

長岡工業高等専門学校とシニアとの 対話会

2025年10月23日（木）

講演1:

テーマ:「考えよう日本のエネルギー」

SNW連絡会（シニアネットワーク連絡会）： 本田 一明

本日のお話

項 目	頁
日本のエネルギーの現状	p4
エネルギー資源について(一次、二次エネルギー)	p5
1-1. 日本のエネルギーの現状(安定供給)	p6
1-2. 日本のエネルギーの現状(経済効率)	p11
1-3. 日本のエネルギーの現状(環境)	p13
1-4. 今後のエネルギー需給の見通し	p15
1-5. 電化率と今後の需要電力量の見通し	p16
2-1. いろいろな発電方式	p18
2-2. 再生可能エネルギーについて	p19
2-3. 原子力発電について	p25
2-4. 火力発電について	p32
5. エネルギーを考えるときに大切なこと	p36
6. そうだったのか！ エネルギーミックス	p42
考えよう日本のエネルギー	p44

エネルギーは現代生活の基盤です

電気は照明や動力として、また、ガス・水道を供給するインフラとして、更には食品の生産や加工・流通、運輸、通信など、私たちの生活のあらゆる場面に不可欠です。



スマホの充電



照明



電車やバスの移動



エアコンや暖房

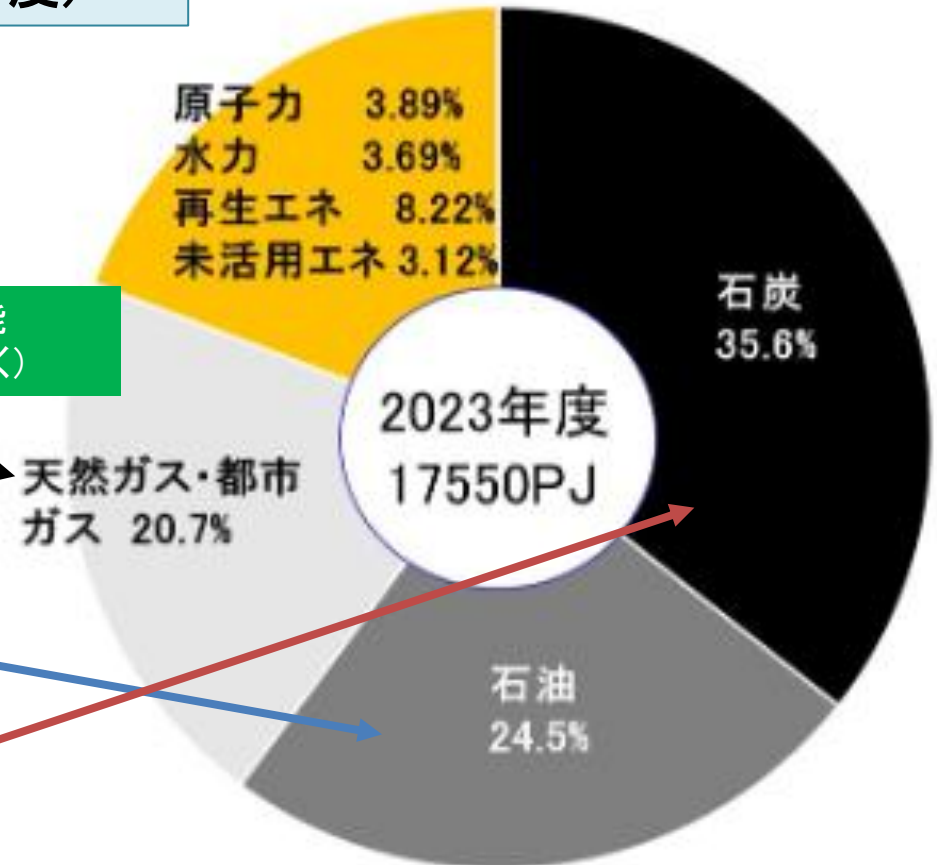
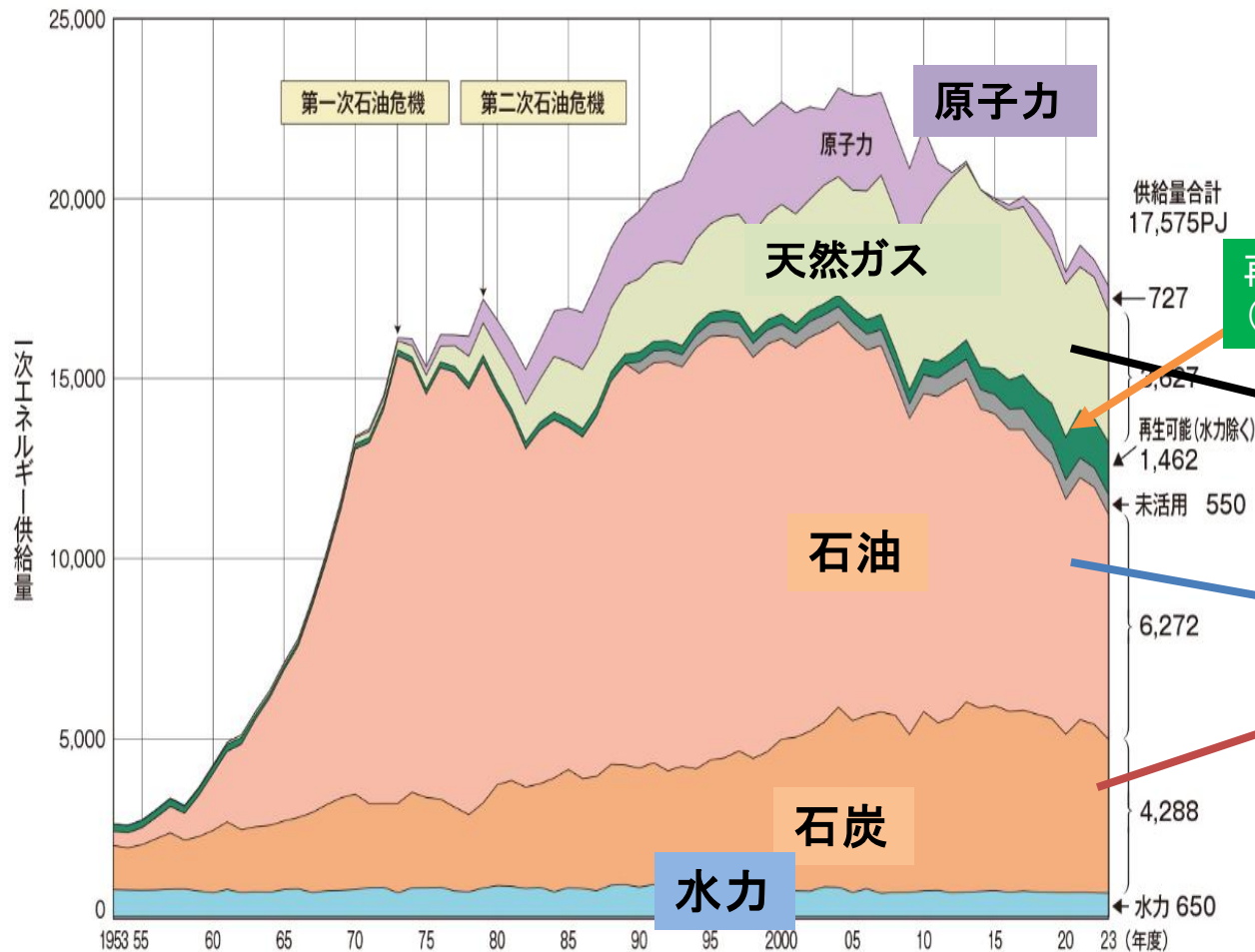


出所: 四国電力HP [エネルギーって何? | エネルギーを考えよう | 第2章 エネルギーって大切だな | 電気の子ヨンのくらしと電気、大たんけん! | 四国電力](#)

日本のエネルギーの現状

一次エネルギーの国内供給実績

化石燃料の割合が80.8%を占めています(2023年度)



出所: 2023年度のエネルギー需給実績 | 脱炭素技術センター

0. エネルギー資源について

一次エネルギーと二次エネルギー

一次エネルギー

(加工されない状態で供給されるエネルギー)

①化石燃料

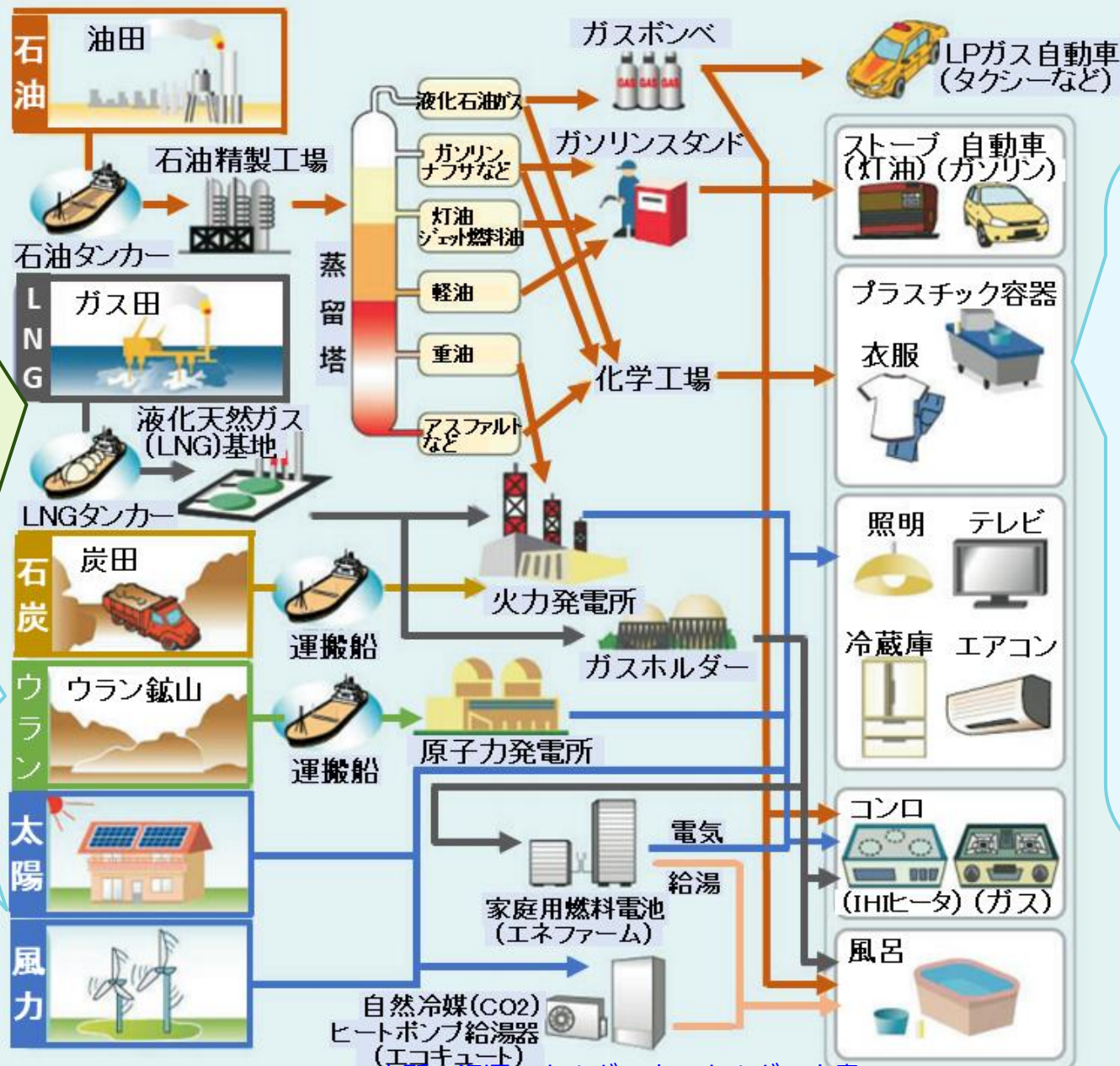
・石油、石炭、天然ガス

②原子力エネルギー

・核分裂、(核融合)

③再生可能エネルギー

・太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなど



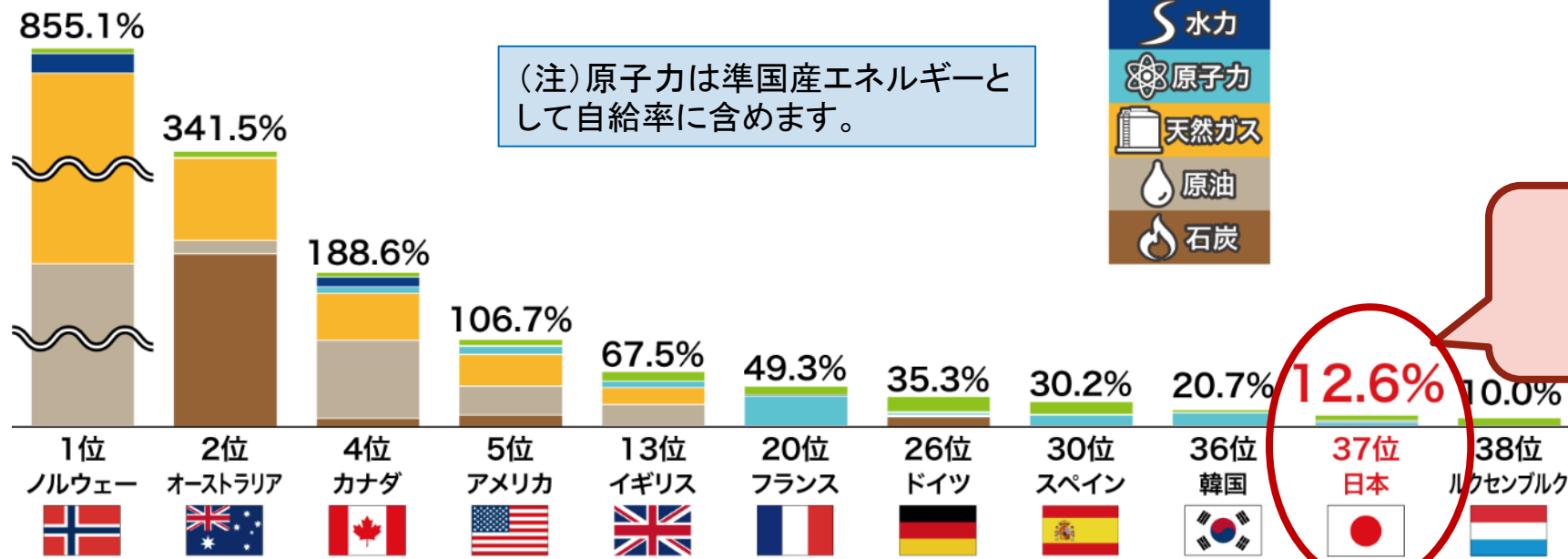
二次エネルギー

(一次エネルギーを転換・加工して輸送、貯蔵、利用に適した形態に変換したエネルギー)

電気、都市ガス、ガソリン、灯油、水素、など

1-1. 日本のエネルギーの現状(安定供給)(1/4)

主要国の一次エネルギー自給率(2022年)



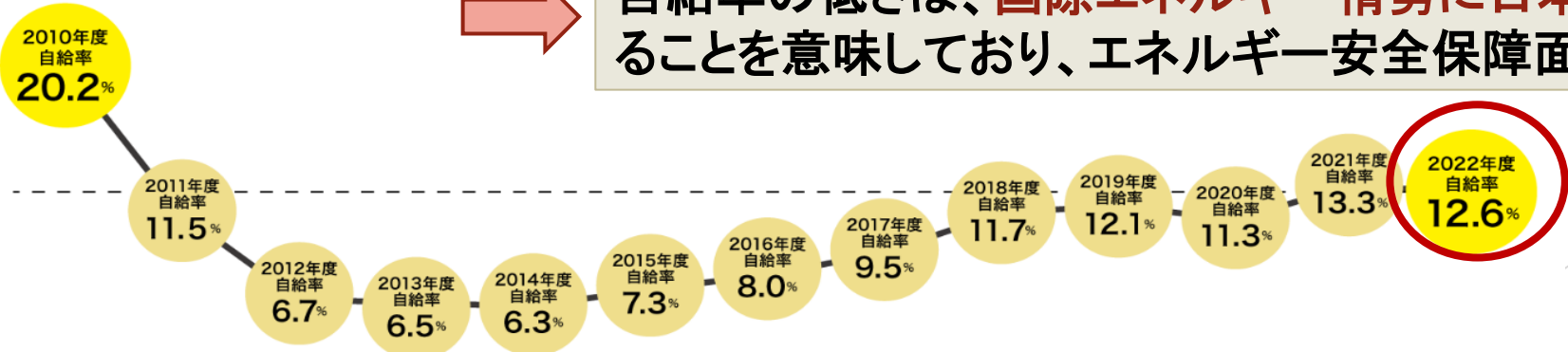
(注)原子力は準国産エネルギーとして自給率に含めます。

エネルギー自給率:
一次エネルギーのうち、自国内で確保できる比率です

課題1:日本のエネルギー自給率は低い

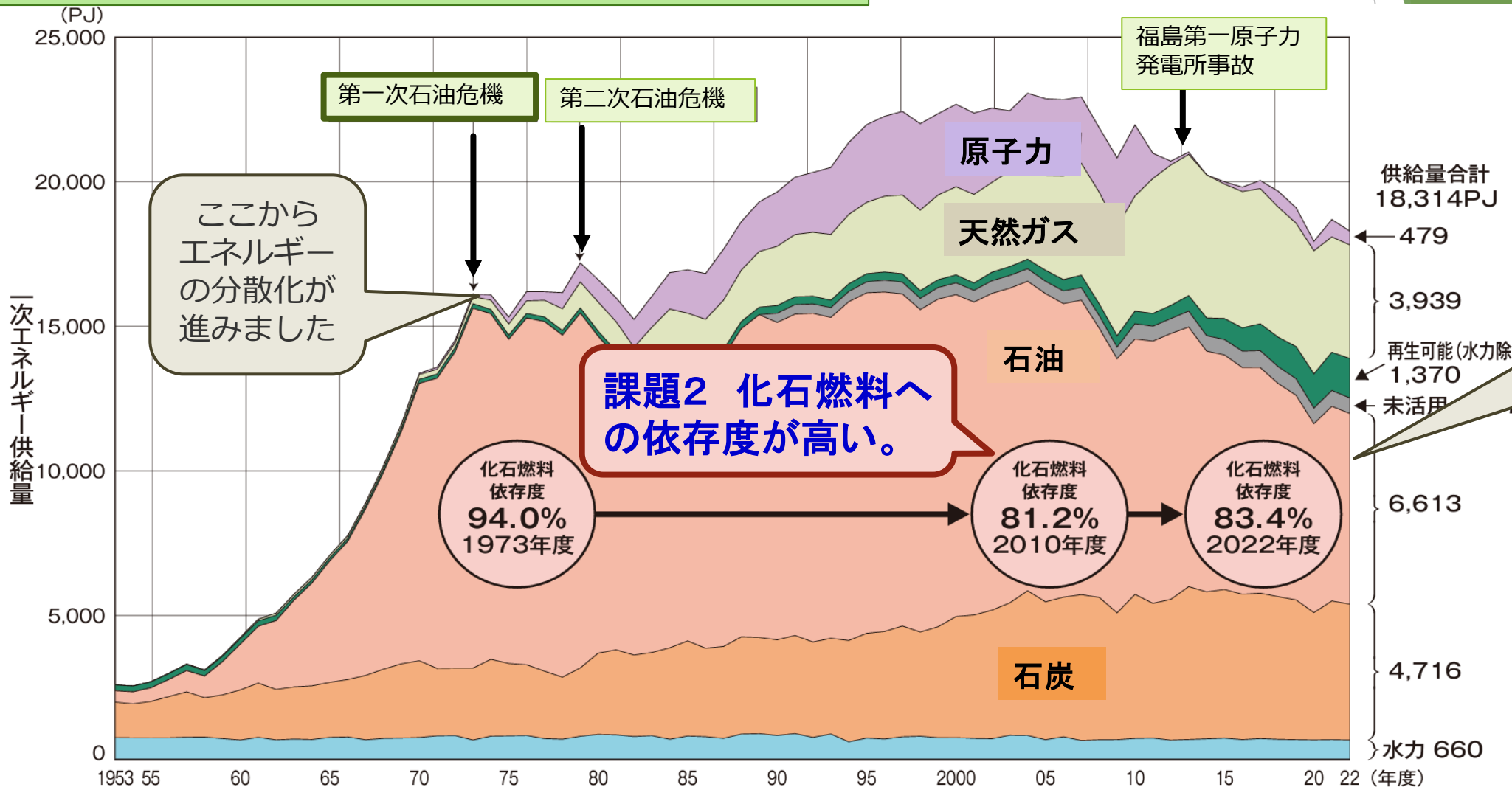
国内にエネルギー資源が乏しいことが原因です

自給率の低さは、国際エネルギー情勢に日本の安全保障が大きく影響されることを意味しており、エネルギー安全保障面での脆弱性を示しています。



1-1. 日本のエネルギーの現状(安定供給)(2/4)

