

安全研究のフロンティア拡大を目指して

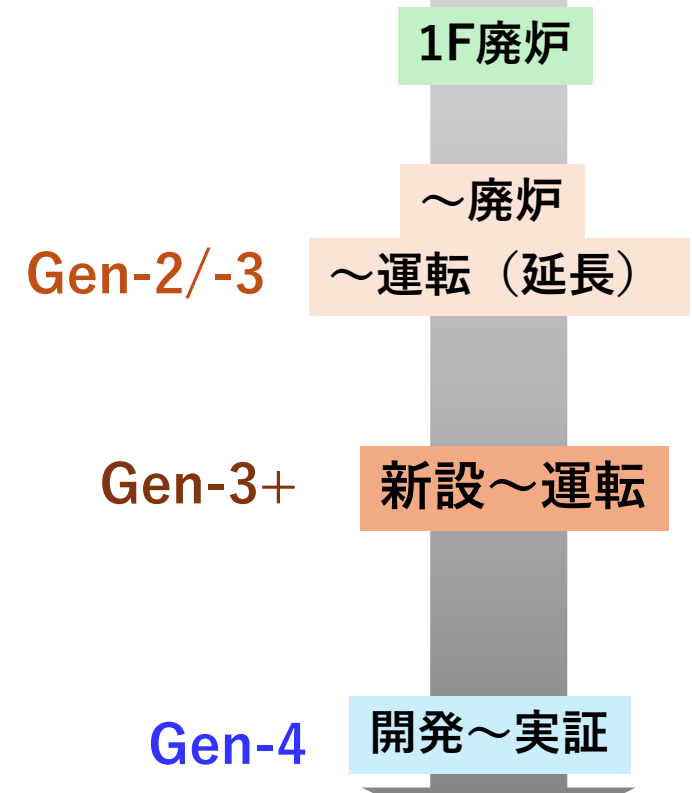
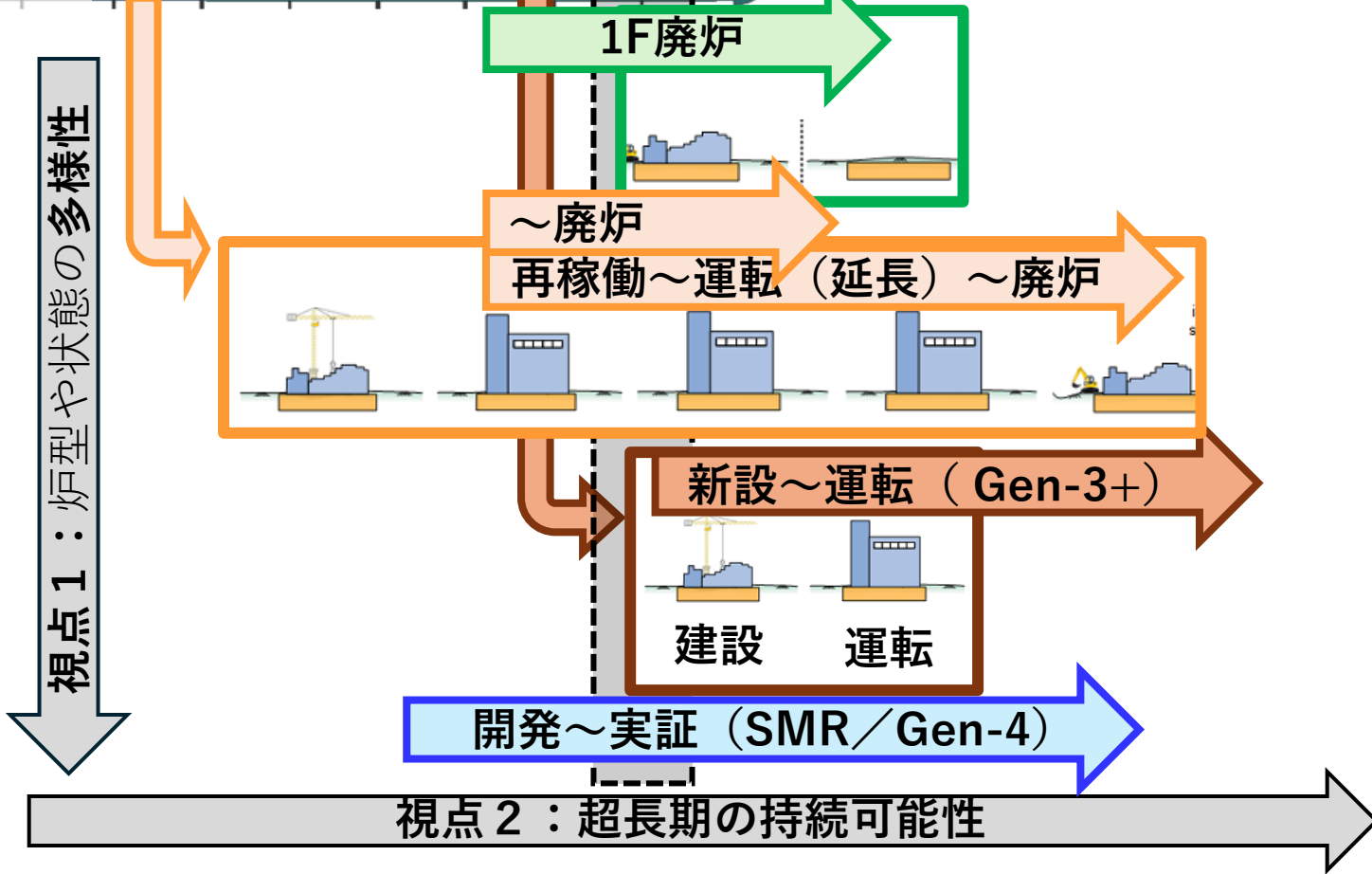
Some Attempts to Bring Forward the Frontiers of Safety Research

