

原子力発電部会 「次期軽水炉の技術要件検討」ワーキンググループ

【第3回議題】

APCその他テロ対策(特定重大事故等対処施設)の取り扱いに関する協議

2019.1.28

目次

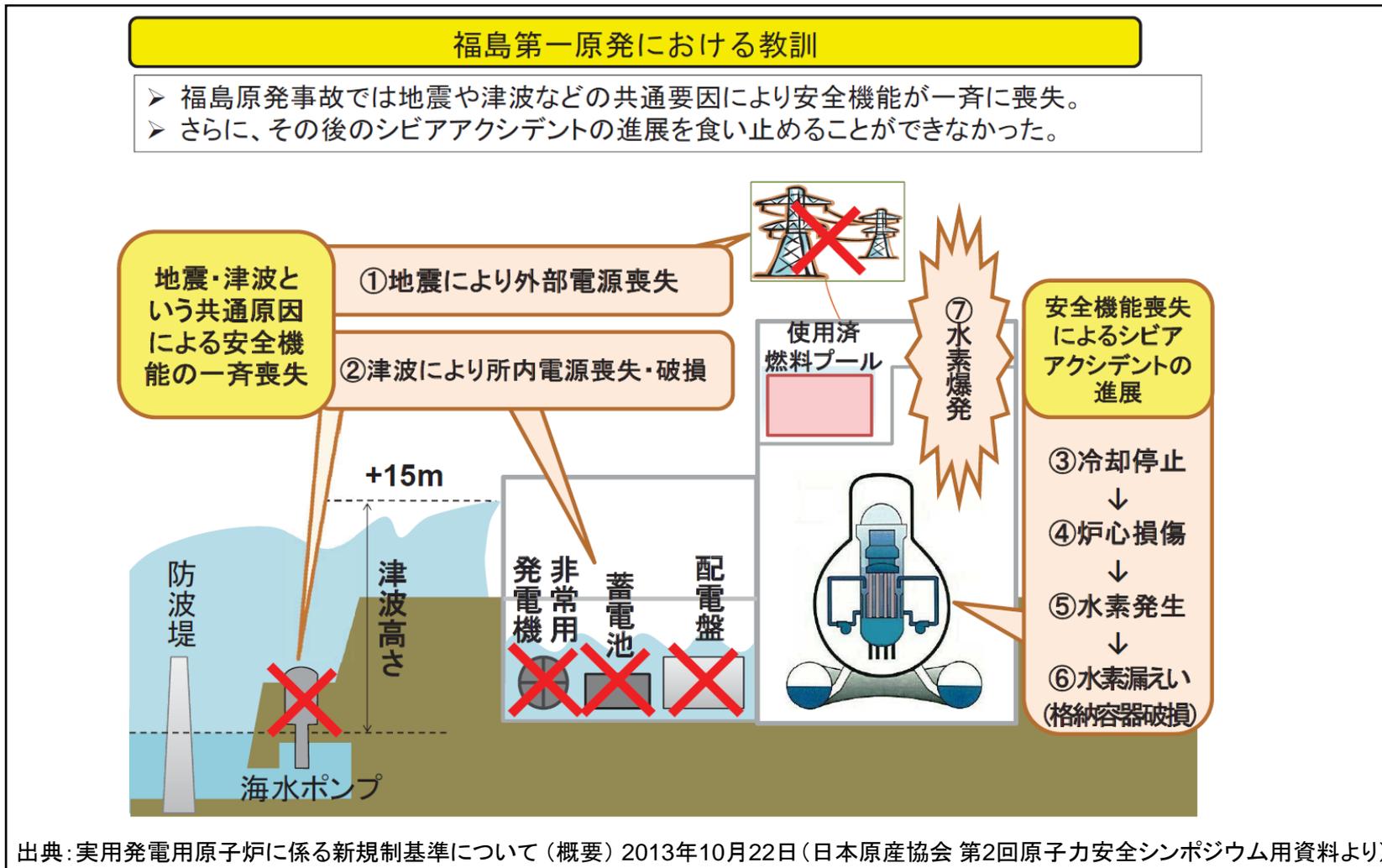
1. 軽水炉に必要なSA/APCその他テロ対策の機能要求
2. 特定重大事故等対処施設に係る論点の整理
3. 新規制基準における特重施設の考え方
4. 既設炉における特重施設の例
5. 新設炉で考えられるAPCその他テロ対策の考え方
6. APCその他テロ対策の最適化
7. まとめ

参考 APCその他テロ対策に係る海外の動向

1. 軽水炉に必要なSA/APCその他テロ対策の機能要求(1/3)

