



総合講演・報告2

「第4世代ナトリウム冷却高速炉の安全設計ガイドライン」研究専門委員会報告

# (1) 安全設計ガイドラインの構築方法

東海大学  
堺 公明



# 発表内容

- 安全設計ガイドライン(SDG)の目的と現状
  - SDGの構築目的と位置づけ
  - SDG検討・標準化の流れ
- SDGの構築方法
  - SDGの検討フロー
  - 安全アプローチSDGでの検討事項
  - 系統別SDGでの検討事項
- まとめ



# 安全設計ガイドライン(SDG)構築の目的

## □ 目標

- 第4世代ナトリウム冷却高速炉に対する国際的に共通な安全基準の構築

## □ 安全設計クライテリア(SDC)レポート(第1期)

- 2013年5月 GIF政策会合による承認
- 2013年7月～ SDC国際レビュー開始

## □ 安全設計ガイドライン(SDG)の必要性

- SDCを実際の設計へ適用する際の解説書
- 運転状態・設計基準事故への対策と系統機器設計
- 設計拡張状態への設計対応方針と設計対策例
- 事故状態を実質的回避(PE)するための対策、等



# 安全基準の階層上の位置付け

## 第4世代炉共通の安全原則

安全目標 ----- 例: 緊急時退避の必要性を回避  
 基本的安全アプローチ ----- 例: DiD第4レベル対応・受動的特性活用

## 第4世代SFRの安全設計クライテリア ----- 安全原則を要件化



SFRの一般的特徴に基づく基本的要求  
