

# 日本の気候変動長期目標及び達成政策の特徴と今後への示唆 イギリスとの比較を中心に

(公財) 地球環境産業技術研究機構 山口光恒

## 目次

1、はじめに.....	2
2、イギリスの長期目標に対する考え方とその達成策.....	3
2-1 2050年80%削減目標制定の考え方.....	3
2-2 2050年80%削減目標と費用便益分析.....	5
2-3 長期目標達成に向けての短期目標の仕組み.....	7
2-4 イギリスの長期目標修正（2050年ゼロエミッション）とその内容.....	9
2-4-1 ネットゼロエミッションの概要と淵源.....	9
2-4-2 ネットゼロ実現のシナリオ（技術面からの検討）.....	11
2-4-2-1 意欲的目標シナリオの内容.....	11
2-4-2-2 投機的シナリオの内容.....	19
2-5 部門別（平均）限界削減コストと総削減費用.....	20
2-6 イギリスの長期目標達成コストと目標達成への懸念.....	23
3 EUの2050年気候中立に向けた動き.....	23
3-1 EUの長期目標の淵源.....	23
3-2 ビジョンとしての気候中立（イギリスとの相違）.....	24
3-3 総削減費用.....	26
3-4 European Green Dealと気候中立枠組み法案の提示.....	27
4 日本の長期目標.....	29
4-1 長期目標の決定とその理由.....	29
4-2 長期目標達成のシナリオとコスト.....	30
4-3 技術中心の日本の長期政策.....	34
終わりに 日本発国際社会への新たな考え方の提示.....	37

## 1、はじめに

2015年の気候変動枠組み条約第21回締約国会議（COP21）で合意されたパリ協定では、気候変動対策の目標として工業化以降の気温上昇を2°Cを十分下回る水準とすること（出来れば1.5°Cを目指す）、これに向けて温室効果ガス（GHG）の排出と吸収を今世紀後半にバランスさせること（ネットゼロエミッションの達成）、この際衡平性、持続可能な発展、貧困撲滅を視野に入れることに合意した<sup>1</sup>。COP21から要請を受けたIPCCは2018年10月、1.5°C特別報告書（Global Warming of 1.5°C、IPCC 2018）を発表し、その中で1.5°C目標達成に向けた排出削減シナリオの検討を行った<sup>2</sup>。この報告書では1.5°C努力目標達成には2050年前後にCO<sub>2</sub> ネットゼロを実現しそれ以後はマイナス排出を続ける必要があること（その他のGHGは削減は当然必要だが必ずしもnet zeroの必要はない）が明示され<sup>3</sup>、これを機に欧州を中心に自国の削減目標として2050年ネットゼロの動きが活発化してきている。実際にイギリスでは2019年6月に2050年のGHG ネットゼロを法定化し（UK 2019）、EUもほぼ同様の法律を制定すべく欧州委員会が本年3月に正式な提案を行っている（EU 2020b）。

日本政府はCOP21を半年後に控えた2015年7月、2030年度のGHG削減目標（中期目標）を2013年度比26%減と決定し、後日これを気候変動枠組み条約事務局に提出し、パリ協定合意の5ヶ月後の2016年5月には、2050年に向けた長期目標として、GHG80%削減を閣議決定した。その背景としてパリ協定の他、2015年のG7サミットでの首脳宣言にある「世界全体の排出削減目標に向けた共通のビジョンとして2050年までに2010年比で40%から70%の幅の上方の削減とすることを気候変動枠組条約の全締約国と共有する」ことが挙げられている（日本政府2016）<sup>4</sup>。注意すべきは中期目標では起算年が2013年と明記があったが、長期目標についてはこれがないことである。このことはG7サミット宣言についても同様である点指摘しておく。

上記の通り欧州と日本が2050年に向けた削減目標を発表し、目標達成に向けた政策を公表しているが、欧州と日本の間には目標制定の考え方、目標達成政策の内容が大きな差

---

<sup>1</sup> パリ協定第2条及び第4条

<sup>2</sup> COPからの要請は工業化から1.5°C上昇の際の影響と、目標達成に向けての排出経路の2点であったが、本稿との関連ではこのうち1.5°C目標達成の排出経路に焦点を当てる。

<sup>3</sup> IPCC (2018) Figure SPM\_3a。実際には期間中に一度も1.5°Cを超えないno overshootの場合とovershootはするがその程度によってゼロエミッション達成時期（期間）は異なり、更に目標気温をどの程度の確率（例えば66%や50%）で達成するか、TCRE (Transient climate response to cumulative carbon emissions、累計CO<sub>2</sub>排出量に対する気温上昇の程度)をどう見るか、気温を何によって測るか（地球の陸地や海洋のすぐ近くの大気の気温-SAT-か、海洋については海面の水温で測り陸地の地表気温と平均した気温ではかるか-GMST-）等々によってゼロエミッション達成の時期は異なるが、本稿の目的は気温目標達成に向けての長期目標の政策比較であるので、こうした詳細な議論には立ち入らず、およそのところとして1.5°C達成には2050年前後にCO<sub>2</sub>ゼロエミッションが必要という事で議論を進める。

<sup>4</sup> その前提として「パリ協定を踏まえ、全ての主要国が参加する公平かつ実効性ある国際枠組みの下、主要排出国がその能力に応じた排出削減に取り組むよう国際社会を主導し、地球温暖化対策と経済成長を両立させる」ことを挙げている。

がある。こうした中で特にこの相違が際立っているイギリスと日本を比較することで、日本の特徴を際立たせ、加えて日本の長期目標対策の今後への示唆を得るのが本稿の目的である。なお、アメリカはトランプ大統領の下で既に気候変動枠組み条約事務局にパリ協定離脱の通告を発しており、米国内で長期目標の議論がないことからここでは対象としないこととした。

なお、日本と比べるとイギリスの方が論理的且つ詳細を究めているので、順序として先ずイギリスの長期目標及びその達成策について詳述し、次いで日本のそれを比較検討することとする。なお、適宜 EU の長期目標に対する考え方とその達成策についても触れる。

## 2、イギリスの長期目標に対する考え方とその達成策

### 2-1 2050年80%削減目標制定の考え方

既述の通りイギリスは2019年に（2008年制定の気候変動法（Climate Change Act 2008、CCA 2008）を修正する形で）2050年ネットゼロエミッション（以下特に断らない限り単にゼロエミッションとする）を定めたが<sup>5</sup>、2008年には既にCAA 2008で2050年に1990年比GHG80%減を決めていた。こうした経緯からイギリスの昨年のゼロエミッション目標を理解するには先ず2008年の80%削減目標の背景を理解する必要がある。

パリ協定で気温目標が合意される以前は、気候変動対策の究極目標としては、「危険でない水準でのGHG濃度の安定化」で、これを生態系が適応可能で食糧生産を脅かすことなく、かつ経済が持続可能な態様で成長する時間軸で達成すること」であった（気候変動枠組み条約第2条）。しかしGHG濃度と気温上昇の関係には大きな幅があり（気候感度の幅）、どの程度の濃度が危険かどうかは判断のしようが無い。こうした中でEUは1996年6月のEU環境閣僚会議の場で、前年発表されたIPCCの第2次報告書を参考に世界に先駆けて2℃を目標（濃度としては550ppmCO<sub>2</sub>）とすることで合意した（EU 1996）<sup>6</sup>。イギリスは当時EUの一員であったが、イギリスの80%目標の淵源はこの2℃目標にある。

ここで論点は少しずれるが理解の正確性を期すため、イギリスの気候変動政策の決定方式について簡単に述べる（詳細は山口光恒（2017）参照）。イギリスには気候変動問題の専門家からなる政府とは独立の気候変動委員会（CCC、Committee on Climate Change）があり、CCA 2008にある2050年80%削減目標は、CCCの勧告を受けて制定されたものである。CCCは長期目標の修正の可否とその内容、これに加えて目標達成に向けての5年ごとの削減シナリオ（炭素予算、carbon budget と呼ばれる）等について政府に勧告を行い、これを公表する。政府はこの勧告を考慮する義務を負い、もし勧告と異なる決定を下す際にはその理由を公表せねばならない。実際2008年の80%削減目標、2019年のゼロ

<sup>5</sup> CCA 2008の規定上目標変更が認められるのは、1）気候変動に関する科学的知見の進展やEUあるいは国際条約の変更、または2）対象ガスの増加あるいは国際航空及び海上輸送からの排出に関する規制と関連する場合に限られる（CCA 2008 Part I-2）。この変更は1）に該当すると思われる。

<sup>6</sup> Given the serious risk of such an increase and particularly the very high rate of change, the Council believes that global average temperatures should not exceed 2 degrees above pre-industrial level.

エミッション目標については CCC の勧告がほぼそのまま受け入れられた経緯があり<sup>7</sup>、イギリスの 80%削減目標の内容を知るには CCC の勧告にあたる必要がある。こうしたことから、以下は 2008 年の CCC の勧告 (CCC 2008a) の内容を中心にイギリスの長期目標について述べることにする。CCC の勧告は先ず世界全体のあるべき姿を論じ、次いでその下でのイギリスの目標を勧告するという 2 段構えになっている。

イギリスの 2050 年目標制定の根拠は①まず世界全体として工業化以降の気温上昇限度目標を決め、次に②これを達成するための 2050 年時点の世界全体の排出目標を決め、その中で③イギリスが負担すべき排出量を推定し、これを以てイギリスの 2050 年排出削減目標とするというものである。①は 2°C 目標 (2100 年時点)、②は 2050 年世界半減目標を充て、この結果として③が 80%減となる。極めて論理的な決め方であるが、2°C 目標は当時 EU が世界の目標にすべく世界に働きかけていた目標である (最終的にそうなったのは 2015 年のパリでの COP21 である)。気温上昇による損害増などの図を示しているがなぜ 2°C でなければならないかについての論理的説明はない。この点はイギリス政府の価値判断であるが、EU の一員として EU が掲げる 2°C 目標と歩調を合わせたものであろう (或いは EU の 2°C 目標そのものをイギリスがリードしたのかも知れない)。気温目標に関して興味深い点は、4°C 上昇の場合の損害は 2°C の倍を遙かに超えるとして今世紀中の 4°C 上昇を極めて危険な気温上昇とし、2°C に加えて 4°C を超える確率を 1% 以下に抑えよとの付帯条件を設けている点である。これは他国にはない目新しい条件である。こうした条件の下で世界の GHG 削減経路を求める。

CCC は世界の GHG 排出量のピーク年として 2016 年と 2028 年の両年をとりそこから一定割合で排出を減らす場合の気温上昇をモデルで計算したが、2028 年ピークでは全てのケースで気温上昇が 2°C を超えてしまうのでこれを候補から外している。最終的に要件を満たすのは 2016 年をピークとし、以降の削減速度が年間 3% 以上のケースのみであった<sup>8</sup> (次頁図 1)。とはいえ 2°C を超えてしまう確率は年 3% 削減だと 63%、年 4% 削減でも 56% もある点に留意の必要がある<sup>9</sup>。この場合 2050 年の世界 GHG 排出量は 20-24 GtCO<sub>2</sub>e、削減幅は 90 年比 34-46% (2008 年比で 50-59%) となる。これは当時の G7 の声明にある 50% 削減 (但し起算年無し) にも合致するとして正当化している。以上が 2°C 目標達成のための世界の GHG 排出経路と 2050 年の排出量である。

---

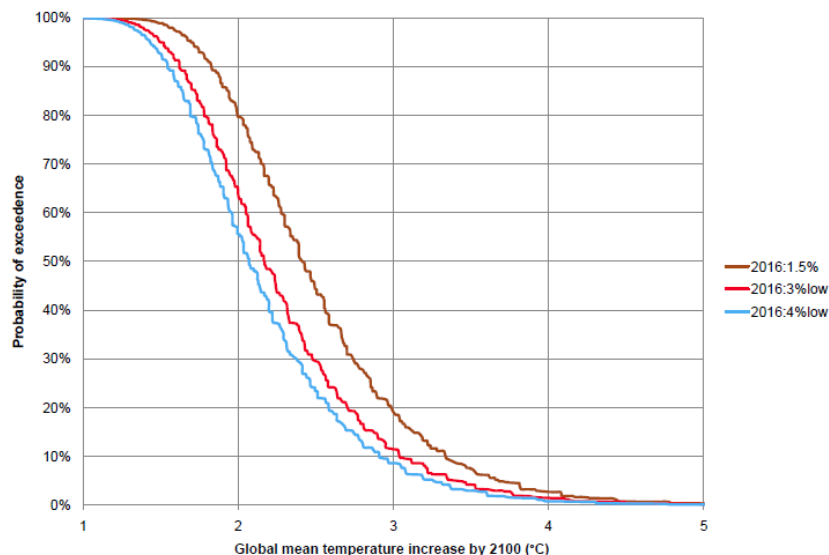
<sup>7</sup> CCC の勧告は国内対策だけでの 80%削減 (2019 年の場合は 100%削減) を勧告したが、この点政府は受け入れを留保している。この他国際航空・海運の扱いにも両者の間に相違が見られるが、それ以外はほとんど勧告がそのまま政府の目標・政策となっている。

<sup>8</sup> 2017 年以降も世界の排出量は増加を続けており、この場合以降の削減速度を上げる必要があるが、コロナウイルスによる排出減がどの程度継続するかは要注視である。

<sup>9</sup> この試算は気候感度次第で大きく変わるものであるが、CCC (2008) の技術付録 18 頁には IPCC 他各種文献に当たった結果、2004 年の Nature 誌掲載の Murphy, J. M., et al. (2004) Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations のそれをとるとある。同頁の Figure 7 を見ると気候感度の幅は 2°C-5°C (5-95% の範囲) Median は 3°C 弱となっている。この是非は別にしてこうした点まで検討した上での CCC の勧告であるという点が重要と考える。

(図 1) 2100 年に所定の気温上昇に達する確率、2016 年排出ピークの場合

Figure 1.11 Probabilities of exceeding a given global mean temperature increase by 2100 for emissions trajectories peaking in 2016



出典：CCC 2008a 25 頁、縦軸：超過確率、横軸：2100 年までの気温上昇。排出経路の上から年間削減率 1.5%、3%、4%。上記からいずれのケースでも 2100 年に 2°C を超える確率は 50% 以上あること、4°C を超える確率が 1% 程度になるのは削減率が 3% 或いは 4% の場合のみであることが分かる。

ここからイギリスの 2050 年 80% 削減目標はどのようにして導かれたのか。CCC では世界の排出量を先進国と途上国の間でどう分担するのがかについて気候変動枠組み条約に明記されている共通だが差異のある責任 (common but different responsibilities、CBDR) に関する考え方を整理し、最終的には一人あたり排出量均等化と GDP あたり GHG 原単位 (排出割合) 均等化に二分されるとしつつ、どの方式が良いかについては判断を留保し、実行可能性や公平性を考えると前者とすべきだとした。国連の 2050 年の中位人口見込み (92 億人) と 2050 年の目標排出量から一人あたり排出量 2.1~2.6 トンが得られるが、これに 2050 年のイギリスの見込み人口を乗じるとイギリスの排出量は 146~180Mt となり、90 年比 78~82% 減となる。これが 80% 削減の根拠である。このことから分かる通り、CCC の提案及びそれを受けてのイギリス政府の決定は、長期的には一人あたり排出量均等化を受け入れたもので、この点もイギリスの長期目標の大きな特徴である。

## 2-2 2050 年 80% 削減目標と費用便益分析

本稿の主題はイギリスの 2019 年の 2050 年ゼロエミッション目標と日本の 2050 年 80% 削減目標の比較を通して、日本の長期目標への示唆を得るところにあるので、イギリスの 2008 年の 80% 削減目標についてはこれ以上深入りは避けたいが、イギリスの 80% 削減目標については費用便益分析が公表されているのに対してゼロエミッション目標につい

