

SA設備と特重施設の統合について

- SRZ-1200ではSA(4b)設備と特重施設の統合を行うことを志向し、再循環ユニットによる気相部冷却の対応を特重施設としての対応とし、フィルタベントによる対応は特重事象時においても使用可能な自主対策設備として設置することを志向している。
- 一方で、原子力規制委員会での議論では、フィルタベントは事業者による自主対策設備ではなく、国の要求・責任が届く規制として求めるべき設備との見解に加え、決定論的に深層防護の各層における対応方針について整理が必要との見解と理解している。

事業者見解	原子力規制委員会での議論
SA(4b)の設備に対してAPC耐性等を設けることで、特重施設としても使用可能な、格納容器破損防止機能を有する格納容器自然対流冷却設備を確保する。 上記対応を踏まえ、<u>フィルタベントについては、特重事象時においても使用可能な自主対策設備として設置。</u> 令和2年3月の原子力規制委員会方針を踏まえ、<u>CV再循環ユニットによる気相部冷却による対応と、フィルタベントによる対応について比較を行い、「即応性」、「信頼性」および「準静的な設備としての観点」から、規制の求める保安水準を確保している旨を説明。</u>	<u>自主設備は保守もやると示されているが、規制庁から見ると無いもの、無くても成立するものであり、可搬型設備とフィルタベントの必要性は1F事故の大きな論点であった。</u>想定外に対して役立つのが可搬ということで、これを自主設備にするのは苦しい。<u>フィルタベントもなくとも問題ないとは簡単にはいれない。</u> <u>自主設備となると規制側から色々な要求ができなくなり、可搬型設備やフィルタベントがいざというとき動作させるという点は国が責任を持つべき。</u> 可搬型設備の柔軟性の話や、1F事故の経験を踏まえると規制庁が規制として求めた方がよいという話もあり、<u>フィルタベントについても自主ではなく、規制として求めた方がいい。</u>
SA設備の格納容器破損防止機能と特重施設の統合を行うが、<u>3層の設計基準事故対処設備の安全性向上を含め、プラント全体のリスク低減を図ることで、CDFおよびCFFの低減を図っている。</u>	<u>設計思想とリスク・安全性に関する議論は分けて議論が必要であり、SRZ-1200がこういった設計思想で作られていて、その上でリスクの議論が必要。</u>

- 以下の令和2年3月の原子力規制委員会方針で、基本的な要求事項と整合されていると例示されている原子炉格納容器の過圧破損防止機能の設備構成を踏まえ、SRZ-1200のSA設備と特重施設の設備構成について、機能毎に改めて整理を行った。

＜特重施設導入段階での要求事項（設置許可基準規則第42条）＞

- ②特重施設は、更なる安全性向上のためのバックアップ対策と位置づけられ、設置許可基準規則解釈においてもSA施設に対し可能な限り多重性又は多様性及び独立性等を有することを要求していることから、格納容器過圧破損防止対策として、①のSA設備に加えて新たな設備の設置（第3の設備）が求められる。
従って、SA設備に対して多重性又は多様性及び独立性等が確保された、新たな設備の設置が行われない場合には、本要求事項を満足しないものと考えられる。

（中略）

(2)原子炉格納容器の過圧破損防止機能の設備構成

格納容器過圧破損防止対策の設備構成について、例えば以下のような組合せであれば、(1)の基本的な要求事項と整合するものと考えられる。

	設備構成	
	ケースA	ケースB
SA導入段階での措置	●格納容器代替循環冷却系（海水冷却） ●フィルタベント＜APC耐性なし＞	●格納容器代替循環冷却系（海水冷却） ●フィルタベント＜APC耐性あり＞
特重導入段階での追加措置	●フィルタベント＜APC耐性あり＞	●循環冷却設備（空気冷却）＜APC耐性なし＞

