CNIC45周年記念　オンライン連続講座

第４回　原発と気候危機

2021年2月2日　谷村暢子（原子力資料情報室）

内容

- 地球温暖化に対応する日本の方針
  2050年　CO2実質ゼロへ　描く将来像とは
- もし、気候危機対策として原発に期待するとどうなるか？
  スケジュールの問題　コストの問題
- 原発に期待をしつづけることで気候危機対策が遅れる理由
  再エネ出力抑制問題
  予算配分の問題・・・新型炉／小型炉ならいいのか？
- 温暖化と異常気象下での原発の運転リスク
- ネットゼロ社会の姿とは　２つの例

菅首相の所信表明「2050年温室ガス排出実質ゼロ」を宣言

所信表明演説をする菅義偉首相（写真:つのだよしお/アフロ）

菅首相「カーボン・ニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」

［ロンドン発］「わが国は2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち50年カーボン・ニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを、ここに宣言いたします」――。

菅義偉首相は26日、就任後初の所信表明演説を衆院本会議で行い、50年までに国内の温室効果ガス排出を実質ゼロにすると宣言しました。日本学術会議の会員任命拒否問題で学界や左派から「学問の自由の侵害」と批判されている菅首相ですが、デジタル化やグリーン社会の実現を掲げたことは国内外から評価されました。

菅首相の所信表明演説を受け、国際環境NGO（非政府組織） 350.org Japanは「パリ協定の1.5度目標と整合的とされている『2050年カーボン・ニュートラル』とする方針に舵を切る方向へ転換したことは評価したい。しかし先進国の歴史的責任に鑑み、日本のカーボン・ニュートラル目標はより早く実現すべだ」との声明を発表しました。

2019年6月　パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略

『温室効果ガスの排出を2050年に80%削減し、今世紀後半の早い時期に脱炭素社会を実現する』

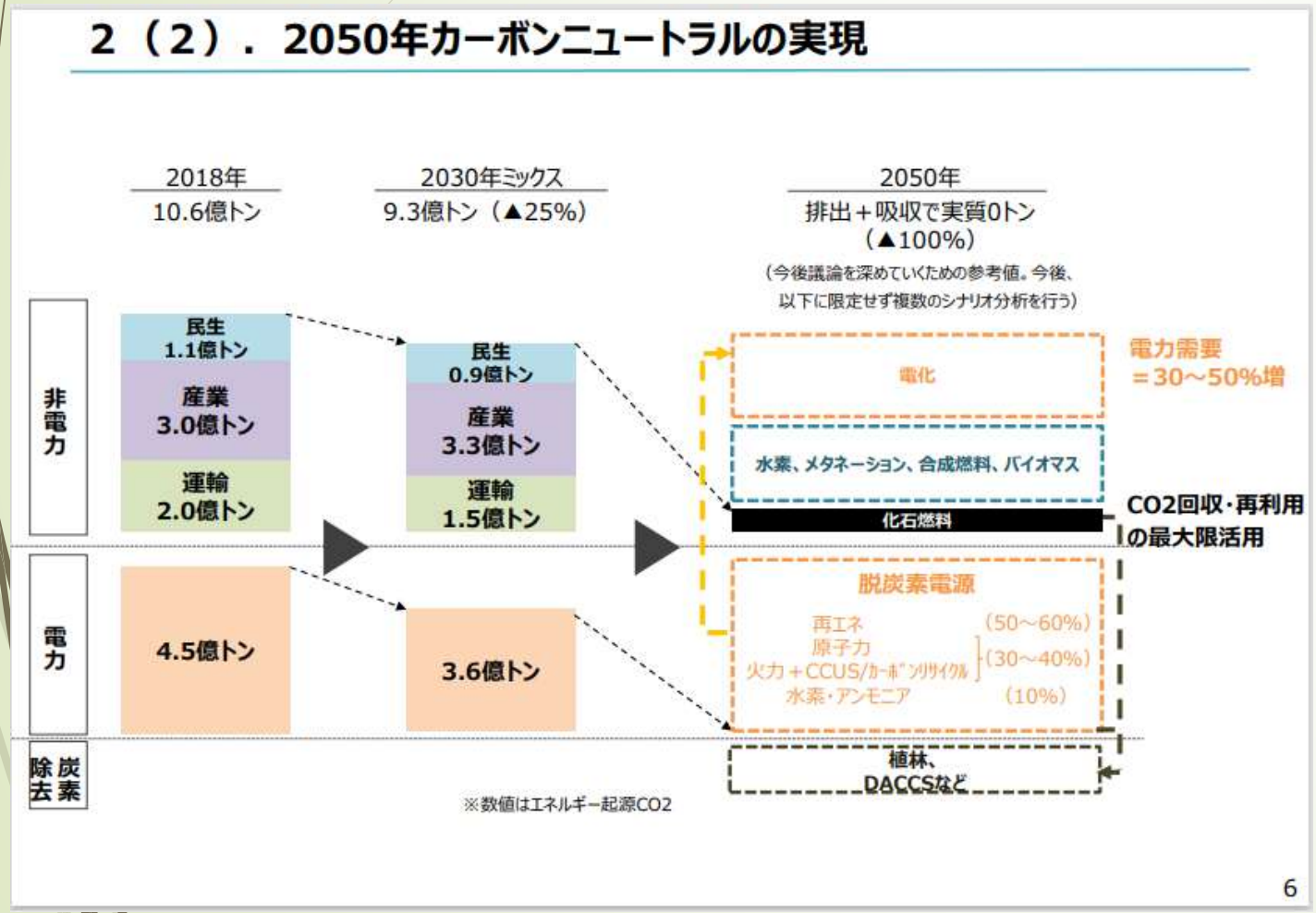
⇩ 1.5℃目標への整合性が高くなった

2020年10月　菅首相　就任後初の所信表明演説

『2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち50年カーボン・ニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す』

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

2020年12月策定



14の重要分野ごとに
高い目標　現状の課題　今後の取組

【電力】

再エネ	50-60%
水素・アンモニア発電	10%
火力＋CO2回収	30－40%
原子力	

開発段階

電力需要の増加（現状より30～50%）

例：運輸の電動化（EV）

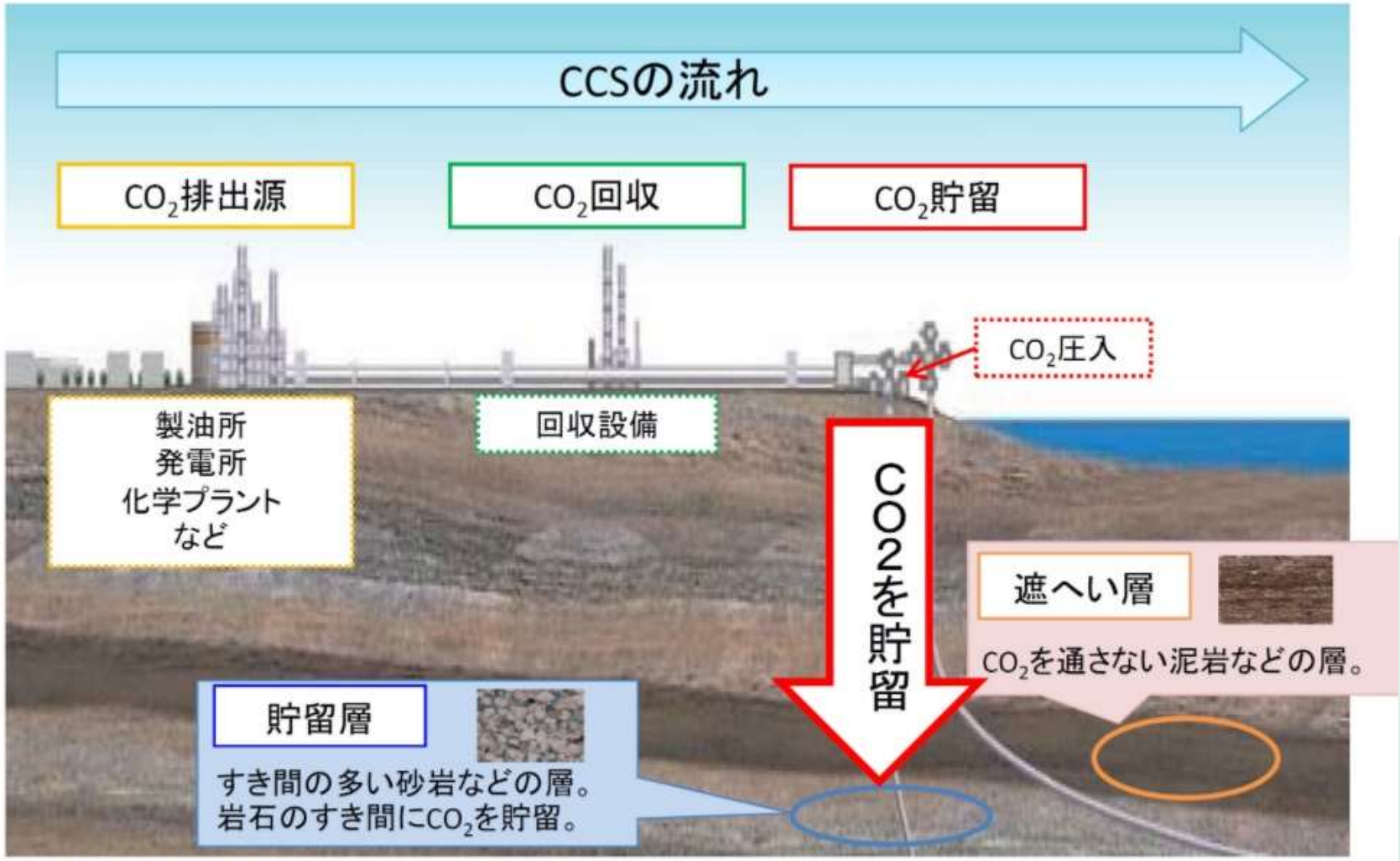
遅くとも 2030 年代半ばまでに、乗用車新車販売で電動車 100%を実現できるよう、

原発を推進している

経産省HPより

CO2回収技術とは

CCS：Carbon dioxide Capture and Storage
CCUS：Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage



経産省資源エネルギー庁HP「知っておきたいエネルギーの基礎用語 ～CO2を集めて埋めて役立てる「CCUS」」より

2012年度から2015年度に実証設備を建設。
2016年4月～2019年11月22日にCO2圧入量累計30万tを達成。

廃棄物の問題

未解決課題

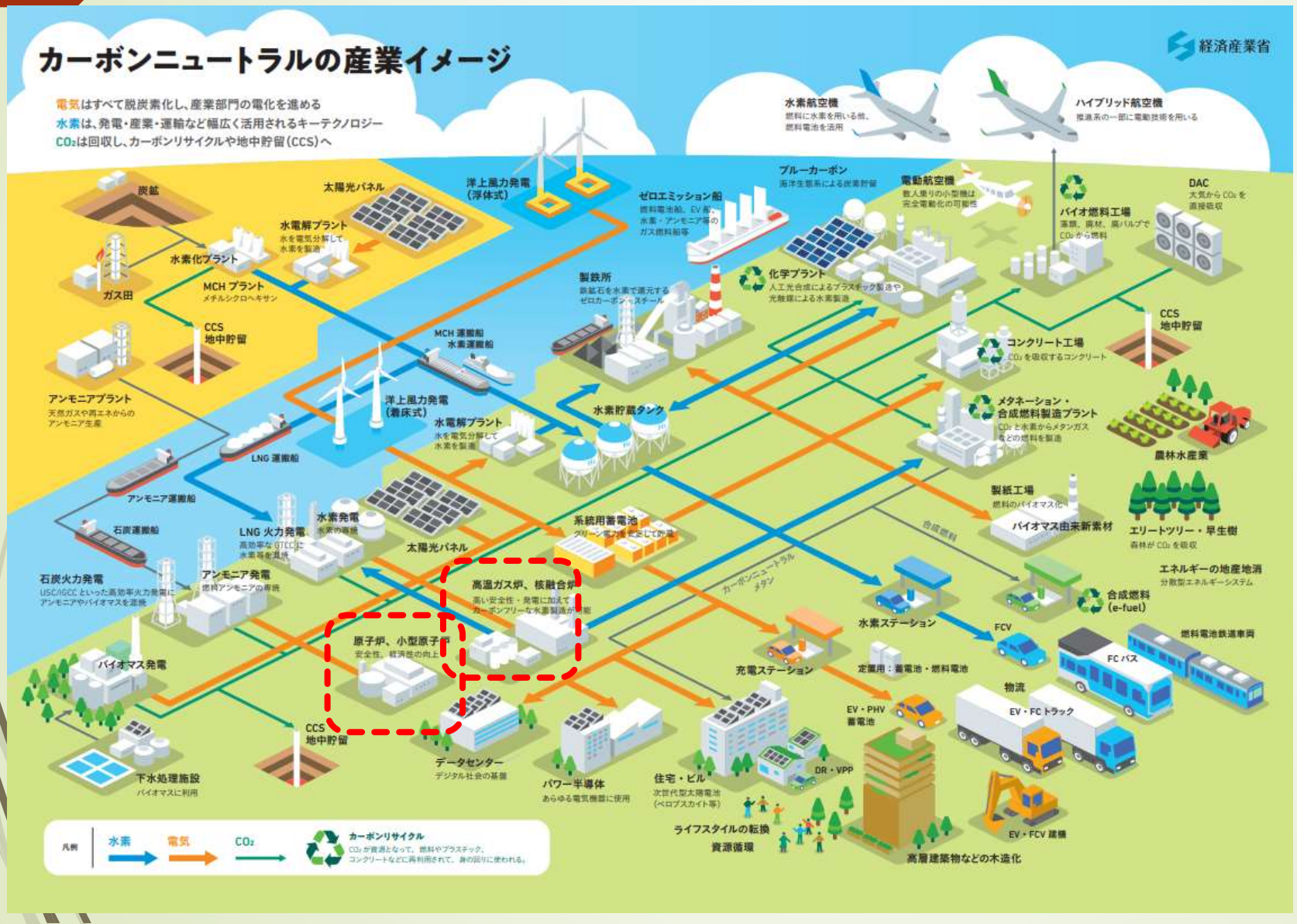
- **社会受容性**
- **貯留CO2の長期的な責任の所在**

- コスト
  CCS を含む石炭火力の発電コスト
  15.2～18.7 円/kWh⇒再エネと同等

- CO2 貯留適地と発生源との距離
  長距離輸送手段の検討が必要

- 活用も未定
  （CO2＋H2でメタンを作る研究中）

カーボンニュートラルの産業イメージ



原子炉・小型原子炉

高温ガス炉・核融合炉

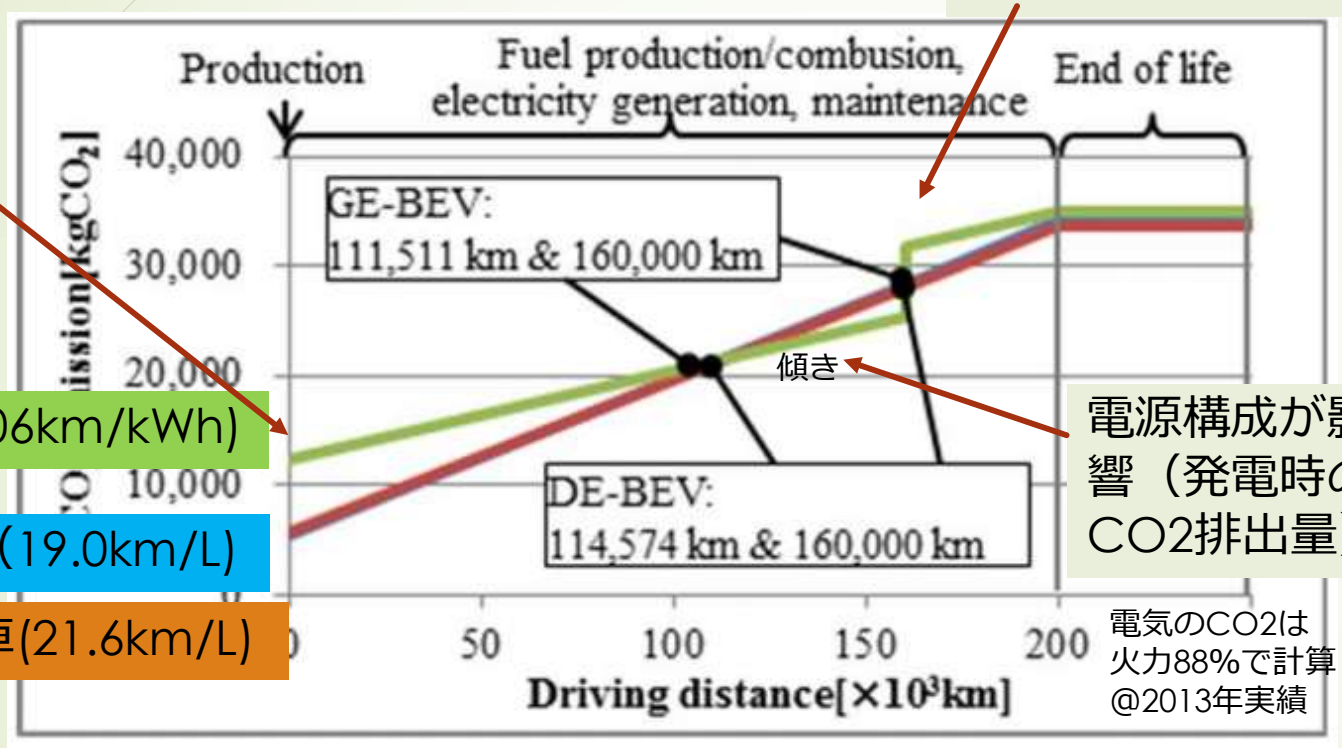
記載されている

経産省HPより

ちょっと寄り道
電気自動車は地球に優しいか？

電池製造の
投入エネルギーが
影響

電池交換：電池の寿命が影響



電気自動車(8.06km/kWh)

ガソリン車（19.0km/L)

ディーゼル車(21.6km/L)

電源構成が影響（発電時のCO2排出量）

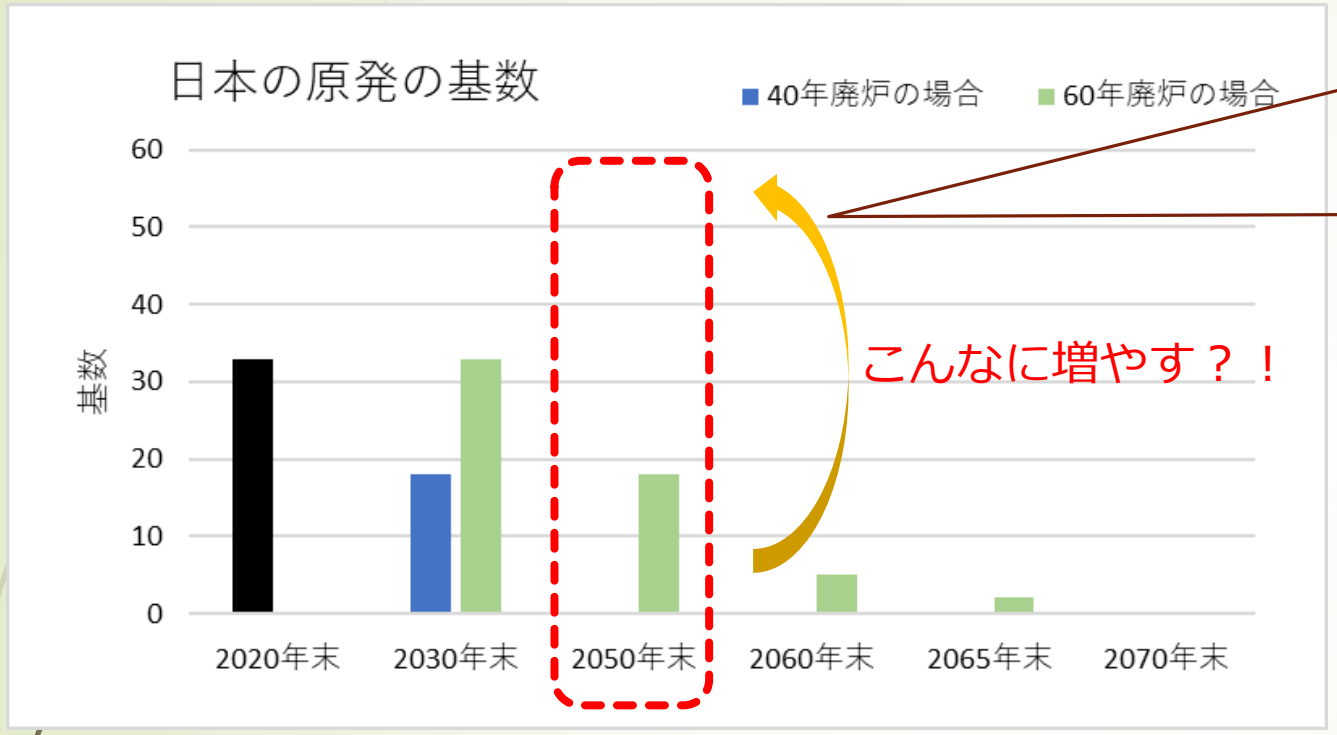
電気のCO2は
火力88%で計算
@2013年実績

- 製造
  - モーター＆電池
  - エンジン
- 走行
  - 電気（発電方法）
  - ガソリン
- メンテナンス
  - 電池交換
- 解体時
  - 車体

