

# 長期エネルギーシナリオの分析動向と 再生可能エネルギーの位置づけ

## Long-term scenarios on energy systems and the role of renewable energies

秋元圭吾\*

### 1. はじめに

パリ協定では、産業革命以前比で2℃未満に十分に低く抑え、また1.5℃未満を追求するとされている。そして、日本政府も2020年10月に、1.5℃目標に相当するとされる「2050年にカーボンニュートラル」の実現を目指すとした。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)1.5℃特別報告書(SR15)は、1.5℃上昇を抑えるには、2050年頃に世界のCO<sub>2</sub>排出量を正味でほぼゼロにすることが必要とした<sup>(1)</sup>。2050年カーボンニュートラルはこれに沿ったものである。

本稿では、カーボンニュートラル実現に向けた長期シナリオを紹介し、その実現に向けての再生可能エネルギーの役割、位置づけについて議論を行う。

### 2. カーボンニュートラルの方向性と各種技術の役割

#### 2.1 カーボンニュートラルの方向性

図1は、温室効果ガス排出で見たネットゼロエミッション(=カーボンニュートラル)の対策のイメージである。大きくは省エネルギーとCO<sub>2</sub>原単位の低減があるが、まず、デジタル化による物質、エネルギーサービスの低減を含む、省エネは基本的に重要である。CO<sub>2</sub>原単位の低減については、電力は非電力よりも低減しやすい傾向にあるので、IPCCでも、電化を促進し同時に電源の脱炭素化を進めることが重要としている<sup>(2)</sup>。文献(1)では、通常モデル分析で示されるような、最終エネルギー需要よりもずっと小さなエネルギー消費を示すLow Energy Demand(LED)というシナリオ<sup>(3)</sup>も注目された。デジタル化による物質、エネルギーサービスの低減や、消費者行動変化を大きく織り込んだシナリオとして位置付けられる。

一方、エネルギー消費量も、CO<sub>2</sub>原単位も、大幅に低減しようとすればするほど、とりわけゼロに近づけようとすればするほど、費用が急激に増大する。更には、畜産から発生するメタンなどCO<sub>2</sub>以上に削減が難しい部門もある。それら残る排出量を負の排出技術(NETs: Negative Emission Technologies)でキャンセルアウトするというのがカーボンニュートラル実現の大きな方向性となる。

図2は、同様にネットゼロの対策のイメージを日本における一次エネルギー供給の視点で記載したものである。一次エネルギーとしては、原則、再生可能エネルギー、原子力、CO<sub>2</sub>回収・貯留(CCS)付きの化石燃料のみで構成することが必要となる。ただし、再エネ、CCSについては海外資源の活用を考えることも重要で、その際、水素への転換が重要になると考えられる。再エネ由来はグリーン水素、化石燃料+CCS由来はブルー水素とも呼ばれている。また、利便性向上のため、水素をアンモニアや合成燃料に転換して、輸送、利用することも重要となり得る。ただ、CCS無しの化石燃料利用も残る可能性は高い。これを植林、CCS付バイオエネルギー(BECCS)、CO<sub>2</sub>鉱物化(コンクリートでのCO<sub>2</sub>固定など)等でキャンセルアウトすることも必要である。しかし、排出量に対するポテンシャルが限られるなどするため、大気中CO<sub>2</sub>直接回収・貯留(DACCS)の活用も重要と考えられる。なお、BECCS、DACCSを含むCCSは貯留可能量により制約を受けるため、CO<sub>2</sub>貯留サイトの確保が重要であるし、また、海外のCO<sub>2</sub>貯留サイトの活用も視野に入れることも重要性が高い。

ネットゼロの実現を目指すためには、再エネ、原子力、CCSともに活用を図っていくことが不可欠

\* (公財) 地球環境産業技術研究機構 システム研究グループ

である。ただ、脱炭素エネルギーとして主流となるのは、再生可能エネルギーであることは間違いない。原子力発電は、国によって差異はあるが社会的な制約は比較的大きく、また、CCSについては大きな役割が期待されるものの、今後、実証、商業化を進めながら、徐々に拡大を加速していく必要があり、時間を要すると考えられる。再生可能エネルギーについても、後述するような課題はあるものの、相対的には拡大の期待を大きく持てる。

なお、排出削減費用の問題は重要である。排出削減費用の高い対策は持続的には困難であり、低廉な費用の脱炭素化の実現がすぐにできるわけではない。よって、低炭素化を図りながら、脱炭素化に向けた移行過程も重要である。更に言えば、気候変動影響被害、技術発展動向に伴う緩和費用を総合的に考え、実効ある低炭素化を進めることの重要性を忘

