

2016年3月2日

---

# 2°C目標と我が国の2050年 排出削減目標との関係

---

(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

問い合わせ先：佐野史典、秋元圭吾  
TEL: 0774-75-2304、E-mail: [sysinfo@rite.or.jp](mailto:sysinfo@rite.or.jp)



- ◆ 2015年12月にパリで開催されたCOP21においてパリ協定が合意された。パリ協定では長期目標に関して以下のような内容が含まれることとなった。
  - 全球平均気温上昇を産業革命前に比べ2°C未満に十分に (“well below”) 抑える。また1.5°Cに抑えるような努力を追求する。(第2条1項(a))
  - 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4条1項)
- ◆ そして、すべての国は、温室効果ガス低減のための長期発展戦略を策定するよう努力すべき(第4条19項)(COP21決定には2020年までにと時期も明示されている)とされた。
- ◆ 一方、日本では第4次環境基本計画(2012年)では2050年までに80%削減を目指すとしているが、長期発展戦略策定に向けて、今後、長期目標に関する議論が活発化すると考えられる。(国際環境経済研究所 有馬純主席研究員の記事が80%削減目標の経緯など、詳しい議論がなされているので参照されると良い。  
<http://ieei.or.jp/2016/02/special201511014/>)
- ◆ 本報告では、それらの議論に資すると考えられるような定量的な分析を実施

# **2°C目標のための世界の 温室効果ガス排出削減経路**

# IPCC AR5における長期の世界排出削減シナリオの整理

2100年の等価CO2濃度カテゴリー (ppm CO2eq)	サブカテゴリー	RCPとの対応関係	2050年世界排出(2010年比)	2100年気温(°C、1850-1900年比)	21世紀中に当該気温(1850-1900年比)を超える確率		
					1.5°C	2.0°C	3.0°C
[0] <430	極めて限定的な数の分析報告しか存在しない(AR5シナリオデータベースへの登録はなし)						
[1] 450 (430-480)	—	RCP2.6	-72~-41%	1.5~1.7°C (1.0~2.8)	49-86%	12-37%	1-3%
[2] 500 (480-530)	[2a] 530 ppm CO2eqを超えない		-57~-42%	1.7~1.9°C (1.2~2.9)	80-87%	32-40%	3-4%
	[2b] 2100年までの間に530 ppm CO2eqを一旦超える		-55~-25%	1.8~2.0°C (1.2~3.3)	88-96%	39-61%	4-10%
[3] 550 (530-580)	[3a] 580 ppm CO2eqを超えない		-47~-19%	2.0~2.2°C (1.4~3.6)	93-95%	54-70%	8-13%
	[3b] 2100年までの間に580 ppm CO2eqを一旦超える		-16~+7%	2.1~2.3°C (1.4~3.6)	95-99%	66-84%	8-19%
[4] (580-650)	—	RCP4.5	-38~+24%	2.3~2.6°C (1.5~4.2)	96-100%	74-93%	14-35%
[5] (650-720)	—		-11~+17%	2.6~2.9°C (1.8~4.5)	99-100%	88-95%	26-43%
[6] (720-1000)	—	RCP6.0	+18~+54%	3.1~3.7°C (2.1~5.8)	100-100%	97-100%	55-83%
[7] >1000	—	RCP8.5	+52~+95%	4.1~4.8°C (2.8~7.8)	100-100%	100-100%	92-98%

注)濃度カテゴリーの番号は説明の便宜上、RITEにて追加したもの

# 気候感度の評価の変遷とIPCC WG3 AR5 長期シナリオ推計で用いられた気候感度

	平衡気候感度 (likelyレンジ) (括弧は最良推計値もしくはmedian等)
IPCC WG1 AR4以前	1.5~4.5°C (2.5°C)
IPCC WG1 AR4	2.0~4.5°C (3.0°C)
IPCC WG1 AR5	1.5~4.5°C (合意できず)
IPCC WG3シナリオ気温 推計 (MAGICCモデル)	2.0~4.5°C (3.0°C) 【AR4の評価をそのまま利用】

## 【WG1 AR5 (SPM)における具体的な記述】

Likely in the range 1.5 °C to 4.5 °C (high confidence)

Extremely unlikely less than 1 °C (high confidence)

Very unlikely greater than 6 °C (medium confidence)

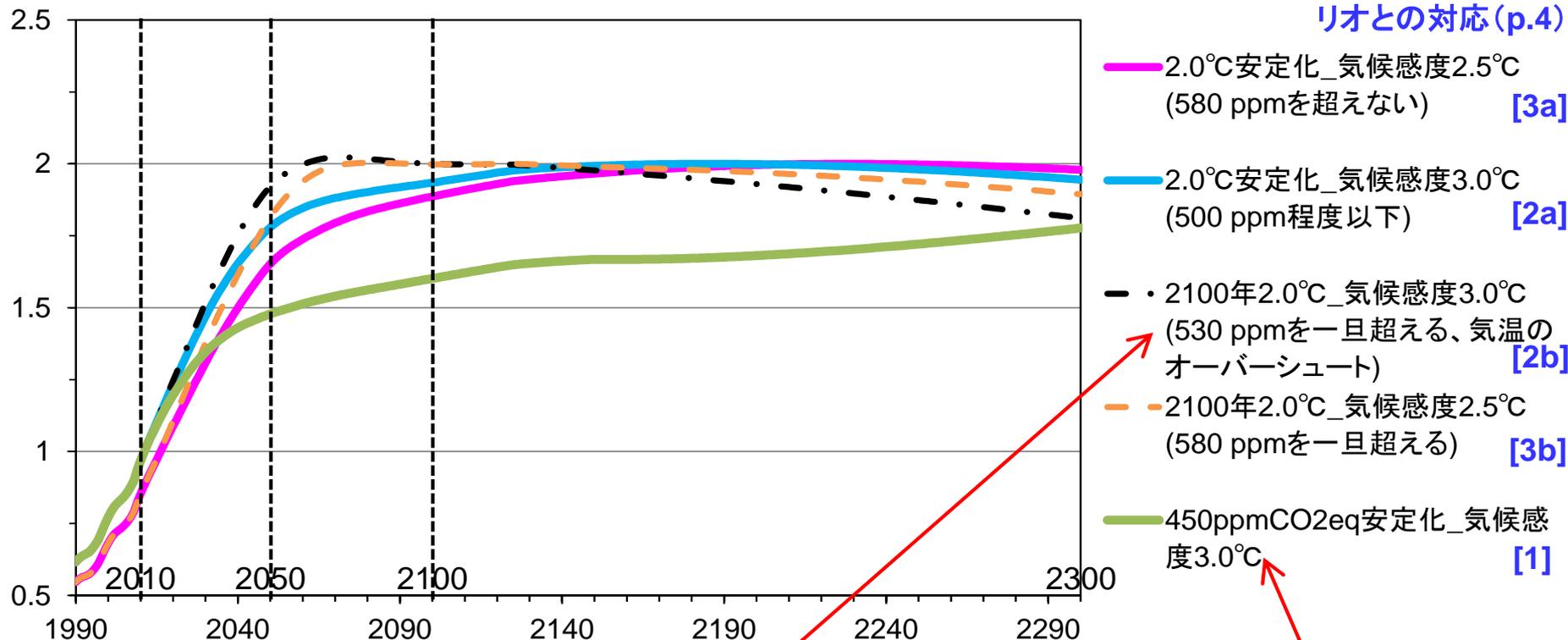
No best estimate for equilibrium climate sensitivity can now be given because of a lack of agreement on values across assessed lines of evidence and studies.

- ◆ 平衡気候感度(濃度が倍増し安定化したときの気温上昇の程度の指標)の不確実性は未だ大きい。
- ◆ AR5 WG1では観測データ派の気候感度評価を含めて各種分析を総合的に判断した結果、AR4よりも低位に修正(1.5~4.5°C)。(付録p.28参照)
- ◆ しかし、AR5 WG3の長期排出経路の気温推計(p.4等)においてはAR4の気候感度(2.0~4.5°C、最良推計値3.0°C)を利用(計算に用いられた気候感度の確率密度分布は付録p.28)

# 2°C目標のための全球平均気温上昇経路例

2°C未満と言っても様々な経路が考えられる

IPCC AR5シナ  
リオとの対応(p.4)

