

# 「原子力の安全思想の 再構築について」

原子力学会フェロー  
技術士(原子力・放射線、機械、総合技術監理)

富永 研司

# 1. はじめに

## (1) 自己紹介

- ① 日立製作所 原子力事業部(1974～2012:38年間)
  - 軽水炉の安全研究開発&安全設計 ……(21年)
    - 冷却材喪失事故(LOCA)に関する大型試験
    - 非常用炉心冷却系(ECCS)の設計・評価
    - 格納容器の設計・評価
    - 事故時の被曝評価
    - 安全設計思想などに従事
  - システム設計&軽水炉プロジェクト取纏め ……(17年)
    - 王禅寺センタ長&本社業務
  
- ② 原子力安全推進協会 JANSI (2012.12～現在)
  - 我が国の原子力発電所の安全性向上



## (2) JANSI発足経緯と私の業務

### 【 発足経緯 】

原子力安全推進協会(JANSI)は、福島第1原子力発電所の事故の反省に立ち、二度とこのような事故を起こしてはならないという原子力産業界の総意に基づき、事業者から独立して強かに原子力安全を牽引する組織として2012年11月15日に発足。

### 【 ミッション 】

日本の原子力産業界における、世界最高水準の安全性の追求  
～たゆまぬ最高水準 (Excellence) の追求～

### 【 現在の業務 】

JANSI 安全性向上部において我が国のプラントの安全性向上を図るべく、IAEA SRS-46「深層防護の評価」と「海外調査」を実施している。

## 2. 原子力安全研究会と安全思想（深層防護）

【 原子力安全研究会の発足 】 ……（故 湯原主査の言葉）

- ・CIGSは、社外から委託研究費を貰わぬ研究所である  
誰にも阿ることなく、研究成果・正論を世に問うことができる
- ・安全専門家として、原子力の混迷を打破する提言を！



【原子力安全研究会の活動】

- ・原子力の安全思想の再構築
  - ・漢方薬で根本治療を期待
  - ・原子力の健全性の早道
  - ・一般国民の原子力受入れ
- ・組織の枠を超えて検討  
（但し、力及ばずの感）



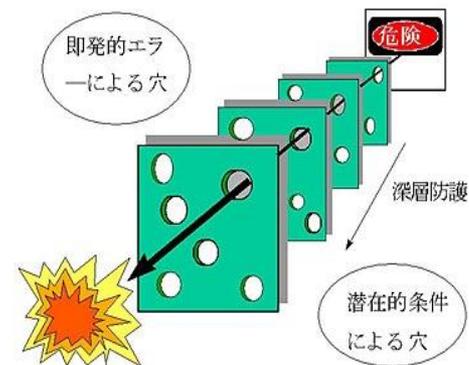
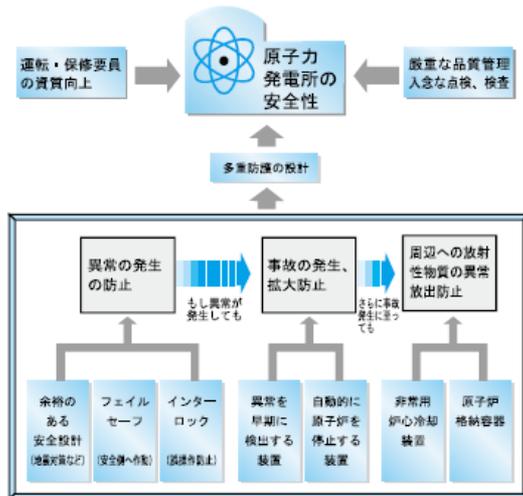
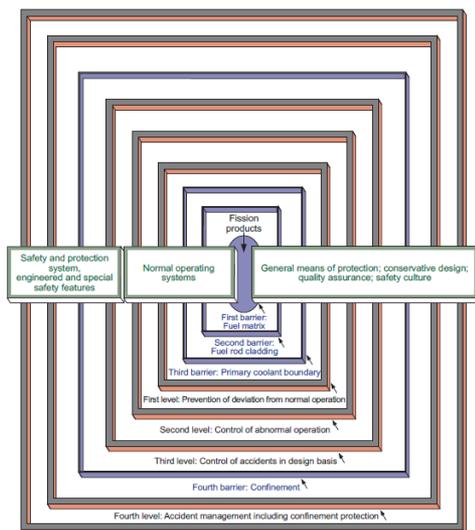
【 今後への期待 】

- ・安全思想の再構築には、産官学の英知を結集することが必要
- ・本日の発表は、安全思想に関する問題点の所在と解決案を示すもので、今後の討議に期待

# 3. 安全思想(深層防護)に関する検討

## 3.1 1F事故と深層防護

(SA発生モデルと対応方針)



IAEAの深層防護(5レベル)

我国の深層防護(事故前:3レベル)

1F事故の直接的原因は想定外の津波による全交流電源喪失であるが、根本原因としては深層防護のレベル4&5の対策が不十分であったことによる。期待していたレベル1~3の対策は、津波(共通原因)により同時に機能喪失してしまった。