れるべきではない。

## 2.2 各種技術の役割

変動性再生可能エネルギー（VRE）と言われる、太陽光発電、風力発電コストは大きく低下してきた（図3）<sup>(4)</sup>。ただし、国・地域によってコストに大きな差異は残っている。カーボンニュートラルのためには、VREの導入拡大が不可欠である。ただし、設備費の低減は更に進むと考えられる一方、VREは条件の良い地点での導入から進んでいると考えられるため、導入拡大とともに条件の悪い地点での利用も増えればkWh単価は上昇する部分も出てくると見られる。

更に、導入拡大とともに、電力需給の同時同量を達成するため、VREの出力抑制時間が長くなりkWh単価は上昇する。また、VREの条件の良い地点は競合することも多く、系統混雑が生じやすく系

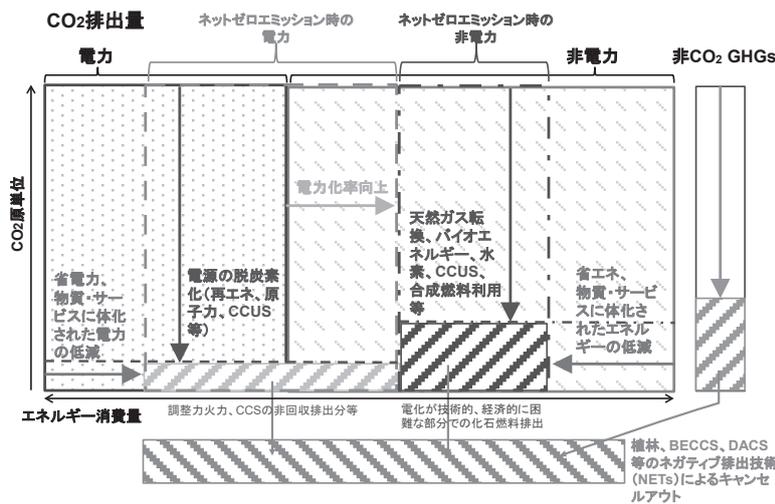


図1 温室効果ガス排出で見たネットゼロエミッションの対策のイメージ

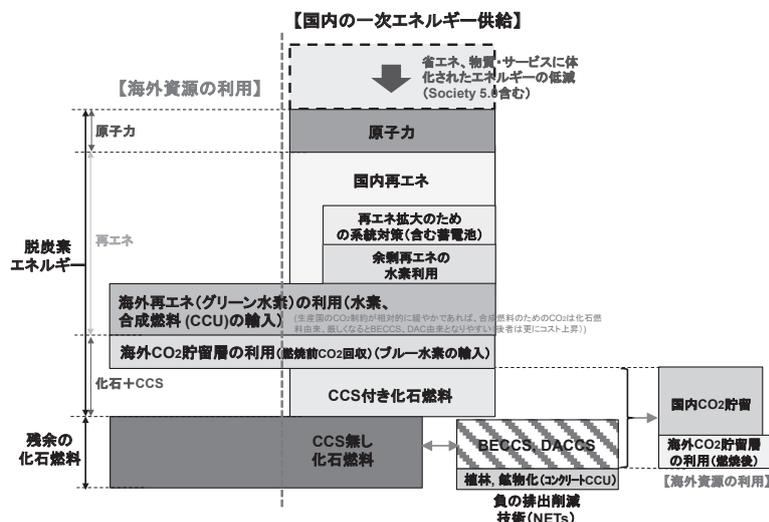


図2 日本の一次エネルギー供給量で見たネットゼロエミッションの対策のイメージ

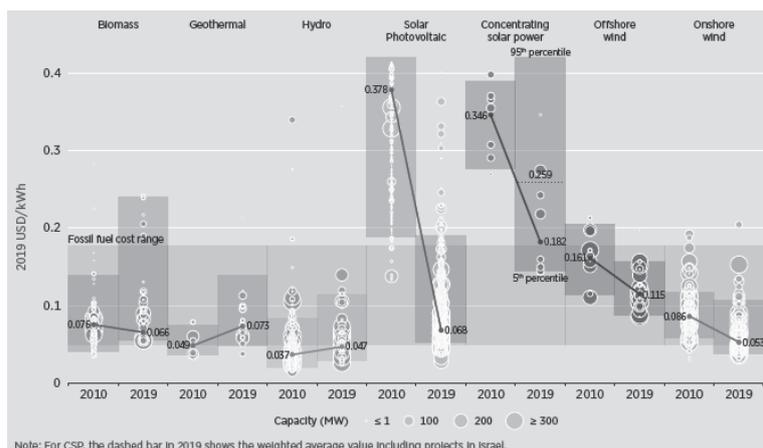


図3 世界の再生可能エネルギーのコスト動向<sup>(4)</sup>

続増強が必要となり、その費用等も加わってくることもなる。更には、蓄電池や水素によって、余剰電力の貯蔵を行うことも必要になってくる。水素を更にアンモニアに転換したり、CO<sub>2</sub>を付加して合成メタンや合成石油等に転換して、利便性を高め、様々な用途に利用できるようにすることも考えられる。この際、利用されるCO<sub>2</sub>は、グロスゼロエミッションの場合には、大気中から回収されたCO<sub>2</sub>もしくはバイオエネルギーから回収されたCO<sub>2</sub>とする必要があるが、NETsでキャンセルアウトするネットゼロエミッションの場合には、化石燃料燃焼から排出されたCO<sub>2</sub>の利用も可能ということになる。

