

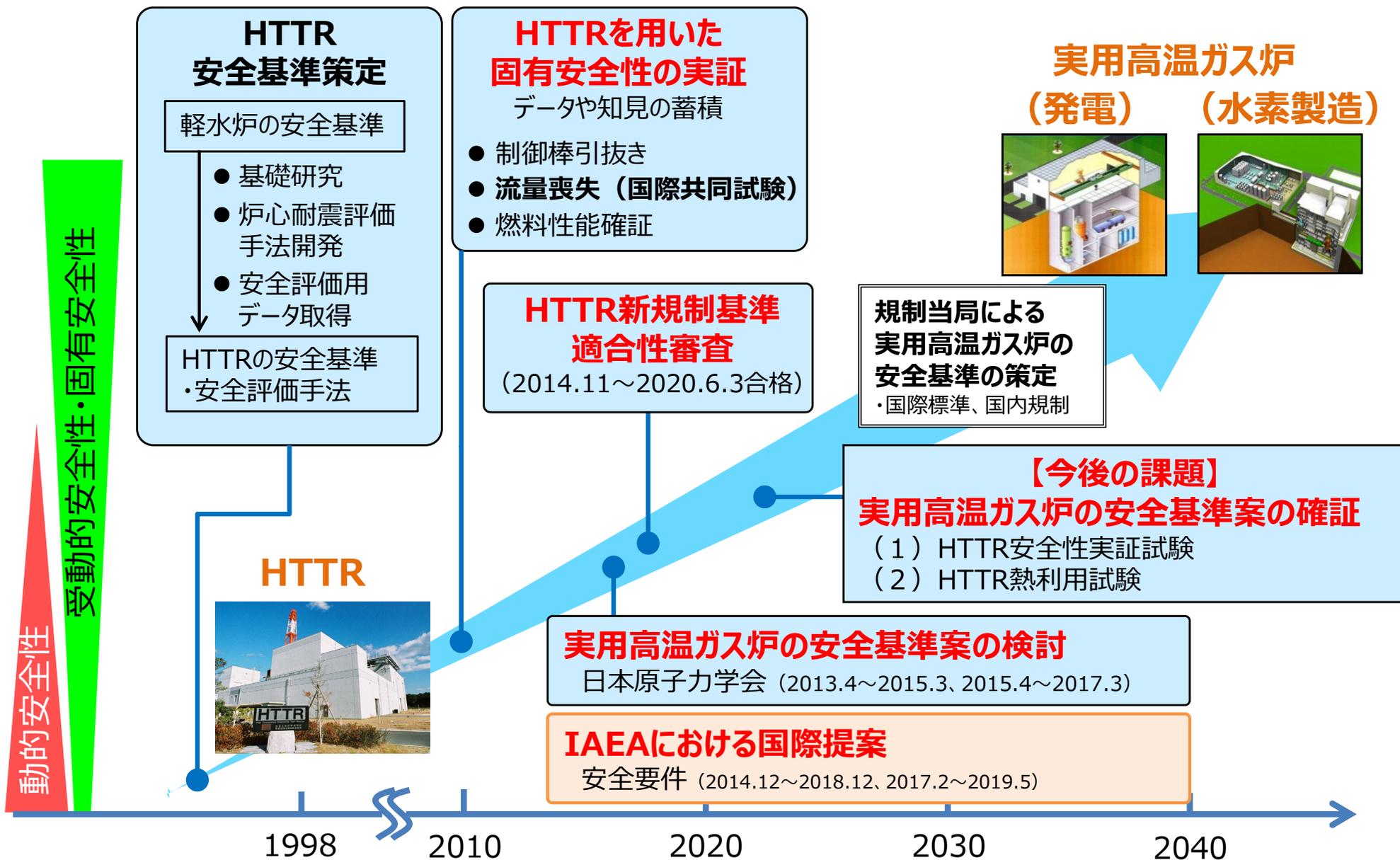


新型炉の安全基準に関する諸外国の動向 (2) IAEAにおける取組

2021年3月17日

日本原子力研究開発機構
大橋 弘史

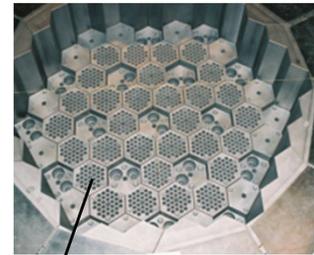
1. 高温ガス炉に関する国内における取組
2. IAEAにおける取組
3. まとめ



