



【基調報告】

将来のエネルギーシステムを支える 原子力の論点と電中研の取り組み

電力中央研究所
エネルギートランスフォーメーション研究本部

研究統括室長・研究参事 飯塚 政利

研究報告会2023

2023年11月16日

Ⓜ 電力中央研究所

© CRIEPI 2023



Ⓜ 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

- 脱炭素、エネルギー安全保障などの観点から、国内外で原子力発電利用に対する前向きな情勢変化が見られるが、依然として原子力には**技術的、経済的、社会的な観点から解決すべき課題**が残されている。
- これらの多種多様な課題を俯瞰し、**4つの論点に整理**した。
- それぞれの論点に対し、**着実な技術開発**およびその成果に基づく**客観的な評価**を重ねていかなければならない。

© CRIEPI 2023

1

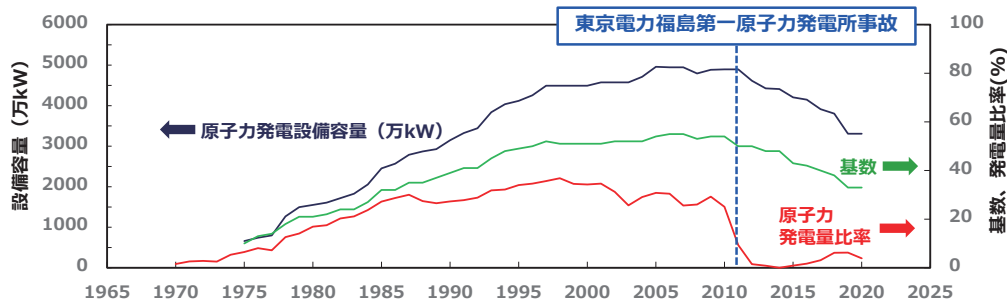
報告内容

1. 原子力をとりまく状況と背景
2. 将来にわたって原子力を活用していくための論点の俯瞰的整理
3. 電力中央研究所における取り組みの概要
4. まとめ

報告内容

1. 原子力をとりまく状況と背景
2. 将来にわたって原子力を活用していくための論点の俯瞰的整理
3. 電力中央研究所における取り組みの概要
4. まとめ

日本における原子力政策の推移



資源エネルギー庁「エネルギー白書2023」（HTML版）、電気事業連合会「電気事業のデータベース（INFOBASE）」などを基に電中研にて作成

2012年「2030年代に原発稼働ゼロを可能に」革新的・エネルギー環境戦略

2014年「原子力は可能な限り依存度を低減」第4次エネルギー基本計画

2015年「原子力発電比率を20～22%に」長期エネルギー需給見通し

2018年「原子力を含めたあらゆる選択肢を追求」

… 第5次エネルギー基本計画

2021年「必要な規模を持続的に活用」

… 第6次エネルギー基本計画

2023年「安全性の確保を大前提に原子力発電を今後も活用」、
「再稼働、運転期間延長、新增設、次世代革新炉など」


… GX 実現に向けた基本方針


S+3Eの原則


- ✓ 安全性(Safety)
- ✓ 安定供給(Energy Security)
- ✓ 経済効率性(Economic Efficiency)
- ✓ 環境適合(Environment)


近年の各国動向（1/2）

 ドイツ：2022年の脱原子力法制化以降、2度にわたって閉鎖を延期したが、**2023年4月に最後の3基を停止、脱原子力完遂**

 イギリス：原子力比率向上（**現状15%→2050年までに25%**）を目指し、原子力導入拡大を進行中。高温ガス炉を含む**SMR**も開発中


 フランス：原子力低減の目標を撤回。**2050年までに革新軽水炉6基を建設し、加えて8基の建設に向けた検討**を開始。エネルギー安全保障確保に向けて原子力産業への政府出資比率を増大


 米国：既設炉に対する運転継続支援プログラムを実施。原子炉の投資リスク低減のため、補助金を活用して**さまざまな小型原子炉を開発中**


 EU：2022年、制限付き※で**原子力をEUタクソノミー（環境的に持続可能な経済活動の分類）に追加**


※新設は「利用可能な最良の技術」を用いること、既設設備の改修は「合理的に実装可能な安全性の向上」を図ること。また、新設は2045年までに、既設設備の改修は2040年までに認可取得が必要


近年の各国動向 (2/2)

- 

中国：世界で建設中の原子炉の大半を占める。高温ガス炉、高速炉開発なども積極的に推進
- 

カナダ：ダーリントン原子力発電所の30年間運転延長に向けた改修工事が一部完了。3つの州の間でSMRの開発と実用化の加速に向けた協力覚書を締結し、導入計画が進展中
- 