 例: 受動的な炉停止系及び崩壊熱除去系

## 第4世代SFRの安全設計ガイドライン ----- 安全設計クライテリアを解説

炉心反応度関連対策  
 崩壊熱除去関連対策

- 2層構造で構築
  - ✓ 安全アプローチSDG  
 ATWS\*対策、LOHRS\*\*対策、他



✓ 系統別SDG  
 SDC及び安全アプローチSDGの実現  
 方策・設計条件・考慮すべき事象

- SDCの設計要件を具体的に定め、SDCを実現するための推奨事項をまとめ、SDCを設計に適用する際の手引きとなる。

各国の規格・基準類



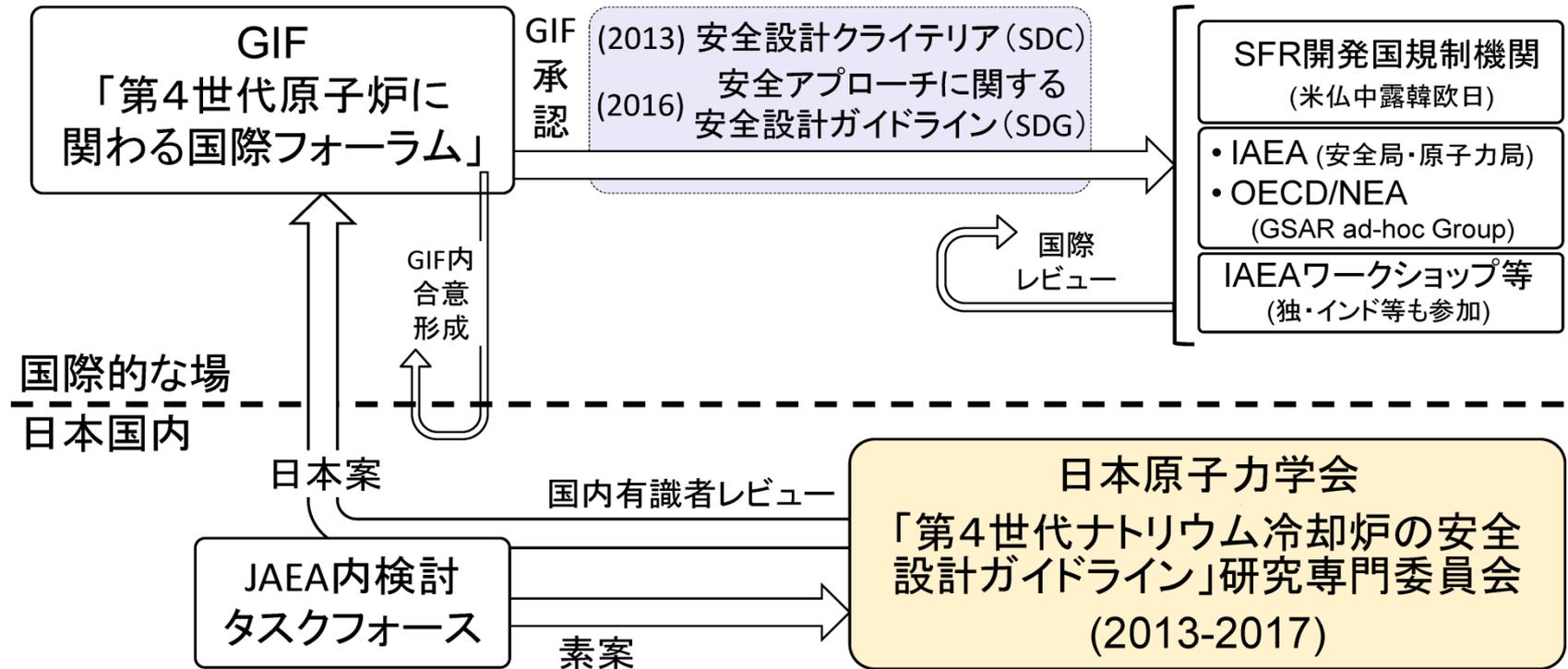
# SDC/SDGに関する現況

- 安全設計クライテリア(SDC)レポート(第1期)
  - 2013年5月 GIF政策会合による承認
  - 2013年7月～ SDC国際レビュー開始
    - 国際機関(IAEA等)や各国規制関連機関(米NRC、仏IRSN等)からのフィードバックを取り込むための改定中
- 安全アプローチ安全設計ガイドライン(SA-SDG)
  - 2016年3月 GIF政策会合による国際レビュー開始承認
  - 2016年4月～ SA-SDG国際レビュー開始
    - 国際機関(IAEA、OECD/NEA/GSAR)からのフィードバックと議論
- 系統別安全設計ガイドライン(SSC-SDG)
  - 2015年3月～ 本学会研究専門員会にて関連する議論開始
  - 2016年6月～ GIFにて内容検討開始



