

エネルギーミックスのあるべき姿



2018年10月13日
東京大学公共政策大学院教授
有馬 純

地球温暖化問題とエネルギーミックス

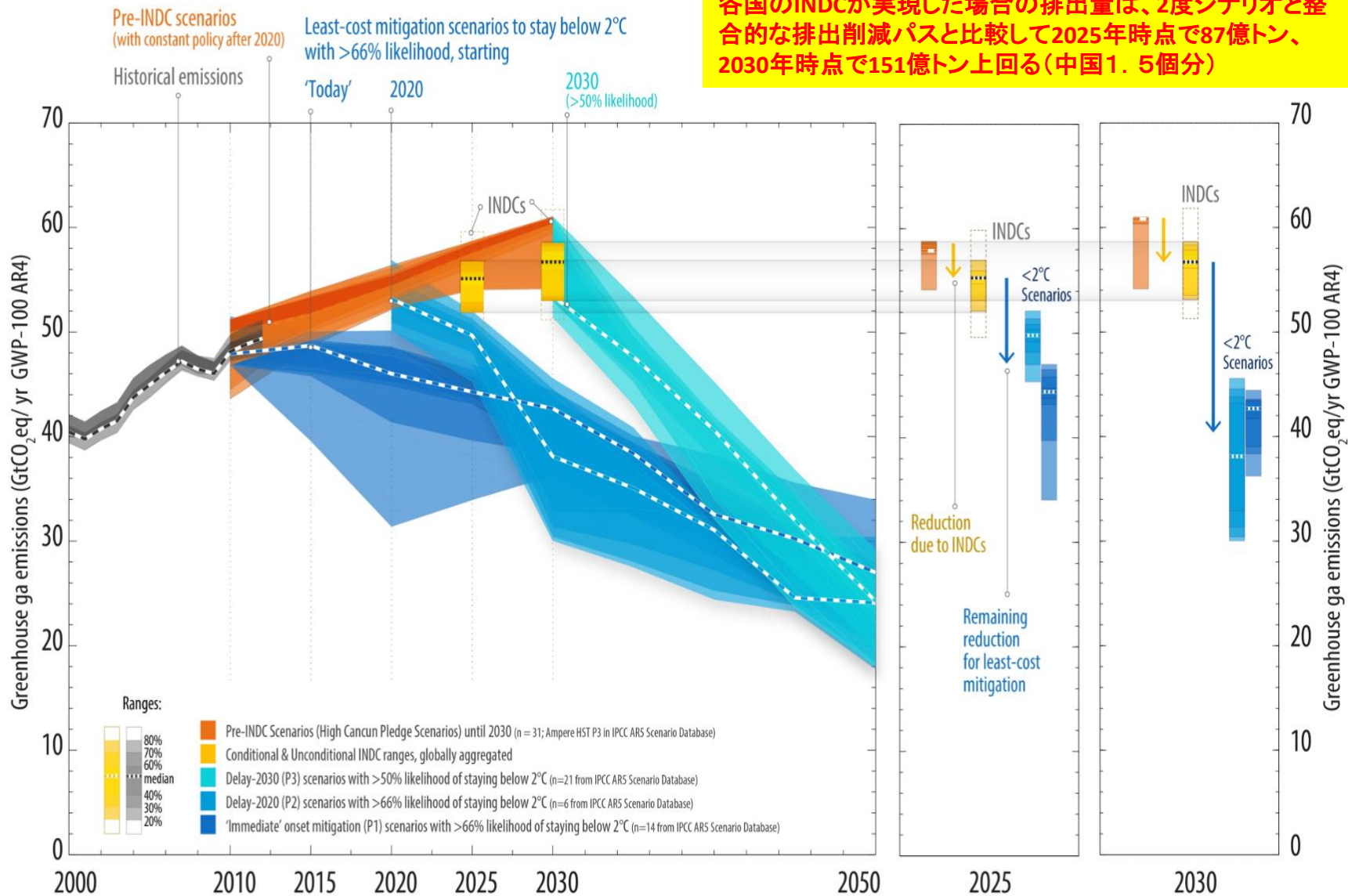


パリ合意をどう評価するか

- 先進国も途上国もNDCを提出し、その実現に努力→先進国・途上国二分論の京都議定書からの歴史的転換
- 現実的なボトムアップのプレッジ&レビュー(プロセスに法的拘束力、目標は拘束力なし)により、全員参加型の枠組を確保。
- 最大の課題はトップダウンの野心的な1.5°C~2°C温度目標と各国の実情を踏まえたボトムアップのプレッジ&レビューメカニズムの並存(2°C目標ですら、各国のINDCの合計と150億トン(中国1.5個分)のギャップ。1.5°C目標の場合のギャップは更に拡大)。
- 5年毎のグローバルストックテークで長期目標への進捗を検証し、各国NDCにフィードバックするという設計→しかし両者が交わるのか???

2度目標と各国のINDCとのギャップ

各国のINDCが実現した場合の排出量は、2度シナリオと整合的な排出削減パスと比較して2025年時点で87億トン、2030年時点で151億トン上回る(中国1.5個分)

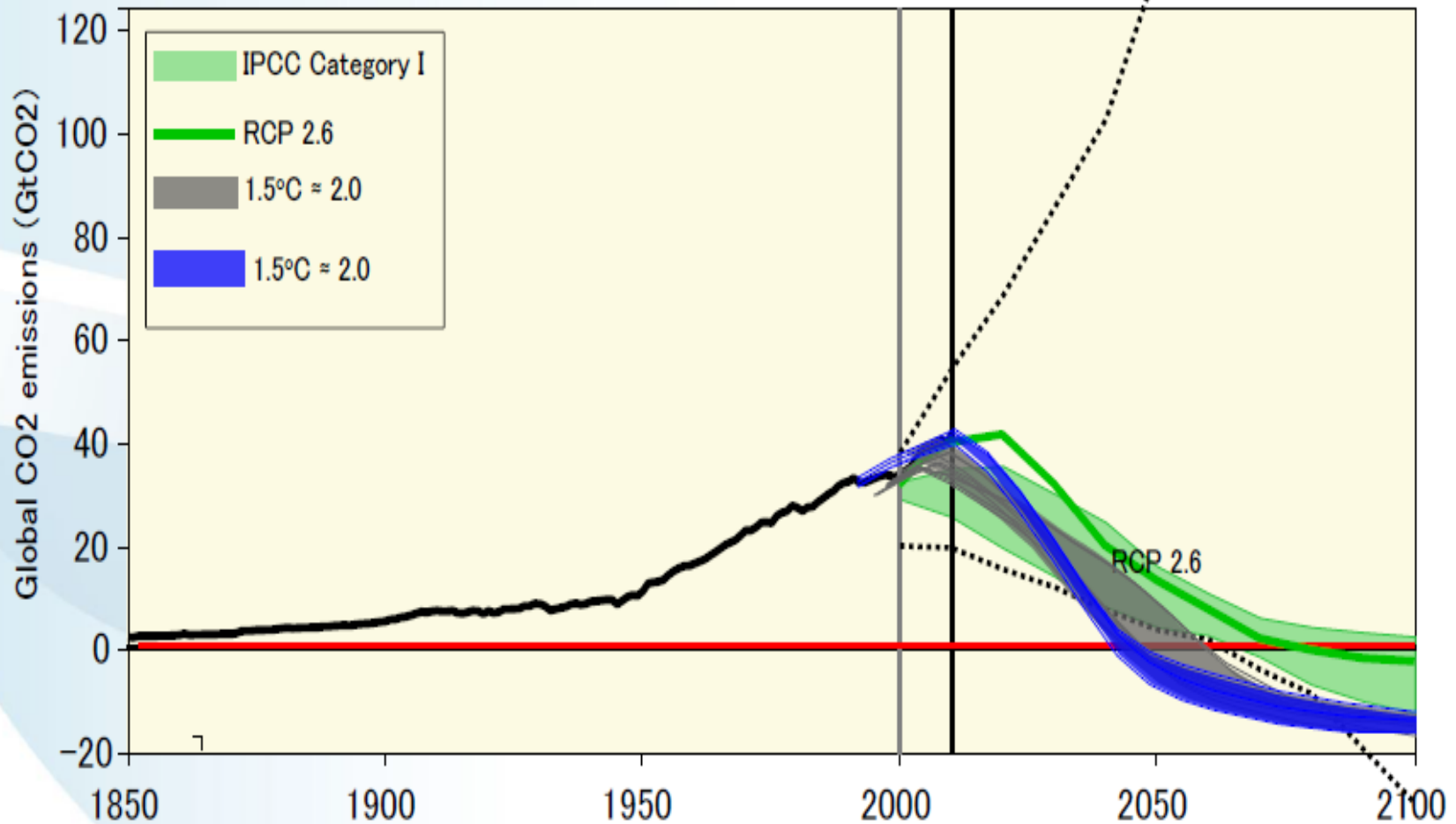


Source: UNFCCC Synthesis report on the aggregate effect of the intended nationally determined contributions (October 2015)

