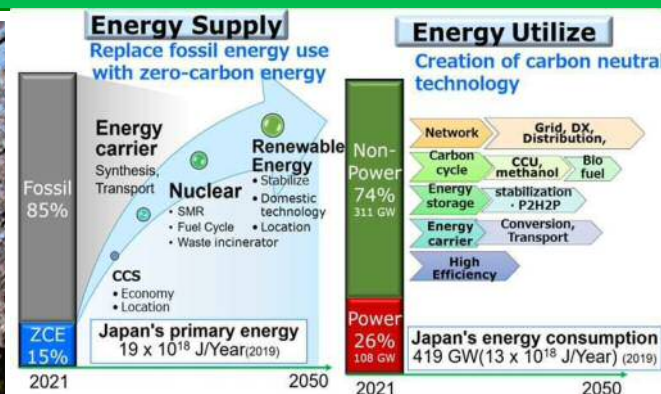


2022年度 エネルギー講演会

「カーボンニュートラルにおける 原子力の役割と次世代炉への期待」

令和4年(2022年)10月27日(木) 13:40~15:10









於電気ビル共創館3階 カンファレンスA
東京工業大学 特任教授
北海道大学名誉教授 奈良林 直

1) 再エネは不安定で高コストだ

我が国は既に世界の太陽光発電大国

- 2020年、日本の太陽光の発電能力は**67GW**（ギガワット）
100万kWの原発**67**基相当（1GW=100万kW）
- 中国、米国に次いで世界第3位
- 太陽光は原発54基を上回る大規模電源になった
- 太陽光の発電能力を国土面積で割ると日本は中国の7倍、米国の22倍

<2020年>

順位	国名	GW(ギガワット)	国土面積当たり 太陽光kW/km ²
1	 中国	254GW	26
2	 米国	74GW	8
 3	 日本	67GW	177
4	 ドイツ	54GW	151
5	 インド	39GW	12

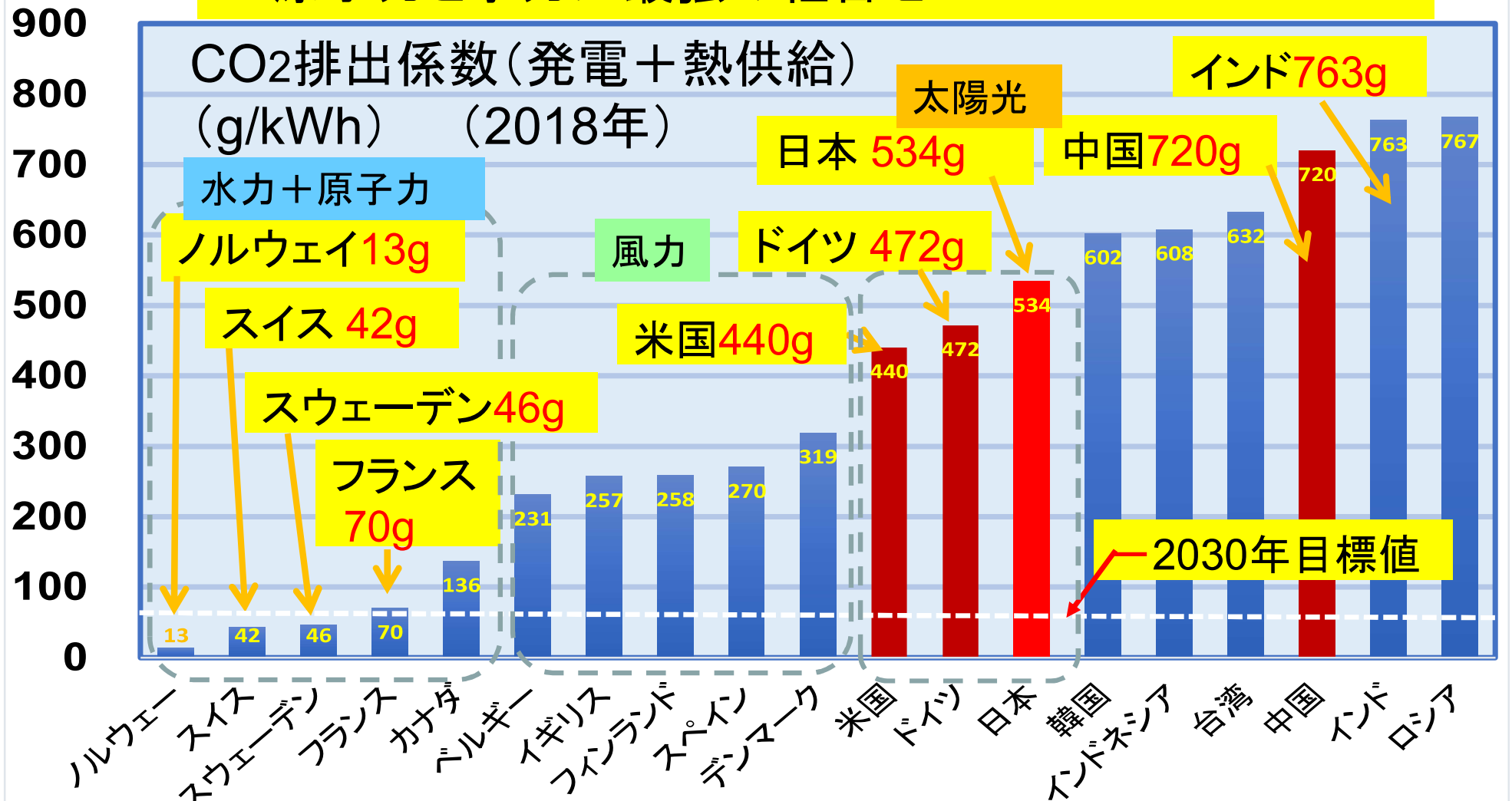
出典BP, <https://www.globalnote.jp/post-3240.html>

* 奈良林が国土面積で除して算出

世界のCO2の排出係数ランキング

- 1kWhの電気を得るのに何gのCO2を排出したか
- 太陽光はCO2排出削減に十分に貢献できていない
- 原子力と水力が最強の組合せ

g/kWh



出典BP, <https://www.globalnote.jp/post-3233.html> * 奈良林がCO2排出量を電力発電量で除して算出

我が国の電源構成(2020年)

水力除く再エネ計12.9%

地熱
0.3%

太陽光
8.5%

風力
0.9%

バイオマス
3.2%

再エネ
計20.8%

VRE(変動する自然エネルギー:
太陽光+風力)の割合は9.4%

水力
7.9%

原子力
4.3%

石炭
27.6%

火力(2020年)
計74.9%

2019年とほぼ同じ
原子力は特重で2%減
2020年はコロナ禍
で電力需要減
※その分再エネ比率
が増加

その他火力
9.9%

LNG
35.4%

石油
2.0%

2019年度

太陽光	7.6%
風力	0.8%
バイオマス	2.8%
地熱	0.2%
小水力	1.9%
大規模水力	5.8%
原子力	6.0%
RE合計	19.2%

出典: 環境エネルギー政策研究所 (isep) の2020年データ <https://www.isep.or.jp/archives/library/13188>

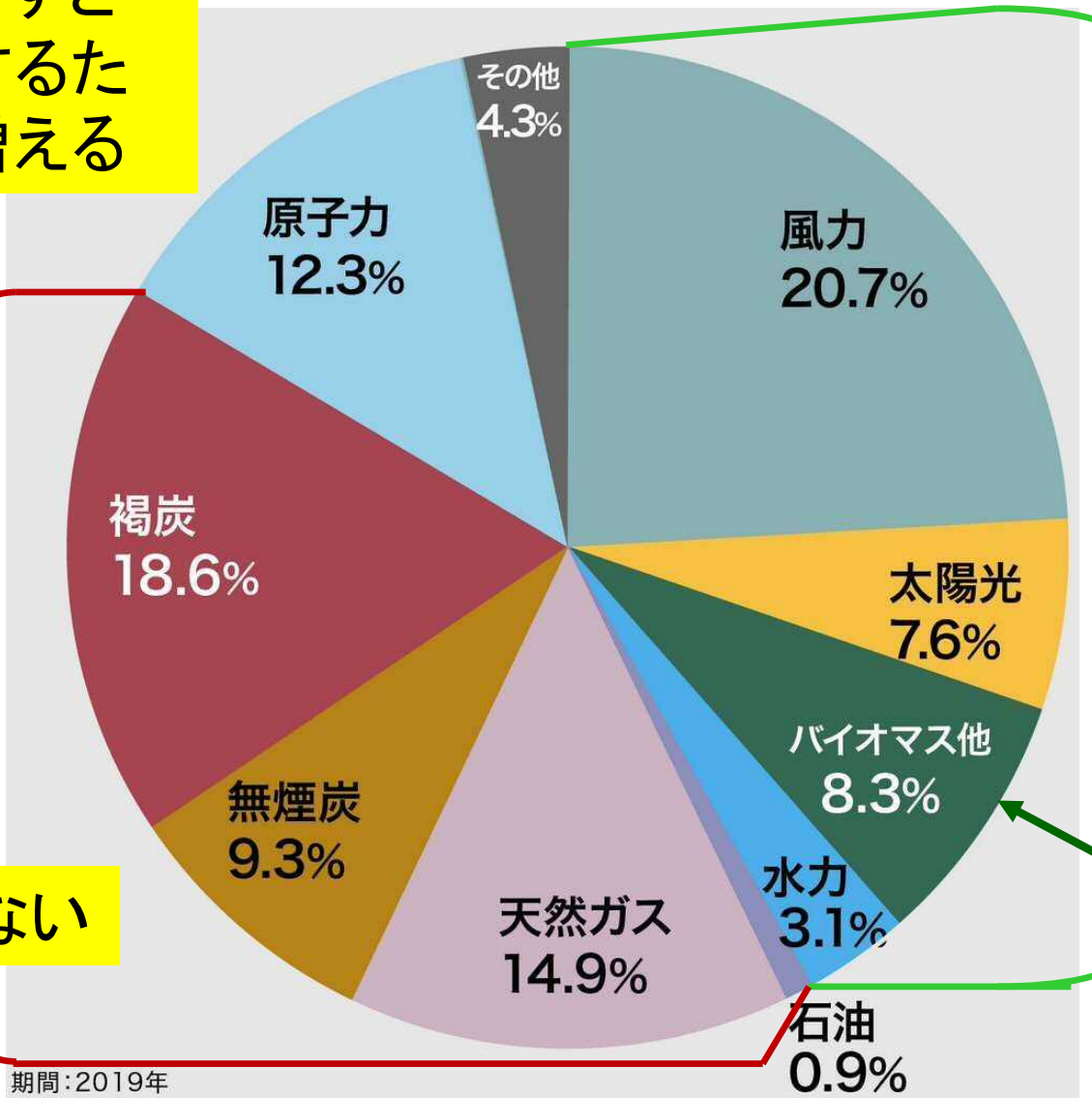
ドイツのエネルギー政策の失敗(2019年)

再エネを増やすと
変動を吸収するた
めの火力も増える

原子力
と火力
56.0%

火力
43.7%

CO₂が減らない



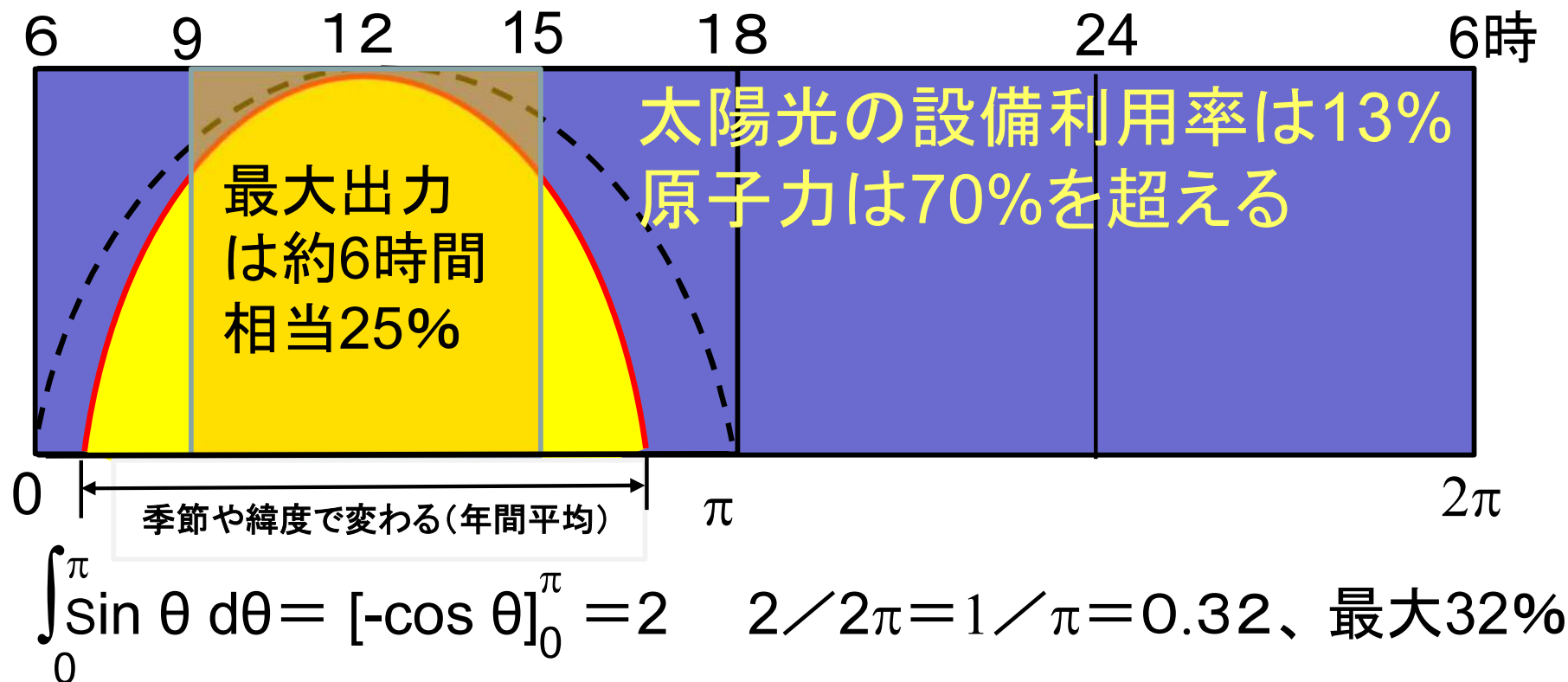
変動再エネ
(太陽光
+風力)
28.3%

再エネ
39.7%

ドイツのバイオ
マスのために
熱帯雨林が伐
採・環境破壊

期間: 2019年
出所: ドイツ経済エネルギー省の統計よりSAJが作成

太陽光や風力は他の電源を必要とする



- 晴天になる確率50%を掛けると16%、電気回路損失など差し引くと、**設備利用率は高々13%が我が国の実績**
- 1日では6時間相当。残りの分は水力・火力・原子力で補完。
- 風力発電の設備利用率は20%
- つまり、**再エネを主力電源にするのは困難**

出典: 奈良林が作成

もし太陽光で100%電気を供給するには



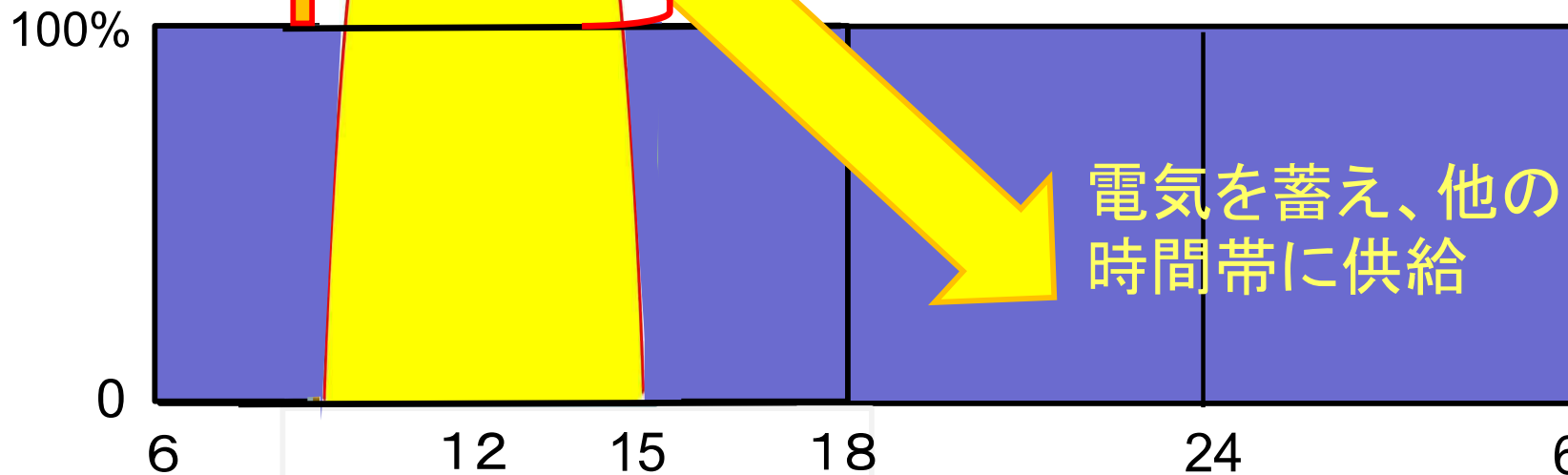
「全電源、自然エネにできる。
原発ゼロは、やればできる。
あとは頭の良い人が考えてくれる」??



それ、嘘です。例え、国の電力を100%太陽光で供給する設備を作っても、稼働率を考えれば約13%しか供給できません。

揚水・蓄電・蓄熱
電気分解による水素製造

電力需要



- 太陽光だけで100%の電気を供給するには、我が国の電力需要の770%の設備容量(kW)の太陽光パネルを設置し、余剰分を全て活用するため、蓄電・蓄エネして、他の時間帯に供給できるようにしなければならない。
- これが「システムコスト」で、1週間の悪天候時にエネルギーを太陽光だけでまかなうには1000兆円級の蓄電・蓄エネ・水素製造設備が必要。
- これを回避するには、LNG火力などのエネルギーの多様化が必要で、「CO2排出が減らない」。

出典: 奈良林が作成

3月22日電力需給逼迫警報発令

火力発電所が3月16日、マグニチュード7.4の福島沖地震で被害を受けた。震源に近い福島県の火力発電所(100万kW級も含む)はボイラーの損傷や変圧器からの油漏れで早期の運転再開が困難となり、**ざっと360万kWが喪失**し、都内各地で当日、自動停電が発生した。

東京電力管内のピーク電力供給力は4500万キロワット(kW)だ。液化天然ガスや石炭火力発電所、水力発電所も含まれるが、何といても大きいのが**総出力1777万kW(電力シェア39%)の太陽光発電**である。3月22日、1777万kWの太陽光発電は**曇天でわずか170万kW以下**に低下した。**曇天で1500万kW(100万kWの原発15基分)が喪失するため不安定の原因**。

これら火力発電所の運転停止が続く中で、**3月22日**に東日本で降雪を伴う寒波の襲来が予想され、経済産業省が初の電力需給逼迫警報を発令し、東京電力・東北電力管内に節電を呼びかけた。同日、電力使用量は明け方からどんどん上昇し、**供給力の105%まで増加**。

他電力会社から融通を受けた。午前11時の段階で**揚水発電所のダム**の貯水率は**79%に低下**、午後10時には空になる予測であったが、節電で何とか乗り切った。

2日間続いたら大停電になるところだった。

電力需給の逼迫が日常茶飯事になりかねない状況下では、太陽光発電の不安定を吸収するためにも、東海第二原子力発電所、柏崎刈羽原発の早期再稼働が必要だ。

原発の地下には巨大な要塞が建設され、非常電源、注水設備、安全停止用の制御盤、放射性物質を濾し取るフィルターベントも設置され、航空機テロにも自然災害にも強くなった。

既に再稼働した西日本の原発も同じ強靱化対策が施されている。

3月22日の電力需給ひっ迫の原因



3月22日は電力需給が厳しく
ます【需給ひっ迫警報】

2022年3月21日

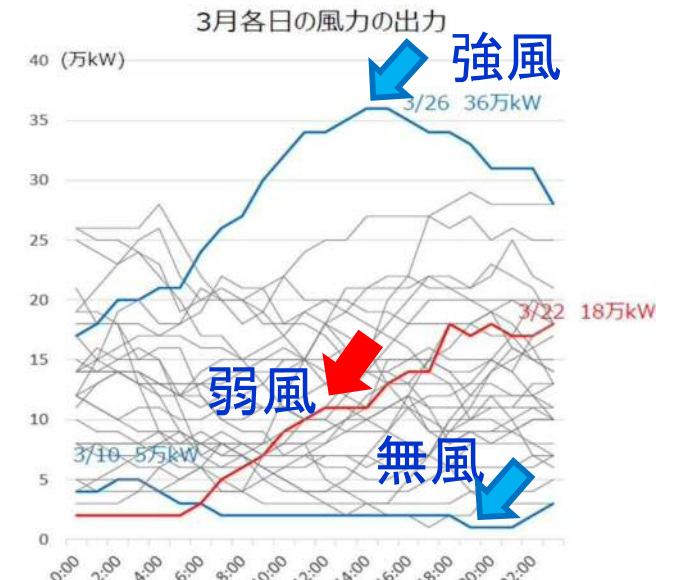
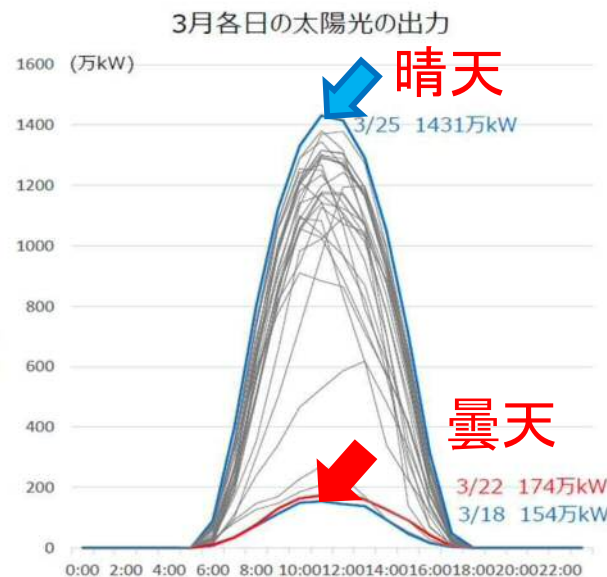
▶ エネルギー・環境