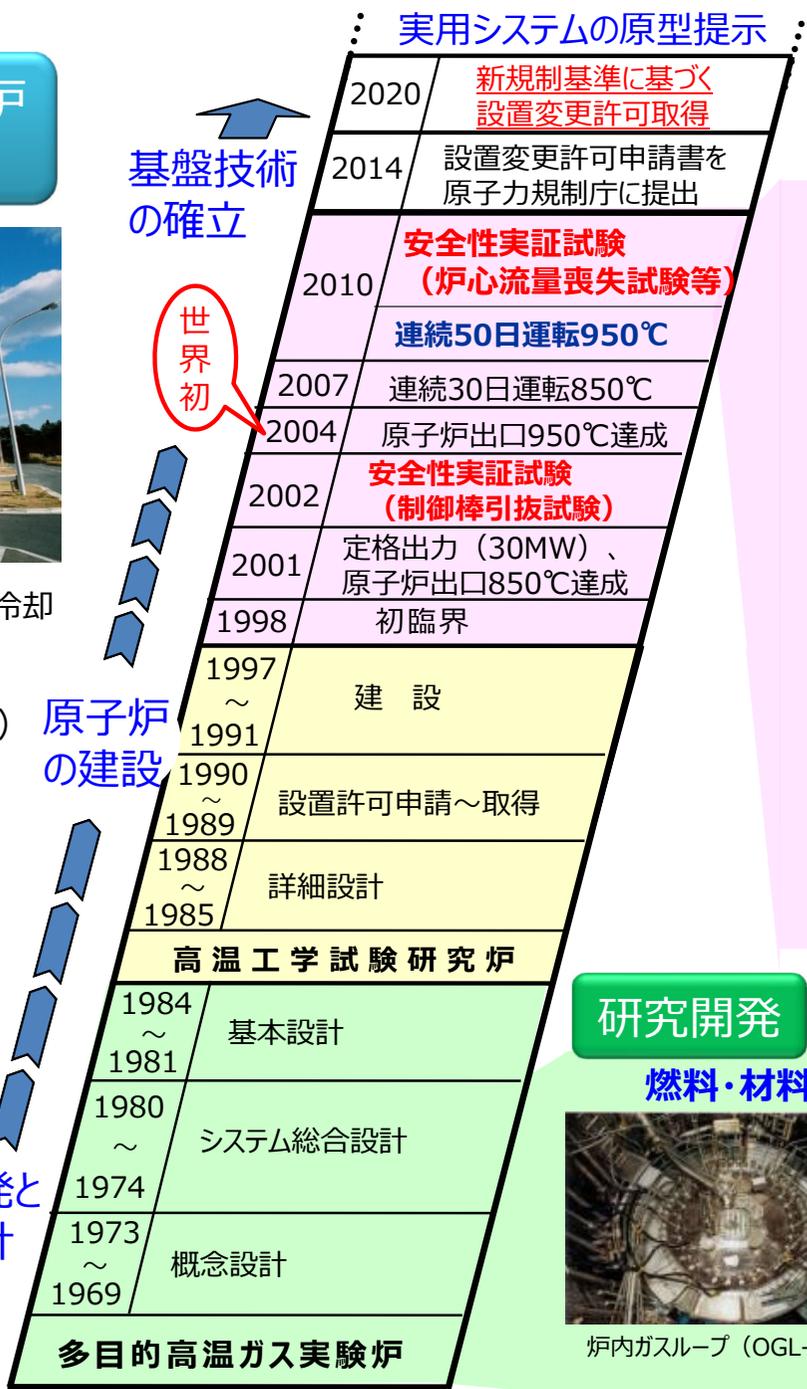
高温工学試験研究炉 (HTTR)



我が国初の黒鉛減速ヘリウムガス冷却型原子炉（高温ガス炉）
 熱出力：30 MW
 原子炉出口温度：950℃(最高)
 一次冷却材圧力：4.0 MPa



炉心の黒鉛ブロック



安全性実証試験

OECD/NEAの国際共同試験

海外の規制機関、規制支援機関、研究機関が参加※



日本 米 仏 独 韓 チェコ ハンガリー

- 高温ガス炉の固有の安全性を実証
- 取得したデータや知見をもとに、安全基準の国際標準化を目指す

※原子力規制委員会（米国）、原子力委員会及び放射線防護原子力安全研究所（仏国）、施設・原子炉安全協会（独国）、韓国原子力研究所（韓国）、チェコ原子力研究所（チェコ）、KFKI原子力研究所（ハンガリー）

