

標準委員会セッション2  
(原子力安全検討会・分科会)

原子力安全確保のための深層防護の具体的適用の考え方

# 深層防護実装における課題と解決の 方向性(設計)

日立GEニュークリア・エナジー(株)  
今野 隆博

# 1. 深層防護の実装例

## 深層防護とは目標を達成するための性能要求を決めること

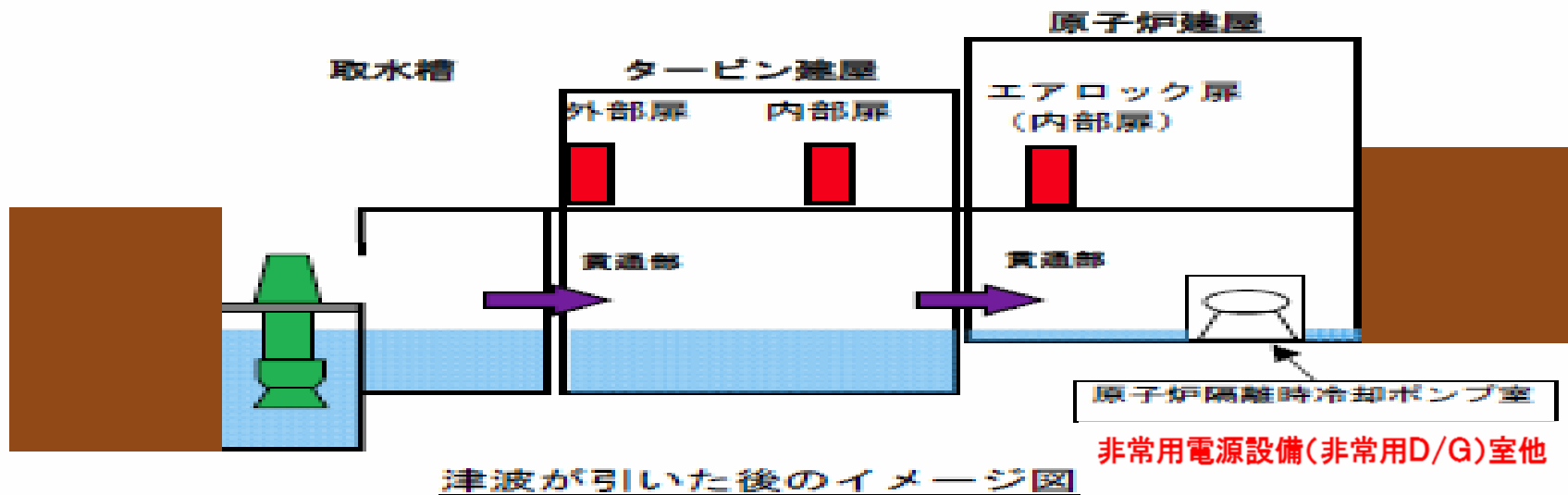
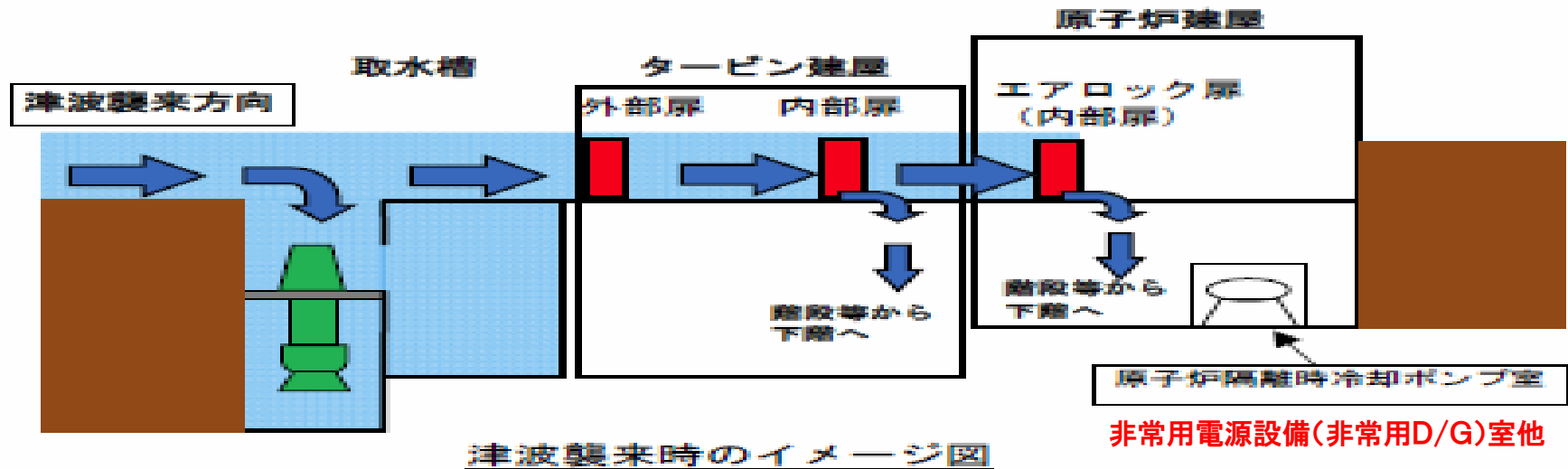
性能要求