1.5度目標とは何を意味するのか

- ◆ 1.5度～2度で安定化させるためには2050年前後にネットマイナスにならねばならないという論文あり

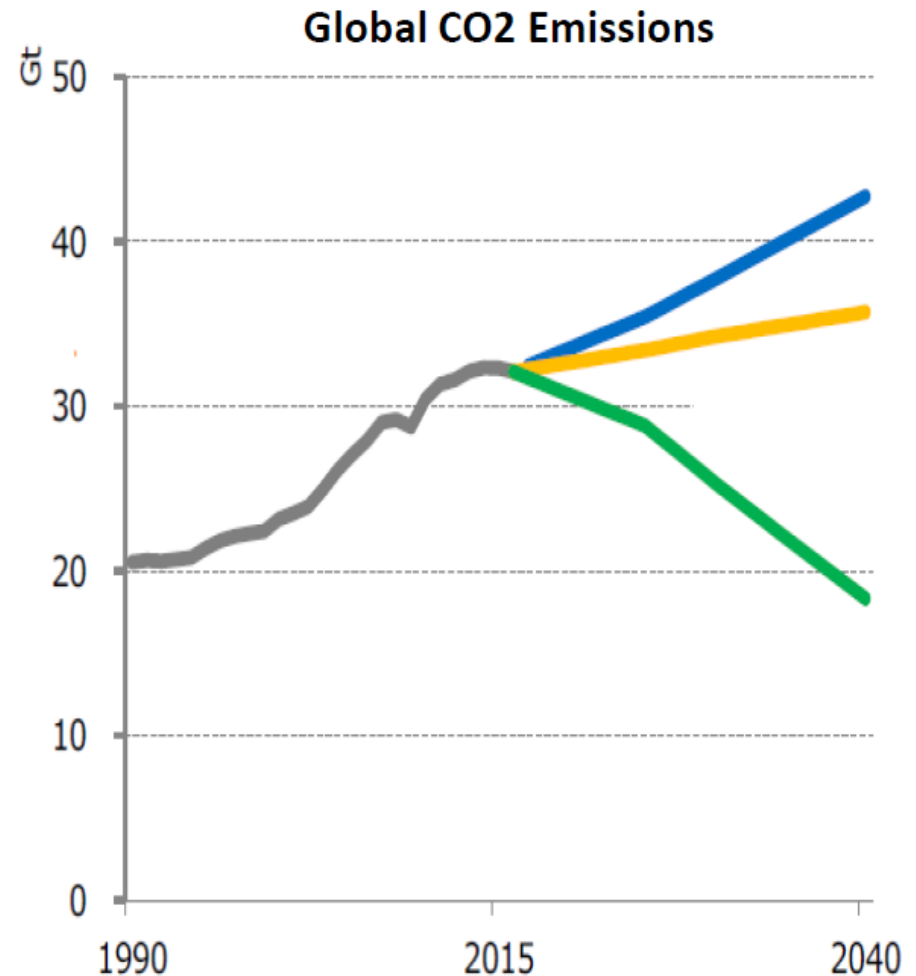
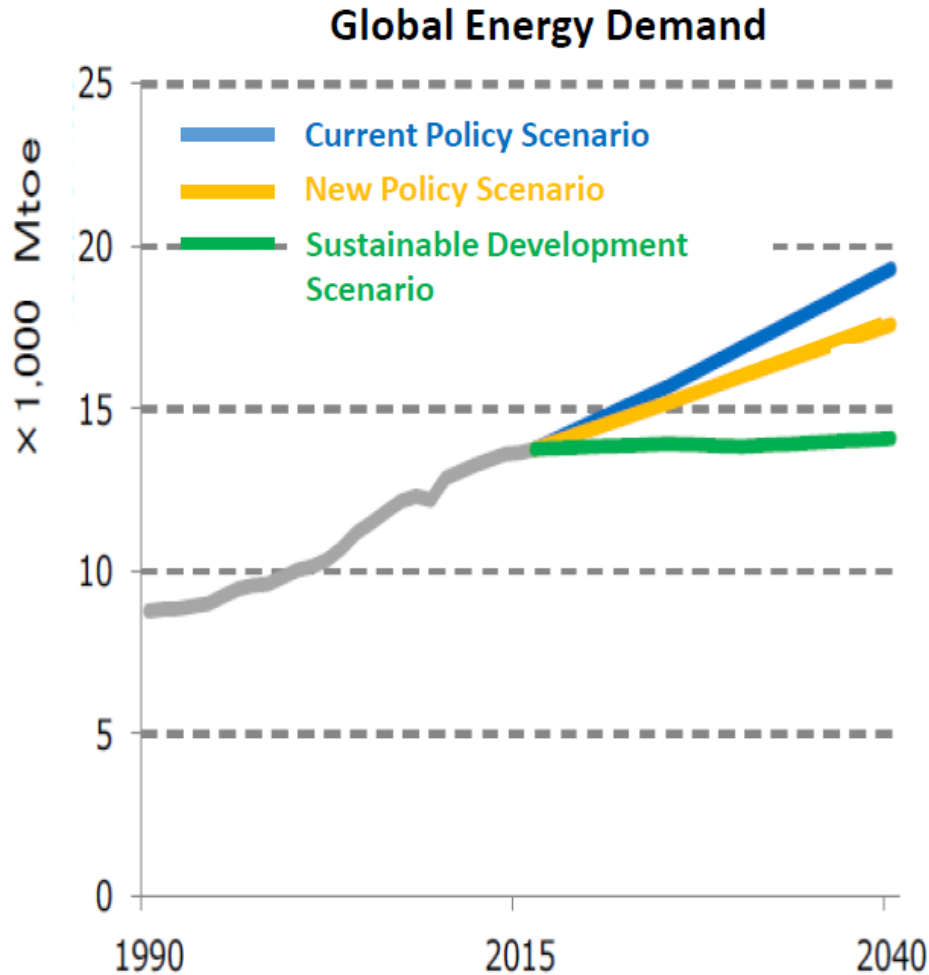
nature
climate change



Source: Rogelj et. al, 2015

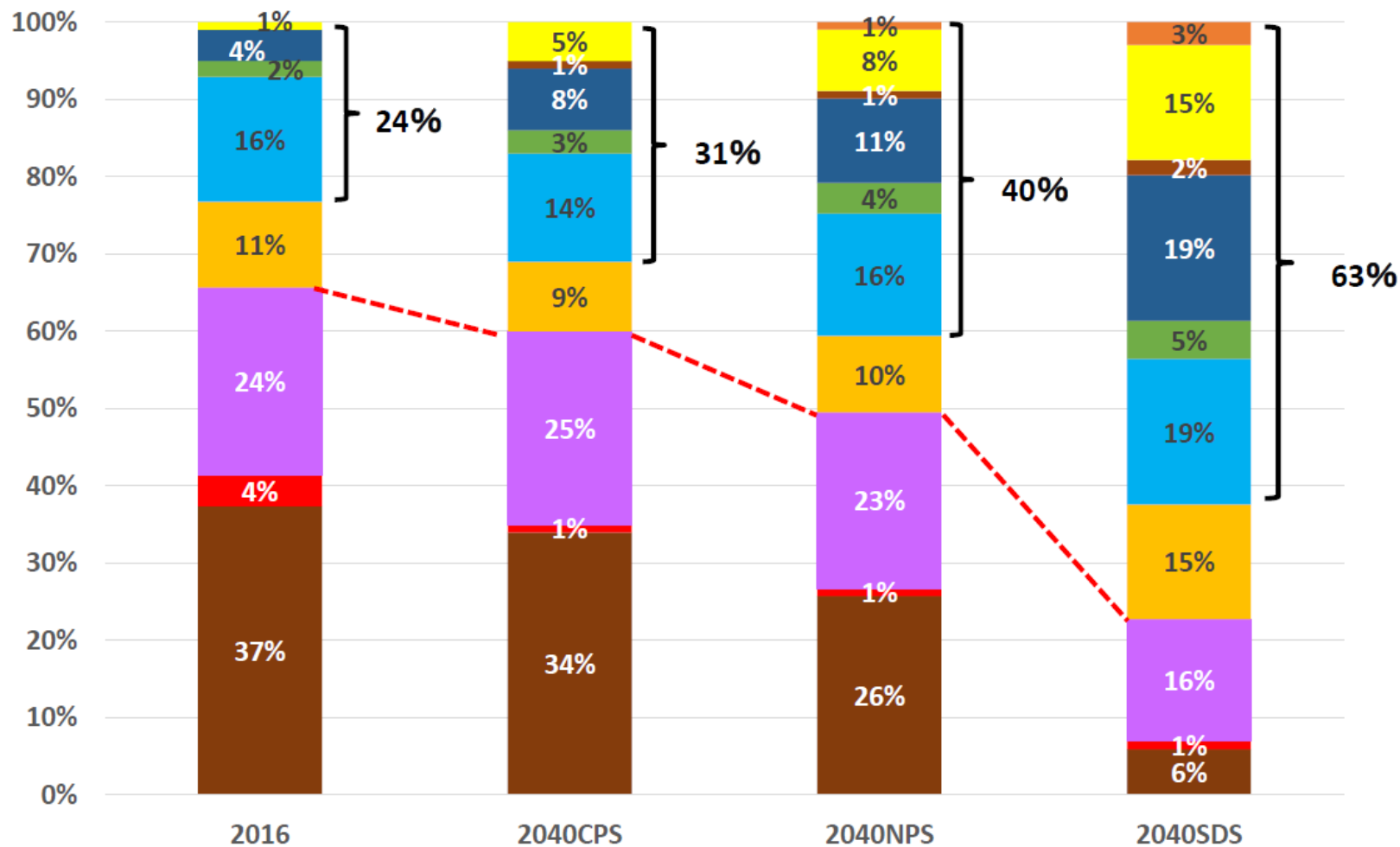
2度目標とエネルギーミックスシナリオ

- ◆ 持続可能発展シナリオ (SDS) ではエネルギー起源CO2排出量が2040年までにほぼ半減することを想定。



2度目標とエネルギーミックスシナリオ

- ◆ 持続可能シナリオの下では発電量に占める石炭火力のシェアを大幅に減らし、太陽光、風力を中心に再エネのシェアを大幅に拡大することが必要。



■ Coal ■ Oil ■ Gas ■ Nuclear ■ Hydro ■ Bioenergy ■ Wind ■ Geothermal ■ Solar PV ■ CSP ■ Marine

“Keep them in the ground”

◆ 2度目標達成のためには石炭資源の大部分を地中に留めねばならない。

The Carbon Brief

Globally



52%
of natural gas reserves

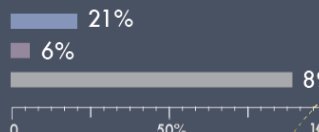


35%
of oil reserves

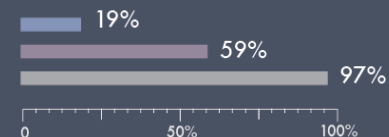


88%
of coal reserves

Europe

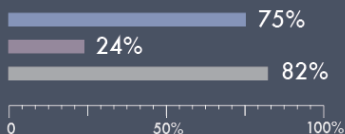


Former Soviet Union countries

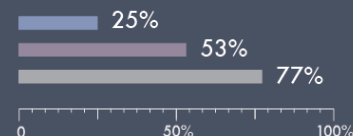


How much oil, gas and coal will we have to leave in the ground to stay under 2 degrees of warming?