レベル4 & 5の対策整備  
深層防護のロバスト性(強靱性)の強化が重要。

## 3.2 IAEAの深層防護

### 再認識したこと

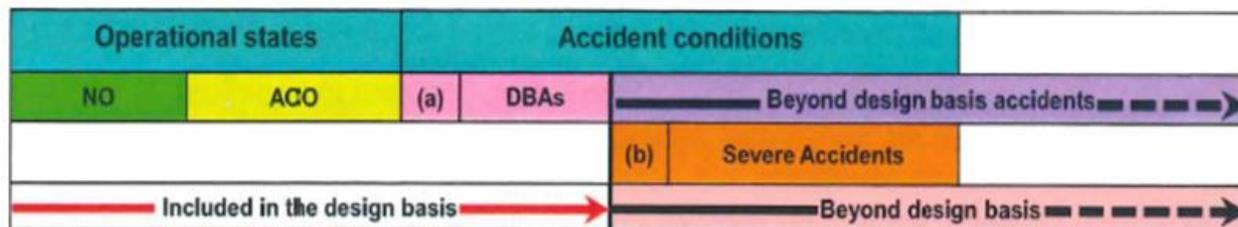
- ・IAEAの深層防護は絶対不変ではない
  - ⇒ 歴史的に変化している
  - ⇒ 参加機関により解釈が異なる

### 主要な議論のポイント

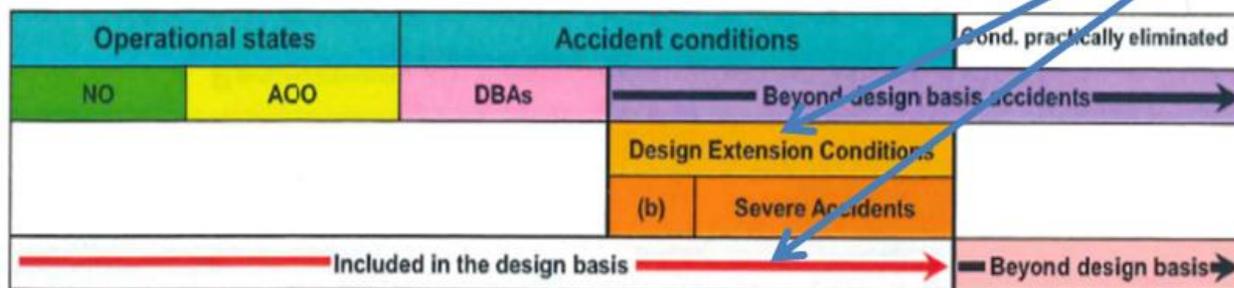
- ①DECの定義(レベル3と4の境界)
- ②レベル4の実装化の課題
- ③用語(DEC対B-DBA)
- ④人的要因(HF)の取り込み

# IAEAの深層防護の変遷

NS-R-1, 2000



SSR-2/1, 2012



- ① レベル4を↓  
DEC と呼称↓
- ② レベル4まで↓  
設計範囲↓

Level 1

Level 2

Level 3

Level 4

Level 5 ↓

IAEAの深層防護は、歴史的に進化している。  
金科玉条のもの、未来永劫に不変なものではない。

## 深層防護の定義を巡る議論

Operational States		Accident Conditions			
NO	AO	DBAs	DECs		
			No core melt	Severe accidents	
Level 1	Level 2	Level 3		Level 4	
(1)		3a	3b		
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4		
(2)			4a	4b	

深層防護  
の区分

WENRA\*

IAEA

## 深層防護レベル3とレベル4を巡る議論

**WENRA**は、レベル3(DBA)とレベル4(B-DBA)の境界を炉心溶融としている。  
**IAEA**は、従来の設計基準の範囲をレベル3(DBA)として変えず、レベル4の中にも炉心溶融前の状態と炉心溶融後の状態があると定義している。

注 \* WENRA: 西欧原子力規制者協会

### 3.3 新規制基準と深層防護

#### <従来の規制基準>

シビアアクシデントを防止するための  
基準(いわゆる設計基準)  
(単一の機器の故障を想定しても炉心  
損傷に至らないことを確認)

自然現象に対する考慮
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

#### <新規制基準>

意図的な航空機衝突への対応
放射性物質の拡散抑制対策
格納容器破損防止対策
炉心損傷防止対策 (複数の機器の故障を想定)
内部溢水に対する考慮(新設)
自然現象に対する考慮 (火山・竜巻・森林火災を新設)
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

新設 (テロ対策)  
新設 (シビアアクシデント対策)  
強化又は新設  
強化

(原子炉規制委員会のHPより)

## 混迷の原因

- 1) 従来は、米国の軽水炉を導入するに際して、設計思想をはじめ許認可ルールも導入
- 2) 1F事故後、我が国ではIAEAの深層防護を参考に新規規制基準が作成された
- 3) 一方、深層防護は安全思想であり、そのまま設計指針や規制ガイドラインとして使用することはできない
- 4) この結果、レベル3と4において「木に竹を接いだ」状態が発生
  - ・DBA事象 …… 米国流の安全設計審査指針を使用
  - ・DEC事象 …… 設計指針？
- 5) 世界は日本の許認可におけるレベル4の実装化を注目している  
⇒ **Global Harmonization**が期待されている

