





赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
		
<p>図25 THAI PROJECT 試験 PAR 計測位置</p>	<p>図25 THAI Project 試験用 PAR 計測位置</p>	
		
<p>図26 試験結果 (PAR 温度の時間変化)</p>	<p>図26 試験結果 (PAR 温度の時間変化 ; PAR 筐体温度あり)</p>	
<p>□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉

泊発電所3号炉

相違理由

(7) 水素再結合反応開始の遅れに対する解析への影響について

(7) 水素再結合反応開始の遅れに対する解析の影響について

a. 水素再結合反応開始の水素濃度

a. 水素再結合反応開始の水素濃度

(5)での試験結果は再結合反応開始の水素濃度に違いがあることを示しており、再結合反応の開始が遅れることが懸念されるため、再結合反応開始遅れが格納容器水素濃度に与える影響について検討した。

(5)での試験結果は再結合反応開始の水素濃度に違いがあることを示しており、再結合反応の開始が遅れることが懸念されるため、再結合反応開始遅れが格納容器水素濃度に与える影響について検討した。

(5)での試験結果（水素濃度    vol%以内に起動）に余裕を 見 た水素濃度 5vol%で仮に再結合反応が開始された場合の影響について以下に示す。

(5)での試験結果（水素濃度    vol%以内に起動）に余裕を み た水素濃度 5vol%で仮に再結合反応が開始された場合の影響について以下に示す。

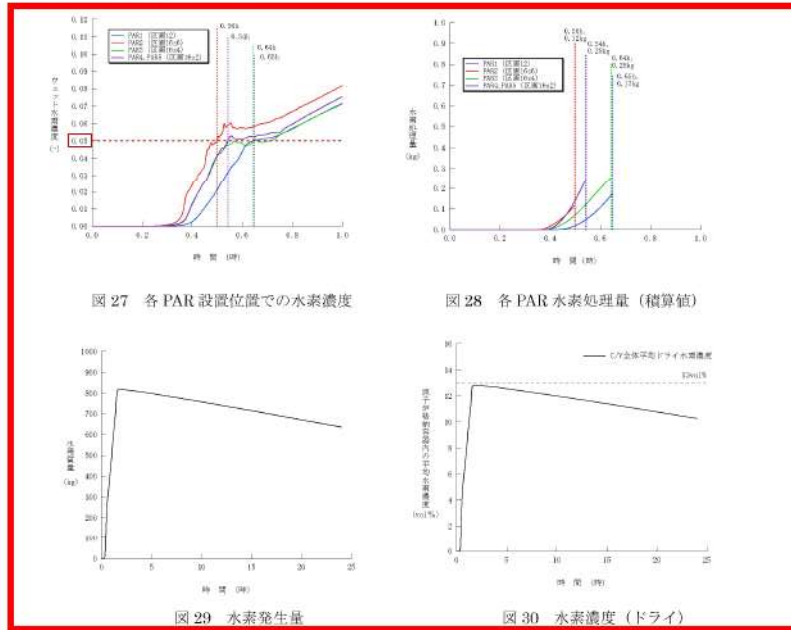
図27に大阪発電所3、4号機に設置している各PAR設置位置での水素濃度の変化を示す。図28に各PARの水素濃度5vol%に到達するまでの水素処理量を示す。

図27に泊3号炉に設置している各PAR設置位置での水素濃度の変化を示す。図28に各PARの水素濃度5vol%に到達するまでの水素処理量を示す。

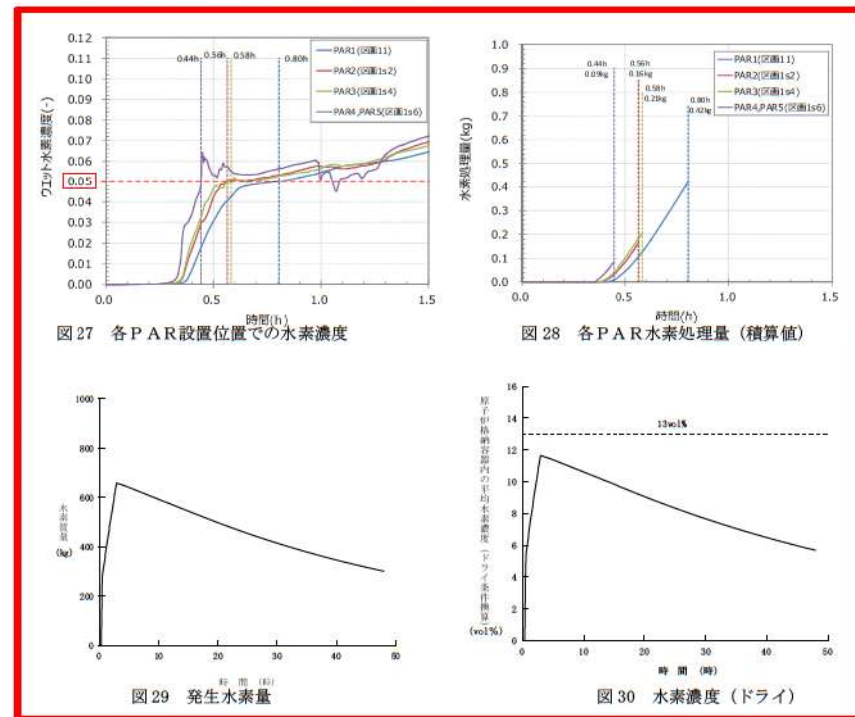
水素濃度5vol%までPARが起動しない場合、約1kgの未反応分が生じる。これより、水素再結合反応開始の水素濃度が遅れることによる性能評価式の不確かさは事故初期の水素発生量（約820kg、図29）に対し0.1%程度であり、水素濃度（ドライ約12.8%、図30）としては約0.02%増加するだけであり、影響は微小である。

水素濃度5vol%までPARが起動しない場合、約1kgの未反応分が生じる。これより、水素再結合反応開始の水素濃度が遅れることによる性能評価式の不確かさは事故初期の水素発生量（約659kg、図29）に対し0.2vol%程度、水素濃度（ドライ約11.7vol%、図30）としては0.02vol%程度とされ、影響は微小である。

解析結果の相違



   内は機密に属するものですので公開できません。



   枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉

b. 水素再結合反応開始の時間

KALI-H2 Test ではスプレー水有無による再結合反応開始の時間遅れについても確認しており、以下に示すとおりスプレー水有無に関係なく最大で9分遅れの結果となっている。

試験で確認された結果に余裕を見た反応開始時間遅れ10分による影響を検討する。

PAR5 個の水素処理速度は図32のように事故初期において最大約13kg/hである。仮に10分間の起動遅れがあった場合、保守的に評価すると約2.2kg (=13kg/h×1/6h)の未反応分が生じる。これより、スプレー水による水素再結合反応開始の時間遅れによる性能評価式の不確かさは、事故初期の全体水素発生量(約820kg)に対し0.3%程度、水素濃度(ドライ約12.8%)としては約0.03%程度と推定され、影響は微小である。

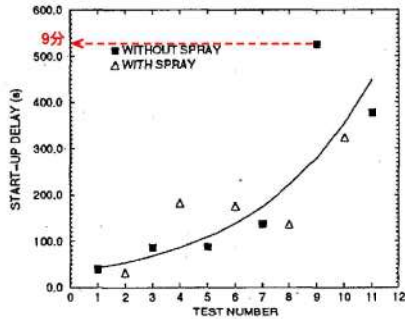


Fig. 2. Start-up delay

[Ref.] Hydrogen Mitigation by a SIEMENS Recombiner in KALI Facilities, G. Avakian, L. Averlant, ENS Class 1 Topical Meeting on "Research Facilities of Nuclear Energy", Brussels.

Table 1. Initial conditions without spray

Serial nb	Test	Pressure (bar)	Temperature (°C)	Y (%)
1	Ka-2	2.45	103.5	9.8
3	Ka-4	2.85	113.5	9.7
5	Ka-6	3.45	124	10.
7	Ka-9	4.20	133	9.5
9	Ka-11	5.20	142.1	8.6

Table 2. Initial conditions with spray

Serial nb	Test	Pressure (bar)	Temperature (°C)	Y (%)
2	Ka-3	2.32	104	9.7
4	Ka-5	2.78	113.7	9.6
6	Ka-7	3.40	123.5	9.8
8	Ka-10	4.20	133	9.5
10	Ka-12	5.20	141.5	8.3

図31 各PAR水素処理量(積算値)

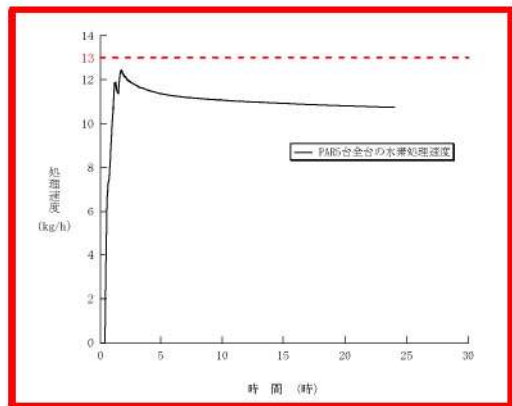


図32 水素処理速度

泊発電所3号炉

b. 水素再結合反応開始の時間

KALI-H2 Test ではスプレー水有無による再結合反応開始の時間遅れについても確認しており、以下に示すとおりスプレー水有無に関係なく最大で9分遅れの結果となっている。

試験で確認された結果に余裕をみた反応開始時間遅れ10分による影響を検討する。

PAR5 台の水素処理速度は図32のように事故初期において最大約13kg/hである。仮に10分間の起動遅れがあった場合、保守的に評価すると約2.2kg (=13kg/h×1/6h)の未反応分が生じる。これより、スプレー水による水素再結合反応開始の時間遅れによる性能評価式の不確かさは、事故初期の水素発生量(約659kg)に対し0.3vol%程度、水素濃度(ドライ約11.7vol%)としては0.04vol%程度と推定され、影響は微小である。

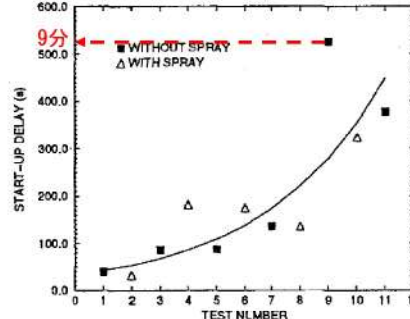


Fig. 2. Start-up delay

[Ref.] Hydrogen Mitigation by a SIEMENS Recombiner in KALI Facilities, G. Avakian, L. Averlant, ENS Class 1 Topical Meeting on "Research Facilities of Nuclear Energy", Brussels, Belgium, 1996

Table 1. Initial conditions without spray

Serial nb	Test	Pressure (bar)	Temperature (°C)	Y (%)
1	Ka-2	2.45	103.5	9.8
3	Ka-4	2.85	113.5	9.7
5	Ka-6	3.45	124	10.
7	Ka-9	4.20	133	9.5
9	Ka-11	5.20	142.1	8.6

Table 2. Initial conditions with spray

Serial nb	Test	Pressure (bar)	Temperature (°C)	Y (%)
2	Ka-3	2.32	104	9.7
4	Ka-5	2.78	113.7	9.6
6	Ka-7	3.40	123.5	9.8
8	Ka-10	4.20	133	9.5
10	Ka-12	5.20	141.5	8.3

図31 各PAR水素処理量(積算値)

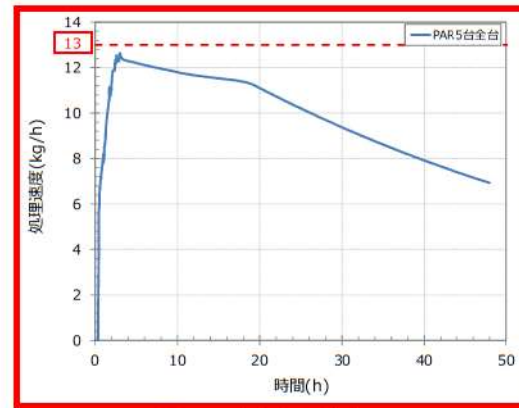


図32 水素処理速度

解析結果の相違

泊発電所3号炉 SA基準適合性 比較表

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉

泊発電所3号炉

相違理由

(8) PARの実証試験の大飯発電所3, 4号機への適用について  
 実証試験で確認されたスプレイ水、エアロゾル等の毒物、高水蒸気濃度、温度などの影響に対する大飯発電所3, 4号機への適用性について一覧表に整理した。

(8) PARの実証試験の泊3号炉への適用について  
 実証試験で確認されたスプレイ水、エアロゾル等の毒物、高水蒸気濃度、温度などの影響に対する泊3号炉への適用性について一覧表に整理した。

パラメータ	試験機関	パラメータの試験条件	大飯発電所3, 4号機の運転条件(参考)	大飯発電所3, 4号機への適用性
スプレイ水	EDF KALI-H2 Test	・スプレイ水 NaOH/ほう酸水 ・スプレイ流量 0.0736kg/s (試験容積とCV自由体積の比で換算した場合 約343.9kg/s)	大飯発電所3, 4号機の運転条件(参考) ・スプレイ水 ヒドラジン ・スプレイ流量 約908kg/s (MAAP解析)	・EDF KALI-H2 Testはヒドラジンの影響を確認し、影響ないと結果であるが、スプレイ流量が大飯3, 4号機の条件を下回っており、参考扱いとしている。 ・メーカー社内試験では、大飯発電所3, 4号機と同じヒドラジンの影響を確認し、また保守的なスプレイ流量で影響がないことを確認している。 ・KALI試験結果として、再結合反応開始時間に遅れが見られている。試験結果に余裕を見て反応開始が10分遅れとした場合の影響評価を行い、性能評価式の不確かさは大飯発電所3, 4号機において水素濃度で0.03%程度で、微小であることを確認。
	メーカー社内試験	・スプレイ水 [ ] ・スプレイ流量 [ ]		
エアロゾル	EDF, CEA/IPSN H2PAR Program	・エアロゾル よう素他 200mg/m <sup>3</sup>	エアロゾル発生量 最大約900mg/m <sup>3</sup> (MAAP解析)	・EDF, CEA/IPSN H2PAR Programでエアロゾルの影響確認試験を実施し、エアロゾルの水素低減性能への影響が小さいとの結論であるが、大飯発電所3, 4号機の条件を下回っており、参考扱いとしている。 ・OECD/NEA THAI PROJECTでは、大飯発電所3, 4号機に対し保守的な条件で実施されていて、エアロゾルの影響がないとの結果を得ている。 ・なお、MAAP解析の結果、エアロゾルはスプレイ水により1h程度で原子炉格納容器気相部から除去されている。 ・さらに、試験結果から仮にエアロゾルの影響で、約15%水素低減性能が低下
	OECD/NEA THAI PROJECT	・エアロゾル等 よう素他 1500~2500mg/m <sup>3</sup>		

パラメータ	実証機関	パラメータの試験条件	泊3号炉の運転条件(参考)	泊3号炉への適用性
スプレイ水	EDF KALI-H2 Test	・スプレイ水 NaOH/ほう酸水 ・スプレイ流量 0.0736kg/s (試験容積とCV自由体積の比で換算した場合 309.6kg/s)	泊3号炉の運転条件(参考) ・スプレイ水 ヒドラジン ・スプレイ流量 約714 kg/s (MAAP解析)	・EDF KALI-H2 Testはスプレイ流量が泊3号炉の条件を下回っており、参考扱いとしている。 ・メーカー社内試験では泊3号炉に対して保守的なスプレイ流量で影響がないことを確認している。 ・KALI試験結果として、再結合反応開始時間に遅れが見られている。試験結果に余裕を見て10分遅れとした場合の影響評価を行い、性能評価式の不確かさは泊3号炉において水素濃度で0.04vol%程度で、微小であることを確認。
	メーカー社内試験	・スプレイ水 [ ] ・スプレイ流量 [ ]		
			[ ] (MAAP解析結果)スプレイ流量	

解析結果の相違  
 ・スプレイ流量が相違しているが、PAR実証試験結果を適用し、水素低減性能に有意な影響がないとする評価は同じ。

[ ] 内は機密に属するものですので公開できません。

[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉

泊発電所3号炉

相違理由

パラメータ	試験機関	パラメータの試験条件	大飯発電所3, 4号機の運転条件(参考)	大飯発電所3, 4号機への適用性
スプレイ水	EDF KALI-H2 Test	・スプレイ水 MaOH/ほう酸水 ・スプレイ流量 0.0736kg/s (試験容積とCV自由体積の比で換算した場合 約343.9kg/s)	・スプレイ水 ヒドラジン ・スプレイ流量 約908kg/s (MAAP解析)	・EDF KALI-H2 Testはドラジンの影響を確認し、影響がないとの結果であるが、スプレイ流量が大飯3, 4号機の条件を下回っており、参考扱いとしている。 ・メーカ社内試験では、大飯発電所3, 4号機と同じヒドラジンの影響を確認し、また保守的なスプレイ流量で影響がないことを確認している。 ・KALI試験結果として、再結合反応開始時間に遅れが見られている。試験結果に余裕を見て反応開始が10分遅れとした場合の影響評価を行い、性能評価式の不確かさは大飯発電所3, 4号機において水素濃度で0.03%程度で、微小であることを確認。
	メーカ社内試験	・スプレイ水 ・スプレイ流量		
エアロゾル	EDF, CEA/IPSN H2PAR Program	・エアロゾル よう素他 200mg/m <sup>3</sup>	エアロゾル発生量 最大約900mg/m <sup>3</sup> (MAAP解析)	・EDF, CEA/IPSN H2PAR Programでエアロゾルの影響確認試験を実施し、エアロゾルの水素低減性能への影響が小さいとの結論であるが、大飯発電所3, 4号機の条件を下回っており、参考扱いとしている。 ・OECD/NEA THAI PROJECTでは、大飯発電所3, 4号機に対し保守的な条件で実施されていて、エアロゾルの影響がないとの結果を得ている。 ・なお、MAAP解析の結果、エアロゾルはスプレイ水により1h程度で原子炉格納容器気相部から除去されている。 ・さらに、試験結果から仮にエアロゾルの影響で、約15%水素低減性能が低下
	OECD/NEA THAI PROJECT	・エアロゾル等 よう素他 1500~2500mg/m <sup>3</sup>		

□内は機密に属するものですので公開できません。

本記載は、比較のため前頁の大飯欄の再掲

パラメータ	実証機関	パラメータの試験条件	泊3号炉の運転条件(参考)	泊3号炉への適用性
エアロゾル	EDF, CEA/IPSN H2PAR Program	・エアロゾル ヨウ素他200mg/m <sup>3</sup>	エアロゾル発生量 最大約1100mg/m <sup>3</sup> (MAAP解析)	・EDF, CEA/IPSN H2PAR Programでエアロゾルの影響確認試験を実施し、エアロゾルの水素低減性能への影響が小さいとの結論であるが、泊3号炉の条件を下回っており、参考扱いとしている。 ・OECD/NEA THAI Projectでは、泊3号炉に対し保守的な条件で実施されていて、エアロゾルの影響はないとの結果を得ている。 ・なお、MAAP解析の結果、エアロゾルはスプレイ水により2h程度で格納容器気相部から除去されている。 ・さらに、試験結果から仮にエアロゾルの影響で、約15%水素低減性能が低下したとみなした場合の影響評価を行い、性能評価式の不確かさは泊3号炉において水素濃度で0.04vol%程度で、微小であることを確認。
	OECD/NEA THAI Project	・エアロゾル等 ヨウ素他 1500~2500mg/m <sup>3</sup>		
水素濃度	TÜV (メカ試験)	・水素濃度 4~15vol%(トライ)	・水素濃度 13vol%未満(トライ) (最大約11.7vol%) (GOTHIC解析)	・TÜV試験は、泊3号炉に対し保守的な条件で実施されていて、高水素濃度の影響はないとの結果を得ている。

解析結果の相違  
 ・エアロゾル発生量が相違しているが、PAR実証試験結果を適用し、エアロゾルは速やかにCV気相部から除去され、水素低減性能に有意な影響がないとする評価は同じ。  
 ・CV内の最大水素濃度は相違しているが、PAR実証試験結果を適用し、水素低減性能に有意な影響がないとする評価は同じ。  
 (水素濃度は、次葉の大飯記載と比較)

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉					泊発電所3号炉					相違理由
水素濃度	TÜV (J-カ試験)	・水素濃度 4~15vol% (D'ライ)	・水素濃度 13vol%未満 (D'ライ) (最大約 12.8vol%) (GOTHIC解析)	したとみなした場合の影響評価を行い、性能評価式の不確かさは大飯発電所3、4号機において水素濃度で0.03%程度で、微小であることを確認。	パラメータ	実証機関	パラメータの試験条件	泊3号炉の運転条件 (参考)	泊3号炉への適用性	解析結果の相違 ・(水素濃度については、前頁の相違理由欄に記載) ・水蒸気濃度が相違しているが、PAR実証試験結果を適用し、SA発生後の初期段階を除いて水蒸気濃度は低いことから、水素低減性能に有意な影響がないとする評価は同じ。 ・(温度は、次葉に大飯記載を再掲し比較)
水蒸気濃度	OECD/NEA THAI PROJECT	・水蒸気濃度 <input type="text"/> %	・水蒸気濃度 4.6~59.2vol% (GOTHIC解析)	・TÜV試験は、大飯発電所3、4号機に対し保守的な条件で実施されており、高水素濃度の影響はないとの結果を得ている。 ・水蒸気濃度が高い場合は若干の性能低下が見られるが、水蒸気濃度25%以下であれば性能に影響はない。 ・大飯発電所3、4号機の条件は初期を除き25%以下で推移することから、PAR性能に対し影響はないと考える。	水蒸気濃度	OECD/NEA THAI Project	・水蒸気濃度 <input type="text"/> vol%	・水蒸気濃度 0~86.1vol% (GOTHIC解析結果)	・水蒸気濃度が高い場合は若干性能の低下が見られるが、水蒸気濃度25vol%以下であれば性能に影響はない。 ・泊3号炉の条件は初期を除き25vol%以下で推移することから、PAR性能に対し影響はないと考える。	
パラメータ	試験機関	パラメータの試験条件	大飯発電所3、4号機の運転条件 (参考)	大飯発電所3、4号機への適用性						
温度	メーカー社内試験	・温度 <input type="text"/> 約25~117℃	・温度 約37~172℃ (GOTHIC解析)	・SA初期を除き、試験は大飯発電所3、4号機の温度条件と同レベルで実施されている。 ・試験結果として、再結合反応開始濃度に明確な温度依存性は見られないが、再結合開始濃度は余裕を見て5vol%とした場合の影響評価を行い、性能評価式の不確かさは大飯発電所3、4号機において水素濃度で0.06%程度であることを確認。	<p>(GOTHIC解析)格納容器水蒸気濃度</p>					

\*GOTHIC コードは、MAAP コードの出力を入力して計算しているため、事故初期の流動変動の激しい期間の予測には適していない。  
 MAAP コードは、大破断 LOCA 時の事象初期の流動変化が激しい状況でも適用性が低い。  
 (設計基準事故時の結果：最高温度約 117℃)

内は機密に属するものですので公開できません。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉

泊発電所3号炉

相違理由

パラメータ	試験機関	パラメータの試験条件	大飯発電所3, 4号機の運転条件 (参考)	大飯発電所3, 4号機への適用性
温度	メーカー社内試験	・温度 [ ] °C	・温度 約37~172°C (GOTHIC解析)	・SA初期を除き、試験は大飯発電所3, 4号機の温度条件と同レベルで実施されている。 ・試験結果として、再結合反応開始濃度に明確な温度依存性は見られないが、再結合開始濃度は余裕を見て5vol%とした場合の影響評価を行い、性能評価式の不確かさは大飯発電所3, 4号機において水素濃度で0.06%程度であることを確認。

\*GOTHIC コードは、MAAP コードの出力を入力して計算しているため、事故初期の流動変動の激しい期間の予測には適していない。  
 MAAP コードは、大破断LOCA時の事象初期の流動変化が激しい状況でも適用性が低い。  
 (設計基準事故時の結果：最高温度約117°C)

[ ] 内は機密に属するものですので公開できません。

本記載は、比較のため前頁の大飯欄の再掲

パラメータ	実証機関	パラメータの試験条件	泊3号炉の運転条件 (参考)	泊3号炉への適用性
温度	OECD/NEA THAI Project	・温度 [ ] °C	・温度 約36~171*°C (MAAP解析結果)	・SA初期を除き、試験は泊3号炉の温度条件と同レベルで実施されている。 ・試験結果として、再結合反応開始濃度に明確な温度依存性は見られないが、再結合開始濃度は余裕を見て5vol%とした場合の影響評価を行い、性能評価式の不確かさは泊3号炉において水素濃度0.02vol%程度で、微小であることを確認。
	TÜV (マカ試験)	・温度 [ ] °C		
			<p>(MAAP解析*)格納容器ドーム部の温度</p>	

\* MAAPコードは、大破断LOCA時の事象初期の流動変化が激しい状況での適用性が低いため、設計基準事故時の結果を参照(設計基準事故時の結果：最高温度約124°C)

[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

解析結果の相違  
 ・解析温度及び解析手法が相違しているが、PAR実証試験結果を適用し、温度依存性は明確に見られず水素処理開始濃度に余裕を見て評価した結果、水素低減性能に有意な影響がないとする評価は同じ。

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

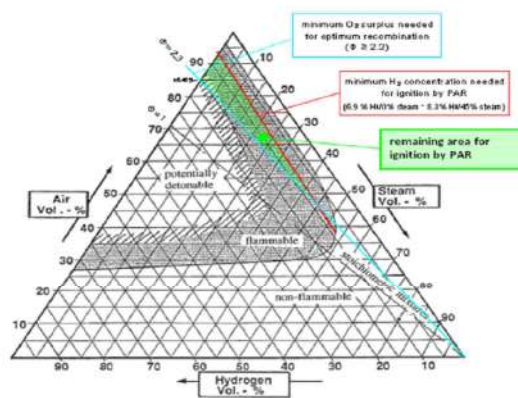
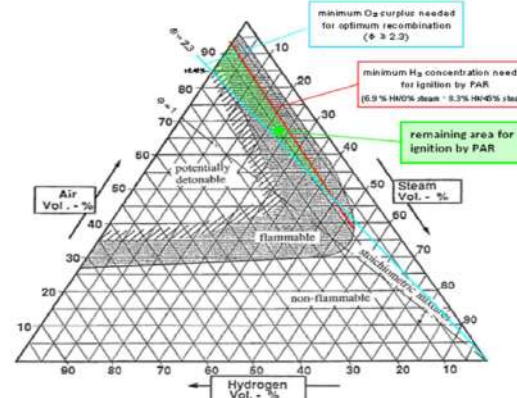
第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉					泊発電所3号炉					相違理由
パラメータ	試験機関	パラメータの試験条件	大阪発電所3, 4号機の運転条件(参考)	大阪発電所3, 4号機への適用性	パラメータ	実証機関	パラメータの試験条件	泊3号炉の運転条件(参考)	泊3号炉への適用性	解析結果の相違 ・格納容器内の圧力値が相違しているが、PAR実証試験が運転状態と同レベルで実施した結果であるとする評価は同じ。
圧力	OECD/NEA THAI PROJECT	・圧力 [ ] bar (約 [ ] MPa)	・圧力 約0.10～0.36MPa (GOTHIC解析)	・OECD/NEA THAI PROJECTで大阪発電所3, 4号機の圧力条件と同レベルの圧力 [ ] bar (約 [ ] MPa)の試験を実施している。	圧力	OECD/NEA THAI Project	・圧力 [ ] bar (約 [ ] MPa)	・圧力 約0.10～0.34* MPa (MAAP解析)	・泊3号炉の圧力条件と同レベルの圧力の試験を実施している。	
*GOTHIC コードは、MAAP コードの出力を入力して計算しているため、事故初期の流動変動の激しい期間の予測には適していない。 MAAP コードは、大破断LOCA時の事象初期の流動変化が激しい状況でも適用性が低い。 (設計基準事故時の結果：最高圧力約0.21MPa)					*MAAPコードは、大破断LOCA時の事象初期の流動変化が激しい状況での適用性が低いため、設計基準事故時の結果を参照(設計基準事故時の結果：最高圧力約0.34MPa)					
[ ] 内は機密に属するものですので公開できません。					[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。					
圧力					<p>(MAAP解析*)格納容器ドーム部の圧力</p>					

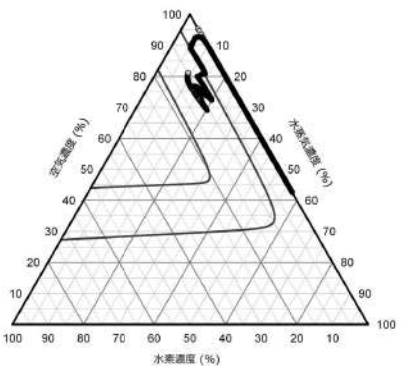
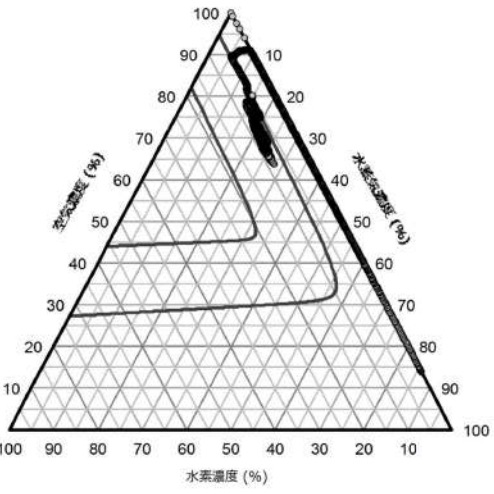


赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

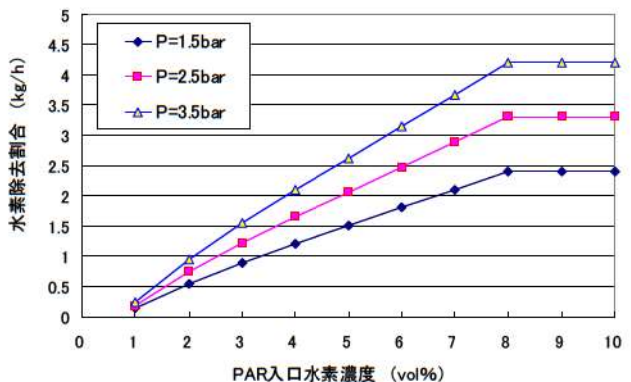
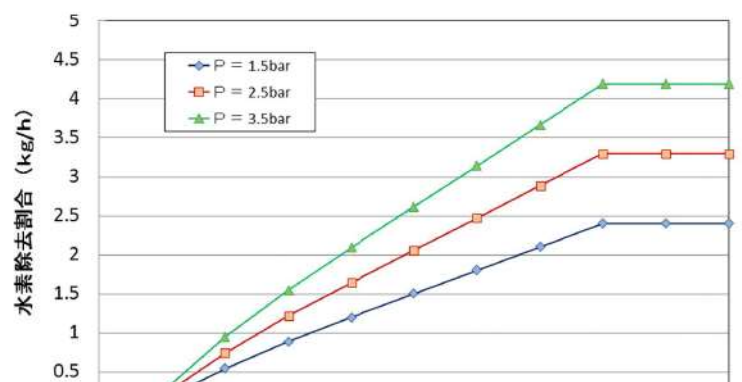
大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>1-3 水素燃焼条件</p> <p>THAI PROJECT では、水素濃度などの実験条件を変えて PAR の水素燃焼の可能性のある条件を求めている。</p> <p>大阪発電所3, 4号機の PAR 設置エリアの解析結果と比較すると、水素燃焼の可能性のある条件に一部含まれる結果となったが、水素燃焼による圧力上昇に対して格納容器健全性が維持されることを、AICC 評価※により確認しており、PAR による水素燃焼が生じたとしても格納容器健全性に問題はない。</p> <p>※Adiabatic Isochoric Complete Combustion の略で、燃焼熱が全て圧力上昇に使われると仮定して CV 内圧力を保守的に求め、格納容器圧力バウンダリにかかる圧力を評価する。</p>  <p>Fig. 5-5: Ternary diagram (example): Area of possible ignition by PAR (green shaded), resulting from HR test findings</p> <p>図33 PARの水素燃焼の可能性のある条件</p> <p>[Ref.]OECD/NEA THAI Project, Hydrogen and Fission Product Issues Relevant for Containment Safety Assessment under Sever Accident Conditions, Final Report, 10 June 2010</p>	<p>1-3 水素燃焼条件</p> <p>THAI Project では、水素濃度などの実験条件を変えて PAR の水素燃焼の可能性のある条件を求めている。</p> <p>泊3号炉の PAR 設置エリアの解析結果と比較すると、水素燃焼の可能性のある条件に一部含まれる結果となったが、水素燃焼による圧力上昇に対して格納容器健全性が維持されることを、AICC 評価※により確認しており、PAR による水素燃焼が生じたとしても格納容器健全性に問題はない。</p> <p>※ Adiabatic Isochoric Complete Combustion の略で、燃焼熱が全て圧力上昇に使われると仮定して格納容器内圧力を保守的に求め、格納容器圧力バウンダリにかかる圧力を評価する。</p>  <p>Fig. 5-5: Ternary diagram (example): Area of possible ignition by PAR (green shaded), resulting from HR test findings</p> <p>図33 PARの水素燃焼の可能性のある条件</p> <p>[Ref.] OECD/NEA THAI Project, Hydrogen and Fission Product Issues Relevant for Containment Safety Assessment under Sever Accident Conditions, Final Report, 10 June 2010</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="219 215 1048 758" style="border: 2px solid red; padding: 10px;">  <p data-bbox="246 678 1041 710">図34 大阪発電所3/4号機の代表的なドーム部の区画(16s2)におけるGOTHIC解析結果</p> </div>	<div data-bbox="1131 191 1892 877" style="border: 2px solid red; padding: 10px;">  <p data-bbox="1164 766 1859 798">図34 泊3号炉の代表的なドーム部の区画(1s4)におけるGOTHIC解析結果</p> </div>	<p data-bbox="1971 199 2116 231">解析結果の相違</p> <ul data-bbox="1971 231 2116 638" style="list-style-type: none"> <li>・代表とした区画及びその解析結果は相違しているが、格納容器内の対流等により局所的な水素濃度上昇はないと考えるもの、格納容器内の上部空間代表として水素混合気の状態を評価していることは同じ。</li> </ul>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>2. PARの水素除去性能について</p> <p>2-1. 性能評価式の補足説明について</p> <p>(1) PARの水素除去性能</p> <p>PARについて、メーカーより以下の性能評価式が提供されており、国際的な実証試験においても試験結果との相関関係の確認を行っている。GOTHIC コードを用いた格納容器内の水素濃度の解析には、この性能評価式を用いている。</p> $\gamma = \eta \cdot \min(X_{H_2}, 2 \cdot X_{O_2}, 8.0) \cdot (A \cdot P + B) \cdot \tanh(X_{H_2} - 0.5) \quad (1)式$ <p><math>\gamma</math> : 水素処理速度 (g/s)  <math>\eta</math> : 1.0 (<math>X_{O_2} &gt; X_{H_2}</math>)  <math>X_{H_2}</math> : 水素体積比 (%)  <math>X_{O_2}</math> : 酸素体積比 (%)  <math>P</math> : 圧力 (bar)  <math>A, B</math> : 係数</p> <p>* 水素挙動解析の結果より、事故初期以降のいずれの時間帯でも酸素濃度を上回っている。</p>  <p>図35 PAR 1個の再結合効率</p>	<p>2. PARの水素除去性能について</p> <p>2-1. 性能評価式の補足説明について</p> <p>(1) PARの水素除去性能</p> <p>PARの性能評価式は、メーカーより以下の性能評価式が提供されており、国際的な実証試験においても試験結果との相関関係の確認を行っている。GOTHIC コードを用いた格納容器内の水素濃度の解析には、この性能評価式を用いている。</p> $\gamma = \eta \cdot \min(X_{H_2}, 2 \cdot X_{O_2}, 8.0) \cdot (A \cdot P + B) \cdot \tanh(X_{H_2} - 0.5) \quad (1)式$ <p><math>\gamma</math> : 再結合効率 (g/s)  <math>\eta</math> : 1.0 (<math>X_{O_2} &gt; X_{H_2}</math>) *  <math>X_{H_2}</math> : 水素体積比 (%)  <math>X_{O_2}</math> : 酸素体積比 (%)  <math>P</math> : 圧力 (bar)  <math>A, B</math> : 係数</p> <p>※ 水素挙動解析の結果より、事故初期以降のいずれの時間帯でも酸素濃度は水素濃度を上回っている。</p>  <p>図35 PAR 1個の再結合効率</p>	

