

(案)

報告

パリ協定を踏まえたわが国の
エネルギー・温暖化の対策・政策の
方向性について



平成29年（2017年）〇月〇日

日 本 学 術 会 議

総合工学委員会

エネルギーと科学技術に関する分科会

この報告は、日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会での審議結果を踏まえ、総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会において取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会

委員長	鈴置 保雄	(第三部会員)	愛知工業大学工学部教授、名古屋大学名誉教授
副委員長	山地 憲治	(連携会員)	公益財団法人地球環境産業技術研究機構理事・研究所長、 東京大学名誉教授
幹事	秋元 圭吾	(連携会員)	公益財団法人地球環境産業技術研究機構システム研究グループグループリーダー・主席研究員
幹事	疇地 宏	(連携会員)	大阪大学レーザーエネルギー学研究センターセンター長・ 教授
	小長井 誠	(第三部会員)	東京都市大学総合研究所特任教授
	朝倉 薫	(連携会員)	日本電信電話株式会社情報ネットワーク総合研究所担当部長
	伊藤 公孝	(連携会員)	自然科学研究機構核融合科学研究所フェロー教授
	伊藤 早苗	(連携会員)	九州大学応用力学研究所教授
	犬竹 正明	(連携会員)	東北大学名誉教授、一般財団法人高度情報科学技術研究機構理事
	岩城智香子	(連携会員)	東芝電力システム社電力・社会システム技術開発センター機械システム開発部熱流体機器開発担当グループ長
	大久保泰邦	(連携会員)	国立研究開発法人産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門テクニカルスタッフ
	北川 尚美	(連携会員)	東北大学大学院工学研究科准教授
	近藤 駿介	(連携会員)	原子力発電環境整備機構理事長、東京大学名誉教授
	笹尾真実子	(連携会員)	東北大学大学院名誉教授、同志社大学研究開発推進機構嘱託研究員
	高田 保之	(連携会員)	九州大学大学院工学研究院機械工学部門教授
	田島 道夫	(連携会員)	明治大学研究・知財戦略機構特任教授、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所名誉教授
	柘植 綾夫	(連携会員)	社団法人科学技術国際交流センター元会長・顧問
	二ノ方 壽	(連携会員)	東京工業大学名誉教授
	日高 邦彦	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻教授
	藤岡 恵子	(連携会員)	株式会社ファンクショナル・フルイッド代表取締役
	藤田 修	(連携会員)	北海道大学大学院工学研究院教授
	三間 囿興	(連携会員)	大阪大学名誉教授、学校法人光産業創成大学院大学特任教授

本島 修	(連携会員)	未来エネルギー研究協会会長、国際核融合エネルギー研究開発機構 (ITER) 名誉機構長
門出 政則	(連携会員)	国立大学法人佐賀大学理事
矢川 元基	(連携会員)	公益財団法人原子力安全研究協会会長、東京大学名誉教授
山本 一良	(連携会員)	名古屋学芸大学教養教育機構長、名古屋大学参与・名誉教授
渡辺 政廣	(連携会員)	山梨大学社会連携・研究支援機構社会連携・知財管理センター特任教授

地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会

委員長	秋元 圭吾	(連携会員)	公益財団法人地球環境産業技術研究機構システム研究グループグループリーダー・主席研究員
幹事	江守 正多	(連携会員)	国立環境研究所地球環境研究センター気候変動リスク評価研究室室長
幹事	杉山 大志		電力中央研究所社会経済研究所上席研究員
	秋葉 澄伯	(第二部会員)	鹿児島大学大学院歯学総合研究科疫学・予防医学教授
	鈴置 保雄	(第三部会員)	愛知工業大学工学部教授、名古屋大学名誉教授
	近藤 駿介	(連携会員)	原子力発電環境整備機構理事長、東京大学名誉教授
	山地 憲治	(連携会員)	公益財団法人地球環境産業技術研究機構理事・研究所長、東京大学名誉教授
	小宮山涼一		東京大学大学院工学系研究科附属レジリエンス工学研究センター准教授
	中垣 隆雄		早稲田大学理工学術院創造理工学部総合機械工学科教授

本提言の作成に当たっては、以下の職員が事務を担当した。

盛田 謙二	参事官 (審議第二担当)	(平成 27 年 8 月まで)
石井 康彦	参事官 (審議第二担当)	(平成 27 年 8 月から)
松宮 志麻	参事官 (審議第二担当)	付参事官補佐
柳原 情子	参事官 (審議第二担当)	付審議専門職

要 旨

1 本報告の背景

2015年の世界の年平均気温は1891年の統計開始以降、最も高い値となるなど、地球温暖化は進行している。最新の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）報告書も気候変動リスクに関して従来にも増して強い警鐘を鳴らした。そのような中、2015年12月に開催の国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第21回締約国会議（COP21）において、2020年以降の温室効果ガス（GHG）排出削減の枠組みを定めたパリ協定が合意され、2016年11月に発効した。ほぼすべての国が温室効果ガス排出削減に取り組む国際枠組ができたことは評価される。パリ協定に先立って日本政府は、2015年7月に2030年に向けた長期エネルギー需給見通し（エネルギー構成の姿であるエネルギーミックス）を決定し、それと整合的な2030年の温室効果ガス排出削減目標を決定した。その後、パリ協定の採択を受けて、2016年5月に地球温暖化対策計画を閣議決定した。今後、パリ協定の実効性を高めていくことが重要であり、わが国もそれに大きく貢献していくことが求められる。本報告では、現在の地球温暖化・エネルギー政策状況を踏まえ、今後対応が必要な事項について課題を整理した。

2 エネルギー・温暖化政策にあたっての重要事項

パリ協定は、各国が自主的に自国の排出削減目標・取り組みをプレッジ（誓約）し、それを国際的にレビューするという仕組みにより、すべての国が排出削減に取り組む環境を作り上げた。その上で重要なことは、各国間で異なった事情を踏まえながらも、すべての国が等しく排出削減努力を行うことである。各国が排出削減に向けた努力をするような目標をプレッジし、そしてその実現に向けた努力を怠らず、着実に実行していくことが大切になる。それを促すことが可能なレビュープロセスを用意し、各国が努力を高めていくような環境を作り上げるべきであり、レビューにおいて排出削減努力を適切に評価できる指標の策定が重要と考えられる。排出削減努力は、複数の指標で総合的に測ることが必要である。日本が提出した約束草案（2030年に2013年度比で温室効果ガス排出を26%削減）は、現時点で公表されている論文では、多くの指標で見て高い努力が求められる目標と評価されている。一方、一部の途上国が提出している約束草案については大きな排出削減努力を行わなくとも達成可能との推計もある。各国間でCO₂限界削減費用に大きな差異があると、産業が他国に移転する炭素の国際的なリーケージを誘発し、世界全体では排出削減効果が限定的になる可能性も高いため、今後のレビュープロセスや国際協調の枠組み設定等を通して、各国間の限界削減費用の差異が大きくなり過ぎないようにする必要がある。

政府は約束草案の基となる、あるべきエネルギーミックスも示した。エネルギー政策は多目的であり、それぞれの目的の重要度や様々な制約等を考慮して決定される必要がある。ゆえに、S + 3 E（安全・安心 + エネルギー安全保障・安定供給、経済性、環境性）のバランスに配慮したエネルギーミックスとする基本姿勢が重要である。パリ協定を踏まえ、2030年以降、より一層の排出削減が求められる状況にある。S + 3 Eの視点を堅持しつつ、エネルギーの低炭素化をより一層進めていくことが求められる。

気温安定化のためには、長期的にいずれは世界の人為起源CO₂排出量をゼロにする必要がある。世界で多くの意思決定者が存在する中で長期にわたって継続的にCO₂排出量を大

幅に削減していくためには、経済活動を大きく阻害しない形で、CO₂を排出しないエネルギー利用ができるようになることが必要である。そのためには、エネルギー・地球温暖化対策関連技術の大幅なイノベーションが必須である。周辺技術を含め幅広い分野でのイノベーションがあつて初めて、気候変動、エネルギー対策に結びつくため、気候変動、エネルギー対策技術に特化して開発に取り組むのではなく、素材、情報産業等、幅広い分野でイノベーションが起きやすいように、経済・制度環境を整備することが重要である。

3 省エネ対策と政策を含む今後の気候変動、エネルギー政策の課題

本小委員会では、今後の主要な課題として以下のような点が指摘された。

- 1) 省エネルギーの推進は、地球温暖化対策において最も重要な対策の一つと考えられ、省エネルギーを着実に進展させていくことが大切である。政府のエネルギーミックスでは高い経済成長率を想定しながら、電力需要はほぼ横ばいを想定するなど、特に家庭・業務部門での大幅な省エネ・省電力を見込んでいるが、これは過去に例のない省エネ・省電力の実現を意味する。無理な省エネは、資本生産性の過度の低下をもたらす場合もあり、結果、全体の生産性を低下させることもあり得る。特に電力については、大幅なCO₂排出削減のためには、むしろ電力化率を向上させて、低炭素電源の拡大によって対応することが重要であると国際研究コミュニティで認識が共有されており、電力化率はむしろ向上させるような対応が求められる。また、家庭・業務部門での大幅な省エネのためには、IoT 技術を活用した行動変化を誘発することが重要と考えられる。
- 2) 今後の地球温暖化対策においては、政府の役割が一層重要になる。そこで、政策実施、予算化においては、費用対効果に十分留意して重点化を図っていく必要がある。なお、エネルギーシステム改革が進められており、その下で、気候変動、エネルギー政策の実現が求められている。エネルギーシステムの変革には、長期にわたる大規模な投資が必要なことが多い。市場を重視したエネルギーシステム改革は短期的な効率性を高めるが、資本集約的な投資を行いにくくなり、長期的な効率性向上を逆に阻害する可能性があることから、気候変動対策、省エネ対策に逆行する恐れもある。また、不透明な地球温暖化・エネルギー政策は、民間企業が投資においてリスク増大を認識し、適切な水準の投資につながらない可能性がある。したがって、政府の安定的な温暖化・エネルギー政策が重要である。また、政府と民間のリスクの分担のあり方を考えて政策措置をとることが重要である。

なお、世界的には、気候変動により最も深刻な被害を受けるのは貧しい途上国や弱い立場の人であるとして、気候問題は国際的な人権問題であるという認識に基づき、「Climate Justice」などの倫理的な側面からの活動も見られるようになっている。倫理的な見方はより多面的であり、大変難しい議論を含むものの、今後わが国でも検討を深めていくことも必要と考えられる。

気候変動、エネルギー問題は、学際的な領域に広がった問題であり、以上のように、グローバルな視点、分野横断的な視点、長期の視点など、広範な知見を基に総合的に理解し、検討、対応を行う必要がある。

目 次

1	はじめに	1
(1)	パリ協定とわが国の温暖化対応の状況	1
(2)	気候変動対応の重要性	1
(3)	本報告の目的と構成	3
2	エネルギー・温暖化政策にあたっての重要事項	4
(1)	国際的なバランスをとった温室効果ガス排出削減対策の重要性	4
(2)	エネルギー・温暖化政策にあたってのS+3Eのバランスの重要性	5
(3)	時間軸を意識した長期での対応と技術イノベーションの重要性	7
(4)	倫理的言説の影響と社会の「転換」	9
3	省エネ対策と政策の重要性と課題	11
(1)	政府長期エネルギー需給見通しにおける省エネルギー目標	11
(2)	省エネポテンシャルと普及障壁	12
(3)	経済成長と両立した省エネ実現の重要性	13
(4)	CO ₂ 排出削減対策における電力化率向上	13
(5)	エネルギー統計の基盤整備	13
4	今後の気候変動、エネルギー政策について	15
5	まとめ	17
	<用語の説明>	20
	<参考文献>	23
	<参考資料1>審議経過	29
	<参考資料2>シンポジウム開催	31
	<付録図表>	32

1 はじめに

(1) パリ協定とわが国の温暖化対応の状況

2015年12月、国際連合気候変動枠組条約（UNFCCC）*の第21回締約国会議（COP21）において、2020年以降の温室効果ガス（GHG）*排出削減枠組み・目標となるパリ協定*[1]が合意され、2016年11月に発効した[2]。1997年第3回締約国会議（COP3）で採択され、2005年に発効した京都議定書*[3]は、事実上、先進国（附属書I国）のみにGHG排出削減の義務を負わせる枠組みであった。更に米国は批准せず、カナダも途中で離脱することとなり、排出削減効果に懸念が大きいものであった。実際、世界のGHG排出量の平均伸び率は1980-90年が1.4%/年、1990-2000年が0.65%/年に対して2000-10年は2.2%/年であった[4]（付図1）。それは、とりわけ、京都議定書において排出削減義務がなかった中国、ブラジルなどの高中位所得国で2000年以降の急激な排出増によるものであった[4]（付図2）。そのような中、採択されたパリ協定では、先進国と途上国という分け隔てなく、ほぼすべての国が温室効果ガス排出削減に取り組む法的拘束力を有する国際枠組ができた（ただし排出削減目標の達成そのものには法的拘束力はかからない）。特にこの点でパリ協定は画期的なものと言える。またパリ協定では、気温目標として「世界的な平均気温上昇を産業革命前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求する。」とされた。更には、「長期目標を達成するよう、世界の温室効果ガスの排出量が最大に達する時期をできる限り早くするものとし、その後、迅速な削減に取り組み、今世紀後半には、温室効果ガスについて人為的起源排出と吸収源による除去量との間の均衡を達成する。」ともされた。

パリ協定に先立って日本政府は、2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画*[5]に沿った形で、2015年7月に2030年に向けた長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）[6]を決定し、それと整合的な2030年の温室効果ガス排出削減目標（2030年に2013年度比で26%削減）を含むわが国の約束草案を閣議決定[7]、UNFCCC事務局に提出した。その後、パリ協定の採択を受けて、2016年5月に具体的な取り組みを定めた地球温暖化対策計画を閣議決定した[8]。また、その骨格ともなるエネルギーの長期戦略に関して、経済産業省は、エネルギー関連投資の拡大等を目指したエネルギー革新戦略[9]を、そして内閣府の総合科学技術・イノベーション会議は、平成25年に策定された環境エネルギー技術革新計画*を強化、補強する形で、エネルギー・環境イノベーション戦略*[10]を策定した。

今後、わが国は、国際的にはパリ協定を効果的なものとしていく努力を行いつつ、国内的には温暖化対策、そしてそれと密接に関連したエネルギー対策を進めていくことが求められる。

(2) 気候変動対応の重要性

2015年の世界の年平均気温は1981～2010年平均比で+0.42℃で、1891年の統計開始

*以降、「用語の解説」があることを示す。

以降、2014年に引き続き、過去最高を更新した（付図3）[11]。また、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）*は、2013～14年に発行した第5次評価報告書（AR5）[12]において、「CO₂、CH₄、N₂Oの大気中濃度はいずれも少なくとも過去800,000年で最も高いレベルに上昇した」、「気候システムの温暖化には疑う余地がなく、1950年代以降、観測された変化の多くは数十年～数千年間で前例のないもの」、「1880～2012年の期間では0.85（90%信頼区間では0.65～1.06）℃上昇した」、「人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の主な要因であった可能性が極めて高い」等、人為的なCO₂排出に伴う地球温暖化に対して強く警鐘を鳴らした。

