

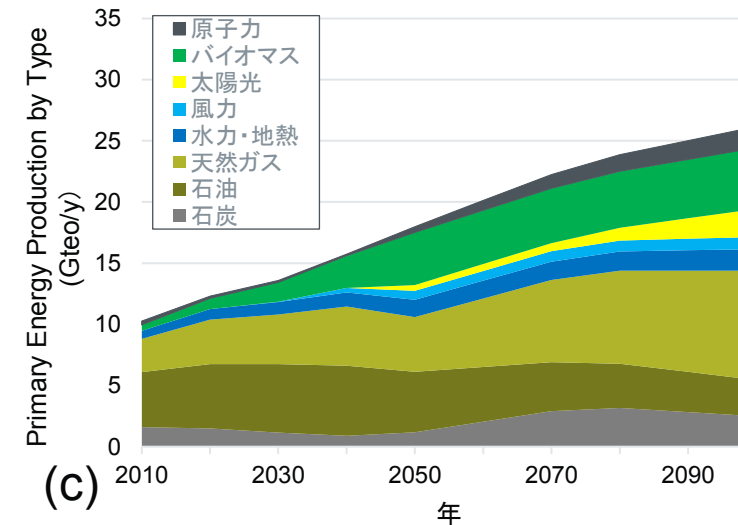
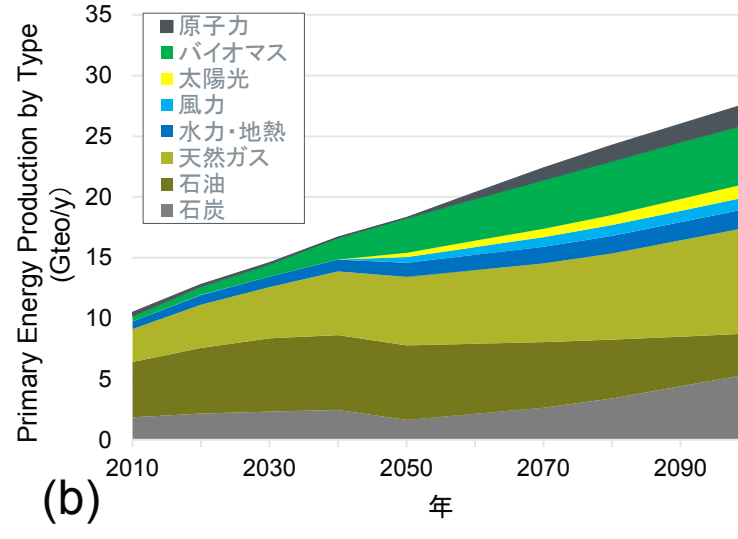
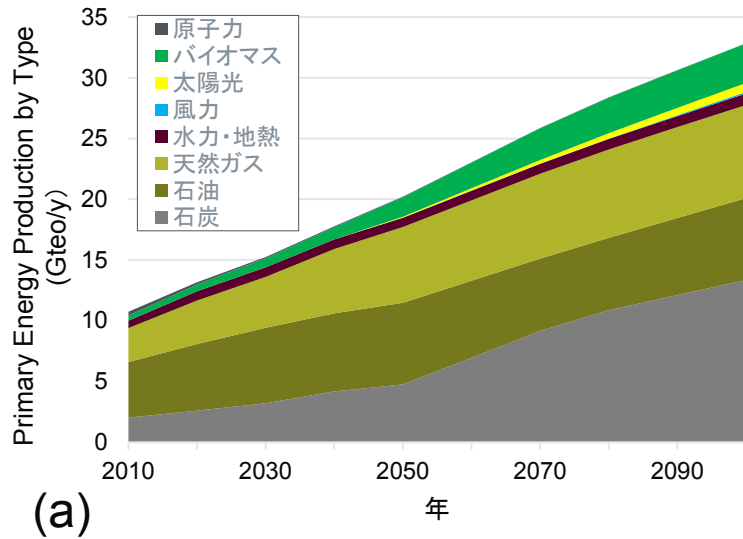
次世代革新炉をめぐって

McMaster University
長崎 晋也

第12回 原子力政策・福島復興シンポジウム
「東日本大震災と福島原発事故から12年
～原発回帰政策と福島原発事故の教訓～」
2023年3月1日



本題の前に(1/2)



藤井康正「エネルギー環境経済システム」より

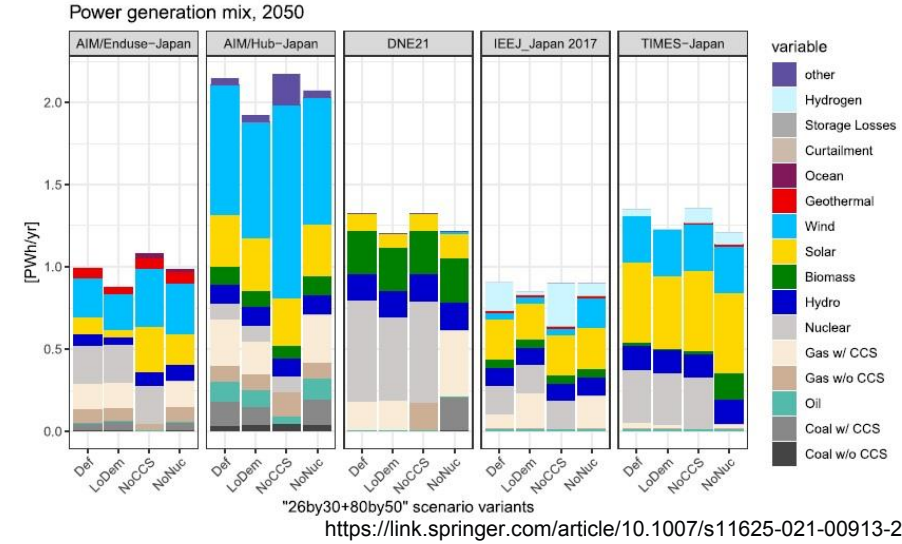
- (a) 気温上昇制限なし
- (b) 21世紀末までに2度未満
- (c) 21世紀末までに1.5度未満

原子力は社会的制限を考慮して地域別・時点別に制限(世界全体で1500GW)

それでも現行の軽水炉を利用すると21世紀末までにウラン鉱石資源は使い切る。

(U鉱石資源量の推定は様々。でも今の年間使用量で100年ちょっと。いずれにせよ、枯渇するし、ピークが見えた段階で売り惜しみと、争奪戦が始まる。石油のように利用が多岐にわたるものでもない(資源探査動機は低い可能性)なども)

日本の代表的数学モデルでの予測
日本が2050年までにCO₂80%削減する場合



どのモデルも原子力あった方がと言っていますが
CCS頑張れば無くても。。。

薄い灰色: 原子力
水色: 風力
黄色: 太陽光
濃い灰色: CO₂回収・貯留付石炭火力
肌色: CO₂回収・貯留付天然ガス

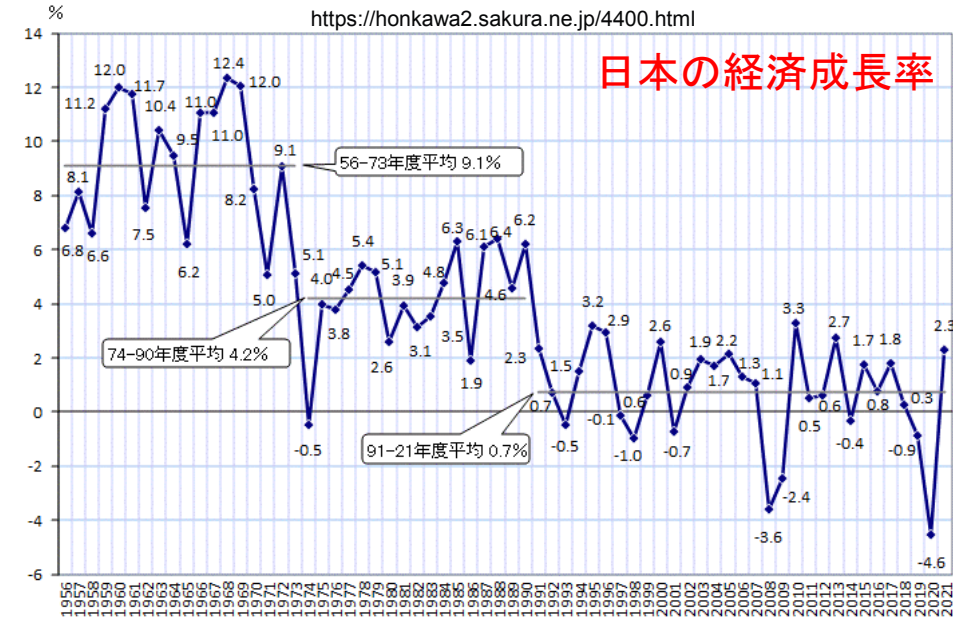
青: 水力
緑: バイオマス

どこに貯留する気なのかは知りませんが。

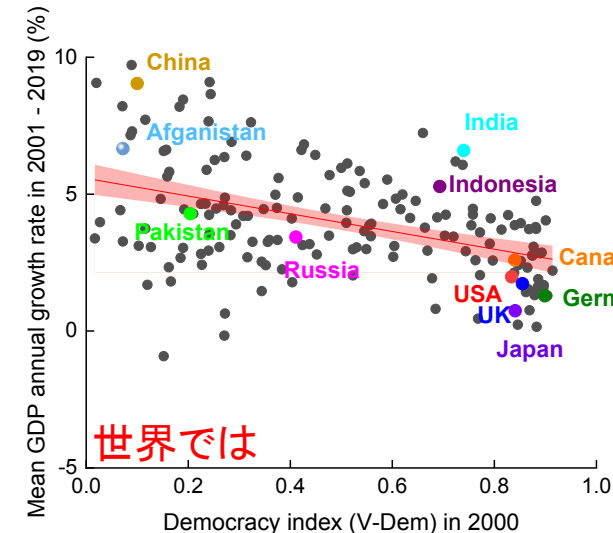
どの予測が皆さんの思いと整合してますか？
(最後に同じような質問をして終わります)

本題の前に(2/2)

経済成長率の推移



(注) 年度ベース。複数年平均は各年度数値の単純平均。1980年度以前は「平成12年版国民経済計算年報」(63SNAベース)、1981～94年度は年報(平成21年度確報、93SNA)による。それ以降は2008SNAに移行。2022年7-9月期1次速報値 <2022年11月15日公表>
(資料) 内閣府SNAサイト

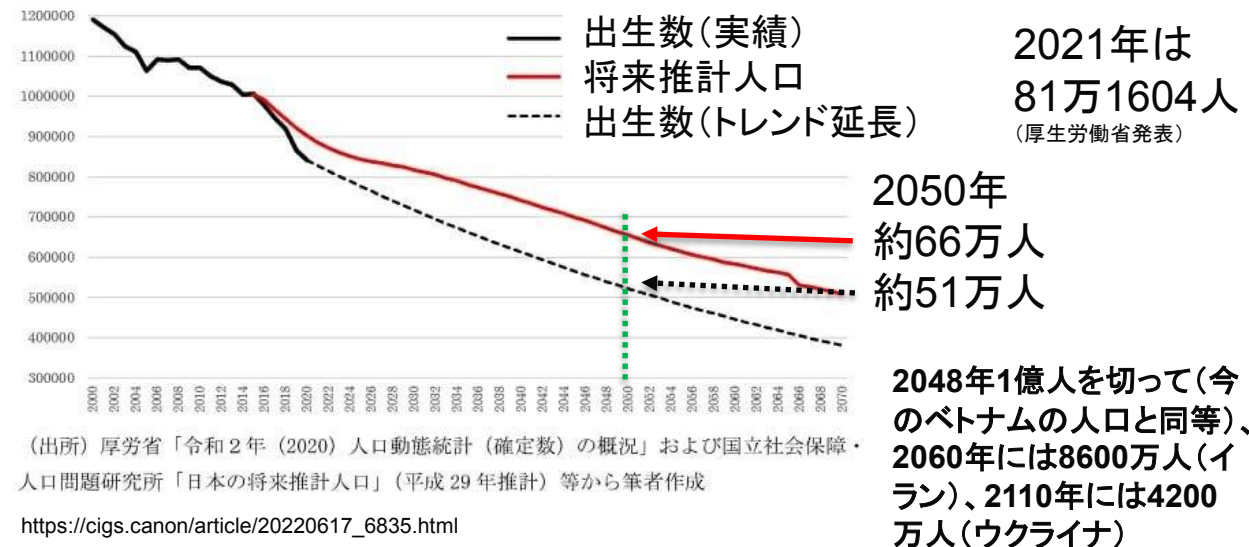


横軸2000年の民主化度
縦軸2001年～2019年間の平均GDP成長率

非民主的国家中心に
経済成長中。
経済成長とエネルギー需要
には相関あり。

電力供給不足は日本だけの問題ではない。
ウランも22世紀には今の使い方ができないなら、世界で通用するプランBを。
国内では後継者ほぼなしが前提か(日本人を前提とする以上)。

図表1：出生数の実績と予測



(伝聞ですが)所謂理系の生徒の一定数(全国の医学部定員数+α:絶対数で割合ではない)は医学部に抜けて、残った生徒を医学以外の全ての理工農薬分野で奪い合っている。

技術者は比較的単純で

- ・良いものは(が?)社会に受け入れられ使われる。
- ・良い技術は社会を良くする。

もっとアイデアを出して、より良いものを。
受け入れられるまで努力しよう(努力とも思わないがその方法は様々)。
日本だけではなく。
もっとも人なので、感謝砲ゼロで遺憾砲だけ連発だと心も折れる。

次世代革新炉とは？

経産省が打ち出した5種類	
革新軽水炉	既存技術がベースで開発・建設が最も早く進む
小型モジュール炉	工場で量産できれば工期や建設費を削減
高温ガス炉	安全性が高いが核燃料サイクルとの整合性が課題
高速炉	発生する核のゴミが少なく、最終処分量が減る
核融合炉	核融合のエネルギーを活用。核のゴミが生じない

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA22A9A0S2A221C2000000/>

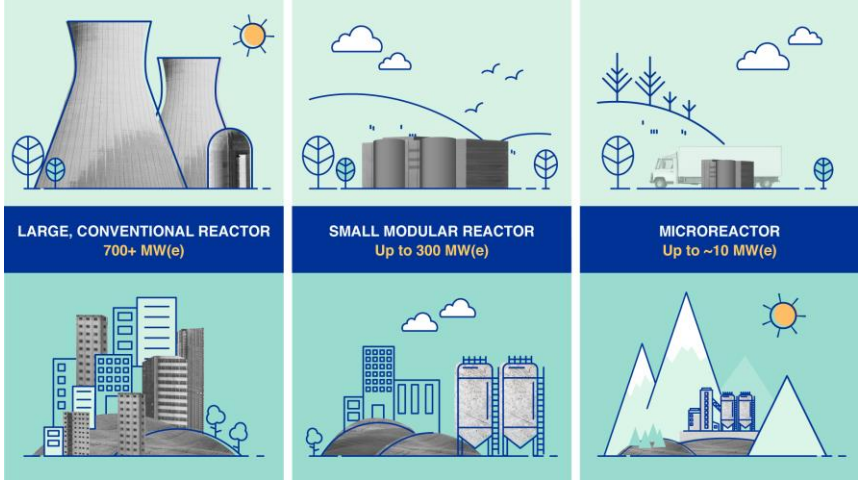
どこが革新か？は問うてはいけないんでしょう。

毎年いくつ必要かを聞いたことは一度もないですが。

毎年100基の発注があっても、それを1社で受注するのと100社で受注するのじゃ違うしなあ。

嘘が入ってますが
わかりますか。
誰がこう言ったか知りませんが
だから原子力屋は嘘つきと言われる。

IAEAによると



<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>

革新炉の区分		
革新炉 ＜定義＞	大型	小型
	>30万kW	<30万kW
軽水炉	新型 軽水炉	小型 モジュール炉 (SMR)
第4世代 炉等		

SMRの定義

米国		英国		OECD/NEA		IAEA	
AR	SMR	・軽水炉 ・30万kWe未滿	SMR	・第3世代炉 ・小型 ・モジュール	SMR	SMR	・30万kWeまで ・モジュール ・先進的 ・固有の安全性 ・全ての炉型 -第3世代炉 -第4世代炉
		・非軽水炉 (全ての炉型)	AMR	・第4世代炉 ・モジュール ＜核融合炉＞			

AR:Advanced Reactor、AMR:Advanced Modular Reactor、IAEA:国際原子力機関

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/025_04_00.pdf

次世代革新炉に求められている要件とは(JAEAによる総合資源エネルギー調査会での資料に基づく)

供給安定性

安定供給 & 脱炭素
革新的な安全性向上による地域・国民の信頼獲得
サプライチェーン維持強化と技術自給への貢献

資源循環性

廃棄物問題解決への貢献
資源の有限性への解決策

柔軟性

負荷追従
水素製造・熱利用によるエネルギー貯蔵
立地の柔軟性
医療用RI製造などへの応用(加では、既存CANDUでMo-99(Tc-99mの原料)製造;商用炉では世界初)

安全性の一層の向上は大前提です。

現在建設中の原発は15か国で約60基

例

2025	India, NPCIL	Kudankulam 4	VVER-1000	1000
2025	Russia, Rosenergoatom	Kursk II-1	VVER-TOI	1255
2025	Russia, Rosenergoatom	Kursk II-2	VVER-TOI	1255
2025	Turkey	Akkuyu 3	VVER-1200	1200
2026	China, CGN	Cangnan/San'ao 1	Hualong One	1150
2026	China, CGN	Taipingling 2	Hualong One	1202
2026	China, CNNC	Changjiang SMR 1	ACP100	125
2026	China, CNNC	Tianwan 7	VVER-1200	1200
2026	China, CNNC	Xiapu 2	CFR600	600
2026	China, Huaneng & CNNC	Changjiang 3	Hualong One	1200
2026	India, NPCIL	Rajasthan 7	PHWR-700	700
2026	India, NPCIL	Rajasthan 8	PHWR-700	700
2026	Russia, Rosatom	BREST-OD-300	BREST-300	300
2026	Turkey	Akkuyu 4	VVER-1200	1200
2027	Argentina, CNEA	Carem	Carem25	29
2027	China, CGN	Cangnan/San'ao 2	Hualong One	1150
2027	China, CNNC	Sanmen 3	CAP1000	1250
2027	China, CNNC	Tianwan 8	VVER-1200	1200
2027	China, CNNC & Datang	Xudabao 3	VVER-1200	1200
2027	China, Huaneng & CNNC	Changjiang 4	Hualong One	1200
2027	China, SPIC	Haiyang 3	CAP1000	1250
2027	India, NPCIL	Kudankulam 5	VVER-1000	1000
2027	India, NPCIL	Kudankulam 6	VVER-1000	1000
2027	UK, EDF	Hinkley Point C1	EPR	1720
2028	Brazil, Eletrobrás	Angra 3	Pre-Konvoi	1405
2028	China, CGN	Lufeng 5	Hualong One	1200
2028	China, CNNC & Datang	Xudabao 4	VVER-1200	1200
2028	Egypt, NPPA	El Dabaa 1	VVER-1200	1200
2028	UK, EDF	Hinkley Point C2	EPR	1720
2030	Egypt, NPPA	El Dabaa 2	VVER-1200	1200

次世代軽水炉か既存軽水炉。

それを除くと、事実上その他の革新炉は開発途上(含 紙だけ)と言える。

Table 1.1: Examples of Design and Status of SMRs for Near-Term Deployment

Design	Output MW(e)	Type	Designers	Country	Status
WATER COOLED SMALL MODULAR REACTORS					
CAREM	30	PWR	CNEA	Argentina	Under construction
ACP100	125	PWR	CNNC	China	Under construction
NUWARD	2 × 170	PWR	EDF, CEA, TA, Naval Group	France	Conceptual design
SMART	107	PWR	KAERI and K.A.CARE	Republic of Korea	Standard design approval received
KLT-40S	2 × 35	PWR in floating NPP	JSC Afrikantov OKBM	Russian Federation	In operation
RITM-200N	2 × 53	PWR	JSC Afrikantov OKBM	Russian Federation	Detail design
UK SMR	443 ^a	PWR	Rolls-Royce and Partners	United Kingdom	Conceptual design
NuScale	6 × 77	PWR	NuScale Power Inc.	United States of America	Received US NRC certification
BWRX-300	270–290	BWR	GE-Hitachi Nuclear Energy and Hitachi GE Nuclear Energy	United States of America and Japan, Canada	Pre-licensing
HIGH TEMPERATURE GAS COOLED SMALL MODULAR REACTORS					
HTR-PM	210	HTGR	INET, Tsinghua University	China	In operation
GTHTR300	100–300	HTGR	JAEA	Japan	Pre-licensing
Xe-100	82.5	HTGR	X-Energy LLC	United States of America	Basic design
FAST NEUTRON SPECTRUM SMALL MODULAR REACTORS					
EM ²	265	GMFR	General Atomics	United States of America	Conceptual design
MOLTEN SALT SMALL MODULAR REACTORS					
Integral MSR	195	MSR	Terrestrial Energy Inc.	Canada	Conceptual design
KP-FHR	140	Pebble bed salt cooled Reactor	KAIRIS Power, LLC.	United States of America	Conceptual design
MICROREACTORS					
U-Battery	4	HTGR	Urenco	United Kingdom	Conceptual design
MMR	5–10	HTGR	Ultra Safe Nuclear Corporation	United States of America, Canada	Conceptual design
Aurora	1.5	FR	OKLO, Inc.	United States of America	Conceptual design

Note: CNEA — National Atomic Energy Commission (of Argentina); CNNC — China National Nuclear Corporation; EDF — Électricité de France; CEA — French Alternative Energies and Atomic Energy Commission; KAERI — Korea Atomic Energy Research Institute; K.A.CARE — King Abdullah City for Atomic and Renewable Energy, Saudi Arabia.

^aPower rating above 300 MW but considered an SMR by the UK government.

次世代軽水炉の特徴(三菱重工提案PWRを例に)

▶ 地震・津波その他自然災害への対応、大規模航空機衝突・テロ対策、シビアアクシデント対策等の世界最高水準の安全対策に加え、自然エネルギーとの共存等の社会ニーズを踏まえたプラント機能向上

大型航空機衝突への対策

航空機衝突に耐えうる格納容器
外部遮蔽壁の強靱化

セキュリティ高度化

最先端技術を適用した
サイバーセキュリティ

耐震性向上

地下式構造(岩盤埋込)

放射性物質放出防止

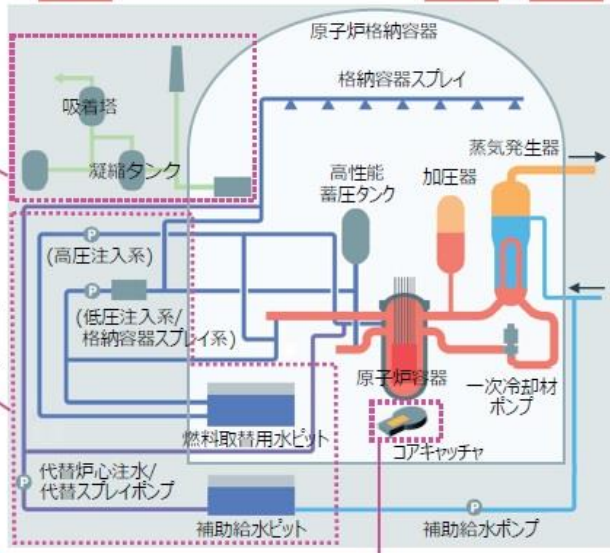
万一の事故時にも、事故影響
を発電所敷地内に限定

多重性・多様性

炉心冷却のための設備、電源
等の多重性・多様性を強化
〔2系列 ⇒ 3系列 + シビアアクシデント
(SA)専用システム〕

溶融炉心対策

炉心溶融が起こってしまった
場合でも、最終障壁である
格納容器を防護



津波、その他 自然災害への耐性

津波・竜巻・台風・火
山等の自然災害への
耐性を強化

再生可能エネルギー との共存

出力調整機能(周波数
制御、負荷追従)の強化

カーボンフリー水素 の供給

カーボンフリー電力による
水素製造(水電解)

取り立てて革新的な技術開発を要しない。

開発や使用におけるリスクは少ない。
まずできること、という意味では王道。

日本は米ソとは違うなどの思い上がった
自惚れへの反省に立ち、事故などの経験は
フィードバックされている(と信じている)。
でも三菱スペースジェットの失敗を見ると
様々な視点・立場からのチェックも必要か。

でも、技術者としては面白味は少ないかな。
1回の人生を懸けるには魅力的とは言い難い。

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/001_08_00.pdf

高温ガス炉の特徴(JAEA資料を例に)

900℃を超える熱利用(今の原発はおよそ300℃程度)を除くとほぼ今の原発と原理は同じ。
水の代わりに黒鉛やヘリウムガスを使う、耐高温の粒子状の燃料が提案などの違いはありますが。
炉心熱容量大&出力密度小なので事故時の温度上昇が小さいなども。

●優れた安全性

高温ガス炉は、その高い固有の安全性により、炉心溶融が起こらない設計が可能

被覆燃料粒子
1600℃でも放射性物質を閉じ込める

燃核 (直径約0.6mm)
高密度熱分解炭素
炭化ケイ素
低密度熱分解炭素
約1mm
厚さ8mm
直径26mm
39mm
580mm
360mm
ヘリウムガス
高温でも安定 (温度制限なし、化学的に不活性)

黒鉛構造材
耐熱温度2500℃

●多様な熱利用

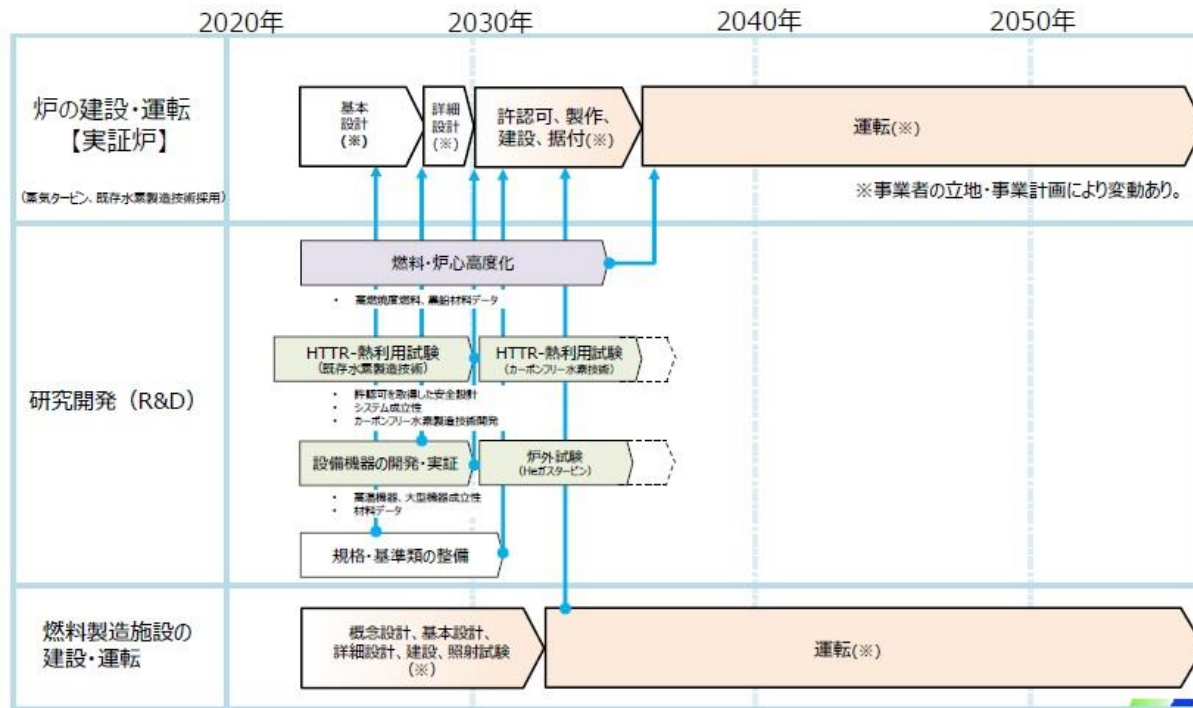
900℃を超える高温熱を供給可能で、水素製造、発電、海水淡水化等の幅広い熱利用が可能

