



自然エネルギー財団

RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

世界で進むエネルギー転換

原子力は気候変動の解決策ではない

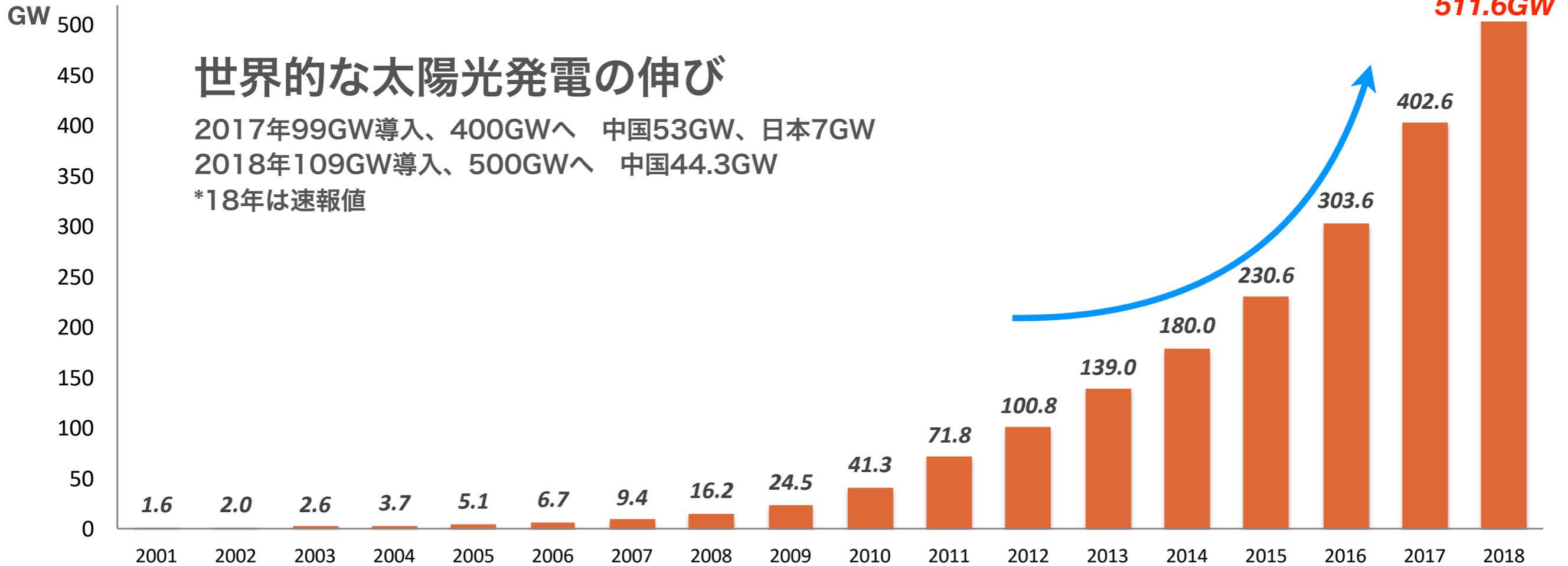
2019年3月

大林ミカ 自然エネルギー財団

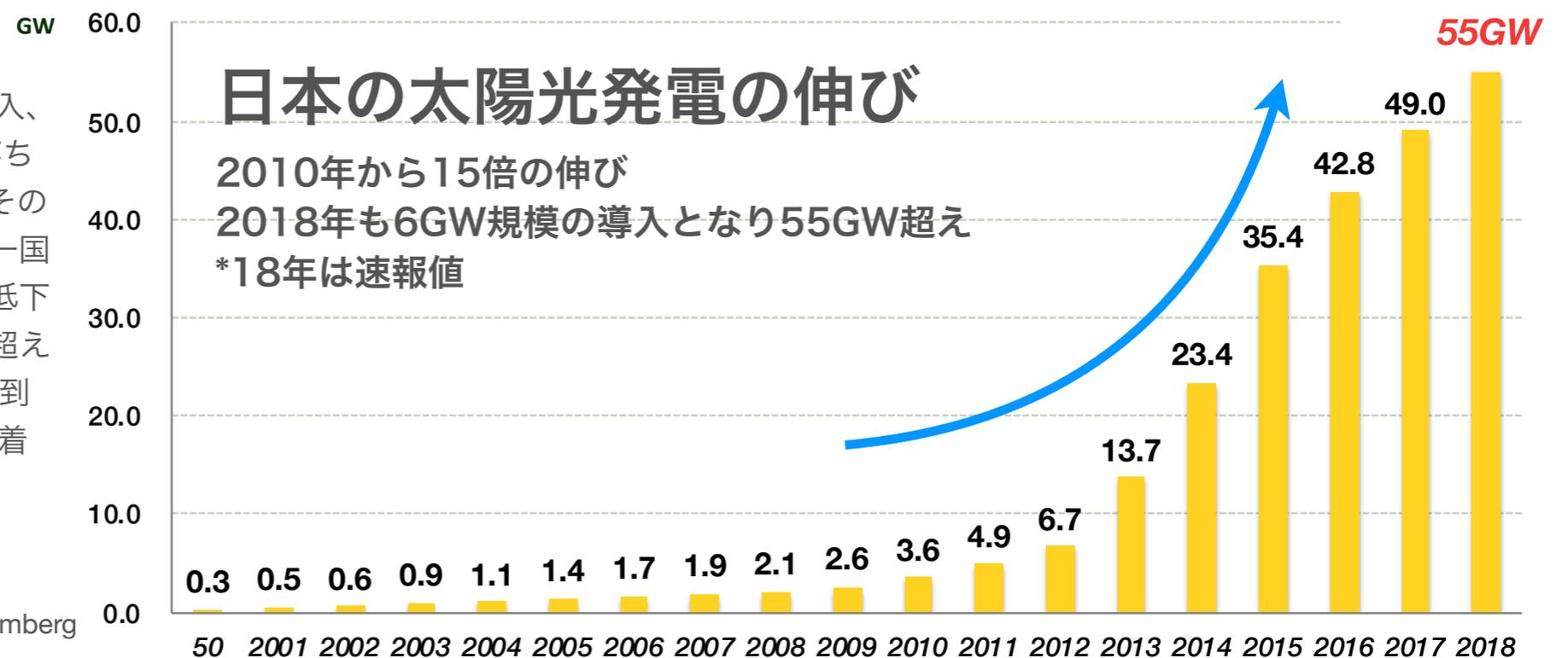


1. 世界で進むエネルギー転換—止まらない自然エネルギー拡大
2. 世界で進む気候変動対策—自然エネルギーが鍵に
3. 逆転する原子力と自然エネルギー
4. 停滞する原子力
5. 各国の状況
6. 日本でも進むエネルギー転換

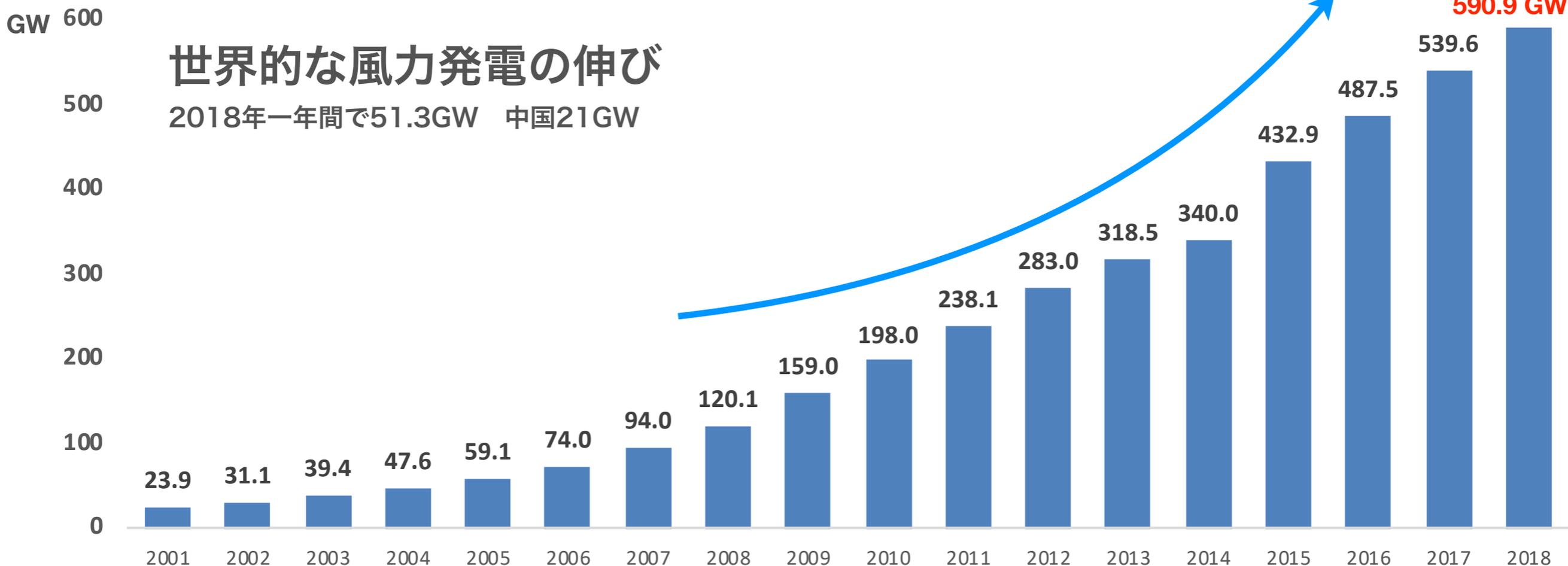
拡大する自然エネルギー：太陽光



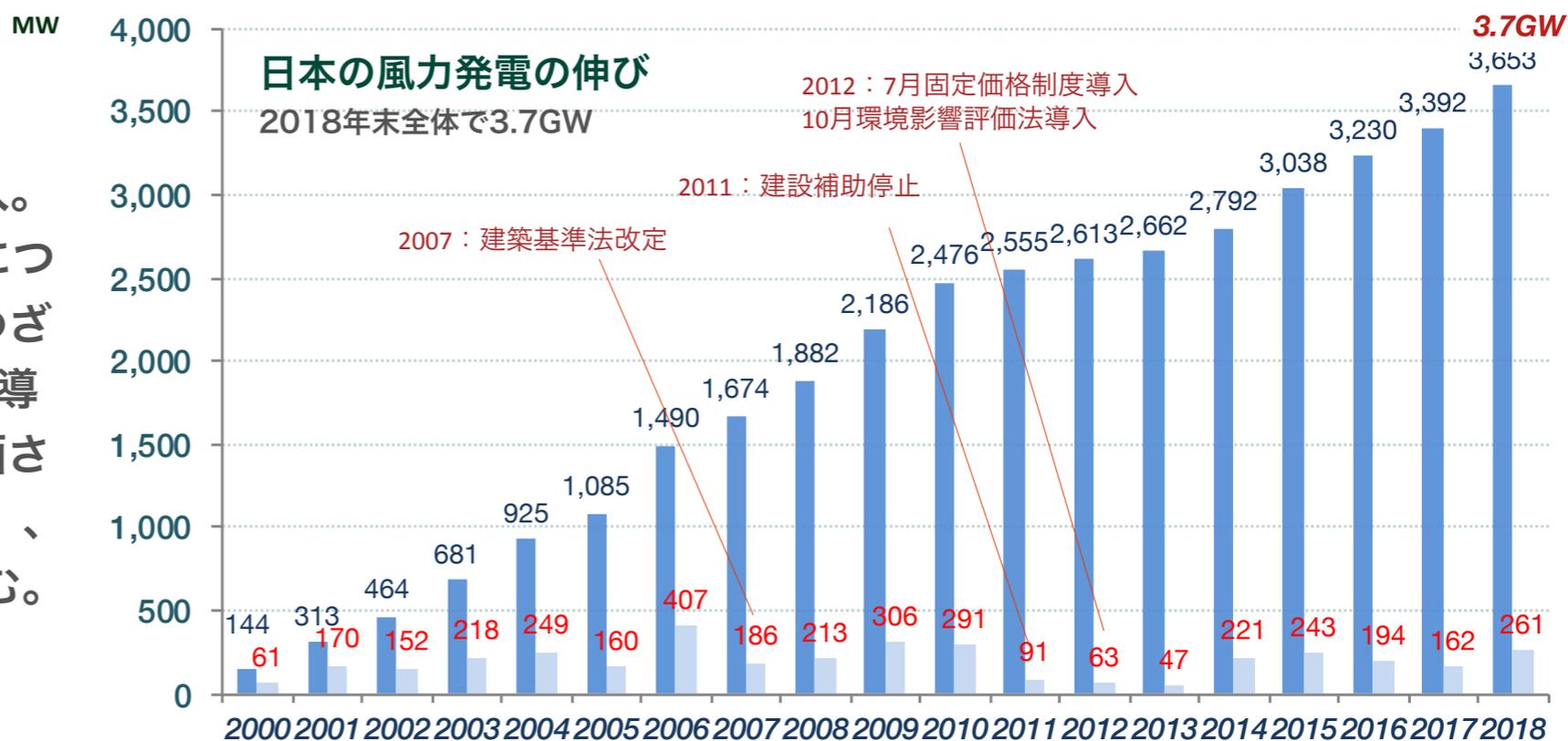
2018年概況：世界全体で100GWを超える導入、500GWへ。中国が44.3GWで若干ペースが落ちるも、その分安価な太陽電池が他国に流れ、その他の国で60GW以上が導入される。インドが一国で10GWを導入。世界的な太陽光発電の価格低下と拡大ブームは止まらず。2019年も100GW超えの導入が見込まれる。日本は6GWで、55GW到達。初期の固定価格制度PVの投資消化が落ち着き、2017年より緩やかに減少傾向。一方で、2030年の政府見通し64GWの85%を達成。



拡大する自然エネルギー：風力

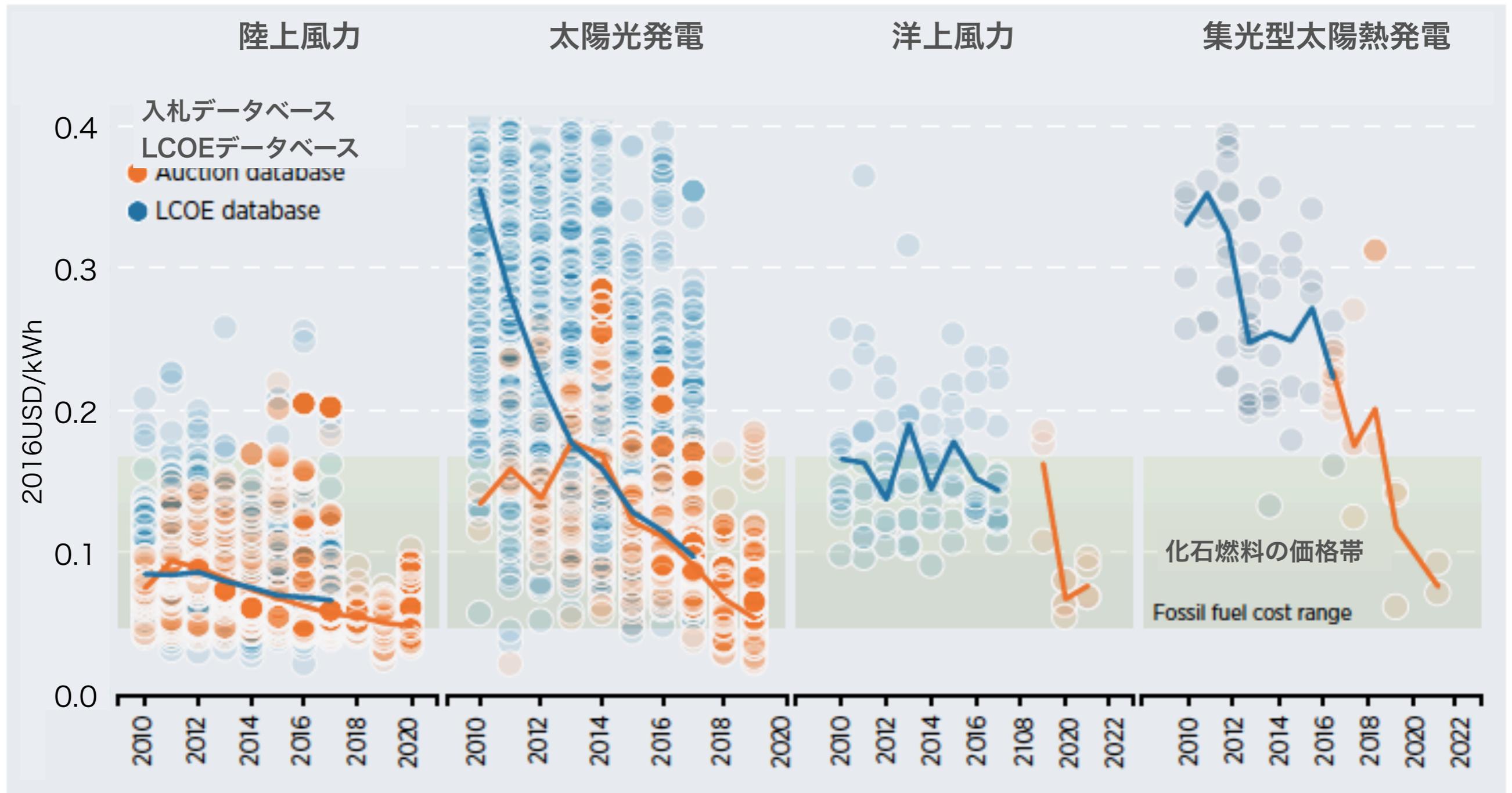


2018年概況：2018年に51GWが導入。うち5GWが洋上風力で、中国の1.8Gについて、英国1.3G、ドイツ1Gと導入がめざましい。日本の歩みは遅く、むしろFIT導入後に伸びが止まっているが、現在計画されているものが約18GWあり（洋上5G）、JWPAは、2030年には36GWを見込む。



すでに化石燃料に対する競争力がある

2010年から2022年 プロジェクト別均等化発電原価（LCOE）と国際加重平均価格（AWV）

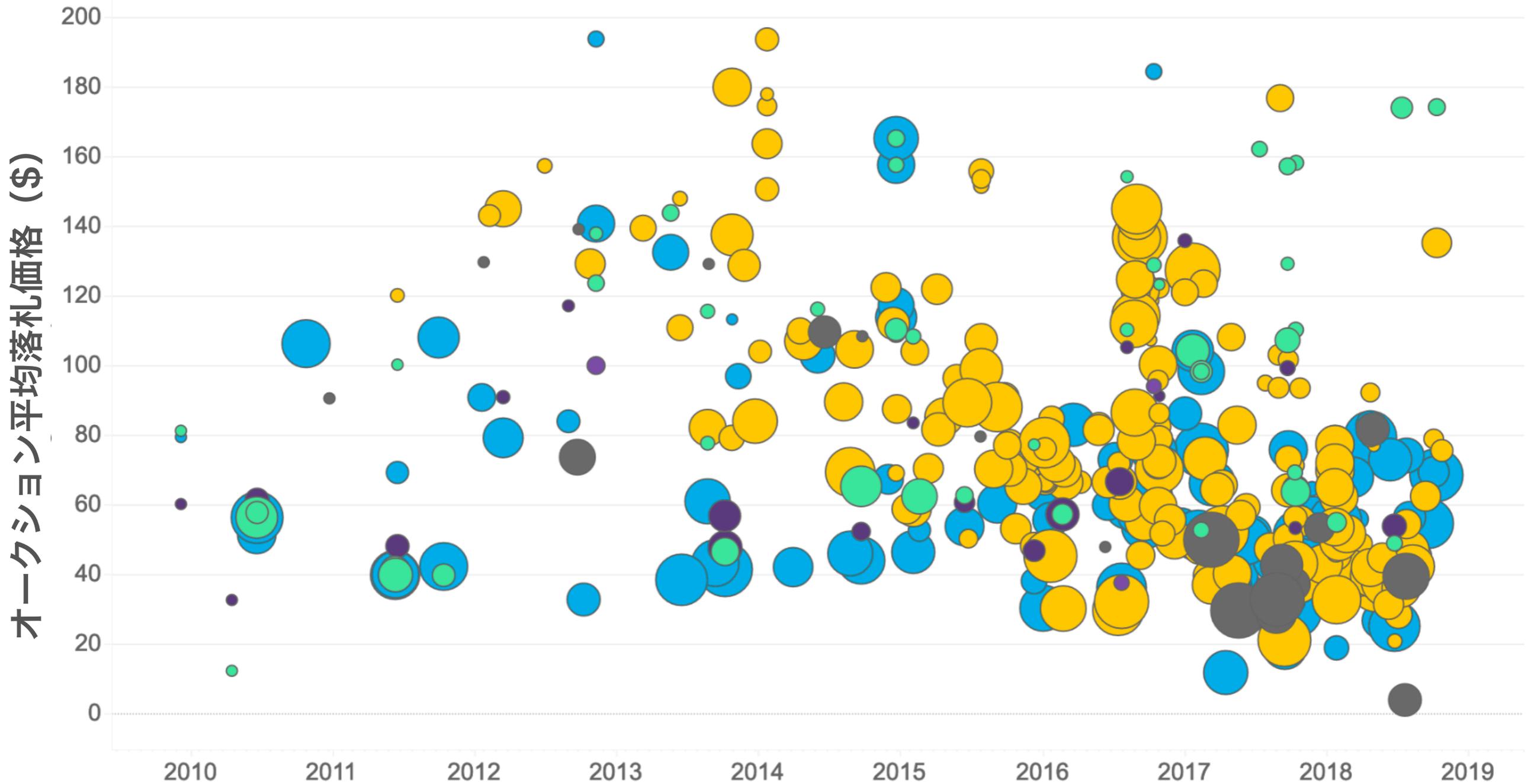


それぞれの○は個別のプロジェクトやシングルプライスオークション入札の結果を表している。円の中心はY軸にあるそれぞれのプロジェクトの価格。太い線は、年毎の国際加重平均価格、あるいは入札価格を表している。LCOE（均等化発電原価）データについて、OECD諸国と中国の実質加重平均資本コストは7.5%、その他の国は10%である。灰色の帯は火力発電の価格帯を表している。