また、IPCC AR5は、CO₂の累積排出量と気温上昇には線形に近い関係があることも指摘した（付図4）[12]。すなわち気温を安定化させるためには、いずれの気温上昇水準で安定化させる場合であっても、いずれかの時点で世界の人為起源CO₂排出量をゼロにする必要がある。

一方、気候変動の予測、影響被害の大きさ、緩和費用等に関する不確実性は未だ大変大きいことを認識しておくことも重要である。パリ協定で合意された2℃目標は、必ずしも科学的に必要と推計された目標でなく、政治的な目標である。例えば、文献[13]では「2℃目標の根拠は科学的評価に基づいており、広くグローバルに受け入れられた目標と認識されているが、この認識は誤っている。2℃目標が安全な水準であることを明確に主張・正当化した科学的評価はなく、これは科学だけで対応出来る問題ではない。」としている。また2℃目標の実現は大変難しいとする見方も多い[14][15][16]。一方で、2℃や1.5℃目標は妥当とする論調もある[17]。議論は続いており、科学的な知見の蓄積等により見直していくべき目標と考えられるが、「全球平均気温上昇を産業革命前に比べ2℃未満に十分に抑える」とする2℃目標は国際政治的に合意されたパリ協定で言及されたものであり、現時点ではその方向を目指す必要性があると考えられる。

ところで、IPCC AR5[12]では、平衡気候感度（温室効果ガスの濃度を2倍とした水準で安定化させ、気温も安定化した時の気温上昇の程度）は1.5～4.5℃が“likely”（IPCC報告書の定義で66%以上の確率を指す。ただし最良推定値は合意できず）と評価された（付図5）。これは、2007年の第4次評価報告書（AR4）[18]の2.0～4.5℃が“likely”、最良推定値3.0℃が下方に修正されるとともに、幅が広がった形であり、2001年の第3次評価報告書（TAR）[19]およびそれ以前の評価報告書における報告と同じ幅である（これら報告書では最良推定値は2.5℃とされていた）。このように気候感度には大きな幅があり、そのために、2℃や1.5℃目標の実現を目指すとしても、気候感度が仮に0.5℃異なるだけで、許容される世界排出量や排出経路には大きな幅が生じる（付図6）[20][21]。したがって、気候変動対応を考えるにあたっては、このような気候システムの不確実性、温暖化影響被害の大きさとその不確実性、更には、温室効果ガス排出削減に伴う経済影響の大きさとその不確実性なども含め、様々なリスクを総合的に認識、把握して、最新の科学的知見を踏まえながら柔軟に対応していけるような気候変動対応戦略を立案していくことが重要と考えられる。また、気候感度の不確実性を早期に小さくできれば、費用対効果が大きい気候変動対応を立案できるようになるので、気候変動科

学研究の更なる推進が求められる。

(3) 本報告の目的と構成

気候変動は重大な問題をもたらす可能性が高く、すべての国による新たな国際的枠組みであるパリ協定が成立したことは歓迎される。今後、パリ協定の下で、温室効果ガス排出削減の実効性を高めていくことが重要であり、わが国もそれに大きく貢献していくことが求められる。一方、気候変動問題は大変複雑、かつ、学際的であるから、包括的な把握は容易ではない。国内外の政策を多方面にわたる学術的な研究と密接に連動させながら解決を図っていく必要がある。国内外で気候変動対応に関連する政策は日々変化してきており、また、学術的な研究も日々蓄積してきている。このように進展してきている政策、学術的研究を総合的に理解することは、現実において実効性のある気候変動対応のために今後一層重要になると考えられる。なお、世界では温室効果ガス排出の約67%がエネルギー起源の排出であり、わが国においては約84%に及ぶ[22]。よって、気候変動対応においては、エネルギー対策・政策や研究動向を理解することが極めて重要である。そこで、本報告では、現在の地球温暖化・エネルギー政策状況から対応が必要な事項を課題として整理するとともに、重要かつ今後実施を検討していくことが望ましいと考えられる事項についても提示する。

なお、本報告は、日本学術会議 総合工学委員会 エネルギーと科学技術に関する分科会や同地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会での議論のみならず、平成28年5月18日にエネルギーと科学技術に関する分科会が主催して開催した公開シンポジウム「パリ協定を踏まえた今後のエネルギー・温暖化対策のあり方」における議論も踏まえて作成したものである。

2 エネルギー・温暖化政策にあたっての重要事項

本章では、以下、第1節には国際的な視点、第2節では社会の多目的性の中でのエネルギーのあり方の視点、第3節では長期における時間軸を意識した対策の視点を指摘する。

(1) 国際的なバランスをとった温室効果ガス排出削減対策の重要性

第1章で指摘したように、京都議定書*の下で、世界の温室効果ガス*排出量は京都議定書採択以前よりも上昇速度が増した。EUは、京都議定書に向けて積極的な取り組みを見せ、2012年の温室効果ガス排出削減率は1990年比で▲19.2%であった[23]。しかし、これは化石燃料を燃焼した国における温室効果ガス排出量で計測した（生産ベースCO₂と呼ばれる）削減率であり、輸出入される製品やサービスに体化されたCO₂までを考慮して（製品やサービスに体化されて輸入されたCO₂を加算し、輸出されたCO₂は差し引いて）計測した排出量（消費ベースCO₂と呼ばれる）で評価すると、排出削減はほとんど実現できていないことが指摘されている[24][25]（OECDによる推計例を付図7に掲載）。EUは、鉄鋼や化学製品等のCO₂排出原単位の高い生産プロセスを域外に移すことで、域内ではCO₂排出を減らしたが、それら製品を輸入して消費しているので、世界的には削減されていないのである。なお、日本は生産ベースCO₂でも消費ベースCO₂でも1995～2011年の間、ほぼ排出は横ばいであった[25]（付図7。消費ベースCO₂の推計は、統計整備に時間を要する国際産業連関表が利用されるため、現時点で2011年までしか推計がなされていない。）。特定の国での（通常報告されている）生産ベースCO₂排出削減だけに着目しての取り組みでは、世界全体での排出削減、ひいては、地球温暖化の抑制にはつながらない可能性が高く、グローバルなレベルで対応のあり方を考えることが大切である。

このような状況を踏まえると、まずは、すべての国が排出削減に取り組む必要があることを確認し、各国にそうした行動を促す仕組みが重要になる。パリ協定*は、すべての国が排出削減の取り組みに参加することを促すために、各国が自主的に自国の排出削減目標・取り組みをプレッジ（誓約）し、それを国際的にレビューする仕組み（プレッジ・アンド・レビュー）として、すべての国が排出削減に取り組む環境を作り上げた。しかしその上で、より一層重要なことは、各国間で異なった事情を踏まえながらも、すべての国が等しく排出削減努力を行うことである。すべての国の参加を促すために自主的に目標を策定する仕組みとしたが、各国がしっかりと排出削減に向けた努力をするような目標をプレッジし、そしてその実現に向けた努力を怠らず、着実に実行していくことが大切になってくる。文献[26][27]では、それを促すためには、しっかりと国際的なレビューが実施されることの重要性を指摘している。各国が互いにプレッシャーを感じて、排出削減への努力を高めていくような環境を作り上げることが大切であろう。そして、排出削減努力を適切に評価でき、レビューにおいて活用できる指標の策定が重要と考えられる[26][27]。

しかし、これまでに各国がUNFCCC*事務局に提出した約束草案における排出削減目標は、基準年（各国によって異なった基準年）からの排出削減率の目標、CO₂原単位目標、

成り行きケース（明確に定義されていない場合もある）からの排出削減量・削減率目標など様々である。これら様々な形で提出された排出削減目標を各国間で比較可能な形で評価することが求められる。各国間で異なった事情を踏まえて排出削減努力の国際的な公平性を測るのは単一の指標では不可能と考えられる。ベースライン比の排出削減率、一人当たり排出量、GDP あたり排出量、CO₂ 限界削減費用*、GDP あたり排出削減費用など、複数の指標を総合的に評価することが必要と考えられる[26][27][21]（それら指標の内の数指標による約束草案の評価例を付図8に示す）。とりわけ、排出削減費用を用いた指標は、推計の不確実性が大きくなるが、排出削減努力をより包括的に評価できる可能性が高く、そのような指標も含めて評価を行うことが重要と考えられる[28]。そしてその上で、このような指標の評価を見つつ、更なる排出削減の余地がないかを考える機会とし、PDCA（Plan-Do-Check-Act）サイクルを作り上げることが、世界での実効ある排出削減につながるものと考えられる。

なお、ある国の炭素集約的な産業が他国に移転することで当該国では CO₂ 排出が減少するが移転先の国でその分 CO₂ 排出が増大してしまう炭素リーケージを避け、世界全体で効果的な排出削減を行うためには、各国間で CO₂ 限界削減費用が大きく異なり過ぎないことが重要である。日本は世界をリードしつつも、世界での排出削減の取り組みと協調を図りながら対策を進めていく必要がある。日本の約束草案は各種指標で見ても野心的なものと評価されている[28][21]。そして、日本の約束草案の実現のための限界削減費用は高いと推計されている（エネルギー起源 CO₂ 排出削減（2030年に2013年度比で22%減）の限界削減費用は、国立環境研究所の分析では187\$/tCO₂、地球環境産業技術研究機構（RITE）の分析では260\$/tCO₂、またGHG削減（2030年に2013年度比で26%減）の限界削減費用では、RITEの分析で378\$/tCO₂との分析例がある[29][30]）。他国と比べても日本は高い努力が求められる目標と考えられるとともに、一部の途上国はほぼなりゆきもしくは小さな限界削減費用で目標を達成できると見られる国もあり[21][28]（付図8）、そのような国により一層の努力を慫慂し、支援するなどして、限界削減費用の国際的な調和を図っていくことが、パリ協定の実効性を高めるために重要である。

(2) エネルギー・温暖化政策にあたってのS+3Eのバランスの重要性

国連は、2015年9月に、今後15年間にわたって政策と資金確保の指針となる新たな17の持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals: SDGs）を盛り込んだ「持続可能な開発のための2030アジェンダ」[31]を採択した。SDGsの17の開発目標には、例えば、「目標1. あらゆる場所のあらゆる形態の貧困を終わらせる」、「目標2. 飢餓を終わらせ、食糧安全保障および栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する」、「目標6. すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する」、「目標7. すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な現代的エネルギーへのアクセスを確保する」、「目標8. 包括的かつ持続可能な経済成長、およびすべての人々の完全かつ生産的な雇用とディーセント・ワーク（適切な雇用）を促進する」、「目標9. レジリエントなインフラ構築、包括的かつ持続可能な産業化の促進、およびイノベーションの拡大を

図る」、「目標 12. 持続可能な生産消費形態を確保する」、「目標 13. 気候変動およびその影響を軽減するための緊急対策を講じる」などが含まれている。世界各国は発展段階も様々であり、各国において優先される目標も異なる。ただし、このように社会が目指すべき複数の目標を掲げ、それぞれを調和させながら追求することで、全体として持続可能な発展の実現を目指すことは大切なことである。エネルギー・温暖化政策においても、関連した目的を高度に調和させながら、全体としての持続可能な発展に寄与するような対応が求められる。

わが国においては、東日本大震災・福島第一原子力発電所事故により原子力発電所はいったんすべて停止し、現在再稼働しているものはわずかに留まっている。それに伴って、電気事業者からの CO₂ 排出量は、2012 年度には震災前の 2010 年度に比べて約 1.1 億トンも増大した[32]。その後、削減傾向は見られるが 2015 年度も 2010 年度比で 5200 万トンの増大となっている[32]。なお、温室効果ガス排出は 2013 年度に過去最大の 14.1 億トンとなった（1990 年度は 12.7 億トン、2010 年度は 13.0 億トン）。2014 年度は 2013 年度よりは若干減って 13.6 億トン、2015 年度は更に低下し 13.2 億トン（速報値）となっている[33]。また、エネルギー自給率は、2010 年には 19.9%だったが、2012 年には 6.3%へと低下し、OECD の 34 か国中では、ルクセンブルクに次いで 2 番目に低い値となった[34]。

このような状況にあつて、日本政府は、エネルギー基本計画*[5]において、改めて S + 3 E（安全・安心+エネルギー安全保障・安定供給、経済性、環境性）の重要性を強調した。これはわが国におけるエネルギー政策の観点からの持続可能な発展を目指す方向性を示している。エネルギーは社会の基盤であり、長期、グローバルな視点を持ち、総合的なリスク判断に基づいて、実現すべきエネルギーミックスを考えていくべきである。政府は、エネルギー基本計画を基に、2030 年の目指すべきエネルギー構成を示した長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）を策定した（付図 9、10）[6]。電源構成としては、石炭 26%、LNG 27%、原子力 20~22%、再生可能エネルギー 22~24%等を目標とすることとした。多目的性がある中で重要度の判断や様々な制約等を考慮する必要があり、S + 3 E のバランスに配慮したエネルギーミックスとする基本姿勢が重要である。ただし、目標とするエネルギー源毎の具体的な比率の数字については、一意に決定できるものではなく多様な考え方が存在し得る。しかしながら、パリ協定を踏まえ、2030 年以降、より一層の排出削減が求められる状況にある中、引き続き S + 3 E の視点を堅持しつつ、低炭素エネルギー化をより一層進めていくことが求められる。

なお、東日本大震災以降、分散電源の重要性が強調されてきている。分散電源のうち再生可能エネルギーについては、CO₂ 排出をしない点から、基本的には、その利用拡大は必要である。また、コジェネレーションについても、熱エネルギーの有効な利用により、総合効率を高める可能性も高いことからその有効な活用は重要である。一方で、全国的視点での最適なエネルギー需給配置も考慮が必要である。地域レベルでのエネルギー自給自足を求め過ぎれば、目指すべき全体的最適性を歪める可能性もある。分散電源は地域振興の視点からその長所が強調されることも多いが、それが高価な電源であれば、政

策的に誘導してその導入を図った場合には、電気料金の上昇や税金等を介して幅広い国民負担の増大につながって（わが国では 2014 年には 2010 年比で家庭向け電気料金は 25.2%上昇、産業向け電気料金は 38.2%上昇した[35]）、それが地方における消費および投資を減少し、結果として正味でマイナスとなって地域振興につながらない可能性もある。分散電源としての価値を適切に評価しながら、有効利用のための研究開発を推進し、持続可能な社会の実現の観点から展開を図るべきである。

(3) 時間軸を意識した長期的対応と技術イノベーションの重要性

第 1 章(2)節でも言及したように、気温安定化のためには、長期的にいずれは世界の CO₂ 排出量をゼロにする必要がある。多くの意思決定者が存在する国際社会が長期にわたって継続的に CO₂ 排出量を大幅に削減していくためには、国情から見て過大なコストをかけることを求め、その結果、当該国の経済活動を大きく阻害してしまうことのない形で、CO₂ 排出をしないエネルギー利用ができるようになることが必要と考えられる。これは、環境よりも経済を優先するということでは決してなく、すべての国が同様にかつ長期にわたって排出削減に取り組まなければ効果を上げることができないという地球温暖化問題の本質ゆえのことである。そのような状態を成立させるためには、エネルギー・地球温暖化対策関連技術の多様かつ継続的なイノベーションが必須と考えられる。

