

エネルギー問題に発言する会/日本原子力学会シニアネットワーク連絡会
2月度講演座談会

原子力新增設成功の要件 －建設費上昇リスクを考える－

2023年2月20日

一般財団法人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

本日のお話

1. 新しい(?)行動指針 (案) に見る革新炉開発
2. コスト・オーバーラン防止の取り組み
3. 成功の条件を考える



まずは**政府が明確なビジョン**を示し、**メリハリの利いた支援策**を行っていくべきではないでしょうか。

政府のビジョン？
支援策？
それでできるとでも？

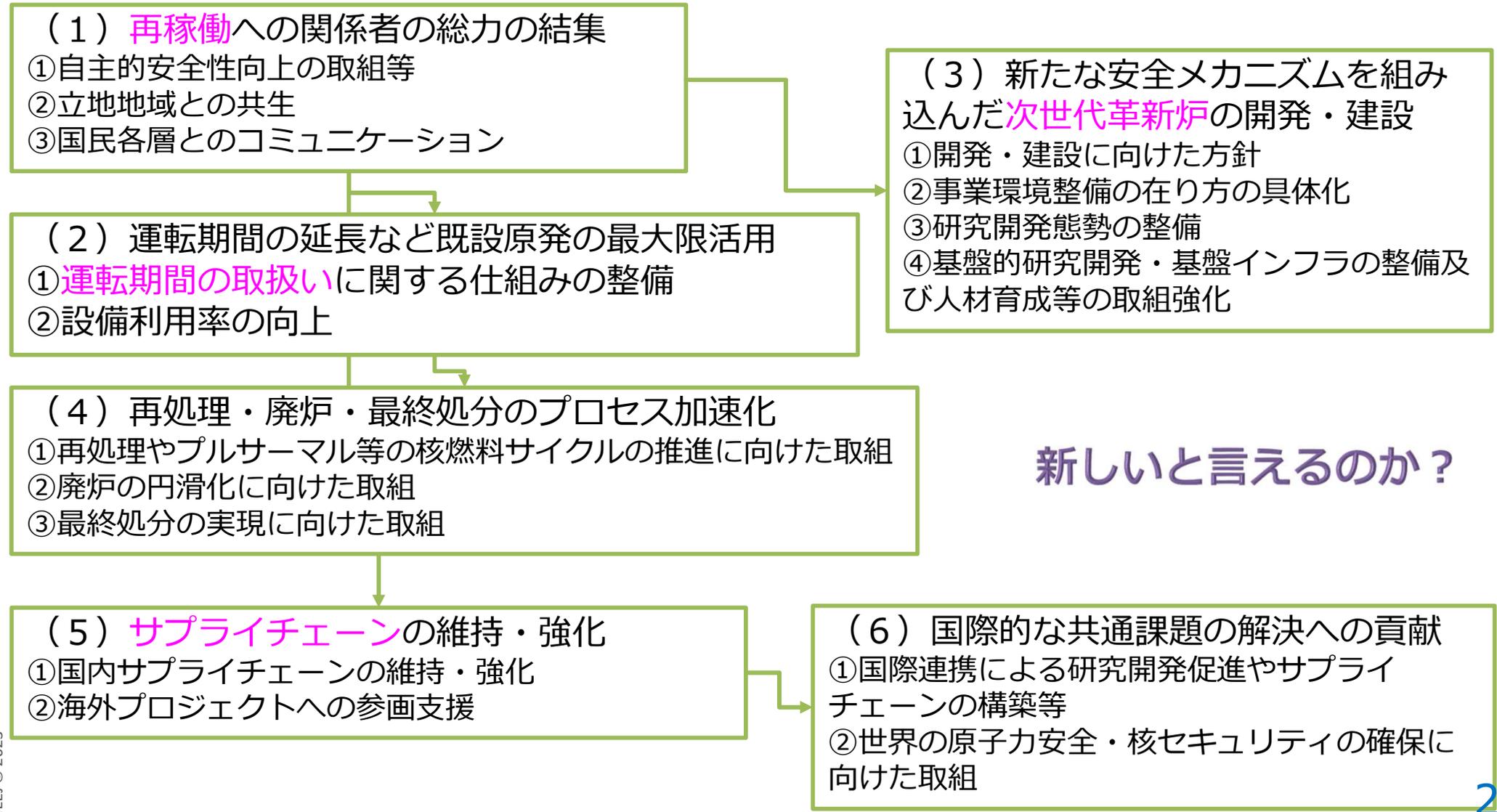


1. 新しい(?)行動指針 (案) に見る革新炉開発

(1) 今後の“行動指針 (案)”発表

- 経済産業省は12月23日、「今後の原子力政策の方向性と行動指針 (案)」を策定。(出所：経済産業省PR、12月23日 意見募集は2023/1/23終了)

2 各課題への対応の方向性と行動指針 構成



新しいと言えるのか？

1. 新しい(?)行動指針（案）に見る革新炉開発 （参考）第5次エネルギー基本計画（2018年）

第2章第3節 2. 取り組むべき技術課題

準国産エネルギーに位置付けられる原子力については、軽水炉技術の向上を始めとして、国内外の原子力利用を取り巻く環境変化に対応し、その技術課題の解決のために積極的に取り組む必要がある。その際、安全性・信頼性・効率性の一層の向上に加えて、再生可能エネルギーとの共存、水素製造や熱利用といった多様な社会的要請の高まりも見据えた原子力関連技術のイノベーションを促進するという観点が重要である。

（中略）

déjà vu

こうした取組を進めるに当たっては、小型モジュール炉や熔融塩炉を含む革新的な原子炉開発を進める米国や欧州の取組も踏まえつつ、国は長期的な開発ビジョンを掲げ、民間は創意工夫や知恵を活かしながら、多様な技術間競争と国内外の市場による選択を行うなど、戦略的柔軟性を確保して進める。

戦略的柔軟性 = ではいつ何を誰が
どのように決定？

1. 新しい(?)行動指針(案)に見る革新炉開発

(2) 方向転換の兆しは2022年7月だったかもしれない

- 2022年7月29日、経済産業省の審議会「革新炉ワーキンググループ」第4回において「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ(骨子案)」提示。
- (SMRでも高温ガス炉等でもなく)革新軽水炉を「最も技術的成熟度が高い」と評価。

技術成熟度・時間軸

- 原子炉開発は、一般的に、実験炉(試験炉)の建設・運転を通じて実験的データを取得しつつ、実証炉や原型炉で経済性を見通しを得て、商用炉の量産段階となる。また、燃料技術開発には、試験炉や商用炉を活用した燃料照射が必要。
- 革新軽水炉は世界的にも建設・運転が進む既存軽水炉の技術の延長線上にあり、最も技術成熟度が高い。小型軽水炉も軽水炉の延長線上にあり、海外で2030年頃の初号機運転開始が計画されているが、初号機建設について不確実性もある。
- ナトリウム冷却高速炉、高温ガス炉は我が国に実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」、試験炉「HTTR」の経験あり。「HTTR」においても2022年度より熱利用・水素製造実証事業を開始。
- 核融合は国際熱核融合実験炉「ITER」において2035年に核融合運転開始を計画しており、要素技術の開発段階。

出所) カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ(骨子案)、
2022年7月29日革新炉WG資料 P9

1. 新しい(?)行動指針(案)に見る革新炉開発

(3) 開発ポートフォリオ①

- 既存軽水炉の技術と基準を適用可能な革新(大型)軽水炉に期待
- 小型軽水炉は「基準整備が必要」と明記、経済性にも「？」

	技術成熟度・ 時間軸	規制適合性	サプライ チェーン	経済性	水素製造
革新軽水炉	◎	◎	◎	◎	△
小型軽水炉 (国内)	○	△ * 基準整備 が必要	○~◎	?	△
高速炉	○	○	◎ * 常陽・も んじゅ実績	◎	○
高温ガス炉	○	○	◎ * HTTRの 実績	○→◎ * コジエネ	◎
核融合炉	×	△	○ * ITERの 実績	?	◎

出所) 9/22 第31回原子力小委員会資料4 原子力政策に関する今後の検討事項について
 P48 2050年CNに向けた革新炉開発のポートフォリオ(ラフィメージ) 2022/7/1第4回革新炉WG資料3より
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/031_04_00.pdf

