

原発は温暖化対策として有効なのか

2022-05-29

龍谷大学 大島堅一

1

内容

1. エネルギー政策と環境問題
2. カーボンニュートラルに向けた政策動向
3. 避けられない原子力発電の衰退
4. 「再エネも、原子力も必要」か？

まとめ

※補足資料

2

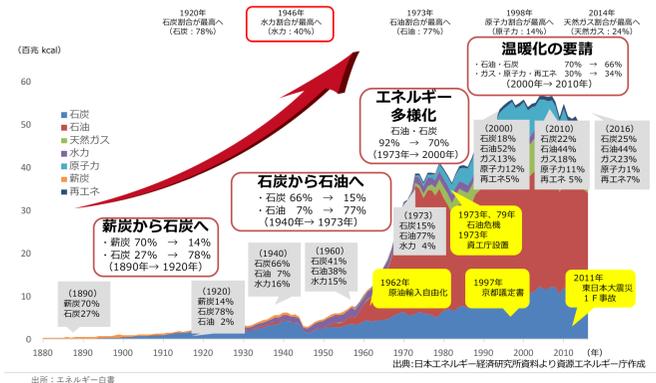
1. エネルギー政策と環境問題

3

エネルギー利用の歴史

一次エネルギー供給量の推移と需給構造の変化

- エネルギー需要の増加に伴い、石炭、石油、原子力と、よりエネルギー密度の高い資源利用が拡大。
- 日本のエネルギーの歴史は、情勢変化を踏まえた選択の積み重ね。現在は次なる選択の節目。



4

2011年以降、エネルギー利用の課題は全く新しい時代に

従来：大量のエネルギーを安価に供給

2011年以降

- ・ 再生可能エネルギーの普及 → 100%化
- ・ 原発ゼロ社会の構築（脱原発、原発事故の後始末、原子力発電の後始末）
- ・ 電力システム改革（電力市場、発送電分離）

きっかけ

- ・ 福島原発事故
- ・ 気候変動問題の顕在化、気候危機認識

5

エネルギー政策の大変動(1)

- ・ 2011年：東日本大震災、東京電力福島第一原子力発電所事故
→ エネルギー政策の大転換（→ 電力システム改革 + 再エネ + 脱原発）
- ・ 2012年：電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（FIT法）施行、原子力規制委員会設置
- ・ 2012年12月：自公政権発足（→ 脱原発を除外）
- ・ 2014年 第4次エネルギー基本計画
- ・ 2015年7月 長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）
- ・ 2015年12月：パリ協定採択（2度を十分に下回る水準に抑える）
- ・ 2016年4月：電力の小売完全自由化
- ・ 2018年 IPCC 1.5度特別報告書（SR15）→ 1.5度目標、カーボンニュートラル

エネルギー政策の大変動(2)

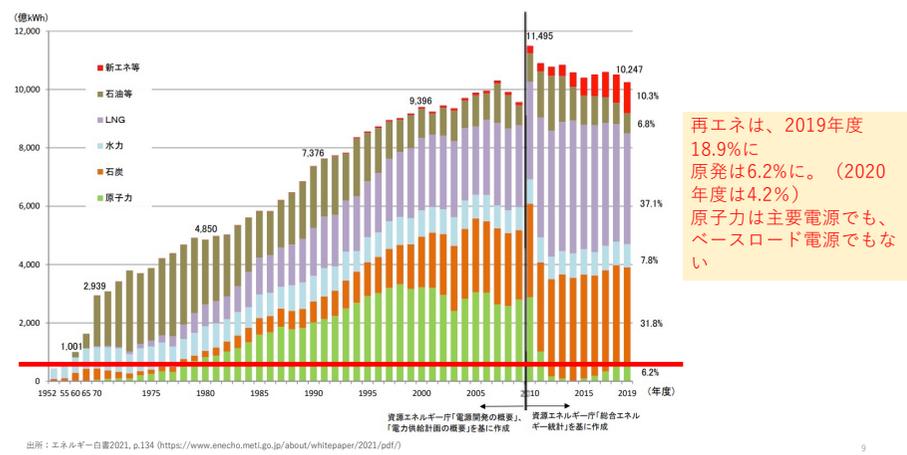
- ・ 2018年7月：第5次エネルギー基本計画 ～ 再エネの主力電源化
- ・ 2020年4月：規制料金の撤廃（※延期）、発送電分離
→ 再生可能エネルギーの市場化、主力電源化
- ・ 2020年7月：経産大臣、「石炭フェードアウト」を明言。
- ・ 2020年7月：「再エネ型経済社会」に向けた政策形成スタート
- ・ 2020年12月：「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」
- ・ 2021年4月：石炭火力検討ワーキンググループ中間取りまとめ
→ 石炭火力フェードアウト
- ・ 2021年10月：第6次エネルギー基本計画：再エネの最大限、最優先で拡大

エネルギー利用のパラダイム転換

- ・ 安定供給面
 - ・ 地域（国内）資源
- ・ 経済面
 - ・ 普及拡大 → 価格下落
- ・ 環境面、社会的側面
 - ・ 福島原発事故
 - ・ 気候変動問題
- ・ 安全面
 - ・ 災害リスク回避

再生可能エネルギーの
役割増大

日本の電源構成の推移（電気事業者）



2. カーボンニュートラルに向けた政策動向

気候変動から「気候危機」へ

第1章 気候変動問題をはじめとした地球環境の危機 気候変動問題①

国内外で深刻な気象災害が多発、地球温暖化で今後気象災害のリスクが更に高まると予測。

- 国内では、平成30年7月豪雨や猛暑、令和元年房総半島台風、令和元年東日本台風などの災害が発生。
- 海外では、2019年欧州の記録的な熱波、北米のハリケーン災害、豪の広範囲の森林火災、インドやミャンマー等の洪水災害などが発生。
- IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書は、今後、地球温暖化に伴い、豪雨災害や猛暑のリスクが更に高まる可能性を指摘。

「気候変動」から「気候危機」へ。

- 直近20年間の気候関連の災害による被害額は、合計2兆2450億ドル。その前の20年間に比べ2.5倍。
- 海外の都市を中心に「気候非常事態宣言」の動きや若者による気候変動対策を求めるデモも活発化。



▲令和元年東日本台風による被害の様子
＜長野県長野市千曲川＞



▲オーストラリアの森林火災
＜オーストラリア ニューサウスウェールズ州＞



▲グレタ・トゥーンベリさんがCOP25
で演説をする写真
(資料：時事通信) 2

出所：環境省(2020)「令和2年版 環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書(概要)」6月、p.2

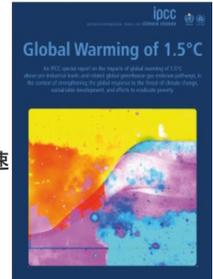
気候変動問題に関する科学的知見の蓄積

・ IPCC(気候変動に関する政府間パネル)

～ 気候変動に関する科学的知見を収集し、とりまとめる国際機関。関連する科学者が数千人規模で参加。科学と国際政治。WG1～3がある。

- ・ 1990年 第1次評価報告書 (→気候変動枠組条約へ)
- ・ 1995年 第2次評価報告書 (→京都議定書へ)
- ・ 2001年 第3次評価報告書 (→マラケシュ合意へ)
- ・ 2007年 第4次評価報告書
- ・ 2013年 第5次評価報告書 その他、特別報告がある。
- ・ 2018年 1.5度特別レポート(SR15) → パリ協定を受けて対策加速
- ・ 2021年 第6次評価報告書 WG1
- ・ 2022年 第6次評価報告書 WG2, WG3

1.5度温暖化レポート



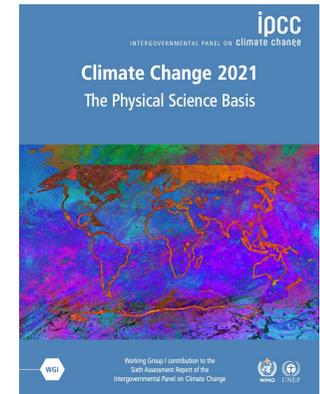
IPCC 第6次評価報告書

- **WG1:** 人類が大気、海洋、陸域を温暖化させてきたことに疑う余地はない。
- **WG2:** 人為的起源の気候変動により、自然の気候変動の範囲を超えて自然や人間に対して広範囲におよぶ悪影響と、それに関連する損失・損害が生じている。
- **WG3:** このままでは、気温上昇を1.5度に抑えることはできない。全ての部門、地域で早期に野心的削減を行わなければならない。2030年半減を実現する対策は存在する。

