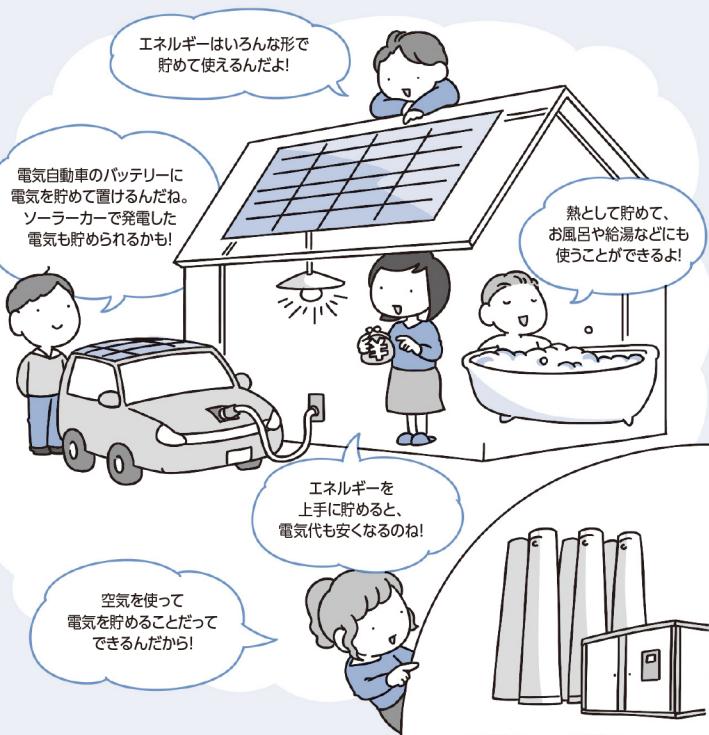
1 MPaA Aは絶対圧力を示す。

2 水素の物性値 冷媒熱物性データベースREFPROPによる。

3 CO₂の排出削減 CO₂を利用して炭化水素系の合成燃料を製造・利用する場合を除く(図6.13も参照)。水素のサプライチェーンを構成する機器の製造・廃棄にともなうライフサイクルのCO₂排出を考慮することも必要であるが、社会全体のCO₂排出量が低下することでこのようなCO₂排出も低減できる。

7.1 > 各種蓄エネルギー技術の特徴

再生可能エネルギー(再エネ)による主力発電の候補である太陽光発電、風力発電を安定電源として活用するためには、需要側での電力消費調整、系統強化以外に、蓄電池、蓄熱、圧縮・液化空気貯蔵、水素転換貯蔵技術に代表される蓄エネルギー技術との組合せも重要となってくる。また、電気エネルギーに戻さずに、車載用蓄電池により電気自動車で利用したり、熱需要先に供給していくこともあり得る。本章では、貯蔵したエネルギーを電気エネルギーに戻して電力システム内で利用することを主眼とし、その必要性と日本における取り組み状況を紹介する。なお、水素、電気自動車についてはそれぞれ6章、9章を参照願いたい。



1 設備利用率が低い再生可能エネルギー

① 再生可能エネルギーを蓄エネルギーとして利用する課題

なぜ日本では再エネを主力電源化することが難しいのであろうか。立地条件の厳しさによる建設費の押し上げや出力変動によって系統が不安定になることが難しさの要因といわれている。しかし、そもそも日本における太陽光発電、風力発電については、その根本的な問題として、日本の電力消費量(kWh)をそれらで賄おうとした場合、図7.1に示すように発電量にピークや変動があるので、その設備利用率の低さから発電出力(kW)を現有発電設備以上に大きく設けないと必要とする電力消費量(kWh)を賄うことができないということにある。太陽光発電、風力発電の設備利用率は緯度の違い、洋上／陸上などの地勢条件により決まるものであり、変えようがない。

