

### 3 中央制御盤

仕様

設備	機能	効果
大型表示盤	固定画面（3面） <ul style="list-style-type: none"> <li>・プラントの主要系統を表示</li> <li>・主要パラメータを表示</li> <li>・主要機器の状態表示</li> </ul> 可変画面（1面） <ul style="list-style-type: none"> <li>・運転支援情報の自動表示</li> <li>・任意画面の選択表示</li> </ul>	情報への共通認識の醸成
監視・操作一体型 タッチスクリーン	タッチスクリーン <ul style="list-style-type: none"> <li>・制御対象の値とトレンドを制御器と同時表示</li> <li>・制御器の選択に応じたパラメータ表示への自動切替え</li> </ul>	誤認識・誤判断の防止
新型警報システム	警報窓 <ul style="list-style-type: none"> <li>・プラント状態に応じて、表示色（赤、黄）を変更</li> </ul>	重要警報の見落とし防止
計算機による監視	計算機 <ul style="list-style-type: none"> <li>・事故時の自動起動機器の動作確認の代替</li> </ul>	運転員の負担軽減

機器構成

- ・テレビ画面による監視・操作が主となることから、故障時の予備を考慮した設計とする。
- ・また、操作に時間的な余裕がないもの（プラントトリップ等）、長時間連続的に操作するもの（制御棒操作等）についてはハードスイッチを設置する設計としている。

分類	ハードスイッチ操作
操作に時間的な余裕ないもの	原子炉トリップ タービントリップ 発電機緊急停止 安全注入動作 格納容器スプレイ動作 格納容器隔離 格納容器換気系隔離 主蒸気隔離 中央制御室換気系隔離

	発電機室素封入 / 軸シール タービン発電機非常停止 主給水ポンプタービン非常停止
長時間連続的に操作するもの	制御棒挿入 / 引抜操作器

#### 検証試験

- ・ 新型中央制御盤について、監視操作画面の表現（視認性、識別性）や画面体系、機器の配置について検討・検証を行った後、それらを組み合わせて模擬運転検証を行っている。
- ・ 開発の各段階においては、運転員による検証を行い知見の反映や改善を行っている。

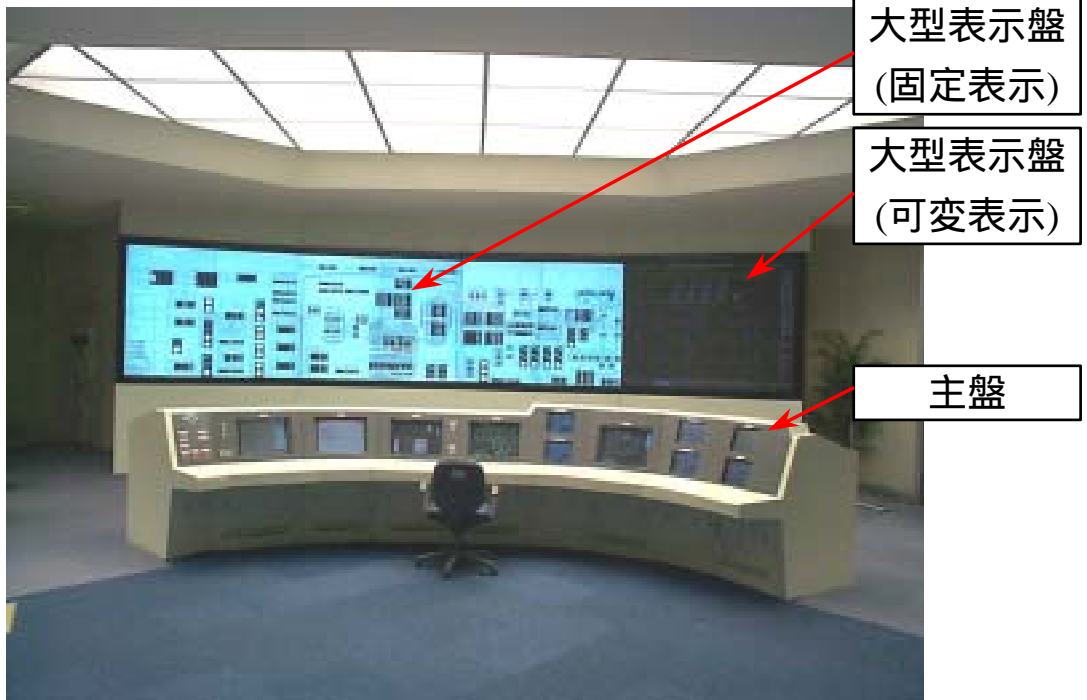
#### 計測制御設備デジタル化

- ・ 信頼性、運転性、保守・試験性、経済性の向上という多様なニーズと、アナログ回路の製造・供給の終了というメーカー動向を踏まえ、計測制御設備のデジタル化を図っている。

項目	ニーズ
信頼性の向上	多重性の増加、故障の早期検知
運転性の向上	運転余裕の向上、制御性の改善
保守・試験性の向上	故障箇所の同定の自動化、保守項目の削減、 保守要領の簡素化、試験項目の削減
経済性の向上	設備物量の削減、予備品の削減

- ・ 最新PWRプラント（大飯3、4号機）では、制御系のみデジタル化し、保護系は従来通りアナログとしていたが、敦賀3、4号機では両系ともデジタル化している。なお、BWRではすでにABWRの柏崎刈羽6、7号機で、両系デジタル化されている。
- ・ また、一般産業（鉄鋼、化学プラント）や国内外火力プラントでは、計測制御設備のデジタル化とタッチオペレーション制御盤が広く採用されており、国外原子力プラントでは、保護系まで含めた計測制御設備全体のデジタル化が進められてきている。