【2022年3月22日差し替え】本発表が、「需給ひっ迫時の対応について (kWベース)」（第40回電力・ガス基本政策小委員会（2021年10月26日）資料4-2の38ページ）における「需給ひっ迫警報」に該当するのか、とのお問い合わせを多数いただきましたので、件名に追記を行いました。

3月16日（水曜日）の福島県沖の地震の影響により、東北、東京エリアの火力発電所が一部停止している中で、連休明けの明日22日（火曜日）は特に東日本で気温が低く、悪天候が予想されているため、特に東京電力管内で電力需給が極めて厳しくなる見込みです。つきましては、ご家庭や職場などにおいて、不要な照明を消し、暖房温度の設定を20度とするなど、節電にご協力いただきますようお願いいたします。

1. 電力の需給の状況

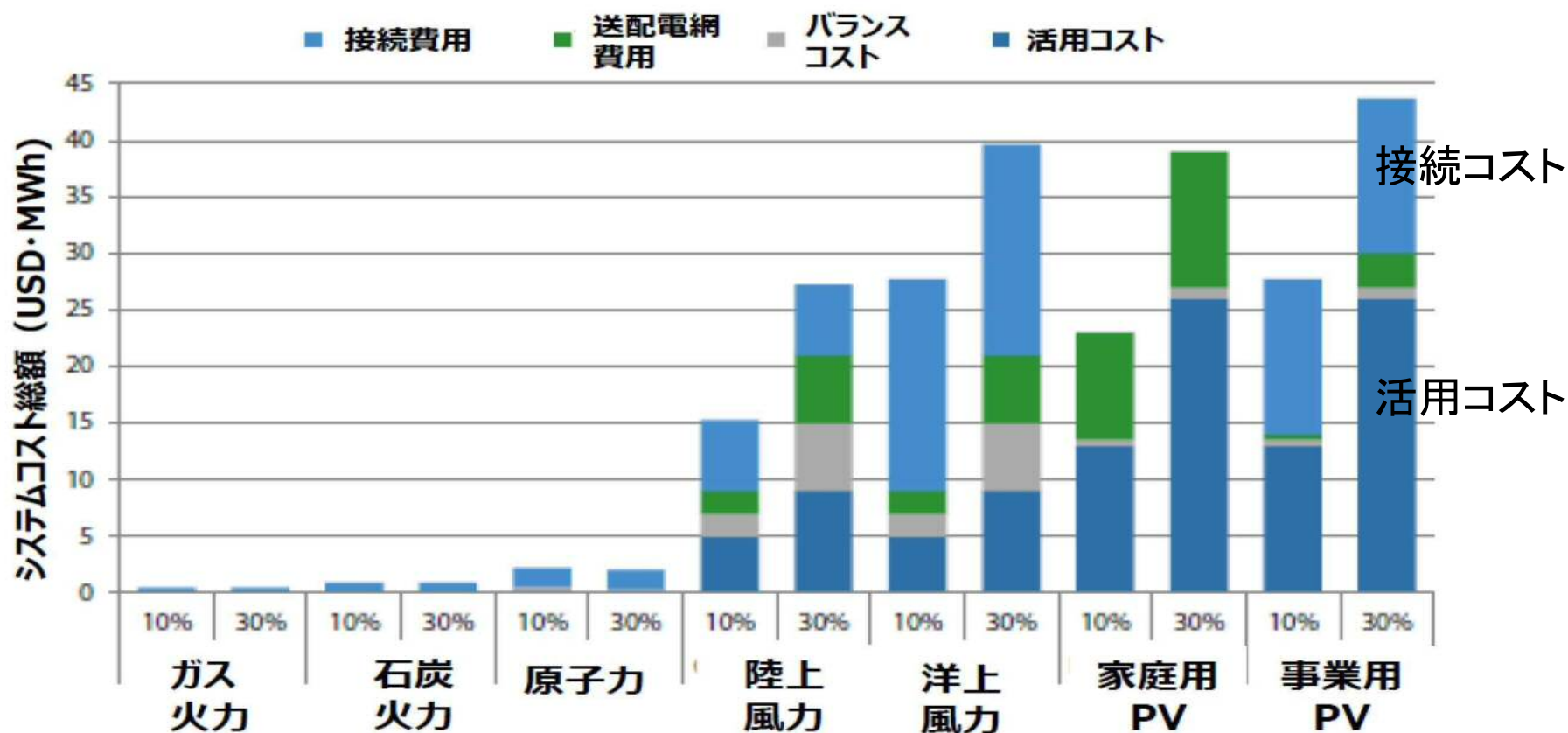
3月16日（水曜日）の福島県沖の地震の影響により、東北、東京エリアの火力発電所6基（計約330万



※東京電力パワーグリッドが公表しているエリア需給実績データより作成（推計実績を含むため今後修正が有る）1つ

出力が変動する太陽光・風力のシステムコストは高い

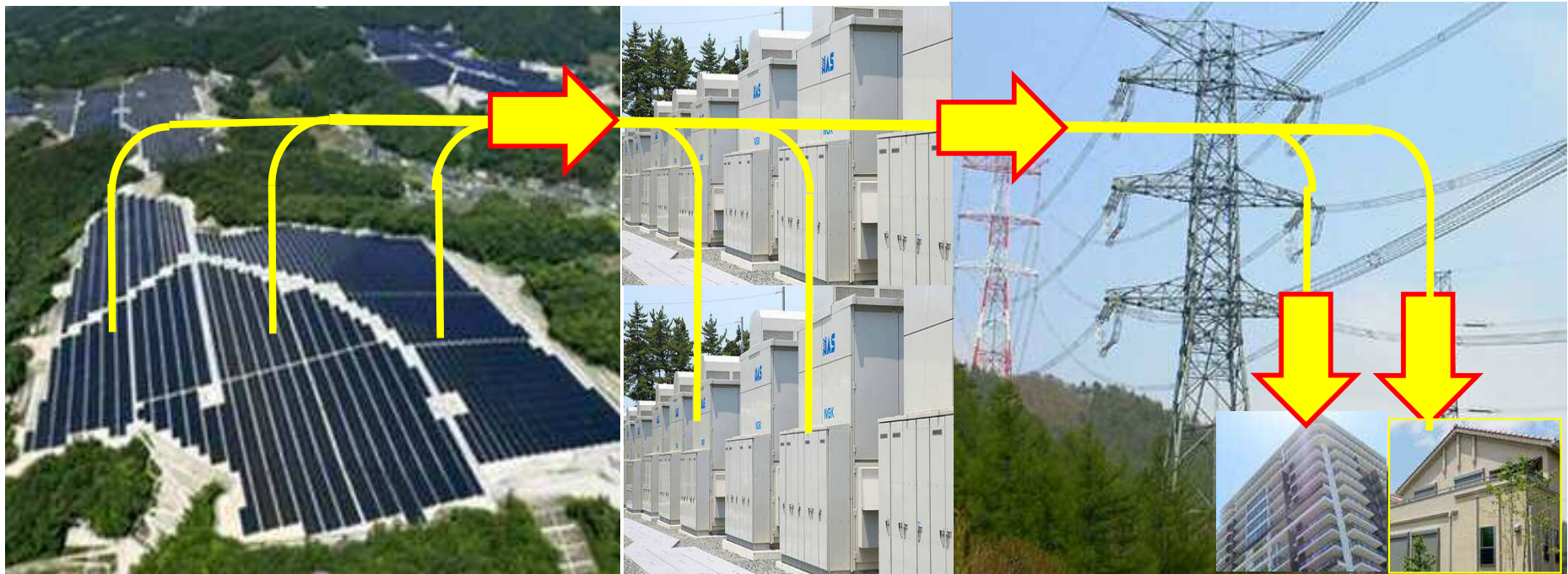
- ◆ 変動性再エネの発電コストは低下しているが、総発電量に占めるシェアの拡大に伴い、接続コスト（電源を送電網に接続するためのコスト）、送配電網コスト（増強）、バランスコスト（変動性再エネの不確実性に備えるためのコスト）、活用コスト（需要と無関係に発電する再エネを受け入れるための調整用電源の利用率低下等のコストアップ等）が増大



出所: OECD/NEA Full Cost of Electricity Provision 2018

14

太陽光のシステムコスト



メガソーラーを国内の
電力需要の7.7倍設置

大容量バッテリー
(NAS電池、水素製造)

送電線を7.7倍の電気が送電で
きる送電線

太陽光に必要な送電線とバッテリーの膨大なコストが必要
出力を絞った火力発電所の発電コストが上昇する

出典: 奈良林が作成したイメージ図

再エネ・高温ガス炉による水素製造

- 太陽光のシステムコストが発生しない使い方
- 水素貯蔵のための圧縮エネルギーやアンモニア製造エネルギー
- 水素を燃焼させて電気に変えると元の電気の半分以下
- 電気分解80%の効率X(火力で60%、燃料電池70%)=約50%



←福島県浪江町の
水素工場

出典: 国家基本問題研究所・今週の直言「震災から10年の福島・双葉町を訪ねて」

<https://jinf.jp/feedback/archives/34909>

「CNにおける原子力の役割と次世代炉への期待」 2022.10.27 エネルギー講演会

東工大 奈良林 直

13

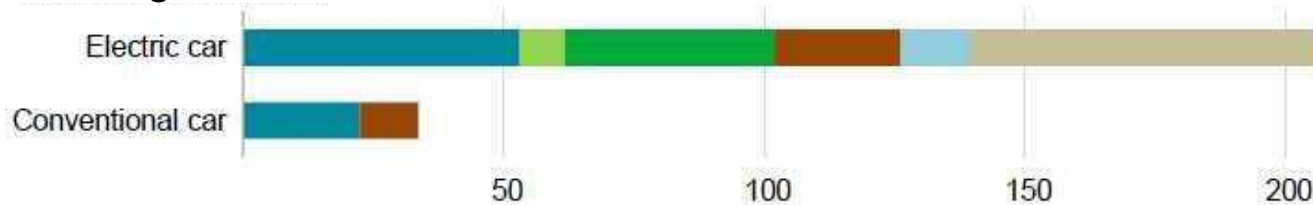
再生エネルギーで必要となる鉱物資源

電気自動車、洋上風力に膨大な鉱物資源が必要
これらの鉱物資源は圧倒的に中国のシェアが大きい

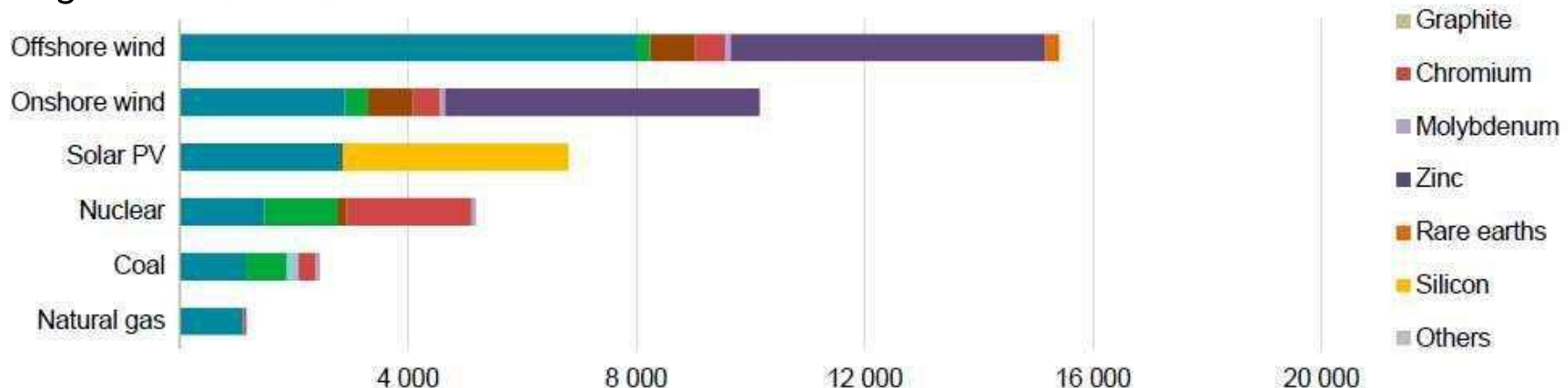
The rapid deployment of clean energy technologies as part of energy transitions implies a significant increase in demand for minerals

Minerals used in selected clean energy technologies

自動車 (kg/台)



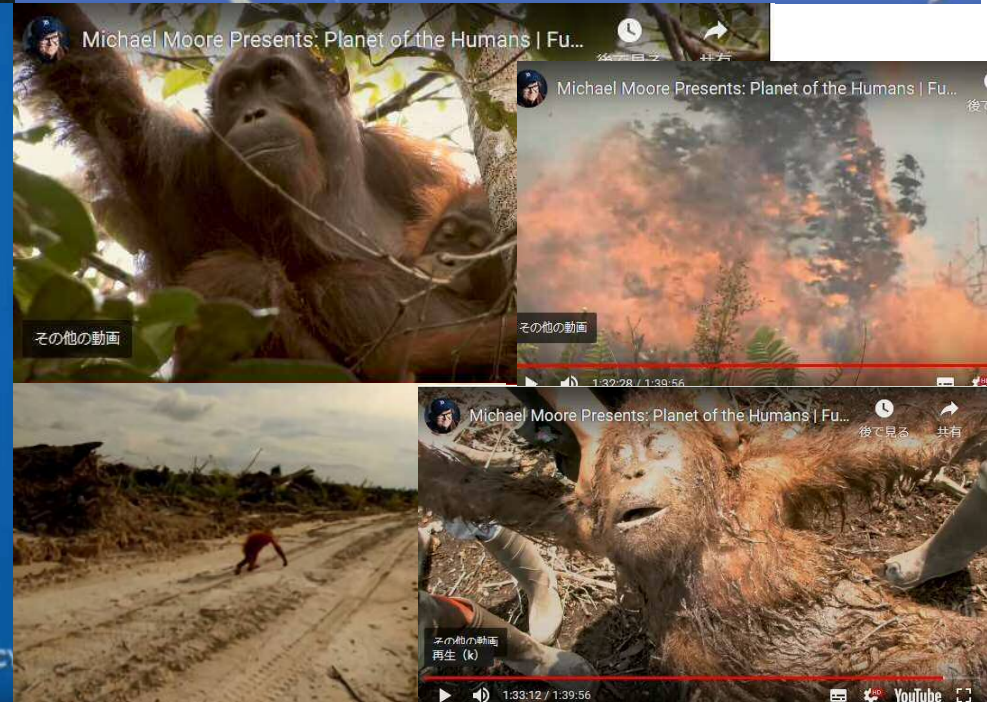
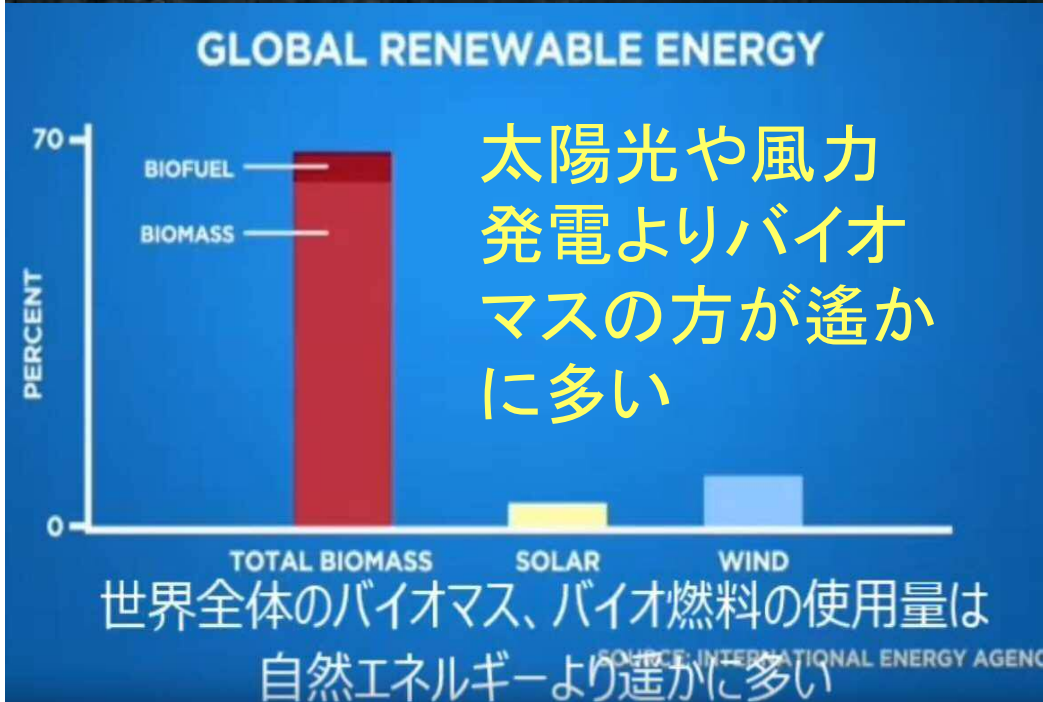
発電 (kg/MW)



出典: 国際エネルギー機関 (IEA) The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, World Energy Outlook Special Report (2021)

Notes: kg = kilogramme; MW = megawatt. Steel and aluminium not included. See Chapter 1 and Annex for details on the assumptions and methodologies.