具体的には、次のように説明できる。日本の電力消費量は、約1兆kWh^[1]である。発電出力は夏季に約1億6,000万kW程度まで増大するが、年間平均すると約1億1,000万kW^[2]である。例えば、この1兆kWhを太陽光ですべて賄うとしよう。太陽光の設備利用率は約15%なので^[3]、太陽光の必要発電設備容量は、約7億6,000万kWと計算される。これは前述の必要発電出力約1億1,000万kWの7倍もの量に達する。発電出力約1億1,000万kWを越える発電量部分について、図7.1に示すように、蓄電、蓄熱あるいは水素転換して貯蔵するなどにより電気エネルギーの時間シフトが必要となる。

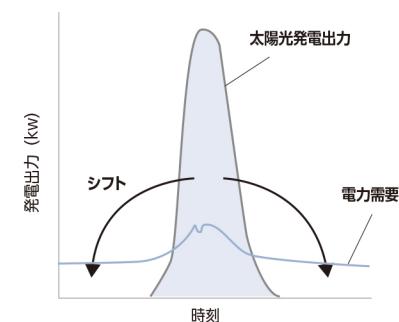


図7.1 太陽光発電の時間シフト

8.1 ネガティブ・エミッション技術の重要性

カーボンニュートラルな社会を実現する上で、大気中のCO₂を取り除く技術、つまりネガティブ・エミッション技術がどうしても必用となる。

この章では、ネガティブ・エミッション技術が必用となる理由、その方法や実施における規模と時期について、これまでの知見をまとめてみる。

また、研究開発への期待や実施における課題についても検討する。



1 世界で合意された長期的なゼロ排出目標

1章2節で解説したように、国連気候変動枠組条約第21回締結国会議(COP21)においてパリ協定が採択されてから5年が経過し、カーボンニュートラルへ向けた各国の戦略表明が進みはじめている。この協定では、できる限り早期に世界の温室効果ガス(GHG)の排出量をピークアウトし、今世紀後半には人為的なGHGの排出と吸収による除去の均衡、つまりGHG排出を正味でゼロにする¹ことを排出削減に関する長期目標としている。

この長期的な排出削減目標は、2014年に公表された「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次統合報告書評価報告書」^[1]の科学的知見、つまり気温上昇を21世紀にわたって2°C未溝に維持できる確率が66%以上である排出シナリオと整合的なものとなっている。2021年4月にアメリカ主催で開催された気候変動サミットでは、日本は長期的な正味ゼロ排出の目標に向か、2030年の早期のさらなるGHG排出低減に向けた宣言も行っている。

2 正味ゼロを達成するネガティブ・エミッション技術

GHG排出の正味ゼロを達成するには、特にエネルギー・システムの転換による大規模な排出削減が必要である。しかし、重工業や素材産業、信頼性の高い電力供給、航空・船舶・トラック長距離輸送などの排出削減が難しい部門^[2]や、農畜産業によるメタン(CH₄)や亜酸化窒素(N₂O)などのどうしても避けられないGHG排出(いわゆる残余排出)がある。そのため、可能な限りの排出削減努力とともに、大気中からCO₂を取り除くことを追加で考慮する必要がある。

図8.1に、2°C目標に対応するGHG排出経路とその達成に必要な大気中からのCO₂除去量の例を示す。

¹ GHG排出を正味でゼロにする GHG排出量実質ゼロ(ネットゼロ)ともいう。

9.1 > 日本のエネルギー消費の現状

私たちが社会生活を送る中で、比較的身近にエネルギーを感じ取ることのできるのが運輸部門、民生(家庭・業務)部門であり、それらを下支えしているのが産業部門である。

エネルギーそのものは目に見えないが、光や熱として、確かに使っていることを感じることができる。では、各部門がどのようにエネルギーを消費し、どのくらいのCO₂を排出し、そしてどうすればカーボンニュートラルな社会を実現できるのか？この章では、そのヒントを探ってみたい。



1 需要側のエネルギーはどのように使われているのか？

ではまず、各部門のエネルギーの使われ方を見てみることにする。日本のエネルギーフローは図9.1に示した通りであるが、各部門の消費エネルギーの内訳は図9.1のようになっている。

運輸部門ではエネルギー消費の実に約97%が石油であり、電力は約2%、バイオ燃料などは約0.6%に過ぎない。民生部門は比較的に電化率が高く、全体の約52%が電力であり、石油約27%、天然ガス約18%となっている。そして産業部門は、さまざまな業種があるため、エネルギー源はさまざまであり、全体としては電力約36%、石炭約25%、石油約21%、天然ガス約14%となっている。