✓ 福島第一原発事故の教訓

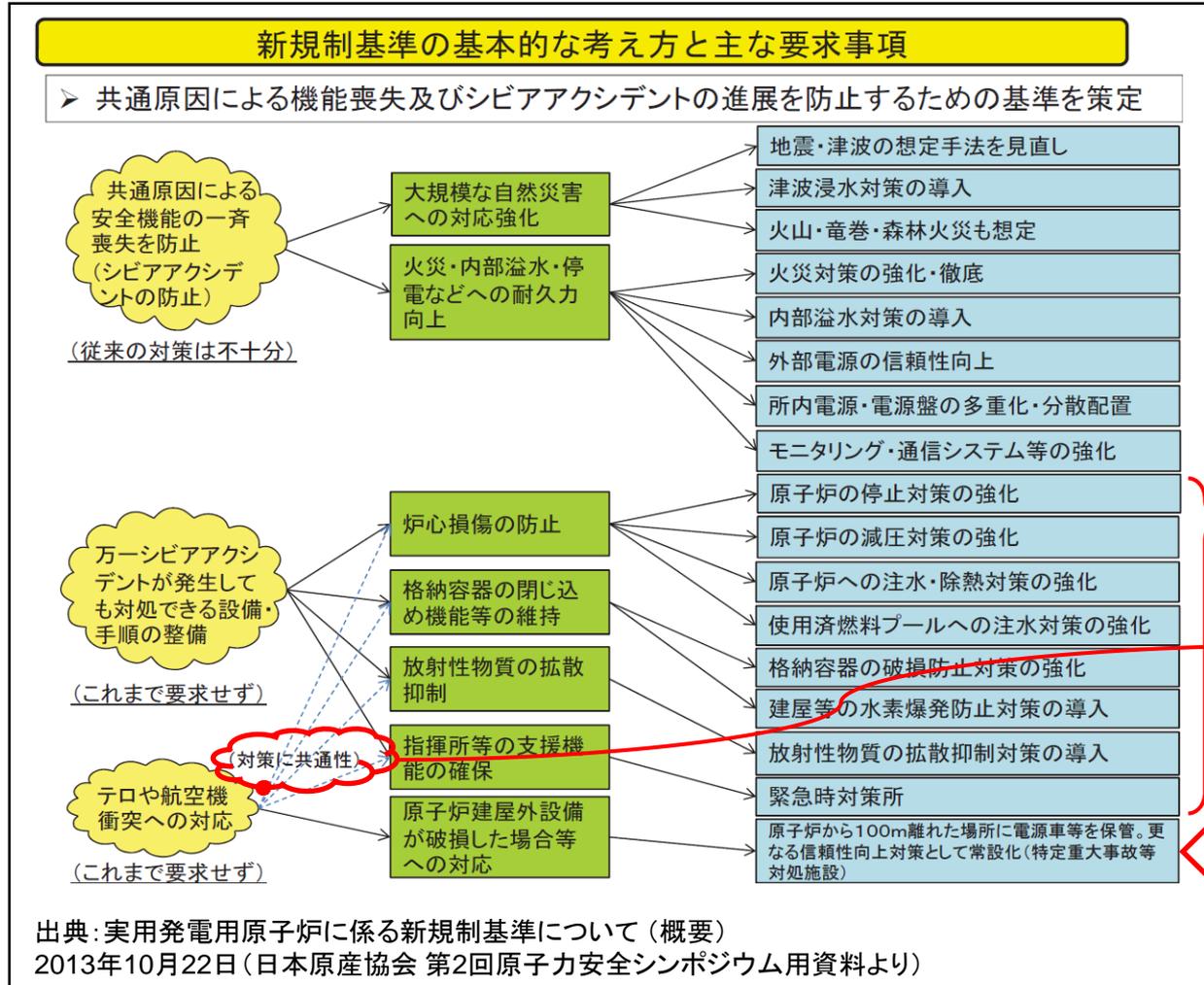
- 共通要因により安全機能が一斉に喪失
- シビアアクシデントの進展を食い止めることができなかった



1. 軽水炉に必要なSA/APCその他テロ対策の機能要求(2/3)

