

# ナトリウム冷却高速炉の安全設計クライテリア(SDC)と 安全設計ガイドライン(SDGs)

## 概要 / 目的:

SDCとは、第4世代ナトリウム冷却高速炉が満足すべき安全要件を記載した設計クライテリアです。第4世代ナトリウム冷却高速炉では、ナトリウムを冷却材に用いる高速炉の特徴を活かした固有安全特性あるいは受動的安全システムを取り入れ、東京電力福島第一原子力発電所の事故から学んだ教訓も反映して安全性の向上を目指しており、SDCにはこれらの要素が盛り込まれています。

さらに、SDCを実際の設計に適用する際の手引きとして安全設計ガイドライン(SDG)を構築しています。SDGでは、わが国のナトリウム冷却高速炉の安全向上技術も踏まえて、SDCを満足するための受動的炉停止手段、自然循環崩壊熱除去、シビアアクシデントの炉容器内事象終息等の設計手段とそれらが満たすべき要件を推奨事項として提示しています。

本ウェビナーでは、第4世代原子炉の高い開発目標を達成するために構築された安全設計クライテリアと安全設計ガイドラインの概要をナトリウム冷却高速炉の安全上の特徴を交えて紹介しています

## 講演者紹介:

**Mr. Shigenobu Kubo** は、1989年よりナトリウム冷却高速炉(SFR)の開発に従事。SFRのシステム設計、安全設計及び関連する研究開発を専門とする。2011年の発足時からGIF安全設計基準(SDC)タスクフォースに参加し、議長としてSFRの安全設計基準の開発に従事。現在、日本原子力研究開発機構の高速炉・新型炉研究開発部門 炉設計部次長。高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究(1999年～2006年)及び高速増殖炉サイクル技術開発(2006年～2011年)に従事。また、日仏ASTRID共同研究では、設計タスクリーダー、シビアアクシデントタスクリーダーとして参加した。最も印象的な仕事は、EAGLEプロジェクト(カザフスタンのIGR及び炉外実験施設を用いたSFRシビアアクシデント実験)である。

1989年名古屋大学大学院工学研究科原子力工学専攻修士課程修了。



## GIF安全性目標および標準安全アプローチ:

### GIF安全性目標

- SR-1:運用における安全性・信頼性に優れる
- SR-2:炉心損傷の可能性と規模が十分に小さい
- SR-3:オフサイト緊急時対応の必要性を排除できる

### GIF標準安全アプローチ

- 深層防護
- 決定論的アプローチとリスク情報活用アプローチの組合せ
- 後付けでない設計に組み込まれた安全性
- 固有/受動安全性の活用の重視

## ナトリウム冷却高速炉の安全特性:

IAEAは、階層構造を持つ国際安全標準を体系的に整備している。一方で階層の低層にあたる標準は、既存の軽水炉を想定したものとなっている。このため、それぞれの冷却材及び冷却系の特性を考慮した、第4世代炉向け国際安全標準の開発が必要である。

### Advantages

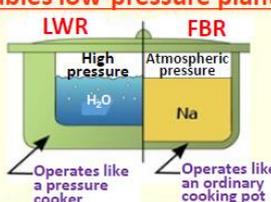
#### Uses neutrons efficiently



Neutrons produced in fission can be efficiently used because sodium moderates neutrons less than water does.

*Sodium is suitable for fast spectrum reactor.*

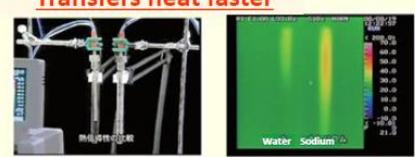
#### Enables low-pressure plant



No need to pressurize it because the boiling point of sodium is very high (about 880°C)

*Use of sodium coolant enables us to adopt the compact, high performance cooling system.*

#### Transfers heat faster



Heat transfer test  
Left: Water  
Right: Sodium

Thermographic measurement  
Sodium transfers heat faster than water.