	事故の発生防止	炉心に閉じ込め	原子炉容器に閉じ込め	格納容器内に閉じ込め	サイト内に閉じ込め
防止	異常発生を防止	DBAを防止	重大事故を防止	格納機能喪失を防止	公衆の健康影響を防止
緩和	異常の段階で検知・収束	工学的安全施設で収束	格納容器に閉じ込めて収束	放射性物質放出を管理	敷地外緊急対応
対処法	原子炉計装 原子炉保護	設計基準事象発生頻度と影響度	レベル1 PRA 炉心損傷シナリオ	レベル2 PRA ソースターム CV破損シナリオ	レベル3 PRA 放射性物質放出シナリオ
性能目標	設備の信頼度目標	脅威の発生頻度目標	炉心損傷頻度目標 $10^{-4}$ /炉年	格納機能喪失頻度目標 $10^{-5}$ /炉年	非管理放出目標 $\text{Cs}^{137}$ 100TBq $10^{-6}$ /年

## 2. はじめに

- 福島第一原子力発電所の事故を拡大させた最大の要因は、地震発生後の津波の襲来により、すべての電源が枯渇した、いわゆる全電源喪失の状態になったことが大きいと考える。
- そこで、今回は、深層防護実装における課題と解決の方向性(設計)を論じるうえで、全電源喪失に焦点をあてて纏めてみた。
- 全電源喪失発生防止と発生後の早期の収束対応および環境保護の観点から、深層防護の各層において、その対処法について、主に設計(ハード対応)を中心とした対策を論じることとする。

