

新型炉部会セッション

新型炉の安全基準に関する諸外国の動向

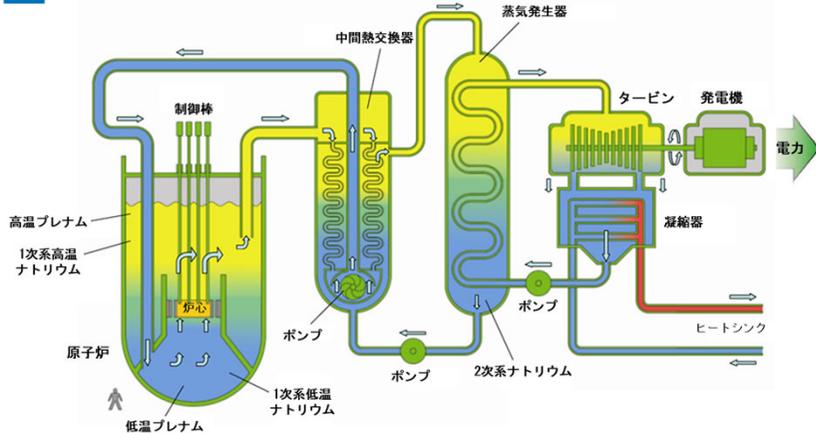
(1) GIFにおける取り組み状況

令和3年3月17日

日本原子力研究開発機構
高速炉・新型炉研究開発部門
炉設計部
久保 重信

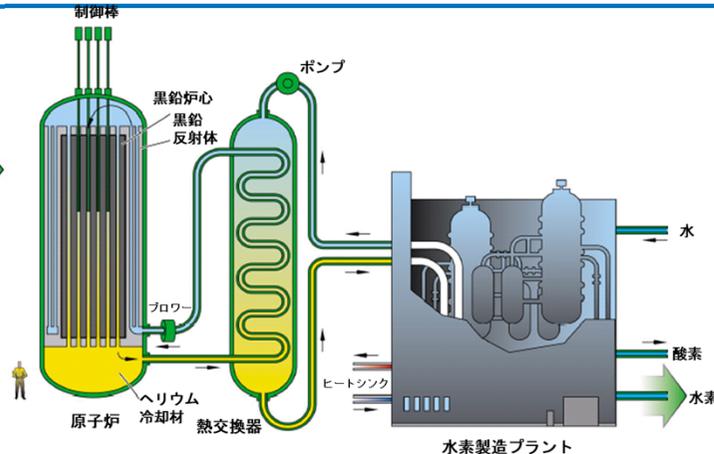
内 容

- 第4世代原子炉国際フォーラム（GIF）について
- ナトリウム冷却高速炉（SFR）の安全設計クライテリア（SDC）
- 安全設計ガイドライン（SDG）
- SFR以外の炉型への展開
- IAEAにおける新型炉（SMR）の安全基準類策定への貢献



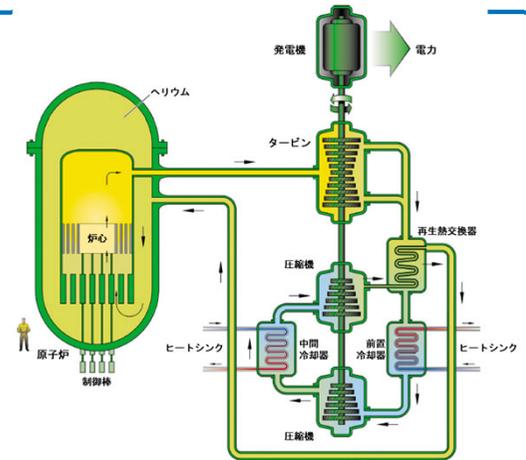
ナトリウム冷却高速炉(SFR)

- 持続可能性が高い炉型。革新技術の導入による安全性・経済性等の向上



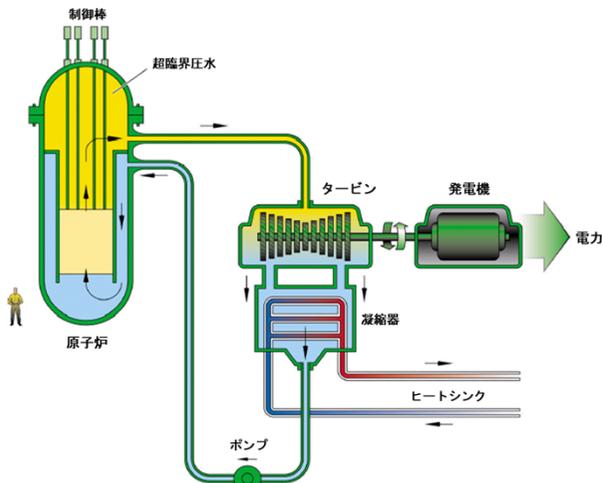
超高温ガス炉(VHTR)