# SDG検討・標準化の流れ

## □ 検討組織

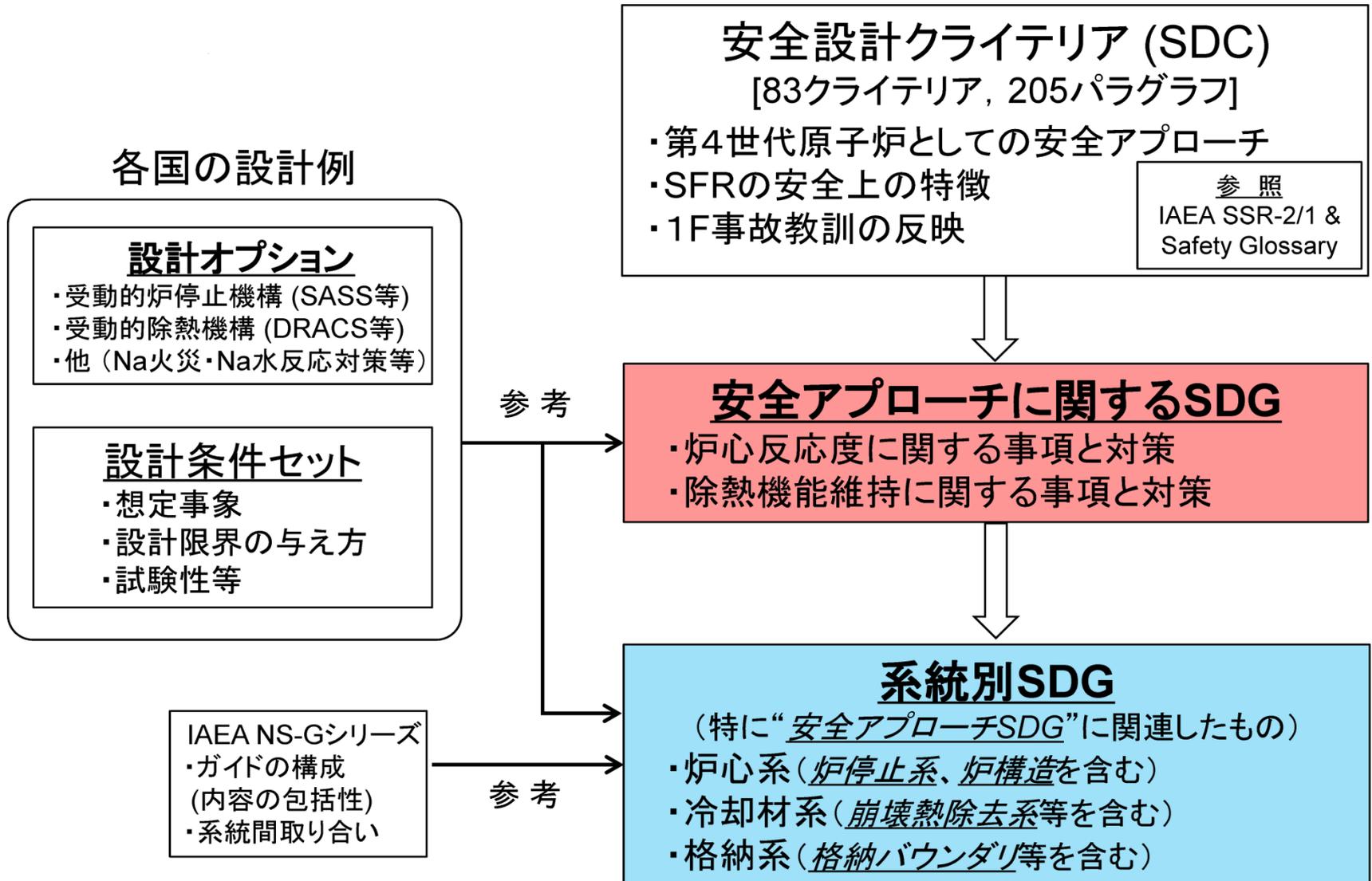


## □ 日本原子力学会でのご報告等

- 学会総合講演: 2013年春の年会、2015年春の年会
- 学会誌解説記事: Vol.55, p.587 (2013), Vol.57, p.667 (2015)



# 安全設計ガイドライン(SDG)の検討フロー





# SDCからSDGへの展開

例：反応度に関する事項（シビアアクシデントの発生防止と影響緩和）

SDC: 性能要件

SDG: 機能要件及び設計条件セット

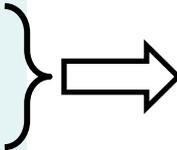
クライテリア20: 設計拡張状態  
パラグラフ 5.31

(a) 動的原子炉停止系の故障に対する追加の原子炉停止対策

(b) 炉心損傷事象進展における大規模な機械エネルギーの放出をもたらす再臨界を回避する緩和対策

(c) 損傷炉心の崩壊熱除去対策

(d) シビアアクシデント状態において、熱的・機械的負荷に耐えられる格納性能



機能要件:

炉心状態が変化した場合に起動すること、  
温態停止状態で未臨界を達成できること  
1次冷却材系バウンダリの健全性を長期に維持できること

設計条件等:

- ✓ 想定事象:  
ATWS\* (ULOF, UTOP...),...
- ✓ 制約条件:  
冷却材温度が沸点以下...
- ✓ 検査性／実証性...