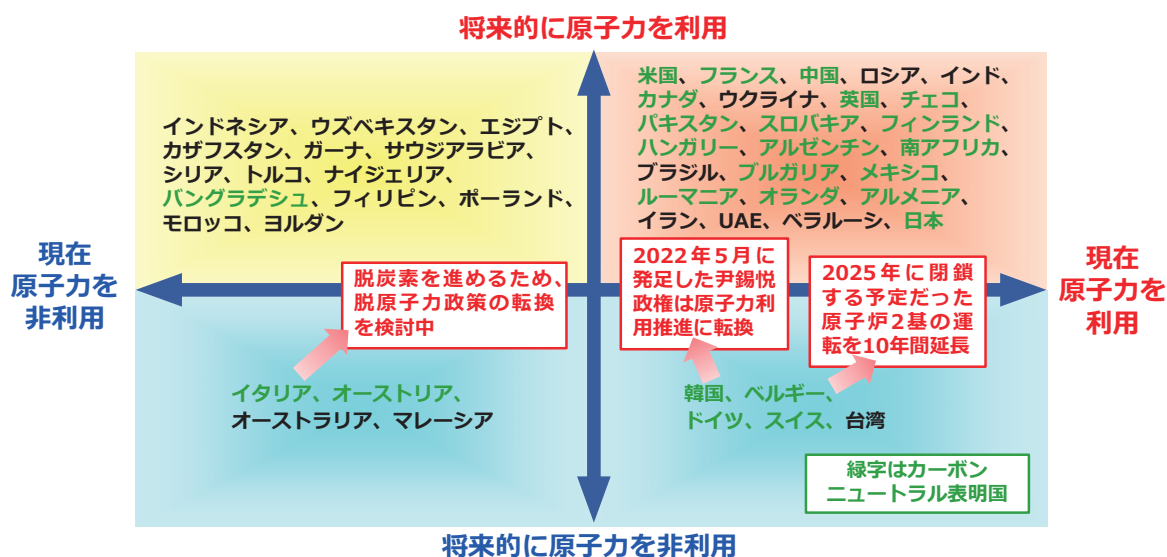
チェコ：建設が予定されている大型軽水炉への採用に向けた関連米国企業との覚書を締結。各種SMRの導入も検討中
- 

ポーランド：2040年頃までに最大6基の大型炉の建設を計画。各種SMRの導入も検討中（高温ガス炉に関する日本原子力研究開発機構との研究協力も）
- 

ガーナ：SMR導入でアフリカの牽引役となることを支援するため、日米両国が提携

各国の動向

- 現在原子力を利用していない国の中でも将来的に利用の動き
- 現在原子力を利用している国の多くは、将来も利用を継続する見通し。こうした国の多くはカーボンニュートラルを表明



脱炭素化に向けた電源構成

- ✓ 温暖化を1.5℃あるいは2℃に抑えるためには、急速（緊急）かつ大幅な温室効果ガス排出削減が必要
- ✓ 脱炭素化に向け、**再エネ、原子力、およびCCSなどのゼロエミッション火力**の3つが有力
- ✓ 自給率向上と安定供給の観点から、**バランスのとれたエネルギーミックス**が重要

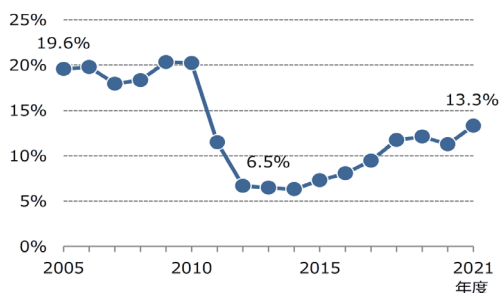


資源エネルギー庁「日本のエネルギー：エネルギーの今を知る10の質問」（2023年2月）より

エネルギー安全保障

- 日本にはエネルギー安全保障上の大きな課題あり
 - 低いエネルギー自給率 13.3%（2021年度）
 - 高い化石燃料依存度 83.2%（2021年度）
 - 国際間の燃料パイプラインや多国間送電網なし
- **再エネ拡充、備蓄の点で有利な原子力利用が重要**

日本のエネルギー自給率 (IEAベース) の推移



資源エネルギー庁「令和3年度におけるエネルギー需給実績(確報)」(2023年4月)より

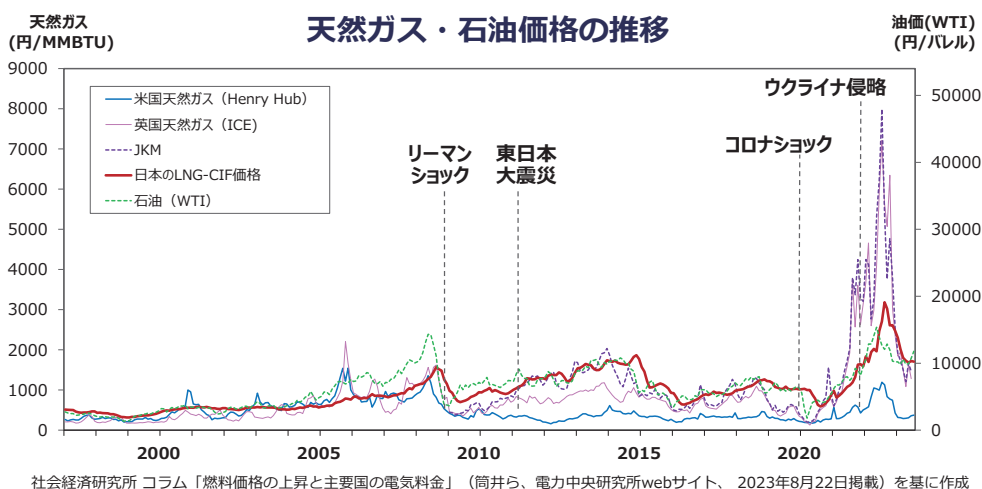
100万kWの原子力発電所と同じ年間発電量を得るのに必要な燃料(左)と国内在庫日数(右)