- 高温ガス(900~1000℃)の産業利用



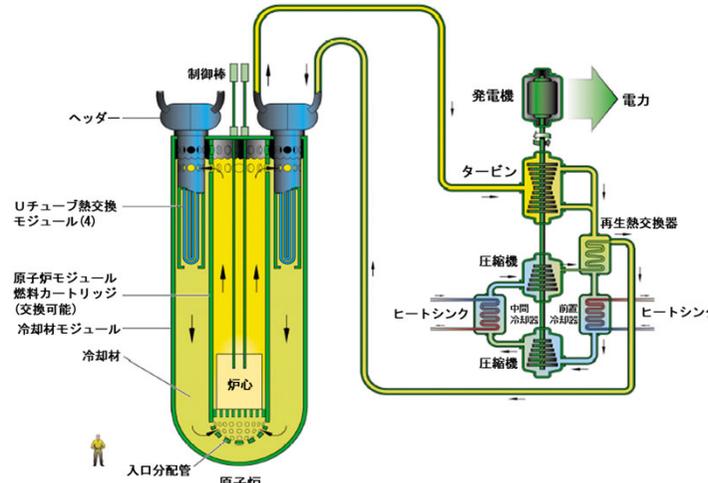
ガス冷却高速炉(GFR)

- 化学的に活性なナトリウムの代わりにヘリウムガスを採用



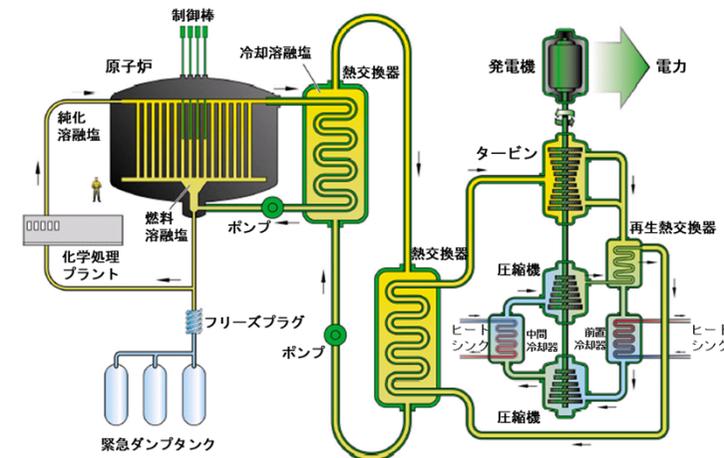
超臨界水冷却炉(SCWR)

- 超臨界水(374℃、22.1MPa以上)を用いた装置のコンパクト化と熱効率向上



鉛冷却高速炉(LFR)