日本の一次エネルギー供給実績推移



化石燃料への依存度が再び高まりました

(注) 1PJ(=10¹⁵J)は原油約25,800klの熱量に相当(PJ:ペタジュール)

「総合エネルギー統計」は、1990年度以降の数値について算出 出所:原子力文化財団HP 24.原子力パンフ.H1H4.入稿

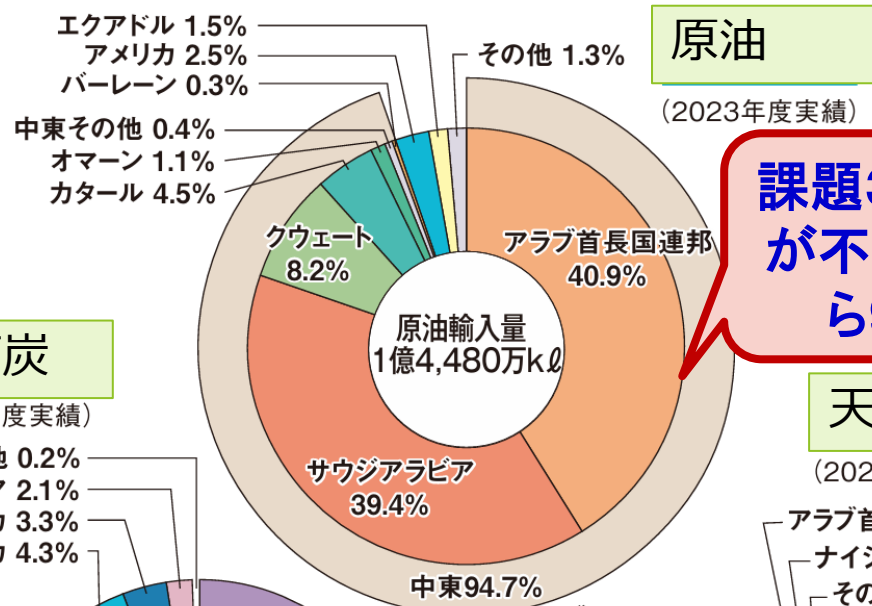
「総合エネルギー統計」より作成

1-1. 日本のエネルギーの現状（安定供給）（3/4）

日本が輸入する化石燃料の相手国別比率

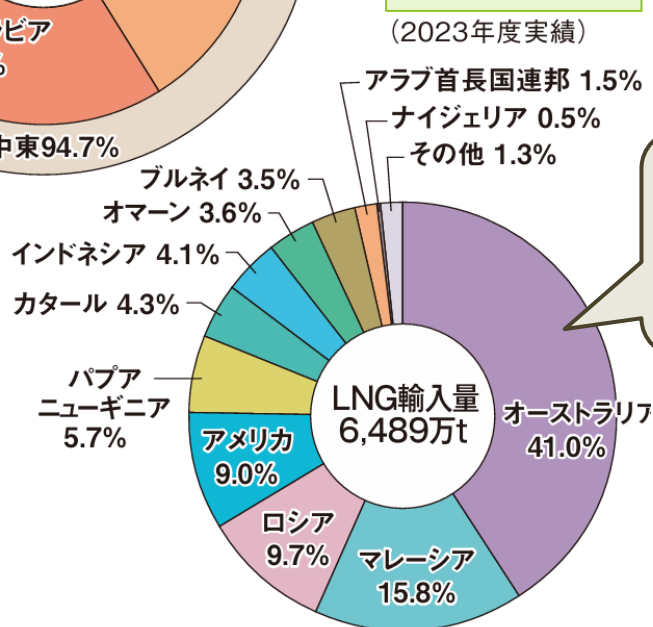
海外にエネルギー資源を依存していると、国際情勢などの影響により、**エネルギー資源を安定的に確保できないという問題**があります

原油



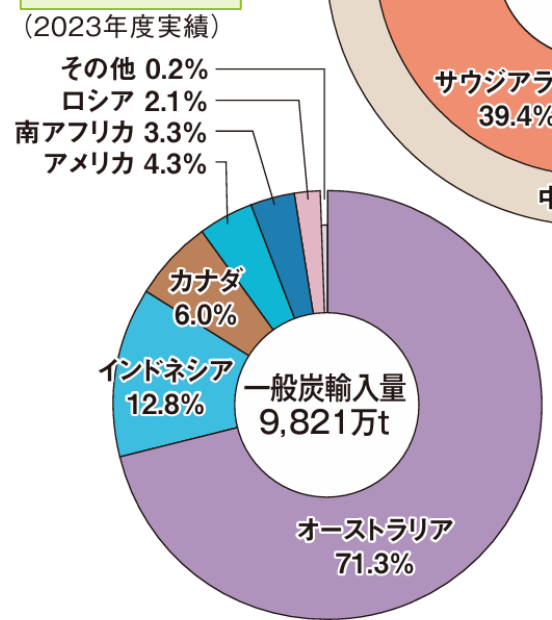
課題3: 原油は政情が不安定な中東から95%以上も

天然ガス

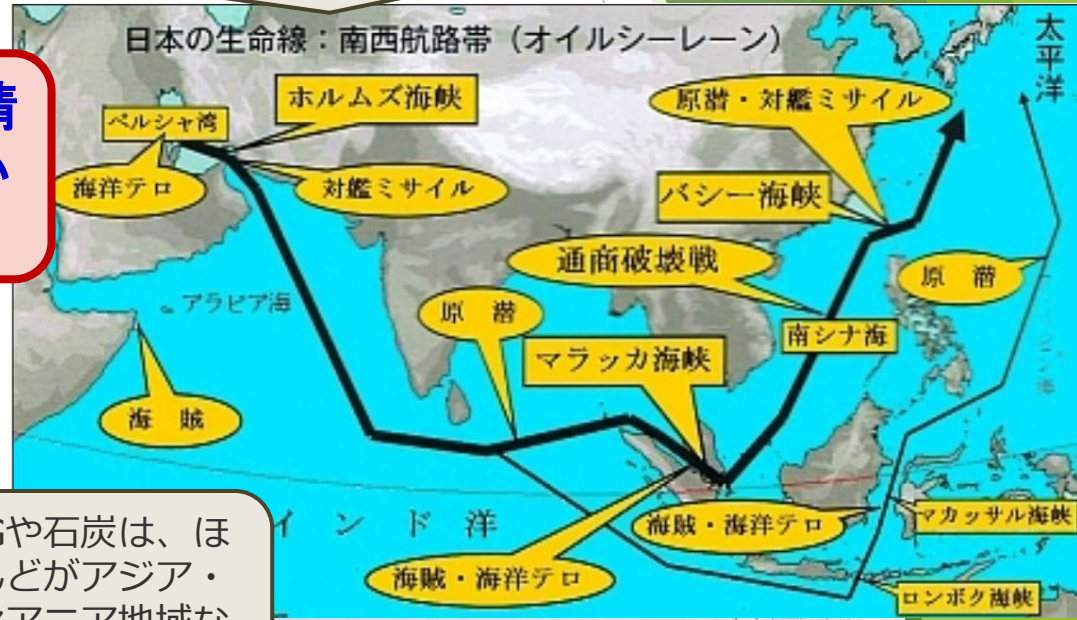


LNGや石炭は、ほとんどがアジア・オセアニア地域など海外からの輸入

石炭



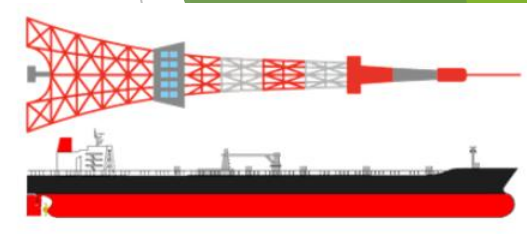
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある



2019年にはホルムズ海峡で日本船籍タンカーが攻撃されています

(参考)石油の輸入について(安定供給)

石油の多くはVLCC (Very Large Crude Carrier) と呼ばれる大型タンカーによって輸送されます



日本で消費する多くの原油は中東から片道12,000キロ、貨物の積み揚げに要する時間も含め1航海45～50日をかけて輸入されます。

VLCCに満載された200万バレルの原油は日本の需要の16時間分(約0.6日)に相当

1-1. 日本のエネルギーの現状(安定供給)(4/4)

課題4: 日本には国際的なガスパイプラインや送電線網也没有せん

エネルギーの周辺環境に恵まれておらず、**単独でのエネルギー安定供給体制が必要です**



欧州のガスパイプライン網

出所: エネ百【1-1-12】ヨーロッパにおける天然ガスのパイプライン網 | エネ百科 | きみと未来と。(ene100.jp)

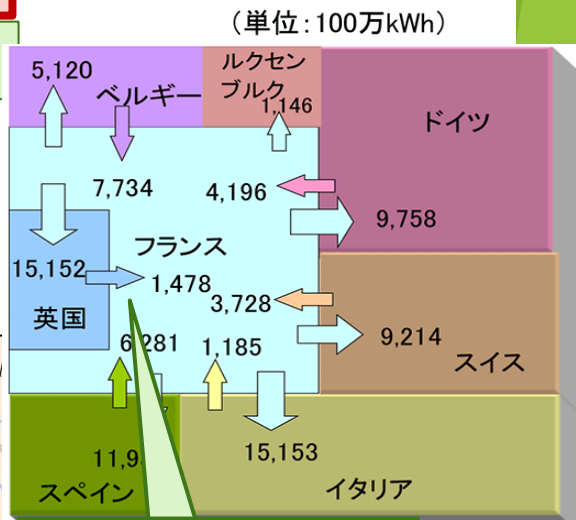
欧州では、各国間のガスパイプラインが整備され、相互に融通されています

欧州電力網は、各国の緊急時の備えとして機能し、また、系統容量が大きいいため、再エネの導入余力を生んでいます



欧州の送電線網

出所: Map Continental-Europe-2.500.000.pdf (entsoe.eu)



フランスの電力輸出入

出所: エネルギー白書2024 第2部 第2章 第2節 二次エネルギーの動向 | 令和5年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書2024) HTML版 | 経済産業省エネルギー庁

フランスで発電された電力(原子力が70%)は、近隣諸国に輸出されており、他国との電力融通は日常的です

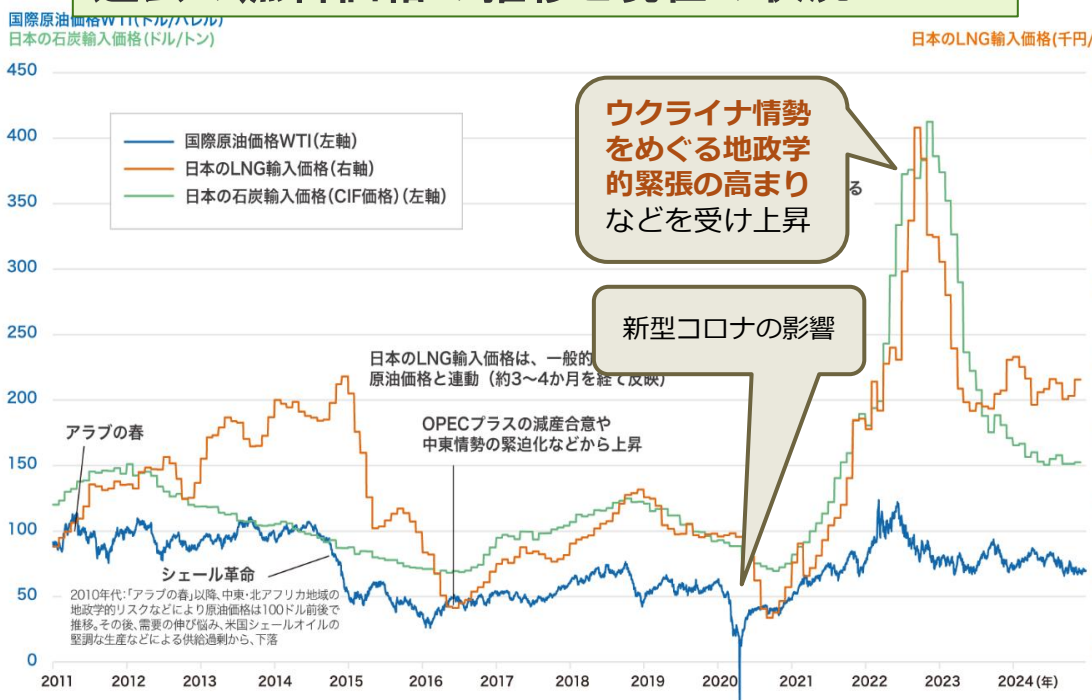
出所: 東北エネルギー懇談会 資料

1-2. 日本のエネルギーの現状（経済効率）(1/2)

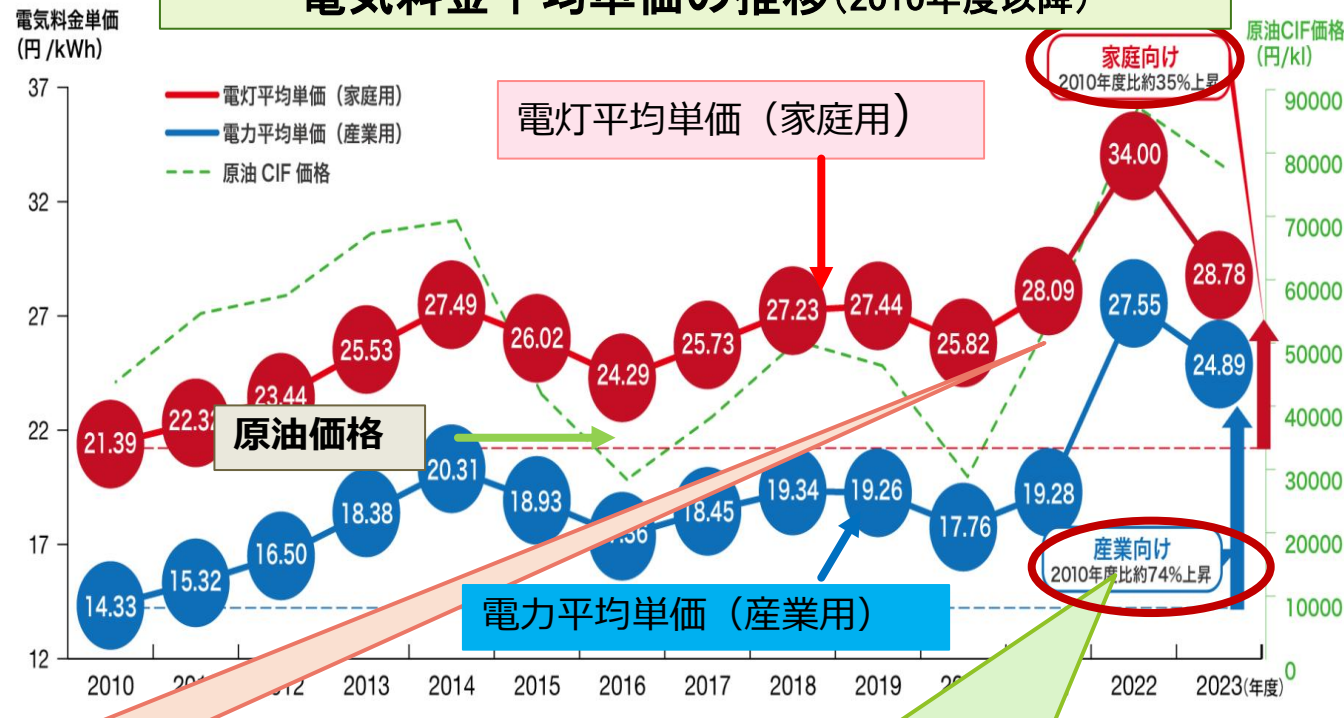
課題5：日本のエネルギー価格は世界のエネルギー価格の動向と密接に関連

燃料価格が、電気料金やエネルギーコストに影響します。

過去の燃料価格の推移と現在の状況



電気料金平均単価の推移（2010年度以降）



為替相場の影響も

震災前と比べ、燃料輸入価格の上昇に伴い2023年度の平均単価は、家庭向けは約35%、産業向けは約74%上昇。

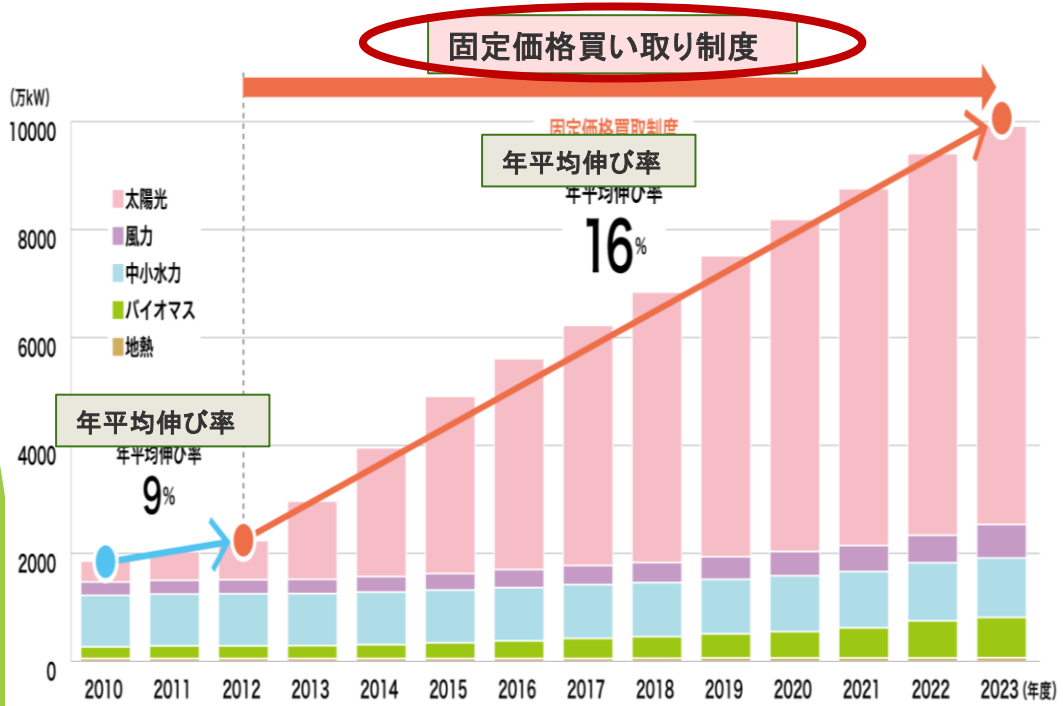
1-2. 日本のエネルギーの現状(経済効率)(2/2)

