

竜巻防護に対する取り組み

平成30年8月21日

関西電力 原子力事業本部
安全技術グループ 乳井 潤二



1. 設計基準対象設備（DB設備）に対する取り組み

1-1 DB設備に対する新規制基準の要求事項

1-2 DB設備に対する具体的な防護策および運用上の配慮

2. 重大事故等対処設備（SA設備）に対する取り組み

2-1 SA設備に対する新規制基準の要求事項

2-2 屋外SA設備に対する具体的な防護策および運用上の配慮

3. まとめ



新規制基準にかかる主な対策

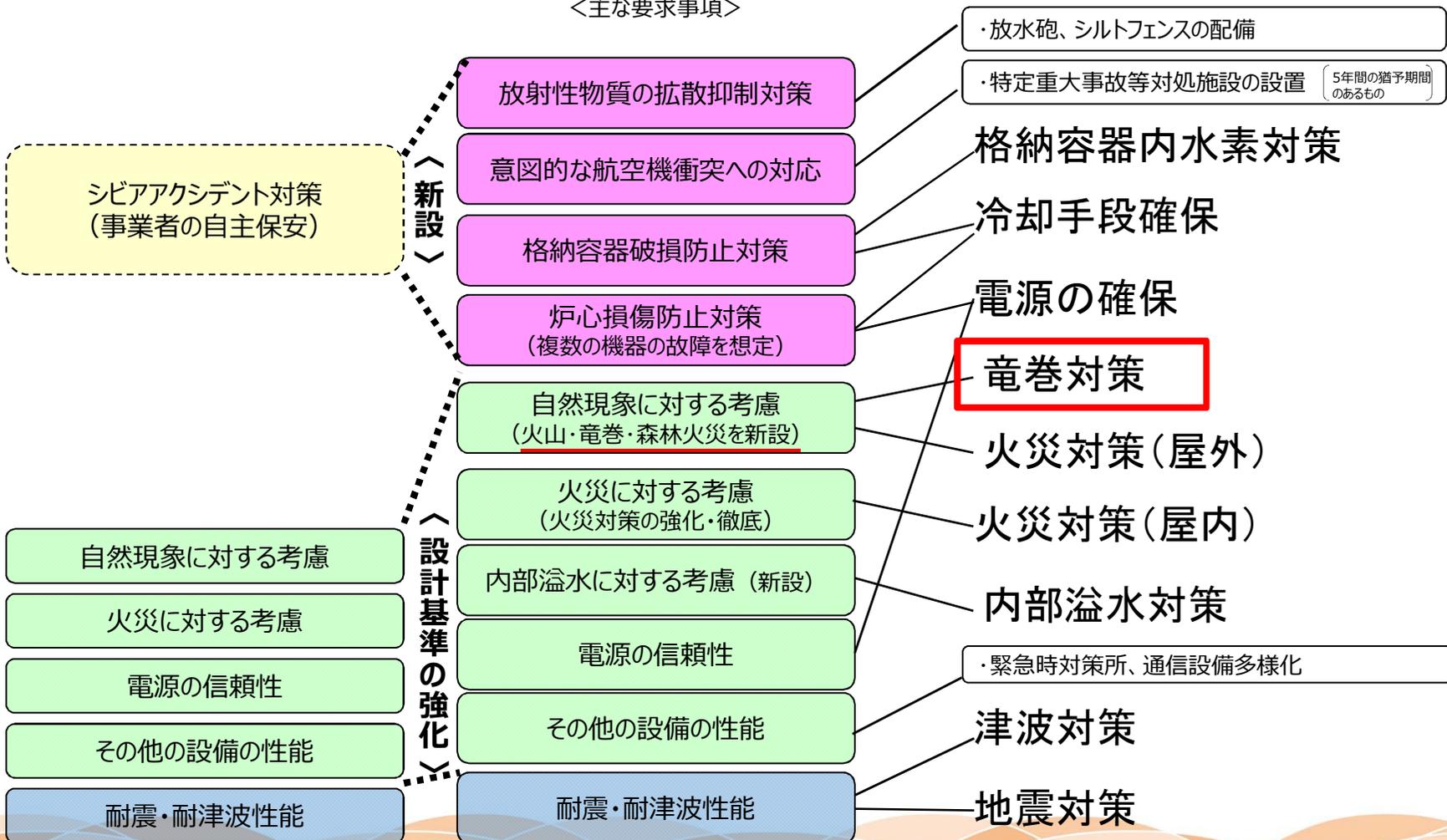
従来の規制基準

炉心損傷は想定せず
(単一故障のみを想定等)

新規制基準 (H25.7施行)

重大事故(シビアアクシデント)を防止するための設計基準を強化するとともに、
万が一、シビアアクシデントやテロが発生した場合に対処するための基準を新設
<主な対応例>