Estimation of CO2 Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA
Sustainability 2019, 11, 2690; doi:10.3390/su11092690 (マツダ論文)

社会を電力化するだけでは環境に優しくない。
⇒CO2削減には電力化と電源の脱炭素化のセットが必要。

もし、気候危機対策として原発に期待するとどうなるか？
スケジュールの問題（原発基数の自然減）



長期エネルギー需給見通しより
9808 億kWh @2030年
3割電力需要が増加すると（低く見積）
12750 億kWh @2050年
そのうち30%が原発だとすると
3825 億kWh @2050年・原発

設備利用率70%計算でも

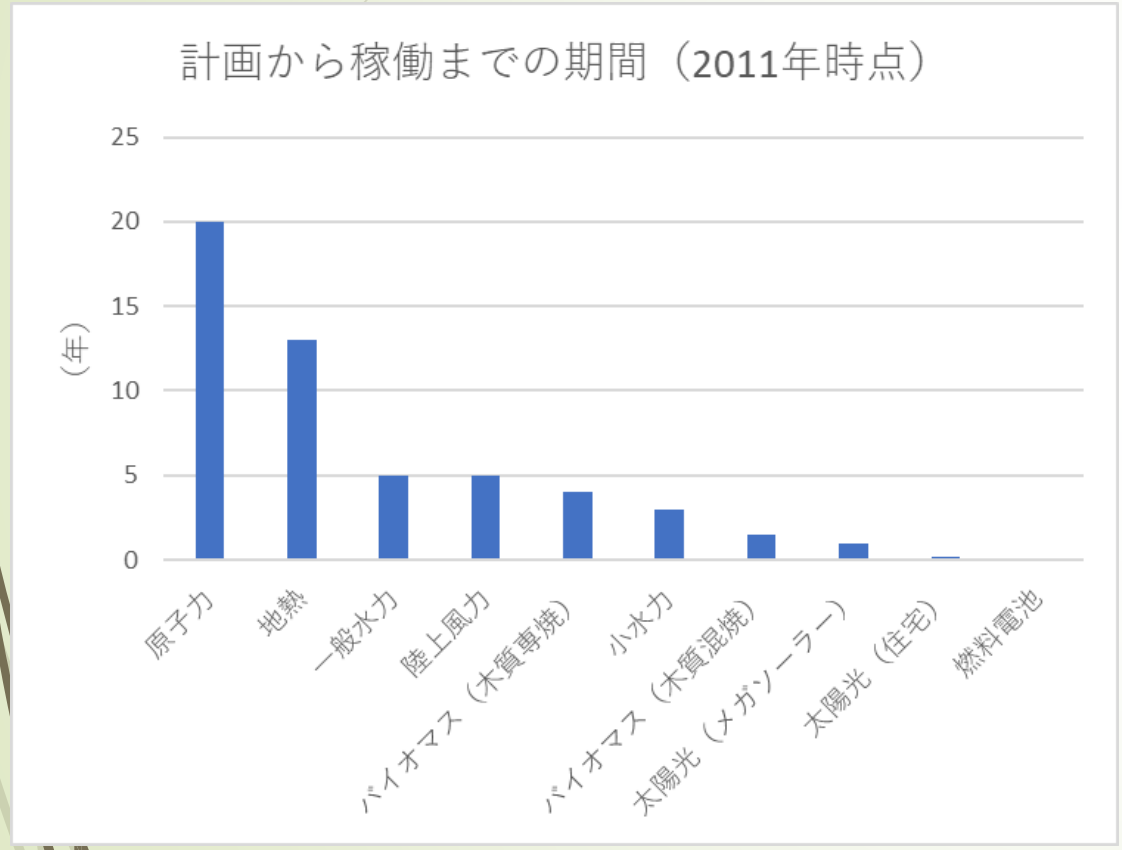
火力＋CO2回収
原子力
開発段階
30－40%

これを満たすには2050年に100万kWの原発が60基程度は必要
新規建設・リプレースをしないと計算が合わないが・・・。

不整合

2020年11月４日　菅首相は２０５０年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにする
目標達成の手段として、原発の新増設は「現時点で考えていない」と述べている。

もし、気候危機対策として原発に期待するとどうなるか？
スケジュールの問題（電源ごとの導入期間）



コスト等検証委員会　資料より作成
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111125/siryo6-1.pdf

原子力は非化石燃料の発電所のなかで、
計画から稼働までの期間をもっとも長く要する。

今後、建設計画があったとしても、
世論の反対が強くなるため、これまでと同様の
期間で稼働できるとは考えにくい。

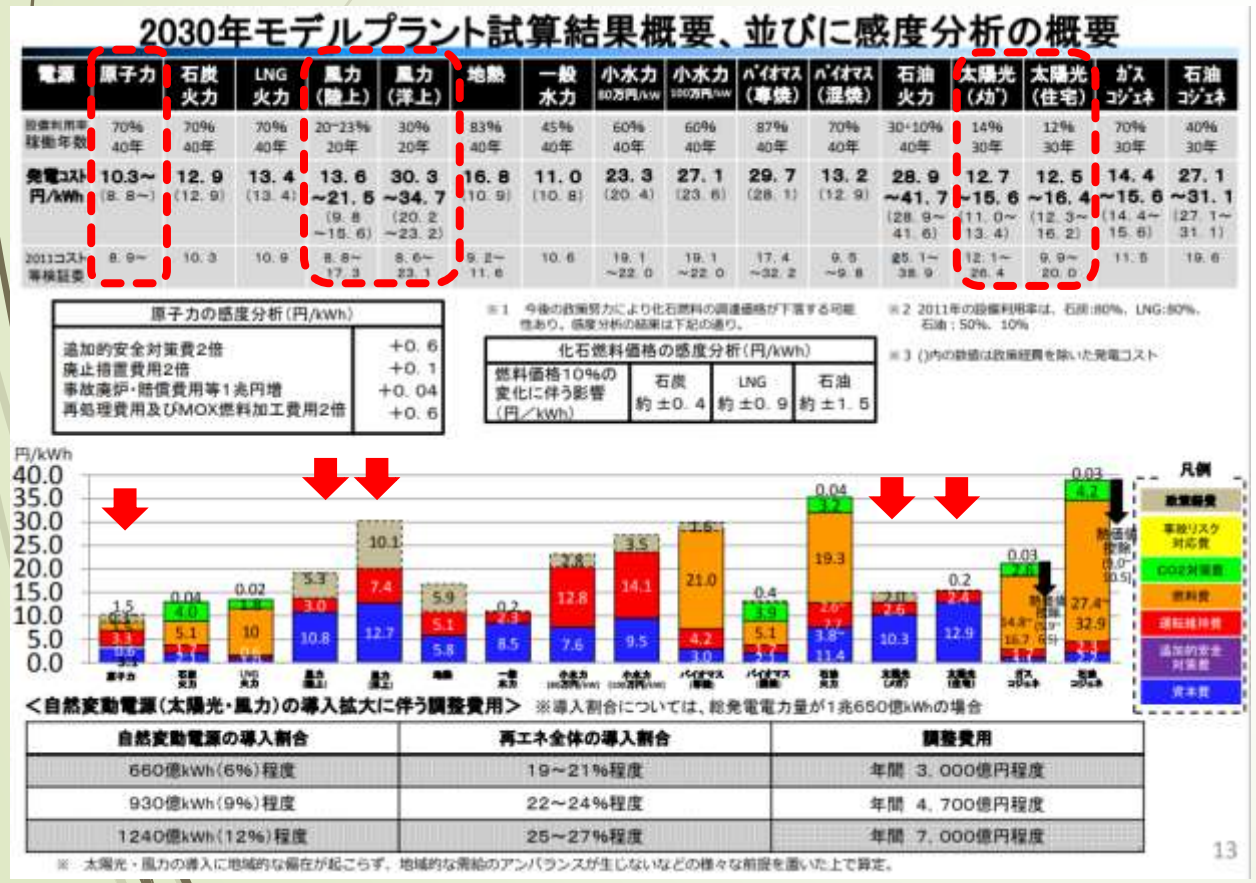
2050年ネットゼロ社会に
原発の建設は間に合わない

もし、気候危機対策として原発に期待するとどうなるか？

コストの検証（日本）

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年の計算



2030年モデルプラント試算結果概要、並びに感度分析の概要

電源	原子力	石炭火力	LNG火力	風力（陸上）	風力（洋上）	地熱	一般水力	小水力	小水力	バイオマス（専焼）	バイオマス（混焼）	石油火力	太陽光（メガ）	太陽光（住宅）	ガスコジェネ	石油コジェネ
設備利用率 稼働年数	70% 40年	70% 40年	70% 40年	20~23% 20年	30% 20年	83% 40年	45% 40年	60% 40年	60% 40年	87% 40年	70% 40年	30~10% 40年	14% 30年	12% 30年	70% 30年	40% 30年
発電コスト 円/kWh	10.3~ (8.8~)	12.9 (12.9)	13.4 (13.4)	13.6 ~21.5 (9.8 ~15.6)	30.3 ~34.7 (20.2 ~23.2)	16.8 (10.9)	11.0 (10.8)	23.3 (20.4)	27.1 (23.6)	29.7 (28.1)	13.2 (12.9)	28.9 ~41.7 (28.9~ 41.6)	12.7 ~15.6 (11.0~ 13.4)	12.5 ~16.4 (12.3~ 16.2)	14.4 ~15.6 (14.4~ 15.6)	27.1 ~31.1 (27.1~ 31.1)
2011コスト等検証委	8.9~	10.3	10.9	8.8~ 17.3	8.6~ 23.1	9.2~ 11.6	10.6	19.1 ~22.0	19.1 ~22.0	17.4 ~32.2	9.5 ~9.8	25.1~ 38.9	12.1~ 26.4	9.9~ 20.0	11.5	19.6