## 中央制御盤 (電共研 動的検証設備)

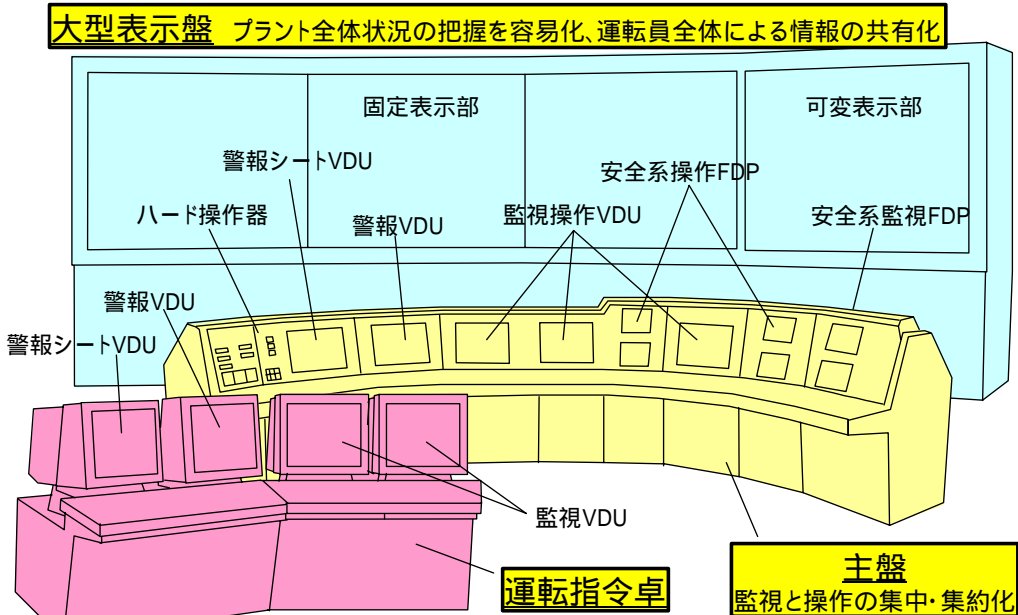


大型表示盤  
(固定表示)

大型表示盤  
(可変表示)

主盤

## 中央制御盤 (電共研 模擬運転検証設備)



VDU : Visual Display Unit  
(CRT又は液晶パネル)

FDP : Flat Display Panel  
(液晶パネル)

# 大型表示盤画面

プラント全体情報を常時固定位置に表示することにより、  
全体状況の把握を容易化させるとともに、運転員全員の共通認識を醸成



## 固定画面

- プラントの主要システムをミミック状に表示
- 主要パラメータを機器シンボル近傍に表示
- 機器シンボルを用いて機器の状態(運転/停止、警報)を表示

## 可変画面

- 運転支援情報を自動表示  
(異常時・事故時)
- 任意画面の選択表示

# 監視操作画面(制御器画面)

制御対象の変化傾向、変化量を監視しながら操作可能



制御器は、対象パラメータの値とトレンドを制御器と同一画面にまとめて表示。  
制御器の選択に合わせて対応するパラメータの表示に自動で切替わる。

# 新型警報システム

## □ 因果関係が明らかな警報を抑制

例:RCPトリップ警報の表示色

	従来型 (抑制無し)	新型 (抑制有り)
単なる RCP トリップ	赤	赤
電源喪失による RCP トリップ	赤	黄

## □ 敦賀3,4号機での改良点(大飯3,4号機に比べて)

○ 適用範囲を拡大(換気空調系、電気系、RMSにも適用)

○ 抑制信号の拡大

(例:「タービントリップ+復水ポンプ停止」で復水器水位低警報を抑制)



## 赤警報の発信数低減

### 警報多発時の重要警報の見落とし防止

例:SGTR時の赤警報発信数 大飯3,4号機:71個 敦賀3,4号機:24個

## 監視操作の比較

(従来型中央制御盤vs新型中央制御盤)

### SGTRの場合



監視操作	従来型中央制御盤	新型中央制御盤
1. SI 作動(警報発信)	警報窓	警報 CRT、大型表示盤
2. 原子炉トリップ、タービントリップの確認	主盤表示灯 トリップ遮断器開放 全制御棒炉底位置 タービン補助盤表示灯 主蒸気止め弁、蒸気加減弁、等の閉止(20台)	OK モニタ
3. 常用系母線の受電遮断器開放を確認	警報、所内盤表示灯	警報 CRT、大型表示盤
4. DG 自動起動の確認	所内盤表示灯	大型表示盤、CRT
5. 安全系補機の停止確認	原子炉補助盤表示灯	大型表示盤、CRT
6. CV 隔離(T 信号)、隔離弁閉止の確認	警報窓 状態確認(69台)	警報 CRT、大型表示盤 OK モニタ
7. CV 換気空調系隔離、弁・ダンパの動作確認	警報窓 状態確認(12台)	警報 CRT、大型表示盤 OK モニタ
8. MCR 換気空調系隔離、動作機器・弁の状態確認	警報窓 状態確認(24台)	警報 CRT、大型表示盤 OK モニタ
9. SI シーケンスによる動作機器の確認	状態確認(46台)	OK モニタ

#### 4 1次冷却材管

##### 低合金鋼採用の背景

- ・WH社のプラントでは1次冷却材管にステンレス鋳鋼を採用しており、WH社の設計を基にしてきた日本のプラントではその設計が踏襲されてきた。
- ・この設計では、低合金鋼製の原子炉容器や蒸気発生器との取合いが異材継手となることから、ステンレス鋼のセーフエンドが必要となる。
- ・敦賀3・4号機では、1次冷却材管に低合金鋼を採用することにより、セーフエンドをなくして溶接線を低減し、プラントの信頼性を向上させる設計としている。

1次冷却管本管の溶接線数

溶接部位（1ループあたり）	ステンレス鋳鋼	低合金鋼
原子炉容器取合い部（高温側）	2	1
（低温側）	2	1
蒸気発生器取合い部（高温側）	2	1
（低温側）	2	1
1次冷却材ポンプ取合い部	2	2
エルボと直管の取合い部	6	6
合計	16	12

- ・また、低合金鋼は従来のステンレス鋳鋼と比較して超音波の透過性が優れているため、検査精度が向上する。なお、異材継手の排除により、1次冷却材管の供用期間中検査は検査頻度、内容とも軽減される。

	異材継手あり	異材継手なし
検査頻度	100% / 10年	25% / 10年
検査内容	PT + UT	UT

##### 低合金鋼採用実績

- ・諸外国では、シーメンス社（ドイツ）のプラントで初号機から1次冷却材管に低合金鋼を採用しており、30年以上の運転実績がある。
- ・また、コンバッションエンジニアリング社が設計したプラントでは、1次冷却材管に炭素鋼を採用している。

##### 低合金鋼の健全性

- ・現在日本で稼働しているプラントにおいて、原子炉冷却系の原子炉容器、蒸気発生器（低合金鋼 + 1次冷却水と接液する内面部分にステンレス鋼の肉盛り実施）の胴部での損傷は認められていない。
- ・世界的に見た場合、3件の損傷事例が見られるが、いずれも製作不良に基づくものであり、適切に製作管理を行うことにより、損傷原因を排除できると考えられる。