研究開発

燃料・材料



炉内ガスループ (OGL-1)

炉物理



高温ガス炉臨界実験装置 (VHTRC)

熱流動



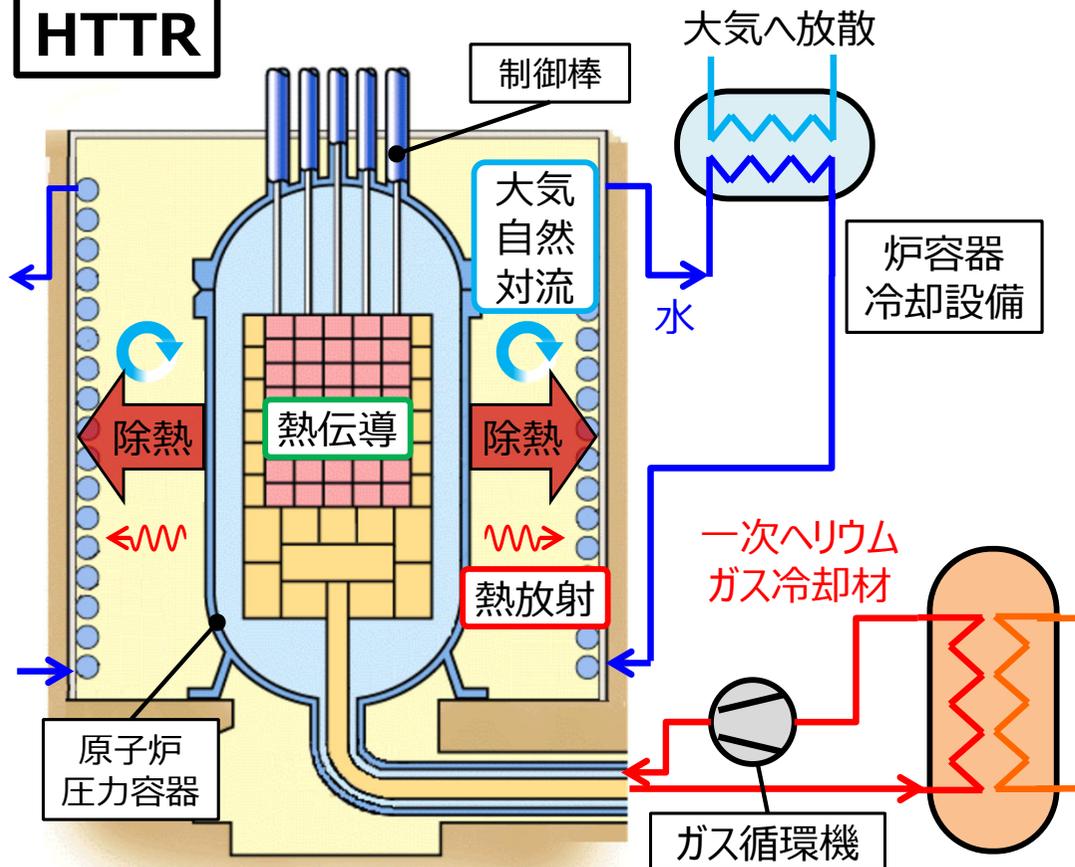
大型構造機器実証試験ループ (HENDEL)

HTTRによる実証 -自然に止まる、自然に冷える-

試験計画

- 30%出力 (9MW) **炉心冷却流量喪失試験**
(ガス循環機停止) ... **完了!** (平成22年度)
- 80%, 100%出力 **炉心冷却流量喪失試験**
(ガス循環機停止) ... 実施予定
- 30%出力 **炉心 + 炉容器冷却流量喪失試験**
(ガス循環機 + 炉容器冷却設備停止) ... 実施予定

