

小型原子炉は未来のエネルギー？

松久保 肇(NPO法人原子力資料情報室)

2022年1月27日

オンラインセミナー:原発は気候変動対策?最新の議論を追う



第6次エネルギー基本計画の記述

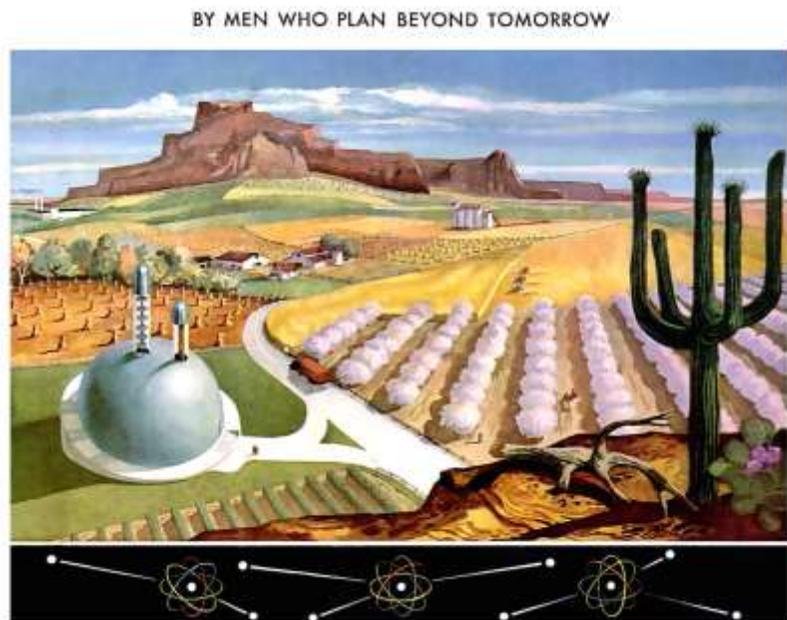
- (小型炉・革新炉など)海外の開発プロジェクトに高い製造能力を持つ日本企業も連携して参画するとともに、国内においても、水素製造を含めた多様な産業利用が見込まれ、固有の安全性を有する高温ガス炉を始め、安全性等に優れた炉の追求など、将来に向けた原子力利用の安全性・信頼性・効率性を抜本的に高める新技術等の開発や人材育成を進める。
- 核融合エネルギーの実現に向け、国際協力で進められているトカマク方式のITER計画や幅広いアプローチ活動については、サイトでの建設や機器の製作が進展しており、引き続き、長期的視野に立って着実に推進するとともに、技術の多様性を確保する観点から、ヘリカル方式・レーザー方式や革新的概念の研究を並行して推進する。



革新炉？



ロールスロイスのSMR 70年前と瓜二つのコンセプト



Deserts Will Bloom Through Atomic Power



NEW "BREAD BASKETS" of the world can grow where only sand and scrub had been. Harvested atomic energy will transform deserts into rich fruit and grain country... provide power to tap subterranean water for irrigation, power to run machines, to operate utilities. Already Atomic scientists are adapting the world's newest wonder to this peacetime use.

AMONG the good things of life, Americans by the millions rate high the wholly unique Canadian whisky they order by name—Seagram's V.O. This lightest of all Canadian whiskeys, this class-outing imperial blend is Canadian whisky at its glorious best.

This Whisky Is Six Years Old—66.8 Proof. Seagram-Bottlers Corporation, N.Y.

Seagram's V.O. Canadian

CANADIAN WHISKY—A BLEND...OF CAREFULLY SELECTED WHISKIES



競合が多すぎる

	陸上軽水炉	海上軽水炉	高速炉	高温ガス炉	重水炉	溶融塩炉	超小型炉	計
米国	6		7	2		4	6	25
ロシア	6	4	2	3			2	17
中国	6	1		1		1	1	10
日本	2		1	2		1	1	7
カナダ			2	1	1	1		5
英国	1					3	1	5
韓国	2		1					3
フランス	1		1					2
その他	2		3	3	1	3	2	14
合計	26	5	17	12	2	13	13	88