いずれにしても、再エネの拡大のためには、再エネ単独のコスト低減だけではなく、上記記載のようなシステム全体としての技術開発、コスト低減がセットとなって初めて、大規模な展開と、ネットゼロエミッションの実現につながり得ることとなる。

NETsについて触れておくと、コンクリートによるCO<sub>2</sub>固定技術のような鉱物化の促進は、相対的には低コストで実現可能と見られているが、CO<sub>2</sub>固定ポテンシャルの大きさは相対的に小さいと見られる<sup>(5)</sup>。大きなポテンシャルとしては、BECCSとDACCSとなる。一般的には植物の能力を利用するためBECCSの方が安価なコストで実現可能と見られるが、大規模に実施しようとするれば条件等が悪くなり、コストが上昇すると見られる。そして大幅な排出削減シナリオでは、大規模なバイオマスプラントーションが必要となり、生物多様性への影響の懸念もある。文献(6)による複数のモデルの比較評価では、2℃および1.5℃シナリオでは、2050年で80～280 EJ/yr、2100年で150～430 EJ/yr程度と推計されている。IPCCの報告<sup>(1)</sup>でも1.5℃シナリオの多くで、2100年に1200～1700 Mha程度の

面積を植林とバイオマスプラントーションに新たに転換が必要とするシナリオ分析結果を示している。

そのような中、DACCSへの期待も大きくなってきている。ただし、大気中の400 ppm程度の低濃度のCO<sub>2</sub>を回収する必要があるため、必要エネルギーは現状水準で5.5～7.2 GJ/tCO<sub>2</sub>、将来については保守的な見通しでは2050年時点で4.7 GJ/tCO<sub>2</sub>程度<sup>(7)</sup>と想定している。大規模排出源からCO<sub>2</sub>回収する場合、化学吸収法で現状2.5 GJ/tCO<sub>2</sub>程度、2030年のターゲットは1.5 GJ/tCO<sub>2</sub>とされている<sup>(8)</sup>ことと比較して多くのエネルギーを要する。しかしながら、CCS無しの化石燃料利用を一部可能にしながらネットゼロエミッションもしくは負排出を達成でき、また大量のバイオエネルギー利用による生物多様性への悪影響のリスクも回避し得る。

### 3. 世界のカーボンニュートラルに向けたエネルギーシナリオ分析

#### 3.1 モデルの概要

著者が所属しているRITEで開発してきている世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+<sup>(9,10)</sup>を用いて、世界のカーボンニュートラルに向けた対策について分析を行ったシナリオ例を紹介する。

DNE21+は世界全体を54地域に分析し(国土面積が大きい国は更に1国内も分割し、その分割を含めると77地域)、2100年までの期間を評価できるモデルである。これによって、国・地域による、化石燃料、再生可能エネルギー、CO<sub>2</sub>貯留のポテンシャル・コストの差異や、エネルギー需要の違いなどの地域差を評価しやすくしている。また、エネルギー供給側技術のみならず、産業、運輸、民生部門、それぞれにおけるエネルギー需要側技術を含め、500程度の具体的な技術をモデルで考慮している。CO<sub>2</sub>

排出等の制約の下で、2100年までの期間の総コストを最小化するようなエネルギーシステムを導出する、動学的線形計画モデルとなっている。これまでも、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）にも多くのシナリオ分析結果を提供してきている。

太陽光、風力発電の再エネについては、世界の地理情報システム（GIS）による日射量データ、風況データと土地利用データ等から、地点毎の潜在的な発電電力量を推計し、77地域毎のポテンシャルと費用曲線をDNE21+の前提条件としている。電力需要は年負荷曲線を用いて4時間帯に分割している。VREの間欠性を考慮するため、瞬時ピーク時間帯では、太陽光発電は設備容量の25%、風力発電は5%が発電電力量として期待可能と想定している（ピーク需要での発電電力量の低位5日平均を参考に想定している）。また、VREの比率が高まると出力抑制によってkWh単価が上昇したり、蓄電池を含む系統対策費用が上昇することを考慮し、VRE比率に応じたVRE統合費用曲線を別途想定しモデル化している。

CCSについても、GISにより、世界のCO<sub>2</sub>貯留ポテンシャルを推計し、77地域毎のポテンシャルと費用曲線をDNE21+の前提条件としている。

原子力発電については、各国の政策動向を踏まえ、原子力発電の利用をしないとしている国は利用しないとした制約を想定している。また、日本については、第5次エネルギー基本計画では抑制の方向が示されているため、現状のエネルギー需給見通しの2030年に20～22%の内の下限の20%を導入の上、上限値として想定している。