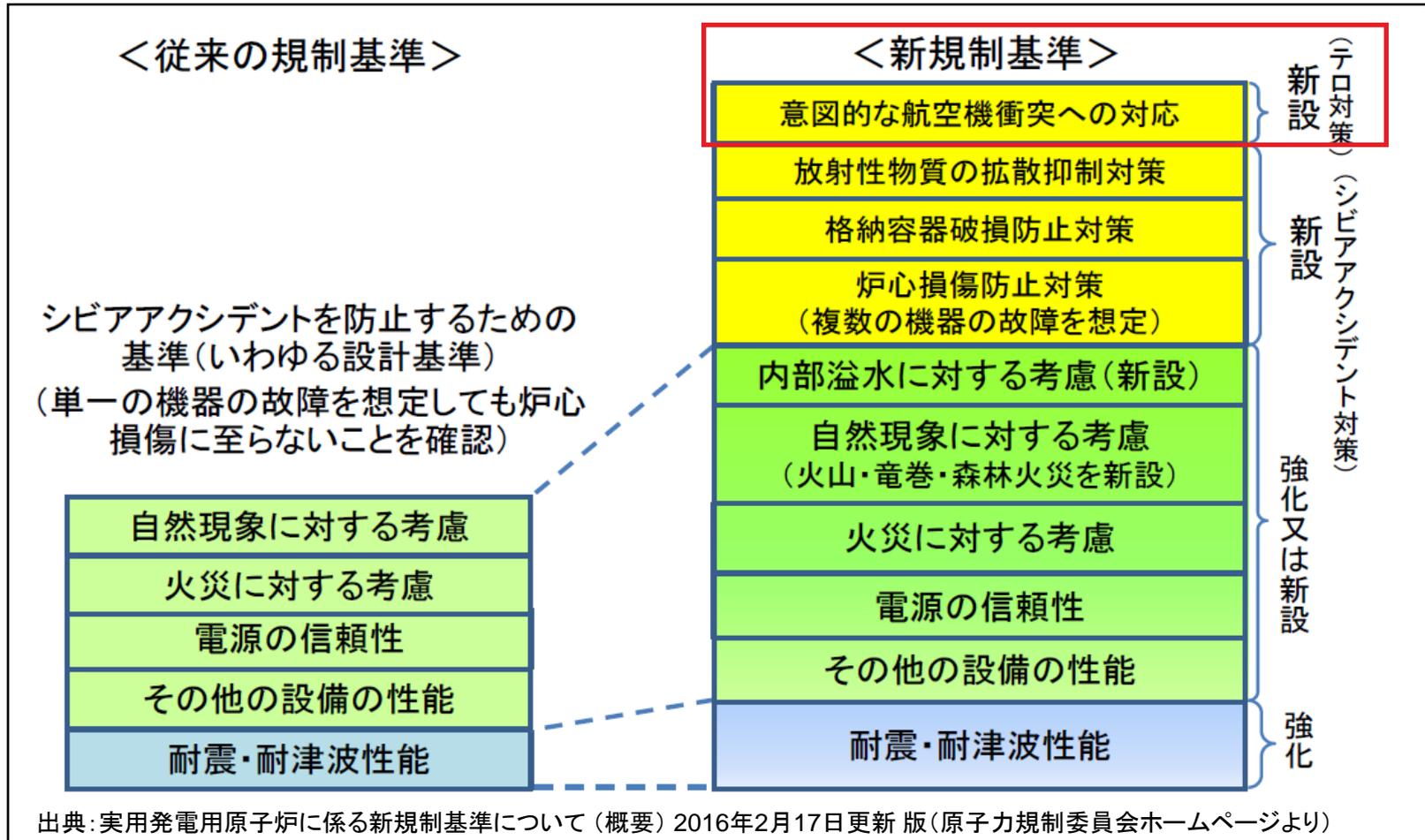
✓ 福島第一原発事故の再発防止に必要な機能要求

- 共通要因による安全機能喪失の防止
- シビアアクシデント(SA)の進展防止
- 航空機衝突(APC)その他テロへの対応



1. 軽水炉に必要なSA/APCその他テロ対策の機能要求(3/3)

- ✓ 福島第一原発事故を再発させないために必要な機能要求は、従来の規制基準に新設／強化される形で新規規制基準に取り込まれたが、**APCその他テロ対策は個別に取り扱われた**



2. 特定重大事故等対処施設に係る論点の整理

- 新規規制基準で強化/新設された機能のうち、SA対策及びAPCその他テロ対策に対し、機能要求と深層防護の実装のあり方として以下の論点を抽出。下表の安全対策に対する特定重大事故等対処施設(特重施設)の取扱いについて議論する
 - ✓ 新設炉では設計段階からAPCその他テロ対策を織り込むことが可能であり、**最適化の余地**(特重施設の独立性、多重化等)がある
 - ✓ 新設炉の取り得る選択肢として、DBA/SA設備についてもAPCその他テロ対策を考慮した設計としつつ、**SA対策とAPCその他テロ対策で共通性がある対策設備については共用化する**対応が考えられる

議論対象	安全対策	既設炉での対応状況	新設炉の取りうる選択肢
⑩ 意図的な航空機衝突(APC)への対応	APCも含むテロ対策	設計基準事故対処設備、重大事故等対処設備とは独立な特重設備を、本館から独立して配置	APCを含むテロ対策を当初段階から織り込み、プラント全体としての深層防護の実装の最適化を図る

3. 新規制基準における特重施設の考え方(1/2)

- 2項で整理した特重施設に係る論点を議論するにあたり、前提となるSA設備(CV破損防止)と特重施設の規制要求※1を下表に示す。
- 特重施設は、可能な限りDBA/SA設備との**多重性又は多様性及び独立性を有し、位置的分散を図ることとされている。**
- 主眼とする想定事象の違いはあるが、特重施設はCV破損防止機能を有し、**SA設備(CV破損防止機能)と重複している。**
- SA設備における主として可搬型設備を用いた人的な対応に加えて、**恒設の特重施設による対応をとることにより、更に有効な対策を講じることができるよう要求されている。** ※2

※1:「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」42条、43条

※2:「実用発電用原子炉に係る新規制基準の考え方について」(平成29年11月8日改訂)

新規制基準におけるSA設備(CV破損防止)と特重施設の要求

項目	SA設備(CV破損防止)	特重施設
想定事象	共通原因による安全機能の一斉喪失	原子炉建屋への故意によるAPCその他テロ
機能	CV破損防止機能	CV破損防止機能
多重性／多様性	DBA設備との多様性有り※3	DBA/SA設備との多重性／多様性有り
独立性	規制要求上なし(多様性の観点で必要)	DBA/SA設備との独立性有り
位置的分散	離隔距離又は頑健性(可搬型の保管)	頑健な建屋又はDBA/SA設備との必要な離隔距離
耐震性	設計基準に対して機能確保	設計基準を一定程度超える地震に対して機能確保
耐津波性	設計基準に対して機能確保	設計基準を一定程度超える津波に対して機能確保
容量	事故等の収束に十分な余裕のある容量	外部支援が得られるまでの期間使用できる容量

※3:可搬型に対しては十分な容量を確保する手段として、複数セットを準備する要求あり

3. 新規制基準における特重施設の考え方(2/2)