13

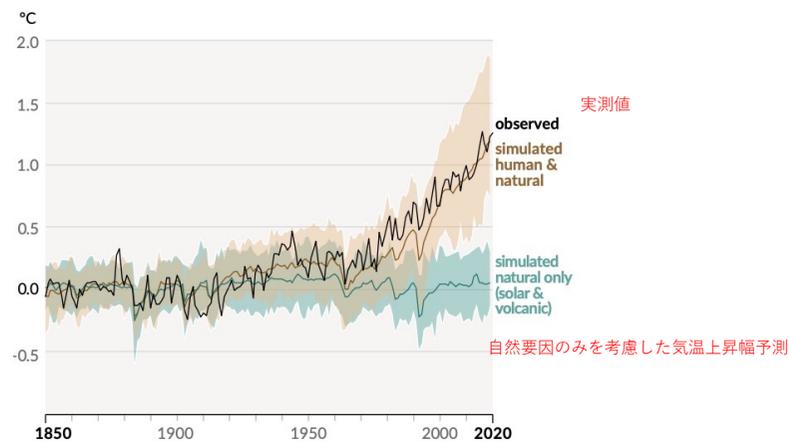
IPCC第6次評価報告書WG1

- IPCC Climate Change 2021, The Physical Science Basis (第6次評価報告書第1作業部会報告書 気候変動2021:自然科学的根拠)
- 気候変動・温暖化に関する概要
 - 人間の影響が、大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことは疑う余地がない。
 - 広範囲にわたる急速な変化が、大気、海洋、雪氷圏、生物圏で起きている。
 - 工業化以降約1.07度上昇（陸域で1.59度、海域で0.88度）
 - 平行気温感度
 - 人間活動が温暖化の要因である。
 - 今世紀末までに0.3~4.8°Cの気温上昇が見込まれる。



14

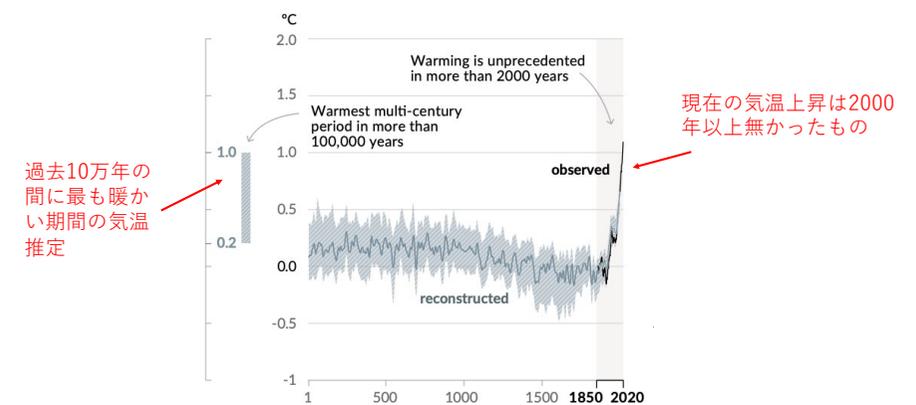
世界の平均気温上昇



出所：IPCC AR6 WGI, Summary for Policy Makers, SPM-7, p.4

15

近年の気温上昇は非常に急激



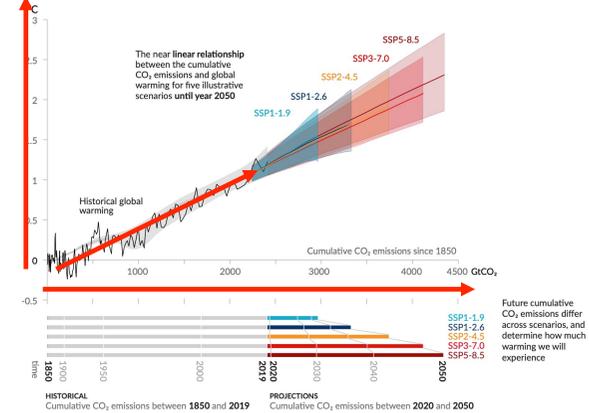
出所：IPCC AR6 WGI, Summary for Policy Makers, SPM-7, p.4

16

累積排出量と気温上昇の関係

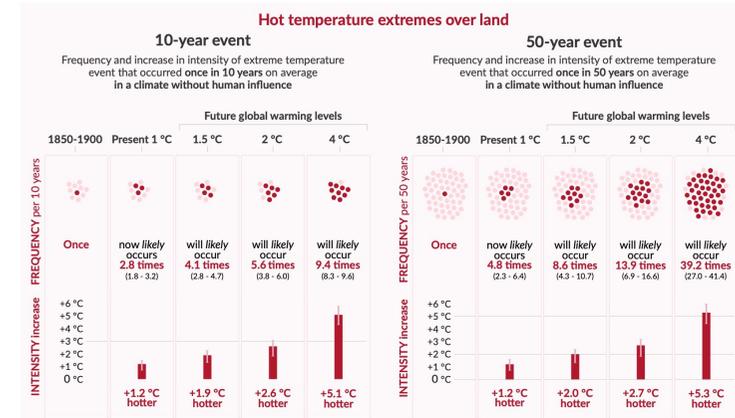
Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



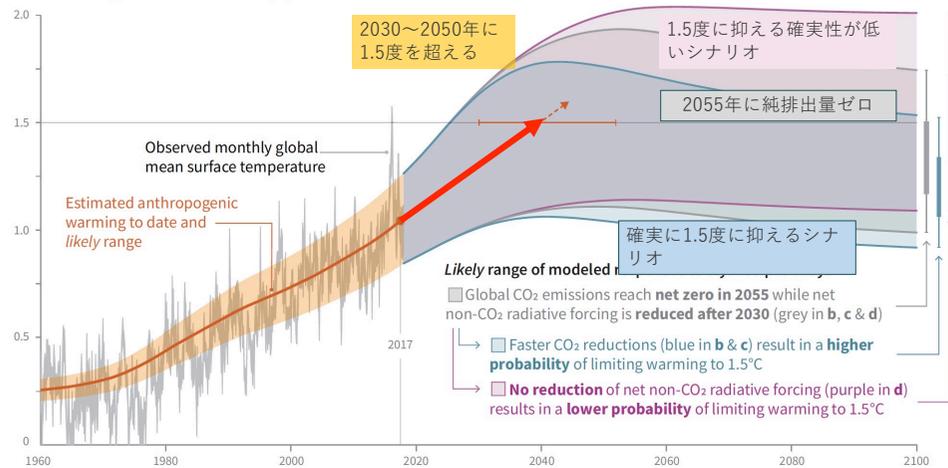
出所：IPCC(2021), *Climate Change 2021 The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*, p.SPM-37

気温上昇による影響の違い



出所：IPCC(2021), *Climate Change 2021 The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*, p.SPM-23

Global warming relative to 1850-1900 (°C)



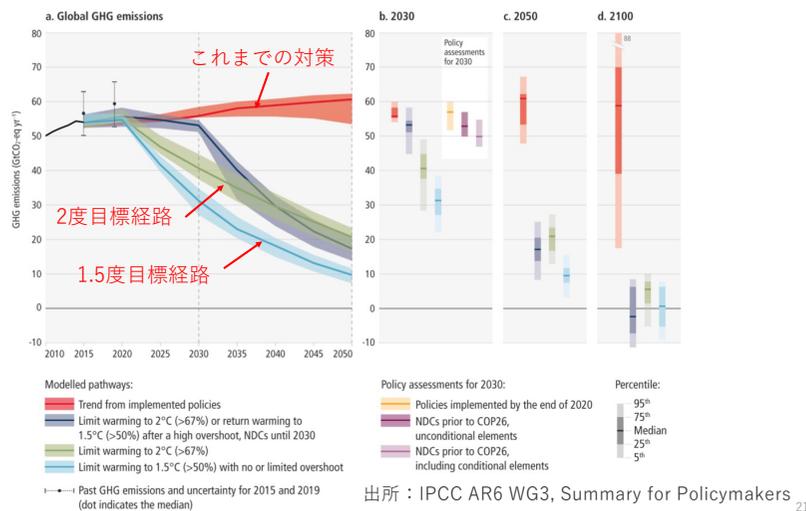
出所：IPCC(2018), *Summary for Policymakers* (Special Report on Global Warming of 1.5°C), SPM-6