【出典】令和2年3月12日「BWRプラントにおける原子炉格納容器の過圧破損防止対策に係る審査の進め方について(案)(2回目)」より抜粋

第3の設備として特重施設の役割に係る考察

27

- R2.3.12規制委員会方針のうち、SA設備に加えて新たな設備の設置が求められていることに対するSRZ-1200での適合性は、以下の通りであり、「**同等以上の効果を有する措置**」であると判断している。

R2.3.12規制委員会方針（2.（1）基本的な要求事項の整理）		SRZ-1200での適合性
① SA	原子炉格納容器の容積が小さいBWRの場合、格納容器過圧破損防止対策として次の2つの設備の設置が必須である。 ・ 格納容器バウンダリを維持しながら圧力及び温度を低減させる設備 ・ 圧力を大気中に逃がすための即応性及び高い信頼性を有する設備として、準静的な設備であるフィルタベント	✓ 左記要求事項はBWRへの要求と認識。 ✓ PWRは原子炉格納容器(CV)容積が大きく、CV破損までの余裕が比較的大きい特徴を踏まえ、CV過圧破損防止対策として「CVバウンダリを維持しながら圧力及び温度を低減させる設備」を設置。 ✓ 「準静的な設備であるフィルタベント(FVS)」はSA設備として設置せずとも規制の求める保安水準を達成していると判断。
② 特重	特重施設は、更なる安全性向上のためのバックアップ対策と位置づけられ、設置許可基準規則解釈においてもSA施設に対し可能な限り多重性又は多様性及び独立性等を有することを要求していることから、格納容器過圧破損防止対策として、①のSA設備に加えて新たな設備の設置（第3の設備）が求められる。従って、 SA設備に対して多重性又は多様性及び独立性等が確保された、新たな設備の設置が行われない場合には、本要求事項を満足しないものと考えられる。	✓ DB、SA(4a)、SA(4b)の各防護レベルに求められる機能の信頼性を高め、独立性等を確保することにより、共通要因に対して同時に機能が喪失することを防止した上で、SA(4b)と特重施設を統合する設計を志向。 ✓ これにより、SA設備(4a)とは独立性等が確保されたSA(4b)/特重施設となるが、上記PWRの特徴や、層間分離の採用による信頼性向上を踏まえると、SA(4b)に対して独立性等が確保された新たな設備を設置せずとも、「同等以上の効果を有する措置」であると判断。
③ 特重	特重施設による格納容器過圧破損防止対策としては、 APCその他テロリズムによる重大事故等への対処における事象進展の不確実性等に鑑み、即応性及び高い信頼性を有する設備が必要である。また、当該設備はAPC等に対して機能を維持するため頑健性を有する必要がある。 これらの観点を踏まえれば、 準静的な設備であるフィルタベントをAPC耐性を有する形で設置することが求められる。 従って、APC時に少なくとも1系統のフィルタベントの機能が維持されない場合には、本要求事項を満足しないものと考えられる。この際のAPC耐性の確保について、単体ではAPC耐性を有さないフィルタベントを複数、位置的分散を考慮して配置することにより、APC時にもいずれか1系統が機能を維持するとの方法は、（案の1）：認められる。（案の2）：認められない。 ⇒規制委員会において、「案の1：認められる」とされた。	【即応性の観点】 ✓ 再循環ユニットによる気相部冷却について、構成設備（水源・電源等）の常設化により現場対応を不要としており、上記の通り、CVの容積が大きくCV破損までの余裕が比較的大きいPWRの特徴を踏まえると、十分な即応性をもって対処が可能。 ✓ 再循環ユニットの気相部冷却は、早期CV減圧開始が可能。 【信頼性の観点】 ✓ 再循環ユニットによる気相部冷却とFVSの過圧破損防止の失敗確率は同程度であり、FVSと同等の高い信頼性有り。 【準静的な設備としての観点】 ✓ 再循環ユニット自身は静的な設備であることを踏まえると、「APC耐性を有する再循環ユニットによる気相部冷却」はFVSと同等の保安水準を達成できるものと判断。