Heat generated in a reactor core can be efficiently removed.

### Disadvantages (overcome by design)

#### Reacts with water and air



Design measures must be taken to prevent chemical reaction because it is highly reactive.

*Prevention and detection of leak is important.*

#### Must be preheated to use



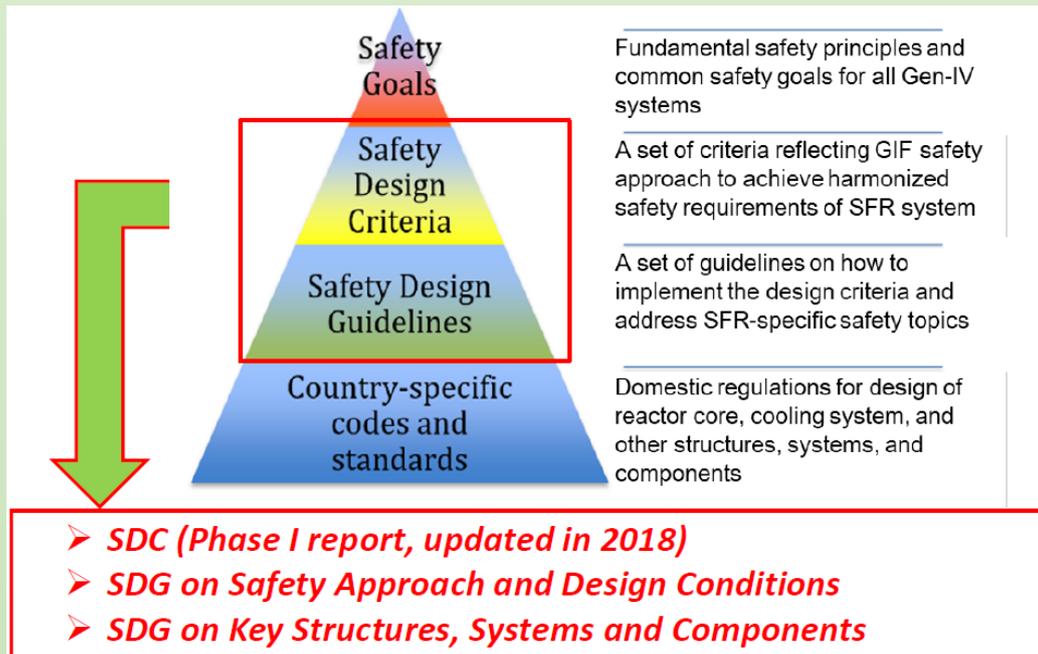
Soft solid state at room temperature

Liquid-state sodium can be used. (melting point 98 °C)

*Sodium requires preheat and heat retention.*

## 第4世代ナトリウム冷却高速炉向けSDC/SDGの開発:

安全設計基準タスクフォース(SDC-TF)はこれまでに、階層構造を持つ安全設計基準(SDC)及び安全設計ガイドライン(SDG)の開発を行った。これらの文書は、各国の規制機関、IAEA、OECD/NEAのWGSARなどの外部組織によるレビューを受けている。

