

# 参考資料

# もんじゅ安全性総合評価検討委員会

○設置目的: 東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、原子力機構が検討している「もんじゅ」のシビアアクシデント対応方策、ストレステスト等を適切かつ客観的な評価とするため、第三者の立場から専門家のご意見をいただき、確認を受ける。

- 委員長 片岡 勲 (大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 教授)  
委員 伊藤 智博 (大阪府立大学 大学院工学研究科 機械系専攻 教授)  
宇根崎 博信 (京都大学 原子炉実験所 原子炉基礎工学研究部門 教授)  
可児 吉男 (東海大学 工学部 原子炉工学科 教授)  
竹田 敏一 (福井大学 附属国際原子力工学研究所 所長・特認教授)  
野口 和彦 (三菱総合研究所 リサーチフェロー)  
宮崎 則幸 (京都大学 大学院工学研究科 教授)

## ○検討内容

- ① シビアアクシデント対応方策
- ② ストレステストの計画、実施方法・内容、評価結果

## ○第1回(H23年11月8日)

- ① 東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえた「もんじゅ」シビアアクシデントに対する取り組み
- ② ストレステストの概要について

## ○第2回(H23年12月27日)

- ① ストレステストの評価状況について
- ② シビアアクシデント対応方策について

## ○第3回(H24年7月31日)

- ① 地震及び津波に対する裕度評価について
- ② 整備したアクシデントマネージメント対策について



もんじゅ安全性総合評価検討委員会の状況

## ■ SA解析コード

- SA解析コード(SAS-4A、SIMMER)の開発を国際協力で推進してきた。
- SIMMERコードを用いたSA解析について、国外人員を積極的に受け入れることで、人材育成の観点で国際的な貢献を果たしてきた。
- 今後は、「もんじゅ」やAtheNa-SAの試験結果を活用したSAコードの開発・検証を通じ、SA解析コードの開発を国際的に主導していく。その中で、SAに関する国際的な人材育成、SAコードの国際的な利用促進を通じた標準化を推進する。

## ■ SA試験

- EAGLEに関する試験結果は仏CEAへ有償にて開示した。試験研究を今後CEAと協力して行う方策について検討中。
- 「もんじゅ」やAtheNa-SAの試験結果については、日米仏3ヶ国協力やGIF、IAEAなどの国際的な枠組みを活用した国際貢献を主導する。
- SA試験に関連した技術(実験・計測装置の開発を含む)については、今後も着実に推進していくことで、これらの国際貢献に寄与する。