非化石エネルギーの一つである再生可能エネルギーの導入拡大が必要であり、そのコストの一層の低下が求められる。一方、再生可能エネルギー導入拡大に伴い、電力系統の安定性への懸念が生じる。そのため、太陽光発電や風力発電の出力変動の調整および電力貯蔵として、広域連系の拡充、揚水発電や火力発電における負荷追従性の向上やバッテリー技術のコスト低減、水素の利活用、そして IoT (Internet of Things)*等によって分散したヒートポンプ給湯器や氷蓄熱による蓄熱を含むこれらの技術を統合するシステムの開発など、技術開発における課題は多く、それらに取り組むことが重要である。

低炭素化の一方策として二酸化炭素回収・貯留 (CO₂ Capture and Storage: CCS) *も重要と考えられる。IPCC*の報告書 (WG3 AR5, Figure 6.24) [4]においても、2℃目標相当 (2100 年に大気中温室効果ガス濃度を 430~480 ppm CO₂eq. に抑制する場合) の排出削減を行うにあたって、CCS が利用できない場合、排出削減費用は 2.5 倍程度上昇する可能性があるとして報告されている。例えば、国際エネルギー機関 (International Energy Agency: IEA) の報告[36]においては、2℃目標相当のシナリオを実現するにあたって世界で費用効率的な対策をとる場合、なりゆきの CO₂ 排出からの削減において、13%程度の削減が CCS によって貢献され得るとされている (付図 11)。また、RITE の評価においても同様に費用効率的な CO₂ 削減において CCS は大きな役割が推計されている (付図 12) [37]。一方で、CCS にはより一層のコスト低減や事業リスク低減、社会的な受容性の向上等の課題も残っており、技術開発・実証の継続が必要である。2℃目標といった大幅な排出削減が必要な場合、CCS は費用効率的な対策と評価されるものの、長期にわたる事業であり、また自然の地下構造を利用したものでありある程度の不確実性も伴った事

業となるため、比較的短期での収益性を求めることとなる民間事業者は投資がしにくい場合も生じる。そのため、長期で社会的に見た費用効率性と比較的短期での民間事業者の費用効率性のギャップを補正するため、政府と民間事業者との間のリスク分担のあり方の検討も重要である。また、民間事業者の投資を促すには、安定的で予見性の高いエネルギー・温暖化政策が必須である。なお、2℃目標等では、正味で負の排出となるバイオマス利用 CCS (BECCS) の大幅活用が想定されるケースが多いが (IPCC AR5[4]等を参照)、これについては BECCS の大規模利用と生物多様性とのトレードオフや、規模の問題も含め実際の展開に要するコストとポテンシャルの精査など重要な課題が多く残っており、慎重に検討を進めていく必要があるとの指摘もなされている[38][39]。

原子力発電についても、安全性の継続的な向上のみならず (行動科学の知見も踏まえた) 安心感の向上に資する取り組みの推進が大前提であるが、パリ協定で求められた大幅なCO₂排出削減、そしてS + 3 Eのバランスの点から、長期に向けての比較的安価[40]でCO₂排出がほとんどない原子力発電がどの程度の役割を果たすべきか、期待できるのかについて議論を深めていく必要がある。

省エネルギーは、CO₂排出削減、エネルギー安全保障の向上につながり、また適切な省エネルギーは経済的にも優れる。なお、省エネを進めるにあたっては、ハード的な対策に偏ることなく、省エネ診断を通してエネルギーマネジメントの改善を図るなど、ソフト的な対策も強化すべきである[41]。また、継続的な省エネを促すためにも、IoT 技術等を高度に用いた技術の開発など、イノベーションの推進が重要である。IoT を用いて、無理のない形での電力需要の抑制を実現し、更には小規模な発電所や、電力の需要抑制システムを一つの発電所のようにまとめた制御を行って、仮想的な発電所 (バーチャルパワープラント: VPP) のような役割を果たすことも期待できる。大規模な投資をせずに、経済的な可能性もあり、また省エネも促されCO₂排出削減にもつながる。他方、エネルギーは様々なサービスを提供するための投入要素の一つであり、エネルギーを消費することそれ自体が社会経済の目的であるわけではない。省エネルギーのみを目的とすればエネルギーコストの大小にのみ帰着され、それだけでは省エネの急激な進展を期待することは容易ではない。IoT 技術等を用いた社会の効用を高める工夫が、同時にエネルギーの効率的な利用をもたらすことによって、CO₂削減に向けた社会の急激な変化を引き起こすことも期待できる。またこのような技術進展においては、行動科学的な知見も役立つ可能性がある。様々な分野が有機的に結びつきイノベーションを引き起こすことが重要である。第5期科学技術基本計画[42]で言及されている Society 5.0 (超スマート社会) は、「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かく対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」としており、これは省エネルギー対策としても正しい方向性を指し示している。

IPCC[4]は、2℃目標と整合性の高い2100年に430~530 ppm CO₂eq となるシナリオでは、2100年のCO₂限界削減費用は約1000~3000 \$/tCO₂程度 (評価シナリオの25~75%

マイル値) と世界の多くの分析結果から整理がなされている。これは世界で費用最小で目標を実現したとした場合の限界費用推計値であり、再エネの進展や CCS の普及などを考慮しての推計値である。しかし、途上国を含めてこの限界費用の対策を現実社会で実現させることは不可能に近く、実際に実現するためには現在想像できていないような技術・社会の革新が起こらなければならない。そして、このような気候変動対策、エネルギー対策のイノベーションのためには、周辺技術を含め幅広い分野でのイノベーションが不可欠で、それがあって初めて、効果的な気候変動対策、エネルギー対策に結びつく。例えば、人工知能 (AI) 技術の発展が、優れた材料開発までも実現し、それが新たな技術・製品を生み出し、気候変動対策、エネルギー対策に結びついていく可能性がある。このように、気候変動対策、エネルギー対策と直接結びつくわけではない幅広い分野を含め、イノベーションが広く促進されやすいような良好な社会経済環境を整備することが重要である[43]。

(4) 倫理的言説の影響と社会の「転換」

社会におけるエネルギーの選好や受容には、工学的・経済学的な合理性を超えた原理が働き得ることにも留意が必要である。気候変動問題は、影響被害と対策コストを天秤にかける経済合理性の問題と捉えるよりもむしろ、温室効果ガスの排出にほとんどもしくは全く責任が無いにもかかわらず気候変動の深刻な悪影響を被る脆弱な人々や将来世代の人々の人権問題であるという倫理的な言説があり、「気候正義」(climate justice) と呼ばれる[44][45]。気候変動において脆弱な人々とは、たとえば国土の消失を心配しなければならない小島嶼国の人々や、旱魃の増加により深刻な食糧危機に見舞われる最貧国の農民などである。

このような倫理的動機に端を発する社会運動として、化石燃料企業からの投資撤退 (divestment) が一定の影響力を持ち始めている[46][47]。化石燃料の中でも特に石炭は CO₂ の排出が大きいことに加えて、大気汚染による健康被害への影響も大きいことから、投資撤退運動の当面の標的となっている[48]。このような運動が影響力を持ち、いくつかの国で規制が強まると、化石燃料への投資が将来の規制により価値を失い「座礁資産」(stranded asset) と化す可能性があるという投資リスクが認識され、純粋にビジネス上の動機からも化石燃料からの投資撤退がさらに進み得る[47]。例えば、ロックフェラー・ブラザーズ・ファンド (資産 8 億 4000 万ドル) が、2014 年 9 月に化石燃料からの投資撤退を発表するなどしている[49]。一方で、英国ケンブリッジ大学年金基金 (CUF) は、化石燃料企業からの投資撤退への呼びかけや運動が高まる中、2016 年 6 月に責任投資作業部会で検討を行ったが、59 億ポンドを石油・ガスから引き上げることなく投資を維持し今後の規制・政策動向を注視すると発表するなど、国際的な政策動向を見極める動きもある[49]。また、世界レベルで見れば、仮に先進国の金融機関が石炭等の化石燃料からの投資撤退を行っても、代わりに新興国の金融機関が投資を行うことも想定され、グローバルな対応が必要と考えられる[50][51]。なお、日本国内においてこのような動きは現時点で必ずしも顕著ではないが、国際的な潮流から乖離することによ

る不利益を回避しようと思えば、国内のエネルギー政策においても注視しておく必要がある。

また、社会におけるこのような価値観の変化は、科学技術の進展や政治経済的な力学と相まって、旧来の常識では想像が難しかったような大きな「転換」(transformation)を社会に引き起こす可能性がある[52][53]。日本学術会議も積極的に関与している、地球規模の持続可能性のための国際研究プログラムである“Future Earth”においては、人類の活動が地球の限界(planetary boundary)を逸脱しないために、そのような「転換」を促すための研究を推進することが大きな柱の一つとなっている[54][55]。社会の「転換」は、従来の発想の延長上にある計画と管理によっては実現することが難しく、多様な主体による新奇的な発想や創造的な取り組みにより促されると考えられる。このため、Future Earthでは、専門家が社会の多様なステークホルダーと協働することが求められている。国内のエネルギー・気候変動政策においても、このような発想も参考に取り組みを進めることも重要と考えられる。

3 省エネ対策・政策の重要性と課題

省エネルギーの推進は、地球温暖化対策において最も重要な対策の一つと考えられ、省エネルギーを着実に進展させていくことが大切である。省エネルギーは、これまでも大きく進展してきた。しかしながら、過去多くの期間で、それを上回る需要の増大が起こり、世界全体のエネルギー消費量は増大してきた[56]。省エネルギーをより良く理解し、今後の一層の省エネルギーの進展につなげていくことが重要と考えられる。本章では、省エネルギーに関する論点について整理を行った。

(1) 政府長期エネルギー需給見通しにおける省エネルギー目標

政府が決定したエネルギーミックス[6]では、1.7%/年の経済成長率を見込みながら、大きな省エネ、省電力を見込んでいる。高経済成長また石油ショックを含む 1970～90 年の間、35%程度の省エネ（エネルギーの GDP 原単位（エネルギー消費量/GDP）の減少）を実現したが（1990～2010 年の間は約 10%程度）、政府エネルギーミックスでは 2012～30 年の間にこれと同等の省エネを目指すこととなっている（付図 13）。また、省電力については、対策前の電力需要の見通しから 17%削減を見込んでいる（付図 10）。しかし、世界および日本において GDP と電力消費量とは強い正の相関が見られている（付図 14）（東日本大震災後の期間は例外的に GDP は増大しつつも電力消費量は低下）。そして、過去も省エネ、省電力の取り組みを続けてきているにも関わらず、このように GDP と強い正の相関が見られてきたことにも留意する必要がある。このような状況を踏まえると、政府が目標と設定したこの大きな省電力を実現することは容易ではないと推察される [56][30][29]（ただし、経済成長率が政府の見通し 1.7%/年よりも大きく下回った場合には、政府の電力需要見通しが達成できる見込みは高まる）。つまり、経済活動の増大は何らかのエネルギー利用と結びついたものになることは多く、最終エネルギー消費形態が、石炭・石油等の固体燃料・液体燃料から電力に移行することはあっても、とりわけ利便性の高いエネルギーである電力については増大する可能性は高いと考えられる。既存の電力利用の効率化が、経済活動の増大に伴う潜在的な電力利用の増大に匹敵するか上回らなければ、GDP が増大しつつ、電力消費量は横ばいもしくは低下しないわけであり、しかもそういった効率向上を継続的に続ける必要があるため、その実現は相当な挑戦と言える。無論、第 2 章(1)節で指摘したように、エネルギー多消費産業が他国に移転し、代わりにエネルギー寡消費産業が発展すればその間は電力消費量が低下することはあり得る。しかし、その場合であっても世界全体としてエネルギー寡消費産業へと産業構造が変化しなければ世界全体での電力消費量の低下にはつながらず、また、その移行が世界の経済活動増大に伴う電力利用の増大よりも継続的に大きくなければならない。このように、高い経済成長を維持しながら、とりわけ電力需要を横ばいにするのは相当難しいと考えられる。そして、電力需要が政府見通しよりも高位になると、わが国の約束草案（26%削減）の達成も難しくなってくるため、経済成長と電力需要との関係を注視しつつ、PDCA サイクルを働かし対策の修正等を検討していくことが必要である。

(2) 省エネポテンシャルと普及障壁

政府のエネルギーミックスにおいては、とりわけ、民生部門（家庭・業務部門）での省エネルギーを大きく見込んでいる（付図 15）。過去、省エネが大きく進んできたのは産業部門である[57]。日本の鉄鋼やセメント生産におけるエネルギー効率は、国際的に最高水準にあると推計されている[58][59]。また、発電部門においては、天然ガス発電については、近年新規建設が大きく進み、新しい発電設備が多い英国やスペインなどと比較して日本の平均発電効率は劣っているが、石炭発電は世界最高水準となっている[58][59][60]。民生部門でも各機器の省エネは進んではきたが、それを上回る増エネがあり、政府の見通しを達成することはこれまでなかった[56]。

民生部門では負のコストの省エネ余地（省エネによる投資よりもエネルギー節約に伴うコスト低減の方が上回るような投資機会）が多く、それらは実現することが望ましいとの指摘もなされる。しかし一方で、技術探索のための機会損失、エネルギー管理のための人件費等の間接費用、生産ラインを一時的に停止することによる機会損失など、隠れた費用が存在し、それが障壁となって実現が容易でないとの指摘がある。そして、隠れた費用を含めて費用を推計すると、負のコストの省エネ余地は実は少なく、必ずしも経済合理的な対策の余地が多いわけではないとの指摘もなされている（この点に関する議論は、文献[61][62][63][64][65]等を参照）。特に民生部門の各種機器は、省エネルギー以外の機能とセットとなっている場合も多いこと、またその各種機能の技術進展が速い場合も多いことから、その結果として、減価償却率が高かったり、価格低減率の期待値が高かったりする。利子率に加え、これらの要素が加わることで（これは、資本のユーザーコストと呼ばれ、資本を利用する際の合理的な年間費用の推計において用いられている）[66][67]、これが省エネメリットを相対的に小さくし、経済合理的な選択として省エネ機器の導入につながりにくくなることも多いと考えられる。ゆえに、省エネルギーの導入障壁が必ずしも非合理的な障壁だけではなく、むしろ経済合理的に省エネが進んでいない部分が大きければ、その省エネを実現させるにあたり、単に政策的な誘導措置だけで実現しようとする、むしろ社会に大きな費用負担を負わせる可能性もある。よって、第2章(3)節でも言及したように、IoT技術の活用など、隠れた費用を下げる技術イノベーションを誘発しながら省エネを推進することが重要とも考えられる。

なお、国民、社会の意識が変革すれば、効用を落とさずに省エネルギーを実現し、CO₂排出削減につなげることも可能である。よって、幅広い国民・社会の意識変革は重要であり、その推進を図っていくべきである。そのため、日本政府も、地球温暖化対策計画[8]の中で「国民運動」として意識変革の浸透を図る方針を強調した。そして2016年に、低炭素型の「製品」「サービス」「ライフスタイル」など、温暖化対策に資するあらゆる「賢い選択」を促す国民運動「COOL CHOICE」を立ち上げて、幅広く、国民、社会の意識を変革し、CO₂排出削減行動を促進しようとしている[68]。一方で、国民・社会の意識変革に頼っただけでは持続的に効果的な省エネルギーにつながらない恐れがある。それを避けるためには、PDCAサイクルを回し、より効果の上がる形での意識変革の展開を図