早稲田大学
共同原子力専攻
山路 哲史



- 2011年の1F事故以降、日本の原子力の課題は多様化した。
- 今後、日本の原子力の課題はさらに多様化する見込み。

課題：全て同時に対処する。

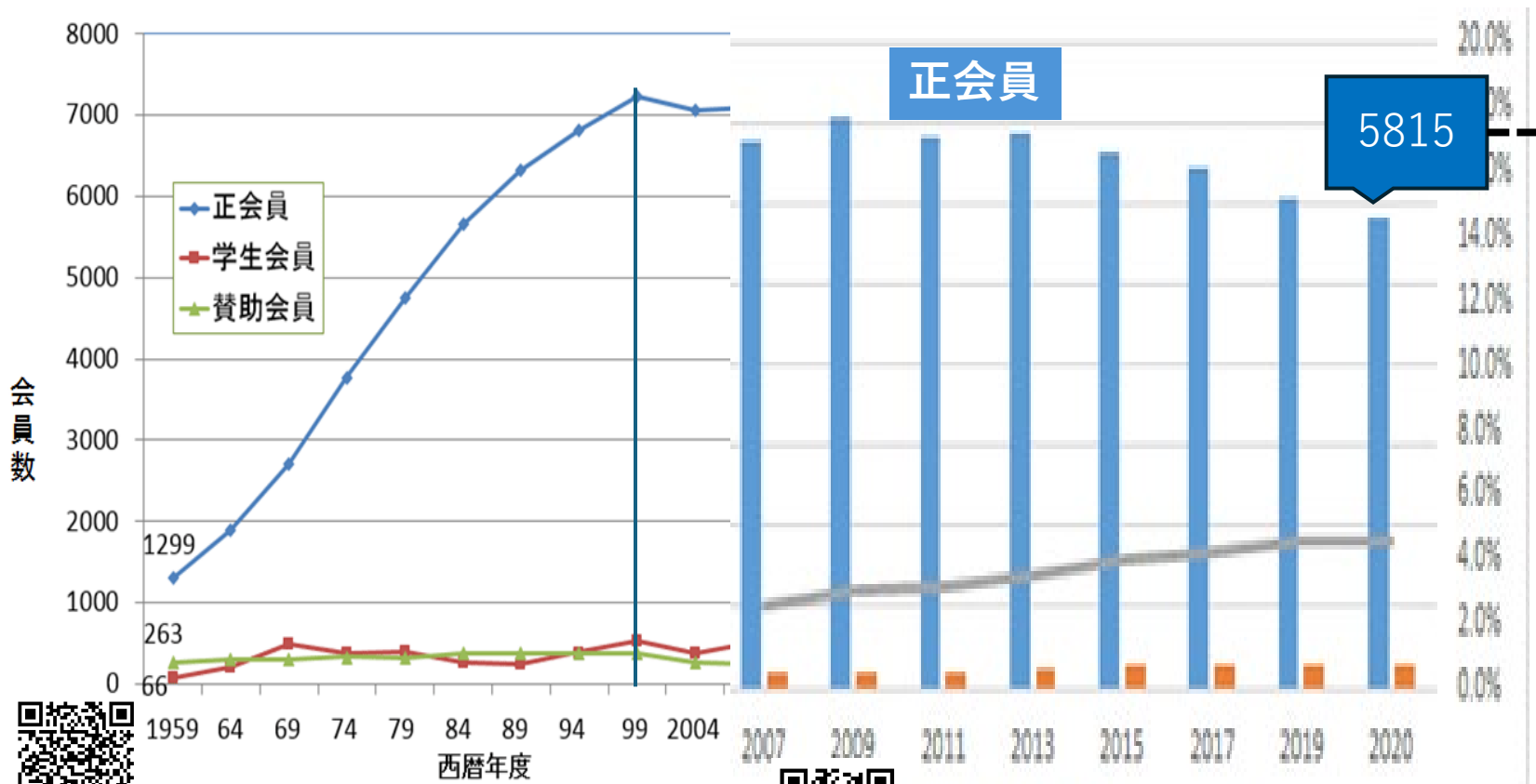


継続的な安全性の向上が課題

日本原子力学会の会員数の推移

- 従来の安全研究者が今後、大幅に増加することは見通せない。
- 様々な一層の努力が必要ではないだろうか：
 - **現**メンバの**活性化**：諸先輩方の継続的なご指導を。
 - **新**メンバを**増やす**：学生や他分野→安全分野への流れ促進。

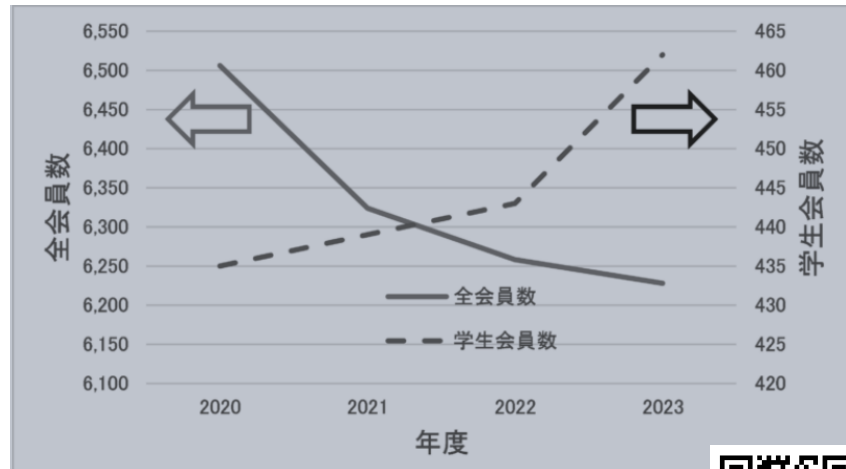
本日のテーマ：その仕掛けは？
 （新しい、面白い？）
 「安全のフロンティア拡大」



