電力のエネルギーシフトは本当に難しいのか？

石炭火力を考える東京湾の会ウェビナー
【平田仁子さんゴールドマン環境賞受賞記念講演】

2021年7月21日

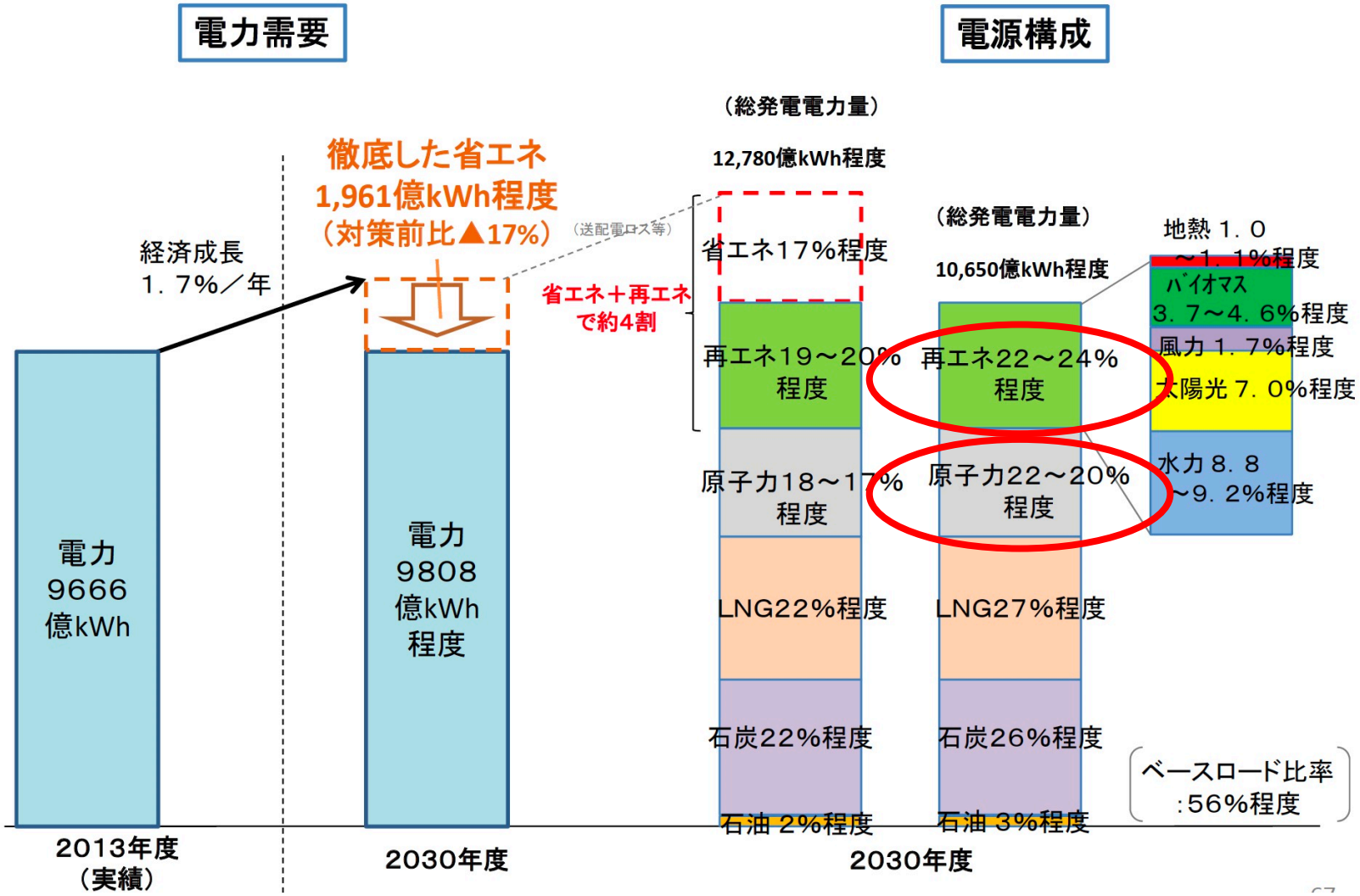
龍谷大学
大島堅一

内容

1. エネルギー利用はどうかわったか
2. カーボンニュートラルを目指す
3. 原子力を残すか、再エネ100％か
4. 環境保全社会をつくる
5. まとめ

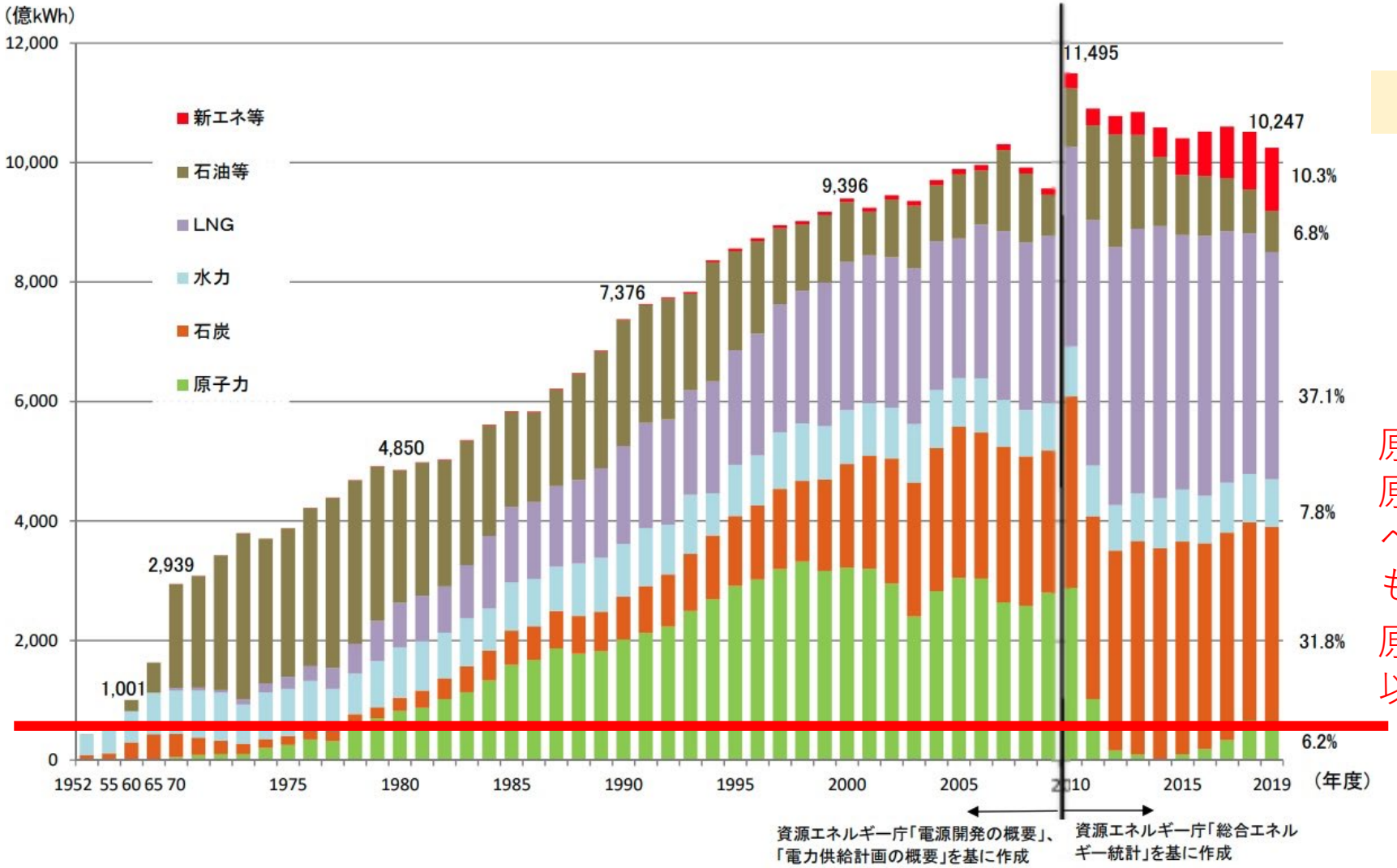
エネルギー利用はどうかわったか

今のエネルギー基本計画(2018年)
2030年の電源構成目標（長期エネルギー需給見通し）



出所：経済産業省（2015）「長期エネルギー需給見通し」

大きく変わった電源構成



再エネ比率は18.1%に

原発比率は6.2%
原発は基幹電源でも
ベースロード電源で
もない。

原発の発電量は40年
以上前の水準

出所：エネルギー白書2021, p.134 (https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/pdf/)

カーボンニュートラルを目指す

菅首相の「カーボンニュートラル宣言」

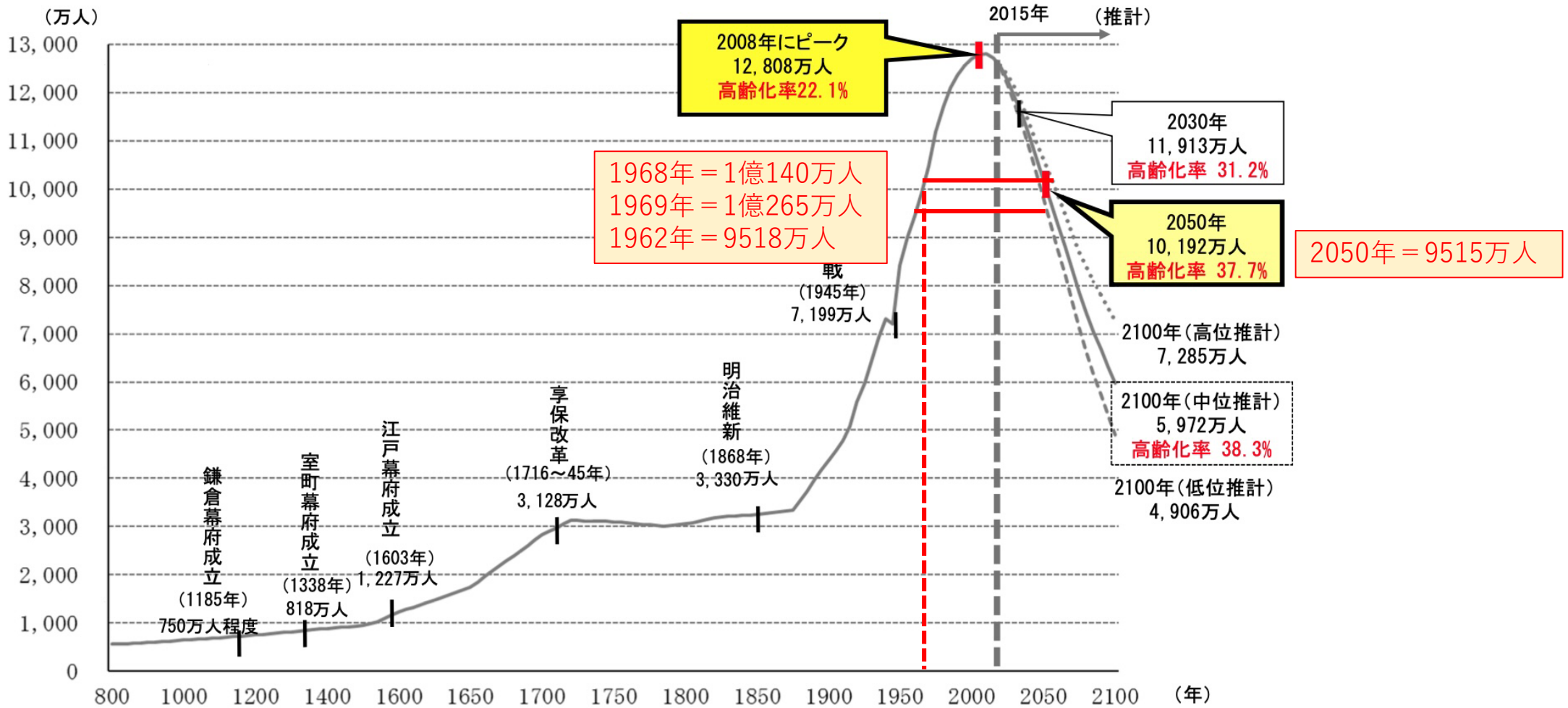
- 第203回国会参議院本会議、菅義偉首相の所信表明演説

「我が国は、二〇五〇年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち二〇五〇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。」

「 鍵となるのは、次世代型太陽電池、カーボンリサイクルを始めとした革新的なイノベーションです。実用化を見据えた研究開発を加速度的に促進します。規制改革などの政策を総動員し、グリーン投資の更なる普及を進めるとともに、脱炭素社会の実現に向けて、国と地方で検討を行う新たな場を創設するなど、総力を挙げて取り組みます。環境関連分野のデジタル化により、効率的、効果的にグリーン化を進めていきます。世界のグリーン産業を牽引し、経済と環境の好循環をつくり出してまいります。」