- NuScale社の予測

2023年～2042年の間に**674基～1,682基(約34GW～84GW)**の受注見込み

- 過去の東芝が発表していた受注予測

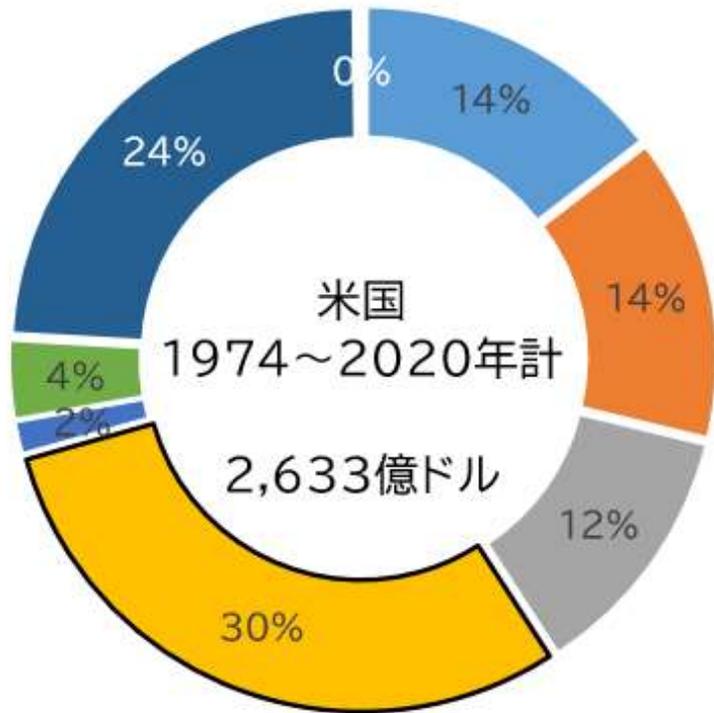
2008年:2015年までに**33基(約36GW)**

2016年:2030年度までに**45基(約50GW)**以上(米WEC単体では**65基(約72GW)**)