“設計選択・オプション”例のリスト

- (1) 受動的機構関連: キュリー一点方式、冷却材動圧差式...
- (2) ...

\*炉停止失敗系事象



# 安全アプローチSDGでの検討事項

- 深層防護との対応
  - SFRの特性を考慮したリスクに基づく設計対応の考え方
- 設計拡張状態(DEC)に対する設計対策
  - ATWS系\*・LOHRS系\*\*個別の設計対策等
  - DECに対する受動安全の活用等
    - 原子炉停止及び受動的崩壊熱除去
  - 系統設計例など
- 事故状態を実質的回避(PE)するための設計対応策
  - PE事象の摘出、設計例を踏まえたガイドラインの具体化
- 高速炉の安全性に関連した技術的事項
  - 炉心反応度特性に関連する制約事項、など



# 系統別SDGの重要項目

## □ 安全設計クライテリアを実現するための系統機器

### ➤ SDCで要求(ATWS対策・LOHRS対策以外)

- 能動的原子炉停止機構など(高い信頼性が必要)
- カバーガス系・2次冷却材系(バウンダリ維持等)
- 内部ハザード対策(Na漏えい燃焼、Na-水反応)
- 外部ハザード対策:系統別の要件(地震時の制御棒挿入性等)

SFRの安全関連技術とその高度化等

## □ 安全アプローチSDGを実現するための系統機器

### ➤ ATWS\*対策 及び LOHRS\*\*対策

- 受動的炉停止機構、過大なエネルギー発生防止
- 炉容器内液位確保、崩壊熱除去(自然循環活用・多様性確保)

第4世代SFRのDEC関連技術等

## □ 次世代SFRで実現される革新技術

次世代SFRの技術的特長



# 系統別SDGの要点項目の選定

			安全設計 クライテリア	安全アプ ローチ SDG	次世代 SFR 革新技術
炉心系	炉心燃料の健全性	① 高温、高内圧、高照射環境に耐える燃料設計	✓		✓
		② 炉心冷却性を確保するための炉心設計	✓		
	反応度制御	③ 能動的炉停止	✓		
		④ 受動的炉停止または固有反応度特性の活用	✓	✓	✓
		⑤ CDA時の過大なエネルギー発生防止と原子炉容器内保持冷却	✓	✓	✓
冷却材系	機器の構造健全性	⑥ 高温・低圧条件に耐える機器設計	✓		✓
	1次冷却材系	⑦ カバーガスとそのバウンダリ	✓		✓
		⑧ 液位確保対策	✓	✓	✓
	Na化学反応対策	⑨ ナトリウム漏えい燃焼対策	✓		✓
		⑩ ナトリウム-水反応対策	✓		✓
	崩壊熱除去	⑪ 自然循環の活用	✓	✓	✓
		⑫ 信頼性確保(多様性・多重性)	✓	✓	✓
	格納系	格納バウンダリ	⑬ 中間冷却材系の有する機能	✓	
設計概念と負荷要因		⑭ 格納バウンダリの形成と荷重	✓		✓



# まとめ

## □ 安全設計ガイドライン(SDG)の目的と現状

- 第4世代炉ナトリウム冷却高速炉に対する国際的な安全基準の具体化を図ることを目的とし、機能要件としての安全設計ガイドライン(SDG)の構築を進めた。
- 本研究専門委員会は、これまで約4年間に亘り、日本の高速炉に関わる各ステークホルダーの専門家によるレビューを実施し、その結果を日本案へ反映し、GIFでのガイドライン構築へ貢献してきた。

## □ SDGの構築方法

- 第4世代炉としての高い理想を掲げた安全設計クライテリア(SDC)の原則と性能要件に基づくとともに、各国の設計オプションを踏まえた機能要件としてのSDGを取りまとめることとした。
- SDGは、特に重要な炉心反応度(炉停止機能)と除熱機能の設計に関する「安全アプローチSDG」、及び、各システムに対する具体的な機能要件を定めた「系統別SDG」として構築してきた。