HTTR

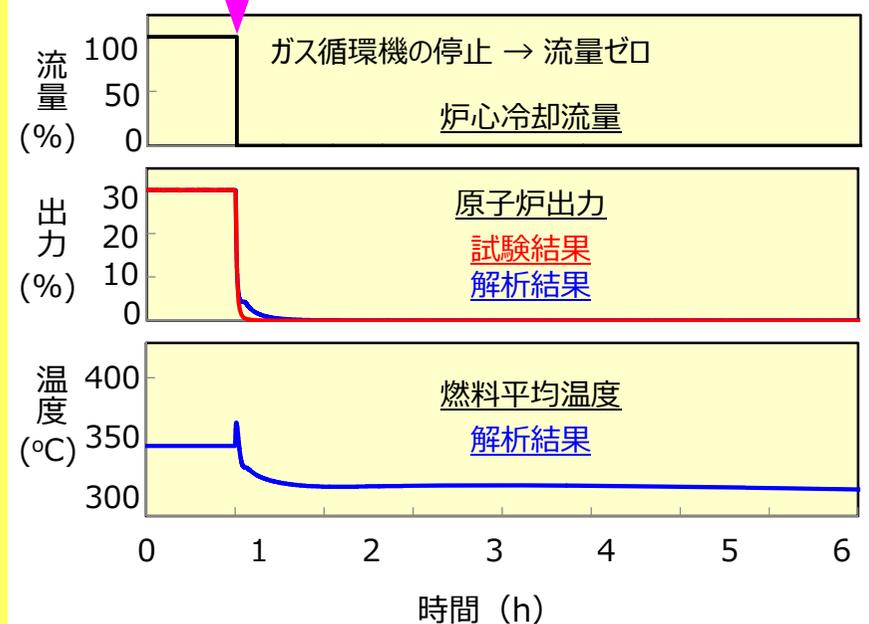


試験条件

- 初期出力30% (9MW)
- 炉心冷却流量の停止
- 炉容器冷却設備の運転継続
- 停止操作 (制御棒挿入) なし

試験結果

制御棒の挿入、炉心の強制冷却を行わなくても、物理現象のみで、原子炉が自然に静定・冷却されることを確認



「高温ガス炉の安全設計方針」 研究専門委員会（2013.4～2015.3）

【目的】 IAEAへ提案する実用高温
ガス炉の安全要件案の作成

高温ガス炉の固有の安全特性

HTTRなどを用いた実証データ

高温ガス炉における
安全確保のアプローチ

OPT法※
具体化

安全原則
Safety
Fundamental

安全要件
Safety
Requirements

「プリズマティック型高温ガス炉 の安全設計プロセス」 研究専門委員会（2015.4～2017.3）

【目的】 安全要件と安全指針
をつなぐ考え方の構築

【安全設計プロセス】

安全設計

- 安全要件を達成する
ための設計事項
- 設計基準事象
- 許容基準

システム設計

具体化

具体化

提案

国際原子力機関（IAEA）

- 協力研究計画（CRP）
（2014.12～2018.12）
- SMRへの適用性評価
（2017.2～2019.5）

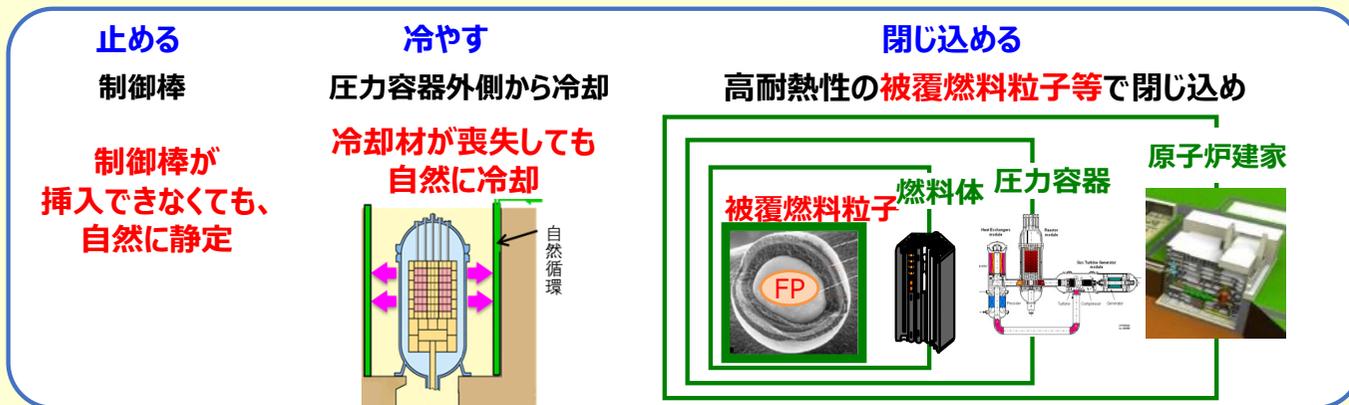
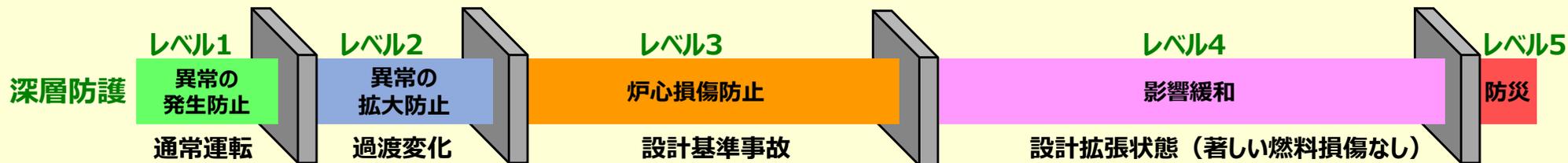
安全指針
Safety Guides