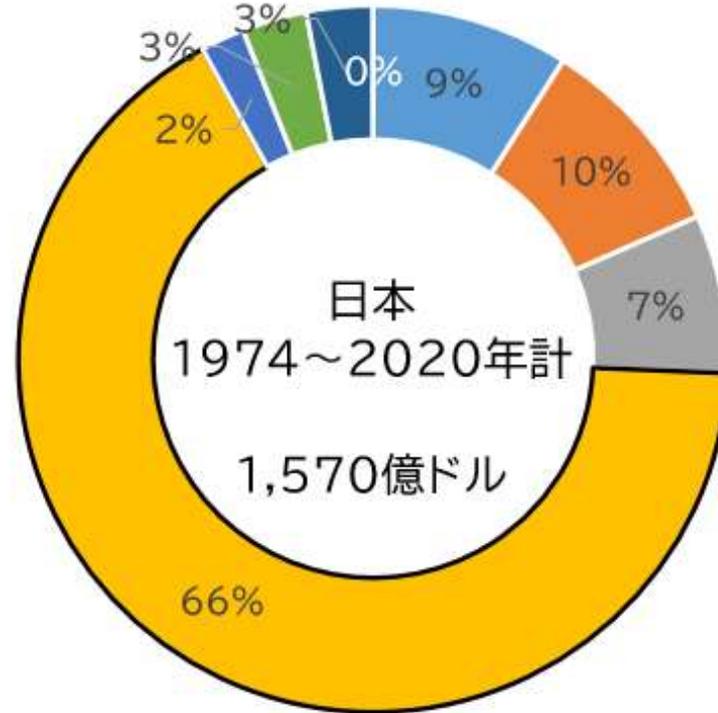
⇒実際は**8基止まり**で、内2基はコストが嵩みすぎて建設中止



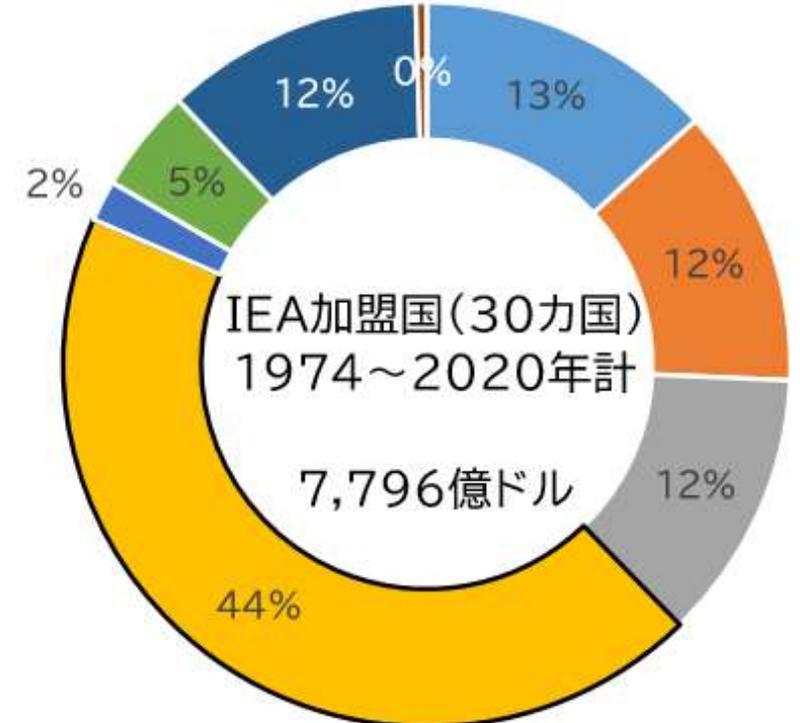
研究開発費 優遇される原子力



- 省エネ
- 原子力
- その他の横断的な技術/研究



- 化石燃料
- 水素・燃料電池
- 未割り当て分



- 再生可能エネルギー
- その他の電源・蓄電池技術

IEA Energy Technology RD&D Budgetsより

国防関連の研究開発費は含まれていない。



補助金漬け産業

米				
2007	DOE	ARPA-E	R&D	
2012	DOE	SMR Licensing Technical Support	B&W 180 MWe mPower	111百万ドル
2012	DOE		SRSでの実証SMR計画	
2013	DOE	NuScale		217百万ドル 5年間で
2016	DOE	SMR Licensing Technical Support	TVA	36.3百万ドル
2015	DOE	Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear(GAIN)	X-energy, Southern	80百万ドル
2016	DOE	GAIN		6.2百万ドル
2018	DOE			60百万ドル
2020	DOE	Advanced Reactor Demonstration Program (ARDP)		160百万ドル
英				
2014	国立核研究所	SMR feasibility study		
2016	DECC	nuclear R&D including SMR		250百万ポンド(5年計)
2018	BEIS	Advanced Modular Reactor (AMR) Feasibility and Development (F&D)		44百万ポンド
2020	BEIS	AMR programme		40百万ポンド
カナダ				
2018	カナダ政府	SMR Roadmap		
2020	産業科学省		Terrestrial Energy	20百万カナダドル
2020	オンタリオ電力	SMRに関するエンジニアリング作業	3社を検討	
日本				
	JAEA	高速炉		3115百万ドル(2010年~のみ)
	JAEA	高温ガス炉		