海外プラントにおける一次冷却材ループへの低合金鋼 / 炭素鋼採用実績

製造者	国名	プラント名	電気出力 (MW)	営業運転 開始	備考
Siemens (KWU)	ドイツ	Obrigheim	357	1969.4	
		Stade	672	1972.5	
		Biblis~A	1225	1975.2	
		Neckar~1	840	1976.12	
		Biblis~B	1300	1977.1	
		Unterweser	1350	1979.9	
		Grafenrheinfeld	1345	1982.6	
		Grohnde	1430	1985.2	
		Philippsburg~2	1424	1985.4	
		Brokdorf	1440	1986.12	
		Isar~2	1455	1988.4	
		Emsland	1362	1988.6	
		Neckar~2	1365	1989.4	
Combustion Engineering	アメリカ	Palisades	780	1971.12	MCP : 炭素鋼 RCP : ステンレス  *1997.8 運転停止
		Maine Yankee	900	1972.12 *	
		Fort Calhoun	502	1973.9	
		Calvert Cliffs~1	880	1975.5	
		Millstone~2	895	1975.12	
		St.Lucie~1	872	1976.12	
		Calvert Cliffs~2	880	1977.4	
		ANO~2	897	1980.3	
		St.Lucie~2	882	1983.8	
		San Onofre~2	1127	1983.8	
		San Onofre~3	1127	1984.4	
		Waterford~3	1153	1985.9	
		Palo Verde~1	1326	1986.1	
	Palo Verde~2	1326	1986.9		
	Palo Verde~3	1330	1988.1		
	韓国	Yonggwang~3	1000	1995.3	
	Yonggwang~4	1000	1996.1		
Ulchin~3	1000	1999.12			
Yonggwang~5	1000	建設中			
Yonggwang~6	1000	建設中			
Ulchin~4	1000	建設中			
Ulchin~5	1000	建設中			

原子炉冷却系での低合金鋼の損傷事例

部位	概要
1次冷却材管	<p>ビブリスA発電所（独，2000年10月） 管台の異材溶接部における製造時欠陥</p> <p>〔原因〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・低合金鋼製管台とステンレス鋼のセーフエンドの異材溶接部において、製造時の欠陥が発見された。異材溶接には、ステンレス鋼が使用されていたが、溶接不良により希釈率が高くなり、硬化した組織で溶接割れが発生したと考えられる。</li> </ul> <p>〔対策〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・溶接材料の選択、溶接金属の化学成分の調整、溶接条件の適切化により異材溶接部の希釈率を適切に管理することが可能であり、割れを防止することができる。</li> </ul>
原子炉容器	<p>欧州における原子炉容器製作時（1970年代） アンダー クラッド クラッキング（UCC）</p> <p>〔原因〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・SA508 Cl.2材に対して、大入熱帯状電極クラッド溶接後、長時間熱処理を実施した場合に発生。溶接熱影響部の粗粒域で、後続ビードによる加熱温度が高く、ビード方向に応力集中がある部分に発生することが明らかとなっている。</li> </ul> <p>〔対策〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料の化学成分と溶接入熱の関係から、UCCの発生限界曲線が明らかとなっている。</li> <li>・使用材料と溶接条件の選定において、この限界曲線を外すことによりUCCの発生は防止できる。</li> <li>・国内プラントでの発生事例はない。</li> </ul>
蒸気発生器	<p>インディアンポイント3号機（米国，1982年） 円錐胴周方向損傷</p> <p>〔原因〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・製作時の溶接後熱処理温度が低かったため、残留応力が高くなりSCCを発生したと報告されている。また、海水成分の持ち込みも多く、内面に発生したピittingも寄与している。</li> </ul> <p>〔対策〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・溶接後の熱処理（焼鈍）の温度範囲・時間範囲を技術基準（省令81号）を満足した施工をすることにより、溶接後熱処理による損傷は発生しない。</li> <li>・信頼性向上の観点から、円錐胴を従来の板曲げ工法からコーナー部のR形状を大きくとった鍛造品に変更し、応力集中の低減を図る。</li> </ul>



## 5 非常用炉心冷却設備

### 系統構成

- ・従来の蓄圧注入系と低圧注入系の機能を統合した高性能蓄圧タンクを格納容器内に4基設置し、原子炉冷却系の低温側配管に1基ずつ接続する。
- ・このタンクからの注入が終了するまでに、格納容器内の水源に貯蔵されたホウ酸水を独立4系統構成の安全注入ポンプにより原子炉容器に直接注入し、炉心を長期的に安全に冷却する。

系統	最新プラント	敦賀3・4号機
蓄圧注入系	蓄圧タンク 33% × 4基	高性能蓄圧タンク 33% × 4基
低圧注入系	ポンプ 100% × 2系列	
高圧注入系	ポンプ(ループ注入) 100% × 2系列	ポンプ(直接注入) 50% × 4系列
非常用水源	格納容器外	格納容器内

### 高性能蓄圧タンク

- ・高性能蓄圧タンクは、タンク底部にうず巻きダンパを有し、2本の流入管の一本は高く持ち上げ(スタンドパイプ)、他の一本(小流量管)の入口を低い位置に設置する。
- ・タンク内の水位が高いときは、両入口からうず巻きダンパに流入した流れが、渦室内で衝突後、渦室内で直進し中心部から流出し、大流量の注入が行われる。
- ・タンク水位が低くなってスタンドパイプからの流入がなくなると、小流量管からの流入のみとなり、その流れは渦室内で強い渦を作って渦室中心の出口ノズルから流出する。
- ・この大流量から小流量への流量切替え原理を確認し、実機への適用性を実証するために試験を行っている。
- ・渦巻きダンパの出口配管は立ち上げとしているが、この理由は、渦巻きダンパの原理によるものではなく設置スペースからくるものである。すなわち、タンク下部から出口配管を取り出す場合に生じるタンクと床面の間の無駄なスペースを排除するためである。
- ・なお、出口配管を上向きにした場合の注入特性は実証試験で確認している。また、取付け方向の違いによる水頭差(約0.5kg/cm<sup>3</sup>)は、タンク内の窒素ガス圧力(初期圧力:約45kg/cm<sup>3</sup>、小流量注入時圧力:約7kg/cm<sup>3</sup>)に比べ小さいことから、取付け方向の違いが注入特性に与える影響は小さいと考えられる。

### 設計容量の考え方

- ・炉心冷却の観点から最も厳しい大破断LOCAを考えた場合、その事故進展は以下の通りである。  
 ブローダウン過程...破断口から冷却水が流出し炉心が露出する過程  
 リフィル過程 ... ECCS作動により原子炉容器のダウンカム、下部プレナムが