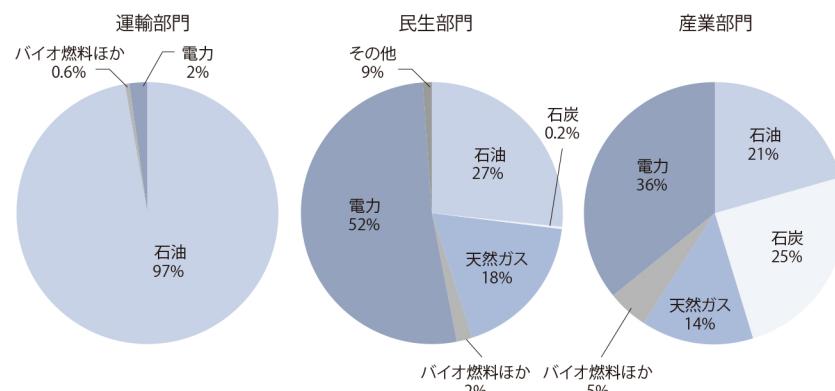


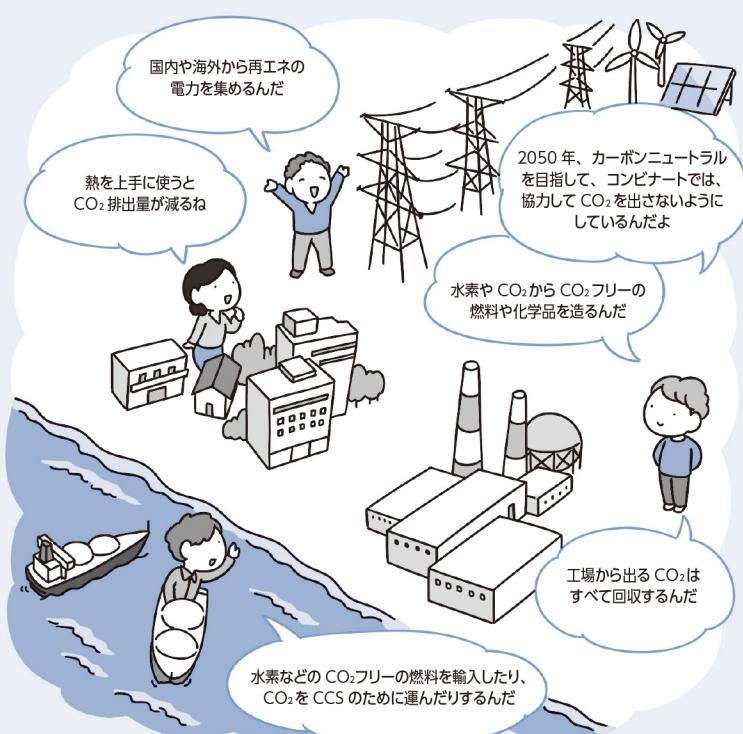
図9.1 運輸部門・民生部門・産業部門におけるエネルギー消費の内訳(2018年)
出典：国際エネルギー機関(IEA)「Sankyo diagram」(2020)^[1]をもとに作成

2 各部門のCO₂排出量の削減に向けて

各部門からのCO₂排出量は、図9.2の通りである。日本のCO₂排出量は年間約11億3,800万トンであるのに対して、運輸部門からは約18.5%の年間約2.1億トン(電力や熱の配分後)、民生部門は約32%の年間約3.6億トン(同上)、産業部門は約35%の年間約4億トン(同上)となっている。ちなみに発電所などからのCO₂排出量は年間約4.6億トン(電力や熱の配分前の直接排出量)である。

日本と世界では、2050年カーボンニュートラルに向けて、経済産業省や各省政府機関、国際エネルギー機関(IEA)などに加えて、地域や産業界がロードマップを策定している。再生可能エネルギー(再エネ)を大量に導入するだけではなく、各業種に合ったさまざまな技術、たとえば水素やアンモニア、メタンを始めとするCO₂フリー燃料やCCUS技術を駆使してCO₂の削減方法を提案している。