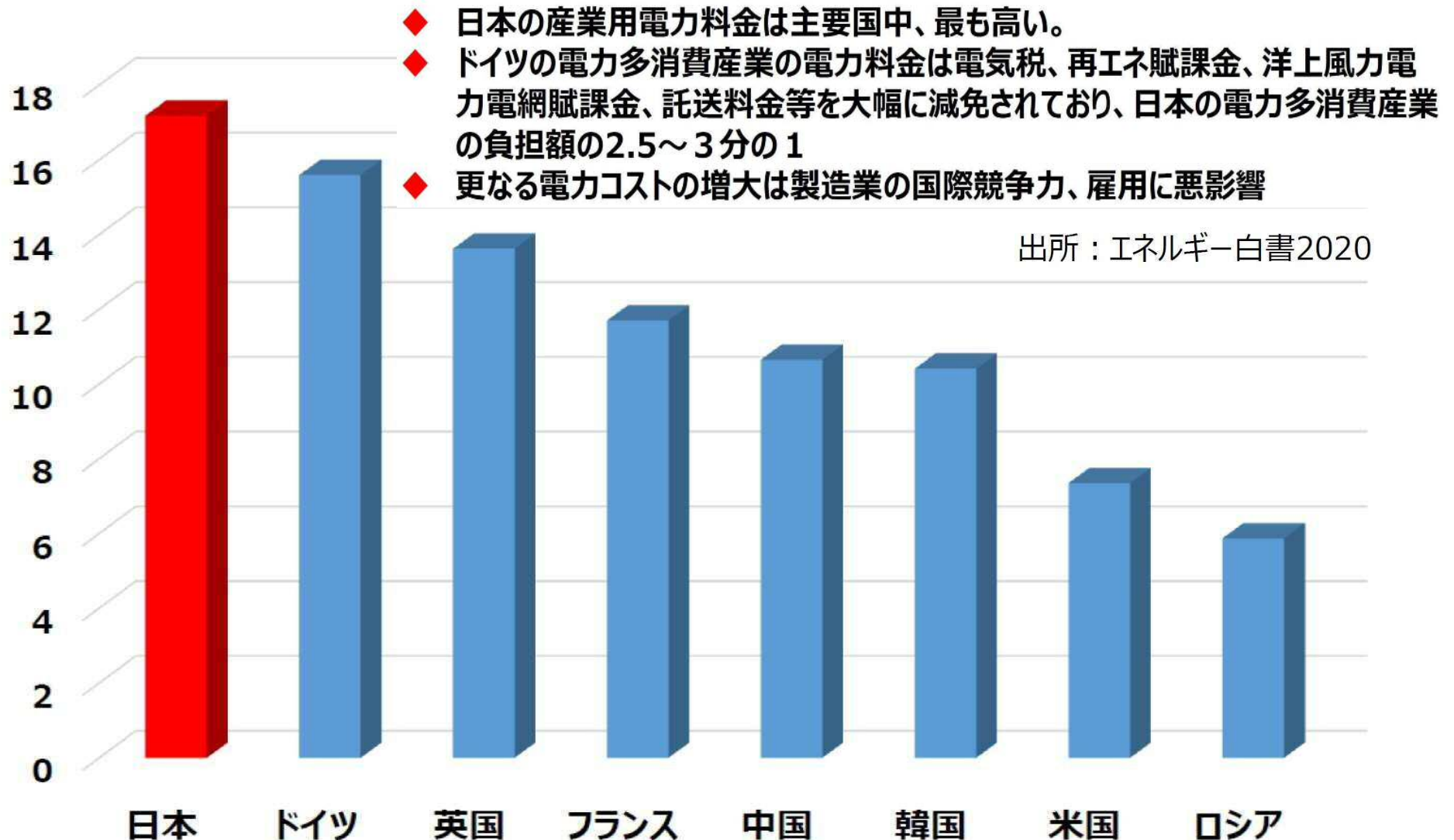
世界中の森林伐採木材チップが欧州に



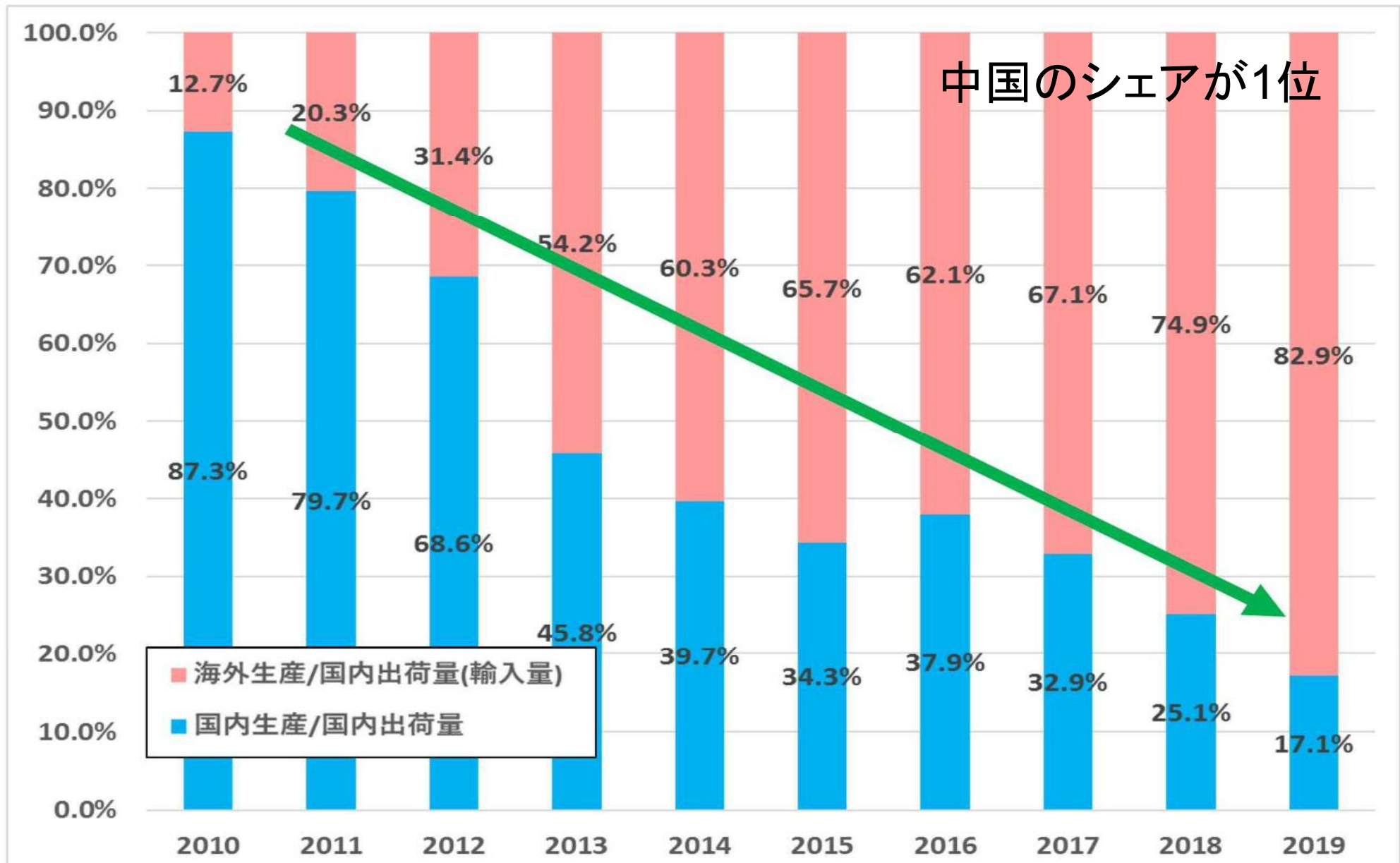
2) 世界一高い電気代と 我が国の産業の凋落

世界一高い日本の産業用電力料金

円/kWh 産業用電力料金の国際比較（2016年）



我が国の太陽光パネルのシェア激減



出典：資源エネルギー庁

我が国の基幹産業である自動車産業ですら危うい

PHV(プラグインハイブリッド車)を含む世界の電気自動車メーカーランキング

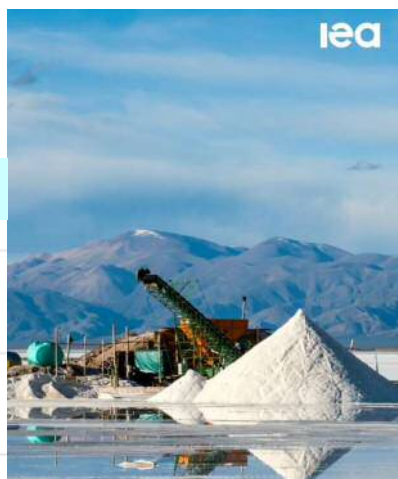
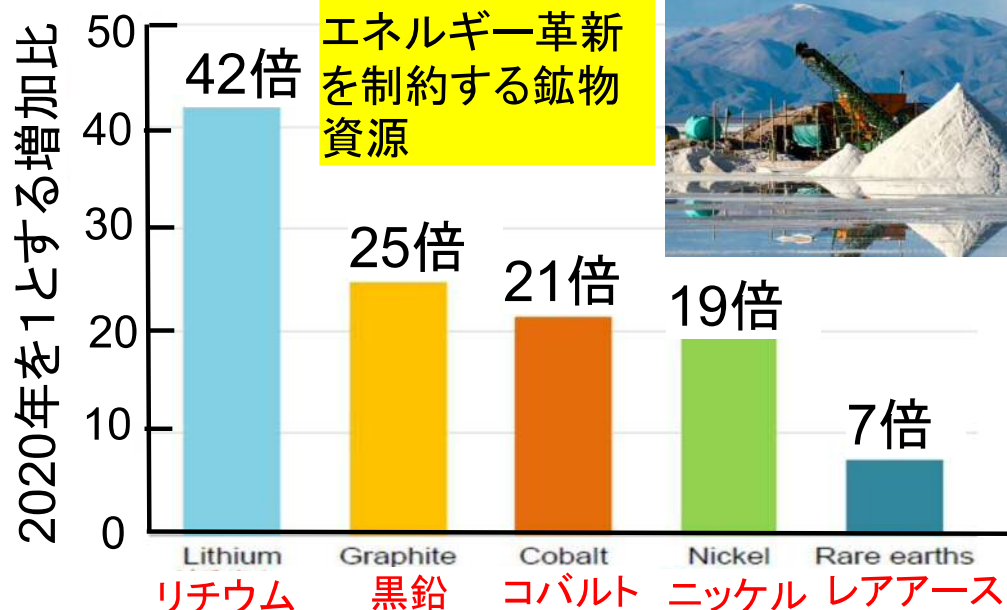
電気自動車 (EV) 量産化で世界の先陣を切った日産自動車が、ついに年間販売台数でベスト10から陥落した。EV Salesの2020年世界EV・プラグインハイブリッド車 (PHV) 販売ランキングによると、日産は2019年の7位から14位へ転落し、トヨタ自動車も同じく10位から17位へ後退。これにより日本勢は、世界販売ベスト10から姿を消した。

2020年EV (PHV含む) 世界販売トップ20社

順位	メーカー名	国籍	2020年生産台数	2019年順位	前年との順位差
1位	テスラ (米国)	米国	499,535	1	±0
2位	フォルクスワーゲン	ドイツ	220,220	6	+4
3位	BYD(中国)	中国	179,211	2	-1
4	上汽通用五菱汽車 (SGMW)	中国	170,825	-	-
5	BMW	ドイツ	163,521	5	0
6	メルセデス・ベンツ	ドイツ	145,885	25	+19
7	ルノー	フランス	124,451	13	+6
8	ボルボ	スウェーデン	112,993	16	+8
9	アウディ	ドイツ	108,367	21	+12
10	上海汽車集団 (SAIC)	中国	101,385	4	-6
11	現代自動車	韓国	96,456	9	-2
12	起亜自動車	韓国	88,325	11	-1
13	プジョー	フランス	67,705	-	-
14位	日産自動車	日本	62,029	7	-7
15	広州汽車集団 (GAC)	中国	61,830	15	±0
16	長城汽車 (Great Wall)	中国	57,452	17	+1
17位	トヨタ自動車	日本	55,624	10	-7
18	奇瑞汽車 (Chery)	中国	45,599	14	-4
19	ポルシェ	ドイツ	44,313	30	+11
20	上海蔚来汽車 (NIO)	中国	43,728	28	+8

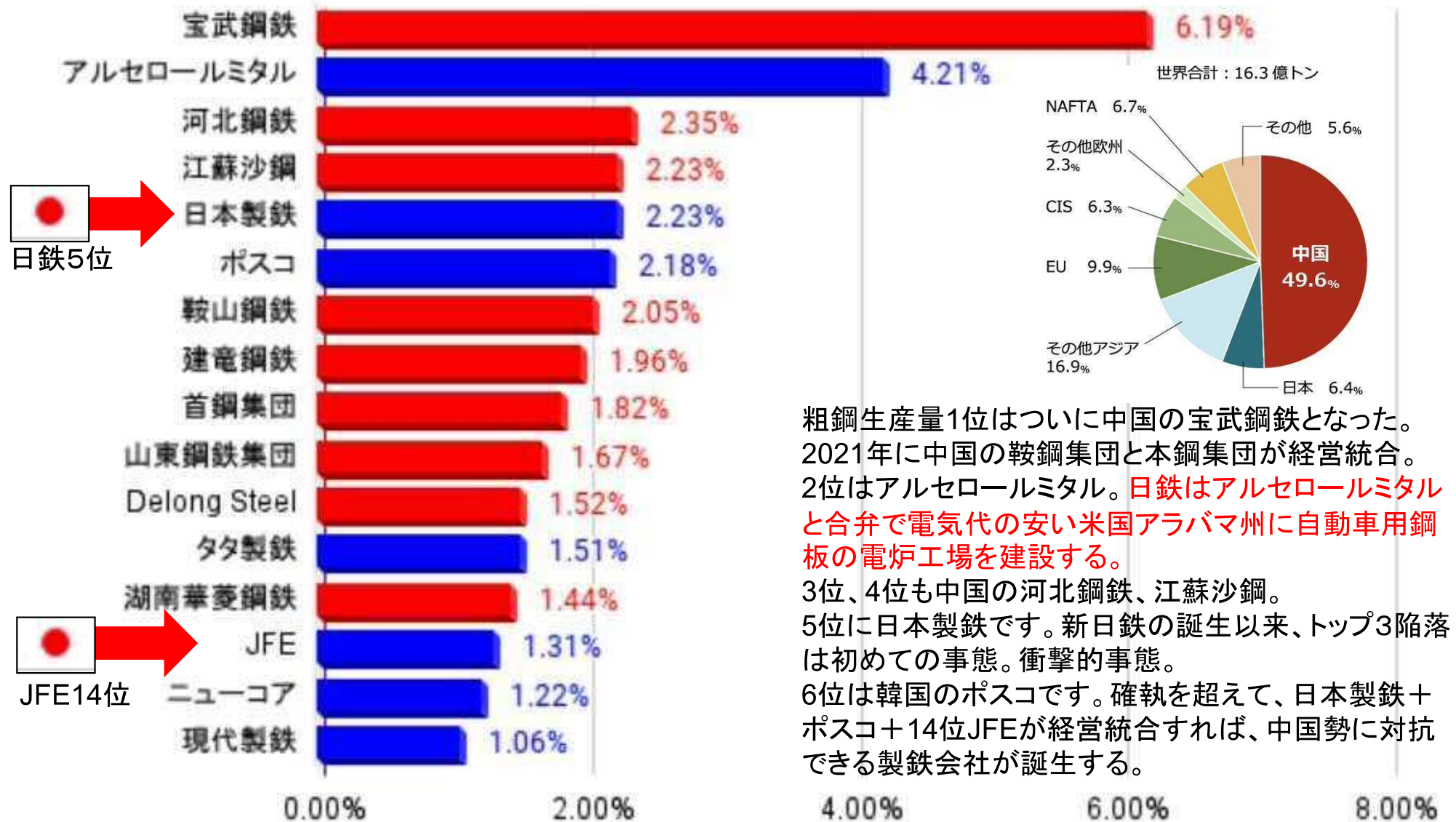
The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions

出典: 国際エネルギー機関 (IEA) (2021)



出典: M&A Online: https://maonline.jp/articles/japanese_makers_finally_falls_from_the_top10_in_ev_phv_world_sales210208

製鉄会社別粗鋼生産量の世界ランキング



粗鋼生産量1位はついに中国の宝武鋼鉄となった。2021年に中国の鞍鋼集団と本鋼集団が経営統合。2位はアルセロールミタル。日鉄はアルセロールミタルと合併で電気代の安い米国アラバマ州に自動車用鋼板の電炉工場を建設する。3位、4位も中国の河北鋼鉄、江蘇沙鋼。5位に日本製鉄です。新日鉄の誕生以来、トップ3陥落は初めての事態。衝撃的事態。6位は韓国のポスコです。確執を超えて、日本製鉄+ポスコ+14位JFEが経営統合すれば、中国勢に対抗できる製鉄会社が誕生する。

出典：日経新聞 <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO65954280W0A101C2TJC000/>

1人当たりのGDPが順位低下(2020)

<2020年>

順位	国名	単位: US\$
1	ルクセンブルク ※アルセロール・ミタルの本社がある国	116,921
2	スイス ※ABBグループが世界規模で事業展開	86,849
3	アイルランド ※米国多国籍企業の急成長で海外投資	83,850
4	ノルウェー ※水力発電でアルミなど電力多消費産業	67,176
5	米国	63,416
6	デンマーク	60,494
7	アイスランド	59,634
8	シンガポール	58,902
9	オーストラリア	52,825
10	オランダ	52,248
11	カタール	52,144
12	スウェーデン	51,796
13	フィンランド	48,981
14	オーストリア	48,154
15	香港	46,753

16	ドイツ	45,733
17	サンマリノ	44,818
18	ベルギー	44,529
19	イスラエル	43,689
20	カナダ	43,278
21	ニューージーランド	41,127
22	イギリス	40,406
23	日本 23位 日本	40,146
24	フランス	39,907
25	マカオ	36,350
26	アラブ首長国連邦	31,982
27	韓国 27位 韓国	31,497
28	イタリア	31,288
29	プエルトリコ	30,317
30	バハマ	29,221
31	台湾	28,306

出典: IMF <https://www.globalnote.jp/post-1339.html>

洋上風力は風況が不利。コストも高い

出典：資源エネルギー庁「洋上風力発電の低コスト化」
研究開発・社会実装計画(案)の概要(2021年8月)

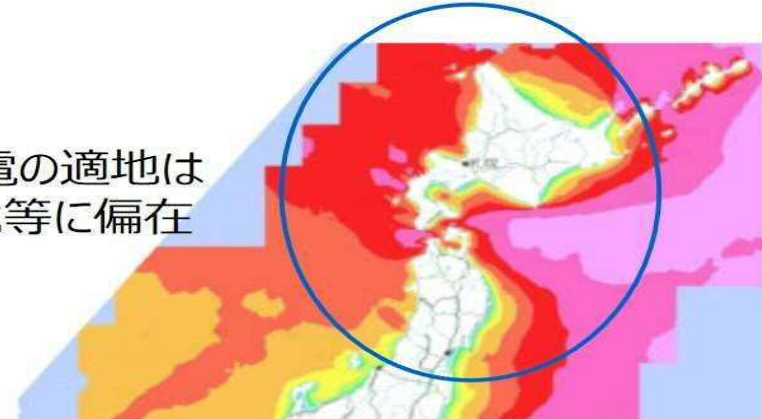


出典：日経XTECH <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01592/00013/>

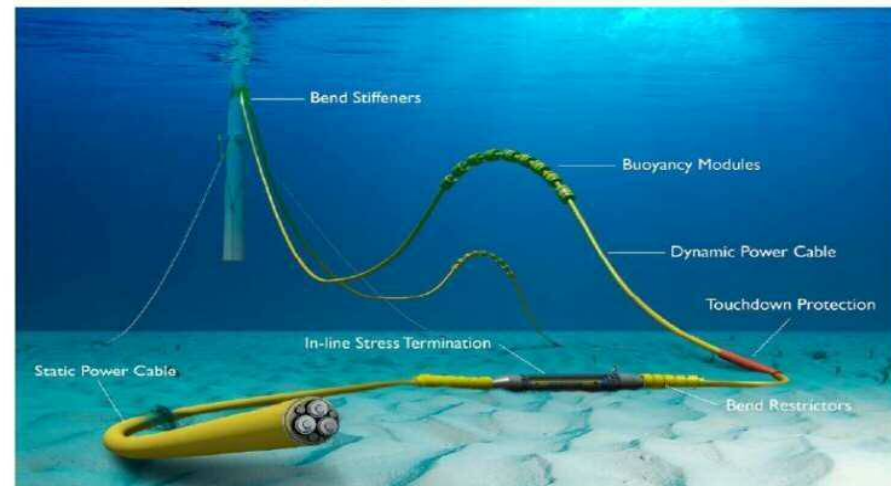
洋上風力発電の適地（風況マップ）

出典：NEDOのHP https://appwdc1.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/index.html

洋上風力発電の適地は
北海道・東北等に偏在



＜ダイナミックケーブル＞



出典：NREL

通常、海底ケーブルは海底に固定されるが、浮体式洋上風力発電向けには、浮体の挙動に追随するよう、海中浮遊部を設けて敷設する。繰り返し加わる海流や浮体挙動による曲げや捻れに対し、それに耐える強度を持つ設計とした高電圧のダイナミック送電ケーブルが必要となる。

3) 世界で多発する大停電

スウェーデン政府は、脱原発政策を破棄

2019年1月の暴風雪でスウェーデンで大停電発生、生き残りをかけた取り組み

""Did not think we would survive"" "Mattias Ritola, 31, ended up in the middle of the storm, Alfrida" "the town of LEKSAND. Mattias Ritola, 31, ended up

05 January 2019 Saturday 03:01

27 reads.