「省エネルギーを徹底し、再生可能エネルギーを最大限導入するとともに、安全最優先で原子力政策を進めることで、安定的なエネルギー供給を確立します。長年続けてきた石炭火力発電に対する政策を抜本的に転換します。」

2050年はどんな時代か



（出典）1920年までは、国土庁「日本列島における人口分布の長期時系列分析」（1974年）、1920年からは総務省「国勢調査」。なお、総人口のピーク（2008年）に係る確認には、総務省「人口推計年報」及び「平成17年及び22年国勢調査結果による補間補正人口」を用いた。2020年からは 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成29年推計）」を基に作成。

出所：国土交通省(2021)「『国土の長期展望』中間とりまとめ　参考資料」p.2

2050年にむけて環境保全型社会をつくる

- カーボンニュートラル宣言（2020年10月26日）
  - 2020年10月26日　国会における菅義偉首相の宣言。2050年にカーボンニュートラルを実現。
  - NDC（Nationally Determined Contributions)にむけたもの。
- グリーン経済成長戦略
  - 2020年12月25日、2021年6月18日
- 2030年度、温室効果ガス46％削減（2013年度比）を決定
  - 地球温暖化対策推進本部（2021年4月26日）
- エネルギー基本計画？

→　もともと5～6月をめどに作成するはずだった。

→　「2030年46％削減」

→　2021年8月～　パブコメへ

グリーン成長戦略
（2020年12月25日、2021年6月18日）

- エネルギー基本計画の内容を先取りした内容になっている。
- 再生可能エネルギー　50～60％
- 水素・アンモニア発電　10％
- 脱炭素火力　＋　原子力　（電源の30～40％？）