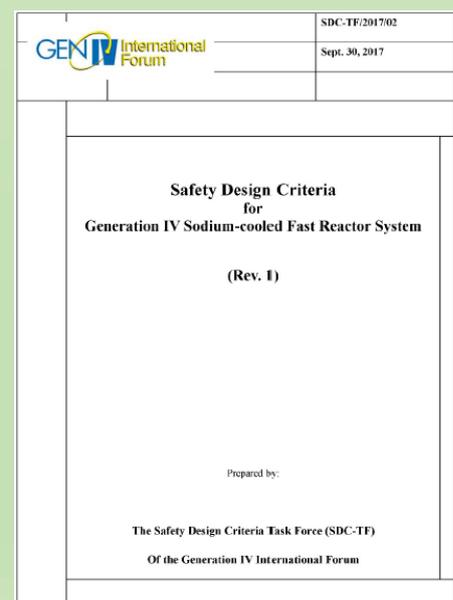


## 安全設計基準:

安全設計基準の目的は、ナトリウム冷却高速炉システムの構造/システム/コンポーネントの安全設計に対する参照基準を与えることである。

この基準は、GIFの標準安全アプローチへの適合を、体系的かつ総合的に明確化されている。

安全設計基準には福島第一原子力発電所からの教訓も反映されている。

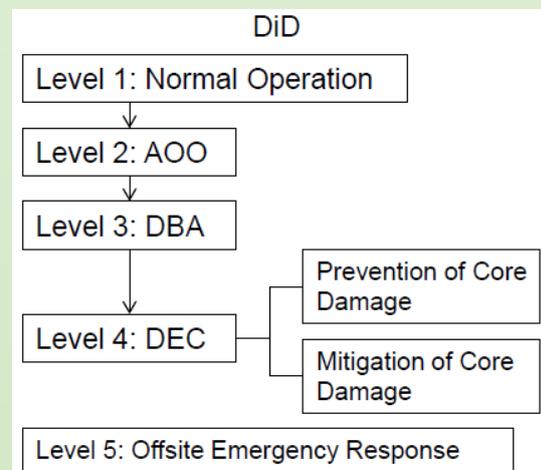


安全設計基準(改訂1)は、GIFウェブページにおいて公開されている。  
([https://www.gen-4.org/gif/jcms/c\\_93020/safety-design-criteria](https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_93020/safety-design-criteria))

### 安全アプローチに関する安全設計ガイドライン:

安全アプローチに関する安全設計ガイドラインは、安全設計基準をいかに適用するかについて推奨とガイドラインを提供することを意図している。

このガイドラインは主に「設計超過状態 (DEC) の設計アプローチ」と「事故状態の実用上の排除」に焦点をあてている。(深層防護レベル4、5に対応)



この安全設計ガイドラインはGIFウェブサイトで開催されている。  
([https://www.gen-4.org/gif/jcms/c\\_93020/safety-design-criteria](https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_93020/safety-design-criteria))

### 構造/システム/コンポーネントに関する安全設計ガイドライン:

構造/システム/コンポーネントに関する安全設計ガイドラインは、SFR設計において高度な安全性を確保するために、安全設計基準の実用的な適用方法に関する詳細なガイドラインを設計者に提供することを目的としている。

このガイドラインは、安全設計基準及び安全アプローチに関する安全設計ガイドラインへの適合に関する推奨とガイダンスを、一般的な第4世代SFRシステムへの適用事例とともに示している。下の表は、SFRに固有の安全機能と、本ガイドラインにおける14の着目点を列挙したものである。

Systems	Safety features	Focal points	SDC	SDG on Safety Approach
Reactor Core systems	Integrity maintenance of core fuels	1. Fuel design to withstand high temperature, high inner pressure, and high radiation conditions	✓	
		2. Core design to keep the core coolability	✓	✓
	Reactivity control	3. Active reactor shutdown	✓	✓
		4. Reactor shutdown using inherent reactivity feedback and passive reactivity reduction	✓	✓
		5. Prevention of significant energy release during a core damage accident, In-Vessel Retention	✓	✓
Coolant systems	Integrity maintenance of components	6. Component design to withstand high temperature and low pressure conditions	✓	
	Primary coolant system	7. Cover gas and its boundary	✓	
		8. Measures to keep the reactor level	✓	✓
	Measures against chemical reactions of sodium	9. Measures against sodium leakage	✓	✓
		10. Measures against sodium-water reaction	✓	
	Decay heat removal	11. Application of natural circulation of sodium	✓	✓
12. Reliability maintenance (diversity and redundancy)		✓	✓	
Containment systems	Design concept and load factors	13. Formation of containment boundary and loads on it	✓	
	Containment boundary	14. Containment function of secondary coolant system	✓	