自然エネルギーの価格低下

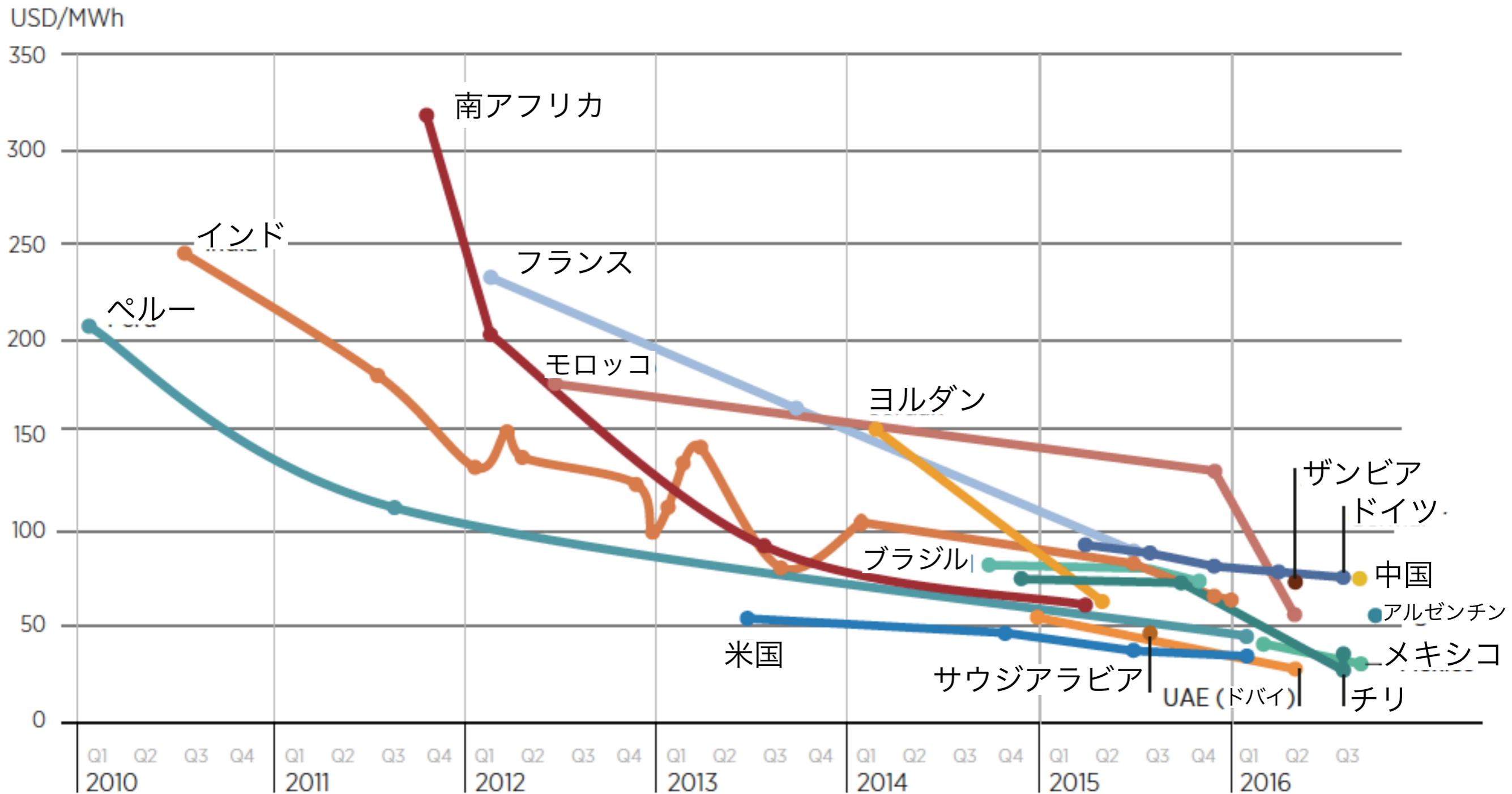


オークション平均落札価格 (\$/MWh)



- Colour by
- Biomass
 - Geothermal
 - Others
 - Small Hydro
 - Solar
 - Wind

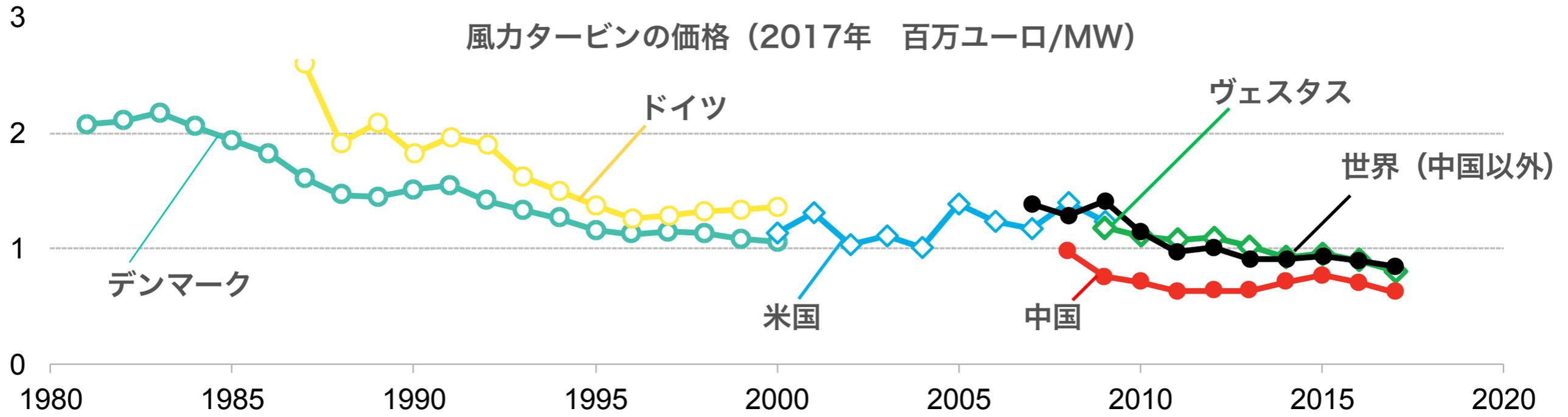
大規模太陽光発電（utility scale solar）入札価格の展開



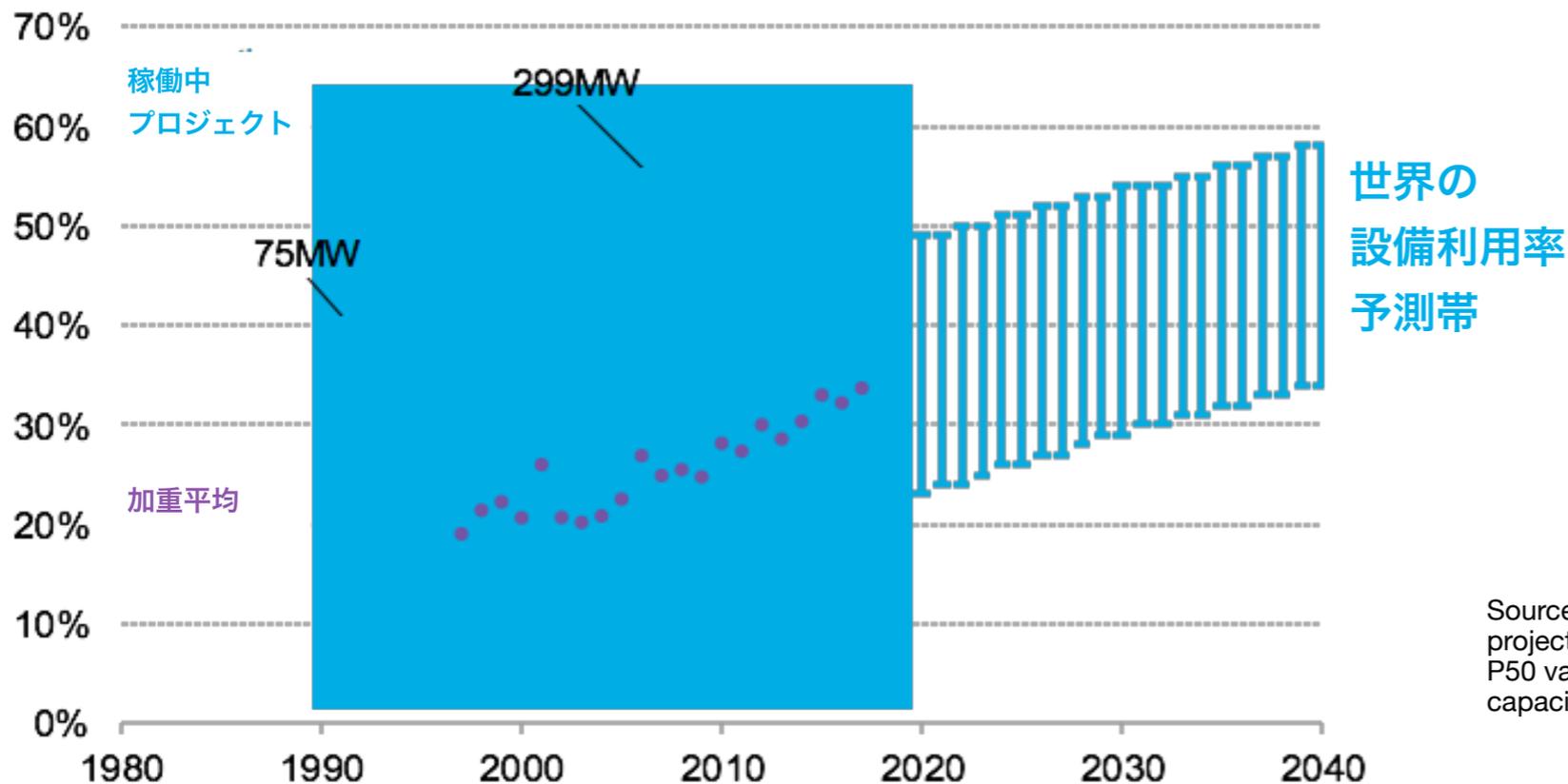
自然エネルギーの価格低下



風力：2010年から 32%の価格低下 — そして、さらに多く発電するように



設備利用率 (%)



大型化や技術革新により、
設備利用率が上昇、
MWあたりの発電量がさらに増加

Source: BloombergNEF. Note: onshore wind capacity factors. Operational projects calculated using our proprietary Wind Farm Capacity Factor Tool and a P50 value. Ranges reflect country with lowest to country with highest average capacity factor.

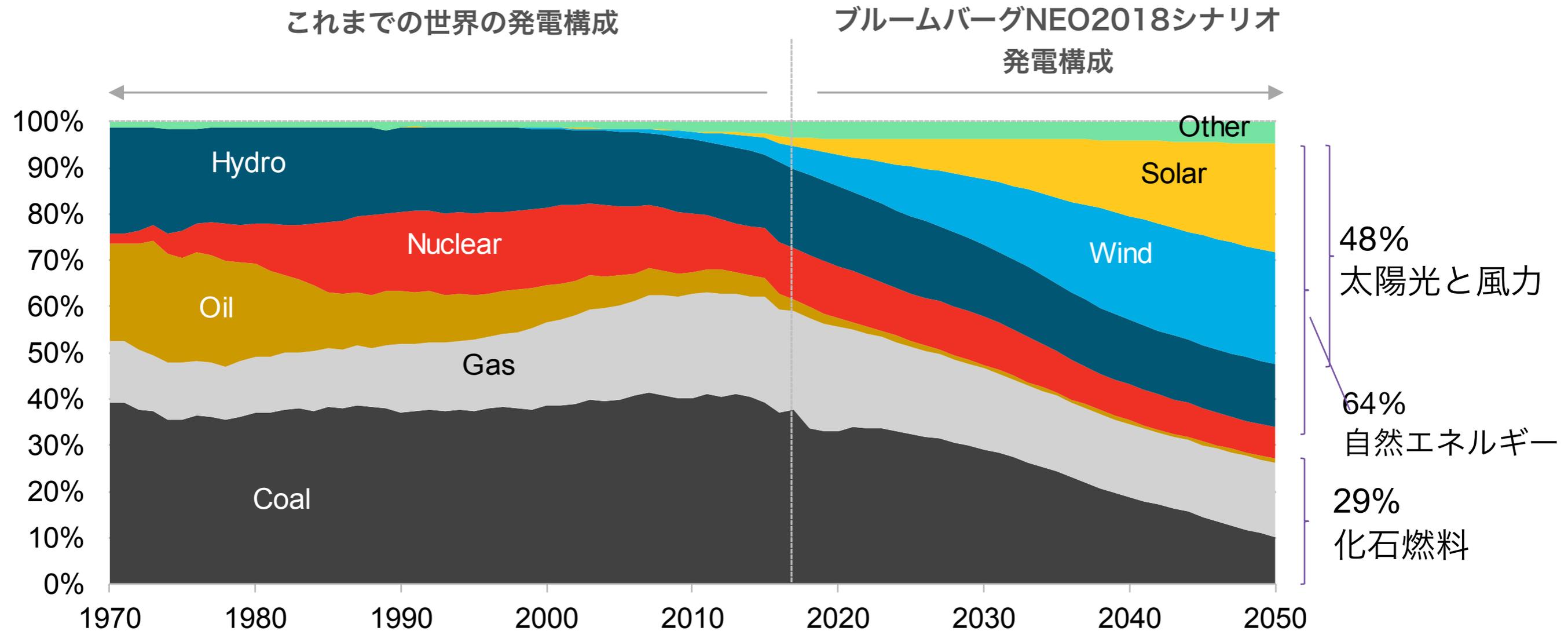
エネルギー転換：将来予測



◎ブルームバーグ：2050年 予測

再生可能エネルギーが電源構成の主演となる

世界の電源の50%を風力と太陽光で、水力を併せると64%を自然エネルギーで



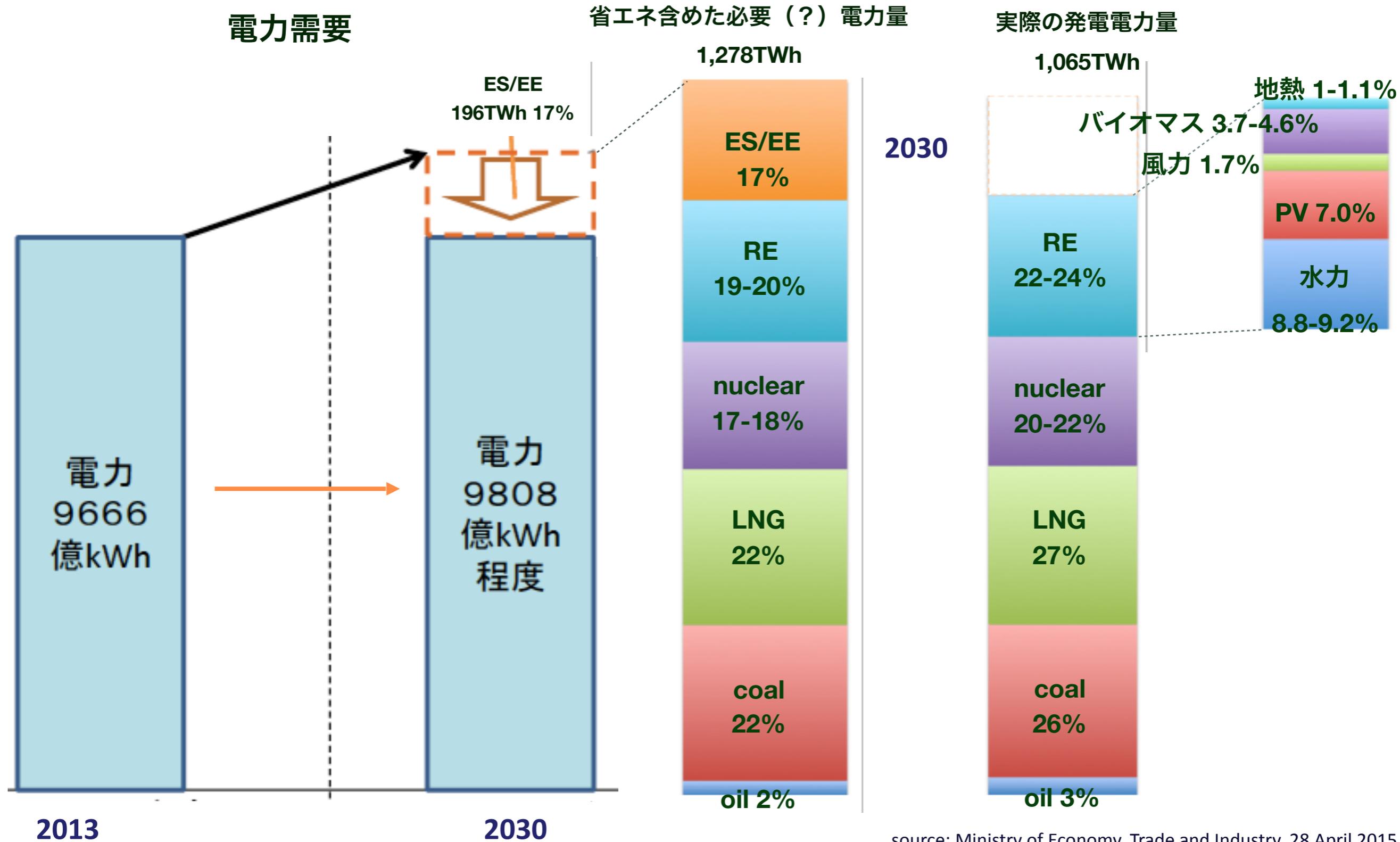
エネルギー転換：各国の目標



各国の2030年・2050年目標：世界では、2030年および2050年の温室効果ガス削減目標を実現すべく、自然エネ導入を加速し、今後のさらなる導入を見据えた高い目標値を設定している。『2030年に電力の40%以上を自然エネルギーで供給』が先進国標準になっている。

国・地域	自然エネルギー電力目標 (2050はシミュレーション) 2020-2030 2050		中期の削減目標 (1990年比)	2050の削減目標 (1990年比)	石炭目標
ドイツ	2030年までに65% 2018年の閣内合意	少なくとも80%	2035年に55%削減	少なくとも80-95%削減	2038年ゼロ
英国	2020年までに30%		2032年に57%削減	少なくとも80%削減	2025年ゼロ
フランス	2030年までに40%		2030年に40%削減	75%削減	2022年ゼロ
スペイン	2030年に74%	100%	2030年に20%削減	100%削減	2030年ゼロ
EU	2030に55-60% (最終エネルギー消費の 32%)	少なくとも80-97%	2030年に40%削減	80-95%削減	
米国	加州 2030年に50% ハワイ 2040年に70%	2045年に100%	26-28% (2005比)	少なくとも80%削減 (2005比)	10-33% 火力全体で
日本	2030年に22-24%		18%削減/25.4%削減 (90比/05比)	少なくとも80%削減 (基準年不明)	2030年26%