※　脱炭素火力などという英語は無い。

※　大型火力（石炭火力）を温存する。

脱炭素火力？

- CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage: 炭素回収・利用・貯留)
  - 利用は極めて限定的。
- CCS（Carbon Capture and Storage: 炭素回収貯留）
  - 石油、天然ガスの採掘との組み合わせ
    - 石油：EOR、石油増進回収法
    - 天然ガス：CO2含有率の高い天然ガスから取り出し、石油採掘のために再利用。
  - 資源の存在、高いCO2価格、強い規制のもとで実施事例がある。
    - ノルウェーのSleipnerプロジェクト
    - カナダ、サスカチュワン州のバウンダリーダム石炭火力
  - 大規模工業プロセスにおいては採算性はない。（Garðarsdóttir et al., 2018）

石炭火力・・（根拠無く）安いと報道されてきた

『朝日新聞』2019年5月23日社説

事業者が石炭火力に頼るのはコストが安いからだ。転換を促すには、 炭素税 や 排出量取引 のような カーボンプライシング を本格的に導入し、ＣＯ２排出に伴う社会的コストを価格に反映させる仕組みが欠かせない。

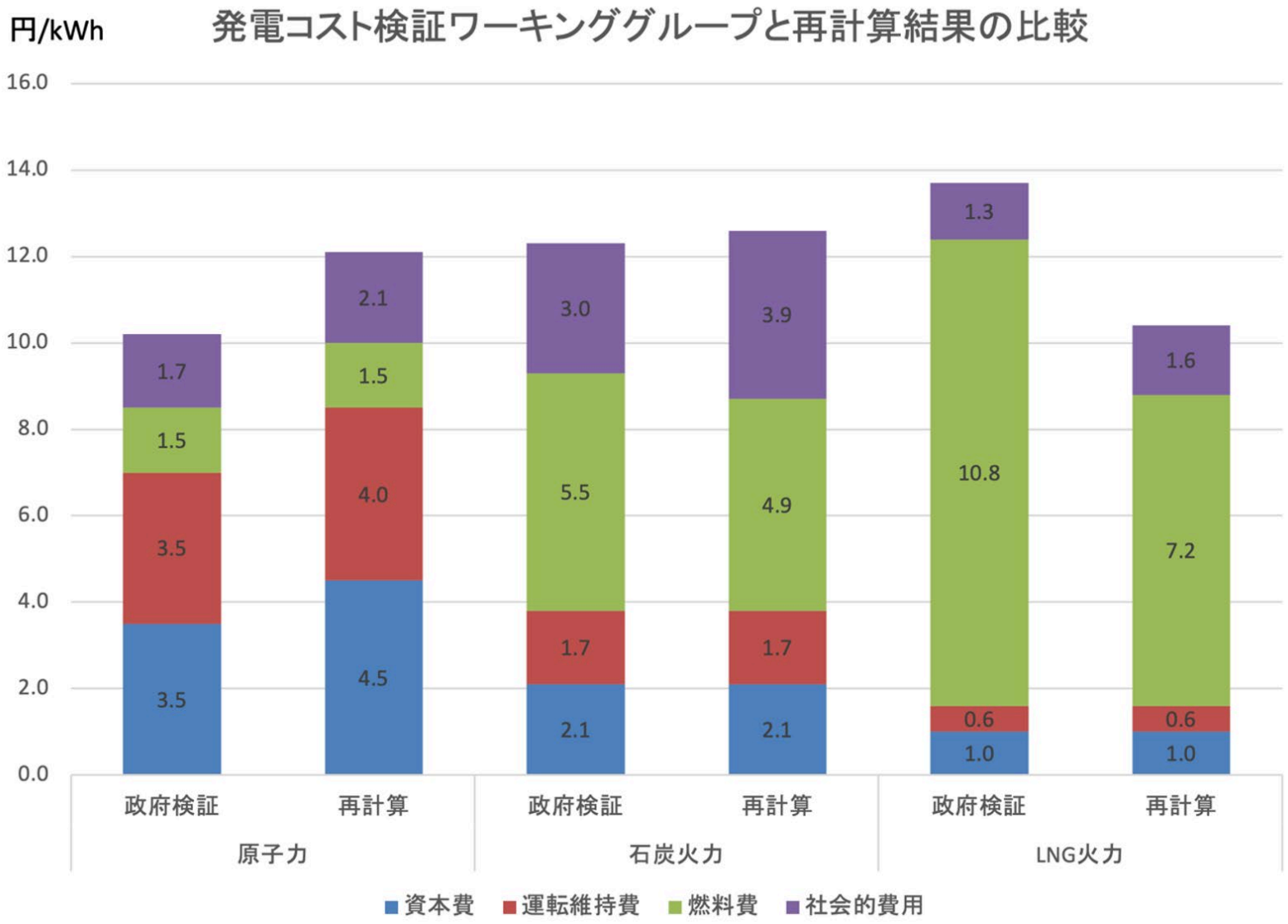
『読売新聞』2020年7月4日社説

石炭は調達が容易で、コストが安い。安定して発電できる。反面、ＬＮＧ火力と比べて約２倍のＣＯ２を排出してしまう。

NHK政治マガジン「古い石炭火力発電所発電量9割程度へ調整　政府」2020年7月2日
https://www.nhk.or.jp/politics/articles/lastweek/40833.html