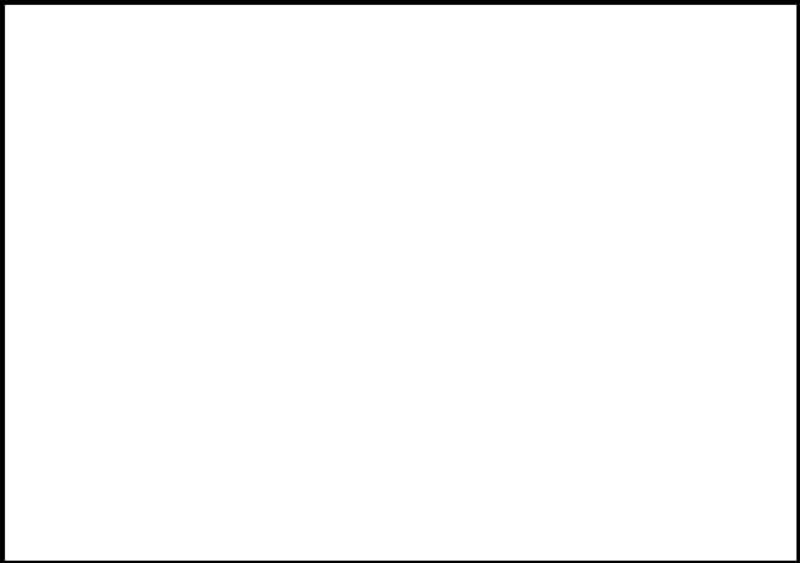


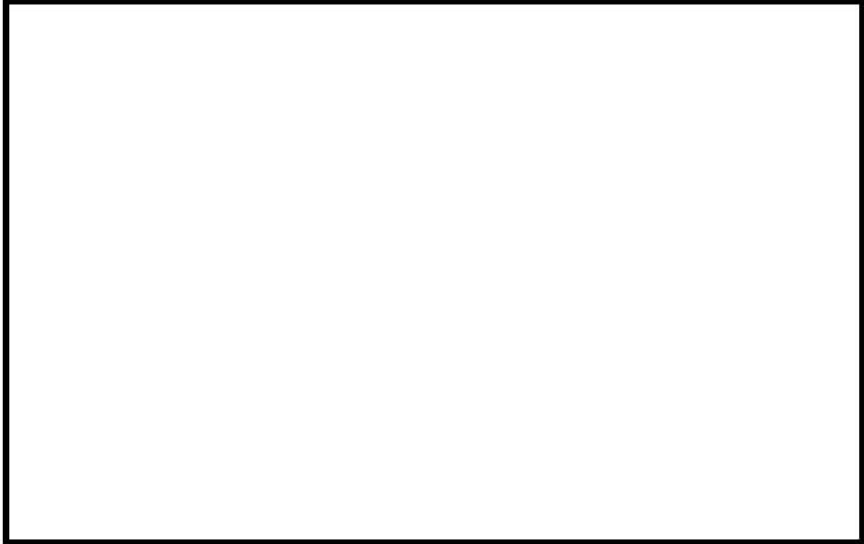
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(2) 性能評価式の構成について</p> <p>PARの性能特性評価式は、PARのメーカーが試験等を行って設定している経験式（実験式）となるものである。(1)式は大阪発電所3、4号機に適用するPARの性能評価式であり、基本的にはPAR周辺の水素体積比（wet_vol%）と周辺圧力が与えられれば、再結合効率（g/s）を得ることができるものである。</p> <p>(1)式は、2つの特性と2つの補正で構成されている。</p> <p>a. 2つの特性は以下のとおり。これらは、OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力機関）のTHAIプロジェクトの試験においても確認されている。</p> <p>① 再結合効率が水素体積比（式中では酸素体積比と比較して小さい方としているが、基本的には酸素リッチとなる。）に比例する図36参照。</p> $\gamma \propto \min(X_{H_2}, 2 \cdot X_{O_2}, 8.0)$ <p>②水素処理速度が圧力に対し単調増加である。図37参照。</p> $\gamma = C \cdot (A \cdot P + B)$ <p>b. 2つの補正とは以下のように考えられる。</p> <p>① <math>\eta</math>の項は、再結合反応をするための酸素の過不足による処理速度の補正をするもので、酸素体積比が水素体積比以下の場合、再結合反応が十分なされないと考え、<input type="checkbox"/>を入力する。</p> <p>一方、実機のPWRプラントは格納容器体積が大きく、事象発生前の酸素量（格納容器内の約20%は酸素）が事象発生後に発生する水素量を上回ることから、1.0を入力している。</p> <p>② <math>\tanh(X_{H_2}-0.5)</math>の項は、水素体積比0.5wet%以下では処理をせず、0.5wet%から除去に処理を始め、試験に基づく約2.0wet%の水素処理速度までを滑らかに表すための補正項である。</p> <p><input type="checkbox"/> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>(2) 性能評価式の構成について</p> <p>PARの性能特性評価式は、PARのメーカーが試験等を行って設定している経験式（実験式）となるものである。(1)式は泊3号炉に適用するPARの性能評価式であり、基本的にはPAR周辺の水素体積比（wet_vol%）と周辺圧力が与えられれば、再結合効率（g/s）を得ることができるものである。</p> <p>(1)式は、2つの特性と2つの補正項で構成されている。</p> <p>a. 2つの特性は以下のとおり。これらは、OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力機関）のTHAIプロジェクトの試験においても確認されている。</p> <p>① 再結合効率が水素体積比（式中では酸素体積比と比較して小さい方としているが、基本的には酸素リッチとなる。）に比例する。図36参照。</p> $\gamma \propto \min(X_{H_2}, 2 \cdot X_{O_2}, 8.0)$ <p>② 水素処理速度が圧力に対し単調増加である。図37参照。</p> $\gamma = C \cdot (A \cdot P + B)$ <p>b. 2つの補正項とは以下のように考えられる。</p> <p>① <math>\eta</math>の項は、再結合反応をするための酸素の過不足による処理速度の補正をするもので、酸素体積比が、水素体積比以下の場合、再結合反応が十分なされないと考え、<input type="checkbox"/>を入力する。</p> <p>一方、実機のPWRプラントは格納容器体積が大きく、事象発生前の酸素量（格納容器内の約20%は酸素）が事象発生後に発生する水素量を上回ることから、1.0を入力している。</p> <p>② <math>\tanh(X_{H_2}-0.5)</math>の項は、水素体積比0.5wet%以下では処理をせず、0.5wet%から徐々に処理を始め、試験に基づく約2.0wet%の水素処理速度までを滑らかに表すための補正項である。</p> <p><input type="checkbox"/> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	<p>記載表現の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p data-bbox="398 751 763 775">図 36 水素体積比と水素処理速度の関係</p>	 <p data-bbox="1328 718 1693 742">図 36 水素体積比と水素処理速度の関係</p>	
 <p data-bbox="443 1366 752 1390">図 37 水素処理速度と圧力の関係</p> <p data-bbox="577 1409 992 1433">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	 <p data-bbox="1357 1366 1666 1390">図 37 水素処理速度と圧力の関係</p> <p data-bbox="1312 1417 1877 1441">■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>2-2. 性能評価式を検証する実証試験におけるパラメータの妥当性について</p> <p>PAR性能評価式を検証する実証試験においては、基本的にはPARが使用される温度などの環境条件を考慮して試験条件を設定し、水素濃度及び圧力をパラメータとして検証している。</p> <p>PARの温度や入口流量については、直接のパラメータとして検証していないが、その理由について以下に考察する。</p> <p>○PAR温度条件について</p> <p>触媒の表面温度が高くなるほど触媒の反応度は高くなり、その触媒の表面温度は水素濃度と相関関係にある。また、反応量に關与するガス密度はガス温度の関数であり、理想気体において容量（この場合、CV容積に相当）一定であれば、ガス温度は圧力と比例関係にある。</p> <p>性能評価式には温度（触媒の表面温度、ガス温度）がパラメータとして表れていないが、触媒の表面温度については水素濃度で、ガス温度については圧力で関連付けられており、間接的に温度条件もパラメータとして考慮されていることになる。したがって、実証試験においてもPARの触媒の表面温度及びガス温度は間接的にパラメータとして考慮されていると考えられる。</p> <p>○PAR入口流量条件について</p> <p>PARは触媒反応による温度上昇で上昇気流を発生させ、反応媒体を循環させる装置であり、強制的な循環機構を持っていない。したがって、入口流量は触媒の表面温度（温度が高いほど流量は増える）と圧力（圧力が高いほど密度が高くなるため流量が増える）を条件として成り行きで決まるパラメータである。ここで、触媒の表面温度は水素濃度に依存して変化するもので、水素濃度が高いほど触媒反応が進み触媒の表面温度は高くなる。</p> <p>このため、入口流量は、水素濃度（触媒の表面温度）と圧力で決まることとなり、間接的に入口流量もパラメータとして考慮されていることになる。したがって、実証試験においても入口流量は間接的にパラメータとして考慮されていると考えられる。</p> <p>なお、PAR設置場所や設置方向の選定にあたっては、格納容器内の自然対流冷却が発生していることを考慮し、再循環ユニットの吸い込み口や吹き出し口の位置を避けて決定しており、PAR入口流量が外乱の影響を受けにくい。</p>	<p>2-2. 性能評価式を検証する実証試験におけるパラメータの妥当性について</p> <p>PAR性能評価式を検証する実証試験においては、基本的にはPARが使用される温度などの環境条件を考慮して試験条件を設定し、水素濃度及び圧力をパラメータとして検証している。</p> <p>PARの温度や入口流量については、直接のパラメータとして検証していないが、その理由について以下に考察する。</p> <p>○PAR温度条件について</p> <p>触媒の表面温度が高くなるほど触媒の反応度は高くなり、その触媒の表面温度は水素濃度と相関関係にある。また、反応量に關与するガス密度はガス温度の関数であり、理想気体において容積（この場合、格納容器容積に相当）一定であれば、ガス温度は圧力と比例関係にある。</p> <p>性能評価式には温度（触媒の表面温度、ガス温度）がパラメータとして表れていないが、触媒の表面温度については水素濃度で、ガス温度については圧力で関連付けられており、間接的に温度条件もパラメータとして考慮されていることになる。したがって、実証試験においてもPARの触媒の表面温度及びガス温度は間接的にパラメータとして考慮されていると考えられる。</p> <p>○PAR入口流量条件について</p> <p>PARは触媒反応による温度上昇で上昇気流を発生させ、反応媒体を循環させる装置であり、強制的な循環機構を持っていない。したがって、入口流量は触媒の表面温度（温度が高いほど流量は増える）と圧力（圧力が高いほど密度が高くなるため流量が増える）を条件として成り行きで決まるパラメータである。ここで、触媒の表面温度は水素濃度に依存して変化するもので、水素濃度が高いほど触媒反応が進み触媒の表面温度は高くなる。</p> <p>このため、入口流量は、水素濃度（触媒の表面温度）と圧力で決まることとなり、間接的に入口流量もパラメータとして考慮されていることになる。したがって、実証試験においても入口流量は間接的にパラメータとして考慮されていると考えられる。</p> <p>なお、PAR設置場所や設置方向の選定にあたっては、格納容器内の自然対流冷却が発生していることを考慮し、再循環ユニットの吸い込み口や吹き出し口の位置を避けて決定しており、PAR入口流量が外乱の影響を受けにくい。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>3. PARの検査について</p> <p>3-1 PARの性能について</p> <p>製品の検査については、検査計画（検査要領書）に沿って、PARの品質確保の観点から、材料（重量）検査、寸法検査、外観検査を実施している。触媒プレートについては、<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 150px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span>製造されている。材料（重量）検査では触媒プレート重量を触媒を付着させる前後で測定し、所定の触媒が付着していることを確認し、寸法検査では触媒プレートの縦、横寸法を測定し設計図面通りの許容値範囲であることを確認している。外観検査では触媒プレートの表面に対し、性能に影響を及ぼす有害な欠陥（触媒の欠落等）がないことや白金系金属がムラなく付着していることを目視で確認している。これらの検査に関し、工場での当社の立会検査やメーカーが実施した検査記録の確認をすることで、製品の健全性を確認している。</p> <p>OECD/NEAのTHAI PROJECTでは大飯発電所3、4号機のPARの約1/2サイズの試験装置で、水素濃度、圧力をパラメータとした試験を実施し、性能評価式の確認が行われている。</p> <p>触媒反応は、一般に、触媒の量や表面状態が一定ならば触媒の表面積に比例することが知られている。</p> <p>大飯発電所3、4号機のPARの触媒プレートは実証試験の触媒プレート19枚に対し、38枚であり、触媒の材料（重量）検査及び外観検査で触媒の量及び表面状態が確認できていることから、OECD/NEAのTHAI PROJECTの実証試験で使用された触媒プレートと同等であり、大飯発電所3、4号機のPARの性能評価式は妥当である。</p> <p>3-2. PARの毒物による影響について</p> <p>PARの毒物による影響については、多くの国際的な実証試験が行われてきており、PWRプラントのシビアアクシデント時の格納容器内環境を模擬した条件下で、スプレイ水、よう素をはじめエアロゾル等の毒物、高水蒸気濃度による影響が小さいことが確認されている。</p> <p>大飯発電所3、4号機のPARについても、外観検査で表面状態の確認ができていることから、国際的な実証試験の触媒プレートと同様の性質をもち、毒物の影響はほとんどないと判断している。</p> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>3. PARの検査について</p> <p>3-1. PARの性能について</p> <p>製品の検査については、検査計画（検査要領書）に沿って、PARの品質確保の観点から、材料（重量）検査、寸法検査、外観検査を実施している。触媒プレートについては、<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 150px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span>製造されている。材料（重量）検査では触媒プレート重量を触媒を付着させる前後で測定し、所定の触媒が付着していることを確認し、寸法検査では触媒プレートの縦、横寸法を測定し設計図面通りの許容値範囲であることを確認している。外観検査では触媒プレートの表面に対し性能に影響を及ぼす有害な欠陥（触媒の欠落等）がないことや白金系金属がムラなく付着していることを目視で確認している。これらの検査に関し、工場での当社の立会検査やメーカーが実施した検査記録の確認をすることで、製品の健全性を確認している。</p> <p>OECD/NEAのTHAI Projectでは泊3号炉のPARの約1/2サイズの試験装置で、水素濃度、圧力をパラメータとした試験を実施し、性能評価式の確認が行われている。</p> <p>触媒反応は、一般に、触媒の量や表面状態が一定ならば触媒の表面積に比例することが知られている。</p> <p>泊3号炉のPARの触媒プレートは実証試験の触媒プレート19枚に対し、38枚であり、触媒の材料（重量）検査及び外観検査で触媒の量及び表面状態が確認できていることから、OECD/NEAのTHAI Projectの実証試験で使用された触媒プレートと同等であり、泊3号炉のPARの性能評価式は妥当である。</p> <p>3-2. PARの毒物による影響について</p> <p>PARの毒物による影響については、多くの国際的な実証試験が行われてきており、PWRプラントのシビアアクシデント時の格納容器内環境を模擬した条件下で、スプレイ水、よう素をはじめエアロゾル等の毒物、高水蒸気濃度による影響が小さいことが確認されている。</p> <p>泊3号炉のPARについても、外観検査で表面状態の確認ができていることから、国際的な実証試験の触媒プレートと同様の性質を持ち、毒物の影響はほとんどないと判断している。</p> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px; vertical-align: middle;"></span> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉

3-3 PARの性能管理について

PARの性能劣化モードは、①触媒プレートからの触媒の欠落、②触媒プレート表面の汚れの2つが考えられるが、以下の管理により、性能を維持することは可能である。

劣化モード	品質管理	保守管理
①触媒の欠落 動的機器でないため、触媒の欠落は生じがたい	・製造時の検査の実施 ・定期点検の実施	○保全プログラムに基づく定期検査 ・装置外観点検（毎定検） ・触媒プレート点検、清掃（1回/3定検）
②表面の汚れ 定検作業中で発生する飛散物を想定	・異物管理の徹底 ・定期点検の実施	○装置の養生（毎定検）

なお、触媒の担体としてアルミナを使用した場合には、アルミナが熱水環境で水酸基をもつアルミナに変化（ペーマイト化）し、シリコン系シール材に含まれる揮発性物質（シロキサン）とアルミナの水酸基が化学結合することで、触媒プレート表面にシロキサン重合物の膜を形成する劣化モードが考えられる。

しかしながら、 社製の触媒プレートはステンレス及び白金系金属 からなる。ステンレスは熱水環境でも揮発性物質と化学結合する酸化物には変化しないため、同様の劣化モードによる性能低下の懸念はない。なお、触媒として使用している白金系金属 は化学的に安定な金属であるため、大気中で供用期間中に酸化しにくいため、再結合効率への影響はない。

部位	メーカー	材料
触媒	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 社	パラジウム
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 社	白金系金属
触媒の担体	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 社	ペレット状のアルミナ
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 社	ステンレス板

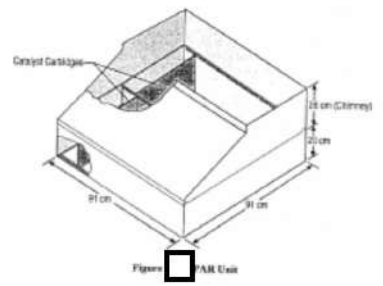


Figure 38 PAR Unit

[REF.] J. Hosler, G. Sliter, PARs for Combustible Gas Control in Advanced Light Water Reactors, AECL-11762, NEA/CSNI/R(96)8

図 38 PARの構造（メーカー毎）

内は機密に属するものですので公開できません。

泊発電所3号炉

3-3. PARの性能管理について

PARの性能劣化モードは、①触媒プレートからの触媒の欠落、②触媒プレート表面の汚れの2つが考えられるが、以下の管理により、性能を維持することは可能である。

劣化モード	品質管理	保守管理
① 触媒の欠落 動的機器でないため、触媒の欠落は生じがたい	・製造時の検査の実施 ・定期点検の実施	○保全プログラムに基づく定期事業者検査 ・装置外観点検（毎回） ・触媒プレート点検、清掃（1回/3回）
② 表面の汚れ 定検作業中で発生する飛散物を想定	・異物管理の徹底 ・定期点検の実施	○装置の養生（毎回）

なお、触媒の担体としてアルミナを使用した場合には、アルミナが熱水環境で水酸基をもつアルミナに変化（ペーマイト化）し、シリコン系シール材に含まれる揮発性物質（シロキサン）とアルミナの水酸基が化学結合することで、触媒プレート表面にシロキサン重合物の膜を形成する劣化モードが考えられる。

しかしながら、 社製の触媒プレートはステンレス及び白金系金属 からなる。ステンレスは熱水環境でも揮発性物質と化学結合する酸化物には変化しないため、同様の劣化モードによる性能低下の懸念はない。なお、触媒として使用している白金系金属 は化学的に安定な金属であるため、大気中で供用期間中に酸化しにくいため、再結合効率への影響はない。

部位	メーカー	材料
触媒	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 社	パラジウム
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 社	白金系金属
触媒の担体	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 社	ペレット状のアルミナ
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 社	ステンレス板

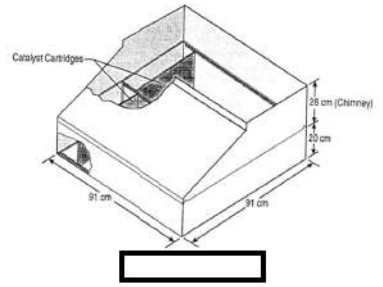


Figure 38 PAR Unit

[REF.] J. Hosler, G. Sliter, PARs for Combustible Gas Control in Advanced Light Water Reactors, AECL-11762, NEA/CSNI/R(96)8

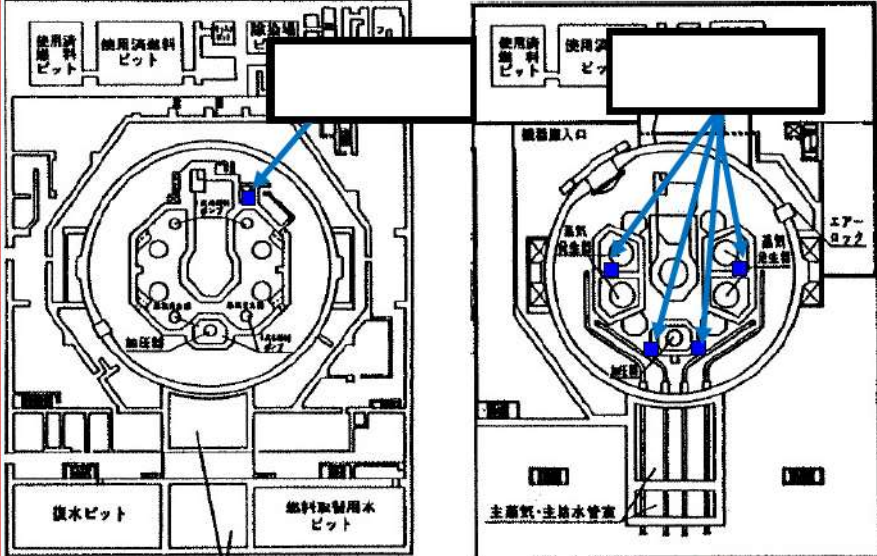
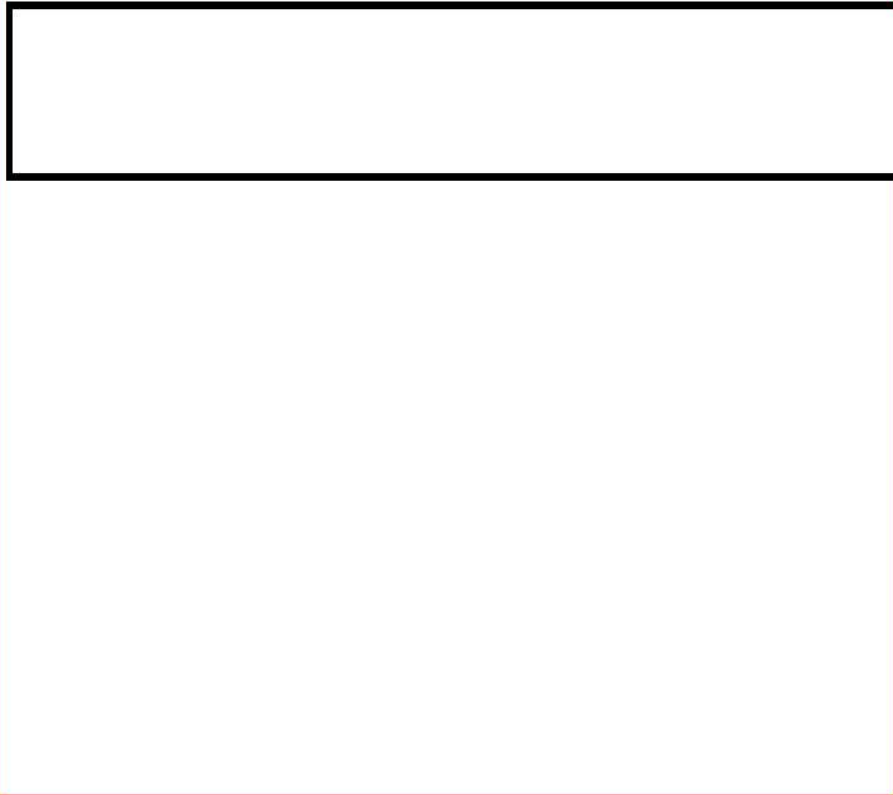
図 38 PARの構造（メーカー毎）

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



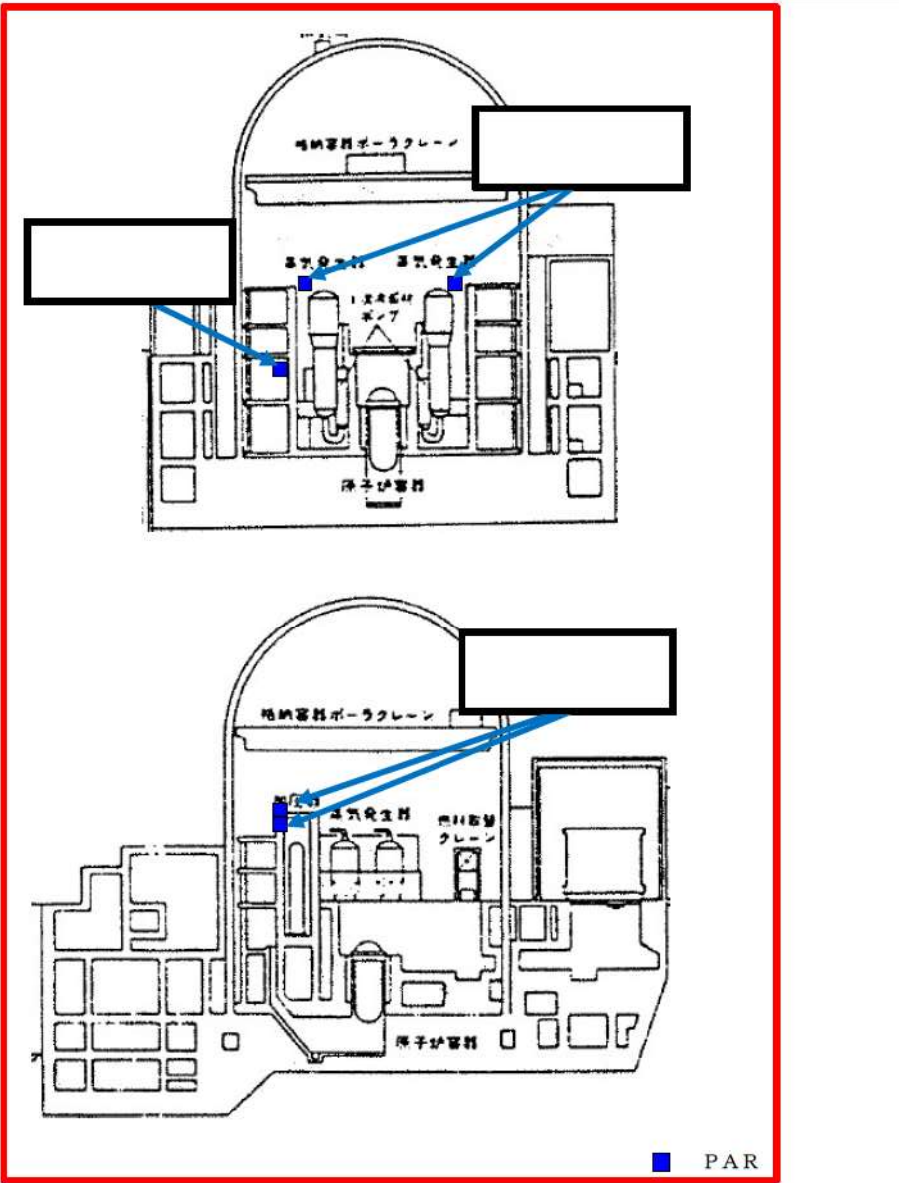
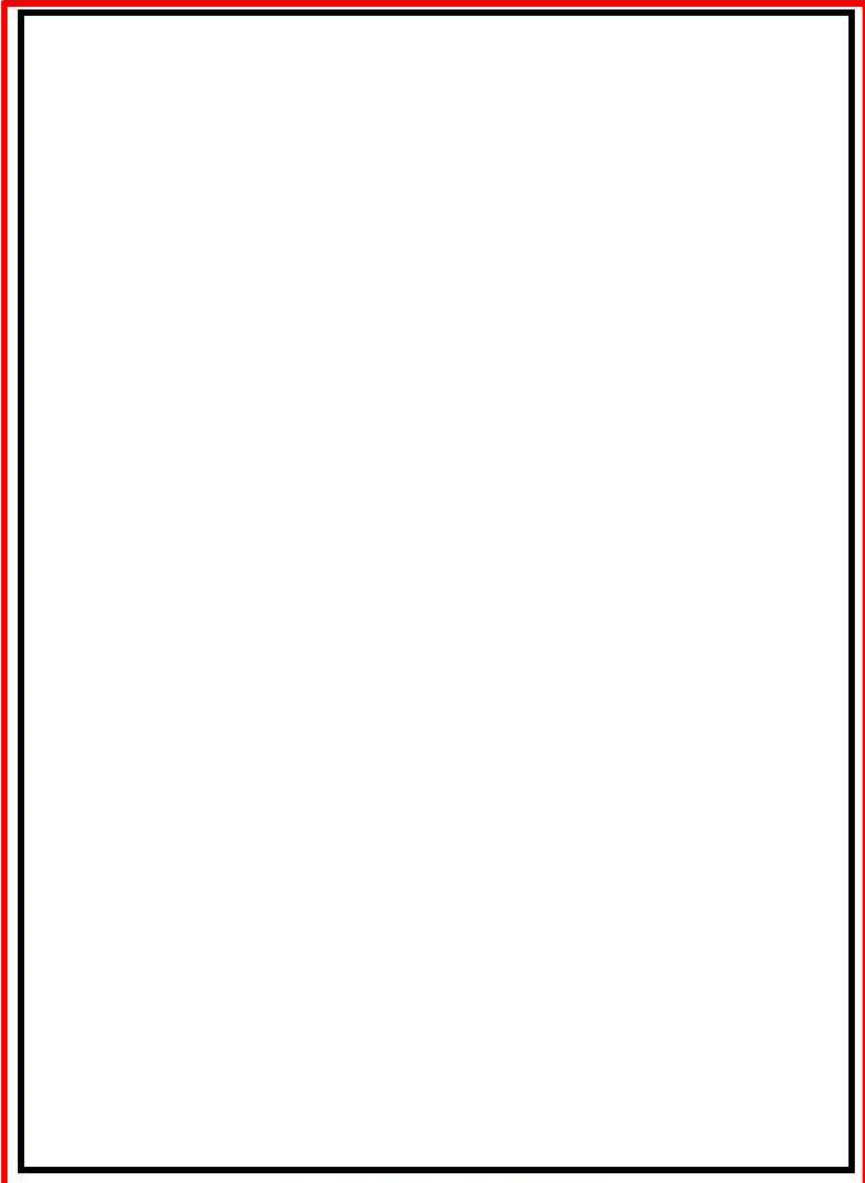
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>4. PARの配置及び構造について</p> <p>4-1 PARの配置</p> <p>(1)大飯発電所3号機</p>  <p>(E.L.26.0m) (E.L.38.7m)</p> <p>■ PAR</p> <p>□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>4. PARの配置及び構造について</p> <p>4-1. PARの配置</p> 	

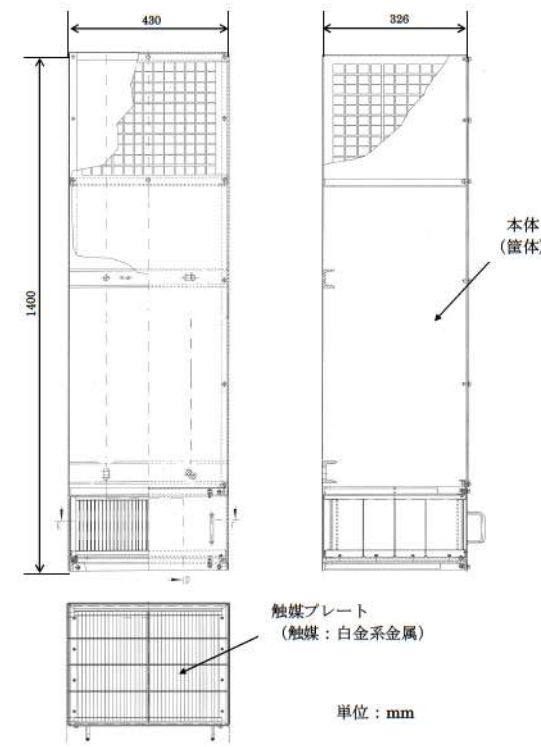
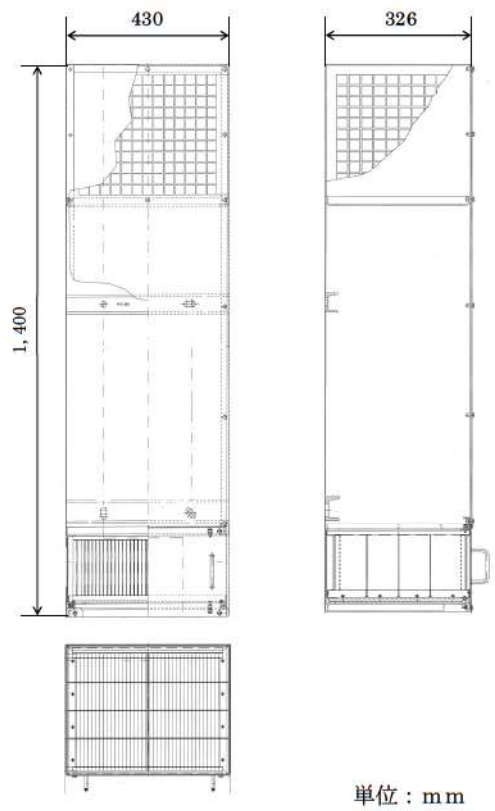
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p data-bbox="582 1364 996 1396">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	 <p data-bbox="1344 1364 1680 1388">図39 泊3号炉 PAR配置概念図</p> <p data-bbox="1344 1420 1926 1444">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	<p data-bbox="1971 167 2116 191"><u>配置設計の相違</u></p> <p data-bbox="1971 199 2116 502">・格納容器内構造及びPARの設置位置は相違するが、水素濃度低減のためPARの設置位置の設計方針及びその確認方法については同じ設計方針である。</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>4-2 PARの構造</p>  <p>単位：mm</p>	<p>(2) PARの構造</p>  <p>単位：mm</p> <p>図40 PARの構造</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">別紙1</p> <p style="text-align: center;">静的触媒式水素再結合装置（PAR）の水素除去性能評価式について</p> <p>著しい炉心損傷が発生した場合に、原子炉格納容器内に発生する水素を除去するための水素濃度制御設備として設置する静的触媒式水素再結合装置（PAR）については、PAR製造メーカーより水素除去性能（効率）を評価する式が提供されており、試験による検証確認が行われている。</p> <p>以下では、PARの水素除去性能（効率）を評価する式について、評価式の構成の考え方、試験による評価式係数の設定と大型PARへの展開、検証試験により確認された評価式への各種環境条件の影響について整理し、実機PWRプラントにおける炉心損傷時の原子炉格納容器内環境条件の範囲において適用できるものであることを整理する。</p>	<p style="text-align: right;">別紙1</p> <p style="text-align: center;">原子炉格納容器内水素処理装置（PAR）の水素除去性能評価式について</p> <p>著しい炉心損傷が発生した場合に、原子炉格納容器内に発生する水素を除去するための水素濃度制御設備として設置する原子炉格納容器内水素処理装置（PAR）については、PAR製造メーカーより水素除去性能（効率）を評価する式が提供されており、試験による検証確認が行われている。</p> <p>以下では、PARの水素除去性能（効率）を評価する式について、評価式の構成の考え方、試験による評価式係数の設定と大型PARへの展開、検証試験により確認された評価式への各種環境条件の影響について整理し、実機PWRプラントにおける炉心損傷時の原子炉格納容器内環境条件の範囲において適用できるものであることを整理する。</p>	<p style="text-align: center;">設備名称の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

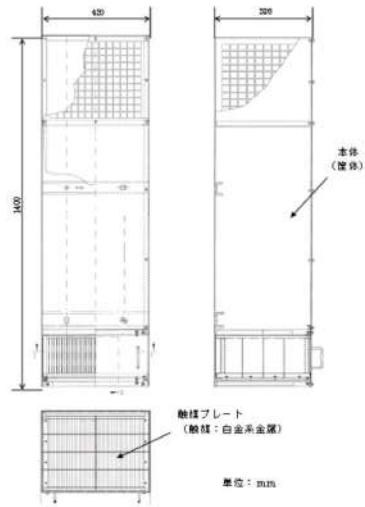
大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">PARの設計と使用条件を考慮した性能の評価式の策定の考え方</p> <p>メーカーにおけるPARの設計と水素除去（効率）評価式の作成から検証への主な流れは以下のとおり。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>メーカーのPARの設計</b>（シビアアクシデント対策設備としての設計：材料、構造・強度、水素除去性能等）</p> <p>特に、水素除去性能に係るもの → <u>触媒、触媒の状態（多孔質拡散性と広い表面積の確保等）、触媒プレート形状・拡散流動設計、筐体の形状（流量、流速等）</u>等</p> <p>※PAR1体の水素除去性能は、各メーカーごとに処理能力、反応の立ち上がり、形状・大きさが異なるが、<b>Passive Auto-catalytic Recombiner</b>としての原理と基本的設計（触媒プレート/カートリッジの配置、チムニー設計等）は、ほぼ同様のものとなっている。</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>メーカーにおける設計したPARの事故時条件下での水素除去性能(効率)評価式の検討</p> <p>炉心損傷事故時の格納容器内の環境条件の考慮                  温度、圧力、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、蒸気、CO等雰囲気ガス成分・濃度、流況、触媒変化、PAR設置局所の状態]</p> <p>・PARの水素除去割合(g/s, kg/h)を求めるために、関係する主要因子として、<u>PAR周辺(入口)の水素濃度、圧力を考慮する形とした。</u>（触媒反応の拡散律速が水素濃度に関係すること等を考慮）</p> <p>他の因子は、2つ主因子の効果に関係する、あるいは水素除去割合への影響が小さいこと等を考慮</p> <p>・<u>メーカー内試験</u>により、水素濃度、圧力、温度、水蒸気濃度影響等を確認、<u>PARの型式に応じた実験式の係数を設定</u>（同一触媒プレートのPARはプレート枚数に比例して評価できるようにしている。）</p> <p>さらに、酸素の影響や立ち上がり部の補正等も考慮できるようにした。</p> <p>・事故時の格納容器内の条件の範囲内において評価に適用できるものと評価</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>国際的な試験プログラムにPARを提供して大規模実証試験により性能評価の妥当性、毒物等の影響について、<u>検証・確認</u>を受けている。</p> </div>	<p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">PARの設計と使用条件を考慮した性能の評価式の策定の考え方</p> <p>メーカーにおけるPARの設計と水素除去（効率）評価式の作成から検証への主な流れは以下のとおり。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>メーカーのPARの設計</b>（シビアアクシデント対策設備としての設計：材料、構造・強度、水素除去性能等）</p> <p>特に水素除去性能に係るもの</p> <p>→ <u>触媒、触媒の状態（多孔質拡散性と広い表面積の確保等）、触媒プレート形状・拡散流動設計、筐体の形状（流量、流速等）</u>等</p> <p>※PAR1体の水素除去性能は、各メーカーごとに処理能力、反応の立ち上がり、形状・大きさが異なるが、<b>Passive Auto-catalytic Recombiner</b>としての原理と基本的設計（触媒プレート/カートリッジの配置、チムニー設計等）は、ほぼ同様のものとなっている。</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>メーカーにおける設計したPARの事故時条件下での水素除去性能(効率)評価式の検討</p> <p>炉心損傷事故時のC/V内の環境条件の考慮                  温度、圧力、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、蒸気、CO等雰囲気ガス成分・濃度、流況、触媒変化、PAR設置局所の状態]</p> <p>・<u>PARの水素除去割合(g/s, kg/h)を求めるために、関係する主要因子として、PAR周辺(入口)の水素濃度、圧力を考慮する形とした。</u>（触媒反応の拡散律速が水素濃度に関係すること等を考慮）</p> <p>他の因子は、2つの主因子の効果に関係する、あるいは水素除去割合への影響が小さいこと等を考慮</p> <p>・<u>メーカー内試験</u>により、水素濃度、圧力、温度、水蒸気濃度影響等を確認、<u>PARの型式に応じた実験式の係数を設定</u>（同一触媒プレートのPARはプレート枚数に比例して評価できるようにしている。）</p> <p>さらに、酸素の影響や立ち上がり部の補正等も考慮できるようにした。</p> <p>・<u>事故時のC/V内の条件の範囲内において評価に適用できるものと評価</u></p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>国際的な試験プログラムにPARを提供して大規模実証試験により性能評価の妥当性、毒物等の影響について、<u>検証・確認</u>を受けるようにしている。</p> </div>	<p>相違理由</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉

静的触媒式水素再結合装置の構造と基本仕様



適用するPARの基本仕様

幅	430mm
奥行き	326mm
高さ	1400mm
重量	50kg
触媒プレート数	38枚
入口流量 (1bar, 60℃のとき)	330m <sup>3</sup> /h以上
水素除去割合 (1.5bar, 4vol%H <sub>2</sub> のとき)	1.20kg/h

触媒プレート収納部



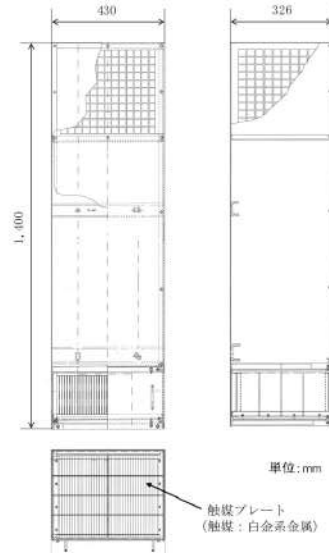
装置底部 (PAR入口吸気口)

□ 内は機密に属するものですので公開できません。

泊発電所3号炉

PARの構造と基本仕様

2



適用するPARの基本仕様

幅	430mm
奥行き	326mm
高さ	1400mm
重量	約50kg
触媒プレート数	38枚
入口流量 (1bar, 60℃のとき)	330m <sup>3</sup> /h以上
再結合効率 (1.5bar, 4vol%H <sub>2</sub> のとき)	1.20kg/h

触媒プレート収納部



触媒プレート



装置底部 (PAR入口給気口)

□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div style="text-align: center;"> <p>3</p> <p>静的触媒式水素再結合装置の原理</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>動作原理</p> <p>①発生した水素が、空気、水蒸気とともにPAR底部から流入</p> <p>②触媒プレート部で水素と酸素が反応して水蒸気を生成</p> <p>③反応熱により装置内部に上昇流が発生、PAR上部から水蒸気を排気</p> </div> </div> <div style="border: 2px solid black; height: 300px; margin-top: 20px;"></div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<div style="text-align: center;"> <p>3</p> <p>PARの原理</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>動作原理</p> <p>①発生した水素が、空気、水蒸気とともにPAR底部から流入</p> <p>②触媒プレート部で水素と酸素が反応して水蒸気を生成</p> <p>③反応熱により装置内部に上昇流が発生、PAR上部から水蒸気を排気</p> </div> </div> <div style="border: 2px solid black; height: 300px; margin-top: 20px;"></div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">4</p> <p style="text-align: center;">メーカーでの水素除去性能評価式の検討 (1)</p> <p>① 評価式は、水素除去割合(g/s)が定性的に水素濃度と圧力に比例する形を設定</p> <p>② メーカーでの試験を実施</p> <p>各種条件で水素濃度変化に対するPARの水素除去割合等のデータを取得、実験式の比例係数を設定</p> <p>試験体は小型PARにより実施 (型式FR1-100)</p> <div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div> <p>同型式の小型PAR (FR1-150) についての試験も実施、触媒プレート数 (面積) に比例し水素除去割合(g/s) が増加することを確認</p> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: right;">4</p> <p style="text-align: center;">メーカーでの水素除去性能評価式の検討 (1)</p> <p>① 評価式は、水素除去割合 (g/s) が定性的に水素濃度と圧力に比例する形を設定</p> <p>② メーカーでの試験を実施</p> <p>各種条件で水素濃度変化に対する PAR の水素除去割合等のデータを取得、実験式の比例係数を設定</p> <p>試験体は小型 PAR により実施 (型式FR1-100)</p> <div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div> <p>同型式の小型 PAR (FR1-150) についての試験も実施、触媒プレート数 (面積) に比例し水素除去割合 (g/s) が増加することを確認</p> <p style="text-align: center;">■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																																																				
<p style="text-align: right;">5</p> <p style="text-align: center;">メーカーでの水素除去性能評価式の検討（2）</p> <p>③ 小型PAR（型式FR1-150）に対し、EDF/EPRIでKALIの試験施設（Cadarache）で試験を行って、メーカー試験の妥当性を検証</p> <p>④ メーカーでは、大型PARの評価のため、小型PARの筐体を高く修正したモデル [ ] で社内試験を実施し、評価式の係数を設定 これを基に大型PAR（FR1-380T他）の触媒面積の増加に応じた評価式係数を設定</p> <p>⑤ 国際的な試験プロジェクトへPARを提供し、様々な格納容器内環境下での試験を行って、実機の事故時環境の範囲内において、性能評価式が適用できるものであることを確認 *THAI試験では、FR1-380Tの触媒プレート数を1/2としたPARで検証を実施</p> <table border="1" data-bbox="145 582 1030 901"> <tr> <td>試験体PAR メーカーの型式</td> <td>[ ]</td> <td>FR1-150 (小型)</td> <td>→</td> <td>[ ]</td> <td>→</td> <td>FR1-380T</td> <td>0.5×FR1-380T</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">寸法</td> <td>高さ</td> <td>1000</td> <td rowspan="3">大型PAR への展開</td> <td rowspan="3">触媒面積 比により 評価式係 数を設定</td> <td>1400</td> <td>1400</td> <td></td> </tr> <tr> <td>幅</td> <td>200</td> <td>430</td> <td>[ ]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>奥行き</td> <td>166</td> <td>326</td> <td>[ ]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>触媒枚数</td> <td></td> <td>15</td> <td></td> <td></td> <td>38</td> <td>19</td> <td></td> </tr> <tr> <td>試験等</td> <td></td> <td>・メーカー試験 ・KALI H2 Test ・H2PAR-Test</td> <td></td> <td></td> <td>—</td> <td>・THAI試験</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">[ ] 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	試験体PAR メーカーの型式	[ ]	FR1-150 (小型)	→	[ ]	→	FR1-380T	0.5×FR1-380T	寸法	高さ	1000	大型PAR への展開	触媒面積 比により 評価式係 数を設定	1400	1400		幅	200	430	[ ]		奥行き	166	326	[ ]		触媒枚数		15			38	19		試験等		・メーカー試験 ・KALI H2 Test ・H2PAR-Test			—	・THAI試験		<p style="text-align: right;">5</p> <p style="text-align: center;">メーカーでの水素除去性能評価式の検討（2）</p> <p>③ 小型PAR（型式FR1-150）に対し、EDF/EPRIでKALIの試験施設（Cadarache）で試験を行って、メーカー試験の妥当性を検証</p> <p>④ メーカーでは、大型PARの評価のため、小型PARの筐体を高く修正したモデル [ ] で社内試験を実施し、評価式の係数を設定 これを基に大型PAR（FR1-380T他）の触媒面積の増加に応じた評価式係数を設定</p> <p>⑤ 国際的な試験プロジェクトへPARを提供し、様々な格納容器内環境下での試験を行って、実機の事故時環境の範囲内において、性能評価式が適用できるものであることを確認 *THAI試験では、FR1-380Tの触媒プレート数を1/2としたPARで検証を実施</p> <table border="1" data-bbox="1064 582 1948 1053"> <tr> <td>試験体PAR メーカーの型式</td> <td>[ ]</td> <td>FR1-150 (小型)</td> <td>⇒</td> <td>[ ]</td> <td>⇒</td> <td>FR1-380T</td> <td>0.5×FR-380</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">寸法</td> <td>高さ</td> <td>1000</td> <td rowspan="3">大型PAR への展開</td> <td rowspan="3">触媒面積 比により 評価式係 数を設定</td> <td>1400</td> <td>1400</td> <td></td> </tr> <tr> <td>幅</td> <td>200</td> <td>430</td> <td>[ ]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>奥行き</td> <td>166</td> <td>326</td> <td>[ ]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>触媒枚数</td> <td></td> <td>15</td> <td></td> <td></td> <td>38</td> <td>19</td> <td></td> </tr> <tr> <td>試験等</td> <td></td> <td>・メーカー試験 ・KAU H2 Test ・H2PAR-Test</td> <td></td> <td></td> <td>—</td> <td>・THAI試験</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	試験体PAR メーカーの型式	[ ]	FR1-150 (小型)	⇒	[ ]	⇒	FR1-380T	0.5×FR-380	寸法	高さ	1000	大型PAR への展開	触媒面積 比により 評価式係 数を設定	1400	1400		幅	200	430	[ ]		奥行き	166	326	[ ]		触媒枚数		15			38	19		試験等		・メーカー試験 ・KAU H2 Test ・H2PAR-Test			—	・THAI試験		
試験体PAR メーカーの型式	[ ]	FR1-150 (小型)	→	[ ]	→	FR1-380T	0.5×FR1-380T																																																																															
寸法	高さ	1000	大型PAR への展開	触媒面積 比により 評価式係 数を設定	1400	1400																																																																																
	幅	200			430	[ ]																																																																																
	奥行き	166			326	[ ]																																																																																
触媒枚数		15			38	19																																																																																
試験等		・メーカー試験 ・KALI H2 Test ・H2PAR-Test			—	・THAI試験																																																																																
試験体PAR メーカーの型式	[ ]	FR1-150 (小型)	⇒	[ ]	⇒	FR1-380T	0.5×FR-380																																																																															
寸法	高さ	1000	大型PAR への展開	触媒面積 比により 評価式係 数を設定	1400	1400																																																																																
	幅	200			430	[ ]																																																																																
	奥行き	166			326	[ ]																																																																																
触媒枚数		15			38	19																																																																																
試験等		・メーカー試験 ・KAU H2 Test ・H2PAR-Test			—	・THAI試験																																																																																

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">6</p> <p style="text-align: center;">メーカーの評価式の作成の考え方（1）</p> <div style="border: 2px solid black; height: 300px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: center;">6</p> <p style="text-align: center;">メーカーの評価式の作成の考え方（1）</p> <div style="border: 2px solid black; height: 300px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所 3 / 4 号炉	泊発電所 3 号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">7</p> <p>メーカーの評価式の作成（2）</p> <div style="border: 2px solid black; height: 400px; width: 100%;"></div>	<p style="text-align: right;">7</p> <p>メーカーの評価式の作成の考え方（2）</p> <div style="border: 2px solid black; height: 400px; width: 100%;"></div>	
<p>□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉				泊発電所3号炉				相違理由
炉心損傷事故時に変化する環境条件とPARの性能評価への影響				炉心損傷事故時に変化する環境条件とPARの性能評価への影響				
事故時格納容器内環境条件等	事故時変化範囲 (大阪発電所3,4号機)	試験範囲	評価式への影響考慮と評価	事故時格納容器内環境条件等	事故時変化範囲 (泊3号炉)	試験範囲	評価式への影響考慮と評価	
水素濃度 (PAR入口水素濃度)	0~13vol%未満(ﾄﾞﾗｲ) (最大約12.8vol%)	TUV [ ] vol%(ﾄﾞﾗｲ)	触媒部での反応が始まりPARが起動しだすと拡散律速となり、水素濃度の上昇、水素供給量の増加に応じて水素除去割合(g/s)が増加することから、PAR周囲(入口)の水素濃度を評価式に考慮する。	水素濃度 (PAR入口水素濃度)	13vol%未満(ﾄﾞﾗｲ) (最大約11.7vol%)	TUV [ ] vol%(ﾄﾞﾗｲ)	触媒部での反応が始まりPARが起動しだすと拡散律速となり、水素濃度の上昇、水素供給量の増加に応じて水素除去割合(g/s)が増加することから、PAR周囲(入口)の水素濃度を評価式に考慮する。	
圧力	0.10~0.36MPa (MAAP解析)	OECD/NEA THAI [ ] bar (約 [ ] MPa)	設計したPARは、同じ水素濃度のとき、圧力の上昇に応じて、水素除去割合(g/s)が増加することが確認されており、評価式に圧力を主変数として考慮する。水素分子供給量が増えるためと考えられる。	圧力	約0.10~0.34MPa (MAAP解析)	OECD/NEA THAI [ ] bar (約 [ ] MPa)	設計したPARは、同じ水素濃度のとき、圧力の上昇に応じて、水素除去割合(g/s)が増加することで確認されており、評価式に圧力を主変数として考慮する。水素分子供給量が増えるためと考えられる。	
温度	37~172℃ (MAAP解析)	OECD/NEA THAI 約 [ ]℃	周囲温度が上がるとガス密度が変化し、PAR内上昇流(水素流量)へ影響するが、大規模炉心損傷後の格納容器温度が高温状態でほぼ推移すること、PAR起動以降はPAR内温度が格納容器内温度に比べ大きく高温(200~300℃以上)になることから格納容器内の温度範囲においては性能へ大きな影響を及ぼさないと評価(試験により確認)	温度	約36~171℃ (MAAP解析)	OECD/NEA THAI 約 [ ]℃	周囲温度が上がるとガス密度が変化し、PAR内上昇流(水素流量)へ影響するが、大規模炉心損傷後のC/V温度が高温状態でほぼ推移すること、PAR起動以降はPAR内温度が格納容器内温度に比べ大きく高温(200~300℃以上)になることから格納容器内の温度範囲においては性能へ大きな影響を及ぼさないと評価(試験により確認)	
水蒸気濃度	4.6~59.2vol% (GOTHIC解析)	OECD/NEA THAI [ ]%	開発時から高い水蒸気濃度での試験を実施、実機事故条件下では評価式に大きな影響を及ぼさないと評価 (THAI試験等で水蒸気濃度47%以上の場合、評価式の少し下回る水素除去割合となったが、実機ではほとんどの期間25%以下で推移することから影響はないものと評価)	水蒸気濃度	0~86.1vol% (GOTHIC解析)	OECD/NEA THAI [ ]%	開発時から高い水蒸気濃度での試験を実施、実機事故条件下では評価式に大きな影響を及ぼさないと評価 (THAI試験等で水蒸気濃度47%以上の場合、評価式の少し下回る水素除去割合となったが、実機ではほとんどの期間25%以下で推移することから影響はないものと評価)	
酸素濃度	約0~20%	KALI : O <sub>2</sub> =約 [ ] vol% で試験	酸素濃度が欠乏するような場合には、水素除去割合(g/s)が低下するため、試験に基づき酸素量が低いケースにも対応できるよう評価式を検討	酸素濃度	約0~20%	KALI : O <sub>2</sub> =約 [ ] vol% で試験	酸素濃度が欠乏するような場合には、水素除去割合(g/s)が低下するため、試験に基づき酸素量が低いケースにも対応できるよう評価式を検討	
毒物 (エアロゾル)	最大 約900mg/m <sup>3</sup>	OECD/NEA THAI [ ] g/m <sup>3</sup> 程度	実機で想定されるエアロゾル濃度を踏まえ、評価式の基本特性には大きな影響のないことを試験により確認	毒物 (エアロゾル)	最大 約1100mg/m <sup>3</sup>	OECD/NEA THAI [ ] mg/m <sup>3</sup> 程度	実機で想定されるエアロゾル濃度を踏まえ、評価式の基本特性には大きな影響のないことを試験により確認	
スプレイ水	約12.5g/s/m <sup>3</sup>	約 [ ] g/s/m <sup>3</sup>	スプレイ水がかからない筐体設計としており、試験により評価式の水素除去割合に大きな影響を及ぼさないと確認	スプレイ水	約10.9g/s/m <sup>3</sup>	約 [ ] g/s/m <sup>3</sup>	スプレイ水がかからない筐体設計としており、試験により評価式の水素除去割合に大きな影響を及ぼさないと確認	

[ ] 内は機密に属するものですので公開できません。

[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所 3 / 4 号炉	泊発電所 3 号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">9</p> <p style="text-align: center;">PAR の基本特性</p> <div style="border: 2px solid black; height: 700px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: right;">9</p> <p style="text-align: center;">PAR の基本特性</p> <div style="border: 2px solid black; height: 700px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉 10

適用するPAR1個の水素除去性能評価式

$$\gamma = \eta \cdot \min(X_{H_2} \cdot 2 \cdot X_{O_2} - 8.0) \cdot (A \cdot P + B) \cdot \tanh(X_{H_2} - 0.5)$$

$\eta$ : 水素処理割合 (g/s)  
 $\eta$ :  $1.0 (X_{O_2} > X_{H_2})$     $X_{O_2} < X_{H_2}$   
 $X_{H_2}$ : 水素体積比 (%)  
 $X_{O_2}$ : 酸素体積比 (%)  
 $P$ : 圧力 (bar)  
 $A, B$ : 係数

水素濃度 0.5vol%以降の立ち上がり部を滑らかにする補正  
 $\gamma$  は圧力に比例して増加する形としている。  
 $\gamma$  は水素濃度に比例して増加する形としている。  
 ・水素濃度 8vol%以上は、保守的に水素除去割合を 8vol% と同じとした。  
 (試験実施が難しいこと、水素燃焼発生等も考慮し保守的に設定)  
 $\eta$ : 酸素濃度が低い場合に、水素除去性能の低下分を補正 (事故時環境下では、1.0が適用可能)  
 PAR型式ごとにメーカーが設定している実験式の係数

水素濃度 1vol%以上における、圧力 (1.5bar, 2.5bar, 3.5bar) のときの水素除去割合の例

参考 (他メーカーのPAR評価式の例)

B社 :  $\gamma(\text{kg/h}) = (A \cdot C_{H_2} + B \cdot C_{H_2}^2) \cdot (298/T)^C \cdot P^D$

C社 :  $\gamma(\text{g/s}) = A \cdot C_{H_2}^B \cdot (P/RT)$

$C_{H_2}$ : PAR入口の水素体積濃度、 $P$ : 絶対圧 (bar)、  
 $R$ : 8.31J/kg·K、 $T$ : 絶対温度、 $A, B, C, D$ : 各社ごとの係数

□ 内は機密に属するものですので公開できません。

泊発電所3号炉 10

適用するPAR1個の水素除去性能評価式

$$\gamma = \eta \cdot \min(X_{H_2} \cdot 2 \cdot X_{O_2} - 8.0) \cdot (A \cdot P + B) \cdot \tanh(X_{H_2} - 0.5)$$

$\gamma$  : 水素処理割合 (g/s)  
 $\eta$  :  $1.0 (X_{O_2} > X_{H_2})$     $X_{O_2} < X_{H_2}$   
 $X_{H_2}$  : 水素体積比 (%)  
 $X_{O_2}$  : 酸素体積比 (%)  
 $P$  : 圧力 (bar)  
 $A, B$  : 係数

水素濃度 0.5vol%以降の立ち上がり部を滑らかにする補正  
 $\gamma$  は圧力に比例して増加する形としている。  
 $\gamma$  は水素濃度に比例して増加する形としている。  
 ・水素濃度 8vol%以上は、保守的に水素除去割合を 8vol% とした。  
 (試験実施が難しいこと、水素燃焼発生等も考慮し保守的に設定)  
 $\eta$  : 酸素濃度が低い場合に、水素除去性能の低下分を補正 (事故時環境下では、1.0が適用可能)  
 PAR型式ごとにメーカーが設定している実験式の係数

水素濃度 1vol%以上における、圧力 (1.5bar, 2.5bar, 3.5bar) のときの水素除去割合の例

参考 (他メーカーのPAR評価式の例)

B社 :  $\gamma(\text{kg/h}) = (A \cdot C_{H_2} + B \cdot C_{H_2}^2) \cdot (298/T)^C \cdot P^D$

C社 :  $\gamma(\text{g/s}) = A \cdot C_{H_2}^B \cdot (P/RT)$

$C_{H_2}$ : PAR入口の水素体積濃度、 $P$ : 絶対圧 (bar)  
 $R$ : 8.31J/kg·K、 $T$ : 絶対温度、 $A, B, C, D$ : 各社ごとの係数

□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

相違理由

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉

泊発電所3号炉

相違理由

試験体系の比較

試験体系の比較

体系	メーカー試験 Karlstein Test Facility	国際的な検証試験		実機 (大阪発電所3, 4号機)
		KALI H2 Test	THAI	
適用 PAR	[Redacted]	[Redacted]		FR1-380T
容器 (体積等)				約 72900m <sup>3</sup>
圧力				0.10~0.36MPa
温度				37~172℃
水素濃度				格納容器平均 13%未満
蒸気濃度				4.6~59.2%
毒物影響				エアロゾル濃度 最大約 900mg/m <sup>3</sup>
スプレイ 水影響				12.5g/s/m <sup>3</sup> (ヒドラジン含む)

体系	メーカー試験 Karlstein Test Facility	国際的な検証試験		実機 (泊3号炉)
		KALI H2 Test	THAI	
適用 PAR	[Redacted]	[Redacted]		FR1-380T
容器 (体積等)				約 65500m <sup>3</sup>
圧力				約 0.10~0.34MPa
温度				約 36~171℃
水素濃度				C/V 平均 13vol%未満
蒸気濃度				0~86.1vol%
毒物影響				エアロゾル濃度= 最大約 1100mg/m <sup>3</sup>
スプレイ 水影響				10.9 g/s/m <sup>3</sup> (ヒドラジン含む)

THAI 試験等で実機の炉心損傷事故時に想定される格納容器内環境条件を包含する範囲の試験が行われており、試験体系の容器内水素の混合状態からも、確認された性能評価式を適用できるものと考えられる。

THAI 試験等で実機の炉心損傷事故時に想定される C/V 内環境条件を包含する範囲の試験が行われており、試験体系の容器内水素の混合状態からも、確認された性能評価式を適用できるものと考えられる。

□ 内は機密に属するものですので公開できません。



■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

設計及び解析結果の相違

泊発電所3号炉 SA基準適合性 比較表

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
検証例： KALI 試験施設 (Cadarache)	12 検証例：KALI 試験施設 (Cadarache)	
		
<p><input type="checkbox"/> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p><input type="checkbox"/> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">13</p> <p>検証例： メーカー試験結果について、KALI 試験施設で EPRI が検証を実施</p> <div style="border: 2px solid black; height: 400px; width: 100%;"></div>	<p style="text-align: right;">13</p> <p>検証例： メーカー試験結果について、KALI 試験施設で EPRI が検証を実施</p> <div style="border: 2px solid black; height: 400px; width: 100%;"></div>	
<p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: center;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">14</p> <p style="text-align: center;">THAI 試験による試験値と性能評価式との比較（1）</p> <div style="border: 2px solid black; height: 400px; width: 100%;"></div> <p>PAR入口及び出口に設置した水素濃度計、及びPAR入口部流速計等の測定パラメータから、次式により試験時のPAR単体の水素除去割合（g/s）を求め、試験時の試験容器内圧力を考慮したPAR性能評価式による水素除去割合（g/s、kg/h）との比較評価を行っている。</p> $Y = (C_{H2in} - C_{H2out}) \cdot P \cdot V_{in} \cdot A_{in} / (R_{H2} \cdot T_{in})$ <p>Y：水素処理速度（g/s）              C<sub>H2in</sub>：PAR入口水素濃度（vol%）、C<sub>H2out</sub>：PAR出口水素濃度（vol%）              P：圧力（bar）              V<sub>in</sub>：PAR入口流速（m/s）              A<sub>in</sub>：PAR入口流路断面積（m<sup>2</sup>）              R<sub>H2</sub>：水素ガス定数（J/kgK）              T<sub>in</sub>：PAR入口温度（K）</p> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: right;">14</p> <p style="text-align: center;">THAI 試験による試験値と性能評価式との比較（1）</p> <div style="border: 2px solid black; height: 400px; width: 100%;"></div> <p>PAR入口及び出口に設置した水素濃度計、及びPAR入口部流速計等の測定パラメータから、次式により試験時のPAR単体の水素除去割合（g/s）を求め、試験時の試験容器内圧力を考慮したPAR性能評価式による水素除去割合（g/s、kg/h）との比較評価を行っている。</p> $\gamma = (C_{H2in} - C_{H2out}) \cdot P \cdot V_{in} \cdot A_{in} / (R_{H2} \cdot T_{in})$ <p>γ：水素処理速度（g/s）              V<sub>in</sub>：PAR入口流速（m/s）              C<sub>H2in</sub>：PAR入口水素濃度（vol%）              A<sub>in</sub>：PAR入口流路断面積（m<sup>2</sup>）              C<sub>H2out</sub>：PAR出口水素濃度（vol%）              R<sub>H2</sub>：水素ガス定数（J/kgK）              P：圧力（bar）              T<sub>in</sub>：PAR入口温度（K）</p> <p style="text-align: center;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">15</p> <p style="text-align: center;">THAI 試験による試験値と性能評価式との比較（2）</p>	<p style="text-align: right;">15</p> <p style="text-align: center;">THAI 試験による試験値と性能評価式との比較（2）</p>	
<div style="border: 2px solid black; height: 675px; width: 100%;"></div>	<div style="border: 2px solid black; height: 675px; width: 100%;"></div>	
<p>↑</p> <p>PAR入口水素濃度に対する水素除去割合 (g/s) は、試験と評価式でほぼ一致していることを確認              →水蒸気濃度等各種の条件を変えた試験、毒物注入条件等で、試験による水素除去割合と性能評価式との比較を行い、影響の程度を確認</p> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>↑</p> <p>PAR入口水素濃度に対する水素除去割合(g/s)は、試験と評価式でほぼ一致していることを確認              →水蒸気濃度等各種の条件を変えた試験、毒物注入条件等で、試験による水素除去割合と性能評価式との比較を行い、影響の程度を確認。</p> <p style="text-align: center;">■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">16</p>	<p style="text-align: right;">16</p>	
<p style="text-align: center;">THAI 試験による試験値と性能評価式との比較（3）</p> <div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div>	<p style="text-align: center;">THAI 試験による試験値と性能評価式との比較（3）</p> <div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div>	
<p><u>水蒸気濃度の水素除去割合(g/s) への影響を確認</u></p> <p>○水蒸気濃度 25%以下の試験ではメーカー評価式とよい一致を示す。一方、それより高い水蒸気濃度の試験では、メーカー評価式よりも水素除去割合は低くなった。</p> <p>←メーカー評価式は 1bar、25℃飽和蒸気の試験条件をベースとしたものであるため、高水蒸気濃度下では、PARの効果がやや低下することに対応していないと考えられる。</p> <p>しかしながら、実機の著しい炉心損傷時の水蒸気濃度はごく初期の放出時を除き 25%以下となることから、十分適用できるものと評価する。</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p><u>水蒸気濃度の水素除去割合 (g/s) への影響を確認</u></p> <p>水蒸気濃度 25%以下の試験ではメーカー評価式とよい一致を示す。一方、それより高い水蒸気濃度の試験では、メーカー評価式よりも水素除去割合は低くなった。</p> <p>これは、メーカー評価式は 1bar、25℃飽和蒸気の試験条件をベースとしたものであるため、高水蒸気濃度下では、PARの効果がやや低下することに対応していないと考えられる。</p> <p>しかしながら、実機の著しい炉心損傷時の水蒸気濃度はごく初期の放出時を除き 25%以下となることから、十分適用できるものと評価する。</p> <p style="text-align: center;"><span style="border: 2px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">17</p> <p style="text-align: center;">THAI 試験による試験値と性能評価式との比較（4）                      [ エアロゾルによる影響確認試験 ]</p> <div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div> <p>高濃度のエアロゾルが注入されている条件下においても、PARの水素除去効果のあることが確認され、メーカー評価式とほぼ一致していることを確認している。                      *試験条件のエアロゾル濃度 <input type="text"/> g/m<sup>3</sup> 程度（最大約 <input type="text"/> g/m<sup>3</sup>）は、実機で想定され範囲（大阪発電所3，4号機の場合、最大約 900mg/m<sup>3</sup>）を十分超えるものとなっている。</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: right;">17</p> <p style="text-align: center;">THAI 試験による試験値と性能評価式との比較（4）                      [エアロゾルによる影響確認試験]</p> <div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div> <p>高濃度のエアロゾルが注入されている条件下においても、PARの水素除去効果のあることが確認され、メーカー評価式とほぼ一致していることを確認している。                      （試験条件のエアロゾル濃度 <input type="text"/> g/m<sup>3</sup> 程度（最大約 <input type="text"/> g/m<sup>3</sup>）は実機で想定される範囲（泊3号炉の場合、最大約 1100mg/m<sup>3</sup>）を十分超えるものとなっている。）</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">THAI 試験容器内の水素濃度の混合状況等</p> <div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div> <p>試験容器内の温度、水素濃度の分布</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PARによる発熱の影響を受けても、PAR出口から上方の各測定点において、温度は概ね均一な分布になっており、試験容器内の混合により、時間の経過とともに概ね均一な温度分布となっていることが確認される。</li> <li>水素体積比については、PAR出口から上方の各測定点において、概ね均一な分布となっていることが確認される。</li> </ul> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: center;">THAI 試験容器内の水素濃度の混合状況等</p> <div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div> <p>試験容器内の濃度、水素濃度の分布</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PARによる発熱の影響を受けても、PAR出口から上方の各測定点において、温度は概ね均一な分布になっており、試験容器内の混合により、時間の経過とともに概ね均一な温度分布となっていることが確認される。</li> <li>水素体積比については、PAR出口から上方の各測定点において、概ね均一な分布となっていることが確認される。</li> </ul> <p style="text-align: center;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">19</p> <p style="text-align: center;">まとめ</p> <p>○PARの水素除去割合（g/s）を評価する式は、PARとその触媒の設計の効果を踏まえ、PAR周囲（入口）の水素濃度と周囲圧力を主要パラメータとし、メーカー社内試験結果より係数を設定した実験式を作成している。</p> <p>○メーカーは社内試験による検証と、温度や水蒸気濃度等の影響、スプレイ等の性能影響を確認するとともに、PAR開発以降、EDF、EDF/CEA、EDF/EPRI、PHEBUS (FPT3)、THAI等の国際的なプロジェクト試験にPARを提供し、各種シビアアクシデント環境条件下での適用性について実証試験による確認を受けている。</p> <p>○PAR性能評価式は、これらの確認を経て、実機PWRのシビアアクシデント条件の範囲において、適用が可能なものと評価される。</p> <p><b>*</b>大阪発電所3、4号機の事故時の格納容器内条件から、これらの確認された範囲にあることを確認しているので、PARの性能評価式を適用できると評価する。</p>	<p style="text-align: right;">19</p> <p style="text-align: center;">まとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● PARの水素除去割合（g/s）を評価する式は、PARとその触媒の設計の効果を踏まえ、PAR周囲（入口）の水素濃度と周囲圧力を主要パラメータとし、メーカー社内試験結果より係数を設定した実験式作成している。</li> <li>● メーカーは社内試験による検証と、温度や水蒸気濃度等の影響、スプレイ等の性能影響を確認するとともに、PAR開発以降、EDF、EDF/CEA、EDF/EPRI、PHEBUS (FPT3)、THAI等の国際的なプロジェクト試験にPARを提供し、各種シビアアクシデント環境状況下での適用性について実証試験による確認を受けている。</li> <li>● PAR性能評価式は、これらの確認を経て、実機PWRのシビアアクシデント条件の範囲において、適用が可能なものと評価される。</li> </ul> <p><b>*</b>泊発電所3号炉の事故時のC/V内条件から、これらの確認された範囲にあることを確認しているので、PARの性能評価式を適用できると評価する。</p>	