っていくことが重要と考えられる。またそのような中から新たな技術の社会展開を誘発していく機会とすることも期待し得る。

(3) 経済成長と両立した省エネ実現の重要性

省エネルギーは、全要素生産性の向上の一要因として働き、生産性向上、製品の競争力の向上をもたらし得る。実際に、わが国の産業界は、石油危機も契機として大幅な省エネルギーを実現し、それも手伝って生産性向上、製品の競争力の向上につなげてきた。しかし一方で、省エネルギーの余地が小さくなっている中での過度な省エネルギー対策は、エネルギー生産性の向上を超える資本の生産性低下をもたらし、全体としての生産性（全要素生産性）を低下させる恐れもある[69]。国際競争に晒されている産業部門では、低下した資本生産性を補うために、労働生産性を向上させる必要性に迫られ、それを労働コスト抑制といった形で何とか実現してきていると観測される産業部門もある[69]。これは望ましい状況ではなく、長期に効果的な対策をとるためにもバランスのとれた省エネルギー対策が重要である。そしてその実現可能性は、第2章(3)節で指摘した技術イノベーションの成功に大きく依拠していると言える。

(4) CO₂排出削減対策における電力化率向上

過去、世界において、電力化率（最終エネルギー消費量に占める電力消費量の比率）は、所得が高いほど高い傾向にあり、また、年とともに上昇する傾向が見られている[56]。そして、IPCCの報告書[4]等によれば、大幅なCO₂排出削減のためには、電力化率を高めながら、電力の低炭素化（再生可能エネルギー、原子力、CCSの利用拡大等）を図ることが重要な対策とされている（付図16）。IEA報告書[36]でも、2℃目標シナリオにおいては、世界の電力化率は2012年の約18%から、2050年には省電力は進めつつも約25%に高めることが費用効率的な対策と評価している。これは、電力は利便性に優れており、ヒートポンプを用いればエンタルピー換算で何倍もの熱需要あるいは冷熱需要に対応できること、また様々な一次エネルギー源から転換することができ、他の最終エネルギー燃料に比べ、低炭素化オプションが比較的多く存在しているためである。したがって、無駄な電力利用を抑えることは重要である一方、本来必要な電力利用までも過度に抑制しようとすることは全体の最適から逸れる可能性があることに留意する必要がある。また、電力料金の大幅な上昇をもたらすような脱炭素対策・施策は、電力化率を高めて大幅なCO₂排出削減につなげていく、という大きな対策の方向性に逆行する可能性があるとの指摘もなされており[56][70]、消費段階におけるエネルギー間競争を総合的に理解し、バランスのとれた対策、施策をとっていくことが重要と考えられる。

(5) エネルギー統計の基盤整備

効果的な省エネルギー政策を立案するためには、日本のエネルギー需給動向の正確な理解が必要であり、そのためには信頼性の高いエネルギー統計が不可欠である。そのため、体系的なデータ収集によるエネルギー統計の基盤整備は極めて重要であり、データ

精度の品質管理に関する継続的な取組が必要である。また、近年ならびに将来予期されるエネルギー需給構造の変化をエネルギー統計が十分補足できるように整備することも重要となる。最近、太陽光発電等の自家用の再生可能エネルギー電力の導入が増加傾向にあるが、わが国の中核的な電力統計である電力調査統計[71]においてはこれまで、自家用再エネ電力については一発電所あたりの設備容量が 1,000 kW 以上の発電量のみが掲載されている（付図 17）。また、国内のエネルギーバランスに関する情報を提供する現行の総合エネルギー統計[72]でも、2017年1月現在、最新の2014年度までの統計（確報）に関する限り、電力調査統計月報を基に一発電所 1,000 kW 以上の設備の発電量のみが計上されている。2016年8月現在、固定価格買取制度により電力を調達している太陽光発電導入容量を見ると、1,000kW 未満の設備は 2,514 万 kW に達する一方、1,000kW 以上の設備は 1,003 万 kW であり[73]、1,000kW 未満の設備の導入容量の方が大きい。そのため、国内の総合的なエネルギーフローの中で電力需給を正確に把握するためには、総合エネルギー統計における再エネ電力の現行の計上方法を適切に修正することが望ましい。総合エネルギー統計は、IEA へのエネルギーデータの報告や、国連へのエネルギー起源 CO₂ 排出量の報告にも利用されていることから、統計整備の進展が望まれる。また電気事業法の改正をうけて、電力系統との連系のない一発電所あたりの設備容量が 1,000 kW 以上の自家用発電も、電力調査統計における調査対象外となるため、総合エネルギー統計での自家用発電の取り扱いを慎重に検討する必要がある。そして近年、燃料電池技術が普及し始め、水素需要の増加が見込まれるが、総合エネルギー統計では水素のフローが把握されていない。エネルギー基本計画においても水素の活用が言及されており、水素の製造と消費を把握する方法を確立し、総合エネルギー統計に計上することが望ましいと考えられる。

4 今後の気候変動、エネルギー政策について

気候変動問題は重要な問題である。そしてそれへの対応はエネルギー需給のあり方と密接に関連している。我々の資源は有限であり、その効率的な配分に留意する必要がある。なお、気候変動・エネルギー対策は長期の対応が必要なものが多く、短期的な効率性の追求のみに陥ることなく、技術イノベーションの誘発も含め、長期的に見た効率の向上につながるような政策を追求していくことが重要である。

これまで指摘してきているように、気候変動対策は長期にわたる問題である。他方、民間事業においては短期での効率性追求になりがちで、また開発した技術が自社利潤だけに還元されず、国内外の他の企業の利益になりやすいことも多いため、民間事業だけでは十分な投資ができない。よって、政府の役割は重要である。パリ協定*で合意されたような大幅な排出削減に向けて、政府の役割は今後一層重要になる。しかしその一方で、これまでの政府補助金は費用対効果が悪いと推計される事業があることも指摘されている[74][75]。例えば、エコポイント制度についても、CO₂排出削減効果や費用対効果は決して良くなかったとの指摘も見受けられる(付表1)[76][77]。また経済効果として見たとしても需要の先食いとなった部分が多いとの指摘もある[77]。

今後の地球温暖化対策において、政府の役割は一層重要になるから、地球温暖化・エネルギー対策に関する政策実施・予算化においては、費用対効果に十分な留意が必要である。ただし短期ではなく、長期の費用対効果、長期の有効性の視点が重要であり、そのチェックを強化していくことも重要である。なお、米国では規制等の導入にあたって Regulatory Impact Analysis (RIA) *制度で費用便益推計を義務付けられており、文献[43]でも指摘がなされているように、わが国においても政策の事前・事後評価を一層強化し、PDCAを回していくことが重要である。

日本政府は、エネルギーシステム改革(電力システム改革、ガスシステム改革)を進めている。この下で、気候変動、エネルギー政策の実現が求められている。エネルギーシステムは、長期にわたる大規模な投資が必要なことが多い。エネルギーシステム改革は、異分野間の融合をもたらすイノベーションの機会をより大きくする可能性がある。また、競争によって、少なくとも短期的には効率性を高める可能性がある。一方で、初期投資額が大きくなる最先端の高効率火力発電や原子力発電、CCS*など、資本集約的で大規模な投資や比較的大きな不確実性が伴う技術への投資を行いにくくなり、長期的な効率性向上を逆に阻害する可能性があり、気候変動対策、省エネ対策に潜在的に逆行する恐れがあるとともに、エネルギー安全保障・安定供給面での懸念も生じかねない。そのため、長期的な効率性追求となるよう、政府と民間のリスクの分担のあり方を考えて政策措置をとることが重要である[78]。また、不透明な地球温暖化・エネルギー政策は、民間企業の投資においてリスク増大をもたらす、適切な投資につながらない可能性がある。したがって、政府の安定的な温暖化・エネルギー政策が重要である。

第2章(1)節で指摘したように、気候変動対策はグローバルで考えることが大切である。わが国の石炭火力発電は世界トップクラスの熱効率を誇っている。また、ガスコンバインドサイクルについても高い熱効率の技術を有している。更に鉄鋼業においても高い省エネ

技術を有している。一方、途上国を中心に海外諸国のエネルギー効率は、わが国等と比べ劣っていて大きなギャップが存在している場合がある（文献[58][59]等）。エネルギー効率の高い機器の海外展開によって、世界のCO₂排出量を大きく削減できるポテンシャルを有している。例えば文献[79]によれば、わが国と同様の水準の発電効率が達成できれば、中国で年5.9億t-CO₂、インドで3.2億t-CO₂、米国で2.6億t-CO₂などで世界全体では年22億t-CO₂の削減が期待できる。また、鉄鋼部門でも、転炉鋼生産のエネルギー効率がわが国と同様の水準とできれば、世界全体で約4.2億t-CO₂の排出削減が期待できる。ただし、中国企業等も日本や欧州等から技術供与を通じて高効率な技術を国産化してきており、それらが相対的に低い価格で供給されることで、第3国での受注競争が激しくなっている[80]。そのため、わが国の有する高い信頼性が評価されるように、官民が連携して相手国に働きかけていくことが必要である。また、より高効率な技術の開発、実証を官民一体で行っていくことが環境と経済の両立のために重要である[80]。

最後に、本報告は、地球温暖化の主たる対策となるエネルギー面からその対策、政策についてまとめたが、地球温暖化対応は更に広い対策を視野に入れて取り組む必要があると考えられる。エネルギー対策は、温暖化緩和策の一つとなるが、既に地球温暖化は進行しており、また仮に2℃以内に気温上昇を抑制できたとしても、今よりも気温は上昇することとなる。それに対する温暖化の適応策も併せて実施していくことが必要である。また、2℃目標達成が経済的、社会的に困難な場合は、より一層、適応策によって対応する必要があるため、効果的な適応策についての検討を深めていくことも重要と考えられる。途上国における適応策は持続可能な開発の文脈にあわせて実施することが望ましい。また、第1章(2)節で記述した気候感度で代表されるように、気候変動予測の不確実性は未だ大きい。気候変動科学の一層の進展を図るとともに、万が一、気温上昇が期待値よりもかなり大きかった場合などに備える必要がある。気候に大規模に人為介入することのリスクについての懸念はある（文献[81][82]等）ものの、太陽放射管理（Solar Radiation Management: SRM）やCO₂の直接空気回収（DAC: Direct Air Capture）などのジオエンジニアリング（気候工学）的技術を、備えとして技術開発しておくことの価値を評価している研究もある（文献[83][84][85]等）。いずれにしても、幅広いオプションを検討し、様々な地球温暖化リスクに対応できる体制を強化していくことが重要と考えられる。

5 まとめ

2015年の世界の年平均気温は1891年の統計開始以降、最も高い値となるなど、地球温暖化は進行している。最新のIPCC*報告書も気候変動の進行とその将来リスクに関して従来にも増して強い警鐘を鳴らした。そのような中、2015年12月に開催されたCOP21において、2020年以降の温室効果ガス(GHG)*排出削減の枠組みを定めたパリ協定が合意され、2016年11月に発効した。この協定により、ほぼすべての国が温室効果ガス排出削減に取り組む国際枠組ができたことは評価される。パリ協定に先立って日本政府は、2015年7月に2030年に向けた長期エネルギー需給見通し(エネルギー構成の姿であるエネルギーミックス)を決定し、それと整合的な2030年の温室効果ガス排出削減目標を決定した。その後、パリ協定の採択を受けて、2016年5月に地球温暖化対策計画を閣議決定した。今後、パリ協定の実効性を高めていくことが重要であり、わが国もそれに大きく貢献していくことが求められる。実現可能で、実効ある対応が必要であり、本報告では、現在の地球温暖化・エネルギー政策状況を踏まえ、今後対応が必要な事項について課題を整理した。

パリ協定は、各国が自主的に自国の排出削減目標・取り組みをプレッジ(誓約)し、それを国際的にレビューするという仕組みにより、すべての国が排出削減に取り組む環境を作り上げた。その上で重要なことは、各国間で異なった事情を踏まえながらも、すべての国が等しく排出削減努力を行うことである。各国が排出削減に向けた努力をするような目標をプレッジし、そしてその実現に向けた努力を怠らず、着実に実行していくことが大切になる。それを促すことが可能なレビュープロセスを用意し、各国が努力を高めていくような環境を作り上げるべきであり、レビューにおいて活用できるような排出削減努力を適切に評価できる指標の策定が重要と考えられる。排出削減努力は、複数の指標で総合的に測ることが必要である。日本が提出した約束草案(2030年に2013年度比で温室効果ガス排出を26%削減)は、現時点で公表されている論文では、多くの指標で見ても高い努力が求められる目標と評価されている。一方、一部の途上国が提出している約束草案については大きな排出削減努力を行わなくとも達成可能との推計もある。各国間でCO₂限界削減費用*に大きな差異があると、産業が他国に移転する国際的な炭素のリーケージを誘発し、世界全体では排出削減効果が限定的になる可能性も高いため、今後のレビュープロセスや国際協調の枠組みの設定等を通して、限界削減費用の差異が大きくなり過ぎないようにする必要がある。その中で、各国間の限界削減費用が小さいと見られる主要国は、排出削減目標の引き上げの努力を行っていくことが望ましい。

政府は約束草案の基となる、あるべきエネルギーミックスも示した。エネルギー政策は多目的であり、それぞれの目的の重要度や様々な制約等を考慮して決定される必要がある。ゆえに、S+3Eのバランスに配慮したエネルギーミックスとする基本姿勢が重要である。パリ協定を踏まえ、2030年以降、より一層の排出削減が求められる状況にある。S+3Eの視点を堅持しつつ、エネルギーの低炭素化をより一層進めていくことが求められる。

気温安定化のためには、長期的にいずれは世界の人為起源CO₂排出量をゼロにする必要がある。世界で多くの意思決定者が存在する中で長期にわたって継続的にCO₂排出量を大幅に削減していくためには、大きなコストをかけず経済活動を大きく阻害しない形で、CO₂

を排出しないエネルギー利用ができるようになることが必要である。そのためには、エネルギー・地球温暖化対策関連技術の大幅なイノベーションが必須である。周辺技術を含め幅広い分野でのイノベーションがあつて初めて、気候変動、エネルギー対策に結びつくため、気候変動、エネルギー対策技術に特化して開発に取り組むのではなく、素材、情報産業等、幅広い分野でイノベーションが起きやすいように、経済・制度環境を整備することが重要である。

地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会では、省エネ対策と政策を含む今後の気候変動、エネルギー政策の主要な課題として以下のような点が指摘された。

- 1) 省エネルギーの推進は、地球温暖化対策において最も重要な対策の一つと考えられ、省エネルギーを着実に進展させていくことが大切である。政府のエネルギーミックスでは高い経済成長率を想定しながら、電力需要はほぼ横ばいを想定するなど、特に家庭・業務部門での大幅な省エネ・省電力を見込んでいるが、これは過去に例のない省エネ・省電力の実現を意味する。無理な省エネは、資本生産性の過度の低下をもたらす場合もあり、結果、全体の生産性を低下させることもあり得るため、賢い取り組みが求められる。特に電力については、大幅なCO₂排出削減のためには、むしろ電力化率を向上させて、低炭素電源の拡大によって対応することが重要であると IPCC 等の国際研究コミュニティで認識が共有されており、電力化率はむしろ向上させるような対応が求められる。また、家庭・業務部門での大幅な省エネのためには、IoT 技術を活用した行動変化を誘発することが重要と考えられる。
- 2) 今後の地球温暖化対策においては、政府の役割が一層重要になる。そこで、政策実施、予算化においては、費用対効果に十分留意して重点化を図っていく必要がある。なお、エネルギーシステム改革（電力システム改革、ガスシステム改革）が進められており、その下で、気候変動、エネルギー政策の実現が求められている。エネルギーシステムの変革には、長期にわたる大規模な投資が必要なことが多い。市場を重視したエネルギーシステム改革は短期的な効率性を高めるが、資本集約的な投資を行いにくなり、長期的な効率性向上を逆に阻害する可能性があることから、気候変動対策、省エネ対策に逆行する恐れもある。また、不透明な地球温暖化・エネルギー政策は、民間企業が投資においてリスク増大を認識し、適切な水準の投資につながらない可能性がある。したがって、政府の安定的な温暖化・エネルギー政策が重要である。また、政府と民間のリスクの分担のあり方を考えて政策措置をとることが重要である。