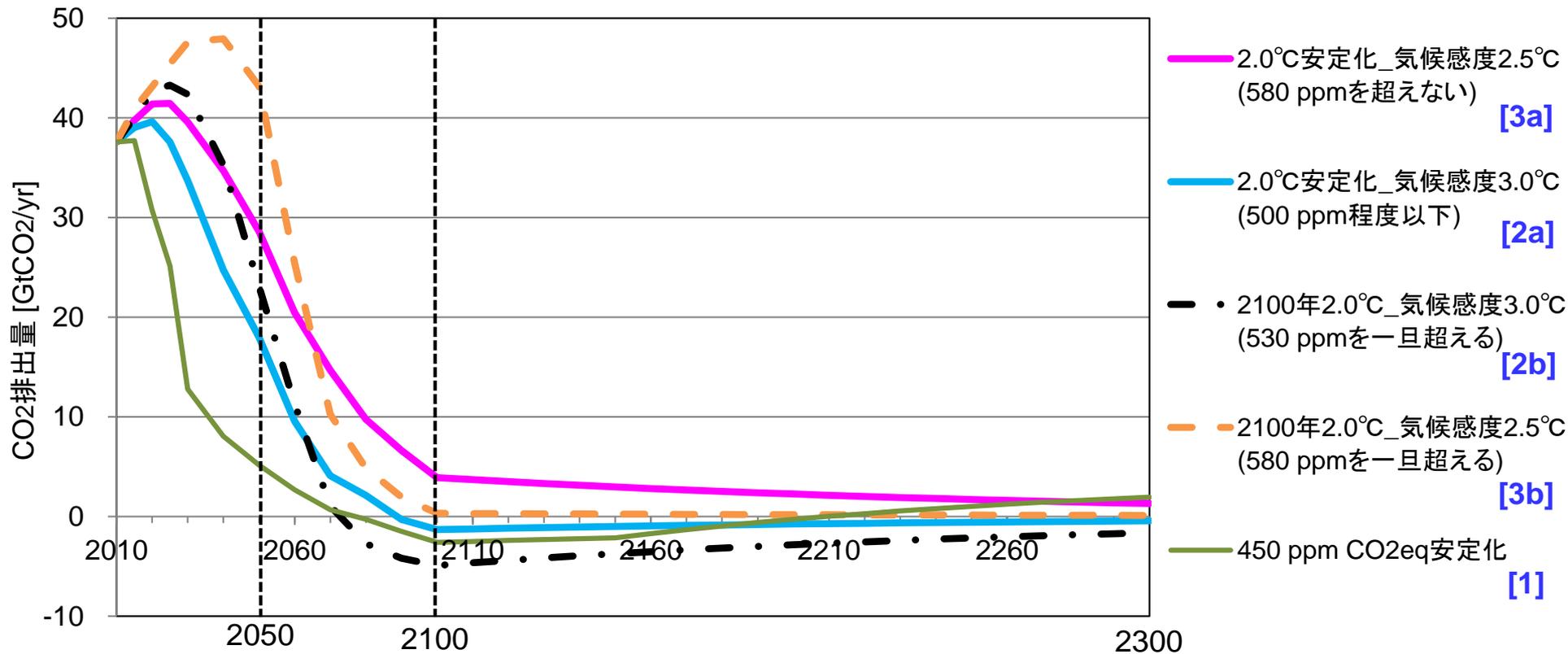


(>50%で2100年に2°C未満、  
2300年以降に>66%程度で2°C未満)

IPCC AR4カテゴリーI相当  
(>66%で2100年に2°C未満、  
>50%で2°C安定化)

2°C未満に抑制する目標としても、>66%で2100年に2°C未満(かつ>50%で2°C安定化)、>66%で2°C安定化(上記グラフにはこの経路は示していない)、>50%で2100年に2°C未満(かつ>50%で2°C安定化)、>50%で2100年に2°C未満(かつ2300年以降に>66%で2°C未満)など、様々な考えられる。

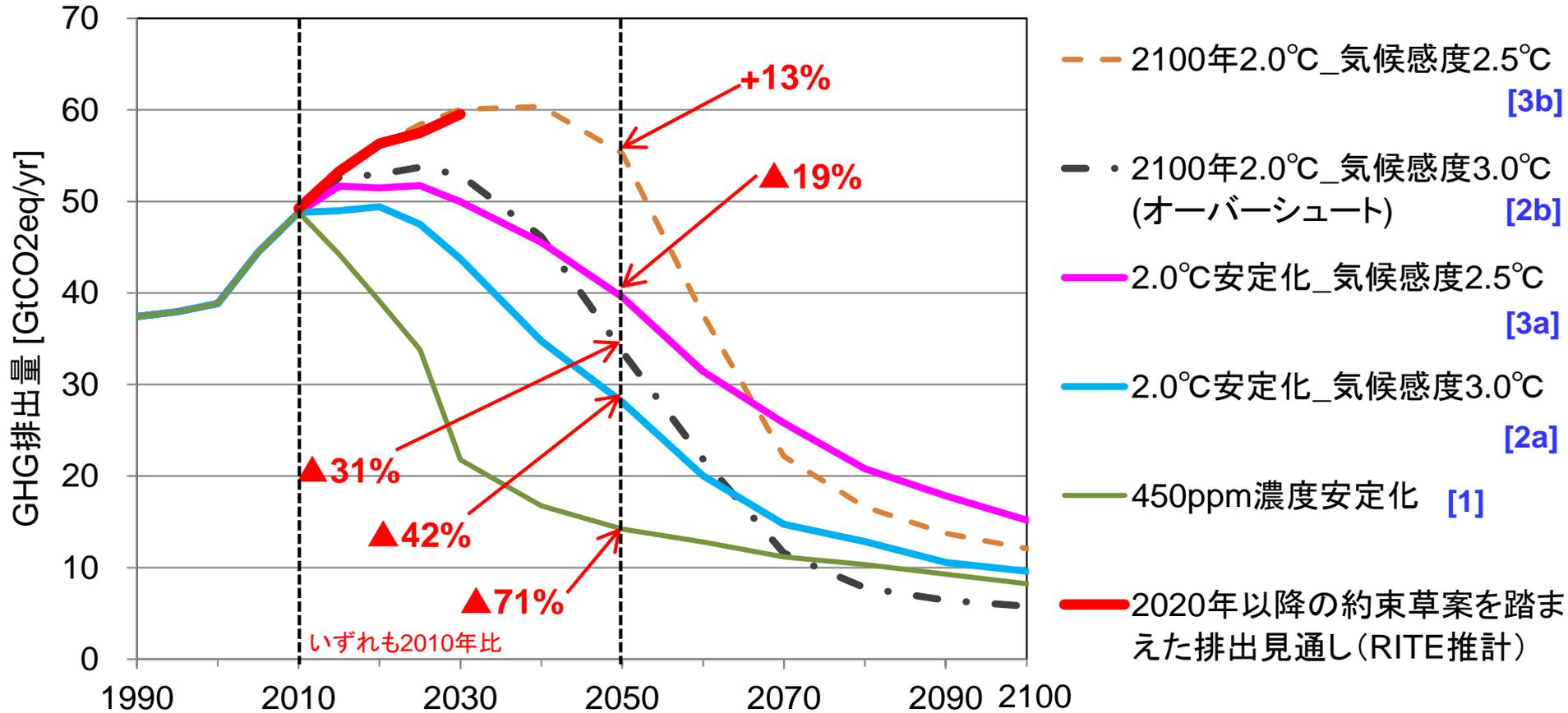
# 2°C目標のためのCO<sub>2</sub>排出量推移(～2300年)



出典)MAGICC、DNE21+を用いてRITEにて試算

いずれの排出経路をとっても、長期的には(2300年頃までには)ほぼCO<sub>2</sub>排出量ゼロ排出は必要(2°C未満とする時期、実現期待確率、気候感度の分布等によって、排出経路は大きく異なってくる)

# 2°C目標のための温室効果ガス排出経路(～2100年)



出典)MAGICC、DNE21+を用いてRITEにて試算

- たとえ、2°C未満に抑制するとしても、2°C未満とする時期、実現期待確率、気候感度の分布等によって、排出経路は大きく異なってくる。(例えば、2050年に2010年比で+9%～▲71%)
- 緩和策の視点からすると、たとえ政治的に2°C目標と決まったとしても、対策の仕方に大きな幅が生じる。
- 約束草案は特に450 ppm CO<sub>2</sub>eq安定化シナリオや2°C安定化(気候感度3°C)シナリオ(2050年に40～70%削減程度)とは大きなギャップあり。これらの排出経路からは全く外れている。

**2°C目標達成のための  
限界排出削減費用および  
限界削減費用均等化において  
必要となる日本の2050年排出削減**

# 2°C目標のための限界削減費用と限界削減費用均等化時の日本の2050年の排出削減率(電源構成:2030年エネルギーミックス延長の場合)

	2°C目標を世界で限界削減費用均等化で達成するときの2050年の限界削減費用	左記限界削減費用時の日本の2050年のエネルギー起源CO <sub>2</sub> 排出量	左記限界削減費用時の日本の2050年のGHG排出量
2100年 2.0°C _ 気候感度 2.5°C	26\$/tCO <sub>2</sub>	▲15% (▲20%)	▲15% (▲21%)
2100年 2.0°C _ 気候感度 3.0°C (オーバーシュート)	123\$/tCO <sub>2</sub>	▲26% (▲30%)	▲30% (▲35%)
2.0°C安定化_気候感度2.5°C	58\$/tCO <sub>2</sub>	▲24% (▲27%)	▲25% (▲30%)
2.0°C安定化_気候感度3.0°C	253\$/tCO <sub>2</sub>	▲35% (▲38%)	▲39% (▲43%)
450ppm濃度安定化	2203\$/tCO <sub>2</sub>	▲60% (▲62%)	▲65% (▲67%)