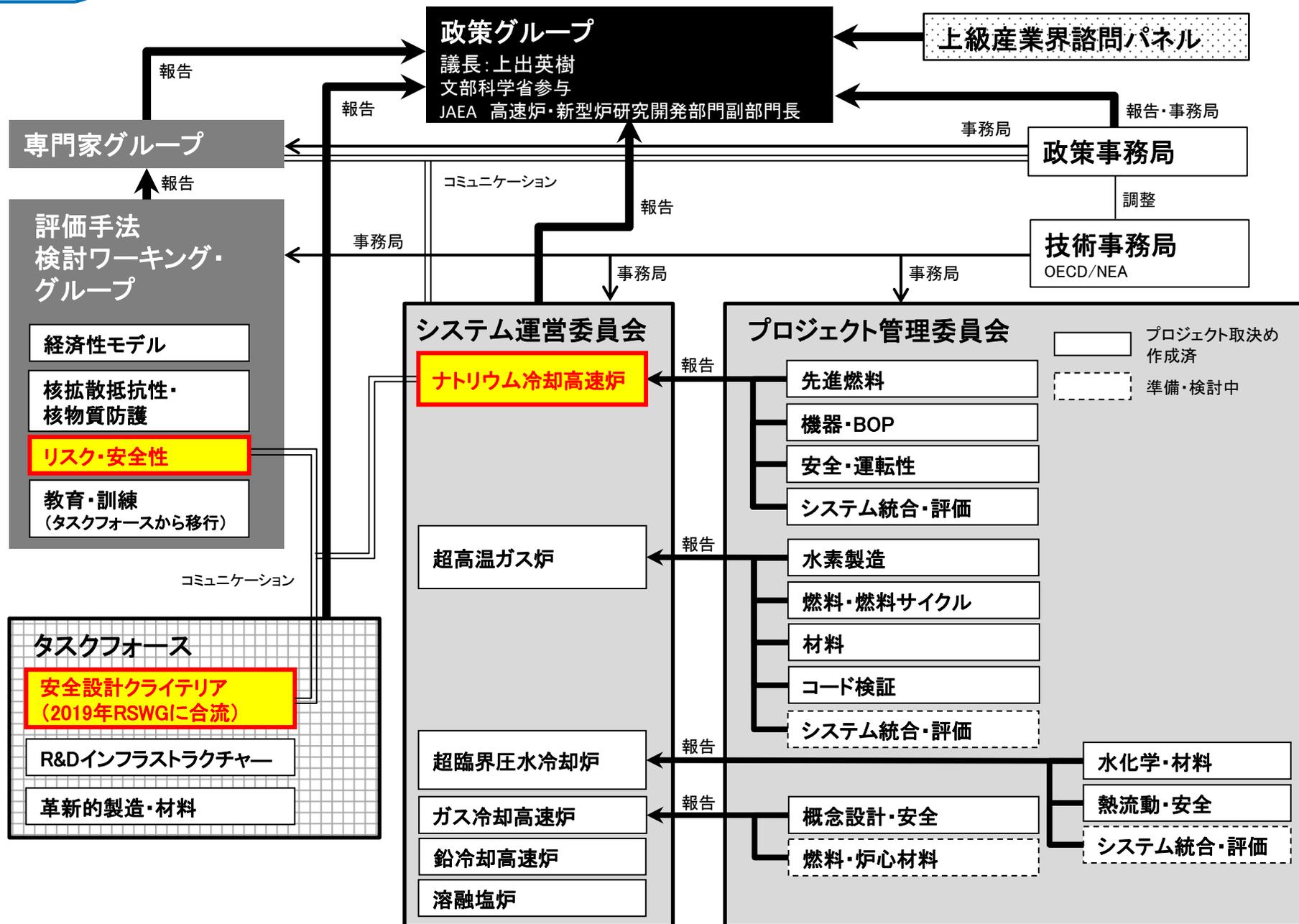
- 化学的に活性なナトリウムの代わりに鉛を採用



溶融塩炉(MSR)

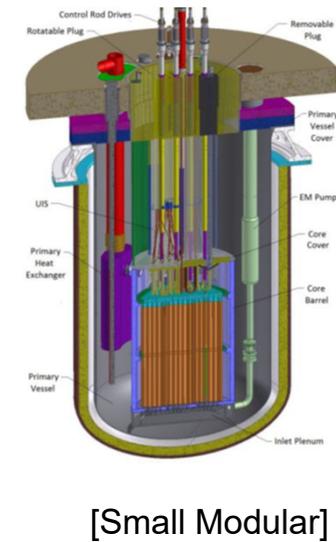
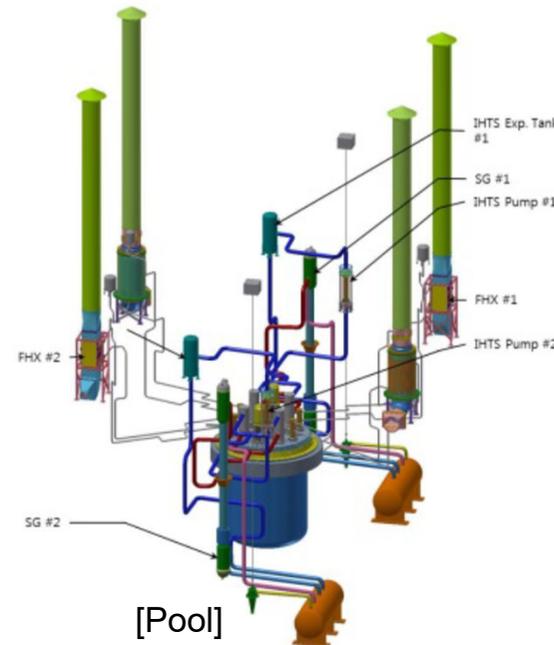
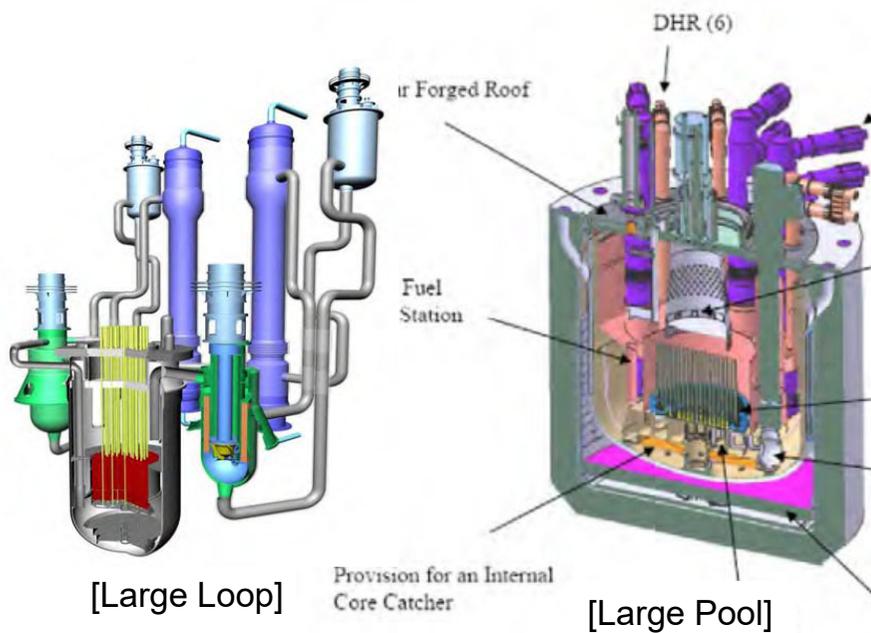
- 図は、液体燃料を使用した熱中性子炉の概念。高速炉概念・固体燃料概念も検討されている。