課題6：固定価格買い取り制度(FIT)が電気料金を押し上げつつあります

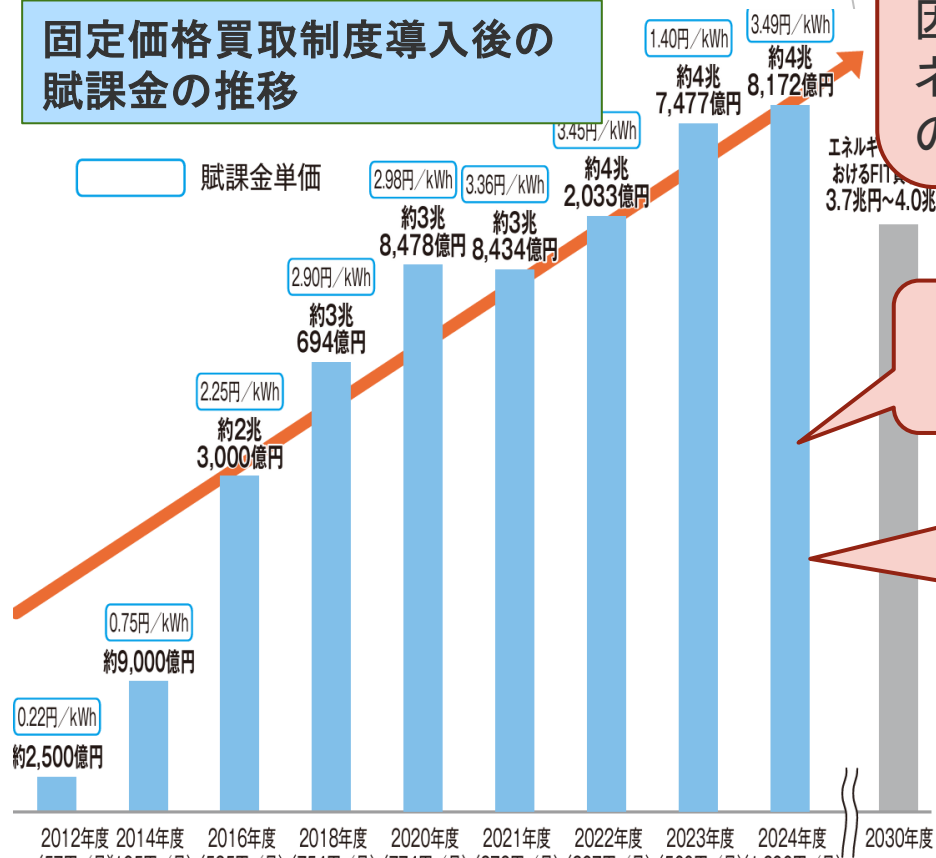
再エネの設備容量は急速に伸びており、それと同時に家庭が負担する買取費用も急速に増加しています。

電気料金を左右するもうひとつの要因が、再生可能エネルギー(再エネ)のコストです。

再エネの設備容量の推移(大規模水力は除く)



固定価格買取制度導入後の賦課金の推移



2022年度の買取費用は4.8兆円

2022年度の賦課金単価は3.49円/kWh

出所: エネ庁HP [energy_in_japan2023\(meti.go.jp\)](http://energy_in_japan2023(meti.go.jp))

1-3. 日本のエネルギーの現状(環境) (1/2)

課題7: 脱炭素(カーボンニュートラル)に向けた対応が求められています

カーボンニュートラルとは

「温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させること」を意味します。

- ・ 経済活動を行う以上、完全に二酸化炭素（温室効果ガス）の排出量をゼロにすることはできない。
- ・ そこで、できるだけ排出量を減らした上で、どうしても残った「残存排出量」の分を森林に吸収させたり、地下に埋めたりすることで実質的な排出量をゼロにするという考え。

2020年10月の臨時国会で、菅総理が「2050年カーボンニュートラル宣言」を行いました。

「我が国は、2050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2025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致します」

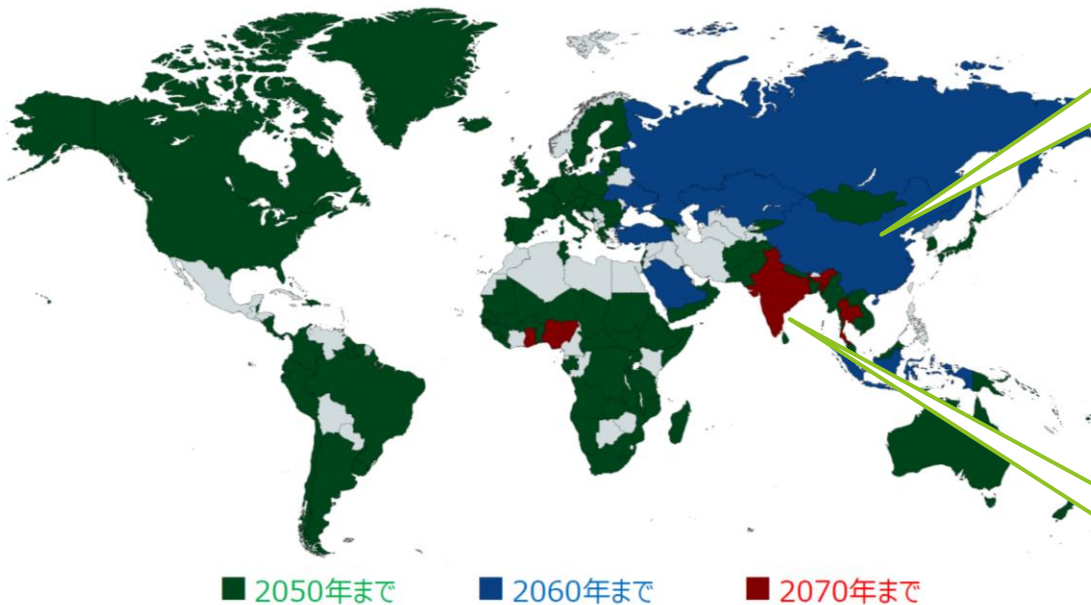


出所: 首相官邸Twitter

1-3. 日本のエネルギーの現状(環境) (2/2)

カーボンニュートラルは世界の潮流

カーボンニュートラルを表明した国・地域 (2024年4月時点)



・2050年までのカーボンニュートラルを表明している国・地域は日本を含めて146カ国(G20のすべての国)です。
 ・さらに2060年、2070年までのカーボンニュートラルを表明している国・地域を含めると、世界全体のCO2排出量に占める割合は9割になります。

出所: エネ庁HP [energy.in.japan2023\(meti.go.jp\)](http://energy.in.japan2023(meti.go.jp))

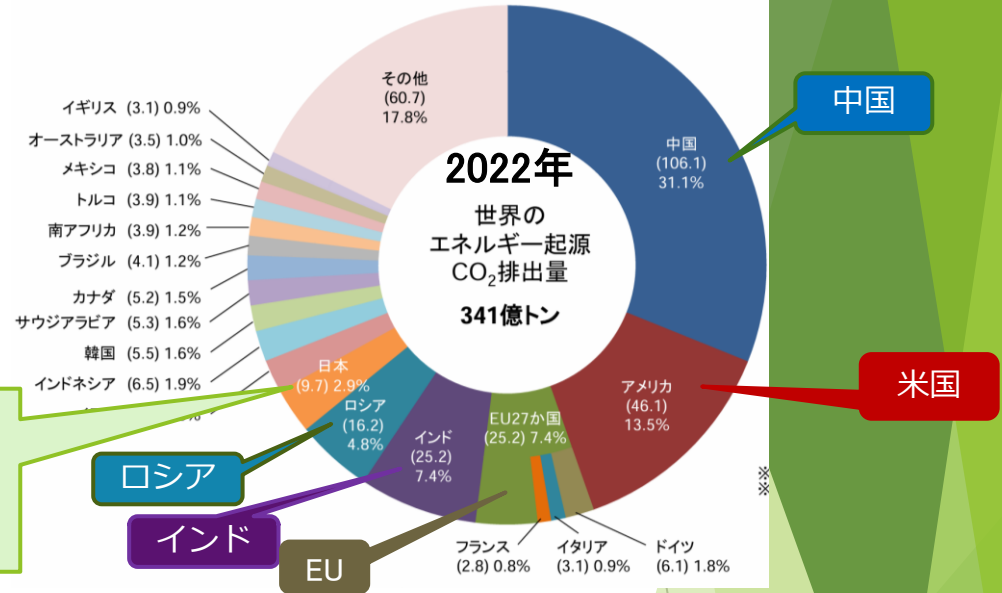
中国(32%)、ロシア(5%)は2060年まで

日本は9.7億トン2.9%

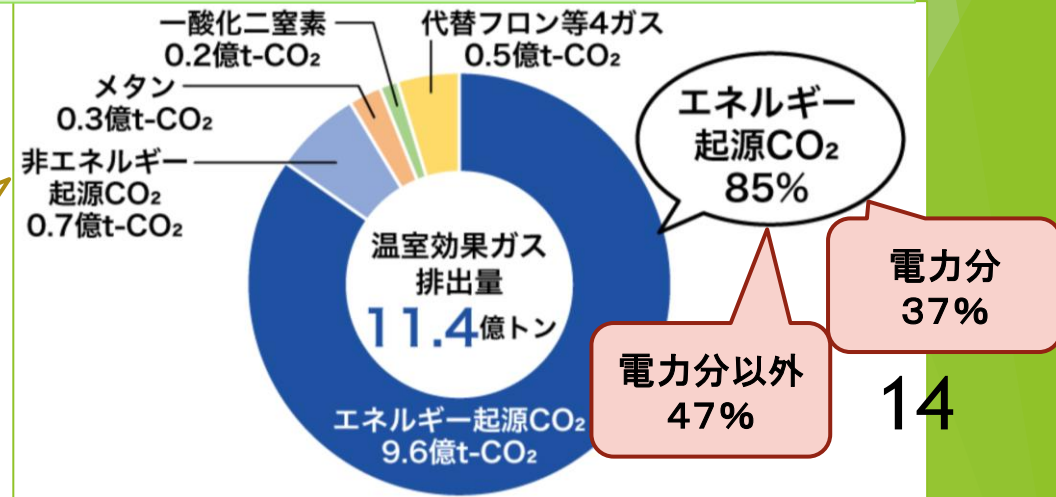
インド(7%)は2070年まで

工業プロセスにおける化学反応や廃棄物の処理などで発生する二酸化炭素。(例えば、セメントの製造、生石灰の製造、ソーダ灰ガラスや鉄鋼の製造、アンモニアの製造、エチレンの製造、などの工程で発生)

世界のエネルギー起源CO2排出量341億トン

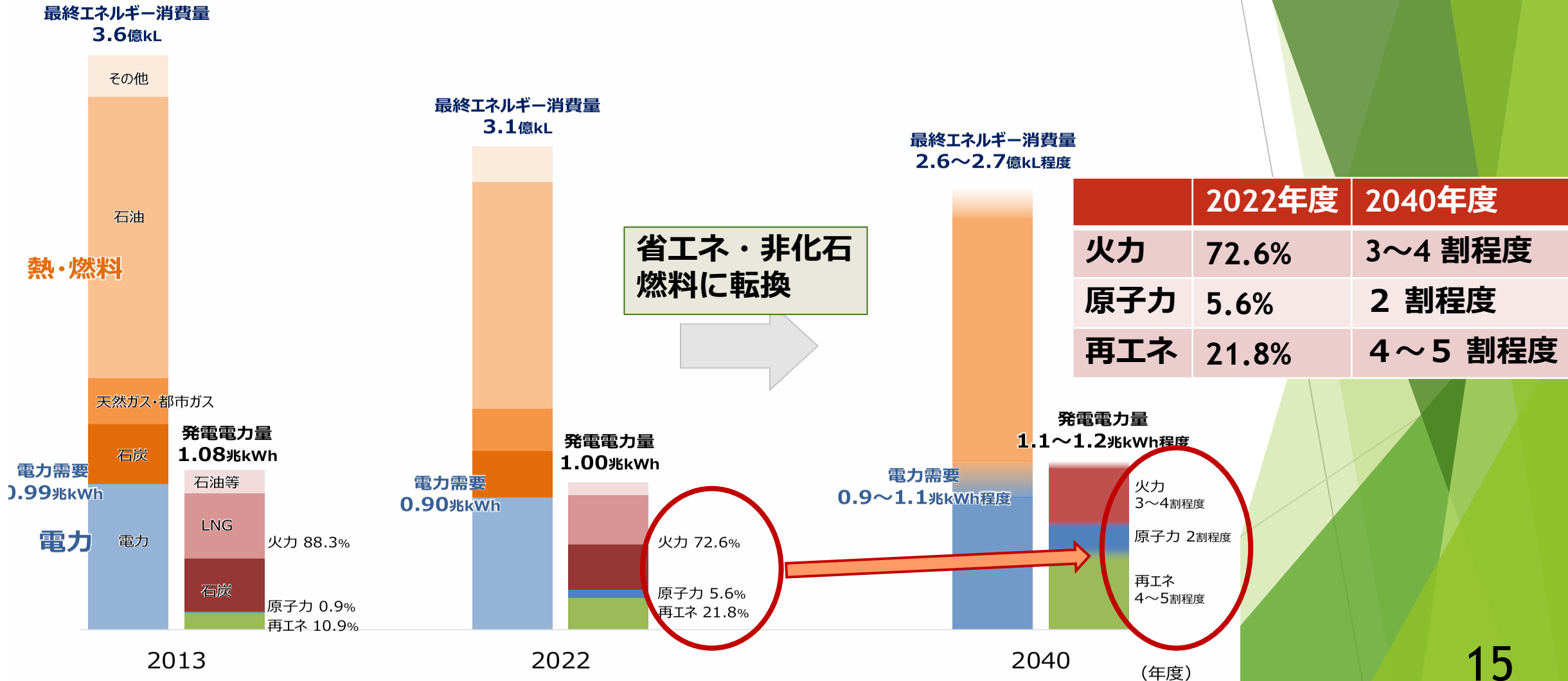


日本の温室効果ガス排出量 (2022年度)



1-4. 今後のエネルギー需給の見通し(2040年度におけるイメージ)

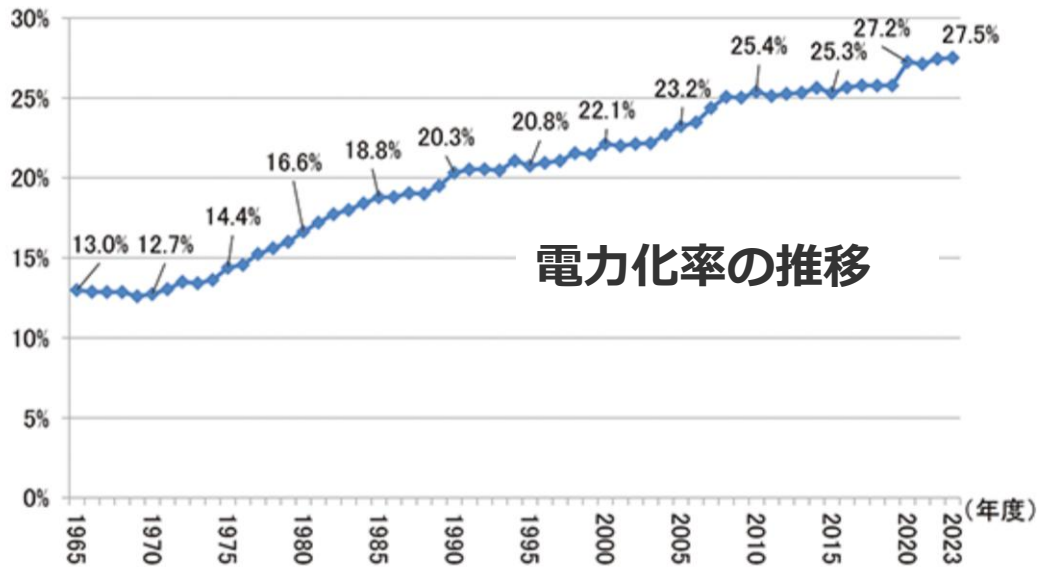
第7次エネルギー基本計画(令和7年2月18日閣議決定)