※1 今後の政策努力により化石燃料の調達価格が下落する可能性あり。感度分析の結果は下記の通り。

※2 2011年の設備利用率は、石炭:80%、LNG:80%、石油:50%、10%

※3 ()内の数値は政策経費を除いた発電コスト

原子力の感度分析（円/kWh）

追加的安全対策費2倍	+0.6
廃止措置費用2倍	+0.1
事故廃炉・賠償費用等1兆円増	+0.04
再処理費用及びMOX燃料加工費用2倍	+0.6

化石燃料価格の感度分析（円/kWh）

燃料価格10%の変化に伴う影響（円/kWh）	石炭	LNG	石油
	約±0.4	約±0.9	約±1.5

<自然変動電源（太陽光・風力）の導入拡大に伴う調整費用>　※導入割合については、総発電電力量が1兆650億kWhの場合

自然変動電源の導入割合	再エネ全体の導入割合	調整費用
650億kWh（6%）程度	19~21%程度	年間 3,000億円程度
930億kWh（9%）程度	22~24%程度	年間 4,700億円程度
1240億kWh（12%）程度	25~27%程度	年間 7,000億円程度

※ 太陽光・風力の導入に地域的な偏在が起こらず、地域的な需給のアンバランスが生じないなどの様々な前提を置いた上で算定。

13

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_01.pdf

近年の設備利用率の推移

暦年	設備利用率	再稼働したプラント	出力合計（万kW）	特記事項
2015年	1.2%	川内1、2	178.0	
2016年	5.0%	川内1、2 高浜3、4* 伊方3	441.0	
2017年	8.4%	川内1、2 高浜3、4 伊方3	441.0	川内1号機は年間を通じて運転し、設備利用率が106.7%に達した。
2018年	15.0%	川内1、2 高浜3、4 伊方3 大飯3、4 玄海3、4	913.0	
2019年	21.4%	川内1、2 高浜3、4 伊方3 大飯3、4 玄海3、4	913.0	高浜3号機は年間を通じて運転し、設備利用率が105.2%に達した。
2020年	15.5%	川内1、2 高浜3、4 伊方3 大飯3、4 玄海3、4	913.0	

＊高浜4号機は2018年2月原子炉起動、2017年5月発電再開。

モデルプラントは新規発電所を建設した場合にある前提を置いて
発電した電気のコストがいくらになるかの計算。

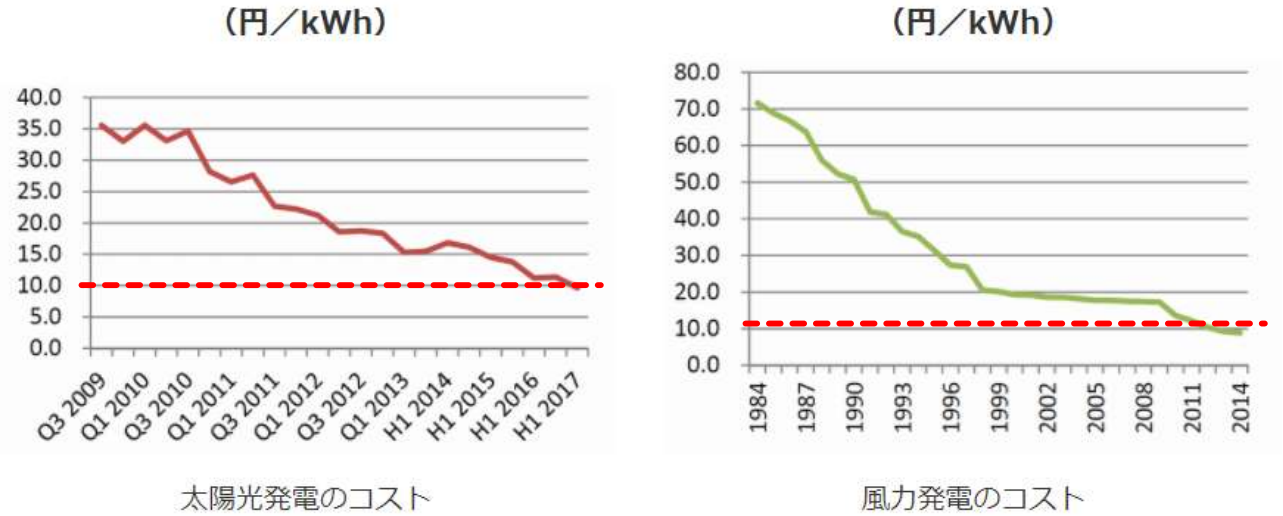
原発のコストは上昇（福島原発事故処理費用）
太陽光・風力発電などのコストは低下している

もし、気候危機対策として原発に期待するとどうなるか？
コストの検証

年々安くなる世界の再エネ

世界的には、再エネルギーの発電コストの低減化は年々進んでいます。場合によっては、他の発電方法で発電された電力と比較しても、コスト面で競争力のある電源となり始めています。

太陽光発電と風力発電のコストの推移



※Bloomberg new energy financeより資源エネルギー庁制作

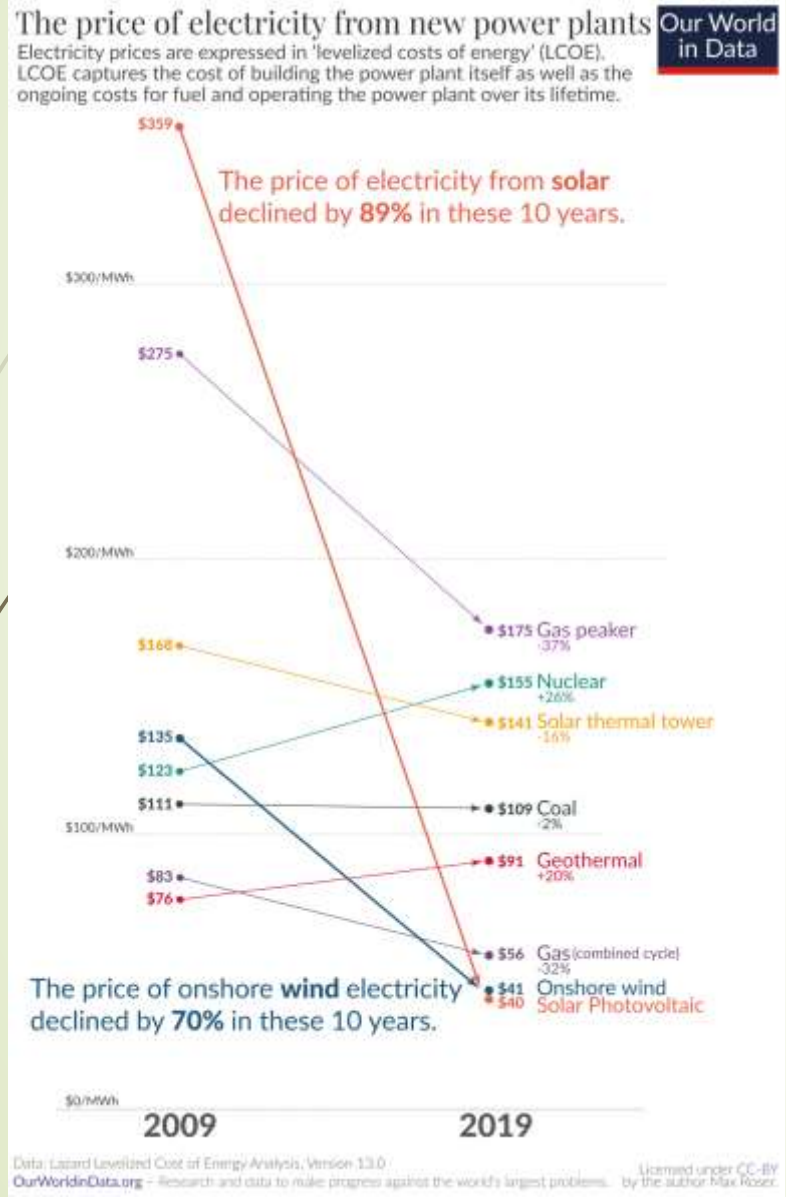
資源エネルギー庁　スペシャルコンテンツ「再エネのコストを考える」より

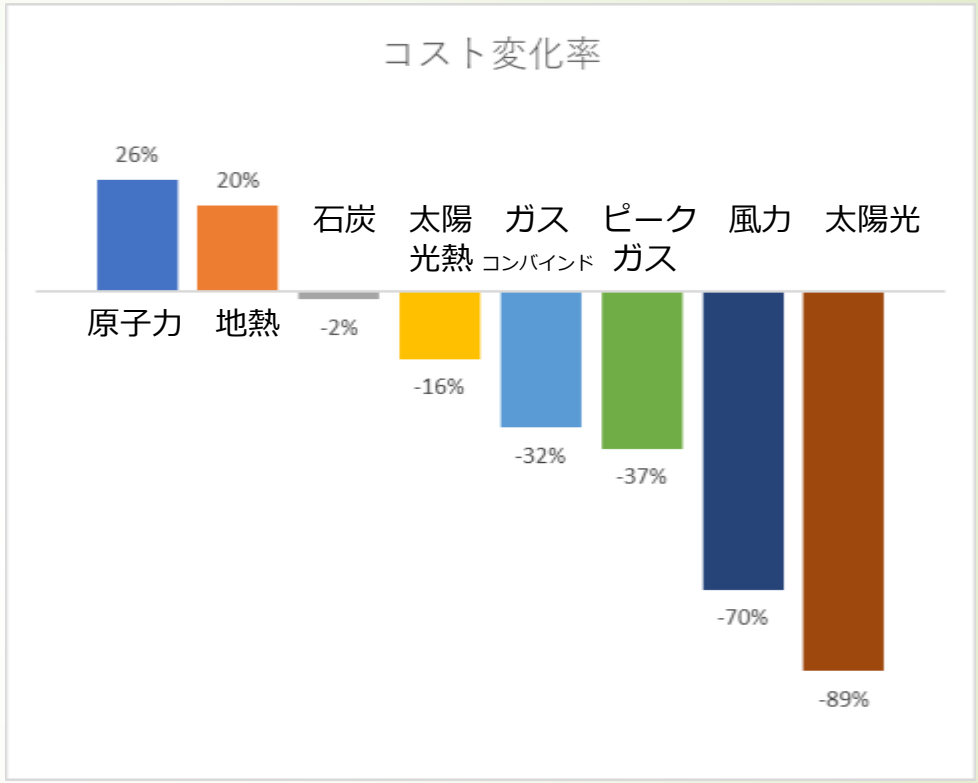
2030年モデルプラント
原発コスト　10.3円～　より
世界の再生可能エネルギーコストは
安くなっている。