## 3.4 安全思想の再構築

### 【 原子力安全研究会の提言 】

#### 1) 深層防護は、原子力安全の漢方薬である

- ・ 即効性は期待できないが、根本から原子力界を再生可能
- ・ シンプルで分かり易いもの …… 一般国民にも分かるもの
- ・ 借り物の安全思想ではなく、日本人の言葉で語れるもの

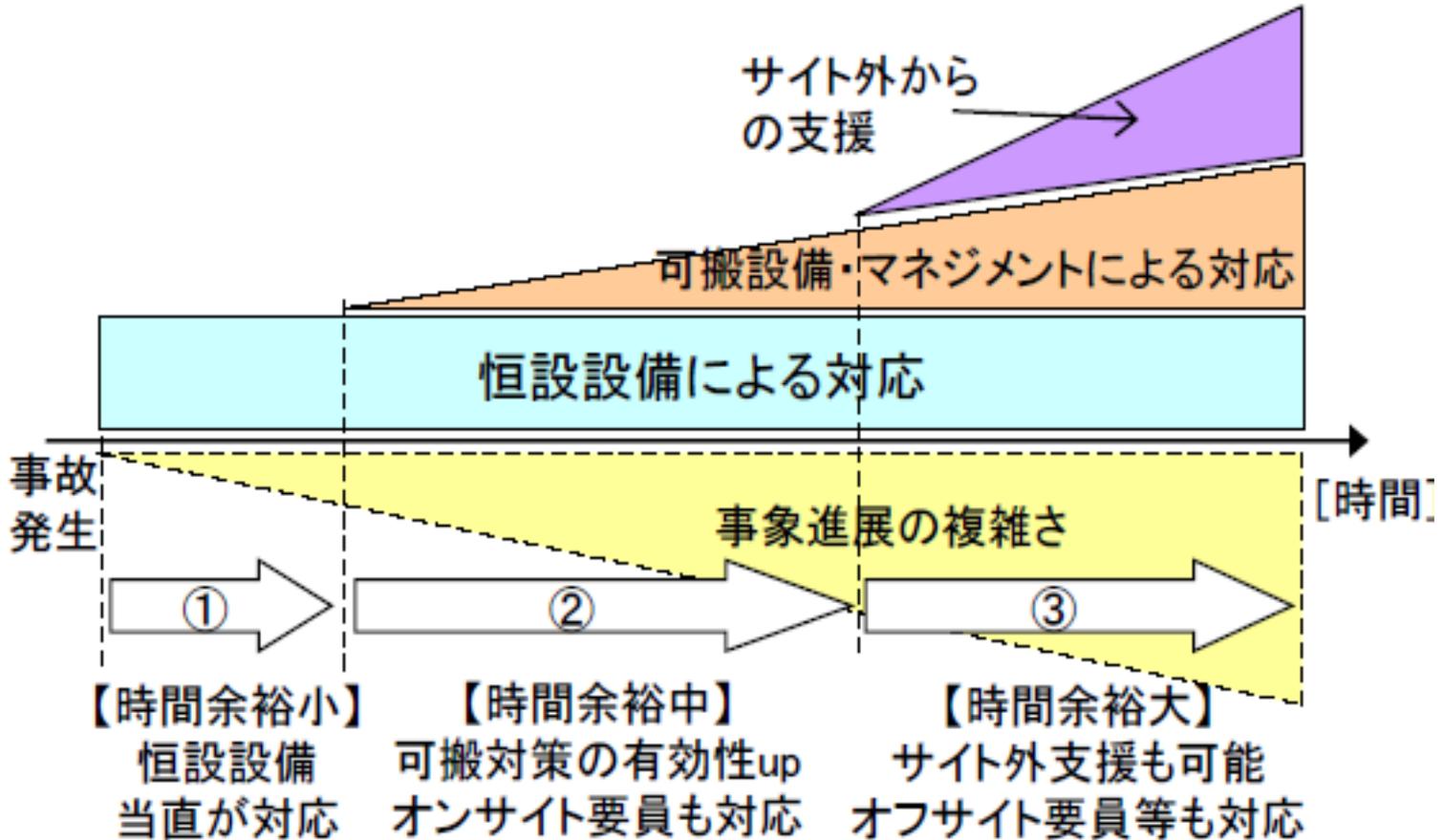
#### 2) 人的要因(HF)を考慮した深層防護

- ・ B-DBAではシナリオ通りの事象進展は期待できない
- ・ レジリエンスな対応が重要である  
1F事故での「福島50」はグッドプラクティスであった
- ・ B-DBA対策に人的要因を含めたフェーズド・アプローチの採用