### 3.2 モデル前提条件の概要

2050年に向けた将来の技術見通しはとて不確実である。様々な技術の可能性がある一方で、多くの技術は、コストの低減のペースや水準について見通すことは困難である。よって、ここでは、①エネルギー供給側として太陽光発電のコスト低減、②エネルギー需要側として完全自動運転車の実現とそれに誘発されるシェアモビリティ進展の不確実性、③NETsとしてDACの（経済合理的な水準での）実現可能性の不確実性の3種類について考慮し、表1で示すような複数のシナリオを想定した。①の太陽光発電コストについては、標準シナリオでは2050年に60\$/MWh以下が太陽光発電の世界全体のポテンシャルの6%程度、60～80\$/MWhが24%程度のコスト想定である一方、コスト低減シナリオでは、30\$/MWh以下が全ポテンシャルの15%程度、30

～40\$/MWhが14%程度のコスト分布を想定した。②の完全自動運転車実現シナリオでは、完全自動運転車が2030年以降実現すると想定し、それによって、ライドシェアリング、カーシェアリングが進展すると想定した。詳細は、文献（11）を参照されたい。③のDAC想定シナリオについては、文献（8）を参考に想定した。DNE21+におけるモデル想定の詳細は文献（12）を参照されたい。

表1 モデル分析のシナリオ想定

シナリオ名	世界排出シナリオ	再エネコスト（太陽光発電コスト）	シェアモビリティ進展（完全自動運転車実現）	大気CO <sub>2</sub> 直接回収技術
REF_1	ベースライン（特段のCO <sub>2</sub> 排出制約なし）	標準	想定せず	想定せず
2DS_1	2℃未満（>50%）：IEA ETP2017の[2DS]相当	標準	想定せず	想定せず
2DS_2		低コスト（中東・北アフリカ中心に）	シェアモビリティ進展	
2DS_3				
B2DS_1	2℃未満（>66%）：IEA ETP2017の[B2DS]相当	標準	想定せず	想定せず
B2DS_2		低コスト（中東・北アフリカ中心に）	シェアモビリティ進展	
B2DS_3				
B1.5D_1	2100年1.5℃未満（>66%）：気温のオーバーシュート有	標準	想定せず	想定せず
B1.5D_2		低コスト（中東・北アフリカ中心に）	シェアモビリティ進展	利用可
B1.5D_3				
B1.5D_4				

排出シナリオについては、特段の排出抑制を考慮しないベースライン（REF）の他に、50%確率で2℃未満が期待できるシナリオ（IEA ETP2017<sup>(13)</sup>の2DS相当）と、66%確率で2℃未満が期待できるシナリオ（同B2DS相当）を想定した。更に、2100年時点で66%確率で1.5℃未満が期待できるシナリオ（B1.5D）についても想定した。すべての排出削減シナリオについては、2030年までは各国は国別貢献（NDCs：Nationally Determined Contributions）に相当する排出削減を達成し、その後は限界削減費用均等化の下、世界全体で最も費用効率的に排出削減を行うシナリオを想定した。世界のCO<sub>2</sub>排出量の経路は図4のとおりである。B2DS、B1.5Dはそれぞれ2060年、2050年頃にCO<sub>2</sub>排出量がネットゼロになりその後ネガティブとなり、温室効果ガス排出ではそれぞれ2100年、2065年頃にネットゼロとなり、その後ネガティブとなるシナリオである。

### 3.3 モデル分析結果

表2に世界の2050年における排出削減費用を示す。2℃目標でも、>50%確率（2DS）か、>66%確率（B2DS）かで世界の削減費用に大きな差が見られる。また、中東等を中心とした再エネコスト低

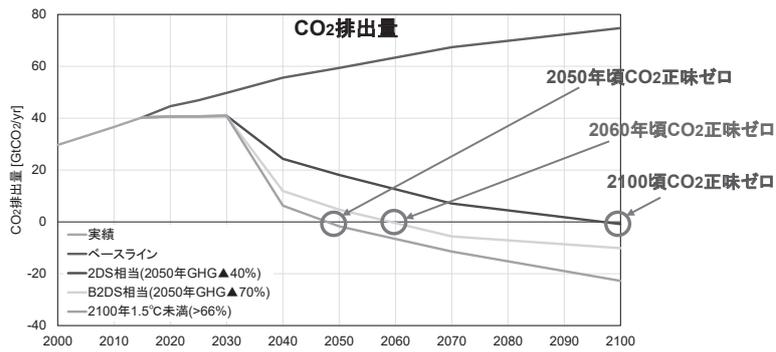


図4 想定した世界のCO<sub>2</sub>排出量のシナリオ

表2 世界の2050年の排出削減費用推計

	2°C, >50% (2DS)			2°C, >66% (B2DS)		1.5°C in 2100, >66% (B1.5D)		
	2DS_1 (標準)	2DS_2 (PVコスト低)	2DS_3 (+カーシェア)	B2DS_2 (PVコスト低)	B2DS_3 (+カーシェア)	B1.5 OS_2 (PVコスト低)	B1.5 OS_3 (+カーシェア)	B1.5 OS_4 (+DAC)
CO <sub>2</sub> 限界削減費用 (\$/tCO <sub>2</sub> )	183	169	152	524	430	実行可能無し	実行可能無し	151
CO <sub>2</sub> 削減費用 (billion US\$/yr)	2097	1585	ネガティブ費用	5650	ネガティブ費用	実行可能無し	実行可能無し	ネガティブ費用