IAEAの安全基準体系

安全要件の検討 -安全確保のアプローチ-

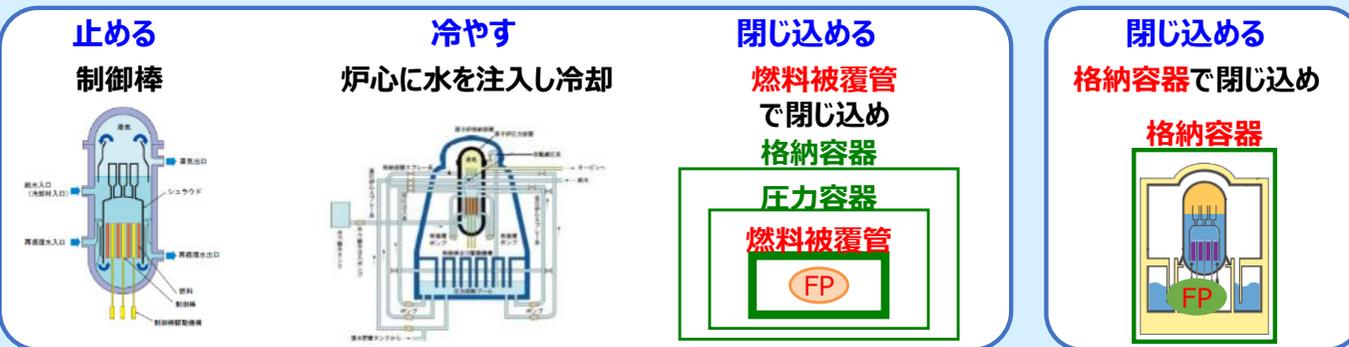
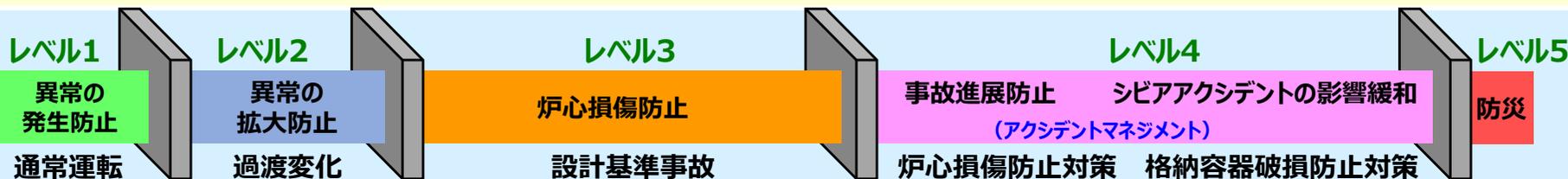
高温ガス炉

- 炉心（燃料）の著しい損傷を起こさないように設計
- 事故時に、燃料（被覆燃料粒子）、コンファインメントなどで放射性物質を閉じ込め
- 固有の安全性と受動的安全設備による安全確保（能動的な安全設備なし、動力用電源不要）