革新炉は間に合わない

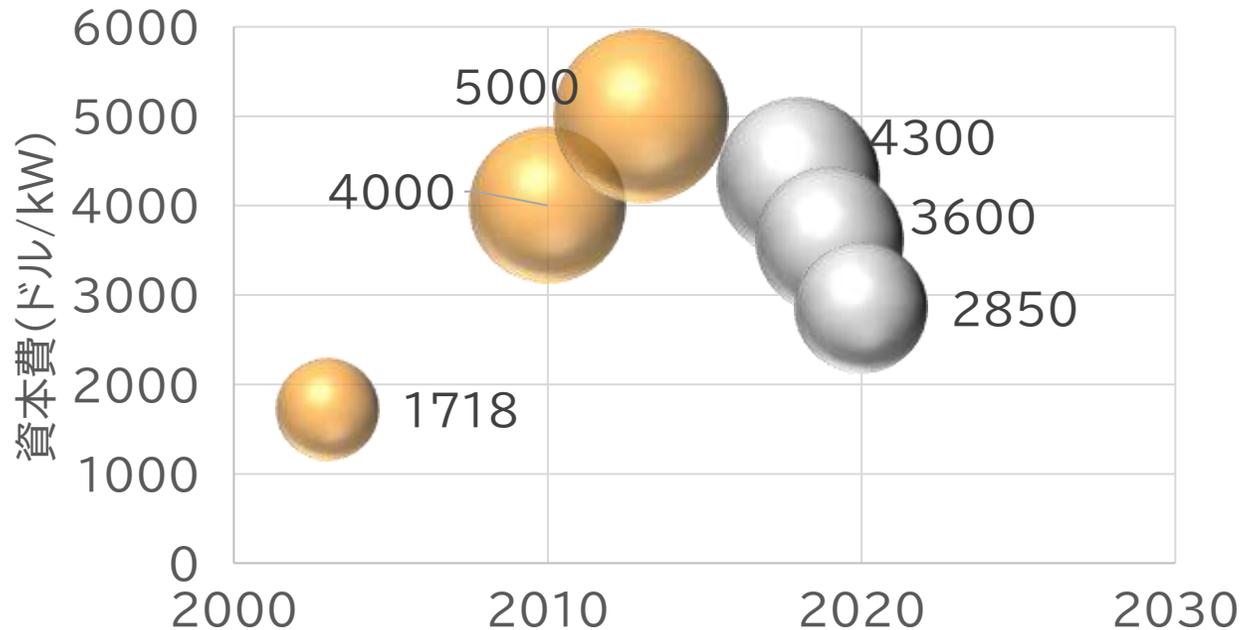
NuScale: 2029~2030年初号機稼働予定(UAMPS、米アイダホ国立研究所(INL)敷地内)

BWRX-300: 2028年初号機稼働予定(カナダ ダーリントン原発)

Natrium : 2027年実証炉稼働予定(米ワイオミング州Naughton石炭火力発電所跡地)

建設費予測

- : 1モジュール50MWeでの見積もり
- : 1モジュール60~77MWeでの習熟後の見積もり(未認可)

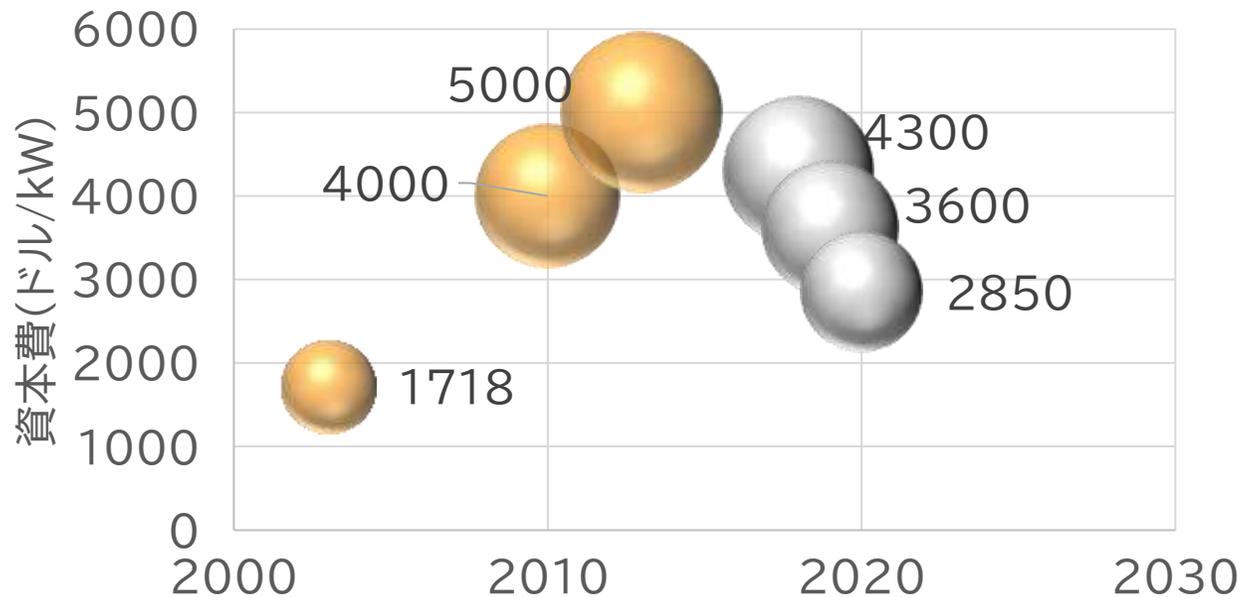


革新炉はコスト高

- 建設費kW当り:34~57万円
⇒発電コスト検証WGでは40万円
- 習熟する前提でさえ現時点のコストに近い

建設費予測

- :1モジュール50MWeでの見積もり
- :1モジュール60~77MWeでの習熟後の見積もり(未認可)