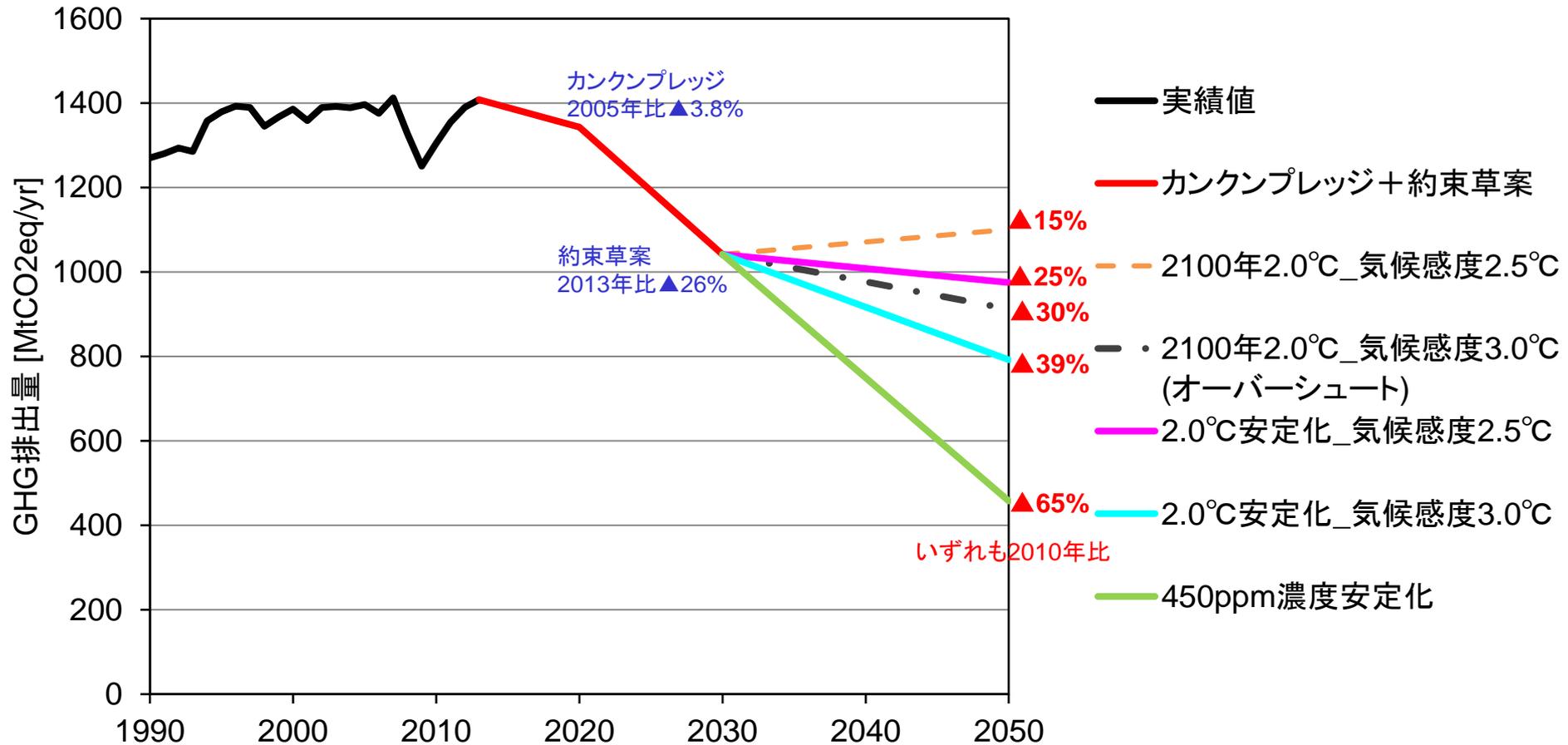
注1) エネルギー起源CO<sub>2</sub>、GHGについて、上段の数値は2010年GHG比%、下段括弧内の数値は2005年GHG比%

注2) RITE DNE21+モデルによる分析

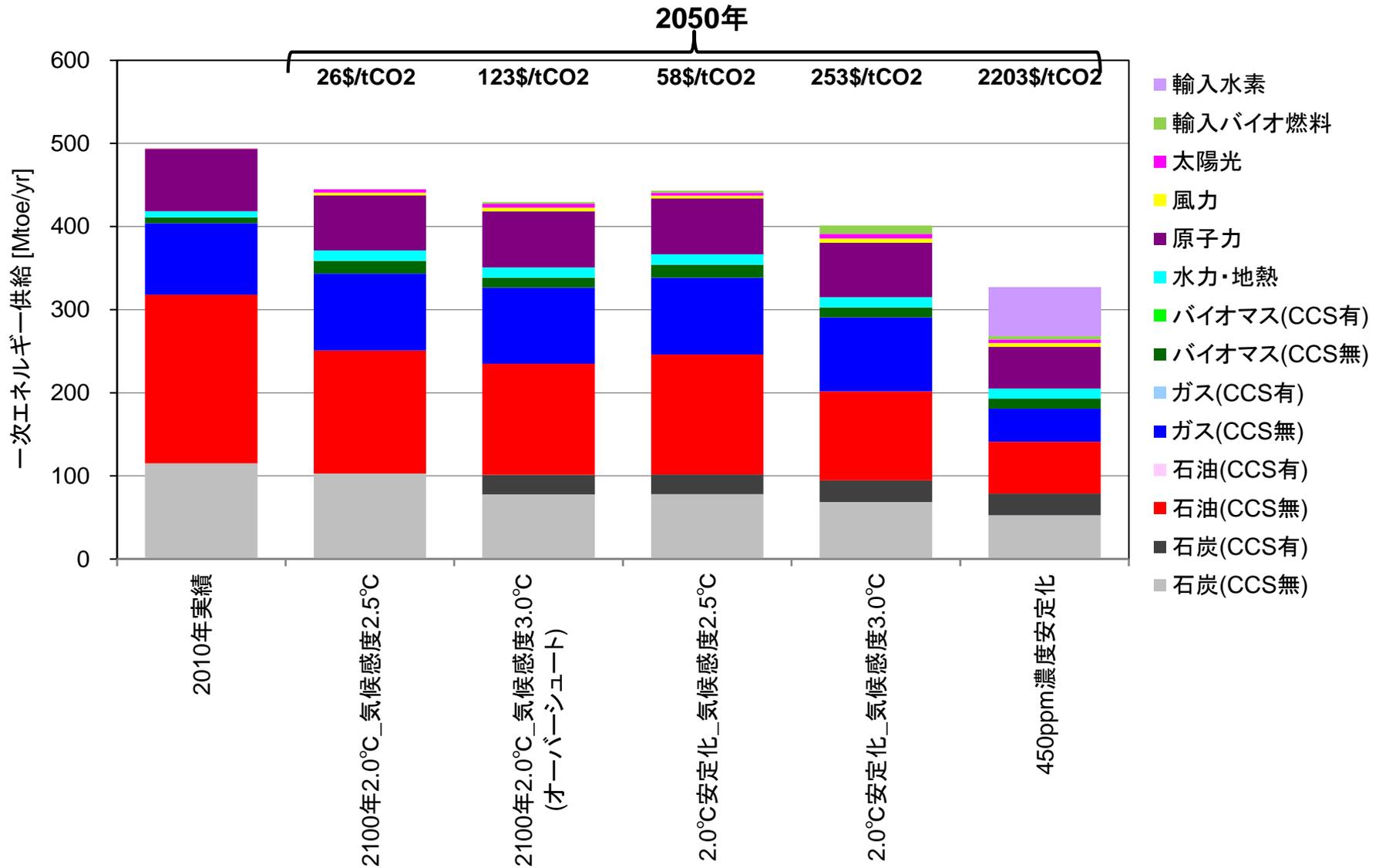
注3) 日本の電源構成比率は2030年以降、約束草案における比率(石炭火力26%、石油火力3%、ガス火力27%、原子力発電20%、再生可能エネルギー24%(再エネ内の構成はモデルのコスト最小化基準に従い決定))に固定することとした場合のもの。