今後許される排出量は限られている

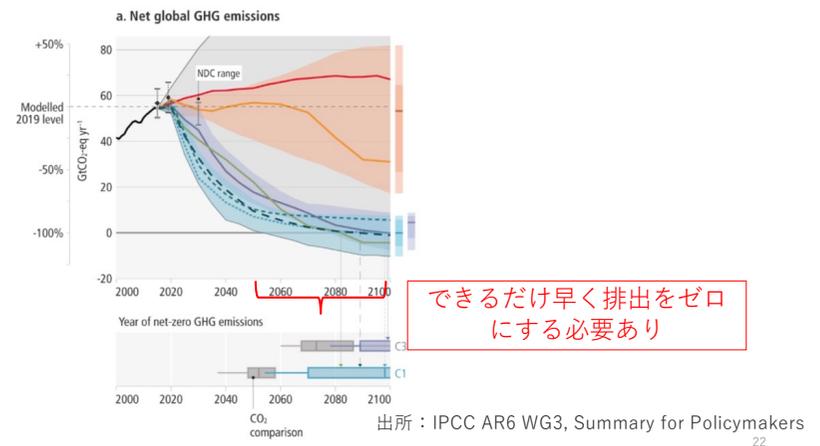
Global warming between 1850-1900 and 2010-2019 (°C)		Historical cumulative CO ₂ emissions from 1850 to 2019 (GtCO ₂)					
1.07 (0.8-1.3; likely range)		2390 (± 240; likely range)					
Approximate global warming relative to 1850-1900 until temperature limit (°C)*(1)	Additional global warming relative to 2010-2019 until temperature limit (°C)	Estimated remaining carbon budgets from the beginning of 2020 (GtCO ₂)					Variations in reductions in non-CO ₂ emissions*(3)
		Likelihood of limiting global warming to temperature limit*(2)					
1.5	0.43	17%	33%	50%	67%	83%	Higher or lower reductions in accompanying non-CO ₂ emissions can increase or decrease the values on the left by 220 GtCO ₂ or more
1.7	0.63	900	650	500	400	300	
2.0	0.93	1450	1050	850	700	550	
		2300	1700	1350	1150	900	

カーボン
バジェット

出所：IPCC(2021), *Climate Change 2021 The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*, p.SPM-38



1.5度目標、2度目標達成に必要な大幅削減



グラスゴー気候合意(Glasgow Climate Pact)

- UNFCCC COP26 (2021年10月31日～11月12日) で合意
- 「1.5°Cまでに気温上昇を抑える努力を決意をもって追求する」(1/CP.26, para. 16; 3/CMA.3, para.21)
- この10年が決定的に重要 (in this critical decade)であり、この10年に対策を加速する必要
- 2022年末までに各国目標について再検討を要請。
- この10年の削減目標と実施を緊急に引き上げるための作業計画を2022年に策定。
- 排出対策がとられていない(unabated)石炭火力の段階的削減と非効率な化石燃料補助金の段階的廃止の加速(1/CMA.3, para36)

23

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いきたいと思います。」

「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。」

24

2030年目標 = 温室効果ガス46%減

・気候サミット（2021年4月22日）での菅首相の国際公約

「地球規模の課題の解決に、我が国としても大きく踏み出します。2050年カーボンニュートラルと整合的で、野心的な目標として、我が国は、2030年度において、**温室効果ガスを2013年度から46%削減**することを目指します。さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けてまいります。」

→ これまで正面から気候変動対策を行ってこなかっただけに、カーボンプライシング、石炭火力廃止を含めた統合的施策の形成に進まざるをえない。

→ 環境政策の下に、エネルギー政策、エネルギー行政を再構築する必要がでてきた。

25

岸田首相の「新しい資本主義」

・「カーボンニュートラルの実現」が一つの柱に

2030年度46%削減、2050年カーボンニュートラルの目標実現に向け、単に、エネルギー供給構造の変革だけでなく、産業構造、国民の暮らし、そして地域の在り方全般にわたる、経済社会全体の大変革に取り組みます。

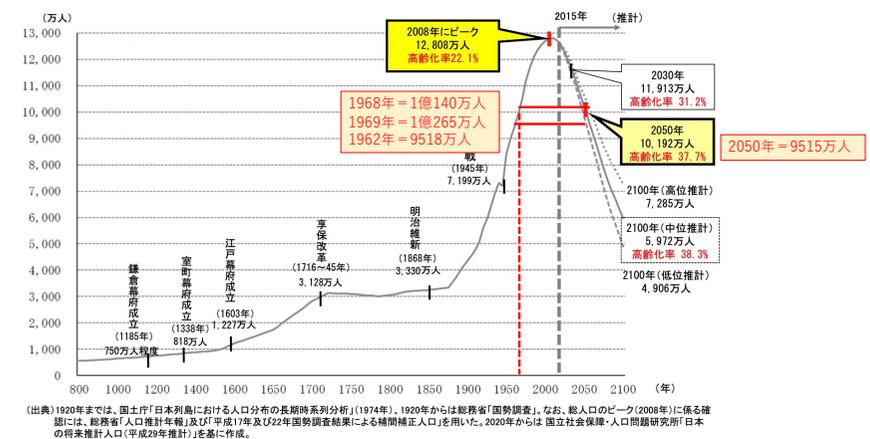
官民が、炭素中立型の経済社会に向けた変革の全体像を共有し、この分野への投資を早急に、少なくとも倍増させ、脱炭素の実現と、新しい時代の成長を生み出すエンジンとしていきます。

進められる「クリーンエネルギー戦略」

2050年カーボンニュートラルや2030年度46%削減の実現を目指す中で、蓄電池、再エネをはじめ、**水素・アンモニア、原子力**などあらゆる選択肢を追求することで、将来にわたって安定的で安価なエネルギー供給を確保し、更なる経済成長につなげていくことが重要です。

このため、グリーン成長戦略、エネルギー基本計画に続いて、エネルギー供給のみならず需要側のイノベーションや設備投資など需給両面を一体的に捉え、新たに**クリーンエネルギー戦略を策定**します。クリーンエネルギー戦略においては、どのような分野で、いつまでに、どういう仕掛けで、どれくらいの投資を引き出すのかといった経済社会変革の道筋の全体像を、お示しします。

2050年はどんな時代か



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

原子力事業では撤退が相次ぐ

【参考】原子力産業における環境の変化

- サプライヤーは、現在は安全対策工事で事業を維持しているが、**将来の事業見通しが立たない状況**。
- **要素技術を持つ中核サプライヤー等の撤退**が相次いでおり、**サプライチェーンの劣化**が懸念される。
- 国内で建設や製造の現場の空白期間が続くことによる**技術・人材の維持は喫緊の課題**。

原子力事業からの撤退

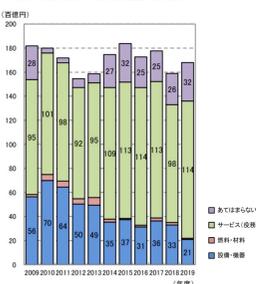
<大手企業>

- ・ 川崎重工（廃止措置、発電所の保守管理等）
- ・ 住友金属、古河電工（燃料製造加工）
- ・ 明電舎（DCモータ）

<要素技術を持つ中核サプライヤー>

- ・ シルコプロダクツ（燃料部材）
2017年廃業
⇒ BWR用燃料被覆管部材は国内で調達できない状況に
- ・ 日本鋼鍛鋼（圧力容器、タービン等）
2020年廃業
⇒ 原子炉圧力容器部材の供給企業は国内残り1社に