これは、燃料となる石炭の価格が原油や天然ガスと比べても安く、世界各地で産出されるため安定して調達できるメリットがあるためです。

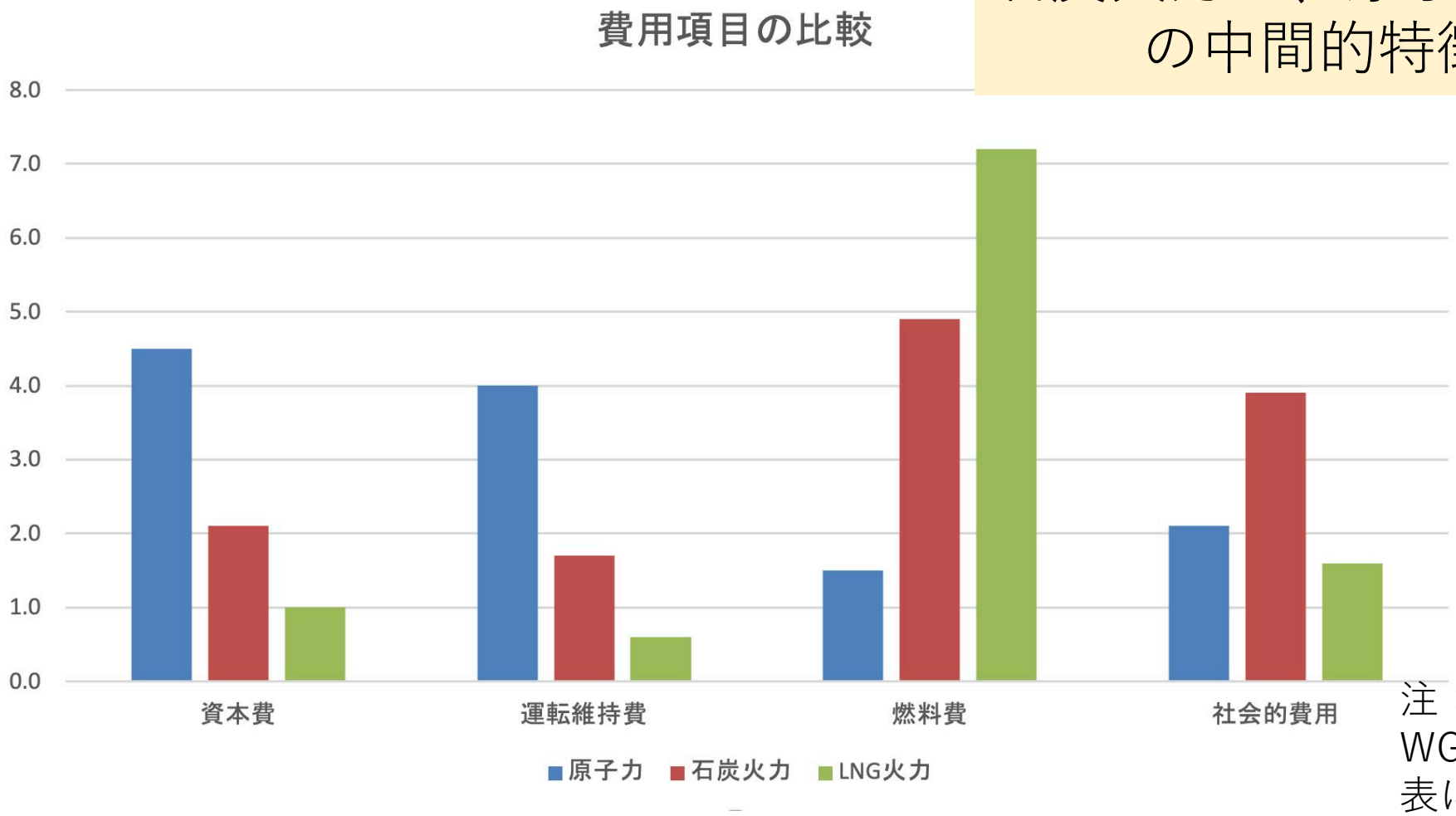
従来電源で最も高いのは石炭火力



注：発電コスト検証WG(2015年）のエクセル表に基づき筆者試算。

費用項目の比較

石炭火力は、原子力とLNG火力の中間的特徴を持つ



注：発電コスト検証WG(2015年）のエクセル表に基づき筆者試算。

2020年の電源別発電コスト試算の結果概要

均等化発電原価(LCOE)は、標準的な発電所を立地条件等を考慮せずに新規に建設し所定期間運用した場合の「総発電コスト」の試算値。政策支援を前提に達成するべき性能や価格目標とも一致しない。

1．各電源のコスト面での特徴を踏まえ、どの電源に政策の力点を置くかといった、**2030年に向けたエネルギー政策の議論の参考材料**とする。

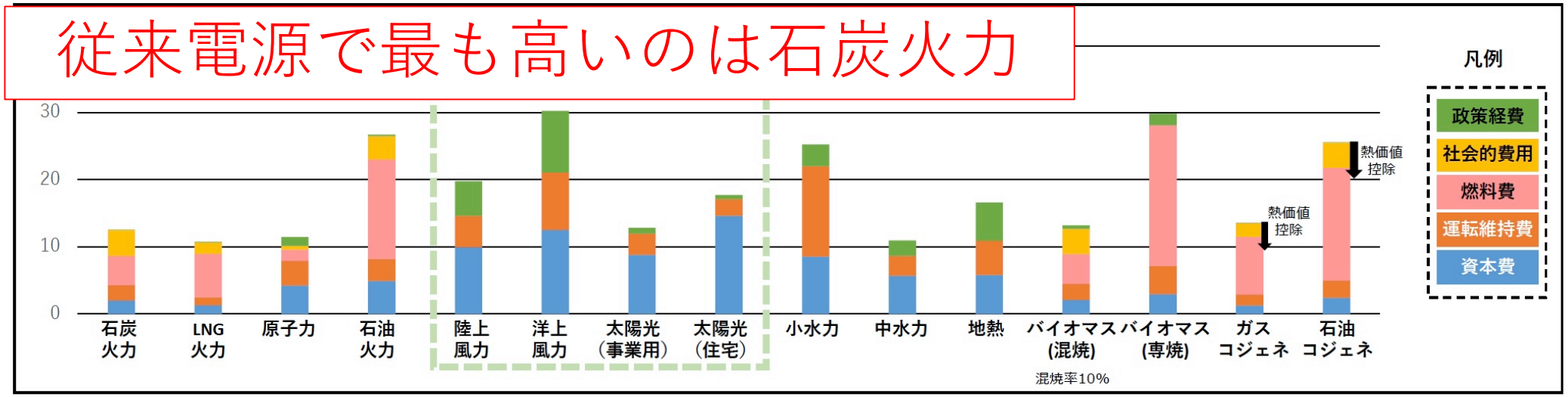
2．**2020年**に、**新たな発電設備を更地に建設・運転**した際の**kWh当たりのコスト**を、**一定の前提で機械的に試算**。
（**既存の発電設備を運転するコストではない**）。

3．事業者が**現実に発電設備を建設**する際は、ここで示す**発電コストだけでなく**、**立地地点毎に異なる条件を勘案して総合的に判断**される。

電源	石炭火力	LNG火力	原子力	石油火力	陸上風力	洋上風力	太陽光（事業用）	太陽光（住宅）	小水力	中水力	地熱	バイオマス（混焼）	バイオマス（専焼）	ガスコジェネ	石油コジェネ
発電コスト（円/kWh）※（ ）内は政策経費なしの値	12円台後半（12円台後半）	10円台後半（10円台後半）	11円台後半～（10円台前半～）	26円台後半（26円台後半）	19円台後半（14円台後半）	30円台前半（21円台前半）	12円台後半（12円台前半）	17円台後半（17円台前半）	25円台前半（22円台前半）	10円台後半（8円台後半）	16円台後半（10円台後半）	13円台前半（12円台後半）	29円台後半（28円台前半）	9円台前半～10円台後半（9円台前半～10円台後半）	19円台後半～24円台前半（19円台後半～24円台前半）
設備利用率 稼働年数	70% 40年	70% 40年	70% 40年	30% 40年	25.4% 25年	30% 25年	17.2% 25年	13.8% 25年	60% 40年	60% 40年	83% 40年	70% 40年	87% 40年	72.3% 30年	36% 30年

（注１）グラフの値はOECD（2020）「World Energy Outlook 2020」の公表済政策シナリオの数値を表示。コジェネは、CIF価格で計算したコストを使用。

従来電源で最も高いのは石炭火力



原子力の感度分析（円/kWh）	
廃止措置費用２倍	試算中
事故廃炉・賠償費用等１兆円増	試算中
再処理費用及びＭＯＸ燃料加工費用２倍	試算中

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 試算中	LNG 試算中	石油 試算中

（注２）OECD（2020）「Projected Cost of Generating Electricity 2020」等を参考にして試算

発電コスト検証ワーキンググループ（2012）「発電コスト検証に関するこれまでの議論について」総合資源エネルギー調査会発電コスト検証ワーキンググループ（第7回会合）資料2、p.4

2030年の電源別発電コスト試算の結果概要

均等化発電原価(LCOE)は、標準的な発電所を立地条件等を考慮せずに新規に建設し所定期間運用した場合の「総発電コスト」の試算値。政策支援を前提に達成するべき性能や価格目標とも一致しない。

1．各電源のコスト面での特徴を踏まえ、どの電源に政策の力点を置くかといった、**2030年に向けたエネルギー政策の議論の参考材料**とする。

2．**2030年**に、**新たな発電設備を更地に建設・運転**した際の**kWh当たりのコスト**を、**一定の前提で機械的に試算**。（**既存の発電設備を運転するコストではない**）。