冷却水で満たされる過程

(大流量注入が必要)

再冠水過程 ...原子炉容器内が冷却水で満たされ、炉心が水につかる過程  
(中流量注入で十分)

長期冷却過程 ...炉心からの発熱により蒸発する冷却水を補給する過程  
(小流量注入で十分)

- ・ 敦賀 3、4 号機では、高性能蓄圧タンクを採用することにより、今までブローダウン、リフィル過程後に注入系統引継ぎを行っていたものを、再冠水過程の途中で引継ぐ設計となっている。
- ・ また、大破断 L O C A 時の炉心冷却に必要な設備構成を考えた場合、敦賀 3、4 号機は最新 P W R に比べ、低圧注入系が不要となっている分だけ、設備信頼性が向上している。

最新 P W R ...蓄圧注入系(3/4) + 低圧注入系(1/2) + 高圧注入系(1/2)

敦賀 3、4 号機...高性能蓄圧タンク(3/4) + 高圧注入系(2/4)

過 程	最新 P W R (大飯 3、4)	敦賀 3、4 号機
ブローダウン過程 リフィル過程	蓄圧注入系 [ 約 38m <sup>3</sup> (33%) × 4 ]	高性能蓄圧タンク [ 約 90m <sup>3</sup> (33%) × 4 ]
再冠水過程	低圧注入系 [ 約 1020m <sup>3</sup> /h(100%) × 2 ]	
長期冷却過程	+ 高圧注入系 [ 約 320m <sup>3</sup> /h(100%) × 2 ]	高圧注入系 [ 約 300m <sup>3</sup> /h(50%) × 4 ]

\* : 低圧注入系は余熱除去運転に必要な流量も包絡している。  
高圧注入系は小破断 L O C A 時の炉心注入必要流量も包絡している。

#### 安全性の定性評価

- ・ 一般的な確率の考え方によると、設備の信頼性は多重化、簡素化、独立性の観点から向上が図られる。
  - 多重化 ... 機器の台数を増やすことによりシステムの故障確率が下がる。
  - 簡素化 ... 機器の動作をなくす方が信頼性が高くなる。  
動的機器に比べ静的機器の方が信頼性が高くなる。
  - 独立性 ... 多重に設けた機器を物理的、系統的に分離する方が信頼性が高い
- ・ この観点に基づき、定性評価を行った場合、最新プラントに比べて安全性の向上が図られていると考えられる。

安全機能		最新プラント	敦賀3・4号機	安全性への寄与
蓄圧注入機能 (低圧大流量)	系統名	蓄圧注入系	同左	
	系列数	4	同左	
	駆動力	窒素ガス圧力	同左	
低圧注入機能 (低圧中流量)	系統名	低圧注入系	(蓄圧注入系 に統合)	+ (簡素化)
	系列数	2		
	駆動力	ポンプ		
高圧注入機能 (高圧小流量)	系統名	高圧注入系	同左	+ (多重化)
	系列数	2	4	
	駆動力	ポンプ	同左	
	連絡配管	あり	なし	
水源	切替操作	あり(自動)	なし	+ (簡素化)

\* : 高圧注入系の注入ライン構成

最新プラント ...ポンプから出た冷却水は合流した後各ループへ分配注入  
(ポンプ間の連絡配管が存在)

敦賀3・4号機...ポンプから出た冷却水は、独立配管で直接原子炉容器へ注入

#### 確率論的安全評価 ( P S A )

- ・敦賀3、4号機のP S Aについては、その結果を反映したアクシデントマネジメント実施方針を詳細設計以降すみやかに国に報告することとなっている。また、燃料装荷前までに具体的なアクシデントマネジメント策を整備することとなっている。
- ・既設プラントについては、すでに平成6年3月に「アクシデントマネジメント検討報告書」が公表されている。
- ・最新プラント(大飯3、4号機)のP S Aの結果を見ると、炉心損傷確率(  $10^{-7}$ オーダー)の約6割をE C C S再循環機能喪失が占めており、続いてE C C S注入機能喪失が約2割を占めている。(他プラントでも、E C C S再循環機能喪失が5割以上を占めている。)
- ・この結果をもとに敦賀3・4号機の炉心損傷確率を推定してみると、格納容器内水源の採用によりE C C S再循環機能喪失がなくなること、高性能蓄圧タンクの採用(低圧注入系ポンプの排除)や高圧注入系の4系列化によりE C C S注入機能喪失の大幅な低減が期待できることなどにより、最新プラントの炉心損傷確率に比べ、約1桁の低減が見込まれる。
- ・なお、平成13年8月に公表された美浜2号機、高浜3、4号機の定期安全レビューによれば、アクシデントマネジメント整備前後における炉心損傷確率の比較では、約5～6割の低減効果があるとされている。
- ・一方、敦賀3、4号機では、E C C S系の強化による低減に加え、既設プラントで採用しているアクシデントマネジメントを採用することによる低減が見込まれることから、両者をあわせると、既設プラント以上に炉心損傷確率が低減されると予想され

る。

#### アクシデントマネージメント

- ・敦賀3、4号機では、既設プラントで採用しているアクシデントマネージメント（AM）の他、溶融炉心の分散防止・冷却対策として原子炉キャビティ床面積の拡大と形状変更等を検討している。


機能	既設プラントのAM策	採否	具体的内容
原子炉停止機能	緊急2次冷却の多様化		・主給水系を手動起動し、原子炉を冷却する。
炉心冷却機能	代替再循環	-	（格納容器内水源のため、AMは必要ない）
	格納容器内自然対流冷却		・常用のCV冷却系のファンを手動起動し熱交換して、CV圧力上昇を抑える。 ・消火ポンプで原水を常用CV空調冷却器に注入し冷却する ・常用のCV冷却系ファン起動ができない場合でも、常用冷却系の空調冷却器を使用して自然対流を起こし冷却する
	タービンバイパス系の活用		・タービンバイパス弁を用いて復水器で2次系を強制冷却する。
	クールダウン・リサーキュレーション		・原子炉注水、2次系除熱、原子炉強制減圧に常用機器を活用する。
	代替補機冷却	-	・（原子炉補機冷却水系をインタロックでトレン分離するため、AMは必要ない）
放射性物質の閉じこめ機能	格納容器内自然対流冷却		・（炉心冷却機能参照）
	格納容器内注水		・格納容器内に原水タンク等の水を注水し、格納容器破損を防止する。
	1次系強制減圧		・原子炉容器破損が避けられない場合、破損前に加圧器逃がし弁を開放しデブリ飛散影響を緩和する。