高温ガス炉

燃費: 152 km/kg-H₂
年間走行距離を10,000kmと仮定
年間の必要水素量: 約730m³/台

高温ガス炉* (熱出力250MW) で、燃料電池車
20万台/年分の水素製造が可能

* 水分解による水素製造効率50%、稼働率80%を仮定

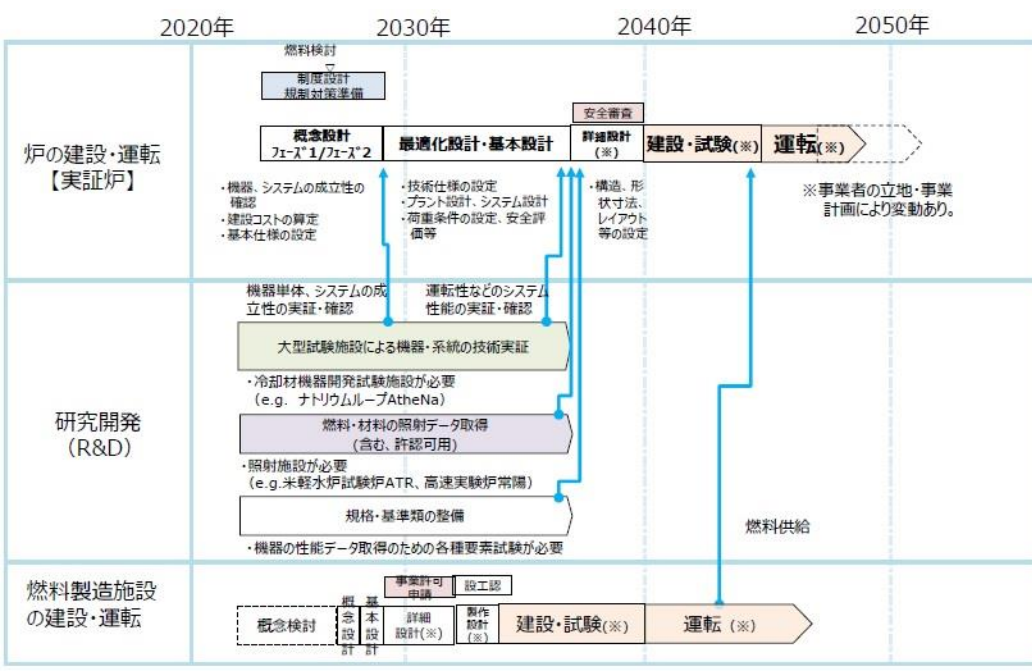
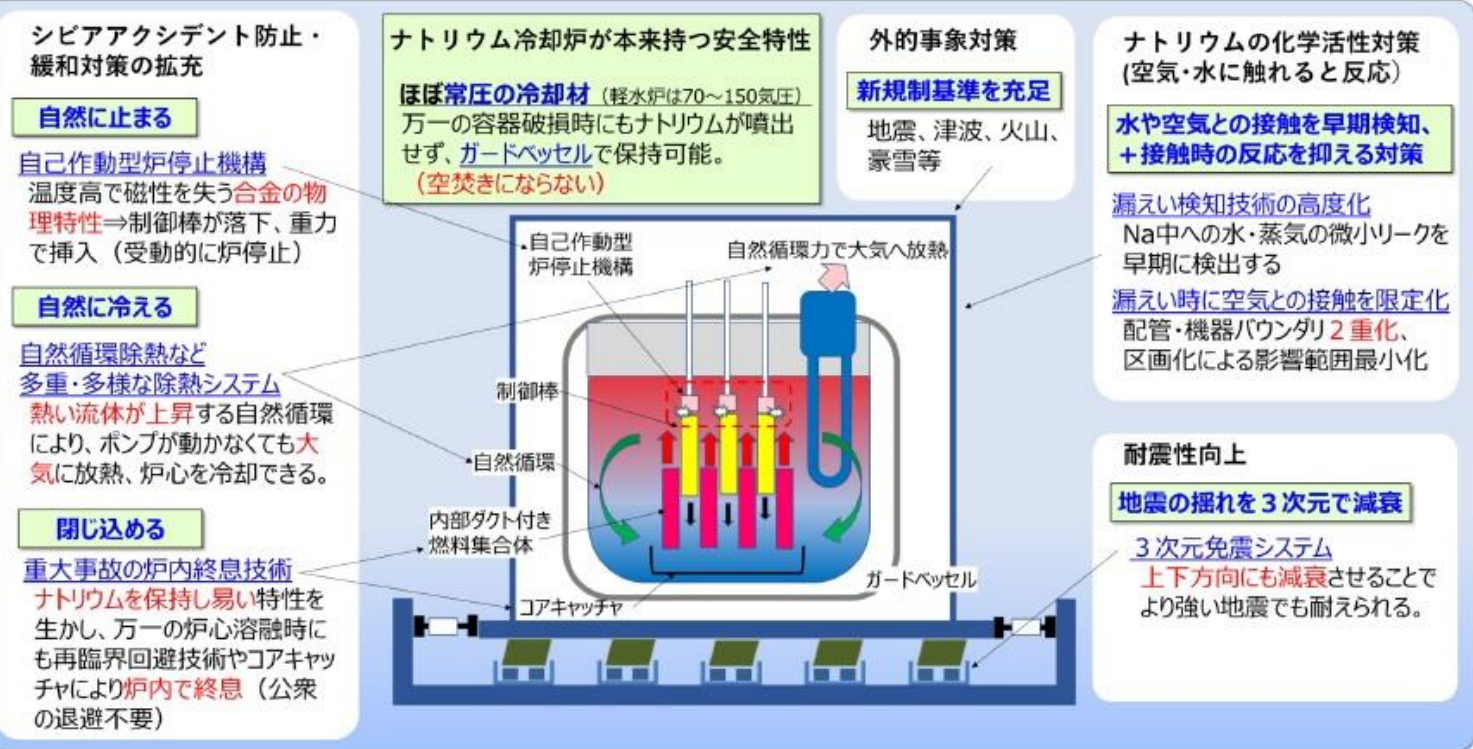


X-EnergyのXe-100 (80 MWe)や U-Battery、中国(HTR-PM)などとともに日本はトップランナーの1人。
加では、MMR-5やMMR-10(Ultra Safe Nuclear Corporation)が規制当局のレビュー中。
単なる発電を超えるエネルギー供給システムとしての魅力。
TRISO燃料を経済的に供給するシステム、水素社会創造など、挑戦もある。

ちなみにメタンの水蒸気改質水素"gray"、再生可能エネルギー+電気分解"green"、天然ガスwith CCUS"blue"、原子力+電気分解"pink"だそうです。

高速炉の特徴(JAEA資料を例に)

今の原発は発生した中性子のスピードを減速させて核分裂させている。高速炉は減速させないで使う。減速材不要なので炉心サイズ小さくできる。でも多くの燃料必要。狭い炉心で大量の熱を発生させるので冷却には熱伝導率が高く中性子を減速させにくいナトリウム(例ですが)を使う。このため大気圧程度で利用可。

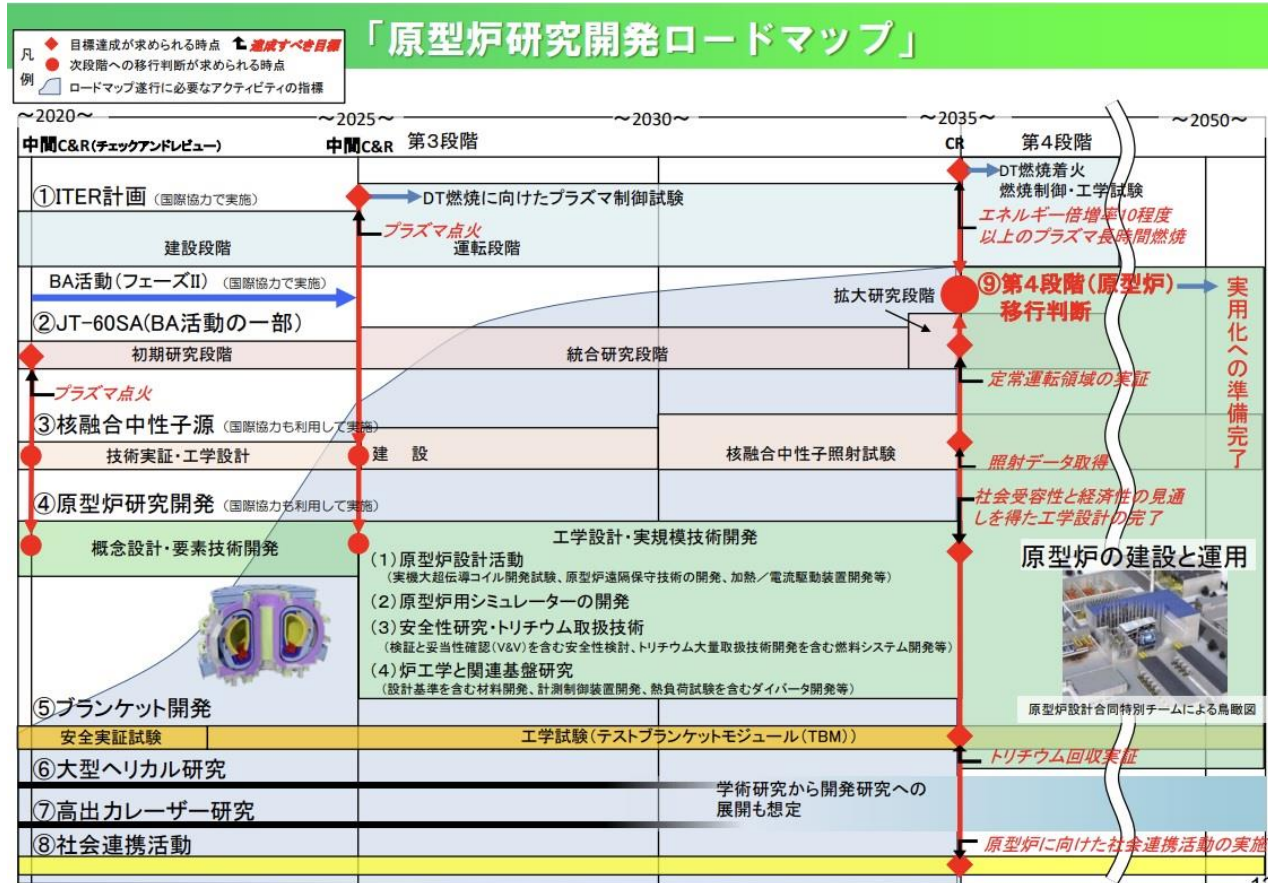


https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2022/051/051_006.pdf

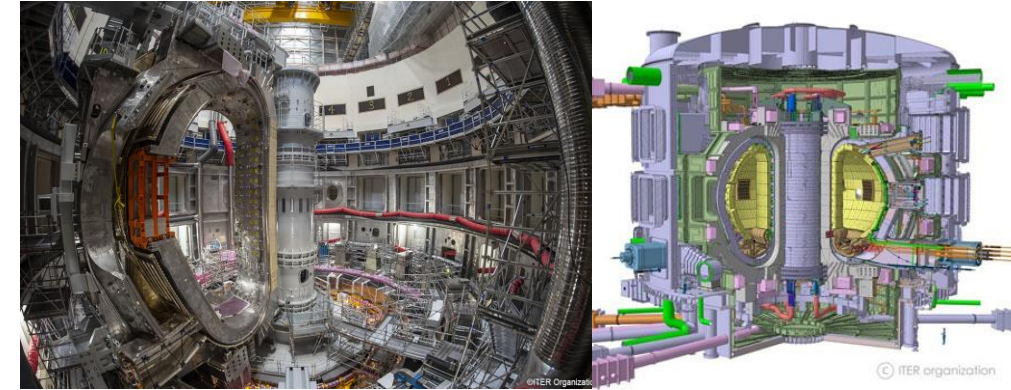
露2015年実証炉稼働。中国は今年稼働を目指す。露中印は高速増殖炉を目指す。加もARC-100をNB州に(計画)。米はNatrium Technologyの345MWeの炉など。我々は、高速炉で発電したという実績がある(技術は実証済)。核燃料サイクルとの組み合わせなどに挑戦。もっとも「高速炉」と言いながら、U資源有効利用数十倍というときは「FBR」と小さく但し書きしているようでは。。。。

核融合炉

太陽の中心では、水素イオン(H⁺)同士が結合(核融合)してエネルギーを発生している。
 今の技術ではこれは難しいので、まず2倍重い水素 D(重水素) と3倍重い T(トリチウム、三重水素)を核融合させる方法を採用。
 原子核間の反発力を乗り越えて反応をさせるためには、強い磁場で閉じ込めたり、強い圧力で圧縮させる必要あり。

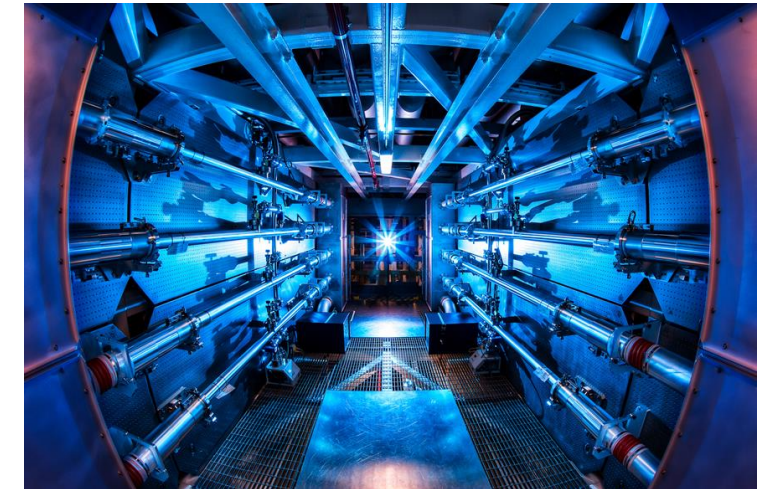


<https://www8.cao.go.jp/cstp/fusion/1kai/siryo3.pdf>



<https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/io/202206.html>

https://www.fusion.qst.go.jp/ITER/iter/page1_1.html



<https://www.ans.org/news/article-4592/current-and-former-linl-staffers-plan-for-inertial-fusion-energy-after-record-shot/>

物理研究者の興味を超え、工学システム化できるか。

General Fusion社(加)は、2027年のプラズマ点火条件の実証を目指す。

プラズマ閉じ込め時間、材料開発、トリチウム製造・取扱技術、リチウム確保技術など、挑戦はいくらでも。

学生のときの机上プロジェクトでは、那珂町の商業用核融合炉(仮想です)の点火に大量の電力が必要で、計算上は茨城県の半分は停電したけど、今は？なんてことも思い出されます。

小型炉(カナダの例で紹介させていただきます)

- 米加仏等の諸外国では、新設を巡る大型初期投資対策として、初期投資の小さい小型炉へのシフトも検討。



ラファエル・マリアーノ・グロッシー IAEA事務局長



- SMRはより早く、より手頃な価格で建設でき、固有の安全性が高い。
- しかし、SMRや他の原子力発電所が建設されるためには、規制と融資の条件が整う必要がある。
- 例えば英国を含むいくつかの国は、規制と融資において革新的な答えを打ち出している。

(2022年の世界経済フォーラムへの意見記事)



カナダの電力会社

- SMRは、従来の原子力発電所に比べ、大量生産が安く、配備が容易。
- 各社の管轄区域において、SMRが経済的に競争力のあるエネルギー源となる可能性がある。



(Ontario Power Generation社、Bruce Power社、NB Power社、SaskPower社の共同FSの報告書)



米国 DOE 原子力局

- SMR は、従来の原子炉よりも建設費と運転費が安くなると予想される。
- 電力会社は、原子力を導入するためのより多くの選択肢を持つことができる。



(DOE 原子力局 戦略ビジョン (2021))

https://www.mext.go.jp/content/20221209-mxt_genshi-000026328_6.pdf



フランス

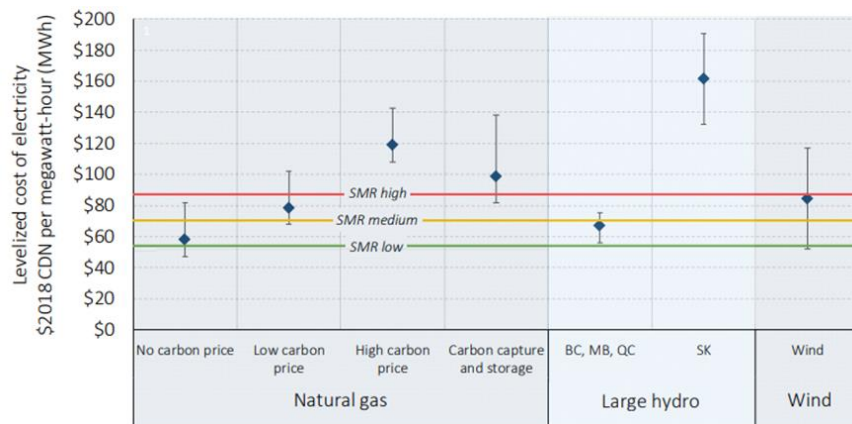
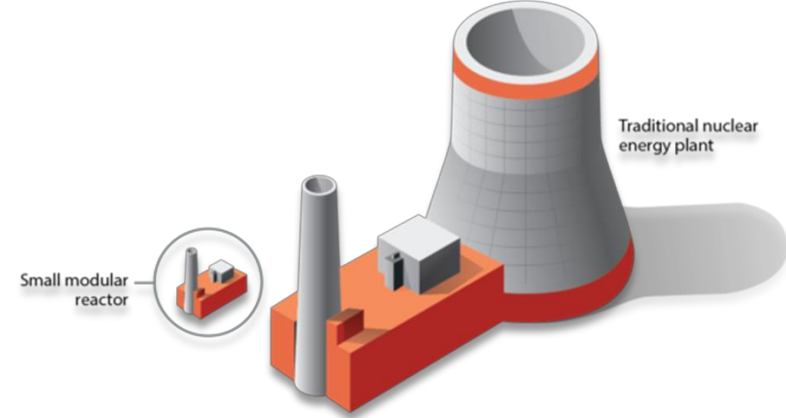
- マクロン政権は仏送電系統運用会社「RTE」に対し、2050年カーボンニュートラルに向けた電源シナリオ分析を要請し、RTEは2021年10月に結果を公表。
- 既存炉の運転延長、EPR2を14基建設（23GW）、SMR導入（4GW）を組み合わせ2050年の原子力比率を50%とするシナリオが、経済面で最も優位と結論。

SMRの経済性 (ベンダー目標)		建設単価 (ドル/kW)
VOYGR		2,850
BWRX300		2,250
UK-SMR	FOAK	6,100
	継続機	4,900
最近の大型炉		2,400～8,600

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/025_04_00.pdf

経済性見通しはベンダーの目標値のみ
主要ベンダー全てが発表しているわけでもない

露中加は、電力会社が関与(国家・州の
ニーズ先導)
日本などでは電力会社の関与小(無)

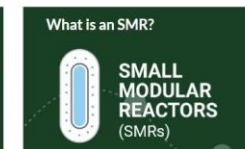


想定利用ターゲット

- ・電力系統に接続しての利用(都市部): 2プロジェクト
- ・北部遠隔地、北極圏内軍施設、北部鉱業地域など: 1プロジェクト



<https://smrroadmap.ca/>



<https://smractionplan.ca/>

連邦・州政府が中心となってTeam Canadaを

CBC | MENU

NEWS Top Stories

2021

Edmonton · Updated

Alta., Ont., Sask. and N.B. sign agreement to explore small nuclear reactors



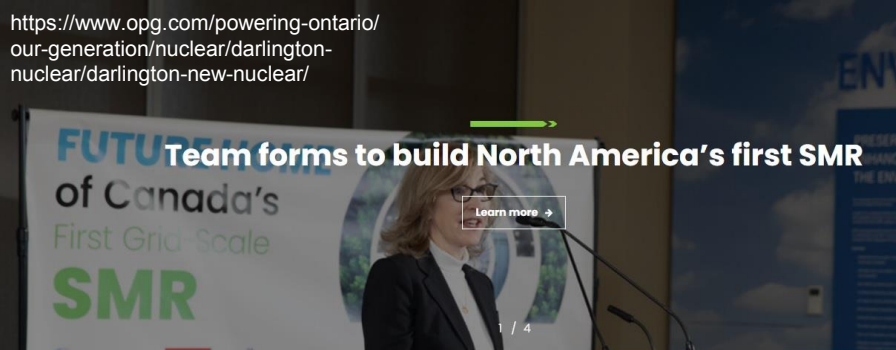
Five things to know about Canada's proposed small modular nuclear reactors

The Canadian Press · Posted: Apr 14, 2021 11:11 AM EDT | Last Updated: April 14, 2021



<https://www.cbc.ca/news/canada/edmonton/nuclear-reactors-clean-energy-option-1.5986796>





Team forms to build North America's first SMR

[Learn more →](#)

OPG's Darlington New Nuclear Project is leading the way in the advancement of [Small Modular Reactor \(SMR\)](#) technology in Canada – the future of nuclear power generation.

SMRs, like existing nuclear reactors, are designed to provide reliable, low-carbon electricity, but with a much smaller land footprint. Low-carbon energy from SMRs is a key pillar in OPG's [Climate Change Plan](#) which will assist OPG's efforts to become a net-zero carbon company by 2040 and Ontario's aim to become a net-zero economy by 2050.

The Darlington site is the only site in Canada currently licensed for a new nuclear build with an accepted environmental assessment and Site Preparation Licence. Pending subsequent regulatory approvals, the DNP is expected to begin providing 300 megawatts of carbon-free, baseload power to the grid before the end of the decade.



Ontario Premier Doug Ford speaks at the site of OPG's future Small Modular Reactor at Darlington Nuclear on Dec. 2, 2022.

<https://www.opg.com/story/opg-darlington-small-modular-reactor-project-passes-significant-milestones/>

オンタリオ・パワー・ジェネレーション (OPG)

ダーリントン発電所敷地内

電力系統接続

GE-Hitachi BWRX-300

300 MWe

2028年中に建設終了、2029年中に運転開始。

2022年10月31日、規制当局に建設許可申請。

2032年にSK州で4基のうち1基目稼働目指す。

~300,000
homes

could be powered by a 300 MWe SMR

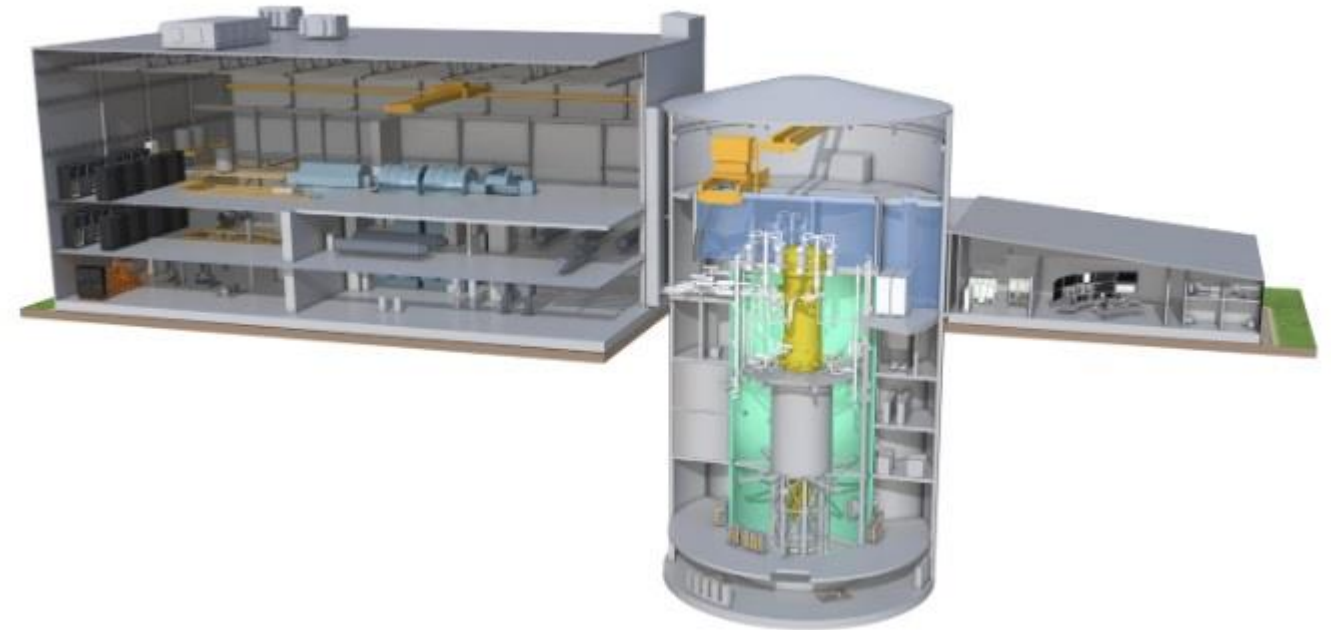
4
provinces

signed an MOU to position Canada as a leader in the SMR field

2,660
jobs

could be created over the lifetime of an operational 300 MWe SMR

BWRX-300



<https://nuclear.gepower.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/bwrx-300>

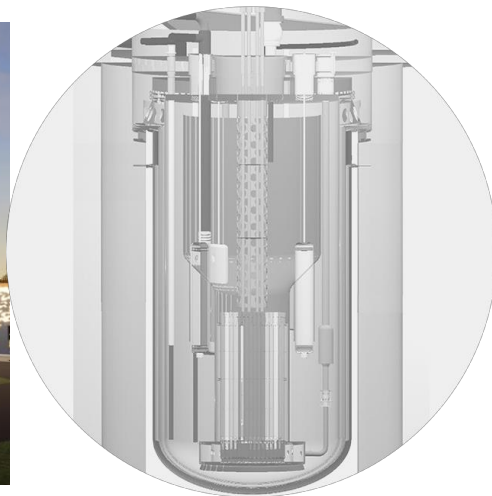
ニューブランズウィック

ポイント・ルプロー原子力発電所サイト内
電力系統接続向け
連邦と州政府からの財政援助



<https://www.arc-cleantech.com/>

ARC-100
Na冷却高速炉
100 MWe
金属U合金燃料
20年間燃料交換不要



2030年代中頃までに稼働

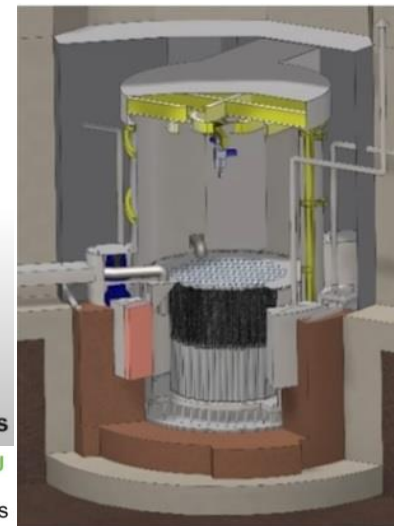


<https://www.moltexenergy.com/>

Moltex
Stable Salt Reactor
300 MWe
600 °C – 800 °C



• Fuel salt placed in fuel assemblies



Fast spectrum "Wasteburner" SSR-W

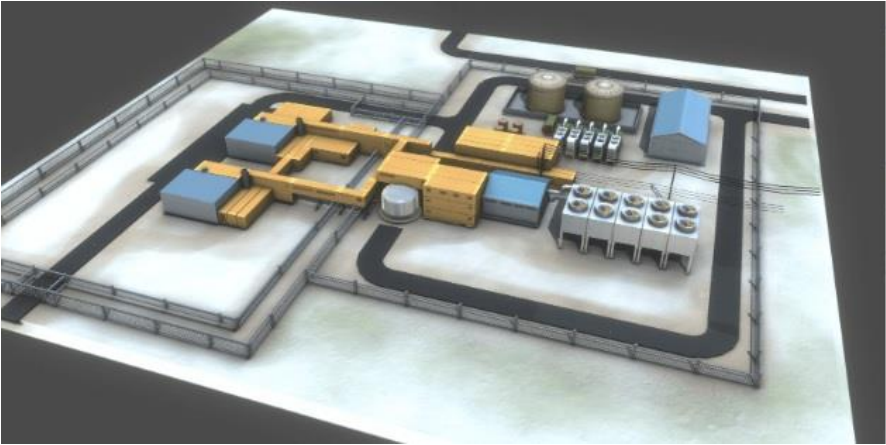
- Fueled by higher actinides from conventional oxide fuel
- Chloride salt fuel
- Output temperature 600°C
- Patented exceptionally simple process (**Waste to Stable Salts**) to extract Pu/Am from spent CANDU fuel with only 0.38% Pu

Thermal spectrum <5% LEU SSR-U

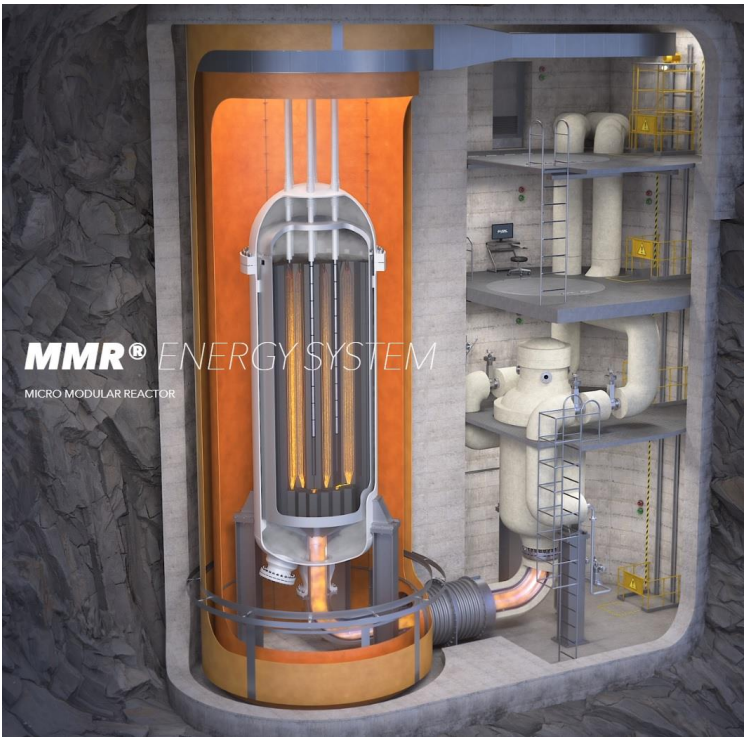
- Graphite moderated (graphite does not contact fuel)
- Uranium/sodium fluoride fuel salt
- Proprietary coolant salt
- Output temperature >800C
- In discussion with potential customers

ともにCANDU炉の使用済核燃料の活用を織り込む(再処理・分離技術はこれから)。

<https://www.youtube.com/watch?v=V8ApH-0YHKA>



- Completed Phase 1: U-Battery Canada Ltd.'s proposed SMR design is a 4 MWe high temperature gas reactor.
- Completed Phase 1: StarCore Nuclear's proposed SMR design is a 14 MWe high-temperature gas reactor.
- Completed Phase 1: Terrestrial Energy's proposed SMR design is a 190 MWe integral molten salt reactor.
- Entered Stage 3: Global First Power's proposed SMR design is a 5 MWe high-temperature gas reactor.

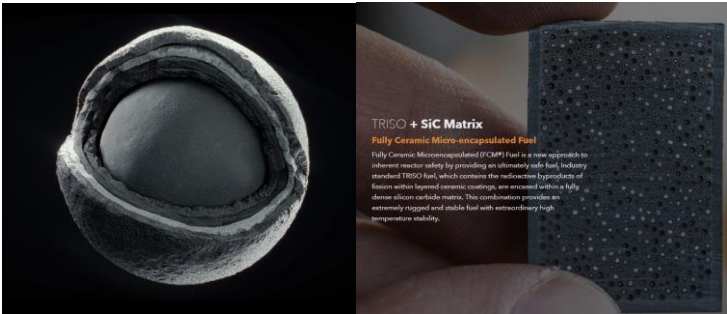


630 °C
TRISO
2026年までに。

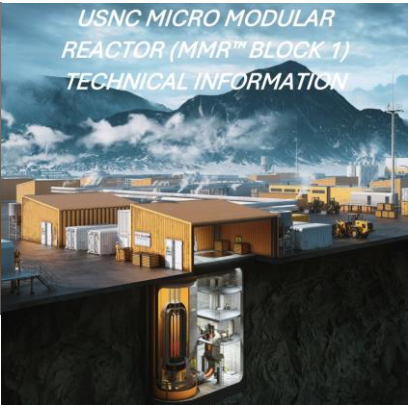
Timeline

Environmental Assessment begins	Preferred site identified	(Planned) Site Preparation and Construction	(Planned) Commissioning and Operation
On July 15, 2019 the Notice of Commencement of an environmental assessment was posted for Global First Power's (GFP) proposal to construct and operate a 5 MW electrical "Micro Modular Reactor" (MMR) plant at the CRL campus.	In the fall of 2020, GFP completes preliminary geotechnical studies on a preferred location on the CRL campus.	Pending successful completion of the environmental assessment and necessary regulatory processes, Global First Power plans to begin site preparation and construction in mid-2023.	Pending successful completion of the environmental assessment and necessary regulatory processes, Global First Power plans to begin reactor commissioning and operation in 2025.