3．2030年のコストは、燃料費の見通し、設備の稼働年数・設備利用率、太陽光の導入量などの**試算の前提を変えれば、結果は変わる**。

4．事業者が**現実に発電設備を建設**する際は、ここで示す**発電コストだけでなく**、**立地地点毎に異なる条件を勘案して総合的に判断**される。

5．**太陽光・風力（自然変動電源）の大量導入**により、**火力の効率低下や揚水の活用などに伴う費用（電力システムへの「統合コスト」）が高まる**ため、これも考慮する必要がある。
この費用について、今回は、系統制約等を考慮しない機械的な試算（参考①）に加え、**系統制約等を考慮したモデルによる分析**も実施し、**参考として整理**（参考②）。

電源	石炭火力	LNG火力	原子力	石油火力	陸上風力	洋上風力	太陽光（事業用）	太陽光（住宅）	小水力	中水力	地熱	バイオマス（混焼）	バイオマス（専焼）	ガスコジェネ	石油コジェネ
発電コスト（円/kWh）※（ ）は政策経費 なしの値	13円台後半～22円台前半（13円台後半～22円台前半）	10円台後半～14円台前半（10円台後半～14円台前半）	11円台後半～（10円台前半～）	24円台後半～27円台後半（24円台後半～27円台後半）	9円台後半～17円台前半（8円台前半～13円台後半）	26円台前半（18円台前半）	8円台前半～11円台後半（7円台後半～11円台前半）	9円台後半～14円台前半（9円台後半～13円台後半）	25円台前半（22円台前半）	10円台後半（8円台後半）	16円台後半（10円台後半）	14円台前半～22円台後半（13円台後半～22円台前半）	29円台後半（26円台後半）	9円台後半～10円台後半（9円台後半～10円台後半）	21円台前半～25円台後半（21円台後半～25円台後半）
設備利用率 稼働年数	70% 40年	70% 40年	70% 40年	30% 40年	25.4% 25年	30% 25年	17.2% 25年	13.8% 25年	60% 40年	60% 40年	83% 40年	70% 40年	87% 40年	72.3% 30年	36% 30年

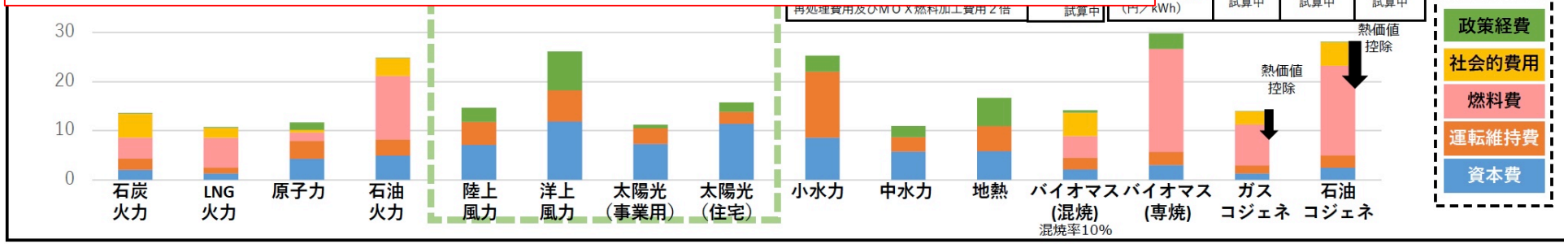
従来電源で最も高いのは石炭火力

…オの数値を表示。コジェネは、CIF価格で計算したコストを使用。

化石燃料価格の感度分析（円/kWh）

各１０％の…半う影響（円/kWh）	石炭 試算中	LNG 試算中	石油 試算中

再処理費用及びＭＯＸ燃料加工費用２倍 試算中



参考① 電源立地や系統制約を考慮しない機械的な試算（2015年の手法を踏襲）

「系統が理想的な形で整備されたと仮定し、日本全体で電力需給が瞬時に調整される」前提を置いても、なお生じる追加費用（火力効率低下や揚水活用等の費用）を統合コストとして試算。

自然変動電源の導入量・割合※	統合コスト
1065億kWh（10%）程度	年間5,300億円
1597億kWh（15%）程度	年間8,260億円
2130億kWh（20%）程度	年間1兆900億円

暫定値
新たな2030ミックス確定後に改めて試算を行う

※ 導入割合は総発電電力量が１兆650億kWhの場合

参考② 電源立地や系統制約を考慮した、モデルによる分析・試算（委員による分析※）

●2030年の電源構成における系統制約を前提に、各電源を一定量増やした場合に電力システム全体として生じる「統合コスト」（火力効率低下や揚水活用等の費用）を、増加させた電源に全て帰属させた場合のコストは、左図の通り。
青棒：新たな発電設備を更地に建設・運転した際のkWh当たりのコスト
黄色ドット：帰属させた後の費用

※ 第5回発電コスト検証WGにおける委員発表資料より引用。

4

発電コスト検証ワーキンググループ（2012）「発電コスト検証に関するこれまでの議論について」総合資源エネルギー調査会発電コスト検証ワーキンググループ（第7回会合）資料2、p.4

原子力を残すか、再エネ100％か

「再エネも必要、原子力も必要」か？

- 3E＋S
  - Energy Security　エネルギー安全保障
  - Economy　経済効率性
  - Environment　環境適合性
  - Safety　安全性
- 「バランス良いエネルギー構成」

＝「再エネも必要、原子力も必要」？？？

パーフェクトなエネルギーであれば
民間事業者に任せておけば急増するはず。

→原発はいずれも満たさない

再エネ100％は社会が選択できる
～IPCC SR15における排出経路の評価

- 再生可能エネルギー
  - 1次エネルギーに占める再エネの割合は2050年に38～88％に達する。
  - バイオマス、風力、太陽光、水力の割合は、経路によって異なる。
- 原子力
  - 絶対量・シェアともに増えるモデル、絶対量・シェアともに減少するシナリオがある。
  - 「社会的選好によって、原子力の将来的な展開が制約されうる」ためである。

  出所：IPCC (2018), *Global Warming of 1.5 °C*, p.131
- つまり、数多くのモデルを評価したIPCC SR15の記述に基づけば

  脱原発シナリオと気候変動対策は両立しうる。原子力発電量・シェアは、社会が選択できる。

  ※　IPCCは評価していないが、原子力は、資源制約（ウラン資源）があるので、いずれ再エネ100％に移行しなければならない。

原子力とCO2排出削減(1)

- 最も高コスト
  - 世界のエネルギー関連のCO2排出量50％削減のために12億kW必要。そのための総コストは4兆ドル（＝400兆円）の追加投資。
  - 次世代技術になると、コストが上がる。（ネガティブラーニング）

  → 再エネは逆。（次世代技術になるとコストが下がる）
- 再エネと原子力は、電力システムの最適化のあり方が違い、矛盾する。
  - 再エネ＝小規模分散：
  - 原子力＝大規模集中：リードタイムの長い発電所の建設、大規模集中電源をベースロードとして使用。安全規制、セキュリティ、放射性廃棄物管理・処分、災害や外的攻撃への対処。→高コスト化

原子力とCO2排出削減(2)

