

温暖化問題と原子力発電

増井利彦

国立研究開発法人国立環境研究所

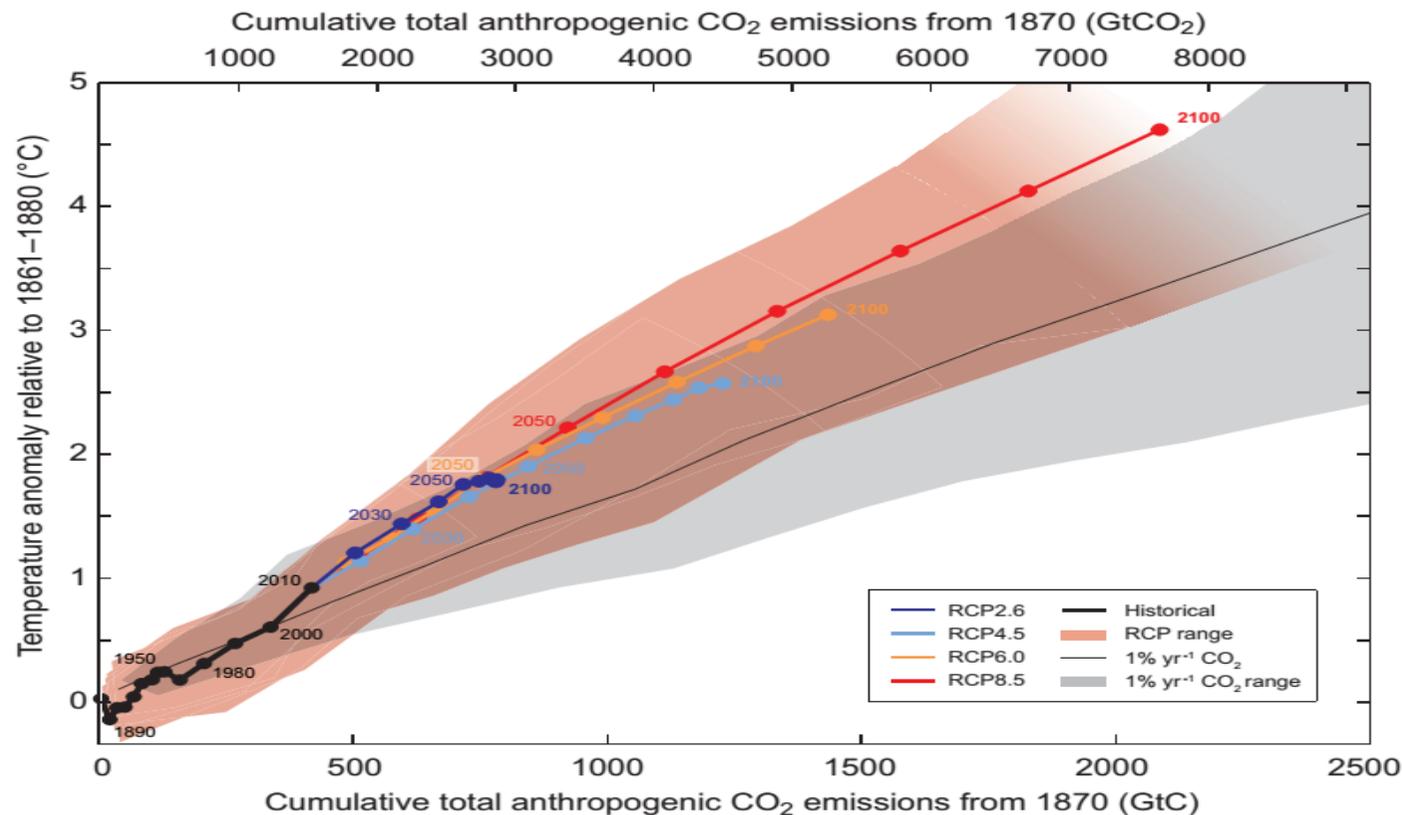
2017年2月10日

温暖化問題と2°C目標

パリ協定

- 2015年にパリで開催されたCOP21(気候変動枠組条約第21回締約国会議)で合意された気候変動問題に対する国際的な取り組み。2016年11月4日に発効。日本は2016年11月8日に批准。
- パリ協定で示された長期目標
 - 気温: 平均気温上昇を産業革命以前に比べて2°Cより十分低く保つとともに、1.5°Cに抑える努力を追求する。
 - 排出量: できるだけ早くピークアウトし、21世紀後半に人為起源のGHG排出を正味ゼロにする。
 - 適応: 適応能力を拡充し、レジリエンスを強化し、脆弱性を低減させる世界全体の適応目標を設定する。

カーボンバジェット: どれだけCO₂を排出できるか?



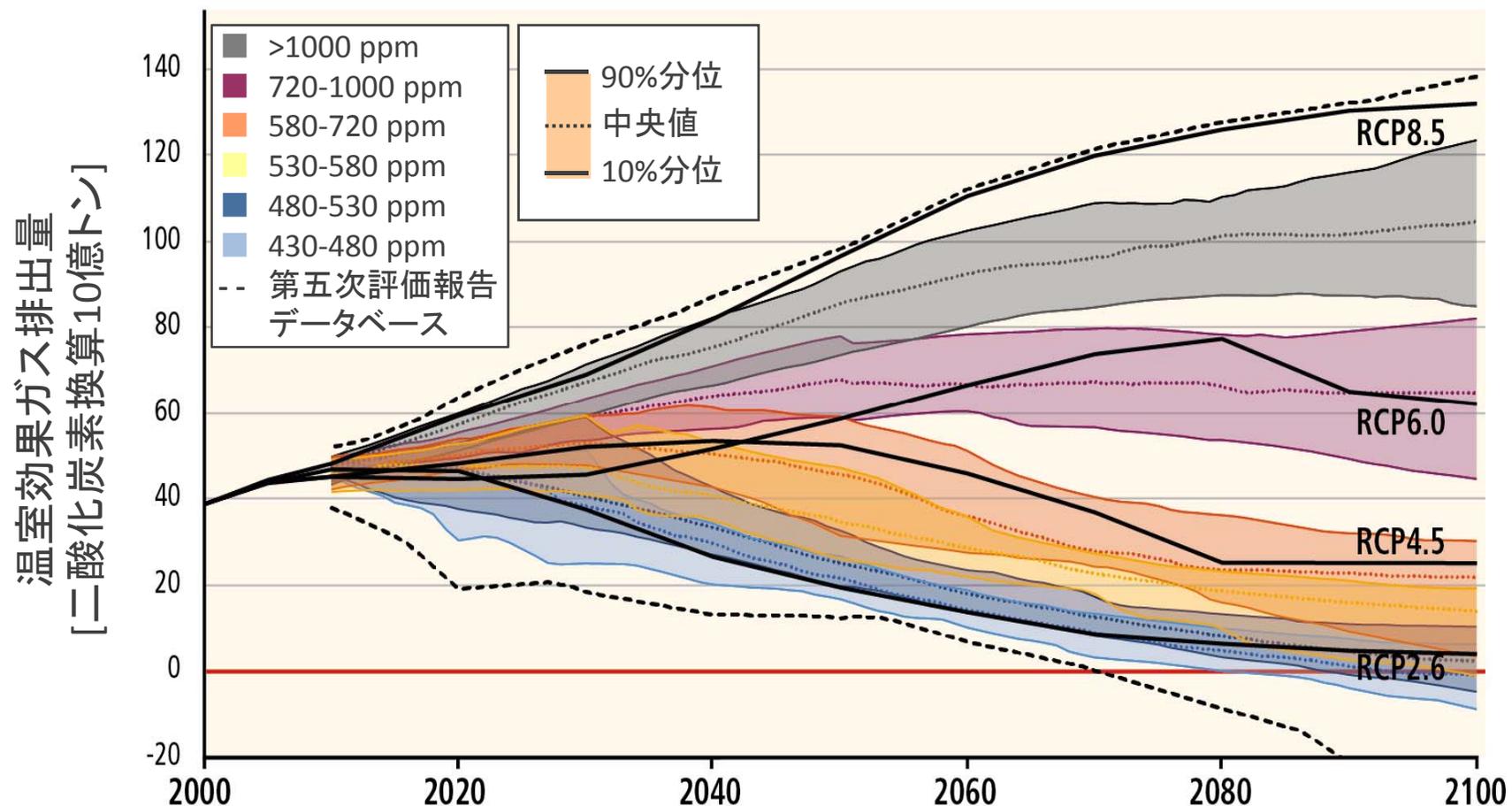
CO₂以外の効果も考慮すると、産業化前からの世界平均気温上昇を様々な確率で2°C以内に抑えるためには、
 >33% → 3300GtCO₂ >50% → 3010GtCO₂ >66% → 2900GtCO₂
 の累積排出量が上限となる。
 2011年までに、既におよそ1890GtCO₂排出されている。

2100年の大気中濃度で分類されたシナリオの主な特徴

表SPM.1 AR5第3作業部会で集められ、評価された主なシナリオの特徴。数値については、各カテゴリーに属するシナリオのうち、10から90パーセンタイルに入るシナリオのものが記載されている。