泊発電所3号炉 SA基準適合性 比較表

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">参考1</p> <p style="text-align: center;">メーカーにおけるPARの開発・検証試験の経緯</p> <div style="border: 2px solid black; height: 350px; width: 100%;"></div>	<p style="text-align: right;">参考1</p> <p style="text-align: center;">メーカーにおけるPARの開発・検証試験の経緯</p> <div style="border: 2px solid black; height: 350px; width: 100%;"></div>	
<p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: center;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">参考2</p> <p>各社のPARの構造概要</p> <p style="text-align: right;">* THAI の部分試験体</p> <div style="border: 2px solid black; height: 350px; width: 100%; margin: 10px 0;"></div> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: right;">参考2</p> <p>各社PARの構造概要</p> <p style="text-align: right;">* THAI の部分試験体</p> <div style="border: 2px solid black; height: 350px; width: 100%; margin: 10px 0;"></div> <p style="text-align: center;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">別紙2</p> <p style="text-align: center;">PARの長時間運転時の性能について</p> <p>PARの性能実証試験においても、長時間に渡っての実証試験結果はないが、重大事故時におけるPARの高温時の長期間運転時の性能への影響について以下のように考察した。</p> <p>シビアアクシデント時のPAR設置環境では、触媒プレートの発熱の影響及びその他影響因子については、PARに以下のような設計上の考慮がなされている。</p> <p>(1) シビアアクシデント時のPAR設置環境では、PARの発熱の影響を考慮しても、管体の温度は最高でも500℃程度であり、PAR管体に使われている材料は、最高使用温度500℃においてもSs地震動にて発生する応力を下回っており、地震発生時においても、PARの構造健全性を損なうことはない。</p> <p>(2) 触媒を耐熱性のある金属 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 150px; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> を選定しており、触媒反応で高温となるようにして触媒阻害因子が剥離しやすい状態としている。</p> <p>(3) PARの触媒は、水素ガスと酸素ガスを反応させて水を生成する速度を高めているが、ここで起こる触媒反応は、触媒表面に吸着された水素分子及び酸素分子を解離させ、その後化学反応により水分子として結合させる反応のことで、この一連の反応で触媒そのものは反応前後で状態が変わらない（劣化しない）ものであり、再結合反応を起こしている間、触媒が劣化することではなく、水素処理性能は低下しない。</p> <p>また、シビアアクシデント時のPAR設置環境を模擬した多くの実証試験が行われており、THAI試験などでのエアロゾルの付着影響試験、水蒸気環境での影響確認試験で、触媒反応が開始すること、及び再結合効率に大きな影響はないことが確認されている。</p> <p>以上より、PAR運転状態における最高使用温度において、PARの構造健全性は維持され、PAR性能を阻害する因子についてもその影響が確認されているため、エアロゾル等発生する重大事故時における高温時の長期間運転に対しても、性能に有意な影響はないと考えられる。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: center;">別紙2</p> <p style="text-align: center;">PARの長時間運転時の性能について</p> <p>PARの性能実証試験においても、長時間に渡っての実証試験結果はないが、重大事故時におけるPARの高温時の長期間運転時の性能への影響について以下のように考察した。</p> <p>シビアアクシデント時のPAR設置環境では、触媒プレートの発熱の影響及びその他影響因子については、PARに以下のような設計上の考慮がなされている。</p> <p>(1) シビアアクシデント時のPAR設置環境では、PARの発熱の影響を考慮しても、管体の温度は最高でも500℃程度であり、PAR管体に使われている材料は、最高使用温度500℃においてもSs地震動にて発生する応力を下回っており、地震発生時においても、PARの構造健全性を損なうことはない。</p> <p>(2) 触媒を耐熱性のある容器 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 150px; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> を選定しており、触媒反応で高温となるようにして触媒阻害因子が剥離しやすい状態としている。</p> <p>(3) PARの触媒は、水素ガスと酸素ガスを反応させて水を生成する速度を高めているが、ここで起こる触媒反応は、触媒表面に吸着された水素分子及び酸素分子を解離させ、その後化学反応により水分子として結合させる反応のことで、この一連の反応で触媒そのものは反応前後で状態が変わらない（劣化しない）ものであり、再結合反応を起こしている間、触媒が劣化することではなく、水素処理性能は低下しない。</p> <p>また、シビアアクシデント時のPAR設置環境を模擬した多くの実証試験が行われており、THAI試験などでのエアロゾルの付着影響試験、水蒸気環境での影響確認試験で、触媒反応が開始すること、及び再結合効率に大きな影響は無いことが確認されている。</p> <p>以上より、PAR運転状態における最高使用温度において、PARの構造健全性は維持され、PAR性能を阻害する因子についてもその影響が確認されているため、エアロゾル等発生する重大事故時における高温時の長期間運転に対しても、性能に有意な影響はないと考えられる。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">別紙3</p> <p style="text-align: center;">PARの使用前検査における性能確認方法</p> <p>1. 検査内容</p> <p>(1) 機能検査 検査装置にて、白金系触媒の活性が劣化していないことを確認する。</p> <p>(2) 外観検査 PAR 筐体及び触媒プレートに異常がないこと及びPAR 本体のガス流路に異物、閉塞がないことを確認する。</p> <p>(3) 重量検査 PAR の触媒プレートについて初期の触媒付着量を確認する。</p> <p>2. 検査によるPAR性能確認</p> <p>PARの再結合効率（性能）は、メーカー性能評価式で表される。この性能評価式は、パラメータである水素濃度及び圧力に加え、PARの幾何学的な構造・配列等を考慮して試験等により係数（A及びB）が設定されている。これらを含めたPARの性能を決定する因子（流量、触媒反応速度）を整理すると、別表1のような影響因子があると整理できる。</p> <p>流量については、PARの構造に依存した熱バランスにより決まる触媒温度で決定される。</p> <p>PARは雰囲気中の水素（水素濃度及び圧力に依存）によって触媒反応が起こり、発熱する。</p> <p>PARの構造は、触媒プレート部（本体下端部）の発熱によって高温になることにより、筐体に沿って上昇流が発生し、PAR本体上部より排気される構造となっている。ゆえに、触媒プレートからの輻射・伝熱は、PAR本体の幾何学的な構造に関わり、発熱と輻射・伝熱の熱バランスで触媒温度が決まる。</p> <p>したがって、プレート収納引き出しがPAR本体下部にあること、及び、筐体が図面通り（直方体かつ板貼り構造）の外観であることを外観検査により確認し、メーカー設計どおりの構造であることを確認することで、メーカー性能評価式に考慮される係数がそのまま適用できることを確認する。なお、PARの発熱反応については、性能評価式の係数ではなく、パラメータとして水素濃度及び圧力に考慮されていることから別途検査不要と判断した。</p> <p>触媒反応速度については、PARの触媒プレートの触媒反応とその近傍の水素の拡散挙動により決定される。触媒プレート付近の拡散挙動は、触媒温度に依存する流れ（流量）と触媒プレート付近の幾何学的構造に依存するため、プレートが垂直配列であること及びガス流路に異物、閉塞がないことを外観により確認する。</p> <p>触媒反応は、白金系触媒の活性が劣化していない（触媒が活性する）ことを機能試験にて確認し、触媒プレートの触媒の付着状況を外観にて確認することにより、PARの性能が発揮される状態であることを確認する。</p>	<p style="text-align: right;">別紙3</p> <p style="text-align: center;">PARの使用前<b>事業者</b>検査における性能確認方法</p> <p>1. 検査内容</p> <p>(1) 機能検査 検査装置にて、白金系触媒の活性が劣化していないことを確認する。</p> <p>(2) 外観検査 PAR 筐体及び触媒プレートに異常がないこと及びPAR 本体のガス流路に異物、閉塞がないことを確認する。</p> <p>(3) 重量検査 PAR の触媒プレートについて初期の触媒付着量を確認する。</p> <p>2. 検査によるPAR性能確認</p> <p>PARの再結合効率（性能）は、メーカー性能評価式で表される。この性能評価式は、パラメータである水素濃度及び圧力に加え、PARの幾何学的な構造・配列等を考慮して試験等により係数（A及びB）が設定されている。これらを含めたPARの性能を決定する因子（流量、触媒反応速度）を整理すると、別表1のような影響因子があると整理できる。</p> <p>流量については、PARの構造に依存した熱バランスにより決まる触媒温度で決定される。</p> <p>PARは、雰囲気中の水素（水素濃度及び圧力に依存）によって触媒反応が起こり、発熱する。</p> <p>PARの構造は、触媒プレート（本体下端部）の発熱によって高温になることにより、筐体に沿って上昇流が発生し、PAR本体上部より排気される構造となっている。ゆえに、触媒プレートからの輻射・伝熱は、PAR本体の幾何学的な構造に関わり、発熱と輻射・伝熱の熱バランスで触媒温度が決まる。</p> <p>したがって、プレート収納引き出しがPAR本体下端にあること、及び筐体が図面通り（直方体かつ板貼り構造）の外観であることを外観検査により確認し、メーカー設計通りの構造であることを確認することで、メーカー性能評価式に考慮される係数がそのまま適用できることを確認する。なお、PARの発熱反応については、性能評価式の係数ではなく、パラメータとして水素濃度及び圧力に考慮されていることから別途検査不要と判断した。</p> <p>触媒反応速度については、PARの触媒プレートの触媒反応とその近傍の水素の拡散挙動により決定される。触媒プレート付近の拡散挙動は、触媒温度に依存する流れ（流量）と触媒プレート付近の幾何学的構造に依存するため、プレートが垂直配列であること及びガス流路に異物、閉塞がないことを外観により確認する。</p> <p>触媒反応は、白金系触媒の活性が劣化していない（触媒が活性する）ことを機能検査にて確認し、触媒プレートの触媒の付着状況を外観にて確認することにより、PARの性能が発揮される状態であることを確認する。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉				泊発電所3号炉				相違理由
$\gamma = \eta \cdot \min(X_{H_2}, 2 \cdot X_{O_2}, 8.0) \cdot (A \cdot P + B) \cdot \tanh(X_{H_2} - 0.5)$ $\gamma$ ：水素処理速度 (g/s) $\eta$ ：1.0 ( $X_{O_2} > X_{H_2}$ ) $X_{H_2}$ ：水素体積比 (%) $X_{O_2}$ ：酸素体積比 (%) $P$ ：圧力 (bar) $A, B$ ：係数				$\gamma = \eta \cdot \min(X_{H_2}, 2 \cdot X_{O_2}, 8.0) \cdot (A \cdot P + B) \cdot \tanh(X_{H_2} - 0.5)$ $\gamma$ ：再結合効率 (g/s) $\eta$ ：1.0 ( $X_{O_2} > X_{H_2}$ ) $X_{H_2}$ ：水素濃度 (%) $X_{O_2}$ ：酸素濃度 (%) $P$ ：圧力 (bar) $A, B$ ：係数				
別表1 流量及び触媒反応速度の影響因子				別表1 流量及び触媒反応速度の影響因子				
決定因子	項目		影響因子	項目		影響因子	検査での確認方法	
流量	触媒温度 (熱バランス)	発熱*2	水素濃度	触媒温度 (熱バランス)	発熱*2	水素濃度	検査対象外*1 (性能評価式パラメータ)	
			圧力			圧力	検査対象外*1 (性能評価式パラメータ)	
	輻射・伝熱	PAR本体の幾何学的な構造*3 ・プレート位置がPAR本体下端 ・筐体構造	プレート収納引出しがPAR本体下端にあることを確認することを目的として外観検査を行う。	輻射・伝熱	PAR本体の幾何学的な構造*3 ・プレート位置がPAR本体下端 ・筐体構造	プレート収納引出しがPAR本体下端にあることを確認することを目的として外観検査を行う。		
触媒反応速度	拡散挙動		触媒近傍の幾何学的な配置 ・プレートが垂直配列*4 ・異物確認	拡散挙動		触媒近傍の幾何学的な配置 ・プレートが垂直配列*4 ・異物確認	プレートが垂直配列されていることを確認することを目的に外観検査を行う。	
	触媒反応		触媒の反応性 触媒の付着状況	触媒反応		触媒の反応性 触媒の付着状況	検査装置で確認 触媒の外観検査により、触媒の表面に触媒の有意な欠落がないことを確認する	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>*1 ; 影響因子のうち、水素濃度及び圧力は性能評価式のパラメータであり、検査対象外とする。</p> <p>* 2 ; 発熱は再結合する水素の量で決まる。再結合する水素量は、PARに流入する水素分子量と「触媒反応速度」で決まる。「触媒反応速度」は別途確認するので、ここでは、PARに流入する水素分子量を決める水素濃度と圧力が影響因子となる。</p> <p>* 3 ; 輻射・伝熱は高温部と低温部の幾何学的な位置関係（輻射においては形態係数として扱われる）で決まる。高温部は触媒であり、低温部は管体である。触媒が収納されている引出し部が管体全体でどこに位置するかを確認すれば空間的な位置関係が確認できることになる。また、PAR管体の形も当該位置関係に関与するので確認対象である。</p> <p>* 4 ; 拡散挙動は、環境水素濃度と触媒表面の流動境界層厚さで求まる濃度勾配で決まる。流動境界層厚さは、全体流れとの相対位置関係で決まり、性能実証した装置と同じ配列（垂直に差し込んである）であることを確認すればよい。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>*3 ; 輻射・伝熱は高温部と低温部の幾何学的な位置関係（輻射においては形態係数として扱われる）で決まる。高温部は触媒であり、低温部は管体である。触媒が収納されている引出し部が管体全体でどこに位置するかを確認すれば空間的な位置関係が確認できることになる。また、PAR管体の形も当該位置関係に関与するので確認対象である。なお、水素再結合反応はPARの代表的な寸法（例えば、高さ1400mmとか）に対しmmオーダーで変わるものではなく、寸法検査までの必要性はないと評価した。</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px; text-align: center;"> <p>本記載は、伊方3号炉の参考掲載</p> </div>	<p>*1 : 影響因子のうち、水素濃度及び圧力は性能評価式のパラメータであり、検査対象外とする。</p> <p>*2 : 発熱は再結合する水素の量で決まる。再結合する水素量は、PARに流入する水素分子量と「触媒反応速度」で決まる。「触媒反応速度」は別途確認するので、ここでは、PARに流入する水素分子量を決める水素濃度と圧力が影響因子となる。</p> <p>*3 : 輻射・伝熱は高温部と低温部の幾何学的な位置関係（輻射においては形態係数として扱われる）で決まる。高温部は触媒であり、低温部は管体である。触媒が収納されている引出し部が管体全体でどこに位置するかを確認すれば空間的な位置関係が確認できることになる。また、PAR管体の形も当該位置関係に関与するので確認対象である。なお、水素再結合反応はPARの代表的な寸法（例えば、高さ1400mmとか）に対しmmオーダーで変わるものではなく、寸法検査までの必要性はないと評価した。</p> <p>*4 : 拡散挙動は、環境水素濃度と触媒表面の流動境界層厚さで求まる濃度勾配で決まる。流動境界層厚さは、全体流れとの相対位置関係で決まり、性能実証した装置と同じ配列（垂直に差し込んである）であることを確認すればよい。</p>	<p>記載表現の相違                  ・幾何学的な位置関係の確認は、寸法検査ではなく外観検査で確認できることを記載した。（伊方と同様）</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由																														
<p>3. 検査装置</p> <p>検査装置内に触媒プレートをセットし、水素を含む試験ガスを送り込み、検査装置出口部濃度が低下することで、触媒プレートの水素再結合反応の開始を確認し、白金系触媒の活性が劣化していない（触媒が活性する）ことを確認する。検査装置条件を別表2に示す。</p> <p style="text-align: center;">別表2 検査装置条件</p> <table border="1" data-bbox="197 368 1019 1056"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>検査装置条件</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>水素濃度 (vol.%)</td> <td>3</td> <td>水素濃度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での水素濃度は運転条件水素濃度より低く設定している。</td> </tr> <tr> <td>触媒プレート枚数 (枚)</td> <td>3</td> <td>触媒プレートは、どれか1枚の触媒プレートが反応すると連動して隣接した触媒プレートが反応を開始する「ドミノ効果」と呼ばれる現象が見られることから、検査で用いる触媒プレートの枚数が多いほど、どれか1枚の反応が発動しやすいため、検査枚数は、運転条件枚数より少なく設定している。</td> </tr> <tr> <td>温度 (℃)</td> <td>50</td> <td>温度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での温度は運転条件温度より低く設定している。</td> </tr> <tr> <td>流量 (L/h)</td> <td>500</td> <td>ガス中の水素は順次触媒反応で失われていくので、流れの後方ほど薄い水素濃度での触媒反応となる。流量が速いほど流れの後方でも高い水素濃度での触媒反応が期待できるため、検査での流量は運転条件流量より低く設定している。</td> </tr> </tbody> </table>	項目	検査装置条件	備考	水素濃度 (vol.%)	3	水素濃度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での水素濃度は運転条件水素濃度より低く設定している。	触媒プレート枚数 (枚)	3	触媒プレートは、どれか1枚の触媒プレートが反応すると連動して隣接した触媒プレートが反応を開始する「ドミノ効果」と呼ばれる現象が見られることから、検査で用いる触媒プレートの枚数が多いほど、どれか1枚の反応が発動しやすいため、検査枚数は、運転条件枚数より少なく設定している。	温度 (℃)	50	温度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での温度は運転条件温度より低く設定している。	流量 (L/h)	500	ガス中の水素は順次触媒反応で失われていくので、流れの後方ほど薄い水素濃度での触媒反応となる。流量が速いほど流れの後方でも高い水素濃度での触媒反応が期待できるため、検査での流量は運転条件流量より低く設定している。	<p>3. 検査装置</p> <p>検査装置内に触媒プレートをセットし、水素を含む試験ガスを送り込み、検査装置出口部濃度が低下することで、触媒プレートの水素再結合反応の開始を確認し、白金系触媒の活性が劣化していない（触媒が活性する）ことを確認する。検査装置条件を別表2に示す。</p> <p style="text-align: center;">別表2 検査装置条件</p> <table border="1" data-bbox="1122 368 1868 1013"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>検査装置条件</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>水素濃度 (vol%)</td> <td>3</td> <td>水素濃度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での水素濃度は運転条件水素濃度より低く設定している。</td> </tr> <tr> <td>触媒プレート枚数 (枚)</td> <td>3</td> <td>触媒プレートは、どれか1枚の触媒プレートが反応すると連動して隣接した触媒プレートが反応を開始する「ドミノ効果」と呼ばれる現象が見られることから、検査で用いる触媒プレートの枚数が多いほど、どれか1枚の反応が発動しやすいため、検査枚数は、運転条件枚数より少なく設定している。</td> </tr> <tr> <td>温度 (℃)</td> <td>50</td> <td>温度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での温度は運転条件より低く設定している。</td> </tr> <tr> <td>流量 (L/h)</td> <td>500</td> <td>ガス中の水素は順次触媒反応で失われていくので、流れの後方ほど薄い水素濃度での触媒反応となる。流量が速いほど流れの後方でも高い水素濃度での触媒反応が期待できるため、検査での流量は運転条件流量より低く設定している。</td> </tr> </tbody> </table>	項目	検査装置条件	備考	水素濃度 (vol%)	3	水素濃度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での水素濃度は運転条件水素濃度より低く設定している。	触媒プレート枚数 (枚)	3	触媒プレートは、どれか1枚の触媒プレートが反応すると連動して隣接した触媒プレートが反応を開始する「ドミノ効果」と呼ばれる現象が見られることから、検査で用いる触媒プレートの枚数が多いほど、どれか1枚の反応が発動しやすいため、検査枚数は、運転条件枚数より少なく設定している。	温度 (℃)	50	温度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での温度は運転条件より低く設定している。	流量 (L/h)	500	ガス中の水素は順次触媒反応で失われていくので、流れの後方ほど薄い水素濃度での触媒反応となる。流量が速いほど流れの後方でも高い水素濃度での触媒反応が期待できるため、検査での流量は運転条件流量より低く設定している。	
項目	検査装置条件	備考																														
水素濃度 (vol.%)	3	水素濃度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での水素濃度は運転条件水素濃度より低く設定している。																														
触媒プレート枚数 (枚)	3	触媒プレートは、どれか1枚の触媒プレートが反応すると連動して隣接した触媒プレートが反応を開始する「ドミノ効果」と呼ばれる現象が見られることから、検査で用いる触媒プレートの枚数が多いほど、どれか1枚の反応が発動しやすいため、検査枚数は、運転条件枚数より少なく設定している。																														
温度 (℃)	50	温度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での温度は運転条件温度より低く設定している。																														
流量 (L/h)	500	ガス中の水素は順次触媒反応で失われていくので、流れの後方ほど薄い水素濃度での触媒反応となる。流量が速いほど流れの後方でも高い水素濃度での触媒反応が期待できるため、検査での流量は運転条件流量より低く設定している。																														
項目	検査装置条件	備考																														
水素濃度 (vol%)	3	水素濃度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での水素濃度は運転条件水素濃度より低く設定している。																														
触媒プレート枚数 (枚)	3	触媒プレートは、どれか1枚の触媒プレートが反応すると連動して隣接した触媒プレートが反応を開始する「ドミノ効果」と呼ばれる現象が見られることから、検査で用いる触媒プレートの枚数が多いほど、どれか1枚の反応が発動しやすいため、検査枚数は、運転条件枚数より少なく設定している。																														
温度 (℃)	50	温度が高いほど水素再結合反応が生じやすいので、検査での温度は運転条件より低く設定している。																														
流量 (L/h)	500	ガス中の水素は順次触媒反応で失われていくので、流れの後方ほど薄い水素濃度での触媒反応となる。流量が速いほど流れの後方でも高い水素濃度での触媒反応が期待できるため、検査での流量は運転条件流量より低く設定している。																														

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>4. 判定基準</p> <p>(1) 機能検査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素濃度約3%の試験ガスで、検査装置入口濃度部を100%として出口部濃度が15分以内に75%以下になること。</li> </ul> <p>【理由】</p> <p>触媒が活性化することを確認するには、実際に水素を含むガスを流し、触媒反応が表れることを確認すればよい。</p> <p>よって、濃度の低下に関する基準としては、出口の水素濃度がわずかでも低下すれば水素再結合反応が生じていると判断できる。</p> <p>しかしながら、計測誤差（検査装置の水素濃度計の精度±5%）に十分余裕を見た上で、反応していると判断できる、初期値の25%変化（低下）を判断基準としている。</p> <p>また、この水素再結合反応が生じるまでの判定基準は、15分以内としている。この時間については、触媒プレートを再生運転（加熱処理により反応）させるかどうかについての目安時間として設けているものであり、事故初期において、PAR反応が遅れることによる格納容器内の水素濃度への影響は微小であることをPAR性能に関する説明書にて示していることから、問題ない。</p> <p>なお、その影響評価については、KILI-H2 TESTにおいて水素再結合反応開始が遅れた時間が最大約10分であった結果から性能評価式への影響が微小であることを別途確認しているが、KILI-H2 TESTは温度が約100℃で試験されており、本検査の場合の試験条件（表2に整理）が、触媒反応が生じにくい条件であること、及び初期値の水素濃度25%変化を別途判定基準として定めていることから妥当と考えられる。</p>	<p>4. 判定基準</p> <p>(1) 機能検査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素濃度約3vol%の試験ガスで、検査装置入口濃度部を100%として出口部濃度が15分以内に75%以下になること。</li> </ul> <p>【理由】</p> <p>触媒が活性化することを確認するには、実際に水素を含むガスを流し、触媒反応が表れることを確認すればよい。</p> <p>よって、濃度の低下に関する基準としては、出口の水素濃度がわずかでも低下すれば水素再結合反応が生じていると判断できる。</p> <p>しかしながら、計測誤差（検査装置の水素濃度計の精度±5%）に十分余裕を見た上で、反応していると判断できる、初期値の25%変化（低下）を判断基準としている。</p> <p>また、この水素再結合反応が生じるまでの判定基準は、15分以内としている。この時間については、触媒プレートを再生運転（加熱処理による反応させる）させるかどうかについての目安時間として設けているものであり、事故初期において、PAR反応が遅れることによるC/V内の水素濃度への影響は微小であることをPAR性能に関する説明にて示していることから、問題ない。</p> <p>なお、その影響評価については、KILI-H2 TESTにおいて水素再結合反応開始が遅れた時間が最大約10分であった結果から性能評価式への影響が微小であることを別途確認しているが、KILI-H2 TESTは温度が約100℃で試験されており、本検査の場合の試験条件（別表2に整理）が、触媒反応が生じにくい条件であること、及び初期値の水素濃度25%変化を別途判定基準として定めていることから妥当と考えられる。</p>	

泊発電所3号炉 SA基準適合性 比較表

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）


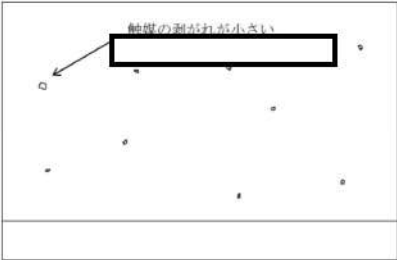

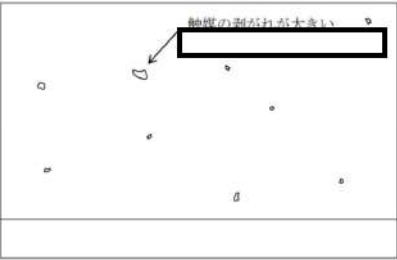
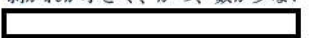
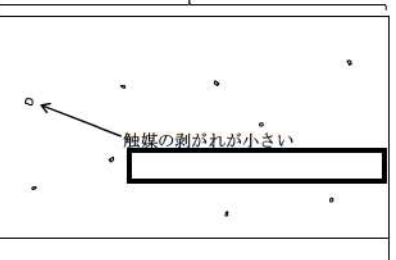

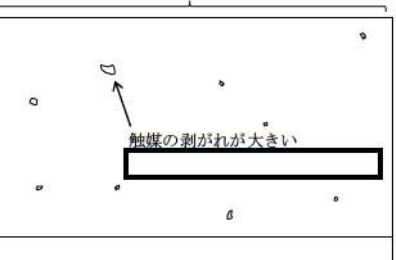
第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">参考</p> <p>参考の本機能検査の判定基準に基づく触媒反応（水素の低減割合）が、THAI プロジェクト等により性能実証したPARと同等か検証する。</p> <p>THAI 試験の再結合効率及び触媒プレート温度は図1及び図2に示すとおり触媒プレート温度が約50℃の場合、再結合効率は <input type="text"/> である。</p> <p>検査装置で初期水素濃度の75%低下を想定すると初期水素濃度3%、流量500L/hの場合、得られる再結合効率はTHAI 試験と同等の <input type="text"/> となる。</p> <p>従って、本機能検査の判定基準を満たせば、THAI プロジェクトの装置で実証したPARの触媒反応と概ね同等と考えられる。</p> <div style="border: 2px solid black; height: 80px; width: 100%; margin-top: 10px;"></div> <div style="border: 2px solid black; height: 200px; width: 80%; margin-top: 10px; margin-left: 10%;"></div> <p style="text-align: center; margin-left: 10%;">参考図1 触媒プレート温度</p> <div style="border: 2px solid black; height: 200px; width: 90%; margin-top: 10px;"></div> <p style="text-align: center; margin-left: 10%;">参考図2 再結合効率</p> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;"><input type="checkbox"/> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: right;">参考</p> <p>参考の本機能検査の判定基準に基づく触媒反応（水素濃度の低減割合）が、THAI プロジェクト等により性能実証したPARと同等か検証する。</p> <p>THAI 試験の再結合効率及び触媒プレート温度は別図1及び別図2に示すとおり触媒プレート温度が約50℃の場合、再結合効率は <input type="text"/> である。</p> <p>検査装置で初期水素濃度の75%低下を想定すると初期水素濃度3%、流量500ℓ/hの場合、得られる再結合率はTHAI 試験と同等の <input type="text"/> となる。</p> <p>従って、本機能検査の判断基準を満たせば、THAI プロジェクトの装置で実証したPARの触媒反応と概ね同等と考えられる。</p> <div style="border: 2px solid black; height: 80px; width: 100%; margin-top: 10px;"></div> <div style="border: 2px solid black; height: 200px; width: 80%; margin-top: 10px; margin-left: 10%;"></div> <p style="text-align: center; margin-left: 10%;">参考図1 触媒プレート温度</p> <div style="border: 2px solid black; height: 200px; width: 90%; margin-top: 10px;"></div> <p style="text-align: center; margin-left: 10%;">参考図2 再結合効率</p> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;"><input type="checkbox"/> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(2) 外観検査</p> <p>【PAR本体】（全数）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>プレート収納出ししがPAR本体下端にあること、及び、管体が図面通り（直方体かつ板貼り構造）の外観であること。</li> <li>PAR本体のガス流路に異物、閉塞がないこと。</li> <li>プレートが概ね垂直に差し込まれていること。</li> </ul> <p>【触媒プレート】（機能検査を行う3枚のみ）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>触媒の表面に触媒の有意な欠落*がないこと。</li> </ul> <p>※ メーカー基準による。</p> <p>メーカーは、メーカー性能評価式で求まる性能が得られる触媒面積以上の面積を持つ触媒プレートを装備させており、例え一部欠落していたとしてもメーカー基準（全体の約 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">  </span> %欠落までを許容）を満たせば、メーカー性能評価式で求まる性能が確保されるとしている。</p> <p>その根拠として、メーカーは、触媒面積に応じた性能を検証した試験を実施しており、導入するPARの場合は、その性能を検証した必要触媒面積に対し、余裕を持った触媒面積を持つ触媒プレートを採用しているため、当該欠落が生じても性能が確保できるとしている。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>剥がれが小さく、かつ、数が少ない</p>   <p>(a)判断基準を満たしている場合</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>剥がれが大きく、かつ、数が多い</p>   <p>(b)判断基準を満たしていない場合</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">参考図3 判断基準のイメージ</p> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>(2) 外観検査</p> <p>a. PAR本体（全数）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>プレート収納引き出しがPAR本体下端にあること、及び管体が図面通り（直方体かつ板張り構造）の外観であること。</li> <li>PAR本体のガス流路に異物、閉塞がないこと。</li> <li>プレートが概ね垂直に差し込まれていること。</li> </ul> <p>b. 触媒プレート（機能検査を行う3枚のみ）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>触媒の表面に触媒の有意な欠落*がないこと。</li> </ul> <p>※ メーカー基準による。</p> <p>メーカーは、メーカー性能評価式で求まる性能が得られる触媒面積以上の面積を持つ触媒プレートを装備させており、たとえ一部欠落していたとしてもメーカー基準（全体の約 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">  </span> %欠落までを許容）を満たせば、メーカー性能評価式で求まる性能が確保されるとしている。</p> <p>その根拠として、メーカーは、触媒面積に応じた性能を検証した試験を実施しており、導入するPARの場合は、その性能を検証した必要触媒面積に対し、余裕を持った触媒面積を持つ触媒プレートを採用しているため、当該欠落が生じても性能が確保できるとしている。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>剥がれが小さく、かつ、数が少ない</p>   <p>(a) 判断基準を満たしている場合</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>剥がれが大きく、かつ、数が多い</p>   <p>(b) 判断基準を満たしていない場合</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">参考図3 判断基準のイメージ</p> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由								
<p>(3) 重量検査</p> <p>【触媒プレート】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>触媒プレートに付着している触媒重量が基準値（注）以下であること。</li> </ul> <p>(注) メーカー基準による                  触媒プレート製造時に母材重量を差し引いた触媒重量が、別表3に示す仕様を満たすこと。</p> <p style="text-align: center;">別表3 触媒プレートの性能に係る仕様</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">触媒材質</th> <th style="width: 50%;">触媒重量（基準値）</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 20px;"> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	触媒材質	触媒重量（基準値）			<p>(3) 重量検査</p> <p>a. 触媒プレート</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>触媒プレートに付着している触媒重量が基準値*以上であること。</li> </ul> <p>※メーカー基準による。                  触媒プレート製造時に母材重量を差し引いた触媒重量が、別表3に示す仕様を満たすこと。</p> <p style="text-align: center;">別表3 触媒プレートの性能に係る仕様</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">触媒材質</th> <th style="width: 50%;">触媒重量（基準値）</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 20px;"> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	触媒材質	触媒重量（基準値）			<p style="text-align: center;">記載表現の相違</p>
触媒材質	触媒重量（基準値）									
触媒材質	触媒重量（基準値）									

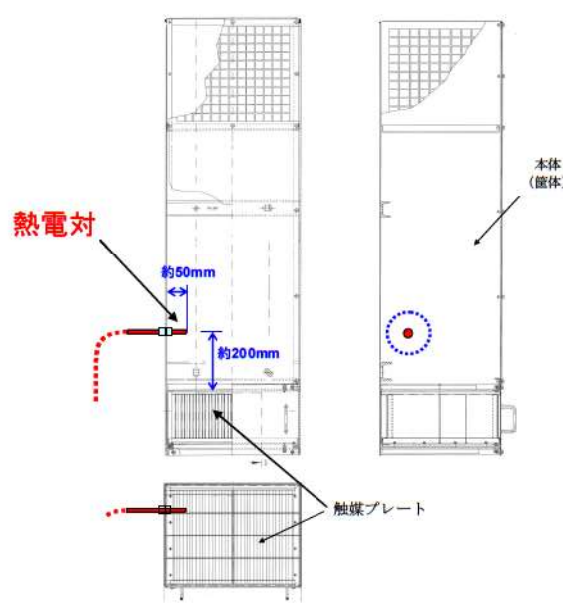
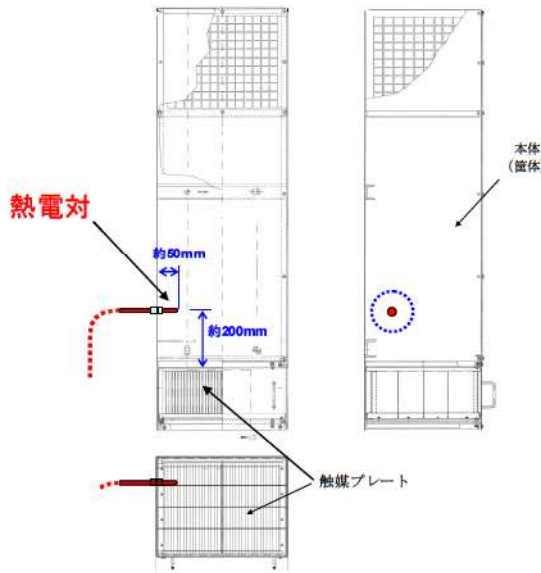
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">別紙4</p> <p style="text-align: center;"><u>静的触媒式水素再結合装置温度監視装置について</u></p> <p>1. 目的</p> <p>静的触媒式水素再結合装置（PAR）は、格納容器内の水素濃度上昇に従い自動的に作動する装置であり、電源や運転員による操作の不要な装置である。</p> <p>PARは、触媒における再結合反応により水素を除去する装置であるので、水素濃度の上昇、水素処理割合の増加に従って装置内の温度が上昇する（別図1）ことから、PARに温度計を設置することにより、水素処理の状況を把握することができ、PARによる水素処理が行われていることを確認することができれば、事故対処時の有効な情報となると考えられる。</p> <p>このことから、格納容器内に設置されているPAR（全5個）に、熱電対を取り付け、中央制御室にてPARの温度を確認できるようし、重大事故対処時の監視情報の充実を図ることとする。</p> <div style="border: 2px solid black; height: 200px; width: 100%; margin: 10px 0;"></div> <p style="text-align: center;">別図1 PARの温度上昇</p> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: right;">別紙4</p> <p style="text-align: center;">原子炉格納容器内水素処理装置温度について</p> <p>1. 目的</p> <p>原子炉格納容器内水素処理装置（PAR）は、原子炉格納容器内の水素濃度上昇に従い自動的に作動する装置であり、電源や運転員による操作の不要な装置である。</p> <p>PARは、触媒における再結合反応により水素を除去する装置であるので、水素濃度の上昇、水素処理割合の増加に従って装置内の温度が上昇する（別図4）ことから、PARに温度計を設置することにより、水素処理の状況を把握することができ、PARによる水素処理が行われていることを確認することができれば、事故対処時の有効な情報となると考えられる。</p> <p>このことから、原子炉格納容器内に設置されているPAR（全5個）に、熱電対を取り付け、中央制御室にてPARの温度を確認できるようし、重大事故対処時の監視情報の充実を図ることとする。</p> <div style="border: 2px solid black; height: 200px; width: 100%; margin: 10px 0;"></div> <p style="text-align: center;">別図4 PARの温度上昇</p> <p style="text-align: center;">■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