● 負荷追従運転の問題点

新型炉は負荷追従性能があるとされるが、原発のビジネスモデル成立要件は、①燃料が安い、②ベースロード運転で長期間稼働することで資本費を回収。

負荷追従運転を行うLNG火力の建設費は16.1万円/kW。原発の半分以下。原発が負荷追従運転すれば、その採算性はさらに悪化する。



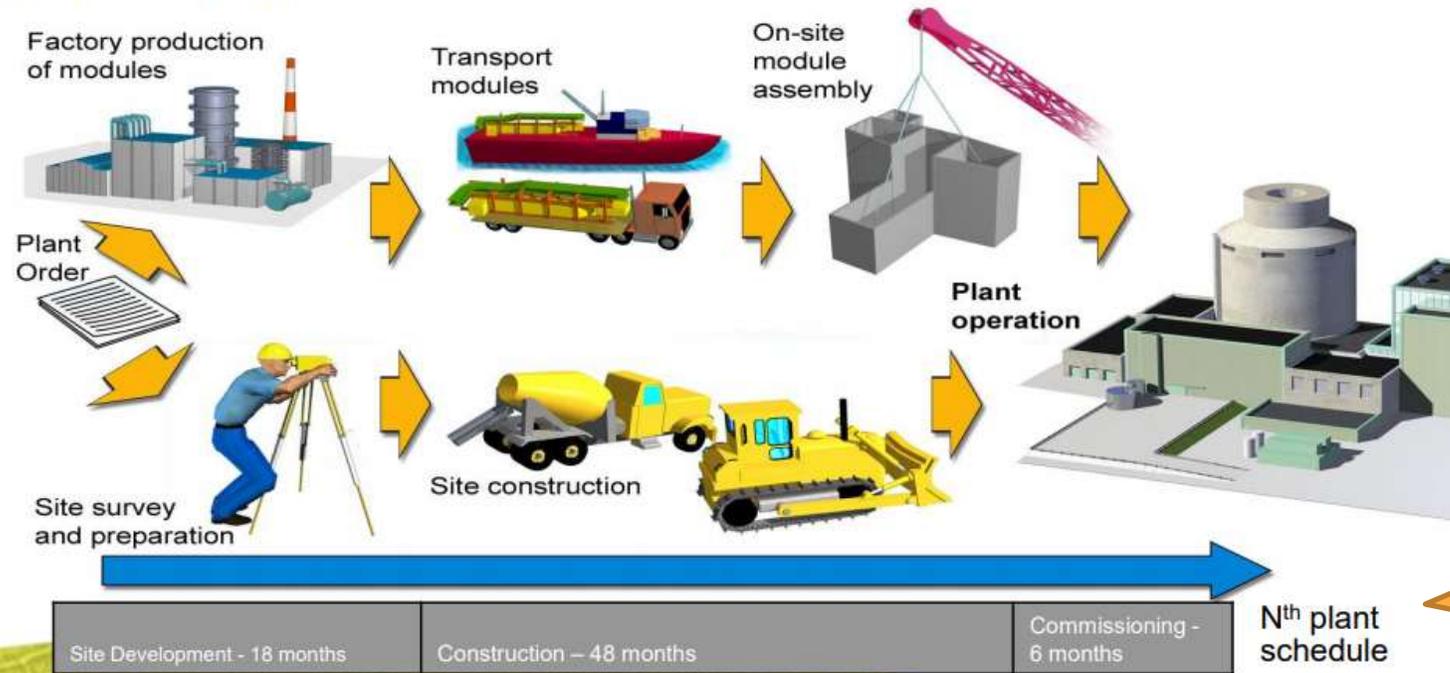
モジュール工法？

- 再現性のある品質管理の下での工場製造
- (製造を)建設と並行することで信頼性の高く、短い工期

AP1000 Modular Construction

300+ modules
• 150+ structural
• 150+ mechanical

- Factory fabricated under repeatable quality control.
- In parallel with construction providing reliable, short schedule.