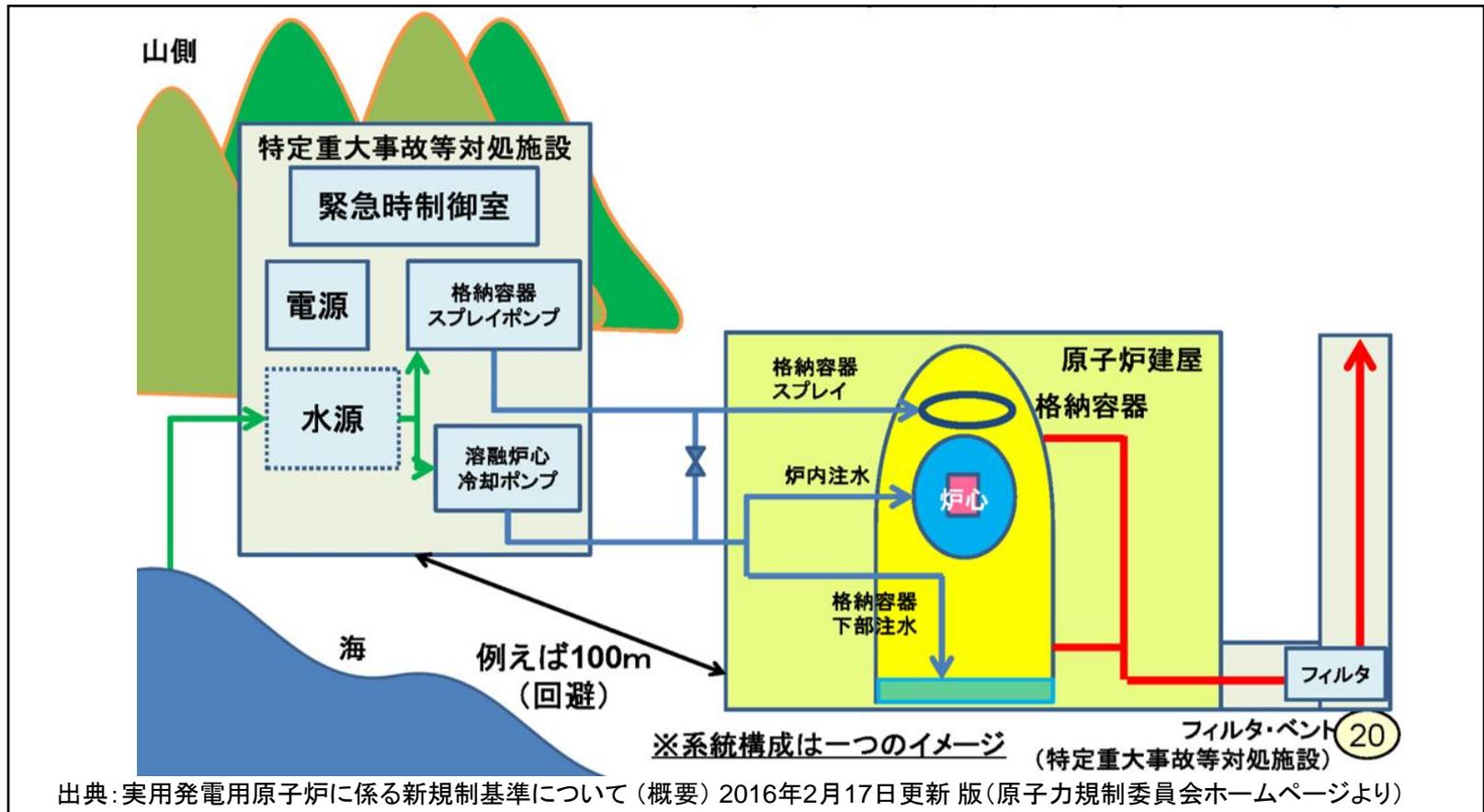
- 特重施設に求められるCVの破損を防止する為に必要な設備の機能要求と設備対応例※を下表に示す。

No.	機能要求	設備対応例※
1	RCSバウンダリ減圧機能	原子炉減圧操作設備
2	炉内の溶融炉心冷却機能	原子炉内への低圧注入設備
3	CV下部に落下した溶融炉心の冷却機能	原子炉格納容器下部への注水設備
4	CV内の冷却・減圧・放射性物質減衰機能	格納容器スプレイへの注水設備
5	CV過圧破損防止機能	格納容器圧力逃がし装置
6	水素爆発によるCV破損防止機能	水素濃度制御設備
7	サポート機能	電源設備、計装設備、通信連絡設備
8	CV破損防止設備の制御	緊急時制御室

※「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」42条

4. 既設炉における特重施設の例

- 特重施設は、例えば100mの位置的分散を図った位置又は頑健性を持たせることで、APCその他テロにおいて、DBA/SA設備との同時機能喪失の防止を図っている。
- 特重施設は、CVの破損を防止するために必要な機能を有する設備により構成する。
- 特重施設内の設備は、可能な限りDBA/SA設備とは別の設備を設置することで、多重性又は多様性及び独立性を有し、位置的分散を図っている。



既設炉の特重施設の例

5. 新設炉で考えられるAPCその他テロ対策の考え方(1/2)

- 新設炉では設計段階からAPCその他テロ対策を織り込むことで、新規制基準で要求される項目について、より安全で、より合理的な対応を図ることが可能と考えられる。
- 下表に、新規制基準における要求整理を踏まえて抽出した、新設炉の設計における論点を示す。

項目	新規制基準における要求		新設炉の設計における論点
	SA設備 (CV破損防止)	特重施設	
想定事象	共通原因による安全機能の一斉喪失	原子炉建屋への故意によるAPCその他テロ	—
機能	CV破損防止機能	CV破損防止機能	重複した機能要求となっており、合理化の余地がある
多重性／多様性	DBA設備との多様性有り※1	DBA/SA設備との多重性／多様性有り	信頼性向上(多重性／多様性)のあり方の整理が必要
独立性	規制要求上なし(多様性の観点で必要)	DBA/SA設備との独立性有り	独立性のあり方の整理が必要 (新規制基準における独立性の定義※2には位置的分散も含めうると考えられるため、新設炉の設計においては、位置的分散も独立性の1つとして検討する。)
位置的分散	離隔距離又は頑健性(可搬型)	頑健な建屋又はDBA/SA設備との必要な離隔距離	
耐震性	設計基準に対して機能確保	設計基準を一定程度超える地震に対して機能確保※3	耐震性、耐津波性等の新設炉における外部事象への対応方針、及び容量に関しては、SA設備、特重施設のみでなく、DBA設備等にも関連するため、設計思想を第4回WGにて整理する。
耐津波性	設計基準に対して機能確保	設計基準を一定程度超える津波に対して機能確保※3	
容量	事故等の収束に十分な余裕のある容量	外部支援が得られるまでの期間使用できる容量	

今回議論する、新設炉の設計における論点

多重性／多様性

独立性

※1: 可搬型に対しては十分な容量を確保する手段として、複数セットを準備する要求あり

※2: 新規制基準における「独立性」の定義:

2以上の系統又は機器が、想定される環境条件及び運転状態において、物理的方法その他の方法によりそれぞれ分離することにより、共通要因又は従属要因によって、同時にその機能が損なわれないこと