# 3. 津波襲来時の建屋進入イメージ



なお、扉の補強・水密化および貫通部の止水対策により建屋への浸水量は減少する。

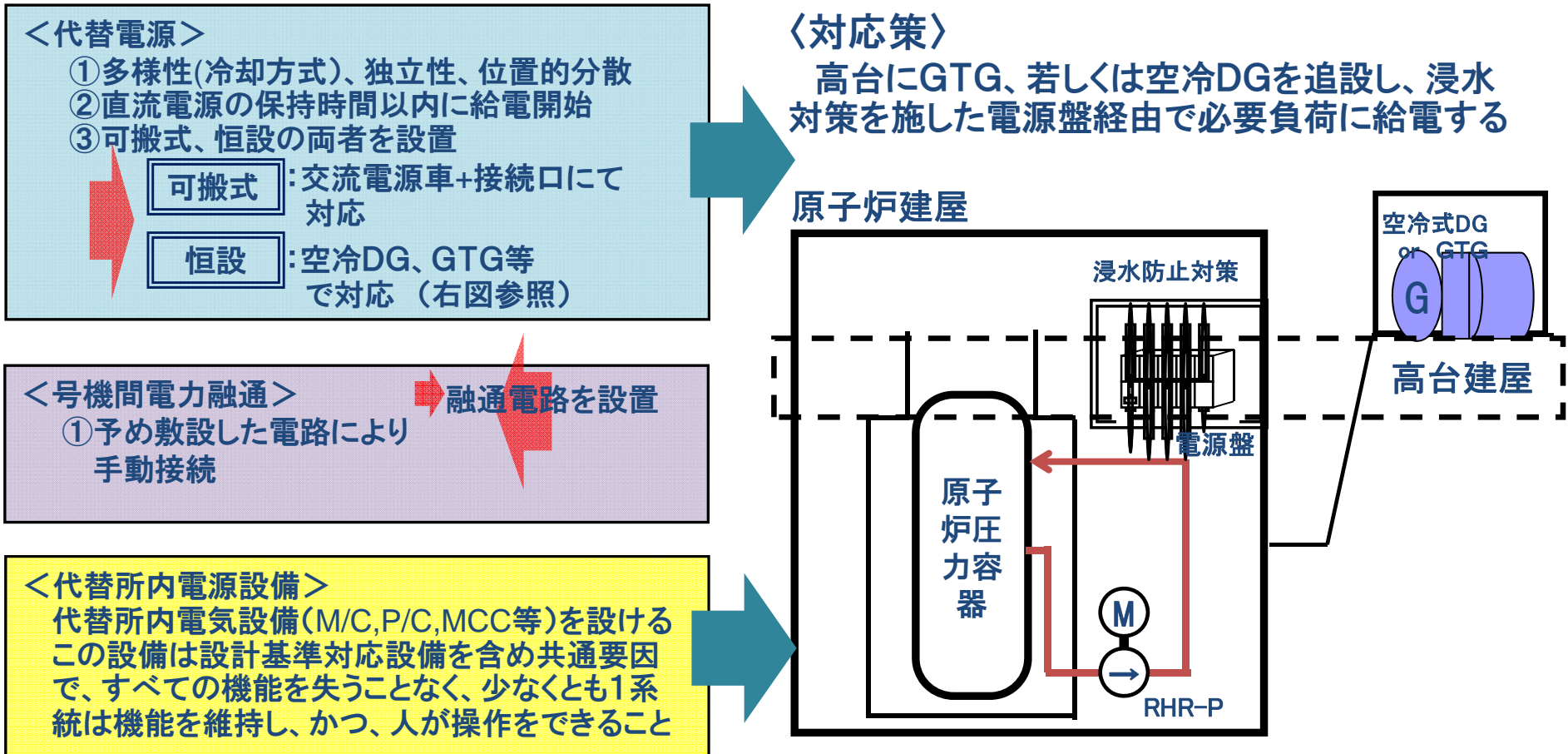
## 4. 深層防護各層の対処方法について

- 深層防護(第1層)の対処法
  - ・防潮堤の設置
  - ・海水系ポンプの長尺化
  - ・海水系ポンプ室のドライサイト化またはポンプ室からの漏洩防止
- 深層防護(第2層)の対処法
  - ・建屋内への浸水防止(水密扉の設置)
  - ・建屋内各エリアの早期漏洩検知(漏洩検出器の設置)
- 深層防護(第3層)の対処法
  - ・代替の電源設備の設置((恒設または可搬設備)
  - ・直流電源強化・計測制御用電源強化
- 深層防護(第4層)の対処法
  - ・炉心注水と格納容器の除熱・冷却・過圧破損防止対策他  
(フィルターベントシステムの設置)

# 5. 非常用所内電源(代替電源)の確保

## ＜新規制要求事項＞…第五十七条 電気設備

電源喪失を伴う設計基準越え事故が発生した場合、炉心の著しい損傷を防止し、格納容器の破損を防止し、及び使用済核燃料貯蔵プールの燃料の損傷を防止し、原子炉停止中に燃料の損傷を防止するために必要となる電力を確保する設備を設けなければならない。



# 6. 直流電源強化対策

## SBO発生防止

- 外部電源強化
- 非常用所内電源系強化



## 直流電源の責務

- 長期SBO発生時の炉状態維持**
- 交流電源が復旧するまでの減圧、注水、原子炉状態監視機能の維持



## 交流電源早期復旧

- 代替電源多様化
- 給電方法の多様化 (電源車給電口の複数化等)



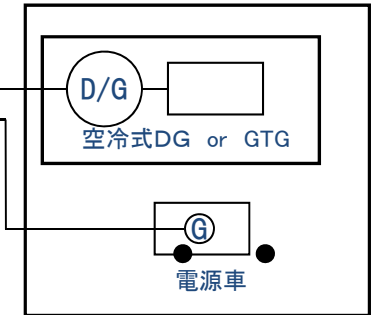
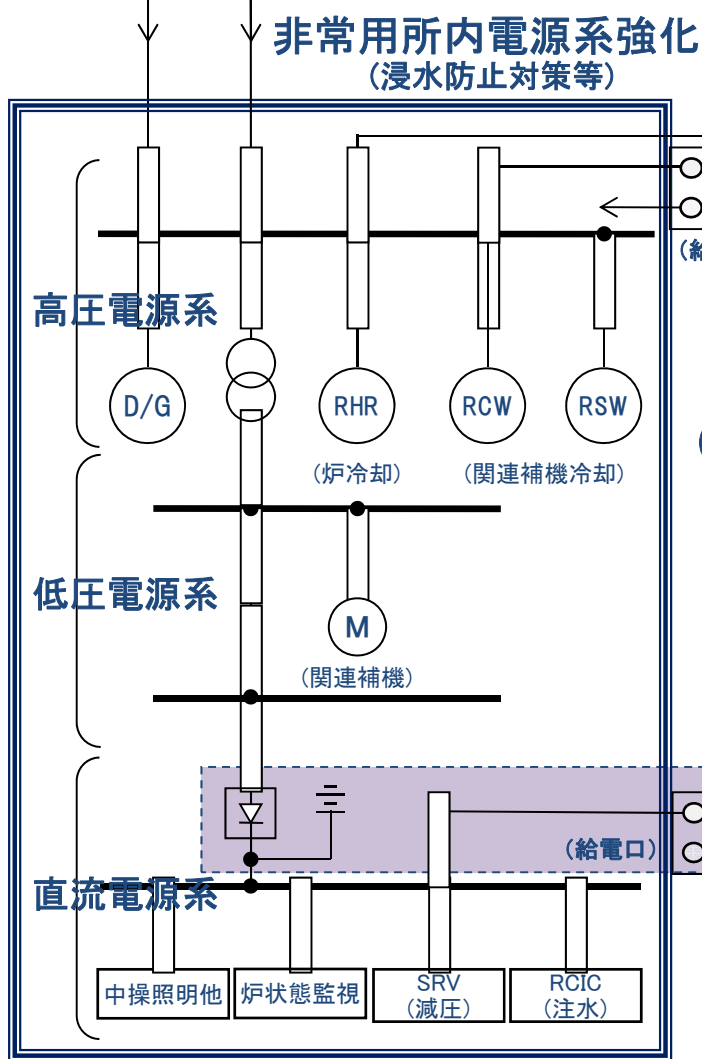
## 事故収束

- 原子炉冷却及び関連補機冷却機能復旧

## <外部電源強化>

3回線以上の外部電源に接続

(代替電源多様化)



## (直流電源強化)

下記を目的とした直流電源設備の強化実施

<蓄電池容量>

- 1) 減圧/注水/炉状態監視機能維持時間の延長 (指針要求: 24時間給電)