日本の2030年電力ミックス

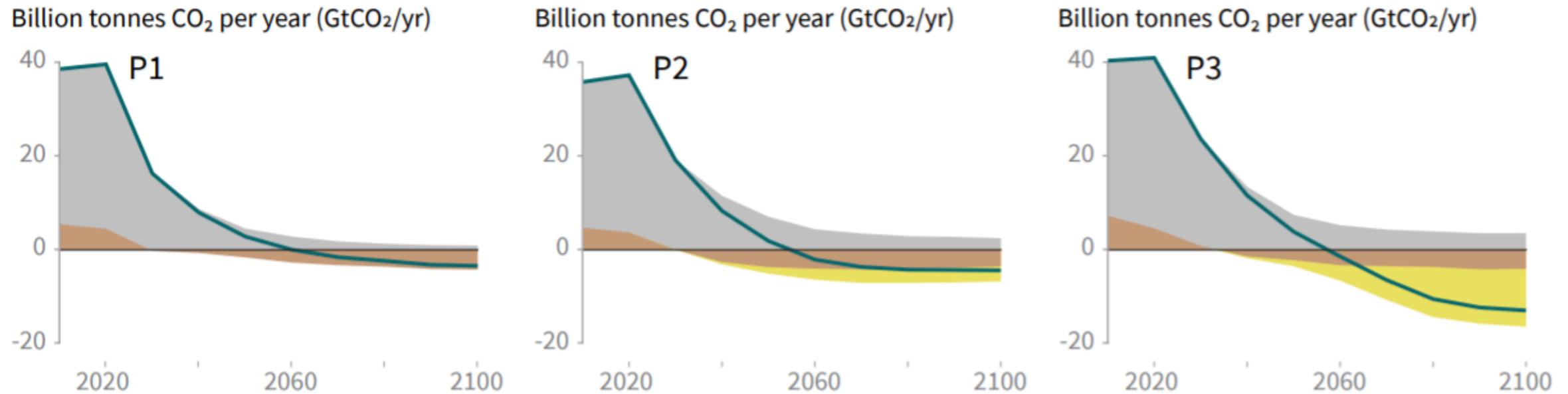


エネルギー転換：「1.5°C特別報告書」



大幅な超過排出を回避する3シナリオでは、2030年に電力の5～6割を自然エネに

● Fossil fuel and industry ● AFOLU ● BECCS



Global indicators	P1	P2	P3
Pathway classification	No or low overshoot	No or low overshoot	No or low overshoot
CO ₂ emission change in 2030 (% rel to 2010)	-58	-47	-41
↳ in 2050 (% rel to 2010)	-93	-95	-91
Kyoto-GHG emissions* in 2030 (% rel to 2010)	-50	-49	-35
↳ in 2050 (% rel to 2010)	-82	-89	-78
Final energy demand** in 2030 (% rel to 2010)	-15	-5	17
↳ in 2050 (% rel to 2010)	-32	2	21
Renewable share in electricity in 2030 (%)	60	58	48
↳ in 2050 (%)	77	81	63
Primary energy from coal in 2030 (% rel to 2010)	-78	-61	-75
↳ in 2050 (% rel to 2010)	-97	-77	-73

P93-93 「主要国の比較、全方位の複線シナリオの有効性」

英国は、北海油田の枯渇、石炭の老朽化と原子力の廃炉に直面する中で、再生可能エネルギーの拡大・ガスシフト・原子力維持・省エネルギーといった脱炭素化の手段をバランスよく組み合わせて、CO₂削減に成功している。

他方、ドイツは、省エネルギーと再生可能エネルギー拡大のみで脱炭素化を実現するシナリオを選択しているが、省エネルギーによる需要削減は大きな成果を今のところ挙げていない一方で、再生可能エネルギーの量的拡大と裏腹に原子力が減少しているため、結果として石炭への依存比率は足元で44%であり、CO₂削減が停滞し、電気代も高止まりしている。

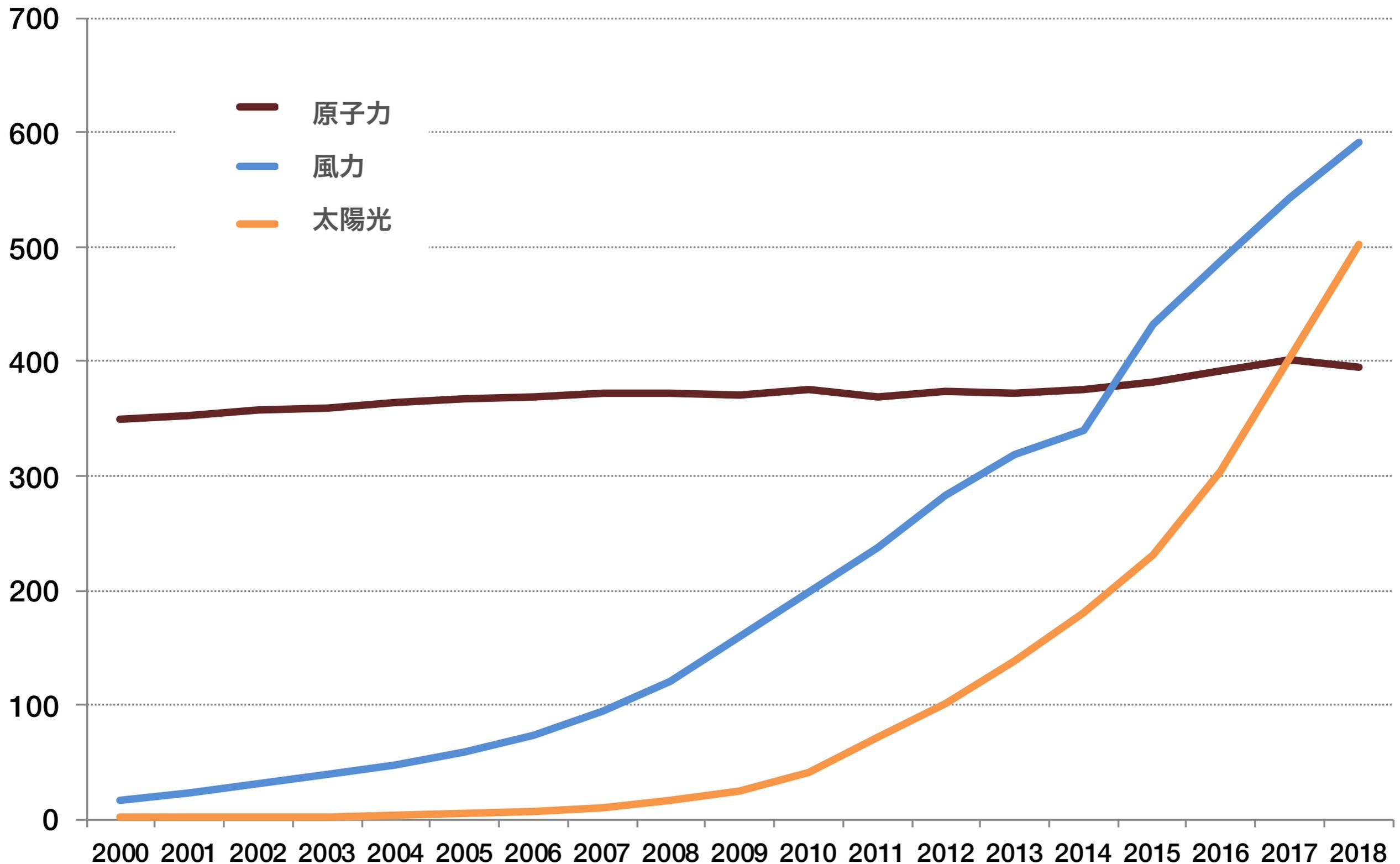
また、現在、安価で低炭素な電力システムを達成している数少ない国や地域は、太陽光や風力といった出力が変動する再生可能エネルギーの大量導入国ではなく、仏国やスウェーデン、米国ワシントン州など、水力や原子力を主軸にする国・州が中心である。このことは、現状の技術で安定的な脱炭素化のツールと言えるのは主に水力と原子力であり、変動する再生可能エネルギーだけでは現時点では脱炭素化には及ばない、という事実が示唆される。

P94 (3) 我が国固有のエネルギー環境（資源有無、国際連系線の有無、面積制約）

我が国のエネルギー環境は、国内炭を持つ一方で国際電力網を持ち再生可能エネルギーの拡大が容易なドイツよりも、北海油田の生産が減少傾向にあり島国で国際連系線の容量が限られる英国に近いと言える。再生可能エネルギーの変動を火力で吸収することを回避する有力な手立ての一つとして、国際連系線で再生可能エネルギー立地国と電力需要国を効果的につなぎ、より大きな電力プールを形成して、再生可能エネルギーの変動を吸収することがある。ドイツやデンマークは隣国との電力の融通を電力需給の調整弁として活用する中で再生可能エネルギーを拡大している。欧州ではEU大で国際連系線の容量を増やすという試みに着手している。こうした国際連系線が整備されれば、例えば水力資源が豊富なノルウェーの揚水発電をEUの送電網に組み込み、「グリーンバッテリー」として活用することも可能となる。このような国を超えた連携により変動性の再生可能エネルギーの導入を促進する取組の中にあっても、EU全体での変動性の再生可能エネルギー導入比率は2016年実勢で13%程度にとどまっているのが現状である。高効率で低コストの蓄電技術が必ずしも確立していない現状で、国際連系線を活用して再生可能エネルギーの導入量を大きく伸ばす一部の国はあっても、EUという大きな閉じた電力市場全体で見れば、導入量の拡大にも現時点の技術では課題がある。国際連系線を活用した再生可能エネルギー拡大という戦略は、日本にとって様々な課題があり、再生可能エネルギーの出力変動の制御に活用可能な技術の革新が必然的に求められる。



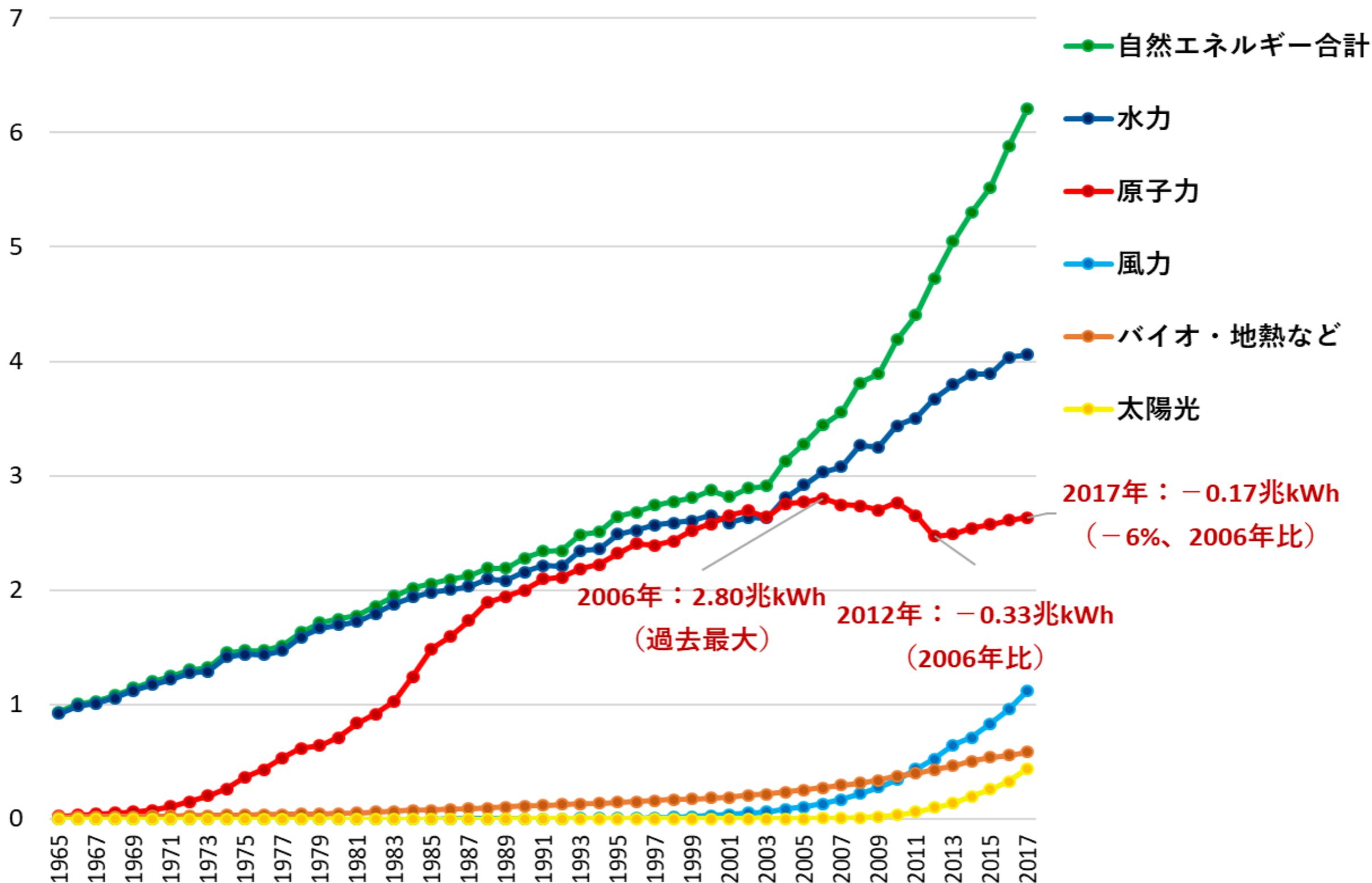
風力は2015年に原子力容量を追い越し、太陽光は2017年に同量に



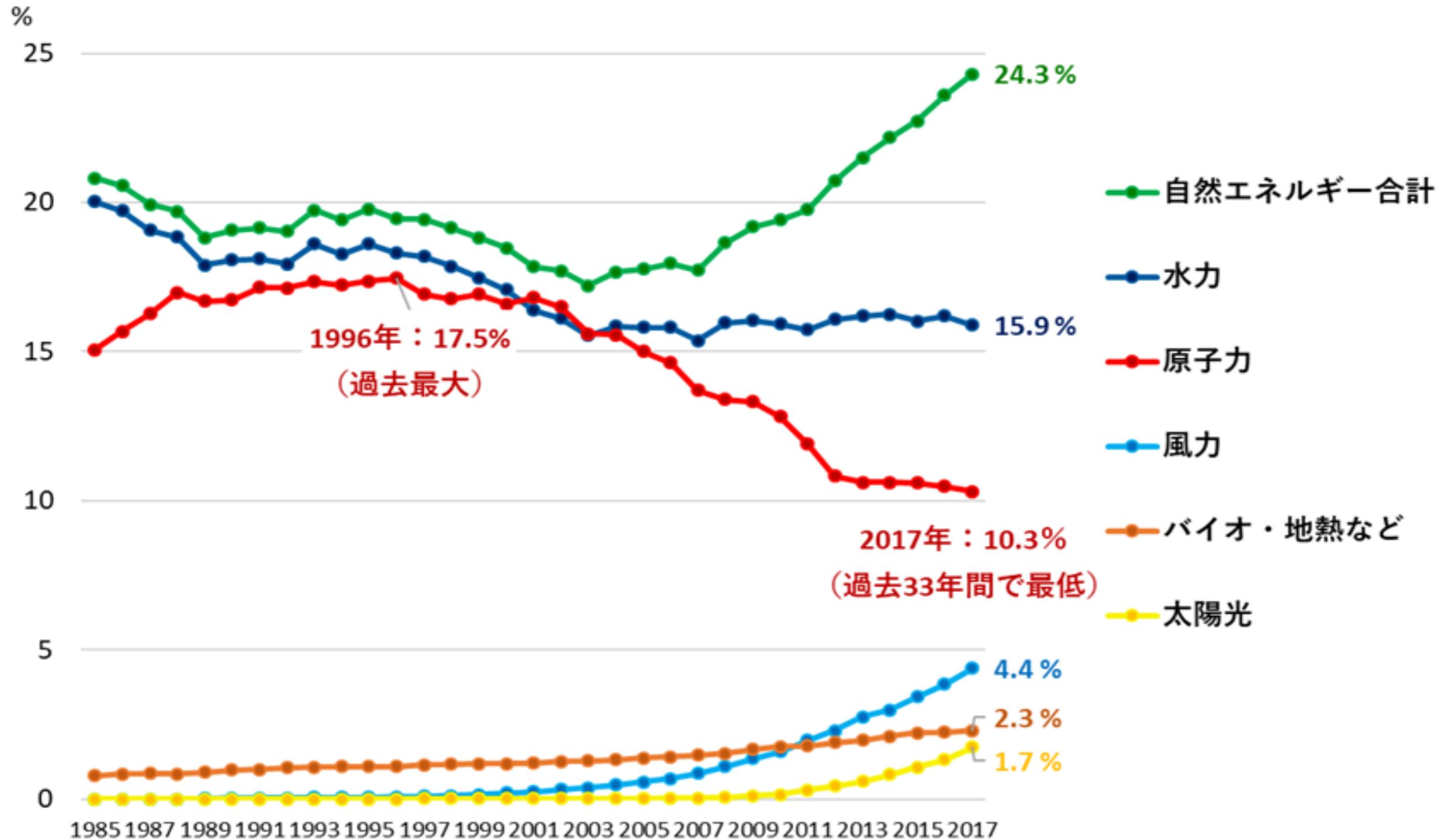
エネルギー転換：世界の電源別発電電力量



兆キロワット時



エネルギー転換：世界の電源別発電割合



エネルギー転換：電源ソース毎LCOE



原子力が上昇する一方で、他電源はコストが低下
例) 現在建設中の原子力発電所では

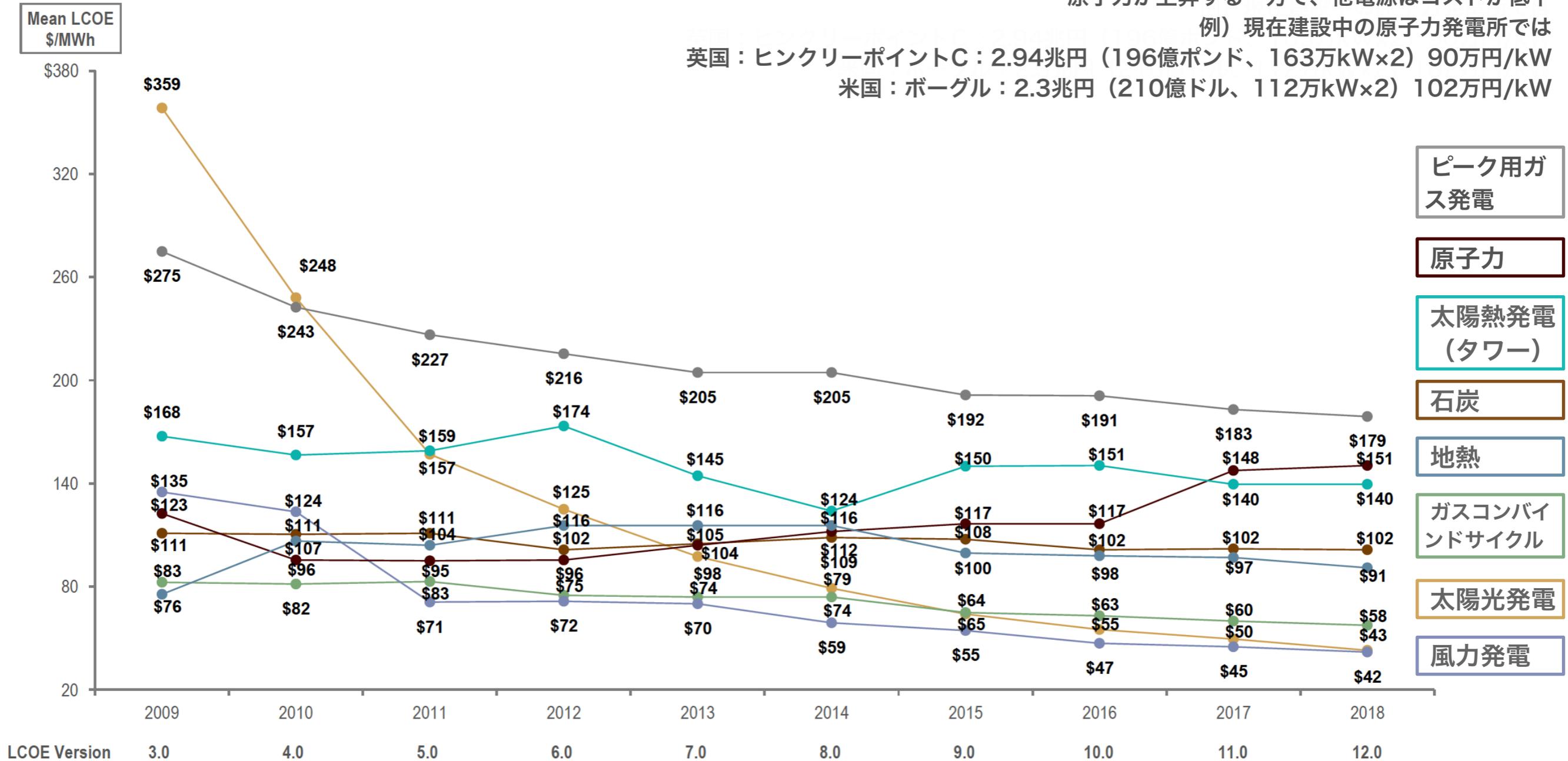
英国：ヒンクリーポイントC：2.94兆円（196億ポンド、163万kW×2）90万円/kW