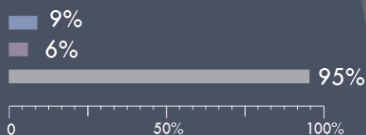
Canada



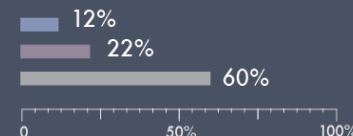
China and India



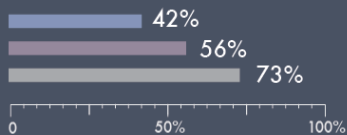
US



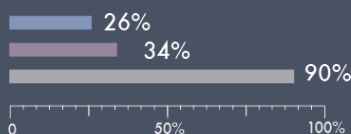
Other developing Asian countries



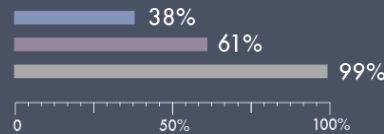
Central and South America



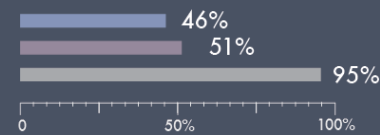
Africa



Middle East



OECD Pacific



炭素予算の考え方

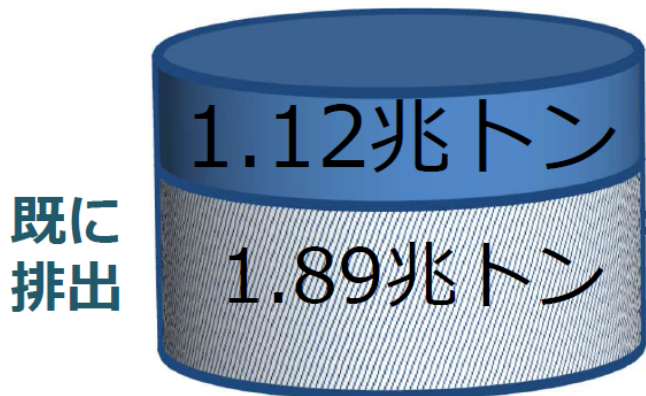
あとどのくらいCO₂を排出できるのか

～累積許容CO₂排出量と化石燃料の可採埋蔵量に含まれるCO₂排出量～

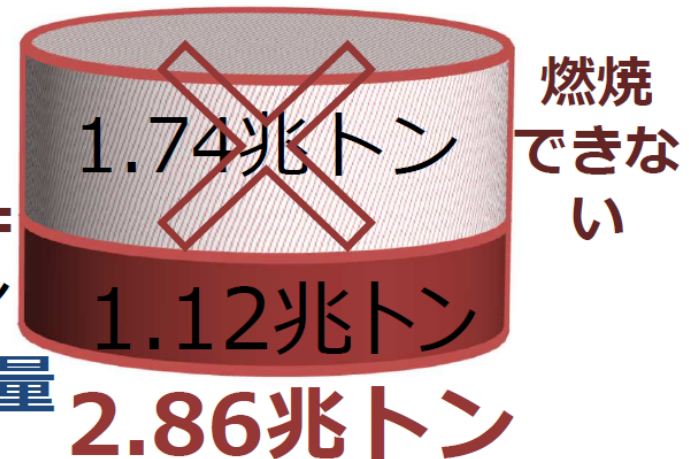
累積CO₂排出約3兆トンで、地球全体の平均温度は2度上昇（IPCC）。既に約2兆トン排出、**残り約1兆トン**（現行ペースで約30年）。化石燃料の埋蔵量を全て燃やすと約3兆トン排出相当、つまり**3分の2は単純には燃焼できない**。

2°C目標を達成するための
累積許容CO₂排出量

3.01兆トン



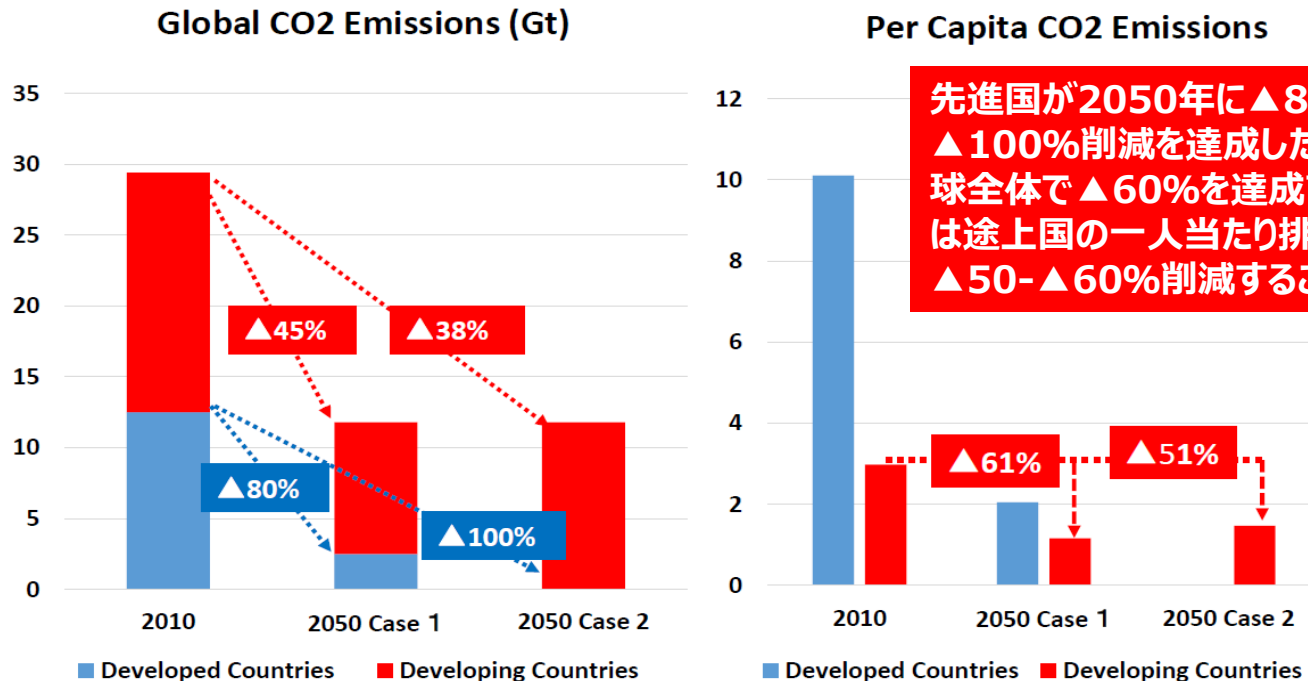
燃焼できる量 =
1.12兆トン
= 残る許容排出量



化石燃料の可採埋蔵量に
含まれるCO₂排出量

世界で合意された炭素予算は存在しない

- ◆ 炭素予算はパリ協定の1.5°C~2°C目標を踏まえ、特定の気候感度(3°C)、特定の削減パスを前提とした議論。
- ◆ しかしパリ協定交渉時、先進国は1.5°C~2°C目標を達成するため、地球全体の排出削減目標(2050年▲40~▲70%)を提案したが、自分たちの排出量に制約がかかることを忌避した途上国がこれに反対。



- ◆ 今後排出量の増加する途上国は炭素予算の考え方を共有していない。

気候変動と国連SDGs

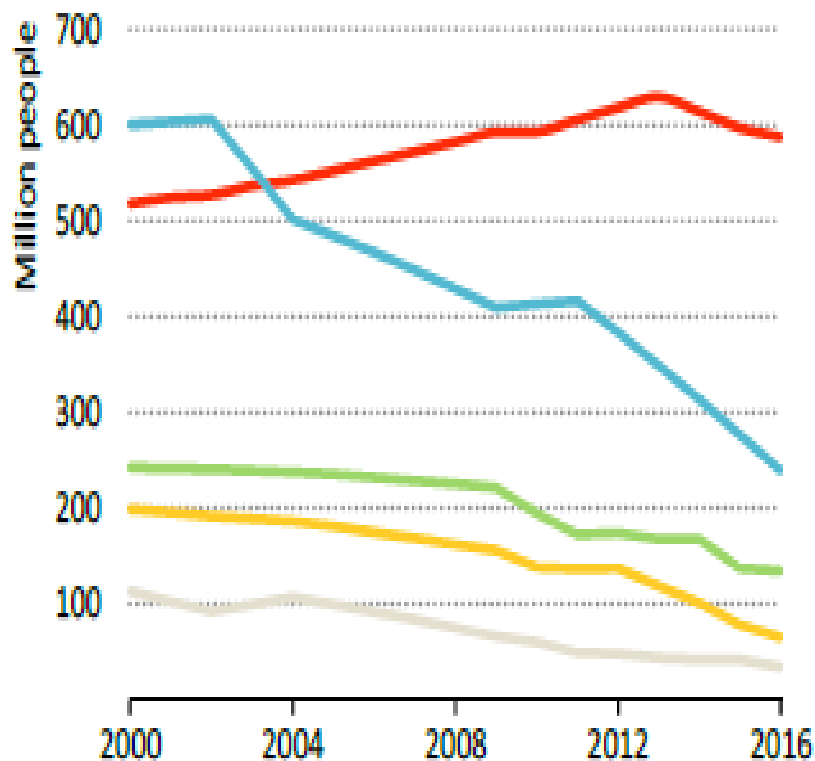
- ◆ 気候変動は17の持続可能開発目標のうちの1つであり、他に優先する至高の目標ではない。気候変動防止と他の目標の間にはシナジーもトレードオフも存在。
- ◆ 17の持続可能目標は、**安価で信頼できるエネルギー供給**に裏打ちされた経済成長を必要とする。