- 2) 運転員の負担軽減 (指針要求: 8時間運転員操作不要)

<可搬型直流電源設備>

- 1) 交流発電機+直流給電車 の設置
- 2) 給電口の設置



# 7. 計測制御用電源の強化

＜要求事項＞ …… (7)電気系統:審査が10

「重要度の特に高い構築物、系統及び機器」に該当する直流負荷又は計測制御負荷は、多重性及び独立性を有する非常用直流電源母線又は非常用計測制御電源母線に接続されていること、及びこれらの母線は、非常用所内交流電源設備及び非常用所内直流電源設備のいずれからも受電できる系統構成の設計であること。

計測  
制御  
負荷

負荷	設計対応方針
直流負荷	蓄電池及び充電器を介し 非常用交流母線より給電
長期SBO時に必要な負荷	直流電源より給電(同上)
非常用DG起動まで 瞬停が許容できない負荷	無停電電源より給電 (無停電電源装置は、交流/直流両者より受電)

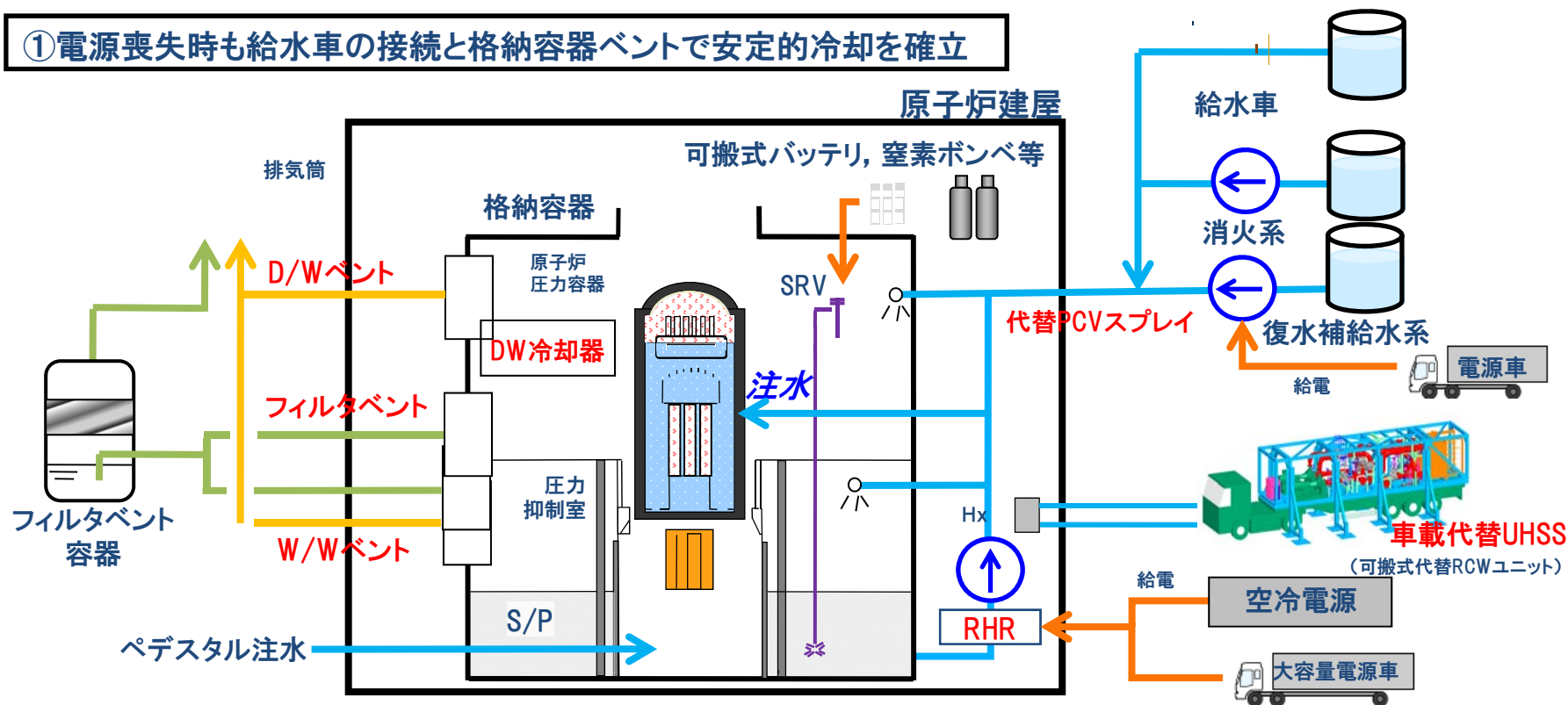


## 8. 著しい炉心損傷及び格納容器破損防止の対策

### ●炉心注水と格納容器の除熱・冷却・過圧破損防止手段

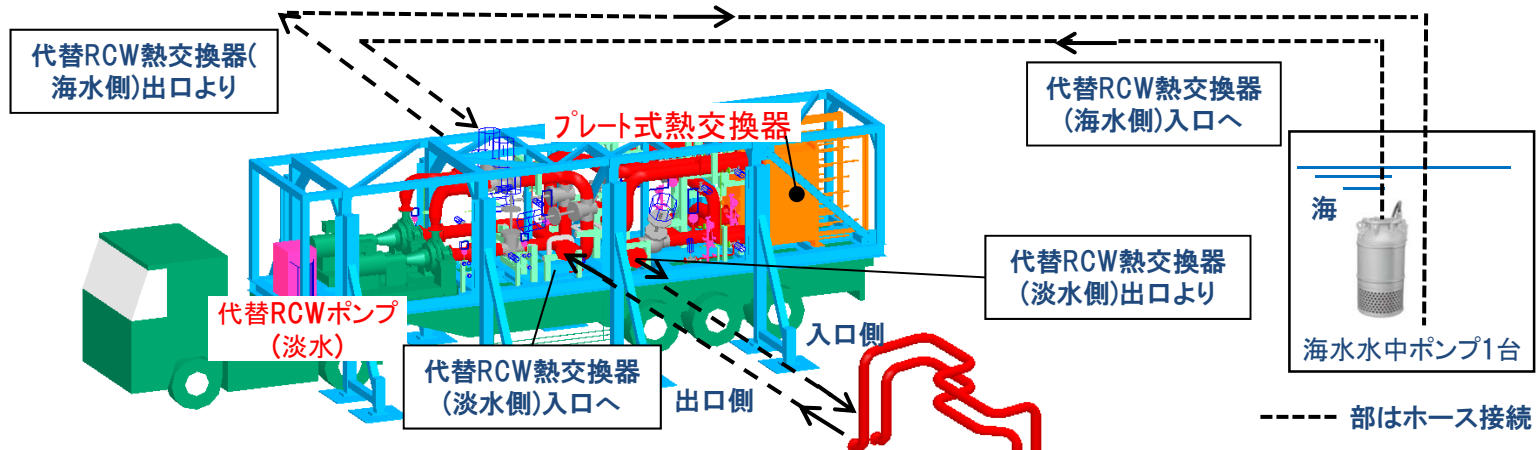
■多種・多様な設備により、損傷炉心を冷却し、格納容器内を冷却しつつ、崩壊熱を除去する

①電源喪失時も給水車の接続と格納容器ベントで安定的冷却を確立



②最終的には、電源および補機冷却系を確立し、冷温停止

# 補足1 可搬式代替熱交換器設備(車載代替UHSS)

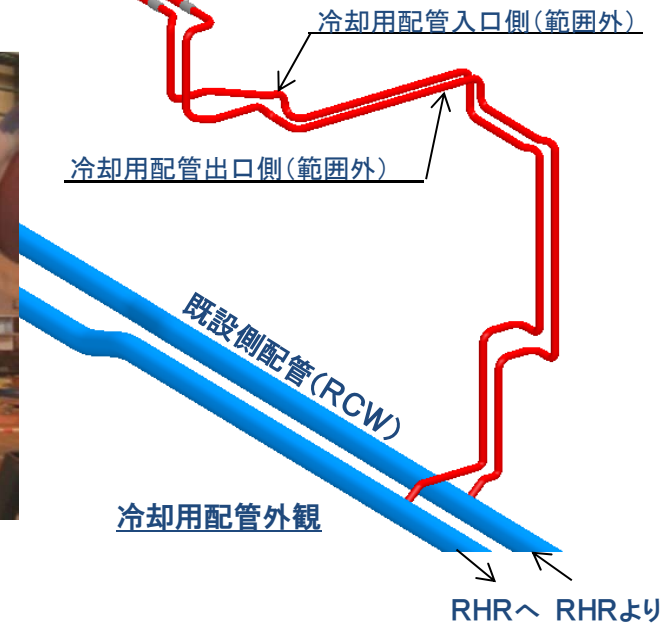


可搬式代替熱交換器設備 外観(例)