(注) 左のグラフは最終エネルギー消費量、右のグラフは発電電力量であり、送配電損失量と所内電力量を差し引いたものが電力需要。

1-5.電化率と今後の需要電力量の見通し

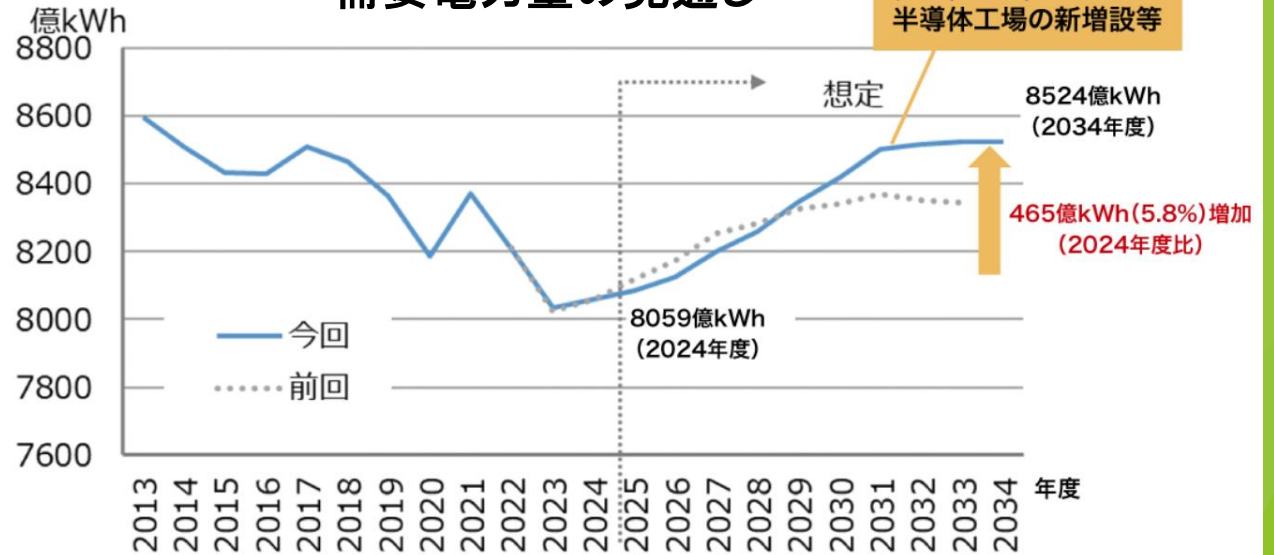
電力化率(%)=電力消費/最終エネルギー消費×100



二次エネルギーである電気は、多くの分野で使う場面が増えており、1970年度に12.7%であった電力化率は、右肩上がりに上昇し、2023年度には27.5%に達しました

デジタル化の進展等による電力需要

需要電力量の見通し



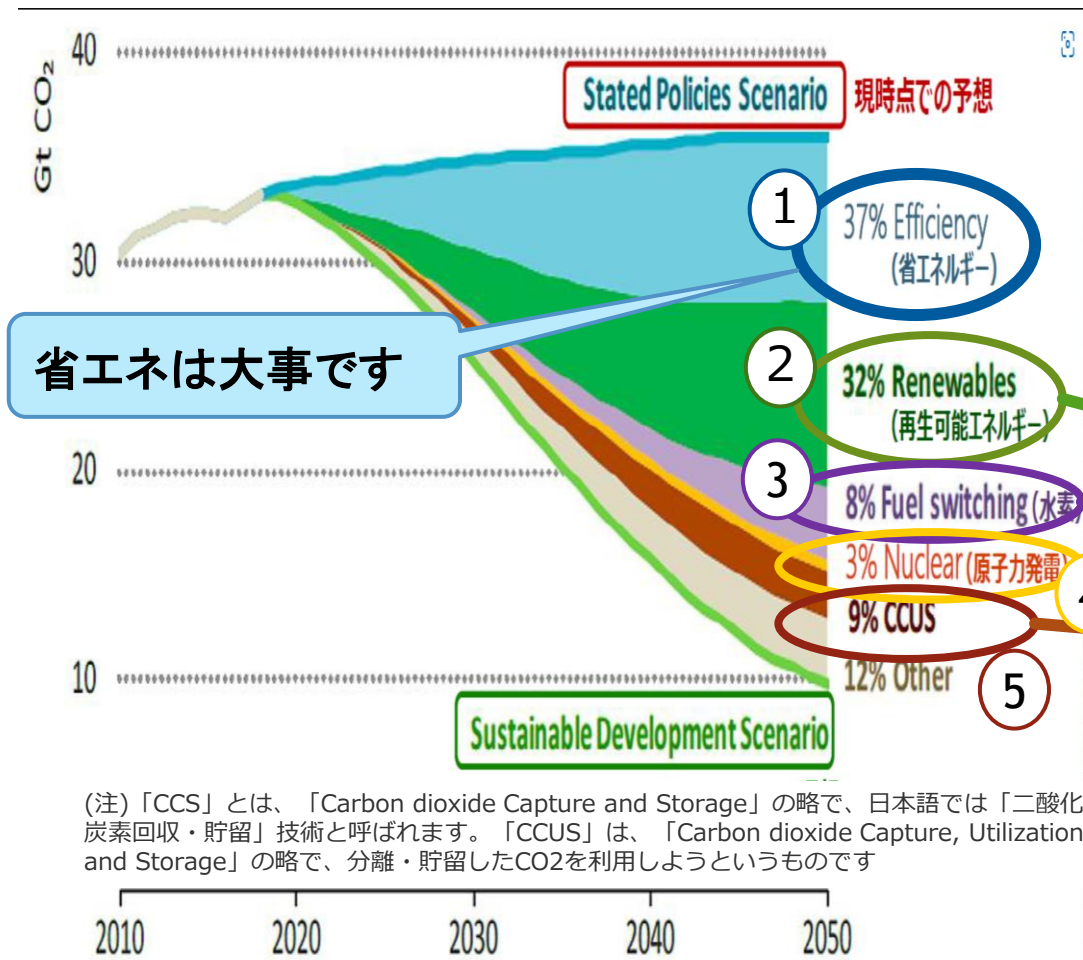
人口減少や節電・省エネ等により家庭部門の電力需要は減少傾向ですが、データセンターや半導体工場の新増設等による産業部門の電力需要の大幅増加により、省エネ等の進展を考慮してもなお、全体として**電力需要は増加に転じると見込まれています。**

出所: エネ庁HP 第1章 第1節 エネルギー需給の概要 | エネルギー動向(2025年6月版) | 経済産業省・資源エネルギー庁

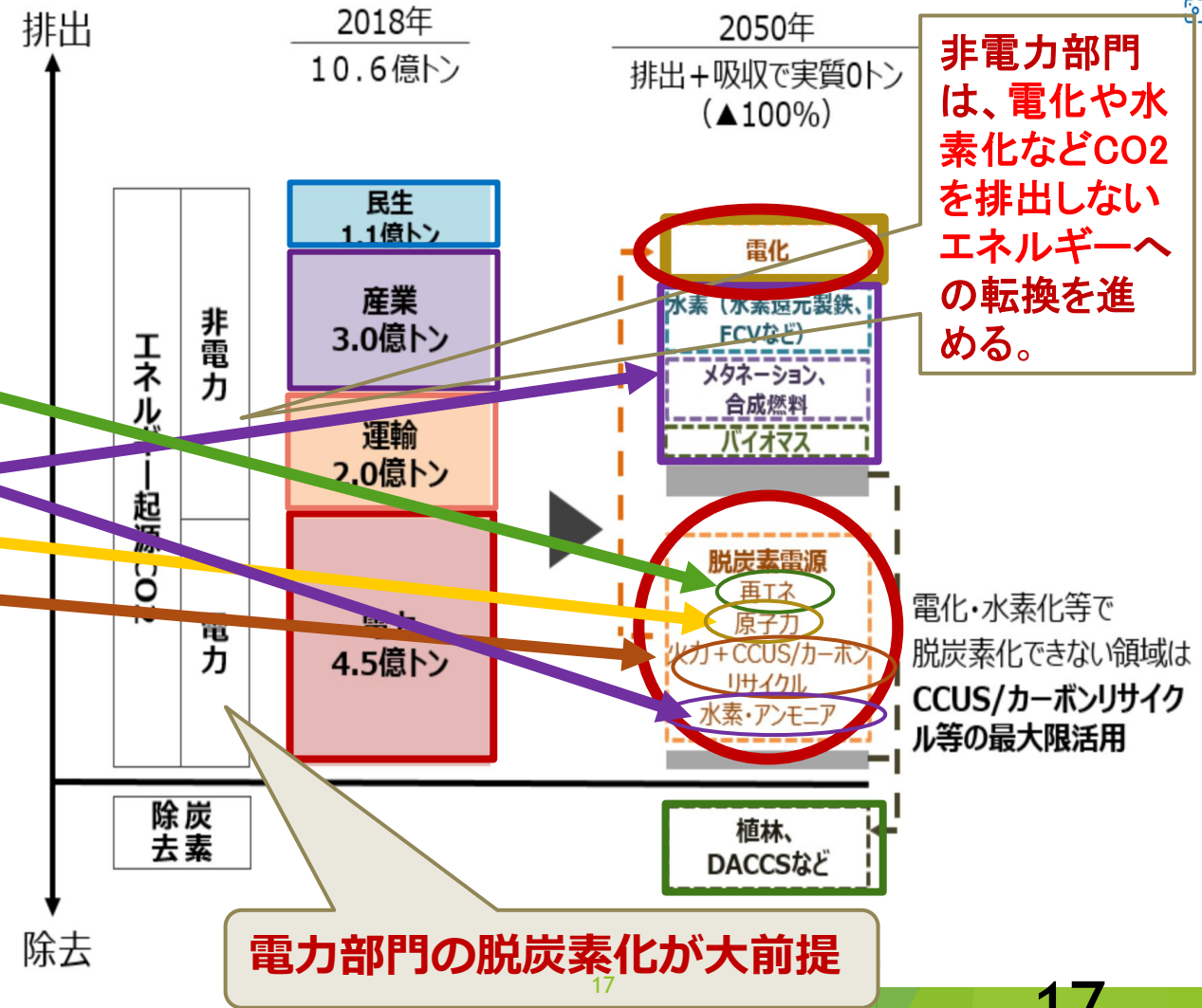
出所: エネ庁HP 1.S+3E | 資源エネルギー庁

(参考) どのようにしてCO2を減らすのか

IEA (国際エネルギー機関) のシナリオ



日本での削減イメージ



出所 (右図) : 資源エネルギー庁HP「カーボンニュートラル」って何ですか? (後編) ~なぜ日本は実現を目指しているのか? | スペシャルコンテンツ | 資源エネルギー庁 (meti.go.jp)

2-1. いろいろな発電方式

火力、原子力、再生エネ



火力発電所



原子力発電所



太陽光発電所



バイオマス発電所



風力発電所



水力発電所



地熱発電所



揚水式水力発電所

2-2. 再生可能エネルギーについて (1/5)

再生可能エネルギー（太陽光・風力）のメリット／課題

- ### メリット
- 燃料が枯渇する心配がない
 - 発電時にCO2を出さない
 - 原子力のような事故の心配がない

- ### デメリット
- ▲天候に左右され、発電が不安定
 - ▲総合コストを考慮した発電コストが割高
 - ▲景観を害する事例も発生

(注)総合コスト; 電源を電力システムに受け入れるコスト

変動型
再生エネ

安定型
再生エネ

	強み	課題
太陽光発電	<ul style="list-style-type: none"> ・相対的にメンテナンスが簡易 ・非常用電源としても利用可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・天候により発電出力が左右される ・一定地域に集中すると、送配電システムの電圧上昇につながり、対策に費用が必要となる
風力発電	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模に開発した場合、コストが火力、水力並みに抑えられる ・風さえあれば、昼夜を問わず発電できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・広い土地の確保が必要 ・風況の良い適地が北海道と東北などに集中しているため、広域での連携についても検討が必要
水力発電	<ul style="list-style-type: none"> ・安定して長期間の運転が可能で信頼性が高い ・中小規模タイプは分散型電源としてのポテンシャルが高く、多くの未開発地点が残っている 	<ul style="list-style-type: none"> ・中小規模タイプは相対的にコストが高い ・事前の調査に時間を要し、水利権や関係者との調整も必要
地熱発電	<ul style="list-style-type: none"> ・出力が安定しており、大規模開発が可能 ・昼夜を問わず24時間稼働 	<ul style="list-style-type: none"> ・開発期間が10年程度と長く、開発費用も高額 ・温泉、公園施設などと開発地域が重なるため地元との調整が必要
バイオマス発電	<ul style="list-style-type: none"> ・資源の有効活用で廃棄物の削減に貢献 ・天候に左右されにくい 	<ul style="list-style-type: none"> ・原料の安定供給の確保や、原料の収集運搬、管理にコストがかかる

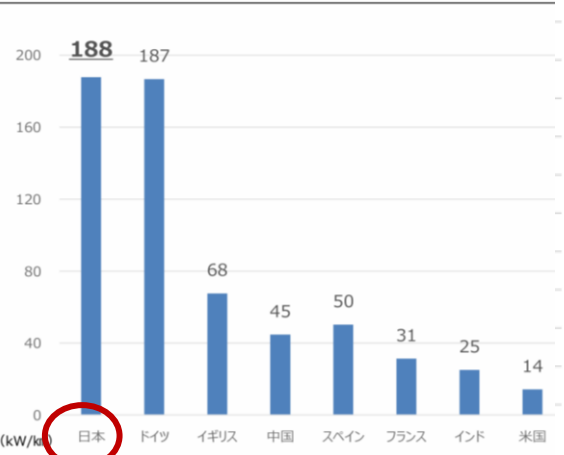
出所(下表): 資源エネルギー庁HPから作成
[制度の概要](#) | [固定価格買取制度](#) | なっとく! 再生可能エネルギー (meti.go.jp)

2-2. 再生可能エネルギーについて (2/5)

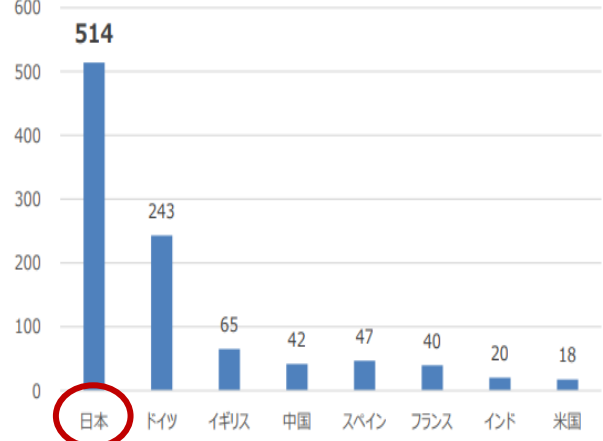
太陽光：国土面積当たりの**日本の太陽光導入容量は主要国の中で最大**。平地面積で見るとドイツの2倍

風力：日本は風況の良い平地が限られているため、山間部の割合が増加。開発し易い平野部での適地が減少しつつある。 今後はコストは高くなるが**洋上風力**に期待がかかる。

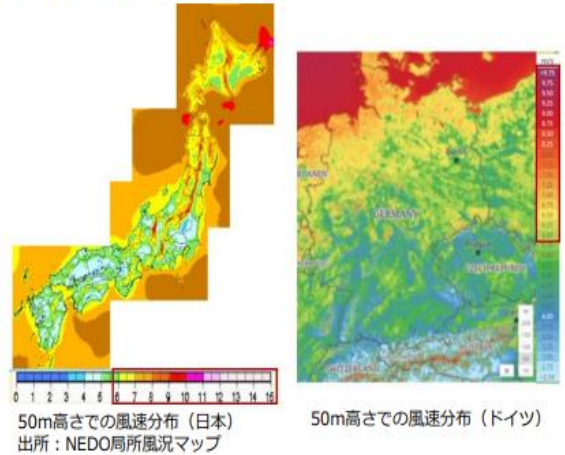
国土面積あたりの太陽光設備容量 (2023年)



【平地面積あたりの太陽光設備容量】



日本と欧州における風況の違い



1MW以上の認定案件のうち山間部の案件が占める割合 (容量ベース)



	日	独	英	中	仏	西	印	米
国土面積	38万km ²	36万km ²	24万km ²	960万km ²	54万km ²	51万km ²	329万km ²	983万km ²
平地面積※ (国土面積に占める割合)	13万km ² (34%)	24万km ² (68%)	21万km ² (87%)	740万km ² (77%)	37万km ² (68%)	32万km ² (63%)	257万km ² (78%)	674万km ² (68%)
太陽光の設備容量 (GW)	66	59	14	308	15	15	52	118
太陽光の発電量 (億kWh)	861	500	124	3,392	151	216	719	1,462
発電量 (億kWh)	10,328	9,909	3,080	85,010	5,505	2,709	16,512	43,490
太陽光の総発電量に占める比率	8.3%		4.0%	4.0%	2.7%	8.0%	4.4%	3.4%

日本と欧州各国の国土比較 (同縮尺)



設備容量は、中国、米国について世界第3位です。

出所: エネ庁HP 058_004.pdf (meti.go.jp)

出所: エネ庁HP 031_02_00.pdf (meti.go.jp)

2-2. 再生可能エネルギーについて(3/5)

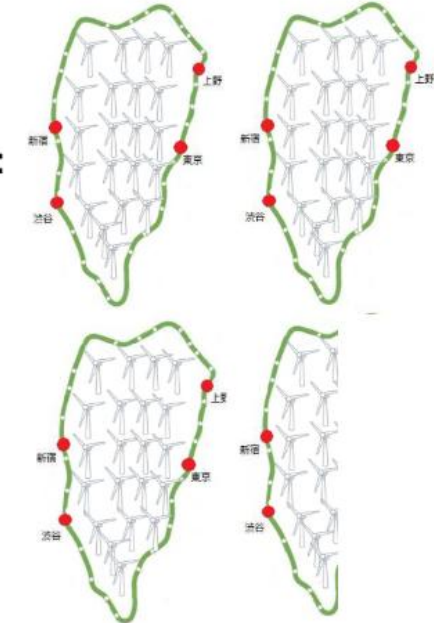
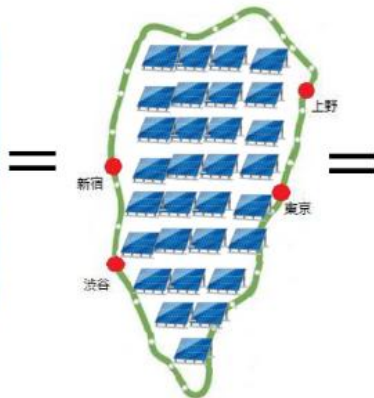
広大な土地が必要