5,569 (2023年度事業報告)

https://www.aesj.net/about_us/outline

学生会員数は近年、やや増えているが正会員数より1桁小さい。



<https://www.aesj.net/rijikaidayori20241223>



https://atomica.jaea.go.jp/data/fig/fig_pict_13-02-02-04-09.html



<http://www.aesj.or.jp/~gender/proposal.html>

■ 全体 ■ 女性 — 比率



何が求められている？

「原子力安全部会」設立趣意書



設立総会資料 1

平成 20 年 7 月 3 日

<http://www.aesj.or.jp/~safety/aboutus.html> 発起人代表

原子力安全部会は、合理的な安全規制のあり方、より体系的な原子力法制、より実効的な原子力防災、長期的な原子力安全研究計画、安全解析手法の高度化や結果の利用法など、個別の技術分野ではカバーしきれない原子力安全に特有の分野において、知識の集約や普及・向上に努める。同部会はまた、学会内外の専門家・専門組織と協力して、原子力安全に係る事項について議論・検討し、知識の集約と体系化を図る。

原子力安全に対しては、事業者、メーカー、研究機関、規制当局、地方自治体、立地地域住民等、多くのステークホルダーが関与し、かつ、原子力安全を正しく理解することを欲する人も多い。原子力安全部会は、公平・公正な立場で、原子力安全に係る事項を適切に整理・分析してその結果を広く発信していくこととする。特に、一般の方々や立地地域住民に対しては、安全問題をわかりやすく解説していくこととする。

なお、原子力安全の対象は、原子力発電、再処理をはじめとする核燃料サイクル、放射線利用、放射性物質の輸送、放射性廃棄物の処分等の分野における、立地、設計、運転、保守、解体といったきわめて広範囲にまたがる。また、これらの検討のためには種々の専門分野の知識を総合化し、各分野においても原子力安全を意識した活動を推進する必要がある。従って、原子力安全部会には、事業者、メーカー、大学、研究機関、規制当局等に広く参加を求めるとともに、その運営においては、各機関・各分野からの意見を適切に反映することに特に留意すること、また、原子力安全部会のみが安全を検討するのではなく、各機関・各分野における原子力安全に係る活動が推進されるよう協力・支援することとする。

知識の集約や
普及・向上

広く発信

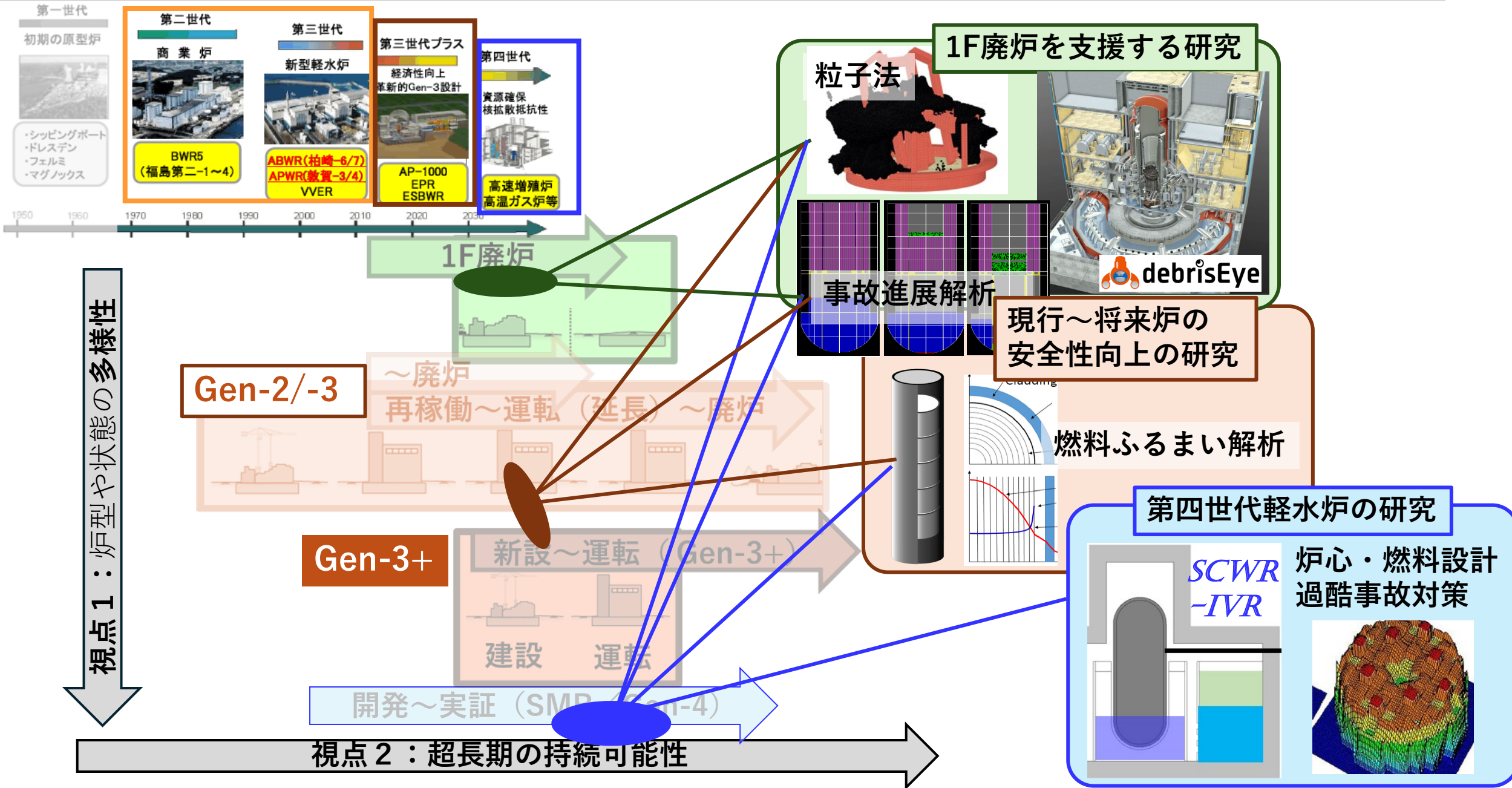
各機関・分野
と協力・支援

これらに係る
playerを増や
す工夫が必要。

安全研究の課題（例）

- 全体を俯瞰する努力が必要。
 - 領域間の「抜け」はないか？
 - 潜在的なリスクは？
 - 異なる領域を横断する基盤研究が必要
- 深層防護の考え方が基本
- 外的事象への対策の強化、過酷事故対策、不確かさへの備え、確率論的リスク評価の活用
- 原子力防災、複合災害対応
- 安全規則・規制のあり方、予見性、合理性、graded approach
- セキュリティ
- コミュニケーション（社会／事業者／規制／学協会…etc）
- 国際的な協力体制の強化、リーダーシップ
- 自主性、主体性、継続性、