# 今後の具体的な研究開発等

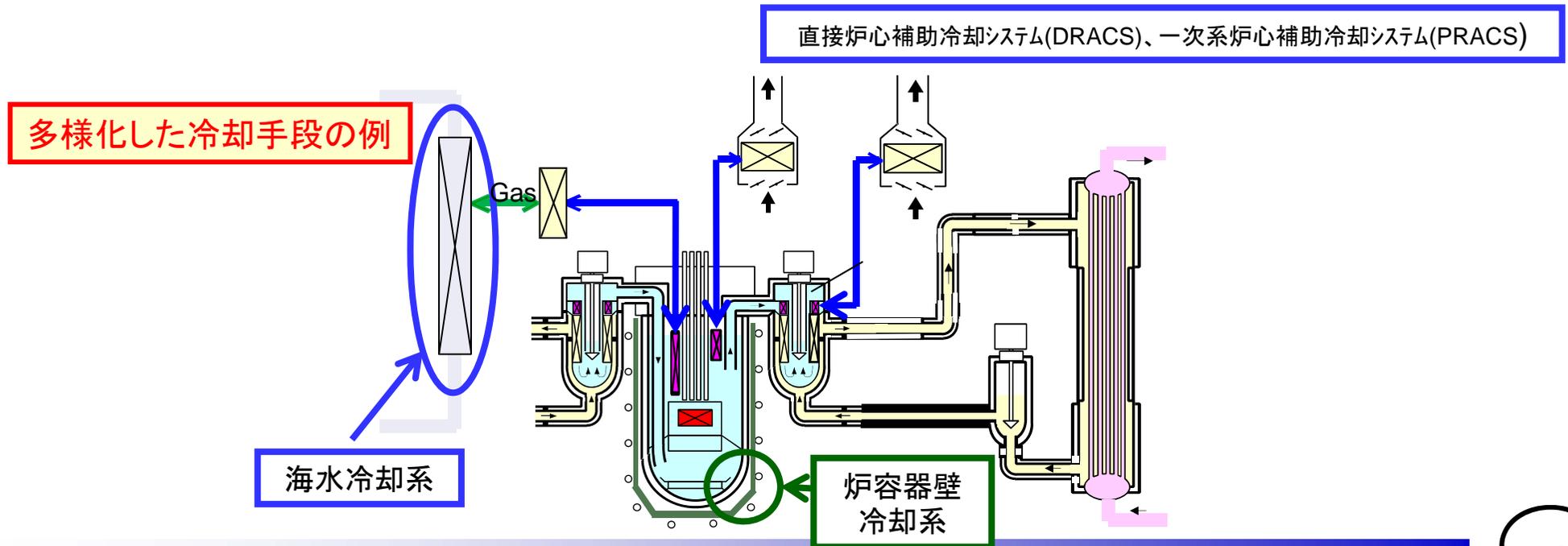
- **試験研究による妥当性確認**
  - AtheNa-SA( SA時の除熱機能に関するナトリウム試験)
  - EAGLE (実炉における溶融炉心物質の流出挙動試験)
- **安全設計ガイドラインの整備**

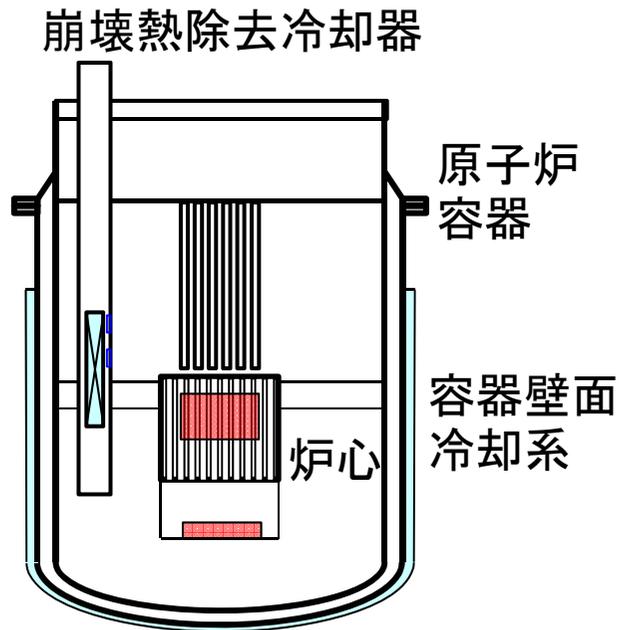
# シビアアクシデント時除熱機能に関するナトリウム試験

- ❖ 東京電力福島第一発電所事故を踏まえ、ナトリウム冷却高速増殖炉の安全性をより高めるための研究
- ❖ 事故時の炉心の崩壊熱\*1)をより確実に除去するために、除熱手段の多様化(方法が異なり、他と独立した複数の手段を用意)を図る。試験では多様な冷却手段の除熱特性を明らかに。
- ❖ 海外の研究機関と協力して研究を行う。
  - ◇ フランス、アメリカとの3国協力
  - ◇ さらに多くの国を加えた国際協力も検討 (第4世代炉国際フォーラム\*2) : GIFの枠組み)

\*1) 崩壊熱: 制御棒の挿入による核分裂反応停止後にも、停止前出力の%オーダーで発生する残留熱(核分裂後の原子が徐々に安定化する際に発生し、時間とともに低下)