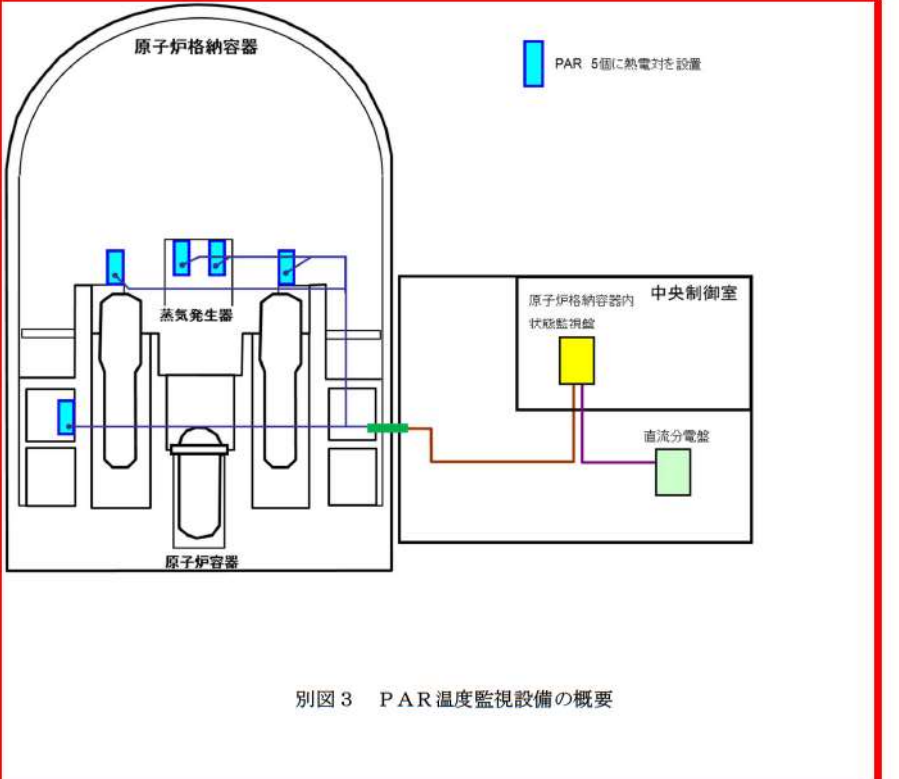
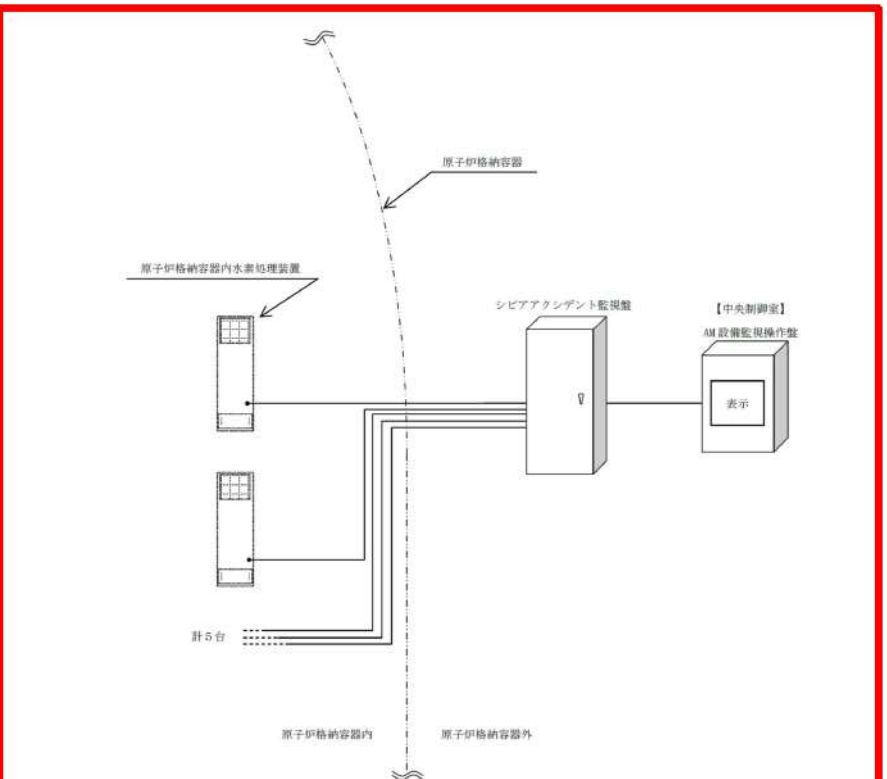
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p><b>b. 設備概要</b></p> <p>PAR全5個に対し、熱電対を取り付け、事故時のPARの測定温度を中央制御室に表示し監視できるようにする。</p> <p>熱電対の設置位置は、PAR管体側面に熱電対シースを取り付け、触媒プレート上部のガス温度を測定できるようにする計画である。大阪発電所3、4号機の原子炉格納容器雰囲気温度の最高値は、格納容器過温破損シナリオ時においては約144℃であるので、4%程度以上の水素濃度でPARによる水素除去（触媒部での水素再結合反応）が起きていることを確認することができる。（別図1より、水素濃度4%のときPAR内部のガス温度は200℃～300℃程度となる。）</p> <p>検討仕様：シース付き熱電対（シース外径3.2mm）1個/PAR1個</p>  <p>別図2 PARへの熱電対取り付け位置</p>	<p><b>2. 設備概要</b></p> <p>PAR全5個に対し、熱電対を取り付け、事故時のPARの測定温度を中央制御室に表示し監視できるようにする。</p> <p>熱電対の設置位置は、PAR管体側面に熱電対シースを取り付け、触媒プレート上部のガス温度を測定できるようにする。泊3号炉の原子炉格納容器雰囲気温度の最高値は、格納容器過温破損シナリオ時において約141℃であるので、4vol%程度以上の水素濃度でPARによる水素除去（触媒部での水素再結合反応）が起きていることを確認することができる（別図4より、水素濃度4vol%のときPAR内部のガス温度は200℃～300℃程度となる）。</p> <p>仕様：シース付き熱電対（シース外径3.2mm）1個/PAR1個                  熱電対は約800℃の計測を可能とする。</p>  <p>別図5 PARへの熱電対取り付け位置</p>	<p>相違理由</p> <p>解析結果の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>PARへの熱電対取り付け位置は、サポートとの干渉を考慮したPAR筐体への取り付け性・固定性、触媒プレートの保守性等を考慮してPAR下部側面から挿入し、触媒プレート上部のガス温度が測れる位置とすることを計画している。（別図2）</p> <p>熱電対シースは外径3.2mmであり、筐体内への挿入長さも50mm程度とわずかなことから、PARの筐体内流路影響の観点から水素除去性能へ影響を及ぼすものではない。</p> <p>測定温度は、中央制御室に設置している原子炉格納容器内状態監視盤に入力し、測定データの表示と記録・保存ができるようにする。（別図3）</p>	<p>PARへの熱電対取り付け位置は、サポートとの干渉を考慮したPAR筐体への取り付け性・固定性、触媒プレートの保守性等を考慮してPAR下部側面から挿入し、触媒プレート上部のガス温度が測れる位置としている。（別図5）</p> <p>熱電対シースは外径3.2mmであり、筐体内への挿入長さも50mm程度とわずかなことから、PARの筐体内流路影響の観点から水素除去性能へ影響を及ぼすものではない。</p> <p>測定温度は、シビアアクシデント監視盤を経由して中央制御室に設置しているAM設備監視操作盤に入力し、測定データの表示と記録・保存ができるようにする。（別図6）</p>	<p>設計の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・PARに取り付けた熱電対の測定データの伝送経路は相違するが、測定データの記録及び保存ができる設計は同じである。</li> </ul>
 <p>別図3 PAR温度監視設備の概要</p> <p>この図は、原子炉格納容器（上部）と原子炉容器（下部）の内部構造を示しています。原子炉格納容器には、5箇所に熱電対が設置されています。また、蒸気発生器と原子炉容器が描かれています。右側の中央制御室には、原子炉格納容器内状態監視盤と直流分電盤が接続されています。</p>	 <p>別図6 PARの動作監視装置</p> <p>この図は、原子炉格納容器内と外からのデータ伝送経路を示しています。原子炉格納容器内には、原子炉格納容器内水素処理装置と計5台の熱電対があります。データはシビアアクシデント監視盤を経由して、中央制御室のAM設備監視操作盤（表示）へと伝送されます。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">別紙5</p> <p style="text-align: center;">PARによる水素処理の反応律速について</p> <p>PARによる水素再結合の反応は、不均一系触媒反応であり、PARの触媒プレートは多孔質金属触媒をプレート材にコーティングしているものであるため、流通相のプレート間流路から触媒外表面への外部拡散、触媒内粒子内表面への細孔内拡散がかかわっていることから、触媒反応による水素処理反応は拡散過程が総括反応速度を律していると考えられる。</p> <p>試験結果（参考1）において、水素濃度の上昇とともに再結合効率が上昇するが、反応率（（PAR入口-出口の水素濃度差）/PAR入口水素濃度：％）は、水素濃度の上昇に対して大きく変わっていないことが確認されている。温度上昇に対する再結合（kg/h）は、PARの入口水素濃度の増加分に対応して増加する形となっていることから、PARによる水素再結合反応が進んでいる段階では拡散律速になっていると考えられる。</p> <p>一方、反応開始時の状況では、触媒の温度が低く、アレニウスの式で示されるとおり、触媒反応が起りにくい状態と考えられ、化学反応律速状態であると考えられる。</p> <p>なお、THAI等の試験で確認されたPARの起動遅れについては、反応開始時では試験前の水蒸気雰囲気下（触媒表面への水分吸着）の影響、直前の試験による触媒表面状態の影響等がPARの起動（反応開始遅れ）に影響した可能性が考えられる。</p> <p><b>2. 資料</b></p> <p>参考1 PARの水素再結合反応の律速因子について                  参考2 触媒の反応速度について                  参考3 化学辞典第2版（森北出版）</p>	<p style="text-align: right;">別紙5</p> <p style="text-align: center;">PARによる水素処理の反応律速について</p> <p>PARによる水素再結合の反応は、不均一系触媒反応であり、PARの触媒プレートは多孔質金属触媒をプレート材にコーティングしているものであるため、流通相のプレート間流路から触媒外表面への外部拡散、触媒内粒子内表面への細孔内拡散がかかわっていることから、触媒反応による水素処理反応は拡散過程が総括反応速度を律していると考えられる。</p> <p>試験結果（参考1）において、水素濃度の上昇とともに再結合効率が上昇するが、反応率（（PAR入口-出口の水素濃度差）/PAR入口水素濃度：％）は、水素濃度の上昇に対して大きく変わっていないことが確認されている。温度上昇に対する再結合（kg/h）は、PARの入口水素濃度の増加分に対応して増加する形となっていることから、PARによる水素再結合反応が進んでいる段階では拡散律速になっていると考えられる。</p> <p>一方、反応開始時の状況では、触媒の温度が低く、アレニウスの式で示されるとおり、触媒反応が起りにくい状態と考えられ、化学反応律速状態であると考えられる。</p> <p>なお、THAI等の試験で確認されたPARの起動遅れについては、反応開始時では試験前の水蒸気雰囲気下（触媒表面への水分吸着）の影響、直前の試験による触媒表面状態の影響等がPARの起動（反応開始遅れ）に影響した可能性が考えられる。</p> <p>参考1 PARの水素再結合反応の律速因子について                  参考2 触媒の反応速度について                  参考3 化学辞典第2版（森北出版）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">参考1</p> <p style="text-align: center;">PARの水素再結合反応の律速因子について</p> <p>PARにおいて、再結合反応が開始した後は、水素濃度の上昇に比例して、再結合性能(kg/h)が高くなり、これにより触媒プレートの温度も高くなる。(図1)</p> <p>THAIプロジェクトの試験結果では、反応率((PAR入口-出口の水素濃度差)/PAR入口水素濃度:%)は、水素濃度に対してあまり変わっていない(図2)。</p> <p>温度上昇に対する再結合性能(kg/h)は、PARの入口水素濃度の増加分に対応して増加する形となっていることから、この段階では拡散律速になっていると考えられる。</p> <div style="border: 2px solid black; width: 250px; height: 230px; margin: 20px auto;"></div> <p style="text-align: center;">図1 PARの温度上昇</p> <div style="border: 2px solid black; width: 250px; height: 230px; margin: 20px auto;"></div> <p style="text-align: center;">図2 PARの水素除去反応率</p> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p style="text-align: right;">参考1</p> <p style="text-align: center;">PARの水素再結合反応の律速因子について</p> <p>PARにおいて、再結合反応が開始した後は、水素濃度の上昇に比例して、再結合性能(kg/h)が高くなり、これにより触媒プレートの温度も高くなる。(図1)</p> <p>THAIプロジェクトの試験結果では、反応率((PAR入口-出口の水素濃度差)/PARの水素濃度:%)は、水素濃度に対してあまり変わっていない。(図2)</p> <p>温度上昇に対する再結合性能(kg/h)は、PARの入口水素濃度の増加分に対応して増加する形となっていることから、この段階では拡散律速になっていると考えられる。</p> <div style="border: 2px solid black; width: 250px; height: 230px; margin: 20px auto;"></div> <p style="text-align: center;">図1 PARの温度上昇</p> <div style="border: 2px solid black; width: 250px; height: 230px; margin: 20px auto;"></div> <p style="text-align: center;">図2 PARの水素除去反応率</p> <p style="text-align: center;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="255 193 952 1206" style="border: 2px solid black; height: 635px; width: 311px; margin: 0 auto;"></div> <p data-bbox="488 1209 627 1232" style="text-align: center;">触媒表面状態</p> <p data-bbox="555 1286 954 1308" style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<div data-bbox="1097 172 1877 799" style="border: 2px solid black; height: 393px; width: 348px; margin: 0 auto;"></div> <p data-bbox="1285 799 1509 821" style="text-align: center;">触媒表面の触媒反応状況</p> <div data-bbox="1097 863 1877 1233" style="border: 2px solid black; height: 232px; width: 348px; margin: 0 auto;"></div> <p data-bbox="1308 1238 1433 1260" style="text-align: center;">触媒表面状態</p> <p data-bbox="1301 1390 1868 1412" style="text-align: center;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	<p data-bbox="1973 719 2123 805" style="color: green;">記載表現の相違                      -52-11-43ページと整合した記載とした。</p>



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">参考2</p> <p style="text-align: center;"><u>触媒の反応速度について</u></p> <p>化学反応による濃度変化は、一般的に次の式で表される。濃度変化は、総括反応速度定数が大きいほど早いことが分かる。</p> $C_{H_2}(t) = C_{H_2}^0 \times \exp(-k t)$ <p>ここで、<math>C_{H_2}(t)</math> ; 時刻 <math>t</math> の濃度  <math>C_{H_2}^0</math> ; 時刻 <math>0</math> の濃度  <math>k</math> ; 総括反応速度定数  <math>t</math> ; 時刻</p> <p>総括反応速度定数とは、複数の化学反応プロセスを含む場合に、個々の速度定数を考慮した全体としての速度定数のことである。触媒反応の場合、触媒化学反応を示す反応速度定数 <math>k_1</math> と拡散現象を示す拡散定数 <math>k_2</math> で決まるとされている。</p> <p>式で表すと、以下のとおり。</p> $1/k = 1/k_1 + 1/k_2$ <p>したがって、総括反応速度定数は、触媒化学反応速度定数と拡散定数の小さい方に依存する。このことから、この小さい方の定数を決める反応（現象）が律速条件となる。一般的に、温度が低いほど化学反応速度定数 <math>k_1</math> が小さくなるので、化学反応が律速条件となり、温度が高いと拡散律速となる傾向にある。温度が低いほど化学反応速度定数 <math>k_1</math> が小さくなることは、アレニウスの式で表されているとおり。</p> <p>アレニウスの式 <math>k = A \times \exp(-E/RT)</math></p> <p>ここで、<math>k</math> ; 反応速度定数  <math>A</math> ; 頻度因子（温度に関係しない係数）  <math>E</math> ; 活性化エネルギー（ほとんど温度に依存しない）  <math>R</math> ; 気体定数  <math>T</math> ; 温度</p>	<p style="text-align: right;">参考2</p> <p style="text-align: center;">触媒の反応速度について</p> <p>化学反応による濃度変化は、一般的に次の式で表される。濃度変化は、総括反応速度定数が大きいほど早いことが分かる。</p> $C_{H_2}(t) = C_{H_2}^0 \times \exp(-k t)$ <p>ここで、<math>C_{H_2}(t)</math> ; 時刻 <math>t</math> の濃度  <math>C_{H_2}^0</math> ; 時刻 <math>0</math> の濃度  <math>k</math> ; 総括反応速度定数  <math>t</math> ; 時刻</p> <p>総括反応速度定数とは、複数の化学反応プロセスを含む場合に、個々の速度定数を考慮した全体としての速度定数のことである。触媒反応の場合、触媒化学反応を示す反応速度定数 <math>k_1</math> と拡散現象を示す拡散定数 <math>k_2</math> で決まるとされている。</p> <p>式で表すと、以下のとおり。</p> $1/k = 1/k_1 + 1/k_2$ <p>したがって、総括反応速度定数は、触媒化学反応速度定数と拡散定数の小さい方に依存する。このことから、この小さい方の定数を決める反応（現象）が律速条件となる。一般的に、温度が低いほど化学反応速度定数 <math>k_1</math> が小さくなるので、化学反応が律速条件となり、温度が高いと拡散律速となる傾向にある。温度が低いほど化学反応速度定数 <math>k_1</math> が小さくなることは、アレニウスの式で表されているとおり。</p> <p>アレニウスの式 <math>k = A \times \exp(-E/RT)</math></p> <p>ここで、<math>k</math> ; 反応速度定数  <math>A</math> ; 頻度因子（温度に関係しない係数）  <math>E</math> ; 活性化エネルギー（ほとんど温度に依存しない）  <math>R</math> ; 気体定数  <math>T</math> ; 温度</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	参考3	泊発電所3号炉	相違理由
<p>化学辞典第2版（森北出版）</p> <p style="text-align: center;">673 ショクアツ</p> <p>きる。選択性は、触媒物質の化学的性質にもとづく反応物の吸着の選択性や立体障害<sup>*</sup>、表面の多孔性からくる拡散過程の影響や反応条件などの要因によって変化する。</p> <p><b>触媒の表面積</b> [surface area of catalyst] 固体触媒による反応の速度は、表面状態が一定であれば表面積に比例する。このことは活性点の分布状態は別として、単位表面積当たりの活性点密度が一定であることを意味する。固体触媒の表面積は、通常、物理吸着<sup>*</sup>を利用して BET 吸着等温式<sup>*</sup>から表面単分子層に相当する吸着分子数を求め、これに吸着分子の断面積を乗じて算出される。1 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> 以上の表面積をもつ触媒については -196℃ における窒素の吸着がもっともよく利用される。特別な場合には二酸化炭素や種々の炭化水素も用いられる。これ以下の小表面積については、気相に残る気体量を減じて測定精度を上げるため、飽和蒸気圧<sup>*</sup>の低いクリプトン、キセノンなどの希ガス<sup>*</sup>が使われる。担体上に分散させた金属触媒などの表面積を測定する場合には、担体にも吸着する物理吸着は利用できないので、触媒物質の露出面にのみ吸着する化学吸着種を選んで、その飽和吸着量を測定する。この目的には水素および一酸化炭素がしばしば利用され、とくに水素は、金属触媒の表面をいったん酸化したのち、これを還元するのに必要な量から表面積を求める。酸素水素滴定法に用いられる。また、トリチウム<sup>3</sup>H による吸着水素のオートラジオグラフィ<sup>*</sup>は、吸着点の表面分布を見いだすのに用いられる。</p> <p><b>触媒反応</b> [catalytic reaction] 触媒<sup>*</sup>の作用によって進行する反応。反応系と触媒の状態の違いから、気相、液相についての均一系<sup>*</sup>触媒反応と、固体触媒表面での気体分子や溶質分子の反応が行われる不均一系<sup>*</sup>触媒反応とに分類される。コロイド状触媒や酵素のあずかる反応は、これらの中間領域に属する。不均一系触媒反応の過程は、一般に、(1)触媒作用が行われる部分(活性点)への反応分子の拡散などによる接近、(2)活性点への吸着あるいは配位、(3)活性点上の反応、(4)生成物分子の触媒からの脱離、から成り立っている。高圧気体、高濃度溶液や多孔質触媒の場合、反応速度はしばしば拡散過程に支配されるが、通常、反応過程の活性化エネルギー<sup>*</sup>がほかの過程に比べていちじるしく大きいので、これが律速段階<sup>*</sup>となる。このとき、<u>反応速度は活性点の数に比例するから、反応が均一系であれば速度は均一触媒の濃度に、あるいは不均一系であれば固体触媒の表面積に比例することになる</u>。しかし、固体触媒では反応速度が反応分子の吸着量に関係するため、速度式は必ずしも単純ではない。触媒により反応が促進されるのは、主として吸着、配位など反応物と活性点との反応により、無触媒の場合より活性化エネルギー<sup>*</sup>が低く、より起こりやすい反応経路<sup>*</sup>ができるためと考えられる。</p>	<p>化学辞典第2版（森北出版）</p> <p style="text-align: center;">673 ショクアツ</p> <p>きる。選択性は、触媒物質の化学的性質にもとづく反応物の吸着の選択性や立体障害<sup>*</sup>、表面の多孔性からくる拡散過程の影響や反応条件などの要因によって変化する。</p> <p><b>触媒の表面積</b> [surface area of catalyst] 固体触媒による反応の速度は、表面状態が一定であれば表面積に比例する。このことは活性点の分布状態は別として、単位表面積当たりの活性点密度が一定であることを意味する。固体触媒の表面積は、通常、物理吸着<sup>*</sup>を利用して BET 吸着等温式<sup>*</sup>から表面単分子層に相当する吸着分子数を求め、これに吸着分子の断面積を乗じて算出される。1 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> 以上の表面積をもつ触媒については -196℃ における窒素の吸着がもっともよく利用される。特別な場合には二酸化炭素や種々の炭化水素も用いられる。これ以下の小表面積については、気相に残る気体量を減じて測定精度を上げるため、飽和蒸気圧<sup>*</sup>の低いクリプトン、キセノンなどの希ガス<sup>*</sup>が使われる。担体上に分散させた金属触媒などの表面積を測定する場合には、担体にも吸着する物理吸着は利用できないので、触媒物質の露出面にのみ吸着する化学吸着種を選んで、その飽和吸着量を測定する。この目的には水素および一酸化炭素がしばしば利用され、とくに水素は、金属触媒の表面をいったん酸化したのち、これを還元するのに必要な量から表面積を求める。酸素水素滴定法に用いられる。また、トリチウム<sup>3</sup>H による吸着水素のオートラジオグラフィ<sup>*</sup>は、吸着点の表面分布を見いだすのに用いられる。</p> <p><b>触媒反応</b> [catalytic reaction] 触媒<sup>*</sup>の作用によって進行する反応。反応系と触媒の状態の違いから、気相、液相についての均一系<sup>*</sup>触媒反応と、固体触媒表面での気体分子や溶質分子の反応が行われる不均一系<sup>*</sup>触媒反応とに分類される。コロイド状触媒や酵素のあずかる反応は、これらの中間領域に属する。不均一系触媒反応の過程は、一般に、(1)触媒作用が行われる部分(活性点)への反応分子の拡散などによる接近、(2)活性点への吸着あるいは配位、(3)活性点上の反応、(4)生成物分子の触媒からの脱離、から成り立っている。高圧気体、高濃度溶液や多孔質触媒の場合、反応速度はしばしば拡散過程に支配されるが、通常、反応過程の活性化エネルギー<sup>*</sup>がほかの過程に比べていちじるしく大きいので、これが律速段階<sup>*</sup>となる。このとき、<u>反応速度は活性点の数に比例するから、反応が均一系であれば速度は均一触媒の濃度に、あるいは不均一系であれば固体触媒の表面積に比例することになる</u>。しかし、固体触媒では反応速度が反応分子の吸着量に関係するため、速度式は必ずしも単純ではない。触媒により反応が促進されるのは、主として吸着、配位など反応物と活性点との反応により、無触媒の場合より活性化エネルギー<sup>*</sup>が低く、より起こりやすい反応経路<sup>*</sup>ができるためと考えられる。</p>	<p>化学辞典第2版（森北出版）</p> <p style="text-align: center;">673 ショクアツ</p> <p>きる。選択性は、触媒物質の化学的性質にもとづく反応物の吸着の選択性や立体障害<sup>*</sup>、表面の多孔性からくる拡散過程の影響や反応条件などの要因によって変化する。</p> <p><b>触媒の表面積</b> [surface area of catalyst] 固体触媒による反応の速度は、表面状態が一定であれば表面積に比例する。このことは活性点の分布状態は別として、単位表面積当たりの活性点密度が一定であることを意味する。固体触媒の表面積は、通常、物理吸着<sup>*</sup>を利用して BET 吸着等温式<sup>*</sup>から表面単分子層に相当する吸着分子数を求め、これに吸着分子の断面積を乗じて算出される。1 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> 以上の表面積をもつ触媒については -196℃ における窒素の吸着がもっともよく利用される。特別な場合には二酸化炭素や種々の炭化水素も用いられる。これ以下の小表面積については、気相に残る気体量を減じて測定精度を上げるため、飽和蒸気圧<sup>*</sup>の低いクリプトン、キセノンなどの希ガス<sup>*</sup>が使われる。担体上に分散させた金属触媒などの表面積を測定する場合には、担体にも吸着する物理吸着は利用できないので、触媒物質の露出面にのみ吸着する化学吸着種を選んで、その飽和吸着量を測定する。この目的には水素および一酸化炭素がしばしば利用され、とくに水素は、金属触媒の表面をいったん酸化したのち、これを還元するのに必要な量から表面積を求める。酸素水素滴定法に用いられる。また、トリチウム<sup>3</sup>H による吸着水素のオートラジオグラフィ<sup>*</sup>は、吸着点の表面分布を見いだすのに用いられる。</p> <p><b>触媒反応</b> [catalytic reaction] 触媒<sup>*</sup>の作用によって進行する反応。反応系と触媒の状態の違いから、気相、液相についての均一系<sup>*</sup>触媒反応と、固体触媒表面での気体分子や溶質分子の反応が行われる不均一系<sup>*</sup>触媒反応とに分類される。コロイド状触媒や酵素のあずかる反応は、これらの中間領域に属する。不均一系触媒反応の過程は、一般に、(1)触媒作用が行われる部分(活性点)への反応分子の拡散などによる接近、(2)活性点への吸着あるいは配位、(3)活性点上の反応、(4)生成物分子の触媒からの脱離、から成り立っている。高圧気体、高濃度溶液や多孔質触媒の場合、反応速度はしばしば拡散過程に支配されるが、通常、反応過程の活性化エネルギー<sup>*</sup>がほかの過程に比べていちじるしく大きいので、これが律速段階<sup>*</sup>となる。このとき、<u>反応速度は活性点の数に比例するから、反応が均一系であれば速度は均一触媒の濃度に、あるいは不均一系であれば固体触媒の表面積に比例することになる</u>。しかし、固体触媒では反応速度が反応分子の吸着量に関係するため、速度式は必ずしも単純ではない。触媒により反応が促進されるのは、主として吸着、配位など反応物と活性点との反応により、無触媒の場合より活性化エネルギー<sup>*</sup>が低く、より起こりやすい反応経路<sup>*</sup>ができるためと考えられる。</p>	<p>相違理由</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>52-9 原子炉格納容器の水素濃度測定について</p>	<p>52-12 原子炉格納容器の水素濃度測定について</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">原子炉格納容器の水素濃度測定について</p> <p>重大事故時の格納容器内の水素濃度の状況を監視するために、以下により水素濃度の測定を実施する。</p> <p>1. 水素濃度測定設備</p> <p>(1) 設備概要</p> <p>炉心損傷事故時に、事故の初期段階から、水素濃度が変動する可能性のある範囲で格納容器内の水素濃度を連続測定することができるよう、可搬型格納容器水素ガス濃度計を、<b>格納容器水素ガス試料採取系統設備</b>に接続し、事故時の格納容器内の水素濃度を中央制御室において連続監視、記録できるようにする。</p> <p>設備の系統概要を図1に示す。</p> <p>可搬型格納容器水素ガス濃度計                      方式：熱伝導度測定方式                      測定範囲：水素濃度 0～20vol%</p> <p>大阪発電所3、4号機においては、上記以外にサンプリングガスから格納容器内の水素濃度を測定するための後備設備として、試料採取管に採取した格納容器ガスから水素濃度を測定できるガスクロマトグラフを有している。被ばく線量、水素濃度が低下し事象が長期的に安定した以降等には、これらによる測定も考慮する。</p> <p>ガスクロマトグラフ                      方式：熱伝導度測定方式                      測定範囲：水素濃度 0～100vol%</p> <p>(2) 代替電源の確保</p> <p>格納容器内の水素濃度を測定するために必要な格納容器取出し部の電動弁、<b>可搬型格納容器水素ガス濃度計</b>、<b>可搬型格納容器水素ガス試料圧縮装置</b>などの電源は、非常用電源から給電可能となっており、全交流動力電源喪失の場合にも、空冷式非常用発電装置から給電可能としている。</p>	<p style="text-align: center;">原子炉格納容器の水素濃度測定について</p> <p>重大事故時の<b>原子炉格納容器</b>内の水素濃度の状況を監視するために、以下により水素濃度の測定を実施する。</p> <p>1. 水素濃度監視設備</p> <p>(1)設備概要</p> <p>炉心損傷事故時に、事故の初期段階から、水素濃度が変動する可能性のある範囲で<b>原子炉格納容器</b>内の水素濃度を連続測定ができるよう、可搬型の格納容器内水素濃度計を、<b>格納容器雰囲気ガス試料採取設備</b>に接続し、事故時の<b>原子炉格納容器</b>内の水素濃度を中央制御室において連続監視できるようにする。</p> <p><b>設備の系統概要を図1に示す。</b></p> <p>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット                      方式：熱伝導度測定方式  <b>測定範囲：水素濃度 0～20vol%</b></p> <p>泊3号炉においては、上記以外にサンプリングガスから<b>原子炉格納容器</b>内の水素濃度を測定するための後備設備として、試料採取管に採取した格納容器ガスから水素濃度を測定できる<b>ガス分析計（ガスクロマトグラフ）</b>も有している。<b>被ばく線量、水素濃度が低下し事象が長期的に安定した以降等には、これらによる測定も考慮する。</b></p> <p>ガス分析計（ガスクロマトグラフ）                      方式：熱伝導式  <b>測定範囲：水素濃度 0～100vol%</b></p> <p>なお、格納容器雰囲気ガス試料採取設備については、S s地震動に対し耐震性を有していることを確認している。また、有効性評価において確認している格納容器最高圧力(約0.360 MPa)・温度(約141℃)での当該設備の健全性を確認している。</p> <p>(2)代替電源の確保</p> <p>原子炉格納容器内の水素濃度を測定するために必要な<b>格納容器取出し部</b>の電動弁、<b>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット</b>、<b>可搬型代替ガスサンプリング圧縮装置</b>などの電源は、非常用電源から給電可能となっており、全交流動力電源喪失の場合にも、代替非常用発電機から給電可能としている。</p>	<p>記載表現の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3/4号炉

泊発電所3号炉

相違理由

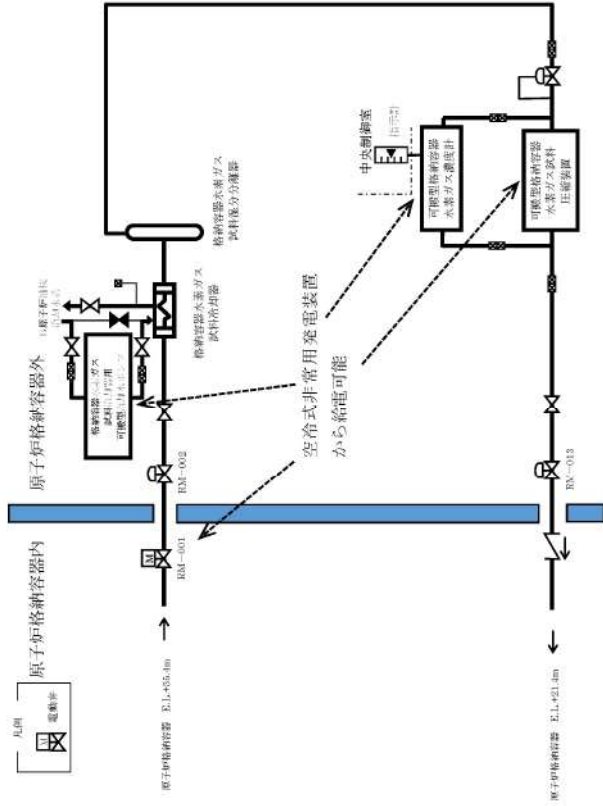


図1 可搬型格納容器水素ガス濃度計を使用した格納容器水素濃度測定

52-9-2

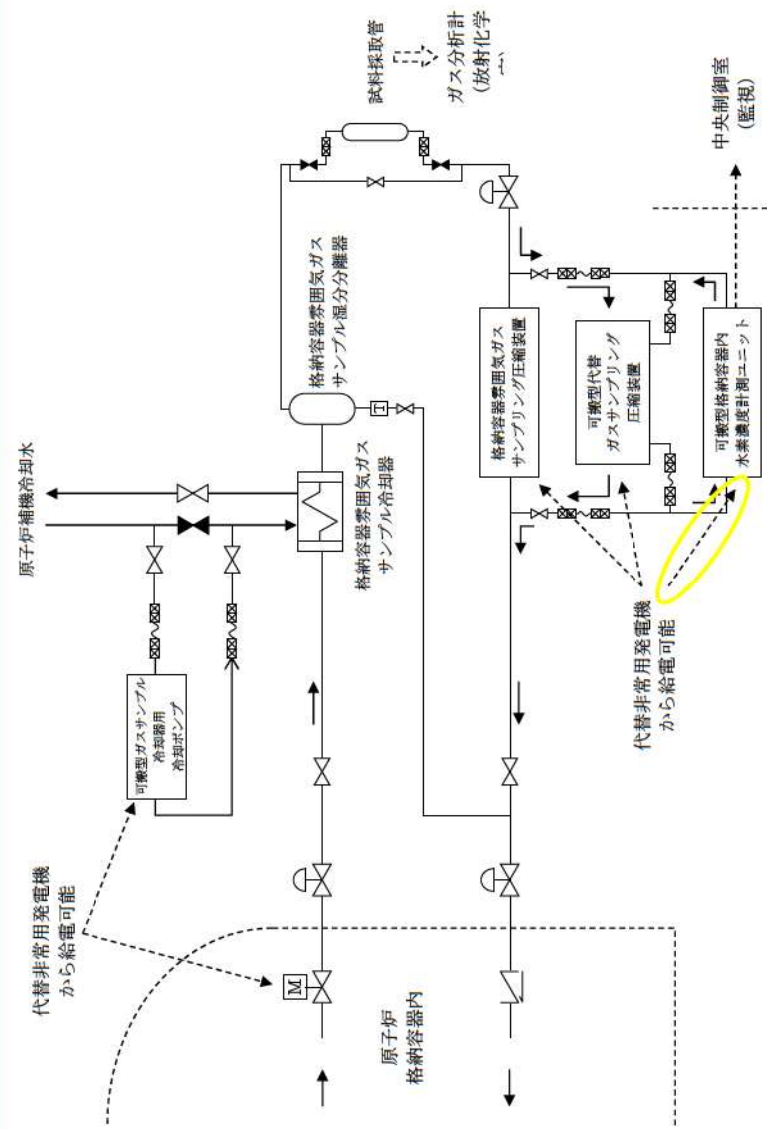


図1 可搬型格納容器内水素濃度計ユニットを使用した格納容器水素濃度測定

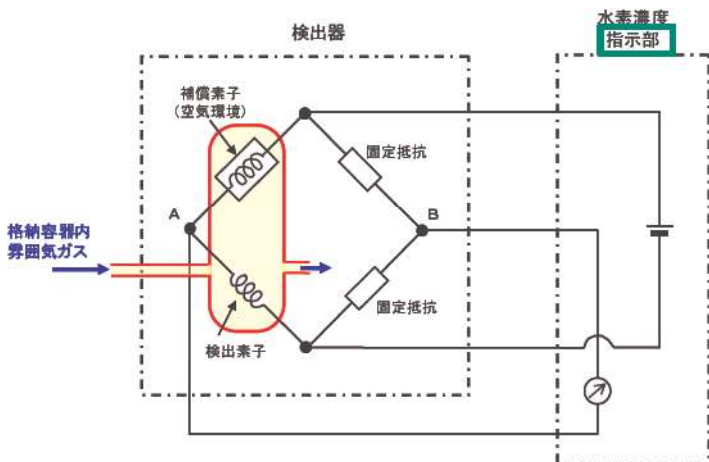
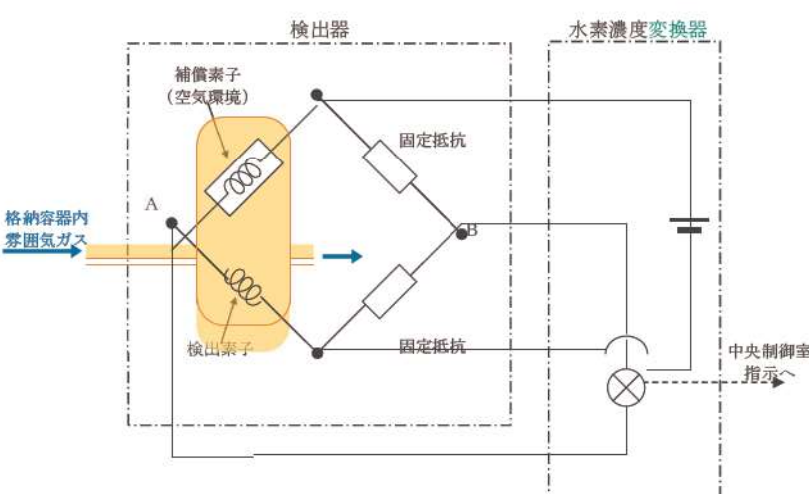
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">別紙1</p> <p style="text-align: center;"><u>可搬型格納容器水素ガス濃度計の測定原理と適用性について</u></p> <p>1. <u>可搬型格納容器水素ガス濃度計の役割と求められる仕様の考え方</u></p> <p>可搬型格納容器水素ガス濃度計は、著しい炉心の損傷が発生した場合に、原子炉格納容器内に発生する水素を監視する目的で、水素濃度が変動する可能性のある範囲で測定できる設計としている。</p> <p>PWRプラントでは、炉心損傷時に原子炉格納容器内に発生する水素濃度を制御する目的で原子炉格納容器外へ排出する等の操作はないことから、可搬型格納容器水素ガス濃度計は、事故時に想定する水素濃度範囲内（13vol%未満）であることやPARやイグナイタによる水素濃度低減等を原子炉格納容器内水素濃度の推移（トレンド）として連続的に監視できることが主な役割である。</p> <p>このために、可搬型格納容器水素ガス濃度計は、事故初期に容易に準備対応ができ、炉心損傷時の環境条件に対応できるものであることが求められ、プロセス計器として、中央制御室にて原子炉格納容器内水素濃度の推移（トレンド）を連続的に監視できることが必要であり重要となる。水素濃度レベルの程度や推移の監視ができる測定精度としては、概ね1vol%以下の測定精度を有する必要がある。<sup>*1</sup></p> <p><sup>*1</sup> ガスクロマトグラフは、詳細なガス成分割合の分析を高精度で測定することができるが、分析員の手分析測定による間欠的な試料採取のため、被ばく等の観点から炉心損傷事故初期の対応が困難であり、中央制御室でのリアルタイムでの連続的な水素濃度監視については可搬型格納容器水素ガス濃度計での監視測定が適している。</p> <p>可搬型格納容器水素ガス濃度計は、水素の熱伝導率が空気、窒素、酸素等と大きく異なることを利用した、水素に着目した熱伝導方式の濃度計であり、事故時に酸素濃度等のガス成分に変動があっても熱伝導率に大きな変化がなく、また、キセノン等の不活性ガスはバックグラウンドとなる空気と比較してモル分率が十分小さいためサンプルガスの熱伝導率への影響は十分小さいことから、水素濃度測定に対する大きな誤差にはならない利点がある。したがって、後述するシステムとしての測定精度を認識した上で、重大事故対処時の原子炉格納容器内の水素濃度の推移、傾向（トレンド）の監視のために対応できるものとしている。</p>	<p style="text-align: center;">別紙1</p> <p style="text-align: center;"><u>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットの測定原理と適用性について</u></p> <p>1. <u>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットの役割と求められる仕様の考え方</u></p> <p>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットは、著しい炉心の損傷が発生した場合に、原子炉格納容器内に発生する水素を監視する目的で、水素濃度が変動する可能性のある範囲で測定できる設計としている。</p> <p>PWRプラントでは、炉心損傷時に原子炉格納容器内に発生する水素濃度を制御する目的で原子炉格納容器外へ排出する等の操作はないことから、可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットは、事故時に想定する水素濃度範囲内（13vol%未満）であることやPARや格納容器水素イグナイタ（以下、「イグナイタ」という。）による水素濃度低減等を原子炉格納容器内水素濃度の推移（トレンド）として連続的に監視できることが主な役割である。</p> <p>このために、可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットは、事故初期に容易に準備対応ができ、炉心損傷時の環境条件に対応できるものであることが求められ、プロセス計器として、中央制御室にて原子炉格納容器内水素濃度の推移（トレンド）を連続的に監視できることが必要であり重要となる。水素濃度レベルの程度や推移の監視ができる計測精度としては、概ね1vol%以下の測定精度を有する必要がある。</p> <p>一方、ガス分析器（ガスクロマトグラフ）は、詳細なガス成分割合の分析を高精度で測定することができるが、分析員の手分析測定による間欠的な試料採取のため、被ばく等の観点から炉心損傷事故初期の対応が困難であり、中央制御室でのリアルタイムでの連続的な水素濃度監視については可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットでの監視測定が適している。</p> <p>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットは、水素の熱伝導率が空気、窒素、酸素等と大きく異なることを利用した、水素に着目した熱伝導式の濃度計であり、事故時に酸素濃度等のガス成分に変動があっても熱伝導率に大きな変化がなく、また、キセノン等の不活性ガスはバックグラウンドとなる空気と比較してモル分率が十分小さいためサンプルガスの熱伝導率への影響は十分小さいことから、水素濃度測定に対する大きな誤差にはならない利点がある。したがって、後述するシステムとしての測定精度を認識した上で、重大事故対処時の原子炉格納容器内の水素濃度の推移、傾向（トレンド）の監視のために対応できるものとしている。</p>	<p style="text-align: center;">記載表現の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>2. 可搬型格納容器水素ガス濃度計の測定原理</p> <p>(1) 測定原理</p> <p>原子炉格納容器内の水素濃度測定に用いる可搬型格納容器水素ガス濃度計は、熱伝導式のものを 用いる計画である。</p> <p>熱伝導式の水素検出器は、別図-1 に示すとおり、白金線のフィラメントで構成された検知素子と 補償素子、及び2つの固定抵抗でブリッジ回路が構成されている。検知素子の部分に、サンプリング された格納容器内雰囲気ガスが流れるようになっており、補償素子側は基準となる標準空気が密閉 されており測定対象ガスは直接接触しない構造になっている。</p> <p>(補償素子の標準空気容器の外側には測定ガスが同様に流れ、温度補償は考慮された構造となっ ている。)</p>  <p>別図-1 水素検出回路概要図</p> <p>水素濃度指示部</p> <p>水素濃度指示部より電圧を印加して検出素子と補償素子の両方の白金線を約 200℃に加熱した 状態で、水素を含む測定ガスを流すと、検知素子側は測定ガスが熱をうばい、検知素子の温度が低 下することにより抵抗が低下する。この検知素子の抵抗が低下するとブリッジ回路の平衡が失われ、 別図-1 のA B間に電位差（電流）が生じる。この電位差が水素濃度に比例する（別図-2）原理を用 いて、水素濃度を測定する。</p>	<p>2. 可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットの測定原理</p> <p>(1) 測定原理</p> <p>熱伝導式の水素検出器は、別図-1 に示すとおり、白金線のフィラメントで構成する検知素子と補 償素子、及び2つの固定抵抗でブリッジ回路を構成している。検出素子の部分に、サンプリングされ た格納容器内雰囲気ガスが流れるようになっており、補償素子側は基準となる標準空気が密閉され ており、格納容器内雰囲気ガスは直接接触しない構造になっている。</p> <p>(補償素子の標準空気容器の外側には格納容器内雰囲気ガスが同様に流れ、温度補償が考慮された構 造である。)</p>  <p>別図-1 水素検出回路概要図</p> <p>水素濃度変換器</p> <p>水素濃度変換器により電圧を印加して検出素子と補償素子の両方の白金線を約 200℃に加熱した状 態で、水素を含む測定ガスを流すと、検出素子側は測定ガスが熱を奪い、検出素子の温度が低下す ることにより抵抗が低下する。この検出素子の抵抗が低下するとブリッジ回路の平衡が失われ、別 図-1 のA B間に電位差（電流）が生じる。この電位差が水素濃度に比例する（別図-2）原理を用 いて、水素濃度を測定する。</p> <p>中央制御室 指示へ</p>	<p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・1項にて記載済み、及び同様の補足説明(53-9)の記載との整合</li> </ul> <p>記載表現の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同様の補足説明(53-9)の記載との整合</li> </ul> <p>記載表現の相違</p> <p>記載表現の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="421 209 683 464" data-label="Figure"> <p>別図-2 水素濃度と検出器電位差の関係</p> <p>水素濃度 Vol%</p> <p>検出器電位差</p> </div> <div data-bbox="398 469 741 496" data-label="Caption"> <p>別図-2 水素濃度と検出器電位差の関係</p> </div> <p>水素濃度計は、標準空気に対する測定ガスの熱伝導の差を検出する方式のものであり、酸素、窒素などの空気中のガスに対し、水素ガスの熱伝導率の差が大きいことを利用しているものである。</p> <p>水素の熱伝導率は、<math>0.18\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> at <math>25^\circ\text{C}</math>, <math>1\text{atm}</math> である一方、酸素、窒素は、約 <math>0.026\sim 0.027\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> at <math>25^\circ\text{C}</math>, <math>1\text{atm}</math> と基準となる空気（約 <math>0.026\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> at <math>25^\circ\text{C}</math>, <math>1\text{atm}</math>）と熱伝導率がほぼ同じであり、空気内主要成分は窒素が <math>78\text{vol}\%</math>程度、酸素が <math>20\text{vol}\%</math>程度であることから、PARやイグナイタによる水素除去が進み、酸素濃度等のサンプルガス成分に変動があっても熱伝導率に大きな変化がなく、水素濃度計測に対する大きな誤差にはならない利点があり、原子炉格納容器内雰囲気ガスにおける水素濃度に着目したプロセス計器として適用できるものである。</p> <p>また、燃料損傷時に発生するキセノン等の不活性ガスはバックグラウンドとなる空気に対して熱伝導率は低いが、水素や空気と比較してモル分率が十分小さい（約 <math>1000</math> 分の <math>1</math> 以下）ため、サンプルガスの熱伝導率への影響は十分小さく、水素濃度測定に対する大きな誤差にはならない。</p> <p>なお、事故時仮に一酸化炭素が発生した場合においても、一酸化炭素の熱伝導率は、<math>25\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> at <math>25^\circ\text{C}</math>, <math>1\text{atm}</math> であり、空気（<math>25.9\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> at <math>25^\circ\text{C}</math>, <math>1\text{atm}</math>）に近い値であるため、水素濃度測定に対する大きな誤差にはならない。</p> <p>以上より、原子炉格納容器内雰囲気ガスを測定する場合でも、水素濃度計が持つ測定誤差（<math>\pm 5\%</math> of span、<math>0\sim 20\text{vol}\%</math>レンジで<math>\pm 1\text{vol}\%</math>）を大きく逸脱しない範囲で水素濃度の計測が可能と考える。</p>	<div data-bbox="1330 164 1659 437" data-label="Figure"> <p>別図-2 水素濃度と検出器電位差の関係</p> <p>水素濃度 vol%</p> <p>検出器電位差</p> </div> <div data-bbox="1330 442 1697 469" data-label="Caption"> <p>別図-2 水素濃度と検出器電位差の関係</p> </div> <p>水素濃度計は、酸素、窒素などの空気中のガスに対し、水素ガスの熱伝導率の差が大きいことを利用し、標準空気に対する格納容器内雰囲気ガスの熱伝導率の差を検出する方式のものである。</p> <p>水素の熱伝導率は、約 <math>0.18\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> at <math>25^\circ\text{C}</math>, <math>1\text{atm}</math> である一方、酸素、窒素は、約 <math>0.026\sim 0.027\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> at <math>25^\circ\text{C}</math>, <math>1\text{atm}</math> で基準となる空気（約 <math>0.026\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> at <math>25^\circ\text{C}</math>, <math>1\text{atm}</math>）と熱伝導率がほぼ同じであり、空気内主要成分は窒素が <math>78\text{vol}\%</math>程度、酸素が <math>20\text{vol}\%</math>程度であることから、PARやイグナイタによる水素除去が進み、酸素濃度等のサンプルガス成分に変動があっても熱伝導率に大きな変化がなく、水素濃度測定に対する大きな誤差にはならない利点があり、原子炉格納容器内雰囲気ガスにおける水素濃度に着目したプロセス計器として適用できるものである。</p> <p>また、燃料損傷時に発生するキセノン等の不活性ガスはバックグラウンドとなる空気に対して熱伝導率は低いが、水素や空気と比較してモル分率が十分小さい（約 <math>1000</math> 分の <math>1</math> 以下）ため、サンプルガスの熱伝導率への影響は十分小さく、水素濃度測定に対する大きな誤差にはならない。</p> <p>なお、事故時仮に一酸化炭素が発生した場合においても、一酸化炭素の熱伝導率は、<math>25.0\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> at <math>25^\circ\text{C}</math>, <math>1\text{atm}</math> であり、空気（<math>25.9\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})</math> at <math>25^\circ\text{C}</math>, <math>1\text{atm}</math>）に近い値であるため、水素濃度測定に対する大きな誤差にはならない。</p> <p>以上より、原子炉格納容器内雰囲気ガスを測定する場合でも、水素濃度計が持つ計測誤差（<math>\pm 5\%</math> span、<math>0\sim 20\text{vol}\%</math>レンジで<math>\pm 1\text{vol}\%</math>）を大きく逸脱しない範囲で水素濃度の測定が可能と考えられる。</p>	<p>記載表現の相違</p> <p>設計方針の相違</p> <p>記載表現の相違</p>



