２０１９年度　エネルギー講演会

「みんなで考えよう!! 明日のエネルギーと原子力」

- と　き　２０１９年１０月２５日（金）13：30～17：00
- ところ　電気ビル共創館 カンファレンスＡ大会議室
- 主　催　（一社）九州経済連合会

  （一社）日本原子力学会九州支部
- 後　援　福岡県教育委員会、福岡市教育委員会

第１部　１３：４０～１５：１０

「パリ協定の目標達成に向けた日本の長期戦略」

公益財団法人地球環境産業技術研究機構
主席研究員・システム研究グループリーダー

秋元　圭吾　氏

第２部　１５：２５～１６：５５

「低炭素電源としての原子力の役割」

東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻
准教授

小宮山　涼一　氏

〔秋元　圭吾氏　ご略歴〕

１９９９年 横浜国立大学大学院工学研究科博士課程修了、工学博士。
１９９９年 財団法人 地球環境産業技術研究機構 入所、研究員。主任研究員を経て、
２００７年、同　システム研究グループリーダー・副主席研究員、
２０１２年11月、同　グループリーダー・主席研究員、現在に至る。
専門はエネルギー・環境を対象とするシステム工学。
日本学術会議連携会員。２０１０年～２０１４年度 東京大学大学院総合文化研究科客員教授。IPCC 第５次および第６次評価報告書代表執筆者。経済産業省 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会委員、同 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会委員、産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会委員、環境省 中央環境審議会 地球環境部会 気候変動影響評価等小委員会委員など、政府の委員会委員なども務める。

〔小宮山　涼一氏　ご略歴〕

2003 年東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程修了、工学博士。
日本エネルギー経済研究所主任研究員、カリフォルニア大学バークレー校客員研究員等を経て、現職。
専門はエネルギーシステムの数値シミュレーション分析、エネルギー・環境政策に関する分析。
日本機械学会主査(原子力・再生可能エネルギーと調和型エネルギーシステム研究会)、経済産業省 総合資源エネルギー調査会 臨時委員なども務める。

九州エネルギー問題懇談会　2019年エネルギー講演会
「みんなで考えよう！！明日のエネルギーと原子力」
2019年10月25日

パリ協定達成に向けた日本の長期戦略

（公財）地球環境産業技術研究機構（RITE）
システム研究グループ　グループリーダー
秋 元　圭 吾

目　次

１．パリ協定後の世界と日本のエネルギー・温暖化対応戦略動向

２．地球温暖化問題及びCO_2排出の現状

３．中期（～2030年頃）の低炭素化に向けて

４．長期（2050年以降）の脱炭素化に向けて

５．AI, IoT等が誘発するエネルギー需要の大きな変化の可能性：グリーン成長に向けて

６．まとめ

1．パリ協定後の世界と日本のエネルギー・温暖化対応戦略動向

パリ協定

2015年11月30日～12月11日パリにて開催

予定を延長した12月12日に「歴史的」ともされる「パリ協定」を含むパリ合意を採択し終了

2016年11月4日発効

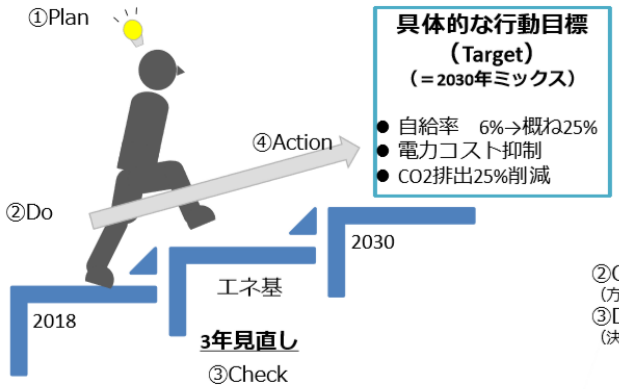
- すべての国が自主的に目標と達成方法を決め（国別貢献NDC）、５年ごとに提出する。なお、目標見直しにあたっては、従前の目標に比べて前進させるよう求めている。
- 効果的な実施を促すために、透明性を高めた形で、すべての国が共通かつ柔軟な方法でその実施状況を報告しレビューを受ける。
- 全球平均気温上昇を産業革命前に比べ２℃未満に十分に（”well below”）抑える。また１．５℃に抑えるような努力を追求する。
- 協定第２条の長期目標を達成するため、世界の温室効果ガス排出をできる限り早期にピークにする。その後、急速に削減し、今世紀後半には、温室効果ガスについて人為的起源排出とシンクによる吸収をバランスさせる。

第5次エネルギー基本計画における2030、2050年への対応方針

2030年に向けて

- **相応の蓋然性をもって予見可能な未来**（予見性⇔現実的）
- **インフラ・システム所与**
  - ✓ 既存の人材
  - ✓ 既存の技術
  - ✓ 既存のインフラ

実現重視の直線的取組
（PDCAサイクル）



2050年に向けて

- **不確実であり、それゆえ可能性もある未来**（不確実性⇔野心的）
  （VUCA：Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity）
- **インフラ・システム可変**
  - ✓ 人材育成
  - ✓ 技術革新
  - ✓ インフラ更新

多様な選択肢による
複線シナリオ
（OODAサイクル）

出典）政府資料

パリ協定長期成長戦略のポイント

第1章：基本的な考え方（ビジョン）

- **最終到達点としての「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現することを目指す**とともに、2050年までに80%の削減に大胆に取り組む　※積み上げではない、将来の「あるべき姿」　※1.5℃努力目標を含むパリ協定の長期目標の実現にも貢献
- ビジネス主導の**非連続なイノベーションを通じた「環境と成長の好循環」の実現**、取組を**今から迅速に実施**、**世界への貢献、将来に希望の持てる明るい社会を描き行動を起こす**［要素：SDGs達成、共創、Society5.0、地域循環共生圏、課題解決先進国］

第2章：各分野のビジョンと対策・施策の方向性

第１節：排出削減対策・施策

1.エネルギー：エネルギー転換・脱炭素化を進めるため、あらゆる選択肢を追求
- ・再エネの主力電源化
- ・火力はパリ協定の長期目標と整合的にCO_2排出削減
- ・CCS・CCU/カーボンリサイクルの推進
- ・水素社会の実現/蓄電池/原子力/省エネ

2.産業：脱炭素化ものづくり
- ・CO_2フリー水素の活用（「ゼロカーボン・スチール」への挑戦等）
- ・CCU/バイオマスによる原料転換（人工光合成等）
- ・抜本的な省エネ、中長期的なフロン類の廃絶等

3.運輸：“Well-to-Wheel Zero Emission”チャレンジへの貢献
- ・2050年までに世界で供給する日本車について世界最高水準の環境性能を実現
- ・ビックデータ・IoT等を活用した道路・交通システム

4.地域・くらし：2050年までにカーボンニュートラルでレジリエントで快適な地域とくらしを実現/地域循環共生圏の創造
- ・可能な地域・企業等から2050年を待たずにカーボンニュートラルを実現
- ・カーボンニュートラルなくらし（住宅やオフィス等のストック平均でZEB・ZEH相当を進めるための技術開発や普及促進/ライフスタイルの転換）
- ・地域づくり（カーボンニュートラルな都市、農山漁村づくり）、分散型エネルギーシステムの構築

第２節：　吸収源対策

第3章：「環境と成長の好循環」を実現するための横断的施策

第１節：イノベーションの推進
- ・温室効果ガスの大幅削減につながる横断的な脱炭素技術の実用化・普及のためのイノベーションの推進・社会実装可能なコストの実現

（1）革新的環境イノベーション戦略
- ・コスト等の明確な目標の設定、官民リソースの最大限の投入、国内外における技術シーズの発掘や創出、ニーズからの課題設定、ビジネスにつながる支援の強化等
- ・挑戦的な研究開発、G20の研究機関間の連携を強化し国際共同研究開発の展開(RD20)等
- ・実用化に向けた目標の設定・課題の見える化
  - CO_2フリー水素製造コストの10分の１以下など既存エネルギーと同等のコストの実現
  - CCU/カーボンリサイクル製品の既存製品と同等のコストの実現、原子力（原子炉・核融合）　ほか

（2）経済社会システム/ライフスタイルのイノベーション

第2節：グリーン・ファイナンスの推進
- ・イノベーション等を適切に「見える化」し、金融機関等がそれを後押しする資金循環の仕組みを構築

（1）TCFD※等による開示や対話を通じた資金循環の構築　※気候関連財務情報開示タスクフォース
- ・産業：TCFDガイダンス・シナリオ分析ガイド拡充/金融機関等：グリーン投資ガイダンス策定
- ・産業界と金融界の対話の場（TCFDコンソーシアム）
- ・国際的な知見共有、発信の促進（TCFDサミット（2019年秋））

（2）ESG金融の拡大に向けた取組の促進
- ・ESG金融への取組促進（グリーンボンド発行支援、ESG地域金融普及等）、ESG対話プラットフォームの整備、ESG金融リテラシー向上、ESG金融ハイレベル・パネル 等

第3節：ビジネス主導の国際展開、国際協力
- ・日本の強みである優れた環境技術・製品等の国際展開/相手国と協働した双方に裨益（ひえき）するコ・イノベーション

（1）政策・制度構築や国際ルールづくりと連動した脱炭素技術の国際展開
- ・相手国における制度構築や国際ルールづくりによるビジネス環境整備を通じた、脱炭素技術の普及と温室効果ガスの排出削減（ASEANでの官民イニシアティブの立上げの提案、市場メカニズムを活用した適切な国際枠組みの構築 等）

（2）CO_2排出削減に貢献するインフラ輸出の強化
- ・パリ協定の長期目標と整合的にCO_2排出削減に貢献するエネルギーインフラや都市・交通インフラ（洋上風力・地熱発電などの再エネ、水素、CCS・CCU/カーボンリサイクル、スマートシティ等）の国際展開

（3）地球規模の脱炭素社会に向けた基盤づくり
- ・相手国におけるNDC策定・緩和策にかかる計画策定支援等、サプライチェーン全体の透明性向上

第4章：その他

・人材育成　・公正な移行　・政府の率先的取組
・適応によるレジリエントな社会づくりとの一体的な推進
・カーボンプライシング（専門的・技術的議論が必要）

第５章：長期戦略のレビューと実践

・**レビュー**：6年程度を目安としつつ情勢を踏まえて柔軟に検討を加えるとともに必要に応じて見直し
・**実践**：将来の情勢変化に応じた分析/連携/対話

世界各国の長期目標

	2050年目標	それ以降の目標	目標の位置づけ
日本	80%削減 （2016年策定の地球温暖化対策計画を踏襲。各種条件付）	21世紀後半のできるだけ早い時期に実質ゼロ	将来の「あるべき姿」としてビジョンを明確に掲げるとともに、政府としてそれに向けた政策の方向性を示す
ドイツ	80～95%削減（90年比）		排出削減に向けた方向性を提示
フランス	75%削減（90年比）[2016] ⇒ GHG実質ゼロ [2017]		目標達成に向けたあり得る経路（行動計画ではない）
英国	80%以上削減（90年比） ⇒ GHG実質ゼロ [2019]		経路検討による今後数年の打ち手の参考（長期予測は困難）
EU	80%削減（90年比） （2019年6月のEU理事会で2050年カーボンニュートラル（実質ゼロ）の合意を目指したが、合意できず）		
カナダ	80%削減（05年比）		議論のための情報提供（政策の青写真ではない）
米国	80%以上削減（05年比）		削減目標に向けた野心的ビジョン（足下での政策立案を意図するものではない）

出典）エネルギー情勢懇談会資料等を参考に作成

国際政治の不安定性

♦ **米国トランプ政権**

- 米国の産業、経済、雇用に悪影響を与え、他国を有利にするものであるとの理由で、2017年6月にパリ協定から離脱する意向を正式に表明。（「自分を選んだのはピッツバーグ等の米国市民であり、パリの市民ではない」）
- 製造業労働者の雇用問題も一要因でトランプ政権誕生につながった。
- シェールガス開発、石炭利用など、エネルギー価格を安価に導く政策を推進。CO2排出規制的な政策は廃止の方向に。
- G20大阪サミットでも、気候変動に関する文言は最も調整が難航した議題となった。

♦ **英国ブレグジット**

- 英国政権は、ブレグジット決定後も、温暖化対策に積極的に取り組む姿勢を見せているが、ブレグジットを主導した一人のナイジェル・ローソン元財務相は、温暖化懐疑論者として有名。
- ブレグジットは、製造業労働者の雇用問題などと深く関係しており、エネルギー価格上昇につながる政策は取りにくくなると見られている。いずれにしても優先課題は、気候変動政策よりもブレグジット。

この他にも、2019年1月に誕生したブラジルのボルソナロ政権も、パリ協定には否定的とされる。（本来今年のCOP25はブラジル開催が予定されていたが、チリに変更）

G20大阪サミット首脳宣言（気候変動 1/2）

35. 我々は、公的及び民間資金の動員及び両者の連携を含む持続的開発のための包摂的資金調達、並びに、低排出及び強じんな開発のための幅広い分野におけるイノベーションを促進するために努力する。非国家主体を含む広範な参加を得て、全てのレベルにおいて気候に関する行動をとることが、このようなパラダイム・シフトを実現させる鍵となる。この努力を更に促進するに当たり、各国の事情に応じて、我々は、スマートシティ、生態系・コミュニティに根ざしたアプローチ、自然に根ざした解決策及び伝統的かつ先住民の知識を含む幅広いクリーンテクノロジーやアプローチを検討する。我々は、特に最も脆弱なコミュニティにとっての適応及び災害リスク軽減における行動及び協力を支援するための取組を強化し、更に議論を深め、緩和行動、適応措置、環境保護及び強じんなインフラとの間の一貫性を育む必要がある。我々は、G20ブエノスアイレス・サミットの成功に続き、パリ協定の実施指針が成功裏に採択されたこと、COP24においてタラノア対話の総括が完了したこと、及び軽井沢でのG20エネルギー・環境大臣会合における成果に留意する。我々は、この機運を最大限活用することを決意し、国連事務総長による気候アクションサミットの成功及びチリのサンティアゴにおけるCOP25での具体的成果を期待する。ブエノスアイレスにおいてパリ協定の不可逆性を確認した、及び同協定を実施することを決意している同協定の署名国は、各国の異なる状況に照らし、共通だが差異ある責任と各国の能力を踏まえて、同協定の完全な履行についてのコミットメントを再確認する。2020年までに、我々は、更なる世界的な努力が必要であることを考慮して、「自国が決定する貢献」（NDC）を提出し、更新し又は維持することを目指す。我々は、パリ協定に整合的な形で緩和と適応の双方において開発途上国を支援するための財源を提供することの重要性を強調する。

G20大阪サミット首脳宣言（気候変動 2/2）

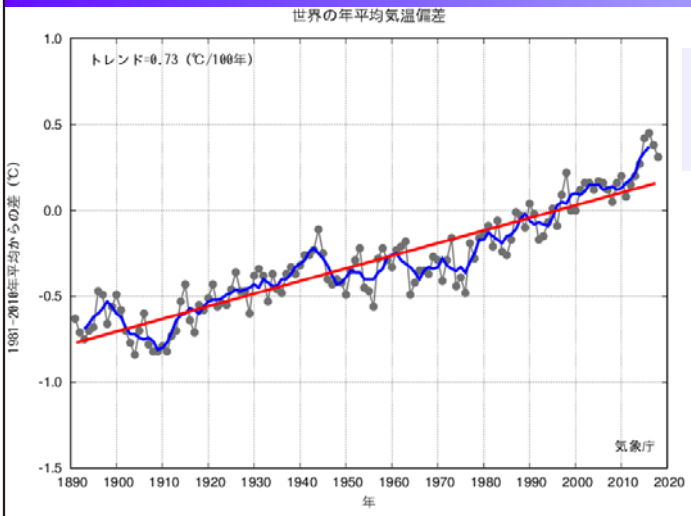
36. 米国は、パリ協定が米国の労働者及び納税者を不利にするとの理由から、同協定から脱退するとの決定を再確認する。米国は、経済成長、エネルギーの安全保障とアクセス及び環境保護を促進するとの強いコミットメントを再確認する。エネルギーと環境に対する米国のバランスのとれたアプローチは、クリーンで先進的な化石燃料や技術、再生可能エネルギー、民生用原子力を含むあらゆるエネルギー源や技術を活用するとともに、排出量を削減し、経済成長を促進しながら、全ての市民に対し、安価で信頼性が高く、安全なエネルギーの配送を可能とする。米国は、排出量の削減において世界の指導者である。米国のエネルギー関連の二酸化炭素排出量は、2005年から2017年の間に、革新的なエネルギー技術の開発と展開により、経済が19.4%成長しているにもかかわらず、14%減少した。米国は引き続き、排出量を減らし、よりクリーンな環境を提供し続けるため、先進技術の開発と配備にコミットする。

G20大阪サミット首脳宣言（エネルギー）

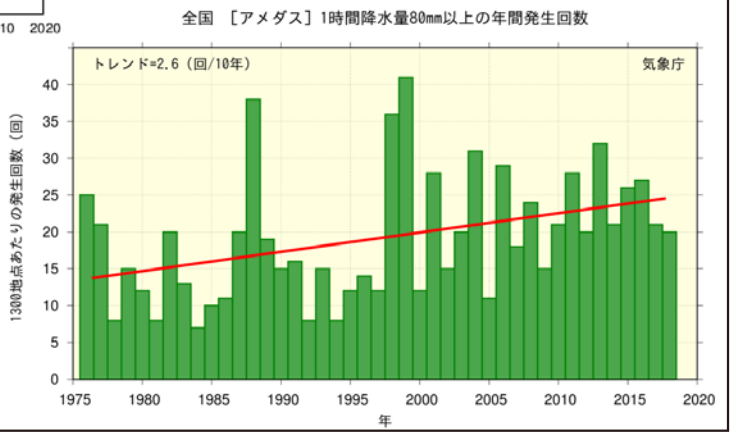
37. 我々は、目標を達成するために国によって異なる道筋が存在することを認識しつつ、可能な限り早急に、我々のエネルギーシステムを、低廉で、信頼でき、持続可能で、温室効果ガスの排出の少ないシステムへ変えるために、「3E+S」（エネルギー安全保障、経済効率性、環境＋安全性）を実現するエネルギー転換の重要性を認識する。G20持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会合のコミュニケを想起しつつ、我々は、エネルギーミックスにおけるあらゆるエネルギー源及び技術の役割、並びに、よりクリーンなエネルギーシステムを達成するために国によって異なる道筋が存在することを認識する。我々はまた、水素、並びに、各国の状況に応じて、「カーボン・リサイクル」及び「エミッション・トゥ・バリュー」に関する作業に留意しつつ、二酸化炭素回収・利用・貯留（CCUS）を含む、エネルギー転換に向けた革新的、クリーンで効率的な技術の更なる発展によってもたらされる機会を認識する。我々は、「クリーンエネルギー技術のための研究開発（RD20）」と呼ぶG20議長国である日本のイニシアティブを認識する。エネルギーの安全な流れに関する懸念を浮き彫りにした最近の出来事を考慮し、我々は、インフラの強じん性、安全性及び開発、並びに、様々な供給源、供給者及び経路から途絶されないエネルギーの流れを含め、エネルギーシステム転換のための指針の一つとしての世界のエネルギー安全保障の重要性を認識する。我々は、エネルギーアクセス、アフォーダビリティ、エネルギー効率及びエネルギー貯蔵を含め、広範囲のエネルギー関連問題における国際協力の重要性を認識する。我々は、最貧困層を対象とする支援を提供する一方で、無駄な消費を助長する非効率的な化石燃料補助金を中期的に合理化し、段階的に廃止する共同のコミットメントを再確認する。

2. 地球温暖化問題及びCO_2排出の現状

世界平均気温推移および日本における短時間強雨発生回数の長期変化



2014～16年の間、観測史上最高を更新しつづけた。ただし、年変動は大きい（2017，18年は前年比低下）。



「地球温暖化の影響の可能性はありますが、アメダスの観測期間は約40年と比較的短いことから、地球温暖化との関連性をより確実に評価するためには今後のさらなるデータの蓄積が必要」（気象庁）

日本における豪雨、大型台風被害

地球温暖化で海水温が上昇
⇒海水の蒸発による大気中の水蒸気が増加
⇒豪雨や大型台風が多発

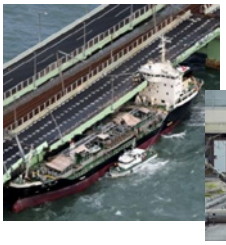
ただし、具体的な被害事例について、人為的なCO2排出との因果関係について明確に言うことはできず、大きな不確実性があることは認識することが必要

2018年7月 平成30年7月豪雨による災害、死者・行方不明：220人 家屋全壊：5200棟程度

出典）時事通信社

2014年8月 豪雨による広島土砂災害、死者・行方不明：74人 家屋全壊：133戸

出典）blog.livedoor.jp



出典）毎日新聞

2018年9月 台風21号により近畿地方に大きな被害、死者13名

出典）電気新聞デジタル

2015年9月 豪雨による鬼怒川堤防決壊、茨城・常総市の浸水被害：1万1000棟

出典）産経デジタル

2016年8月 台風10号により岩手、北海道等で大きな被害、死者・行方不明：27名

出典）北海道開発局

2019年9月 台風15号により首都圏に大きな被害

出典）毎日新聞

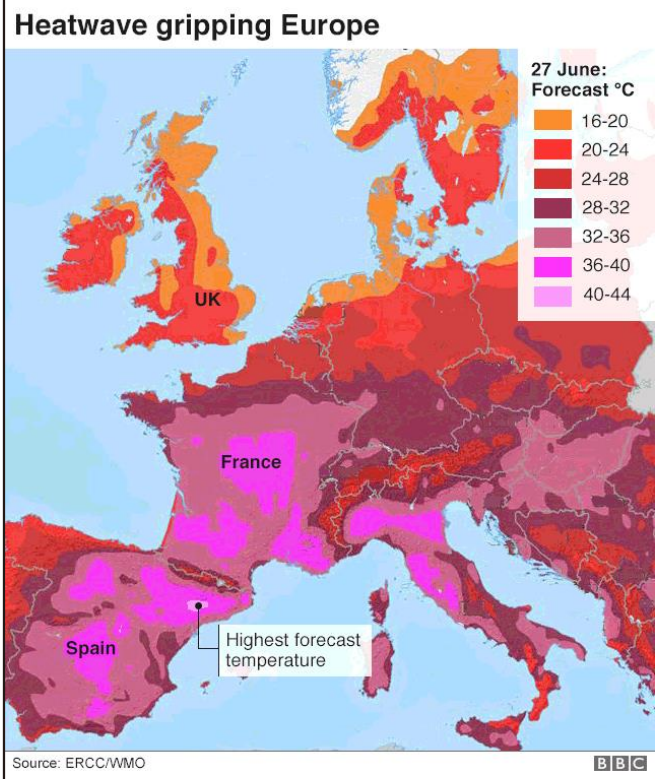
2017年7月 九州北部豪雨により福岡、大分で大きな被害、死者・行方不明：42名

出典）国土地理院

2019年10月 台風19号により広域にわたって大きな被害

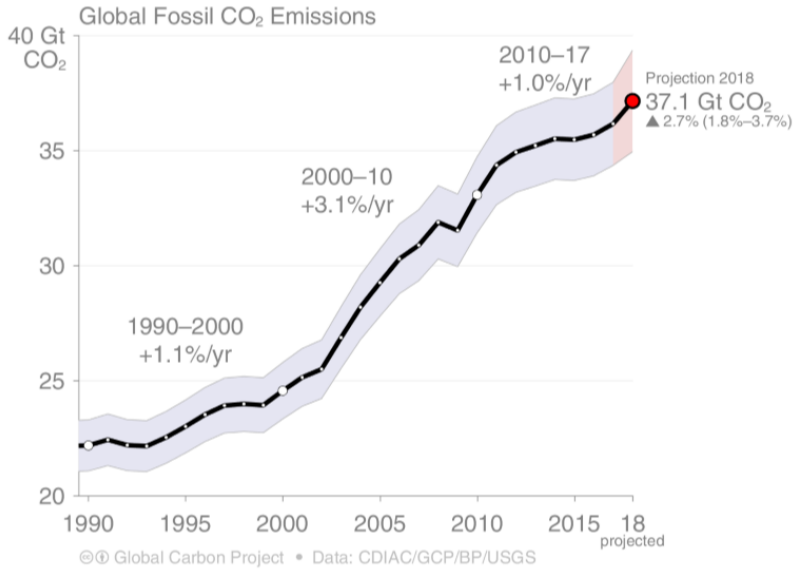
出典）産経デジタル

世界的な猛暑（2019年夏）



フランス等で、45℃を超える猛暑を記録。鉄道、原発の停止なども起こった。ただし、2003年の猛暑に比べ、対応が進んできたため、死者数はそれほど大きくならなかったようである。