原子力発電1年間分と同じ発電量を得るために必要な面積

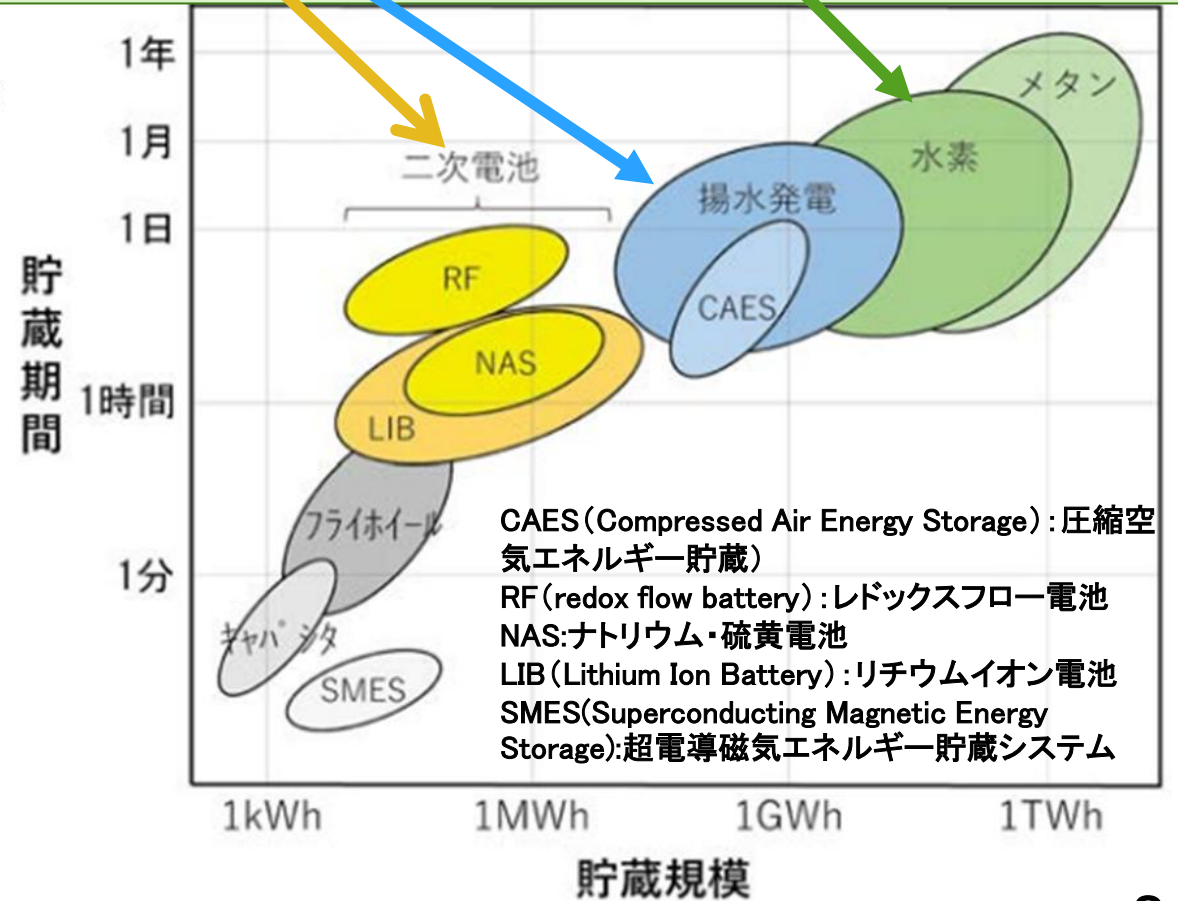
原子力発電所
100万kW級
(約0.6km²)

太陽光発電
山手線一杯の面積
(約58km²)

風力発電
山手線の3.4倍の面積
(約214km²)



太陽光は夜、雨天、曇天、風力は風のない日は発電できない
→ 「蓄電池」に期待がかかるが・・・
→ ~~揚水発電~~、燃料を転換した（水素）或いはCCUS付火力発電が現実的では・・・

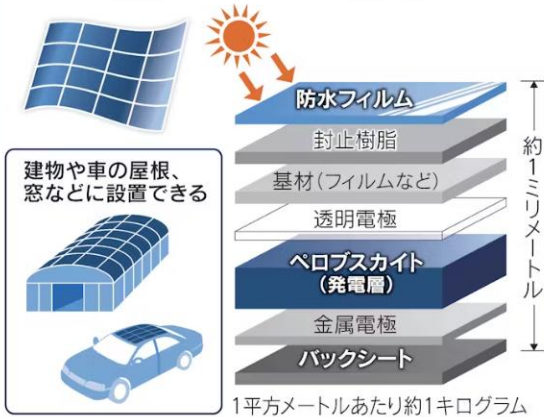


2-2. 今後期待される再生可能エネルギー (4/5)

ペロブスカイト太陽電池



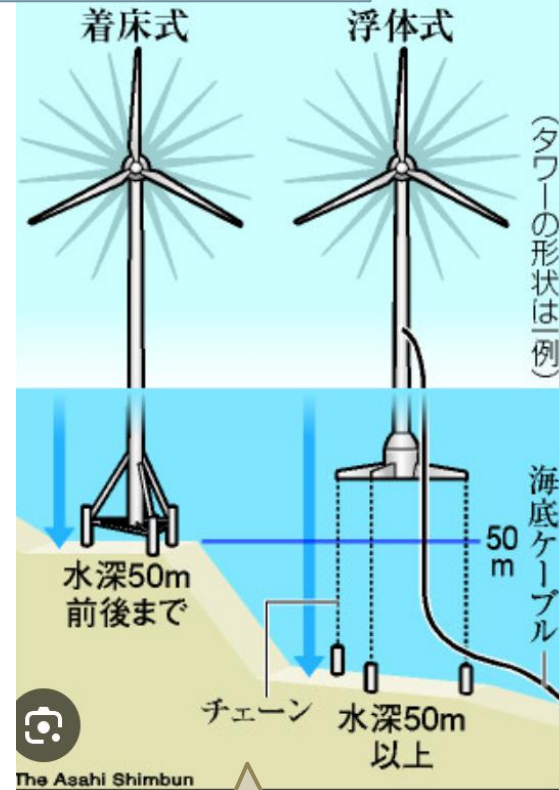
ペロブスカイト太陽電池は薄くて軽く、曲げられる



- ◆**低コスト**: 印刷で量産できるため工程数も少なく、コストはシリコン製に比べて安い
- ◆**安全保障**: 主原料はヨウ素であり、ヨウ素は日本が世界第2位の生産量を誇るものです
- ◆**軽量**: 厚さ1 μm (0.001ミリ) 以下で軽く、曲面設置も可能で、応用範囲は広い(自動車も)
- ◆**悪条件に強い**: 曇りや雨、室内でも発電でき、夕方の発電量降下も相当に緩やかです
- ◆**高効率・高耐久性**: 研究の進展によって変換効率や耐久性の向上で実用化が近い

出所: 東北エネルギー懇談会HP

洋上風力発電



	洋上	
	着床式	浮体式
風の状況	○	◎
コスト	◎	△
の地形や景観や制約など	△	◎
(現在の普及の度合い)	◎	○
(日本の競争力)	△	◎

コスト低減が課題です

洋上風力には着床式と浮体式の2種類があります



(参考) ペロブスカイト太陽電池

【ペロブスカイト太陽電池の特徴】積水化学の設備

- ・**低コスト**: **印刷で生産**。
200°C以下で生産できエネルギー回収が短くなり安価
- ・**安全保障**: レアメタル不要。**主原料のヨウ素は日本が大量に保有**



- ・**悪条件に強い**: 曇り等でも発電。夕方の発電量降下も緩やか。東南西向き設置で安定も
- ・**軽量**: 厚さ1μm以下、重さは1/10。また**曲面への設置も可能**で、ビルの窓や壁、自動車など範囲が広い

- ・**課題**: 大面積での高効率化(20%超)、鉛の使用量の削減、耐久性の向上等が実用化のカギとなる



みずほPayPayドーム

【**耐久性**】キャノンが、高効率で20年超耐用の**高機能材料**を開発し、2025年量産開始(24/6/18発表)

- ・**インクジェットプリンター印刷**、レーザー加工でデザインも自由
- ・ベランダや窓ガラス(住宅、ビル)で発電。発電量と光透過率はトレードオフで調整可(色も選択可)
- ・**ビル全体が発電所**となることなどが話題となってニーズが強く、実用化は2026年と2年前倒し(24/7/25発表)

パナソニックの「**窓ガラス発電**」



【**開発経緯**】桐蔭横浜大学宮坂教授と大学院生で開発。特許は出さずに発表した当初の関心は低かった。オックスフォード大学による発電効率3%→10%の発表後、世界中で開発競争。

【**EVに利用**】変換効率が35%なら、EV車庫の屋根(10m²)で約100km走行に必要な電力10.5kWhを、またEV車体(2m²)への設置で約20km走行電力2.1kWhを1日分で賄える。(東大大学院研究所瀬川教授)

【**前倒し**】国は「2030年頃の社会実装」→「2025年の事業化」へ5年前倒し計画(2023/12/15GX会議分野別資料P60)

2-2. 再生可能エネルギーについて(5/5)

再エネ導入に向けた課題

326の自治体で規制する条例を制定(2025/9/17時点)

①地域との共生

- ✓ 傾斜地への設置など安全面での懸念増大。
 - ✓ 住民説明不足等による地域トラブル発生。
- ⇒ **地域との共生に向けた事業規律強化が必要**

②国民負担の抑制

- ✓ FIT制度による20年間の固定価格買取によって国民負担増大(2024年度3.49円/kWh)。
 - ✓ 特にFIT制度開始直後の相対的に高い買取価格。
- ⇒ **FIPや入札制度活用など、更なるコスト低減が必要**

③出力変動への対応

- ✓ 気象等による再エネの出力変動時への対応が重要。
 - ✓ 全国大での出力制御の発生。
 - ✓ 再エネ導入余地の大きい地域(北海道、東北など)と需要地が遠隔。
- ⇒ **地域間連系線の整備、蓄電池の導入などが必要**

④イノベーションの加速とサプライチェーン構築

- ✓ 平地面積や風況などの地理的要件により新たな再エネ適地が必要。
 - ✓ 太陽光や風力を中心に、原材料や設備機器の大半は海外に依存。
 - ✓ 技術開発のみならず、コスト低減、大量生産実現に向けたサプライチェーン構築、事業環境整備が課題
- ⇒ **ペロブスカイトや浮体式洋上風力などの社会実装加速化が必要**

⑤使用済太陽光パネルへの対応

- ✓ 不十分な管理で放置されたパネルが散見。
 - ✓ 2030年半ば以降に想定される使用済太陽光パネル発生量ピークに計画的な対応が必要。
 - ✓ 適切な廃棄のために必要な情報(例:含有物質情報)の管理が不十分。
- ⇒ **適切な廃棄・リサイクルが実施される制度整備が必要**



台風による水害で被災した太陽光パネルの例

出所: エネ庁HP
250124_1.pdf

2-3. 原子力発電について(1/7)

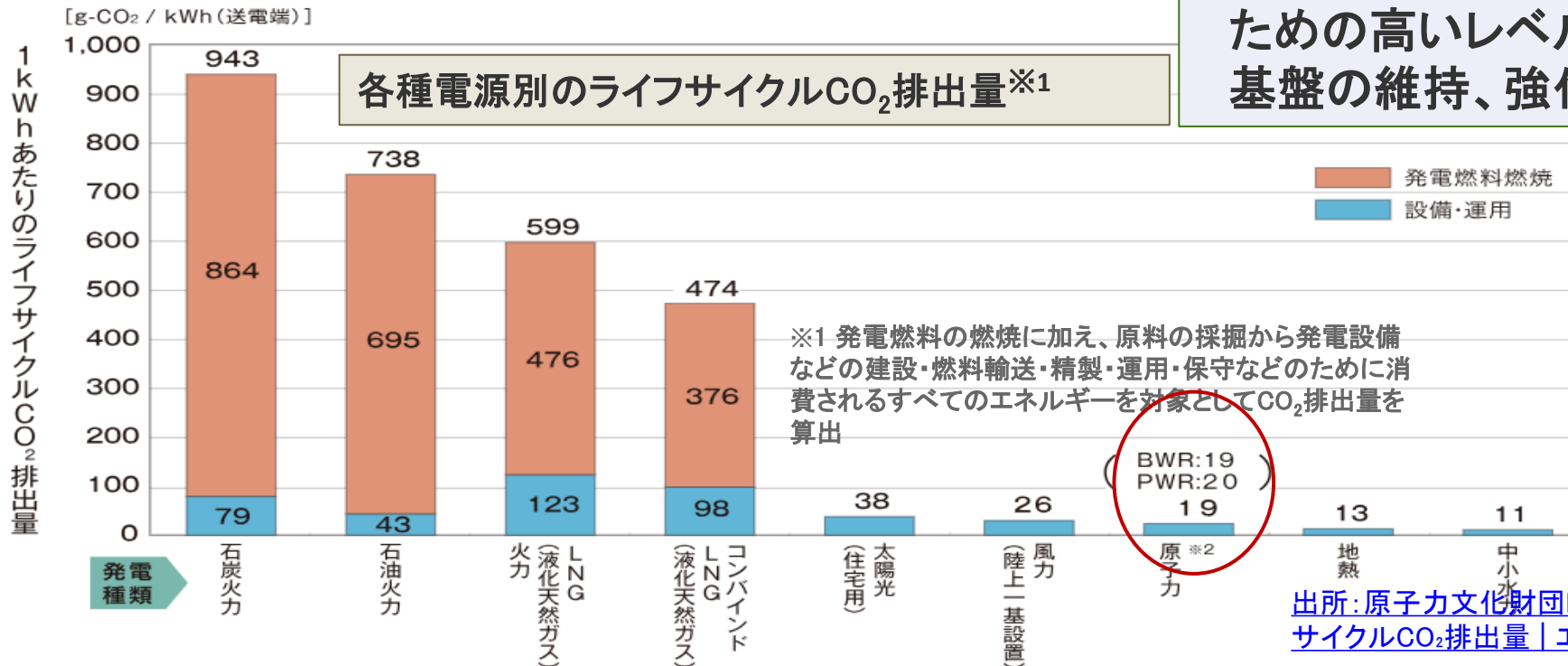
原子力のメリット／課題

メリット

- ・発電時にCO2を排出しない
- ・気象条件などによる発電電力量の変動がない
- ・準国産エネルギー源として、安定供給できる
- ・発電コストと統合コストがともに低い

課題

- ・社会的信頼の回復
- ・安全性向上、核セキュリティの追求
- ・廃炉や放射性廃棄物処分などのバックエンド問題への対処
- ・エネルギー源として原子力の活用を継続するための高いレベルの原子力人材・技術・産業基盤の維持、強化



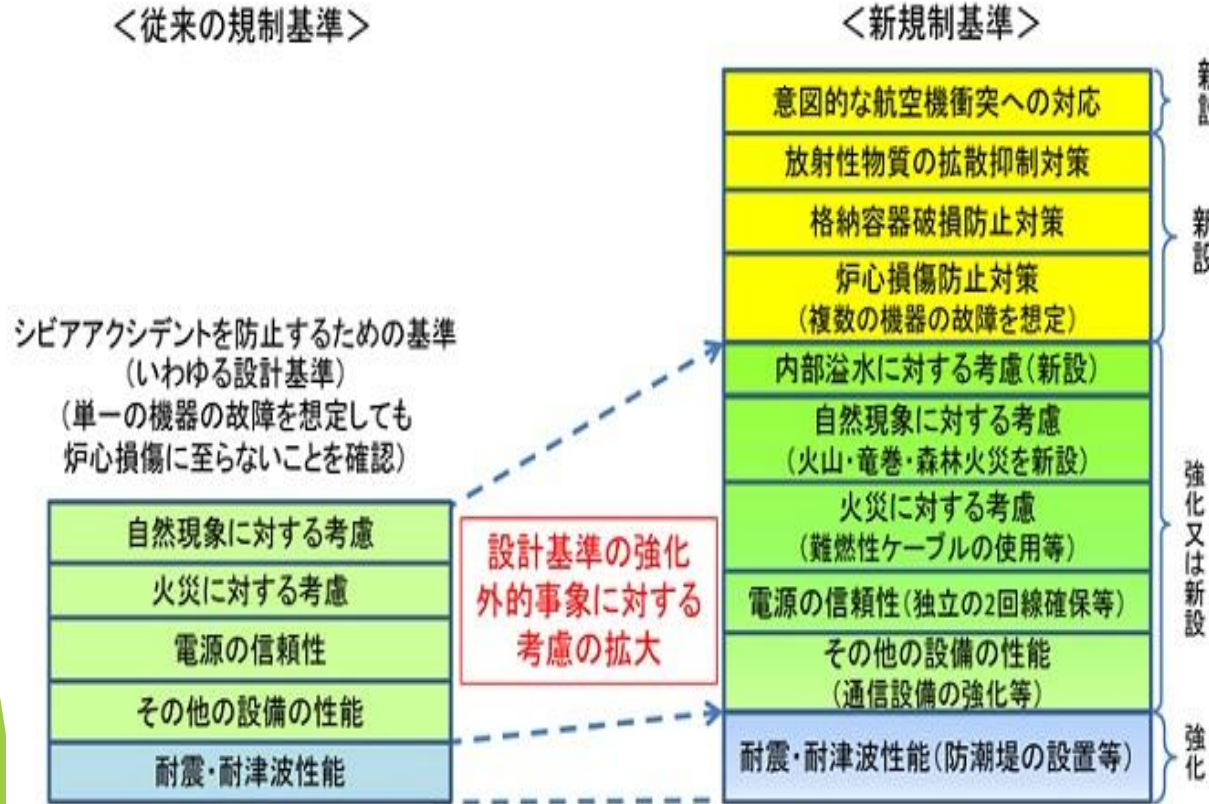
2-3. 原子力発電について(2/7)

原子力関係者は福島第一原子力発電所事故を深く反省。新規制基準で安全性は更に向上。加えて自主的な安全性向上対策を実施

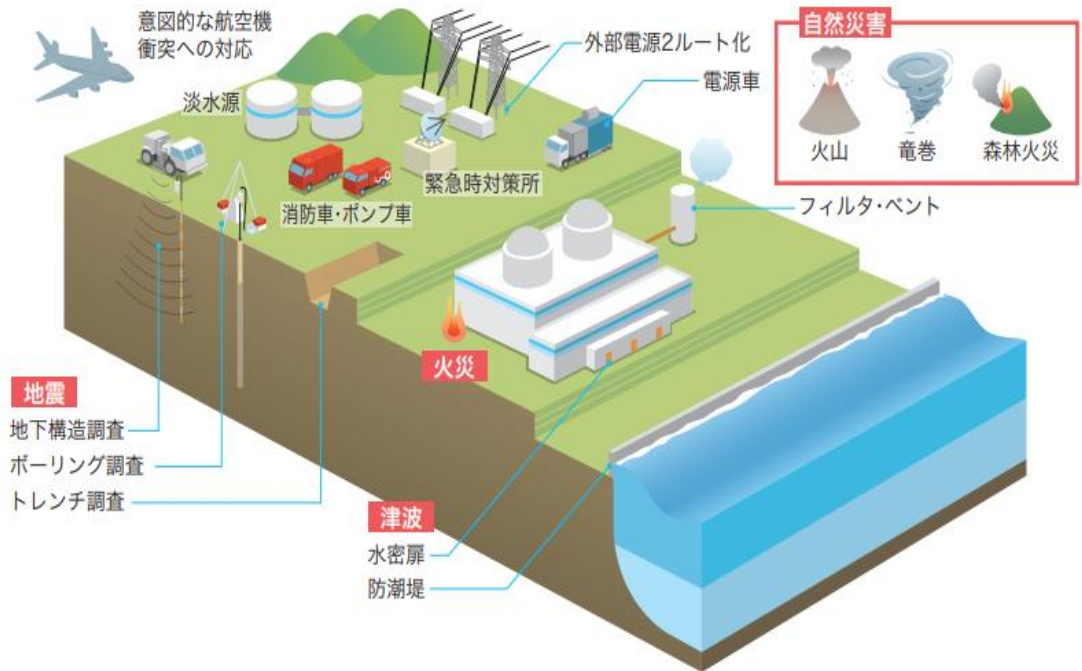
新規制基準で安全性は更に向上

発電用原子炉に係る従来の規制基準と新規制基準の比較

様々な安全対策が追加されています



●新規制基準で求められる主な安全対策



2-3. 原子力発電について(3/7)