なお、世界的には、気候変動により最も深刻な被害を受けるのは貧しい途上国や弱い立場の人であるとして、気候問題は国際的な人権問題であるという認識に基づき、「Climate Justice」などの倫理的な側面からの活動も見られるようになっている。倫理的な見方はより多面的であり、大変難しい議論を含むものの、今後わが国でも、そういった視点も含む幅広い視点から世界の気候変動への対応を検討していくことも必要と考えられる。

気候変動、エネルギー問題は、学際的な領域に広がった問題であり、以上のように、

グローバルな視点、分野横断的な視点、長期の視点など、広範な知見を基に総合的に理解し、検討、対応を行う必要がある。

<用語の説明>

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）

国際連合環境計画（United Nations Environment Programme: UNEP）と世界気象機関（World Meteorological Organization: WMO）が1988年に共同で設立した、国際的な専門家をつくる、気候変動に関する科学的な知見の収集、整理のための組織である。数年おきに発行される「評価報告書」（Assessment Report）や、特別なテーマについて科学的な知見の整理を行う「特別報告書」（Special Report）などもまとめている。現時点の最新の評価報告書は、2013～2014年にかけて出版された「第5次評価報告書」である。

国際連合気候変動枠組条約（UNFCCC）

1992年6月にブラジルのリオ・デ・ジャネイロにおいて開催された「環境と開発に関する国際連合会議」において採択された、気候変動問題に関する国際的な枠組みを規定した条約である。1994年3月に発効した。最高意思決定機関が締約国会議（COP）であり、1995年から毎年開催されている。

京都議定書

UNFCCCの下に位置する国際条約。1997年12月に京都で開かれた第3回締約国会議（COP3）採択された、気候変動枠組条約に関する議定書であり、2005年2月16日に発効。2008～2012年までの期間（第一約束期間）中に、先進国全体の温室効果ガス6種の合計排出量を1990年に比べて少なくとも5%削減することとし、先進国各国の排出割り当て量を決めた（欧州15か国8%削減、米国7%削減、日本6%削減など）。排出割り当てを超過した場合の罰則規定が存在する。米国は批准しなかった。2012年カナダは議定書から離脱した。2020年に改正がなされ、第二約束期間（2013～2020年）の排出削減目標が設けられることとなったが、日本、ロシア、ニュージーランドは提出していない。

パリ協定

UNFCCCの下での2020年以降の地球温暖化対策の国際的な協定。第21回締約国会議（COP21）が開催されたパリにて、2015年12月12日に採択された。2016年11月4日に発効。1997年に採択された京都議定書以来、18年ぶりとなる気候変動に関する国際的枠組みであり、UNFCCC加盟の196カ国全てが参加する枠組み。

温室効果ガス

京都議定書の第一約束期間においては、二酸化炭素 CO_2 （エネルギー起源、セメント等の産業プロセス、森林破壊などの土地利用変化）、メタン CH_4 、一酸化二窒素 N_2O 、ハイドロフルオロカーボン類（HFCs）、パーフルオロカーボン類（PFCs）、六フッ化硫黄（ SF_6 ）の6種類のガスが、温室効果ガスとして排出削減の対象とされた。第二約束期間では、それに加えて三ふっ化窒素（ NF_3 ）が指定された。

エネルギー基本計画

「エネルギー基本計画」は、国のエネルギー政策の基本的な方向性を示す計画であり、2003年に初めて決定された。「エネルギー政策基本法」において、情勢変化や施策効果をふまえて少なくとも3年ごとに「エネルギー基本計画」を策定することが定められている。現時点で最新の「エネルギー基本計画」は2014年4月に閣議決定された計画である。

環境エネルギー技術革新計画

環境エネルギー技術革新計画は、国際的な低炭素社会の実現とともに、エネルギーの安全保障、環境と経済の両立、開発途上国への貢献の実現を目指し、2008年5月に総合科学技術会議で決定・意見具申されたもの。2013年9月に改訂。地球全体の環境・エネルギー制約の解決と、各国の経済成長に必要と考えられる「革新的技術」として、37の技術を特定。それらの技術の2050年までのロードマップも提示している。

エネルギー・環境イノベーション戦略

エネルギー・環境関連分野において研究開発を集中的に強化すべき有望な革新技術分野を特定し、そのインパクトや実用化、普及のための開発課題を整理する目的で、2016年4月に内閣府総合科学技術・イノベーション会議において策定された戦略。エネルギーシステム統合技術（AI、ビッグデータ、IoT等の活用）、システムを構成するコア技術（次世代パワエレ、革新的センサー等）、そして、省エネルギー、蓄エネルギー、創エネルギー等における分野別革新技術の有望技術を特定し、研究開発体制の強化を図っている。

IoT (Internet of Things)

様々な「モノ（物）」がインターネットに接続され、情報交換することにより相互に制御する仕組みである。

二酸化炭素回収・貯留 (CO₂ Capture and Storage: CCS)

発電所や工場における燃料の燃焼によって排出されるCO₂を分離・回収し、それを地中もしくは海洋に貯留する技術。地中1000m程度もしくはそれ以深の帯水層などにCO₂を貯留する。地中貯留の場合、一般的にはCO₂漏洩が起こりにくい不透水層（キャップロック層）の下にCO₂圧入を行い貯留する。なお、石油生産増進を行うためにCO₂を注入したり、ガス生産に付随しているCO₂を分離している場合、比較的安価に実施できるため、付随的便益のあるCO₂回収、貯留は欧米を中心に既に実施されている。

Regulatory Impact Analysis (RIA)

規制を制定することにより、生じると予測される経済影響等を費用便益分析等によって分析し、費用以上の便益を得られるかどうか検証するもの。規制制定の合理性、客観性、透明性の向上に役立ち、説明責任、合意形成手段としても有効とされている。

CO₂限界削減費用

ある排出削減目標を実現するとき、安価な排出削減費用の対策から実施したとしたとき(最も安価に排出削減目標を達成するとき)、排出削減目標達成のために最後の1 t-CO₂を削減するために要する費用。

機会費用

ある行動を選択したために、結果として諦めることになった別の行動から得られたはずの利益のうち、最大のもの。

全要素生産性

経済全体の生産性。国内総生産は、資本、人口等の投入要素以外に、経済全体の生産性によって計測される。

エネルギーシステム改革

電力、ガスのシステム改革の総称であり、エネルギー企業の相互参入、異業種からの新規参入を促し、電力システム改革は、①広域的な送電線運用の拡大(2015年4月に電力広域的運営推進機関の創設)、②小売の全面自由化(2016年4月実施)、③送配電部門の法的分離による中立性の一層の確保(2020年予定)が主な柱。ガスシステム改革においても、小売の全面自由化(2017年4月予定)、導管部門の法的分離による中立性の一層の確保(2022年予定)等の改革が進められている。

<参考文献>

- [1] UNFCCC; Paris Agreement (2015)
http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf
- [2] UNFCCC; Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015 (2015)
<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>
- [3] UNFCCC; Kyoto Protocol (1997) <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- [4] IPCC WG3; Fifth Assessment Report: Mitigation of Climate Change, Cambridge University Press (2014)
- [5] 日本政府; エネルギー基本計画 (2014)
http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf
- [6] 資源エネルギー庁、長期エネルギー需給見通し 関連資料(2015)
http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/011/pdf/011_07.pdf
- [7] 日本政府; 日本の約束草案 (2015) <http://www.env.go.jp/press/files/jp/27581.pdf>
- [8] 日本政府; 地球温暖化対策計画 (2016)
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/102816.pdf>
- [9] 経済産業省; エネルギー革新戦略 (2016)
<http://www.meti.go.jp/press/2016/04/20160419002/20160419002.html>
- [10] 内閣府総合科学技術・イノベーション会議; エネルギー・環境イノベーション戦略 (2016) <http://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui018/haihu-018.html>
- [11] 気象庁; 世界の年平均気温、2016年2月1日、
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html
- [12] IPCC WG1; Fifth Assessment Report: The Physical Science Basis, Cambridge University Press (2013)
- [13] R. Knutti, J. Rogelji, J. Sedláček, E.M. Fischer; A scientific critique of the two-degree climate change target, *Nature Geoscience* 9, 13-18 (2016)
- [14] D. Victor, C.F. Kennel; Climate policy: ditch the 2 °C warming goal, *Nature* 514, 30-31 (2014)
- [15] O. Geden; Policy: Climate advisers must maintain integrity, *Nature* 521, 27-28 (2015)
- [16] J. Tollefson; The 2 °C dream, *Nature* 527, 436-438 (2015)
- [17] Carl-Friedrich Schleussner et al.; Science and policy characteristics of the Paris Agreement temperature goal, *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate3096 (2016)
- [18] IPCC WG1; Fourth Assessment Report: The scientific basis, Cambridge University Press (2007)

- [19] IPCC WG1; Third Assessment Report, Cambridge University Press (2001)
- [20] Y. Kaya, M. Yamaguchi, K. Akimoto, The uncertainty of climate sensitivity and its implication for the Paris negotiation, *Sustainability Science*, 11(3), 515-518 (2016)
- [21] K. Akimoto, F. Sano, B. Shoai Tehrani, The analyses on the economic costs for achieving the nationally determined contributions and the expected global emission pathways, *Evolutionary and Institutional Economics Review*, doi: 10.1007/s40844-016-0049-y (2016)
- [22] IEA, CO₂ emissions from fuel combustion, OECD/IEA (2015)
- [23] European Environment Agency; Total greenhouse gas (GHG) emission trends and projections (2014)
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends-5/assessment>
- [24] D. Helm, R. Smale, J. Phillips; Too Good To Be True? The UK's Climate Change Record (2007)
<http://www.dieterhelm.co.uk/assets/secure/documents/Carbon-record-2007.pdf>
- [25] OECD; Carbon Dioxide Emissions Embodied in International Trade (2015)
<http://www.oecd.org/sti/ind/carbondioxideemissionsembodiedininternationaltrade.htm>
- [26] J. Aldy, W. Pizer; Alternative metrics for comparing domestic climate change mitigation efforts and the emerging international climate policy architecture. *Rev Environ Econ Policy* 10(1):3-24 (2016)
- [27] J. Aldy, W. Pizer, K. Akimoto, Comparing emission mitigation efforts across the countries, *Climate Policy* (2016)
- [28] J. Aldy et al., Economic tools to promote transparency and comparability in the Paris Agreement, *Nature Climate Change* 6: 1000-1004 (2016)
- [29] MILES (Modelling and Informing Low Emissions Strategies) Project - Japan Policy Paper: A joint analysis of Japan's INDC (2015)
http://www.iddri.org/Publications/Collections/Analyses/MILES_Japan%20Policy%20Paper.pdf
- [30] 佐野史典 他; 日本の 2030 年温室効果ガス排出削減目標の評価、*エネルギー・資源*, 37(1), 51-60 (2016)
- [31] 国際連合 ; 「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」 (2015)
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000101402.pdf> (日本語仮訳)
- [32] 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス基本政策小委員会 電力需給検証報告書(2016年10月)
- [33] 環境省 ; 2015 年度 (平成 27 年度) の温室効果ガス排出量 (速報値) について
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2015sokuho.pdf>

- [34] 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 (第16回会合)・長期エネルギー需給見
通し小委員会 (第1回会合) 合同会合資料 (平成27年1月30日)
- [35] 資源エネルギー庁 ; 電気料金の水準 (平成27年11月18日)
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denryoku_gas/kihonseisaku/pdf/02_04_02.pdf
- [36] IEA; Energy Technology Perspectives 2015 (2015)
- [37] 経済産業省 ; 長期地球温暖化対策プラットフォーム 第1回資料 (2016)
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/ondanka_platform/pdf/001_02_00.pdf
- [38] S. Fuss; Betting on negative emissions, *Nature Climate Change* 4, 850-853 (2014)
- [39] J. Kemper; Biomass and carbon dioxide capture and storage: A review,
International Journal of Greenhouse Gas Control 40, 401-430 (2015)
- [40] 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 長期エネルギー需給見通し小委員会 発電
コスト検証ワーキンググループ; 「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電
コスト等の検証に関する報告」 (2015)
http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_01.pdf
- [41] 木村幸、日本学術会議 公開シンポジウム「パリ協定を踏まえた今後のエネルギー・
温暖化対策のあり方」講演資料 (2016)
- [42] 内閣府 ; 第5期科学技術基本計画(2016)
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>
- [43] 杉山大志、経済産業省 長期地球温暖化対策プラットフォーム 国内投資拡大タスク
フォース 第1回会合資料 5-1, 5-2, 5-3 (2016)
- [44] L.H. Meyer, D. Roser; Climate justice and historical emissions. *Critical Review
of International Social and Political Philosophy*, 13 (2010)
- [45] C. Okereke; Climate justice and the international regime. *WIREs Climate Change*
(2010)
- [46] A. Vaughan; Fossil fuel divestment: a brief history. *The Guardian* (2014)
<https://www.theguardian.com/environment/2014/oct/08/fossil-fuel-divestment-a-brief-history>
- [47] A. Ansar, B. Caldecott, J. Tilbury; Stranded assets and the fossil fuel
divestment campaign: what does divestment mean for the valuation of fossil fuel
assets?, *Stranded Assets Programme* (2013)
[http://www.fossilfuelsreview.ed.ac.uk/resources/Evidence - Investment,
Financial, Behavioural/Smith School - Stranded Assets.pdf](http://www.fossilfuelsreview.ed.ac.uk/resources/Evidence%20-%20Investment,%20Financial,%20Behavioural/Smith%20School%20-%20Stranded%20Assets.pdf)
- [48] K. Fehrenbacher, Divesting from coal is becoming more mainstream and it's about
risk. *FORTUNE* (2015) <http://fortune.com/2015/06/06/divesting-from-coal/>
- [49] 三菱UFJリサーチ&コンサルティング、気候変動と投資・金融、長期地球温暖化対策