世界のCO2排出量の推移

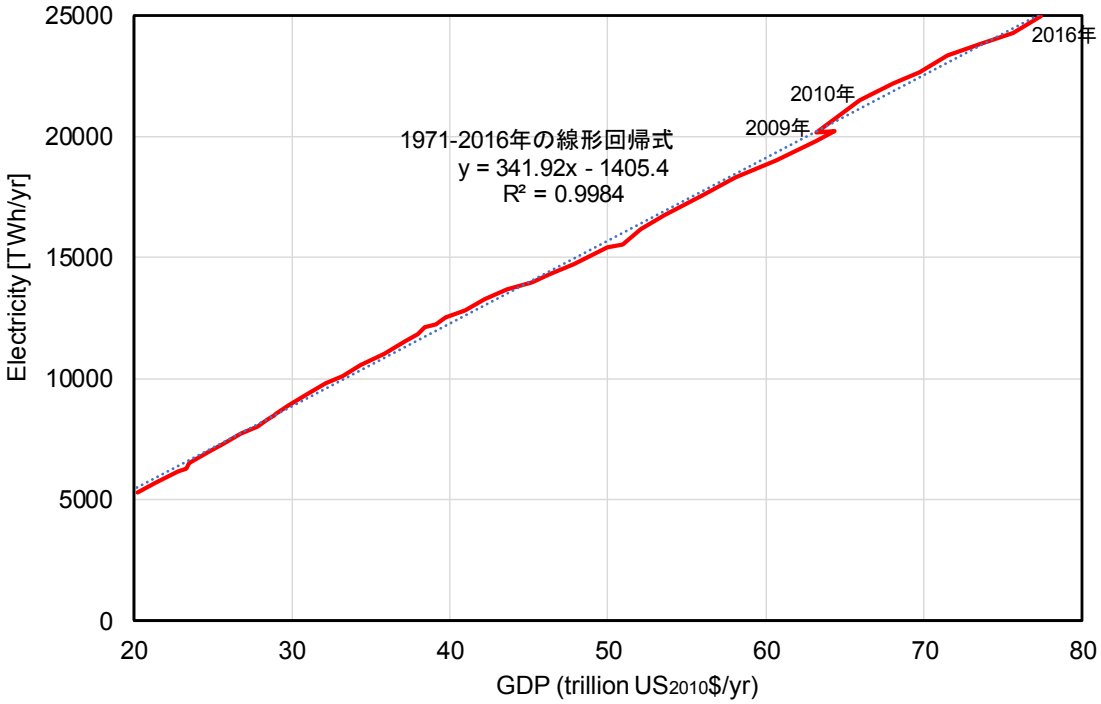


Estimates for 2015, 2016 and 2017 are preliminary; 2018 is a projection based on partial data.
Source: CDIAC; Le Quéré et al 2018; Global Carbon Budget 2018

出典）Global Carbon Project

- 世界CO2排出量の伸びは、京都議定書締結（1997年）にも関わらず2000年以降、むしろ急速だった。
- しかし、2013年頃から伸びが抑制されてきている。しかし、この主要な要因は、中国を中心に、鉄鋼、セメント等の生産調整、および、米国シェールガスシフトの影響が大きい。再エネの増大の影響もあるが、これらに比べると相対的な寄与度は小さいと見られる。
- 2017年以降、世界CO2排出量は再び増大傾向に。中国の生産調整が一段落の影響大。

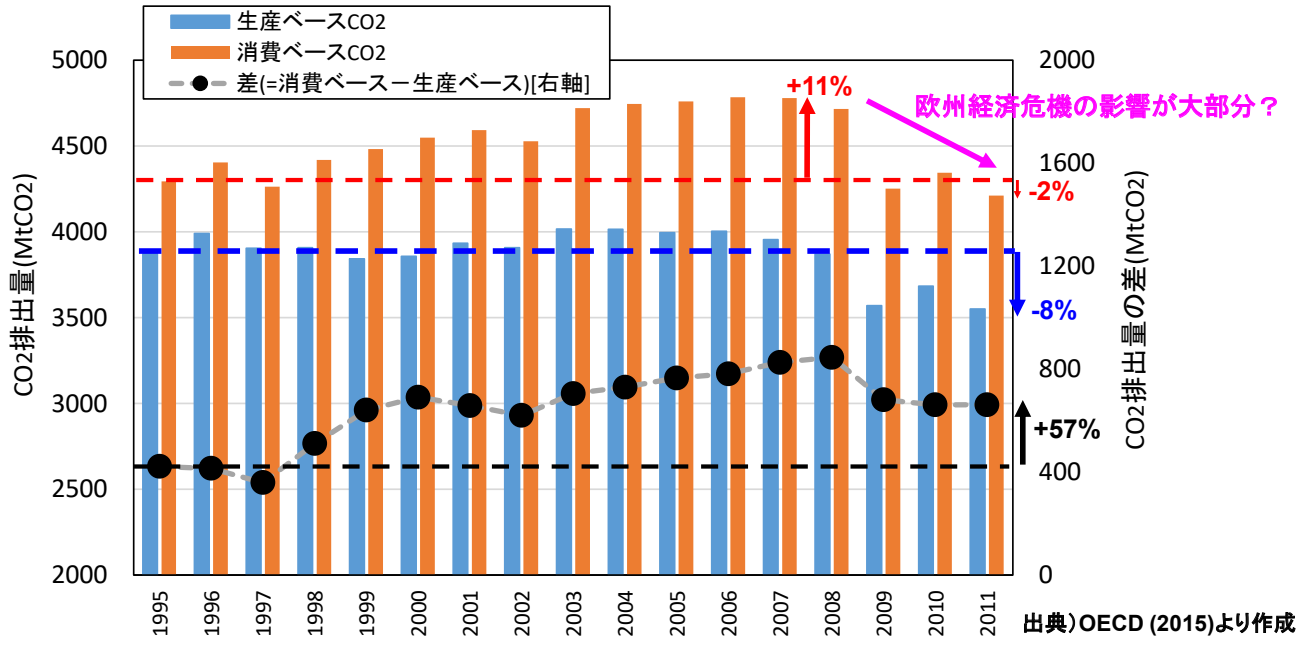
世界の経済成長と電力消費量の関係



出典）IEA統計、2018
注）GDPは実質、為替換算の2010年価格表示

特に、世界全体のGDPと電力消費量の関係は、強い正の相関関係が続いている。近代の経済活動のためには何らかのエネルギーは付帯的に使われ、経済成長のためには、特に電力は重要な役割を担っている。

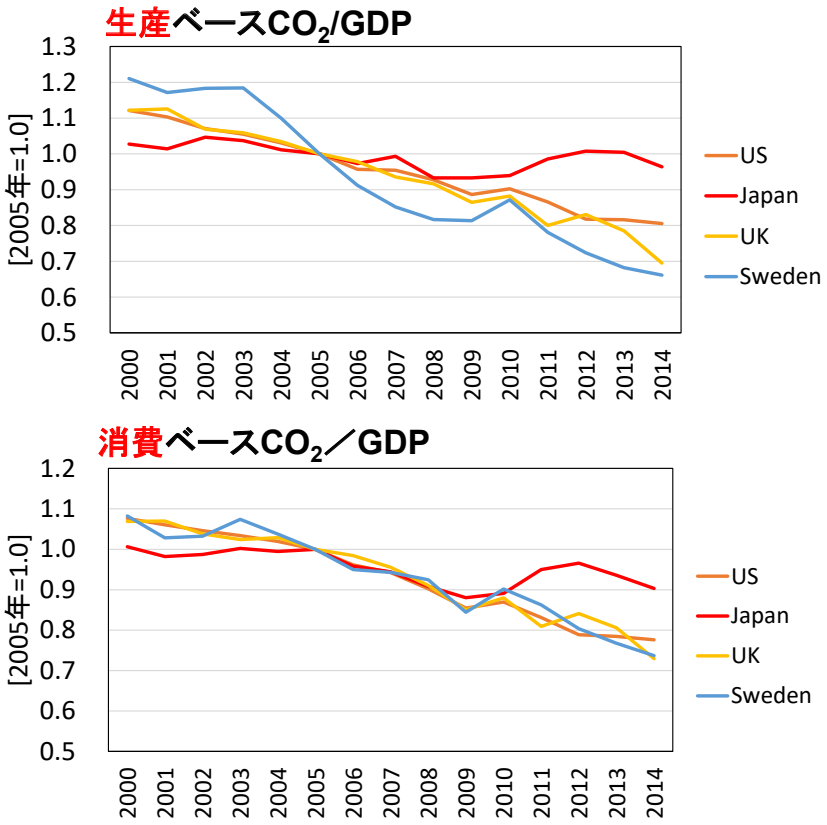
EU28の消費ベースCO2排出量の推移



出典）OECD (2015)より作成

- EUは消費ベースCO2（製品等の輸出入について、それを生産するときに発生したCO2も差し引き）と生産ベースCO2（化石燃料を燃焼した国でCO2を計測。通常の統計におけるCO2排出量）の差分は2008年にかけて増大。2007年の消費ベースCO2は、1995年比で+11%。
- しかし、リーマンショック後は縮小（景気が悪くなり購買力が縮小した結果か）。 それでも、2011年の消費ベースCO2は1995年比で-2%であり、生産ベースCO2の-8%より小さい。すなわち、グローバルなレベルで見たとき、EUはCO2排出削減に成功してきていない。

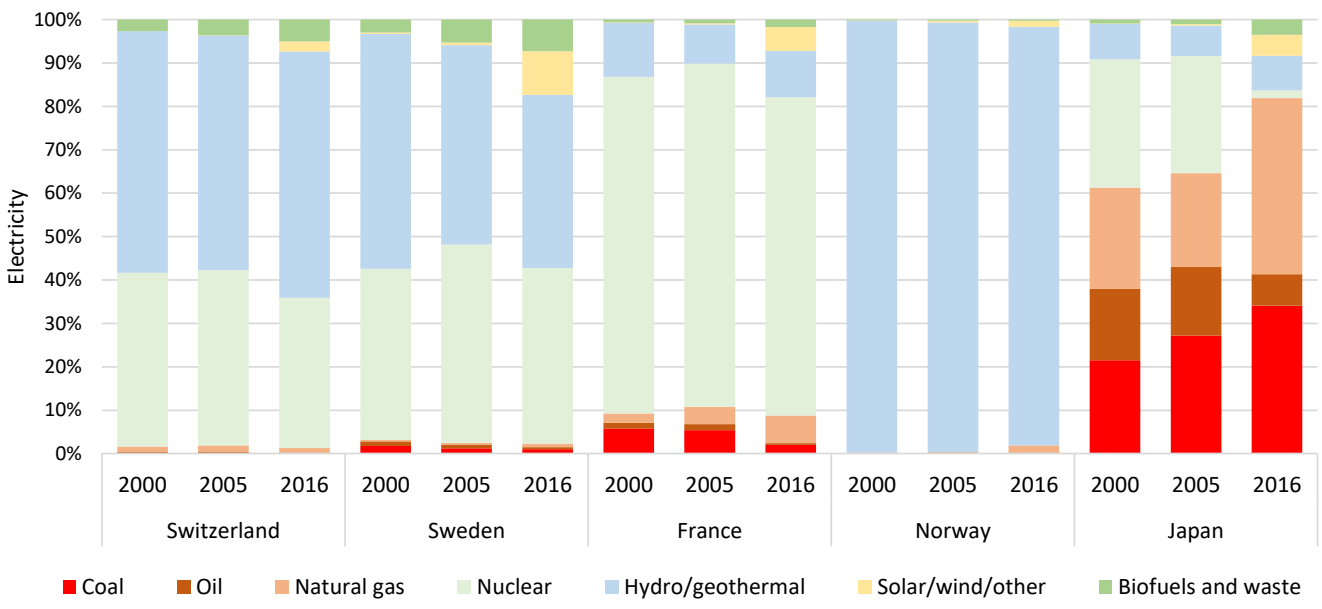
日、米、英、スウェーデンの GDP当たりCO2排出量（原単位）の比較：



- 生産ベースでみると、日本の推移は、他地域よりも原単位の改善が低位の傾向がみられる。
- 一方、消費ベースCO2原単位でみると、震災後の原発停止に伴うCO2排出量の増大を除けば、日本の推移は他地域と差異はほとんどない。

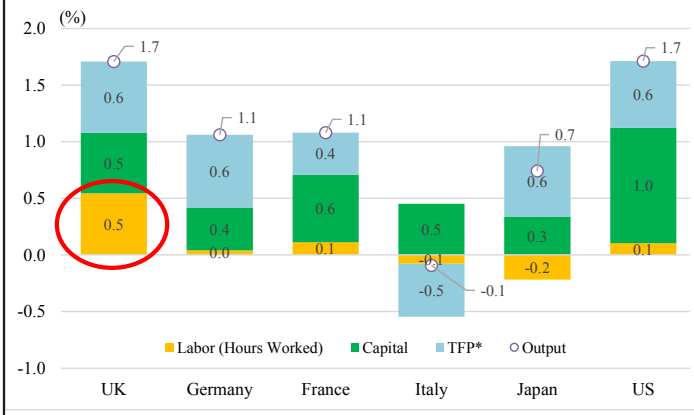
※ 2010年の自国通貨ベースで 2005年=1.0で規格化

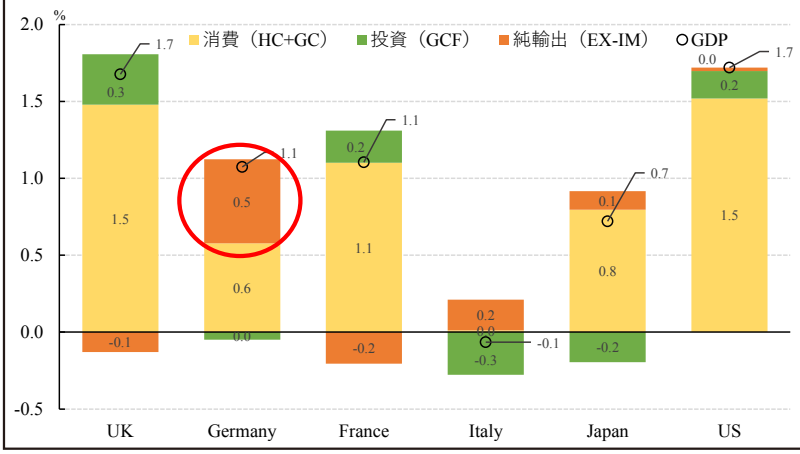
主要国の経済成長とCO2排出量の関係：スイス、スウェーデン、フランス、ノルウェー、日本の電源構成



スイス、スウェーデン、フランス、ノルウェー等は、一人当たりGDPが高い割に、一人当たりCO2排出量が小さいが、いずれも、原子力と水力の比率が、以前から相当高く、化石燃料発電の比率を2000年以降減少させてきたわけではない。

英国とドイツの経済成長の主要な要因（2000～2014年）





英国では、高い見かけ上の全要素生産性成長率の70%は高スキルの移民労働者の流入が主要因と考えられる。

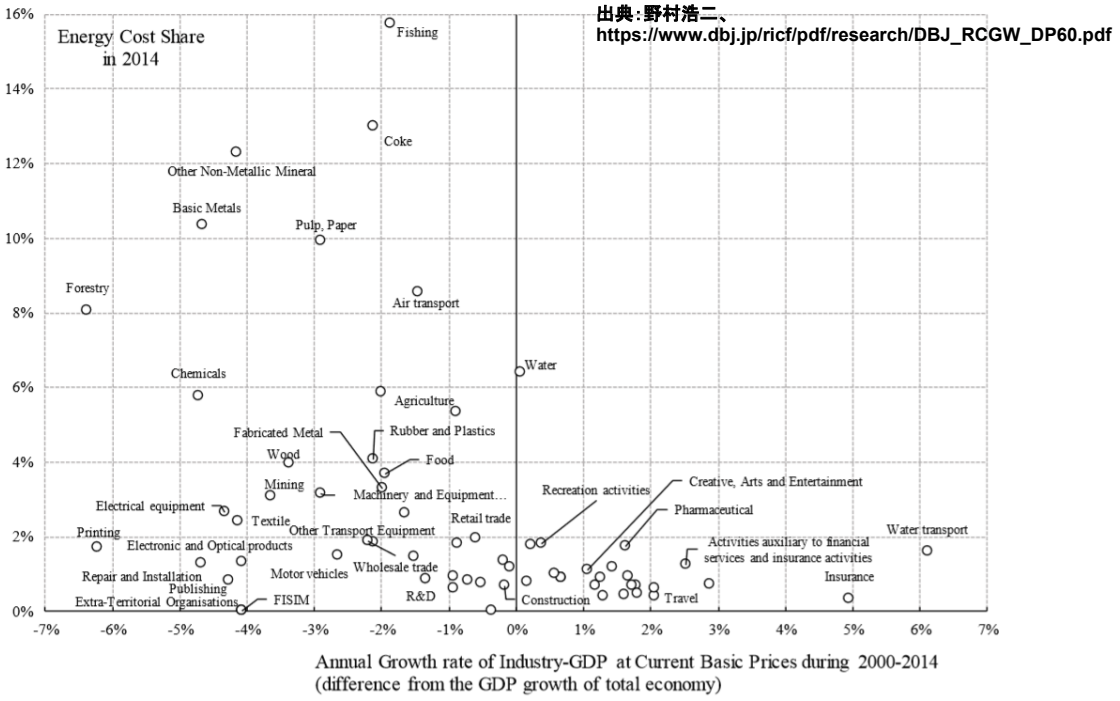
この期間におけるドイツの経済成長のおおむね半分は外需によるもので、中所得国並みの外需依存度（相対的なユーロ安の中でこれが実現）再エネ導入拡大による電力料金の上昇で消費増は大きくない。

出典）慶応大野村浩二教授作成

主要国の経済成長とCO2排出量の関係：英国の産業部門別の経済成長率

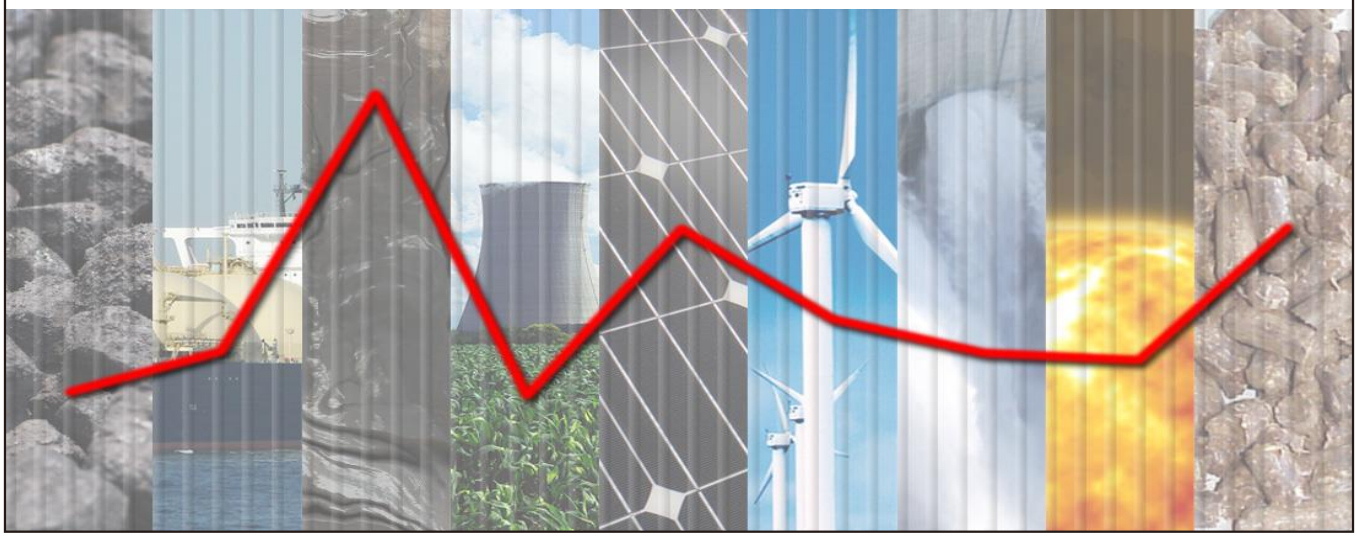
各産業のエネルギーコストシェア（2014年）と成長率（2000-2014年）

出典：野村浩二、
https://www.dbj.jp/ricf/pdf/research/DBJ_RCGW_DP60.pdf



保険・金融サービス業などで高い成長率を実現した一方、エネルギー多消費産業を中心とした製造業関連を中心にマイナス成長。失われた製造業での製品供給が、他国に移転し、結果、グローバルではCO2排出削減につながっていないのではないかという懸念が生じる。⇒消費ベースCO2排出量の分析が重要

3. 中期（～2030年頃）の低炭素化に向けて



第4次エネルギー基本計画に基づく 長期エネルギー需給見通し：基本方針

RITE
Research Institute of Innovative Technology for the Earth

安全性の確保 ⇩ 大前提

自給率

現在、わずか6%

⇨

【目標】
震災前（約20%）を更に上回る概ね25%程度

電力コスト

震災後、電気料金は大幅に上昇
（産業用＝約3割、家庭用＝約2割）

再エネ賦課金は今年度1．3兆円
（既認定分※全てが運転開始されると2．7兆円）
※平成26年6月時点の認定量

⇨

【目標】
現状よりも引き下げる

温室効果ガス排出量

原発停止・火力発電の焚き増しで
2013年度のCO2排出量※は過去最悪
※エネルギー起源のみ

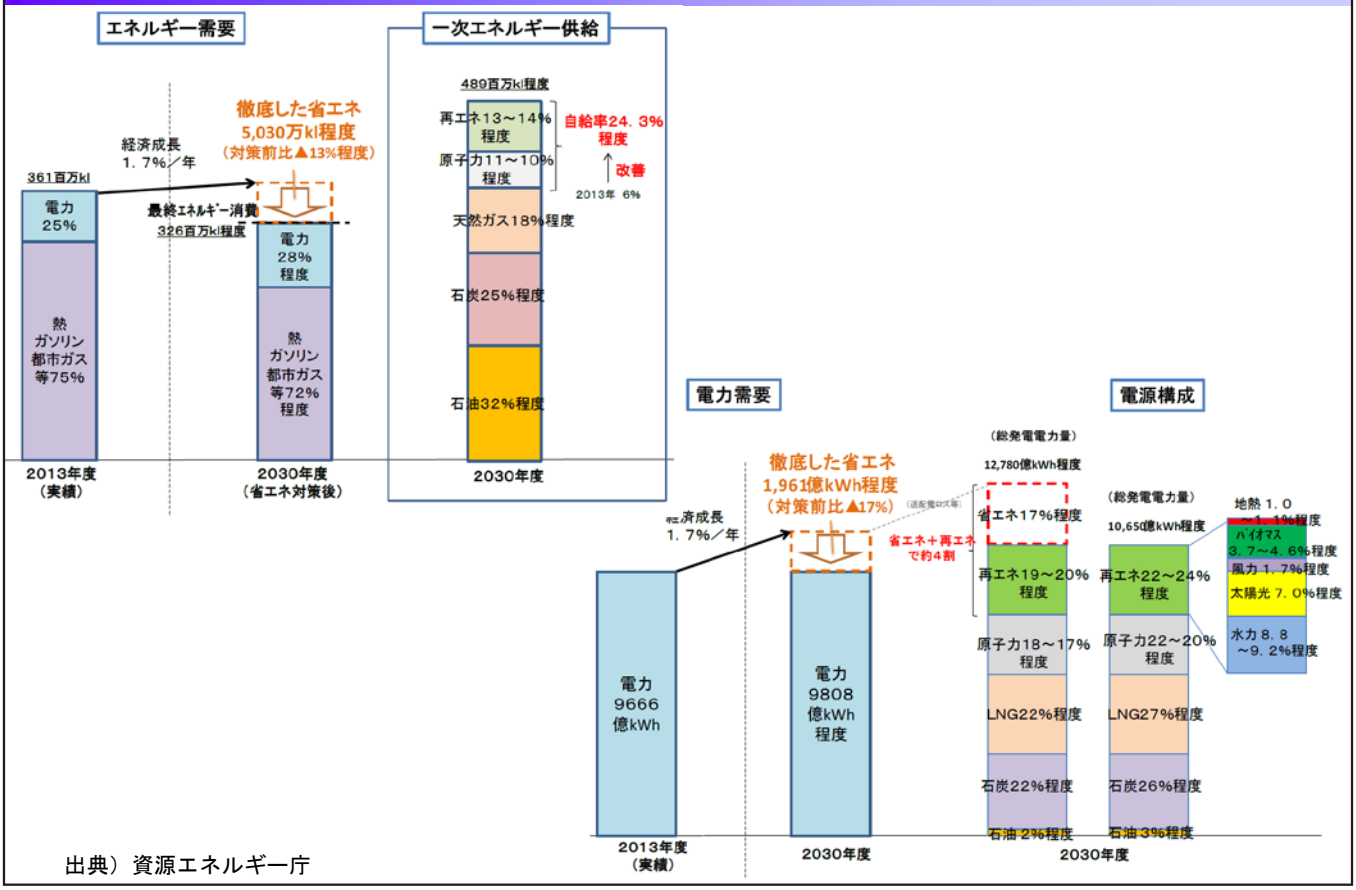
⇨

【目標】
欧米に遜色ない削減目標

3

出典）総合資源エネルギー調査会基本政策分科会 長期需給見通し小委員会　平成27年4月28日資料

第4次エネルギー基本計画に基づく 長期エネルギー需給見通し：2030年エネルギーミックス



出典）資源エネルギー庁

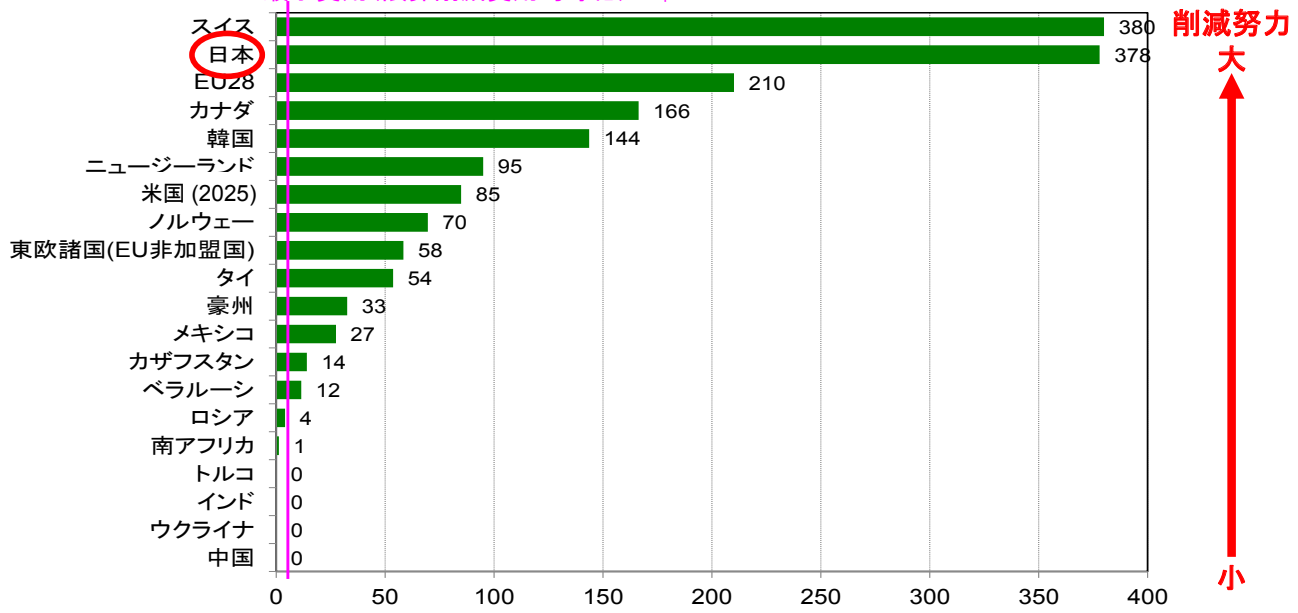
日本および世界主要国の国別貢献NDCの 基準年比排出削減率

	基準年比排出削減率		
	1990年比	2005年比	2013年比
日本：2013年比▲26%（2030年）	▲18.0%	▲25.4%	▲26.0%
米国：2005年比▲26%～▲28% (2025年)	▲14～▲16%	▲26～▲28%	▲18～▲21%
EU28：1990年比▲40% (2030年)	▲40%	▲35%	▲24%
ロシア：1990年比▲25%～▲30% (2030年)	▲25～▲30%	+10～+18%	—
中国：2030年CO_2排出原単位2005年比▲60～▲65%	+329～+379%	+105～+129%	—