福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた安全対策

柏崎刈羽原子力発電所の安全対策(一部)



地震対策 >



津波対策 >



電源と冷やす機能の
多重化・多様化 >



重大事故を想定した対策 >



自然現象への対策(火災
・竜巻・森林火災等) >



緊急時対応訓練
・人財育成 >

電源の多重化・多様化



正電圧からの電力供給が失われた場合に自動で起動し、原子炉等を安全に停止するための電力を供給します。

地下軽油タンク



発電所内の建設の進展を受けないがスタービン発電機対応の地下に5万リットルの軽油タンクを設置し、燃料である軽油を供給します。



空形式スタービン発電機は、軽油の燃焼方式でタービンを回して電気を発生する発電機を搭載した車で、発電所内の津波の影響を受けにくい場所に配置しています。

電源車



電源車は、必要時に必要な場所に移動して電力を供給する車で、発電所内の津波の影響を受けにくい場所に配置しています。

注水・冷却手段の多様化

消防ポンプ車



発電所の全ての交流電源を失い、電動の注水設備が使えなくなったとしても、原子炉建屋に接続し、原子炉や使用燃料プールに注水を行います。同時に使用不能とならないよう、加圧給水を行います。

高圧代替注水系 (HPAC)



原子炉圧力容器から発生する蒸気を駆動してポンプを回し、原子炉へ注水する設備で、全ての電源を失った場合(全交流電源喪失時)でも注水できます。

貯水池



原子炉を冷却する手段の多様化として、大容量の水を確保するための容量約4500立方メートルの貯水池を設置しました。貯水池容量は約2万トンで、6-7号機の原子炉使用燃料プールに淡水を約1000トン以上供給することができます。(1号機には使用済み)

代替熱交換器車



原子炉の熱交換器が壊れた場合に、原子炉や原子炉燃料貯留罐を冷却する設備で、これを備えることで、少なくとも約10日間は大気へ放射性物質の放出を減らすことができます。

出所: 東京電力HP 福島第一原子力発電所事故の教訓と安全対策 | 新潟本社・柏崎刈羽原子力発電所 | 東京電力ホールディングス株式会社

2-3. 原子力発電について(4/7)

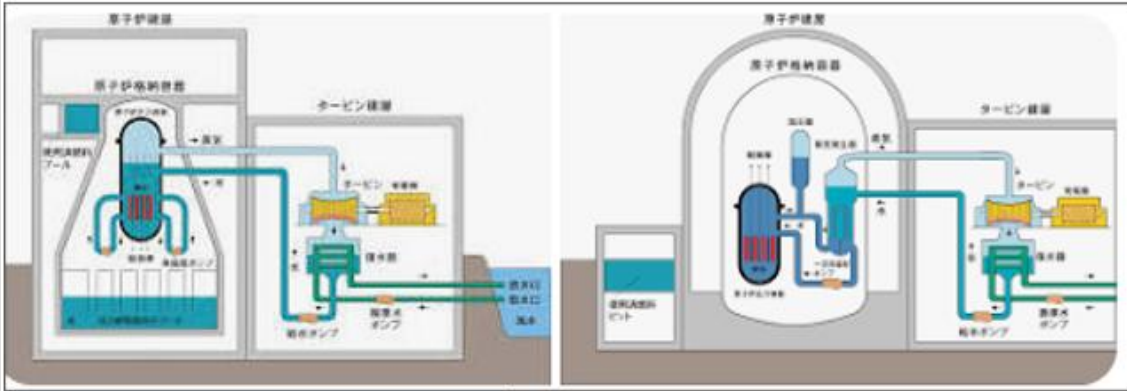
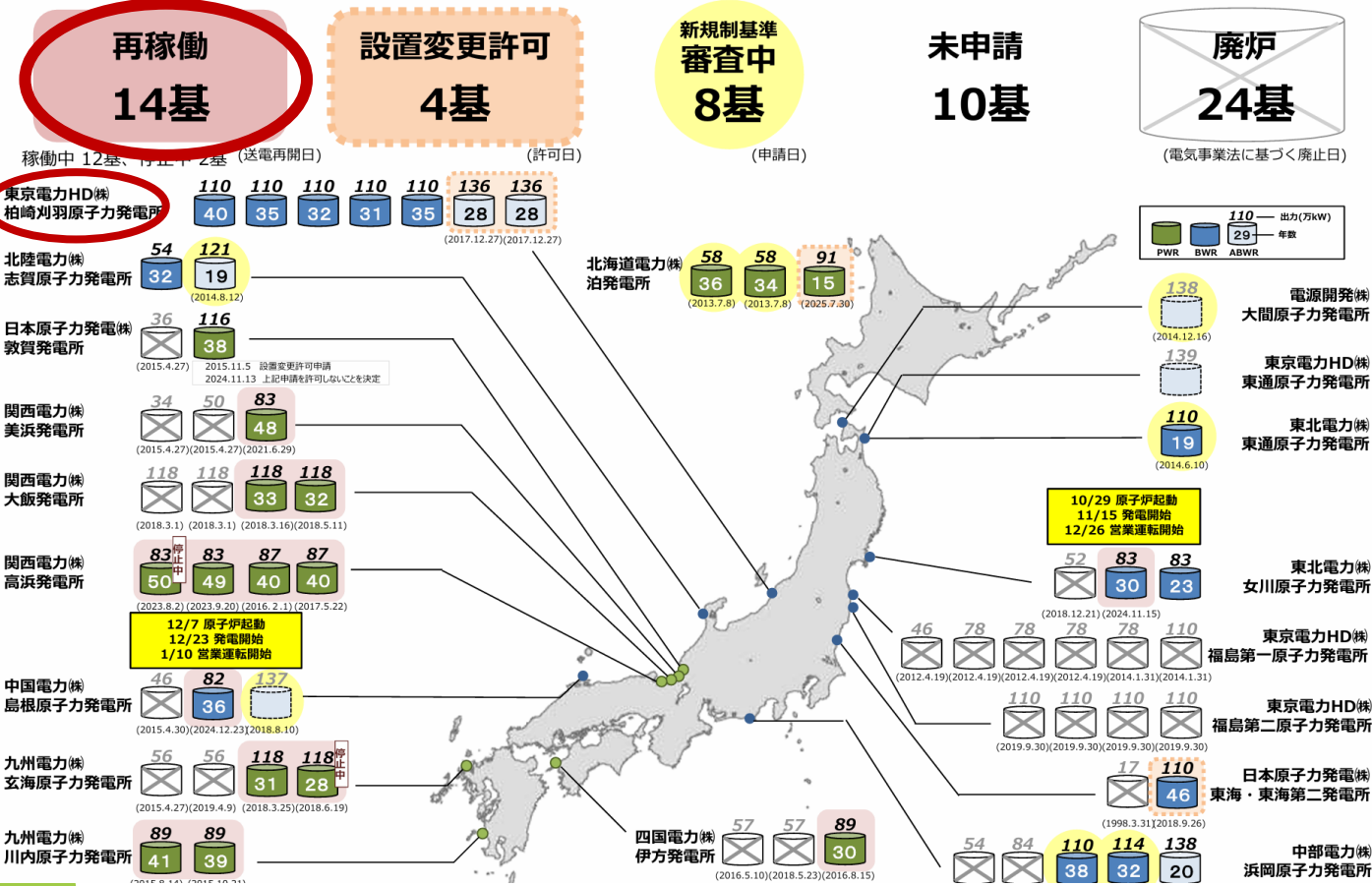
日本の原子力発電所の現状

稼働中の原子炉 14基

現在、再稼働している発電所は14基。
今後更なる早期稼働が期待されます

原子力発電所の現状

2025年10月1日時点



BWR原子力発電所

PWR原子力発電所

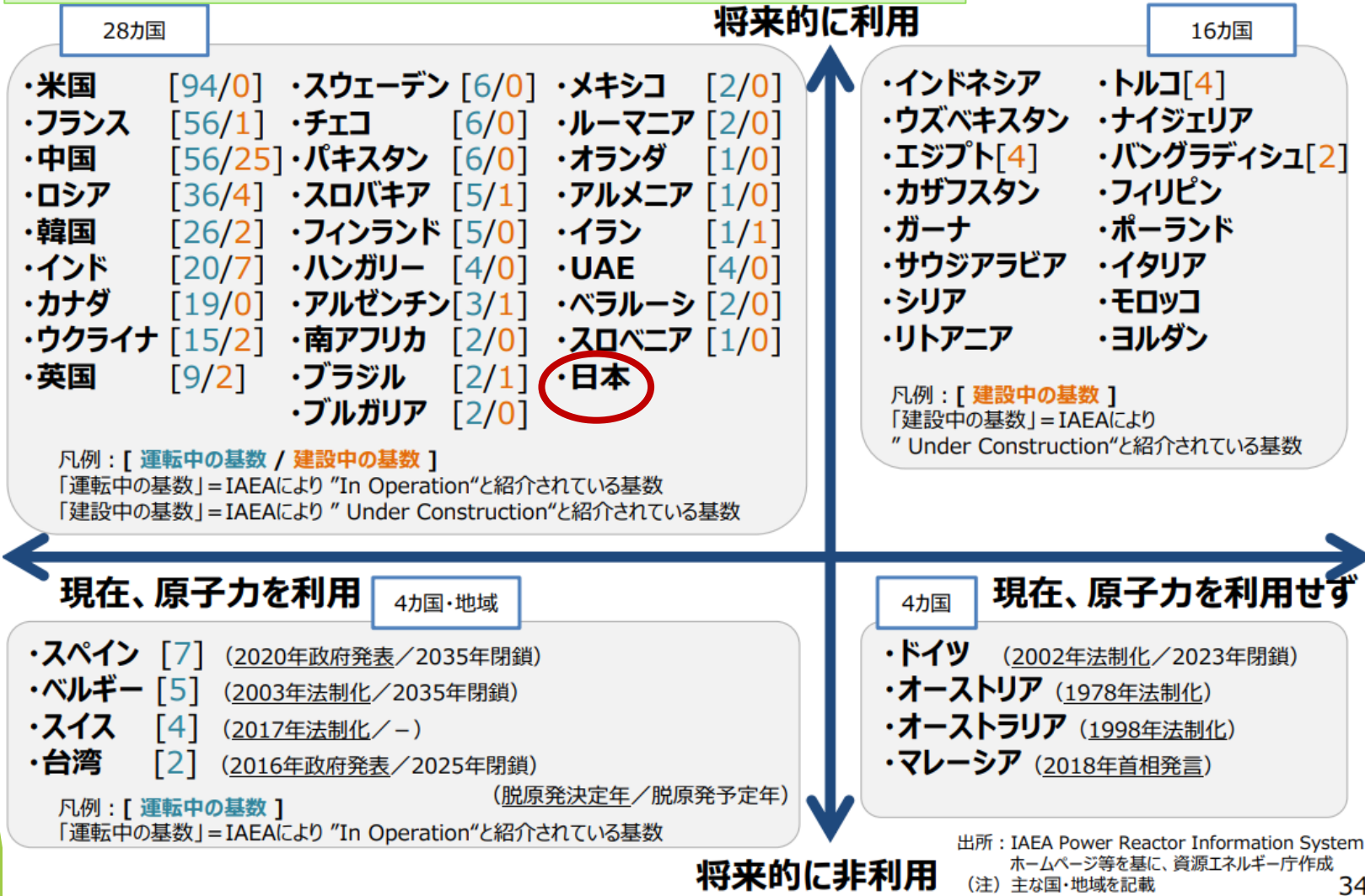
東北電力、東京電力、中部電力、北陸電力、中国電力、日本原子力発電で採用

北海道電力、関西電力、四国電力、九州電力、日本原子力発電で採用

2-3. 原子力発電について(5/7)

各国の原子力発電所利用国の動向

2024年6月時点



COP28での再エネ、原子力

2023年12月2日のCOP28首脳級会合終了後、議長国のUAEは2030年までに世界全体の再生可能エネルギーの発電容量を3倍に引き上げ、エネルギー効率を2倍にするという誓約に110か国以上が合意したと発表

また、米国や日本、韓国、英国など22の有志国は、**2050年までに世界の原発の設備容量を3倍に増やすとの宣言**をまとめました。

مضاعفة إنتاج الطاقة النووية ثلاث مرات بحلول عام 2050
 الإمارات العربية المتحدة، ديسمبر 2023
TRIPLING NUCLEAR ENERGY BY 2050
 United Arab Emirates, December 2023



2-3. 原子力発電について(6/7)

次世代革新炉の種類と特徴

将来的には
次世代革新
炉の開発と
実装を

革新軽水炉

※現行炉と同じ出力規模



◆ 三菱重工業

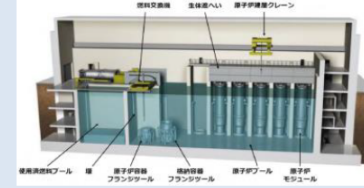
- 技術熟度が高く、規制プロセスを含め高い予見性あり
- 受動安全や外部事象対策（半地下化）により更なる安全性向上
- シビアアクシデント対策（コアキャッチャー、ガス捕集等）による所外影響の低減

<課題>

- ・初期投資の負担
- ・建設長期化の場合のファイナンスリスク

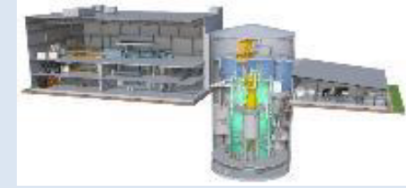
SMR（小型モジュール炉）

※軽水炉、小出力



◆ VOYGR（NuScale社）

- 炉心が小さく自然循環冷却、事故も小規模に
- 工期短縮・初期投資の抑制



◆ BWRX-300（日立GE）

<課題>

- ・小規模なため効率低い（規模の経済性小）
- ・安全規制等の整備

高速炉

※冷却材に軽水でなくナトリウムを使用



◆ 実験炉：常陽（JAEA）

- 金属ナトリウムの自然対流による自然冷却・閉じ込め
- 廃棄物の減容・有害度低減
- 資源の有効利用

<課題>

- ・ナトリウムの安定制御等の技術的課題
- ・免震技術・燃料製造技術等の技術的課題

高温ガス炉

※冷却材にヘリウムガス、減速材に黒鉛を使用



◆ 試験炉：HTTR（JAEA）

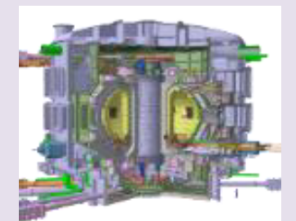
- 高温で安定なヘリウム冷却材（水素爆発なし）
- 高温耐性で炉心溶融なし
- 950℃の熱の利用が可能（水素製造等）

<課題>

- ・エネルギー密度・経済性の向上
- ・安定な被覆燃料の再処理等の技術的課題

核融合

※水素をヘリウムに融合・メカニズム大きく異なる



◆ 実験炉：ITER

- 連鎖反応が起こらず、万一の場合は反応がストップ
- 廃棄物が非常に少ない

<課題>

- ・プラズマの維持の困難性、主要機器の開発・設計（実用化には相応の時間）

2-3. 原子力発電について(7/7)

課題：
原子力発電にともなって発生する「高レベル放射性廃棄物」の処分について現時点で具体的な処分地は決まっています。

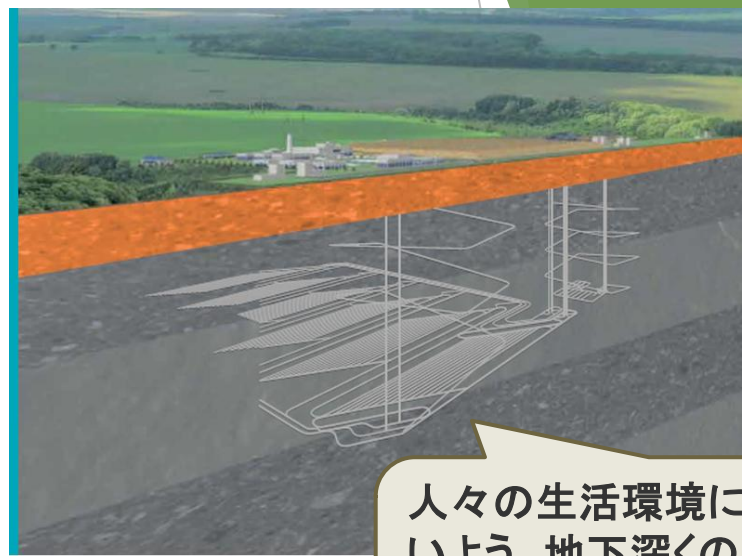


ガラス固化体にはウランやプルトニウムなどの核分裂する物質がほとんど含まれないことから、臨界状態になることはなく、爆発することはありません。
※臨界とは核分裂反応が連鎖的に発生し続けること

高レベル放射性廃棄物は、地下深部の安定した岩盤に処分

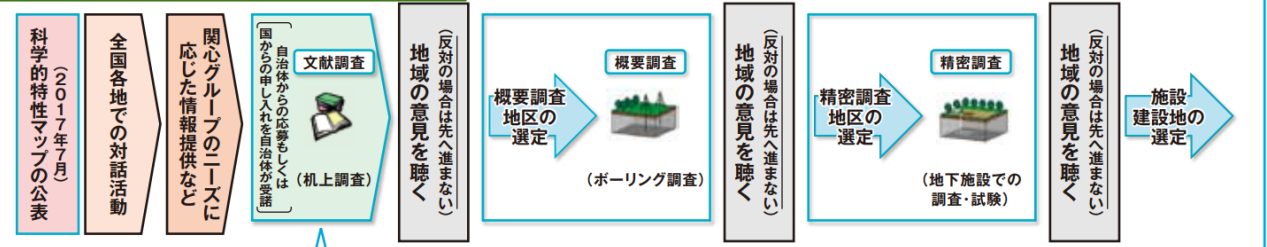
- [天然バリア]**
- 火山や断層活動などの影響を考慮し、安定した地層を選ぶ。
 - 地下300mより深い安定した岩盤を選ぶ（酸素が少ないため金属が錆びにくく、地下水の動きも非常に遅い）。

- [人工バリアの例]**
- ガラス固化体をオーバーバック（厚い金属製容器）に入れ、さらに緩衝材（水を通しにくい粘土）覆って埋設する。



人々の生活環境に影響を与えないよう、地下深くの安定した岩盤に閉じ込める地層処分という方法で最終処分する方針です。

処分地選定の流れ



出典:原子力発電環境整備機構資料より作成

北海道 寿都町/神恵内村における「対話の場」を中心とした活動

佐賀県玄海町

出所:【イラスト解説】高レベル放射性廃棄物の処分とは？仕組みについてわかりやすく説明 - WITH YOU (kepco.co.jp) などから作成

2-4. 火力発電について(1/4)