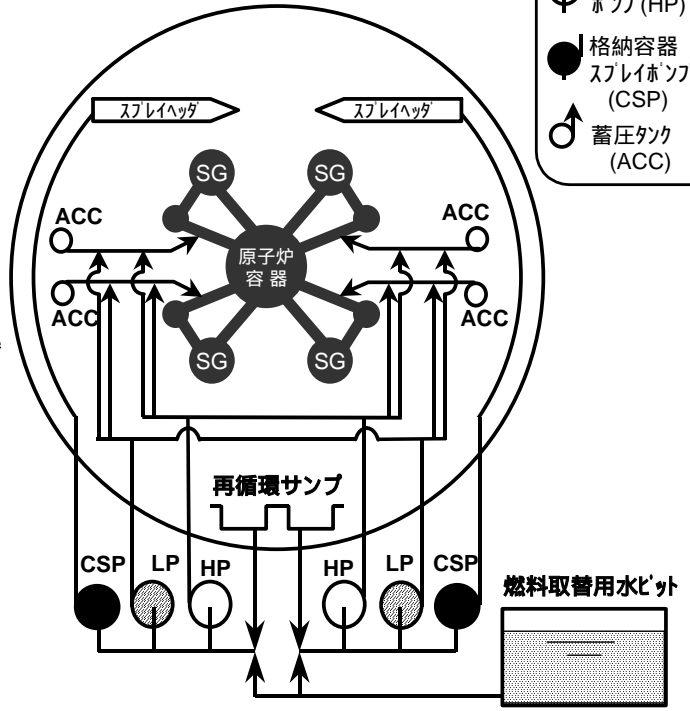
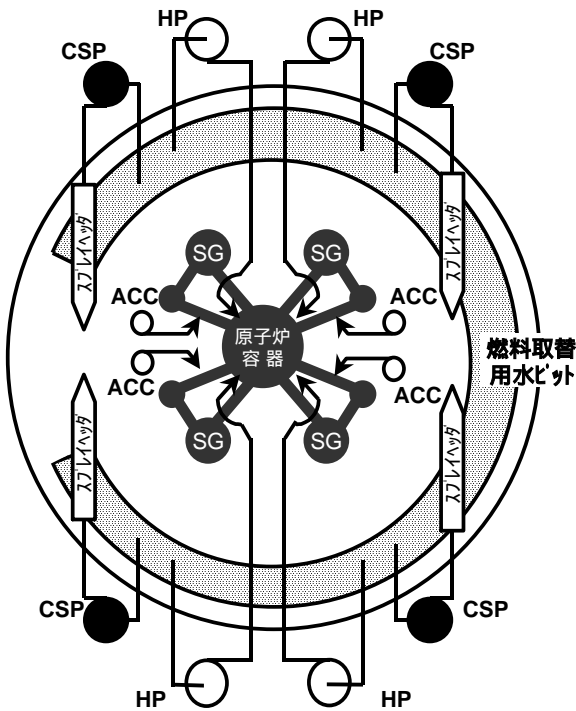
放射性物質の 閉じこめ機能	水素の計画燃焼		・イグナイタを設置し、水素の 爆発燃焼を防止
安全機能の サポート機能	号機間電源融通		・全交流電源喪失時、隣接プラ ントから電源供給する。

# 工学的安全施設の構成比較

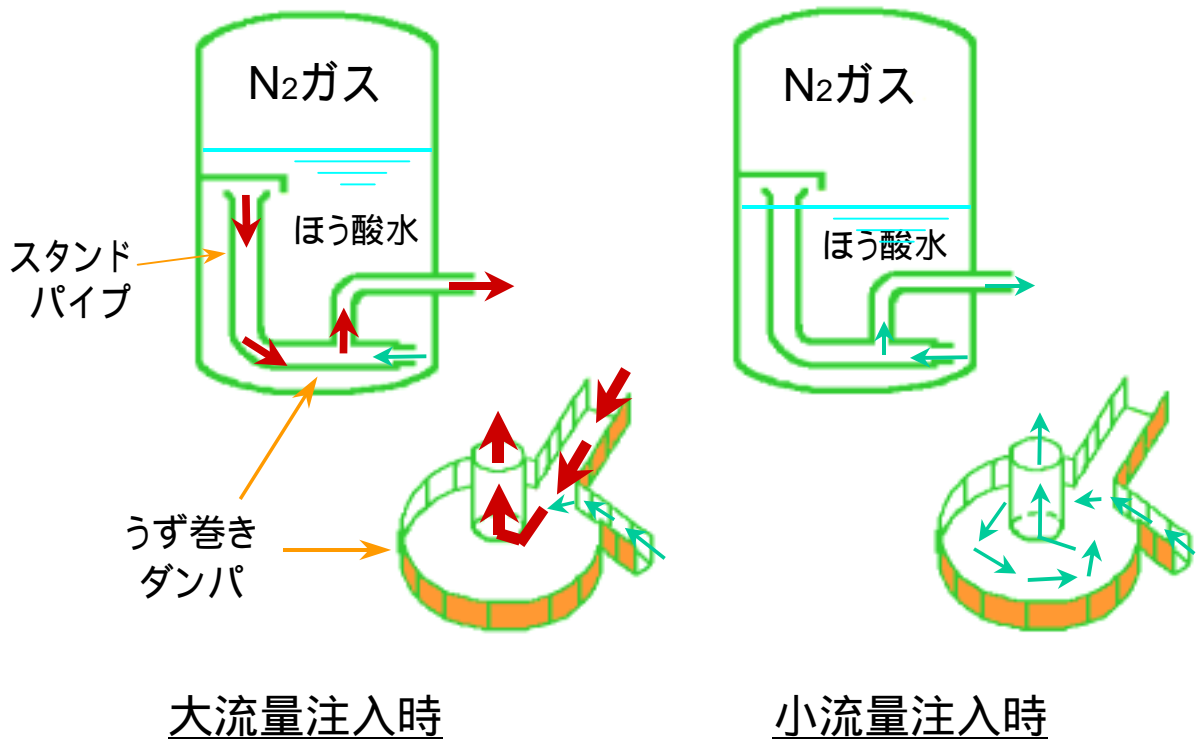
敦賀3,4号機

最新4ループPWR

-  低圧注入ポンプ (LP)
-  高圧注入ポンプ (HP)
-  格納容器スプレイポンプ (CSP)
-  蓄圧タンク (ACC)