2100年のCO ₂ eq濃度	準区分	RCPの相対地位	累積CO ₂ 排出量 ^a (GtCO ₂)		2010年比のCO ₂ eq排出量変化(%) ^b		温度変化(1850-1900年比) ^{c, 6}				
			2011-2050	2011-2100	2050	2100	2100年の温度変化(°C) ⁷	21世紀に下記温度水準未満に留まる可能性(%) ⁸			
								1.5°C	2.0°C	3.0°C	4.0°C
< 430	430ppmCO ₂ eqでは限られた数のモデルしか研究されていない										
450 (430-480)	全幅 ¹⁰	RCP2.6	550-1300	630-1180	-72 to -41	-118 to -78	1.5-1.7 (1.0-2.8)	どちらかと言えば可能性が低い (0-50)	可能性が高い (66-100)	可能性が高い (66-100)	可能性が高い (66-100)
500 (480-530)	530ppmCO ₂ eqのオーバーシュート無		860-1180	960-1430	-57 to -42	-107 to -73	1.7-1.9 (1.2-2.9)	可能性が低い (0-33)	どちらかと言えば可能性が高い (50-100)		
	530ppmCO ₂ eqのオーバーシュート		1130-1530	990-1550	-55 to -25	-114 to -90	1.8-2.0 (1.2-3.3)		どちらも同程度 (33-66)		
550 (530-580)	580ppmCO ₂ eqのオーバーシュート無		1070-1460	1240-2240	-47 to -19	-81 to -59	2.0-2.2 (1.4-3.6)		どちらかと言えば可能性が低い ¹² (0-50)		
	580ppmCO ₂ eqのオーバーシュート		1420-1750	1170-2100	-16 to 7	-183 to -86	2.1-2.3 (1.4-3.6)				
(580-650)	全幅	RCP4.5	1260-1640	1870-2440	-38 to 24	-134 to -50	2.3-2.6 (1.5-4.2)	可能性が低い (0-33) ¹¹	どちらかと言えば可能性が高い		
(650-720)	全幅		1310-1750	2570-3340	-11 to 17	-54 to -21	2.6-2.9 (1.8-4.5)		可能性が低い (0-33)		
(720-1000)	全幅	RCP6.0	1570-1940	3620-4990	18 to 54	-7 to 72	3.1-3.7 (2.1-5.8)	可能性が低い (0-33) ¹¹	どちらかと言えば可能性が低い		
>1000	全幅	RCP8.5	1840-2310	5350-7010	52 to 95	74 to 178	4.1-4.8 (2.8-7.8)	可能性が低い (0-33)	可能性が低い (0-33)	どちらかと言えば可能性が低い	

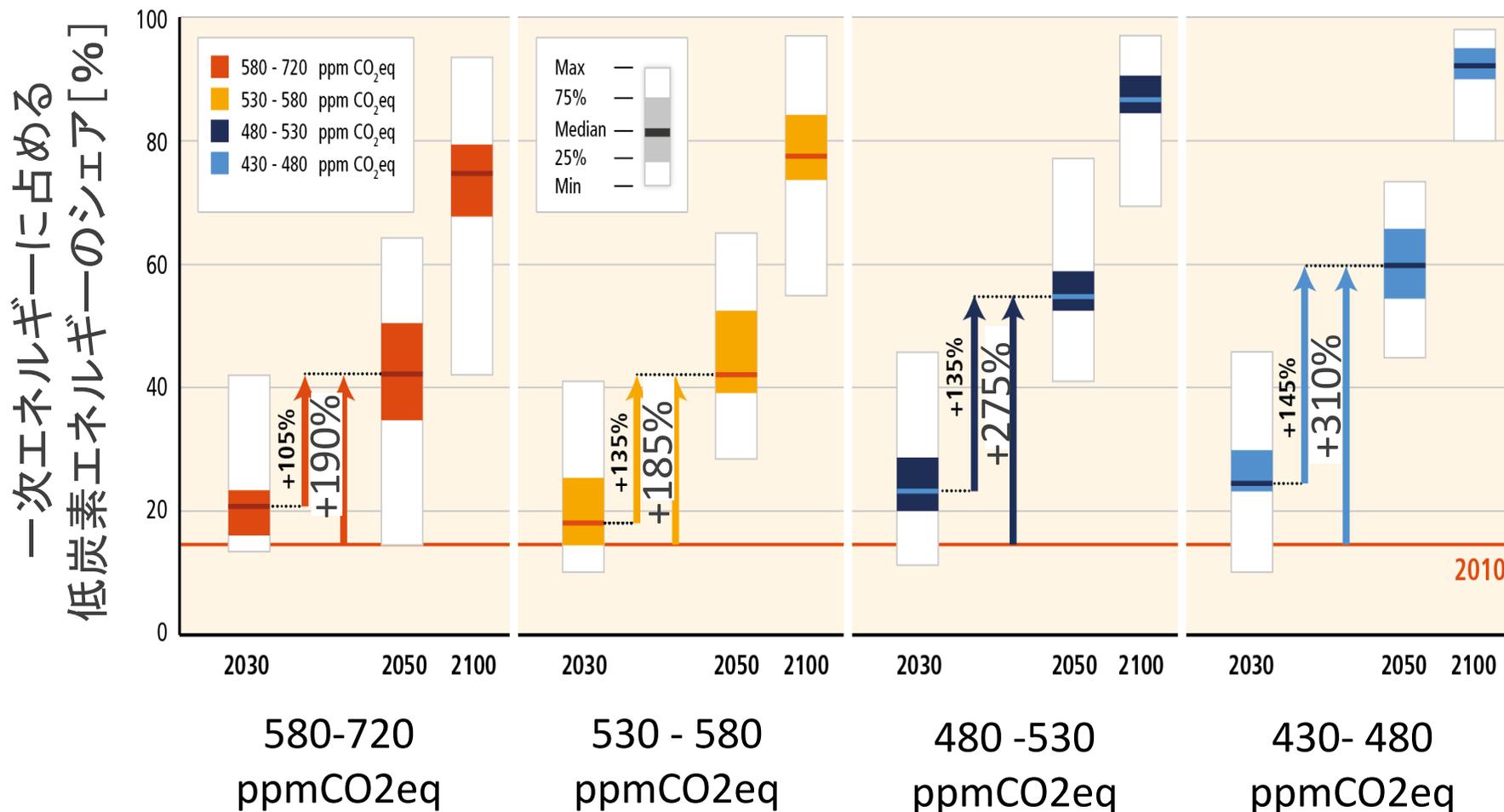
2°C目標の達成に向けた将来の温室効果ガス排出量



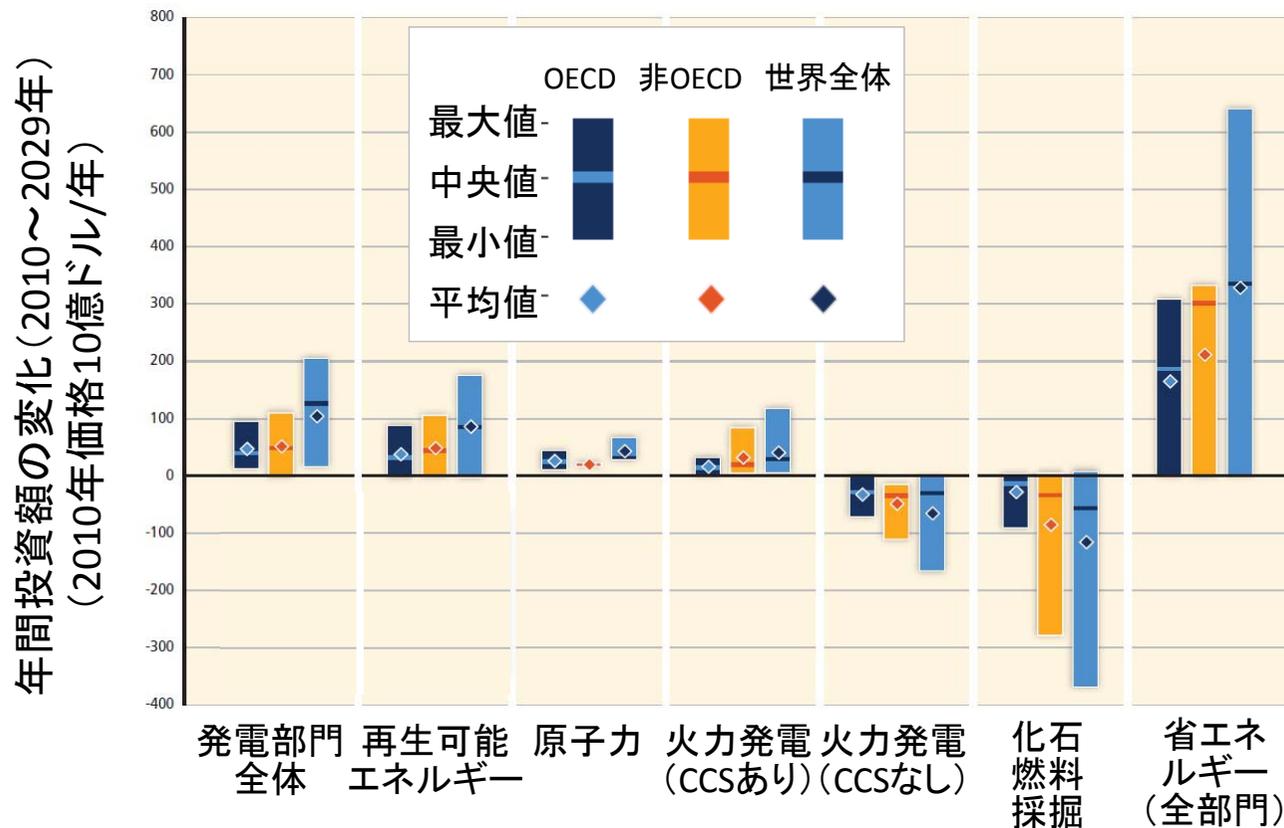
430-480ppm(2100年、CO₂換算)が、2°C目標の達成に相当する。
 2050年には現状の半分に、21世紀後半には排出量をマイナスに！
 2050年に世界の1人あたりの排出量を均等化する場合、1人あたり排出量は約2トン。
 (現在の日本では、1人あたり約10トンを排出。)