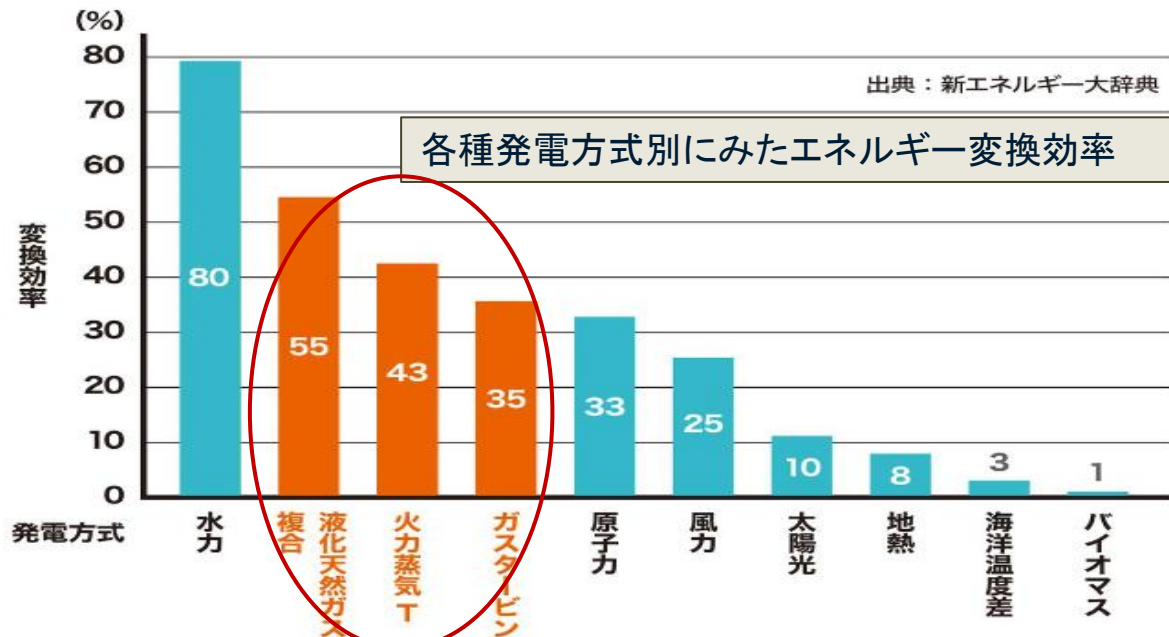
火力発電のメリット/デメリット

メリット

- ・安定した電力の供給ができる
- ・出力を調整しやすい
- ・エネルギー変換効率が高い
- ・設置場所の制約がない
- ・発電所・発電設備の建設コストが安い
- ・比較的短期間で建設できる

デメリット

- ・CO2などの温室効果ガスの排出量が多い
- ・燃料を輸入に頼っている
- ・化石燃料は有限の資源であり、燃料が枯渇する恐れがある



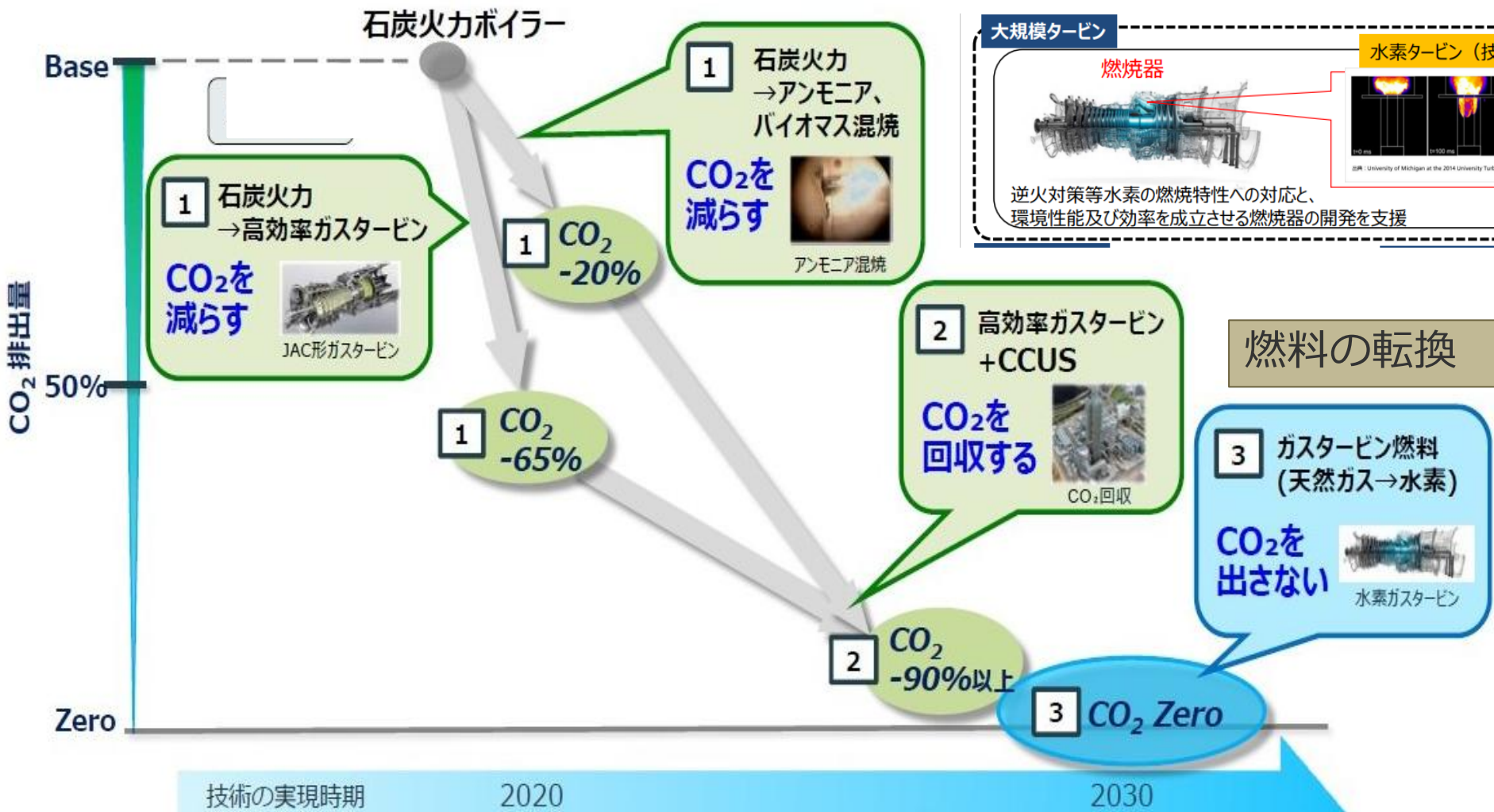
※可採年数=確認可採埋蔵量/年間生産量 ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満 BPエネルギー統計2021

32

出所:火力発電のメリットは?課題は?仕組みからわかりやすく解説 - WITH YOU

2-4. 火力発電について(2/4)

火力発電の脱炭素化



(注)「CCS」:「Carbon dioxide Capture and Storage」の略。「二酸化炭素回収・貯留」技術と呼ばれます。発電所や化学工場などから排出されたCO2を、ほかの気体から分離して集め、地中深くに貯留・圧入するというものです。

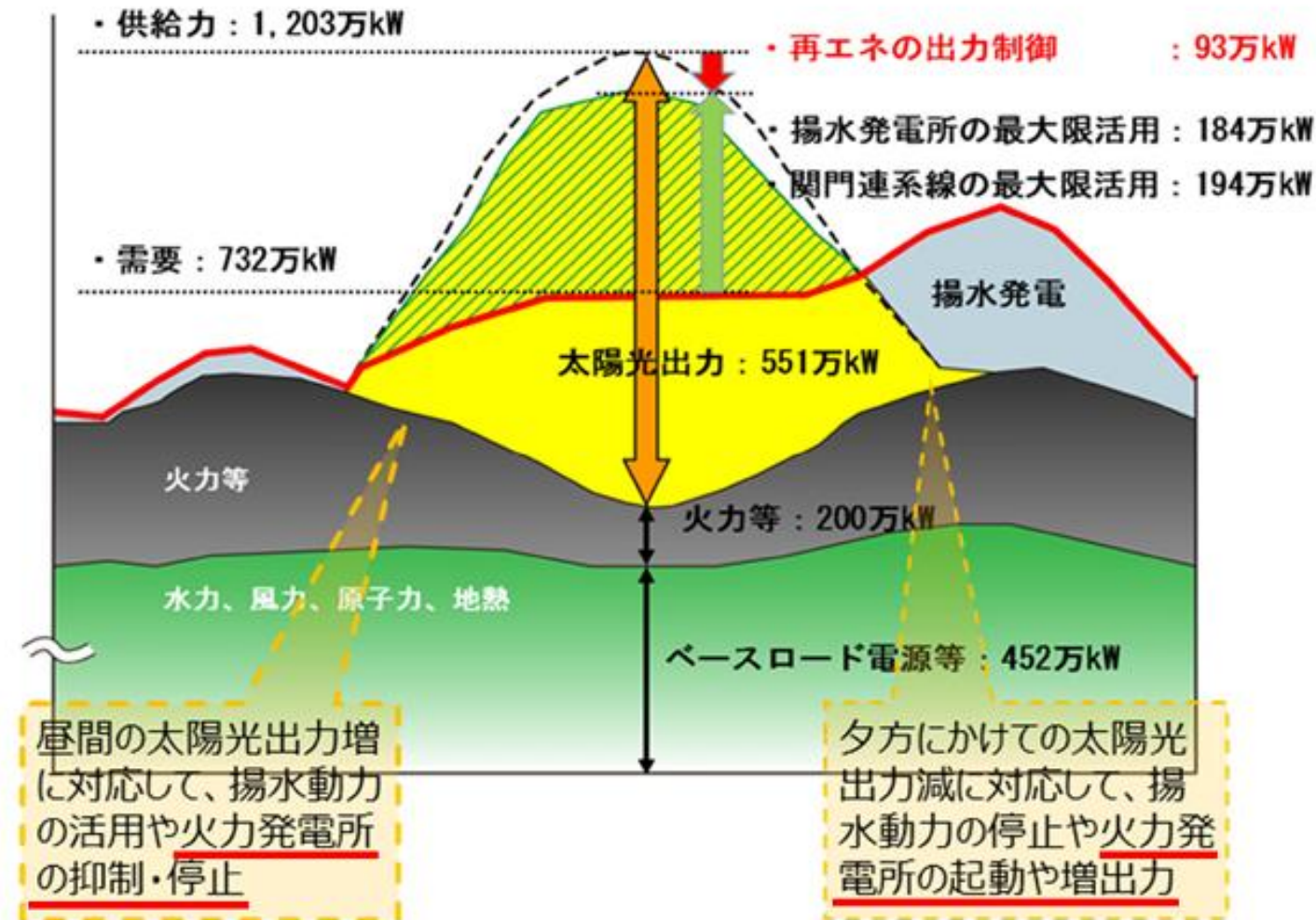
「CCUS」:「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage」を略したもので、回収したCO2の貯留に加えて利用しようというものです。

出所: 三菱重工の2021事業計画は順調に推移、火力発電脱炭素化需要がけん引: 製造マネジメントニュース(2/3 ページ) - MONOist (itmedia.co.jp)

2-4. 火力発電について(3/4)

調整力としての火力発電の役割

九州の電力需給イメージ (2018年10月21日の例)



電気を安定して使うには、「常に発電量（供給）と消費量（需要）を同じにする必要があります。」

太陽光や風力といった変動再エネの導入の進展に伴い、それらの出力変動を補償し、需給バランスを調整する機能を持つ他の電源が必要です。

火力発電は、再エネの出力増減に応じて抑制・停止、起動・出力増加といった出力調整を行うながら運用されており、電力の安定供給に大きく貢献しています。

2-4.火力発電について(4/4)

火力発電は、供給力及び調整力確保の観点から引き続き重要な電源

今後はCCS (注) や燃料の転換(アンモニア、水素など)でCO2排出を削減

供給力: その時間帯に発電できる最大出力
調整力: 需給の調整に使う電力

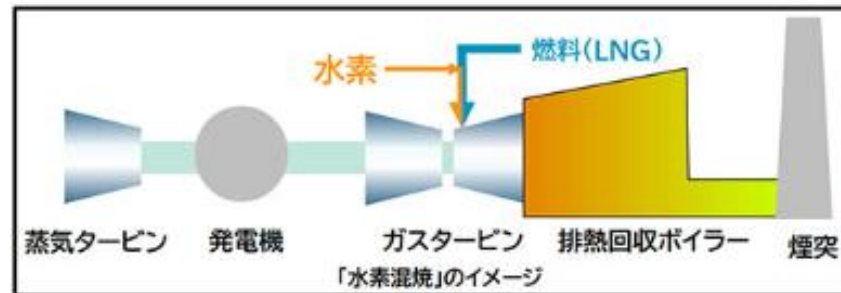
二酸化炭素の回収・貯留



出所: <https://www.sbbt.jp/article/cont1/89994>

(注)「CCS」:「Carbon dioxide Capture and Storage」の略。「二酸化炭素回収・貯留」技術と呼ばれます。発電所や化学工場などから排出されたCO₂を、ほかの気体から分離して集め、地中深くに貯留・圧入するというものです。

CO2を排出しない燃料(アンモニア、水素)への転換



対象号機	新潟火力発電所第5号系列5-1号機
所在地	新潟県新潟市東区桃山町
燃料種	LNG(液化天然ガス)
出力	5.45万kW
実証期間	2023年10月中旬～2025年3月(予定)
水素混焼率	1%程度(体積比)
水素供給元	水素カードル(ボンベ20本組)



取組み	2021	2022	2023	2024	2025	2026～
新潟火力における水素/アンモニア燃焼実証	FS	詳細検討・設備改造	実証			実証で得られた知見を展開
水素/アンモニア燃焼専焼設備実装検討		FS・詳細検討				実装検討

スケジュール

840 × 414

東北電力、LNG火力発電所で水素混焼実証 10月から新潟で開始 | 環境ビジネスオンライン

出所: 東北電力、LNG火力発電所で水素混焼実証 10月から新潟で開始 | 環境ビジネスオンライン (kankyo-business.jp)

2023年10月です

5. エネルギーを考えるときに大切なこと(1/3)

S + 3 E

安定供給
(自給率が高い)
Energy
Security

経済効率
(コストが低い)
Economic
Efficiency

環境
(CO₂が少ない)
Environment

+

安全性
Safety

安全性を大前提とし、
安定供給、経済効率、
環境を同時達成する
べく、取組むこと
(S+3E)

5. エネルギーを考えるときに大切なこと(2/3)

各発電方法の特徴

	安定供給	CO ₂ 排出	経済性(1kWhあたりのコスト)※1	その他
原子力	・燃料の埋蔵地域が世界に広く分布 ・燃料をリサイクルできる ・備蓄性に優れる	なし (発電時)	12.6円～	徹底した安全確保、放射線管理、廃棄物の適切な処分が必要
太陽光			10.9円※2	広い土地が必要
風力			16.3円(陸上)※2	
水力			13.0円(中水力)	新たに建設できる土地が少ない
石炭火力	燃料の埋蔵地域が世界に広く分布	あり	24.8円	消費量の増加や中東の政情不安、投機活動など、世界的な資源価格の変動により発電コストが大きく左右される
天然ガス火力	燃料の埋蔵地域の偏りが小さい	あり	19.1円	
石油火力	燃料の埋蔵地域が偏っている	あり	43.8円	

※1【モデルプラント方式の発電コスト】2023年の試算の結果(LCOE:電源別発電単価) 出所:エネ庁HP [20250218_03.pdf](#)

※2「太陽光、風力(変動電源)は、電力システムに受け入れる「統合コスト」は更に高くなる

出所:関西電力HP [エネルギーの安定確保に対する当社の考え方 | 会社情報 | 関西電力送配電株式会社を参考に作成](#)

5. エネルギーを考えるときに大切なこと(3/3)

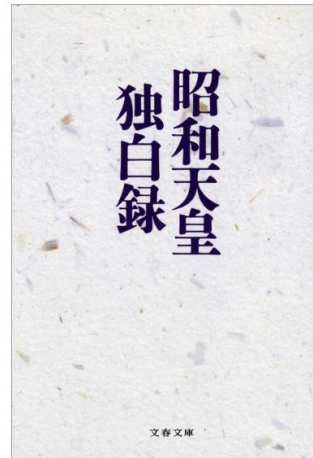
各種電源の利点と課題

	火力	原子力	水力(大規模)	水力(小規模)	再エネ
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・大量で安定的な電力供給ができる ・需要に合わせて発電量を調整できる ・需要地に近い場所での建設も可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・大量で安定的な電力供給ができる ・燃料は準国産で安定確保でき、また、リサイクルも計画 ・CO2を排出しない 	<ul style="list-style-type: none"> ・大量で安定的な電力供給ができる ・資源は枯渇することなく、国内で確保できる ・CO2を排出しない 	<ul style="list-style-type: none"> ・資源は枯渇することなく、国内で確保できる ・CO2を排出しない ・1日の発電電力の変動が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ・資源は枯渇することなく、国内で確保できる ・CO2を排出しない ・小規模の設置がしやすい
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・CO2を排出する ・燃料調達の量や価格が海外情勢に左右されやすい ・資源は枯渇する可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模な事故時の被害が大きい ・放射性廃棄物の最終処分場が決まっていない ・大量の冷却水がある場所に限定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム建設が自然環境や生活環境を損なうことがある ・施設の建設費や維持費がかかる ・大規模立地の場所がなくなった 	<ul style="list-style-type: none"> ・電力コストが高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・電力供給が気候条件などに左右されやすい(太陽光、風力) ・電力コストが高い ・立地が限定される(風力、地熱)

5-1. 安定供給について

「日米戦争は油に始まり、油で終わった
ようなものである」

昭和天皇独白録



戦争の始まりと石油

・資源問題の背景:日本は第二次世界大戦前、石油のほとんどを輸入に頼っており、特にアメリカが最大の輸入先でした。

・石油禁輸と開戦の契機:1941年、アメリカやオランダが日本に対して全面的な石油禁輸措置をとったことが、日本の開戦を決断させる大きな要因となりました。

・資源確保のための行動:この石油禁輸により、日本の生命線ともいえる資源が絶たれたため、資源を確保するために太平洋戦争へと踏み切らざるを得なかったとされています。

戦争の終わりと石油

・日本が資源の枯渇によって戦争の継続が不可能になり、降伏を決定した終戦時も、石油資源が戦争の行方を左右していたことを示しています。

2. ウクライナ危機からエネルギーを考える

- ・ロシアは2022年2月24日、隣国ウクライナに軍事侵攻を開始
- ・現在でも、ウクライナ東部および南部において戦闘を継続
- ・G7を中心とした先進国は、ロシアに対し、厳しい経済的制裁を発動
- ・これにより、ロシアとの交易、特にエネルギー貿易に大きな影響が出ている