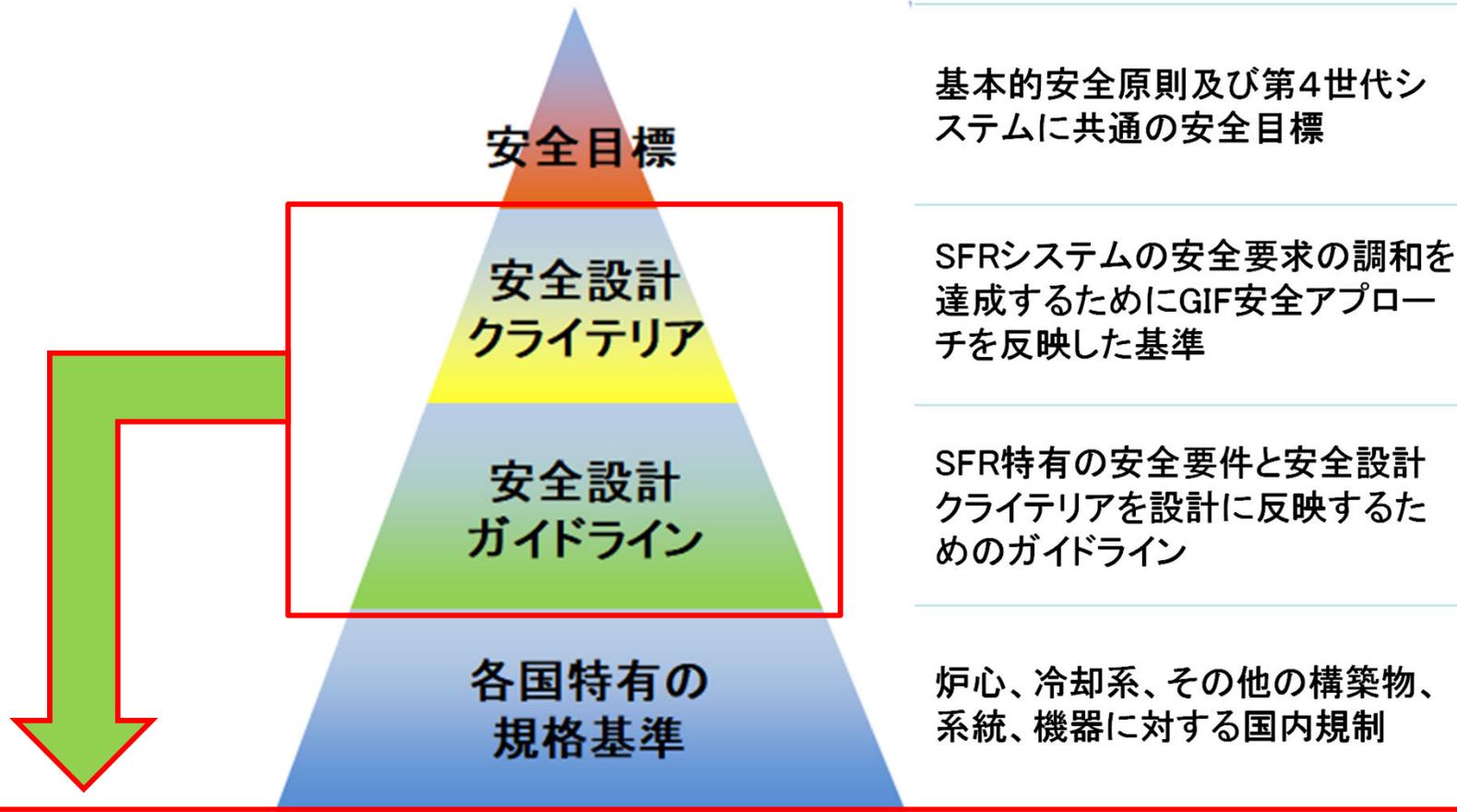
Member	Framework Agreement	System Arrangements				Memoranda of Understanding (MOU)	
		GFR	SCWR	SFR	VHTR	LFR	MSR
Argentina							
Australia	X				X		X
Brazil							
Canada	X		X				
Euratom	X	X	X	X	X	X	X
France	X	X		X	X		X
Japan	X	X	X	X	X	X	
People's Republic of China	X		X	X	X	X	
Republic of Korea	X			X	X	X	
Republic of South Africa	X						
Russian Federation	X		X	X		X	X
Switzerland	X				X		X
United Kingdom	X			X	X		
United States	X			X	X	X	X