1. 新しい(?)行動指針（案）に見る革新炉開発

(3) 開発ポートフォリオ②

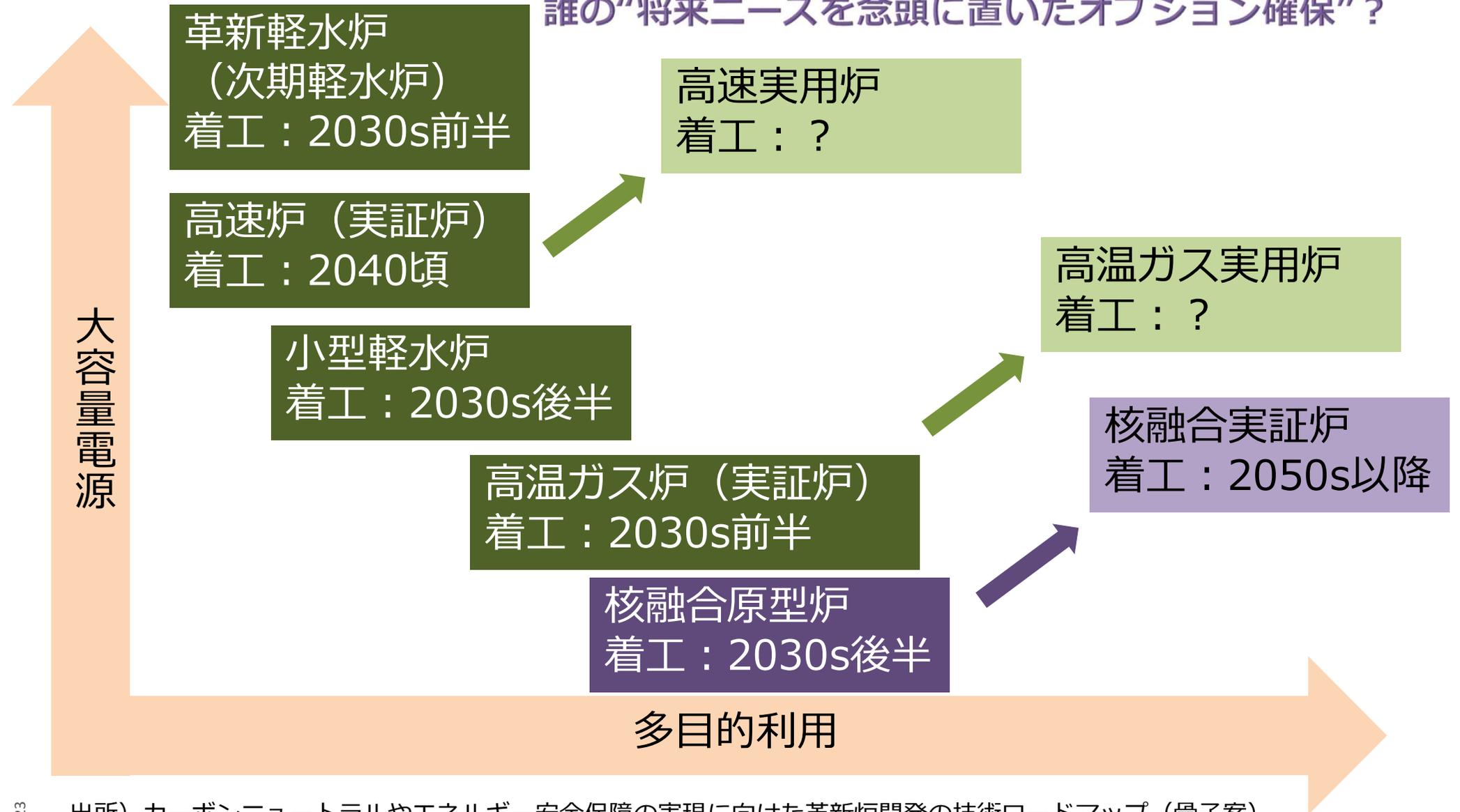
- 原子力小委員会提示の革新炉開発のポートフォリオは以下の通り。

出所) カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ(骨子案)、2022年8月9日原子力小委員会資料 P18

炉型	開発方針
革新軽水炉	足元で我が国が強みとする軽水炉サプライチェーンを繋ぎ、規制の予見性が高く実現時期が見通せ、革新的安全性向上を図る 革新軽水炉の開発を最優先 に取り組む。
小型軽水炉	同時に、安全保障の観点から国際協力貢献とサプライチェーンの事業機会獲得の支援を行いつつ、米欧において2030年前後に運転開始を目指す先行プロジェクトの状況を踏まえながら、投資リスク低減や分散電源等の 将来二一ズを念頭に置いたオプション確保 のため、小型軽水炉の開発に取り組む。
高速炉	高速炉技術を活用することによって、既存の軽水炉を含めた原子力技術が 資源循環性 を獲得することを可能とする。21世紀半ば頃に高速炉の運転開始を期待するとして高速炉開発会議・戦略ワーキンググループにおける議論も踏まえ、開発炉型を具体化していく。「常陽」「もんじゅ」の経験を強みとして最大限活用し、国際連携も推進。
高温ガス炉	産業の脱炭素のために カーボンフリーの電力・熱・水素をコジェネレーション することを念頭に、国際連携の可能性も追及しながら、高温ガス炉の開発を推進。試験炉「HTTR」を活用して熱利用・水素実証も推進。
核融合	核融合エネルギーの実現に向け、国際協力が進められているITER計画や幅広いアプローチ活動等(原型炉に向けた設計活動)を通じて、核融合発電に必須となる基幹技術を着実に推進。

1. 新しい(?)行動指針 (案) に見る革新炉開発 (5) 革新炉開発の懸念：顧客目線はどこに？

小型軽水炉の位置づけは
誰の“将来ニーズを念頭に置いたオプション確保”？



出所) カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ (骨子案)
2022年8月9日原子力小委員会資料 より作成

1. 新しい(?)行動指針（案）に見る革新炉開発 (6) 猫も杓子もSMRだった（今も？）

SMR狂騒年表

年月	事項
2015	米国ユタ州の自治体連合UAMPS、Carbon Free Power ProjectにおいてNuScale社のSMRを選定。当初は2026年の初号機運転開始を目指していた。
2016	DOE、UAMPSにCFPPとしてアイダホ国立研究所（INL）敷地使用認可
2018	第6次エネルギー基本計画に「安全性・経済性・機動性に優れた炉の追求」明記
2020	「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」の④原子力産業 に、次世代革新炉としてSMR、高温ガス炉、核融合炉が取り上げられる。（2021年6月の改訂版で高速炉も追記）
2020	資源エネルギー庁「原子力にいま起こっているイノベーション（前編）～次世代の原子炉はどんな姿？」公開
2021	日揮及びIHI、米国NuScale社への出資とSMR事業に参画決定
2022/4	JBIC、NuScale社に出資しSMR事業参画
2023/1	米国NRCよりNuScaleのVOYGR®に設計認証を発給

革新炉ロードマップ「革新軽水炉の開発最優先」方針提示

1. 新しい(?)行動指針 (案) に見る革新炉開発

(7) SMRは革新炉か?

安全性の向上はもちろんのこと、再生可能エネルギーとの共存や、水素の製造、熱エネルギーの利用といった多様なニーズにこたえる原子力技術のイノベーションが進められています。米国では、あのビル・ゲイツ氏が会社を立ち上げたり、ベンチャー企業が開発に参入したりと、**これまでにない原子力技術への挑戦**が繰り広げられています。また、日本でも、原子力イノベーションに向けた取り組みが進められています。

…代表的なもののひとつが、「**小型モジュール炉**」です。SMR (Small Modular Reactor) とも呼ばれ、世界各国で開発が進められています。

出所) 資源エネルギー庁「原子力にいま起こっているイノベーション (前編) ~次世代の原子炉はどんな姿?」
2020/8/20最終更新 https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/smr_01.html

1982年「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」

4. 原子炉の多目的熱利用

…1,000°C程度の高温ガスが得られ幅広い用途が期待される**高温ガス炉**の開発を、国際協力も含め研究開発の効率化を図りつつ積極的に進めること…

…既存の炉として技術的に最も安定している**軽水炉の多目的熱利用**については、**中小型軽水炉**の利用を含め、**条件によっては比較的早期に実現する可能性**があり、所要の調査等を経て**民間主導の下で進められるべきもの**であるが、利用系システムの開発、経済性の問題及び立地に関して国民の理解を得る等の社会的問題があり、これらの問題の克服について国は支援するものとする。