米国：ボーグル：2.3兆円（210億ドル、112万kW×2）102万円/kW%はLCOE（均等化発電原価）の上昇率・下降率。

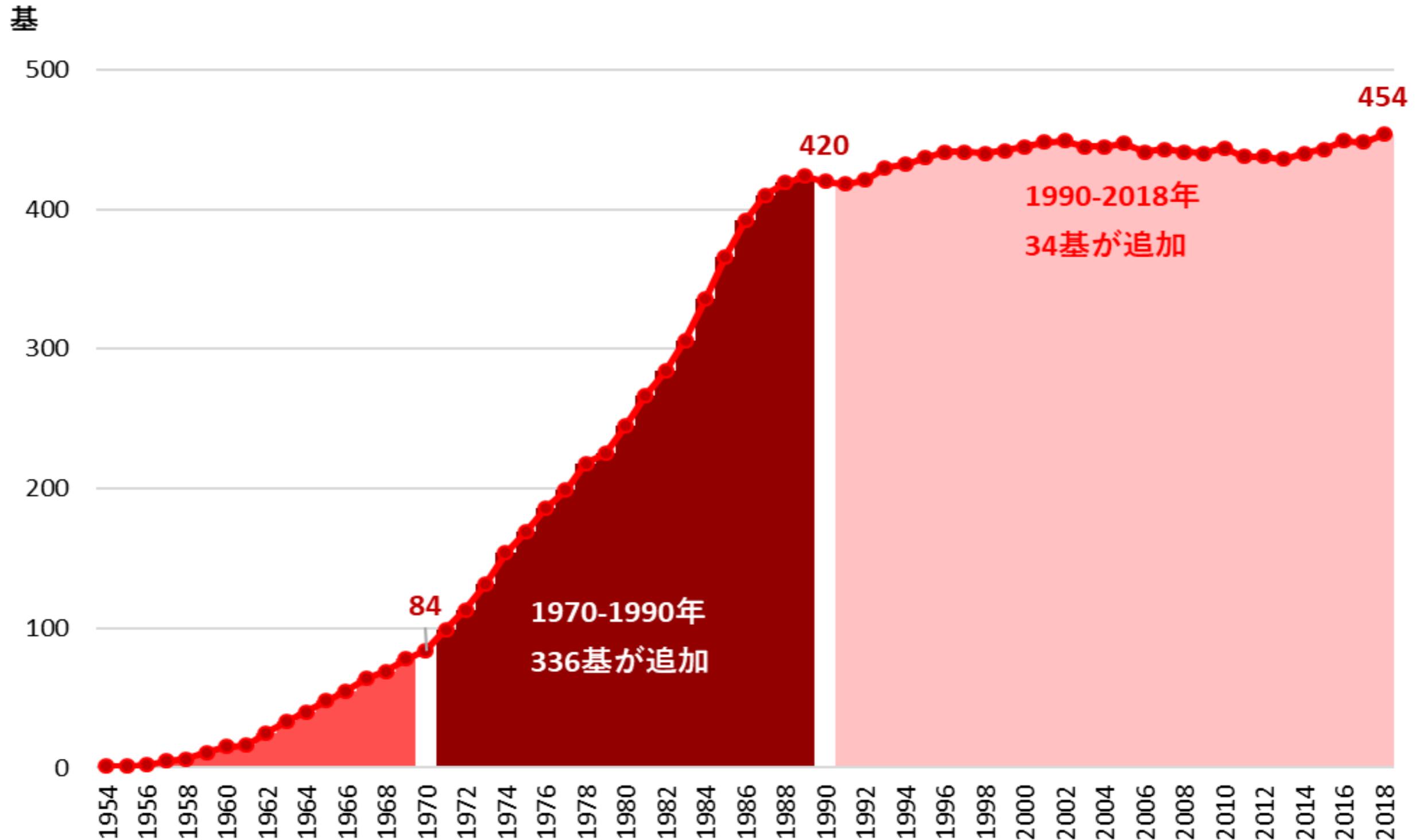
原子力が上昇する一方で、他電源はコストが低下
例) 現在建設中の原子力発電所では

英国：ヒンクリーポイントC：2.94兆円（196億ポンド、163万kW×2）90万円/kW

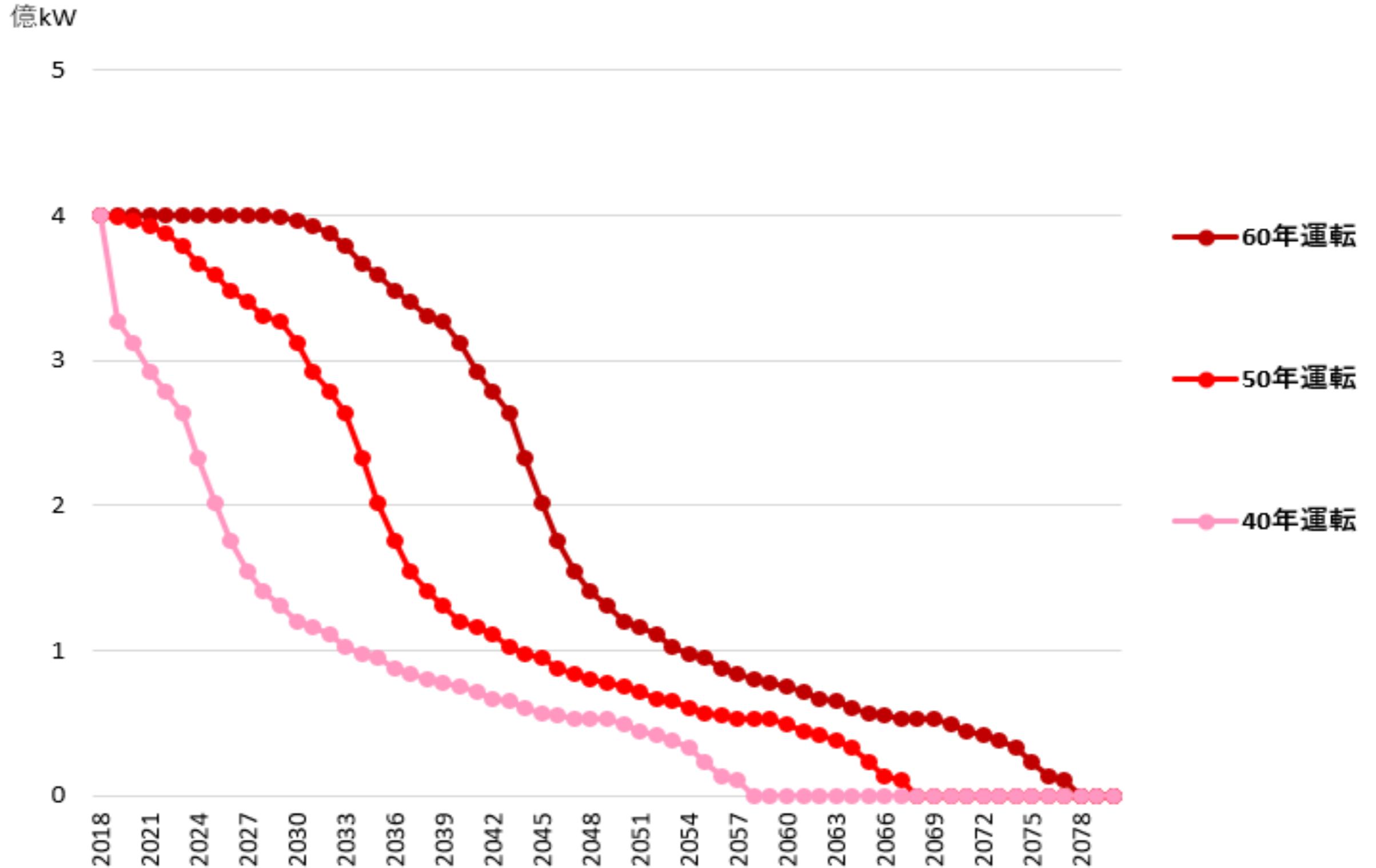
米国：ボーグル：2.3兆円（210億ドル、112万kW×2）102万円/kW



原発の運転開始は頭打ちの状況



新設がなければ急速に規模縮小



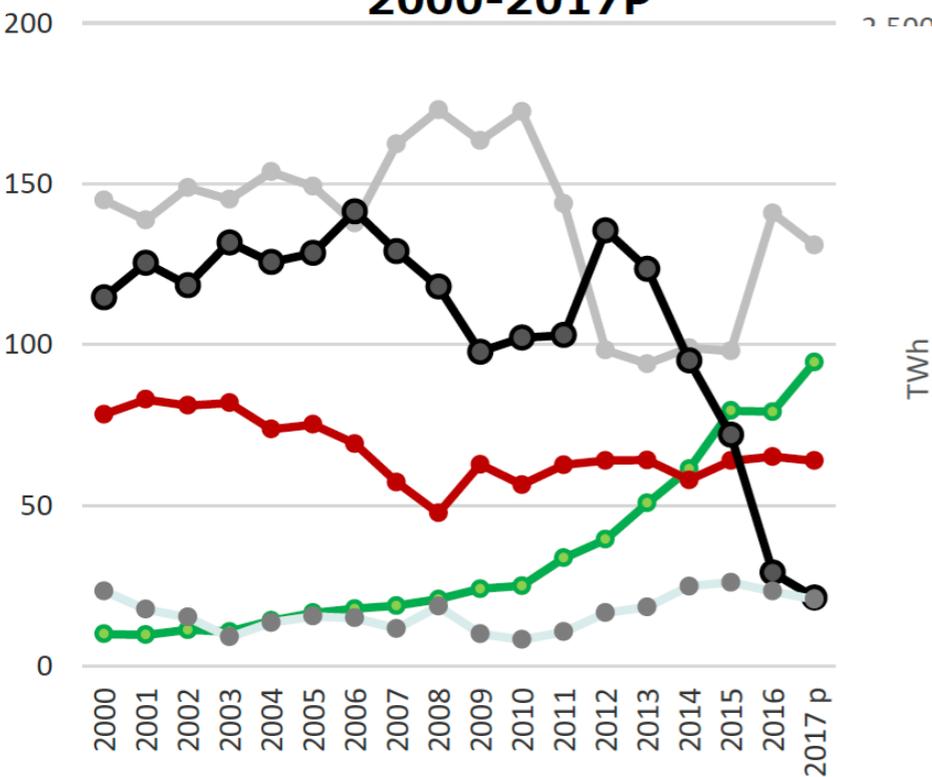
エネルギー転換：各国の発電量の変化



発電量を燃料別にみると、自然エネルギーの増加、石炭火力による発電量の低下、原子力の停滞が顕著。石炭フェーズアウト政策を明確に示す英国だけでなく、トランプ政権で石炭擁護に政策転換したアメリカや、石炭火力が多いドイツでも、石炭火力の発電量の減少と、自然エネルギーの増大が明らかな傾向。

英国 発電量

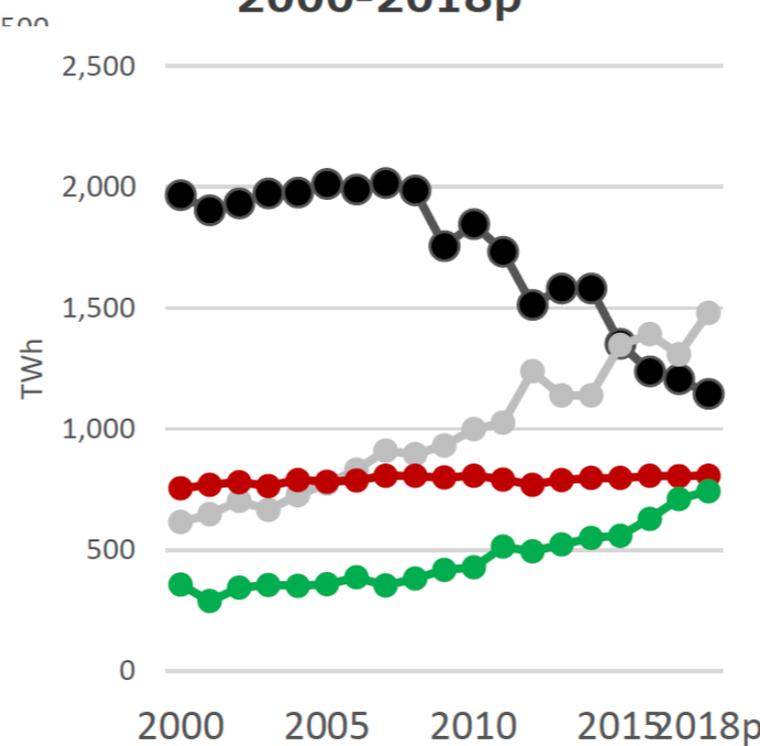
2000-2017P



自然エネルギーの比率：
29% (2017年実績)
30% (2020年目標)

米国 発電量

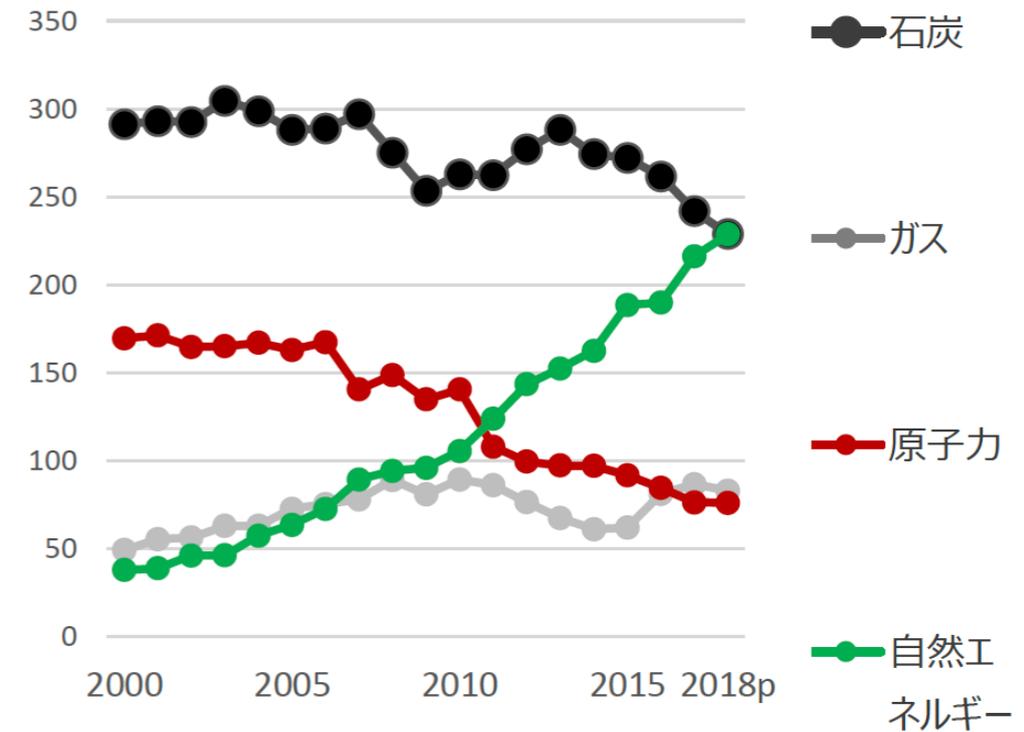
2000-2018p



自然エネルギーの比率：
17% (2017年実績)

ドイツ 発電量

2000-2018



自然エネルギーの比率：
38% (2018年実績)
80% (2050年目標)

データ出典：UK Government -Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Energy Trends: Electricity

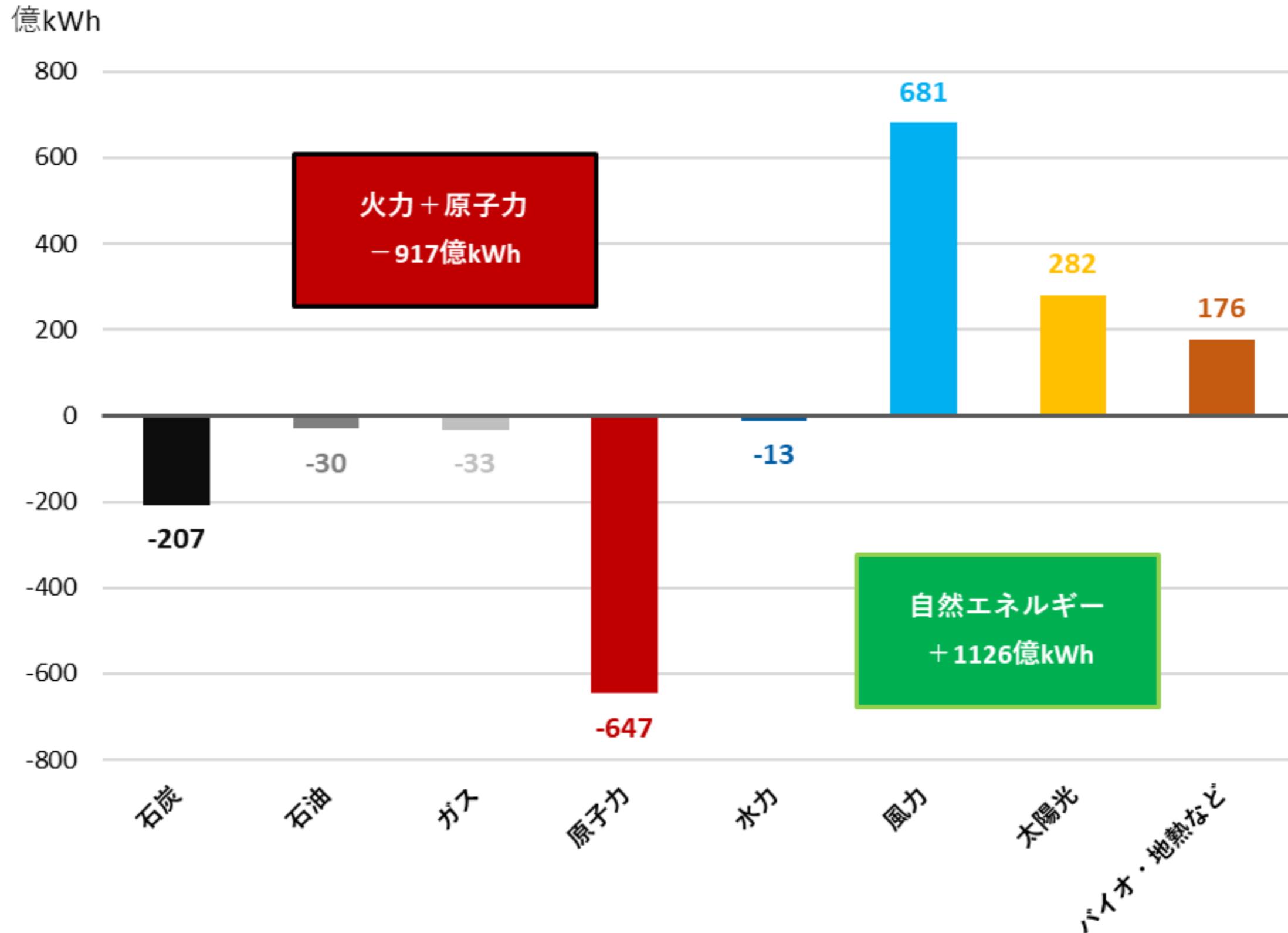
US EIA, Electric Power Annual (2000-2015) & Electric Power Monthly (2016-2017)

AGEB, Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern (1990-2017)

ドイツ：発電電力量の変化（2010→2017）



自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE



原子力発電の撤廃・削減を進める5カ国

原子力発電を撤廃した国：イタリア、カザフスタン、リトアニア

原子力発電を禁止している国：オーストラリア、オーストリア、デンマーク

原子炉の新設を禁止している国：イタリア、アイルランド、ドイツ、ベルギー、スイス

近年の変化(2010年 → 2017年あるいは2018年12月)

国	目標	近年の変化(2010年 → 2017年あるいは2018年12月)			
		原子炉数	設備容量 (100万 kW)	発電電力量 (10億 kWh)	発電電力量に 占める比率
ドイツ	2022年までにフェーズアウト	17 → 7	20 → 10	141 → 76	22% → 12%
ベルギー	2025年までにフェーズアウト	7 → 7	6 → 6	48 → 42	50% → 49%
スイス	期限なし(新設禁止)	5 → 5	3 → 3	27 → 20	38% → 32%
韓国	2060年代にフェーズアウト	21 → 24	19 → 22	149 → 148	30% → 26%
フランス	2035年までに50%まで削減	58 → 58	63 → 63	429 → 398	75% → 72%