出典: 英紙jelly(2019.1.19) <https://www.jellypages.com/sports/Didnt-think-we-would-survive-h17945.html>



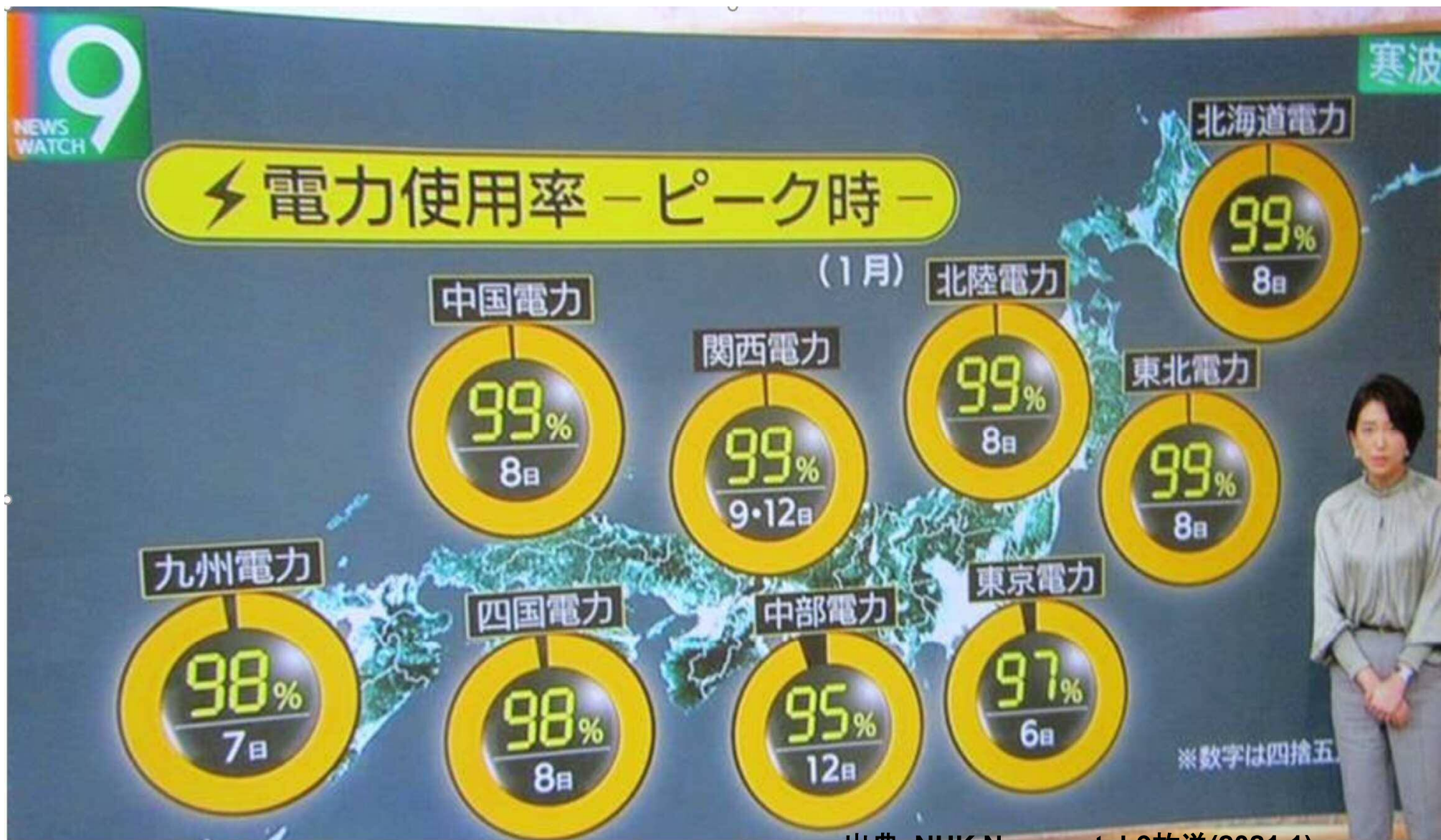
Storm Alfrida knocks out Gotland phone network (including emergency number)



Thousands without power and traffic disrupted as 2019's first storm hits Sweden

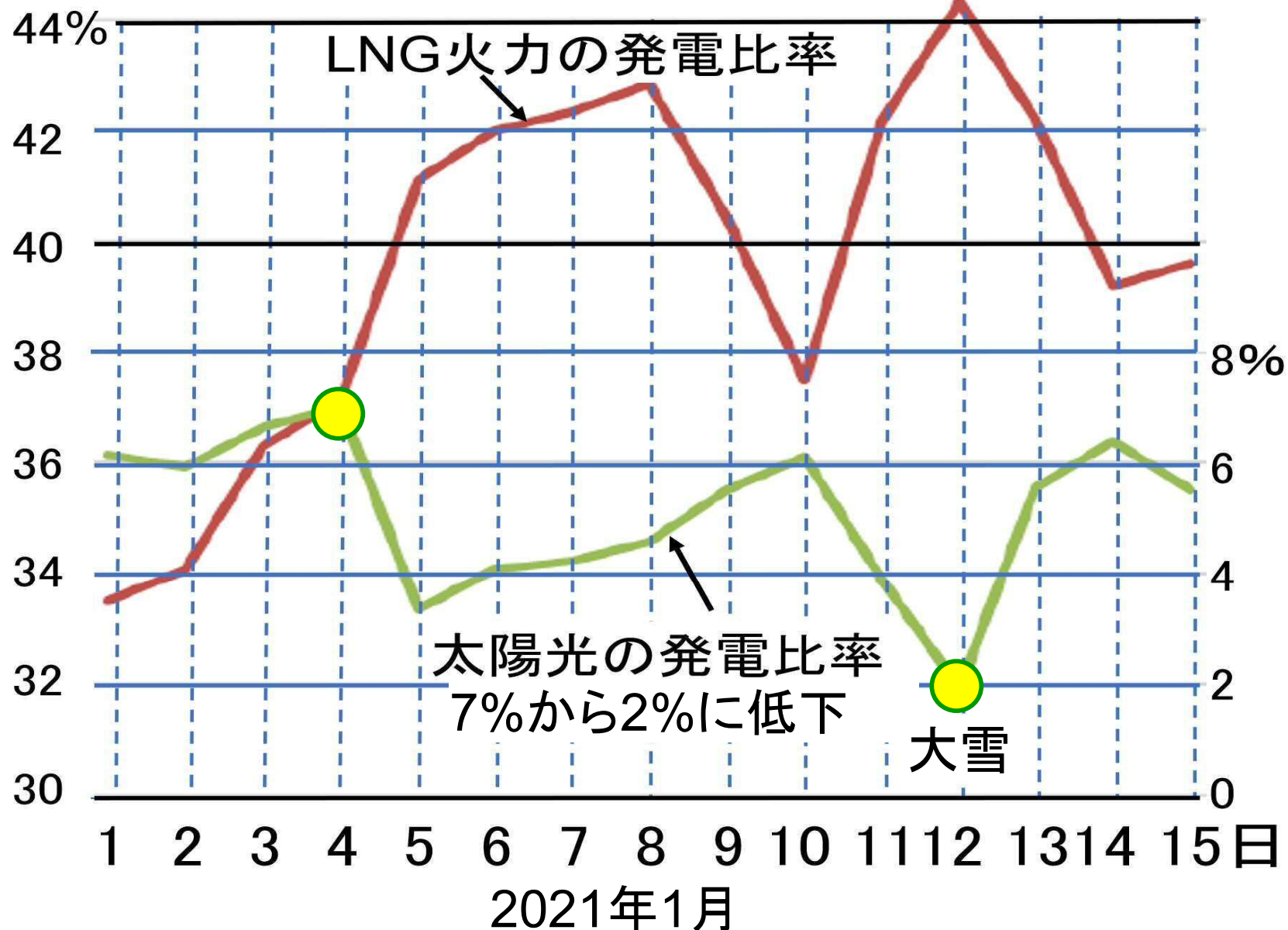
1月上旬・需給ひっ迫で大停電の危機

原発は12月23日まで2基、24日から3基、1月中旬から4基となった



出典: NHK Newswatch9放送(2021.1)

LNG火力と太陽光の発電比率の推移



出典：2020年度冬期の電力需給ひっ迫・市場価格高騰に係る検証 中間取りまとめ (2021年6月)

LNGのスポット価格の高騰（2021年10月に31倍）

●LNGのスポット価格 Platts社 Japan Korea Marker (JKM)の推移

2020年5月の1.8\$/MMBtuが2021年1月に18倍の32\$、同年10月に31倍の56\$



出典: 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会(2021年10月26日)資料3-2(2021年10月) 11ページ
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/040_03_02.pdf

カリフォルニアの熱波による計画停電(2020.8)

2020年8月、カリフォルニア州を1つの国だとすれば、その経済規模は英国を上回り、米中日独に次ぐ世界5位に相当する。そのような先進経済大国で、猛暑によって電力需要が急増し、計画停電が起きた。



電力の専門家と今回の電力不足の緊急会議を行うカリフォルニア州知事(黄緑色の囲み内) ギャビン・ニューサム知事は今回の停電を「国の最大かつ最も革新的な州にとって容認できない、不適合」と発言。でも無理。

8/14 節電の呼びかけを実施も、供給力が不足し計画停電を実施(約20万世帯に影響)

8/15 風力発電等1,470MWの電源が計画を下回る、470MW(約30万世帯)の計画停電を実施

8/16 電力需要の削減を呼びかけ、停電は実施せず

8/17 900MWの需要削減計画を実施

8/18、19 電力需要の削減を呼びかけ、停電は実施せず

テキサス州大停電・雪で車が立ち往生

米国テキサス州でも、電力の23%を占める風車の半数が凍結・大停電
死者40名。原発も1基、給水流量計の凍結で一時停止



700万世帯が影響



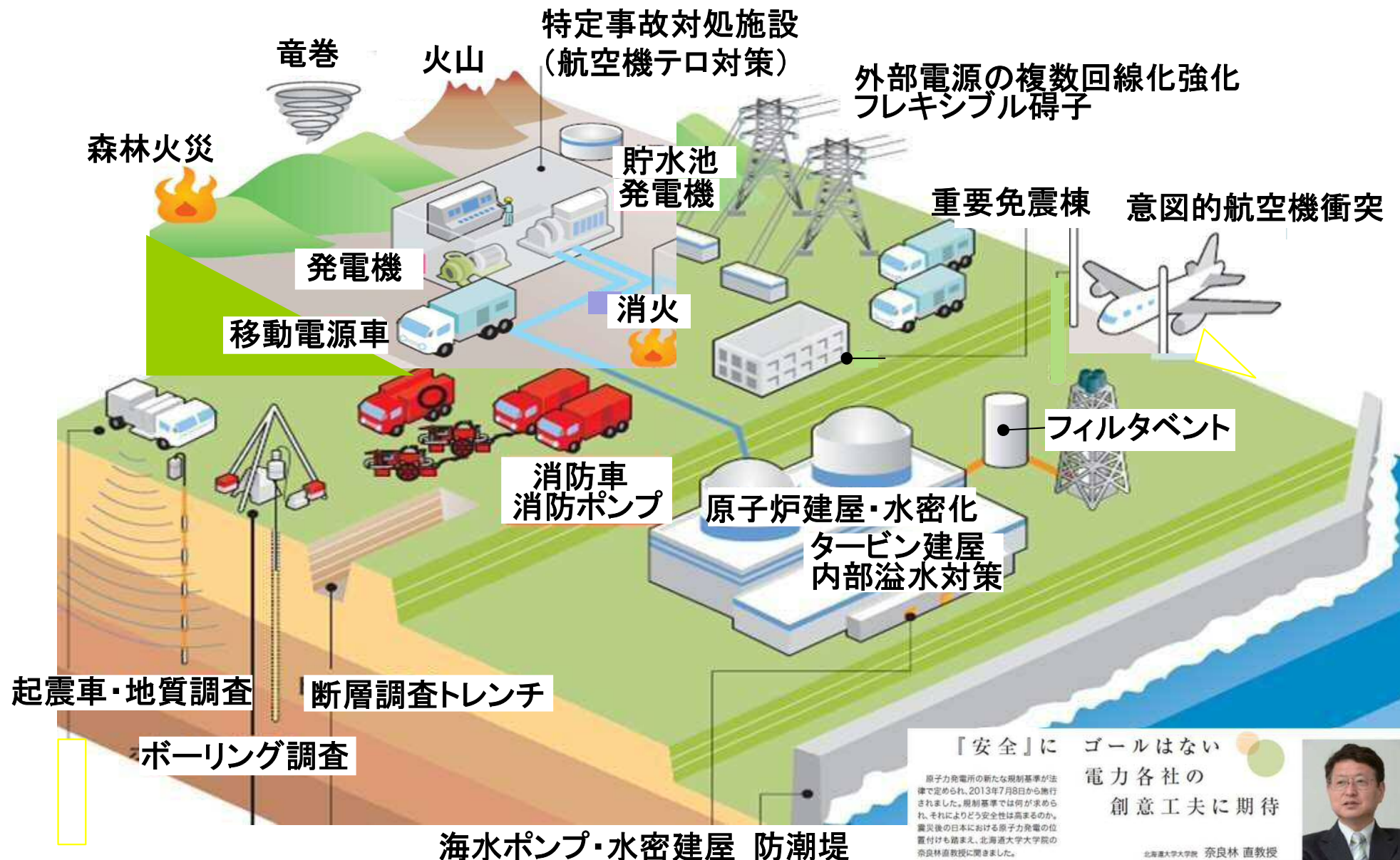
寒波で、風車が凍結、EVでは暖が取れない

出典:時事通信 <https://www.jiji.com/jc/article?k=2021030100665&g=int>

出典:WEDGE Infinity <https://wedge.ismedia.jp/articles/-/22384>

4) 原子力発電所の新規性基準 による安全対策とリスク低減

新規制基準の概要

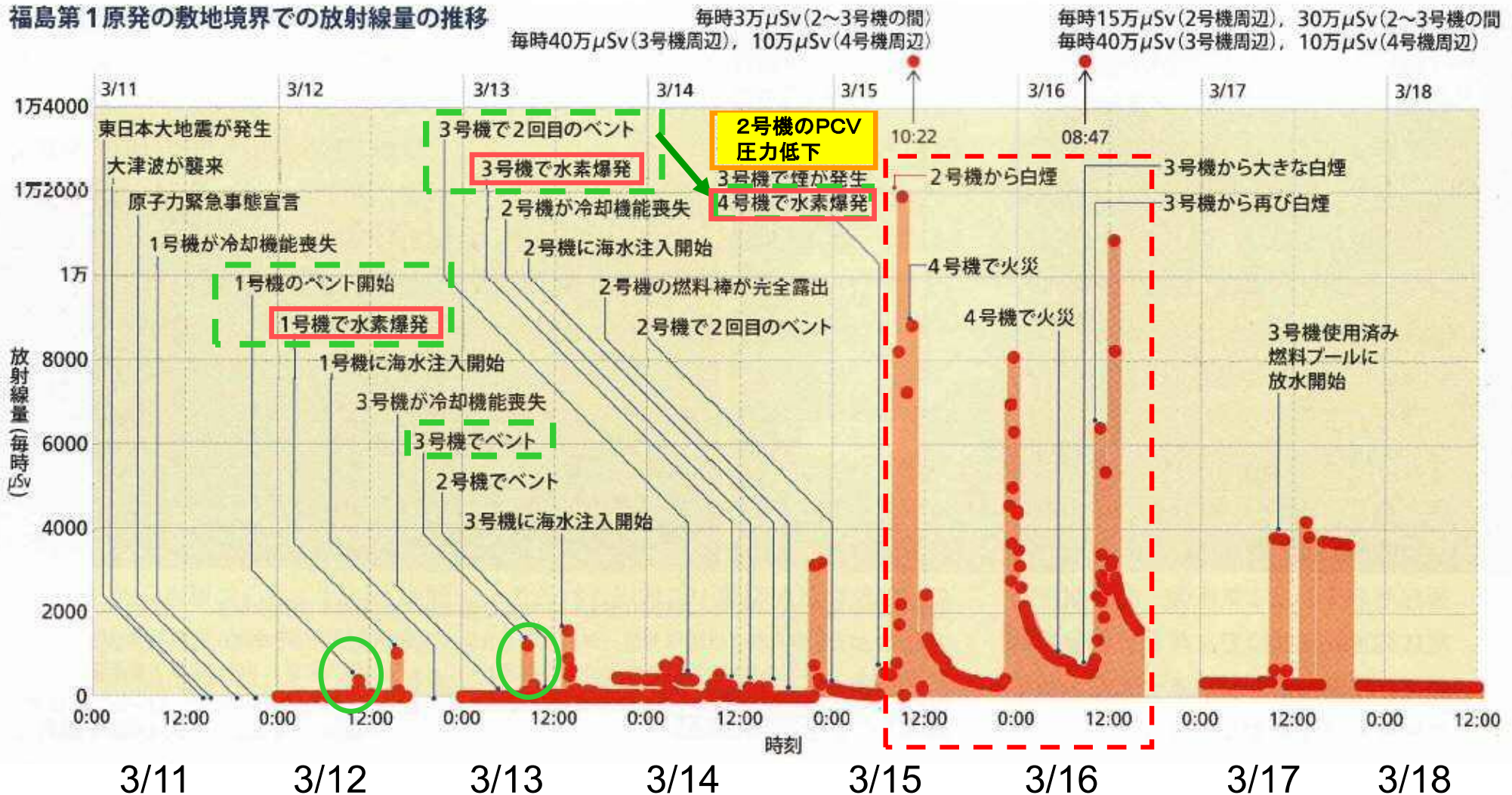


出典:「どう変わる?原子力発電所の安全対策~新規制基準を分かりやすく解説~、電気新聞特別号(2013.8)・北海道大学院 奈良林解説

格納容器の損傷後に放射線量率急増

3/15の2号機のPCV漏洩以降の放射線量率が急増

福島第1原発の敷地境界での放射線量の推移

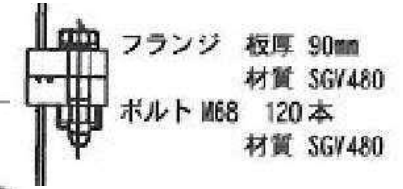


出典:日経サイエンス2011年7月号より

格納容器の頂部のふたから漏えい

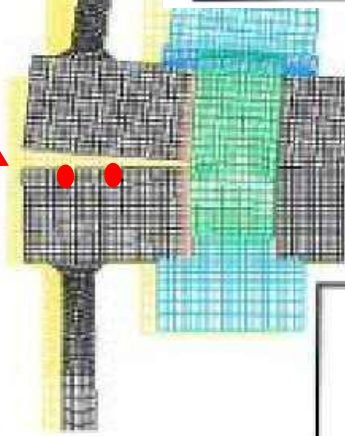
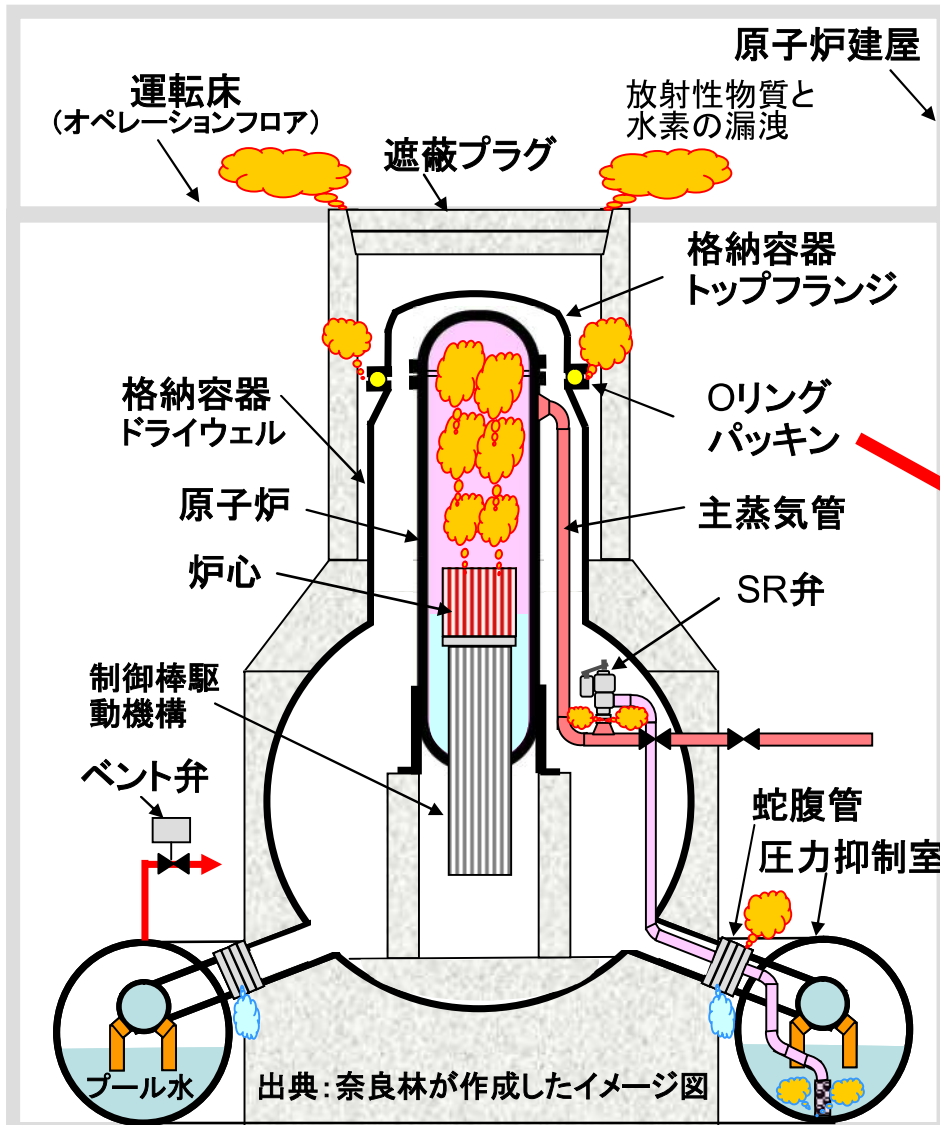
■ 格納容器の頂部(トップ)フランジのゴムが劣化して漏洩

出典: 2012.3 原子力安全・保安院、
東京電力株式会社福島第一原子力発電所
事故の技術的知見について(参考資料)

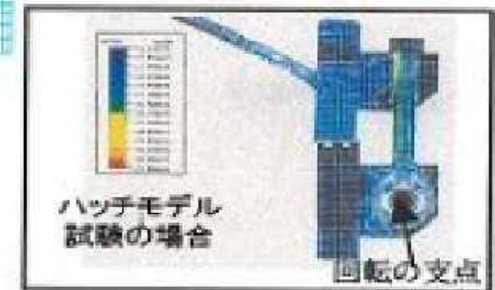


赤い2つの
●がリング
ゴムパッキン

フランジガスケットの過温劣化状況



回転の支点

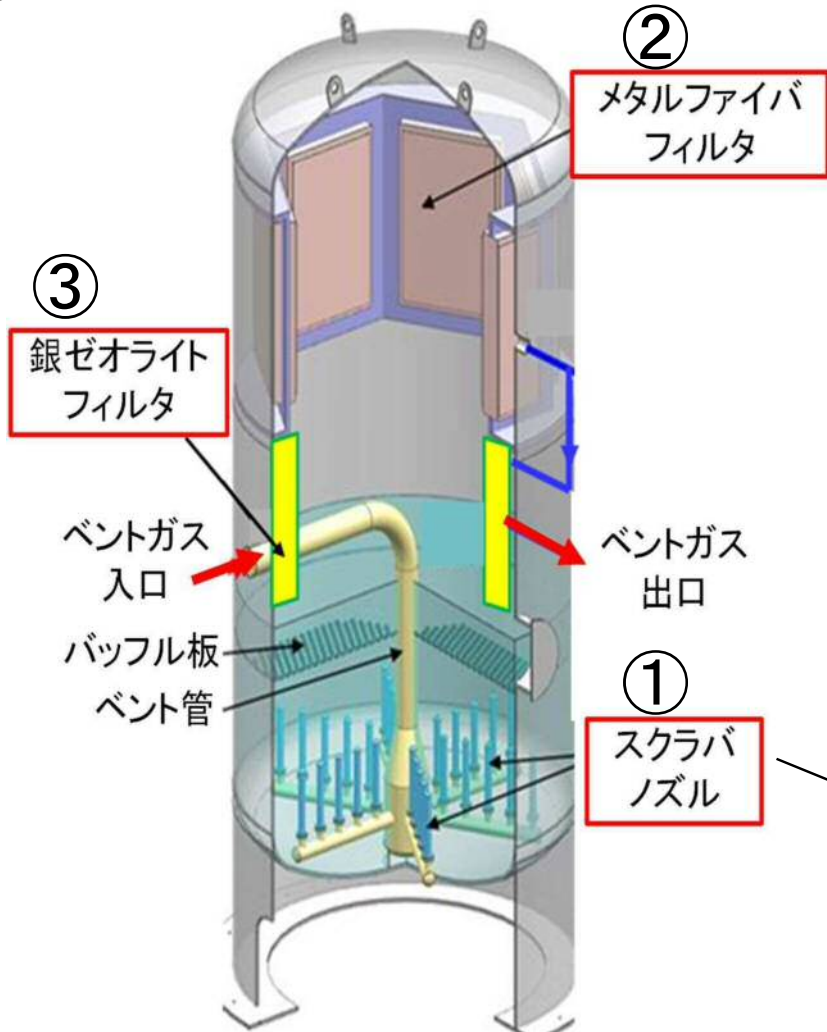


b) 1.65MPa (5.3Pd) 時のドライウェルヘッド変形挙動
(ハッチモデル試験解析との比較)