緩和には大幅な技術的および制度的変化が必要である。
これには低炭素およびゼロ炭素エネルギーのシェアの増加を含む。

2100年の大気中GHG濃度別の低炭素エネルギー供給のシェア

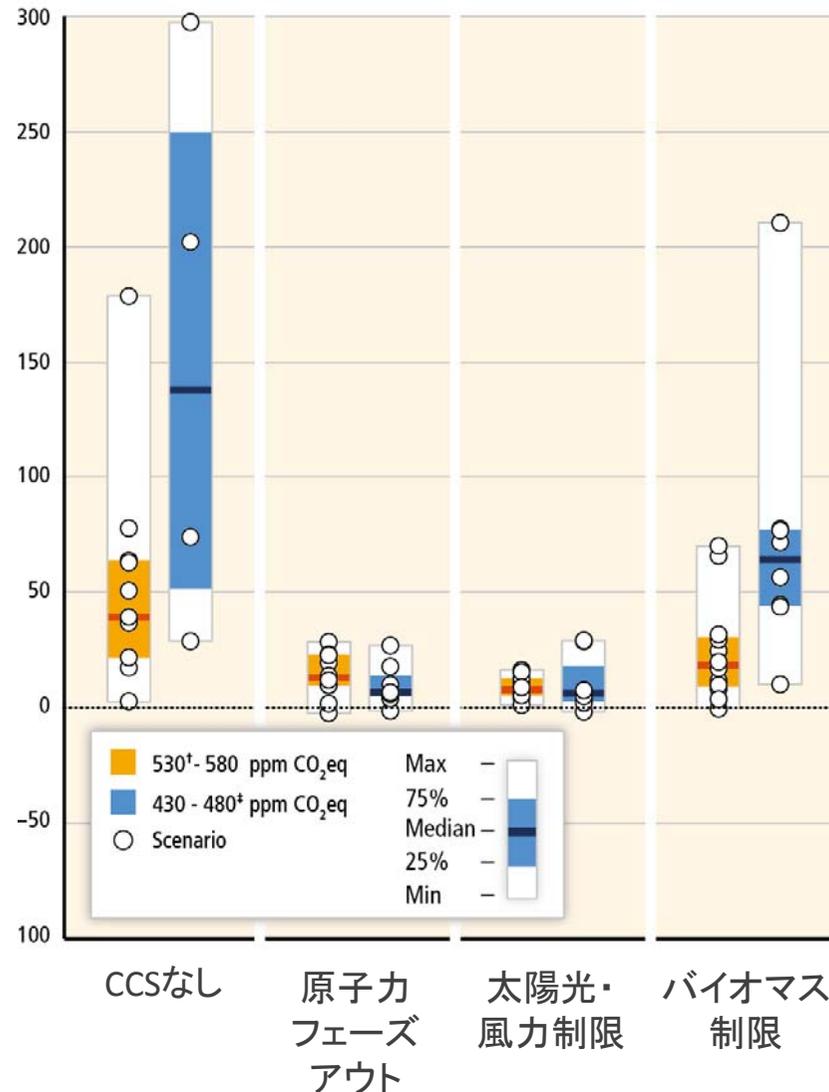


大幅なGHG削減（濃度を430-530ppmに安定化）には 投資パターンの大きな変化が必要



緩和コストは、主要技術の利用が制限されたり、 対策の時期が遅れば大幅に増加する。

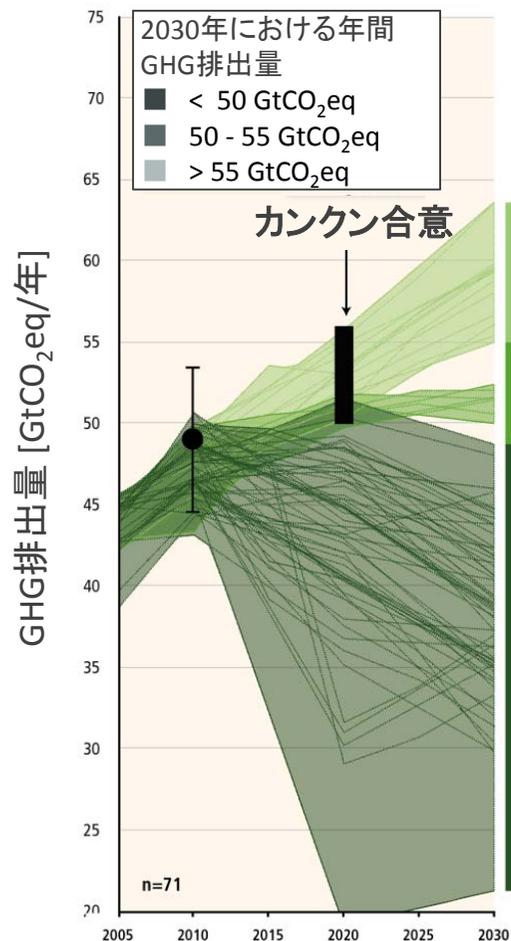
対策に制限がない場合と比較した
緩和費用の増加率(%)



2015-2100年までの緩和に要する対策費用を割引率5%で現在価値に換算し、すべての技術が利用可能な場合のそれと比較したもの。

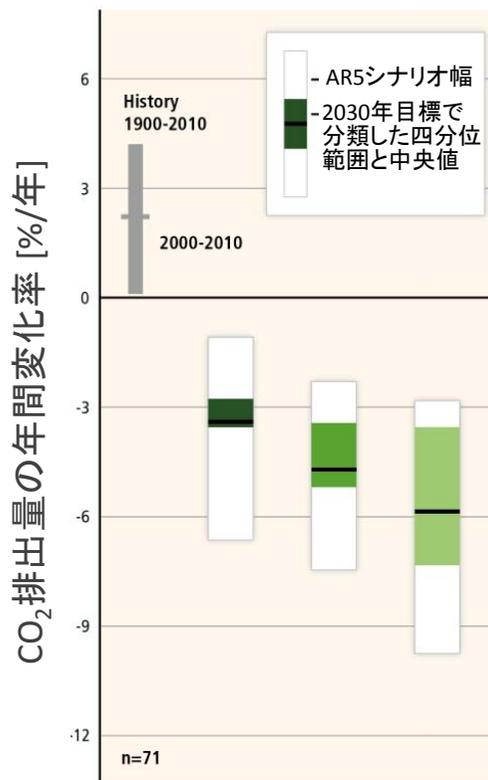
- CCSなし: CCSの利用ができない。
- 原子力フェーズアウト: 建設中以外の原発の追加建設はなく、既存の原発は寿命まで運転する。
- 太陽光・風力制限: 太陽光と風力の発電電力量を最大で20%に制限する。
- バイオマス制限: 世界のバイオマス供給を最大で100EJ/年とする。

