

2050 C N 実現へのロードマップ ～技術イノベーションと社会実装に向けて～

原子力発電

一般社団法人 日本電機工業会
原子力部 小澤 隆



C N : Carbon Neutrality(カーボンニュートラル)

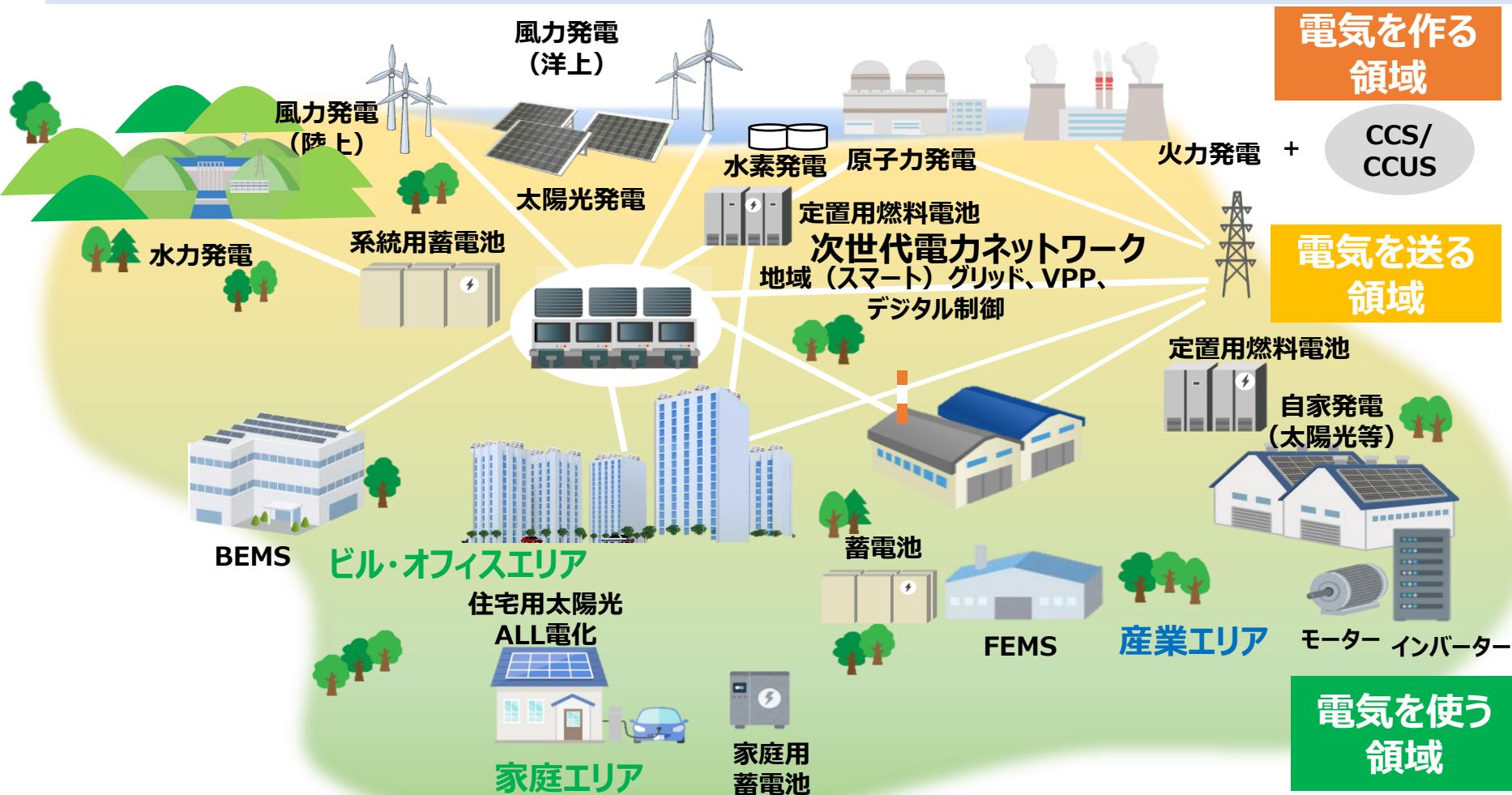
一般社団法人 日本電機工業会（JEMA）は、本年5月、当会事業領域を通じわが国の2050年カーボンニュートラル実現に大きく貢献することを目的に、関連機器システム技術のイノベーション、およびその社会実装に向けステークホルダーと議論していく際の礎とするロードマップを策定しました。

JEMAは、電気をつくる領域、電気を送る領域、電気をつかう領域など幅広い分野において、製品・サービスを提供しています。当業界はこの全ての領域で、カーボンニュートラル実現のための技術的なポテンシャルを有しています。2050年カーボンニュートラル実現は極めて野心的な目標ではありますが、JEMAはその実現に大きく貢献するために、強力な技術イノベーション政策を推進します。