NDCsのCO2限界削減費用推計

【世界GDP比削減費用】NDCs:0.38%、最小費用:0.06%

最小費用(限界削減費用均等化):6$/tCO2



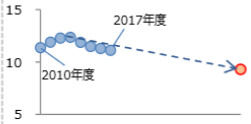
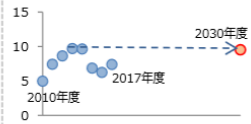
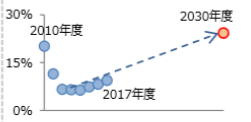
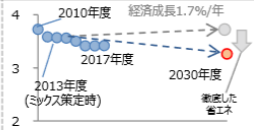
出典) http://www.rite.or.jp/news/events/pdf/akimoto-ppt-kakushin2017.pdf
(原論文: K. Akimoto et al., Evol. Inst. Econ. Rev., 2016)

CO2限界削減費用($/tCO2)

* 上下限で幅がある国は平均値を表示

- NDCsの排出削減費用は各国間で大きな差異ある中、日本の費用は高い。潜在的に産業競争力の歪みをもたらし兼ねない。
- もしNDCsで期待できる世界全体での排出削減を費用最小化(限界削減費用均等化)で実現できるとすれば、RITEモデルでは限界削減費用6$/tCO2で済む。また、2030年時点の総削減費用は費用最小化に比べ6.5倍程度高い。
- 実際には国内対策も費用最小化では達成できず、各国の費用も現実にはもっと大きい可能性あり。

2030年目標と現状

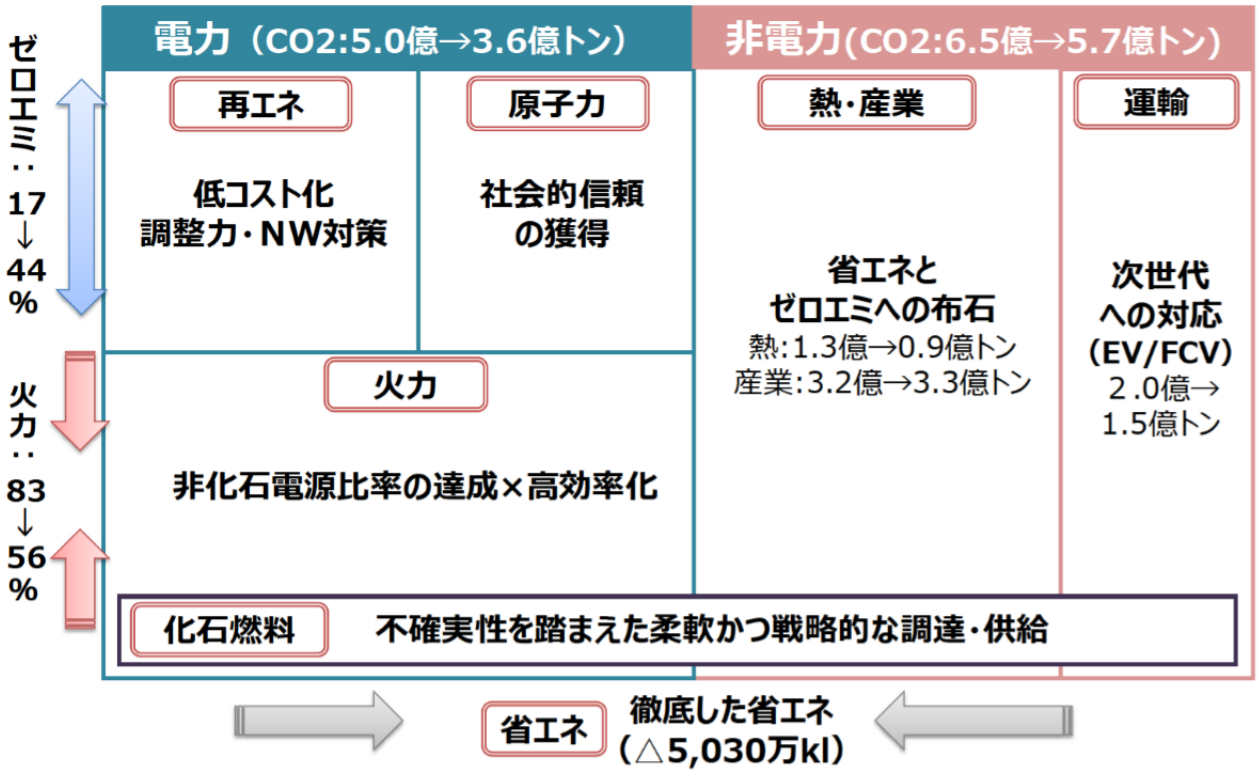
		震災前 (2010年度)	震災後 (2013年度)	足下 (2016年度)	足下 (2017年度)	ミックス (2030年度)	進捗状況
政策目標(3E)	①エネルギー起源CO2排出量 (GHG総排出量)	11.4億トン (GHG:13.1億トン)	12.4億トン (GHG:14.1億トン)	11.3億トン (GHG:13.1億トン) フロン等、家庭部門で増加も 産業・エネルギー転換部門等で減少	11.1億トン (GHG:12.9億トン)	9.3億トン (GHG:10.4億トン)	
	②電力コスト (燃料費+FIT買取費)	5.0兆円 燃料費:5.0兆円 (原油価格83$/bbl) FIT買取:0兆円	9.7兆円 燃料費:9.2兆円 (原油価格110$/bbl) 数量要因+1.6兆円 価格要因+2.7兆円 FIT買取:0.5兆円	6.2兆円 燃料費:4.2兆円 (原油価格48$/bbl) 数量要因▲1.0兆円 価格要因▲4.1兆円 FIT買取:2.0兆円	7.4兆円 燃料費:5.0兆円 (原油価格54$/bbl) 数量要因▲1.3兆円 価格要因▲2.9兆円 FIT買取:2.4兆円	9.2~9.5兆円 燃料費:5.3兆円 (原油価格128$/bbl) FIT買取:3.7~4.0兆円	
	③エネルギー自給率 (1次エネルギー全体)	20%	6%	8%	9%	24%	
取組指標	④ゼロエミ電源比率	35% 再エネ9% 原子力25%	12% 再エネ11% 原子力1%	16% 再エネ15% 原子力2%	19% 再エネ16% 原子力3%	44% 再エネ22~24% 原子力22~20%	
	⑤省エネ (原油換算の最終エネルギー消費)	3.8億kl 産業・業務:2.4 家庭:0.6 運輸:0.9	3.6億kl 産業・業務:2.3 家庭:0.5 運輸:0.8	3.4億kl 産業・業務:2.1 家庭:0.5 運輸:0.8	3.5億kl 産業・業務:2.1 家庭:0.5 運輸:0.8	3.3億kl 産業・業務:2.3 家庭:0.4 運輸:0.6	

※四捨五入の関係で合計があわない場合がある。
※2030年度の電力コストは系統安定化費用0.1兆円を含む。

出所) 総合エネルギー統計(2017年度速報値)等を基に資源エネルギー庁作成

目標への道筋に沿っているか否かの結果だけではなく、その要因をよく理解すべき。

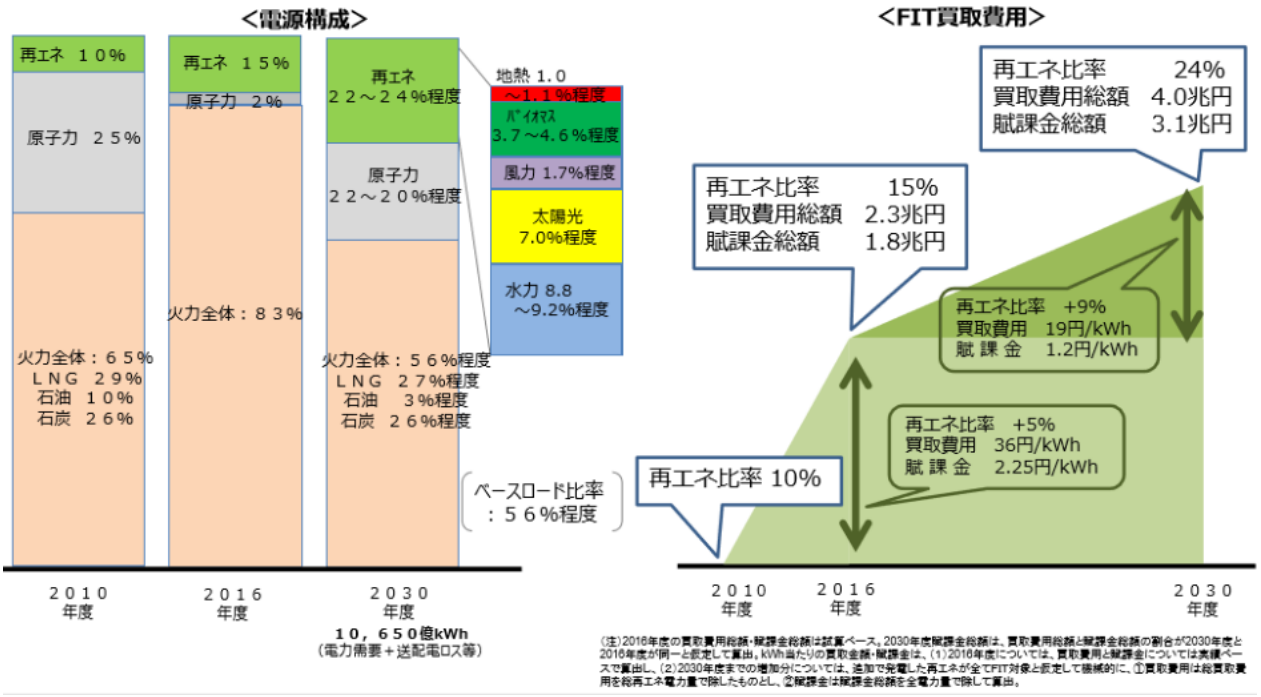
2030年への対策と課題



※ここでの「熱」は業務・家庭部門の非電力需要、「産業」は産業部門の非電力需要のことを指す

再エネ拡大と負担増大の抑制の必要性

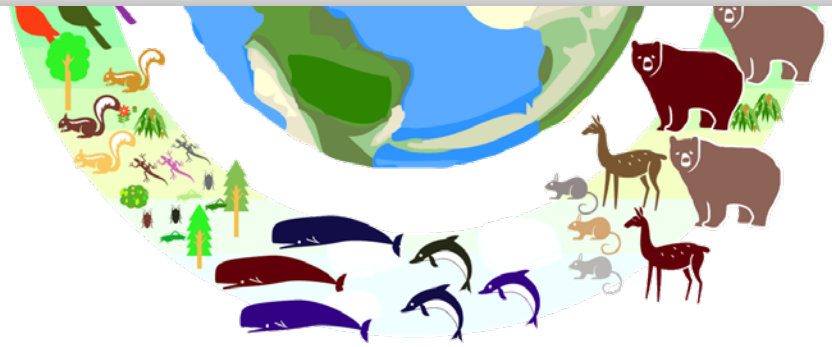
- エネルギーミックス（再エネ比率22－24%）を目指し、最大限の導入と国民負担の両立を図ることが必要。



（注）2016年度の買取費用総額・賦課金総額は試算ベース。2030年度賦課金総額は、買取費用総額と賦課金総額の割合が2030年度と2016年度が同一と仮定して算出。kWh当たりの買取金額・賦課金は、(1)2016年度については、買取費用と賦課金については実績ベースで算出し、(2)2030年度までの増加分については、追加で発電した再エネが全てFIT対象と仮定して機械的に、①買取費用は総買取費用を総再エネ電力量で除したものとし、②賦課金は賦課金総額を全電力量で除して算出。

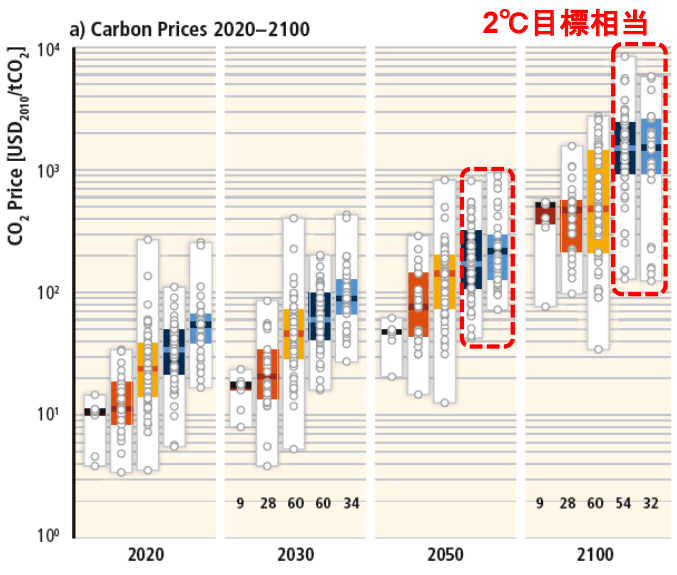
出典）政府資料

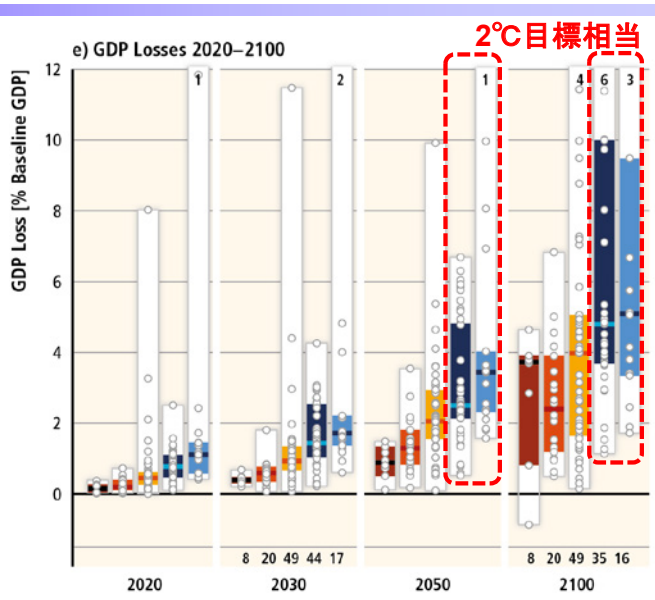
4. 長期（2050年以降）の脱炭素化に向けて

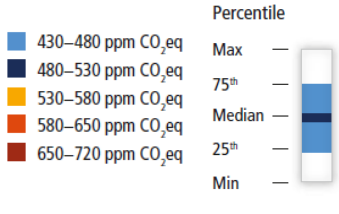


2℃目標の温暖化緩和コスト、経済影響は相当大きい

RITE



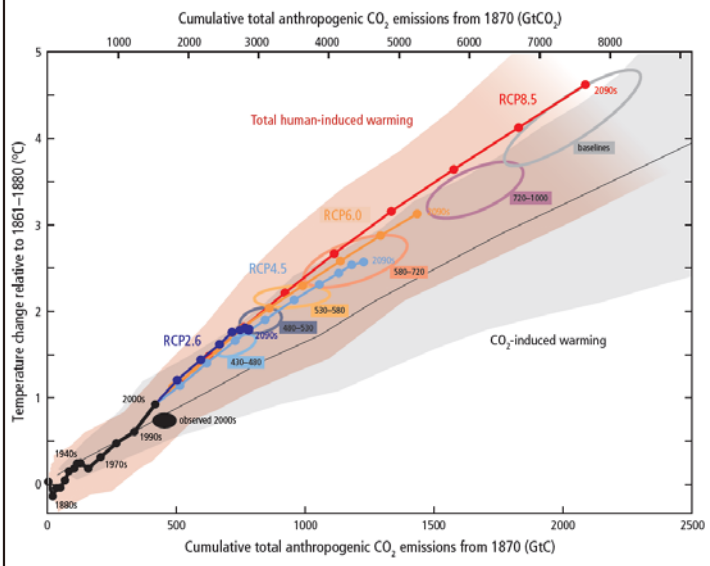




出典）IPCC WG3 第5次評価報告書、2014

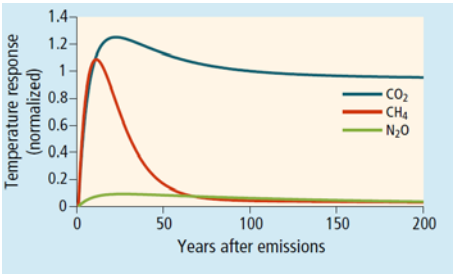
- CO_2限界削減費用（炭素価格）は、430-530 ppm CO_2eqシナリオの場合2100年では約1000～3000 \$/tCO_2（いずれも25-75パーセンタイル）、全モデルでは150～8000 \$/tCO_2程度と推計。モデル分析結果からは、世界GDPの10%以上の損失になる確率も25%程度。
- しかも、これは世界全体で費用最小化の場合であり、各国の限界削減費用に差がある場合や、政策の非効率性を含めると、上限は更に高くなる可能性あり。

累積排出量と気温上昇の関係および排出に対する気温応答



出典）IPCC AR5 統合報告書

GHG排出の気温上昇へのインパクト



2010年排出に対する気温上昇応答。CO2排出の100年後の寄与を1として規格化

気候感度（濃度倍増時の気温上昇）推計の変遷（IPCC）

	平衡気候感度（likely(>66%)レンジ） （括弧は最良推計値もしくはmedian等）
IPCC WG1 第4次(AR4) 以前	1.5～4.5℃(2.5℃)
IPCC WG1 第4次(AR4) (2007)	2.0～4.5℃(3.0℃)
IPCC WG1 第5次(AR5) (2013)	1.5～4.5℃(合意できず)
IPCC WG3 第5次(AR5) シナリオ気温推計（MAGICCモデル）(2014)	2.0～4.5℃(3.0℃)

"likely"レンジが同じ

便宜上、第4次の評価をそのまま利用

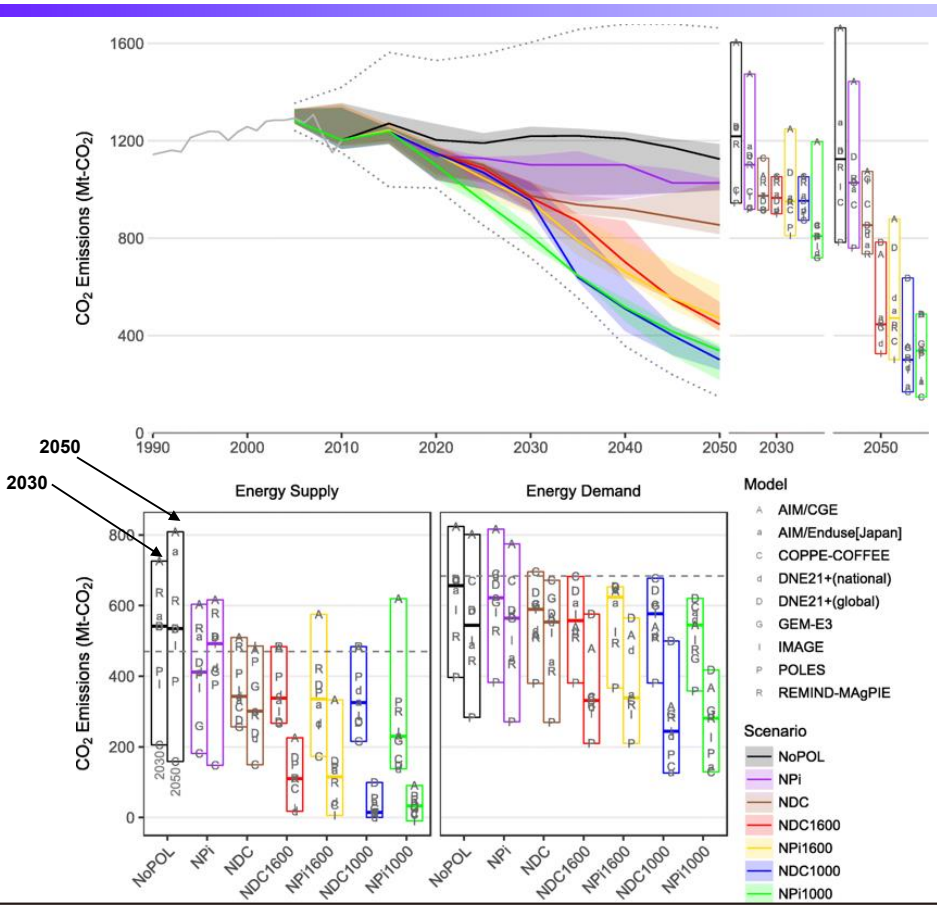
【長期のビジョン】 累積排出量と気温上昇には線形に近い関係が見られる。CO2排出に対する気温応答は減衰に非常に長い時間を要する。すなわち、いずれのレベルであろうとも、**気温を安定化しようとすれば、いずれはCO2の正味ゼロに近い排出が必要**。長期的には正味でCO2排出をゼロに近づけていくことは重要（時間スケールの問題は残る）

【現実におけるとるべき方策】 一方、気候感度には大きな不確実性あり。長期でCO2正味ゼロ排出に近づけていく**過程は大きな排出経路の幅が存在**し得る。**総合的なリスクマネジメントが重要**。