注：P17スライドから表を再掲

- SRZ-1200における機能毎の対処設備の代表例は下表の通りであり、**深層防護の各層において、機能を確実にするために必要な対処設備を独立性等を確保した上で、適切に配置する設計を志向している。**
- **SRZ-1200では既設炉と異なり、SA(4a)電源により海水系、原子炉補機冷却系の1系統を動作可能であり、SA設備の対応策の冗長性を高めた設計**となっている。
- また、1次系減圧のうちDCH回避への対処については、**DCH回避のための1次冷却材圧力の確定後に加圧器逃がし弁での対応可否を踏まえ、改めて検討**する。

機能	DB設備	SA設備	特重施設
炉心冷却 (1次系)	安全注入ポンプ	安全注入ポンプ (DB/SA(4a)) 代替炉心注水ポンプ (SA(4a)) L4b 注水ポンプ (SA(4b)/特重)	L4b 注水ポンプ (SA(4b)/特重)
炉心冷却 (2次系)	電動/タービン動補助給水ポンプ 主蒸気逃がし弁(駆動源:制御用空気)	電動/タービン動補助給水ポンプ (DB/SA(4a)) 主蒸気逃がし弁(駆動源:N ₂ ポンベ) (SA(4a))	(機能要求なし)
1次系減圧 (フィード&ブリード)	加圧器逃がし弁(駆動源:制御用空気)	加圧器逃がし弁(駆動源:制御用空気) (DB/SA(4a)) 加圧器逃がし弁(駆動源:N ₂ ポンベ) (SA(4a))	(機能要求なし)
1次系減圧 (DCH)	(機能要求なし)	現状はSA設備と特重施設で対応策が共通 〔加圧器逃がし弁での対応可否を踏まえ、 設備対応※1,2を検討。〕 1次系減圧設備 (SA(4b)/特重)	1次系減圧設備 (SA(4b)/特重)
CV冷却・減圧・ 放射性物質低減	CVスプレイポンプ(駆動源:DB電源)	CVスプレイポンプ(駆動源:DB電源) (DB/SA(4a)) CVスプレイポンプ(駆動源:4a電源) (SA(4a)) L4b 注水ポンプ (SA(4b)/特重)	L4b 注水ポンプ (SA(4b)/特重)
		CV再循環ユニット(CCW冷却) (DB/SA(4a)) CV再循環ユニット(海水冷却) (SA(4b)/特重)	CV再循環ユニット(海水冷却) (SA(4b)/特重)

□ : SA(4b)と特重施設の機能統合をしている設備

— ※1 : DCH回避のための手段をSA(4b)/特重用とは別に設けることを検討(加圧器逃がし弁の容量変更、1次系減圧設備の駆動源多様化 等)。
※2 : 格納容器破損防止機能として使用。

- APCその他テロによる重大事故等への対処における事象進展の不確実性等に鑑み、CV再循環ユニットによる気相部冷却により、海外の最新軽水炉と遜色ない安全性を有する設計を志向。
それに加え、**フィルタベントも特重事象時においても使用可能な設備として設置。**
- SRZ-1200ではCV過圧破損防止機能として、**CV再循環ユニットによる気相部冷却手段はSA(4a)としても、SA(4b)/特重のそれぞれ確保する方針であり、令和2年3月の原子力規制委員会方針への適合性の観点から確認させていただきたい。**
- その上で1F事故を踏まえて、フィルタベントが特重施設として設置が必要との原子力規制委員会の方針であれば、SRZ-1200のCV過圧破損防止機能の設備の状況を踏まえ、フィルタベントに対するグレーデッドアプローチ等の検討（LCO設定要否やAOT設定、設工認および使用前検査上の取扱いの検討等）も必要と考える。