泊発電所3号炉 SA基準適合性 比較表

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉		泊発電所3号炉		相違理由
ガスの種類	熱伝導率 (mW/m・K) at25°C, 1atm	ガスの種類	熱伝導率 (mW/m・K) at25°C, 1atm	
水素	180.6 (0.18W/(m・K))	水素	180.6 (約0.18W/(m・K))	
窒素	25.84	窒素	25.84	
酸素	26.59	酸素	26.59	
空気	25.9 (約0.026W/(m・K))	空気	25.9 (約0.026W/(m・K))	
キセノン	5.59	キセノン	5.59	
一酸化炭素	25.0	一酸化炭素	25.0	

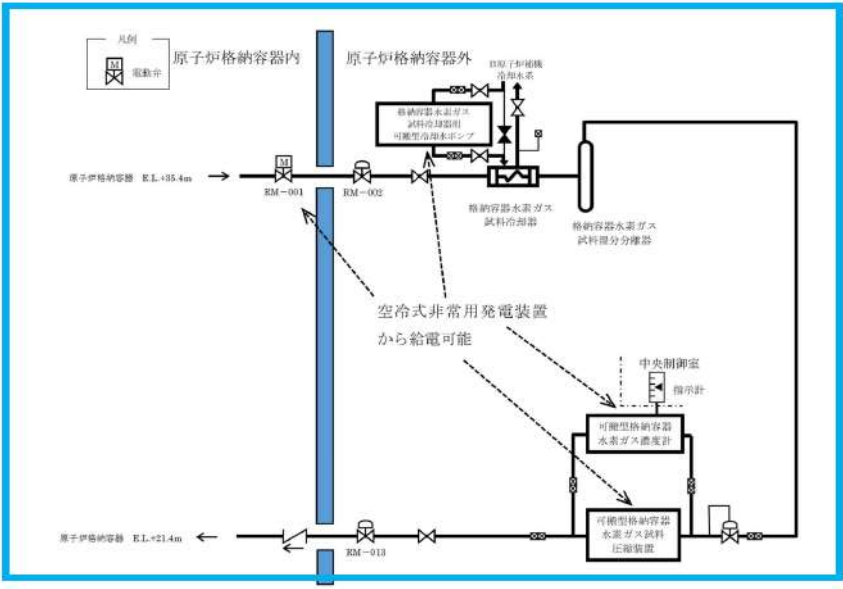
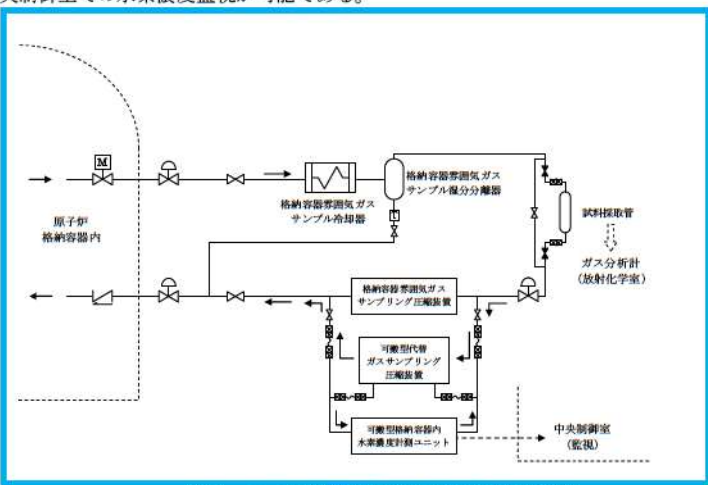
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(2) 可搬型格納容器水素ガス濃度計の構造</p> <p>可搬型格納容器水素ガス濃度計の構造概要は別図-3のとおりである。</p> <p>別図-3 可搬型格納容器水素ガス濃度計測装置（基本構造図）</p> <p>□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>(2) 可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットの構造</p> <p>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットの構造概要は別図-3のとおりである。</p> <p>別図-3 可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット 基本構造図</p> <p>□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>3. 可搬型格納容器水素ガス濃度計の仕様と水素濃度測定システム構成</p> <p>(1) 可搬型格納容器水素ガス濃度計の基本仕様</p> <p>測定レンジ：水素濃度0～20vol%に設定                  測定精度：±5%span                  上記測定レンジの空气中水素濃度に対して±1vol%</p> <p>使用温度範囲：-10～70℃                  使用圧力範囲：大気圧（±10kPa）                  測定ガス流量：約10/min</p> <p>水素濃度の測定範囲0～20vol%において、計器仕様上は最大±1vol%の誤差を生じる可能性があるが、この誤差があることを理解した上で、十分に事故対処時の水素濃度の推移、傾向（トレンド）を監視していくことができる。</p> <p>(2) 水素濃度測定システム構成</p> <p>可搬型格納容器水素ガス濃度計によるサンプリングシステムのシステム構成を別図-4に示す。</p> <p>原子炉格納容器からのサンプリングガスは、<b>試料冷却器</b>で冷却凝縮され、<b>湿分分離器</b>で水分が除去されて、ほぼドライ状態<b>可搬型格納容器水素ガス濃度計</b>部分で測定されるようにしている。<b>可搬型格納容器水素ガス濃度計（検出器）</b>からの信号は、<b>中央制御室の水素濃度指示計</b>に表示されるようにしているので、<b>中央制御室での水素濃度の監視が可能である。</b></p>  <p>別図-4 格納容器水素ガス試料採取系統設備</p>	<p>3. 可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットの仕様と水素濃度測定システム構成</p> <p>(1) 可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットの基本仕様</p> <p>測定レンジ：水素濃度0～20vol%に設定                  測定精度：±5%span                  上記測定レンジの空气中水素濃度に対して±1vol%</p> <p>使用温度範囲：-10～70℃                  使用圧力範囲：大気圧（±10kPa）                  測定ガス流量：約10/min</p> <p>水素濃度の計測範囲0～20vol%において、計器仕様上は最大±1vol%の誤差を生じる可能性があるが、この誤差があることを理解した上で、十分に事故対処時の水素濃度の推移、傾向（トレンド）を監視していくことができる。</p> <p>(2) 水素濃度測定システム構成</p> <p>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットによる<b>格納容器雰囲気ガス試料採取設備</b>の構成を、別図-4に示す。</p> <p>原子炉格納容器からのサンプリングガスは、<b>格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器</b>で冷却凝縮され、<b>湿分分離器</b>で水分を除去する。そして、ほぼドライ状態となった<b>格納容器内雰囲気ガス</b>を<b>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット</b>で測定する。<b>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット</b>の検出器からの信号は、<b>水素濃度変換器</b>を経て<b>中央制御室のAM設備監視操作盤</b>に表示されるため、<b>中央制御室での水素濃度監視が可能である。</b></p>  <p>別図-4 格納容器雰囲気ガス試料採取設備</p>	<p>記載表現の相違</p> <p>記載方針の相違</p> <p>・記載程度に差はあるが、CV雰囲気ガスを圧縮装置にて圧縮し、冷却・湿分分離し、水素濃度を計測し、CV内へ戻す系統構成は同じである。</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(3) 測定ガス条件の水素濃度測定精度への影響評価</p> <p>a. 温度</p> <p>サンプリングされた格納容器内雰囲気ガスは、十分な除熱性能を有している<b>試料冷却器を通り</b>、原子炉補機冷却水と熱交換されることで約45℃以下まで冷却することができ*1、その後の検出器までの配管での放熱もあることから十分に検出器の適用温度範囲内まで冷却され、ほぼ一定温度で検出器にサンプリングガスを供給することが可能である。また、標準空気が密封された補償素子の周囲にもサンプリングガスが流れることで、標準空気の温度がサンプリングガスに追従するように温度補償される検出器構造となっている。したがって、サンプリングガスは<b>ほぼ</b>一定温度で検出器に供給され、検出器内で温度補償されることから、使用する条件下において水素濃度測定への影響は十分小さい設計としている。なお、水素濃度4vol%の試料ガスについて、温度を20℃～60℃まで変化させた試験を行った範囲では、有意な水素濃度の変化が認められなかったことを確認している。(別図-5)</p> <p>*1 重大事故時の格納容器内温度 144℃とし、原子炉補機冷却水の温度を夏場の35℃とした場合でも、冷却器により約45℃以下に冷却できる。</p> <div data-bbox="174 667 987 1225" style="border: 2px solid black; height: 350px; margin: 10px 0;"></div> <p style="text-align: center;">別図-5 各温度条件での水素濃度出力値</p> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>(3) 測定ガス条件の水素濃度測定精度への影響評価</p> <p>a. 温度</p> <p>サンプリングされた格納容器内雰囲気ガスは、十分な除熱性能を有している<b>格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器により</b>、原子炉補機冷却水と熱交換することで約45℃以下まで冷却することができ*、その後の検出器までの配管での放熱もあることから十分に検出器の適用温度範囲内まで冷却され、ほぼ一定温度で検出器に<b>格納容器雰囲気ガス</b>を供給することが可能である。また、標準空気が密封された補償素子の周囲にも<b>格納容器雰囲気ガス</b>が流れることで、標準空気の温度が<b>格納容器雰囲気ガス</b>に追従するように温度補償される検出器構造となっている。したがって、<b>格納容器雰囲気ガス</b>の温度は一定温度で検出器に供給され、検出器内で温度補償されることから、使用する条件下において水素濃度測定への影響は十分小さい設計としている。なお、水素濃度4vol%の試料ガスについて、温度を20℃～60℃の範囲で変化させて試験を行い、有意な水素濃度の変化が認められないことを確認している。(別図-5)</p> <p>※：重大事故時の<b>原子炉格納容器内温度を141℃</b>とし、原子炉補機冷却水の温度を夏場の35℃とした場合でも、冷却器により約45℃以下に冷却できる。</p> <div data-bbox="1066 657 1859 1209" style="border: 2px solid black; height: 346px; margin: 10px 0;"></div> <p style="text-align: center;">別図-5 各温度条件での水素濃度出力値</p> <p style="text-align: center;">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	<p>記載表現の相違</p> <p>記載表現の相違</p> <p>・同様の補足説明(53-9)の記載との整合</p> <p>解析結果の相違</p> <p>記載表現の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>b. 流量</p> <p>検出器へ流れるサンプリングガスの流量は、10/min 程度の小流量としており、流量の変動がないよう流量制御することとしている。別図-3 に示すように小流量としたサンプリングガスは検出器の検出部と一体となった容器に一旦入るため、流速はさらに小さくなるようになっていることから、水素濃度測定に影響を及ぼすことはない。なお、検出器へ流れるサンプリングガス流量を約 0.6~1.20/min の範囲で変動させた試験を行っており、水素濃度計指示に有意な変化は認められなかったことを確認している。</p> <p>c. 湿分</p> <p>検出器へ流れるサンプリングガスにおいて、水蒸気が除去されていない場合は、水素濃度測定値へ影響することが考えられるが、サンプリングされる格納容器内雰囲気ガスは試料冷却器により原子炉補機冷却水と熱交換されることで約 45℃以下まで冷却され*1、下流の湿分分離器によりサンプリングガス中の湿分を除去するよう設計されており、水素濃度計の検出部に水分が付着するような状態となることはない。また、湿度が変動する要因としては、原子炉補機冷却水温度（冷却性能）、雰囲気温度が考えられるが、いずれも急激な変動は考えられないため、検出器での湿度はほぼ一定であり、十分測定対応が可能状態にあることから、水素濃度測定へ影響を及ぼすことはない。なお、水素濃度 0~20%、温度 20℃の試料ガスについて、相対湿度を 30~90%RH と変化させた試験を行った（別図-6, 7）。水素濃度 20vol%において 0.5vol%程度の変化は見られるものの、相対湿度の変化に対して、水素濃度計指示に有意な変化はないと評価している。</p>	<p>b. 流量</p> <p>検出器へ流れる格納容器雰囲気ガスの流量は、10/min 程度の小流量としており、流量の変動がないよう流量制御することとしている。なお、検出器へ流れるサンプリングガス流量を約 0.6~1.20/min の範囲で変化させた試験を行い、水素濃度計の指示に有意な変化は認められないことを確認している。</p> <p>c. 湿分</p> <p>検出器へ流れる格納容器雰囲気ガスの水蒸気が除去されていない場合は、水素濃度測定値へ影響することが考えられるが、サンプリングする格納容器内雰囲気ガスは格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器により原子炉補機冷却水と熱交換することで約 45℃以下まで冷却され、下流の湿分分離器により格納容器雰囲気ガス中の湿分を除去するよう設計しており、水素濃度計測装置の検出器に水分が付着するような状態となることはない。また、湿度が変動する要因としては、原子炉補機冷却水温度（冷却性能）、雰囲気温度が考えられるが、いずれも急激な変動は考えられないため、検出器での湿度はほぼ一定であり、水素濃度測定へ影響を及ぼすことはない。なお、水素濃度 0~20vol%、温度 20℃の試料ガスについて、相対湿度を 30~90%RH の範囲で変化させた試験を行った。その結果、水素濃度 20vol%において 0.5vol%程度の変化は見られるものの、相対湿度の変化に対して、水素濃度計指示に有意な変化はないことを確認している。（別図-6, -7）</p>	<p>記載表現の相違</p> <p>・同様の補足説明 (53-9) の記載との整合</p> <p>記載表現の相違</p> <p>記載方針の相違</p> <p>・同様の補足説明 (53-9) の記載との整合</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="145 178 1037 635" style="border: 2px solid black; height: 286px; width: 398px;"></div> <p data-bbox="212 657 504 683">別図-6 20℃における湿度依存性</p> <p data-bbox="613 657 1021 683">別図-7 20℃における各湿度条件での感度特性</p> <p data-bbox="564 727 994 753"><input type="checkbox"/> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<div data-bbox="1061 178 1868 635" style="border: 2px solid black; height: 286px; width: 360px;"></div> <p data-bbox="1115 657 1420 683">別図-6 20℃における湿度依存性</p> <p data-bbox="1480 657 1901 683">別図-7 20℃における各湿度条件での感度特性</p> <p data-bbox="1263 721 1827 746"><input type="checkbox"/> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	<p data-bbox="1973 480 2096 499">記載表現の相違</p> <p data-bbox="1973 512 2119 601">・同様の補足説明 (53-9) の記載との 整合</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">別紙2</p> <p style="text-align: center;">格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統内での水素滞留について</p> <p>1. 格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統の分岐管</p> <p>大飯発電所3号機 格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統は別図-8 に示すとおり分岐管が存在し、それぞれ別図-8 に示す配管容量を有している。</p> <p>別図-8 中、緑で着色しているラインは下向き分岐管であり、分岐管内に水素が流入したとしても比重差により系統に戻る事が期待できることから滞留の可能性はないと考えられる。</p> <p>一方、別図-8 中赤及び青で着色している分岐管については、上向き分岐管及び横向き分岐管であり、一部分岐管長が長く、系統の流れによる換気作用が期待できないことが考えられるため、格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統内で水素燃焼が発生した場合においても重大事故等に対処するために必要な機能を損なうことがないことを強度評価により検証した。</p> <p style="text-align: center;">別図-8 格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統の分岐管概略図（大飯発電所3号機）</p>	<p style="text-align: center;">別紙2</p> <p style="text-align: center;">格納容器雰囲気ガス試料採取設備内での水素滞留について</p> <p>1. 格納容器雰囲気ガス試料採取設備の分岐管</p> <p>泊発電所3号機 格納容器雰囲気ガス試料採取設備の系統は、別図-9 に示すとおり分岐管が存在し、それぞれ別図-9 に示す配管容量を有している。</p> <p>別図-9 中、緑で着色しているラインは下向き分岐管であり、分岐管内に水素が流入したとしても比重差により系統に戻る事が期待できることから滞留の可能性はないと考えられる。</p> <p>一方、別図-9 中、赤及び青で着色している分岐管については、上向き分岐管及び横向き分岐管であり、一部分岐管長が長く、系統の流れによる換気作用が期待できないことが考えられるため、格納容器雰囲気ガス試料採取設備の系統内で水素燃焼が発生した場合においても重大事故等に対処するために必要な機能を損なうことがないことを強度評価により検証した。</p> <p style="text-align: center;">別図-9 格納容器雰囲気ガス試料採取設備の分岐管概略図</p>	<p>設備名称の相違</p> <p>配管レイアウトの相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>2. 爆轟が生じる可能性について</p> <p>格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統内の水素はジルコニウム-水反応等によって発生した水素濃度13%未満（ドライ換算）の格納容器内の水素であり、凝縮により水素濃度13%以上の爆轟が生じる可能性がある領域に達することはない。</p> <p>一方、爆轟にいたる条件として、空間形状や長さにも依存するため、水素濃度が13%未満であっても燃焼から爆轟へ転じる可能性がある。</p> <p>しかしながら、大飯発電所3、4号機の格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統は以下の理由から爆轟は生じない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・主配管は、配管長と配管口径の比は大きいものの、両端が開放されており、かつオリフィスのような障害物による火炎が加速する可能性がある構造ではないこと、および水素濃度が13%未満であることから、爆轟は生じないと考えられる。</li> <li>・分岐管については、配管長と配管口径の比は大きい、水素濃度は13%未満であり、また、片側は閉塞されているが、障害物は存在しない*ため爆轟は生じないと考えられる。</li> <li>・過去、BWRプラントで配管破断事故が起こった例があるが、原子炉水の放射線水分解により発生した水素：酸素＝2：1、つまりドライ換算で水素66%と非常に高濃度の水素濃度であったと報告されている。一方、大飯発電所3、4号機の格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統内の水素は、有効性評価で示しているとおおり、ドライ換算で13%未満の格納容器内の水素であるため、水蒸気凝縮を考慮しても爆轟は生じないと考えられる。</li> </ul> <p>※過去の細長い体系（管路、ダクト）での水素燃焼試験を調査した結果では、水素濃度13%未満の場合は、片側閉塞構造の流路であっても、障害物がない場合は爆轟が発生している事例はない。</p>	<p>2. 爆轟が生じる可能性について</p> <p>格納容器雰囲気ガス試料採取設備の系統内の水素は、ジルコニウム-水反応等によって発生した濃度13vol%未満（ドライ換算）の原子炉格納容器内の水素であり、凝縮により濃度13vol%以上の爆轟が生じる可能性がある領域に達することはない。</p> <p>爆轟に至る条件は、空間形状や長さにも依存するため、水素濃度が13vol%未満であっても燃焼から爆轟へ転ずる可能性があるが、格納容器雰囲気ガス試料採取設備の系統は以下の理由から爆轟は生じない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・主配管は、配管長と配管口径の比は大きいものの、両端が解放されており、かつオリフィスのような障害物による火炎が加速する可能性がある構造ではない。また、水素濃度が13vol%未満であることから、爆轟は生じないと考えられる。</li> <li>・分岐管については、配管長と配管口径の比は大きい、水素濃度は13vol%未満であり、また、片側は閉塞されているが、障害物は存在しない*ため爆轟は生じないと考えられる。</li> <li>・過去、BWRプラントで配管破断事故が起こった事例があるが、原子炉水の放射線水分解により発生した水素：酸素＝2：1、つまりドライ換算で水素66vol%と非常に高濃度の水素濃度であったと報告されている。一方、泊発電所3号炉の格納容器雰囲気ガス試料採取設備の系統内の水素は、有効性評価で示しているとおおり、ドライ換算で13vol%未満の原子炉格納容器内の水素であるため、水蒸気凝縮を考慮しても爆轟は生じないと考えられる。</li> </ul> <p>※：過去の細長い体系（管路、ダクト）での水素燃焼試験を調査した結果では、水素濃度13vol%未満の場合は、片側閉塞構造の流路であっても、障害物がない場合は爆轟が発生している事例はない。</p>	<p>設備名称の相違</p> <p>記載表現の相違</p>



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>3. 水素燃焼が発生した場合の強度評価</p> <p>「2. 爆轟が生じる可能性について」で記載のとおり <b>格納容器水素ガス試料採取系統設備</b>の系統内で爆轟が生じる恐れはないことから、水素の燃焼が起きた場合を想定し、配管強度が十分であることを評価した。評価の結果は以下に示す。</p> <p>(1) 評価条件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素燃焼時の初期条件を事故時の格納容器内の条件を考慮し、以下のとおり設定した。</li> <li>水素濃度：13%（ドライ換算）                      （根拠）有効性評価において格納容器内水素濃度の最高値は13%未満（ドライ換算）であることが示されていることから、これを上回る13%（ドライ換算）で評価を行う。</li> <li>最高圧力：0.43MPa                      （根拠）有効性評価においての格納容器内最高圧力で設定している。                      申請書添付十（格納容器過圧破損シナリオ）記載値。</li> <li>最高温度：144℃                      （根拠）有効性評価においての格納容器内最高温度で設定している。                      申請書添付十（格納容器過温破損シナリオ）記載値。                      （※配管の許容応力の計算に使用）</li> <li>最低温度：40℃                      （根拠）可搬型格納容器水素ガス試料圧縮装置の吸込み温度条件（50℃以下）に余裕を見て、設定している。                      （※燃焼圧力計算に使用：温度が低いほうが燃焼圧力は高くなるため）</li> </ul> <p>(2) 燃焼圧力と配管強度の評価</p> <p>上記の条件にて保守的に完全閉空間での計算した結果、燃焼圧力は約2.5MPaとなった。</p> <p>これに対して配管許容圧力は最も許容応力が低い1B管で約17.4MPaであることから十分な余裕を有している。</p> <p>4. まとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統の分岐管で一部系統の流れによる換気効果が期待できない箇所があるものの、格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統内の水素濃度はジルコニウム-水反応等によって発生した濃度13%未満（ドライ換算）の格納容器内の水素であり、水蒸気がすべて凝縮した場合でも13%未満である。</li> <li>格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統の構造を考慮しても爆轟は生じない。</li> <li>水素の燃焼が起きた場合においても配管強度は十分な余裕を有している。</li> </ul>	<p>3. 水素燃焼が発生した場合の強度評価</p> <p>「2. 爆轟が生じる可能性について」で記載のとおり、<b>格納容器雰囲気ガス試料採取設備</b>の系統内で爆轟が生じる恐れはないことから、水素の燃焼が起きた場合を想定し、配管強度が十分であることを評価した。評価の結果を以下に示す。</p> <p>(1) 評価条件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素燃焼時の初期条件を、事故時の原子炉格納容器内の条件を考慮し、以下の通り設定した。</li> <li>水素濃度：13vol%（ドライ換算）                      （根拠）有効性評価において原子炉格納容器内水素濃度の最高値は13vol%未満（ドライ換算）であることが示されていることから、これを上回る13vol%（ドライ換算）で評価を行う。</li> <li>最高圧力：0.36MPa                      （根拠）有効性評価においての原子炉格納容器内最高圧力で設定している。                      申請書添付書類十（原子炉格納容器の除熱機能喪失シナリオ及び格納容器過圧破損シナリオ）記載値。</li> <li>最高温度：141℃                      （根拠）有効性評価においての原子炉格納容器内最高温度で設定している。                      申請書添付書類十（格納容器過温破損シナリオ）記載値。                      （※配管の許容応力の計算に使用）</li> <li>最低温度：40℃                      （根拠）代替格納容器雰囲気ガスサンプリング圧縮装置の吸込み温度条件（50℃以下）に余裕を見て、設定している。                      （※燃焼圧力の計算に使用：温度が低いほうが燃焼圧力が高くなる。）</li> </ul> <p>(2) 燃焼圧力と配管強度の評価</p> <p>上記の条件にて評価した結果、燃焼圧力は保守的に見ても約2.2MPaとなった。なお、これは完全閉空間での計算結果であるため、開口がある場合には、これより小さな圧力上昇になると考えられる。</p> <p>これに対して配管許容圧力は最も許容応力が低い1B管で約17.4MPaであることから十分な余裕を有している。</p> <p>4. まとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>格納容器雰囲気ガス試料採取設備の系統の分岐管で一部系統の流れによる換気効果が期待できない箇所があるものの、格納容器雰囲気ガス試料採取設備の系統内の水素濃度はジルコニウム-水反応等によって発生した濃度13vol%未満（ドライ換算）の原子炉格納容器内の水素であり、水蒸気がすべて凝縮した場合でも水素濃度は13vol%未満である。</li> <li>格納容器雰囲気ガス試料採取設備の系統の構造を考慮しても爆轟は生じない。</li> <li>水素の燃焼が起きた場合においても配管強度は十分な余裕を有している。</li> </ul>	<p>解析結果の相違</p> <p>記載表現の相違</p> <p>記載表現の相違</p> <p>記載表現の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">別紙3</p> <p style="text-align: center;">格納容器内水素濃度計測に伴うサンプリングガスの冷却について</p> <p>大飯発電所3、4号機の重大事故等対策の有効性評価における原子炉格納容器雰囲気温度は、最大で約144℃まで上昇する。一方、重大事故時の格納容器水素濃度計測では、可搬型格納容器水素ガス試料圧縮装置を使用するが、その吸込み温度条件は、50℃以下の制限を受ける。したがって、格納容器水素濃度計測のためには、サンプリングガスを冷却する必要がある、その冷却は基本的に原子炉補機冷却水ポンプにて行われる。</p> <p>ただし、全交流電源喪失時においては、原子炉補機冷却水ポンプを復旧する手順を見込んでいないため、サンプリングガスの冷却は、大容量ポンプに頼る必要がある、さらに、大容量ポンプが到着するまでの約24hr以前は可搬型格納容器水素ガス試料冷却器用冷却水ポンプによる冷却で対処を行うこととしている。</p> <p>ここでは、以上の冷却水供給ポンプのうち、冷却性能評価が最も厳しい、最も流量が低い可搬型格納容器水素ガス試料冷却器用冷却水ポンプの冷却性能の評価について以下にまとめる。</p> <p>1. 評価条件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サンプル側入口温度：144℃</li> <li>・サンプル側出口温度：45℃</li> <li>・サンプル側流量：9kg/h</li> <li>・冷却水入口温度：40℃</li> <li>・冷却水出口温度：制約なし</li> <li>・冷却水流量：1000kg/h（可搬型格納容器水素ガス試料冷却器用冷却水ポンプの容量約1m<sup>3</sup>/hより）</li> <li>・可搬型格納容器水素ガス試料冷却器用冷却水ポンプ自体の入熱：入熱なし</li> </ul> <p>2. 評価条件の根拠</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サンプル側入口温度：144℃                      （根拠）重大事故時のCV内最高温度で設定している。申請書添付十（過温破損）記載値。</li> <li>・サンプル側出口温度：45℃                      （根拠）可搬型格納容器水素ガス試料圧縮装置の吸込み温度条件（50℃以下）に余裕を見込んだ値を設定している。</li> <li>・サンプル側流量：9kg/h                      （根拠）事故前のCV内条件として、0.1MPa(a)、49℃とすると、事故時のCV内の空気および蒸気の割合は、                      空気分圧 <math>0.1 \times (273+144) / (273+49) \approx 0.129\text{MPa(a)}</math>                      蒸気分圧 <math>0.544 - 0.13 = 0.414\text{MPa(a)}</math></li> </ul>	<p style="text-align: right;">別紙-3</p> <p style="text-align: center;">格納容器内水素濃度計測に伴うサンプリングガスの冷却について</p> <p>泊発電所3号炉の重大事故等対策の有効性評価における原子炉格納容器雰囲気温度は、最大で約141℃まで上昇する。一方、重大事故時の格納容器水素濃度計測では、可搬型代替ガスサンプリング圧縮装置を使用するが、その吸込み温度条件は、50℃以下の制限を受ける。したがって、格納容器水素濃度計測のためには、サンプリングガスを冷却する必要がある、その冷却は基本的に原子炉補機冷却水ポンプにて行われる。</p> <p>ただし、全交流電源喪失時においては、原子炉補機冷却水ポンプを復旧する手順を見込んでいないため、サンプリングガスの冷却は、可搬型大型送水ポンプ車に頼る必要がある、さらに、可搬型大型送水ポンプ車が到着するまでの約24時間以前は可搬型ガスサンプル冷却器用冷却ポンプによる冷却で対処を行うこととしている。</p> <p>ここでは、以上の冷却水供給ポンプのうち、冷却性能評価が最も厳しい、最も流量が低い可搬型ガスサンプル冷却器用冷却ポンプの冷却性能の評価について以下にまとめる。</p> <p>1. 評価条件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サンプル側入口温度：141℃</li> <li>・サンプル側出口温度：45℃</li> <li>・サンプル側流量：6.8kg/h</li> <li>・冷却水入口温度：40℃</li> <li>・冷却水出口温度：制約なし</li> <li>・冷却水流量：1000kg/h（可搬型ガスサンプル冷却器用冷却ポンプの容量約1m<sup>3</sup>/hより）</li> <li>・可搬型ガスサンプル冷却器用冷却ポンプ自体の入熱：入熱なし</li> </ul> <p>2. 評価条件の根拠</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サンプル側入口温度：141℃                      （根拠）重大事故発生時の原子炉格納容器内最高温度で設定している。                      申請書添付書類十（格納容器過温破損シナリオ）記載値。</li> <li>・サンプル側出口温度：45℃                      （根拠）可搬型代替ガスサンプリング圧縮装置の吸込み温度条件（50℃以下）に余裕を見込んだ値を設定している。</li> <li>・サンプル側流量：6.8kg/h                      （根拠）事故前の原子炉格納容器内条件として、0.1MPa(a)、49℃とすると、事故時の原子炉格納容器内の空気および蒸気の場合は、                      空気分圧 <math>0.1 \times (273+141) / (273+49) \approx 0.13\text{MPa(a)}</math>                      蒸気分圧 <math>0.46 - 0.13 = 0.33\text{MPa(a)}</math></li> </ul>	<p>解析結果の相違</p> <p>設備名称の相違</p> <p>設備名称の相違</p> <p>解析結果の相違</p> <p>設計の相違</p> <p>解析結果の相違</p> <p>記載表現の相違</p> <p>CV型式の相違</p> <p>・PCCVの大飯は、CV最高使用圧力が高く、以下計算による分圧が異なる</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>から、空気24%、蒸気76%となる。                      ガスサンプル流量を定格を上回る2Nm<sup>3</sup>/h(2000Nℓ/h)とした場合、蒸気(76%)が全て凝縮すれば、その時の凝縮液量Wstは次の通りとなる。  <math display="block">Wst = (2000[Nℓ/h] / 22.4[Nℓ/h]) \times (0.76 \times 18[g/mol] / 0.24)</math> <math display="block">= 5089[g/h] \rightarrow \text{蒸気分としての凝縮液量 } Wst = 6[kg/h]</math>                     また、この時の空気量Waiは次の通りとなる。  <math display="block">Wai = (2000[Nℓ/h] / 22.4[Nℓ/h]) \times 29[g/mol]</math> <math display="block">= 2589[g/h] \rightarrow \text{空気量 } Wai = 3[kg/h]</math>                     従って、サンプル側流量は9kg/hとしている。</p> <p>・冷却水入口温度：40℃                      (根拠) SA時直後の原子炉補機冷却水温度として、通常時の原子炉補機冷却水温度35℃に余裕を見込んで設定している。</p> <p>・冷却水出口温度：制約なし                      (根拠) 原子炉補機冷却水通水量は1m<sup>3</sup>/h×24Hr=24m<sup>3</sup>のみのため、原子炉補機冷却水系統側のヒートシンクは期待しておらず、原子炉補機冷却水系統の循環による温度上昇は考慮する必要がないため。</p> <p>・冷却水流量：1000kg/h                      (根拠) 可搬型格納容器水素ガス試料冷却器用冷却水ポンプの定格流量(1m<sup>3</sup>/h)                      (1ℓ≒1kgで換算)</p> <p>・可搬型格納容器水素ガス試料冷却器用冷却水ポンプ入熱：入熱なし                      (根拠) ポンプメーカー見解。(メーカー試験結果による。)</p> <p>3. 冷却性能の評価                      以上の条件においてサンプルガス出口温度を45℃へ冷却するために必要な伝熱面積を評価した結果、必要伝熱面積約0.44m<sup>2</sup>を上回る冷却器伝熱面積0.53m<sup>2</sup>を有することを確認した。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>	<p>から、空気28%、蒸気72%となる。                      ガスサンプル流量を定格の2Nm<sup>3</sup>/h(2000Nℓ/h)とした場合、蒸気(72%)が全て凝縮すれば、その時の凝縮液量Wstは次の通りとなる。  <math display="block">Wst = (2000[Nℓ/h] / 22.4[Nℓ/h]) \times (0.72 \times 18[g/mol] / 0.28)</math> <math display="block">= 4132.7[g/h] \rightarrow \text{蒸気分としての凝縮液量 } Wst = 4.2[kg/h]</math>                     また、この時の空気量Waiは次の通りとなる。  <math display="block">Wai = (2000[Nℓ/h] / 22.4[Nℓ/h]) \times 29[g/mol]</math> <math display="block">= 2589.3[g/h] \rightarrow \text{空気量 } Wai = 2.6[kg/h]</math>                     従って、サンプル側流量は4.2+2.6=6.8kg/hとしている。</p> <p>・冷却水入口温度：40℃                      (根拠) SA時直後の原子炉補機冷却水温度として、通常時の原子炉補機冷却水温度32℃に余裕を見込み40℃に設定している。</p> <p>・冷却水出口温度：制約なし                      (根拠) 原子炉補機冷却水通水量は1m<sup>3</sup>/h×24Hr=24m<sup>3</sup>のみのため、原子炉補機冷却水系統側のヒートシンクは期待しておらず、原子炉補機冷却水系統の循環による温度上昇は考慮する必要がないため。</p> <p>・冷却水流量：1000kg/h                      (根拠) 可搬型ガスサンプル冷却器用冷却ポンプの定格流量(1m<sup>3</sup>/h)(1ℓ≒1kgで換算)</p> <p>・可搬型ガスサンプル冷却器用冷却ポンプ入熱：入熱なし                      (根拠) ポンプメーカー見解。(メーカー試験結果による。)</p> <p>3. 冷却性能の評価                      以上の条件においてサンプルガス出口温度を45℃へ冷却するために必要な伝熱面積を評価した結果、必要伝熱面積0.21m<sup>2</sup>を上回る冷却器伝熱面積0.53m<sup>2</sup>を有することを確認した。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>	<p>り、凝縮量及び空気量が相違。また、小数点以下の数値切上げ位置が相違している。整数として切上げる場合、泊は8kg/hとなる。                      記載表現の相違                      ・単位記載の誤り</p> <p>設計の相違                      記載表現の相違</p> <p>設計の相違                      ・上記の条件相違により、必要伝熱面積は異なっているが、設計伝熱面積は十分である設計は同じである。                      なお、通気流量の切上げを整数値としても、大阪の必要伝熱面積以下である。</p>