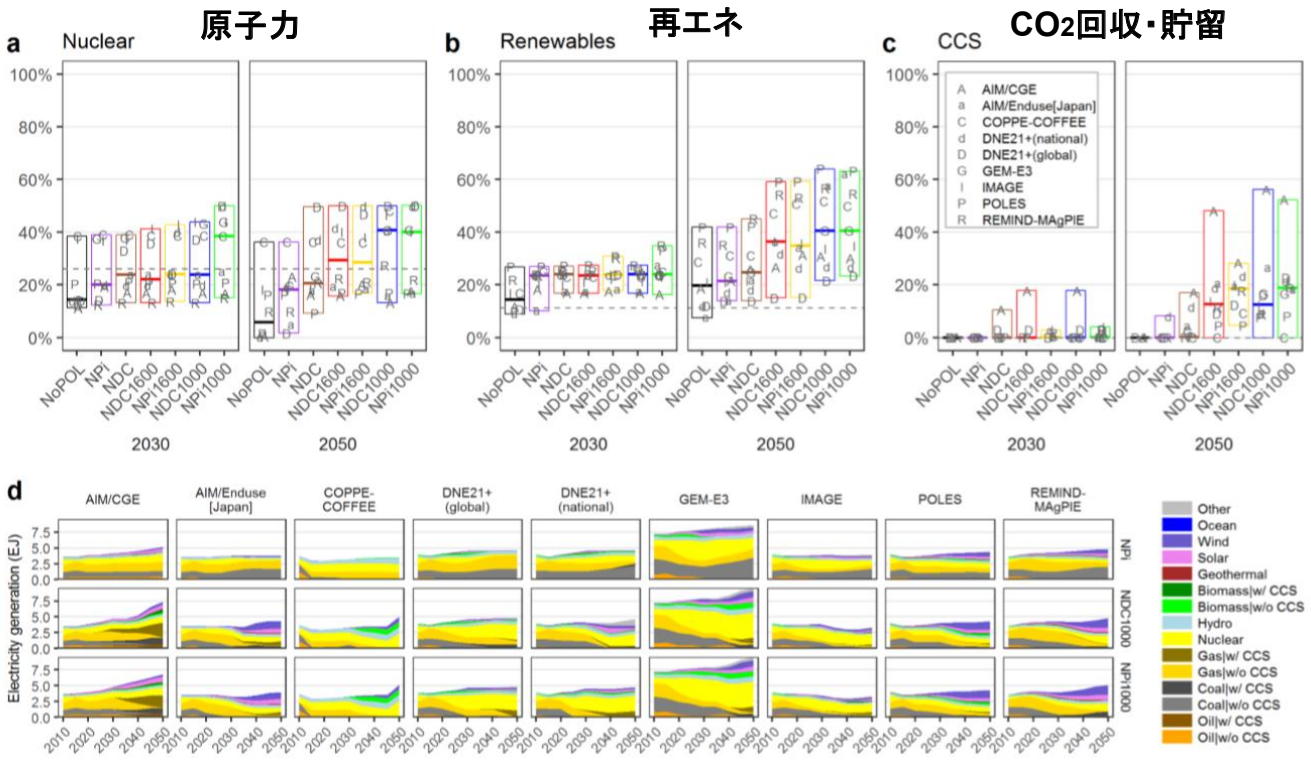
世界の複数モデルによる日本の排出削減対策評価のためのシナリオ想定

近時点の政策	長期の炭素バジェット制約（CO_2の累積排出量制約）		
	無し	緩やかな制約 （2℃、>50%） 世界モデル：1600 $GtCO_2$ 日本モデル：36 $GtCO_2$	厳しい制約 （2℃、>67%） 世界モデル：1000 $GtCO_2$ 日本モデル：31 $GtCO_2$
政策想定せず：No policy	NoPOL		
現状政策：NPi	NPi	NPi1600	NPi1000
パリ協定国別貢献：NDC	NDC	NDC1600	NDC1000

日本のCO2排出量（エネルギー起源＋産業プロセス）

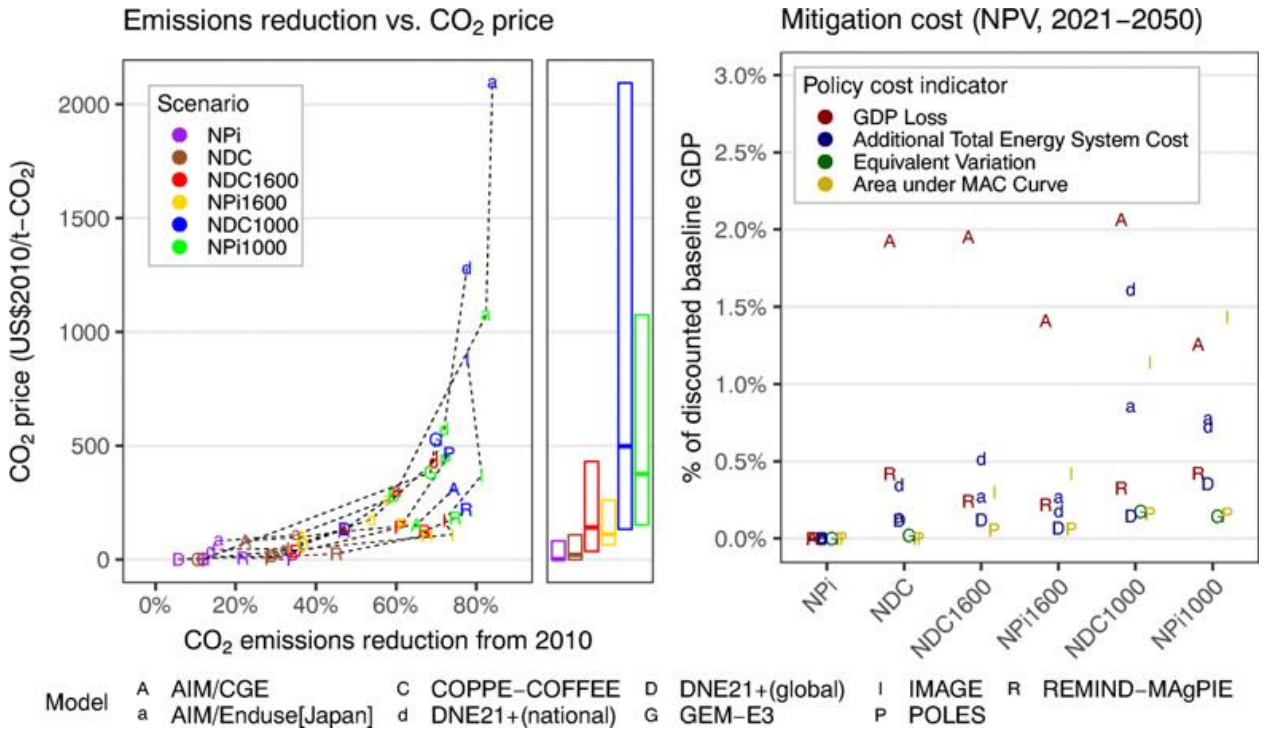


発電電力量



- 厳しい排出削減に伴い、脱炭素化電源である原子力、再エネ、CCSの比率が上昇。
- ただし、モデルによって、どの電源をより経済効率的と評価しているかは若干差異がある。

緩和費用（排出削減費用）の評価



CO2限界削減費用は、▲80%に近づくと急激に上昇する傾向あり。
⇒ 相当厳しい目標であり、モデルで想定できていないようなイノベーションが必要。

イノベーションを通した脱炭素化

	主な要素	低炭素化を軸とした現状	脱炭素化を軸とした将来
運輸（2.1億トン）	車体・システム	内燃機関・手動運転 金属車体	電動化・自動運転 マルチマテリアル
	燃料	化石燃料	電気・水素 バイオ燃料
産業（3.1億トン）	プロセス	スマート化の進展	CCUS・水素還元 更なるスマート化
	製品	化石エネルギー原料	非化石エネルギー原料
民生（1.2億トン）	熱源	石油・ガス・電気	電気・水素等
	機器	高効率機器	機器のIoT化 M2M制御
電力（5.1億トン）	火力	石油・石炭・天然ガス	CCUS・水素発電等
	原子力	第３世代＋原子炉	次世代原子炉
	再エネ	導入制約 （導入コスト、調整電源コスト・系統等）	蓄電×系統革新

イノベーション

水素（サプライチェーン・メタネーション）

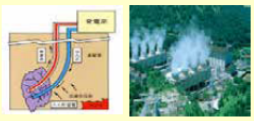
※（）内は2015年度の排出量

（出所）資源エネルギー庁作成

エネルギー環境イノベーション戦略での検討例

Ⅰ．創エネルギー

◆例１：次世代地熱



○過酷環境（高温、高圧、強酸等）下でのモニタリング機器・センサー（半導体）

○長期間（30年以上）に耐える構造材、熱交換器 等

Ⅱ．蓄エネルギー

◆例2：水素等製造、輸送・貯蔵、利用

○超高温耐熱性水素タービン用の構造材

○貯蔵・輸送時の気化率を低減するタンク 等

Ⅲ.省エネルギー

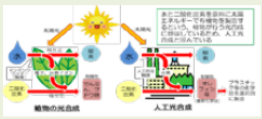
◆例３：超電導

○冷凍機の性能・信頼性と小型化・低コスト化を実現する材料

○超電導の状況をリアルタイムでモニタリングするIoT 等

Ⅳ．CO_2固定・原料化

◆例４：人工光合成



○新しい触媒材料の開発期間を短縮する計算科学 等

Ⅴ．システム基盤技術

あらゆる分野の技術開発に貢献する革新的な基盤材料・デバイス等の新技術

【具体例（要検討・要精査）】

- ○ 様々な厳しい環境下での技術・製品の状態をリアルタイムに把握し常に最適化を可能とするIoT技術の適用、そのために必要な多様環境下（高温、高圧、高湿、腐食環境等）で耐性のあるセンサーの開発
- ○ 再生可能エネルギーの電力変換に不可欠なタービンやパワコンの効率を大幅に向上する超軽量材料、モニタリング技術、パワエレなどのデバイス等
- ○ 材料開発やシステム最適化を図るための人工知能（AI），ビッグデータ，IoTの積極的活用

出典）総合科学技術会議

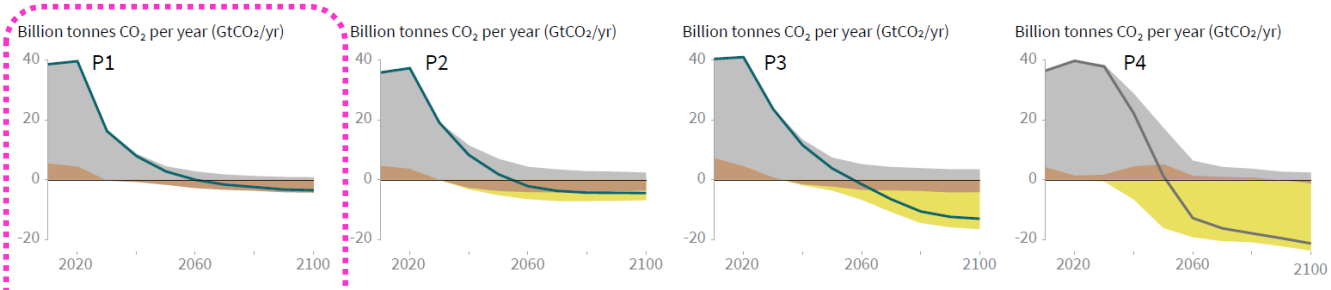
蓄電システム、水素システムなど、またシステム基盤技術の開発等に注力する方向

5．AI, IoT等が誘発するエネルギー需要の大きな変化の可能性：グリーン成長に向けて

大幅排出削減（1.5℃シナリオ）の排出削減シナリオの類型化

Fossil fuel and industry　AFOLU　BECCS

出典）IPCC 1.5℃特別報告書



P1: A scenario in which social, business, and technological innovations result in lower energy demand up to 2050 while living standards rise, especially in the global South. A down-sized energy system enables rapid decarbonisation of energy supply. Afforestation is the only CDR option considered; neither fossil fuels with CCS nor BECCS are used.

SSP1よりも更に小さいエネルギー需要シナリオ

炭素価格小（排出削減の国際協調が緩やかでも民間主導で対策が進展）

エンドユースの技術革新により経済自律的にエネルギー需要が大きく低下

P2: A scenario with a broad focus on sustainability including energy intensity, human development, economic convergence and international cooperation, as well as shifts towards sustainable and healthy consumption patterns, low-carbon technology innovation, and well-managed land systems with limited societal acceptability for BECCS.

SSP1

P3: A middle-of-the-road scenario in which societal as well as technological development follows historical patterns. Emissions reductions are mainly achieved by changing the way in which energy and products are produced, and to a lesser degree by reductions in demand.

SSP2（中位シナリオ）

P4: A resource and energy-intensive scenario in which economic growth and globalization lead to widespread adoption of greenhouse-gas intensive lifestyles, including high demand for transportation fuels and livestock products. Emissions reductions are mainly achieved through technological means, making strong use of CDR through the deployment of BECCS.

SSP5

炭素価格大（炭素リーケージを防ぐためにも排出削減の強力な国際協調が不可欠）

気候リスク対応のためCDR（CCS, BECCS, DACS等）技術も大規模に利用

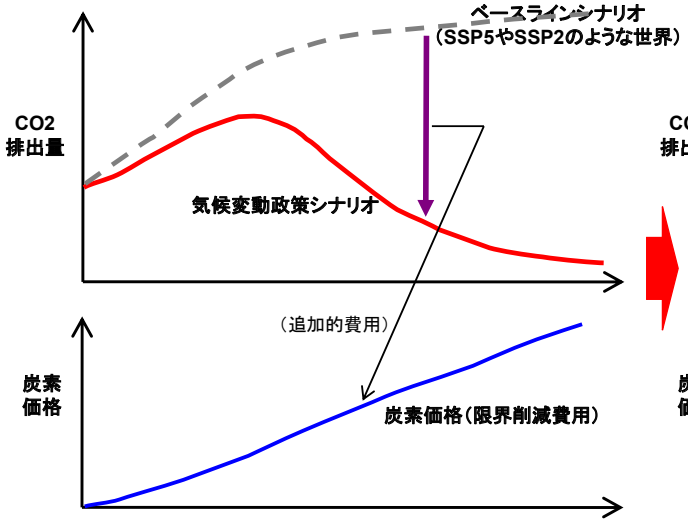
小 ⟷ 大

最終エネルギー需要

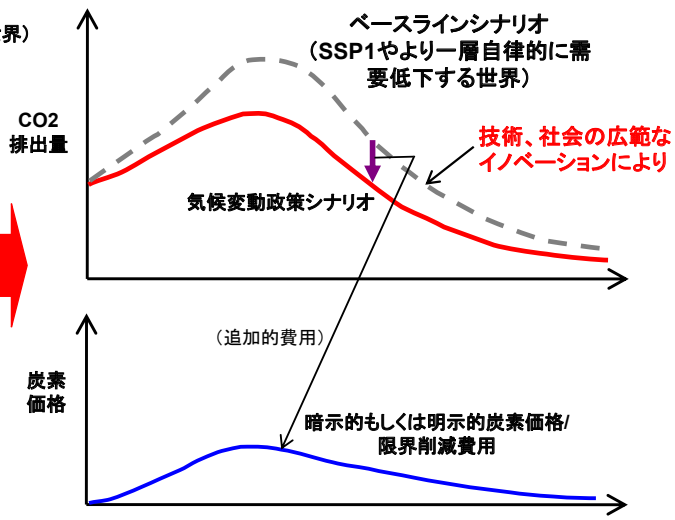
- ✓ **全体のリスクマネージメントが重要であり、各技術に役割有。**
- ✓ **本発表では、エンドユースの技術革新とそれによるエネルギー需要低下の可能性とその気候変動対策全体への効果についてフォーカス**

モデル分析によってIPCC等で通常示される大幅排出削減シナリオと現実社会でよりあり得る大幅排出削減シナリオ

モデル分析による典型的シナリオ：通常の技術進展の想定

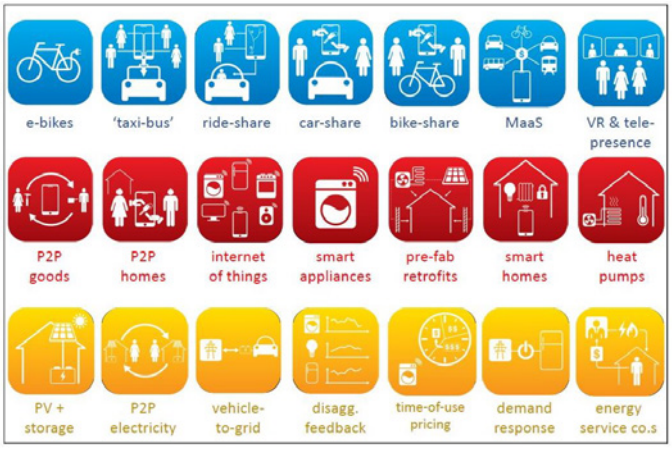


現実社会で要求される世界：技術革新がより大きく誘発、実現される必要あり



- **現実世界においては、高い明示的な炭素価格をつけるようなことは非現実的（世界で高い炭素価格で協調することは不可能であり、一方、国際協調無しに高い炭素価格付けを行えば、製造業は産業移転を起こし、炭素排出は他国にリーケージを起こし、温暖化抑制効果は期待できない）。**
- **高くない（暗示的もしくは明示的な）炭素価格であっても（2次エネルギー価格の世界的な協調を含め）結果として、排出が大幅に減るように誘発するような技術、社会の大幅なイノベーションが起こらなければ、現実世界では大幅な排出削減は不可能と考えられる。**

エンドユース技術の破壊的イノベーション

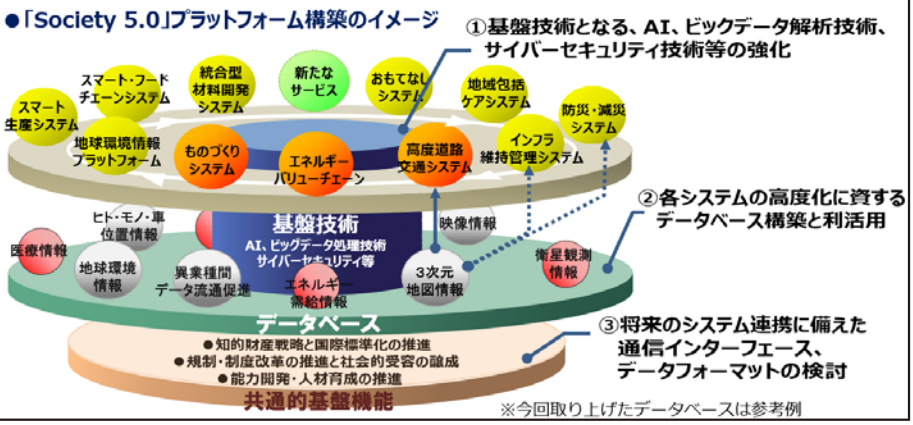


Source: C. Wilson (IIASA)

IoT, AI等の技術進展は、最終エネルギー需要側の社会イノベーションを誘発するポテンシャルあり

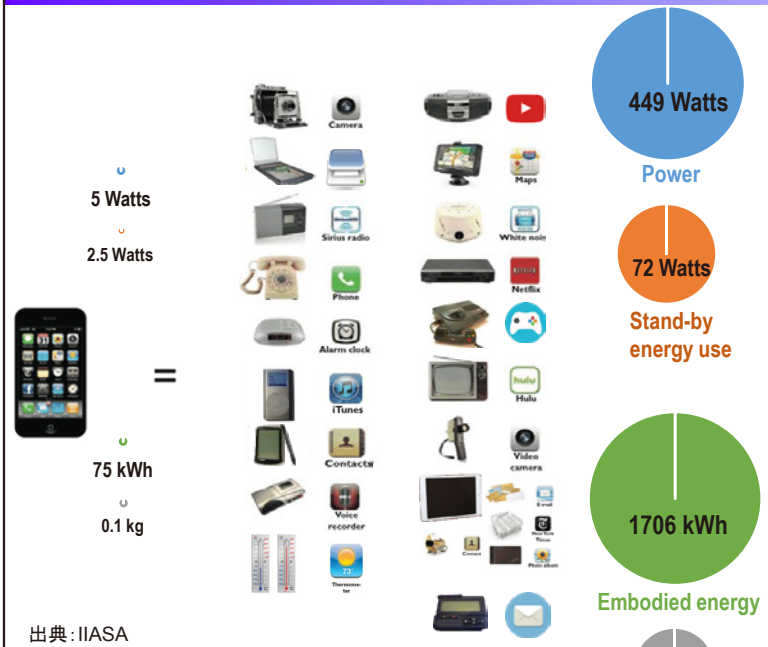
1) 独立した技術から、接続へ
2) 所有から、利用へ
3) シェアリングエコノミー、サーキュラーエコノミーの誘発

サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会



出典：内閣府

IT, AI等のエンドユース技術の革新と社会変化による低エネルギー需要・低炭素排出社会の可能性



出典：IIASA

- 社会はエネルギー消費を目的にエネルギーを消費しているわけではない。製品・サービスが効用増をもたらすため、それに体化されたエネルギーを消費しているに過ぎない。
- 効用増をもたらす製品・サービスの展開は急速な場合が多く、それに付随したエネルギー・CO_2排出低減は急速になる可能性あり。

出典：フィンランド

自動運転＋カーシェアリング＋IoTによるサービス提供（MaaS等）などの連携による社会変化（AI, IoT, ビッグデータ等の進展による）

完全自動運転、食料システム 等々で、AI, IoTの革新が社会変化を誘発し、エネルギー効率向上をもたらす機会は多く存在

- ✓ これらは、CO_2排出削減のために消費者の効用を下げて実現をするのではなく（つまりエネルギーや気候変動政策によって、エネルギー価格が引き上がるのではなく）、AI等の技術進展によって効率化を図り、経済自律的に達成できる可能性を有しているというのが重要な点。
- ✓ 直接的な省エネルギー・CO_2削減対策ではないが、LCA的に付随して消費されているエネルギーそしてCO_2排出を大きく低減し得る。

⇒ グリーン成長の大きな機会

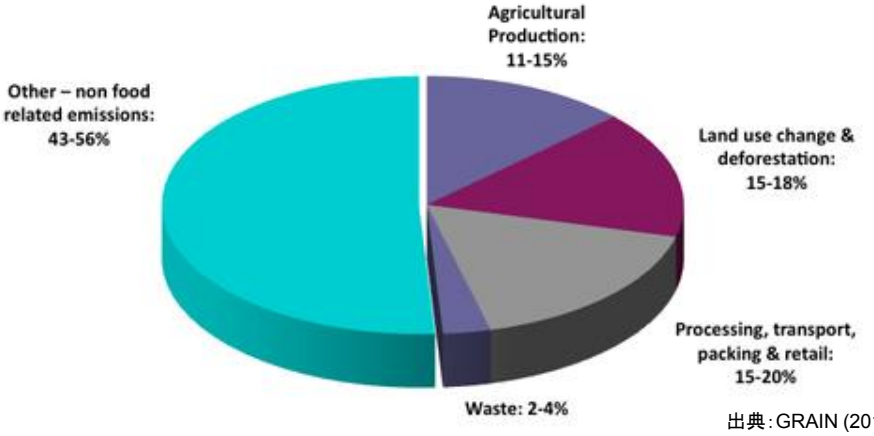
食料のライフサイクルにおけるエネルギー消費・GHG排出推計例

食料のライフサイクルにおけるエネルギー消費（米国）の推計例

米国での推計例では10.8 EJ/yr（1990年代）（エネルギー消費全体の12%程度）
食料のライフサイクルにおける様々な工程でエネルギーが消費される。

出典：https://www.oregon.gov/deq/FilterDocs/PEF-FoodTransportation-FullReport.pdf

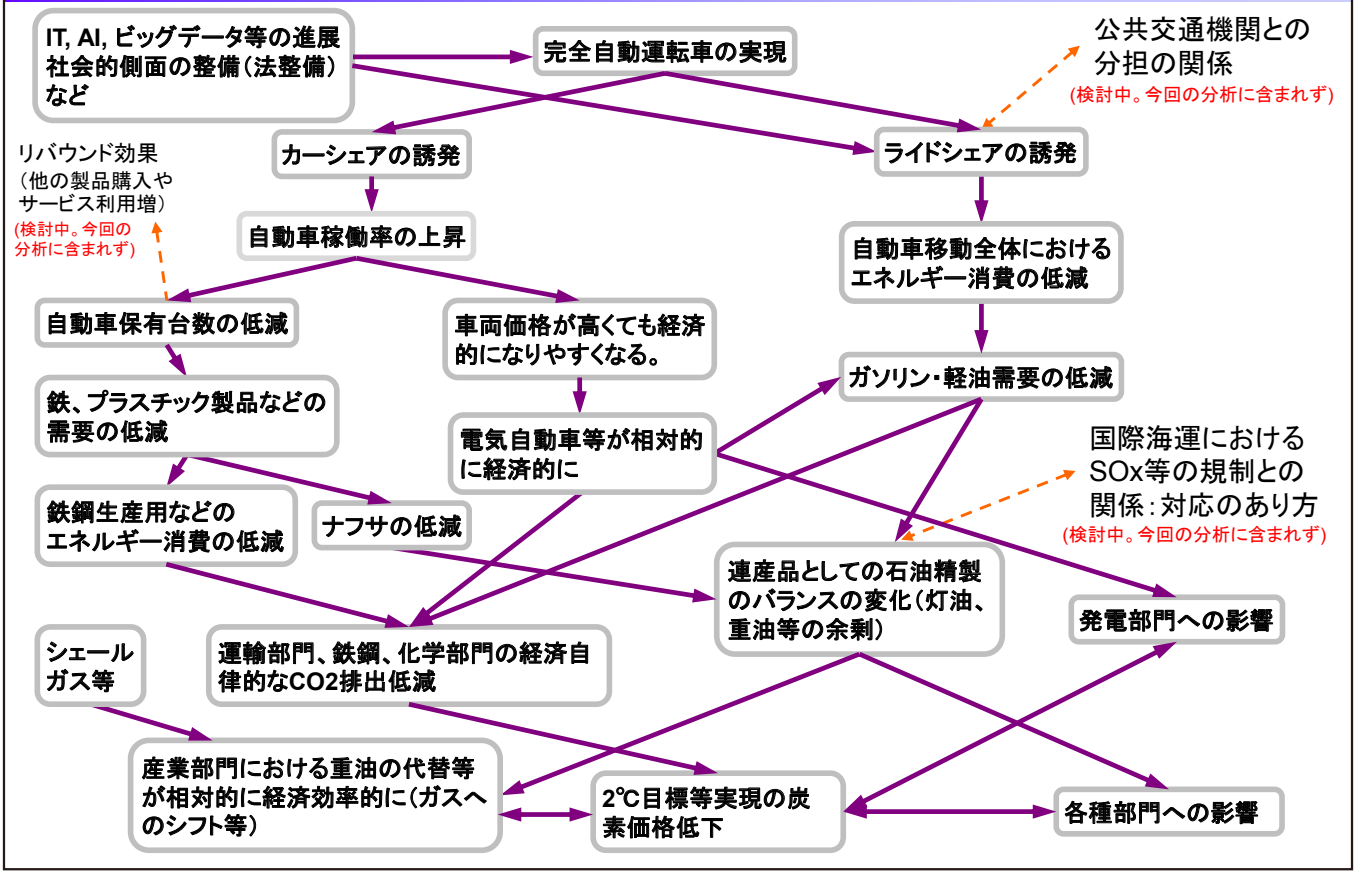
GHG排出量に対する食料需給関連の寄与（世界）の推計例



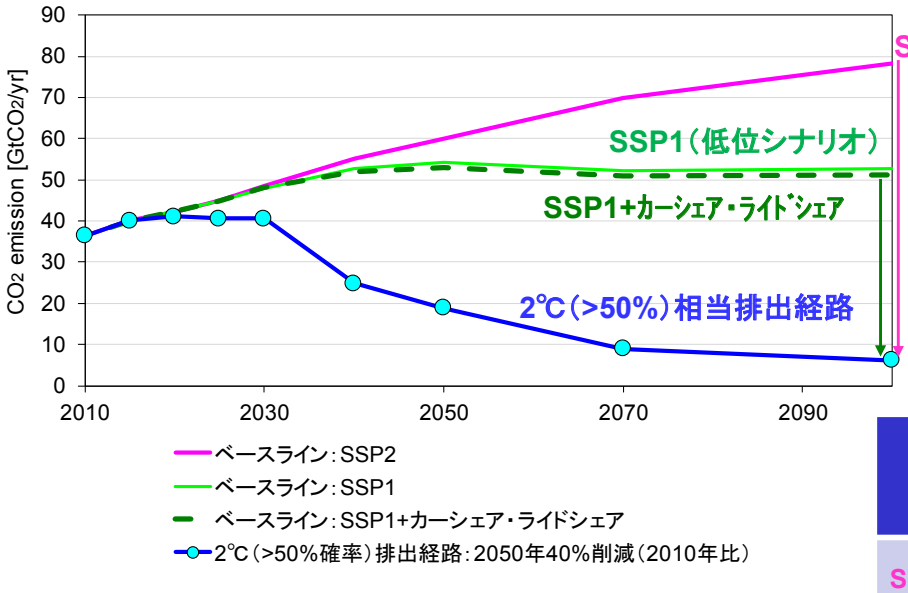
出典：GRAIN (2011) Food and climate change: the forgotten link