軽水炉

深層防護



安全要件の項目		高温ガス炉	軽水炉
設計拡張状態		<ul style="list-style-type: none"> DEC : 著しい燃料損傷なし 	<ul style="list-style-type: none"> DEC-A : 著しい燃料損傷なし DEC-B : 炉心溶融
原子炉の停止		<ul style="list-style-type: none"> 原理の異なる2つの手段 (固有の炉停止特性が手段の1つ) 	<ul style="list-style-type: none"> 原理の異なる独立2系統
事故時の炉心除熱		<ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器の外面からの受動的な残留熱除去 (受動的な炉心の間接冷却) 	<ul style="list-style-type: none"> 非常用炉心冷却 (能動的な炉心の強制冷却)
放射性物質 閉じ込め	燃料	<ul style="list-style-type: none"> 通常運転時、過渡変化時及び事故時の閉じ込め性能維持 (事故時も燃料で放射性物質を閉じ込め) 	<ul style="list-style-type: none"> 通常運転時と過渡変化時の健全性維持 (事故時も健全性維持に努めるが、炉心溶融を想定)
	原子炉 格納系	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納施設 (気密性 : 低) 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器 (気密性 : 高)
外部電源喪失 に対する要求		<ul style="list-style-type: none"> プラントパラメータ監視、放射線モニタリング 	<ul style="list-style-type: none"> 炉心溶融の影響緩和に必要な設備への電力供給 プラントパラメータ監視、放射線モニタリング
事故時の水系隔離 に対する要求		<ul style="list-style-type: none"> 1次冷却システムへの水侵入抑制 	<ul style="list-style-type: none"> 冷却材喪失防止
事故時の格納施設隔離 に対する要求		<ul style="list-style-type: none"> 1次冷却システムへの空気侵入抑制 放射性物質の閉じ込め 	<ul style="list-style-type: none"> 冷却材喪失防止 放射性物質の閉じ込め

原子力安全・セキュリティー局

SMR Regulators' Forum

SMR安全要件の開発手法（終了）

安全要件のSMR適用性評価（終了）

安全指針のSMR適用性評価

原子力エネルギー局

**研究協力計画（CRP）
モジュラー型高温ガス炉
の安全設計（終了）**

**研究協力計画（CRP）
SMRの緊急時
計画区域（EPZ）**

SMR Regulators' Forum

- 2015年3月にSMR開発国の規制当局を中心に発足
- メンバー構成
 - メンバー：カナダ、中国、フィンランド、フランス、韓国、ロシア、サウジアラビア、イギリス、アメリカ
 - 事務局：IAEA
 - オブザーバー：EU、OECD/NEA
- 加盟国と関係者へSMR規制に関する知識と経験の共有を図る
SMRに関わる規制への共通課題の特定と解決を図る
- 期待される成果
 - 規制課題に対する声明
 - IAEA文書の改訂又は新規作成の提案
 - 規制当局による規制枠組み強化に資する情報提供
 - 規制上の課題解決に向けた報告書
 - 国際的な規格基準の改訂に関する提案



SMR Regulators' Forum

● 活動概要

- **パイロット・フェーズ** (2015年3月～2017年5月)
 - 3つのWG。2018年1月にレポートを発行
 - ✓ Graded approach
 - ✓ Defence in depth
 - ✓ Emergency planning zone
- **フェーズ2** (2018年～2020年)
 - 3つの新WG。2019年12月に中間レポートを発行
 - ✓ Licensing issues
 - ✓ Design and safety analysis
 - ✓ Manufacturing, construction, commissioning and operations
- **フェーズ3** (2021年～)
 - フェーズ2の3つのWGテーマ

パイロット・フェーズの主な結論

- **Graded approach (GA)**
 - SMRの認可プロセスに対するGAの適用に同意
 - GAの定義、具体的な適用方法などをより詳細に説明したIAEA技術文書の作成が望まれる
- **Defence in depth**
 - 5つのレベル全てがSMRに適用可能。SMRの特徴であるDiDレベル1と2に対する設計強化に加え、レベル3とレベル4の効果を実証することが重要
 - 受動的安全設備の安全要件、起因事象の除外基準、複数モジュールの安全評価要件の構築が必要
- **Emergency planning zone**
 - SMRのEPZは規模が変更可能であることを考慮する必要がある
 - EPZの決定に際し、pre-application processが検討されるとよい
 - EPZの決定にあたり、メカニスティックソースタームの考慮が必要
 - 同設計であっても、国ごとにEPZの規模が異なる可能性がある