2030年モデルプラント
原発コスト　10.3円～

もし、気候危機対策として原発に期待するとどうなるか？
コストの検証（電源別の10年コスト変化）

新規建設





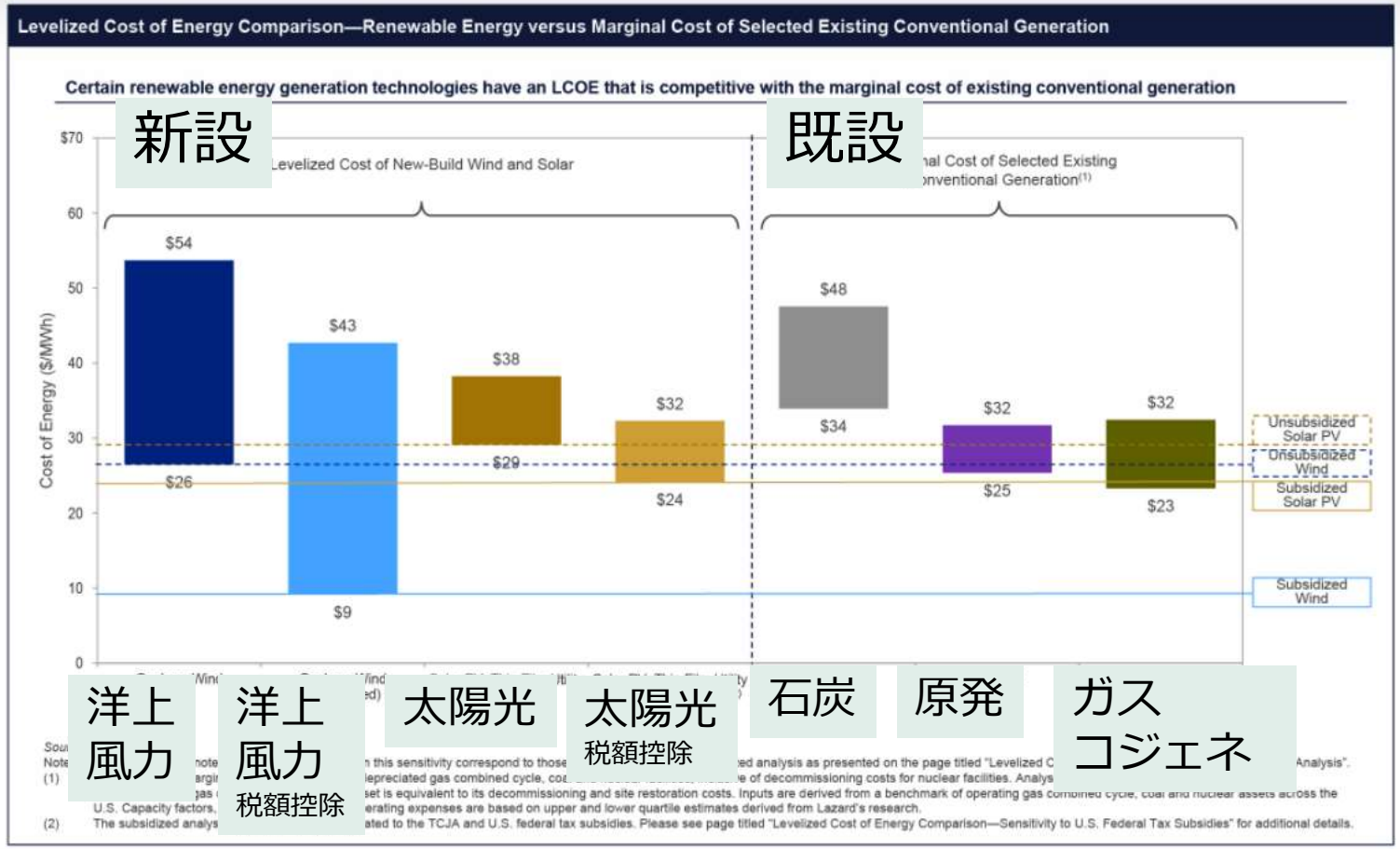
ここ10年で
もっともコストが上昇したのが原発
新規建設で2番目に高コストとなった

もし、気候危機対策として原発に期待するとどうなるか？

13

コストの検証（新設再エネと既設原発）

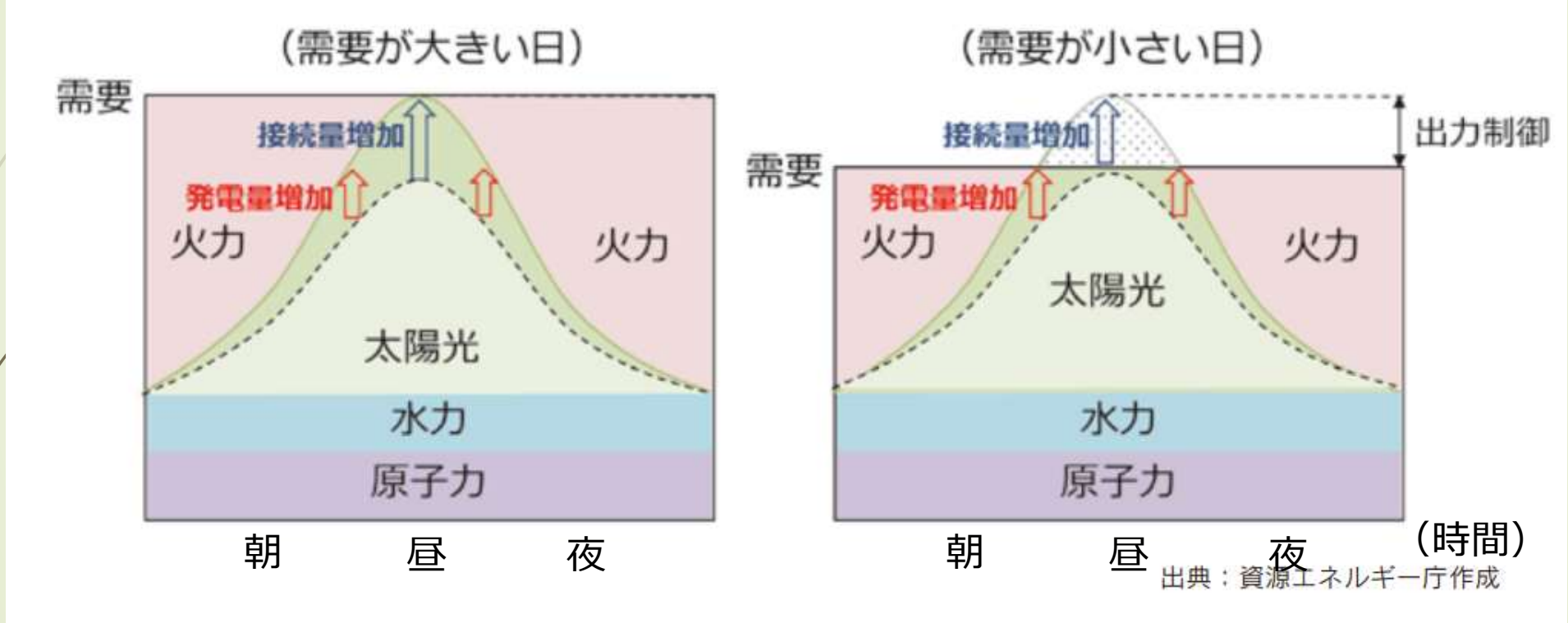
米国投資銀行LAZARDによるコスト分析（2020）



既にある原発の発電コストと新規建設の風力・太陽光のコストが同水準まで低下

既設の原発を活用するコスト面での理由がなくなりつつある。

原発に期待をしつづけることで気候危機対策が遅れる理由
再エネ出力抑制問題とは



太陽光発電の導入が急速に進む九州エリアでは2018年10月に再エネの出力制御が行われた
（エネルギー白書2020より）

日本初

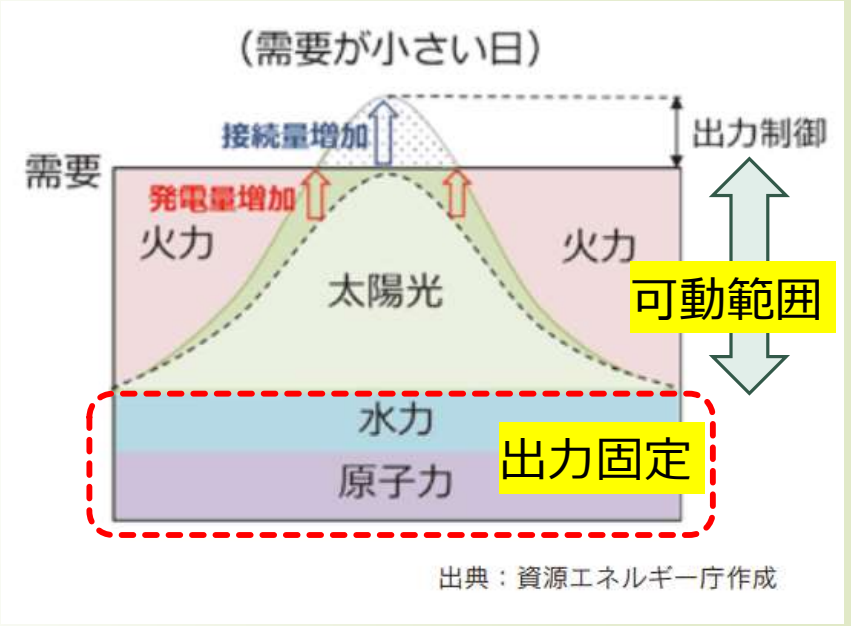
出力制御の実績：2018年度26回　　2019年度74回

原発に期待をしつづけることで気候危機対策が遅れる理由
再エネ出力抑制問題（電源の優先順位）

【優先給電ルールに基づく再生可能エネルギーの出力制御】

出力の抑制等を行う順番

①揚水運転による再生可能エネルギーの余剰電力の吸収、
　火力発電等の出力制御
②連系線を活用した他地域への送電〔関門連系線の活用〕
③バイオマスの出力制御
④太陽光・風力の出力制御
⑤長期固定電源（水力、原子力、地熱）の出力制御