本日のテーマ
(新しい、面白い)
「安全のフロンティア拡大」



視点1：炉型や状態の多様性

視点2：超長期の持続可能性

1F廃炉を支援する研究

粒子法

debrisEye

事故進展解析

現行~将来炉の
安全性向上の研究

燃料ふるまい解析

第四世代軽水炉の研究

SCWR
-IVR

炉心・燃料設計
過酷事故対策

1F廃炉

Gen-2/-3

~廃炉
再稼働~運転(延長)~廃炉

Gen-3+

新設~運転 (Gen-3+)

建設 運転

開発~実証 (SMR Gen-4)

第一世代

初期の原型炉

- ・ Shippingport
- ・ Dresden
- ・ Fermi
- ・ Magnox

第二世代

商業炉

BWR5
(福島第二-1~4)

第三世代

新型軽水炉

ABWR(柏崎-6/7)
APWR(敦賀-3/4)
VVER

第三世代プラス

経済性向上
革新的Gen-3設計

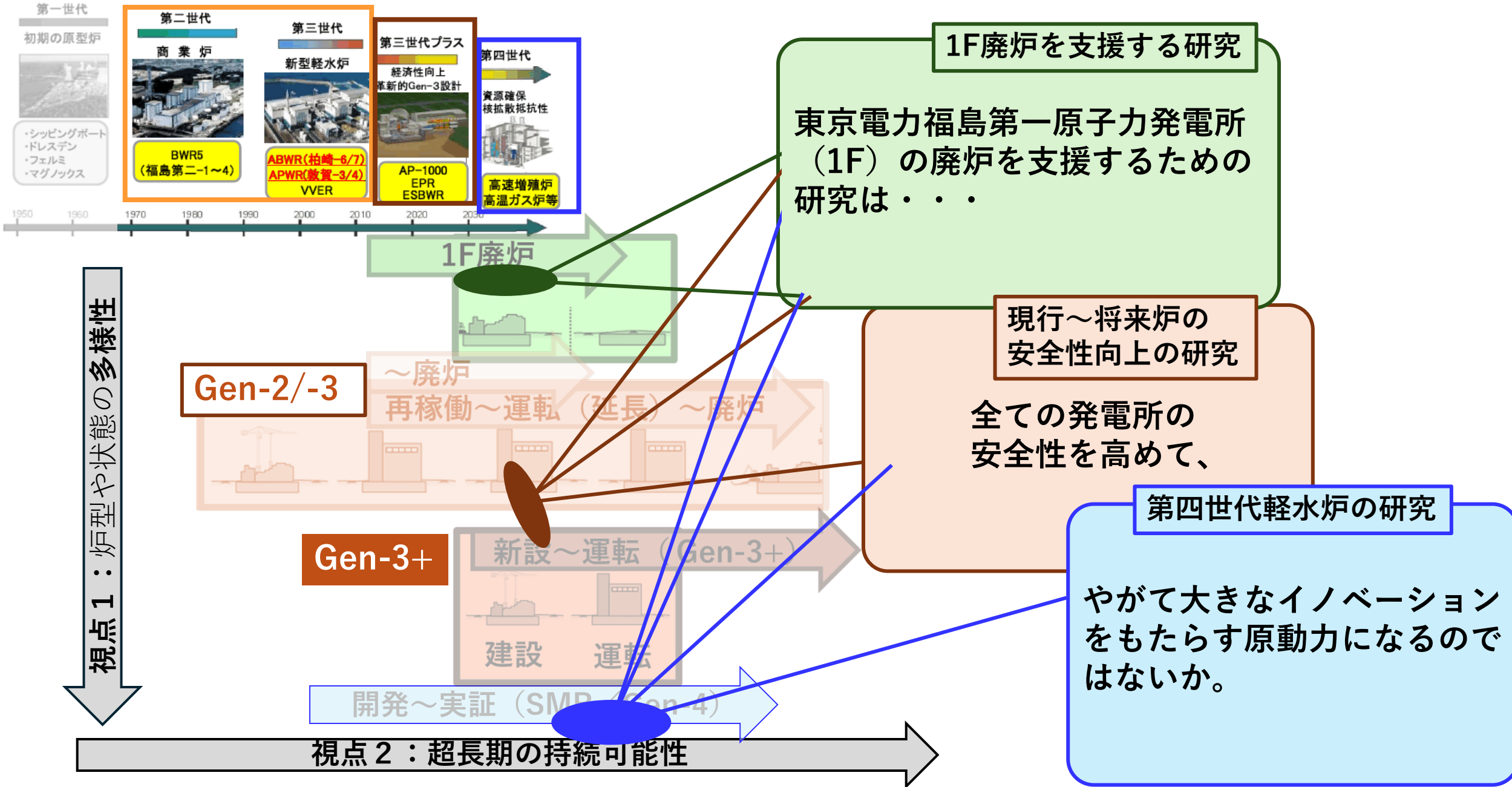
AP-1000
EPR
ESBWR

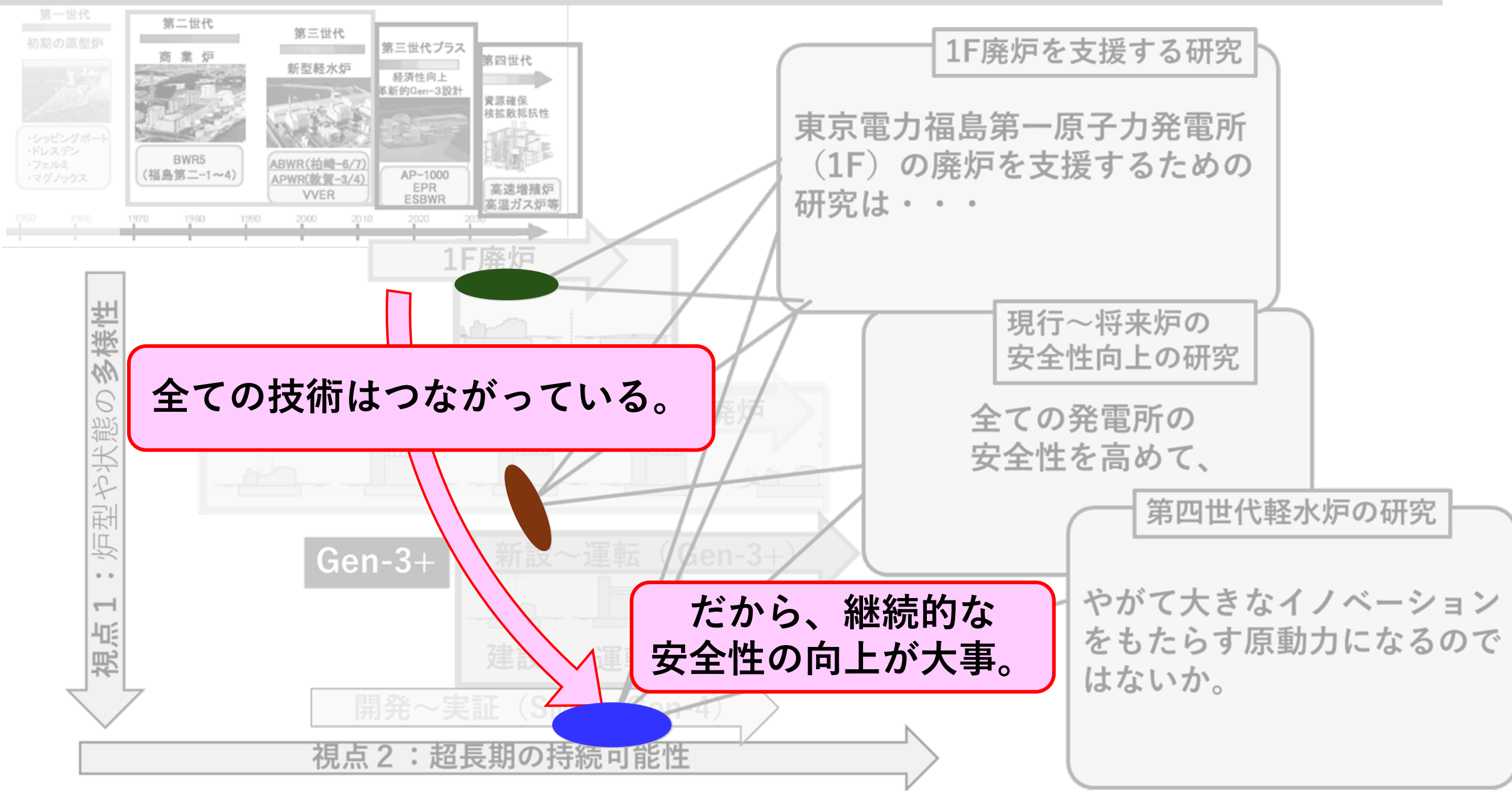