- 原子力発電と再エネのCO2排出削減への影響
  - 世界123カ国、25年間のデータ分析により判明。

  1）原子力発電量の多さは、CO2排出削減に影響を与えない。

  2）再生可能エネルギー導入量の多さは、CO2排出削減に影響を与える。
- 原子力発電と再エネの利用は相互に矛盾する

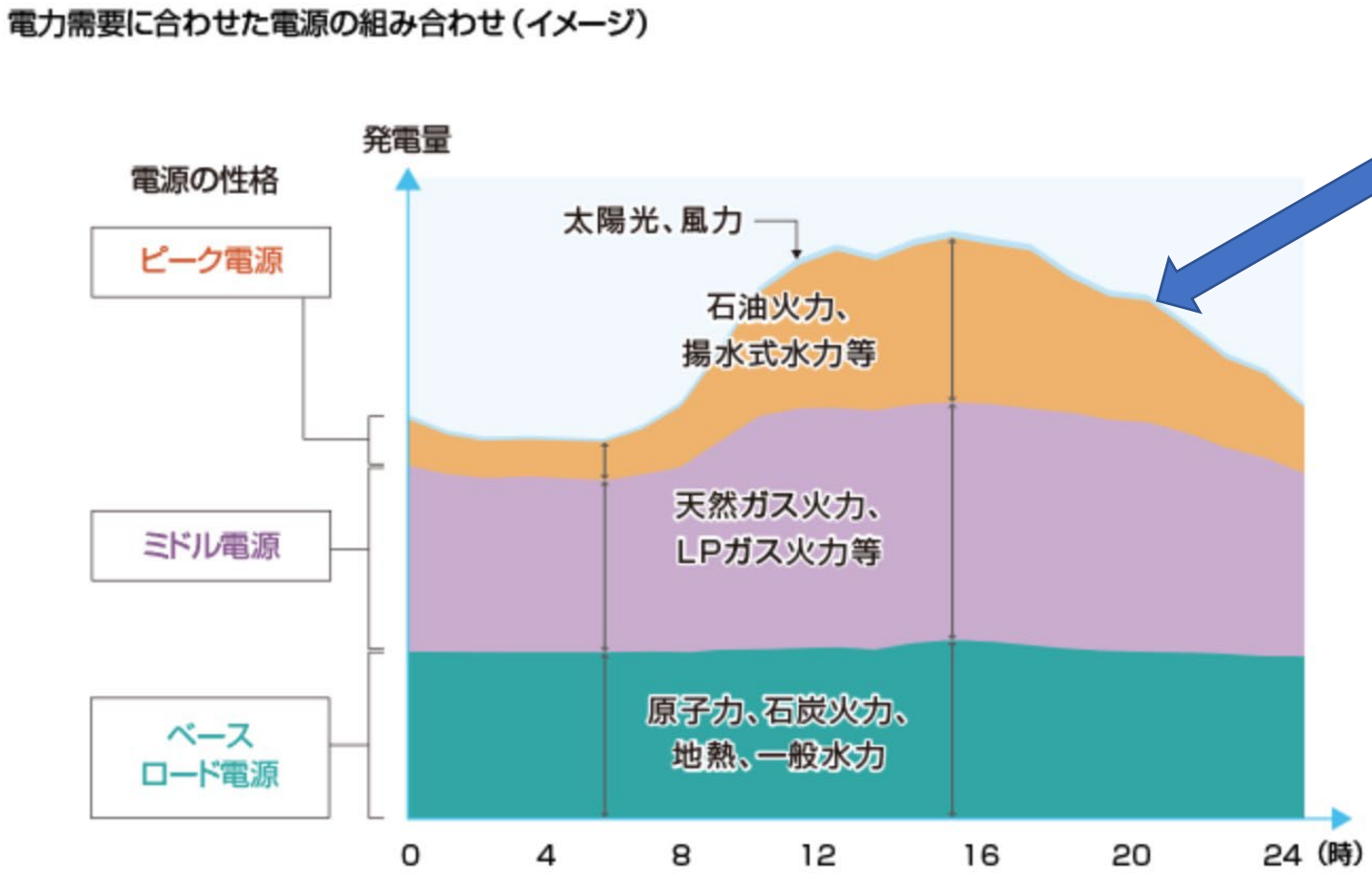
  1）原子力発電に熱心な国は、再エネ導入量が少ない。

  2）再エネに熱心な国は、原子力発電が少ない。

Benjamin K. Sovacool, Patrick Schmid, Andy Stirling, Goetz Walter and Gordon MacKerron (2020), “Differences in carbon emissions reduction between countries pursuing renewable electricity versus nuclear power” *Nature Energy*, Vol.5 928-935

環境保全社会をつくる

電力会社（関西電力）による電源の組み合わせの説明



太陽光・風力が薄皮のように描かれている。

一般市民の理解を妨げる図に基づき広報するのは、

公益事業者としてふさわしくない。

出所：関西電力ホームページhttps://www.kepco.co.jp/energy_supply/energy/nuclear_power/nowenergy/bestmix.html

電力エリア別の再エネ比率（年間平均値）

	RE比率	VRE比率	太陽光	風力	バイオマス	地熱	水力
北海道	24.2%	12.4%	8.2%	4.2%	0.7%	0.3%	10.7%
東北	33.3%	13.7%	9.1%	4.6%	4.1%	1.5%	14.1%
東京	12.7%	7.1%	6.7%	0.4%	1.0%	0.0%	4.6%
北陸	34.6%	5.3%	4.4%	0.9%	1.9%	0.0%	27.4%
中部	17.5%	10.0%	9.6%	0.4%	0.0%	0.0%	7.5%
関西	14.4%	5.8%	5.5%	0.3%	0.0%	0.0%	8.6%
四国	31.2%	15.6%	13.8%	1.9%	3.6%	0.0%	12.0%
中国	20.6%	12.3%	11.5%	0.8%	3.0%	0.0%	5.3%
九州	26.8%	15.8%	14.9%	0.9%	4.3%	1.5%	5.2%
沖縄	6.0%	5.5%	5.1%	0.4%	0.4%	0.0%	0.1%
全国	19.2%	9.5%	8.5%	1.0%	1.5%	0.3%	7.8%
東日本	17.9%	8.9%	7.3%	1.6%	1.6%	0.3%	7.1%
中西日本	20.2%	10.0%	9.4%	0.6%	1.4%	0.3%	8.5%