#### 3) 深層防護の適切な実装化

⇒ 産官学の協力によりGlobal Harmonizationが取れたもの

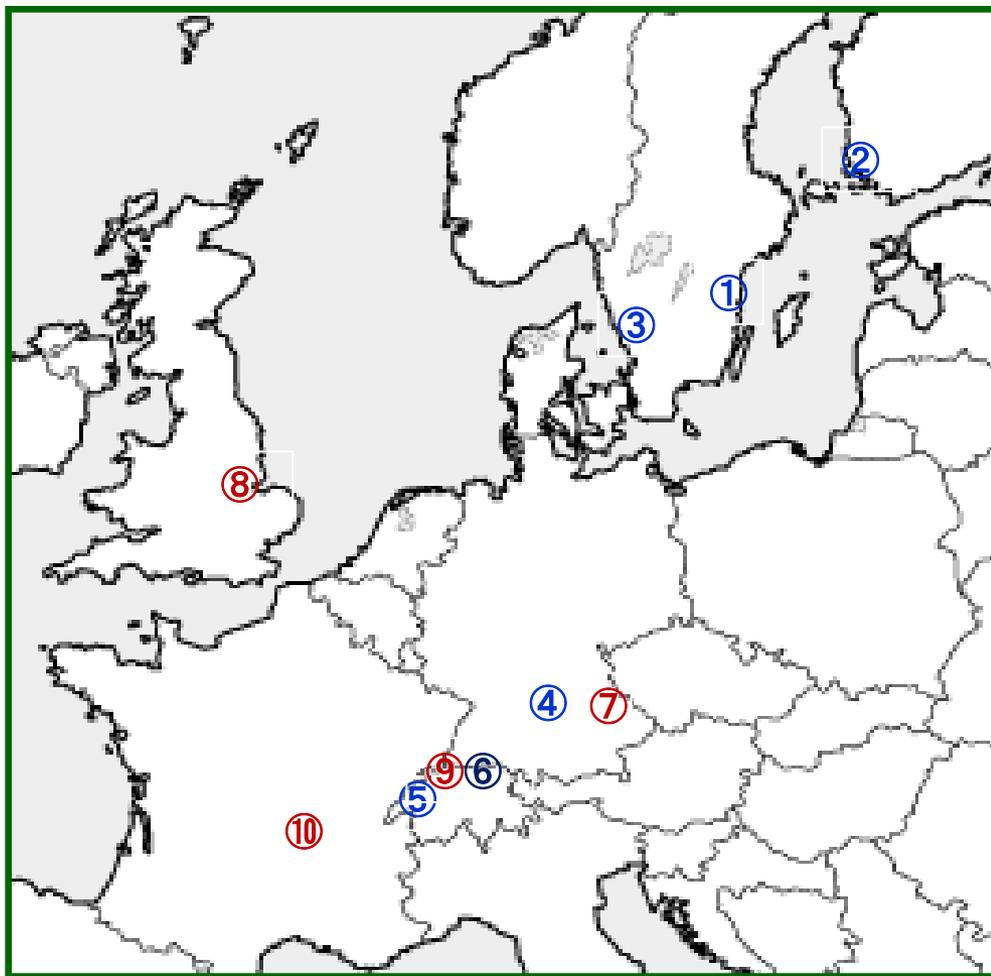
参考：フェイズド・アプローチ（人的要素を取り入れた深層防護対策）



（ 出展：東京電力のHPより）

## 4. 欧米プラント調査での驚き

### 4.1 欧州プラント調査



① Olkiluoto-1/2

② Oskarshamn-1/2/3

③ Ringhals-1/2/3/4

④ Gundremmingen-B/C

⑤ Muehleberg

⑥ Leibstadt

⑦ Isar-2

⑧ Sizewell-B

⑨ Beznau-1/2

⑩ Bugey-2~5

BWR、 PWR



Olkiluoto発電所(フィンランド)



Isar-2発電所(独国)



Ringhals発電所(スウェーデン)



Sizewell-B発電所(英国)

# 欧州プラントから学ぶこと

## ① 継続的なSA研究と実機への反映

⇒ TMI-2事故以降、倦むことなくSA研究を継続し、その成果を実機に反映

## ② 自主的な安全性向上（規制要求+ $\alpha$ ）

⇒ 欧州では、規制要求を満足すればOKとせず、プラントの本質的な安全性を高める工夫・対策を自主的に講じていた

⇒ 欧州の人々は、遺伝子の中に安全の重要性が徹底的に刷り込まれていると感じた。平和を謳歌し安全と水は只と考える我が国は、抜本的な頭の切り替えをする必要がある

- 二重格納容器(Isar-2、Sizewell-B、他)
- バンカー設備(我国の特重設備に相当)
- サイバー・テロ対策

# 安全を考慮した自主プラント(欧州型ABWR炉)



#1:Asea Atom社製BWR ( 492MWe)  
#2:Asea 同上 ( 661MWe)  
#3:Asea Atom社製ABWR ( 1450MWe)

## 主要SA設備

- ①自動SLC
- ②フィルターベント
- ③下部DW注水系
- ④多様化SRV

- ①#1 & 2は、旧式のBWR
  - ②#3は、FMCRD、RIP、RCCVを採用した欧州型ABWR
- ☆サイト周囲に大岩を配列(PP対策)

Oskarshamn発電所 (スウェーデン)