<https://www.cnl.ca/clean-energy/small-modular-reactors/siting-canadas-first-smr/>
BRIGHTER WORLD | mcmaster.ca



<https://www.usnc.com/mmr/>



<https://www.usnc.com/assets/media-kit/%5B022989%5D%5B01%5D%20MMR%20Technical%20Information%20Document.pdf?v=c3819e0ac7>

McMaster University, Ultra Safe Nuclear Corporation, and Global First Power Sign MOU to Study Deployment of Micro Modular Reactor (MMR®)

<https://www.usnc.com/mcmaster-university-ultra-safe-nuclear-corporation-and-global-first-power-sign-mou-to-study-deployment-of-micro-modular-reactor-mmrr/>

研究基盤
人材基盤
の整備開始

でも廃棄物問題は避けられません。
しっかり考えましょう。

PNAS

RESEARCH ARTICLE

ENVIRONMENTAL SCIENCES

OPEN ACCESS



Nuclear waste from small modular reactors

Lindsay M. Krall^{a,1,2}, Allison M. Macfarlane^b, and Rodney C. Ewing^a

Edited by Eric J. Schelter, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA; received June 26, 2021; accepted March 17, 2022 by Editorial Board Member Peter J. Rossky

Small modular reactors (SMRs; i.e., nuclear reactors that produce <300 MW_{elec} each) have garnered attention because of claims of inherent safety features and reduced cost. However, remarkably few studies have analyzed the management and disposal of their nuclear waste streams. Here, we compare three distinct SMR designs to an 1,100-MW_{elec} pressurized water reactor in terms of the energy-equivalent volume, (radio-)chemistry, decay heat, and fissile isotope composition of (notional) high-, intermediate-, and low-level waste streams. Results reveal that water-, molten salt-, and sodium-cooled SMR designs will increase the volume of nuclear waste in need of management and disposal by factors of 2 to 30. The excess waste volume is attributed to the use of neutron reflectors and/or of chemically reactive fuels and coolants in SMR designs. That said, volume is not the most important evaluation metric; rather, geologic repository performance is driven by the decay heat power and the (radio-)chemistry of spent nuclear fuel, for which SMRs provide no benefit. SMRs will not reduce the generation of geochemically mobile ¹²⁹I, ⁹⁹Tc, and ⁷⁹Se fission products, which are important dose contributors for most repository designs. In addition, SMR spent fuel will contain relatively high concentrations of fissile nuclides, which will demand novel approaches to evaluating criticality during storage and disposal. Since waste stream properties are influenced by neutron leakage, a basic physical process that is enhanced in small reactor cores, SMRs will exacerbate the challenges of nuclear waste management and disposal.

Significance

Small modular reactors (SMRs), proposed as the future of nuclear energy, have purported cost and safety advantages over existing gigawatt-scale light water reactors (LWRs). However, few studies have assessed the implications of SMRs for the back end of the nuclear fuel cycle. The low-, intermediate-, and high-level waste stream characterization presented here reveals that SMRs will produce more voluminous and chemically/physically reactive waste than LWRs, which will impact options

<https://cisac.fsi.stanford.edu/people/lindsay-krall>
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2111833119>
https://en.wikipedia.org/wiki/Allison_Macfarlane
<https://earth.stanford.edu/people/rodney-ewing>



CIB BIC Canada Infrastructure Bank

Partnerships Sectors Expertise

\$970M

Darlington Small Modular Reactor

SECTOR(S)	LOCATION(S)	PARTICIPATION	PARTNER(S)
Clean Power	Clarington, Ontario	\$970 million	Ontario Power Generation

<https://cib-bic.ca/en/projects/clean-power/darlington-small-modular-reactor/>

Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada

www.nserc-crsng.gc.ca

Franglais Home Contact us Help Search canada.ca

Home > Professors > Innovation > NSERC-CNSC Small Modular Reactors Research Grant Initiative

Professors Grants Programs Overview Innovation

Back Print Bookmark Larger Smaller

NSERC-CNSC Small Modular Reactors Research Grant Initiative

Total \$15M, 5y
\$120k/y each project, 3y

Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada

www.nserc-crsng.gc.ca

Franglais Home Contact us Help Search canada.ca

Home > Professors > Innovation > NSERC-NRCan partnership to fund research on small modular reactors

Professors Grants Programs Overview Innovation

Back Print Bookmark Larger Smaller

NSERC-NRCan partnership to fund research on small modular reactors

Total \$2M/y, 4y
NRCAN \$100k/y+NSERC \$100k/y, 4y

https://www.nserc-crsng.gc.ca/Innovate-Innover/CNSC-CCSN_eng.asp
https://www.nserc-crsng.gc.ca/Innovate-Innover/NRCAN-RNCAN_eng.asp

2022年国家予算でカナダはこの分野で世界のリーダーになると宣言



次世代原子炉で日米協力、アジアへの輸出も



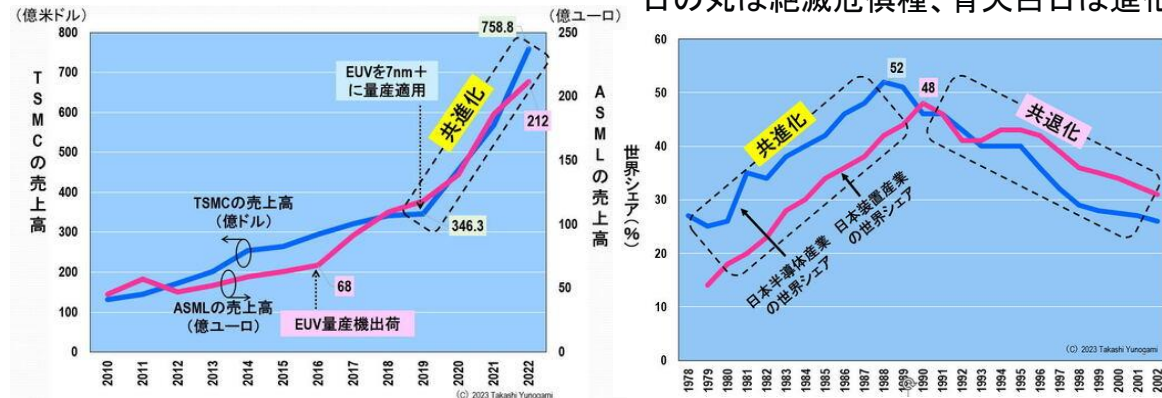
<https://www.sankei.com/article/20230110-QARR6ZBYLBN2NEZZIIGSI5KZXW/>

国際共同開発では
作業分担、担当部位、技術移転に関する
日本としての戦略必須

他産業の歴史を他山の石とできるのか？

下図は半導体産業です。

日の丸は絶滅危惧種、青天白日は進化中



<https://jpress.ismedia.jp/articles/-/73763?page=4>

多くのSMRはいまだに書類の上でしか存在しない。
技術の多くは実現性(経済性・社会受容性含)の実証を要する。
---> 国際条約や安全規制における枠組みが必要
(国境を超える環境影響評価や損害賠償など)

ロシアが期待できない(?)後でのHALEUサプライチェーンは？
どうする再処理。Pu見たことも触ったことも。。。。

SMRの経済性は発注数・製造数に強く依存する。十分大きい
国際市場が形成できるのか？ 日本の立ち位置は？
---> 規制の国際調和も必須。

ロシア、中国、インドなどは原子力を継続・発展させることはほぼ
間違いない。

日本は主導できる側か、Amazonやウーバーのように、
ぼったくられる側か。



規格や規制のデファクトスタンダード決定に
関与できるかどうか。人材という観点で日本は
ほぼほぼ限界点にいる。この視点で原子力技術者は
原子力の重要性を主張している(と思いたい)。

非常に単純化した話にしてしまうと(日本の一部マスコミ報道と発表者の個人的経験という強いバイアスの上での話です):

一般家庭電気料金(平均月額) 震災時6,234円、2012年9月値上げ時7,548円、2014年8月8,509円(36%アップ)。北米でトップクラスの高額電気料金のオンタリオ州(ハインツもP&Gも逃げたし、GMも逃げる準備をした)で築60年・全部屋一括冷暖房の我が家も、ここまでは払ってないですね。

原因は明確(だそうです)。原子力停止(火力依存上昇)&再エネ賦課金(3.45円/kWh(4月まで)、一般家庭は年間1万円ほど払っている?)

だったら、ロシアとウクライナの戦争が終わって、(まだ上がる予定?)再エネ賦課金を減額あるいは廃止すると安い電気に戻るなら、まあ後数年の我慢か。

2023年6月標準家庭電気料金(値上げ率%)(稼働中原発基数, 火力比率%)

北海道9,899円(29.9)(0, 64)、東北9,462円(31.7)(0, 69)、東京9,917円(28.6)(0, 77)、北陸7,488円(42.7)(0, 52)、中部7,369円(一)(0, 64)、
関西**5,677円**(一)(**5**, 43)、中国8,608円(29.9)(0, 59)、四国8,300円(27.9)(1, 44)、九州**5,526円**(一)(**4**, 36)、沖縄10,500円(39.3)(0, 94)

なぜ今、化石燃料価格が上がったのか

EUの脱炭素失敗。自分達の石炭はなるべく使わないし、天然ガスも採掘での環境汚染が嫌だから使わない(他国が汚れる分にはOKだけど)。

風力増やしたけど足りない。じゃあ、ロシアから買おう(プーチン大統領はEUは経済制裁すると自滅するので制裁しないと読んだという説も)。

ロシアからエネルギーを確保できなくなったEUが世界中でエネルギーを買い漁った結果。石炭価格もつられて2020年の4倍程度。

日本は、かなり物騒な場所にありますよね(朝鮮半島情勢はJapan Travel Adviceに記載。ミニハン米空軍大將は、米国は中国と2025年に戦争(1月末)と発信。デービッドソン前インド太平洋軍司令官は2027年にも中国は台湾に侵攻(2021年)と証言)。

いざというとき日本のエネルギー安全保障は大丈夫なのか。

日本の電力って自由化されているんじゃないんですか? なぜ規制料金があるの? しかも9電力には供給責任課せられてますね。これって自由化と言うの? 最近では電気を売れば売って赤字。

電力会社に☹️としていた経産省役人と、福島事故を起こして計画停電をさせた電力へのお仕置きをしたい政治家(電力システム改革のための電気事業法改正はほぼ全会一致だったように記憶してますが)による国民のためではない自分達が溜飲を下げたい&票のための自由化だったんじゃないのか。

赤字になっても我慢しろと言われる会社や細分化された電力会社から構成される電力システム制度では、原子力は絶対無理です。

まあ、後数年もしたら人材的に無理かもしれませんし。その時は米中印露韓からではなく、カナダから次世代革新炉を買ってくださいね。勉強はしませんけど。もう人口も減るし、PISAの結果が暗示するように今後経済成長しないんだったら、原子力界は回帰ではなく店仕舞いと福島復興だけに集中すべきなのかも。

で、結局、日本の電力のベストミックスとして、皆さんはどうしたいのですか? 原子力ご入用なら加米露中などはReadyです。日本は?

チャットGPTにしろ、EVIにしろ、ECMOにしろ、富岳にしろ、今日のシンポジウムにしろ今の世の中、動力は基本的には電気。水素もまずは電気分解。

第 12 回原子力政策・福島復興シンポジウム

バックエンド問題をめぐって： 北海道寿都町・神恵内村における文献調査

2023年3月1日（水）

日本大学文理学部 竹内 真司

日本大学生物資源科学部 松本礼史

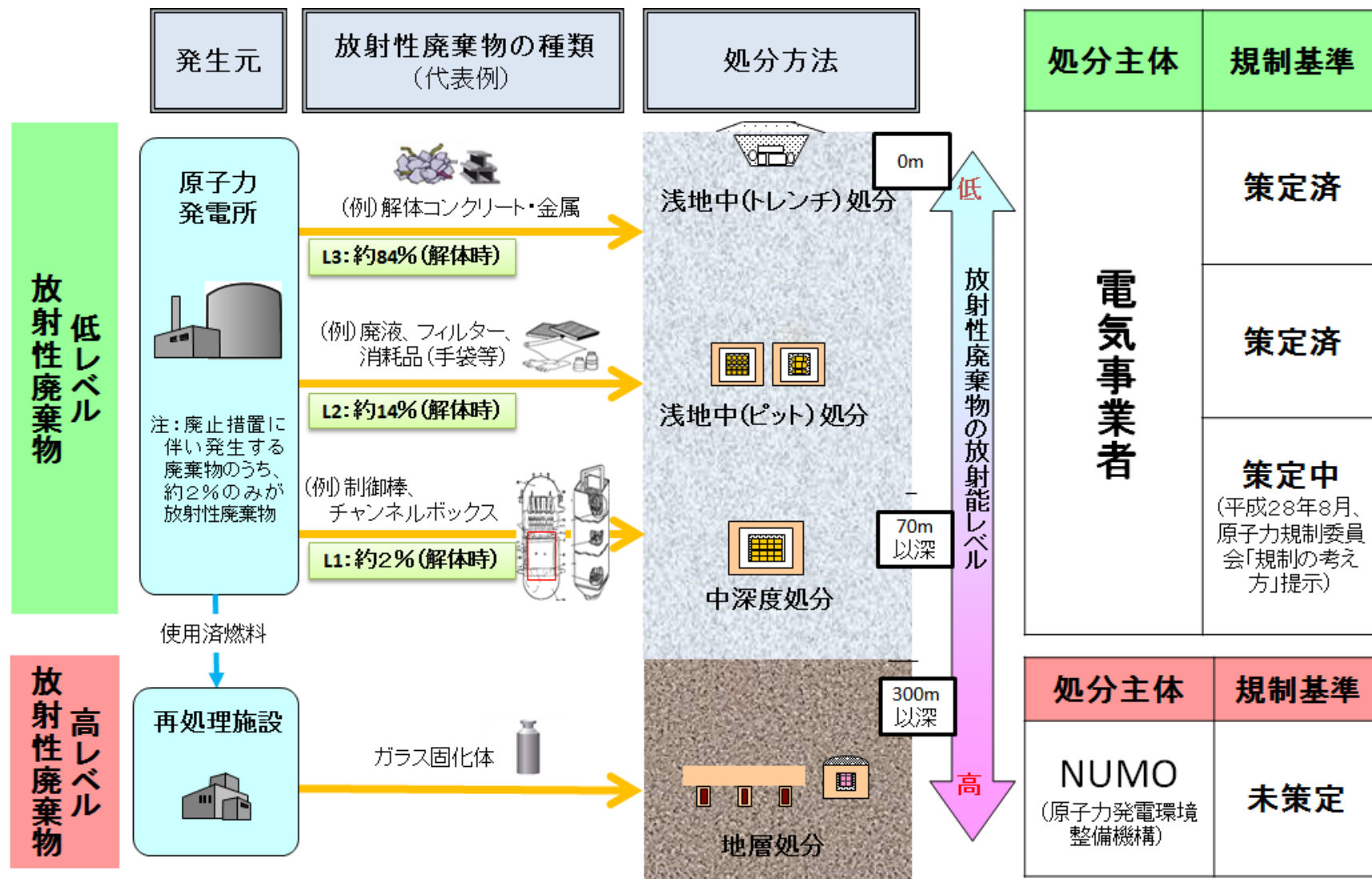
内容

- ①高レベル放射性廃棄物（HLW）と地層処分、
文献調査とは？（竹内）
- ②文献調査地区における聞き取り調査結果（松本）

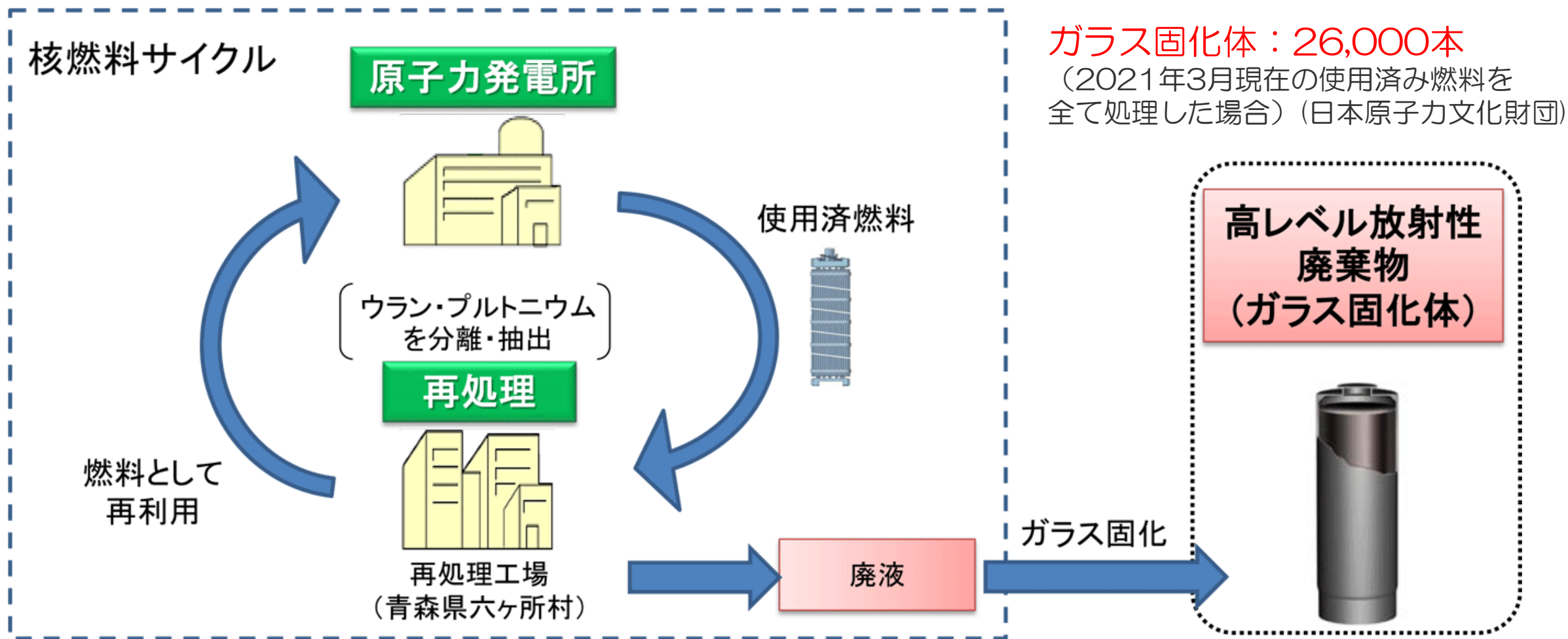
高レベル放射性廃棄物（HLW）と 地層処分、文献調査とは？

HLW : High-Level Radioactive Waste

放射性廃棄物の種類と 放射能レベルに応じた処分方法

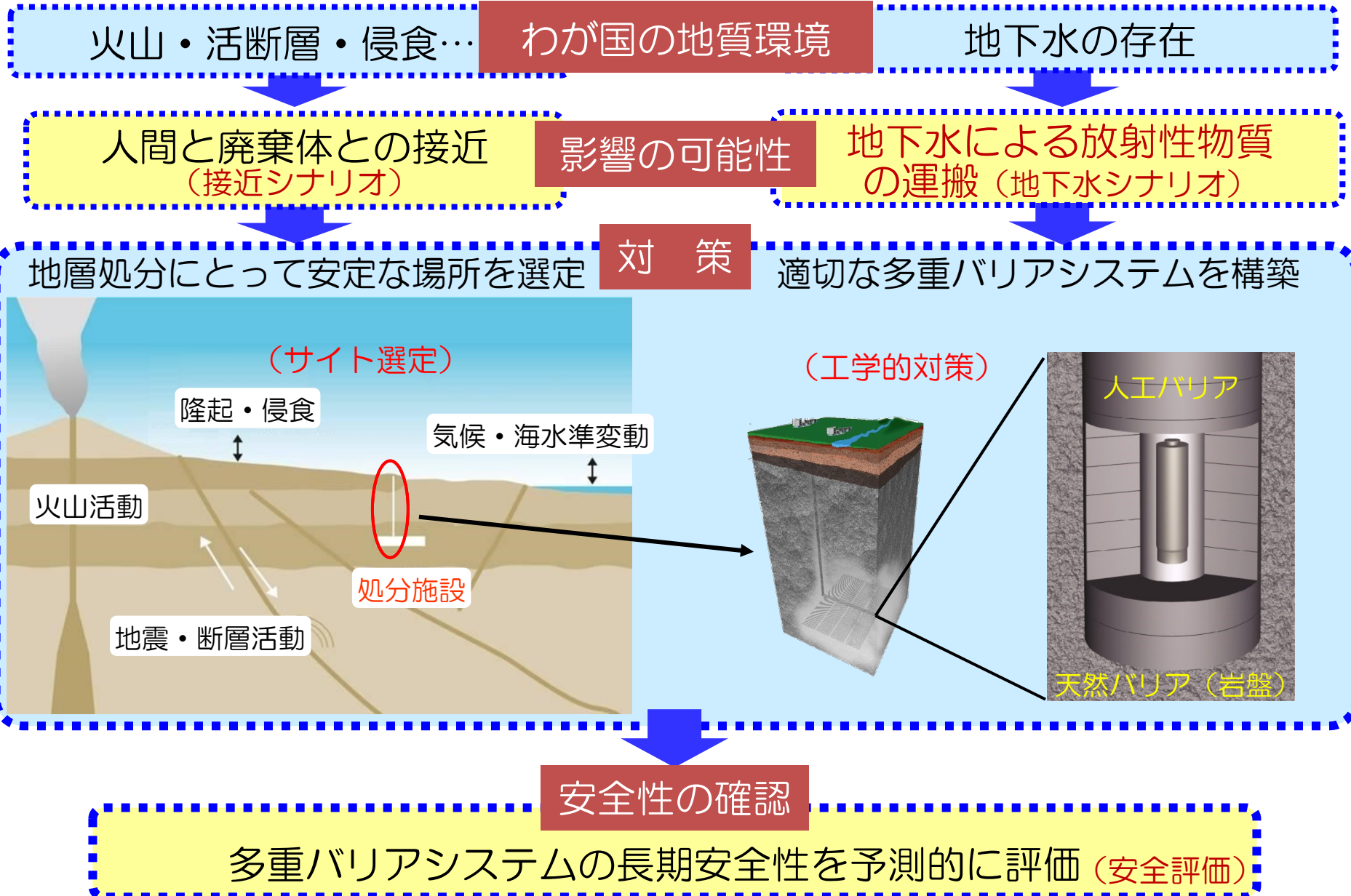


核燃料サイクルとHLWの発生

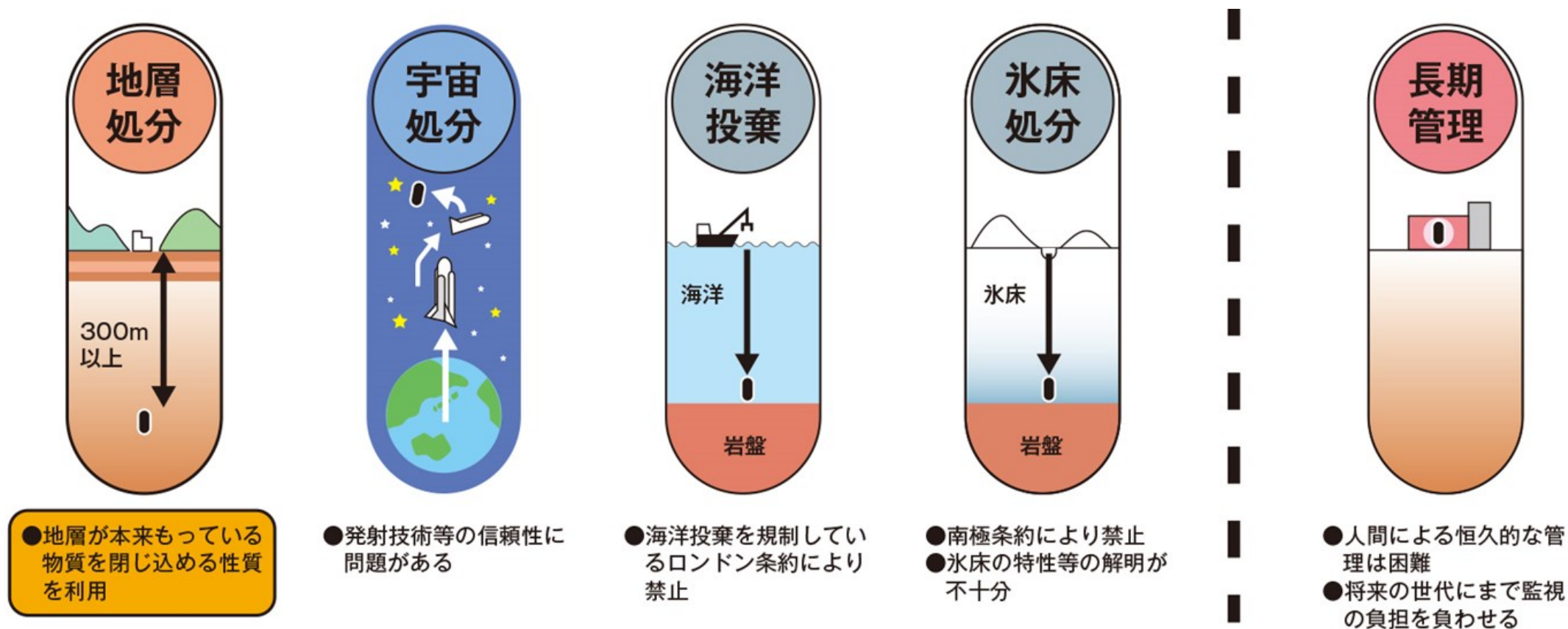


約 1,500Sv/h
=25 Sv/min.
(致死量：100 Sv)

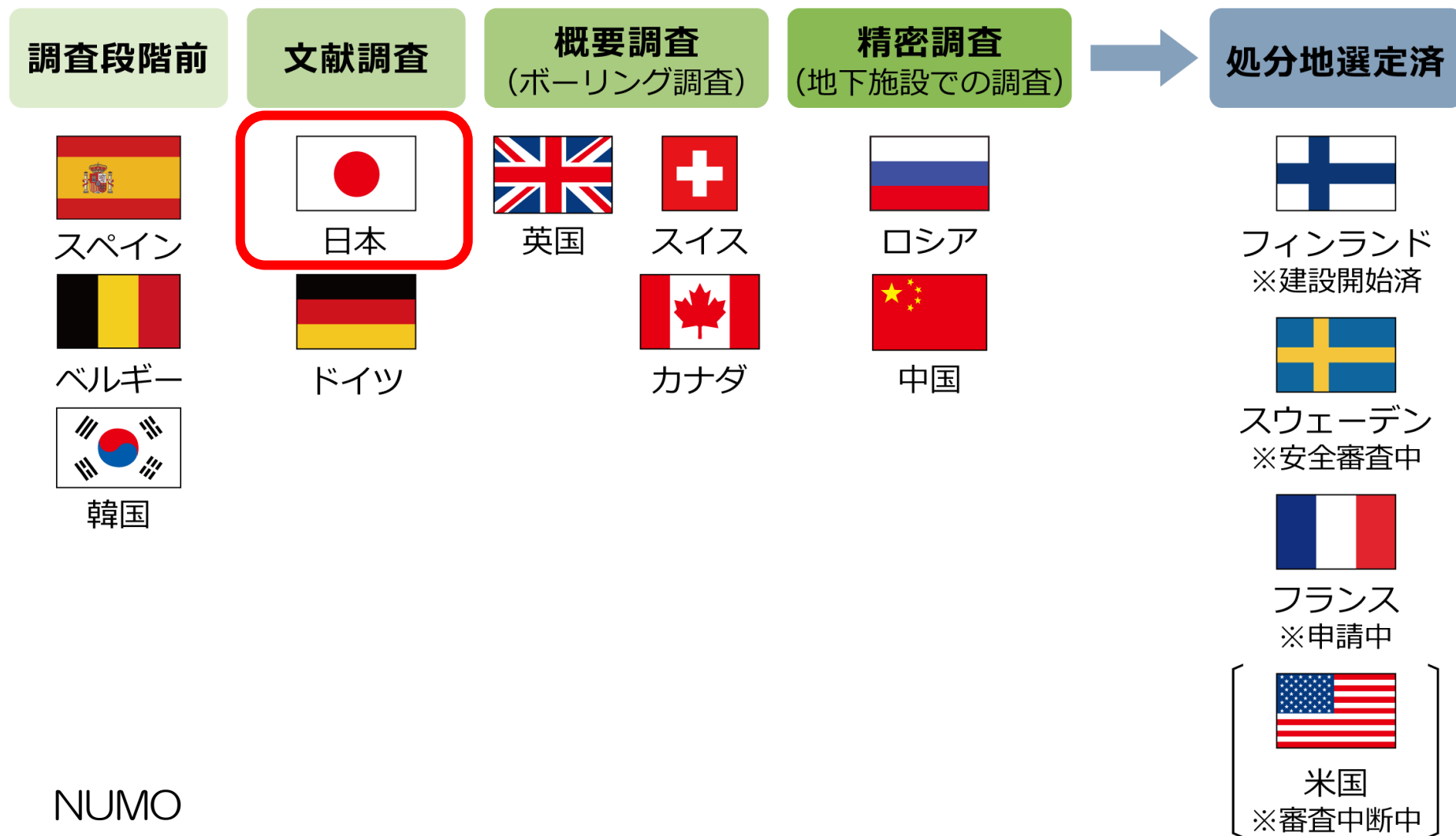
地層処分の方



地層処分とその他の処分方法案

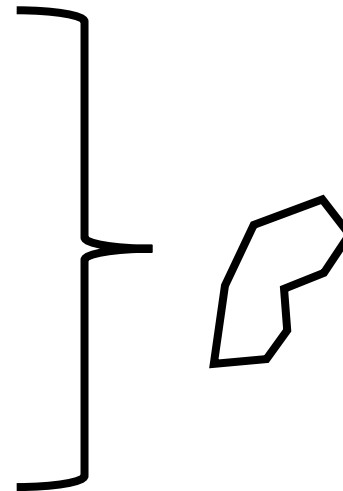
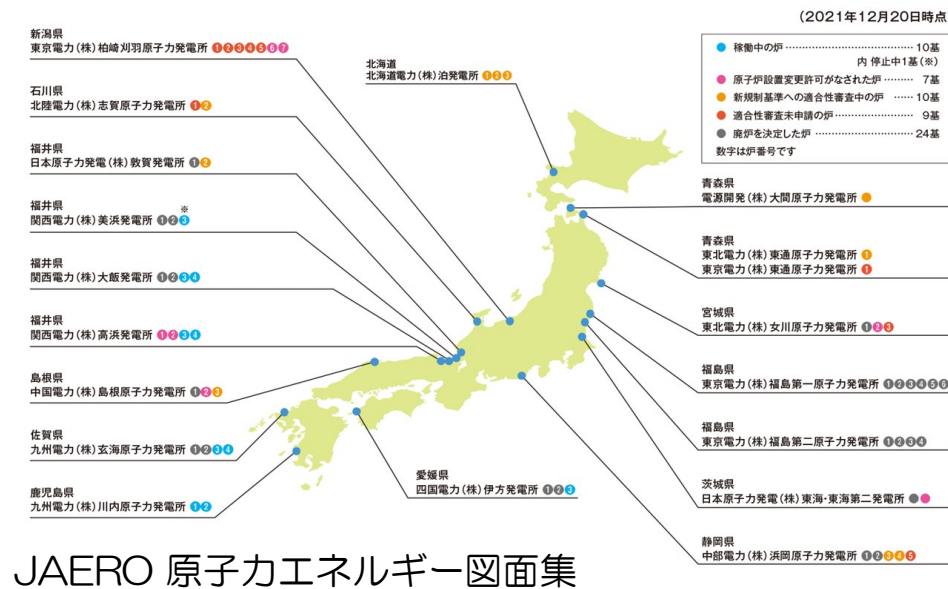