てはそれが無いので、2008年の費用便益分析について簡単に述べておきたい。この点も長期目標制定に際しての日本とイギリスの大きな相違の一つである。

既述のCCCの2008年の勧告（CCC 2008a）は5部14章、全文は480頁に及ぶ大部のものであるが、この多くの章に別途技術付録が付帯している。例えば第II部第5章は発電部門の脱炭素化について検討したものであるが、この章の技術付録として発電部門の脱炭素化のコストがあり、そこには発電部門の技術別限界削減費用曲線が載っていて非常に興味深い。同様に第I部第2章 Meeting a 2050 target についても統合評価モデルによる評価結果が技術付録としてあり（CCC 2018b）、ここにモデルによる80%削減の費用便益分析（Cost Benefit Analysis, CBA）の結果があり貴重な内容なので以下エッセンスのみ紹介する。モデルとしてはDICE（Nordhaus）、FUND（Richard Tol）など代表的なモデルを検討し、最終的にはケンブリッジ大学 Hope 教授のPAGEモデルを採用している<sup>10</sup>。但し非市場損害の金銭換算の不確実性から「最適」排出経路（排出削減割合）を求めるのでは無く、80%削減の費用と便益の大小を比較したものとなっている。計算の前提として気候感度は2~5℃（最良推定値3℃）を用い<sup>11</sup>、気温上昇と損害の関係を表す損害函数については、モデルではとらえることが出来ない損害等を考えて1、2、3乗倍<sup>12</sup>にしている

（CCC 2008b p.6~7）。不可逆の大災害が発生する気温上昇は不明であるが、PAGEでは5℃と仮定し、以降気温が1℃上昇する毎に発生可能性が1割ずつ増えると仮定している

（同 p.17）<sup>13</sup>。次に将来損害の現在価値の計算に大きな影響を及ぼす割引率（純時間選好率）について著名な学者（Nordhaus、Weitzman など）の学説を引用しつつ高度に専門的な議論を展開し、結論として0.1%（Stern Review）、0.6%、1.5%（イギリス政府のGreen Book）、それに時間と共に漸減する率を用いている。

上記を踏まえた費用と便益の現在価値の比較は図2の通りである。それによると2℃目標達成のための対策（2016年ピーク、以降年3%或いは4%で削減）による便益は想定した4つの割引率（正確に言えば純時間選好割引率）のいずれの場合もコストを遙かに上回る（つまり対策は正当化される）。図2は2016年以降毎年4%で削減する場合の費用（赤色）と便益（黒色）であるが、削減率3%の場合も大同小異である。

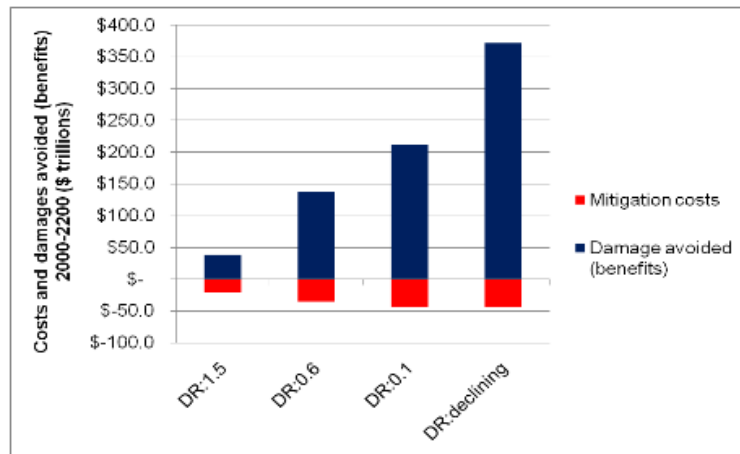
（図2） 割引率ごとの費用と便益（mean、2000-2200年）単位兆ドル

<sup>10</sup> この理由は、このモデルが気温上昇による損害のうち市場及び（健康・環境などの）非市場の両方の損害を含む上に、（例えば西南極大陸の氷床崩壊と言った）不可逆の大災害による金銭評価を含む極めて少ないモデルで、且つ中庸な結果を示すモデルだからであるとしている（CCC 2018b p.4）。

<sup>11</sup> PAGEモデルは計算に際し最新の知見という意味で極力IPCC第4次報告（2007年公表）を用いているとしつつ、例えば気候感度は第4次報告では2~4.5℃（最良推定値3℃）とあるがこれより大きい可能性も無視できないとして2~5℃（最良推定値3℃）を用いている。

<sup>12</sup> 気温上昇が2倍と仮定すると、1は損害も2倍（つまり気温と損害は比例）、2は損害が2<sup>2</sup>で4倍、3は2<sup>3</sup>倍（つまりに8倍）になることを示す。

<sup>13</sup> その結果、Baselineシナリオでは2100年には気温が4℃上昇と予測されるので損害額はGDPの4%（1℃-9℃）、2200年には11%（3-28%）となると推定されている（括弧内は5th及び95th percentile）。



出典：CCC 2008 技術付録 20 頁、赤がコスト、青が便益、DR は純時間選好割引率

CCC は割引率がどこまで高くなると費用 > 便益となるかの試算もを行い、2.25%と 2.5%の間が分岐点となった。Nordhaus が主張していた 3% の場合には費用 > 便益となるので 2°C 目標を目指すべきではないということになる。割引率が如何に重要かを示す一つの例である。

参考までに 80%削減の 2050 年時点でのコストは GDP の 1-2%と試算されている (CCC 2008a p.XIV) .

### 2-3 長期目標達成に向けての短期目標の仕組み

イギリスでは 2008 年気候変動法により政府は長期目標達成に向けた 5 年ごとの短期目標 (炭素予算—Carbon Budget—と呼ばれる) を定めることが規定されている。炭素予算についても CCC が政府に勧告をし<sup>14</sup>、特段の理由が無ければ政府はこれに従うこととされており (CCA 2008 第 4 条、33 条)、実際にも国際航空・海運の扱い等一部を除いて政府はこの勧告に従っている。2008 年には第 1 次炭素予算 (2008 年～2012 年) から第 3 次炭素予算 (2018 年～2022 年) が制定され、現時点で表 1 の通り第 5 次炭素予算までが決定している。2020 年を中心とする 5 年間の第 3 次予算の年平均排出量は 90 年比 34% 減、2030 年を中心とする第 5 次予算のそれは同 57%減と大変意欲的なものとなっている。CCC では各予算について進捗状況を報告し、次期炭素予算の勧告を行うが、政府はこれを基に議会で諮った上で決定する (第 5 次炭素予算については政府は基本的には CCC の勧告を受け入れたが、CCC が主張した海運部門の追加、消費ベースの排出の考慮、2030 年に向けての発電部門の炭素強度 (100gCO<sub>2</sub>e/kWh) を含む部門別の目標の採用は見送った)。

<sup>14</sup> この際は気候変動の科学的知見、対策技術の状況、経済的影響 (特に経済全体および特定業種の国際競争力への影響)、エネルギー政策への影響等を考慮し、これに基づきあらゆる政策について必ず費用と便益面での分析が公表されている。

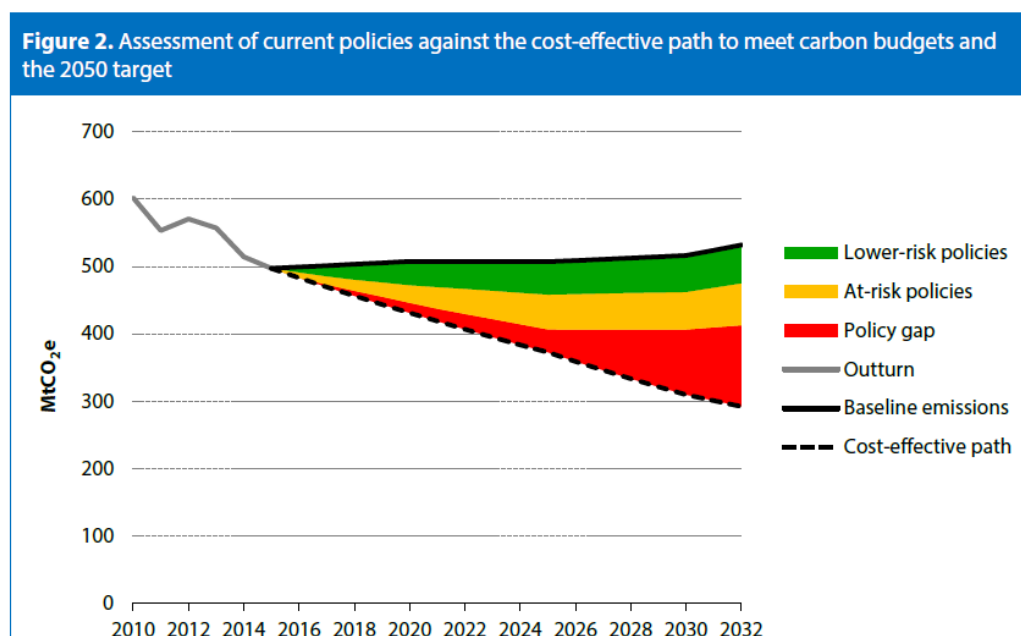
炭素予算について特筆すべきは、各炭素予算は予算開始年度の12年前の6月末までに制定することが法律で義務づけられている点である（CCA 2008 第4条）。この目的は全ての関係当事者に対して将来の政策の不確実性をなくすことである。このあたり日本との比較では大いに参考になる。

（表1） 炭素予算と90年比削減率

	第1炭素予算 (2008-2012)	第2炭素予算 (2013-2017)	第3炭素予算 (2018-2022)	第4炭素予算 (2023-2027)	第5炭素予算 (2028-2032)
排出量(5年間) MtCO <sub>2</sub> e	3018	2782	2544	1950	1725
90年比	△23%	△29%	△34%	△50%	△57%

第3次炭素予算までは何とか達成可能であるが、第4次、第5次になるとかなり苦しい。2016年6月の報告でCCCはイギリスの2030年目標（第5次炭素予算）の実現可能性を検討している。それによると2030年目標達成に必要な削減量のうち47%（量にして1億トン）はそのための具体策が無い状況とある。特に指摘しているのはCCS政策の後退（補助の取りやめ）、低炭素 Heat 利用と2020年以降の自動車燃費規制が全く進展していないことを挙げ、これらについて強力な政策を打ち出すことを要請している（CCC 2016 p.13）。これを図で示したのが図3である。つまり今後CCSをはじめとする追加策がない限り目標達成が難しいことを示している。

（図3） イギリスの第5次炭素予算達成の可能性



出典：CCC (2016), 15 頁

第5次炭素予算達成の排出経路（黒点線）とBaseline排出量（黒直線）との差のうち緑は達成可能、黄色は資金手当の欠如や障害除去に動いていない対策、赤の部分は裏付けのある政策無しの部分（約1億トン）

上記進捗状況報告が出た同じ6月に Brexit を巡る国民投票で離脱派が勝利、それ以降イギリス政府と議会の混迷を経て2020年3月、イギリスはEUを離脱した。こうした中でパリ合意での1.5°Cという努力目標を念頭に2019年5月にCCCが政府に2050年ネットゼロ目標を提案し（CCC 2019）、翌月政府は海運・航空の除外等一部修正はしたものの、これを受け入れた。なお、CCCはゼロエミッション提案の際、この時点では上記炭素予算は見直さず、2020年（12月）に第6次炭素予算（2033–2037年）を政府に勧告する際に見直すとしている（CCC 2019 p.30）、上記80%削減を前提とした第5次予算は更に強化されるものと思う。イギリスは正に正念場を迎えることとなる。

## 2-4 イギリスの長期目標修正（2050年ゼロエミッション）とその内容

CCA 2008の下で目標が変更できる要件のうちに「気候変動に関する科学的知見の進展やEUあるいは国際条約の変更」がある。2018年のIPCC1.5°C報告書は新たな科学的知見であり、2015年のパリ協定は国際条約の変更にあたる。こうしたことから2019年5月にCCCがイギリスの長期目標の見直し（2050年ネットゼロエミッション）およびその達成に向けた政策を勧告し、翌月政府がこれを受け入れてそれに沿った形で法律の修正を行った<sup>15</sup>。以下に述べるのはCCCの勧告の内容である<sup>16</sup>。

### 2-4-1 ネットゼロエミッションの概要と淵源

CCCは政府に対する勧告の冒頭で、前年（2018年）のIPCC1.5°C特別報告書を挙げつつ最近の科学的知見、イギリスでの更なる削減のポテンシャル、追加削減のイギリス経済へのコストと便益を検討の結果2050年ネットゼロ排出が「必要」且つ「実現可能」であり、それを目指すことが「費用効果的（cost-effective）」と判断したとしている。ここで「必要」とは気候変動に対するGHGの影響が明らかなることに加えてパリ協定締約国としての立場であり、「実現可能」とはゼロエミッションへの技術が見えており政府の強い指導があれば実現可能と考えたこと、「費用効果的」とは主要技術のコストの下落で、GDP対比コストが2008年当時の80%削減と同程度と見込まれるからであると説明している（CCC 2019a p.8）。

続いてExecutive Summaryでは上記内容を敷衍しているが、このうち特に注意が必要な点をまとめると次の通り。まず現在の対策では2050年80%削減という従来からの目標の

---

<sup>15</sup> The Climate change Act 2008 (2050 Target Amendment) Order 2019

<sup>16</sup> CCCがこのために公表した文書は下記の通り膨大なものである。まずNet Zero: The UK's contribution to stopping global warming, Committee on Climate Change (CCC 2019a、全275頁)で全体像を述べ、Net Zero Technical report (CCC 2019b、全302頁)で実現のための技術について検討し、太陽光と風力発電の電力システムへの統合については技術付録であるTechnical Annex: Integrating variable renewables into the UK electricity system (CCC2019c、全17頁)で検討している。更にその前年にはバイオエネルギーに関する報告書（Biomass in a low-carbon economy, CCC 2018a、全160頁）、水素に関する報告書（Hydrogen in a low-carbon economy, CCC 2018b、全126頁）及び土地利用に関する報告書（Land use: Reducing emissions and preparing for climate change, CCC2018c、全99頁）を公にしている。CCCはこれらの検討結果を踏まえて2050年ゼロエミッションを勧告し、政府もこれを受け入れたものである。

達成さえも困難とした上で、重点分野として低炭素電源への移行、建物と暖房効率向上、電気自動車普及、CCS、植林などを挙げている。その上で、各セクターは従来の 80%削減目標に単に Negative emission (NE) 分を上乗せするだけでは駄目で、それぞれが NE 無しでゼロエミッションに近づけねばならぬとして、例えば自動車については 2040 年以前にガソリンとディーゼル車をゼロにする必要を強調し、CCS については世界での進展のペースが遅いが、それでも世界で稼働中或いは稼働が予定されている大規模 CCS プロジェクトが 43 件あるのに対してイギリスはゼロであるとして危機感をあらわにしている。この他植林も年に 2 万 ha (2025 年からは 2.7 万 ha) の目標に対して過去 5 年平均では 1 万 ha 以下でこの分野では自主的な手段では目標達成は困難としている。各セクターでこのように努力はするものどうしてもゼロ排出が困難な排出については CO<sub>2</sub> を永久に貯留しなければならないとして、CDR (Carbon Dioxide Reduction、この中心は BECCS—Bioenergy with CCS) を肯定的に捉えている<sup>17</sup>。

続いてネットゼロの対象を CO<sub>2</sub> だけとするのか GHG とするかを取り上げ、Global には滞留期間の長い CO<sub>2</sub> をゼロにすれば、その期間の短いメタンなどの GHG はゼロにせず安定化させることで気温は安定化 (stabilize) するとしつつ、イギリスについては CO<sub>2</sub> を中心とする長期滞留 GHG のみならずメタンもゼロにすることで 1990 年比 97%まで削減が可能で、この場合でも更なる削減余地が若干あるので目標としては 100%削減 (GHG ゼロエミッション) を目指すとしている。

次いでパリ協定との整合性を次の通り説明している。具体的には 2008 年当時の 80%削減目標は (既に説明の通り) 一人あたり排出量均等化から導き出したものである点に触れ、パリ協定にある Equity や Capacity の観点からはこれ (一人あたり排出均等化) では不十分とし、Equity の観点からはイギリスは消費ベースの排出量が大きいこと、過去からの累計排出量も大きいこと、人口が世界の 1%なのに排出量は 2~3%と大きくまた高所得国でもあるので従来の目標では不十分と分析し、Capacity の観点からはイギリスの一人あたり排出量は世界平均に近づいているが世界の排出量は増加を続けていること、加えてイギリスは高所得国なので追加行動の余地があることからパリ協定 (の 2°C 目標) を上回る削減が必要との観点からゼロエミッションとすることが適当と述べている。これに続いて 2°C 及び 1.5°C 目標の場合の世界の一人あたり排出量とイギリスのそれを比較し、イギリスの方が厳しい目標である点を強調している。例えば一人あたり排出量均等化原則で 2°C 目標を達成するとしたら世界平均では 2050 年には 0.8~3.2tCO<sub>2</sub>、1.5°C の場合には -0.4~+1.7tCO<sub>2</sub> となるが、イギリスはゼロなので先進国としての義務を果たしているとの論理である。要はイギリスの長期目標には先進国・途上国間の「共通だが際ある責任 (CBDR)」あるいは衡平性 (equity) にも合致するというものがある。イギリスの気候変動政策の特徴はこうした観点を一貫して保持していることである。日本の長期目標制定の際にこうした観点は一切考慮さ