燃料	必要量	燃料	国内在庫日数
原子力(濃縮ウラン)	21トン	原子力(ウラン)	約2.9年分
天然ガス	950,000トン	天然ガス	約20日分
石油	1,550,000トン	石油	約200日分
石炭	2,350,000トン	石炭	約29日分

資源エネルギー庁「原子力政策の課題と対応について」(2021年2月)より

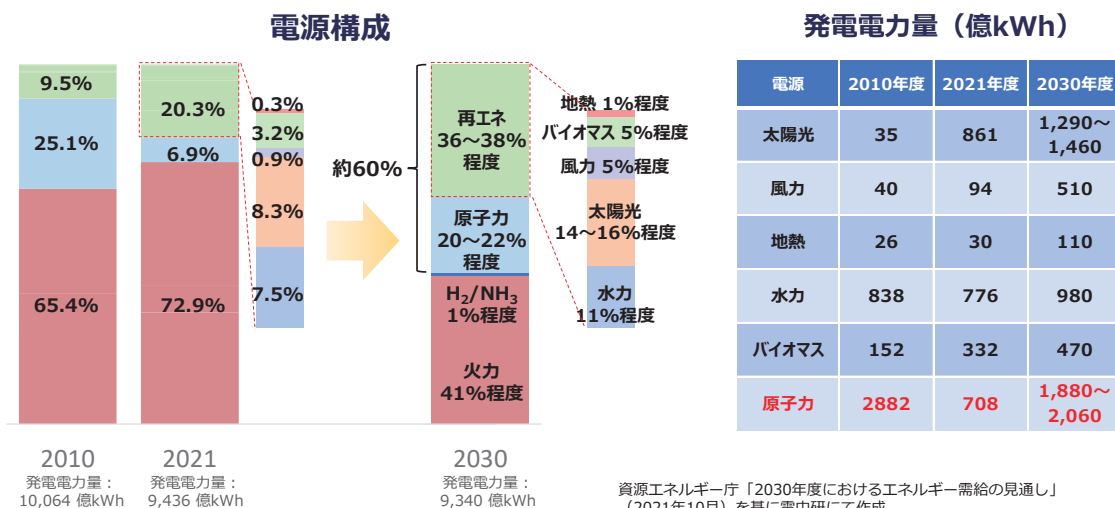
エネルギー価格が経済に与える影響

- ロシアのウクライナ侵略等による国際関係の緊張、需給のひっ迫、経済ブロック化の懸念、長期的な需要増大などに伴い**エネルギー資源価格は大きく変動**
- インフレ、円安が重なり、わが国の**経済に大きな影響**



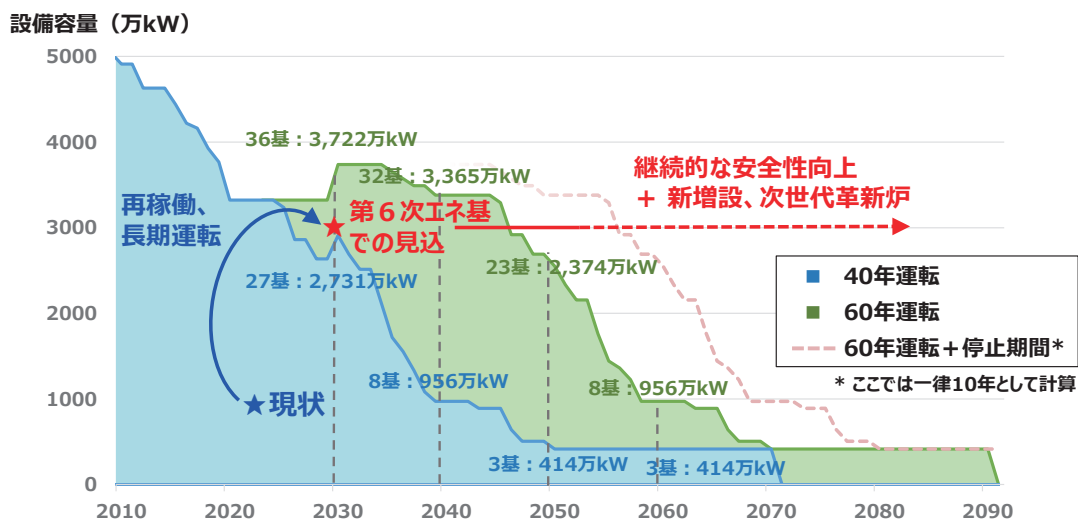
脱炭素進展時の電源構成における原子力

- 脱炭素、エネルギー安全保障などの観点から、原子力発電を継続し、**2030年度には2021年比で3倍程度の発電量に拡大し、再エネとの合計で電源構成における比率を約60%**とすることが期待されている。



原子力発電所の設備容量見通し

- 原子力が将来のエネルギーシステムを支えていくためには、**再稼働、長期運転、継続的な安全性向上、新增設などを着実に実現していく**必要あり。



経済産業省 第31回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会「原子力政策に関する今後の検討事項について」(2022/9/24)を基に電中研で作成