1987年「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」

第4章 先導的プロジェクト等の推進

…高転換軽水炉、**中小型安全炉**、**モジュール型液体金属炉**等の**新しい型の炉**については、基礎的・基盤的研究を段階的に、かつ、幅広く推進し、将来の原子炉技術のブレークスルーの可能性の検討を行うこととする。

40年前からあるのに一度も実用化していないのは、顧客がいらないから。

1. 新しい(?)行動指針(案)に見る革新炉開発 (8) 政府のビジョンと支援策の有効度

“原子力技術のイノベーションを進めることは、わが国のエネルギー政策の強靱性を高めるためにも、また、温暖化対策を世界で進めるためにも有力な選択肢だ。原子力イノベーションにおいて出遅れた状況を改善しようと、経済産業省、文部科学省、JAEAの3者が連携し、原子力イノベーションを進めるNEXIP (Nuclear Energy Innovation Promotion) というプログラムがスタートしている。技術開発支援や研究開発基盤の供用、人材育成・産業基盤強化などを進めているが、予算の規模感だけみても米国からはかなり見劣りする。もしわが国が原子力を「実用段階にある脱炭素の選択肢」として追及するのであれば、米国の原子力イノベーションを参考に、まずは**政府が明確なビジョンを示し、メリハリの利いた支援策を行っていくべきではないだろうか。**”

出所) “原子力イノベーション”で検索ください。

米国Vogtle 3/4号建設プロジェクト

炉型：AP1000 出力：125万kW×2

2012年 NRCよりCOL取得

2013年 初コンクリート打設(着工)

2014年 米国政府、\$83億の融資保証を発行

...

2019年 米国政府、\$37億の追加融資保証を発行

2023年1月 建設費また上方修正、\$305億に

2023年2月現在 3号機温態機能試験完了

出所) Georgia Power社PR他

政府の明確なビジョン

“The Vogtle project is critically important to supporting the Administration’s direction to revitalize and expand the U.S. nuclear industry,” said **Secretary Perry**.

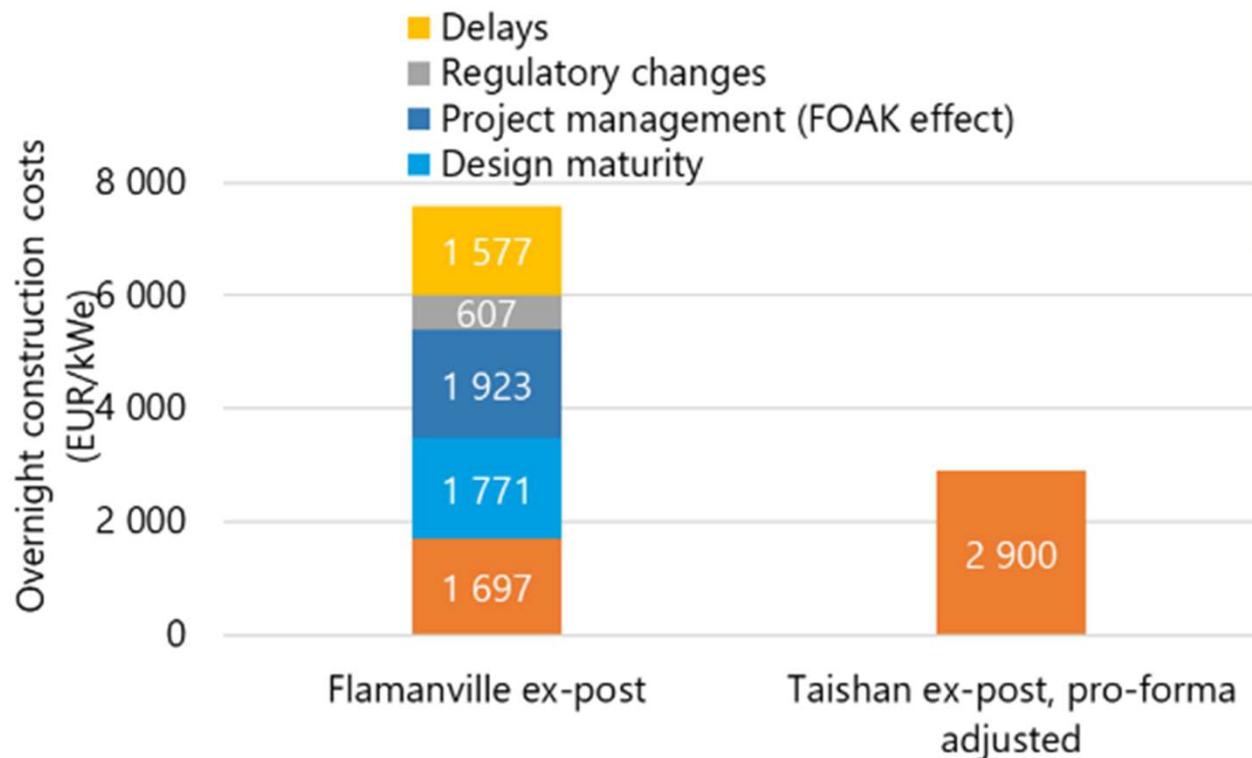
米国エネルギー政策法(2005)に基づく**メリハリの利いた(?)支援策**

現実にご存じの通り

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(1) OECD/NEAレポート 概要

- 2020年7月2日、OECD/NEAは「原子力新設のコスト抑制」に向けた議論をまとめたレポート“Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders”を公表。
- 2017年から専門家グループ“Reducing the Cost of Nuclear Power Generation (REDCOST)”会合において、10カ国とIAEAの計12名のメンバーにより、近年の新規原子力発電所建設プロジェクトにおけるコスト・オーバーランの事例やコストを予定内に納めた事例などから、建設コスト上昇の要因とその防止策について政策提言をとりまとめたもの。



フラマンビル3号機（フランス）のコスト・オーバーラン要因と台山1/2号機（中国）との比較

同じ炉型でこれだけの差

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(2) 専門家会合での議論例

要因分析と再発防止の提言では各国参加者間で“掛け合い”連発！

- “設計の成熟度”に言及したのは主にフィンランドTVOからの参加者と、フランスEDFからの参加者
- “規制の予見性”に繰り返し言及したのは日本からの参加者
- コスト低減への有望な方策として“技術革新”を強調したのは主に英国及び米国の研究者。ロシアからの参加者は沈黙（笑）