緩和の取り組みを遅延させると、より長期の低排出レベルへの移行が相当困難になり、産業革命前から気温上昇を2°C未満に抑え続けるための選択肢の幅が狭まる。

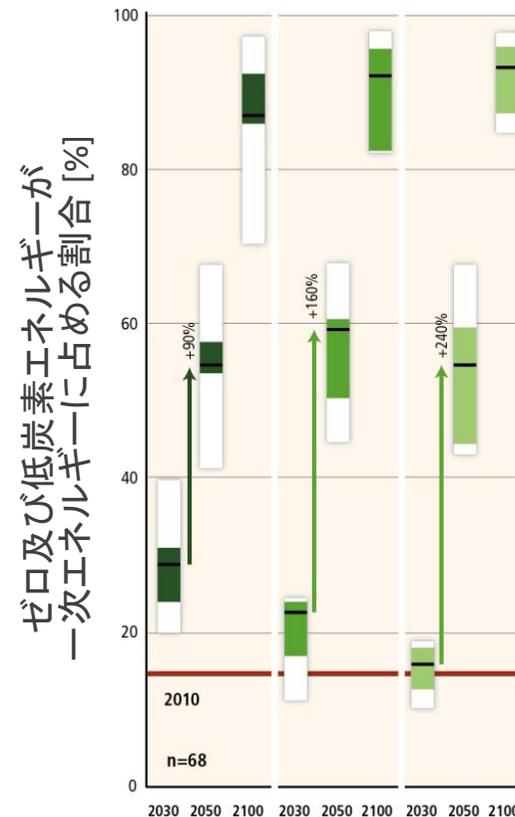


2030年へのGHG排出経路

2030年における年間GHG排出量
 ■ < 50 GtCO₂eq ■ 50 - 55 GtCO₂eq ■ > 55 GtCO₂eq

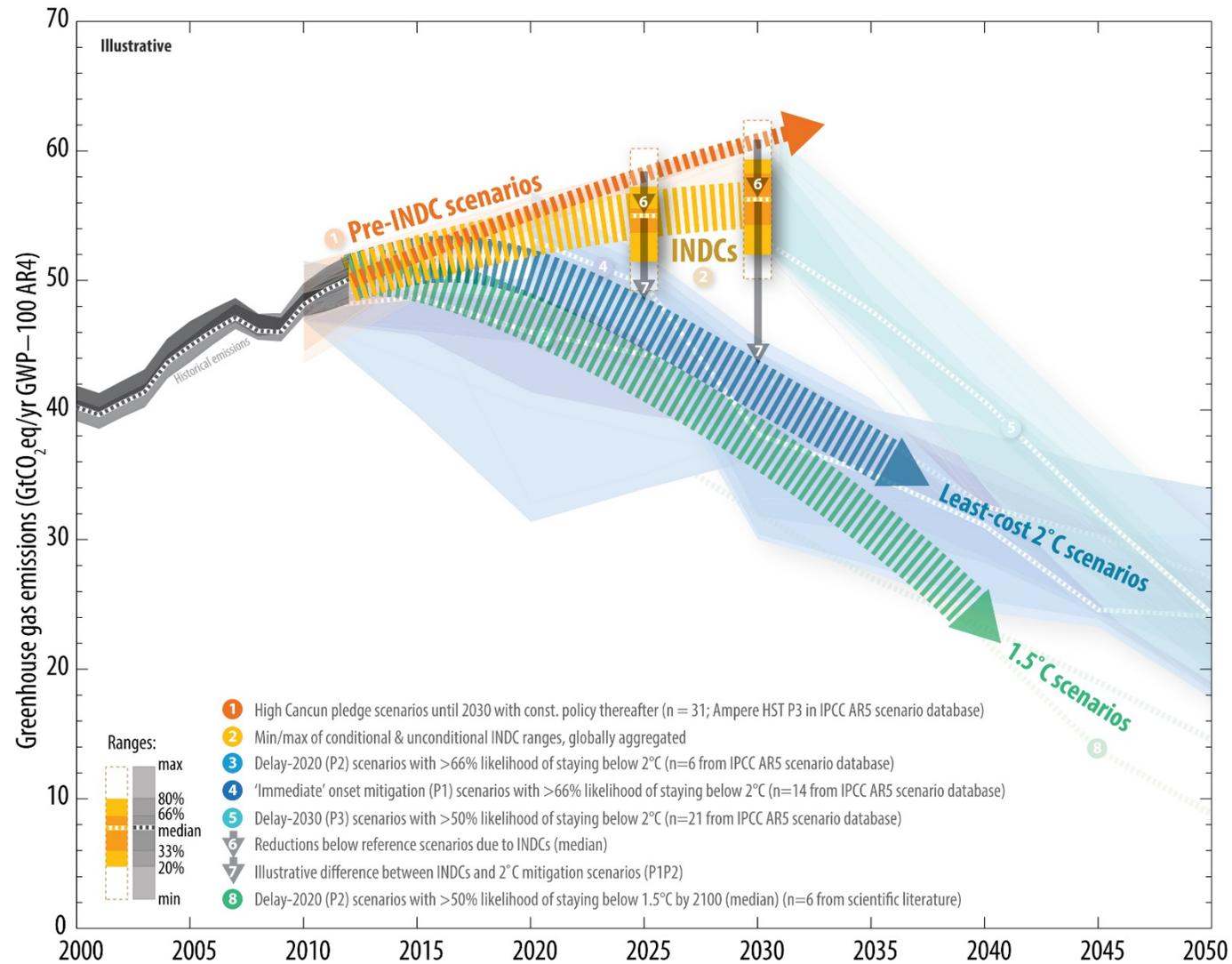


2030年のGHG排出水準に対応した2030年～2050年の年間平均CO₂排出削減率



2030年のGHG排出量と低炭素エネルギーの拡大との関係

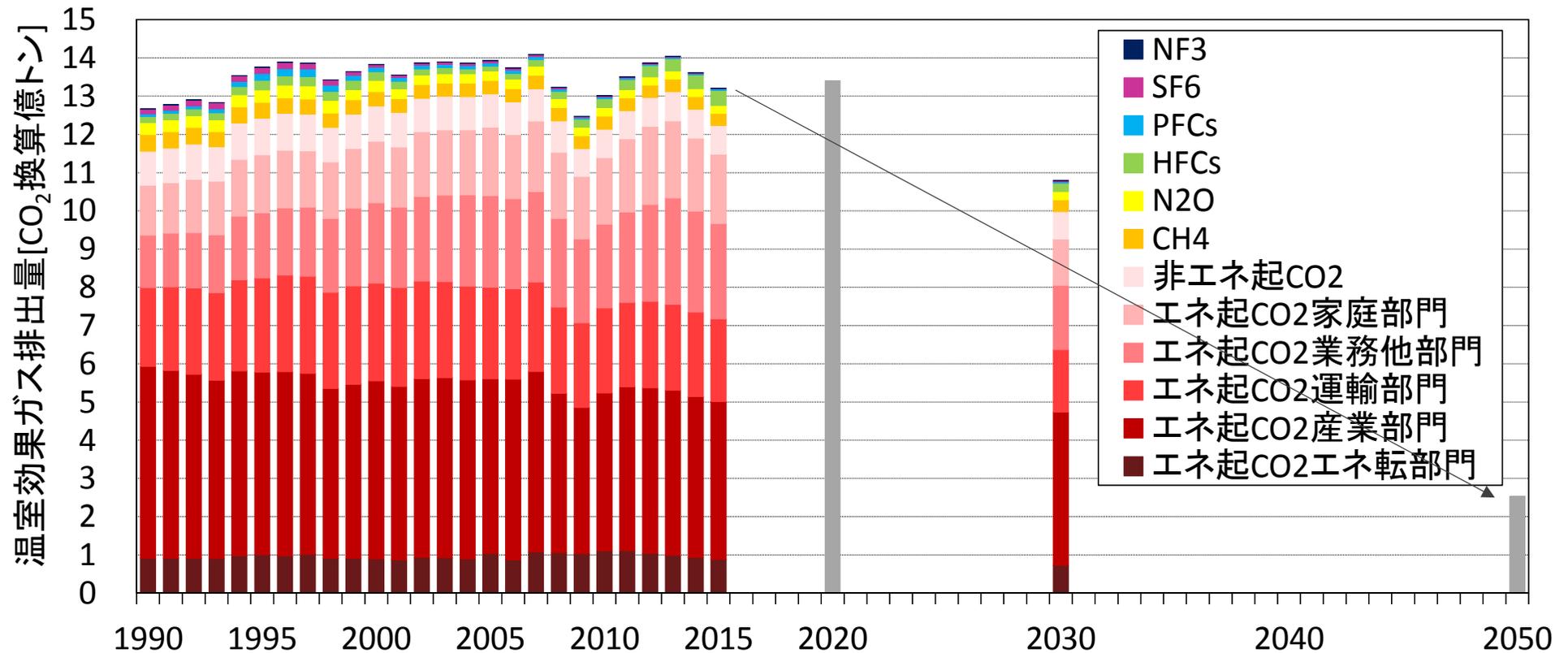
世界各国が提示した排出削減目標を達成すると、気候変動は回避できるか？



出典: <http://unfccc.int/resource/docs/2016/cop22/eng/02.pdf>

日本の温室効果ガス排出量の推移と削減目標

- 2030年：2013年比26%削減（2015年7月に日本の約束草案として閣議決定）
- 2050年：80%削減（2016年5月に温暖化対策計画として閣議決定）

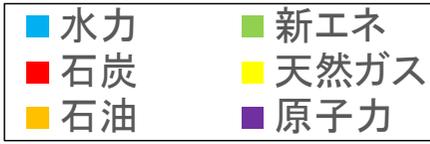
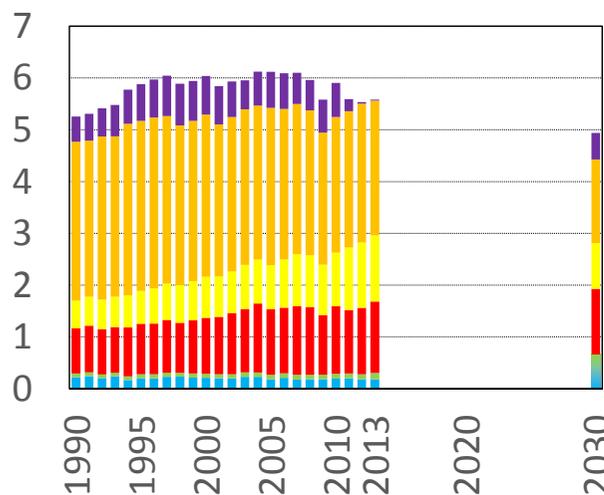


データ出典：国立環境研究所インベントリオフィス <http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html> 他
2015年は速報値

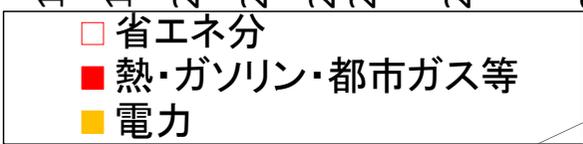
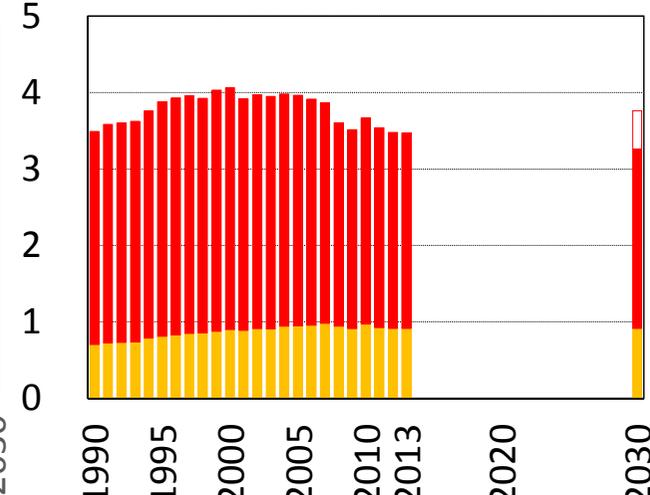
日本の排出削減目標を実現するエネルギー

- 2030年目標の基礎となったエネルギーミックス

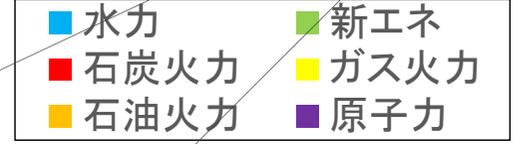
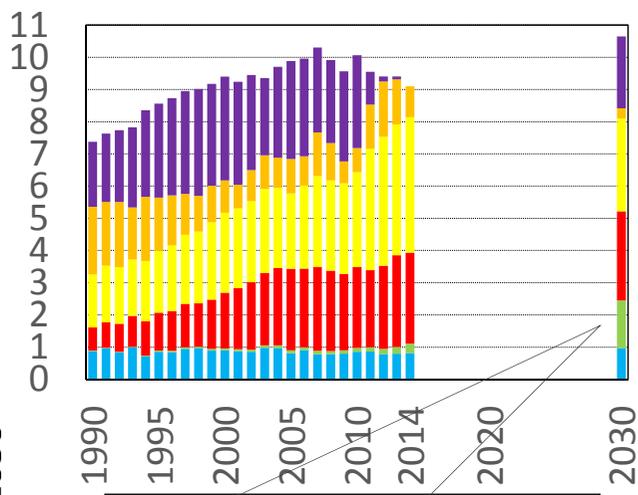
一次エネルギー供給
[原油換算億kl]



最終エネルギー消費
[原油換算億kl]



発電電力量
[兆kWh]

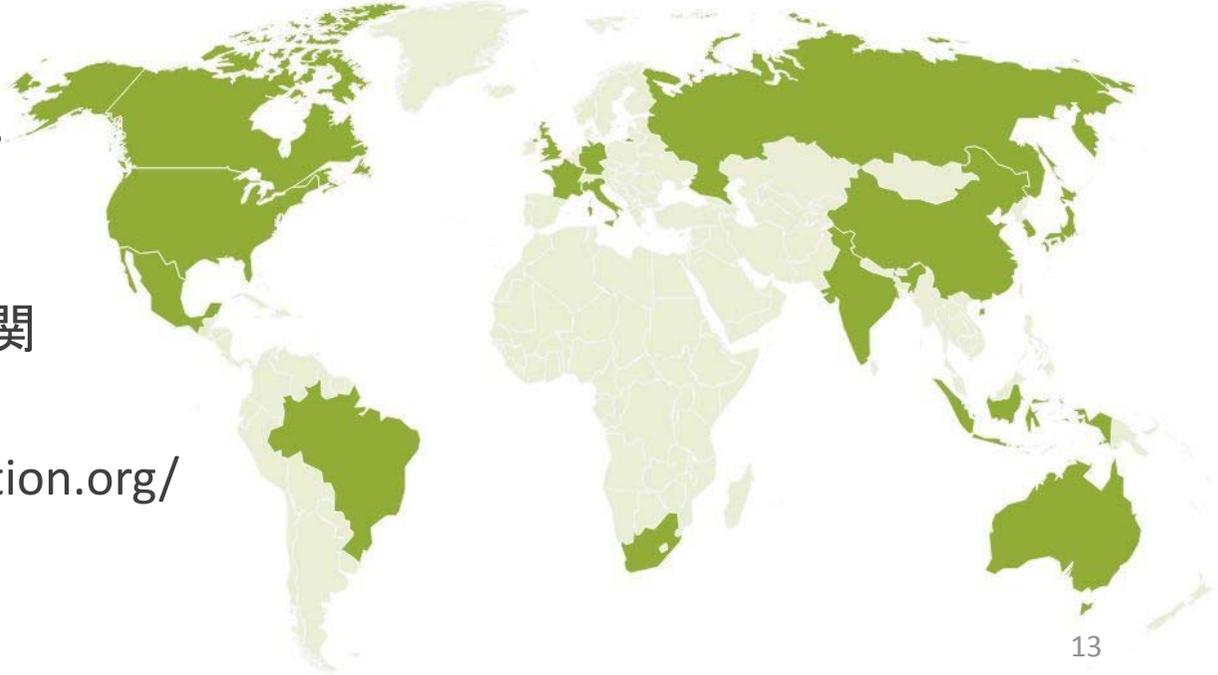


ガス火力: 27%	石炭火力: 26%	再生可能エネ: 22-24%
石油火力: 3%	原子力: 22-20%	太陽光: 7.0%, 風力: 1.7%, 水力: 8.8-9.2%, バイオマス: 3.7-4.6%, 地熱: 1.0-1.1%