フィルターベントシステム (FCVS) 技術

- ① 湿式フィルタ、② 乾式フィルタ
- ③ ヨウ素フィルタの3段階

- フィルタベント技術で放射性物質は1億分の一以下に。
- コロナ対策にも応用可能



「感染対策を資材と方法から考える超党派議員連盟」の勉強会や参院予算委員会でも紹介された、「空気の洗濯機」



出典：日本機械学会編、奈良林直監修「フィルタベント—原子力安全の切り札を徹底解説」(2018.9)

出典：東京工業大学「脱コロナ禍 New Normal Research Map」
<https://www.ura.titech.ac.jp/nn-researchmap/?research=32>

フィルターベントの据え付け(中部電力、東京電力)



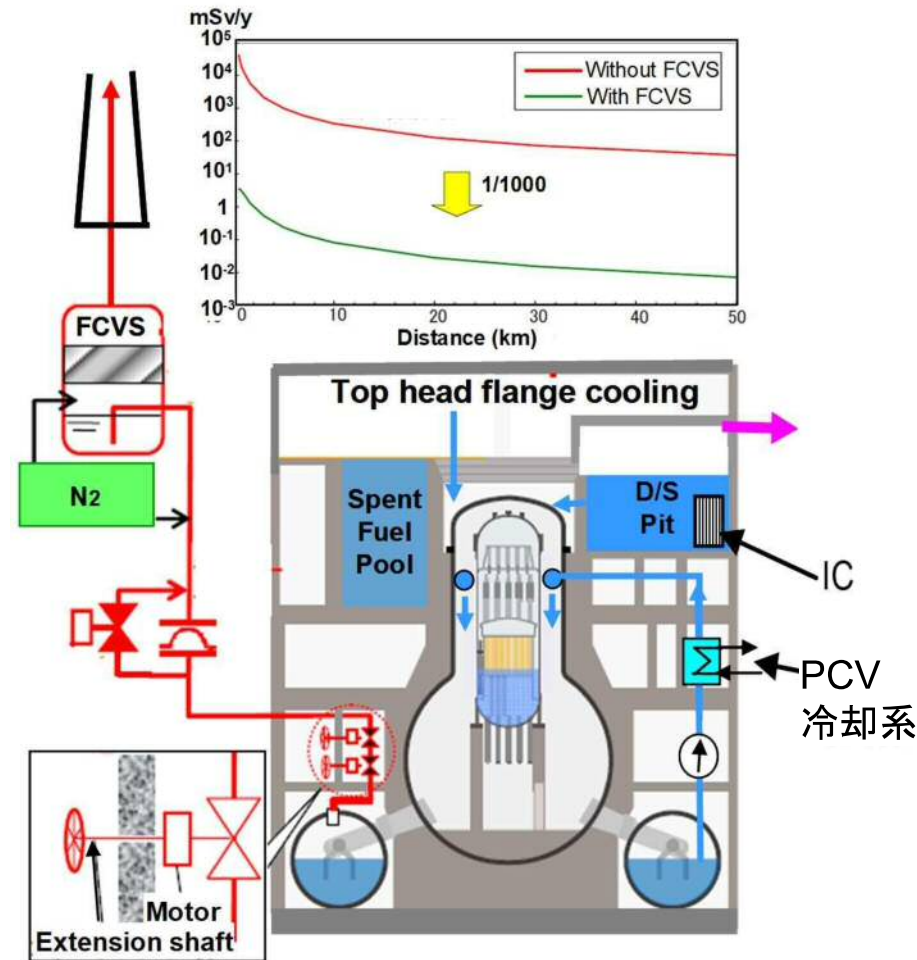
出典: 日本機械学会編、奈良林直監修「フィルタベント—原子力安全の切り札を徹底解説」(2018.9)



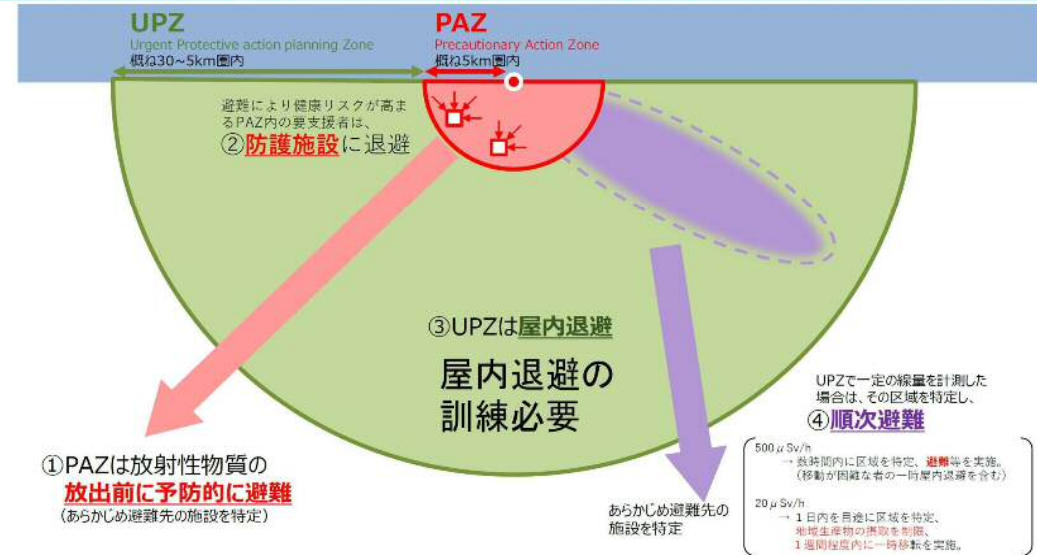
格納容器フィルターベント装置の効果

二度と地元を汚染しない、そして人々を守るための対策

PAZとUPZ圏内の避難対応：事業者・国・自治体の連携必要



- 福島第一原発事故以前は住民避難などの防災対策を検討する範囲は原子力施設から10Km圏内だったが、その範囲を30Km圏内に拡大するとともに、原子力施設からの距離に応じて、即時避難や屋内退避等の避難の考え方を整理。
- また、避難計画の策定にあたって、自治体任せにせず、政府が策定支援する枠組みを構築。



PAZ内の御前崎市の体育館のエアシェルター

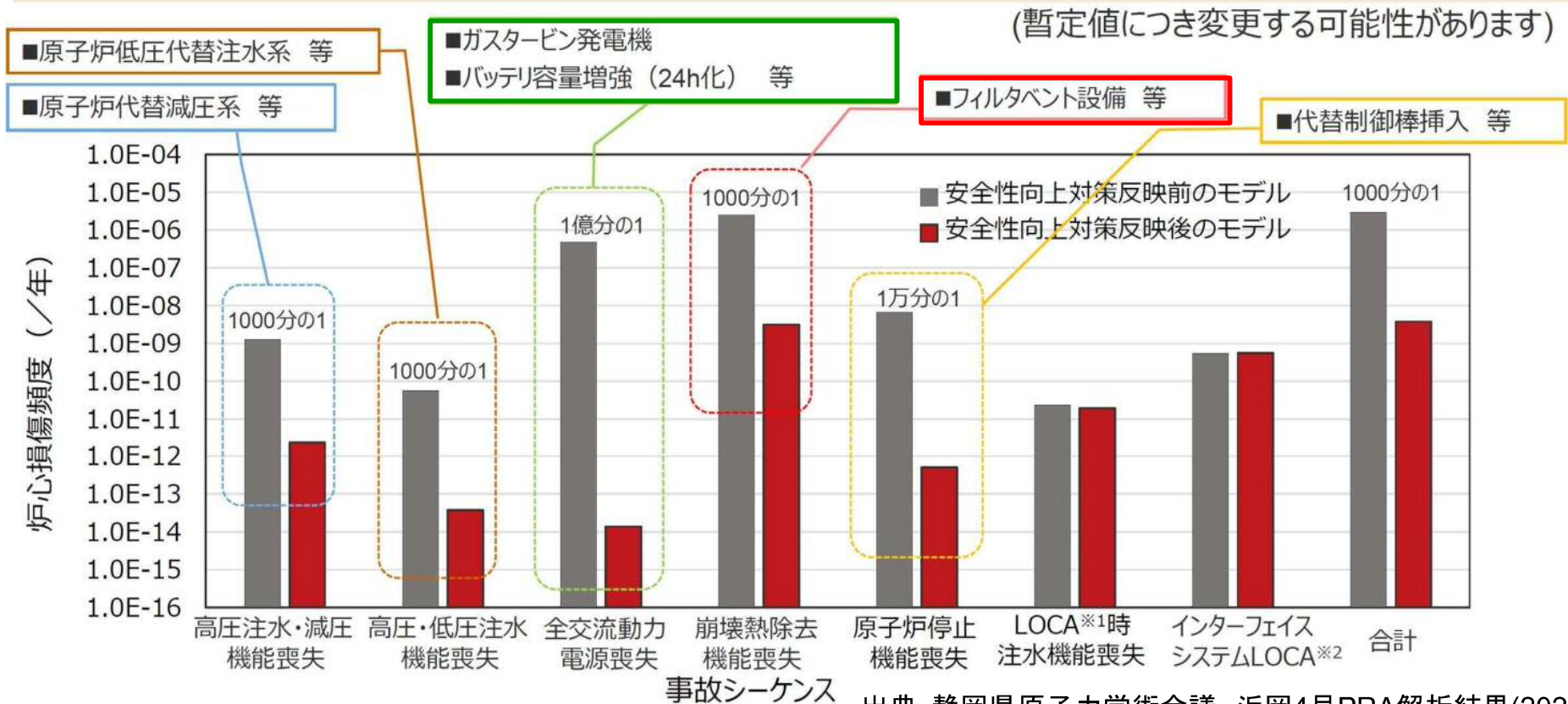


出典：日本機械学会編、奈良林直監修「フィルタベント—原子力安全の切り札を徹底解説」(2018.9)

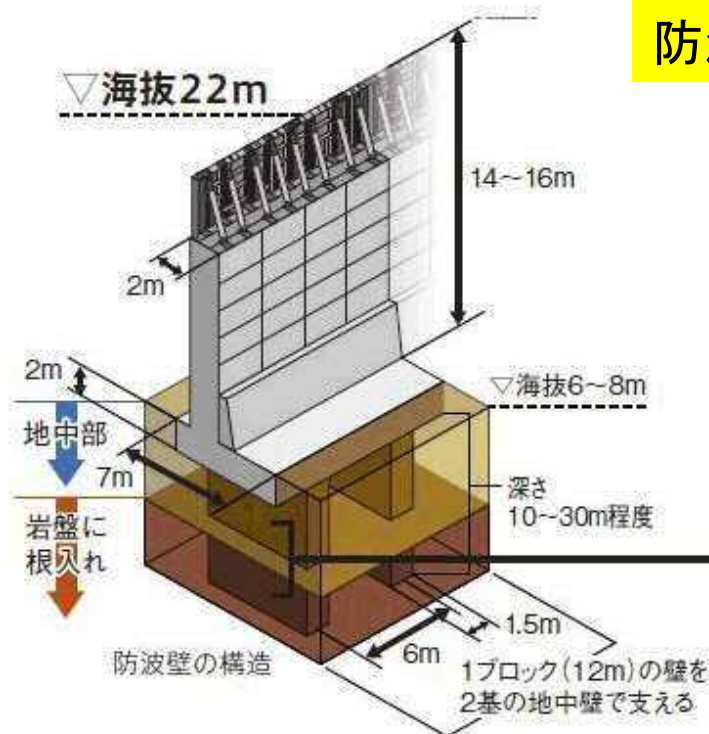
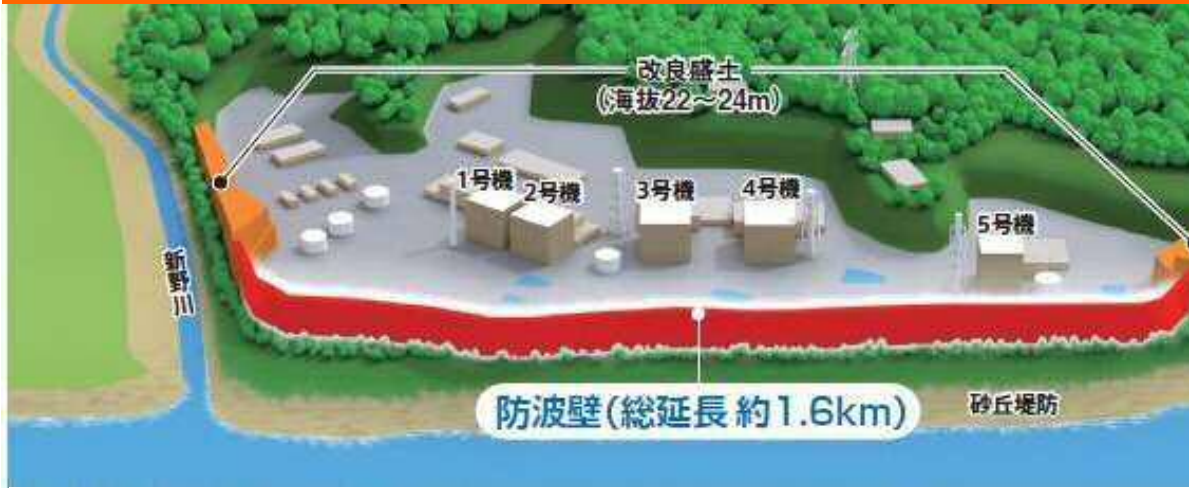
福島第一事故の反省から安全対策は飛躍的に強化

福島原発事故以降の安全対策の強化は他国に例を見ない。
その結果、事故のリスクは1億分の1以下に低下した。
原子力発電所は自然災害に対して最も強靱で、安全な電源となった。

安全性向上対策を反映したPRA評価結果（炉心損傷頻度）は、反映前と比べ3桁程度低減することを確認しました（反映前: 2.9×10^{-6} /炉年、反映後: 3.8×10^{-9} /炉年）。



浜岡原子力発電所の津波対策とフィルタバント

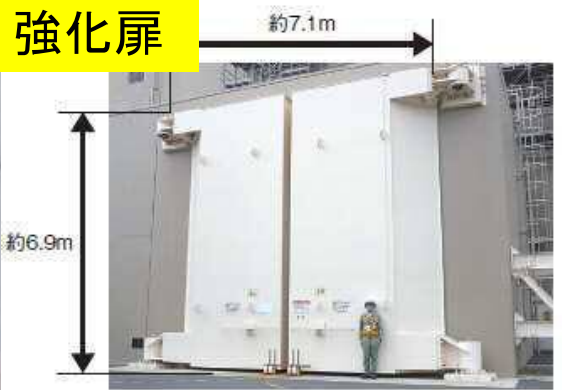


防波壁(高さ22m)



防波壁

強化扉



① 強化扉(厚さ:約1m、重さ:約40t)

EWSポンプ室(水密)



中部電力 <http://hamaoka.chuden.jp/provision/daitai.html>

5) 革新軽水炉や小型モジュール炉 (SMR)の開発状況

脱炭素を目指す国々が原子力を利用

- ◆ カーボンニュートラルを目指す国の中には原発を将来にわたって活用する国が多数含まれる。
- ◆ 脱原発は国際的潮流ではない

◆スウェーデン政府は1980年に国民投票で決定した脱原発政策を見直し、2010年の国民投票で、**脱原子力見直し**に関する法律の有効性を確認し、建替えに伴う原子炉建設を認めるなど、脱原発政策を破棄

将来的に利用

25カ国

[]は運転基数

・ 米国 ※ ¹ [94]	・ チェコ [6]	・ ブルガリア [2]
・ フランス [56]	・ パキスタン [5]	・ メキシコ [2]
・ 中国 ※ ² [50]	・ スロバキア [4]	・ ルーマニア [2]
・ ロシア [38]	・ フィンランド [4]	・ オランダ [1]
・ インド [22]	・ ハンガリー [4]	・ アルメニア [1]
・ カナダ [19]	・ アルゼンチン [3]	・ イラン [1]
・ ウクライナ [15]	・ 南アフリカ [2]	・ UAE [1]
・ 英国 [15]	・ ブラジル ※ ³ [2]	・ ベラルーシ [1]
		・ 日本

※1 バイデン政権の公約として表明

※2 2060年までのCNを表明 ※3 条件付きで2060年のCNを検討

14カ国

※緑字はカーボンニュートラル表明国

・ インドネシア	・ トルコ
・ ウズベキスタン	・ ナイジェリア
・ エジプト	・ バングラディシュ
・ カザフスタン	・ フィリピン
・ ガーナ	・ ポーランド ※ ⁴
・ サウジアラビア	・ モロッコ
・ シリア	・ ヨルダン

※4 2050年カーボンニュートラルに反対していたが、最近では「カーボンニュートラルへの貢献」を明言し、石炭火力の廃止に必要な約4兆円の投資をEUに協力要請。

現在、原発を利用

5カ国・地域

・ 韓国 [24]	(2017年閣議決定 / 2080年頃閉鎖見込)
・ ベルギー [7]	(2003年法制化 / 2025年閉鎖)
・ ドイツ [6]	(2002年法制化 / 2022年閉鎖)
・ スイス [4]	(2017年法制化 / -)
・ 台湾 [4]	(2019年政府発表 / -)

(脱原発決定年 / 脱原発予定年)

(注1) スペイン、スウェーデン、スロベニアは現在原発を利用しているが、IAEA Country Nuclear Power Profiles における将来のスタンスを明らかにしていないため記載していない。

(注2) 韓国は今後新たな原発の建設計画を認めず設計寿命を終えた原子炉から閉鎖する方針のため、現在建設中の原発が設計寿命を迎える時期を記載。

現在、原発を利用せず

4カ国

・ イタリア	(1988年閣議決定 / 1990年閉鎖済)
・ オーストリア	(1978年法制化)
・ オーストラリア	(1998年法制化)
・ マレーシア	(2018年首相発言)

出典：資源エネルギー庁「原子力政策の課題と対応について」2021年2月25日の22頁 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/021_03_00.pdf

将来的に非利用

出所：IAEA Power Reactor Information System ホームページ等 (2020/12/18)

国連欧州経済委員会が原子力を評価

- 国連欧州経済委員会がCO2削減に最も有効な手段として、原子力を位置付けた。
- 国連欧州経済委員会(UNECE)の新しい報告「原子力発電は、そのライフサイクル全体で他のどの電力源よりも少ないCO2排出量で、風力、太陽光、ガス、石炭などの競合する電力源と比較して、キロワット時(kWh)あたりのCO2のグラム数で測定されるCO2の排出係数が最も少ないことを確認した。原子力は土地利用が最も少なく、すべてのクリーンテクノロジーの中でライフサイクルの鉱物と金属の使用量が最も低いことも明らかになった。
- 欧州連合(EU)の執行機関である欧州委員会も、原子力発電を投資対象分類に入れた。

MONDAY 22 NOVEMBER 2021 4:25 AM

UN crowns nuclear as lowest carbon electricity source

出典: 原子力産業新聞<https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/7051.html>