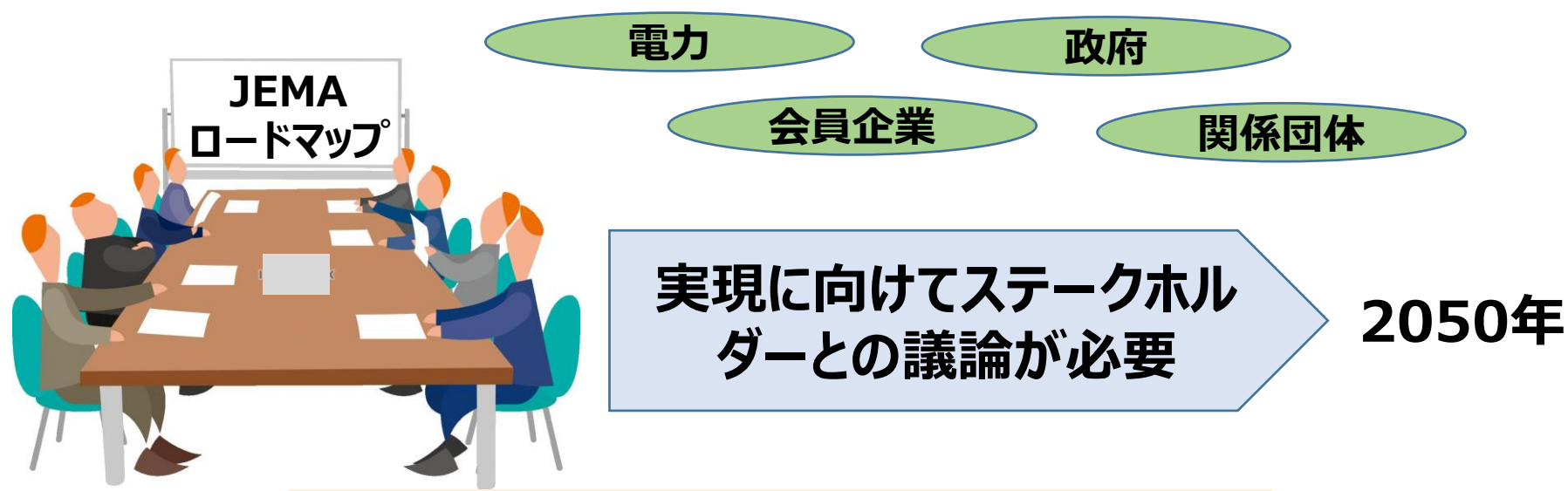
今後JEMAは本ロードマップに基づき、中長期的な視点で電力・エネルギーの脱炭素化、電化・電動化、徹底した省エネ化などに向けた提言や技術イノベーションを推し進めます。同時に会員企業、官庁、電力事業者などあらゆるステークホルダーの皆さまと積極的に議論し、2050年カーボンニュートラルの実現に向けて検討を進めてまいります。

1. はじめに

日本政府の「2050年カーボンニュートラル宣言」を受け、 JEMAはその達成に向けてロードマップを策定



2. JEMAロードマップの背景・目的



	アクション	ステークホルダー
太陽光	国内産業振興のため、日本主導で車載用、建材一体形の新規製品の国際規格の提案・整備	経済産業省、機器メーカー、自動車メーカー、施工会社、太陽光発電協会(JPEA)、試験機関
風力	洋上風力発電の出力変動を予測し、再生エネルギー発電量の最大化を目指した電力系統バランス維持のための技術確立	気象コンサルタント 一般配電事業者
原子力	新型炉の特性に合わせた規制の在り方議論	原子力規制庁、原子力学会、 原子力IIRギ-協議会(ATENA)
基幹系統	調整力評価、電力系統の整備に関する政策・施策面での連携	経済産業省、 電力広域的運営推進機関(OCCTO)
	脱SF6技術への移行に向けた政策・施策面での連携	経済産業省、環境省、 送配電網協議会

3. 電源構成と年間発電電力量の想定 (2019,2030,2050年試算結果)

		(a)電源構成比(%)			(b)年間発電電力量(億kWh)			(c)設備容量(GW)			(d)設備利用率(%)		
		2019※1	2030※1	2050※2	2019※1	2030※1	2050※2	2019※1	2030※1	2050※3	2019※1	2030※1	2050※3
再エネ		18	36～38	53	1,853	3,530	7,200						
太陽光※4		6.7	14～16	30	690	1,460	4,030	50	118	300	16	14	15
	産業用	(5.2)	(10～11.6)	(23)	(538)	(1,170)	(3,085)	(37)	(84)	(217)	(18)	(16)	16
	住宅用	(1.5)	(4～4.4)	(7)	(152)	(380)	(945)	(13)	(34)	(83)	(14)	(13)	13
	風力※4	0.7	5	8	77	510	1,080	4	24	42	24	24	29
	陸上風力	(0.7)	(3.8)	(3)	(76.3)	(340)	(340)	(4)	(17.9)	(17)	(24)	(22)	(23)
	洋上風力	(0.01)	(1.2)	(5)	(0.3)	(170)	(740)	-	(5.7)	(25)	-	(34)	(34)
	地熱	0.3	1	1	28	110	137	0.6	1.5	2	53	84	80
	水力	7.7	11	10	796	980	1,372	50	51	56	40	48	55
	一般水力	-	-	-	(796)	(980)	(1,372)	(22.5)	(23.5)	(28.5)	(40)	(48)	(55)
	揚水	-	-	-	-	-	-	(27.5)	(27.5)	(27.5)	-	-	-
	バイオマス	2.6	5	4	262	470	581	5	8	11	75	67	60
水素アンモニア		-	1	4	-	90	500	-	1.5	8	-	70	70
原子力		6	20～22	20	614	1,880	2,700	9	31	36	77	70	85
火力・CCUS		76	41	23	7,782	3,840	3,100	127	63	51	70	70	70
合計		100	100	100	10,249	9,340	13,500						