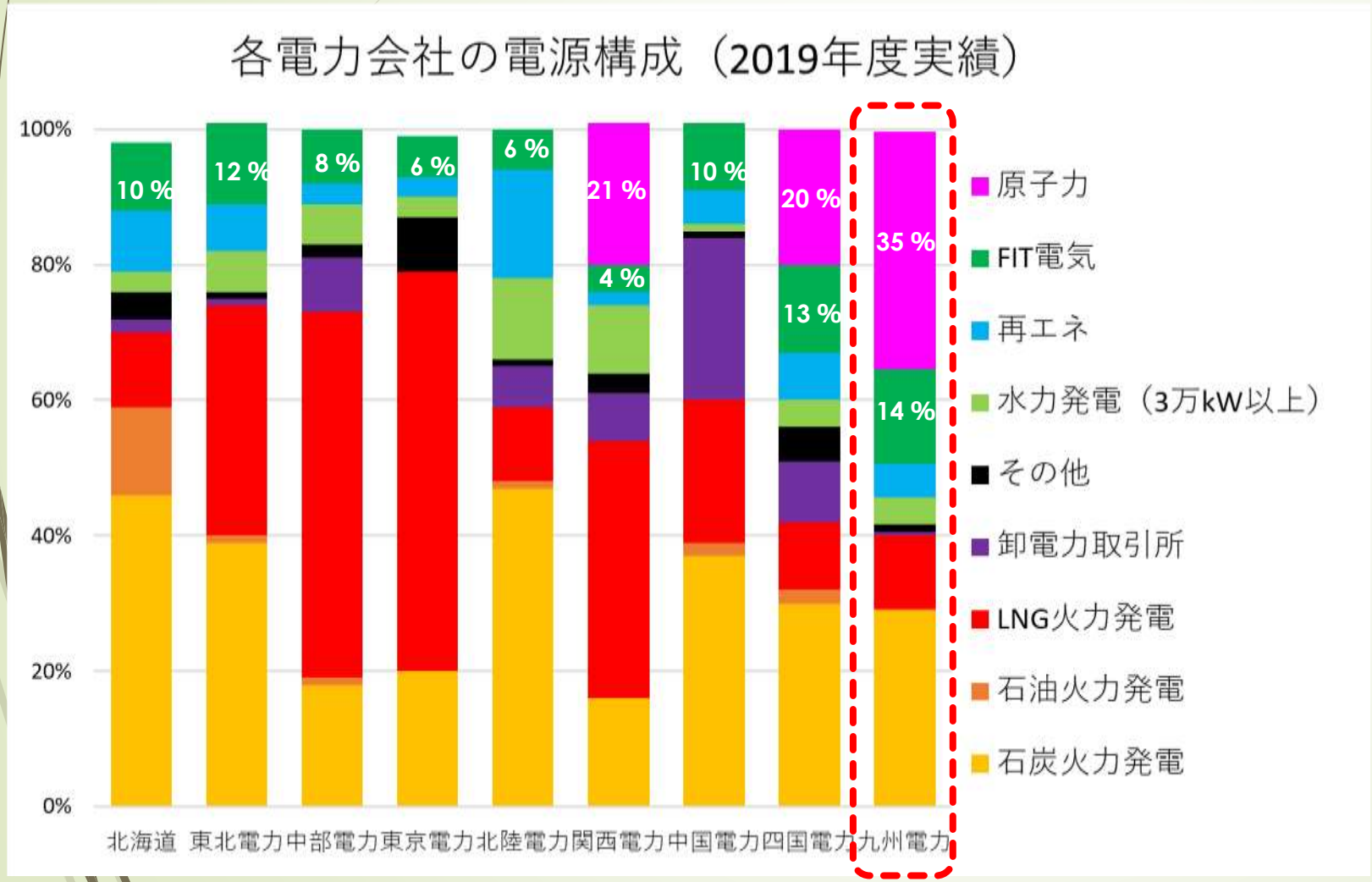


出典：資源エネルギー庁作成

原発は優先的に一定出力運転される
⇒原発は出力調整の効かない発電方法

固定電源が増えると
電力供給の柔軟性が低下

原発に期待をしつづけることで気候危機対策が遅れる理由
再エネ出力抑制問題



太陽光発電の導入が急速に進む九州エリアでは2018年10月に再エネの出力制御が行われた
（エネルギー白書2020より）

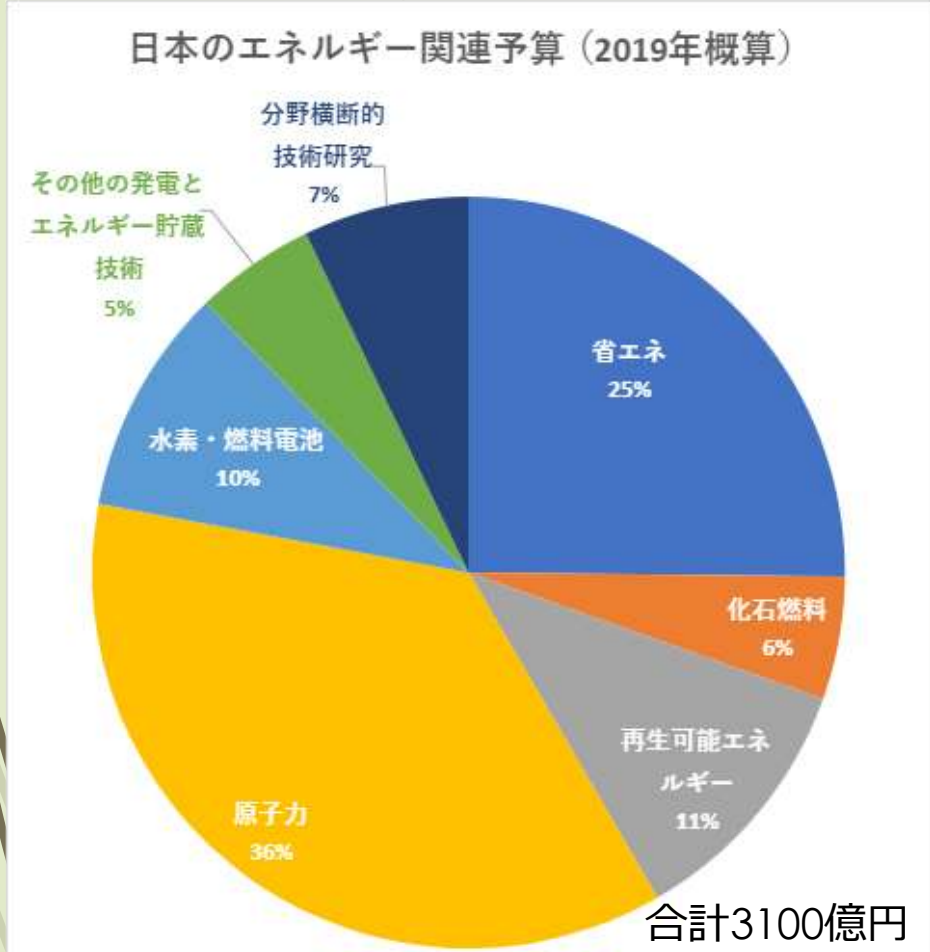
原発の再稼働が進み一定出力の電源比率が増えた九州エリアでは、再エネの出力制御が行われた

という理解が正しいのではないか。

原発に期待をしつづけることで気候危機対策が遅れる理由

17

予算配分の問題（日本のエネルギー研究開発）



IEA Energy Technology RD&D Budgetsより作成

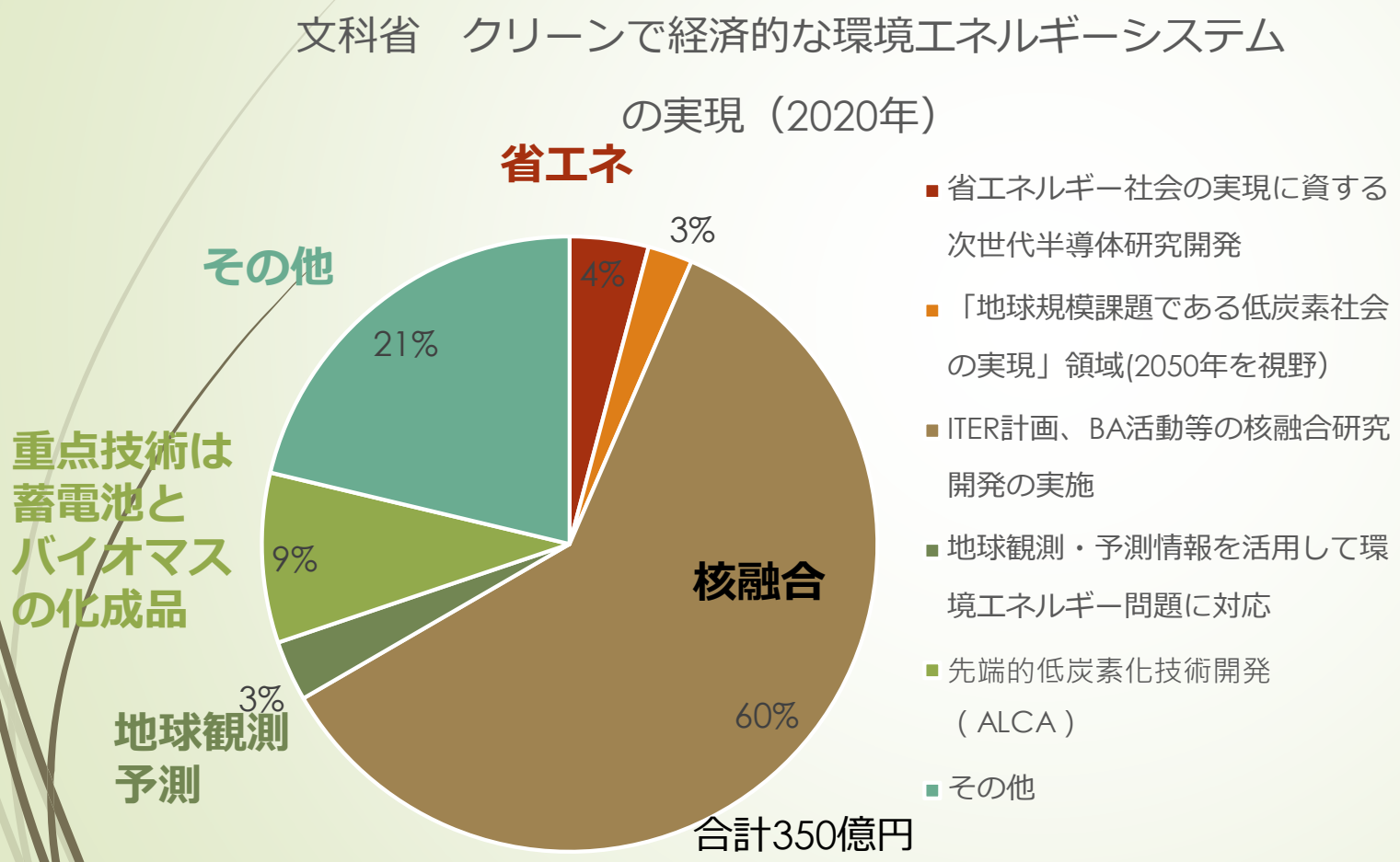
日本のエネルギー関連 研究開発予算で
もっとも多くを占めているのは原子力関連の予算