第四世代

資源確保
核拡散抵抗性

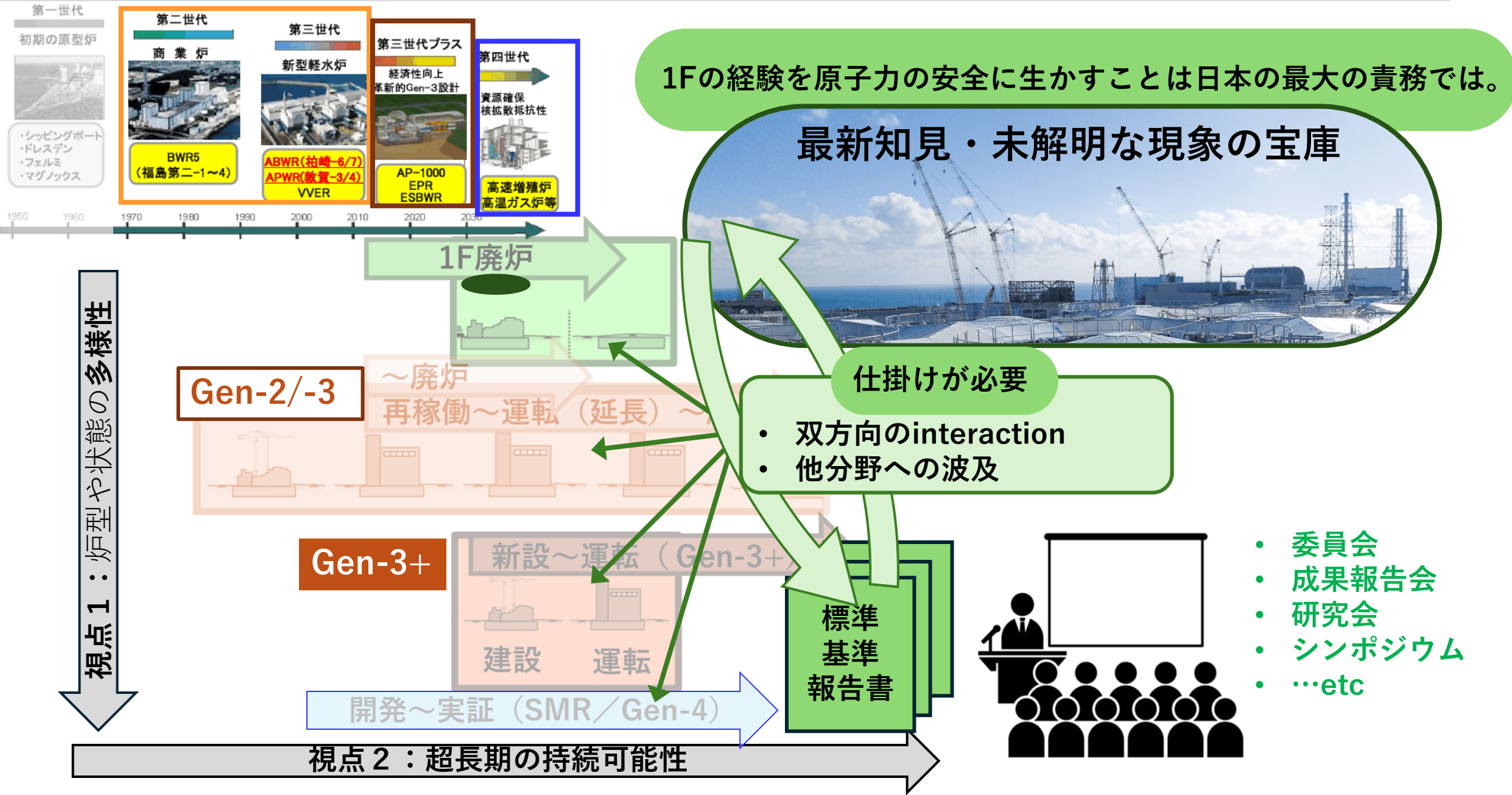
高速増殖炉
高温ガス炉等





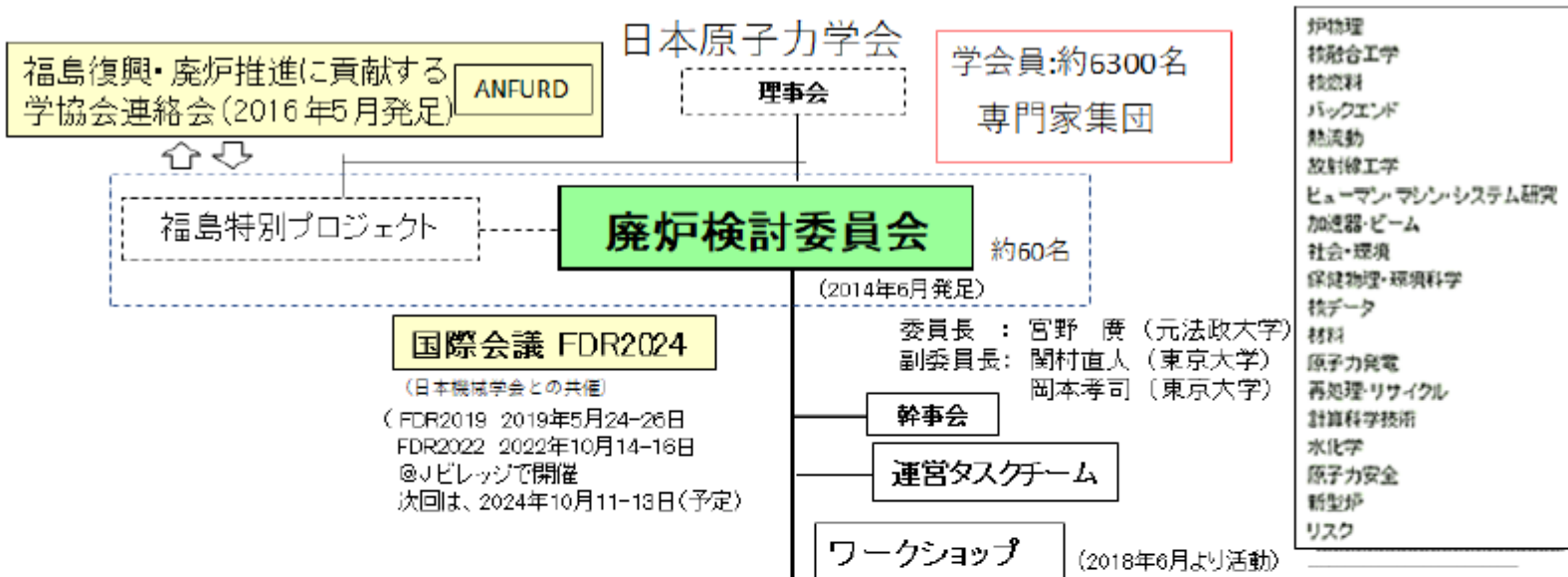


(問) 1Fの経験は継続して安全性の向上に生かされているか？

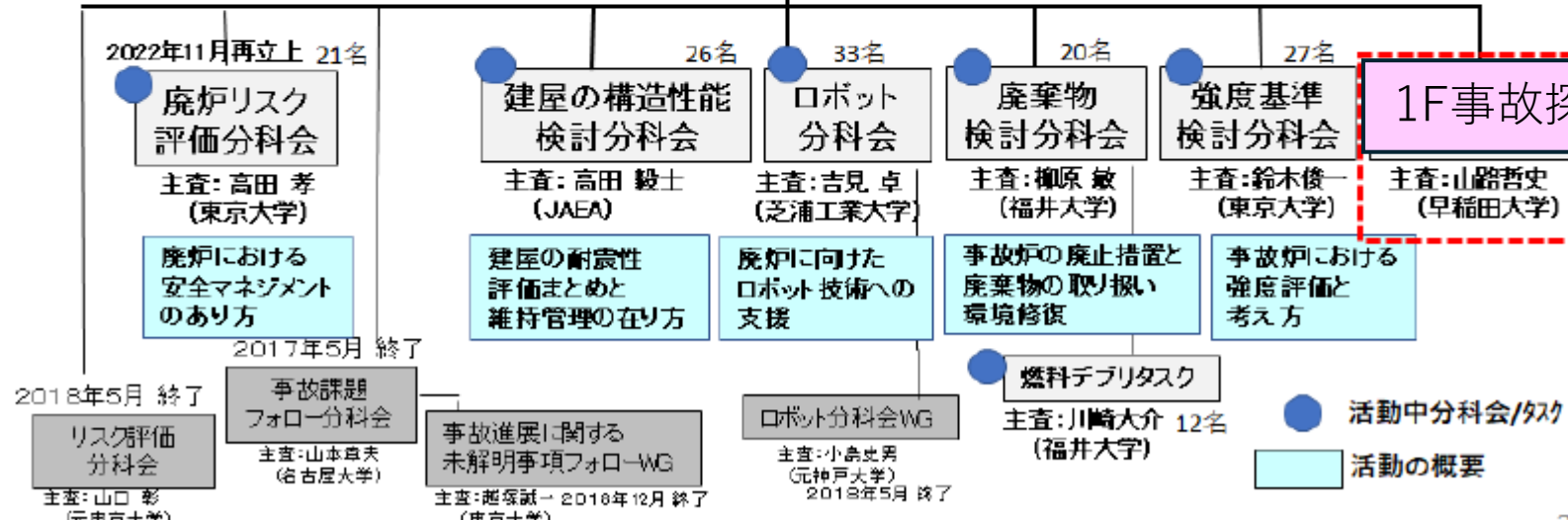


活動の体制 原子力学会福島第一原子力発電所事故に関して

(2024年2月版)