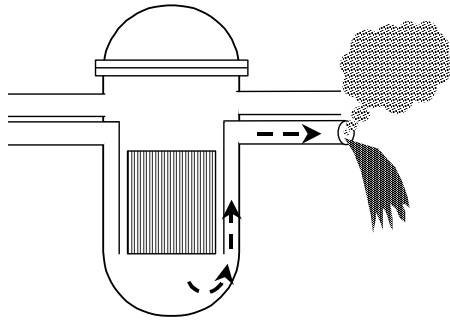
# 高性能蓄圧タンクの原理



# 大破断LOCA時の炉内の流動挙動

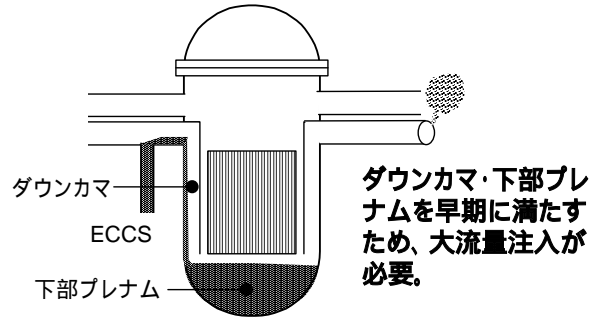
1

## ブローダウン過程



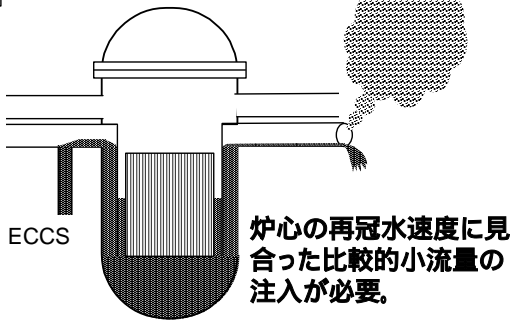
2

## リフィル過程



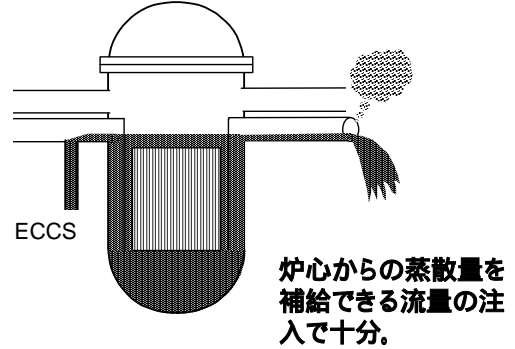
3

## 再冠水過程



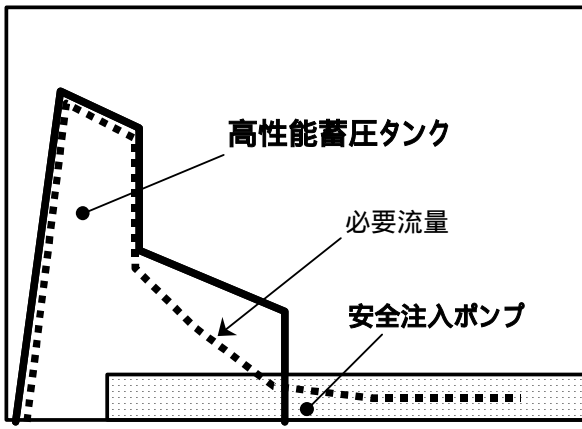
4

## 長期冷却過程



# 高性能蓄圧タンクの機能

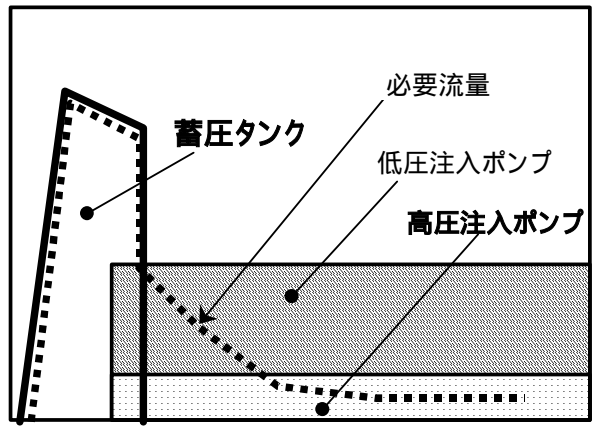
事故発生直後	炉心の水没時	炉心の長期冷却
--------	--------	---------



時間

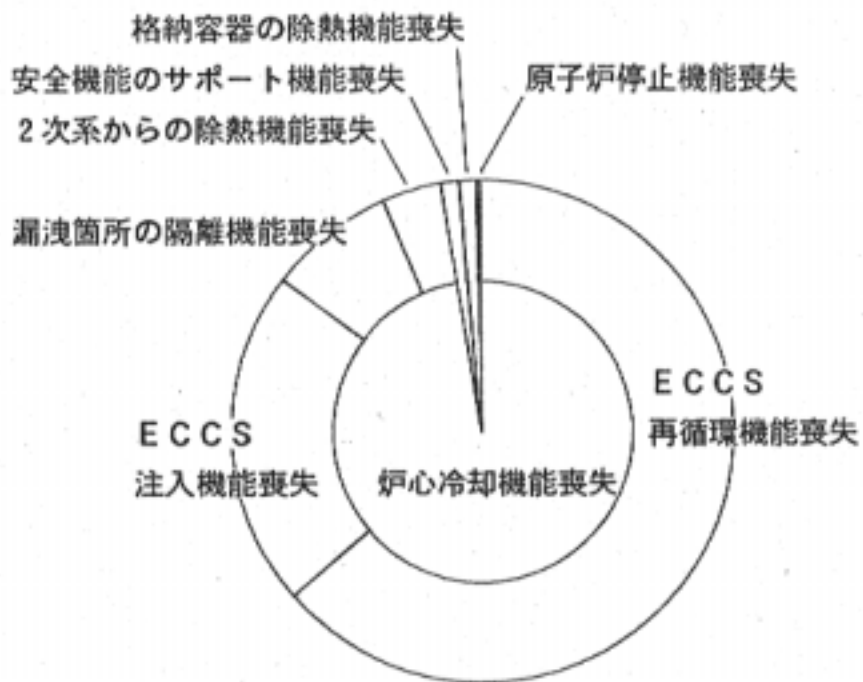
敦賀3,4号機(高性能蓄圧タンク)