原子力利用の継続・拡大における課題

原子力利用に対する期待の高まりなどの前向きな情勢変化が見られる一方、**利用の継続と拡大にあたっては多くの課題と達成すべき目標**あり。

■ 福島第一原子力発電所事故が明らかにした課題

- 地震、津波等のリスク
- 原子力発電の安全性
- 行政、事業者への信頼、対話と信頼獲得

■ 技術的な達成目標

- 安全性、経済性の向上
- 再処理・廃棄物処分による核燃料サイクル完結、など

■ 経済的、社会的な課題

- 投資回収スキーム、訴訟、規制、廃棄物処分事業に関わる制度検討
- 教育、技術継承、事業継続、サプライチェーン維持

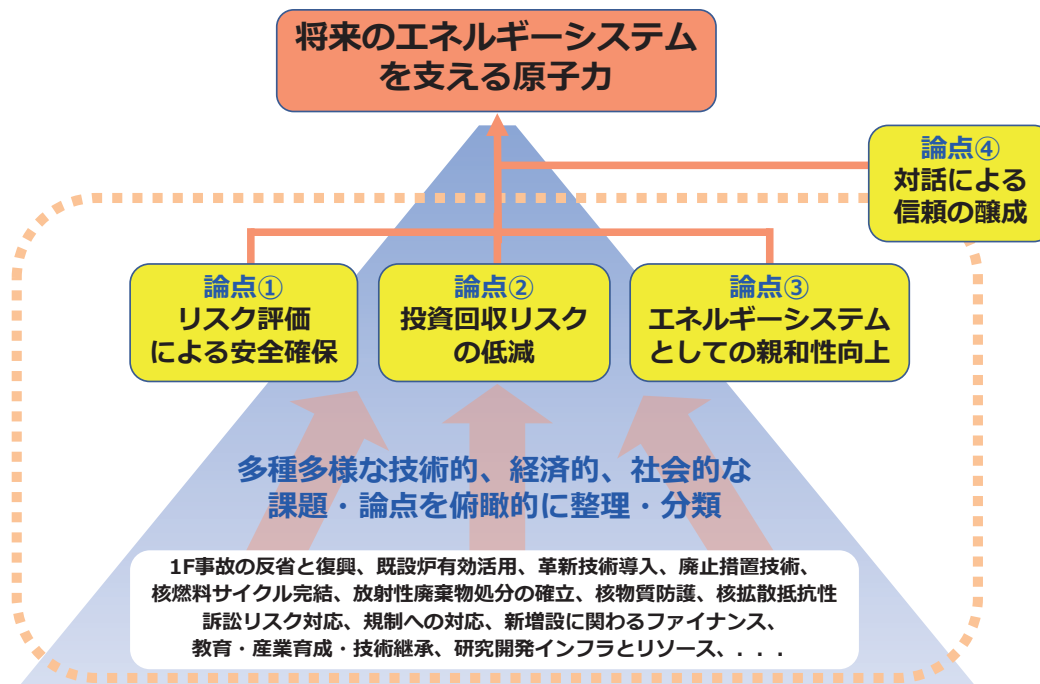
報告内容

1. 原子力をとりまく状況と背景
2. 将来にわたって原子力を活用していくための論点の俯瞰的整理
3. 電力中央研究所における取り組みの概要
4. まとめ

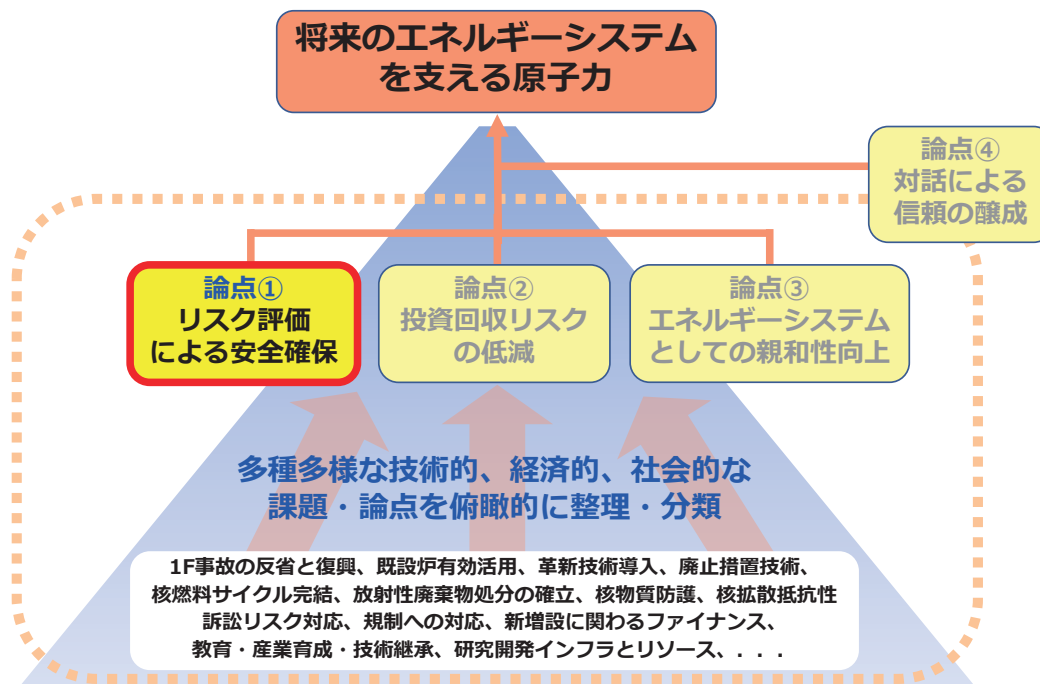
論点整理の必要性

- 原子力利用の継続・拡大にあたって、**多くの課題と達成目標が残されている。**
- 福島第一原子力発電所事故からの回復・復興の途上にあるわが国においては、より一層の努力が必要
- 原子力利用を推進する機運の高まりは、**直ちにこれらの課題の解決をもたらすものではなく、課題と目標の明確化ならびに解決に向けた行動の契機**とすべき。
- **着実な技術開発およびその成果に基づく客観的な評価**のため、多様な課題と達成すべき目標を論点整理し、広く共有する必要がある。