「これまでに得られた1Fでの事故進展の理解を**事故事象の知見集約のプラットフォーム**として**解析コードの高度化にも資する**ように整理しながら、我が国の貴重な事故経験を次代に継承するべく、調査結果と分析検討を用いて、議論を進める」



(注) FDR: International Workshop on Fukushima Decommissioning Research 2

廃炉委の体制図

1Fデジタルツインの構築 (3D推定図× debrisWiki × debrisEye)

11



(5) 炉内状況推定

3D推定図及びdebrisEyeの開発

JAEA 山下拓哉氏の講演スライドより

安全研究に
新たな研究者
を呼び込むの
に有効では？



- 誰にでも一目で状況が分かる図
- データベースの統合

2D推定図[4]

SAコードによる事故進展解析[4]

EM、MPS法等に
細解析結果 [3]

模擬試験 [4,6]

1Fから採取されたサンプルの分析データ
(debrisWiki) [3]

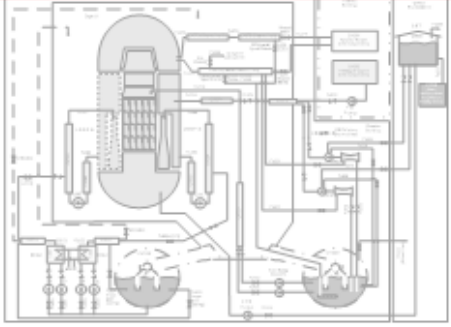
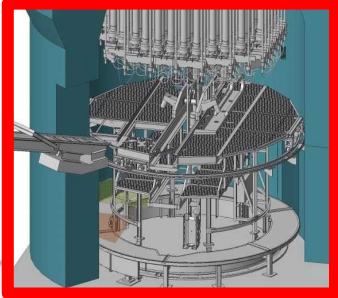
1F施設データ

- 3D推定図については、経済産業省資源エネルギー庁「令和5年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発）」の成果の一部を含むものである。
- debrisEyeについては、東京電力ホールディングス株式会社「1F PCV内部調査結果解析業務委託」の成果の一部を含むものである。

1F事故探究（例） 3号機ペDESTALの「～3 mの山」は何？

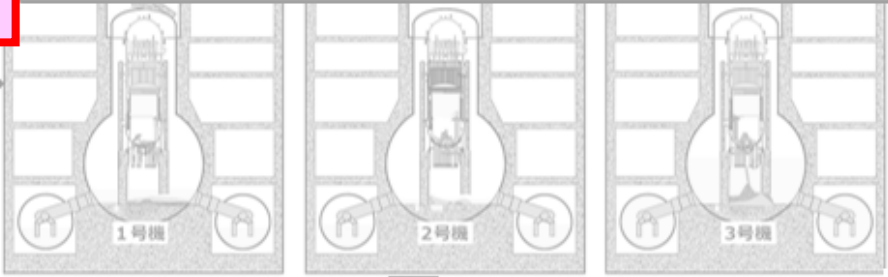
（検討例）RPVから半凝固状態のデブリが放出されたとき、ペDESTALに一定程度の水が存在し、ペDESTAL領域の熱をPCV外に輸送するガスの流れがあれば（背景温度がある程度低ければ）デブリは輻射放熱により冷却されながら移行し、その一部はペDESTAL構造物上に堆積し得る。