(A) SMRや革新型炉が必ず安くなる保証はない。

(B) いや、SMRは今初号機の段階にあり、それから習熟していったって将来的には安くなるということだ。

(A) いや、SMRがその段階にあるかどうかは誰にもわからないのでは？

→SMRのコスト可能性については（実績がない分）慎重に取り扱う必要があるだろう。

(A) コスト削減に向け、革新技術の適用も重要。それは設計などの“Product”の改善のみならず、工法などの“Process”の改善も含む。

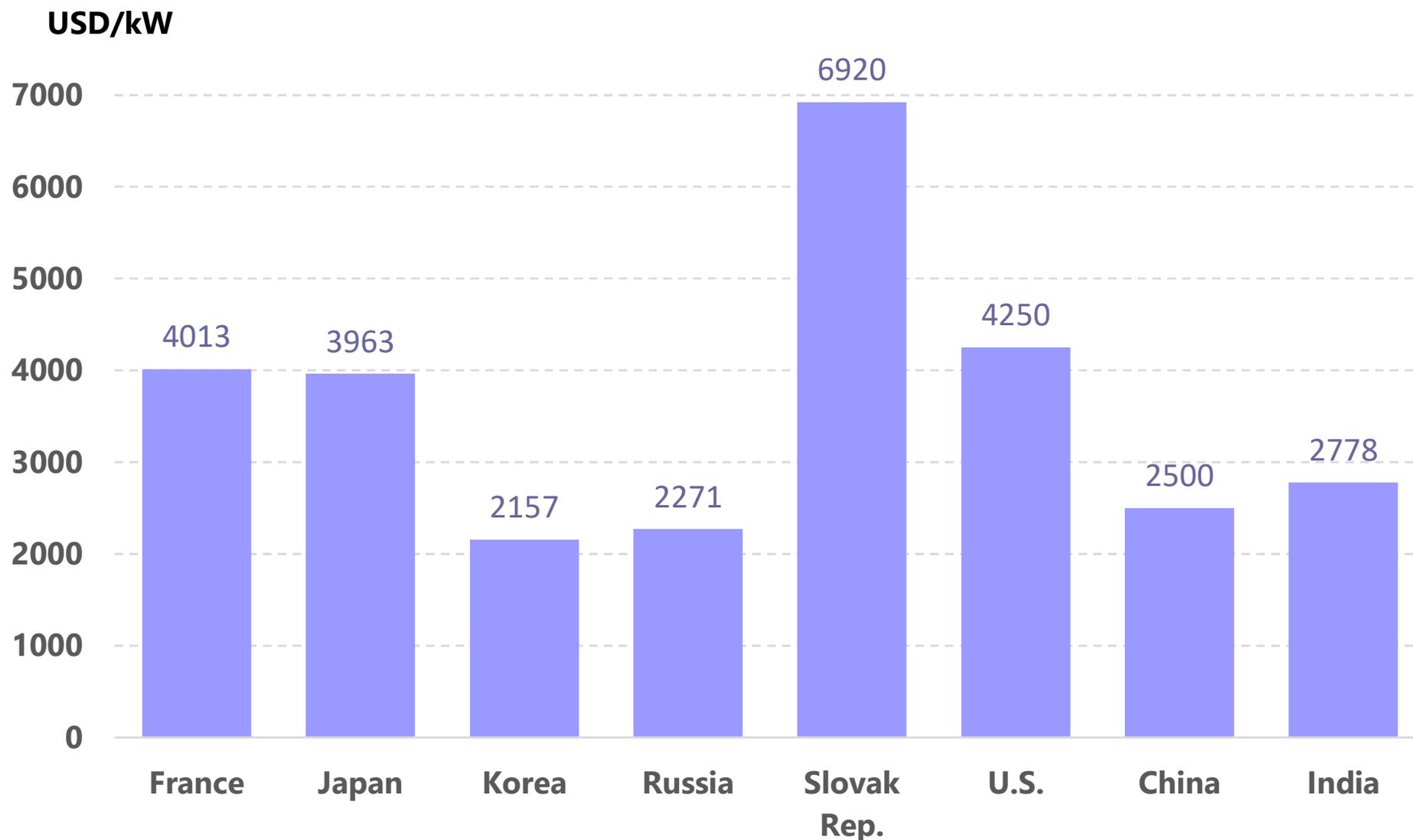
(B) 第3章のKey messagesの一つ「設計Freezeとデッドコピー」と矛盾しません？

(A) 設計改良の一手段として革新技術（改善）を取り入れ、成熟した設計をリピートするという事で矛盾しない。

(B)でも常に進歩する最新技術を取り入れたいというのはDeveloperの本能じゃないかなあ・・・

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み (参考) 国別建設単価

<OECD/NEAが” Projected costs of generating electricity 2020 Edition “向けに収集した、各国の原子力建設単価>



Source: OECD/NEA & IEA, Projected costs of generating electricity 2020 Edition

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(3) 要素別の解決アプローチ ①技術面

要素	コスト・オーバーランの要因	解決アプローチ
設計	・設計の未熟さや欠陥による建設期間中・審査中の設計変更	・着工前に設計を完成 ・設計要求をサプライヤーと共有
革新技術の導入	・規制要求や工事都合による工程遅延	・新技術適用時には得失をよく検討 ・サプライヤーとの早期情報共有
原子力規格としての品質確保	・サプライヤーへの原子力規格の要求	・工事期間中の的確な管理

J.M.Foltz氏(*)によるフラマンビル3号機のコスト・オーバーラン要因分析
 “フィンランド・オルキルオト3号機（OL3）からほぼ間を置かずに着工された2基目のEPRであり、OL3における教訓を反映できなかった。”

出所) The Flamanville EPR construction. Report to the EDF CEO,2019

https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:51004230

(*)シトロエン代表も務めたことのある、フランス出身の実業家

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(3) 要因別の解決アプローチ ②組織面

要素	コスト・オーバーランの要因	解決アプローチ
プロジェクト管理	<ul style="list-style-type: none"> ・不明瞭な仕様やリソース配分 ・工程遅延に伴う仕様からの乖離 	<ul style="list-style-type: none"> ・早期のサプライチェーンの構築と情報共有 ・資材調達の適切な戦略立案
サプライチェーン能力	<ul style="list-style-type: none"> ・製造能力の欠如（特に大型機器）とクリティカルパスの知識欠如 	<ul style="list-style-type: none"> ・長期的な原子力新設の展望の維持 ・サプライヤー間の国際協力

J.M.Foltz氏によるフラマンビル3号機のコスト・オーバーラン要因分析

“フランス国内で長期にわたり新規建設プロジェクトが途絶えたため、EDFの新規建設所管部門が別業務との併任になった。そのためサイトと緊密な連絡も取れず、トップにきちんと報告もされていなかった。”

出所) The Flamanville EPR construction. Report to the EDF CEO,2019
https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:51004230

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(3) 要因別の解決アプローチ ③政策面

要素	コスト・オーバーランの要因	解決アプローチ
政策上の支援	・ 政治的に扱われることや非合理的な政策変更	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国レベル・地域レベルでの原子力利用の合意 ・ 政策牽引の強いリーダーシップ
許認可枠組み	・ 予見性/安定性に欠ける規制/許認可枠組み	<ul style="list-style-type: none"> ・ 規制機関とベンダー間の、出口を見据えた対話 ・ 規制機関のコスト意識
資金調達	<ul style="list-style-type: none"> ・ 想定外の経済状況変化（割引率、税率等） ・ 資金調達の困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 想定外の損失に備えるリスク配分 ・ 資金提供者との適切な契約



With **responsible political decision** aligned with **long term national energy strategies**, governments can ensure the stability and effectiveness of the **regulatory framework** while securing nuclear economics.