本章では、一企業だけではなく、コンビナートのような複合型産業にも視点を置いて、おもな取り組み事例を紹介する。



10.1 > 世界の取り組み事例

ある産業や地域でカーボンニュートラルを実現するには、再生可能エネルギー電力(再エネ電力)、水素、原子力、CO₂回収・利用など、これまでに紹介してきたさまざまな技術を組み合わせて、効率的に大規模に実施していく、いわゆるセクターカップリングが重要である。各国の政策が発表されるのに加えて、多くの企業が方針を示し、実際のプロジェクトに取り組んでいる。

この節では、世界の取り組みについて、CO₂の排出量が大きい業界を対象に、日本にとって参考となるおもな事例を紹介する。たとえば、石油・石油化学コンビナートや鉄鋼分野である。CO₂フリー電力の購入、CCSの実施、個別の工場や単独の技術の実証、カーボンニュートラルに処する技術開発プロジェクトの事例に関しては、該当する章を参照されたい。

1 国際石油企業の取り組み

スーパー・メジャーと呼ばれる世界的大手石油会社は、原油や天然ガスの採掘、生産をおもなビジネスとしており、同時に、日本の石油会社のように石油精製、石油製品の販売を行っている。ロイヤル・ダッチ・シェル社(Royal Dutch Shell、シェル社)やBP社、トタル・エナジーズ社(Total Energies)のような世界的大手石油会社は、2050年までにカーボンニュートラルを達成することを表明してきた。

① トタル・エナジーズ社の事例

ここでは、フランスを拠点とするトタル・エナジーズ社の「GETTING TO NET ZERO September 2020」^[1]にもとづいて、その計画を説明する。同社は、2020年9月に、CO₂削減のステップを次のように表明している。ここでスコープ(Scope)とは、表10.1に示すCO₂ゼロをどの範囲で捉えるかを示している。

表10.1 スコープの定義と内容

スコープの段階	定義
スコープ1	事業者自らによる温室効果ガスの直接排出、たとえば、使用する燃料の燃焼によるもの。
スコープ2	他社から供給された電気、熱・蒸気の使用にともなう間接排出。
スコープ3	スコープ1、スコープ2以外の間接排出(事業者の活動に関連する他社の排出)、たとえばサプライチェーンにおける排出や製品などの廃棄によるもの。

カーボンニュートラルの実現は、これまでの制度設計や技術開発だけでは達成できない。先進的な取り組みを促し、普及させていくために、非財務情報を付加して環境に関する金融活動を促すことのできるファイナンスの役割は大きい。

SDGsやカーボンニュートラルといった達成目標を共有した現在、個別の多様な活動を情報共有するためのプラットフォーム、ガイドライン、評価項目の標準枠組みなどが整い始めている。



11.1 カーボンニュートラルとファイナンスの関係

1 サステナブルファイナンスの役割

①なぜサステナブルファイナンスが必要なのか

カーボンニュートラルの実現に向けて、抜本的に異なる新たな産業・社会構造への転換が必要となり、目的に則した資金の流れを促進していくことが求められている。これまでの技術開発や規制・制度設計だけでは不十分であり、技術が普及し社会システムを変革するイノベーションのため、ファイナンスの役割が不可欠となる。

サステナブルファイナンスは、気候変動問題や生物多様性などの地球環境問題、経済格差や人権などの幅広い社会課題に対し、資金に色づけすることによって、持続可能な社会に資する経済活動の意思決定や行動に反映する役割を持つ。そのことから、経済・産業・社会が望ましいあり方に向けて発展していくことを支える金融メカニズムとして位置付けられる^[1]。

②経済界における気候リスクの認識

近年は、サステナブル要素の中でも、特に気候リスクの経済への影響が最重要課題の1つとして認識されるようになってきた。世界の課題を議論する世界経済フォーラム(World Economic Forum)から出される「グローバル・リスク報告書」^[2]では、リスク要因として、気候変動、水供給、自然災害などが2000年以降トップ5に入っている。CDP^[3]の調査によると、世界の大企業が気候リスクによって負い得る財務影響は約1兆ドルと見積もられている^[3]。世界の金融セクターは、気候変動がもたらす、サプライチェーン寸断、原材料供給コスト増、低炭素化社会移行にともなう化石燃料関連の資産価値低下、保険料増加などが世界経済におよぼす影響に強い懸念を抱き始めている。経済界は、気候リスクを重要視し、環境・社会に配慮した長期的な投資へと移行しつつある。