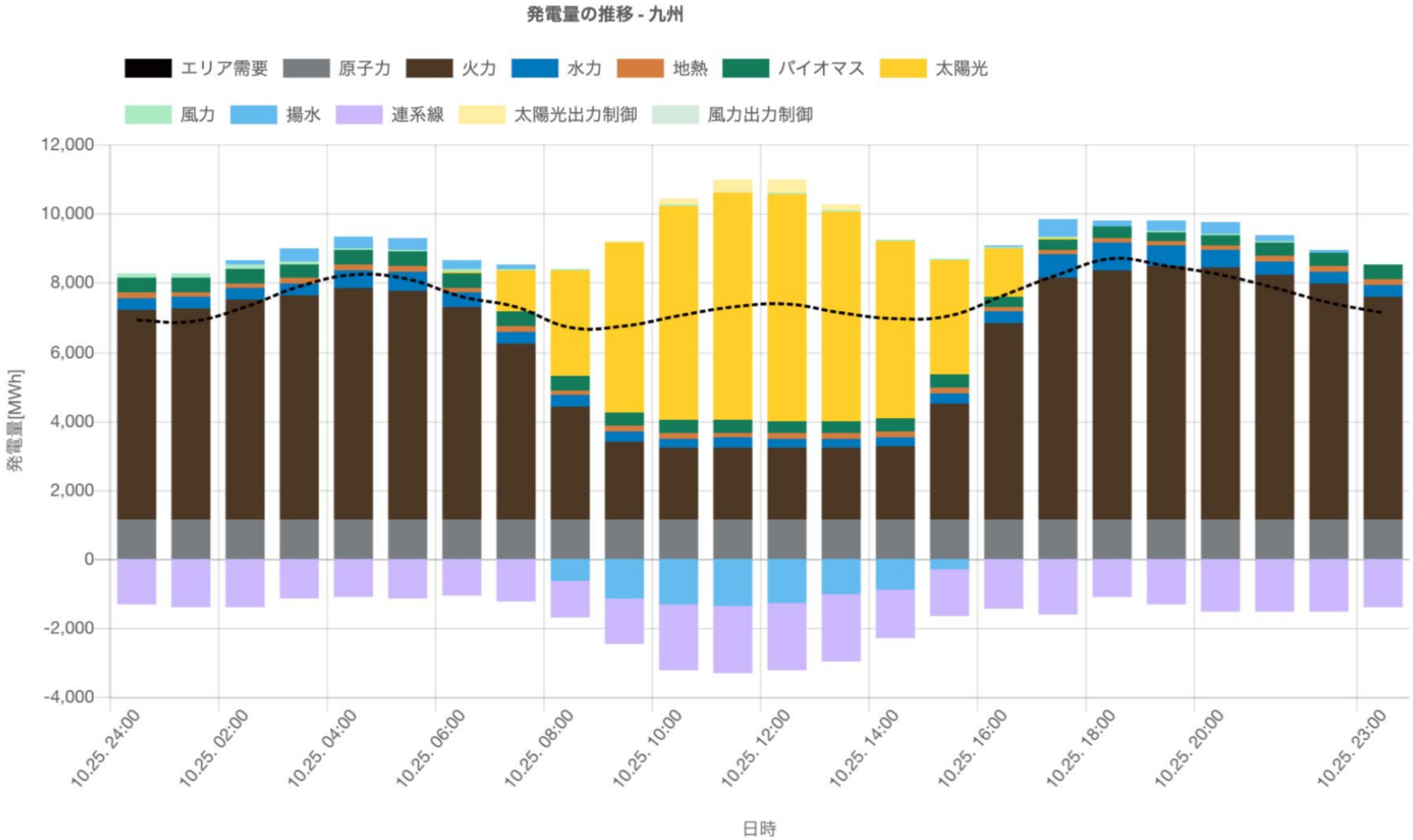
出所：環境エネルギー政策研究所（2021）「【速報】日本国内の電力需給（2020年度）における自然エネルギー割合」（https://www.isep.or.jp/archives/library/13247）より作成。

電力エリア別の再エネ比率（ピーク時）

	RE比率	VRE比率	太陽光	風力	バイオマス	地熱	水力
北海道	88.2%	65.7%	58.8%	13.4%	1.2%	0.7%	31.3%
東北	108.8%	78.3%	72.8%	18.3%	16.5%	2.6%	32.1%
東京	54.9%	48.7%	47.7%	1.7%	1.9%	0.0%	10.5%
北陸	92.5%	43.6%	42.8%	4.3%	3.4%	0.0%	77.0%
中部	82.5%	73.7%	72.7%	2.0%	0.0%	0.0%	20.5%
関西	46.0%	39.3%	39.0%	1.1%	0.0%	0.0%	23.5%
四国	113.7%	91.6%	87.9%	7.3%	7.0%	0.0%	33.8%
中国	97.8%	85.0%	84.7%	4.0%	6.4%	0.0%	15.3%
九州	101.1%	90.4%	90.1%	5.1%	7.7%	2.6%	17.2%
沖縄	34.2%	33.5%	33.2%	2.6%	0.8%	0.0%	0.2%
全国	69.6%	57.4%	56.4%	3.6%	2.5%	0.5%	17.6%
東日本	65.3%	51.9%	50.1%	5.5%	4.0%	0.6%	15.7%
中西日本	73.4%	62.5%	62.1%	2.5%	2.7%	0.5%	21.5%

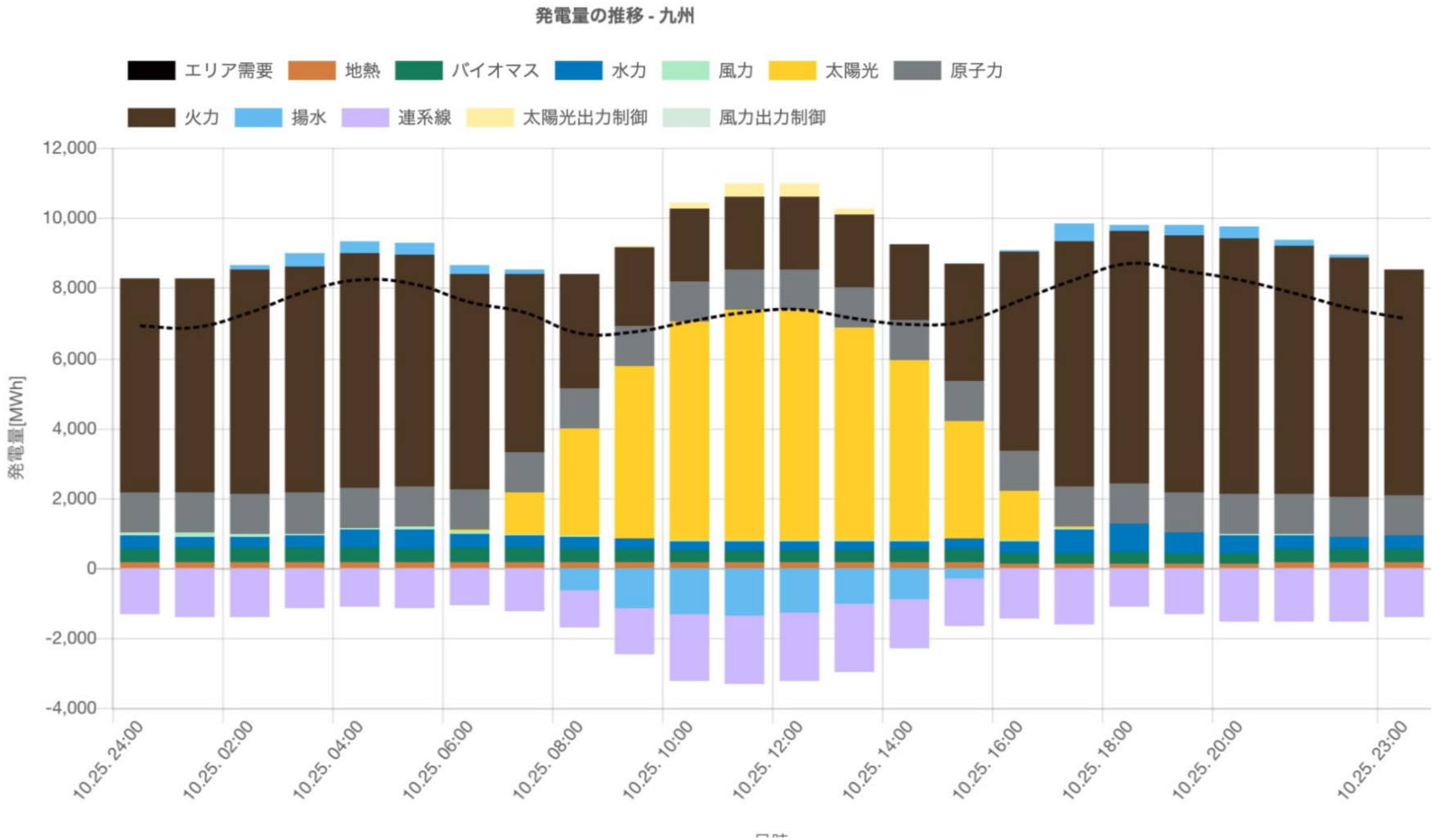
出所：環境エネルギー政策研究所（2021）「【速報】日本国内の電力需給（2020年度）における自然エネルギー割合」（https://www.isep.or.jp/archives/library/13247）