原子力産業界の売上げの推移



【出典】原子力産業協会「原子力発電に係る産業動向調査2020報告書」51

出所：資源エネルギー庁（2022）「今後の原子力政策について」2月24日（第24回総合資源エネルギー調査会原子力小委員会資料3）p.52

原子力が衰退する理由

- ・ 安全規制強化
- ・ 建設費、安全対策費の上昇
- ・ 再生可能エネルギーの急増
- ・ 電力システム改革
→ 電力自由化・競争激化

原子力発電の現状～実プラントの経済性

- ・ 運転期間 → 運転期間の途中での変更
 - ・ 延長 40年から60年へ（規制委員会の認可が必要、1回限り）
 - ・ 停止 追加的安全対策工事、差し止め訴訟、事故・トラブル、政治的要請
→ 既設炉のコストを計算するには、運転期間の減少を考慮する必要がある。
- ・ 資本費
 - ・ 追加的安全対策工事（平均2200億円規模に）

$$\text{発電単価 (円/kWh)} = \frac{\text{発電に要する費用 (円)}}{\text{発電電力量 (kWh)}}$$

↑ 増加
↑ 増加
↓ 減少

試算にあたっての考え方

- 1) 40年間を通しての費用
 - ・ 計算方法は政府のものと同じ。= 設備利用率70%、運転期間40年
 - ・ 建設費、追加的安全対策費、発電電力量、事故費用を個別の原発にそれぞれあわせて計算。
- 2) 2011年度以降の費用のみを考慮した費用
 - ・ 減価償却したことを考慮に入れる。→ 建設費をゼロとする。
 - ・ 2011年度以降の投資判断が正しかったかどうか。したがって、2011年度以降に要した費用のみ想定する。
 - ・ 追加的安全対策費
 - ・ 運転保守費
 - ・ 燃料費
 - ・ 社会的費用

既設原発の発電コスト試算(※)

			40年間	2011年度以降のみ
再稼働	関西電力	高浜3	11.8	18.3
		高浜4	10.6	18.9
		大飯3	11.6	11.6
		大飯4	9.6	10.0
		美浜3	-	-
	四国電力	伊方3	13.2	14.5
	九州電力	玄海3	12.0	12.6
		玄海4	11.3	10.9
		川内1	12.3	18.6
	川内2	11.7	16.9	
未再稼働	北海道電力	泊1	16.5	38.0
		泊2	14.6	28.1
		泊3	15.1	10.9
	東北電力	女川2	18.8	25.4
		東通	13.9	10.6
	東京電力	柏崎刈羽6	16.7	17.4
		柏崎刈羽7	16.7	18.0
	中部電力	浜岡3	12.6	30.6
		浜岡4	12.4	17.6
	北陸電力	志賀2	13.7	11.2
	関西電力	高浜1	-	-
		高浜2	-	-
	中国電力	島根2	16.3	31.3
	日本原子力発電	東海第2	-	-

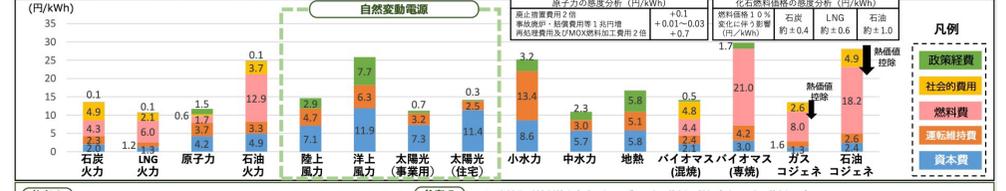
※コスト検証WG資料、各電力会社資料より得られたデータに基づく試算である。実際の発電コストを示すものではない。

・ 経済的観点からみれば、ほとんど全ての原発で、再稼働に合理性はない。

政府によるコスト推計 (2030年)

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、5%)	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	13.6~22.4 (13.5~22.3)	10.7~14.3 (10.6~14.2)	11.7~ (10.2~)	24.9~27.6 (24.8~27.5)	9.8~17.2 (8.3~13.6)	25.9 (18.2)	8.2~11.8 (7.8~11.1)	8.7~14.9 (8.5~14.6)	25.2 (22.0)	10.9 (8.7)	16.7 (10.9)	14.1~22.6 (13.7~22.2)	29.8 (28.1)	9.5~10.8 (9.4~10.8)	21.5~25.6 (21.5~25.6)
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	33.2% 25年	17.2% 25年	13.8% 25年	60% 40年	60% 40年	83% 40年	70% 40年	87% 30年	72.3% 30年	36% 30年

(注1) 表の値は、今回検証で扱った複数の試算値のうち、上限と下限を表示。将来の燃料価格、CO2対策費、太陽光・風力の導入拡大に伴う機器価格低下などをどう見込むかにより、幅を持った試算としている。例えば、太陽光の場合「2030年に、太陽光パネルの世界の価格水準が著しく低下し、かつ、太陽光パネルの世界水準に追いつくほど急激に低下するケース」や「太陽光パネルが劣化して発電量が下がをケース」といった野心的な前提を置いた試算値を含む。
(注2) グラフの値は、IEA「World Energy Outlook 2020」(WEO2020)の公表政策シナリオの値を表示。コジェネは、CIF価格で計算したコスト。

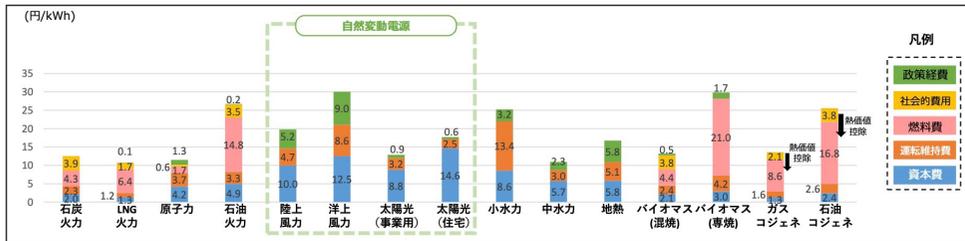


出所：資源エネルギー庁 (2021) 「030年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)」9月、p.81

政府によるコスト推計 (2020年)

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、5%)	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	12.5 (12.5)	10.7 (10.7)	11.5~ (10.2~)	26.7 (26.5)	19.8 (14.6)	30.0 (21.1)	12.9 (12.0)	17.7 (17.1)	25.3 (22.0)	10.9 (8.7)	16.7 (10.9)	13.2 (12.7)	29.8 (28.1)	9.3~10.6 (9.3~10.6)	19.7~24.4 (19.7~24.4)
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% 30年	72.3% 30年	36% 30年

(注1) グラフの値はIEA「World Energy Outlook 2020」の公表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。

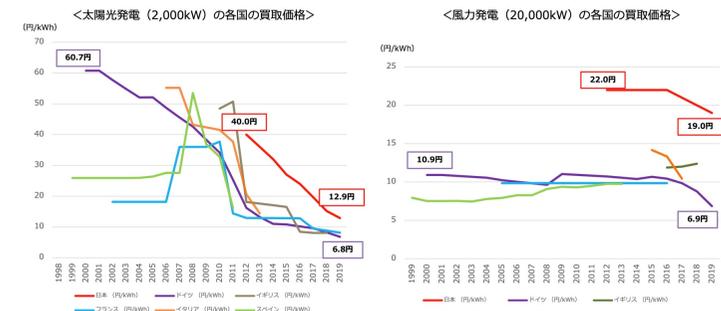


出所：資源エネルギー庁 (2021) 「030年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)」9月、p.82

世界の再エネコストの動向

世界的に見れば、再エネコストは大きく低下しており、我が国においても、再エネコストは低減傾向にあるが、今なお国際水準と比べれば、その水準は高く、他の電源と比較して競争力のある水準までコストを低減させることが必要。

各国のコスト低減状況



※資料エネルギー庁作成。太陽光は2,000kWh、風力は20,000kWhの初期年度価格。欧州の価格は運転開始年である。入札対象電源となっている場合、最良価格の範囲平均。1ユーロ=120円、1ポンド=150円で換算。

出所：資源エネルギー庁 (2020) 「再生可能エネルギーの創出に向けて～再生可能エネルギーの早期実現」7月22日 (総合エネルギー調査会エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大綱導入・次世代ネットワーク小委員会 (第18回) 基本政策分科会 再生可能エネルギー主力電源化制度改定小委員会 (第6回) 合同会議。資料2 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/demoku_gas/saisei_kami/pdf/018_07_05.pdf、p.12-40

4. 「再エネも、原子力も必要」か？

41

「再エネも必要、原子力も必要」か？

• 3E+S ・ ・ エネルギー基本計画の骨組み

- 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

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。

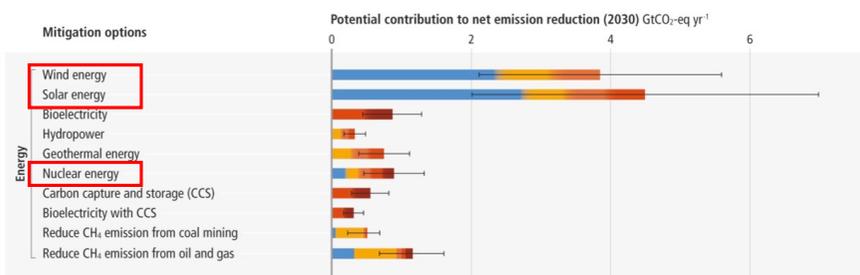
→原発はいずれも満たさない

• 「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」 ???