原子力について積極的な廃止政策をとっていないが、減少している国々

近年の変化(2010年 → 2017年あるいは2018年12月)				
国	原子炉数	設備容量 (100万kW)	発電電力量 (10億kWh)	発電電力量に 占める比率
米国	104 → 98	103 → 99	849 → 847	19% → 20%
日本	55 → 42	47 → 40	292 → 29	25% → 3%
カナダ	20 → 19	14 → 14	90 → 97	15% → 14%
英国	19 → 15	10 → 9	62 → 70	16% → 21%
スウェーデン	10 → 8	10 → 9	58 → 66	39% → 40%

*発電電力量は年間の設備利用率によって増減がある

米国：経済的な理由で運転を終了

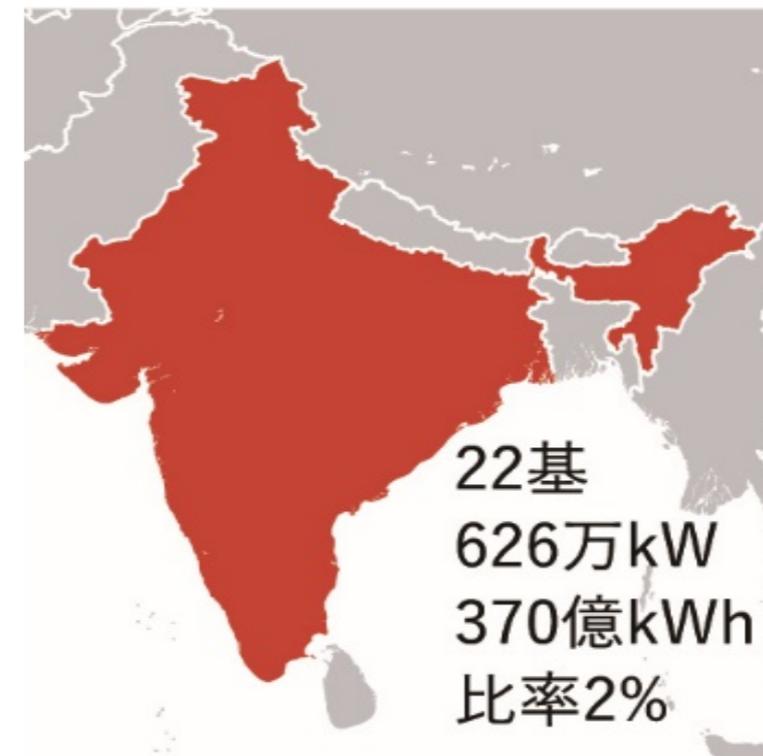


原子炉(州)	運転終了年	運転ライセンス期限	設備容量(万 kW)
Crystal River 3 (Florida)	2013	2016	86
Kewaunee (Wisconsin)	2013	2033	57
San Onofre 2, 3 (California)	2013	2022	215
Vermont Yankee (Vermont)	2014	2032	61
Fort Calhoun 1 (Nebraska)	2016	2033	48
Oyster Creek (New Jersey)	2018	2029	62
原子炉(州)	運転終了予定年	運転ライセンス期限	設備容量(万 kW)
Pilgrim 1 (Massachusetts)	2019	2032	68
Three Mile Island 1 (Pennsylvania)	2019	2034	82
Davis Besse 1 (Ohio)	2020	2037	89
Duane Arnold 1 (Iowa)	2020	2034	60
Beaver Valley 1, 2 (Pennsylvania)	2021	2036/2047	183
Perry 1 (Ohio)	2021	2026	126
Indian Point 2, 3 (New York)	2020 & 2021	審査中	206
Palisades (Michigan)	2022	2031	81
Diablo Canyon 1, 2 (California)	2024 & 2025	2024 & 2025	226

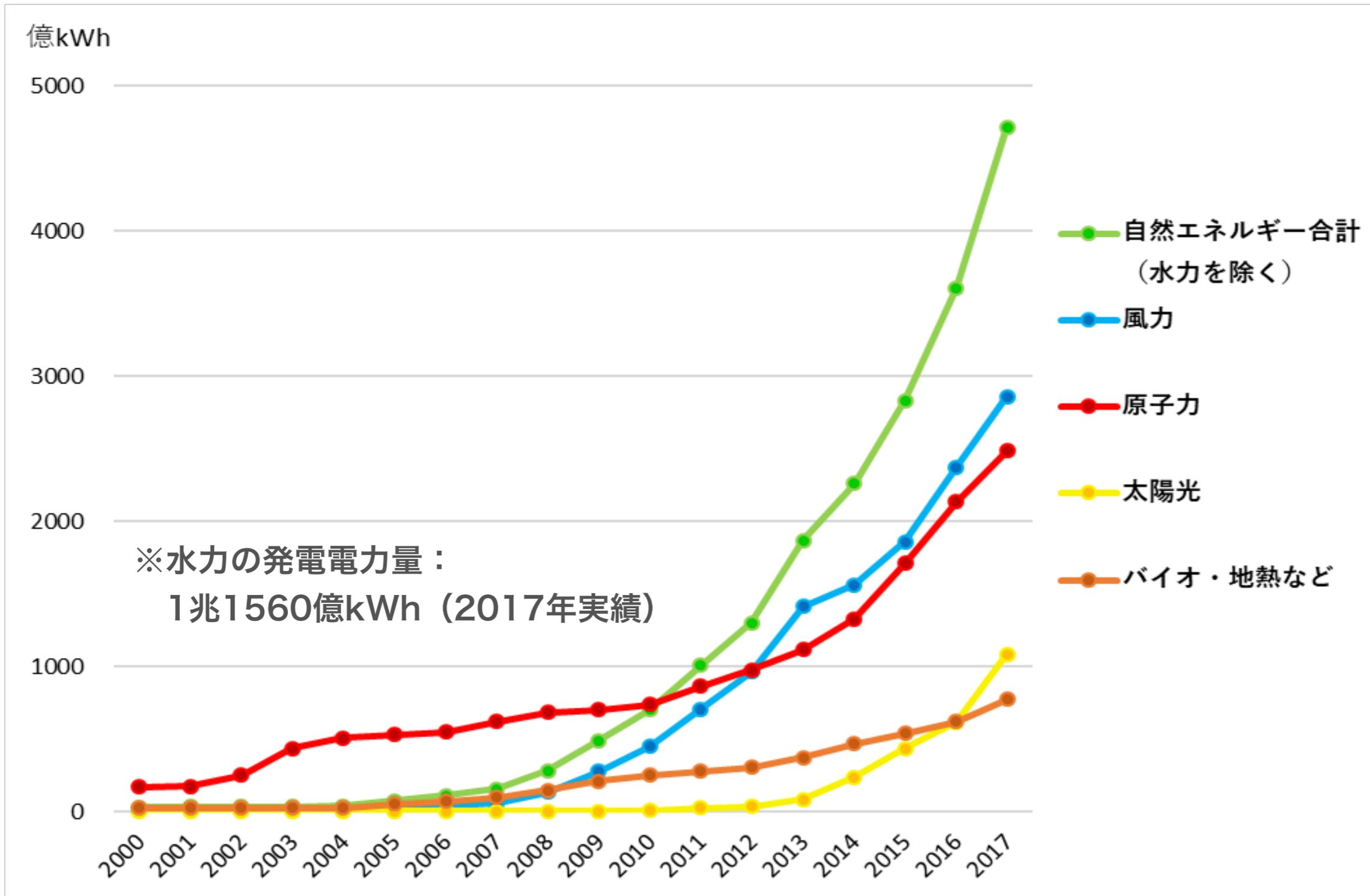
*2013年以降に運転を終了/終了予定の原子炉

原発の拡大路線にある2ヶ国

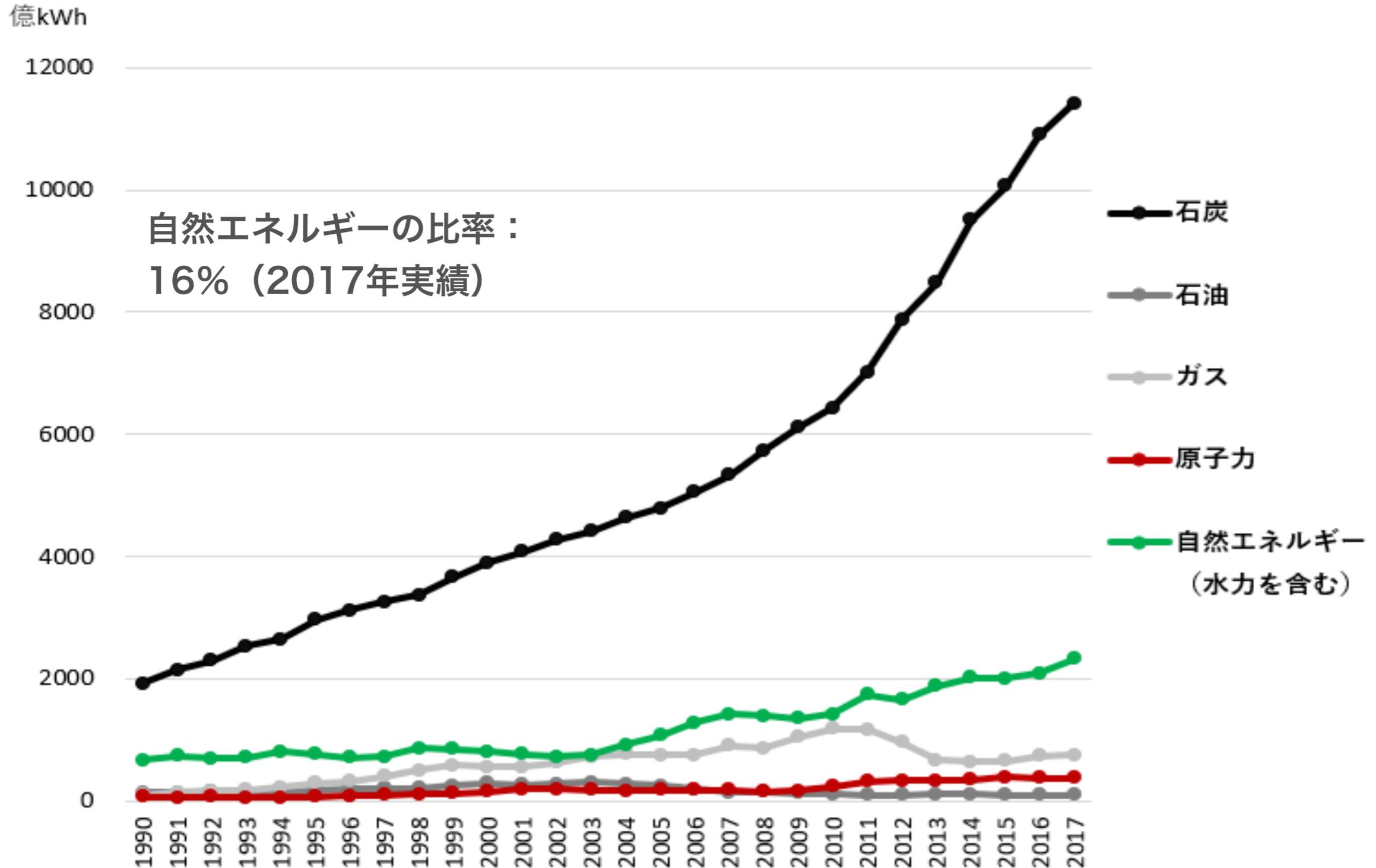
近年の変化(2010年 → 2017年あるいは2018年12月)				
国	原子炉数	設備容量 (100万kW)	発電電力量 (10億kWh)	発電電力量に 占める比率
中国	13 → 46	10 → 43	74 → 248	2% → 4%
インド	19 → 22	4 → 6	23 → 37	2% → 2%