- 2010年10月、GIF 政策グループ会合にて安全設計クライテリア (SDC) の開発を決定
 - 国際的な安全基準の調和の重要性についての共通認識
 - SFRシステムに共通する安全設計の強化の実現
 - 今後の許認可への準備
 - SFRシステムは、最も技術成熟度の高い次世代の原子力エネルギー概念の一つであるため、先行して検討
- 2011年、SDC タスクフォース始動
 - メンバー: CIAE (中国)、CEA (仏国)、JAEA (日本)、KAERI、KINS (韓国)、IPPE (ロシア)、UKNNL (英国)、ANL、INL、ORNL (米国)、EC、IAEA
- 日本が議長国となり開発をリード
- 2013年までのSDCの開発に引き続き、第2期の活動として安全設計ガイドラインを開発

- 大型ループ型原子炉 (600~1,500 MWe) : 酸化燃料を使用
- 中型~大型プール型原子炉 (300~1,500MWe) : 酸化物燃料又は金属燃料を使用
- 小型モジュラー型原子炉 (50~150 MWe) : 金属合金燃料を使用





- *SDC (Phase I report, updated in 2018)*
- *SDG on Safety Approach and Design Conditions (1st SDG report, updated in 2020)*
- *SDG on Key Structures, Systems and Components (2nd SDG report, under external review by IAEA and OECD/NEA WGSAR)*

https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_93020/safety-design-criteria

SR-1：運転安全性と信頼性が優れていること

通常運転時、軽微な異常時における安全性及び信頼性

SR-2：炉心損傷の頻度が極めて低く、その程度も小さいこと

起因事象頻度を最小化し、想定起因事象の炉心損傷への進展を防止する設計特性

SR-3：敷地外緊急時対応の必要性が排除できること

過酷なプラント状態の制御、影響緩和のための安全設計により、放射性物質放出の可能性及び放出量を最小化

- 深層防護
- リスク情報活用
- ビルトインの安全機能
- 受動的安全特性の活用
- クリフエッジ防止
- ハザード対策
- シミュレーション、試作、実証

第4世代高速炉 としての 高い安全性

GIFにおける安全上位基準等

- GIF 開目標
- Basis for the Safety Approach
- SFR System Research Plan

「設計拡張状態」(DEC: Design Extension Condition)に対する設計対策

- ・炉心損傷への進展防止(クリフエッジ回避)
- ・炉心損傷時の影響緩和(敷地外緊急対応の回避)

深層防護レベル4対応の強化

例: 受動的炉停止機構、
自然循環崩壊熱除去、
再臨界回避及び炉内終息技術

高速炉の特徴を踏まえた要件

- 炉心特性
 - 高出力密度・高燃焼度
 - 正ボイド反応度等の反応度特性
- ナトリウム冷却材
 - 優れた伝熱特性
 - 化学的に活性
- 高温・低圧系
 - 構造材のクリープ
 - ガードベッセル等による液位確保
- FBR固有の系統・機器
 - カバーガス系
 - 2次主冷却系

具体化

全体構成を参考

ベースとする軽水炉安全基準

IAEA SSR-2/1

- 設計における安全の管理
- 主要な技術要件
- プラント設計
 - 設計基準(Hazard, DBA, DEC等)
 - 安全解析等
- 具体的なプラントと系統の設計
 - 炉心とその機能
 - 原子炉冷却材系
 - 格納容器の構造と系統
 - 計測制御系
 - 非常用電源供給系
 - 補助系及び補機系、等