各国の進捗状況



地層処分の処分地選定における特徴

- 地層処分は、全国の原子力発電で発生したHLWをある特定の地域に処分→NIMBY的な課題
- 最終的な処分事業の受け入れは地域が判断
- 多様な参加者による対話の場が求められている



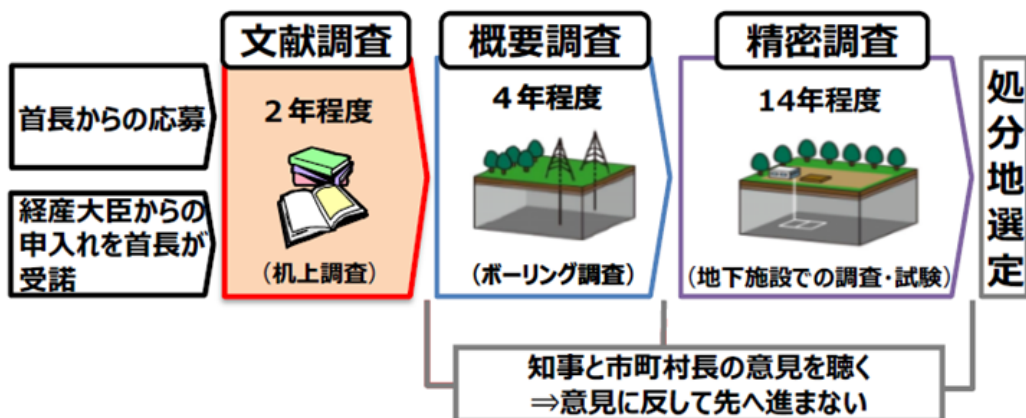
日本全国の原発のゴミを1か所に

最終処分に関するこれまでの経緯

2000年	「最終処分法」制定、NUMO [※] 設立 → 全国公募開始（手挙げ方式）
2007年	高知県東洋町が応募/取り下げ
2015年	最終処分法に基づく「基本方針」改定
	国が前面に立つ観点から、 - 科学的により適性の高いと考えられる地域を提示 - 理解状況等を踏まえた国から自治体への申入れ 等
2017年	「科学的特性マップ」公表 → 全国各地で説明会を実施中
2020年	北海道2自治体（ すつつちよう 寿都町、 かもえないむら 神恵内村）において「文献調査」開始

- 関係閣僚会議（R4.12.23）での課題
- 文献調査受け入れ地域を孤立させないためのサポート体制
- 有望地点の拡大のための活動強化
- 地域のニーズ、地域を後押しするための政治決断のバックアップ

【参考1】最終処分法に基づく処分地選定プロセス



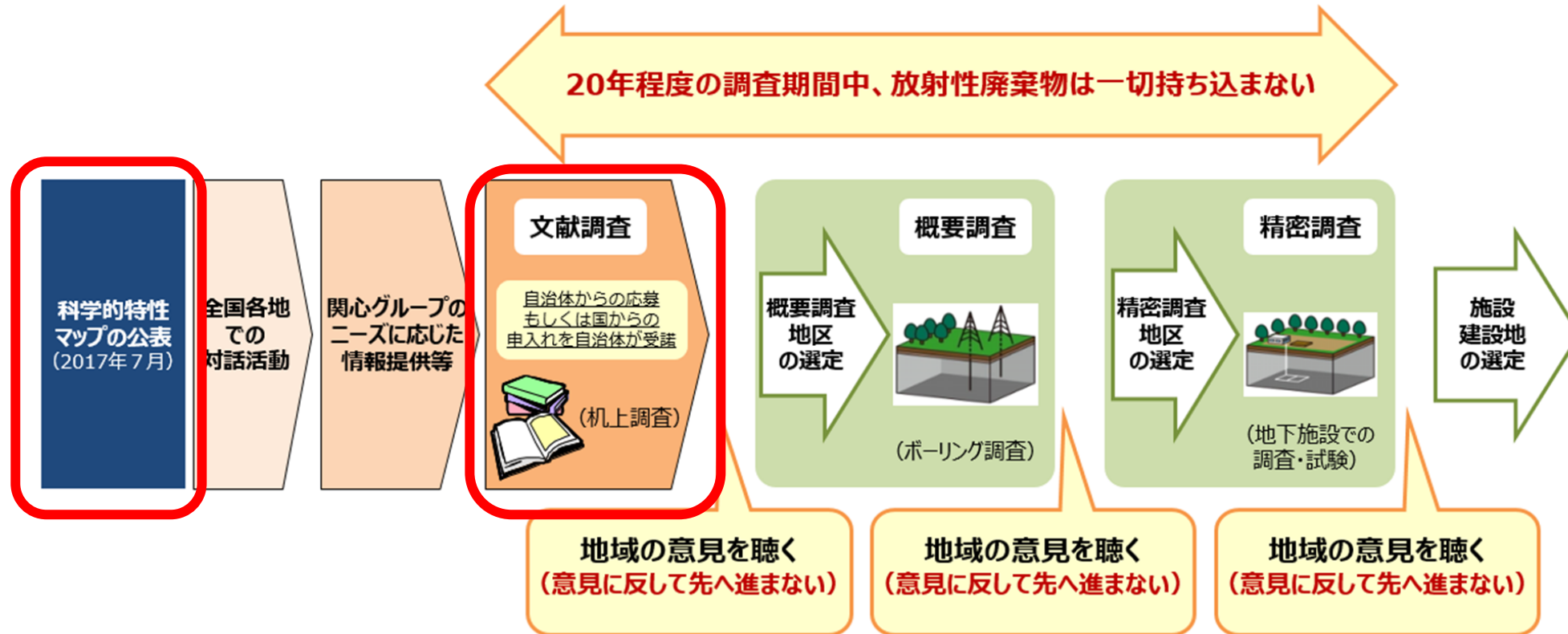
【参考2】「科学的特性マップ」の概要

火山や断層といった考慮すべき科学的特性によって日本全国を4色で塗り分けたもの。

- オレンジ：火山や活断層に近い（30%）
- シルバー：地下に鉱物資源がある（5%）
- グリーン：好ましい特性が確認できる可能性が高い（35%）
- 濃いグリーン：グリーンの中でも輸送面から好ましい（30%）



処分地選定のプロセス



エネ庁

- 2020年11月より、我が国で最初の文献調査開始
- 北海道：寿都町、神恵内村で同時に

[illegible]

科学的特性マップ

- 2017年7月公表
- 火山、活断層、隆起・侵食、地温、鉱物資源の観点から適切でない場所を提示（オレンジ、シルバー）
- 上記以外を緑で表示（沿岸から20kmはさらに濃い緑）
- 目的：地層処分の実現のため、日本の地質環境等について、多くの方々に関心を持っていただく

工不庁資料

科学的特性マップと文献調査

科学的特性マップ (全国一律に評価)

- ◆ 既存の公開された全国データを利用。
- ◆ 一定の要件・基準に従って、全国地図の形で示したもの。

石炭、ガス等資源

活断層



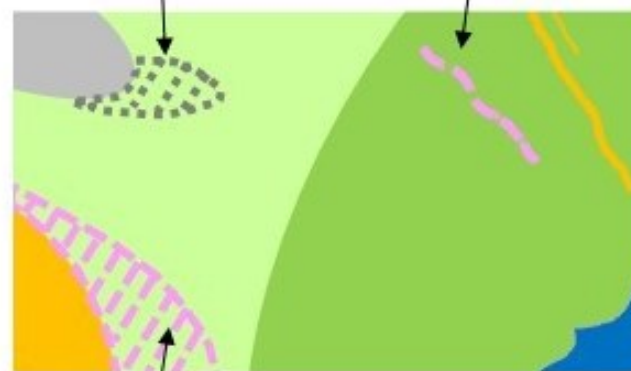
火山等

文献調査 (地域のデータによる調査)

- ◆ 全国データに加えて、地質図等の地域固有の文献・データを利用。
- ◆ 明らかに処分場に適当でない場所を除外。

地域データで把握される
鉱山跡地

地域データで把握される
活断層等の分布



地域データで把握される詳細な火山の分布

地層処分場のレイアウト（例）

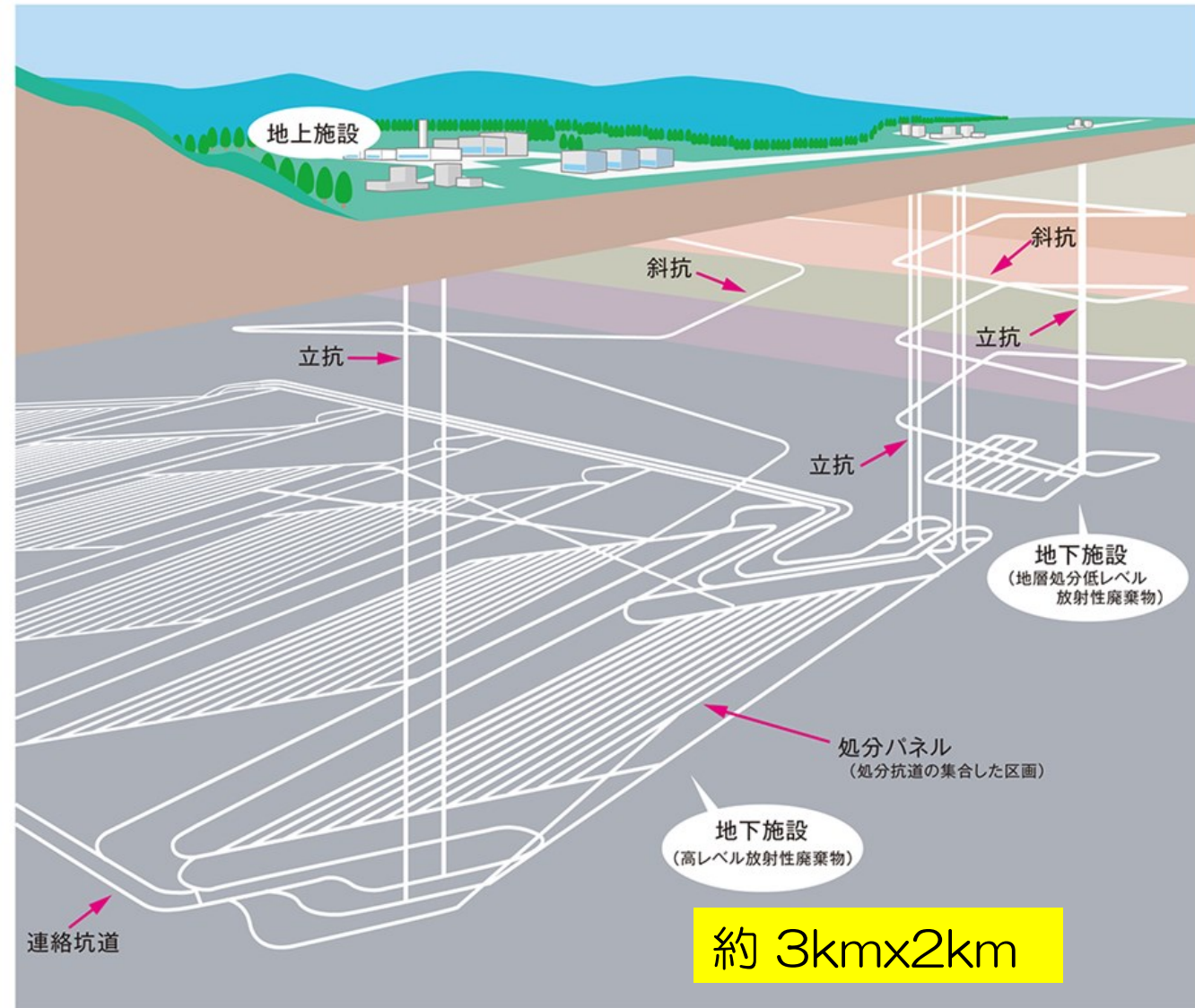
地層処分施設のレイアウト例

高レベル放射性廃棄物と地層処分低レベル放射性廃棄物の地層処分施設を併置した例

仕様の一例（結晶質岩、深度1,000mの場合）

地上施設	敷地面積1~2km ²
高レベル放射性廃棄物の地下施設	大きさ（平面）約3km×約2km
地層処分低レベル放射性廃棄物の地下施設	大きさ（平面）約0.5km×約0.3km

40,000 本の
ガラス固化体の処分を想定



地層処分の技術開発の現状（JAEA）

東濃地科学センター



イメージ

瑞浪超深地層研究所

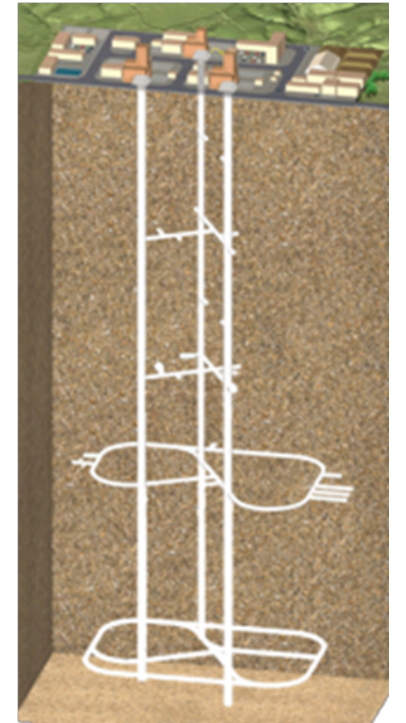
- 結晶質岩
- 淡水地下水
- 深度500m

埋め戻し完了（2022.1）

幌延深地層研究センター

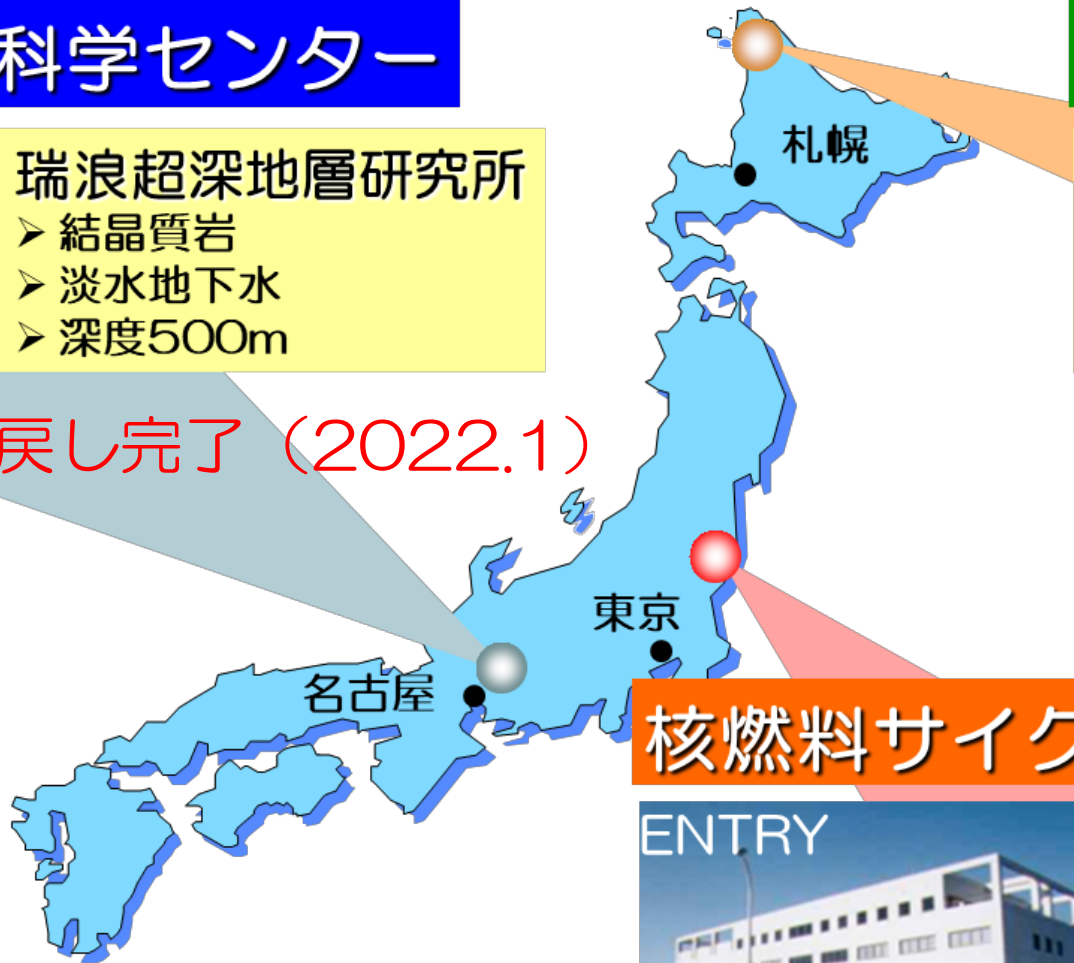
幌延深地層研究所

- 堆積岩
- 塩水系地下水
- 深度350m→500m

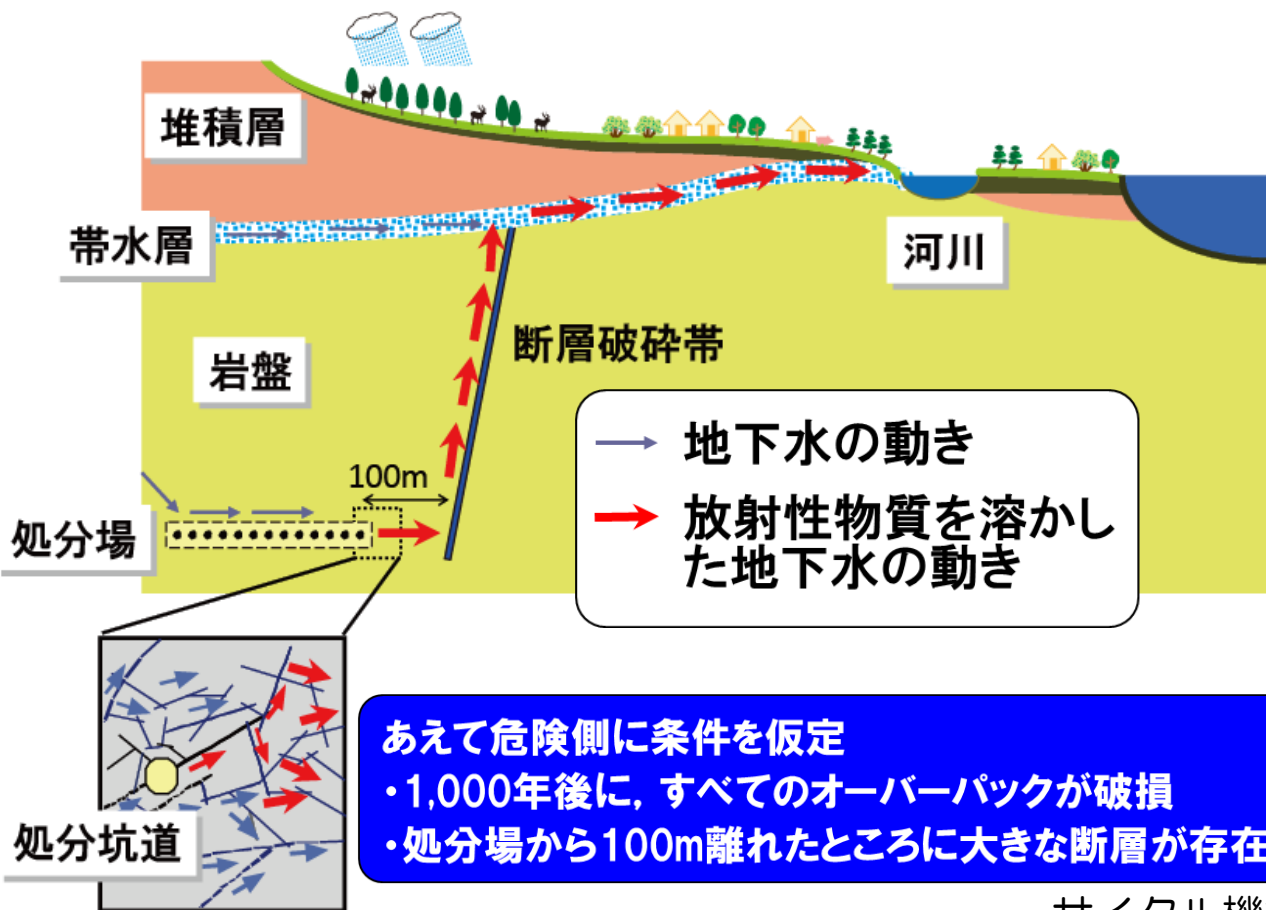


イメージ

核燃料サイクル工学研究所

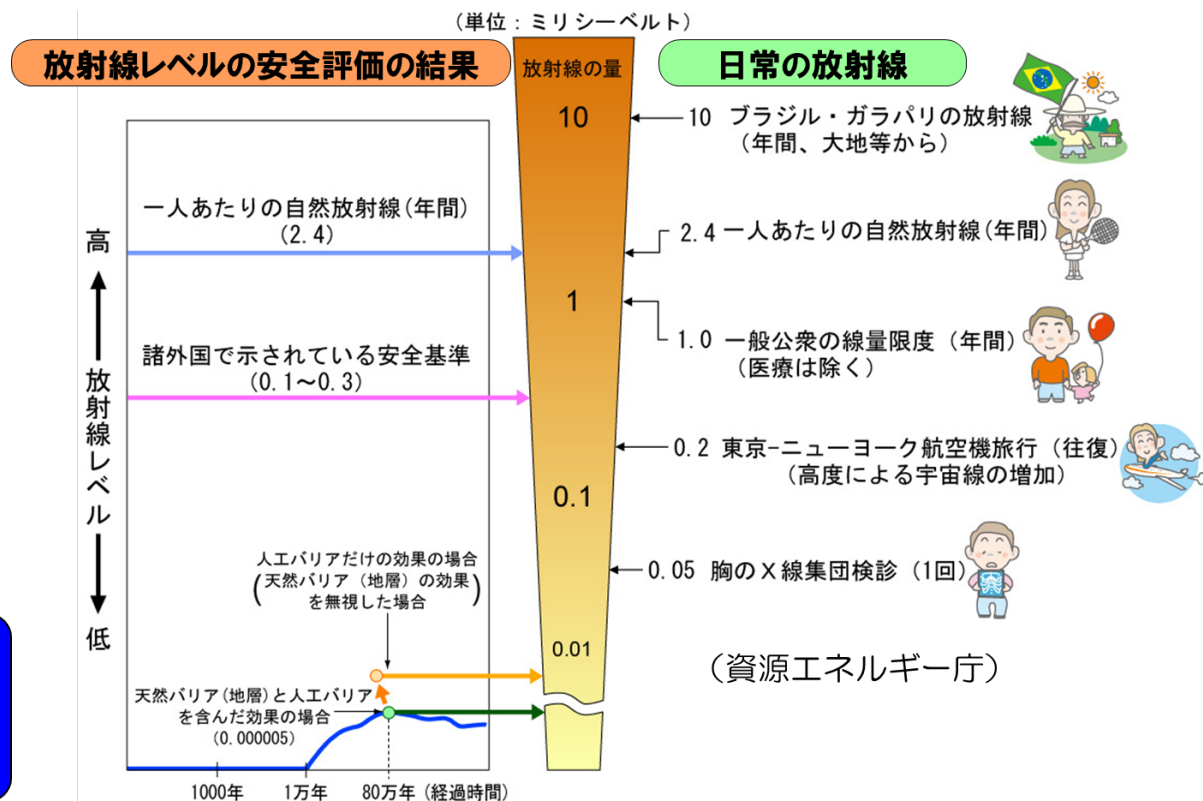


安全評価（JAEA）



サイクル機構

我が国の一般的な地質環境を想定した場における安全評価



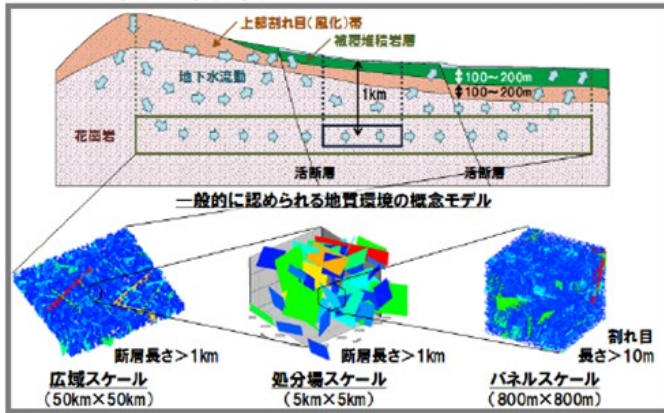
【JAEA第2次とりまとめの安全評価結果】

0.000005mSv/年

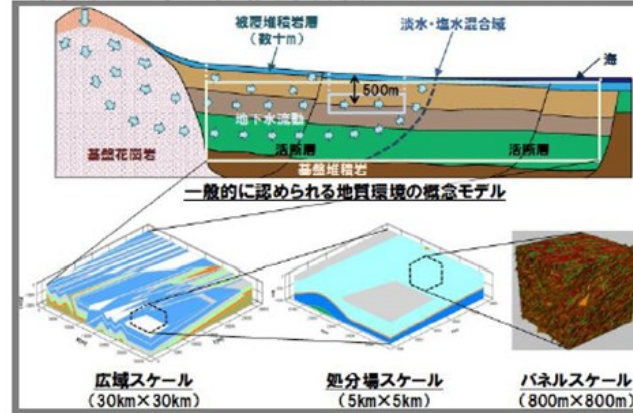
➡我が国にも安全に地層処分が可能な地質が広く存在
この評価結果を受け、NUMO設立（2000年）

安全評価 (NUMO)

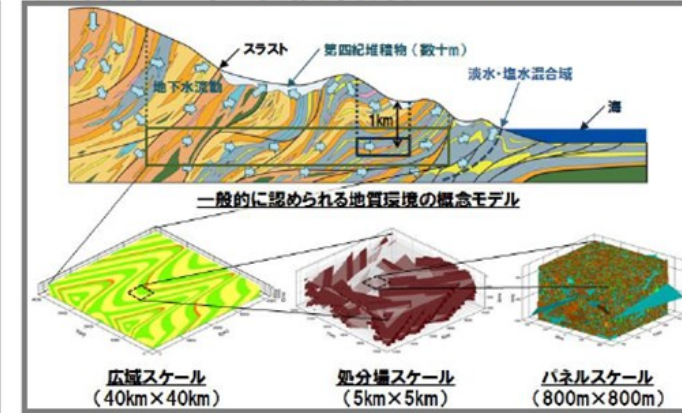
深成岩類 (モデル水質:2種類)