---

<sup>17</sup> この辺り同年 11 月に公刊された国際エネルギー機関—IEA—の World Energy Outlook 2019 の Sustainable Development Scenario が原則として BECCS を認めていないのとは一線を画している。

れていない。

## 2-4-2 ネットゼロ実現のシナリオ（技術面からの検討）

CCCは現状（Core Option、80%減）、意欲的シナリオ（Further Ambition Option、96%減）、投機的シナリオ（Speculative Option、100%減）の3種の選択肢を示した上で、2050年ゼロエミッションに向けて100%減目標（ゼロエミッション目標）を採用すべきとしている（政府が正式にこれに従ったのは既述の通りである）。CCCは目標提示に際して実現可能性、削減コスト、気候変動以外の要素（消費者のエネルギーへのアクセス、国際競争力）を考慮し、更に外部専門化の意見も聴取している。CCCの分析の中心は意欲的シナリオなので、本稿でもこの点に焦点を当てる。

CCCは詳細な検討の前にまずは現状を振り返っている。2017年時点でのイギリスのGHG排出量（国際航空海運を含む）は503Mtで90年比39%減である。部門別に見ると2017年には発電と産業部門が90年比で大幅に排出を減らしている（前者は64%、後者は半減）が、陸上運輸は微増（+4%）、航空・海運は大幅増となっている。2050年に80%減を達成するには発電部門はゼロ、建物、運輸で大幅に削減の必要があるが現状シナリオでは2050年でも航空・海運、農業部門からの大幅減は期待されていない。上記からCCCは現状政策のみでは80%削減も困難と判断している（CCC 2019a p.138）が、2-4-1で述べた理由で100%削減を勧告したものである。

### 2-4-2-1 意欲的目標シナリオの内容 （80%削減シナリオとの相違）

意欲的シナリオは2050年96%減を目指したものであるが、これに後述の投機的選択肢を加えてゼロエミッションを実現しようというものである。説明の前に目標達成手段の業種別内訳を次頁に示す（表2）。これは意欲的目標達成に向けての部門別対策を現状80%減シナリオ（core scenario）と対比したものである。例えば発電部門では低炭素発電の割合が2017年には50%であるのに対して、2050年には現状シナリオでは97%、意欲的シナリオでは100%と余り変わりはない。しかし例えば航空・海運では持続可能なバイオ燃料が現状シナリオの5%・75%に対して意欲的シナリオでは10%・ほぼ100%に上昇する。両シナリオの乖離が大きいのは産業のCCS（50%→100%）、大型トラック（HGVs、heavy goods vehicles）の電化と水素を利用した燃料電池化（13%→91%）と言ったところである。なお、業種別限界削減費用については後述。

#### （残留排出量）

意欲的シナリオを実施した場合に最終的にどの部門でどの程度の排出が残るか（残留排出量、Remaining Emissions）を表すのが図4（13頁）である。ここにはCO<sub>2</sub>以外のGHGも含まれている。図には絶対値が表示されていないので、筆者が本文からこれを拾って図中に日本語で付記してある。左の棒グラフが部門別、右が温室効果ガス別である。黒の点線はネットの排出量を示している。このシナリオでは2050年に32MtCO<sub>2</sub>eqのネット排出が残っており、ゼロに達していないことが分かる

(表 2) 意欲的シナリオの部門別内容 (2017 年及び現状目標との対比を含む)

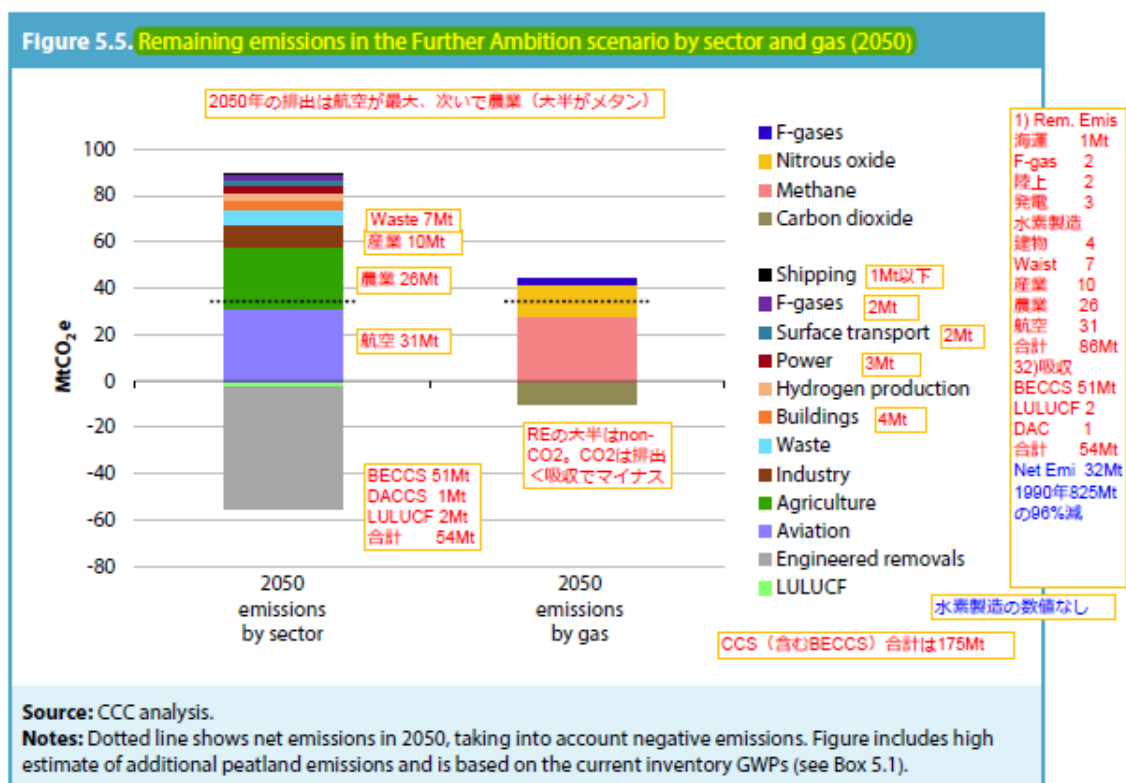
Table 5.1. Measures required under the Core and Further Ambition scenarios in 2050				
Sector	Measure	2017	2050 scenario	
			Core	Further Ambition
Power	Share of low-carbon generation	50%	97%	100%
	Low-carbon generation (TWh)	155	540	645
Buildings (Share of low-carbon heat*)	Low-carbon heat in existing homes	4.5%	80%	90%
	Low-carbon heat in non-residential buildings		100%	100%
Industry	CCS**	0%	50%	100%
	Low-carbon heat***	<5%	10%	85%
Surface transport (Share of fleet)	Battery electric cars and vans	0.2%	80%	100%
	Electric and hydrogen HGVs	0%	13%	91%
Aviation	gCO <sub>2</sub> per passenger-km	110	70	55
	Sustainable biofuel uptake	0%	5%	10%
Shipping	Ammonia uptake	0%	75%	~100%
Land use and forestry	Afforestation (% of UK land area)	13%	15%	17%
	Peatland restoration (% area in good condition)	25%	n/a	55%
Engineered removals (MtCO <sub>2</sub> )	BECCS	0	20	51
	Direct air capture	0	n/a	1

**Source:** CCC analysis.  
**Notes:** \*2017 represents share of heat from low-carbon sources, 2050 represents the number of existing homes with low-carbon heat. \*\*In manufacturing sectors with process emissions or internal fuel use (fuels produced using the industries' feedstock). \*\*\*Excluding in sectors with process emissions or internal fuel use (2017 and 2050 Core scenario exclude existing electricity use).

出典：CCC 2019a p.154

上記の 2050 年シナリオの内 Core が現行シナリオ、Further Ambition が意欲的シナリオである。

(図4) 意欲的シナリオでの2050年の部門別・ガス別残留排出量



出典：CCC 2019a p. 155

先ず部門別に見てみる。2050年のGross排出合計は86Mtでこのうち航空の31Mtが最大で、農業26Mt、産業10Mt、その他19Mt（うち発電は3Mt、陸上輸送2Mt、海運は1Mt）、これに対してnegative emissionsは植林・土地利用LULUCF（2Mt）、BECCS（51Mt）、DACCS（Direct Air Capture and Storage、1Mt）で合計は54Mtとなり、Netでは32Mtとなる。残留排出量のうち最大のものは航空部門からの排出であるが、これには理由がある。この部門の排出削減にはバイオ燃料を用いるというのが誰しも考えることであるが、CCCによるとバイオマスは出来るだけ（発電などで）BECCSとしてnegative emissionに使いたいので、航空機の燃料としては全体の10%をバイオ燃料の上限とするとの制約条件をおいているのが原因である（CCC 2019b p.174）。

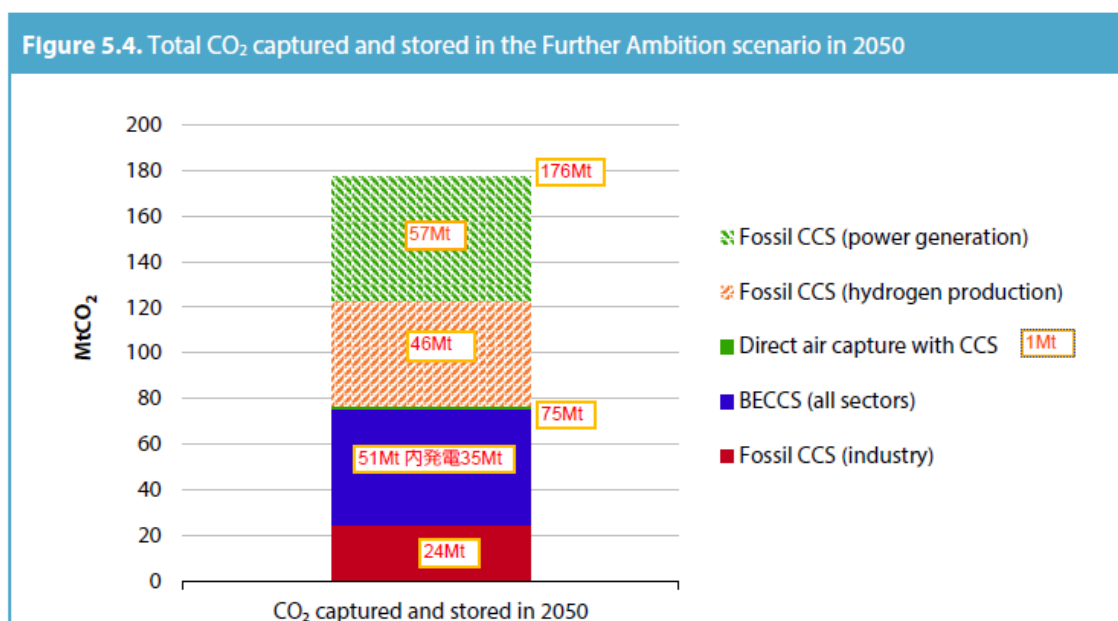
次にガス別である。図7の右欄の通りCO2の排出は（ゼロではなく）negativeとなっている。プラスの排出で最も多いのはメタン、次いで一酸化二窒素で、このうち特にメタンは農業部門で大きい点に注意が必要である。

#### (CCS及びBECCS)

ここでもう一つ重要な要素としてCCSがある。図5を参照願う。2050年時点でのCCS総量は176MtCO2に達している。2017年のイギリスの総排出量503Mtの実に3割以上の削減をこの技術に頼っている。2017年のCCS実績はゼロ（CCC 2019b p.21）であり技術的、経済的、社会的（法的、国民の受容可能性など）障害を考えるとかなり

challenging な数値である。イギリスの 2050 年ゼロエミッションの成否は実に CCS が予定通り進展するか否かにかかっていると良い。実際 CCC の政府に対する勧告文書でも「CCS は option ではなく necessity である (CCC is a necessity not an option)」と強調している (CCC 2019a p.23)。後述の通りこの点は日本も同様である<sup>18</sup>。なお、CCS での CO<sub>2</sub> 回収率は 95% と仮定している (CCC 2019b p.31) ので、CCS を実施しても残り 5% 分は排出される。

図 5 意欲的シナリオの下での 2050 年の CCS 及びその内訳



出典：CCC 2019a p. 150 内訳の数値は CCC 2019b p.21 から抜粋して筆者が追記したもの  
上記のうち 7 割が所謂 CCS、3 割が BECCS。CCS の中最大のは化石燃料による発電部門の 57Mt で全体の 32% を占め、化石燃料による水素生産が 26% となっている。産業部門も鉄鋼・セメントを中心に 24Mt 分が CCS 対象とされている。BECCS は 51Mt であるが、このうち発電部門が 35Mt を占める。

ここで BECCS について付言しておく。CCC は世界の貿易可能なバイオ資源量を 14~84EJ<sup>19</sup> と大きな幅で考えている。バイオマスは燃焼による CO<sub>2</sub> はゼロとみなされ、さらに BECCS として Negative emissions に使われるので将来の需要は供給を大きく超過するとの見通しの下で、イギリス国内でもバイオ資源の有効利用に意を用いている。この観点から見ると Negative Emission が可能な BECCS がバイオマスの最有力用途となり、例えば BECCS が不可能な航空燃料としての (バイオ資源の) 利用は既述の通り航空燃料全

<sup>18</sup> RITE (2020) によれば、日本の CO<sub>2</sub> 貯留ポテンシャルは 114 億トンだが、年間貯留量拡大割合の制約条件の下での 2050 年時点での貯留量は年間 1 億~2 億トンである (p. 94, 122)。RITE モデルでは日本の場合、もし CCS がなければ 2050 年 80% 削減の解は得られなかった。

<sup>19</sup> IEA の ETP 2017 では 2 degree および below 2 degree の両シナリオとも現状の 63EJ に対して 2060 年には 145EJ の持続可能なバイオエネルギー供給が必要としている (IEA 2017 p.316) のでこれに比べると随分控えめな予測となっている。なお、CCC (2019a) ではバイオエネルギー供給量については IPCC 見通しよりも低く設定しているとある (CCC 2019a p.26)。

体の 10%に抑えるべきとなり、この結果 2050 年のイギリスでの残留排出量の中最大のセクターになっている。

意欲的シナリオでは業種別にも詳細な分析を行っている。いずれも興味深いのが、ここでは紙数の関係でこのうち脱炭素の最有力候補の発電と日本との対策の相違の大きい建物部門を取り上げる。なお、水素についても詳細な検討を行っているが、これについては日本の政策を論じる際に触れることとする。

#### (発電部門)

電力需要は輸送部門の電化、建物の冷暖房の電化（ヒートポンプを含む）、（電気分解による）水素製造<sup>20</sup>等により 2017 年の 300TWh（因みに日本は略 1000TWh）から 2050 年には意欲的シナリオだと 600TWh と倍増する。こうした電力需要増に対処しつつ、再エネと原子力・CCS 付き火力発電<sup>21</sup>を現在の 50%から 2050 年に 95%に高めることと、残り 5%分は back-up 発電の（CCS や水素による）脱炭素化で、現在（2017 年）の排出量 73Mt（全排出量の 15%）を 90 年比 97%減（3Mt）迄減らせる案である<sup>22</sup>。この 3Mt は CCS による補足漏れ相当分である。因みにイギリスの発電部門の 1990 年の排出量は 200Mt 強だったので発電部門に関してはかなり思い切った内容である。なお、2050 年の発電部門の平均削減費用は £ 20/tCO<sub>2</sub> である（21 頁表 4 参照）。