プレート式熱交換機

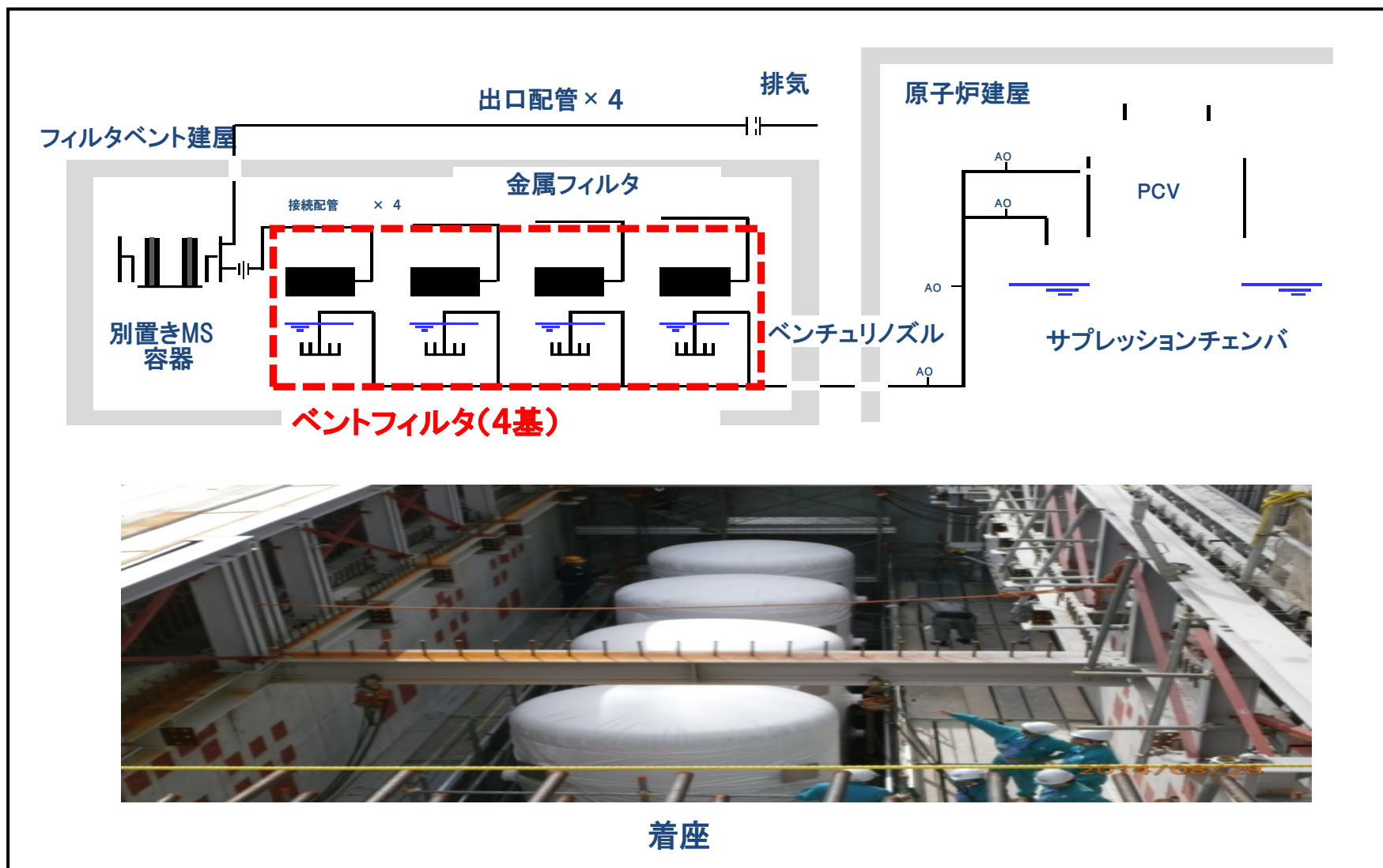


可搬式代替熱交換器設備 外観写真(例)