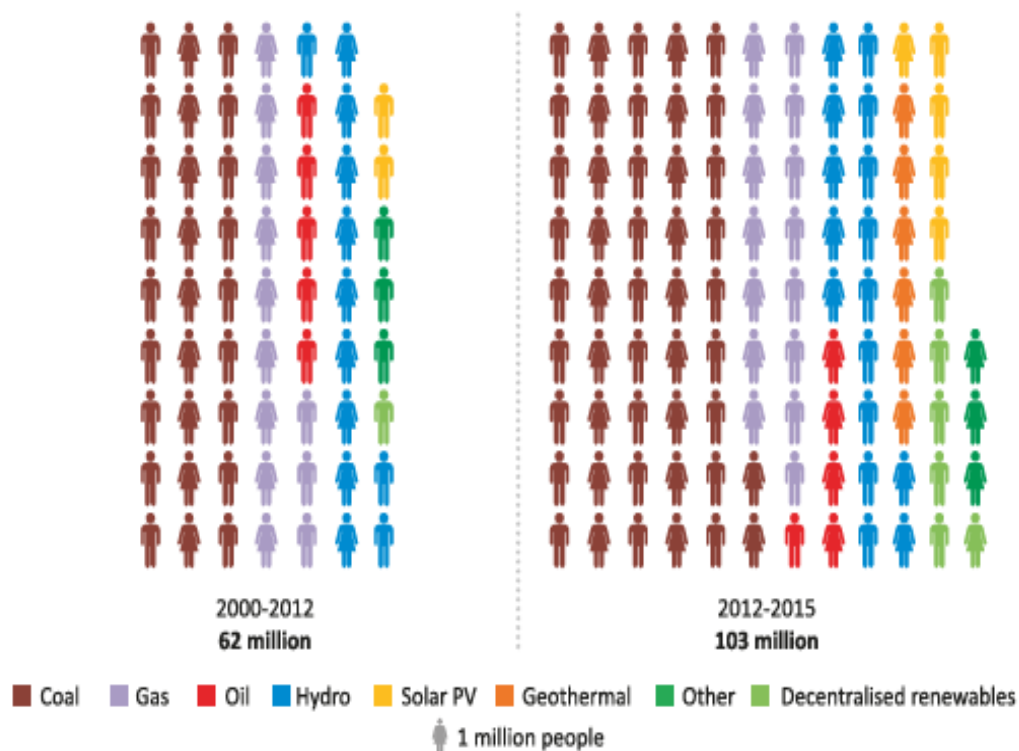
安価なエネルギーへのアクセスは途上国の最重点事項

- ◆ 途上国にとってエネルギー貧困の克服はSDGを達成するための要件。
- ◆ 未だに11億人が電力アクセスを有しておらず、2000年以降の電力アクセスの改善の約7割は化石燃料によって達成。

電力アクセスを有さない人口



途上国において新たに電力アクセスを得た人口と燃料別内訳



■ Sub-Saharan Africa ■ India ■ Southeast Asia ■ Other developing Asia ■ Other

世界は脱炭素化に向かうのか(温暖化中心主義から見ると・・・)

- パリ協定の成立と早期発効は脱炭素化に向けた大きな転換点。
- トランプ政権の動向にかかわらず、中国を含め、各国はパリ協定にコミットしている。世界が脱炭素化に向かう流れは変わらない。
- パリ協定の温度目標を達成するためには化石燃料の利用を大幅に制限することが必要。世界が2度目標に向かえば化石燃料関連投資は座礁資産となる。
- CO2含有量の高い石炭は真っ先にフェーズアウトすべき。天然ガス、石油も化石燃料である以上、いずれフェーズアウトすべき。
- 再エネコストは予想を上回って低下しており、原子力や化石燃料と競争できるようになった。脱炭素化と経済成長の同時達成が可能になっている。
- 脱炭素化のため、エネルギー多消費産業、化石燃料産業への資金供給を絞るべき。化石燃料からの資本引き上げ、気候変動リスク情報の開示等、金融セクターも温暖化防止に大きく舵を切っている。化石燃料への資金供給は先細り、化石燃料は資産ではなくリスク。
- 温暖化の科学に不確実性があるのは事実だが、予防原則に基づき早期の対応をすべき。各国のNDCは全く不十分であり、更なる引き上げが不可欠。
- 様々な不確実性を理由に対応を先送りするのは気候変動懐疑論に与するもの。
- 高い野心をかかげ、カーボンプライシングを導入・引き上げることで将来への予見可能性が高まり、新たな技術、産業、雇用が生まれる。

世界は脱炭素化に向かうのか(3Eバランス論から見ると…)

- 中長期的な方向性として低炭素化に向かうことは確実だが、1.5℃～2℃の温度目標、今世紀後半のネットゼロエミッションの実現には大きな疑問
- 1.5℃～2.0℃目標は誰も責任を問われないグローバル目標（→だからこそ合意できた）。途上国は温度目標を裏打ちする全球排出削減目標を受け入れず。
- トランプ政権のパリ協定離脱表明、米中貿易戦争の拡大は国際協調を前提とする温暖化防止には逆風
- プレッジ&レビューを通じて膨大なギガトンギャップが示されても各国の自発的な目標引き上げで埋められるものではなく、国連がそれを強いることは不可能
- 各国が直面する課題は温暖化だけではない。特に途上国では温暖化防止よりも安価かつ潤沢なエネルギー供給に支えられた経済成長と生活レベルの向上が最優先。エネルギーミックスもそうした要請の中で決まってくる。
- 「炭素予算」を達成するため、政府が温暖化制約を急速に強化し、既存資産を人為的に座礁資産化させる政策をとるとは想定しにくい。
- 再エネの導入拡大とコスト低下は朗報であるが、補助金に支えられた官製需要であり、導入レベルが拡大すれば系統安定コストも増大。低所得の途上国において追加コストの支払い意志は低く、補助金頼みの大幅拡大には限界あり。
- 金融面でのダイベストメント等の動きは化石燃料をめぐる世界全体の資金フローのごく一部。世界で化石燃料の需要があれば、MDBや先進国の金融機関が資金供給を絞っても、途上国の金融機関等から資金が流れる可能性大。