温室効果ガス大幅削減に向けた試算

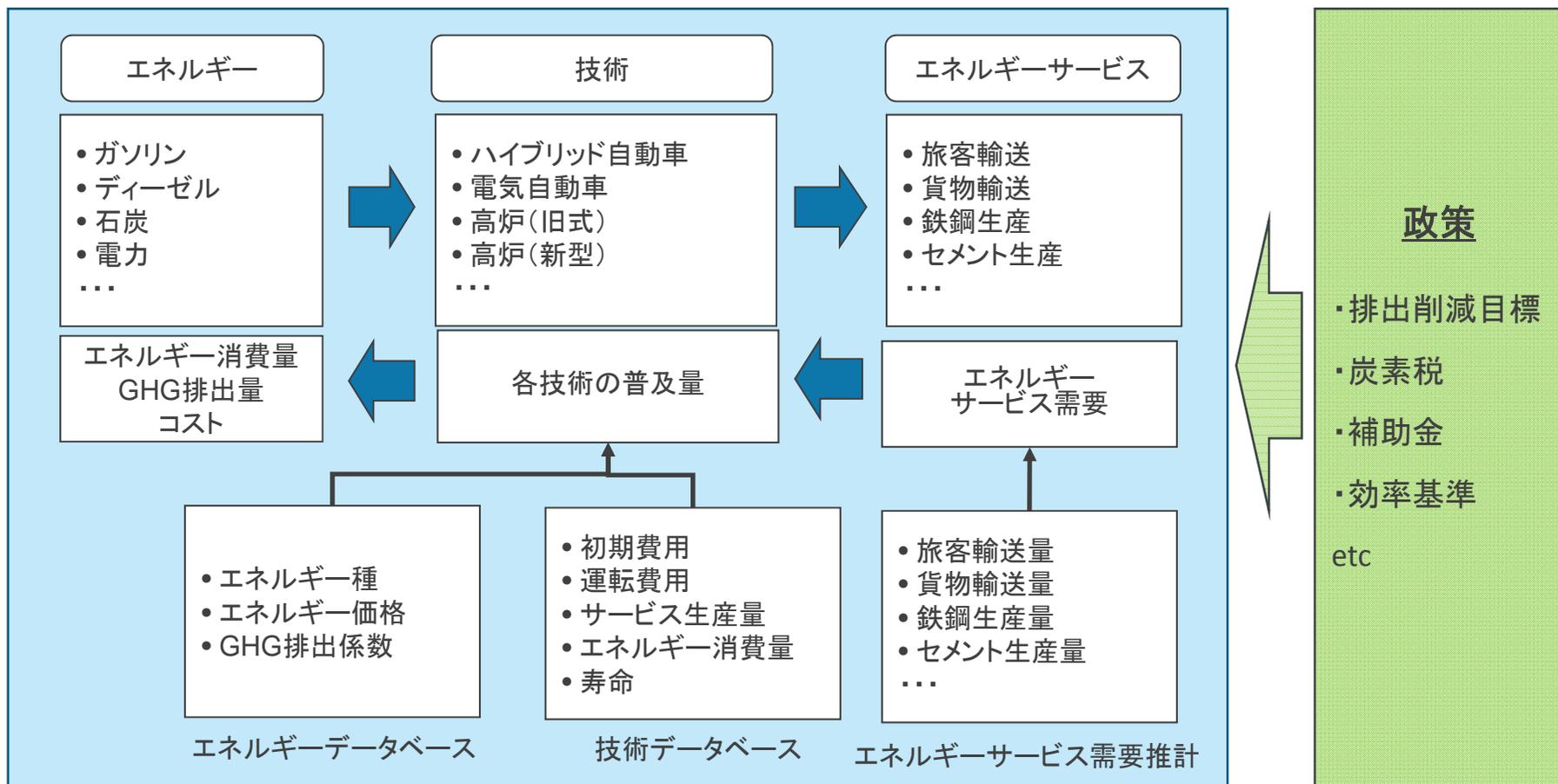
DDPP: Deep Decarbonization Pathways Project

- SDSN(持続可能な開発ソリューションネットワーク)、IDDRI(持続可能な開発と国際関係研究所、フランス)による国際プロジェクト。
- 目的:産業革命前と比べて世界平均気温上昇を2°C以内に抑制するために、世界各国が取り組むべき方策を提示。
- 参加16カ国が、自国の低炭素化シナリオを分析し、国別レポートを作成。
(オーストラリア、ブラジル、カナダ、中国、フランス、ドイツ、インド、インドネシア、イタリア、日本、メキシコ、ロシア、南アフリカ、韓国、英国、米国)
- 日本は削減目標として2050年80%削減を設定。
- 日本の参加研究機関:
国立環境研究所
地球環境戦略研究機関
みずほ情報総研
- <http://deepdecarbonization.org/>

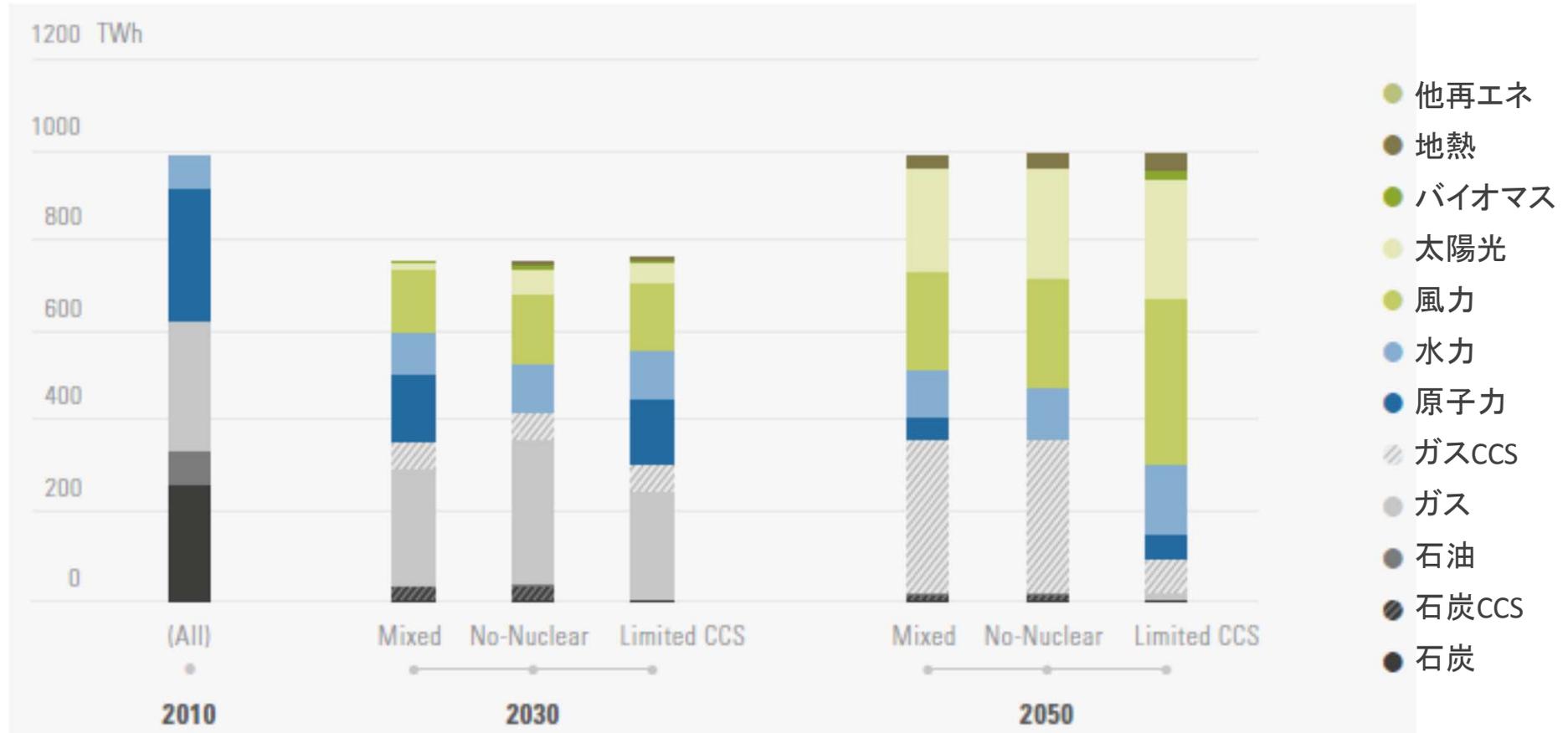


DDPPにおける推計方法

- AIM/Enduse(技術選択型モデル)の地域分割版モデルを用いて、将来のエネルギーサービス需要(交通需要量や鉄鋼生産量、冷暖房需要など)を所与として、固定費用と運転費用の合計が最小となるように技術とエネルギーを選択する。