機能	DB設備	SA設備	特重施設
CV過圧破損防止	(機能要求なし)	CVスプレイポンプ(駆動源:DB電源) (DB/SA(4a)) CVスプレイポンプ(駆動源:4a電源) (SA(4a)) L4b 注水ポンプ (SA(4b)/特重)	L4b 注水ポンプ (SA(4b)/特重)
		CV再循環ユニット(CCW冷却) (DB/SA(4a))※2 CV再循環ユニット(海水冷却) (SA(4b)/特重)	CV再循環ユニット(海水冷却) (SA(4b)/特重)
		(機能要求なし) SRZ-1200はBWR、アイスコンデンサ型CVを有するPWRではないため、CV内の圧力を大気中に逃がすために必要な設備を設ける必要はない。	フィルタベント (特重 or 自主対策設備)
CV下部に落下した溶融炉心冷却	(機能要求なし)	コアキャッチャ (SA(4b)/特重)※3	コアキャッチャ (SA(4b)/特重)※3
CV水素防護	(機能要求なし)	水素濃度制御設備 (SA(4b)/特重)※3	水素濃度制御設備 (SA(4b)/特重)※3

□ : SA(4b)と特重施設の機能統合をしている設備

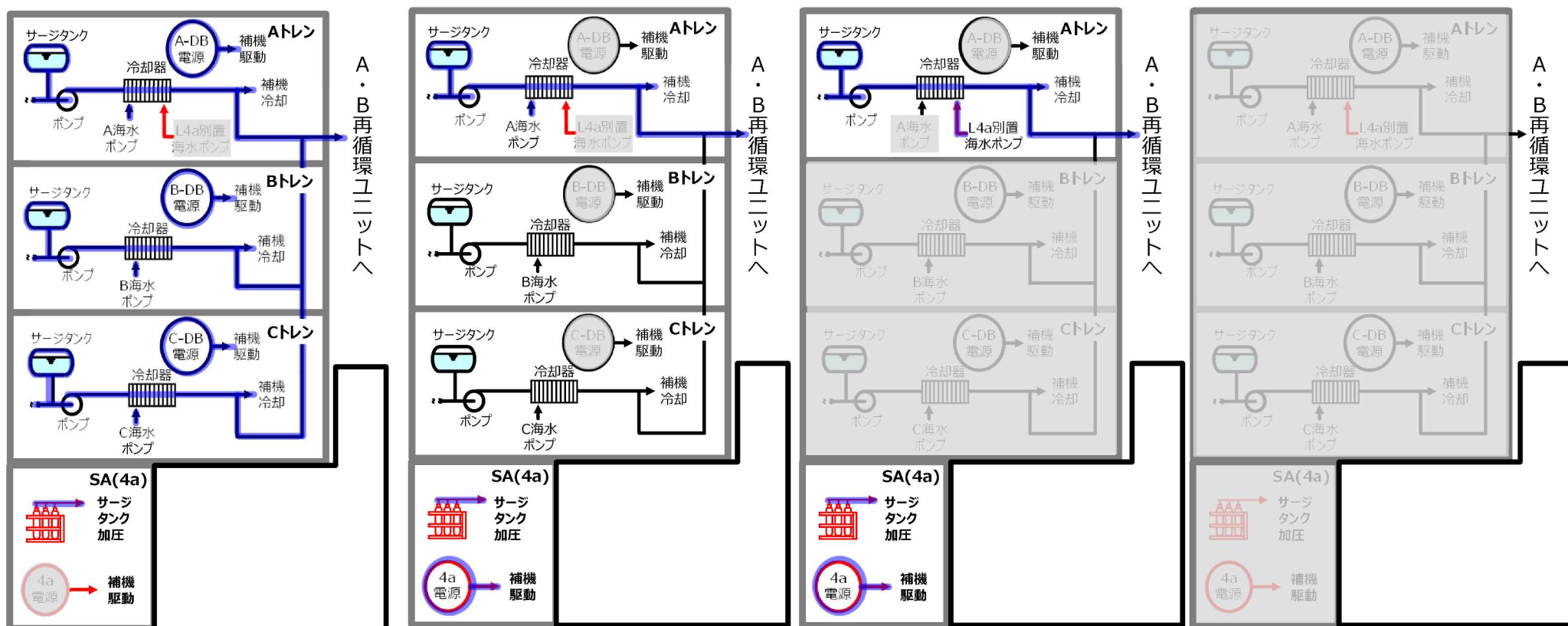
※2：格納容器破損防止機能として使用。

※3：設置位置および十分な信頼性を有する機器で構成されることを踏まえ、APCその他テロ時に必要な機能が損なわれるおそれのない設計。

- DB設備およびSA(4a)設備の区画分離徹底により、共通要因故障防止機能を強化。
- なお、SRZ-1200では、既設炉と異なり、以下の手段によりSA時に動作可能なDB/SA兼用設備を増やすことで、事故収束手段の冗長性を高めた設計としている。

- ✓ レベル4a発電機により、DB/SA兼用設備の任意の1系統に電源供給可能な設計 (②)
- ✓ レベル4a別置海水ポンプからは、CCW冷却器の内、1系統へのみ通水が可能な設計 (③)