事故発生直後	炉心の水没時	炉心の長期冷却
--------	--------	---------

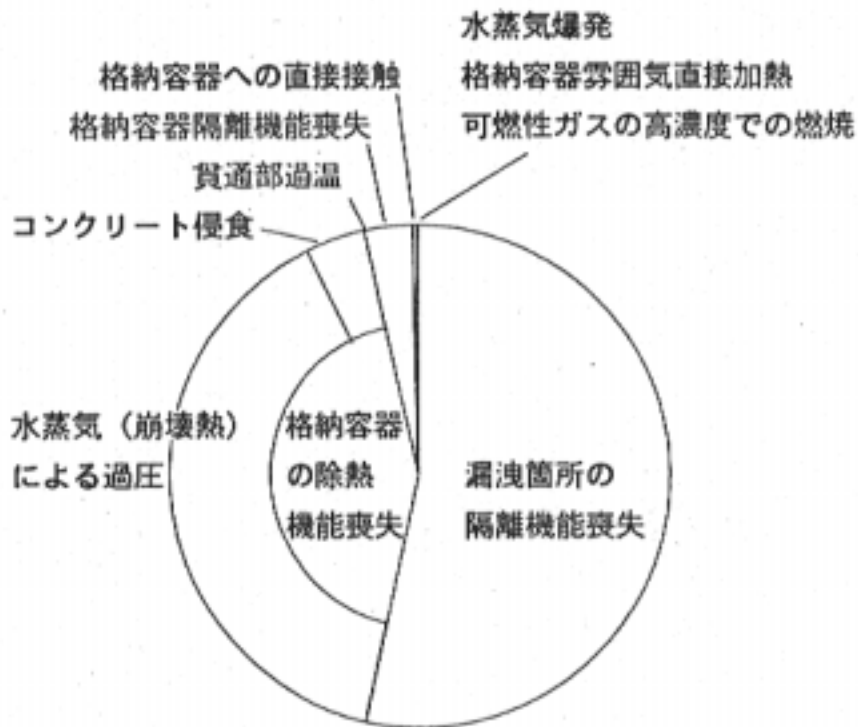


時間

最新4ループPWR

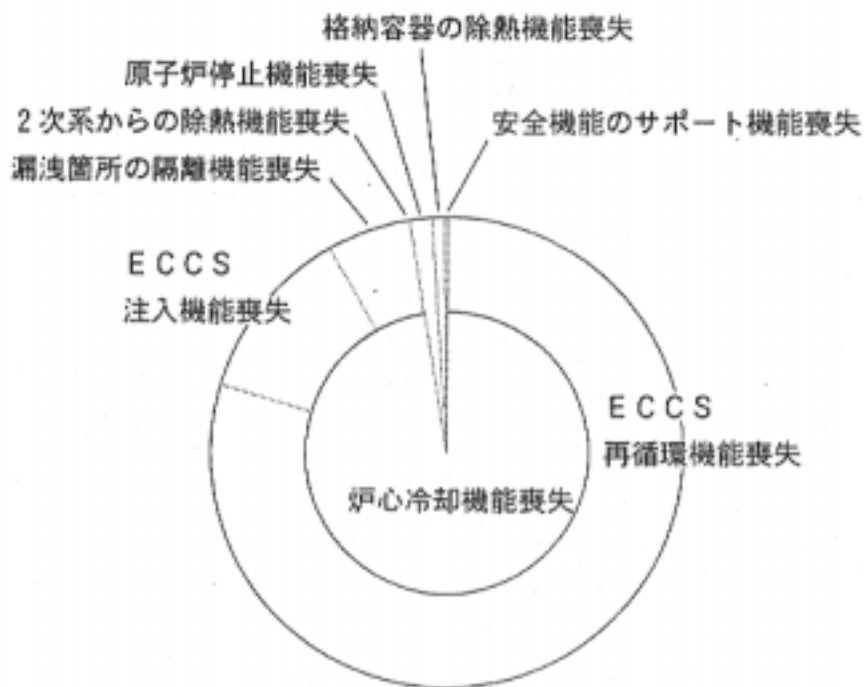


炉心の健全性に関するP S A結果



格納容器の健全性に関するP S A結果



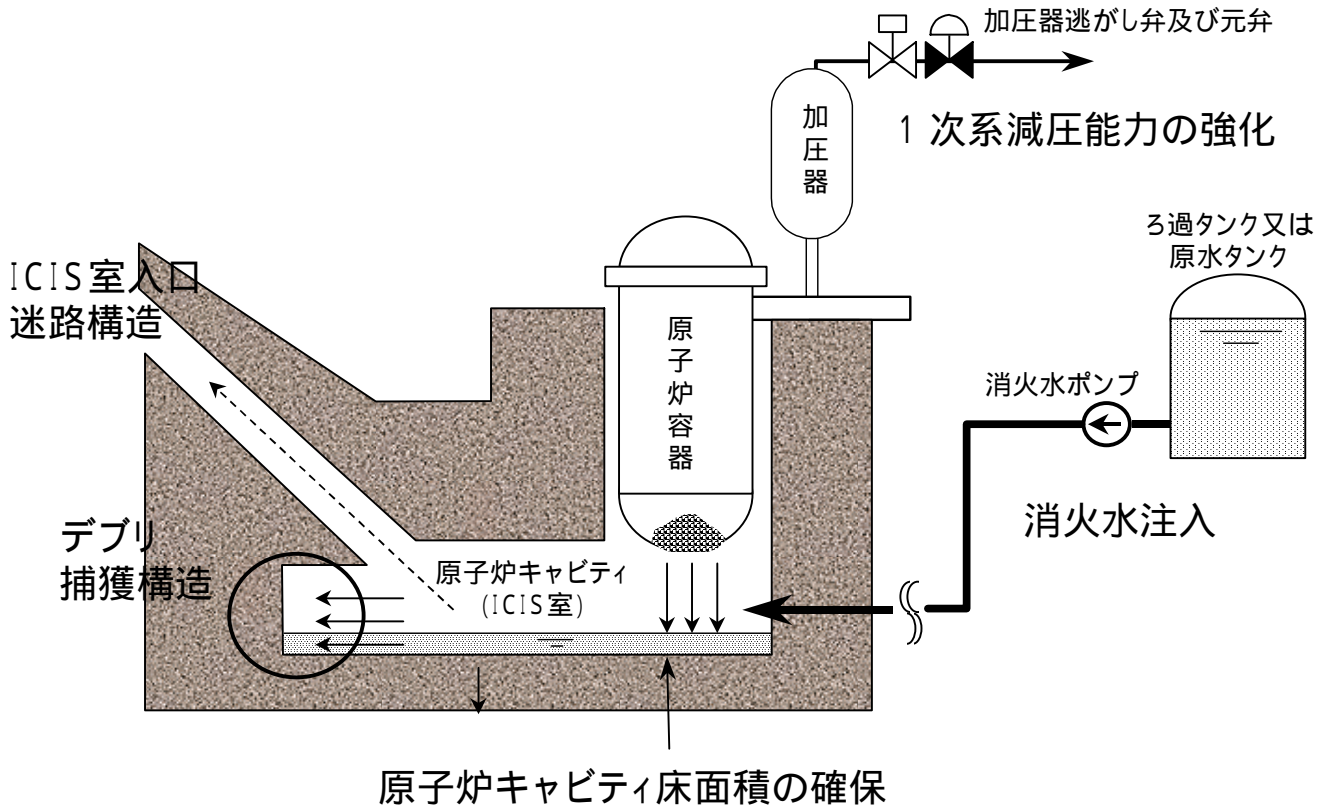


炉心の健全性に関するP S A結果



格納容器の健全性に関するP S A結果

# 溶融炉心の分散防止・冷却対策の概要（検討中）



## 6 ホウ酸注入系

### 系統構成

- ・敦賀 2 号機では、主蒸気破断事故時に炉心を早期に未臨界とするために、高圧注入系にホウ酸注入タンクを設置し、高濃度のほう酸水を注入する設計としている。
- ・敦賀 3、4 号機では、非常用炉心冷却系の信頼性を維持しつつ、主蒸気管破断時に炉心を早期に未臨界とするために、高圧注入系とは別にホウ酸注入系を設ける設計である。
- ・具体的には、事故時に化学体積制御設備にあるホウ酸タンクから高濃度ホウ酸を注入できるよう、充てんポンプ 3 台のうち 2 台について過冷却事象時に炉心注入可能な設計としている。

主蒸気管破断事故時の臨界抑制機能

系統	敦賀 2 号機	敦賀 3、4 号機
高圧注入系	高圧注入ポンプ 2 台 ・燃料取替用水タンク ( 2500ppm 以上 )	安全注入ポンプ 4 台 ・燃料取替用水ピット ( 560ppm 以上 )
	充てん / 高圧注入ポンプ 2 台 ・燃料取替用水タンク ( 2500ppm 以上 ) ・ホウ酸注入タンク ( 21000ppm 以上 )	
化学体積制御系	-	充てん / ホウ酸注入ポンプ 2 台 ・ホウ酸タンク ( 4400ppm 以上 )

\* : 敦賀 3、4 号機は 90%濃縮ほう素を用いている。  
ボロン濃度は既設と同等の反応度制御能力を有するように設定している。

### 主蒸気管破断事故

- ・主蒸気管破断事故は、原子炉の高温停止時に、2 次冷却系の破断等により、1 次冷却材の温度が低下し、反応度が添加される事象である。
- ・主蒸気管の破断に伴い、反応度が添加されても、原子炉が臨界に達しない設計であることが示される場合には、解析を省略することができるが、原子炉が臨界に達する場合には、確実に臨界未満に復帰することが確認された上で、  