¹ CDP シードィーピー、旧 Carbon Disclosure Project。環境影響を管理するためにグローバルな情報開示システムを運営している国際NGO。2013年より活動領域を気候変動からサステナビリティ全般に拡大し、「CDP」を正式名称としている。

グリーンスワンと グリーンウォッシュ

井上 智弘

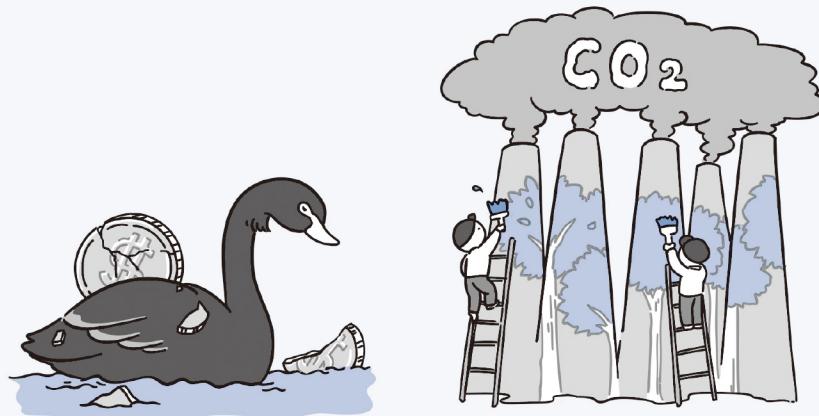
① グリーンスワンとは？

緑色の白鳥がそう遠くない将来、現れる。そんな常識を覆す衝撃的かつ影響力の大きい事案になぞらえて、気候変動による「新たなグローバル金融危機」を危惧した「グリーン・スワン～気候変動時代の中央銀行と金融安定」という報告書が国際決済銀行から発行された^[25]。金融業界で、通常の経験からは予測できない強い衝撃と影響を与える大規模な金融危機を「ブラックスワン」と呼ぶが、その気候リスク版だ。

グリーンスワンは以下を警告する。

- ①気候変動リスクが将来現実のものとなる確実性は高い
- ②これまでの金融危機よりもさらに深刻な大惨事となる
- ③金融危機よりも一段と複雑な、環境、社会、経済を巻き込んだ連鎖反応を起こしかねない

グリーンスワンの出現の前に対策を整え軽微にするため、シナリオ分析による気候関連リスクの計測や金融システムの強靭化が必要とされる。



コラム図11.1 [左]ブラックスワンと[右]グリーンウォッシュ

② ファクトチェックが求められるグリーンウォッシュ

環境に配慮しているように見せかけて消費者をだます行為は「グリーンウォッシュ」（または、グリーンウォッシング）と批判されている。ごまかしや上辯を取り繕うという意味の「ホワイトウォッシュ」になぞらえた言葉である。グリーンが評価される時代の中で、偽りの手法も残念ながら洗練されていく。

- ・嘘、偽のラベル（存在しない外部機関のラベル）
- ・大げさ、無関係（CFCが使用禁止されているにも関わらずCFCフリーを謳う）
- ・紛らわしい、あいまいさ（100%天然と謳うが自然に存在する有害物質の評価がない）
- ・証拠がない（簡単にアクセスできる証拠を提供しない）
- ・空言（嘘の認定を主張）
- ・隠れたトレードオフ、意図的な情報隠蔽（危険物質を含む「省エネ」家電）
- ・より悪いものとの比較

という7つの罪と照らし合わせたとき、アメリカとカナダの約5,000のエコ商品の95%になんらかの罪があったと報告されている^[26]。

フェイクニュースが溢れる昨今、ファクトチェックの在り方も社会全体で高め、賢い消費者、賢い投資家が求められる。本章で紹介したESG投資を巡る枠組みの進展もそのような努力の1つと期待している。