※3: 特重施設には、性質の異なる対策を講じること等により、設計基準を一定程度超える地震、津波に対して機能確保することが要求されている

5. 新設炉で考えられるAPCその他テロ対策の考え方(2/2)

＜新設炉におけるAPCその他テロ対策の基本的な考え方＞

- 新設炉ではAPCその他テロに対し、設計段階から対策を織り込むことが可能である。
- 特重施設に求められる技術要件に対する新設炉での対応方針案を以下に示す。

技術要件	新設炉での対応方針案	既設炉での対応
多重性／多様性	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 同一の機能(CV破損防止機能)を持ち、同一の性質または異なる性質を持つ複数の設備により多重性／多様性を確保することが可能 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ DBA/SA設備と特重施設(=同一の機能を持つ、同一の性質または異なる性質を持つ複数の設備)により多重性／多様性を確保する
独立性	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 同一の機能(CV破損防止機能)を持つ複数の設備に対して物理的分離(独立したシステム構成)等により、設備・機能の独立性を確保可能 ➤ 建屋頑健化による防護(物理障壁)が可能※1であり、また、建屋内の区画分離等により、同一の機能(CV破損防止機能)を持つ複数の設備の同時損傷を防止することが可能 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ DBA/SA設備と特重施設の物理的分離(専用の特重施設の設置)により、設備・機能の独立性を確保 ➤ 離隔距離による防護(位置的分散)を基本※2とし、既設本館建屋に配置されているDBA/SA設備と特重施設の同時損傷を防止する

※1: サイトによって離隔距離による防護もありうる

※2: 頑健性(物理障壁)による防護もありうる



新設炉では、上記の技術要件を満たすことで、共通要因による機能喪失を防止することが可能となり、**同一のCV破損防止機能を持つSA設備と特重施設を統合した設備構成**とすることが考えられ、**最適化の余地**がある。

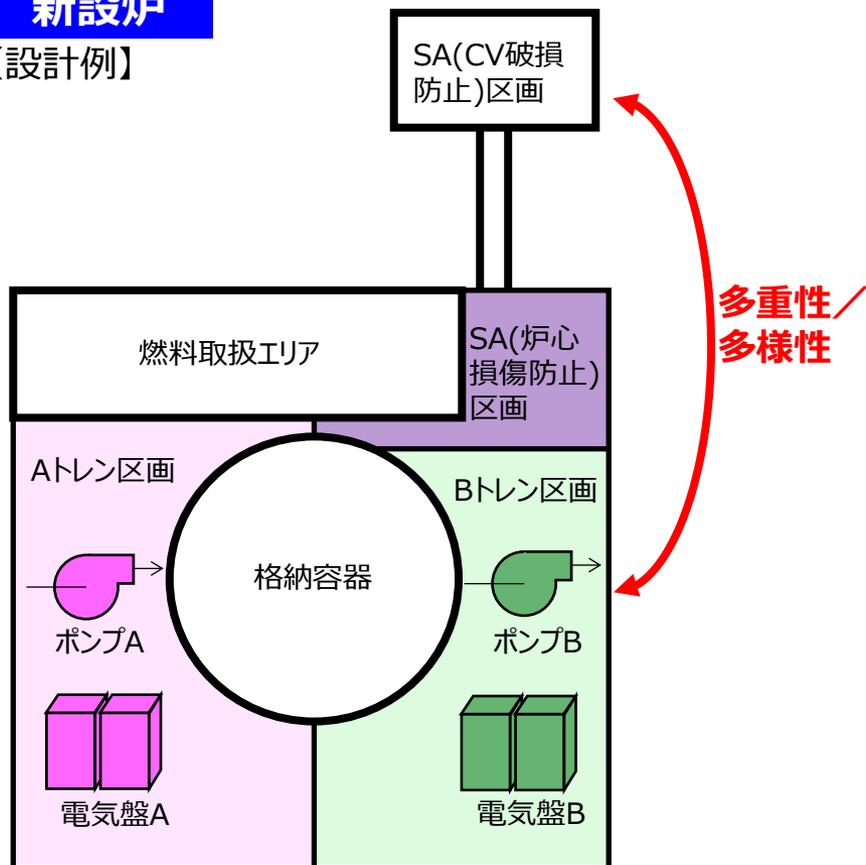
6. APCその他テロ対策の最適化(1/2)

➤ 新設炉でのAPCその他テロ対策における、各技術要件の対応方針を以下に纏める

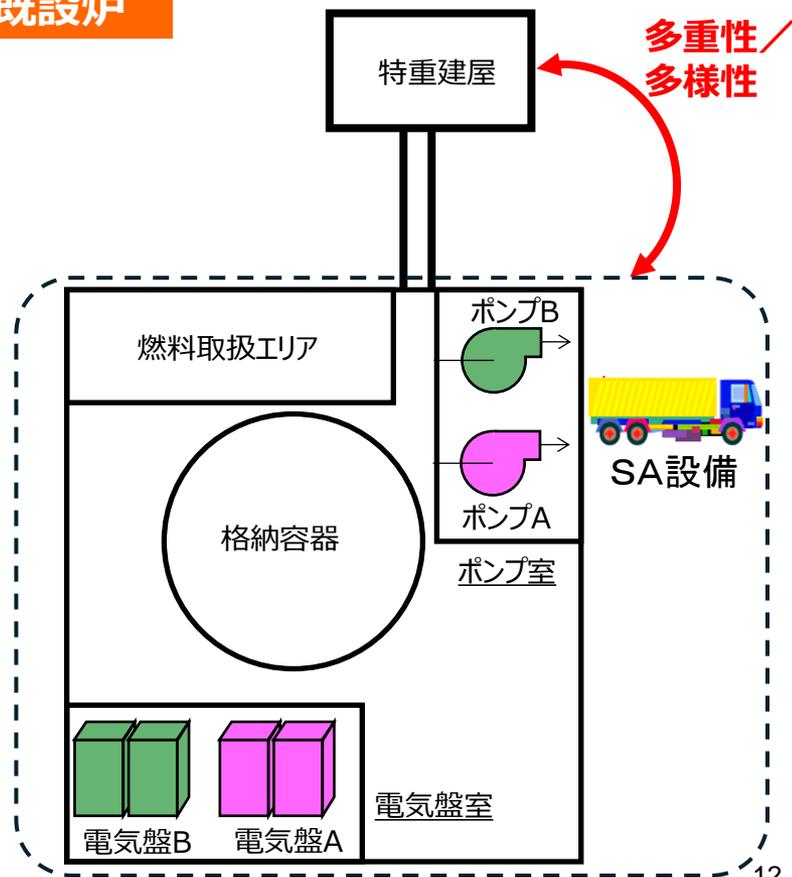
技術要件	新設炉における対応方針
多重性／多様性	➤ DBA設備とAPCその他テロに対する耐性を持つSA設備(CV破損防止)の多重性／多様性を確保可能であり、既設炉と同等