新たな安全研究への流れ？



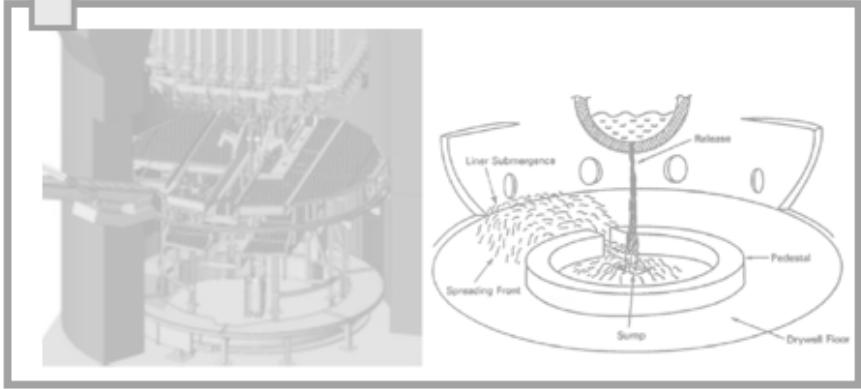
評価 & 理解の深化

現場情報と事故進展の理解に基づく推定

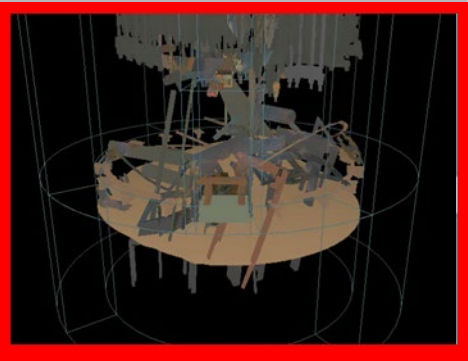


2011年11月 2013年12月 2014年8月 20

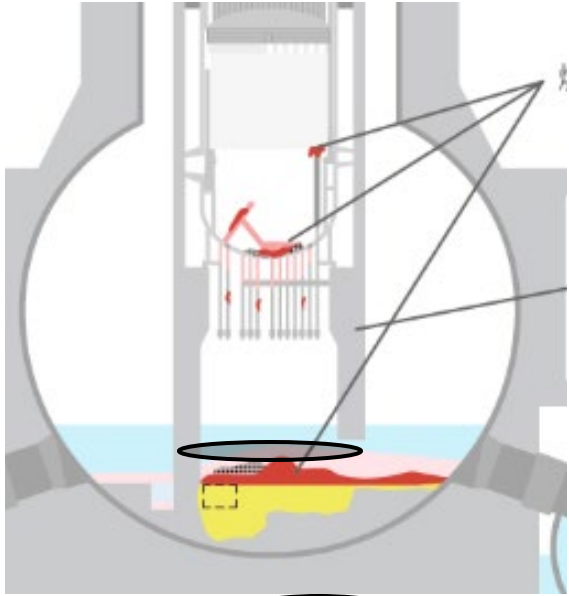
先進解析による仮説の検証



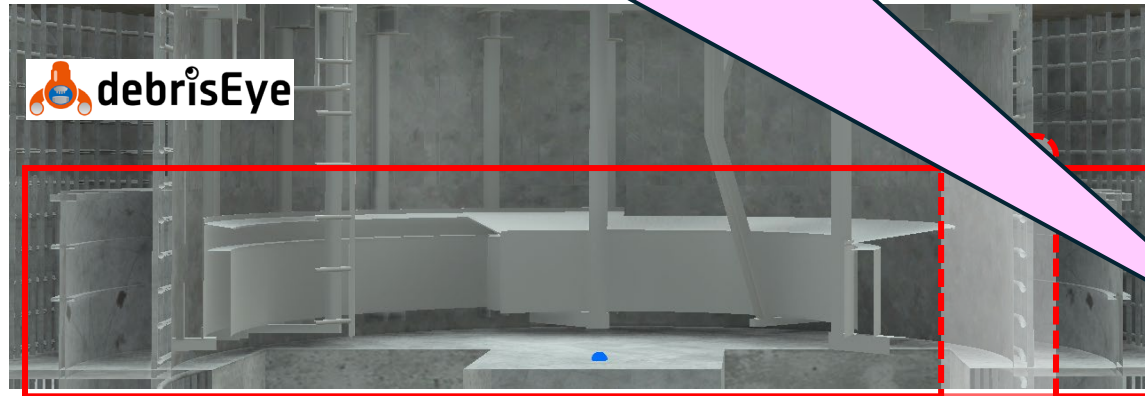
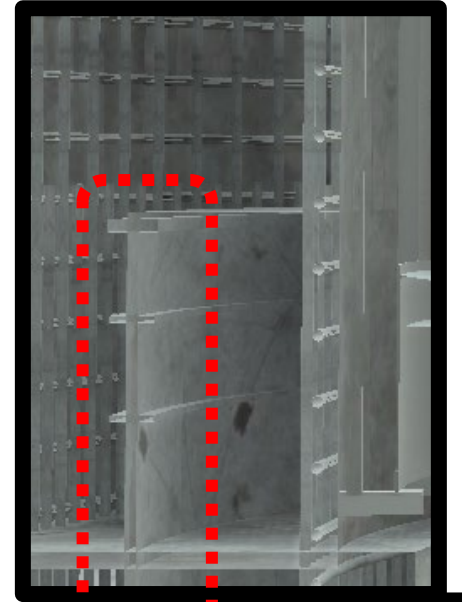
現場情報に基づく仮説



～3 mの山は何？



- 従来の小規模実験の経験から得られている Molten-Core Concrete Interaction (MCCI) の理解では鉄筋を残してコンクリートが消失している現状を説明できない。
- この原因を解明できれば原子力の安全性向上にも資する可能性がある。例えば「MCCI 二次生成物の影響は？」



図は修正作業中のもの

1F事故の探究を安全研究に展開するイメージ（案）

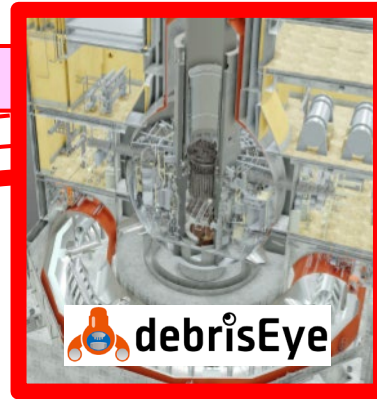
SMR/Gen-4

多様なplayerの入口

フロンティア拡大

Gen-3+

Gen-2/-3



(例) AESJ-1F事故探究分科会
(例) 安全研究のための重要度ランキング
テーブル(PIRT) 整備



デブリ分布 RPV/PCV状態推定

サンプル分析

事故進展の推定

基礎・基盤研究マップ

解析コード (マニュアル)

- 2011年の1F事故以降、日本の原子力安全の課題は多様化し、今後さらに課題の多様性が増加する見込みである。
- **多様化する課題に取り組み、知見を共有・展開するplayerを増やす仕掛けが必要。**
- 従来の活動に加えて**原子力安全に係るフロンティア拡大**が有効ではないだろうか。
- **例えば・・・**
 - **1Fデジタル・ツイン複合体**（3D推定図 + debrisEye + debrisWiki + 解析コード + データベース + 文書 + etc）を多様な研究者を呼び込む「**入口**」として、**1F廃炉**に資するための研究のフロンティアを拡大すれば、安全研究に資するのではないだろうか。
 - 1Fは「負のレガシー」ではなく、新たなplayerを呼び込む「**世界最先端の安全研究プラットフォーム**」としての役割を果たすことが期待できる。→様々な研究者が1Fから新しい「知」を発掘してくれる（と期待）。

ご清聴ありがとうございました。

(世界の原子力の)

1F は **安全研究** の **F1** テストコースになれるか？



Acknowledgements：本発表は、経済産業省資源エネルギー庁令和5年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発）」によって得られた成果及び、「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」により実施された「Multi-Physicsモデリングによる福島2・3号機ペDESTAL燃料デブリ深さ方向の性状同定」（2019-2021年度）を含みます。