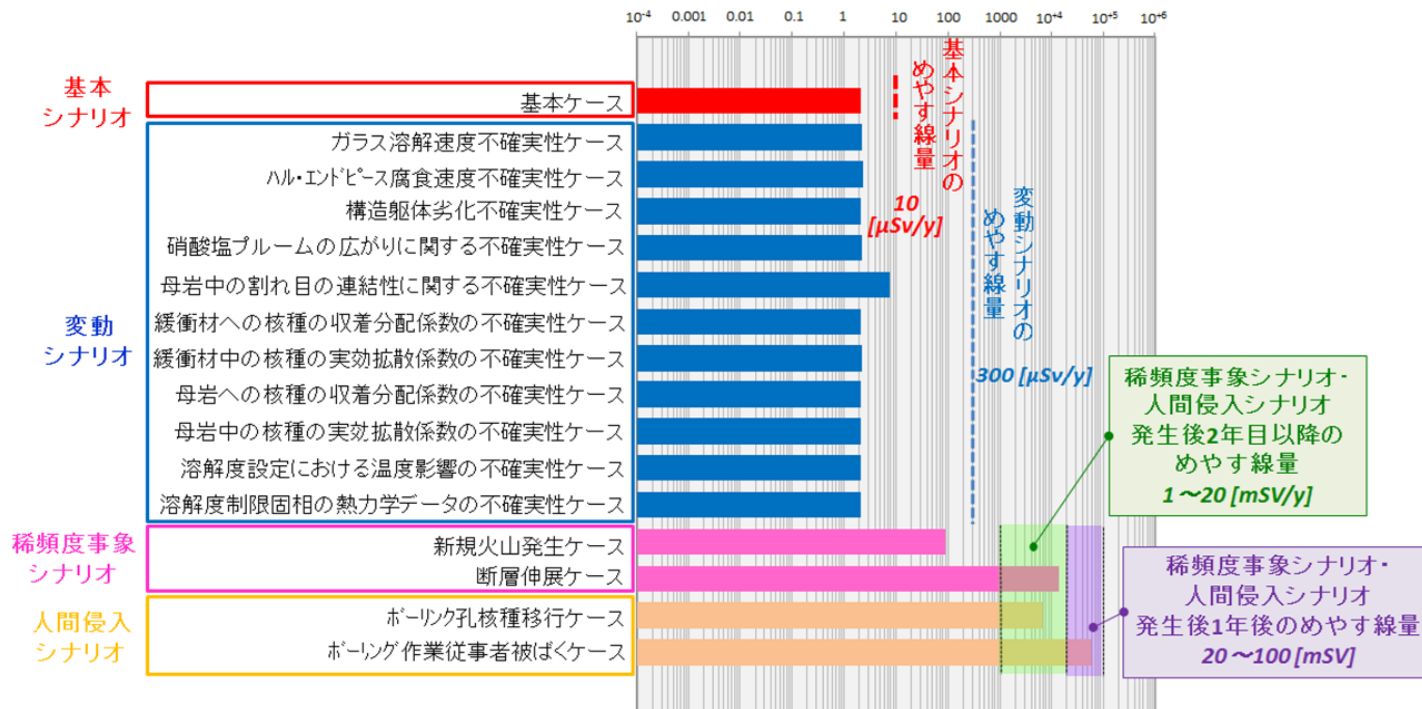
新第三紀堆積岩類(モデル水質:2種類)



先新第三紀堆積岩類(モデル水質:2種類)



最大線量 [$\mu\text{Sv/y}$]

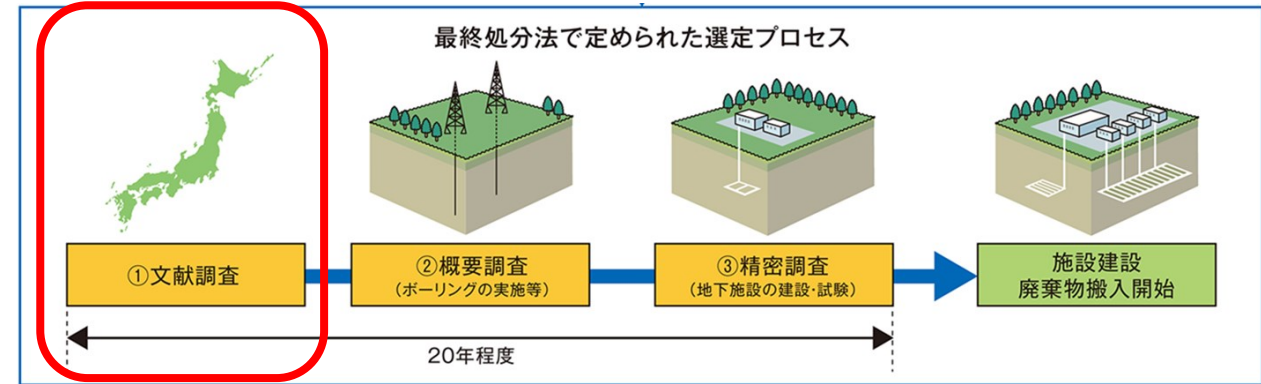


- 3つの代表的な地質環境モデルの下で様々な条件 (シナリオ) 下で安全評価
- 全てのケースで、年間の最大線量はシナリオごとのめやす線量に比べて低い

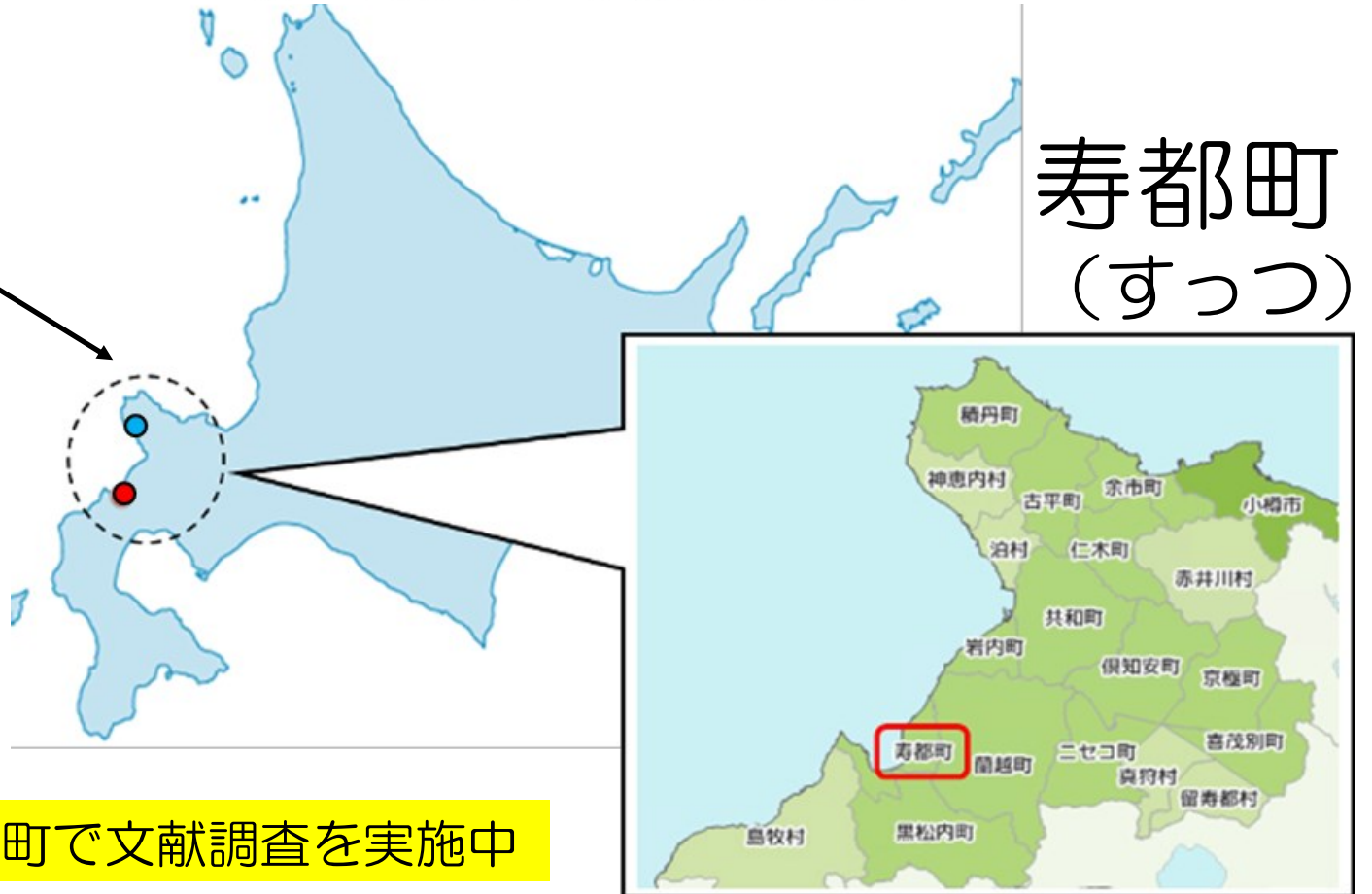
文献調査



神恵内村
(かもえない)



※各調査段階において、地元自治体の意見を聴き、これを十分に尊重する(反対の場合は次の段階に進まない)。



寿都町
(すっつ)

2020年より北海道神恵内村と寿都町で文献調査を実施中

文献調査地区における 聞き取り調査結果

現地調査の概要

- 2022年12月15日（木）～2022年12月18日（日）
- メンバー：松岡（代表）、松本、竹内（オンライン参加）、藤原、朱、任
- 訪問先：
 - NUMO 寿都交流センター
 - 寿都町役場・企画課
 - 神恵内村役場・企画振興課
 - 子どもたちに核のゴミのない寿都を!町民の会
 - 北大・竹田宣人先生（寿都町「対話の場」ファシリテーター）



寿都町の状況

<NUMO>

- 「対話の場」は寿都町とNUMOが共同で運営、メンバーは寿都町が指名
- 「対話の場」のメンバーから「一般の町民にも学ぶ機会を」などの声が挙がり、寿都町とNUMOで「勉強会」を立ち上げた
- 文献調査の終了時期は、日本で初めて行われているものでもあり、現時点で見通すことが出来ない

<町長発言>

- 勉強会や現場視察などに参加した住民の理解が進んだが、最初から反対する人たちの立場は変わらない
- ある程度理解が進んだ上で、住民投票
- 全国的な地層処分への関心も必要。2町村だけでは意味が無い

<住民団体>

- 町は分断状態である
- 「対話の場」の参加者は、ほとんど地層処分を積極的に思っている人である。対話の場も最近、地層処分に関する勉強より、交付金やまちづくりなどの議論をしている

<ファシリテーター>

- 第三者が対話の場に参加することにより、住民の発話に影響がある
- 個人名が残る会議の議事録のような記録の作成や公開が難しい
- 地域の振興などまちづくりの話題は、推進でも慎重な立場でも共通の関心事項であることに気づいた。それが立場を超えた対話の場のベースになるのではと考えている

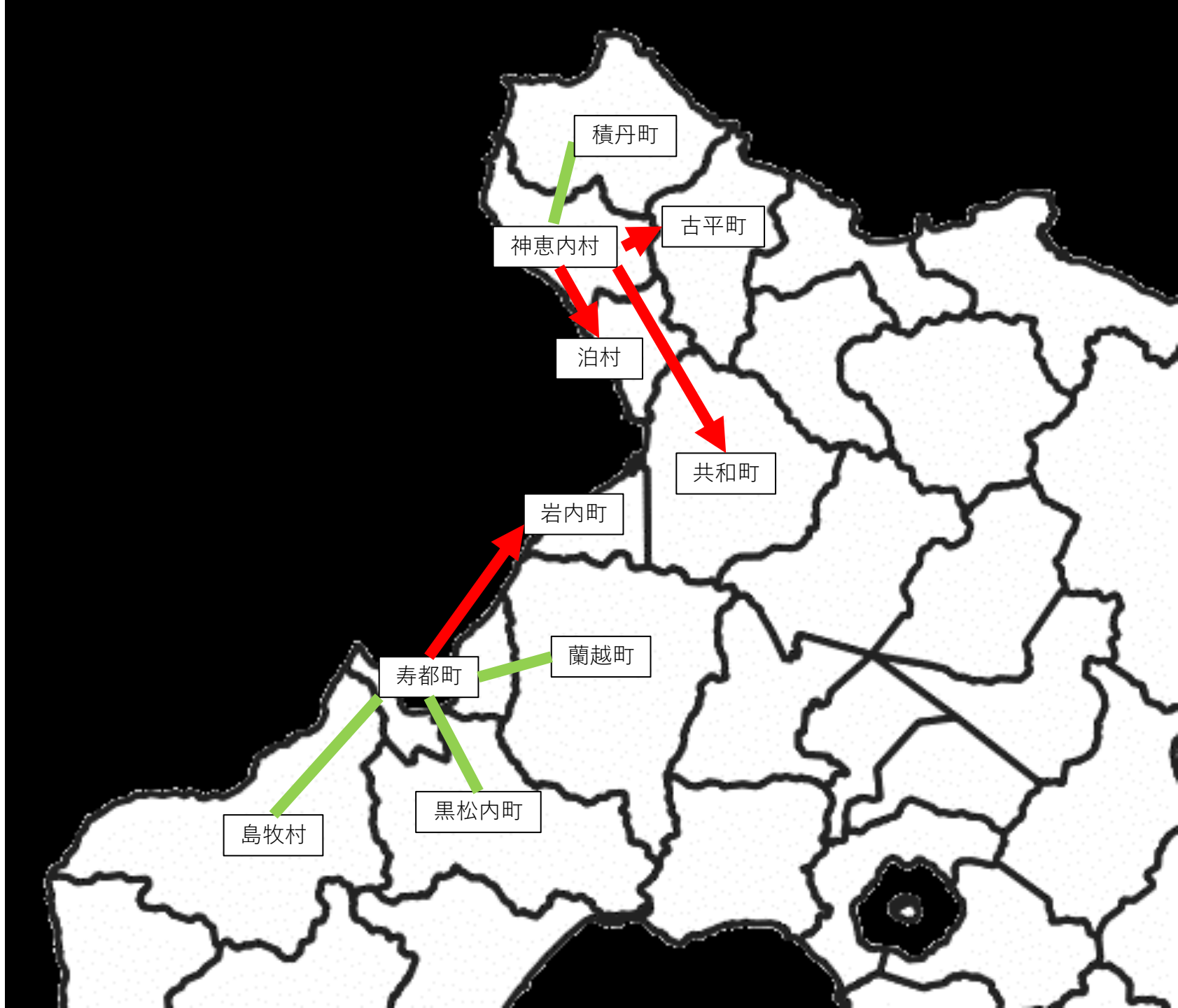
神恵内村の状況

＜村役場・企画振興課＞

- 対話の場は多様な世代、多様な立場を持つ19名のメンバーから構成。議員は遠慮してもらっている。公募メンバーもいる
- 毎回複数の傍聴の参加者もいる
- 対話の場はゲストスピーカーを招いたりして、場での議論が活発
- ファシリテーターの役割が重要
- 対話の場での議論が尽くされていなければ、村としては、対話の場を途中でやめるべきではないと思っている

神恵内村の交付金の使途

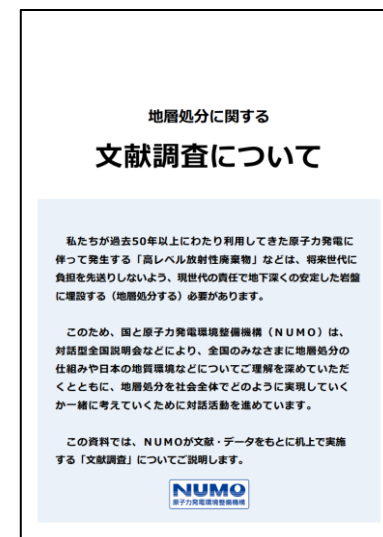
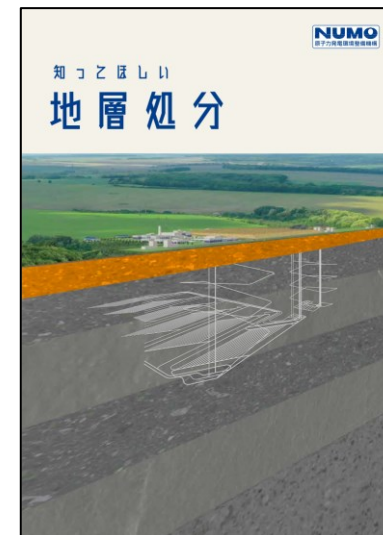
- 古平町、泊村、共和町へ4.5億円配分
(0.75億円×3町村×2カ年)
- 残りの15.5億円を基金に積み立て
- 基金の用途は、水産、地域交通、商工観光振興、保健医療、地域防災、公共用施設維持

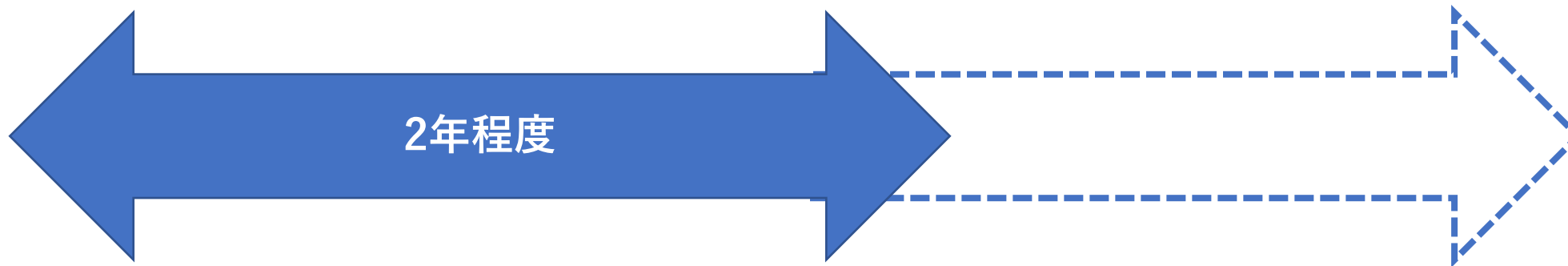


- 寿都町は、トップダウン型。神恵内村はボトムアップ型
- 「対話の場」の“終わり”が見通せない

「文献調査」の内容と期間

- 「文献調査」の期間は2年程度
(出所 NUMO 知ってほしい地層処分)
- 文献調査の内容(流れ)
 - 文献・データの収集
 - 文献・データに基づく評価
 - 報告書の作成／地域のみなさまへのご説明
 - 経済産業大臣への申請
 - 経済産業大臣から地元への意見照会
- (出所 NUMO 地層処分に関する文献調査について)





文献調査の進捗など地層処分事業についての情報を継続的に共有
(対話の場)

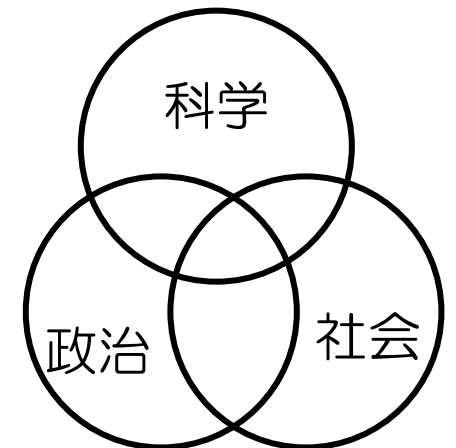
地域の皆様へ
のご説明

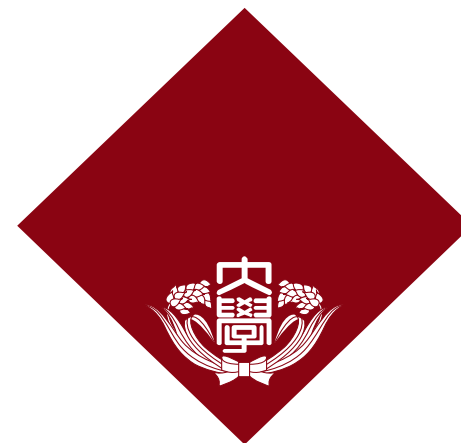


「対話の場」任せで良いのか

まとめ

- 文献調査は評価期間も含めると「2年程度」以上必要
- 文献調査結果の十二分な説明が必要
- ファシリテータの境界知作業者的な役割が重要
- 市民の科学リテラシーの醸成（地域独自で行う必要性は？）
- 不確実性の存在の認識（社会・政治）
- 科学者（専門家）の分かりやすく伝える努力の重要性
- 科学・政治・社会の友好的なコミュニケーション
による最適解の導出（松岡ほか2023）が必要
（右の共通部分を広げていく努力）





第12回 原子力政策・福島復興シンポジウム

「東日本大震災と福島原発事故から12年～ 原発回帰政策と福島原発事故の教訓～」

歴史の教訓を学ぶことの難しさと「原発回帰政策」

松岡 俊二

早稲田大学レジリエンス研究所(WRRI)所長

早稲田大学ふくしま浜通り未来創造リサーチセンター長

早稲田大学国際学術院・大学院アジア太平洋研究科教授

smatsu@waseda.jp

2023年3月1日



松岡 俊二

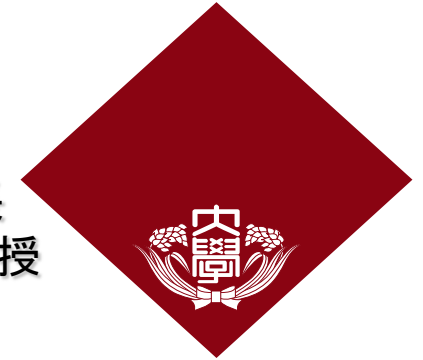
1F廃炉の先研究会代表

早稲田大学レジリエンス研究所(WRRI) 所長

早稲田大学ふくしま浜通り未来創造リサーチセンター長

早稲田大学国際学術院・大学院アジア太平洋研究科 教授

smatsu@waseda.jp



1957年、兵庫県豊岡市生まれ

1980年から京都大学大学院で地域開発政策を学ぶ

1988年から20年間、広島市に暮らし、広島大学で教える

2007年、箱根の関を越えて東京・新宿に暮らし、早稲田大学で教える

2011年3月より、福島原発事故研究・福島復興研究を始めて12年になる



モンゴル・ゴビ地域調査(環境省・砂漠化対処事業: 2022年8月22日～31日)

2011年3月11日と3月12日

私はスリランカに滞在し、BBC国際放送TVで東日本大震災と福島原発事故を見ていた。東京に戻り、卒業式・入学式が中止され、4月の講義も延期となるなかで、『フクシマ原発の失敗』という本を執筆した。

1F事故の教訓: 本当に大切な問題、本当に大事なことを、一部の専門家や政府だけに任せてはいけない。



GX「原発回帰政策」の6つの「問い」

1. 気候変動問題やウクライナ侵略戦争と原子力発電の利用と関係をどのように考えるのか？
2. 次世代革新炉の革新性と経済性や安全性をどのように考えるのか？
← 長崎報告
3. バックエンド問題（核燃料サイクル、廃炉、最終処分）の解決はどのようにすれば可能なのか？ ← 竹内・松本報告
4. 原子力規制委員会（NRA）の独立性と透明性の確保をどのように考えるのか？
5. 福島原発事故や福島原子力災害の教訓と「原発回帰政策」との関係をどのように考えるのか？
6. 1F廃炉のエンド・ステート（or 中間ステート）が不明確な状況と「原発回帰政策」との関係をどのように考えるのか？

エネルギー政策転換・「原発回帰政策」の背景

世界の状況

- ・ロシアによるウクライナ侵略戦争(2022年2月24日～)
エネルギー価格高騰・需給逼迫リスク、* 核戦争リスク
- ・気候変動対策 :2050年にカーボン・ニュートラル(CN)達成、1.5度目標
- ・VUCAな時代

(Volatility, Uncertainty,
Complexity, Ambiguity)

ウクライナ情勢をめぐる国連総会決議の投票結果

趣旨	採択日	賛成	反対	棄権	不投票
侵略行為を非難	2022年3月2日	141	5	35	12
人道状況に懸念	3月24日	140	5	38	10
人権理の資格停止	4月7日	93	24	58	18
領土併合を非難	10月12日	143	5	35	10
ロシアに賠償要求	11月14日	94	14	73	12
即時撤退など要求	23年2月23日	141	7	32	13

日本の状況

- ・2022年6月17日 最高裁判決:1F事故、国の責任認めず
- ・2022年7月10日 参議院選挙投票
- ・新型コロナ問題の収束
- ・電気料金の値上げ(東京電力ではこの1年で36%上昇)
- ・気候変動対策(2030年度に、2013年度比で43%削減の目標)
- ・「失われた30年」:人口減少と財政赤字

日本のエネルギー政策の推移

2002年6月 エネルギー政策基本法

安定供給の確保、環境への適合、市場原理の活用

(2003年10月:第1次、2007年3月:第2次、2010年6月:第3次基本計画)

2014年4月 第4次エネルギー基本計画

再エネの拡大(20%を上回る)

原子力発電は可能な限り低減、安全最優先の再稼働

原子力発電はベースロード電源

2018年7月 第5次エネルギー基本計画

再エネを主力(2030年度:22~24%)

原子力は依存度低減、安全最優先の再稼働

原子力発電は重要電源(2030年度:20~22%)

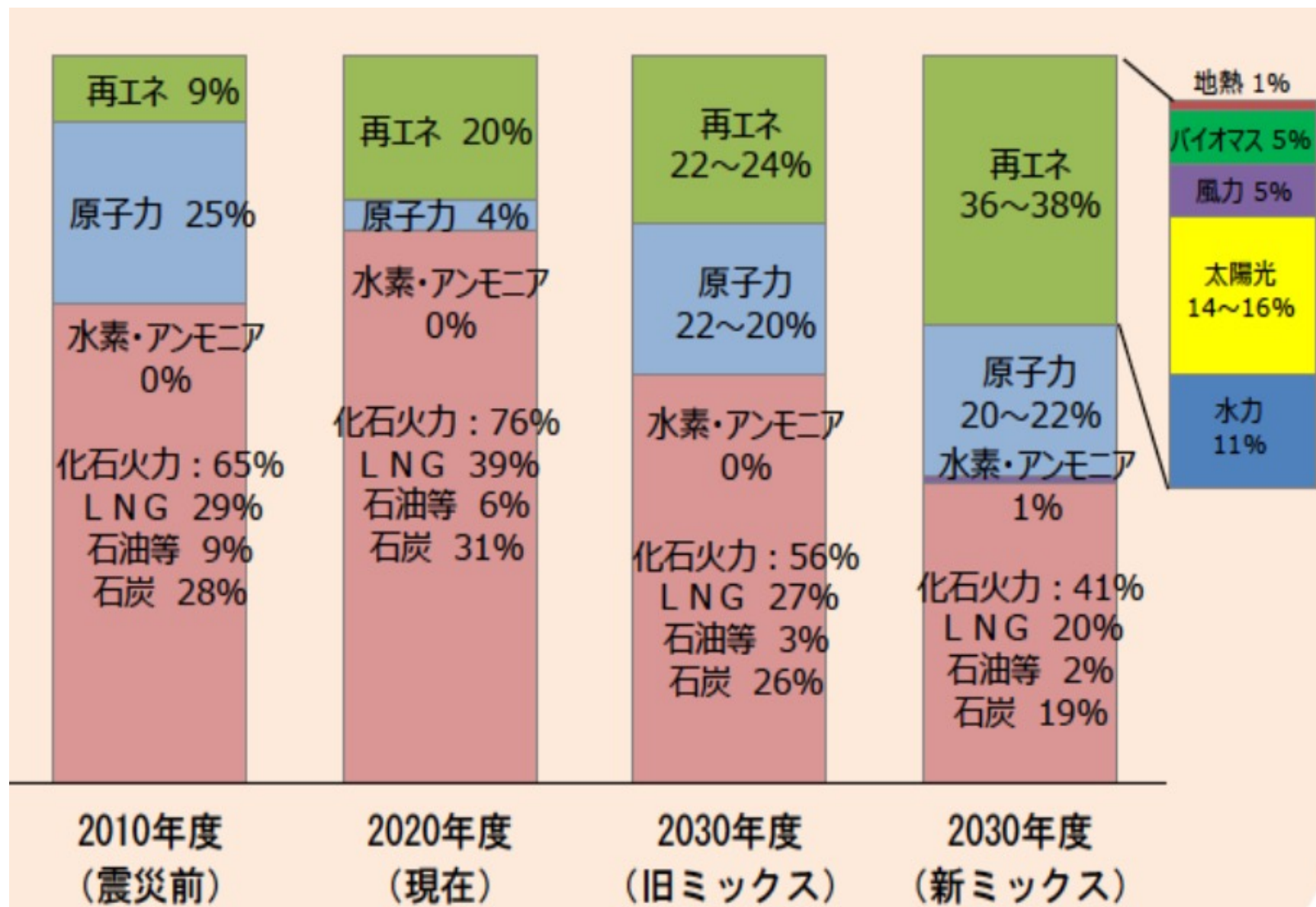
2021年10月 第6次エネルギー基本計画

2050年にCN達成、2030年度に46%削減(2013年度比)

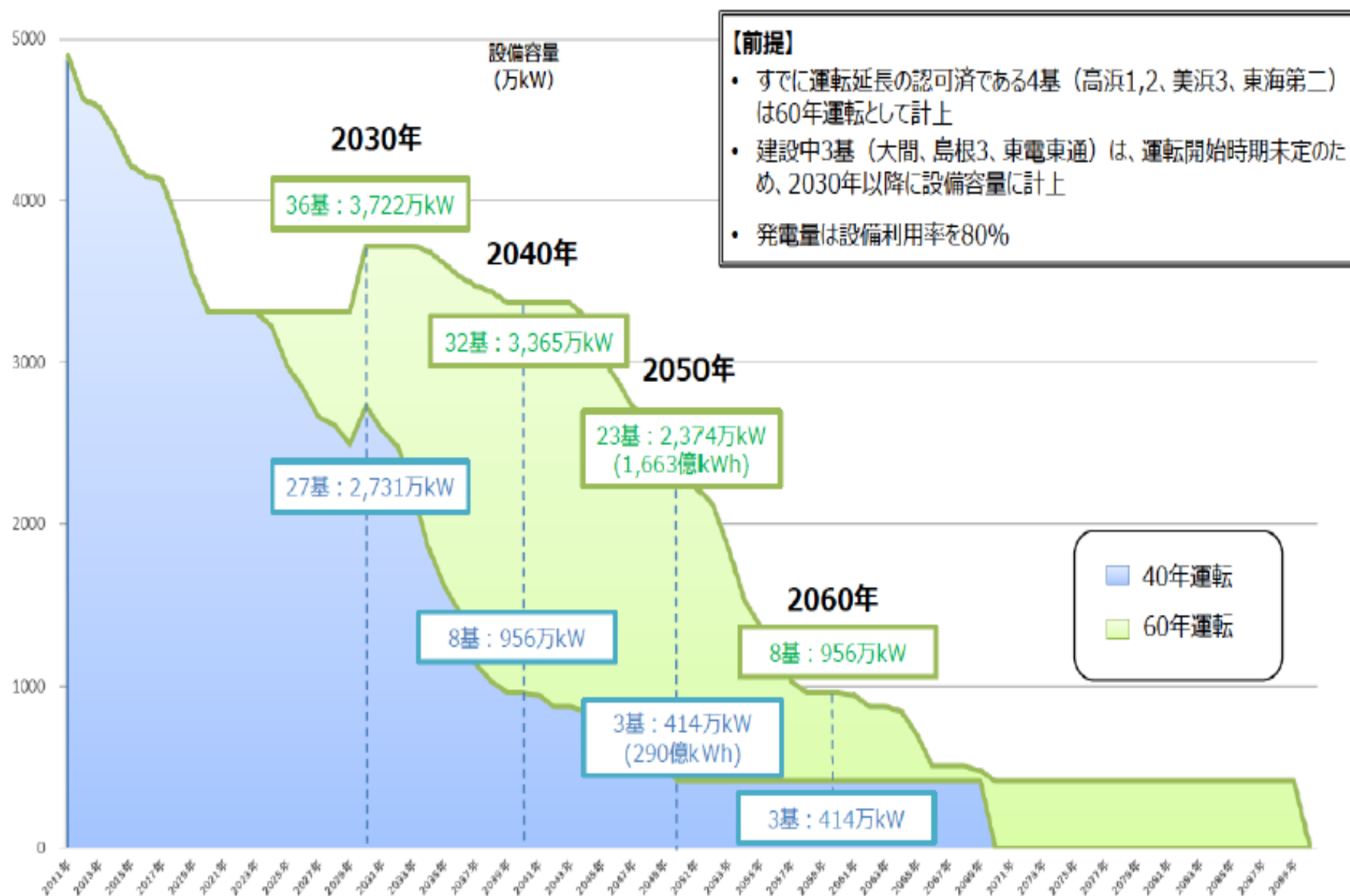
再エネ(2030年度:36~38%)