2017 年の発電量電源構成は化石燃料 48%（内ガス 41%、石炭 7%）、原子力 21%、太陽光・風力（VRE） 19%、バイオ 9%、水力 2%（四捨五入の関係で合計が 99%）であるが、意欲的シナリオの下での 2050 年の電源構成は次の通りである。VRE が 3 倍、化石燃料が半減となる。なお、政府は石炭火力を 2025 年までに廃止の意向である。ガスについても CCS 無しの発電はゼロとなる。

意欲的シナリオの下での電源構成（2050 年）CCC(2019b) p.41 を基に筆者作成

太陽光・風力 (VRE)	ガス w. CCS	原子力	バイオ燃料 (BECCS)	水力・廃棄物	ピーク用
57%	23%	11% (内新設 7%)	6%	2%	1%以下

ここで発電と CCS の関係であるが、英国内の貯留潜在量は合計 78Gt もあり、これは 50Gw のガス発電所から排出される年間 150Mt の CO<sub>2</sub> の 500 年分あるので、CCS が制約条件になることはないと楽観視している（CCC 2019b p.28）が、貯留潜在量と実際の貯留

<sup>20</sup> 意欲的シナリオでは大量の水素製造の主力は、水の電気分解ではなく CCS 付きガスで行うことを仮定している。もし水素製造の全てを水の電気分解で行うとした場合には電力需要が更に 305TWh ほど増加する（CCC 2019b p.26）。

<sup>21</sup> 原子力と CCS 付き火力発電の二つを firm low-carbon power と呼んでいる。これは再エネが variable low carbon power であるのに対比した概念として使われている（CCC 2019b p.34）。

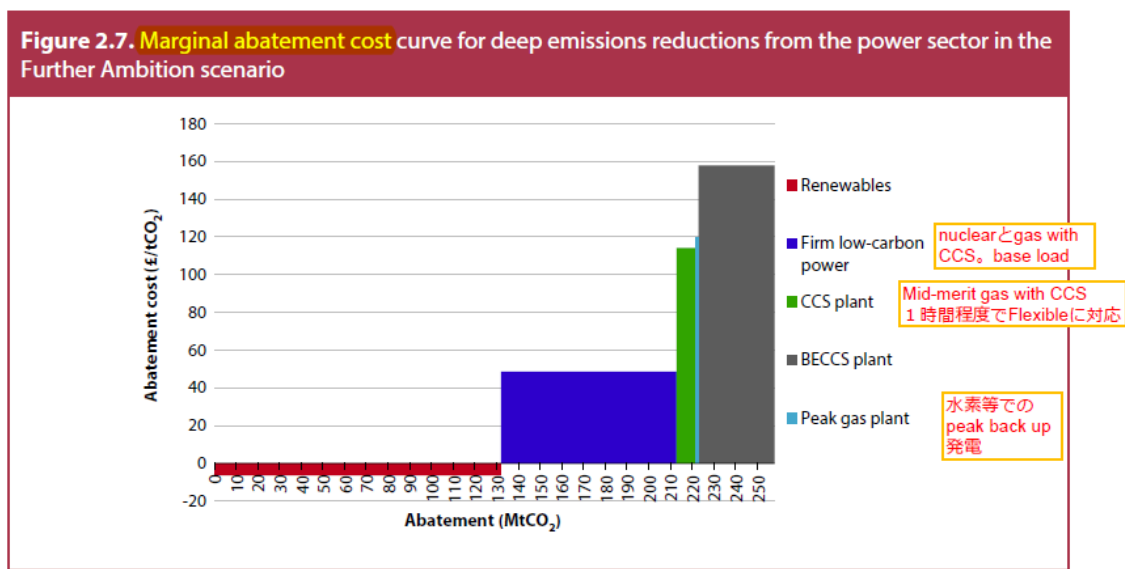
<sup>22</sup> 既述の通り CCS の回収率を 95%としているが、IEA では 98-99%迄は特段の追加コストがかからずに回収率向上が可能としているのを援用し、もし 99%回収ならば発電からの CO<sub>2</sub> の残留排出 3Mt を 0.6Mt 迄減らすことが可能としている（CCC 2019b p.43）。

量の間には大きな乖離があるので、この点かなり疑問符がつく。なお、CCSについては回収率 95%で計算されている（同、p.31）。

CCC の勧告には発電技術別の限界削減費用の図が付随しているので参考までに下記に掲げる（図 6）。ここに限らないがコストの扱い（対 GDP、部門別平均削減コスト、限界削減コスト）についての記述は日本の目標達成計画ではほとんど無く、この点が彼我の大きな相違である。その理由の一つとして従来日本では政策の費用効果という考え方がほとんど無かったこと、また、政府自ら或いは外部のモデルを用いた計算をしていなかったこと（もしした場合でも外部に公開されていないこと）がある。

図から再エネはマイナスコスト（£ -6）、次いで原子力と CCS 付帯ガス発電（firm low-carbon power）£ 48、CCS 付き Mid-merit gas £ 115-120、水素等低炭素燃料によるピーク時のバックアップ発電が£ 120、そして BECCS £ 125~158t/CO<sub>2</sub> の順となっている。この数値は CCC 2019b の表 2.2 及び表 2.3 から筆者がまとめたものである。横軸は CO<sub>2</sub> の削減量であるが、イギリスの発電部門の 2017 年の排出量は 73Mt であるが、削減のベース年は 1990 年でこの時点では 200Gt 強の排出があったので、一応の辻褄は合っている。本文中には再エネコストの急減に触れているが、それにしてもマイナスコストとは恐れ入った話である。

（図 6） 意欲的シナリオの下での発電部門の技術別限界削減費用



出典：CCC 2019b p.46 赤字は筆者による加筆。  
上記には BECCS による negative emission は含まれていない。

### （建物部門）

ここで建物という場合、家庭、商業用及び公共の建物を全て包含した概念である。詳細は CCC 2019b 第 3 章にあるが、ここで建物部門の記述（38 頁）は発電部門（48 頁）、農業（46 頁）に続く長さである。本稿ではエッセンスのみ紹介する。

建物からの直接排出は 85MtCO<sub>2</sub>e (2017 年イギリスの排出量の 17%<sup>23</sup>) で、うち家庭が 77%と圧倒的 (残りは商業用及び公共建物)。意欲的シナリオでは 2050 年までに排出総量を 4MtCO<sub>2</sub>e にするとしている。相当 Drastic な削減である。建物からの排出の主たる要因は熱 (暖房) で、このうちガスが 75%、石油 8%、残りは電気となっている。低炭素暖房は 2017 年には全体の 4.5%に過ぎないが、この 82%はバイオ燃料である。バイオは資源制約からこれ以上増やせないが低炭素熱の Heat Pump は暖房機器の販売額の 1%に過ぎない状況である。

意欲的シナリオの下での建物からの 2050 年の排出削減内訳と残留排出量・トンあたり削減コストは表 3 の通りである。住宅とそれ以外の建物に大別した上で、それぞれの排出源が左欄に列挙されている。右から 3 番目の欄は意欲的シナリオの下での 2050 年の残留排出量 (合計すると 4.3MtCO<sub>2</sub>)、その右はその状態に達する時期、最右欄は各排出源の 2050 年時点でのトンあたり削減コストである (£/CO<sub>2</sub>)。

(表 3) 建物からの排出削減手段と残留排出量・トンあたり削減コスト) 意欲的シナリオ

---

<sup>23</sup> 電力使用に伴う間接排出を加えると 26%となる。

Table 3.1. Opportunities to reduce emissions from buildings towards zero				
Source	2030 5CB residual emissions (MtCO <sub>2</sub> )	Further Ambition residual emissions in 2050 (MtCO <sub>2</sub> e)	Earliest date for Further Ambition emissions	2050 cost £/tCO <sub>2</sub> e
<b>Residential buildings</b>				
New homes	62	0.0	2050	69
Cooking		0.0	2045	240
Heating in homes off the gas grid		1.4	2045	-18
Heat in homes in heat dense areas		2.0	2050	195
Heat in homes on the gas grid without constraints		6.2	2050	223
Heat in homes with space constraints		2.0	2050	311
Heat in heritage homes		0.9	2050	196
Conversion of gas peak demand to hydrogen for heat in existing homes		-7.4	2050	215
Conversion of off gas peak demand to biofuels for heat in existing homes		-1.4	2045	47
<b>Non-residential buildings</b>				
Heat in heat dense areas - core demand	11	0.0	2050	195
Heat in heat dense areas - peak demand		0.0	2050	144
Heat in less heat dense areas - displacing gas		0.0	2040	59
Heat in less heat dense areas - displacing oil		0.0	2035	-41
Catering and other non-heat uses		0.0	2050	189
N <sub>2</sub> O as an anaesthetic		0.6	2050	

出典：CCC 2019b p.95

表から分かるとおり残留排出量のほとんどは居住用建物からの排出である。建物部門からの削減は全体にコスト高（上表最右欄）である。その中で新築建物については脱炭素暖房燃料・機器(例えば水素やヒートポンプ)の導入への抵抗がないので£69/CO<sub>2</sub>eと比較的低コストとなっている。CCCが新築については遅くとも2025年までにガスグリッドへの接続を禁止すべきと勧告しているが、最終的にこれがそのまま受け入れられるかどうかは要注視である。既設建物はどうか。この場合の削減コストはすぐ後で述べる理由から暖房燃料・機器の入れ替えを伴うので、£-18/tCO<sub>2</sub>から£311/tCO<sub>2</sub>の範囲で幅広く分散している。後者の削減コスト£311は表4のDAC (£300)以上となっている。

イギリスでは建物部門からのCO<sub>2</sub>削減について建物の種類別削減対策の内容をはじめとして詳細な分析を行っているが<sup>24</sup>紙数の関係でこの内容は省略する。重要なことは、建

<sup>24</sup> CCC 2019b p. 97-99には削減手段、障害、資金負担者、附随便益、代替選択枝も含めた詳細な表が掲載されている。なお、行動変化の箇所賃貸住宅についての家主と借り手の問題にも触れている（CCC

物は低炭素電気による heat pump でほとんどの熱需要を賄い、厳寒時のピーク需要には発電が間に合わないので back up の水素ボイラーを当てるのが当面の策として妥当と考えていることで、これを電気 (heat pump) と低炭素水素の Hybrid システムと呼んでいる。この hybrid system のほうが完全電化や 100%水素転換より実現可能性が高いと現時点では考えているからである (CCC 2018a p.8)。また、こうすることで近未来に水素或いは 100%電化の決定をするよりも lower risk of regret となると考えている (CCC 2018a p.119)。なお、建物の熱の脱炭素化に際しての電気と水素のコストはほぼ同等と評価している。しかし実際にこれを実行するのは容易ではない。当面は暖房や調理はガスの方が安く、最終需要家にこれを変えるメリットが欠如している中で一般の理解が必要であり、ガスグリッドの将来を 2020 年代に意志決定するには時期尚早とも考えている。しかしこれを実行しなければイギリスは 2050 年ゼロエミッションやパリ協定での約束を実施できないと背水のかまえである (同 p.119)。なお、電化 (heat pump) と水素の適正な割合は不明であるとしつつ、暖房システムも含めたコスト以外に、住民の受容可能性や水素の大量供給の可能性などを考慮の必要があるともしている (CCC 2019b p. 101)。

いずれにしても、住宅用ガス需要の水素への切り替えにはそれ用の新たな水素供給パイプラインの設置、水素貯蔵施設の建設、更に水素製造時点での大量の CCS が必要となるが、意欲的シナリオはこうした前提の下での試算である。都市ガスの将来にも大きく関係してくるが<sup>25</sup>ゼロエミッションには必須の対策である。日本の長期目標達成戦略はこの点 silent であるのが気になるところである。

#### 2-4-2-2 投機的シナリオの内容

上記が意欲的シナリオの内容であるが、これでも 2050 年に 32MtCO<sub>2</sub>eq のネット排出 (Gross 排出の 86Mt から BECCS など Negative Emissions を差し引いた数値) が残る (本稿 13 頁参照)。イギリスはこれに更に投機的選択肢を加えて 2050 年ゼロを目指すことを法律で決めている。以下 CCC 2019a を中心にこのオプションを検討する。文字通りこれは Speculative option でいわば当たるも八卦的な対策を羅列し、このうちいくつかは実現するであろうから、その結果としてゼロエミが実現できるだろうとのシナリオである。

86Mt のうち農業部門からの排出が 26Mt と航空 (31Mt) に次いで大きい。農業分野での更なる削減の余地として真っ先に挙げられているのが食肉及び酪農製品の 50%消費減 (Diet) で、これに加えて人造肉 (synthetic meat) により追加的に 11Mt 分の削減が可能と試算している。最大の航空分野では意欲的シナリオで 2050 年の乗客需要を 2005 年比 60%増に抑える前提であるが (報告書発表時点で既に 30%増となっている)、人々の考え方や生活様式の変化で伸び率を 20-40%程度に抑えられれば、4-8Mt の排出減が可能となる。

---

2019 p.100)。この辺り実施に際しては大きな問題であろう。

<sup>25</sup> CCC (2018a)の p.119 以下参照

以上生活様式の変化であるが、コロナウイルス感染症による人々の生活態度の変化がどう影響するのか、またそれは永続的なものかどうかは注意が必要である。

この他、土地利用面で植林を意欲的シナリオの年 3 万ヘクタールから 5 万ヘクタールに増やすことで 11Mt の追加削減、Diet で浮いた土地をエネルギー用穀物の生産に回すなどで 7.5Mt 減が可能としている。次に Negative emissions について、先ずバイオマス資源利用が意欲的シナリオの 200TWh ではなく 300TWh であれば BECCS により追加的に 32Mt の negative emission が可能、DACCS については物理的上限はないが、イギリスの The Royal Society and the Royal Academy of Engineering の研究では DACCS を 25Mt 活用とある。意欲的シナリオでは DACCS は 1Mt 以下なので、この面でも更なる削減の余地があり得る。

ゼロエミッションに向けての別の手段としては CCS の回収率引き上げがある。意欲的シナリオでは発電・産業・水素製造での CCS 回収率を 95%としているが、投機的オプションではこれを 99%に引き上げることで更に 7Mt の削減を見込んでいる。ここで 99%までの回収率向上はコストの大幅増を招かずに可能と判断している (CCC 2019a, p.158)。

投機的シナリオでは水素製造を全て水の電気分解で行うが、これによる 2050 年の電力需要が+305TWh、その水素と CO2 から製造する航空機用合成燃料 (Synthetic fuels) の製造で更に 200TWh、DACCS 増で 50TWh 等合計 1300TWh 以上の電力を必要とすると試算されている (CCC 2019b p.25 Figure 2.3)。以上列举してきた追加対策のうち、うまく機能するものを加えて 2050 年にネットゼロにするというのがイギリスの考えである。

## 2-5 部門別 (平均) 限界削減コストと総削減費用

イギリスの特徴として目標 (2050 年ゼロエミッション) 達成に向けた部門別削減コストの試算が示されていることである。各部門でも色々な技術があり、それぞれの限界削減コストは異なるが、これを部門別に平均したのが表 4 である。

(表 4) 部門別・技術別 (平均) 限界削減コスト (2050 年、意欲的シナリオの場合)

Sector or measure	Abatement cost (£/tCO <sub>2</sub> e)	Sector or measure	Abatement cost (£/tCO <sub>2</sub> e)
<b>Power</b>	<b>20</b>	<b>Agriculture</b>	<b>-55</b>
Variable renewables	-5	Agricultural soils	-80
Firm low carbon power <sup>1</sup>	50	<b>Land use</b>	<b>85</b>
CCS for mid-merit generation <sup>2</sup>	80 – 120 <sup>3</sup>	Tree planting	10
<b>Residential buildings</b>	<b>155</b>	Forestry management	-50
New homes	70	Peatland restoration	See note
Heat in space constrained homes	310	<b>Waste</b>	<b>10</b>
Heating in homes off the gas grid	-20	<b>Transport</b>	<b>-35</b>
<b>Non-residential buildings</b>	<b>95</b>	Cars	-40
<b>Industry</b>	<b>120</b>	Buses	200
Iron and steel	100	HGVs	-35
Cement	95	<b>Aviation</b>	<b>-10</b>
Stationary combustion	120	Fuel efficiency	-50
<b>Engineered removals</b>	<b>-</b>	Biofuels	125
Bioenergy with CCS	125 – 300 <sup>4</sup>	<b>Shipping</b>	<b>200</b>
Direct air capture with CCS	300	<b>F-gases</b>	<b>-10</b>