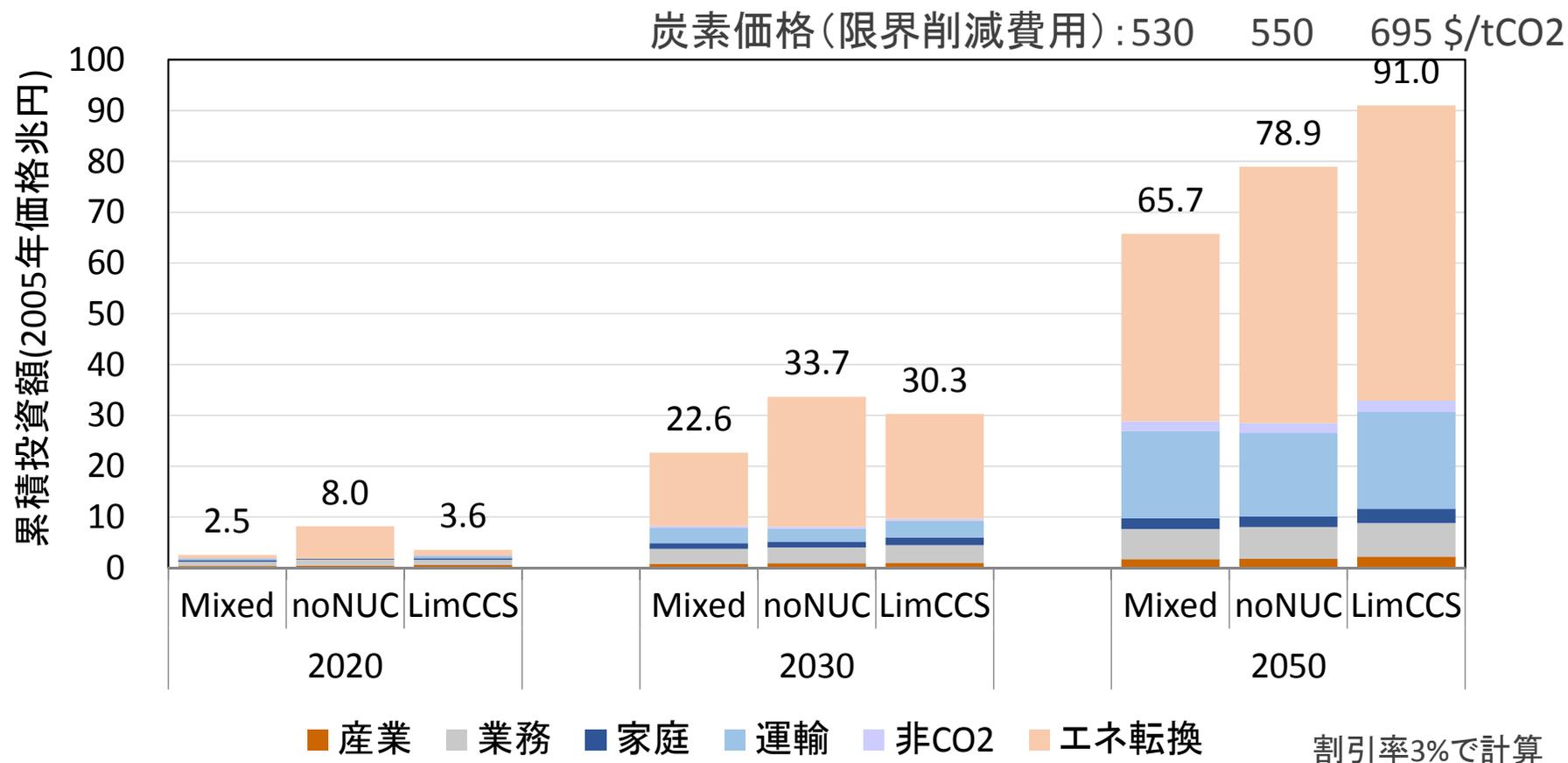


DDPPにおける日本の結果（発電電力量）



Mixed	原子力: IEA WEO 2013の新政策シナリオに準拠 CCS: 中環審の想定から、2050年のCO ₂ 貯留量最大2億トン/年
noNUC	原子力の再稼働なし
LimCCS	2050年のCO ₂ 貯留量が最大1億トン/年 (Mixedの半分)

DDPPにおける日本の結果(累積投資額)



Mixed	原子力: IEA WEO 2013の新政策シナリオに準拠 CCS: 中環審の想定から、2050年のCO ₂ 貯留量最大2億トン/年
noNUC	原子力の再稼働なし
LimCCS	2050年のCO ₂ 貯留量が最大1億トン/年 (Mixedの半分)

発電コスト検証ワーキンググループ(2015年)での見通し

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(80万円/kW)	小水力(100万円/kW)	バイオマス(専焼)	バイオマス(混焼)	石油火力	太陽光(効)	太陽光(住宅)	ガスコジェネ	石油コジェネ
設備利用率	70%	70%	70%	20~23%	30%	83%	45%	60%	60%	87%	70%	30~10%	14%	12%	70%	40%
稼働年数	40年	40年	40年	20年	20年	40年	40年	40年	40年	40年	40年	40年	30年	30年	30年	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

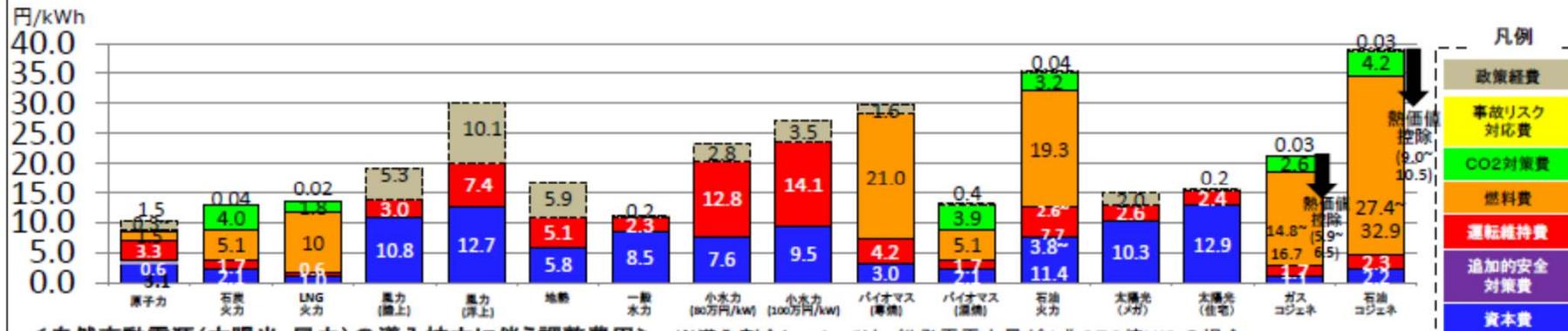
追加的安全対策費2倍	+0.6
廃止措置費用2倍	+0.1
事故廃炉・賠償費用等1兆円増	+0.04
再処理費用及びMOX燃料加工費用2倍	+0.6

※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。

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

※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



<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

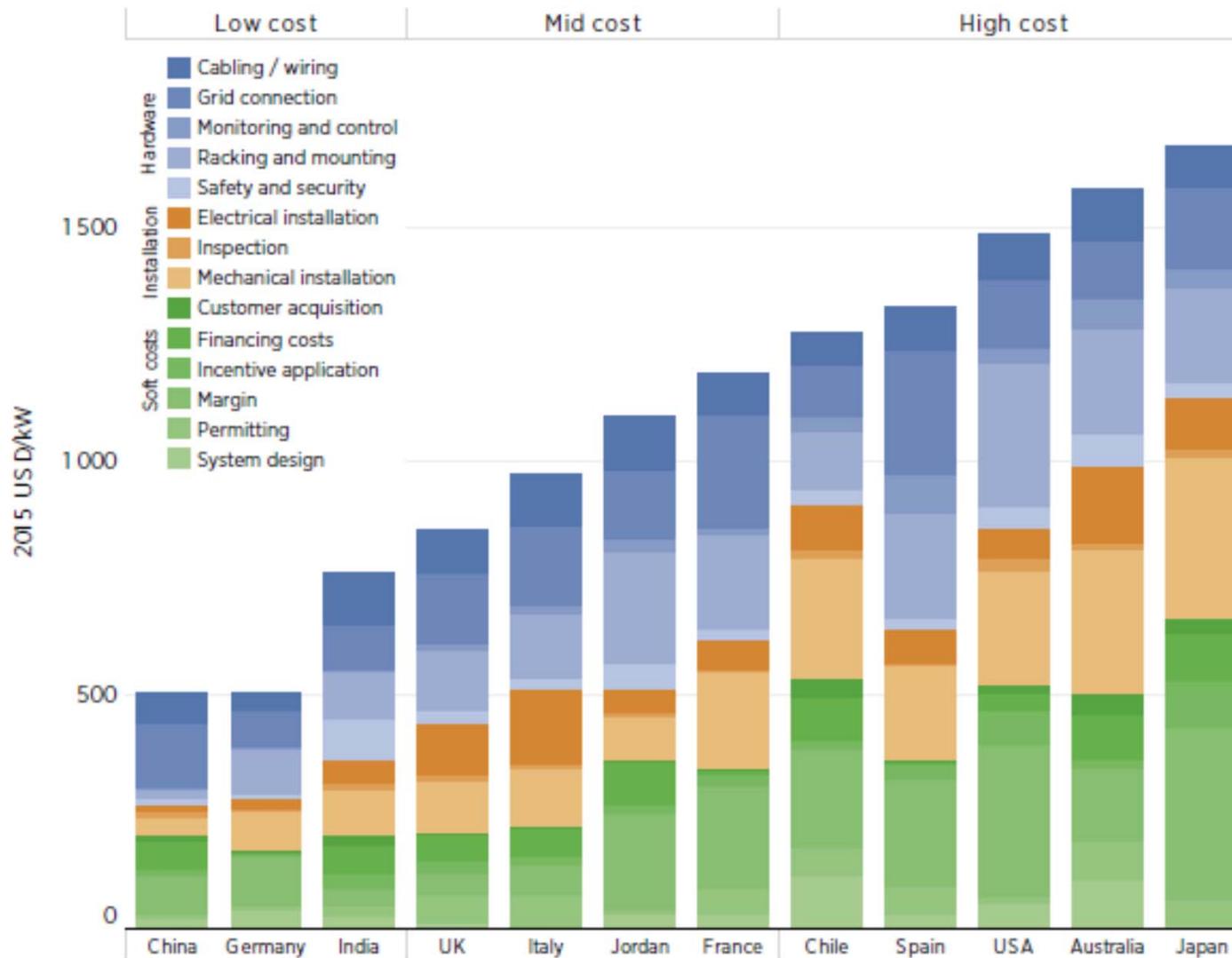
自然変動電源の導入割合	再エネ全体の導入割合	調整費用
660億kWh(6%)程度	19~21%程度	年間 3,000億円程度
930億kWh(9%)程度	22~24%程度	年間 4,700億円程度
1240億kWh(12%)程度	25~27%程度	年間 7,000億円程度

