

東京大学公共政策大学院「エネルギー政策」
第12回講義

原子力発電の現状と課題

2018年7月2日

日本エネルギー経済研究所

戦略研究ユニット 原子力グループ マネージャー

村上 朋子

1. 原子力発電の特徴
2. 新基準適合性審査と今後の展望
3. 世界の原子力発電と今後の展望
4. 第4世代原子炉

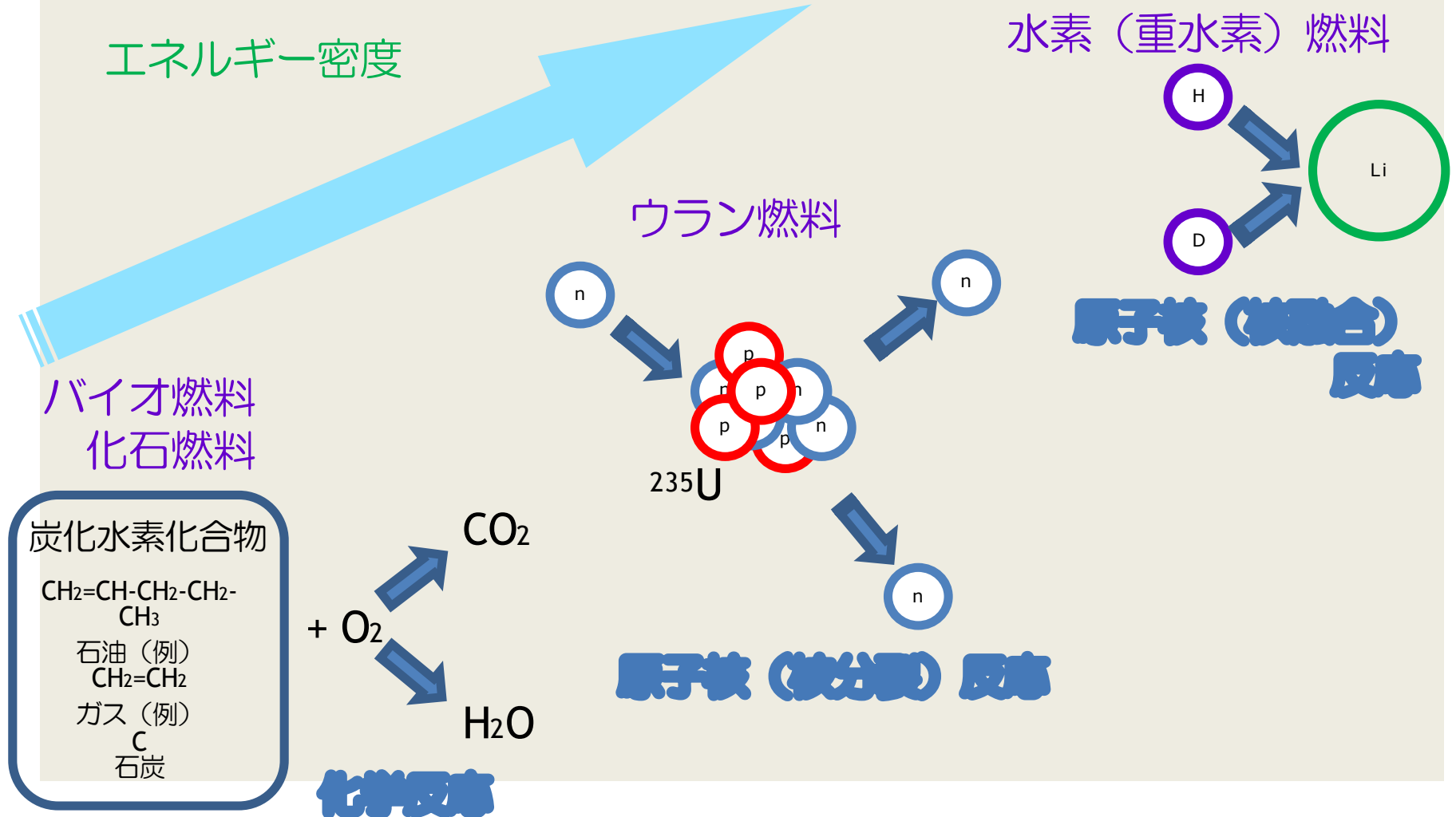
FAQs

1. なぜ再稼動に時間がかかっているの？
2. 2030年に何基くらい残りそうなの？（20-22%は達成できるの？）
3. 世界では“脱原子力が主流”って聞いたけど本当？