3. 電源構成と年間発電電力量の想定

【ご参考】4ページの表の説明

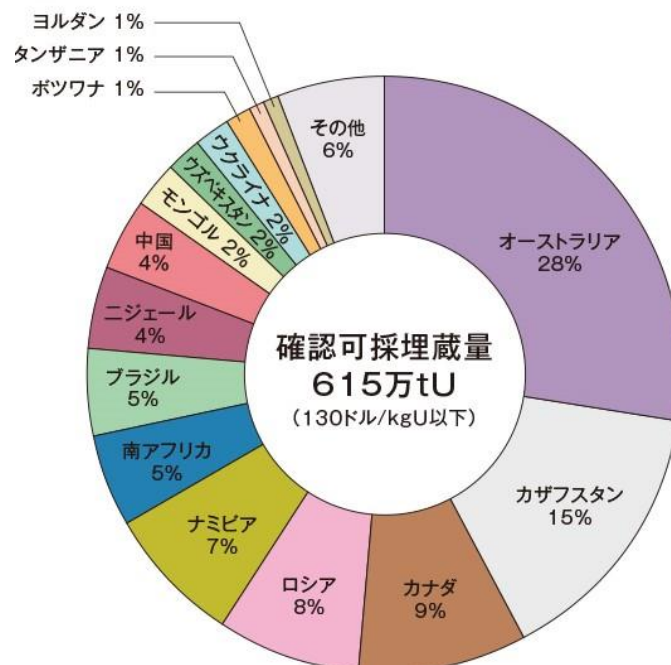
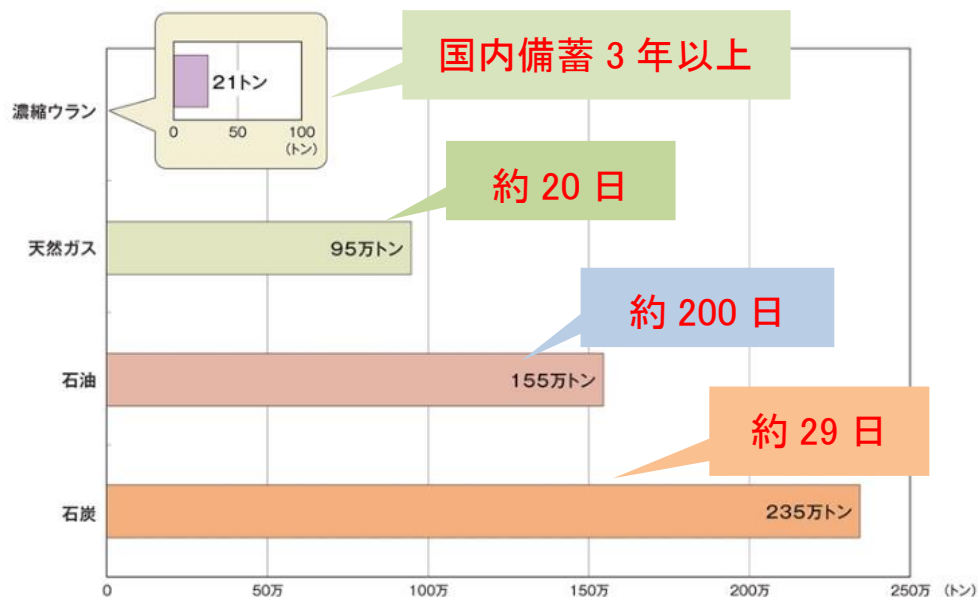
- ※1 2019年、2030年の(a)電源構成比、(b)年間発電電力量、(c)設備容量は、資源エネルギー庁の資料から作成。(d)設備利用率は、JEMAで試算した。
$$(d)設備利用率 = (b)年間発電電力量 / ((c)設備容量 \times 365日 \times 24時間) \times 100$$
- ※2 2050年の(a)電源構成比、(b)年間発電電力量は、「経済産業省 基本政策分科会」で検討中のシナリオを参考にしたが、JEMAにて検討を加えた結果、同資料ケース③を採用するものとした。なお、再エネの内訳が示されていないので、JEMAで試算した。
- ※3 2050年の(d)設備利用率は、JEMAで設定し、(c)設備容量を試算
$$(c)設備容量 = ((b)年間発電電力量 / (d)設備利用率 \times 100) / 365日 / 24時間$$
- ※4 2050年の太陽光公共系・住宅用、陸上風力、洋上風力、地熱、水力の(a)電源構成比、(b)年間発電電力量、(c)設備容量、(d)設備利用率は、JEMAで試算した。

4. 原子力発電の特性、国の方針

第6次エネルギー基本計画の記載事項

原子力は、燃料投入量に対するエネルギー出力が圧倒的に大きく、数年にわたって国内保有燃料だけで生産が維持できる低炭素の準国産エネルギー源として、優れた安定供給性と効率性を有しており、運転コストが低廉で変動も少なく、運転時には温室効果ガスの排出もないことから、安全性の確保を大前提に、長期的なエネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源である。

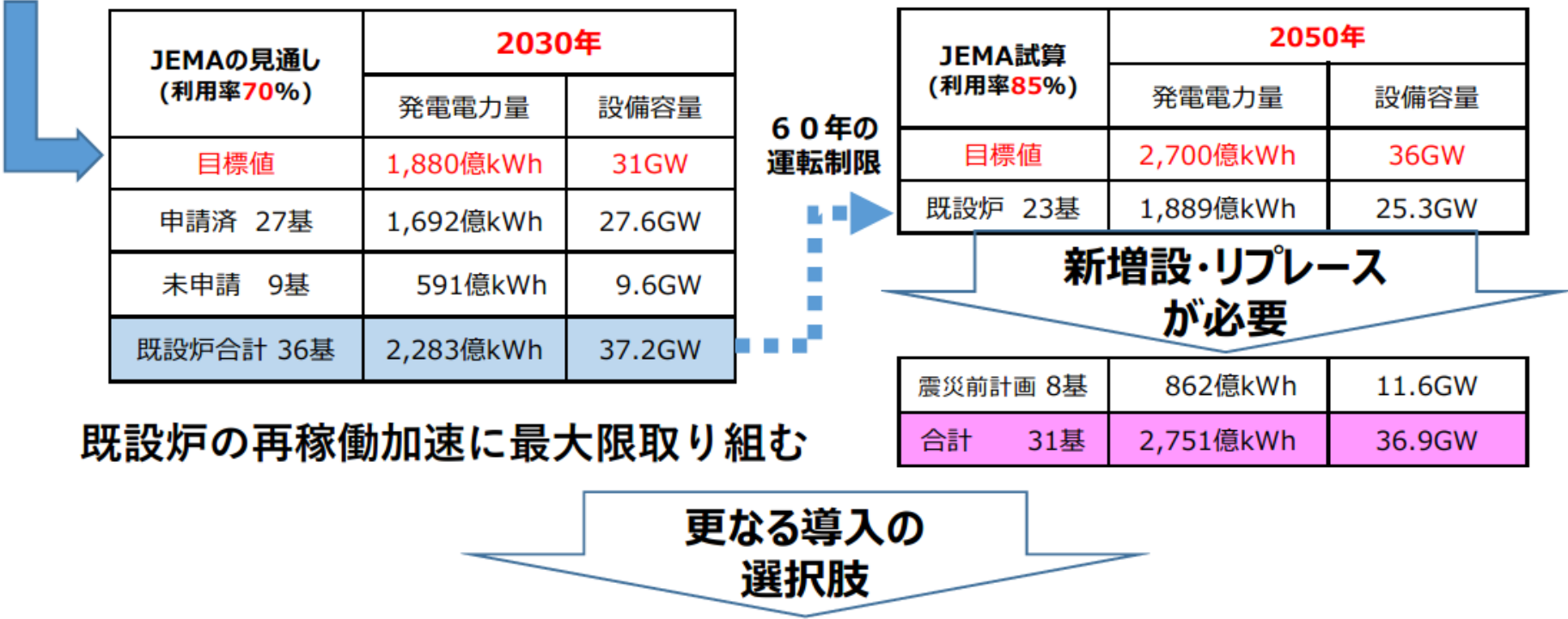
100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料