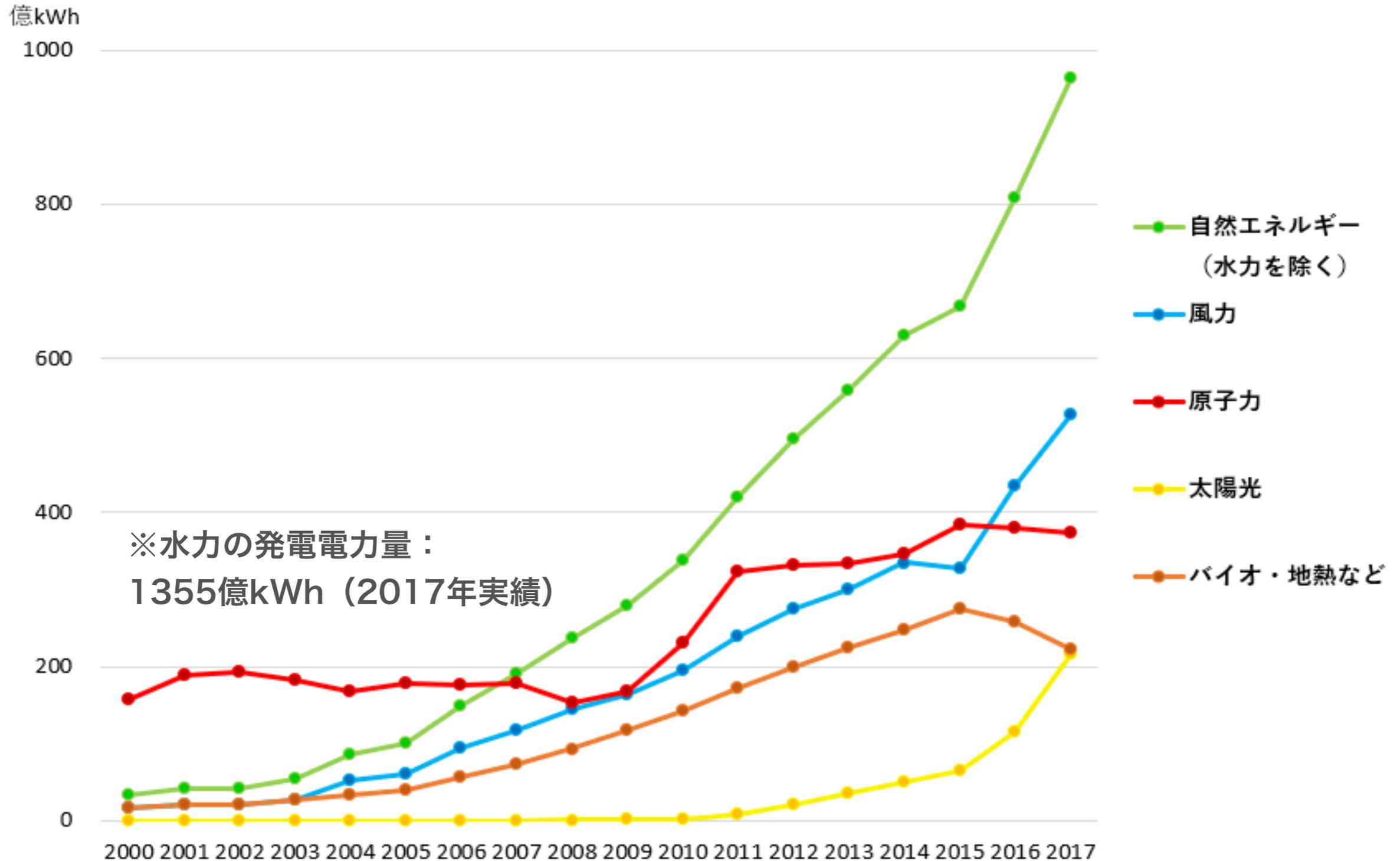
中国の自然エネルギーと原子力の発電電力量（2000-2017）



インドの電源別の発電電力量（1990-2017）



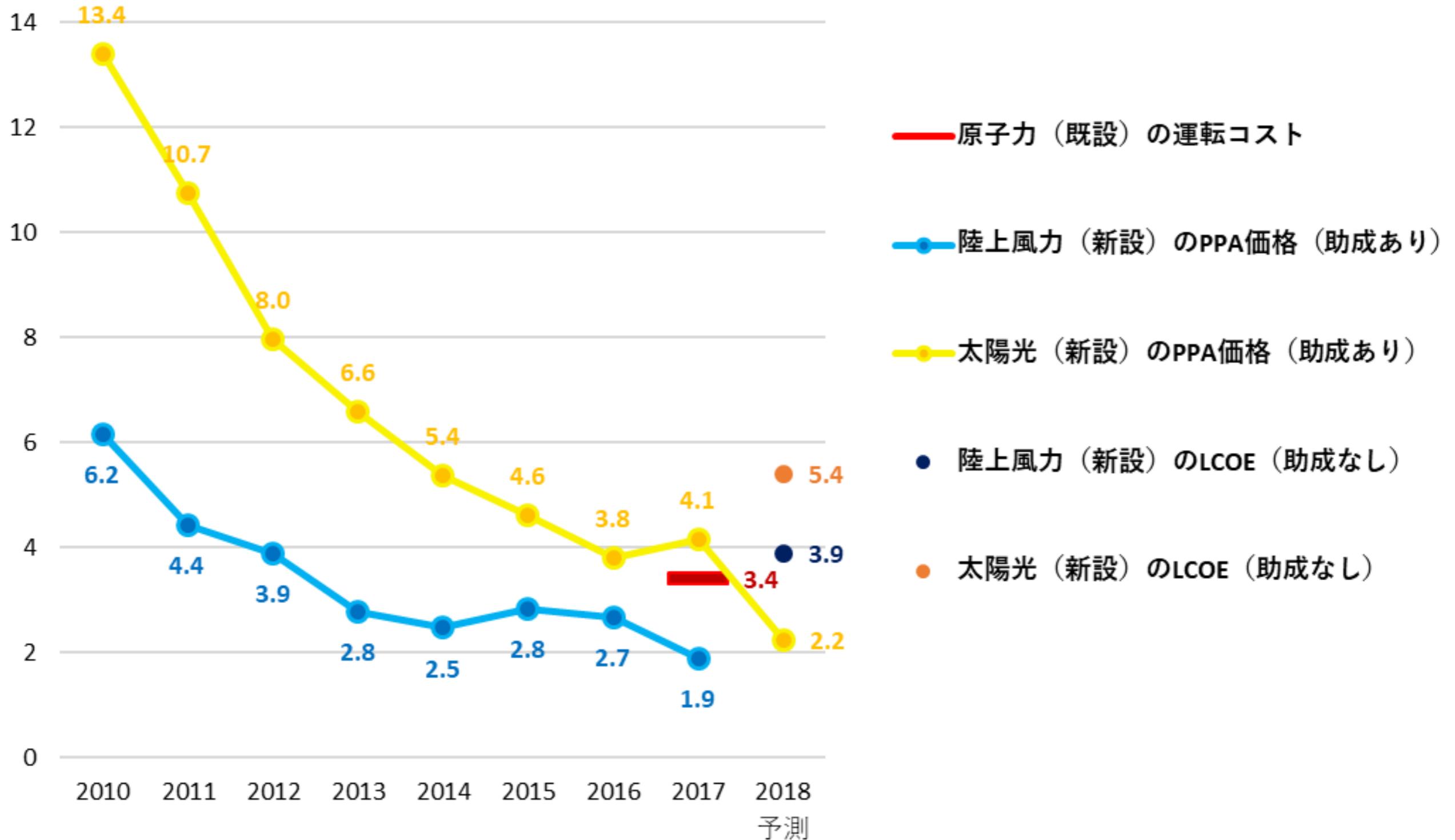
インドの自然エネルギーと原子力の発電電力量（2000-2017）



米国の原子力発電（既設）の運転コスト



米セント/kWh



原子力発電のコスト構造（新設、LCOE）



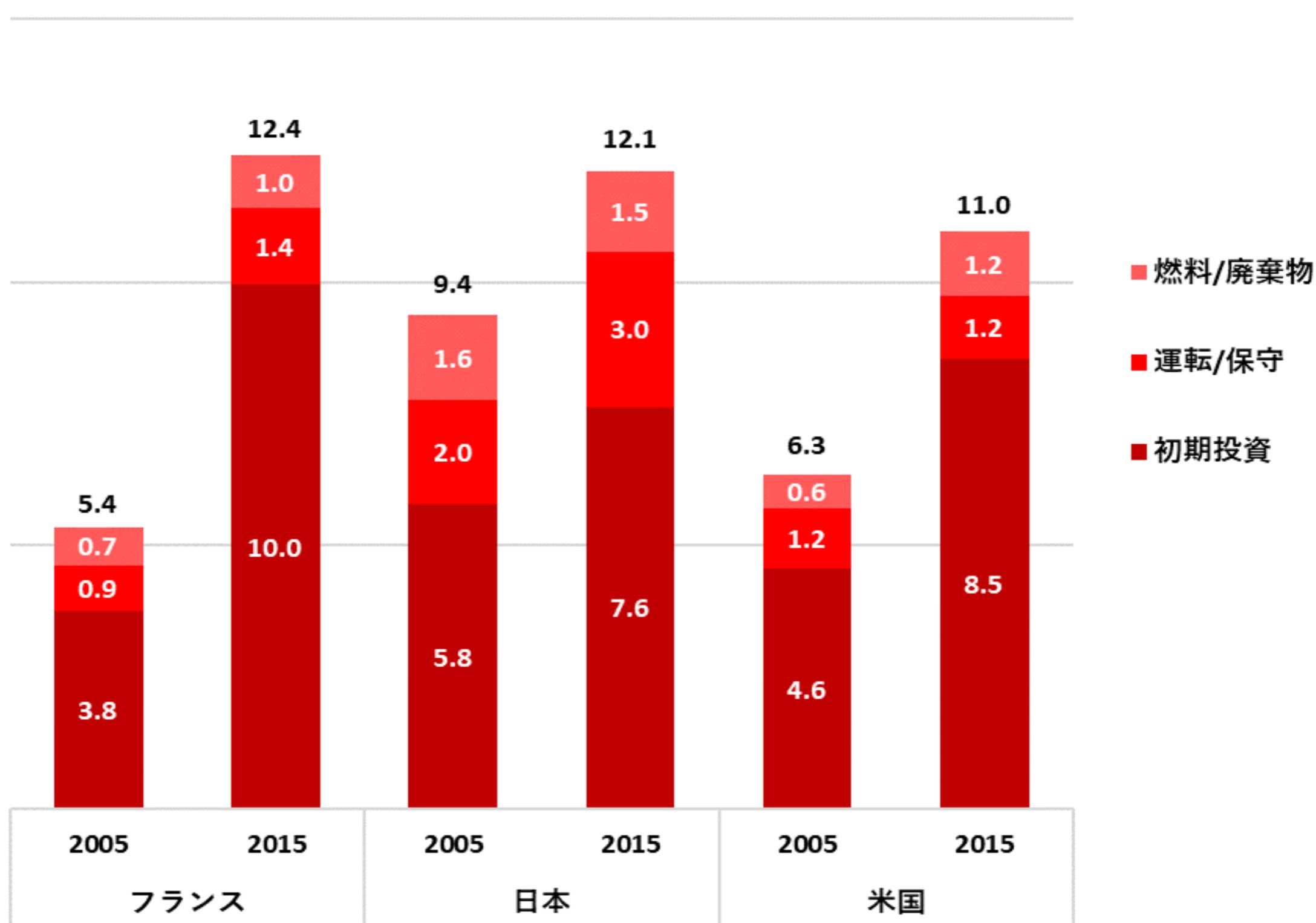
米セント/kWh

15

10

5

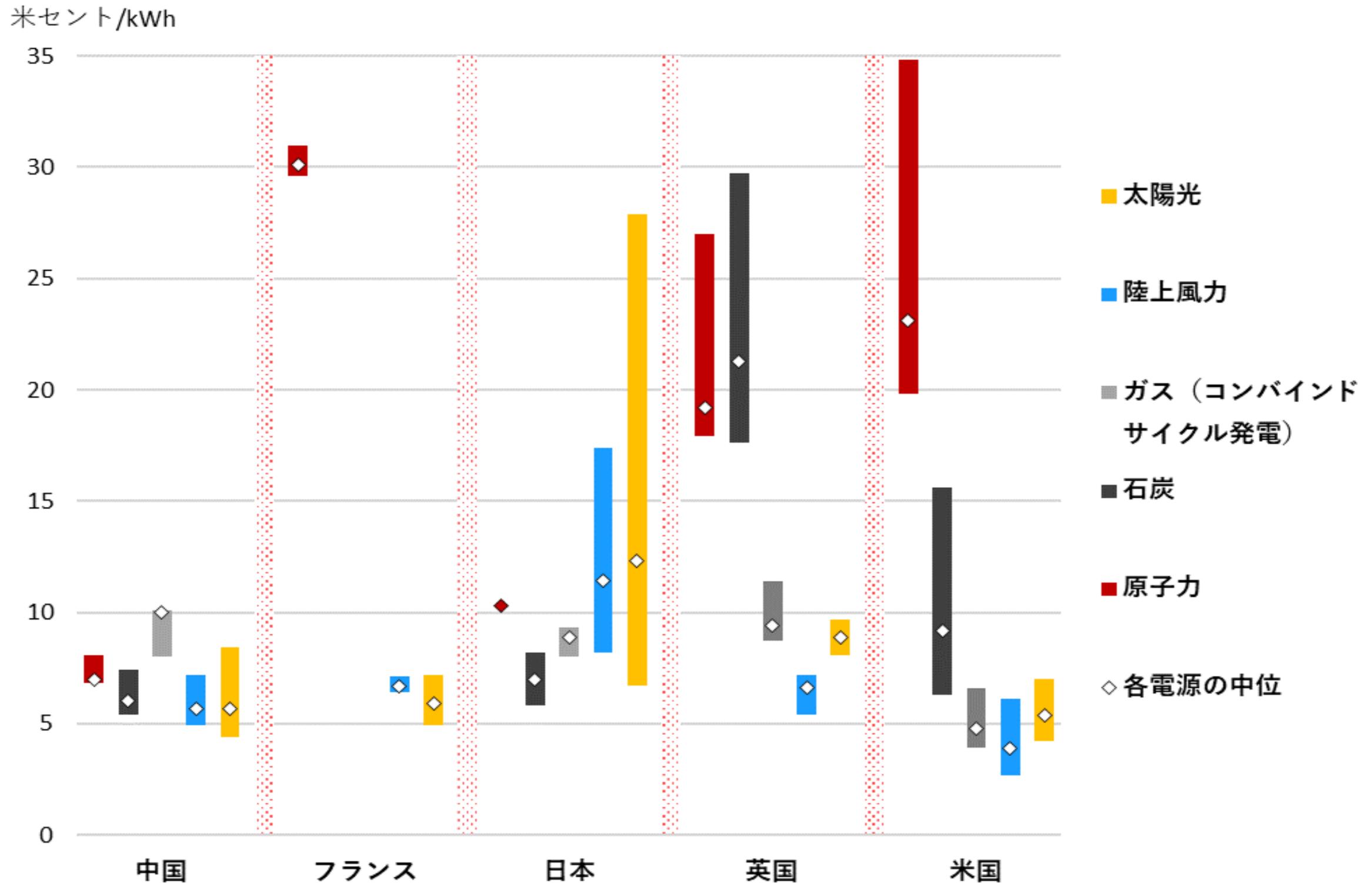
0



各国の発電コスト



主要国の発電コスト（2018年下期、新設、LCOE）



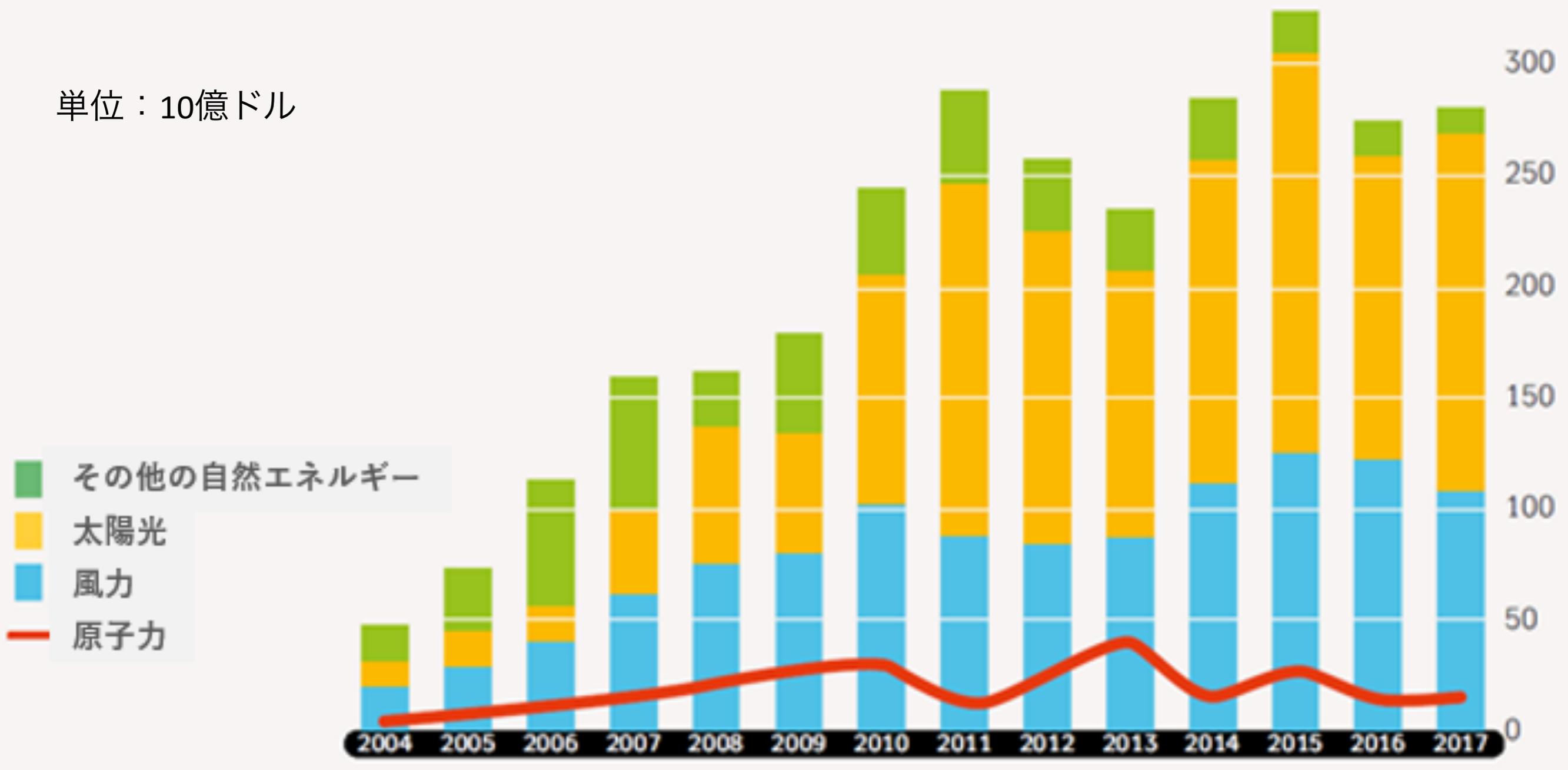
※廃炉と廃棄物処分のコストは含まない

エネルギー投資：自然エネルギーが主軸に

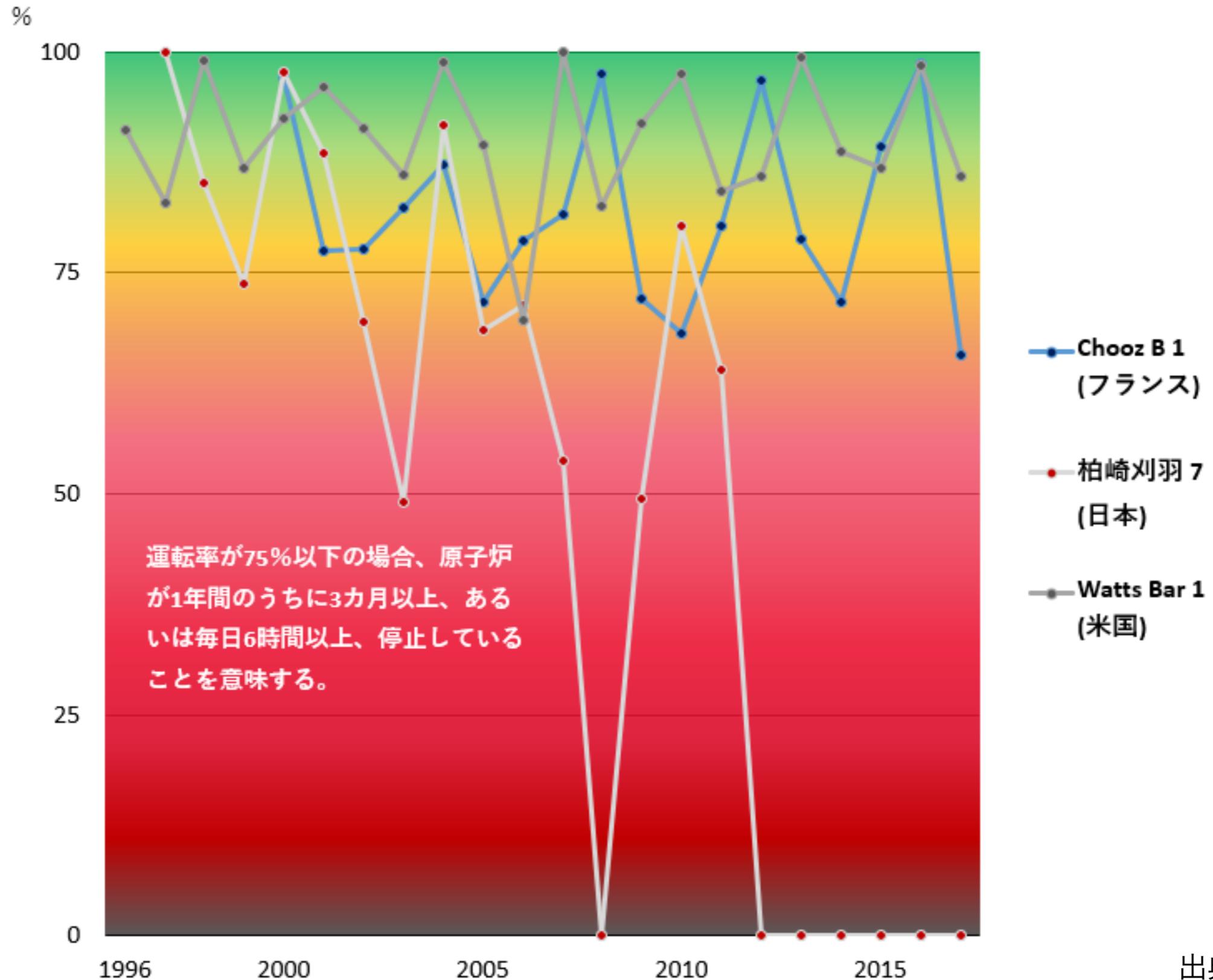


原子力と自然エネルギーに対する世界の投資

単位：10億ドル



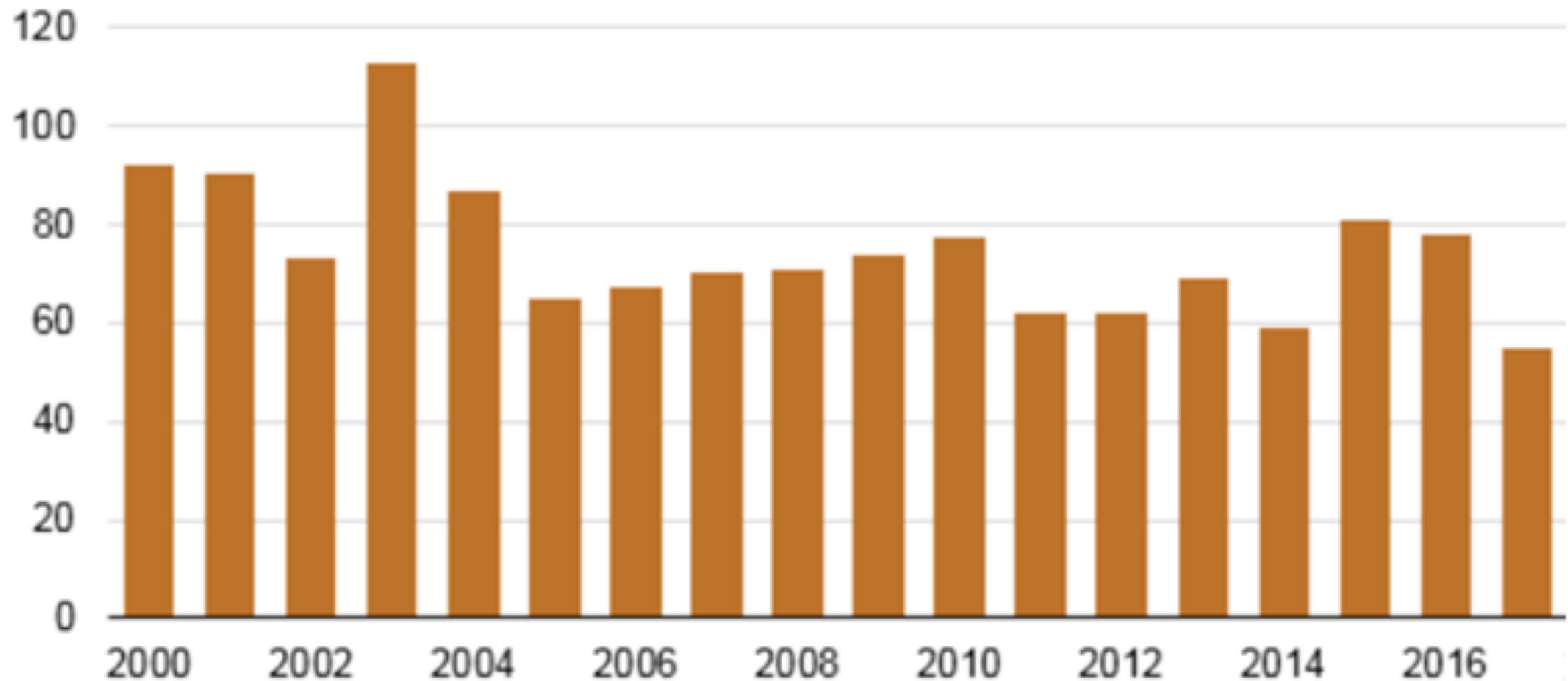
原子力発電の運転率（年間）の変動



停止する原子力：米国



米国：計画外の停止・出力低下の発生件数（年間）



停止する原子力：フランス



Cattenom原子力発電所における計画外の停止・出力低下（2017年）

停止/出力低下	開始時刻	終了時刻	日数 (概数)	出力損失 (最大、 万 kW)	原因
1号機（設備容量 130 万 kW）					
#1	5月19日 17時50分	7月6日 3時00分	47	130	故障
#2	7月6日 5時30分	7月6日 8時00分	1	26	故障
#3	7月15日 13時41分	7月15日 13時44分	0	81	故障
#4	7月16日 6時00分	7月16日 6時30分	1	130	故障
#5	9月22日 6時45分	9月22日 19時00分	1	11	故障
#6	10月11日 2時00分	10月11日 2時15分	0	20	故障
#7	10月19日 16時10分	10月19日 19時40分	0	92	ストライキ(労働拒否)
2号機（設備容量 130 万 kW）					
#1	5月18日 0時45分	5月18日 2時45分	0	90	故障
#2	6月10日 14時00分	6月10日 15時15分	0	58	故障
#3	9月10日 9時45分	9月10日 12時00分	0	85	故障
#4	9月27日未明	9月27日 19時	1	61	故障
3号機（設備容量 130 万 kW）					
#1	5月29日 7時15分	5月31日 23時00分	3	130	故障
#2	6月6日 1時10分	6月6日 23時00分	1	130	故障
#3	6月7日 7時00分	6月7日 9時40分	0	128	故障
4号機（設備容量 130 万 kW）					
#1	9月20日 5時00分	9月23日 2時00分	3	79	出力不足
#2	9月23日 15時35分	9月26日 10時00分	3	34	出力不足
#3	10月29日 5時55分	10月29日 9時15分	0	100	故障
合計	-	-	60	260	故障 14回、出力不足 2回、ストライキ 1回