食料のライフサイクルでは相当大きなエネルギー、GHG排出がなされている。
食料ロス・廃棄を減らせられれば、生産量が減り、加工や輸送等におけるエネルギー消費、容器の低減とそれを製造するためのエネルギー消費、小売での保存、陳列の食料品減少によるエネルギー消費低下など、大きな波及効果が予想される。

完全自動運転車に伴うカーシェア、ライドシェアの誘発に関するシナリオ分析とその波及に関する分析のイメージ



世界排出経路と2℃目標のCO2限界削減費用



SSP: Shared Socioeconomic Pathway
IPCCで共通的に分析を行うことを意図して策定されている社会経済シナリオ

出典) RITE DNE21+モデルによる推計

2℃排出経路の限界削減費用

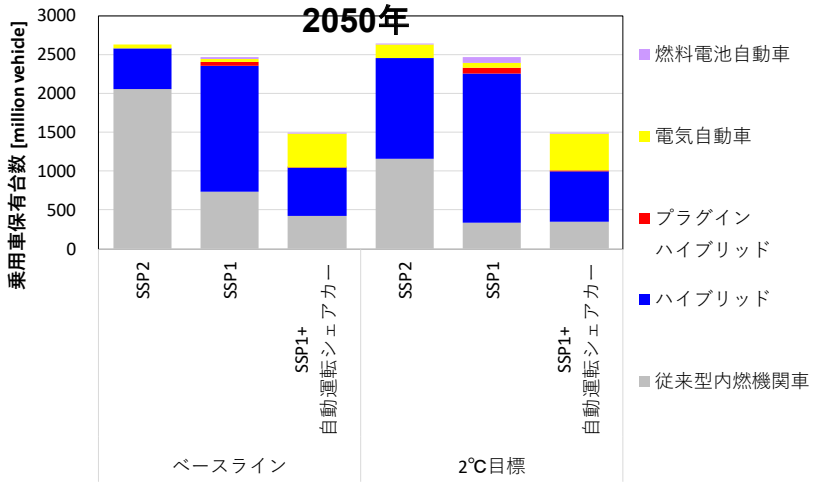
Unit: $/tCO2 (実質価格)

世界均一の炭素価格を想定

	IPCC SR1.5分類との関係性	2050年	2100年
SSP2（中位シナリオ）	P3	154	269
SSP1	P2	165	187
SSP1+カーシェア・ライドシェア	P1	126	185

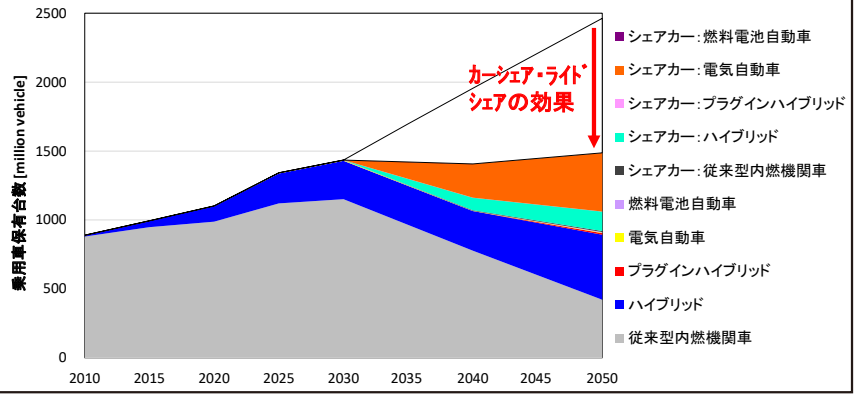
SSP2に比べ、SSP1+カーシェア・ライドシェアシナリオでは、限界削減費用は低下

世界の乗用車見通し

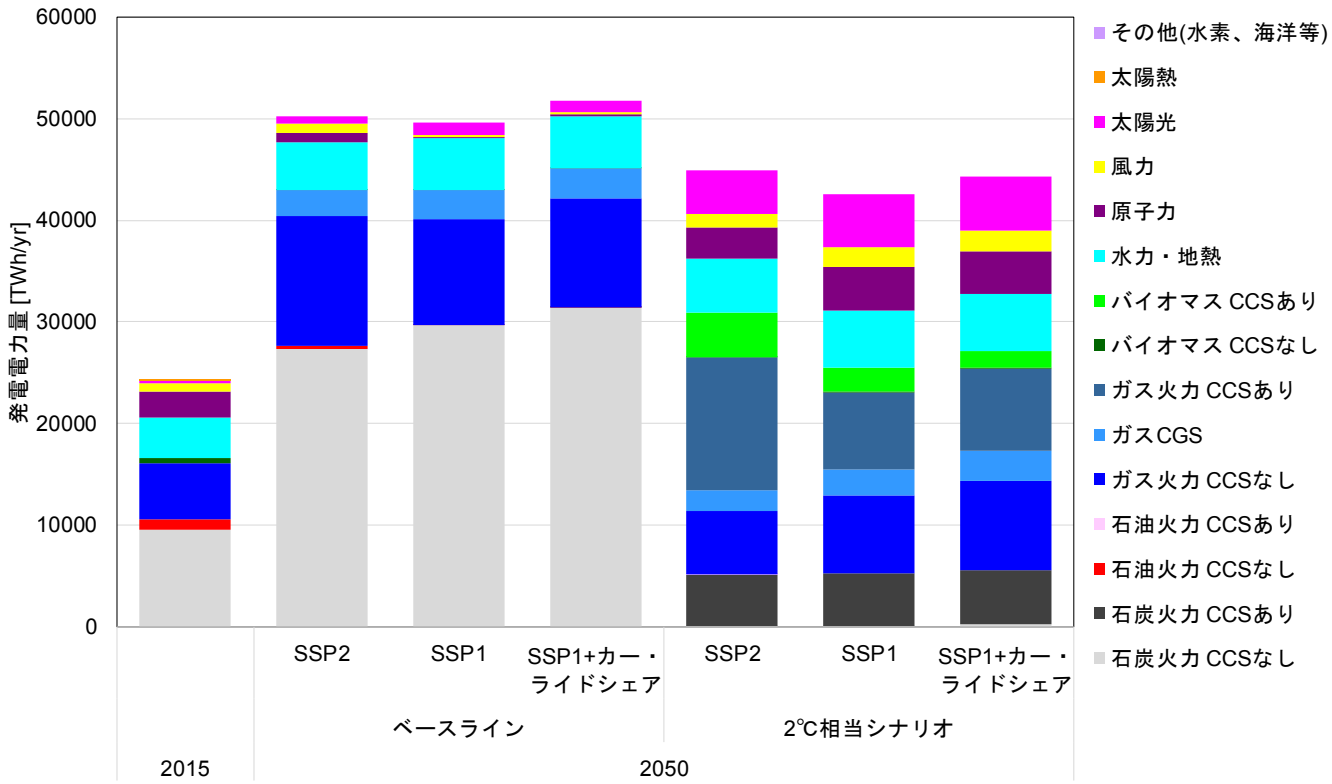


SSP2 ⇒ SSP1
車両本体の進展により、ハイブリッド車の普及が拡大。

SSP1 ⇒ SSP1+カーシェア・ライドシェア
シェア化による稼働率の上昇により、車両本体価格が高くてもエネルギーコストが回収できるようになるため、ハイブリッド車よりも電気自動車の普及がベースラインでも進む。

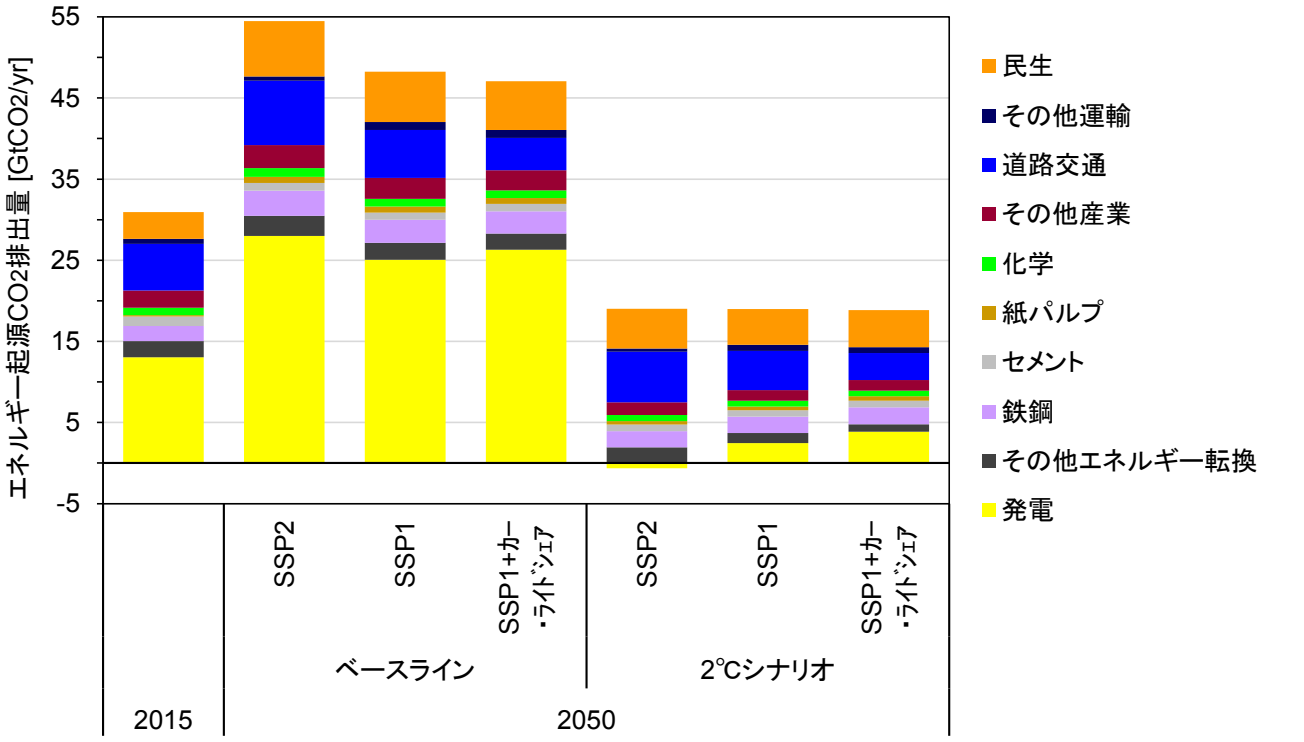


世界における発電電力量（2050年）



SSP1+ｶｰｼｪｱ･ﾗｲﾄﾞｼｪｱシナリオにおいては、運輸部門でCO2削減が進み、2050年▲40%に排出の余裕が生まれ（限界削減費用が低下し）、それによってCCSなしの石炭火力発電も一部だが経済性を有するように。

世界における部門別のCO2排出量（2050年）



SSP2シナリオでは、2050年▲40% に対して、発電部門はわずかながらネガティブ排出としてまで対応が必要という分析結果だが、SSP1+ｶｰｼｪｱ･ﾗｲﾄﾞｼｪｱシナリオにおいては、発電部門で相当大きな排出削減が必要なことに変わりはないが、運輸部門他でCO2削減が進む結果、発電部門は正のCO2排出量に。

G20軽井沢アクションプラン

「我々は、将来のエネルギー需給のより良い理解に関する定量分析の重要性、並びに、デジタル化、人工知能（AI）、インターネットオブシングス（IoT）及びシェアリングエコノミーによって牽引される需給両面のイノベーションの役割を認識する。我々は、世界の科学コミュニティ及び国際機関・枠組によってなされる、エネルギー・気候モデルのための経済全般にわたる全範囲シナリオのさらなる洗練及び開発のための努力を支持する」

6．まとめ

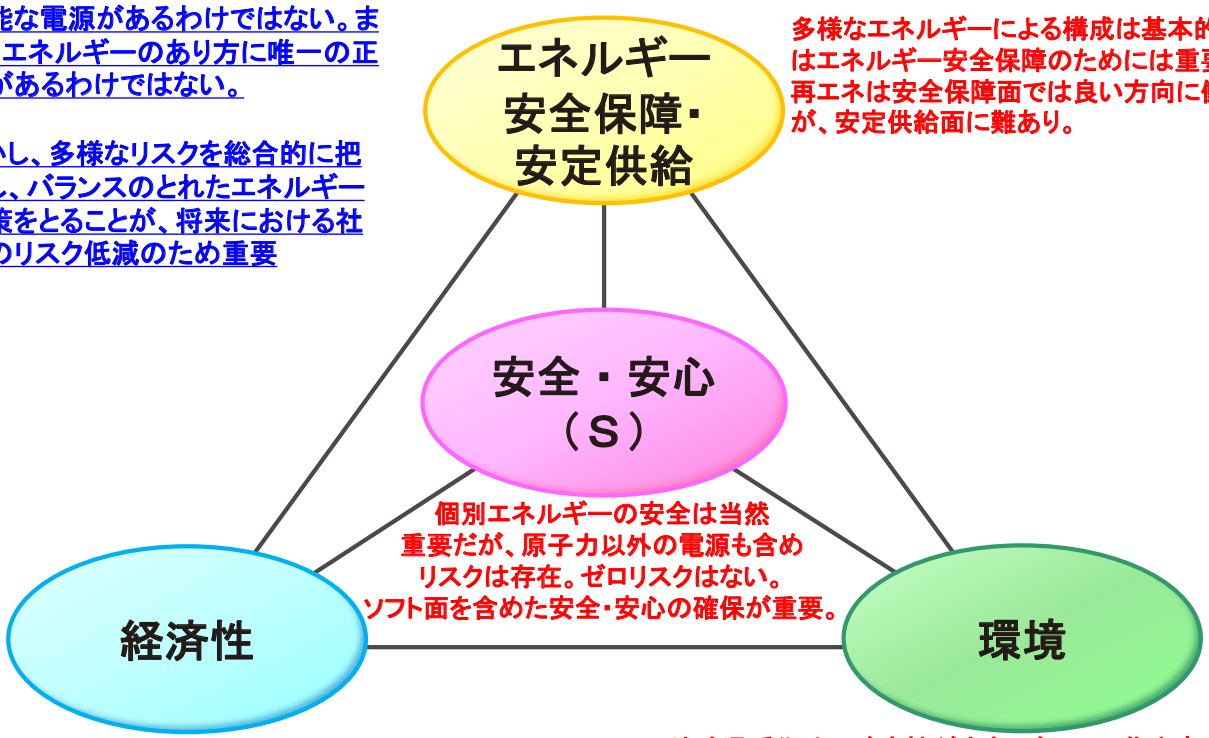
より高位の大目的である持続可能発展と調和した気候変動対応

社会には多くの解決すべき課題を有している。長期の大幅排出削減は、SDGsとの調和の中で達成されなければならない。逆にSDGsと調和しない排出削減策は、現実社会での実現は大変困難でもある。安価なコストで大きな排出削減可能な技術開発、特に低エネルギー需要を経済自律的もしくは安価なコストで実現し得るIoT, AI等に誘導された技術および社会のイノベーションは、SDGsの同時達成のために重要。

３Ｅ＋Ｓの総合的なバランスが重要

万能な電源があるわけではない。また、エネルギーのあり方に唯一の正解があるわけではない。

しかし、多様なリスクを総合的に把握し、バランスのとれたエネルギー対策をとることが、将来における社会のリスク低減のため重要



多様なエネルギーによる構成は基本的にはエネルギー安全保障のためには重要。再エネは安全保障面では良い方向に働くが、安定供給面に難あり。

高いエネルギーコストは経済にダメージ。高い再生可能エネルギー（特にPV）の過度な導入は経済にダメージをもたらす。無駄の削減の省エネは経済に良い影響もあるが、無理な省エネもまた経済にダメージ

地球温暖化は不確実性が大きいものの、集中豪雨による被害が大きくなってきていると考えられ、リスクの大きさを認識することが重要。適応も含めた総合的なリスク管理が重要だが、CO2排出削減対策は重要

まとめ（1/2）

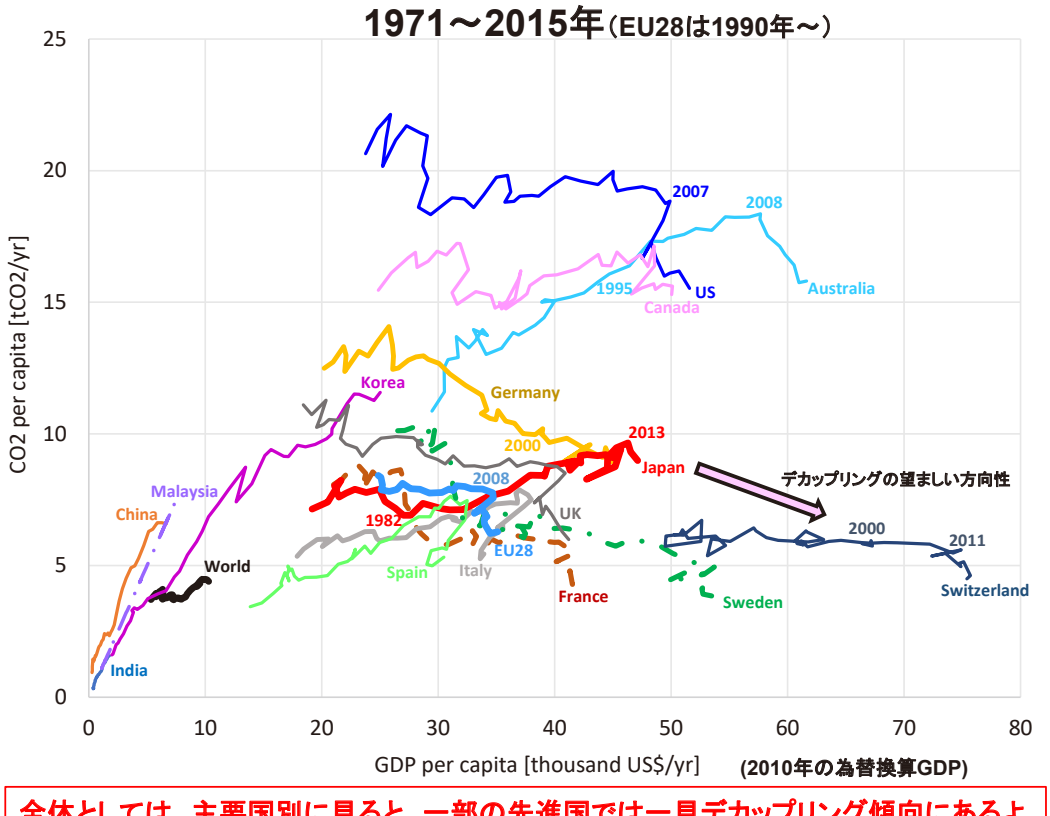
- 世界の温室効果ガス排出の増大に歯止めがかかっていない。一部の国で排出削減に成功しているかのように一見見えるが、産業の国際移転によるところが大きく、世界全体で見ると、うまくいっていない。
- 人為的排出による気候変動によって影響被害のリスクは増大してきていると見られる。一方、大幅な排出削減のための費用は膨大であり、対策を拙速に取り過ぎれば、経済リスクが増大する。
- パリ協定は、すべての国が実効ある排出削減に取り組む枠組みとなり、２℃目標や21世紀後半に実質ゼロ排出目標等にも言及。ただし、実際に世界各国が提出している2030年頃の目標は、必要な排出削減努力に各国間で大きな差異が見られる。また、不確実性は大きいものの、現実には、２℃目標とは大きなギャップが存在。

まとめ（2/2）

- 長期では気温安定化のためには、正味CO_2ゼロ排出が求められる状況にはあり、時間軸は意識しつつも、長期的に脱炭素化の方向に向かっていくことは必要（「長期戦略」もこの方針）
- 気候変動対策は、グローバルで、長期で取り組む必要があるが、トランプ政権のように、気候変動対応に積極的ではない政権もあり、パリ協定の国際的な安定性、そして実効性には懸念あり。（気候変動問題の本質的な部分でもある）
- 様々な脱炭素化電源（再エネ、原子力、CCS）の拡大が必要。原子力は、比較的低廉でCO_2削減効果は大きく、低炭素化、脱炭素化を進める上で、原子力の利用は重要。
- 世界排出量の大幅削減のためには、経済自律的もしくは低コストで排出削減を実現できる必要があり、様々なイノベーションが不可欠。AI，IoT，ビッグデータのような技術進展が、効用を低下させずに、需要低減をもたらし、付随するエネルギー需要の大きな減少に寄与する可能性がある。これは、SDGsの同時達成のためにも重要。