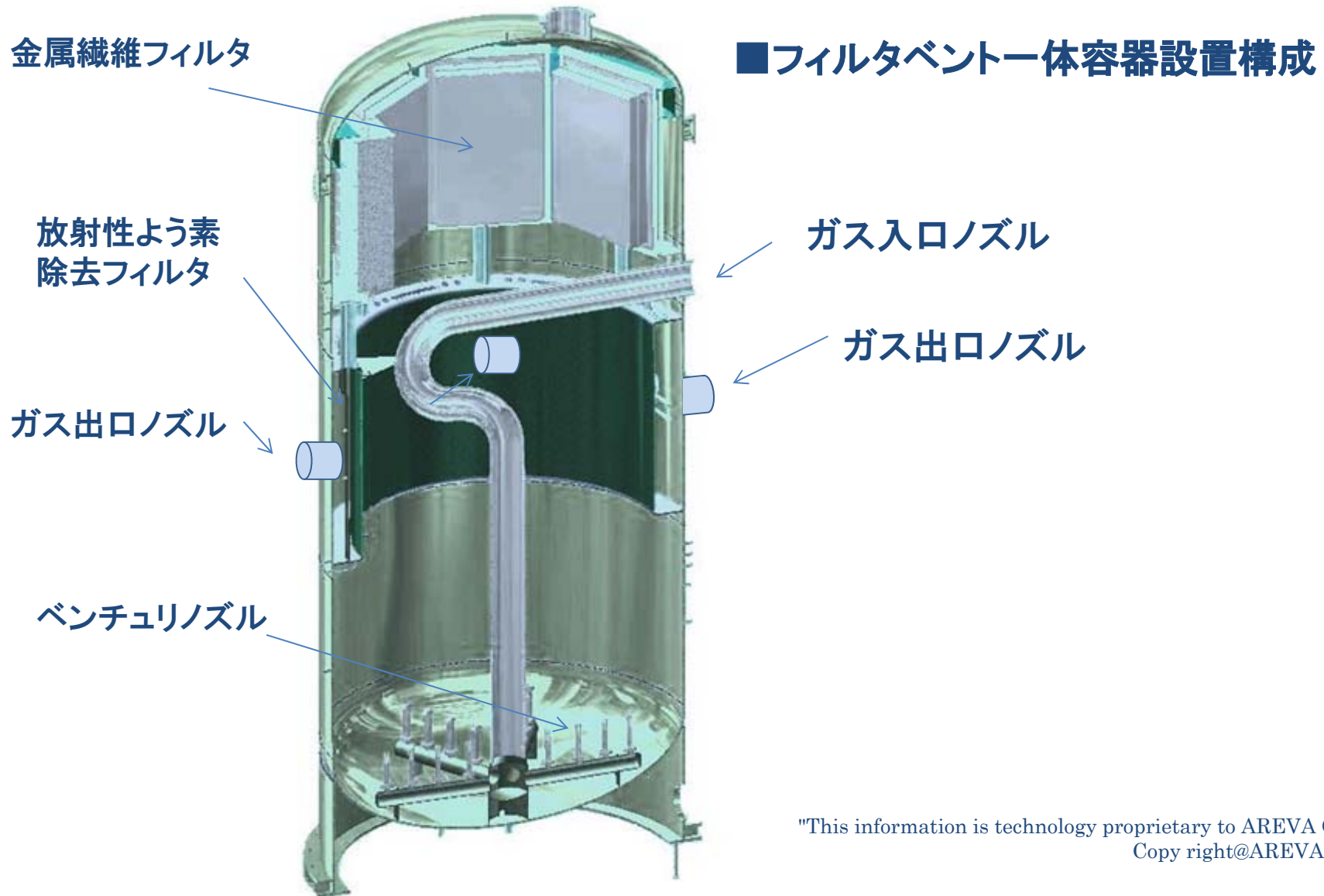


# 9.1 放射性物質の大規模放出・拡散防止対策例

## ■フィルタベント設置による放射性物質の大規模放出・拡散防止対策例



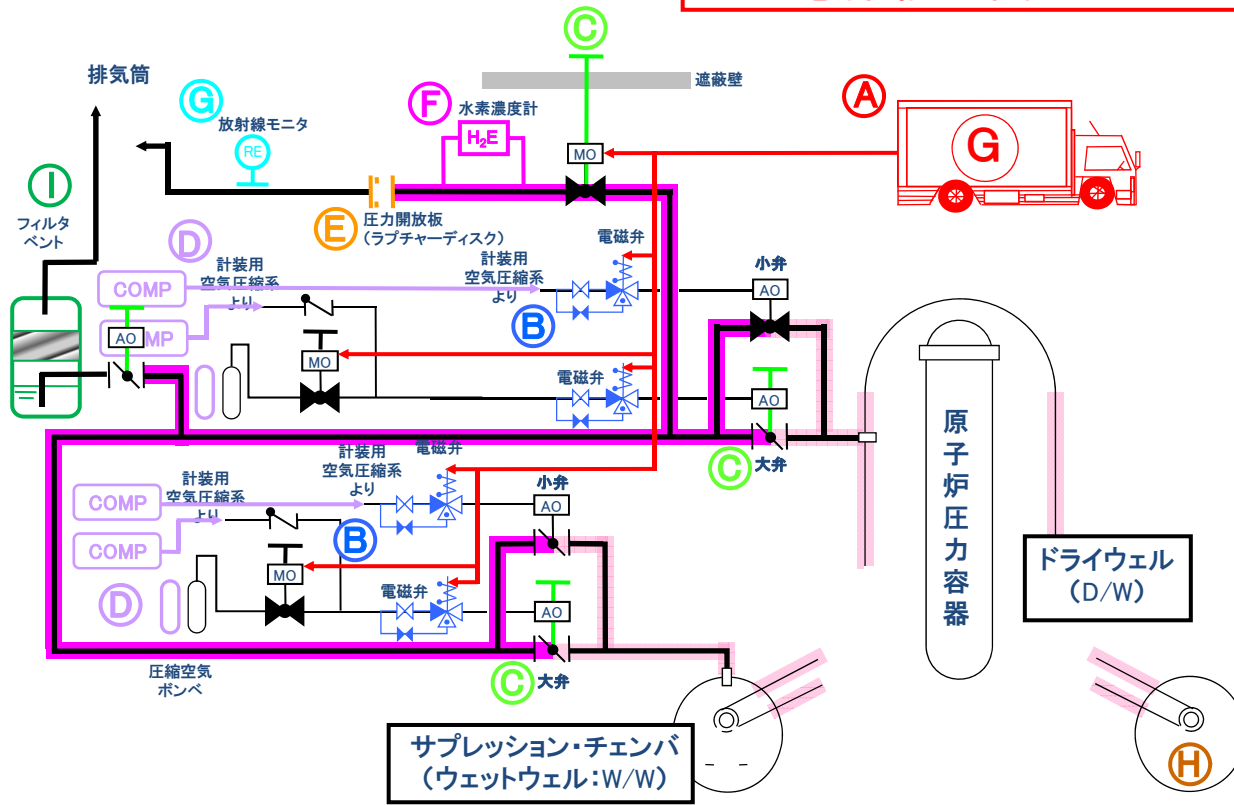
## 9.2 放射性物質の大規模放出・拡散防止対策例



# 10. 交流電源喪失後の格納容器ベントシステム信頼性向上対策例

福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、格納容器ベントシステムの更なる信頼性向上対策例を以下に示す。