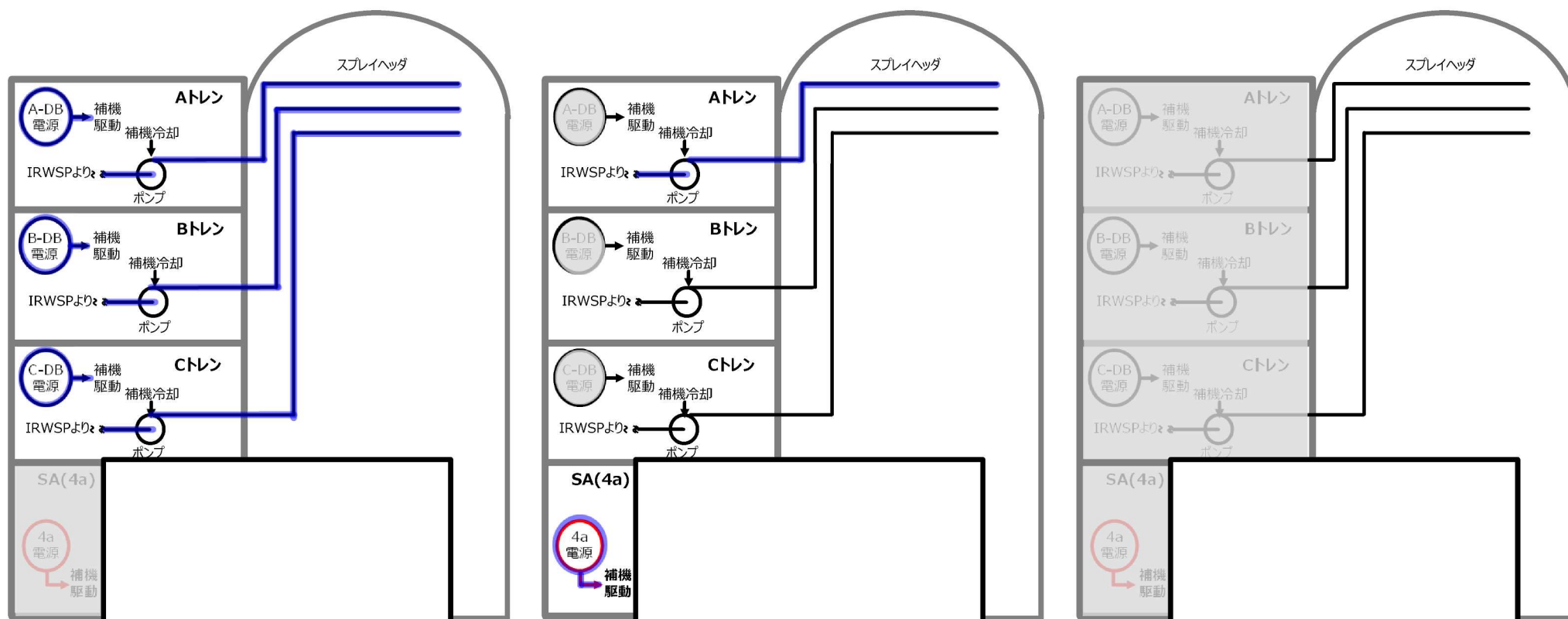
— DB
— SA (4a)
— SA (4b) /特重



- DB設備およびSA(4a)設備の区画分離徹底により、共通要因故障防止機能を強化。
- また、前述の通り、補機冷却の手段についても冗長性を高めた設計となっている。
- なお、SRZ-1200では、既設炉と異なり、以下の手段によりSA時に動作可能なDB設備を増やすことで、事故収束手段の冗長性を高めた設計としている。

- ✓ レベル4a発電機により、DB /SA兼用設備（補機冷却系も含むCVスプレイ系）の任意の1系統に電源供給可能な設計（②）

— DB
— SA (4a)
— SA (4b) /特重



- DB設備およびSA(4a)設備の区画分離徹底やCCWポンプの最大流量向上により、共通要因故障防止機能を強化。
- 外部電源喪失時においてもディーゼル発電機が起動すれば、十分に冗長性を持った対応可能であり、全交流動力電源喪失時においても、DB/SA兼用設備において対応可能。
- 原子炉補機冷却機能喪失時では、SA(4b)/特重施設の活用が主たる対応となるが、区画分離の徹底やCCWポンプの最大流量向上により、SRZ-1200では原子炉補機冷却機能の同時喪失（以下のケースCを想定）の可能性を低減している設計であり、対策の冗長性は高まった設計と考えている。

プラント状況	補機冷却・自然対流冷却	CVスプレイ
外部電源喪失 +ディーゼル発電機起動 成功	①②③により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、④による対応も可	①②により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、③による対応も可
外部電源喪失 +ディーゼル発電機起動 失敗 (全交流動力電源喪失)	②③により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、④による対応も可	②により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、③による対応も可