1. 原子力発電の特徴

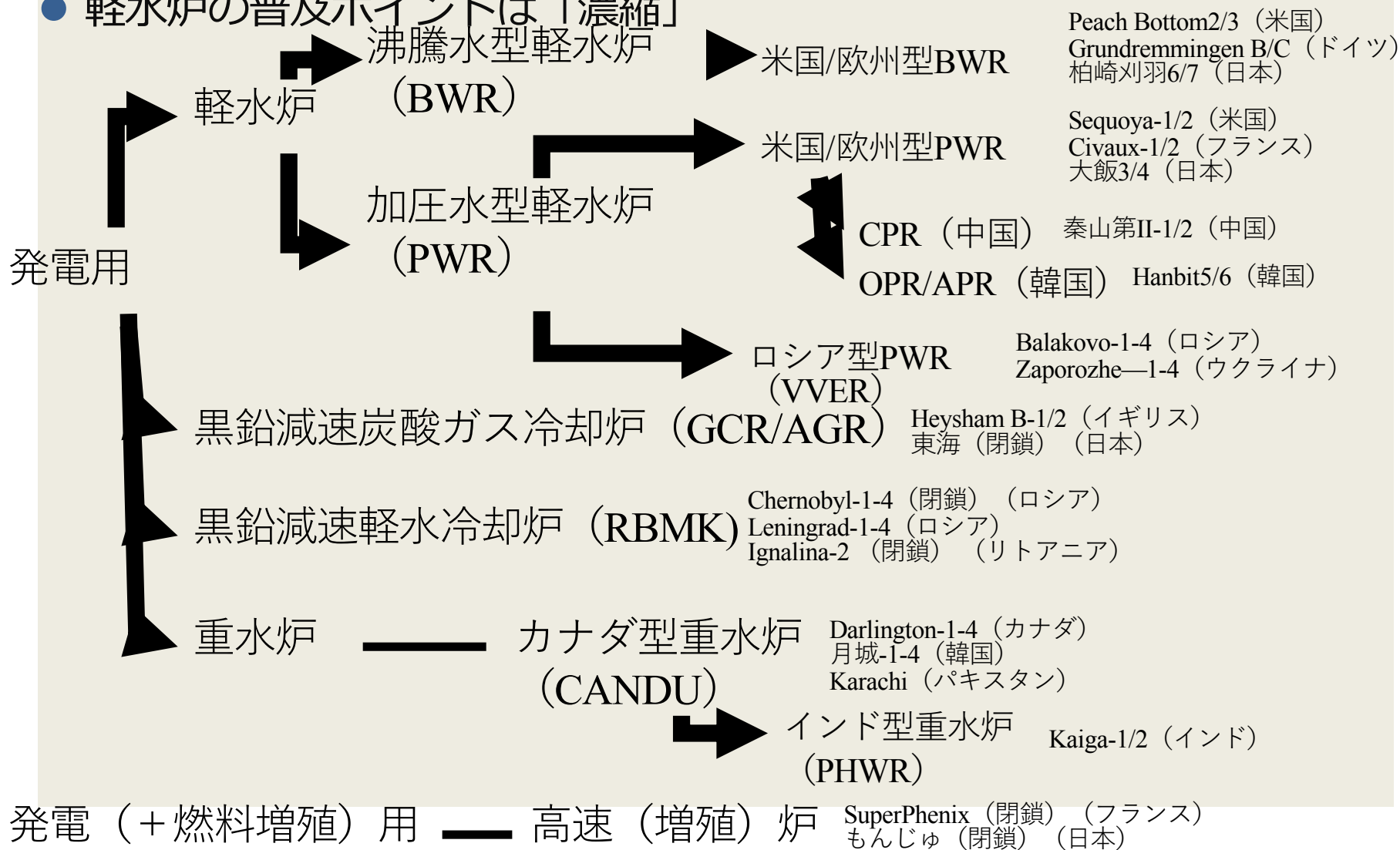
(1)原子力エネルギー利用の歴史

- 化学反応から原子核反応利用に→エネルギー密度が飛躍的に向上
- 技術的難易度も上昇 → 使いこなせる国/企業は限定的



1. 原子力発電の特徴 (2)炉型開発の経緯

- 世界最初の商業用炉は炭酸ガス冷却炉で軽水炉ではなかった！
- 軽水炉の普及ポイントは「濃縮」



1. 原子力発電の特徴 (3) 3つの“E”

● 燃料の供給安定性

- ウランは政情の安定した国々に分布
- 濃縮工程等、燃料供給の主要なプロセスは国産化可能

エネルギー安全保障

● 燃料の備蓄効果

- ウラン燃料は4～5年程度原子炉に装荷、一度運転が開始されると1年以上運転継続可能
- ウランは通常長期契約により購入、価格変動リスクが低い

● CO2排出量が少ない

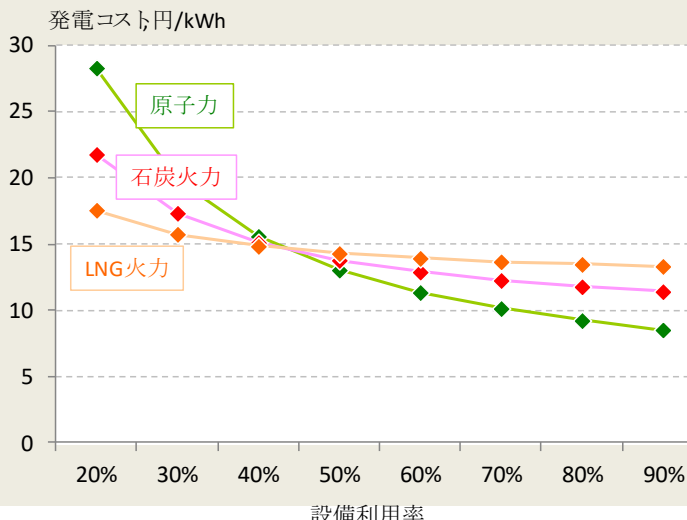
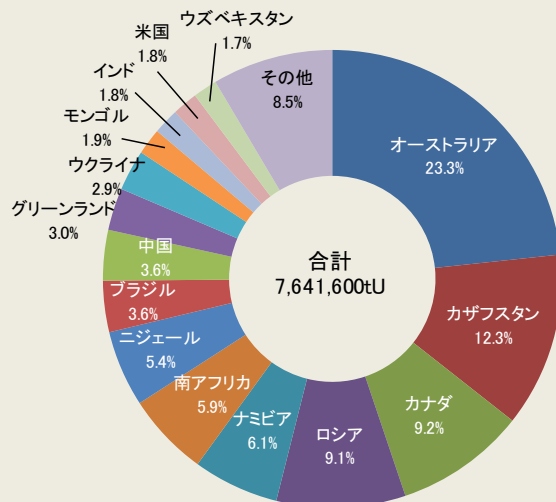
- ライフサイクルCO2排出量が他電源より少ない

地球温暖化対策

● 発電コスト

- 建設費が大きく燃料費が小さいため、長期・安定運転が実現できれば、発電コスト（kWh当たり）は他電源と同等or優位性あり
- 設備利用率の変動が発電コストへ与える影響が大きい

経済性



(出所)
(左) OECD/NEA, IAEA, “Uranium 2016”
(右) 発電コスト検証ワーキンググループの試算シートより算出

1. 原子力発電の特徴

(4) 「エネルギー基本計画（案）」における位置づけ（1/2）

1. 再生可能エネルギー →主力電源

- 安定供給面、コスト面で課題があるが、温室効果ガスを排出せずエネルギー安全保障にも寄与できる重要な低炭素の国産エネルギー源。
- 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議により、政府の司令塔機能を強化、関係省庁間の連携を促進する。

2. 原子力 →現行計画を引継ぎ、可能な限り依存度を低減

- 安全性の確保を大前提に、優れた安定供給性と効率性を有しており、運転時には温室効果ガスの排出もない重要なベースロード電源。
- 原子力規制委員会により規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し再稼働を進める。その際、国も前面に立ち、立地自治体等関係者の理解と協力を得るよう、取り組む。
- 原発依存度については、省エネルギー・再生可能エネルギーの導入や火力発電の効率化などにより、可能な限り低減させる。

総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会（第27回、2018年5月16日）における坂根分科会長発言

原子力20～22%は40年以上の運転をしない限り不可能な目標。今回も原子力から逃げるなど言い続けたが、リプレースについては基本計画には示されていない。

行政からこの問題を突破することが不可能なことが分かり、政治に向かって声を上げることが必要だと感じている。

1. 原子力発電の特徴

(4) 「エネルギー基本計画（案）」における位置づけ（2/2）

＜第26回基本政策分科会（2018年2月20日）における
原子力と再生可能エネルギーを巡る意見の応酬例＞



豊田委員

消費者に（脱原子力による）電力代上昇分を甘受することを慫慂されておられるのか。

私自身は同じ苦勞をするならネガティブな未来しか見えない原子力ではなく、自然エネルギーを推進するほうを選びたいというふうに思います。対価を支払うという苦勞をするなら自分の意に沿うほうで苦勞する、それが選択だというふうに思っております。



全国消費者団体
連合会前事務局
長 河野康子氏

再エネ50%程度に対する負担をどうお考えなのか。



山内委員

私の周辺で、FITの賦課金に対して、これは問題だという発言をされる消費者はいません。やはり福島原発事故のことが頭から抜けないからです。確かに負担は大きいです。ただし、もう少し国の補助金、税制、企業の投資を集中して入れていただければ、FITはもっと安価なものになり得るのではないかという期待を込めて、当面の間消費者はFITの賦課金を払い続けていくと思います。