**限界削減費用均等化(世界での対策費用最小化)とした場合、日本の2050年の温室効果ガス排出量は2010年比で15~65%削減程度が求められる(気候感度が3.0°Cに限った場合には30~65%程度)。**

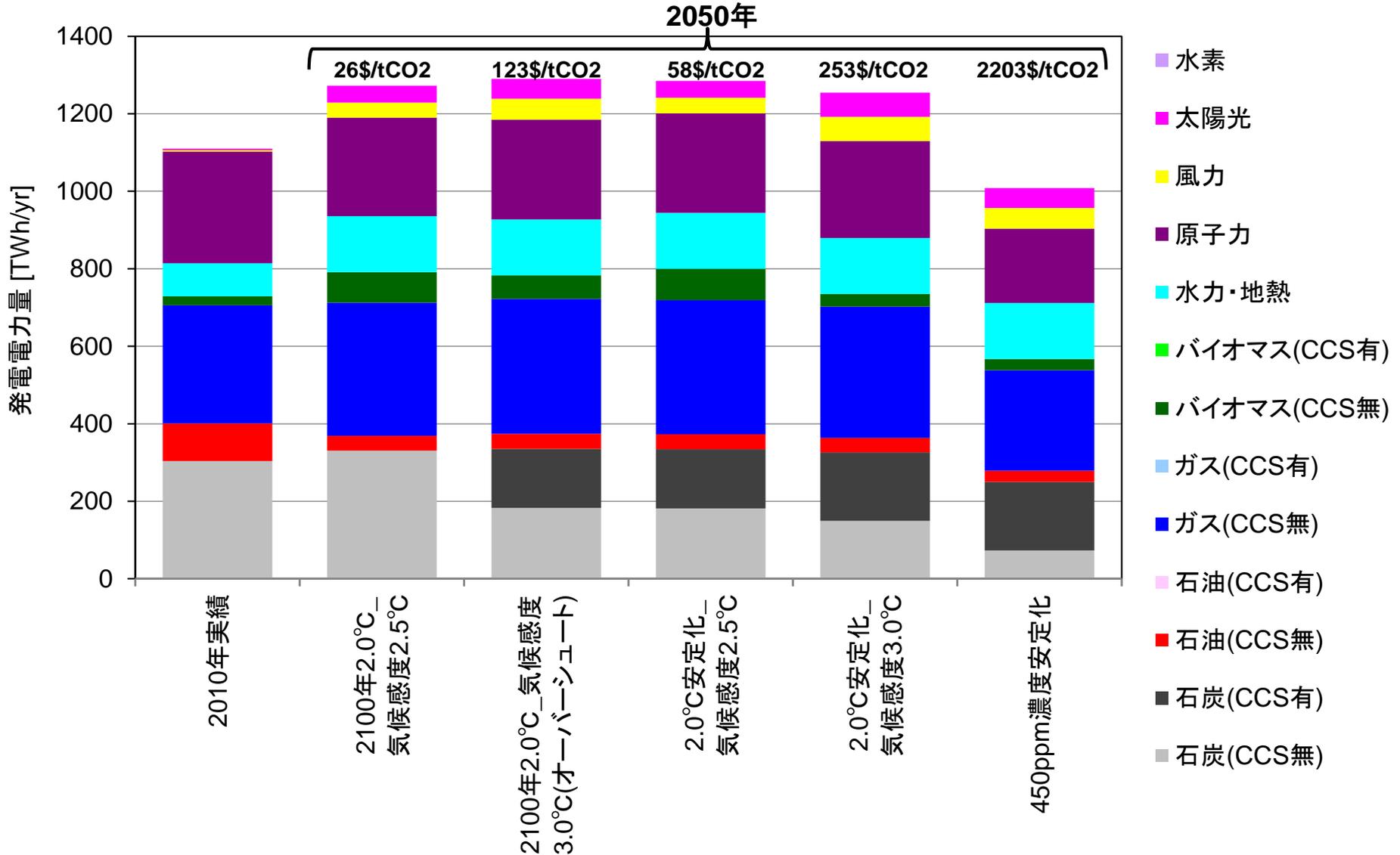
# 日本の温室効果ガス排出経路 (電源構成比率：2030年エネルギーミックス延長の場合)



# 2°C目標、限界削減費用均等化時の 日本の2050年の一次エネルギー供給量 (電源構成比率：2030年エネルギーミックス延長の場合)



# 2°C目標、限界削減費用均等化時の日本の2050年の 電源構成(電源構成比率: 2030年エネルギーミックス延長の場合)



注) 電源構成比率は2030年以降、約束草案における比率(石炭火力26%、石油火力3%、ガス火力27%、原子力発電20%、再生可能エネルギー24%(再エネ内の構成はモデルのコスト最小化基準に従い決定))に固定

# 2°C目標のための限界削減費用と限界削減費用均等化時の日本の2050年の排出削減率(電源構成比率:コスト最小化の場合)

	2°C目標を世界で限界削減費用均等化で達成するときの2050年の限界削減費用	左記限界削減費用時の日本の2050年のエネルギー起源CO <sub>2</sub> 排出量	左記限界削減費用時の日本の2050年のGHG排出量
2100年 2.0°C _ 気候感度 2.5°C	26\$/tCO <sub>2</sub>	+1% (▲4%)	+0% (▲7%)
2100年 2.0°C _ 気候感度 3.0°C (オーバーシュート)	120\$/tCO <sub>2</sub>	▲34% (▲37%)	▲38% (▲42%)
2.0°C安定化_気候感度2.5°C	57\$/tCO <sub>2</sub>	▲26% (▲30%)	▲28% (▲33%)
2.0°C安定化_気候感度3.0°C	244\$/tCO <sub>2</sub>	▲49% (▲51%)	▲53% (▲56%)
450ppm濃度安定化	2075\$/tCO <sub>2</sub>	▲72% (▲73%)	▲77% (▲78%)

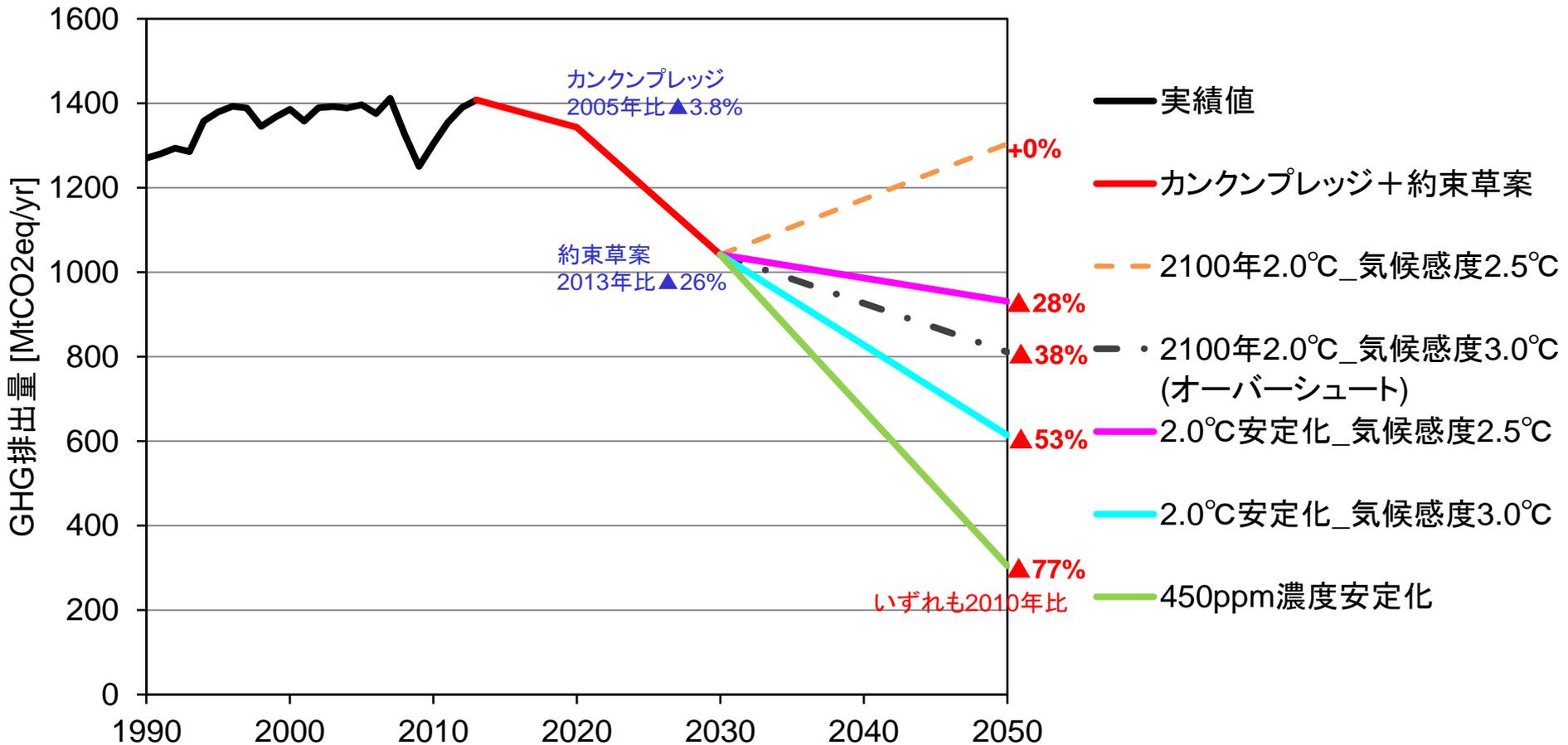
注1) エネルギー起源CO<sub>2</sub>、GHGについて、上段の数値は2010年GHG比%、下段括弧内の数値は2005年GHG比%