新設炉

【設計例】

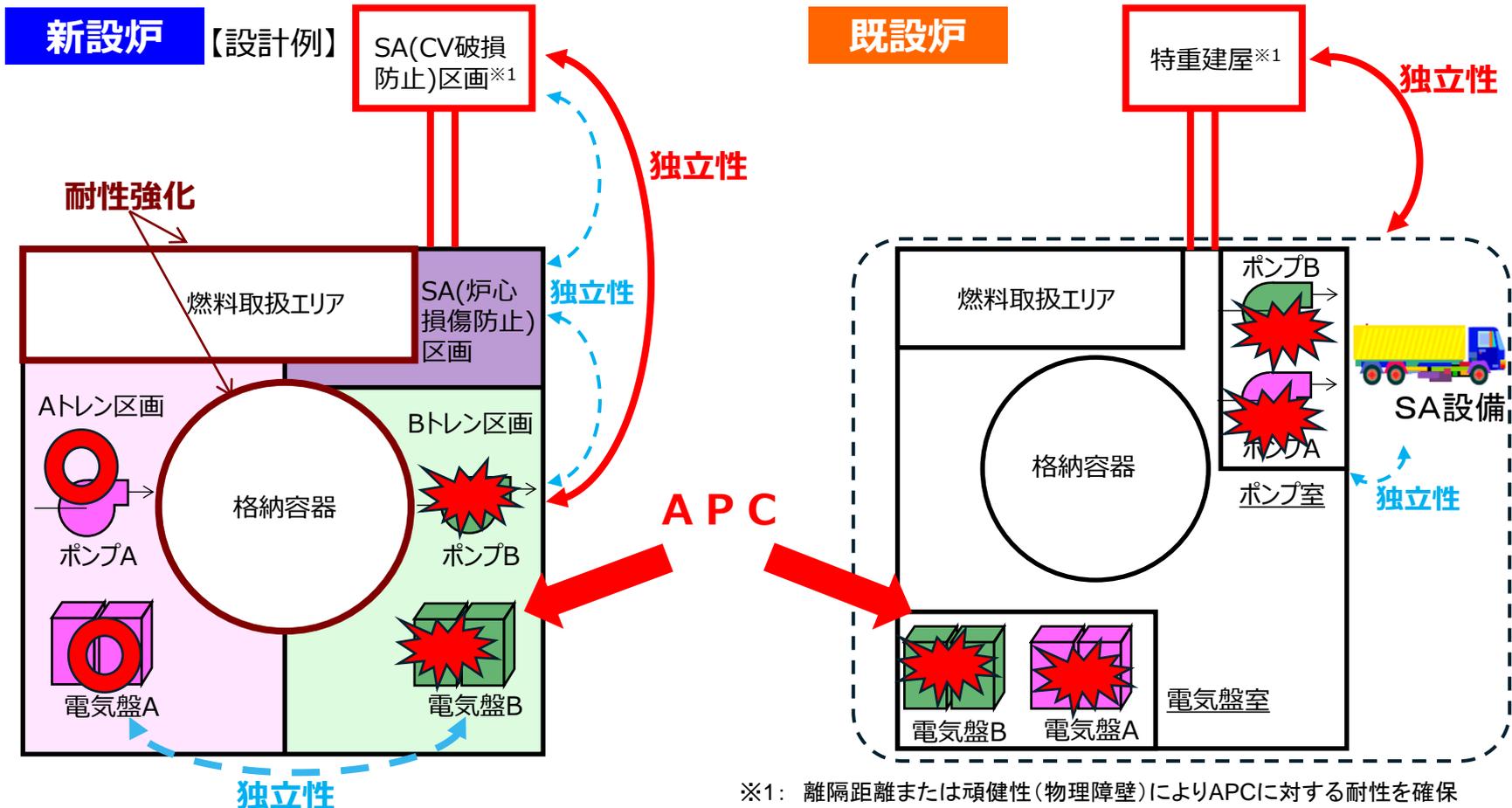


既設炉



6. APCその他テロ対策の最適化(2/2)

技術要件	新設炉における対応方針
独立性	▶ 建屋の頑健化 による防護(物理障壁)が可能であり、CV破損防止機能に対し、 APCその他テロ耐性を確保可能 であり、既設炉と同等



※1: 離隔距離または頑健性(物理障壁)によりAPCに対する耐性を確保

設計段階から物理的分離を図ることによる効果

- ▶ DBA設備のトレン間、DBA設備とSA設備の物理的分離(独立した系統構成に対し、区画分離)を図ることとで、安全性の更なる向上を図る余地がある
- ▶ 格納容器・燃料取扱エリア等のAPCその他テロ耐性を強化することで、物理障壁としては既設より優位