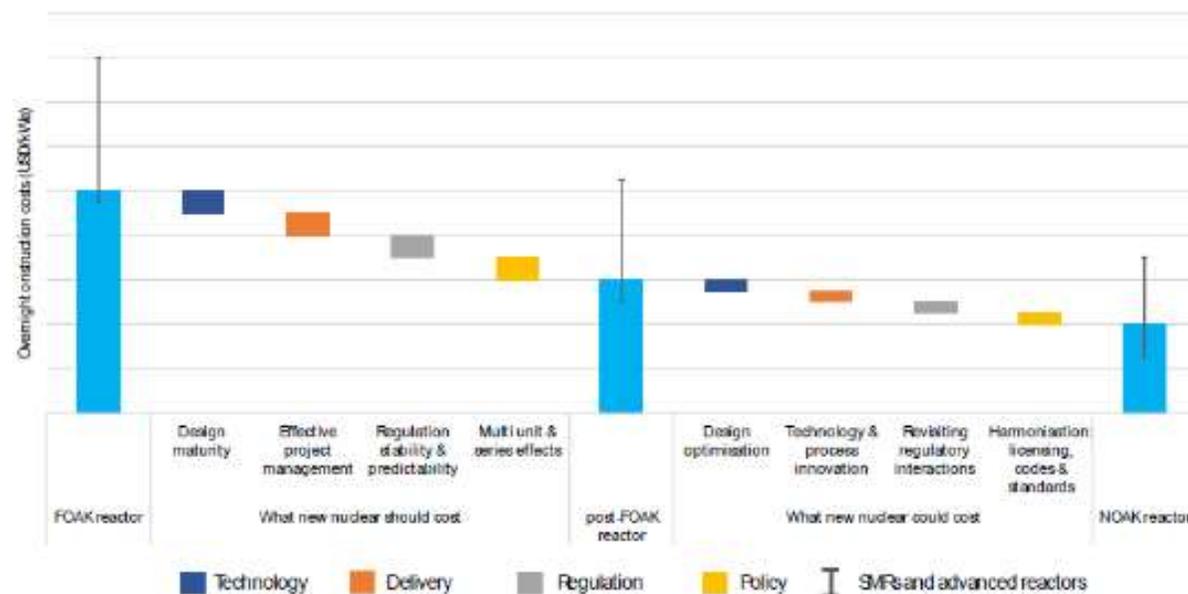
出所) REDCOSTレポート

こういう記述が「政府の明確なビジョン」「メリハリの利いた支援」と、有識者をして言わせるのだが・・・

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(4) 8つの提言

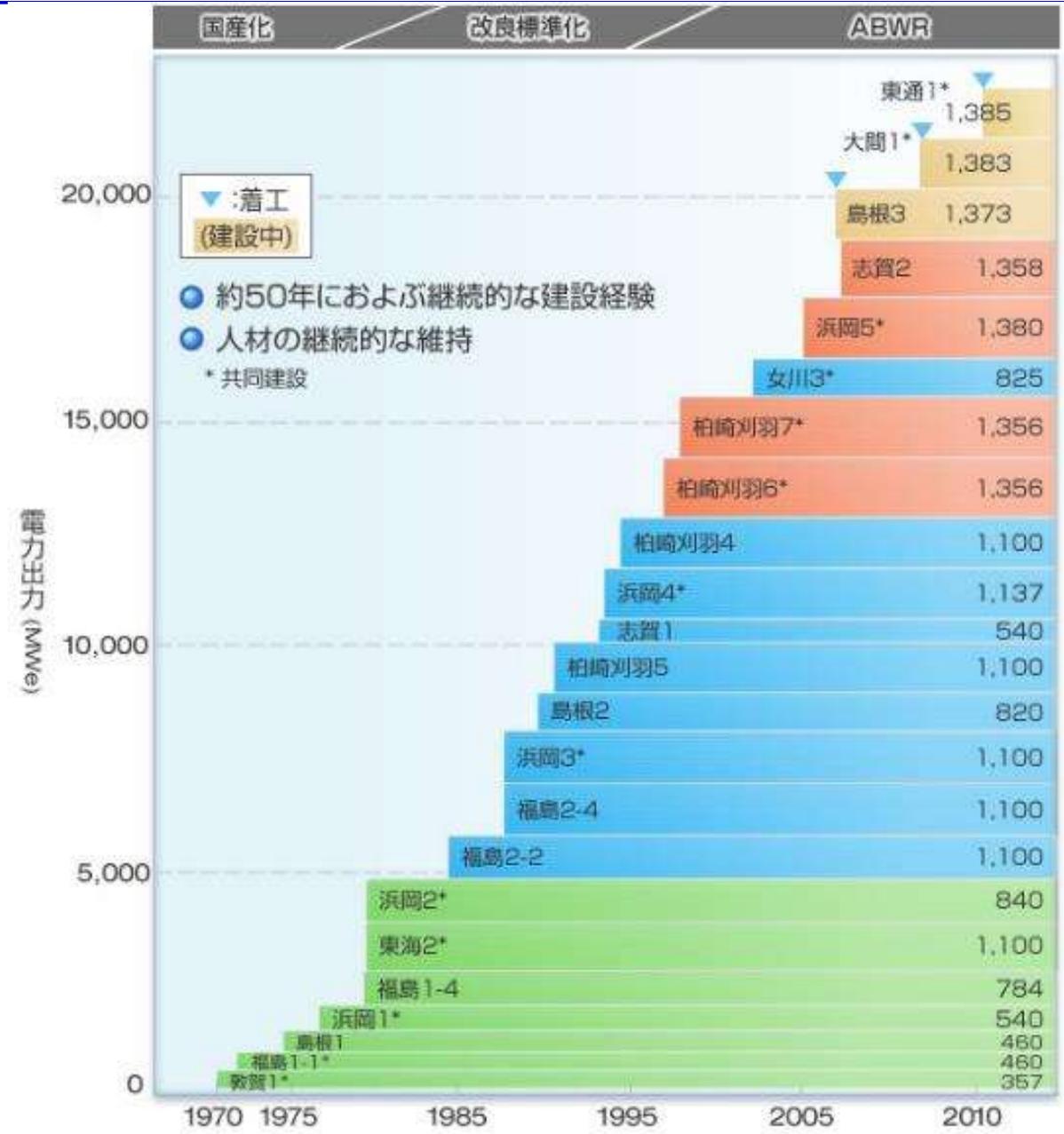
1. これまでの先進国における第3世代炉初号機の建設プロジェクトで得られた経験・教訓をしっかりと学習し、共有すること。
2. 設計の成熟化と規制の予見性を高めること。
3. 原子力政策の上で、将来の建設・運転計画を強固に位置づけること。
4. サプライヤーも含めた産業界の基盤を強化すること。
5. 革新技術開発を支援すること。
6. 市場制度と資金調達スキームの安定性を確保すること。
7. 社会的受容性も含め原子力事業環境の向上を図ること。
8. 新設経験の少ない国や初導入の国における政策関与を強化すること。



2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(5) 日本の1970～1990年代の実績 (1/3)

- 1980年代の日本では、毎年のようにどこかで新規営業運転開始や新規着工があり、常に複数の原子力発電所建設工事が進行中であった。
- 電気事業者の技術系社員は、運転中のプラントの保全・補修に従事しつつ、建設工事の工程管理や次の建設計画に向けた許認可折衝など、多くのタスクを処理。
- プラントベンダーの技術系社員も運転中のプラントの補修や部品交換、建設工事における設計・据付、次のプラントの設計等に従事。

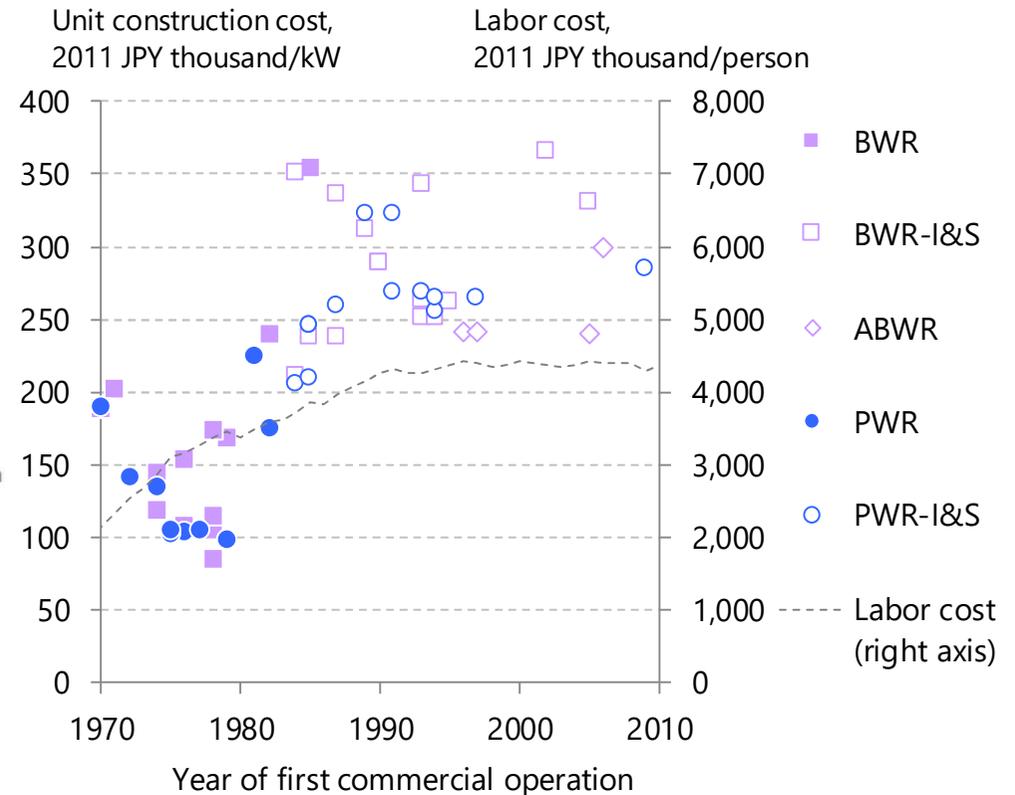
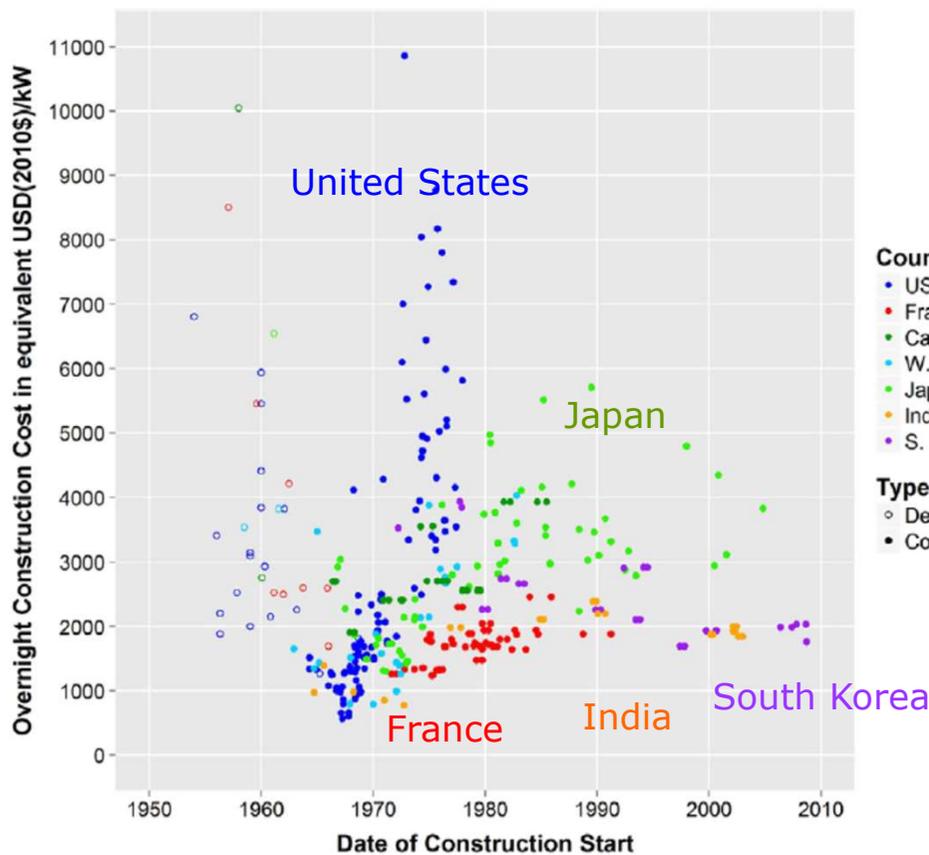