論点の抽出、整理



論点① リスク評価による安全確保



論点① リスク評価による安全確保 (1/2)

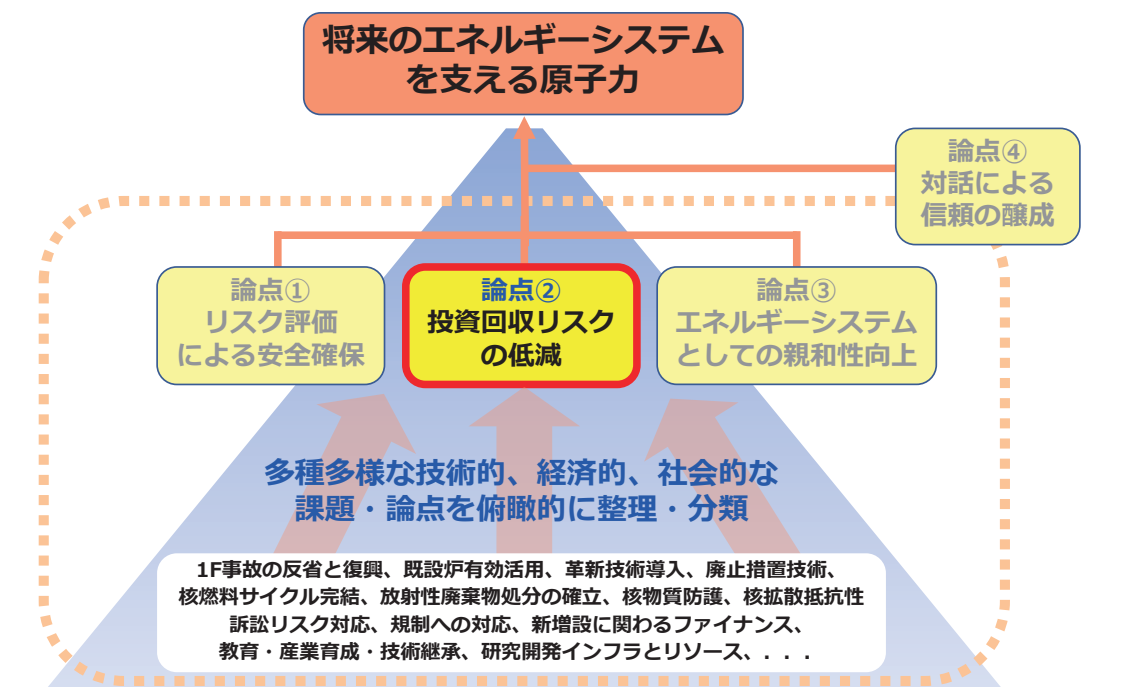
- 「安全」とは、「許容不可能なリスクがないこと」（国際規格 ISO/IEC Guide 51:2014における定義）
- 許容不可能なリスクがない状態は、**リスク低減プロセス（リスク分析・評価＋リスク低減方策）を繰り返す**ことにより達成される。
- 福島第一原子力発電所事故を起こし、社会に大きな被害を及ぼしたことを踏まえ、原子力の利用において安全の確保は最も重要な課題
- 安全性向上への取り組みにより、一部の原子力発電所は再稼働に至っているが、**脆弱な部分が残っている可能性**を常に意識し、それを**見つけ出して対策を図っていく**行動を続けなければならない。

論点① リスク評価による安全確保 (2/2)

個別報告2にて詳述

- 原子力発電所のリスクとは、**炉心損傷、放射性物質の外部放出、それによる周辺住民の健康被害等**が生じる可能性とその影響度
- 原子力発電所のリスク評価
 - **さまざまな対象**（自然災害、人間信頼性、原子炉以外の施設など）を評価できる技術が必要
 - **リスクの許容範囲とその判断基準**を明示することが必要
- 例えば、地震、津波、強風（竜巻・台風）、火山噴火等の原子力発電所のリスク評価技術への要求
 - **災害の規模**（揺れ、津波高さ、風速、噴火規模・時間）と**頻度の的確な評価**
 - それによって、**原子力発電所に生じる影響の評価** [個別報告1にて詳述](#)
- **完成されたリスク評価、リスクマネジメントはない。取りうるベストな選択を常に追求**していくことが必要

論点② 投資回収リスクの低減



論点② 投資回収リスクの低減 (1/2)