# 安全を考慮した自主プラント(欧州型ABWR炉)



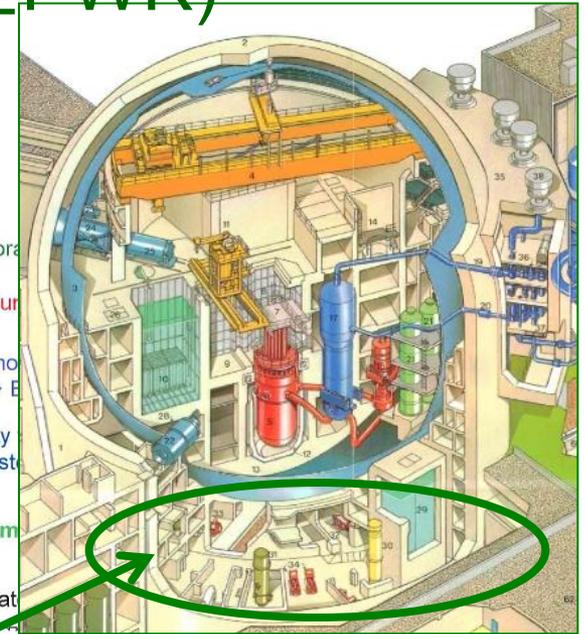
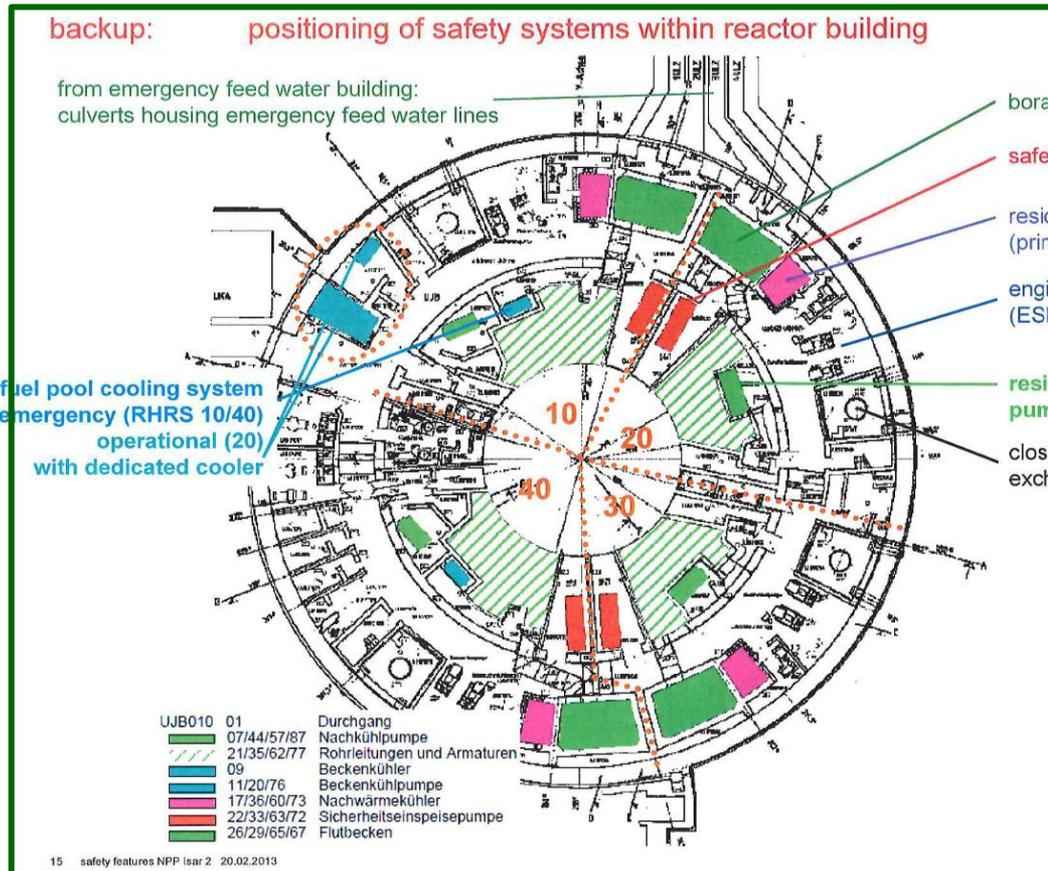
## 主要SA設備

- ①フィルタベント
- ②банкаシステム (多様性採用)
- ③非常用電源強化
- ④その他

#B#Cは、RIP, FMCRD、RCCVを採用した欧州型ABWR

Gundremmingen発電所 (ドイツ)

# 安全を考慮した自主プラント（欧州型PWR）



- ①完全4区分構成
- ②各区分毎にECCS水源あり
- ③最下層の重要ポンプの設置  
重要ポンプの部屋に扉なし  
(上階からアクセス)

- ☆2重格納容器
- ☆球形格納容器
- ☆格納容器への常時立入り

Isar-2発電所（ドイツ）

## 4.2 米国プラント調査

### (1) 米国FLEX戦略

- ① FLEX戦略は、1F事故の教訓に立脚し地震や洪水を含む様々なB-DBA事象に対応できるように考案されたアプローチであり、特にELAP時の炉心損傷防止\*を主眼とする戦略である。

ELAP = 長期交流電源喪失 (外部電源 + 非常用DG + 代替交流電源)  
+ (その結果として) 最終熱除去機能喪失

注\* : **Prevention is better than mitigation!**

- ② FLEX戦略は、深層防護の観点から炉心損傷防止を重視するが、炉心損傷緩和にも適用可能な柔軟性と発展性を有する。

- ③ FLEX戦略に深層防護的構造を持たせる。

各レベル間においてPreventionとMitigationの関係を有する  
各レベル内において、恒設設備で駄目なら可搬式設備で対応する

注\* : 米国は、IAEAのDECに対してB-DBA (Beyond DBA) という用語を用い、炉心損傷の防止を最重視する。 勿論、炉心損傷に対する対策も準備する。