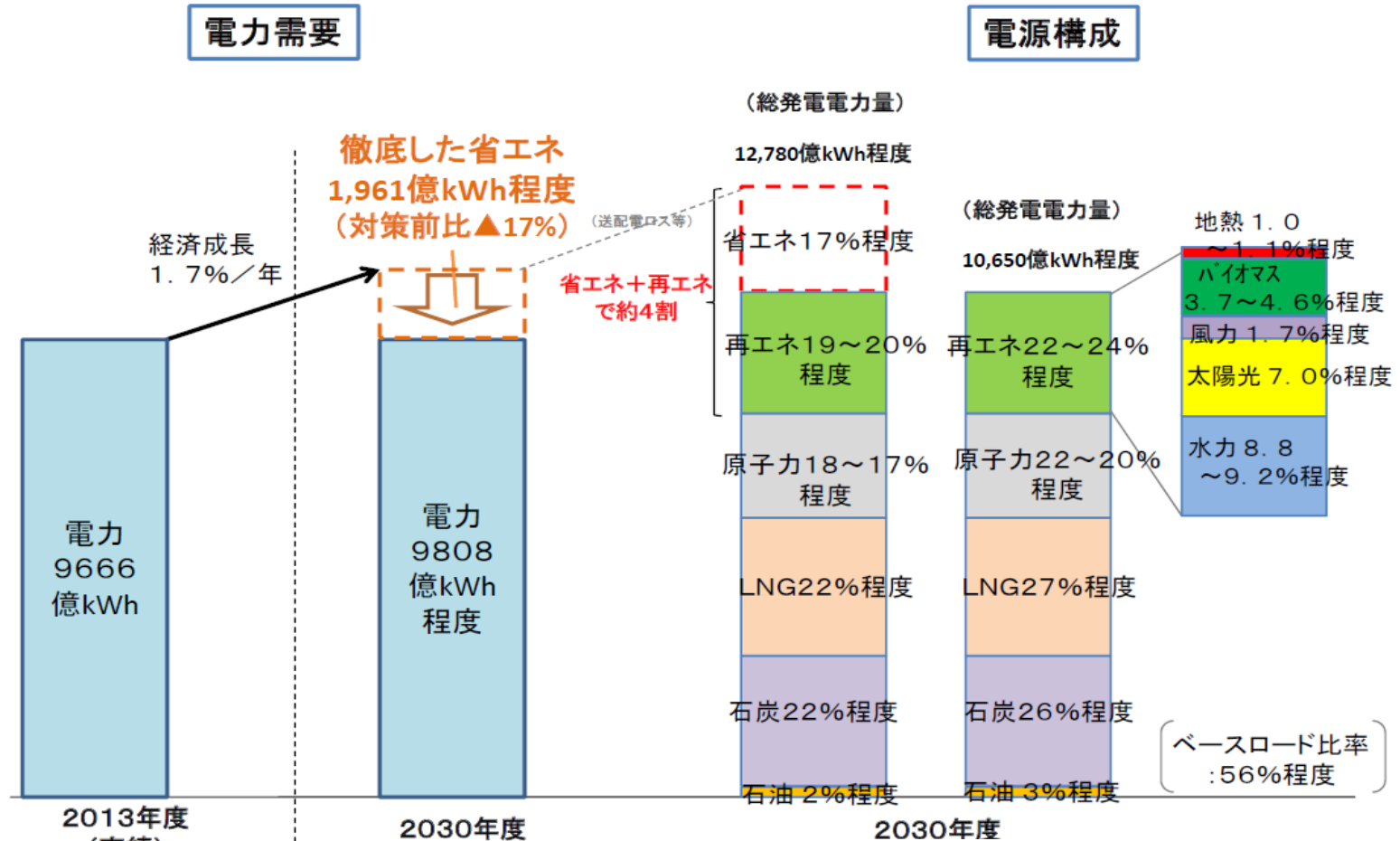
我が国のエネルギーミックスをめぐる課題



日本の2030年電源構成

【基本方針】

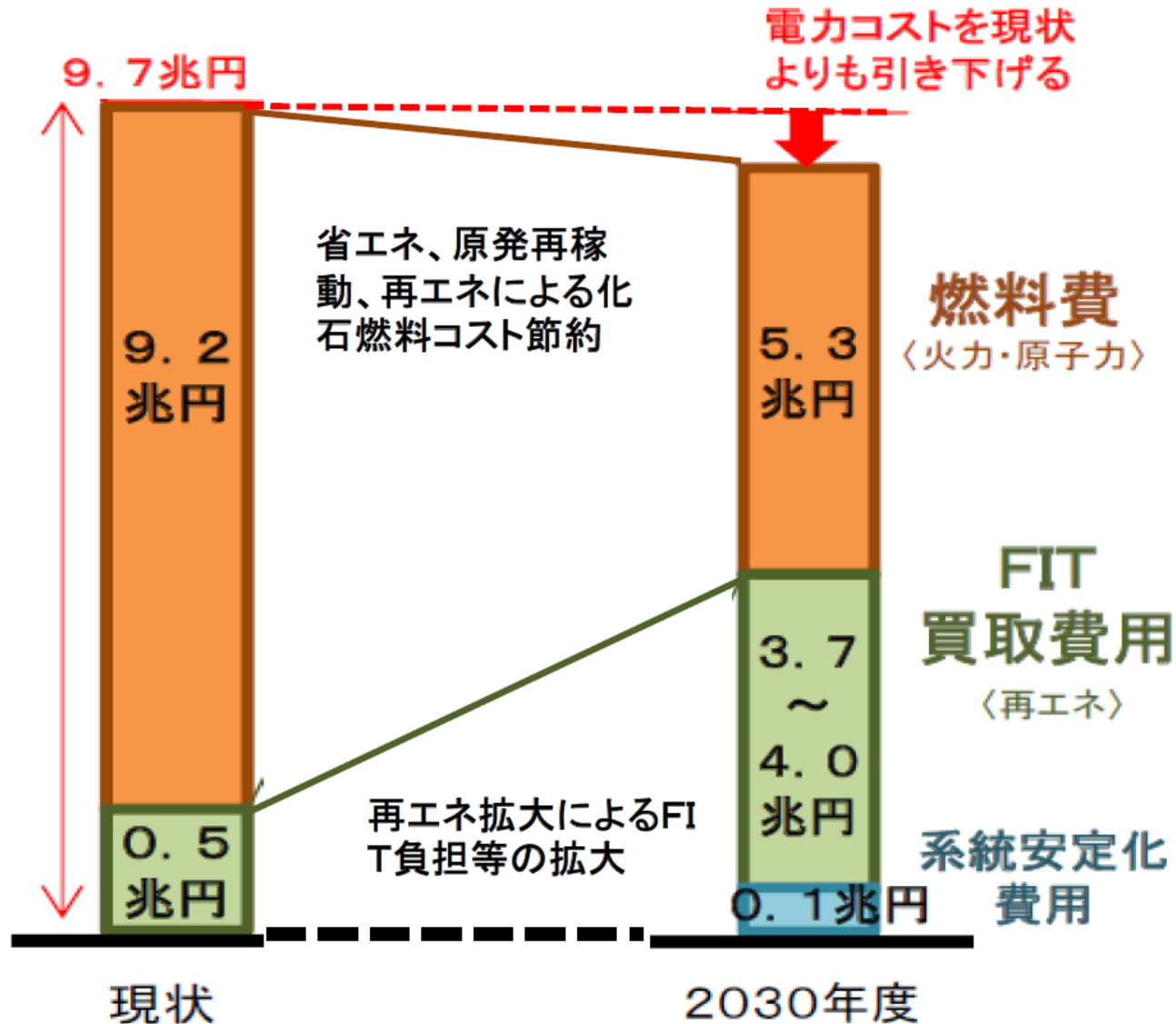
- (1) 自給率は震災前を更に上回る水準(概ね25%程度)まで改善すること
- (2) 電力コストは現状よりも引き下げること
- (3) 欧米に遜色ない温室効果ガス削減目標を掲げ世界をリードすること



出所:総合資源エネルギー調査会資料

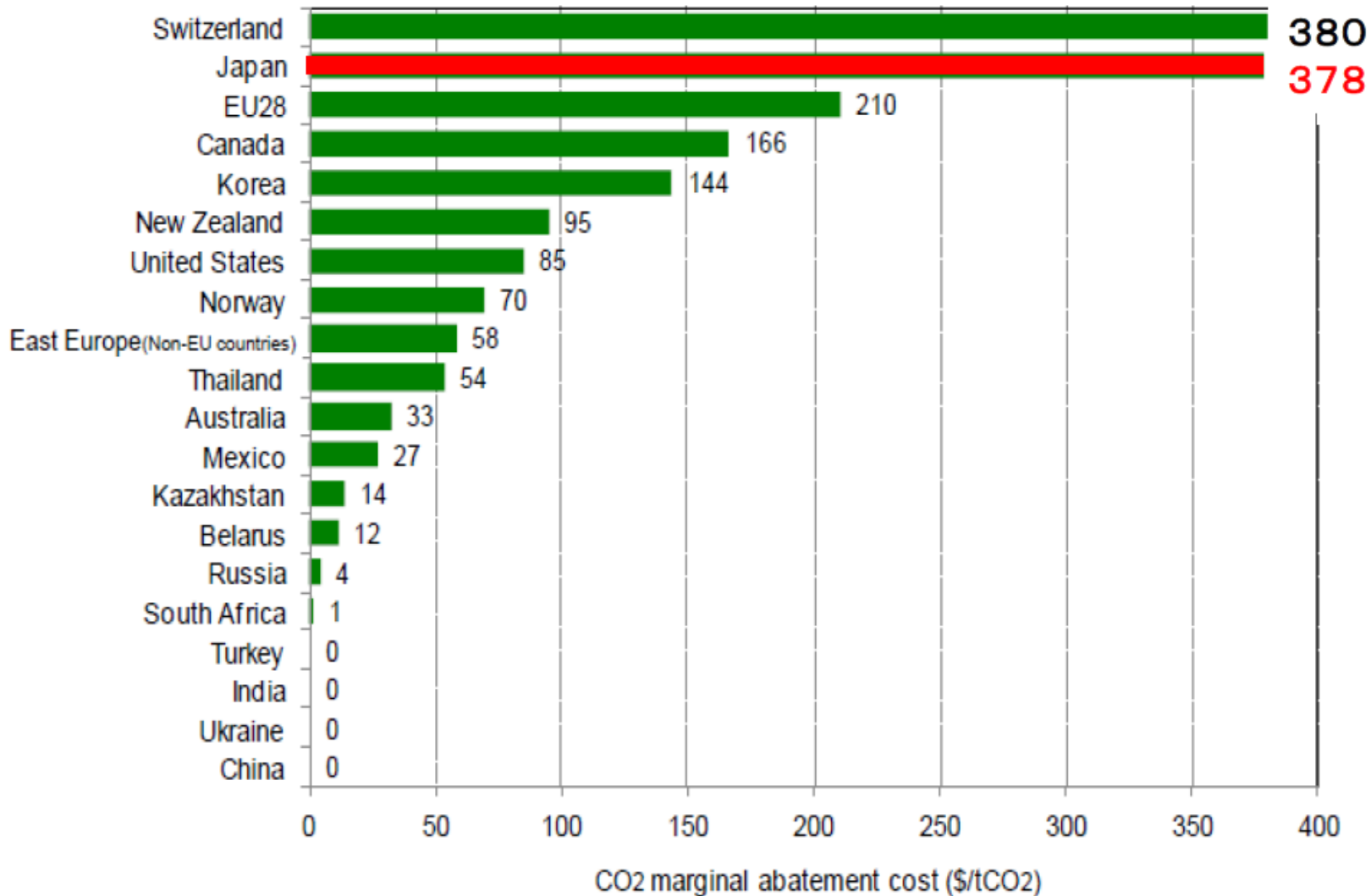
再エネを拡大しつつ電力コスト低下

- ◆ 原子力の再稼働は拡大する再エネコスト吸収のために不可欠



主要国の約束草案の限界削減費用

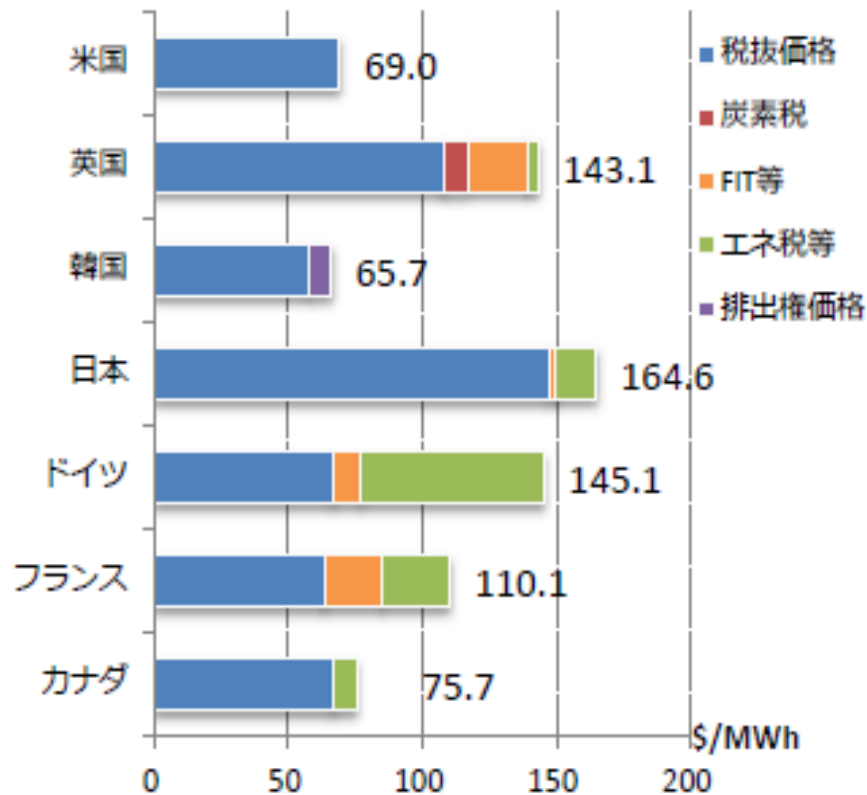
- ◆ 日本の約束草案の限界削減費用は最も高いレベル。原発の再稼動が進まなければ更にコストが上昇。