例) 日立製作所における原子力プラント納入実績
出所) 日立GEニュークリア・エナジー

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(5) 日本の1970~1990年代の実績 (2/3)

- 継続的な建設実績を挙げた国では概ね、建設単価は安定。
- 米国では1970年代後半に着工したプラントの建設単価が急騰
← この頃を境に建設期間が急に長期化している。
- 日本では1980年代以降、多少上昇したがそれでも40万円/kW未滿。



Lovering et al., (2016). *Energy Policy*, 91, 371-382.

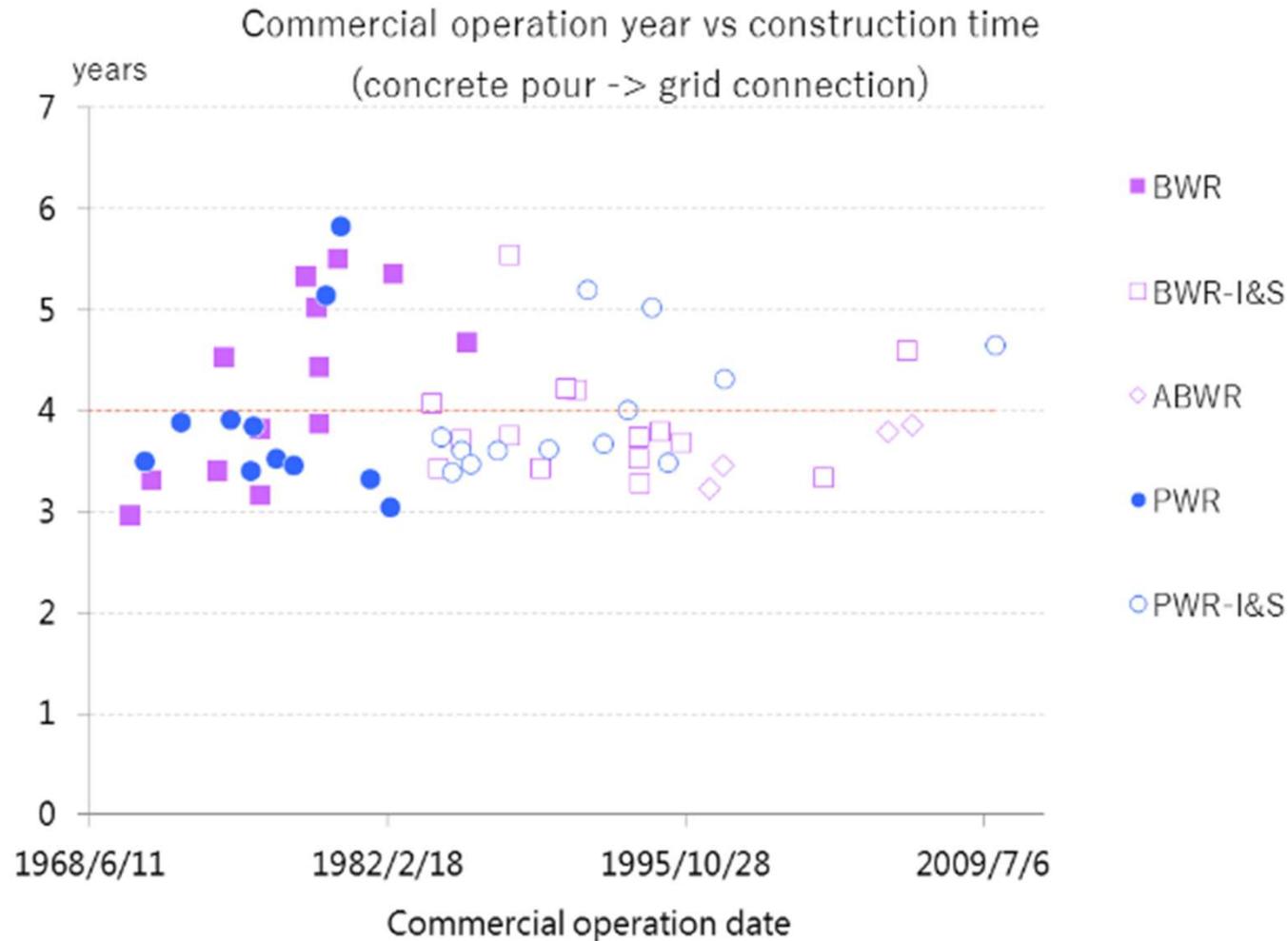
Matsuo and Nei, (2019). *Energy Policy*, 124, 180-198.

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(5) 日本の1970~1990年代の実績 (3/3)

- 日本のプラント建設期間(*)は驚異的な短期間

(*)コンクリート打設から初併入まで



まさにOn Time, On Budget以外の何物でもない。

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(6) 8つの提言 vs 日本の実績

提言	日本の実績
1. これまでの先進国における第3世代炉初号機の建設プロジェクトで得られた経験・教訓をしっかりと学習し、共有すること。	1970年代に日本で建設されたプラントは全て米国でその少し前に建設されたプラントの後続機。 →日本では設計段階から先行機の経験と教訓を計画に反映し、 先行機より効率的・合理的に建設できた。
2. 設計の成熟化と規制の予見性を高めること。	1970年代に着工した日本のプラントは米国で何基か建設されたものであったため、設計の成熟度は高かった。 規制の予見性については明確なエビデンスはない。しかし、どのプラントも許認可に要した期間が数年以内であったことから、事業者の予期しない要求が規制側からなされ、その対応に何年も要した形跡は見られない。 → 規制の予見性は高かったものと思われる。
3. 原子力政策の上で、将来の建設・運転計画を強固に位置づけること。	2010年以前の日本の電気事業は規制下にあり、事業者は毎年、供給計画として電源開発計画を提出・公開することが義務付けられていた。原子力政策については、原子力委員会が5-6年置きに発行する「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（いわゆる「長計」）において 開発・利用を促進する方向性が明記 されていた。

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(6) 8つの提言 vs 日本の実績

提言

4. サプライヤーも含めた産業界の基盤を強化すること。



日本の実績

電気事業者により提出された電源開発計画が撤回される可能性は2000年代まではほとんどなかった。

→ベンダーやサプライヤーにとっては後顧の憂いなく将来の展望を踏まえた投資判断ができた。PWRでもBWRでも建設プロジェクトが途切れたことがなかったため、設計・建設に必要な要員を社内にキープするだけの財務的基盤もあった。竣工後も補修や燃料交換等の仕事が安定的に見込め、そのための技術開発にも躊躇なく投資ができた。

→この時代は日本において最も合理的に原子力事業が遂行され、技術と人材の育成・蓄積も進んだ時期といえる。

5. 革新技术開発を支援すること。



1980年代には国家プロジェクトで「改良標準化」が進められ、耐震性や計測制御等、多くの分野で革新技术開発が進められた。革新技术開発の担い手はベンダーだけでなく、日本中のエンジニアリング企業であった。