2. 新基準適合性審査と今後の展望

(1) 新規制基準の要点：重大事故対策を義務化

シビアアクシデント対策・アクシデントマネジメント策（AM策）
は電気事業者の自主的な取組

要件化

＜新規制基準＞

＜従来の規制基準＞

シビアアクシデントを防止するための
基準（いわゆる設計基準）
（単一の機器の故障を想定しても炉心
損傷に至らないことを確認）

意図的な航空機衝突への対応
放射性物質の拡散抑制対策
格納容器破損防止対策
炉心損傷防止対策
（複数の機器の故障を想定）

内部溢水に対する考慮（新設）
自然現象に対する考慮
（火山・竜巻・森林火災を新設）

火災に対する考慮
電源の信頼性

その他の設備の性能

耐震・耐津波性能

自然現象に対する考慮
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能

耐震・耐津波性能

（テロ対策）
新設
（シビアアクシ
デント対策）
新設

強化又は新設

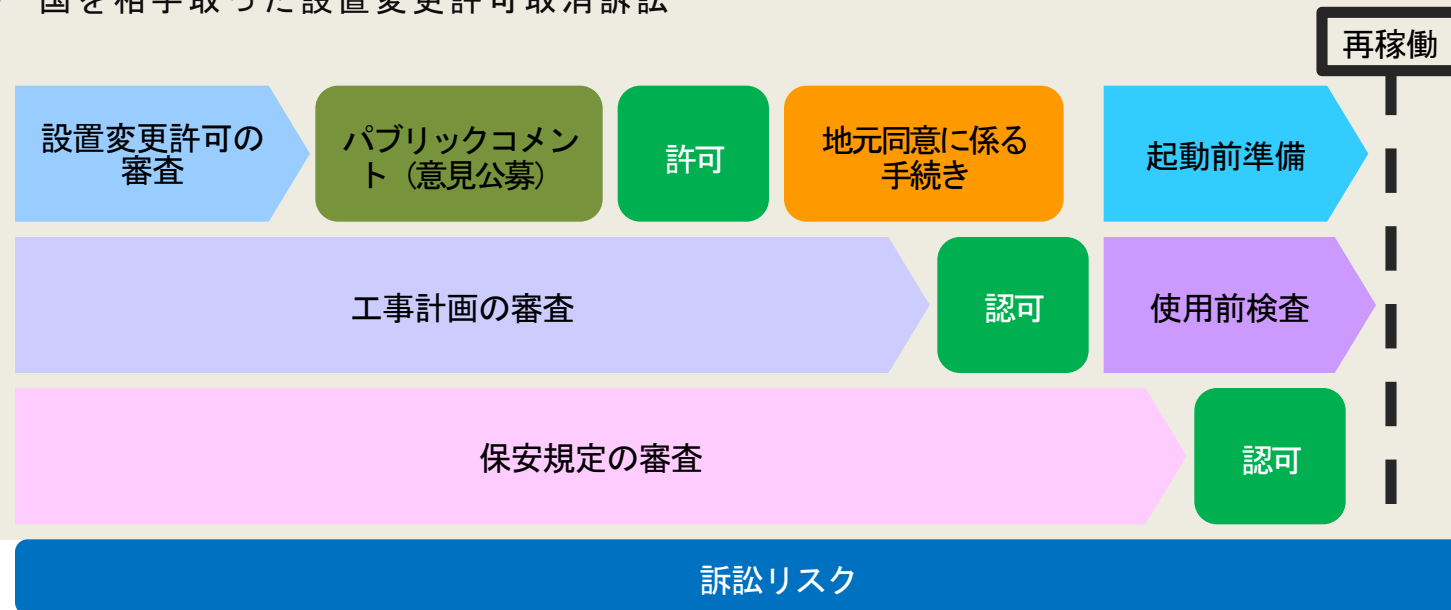
強化

出所：2013年7月3日第13回 原子力規制委員会 参考資料
実用発電用原子炉に係る新規制基準について一概要一

2. 新基準適合性審査と今後の展望

(2) 再稼働へ向けたプロセス

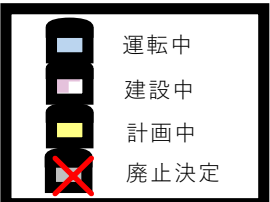
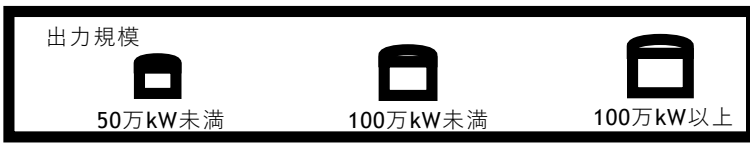
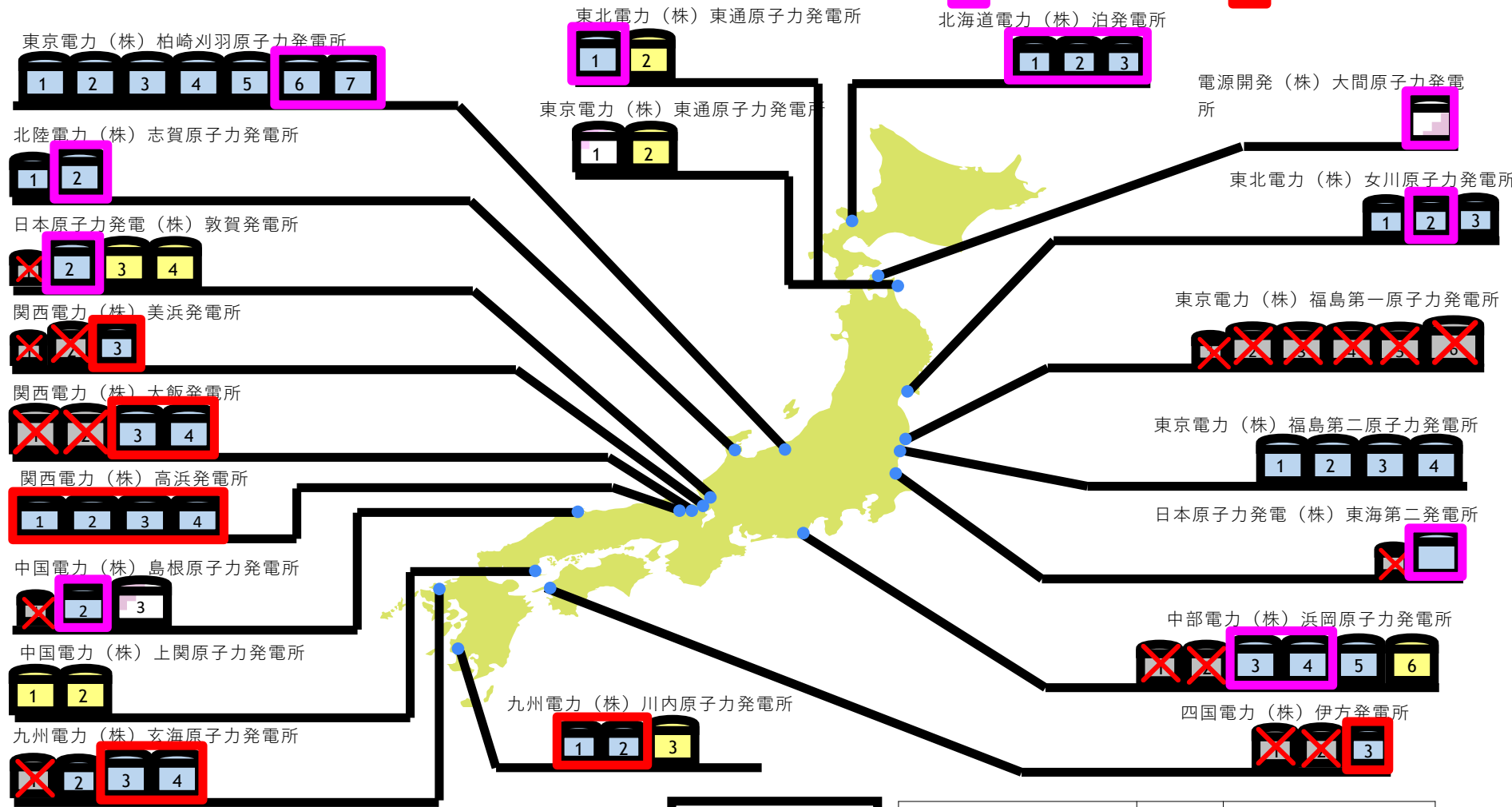
- 新規制基準への適合性審査：3つのプロセス（原子炉等規制法に規定）
 - 設置変更許可
 - 工事計画認可
 - 保安規定変更認可
- 立地自治体の同意：原子力安全協定（都道府県-市町村-電力会社の紳士協定）
- ✓ 訴訟リスク
 - 事業者を相手取った運転差止訴訟（仮処分と本訴訟）
 - 国を相手取った設置変更許可取消訴訟