ロシアのプーチン大統領(左)とウクライナのゼレンスキー大統領AFP=時事



12 五省の半導体・ウクライナ

2-4. ロシアのウクライナ侵攻で再認識

各国への影響(エネルギー面)は、

- ・**エネルギー安全保障の重要性の再認識**
- ・ロシアへの資源依存からの脱却
- ・影響緩和策、代替策の実施

エネルギーの安全保障とは、
国民の生活を維持していくために必要な量のエネルギーを、妥当な価格で確保すること



出所: エネルギー安全保障とは、妥当な価格で安定的に確保: 日本経済新聞 (nikkei.com) 2022年4月21日



50年前(1973年)の晩秋、日本全国のスーパー店頭からトイレットペーパーや洗剤が消えました。
オイルショック(石油危機)の影響です。

10月に勃発した第4次中東戦争がきっかけです。OPECが原油の供給制限と輸出価格の大幅な引き上げを行うと、国際原油価格は3カ月で約4倍に高騰したのです。これにより、石油消費国である先進国を中心に世界経済は大きく混乱しました。

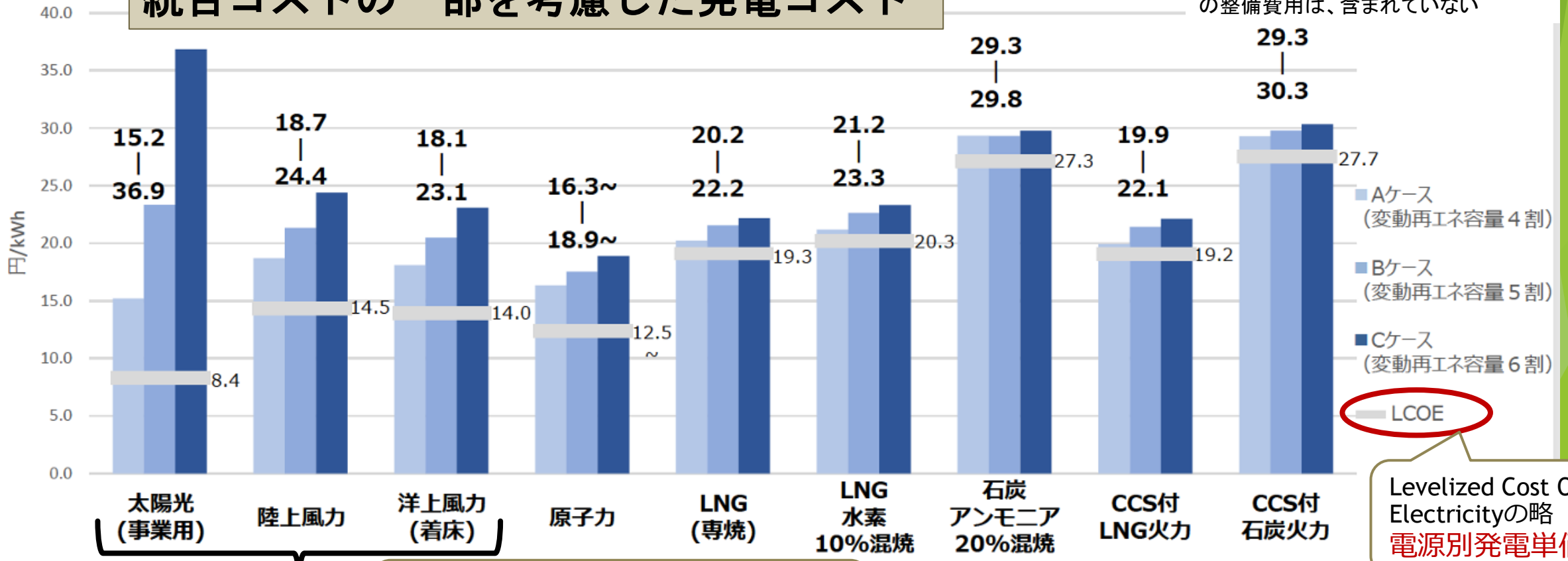
5-2. エネルギーコスト(電気料金) (2/2)

2040年の電源別発電コスト試算の結果

統合コストの一部を考慮した発電コスト

統合コスト：
各電源を電力システムに受け入れるコスト

※地域間連系線の増強費用や蓄電池の整備費用は、含まれていない



燃料費はタダであり「電源別発電単価」は安いものの、**統合コストは高くなる**

Levelized Cost Of Electricityの略
電源別発電単価

6. そうだったのか！エネルギーミックス(1/2)

—— 太陽光 —— 天然ガス —— 原子力

電力コスト
は安いのか

環境にはどうか
(CO2排出)

一種類の電源で
全てを満たすもの
はありません

スゴイ、バラン
スよい電源が
ス・テ・キです

自然の影響は
(天候、昼夜)

各電源の特徴
を活かして
構成する

資源の在庫
は十分か

いろいろな電源で、
リスク対応もでき
そうだね！

出力の増減
は自由か

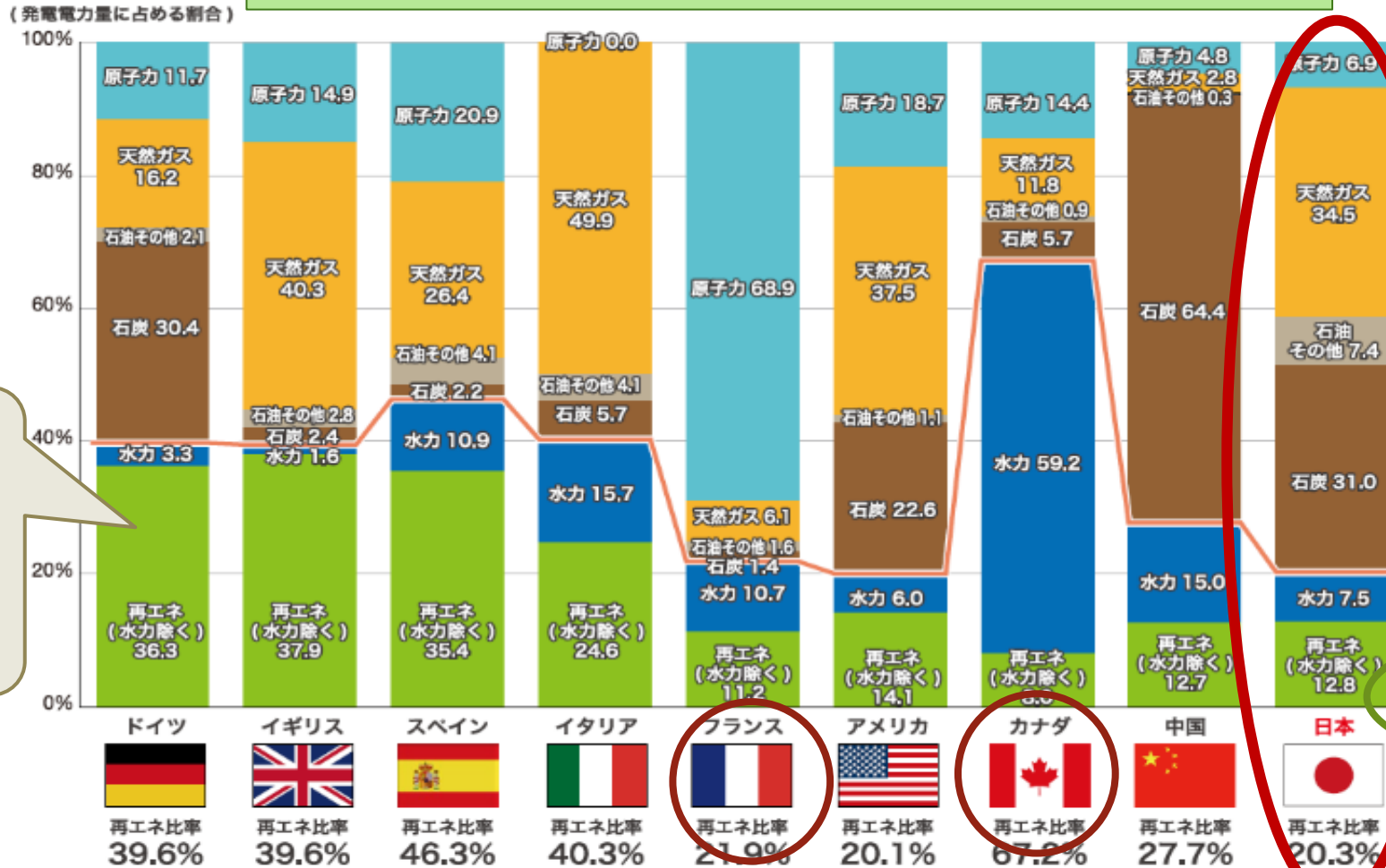
大規模災害
の懸念は



出所：東北エネルギー懇談会HP
日本のエネルギー問題“まるわかり” | 東北エネルギー懇談会 (t-enecon.com)

6. そうだったのか！エネルギーミックス(2/2)

主要国の発電電力量に占める再エネ比率の比較



CO2排出係数 (kg CO2/kWh)
 スペイン (2022年データ) を除き2019年のデータ

中国	0.64	石炭
日本	0.44	
アメリカ	0.38	
ドイツ	0.33	
イタリア	0.30	再エネ+天然ガス+原子力
スペイン	0.22	再エネ+天然ガス+原子力
イギリス	0.18	
カナダ	0.13	水力
フランス	0.04	原子力

CO2の排出が少ない国は原子力、水力

再エネ、化石燃料、原子力のバランス

(出典) IEA「Market Report Series - Renewables 2022 (各国2021年時点の発電量)」、IEA データベース、総合エネルギー統計(2021年度確報値)等より資源エネルギー庁作成
 出所: 2023-日本が抱えているエネルギー問題 (中編) | スペシャルコンテンツ | 資源エネルギー庁 (meti.go.jp)

出所: 国別のCO2排出量はこう算定する? CO2排出係数を国別に比較 (earthene.com)

考えよう日本のエネルギー

- ・エネルギーを考える上で大切なことは、**S+3E**。
安全性を大前提とし、安定供給、経済効率、環境を同時達成すべく取り組む。
- ・電化率(最終的なエネルギー消費全体に占める電力消費の割合)は、今後とも増加。
- ・再エネ、原子力、火力、何れも電源としての**利点・課題**があり、一つのエネルギー源で必要な要件を同時に満たすものはない。
- ・このため、**再エネ、原子力、火力(CO₂を排出しない)**を**バランスよく組み合わせ**た**電源構成(エネルギーミックス)**とすることが必要。

君はどう考える日本のエネルギー

エネルギーは私たちの日々の生活に密接に関わるもの。
エネルギーの問題について、自分事として考えてみよう。

ご清聴ありがとうございました



独立行政法人国立高等専門学校機構

長岡工業高等専門学校

© National Institute of Technology (KOSEN), Nagaoka College

(参考) 柏崎刈羽原子力発電所の再稼働問題に関する県民意識調査の途中経過

【柏崎刈羽原子力発電所の安全対策について】

問3-1 あなたは以下の対策が行われていることを知っていますか。写真や図で示した対策例を1つでも知っていれば「1」（知っている）、ひとつも知らなければ「2」（知らない）をお選びください。

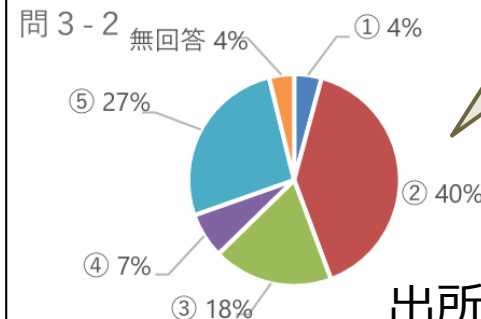
(回答数)

	①知っている	②知らない	無回答
(1) 津波による浸水を防ぐために強化した対策	1,882	1,425	53
(2) 火災・竜巻等自然災害に備え強化した対策	1,102	2,205	54
(3) 電源を絶やさないために強化した対策	1,773	1,540	47
(4) 原子炉を冷やし続けるために強化した対策	1,243	2,066	51
(5) 重大事故を想定して強化した対策	872	2,434	54
(6) (1)～(5)を踏まえた緊急時の対応力を強化する訓練	1,729	1,575	56

- ・ 十分確保されている：4%
- ・ おおむね確保されている：40%

問3-2 問3-1の対策を含め、柏崎刈羽原子力発電所で実施されている対策により、安全性はどの程度確保されていると思いますか。最も近いものをお選びください。（1つだけ）

	(回答数)
① 十分確保されている	141
② おおむね確保されている	1,348
③ あまり確保されていない	617
④ まったく確保されていない	232
⑤ わからない	893
無回答	128



出所：新潟県HP 466644.pdf

(参考) 柏崎刈羽原子力発電所の再稼働問題に関する県民意識調査の途中経過

【柏崎刈羽原子力発電所6号機・7号機の再稼働に関する考え方】

問5-1 以下には柏崎刈羽原子力発電所6号機・7号機の再稼働に関する考え方を挙げています。

<p>以下のそれぞれについて、あなたご自身のお考えをお選びください。なお、あなたに該当しないことでも、その立場に立ってお答えください。(それぞれ1つずつ)</p>	① そう 思う	② どちら かとい えば	③ どちら かとい えば	④ そうは 思わな い	無 回 答
---	---------------	-----------------------	-----------------------	----------------------	-------------

発電所の安全・安心					
(1) 福島第一原発事故の教訓等を踏まえ十分な安全対策が取られている	303	1,539	847	612	59
	(1)				
(2) 東京電力が柏崎刈羽原子力発電所を運転することは心配だ	1,318	1,000	656	341	45
	(2)				

・ ① 9%
 ・ ② 46%
 ・ ③ 25%
 ・ ④ 18%
 ・ 無回答 2%

(参考) 柏崎刈羽原子力発電所の再稼働問題に関する県民意識調査の途中経過

①そう思う ②どちらかといえばそう思う ③どちらかといえばそうは思わない ④そうは思わない

その他	①	②	③	④	無回答
(13) 6号機・7号機以外については、いくつかの号機の廃炉を進めることが必要だ	1,338	1,026	612	282	101
	<p>(13) ④ 8% 無回答 3% ① 40% ③ 18% ② 31%</p>				
(14) 再稼働の条件は現状で整っている	299	949	971	1,057	84
	<p>(14) 無回答 3% ① 9% ④ 31% ② 28% ③ 29%</p>				
(15) どのような対策を行ったとしても再稼働すべきでない	954	628	916	782	79
	<p>(15) 無回答 2% ① 29% ④ 23% ③ 27% ② 19%</p>				

・ そう思う : 29%
 ・ どちらかといえば
 そう思う : 19%

(参考) 東日本大震災の影響を受けた原子力施設

(2014年12月現在)



福島第一原子力発電所(1~4号機)以外の発電所は停止し、安全を確保できました。

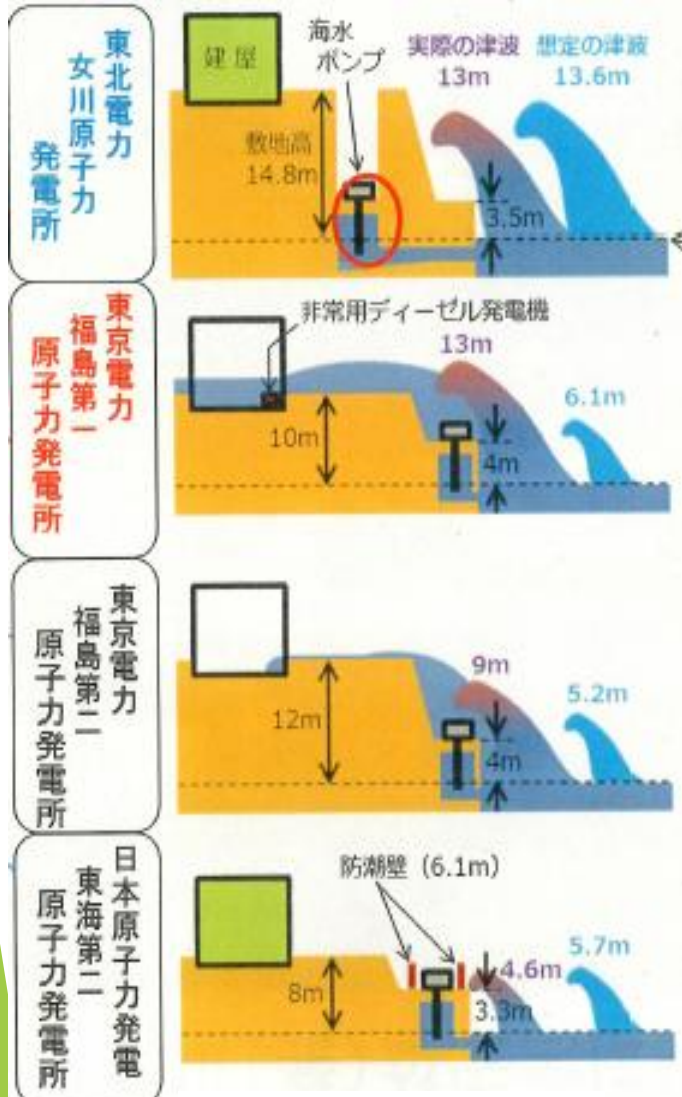
なお、その後新たな規制基準に基づく大規模な安全対策や自主的な対策を講じています。

*1~4号機は、

*冷温停止状態の定義

- 圧力容器底部の温度が100℃以下になっていること
- 格納容器からの放射性物質の放出を管理し、追加的放出による公衆の被ばく線量を大幅に抑制していること(評価時点における格納容器からの追加的放出による敷地境界における被ばく線量1ミリシーベルト/年が目標)
- 上記2条件を維持するために、循環注水冷却システムの中期的安全を確保していること

(参考) 女川原子力発電所の地震・津波対策 (福島事故前)



出所：東北電力資料



- ・地震直後、津波到達後も**電源が確保**されていた
- ・敷地が高く(14.8m)、津波に洗われることがなかった

海水ポンプ室を壁で囲うピット化

機器・配管に3基で合計6,600か所のサポートを設置



緊急対策室や計算機室を含む事務棟に耐震補強工事を行っていた



出所：東北エネルギー懇談会HP [onagawa.pdf \(t-enecon.com\)](http://onagawa.pdf(t-enecon.com))

柏崎刈羽原子力発電所の再稼働が待たれます

新しい規制基準に基づく安全対策を実施し、原子力規制委員会の審査も終了しています



ご清聴ありがとうございました



独立行政法人国立高等専門学校機構

長岡工業高等専門学校

© National Institute of Technology (KOSEN), Nagaoka College