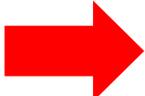
7. まとめ

新設炉におけるAPCその他テロ対策(特重施設)の最適な設備構成のあり方について整理した。

<新設炉での対応方針>

- 新設炉のAPCその他テロ対策(特重施設)は、APCを含むテロ対策を設計段階から織り込むことで、**同一の機能を持つ、SA設備(CV破損防止)と特重施設を統合した設備構成とする。**

- **建屋頑健化、区画分離の徹底による防護が可能であり、CV破損防止機能に対し、安全性を確保しつつ、より合理的にAPCその他テロに対する耐性を確保可能**
- **DBA設備のトレン間、DBA設備とSA設備間の独立性の強化により、同時に全ての炉心損傷防止機能を喪失することが回避できる可能性があり、安全性が向上**

 **より安全でより合理的にAPCその他テロ対策を実現可能**

以上の整理を踏まえ、新設炉でのより安全でより合理的な技術要件として深層防護の実装のあり方を検討していく(第4回に実施予定)

参考 APCその他テロ対策に係る海外の動向(1/4)

➤ APCその他テロ対策に対する海外の規制要求は以下の通り(1/3)

● IAEA

- ✓ NS-G-1.5 “External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants” 4.航空機衝突
 - 安全機能を有する構造物、機器・設備(設計基準事故対処設備)、原子炉以外で放射能放出を生じる可能性のある施設(使用済燃料貯蔵設備、放射性廃棄物建屋)に対して航空機衝突事象に対する設計・評価を要求(Paragraph 4.4)
- ✓ Nuclear Security Series No.4 “Engineering Safety Aspects of the Protection of Nuclear Power Plants against Sabotage”
 - 意図的なAPCなどの想定脅威に対してシナリオ作成と耐性評価のガイドが示されている。
 - 3.6.3「サクセスパスの同定」にて安全停止機能{(a)反応度制御、(b)原子炉冷却系圧力、(c)原子炉冷却水のインベントリ、(d)余熱除去}が少なくとも1系統確保されている事、さもなくば格納容器の健全性が確保されている事が要件として示されている。

● 英国

- ✓ SAP 2014 edition 工学的原則: 外的及び内的ハザード EHA.8「航空機衝突」
 - 安定、安全な状態(未臨界、余熱除去の確保、連続的な放射能放出の抑制)を達成するために必要な構造物、機器・設備に対して、機械的強度や振動などの影響に対する健全性(直接的影響)および航空機の燃料による火災・爆発(間接的影響)を評価、燃料侵入を防止するような建屋設計を要求(Paragraph 251,252)

参考 APCその他テロ対策に係る海外の動向(2/4)

➤ APCその他テロ対策に対する海外の規制要求は以下の通り(2/3)

● フィンランド

- ✓ YVL A.11 Appendix B “Structural resistance and layout in the protection of a nuclear power plant and spent fuel storage against an airplane crash”
 - 航空機衝突に対する原子力発電施設および使用済燃料貯蔵施設の防護のために、建屋構造／配置設計・評価に関する具体的な要求が纏められている

● 米国

- ✓ 暫定補償措置命令(EA-02-026)/10CFR50.54(hh)
 - 認可取得者は、潜在的な航空機脅威が迫っていると通報を受けた場合、対応方法について記載した手順書を作成、維持及び実施しなければならない
 - 認可取得者は、爆発または火災によってプラントの大部分が喪失した状況で、炉心冷却、格納容器及び使用済燃料プール(SFP)冷却の機能を維持し又は復旧することを目的としたガイダンスおよび方策を作成し、実施しなければならない
- ✓ 10CFR50.150 “Aircraft impact assessment”
 - 10CFR50.150(a) にAPCに関してBeyond-design-basisとして現実的な設計評価を実施するよう要求あり。条件設定として米国内の長距離運行する大型商用機(長距離飛行に必要な燃料搭載)について低空飛行で機体をコントロールする経験ある／未経験なパイロットの技量を考慮して衝突速度／角度の条件を設定するよう規定
 - 建屋構造に対する具体的な評価方法についてはNEI 07-13, Revision 8, “Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs,” がエンドースされている。

参考 APCその他テロ対策に係る海外の動向(3/4)

➤ APCその他テロ対策に対する海外の規制要求は以下の通り(3/3)

● 仏国

✓ 仏原子力安全規制機関(ASN)の補完的安全性評価(ECS)に係わるEDFへの指示

- 仏原子力安全規制機関(ASN)は2012年6月28日、原子力安全年報2011の公表に併せ、1F事故後に実施された補完的安全性評価(ECS)の結果を受けてフランス電力(EDF)に対する指示を公表
- EDFに“ハードンドコア”(Hardened Safety Core)の設置を義務付け
 - 複数の施設に影響を及ぼす大規模な事象が発生した場合にも耐えられる頑健性を有した組織と建屋が確保されなければならない。