■ 社会経済的側面から見た原子力の特徴

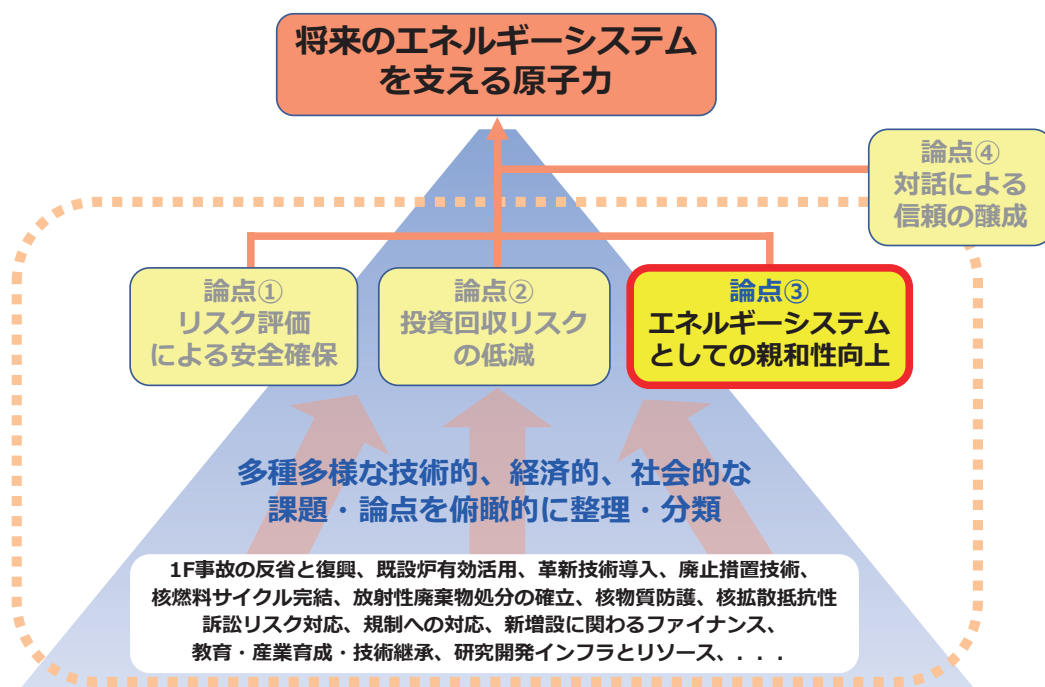
- 新增設における**巨額の初期投資**と極めて長い建設リードタイム
- 長期の投資回収期間
 - ✓ 他電源と比較して**低い運用コスト (kWh当たり)**
 - ✓ **長期にわたる安定運転**により投資回収を見通すことが必要
- 社会的理由による事業継続性への影響
 - ✓ **訴訟**：運転差し止め訴訟等
 - ✓ **規制**：審査の長期化による総事業費の上振れ、バックフィット等による追加コストの可能性
 - ✓ **人材、技術**：長期的な人材、知見、産業基盤の維持が必要
- 将来的な負担
 - ✓ **放射性廃棄物処分事業における不確実性**

論点② 投資回収リスクの低減 (2/2)

個別報告4にて詳述

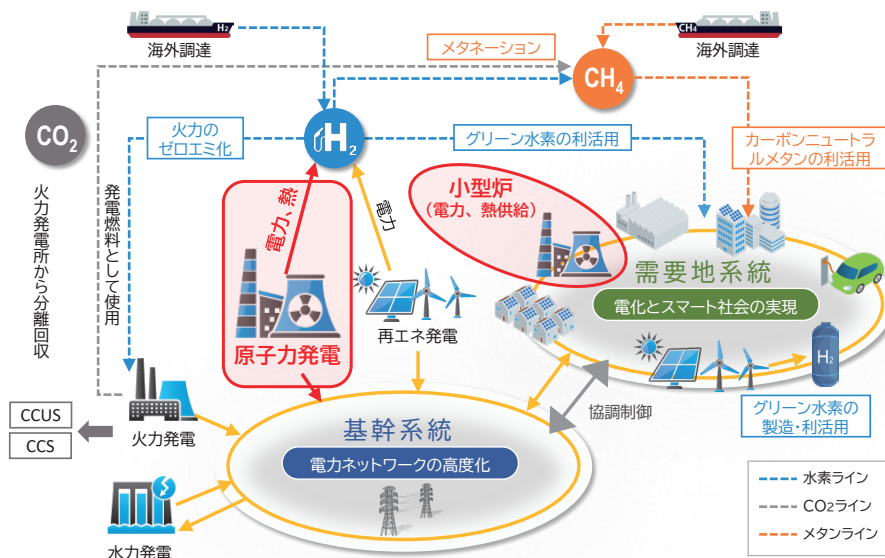
- 既設炉の活用に向けた法制度的な論点
 - 十分な経年化管理を前提とする**更なる長期運転**
 - 規制対応等による**追加コストの回収が可能な電力市場**
 - 訴訟に伴う**運転差し止め仮処分**、事業者の損害への対応
- 新規投資に向けた社会経済的な論点
 - **初期投資回収のための収益の予見性向上**
 - 審査の長期化等による**総事業費の上振れへの対応**
- バックエンド事業を巡る政策・制度に関する論点
 - 放射性廃棄物処分に関する**国と事業者の費用・リスクの分担**
- 人材・知見とサプライチェーンの維持に関する課題
 - 長期的視点での**人材育成支援策**、**研究開発インフラの維持・整備**、**サプライチェーン維持**のための施策