泊発電所3号炉 SA基準適合性 比較表

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">別紙4</p> <p style="text-align: center;">格納容器水素濃度の計測に係る設備からの水素漏えい防止対策</p> <p>格納容器水素ガス試料採取系統設備を用いた格納容器水素濃度の計測は、計測後のガスを格納容器内へ戻す構成となっており、外部に対して閉じた系となっている。                  格納容器水素ガス試料採取系統設備の系統内の設備は、系外への漏えいが発生しないよう表1に示すとおり漏えい防止対策が取られている。                  よって、格納容器水素濃度の計測に係る設備からの水素漏えいの可能性は低い。</p>	<p style="text-align: right;">別紙4</p> <p style="text-align: center;">格納容器水素濃度の計測に係る設備からの水素漏えい防止対策</p> <p>格納容器雰囲気ガス試料採取設備を用いた格納容器水素濃度の計測は、計測後のガスを格納容器内へ戻す構成となっており、外部に対して閉じた系となっている。                  格納容器雰囲気ガス試料採取設備の系統内の設備は、系外への漏えいが発生しないよう別表1に示すとおり漏えい防止対策が取られている。                  よって、格納容器水素濃度の計測に係る設備からの水素漏えいの可能性は低い。</p>	<p>設備名称の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉			泊発電所3号炉			相違理由
表1 格納容器水素濃度の計測に係る設備の漏えい防止対策について			別表1 格納容器水素濃度の計測に係る設備の漏えい防止対策について			
No.	機器	漏えい防止対策	No.	機器	漏えい防止対策	
1	配管、弁	格納容器水素ガス試料採取系統設備の配管、弁は、CV内の放射線濃度を測定するため設計された系統であり、被ばく低減の観点からも系外へガスが漏えいするような設計ではない。 配管および弁は基本的に溶接構造であり、さらに、弁は、ペローズ構造によりシールすることで、漏えい防止対策がとられている。	1	配管、弁（既設）	格納容器雰囲気ガス試料採取設備の既設の配管、弁は、CV内の放射線濃度を測定するため設計された系統であり、被ばく低減の観点からも系外へガスが漏えいするような設計ではない。 配管および弁は基本的に溶接構造であり、さらに、弁は、ペローズ構造等によりシールすることで、漏えい防止対策がとられている。	設備名称の相違
		比較用に挿入	2	試料採取管	試料採取管の接続部は手分析時に取り外すクイックカブラを採用している。クイックカブラはシール構造とすることで、漏えい防止対策がとられている。 クイックカブラは、事故時に想定される温度、圧力を包絡した仕様である。	記載設備の相違 ・既設「パブリック」ライ ンとして、試料採取管（自主対策で使用）の接続部構造は大阪も同様。
2	可搬型設備との接続部	接続部はクイックカブラを採用している。クイックカブラは、事故時に想定される温度、圧力を包絡した仕様である。	3	格納容器雰囲気ガスサンプリング圧縮装置（既設）	上述の通り、漏えいし難い構造を採用している。 圧縮装置内部の取り合い部などはフランジ接続であるが、パッキンでシールされているため、漏えいが発生する可能性は十分に低い。 また、ピストンロッドとピストンロッド穴にもパッキンが取り付けられており、圧縮空気の漏えいを防いでいる。 接続部を含む当該圧縮装置は、事故時に想定される温度、圧力を包絡した仕様である。	設計の相違 ・泊の「パブリック」では、CV圧力が通常圧となった以降、既設圧縮装置を使用する手段としている。
3	可搬型格納容器水素ガス試料圧縮装置	溶接ペローズ構造により、内部ガスの気密が保持されている。配管接続部はいずれもシール構造となっているため、内部ガスの気密は保持されている。 ペローズおよびシール構造部を含む当該圧縮装置は、事故時に想定される温度、圧力を包絡した仕様である。	4	可搬型設備との接続部	接続部はクイックカブラを採用している。クイックカブラは、事故時に想定される温度、圧力を包絡した仕様である。	設計の相違 ・可搬「パブリック」圧縮装置のシール方式、構成付属品の有無は相違するが、CV「パブリック」ガスの通気部は無漏洩仕様としてシール設計する設計方針は同じである。
		比較用に挿入	5	可搬型代替ガスサンプリング圧縮装置	ピストンにはピストンリングが取り付けられ、内部ガスの気密が保持されている。配管接続部はいずれもシール構造となっているため、内部ガスの気密は保持されている。ピストンリングおよびシール構造部を含む当該圧縮装置は、事故時に想定される温度、圧力を包絡した仕様である。	
4	自力式減圧弁	配管接続部はシール構造となっており、漏えい防止対策がとられている。シール構造を含む当該弁は、事故時に想定される温度、圧力を包絡した仕様である。	6	後置冷却器配管	接続部はいずれもシール構造となっているため、内部ガスの気密は保持されている。ドレントラップはバルブ部でシールされており、ドレン排水の際にも内部ガスが排出されずドレン水のみ排出することで漏えい防止対策が取られている。シール構造部を含む当該冷却器は、事故時に想定される温度、圧力を包絡した仕様である。	
		比較用に挿入	7	自力式減圧弁	配管接続部はシール構造となっており、漏えい防止対策がとられている。シール構造を含む当該減圧弁は、事故時に想定される温度、圧力を包絡した仕様である。	
5	フレキシブルホース	ホースは密閉構造のため系外への水素の漏えいは発生しない。	8	背圧弁	配管接続部はシール構造となっており、漏えい防止対策がとられている。シール構造を含む当該弁は、事故時に想定される温度、圧力を包絡した仕様である。	
6	可搬型格納容器水素ガス濃度計	可搬型格納容器水素ガス濃度計のラック内の配管と機器の接続部などは基本的にシール構造となっており、漏えい防止対策がとられている。また、ラック内は、自力式減圧弁によりほぼ大気圧(10kPa程度)に減圧しており、系内外の圧力差で系外へ大きな漏えいが発生する可能性は十分に低い。 減圧弁の上流側については、その条件を包絡した仕様である。	9	フレキシブルホース	ホースは密閉構造のため系外への水素の漏えいは発生しない。	
			10	可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット	可搬型格納容器内水素濃度計測ユニットのラック内の配管と機器の接続部などは基本的にシール構造となっており、漏えい防止対策がとられている。また、ラック内は、自力式減圧弁によりほぼ大気圧(10kPa程度)に減圧しており、系内外の圧力差で系外へ大きな漏えいが発生する可能性は十分に低い。 減圧弁の上流側については、その条件を包絡した仕様である。	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">別紙5</p> <p style="text-align: center;">水素濃度監視に係る系統切替えに伴う接続方法</p> <p>可搬型格納容器水素ガス濃度計等を使用した原子炉格納容器内の水素濃度の監視を行う系統への切り替えに伴う接続方法については、フランジ接続タイプとカブラ接続タイプ（フランジよりも簡便な接続方法）がある。</p> <p>大飯発電所3、4号機においては、よりメリットの大きいカブラ接続タイプを採用することとする。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">カブラ接続タイプ</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">フランジ接続タイプ</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図1 カブラ接続タイプとフランジ接続タイプの概略図</p>	<p style="text-align: center;">別紙5</p> <p style="text-align: center;">水素濃度監視に係る系統切替えに伴う接続方法</p> <p>可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット等を使用した原子炉格納容器内の水素濃度の監視を行う系統への切り替えに伴う接続方法については、フランジ接続タイプとカブラ接続タイプ（フランジよりも簡便な接続方法）がある。</p> <p>泊発電所3号炉においては、よりメリットの大きいカブラ接続タイプを採用することとする。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">カブラ接続タイプ</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">フランジ接続タイプ</p> </div> </div>	<p>設備名称の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由																		
<p>(検討内容)</p> <p>取り合い部については、表1のメリット、デメリットを踏まえ、カブラ型のメリットが大きいと判断する。</p> <p>表1 カブラ接続タイプとフランジ接続タイプのメリット、デメリット</p> <table border="1" data-bbox="190 351 952 829"> <thead> <tr> <th></th> <th>カブラ接続タイプ</th> <th>フランジ接続タイプ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>メリット</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、より簡便な接続方法であり、より短時間での接続が可能</li> <li>接続部の信頼性が高い(作業員の技量によらない)</li> <li>現場作業員の作業性・環境性(作業時被ばく等)を考慮した設備設計</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側は全てJ SMEクラス2に適合させることができる。</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>デメリット</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側の接合部(カブラ部)が機械接合となり、また配管とカブラ部の接続がねじ込みとなり、いずれもJ SMEクラス2に規定がない。</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、カブラ接続タイプより接続に時間がかかる。その分貴重な対応要員が本作業にとられることになる。</li> <li>接続部の信頼性が作業員の技量によることとなり、不適切な接続を行った場合、水素が漏えいすることとなる。</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>		カブラ接続タイプ	フランジ接続タイプ	メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、より簡便な接続方法であり、より短時間での接続が可能</li> <li>接続部の信頼性が高い(作業員の技量によらない)</li> <li>現場作業員の作業性・環境性(作業時被ばく等)を考慮した設備設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側は全てJ SMEクラス2に適合させることができる。</li> </ul>	デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側の接合部(カブラ部)が機械接合となり、また配管とカブラ部の接続がねじ込みとなり、いずれもJ SMEクラス2に規定がない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、カブラ接続タイプより接続に時間がかかる。その分貴重な対応要員が本作業にとられることになる。</li> <li>接続部の信頼性が作業員の技量によることとなり、不適切な接続を行った場合、水素が漏えいすることとなる。</li> </ul>	<p>(検討内容)</p> <p>取り合い部については、別表2のメリット・デメリットを踏まえ、カブラ型のメリットが大きいと判断する。</p> <p>別表2 カブラ接続タイプとフランジ接続タイプのメリット・デメリット</p> <table border="1" data-bbox="1131 335 1892 1077"> <thead> <tr> <th></th> <th>カブラ接続タイプ</th> <th>フランジ接続タイプ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>メリット</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、より簡便な接続方法であり、より短時間での接続が可能</li> <li>接続部の信頼性が高い(作業員の技量によらない)</li> <li>現場作業員の作業性・環境性(作業時被ばく等)を考慮した設備設計</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側は全てJ SMEクラス2に適合させることができる。</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>デメリット</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側の接合部(カブラ部)が機械接合となり、また配管とカブラ部の接続がねじ込みとなり、いずれもJSMEクラス2に規定がない。</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、カブラ接続タイプより接続に時間がかかる。その分貴重な対応要員が本作業にとられることになる。</li> <li>接続部の信頼性が作業員の技量によることとなり、不適切な接続を行った場合、水素が漏えいすることとなる。</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>		カブラ接続タイプ	フランジ接続タイプ	メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、より簡便な接続方法であり、より短時間での接続が可能</li> <li>接続部の信頼性が高い(作業員の技量によらない)</li> <li>現場作業員の作業性・環境性(作業時被ばく等)を考慮した設備設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側は全てJ SMEクラス2に適合させることができる。</li> </ul>	デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側の接合部(カブラ部)が機械接合となり、また配管とカブラ部の接続がねじ込みとなり、いずれもJSMEクラス2に規定がない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、カブラ接続タイプより接続に時間がかかる。その分貴重な対応要員が本作業にとられることになる。</li> <li>接続部の信頼性が作業員の技量によることとなり、不適切な接続を行った場合、水素が漏えいすることとなる。</li> </ul>	
	カブラ接続タイプ	フランジ接続タイプ																		
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、より簡便な接続方法であり、より短時間での接続が可能</li> <li>接続部の信頼性が高い(作業員の技量によらない)</li> <li>現場作業員の作業性・環境性(作業時被ばく等)を考慮した設備設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側は全てJ SMEクラス2に適合させることができる。</li> </ul>																		
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側の接合部(カブラ部)が機械接合となり、また配管とカブラ部の接続がねじ込みとなり、いずれもJ SMEクラス2に規定がない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、カブラ接続タイプより接続に時間がかかる。その分貴重な対応要員が本作業にとられることになる。</li> <li>接続部の信頼性が作業員の技量によることとなり、不適切な接続を行った場合、水素が漏えいすることとなる。</li> </ul>																		
	カブラ接続タイプ	フランジ接続タイプ																		
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、より簡便な接続方法であり、より短時間での接続が可能</li> <li>接続部の信頼性が高い(作業員の技量によらない)</li> <li>現場作業員の作業性・環境性(作業時被ばく等)を考慮した設備設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側は全てJ SMEクラス2に適合させることができる。</li> </ul>																		
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設重大事故等対処設備側の接合部(カブラ部)が機械接合となり、また配管とカブラ部の接続がねじ込みとなり、いずれもJSMEクラス2に規定がない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた時間での接続が必要となる中、カブラ接続タイプより接続に時間がかかる。その分貴重な対応要員が本作業にとられることになる。</li> <li>接続部の信頼性が作業員の技量によることとなり、不適切な接続を行った場合、水素が漏えいすることとなる。</li> </ul>																		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>52-10 原子炉格納容器水素燃焼装置（イグナイタ）について</p>	<p>52-13 格納容器水素イグナイタについて</p>	



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">原子炉格納容器水素燃焼装置（イグナイタ）について</p> <p>1. 設置目的</p> <p>2. イグナイタの仕様                      (1)イグナイタの仕様                      (2)イグナイタの電源容量算出</p> <p>3. イグナイタの電源構成</p> <p>4. 全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件について                      (1) 全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件について                      (2) 全交流電源喪失時のイグナイタ起動イメージ                      (3) 大飯発電所3、4号機 水素燃焼シーケンス（大LOCA+ECCS注入失敗+CVスプレイ注入）解析結果</p> <p>5. イグナイタの設置個数及び設置場所について                      (1) 設置場所及び個数の基本的考え方                      (2) イグナイタの原子炉格納容器上部への追加設置                      (3) 計器・機器への影響を考慮した配置</p> <p>6. イグナイタ温度監視装置の概要                      (1) 設置目的                      (2) 設備概要                      (3) イグナイタ温度監視装置用温度計（熱電対）の性能試験について</p> <p>7. イグナイタの解析結果について                      (1) 解析条件                      (2) 解析内容                      (3) 解析結果</p> <p>参考資料                      別紙1 イグナイタ着火による再循環ダクト等周辺機器への影響評価について                      別紙2 イグナイタ着火の熱影響について                      別紙3 原子炉格納容器ドーム部頂部付近への施工方法について                      別紙4 イグナイタ電源設備の信頼性向上について</p>	<p style="text-align: center;">格納容器水素イグナイタについて</p> <p>1. 設置目的</p> <p>2. イグナイタの仕様                      (1)イグナイタの仕様                      (2)イグナイタの電源容量算出</p> <p>3. イグナイタの電源構成</p> <p>4. 全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件について                      (1) 全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件について                      (2) 全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件の検討内容について                      (3) 全交流電源喪失時のイグナイタ起動イメージ                      (4) 泊3号炉 水素燃焼シーケンス（大LOCA+ECCS注入失敗+CVスプレイ注入）解析結果</p> <p>5. イグナイタの設置個数及び設置場所について                      (1) 設置場所及び個数の基本的考え方                      (2) イグナイタの原子炉格納容器上部への追加設置                      (3) 計器・機器への影響を考慮した配置</p> <p>6. イグナイタ温度監視装置の概要                      (1) 設置目的                      (2) 設備概要                      (3) イグナイタ温度監視装置用温度計（熱電対）の性能試験について</p> <p>7. イグナイタの解析結果について                      (1) 解析条件                      (2) 解析内容                      (3) 解析結果</p> <p>参考資料                      別紙1 イグナイタ着火による再循環ダクト等周辺機器への影響評価について                      別紙2 イグナイタ着火の熱影響について                      別紙3 原子炉格納容器ドーム部頂部付近への施工方法について                      別紙4 イグナイタによる水素燃焼の影響を考慮する評価対象機器について</p>	<p>設備名称の相違</p> <p>記載表現の相違</p>

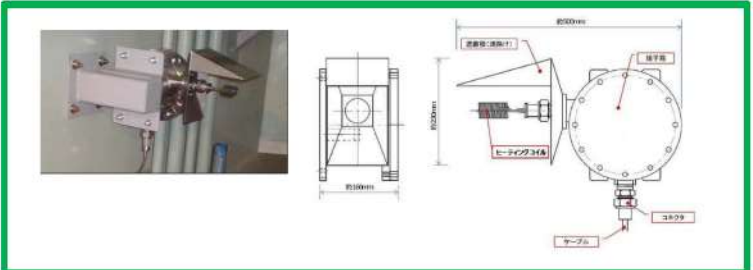
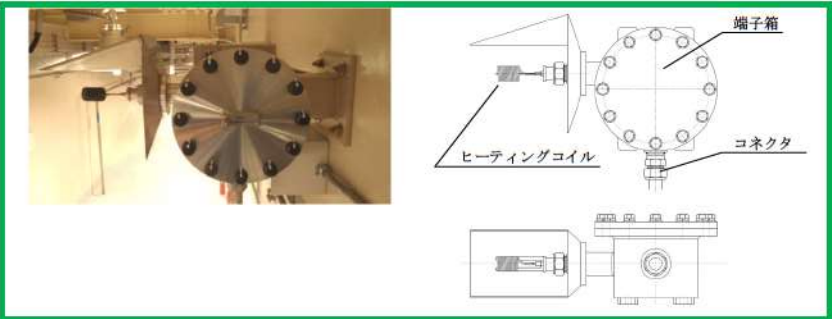
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由																				
<p>原子炉格納容器水素燃焼装置（イグナイタ）について</p> <p>1. 設置目的</p> <p>原子炉格納容器水素燃焼装置（以下、イグナイタという。）は、炉心損傷時のジルコニウム－水反応により発生する水素を計画的に燃焼させることにより、初期の水素発生量のピークを抑える目的で設置するものであり、<b>静的触媒式水素再結合装置</b>（以下、PARという。）による水素除去とあいまって、より一層の格納容器内の水素量低減に有効なため、設置するものである。</p> <p>2. イグナイタの仕様</p> <p>(1) イグナイタの仕様</p> <p>イグナイタは、通電することによりヒータ部を加熱（約 900℃）させ、発生した水素を強制的に燃焼させることで格納容器内の水素低減を図る装置であり、<b>大飯1, 2号機</b>で実績のあるヒーティングコイル方式を採用する。</p> <p><b>【動作原理】</b></p> <p>① イグナイタに通電し、ヒータ部を加熱する。</p> <p>② 水素濃度が上昇し、可燃範囲に入ると水素が燃焼し、水蒸気となることで水素濃度を低減する。</p>	<p>格納容器水素イグナイタについて</p> <p>1. 設置目的</p> <p><b>格納容器水素イグナイタ</b>（以下、「イグナイタ」という。）は、<b>原子炉格納容器</b>（以下、「格納容器」という。）内に適切に配置することで、炉心損傷時のジルコニウム（Zr）－水反応により<b>短期間に格納容器内に発生する水素を計画的に燃焼させることにより初期の水素生成量のピークを抑える目的</b>で設置するものであり、<b>原子炉格納容器内水素処理装置</b>（以下、「PAR」という。）による水素除去とあいまって、より一層の格納容器内の水素低減に有効なため、さらなる対策設備として設置するものである。</p> <p>2. イグナイタの仕様</p> <p>(1) イグナイタの仕様</p> <p>イグナイタは、通電することによりヒータ部を加熱（約 900℃）させ、発生した水素を強制的に燃焼させることで格納容器内の水素低減を図る装置であり、<b>既設プラント</b>で実績のあるヒーティングコイル式を採用する。</p> <p><b>【動作原理】</b></p> <p>① イグナイタに通電し、ヒータ部を加熱する。</p> <p>② 水素濃度が上昇し、可燃範囲に入ると水素が燃焼し、水蒸気となることで水素濃度を低減する。</p>	<p>記載表現の相違</p> <p>記載表現の相違</p>																				
<table border="1"> <tr> <td>方式</td> <td>ヒーティングコイル方式</td> </tr> <tr> <td>容量</td> <td>556W（1個当たり）</td> </tr> <tr> <td>主要寸法</td> <td>幅 約 160mm 奥行 約 500mm 高さ 約 230mm</td> </tr> <tr> <td>着火下限水素濃度</td> <td>8%以下（ウェット濃度）</td> </tr> <tr> <td>個数</td> <td>13個（予備1個（ドーム部））</td> </tr> </table>	方式	ヒーティングコイル方式	容量	556W（1個当たり）	主要寸法	幅 約 160mm 奥行 約 500mm 高さ 約 230mm	着火下限水素濃度	8%以下（ウェット濃度）	個数	13個（予備1個（ドーム部））	<table border="1"> <tr> <td>方式</td> <td>ヒーティングコイル方式</td> </tr> <tr> <td>容量</td> <td>約 550W（1個当たり）</td> </tr> <tr> <td>主要寸法</td> <td>幅 約 200mm 奥行 約 500mm 高さ 約 300mm</td> </tr> <tr> <td>燃焼開始水素濃度</td> <td>8vol%以下（ウェット濃度）</td> </tr> <tr> <td>個数</td> <td>12個（予備1個（ドーム部））</td> </tr> </table>	方式	ヒーティングコイル方式	容量	約 550W（1個当たり）	主要寸法	幅 約 200mm 奥行 約 500mm 高さ 約 300mm	燃焼開始水素濃度	8vol%以下（ウェット濃度）	個数	12個（予備1個（ドーム部））	<p>記載表現の相違</p> <p>・主要寸法差は有効表示桁数の相違であり、設備仕様異なるものではない。</p>
方式	ヒーティングコイル方式																					
容量	556W（1個当たり）																					
主要寸法	幅 約 160mm 奥行 約 500mm 高さ 約 230mm																					
着火下限水素濃度	8%以下（ウェット濃度）																					
個数	13個（予備1個（ドーム部））																					
方式	ヒーティングコイル方式																					
容量	約 550W（1個当たり）																					
主要寸法	幅 約 200mm 奥行 約 500mm 高さ 約 300mm																					
燃焼開始水素濃度	8vol%以下（ウェット濃度）																					
個数	12個（予備1個（ドーム部））																					
<p>※イグナイタの構成材料は、ヒータシースにインコネル、専用ケーブルに無機絶縁物と金属シース、端子台に磁器、端子箱にステンレス等、耐熱性に優れた材料を使用しており、水素燃焼によるイグナイタ本体への熱的影響や蒸気環境による気密性を考慮した設計としている。</p>	<p>※イグナイタの構成材料は、ヒータシースにインコネル、専用ケーブルに無機絶縁物と金属シース、端子台に磁器、端子箱にステンレス等、耐熱性に優れた材料を使用しており、水素燃焼によるイグナイタ本体への熱的影響や蒸気環境による気密性を考慮した設計としている。</p>	<p>設計の相違</p> <p>・CV内のイグナイタ設置箇所の考え方は同じであるが、4Fの<b>大飯は4F</b>の<b>泊よりも1つ多い。</b></p>																				

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
		<p>細部構造の相違              ・イガナイの細部              （取付け方等）に              相違はあるが、イ              ガナイ機構は同じ              ものである。</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(2)イグナイタの電源容量算出</p> <p>a. 概要</p> <p>イグナイタの電気容量については、供給電圧の変動を想定しても水素の自己着火温度まで電気式で水素燃焼装置の周囲空気温度を上昇できるよう、着火性能試験により着火下限値を確認したヒータ電気容量を上回る、定格電圧120Vで [ ] W以上（556W（公称値））を有する設計としている。イグナイタの電気容量の算出過程について説明する。</p> <p>b.着火性能試験における着火要求条件</p> <p>着火要求条件については、設置（変更）許可における解析<sup>2</sup>の評価条件を用い、着火下限水素濃度を8vol%以下とし、水蒸気濃度は水素の燃焼限界の上限付近である55vol%として、水素の流速については、原子炉格納容器内での蒸気の流速が早い傾向となる4ループプラントの重要シーケンスの解析において確認しているイグナイタ設置区画内の平均ガス流速（時間平均）の最大値2.3m/secを上回る3.7m/secを条件として着火性能試験を実施した。</p> <p>（注）設置（変更）許可における静的触媒式水素再結合装置による水素濃度低減性能の評価における評価条件の不確かさ影響確認での評価</p>	<p>(2)イグナイタの電源容量算出</p> <p>a. 概要</p> <p>イグナイタの電気容量については、供給電圧の変動を想定しても水素の自己着火温度まで電気式で水素燃焼装置の周囲空気温度を上昇できるよう、着火性能試験により着火下限値を確認したヒータ電気容量を上回る、定格電圧120Vで [ ] W以上（556W（公称値））を有する設計としている。イグナイタの電気容量の算出過程について説明する。</p> <p>b.着火性能試験における着火要求条件</p> <p>着火要求条件については、設置（変更）許可における解析<sup>2</sup>の評価条件を用い、着火下限水素濃度を8vol%以下とし、水蒸気濃度は水素の燃焼限界の上限付近である55vol%として、水素の流速については、原子炉格納容器内での蒸気の流速が早い傾向となる4ループプラントの重要シーケンスの解析において確認しているイグナイタ設置区画内の平均ガス流速（時間平均）の最大値2.3m/secを上回る3.7m/secを条件として着火性能試験を実施した。</p> <p>（注）設置（変更）許可における静的触媒式水素再結合装置による水素濃度低減性能の評価における評価条件の不確かさ影響確認での評価</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉

泊発電所3号炉

相違理由

c. 着火性能試験結果及び電気容量算出過程

ステップ	電圧	導体抵抗	電気容量	ヒータリング*コイル表面温度	算出過程
着火性能試験結果	1	108V	—	—	着火性能試験において、印加電圧を徐々に低下させ、水素着火できる下限電圧（108V）を確認
着火性能試験結果	2	108V	□Ω	—	ステップ1の着火性能試験に使用したヒータリングコイルの導体抵抗（□Ω）を確認
計算	3	108V	□Ω	—	ステップ2にて確認した導体抵抗から着火性能試験に使用したヒータリングコイルの電気容量を算出 $W = V^2 / R$ $= 108V^2 / \square \Omega$ $= \square W$ （安全側として□W）
計算	4	114V	□Ω	—	ヒータリングコイルの電圧変動（定格電圧120Vの-5%）を想定し下限値を114Vとしても、455Wの容量を有していれば着火性能試験結果を満足できる性能を有する。 ステップ3によって得られた電気容量を満足する導体抵抗値を換算 $R = V^2 / W$ $= 114V^2 / \square W$ $= \square \Omega$ ※
計算	5	120V	□Ω	—	ステップ4にて換算した導体抵抗値のヒータリングコイルに定格電圧120Vを加えた場合の定格電気容量を算出 $W = V^2 / R$ $= 120V^2 / \square \Omega$ $= \square W$ ※
試験	6	—	—	□W	約915℃ 電気容量□W時のヒータリングコイル表面温度を常温・無風状態で計測した結果約915℃を確認

□内は機密に属するものですので公開できません。

c. 着火性能試験結果及び電気容量算出過程

ステップ	電圧	導体抵抗	電気容量	ヒータリング*コイル表面温度	算出過程
着火性能試験結果	1	108V	—	—	着火性能試験において、印加電圧を徐々に低下させ、水素着火できる下限電圧（108V）を確認
着火性能試験結果	2	108V	□Ω	—	ステップ1の着火性能試験に使用したヒータリングコイルの導体抵抗（□Ω）を確認
計算	3	108V	□Ω	—	ステップ2にて確認した導体抵抗から着火性能試験に使用したヒータリングコイルの電気容量を算出 $W = V^2 / R$ $= 108V^2 / \square \Omega$ $= \square W$ （安全側として□W）
計算	4	114V	□Ω	—	ヒータリングコイルの電圧変動（定格電圧120Vの-5%）を想定し下限値を114Vとしても、455Wの容量を有していれば着火性能試験結果を満足できる性能を有する。 ステップ3によって得られた電気容量を満足する導体抵抗値を換算 $R = V^2 / W$ $= 114V^2 / \square W$ $= \square \Omega$ ※
計算	5	120V	□Ω	—	ステップ4にて換算した導体抵抗値のヒータリングコイルに定格電圧120Vを加えた場合の定格電気容量を算出 $W = V^2 / R$ $= 120V^2 / \square \Omega$ $= \square W$ ※
試験	6	—	—	□W	約915℃ 電気容量□W時のヒータリングコイル表面温度を常温・無風状態で計測した結果約915℃を確認

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉

泊発電所3号炉

相違理由

d. 定格電気容量

定格電気容量（公称値）については、 Wに十分な余裕を考慮し、556Wとしている。

d. 定格電気容量

定格電気容量（公称値）については、 Wに十分な余裕を考慮し、556Wとしている。

3. イグナイタの電源構成

イグナイタは全交流動力電源喪失時においても、代替電源設備（空冷式非常用発電装置）からの給電を可能としている。

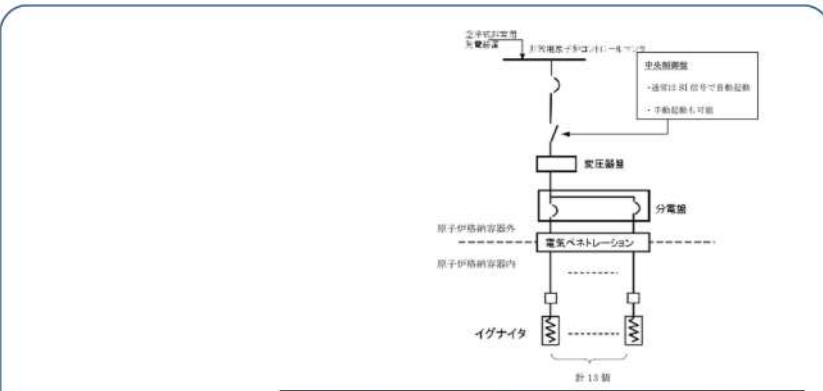
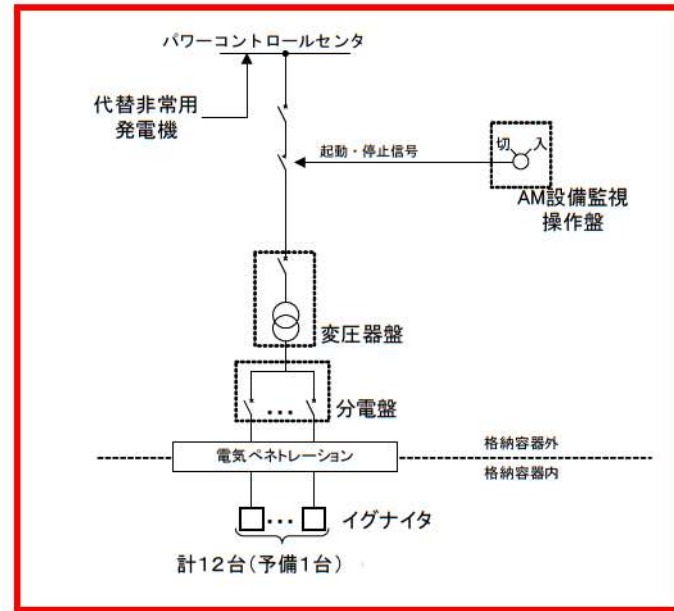
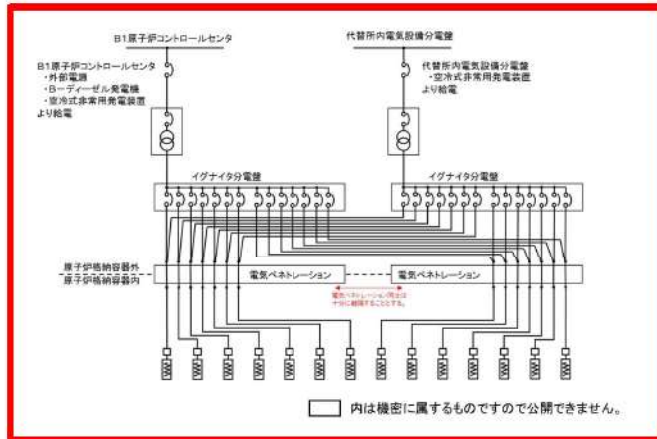
空冷式非常用発電装置は、イグナイタの接続される安全系コントロールセンタに常時接続されており、中央制御室より遠隔起動を可能としており、全交流動力電源喪失後、約30分で給電可能である。

なお、独立した2つの電源から給電できる構成とするため、安全系コントロールセンタに加え代替所内電気設備からも給電が可能な設計としている。（詳細は別紙4参照）

3. イグナイタの電源構成

イグナイタは全交流動力電源喪失時においても、代替電源設備（代替非常用発電機）からの給電を可能としている。

代替非常用発電機は、イグナイタの接続される所内低圧母線に接続でき、中央制御室より遠隔起動を可能としており、全交流動力電源喪失後、約25分で給電可能である。



左図：伊方3号、右図：美浜3号の電源構成図を参考掲載

設備名称の相違

設計の相違

・電源構成の相違

設計方針の相違

・4炉プラントは水素濃度ピークが高い

ため爆轟領域未満とするため、PAR

に加えイグナイタによる処理にも期待する。

このため、4炉プラントのイグナイ

タは動作の確実性を高めるため電源供給母線を2重化し

ている。

・3炉プラントは、水素濃度ピークを爆

轟領域未満とするため、PARのみに

期待しており、更なる安全性向上の

ためのSA設備として設置しているため、供給母線の2

重化をしていない

(川内2、高浜

3/4、伊方3、美浜

3と同様)