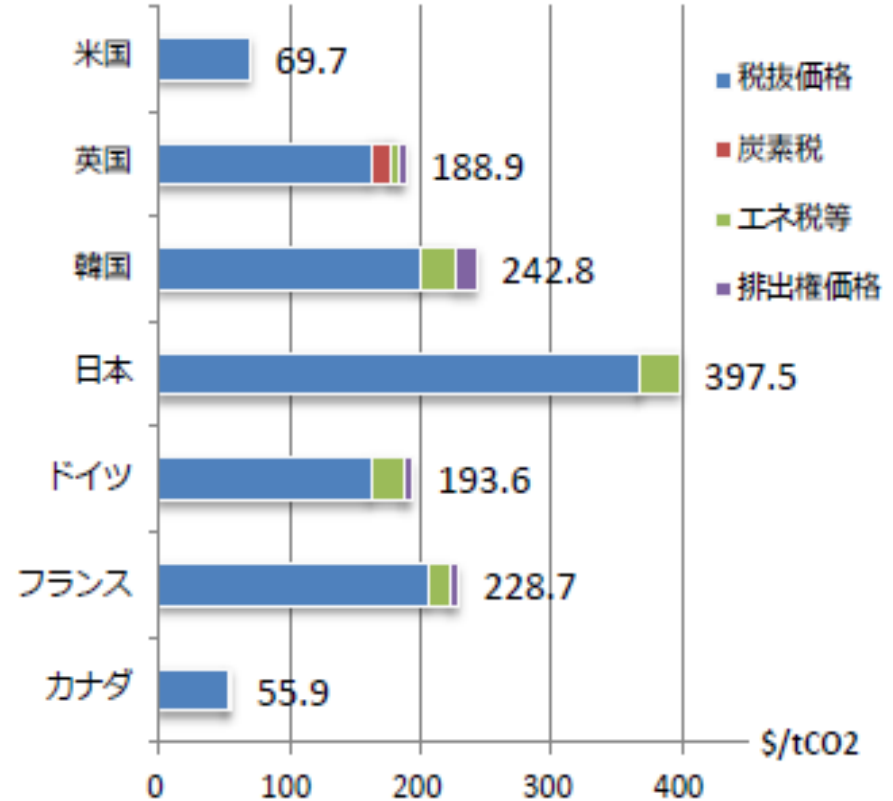
国際的に高いエネルギーコスト

- ◆ 日本の産業活動に影響を与える産業用電力、産業用天然ガスのコストは国際的にも高水準
- ◆ 電力料金の更なる上昇は日本の国際競争力に悪影響

産業用電力



産業用天然ガス

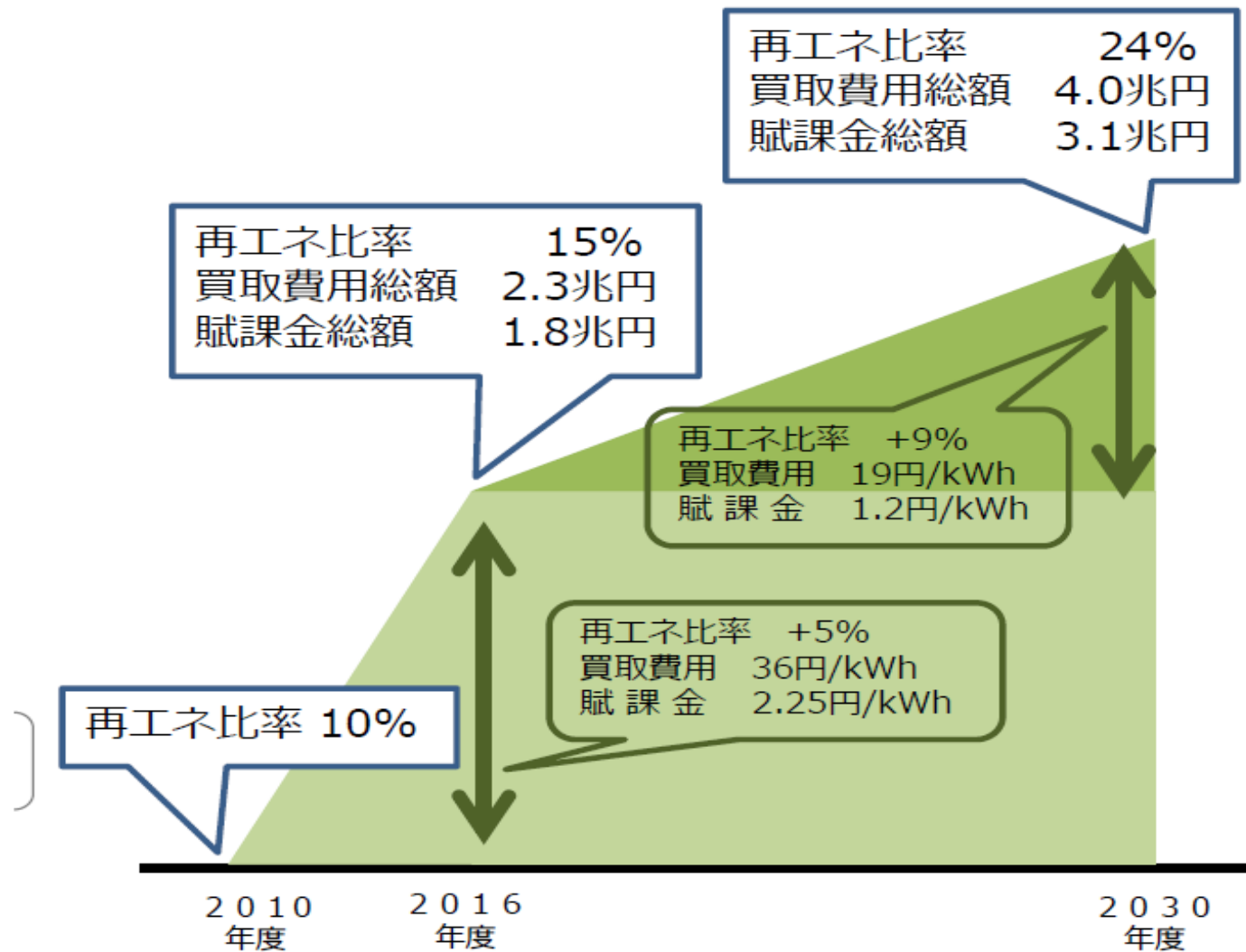


出所: 経産省長期低炭素プラットフォーム

膨張するFIT買取費用

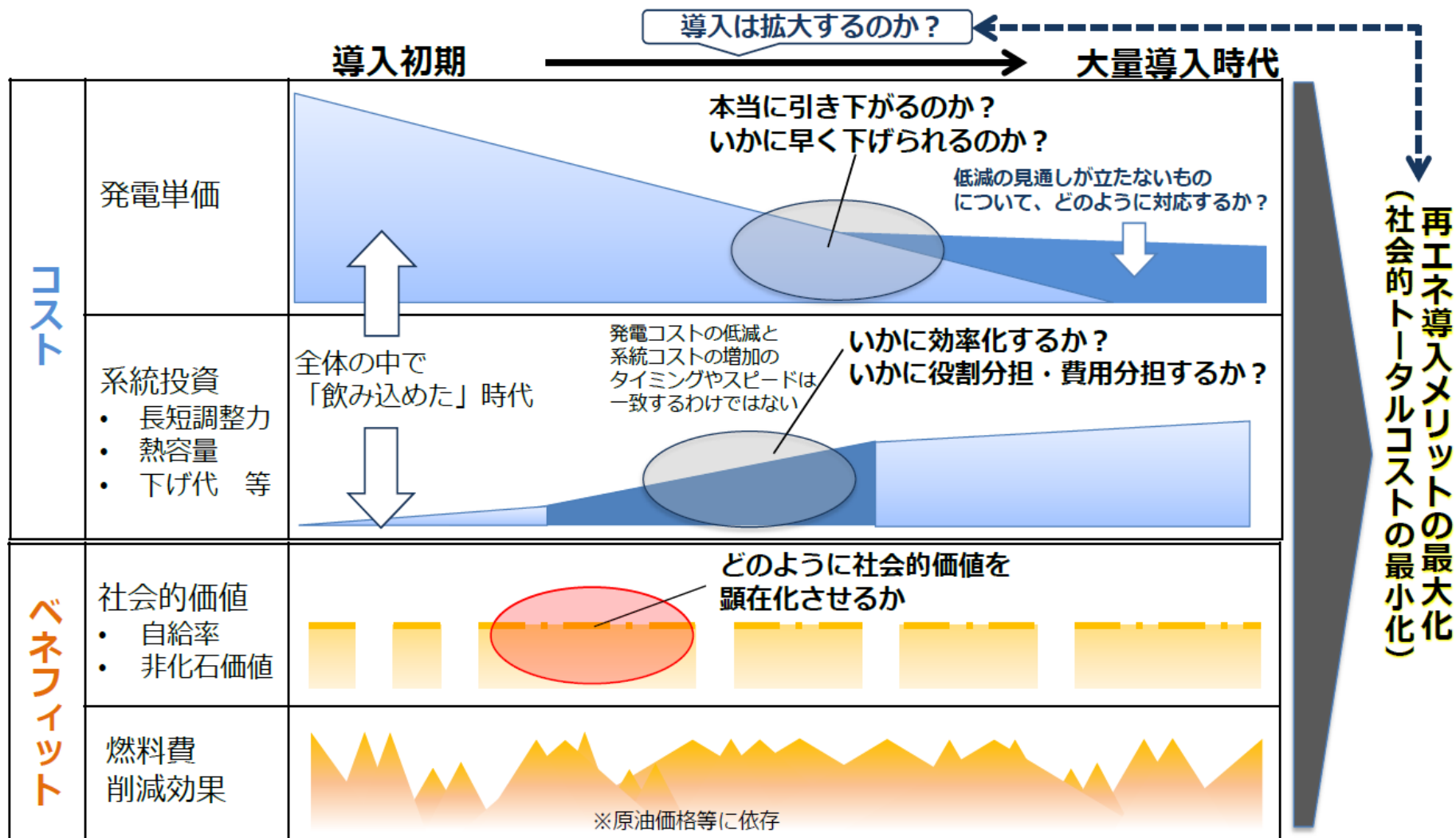
- ◆ 再エネの更なる拡大のためにはFITコストの削減とシステムコストの抑制が不可欠。