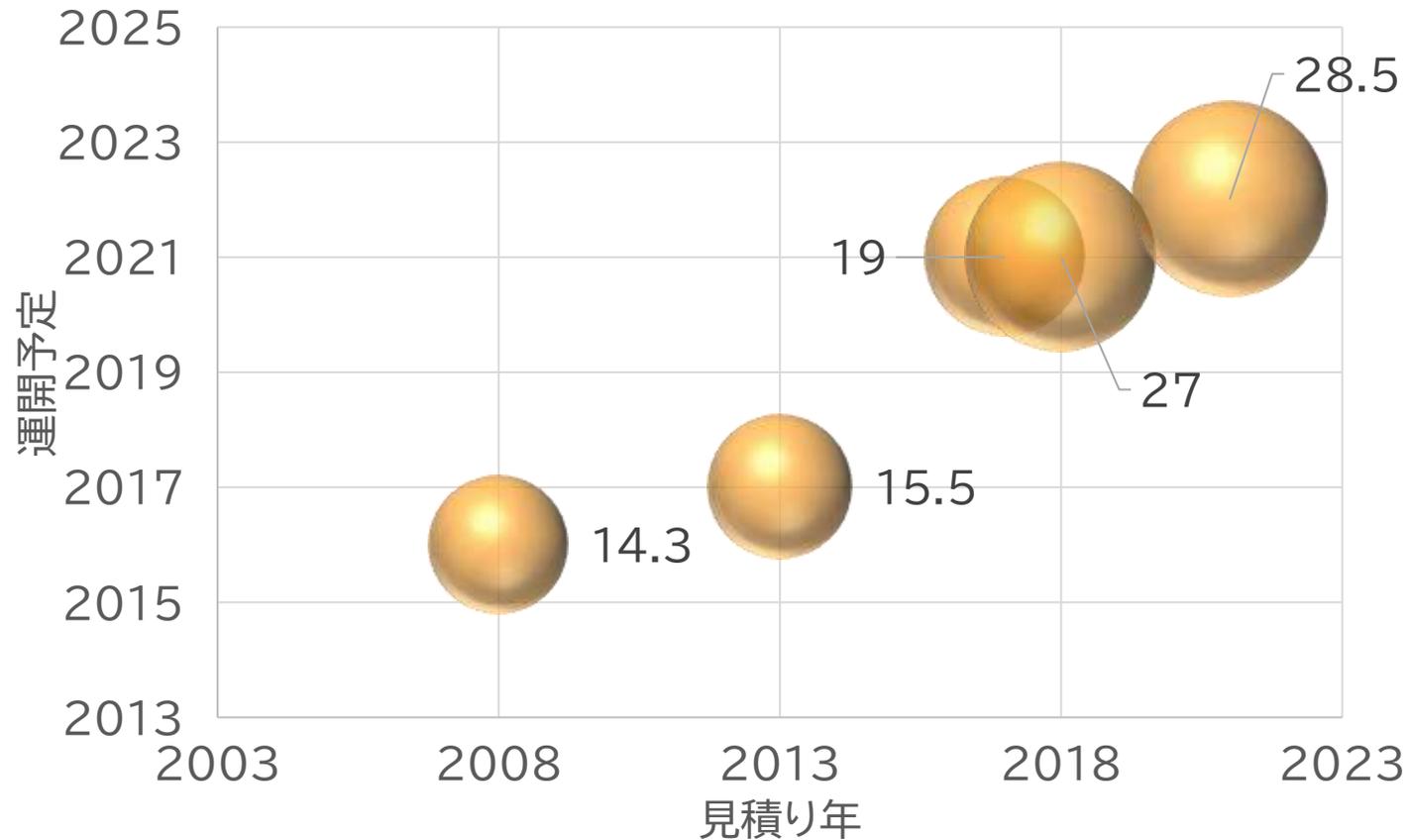
サイト開発: 18ヶ月
建設: 48ヶ月
試運転: 6ヶ月
計6年

Constructible → reliably short schedule → lower capital costs

現実起きたこと

建設開始:2013年

Vogtle原発(単位:10億ドル)



- コスト増・工期遅延理由
 - ✓ 工場で製造されたモジュールの品質が実用に耐えない
 - ✓ 工場から出荷されたものが仕様に合わず現場で修正を余儀なくされた
 - ✓ 経験不足
 - ✓ 要件変更
 - etc