原子力安全・セキュリティー局

- IAEAが専門家を招集しコンサルタント会合を開催
- 技術報告書（TECDOC又はSafety Report）を作成

SMR安全要件の開発手法

（2019.9～2020.2）

- 目的：テクノロジー・ニュートラルなSMR安全要件開発の方法論の検討
- 日本原子力学会での安全要件作成の知見を提示

安全設計要件のSMR適用性評価

（2017.2～2019.5）

- 目的：高温ガスSMRと軽水SMRへのSSR-2/1（Rev.1）の適用性評価
- 日本原子力学会で作成した安全要件案を提案
- 技術報告書（IAEA-TECDOC-1936）が2020年12月刊行



原子力エネルギー局

- IAEAが設立した協力研究計画（CRP）へ各機関が参加申請
- 技術報告書（TECDOC）を作成

研究協力計画（CRP）

モジュラー型高温ガス炉の安全設計

（2014.12～2018.12）



- 目的：高温ガス炉の優れた安全上の特長を考慮した安全要件の国際標準案の検討
- 8か国から高温ガス炉専門家が参加
- 日本原子力学会で作成した安全要件案を提案
- 国際標準案を技術報告書として取り纏め

研究協力計画（CRP）

SMRの緊急時計画区域（EPZ）

（2018.1～）

- 目的：SMRの緊急時計画区域（EPZ）に関する手法、方法論及び基準の開発
- 14の国と地域からSMR専門家が参加

安全設計要件のSMR適用性評価 (IAEA-TECDOC-1936) の概要

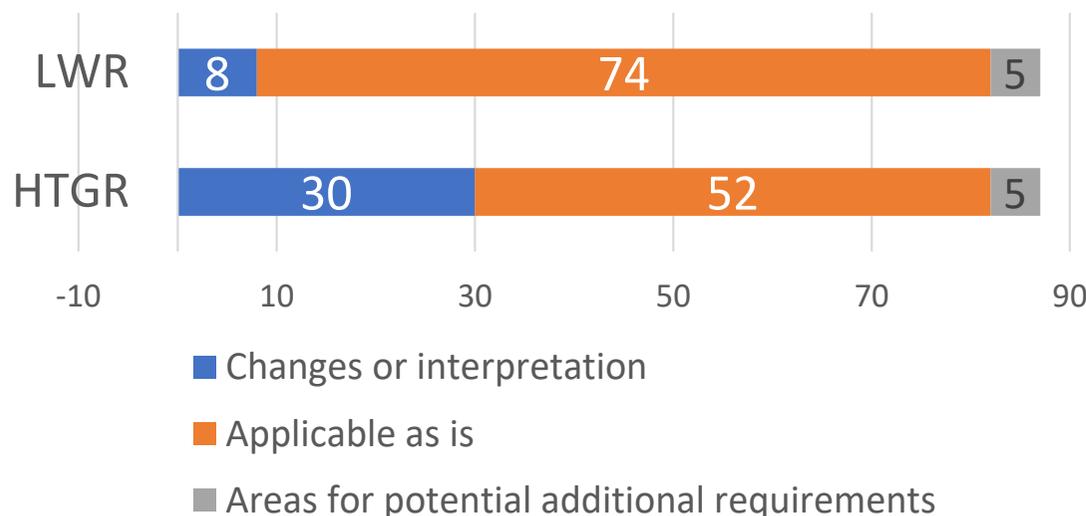
■ 適用性評価の方法

- SSR-1/2 (Rev.1) の各要件について、LWR-SMRs及びHTGR-SMRsへの適用性を評価
- 変更又は解釈が必要と評価された場合は、以下を作成
 - 変更案、解釈案、変更案及び/又は解釈案の根拠

■ 評価結果

- LW-SMRs : 変更又は要解釈8要件、適用可74要件、新規5点 (下左図)
- HTG-SMRs : 変更又は要解釈30要件、適用可52要件、新規5点 (下左図)
- 評価結果の概要として、一覧表 (下右図) を本文に掲載
- 変更案などを含む適用性評価結果の詳細をAppendixに掲載