外部電源喪失 +海水系喪失	③により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、④による対応も可	②により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、③による対応も可
原子炉補機冷却機能喪失【ケースA】 ・CCWポンプ1系統もしくは2系統が故障 かつ ・健全側ポンプへ電源供給するディーゼル発電機の故障	②③により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、④による対応も可	②により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、③による対応も可
原子炉補機冷却機能喪失【ケースB】 ・CCWポンプ1系統もしくは2系統が故障（Aトレン以外） かつ ・健全側系統のCCW冷却器へ冷却水を供給する海水ポンプの故障	③により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、④による対応も可	②により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、③による対応も可
原子炉補機冷却機能喪失【ケースC】 ・3系統のCCWポンプの故障 または ・AトレンのCCWポンプが故障、残りの系統の海水ポンプの故障	④により 対応可	③により 対応可

- 原子炉補機冷却機能喪失の要因として、
 - ①通常時2台運転のCCWポンプが2台故障した際に、待機中の1台ポンプが自動起動する
 - ②流量過多により自動起動したCCWポンプがランアウトすることで原子炉補機冷却機能喪失に至るという事象が挙げられる。
- 上記要因による原子炉補機冷却機能喪失の発生可能性を低減するため、以下の対策をSRZ-1200の設計に取り込んでいる。