踏まえた設計要求

高速炉の特徴を

福島第一原子力発電所事故の教訓反映

- 自然災害等の外部事象対策の強化
- 長期間の電源喪失時の崩壊熱除去、使用済み燃料の冷却
- 厳しいプラント状態を想定した事故管理方策など

GIF安全設計クライテリア(SDC)

*M: Modified A: Added D: Deleted U: Unchanged

追加されたクライテリア

- Criteria 42-2 ナトリウム冷却高速炉のプラントシステム性能
- Criteria 76-2 ナトリウム余熱系
- Criteria 76-3 ナトリウム反応の防止及び影響緩和

削除されたクライテリア

- Criteria 52 炉心の緊急冷却

パラグラフ (計 306)

- 変更 101,
- 追加 24,
- 削除 4,
- 変更無し 177

IAEA SSR 2/1 Rev.1 (2016)		GIF SFR SDC Rev.1 (2017)		Status*
Requirement #	paragraph #	Criterion #	paragraph #	M/A/D/U
6. DESIGN OF SPECIFIC PLANT SYSTEMS				
OVERALL PLANT SYSTEM				
		42bis		A
REACTOR CORE AND ASSOCIATED FEATURES				
43		43		M
	6.1		6.1	M
	6.2-6.3		6.2-6.3	U
44		44		M
			6.3bis	A
			6.3ter	A
			6.3quater	A
45		45		U
	6.4		6.4	M
	6.5		6.5	M
	6.6		6.6	M
			6.6bis	A
46		46		M
	6.7-6.8		6.7-6.8	U
	6.9		6.9	M
	6.10-6.12		6.10-6.12	U
REACTOR COOLANT SYSTEMS				
47		47		U
	6.13		6.13	M
	6.14		6.14	M
			6.14bis	A
			6.14ter	A
	6.15		6.15	M
			6.15bis	A
			6.15ter	A
	6.16		6.16	M
			6.16bis	A
			6.16ter	A
			6.16quater	A
			6.16quinquies	A
48		48		M
49		49		M
50		50		M
	6.17		6.17	M
			6.17bis	A
51		51		M
	6.18		6.18	M
	6.19		6.19	M
			6.19bis	A
52		[52 omit]		D [incl. in #51]
53		53		U
	6.19A		6.19A	U
	6.19B		6.19B	U

- RSWGのゴール：
 - 第4世代システムの6システム間で、安全性、リスク、規制に関して統合したアプローチとする
 - 第4世代炉の開発目標をもとに安全原則、目的、安全上の特性を提案 (SFR SDC/SDGの他炉型への展開)
 - 技術に依存しない統合安全評価手法 (ISAM : Integrated Safety Assessment Methodology) の実施サポート
 - IAEA、OECD/NEAのWGSAR、その他規制ステークホルダーとのインターフェイス
- 2005年 RSWG活動開始
 - メンバー : CNSC(カナダ)、CIAE (中国)、CEA、EDF、Framatome (仏国)、JAEA (日本)、KAERI、KINS (韓国)、IPPE (ロシア)、NNR、NECSA(南アフリカ)、ONR、UKNNL(英国)、ANL、BNL、INL、ORNL、DOE (米国)、EC及びIAEA

SDC/SDG are extended to the other design tracks.

	White Paper on ISAM Implement.	System Safety Assessment	Safety Design Criteria/Guidelines
SFR	Completed	Completed	SDC-Completed 1 st SDG-Completed 2 nd SDG-under review
VHTR	Completed	Completed	GIF is observing IAEA-CRP for SDC
LFR	Completed	Completed	SDC-under preparation
SCWR	Completed	Completed	Not needed
GFR	Completed	Completed	SDC-under preparation
MSR	Under preparation	Under preparation	Under planning

SMRの安全文書作成への参加

- IAEAはSMRに対する安全基準を準備中。ほとんどのSMR技術はGIFの原子炉技術と重なる。
- IAEA 原子力安全・セキュリティ局は、SMRの安全関連分野（以下に関するTECDOC等開発）においてGIFとの協力を示している。
 - SMRの規制上の安全設計要求開発のためのアプローチ及び手法
 - SMRの安全評価、安全解析
 - IAEAの原子力発電プラントの安全設計ガイド類のSMR（軽水炉、高温ガス炉、液体金属冷却炉、熔融塩炉）への適用