注2) RITE DNE21+モデルによる分析

注3) 日本の電源構成比率についても、2°C目標のための排出経路実現に対応した限界削減費用世界均等化の下で、モデルによるコスト最小化計算に基づいた場合のもの(水素の国際輸出入も有り)。

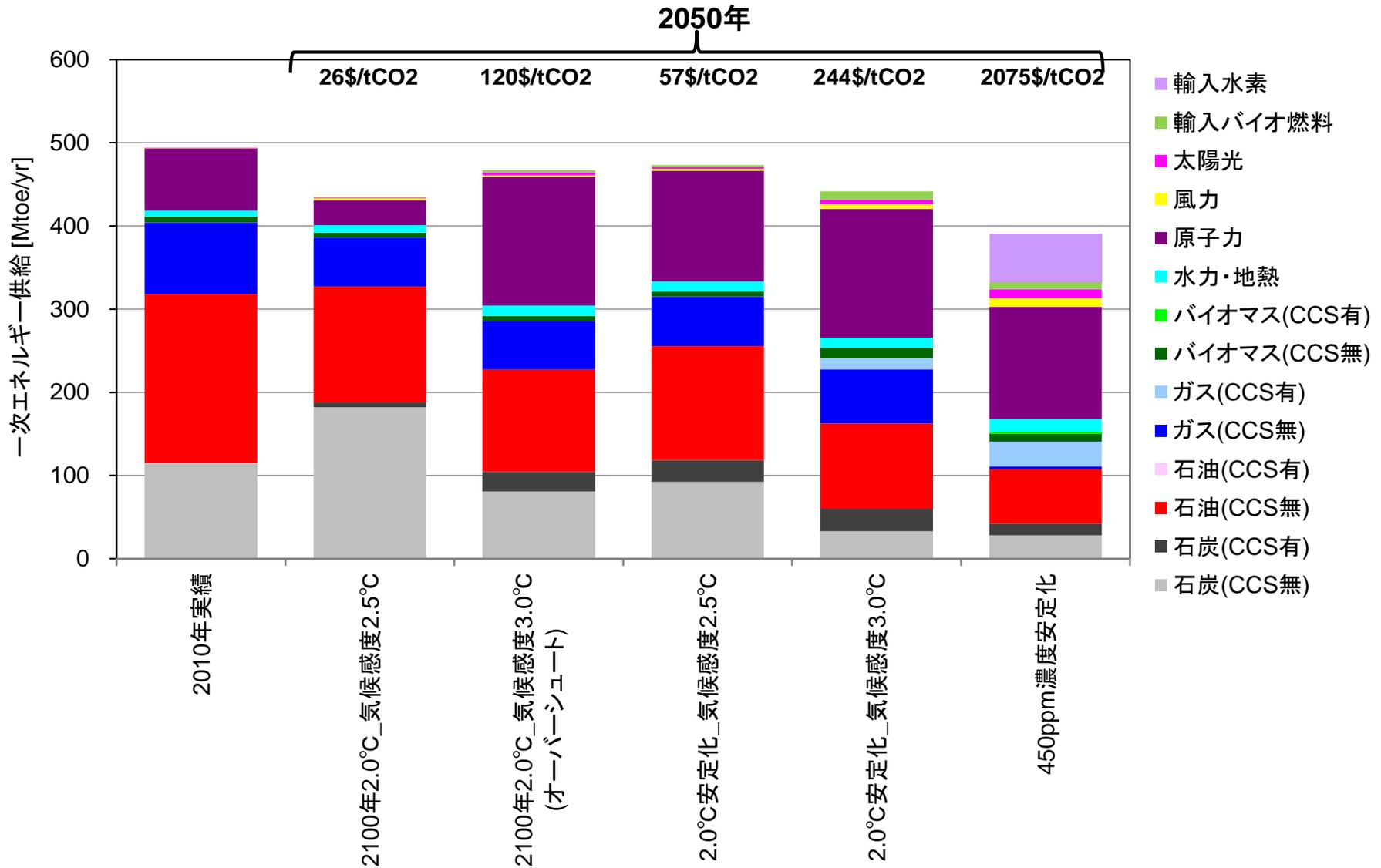
**限界削減費用均等化(世界での対策費用最小化)とした場合、日本の2050年の温室効果ガス排出量は2010年比で+0~▲77%。450 ppm安定化ケースの場合は77%削減程度が求められる。**

# 日本の温室効果ガス排出経路 (電源構成比率:コスト最小化の場合)



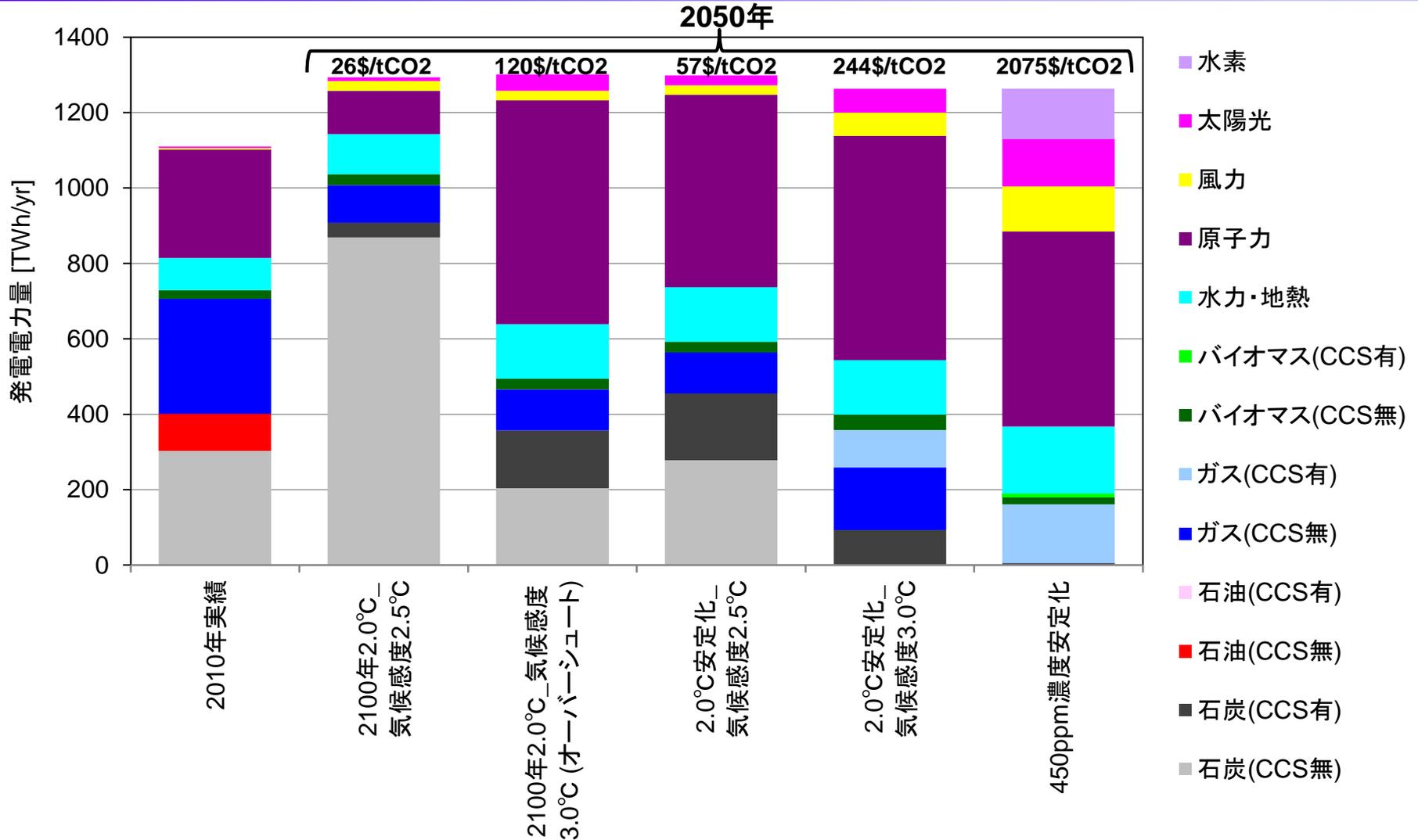
なお、p.8で指摘のように、約束草案は、特に450 ppm CO<sub>2</sub>eq安定化シナリオや2°C安定化(気候感度3°C)シナリオの世界排出経路(2050年に40~70%削減程度)からは全く外れていることの認識は必要