2. 新基準適合性審査と今後の展望

(2) 商業用プラントの現状 (2018年6月)

適合性審査申請中
適合性審査完了



	基数	出力 (万kW)
運転中	39	3,856.6
建設中	3	414.1
計画中	6	879.7
合計	48	5,150.4

2. 新基準適合性審査と今後の展望

(3) 発電再開 9基

TOP Group9

ユニット	申請	発電開始	リードタイム (日)
川内1	7/8/2013	8/14/2015	767
川内2	7/8/2013	10/21/2015	835
伊方3	7/8/2013	8/15/2016	1134
高浜3	7/8/2013	6/9/2017	1442
高浜4	7/8/2013	5/22/2/17	1414
大飯3	7/8/2013	3/16/2018	1712
大飯4	7/8/2013	5/11/2018	1768
玄海3	7/12/2013	4/18/2018	1741
玄海4	7/12/2013	6/19/2018	1803



2. 新基準適合性審査と今後の展望

(4) 審査の最終段階／運転延長認可取得 5基

2nd Group33

ユニット	申請	原子炉設置 変更許可	リードタイム (日)	事業者ヒアリング*回数 (2018/4～)
柏崎刈羽6/7	9/27/2013	12/27/2017	1,552	646(0)

More than 4 years!

ユニット	運転延長認可 申請日	運転延長認可	リードタイム (日)	事業者ヒアリング回数
高浜1/2	3/17/2015	6/20/2016	461	233
美浜3	3/17/2015	11/16/2016	610	201

* 事業者ヒアリング：

規制委員も参加する審査会合に先立ち、規制庁職員と事業者とで技術的な検討や審査会合に向けた準備等を行うための会合

5+9=14

2. 新基準適合性審査と今後の展望

(5) 審査中 11基

ユニット	申請	事業者ヒアリング回数 (2018/5以降)
泊3	7/8/2013	374(0)
島根2	12/25/2013	190(0)
女川2	12/27/2013	288(19)
浜岡4	2/14/2014	187(0)
東海第二	5/20/2014	1021(113)
東通1	6/10/2014	-
泊1/2	7/8/2013	50(0)
志賀2	8/12/2014	-
浜岡3	6/16/2015	-
敦賀2	11/5/2015	-
大間 (新設)	12/16/2014	-

あと何回かかるのやら...

14+11=25

2. 新基準適合性審査と今後の展望

FAQ1. なぜ再稼動に時間がかかっているの？

2018年6月13日 新規制基準適合性審査に関する事業者ヒアリング
(東海第二(1031)) 非常用海水ポンプ用電路の敷設方法について

<http://www.nsr.go.jp/data/000236461.pdf>

<http://www.nsr.go.jp/data/000236462.pdf>



非常用海水ポンプ用電路については、屋外二重管の耐震補強対策として、鋼管杭と鋼管桁を結合した杭基礎又は地盤改良体により屋外二重管を支持する計画にあわせて、電気ケーブルも同様に電線管に収納し、杭基礎又は地盤改良体により電線管を支持する計画としている。
以下に現状の計画等について説明する。

注) 防津波重要度分類上、非常用海水ポンプは「津波による影響に対して機能維持できるように設計」する設備

非常用海水ポンプ電路の敷設方法及びルートについては、**これまで許可審査の中で説明を受けていないものであり、許可基準規則の各条文への適合性について、どのように再検討し、関連条文を抽出したのか、また、設置変更許可申請書及びまとめ資料への記載の変更・追加の要否をどのように検討、整理したのか**について、許可審査に係るヒアリングで具体的に説明すること。

上記の説明に当たっては、**社内において必要な情報が共有されず設計方針への反映がなされなかったことについて、その経緯、背景、問題点等についても合わせて整理して説明**すること。



原子力規制委員会
Nuclear Regulation Authority



それ審査要件？

2. 新基準適合性審査と今後の展望

(6) 未申請 14基

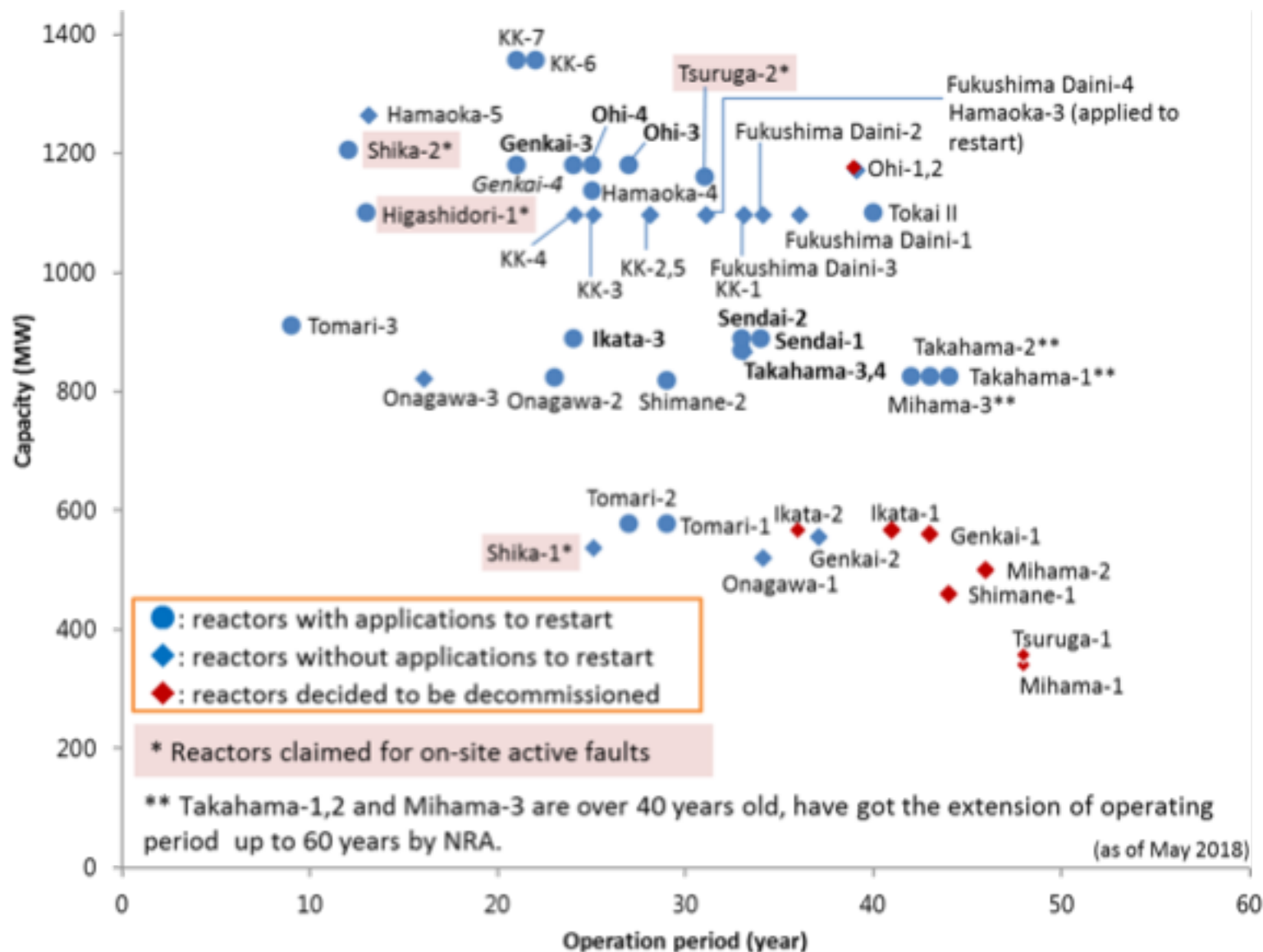
ユニット	営業運転開始	出力(MW)
玄海2	1981	559
福島第二 1/2/3/4	1982-1987	1,100 X4
女川1	1984	524
柏崎刈羽1/2/3/4/5	1985-1994	1,100 X5
志賀1	1993	540
女川3	2002	824
浜岡5	2005	1,380

TIME FOR DECISION MAKING ?