論点③ エネルギーシステムとしての親和性向上



論点③ エネルギーシステムとしての親和性向上 (1/2)

再生可能エネルギー (太陽光、風力など) との共存・協調戦略 ← 発電以外のエネルギー利用による需給バランス調整への対応など → 熱、水素などのエネルギーキャリアへの変換・貯蔵・利用技術

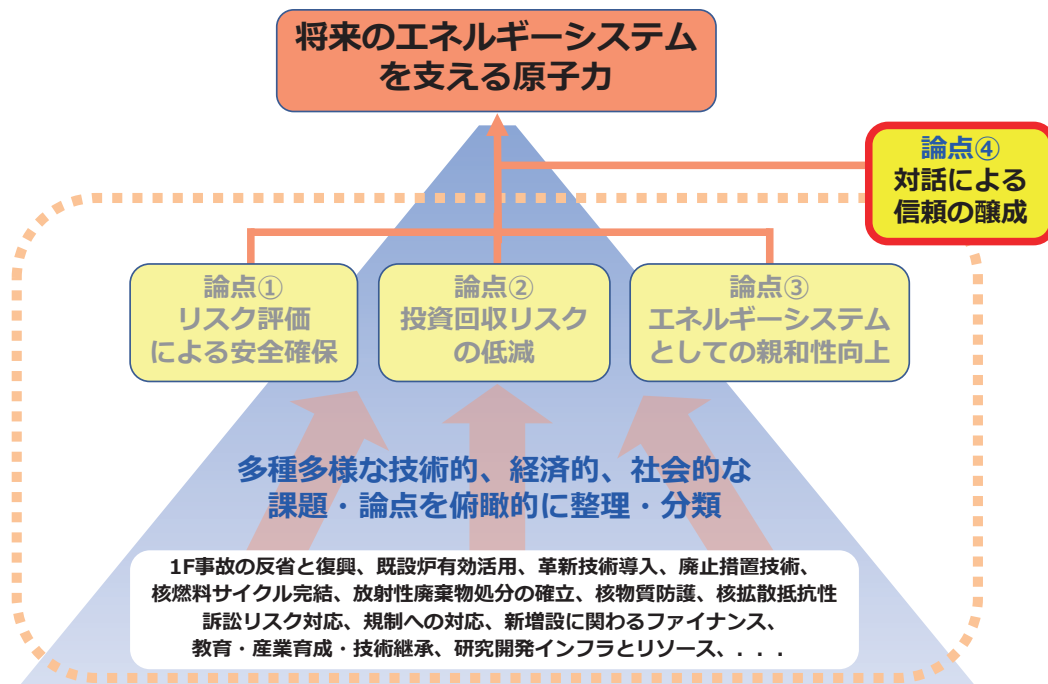


論点③ エネルギーシステムとしての親和性向上 (2/2)

- 産業、生活における便益
 - 医療、農業、工業などへの放射線利用拡大
- リサイクル、環境への影響低減
 - 核燃料物質の利用効率向上、Pu蓄積量および放射性廃棄物に含まれる放射能低減を目指した高速炉燃料サイクル開発
- 社会の変化・流れとの整合性
 - 安全確保を前提とした導入スピードと経済性の向上 (標準化、モジュール生産、など)
 - 立地・規模の柔軟性 (小型炉など)

個別報告5にて詳述

論点④ 対話による信頼の醸成



論点④ 対話による信頼の醸成 (1/2)

- 原子力は多量かつ安定したエネルギーをもたらす一方、利用に伴って潜在的なリスクと放射性廃棄物も発生
- ↓
- 安全協定や防災（事故時対応）などを通じた立地地域・住民との共栄が不可欠
 - **透明性が高く、視野の広い対話**を続けることにより、**技術と事業者に対する社会からの信頼を築いていくことが必要**
 - エネルギー政策や社会像全体の中での再エネと原子力
 - 今後達成すべき課題
 - 事業者にとって都合のよいことも悪いことも
 - **原子力行政や原子力規制機関**に対する社会からの信頼、ならびに**事業者を含めた関係者間の対話と信頼**も重要

論点④ 対話による信頼の醸成 (2/2)

- **発電所の安定運転に加えて、放射性廃棄物処分に関する科学的知見の蓄積※、コンプライアンスを遵守した経営**についても、弛まぬ実績の積み重ねとレベルアップが求められる。

※ 断層活動性の評価方法、
地下における自然事象の評価技術、
廃棄体および人工／天然バリアの長期安全評価技術、
地下水年代測定による地質環境評価、など

[個別報告3にて詳述](#)

- **研究や技術開発に携わる者**にも、社会との対話と信頼の醸成に向けた**積極的な情報発信**が必要。原子力に関わる技術の意義や価値の発信など、**人材育成や技術継承につながる行動**も重要