日本の技術？



GE日立関連プロジェクト BWRX-300

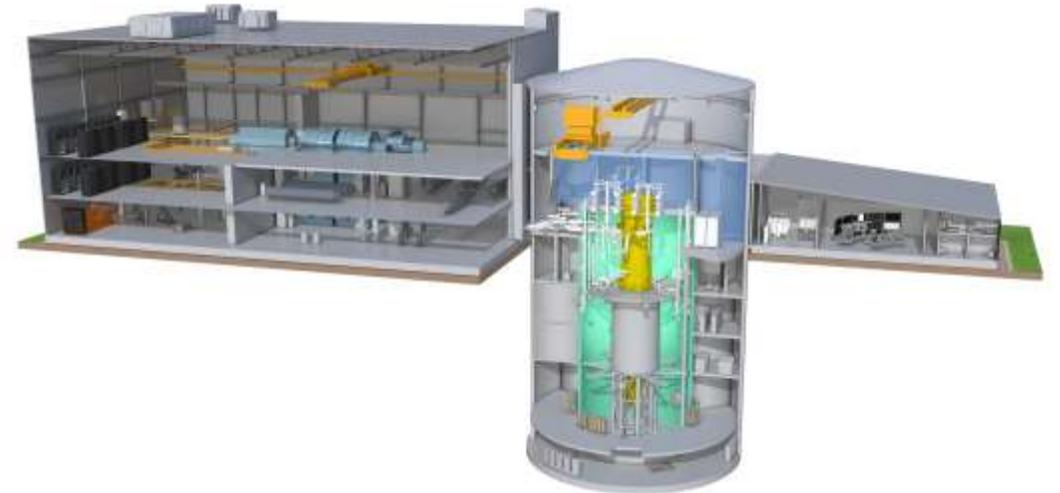
GE日立ニュークリアエナジー： 米GE60%、日立40%出資

日立GEニュークリア・エナジー： 日立80.01%、GE19.99%出資

- BWRX-300（電気出力30万kW）
 - GE日立のESBWR(高経済性単純化沸騰水型原子炉)を小型化したもの
 - カナダ・オンタリオ電力公社のダーリントン原発に導入予定
 - 運開:2028予定

● 日立との関係

「新たな原子力技術を導入するという意味で、重要な節目だ。GE日立に技術支援をする可能性もある。ただ原子力事業は世界的に廃棄物の問題もある。こうした課題の解決がSMRの普及に不可欠。当社としても研究を重ね、課題解決に寄与したい」(日立製作所 小島啓二社長、電気新聞 2022年1月7日)



GE日立関連プロジェクト Natrium™

- PacificorpとTerrapowerはワイオミング州のNaughton石炭火力発電所(2025廃止予定)に高速炉Natriumの実証炉を建設すると発表
- Natrium (電気出力34.5万kW)
 - 主にGE日立が開発した高速炉「PRISM」(設計のみ)の技術にとテラパワー社の溶融塩を使ったエネルギー貯蔵システムを組み合わせたもの。
 - コスト削減のため、非原子力の機械、電気、その他の機器は、原子炉から離れた場所に、原子力規格ではなく工業規格で建設。
 - 費用は約40億ドル(約4,600億円)、うち政府補助が19億ドル(約2,200億円)
 - 計画では2023中ごろ建設開始、2026運転許可、2027運開
 - JAEA、三菱重工らがテラパワーと協力覚書を締結