## (2) FLEXと3段階対応(Phased Approach)

### ①第1段階 : 事故発生から6時間

- ・恒設設備で対応

(サイト外からの人材・資機材は期待しない)

### ②第2段階 : 事故発生から6～24時間以内

- ・サイト内の資機材(可搬式機器および予備品)を期待

(サイト外からの人材・資機材の利用が可能となる)

- ・⇒第2段階で実質的に自己完結でき、第3段階はバックアップ

### ③第3段階 : 事故発生から24時間以降

- ・サイト外の資機材・人的要因を十分に活用する

- ・全米で2箇所のRRC(Regional Response Center)から必要な資機材を事故後24時間内にサイトに配送

(各RRCには十分な資機材(N)を確保し、資機材の仕様統一)



RRC所在地

FLEX戦略と称するが、恒設設備を主役とし可搬式設備を代替に位置付ける。RRCは更にそのバックアップ。

## 5. おわりに（提言）

### (1) 我国の原子力村の「士農工商」の撤廃

- ・従来、士農工商（＝官＞事業者＞メーカ）という階層関係が存在し、自由に発言できなかった。
- ・かかる古いシキタリにより、SA対策が遅れ1F事故の遠因となった。
- ・一例として、安全審査の場で規制機関とメーカが自由な技術討議ができるが良い。

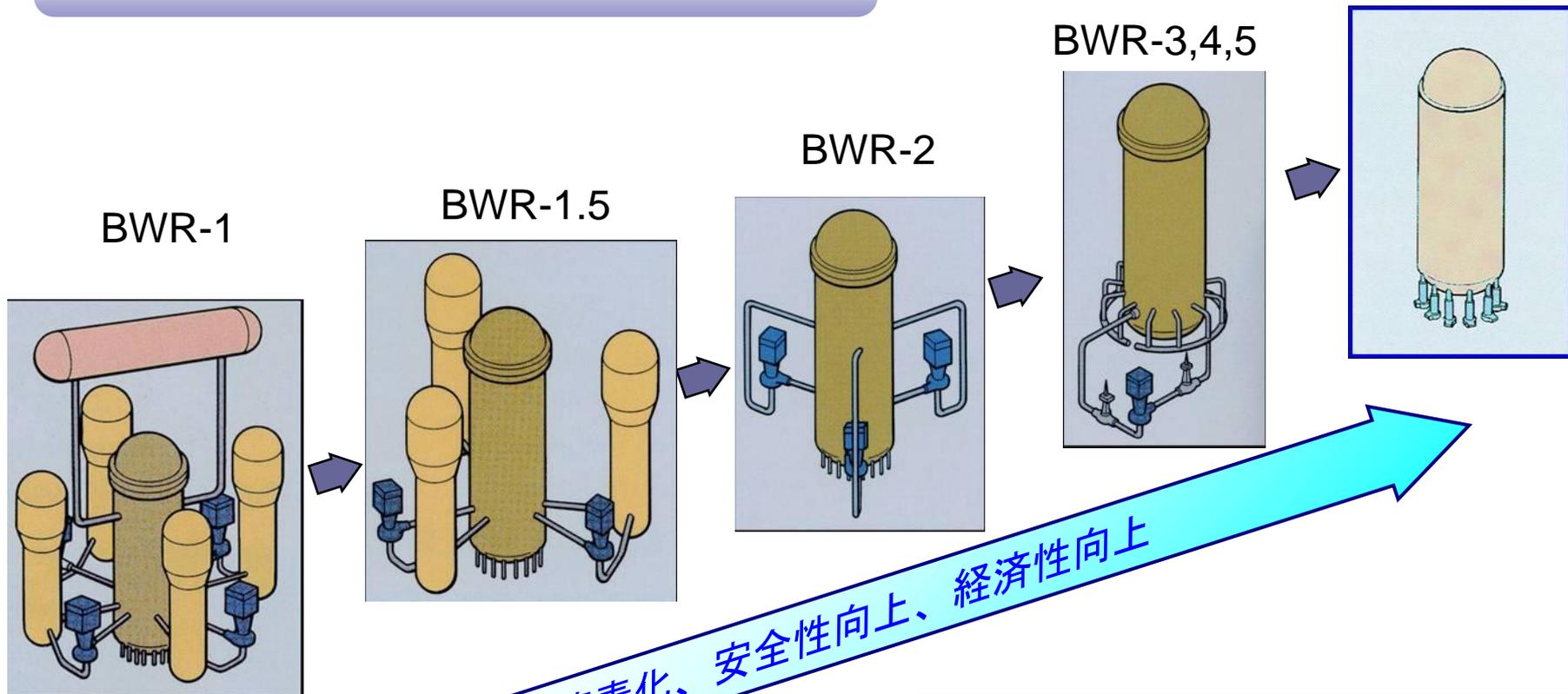
### (2) 規制機関・事業者・メーカの関係適正化

規制機関・事業者・メーカがベストを尽くす仕組みづくり。

- ・ 規制機関 ……権力ではなく権威で原子力安全を牽引！
- ・ 事業者 ……弛まぬ安全性追求と更なる安全文化の醸成
- ・ メーカ ……メーカの誇りとパイオニア精神を持とう！