炉心は著しい損傷に至ることなく、かつ、十分な冷却が可能であること  
原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力は、最高使用圧力の 1.2 倍以下であること  
を確認することとなっている。

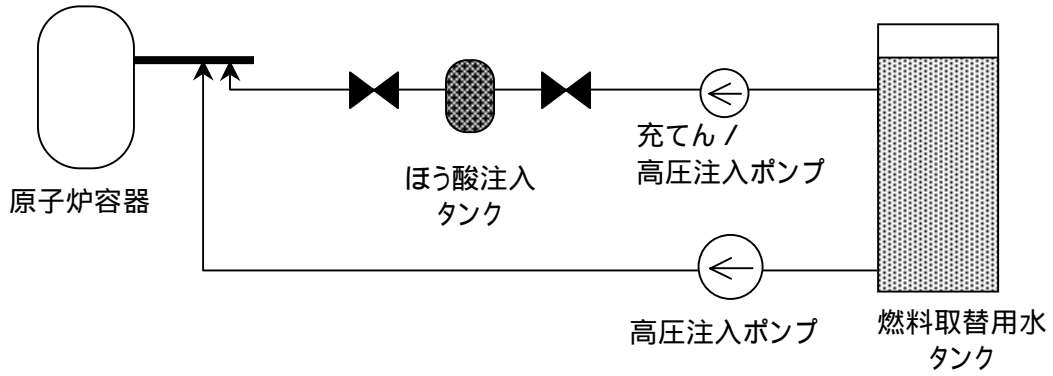
- ・ さらに、臨界状態継続中に事象が進展しないことを確認するためのめやすとして、  
 最小限界熱流束比が許容限界値以上であること  
 燃料被覆管は機械的に破損しないこと  
 原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力は最高使用圧力の1.1倍以下である  
 こと  
 が満足される必要がある。
- ・ また、臨界未満に復帰するまで、他の異常状態が発生しないことが容易に推定できる  
 ことが必要である。
- ・ いずれにしても、臨界継続時間は判断の基準やめやすとはなっていない。

#### 濃縮ホウ素の採用

- ・ ホウ素は、天然には反応度制御能力を有する<sup>10</sup>Bを約18%含んでいるが、敦賀3、  
 4号機では、90%まで高めた濃縮ホウ素を用いる計画である。これは、同じ反応度  
 制御能力を得るのに、1/5程度のホウ素濃度で良いことを示している。
- ・ 濃縮ホウ素採用によるメリットは、放射線被ばくの低減である。
- ・ PWRでは、1次系設備の腐食を防止して作業員の被ばくを低減させるために、1次  
 冷却材のPHについて、ホウ酸添加による酸性側の状態からアルカリ側に移行させる  
 処理（水酸化リチウム添加によるアルカリ処理）を行っている。
- ・ 水酸化リチウムの添加量については、燃料被覆管腐食防止の観点から上限があり、従  
 来のプラントにおいては、運転初期のホウ酸濃度が高い時に、水酸化リチウムを必要  
 量添加することができないために、最適なPHを維持することが難しい状況にあった。
- ・ 濃縮ホウ素を採用することにより、運転初期の1次冷却材中のホウ酸濃度を抑えるこ  
 とが可能となったため、運転期間すべてにわたり最適PHを維持することが可能とな  
 り、これにより、腐食生成物の発生が抑えられ、作業員の被ばくが低減される。

## ほう酸注入系の概略系統構成の比較

敦賀 2号機



敦賀 3,4号機