- プラットフォーム「国内投資拡大タスクフォース」(第4回会合)資料、
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/ondanka_platform/kokunaitoushi/pdf/004_03_00.pdf
- [50] 長島美由紀 他; 米国による海外石炭火力発電所新設に対する公的融資制限及び新規排出規制案の評価、第31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2015)
- [51] P. M. Hannam, et al.; Developing country finance in a post-2020 global climate agreement, *Nature Climate Change*, Published online: 23 October 2015
- [52] M. Leach, et al.; Transforming innovation for sustainability. *Ecology and Society*, 17(2) (2012)
- [53] K. Brown, S. O'Neill, C. Fabricius; Social science understandings of transformation. *World Social Science Report 2013*. ISSC and UNESCO: Paris (2013)
- [54] Future Earth; Future Earth 2025 Vision. Paris: International Council for Science (ICSU) (2014) <http://www.futureearth.org/media/future-earth-2025-vision>
- [55] 日本学術会議 フューチャー・アースの推進に関する委員会; 持続可能な地球社会の実現をめざして—Future Earth (フューチャー・アース) の推進—、日本学術会議 提言(2016) <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t226.pdf>
- [56] 杉山大志、日本学術会議 公開シンポジウム「パリ協定を踏まえた今後のエネルギー・温暖化対策のあり方」講演資料 (2016)
- [57] 経済産業省 自主行動計画の総括的な評価に係る検討会 とりまとめ(2014)
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sangi/jishu_kodo_keikaku/pdf/report_001a.pdf
- [58] J. Oda et al.; International comparison of energy efficiency in power, steel and cement industries, *Energy Policy* 44, 118–129 (2012)
- [59] 徳重功子 他; 京都議定書第1約束期間における日本の温室効果ガス排出削減の取り組みに関する分析・評価、*エネルギー・資源*、36(2)、(2015)
- [60] 経団連; 「地球温暖化対策に関する経団連の考え方と取組み」、産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会、中央環境審議会 地球環境部会 合同会合 (第38回) 資料 (2013)
http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004000/pdf/038_02_00.pdf
- [61] 杉山大志、木村幸、野田冬彦; 「省エネルギー政策論—工場・事業所での省エネ法の実効性」、*エネルギーフォーラム* (2010)
- [62] A. B. Jaffe, R. N. Stavins; The Energy Efficiency Gap: What does it Mean?, *Energy Policy* 22 (10), 804–810 (1994)
- [63] A. B. Jaffe, R. G. Newell, R. N. Stavins; Energy Efficiency Technologies and Climate Change Policies: Issues and Evidence, RFF Climate Issue Brief no. 19, Resources for the Future (1999)
- [64] 若林雅代、木村幸; 「省エネルギー政策理論のレビュー — 省エネルギーの「ギャップ」と「バリア」—」、電力中央研究所報告 Y08046 (2009)

- [65] H. G. Huntington; The Policy Implications of Energy-Efficient Cost Curves, *Energy Journal* 32, Special Issue 1, 7-21 (2011)
- [66] R. E. Hall, D. W. Jorgenson; Tax policy and investment behaviour, *American Economic Review* 57, 391-414 (1967)
- [67] デビッド・ローマー; 上級マクロ経済学、日本評論社 (1998)
- [68] 環境省; 「COOL CHOICE」 <https://ondankataisaku.env.go.jp/coolchoice/about/>
- [69] 野村浩二、日本学術会議 公開シンポジウム「パリ協定を踏まえた今後のエネルギー・温暖化対策のあり方」講演資料 (2016)
- [70] 杉山大志、温暖化問題の解決への道筋と日本の政策のあり方について、日本公共政策学会 2016 年度研究大会 (2016)
- [71] 電力調査統計月報
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/results.html
- [72] 総合エネルギー統計
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/
- [73] 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト
http://www.fit.go.jp/statistics/public_sp.html
- [74] 木村宰; 国の温暖化対策事業の現状と課題—公会計資料と行政事業レビューシートに基づく分析—、電力中央研究所研究報告 Y15018 (2016)
- [75] 木村宰、大藤建太; 省エネ補助金の追加性と費用対効果の評価—NEDO 補助事業の事例分析—、電力中央研究所研究報告 Y13028 (2014)
- [76] 会計検査院; グリーン家電普及促進対策費補助金等の効果等について、会計検査院法第 30 条の 2 の規定に基づく報告書 (2012)
- [77] J. Arakawa, K. Akimoto; Assessments of Japanese Energy Efficiency Policy Measures in Residential Sector, *Journal of the Japan Institute of Energy*, 94, 333-339 (2014)
- [78] 秋元圭吾; 原子力の国民経済価値の推計、公共事業学会 (2015)
- [79] 山口光恒 (監訳); 実現可能な気候変動対策、第 8 章エネルギー効率向上のポテンシャルと障壁、丸善出版 (2012)
- [80] 上野貴弘、本部和彦 (編著); 狙われる日本の環境技術、エネルギーフォーラム (2013)
- [81] A. Robock A et al.; Benefits, risks, and costs of stratospheric geoengineering. *Geophysical Research Letters* 36, L19703, doi:10.1029/2009GL039209 (2009)
- [82] K. Ricke, M. M. Granger, M. Allen; Regional climate response to solar-radiation management. *Nature Geoscience* 3, 537-541 (2010)
- [83] T. Kosugi; Fail-safe solar radiation management geoengineering. *Mitigation Adaptation Strategies Global Change* 18, 1141-1166 (2013)
- [84] J. Moreno-Cruz, D. W. Keith; Climate policy under uncertainty: A case for solar geoengineering. *Climate Change* 121, 431-444 (2013)
- [85] Y. Arino et al.; Estimating option values of solar radiation management assuming

that climate sensitivity is uncertain, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113(21), 5886–5891 (2016)

[86] IEA; Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries, OECD/IEA (2015)

<参考資料 1> 審議経過

<第 23 期>

平成 26 年

- 12 月 24 日 エネルギーと科学技術に関する分科会（第 23 期第 1 回）
役員を選出、今後の進め方について 等

平成 27 年

- 5 月 29 日 エネルギーと科学技術に関する分科会（第 23 期第 2 回）
地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会設置、
小委員会委員選任等について討議、設置承認
- 11 月 9 日 地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会（第 23 期第 1 回）
役員を選出、今後の進め方について 等

平成 28 年

- 2 月 17 日 地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会（第 23 期第 2 回）
調査報告、今後の進め方について、シンポジウム企画 等
- 5 月 18 日 地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会（第 23 期第 3 回）
調査報告、今後の進め方について、シンポジウム企画 等
- 6 月 10 日 エネルギーと科学技術に関する分科会（第 23 期第 3 回）
地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会活動報告、今後の進め方について 等
- 8 月 1 日 地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会（第 23 期第 4 回）
調査報告、今後の進め方について、報告案の検討 等
- 9 月 28 日 地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会（第 23 期第 5 回）
調査報告、今後の進め方について、報告案の検討 等
- 12 月 8 日 エネルギーと科学技術に関する分科会（第 23 期第 4 回）
地球温暖化対応の視点からのエネルギー対策・政策検討小委員会活動報告、報告案の検討、今後の進め方について 等
報告「パリ協定を踏まえたわが国のエネルギー・温暖化の対策・政策の方向性について」（案）について、本分科会でのコメントを踏まえて修正し委員長が確認を行うことを条件として、承認¹

¹ エネルギーと科学技術に関する分科会の承認をもって、総合工学委員会の承認も兼ねる。

平成29年

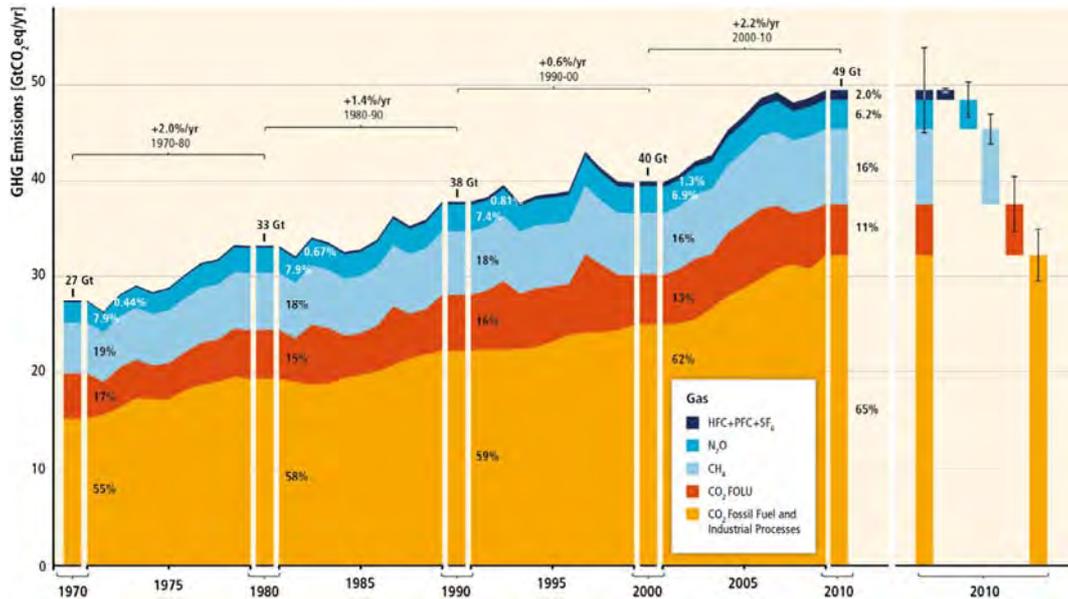
○月○日 日本学術会議幹事会（第○回）

報告「パリ協定を踏まえたわが国のエネルギー・温暖化の対策・政策の
方向性について」について承認

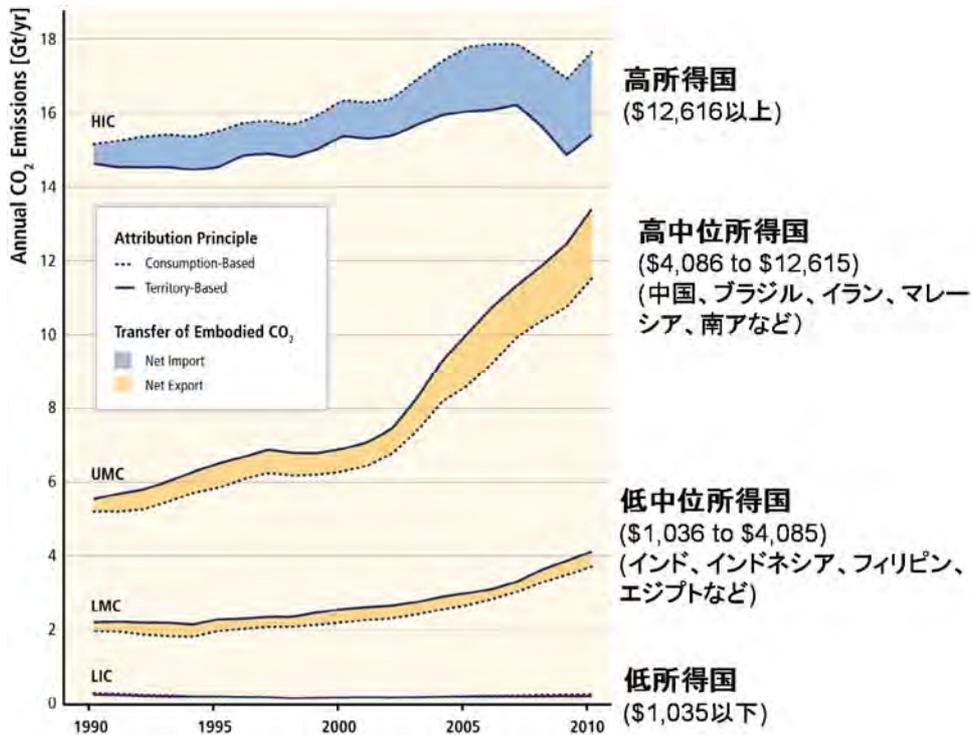
＜参考資料 2＞シンポジウム開催

- ・公開シンポジウム「パリ協定を踏まえた今後のエネルギー・温暖化対策のあり方」
日時：平成 28 年 5 月 18 日（水）13:00～17:20
場所：日本学術会議講堂
主催：日本学術会議 総合工学委員会 エネルギーと科学技術に関する分科会
共催：エネルギー・資源学会
後援：日本エネルギー学会、環境経済・政策学会

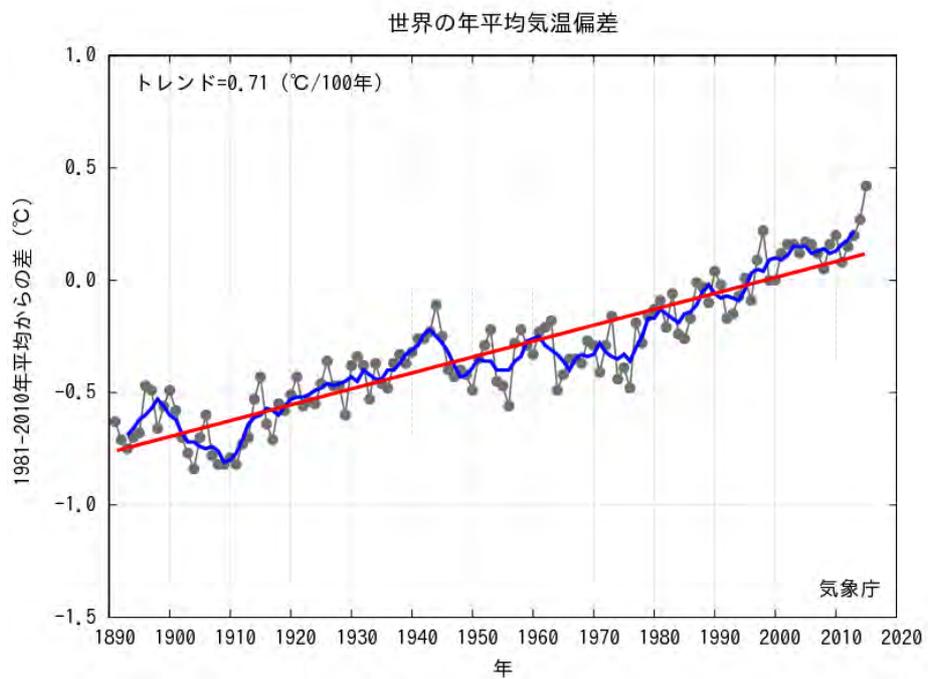
<付録図表>



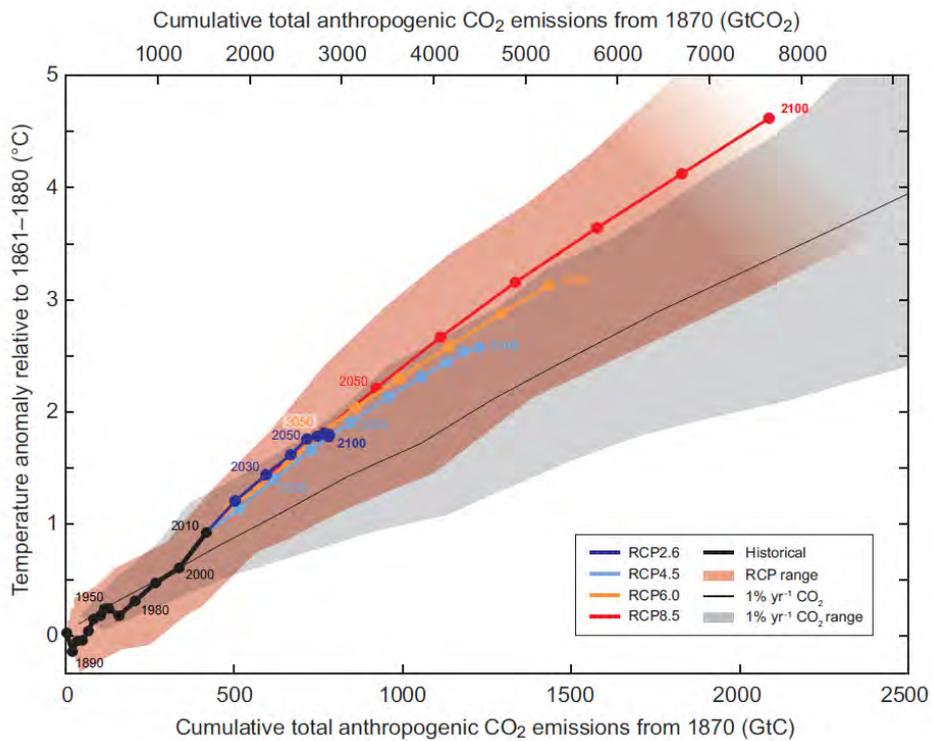
付図 1 世界の温室効果ガス排出量推移(京都議定書で規定された6種類の温室効果ガス)
 (出典) IPCC WG3 第5次評価報告書、2014 (Chapter 1, Figure 1.3) [4]