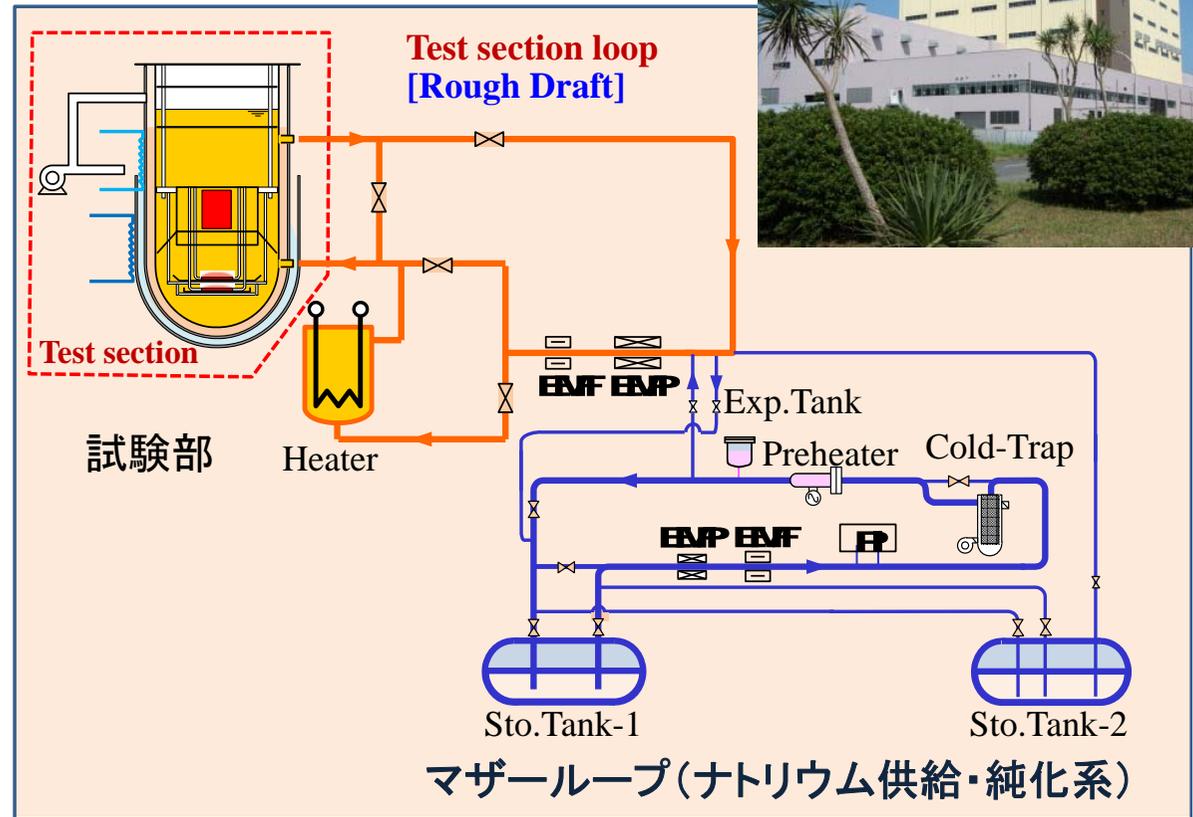
\*2) 第4世代炉国際フォーラム: 改良型軽水炉等(第3世代)に続く原子力システムの概念に関する国際協力の枠組み。12か国及び1国際機関が参加。





事故時に炉心を冷却する手段の  
 確実性をさらに高める研究

試験部の概要(案)