25+14=39

2. 新基準適合性審査と今後の展望

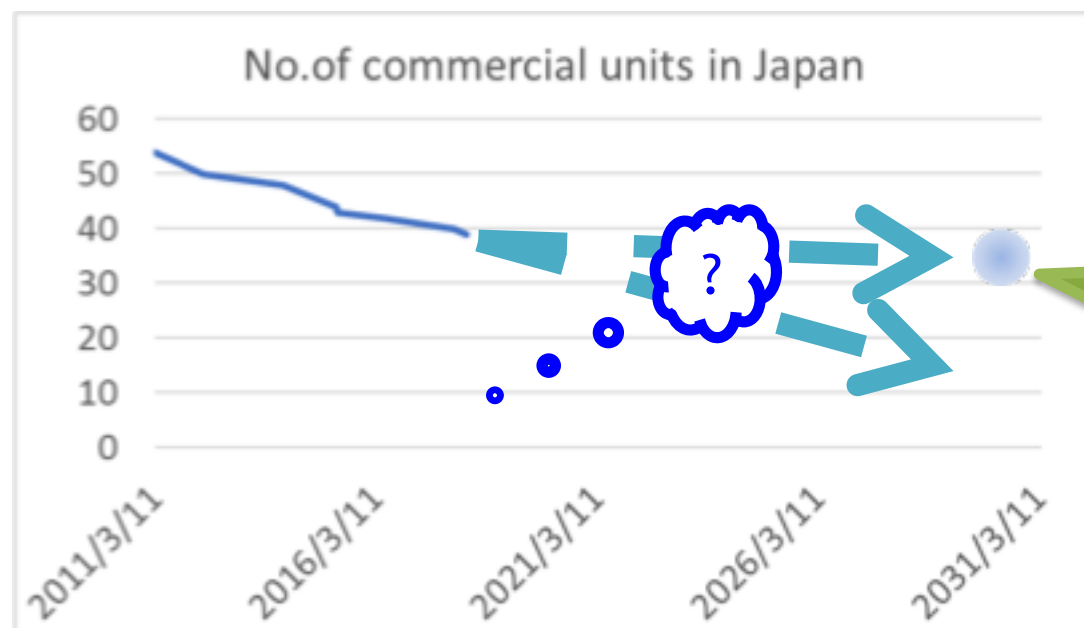
(7) 申請中、廃炉決定、未申請 出力-年齢マップ



2. 新基準適合性審査と今後の展望

FAQ2. 2030年に何基くらい残りそうなのか？

- 2030年の電源構成目標には30-35基必要
- 2018年現在39基、うち25基は認可取得時期の見通しなし



電源構成目標達成に必要な容量

現在30歳以上・適合性審査未申請のプラントは全て
なんらかの意思決定の時期に来ている

3. 世界の原子力発電と今後の展望



日本も、海外を見習ってえ～、
原子力に頼らない社会を目指すべきかと～、
おもいますう～

・・・海外ってどこ??



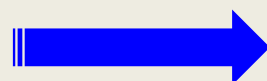
Quiz この女の子の年齢は？

3. 世界の原子力発電と今後の展望

(1) 国別ランク2010→2018：中国の躍進と欧米主要国の停滞

- 世界31カ国で使われているが、トップ3カ国で世界の設備容量の半分以上
- 石炭やガスと違い「寡占化」された電源
- つまり、原子力利用を考えたこともない国が4分の3以上

2010年1月



2018年1月

Country	Operating		Constructing/Planned	
	Capacity (GW)	Unit	Capacity (GW)	Unit
1 US	105	104	11	9
2 France	66	59	2	1
3 Japan	49	54	20	15
4 Russia	23	27	16	17
5 Germany	22	17	0	0
6 Korea	18	20	10	8
7 Ukraine	14	7	2	2
8 Canada	13	18	0	0
9 UK	12	19	0	0
10 Sweden	9	10	0	0
11 China	9	11	38	36
Others	15	8	22	0
合計	356	377	120	116

国	運転中		建設中・計画中	
	出力 (万kW)	基数	出力 (万kW)	基数
1 アメリカ	10,356	99	626	5
2 フランス	6,588	58	163	1
3 日本	4,148	42	1,572	11
4 中国	▲ 3,566	37	4,835	45
5 ロシア	▲ 2,794	31	2,475	24
6 韓国	▼ 2,253	24	700	5
7 カナダ	1,427	19	0	0
8 ウクライナ	1,382	15	200	2
9 イギリス	1,036	15	326	2
10 ドイツ	▼ 1,001	7	0	0
11 スウェーデン	919	9	0	0
12 スペイン	740	7	0	0
その他	4,727	80	5,837	57
合計	40,938	443	16,735	152

Source: "World nuclear power plants 2018", JAIF

原子力を開発・利用しているのはどんな国？

3. 世界の原子力発電と今後の展望

(2) 原子力を利用しているのはこんな国々

	人口(万人) (2017年)		GDP(名目)(M\$) (2016年)		1次エネルギー供給(MTOE) (2015年)	
1	中国	140,952	米国	18,569,100	中国	3,051.50
2	インド	133,918	中国	11,218,281	米国	2,182.31
3	米国	32,446	日本	4,938,644	インド	824.74
4	インドネシア	26,399	ドイツ	3,466,639	ロシア	710.88
5	ブラジル	20,929	イギリス	2,629,188	日本	435.91
6	パキスタン	19,702	フランス	2,463,222	ドイツ	311.84
7	ナイジェリア	19,089	インド	2,256,397	ブラジル	303.24
8	バングラデシュ	16,467	イタリア	1,850,735	韓国	276.16
9	ロシア	14,399	ブラジル	1,798,622	カナダ	272.46
10	メキシコ	12,916	カナダ	1,529,224	フランス	245.70
11	日本	12,748	韓国	1,411,246	イラン	237.08
12	エチオピア	10,496	ロシア	1,280,731	インドネシア	225.51
13	フィリピン	10,492	オーストラリア	1,258,978	サウジアラビア	213.51
14	エジプト	9,755	スペイン	1,232,597	メキシコ	187.33
15	ベトナム	9,554	メキシコ	1,046,002	英国	180.01
16	コンゴ	8,134	インドネシア	932,448	イタリア	150.72
17	ドイツ	8,211	トルコ	857,429	南アフリカ	147.02
18	イラン	8,116	オランダ	771,163	ナイジェリア	134.71
19	トルコ	8,075	スイス	659,850	オーストラリア	130.60
20	タイ	6,904	サウジアラビア	639,617	トルコ	129.68