NICHOLAS EARL



出典: 国家基本問題研究所・今週の直言「世界の原子力回帰が鮮明に」
<https://jinf.jp/weekly/archives/36560>



「フランス2030」を発表するマクロン大統領

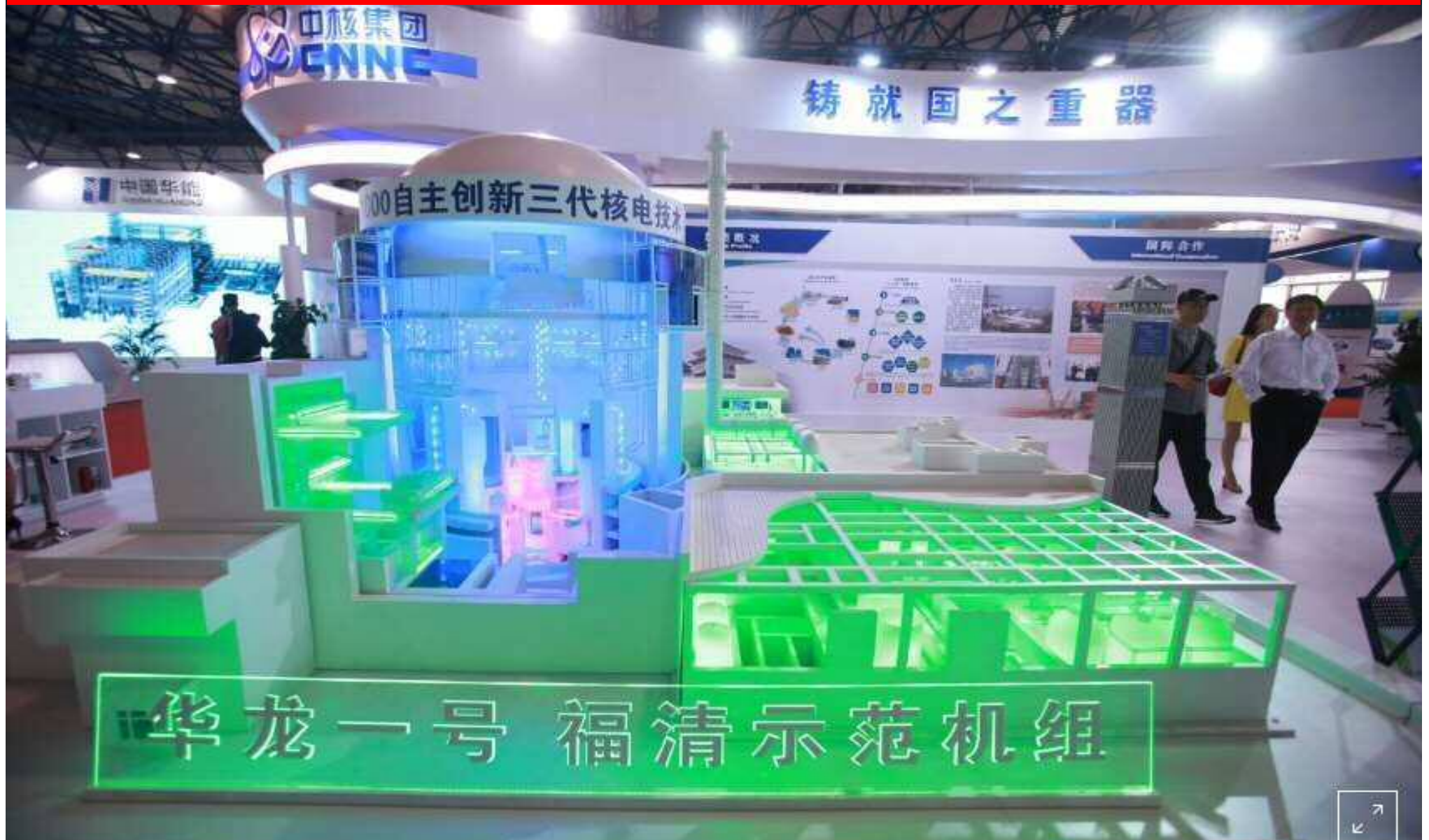
マクロン大統領が最新原発6～14基建設表明

フランスで世界最大の世界原子力博(WNE)が開催され(2021.12)、数千人が来場



出典:世界原子力博(WNE)会場(2021.12)、森村商事

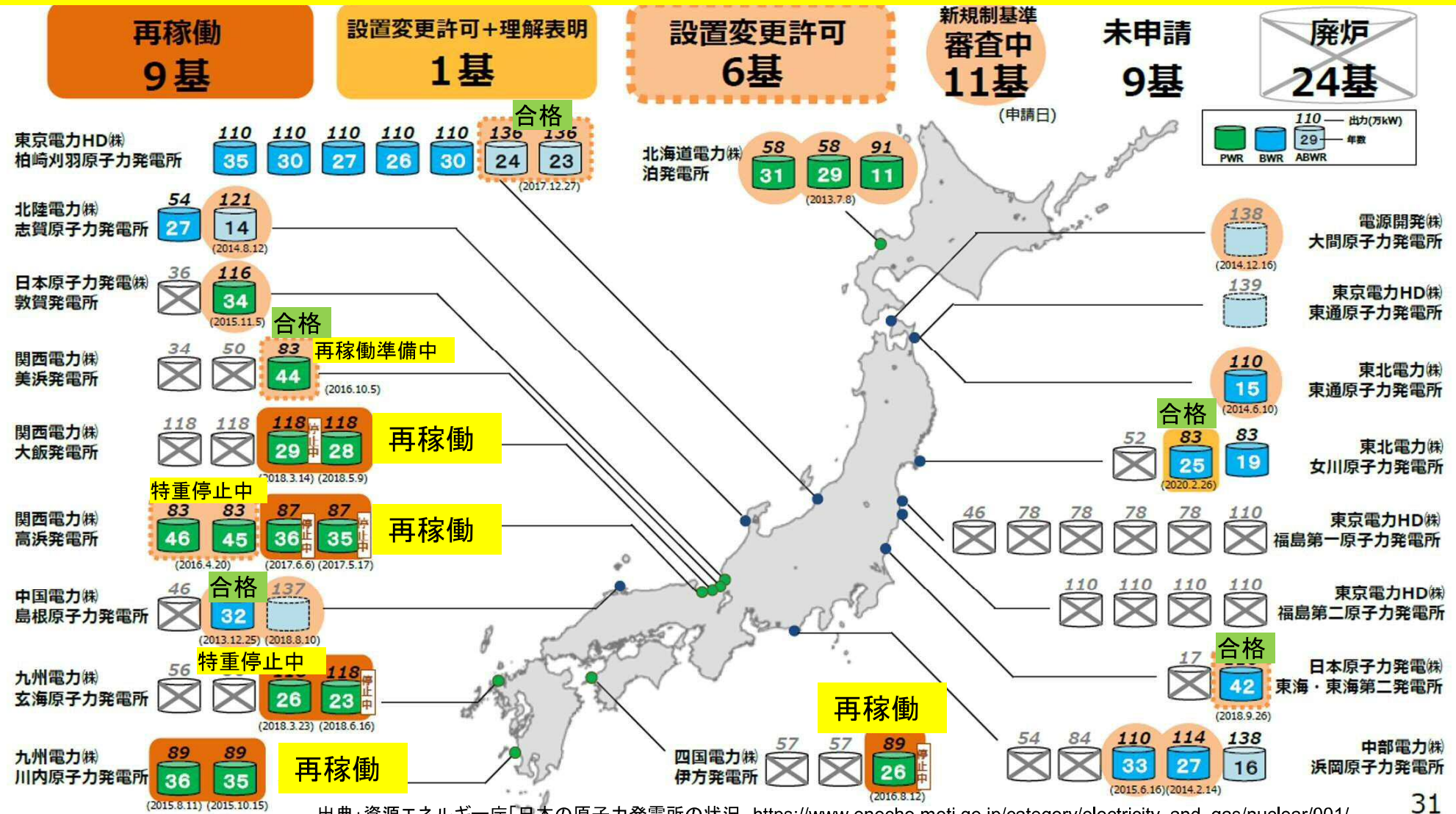
中国は**華龍1号**(100万kW)や**AP1000**(WH社)を多数建設
さらに小型モジュール炉(SMR)で石炭消費削減すると明言



出典：中核集团CNNC(China National Nuclear Corporation)パンフレット、広東大亜湾Daya Bay原発電展示館訪問 (日本保全学会ICMSTテクニカルツアー)

現在の再稼働状況

再稼働審査が極めて遅い。概ね2年とした行政手続法違反。
 何十兆円もの国民の経済損失が発生している。CO2の発生も増えてしまった。
 米国NRCのACRS(諮問委員会)のように規制委のチェック機能必要。



出典: 資源エネルギー庁「日本の原子力発電所の状況」 https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/001/

新增設・リプレースの立地候補地

新設

2基

増設

6基

リプレース

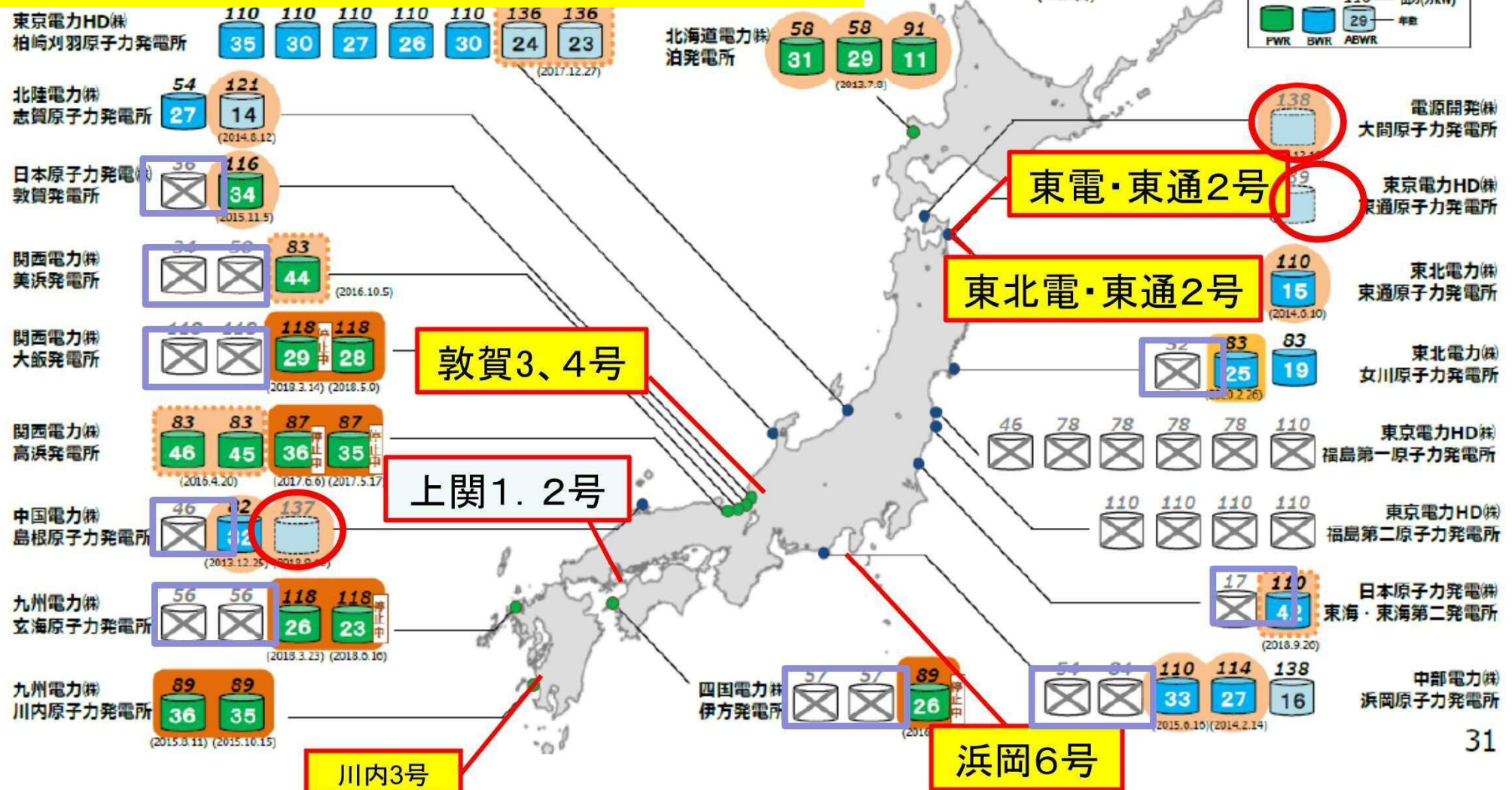
9か所

建設中

3基

20基可能

安全対策の徹底と国民への理解促進活動必要



出典: 資源エネルギー庁「日本の原子力発電所の状況」に基づき国家基本問題研究所「エネルギー問題研究会」にて各サイトを評価・作成

革新軽水炉の新增設・リプレース①

革新軽水炉「SRZ-1200」

三菱重工ニュース 2022-09-29

コアキャッチャー（溶融燃料の受け皿）
や放射性物質の放出防止を強化
120万kW

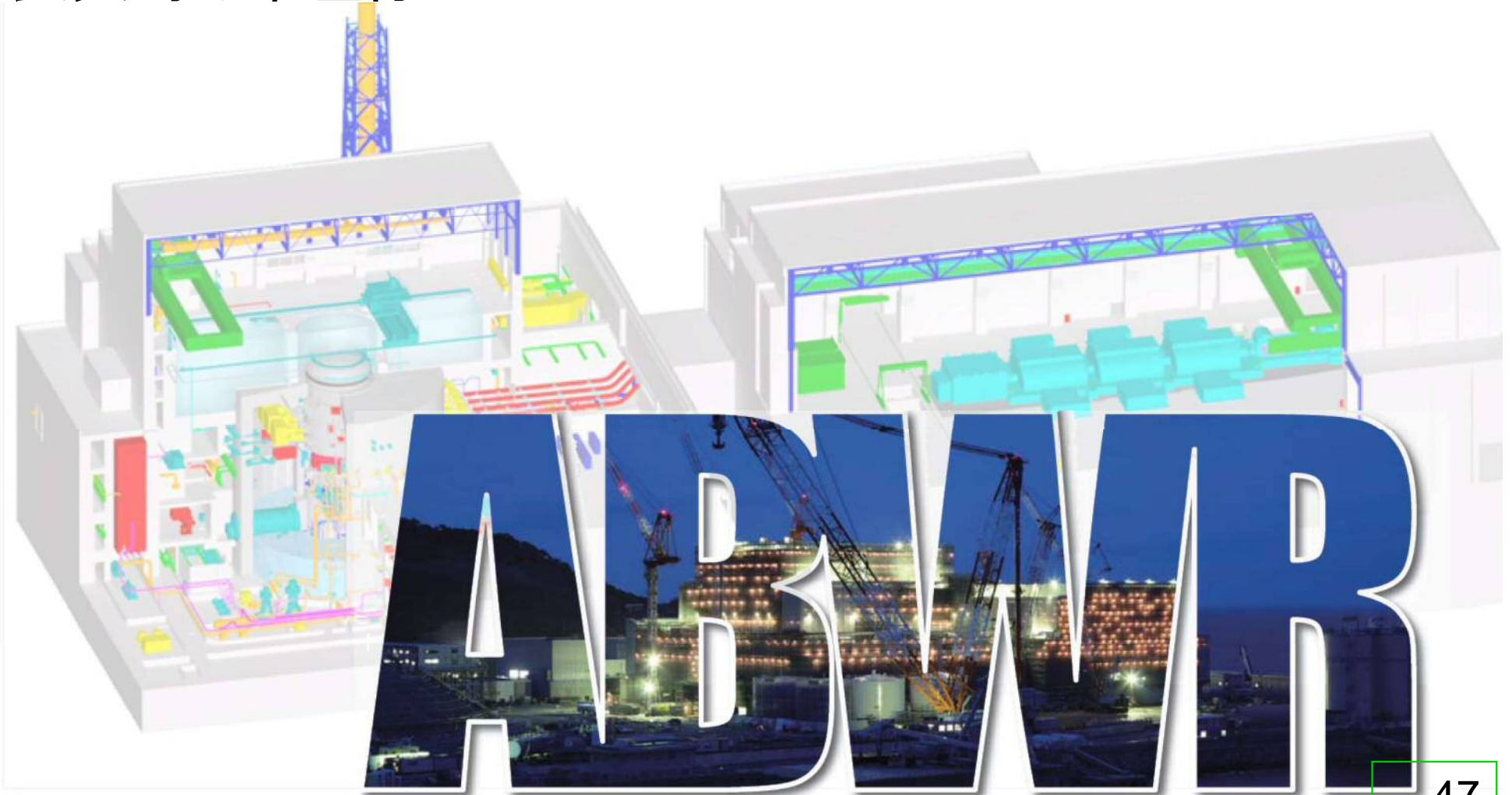
三菱重工が北海道電力、関西電力、四国電力、九州電力と共同で開発



S: Supreme Safety (超安全)、Sustainability (持続可能性)
R: Resilient (しなやかで強靱な) light water Reactor (軽水炉)
Z: Zero Carbon (CO₂排出ゼロ)

革新軽水炉の新增設・リプレース②

革新軽水炉「UK-ABWR」 日立GEの革新ABWR
欧州基準のパッシブ安全系を装備（全交流電源
喪失時も冷温停止



先進原子炉国際会議 (ICAPP 2021)



Safety Measures Strengthened by the Role of Japanese Nuclear Power Plants Toward Carbon Neutrality in 2050 and the Lessons Learned from the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

Tadashi NARABAYASHI
Professor, Tokyo Institute of Technology



Opening Remarks

Arif Sultan AL HAMMADI
Executive Vice President, Khalifa University

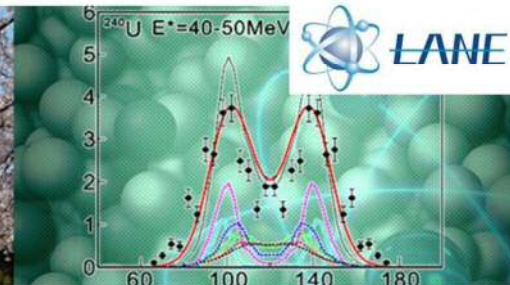


Chair

Sama Bilbao y LEON
Director General, Leadership
World Nuclear Association (WNA), United Kingdom

11:00-14:05 Plenary III "Integrated Energy Systems:
How Nuclear, Renewables and Clean Hydrocarbons can Work Together to Mitigate Climate Changes"
October 19, Abu Dhabi, ICAPP 2021

The Role of Japanese Nuclear Power Plants Toward Carbon Neutrality in 2050 and the Lessons Learned from the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant



12:05-12:35 October 19 (Tuesday)
Dr. Tadashi NARABAYASHI
Professor,
Laboratory for **Zero-Carbon Energy**,
Tokyo Institute of Technology (Tokyo Tech)



米国GH日立社のSMR: BWRX300 (30万kW)

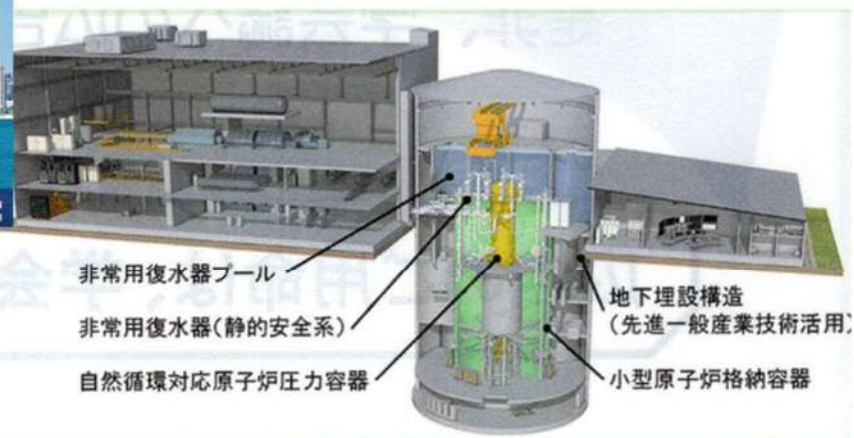
ICAPP 2021
2021 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants
October 16-20, 2021 | Khalifa University, Abu Dhabi, UAE

Hosted by
جامعة خليفة
Khalifa University

Platinum Sponsor
مؤسسة الإمارات للطاقة النووية
Emirates Nuclear Energy Corporation

Silver Sponsor
FANR
FNC Technology Co., Ltd.

www.icapp2021.org



BWRX-300 の概要図

GE HITACHI

**BWRX-300:
Pathway to Low Cost
SMRs**

ICAPP 2021 | October 18, 2021



SMRの代表例：米NUSCALE社



Benefits Technology Projects Environment Investors About Us



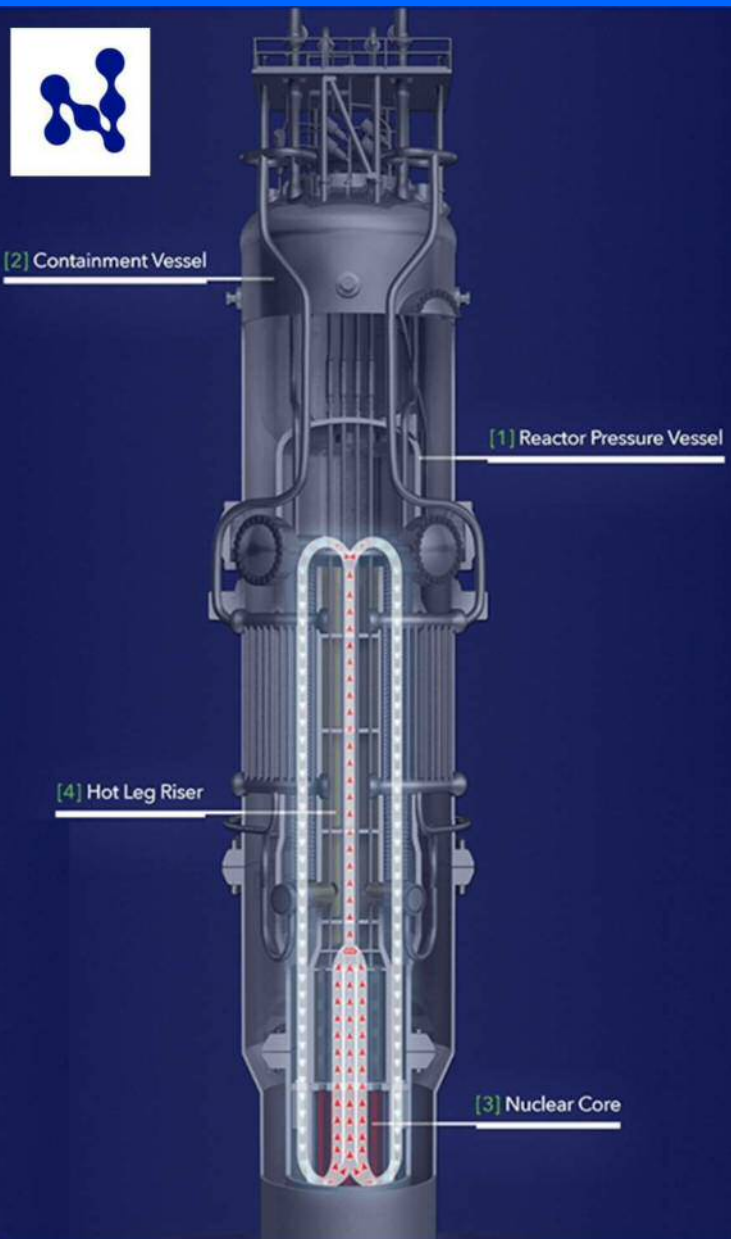
12-Module (924 MWe)	6-Module (462 MWe)	4-Module (308 MWe)
VOYGR™-12	VOYGR™-6	VOYGR™-4