5. 2050年カーボンニュートラルに貢献する原子力発電

2030年エネ基引用、2050年の設定値

項目	電源構成比(%)			年間発電電力量(億kWh)			設備容量(GW)			設備利用率(%)		
年	2019	2030	2050	2019	2030	2050	2019	2030	2050	2019	2030	2050
原子力	6	20~22	20	614	1,880	2,700	9	31	36	77	70	85



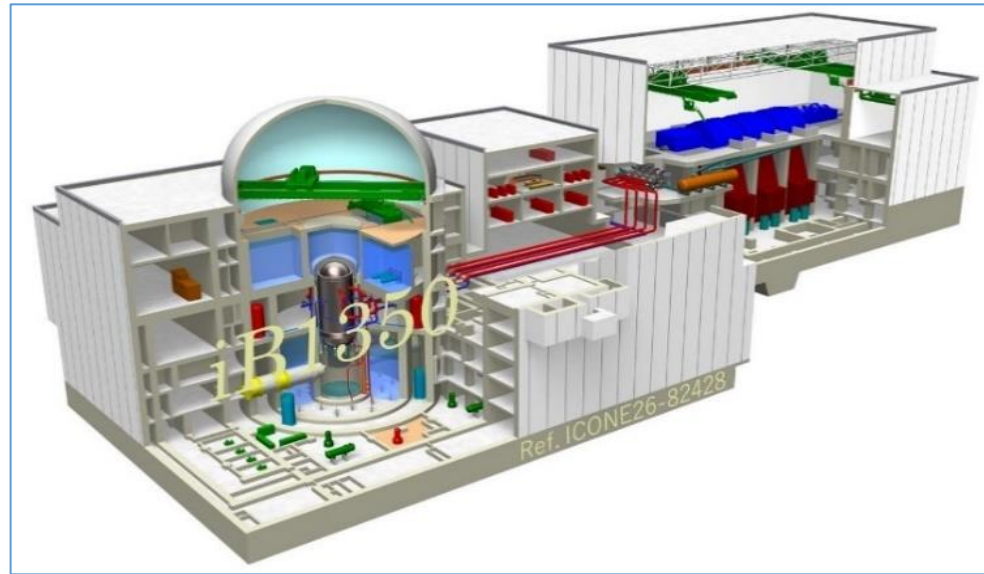
- ① 既設サイトへの中大型炉の増設・リプレース等の追加
- ② 静的安全システムを備えた小型炉など、原子力イノベーションの社会実装
- ③ 米国等国際的に進められている60年を超える運転の検討・実現

6. 安全性を強化した革新的軽水炉で新增設・リプレース

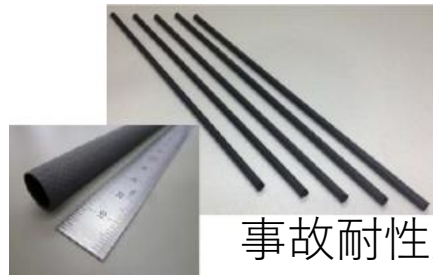
日本の新規制基準要求への適合性を踏まえ、地震・津波などの自然災害への耐性強化、事故耐性燃料等最新の知見・技術を取り入れたシビアアクシデント対策や大規模航空機衝突等の外部脅威（テロ）等への耐性強化など、大幅に安全性・信頼性を向上させるプラントを実現、早期の市場投入を目指す。