1次エネルギー供給：発電・転換部門で生じるロスまでを含めた、必要とされる全てのエネルギーの量



原子力発電
利用国

10/20

15/20

14/20

出所) 人口：世銀 GDP：IMF 一次エネルギー供給：IEA

3. 世界の原子力発電と今後の展望

(3) 福島事故以降の諸外国の動向

中国：安全性確保を前提に積極的な開発方針を堅持。2020年には発電設備容量を5,800万kW、建設中の設備容量を3,000万kWを目指す。

インド：クダンクラム3/4号機、ラジャスタン7/8号機、カクラパー3/4号機等を建設中

ロシア：国内外での積極的な開発姿勢を継続、2030年までに11基の新設を予定

フランス：2025年に原子力比率低減（75%→50%）、設備容量上限を63.2GWとする（エネルギー転換法） # 2017年11月、低減政策再考か

イギリス：既設炉代替として6地点で新設計画。低炭素電源として原子力を位置づけ、固定価格買取制度を導入。

アメリカ：電力需要の低迷や安価な天然ガス価格を背景に、閉鎖する既設炉も登場。しかし設備容量は維持する見通しで2基が建設中。

韓国：2017年10月、討論型世論調査の結果、徐々に原子力依存度を下げることが閣議決定。

スイス：2011年5月25日、2034年までに順次廃炉の方針を発表

イタリア：2011年6月13日、国民投票の結果、原子力発電所の新規建設を無期限凍結

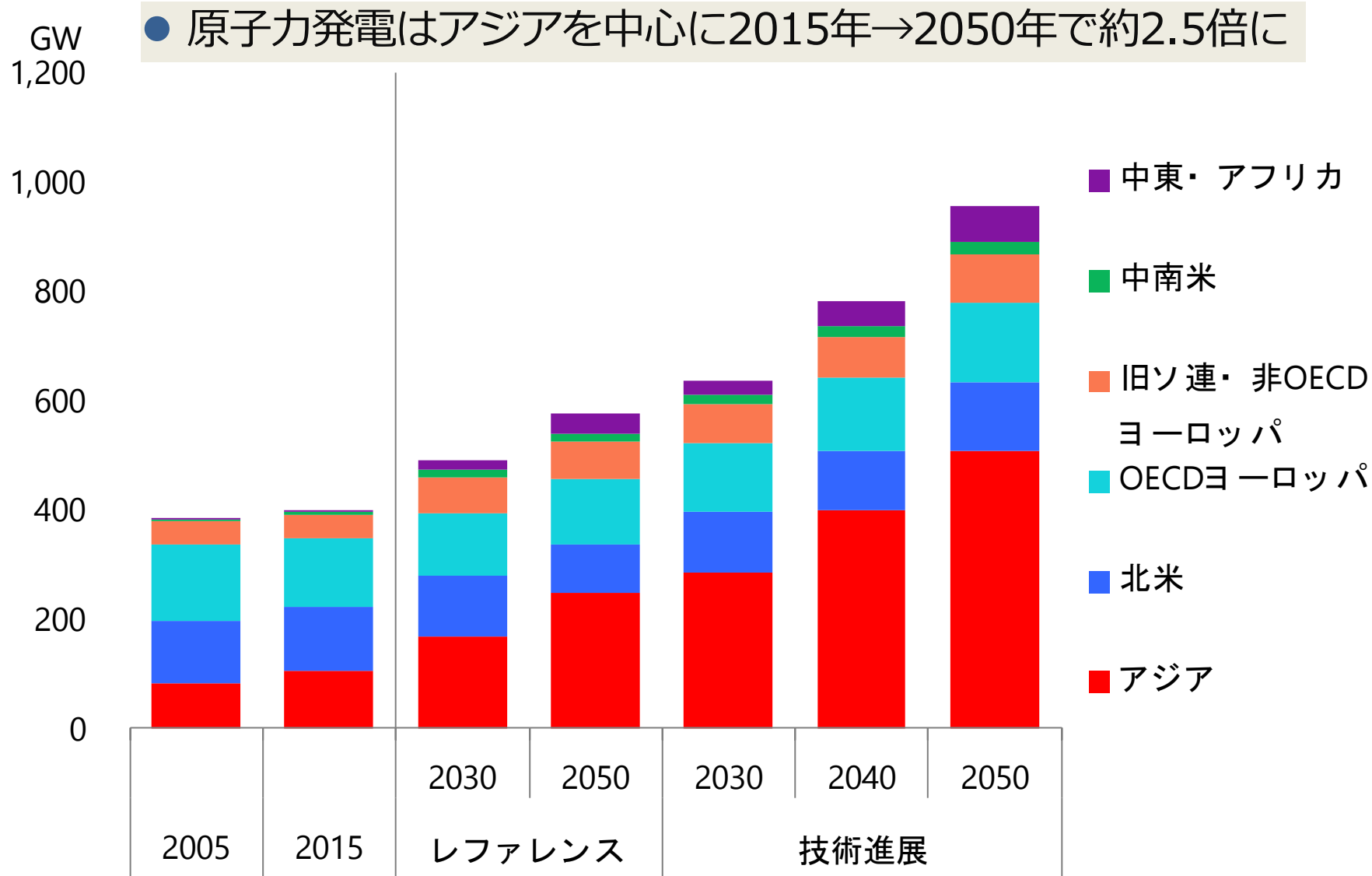
ドイツ：2011年8月1日、第13次原子力法改正法施行（2022年までに原子力発電所を全て廃止）

原子力
推進

脱
原子力

3. 世界の原子力発電と今後の展望

(4) 世界の原子力発電開発の長期見通し



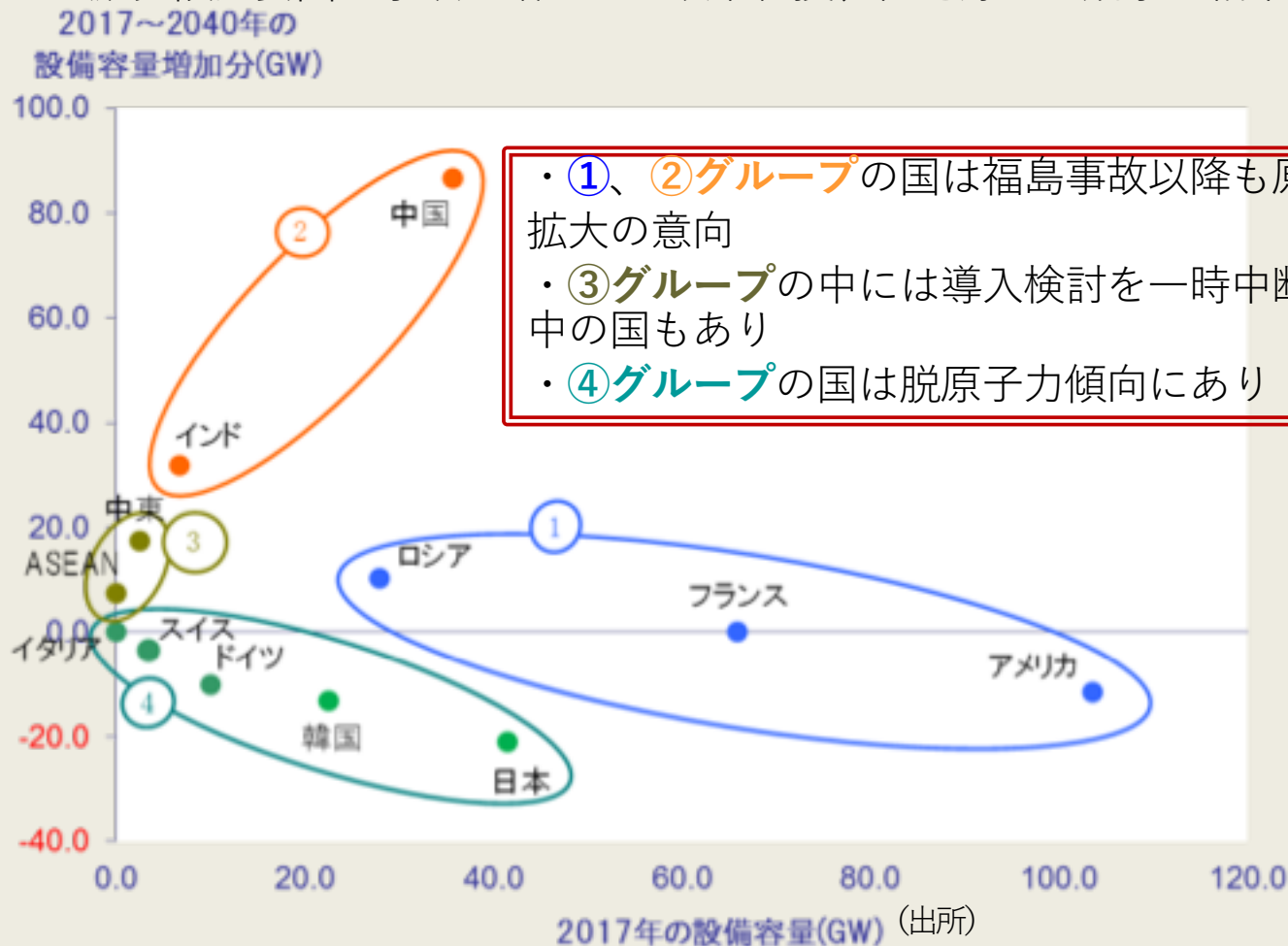
出所) 『IEEJアウトルック2018』 技術進展シナリオ
(一財) 日本エネルギー経済研究所、2017年10月