位ケースの場合（ケース2, 3）、世界の対策費用低減に大きな効果が見られる。シェアモビリティ実現ケース（ケース3）では、限界削減費用が大きく低下し、シェアモビリティ非実現ケース比では負の削減費用と推計される。これは、完全自動運転車実現により、カーシェアリングが進展することで、自動車保有台数が減少し、自動車に要するコスト低減が、温暖化対策コストを上回ると推計されたことによる。なお、1.5°Cシナリオについては、DACを想定しない場合、実行可能解が得られなかった。DACを想定した場合は、DACCSのコストがCO<sub>2</sub>限界費用を決める傾向が見られ、本稿でのDACのコスト想定では2050年時点で150 \$/tCO<sub>2</sub>程度と、限界費

用をかなり抑制できる可能性が示されている。

図5に世界の発電電力量を示す。世界の発電電力量の伸びは大きいことがわかる。2050年時点で見ると、省電力により2DSシナリオではベースライン(REF)比で電力需要の低下が見られるが、より厳しい排出削減となるB2DSでは電力需要は大きくなる。2100年時点では2°C, 1.5°Cシナリオはいずれも、ベースライン(REF)よりも電力需要は大きい。ただし、DACを想定しなければ解が得られなかった1.5°Cシナリオでは、DACにより負排出を実現することで、水素等の大量の生産の必要性が低下するため、総発電電力量が低位になる傾向が見られている。

2°Cシナリオでは、2030年に向けてはガスの拡大、2050年以降は、再エネ、原子力の拡大、CCS利用が費用効率的となる傾向が見られる。2DSでは2100年頃、B2DSでは2060年頃のCO<sub>2</sub>排出ゼロに対応して、BECCSの利用の増大が見られる。PVコスト低位シナリオ(シナリオ2~4)では、水素製造用も含め、2100年の太陽光発電のシェアは大きく増大する結果が見られる。B2DSの再エネ比率は、2050年で60%程度、2100年で70%程度となっている。シェアモビリティシナリオ(シナリオ3~

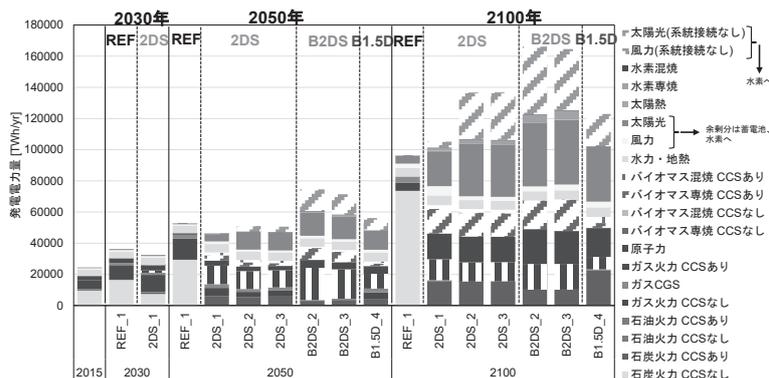


図5 世界の発電電力量

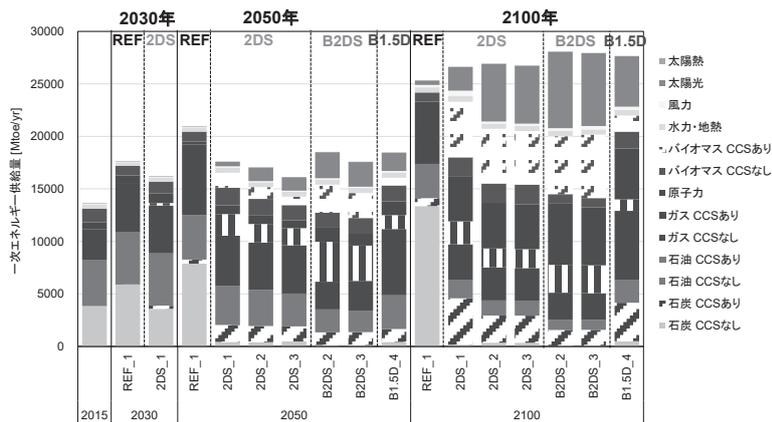


図6 世界の一次エネルギー供給量

4) では、特に2050年前後においてはBECCSの役割が低下する傾向が見られる。

図6に世界の一次エネルギー供給量を示す。B2DSでは2060年にほぼ正味ゼロ排出だが、2050年においても、CCS無しの化石燃料利用は一定量残る。BECCSで化石燃料燃焼からの排出をキャンセルアウトした方が経済合理的となるためである。B1.5Dでは、DACCSを想定した場合のみ解が得られたため、DACCSによる負排出が経済合理的となり、CCS無しの化石燃料利用は相当量に上る。世界の一次エネルギー供給量ベースでは、B2DS\_3シナリオの再エネ比率は、2050年で38%程度、2100年で53%程度となっている。