■ SRZ-1200の設計への取り込み内容

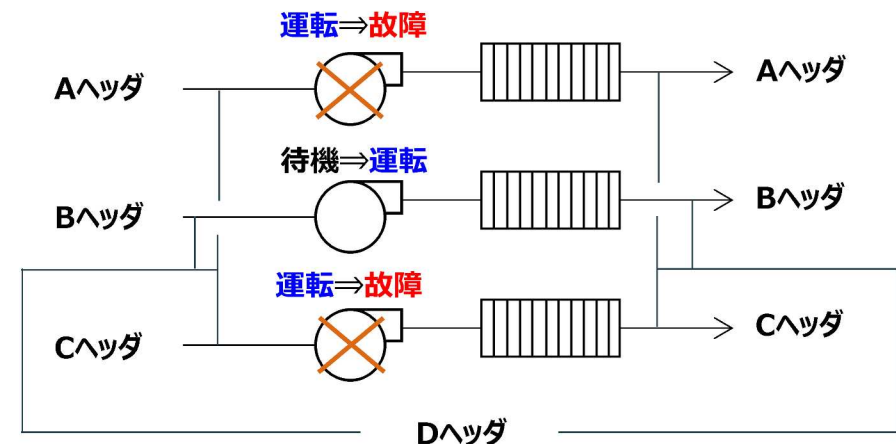
自動起動したCCWポンプ1台運転となった場合においてもランアウトしないように、CCWポンプの最大流量を必要流量よりも大きくすることで、ポンプランアウトを防止する設計を志向。



上記の設計への取り込み内容は、

- ✓ 原子炉補機冷却機能喪失の発生可能性の低減につながる
- ✓ 特に、前頁の原子炉補機冷却機能喪失の【ケースC】に至る可能性の低減につながる対策となっている。

通常時2台運転のCCWポンプ故障時に待機中の1台のポンプが自動起動する際のイメージ



- 既設炉では全交流動力電源喪失や原子炉補機冷却機能喪失に対して、大容量ポンプによる自然対流冷却に期待するが、SRZ-1200では複数のプラント状況で対応手段の冗長性が高まっている。
- 加えて、補機冷却については注釈1に記載の通り、既設炉では補機冷却の供給先が限定される一方で、SRZ-1200ではCCWポンプの活用可能性を高めた設計とすることで補機冷却の観点でも優位性がある。

プラント状況	SRZ-1200	既設炉（大飯3,4号機の例）
外部電源喪失 +ディーゼル発電機起動 成功	①②③により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、④による対応も可	a. CCWポンプにより 対応可 （①に相当） b. 大容量ポンプにより 対応可 ^{注1} ※上記対応に失敗した場合、特重施設による対応も可 （自然対流冷却ではなくフィルタベントによる対応）
外部電源喪失 +ディーゼル発電機起動 失敗 （全交流動力電源喪失）	②③により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、④による対応も可	a. 大容量ポンプにより 対応可 ^{注1} ※上記対応に失敗した場合、特重施設による対応も可 （自然対流冷却ではなくフィルタベントによる対応）
外部電源喪失 +海水系喪失	③により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、④による対応も可	
原子炉補機冷却機能喪失【ケースA】 ・CCWポンプ1系統もしくは2系統が故障 かつ ・健全側ポンプへ電源供給するディーゼル発電機の故障	②③により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、④による対応も可	
原子炉補機冷却機能喪失【ケースB】 ・CCWポンプ1系統もしくは2系統が故障（Aトレン以外） かつ ・健全側系統のCCW冷却器へ冷却水を供給する海水ポンプの故障	③により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、④による対応も可	
原子炉補機冷却機能喪失【ケースC】 ・3系統のCCWポンプの故障 または ・AトレンのCCWポンプが故障、残りの系統の海水ポンプの故障	④により 対応可	

注1：補機冷却はB-高圧注入ポンプおよびB-制御用空気圧縮機への海水通水のみに限定される。

- 既設炉では全交流動力電源喪失や原子炉補機冷却機能喪失に対して、恒設代替低圧注水ポンプおよび可搬型代替低圧注水ポンプによる代替CVスプレイに期待することとなる。
- 一方、SRZ-1200の②の対応は、3系統の内の任意の1系統のCVスプレイを使用可能とするものであり、補機冷却との組み合わせ次第では複数の対応も可能となり、冗長性は高まっている設計と考える。