※ 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。

2016年に、福島第一原発事故による廃炉、賠償の費用が当初の2倍となる見通しが示される。

2015年における地域別太陽光発電の費用

FIGURE 2: DETAILED BREAKDOWN OF SOLAR PV BoS COSTS BY COUNTRY, 2015



大規模太陽光発電の発電費用の推移と見通し

FIGURE 14: GLOBAL UTILITY-SCALE SOLAR PV LCOE RANGE, 2010-2025

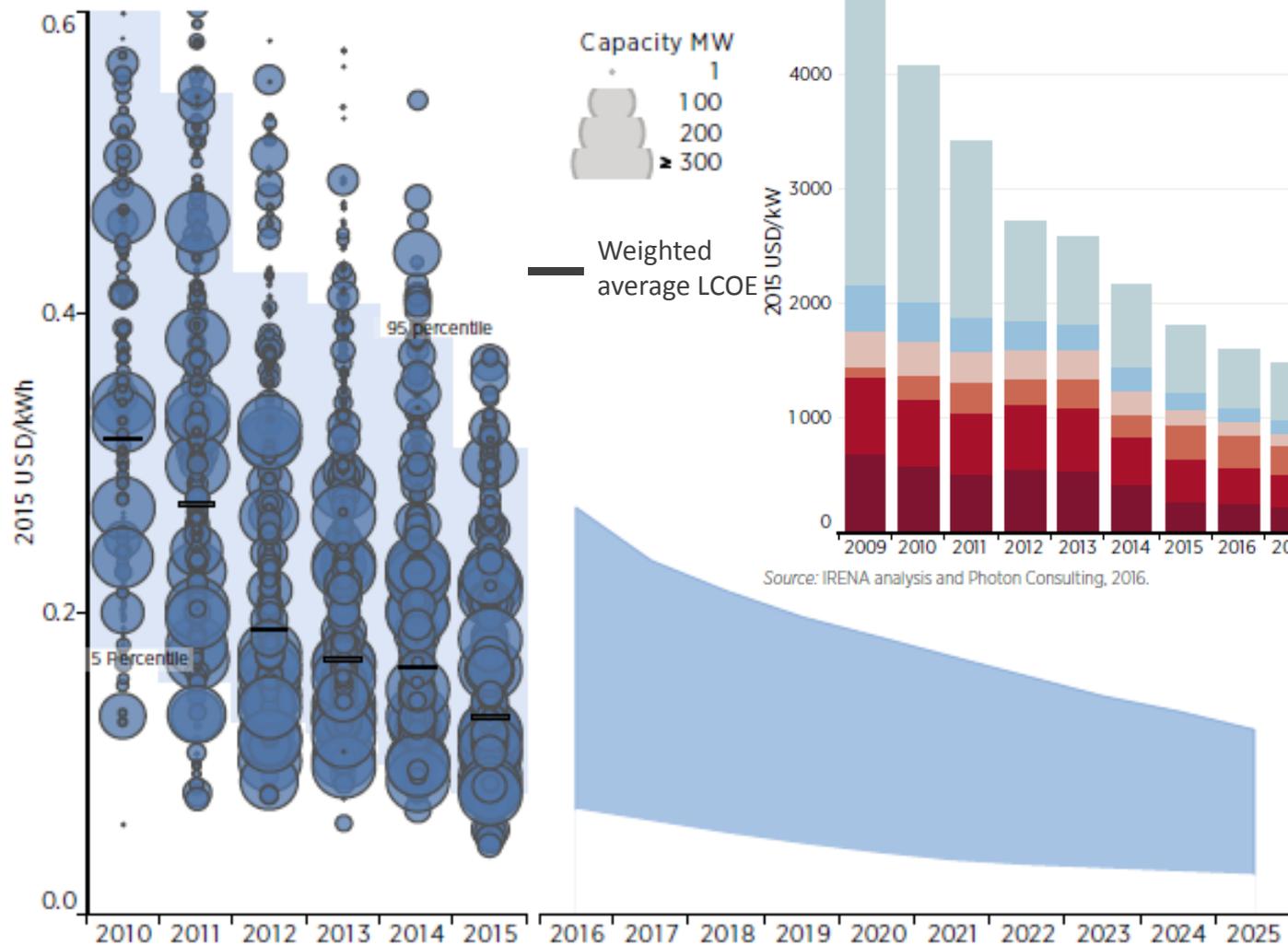
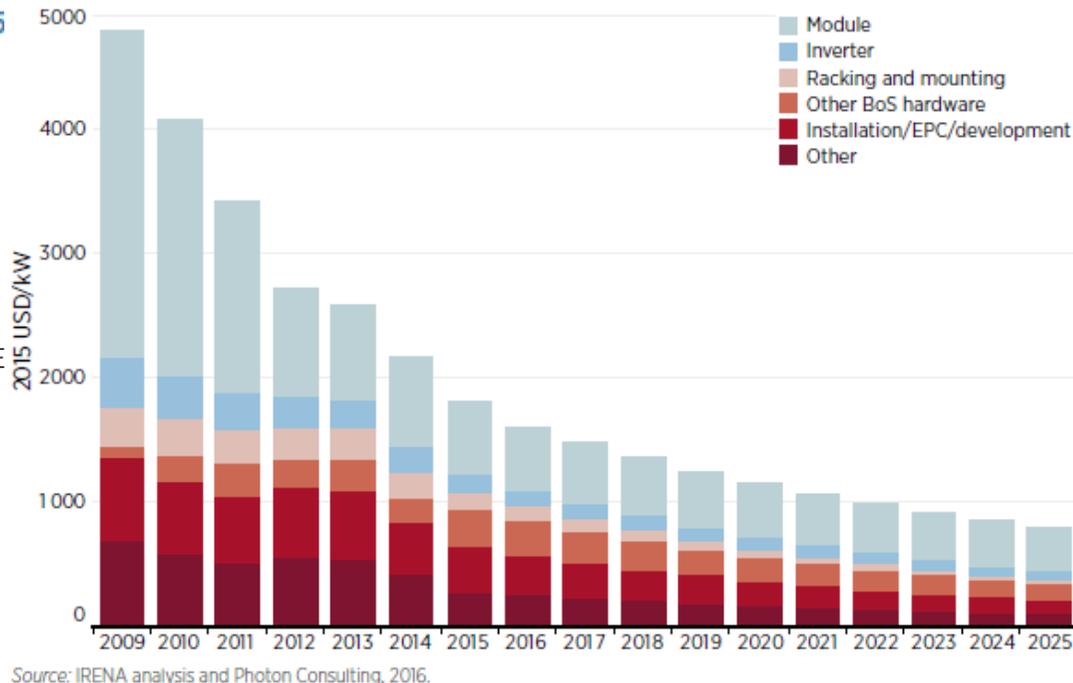


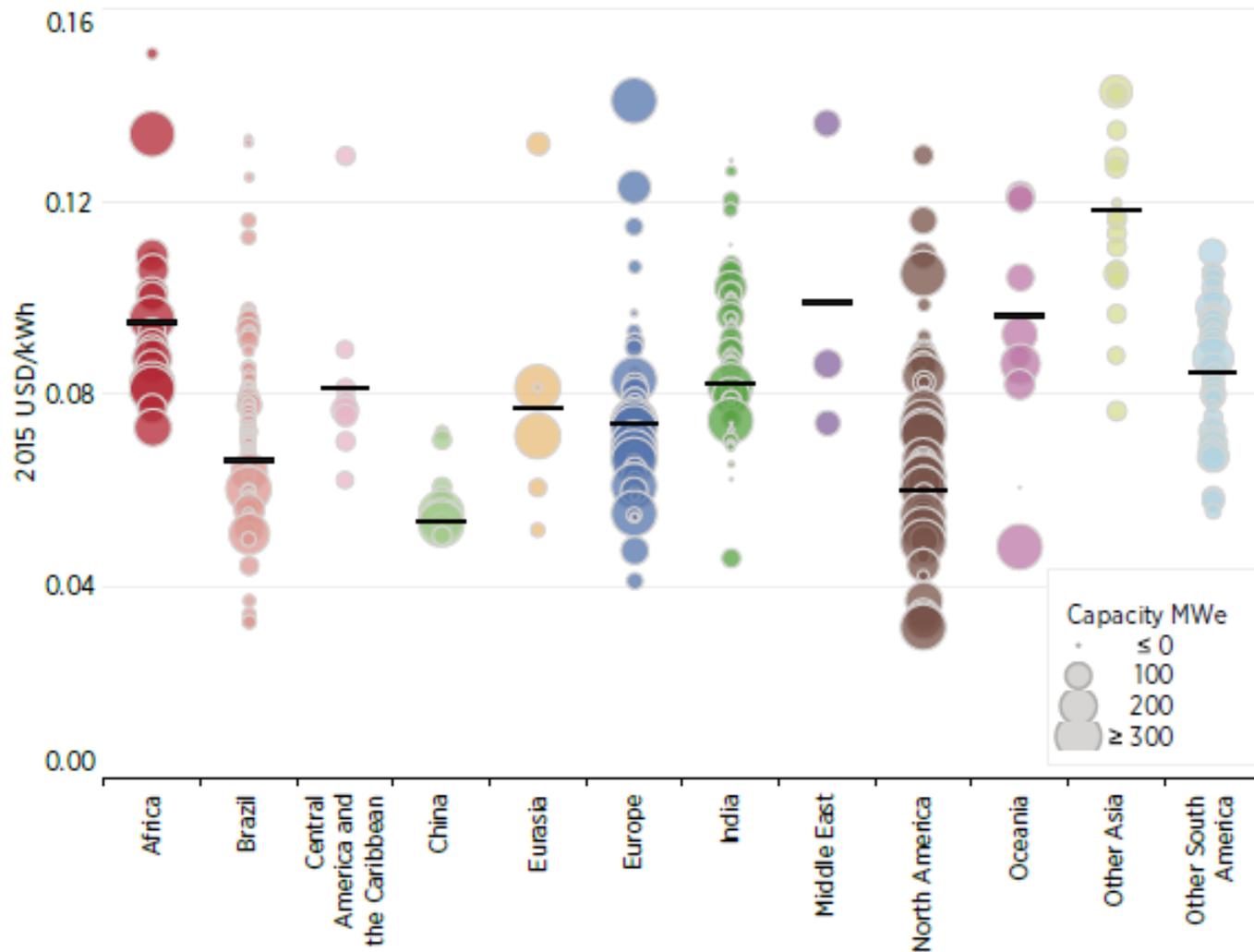
FIGURE 8: GLOBAL WEIGHTED AVERAGE TOTAL SYSTEM COSTS BREAKDOWN OF UTILITY-SCALE SOLAR PV SYSTEMS, 2009-2025



Source: IRENA Renewable Cost Database and IRENA analysis.