<主な要求事項>



1. 設計基準対象設備（DB設備）に対する取り組み

1-1 DB設備に対する新規制基準の要求事項

- 設計竜巻（最大風速100m/s※）に対して、DB設備に求められる安全機能を損なわないようにすること

⇒風による荷重だけでなく **飛来物の荷重に対しても防護が必要。**

※：10⁻⁷程度の年超過確率

上記を踏まえた
設計方針

- ✓屋内のDB設備
→建屋の頑健性にて担保
- ✓屋外のDB設備
 - (1) 風荷重で機能を損なわない（被害者側の対策）
→ボルト等の支持構造により固定する構造
 - (2) 飛来物で機能を損なわない（被害者側の対策）
→**竜巻防護ネットによる防護対策の実施…P4**
 - (3) 設計飛来物以上の飛来物荷重を発生させない（加害者側の対策）
→**固縛措置や車両の駐車範囲の制限…P5**

1-2 DB設備に対する具体的な防護策および運用上の配慮(1/2)

○重要な発電設備を竜巻による飛来物から保護するため、飛来物防護対策を実施。

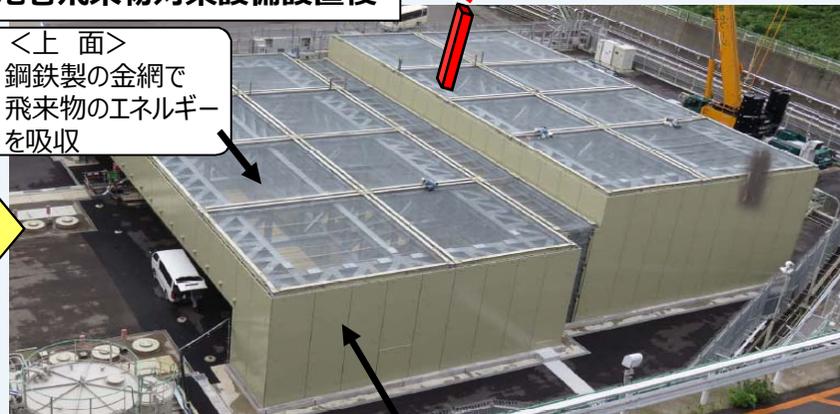
竜巻飛来物への防護対策（高浜発電所の海水ポンプの例）

竜巻飛来物対策設備設置前



竜巻飛来物対策設備設置後

<上面>
鋼鉄製の金網で
飛来物のエネルギー
を吸収



設計飛来物（重量：135kg
寸法：4.2m×0.3m×0.2m）
（鋼製材）

<側面>
鋼板で貫通を阻止

1-2 DB設備に対する具体的な防護策および運用上の配慮(2/2)

○風速100m/sで飛来物となり得る物品のうち、設計飛来物よりも運動エネルギーや貫通力が大きくなる物品については、飛散防止対策(飛散防止、移動、収納)を実施。

飛散防止対策 (高浜発電所の例)

- 飛散防止対策： 飛散対象物をアンカー、ウエイト等にて飛散しないよう固縛する(約260箇所)。
- 対象物： 運転・保守に必要な仮置資機材、プレハブ倉庫、定検テント、車両、他



運用上の配慮 (高浜発電所の例)



1. 3,4号機から350mの範囲(青楕円)内では恒常的な飛散防止対策を実施している。
2. 竜巻警報等が発令した場合、通行中あるいは一時停車中の車両について①～③(赤丸)の退避場所への退避を実施する。

2. 重大事故等対処設備（SA設備）に対する取り組み 6

2-1 SA設備に対する新規規制基準の要求事項

- 設計竜巻（最大風速100m/s）の風荷重に対して、SA設備に必要な安全機能を損なわないようにすること
⇒ **風荷重のみ防護が必要**。（＝設計飛来物による衝撃荷重の考慮は不要）

上記を踏まえた
設計方針

- ✓ 屋内のSA設備
→ 建屋の頑健性にて担保（DB設備と同じ考え方）
- ✓ 屋外のSA設備
 - 風荷重で機能を損なわない（被害者側の対策）
→ **可搬設備であるためボルト等での固定ができない ⇒ P7**
 - 飛来物で機能を損なわない（被害者側の対策）
→ 考慮不要
 - SA設備自体が他に悪影響を及ぼさない（加害者側の対策）
→ **横滑りおよび飛散に対する固縛措置…下図参照**

(3) 悪影響防止のための固縛措置のイメージ

たるみ無し固縛

<特徴>

- 横滑りさせない→悪影響防止を達成
- 浮き上がらせない→悪影響防止を達成
- 対象物自体も損傷しない（浮き上がらないため）

他のSA設備
等

対象物

たるみ付き固縛

<特徴>

- 横滑りさせない→悪影響防止を達成
- 浮き上がるが飛散はしない→悪影響防止を達成
- 対象物自体は損傷してしまう（浮き上がり後の落下衝撃）

他のSA設備
等

対象物

2-2 屋外SA設備に対する具体的な防護策および運用上の配慮

前ページ(1)「風荷重に対して安全機能を損なわない」に関しては、耐震性を確保するという別の要求事項も存在するため、全てを同時に達成^(※)させるためには、次の2つの固縛方式が考えられる。