Towards a technology neutral safety and regulatory framework *Applicability of IAEA safety standards to SMRs*

背景

- ◆ IAEAでは、加盟国間の高い安全性を目指した国際的なコンセンサスを反映し、階層構造をなす膨大な安全基準類ドキュメントを策定し、公開している。
- ◆ 特定の炉型に依存しない基準類とすることを意図しているが、既存軽水炉特有事項も含まれている。
- ◆ 加盟国では、様々な冷却材や中性子スペクトルを利用したSMRの設計、開発、導入への関心が高まっている。

スコープ

- ◆ 全てのタイプのSMRにIAEA安全基準類を適用可能とするフレーム作り（上位の基準類に着目）



<https://www.iaea.org/nuclear-safety-and-security/departement-of-nuclear-safety-and-security-webinars/towards-a-technology-neutral-safety-and-regulatory-framework-applicability-of-iaea-safety-standards-to-smrs-questionnaire-to-smr-vendors>



Towards a Technology Neutral Nuclear Safety and Regulatory Framework: Applicability of IAEA Safety Standards to SMRs

Questionnaire to SMR Vendors

Division of Nuclear Installation Safety
Department of Nuclear Safety and Security
International Atomic Energy Agency

2020年10月29日開催

- ◆ IAEAの要請により、GIF/JAEAの専門家として検討に参加

Presenters

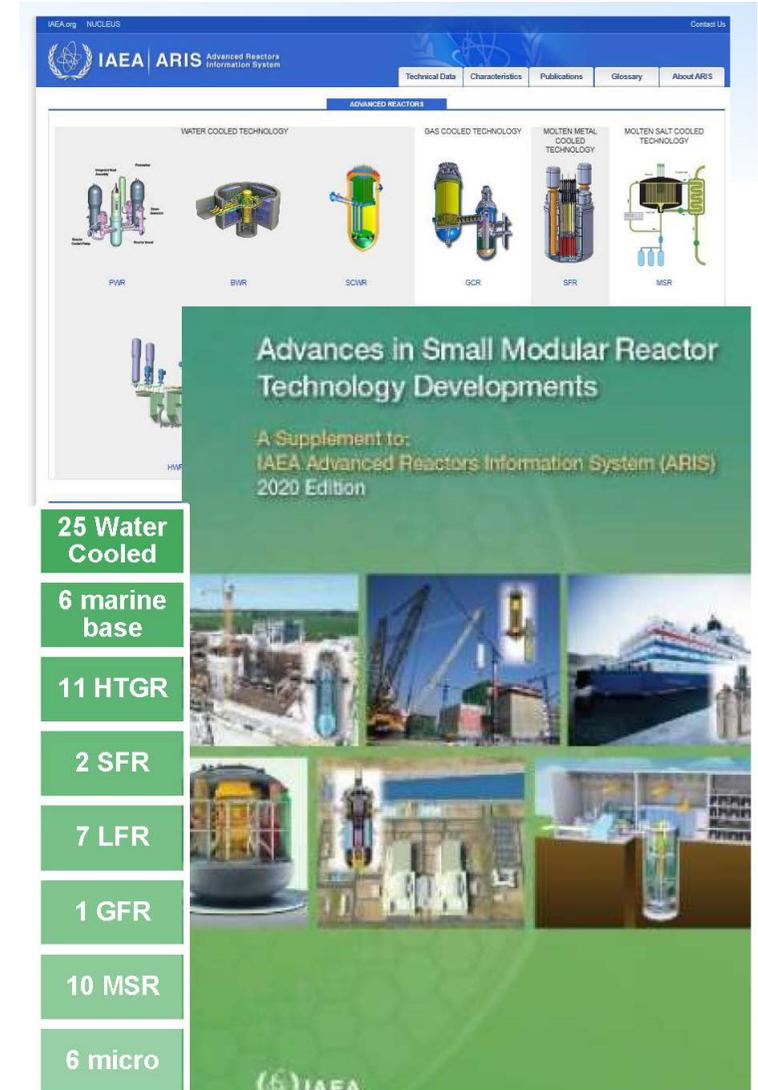
- Paula Calle Vives (International Atomic Energy Agency)
- Vesselina Rangelova (International Atomic Energy Agency)
- Giacomo Grasso (Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development)
- Gerd Brinkmann (BriVaTech Consulting)
- Shigenobu Kubo (Japan Atomic Energy Agency)
- David Holcomb (Oak Ridge National Laboratory)
- Carrie Fosaaen (NUSCALE)
- Fubing Chen (Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University)



Towards a technology neutral safety and regulatory framework *Applicability of IAEA safety standards to SMRs*