付　録

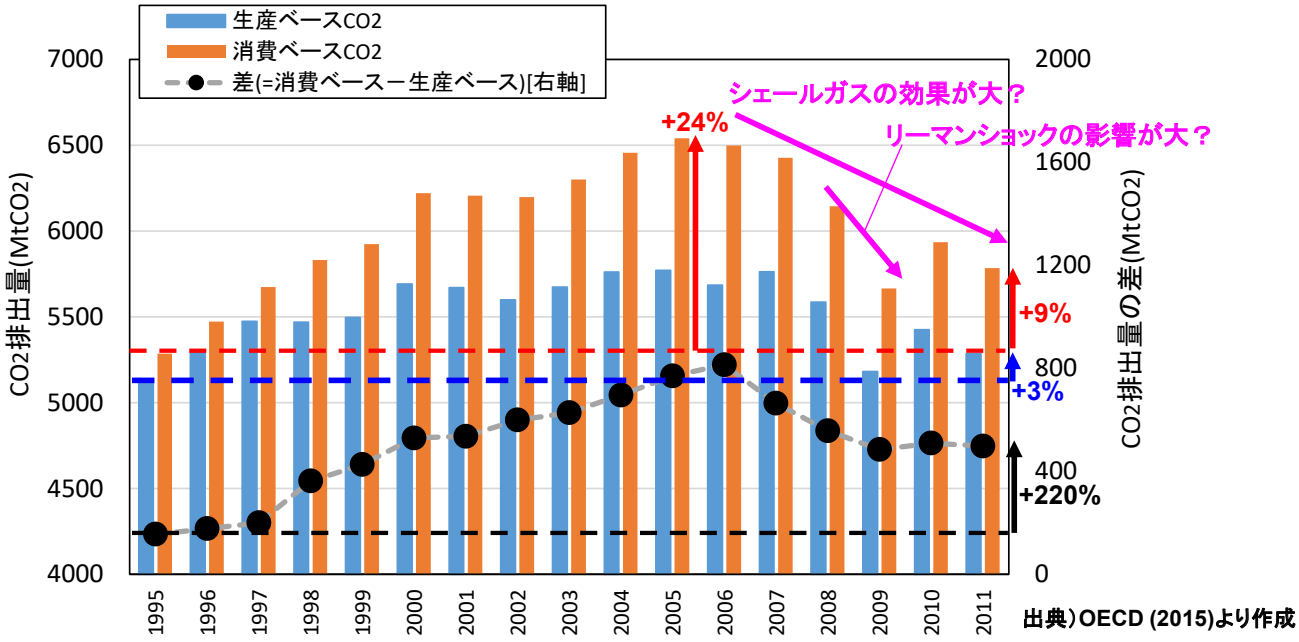
主要国の経済成長とCO2排出量の関係



全体としては、主要国別に見ると、一部の先進国では一見デカップリング傾向にあるようにも見えるものの、要因が複雑に混在していると考えられ、明確に言うことが難しい。

- 一部の先進国では一見デカップリング傾向にあるようにも見える。
- 一方、国土、産業構造などは各国で様々であるため、同じような一人当たりGDP水準でも一人当たり排出量には大きな幅がある。
- スイス、スウェーデン、フランスは、比較的GDPが高い一方、CO2排出量は小さく、デカップリングの最先端とも言えるが、これらの国は以前から、水力、原子力比率が高く、CO2排出水準は小さい。
- 過去、中国のCO2の上昇は、先行してきた国と比較しても急激
- 産業の国際分業も踏まえた中で真にグローバルなデカップリングに資する動向が見られるのかを精査する必要あり

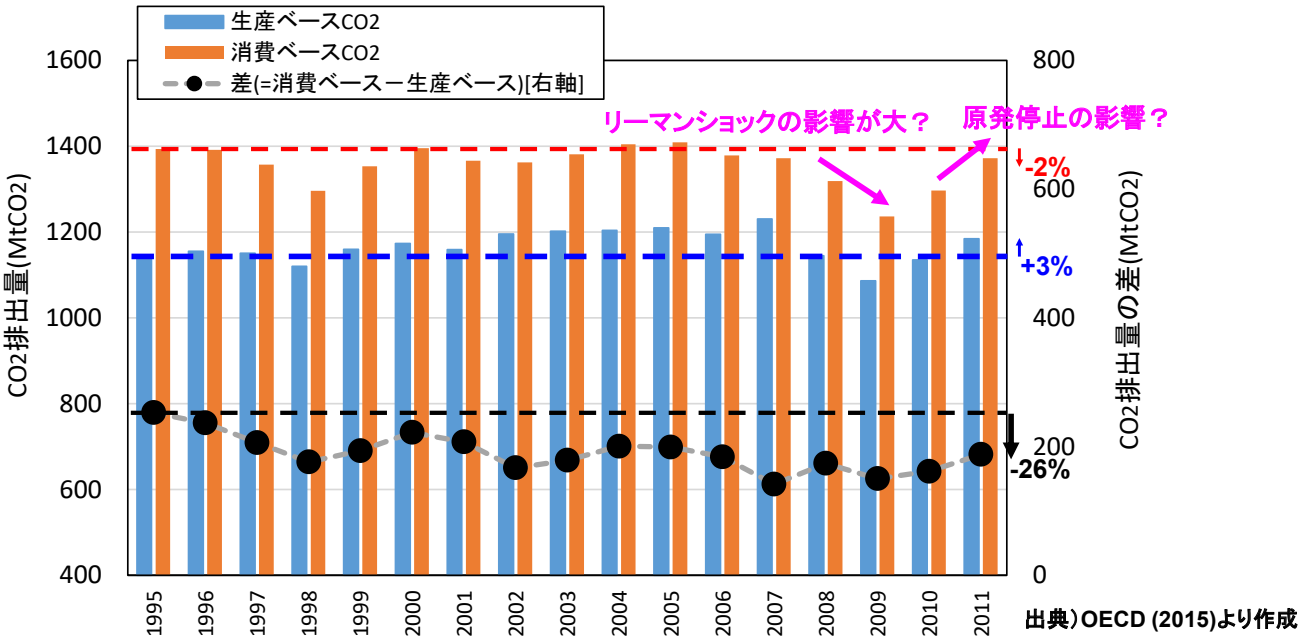
米国の消費ベースCO2排出量の推移



出典）OECD (2015)より作成

- 米国は消費ベースCO2と生産ベースCO2の差分は2006年にかけて大幅に増大。2005年の消費ベースCO2は、1995年比で+24%。
- しかし、シェールガスが拡大しはじめた2006年からは減少に転じてきている。安価なエネルギー利用が可能となったことで製造業の米国内への回帰によるものと見られる。それでも、 2011年の消費ベースCO2は1995年比で+9%（生産ベースCO2では+3%）。

日本の消費ベースCO2排出量の推移



出典）OECD (2015)より作成

- 日本は、消費ベースCO2は生産ベースCO2とほぼ同じような動き。緩やかには消費ベースCO2と生産ベースCO2の差異は小さくなっている（ただし2010-11年は若干拡大）。すなわち、製造業を比較的多く維持し続け、炭素リーケージを拡大させてきていない。
- 生産ベースCO2では、1995-2011年の間に+3%であり、EUの削減率とは大きな差があるが、消費ベースCO2で見ると、EUと同じく-2%。

九州エネルギー問題懇話会　エネルギー講演会、
電気ビル共創館カンファレンス A大会議室、2019年10月25日（金）

低炭素電源としての原子力の役割

東京大学　　小宮山 涼一

原子力を取巻くエネルギー・環境問題

◆ 地球環境問題への対応
温室効果ガス削減(2050年80%削減)、2℃/1.5℃目標への対応、
2050年ネットゼロ排出(国連気候行動サミット)

◆ 再生可能エネルギーの大量導入
電力需給の変動への対応(調整力の確保、電力貯蔵他)

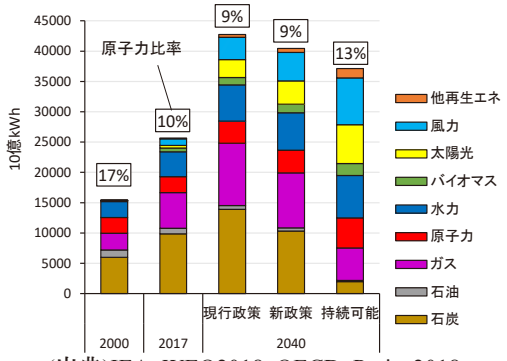
◆ 電力市場の自由化
原子力の新増設、運転維持の不確実性の高まり

◆ エネルギーセキュリティ
不確実性を増す国際エネルギー情勢、サウジ攻撃後の市場リスク
への対応は万全か？

提言：地球環境問題に対処するためには、**全ての技術選択肢を総動員**することが肝要である。その中で**原子力発電は重要な役割**を担い、再エネ大量導入によるコスト上昇の緩和や再生可能エネルギーの供給電力の変動への対応を可能とするものである。

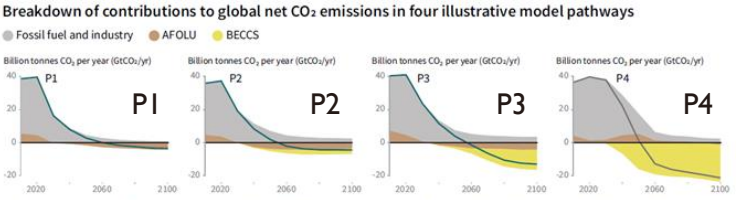
世界の電源構成の展望

原子力発電量	現行政策	新政策	持続可能
2040年 (2017年比)	1.4倍	1.4倍	1.9倍



(出典)IEA, WEO2018, OECD, Paris, 2018

1.5℃目標と原子力

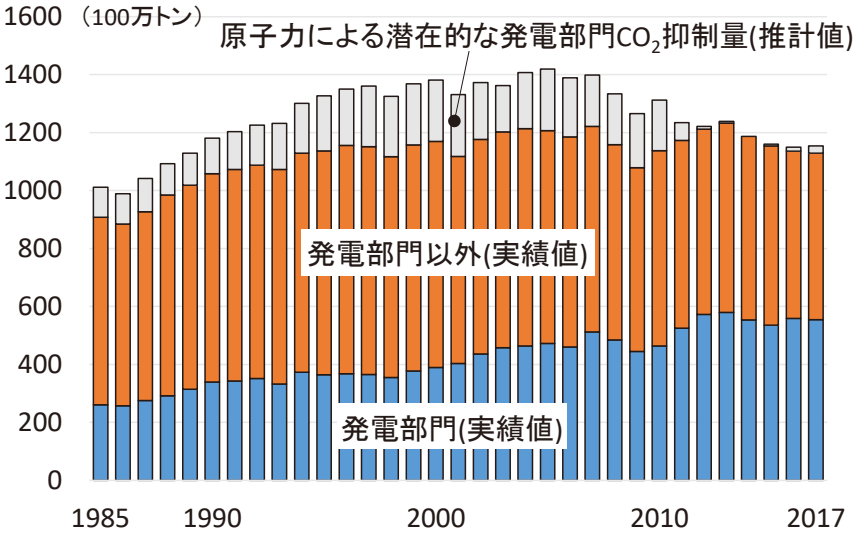


原子力発電量	2030年 (2010年比)	2050年 (2010年比)	シナリオ概要
P1	59%増	150%増	技術革新による省エネ実現
P2	83%増	98%増	持続可能性重視、再エネ普及拡大
P3	98%増	501%増	中間的見通し、全般的な技術進展
P4	106%増	468%増	エネ消費増大、CCS依存増大

(出典) IPCC: Special Report: Global Warming of 1.5 ºC, Summary for Policymakers,2018

(出所)日本原子力学会 原子力アゴラ調査専門委員会　地球環境問題対応検討・提言分科会
成果取りまとめ(中間報告)、2019年4月 (http://www.aesj.net/sp_committee/com_agora)

日本のCO_2排出量の推移



発電部門のCO_2排出量
再エネの拡大下でも、高止まり

太陽光発電
2011年
490万kW
↓
2017年
4,450万kW
(9.1倍増)

CO_2(発電)
2011年
5.3億トン
↓
2017年
5.6億トン
(1.1倍増)

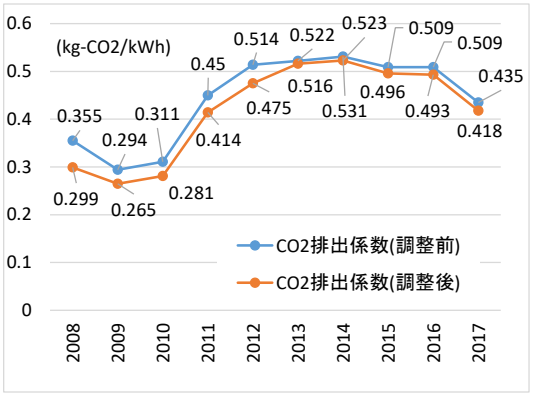
(出所)日本エネルギー経済研究所/エネルギー・経済統計要覧等をもとに作成

現実的なゼロエミッション技術としての原子力

- 原子力を安定稼動させた電力会社の電力CO_2排出原単位
  →2030年目標値(0.37 kg/kWh)を下回る水準
  - 関西電力の電力CO_2排出係数(2008年度～2010年度)：
    0.265～0.299 kg/kWh(調整後)、0.294～0.355 kg/kWh(調整前)

- 原子力発電は現在実用化している脱炭素化の有力な選択肢
  - フランス、スウェーデンなど(経済的にCO_2削減)
    →水力に加え、原子力を主力電源化

CO_2排出係数の推移(関西電力)

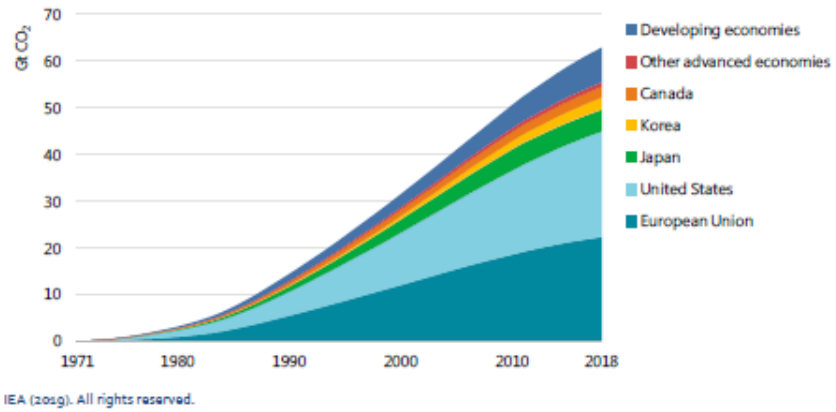


(出典)関西電力ホームページより作成

(参考)原子力のCO_2削減効果

原子力は過去半世紀の間、累積で600億トンの世界のCO_2排出量を回避、抑制
(世界の電力部門のCO_2累積排出量の20%、世界のCO_2累積排出量の6%に相当)

原子力による世界の累積CO_2排出抑制量



(出所)OECD/IEA, Nuclear Power in a Clean Energy System, 2019

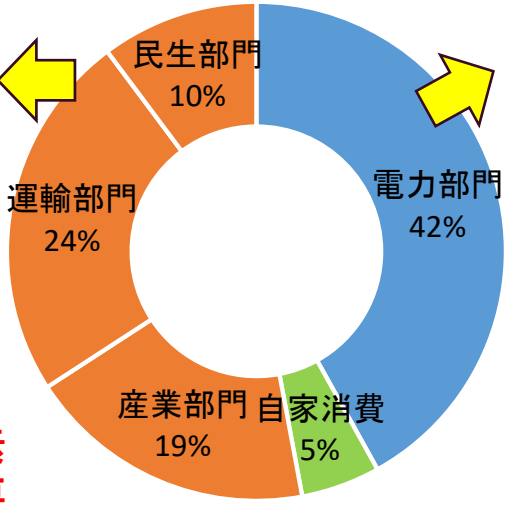
世界の部門別CO_2排出量(2015年)

- CO_2排出比率⇒産業、運輸部門等(熱利用)：6割、電力部門：4割
- 国際的にも熱利用のCO_2削減に注目が集まる

非化石エネ比率
(産業、民生、運輸)：
１割

熱利用(産業、民生、運輸)での非化石エネルギー拡大が必要

原子力による熱・水素製造とその活用は重要な技術オプション



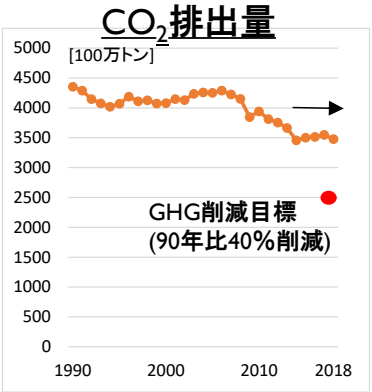
非化石エネ比率(電力)：
３割強

(出典)IEA: CO_2 Emissions from Fuel Combustion 2017, OECD, Paris, 2017

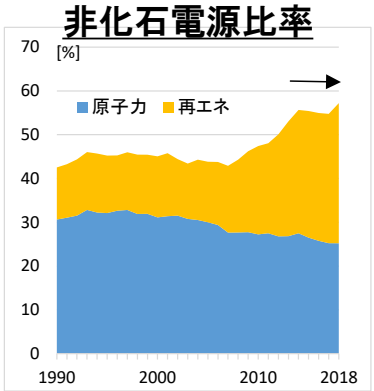
(参考)欧州の動向

- CO_2排出量は90年比で2割減少の一方、近年は横ばい
- 非化石電源比率も近年は、ほぼ横ばい(原子力減少、再エネ増加)
  - 欧州はどのように更なる再エネ拡大、送電線等インフラ投資をすすめてゆくのか？
  - ドイツ：2038年までに石炭火力廃止のため400億ユーロの補償金を閣議決定
- タクソノミ(分類システム。エネルギー関連技術の持続可能性を評価)
  - 原子力：ゼロエミッションでは適合、社会受容性の観点では現在は不適合

CO_2排出量



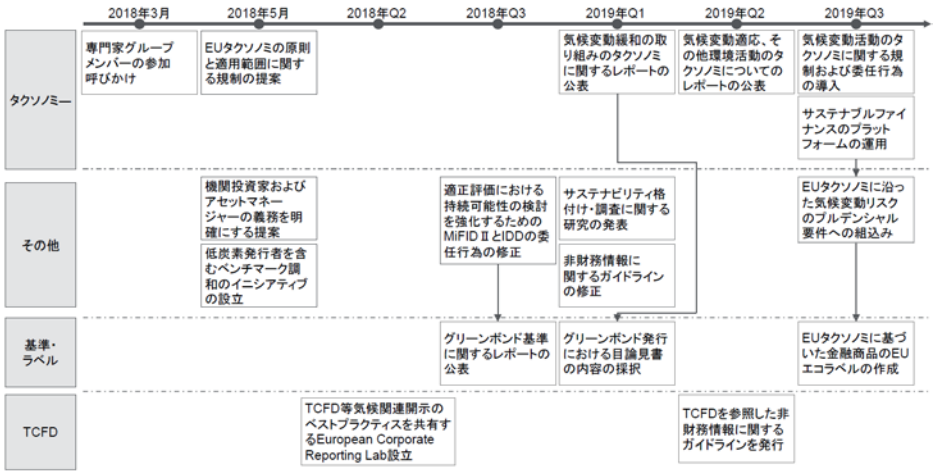
非化石電源比率



(出所) BP Statistical Review of World Energy 2019

(参考)欧州の動向

- EUは持続可能性の観点から、分類システム(タクソノミ)を設定する動き
- 将来の技術選択に関する適合性、制限を検討



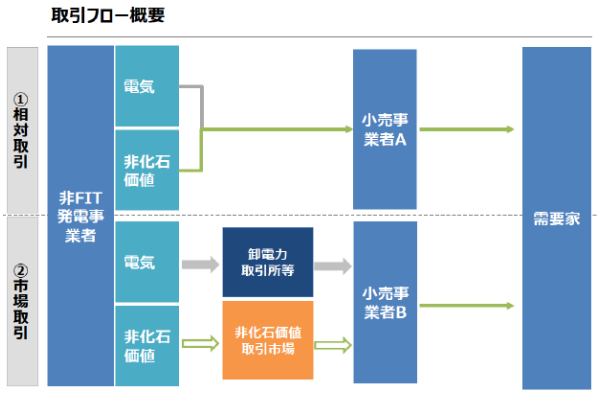
(出所) 経済産業省、グリーンファイナンスと企業の情報開示の在り方に関するTCFD研究会、2018年

提言：地球環境問題への対応に際して、**技術の環境価値が市場で適切に評価される枠組み**(例：非化石価値取引市場、ゼロエミッション・クレジット取引)**の構築が重要**であり、その枠組みの中で、**技術選択肢の一つとして原子力発電が重要な役割を果し得る。**

米国:
- シェール革命、再エネ拡大→既設炉の早期閉鎖
- 小売電気事業者にゼロ排出クレジット(ZEC: zero emission credit)の購入を義務付け
  - 既設炉に非化石価値の対価(報酬)を与える制度の導入
  - ニューヨーク州(原子力比率3割)、イリノイ州(同5割)、ニュージャージー州(同4割)

日本:
- 高度化法→小売に非化石比率目標値(44%, 2030年)を導入
- 非化石価値取引市場が2018年に創設(FIT非化石電源)
- 非FIT非化石電源(原子力、水力等)に対する非化石価値取引市場も創設の予定

非FIT非化石証書の取引

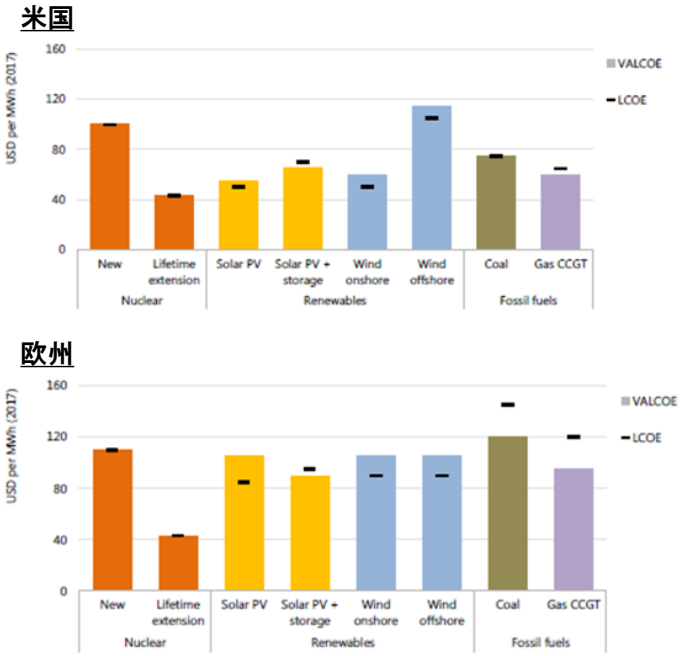


(出典)経済産業省,非FIT非化石証書の取引に係る制度設計について, 2018年11月26日

(出所)日本原子力学会 原子力アゴラ調査専門委員会　地球環境問題対応検討・提言分科会
成果取りまとめ(中間報告)、2019年4月 (http://www.aesj.net/sp_committee/com_agora)

(参考)原子力発電のコスト (運転期間延長時)

- 既存の原子炉で運転期間を延長するには多額の資本投資(安全対策等)が必要
- しかし、**運転期間延長後の原子力発電コストは、太陽光や風力コストと競合できる水準　→エネルギー低炭素化を効率的に推進可能**

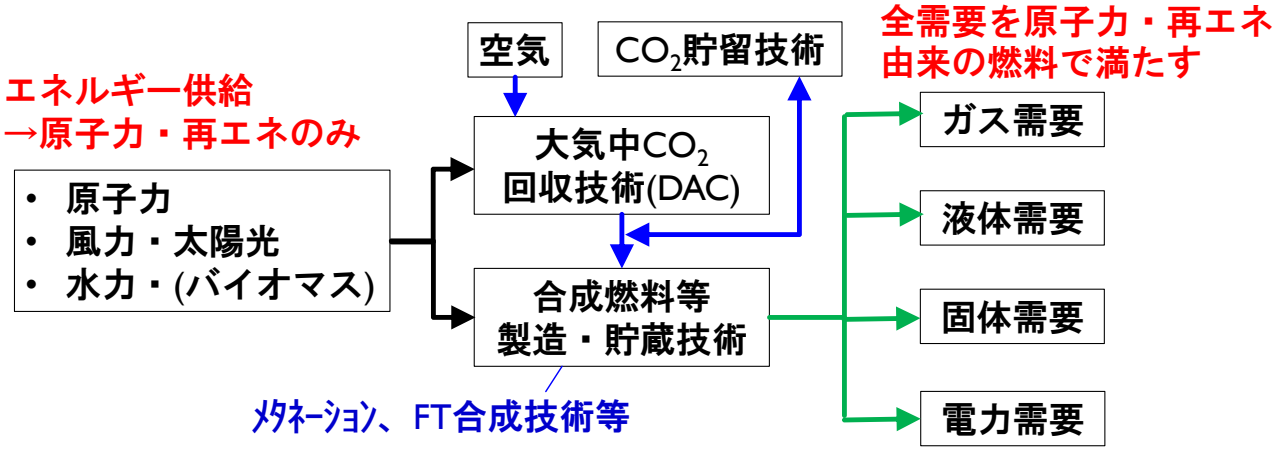


(出所)OECD/IEA, Nuclear Power in a Clean Energy System, 2019

原子力は、エネルギーシステム全体のイノベーション実現に貢献しうる技術オプション

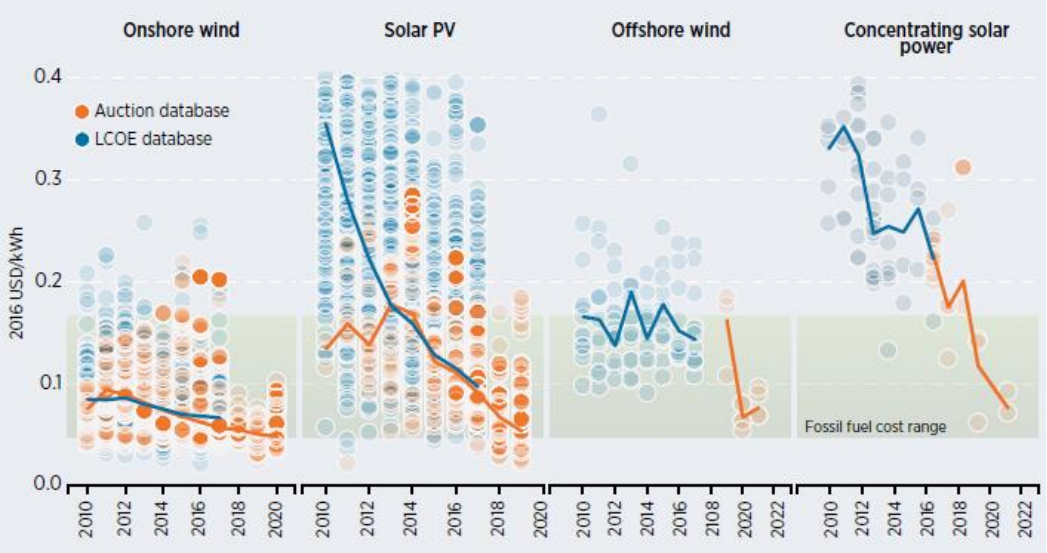
ゼロ/ネガティブ・エミッションを実現するエネルギーシステム(例)