3. 世界の原子力発電と今後の展望

(5) 原子力を増加させる国、維持する国、脱原子力する国 (1/2)

各国のエネルギー事情を反映した各国の原子力政策から動向をマッピング

- 増加傾向要因：急増するエネルギー需要、CO2排出量削減 など
- 減少傾向要因：事故を踏まえた政策転換、他電源との競争の結果 など



- ・ ①、②グループの国は福島事故以降も原子力利用継続・拡大の意向
- ・ ③グループの中には導入検討を一時中断中ないしは停滞中の国もあり
- ・ ④グループの国は脱原子力傾向にあり

設備容量：日本原子力産業協会「世界の原子力発電開発の動向」
設備容量増加分：「アジア/世界エネルギーアウトルック」

3. 世界の原子力発電と今後の展望

(5) 原子力を増加させる国、維持する国、脱原子力する国 (1/2)

- 原子力大国
- 原子力拡大国
- 原子力導入検討国
- 脱原子力傾向国

福島事故を境目に
変わったのは

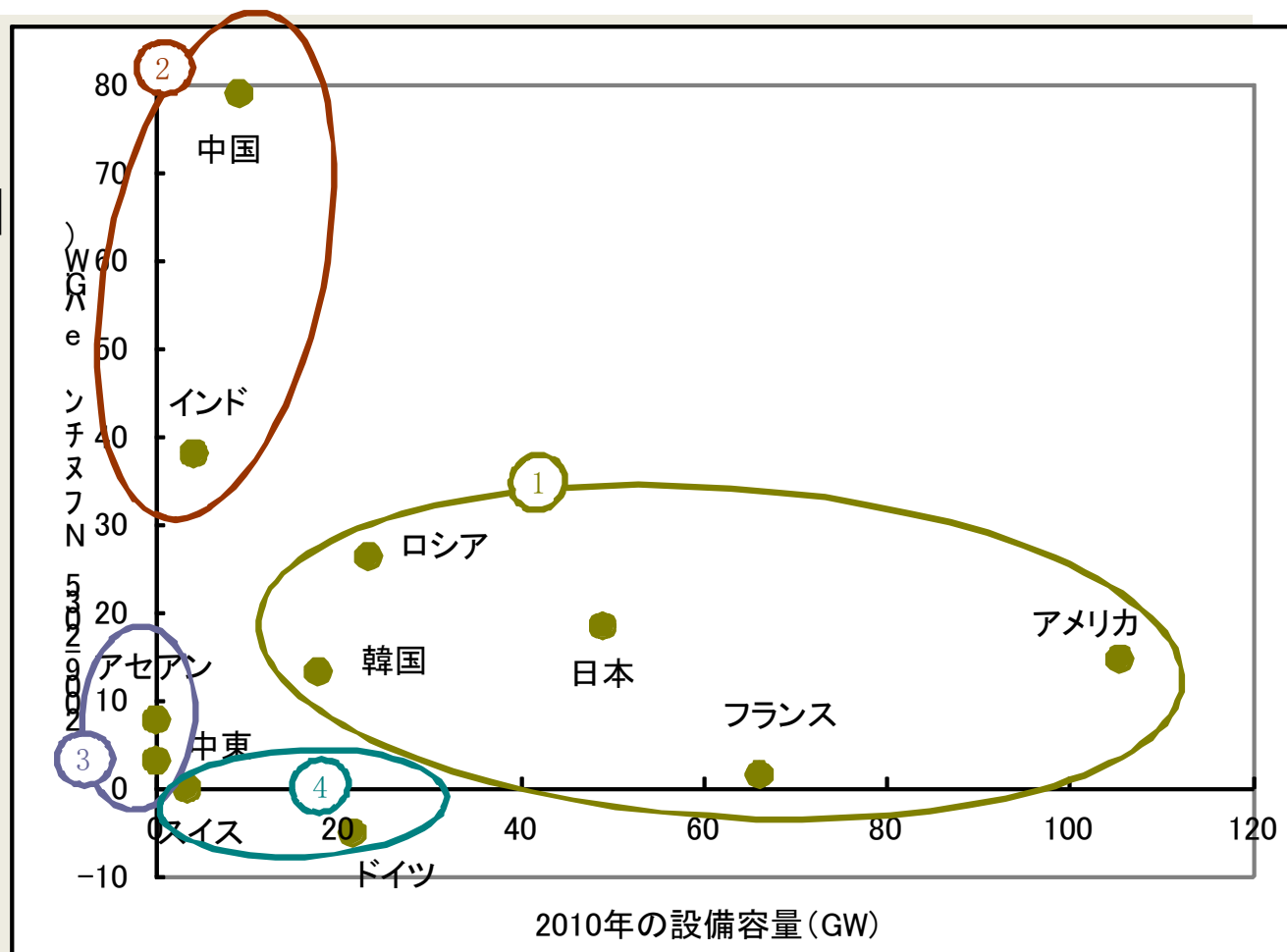
...

日本だけ！



エネルギー政策は
事故では変わらない

* 韓国の政策転換は2017年から



(出所)

設備容量：日本原子力産業協会「世界の原子力発電開発の動向」
設備容量増加分：「アジア/世界エネルギーアウトルック」

4. 第4世代原子炉

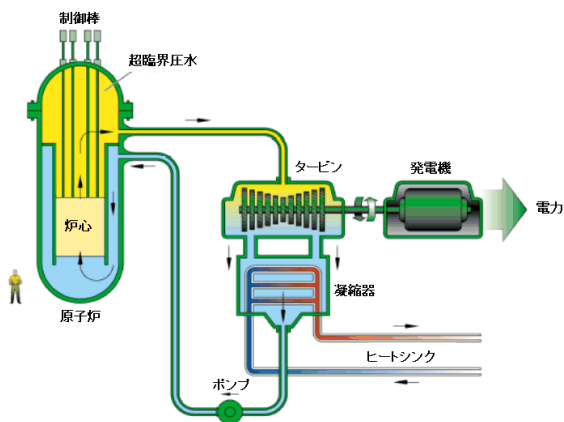
(1) 開発目標：エネルギー源としての持続可能性

- 燃料の効率的利用->他のエネルギー源とも競合できる高い経済性
- 核廃棄物の最小化
- 核拡散抵抗性の確保
- 安全性/信頼性の向上
- 敷地外の緊急時対応の必要性排除 など