次世代軽水炉（PWR）



次世代軽水炉（iB1350）



事故耐性燃料の例

7. 軽水炉によるプルトニウムの利用

原子力発電に使用するウランは、燃えやすいウラン235が自然界において0.7%

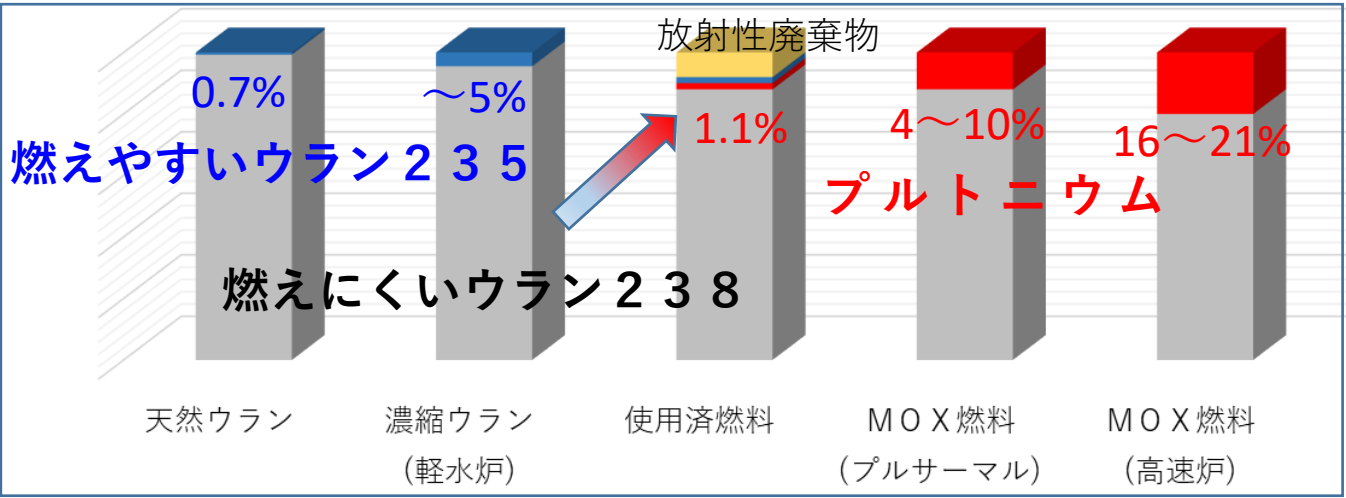
限りあるウラン資源

使用済燃料の再処理で抽出されたウラン/プルトニウム混合酸化物燃料の利用

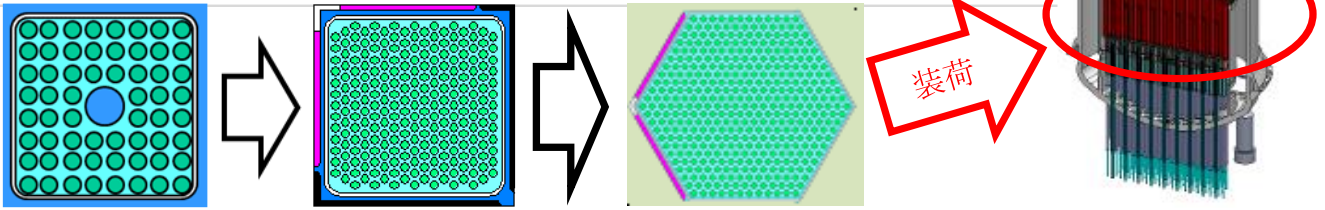
プルサーマル高度化

混合酸化物燃料 = MOX燃料
(MOX燃料; Mixed Oxide Fuel)

プルサーマルを段階的に高度化させつつ、ウラン資源の利用効率を高め、原子力発電の利用期間を格段に長くすることが可能



プルサーマル：現行の軽水炉によるプルトニウム利用

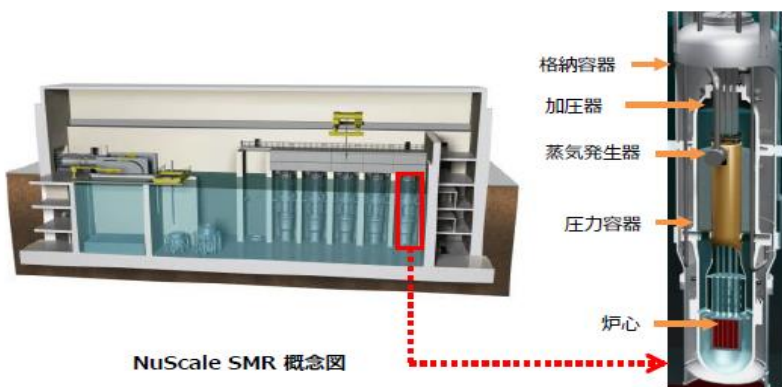


8. 小型炉の開発と社会実装

大型原子力発電所の建設の遅延、コストの大幅な上昇などの新たな課題

大型のポンプや電源を必要としない非常用炉心冷却系（静的安全系）の採用等、
シンプルで安全性と経済性を向上させる

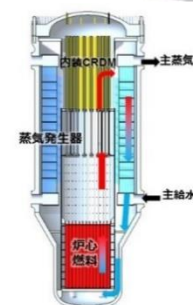
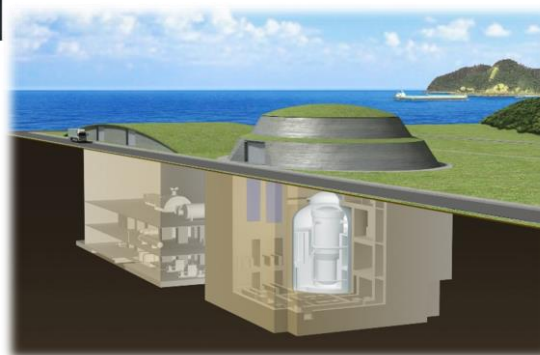
工場生産の範囲を拡大し、現地工事の期間を短縮させるなど、
早期に投資回収を開始できるメリット