42

エネルギー部門での可能性

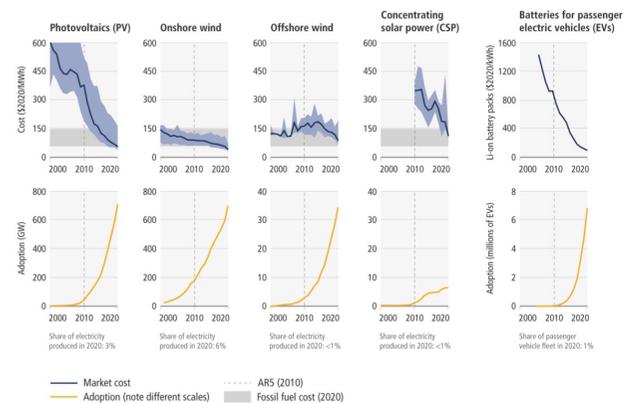


- 再エネのポテンシャルが最も大きい。
- 原子力による削減ポテンシャルは少ない。

出所：IPCC AR6 WG3, Summary for Policymakers

43

再エネのコスト低減と今後の普及



出所：IPCC AR6 WG3, Summary for Policymakers

42

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。

45

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

46

原子力とCO2排出削減(2)

国際科学雑誌で公表された研究によると・・・

- 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

47

カーボンニュートラルの方法

- 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

48

福島原発事故による負の遺産 例：サイト内の放射性廃棄物

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⁾

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

49

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】

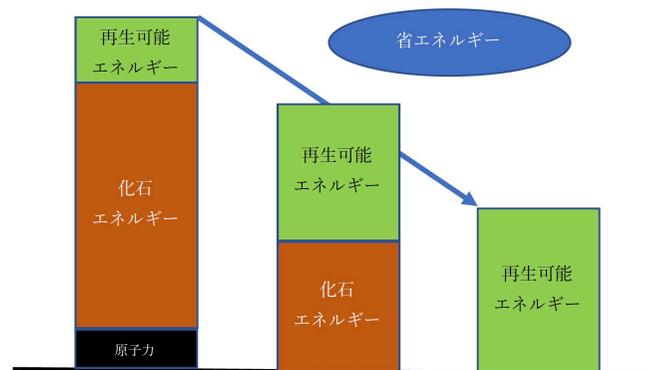
	現行の解体引当金制度		放射能濃度確認規則レベルで区分した場合	
	BWR 大規模 (110 万 kW 級)	PWR 大規模 (110 万 kW 級)	BWR 大規模 (110 万 kW 級)	PWR 大規模 (110 万 kW 級)
L1 廃棄物	80	200	80	200
L2 廃棄物	850	1,720	850	1,720
L3 廃棄物	7,110	3,140	11,810	4,040
クリアランスレベル以下の廃棄物	528,610	489,860	523,910	488,960
合計	536,650	494,920	536,650	494,920

*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

50

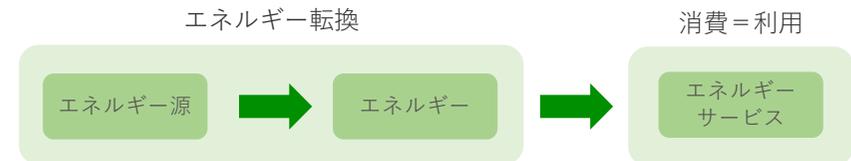
環境破壊を引き起こさない社会を作る



51

あらためてエネルギーを考える

- エネルギーとは何か？
 - 人間社会は何を欲しているのか？
 - 動力、照明、熱・・・ = エネルギーサービス
- 消費の面からみた場合、電源は何でもよい。



まとめ

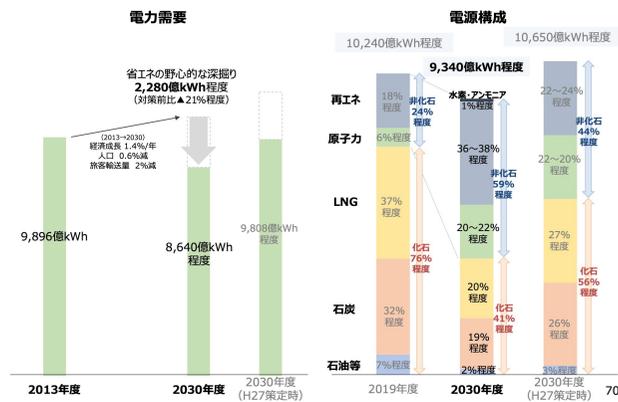
- 2011年以降、日本のエネルギー政策は大変動期にある。
- 政策の変化の柱は、再生可能エネルギー普及と電力システム改革にあった。
- 原子力発電の衰退は避けられず、今後は負の遺産処理が中心的課題となる。
- パリ協定以降、新たに、カーボンニュートラルに向けた取り組みが必要となった。
- 原子力発電は、事故や放射性廃棄物等、環境に破壊的な影響を与えるため、持続可能性に反する。そのため、気候変動対策に適さない。
- カーボンニュートラルに向けては、社会の全面的な作り替え（＝社会・経済インフラの総入れ替え）が必要である。

53

補足資料 再エネ100%への課題と政策

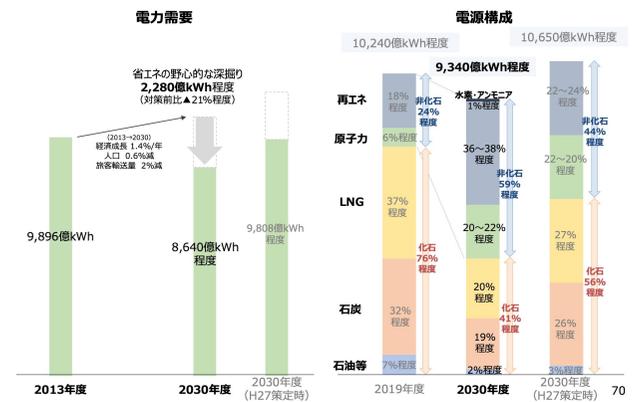
54

第6次エネルギー基本計画(2021年)



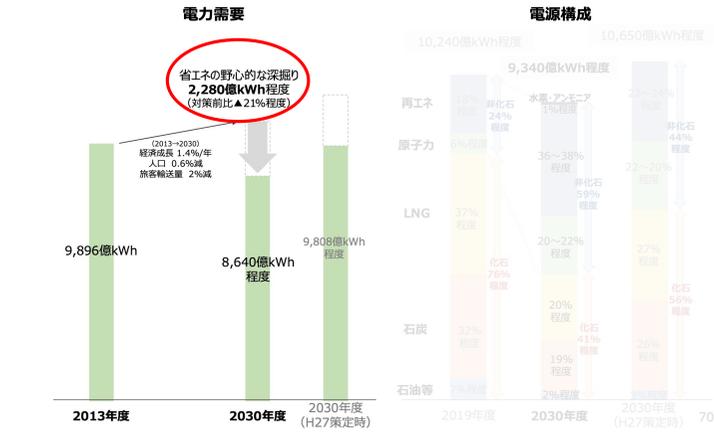
出所：資源エネルギー庁（2021）「2030年におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」10月、p.70

第6次エネルギー基本計画(2021年)



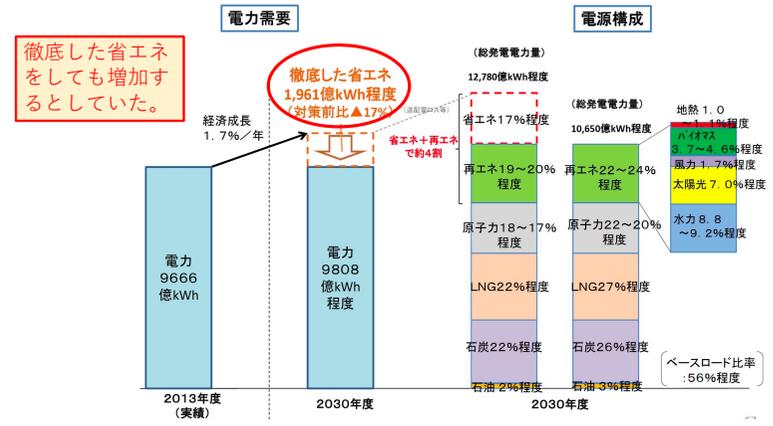
出所：資源エネルギー庁（2021）「2030年におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」10月、p.70