地域別陸上風力発電の費用

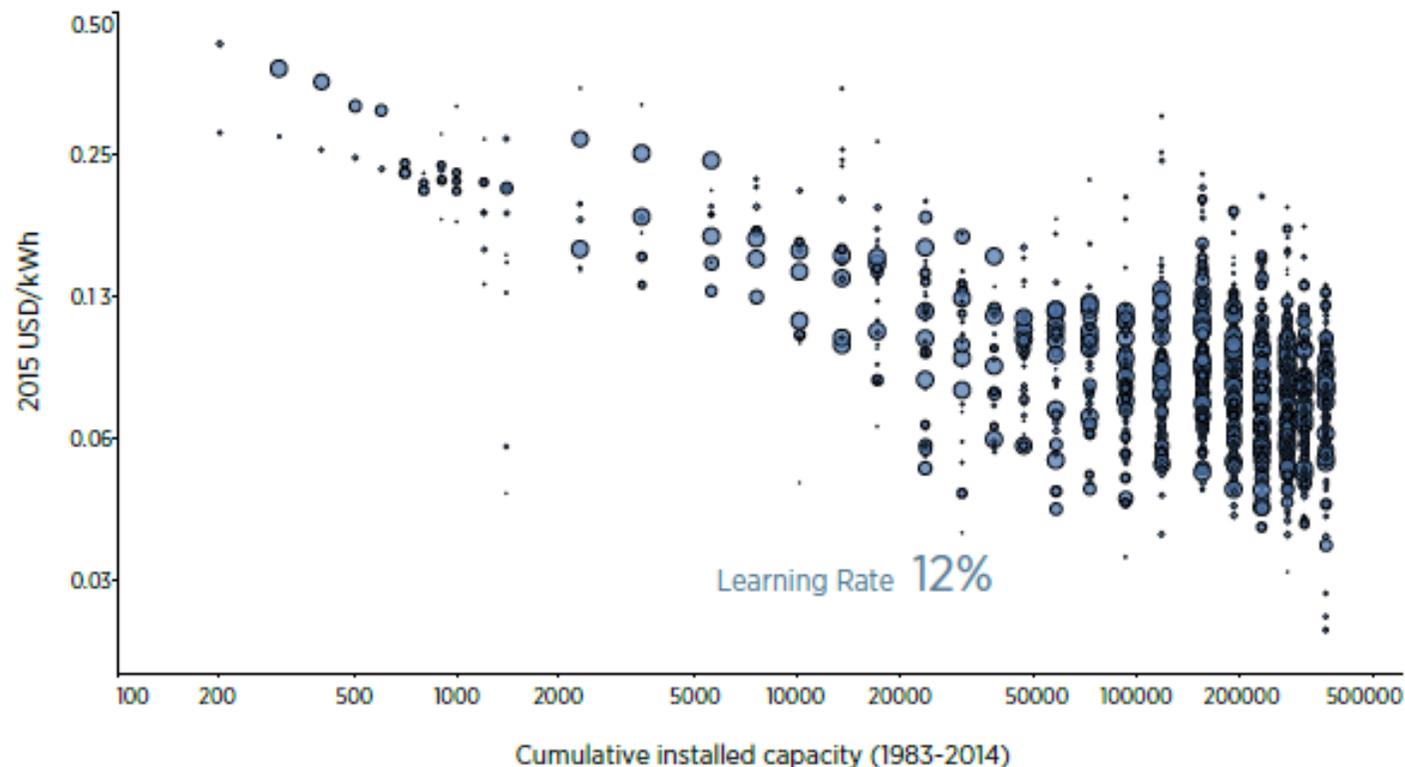
FIGURE 22: LEVELISED COST OF ELECTRICITY FOR ONSHORE WIND FARMS BY PROJECT, AND WEIGHTED AVERAGES BY COUNTRY AND REGION, 2014-2015



Source: IRENA Renewable Cost Database.

陸上風力発電における学習効果 (累積設置量に対する費用の低下)

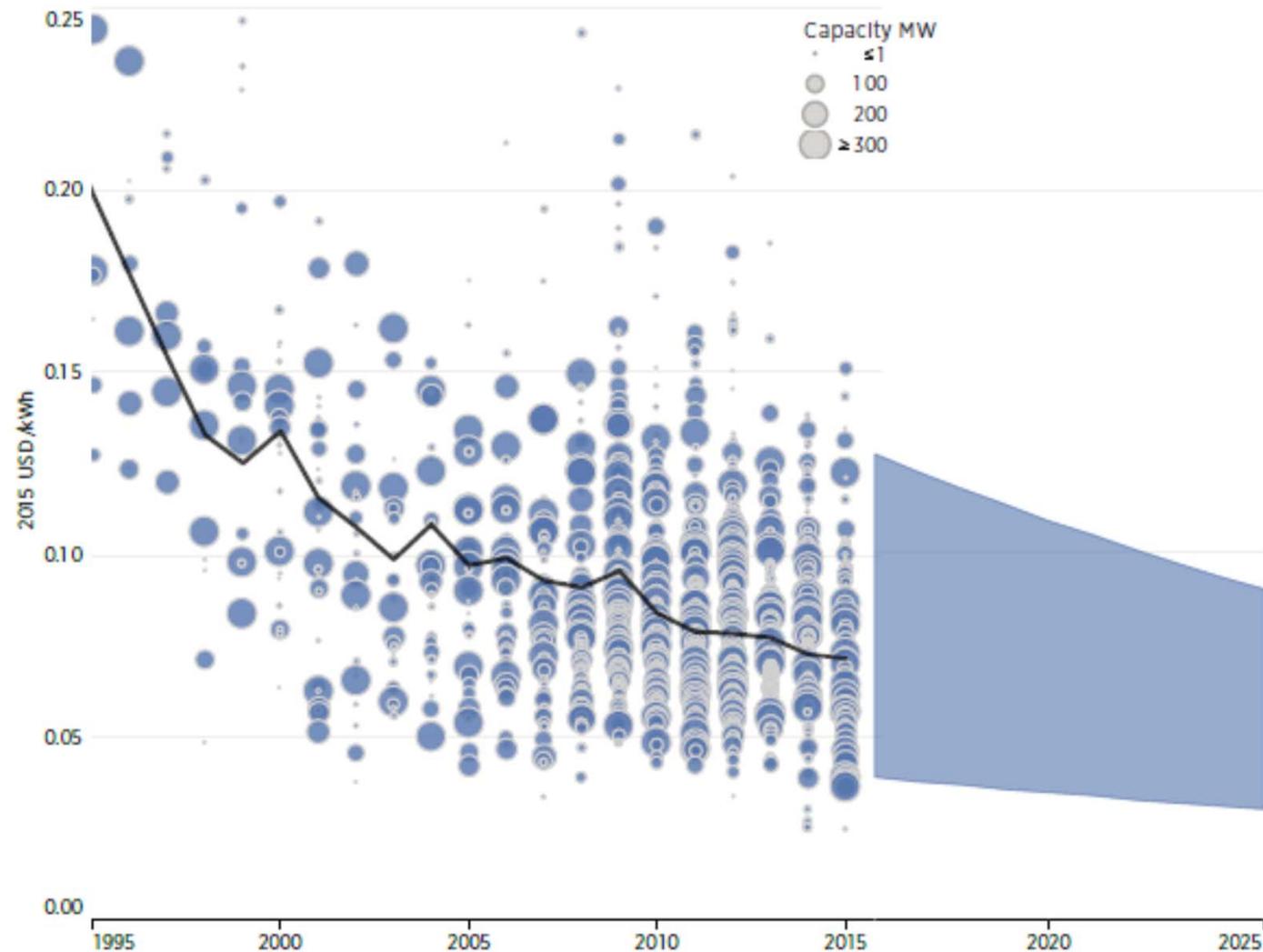
FIGURE ES 3: GLOBAL ONSHORE WIND LEARNING CURVE ANALYSIS, 1983-2014



Note: Circles represent individual projects in the IRENA Renewable Cost Database or country averages for data prior to 2000. The centre of the circle is the value for the Y axis and the diameter of the circle is the size of the project.

陸上風力発電の発電費用の推移と見通し

FIGURE 29: LEVELISED COST OF ELECTRICITY OF ONSHORE WIND, 1983-2025



Source: IRENA Renewable Cost Database and analysis.

出典: IRENA(2016) The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025
http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Power_to_Change_2016.pdf

長期的な視点に立った議論が必要

2°C目標の達成に向けて

- 原発がフェーズアウトする場合に要する対策費用は、CCSに利用制限がある場合に要する対策費用より小さい。
- 原発の利用が制限されることで、限界削減費用は上昇するが、政策導入により炭素税率としての価格は低く抑えられる。

発電費用について

- 世界的に見て原発の初期費用は上昇傾向にある。
日本でも福島第一原発の廃炉や賠償等の上乗せにより費用は上昇する見通し。
- 一方、再生可能エネルギーの初期費用は、習熟効果(累積生産量が増加すると費用が低下する)により低下する見通し。
系統安定化に向けた取り組み・イノベーション。

■ 楽観的でも悲観的でもない長期ビジョンと戦略の議論が必要。