- 原子力・再エネによるゼロ・エミッション電力・合成燃料製造と部門横断的利用
- 大気中CO_2回収技術(DAC)＋CO_2貯留→ネガティブエミッション、1.5℃目標の達成
- 原子力＋再エネ余剰電力を活用するイノベーション、産業創出



再エネ発電コストの国際的動向

再エネのコストは国際的に着実に低下しつつある



(出所) IRENA: Renewable Power Generation Costs in 2017, 2017

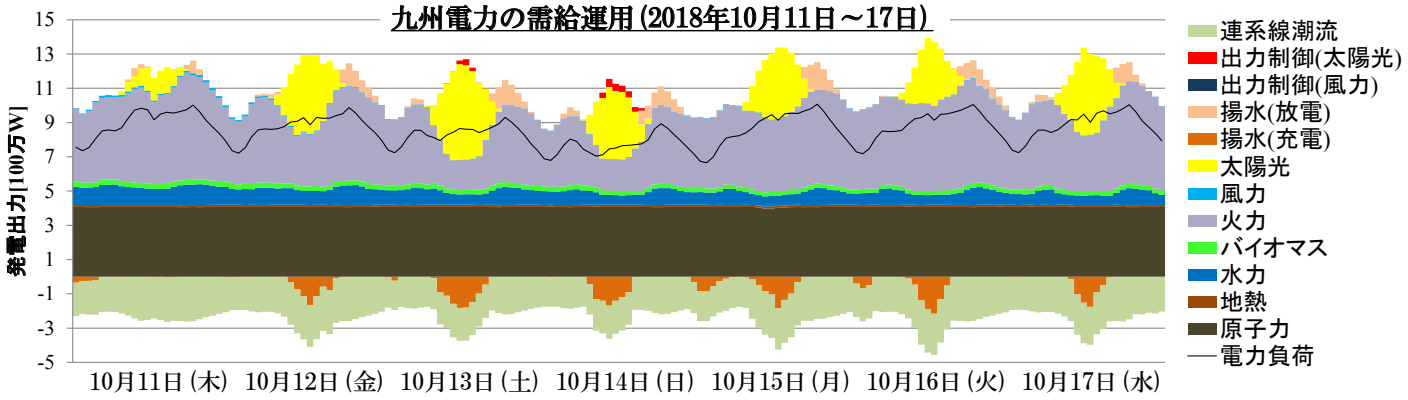
再生可能エネルギーの特徴

- 環境問題への貢献（ゼロ・エミッション）
- エネルギー自給率への貢献
- 低エネルギー密度（分散型電源、送配電線への多数の連系）
- 地域偏在性（例：風力発電）
- 出力の変動と不確実性（大量導入時の需給バランス維持）

➢ 再エネ比率の大幅拡大による潜在的な影響
- 系統増強や調整力確保に伴う電力コストの増加
- 系統維持・運用コストの上昇 (ドイツやイギリス)

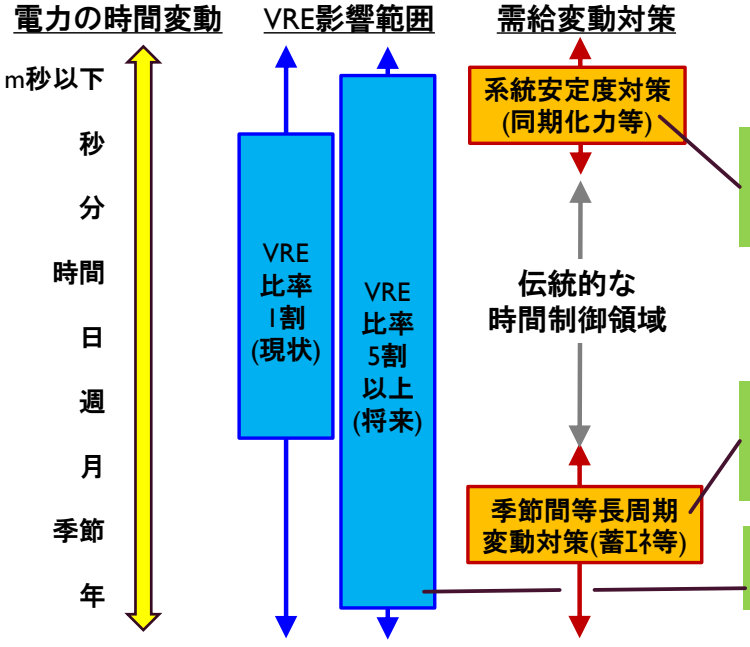
(参考)電力需給運用(九州、日本)

- 再エネのコスト低下により、太陽光発電が急速に拡大。日本のPV導入量(2018年): 45百万kW
- 九州電力は2018年10/13(土)、14(日)に太陽光出力制御を本土で初めて実施(10/13→約40万kWの出力抑制)
- 再エネ賦課金(2018年度): 2.4兆円 (PV未稼働分の稼働等でさらに1.3～1.6兆円増加の可能性)



(出所) 九州電力需給情報を基に作成

(参考) 再エネ(自然変動電源:VRE*)と電力システム



VRE比率拡大は電力システム全体に大きく影響

■ 太陽光・風力拡大に伴い、電力系統の慣性力(同期化力)の低下→系統故障時の安定度の低下(例：アイルランド等)

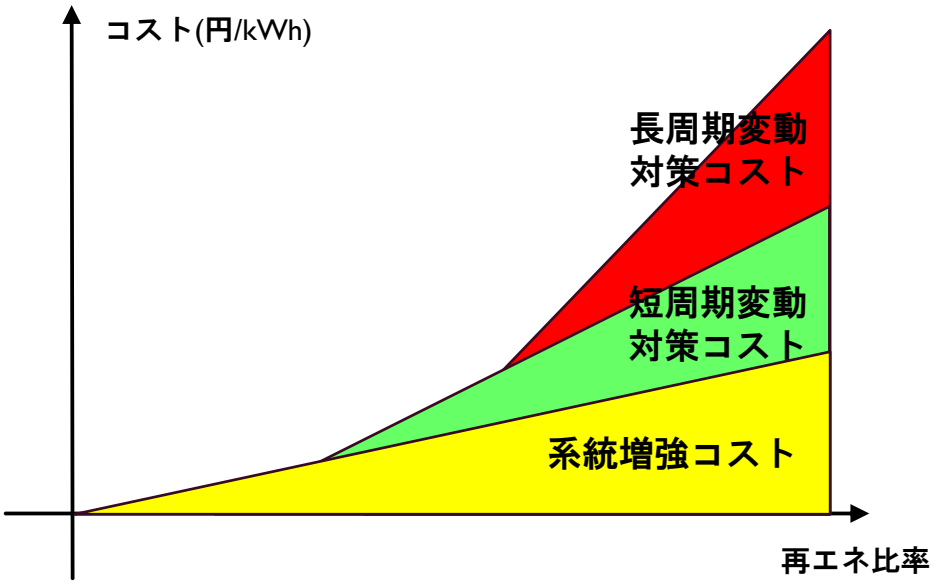
■ 太陽光・風力出力の季節間変動の影響(太陽光：夏高冬低)→電力長期貯蔵(充放電回数少なく、投資回収困難)

■ 太陽光・風力出力の不確実性の影響
→対策コスト(再エネ予測誤差等)の上昇

*VRE: Variable Renewable Energy

(参考) 再エネ接続コスト(イメージ)

再エネ大量連系は系統コストを増大させる可能性



提言：安全性強化、電力自由化、再生可能エネルギーの導入拡大、災害時の電力安定供給といった社会のニーズ・トレンドへの対応や**原子力の持続的利用の実現**に向けて、**多様な原子力技術開発**(新型炉、再処理技術、出力調整機能や運転継続機能の拡充、原子力エネルギーの多目的利用(熱利用等)、再生可能エネルギーとの共存に向けた技術開発)が引き続き重要である。

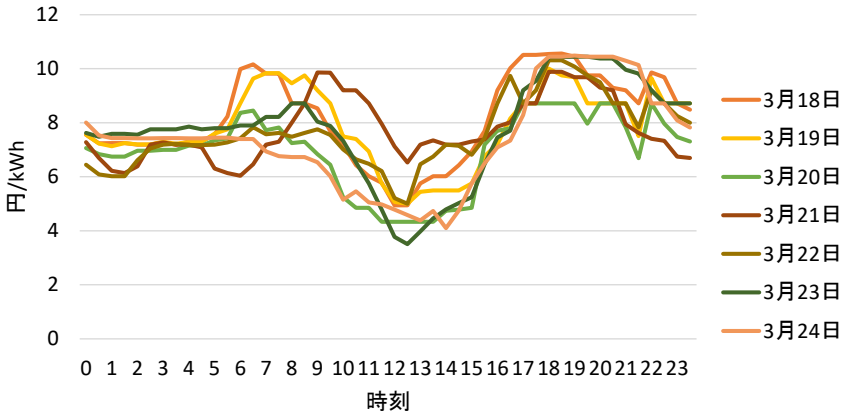
原子力と再エネの調和・共存→原子力も再エネも最大限に有効活用

- **原子力が潜在的に具備する高度な出力調整機能の活用**(GF, AFC, EDC)
- **熱利用(蓄熱技術による原子力発電の柔軟性や稼働率向上)**
  - **原子力・再エネは資本コスト高⇒熱利用により共にフル稼働、コスト最小化を目指す技術イノベーション**
- **SMR(小型モジュール炉)**
  - **投資リスク低減、段階的な容量調整、出力調整、電力システムの分散化、安全対策コスト低減、防災計画エリア縮小などへの期待**

(出所)日本原子力学会 原子力アゴラ調査専門委員会　地球環境問題対応検討・提言分科会
成果取りまとめ(中間報告)、2019年4月 (http://www.aesj.net/sp_committee/com_agora)

(参考)卸電力価格の動向 (3/18～3/24, 2019)

- 太陽光発電等の影響により、昼間の価格が夜間より安くなることも
- ベースロード電源としての原子力の経済性への影響は？
- 卸価格の大幅低下→太陽光発電の「カニバリズム」問題（太陽光自身の価値の喪失）



（出所）日本卸電力取引所 (JEPX)

原子力・再エネの共存戦略(負荷追従)

原子力の潜在的な負荷追従機能(FPO機能*)の活用

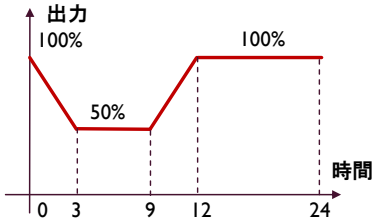
*FPO(Flexible Power Operations)

- 原子力は運転費に占める燃料費の割合が低い→ベースロード運転で運用
- 再エネ大量導入下→出力調整運転（負荷追従運転）へのニーズ上昇
- 火力機並みの負荷変化に対応できる潜在的な制御性能
  例：米国(URD)、欧州(EUR)
- 負荷遮断時の運転継続能力(所内単独運転)→系統復旧のレジリエンス

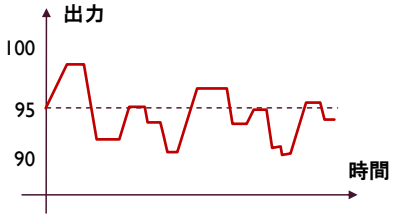
日間負荷追従運転

- 昼夜などの送電系統の負荷変化に応じて、運転
- タービンへの蒸気流量を直接的、間接的に制御→出力抑制(50%抑制)

出力調整パターン例(日間負荷追従運転)



出力調整パターン例(AFC運転)



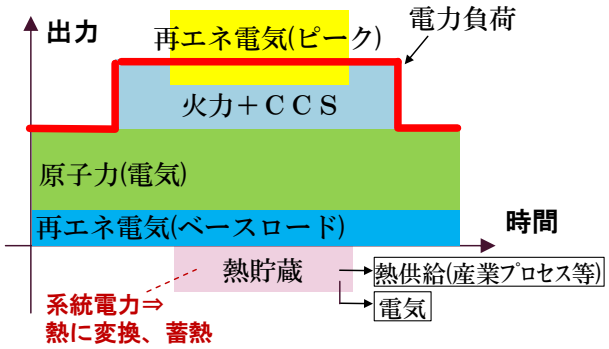
AFC運転(Automatic Frequency Control)、GF運転(Governor Free Control)

- 中央給電指令所からの出力調整指令(短周期：数分～10数分)で運転
- 分オーダーでの自動周波数調整運転(AFC)、より短周期のガバナーフリー運転(GF)も技術的に可能
- 過去には国内でも実証試験が行われ、基本的な性能確認

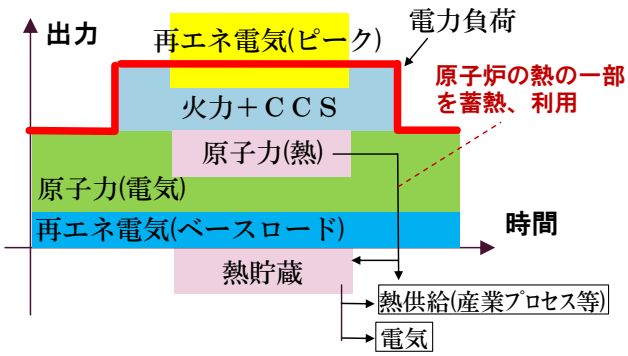
原子力・再エネの共存戦略(熱利用)

- 電力技術のみでの再エネ導入策(バッテリー、系統増強)→電力コスト増大の可能性
- 熱貯蔵、利用技術の活用→電力を熱で安価に貯蔵
- 原子炉：ベースロード運転継続＋熱による電気出力調整、再エネ：出力抑制無し
  - 貯蔵した高温熱→化学産業・製造業での多目的利用→ボイラ等の化石燃料、CO_2削減に貢献
  - 卸電力価格の低下→蓄熱・熱利用、卸電力価格の上昇→放熱・電気変換
    ⇒ 電力市場での原子力の経済性向上

原子炉の熱出力および電気出力一定



原子炉の熱出力一定のまま電気出力調整

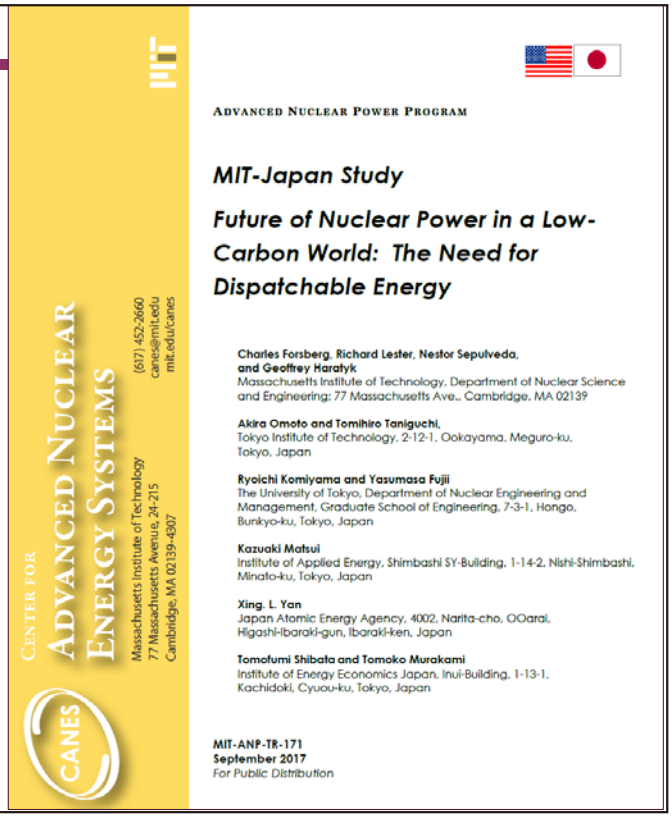


(参考)MIT-日本共同研究レポート†

"MIT-Japan Study Future of Nuclear Power in a Low-Carbon World: The Need for Dispatchable Energy"(2017年9月)
*MIT、**東工大、東京大、JAEA、エネ経研、エネ総工研が参加**

- **原子力・変動型再エネ(PV、風力)の共存戦略**
  - 原子力・再エネの柔軟性を高める技術開発(新型炉、熱など多様なキャリアの貯蔵・利用技術)
  - 原子力、再エネのベストミックス分析
- **政策支援、制度設計**
  - エネルギー貯蔵技術(電力、熱)への適切な政策支援
  - 再エネ技術等への過剰な補助金の是正
  - 電力市場の適切な制度設計(容量メカニズム)

† MITのホームページよりダウンロード可能：
http://energy.mit.edu/publication/future-nuclear-power-low-carbon-world-need-dispatchable-energy/



(参考)原子力・再エネの共存戦略

◆ 原子力発電→ベースロード電源

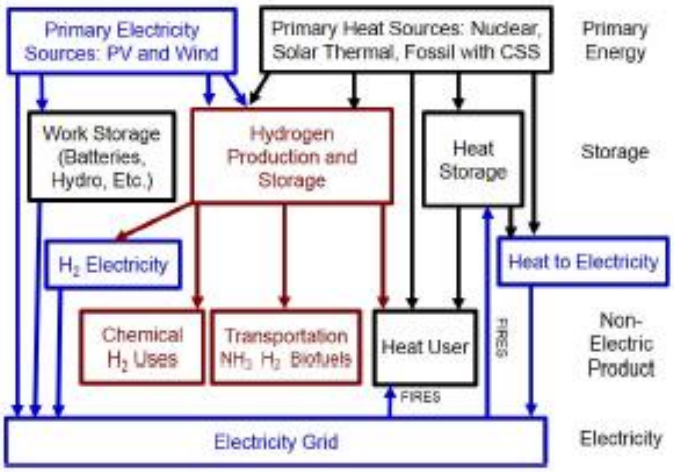
◆ 再エネ拡大、卸電力価格の低下・変動→ベースロード運転だけでは原子力の価値の最大限の発揮は困難となる可能性

◆ 原子力・再エネ共存に資する技術・システム開発が重要に

◆ 原子力・再エネによる多様なエネルギーキャリアの生産と部門横断的利用

- 多様なエネルギーキャリアの生産、転換、流通、貯蔵、利用技術 (熱, 水素, メタノール, アンモニア等)
  - 電化の低い産業部門、貨物輸送部門等での利用

ゼロ・エミッション型エネルギーシステム
Integrated Energy Network



(出所)"MIT-Japan Study Future of Nuclear Power in a Low-Carbon World: The Need for Dispatchable Energy" (2017)

小型炉 (Small Module Reactor: SMR)

	小型炉	大型炉
建設コスト	投資リスク低減(数百億円/基)	建設コストの高騰(欧米)
建設工程	建設期間や投資回収期間の短期化	建設期間の長期化リスク(欧米)
安全性	パッシブ系による安全性向上 (受動的安全性)	安全対策コスト上昇
事故リスク対応	事故時の避難対策エリアが限定的、需要地近接立地 の可能性	避難対策エリアが広大

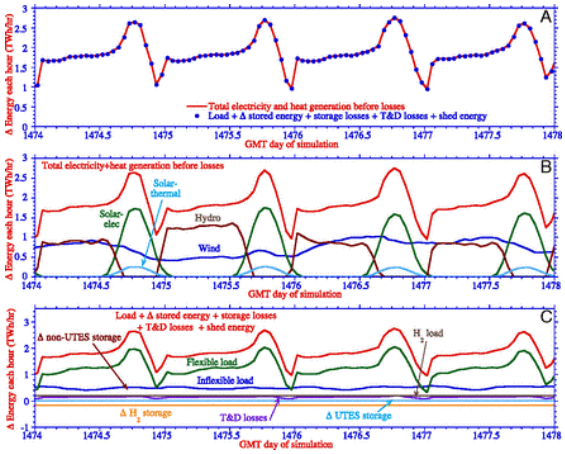
- 例：高温ガス炉(HTGR)
  - 優れた安全性、原子力の多目的利用(電力,熱,水素等)、Pu利用、再エネ親和性(負荷変動を吸収)
- SMRの意義と課題
  - 技術の継承、原子力産業発展への期待、電力システム分散化(Decentralization)
  - 規模の経済性(量産効果を期待できるか？)、CO_2削減(大量導入できなければ効果は限定的？)

(参考)再エネ100%は可能なのか？

米国で、2050～2055年までに、再エネ(風力、太陽光、水力)100%で、低コストかつ安定的なエネルギー供給が可能 (Jacobson et al, 2015)

■ **主な技術：**

- **太陽光発電、太陽熱、風力、水力**
- **ディマンドレスポンス(DR)**
- **エネルギー貯蔵(熱貯蔵、揚水)**
- **水素(航空機、鉄鋼、貯蔵)**



January 14–17, 2055年1月14日～17日の電力需給

(参考)再エネ100%は可能なのか？

■ Jacobson et al, 2015への反論(Clack et al, 2017)

物理的可能性と実現可能性は、異なることを理解することが重要

It is important to understand the distinction between physical possibility and feasibility in the real world

■ **主な反論内容：**

- **原子力、バイオマス、CCSなどを除外し、多様性が無い⇒高コスト**
- **イノベーションに頼りすぎた想定(水素など)**
- **数週間の容量でのエネルギー貯蔵、全建築物に設置⇒非現実的**
- **エネルギーインフラ投資の考慮が不十分(送電線、パイプライン)**
- **ディマンドレスポンス等への過度な期待(社会経済への影響あり)**
- **電力系統安定性(慣性等)の評価が不十分**
- **100%気象予測可能(風力、太陽光)⇒気象条件の不確実性の影響大**

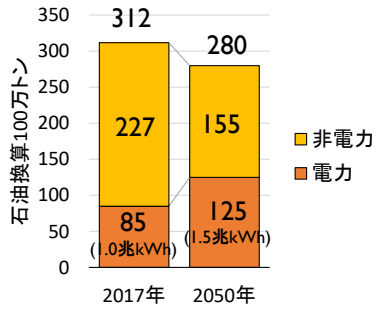
■ **再エネのみによるエネルギー安定供給とCO_2大幅削減の両立は困難、再エネ大量導入にも限界があるのでは**
⇒電源ベストミックスを客観的に評価する必要

(参考)日本の2050年長期エネルギー需給見通し

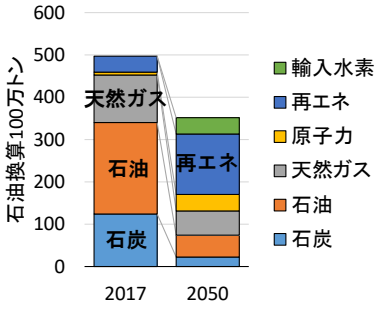
■ $CO_2$80%削減シナリオ(2017年12.3億t→2050年2.4億t)：電化、脱炭素化、省エネが進展
■ 原子力の想定：40年運転+20年運転延長、新増設無し(2017：43GW→2050：21GW)

- 電化率：27%(2017)→45%(2050)　;電動自動車拡大、ヒートポンプ技術拡大
- 省エネ：10%省エネ進展　;人口減少、エネルギー利用高効率化
- 再エネ電源比率：16%(2017)→77%(2050)　;**自然変動電源比率：6%→60%**

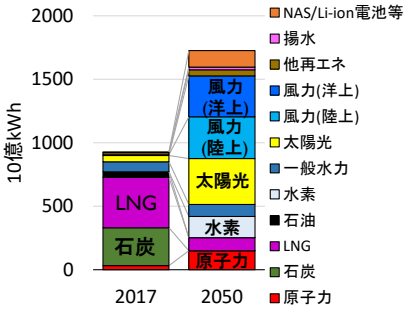
最終エネルギー消費



一次エネルギー供給



電源構成(発電量)