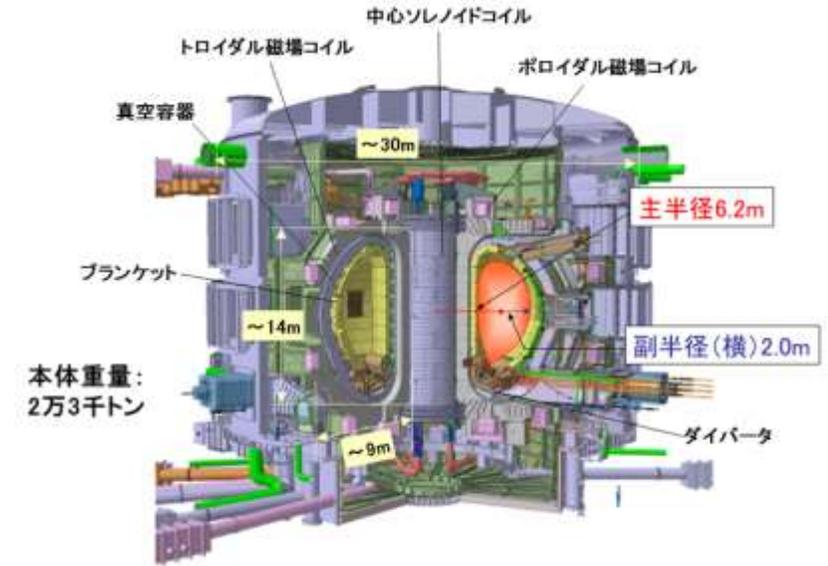
核融合 高速増殖炉の悪夢再び



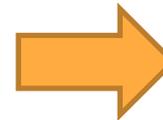
1967、72年長期計画	昭和60年代(1985～)には,核融合動力実験炉の開発に成功する
1978年長期計画	21世紀の実用化を目標
1982年長期計画	実用化時期未記載 1990年代後半に自己点火条件(外部からエネルギーを与えることなしに核融合反応が持続する条件※ITERの目標)を達成し
1987年長期計画	2000年前後に自己点火条件及び長時間燃焼を達成し
1994年長期計画	実用化された場合には,21世紀の世界のエネルギー問題の解決に大きく貢献
2000年長期計画	実用化時期未記載
2005年大綱	実用化時期未記載
1～5次エネルギー基本計画	ITER計画や幅広いアプローチ活動を始めとする核融合を長期的視野にたって着実に推進
6次エネルギー基本計画	トカマク方式のITER計画や幅広いアプローチ活動(...)長期的視野に立って着実に推進するとともに、技術の多様性を確保する観点から、ヘリカル方式・レーザー方式や革新的概念の研究を並行して推進する
2021年自民党政策集	究極のクリーンエネルギーである核融合開発を国を挙げて推進

ITER計画の進捗

- ITER
参加国: 日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国、インドが参加
費用: 50億ユーロ(2000年) ⇒ 200億ユーロ(2016)
目的: 発電実証はしない。ITERで核融合エネルギー利用の科学的・技術的実証がなされた後、原型炉における発電実証段階を目指す。



	従前の見積り (2010)		新たな見積り (2016)
組立に必要な作業数	約3,000	作業数 3倍	約10,000
ファーストプラズマ	2018年 (建設開始から11年)	期間 1.5倍	2025年 (建設開始から18年)
核融合運転	2026年 (建設開始から19年)		2035年 (建設開始から28年)



2021年

2026~2027年
(建設開始から20年)

2037年
(建設開始から30年)

活動法人



- 「サンシャイン計画」を立ち上げた堺屋太一のコメント。

太陽光や風力など再生可能エネルギーの技術開発プロジェクト「サンシャイン計画」にも注目が集まりました。初年度から人員と予算が付いたのです。私の始めたプロジェクトの中では、最も幸運なスタートでした。

翌年1976年度の予算を折衝する頃には、石油情勢はやや落ち着き、人々の省エネルギーや新エネルギーへの関心は薄れていました。何よりも大きかったのは「石油に替わる新エネルギーは原子力、特に核融合発電技術である」との論説が一気に広まったことです。当時「核融合発電は30年以内に完成、遅くとも2010年頃までには1000万キロワット級の核融合発電所が建設されているだろう」と確信的に語られていた。高度成長真最中のその頃は、誰もが「巨大化、集中化、規格化」に慣れていたので。

堺屋太一（作家・元サンシャイン計画担当研究開発官）

フォーカス・ネド 2014年9月 特別号

<https://www.nedo.go.jp/content/100574164.pdf>



まとめ

- 小型炉・核融合は現実的な解なのか、冷静な議論が必要
 - 小型炉の実用化が2030年頃、核融合炉の実用化は2050年以降
 - ▶ 気候危機対策に使えない。
 - 小型炉は数多くの炉型が提案されており、すでに過当競争が発生している。また、補助金がなければ建設できない状況。
 - ▶ 死の谷を越えられるのか？
- 限りある政策経費と時間を割く価値があるのか。