<経緯>

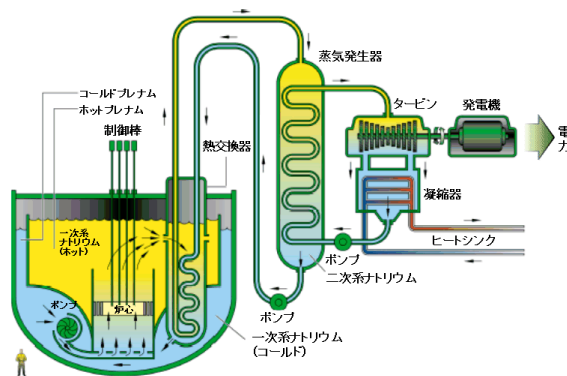
- 2000年、米国エネルギー省が2030年頃の実用化を目指し提唱
- 2001年4月～ 関係各国から原子炉概念を公募
 - 関係各国が公募したアイデアを技術作業グループ（Technical Working Group：TWG）で検討
 - その結果をロードマップ統合チーム（Roadmap Integration Team：RIT）がレビューして概念候補を選定
- GIF（Generation IV International Forum）で議論
- 2002年7月 GIFリオデジャネイロ会議において6概念を選定

4. 第4世代原子炉 (2)選定された6概念



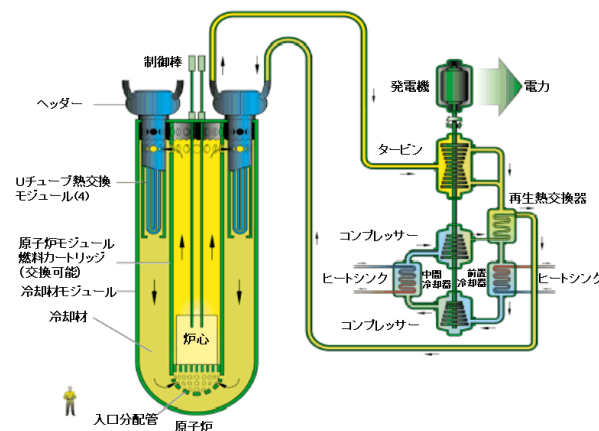
超臨界圧水冷却 (SCWR)

- 超臨界水 (220気圧、374℃以上) を用いた装置のコンパクト化と熱効率向上



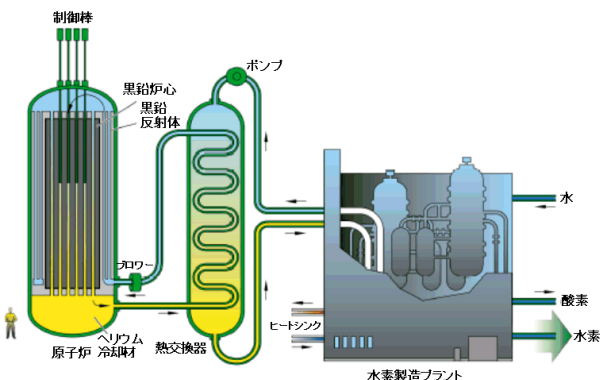
ナトリウム冷却高速 (SFR)

- 技術的に最も成熟。革新技術の導入による安全性・経済性等の向上



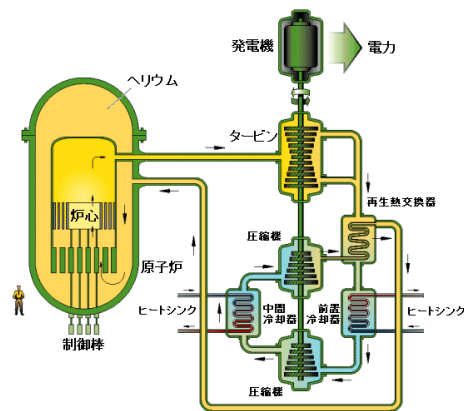
鉛冷却高速炉 (LFR)

- 化学的に活性なナトリウムの代わりに鉛を採用



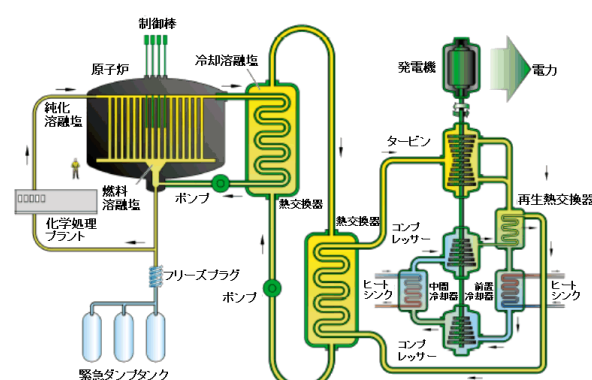
超高温ガス炉 (VHTR)

- 高温ガス (950℃～) の産業利用



ガス冷却高速炉 (GFR)

- 化学的に活性なナトリウムの代わりにヘリウムガスを採用



溶融塩炉 (MSR)

- 図は、トリウム燃料 (液体燃料) を使用した熱中性子炉の概念。GIFでは、溶融塩高速炉 (液体燃料) と溶融塩冷却材による高温炉 (固体燃料) を検討中。

4. 第4世代原子炉 (3) 国際協力

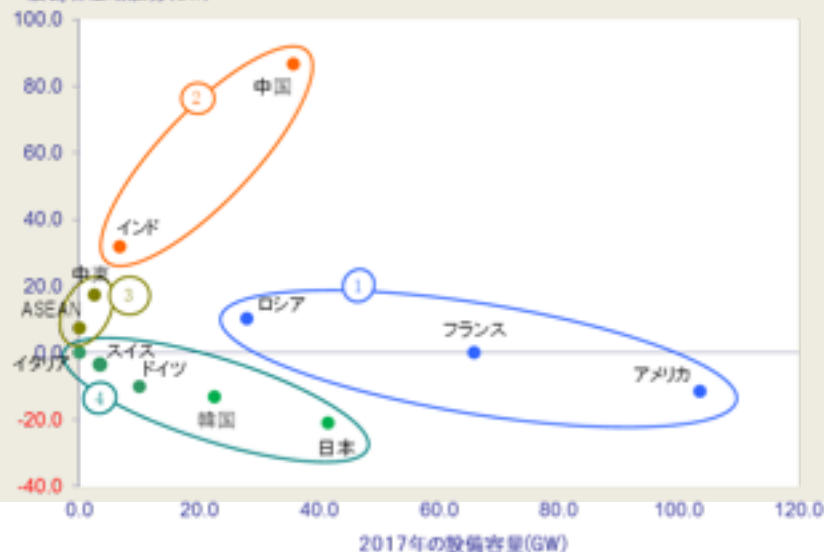
● GIF参加国の各概念への参加状況

	CA	CN	EU	FR	JP	KR	RU	CH	US	ZA
System										
VHTR	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	P
SFR		✓	✓	✓	✓	✓	0		✓	
GFR			✓	✓	✓			✓		
SCWR	✓		✓	P	✓					
LFR			P		P				P	

第4世代炉の開発を主導するのは
やはり原子力大国&拡大国

当たり前

2017~2040年の
設備容量増加分(GW)



Thank you for your attention
Merci pour votre attention
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit
Tack för er uppmärksamhet



Photo : 玄海原子力発電所と玄海風力発電所
2017/8/5