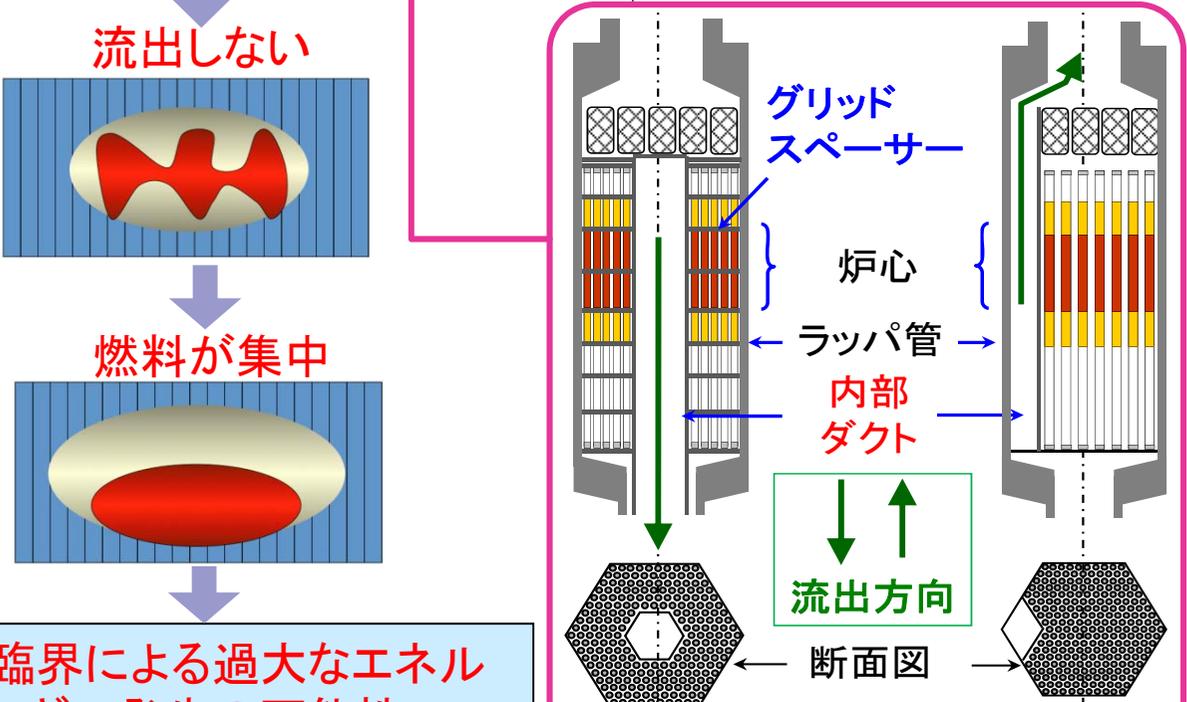
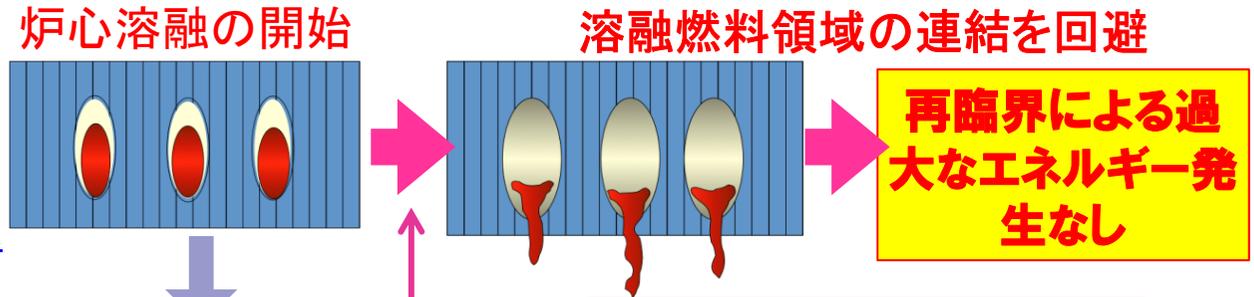
試験ループとナトリウム供給用マザーループ  
 (AtheNa施設を利用した試験構成案)