先に言及したように、ネットゼロエミッションのためには、再エネの拡大が必須であり、一方、間欠性の高い再エネの利用拡大のためには、蓄電池や水素さらには合成燃料などの技術を含めて、システム

全体として技術開発・展開が重要になってくる。図7には技術別の世界の水素需給バランスを示す。水素製造は、PVコストが標準ケースの場合(ケース1)は、石炭(褐炭含む)からのガス化やガス改質(いずれも+CCS)が経済合理的な傾向が見られる。一方、PVコスト低位ケースの場合(ケース2,3)は、PV+水電解が経済合理的な傾向が見られる。

水素利用先は多様であり、2°C、1.5°Cシナリオでは、合成燃料としての水素利用も経済合理的となる傾向が見られる。DAC有の1.5°Cシナリオでは、DACによってCO<sub>2</sub>限界削減費用が低減することで、水素の経済性が少し低下する傾向が見られる。

図8に2050年の世界の部門別排出量を示す。潜在的に(REFシナリオ)は発電部門での排出量の伸びが大きく、2015年比で2050年に2倍以上と見込まれる。2DSで、シェアリングを想定しないシナリオ(シナリオ1,2)では、発電部門は大量の

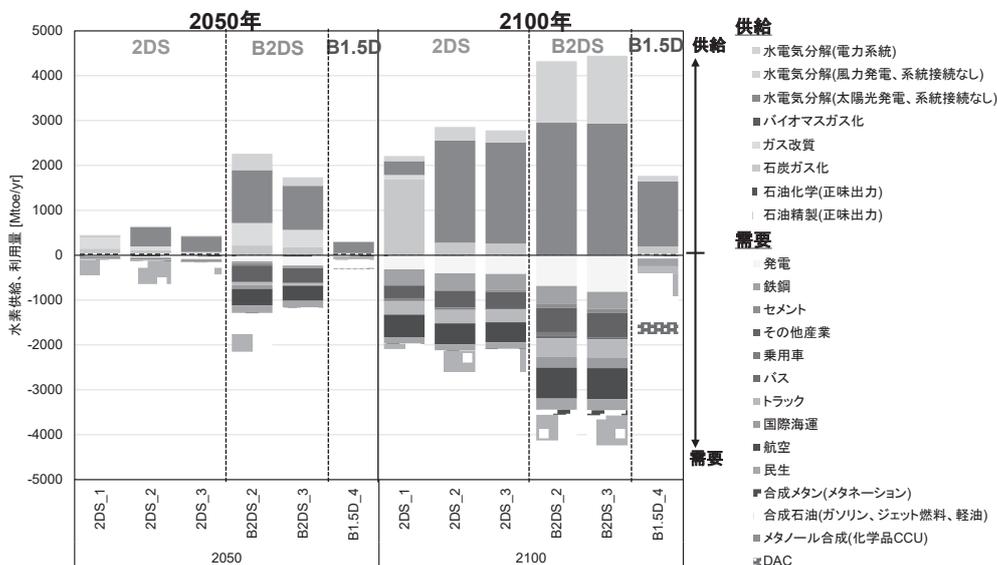


図7 技術別の世界の水素需給バランス

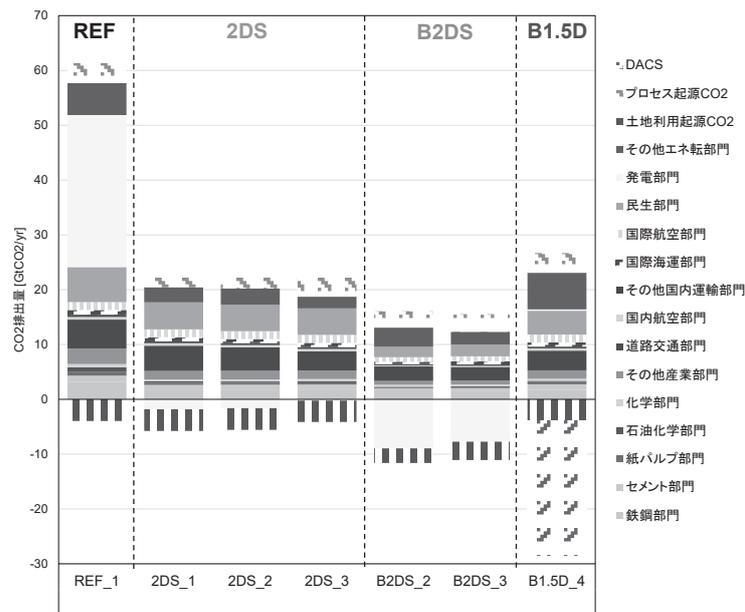


図8 2050年の世界の部門別排出量

BECCS 利用によって負排出だが、シェアリングを想定したシナリオ（シナリオ3）では、道路交通部門で排出削減が進むため、かわりに発電部門の正味排出はほぼゼロになっている。一方、B2DSでは、発電部門において、更に大きな規模での BECCS 利用によって、シェアリングを想定したシナリオであっても、正味負排出となっている。DAC を想定した 1.5℃シナリオ（B1.5D\_4）では、相当量の DACCS により、経済合理性から発電部門を含む多くの部門で一定の排出が許容されている。2DS 程度の排出が許容され、それを DACCS でキャンセルアウトする方が経済合理的な結果となっている。