出典：CCC 2019a p.225 太字は部門、それ以外は各部門の削減技術

1 の Firm low carbon power とはベースロードの原子力及び CCS つきガス・バイオマス発電。2 の CCS for mid-merit generation とは CCS つきガス・バイオマス発電だがベースロードでは無く、1 時間以内程度で発電が可能となるバックアップ発電。3 の 80-120 とは CCS つきの場合の下限・上限。前者がベースロードの CCS、後者がピークのバックアップの CCS の場合。4 は国産バイオマスが £125、輸入バイオマスが £300 と仮定。なお、Engineering removals とは森林吸収以外のネガティブエミッションのことである。

ここで平均限界削減費用とは業種について複数の手段がある場合、技術ごとの限界削減費用を基に業種全体として平均したものである。例えば電力部門では CCS や（ここには表示がないが） peak power の水素のコストは高いが、MAC の安い再エネで相殺されて

£ 20/tCO<sub>2</sub> となる。運輸はバスでは£ 200 と高いが EV が在来車より価格・維持費が安く、大型トラックの普及には障害があるが、燃費が大きく下落するので、net では£ 35 のマイナスとなるという具合である。なお、需要面での対策のコストはゼロと仮定されている。航空はこうした点および biofuel は高価だが燃費効果がこれを上回るのので差し引きマイナスコストとなる。全体を眺めると業種別では高い順に BECCS<sup>26</sup>/DACCS（これは業種では無く技術であるが）£ 300、海運£ 200、住宅£ 155、産業£ 120 で、低い順では農業・陸上運輸・航空はマイナスコスト（農業については対策による生産性向上とコスト節約が効いている）となっている。日本でも大幅削減に関してもこのような情報が開示されることが待たれるところである。本稿 13 頁の図 4 の通り意欲的シナリオの Remaining Emissions のうち航空分野の 31Mt が最大のものであるが、ここでの限界削減費用はマイナスである。この理由は既述の通りバイオマスを BECCS として用いるために航空燃料への使用を全体の 10%に抑えているからである。

なお、当然のことながら、上記の計算及びこの後の総削減コストの試算に際しては各低炭素削減技術のコストの低下を見込んでいる。ここでは運輸・DACCS でコスト低下効果が大きく（例、2025 年から 2050 年にかけて電気自動車用バッテリーは£ 73→£ 50/kWh へ 32%、大型トラック用燃料電池は£ 500→300（同）へ 40%ダウン）BECCS ではコスト低減無しと見込まれている点に触れるに留める（CCC 2019a p.223）。

以上は限界削減コストであるが、経済全体としての削減コスト、それに部門別の総削減コストはどの程度か。CCC 2019a では 226 頁以下に詳細な試算結果を記述しているが、これはいわゆる Resource Cost と呼ばれるもので、まずこの意味を明らかにしている。

Resource Cost (R Cost) とはこれまで述べてきた各種技術で排出を削減した場合のコスト（例えば省エネ機器の導入は初期投資費用が掛かるが、これにより将来的に運転費用が減少するような場合にはこの土両面を考慮して年ベースに直した値）と、特段の対策を講じない場合（この場合対策コストはゼロ）との比較である。しばしばこれを GDP と対比して GDP コストと称する。しかしいろいろな部門で様々な技術を導入することの影響が経済の他部門に dynamic に影響をする。これを総合的に考慮して GDP の減少分を計算し、GDP と比較するのが GDP impact といわれる数値で、これは別途経済モデルで計算の必要がある。CCC はこうした相違を認識したうえで、経済モデルによる GDP impact は GDP の数%程度で、R cost とほぼ同様のレベルであるとして、ここではすべて R cost で議論を進めている。以下コストという場合特段の断りがなければ R cost のことである。

CCC によれば 2050 年ネットゼロエミッション達成の 2050 年のコストの中央値は GDP の 1~2%程度としている。内訳としては中央値は GDP の 1.3%（投機的シナリオで削減する 4%分をトン当たり削減費用が 300 ポンドもする輸入 BECCS と DACCS で実施することを前提）、経済成長率見込み（2027-2050 の間年 2.2%）が 1.6%に落ちる場合には GDP の 1.5%、低成長率で且つ化石燃料価格が見込みより低ければ GDP の 2.1%などを総合判

<sup>26</sup> 国産バイオマスによる BECCS の場合は£ 160

断したエイヤの数値である。

以上国全体の削減コストであるが、この部門別内訳が示されている（CCC 2019a p.229）。ここでは省略するが、意欲的シナリオでは建物部門の削減コストが最大（投機的シナリオの場合は BECCS、DACCS）である点が興味深い。この主たる理由は建物暖房のガスから水素への燃料転換である。

CCC による上記勧告を受けて翌月イギリス政府は一部修正（国際航空・海運の除外、国際クレジット利用の可能性を残す）の上この勧告を受けて、気候変動法の目標修正を行った（UK 2019）。以上がイギリスの 2050 年 net-zero-emission 目標の内容である。

## 2-6 イギリスの長期目標達成コストと目標達成への懸念

筆者はイギリスの目標制定過程及びその達成策の技術的検討を高く評価するものであるが、そのためのコストが GDP の 1~2%<sup>27</sup>というのはいかにも安すぎるとの懸念を抱いている。理由は大別して 3 つである。2030 年の 57%削減自体が厳しい中で（本稿 8 頁、図 3）このことは長期目標の実現可能性に大きく影響するのではないかと考えている。

第 1 は特に経済モデルの場合、最小コストでの目標達成を前提としていることである。つまり全て炭素価格で目標を達成する前提なので、例えば都市ガスでの建物暖房禁止など炭素税以外の政策が入ればそれだけコストは膨らむ。

第 2 は IPCC 第 5 次報告書との比較である。ここでは 2°C 目標相当の 2100 年 450ppm CO<sub>2</sub>eq の消費ロス（一般均衡モデルでの economic cost）は 2050 年時点では 2.1~6.2%（中央値 3.4%）とあり、イギリスのコストはこの下限であるが、イギリスの場合は 1.5°C を前提とした計算で、先進国は世界平均より高いであろう事を考えると、CCC の計算は楽観的すぎる。

第 3 は技術的制約である。既述の通りイギリスでは現時点で実績が無い CCS を 2050 年時点で 175MtCO<sub>2</sub>（2017 年の排出量の 35%）実施することを前提とし、うち BECCS も 51Mt 見込んでいる。これが予定通り実施出来る確証はない<sup>28</sup>。

## 3 EU の 2050 年気候中立に向けた動き

現在 EU では 2050 年ネットゼロエミッション（2050 年気候中立）にむけて議論が進んでいる。イギリスについてかなり詳細に述べたので、EU についてはごく簡単に紹介した上で、日本の政策を論じることとしたい。

### 3-1 EU の長期目標の淵源

筆者の承知する限りでは EU として 2050 年ネットゼロエミッションが正式に取り上げ

<sup>27</sup> 直前で触れたとおり、経済モデルで計算した GDP impact と R. Cost の両方ともほぼこの幅としている。

<sup>28</sup> そもそも IEA は大量の Negative Emissions を前提とした 2050 年ゼロエミッションには後ろ向きである（IEA 2019a p.124）。

られたのは 2018 年の欧州委員会発閣僚理事会・欧州議会等宛の文書 *A Clean Planet for all, A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy* (EU 2018a) においてである。これによると EU では既に（イギリスのゼロエミッション決定翌年の）2009 年に 2050 年に 80-95%削減目標を決めていたが、現行政策のままでは 2030 年の 40%減（パリ協定で約束した数値）は達成可能なものの、2050 年には 60%減にしか達せず、パリ協定遵守には新たな政策の導入が必要というものである。その上で、2018 年秋の IPCC1.5°C 特別報告書 (IPCC 2018) から、このままでは 2060 年に工業化以降の気温上昇が 2°C を超えその後上昇を続けることもあること、それと異常気象の発生率を引き下げるには 1.5°C 以内に抑える必要があること<sup>29</sup>、そのためには (global に) 2050 年頃に CO<sub>2</sub> をネットでゼロとし、その他 GHG は今世紀後半にゼロにする必要があるとしている。パリ協定では「2°C を十分下回る水準」で合意し、1.5°C は努力目標の位置づけであるにも拘わらず、EU としては 1.5°C を事実上の global な目標として認識している点に注意を要する。その上で、EU としては気候変動問題で世界を主導し、先行者の利益を得ることを目的に CO<sub>2</sub> だけではなく、GHG 全体として 2050 年の気候中立を目指すと明言している (EU 2018a p.5, 22)。なお、長期目標制定に際して国連の持続可能開発目標 (SDGs) との整合性をうたっている点は目新しいところである (同 p.3)。2020 年 3 月には気候中立法案 (regulation の proposal) が欧州委員会から出されたが、ここでは 2050 年ネットゼロを EU 域内対策で実現することを目指しているが、この理由をパリ協定第 4 条の先進国の義務を反映したものと明記されている (EU 2020b p.7)。気候変動問題で先進国として途上国より厳しい目標を自らに課すことで世界のリーダーシップを握るという点で、イギリスと全く同じスタンスである。なお、この文書では IPCC による科学的知見と並んで種の多様性とエコシステムも視野に入れることを明言している (同 p.2)。Negative Emission の方策としての BECCS への過大な依存とのバランスを視野に入れたものである。

### 3-2 ビジョンとしての気候中立（イギリスとの相違）

EU の 2050 年気候中立（ネットゼロエミッション）は理念としては極めて先行的であるが、目標達成の技術やそれぞれにコストについての検討はこれからで、あくまでビジョンに止まっている<sup>30</sup>。この点はイギリスと比較するとより明白になる。具体的にはどのような技術をどの程度活用し、どの程度のコストをかけて 2050 年に気候中立を実現するのかは現時点では白紙と言って良い。本稿 2-4-2 で説明してきたイギリスのネットゼロエミッション実現のシナリオに相当するものがない。唯一あるのは、GHG80%~100%削減

<sup>29</sup> 念のためであるが、IPCC がこの報告書で 1.5°C を目標とすべきと主張しているわけではない。

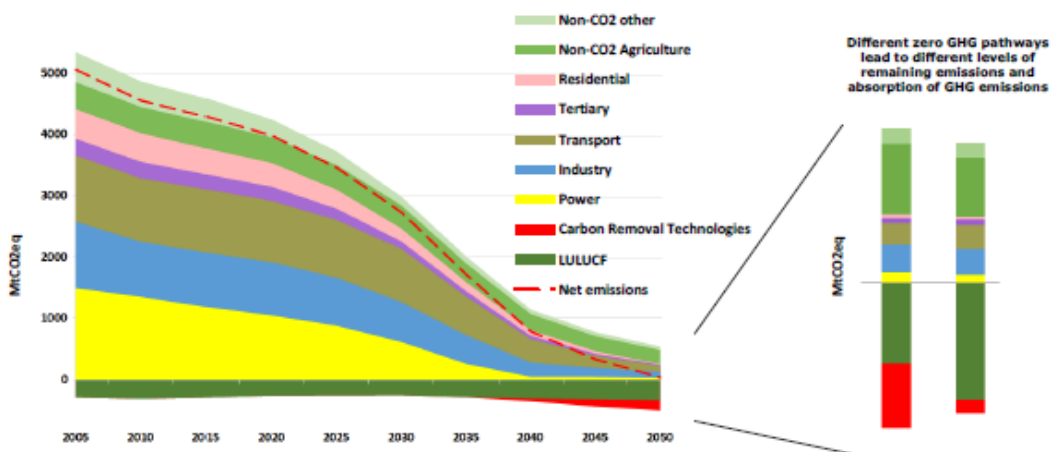
<sup>30</sup> EU 2018a p. 21 に *The purpose of this strategic vision is not to set targets, but to create a vision* --- と明記されている。その後 2020 年 3 月の 2050 年気候中立法案に至る他の文書でも目標達成の具体策は示されず、ここでは 2 年前の EU 2018 (a&b) で気候中立の業種別モデル分析などを行っているの、改めて影響評価分析は行わないと明記されているのみである (EU 2020b)。

の 8 つのシナリオの羅列である。これは上述の A Clean Planet for all と題する 2018 年の欧州委員会のビジョン文書を補足する欧州委員会の (In-depth Analysis in Support of the Commission Communication COM(2018) 773 と題する欧州委員会の文書である (EU 2018b、以下 In-depth Analysis)。ここでは EU の PRIMES-GAINS-GLOBIOM モデル<sup>31</sup> と産業については一部 FORECAST という民間シンクタンクを用いて目標達成の 8 つのシナリオを羅列したものである。EU ではパリ協定の well below 2°C を EU に当てはめると 2050 年 90 年比 80% 減 (LULUCF を除く)、1.5°C 努力目標は 100% 減にあたりと解釈しているが (In-depth Analysis p.54)、この文書に例示されている 8 つのシナリオのうち 5 つ (①~⑤) が 80% 削減、1 つ (⑥) が 90% 減、残りの 2 つ (⑦~⑧) が 100% 減である。①は電化進展、②は水素重点、③は合成燃料中心、④はエネルギー効率の更なる改善、⑤は循環型資源有効利用社会の構築、⑥はこれらの組み合わせ、⑦は⑥をベースに BECCS と CCS を更に増やす、⑧は⑥にライフスタイルの変化を加えたシナリオである。全てのシナリオに共通のものとして低炭素技術の早急な進展、デジタル化の促進等を想定し、BECCS は①~⑥迄は 2050 年以前には利用無しと仮定している。8 つのシナリオについて発電、産業、建物、運輸の状況を検討している。発電については全てのシナリオで 2050 年にはほぼ脱炭素化していること、CCS の普及には制約があることを仮定<sup>32</sup> (このあたりイギリスよりは慎重である)、建物分野では①はヒートポンプの増加、②は水素による熱供給、③は合成燃料による熱利用等々、運輸は全ての輸送の早急な電化に加えて②は大型トラックは水素燃料使用、③は合成燃料使用等々という具合である。④と⑤は基本的に需要サイドの対策に重点を置くもので、例えば運輸では④は modal shift の推進、建物では⑤は sustainable building が特徴となっている (シナリオ比較の一覧表は EU 2018a p.56 参照)。この In-depth analysis の基となる A Clean Planet for all 文書では 2050 年ゼロエミッションを目指すことが提言されているので、特にこの点に焦点を当てた目標達成に向けた詳細なモデル分析 (含む部門別平均削減費用) が表示されてしかるべきであるのに、8 つのケーススタディが存在するのみである。なんとも不思議な話であるが、おそらくそこまで詳細な検討が進んでいなかったのではないかと思う。これではイギリスと異なり実現可能性の検討自体が不可能な状況である。なお、8 つのシナリオのうち 2050 年ゼロの 2 つのシナリオ (シナリオ⑦と⑧) での排出削減の経路を図 7 に示す。くどいようであるが、EU ではこのどちらかを正式なシナリオとしているわけではない。

(図 7) 2050 年ネットゼロエミッションに向けた 2 種類の排出経路

<sup>31</sup> これはエネルギーモデルで、後述の一般均衡マクロ経済モデルではないが、一般均衡モデルのベースラインシナリオは PRIMES モデルのベースラインシナリオを基礎として構築させている。

<sup>32</sup> 現在 CCS は商業化されていないがその理由として技術的・経済的な実証ケースがなく、法制上の障害や住民の受容問題が挙げられている。こうした障害を克服して初めてネットゼロという EU のビジョンが現実のものとなるとしている (EU 2018a p.15)。



出典：EU 2018a p.23 上図の赤の点線がネットの排出経路、うち Negative Emission は赤が炭素除去技術（ほとんどが BECCS）、濃い緑が LULUCF（森林吸収等）。同じネットゼロでもシナリオ⑦と⑧では部門別排出も含めて数値は少しずつ異なっている。これをまとめたものが右の2本の棒グラフで、このうち左はシナリオ⑧、右は⑦である。前者は技術重視、後者はライフスタイル変化重視のシナリオ。この両者で違いが鮮明なのは赤の BECCS の部分で、技術重視のシナリオは残留排出量は多いが、これを BECCS で相殺してゼロにするシナリオである。