プラント状況	SRZ-1200	既設炉（大飯3,4号機の例）
外部電源喪失 +ディーゼル発電機起動 成功	①②により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、③による対応も可	a. CVスプレイポンプにより 対応可 （①に相当） b. 恒設代替低圧注水ポンプおよび可搬型代替低圧注水ポンプによる代替CVスプレイにより 対応可 ^{注1} ※上記対応に失敗した場合、特重施設による対応も可
外部電源喪失 +ディーゼル発電機起動 失敗 （全交流動力電源喪失）	②により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、③による対応も可	a. 恒設代替低圧注水ポンプおよび可搬型代替低圧注水ポンプによる代替CVスプレイにより 対応可 ^{注1} ※上記対応に失敗した場合、特重施設による対応も可
外部電源喪失 +海水系喪失	②により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、③による対応も可	
原子炉補機冷却機能喪失【ケースA】 ・CCWポンプ1系統もしくは2系統が故障 かつ ・健全側ポンプへ電源供給するディーゼル発電機の故障	②により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、③による対応も可	
原子炉補機冷却機能喪失【ケースB】 ・CCWポンプ1系統もしくは2系統が故障（Aトレン以外） かつ ・健全側系統のCCW冷却器へ冷却水を供給する海水ポンプの故障	②により 対応可 ※上記対応に失敗した場合、③による対応も可	
原子炉補機冷却機能喪失【ケースC】 ・3系統のCCWポンプの故障 または ・AトレンのCCWポンプが故障、残りの系統の海水ポンプの故障	③により 対応可	

注1：燃料取替用水ピットの水量低下に応じて、恒設代替低圧注水ポンプによる対応から可搬型代替低圧注水ポンプによる対応へ切替

➤ SRZ-1200の安全設計のコンセプトについて

- ✓ 事故状態を緩和させ、次の状態への移行を防止する、深層防護の考え方を実装。
- ✓ 特定の深層防護レベルの対策に過度に依存するのではなく、バランスよく防護対策を配置。
- ✓ 設計基準事象への対策として、トレン数の増加、分散配置、区画分離の徹底や建屋の頑健化等を講じるとともに、重大事故への対策としても、第3層と第4層の独立性を強化することで最適な設備構成としている。
- ✓ 想定事象を超えるような事故進展、対策シナリオの不確かさに備えとして、可搬型設備を追加配備する方針。
- ✓ なお、SRZ-1200では既設炉と異なり、SA(4a)電源を大容量とすることでSA時に動作可能なDB設備を増やし、事故収束手段の冗長性を高めた設計としている。

➤ 可搬型設備の取扱いについて

- ✓ 現時点において、事業者としては可搬型設備を自主対策設備とすることを検討。
- ✓ SA常設設備の条文上の取扱いを踏まえ、原子力規制委員会および原子力規制庁において、SA常設設備を設置した上で、可搬型設備を設置する場合の規制方針について検討いただきたい。なお、今回、事業者から提示した案も参考に議論いただきたい。
- ✓ 可搬型設備の取扱いによっては、設置許可基準規則の解釈も見直しが必要と認識しており、3月予定の原子力規制委員会での最終報告においては必要に応じて、同解釈の改正の方針も、事業者の規制予見性向上の観点から提示いただきたい。

➤ SA設備と特重施設の統合について

- ✓ 令和2年3月の原子力規制委員会方針に対して、今回改めてSA設備と特重施設の設備構成について機能毎に整理を行った。
- ✓ 今回の整理内容を踏まえ、改めて原子力規制庁としても確認いただき、令和2年3月の原子力規制委員会方針への適合性について確認いただきたい。
- ✓ 特に、特重施設としてフィルタベントの設置要否、その他機能に対して設備構成としての不足の有無について検討いただき、原子力規制委員会で議論いただきたい。