# シビアアクシデントの原子炉容器内収束のための 溶融燃料挙動の解明

## (1) 高速増殖炉のシビアアクシデントにおける再臨界防止(EAGLE計画)

### ■ 従来の安全評価

- 溶融炉心物質が炉心周辺に流出せず、再臨界による過大なエネルギー発生に至る状況を想定。
- 発生するエネルギーに対して原子炉容器や格納容器の健全性が保たれることを確認。
- 高出力化する場合、燃料インベントリーが大幅に増加するため、格納系の設計に過大な負担。



### ■ 将来に向けた取り組み

- 溶融炉心物質を早期に流出させる設計方策の採用、合理的な格納系の設計を可能とする。
- 設計方策の有効性を実験的に確認する。

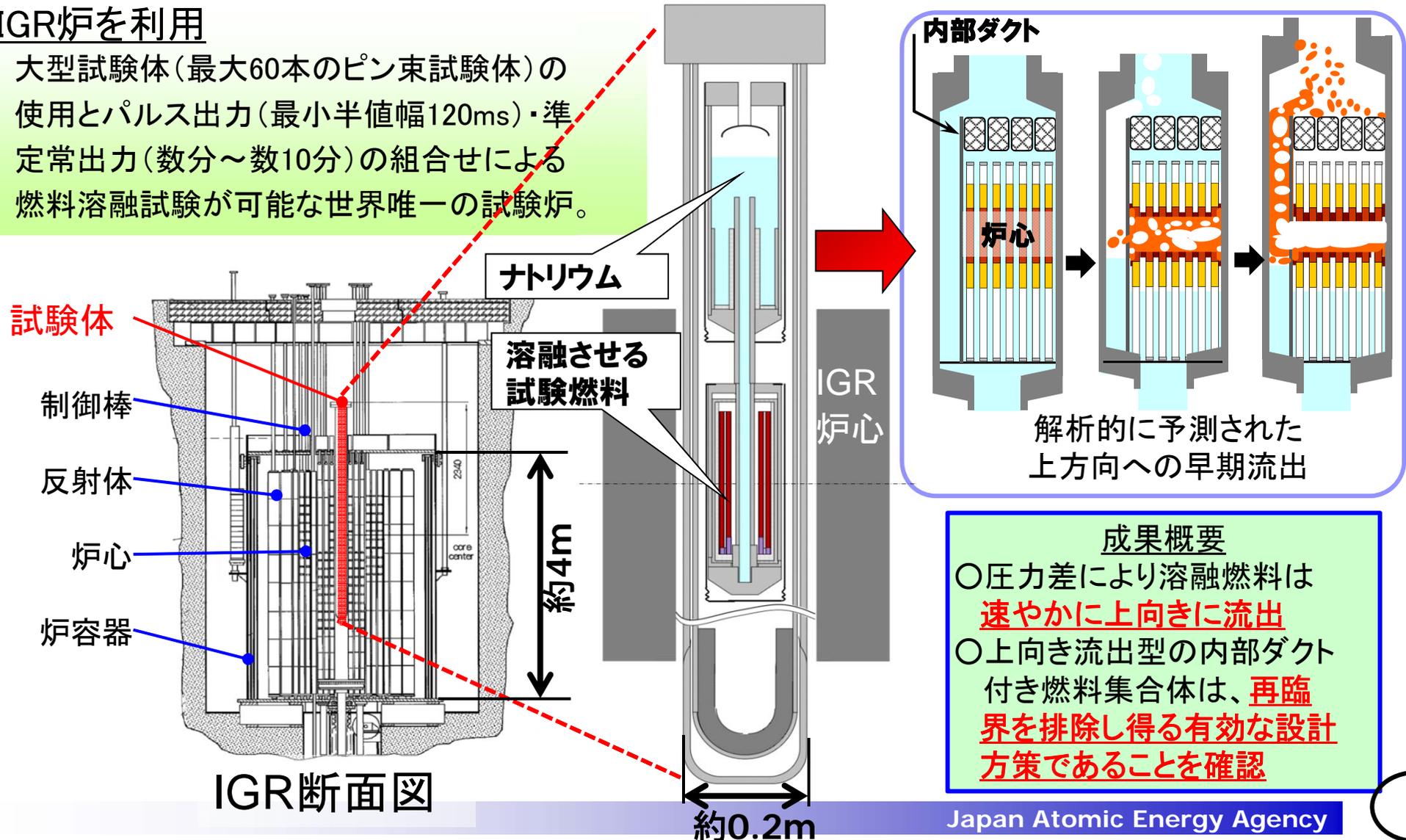
再臨界による過大なエネルギー発生の可能性

# 熔融燃料挙動の解明

## (2) EAGLE-2 試験の試験例

### IGR炉を利用

大型試験体(最大60本のピン束試験体)の使用とパルス出力(最小半値幅120ms)・準定常出力(数分~数10分)の組合せによる燃料溶融試験が可能な世界唯一の試験炉。



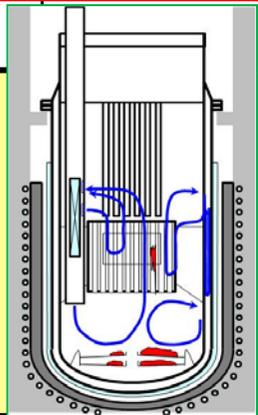
### 成果概要

- 圧力差により溶融燃料は **速やかに上向きに流出**
- 上向き流出型の内部ダクト付き燃料集合体は、**再臨界を排除し得る有効な設計方策であることを確認**

# EAGLE計画の成果と今後の計画

- EAGLE-1計画の成果(平成12年度～平成18年度)
  - 高速増殖炉の炉心溶融事故を模擬した実験を実施し、溶融燃料の流出に係わる基本メカニズムを把握するとともに設計上の工夫により、再臨界による過大なエネルギー発生は防止し得るとの見通しを得た。