第6次エネルギー基本計画(2021年)



出所：資源エネルギー庁 (2021) 「2030年におけるエネルギー需給の見通し (関連資料)」 10月、p.70

エネルギー基本計画(2018年) の電力需要と電源構成



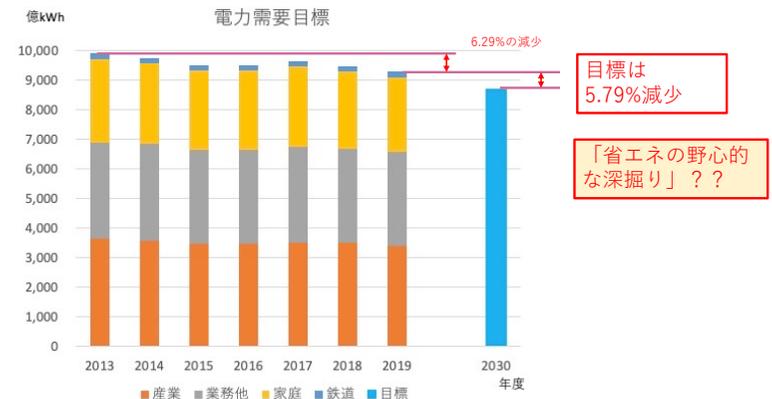
出所：経済産業省 (2015) 「長期エネルギー需給見通し」

電力需要は増加しなかった



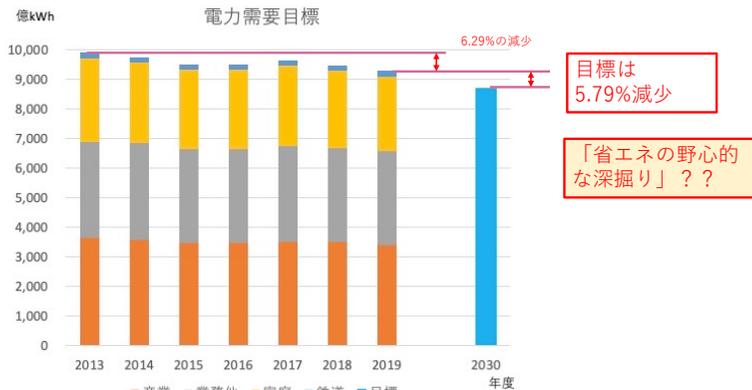
注：右のグラフは「エネルギー白書2021」第214-1-1のデータより。データは、総合エネルギー統計より作成されている。なお、2016年より統計の取り方に変更があるため「エネルギー基本計画」(左図) (2018年、ただしこれは2015年の「長期エネルギー需給見通し」に基づいている) とは値が異なる。

新エネルギー基本計画の小さな省エネ目標



注：2013~19年度は「エネルギー白書2021」第214-1-1のデータに基づく。同データは「総合エネルギー統計」より作成されている。また、資源エネルギー庁 (2021) 「2030年におけるエネルギー需給の見通し参考資料」 8月4日 (総合資源エネルギー調査会基本政策分科会第48回会合、資料5) p.69に基づき設定。

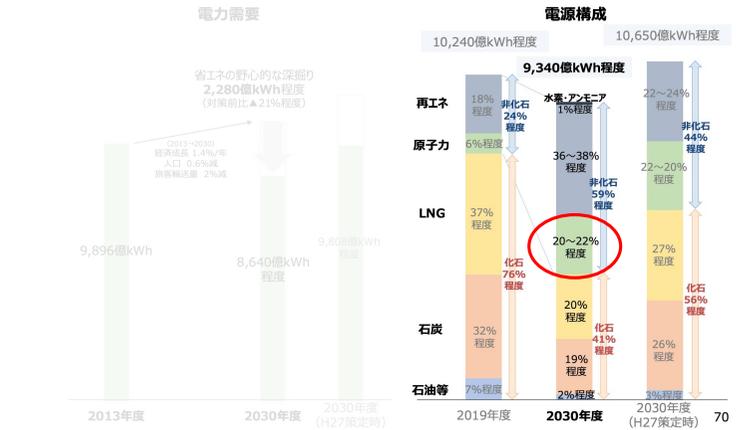
新エネルギー基本計画の小さな省エネ目標



注：2013～19年度は「エネルギー白書2021」第214-1-1のデータに基づく。同データは「総合エネルギー統計」より作成されている。また、資源エネルギー庁（2021）「2030年におけるエネルギー需給の見通し参考資料」8月4日（総合資源エネルギー調査会基本政策分科会第48回会合、資料5）p.69に基づき設定。

61

第6次エネルギー基本計画(2021年)



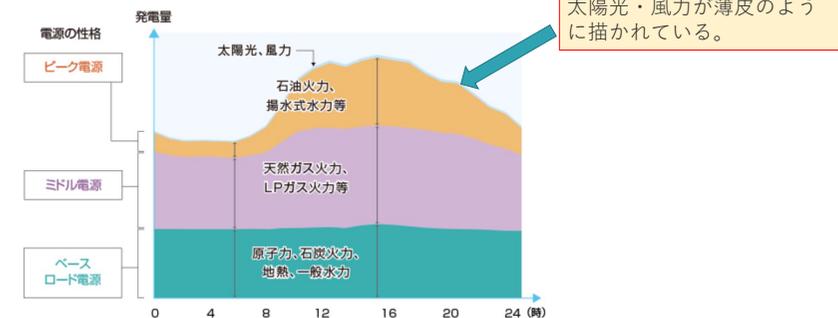
出所：資源エネルギー庁（2021）「2030年におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」10月、p.70

VREとしての再生可能エネルギー

- 再生可能エネルギーは「不安定」か？
 - 誤った言説：「天気任せ」「予測できない」「不安定」「安定供給を損ねる」
 - そもそも「安定な電源」は存在しない（電気工学）
 - 火力発電、原子力発電などであっても系統故障により瞬時に電源脱落を起こす。→これに対応するための技術・知見が蓄積。「供給信頼度」が設計されている。
- 変動性再生可能エネルギー (variable renewable energy)
 - ※変動性でない再生可能エネルギーもある（バイオマス、地熱等）
- VREとして議論されているのは実質的に太陽光、風力

電力会社（関西電力）による電源の組み合わせの説明

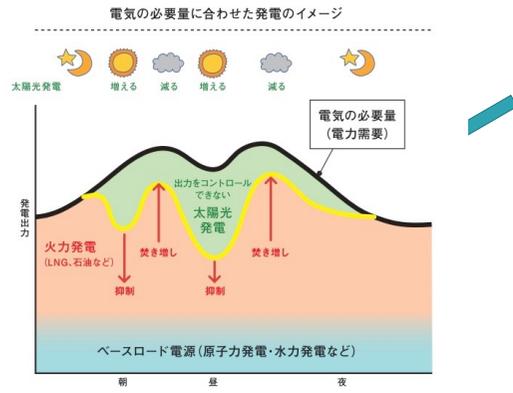
電力需要に合わせた電源の組み合わせ（イメージ）



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

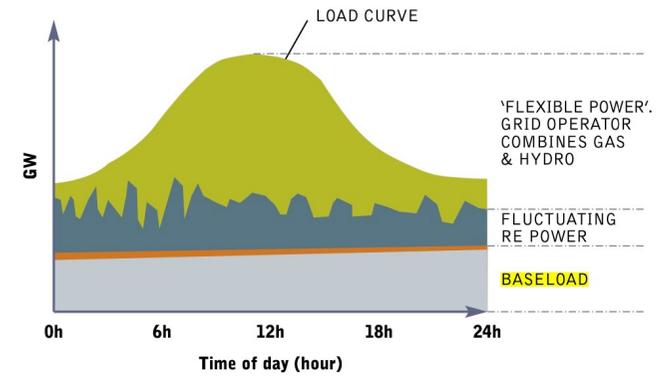
64

電力会社（四国電力）による電源の組み合わせの説明



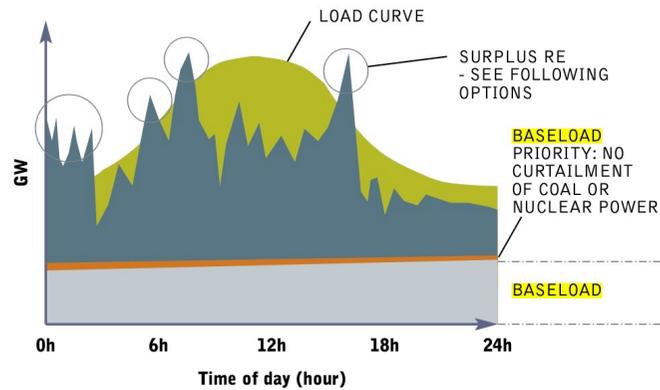
出所：四国電力「地球温暖化から紐解くエネルギーと電気のはなし」
https://www.yonden.co.jp/assets/pdf/corporate/yonden/brochure/index/learn_electricity_energy.pdf