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」には

①2030 年までに国際連携による小型モジュール炉技術の実証
②2030 年までに高温ガス炉における水素製造に係る要素技術確立
③ITER 計画等の国際連携を通じた核融合 R&D の着実な推進

とあり、さらなる予算の投入が予想される

原発に期待をしつづけることで気候危機対策が遅れる理由
予算配分の問題（文科省分野）



予算配分は適切か

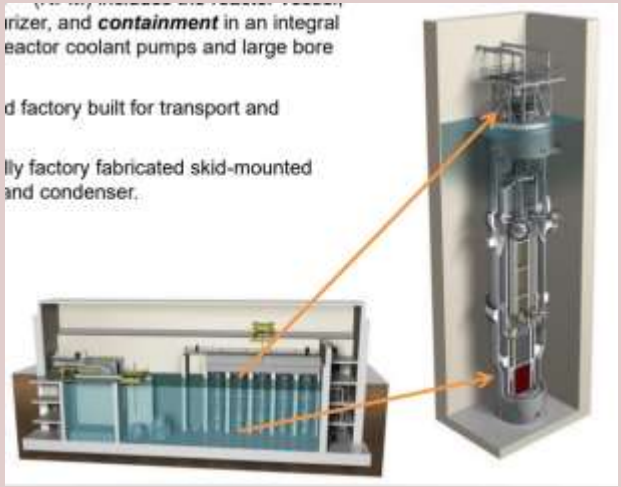
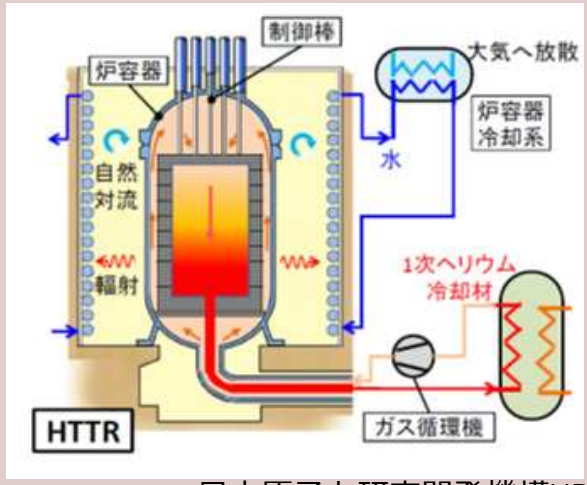
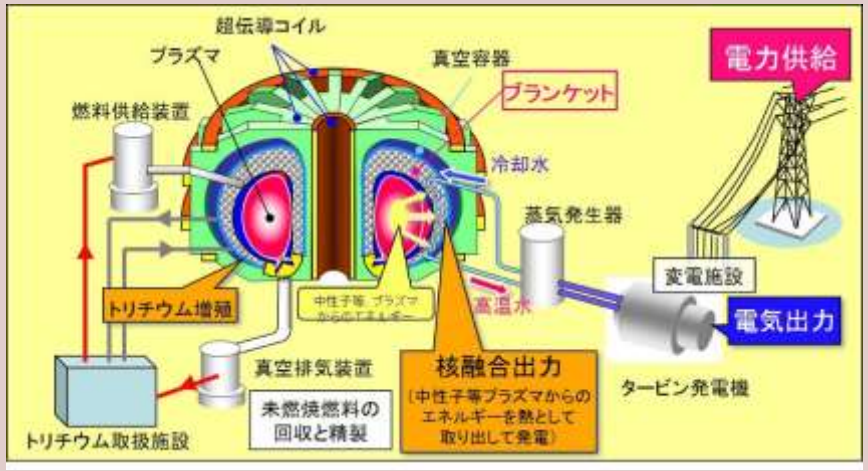
温暖化対策の時間軸と核融合利用の時間軸に整合性はあるか？

社会的な議論が必要

原発に期待をしつづけることで気候危機対策が遅れる理由

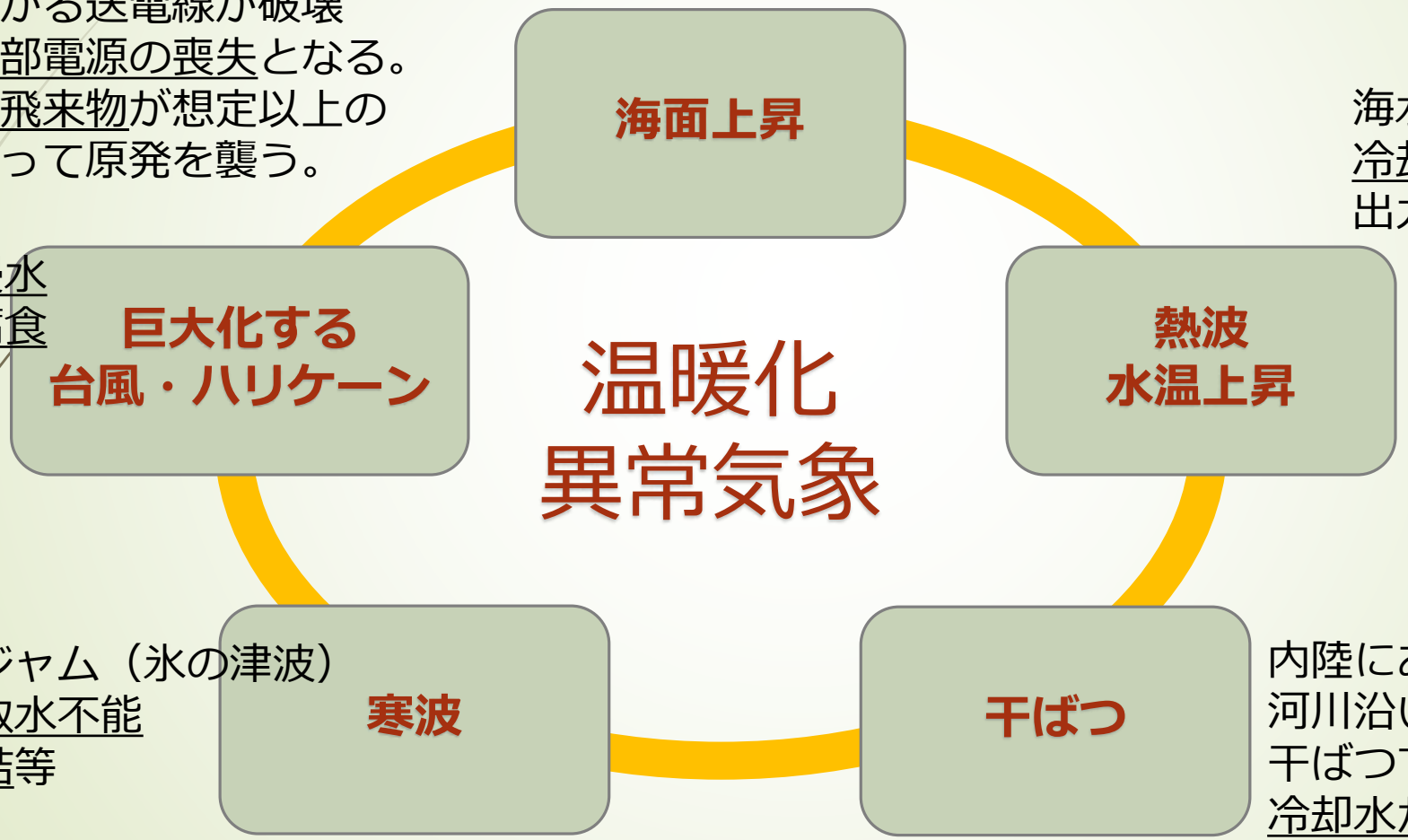
19

新型炉、小型炉ならいいのか？

	小型モジュール炉（SMR)	高温ガス炉	核融合炉
	 NuScale Power 資料より	 日本原子力研究開発機構HPより	 量子科学技術研究開発機構HPより
コンセプト	• 炉心（出力）が小さい。 • 格納容器内に原子炉や制御棒装置、蒸気発生器を組み込んだ一体構造 • モジュール生産による工期短縮＆低コスト化。	• 冷却材が水でなくHeガスで1600℃まで扱えるので高温を利用し水素製造可能。 • 炉心構造材は黒鉛（熱容量大）で温度変化が緩慢。 • 核燃料のセラミックで被覆し核分裂生成物を閉じ込める	• 重水素（D)とトリチウム（T)を超高温 • （1億２千万度）にして核融合させてエネルギーを取り出す。 • 高レベル放射性廃棄物があまり生じない。 • 核分裂のような連鎖反応がない
課題	• 要素技術の開発が必要 • 経済性を検証	• ノウハウの蓄積と実用化スケールへの拡張が必要	• 実験炉の建設に向けた試験や要素技術開発が必要