NuScale SMR 概念図

NuScale（米国の開発に参加）

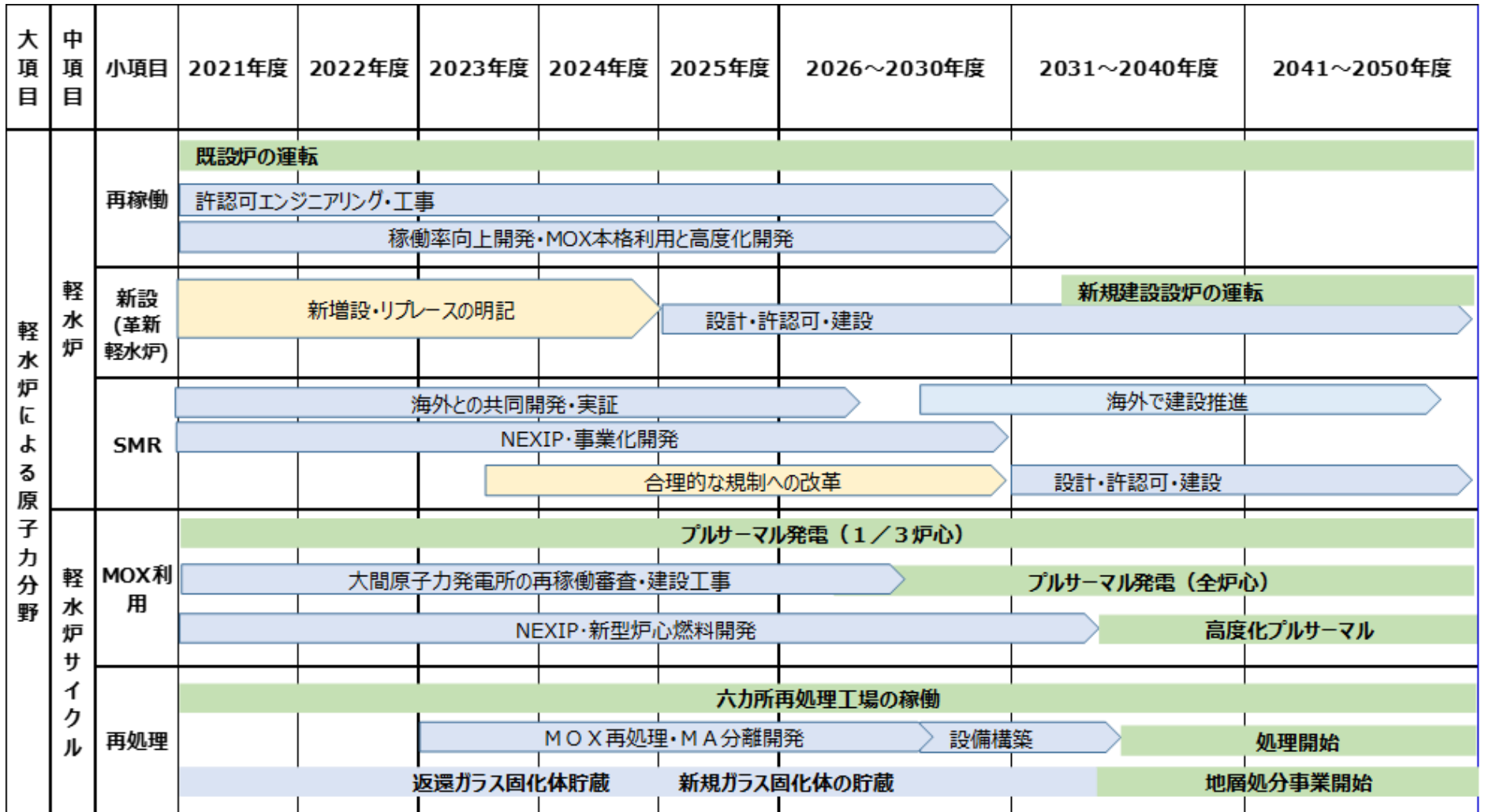
BWRX-300（日米共同開発）



三菱小型軽水炉

9. 軽水炉利用のロードマップ

2050年カーボンニュートラルと、安価で安定的な電力供給への貢献



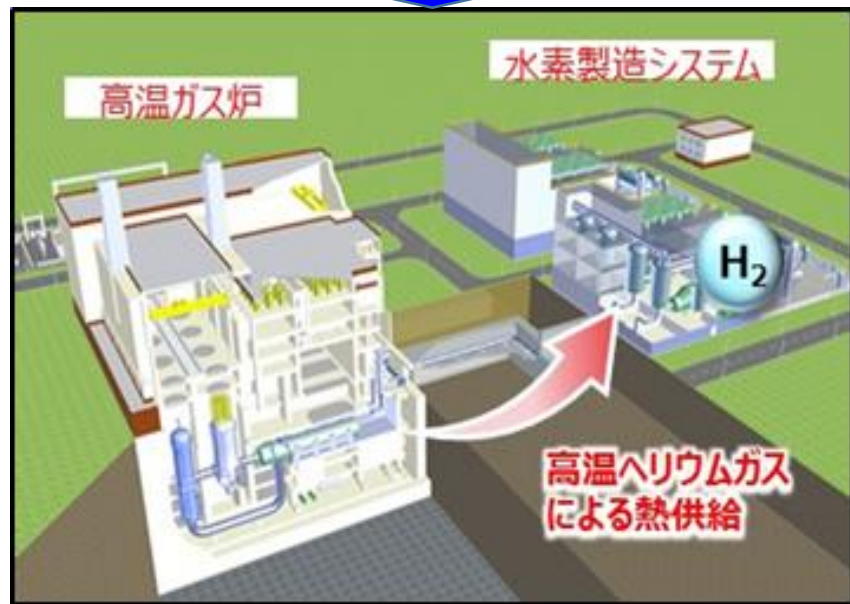
10. 高温ガス炉による発電以外の脱炭素化への貢献

高温ガス炉は、原子炉から950℃の熱を取り出すことができ、水素製造等のカーボンフリーエネルギーの新たな産業利用への展開が期待

- ◆ 冷却材には不活性ガスであるヘリウムを採用、
- ◆ 燃料は燃料核に熱分解炭素、炭化珪素で多重に被覆した微小粒子
- ◆ 原子炉の熱出力密度を抑え、事故時にも輻射の熱伝達により燃料の過熱を防ぐ