- EAGLE-2計画の成果(平成19年度～平成23年度)
  - EAGLE-1計画にて培われた実験実施技術を活用した実験を実施し、実用化に向けた標準設計(上向きの溶融燃料排出経路を採用)によって再臨界による過大なエネルギー発生が防止できることを確認するとともに、原子炉容器内で移動した溶融燃料の冷却特性を把握した。
- 今後の計画
  - シビアアクシデントの炉容器内終息の実験的な裏付けの取得に向けて、日・仏・カザフスタンの国際協力による試験実施(EAGLE-3)を計画中。

# 国際協力による安全性強化に関する研究開発 について

	H25年度	26	27	28	29
SA時の原子炉容器外面除熱方策に関する実験: 炉心冷却対策に関する多様な方策を検討するための実験データの取得	水伝熱流動要素試験による基礎データ取得				
	AtheNa施設による炉容器外壁冷却Na試験: 多様な除熱方策の一つとして炉容器外面冷却方式の除熱特性や炉容器内Naの熱流動特性データを取得。 ・ 炉容器直径: ~3m (約1/3スケール) ・ Na最高温度/総量: 550°C/240トン				
SA時の炉容器内での冷却性能強化に関する実験	炉容器内全体を模擬した水伝熱流動システム試験				
	炉容器内冷却能力強化方策の熱流動特性データ取得Na伝熱流動試験				
損傷炉心の冷却性に関する実験データの取得	炉心損傷時の溶融燃料デブリ形成挙動試験(水及びNa試験)				
	炉心損傷時のNa沸騰による制御棒案内管冷却効果試験				
SAの炉容器内終息に関する実験炉によるデータ取得	再臨界回避技術データ取得	SAの炉容器内終息の実験的裏付けデータの取得に向け、仏及びカザフスタンとの国際協力を計画中(EAGLE-3試験)			