従来の供給システム



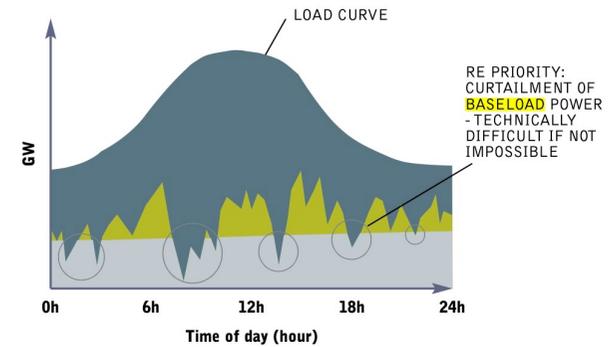
出所：Greenpeace (2012), *Energy [r]evolution - a sustainable world energy outlook, 4th edition, p.37*

VRE(太陽光・風力) 25%まで：ベースロード発電所優先



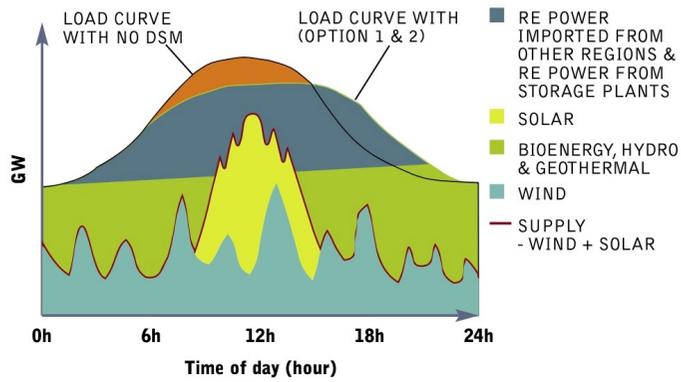
出所：Greenpeace (2012), *Energy [r]evolution - a sustainable world energy outlook, 4th edition, p.37*

VRE(太陽光・風力) 25%以上：再エネ優先



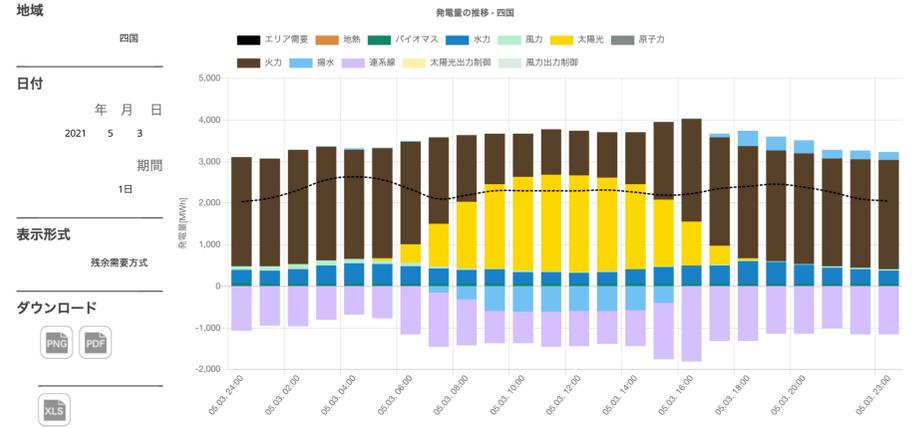
出所：Greenpeace (2012), *Energy [r]evolution - a sustainable world energy outlook, 4th edition, p.38*

再エネ90%以上に最適化されたシステム



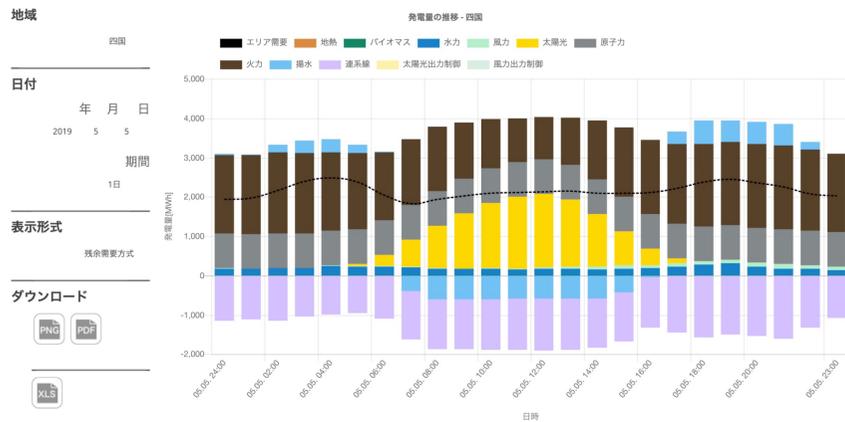
出所：Greenpeace (2012), *Energy [r]evolution - a sustainable world energy outlook, 4th edition*, p.38

四国エリアの電力需給例（2021年春）



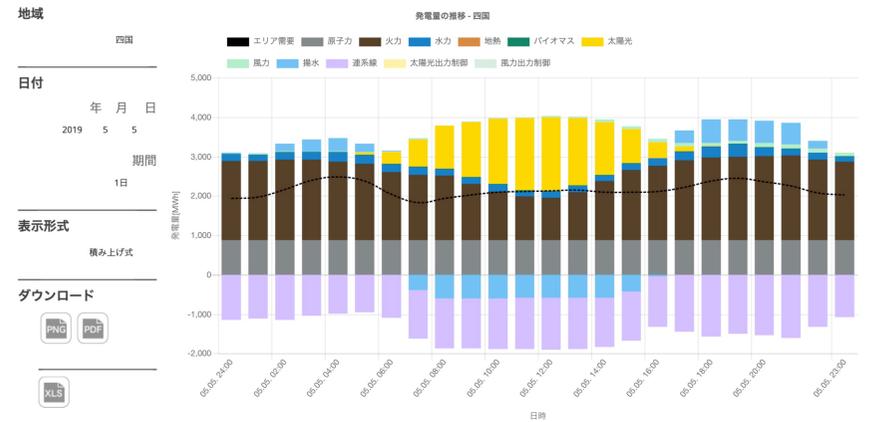
出所：環境エネルギー政策研究所、ISEP Energy Chart (<https://isep-energychart.com/>) より作成。

四国エリアの電力需給例（2019年春）



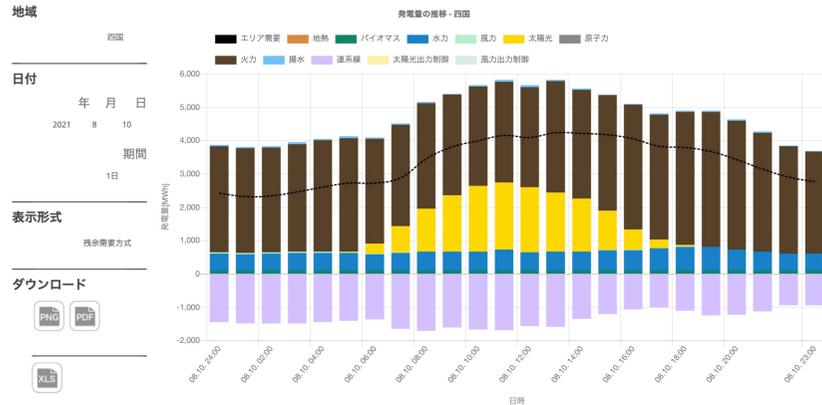
出所：環境エネルギー政策研究所、ISEP Energy Chart (<https://isep-energychart.com/>) より作成。