### 3-3 総削減費用

驚くべきは 2050 年ゼットゼロの経済への影響（本稿 21 頁で述べた GDP impact に相当）が微少（moderate）からプラス（positive）で、後者については GDP の+2%に相当としている点である（EU 2018a p.19）。つまりネットゼロを進めることで経済への影響がプラスになる可能性を示唆しているもので、これが実現すれば正に「経済と環境の好循環」となる。既述のイギリスの場合には各部門の対策の積み上げコスト（resource cost）で、EU は一般均衡モデルという違いがあり、後者は細かい技術の積み上げは行わない代わりに経済のダイナミックな動きを反映するマクロモデルなのでイギリスの GDP 比 1-2% と直接比べることは適切ではないが、イギリスの報告書で経済モデルでも大同小異とあるので、EU が如何に楽観的かが分かる。EU の計算は 3 つの経済モデルの結果を丸くしたものであり、その根拠は表 5 の通りである。

表 5 3つのモデルによる EU のネットゼロエミッションの GDP への影響

GDPロス 2050 ベースライン比	EUのみ先行	世界中が統一行動
EU目標	GHG ネットゼロエミッション	GHG ネットゼロエミッション
EU以外	NDC	-72%
経済モデル		
<b>GEM-E3</b>	<b>-0.63%</b>	<b>-1.30%</b>
<b>E3ME</b>	<b>1.48%</b>	<b>2.19%</b>
<b>QUEST</b>	<b>0.68%</b>	--

出典：EU(2018b p.219)からネットゼロエミッション（1.5°C目標）の箇所のみを抜粋したもの。

この表やや見にくいですが、GDM-E3 など3つの経済モデルによるEUのGDPロス（ベースライン比）は最後の3行の通り。表のEUのみ先行はEUがGHGネットゼロエミッションを掲げ、EU以外は2030年目標のまま（NDC）、世界中が統一行動とはEUの目標は変わらないが、EU以外が2050年72%減を目標にする場合を表す。

上記の通りEUのみが1.5°C目標を念頭にゼロエミッションを目指しEU以外は2030年に向けた削減目標のままの政策で止まる場合と、EU以外も1.5°Cに向け90年比72%削減する場合でGDPロスは異なり、また、モデルによっても随分違う結果となっているが、全体的には2050年のEUのGDPロスは-0.63%～+2.19%と試算されている。しかしよく見ると影響はGEM-E3（General Equilibrium Model for Economy-Energy-Environment）ではマイナス、その他二つはプラス（つまり対策実施の方がGDPは伸びる）、そのうちでも特にCambridge EconometricsのE3MEはプラスの影響が大きい。この違いの原因はGEM-E3は経済のフルキャパシティでの活動（均衡状態）を前提としているのに対して後の二つは資源の不完全利用（未利用資源の存在）を仮定しているからであるとの説明がある（EU 2018b p.218）。後者の場合対策による未利用資源の活用が進めば当然経済へのプラスの影響が大きくなる。しかしこれまで不均衡であった状況が対策導入で変わるという仮定そのものがおかしいと筆者は考える。こうした点、また、GEM-E3での影響もイギリスやIPCC（2014）に比べて極めて小さい点からも、EUの経済への影響は過小評価と言わざるを得ない。これはEUの気候中立目標の実現可能性に直結する重要な点である。

### 3-4 European Green Deal と気候中立枠組み法案の提示

2019年12月1日、フォン・デア・ライエン委員長の下で体制を一新した欧州委員会が発足し、直ちにEuropean Green Deal政策（EGD）を打ち出した。EGDの内容はここでは省略するが、この中心は経済と両立する形での2050年ネットゼロエミッション達成である。同年12月11日にはThe European Green Dealと題する文書を欧州委員会が公表した（EU 2019）が、これはEGD達成に向けて鍵となる政策・措置の最初の行程表と位置づけられている。具体的には例えば、2050年気候中立法案を2020年3月に提案すること、2020年末の2030年50-55%減（90年比）の影響評価の提示、エネルギー税指令の改正<sup>33</sup>、（欧州企業の国際競争力保持を目的とした）WTOと整合的な形での国境（炭素）税調整、建物及び海運のEUETS対象化、種の多様性保持を狙った戦略の提示、政策実施に伴う構造改革への公正な視点での対処（Just Transition）等々である。今後こうした方針に沿って欧州委員会から様々な提案が出てくるものと思う<sup>34</sup>。このうち国際的な影響がお

<sup>33</sup> EUでは税制改革は全加盟国一致を条件としている。そもそもEUETS提案の前に欧州委員会が炭素税導入を提案したが、イギリス等少数の国の反対でつぶれ、次善の策として一定規模以上の企業に絞って排出権取引を導入した経緯にある。エネルギー税指令改正の狙いは環境についてこの全員一致原則に代わって限定多数決方式（大国と小国で投票権の持ち分を変えた方式）で決められるようにし、EUETS以外への炭素税の導入を狙ったものである。

<sup>34</sup> 欧州委員会が発案し、閣僚理事会や欧州議会を経て公布されるEUの法律の大部分は指令（directive）

最も大きいのは国境税調整であるが、本稿ではこうした点には立ち入らない。いずれにしてもこの文書は今後の EU の動きを予言させるものであるが、それ以上のものではない。

こうした動きを経た上で、2020年3月4日欧州委員会は全11条からなる気候中立枠組み法案を指令ではなく規則 (regulation) という形で提示した (EU 2020b)。今後舞台は欧州議会及び閣僚理事会に移される。但しこの内容はこれまで説明してきた2018年の A Clean Planet for all および2019年の European Green Deal の内容のうち2050年の気候中立と2023年以降5年ごとの進捗状況のレビュー、本年9月までに2030年目標の見直しとその50-55%への強化の可能性検討が主たる内容で、先述の European Green Deal にある国境税調整や環境に絞ったエネルギー税制改革等については今後別途具体策が出てくるものと思う。

以上の通り EU では高い理念に基づいて2030年と2050年目標の強化が目前に迫り、そのための各種政策 (国境税調整や EUETS 対象拡大など) の方向性が明確になりつつある。また、2020年7月8日には水素戦略が公表され、今後もエネルギー戦略、運輸部門での新たな戦略、海上と航空の燃料の規制などの提案が陸続となされる見込みである。しかしここで考えてみると現時点でも EU として2050年気候中立を cost-effective にどのように進めるのか、その場合部門別の残留排出がどの程度で種の多様性に配慮しつつ BECCS でどこまで対処するのか、目標達成の限界削減費用はいくらかと言った具体的な内容が全く見えてこない状況である。

このような状況では EU の2050年気候中立目標の実現可能性の検討をする段階に至っていない。参考までに IEA の World Energy Outlook 2019 (IEA 2019a) では IPCC の1.5°C特別報告書で1, 5°Cを (50%以上の確率で) 可能としている90のシナリオのうち Negative Emission (BECCS) に依存しないシナリオはわずかに2つしかなく、残り88のシナリオの BECCS の中央値は4.7Gt (global level) であることを突き止めた (124頁)。その上で IEA として新たに提唱した Sustainable Development Scenario は Negative Emission をほとんどなし (0,25Gt) で、2050年の世界の CO2 排出はゼロではなく10Gtも残るシナリオである。これがぎりぎりであるが、これでも1.8°Cが66%確率で達成され、確率50%の場合には1.65°Cも視野に入るとの立場である。これは言外に1.5°Cは実現が困難とみていることを意味している。こうした中で EU が1.5°Cを前提に2050年 GHG ゼロを目指すには (イギリスの例を待つまでもなく) 相当程度の Negative Emission を見込まざるを得ず、この場合実現可能性に疑義が生じる。ましてや記述の通り EU は気候対策に取り組むに際して種の多様性やエコシステムに配慮することを明記している。最終的に EU が BECCS をどう考えるかは EU の目標の実現可能性に大きく関わる問題であり、注視したい。

---

でこの国内法化の方法は加盟国政府に委ねている。このあたり EU 本部 (ブリュッセル) で決めてもすぐに右にならえとならないという難しさが EU にはある。規則 (regulation) はそのまま加盟国の法律になる。

## 4 日本の長期目標

### 4-1 長期目標の決定とその理由

本稿冒頭で述べたとおり日本政府はパリ協定合意の5ヶ月後の2016年5月には、2050年に向けた長期目標として、GHG80%削減を閣議決定した。決定内容の大部分は2030年の中期目標に関するものであるが、この冒頭部分に長期目標について短い記述がある。そこには長期目標の背景としてパリ協定の他、2015年のG7サミットでの首脳宣言にある「世界全体の排出削減目標に向けた共通のビジョンとして2050年までに2010年比で40%から70%の幅の上方の削減とすることを気候変動枠組条約の全締約国と共有する」ことが挙げられている（日本政府2016<sup>35</sup> 6頁）。しかしこれはあくまでビジョンに止まり、「長期的、戦略的取組について、引き続き検討していく」とあるのみである（同8頁）。ここで2050年の40-70%削減はIPCC第5次報告書の知見（2°C目標に相当する450ppmCO<sub>2</sub>eを達成するための世界全体の削減量）である<sup>36</sup>。

日本の長期目標（2050年80%減）制定過程の特徴は世界全体の目標（2°C目標）を所与としている点である。筆者は長年にわたり政府審議会の一員として日本の気候変動政策に関与してきたが、この中でなぜ気候変動枠組条約第2条にある「危険でない濃度での安定化」が2°Cなのか、或いは2°C目標が最適かどうかの議論は皆無であった。この点が世界で初めて2°C目標を唱え最終的にパリ協定でこれを国際目標とするのに成功したEU（当時はイギリスもEU加盟国）との決定的な相違である<sup>37</sup>。日本にとって2°C目標は借り物なので、是非これを実現しなくてはならないとの強い思いもなく、また、イギリス（やEU）のように、パリ協定でこれが世界目標になると、更に努力目標の1.5°Cにむけて世界ではCO<sub>2</sub>を2050年に半減すれば良いところを自国はGHGをゼロにする事を決め、世界を先導するという動きは出てこない。この点についての筆者の（やや大胆な）解釈は次の通りである。即ち、日本の政治・外交等ほぼ全ての面に当てはまるのだが、日本は世界を主導するような動きをしない。世界の潮流（温暖化の場合は2°C或いは1.5°C）が真に妥当かどうかを検証し、もしそれが妥当でなければ世界に新たな目標を提示して説得する事はしないし、したことがない。世界の潮流の妥当性に疑義がある場合には消極的にそれに従う。こうしたことで当面は80%削減を掲げ、しかしそれを国内で達成することは困難なので日本の技術を海外で用いることで世界の削減に貢献し、これを世界に発信する。従ってイギリスやEUのように原則として国内での削減というアイデアは最初からない。これも全て日本は気候変動以外の問題山積の中で経済成長に影響を与えるような2°C（況ん

<sup>35</sup> 本文71頁、対象ガス別排出および吸収別対策一覧102頁、参考資料（対策の削減量の根拠）155頁に亘る膨大な文書である。しかし業種別・技術別削減・吸収見込みは全て2030年までの目標を対象としたものである。

<sup>36</sup> 中期目標では起算年が2013年と明記があったが、長期目標についてはこれがない。このことはG7サミット宣言についても同様である。

<sup>37</sup> EUの2°C目標自体は政治的な決定であるが、EUではこの決定に際して数多くの文献を精査している。

や1.5°C)目標に真の意味で納得していないからである。

上記を裏付ける証拠がある。経産省の委員会が2017年4月に公表した「長期地球温暖化対策プラットフォーム報告書—我が国の地球温暖化対策の進むべき方向—」である(経済産業省2017)。これは閣議決定文書ではなく経産省の報告書なので位置づけは他の文書とは異なるが、ここはかなり本音が出ている。先ず地球温暖化問題は人類の生存基盤に関わる最も重要な環境問題の一つであるが、その大目的は「持続可能な発展」であると明記している。このことは温暖化対策の究極目標を定義した気候変動枠組み条約第2条から明らかであるが、往々にして見落とされている点である。その上で日本の2050年80%削減目標が如何に厳しいかを示し、経済成長と排出削減には一定のトレードオフの関係があり(同報告書11頁)、「我が国は、地球温暖化以外にも外交、防衛、財政の健全化、社会保障、エネルギー安全保障等の様々な課題に直面しており、限られた国富や政策資源の全てを地球温暖化対策に投入することは現実的とは言えない」と言い切っている(同18頁)。こうした観点から80%削減の長期目標は、達成の具体策は確立されておらず、目指すべき方向性でありビジョンであると明快である(同11頁)。こうした観点から国内での削減に努めつつ、日本の技術で世界の排出削減に貢献との結論が出てくるのである。

この報告書の1ヶ月前に環境庁の審議会から長期低炭素ビジョンが発表された(環境省2017)。こちらにも80%削減をビジョンとしつつ、気候変動問題と経済・社会的諸課題の同時解決に取り組み、世界に先駆けて大幅削減と豊かさを同時に実現する課題解決先進国になる、と謳うなど理想を追求する形となっており、経産省のそれとは明確にトーンが異なる。

筆者はかねてから気候変動対策の最終目的は、気候変動枠組み条約第2条にあるとおり持続可能な発展であると主張し、気候変動以外の重要課題とのバランスの中で日本の対策を考えるべきだとの主張を繰り返しており、この意味で経産省の報告書に近い考えを持っている。しかし筆者は経産省の委員会の考え方を全面的に支持するものではない。具体的には日本の80%削減はパリ合意の帰結だからである。一旦2°C目標で合意をした以上80%削減に向けて進まざるを得ない。つまり日本はこの委員会で議論したような内容を一省庁ではなく政府全体の審議会で十分な検討を行い、パリ合意の内容を事前に実現可能性のあるものに修正する努力をすべきであった。こうしたことをほとんど行わず、パリ合意に合意し、しかもその直後にそれがどの位厳しいかの検討を経ずに閣議で80%削減を決めてしまった。ここに最大の問題があると考えている。

#### 4-2 長期目標達成のシナリオとコスト

次に日本の長期目標達成に向けたシナリオ(本稿11頁2-4-2のイギリスのネットゼロ実現のシナリオに相当するもの、例えば部門別削減目標と技術、残量排出量、CCS/BECCSの内訳等)はどのようなものか。残念ながら未だに存在しない。

前節で述べた経産省と環境省の委員会の後2018年7月には第5次エネルギー計画が閣

議決定され、これも日本の気候変動政策に大きな影響を与えるものであるが、直接気候変動に関するものとしては2019年6月に閣議決定された「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（日本政府2019）がある。

この文書（以下「パリ協定長期戦略」）では基本的考え方としてパリ協定の地球規模での2°C及び1.5°C（努力）目標に触れ、1.5°C努力目標実現にも貢献する為の長期戦略と位置づけている。その上で最終到達点として脱炭素社会を掲げ、これを今世紀後半の出来るだけ早い時期での実現をめざし、これに向けて2050年の80%削減目標を掲げていると述べている（4頁）。しかし4-1で述べたとおり日本の2050年80%削減は2°C目標から逆算したもので、1.5°Cは全く視野に入っていない。この点論理の矛盾がある。

これと似たようなことはまだある。例えば長期ビジョンに向けた政策の基本的考え方として環境と成長の好循環の実現を協調している（5頁）。この文書のタイトルにも成長戦略としての長期戦略との言葉があるのはこの意味であろう。しかし日本政府はモデルを使ってこれを検証したわけではなく、これは願望に過ぎない。実際4-1で取り上げた経産省委員会の報告書では80%削減のコストは膨大で、経済成長と排出削減にはトレードオフがあることが指摘されている。もし「環境と成長の好循環」を掲げるなら、それが可能だということを国民を納得させる根拠と共にを示すべきである。そうでないと空虚に聞こえる。