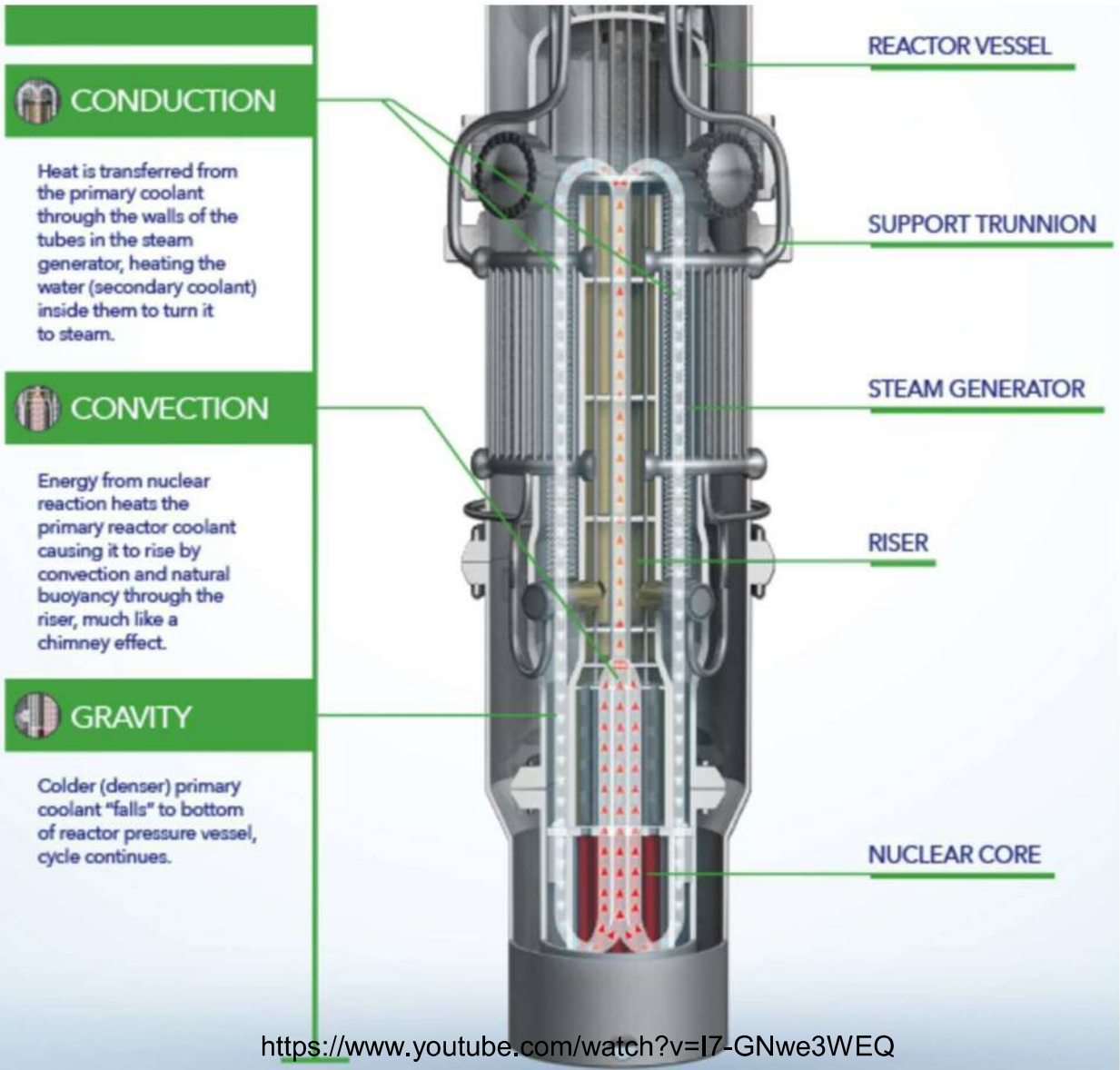
<https://www.nuscalepower.com/projects>

米国NUSCALEの原子炉本体

自然循環による冷却材(水)の循環



FEATURES OF THE NUSCALE POWER MODULE



<https://www.youtube.com/watch?v=I7-GNwe3WEQ>

英国ロールス・ロイス社のSMR



Rolls-Royce SMR is a completely different way of building nuclear; factory fabricated, road transported and site assembled.

The RR SMR approach is a holistic, integrated power station and not just a nuclear reactor design.

~470 MWe output

50 Hz design

Proven PWR Technology & Standard Fuel

Power station delivery as a turnkey project

4 yr Construction (Nth unit)



Enhanced Gen III+ levels of safety and security

1st unit on grid early 2030s

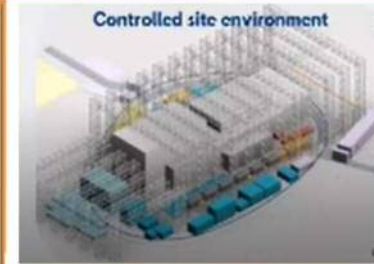
Capital cost under £1.8 Bn*

Adaptable, multi-use power & heat output

LCOE £35-£50 per MWh*

Rolls Royce SMRs – Low cost, Deliverable, Investable Low Carbon Power

8 Non-Confidential
© 2023 Rolls-Royce | Not Subject to Export Control



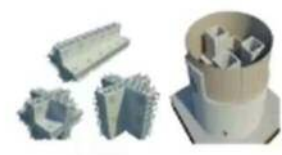
Primary modules



MEP modules



Civil modules



Alan WOODS

Director
Strategy and Business Development - SMR
Rolls-Royce plc.
United Kingdom



Rolls-Royce SMR

Economic potential and marketability

Alan Woods – Director Strategy & Business Development



The information in this document is preliminary and confidential to Rolls-Royce and is available to other interested parties - copying and onward distribution is prohibited without the prior written consent of Rolls-Royce.

フランスEDFのSMR: NUWARD

EDF's Reactor Portfolio
EDF's Pressurized Water Reactor Technology Portfolio

EPR
1650 MWe

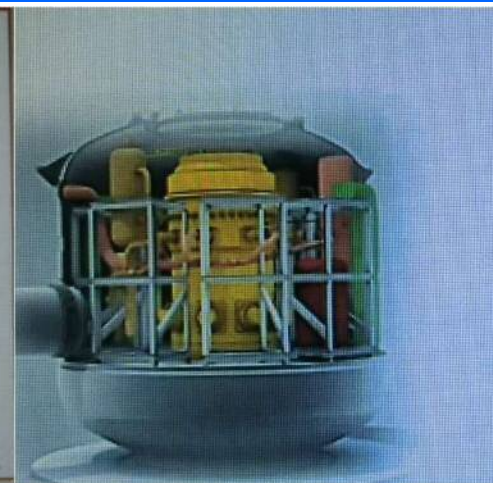
EPR1200
1200 MWe

NUWARD™
340 MWe

Designs sharing the Core EPR Technology

Fully integrated SMR design

EDF



NUWARD™

EDF's Integrated Small Modular Reactor for International Deployment

NUWARD™, EDF's SMR for International Deployment

Combining performance, robustness and innovation

- A GEN 3+ PWR combining the highest safety standards with performance
- Developed by EDF and CEA, with strategic suppliers Naval Group and TechnicAtome
- A fully integrated reactor with innovative concepts for modularization and simplification
- Aims at replacing 300-400 MWe coal-fired plants
- First build in France targeted by 2030

Thermal power	2 x 540 MWth
Net electric output	340 MWe
Plant design availability	≥ 90 %
Operation cycle length	12-24 months
Design service life	60 years
Earthquake safe shutdown	Up to 0.3 g
Core fuel	UO ₂ , 76 assemblies



EDF

EDF's strategy and proposals for market-tailored nuclear energy solutions

Dr. Jan VAN DER LEE
EDF, Head of Nuclear Export Technologies



露ロストアトム社のSMR (55万kW × 2基)

2 × 55 MWe - 110 MWe

2 RITM-200N reactors Modularity available

TECHNICAL PARAMETERS

Electrical capacity	>110 MW (2 x 55 MW)
Thermal capacity	380 MW (2 x 190 MW)
Refueling cycle	5-6 years
Design life	60 years
Availability factor	90%
Plant area	15 acres (0.06 km ²)
Construction period	3 - 4 years



FLEXIBLE, TAILOR-MADE SMALL NPP SOLUTION BASED ON RITM SMR IS DESIGNED TO ADDRESS A WIDE RANGE OF CUSTOMER DEMANDS



Displacement	21 000 t
Length	140 m
Beam	30 m
Draught	5.6 m
Fuel cycle	3 years
Design life	40 years
Time to maintenance	12 years
Staff	299*

ROSATOM SMR evolution: from KLT-40S to RITM-200



Time proven PWR technology

Integral configuration

3+ generation

45% less in the dimensions, 35% less in mass*



>400

reactor-years of successful operation of small reactors on icebreakers



ROSATOM: all that is nuclear



ROSATOM - unique experience and capabilities in the global energy market

35 NPP UNITS in overseas portfolio

255 000 EMPLOYEES

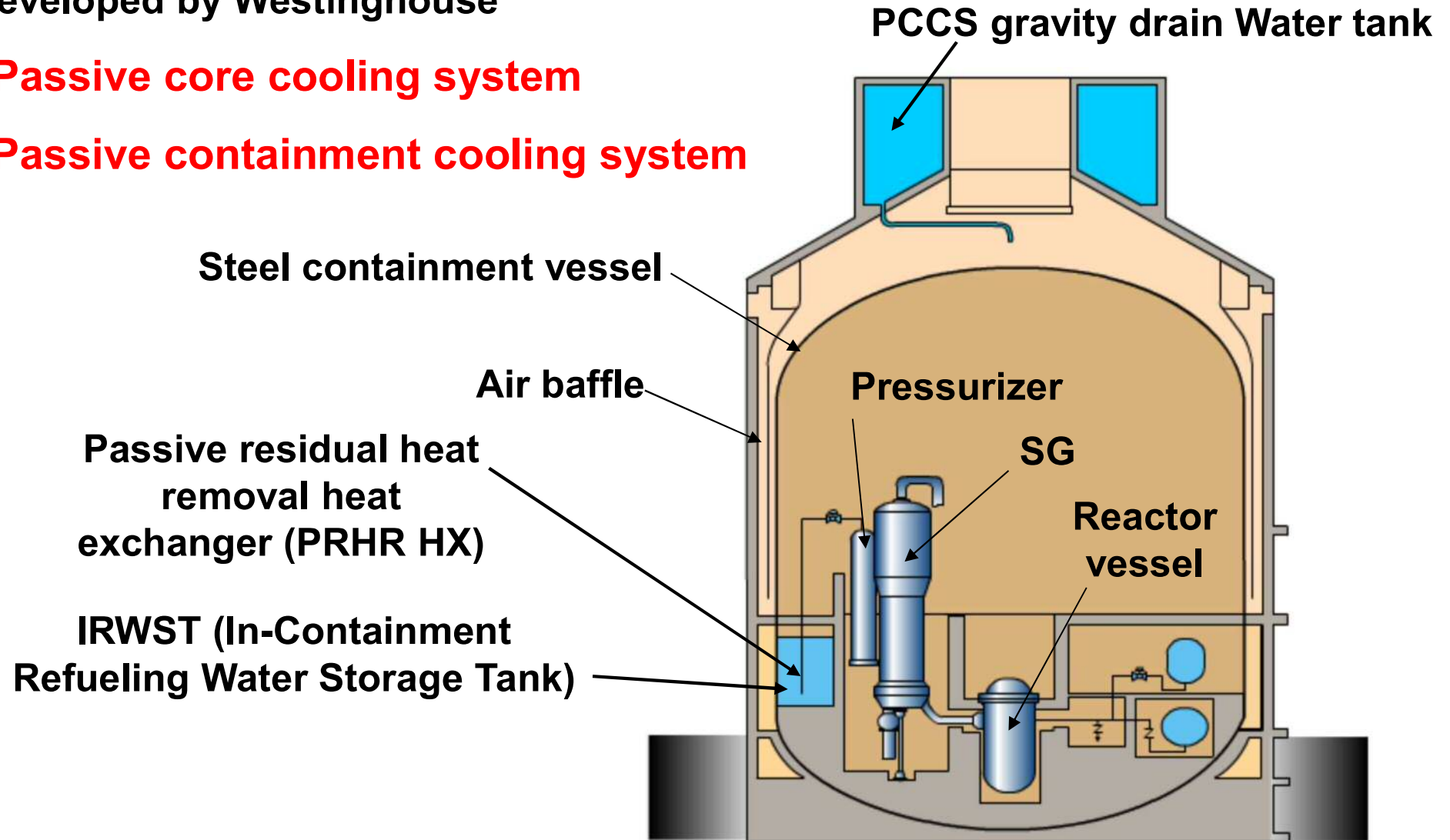
>300 ENTERPRISES AND ORGANIZATIONS

>50 COUNTRIES of business around the globe

WH社+TOSHIBA AP1000の静的安全系

Developed by Westinghouse

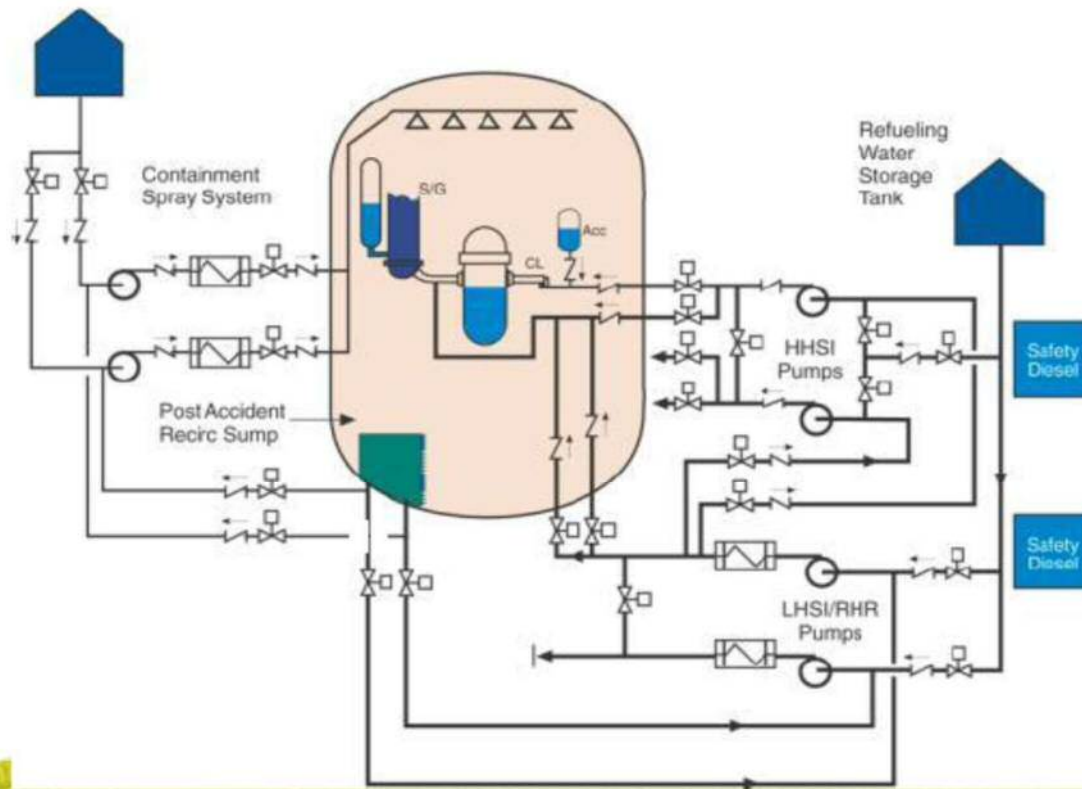
- ・Passive core cooling system
- ・Passive containment cooling system



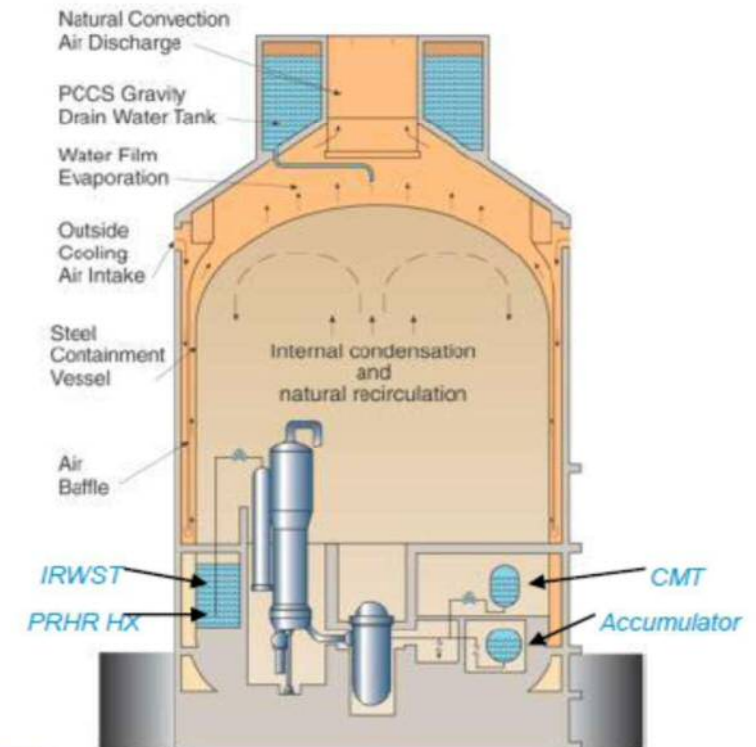
パッシブ冷却による簡素化・安全性の向上

- Simplification of safety systems eliminate the need for AC power
- Dramatically reduces building volumes

Standard PWR

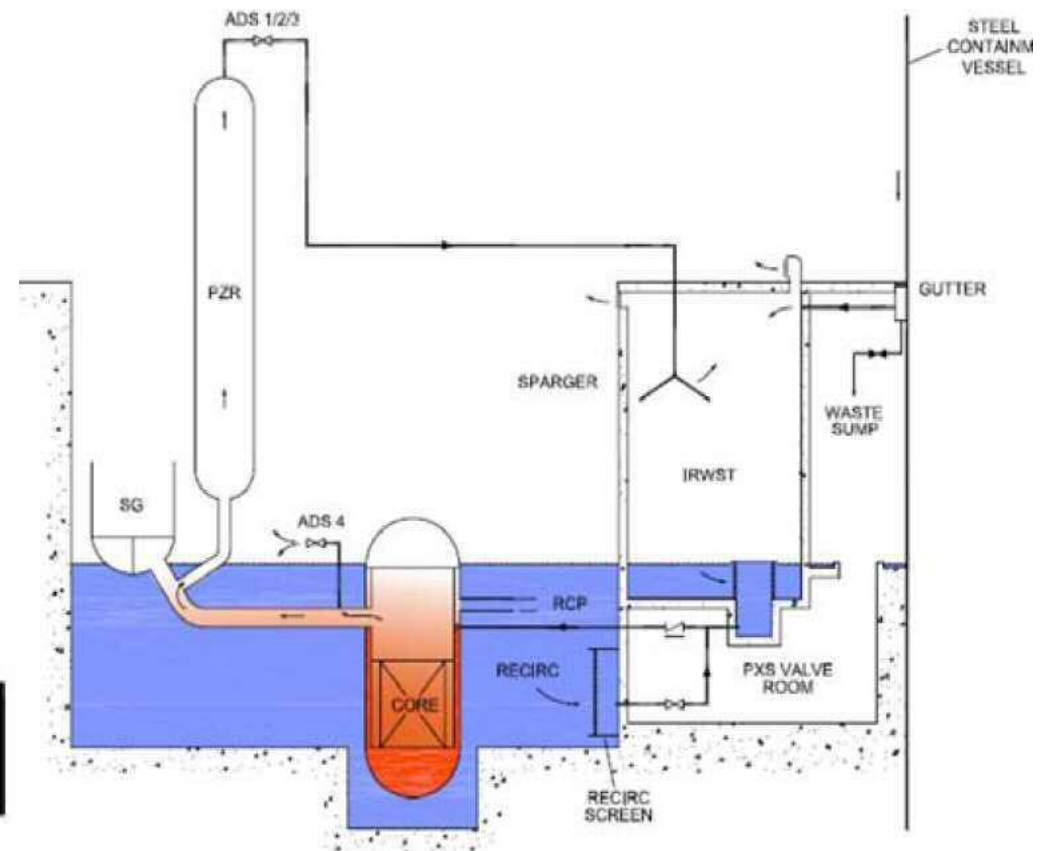
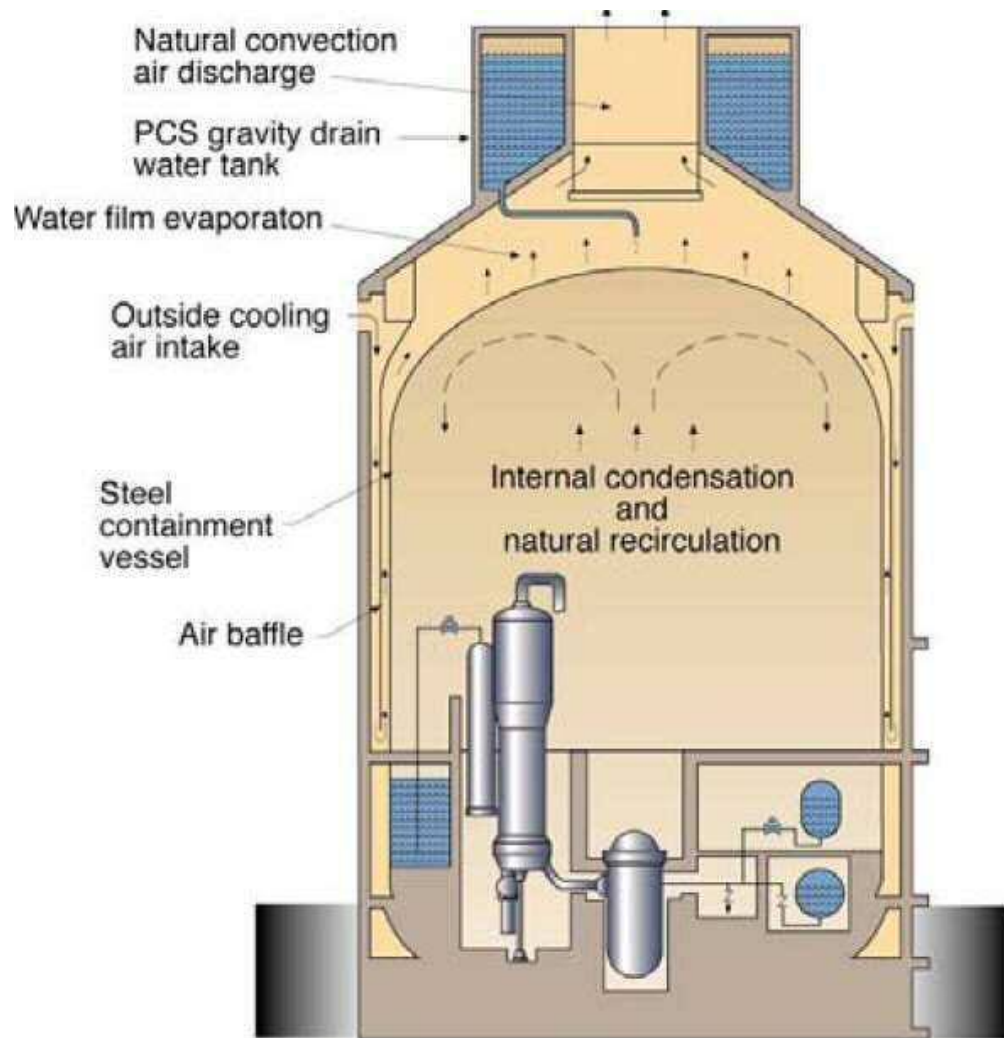