実際、高品質・高性能でコストダウンに寄与する技術であれば採用される確率は極めて高かったから、技術者たちも意欲を持って開発に取り組めた。

2. コスト・オーバーラン防止の取り組み

(6) 8つの提言 vs 日本の実績

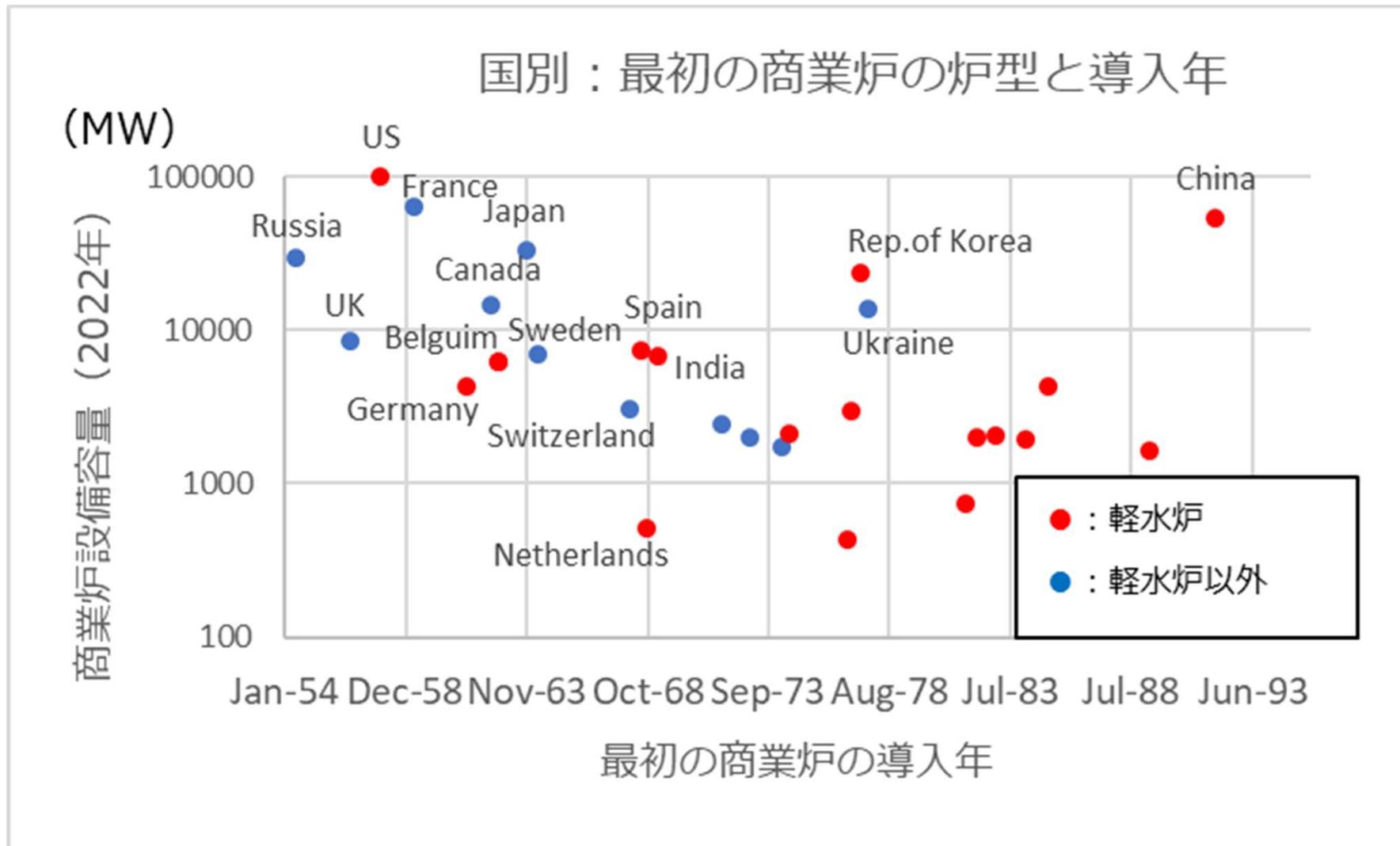
提言	日本の実績
6.市場制度と資金調達スキームの安定性を確保すること。	2000年代以前の日本では貸し手（金融機関）にとって原子力事業者は優良な借り手であった。バブル経済期の1980年代を除き、日本において原子力新設計画のための資金調達コストが高かった時代はない。
7.社会的受容性も含め原子力事業環境の向上を図ること。	2000年頃までの日本においては、例えば立地地域住民の反対運動により建設計画が中止に追い込まれるようなことは皆無であり、事業者は「社会的受容性」を殊更意識せずとも事業遂行に問題はなかった。
8.新設経験の少ない国や初導入の国における政策関与を強化すること。	1970-80年代の日本は米国をはじめ、フランス・カナダ・英国・ドイツ等から多くの先行例を学ぶ機会に恵まれた。これらの国と結んだ原子力協力協定により民間企業レベルでも多くの技術交流が行われ、優秀な若手技術系が米国やフランス等で技術を学んで帰国し、自国のプロジェクトにその経験を活用していった。

REDCOSTレポートが指摘する、2020年現在の「コスト・オーバーラン抑制の要点」の全てを日本は1970～2000年代に実践していた！

3. 成功の条件を考える

(1) 1960年代の国際市場で“炉型スイッチング”

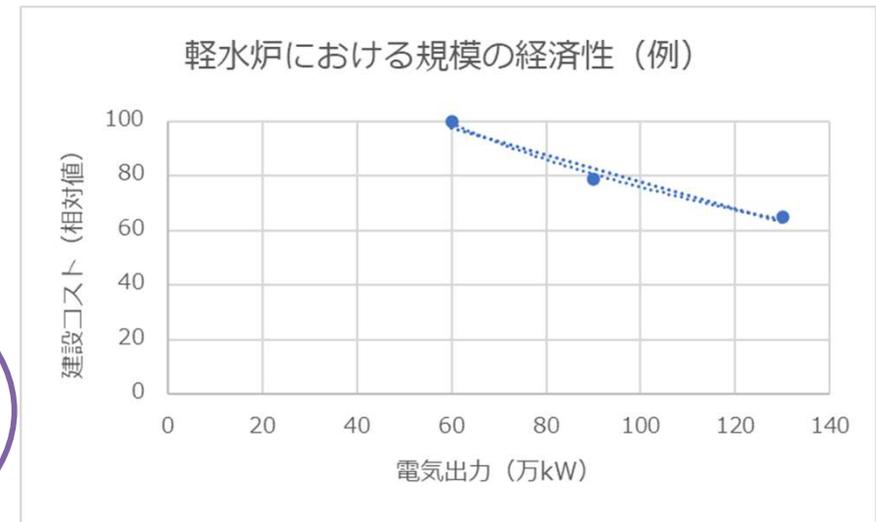
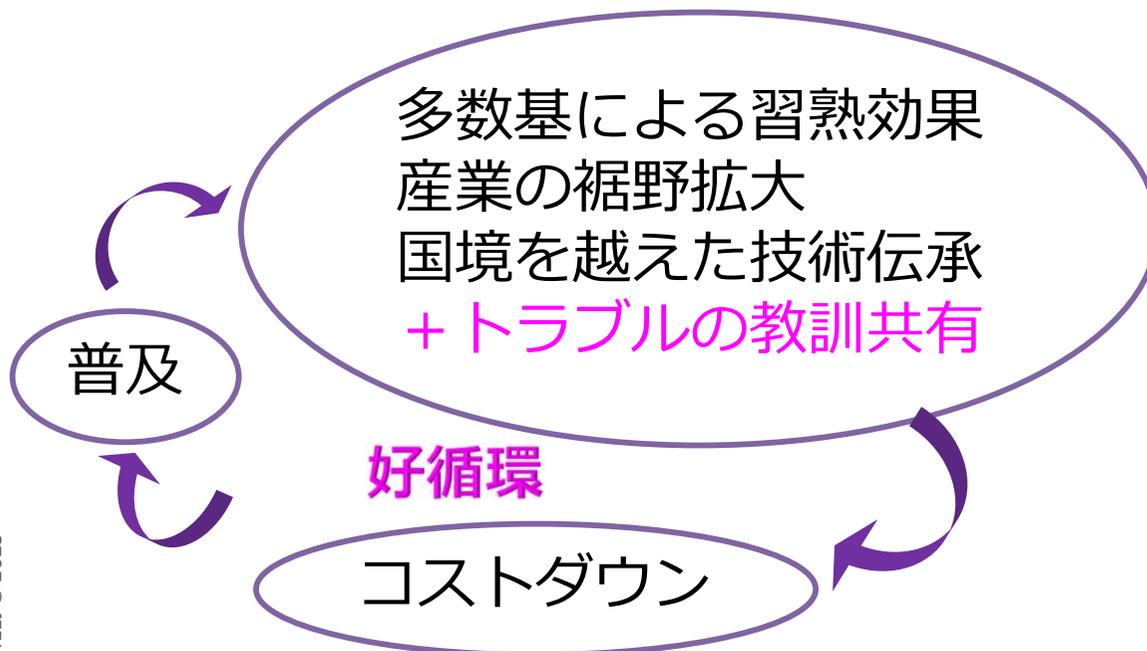
- 1960年代後半より、米国から世界に普及する炉は軽水炉に。
- 何が起きた？ どうして軽水炉が選ばれた？