#### 4. その他既往分析におけるエネルギーシナリオ分析

本章では、2℃や1.5℃目標などに相当するシナリオの分析について、前章で紹介した RITE のシナリオ分析以外について、紹介する。

##### 4.1 世界の分析

図9に国際エネルギー機関（IEA）による世界一次エネルギー供給量のシナリオ分析を示す<sup>(14)</sup>。STEPSは、NDCsを含む現状政策の延長線上での見通しである。SDSはおおよそ2℃、>66%に相当するシナリオである。SDSの場合、2070年はほぼ正味ゼロ排出となるシナリオであり、一次エネルギーとしても、太陽光発電を中心に、再エネが相当

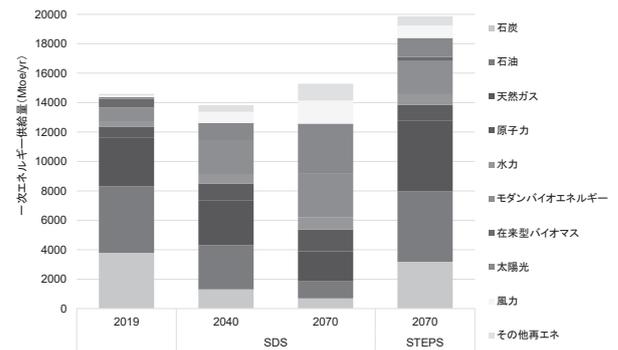


図9 IEA シナリオにおける世界一次エネルギー供給量<sup>(14)</sup>

大きく拡大するシナリオとなっている。ただしそれでも、一次エネルギーベースでは、化石燃料は相当量残っている。総一次エネルギー供給量に占める再エネ比率は65%程度となっている。なお、総発電電力量に占める再エネ比率は2070年に85%程度となっている。一次エネルギー、発電電力量ともに、IEAシナリオは、前節で紹介したRITEの分析よりも少し再エネ比率は高い傾向が見られる。ただし、RITEの分析同様、ネットゼロエミッション時であっても、再エネ100%とまではいかず、原子力、CCS、そしてNETsも組み合わせるシナリオを示している。

##### 4.2 日本の分析

最後に、日本の分析については、複数のモデルで比較評価した文献<sup>(15)</sup>について紹介する。図10は、各種シナリオにおける日本の発電電力量に占める脱炭素電源の比率である。世界のカーボンバジェット