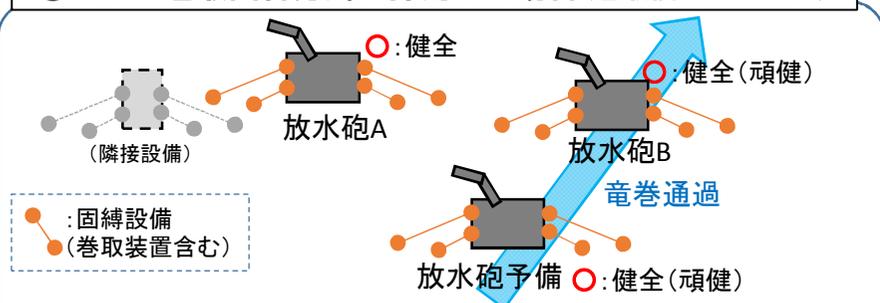
(※): 悪影響防止のための固縛で引っ張り荷重を与えてしまうと地震荷重と重なった場合に耐震設計が厳しくなる。

<2つの方式の比較>

方式	特徴	メリット、デメリット	採用実績
① たるみ巻取固縛方式	通常時はたるみを持たせておき、竜巻警報発令後に巻取装置を起動し、浮き上がり等により設備が損傷しないようにする設計。	<ul style="list-style-type: none"> ○ 通常時はたるみにより耐震性を確保。 ○ 竜巻では設備自体は機能喪失しない。 △ 隣接設備同士の十分な間隔が必要。 (巻取装置含む固縛設備が大きい)[実例] △ 固縛設備取り外しに時間を要する 	SA設備の保管場所が比較的広いサイトで採用。
② たるみ付き固縛方式	浮き上がり等による設備自体の損傷は許容するが、SA対策に必要な安全機能をプラントータルで確保する設計。	<ul style="list-style-type: none"> ○ 通常時はたるみにより耐震性を確保。 △ 竜巻で設備自体が損傷するため、位置的分散による安全機能維持が必要。 ○ 設備同士の間隔を近くできる。 ○ 固縛設備取り外しが比較的容易 	SA設備の保管場所が比較的狭い関西電力の3サイトで採用。 (美浜、高浜、大飯)

<竜巻に対する機能維持方法の違い> (放水砲(必要数量2基)の例)

① たるみ巻取固縛方式を採用した場合 (巻取後のイメージ)



竜巻が発生しても損傷しないようにする設計。

⇒保安規定上の必要数量を2基として運用管理する。
(仮に1基が偶発故障等した場合でも運転上の制限を逸脱しない)

② たるみ付き固縛方式を採用した場合



それぞれの放水砲は竜巻に対して損傷するが、予備機も含めて位置的分散(100m隔離)することで、竜巻が発生しても必要数2基を下回らないように設計。

⇒保安規定上の必要数量を3基とし、運用管理で位置的分散を常に確保する。

- 新規制基準において対策が強化された竜巻に関しては、DB、SAの設計要求に応じた設備対策および運用上の配慮によって、対応を進めてきた。
- DB設備に関しては、頑健性を重要視した設計として、特に飛来物による衝撃荷重への対応(防護ネットの設計等)において多くの苦労があった。
- 一方、SA設備に関しては、耐震性とのバランスを配慮し、また、発電所の特徴(設備保管場所の面積)も踏まえつつ、基準要求を満たすため、審査が先行する発電所とは異なる設計方針(運用管理含む)を立案し、実現することに成功した。
- 上記のような成功体験を生かし、今後も創意工夫を怠ることなく、原子力発電所の(最適な)安全性を追求してゆきたい。

3. まとめ(2/2)

ここで、最適な安全性の追求とは？

⇒発電所トータルでリスクを低減する活動であるが、これは大変難しい課題…。

今回の竜巻対策を例に取れば、

- 竜巻対策自体が少なからずSA設備の事故時運用に制限をかけている。
(配置上の制約、固縛措置を外すのに時間を要する、等)
- その前提が、極めて低頻度と思われる規模の竜巻の襲来であり、また、地震荷重
(こちらも頻度としては決して高くない基準地震動が対象)への配慮も同時に行っている。
- 今の設計・運用は、果たして発電所の重大事故リスク低減の観点で最適と言えるのか？
- 仮に、設計で想定する竜巻や地震のレベルを落とす(少し高頻度・低影響側にシフトさせる)等によって、設計と運用のバランスを取れないか？