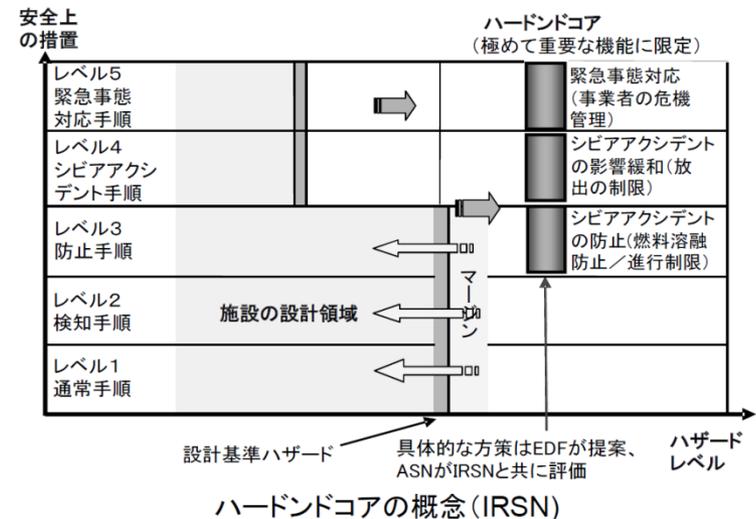
ハードンドコア：原子力施設の頑健性の強化

◆対象事象：

- 例外的規模の自然現象と設計想定又は安全レビューを凌ぐ現象との組み合わせ
- サイトの全施設に影響を与える非常に長期間の電源喪失又はヒートシンクの喪失

◆防護目標：

- 過酷事故の防止又はその進行の制限
- 大規模な放射性物質の放出を抑制
- 事業者の危機管理上の責務実施可能



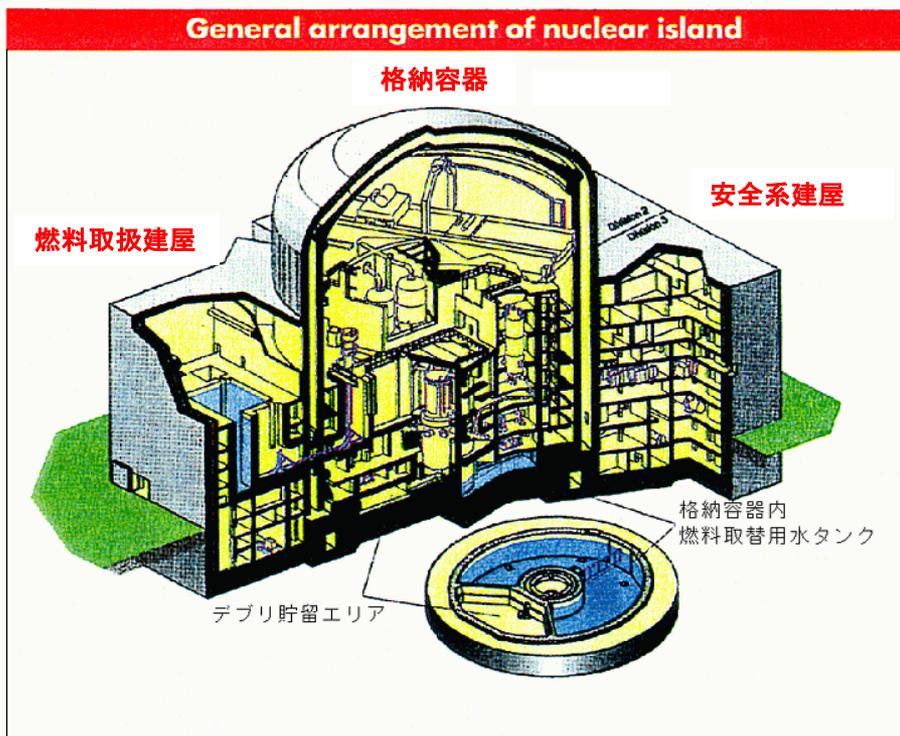
- 海外規制においては、頑健性等を考慮したAPCその他テロ対策の要求はあるが、**SA設備と独立したAPCその他テロ対策専用施設の設置要求は見当たらない**

参考 APCその他テロ対策に係る海外の動向(4/4)

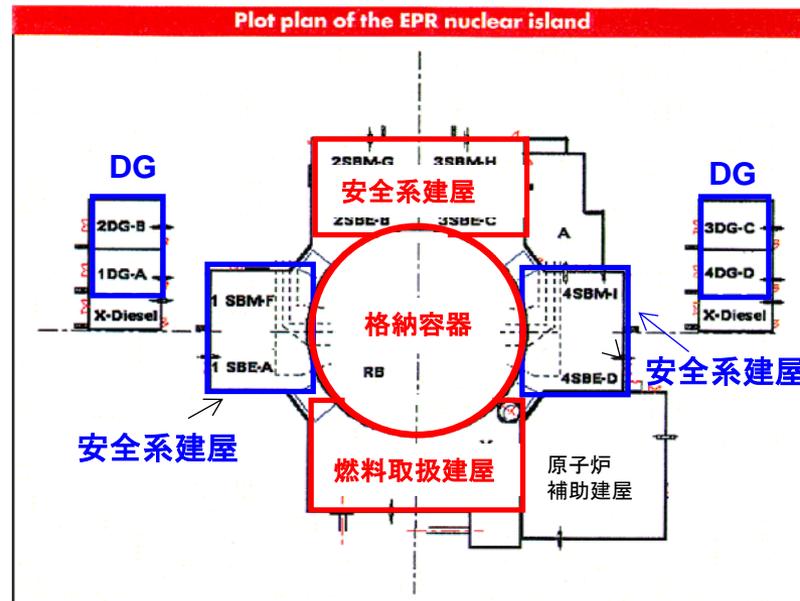
海外プラントにおけるAPCその他テロ対策例

EPRの例

- ・安全系建屋(4トレン構成のうち2トレン)、格納容器(2重格納容器を採用)、燃料取扱建屋は航空機衝突に対し頑健化
- ・DG4基、安全系建屋(4トレン構成のうち2トレン)は位置的分散により同時損傷防止



EPR原子炉系建屋配置



- | | |
|----------------|----------------|
| DG-A, B, C, D | ディーゼル発電機建屋 |
| FB | 燃料建屋 |
| RB | 原子炉建屋(原子炉格納容器) |
| SBM-F, G, H, I | 安全系建屋(機械) |
| SBE-A, B, C, D | 安全系建屋(電気) |
| NA | 原子炉補助建屋 |
| A | 出入管理建屋 |
| V | 排気筒 |

EPR原子炉系建屋平面図