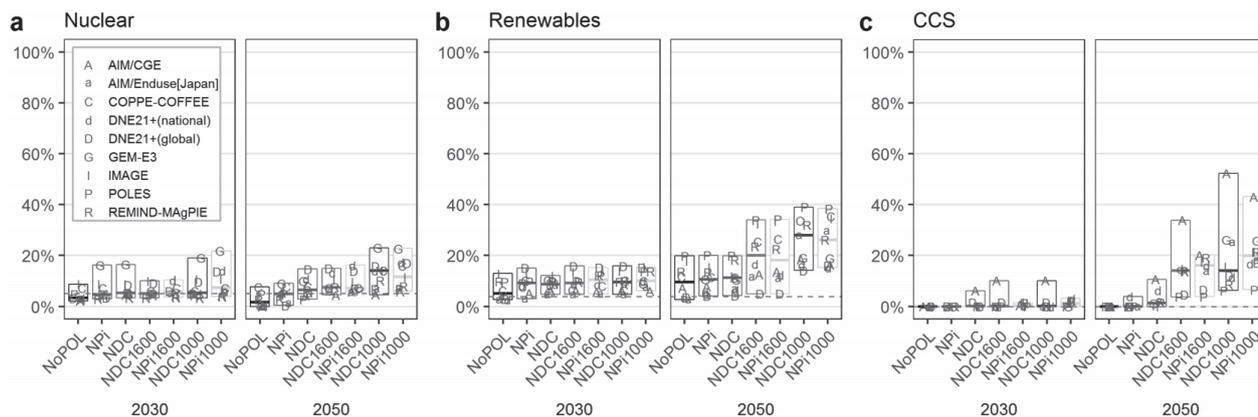


図10 複数モデルによる日本の発電電力量推計（原子力，再エネ，CCSの総発電電力量に対する比率）<sup>(15)</sup>  
 注）NPI：現状政策，NDC：パリ協定国別貢献NDCを考慮，1600および1000の数字は世界のカーボンバジェット想定の上  
 限値で，1600は2℃，>50%確率相当で世界で1600 GtCO<sub>2</sub>が累積の排出上限，1000は2℃，>66%確率相当で世界で  
 1000 GtCO<sub>2</sub>が排出上限の場合

1000 GtCO<sub>2</sub> (2℃, > 66%確率) を想定したシナリオで、日本の2050年排出量は7～8割程度の削減が見込まれている。

まず、厳しい排出削減に伴い、脱炭素化電源である原子力、再エネ、CCSの比率の上昇がいずれも見られる。ただし、モデルによって、どの電源を、より経済効率的と評価しているかは若干差異がある。2050年7～8割程度の排出削減シナリオにおいては、総発電電力量に占める再エネ比率は20～40%程度と報告されている。

本分析はネットゼロエミッションを評価したものではないが、大幅な排出削減のために、再エネの拡大は必須であるものの、一定程度の水準で全体最速を図ることの重要性も示されている。

## 5. まとめ

脱炭素化の流れが強まっており、再生可能エネルギーが主要な役割を果たすことになる。脱炭素化の方向性にある中で、電力化率の向上と再エネの主力化は、頑健な対応策と言える。しかし、すべての最終エネルギーを電気にもすることも非現実的であり、同様に、エネルギー供給をすべて再エネにすることも非現実的である。再エネ拡大は必須であるが、それでも、原子力やCCSといった他の脱炭素エネルギーの活用、デジタル化による社会変化を伴った省エネ、そして、DACCSのような負の排出技術も、経済合理的に大幅な排出削減を実現するためには重要と考えられる。各種技術について開発を進めながら、コストを見極め、展開の規模を図っていく必要がある。

## 参考文献

- 1) IPCC, Special Report on Global Warming of 1.5 °C. (2018) <https://www.ipcc.ch/srocc/>
- 2) A. Grubler et al., A Low Energy Demand Scenario for Meeting the 1.5 °C Target and Sustainable Development Goals without Negative Emission Technologies. Nature Energy, 3 (6) (2018)
- 3) IPCC WG3, The fifth Assessment Report-Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (2014)
- 4) IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2019 (2019)
- 5) P. Smith et al., Biophysical and economic limits to negative CO<sub>2</sub> emissions, Nature Climate Change, 6, 42-50 (2015)
- 6) N. Bauer et al., Global energy sector emission reductions and bioenergy use: overview of the bioenergy demand phase of the EMF-33 model comparison, Climatic Change, 163 (3) (2018)
- 7) M. Fasihi, O. Efimova, C. Breyer, Techno-economic assessment of CO<sub>2</sub> direct air capture plants, Journal of Cleaner Production, 224, 957-980 (2019)
- 8) 経済産業省, カーボンリサイクル技術ロードマップ, (2019) <https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190607002/20190607002-1.pdf>
- 9) K. Akimoto, et al.; Estimates of GHG emission reduction potential by country, sector, and cost, Energy Policy, 38 (7) , 3384-3393 (2010)

- 10) K. Akimoto, F. Sano, T. Tomoda, GHG emission pathways until 2300 for the 1.5 °C temperature rise target and the mitigation costs achieving the pathways, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **23** (6) (2018)
- 11) 秋元圭吾 他, デジタル化の進展によるエネルギー需要の変化に関するエネルギー・温暖化対策の総合的な分析, 第37回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (2021)
- 12) 佐野史典 他, 世界エネルギーモデルによる大気CO<sub>2</sub>直接回収技術の評価, 第37回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (2021)
- 13) IEA, *Energy Technology Perspectives 2017* (2017)
- 14) IEA, *Energy Technology Perspectives 2020* (2020)
- 15) K. Oshiro, et al, Mid-century emission pathways in Japan associated with the global 2 °C goal : national and global models' assessments based on carbon budgets, *Climatic Change*, 2019

### 著者略歴



秋元圭吾 (アキモト ケイゴ)

1999年3月横浜国立大学大学院工学研究科博士課程(後期)修了。同年4月(財)地球環境産業技術研究機構入所。2011年12月より現職。IPCC第3作業部会第6次評価報告書代表執筆者。総合資源エネルギー調査会他、審議会委員を多数務める。エネルギーシステム・気候変動緩和策のシステム分析が専門。博士(工学)。