四国エリアの電力需給例（2019年春）



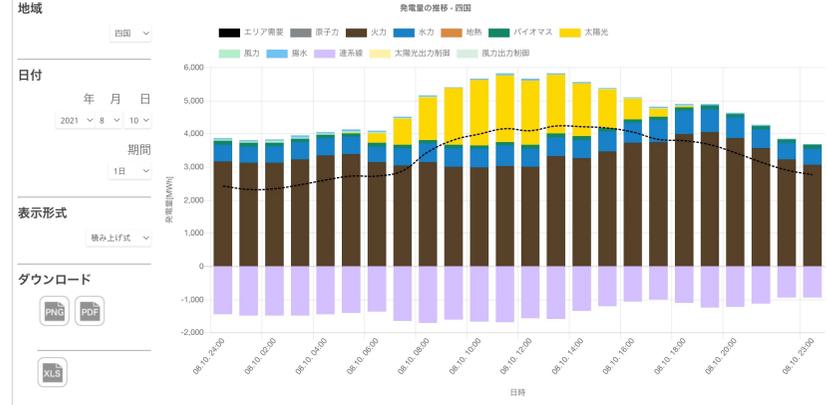
出所：環境エネルギー政策研究所、ISEP Energy Chart (<https://isep-energychart.com/>) より作成。

四国エリアの電力需給例（2021年夏）



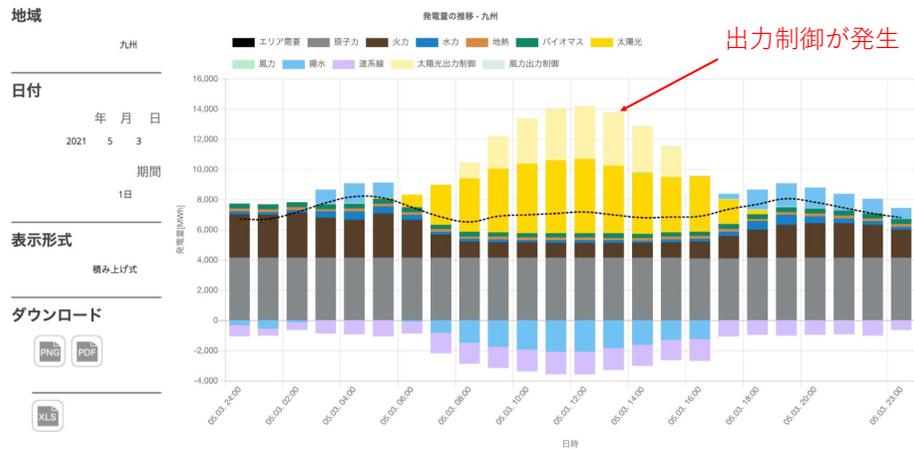
出所：環境エネルギー政策研究所、ISEP Energy Chart (<https://isep-energychart.com/>) より作成。

四国エリアの電力需給例（2021年夏）



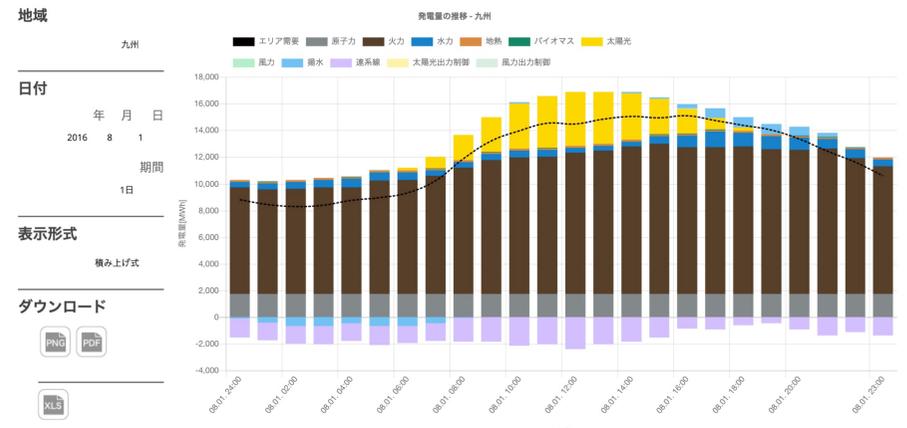
出所：環境エネルギー政策研究所、ISEP Energy Chart (<https://isep-energychart.com/>) より作成。

九州エリアの電力需給例（2021年春）



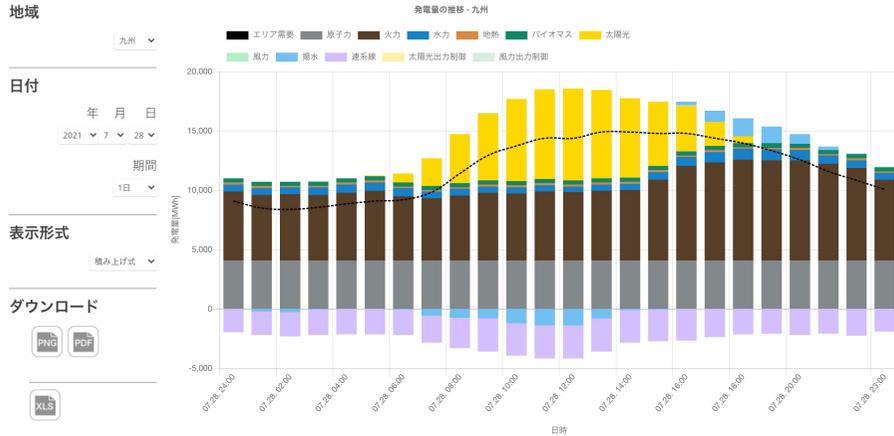
出所：環境エネルギー政策研究所、ISEP Energy Chart (<https://isep-energychart.com/>) より作成。

九州エリアの電力需給例（2016年夏）



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。

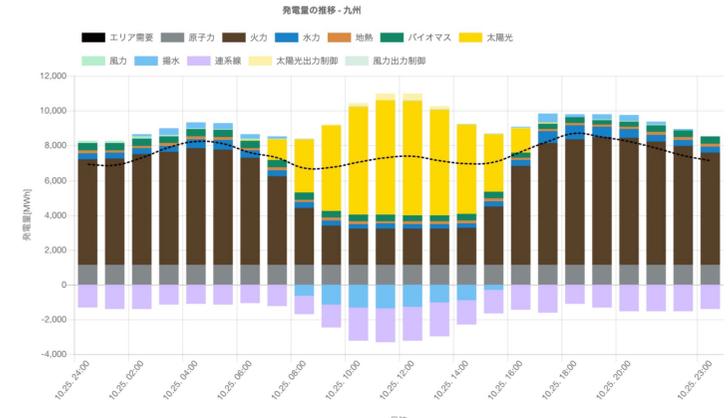
九州エリアの電力需給例（2021年夏）



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。

77

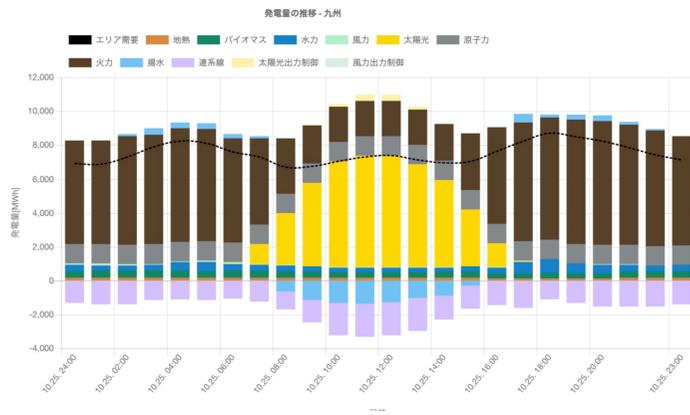
2020年10月25日の九州エリアの発電量



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。

78

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。

79

電力需給のパラダイム転換

- 自家発太陽光発電は含まれていない
 - 太陽光発電の自家消費分は需要の減少分として表されている。
 - ピーク需要抑制の効果がある。
- 再生可能エネルギーの供給量が増加している。
 - 電力需要が少なく、再エネ供給量が多いときには再エネ比率が5割ちかくなっている。（多くのエリアで100%を超えるときも）
 - 電力需要が多いときは、太陽光発電によりピーク電力に対応できるようになっている。
- 揚水発電の使い方が大きく変わっている。
 - かつては電力需要の少ない（つまり供給に余裕がある）夜間に水をくみ上げ、昼間に水を落としていた。
 - 今は、電力需要が少ない日は、電力需要の多い昼間であっても昼間に水をくみ上げている。

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	54.3%	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	46.8%	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>