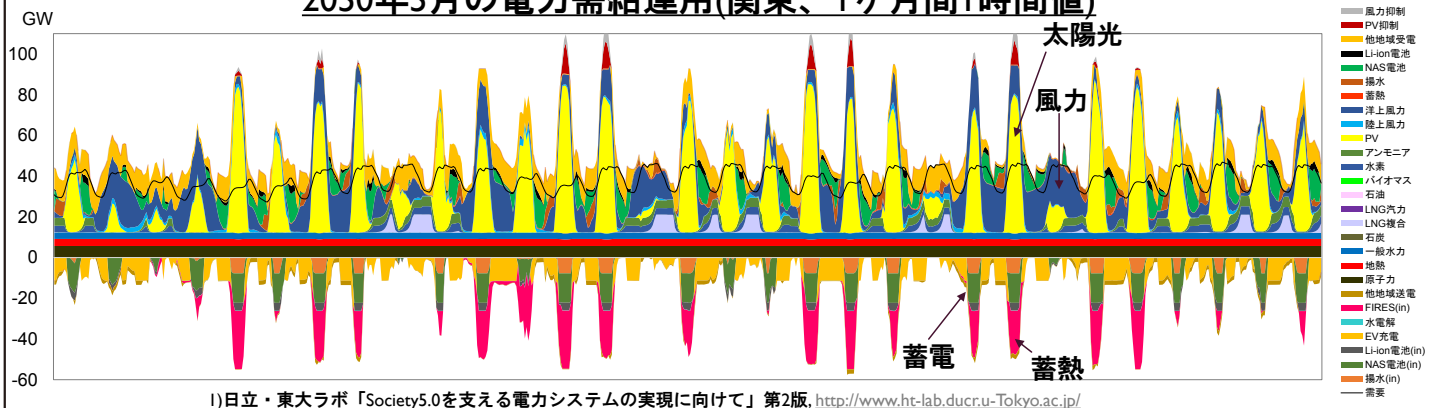


1)日立・東大ラボ「Society5.0を支える電力システムの実現に向けて」第2版, http://www.ht-lab.ducr.u-Tokyo.ac.jp/
2)川上,小宮山,藤井,エネルギー・資源学会論文誌, 39(4), 10-19 (2018), 川上,小宮山,藤井,電気学会論文誌B,138(5), 382-391 (2018)

(参考)電力需給運用(2050年)

- 再エネ大量導入→電力需要・供給バランス維持の困難化→電力供給が需要を大きく上回る時間帯での技術的対応強化が必要
- **余剰電力を利活用した技術イノベーション、ビジネスモデル構築が重要(電力貯蔵、水素、合成燃料製造、メタネーション、 DAC(Direct Air Capture)等)**

2050年5月の電力需給運用(関東、1ヶ月間1時間値)



1)日立・東大ラボ「Society5.0を支える電力システムの実現に向けて」第2版, http://www.ht-lab.ducr.u-Tokyo.ac.jp/
2)川上,小宮山,藤井,エネルギー・資源学会論文誌, 39(4), 10-19 (2018), 川上,小宮山,藤井,電気学会論文誌B,138(5), 382-391 (2018)

電力システム改革

市場環境の変化は、原子力にどのような影響を及ぼしうるか？

: 今後整備すべき市場

実需給と取引時期の関係

課題	1年以上前	数ヶ月～1日前	直前
経済合理的な電力供給体制と競争的な小売市場の実現	ベースロード電源市場/先渡市場 先物市場	スポット市場	1時間前市場
	基盤となる連系線利用ルール		
中長期的な供給力(kW)の確保と系統運用者による調整力の適切な調達	容量市場（容量メカニズム）	調整力公募 → 移行 → 需給調整市場（リアルタイム市場）	
エネルギーミックスと整合的な電源構成を通じた温暖化目標の達成	非化石価値取引市場		

確保した電源の最適運用

※新市場における取引の時期については、今後の検討によって変動しうる。

(出所) 経済産業省　資源エネルギー庁

(参考)電力基幹系統を考慮した最適電源構成モデル

■ **分析手法：　線形計画法**
- 目的関数：固定費(発電・電力流通設備)＋燃料費(火力・原子力)＋電力貯蔵設備運用費
- 制約条件：同時同量制約、発電出力制約(定検パターンを考慮)、供給予備力制約、負荷追従制約、最低出力制約（火力・原子力）、送電容量制約、電力貯蔵設備制約、設置可能容量制約、SNSP制約など
- 全量メリットオーダー取引、連系線間接オークションを想定

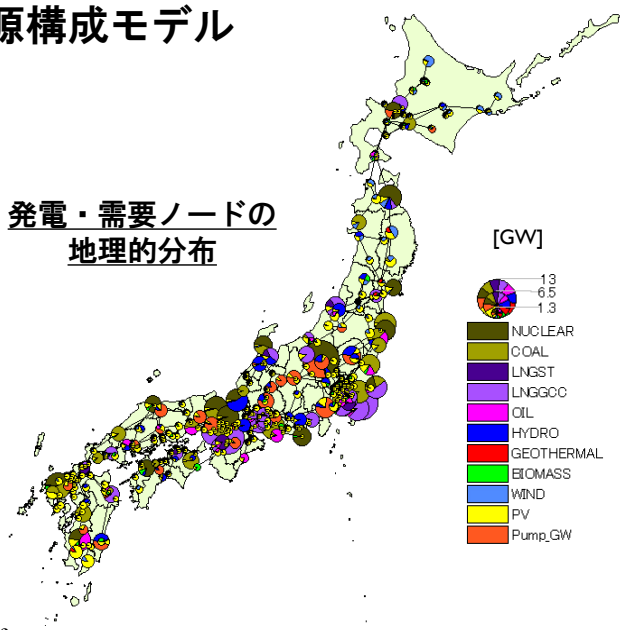
■ **地理的解像度：**
- 352母線、441本の基幹送電線 (沖縄除く)

■ **時間解像度：**
- 10分値以上で任意選択可能
- 6時点/時間×24時間/日×365日= 52,560 時点 / 年

■ **発電設備：**石炭, ガス複合, ガス汽力, 石油, 原子力, 水力,地熱 , バイオマス, 海洋, 太陽光, 風力

■ **電力貯蔵設備：**揚水, NAS電池(長周期変動用), Li-ion電池(短周期変動用)

＊計算規模：10分値での分析の場合、制約条件数：3.7億本、内生変数2.6億個



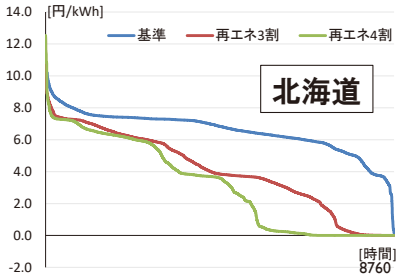
Reference:
Komiyama, R., Fujii, Y., *Renewable Energy*, 139(8), 1012-1028 (2019)
Komiyama, R., Fujii, Y., *Energy Policy*, 101(2), 594-611 (2017)

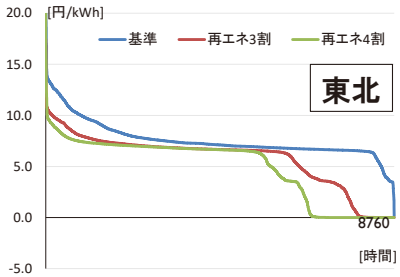
(参考)電力価格(エリア価格)

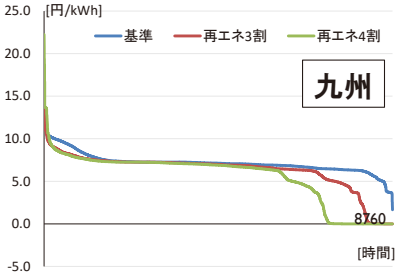
再エネ電力比率のシナリオ：　再エネ2割(基準)、再エネ3割、再エネ4割

■ 再エネ比率拡大につれ、北海道、東北等で電力価格が低下する時間帯が増加
　・再エネ4割ケース：北海道で年間3000時間、九州で年間1500時間で価格がゼロ

■ 電力設備の新規投資・維持費用の回収が困難化することを示唆







(参考)再エネ大量導入下での電源の収益性

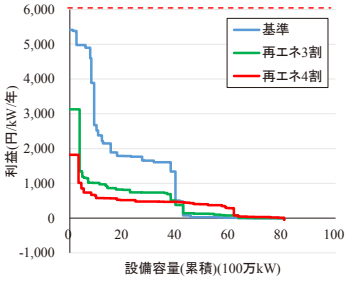
■ 再エネ大量導入→卸電力価格の低下・火力/原子力稼働率の低下→火力/原子力の収益低下、投資回収の困難化

■ 容量市場、需給調整市場の役割が重要に

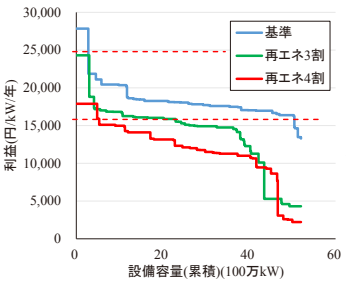
- 【LNG複合】 スポット市場のみでの投資回収は困難 (固定費：年間6千～1万2千円)
- 【石炭火力・原子力】 再エネ3割ケースで、大半の容量がスポット市場のみでの投資回収が困難化 (石炭固定費：年間1万5千～2万5千円、原子力固定費：年間2万2千～3万7千円)

【火力、原子力の電力市場からの収入】

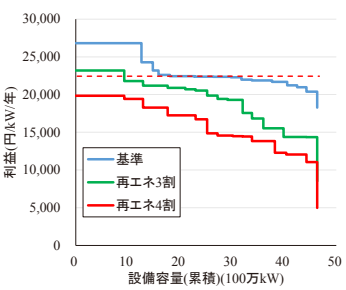
LNG複合



石炭火力



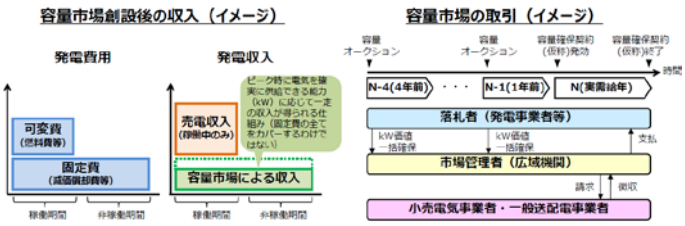
原子力



提言：電力市場自由化が進められ、市場の予見可能性が低下する中、原子力事業への適切な投資サイクルを維持するための制度設計が求められる。

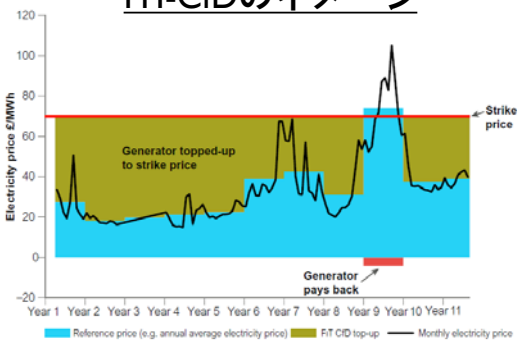
容量市場

市場管理者が最大電力供給能力(kW)を確保、
発電事業者に一定の費用を支払い
→投資の予見性を高め、適切な発電投資を促進



（出典）経済産業省:中間取りまとめについて(概要資料)、2018年5月18日

FIT-CfDのイメージ



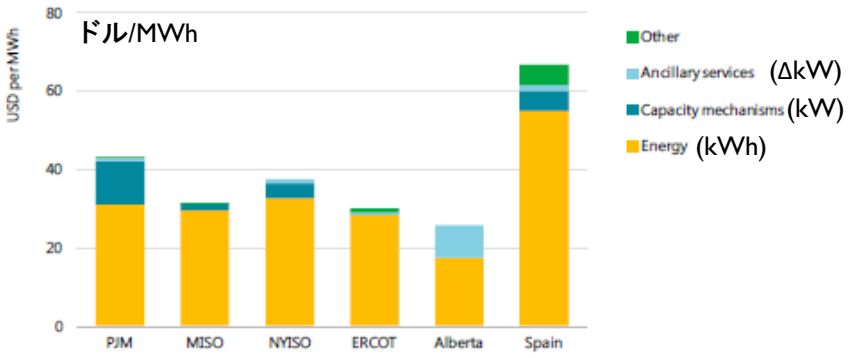
電力市場価格（黒線）と基準価格（赤線）の差分のうち、図中の緑色部分を発電事業者は受け取る。また、黒線が赤線を上回っている部分（図中の赤色部分）について、発電事業者は買取事業者へ支払いを行なう。

(出典)UK, Department of Energy & Climate Change (現：Department for Business, Energy & Industrial Strategy)

(出所)日本原子力学会 原子力アゴラ調査専門委員会　地球環境問題対応検討・提言分科会
成果取りまとめ(中間報告)、2019年4月 (http://www.aesj.net/sp_committee/com_agora)

(参考)電力市場における収入

現在、容量市場が導入されている電力市場では、電源の収入の中心は卸電力市場での販売収入 ⇒ 稼働率向上も重要な課題(長期サイクル運転、オンライン・メンテナンス適用等)



Note: ERCOT = Electric Reliability Council of Texas; MISO = Midcontinent Independent System Operator (United States); NYISO = New York Independent System Operator; PJM = Pennsylvania, Jersey and Maryland Interconnection (regional transmission operator in north-east United States).
Source: IEA (2018b).

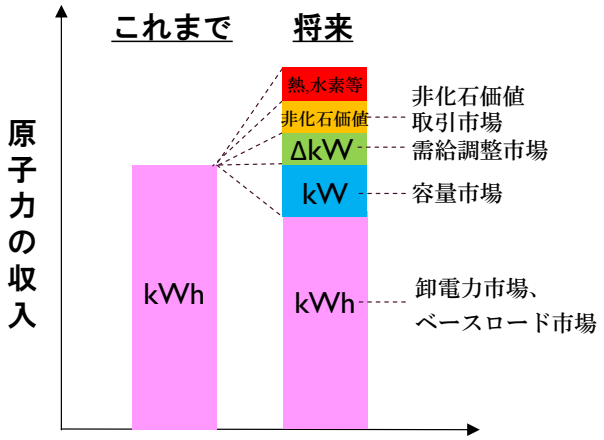
(出所) OECD/IEA, Nuclear Power in a Clean Energy System, 2019

原子力のエネルギー市場戦略

➢電力市場の方向性：価格メカニズムがより機能する市場設計に移行
例：イタリア、スペインではオークションでの当日卸市場を開設→再エネの影響で価格がより変動

➢ 原子力は多様な価値を保有

- ■ ベースロード電力(kWh価値)
- ■ 供給信頼度 (kW価値)
- ■ 出力調整能力 (ΔkW価値)
- ■ 非化石価値 (環境価値)
- ■ 原子力多目的利用 (熱・水素等)



➢ 原子力の多様な潜在的機能の活用→市場競争力の向上を期待

CO_2削減に際しても、エネルギーセキュリティは重要な課題

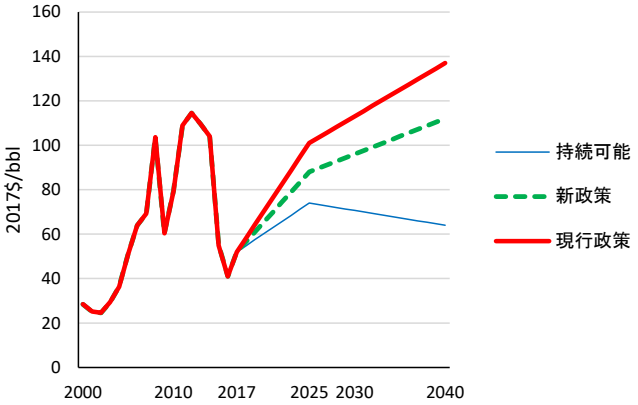
➢ 世界は中長期的に化石燃料に依存

- 世界の化石燃料比率(一次供給)
  2000年：80%, 2017年：81%, 2040年：60%*
  *持続可能な開発シナリオ(IEA WEO2018)
- 地政学的リスクの影響
  ✓ サウジ攻撃後のエネルギー情勢のリスク対策は？
- 化石燃料市場のパワーバランスの影響

➢ エネルギーセキュリティへの原子力の貢献

- エネルギー価格高騰の抑制
- 燃料備蓄効果
- 核燃料サイクルによる資源の有効利用
- 化石燃料の安定調達への対応

原油価格の展望

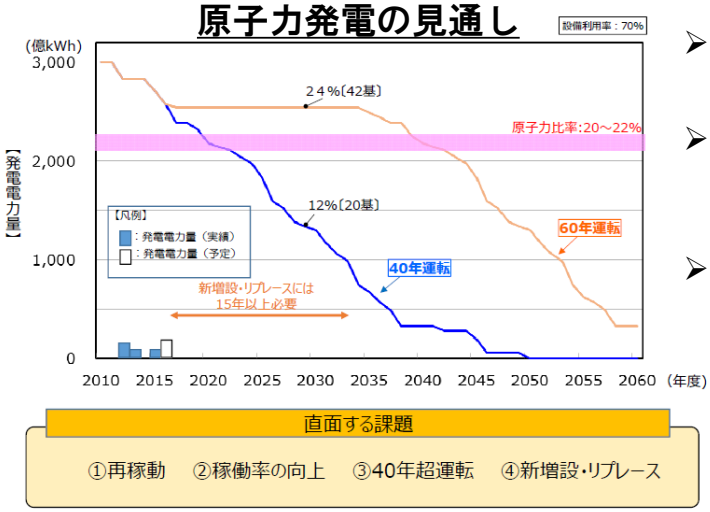


(出典) IEA/OECD: World Energy Outlook 2018, OECD, Paris, 2018

✓ 2018年、中国が日本を抜いてアジア最大の天然ガス輸入国に→天然ガス安定調達が重要な課題に
✓ 2040年の世界の天然ガス需要*⇒現状比5割増加 (LNG換算27億t(2017)⇒39億t(2040))

提言：原子力発電がエネルギーセキュリティ、環境問題の解決に貢献する電源であることを規制当局と事業者が共有し、安全確保を大前提としたうえで、安全審査の合理化を通じて、**再稼動に必要となるプロセスの迅速化**を図ることが必要である。

原子力発電の見通し



直面する課題

①再稼動　②稼働率の向上　③40年超運転　④新増設・リプレース

(出典)主要原子力施設設置者(北海道電力等９社、日本原電、日本原燃及び電源開発)：原子力発電の課題について、原子力規制委員会 、 2017年1月18日

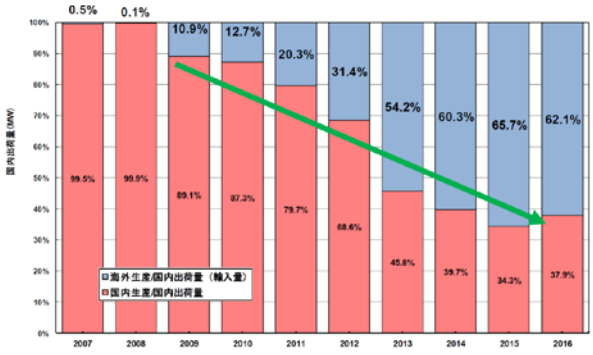
- **原子力の電源比率目標値(2030年)：20%～22%**
  - 60年運転を目指す相当数の原子炉が必要
- **約30基の原子力発電稼動が必要**
  - 新規制基準に適合した15基(9基稼働済み)と審査中の12基(2018年)の安定稼動
- **2050年への展望**
  - 2割程度の原子力比率の維持のためには、60年運転を着実に実現しても、新増設・リプレースが必要
  - 運転期間80年でも、今世紀後半には大幅減少。長期的に取組むべき気候変動問題への対応が困難に

＊設置許可申請済27基(再稼働済9基、設置許可取得済6基、審査中(基準地震動了承)6基など)の再稼働で原発比率20%弱、さらに設置許可申請準備中9基の再稼働で20%を上回る水準

(出所)日本原子力学会 原子力アゴラ調査専門委員会　地球環境問題対応検討・提言分科会
成果取りまとめ(中間報告)、2019年4月 (http://www.aesj.net/sp_committee/com_agora)

提言：世界情勢の不確実性が増す中、エネルギー自給率の極端に低い日本は、原子力発電の維持を図るとともに、**自前の技術である原子力発電でエネルギーセキュリティを強化する視点が不可欠**であり、**技術自給率を重視**し、中長期的かつ国家的視点で、**原子力発電の新増設・リプレース、維持が必要**である。

太陽光発電の国内出荷量に占める海外パネル比率



(出典)経済産業省：エネルギー情勢懇談会配布資料(第9回)、平成30年4月10日

■ **米国**
- エネルギー源の市場間競争を重視
- シェールガスや再エネの影響→原発の早期閉鎖

■ **イギリス**
- 北海油田の枯渇化、石炭火力老朽化、原子力を重視
- 原発建設は国際資本が中心、技術自給率が低い

■ **ドイツ**
- 脱原子力政策、再エネ拡大、石炭火力への依存度大
- CO_2削減が進まず、電気料金が高水準

■ **日本**
- エネルギー資源に乏しい
- 原子力の技術自給率が高く、自前の技術によりエネルギーセキュリティ向上に大きく貢献しうる環境

(出所)日本原子力学会 原子力アゴラ調査専門委員会　地球環境問題対応検討・提言分科会
成果取りまとめ(中間報告)、2019年4月 (http://www.aesj.net/sp_committee/com_agora)

甚大な自然災害・大規模停電の発生

災害と向合った電力システムの検討がさらに重要に

大阪府北部地震(2018年6月)
最大震度 6 弱、大阪府等で約 17 万戸が停電
供給支障(供給系統)

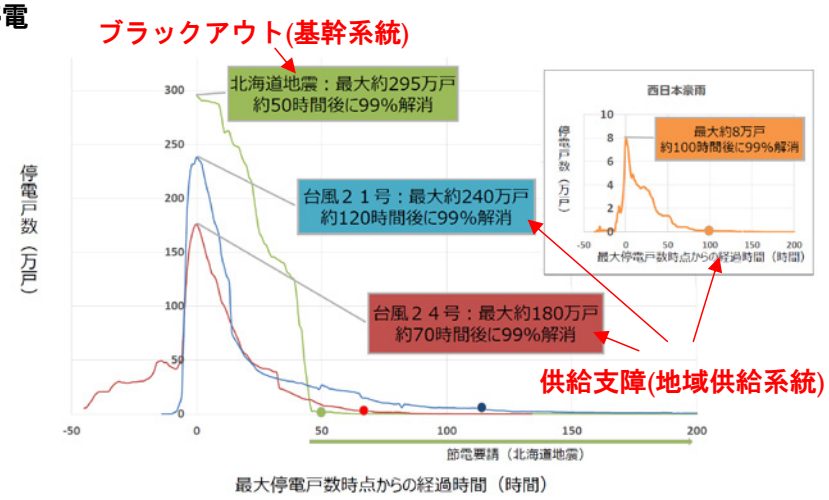
平成30年7月豪雨(西日本)
中国地方等で約 8 万戸が停電
供給支障(供給系統)

北海道胆振東部地震(2018年9月)
最大震度 7、約295万戸が停電
ブラックアウト(基幹系統)

台風 21 号による被害(2018年9月)
約 240万戸(近畿、東海)が停電
供給支障(供給系統)

台風 15 号による被害(2019年9月)
関東(千葉県など)で約 93 万戸が停電
供給支障(基幹系統、供給系統)

各災害時における停電戸数の推移



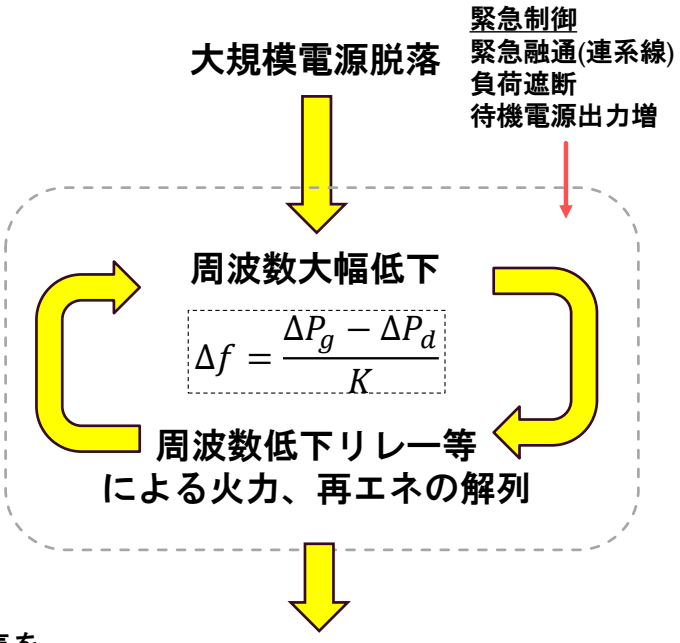
(出所)　経済産業省

ブラックアウトへの対応

災害時の電力系統早期復旧への
社会的ニーズの高まり

↓

原子炉でのブラックスタート*機能等の具備
(自立運転機能の強化)



*ブラックスタート:
ブラックアウトの状態から、外部電源より発電された電気を
受電することなく、停電解消のための発電を行うこと

従来からのニーズ(安全性/経済性/持続可能性/核拡散抵抗性)に加え、社会ニーズに適合した原子力のあり方の検討を

3R (Renewable, Resilience, Reliability)

- Renewable (再生可能エネルギーとの共存)
  - 再エネ・原子力の両輪で、世界を先導する電力低炭素化の実現を
- Resilience (電力系統のレジリエンス機能強化への貢献)
  - 電化・デジタル化を迎えるに当り、災害に強靭な電力系統構築への貢献
- Reliability (脱炭素技術としての確たる社会的信頼の獲得)
  - ゼロエミッション技術としての原子力の価値の正しい認識
  - バックエンド問題では、高レベル放射性廃棄物処分に向けて、国民との対話など、国・原子力産業界挙げて、一層の努力を