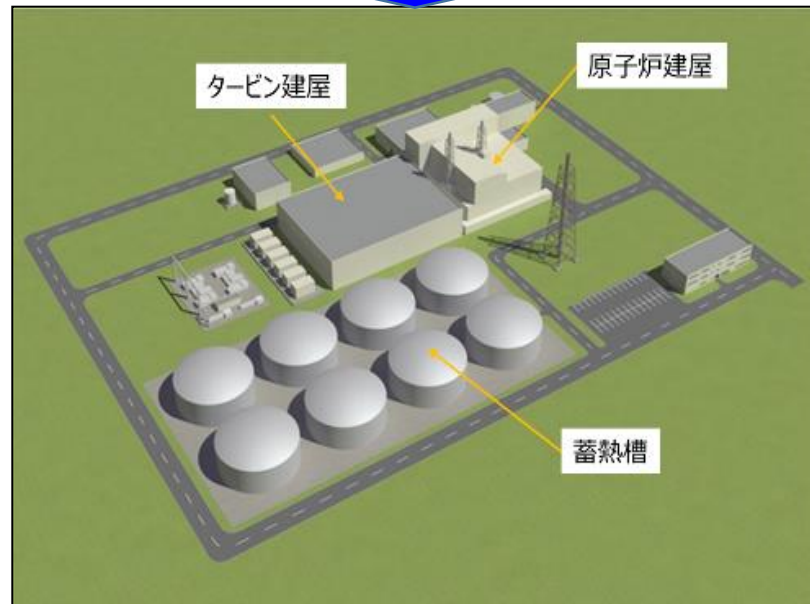
日本原子力研究開発機構の高温工学試験研究炉が、2021年7月に再稼働

成果の活用



水素製造システムとの組み合わせ

成果の活用



蓄熱設備と組み合わせ

11. 高速炉サイクルによる資源長期利用と 高レベル廃棄物の有害度低減

高速炉開発の意義

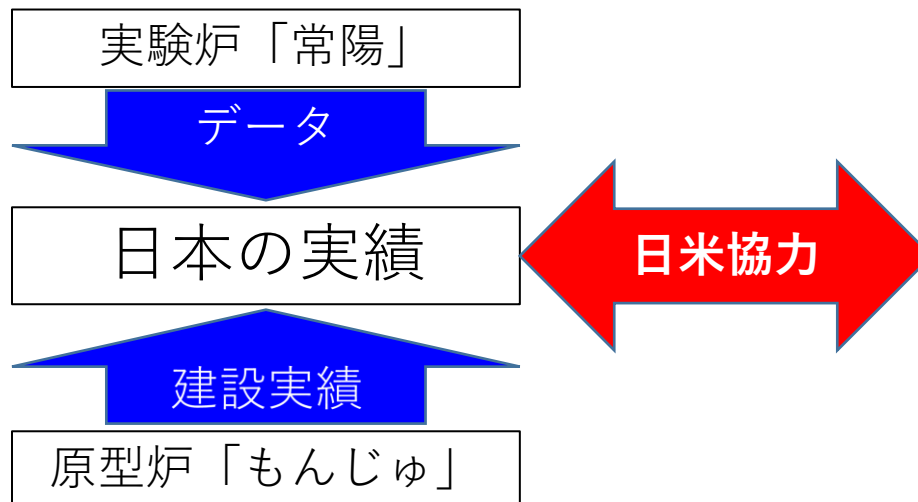
軽水炉では燃えにくかったウラン238の利用効率を大幅に向上させ、ウラン資源の利用率を60～100倍（現在確認されたウラン資源埋蔵量約100年分から6,000～10,000年に拡大）に高める技術開発に挑戦

政府の方針

政府の戦略ロードマップ(2018年12月)

21世紀半ば頃の適切なタイミングにおいて、技術成熟度、ファイナンス、運転経験等の観点から現実的なスケールの高速炉が運転開始される

国際協力による開発の加速



【参考】 高速炉開発のメリット・長期戦略

- 原子炉での燃焼により、使用済み燃料に含まれるPu利用/有害度低減は理論的に可能。
- 学生や若い技術者が、革新的で夢のある開発に取り組む場の提供が必要。
- 長期開発には、産官学・国際協力の枠組み構築や研究インフラの整備が必要。

大型軽水炉

高速中性子炉

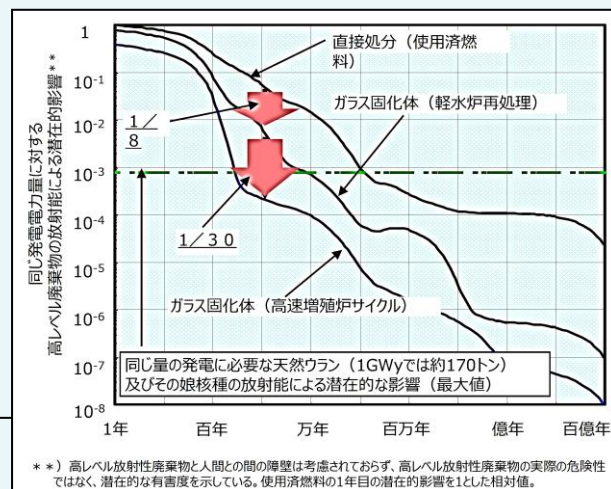
(商業化の目処あり)

使用済み燃料中のPuを燃焼し、有害度低減期間を10万年から8000年に短縮

プルサーマル本格化

高速中性子炉の実用化

実証炉 ⇒ 実用炉
プラント機器・要素開発等



(JAEA資料より)

使用済み燃料中のMAを分離・燃焼し、有害度低減期間を300年に短縮

MA*分離・燃焼

(長期間の開発が必要)

MA*分離技術・高速炉サイクルの実用化

実験室レベル

⇒ 工学実証

⇒ 確証試験

- 要素技術の成立性確認
- 課題解決のロードマップ

- 研究インフラの整備
- ホットラボ
- 試験研究炉、他

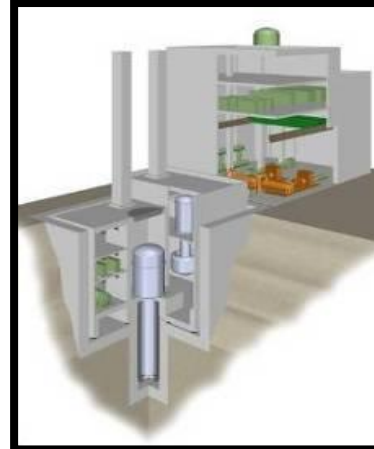
- 推進/規制が共同で、データ取得
- 推進者は、設計・製造・運転に活用
- 規制側は、規制・基準の整備に活用