原子力は安定的な利用を促進(2030年度:20~22%)

日本の電源構成の推移：1F事故の前後と2030年度



2030年以降に原子力比率20-22%を維持するには？



「原発回帰政策」の形成プロセス

経済産業省

- ・ 2022年4月20日

経済産業省 総合資源エネルギー調査会

電力・ガス事業分科会 原子力小委員会・第1回革新炉ワーキンググループ

- ・ 2022年7月1日 第3回革新炉ワーキンググループ

次世代原子力発電所の技術開発工程表(技術ロードマップ)(案)の検討

- ・ 2022年8月9日 経済産業省総合・資源エネルギー調査会・原子力小委員会

次世代原子力発電所の技術開発工程表(技術ロードマップ)(案):改良型軽水炉、小型モジュール炉(SMR)、高速炉、高温ガス炉(HTGR)、核融合炉

GX実行会議(内閣府)

- ・ 2022年7月27日 第1回会議
- ・ 8月24日 第2回会議 「原発回帰政策」の素案

日本のエネルギーの安定供給の再構築:脱炭素とエネルギー安全保障の両立

- ・ 12月22日 第5回会議 GX「基本方針」(案)

原子力関係閣僚会議

- ・ 2022年12月23日 第10回会議 GX「基本方針」決定

内閣・閣議

- ・ 2023年 2月10日 GX「基本方針」閣議決定

GX実行会議とは何か？

2022年7月27日 第1回GX実行会議(初会合)

岸田首相発言: エネルギー市場の混乱や電力・ガスの需給逼迫の懸念などに触れ「1973年の石油危機以来のエネルギー危機が危惧される。再生可能エネルギー、蓄電池、省エネの最大限導入のための制度的支援策や原子力発電所の再稼働とその先の展開策など政治の決断が求められる項目を明確に示してもらいたい」

1. 趣旨

「産業革命以来の化石燃料中心の経済・社会、産業構造をクリーンエネルギー中心に移行させ、経済社会システム全体の変革、すなわち、GX(グリーントランスフォーメーション)を実行するべく、必要な施策を検討するため、GX 実行会議(以下「会議」という。)を開催する」

2. 構成

議長: 内閣総理大臣、副議長: GX実行推進担当大臣、内閣官房長官

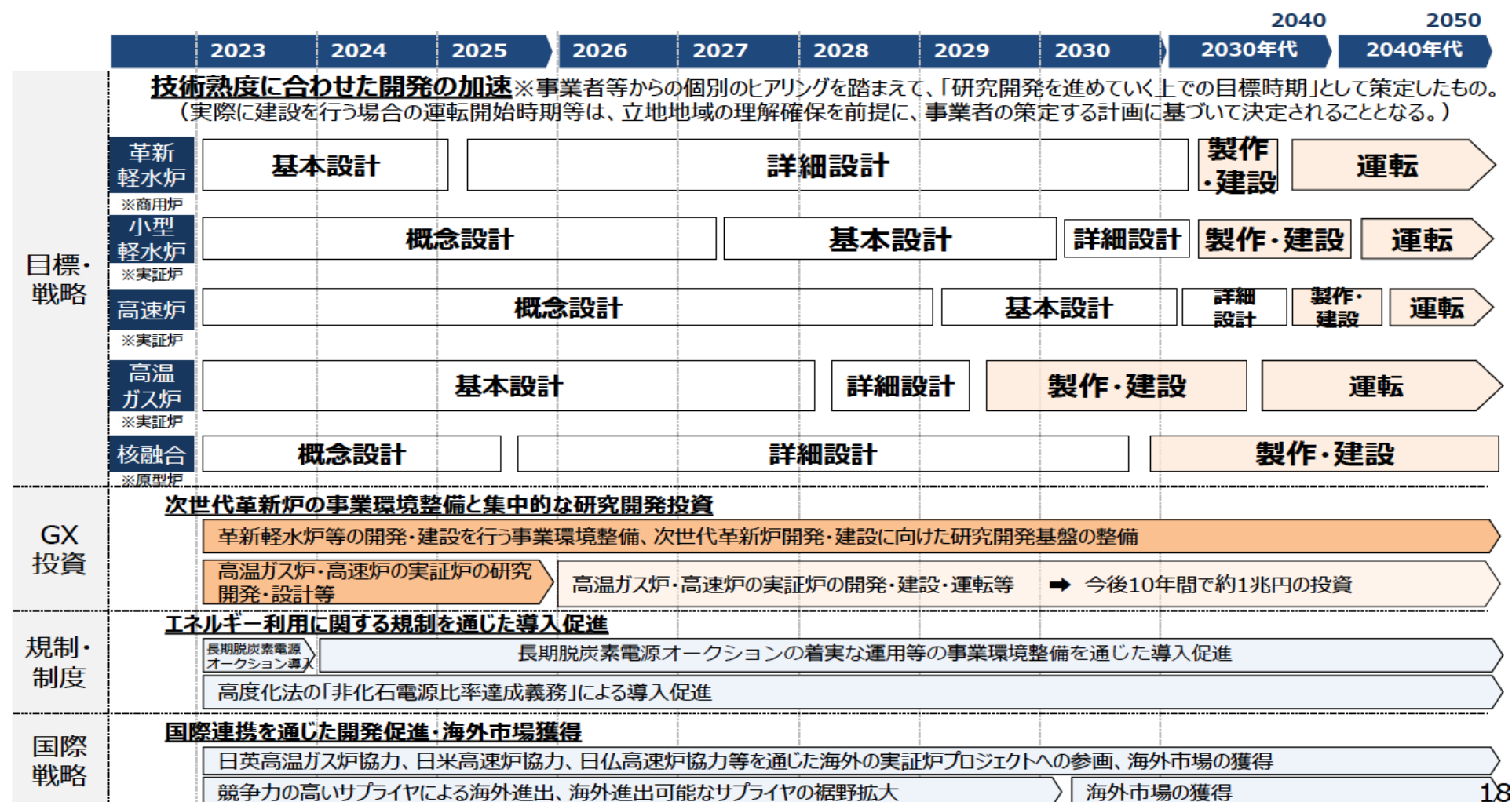
構成員: 外務大臣、財務大臣、環境大臣及び別紙に掲げる有識者

淡路 睦(株式会社千葉銀行取締役常務執行役員)、伊藤 元重(国立大学法人東京大学名誉教授)、岡藤 裕治(三菱商事エナジーソリューションズ株式会社代表取締役社長)、勝野 哲(中部電力株式会社代表取締役会長)、河野 康子(一般財団法人日本消費者協会理事)、小林 健(日本商工会議所特別顧問、三菱商事株式会社相談役)、重竹 尚基(ボストンコンサルティンググループManaging Director & Senior Partner)、白石 隆(公立大学法人熊本県立大学理事長)、杉森 務(ENEOSホールディングス株式会社代表取締役会長)、竹内 純子(特定非営利活動法人国際環境経済研究所理事・主席研究員)、十倉 雅和(一般社団法人日本経済団体連合会会長)、林 礼子(BofA 証券株式会社取締役副社長)、芳野 友子(日本労働組合総連合会会長)

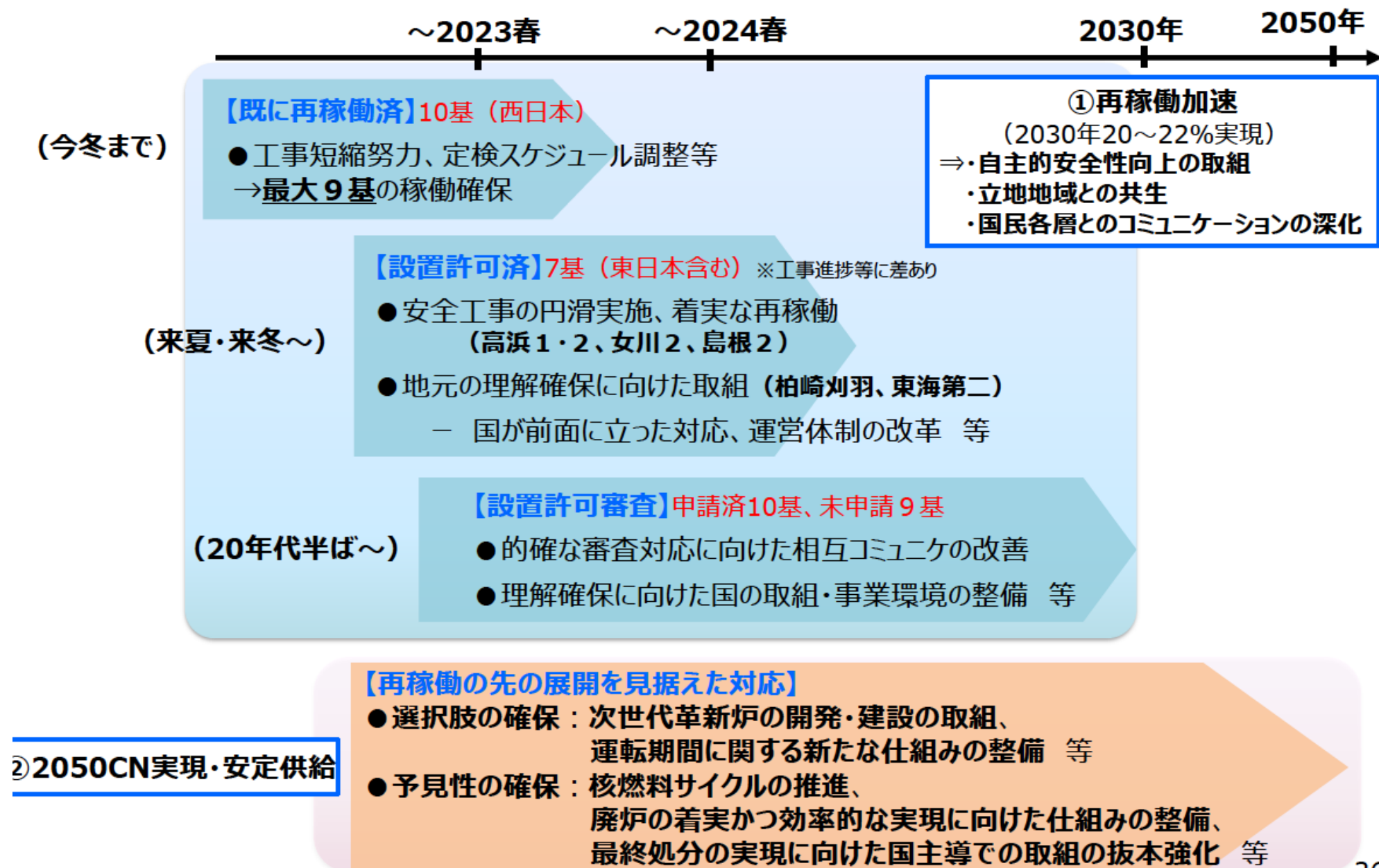
2022年12月22日：第5回GX実行会議：資料2「基本方針」

【今後の道行き】 事例 16：次世代革新炉

- 安全性の確保を大前提として、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設に取り組む。



原子力政策の今後の進め方



2022年12月23日：第10回原子力関係閣僚会議「資料3-1」

今後の原子力政策の方向性と行動指針（案）の概要

●「第六次エネルギー基本計画」、「原子力利用に関する基本的考え方」に則り、GX実行会議における議論等を踏まえ、今後の原子力政策の主要な課題、その解決に向けた対応の方向性、関係者による行動の指針を整理する。これに基づき、今後の取組を具体化する。

再稼働への 総力結集 (自主的安全性の向上)	既設炉の 最大限活用 (運転期間の取扱いに関する 仕組みの整備)	次世代革新炉 の開発・建設 (開発・建設に向けた方針)	バックエンド プロセス加速化 (核燃サイクルの推進)	サプライチェーンの 維持・強化 (国内のサプライチェーンの 維持・強化)	国際的な共通課題 の解決への貢献 (国際連携による研究開発促 進やサプライチェーン構築等)
「安全神話からの脱却」を不断に問い直す →事業者が幅広い関係者と連携した安全マネジメント改革 (立地地域との共生) - 地域ごとの実情やニーズに即した対応の強化 →将来像共創など、地域ニーズに応じた多面的支援・横展開 - 防災対策の不断の改善、自治体サポートの充実・強化 →実効的な意見交換・連携の枠組み構築と支援の強化等 (国民各層とのコミュニケーション) - 一方通行的な情報提供にとどまらない、質・量の強化・充実、継続的な振り返りと改善検討 →目的や対象の再整理、コンテンツ・ツールの多様化・改善	- 原子力規制委員会による安全性の確認がなければ、運転できないことは大前提 - 利用政策の観点から、運転期間に関する枠組みを整備 →地域・国民の理解確保や制度連続性等にも配慮し、期間上限は引き続き設定 →エネルギー供給の「自己決定力」確保、GX「牽引役」、安全への不断の組織改善を果たすことを確認した上で、一定の停止期間についてはカウントから除外 →理解確保や研究開発の進展、国際基準の動向等も継続評価し、必要に応じた見直し実施を明確化 (設備利用率の向上) - 安全性確保を大前提に、自己決定力やGX等に貢献 →規制当局との共通理解の醸成を図りつつ、運転サイクルの長期化、運転中保全の導入拡大等を検討	- 原子力の価値実現、技術・人材維持・強化に向けて、地域理解を前提に、次世代革新炉の開発・建設に取り組む →まずは廃止決定炉の建て替えを対象に、バックエンド問題の進展も踏まえつつ具体化 →その他の開発・建設は、再稼働状況や理解確保等の進展等、今後の状況を踏まえ検討 (事業環境整備のあり方) - 原子力の価値実現に向けた次世代革新炉への投資促進 →実証炉開発への政策支援 →収入安定化に資する制度措置の検討・具体化等 (研究開発態勢の整備) - 官民のリソースを結集して、実効的な開発態勢を整備 →将来見通しの明確化・共有、プロジェクトベースでの支援、「司令塔機能」の確立等 →米英仏等との戦略的な連携による自律的な次世代革新炉の研究開発の推進 →核融合の戦略策定、関連産業の育成、研究開発の加速 (基盤インフラ整備・人材育成等) - 次世代革新炉の研究開発や、そのための人材育成の基礎を構築 →基盤的研究開発やインフラ整備に対する必要な支援の加速 - 医療用ラジオアイソトープの国内製造や研究開発の推進等 →JRR-3や常陽を用いた製造 →研究炉・加速器による製造のための技術開発支援	- 再処理工場竣工目標の実現、プルサーマル推進や使用済燃料貯蔵能力拡大への対応を強化 →事業者と規制当局とのコミュニケーション 緊密化等、安全審査等への確実・効率的な対応 →事業者が連携した地元理解に向けた取組強化、国による支援・主体的な対応 (廃炉の円滑化) - 着実・効率的な廃炉の実現、クリアランス物利用の理解促進 →知見・ノウハウの蓄積・共有や資金の確保等を行う制度措置 →クリアランス物の理解活動強化、リサイクルビジネスとの連携 (最終処分の実現) - 事業の意義、貢献いただく地域への敬意等を社会に広く共有、国の主体的取組を抜本強化 →情報提供の強化をはじめ、国主導での理解活動の推進 →NUMO・事業者の地域に根ざした理解活動の推進 →技術基盤の強化、国際連携の強化	- 企業の個別の実情に応じたハンズオンで積極的なサポート等、支援態勢を構築 →国による技能継承の支援、大学・高専との連携による現場スキルの習得推進等、戦略的な人材の確保・育成 →プラントメーカーとの連携・地方経済産業局の活用による、部品・素材の供給途絶対策、事業承継支援等へのサポート (海外プロジェクトへの参画支援) - 技術・人材の維持に向けて、海外での市場機会の獲得を官民で支援 →海外プロジェクトへの参画を目指す官民連携チーム組成、実績・強みの対外発信等 →関係組織の連携による海外展開に向けた積極的な支援	- 主要国が共通して直面する当面の課題に貢献 →G7 会合等を活用した国際協力の更なる深化 →サプライチェーンの共同構築に向けた戦略提携 →米英仏等との戦略的な連携による自律的な次世代革新炉の研究開発の推進 (原子力安全・核セキュリティの確保) - ウクライナを始め、世界の原子力安全・核セキュリティ確保に貢献 →ウクライナに対するIAEAの取組支援、同志国との連携による原子力導入の支援等 →原子力施設の安全確保等に向けた国際社会との連携強化

「原発回帰政策」に対する世論の動向

朝日新聞・調査: 2022年8月27-28日、998人

原発回帰政策: 賛成 34%、反対 58%

日本経済新聞・調査: 2022年9月16-18日、957人

原発回帰政策: 評価する 53%、評価しない 38%

NHK・調査: 2022年12月9-11日、1,234人:

原発回帰政策: 賛成 45%、反対 37%

福島民報・福島テレビ: 2022年12月17日、761人

原発回帰政策: 評価する 38.8%、評価しない 52.7%

JNN・調査: 2023年1月、1,225人

原発回帰政策: 賛成 46%、反対 40%

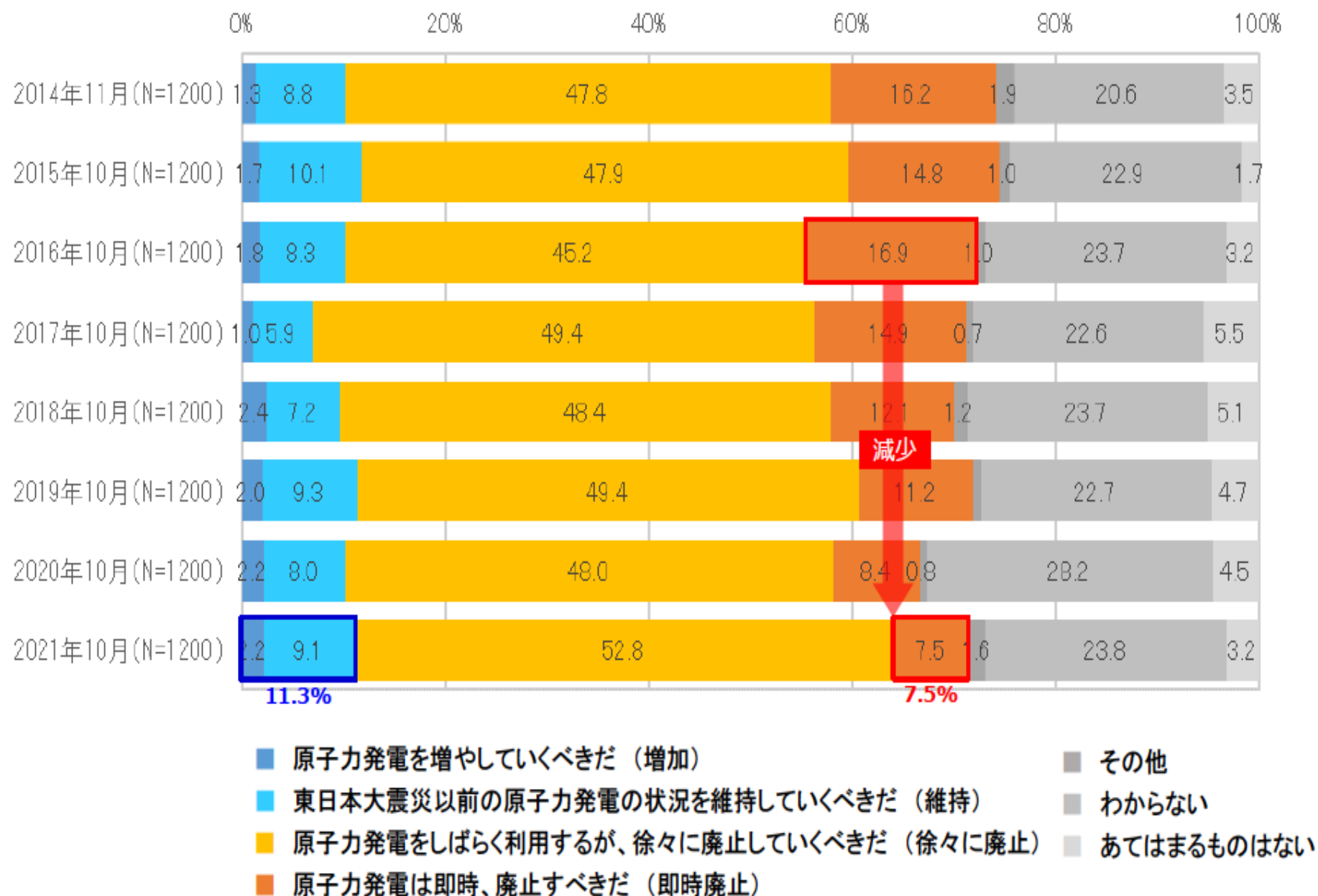
朝日新聞・調査: 2023年2月18-19日、1,181人

原発回帰政策: 賛成 45%、反対 46%

原発再稼働 : 賛成 51%、反対 42%

←「震災後初めて賛否が逆転」

今後日本は、原子力発電をどのように利用していけば良いか



G7諸国の原子力政策の動向

イギリス

2022年4月「エネルギー安全保障戦略」発表

北海の石油・天然ガス開発、再生可能エネルギー（洋上風力発電：現在の1,100万kWから、2030年には5,000万kWへ。太陽光発電も現在の1,400万kWを35年には7,000万kWへ）の利用拡大計画。原子力発電は、**現在の9基、650万kW、発電比率15%を50年までに**、欧州加圧水型軽水炉（EPR）を中心に、一部SMRも含め、**8基建設し、2,400万kW、発電比率25%へ**。水素エネルギー戦略も含め、**現在の再エネ・新エネ発電割合40%を70%まで引き上げる**。

フランス

2022年2月 エネルギー戦略

「**再生エネ**は『電力需要の増大に直ちに応えられる唯一のエネルギー源』と位置づけ、**30年までに発電量を倍増**すると表明」、「50年までに太陽光発電の出力を現在の10倍近い1億キロワット以上とする。洋上風力発電を50カ所以上で展開し、出力を4000万キロワットに高める」。「**原発への新規投資凍結から推進へと政策転換するにあたり、『国民の広い同意を得る必要がある』として、22年後半に議論の場を設ける**」、「フランスでは使用済み核燃料の地層処分候補地が北東部ミューズ、オートマルヌ両県にまたがる地点に絞られ、20年来の課題が解決に近づいた。「**原発の建設推進によってプラス材料の一つになった**」とフランス原子力・代替エネルギー庁のゴルク長官付上級技術顧問はみる」。

どのように「復興と廃炉の両立」を可能にするのか



「中長期ロードマップ」と1F廃炉

1. 『中長期ロードマップ』 (第5回改訂版, 2019年12月 27日)

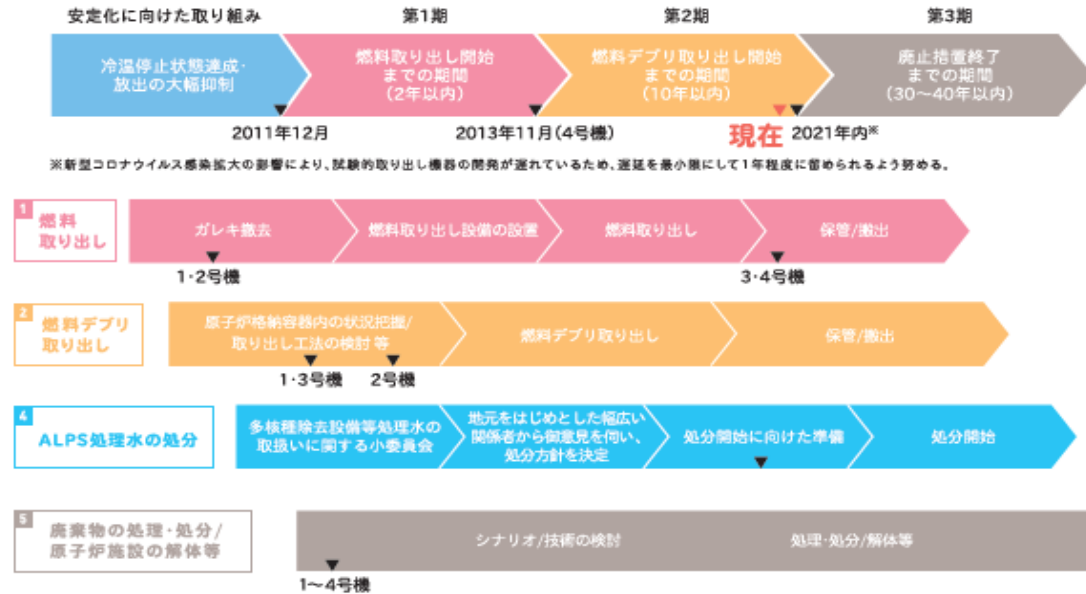
【第2期】第1期終了～初
号機の燃料デブリ取り出し
開始まで(目標はステップ2
完了から10年以内)

【第3期】第2期終了～
廃止措置終了まで(目標は
ステップ2完了から30～40
年後)

2. 『廃炉の大切な話 2022』

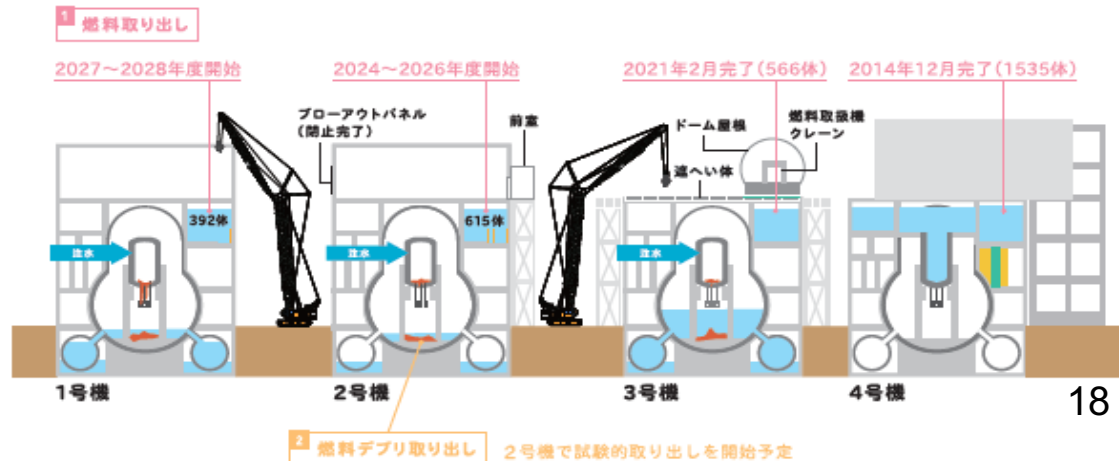
廃炉全体の工程

廃炉作業は、30～40年かけて安全、着実にやっていきます。



各号機の状況

各号機ごとに状況が異なるため、対策の実施方法や進捗状況は様々です。



1Fの1号機(46万kW)、2号機(78.4万kW)、 3号機(78.4万kW)のデブリ量の推定

	1号機	2号機	3号機	合計
燃料集合体数(体)	400	548	548	1496
集合体重量(トン)	約120	約164	約164	約448
核燃料重量(トン)	約69	約94	約94	約257
推定デブリ重量重量(トン)	約279	約237	約364	約880

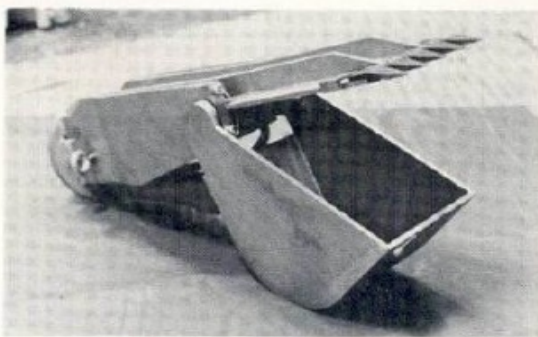
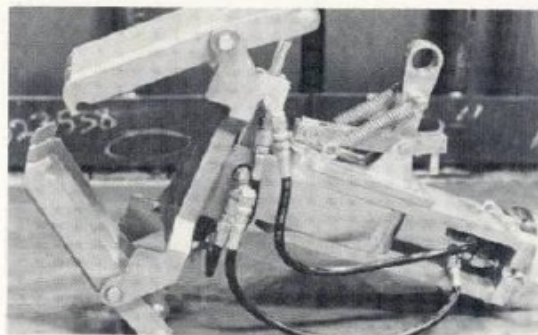
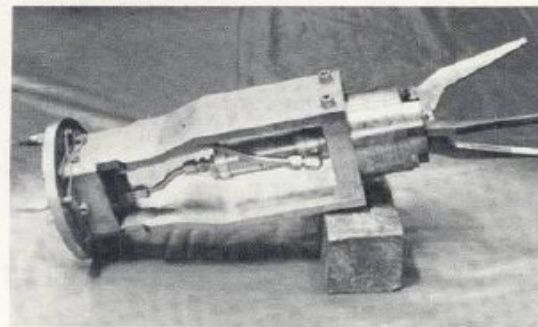
ton

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

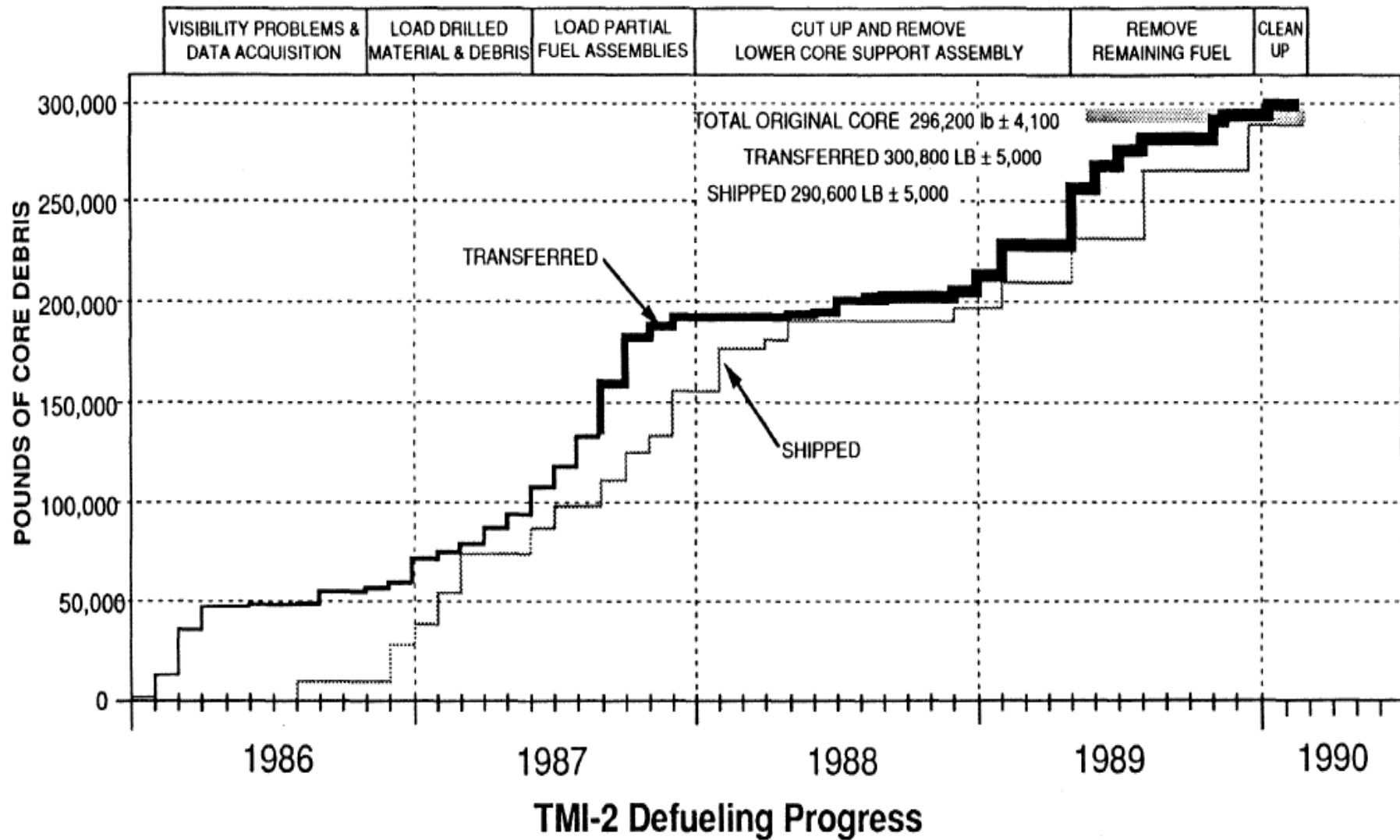
L1：放射能レベルが比較的高い廃棄物 L2：放射能レベルが比較的低い廃棄物 L3：放射能レベルが極めて低い廃棄物

アメリカのTMI-2の「デブリ取り出し」作業と工具



TMI-2の「デブリ取り出し」プロセス

1985年10月30日～1990年1月30日(4年3ヶ月)



TMI-2の「デブリ取り出し」と1Fの「デブリ取り出し」

EPRI (1990), *The Cleanup of Three Mile Island Unit 2: A Technical History: 1979 to 1990*, 382 pp.