<FIT買取費用>



再エネ発電コストは低下しても系統コストは増大

- ◆ 再エネの発電コストは低下傾向（但し日本は世界レベルに比して高い）にあるが、変動性再エネの増大は系統関連コストを増大させる。これは変動性再エネに由来するコストであり、再エネコストは両者を合計して考えるべき



2030年目標をめぐるリスクと課題

- 想定されるシナリオ
- ◆ シナリオ1：原子力の再稼動・運転期間延長でエネルギーミックスを実現→実現可能？
- ◆ シナリオ2：再稼動が進まない中で電力料金の上昇を避けられる範囲内で化石燃料、再エネを併用→26%目標が達成不可能に（ただしパリ協定上、目標達成や引き上げは法的義務ではない）
- ◆ シナリオ3：再稼動が進まない中で26%を達成するため、省エネ、再エネを大幅に積み増し→ボトムアップで策定された26%目標のトップダウン化。エネルギーコストが大幅に上昇。経済、産業競争力への影響
- ◆ シナリオ4：再稼動が進まない中で26%を達成するため、排出量取引等の管理経済手法を導入し、不足分は海外クレジットを購入→26%目標のトップダウン化。「空気」を買うための国富の流出、管理経済的手法の導入を招来。
- 米国が国益最優先の政策をとる中で、原発再稼動が進まない場合の対応方針、今後の目標見直しについては日本経済、産業競争力への影響を十分考慮すべき。
- パリ協定の本質は各国は自国の国情に応じて目標を設定するというボトムアップの枠組み。→他国の眼を気にして野心的な目標を設定し、自縄自縛になるリスクの高い国日本

第5次エネルギー基本計画

- 2030年に向けて～エネルギーミックスの確実な実現
 - ◆ 再エネ：電源構成比率22～24%
 - ◆ 原子力：電源構成比率20～22%
 - ◆ 化石燃料：電源構成比率56%
 - ◆ 省エネ：実質エネルギー効率35%減

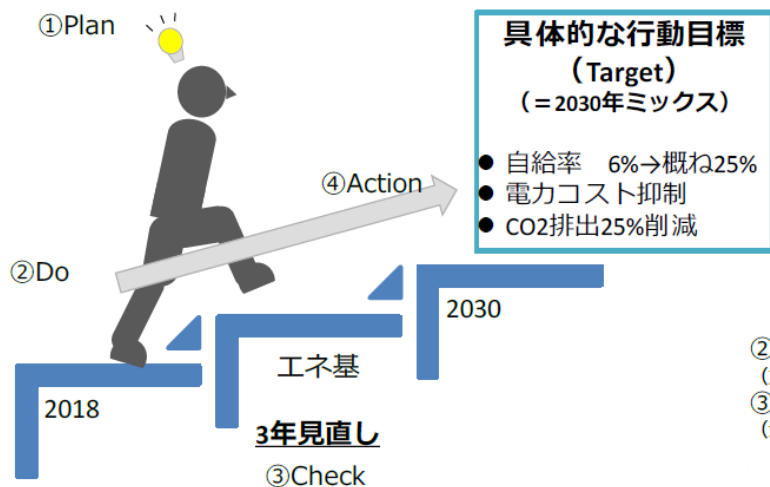
- 2050年に向けて～「エネルギー転換」と「脱炭素化」への挑戦→ 長期戦略に反映「2050年温室効果ガスを80%削減」に向け、エネルギー転換、脱炭素化に挑戦。技術革新による大きな可能性と不確実性。2050年の目標数値（エネルギーミックス）は示さず、野心的シナリオを複数用意した上で、あらゆる選択肢を追求。最新情報と技術の動向に基づいた科学的なレビューを実施。
 - ◆ 再エネ：経済的に自立し「脱炭素化」した主力電源化をめざす。
 - ◆ 原子力：実用段階にある「脱炭素化」の選択肢のひとつ。人材・技術・産業基盤の強化により、安全性・経済性・機動性にすぐれた原子炉の追求、バックエンド問題の解決に向けた技術開発を推進。
 - ◆ 化石燃料：エネルギー転換の過渡期において主力エネルギー源として必要。資源外交を強化。よりクリーンなガス利用にシフトし、非効率な石炭火力発電はフェードアウト
 - ◆ 技術革新：水素、蓄電池等。

不確実性下の長期戦略の在り方

- 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



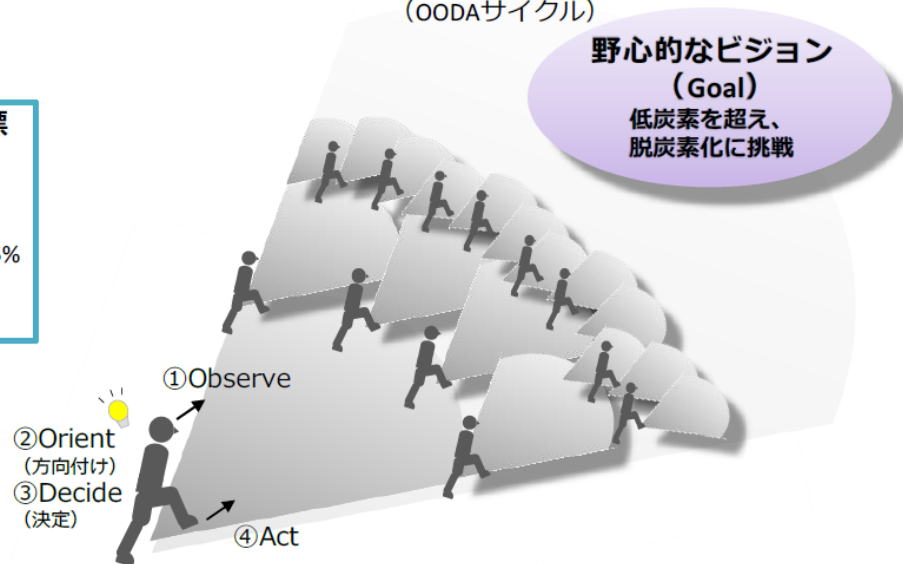
実現重視の直線的取組
(PDCAサイクル)



- 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)



出所: エネルギー情勢懇談会

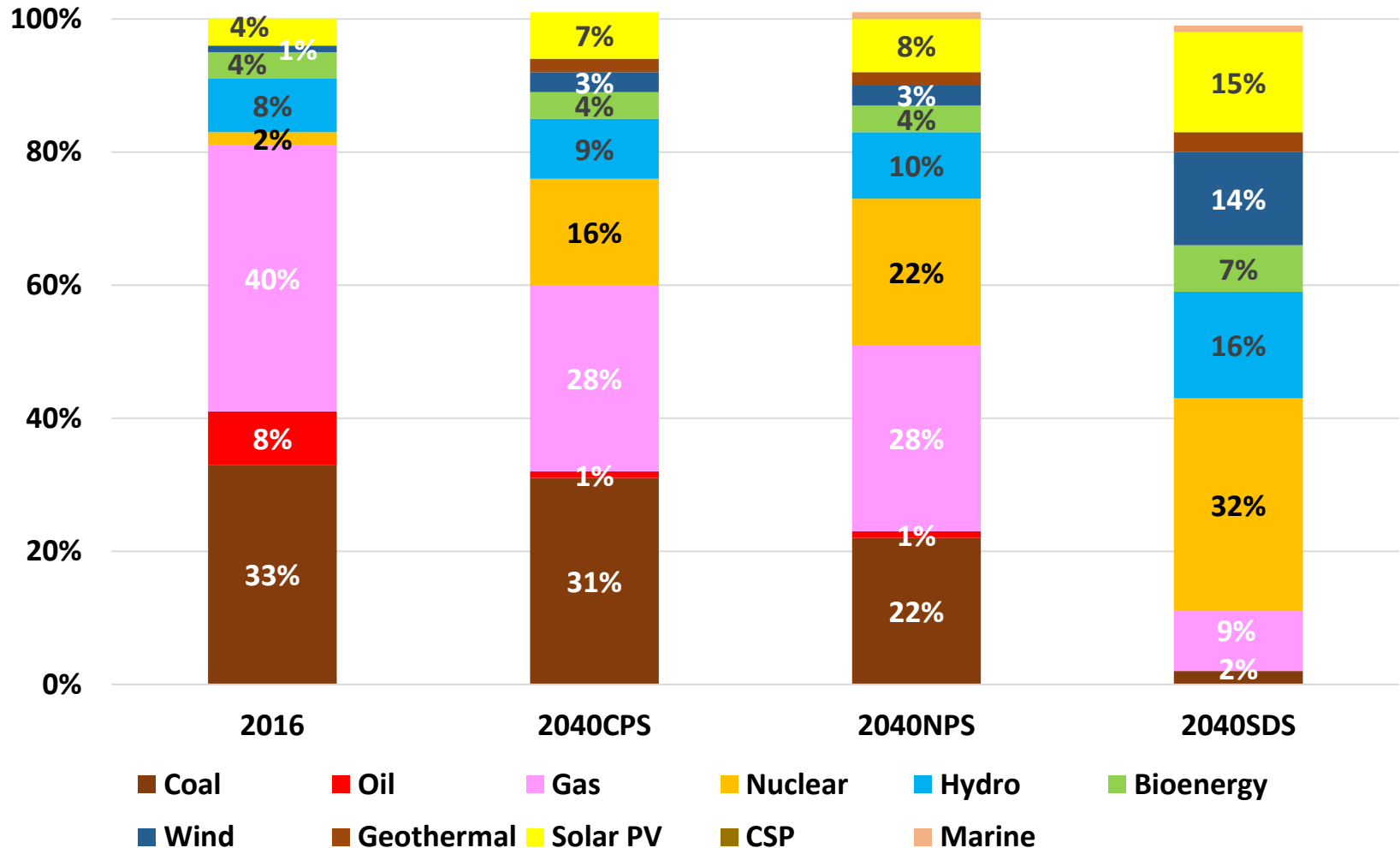
「多様性を加味したしなやかな複線シナリオ」の下では特定の技術の決め打ち／排除をせず、エネルギー転換、脱炭素化に向けたあらゆる技術的選択肢の可能性を追求。