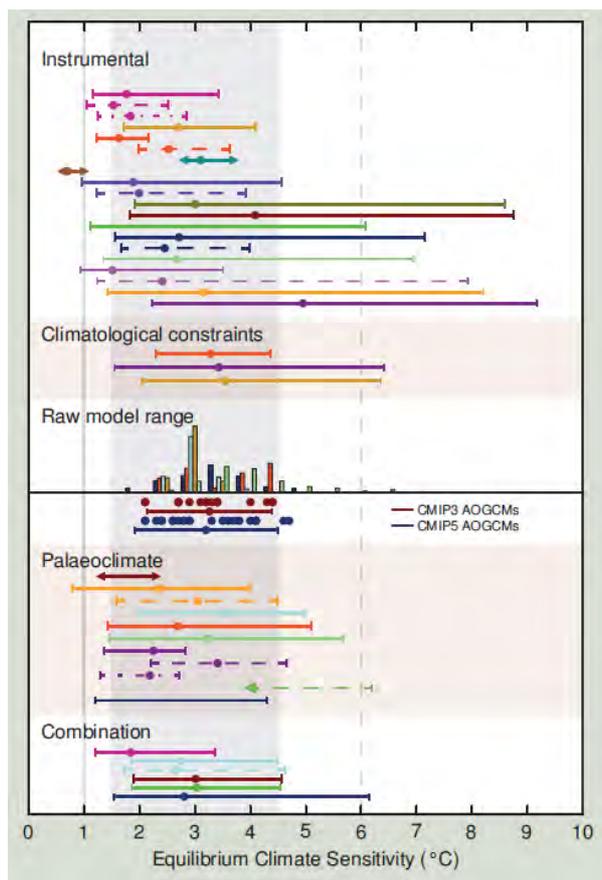
付図 2 世界4地域分類別の温室効果ガス排出量推移
 (出典) IPCC WG3 第5次評価報告書、2014 (Chapter 1, Figure 1.5) [4]



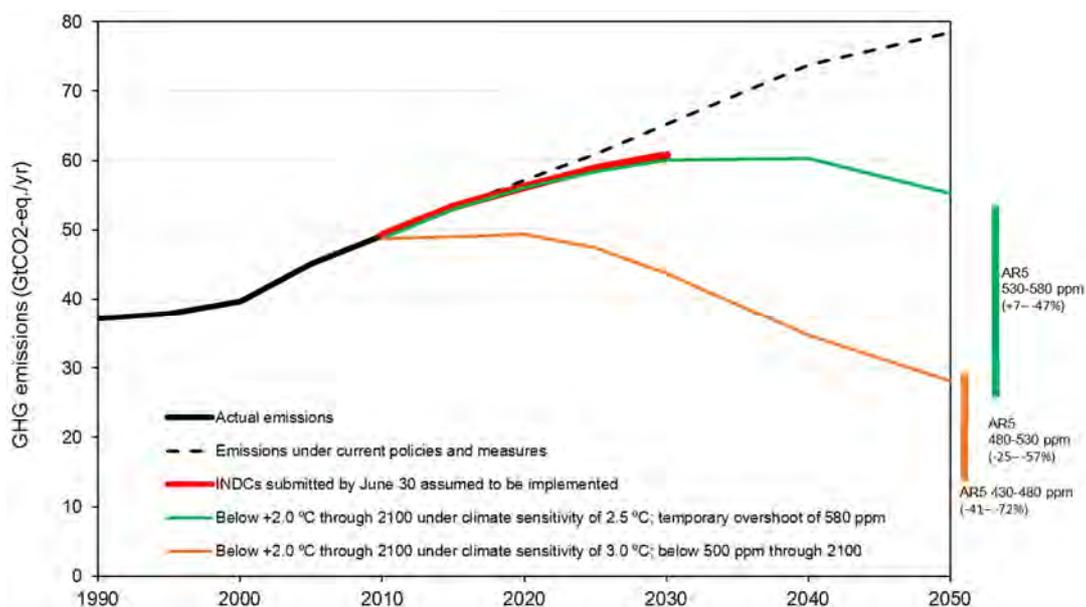
付図3 1891～2015年間の世界の年平均気温上昇の推移
(出典) 気象庁[11]



付図4 累積CO2排出量と全球平均気温上昇との関係
(出典) IPCC WG1 AR, 2013 (SPM, Figure SPM.10) [12]

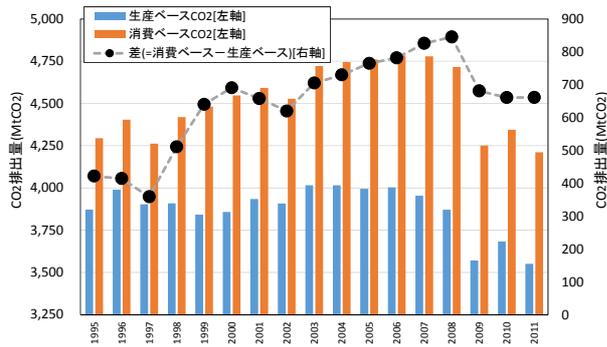


付図5 様々なモデル、手法による平衡気候感度の評価。
 グレーゾーンがWG1の専門家判断による likely レンジとした 1.5~4.5°C
 (出典) IPCC WG1 AR5, 2013 (TS, TFE. 6, Figure 12) [12]

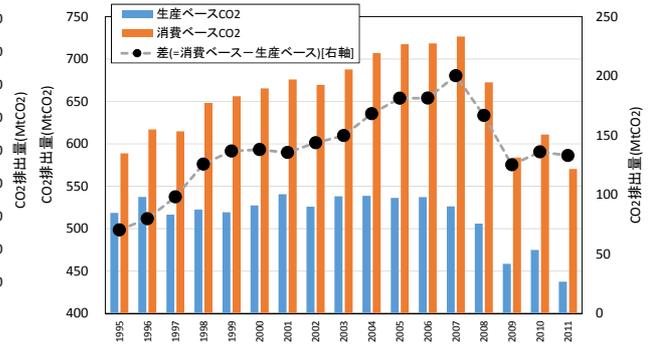


付図6 気候感度 0.5°Cの差による 2°C目標のための世界温室効果ガス排出経路の違い
 (出典) Kaya et al., 2016[20]