# 2°C目標、限界削減費用均等化時の 日本の2050年の一次エネルギー供給量 (電源構成比率:コスト最小化の場合)



# 2°C目標、限界削減費用均等化時の

## 日本の2050年の電源構成(電源構成比率:コスト最小化の場合)



2°Cと整合的と考えられるシナリオであっても石炭が支配的とするのが費用効率的となるケースさえある。一方、2°Cをより高い確率で達成するシナリオでは原子力、CCSの大幅利用が費用効率的になる。更に450 ppmシナリオでは再エネ、水素利用の大幅な利用が費用効率的に(ただしこの時の限界削減費用は2100\$/tCO2程度)。

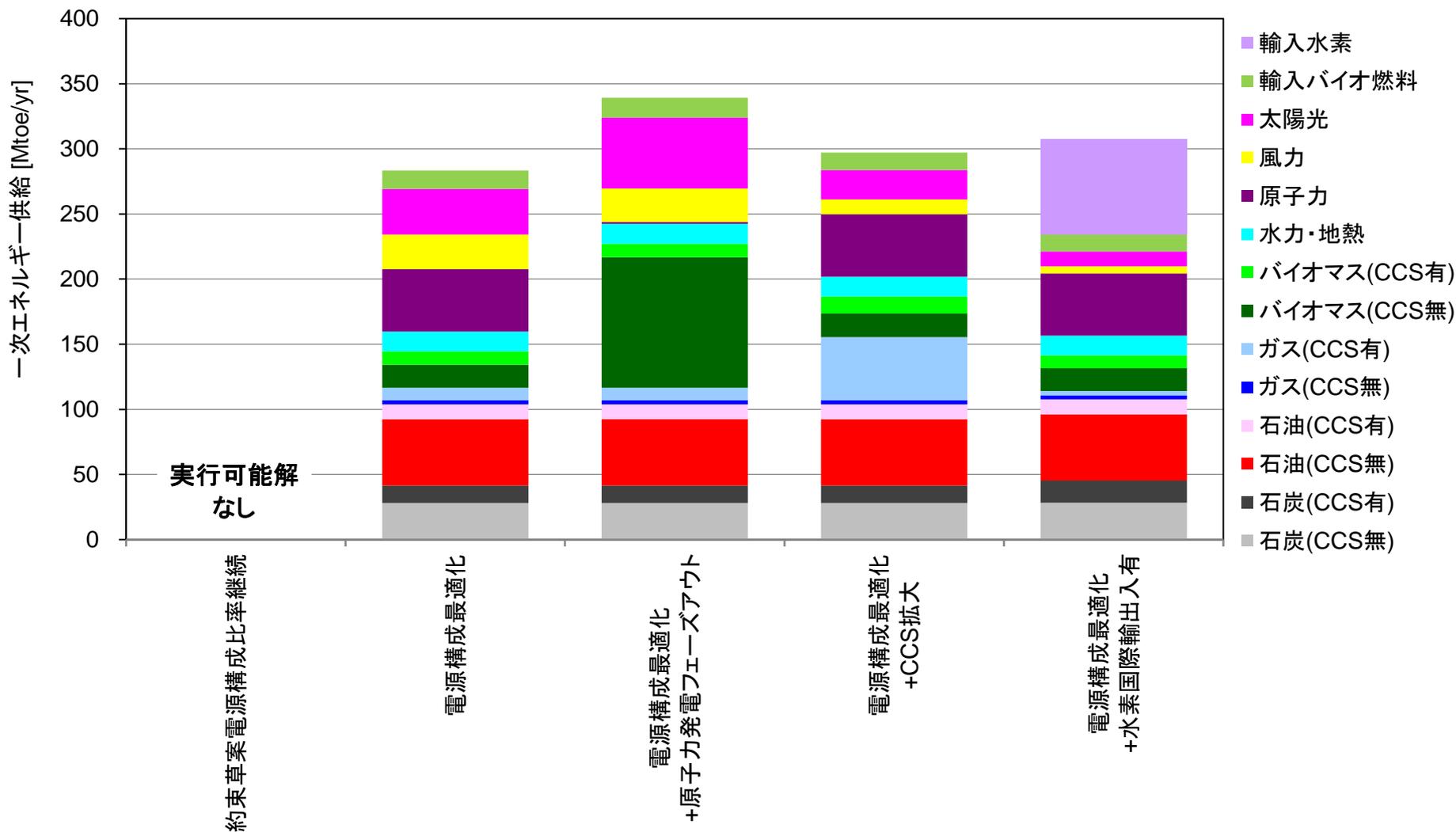
# 日本の2050年80%排出削減 の費用推計

# 2050年温室効果ガス排出80%削減の分析ケース

ケース名	内容
約束草案電源構成比率継続	約束草案の前提となっている2030年の電源構成比率(石炭26%、石油3%、ガス27%、原子力20%、再エネ24%)を2050年も継続する。
電源構成最適化	電源構成についても、DNE21+モデルによる費用最小化の最適化計算によって決定する。
電源構成最適化+原子力発電フェーズアウト	2030年より先は、40年ルールに基づいて原子力発電はフェーズアウトする(2050年における原子力発電電力量は19TWh/yrと想定)。その他の電源については、DNE21+モデルによる費用最小化の最適化計算によって決定する。
電源構成最適化+CCS拡大*	電源構成最適化ケースについて、利用可能なCCSを拡大する。
電源構成最適化+水素国際輸出入有	電源構成についても、DNE21+モデルによる費用最小化の最適化計算によって決定する。他想定の場合は、保守的に水素の国際輸出入は想定しないとした仮定したのに対して、本ケースでは国際輸出入も費用効率的な範囲で利用するとした場合

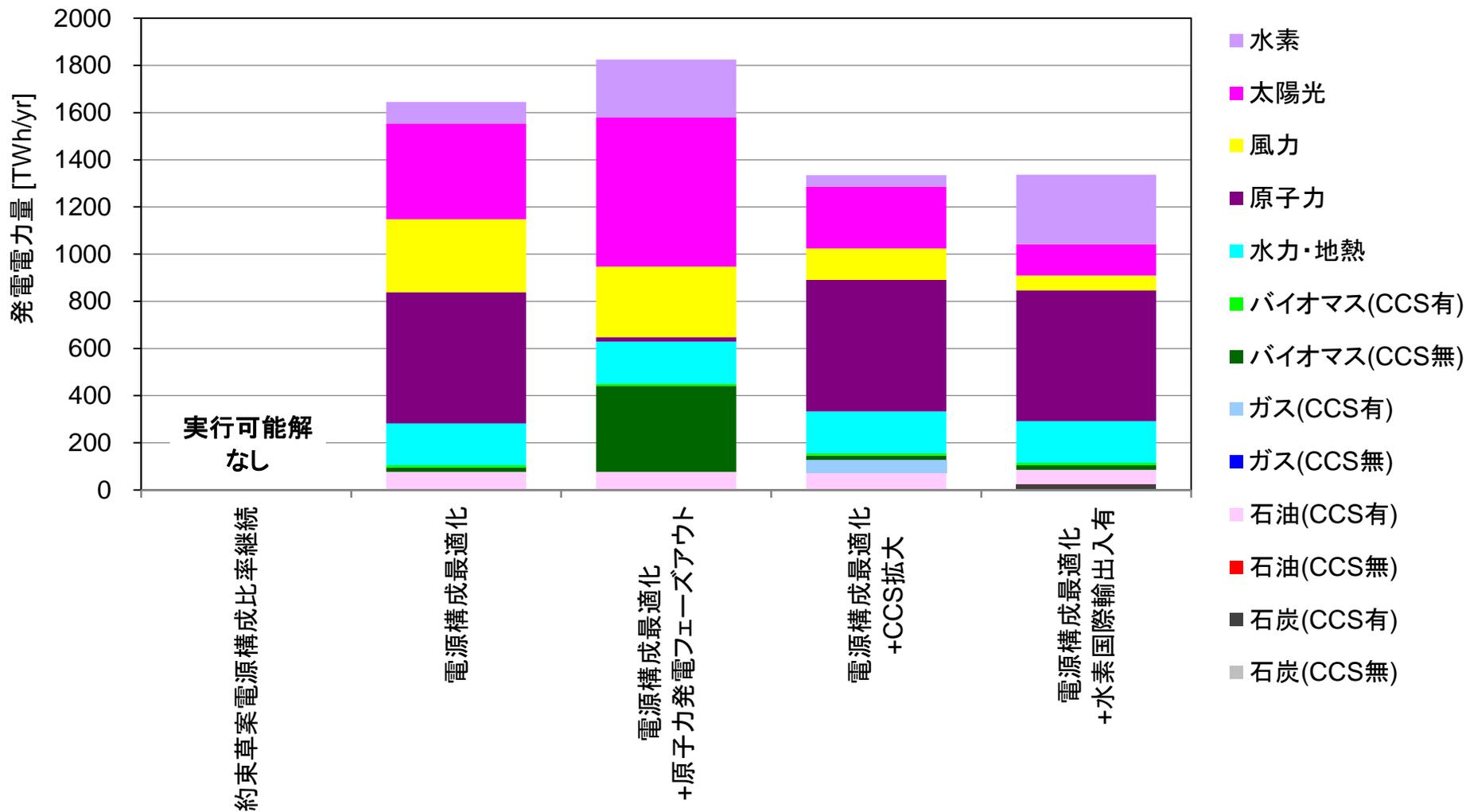
\* CCSについては、約束草案において2030年の利用が想定されていないことから、2030年より後の時点で利用可能とし、短期間で貯留ポテンシャルを使い切ることがないよう、その拡大率に制約を置いて分析を行った(日本の2050年における最大CO<sub>2</sub>貯留量は91MtCO<sub>2</sub>/yr)。この拡大率の制約に関し、よりCCSの拡大を認めたケース(日本の2050年における最大CO<sub>2</sub>貯留量は182MtCO<sub>2</sub>/yr)。