適用性評価のまとめ

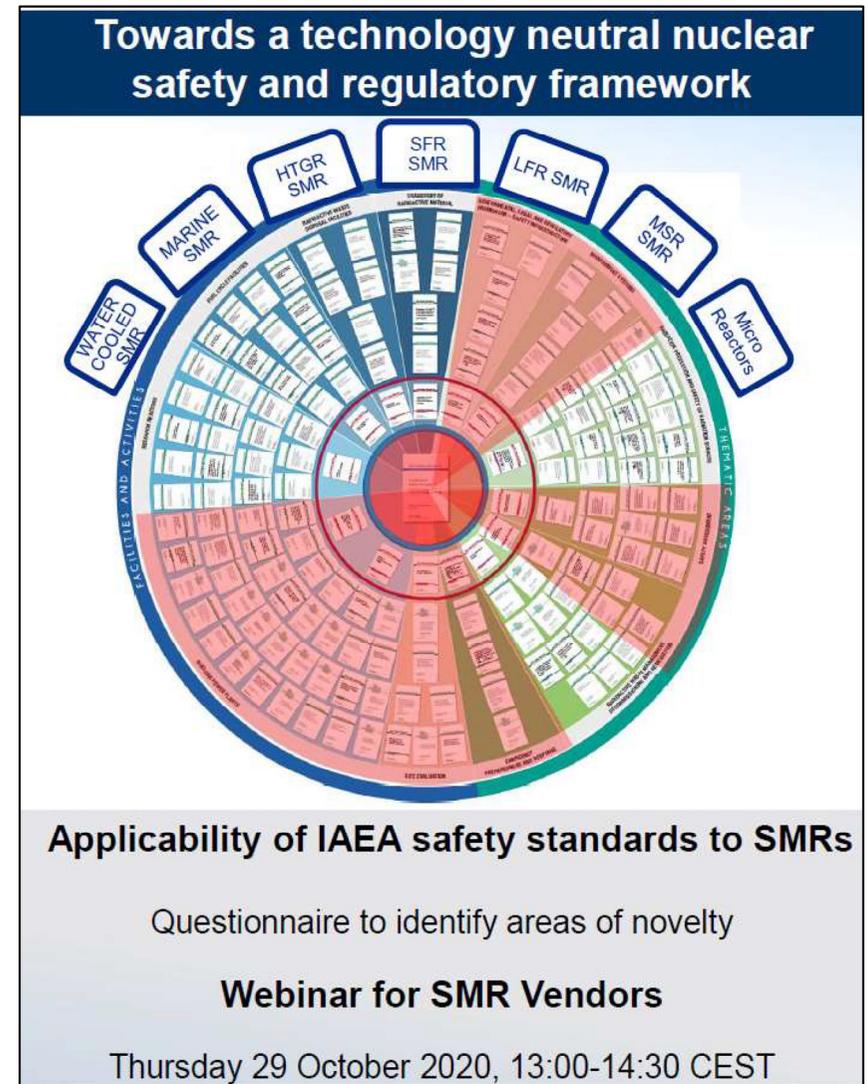


適用性評価結果の一覧表 (抜粋)

Req. Nr.	Title	Applicability of each of the safety requirements	
		LW-SMRs (Appendix I)	HTG-SMRs (Appendix II)
Safety analysis			
42	Safety analysis of the plant design (5.71–5.76)	As is	Change
6. DESIGN OF SPECIFIC PLANT SYSTEMS			
Reactor core and associated features			
43	Performance of fuel elements and assemblies (6.1–6.3)	As is	Change
44	Structural capability of the reactor core	As is	Change
45	Control of the reactor core (6.4–6.6)	As is	Change
46	Reactor shutdown (6.7–6.12)	As is	Change

原子力安全・セキュリティー局

- 2019年から、IAEA安全指針のSMRへの適用性評価に関する活動が開始
- 対象SMR
 - LWR、HTGR、SFR、LFR、MSR
- 2020年後半から、IAEA安全基準全般に範囲を拡大した包括的な適用性評価を開始
- SMRの設計上の特徴を同定するため、各国のSMRベンダーへアンケートを実施



- 原子力機構は、実用高温ガス炉の社会実装に不可欠な安全基準の構築に資するため、HTTRを用いた試験、日本原子力学会における検討、IAEAにおける国際提案などの活動に取り組んでいる。
- IAEAにおいては、SMR導入機運の高まりを受けて、以下の活動が積極的に進められている。
 - SMR開発国の規制当局が参加するSMR Regulators' ForumによるSMR規制への共通課題の特定と解決策検討
 - IAEA安全基準のSMRへの適用性評価
- 我が国が有する新型炉の技術知見を国際的な安全基準に反映すべく、今後も、IAEAにおけるSMRの安全基準策定に向けた活動に貢献していくことが重要と考える。