3. 成功の条件を考える

(2) 軽水炉が普及した技術的理由（推測）

1. ウラン濃縮技術のイノベーション：遠心分離法の商業化
 - ◆ 天然ウランでなく濃縮ウランを使い、軽水減速＋冷却が可能に。
 - ◆ 最初に軽水炉を商用化した米国から技術導入した国は、最初から軽水炉（ex. 韓国、台湾、・・・）
2. 設計の単純性・材料の汎用性：火力発電や他産業の経験も反映可能
 - ◆ 黒鉛減速材も液体ナトリウムも不要→構造がシンプルに
→初めて軽水炉を導入する国でも、火力発電程度のインフラ技術でOK（の可能性が高い）
3. スケールメリット：
古典的なコストダウンの方法



出所) OECD/NEA, *Reduction of Capital Costs of Nuclear Power Plants*, 2000

3. 成功の条件を考える

(3) なぜ軽水炉でスケールメリット？

- スケールメリットは多くの産業に見られる一般則であるが、**軽水炉がその例外とならなかつた要因の分析**は重要。

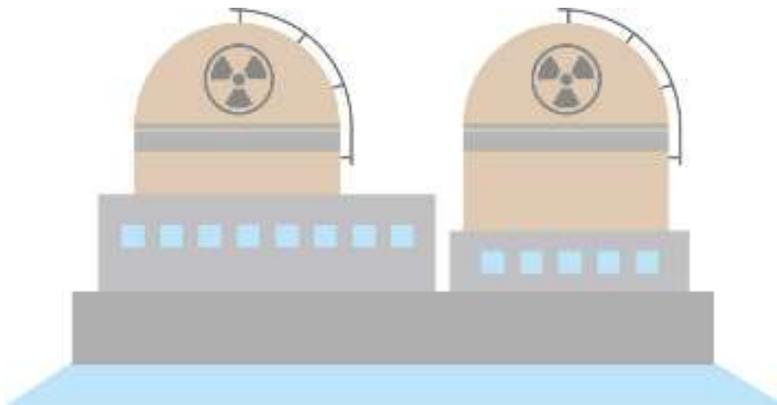
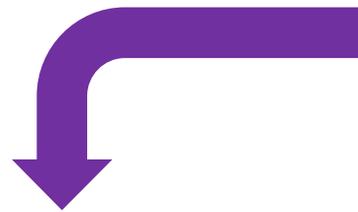
仮説

水 * ステンレス = 汎用的な素材から成る構造物



- 新興国を含む多くの国で事業者が短期間で製造技術を会得
- 同じ設計のプラントを同時期に多方面に展開可能
- 火力発電や他産業から材料・熱流動特性・構造健全性の知見を取得

最も多くの顧客に支持されたのでは？



・・・近年、エロージョンシールド板にクラックが発生し、（タービン）翼母材まで進展するケースが見られ、とくにNSS運用機に多発傾向にある。このクラックの発生原因は、応力腐食割れと言われている。ステライト板自体が、応力腐食割れの感受性の強い材料である上に、エロージョンシールド板の付近にステライト友材で溶接付しているため、・・・応力腐食割れを起こし、クラックに至るものと考えられている。

「ターボ機械」第6巻第9号、1978年5月
火力発電所におけるターボ機械のトラブル
川本昌久、中部電力武豊火力発電所

3. 成功の条件を考える

(参考) 顧客と競合と市場→製品・サービスの仕様

3C分析：

市場や顧客のニーズ（Customer）及び競合（Competitor）の動向を調査し、それらを踏まえて自社が成功できる要因を見つけること。

出所) Ferret, 3C分析とは？競合や市場の分析方法や事例から学び実践してみよう！

<https://ferret-plus.com/curriculum/66>

例) 地域熱供給

Customer

★目的（＝顧客が達成したいこと）

- 再生可能エネルギー・未利用エネルギーの活用による**温暖化ガス排出量削減**
- 余剰スペースの有効活用/災害時の電力・熱・水の供給継続による**強靱化**
- 最適なエネルギーマネジメント/大規模な電力の需給調整機能による**付加価値向上 + 省エネ**

出所) (一社) 日本熱供給事業協会 > 地域熱供給(地域冷暖房)のメリット

★導入事例：大阪市北区中之島二・三丁目（関電エネルギーソリューション）

- 河川水（温度差熱エネルギー）を利用し、ビル内にヒートポンプや蓄熱槽などの熱供給プラントを設置し、化石燃料を使用しない高効率の熱供給を達成。

Competitor

★競合は？（仮にSMRで熱供給するとして）

- 河川や湖沼などの未利用熱エネルギー
- 化石燃料（ガス、石炭）、バイオマス等

革新炉開発者はこのようなことをしてきたか？

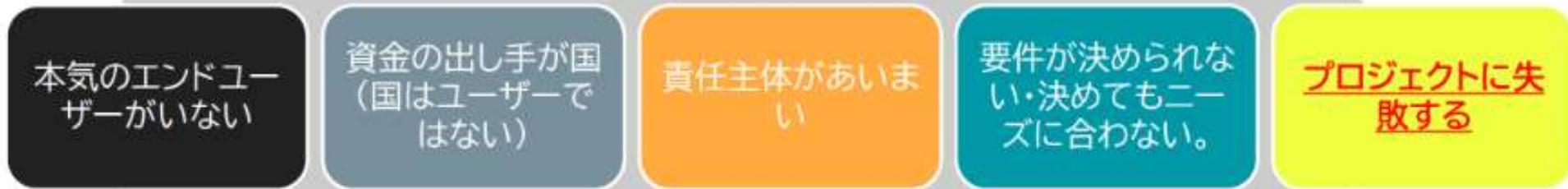
3C分析のテンプレート



3. 成功の条件を考える

(4) 批判に耳を傾けましょう

革新炉がいつまでたっても“革新炉”としか呼ばれないのは・・・



「革新軽水炉」以外は
司令塔・開発主体の
議論以前の段階

認定特定非営利活動法人
原子力資料情報室
Citizens' Nuclear Information Center



出所) 原子力小委員会への情報提供－原発開発、導入、利用の諸問題について－ 松久保委員、
2022年10月13日 第32原子力小委員会資料3

このご指摘（だけでも）真摯に耳を傾けませんか？

3. 成功の条件を考える

(参考) 米国の小型炉の開発・運用実績

- 1954年より1977年まで米国陸軍による Army Nuclear Power Programにおいて、0.1~40MWの運搬可能な小型原子炉開発・運用を実施。
- 1957年、バージニア州Ft. Belvoirにおいて実証機が完成。その後約20年にわたり更に7基を米国内外で製作・運転。

出所) "Army Nuclear Power Program, 1954-1976"
US Army Corps of Engineers



- 2019年、米国防衛省 (DOD) は緊急時に運搬可能なSMR提案"Project Pele"として募集開始。1~10MW程度の出力を最低3年継続できること・重量40トン未満などの厳しい制約がある。
- 2022年6月、BWXT Technologiesが同プログラムにおける試作機製造を3億ドルでDODと契約。
試作機は2024年、アイダホ国立研究所に納入予定。

出所) World Nuclear Association, "Small Nuclear Power Reactors"、BWXT news release 9 June 2022
BWXT Technologies, "BWXT to Build First Advanced Microreactor in United States" 9 June 2022

まさに
顧客目線

SMRを大容量電力供給ではなく災害時などの緊急時用途に適用

「政府のビジョンと支援」で顧客が動きますか。



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

Photo : 上関町風力発電所 (山口県上関町)
2022/5/4