AP1000



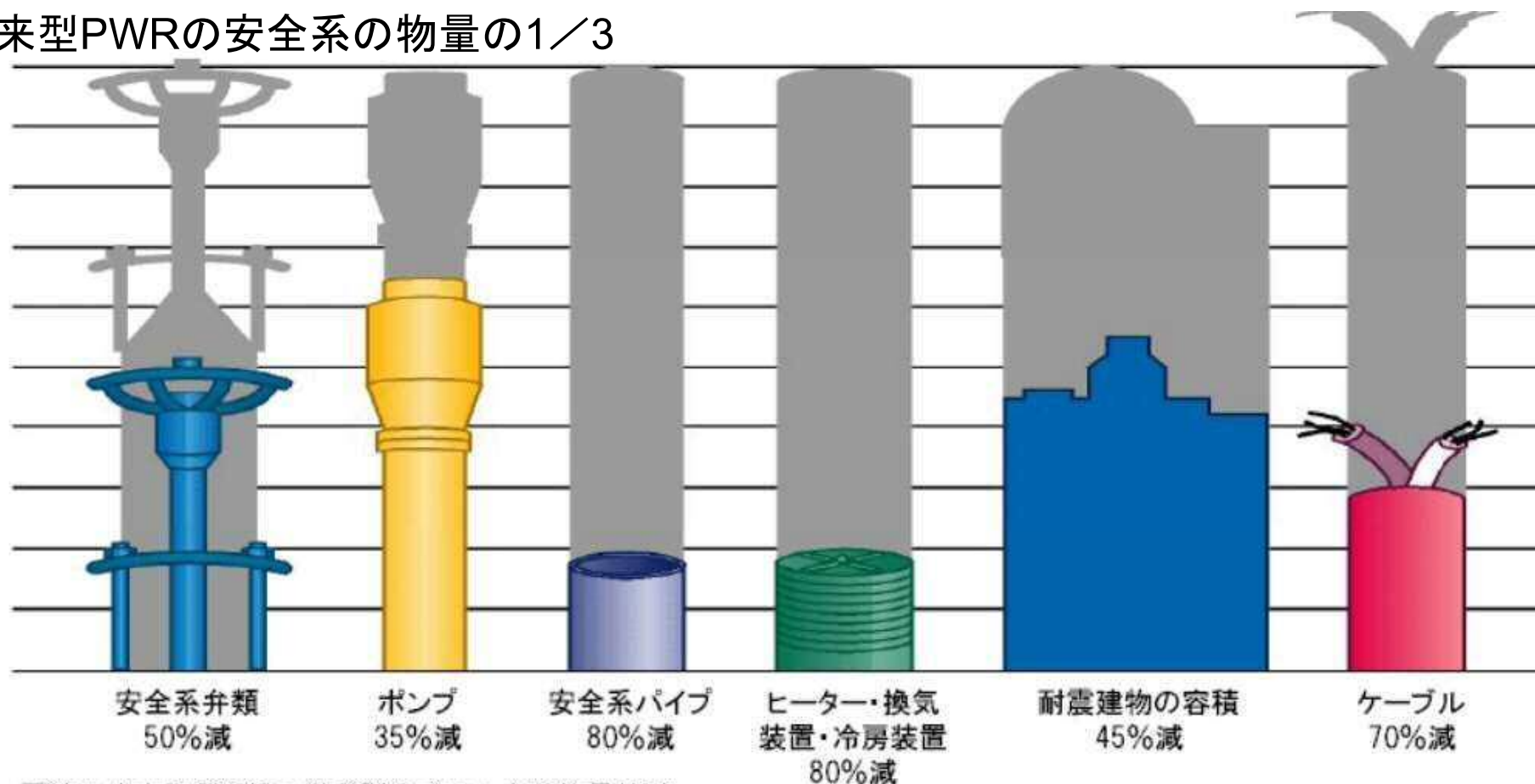
AP1000の自然冷却システム

■ 外部注水に頼らずに、自然冷却で事故収束



AP1000の安全系の大幅簡素化

従来型PWRの安全系の物量の1/3



同等の出力規模を持つ従来型のプラントとの物量比較

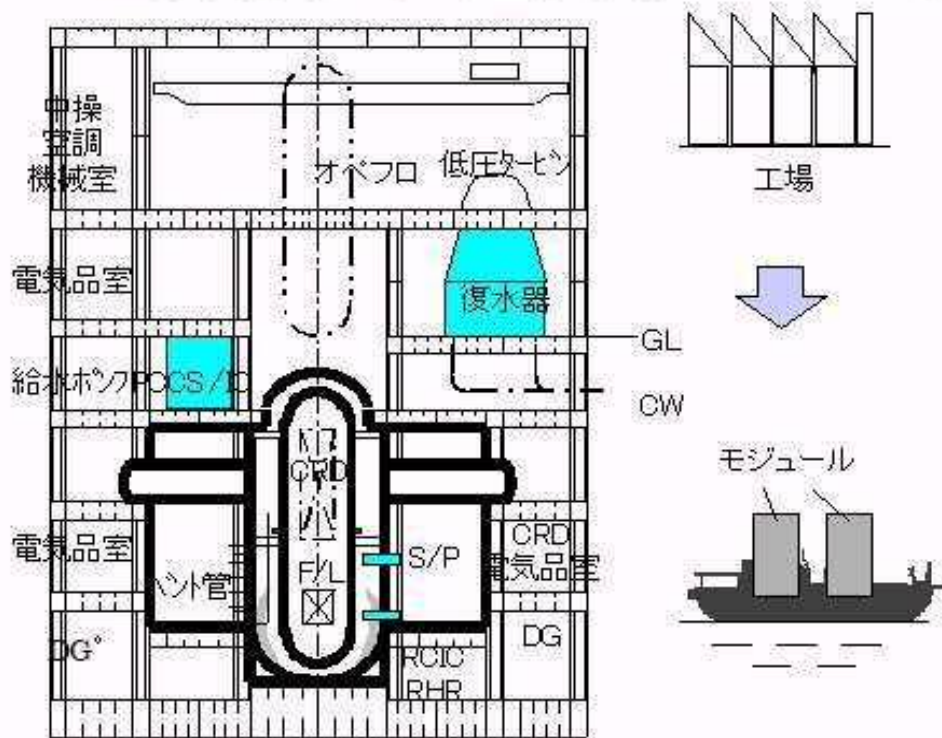
下記の出所を基に作成した。

図7 AP1000の受動安全設計による機器類の物量低減

【出所】 R.A.Matzie: The AP1000 Reactor Nuclear Renaissance Option (September 26, 2003), 21/31,
http://www.eng.tulane.edu/FORUM_2003/Matzie%20Presentation.pdf

LSBWR 2002年に東芝のSMRを開発(奈良林)

- システムの簡素化: 直接サイクル / 自然循環 / 静的安全系
- 簡素化: 原子炉建屋 / タービン建屋一体化
- 高稼働率: 超長期サイクル炉心

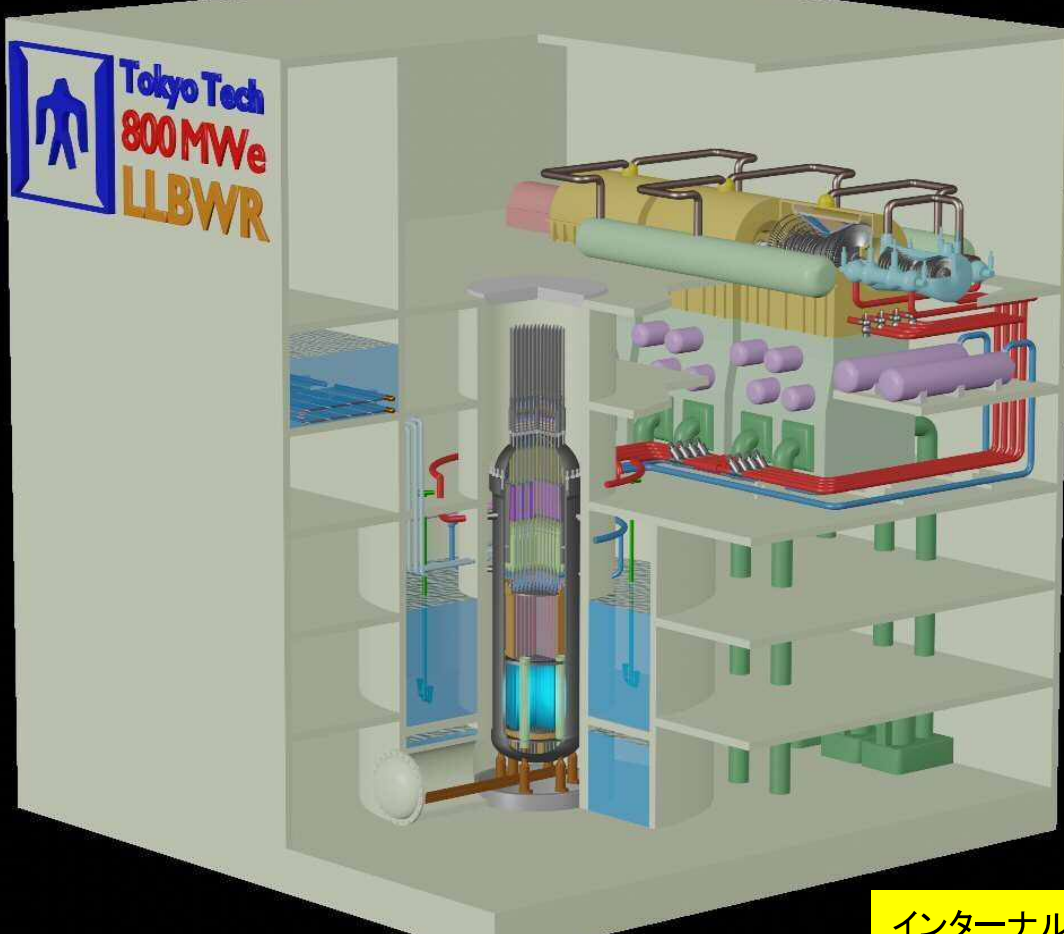


LSBWRの炉内機器の開発(PIC)[原機シ](炉S)奈良林

TOSHIBA

東工大のSMR開発(大学での人材育成必要)

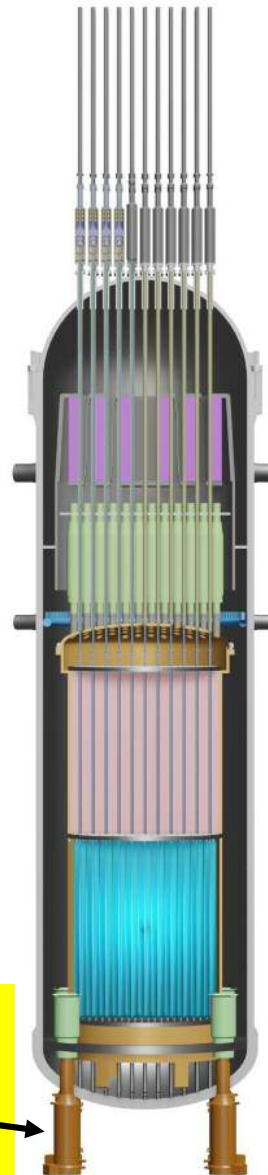
再エネと共生する負荷追従型SMRや
自然冷却安全系を備えた大型炉の開発必要



自然冷却方式・建屋免振の活用

出典 Plenary III "Integrated Energy Systems: Prof. Narabayashi
How Nuclear, Renewables and Clean Hydrocarbons can Work Together
to Mitigate Climate Changes" October 19, Abu Dhabi, ICAPP 2021

インターナル
ポンプによる
出力増
30万kW
→80万kW



NEW STONE AGE 岩石蓄熱発電



シーメンスガメサの岩石蓄熱発電(原始力発電)
コストがリチウムイオンバッテリーの1/10~1/100
の可能性あり(3万kWh, 1.5MW)
(日本機械学会再エネ調和型エネルギー研究会資料
より) <https://sgforum.impress.co.jp/news/4257>

Base-Load Light-Water Reactors with
Variable Electricity Using Crushed-Rock Heat
Storage and Steam Peaking Plant
with High-Efficiency Steam Injectors

C. Forsberg¹ and T. Narabayashi²

Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Ave., Cambridge, MA, 02139, usfor@mit.edu
Tokyo Institute of Technology, 2-12-1, Ookayama, Shibuya-ku, Tokyo, 152-8580, Japan,
naraba@me.titech.ac.jp

American Nuclear Society Summer Meeting
June 7-11, 2020

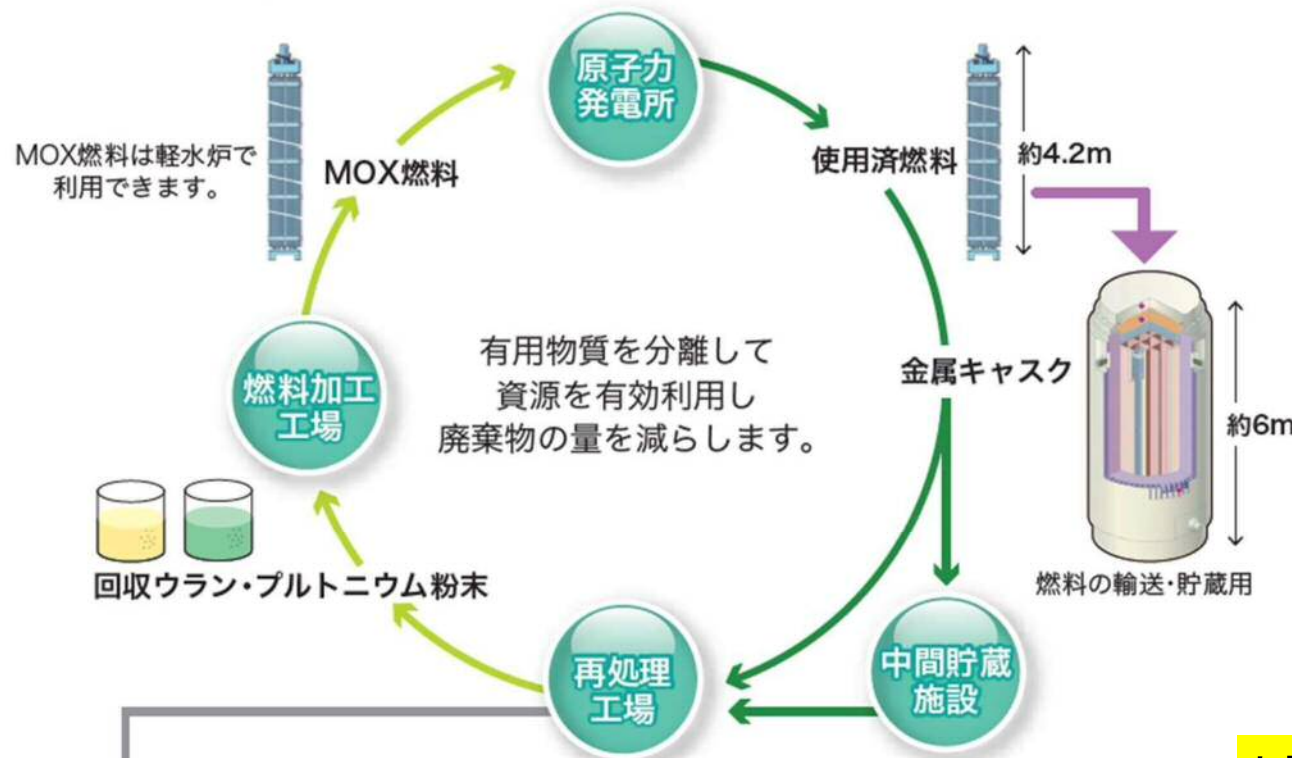
MIT Massachusetts Institute of Technology 東京工業大学 Tokyo Institute of Technology



工場で製造・船で運搬

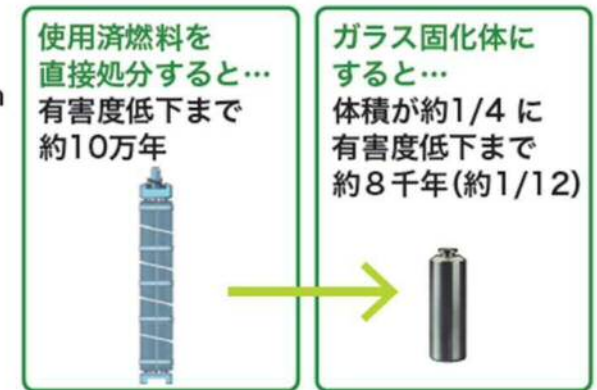
核燃料サイクルと地層処分、高速炉の活用

日本は、原子力発電所の使用済燃料を再処理し、回収されるウランとプルトニウムを再利用しつつ、廃棄物の発生量を抑える「核燃料サイクル」を推進しています。小型高速炉(SMR)で有害度の高い核種(MA)を焼却すると保管期間を約300年に短縮。



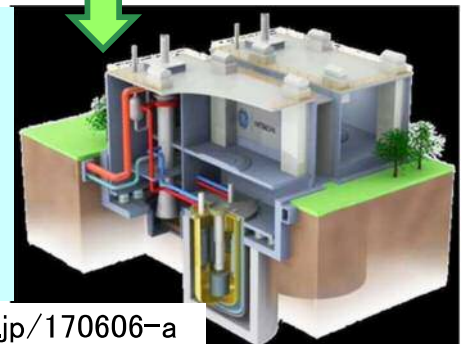
核燃料サイクルの3つのメリット

- 放射性廃棄物の量を減らす
- 放射性廃棄物が天然ウラン並みの有害度まで低下する期間が短くなる
- 資源の有効利用



小型高速炉でMA焼却すると約300年

PRISMや常陽の活用 → 地層処分場の保管期間短縮可能



<https://www.jaif.or.jp/170606-a>

燃料集合体、金属キャスク図：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

まとめ

- 地球の環境危機の時代にあっては、原発を止めると人類や生物の存続にかかわる将来的な危機をもたらす。経済危機も発生する。
- 再エネと火力発電所と組み合わせて使うとCO2減らない。
- 現在、国際的に再生可能エネルギー（再エネ）が礼賛され、世界中が再エネで電力の全てをまかなえるかのような錯覚に陥っている。
- 太陽光発電の設備利用率は、高々13%しかない。90兆円つぎ込んでも年間発電量シェアはたかだか8%。
- 現在の我が国の1次エネルギーのうち電力は26%。残りの74%も2050年までに、再生エネルギーか原子力発電で作った水素などをエネルギー源にしないとカーボンニュートラルにはできない。
- 従って、カーボンニュートラルは原発なしには達成できない。
- もし、原子力に90兆円投資すれば、原発は180基建設でき、既存の20基と合わせて200基となる。電力の80%を原子力として、さらに、水素製造や水素からメタンやメタノールなどの合成燃料も製造可能となる。