2020年10月25日の九州エリアの発電量



出所：環境エネルギー政策研究所、ISEP Energy Chart（ https://isep-energychart.com/）より作成。

2020年10月25日の九州エリアの発電量



出所：環境エネルギー政策研究所、ISEP Energy Chart（ https://isep-energychart.com/）より作成。

カーボンニュートラルに向けて

- カーボンニュートラルに向かう道は、2つある
  - ①　省エネ・再エネによるカーボンニュートラル
  - ②　原子力、火力（＋CCS）を含んだカーボンニュートラル
- そもそも、何を目指すのか？

  環境破壊・人間破壊を起こさない社会　＝　環境保全型社会の構築
- 原子力固有の制約条件を考慮すれば原子力は現実解ではない。
  - 原発事故リスク　＋　日本の場合は福島原発事故処理
  - 放射性廃棄物処分
  - 資源制約
  - 高コスト

事故でどの程度の放射性廃棄物がでるのか

表 3.4-2　1F 廃炉・サイト修復で発生する放射性廃棄物の試算例 20)

ton

分類	1-6号機	他の施設	水処理施設	廃棄物処理/貯蔵施設	サイト修復	合計
燃料デブリ	644	0	0	0	0	644
HLW	2,042	0	0	0	83	2,125
TRU	0	0	16	0	830	846
L1	100,135	104,543	310	1,050	76,030	282,068
L2	429,462	329,364	38,174	200	1,424,600	2,221,800
L3	951,309	2,825,634	151,320	26,325	1,375,000	5,329,588
合計	1,483,592	3,259,541	189,820	27,575	2,876,543	7,837,071

HLW：高レベル放射性廃棄物相当　　TRU：TRU廃棄物相当

L1：放射能レベルが比較的高い廃棄物　L2：放射能レベルが比較的低い廃棄物　L3：放射能レベルが極めて低い廃棄物

出所：日本原子力学会（2020）「国際標準からみた廃棄物管理―廃棄物検討分科会中間報告―」7月、p.19

福島原発事故は、これまで考えられてきた量を大きくこえる放射性廃棄物をうみ出した

表１　大規模モデルプラントの解体廃棄物の物量

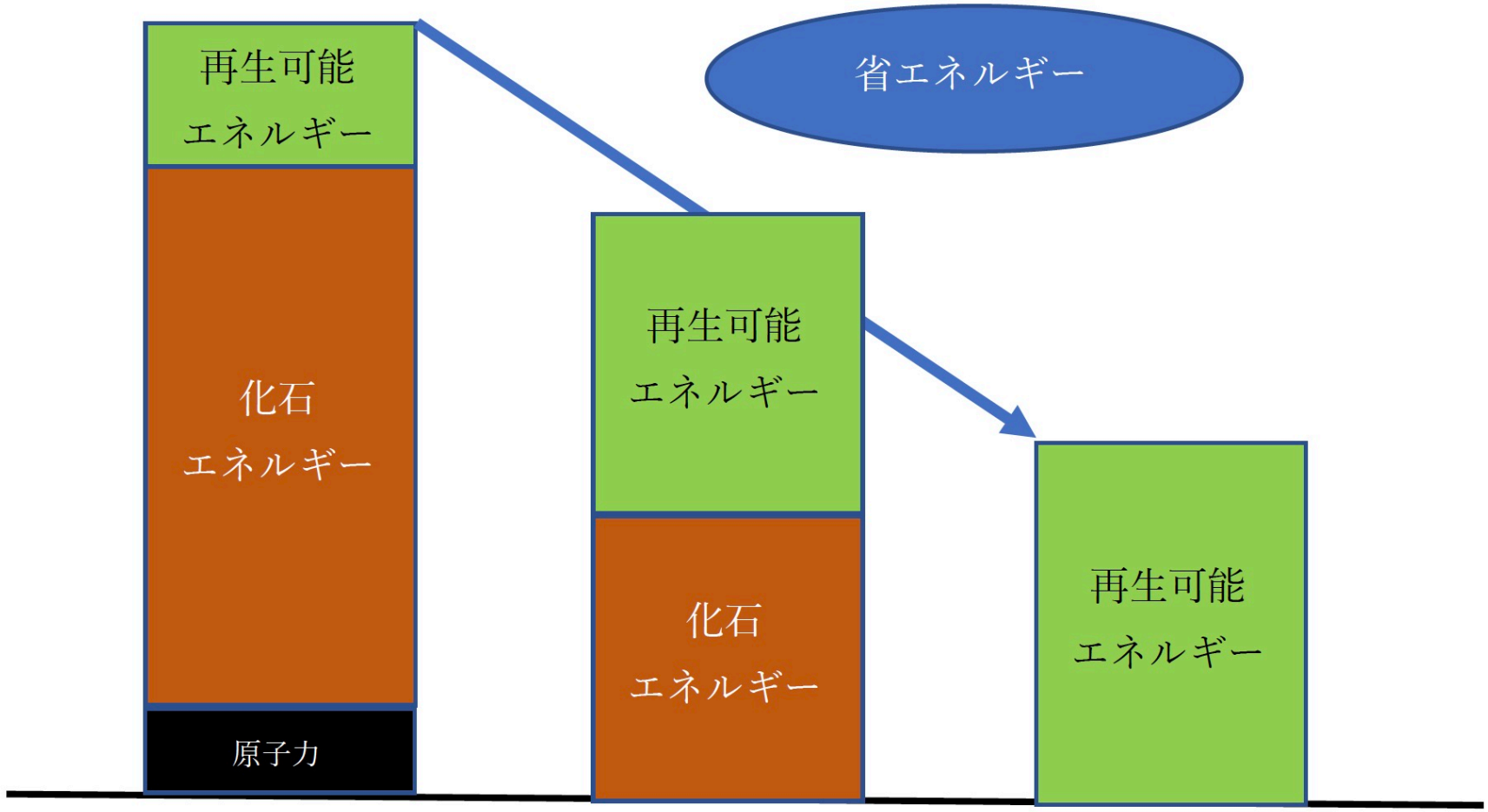
【単位：トン】

	現行の解体引当金制度		放射能濃度確認規則レベルで区分した場合	
	BWR 大規模 (110 万 kW 級)	PWR 大規模 (110 万 kW 級)	BWR 大規模 (110 万 kW 級)	PWR 大規模 (110 万 kW 級)
L1 廃棄物	80	200	80	200
L2 廃棄物	850	1,720	850	1,720
L3 廃棄物	7,110	3,140	11,810	4,040
ｸﾘｱﾗﾝｽﾚﾍﾞﾙ以下の廃棄物	528,610	489,860	523,910	488,960
合　計	536,650	494,920	536,650	494,920

*端数処理は１トン単位を四捨五入した。

電気事業連合会(2007)「原子力発電施設廃止措置費用の過不足について（補足資料）」総合資源エネルギー調査会電気事業分科会第6回原子力の発電投資環境整備小委員会資料3

環境破壊を引き起こさない社会を作る



まとめ

まとめ

1. 環境は危機的状況、非常事態にある。
2. 日本政府は、2050年度カーボンニュートラルを打ち出した。
3. 原子力、CCS火力には現実性がない。
4. 再生可能エネルギー100％を実現し、環境保全型社会を構築する必要がある。

原発に関する素朴な疑問については、

原子力市民委員会のYoutube動画で解説しています。