□ : 確実にベントを行うための対策  
 □ : その他の対策



**(A) 電源の強化**  
 ・電源車, GTGを高台に配備し, SA時でも電源供給が可能。

**(B) ポンペによる操作が可能な設計**  
 ・電磁弁が励磁不能であっても遮蔽壁の外側からの手動操作により, ポンペによる空気供給が可能。

**(C) 人力による開操作**  
 ・AO弁: 手動ハンドル等による手動「開」及び「開保持」が可能。  
 ・MO弁: 遠隔より手動操作が可能。

**(D) AO弁供給空気の強化**  
 ・予備ポンペの配備。  
 ・可搬型コンプレッサーの配備

**(E) 圧力開放板作動圧力の低圧化**  
 ・作動圧力を低圧化することにより, 確実に動作させる。

**(F) 水素爆発防止対策**  
 ・排出経路に対してもN<sub>2</sub>封入及び水素濃度監視を可能とする。

**(G) 放射性物質濃度の監視**  
 ・放射線モニタにより放出される放射性物質濃度を監視。

**(H) S/P水のpH管理**  
 ・プール水の酸性化を抑制することにより, ヨウ素の再揮発を抑える。

**(I) 放射性物質除去**  
 ・フィルタベントにより放射性ヨウ素を除去し, 環境影響を低減する。

■ : 従来のN<sub>2</sub>封入箇所  
 ■ : 新たに追加するN<sub>2</sub>封入箇所

**A~Dの対策は, 駆動源喪失後も格納容器ベントシステムの信頼性を向上させることが可能**



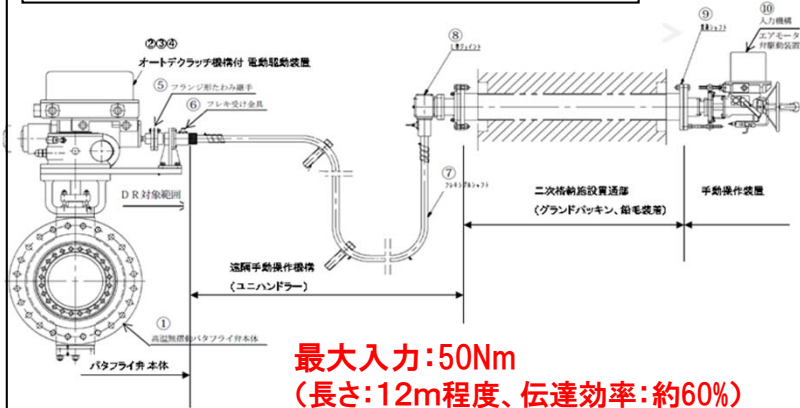
# 補足1. 駆動源喪失時の対応策例(弁の手動操作)

偏芯無摺動バタフライ弁と膨張黒鉛ラミネートシートの組合せを基本とし、最新の知見を反映して改良すると共に、これらを組合せ・検証することで、FV用バタフライ弁適用を検討している。

## 【目標機能】

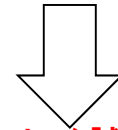
- ・2Pd差圧条件で、以下の方法で確実に動作可能な弁
  - ⇒ **遠隔手動操作機構(ユニハンドラー)**付き電動駆動バタフライ弁
    - 手動操作機構は、重装備状態であっても、比較的容易な操作を可能
- ・既設AC系格納容器隔離弁(ゴムシート)と同等程度の通常時弁座漏洩性能
- ・通常運転時の経年・作動に伴う劣化が少なく、劣化に伴う保守が容易な弁
- ・SA環境下での劣化が少なく、長時間に渡り、作動性能・シール機能が維持可能な弁
  - ⇒ **膨張黒鉛ラミネートシート**の採用

### 遠隔手動操作機構(ユニハンドラー)

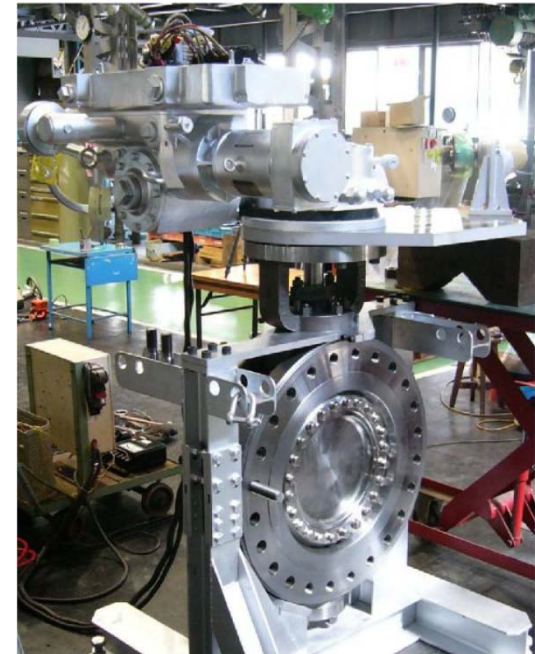


### シール特性(膨張黒鉛ラミネートシート)

- $\gamma$ 線照射減量評価・漏洩評価試験
- $\gamma$ 線照射後、ヨウ素浸漬劣化減量評価・漏洩評価試験
- $\gamma$ 線照射後、海水(人口海水アクアマリン)浸漬劣化減量評価・漏洩評価試験



格納容器Heリーク試験判定値合格  
(判定値:  $10^{-3}$  Pa·m<sup>3</sup>/sec)



開発中のフィルタベント用  
バタフライ弁  
(試験治具設置状態)