# 2050年温室効果ガス排出80%削減時の 日本の一次エネルギー供給量



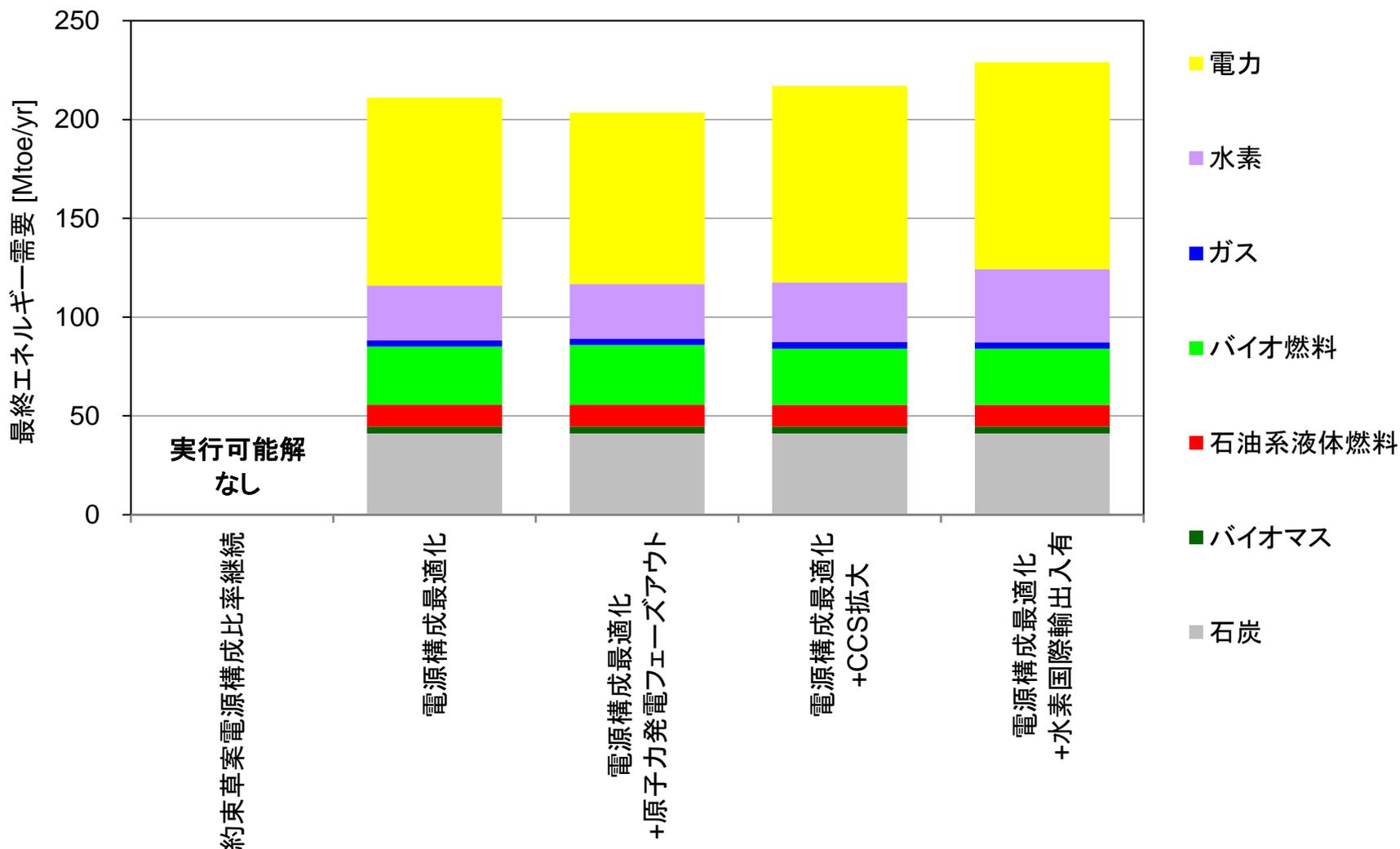
いずれのケースにおいても、かなり無理のあると考えられるエネルギー供給構成が必要となる。

# 2050年温室効果ガス排出80%削減時の 日本の電源構成



いずれのケースにおいても、かなり無理のあると考えられる電源構成が必要となる。

# 2050年温室効果ガス排出80%削減時の 日本の最終エネルギー消費量



代替オプションが限定的な高炉転炉鋼、セメント生産などのための石炭は一部が残るが、石油製品の大部分はバイオ燃料に、さらに電力、水素にも代替、またガスの大部分も水素への代替が必要となる。

# 2050年温室効果ガス排出80%削減の分析ケース

ケース名	限界削減費用 (\$/tCO <sub>2</sub> )	BAU比排出削減費用 (兆円/年)
約束草案電源構成比率継続	実行可能解なし	
電源構成最適化	6231	52
電源構成最適化 +原子力発電フェーズアウト*	5974	72
電源構成最適化+CCS拡大	5963	48
電源構成最適化 +水素国際輸出入有	5836	43

\* CO<sub>2</sub>排出削減制約の限界費用(CO<sub>2</sub>限界削減費用)が、原子力発電フェーズアウトを想定したケースに比べ、逆に下がっているのは、原子力発電フェーズアウトの外生制約に対する限界費用が生じるためであり、結果の解釈に注意されたい。BAU比削減費用を併せて参照されたい。

**2050年に日本国内の温室効果ガス排出を80%削減しようとする、いずれのケースであっても、実行可能解はあったとしても、限界削減費用は6000 \$/tCO<sub>2</sub>程度、成り行きケース比の排出削減費用は年間43~72兆円が必要で、現実に許容できるようなレベルの排出削減費用では全くない(成り行きケースでのGDP増加は2030-50年の間で13兆円程度であり、それを大きく超える費用となる)。**

まとめ

# まとめ (1/2)

- ◆ パリ協定で2°C目標に対して合意がなされたが、気候感度には大きな不確実性があり、どの時点で2°C未満をどれくらいの確率で達成を目指すかなどの戦略次第で、2°C目標達成のための世界排出経路は大きな幅がある。(例えば2050年では世界排出量2010年比+9~▲71%)
- ◆ 費用効率的な排出削減のため、少なくとも国内排出削減分については将来的に限界削減費用が世界で均等化するような方向で対策をとっていくべきである。そのとき、2050年に日本国内で求められる排出削減は、2010年比▲15~▲65%程度(2050年まで2030年のエネルギーミックスの電源構成比率を継続する場合)や+0~▲77%程度(2050年の電源構成は費用最小化基準で決定)と大きな幅が生じる。(当然、2030年の約束草案(2013年比▲26%)から後退する目標は除外されるべきだが)
- ◆ ただし、いずれも下限値(▲65%や▲77%)は、450 ppm CO<sub>2</sub>eq安定化のための世界排出量経路に対応させた場合で、このときの世界の限界削減費用は2200 \$/tCO<sub>2</sub>前後相当とまず実現不可能なレベルの費用である。また、そもそも世界の約束草案はこの経路とはあまりに大きく乖離しており、これと整合させる必要性は現時点では乏しいと考えられる。