脱炭素化に向けたエネルギーシステムの課題

同時 着手	脱炭素化	電力システム			熱システム	輸送システム
		原子力	再エネ	火力		
		低炭素化		① 国内価格低下		省エネ
			① 火力KW維持 ② NW開放		石油ガスの資源確保	
	脱炭素化	①安全向上 ②経済性向上 ③機動性向上 ④廃棄物軽減	①-1 水素システム			FCV
			①-2 蓄電			EV
			①-3 デジタル化システム			CV
			NW開放 + 基幹NW再構築			+インフラ再構築
			レアメタルなどの資源確保・自国技術化			
	分散化	①小型化	①小型化 (再エネ・蓄電)	①改良コジェネ	貯蔵転用	
		NW開放 + 基幹NW再構築 + 分散NW構築・基幹NW回収不能への対応				

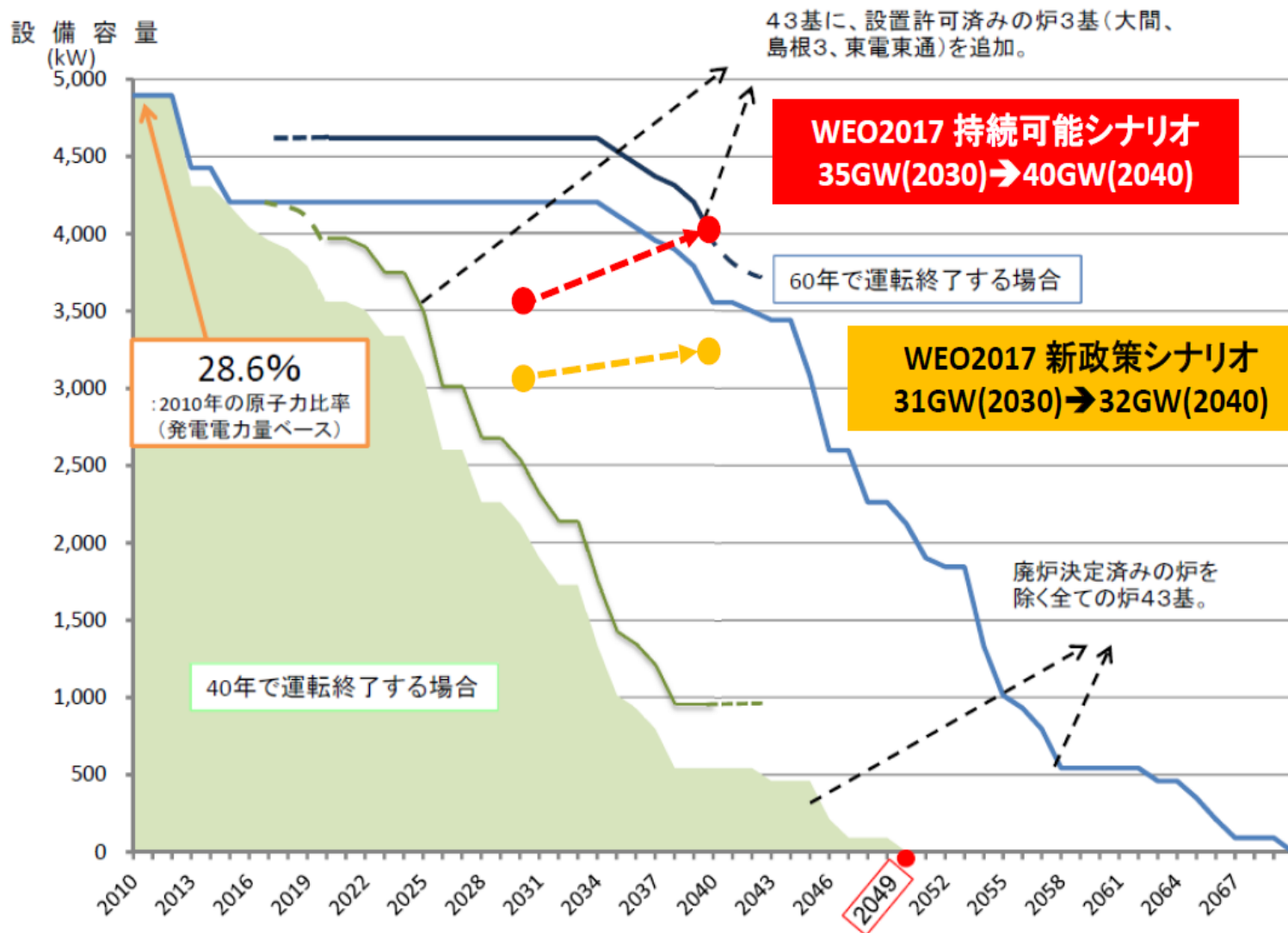
原子力は再エネと共に長期脱炭素化に必要

◆ WEO 2017 のSDSでは日本については再エネと並んで原発のシェア拡大の必要性を示唆。リプレイス、新增設を想定。



長期の低炭素化と原子力

- ◆ 2030年以降の長期温室効果ガス大幅削減に取り組むならば原子力の設備容量低下を放置すべきではない。



原子力議論の先送り

- 原油価格低下による電力料金の見かけ上の落ち着き、根強いネガティブな世論、脱原発で一致した野党等を背景に原発リプレース、新增設についての難しい議論を回避する傾向（原発に政治資源を費やしたくない）
- 中長期の脱炭素化のため、「原子力は実用段階にある脱炭素化の選択肢」、「安全炉の追求」としつつ、具体的方針は「安全性の確認された既存原発の再稼働」とどまり、「原発のリプレース、新增設」については沈黙。
- 再エネやバッテリーのコストも低下している中で、原子力を中長期の脱炭素化の手段として決め打ちする必要はないが、脱炭素化エネルギーシステムの一つとして位置付ける以上、他のエネルギーシステムに比してコスト、リスク面全体で優れたパフォーマンスを示すならばリプレース、新增設されるとの方針を明確化すべき。
- 電力自由化の中で巨額な初期費用を要する原発の事業環境は厳しい。安全炉の追求、原子力の産業、技術、人材の育成を打ち出しても、リプレース、新增設についての方向性が不透明であれば民間企業が呼応できない。
- 原発リプレース、新增設には長いリードタイムが必要。既存炉が順次、運転期間を終えていく中で議論の先送りは中長期的な原子力オプションの活用を事実上、封印することとなり、「戦略なき脱原発」への漂流を招く。

究極的にはイノベーションがカギ

- ◆ 人々の利便性を損なわずに脱炭素化を行うためには既存技術への補助金垂れ流しではなく、革新的技術開発が必要。

<p>エネルギーシステム 統合技術</p>	<p>○革新技術を個別に開発・導入するだけでなく、ICTによりエネルギーの生産・流通・消費を互いにネットワーク化し、デマンドレスポンス（DR）を含めてシステム全体を最適化。AI、ビッグデータ、IoT等を活用。</p>		
<p>システムを構成する コア技術</p>	<p>○次世代パワエレ：電力損失の大幅削減と、新たなシステムの創造 ○革新的センサー：高耐環境性、超低電力、高寿命でメンテナンスフリー ○多目的超電導：モーターや送電等への適用で、電力損失を大幅減</p>		
<p>分野別革新技術</p>	<p>省エネルギー</p> 	<p>1 革新的 生産プロセス</p>	<p>○高温高圧プロセスの無い、革新的な素材技術 ➢ 分離膜や触媒を使い、20～50%の省エネ</p>
		<p>2 超軽量・ 耐熱構造材料</p>	<p>○材料の軽量化・耐熱化によるエネルギー効率向上 ➢ 自動車重量を半減、1800℃以上に安定適用</p>
	<p>蓄エネルギー</p> 	<p>3 次世代 蓄電池</p>	<p>○リチウム電池の限界を超える革新的蓄電池 ➢ 電気自動車が、1回の充電で700km以上走行</p>
		<p>4 水素等製造・ 貯蔵・利用</p>	<p>○水素等の効率的なエネルギーキャリアを開発 ➢ CO₂を出さずに水素等製造、水素で発電</p>
	<p>創エネルギー</p> 	<p>5 次世代 太陽光発電</p>	<p>○新材料・新構造の、全く新しい太陽光発電 ➢ 発電効率2倍、基幹電源並みの価格</p>
		<p>6 次世代 地熱発電</p>	<p>○現在は利用困難な新しい地熱資源を利用 ➢ 地熱発電の導入可能性を数倍以上拡大</p>
	<p>7 CO₂固定化・ 有効利用</p>	<p>○排ガス等からCO₂を分離回収し、化学品や炭化水素燃料の原料へ転換・利用 ➢ 分離回収エネルギー半減、CO₂削減量や効率の格段の向上</p>	

まとめ

- 各国政府は多くの政策課題に直面しており、温暖化防止が至高のプライオリティではない。その傾向は温室効果ガス排出が今後急増する途上国ほど強い。
- 温暖化防止の成否はエネルギーミックスに依存。あらゆる経済活動のベースとなるエネルギー（電力）のコスト増につながる対策は政治的・経済的に持続可能ではない。
- 日本のエネルギーコストは主要貿易相手国であるアジア太平洋地域に比して非常に高く、更なるコスト増は国際競争力に悪影響を与える。
- 温暖化の科学、損害の度合い、技術進歩、化石燃料価格、地政学、地経学的リスク等、将来に向けて多くの不確実性が存在。他方、温暖化対策は短中期的にコストがかかる。
→ 費用対効果の高いエネルギーミックス、温暖化対策を追求すべき。
- 日本のような無資源国で原子力と再エネを二者択一で捉えることは大きな誤り。再エネ主力電源化は「経済的に自立した（補助金に頼らない）」非化石電源であることが前提。
- エネルギーミックスの議論はプラグマティズムに基づく冷静なものであるべき。硬直的な目標をかけた、特定の技術（再エネ）を推進、特定の技術（原子力）を排除するような原理主義的対応はエネルギーコスト、温暖化対策コストを上げ、長期の温暖化防止の取り組みにとってかえってマイナス。

ご清聴ありがとうございました