「パリ協定長期戦略」では目標達成に必要な非連続なイノベーション実現に向けての鍵となる分野として、水素<sup>38</sup>、CCS（CO<sub>2</sub>回収貯留）・CCU（回収したCO<sub>2</sub>の活用）、再エネ蓄電池、原子力を挙げ、技術のコスト、効率等の具体的な目標を掲げ云々とあるが、実際に数値が書かれているのは水素製造コストの30円/Nm<sup>3</sup>位であった（後述の別の報告書では2050年に向け20円/Nm<sup>3</sup>となった）。「パリ協定長期戦略」ではエネルギー、産業、運輸、地域・くらしの4部門（排出削減）、それに吸収源の5つの部門の技術・対策を取り上げているが、ここには部門別技術別削減量、そのコスト（限界削減費用及び部門平均削減費用）の記述は全くない。日本政府は自身のモデルを保持していないが、有力な民間機関にモデル分析を委託することは可能なはずであるが、これを行っていない<sup>39</sup>。この点はイギリスとの大きな違いである。コストなしの政策はその正当性や有効性・影響を評価することが不能だからである。

2020年1月に革新的環境イノベーション戦略が公表された（日本政府2020、以下「戦略」）。これは「パリ協定長期戦略」に沿い、技術コストの引き下げ目標を明記するなど更に具体化したものである。本文82頁、全体は第1章が背景・概要等、第2章がイノベー

---

<sup>38</sup> 重視すべき技術選択に関し、GHG大幅削減に役立つのみならず、その摘要先も、一つのプロセス、分野を超えて、社会やより多くの産業への適用が可能でインパクトが大きいという視点が重要として、例として水素を挙げている。水素は自動車燃料、発電、鉄鋼の還元剤、建物暖房等多方面に活用できるからである（47頁）。

<sup>39</sup> 政府がひそかにどこかの研究機関にコスト算定を依頼した可能性が100%ないとは言い切れないが、仮にこうしたことがあれば、これは著しく透明性を欠くとともに、広く国民の衆知を集めてモデル結果をより信頼できるものにするとの観点が著しく欠けていると言わざるを得ない。

ション・アクションプラン、第3章が（イノベーションを進めるための）アクセラレーションプラン、第4章が水素閣僚会議など一連の国際イニシアティブとなっている。この文書は正に日本の気候変動戦略の特徴を明確に打ち出したものとなっている。このうち中心は第2章でここでは世界レベルでの炭素中立を目指して、エネルギー供給と需要4分野（運輸、産業、業務・家庭その他、農林水産吸収源）の合計5分野について、重要且つ共通な16の技術課題に分類し、GHG削減量が大きく日本の技術力による大きな貢献が期待できる39のテーマを設定している。そして各テーマでの革新的技術の2050年の確立を目指して、①イノベーションの目標となる具体的コスト<sup>40</sup>、世界のGHG削減量、②技術開発の内容、③実施体制、④要素技術開発から実用化までの具体的なシナリオとアクションを示している。正に技術立国を目指す日本の世界に向けた壮大な戦略で（日本政府2020、7頁）、筆者はこの内容を高く評価するものである。実際この後水素などを中心にこの戦略に沿った動きが国内で陸続として出現しており、今後の動きに期待するところ大である。興味のある読者には是非原文に当たって頂きたい。

とはいえこの「戦略」についてはいくつか疑問が残る。第1はこれは世界レベルの話で、日本の80%削減については相変わらずシナリオもコスト計算もないことである（コストについてはすぐ後で述べる）。「戦略」ではエネルギー転換部門で再エネ、CCS、BECCS等で約300億トン、運輸はEVや航空機のバイオ燃料使用等で約110億トン、産業は水素還元製鉄等で約140億トン、業務・家庭等ではシェアリングエコノミーなどで約150億トン、農水・吸収源ではバイオ技術やDAC等で約150億トンと合計削減可能量が850億トンにも達し、仮に全て実現すれば2010年の世界のGHG排出量490億トンの1.7倍にも達する削減・吸収が可能になる壮大な計画である。しかしこれは技術の積み上げの試算でしかなく、こうした技術を取り込みながら世界で2°C（或いは1.5°C）目標をどのように実現するかシナリオはない。

次に削減コストについては、（日本のコストには全く触れずに）2°C目標に相当する2050年の70%削減シナリオ<sup>41</sup>の追加コストは世界で年間7兆ドル、1.5°C目標（2050年世界ゼロエミッション）なら更にコストが増えるとする（4頁）。この根拠として単にRITEモデルによる試算としか説明がなく、内容はよく分からない。イギリスやEUの文書でこの種民間研究機関の数値を引用する際には必ず出典が明記されているが、この点日本政府の文書はこの案件に限らず学術的観点からはしっかりした書き方をしておらず、残念なところである<sup>42</sup>。また、通常削減は削減コストが安い技術や分野から始め、徐々に手

<sup>40</sup> ここでいうコストは例えば太陽光発電の発電コスト、水素製造コスト、バイオジェット燃料のコスト等を指し、CCSなど一部例外を除くとCO<sub>2</sub>を追加的に1トン削減するコストではない。

<sup>41</sup> 日本政府（2020）では脚注1として、このシナリオはIPCC1.5°C特別報告書のSSP2シナリオとしているが、このIPCC報告書にはSSPシナリオというものはなく、P1、P2、P3、P4の4種となっており、このうちどれを指すのかが不明である。IPCC第5次報告書では2°Cに相当する2100年450ppmCO<sub>2</sub>eqの場合の2050年の2010年比必要削減率が-72~-41%とある（IPCC/AR5/Syn/Table SPM.1）。或いはこのことを指しているのかもしれない。

<sup>42</sup> 更に言うと、この文書も含めて筆者の知るところ気候変動問題に関するほとんどの政府の文書には未

付かずに上がっている高コストの対策に取り掛かるので年を追うごとに高くなっていく。例えば IPCC 第 5 次報告書では 2°C 目標達成のための消費ロス（GDP インパクトとほぼ同義）は 2030 年が 1.7%（BAU 対比）、2050 年 3.4%（同）、2100 年 4.8%（同）というように上昇している<sup>43</sup>（IPCC 2014 Table SPM.2）。「戦略」の表現のように年間 7 兆ドルと聞くとこれから毎年 7 兆ドルかかる（IMF による 2018 年の世界の GDP は 85 兆ドルなので今すぐにも世界の GDP の 8% 強の追加コストがかかる）と誤解される恐れもあり不適当な表現である。コストを示すならば 2050 年時点での限界削減費用と GDP ロスを示すべきであった<sup>44</sup>。

以上削減コストは世界のそれであるが、日本が 80% 削減するコストはどの程度か。既述の通り政府の報告書には数値がないので既存の論文から二つを引いておく。一つは RITE の秋元・佐野論文（秋元・佐野 2017）、もう一つは藤森ほか論文（Fujimori et al., 2019）である。

先ず秋元・佐野論文であるが、これは日本が 2016 年 5 月に 2050 年 80% 削減を決定した直後に投稿されたものである（投稿同年 6 月、受理は同年 12 月）。ここでは日本の長期目標に基準年の明記がないことを指摘した上で、日本政府がカンクンプレッジなどでしばしば用いてきた 2005 年を基準値とした上で各種試算を行っている。実は論文ではパリ合意での 2°C を十分下回る気温上昇を満たす 2050 年の世界の排出量を求め、これを基に最小費用原則により日本の必要削減量を求めた場合（この場合日本は 80% 削減とはならない）の削減費用と、世界の排出削減シナリオとは無関係に日本が 80% 削減する場合の 2 種類のモデル計算を行っているが<sup>45</sup>、現状は日本が既に 80% 削減を宣言しているので、本稿では後者のコストを取り上げる。通常モデルではあらゆる技術の削減ポテンシャルとそのコスト（限界削減費用）を基に全ての主体が追加的に 1 トンの CO<sub>2</sub> を削減するコストが等しくなる前提（限界削減費用均等化、つまり最小費用での目標達成）で計算を行う。し

---

尾に引用文献のリストもない。これも欧米とかなり異なるところである。

<sup>43</sup> これは中央値で幅（16-84<sup>th</sup> percentile）はそれぞれ 2030 年 1.0-3.7%、2050 年 2.2-6.2%、2100 年 2.9-11.4% である。またこれは技術制約がなく、世界単一共通炭素税（つまり最小費用）で目標を達成する場合のコストで、例えば CCS が利用できなければそれぞれ 2.4 倍に上昇することも併記されている。この場合 2050 年の消費ロスは中央値で 8% と大きくなる。

<sup>44</sup> 念のため公開されている RITE 関係者の論文や Presentation 資料にあたってみたが、2020 年 2 月の ALPS 国際シンポジウムにおける秋元圭吾氏の Presentation に似た数値を見つけた。そこでは需要面からの新しい動きを考慮しない標準的は条件で 2°C を 66% 以上の確率で達成するシナリオの場合の 2050 年の世界の限界削減費用が \$530/tCO<sub>2</sub>、年間削減費用（これは GDP ロスではない）は年間 5.6 兆ドルとある。<http://www.rite.or.jp/system/events/2020/02/alps2020.html>

<sup>45</sup> 論文では日本の削減費用を二通りの考え方で計算している。①はパリ協定にある well below 2 degree C を（気候感度等の不確実性を考慮しつつ）満たすと思われる 5 種類の世界レベル排出シナリオを描き、それぞれのシナリオでの 2050 年時点での排出量（及び排出削減量）を求め、これを世界の限界削減費用均等化（最小費用）で削減する場合の日本の排出量（削減量）を求めると日本の 2050 年排出量は 0%～-77% となる（ここでは基準年は 2010 年。詳細は秋元・佐野 2017 参照）。このうち日本の 80% 削減に近い 77% 削減を国内での限界費用均等化で実施する場合の炭素価格は \$2075/tCO<sub>2</sub> となる。②は世界の排出削減シナリオとは無関係に日本が 2050 年 80% 削減をする場合の限界削減費用で、日本は既に 80% 削減を宣言しているので、この方法で得たコストが日本の削減費用となる。本文では後者を取り上げている。

かし日本の場合気候変動以外にエネルギー安定供給やエネルギー安全保障等の観点も加味して 2030 年に向けたエネルギー基本計画が既にあり、この中で電源構成が定められている（例えば発電電力量の割合は再エネ 22-24%、原子力 22-20%等）。つまりこうした縛りがあると日本の削減必要量を最小費用で削減する上での制約条件となる。秋元・佐野論文ではモデルの中で電源構成について、①2030 年の電源構成の継続、②電源構成の縛りを外し、電源構成最適化（最も削減コストの安い電源の削減優先）、③これに原子力フェーズアウトを追加、④原子力の代わりに CCS 拡大（2050 年 91MtCO<sub>2</sub>→182MtCO<sub>2</sub> へ）、⑤ CCS 拡大に替わって水素輸出入あり、⑥これに植林追加、の 6 つの制約条件において計算している。結果は①の電源構成継続の場合には実行可能解なし（この制約条件の下では 80%削減は不可能）、これ以外は限界削減費用でみて⑥が\$3516/tCO<sub>2</sub> で最も安く、③～⑤は\$5000 ドル台後半、②が\$6000 ドル台前半となっている。BAU 比の削減費用もこれとほぼ同じ傾向であるが、これについては②が最も高くなっている（但しこれは実額で示されているので、GDP 比は不明である）。コスト計算の最初の方式（2℃目標達成の 5 本のシナリオから得られる世界の排出削減量を最小費用で満たす場合）の日本の排出量のうち削減量が最大の -77%のケースがほぼ日本の 80%削減に相当するが、この場合には上記の制約条件無しで限界削減費用が \$ 2075/tCO<sub>2</sub> と計算されており、同じ 80%削減でも各種制約条件をおくことによって限界コストがほぼ 3 倍にもなる。このことはモデルで計算した削減コストは理想の姿で、各種制約（例えば電源構成の他に、2050 年の CCS 最低 9000 万トン CO<sub>2</sub> の想定等）があることを考慮すると、日本の 2050 年 80%削減コストは数倍に跳ね上がると考えねばならない。ましてやモデル計算の結果とはいえ、日本の 2030 年の電源構成が 2050 年まで続くと 80%削減は不可能との結果も出ており、日本の目標必達のためには電源構成の見直しは必須となる。こうした意味で日本が 80%削減を掲げながらそれをどのように達成するのか、その場合の削減コスト（限界削減費用及び GDP ロス）が示されていない状況は、決して好ましい状況ではないと思う。

次は藤森他の論文で、これは日本を例にとり経済モデル（トップダウンの CGE）は、エネルギー部分の削減コストがボトムアップのエネルギーシステムモデルよりも高くなる傾向を示し、仮にこれが世界のモデル全体に当てはまるとすれば、両モデルを統合することで、削減コストは IPCC 第 5 次報告にある 2℃目標達成 GDP コスト（2050 年には GDP の 2-6%）より低くなるのではないかと言う問題を提起しており、大変興味深いものである。この中で CGE よりコストが安いとするボトムアップの AIM/Enduse model で日本の 2050 年 80%削減の限界費用を約\$1000/tCO<sub>2</sub> としている点は興味深い。単純な比較は禁物であるが、これは上述の秋元・佐野論文の\$2075/tCO<sub>2</sub> に大凡相当する数値と思われるが、秋元・佐野論文にあるような制約条件をつけることでほぼ 3 倍程度に跳ね上がる可能性があるのではないかと思う。

#### 4-3 技術中心の日本の長期政策

上述の通り、日本の長期戦略の特徴は、目標達成のシナリオがなくコストが不透明な点であるが、もう1点は技術中心となっていることである。これはこれまでの日本の気候変動対策すべてに通じた際立った特徴である。特に本年1月の革新的環境イノベーション戦略は単に重要な技術の内容と削減ポテンシャルを詳細に示すのみでなく、国内・国際の両面でイノベーション推進の体制を提案し、実際にこれを着々と実行に移している。政府は「グリーンイノベーション戦略推進会議」を設置し、本年7月7日に第1回グリーンイノベーション戦略推進会議を開催した。革新的環境イノベーション戦略の具体化が着々と進んでいる。この他2019年6月にはIEAから水素特別報告書（IEA 2019b）が出され、日本で開催されたG20で報告されたが、この報告書は日本政府のイニシアティブで完成したものである。今後の世界の水素戦略に大きな影響を与えるものであり、環境イノベーション面での日本の本気度が感じられる。

こうした中で水素とCCUSについて気づきの点を述べる。先ず水素であるが、「戦略」では水素は電力・運輸・産業・民生のあらゆる分野で有効な中心的技術の一つと位置づけられ、全体の中で多くの頁を割き、水素のあらゆる可能性を探っており、これほど徹底した分析は上記IEA及びイギリスのCCCの報告書を除くと見たことがない<sup>46</sup>。世界全体で水素利活用によるCO<sub>2</sub>削減量を年間60億トンと推測している。しかしこの内容をイギリスの長期シナリオと比べると1点大きな相違がある。具体的にはイギリスの場合居住用住宅の熱（暖房、調理）は低炭素電気によるヒートポンプと低炭素水素のHybrid方式転換で対応する方針である（CCCは新築については遅くとも2025年までにガスグリッドへの接続を禁止すべきと勧告している）。住宅用ガス需要の水素への切り替えにはそれ用の新たな水素供給パイプラインの設置（鉄管からプラスチック管へ）、水素貯蔵施設の建設、水素製造時点での大量のCCSが必要となる。日本の「戦略」のうち水素について大変詳細に書かれており、水素貯蔵施設の問題には既に取り組みが進んでいるが、都市ガスの水素代替には触れていない<sup>47</sup>。もし1.5°Cを目標にする場合には2050年に世界の排出量をゼロにする必要があり、この場合日本でもイギリスのように都市ガスの電気&/or水素代替は必須と思われるが、この点はいずれ議論されることとなろう。

なお、IEA（2019b）では建物での水素利用は現状ではほとんどないとしつつ、可能性として既存のガスとの混合、合成水素（メタネーション、後述）、100%水素、燃料電池・コージェネの4点を挙げ、既存ガスインフラの活用については「2030年までに政府は都市ガスの将来について戦略的な決定を迫られる。具体的にはガスパイプラインを完全に水素用に転換するか、ガスgridの使用そのものをやめるかという決断である」（182頁）としている。日本の「戦略」にこうした視点が欠けているのはいかなる理由によるものか。

日本の水素活用のもう一つの特徴は化石燃料から（CCSつきで）製造した「輸入」水素

<sup>46</sup> EUでも2020年7月に気候中立に向けての水素戦略と称する文書が公開されたが、内容は具体性を欠くものである（EU 2020a）。

<sup>47</sup> 日本の水素需要の特徴は発電用である。例えば神戸市沖の施設に貯蔵される液化水素は発電への利用が予定されているが、世界で見ると発電燃料としての水素は例外的である（IEA 2019b pp.152, 190）。