各炉型特有の特徴 (Novelty) の抽出

- ◆ IAEAで作成した質問状をSMRベンダーに提示し、情報を収集
- ◆ 既存軽水炉にはない各炉型の特性を整理
- ◆ 対象は、水冷却、ナトリウム冷却高速炉 (SFR)、鉛冷却高速炉 (LFR)、高温ガス炉 (HTGR)、熔融塩炉 (MSR)、マイクロリアクター
- ◆ 各国規制機関、GIF、IAEA基準関係者にてコンサルタント会合を開催し、検討を進めている。
- ◆ IAEAの要請により、GIF/JAEAの専門家として検討に参加





IAEAにおける新型炉の安全基準類策定への貢献

Joint GIF-IAEA Workshops on Safety of LMFRs <https://www.iaea.org/events/evt1703448>

1st : June 2010

2nd : Dec 2011

3rd : Feb. 2013

4th : June 2014

5th : June 2015

6th GIF-IAEA Workshop on Safety of SFR

November 2016

7th Joint GIF-IAEA Workshop on LMFR Safety

March 2018

- Final Review of GIF Report on Safety Design Guidelines on Safety Approach & Design Conditions for GEN-IV SFRs

8th GIF-IAEA Workshop on LMFR Safety

20-22 March 2019

- Discussion of GIF Report on “Safety Design Guidelines on Structures, Systems and Components for Gen-IV SFRs”

9th GIF-IAEA Workshop on LMFR Safety

18-20 March 2020 >> postponed >> Early 2021

- Review of GIF Report on “Safety Design Guidelines on Structures, Systems and Components for Gen-IV SFRs”

Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development



Atoms for Peace

الوكالة الدولية للطاقة الذرية
国际原子能机构
International Atomic Energy Agency
Agence Internationale de l'Énergie Atomique
Международное агентство по атомной энергии
Organismo Internacional de Energía Atómica

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
Phone: (+43 1) 2600 • Fax: (+43 1) 26007
Email: Official.Mail@iaea.org • Internet: <http://www.iaea.org>

In reply please refer to: I3.01, JPN (37054520)
Dial directly to extension: (+43 1) 2600-22850

Mr Ryodai Nakai

Chairman
Generation IV International Forum Safety
Criteria Task Force
Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
1-chome, Shiraki, Tsuruga
FUKUI 919-1279
JAPAN

2018-03-21

Dear Mr Nakai,

Thank you for your letter dated 4 April 2016 inviting the International Atomic Energy Agency (IAEA) to review the recent GIF report on "Safety Design Guidelines (SDG) on Safety Approach and Design Conditions for Generation IV Sodium-cooled Fast Reactor Systems (SFR)".

At the Sixth Joint IAEA-GIF Technical Meeting/Workshop on SFR Safety held on 14-15 November 2016, in Vienna the progress of the IAEA review of the report had been reported and preliminary comments prepared by the IAEA staff were presented to the GIF participants and discussed. In addition, a broad discussion of the GIF SDG report had been conducted during the dedicated panel discussion "Development and Standardization of Safety Design Criteria (SDC) and Guidelines (SDG) for Sodium Cooled Fast Reactors" that was organized during the IAEA International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles (FR17) in June 2017. After a final thorough analysis of the report, the IAEA comments have been revised and summarized in the attached document.

I hope our comments will contribute to the GIF activity on the safety of sodium-cooled fast reactors and promote the development of the innovative fast reactor technologies in GIF countries and worldwide.

Yours sincerely,

Mikhail Chudakov
Deputy Director General
Head of the Department of Nuclear Energy



- ◆ JAEAでは、SFRの国際的な安全基準策定を目指して、GIFの場、さらにはIAEAとの連携を通じてSFRのSDC/SDGの策定を主導してきた。
- ◆ その成果は、GIFのSDC/SDGドキュメントとして公開され、GIFメンバー国以外のインド等のSFR開発国においても参照されている。
- ◆ GIFの場において、SFRのSDCは他の炉型にも展開されつつある。
- ◆ 非軽水型のSMRは、GIFの各炉型との技術的共通点が多く、SFRのSDC/SDG作成の経験を活かして、IAEAにおけるSMRの安全基準策定に貢献している。
- ◆ 国際的に達成すべき安全性のレベルは、炉型や設計に依存することなく共通であるべきであり、炉型共通に適用可能な安全基準は、炉型や設計に関係なく、備えるべき要件や達成すべき事項を体系的に整理したものであるべき。
- ◆ 一方で、それを満たすために各炉型の安全設計をどのように行うべきかについても、国際的な設計事例も踏まえて、各炉型毎に下位のガイドとして整備していくべき。