報告内容

1. 原子力をとりまく状況と背景
2. 将来にわたって原子力を活用していくための論点の俯瞰的整理
3. 電力中央研究所における取り組みの概要
4. まとめ

当所における原子力分野の研究の基本方針

原子力の安全性向上

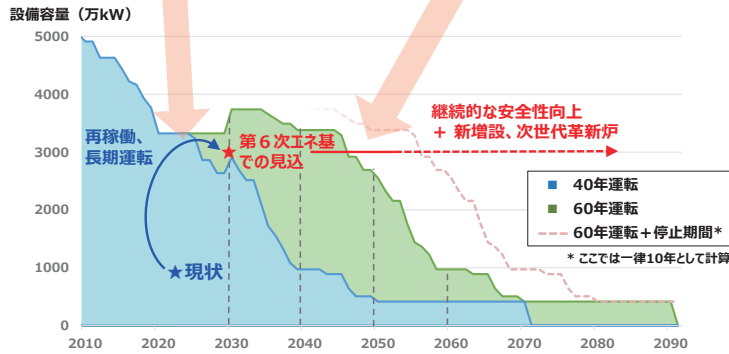
- ・確率的リスク評価(PRA)手法開発・自然外部事象評価
- ・炉内熱流動事象解明・燃料健全性評価など

原子炉の長期運転

- ・経年劣化評価・定検短縮に向けた保全合理化研究

革新軽水炉開発

- ・革新軽水炉等の研究開発状況調査
- ・事故耐性燃料など革新技術開発
- ・新增設・リプレースに備えた設計段階でのPRA適用



原子力利用の持続性確保

- ・使用済燃料貯蔵技術の合理化・再処理工場の安定運転支援
- ・次期再処理工場の仕様検討・放射性廃棄物処分の合理化・経年炉の廃止措置技術開発
- ・1F廃炉支援・高速炉サイクル技術開発・放射線安全規制強化への対策など

原子力発電の活用に向けた社会経済的課題への対応

- ・バックエンド事業、既設炉活用、新規投資に向けた事例研究と事業環境整備のあり方検討
- ・リスクコミュニケーション研究

本日の個別報告

個別報告 1

原子力発電所の再稼働を支援する自然災害評価技術

- ・地震、津波、竜巻、火山に関する技術課題と対応状況
- ・再稼働支援の重要課題である断層活動性評価技術の適用事例と最新評価法

個別報告 2

原子力発電の安全性向上と活用に向けた取り組み

- ・確率的リスク評価手法の開発状況
- ・保全・検査の合理化の検討、プラント設備の経年劣化事象に対する健全性評価技術の高度化

個別報告 3

放射性廃棄物処分の実現に向けた研究開発

- ・放射性廃棄物処分の性能と安全性を評価する上で重要な、地質環境と人工・天然バリアの特性評価に関する研究開発の状況と貢献事例

個別報告 4

原子力発電の継続的活用に向けた社会経済的課題

- ・既存原子力発電所の活用、次世代革新炉への建て替え、バックエンド事業の推進に関する社会経済的課題の整理と解決に向けた研究事例

個別報告 5

次世代革新炉の安全性向上と早期導入に資する研究

- ・次世代革新炉の成立性確認に必要な技術的根拠の取得、立地自由度の拡大、原子炉の安全性を建設前に確認する方法の構築に向けた取り組み

論点①
リスク評価による安全確保

論点④
対話による信頼の醸成

論点②
投資回収リスクの低減

論点③
エネルギーシステムとしての親和性向上

報告内容

1. 原子力をとりまく状況と背景
2. 将来にわたって原子力を活用していくための論点の俯瞰的整理
3. 電力中央研究所における取り組みの概要
4. まとめ

まとめ

- 脱炭素、エネルギー安全保障などを重要視する観点から、国内外で原子力発電利用に対する期待の高まりなどの情勢変化が見られる。
- 将来にわたって原子力を継続・拡大利用していく上で残されている多種多様な課題を俯瞰し、**①リスク評価による安全確保、②投資回収リスクの低減、③エネルギーシステムとしての親和性向上、④対話による信頼の醸成**、の4つに論点整理し、達成すべき目標を提示した。
- 現在の情勢を、上記の論点における課題を解決し、原子力発電という選択肢を次の世代に引き継ぐ**契機**と捉え、**着実な技術開発、およびその成果に基づく客観的な評価**を続けていくことが重要である。

ご清聴ありがとうございました

R 電力中央研究所
Central Research Institute of Electric Power Industry

参考文献

1. 資源エネルギー庁「エネルギー白書2023（HTML版）」、資料【第214-1-6】発電電力量の推移
(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2023/html/data/214-1-6.xlsx>)
2. 電気事業連合会「電気事業のデータベース（INFOBASE）」
(<https://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/>)
3. 日本原子力産業協会「日本の原子力発電炉（運転中、建設中、建設準備中など）」（2023年10月10日）
(https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/2023/10/jp-npps-operation20231010.pdf)
4. 資源エネルギー庁「原子力政策の課題と対応について」（2021年2月）
(https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/021_03_00.pdf)
5. 資源エネルギー庁「日本のエネルギー：エネルギーの今を知る10の質問」（2023年2月）
(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2022/005/#section1>)
6. 資源エネルギー庁、「令和3年度におけるエネルギー需給実績（確報）」（2023年4月）
(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/honbun2021fykaku.pdf)
7. 筒井、澤部、社会経済研究所 コラム「燃料価格の上昇と主要国の電気料金」（2023年8月）
(<https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/column/column65.html>)
8. 資源エネルギー庁、「2030年度におけるエネルギー需給の見通し」（2021年10月）
(https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/)
9. 経済産業省、第31回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会、「原子力政策に関する今後の検討事項について」（2022/9/22）
(https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/)