**AtheNa-SA  
試験計画**

※ 仏・米に加え、GIF参加国との国際協力による実施を計画

安全技術体系の構築に向けたSA対策の具体化、SA解析・評価手法の精度向上・検証

# 安全設計ガイドライン (SDG) の位置づけ

- ナトリウム冷却高速増殖炉の特徴を反映し、第4世代炉の安全原則を要件化した安全設計クライテリア[SDC]が、策定されつつある。
- 今後、安全設計ガイドライン[SDG]によりSDCを詳細化・解説を付加することで、安全に関する考え方やコンセプト、系統機器への具体的な要求の国際標準を策定する。

## 安全階層

### 安全原則

← 原子炉施設に対する基本的な安全原則を記述

GIF安全原則  
・第4世代炉共通の安全原則

### 安全設計クライテリア [GIF-SDC]

← 原子炉設計での基本的・原理的な要件を記述

GIF安全目標  
GIF基本的安全アプローチ

SDC = GIF安全原則を要件化  
・高速増殖炉の一般的な特徴に基づく基本的な要求

### 安全設計ガイドライン [GIF-SDG]

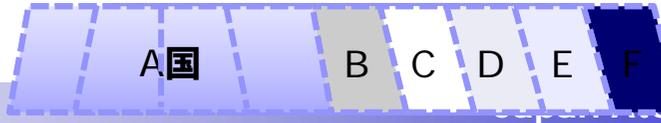
← 原子炉の基本的な構成を念頭に、設計基準・設計条件、信頼性に関する要件を具体化



SDG = SDCを解説  
SDCで求められる設計要件を具体的に定めるものであり、  
・安全に関する考え方・コンセプト  
・系統機器の設計条件などを含んだものとなる。

### 技術規格・技術基準

[各国における規格・基準]



# 安全設計ガイドラインのラインナップ(想定)

GIF安全目標  
GIF基本的安全アプローチ

SDCの解説書としての位置づけで  
整備されるSDG

SFR安全設計クライテリア [GIF SFR SDC]

その中の系統別の要求と、  
**新規性を有する主な論点**

DECに対応した新たな要求

安全に関する考え方・コンセプト	1. SAに対する考え方 SA想定 受動安全の活用 安全評価(設計の妥当性確認)	2. 厳しい外的事象に対する考え方 厳しい地震や津波に対する備え 安全評価(設計の妥当性確認)	3. DBAに対する考え方 DBA想定 安全設備の信頼性確保 安全評価(設計の妥当性確認)	4. 通常運転と異常な過渡変化に対する考え方 設計余裕の確保 検査性確保
系統機器への具体的な要求	炉心燃料 [再臨界回避と冷却性確保]	炉心燃料 [地震時耐性確保]	炉心燃料 [冷却性維持]	炉心燃料 [健全性確保]
	原子炉冷却系 [Na液位と循環機能確保]	原子炉冷却系 [地震時耐性確保]	原子炉冷却系 [Na液位と循環機能確保]	原子炉冷却系 [健全性確保]
	燃料取扱設備 [SA対策設備]	燃料取扱設備 [地震時耐性確保]	燃料取扱設備 [DBA対策設備]	燃料取扱設備 [健全性確保]
	原子炉停止系 [SA時の性能]	原子炉停止系 [地震時の性能]	原子炉停止系 [DBA時の性能]	原子炉停止系 [異常な過渡変化時の性能]
	崩壊熱除去系 [SA時の性能]	崩壊熱除去系 [飛来物発生時の性能]	崩壊熱除去系 [DBA時の性能]	崩壊熱除去系 [異常な過渡変化時の性能]
	Naの化学反応に対する安全対策 [SA時の性能]	Naの化学反応に対する安全対策 [地震時の性能]	Naの化学反応に対する安全対策 [DBA時の性能]	Naの化学反応に対する安全対策 [異常な過渡変化時の性能]
	格納容器/燃料貯蔵建屋 [SA時の性能]	格納容器/燃料貯蔵建屋 [耐性確保と防護]	格納容器/燃料貯蔵建屋 [DBA時の性能]	