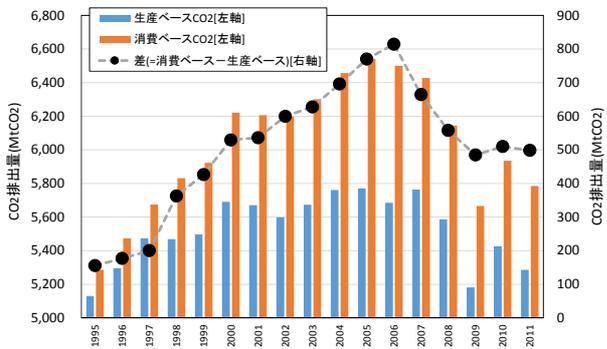
(a) EU28



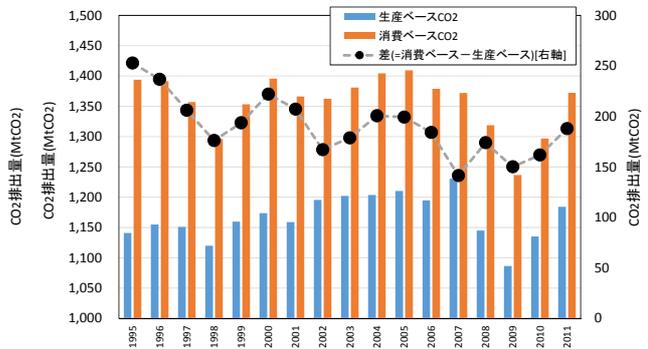
(b) 英国



(c) 米国



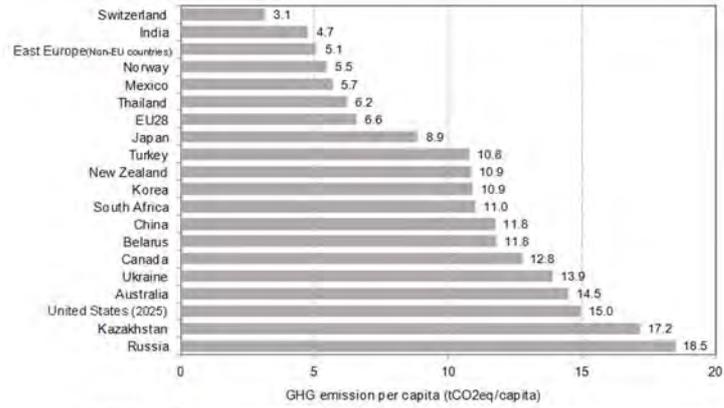
(d) 日本



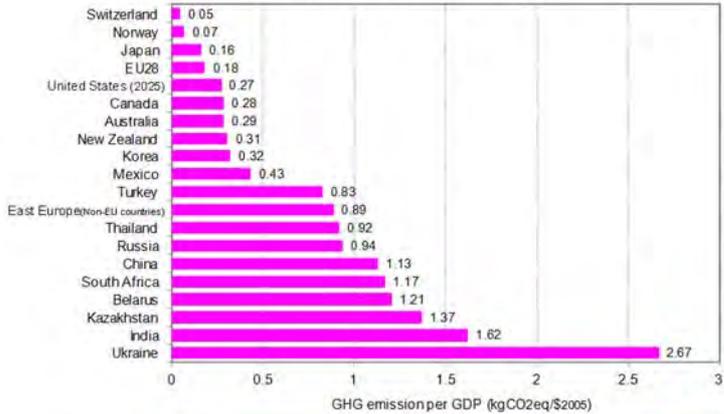
付図7 世界主要国の生産ベース CO₂ と消費ベース CO₂ 排出量の推計例

(出典) OECD [25]のデータを基に作図

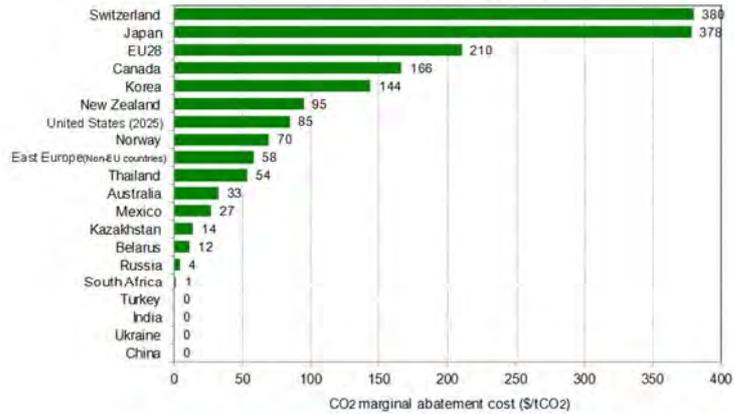
(a) 一人あたり排出量



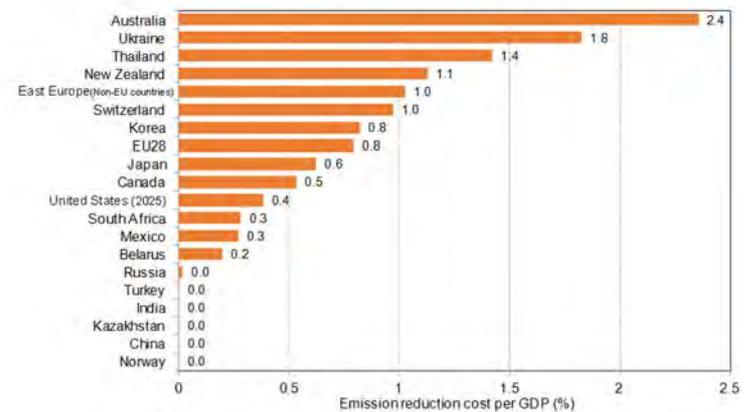
(b) GDP あたり排出量



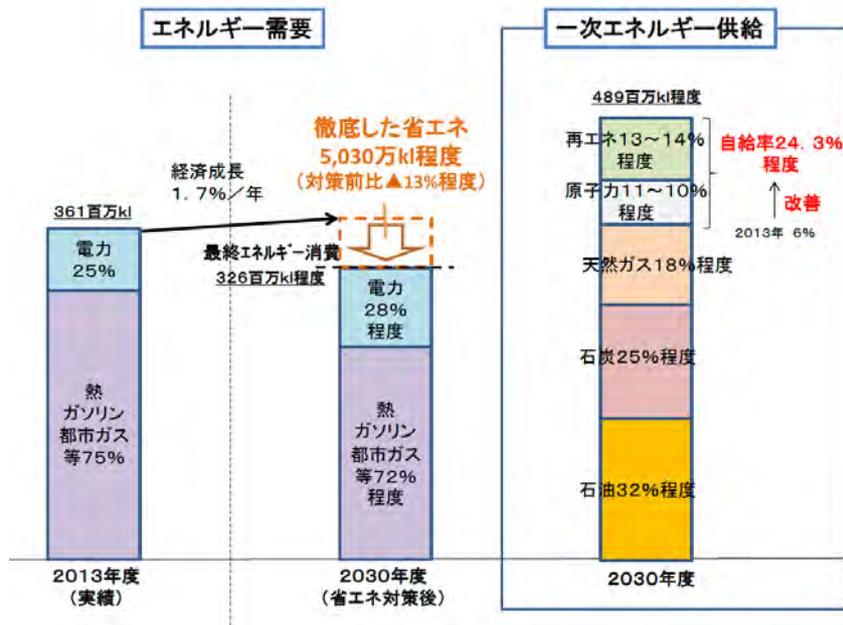
(c) 限界削減費用



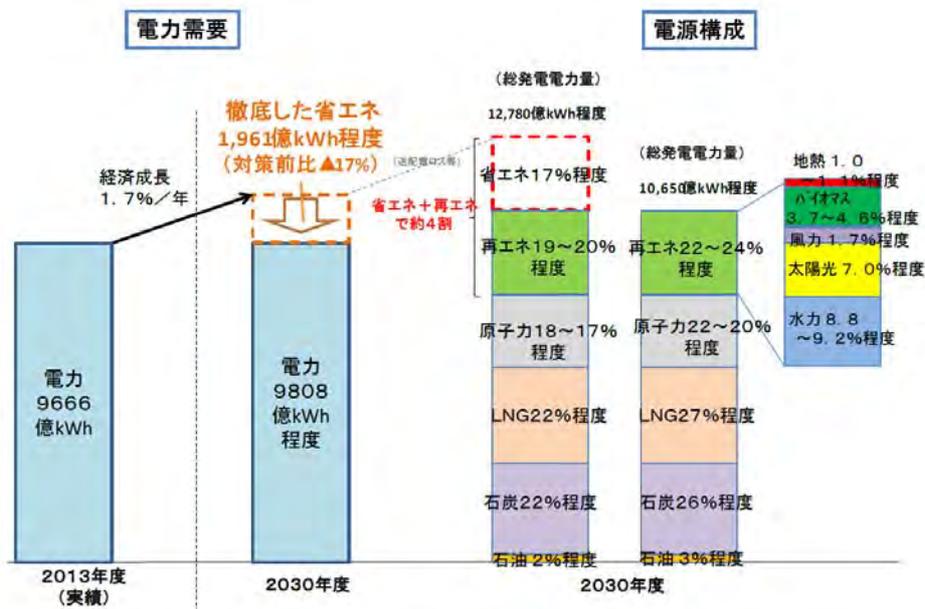
(d) GDP あたり削減費用



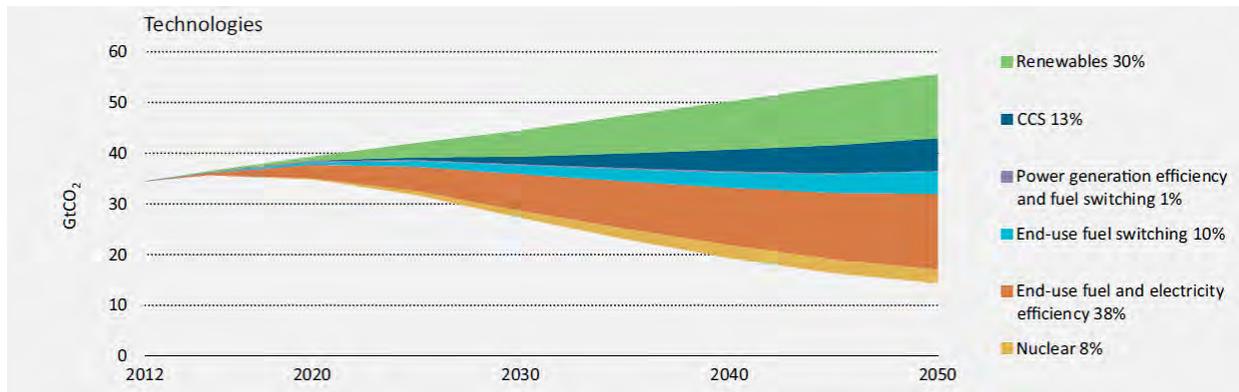
付図8 世界主要国の約束草案 (2030年、米国のみ2025年) について
複数の指標を用いた評価例
(出典) Akimoto et al. [21]



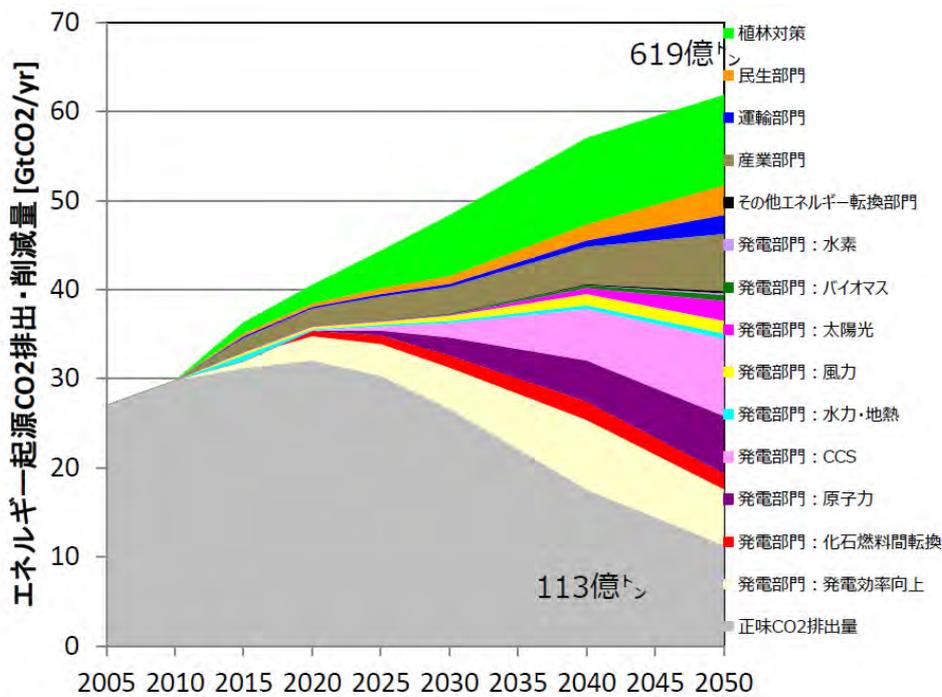
付図9 長期エネルギー需給見通しにおける最終エネルギー需要と一次エネルギー供給量の見通し
(出典) 資源エネルギー庁[6]



付図10 長期エネルギー需給見通しにおける電力需要量と電源構成の見通し
(出典) 資源エネルギー庁[6]



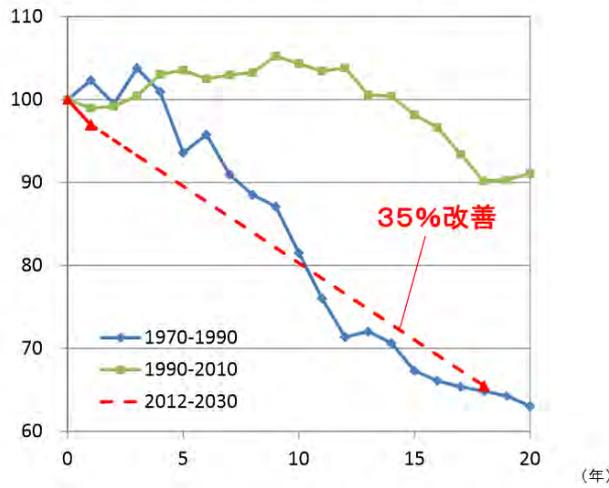
付図 11 2°C目標のための技術別のCO2 排出削減効果の試算例
 (出典) IEA Energy Technology Perspectives 2015 [36]



*エネルギー起源CO2排出削減対策をDNE21+によって評価。

付図 12 2°C目標のための技術別のCO2 排出削減効果の試算例
 (出典) 経済産業省、長期地球温暖化対策プラットフォーム 第1回資料 [37]

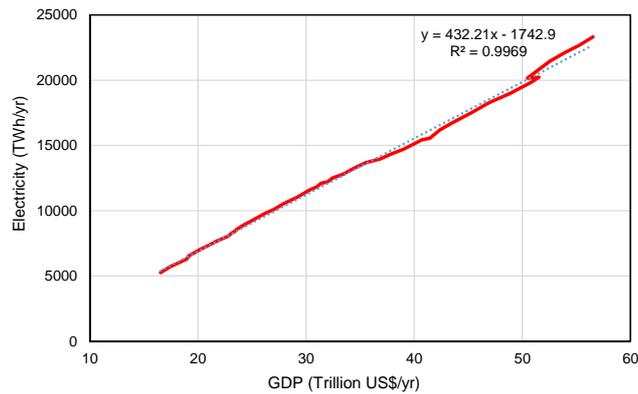
【エネルギー効率の改善】



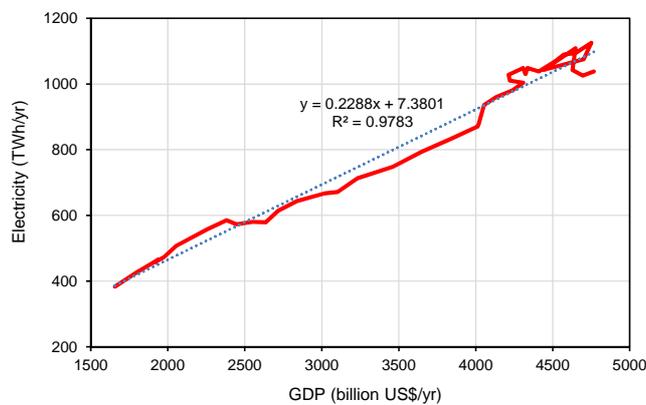
エネルギー効率 = 最終エネルギー消費量 / 実質GDP

付図 13 長期エネルギー需給見通しにおけるエネルギー効率向上の見通し
(出典) 資源エネルギー庁[6]

(a) 世界



(b) 日本



付図 14 世界と日本における GDP と電力消費量との関係 (1971~2013 年)
(出典) IEA 統計より作成[86]

最終エネルギー消費(百万kl)

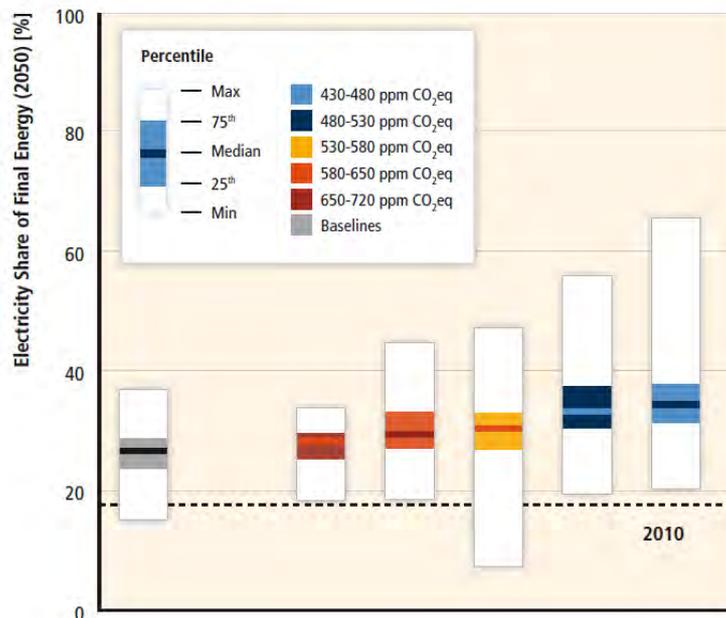
	2013年度		2030年度			
			レファレンス		省エネ徹底	
産業	160	45%	180	48%	170	52%
業務	65	18%	69	18%	56	17%
家庭	52	14%	50	13%	38	12%
運輸	84	23%	78	21%	62	19%
合計	361	100%	377	100%	326	100%

※2030年度の各数値はいずれも概数。

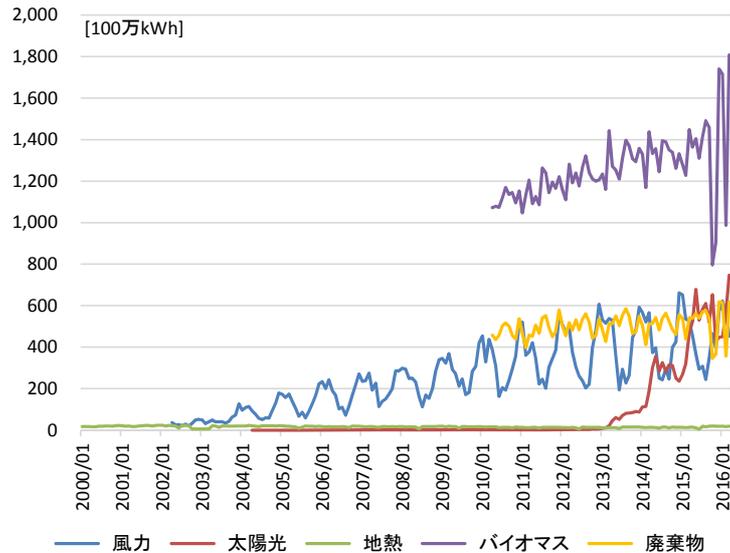
最終エネルギー消費(百万kl)の推移



付図 15 長期エネルギー需給見通しにおける部門別の最終エネルギー消費の見通し
(出典) 資源エネルギー庁[6]



付図 16 温室効果ガス濃度レベル別の最終エネルギーにおける電力のシェア
(出典) IPCC WG3 AR, 2014 (Chapter 7, Figure 7.13) [4]



付図 17 再生可能エネルギー発電量
 (一発電所の最大出力が 1,000kW 以上の自家用設備を計上)
 (出典) 電力調査統計月報[71]

付表 1 2009~2011 年にかけて実施されたエコポイントの CO₂ 排出削減効果の推計

	CO ₂ 削減効果 (kt-CO ₂ /年)		2040 年までの期間 の累積の期待 CO ₂ 削減効果 (kt-CO ₂)	CO ₂ 1 トン削減 当たりの補助金額 (円/tCO ₂)
	環境省による評価	会計検査院による評価	荒川らによる評価	
エアコン	793	77	1195.2	52,063
冷蔵庫	1285	53	931.2	60,241
テレビ	652	80	-1181.6	-449,950
計	2730	210	944.8	687,960

(出典) Arakawa et al., 2014 [77]

注) 荒川らによる評価で、テレビのエコポイントによる排出削減効果および CO₂ 削減トン当たりの補助金額がマイナスになっているのは、補助金による一時的な購買の増大が起これなければ、その後、起こったエネルギー効率の一層の向上のために、より多くの CO₂ が削減できていたと推計されるためである。

提言等の提出チェックシート

このチェックシートは、日本学術会議において意思の表出（提言・報告・回答、以下「提言等」という）の査読を円滑に行い、提言等（案）の作成者、査読者、事務局等の労力を最終的に軽減するためのものです。

提言等（案）の作成者は提出の際に以下の項目をチェックし、提言等（案）に添えて査読時に提出してください。

	項目	チェック
1. 表題	表題と内容は一致している。	1. はい 2. いいえ
2. 論理展開 1	どのような現状があり、何が問題であるかが十分に記述されている。	1. はい 2. いいえ
3. 論理展開 2	特に提言については、政策等への実現に向けて、具体的な行政等の担当部局を想定している（例：文部科学省研究振興局等）。	1. 部局名： 2. 特に無い
4. 読みやすさ 1	本文は 20 ページ（A4、フォント 12P、40 字×38 行）以内である。※図表を含む	1. はい 2. いいえ
5. 読みやすさ 2	専門家でなくとも、十分理解できる内容であり、文章としてよく練られている。	1. はい 2. いいえ
6. 要旨	要旨は、要旨のみでも独立した文章として読めるものであり 2 ページ（A4、フォント 12P、40 字×38 行）以内である。	1. はい 2. いいえ
7. エビデンス	記述・主張を裏付けるデータ、出典、参考文献をすべて掲載している。	1. はい 2. いいえ
8. 適切な引用	いわゆる「コピペ」（出典を示さないで引用を行うこと）や、内容をゆがめた引用等を行わず、適切な引用を行っている。	1. はい 2. いいえ
9. 既出の提言等との関係	日本学術会議の既出の関連提言等を踏まえ、議論を展開している。	1. はい 2. いいえ
10. 利益誘導	利益誘導と誤解されることのない内容である。	1. はい 2. いいえ
11. 委員会等の趣旨整合	委員会・分科会の設置趣旨と整合している。	1. はい 2. いいえ

※チェック欄で「いいえ」を記入した場合、その理由があればお書きください

記入者（委員会等名・氏名）：

総合工学委員会 エネルギーと科学技術に関する分科会 委員長 鈴置保雄

参考： 日本学術会議会長メッセージ、「提言等の円滑な審議のために」（2014年5月30日）。

<http://www.scj.go.jp/ja/head/pdf/140530.pdf>