GPU Nuclear (1990), *TMI-2 Defueling Completion Report*, 282 pp.

1. TMI-2(PWR, 96万kW)の「デブリ取り出し」

「デブリ取り出し」作業：1985年10月30日～1990年1月30日（4年3ヶ月）

取り出したデブリの量：296,200ポンド（134,354kg）

残ったデブリの量：1,125kg（核燃料：900kg）

年間労働日を260日（21.7日/月）と仮定すると

1日当たりの「デブリ取り出し」量は、 $134,354\text{kg} \div 1,105\text{日} = 121.6\text{kg/日}$

2. 1Fの「デブリ取り出し」年数の推定

1Fデブリ量を880tと仮定、 $880,000\text{kg} \div 121.6\text{kg/日} = 7,237\text{日}$ （28年）

ロボットアーム1回/日で50kgと仮定、 $880,000\text{kg} \div 50\text{kg/日} = 17,600\text{日}$ （68年）

ロボットアーム1回/日で20kgと仮定、 $880,000\text{kg} \div 20\text{kg/日} = 44,000\text{日}$ （170年）

福島・被災12市町村・帰還の状況（2022年12月1日現在、10月31日現在）

飯館村：震災当時人口：6,509人、現在：4,840人、居住者：1,508人、**帰還率 31.2%**
避難者数：3,329人（県内：3,166人、県外：163人）

浪江町：震災当時人口：21,434人、現在：15,672人、居住者：1,932人、**帰還率 12.3%**
避難者数：19,593人（県内：13,623人、県外：5,970人）
住民意向（2019/10）：帰還したい：11.4%、判断がつかない：26.1%、帰還しない：54.9%

双葉町：震災当時人口：7,140人、現在：5,565人、居住者：30人、**帰還率 0.5%**
避難者数：6,771人（県内：3,933人、県外：2,713人）

大熊町：震災当時人口：11,505人、現在：10,029人、居住者：397人、**帰還率 4.0%**
避難者数：9,632人（県内：7,754人、県外：1,878人）

富岡町：震災当時人口：15,960人、現在：12,114人、居住者：1,594人、**帰還率 13.2%**
避難者数：10,608人（県内：8,524人、県外：2,084人）（＊2018/10/4）

楢葉町：震災当時人口：8,011人、現在：5,995人、町内居住者：4,277人、**帰還率 71.3%**

広野町：震災当時人口：5,490人、現在：4,731人、町民居住者：4,264人、**帰還率 90.1%**
（町民居住者＋滞在者：5,832人）

福島原発事故の教訓とは何か？

Étude de cas

Prévenir le risque nucléaire au Japon

Question clé Comment prévenir les risques nucléaires depuis la catastrophe de Fukushima ?

A Fukushima : quand le risque devient



1 La catastrophe nucléaire de Fukushima, 11 mars 2011

VOCABULAIRE

- Catastrophe**
Réalisation d'un risque entraînant des dégâts matériels et/ou humains.
- Prévention**
Ensemble des mesures prises pour limiter les effets destructeurs d'un risque, avant et après la catastrophe.
- Risque**
Danger potentiel qui menace un groupe humain.
- Risque technologique**
Risque généré par les activités humaines (industrie, énergie et transport).

SOCLE Connaissances

3 Fukushima, une région contaminée

Des milliers d'hommes ratissent encore les sols, raclent la terre, ramassent les feuillages, arrosent des toits et bâtiments, dans l'espoir de faire baisser les taux de radioactivité. Les taux de radioactivité¹ ont baissé depuis l'accident nucléaire de 2011. Mais c'est avant tout du fait de la désintégration naturelle². Une zone nettoyée peut très vite se retrouver souillée à nouveau. Les pluies lessivent régulièrement les sols contaminés, emportant une partie des matières radioactives vers les cours d'eau, les transportant des montagnes vers les vallées et, parfois, la mer. La population doit rester vigilante : par exemple, éviter de manger champignons, fruits des bois ou gibiers, très contaminés.

1. Rayon qui s'échappe du noyau d'un atome. À forte dose, la radioactivité devient très dangereuse.
2. Destruction naturelle des atomes, particules, y compris radioactifs.



4 Une pollution invisible mais bien présente

La ville « fantôme » de Futaba voisine de la centrale nucléaire de Fukushima. En 2014, une personne en charge de la décontamination passe devant une banderole qui s'est inscrite : « L'énergie nucléaire : pour un meilleur futur ».

Étude de cas

B Limiter le risque nucléaire depuis Fukushima



5 Réduire le risque à sa source

6 Distribution d'iode aux riverains

De nouvelles précautions ont été prises pour protéger les populations proches de centrales nucléaires. L'iode¹ distribué doit diminuer les risques de cancer en cas d'accident. Au Japon, cette distribution fait partie des nouvelles mesures décidées par l'Autorité de régulation nucléaire (NRA) et mises en place après l'accident de Fukushima. Des dizaines de milliers de personnes avaient quitté leur maison, fuyant parfois dans des lieux encore plus affectés par la pollution radioactive. Distribuer au préalable de l'iode stable, c'est reconnaître un risque d'accident, ce que les autorités japonaises refusaient de faire pour ne pas effrayer les populations.

1. Substance chimique qui bloque les particules radioactives dans l'organisme.

8 Des limites à la prévention

Le gouvernement entretient soigneusement l'idée d'un retour possible et tend à rouvrir progressivement les zones qui étaient interdites à l'habitation. La communication sur le risque a permis [...] d'éduquer aux risques sanitaires pour mieux rassurer, par le biais, par exemple, de la distribution de manuels scolaires apprenant à gérer la vie dans un environnement contaminé.

Le programme Ethos Fukushima vise à apprendre aux habitants à gérer leur quotidien dans un environnement contaminé, la migration étant jugée trop coûteuse. Ce programme a également pour but de relancer l'économie dans les régions touchées par la catastrophe, en incitant à la consommation de produits alimentaires issus des zones contaminées. Cette politique de communication va très loin dans la manipulation des esprits.

Article de Louise Lié paru dans le dossier « Le Japon, quatre ans après Fukushima », CNRS, Le Journal, n° 316, printemps 2015.



9 Exercice de prévention dans une école de Tokyo, 1^{er} septembre 2014

Dans tout le Japon, depuis 1923, le 1^{er} septembre est la « Journée de prévention des catastrophes » en souvenir du séisme du Kanto, qui avait tué plus de 100 000 personnes.

Activités

Question clé Comment prévenir les risques nucléaires depuis la catastrophe de Fukushima ?

ITINÉRAIRE 1

- Je comprends le sens général des documents
- Doc 5. Comment l'état japonais a-t-il réduit le risque nucléaire au Japon ?
- Doc 6, 7 et 9. Quelles sont les mesures prises pour protéger la population du risque nucléaire ?
- Doc 8. Pourquoi le programme Ethos Fukushima encourage-t-il le retour des populations dans les zones contaminées ? Pourquoi est-il contestable ?
- J'argumente à l'écrit
- À l'aide de vos réponses aux questions 1 à 7, répondez à la question clé. Présentez votre texte en trois parties :
 - La catastrophe nucléaire de Fukushima
 - Après la catastrophe, gérer les effets du risque
 - Apprendre de Fukushima : réduire le risque nucléaire.

ITINÉRAIRE 2

- J'extrait des informations, je les classe et je les hiérarchise [étape 2]
- À l'aide des documents 5 à 9, terminez de compléter votre bloc-notes. Vous aurez ainsi les informations nécessaires pour réaliser un exposé répondant à la question clé.
- 1. LA CATASTROPHE NUCLEAIRE DE FUKUSHIMA : QU'EST-CE QUE C'EST ? ÉVÉNEMENT ? ÉLÉMENT HUMAIN, ÉCONOMIQUE, ENVIRONNEMENTAL ? → Doc 5
- 2. APRÈS LA CATASTROPHE, GÉRER LES EFFETS DU RISQUE (QU'EST-CE QUE C'EST ?) → Doc 6 à 8
- 3. APPRENDRE DE FUKUSHIMA : APRÈS AVOIR PRIS RENNES LE RISQUE NUCLEAIRE → Doc 9 à 9



7 Compteur Geiger dans une rue de Koriyama, région de Fukushima, 2014

Un enfant passe devant un compteur Geiger installé dans la rue. Ce type de compteur détecte le niveau de radiation. De 2011 à 2013, la ville de Koriyama a recommandé que les enfants de moins de 2 ans ne passent pas plus de 15 minutes par jour à l'extérieur, 30 minutes pour ceux âgés de 3 à 5 ans.

「フクシマの教訓」と世界 フランスの中学校2年生 の社会科・教科書

Preventing the industry and
technology risks

グループで福島原発事故で起きた
ことを調査し、レポート作成。

「フクシマ」の教訓とは何か？

「大切なことを一部の専門家や政府だけに任せてはいけない」

1979年 スリーマイルアイランド(TMI)原発事故

→ 過酷事故に対応する深層防護(Defense in Depth)の重要性

1986年 チェルノブイリ原発事故

→ 安全文化(Safety Culture)の重要性

しかし、深層防御というTMIの教訓や安全文化というチェルノブイリの教訓を学ばなかったことで、2011年の福島原発事故は起きた。

2011年 福島原発事故: 東日本大震災と原子力災害(二重の災害)

→ 「フクシマ」を人類史の中にどのように位置づけるのか？

TMIやチェルノブイリの教訓という歴史の教訓を学ぶことの難しさが、福島
の教訓であるとするなら、どのようにすればこうした歴史の教訓を学ぶことが
でき、未来世代へ継承できるのかを示すことは、「福島教訓」とすべき極めて
重要なポイント

→ 科学と政治と社会の協働による「対話の場」＝「学びの場」の形成

→ 知識生産の社会的仕組みの形成

→ 技術的・社会的イノベーションの創造

→ 新しい科学技術・学術文化の創造

世代を超えて、地域を超えて、分野を超えて

1F廃炉の先を考える、語りあい、学びあいの場

1F地域塾

塾生募集

1F地域塾の目的

1F地域塾の「塾」とは学習塾のような受験産業が生んだ塾ではありません。
1F地域塾で共に考える1F（福島第一原子力発電所）廃炉の将来像は、「答えがある問い」でなく、「答えがない問い」です。明治維新で活躍した多くの改革者を育成した幕末の私塾のように、同志平等の気分でみなが学びあひで考え、議論し、実践へつなげたいと考えています。日本の近代が大きな劇場だったとすれば、幕末の塾は俳優の稽古場でした。「3.11」を克服した新しい歴史を作るため、1F地域塾が未来を担う人々の稽古場になることを願っています。

世代を超えて、地域を超えて、分野を超えて、1F廃炉塾の塾生を広く募集します。多くの皆さんの応募をお待ちしています。

日程（全4回・参加費無料）

7月16日（土）第1回オープンキャンパス@ふたば未来学園
9月10日（土）第2回1F廃炉の現状と将来像を考える
9月17日（土）第3回1F視察と1F廃炉現場における「対話の場」
10月1日（土）第4回地域のなかの1F廃炉と将来像を考える

応募要件・応募方法（中学生以上ならどなたでも！）

ふたば未来学園などの中高生15名程度、地域社会の皆さん15名程度、オンライン（Zoom）参加者15名程度、合計50名程度を予定します。また、塾生はオンラインに参加可能な方とします。未来学園の会場で参加される方も、全員、PCなどでオンライン（Zoom）に参加していただきます。

1F地域塾へ参加を希望される方は、事務局へメールをお送りください。
応募締切は、2022年6月30日（木）17時です。

メールの記載事項

- (1) お名前 (2) 所属 (3) メールアドレス
- (4) 1F地域塾で「聞きたいこと」、「語りたいこと」、「学びたいこと」について、500字程度の文書（WordファイルかPDFでメール添付）

お問合先

早稲田大学ふくしま広域未来創造リサーチセンター事務局（担当：朱、松川）
zhuyu624@fujii.waseda.jp

写真：大野町大川原から1Fを望む

内容日程

第1回：オープンキャンパス・1F地域塾の紹介：2022年7月16日（土）13:30-16:30@ふたば未来学園
司会：小磯匡大（副塾頭）・鈴木知洋（副塾頭）

- ・開塾の説明：松岡俊二（塾頭）
- ・塾生の自己紹介：1F地域塾で「知りたい」、「語りたい」、「学びたい」
- ・1F地域塾の説明、「対話の場」＝「学びの場」づくり：松岡俊二（塾頭）
- ・塾とは何か：南郷市兵（ふたば未来学園）
- ・学ぶとは何か：菅波香織（1F廃炉の先研究会、未来会議・事務局長）

第2回：1F廃炉の現状と将来像を考える：2022年9月10日（土）13:00-17:30@ふたば未来学園
総合司会：小磯匡大（副塾頭）

- ・1F地域塾の目的・「対話の場」＝「学びの場」づくり：松岡俊二（塾頭）
- ・ふたば未来学園（広島研修など）：鈴木知洋（副塾頭）
- ・地域社会からの視点：佐藤重紀（1F廃炉の先研究会、HAMADOORI 13事務局長）
- ・塾生からの発言：「知りたい」、「語りたい」、「学びたい」
- ・1F事故炉と1F廃炉の現状：話題提供者・清上伸也（東京電力）・青藤幹雄（東京電力）
- ・1F廃炉の現状を考える：森口祐一（副塾頭）・井上正（副塾頭）
- ・グループによる「対話の場」& 全員による「対話の場」：司会・嶋田裕子（副塾頭）

第3回：1F視察と「対話の場」：2022年9月17日（土）10:10-17:00@1F、ふたば未来学園

- ・1F視察（40名程度）＊中学生は参加できません。高校生は保護者同意書が必要です。
- ・1F視察と「対話の場」（第1回の振返り）：松岡俊二（塾頭）
- ・ふたば未来学園（第1回の振返り）：小磯匡大・鈴木知洋（副塾頭・ふたば未来学園）
- ・グループによる「対話の場」& 全員による「対話の場」：司会・井上正（副塾頭）

第4回：地域のなかの1F廃炉と将来像を考える：2022年10月1日（土）13:00-17:30@ふたば未来学園
総合司会：鈴木知洋（副塾頭）

- ・地域社会のなかの廃炉を考える（第1/2回の振返り）：松岡俊二（塾頭）
- ・ふたば未来学園（第1/2回の振返り）：小磯匡大（副塾頭）
- ・地域社会からの視点：遠藤秀文（1F廃炉の先研究会、（株）ふたば社長）
- ・塾生からの発言：「知りたい」、「語りたい」、「学びたい」
- ・1F事故調査と1F廃炉：話題提供者・木原昌二（原子力規制委員会・原子力規制庁）
- ・1F廃炉政策について：話題提供者・福田光紀（経済産業省資源エネルギー庁）
- ・1F廃炉と地域社会：話題提供者・日比賢二（東京電力復興本社）
- ・地域社会と1F廃炉を考える：嶋田裕子（副塾頭）・森口祐一（副塾頭）
- ・グループによる「対話の場」& 全員による「対話の場」：司会・森口祐一（副塾頭）

閉塾式

1F地域塾のまとめ：松岡俊二（塾頭）

【運営体制】

- 塾頭：松岡俊二・1F廃炉の先研究会代表（早稲田大学大学院アジア太平洋研究科教授）
- 副塾頭：嶋田裕子・1F廃炉の先研究会副代表（NPO 法人・持続可能な社会をつくる元気ネット・前理事長）
- 森口祐一・1F廃炉の先研究会副代表（国立研究開発法人・国立環境研究所・理事）
- 井上正・1F廃炉の先研究会（電力中央研究所・名誉研究アドバイザー）
- 小磯匡大・ふたば未来学園・教諭
- 鈴木知洋・ふたば未来学園・教諭

東日本大震災12年

世界最悪クラスの事故を起こした東京電力福島第一原発について、意見を交わす場が昨夏つくられた。発災から11年を越える時を経て、地元の漁師や弁護士、学生、東電の担当者らが立揃って同じテーブルにつき、互いとの討論を出すためではなく、原発の将来像を、対話の中から探る。

（福地慶太郎）

「1F地域塾」では、福島第一原発の将来像や事故の記憶継承について各グループで対話した後、その内容を参加者全員で共有した。2022年12月10日、福島県大野町、川村直子撮影

東京電力福島第一 原発
東日本大震災の地震と津波の影響で1、3号機の原子炉を冷却せななく、核燃料が溶け落ちる「メルトダウン」が起きた。核燃料が溶けた「燃料デブリ」は3基で推計880トン。政府と東電は2011年12月の工程表で、10年以内に燃料デブリの取り出しを始め、21年中に試験的に取り出し、21年中に試験的に敷みを取り出す計画だったが、装置開発の遅れや設備トラブルなどで延期が続き、いまも作業は始まっていない。廃炉作業は41年間に終える計画だが、東電では「地元の関係者など」と相談して検討する」との姿勢だった。

福島第一原発の状況 カッコ内は取り出し時期

	核燃料	燃料デブリ
① 1号機 震災時「メルトリニ」	392体 (27~28年度に開始予定)	推計279㌦ (開始時期は未定)
② 2号機	615体 (24~26年度に開始予定)	推計237㌦ (23年度後半から直ぐの取り出しを計画)
③ 3号機	566体 (21年2月までに完了)	推計364㌦ (開始時期は未定)
④ 4号機 震災時「定期停止中」	1535体 (14年12月までに完了)	
⑤ 5号機	1374体 (6号機の後に開始予定)	
⑥ 6号機	1456体 (昨年8月に開始)	

福島第一原発（通称「1F」）から南へ20キロの福島県田代町、震災後に設立された中環・復興の県立または未だ中学で昨年12月10日、「1F地域熱」が開かれた。「対話の場」として参加したのは80人。事故が県外に避難した人や原子力の専門家、資源エネルギー庁の官僚など生立ちや経歴はさまざま。真剣ながらも和やかなムードで進む。

同原発の将来検査をテーマに対話を結んでいる地域熱でよく話題になるのが、ふたつの車線のように上りの路肩作業を進めて「更地」に戻すのか、事故の記憶を伝える「遺構」にするかだ。「記憶の継承と忘却の先」を主題に掲げたこの日も議論が沸いた。

1時間半、小グループで対話後の全体集合、参加者の一人は「大きな事故だったから、準備は万全にしておこう」と主張。別の参加者は「環境汚染が続くなら、なくすべきだ」「遺構化と汚染の防止両立できるのか」といった声も出た。終盤、同原発がある大熊町の男性は語った。

「廃炉の話は対立を生みましたが、いよいよ安全基準が出身や経歴の異なる人たちでちゃんと話そうとしたらいい」。会場には、「1F地域熱のルール」として書かれている「地域熱は、地域熱は原発事故の教訓を改めて考える場ではない」という野村昭子さん（51）は、福島市市に暮らしている。政府との交渉の場で遊覧者の実情を訴えきたが、支援策には反響がなかった。「私たちが当事者の話を聴きながら政策を検討してほしいが、それはなかなかなかった。地域熱は、住民」と政府関係者がある。政策を押し上げる場のツールになりうるように、期待されている。

ふたばは米作学園高校一年の青田道彦さん(16)は震災当時、大鵬町に家族と一緒に暮らしていた。町に家族一人だけで暮らしていたが、震災当時は4歳、自分にはまだ記憶はないが、次世代への継承は重要な1つと思うからと地産地消で進化の話を習習した。だが、疑問も浮かんだ。「何を教習して」と研究事故を繰り返すのか。答えは見つかったが新しい「地産地消」に参加が断られていく。

掲載の記事・写真の無断転載を禁じます。すべての内容は日本の著作権法並びに国際条約により保護されています。
Copyright The Asahi Shimbun Company. All rights reserved. No reproduction or republication without written permission.

第 12回 原子力政策・福島復興シンポジウム

「東日本大震災と福島原発事故から12年：原発回帰政策と福島原発事故の教訓」

報告へのコメント

2023年3月1日

寺本 剛（中央大学理工学部）

専門は哲学・倫理学。

環境問題を中心に、人間と科学技術にまつわる問題に関心がある。

高レベル放射性廃棄物問題を世代間倫理の観点から研究。

【最近の業績】

- ・『未来へ繋ぐ災害対策：科学と政治と社会の協働のために』（松岡俊二、阪本真由美、寿楽浩太、寺本剛、秋光信佳 著、有斐閣、2022年）
- ・ポール・B・トンプソン、パトリシア・E・ノリス 著『持続可能性 みんなが知っておくべきこと』（寺本剛訳、勁草書房、2022年）
- ・K.シュレーダー＝フレチェット 著『環境正義 平等とデモクラシーの倫理学』（奥田太郎、寺本剛、吉永明弘 監訳、勁草書房、2022年）

電力供給と公平性の問題

- ・ 電気：現代社会における基本財の一つ。
 - ☞ 十分な電気をリーズナブルな価格で利用する権利。
- ・ 安定供給（量と価格）のための技術的解決（量的解決）
 - ☞ 火力利用による気候リスク、燃料コスト。
 - ☞ 原発利用による物理的リスク、放射性廃棄物問題。
- ・ 供給が不安定な場合の社会的・政治的解決（公平な分配による解決）
 - ☞ 分配政策によって公平な分配が実現。
 - ☞ そのための決定プロセスの公平性は確保。

発電技術と規模の問題

- ・大規模集中発電＋分配

- ☞物理的リスクの集中、経済的リスクの集中、リスク分配の不公平性、意思決定・合意の難しさ。

- ☞時宜にかなった対応、柔軟な対応の困難さ（一度はじめたら後戻りしにくい等）。

- ・小規模分散発電

- ☞物理的リスクの分散、経済的リスクの分散、地域間不公平性の是正の可能性、意思決定の負担の分散。

- ☞柔軟な対応が比較的しやすい。

- ☞地域による自律的な意思決定が可能になるかも。

小型モジュール炉の場合

- ・ リスク、コスト、ベネフィットを考慮して地域が自律的に電力供給のあり方を決める可能性は高まるかもしれない。とはいえ…
- ☞ 多くの地域が小型原発を所有した場合、リスクの分散というより拡散にならないか。
- ☞ 原発導入を自律的に決定する以上、導入した地域が廃棄物の処分地となるのが筋。その場合、処分地も分散し、リスクの拡散につながるのではないか。
- ☞ 周辺地域との対立の火種となる可能性。
- ☞ 廃棄物問題は依然として未解決。「気候リスクの軽減」は将来世代のためとも言えるが、マイナスをゼロに戻すわけではない。また、それとのトレードオフで廃棄物によるリスクと負担を残すのであれば、世代間の不公平性はやはり避けられない。
- ☞ 原発稼働は地層処分推進へのバイアスを生みやすい。廃棄物の処分方法について冷静で柔軟な議論を排除する傾向をもたらすかもしれない。

第12回原子力政策・福島復興シンポジウム

「東日本大震災と福島原発事故から12年 ～原発帰還政策と福島原発事故の教訓～」

コメント

予測の不確実性と新知見の導入

国立研究開発法人
防災科学技術研究所
藤原 広行



自己紹介

- 京都大学理学研究科 入倉研究室にて強震動地震学を学ぶ
- 1989年4月 科学技術庁国立防災科学技術センター(現:防災科研)入所
- 兵庫県南部地震後、全国的な強震観測網K-NETの整備等を担当、2001年から5年間、強震観測管理室長
- 「地震動予測地図作成手法の研究」のプロジェクト責任者

経済産業省原子力安全・保安院 地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ 委員 (平成20年6月～平成23年9月)

経済産業省原子力安全・保安院 地震・津波に関する意見聴取会 委員 (平成23年9月～平成25年9月)

原子力規制庁 発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム (平成25年12月～平成26年6月)

茨城県原子力安全対策委員会 委員 (平成20年8月～)

1995 兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）

2004 中越沖地震

2011 東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）

2016 熊本地震

地震ハザード評価の2つの段階

第1段階（地震発生の長期評価）

第1段階は、地震の発生そのものに関する予測

第2段階（強震動評価）

第2段階は、地震が発生したという条件の下での、ある地点での揺れ（地震動）の予測

地震ハザード評価には**多くの不確実さ**が伴う。

ハザード評価においては、**自然現象の多様性やばらつき**を考慮するだけでなく、**人間の側が現在有する知識の限界などに起因する認識論的な不確実性**を考慮することが必要となる。

不確実さの分類

● 偶然的ばらつき (Aleatory Variability)

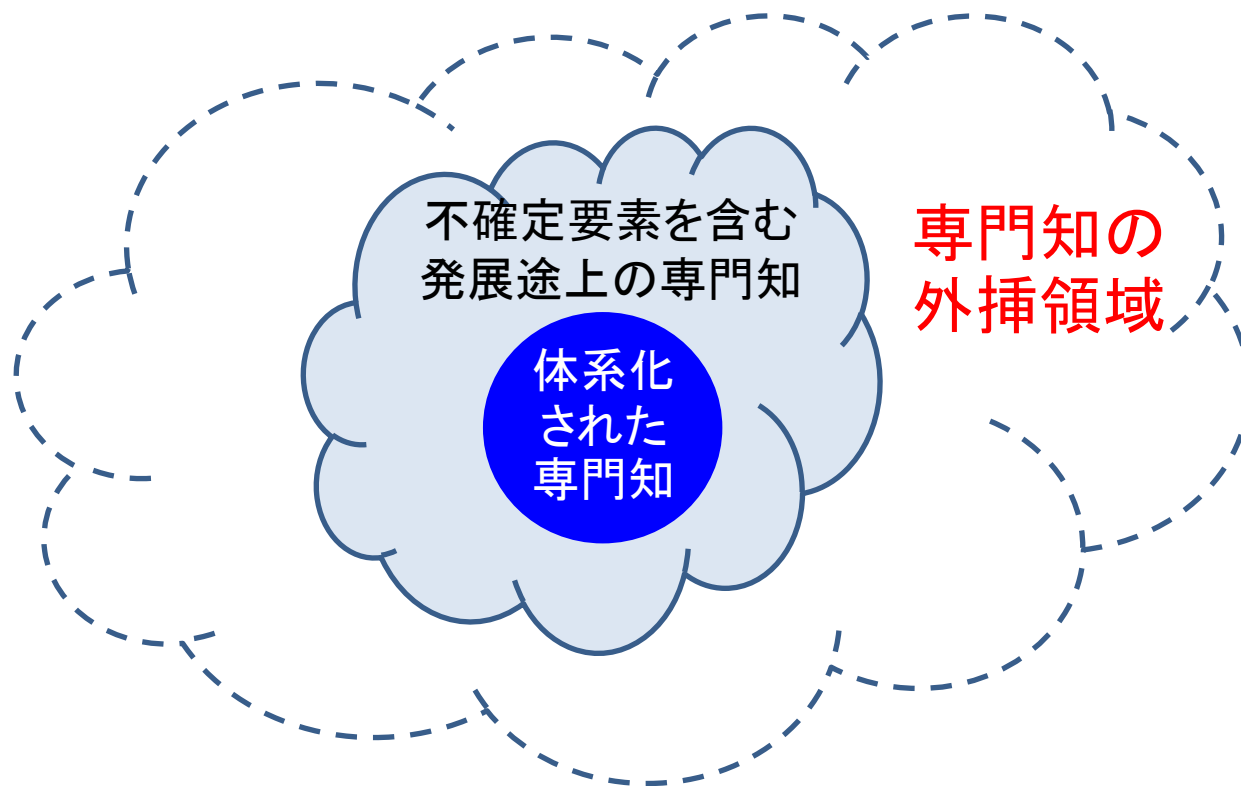
- ・自然現象として本質的な不確かさで、予測モデルにおいて確率変数により表現されるもの。