の利用を前提としていることである。実際 IEA でも日本は欧州と並んで国内での水素製造コストが高いと分析されている (IEA2019a p. 189)。これに対してイギリスでは輸入水素のコストと入手可能性問題から国内での水素を優先する姿勢である (CCC 2019b p.60)。

次に CCUS である。「戦略」では中心となる 5 つの技術領域の一つとして CCUS (CCS と CCU) が位置づけられている (日本政府 2020 p.16)。しかしこの内容をよく見ると CCS よりも CCU が中心である。CCUS/カーボンリサイクルという形で CCUS はほとんど常にカーボンリサイクルと並列的に使われている。これは捕捉した CO<sub>2</sub> を建材やセメントなどに固定することでその排出を防ぐことも含むが、効果として大きいのは CO<sub>2</sub> とカーボンフリー水素による合成メタンの製造 (メタネーション) で<sup>48</sup>、これを発電、産業、都市ガス等として用いることが想定されている。

合成メタンを燃料とすることで果たして排出が減るだろうか。減るとしたらその環境効果はどの程度か。Bennett et al. (2014)は、例えば石炭火力から 1 トン、在来自動車から 1 トンの CO<sub>2</sub> 排出があるとして、石炭火力からの 1 トンを回収し、これに水素を加えて合成燃料を製造してこれを自動車燃料とすると、燃料使用時に合成燃料から CO<sub>2</sub> は 1 トン出すが、それ以前は 2 トン排出されていたので削減割合は最大 50%となるとの例を引いているが、その後にはこれは水素製造その他あらゆる場面で CO<sub>2</sub> 排出がないとの仮定で、更に CO<sub>2</sub> を自動車燃料に変えるには熱力学上の大きな問題があることを指摘し、これを極端な単純化されたケースとしている。しかし折角回収した CO<sub>2</sub> なら貯留に回すべきであろうし、ガソリン車がそのまま存続する可能性はほぼ無く、これよりは水素のままで FCV (燃料電池車) に使う方が効率的である。IEA (2019)はこの論文を引用しつつ、水素ベースの合成炭化水素 (メタンを含む) の利用で理論上は最大で 50%まで削減可能としている。この趣旨はメタネーションでもゼロエミッションにならないことを言っており、ここは同感であるが、削減率の引用にはやや引っかかる。例えばイギリスでは CCS に関連して、回収した CO<sub>2</sub> の一部は CCU としての再利用もあるとしつつ、「貯留に比べてその潜在量は極めて僅少」としている (CCC2019b p.110)。RITE (2020)は CCS の重要性を指摘する一方、「CCU については量的に排出削減ポテンシャルを大きく稼げず、厳しい排出削減シナリオ下では、CCS を CCU で代替はできない」としている。Hepburn et al. (2019)は、メタネーション (燃料としての使用) の削減効果に疑問を呈しつつ、CCU は目的ではないこと、必ずしも温暖化に効果があるとは限らない場合もあること、メタネーションはコスト的に相当高いこと、等々から今後の更なる研究の必要性を強調している。

以上の議論の前提は合成メタン製造の基となる水素が CO<sub>2</sub> フリーであることで、これには CCS 付きでのメタンからの水素製造と、再エネ等脱炭素電力による水の電気分解による水素製造の 2 種類がある。このうち特に電気分解については膨大な電力量を必要とする点を付言しておく (IEA 2019 58 頁に例示がある)。

---

<sup>48</sup> IEA (2019)は世界で欧州 (特にドイツ) を中心に 70 の合成炭化水素のプロジェクトがあるが、その大部分は合成メタン (メタネーション) であるとしている (57 頁)。

既述の通り日本が長期戦略の一環として水素を重視し、それを回収した CO<sub>2</sub> に反応させて合成燃料（メタン）として発電・暖房等に利用する事を挙げているが、回収した CO<sub>2</sub> を再利用するよりも地中に貯留した方が排出削減コストとしては安いとの説もありこの点の判断も必要になると思う<sup>49</sup>。

既述の通り日本の「戦略」では水素は輸入を前提としている。もし国内で CO<sub>2</sub> を捕捉しながら使い途がなく再度大気中に放出しているような場合には、これと輸入水素で合成メタンを製造して天然ガスに代替すれば確かに日本国内では CO<sub>2</sub> 削減効果はあるし、この場合都市ガスインフラの再構築も不要となる。しかし文献ではこれによる CO<sub>2</sub> 削減効果は大きくはないし、CCS の削減効果を CCU で代替するのは不可能である。また、輸入水素の場合その水素が clean 水素（CO<sub>2</sub> 排出を伴わない工程で製造した水素）でない場合には輸入先の国で CO<sub>2</sub> が排出されるので世界全体では減少とはならない。こう考えると CCU 推進は気候変動対策と言う面よりもエネルギー安全保障上の観点から輸入天然ガス依存を減らす、或いは石炭使用の継続等、別の観点からのメリットもあるのかも知れない。

いずれにしても最終的には世界レベルでゼロエミッションを目指さねばならず、この場合化石燃料由来の CO<sub>2</sub> と脱炭素水素からの合成メタンは適格性を欠く（再利用する CO<sub>2</sub> をバイオマス（BECCS）或いは DAC<sup>50</sup>で回収する場合のみゼロエミッションになる）点に注意すべきである。

最後に CCS であるが、RITE のモデル計算では CCS 無しでは国内対策だけで日本の 80%削減の解は得らず（RITE 2020 p.102）、世界全体でも CCS 無しの場合コストが 2.4 倍に跳ね上がる（IPCC 2014 Table SPM.2）とある中で、何故「戦略」で CCS が中心の一つになっていないのかは不明である。

## 終わりに 日本発国際社会への新たな考え方の提示

以上主としてイギリスと対比しつつ気候変動に関する日本の長期戦略について考察してきた。日本の長期目標（2050年 GHG80%削減）の最大の弱点は目標達成の具体的シナリオがなく、コスト（GDP impact や限界削減費用＝目標実現の炭素価格）も提示されていない点である。しかしこの根底には 2°C 或いは 1.5°C 目標、その結果としての日本の 80%削減に本当の意味で納得していないことがあると筆者は考えている。「戦略」にあるとおり政府は 2°C 目標ですら巨大なコストがかかることを（適切とはいえない方法で）冒頭に記し、これを低下させるために環境イノベーションを進めるとある。しかし、世界はさておくとしても、日本は低成長、巨額の財政赤字、特に中国の台頭と北朝鮮の核武装による軍事的脅威への対応、エネルギー安全保障と原子力発電を巡る思考停止、IT 関連技術

<sup>49</sup> CCC は一旦捕捉した CO<sub>2</sub> を貯留するコストの方が、同量を合成燃料の材料として化石燃料に代替することで排出削減するコストより安いともしている（CCC 2019a p.157）。

<sup>50</sup> しかし CCC では化石燃料由来ではなく DAC で回収した CO<sub>2</sub> を合成ジェット燃料として使う場合を例として検討し、結論として、この選択肢は技術的には可能であるものの熱力学及び経済的な観点から他の選択肢に比べて相当高いとして否定的である。（CCC 2019a p.157）。

での発展途上国化、少子高齢化のますますの進展と医療費問題、加えて SDGs 等々課題山積の中で、どうしても 2050 年までに 80%削減すべき（そしてその背後にある 2°C 或いは 1.5°C 目標）との確信が持てないでいる。加えて気候変動に伴う科学・国際政治面での大きな不確実性がある中で、「限られた国富や政策資源の全てを地球温暖化対策に投入することは現実的とは言えない」（経済産業省 2017）のが本音であろう。筆者はこれに同意するものである。この状況はコロナウイルス問題で国が疲弊した現在、より深刻である。しかし現状は石炭火力の例を待つまでもなく、世界（と言っても欧州主要国や先進国のシンクタンクや活動家の一部）は 1.5°C 目標と 2050 年ゼロ目標に向け大きなうねりの中にある。最近の異常気象に鑑みれば対策が急務と考える事は理解できる。しかし世界共通炭素税を前提とし、期限内の目標達成を絶対視する現在の議論は時の経過と共に必ず破綻するというのがこの問題を永年に亘り研究してきた筆者の見通しである（IPCC で中心的な役割を果たしている学者の多くも 2°C 目標が実現可能とは考えていないことは IPCC の場での彼らとの議論でも実感できる。現状はこれを公言するリスクが大きすぎるので、もし 2°C 或いは 1.5°C を目指すのであればこれこれの排出削減パスが必要という言い方をしているだけである）。しかし現在の国際目標が破綻するには時間がかかる。それまでの間、日本は国際的に孤立し、成算無しに「2050 年ゼロ」を宣言せざるを得ない状況に追い込まれかねない。

他方 CO<sub>2</sub> 排出を続ける限り世界の気温は上昇を続けることは科学的な真理であり、これは容認できないことも明らかである。従って 2050 年かどうかは別にして少なくとも CO<sub>2</sub> 排出は世界レベルでゼロにする必要がある。これを実現するにはそれぞれの部門でどの程度の努力が必要かを知る意味でイギリスの 2050 年ゼロエミッションの対策は非常に参考になる。更に近年脚光を浴びている需要面での新たな対策もある。

こうした状況の中で、日本からは長期ゼロエミッションを世界共通の目標とし、これに向けた技術に基づく部門別シナリオを提示して 2°C（1.5°C）目標に替わるべきものとして積極的に世界に働きかける、つまり世界の気候変動政策の気温目標から排出ゼロ目標へのパラダイムシフトを日本が提言する事こそ日本が世界に貢献する道であると思う<sup>51</sup>。勿論このためには国内のみならず世界の研究機関の協力も得て、2°C（1.5°C）目標達成の部門別絵姿や産業構造、経済への影響を学問の裏付けを得ながら世界の政治家にわかりやすい形で提示することは必須である。

完

---

<sup>51</sup> 既に筆者は他の専門家と共にこうした論文を世に問うている（Kaya et al. 2019）。

## 参考文献

- Bennett et al. (2014), “Towards a framework for discussing and assessing CO<sub>2</sub> utilisation in a climate context”, *Energy Procedia* 63 (2014) 7076-7092, Bennett, S. J., Schroder, D. J. and McRoy, S.T.
- CCC (2019a), Net Zero; The UK’s contribution to stopping global warming, Committee on Climate Change, May 2019  
<https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2019/05/Net-Zero-The-UKs-contribution-to-stopping-global-warming.pdf>
- CCC (2019b), Net Zero Technical Report, Committee on Climate Change, May 2019  
<https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2019/05/Net-Zero-Technical-report-CCC.pdf>
- CCC (2019c), “Technical Annex: Integrating variable renewables into the UK electricity system”, 2019  
<https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2019/04/Technical-Annex-Integrating-variable-renewables-into-the-UK-electricity-system.pdf>
- CCC (2018a), Hydrogen in a low-carbon economy, Committee on Climate Change, November 2018,  
<https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/Hydrogen-in-a-low-carbon-economy.pdf>
- CCC (2018b), Biomass in a low-carbon economy, Committee on Climate Change, November 2018,  
<https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/Biomass-in-a-low-carbon-economy-CCC-2018.pdf>
- CCC (2018c), Land use: Reducing emissions and preparing for climate change, Committee on Climate Change, November 2018  
<https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/Land-use-Reducing-emissions-and-preparing-for-climate-change-CCC-2018.pdf>
- CCC (2016), Meeting Carbon Budgets – 2016 Progress Report to Parliament, Committee on Climate Change, June, 2016  
<https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2016/06/2016-CCC-Progress-Report.pdf>
- CCC (2008a), Building a low-carbon economy –the UK’s contribution to tackling climate change, December 2008, Committee on Climate Change  
<https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2008/12/Building-a-low-carbon-economy-Committee-on-Climate-Change-2008.pdf>

- CCC (2008b), Chapter 2 Technical Appendix: Integrated Assessment Modelling, December 1, 2008, Committee on Climate Change,  
<http://archive.theccc.org.uk/archive/pdfs/Tech%20Appendix%20Final.pdf>
- EU (2020a), A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS COM(2020) 30 final, July 8, 2020  
[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf)
- EU (2020b), Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulation (EU) 2018/1999 (European Climate Law), COM(2020) 80 final, March 4, 2020  
[https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-proposal-regulation-european-climate-law-march-2020\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-proposal-regulation-european-climate-law-march-2020_en.pdf)
- EU (2019), The European Green Deal, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS COM(2019) 640 final, Dec. 11, 2019  
[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- EU (2018a), A Clean Planet for all, A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE, THE COMMITTEE OF THE REGIONS AND THE EUROPEAN INVESTMENT BANK, COM(2018) 773 final, November 28, 2018  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>
- EU (2018b), A Clean Planet for all, A European strategic long-term vision for an prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM(2018) 773, November 28, 2018  
[https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com\\_2018\\_733\\_analysis\\_in\\_support\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf)
- EU (1996), A Community Strategy to reduce CO<sub>2</sub> emissions and improve fuel economy – Council Conclusions, 1939<sup>th</sup> Council meeting ENVIRONMENT 25 June 1996

- Fujimori et al. (2019), “Energy transformation cost for the Japanese mid-century strategy”, *Nature Communications* (2019)19:4737, Fujimori, S., Oshiro, K., Shiraki, H. & Hasegawa, T.
- Hepburn et al. (2019), “The technological and economic prospects for CO2 utilization and removal”, *Nature*, Vol 575, 87-97, Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., Carter, E.A., Fuss, S., Mac Dowell, N., Minx, J.C., Smith, P. & Williams, C.K. 2019
- IEA (2019a), World Energy Outlook 2019, International Energy Agency, November 2019
- IEA (2019b), The Future of Hydrogen, Seizing today’s opportunities, Report prepared by the IEA for the G20, Japan, June 2019
- IEA (2017), Energy Technology Perspective 2017, Catalysing Energy Technology Transformations, International Energy Agency, June 2017
- IPCC (2018), Global warming of 1.5°C, An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, October 2018, <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IPCC (2014), Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press,
- Kaya et al. (2019), “Towards net zero CO2 emissions without relying on massive carbon dioxide removal”, *Sustainability Science* (2019) 14:1739-1743, Kaya, Y., Yamaguchi, M. and Geden, O. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00680-1>
- UK (2019), The Climate Change Act 2008 (2050 Target Amendment) Order 2019, June 26, 2019 <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2019/1056/introduction/made>
- UK (2008), Climate Change Act 2008, UK Government, November 2008  
[http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/pdfs/ukpga\\_20080027\\_en.pdf](http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/pdfs/ukpga_20080027_en.pdf)
- 秋元圭吾・佐野史典（2017）, 「パリ協定 2°C 目標から見た我が国の 2050 年排出削減目標に関する分析」 *Journal of Japan Society of Energy and Resources*, Vol. 38, No. 1
- 環境省（2017）. 「長期低炭素ビジョン」 2017 年 3 月 中央環境審議会地球環境部会  
[http://www.env.go.jp/earth/ondanka/lc\\_vision.html](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/lc_vision.html)
- 経済産業省（2017）, 「長期地球温暖化対策プラットフォーム報告書—我が国の地球温暖化対策の進むべき方向—」 2017 年 4 月 7 日  
<https://www.meti.go.jp/press/2017/04/20170414006/20170414006-1.pdf>
- 日本政府（2020）, 「革新的環境イノベーション戦略」 2020 年 1 月 21 日  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siryo6-2.pdf>
- 日本政府（2019）, 「パリ協定に基づく成長戦略」 2019 年 6 月 11 日

<https://www.env.go.jp/press/111781.pdf>

日本政府（2016）, 「地球温暖化対策計画別添資料 1」 2016 年 5 月 13 日

<https://www.env.go.jp/press/files/jp/102816.pdf>

RITE (2020), 「令和元年度地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託費（我が国の CCS 導入のあり方に関する調査事業）調査報告書」（公財）地球環境産業技術研究機構 2020 年 3 月 [https://www.meti.go.jp/medi\\_lib/report/2019FY/000145.pdf](https://www.meti.go.jp/medi_lib/report/2019FY/000145.pdf)

山口光恒（2017）, 「イギリスの気候変動政策」 2017 年 3 月 31 日

<http://www.m-yamaguchi.jp/others/20170331.pdf>