停止する原子力：フランス



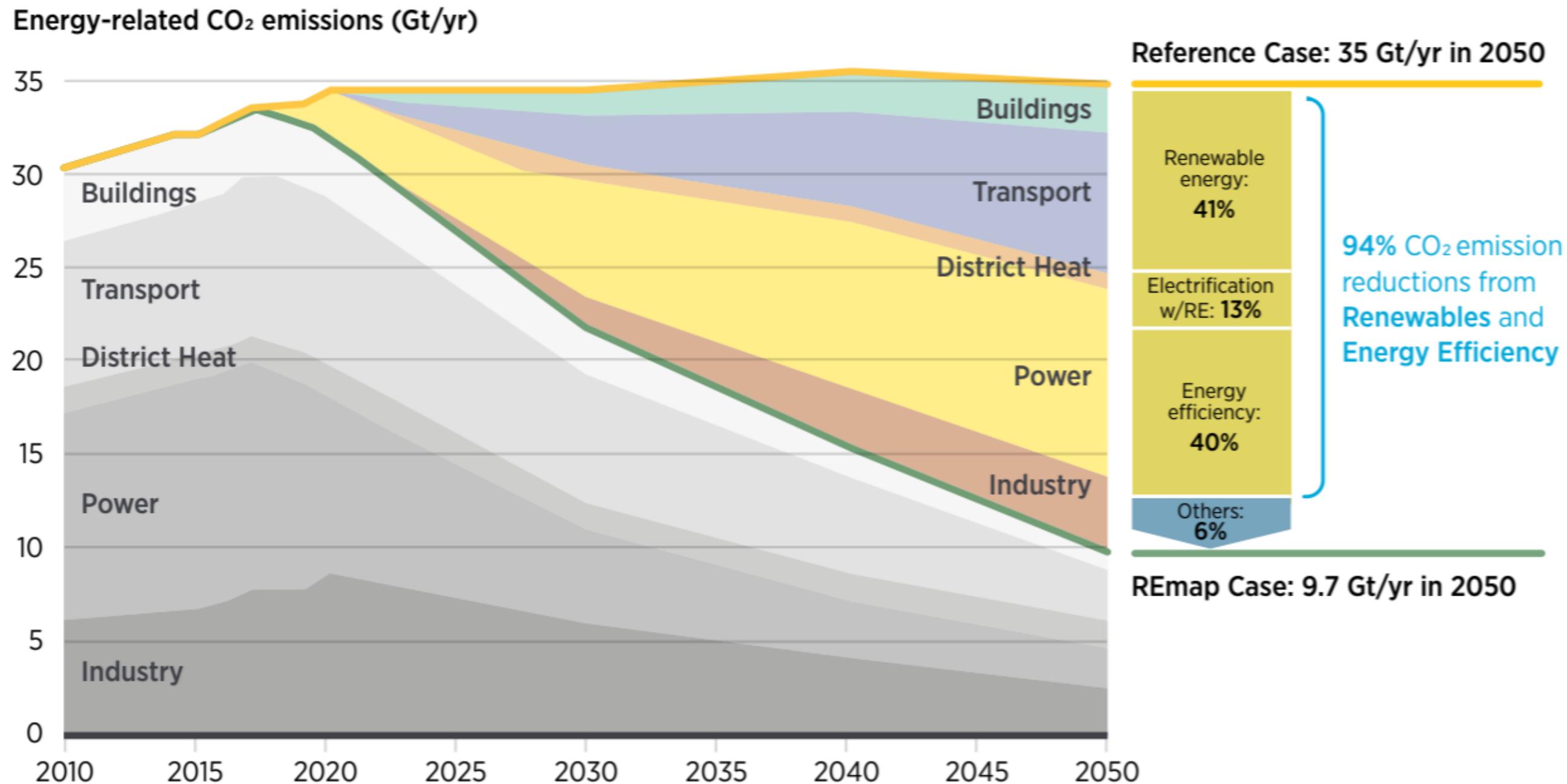
St. Alban 1号基 熱波による一時的な運転停止（2018年夏）

停止	運転停止時刻	運転再開時刻	停止時間
#1	7月29日 4時00分	7月30日 18時30分	38時間30分
#2	8月1日 14時15分	8月2日 13時30分	23時間15分
#3	8月3日 12時00分	8月8日 5時00分	113時間
合計	-	-	174時間45分

エネルギー転換は可能だ

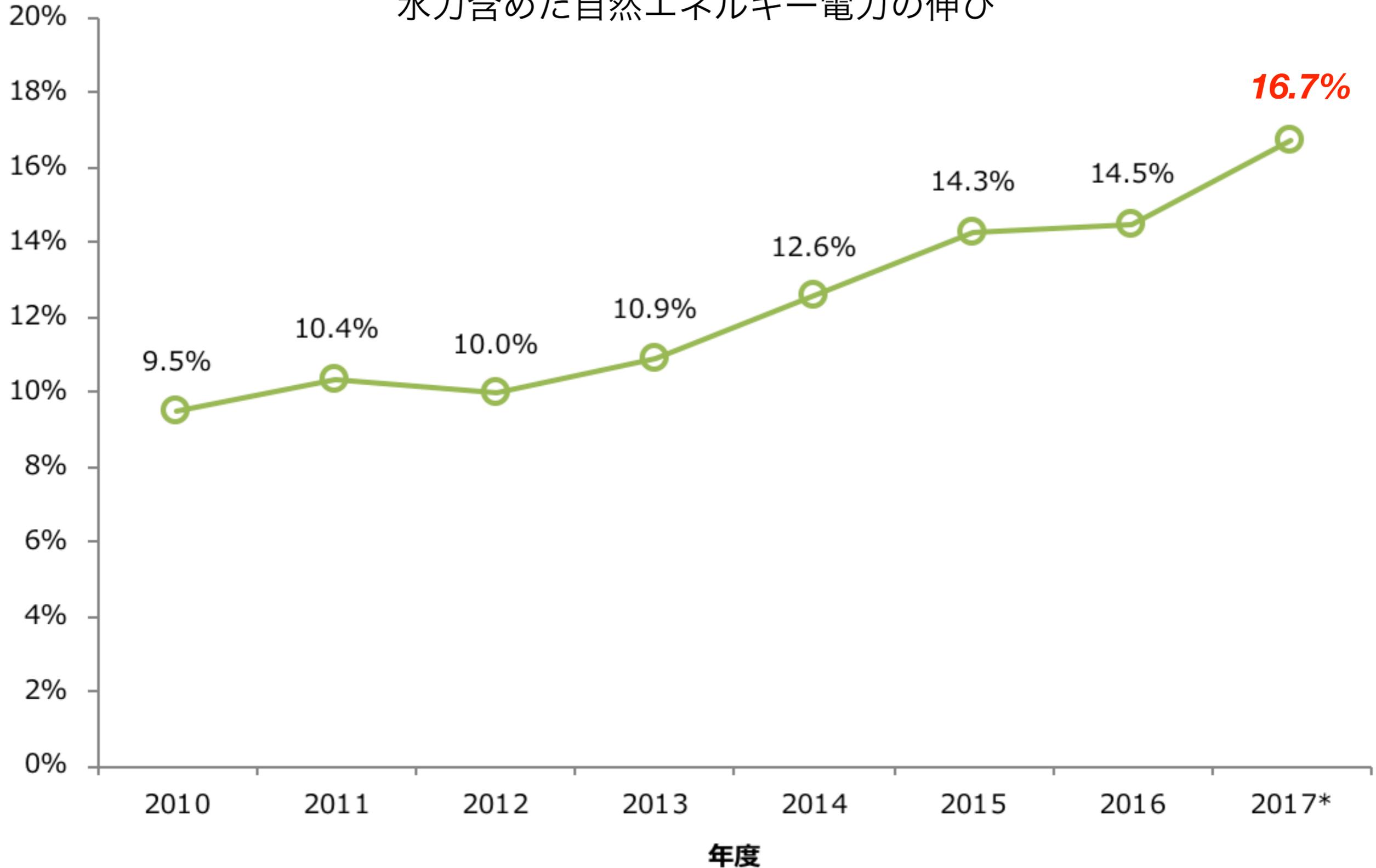


「国際再生可能エネルギー機関」の予測
2050年までに必要なCO₂削減の94%は自然エネルギー+エネルギー効率化で可能



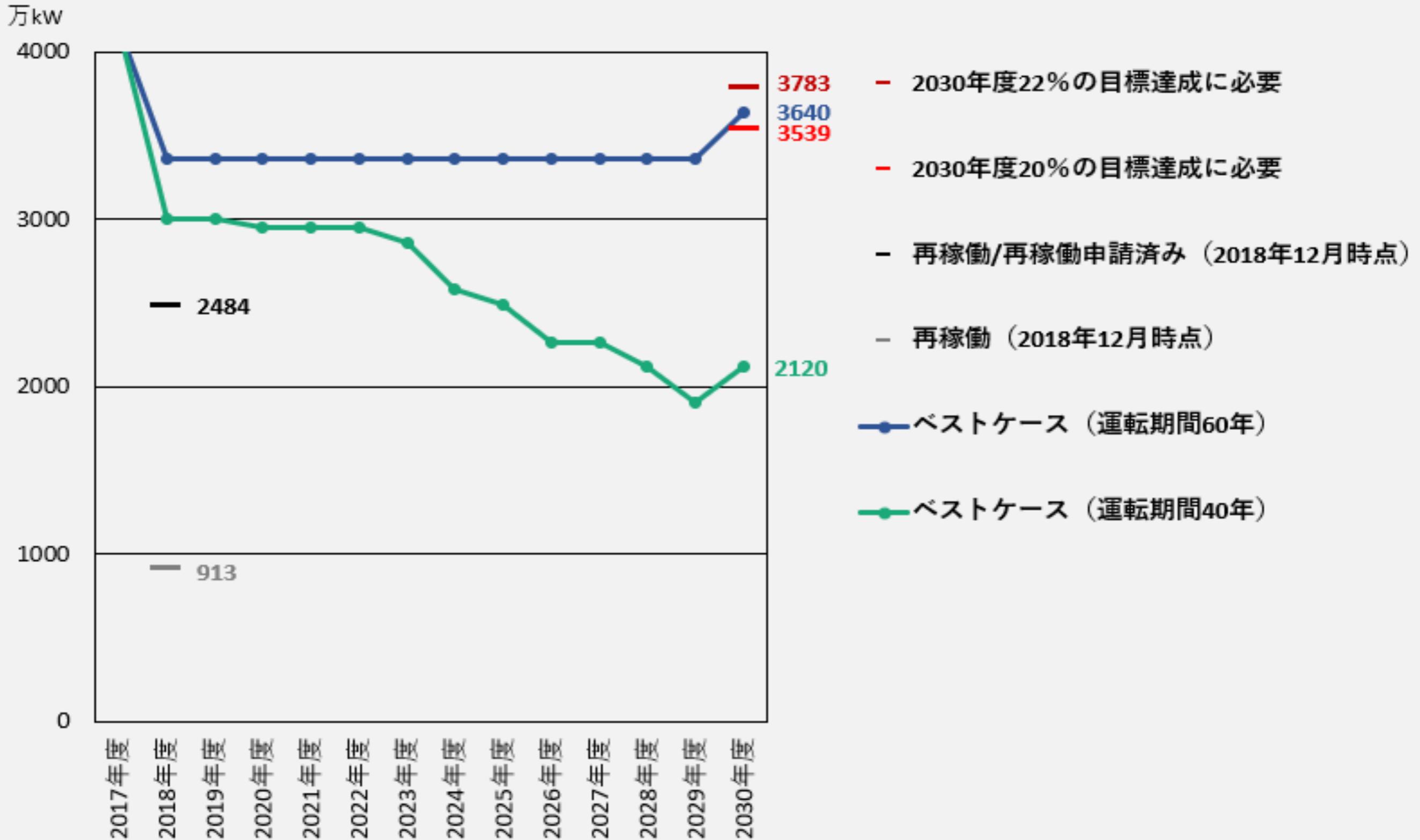


水力含めた自然エネルギー電力の伸び



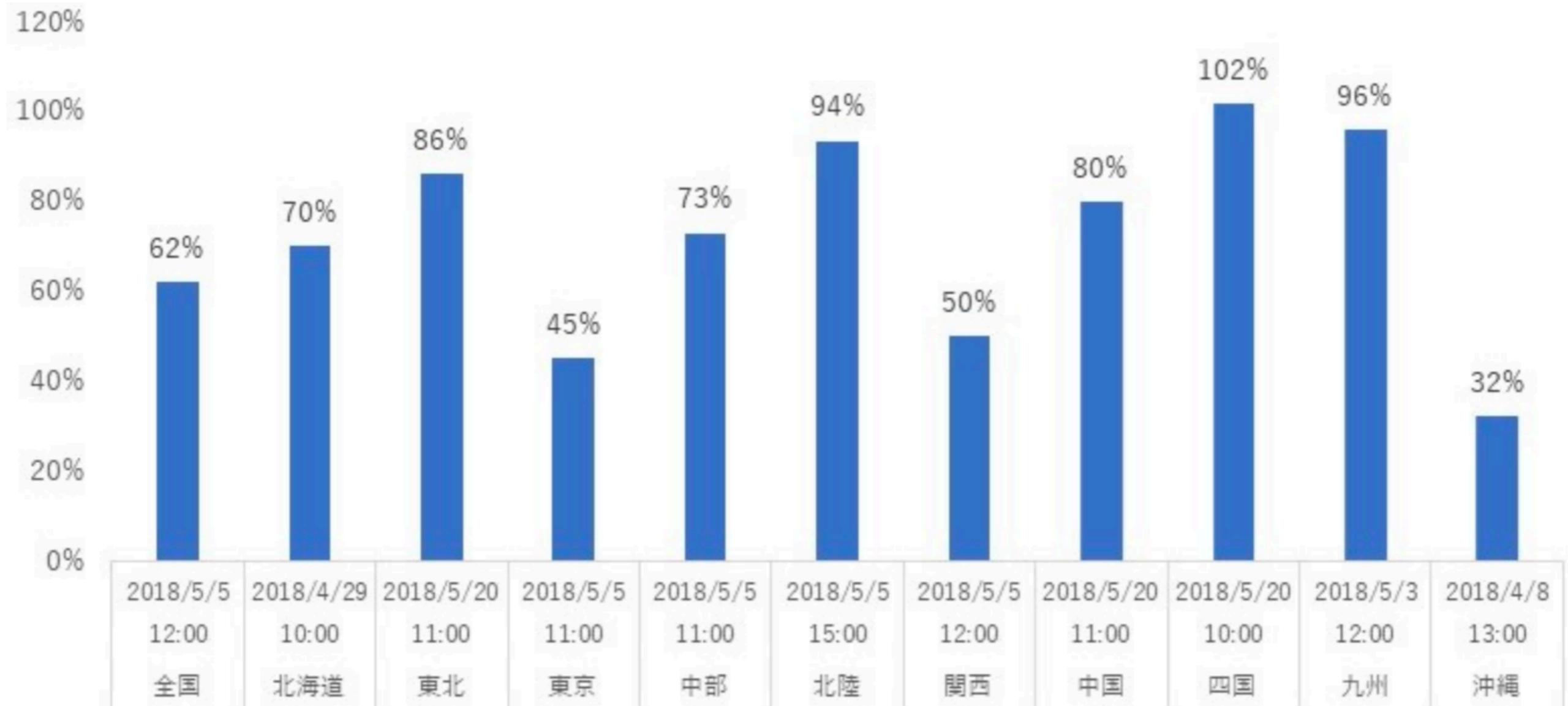
Source：経済産業省資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」および「電力調査統計」(参照：2018/07/20)より作成。
注：2017年度は「電力調査統計」より自然エネルギー財団が推計。

日本：「エネ基」達成に必要な原子力容量





各電力エリアの一時間値における 自然エネルギー最大割合及びその時間



日本の排出は世界の4%のみ→「国内での削減より海外への貢献が重要」？

我が国の長期戦略は、『地球温暖化対策3本の矢』に基づく『地球儀を俯瞰した温暖化対策』を核として構成すべきである。

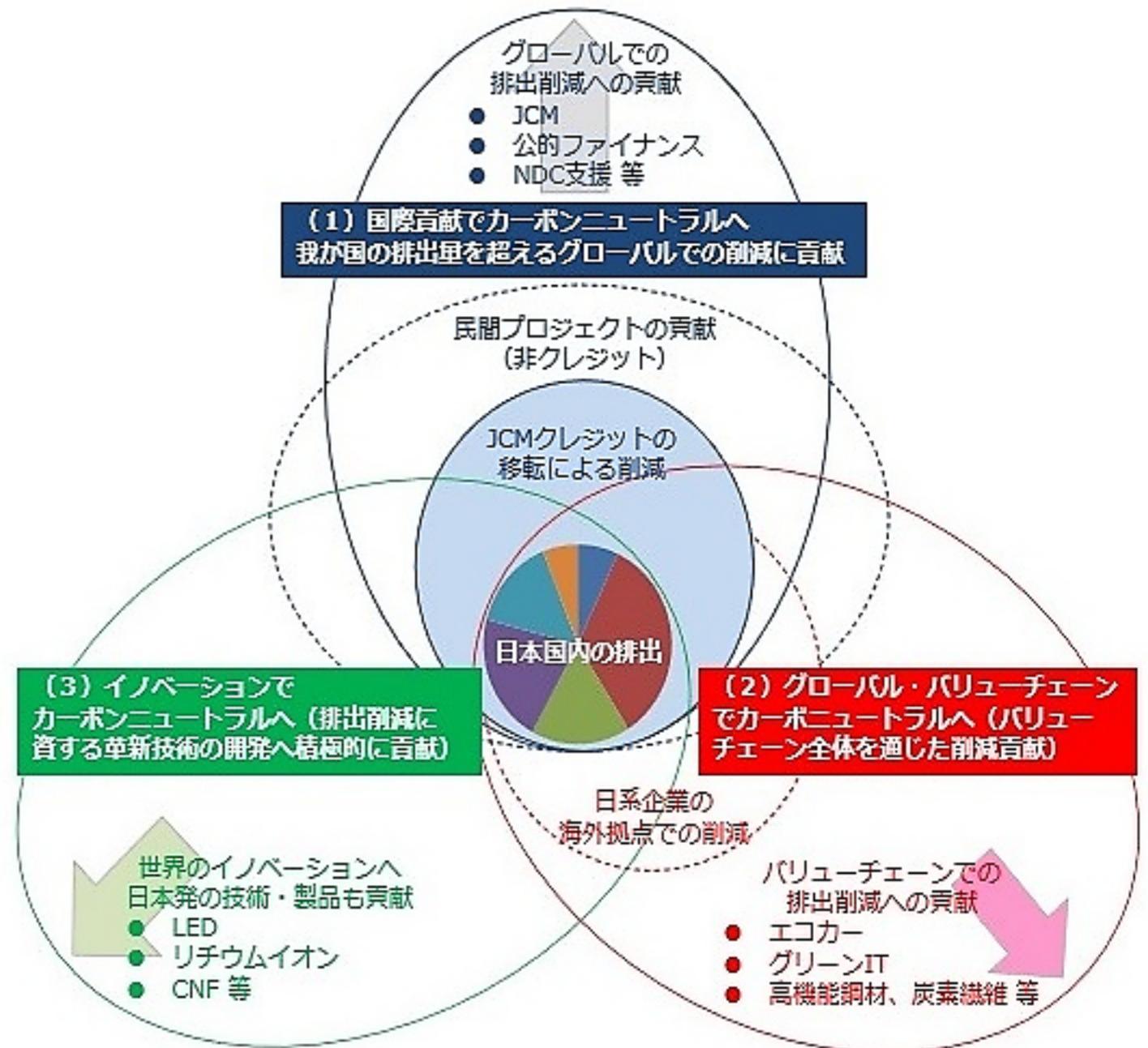
国際貢献【第一の矢】

地球温暖化問題の本質的な解決には世界全体の削減が重要である。**国内排出量の削減に固執**し、経済成長やイノベーションを停滞させ、低炭素技術等を世界に供給する役割を放棄するのは**本末転倒**であり、国際貢献と国内削減を両立させることが重要である。

「長期地球温暖化対策プラットフォーム報告書」（2017年4月）より抜粋

『地球儀を俯瞰した地球温暖化対策』

—全ての主体（国、企業、個人）がカーボンニュートラルに向け貢献—



参考：日本の国内削減を加速すべき



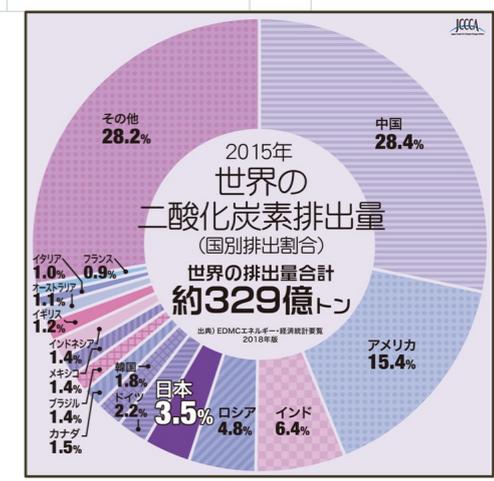
日本のCO2排出量は約4%だが、世界第5位。現在、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）締約国の中で184ヶ国がパリ協定批准 → 日本より排出量の少ない国が 179ヶ国

United Nations Climate Change		
Last updated on 07 August 2018		
Afghanistan	Albania	Algeria
Andorra	Angola	Antigua and Barbuda
Argentina	Armenia	Australia
Austria	Azerbaijan	Bahamas
Bahrain	Bangladesh	Barbados
Belarus	Belgium	Belize
Benin	Bhutan	Bolivia (Plurinational State of)
Bosnia and Herzegovina	Botswana	Brazil
Brunei Darussalam	Bulgaria	Burkina Faso
Burundi	Cabo Verde	Cambodia
Cameroon	Canada	Central African Republic
Chad	Chile	China
Colombia	Comoros	Congo
Cook Islands	Costa Rica	Côte d'Ivoire
Croatia	Cuba	Cyprus
Czech Republic	Democratic People's Republic of Korea	Democratic Republic of the Congo
Denmark	Djibouti	Dominica
Dominican Republic	Ecuador	Egypt
El Salvador	Equatorial Guinea	Eritrea
Estonia	Eswatini	Ethiopia
European Union	Fiji	Finland
France	Gabon	Gambia
Georgia	Germany	Ghana
Greece	Grenada	Guatemala
Guinea	Guinea-Bissau	Guyana