● 認識論的不確定性 (Epistemic Uncertainty)

- ・知識やデータが不足していることに起因する不確かさで、考え方や手法選択の違いによる不確かさも含む。

特に、これまでの地震ハザード評価においては、
認識論的不確定性の取り扱いが不十分。

専門知の構造(イメージ)



低頻度大規模災害につながるような自然現象については未知の部分が多く、その予測は「専門知の外挿領域」での判断が必要になる。

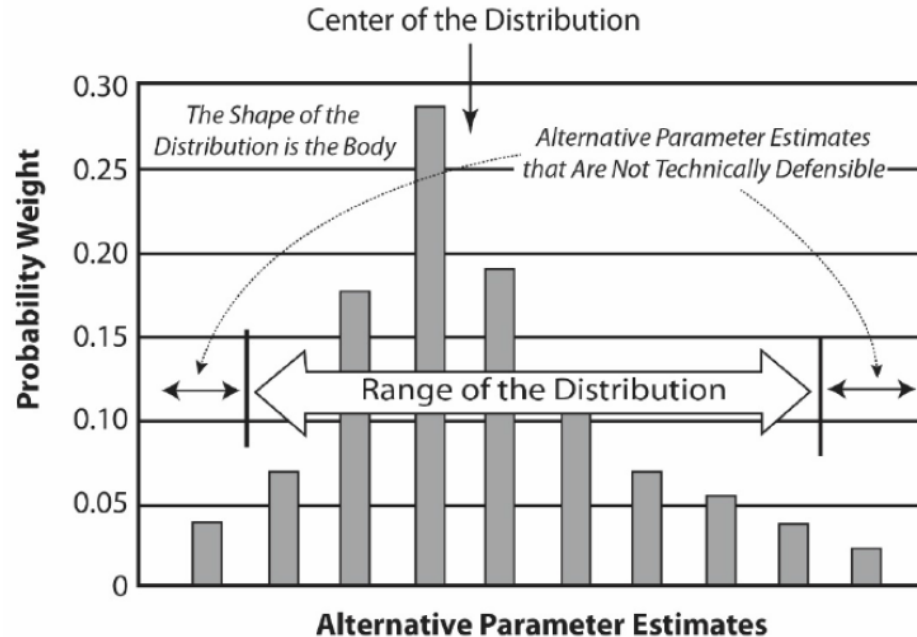
こうした課題に対して、どのような取り組みが必要か？
専門家だけでは解決は困難。

SSHACの取り組み

SSHACとは、Senior Seismic Hazard Analysis Committeeの略で、確率論的な地震動評価で必要になる認識論的不確定性について、その検討内容や検討手順を検討するために米国原子力規制委員会の下に設置された委員会である。

委員会での検討結果がSSHACガイドライン(NUREG-2117)として制定されている。

SSHACガイドラインでは、有識者間での議論に基づき、コミュニティ(学会等)における意見分布を合理的、客観的に再現するための方法論がまとめられており、検討内容や検討手順等が精緻に定められている。



IKATA SSHAC PROJECT

FINAL REPORT

IKATA Nuclear power plant
Senior Seismic Hazard Analysis Committee Level 3 Project

伊方 SSHAC プロジェクト 最終報告書

Project Technical Integrator

亀田弘行（京都大学・電力中央研究所）

Seismic Source Characterization Technical Integrator Team Lead

隈元 崇（岡山大学）

Ground Motion Characterization Technical Integration Team Lead

藤原広行（防災科学技術研究所）

Seismic Source Characterization Team

奥村晃史（広島大学）

佃 栄吉（産業技術総合研究所）

堤 英明（電力中央研究所）

堤 浩之（同志社大学）

遠田晋次（東北大学）

徳山英一（高知大学）

Ground Motion Characterization Team

蛸沢勝三（電力中央研究所）

香川敬生（鳥取大学）

司 宏俊（サイスモ・リサーチ／東京大学）

古村孝志（東京大学）

三宅弘恵（東京大学）

森川信之（防災科学技術研究所）

Hazard Analyst

奥村俊彦（大崎総合研究所）

宮腰淳一（大崎総合研究所）

2020 年 10 月

i

伊方SSHACプロジェクトは、四国電力の伊方サイトを対象に、米国のSSHAC Level 3に基づく確率論的地震動評価（PSHA）を実施することとした日本初のプロジェクトである。

新たな知見の導入

- 1995 兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）
- 2004 中越沖地震
- 2011 東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）
- 2016 熊本地震

我々の知識はまだ乏しく、災害を経験するたびに
新たな知見が得られているのが現状

新たに得られた知見を、安全対策に着実に取り込
むことができる仕組みづくりが重要

コメント

原子力政策の「構造的無知」を どう打開するのか

早稲田大学レジリエンス研究所

第12回原子力政策・福島復興シンポジウム

2023年3月1日（水）

東京電機大学 寿楽 浩太

原子力政策の「構造的無知」の問題

- 原子力利用への賛否の視点から原子力政策を論じることはもちろん有意義
- しかし、原子力技術・政策分野の専門性の中においても日本の原子力政策が拙劣であることもまた、見逃してはならない
 - 政策の構造的無知：「機微なリスクを扱い、公益を申告に毀損する可能性をはらむ重要な公共政策であるはずの原子力政策が、構造的に、専門知の水準に照らして常に決定的に不満足な内容にとどまり続けるという問題」（寿楽2020）

原子力政策の「構造的無知」の問題

- なぜ、高レベル放射性廃棄物（HLW）処分の「難しさ」に係る国際的な経験・知見に学ばないのか
- なぜ問題の仕切り直し（施設立地問題→不確実性と倫理の問題への民主的対処）をしないできたのか
- 施設立地問題として解こうとするにしても、なぜ、それに関する標準的な知見（「DAD」プロセスの否定、メタ合意の重要性、等々）を取り入れないのか

原子力政策の「構造的無知」の問題

- なぜ、世論を見きわめる一呼吸を置かずに、過度に大きな「ハイプ」を焼き直しでつくろうとしてしまうのか
 - 既存炉再稼働への社会の期待と「革新炉」路線とのギャップ
 - 各炉型の利害得失に対するご都合主義のリバイバル
(例：HLW「短寿命化」の「メリット」論)
- 規制をはじめとする各種制度設計やビジネスモデル創出などのいわゆる「ソフト面」の手薄さ

原子力政策の「構造的無知」の問題

- 他方で、なぜ丁寧な社会的意思決定プロセスにより技術利用の基盤をつくらうとしないのか
- 先の見えない（「VUCA」）時代であればこそ、内容の正当性だけでなく決め方の正統性がものを言うのでは
- このことも過去の原子力技術・政策をめぐってさんざん指摘されてきたことでもあるはずだ

なぜ覆轍を取えて踏もうとするのか

- この結果、何が起こるか：同型の問題を繰り返し生じ、そのたびに公益を毀損する（「構造災」松本2002, 2012）
- 日本の原子力政策は、推進側が本気で「推進」するなら要求されるべき水準に達していないことにも大きな問題がある
- これは原子力への賛否以前の問題であり、立場を問わず（賛同者も含めて）批判を加え、乗り越えるべき課題ではないか（なお、脱原子力を選択しても、それだけでは「構造的無知」による「構造災」はその後も容易に生じうる）

エネルギー政策にとって 正義とは何か？

コメンテーター黒川哲志・博士(法学)・早稲田大学
行政法学・環境法学が専門

原子力とエネルギー正義

手ごろな価格で非化石エネルギーへアクセス

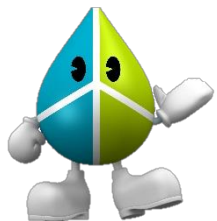
- SDGs
 - 目標7「すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する。」 ➡エネルギー正義(energy justice)
 - 昨今の光熱費(電気代&ガス代)の上昇は、貧困層のエネルギーへのアクセスを阻害する状況(fuel poverty)を生んでいる。
 - AU石炭価格 380ドル/mt(2022年12月)←83ドル/mt(2020年12月)
 - US天然ガス価格 5.5ドル/mmbtu ←2.54ドル/mmbtu
 - 目標13「気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる」
 - 非化石エネルギー源(再エネor原子力)の利用の拡大が求められる。
- 2040年までに、洋上風力30－45GWp、陸上風力26GWpまで拡大が計画されているが、火力・原子力を代替できるのか？

次世代革新炉は安価で信頼できるエネルギーへのアクセスを実現できるか？

- アメリカでは、小型モジュール炉(50MWp)が原子力規制委員会の設計認証を得たが、日本導入の障害は？
- 高温ガス炉による水素社会の到来は、遠い未来の話なのか？
- 海中ウランの捕集も実用化も、ずっと先のことなのだろうか？
- 次世代革新炉は、古いタイプの大型原子炉よりも安全だと一般に言われているが、「原子力の安全神話」の復活に通じるおそれはないか？

地層処分地の文献調査に関して

- 地層処分施設の受入にあたっての対話(コミュニケーション)で、調整されている利害が何なのかが、良く見えてこない。
 - 施設受け入れに見合う適正な補償の内容であるのか?



第12回原子力政策・福島復興シンポジウム

株式会社ふたば
井出大雅



アウトライン

自己紹介

経歴

富岡町で生活してみて

原子力政策について

抱負



自己紹介

- 井出大雅(いでたいが)
- 1999年11月20日生まれ
- 双葉郡富岡町出身
- 震災当時11歳(小学5年生)
- ふたば未来学園高校出身





富岡町

- 桜の名所で知られる。
- 震災前も毎年家族と花見に行っていた。

2019.4





経歴(3.11～)

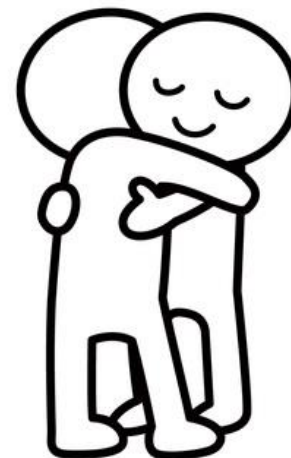
- 当時は教室に居た。すぐさま机の下にもぐり、自分の身を守った。
- ほとんどの生徒が体感したことのない揺れに怯え、泣いていた。





経歴(3.11～)

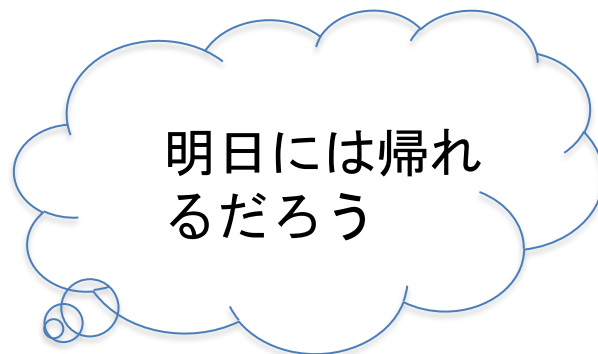
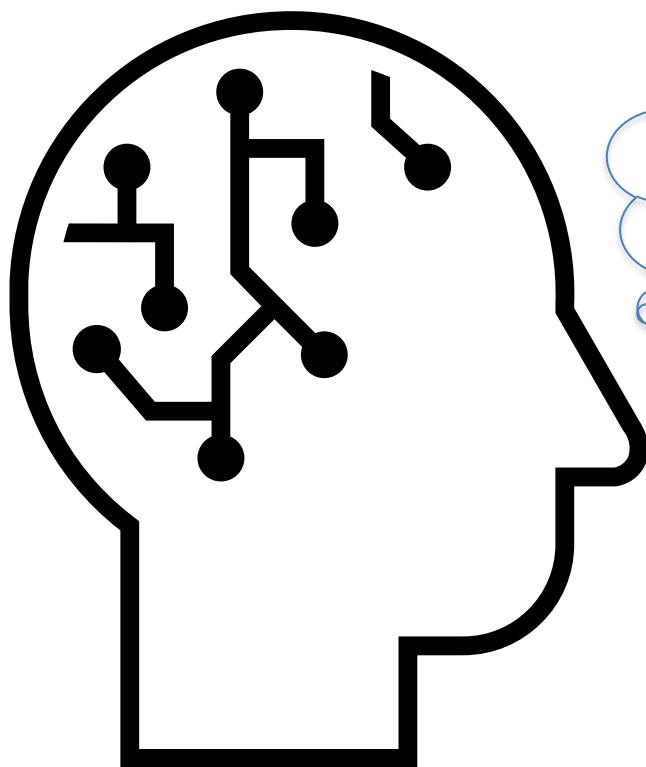
- 指定された避難場所で、両親と再会した。
- その後、兄とも再会をし、着の身着のまま川内村へ避難をした。





川内村(2011.3)



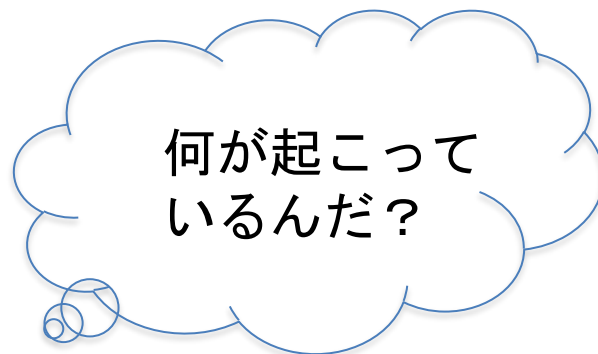
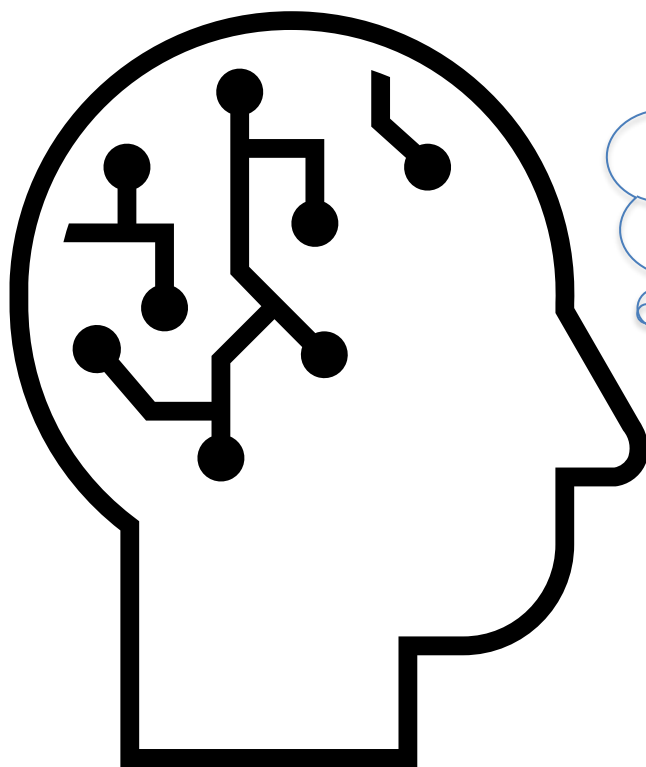




いわき市(2011.3)



いわき市





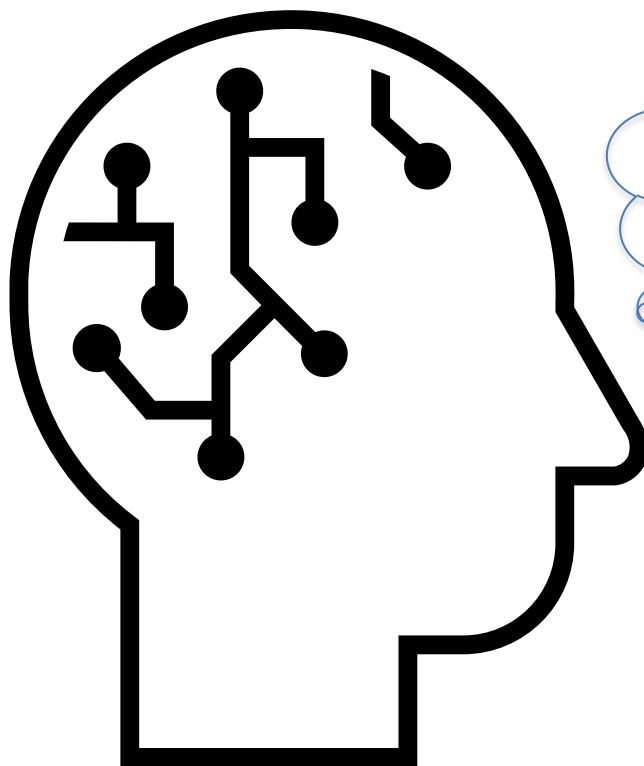
茨城県ひたちなか市(2011.3)



ひたちなか市



怖い



これは普通
じゃない

茨城県日立市(2011.3～2012.3)

- いじめられると思い、学校に行くことが怖かった。
- 唯一、一人の先生だけが私を受け入れてくれた。
- いじめられることなく、元気に過ごすことができた。





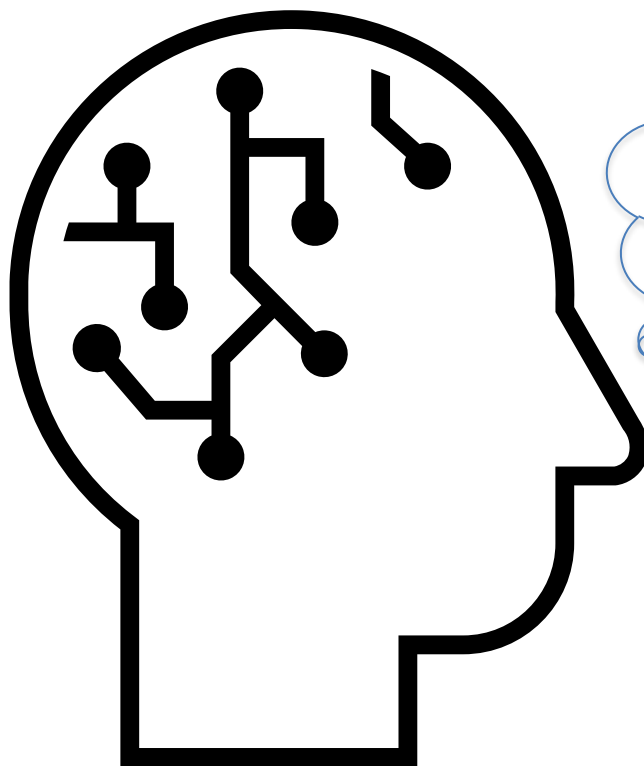
福島に戻る？



茨城に残る？



福島に戻りたい



仲良くしてくれ
た皆と同じ中学
校に通いたい



いわき市(2012.4～)

応急仮設住宅

2020. 3





いわき市(2012.4～)

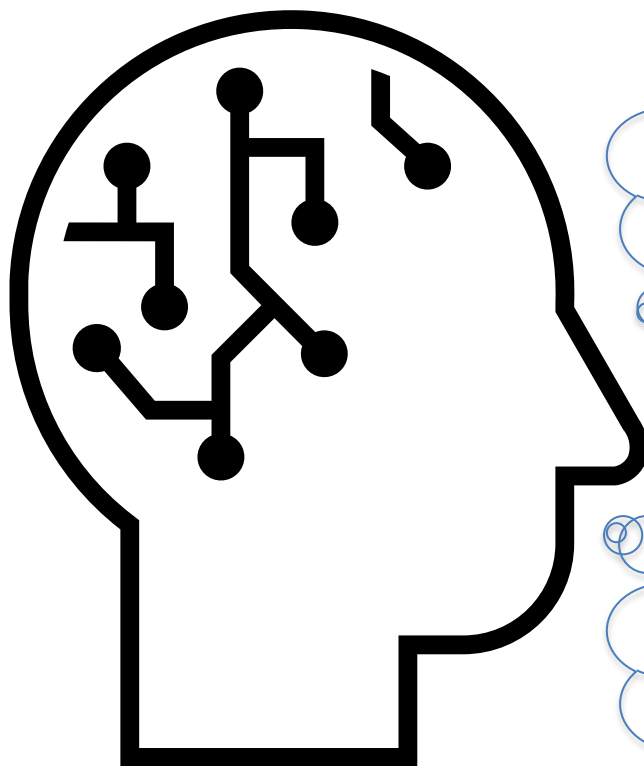


復興公営住宅

<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/image/73531.JPG>



皆に会いたい



皆どこにいる
んだろう

いつになれば
帰れるの？



一時帰宅(2015)



富岡第一小学校

Tom-とむ(現さくらモール)





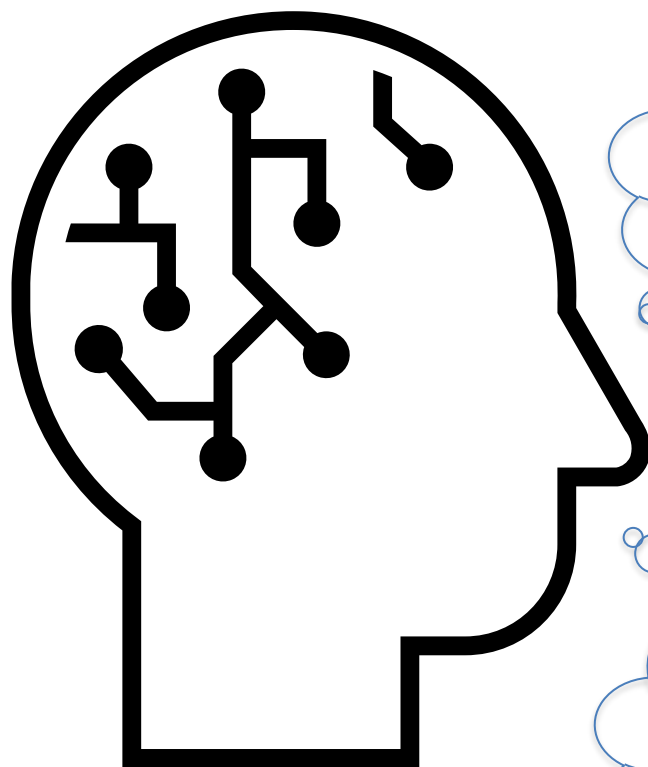
一時帰宅(2015)



いつも父親とキャッチボールをしていたサブグラウンド

富岡駅





どうにかしな
いといけない

町へ戻りたい

あいまいな喪失



帰町まで



(2015)

1 春
双葉に桜色 舞い上がる心
新しい風は今 僕らを選んで行く
求め合うことを忘れ 助け合う力を
取り戻した笑顔に 彩りを添えよう
ひとつひとつ

2 夏
新風緑色 遠き遠る心
諦めない仲間と 進んでゆくこの道
何度も繰り返す 虚しさや温もり
花の香りを感じ 諦めない光を
ひとつひとつ

3 秋
赤く染まる山に 哀愁の心
耳を澄ましてみると 聴こえる明日への鐘
自然のいたずらに 失うことを知る
ろうそくの灯火 未来への選択を
ひとつひとつ

4 冬
白く染まる息に 凜とする心
目を閉じて 胸に手をあてて 願う思い
懐かしい向かい風 共にしまい込んで
新しい追い風と 育てる小さい夢
ひとつひとつ

<https://futabamiraigakuen-h.fcs.ed.jp/wysiwyg/image/download/1/8231/medium>

- なるべく故郷に近い、広野町にある高校に通った。
- 思い切って生徒会に挑戦をし、当時のサテライト校の先輩方とコラボ商品を作ったり、歌を作ったりした。



帰町まで



2019. 3
ワークショップ
参加



2020. 1
記念写真



2019. 4
ボランティア
参加



2020. 6
母校解体





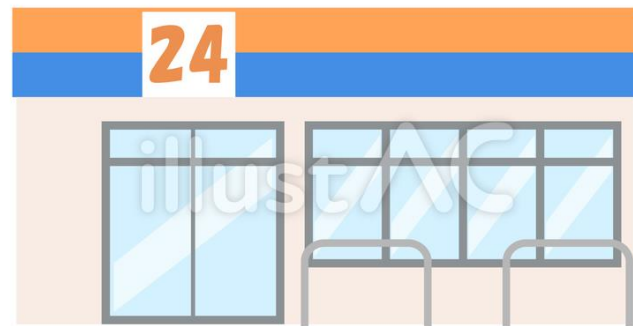


富岡町で働き生活してみて



スーパーマーケットは19時まで

コンビニは21時まで





とみおかワインドメニュー



https://tomioka-wine.com/wp-content/themes/tomioka-wine-wp/assets/img/top/main_1_.jpg

(2022. 9)





原子力政策について





震災ってあって良かったと思う？



震災があったから失ったもの

震災があったから得たもの



理不尽にも奪われた
あの日常が戻ることはもう **ない**



自分なりの
新しい普通を
創っていくしかない



得たものに重きをおいて
生きていくほかない



人と人との繋がり（人脈）は
お金では買えない財産である





とにかくにも



富岡の空気を吸えるだけで幸せ



いつか離れ離れになった友人全員と
再会できる日が来ることを願っている



村松 直樹

高レベル放射性廃棄物の管理・処分に関する市民対話会議・参加市民

1965年: 静岡県 磐田市生まれ

- 磐田市の公立小・中・高等学校

1984年: 大学(経済学部)入学のため上京

- 卒業後 外資系コンピュータ会社勤務 SE職

1993年: 退社後渡米 ニューヨーク市にて生活

- 広告/インターネット業界複数社にて勤務
- ニューヨーク大学MBA
- 永住権取得 (帰国後返却済)

2012年: 日本に帰国

- GAFA日本法人や日系広告会社にて勤務
- HLW市民アゴラ参加 (2019年)
- ふくしま学(楽)会参加 (2023年)



市民の立場からの考え (1/2)

2019年 高レベル放射性廃棄物市民アゴラの会 (3回のセッション)、2023年 ふくしま学(楽)会の参加等を通じて「原発回帰政策」に対して感じたこと

「突然の政策決定 & 発表」の感覚とそこから生まれる疑念

- 設定された**期日厳守の「決定」**と感じられる
 - ゴールありきの議論もしくは、強引な決定ではないのか？
- 委員会での議論の結果ではあるが、**委員構成の妥当性**が判断できない
 - 発足時に賛成、反対、中立の立場やバランスが検証されたのか？
- 会議内容のライブ中継だけでは「**密室感**」が払拭されない
 - 一方通行で良しとし、パブリックの意見や「対話の場」を取り入れたくないのでは？

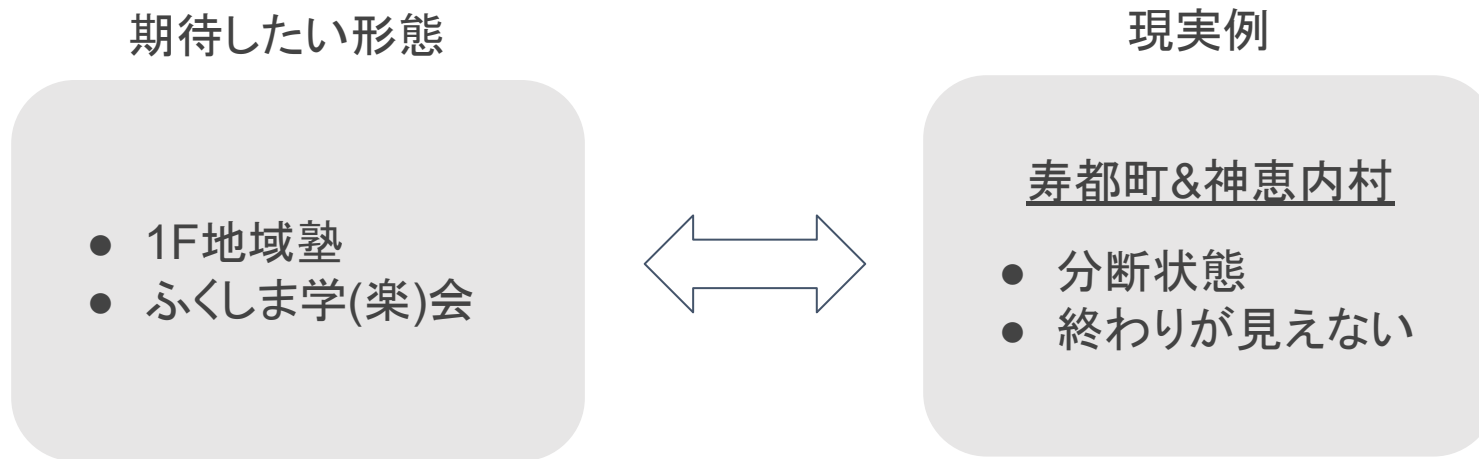


市民参加型・対話型の重要性&必要性

市民の立場からの考え (2/2)

今の日本にて、社会問題に対する市民参加型の議論や政策決定が可能なのか？

- 行政、専門家、市民がそれぞれの利害関係を理解して自由に議論する場が前提



- 行政や選ばれた専門家が「対話の場」を真剣に必要としているのか？
- 実施するのであればその手法を徹底的に研究すべき (カナダや欧州を参考に日本流にカスタマイズ等)
- ファシリテータや「境界知作業者」の重要性