ご清聴ありがとうございました。

# BWR の進化

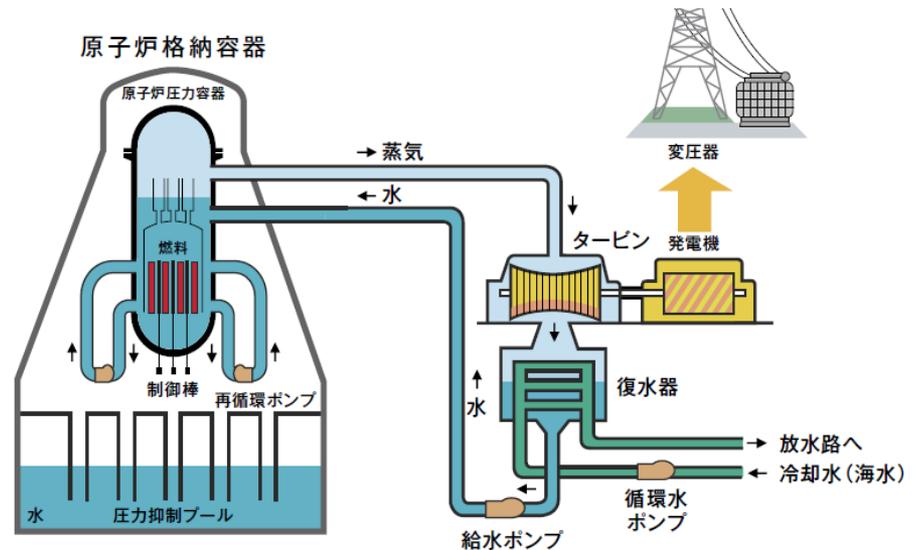


簡素化、安全性向上、経済性向上

KWU社ABWR  
AA社ABWR  
我が国ABWR

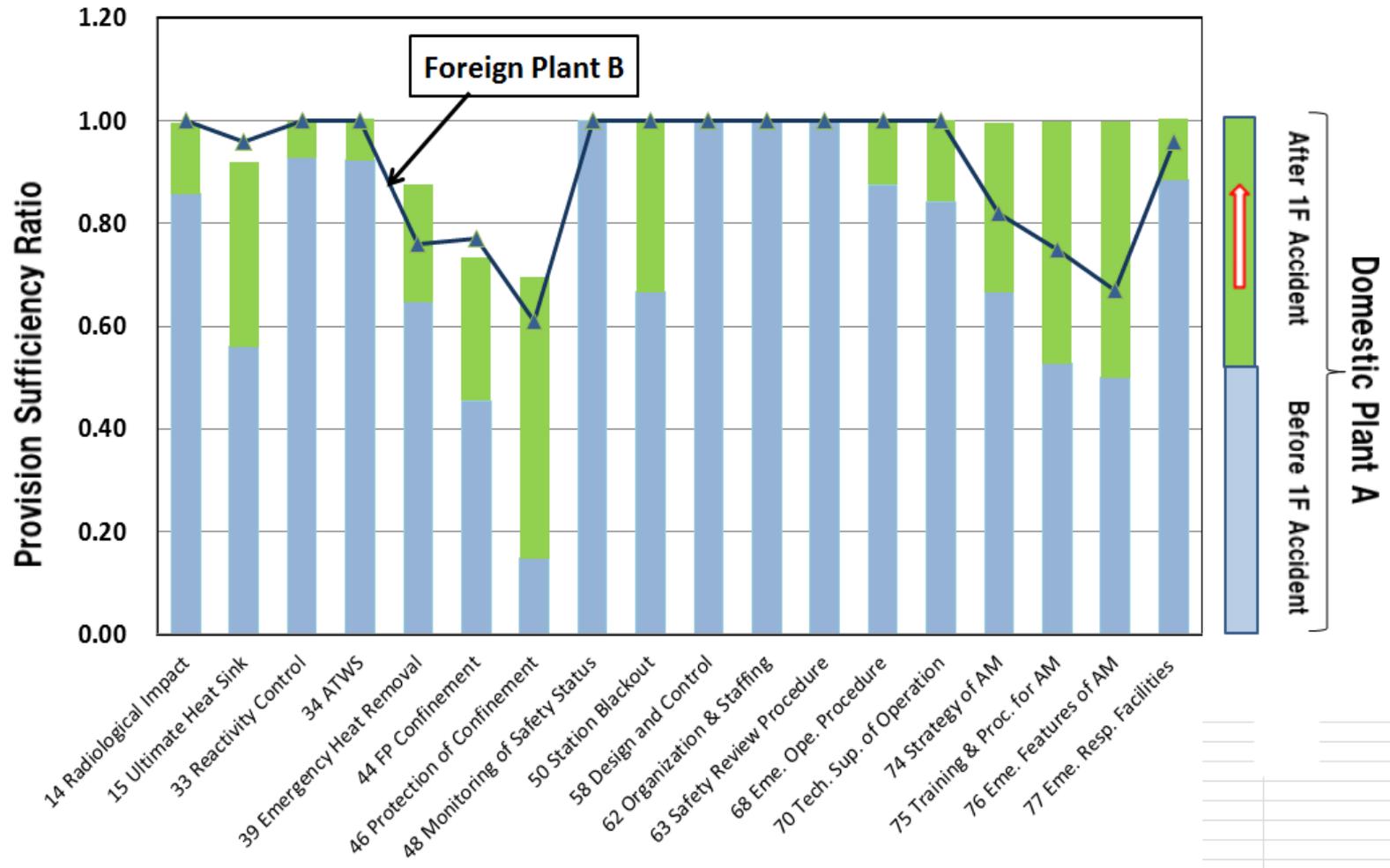
1976着工 1984運開  
1980着工 1985運開  
1991着工 1996運開