# まとめ (2/2)

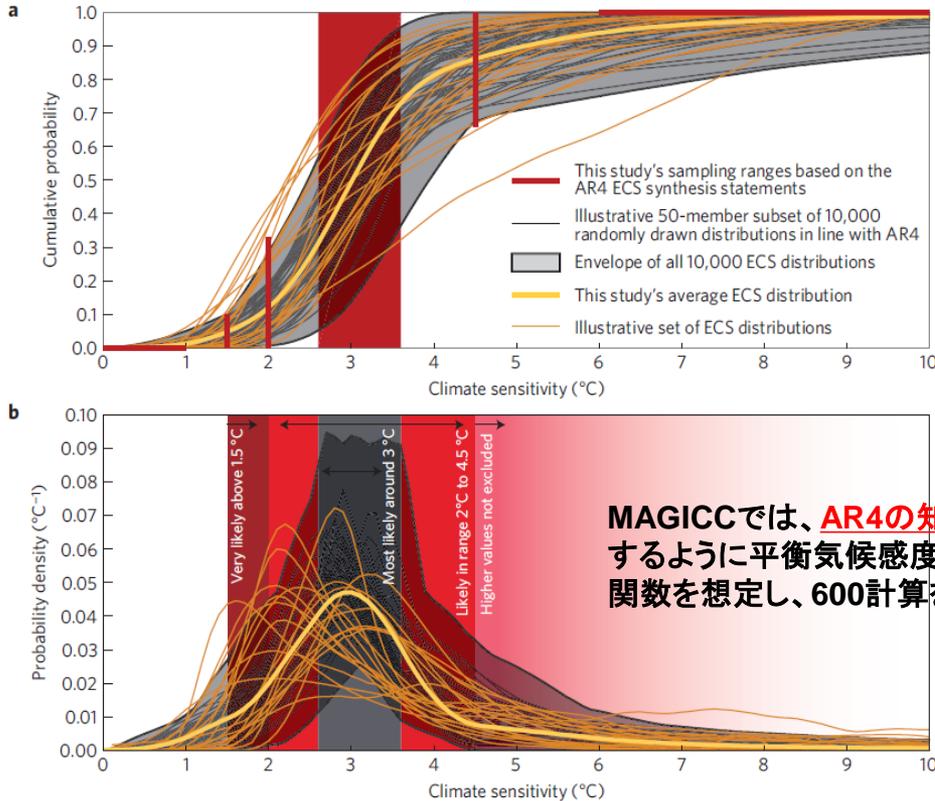
- ◆ しかも、2010年比77%削減のケースになると、原子力発電比率は40%以上を達成することを前提にした削減率となる。
- ◆ 環境基本計画で言及されている2050年80%削減目標については、限界削減費用は6000 \$/tCO<sub>2</sub>程度、成り行きケース比の排出削減費用は年間43～72兆円が必要と推計され、まず不可能な水準の目標と言って良い。また、特に、80%削減という、時点、削減率両者を決め打ちした目標設定は望ましい気候変動リスク対応戦略とは思われない。
- ◆ 超長期的に大幅なCO<sub>2</sub>排出削減を実現していく必要がある。しかし、利用可能な範囲の技術と規模について、時間軸を意識しながら目標を決めていくことが重要である。
- ◆ パリ協定で合意された2°C目標と整合性のある日本の長期目標を考える場合であっても、2050年は長期的将来とは言えども、現実的に達成が見込まれる範囲内の排出削減目標を志向していくべきではないか。
- ◆ なお、今回の分析は一次的な試算であり、今後、更に様々なケースを想定するなどして検討を深める予定である。

# 付 録

# IPCC WG3 AR5長期シナリオ推計で用いられたMAGICCモデル で想定されている気候感度の確率密度関数とWG1の評価

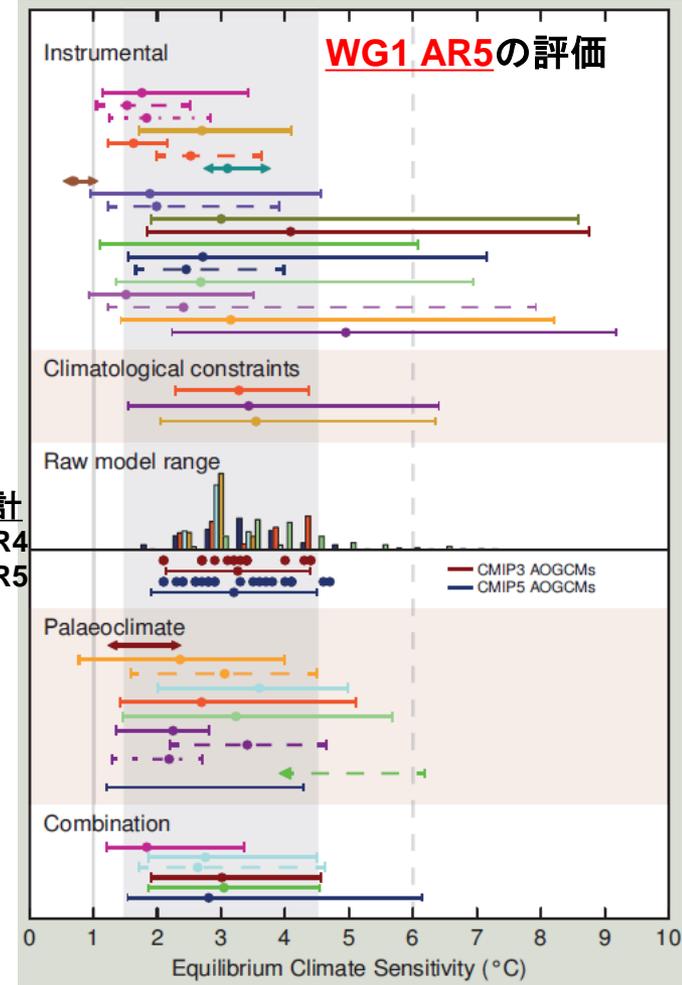
## WG3 AR5長期シナリオの気温推計には簡易気候変動モデル MAGICCを利用

(論文で推計式を含む概要は公表されているが、コードは非公開)



MAGICCでは、**AR4の知見に合致**  
するように平衡気候感度の確率密度  
関数を想定し、600計算を実施

GCMの推計  
CMIP3→AR4  
CMIP5→AR5



出典: IPCC WG1 AR5, 2013

出典: J. Rogelj et al., 2012

- ◆ **AR5 WG3の長期排出経路の気温推計においてはAR4の気候感度(2.0~4.5°C、最良推計値3.0°C)を利用。これはAR5 WG1のうちのCMIP5の結果とは概ね整合的だが(左図)、AR5において、GCM以外の推計を含めて総合的に判断をした気候感度(右図グレーの帯)とは差異あり。**
- ◆ **よって、AR5 WG1等の最新知見と比べると気温上昇を大きめに推計している傾向にある。**

# 温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

## (Dynamic New Earth 21+)

- ◆ 各種エネルギー・CO<sub>2</sub>削減技術のシステムの的なコスト評価が可能なモデル
- ◆ 線形計画モデル(エネルギーシステム総コスト最小化(動的的最適化))
- ◆ モデル評価対象期間: 2000~2050年
- ◆ 世界地域分割: 54 地域分割(米国、中国等は1国内を更に分割。計77地域分割)
- ◆ 地域間輸送: 石炭、石油、天然ガス、電力、エタノール、水素、CO<sub>2</sub>(ただしCO<sub>2</sub>は国外への移動は不可を標準ケースとしている)、CO<sub>2</sub>クレジット
- ◆ エネルギー供給(発電部門等)、CO<sub>2</sub>回収貯留技術を、ボトムアップ的に(個別技術を積み上げて)モデル化
- ◆ エネルギー需要部門のうち、鉄鋼、セメント、紙パ、化学、アルミ、運輸、民生の一部について、ボトムアップ的にモデル化
- ◆ 300程度の技術を具体的にモデル化。モデル前提条件において、各種技術の特性について将来の性能向上、コスト低減も想定している。
- ◆ それ以外はトップダウン的モデル化(長期価格弾性値を用いて省エネ効果を推定)

地域別、部門別に技術の詳細な評価が可能。また、それらが整合的に評価可能

- ・中期目標検討委員会およびタスクフォースにおける分析・評価
  - ・環境エネルギー技術革新計画における分析・評価
- はじめ、気候変動政策の主要な政府検討において活用されてきた。またIPCCシナリオ分析にも貢献

# 人口の想定(百万人)

	2010年	2020年	2030年	2050年
日本	127	124	118	102
米国	312	340	364	397
EU28	507	515	515	503
豪州	22	25	27	30
ロシア	144	139	132	119
中国	1367	1445	1477	1432
韓国	48	49	49	44
メキシコ	118	128	135	137
インド	1206	1357	1474	1602
トルコ	72	80	86	93
南アフリカ	51	54	56	58
世界計	6916	7679	8308	9139

# GDPの想定(MER、%/yr)

	2010年—2020年	2020年—2030年	2030年—2050年
日本	1.4	1.9	0.1
米国	2.6	2.0	1.6
EU28	1.2	1.3	1.1
豪州	2.7	1.8	1.5
ロシア	4.3	6.3	3.2
中国	7.7	5.6	3.1
韓国	3.0	1.9	1.2
メキシコ	3.2	3.0	2.5
インド	6.5	5.9	4.3
トルコ	4.0	2.8	2.5
南アフリカ	2.5	3.4	3.1
世界平均	3.0	2.9	2.2