「課題」は「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」より抜粋

温暖化と異常気象下での原発の運転リスク



海岸沿いの原発は敷地水没の可能性
津波想定高さの上昇も

巨大なハリケーンによって
原発につながる送電線が破壊
されると外部電源の喪失となる。
竜巻による飛来物が想定以上の
破壊力をもって原発を襲う。

海水や河川水の温度上昇。
冷却機能が不十分になり、
出力低下や運転停止に。

豪雨による浸水
塩害による腐食
機器の故障

クラゲや海藻の大量発生で
取水困難になり
出力低下・運転停止へ

アイスジャム（氷の津波）
による取水不能
配管凍結等

内陸にある原発は
河川沿いに建てられているが
干ばつで河川や湖の水量が減少し
冷却水が確保できず運転停止に。

「史上最悪」の気象が起こりうるため、経験値に基づいた対策では不十分

温暖化と異常気象下での原発の運転リスク

IAEAに報告された　気象に関わる原発の運転報告
1980-2009

2000年代の熱波では、水温上昇による運転停止や出力低下が発生。
フランスでは原発の水温制限を緩和し対応。
水温制限は河川環境保護のために設定されていた。

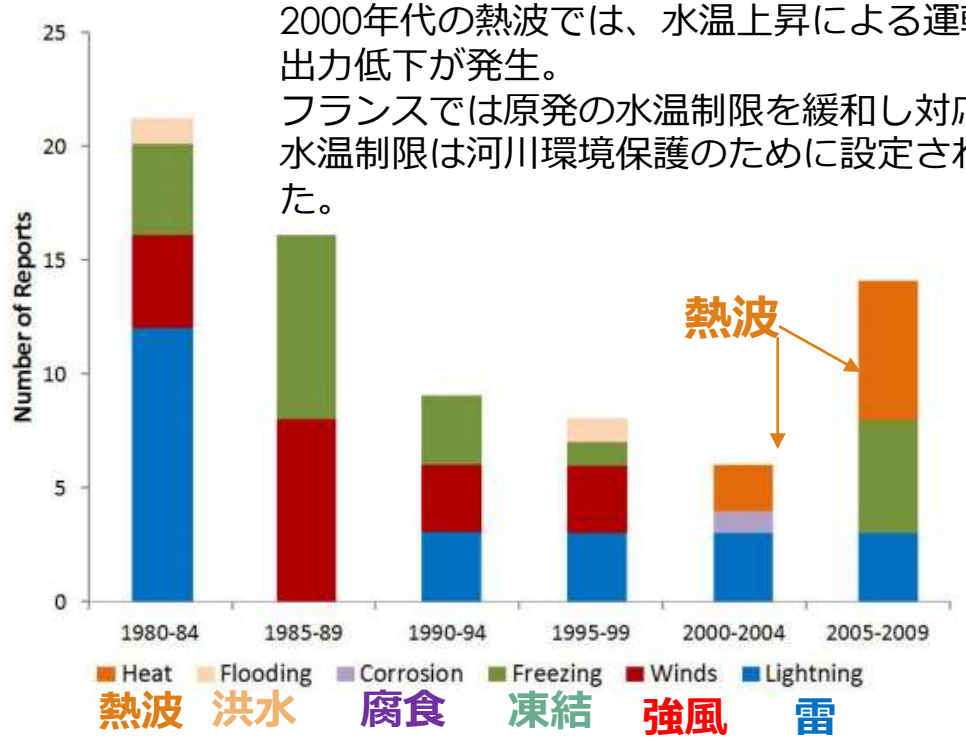
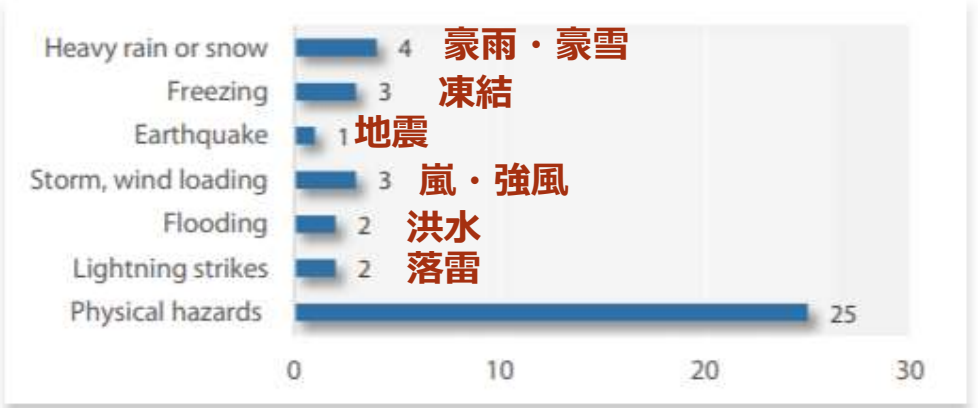


FIG. 12. International Reporting System for Operating Experience reports by climate or weather event between 1980 and 2009 [34].

「Adapting the Energy Sector to Climate Change」より

2015-2017に原子力施設でおきた外部イベント

Figure 3.22: Relative proportion of the main types of external events reported to the IRS during the 2015-2017 review period



Nuclear Power Plant Operating Experience from the IAEA/NEA International Reporting System for Operating Experience 2015-2017

**気象に関わる原発運転の報告があるが、
異常気象が増える地球で、
現状のリスク想定のまま原発運転させて良いか**

ネットゼロ社会の姿

ネットゼロ：
CO2に排出と吸収を合わせてゼロにする

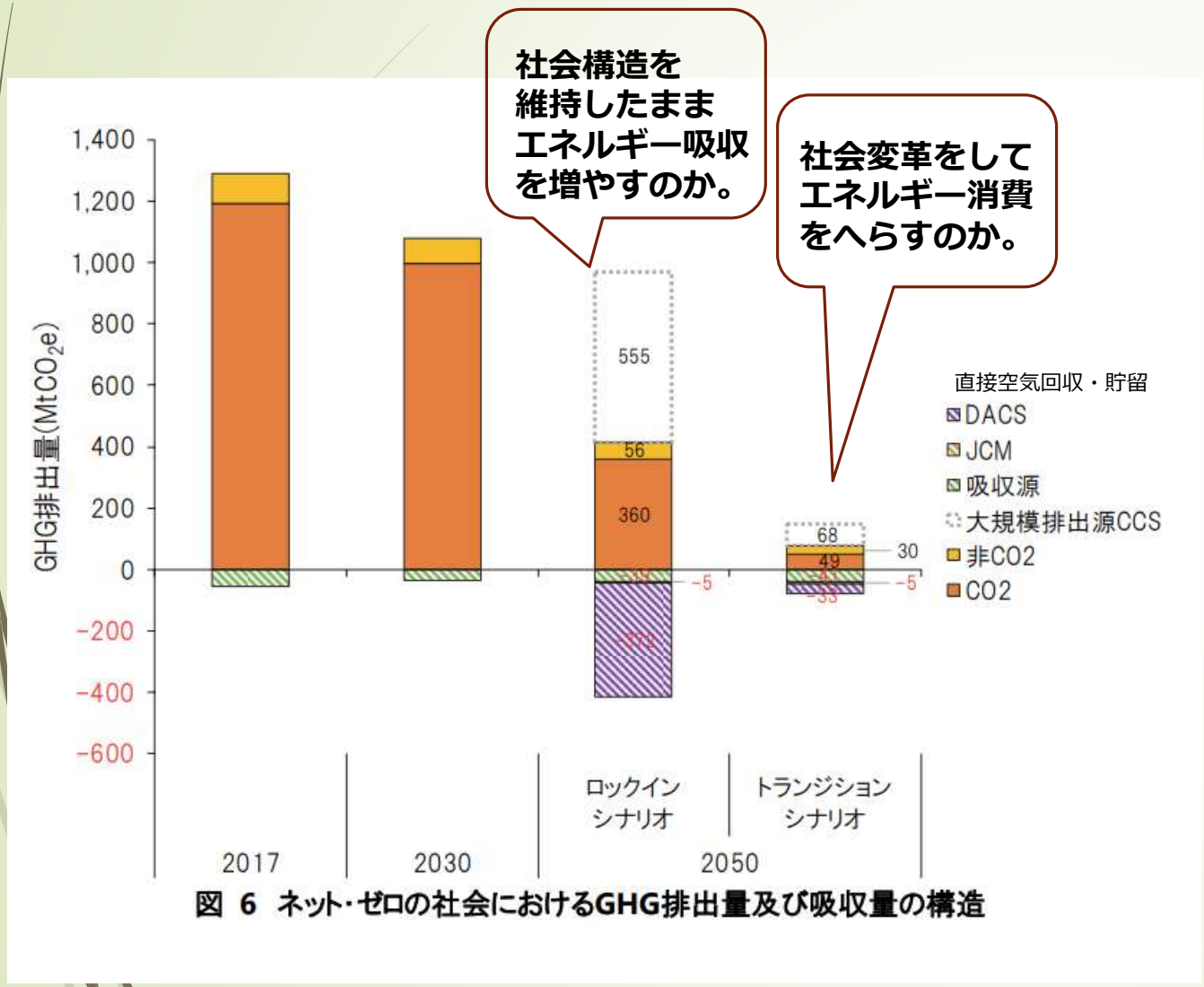


図 6 ネット・ゼロの社会におけるGHG排出量及び吸収量の構造

ロックインシナリオ（現状維持）	トランジションシナリオ（社会変革）
経済合理性	経済合理性、環境合理性、生活の質への欲求の高まり
製品の所有	機能・サービスの消費、シェアリング
大量生産・大量廃棄、現状の資源循環	循環型社会の形成、カスタマイズ・デマンドフロー生産
エネルギー利用に係る問題が供給側で対応され、エネルギーのコンシューマーとしての暮らし	デマンドレスポンス関連技術を応用し、再生可能エネルギーの変動と調和があるエネルギーのプロシューマーとしての暮らし
CCSを用いた化石燃料の利用の継続	多様な再生可能エネルギー中心
集中型電源・既存の電力システム	分散型電源・送電網の拡充，デマンドレスポンス 等

（一部抜粋）

地球環境戦略研究機関「ネット・ゼロという世界：2050年日本（試案）」

まとめ

・2050年ネットゼロ目標：電力消費増大、再エネとともに原子力（小型炉・高温ガス炉・核融合炉）の活用を想定。
・2050年に50-60基の原発が必要となる電力需要想定だが、40年廃炉ルールに基づけば既存原発では電力供給力が明らかに不足。
・もし原発を増やそうとしても、コストの面でもスケジュールの面でも合わない。再エネを導入するほうが合理的。
・エネルギー関連の研究開発費の第1位は2019年においても原子力。
予算配分は適切か、議論が必要では。
・異常気象は、原発の運転リスクを一層高める。
・2050年ネットゼロを目指すなら、エネルギー消費の少ない社会に。

ありがとうございました