Haiti	Holy See (Observer state)	Honduras
Hungary	Iceland	India
Indonesia	Iran (Islamic Republic of)	Iraq
Ireland	Israel	Italy
Jamaica	Japan	Jordan
Kazakhstan	Kenya	Kiribati
Kuwait	Kyrgyzstan	Lao People's Democratic Republic
Latvia	Lebanon	Lesotho
Liberia	Libya	Liechtenstein
Lithuania	Luxembourg	Madagascar
Malawi	Malaysia	Maldives
Mali	Malta	Marshall Islands
Mauritania	Mauritius	Mexico
Micronesia (Federated States of)	Monaco	Mongolia
Montenegro	Morocco	Mozambique
Myanmar	Namibia	Nauru
Nepal	Netherlands	New Zealand
Nicaragua	Niger	Nigeria
Niue	Norway	Oman
Pakistan	Palau	Panama
Papua New Guinea	Paraguay	Peru
Philippines	Poland	Portugal
Qatar	Republic of Korea	Republic of Moldova

Romania	Russian Federation	Rwanda
Saint Kitts and Nevis	Saint Lucia	Saint Vincent and the Grenadines
Samoa	San Marino	Sao Tome and Principe
Saudi Arabia	Senegal	Serbia
Seychelles	Sierra Leone	Singapore
Slovakia	Slovenia	Solomon Islands
Somalia	South Africa	South Sudan
Spain	Sri Lanka	State of Palestine
Sudan	Suriname	Sweden
Switzerland	Syrian Arab Republic	Tajikistan
Thailand	The former Yugoslav Republic of Macedonia	Timor-Leste
Togo	Tonga	Trinidad and Tobago
Tunisia	Turkey	Turkmenistan
Tuvalu	Uganda	Ukraine
United Arab Emirates	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	United Republic of Tanzania
United States of America	Uruguay	Uzbekistan
Vanuatu	Venezuela (Bolivarian Republic of)	Viet Nam
Yemen	Zambia	Zimbabwe

日本がなすべきは、率先して国内削減を進め範を示すこと。国内削減により、日本の企業は脱炭素経済のビジネスモデルを確立→世界での活躍を場を広げる



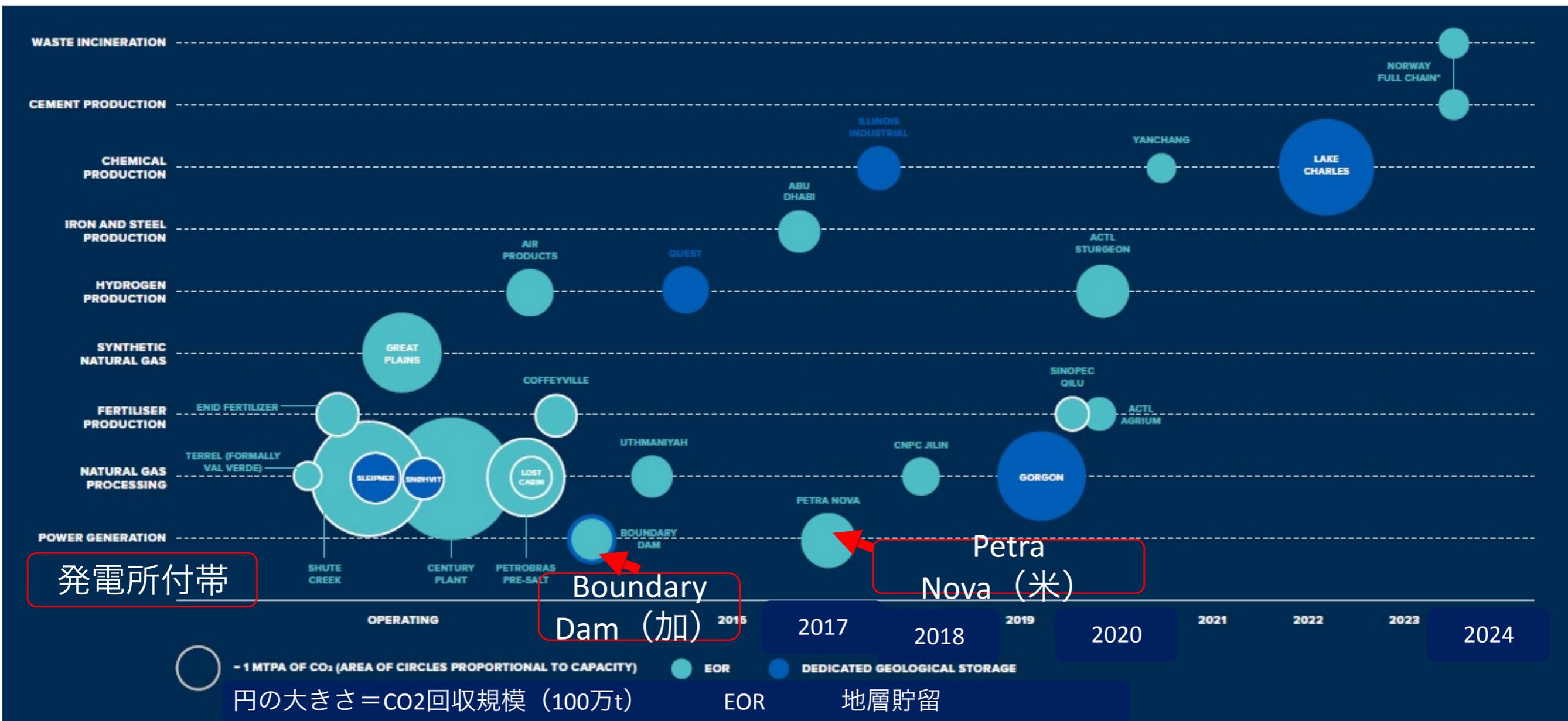
出典) UNFCCCウェブサイト “Paris Agreement - Status of Ratification”, “List of Parties to the Convention”, 温室効果ガスインベントリオフィス 全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト (<http://www.jccca.org/>) より作成

参考：日本の国内削減を加速すべき



火力発電に設置されたCCSは、世界でも2か所だけ

- Boundary Dam (加)：2014年操業、石炭火力発電所（12万kW）から約100万t/年のCO₂を回収、パイプラインで輸送しEORに使用（一部地層貯留）
- Petra Nova (米)：2017年操業、石炭火力発電所（24万kW）から約140万t/年のCO₂を回収、パイプラインで輸送しEORに使用

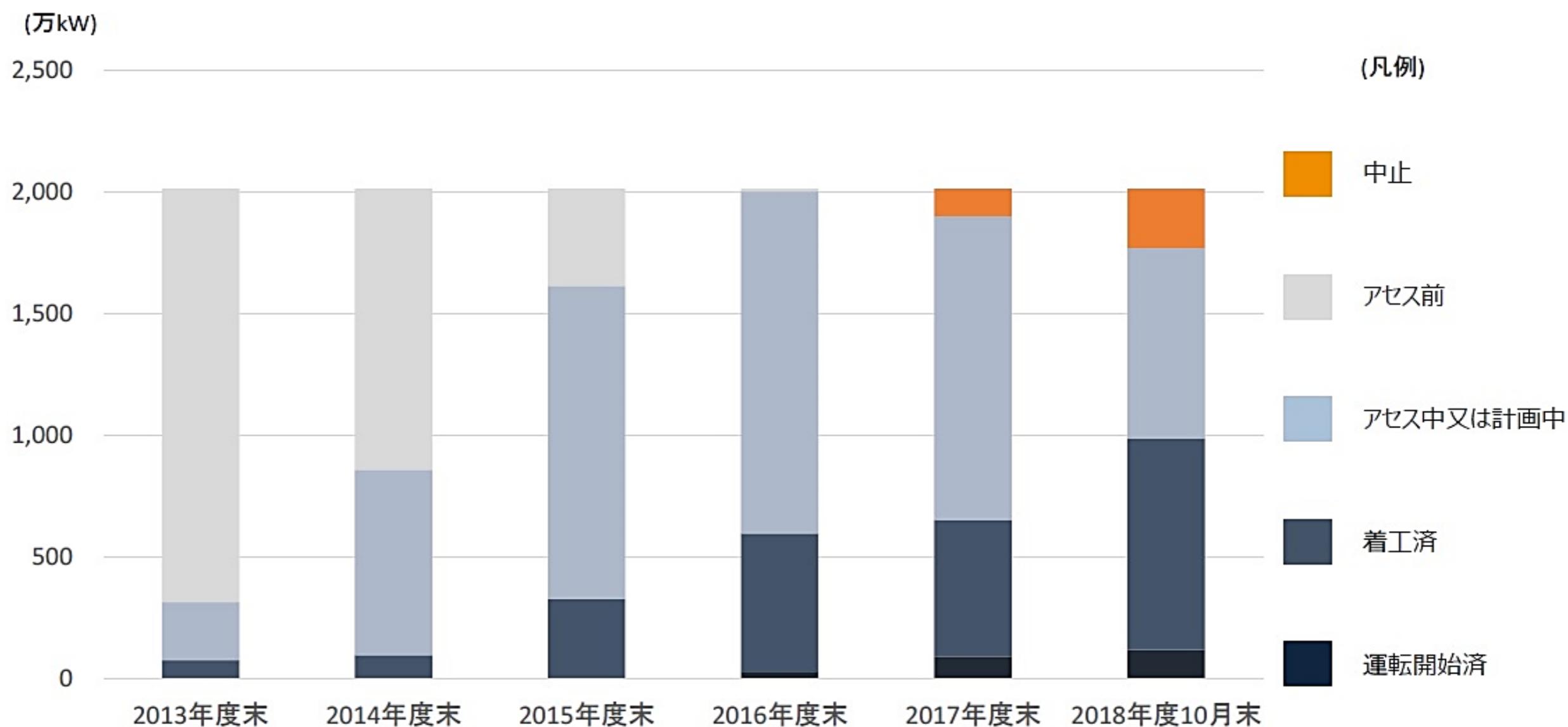


参考：日本の国内削減を加速すべき



エネルギー基本計画では2030年でも電力供給の4分の1以上を石炭に依存。
合計1,680万kW規模の新設計画があり、うち880万kWが既に着工済み。

国内における近年の石炭火力発電計画の動向



参考：日本の国内削減を加速すべき

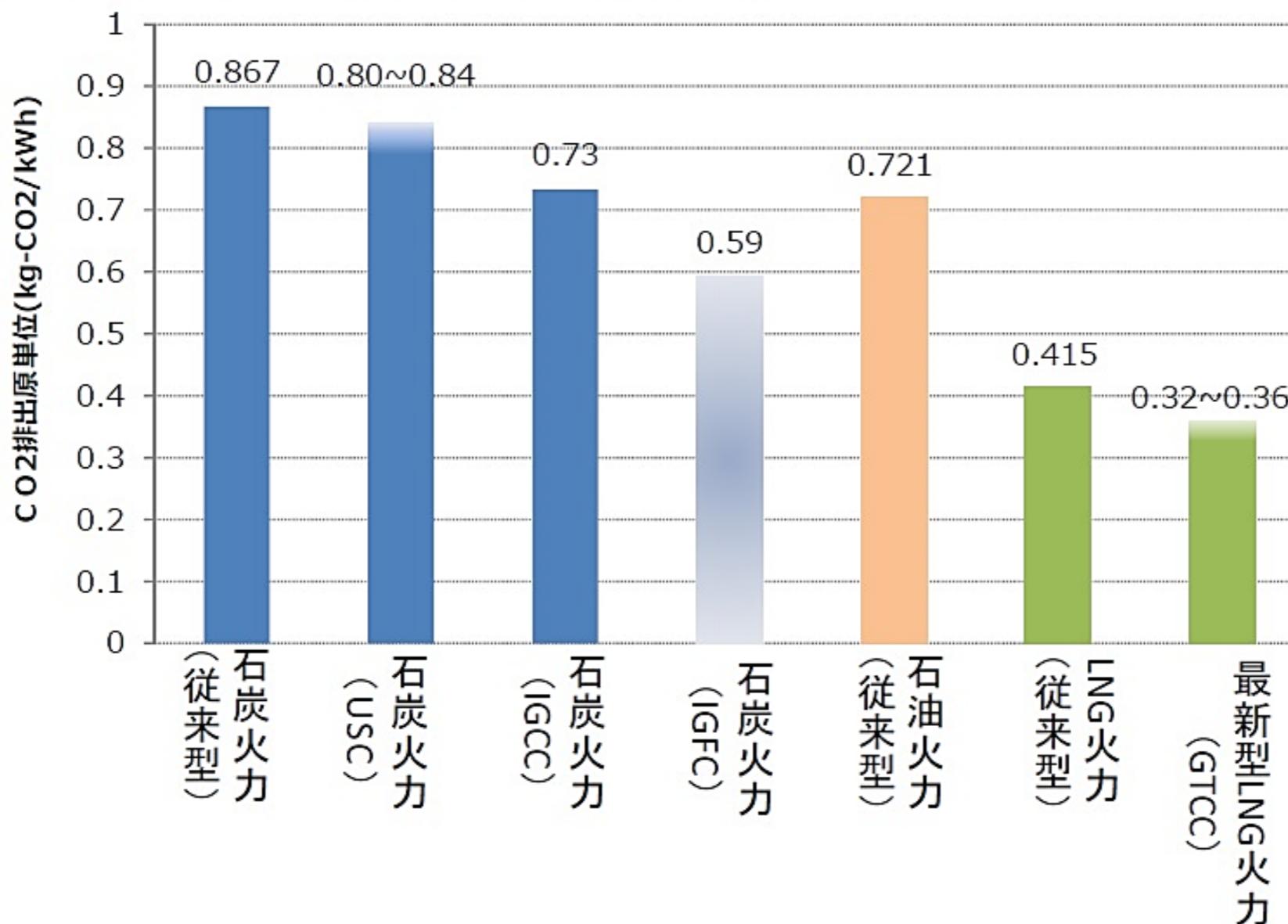


「最新」の石炭火力でも、CO2排出は天然ガス火力の2倍以上

燃料種ごとのCO2排出係数（発電量あたりのCO2排出量）

- 同じ発電量で、石炭は0.73～0.867kg、LNGは0.320～0.415kg。
- 実証段階であるIGFCでも排出係数は0.59であり、最新型LNGの約2倍。

※IGFCの実証試験終了予定は2021年頃、2030年代実用化を目標

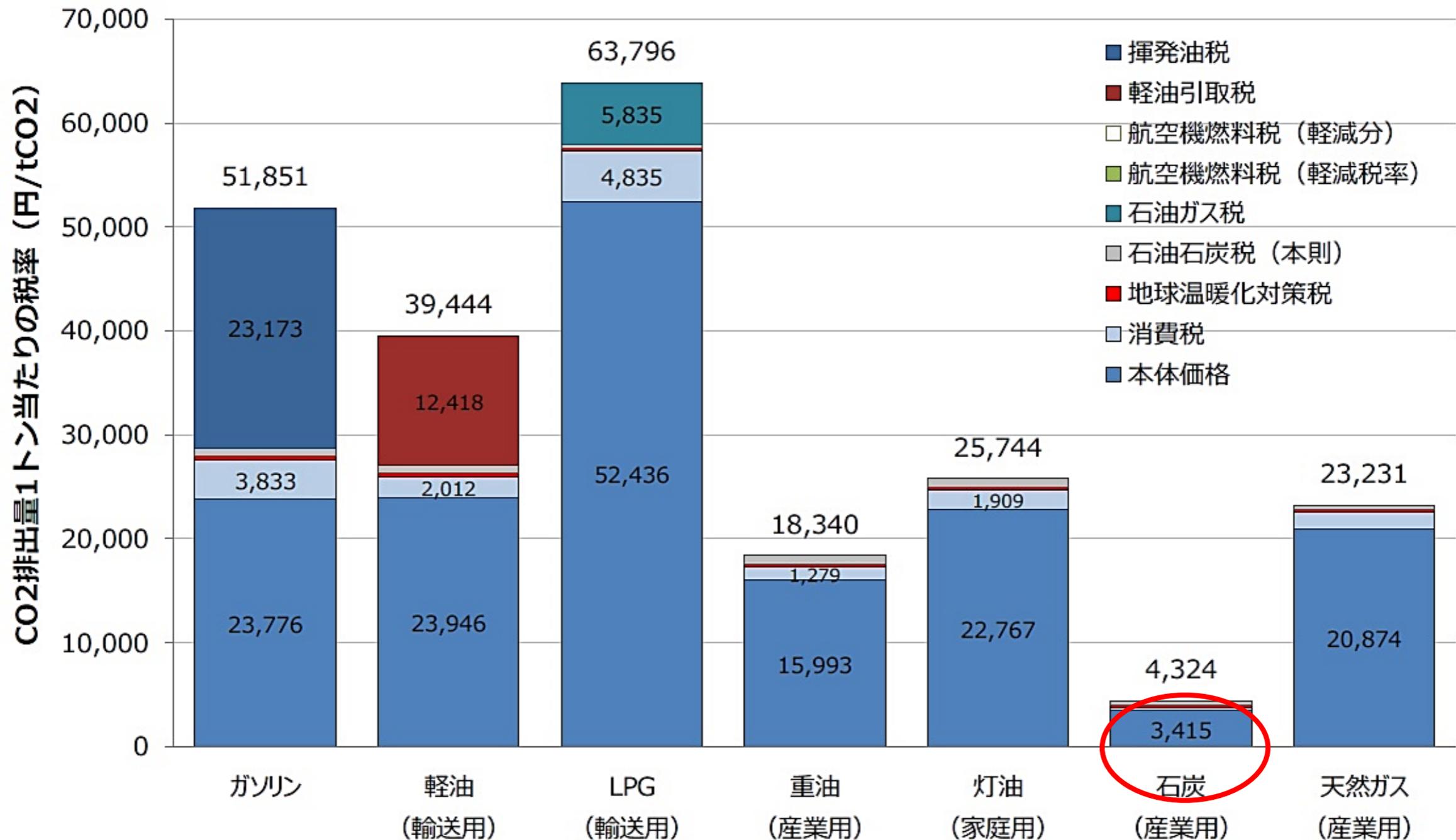


参考：日本の国内削減を加速すべき

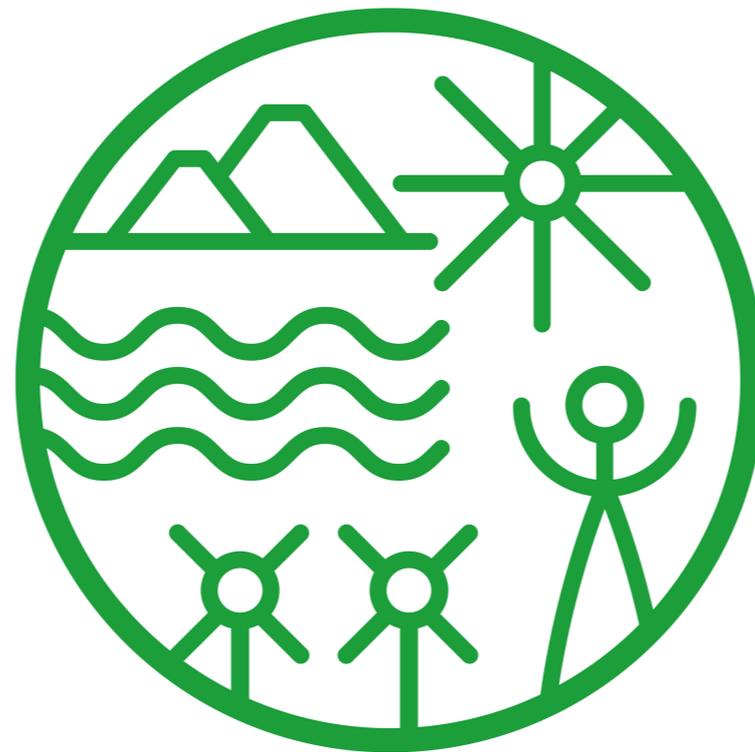


国内の石炭使用コストは天然ガスの5分の1

(参考) 本体価格を含めた燃料別のCO₂排出量1トン当たり税率



Paradigm Shift in Energy



自然エネルギー財団

RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

CONTACT:

Mika Ohbayashi

Renewable Energy Institute

e-mail: [m.ohbayashi AT renewable-ei.org](mailto:m.ohbayashi@renewable-ei.org)

address: 1-13-1, Nishi-Shimbashi, Minato-Ku, Tokyo 105-0003, JAPAN