*) MA(Minor Actinide): 超ウラン元素からPuを除いた元素

12. 超小型原子炉、核融合炉開発

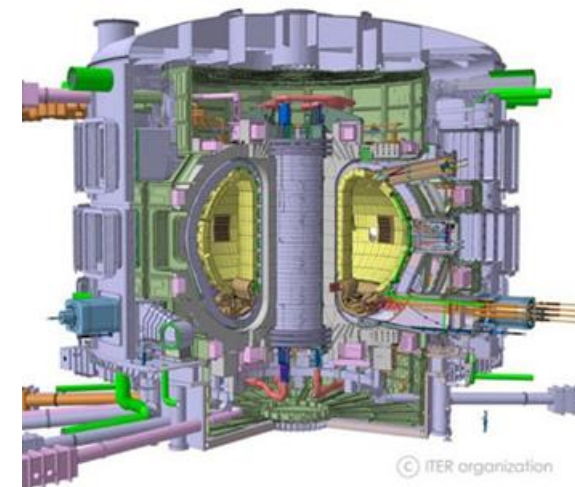
新たな立地多様化を目指す超小型炉

- ◆ 燃料交換不要、長期間の遠隔・自動運転可能、メンテナンスフリー等
- ◆ 離島・僻地・災害用電源など多様な利用を目的として開発



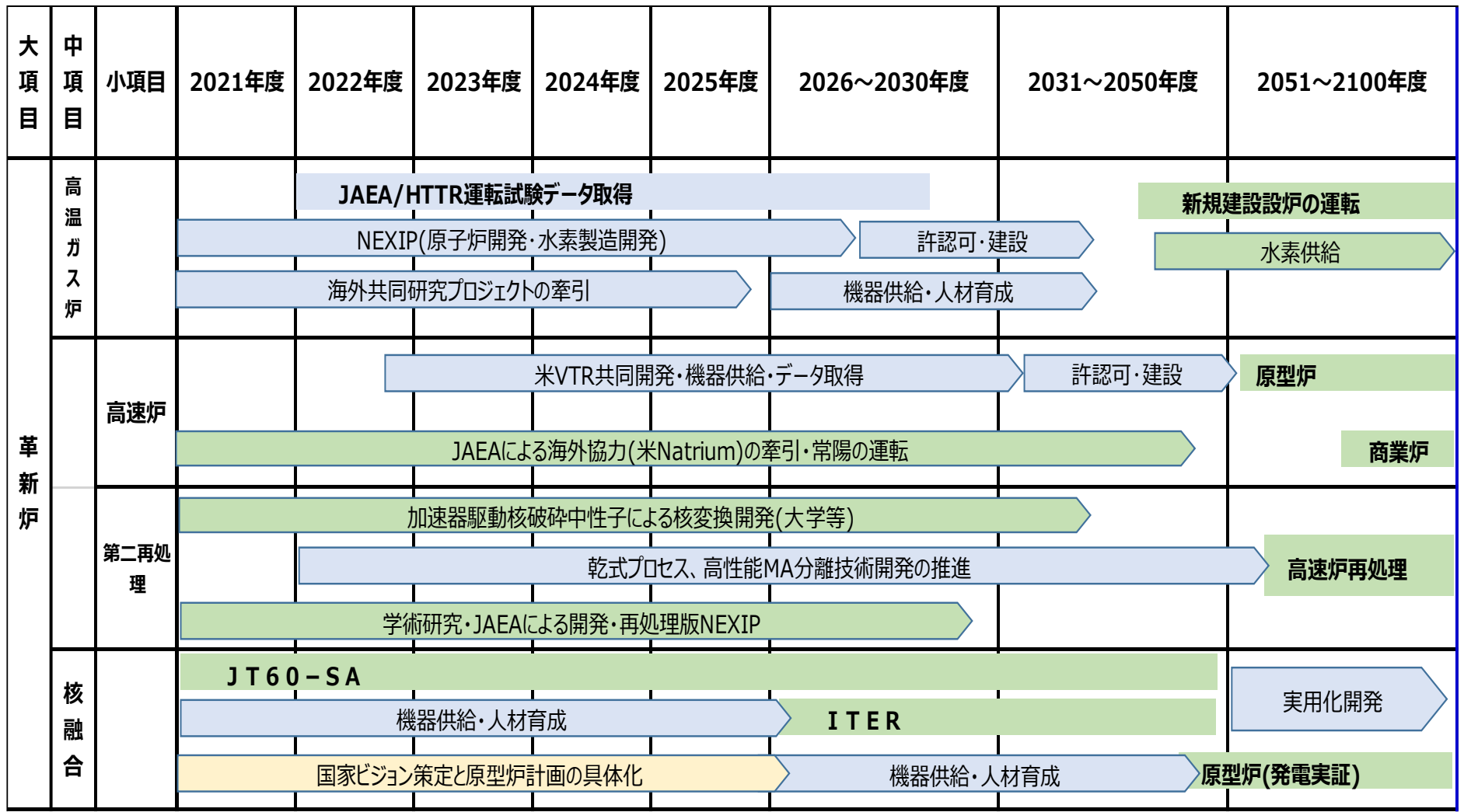
究極のエネルギー核融合への挑戦

- ◆ 少量の重水素と三重水素の核融合反応で生じる莫大なエネルギーを利用
- ◆ 重水素は天然に存在する水から分離、三重水素はリチウムの核変換から容易に生成でき、
地球上に大量に存在 ⇒ 資源問題の解決
- ◆ 核融合反応で発生する中性子により放射化される低レベル放射性廃棄物のみ



13. 軽水炉以外の革新技术ロードマップ

100年後もにらんだ安定的なエネルギー供給を目指す原子力イノベーション



14. 今後の課題とアクション

➤ S + 3 E 確保と技術開発

- 既存の原子力発電所の再稼働加速
- 安全で経済的な革新技術の開発
- 資源有効利用と放射性廃棄物の環境負荷低減

➤ 新技術の円滑な社会実装に向けた提言

- 早期に新增設・リプレースの方針明確化
- 国による大型試験施設整備
- 革新技術の社会実装に必要な規制検討

➤ 共通課題の提言活動

- 原子力発電のメリットや安全性の理解活動
- 人材育成、サプライチェーン維持
- 国際協力