# (1) 車と原子力の安全性



- ・車社会の安全は、車の安全設計、運転者の運転技能とマナー、インフラ整備(交通規則、道路整備、交通信号)で確保される。
- ・原子力の安全も同様である。即ち、原子力の安全性向上は、メーカーの安全設計、事業者の安全運転、そして安全規制が相互に役割を分担し推進することが重要である。

# IAEA SRS-46を用いたSA対策の充足率評価





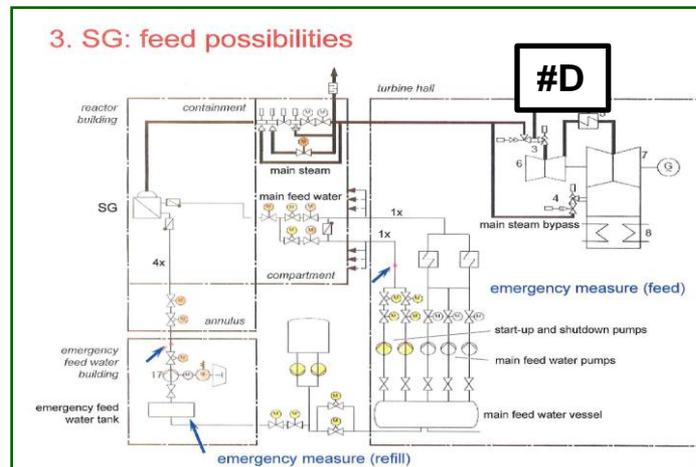
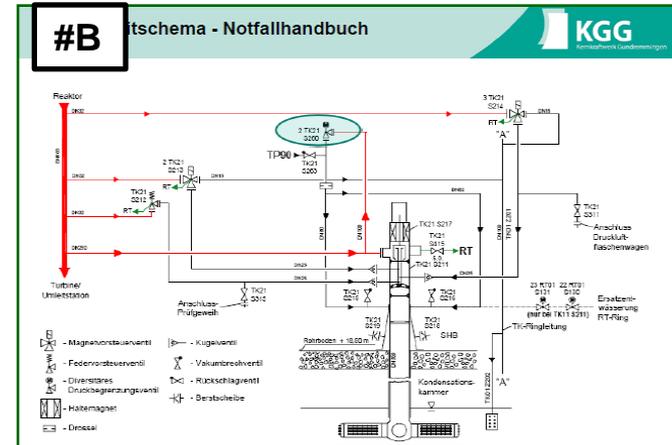
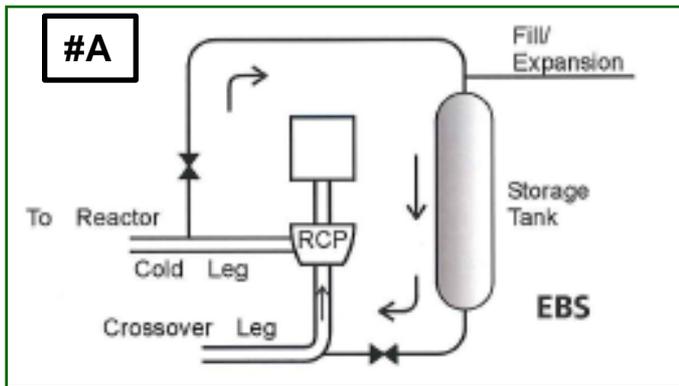
## 想定外とブラック・スワン

- ・ブラック・スワン(黒い白鳥)とは、めったにありえない事象、予想できないことです。
- ・そして一旦発生すると大変大きな影響を与え、何故今まで想定しなかったのだろうと思うようなものです。

### 想定外事象の例（七面鳥と人間）

- ・ある村に七面鳥がいました。毎日、飼い主は七面鳥にエサをあげていました。
  - ・周りの鳥は「人間は信用できない。人間は危ないから親しくしないように。」と言いました。
  - ・しかし、七面鳥は「安心してください。人間はとても親切で怖いことなんかないよ。人間と七面鳥とは友達なんだよ。」と周りの鳥の忠告を無視していました。
  - ・やがて感謝祭がやってきました。そして、七面鳥にとって想定外のことが起こりました。
- 
- ・私たちは、確実に発生する事柄でも、その時まで油断をするものです。
  - ・ブラック・スワンとは、私たちの油断に対する警鐘です。
  - ・今、振り返ると1F事故はまさにブラック・スワンでした。  
二度と発生させないためには、どうしたら良いのでしょうか？

# 多様化： 欧州プラントでは共通原因故障を排除し、 安全性を向上する手段として多様化設備を採用。



- #A:緊急ボロン注入系
- #B:多様化SRV
- #C:最終熱除去系(空冷)
- #D:多様化補給水系