このため、3炉プラントでは別紙4は

不要である。

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>4. 全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件について</p> <p>全交流動力電源喪失時においては、電源回復までの遅れ時間があることを考慮した上で、イグナイタによる水素濃度制御機能を最大限活用し、格納容器内水素濃度を低下させるために、確実にイグナイタを起動できるよう全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件は以下のとおりとする。</p> <p>(1) 全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件について</p> <p>a. 結論</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電源回復が炉心出口温度350℃到達後60分以内であれば速やかにイグナイタを起動する。</li> </ul> <p>b. 検討</p> <p>全交流動力電源喪失時において、イグナイタ起動タイミングを原子炉容器破損以前に設定することで、原子炉容器破損により放出される水素及び万一ではあるが、MCCIにより発生する水素に対応する。</p> <p>水素濃度制御を確実に実施するため、事象発生から原子炉容器破損までの時間が最も短い「水素燃焼」シーケンス（大破断LOCA+ECCS注入失敗+C/Vスプレイ注入）の解析結果（図2）を元に、全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件について検討した。</p> <p>(a)解析結果から、事象発生から60分後の時点の原子炉格納容器内ウェット水素濃度は8vol%を下回る。</p> <p>(b)事故発生から原子炉容器破損までの時間は約1.4時間であり、全交流動力電源喪失発生時においても、約30分で、代替電源設備から受電し、イグナイタの起動が可能であるため、原子炉格納容器内ウェット水素濃度が8vol%に到達する前に十分起動可能である。</p> <p>(c)ジルコニウム-水反応等によって発生するドライ条件に換算した原子炉格納容器内ドライ換算水素濃度は、事故発生約1.7時間後に最大約12.8vol%まで上昇するが、水素爆轟の目安となる原子炉格納容器内ドライ換算水素濃度が13vol%に到達することはない。また、水の放射線分解等によって長期的に発生する水素については、静的触媒式水素再結合装置の効果により減少する。</p>	<p>4. 全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件について</p> <p>全交流動力電源喪失時においては、電源回復までの遅れ時間があることを考慮した上で、イグナイタによる水素濃度制御機能を最大限活用し、格納容器内水素濃度を低下させるために、確実にイグナイタを起動できるよう全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件は以下のとおりとする。</p> <p>(1) 全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電源回復が炉心出口温度 350℃到達後 60 分以内であれば速やかに起動する。</li> <li>なお、炉心出口温度が 350℃到達後 60 分以内に起動できなかった場合は、イグナイタ起動に伴う実効性と悪影響を考慮し、発電所対策本部と協議の上、イグナイタを起動する。</li> <li>目安：炉心出口温度 350℃到達から原子炉容器破損まで最短シーケンス（大 LOCA+ECCS 注入失敗+C/Vスプレイ失敗）で約 80 分である。</li> </ul> <p>(2) 全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件の検討内容について</p> <p>全交流動力電源喪失時において、原子炉容器破損をイグナイタの起動条件の目安とし、原子炉容器破損により放出される水素及び万一ではあるが、MCCIにより発生する水素に対応する。</p> <p>水素濃度制御を確実に実施するため、水素燃焼の観点から厳しいシーケンスとして、「水素燃焼」シーケンス（大破断LOCA+ECCS注入失敗+C/Vスプレイ注入）の解析結果（図2）を元に、全交流動力電源喪失時のイグナイタ起動条件について検討した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>解析結果から、事象発生から原子炉容器破損までは約 1.7 時間（約 102 分）であり、原子炉容器破損時の原子炉格納容器水素濃度（ウェット）は 8vol%未満である。</li> <li>炉心出口温度 350℃到達から原子炉容器破損までの時間は約 90 分である。また、原子炉容器破損に至る時間が最も早い「格納容器過圧破損」シーケンス（大破断LOCA+ECCS注入失敗+C/Vスプレイ失敗）においては、事象発生後約 1.6 時間（約 95 分）で原子炉容器破損に至ることから、炉心出口温度 350℃到達から原子炉容器破損までの時間は約 80 分となる。</li> <li>事象発生から原子炉容器破損までは約 1.7 時間（約 102 分）であり、全交流動力電源喪失発生時においても、事象発生後約 25 分で代替電源設備から受電し、速やかにイグナイタが起動可能となることから、炉心出口温度 350℃到達後 60 分以内にイグナイタを起動することで、原子炉容器破損までに十分な余裕を持って起動が可能である。</li> <li>なお、原子炉容器破損に至る時間が最も早い「格納容器過圧破損」シーケンスだったと仮定しても、炉心出口温度 350℃到達後 60 分以内にイグナイタが起動でき、原子炉格納容器内水素濃度が 8vol%に到達する前に十分起動可能である。</li> <li>ジルコニウム-水反応等によって発生するドライ条件に換算した原子炉格納容器内ドライ換算水素濃度は、事象発生約 2.9 時間後に 11.7vol%まで上昇するが、水素爆轟の目安となる原子炉格納容器内ドライ換算水素濃度が 13vol%に到達することはない。また、水の放射線分解等によって長期的に発生する水素については、原子炉格納容器内水素処理装置の効果により減少する。</li> </ul>	<p>相違理由</p> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>泊は、起動に時間を要する場合の考え方も併せて記載した。</li> </ul> <p>記載方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>炉心損傷後60分以内であれば起動可能の方針は同じである（RV破損以前の起動）。</li> <li>RV破損タイミングとイグナイタ起動が前後する場合の起動についても記載したことから、「目安」と記載した。</li> <li>事故時の挙動について、水素燃焼に加え、RV破損が早い場合での対応も可能であることを説明するため、過圧破損の挙動も記載した。</li> </ul> <p>解析結果の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>以上の解析結果から、全交流動力電源喪失時においては、電源復旧後、<b>事象発生</b>から60分以内であれば、原子炉格納容器内水素濃度を確認することなく、速やかにイグナイタを起動することで、格納容器内水素濃度の低減を図る。</p> <p>なお、事象発生後60分以内に起動できなかった場合は、イグナイタ起動に伴う実効性と悪影響を考慮し、事故対策本部と協議の上、イグナイタを起動する。</p>	<p>以上の解析結果から、全交流動力電源喪失時においては、電源復旧後、<b>炉心出口温度 350℃到達</b>から60分以内であれば、原子炉格納容器内水素濃度を確認することなく、速やかにイグナイタを起動することで、原子炉格納容器内水素濃度の低減を図る。</p>	<p>・イグナイタ起動タイミングとして、大飯・泊とも炉心損傷判断後60分以内であれば速やかにイグナイタ起動とする判断は同じである。</p> <p><u>記載位置の相違</u>                  ・泊は、冒頭にて炉心損傷判断後、60分を超える場合のイグナイタ起動の考え方として記載している。</p>



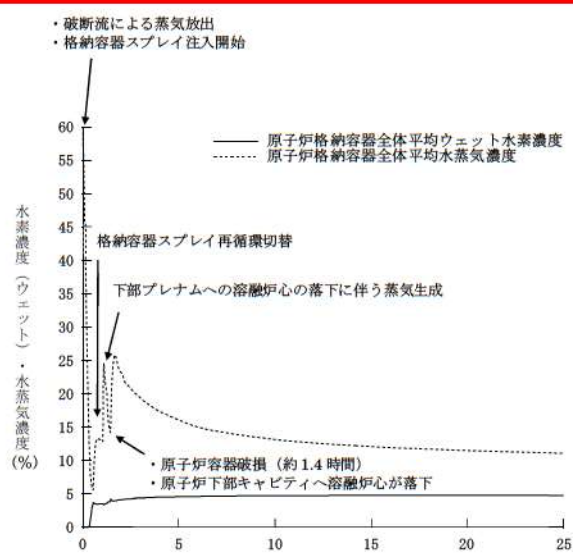
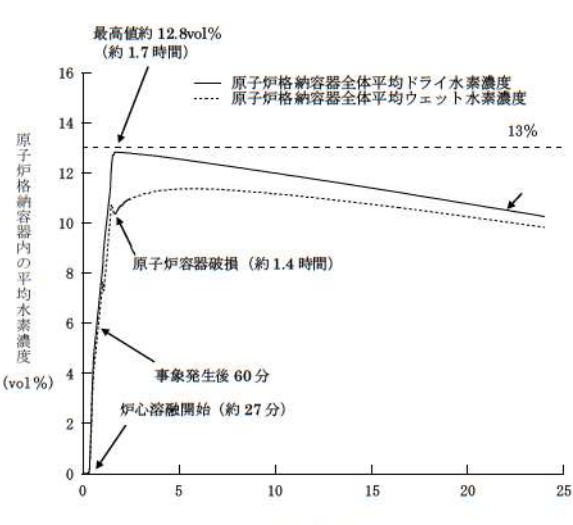
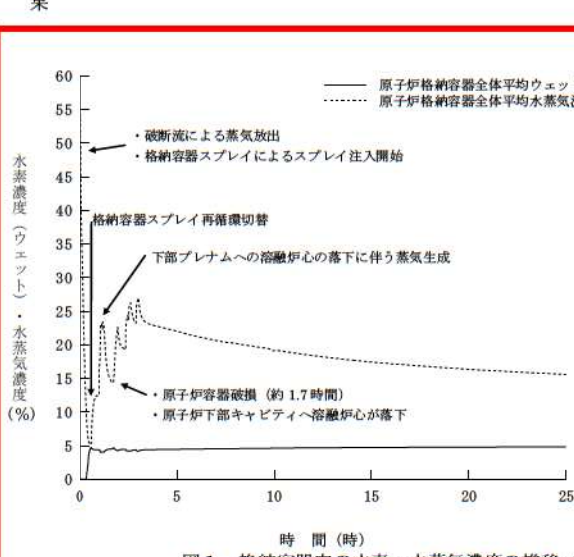
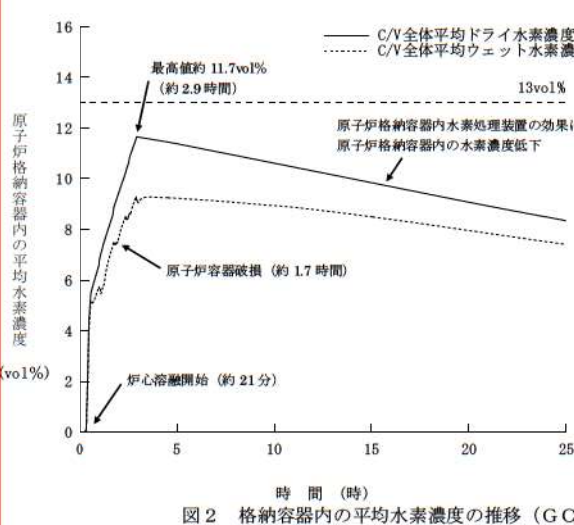
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(2) 全交流電源喪失時のイグナイタ起動イメージ</p> <p>サンプリングなしでイグナイタを起動する期間の目安</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・R/V破損までの時間が最も短い水素燃焼シーケンスの事故進展 (大LOCA+ECCS注入失敗+CVスプレイ注入)</li> <li>・イグナイタ起動タイミング 電源ありの場合 S1シーケンスによりイグナイタ起動</li> <li>電源なし (全交流動力電源喪失) の場合 電源回復後、事故発生後60分以内であればイグナイタ起動</li> </ul>	<p>(3) 全交流電源喪失時のイグナイタ起動イメージ</p> <p>サンプリングなしでイグナイタを起動する期間の目安 炉心出口温度350°C到達後約60分</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水素燃焼の観点から最も厳しい「水素燃焼」シーケンスの事故進展 (大LOCA+ECCS注入失敗+CVスプレイ注入)</li> <li>・イグナイタ起動タイミング 電源ありの場合 10分以内にイグナイタ起動</li> <li>電源なしの場合 (全交流動力電源喪失) 25分 代替電源より受電</li> </ul> <p>電源回復が遅れR/V破損後までにイグナイタの起動ができなかった場合は、サンプリングにより水素濃度を確認し判断する。</p>	<p>相違理由</p> <p>解析結果の相違          ・RV破損時間、代替電源供給開始時間に相違はあるが、代替電源復旧後から60分以内でのイグナイタ起動は、RV破損タイミングの前となることは同じである。</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(3) 水素燃焼シーケンス（大破断LOCA+ECCS注入失敗+C/Vスプレイ注入）解析結果</p>  <p>図1 格納容器内の水素・水蒸気濃度の推移 (MAAP)</p>  <p>図2 格納容器内の平均水素濃度の推移 (GOTHIC)</p> <div data-bbox="750 893 1041 1284" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>原子炉格納容器自由体積が大きいため、Zr-水反応によって発生する水素の濃度は限定され、水素爆轟の目安となる格納容器内ドライ換算水素濃度が13%に到達することはない。また、水の放射線分解等によって長期的に発生する水素を含め、静的触媒式水素再結合装置の効果により減少している。</p> </div>	<p>(4) 泊3号炉 水素燃焼シーケンス（大破断LOCA+ECCS注入失敗+C/Vスプレイ注入）解析結果</p>  <p>図1 格納容器内の水素・水蒸気濃度の推移 (MAAP)</p>  <p>図2 格納容器内の平均水素濃度の推移 (GOTHIC)</p> <div data-bbox="1691 893 1915 1300" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>評価の結果、原子炉格納容器自由体積が大きいため、Zr-水反応によって発生する水素の濃度は限定され、水素爆轟の目安となる格納容器内ドライ換算水素濃度が13vol%に到達することはない。また、水の放射線分解等によって長期的に発生する水素を含め、原子炉格納容器内水素処理装置の効果により減少している。</p> </div>	<p>解析結果の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																		
<p>5. イグナイタの設置個数及び設置場所について</p> <p>(1) 設置場所及び個数の基本的考え方</p> <p>イグナイタは、生成した水素が原子炉格納容器内に拡散して蓄積する前に、水素を強制的に燃焼することができるよう、水素放出が想定される箇所に加え、その隣接区画あるいは水素の主要な通過経路及び上部ドーム部に設置する。具体的な設置位置は以下のとおり。</p> <p>(2) イグナイタの原子炉格納容器上部への追加設置</p> <p>a. 原子炉格納容器の水素混合について</p> <p>重大事故時に発生する水素の混合挙動については、格納容器スプレイ等により原子炉格納容器全体で大きな循環流が形成され、濃度は均一化されると考えられている。</p> <p>また、格納容器スプレイが機能喪失した場合でも、原子炉格納容器内での水素の混合促進に寄与する対策として、①恒設代替低圧注水ポンプによる代替スプレイや②自然対流冷却を整備（NUPEC 報告書<sup>*1</sup>でも提言）しており、原子炉格納容器内の上下区画において水素の濃度差が生じるという水素濃度の成層化が起こる可能性は十分に低い。さらに、③静的触媒式水素再結合装置（以下、PARという）の発熱による流体の上昇流、④溶融炉心の下部キャビティ落下後の発生蒸気による上昇流、⑤蒸気発生器からの放熱等による上昇流により原子炉格納容器内全体での大きな循環流が形成されることにより、水素濃度成層化が起こることはないと考える。（表1）</p> <p style="text-align: center;">表1 成層化に対する混合の効果</p> <table border="1" data-bbox="183 810 996 1161"> <thead> <tr> <th>混合の要素</th> <th>効果</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①スプレイ</td> <td rowspan="2">スプレイ又は自然対流冷却の単独で原子炉格納容器全体が混合</td> <td>NUPEC 報告(H15)<sup>*1</sup>、有効性評価</td> </tr> <tr> <td>②自然対流冷却</td> <td>JNES 解析(H18)<sup>*2</sup></td> </tr> <tr> <td>③PAR</td> <td>混合に寄与</td> <td></td> </tr> <tr> <td>④蒸気流</td> <td>加圧器気相部破断以外のケースでは、蒸気流によって原子炉格納容器全体が混合</td> <td>NUPEC 報告(H15)<sup>*1</sup></td> </tr> <tr> <td>⑤蒸気発生器からの放熱等</td> <td>混合に寄与</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><sup>*1</sup> 重要構造物安全評価（原子炉格納容器信頼性実証事業）に関する総括報告書（平成15年3月）  <sup>*2</sup> アクシデントマネジメント知識ベースに関する報告書（平成18年8月）</p>	混合の要素	効果	備考	①スプレイ	スプレイ又は自然対流冷却の単独で原子炉格納容器全体が混合	NUPEC 報告(H15) <sup>*1</sup> 、有効性評価	②自然対流冷却	JNES 解析(H18) <sup>*2</sup>	③PAR	混合に寄与		④蒸気流	加圧器気相部破断以外のケースでは、蒸気流によって原子炉格納容器全体が混合	NUPEC 報告(H15) <sup>*1</sup>	⑤蒸気発生器からの放熱等	混合に寄与		<p>5. イグナイタの設置個数及び設置場所について</p> <p>(1) 設置場所及び個数の基本的考え方</p> <p>イグナイタは、生成した水素が原子炉格納容器内に拡散して蓄積する前に、水素を強制的に燃焼することができるよう、水素放出が想定される箇所に加え、その隣接区画あるいは水素の主要な通過経路及び上部ドーム部に設置する。具体的な設置位置は以下のとおり。</p> <p>(2) イグナイタの原子炉格納容器上部への追加設置</p> <p>a. 原子炉格納容器の水素混合について</p> <p>重大事故時に発生する水素の混合挙動については、格納容器スプレイ等により原子炉格納容器全体で大きな循環流が形成され、濃度は均一化すると考えられている。</p> <p>また、格納容器スプレイが機能喪失した場合でも、原子炉格納容器内での水素の混合促進に寄与する対策として①代替格納容器スプレイポンプによる代替スプレイや②自然対流冷却を整備（NUPEC 報告書<sup>*1</sup>でも提言）しており、原子炉格納容器内の上下区画に水素の濃度差が生じるという水素濃度の成層化が起こる可能性は十分に低い。さらに、③PAR発熱による流体の上昇流、④溶融炉心の下部キャビティ落下後の発生蒸気による上昇流、⑤蒸気発生器からの放熱等による上昇流により原子炉格納容器内全体での大きな循環流が形成されることにより、水素濃度成層化が起こることはないと考える（表1）。</p> <p style="text-align: center;">表1 成層化に対する混合の効果</p> <table border="1" data-bbox="1124 810 1924 1117"> <thead> <tr> <th>混合の要素</th> <th>効果</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①スプレイ</td> <td rowspan="2">スプレイ又は自然対流冷却の単独で原子炉格納容器全体が混合</td> <td>NUPEC 報告 (H15) <sup>*1</sup>、有効性評価</td> </tr> <tr> <td>②自然対流冷却</td> <td>JNES 解析 (H18) <sup>*2</sup></td> </tr> <tr> <td>③PAR</td> <td>混合に寄与</td> <td></td> </tr> <tr> <td>④蒸気流</td> <td>加圧器気相部破断以外のケースでは、蒸気流によって原子炉格納容器全体が混合</td> <td>NUPEC 報告 (H15) <sup>*1</sup></td> </tr> <tr> <td>⑤蒸気発生器からの放熱等</td> <td>混合に寄与</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><sup>※1</sup> 重要構造物安全評価（原子炉格納容器信頼性実証事業）に関する総括報告書（平成15年3月）  <sup>※2</sup> アクシデントマネジメント知識ベースに関する報告書（平成18年8月）</p>	混合の要素	効果	備考	①スプレイ	スプレイ又は自然対流冷却の単独で原子炉格納容器全体が混合	NUPEC 報告 (H15) <sup>*1</sup> 、有効性評価	②自然対流冷却	JNES 解析 (H18) <sup>*2</sup>	③PAR	混合に寄与		④蒸気流	加圧器気相部破断以外のケースでは、蒸気流によって原子炉格納容器全体が混合	NUPEC 報告 (H15) <sup>*1</sup>	⑤蒸気発生器からの放熱等	混合に寄与		<p>設備名称の相違</p>
混合の要素	効果	備考																																		
①スプレイ	スプレイ又は自然対流冷却の単独で原子炉格納容器全体が混合	NUPEC 報告(H15) <sup>*1</sup> 、有効性評価																																		
②自然対流冷却		JNES 解析(H18) <sup>*2</sup>																																		
③PAR	混合に寄与																																			
④蒸気流	加圧器気相部破断以外のケースでは、蒸気流によって原子炉格納容器全体が混合	NUPEC 報告(H15) <sup>*1</sup>																																		
⑤蒸気発生器からの放熱等	混合に寄与																																			
混合の要素	効果	備考																																		
①スプレイ	スプレイ又は自然対流冷却の単独で原子炉格納容器全体が混合	NUPEC 報告 (H15) <sup>*1</sup> 、有効性評価																																		
②自然対流冷却		JNES 解析 (H18) <sup>*2</sup>																																		
③PAR	混合に寄与																																			
④蒸気流	加圧器気相部破断以外のケースでは、蒸気流によって原子炉格納容器全体が混合	NUPEC 報告 (H15) <sup>*1</sup>																																		
⑤蒸気発生器からの放熱等	混合に寄与																																			

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>b. 炉心損傷時に発生する水素への対応</p> <p>大阪発電所3、4号機は、水素濃度制御設備として PAR 及びイグナイタの両者を原子炉格納容器内に設置し、著しい炉心損傷時の原子炉格納容器内水素濃度の効果的な低減を図ることとしている。</p> <p>イグナイタについては、炉心損傷時に発生する水素は原子炉格納容器内で均一に混合するというこれまでの実証試験や解析の結果等を踏まえて、水素が放出される位置とその後の通過経路を推定して設置し、発生した水素を確実に処理することとしている。（表2）</p> <p>しかしながら、仮にこれらイグナイタによっても処理できず、原子炉格納容器ドーム部に流入し、頂部付近に滞留もしくは成層化した水素に対しても早期段階から確実に処理できるよう、今回、さらなる安全性の向上を目的にイグナイタを原子炉格納容器ドーム部頂部付近に2個（うち予備1個）を追加設置する。追加設置に伴う施工方法ならびにイグナイタ着火の熱影響については別紙 2,3 を参照。</p> <p>c. イグナイタの追加設置による効果について</p> <p>原子炉格納容器内の水素成層化の可能性に対応するため、原子炉格納容器ドーム部の頂部付近に2個（うち予備1個）のイグナイタを追加設置する。</p> <p>具体的な設置位置は、格納容器スプレイングの配管サポートを利用することとしており、原子炉格納容器ドーム部の最も高い位置から少し低い位置に設置する。（図3）</p> <p>イグナイタはウェット水素濃度<sup>*</sup>8vol%以下で水素を燃焼させる性能を有しており、一般的に水素燃焼時の火炎伝播は、水素濃度が約4vol%から6vol%では上方伝播のみ、約6vol%～8vol%で上方と水平方向に伝播、約8vol%以上で下方伝播が起きる。</p> <p>水素の成層化が生じる状況において水素成層の位置及び厚さには不確かさがあると考えるが、原子炉格納容器上部ドーム部に水素成層化が生じたとしても、イグナイタを最頂部から少し低い位置に設置することで、ウェット水素濃度8vol%以下の低い水素濃度での着火による火炎の上方伝播により成層化した水素を処理できるものと考えられる。</p>	<p>b. 炉心損傷時に発生する水素への対応</p> <p>泊3号炉は、水素濃度制御設備として PAR 及びイグナイタの両者を原子炉格納容器内に設置し、著しい炉心損傷時の原子炉格納容器内水素濃度の効果的な低減を図ることとしている。</p> <p>イグナイタについては、炉心損傷時に発生する水素は原子炉格納容器内で均一に混合するというこれまでの実証試験や解析の結果等も踏まえて、水素が放出される位置とその後の通過経路を推定して設置し、発生した水素を確実に処理することとしている（表2）。</p> <p>しかしながら、仮にこれらイグナイタによっても処理できず、原子炉格納容器ドーム部に流入し頂部付近に滞留もしくは成層化した水素に対しても早期段階から確実に処理できるよう、今回、さらなる安全性の向上を目的にイグナイタを原子炉格納容器ドーム部頂部付近に2個（うち1個予備）追加設置する。追加設置に伴う施工方法及びイグナイタ着火の熱影響については別紙2、3を参照。</p> <p>c. イグナイタの追加設置による効果について</p> <p>原子炉格納容器内の水素成層化の可能性に対応するため、原子炉格納容器ドーム部頂部付近に2個（うち1個予備）のイグナイタを追加設置する。</p> <p>具体的な設置位置は、格納容器スプレイングの配管サポートを利用することとしており、原子炉格納容器ドーム部の最も高い位置から少し低い位置に設置する。（図3）</p> <p>イグナイタはウェット水素濃度8vol%以下で水素を着火させる性能を有しており<sup>*3</sup>、一般的に水素の火炎伝播は、水素濃度が約4vol%から可燃領域に入り、約4vol%から6vol%では火炎は上方伝播のみ、約6vol%から8vol%では上方と水平方向に伝播、約8vol%以上で下方伝播が起きる。</p> <p>水素の成層化が生じる状況において水素成層の位置及び厚さには不確かさがあると考えるが、原子炉格納容器上部ドーム部頂部に水素成層化が生じたとしても、イグナイタを原子炉格納容器ドーム部の最頂部から少し低い位置に設置することで、ウェット水素濃度8vol%以下の低い水素濃度での着火による火炎の上方伝播により成層化した水素を処理できるものと考えられる。</p>	<p>記載表現の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由								
<p>※イグナイタの着火性能について                      イグナイタについては、着火要求条件を満足していることの確認のため、試験を行い着火要求条件を満足することを確認している。</p> <table border="1" data-bbox="134 287 1052 574"> <thead> <tr> <th>着火要求条件</th> <th>試験結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>水蒸気濃度：0～55vol%                      流速：0.3～5m/s                      電圧：AC120V（ヒータ容量556W）                      水素濃度：8vol%（ウェット）以下</td> <td>イグナイタの着火において過酷な下記の条件において、水素濃度6.6vol%（ウェット）以上で着火を確認                      &lt;試験条件&gt;                      水蒸気濃度：55vol%                      流速：5m/s（注）                      電圧：AC120V</td> </tr> </tbody> </table> <p>（注）着火性能試験におけるガス流速について                      原子炉格納容器内の蒸気等の主たる駆動源は、原子炉からの蒸気流出となる。これが最も厳しくなる事故シーケンスは、原子炉冷却材バウンダリを構成する配管の破断が発生する「大破断LOCA+ECCS注入失敗」事象であり、主配管破断口からの蒸気流出が厳しい速度条件となる。                      4ループプラントの平均ガス流速（時間平均）の最大値は、2.3m/secである。流速が早いほうが着火しにくいいため、本試験では、より保守的にガス流速を5m/secとしている。</p>	着火要求条件	試験結果	水蒸気濃度：0～55vol% 流速：0.3～5m/s 電圧：AC120V（ヒータ容量556W） 水素濃度：8vol%（ウェット）以下	イグナイタの着火において過酷な下記の条件において、水素濃度6.6vol%（ウェット）以上で着火を確認 <試験条件> 水蒸気濃度：55vol% 流速：5m/s（注） 電圧：AC120V	<p>※3 イグナイタの着火性能について                      イグナイタについては、着火要求条件を満足していることの確認のため、試験を行い着火要求条件を満足していることを確認している（表2）。</p> <p style="text-align: center;">表2 イグナイタの着火性能</p> <table border="1" data-bbox="1052 287 1966 574"> <thead> <tr> <th>着火要求条件</th> <th>試験結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>水蒸気濃度：0～55vol%                      流速：0.3～5 m/s                      電圧：AC120V（ヒータ容量556W）                      水素濃度：8vol%（ウェット）以下</td> <td>イグナイタの着火において過酷な下記の条件において、水素濃度6.6vol%（ウェット）以上で着火を確認                      &lt;試験条件&gt;                      水蒸気濃度：55vol%                      流速：5 m/s                      電圧：AC120V</td> </tr> </tbody> </table> <p>（注）着火性能試験におけるガス流速について                      原子炉格納容器内の蒸気等の主たる駆動源は、原子炉からの蒸気流出となる。これが最も厳しくなる事故シーケンスは、原子炉冷却材バウンダリを構成する配管の破断が発生する「大破断LOCA+ECCS注入失敗」事象であり、主配管破断口からの蒸気流出が厳しい速度条件となる。                      4ループプラントの平均ガス流速（時間平均）の最大値は、2.3m/secである。流速が早いほうが着火しにくいいため、本試験では、より保守的にガス流速を5m/secとしている。</p>	着火要求条件	試験結果	水蒸気濃度：0～55vol% 流速：0.3～5 m/s 電圧：AC120V（ヒータ容量556W） 水素濃度：8vol%（ウェット）以下	イグナイタの着火において過酷な下記の条件において、水素濃度6.6vol%（ウェット）以上で着火を確認 <試験条件> 水蒸気濃度：55vol% 流速：5 m/s 電圧：AC120V	
着火要求条件	試験結果									
水蒸気濃度：0～55vol% 流速：0.3～5m/s 電圧：AC120V（ヒータ容量556W） 水素濃度：8vol%（ウェット）以下	イグナイタの着火において過酷な下記の条件において、水素濃度6.6vol%（ウェット）以上で着火を確認 <試験条件> 水蒸気濃度：55vol% 流速：5m/s（注） 電圧：AC120V									
着火要求条件	試験結果									
水蒸気濃度：0～55vol% 流速：0.3～5 m/s 電圧：AC120V（ヒータ容量556W） 水素濃度：8vol%（ウェット）以下	イグナイタの着火において過酷な下記の条件において、水素濃度6.6vol%（ウェット）以上で着火を確認 <試験条件> 水蒸気濃度：55vol% 流速：5 m/s 電圧：AC120V									

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉

表2 イグナイタの設置場所と水素放出の想定

イグナイタ設置場所	水素放出等の想定			設置 個数
	放出※	隣接部 又は 通過経路※	想定事項	
加圧器逃がシタンク近傍	○		加圧器逃がシタンクラブチャー ディスクからの水素放出	1
ループ基礎室外周部		○	加圧器逃がシタンク近傍からの 水素の流入	3
加圧器室	○		加圧器室内の破断口からの水素 放出	1
加圧器室外上部		○	加圧器室からの水素の流入 上部ドーム部への万一の水素蓄 積	1
各ループ室	○		RCS 配管の破断口からの水素放 出	4
炉内核計装シンプル配管室 入口扉近傍	○	○	炉内核計装シンプル配管室入口 扉からの水素放出 加圧器逃がシタンク近傍からの 水素の流入	1
炉内核計装装置の シールテーブル近傍	○		炉内核計装コンジット床面貫通 部からの水素放出	1
格納容器ドーム部の頂部付近	仮に格納容器ドーム部頂部に水素が滞留もしくは成層化 することを想定			2*

※：「放出」については重大事故等の事象発生直後に水素が発生すると想定される箇所を示し、「隣接部  
又は通過経路」については水素発生以降時間が経過した後水素が拡散すると想定される箇所を  
示す。

\*：2個のうち1個予備

泊発電所3号炉

表3 イグナイタの設置場所と水素放出の想定

イグナイタ設置場所	水素放出等の想定			設置 個数
	放出※4	隣接部 又は 通過経路※	想定事項	
加圧器逃がシタンク近傍	○		加圧器逃がシタンクラブチャー ディスクからの水素放出	1
ループ基礎室及びループ 基礎室外周部		○	加圧器逃がシタンク近傍からの 水素の流入	3
加圧器室	○		加圧器室内の破断口からの水素 放出	1
加圧器室外上部		○	加圧器室からの水素の流入 上部ドーム部への万一の水素蓄 積	1
各ループ室	○		RCS 配管の破断口からの水素放 出	3
炉内核計装シンプル配管 室入口扉近傍	○	○	炉内核計装シンプル配管室入口 扉からの水素放出 加圧器逃がシタンク近傍からの 水素の流入	1
炉内核計装シンプル配管 の原子炉格納容器一般部 から炉内核計装シンプル 配管室への床貫通近傍	○		炉内核計装コンジット床面貫通 部からの水素放出	1
原子炉格納容器ドーム部 の頂部付近	仮に格納容器ドーム部頂部に水素が滞留もしくは成層 化することを想定			2※5

※4：「放出」については重大事故等の事象発生直後に水素が発生すると想定される箇所を示し、「隣  
接部又は通過経路」については水素発生以降時間が経過した後水素が拡散すると想定される箇  
所を示す。



※5 2個のうち1個予備

相違理由

記載表現の相違

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="156 175 1041 694" style="border: 2px solid red; padding: 10px;">  <p data-bbox="481 646 705 678">図3 イグナイタ配置図</p> </div> <div data-bbox="582 853 996 885" style="margin-top: 20px;"> <p>□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p> </div>	<div data-bbox="1086 255 1904 997" style="border: 2px solid red; padding: 10px;">  <p data-bbox="1400 949 1624 981">図3 イグナイタ配置図</p> </div> <div data-bbox="1265 1364 1836 1396" style="margin-top: 20px;"> <p>□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p> </div>	<p data-bbox="1971 271 2072 295">設計の相違</p> <ul data-bbox="1971 311 2128 502" style="list-style-type: none"> <li>・各イグナイタ設置位置の細部相違はあるが、CV内の水素拡散挙動を考慮した設置の考え方は同じである。</li> </ul>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

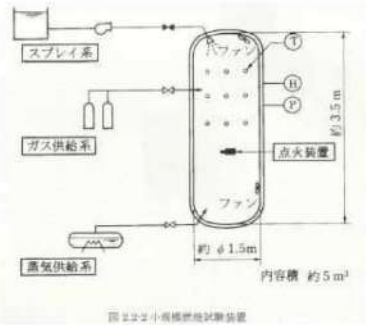
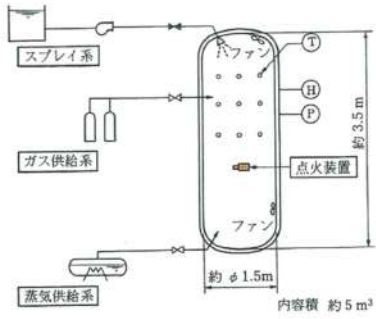
第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p data-bbox="488 135 696 161">大阪発電所3 / 4号炉</p> <div data-bbox="174 225 1014 1425" style="border: 2px solid red; padding: 10px;"> <p data-bbox="248 304 376 323">大阪発電所3号機</p> <div data-bbox="210 325 956 1305" style="border: 2px solid black; height: 600px; margin: 10px 0;"></div> <p data-bbox="622 1305 936 1326">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p> </div>	<p data-bbox="1122 181 1272 204">泊発電所3号炉</p> <div data-bbox="1093 204 1899 1414" style="border: 2px solid red; padding: 10px;"> <div data-bbox="1099 209 1868 1374" style="border: 2px solid black; height: 700px; margin: 10px 0;"></div> <p data-bbox="1317 1414 1877 1437">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p> </div>	<p data-bbox="1973 209 2063 229">設計の相違</p> <ul data-bbox="1973 240 2114 432" style="list-style-type: none"> <li>・各イナジ設置位置の細部相違はあるが、CV内の水素拡散挙動を考慮した設置の考え方は同じである。</li> </ul>



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(3) 計器・機器への影響を考慮した配置</p> <p>イグナイタによる水素燃焼による悪影響がないよう、重大事故等の対処に重要な計器や再循環ユニット（ダクト）等から離隔距離をとった位置に設置するようにしている。</p> <p>具体的には、NUPEC でのイグナイタによる水素燃焼試験*1 での燃焼影響範囲に余裕を考慮しイグナイタの上方には重要な計器等がないようにし、イグナイタ側方に3m以上、下方には1m以上の離隔距離をとるよう配慮している。（図6）</p> <p>*1：NUPEC の小規模燃焼試験において、水素濃度7%でのイグナイタによる火炎面伝播影響範囲として、上方と側方0.3m（下方には火炎伝播なし）が確認されている。（図4、図5）適用するイグナイタについては、メーカにおける着火性能試験により水蒸気濃度55%等の着火しにくい条件においても水素濃度7%以下で燃焼させることが可能なことを確認しているので、上記の影響範囲に余裕を考慮した配置設計としている。</p> <p>(参考文献)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>財団法人 原子力発電技術機構 平成4年度 溶接部等熱影響部信頼性実証試験（原子炉格納容器）に関する報告書</li> </ul>  <p>図4 NUPEC 小規模燃焼試験装置</p>	<p>(3) 計器・機器への影響を考慮した配置</p> <p>イグナイタによる水素燃焼による悪影響がないよう、重大事故等の対処に重要な計器や再循環ユニット（ダクト）等から離隔距離をとった位置に設置するようにしている。念のため、これら以外の重大事故等の対処に必要な計器についても、イグナイタから離隔距離を確保するよう配慮している。</p> <p>具体的には、NUPEC でのイグナイタによる水素燃焼試験*6での燃焼影響範囲に余裕を考慮しイグナイタの上方には重要な計器等がないようにし、イグナイタ側方に3m以上、下方には1m以上の離隔距離をとるよう配慮している。（図6）</p> <p>※6 NUPEC の小規模燃焼試験において、水素濃度7vol%でのイグナイタによる火炎面伝播影響範囲として、上方と側方0.3m（下方には火炎伝播なし）が確認されている。（図4、図5）適用するイグナイタについては、メーカにおける着火性能試験により水蒸気濃度55vol%等の着火しにくい条件においても水素濃度7vol%以下で燃焼させることが可能なことを確認しているので、上記の影響範囲に余裕を考慮した範囲設計としている。</p> <p>(参考文献)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>財団法人 原子力発電技術機構 平成4年度 溶接部等熱影響部信頼性実証試験（原子炉格納容器）に関する報告書</li> </ul>  <p>図4 試験装置</p>	<p>記載方針の相違          ・イグナイタ燃焼影響範囲から機能期待する計器計器も離隔するよう配置していることを示した。</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3/4号炉

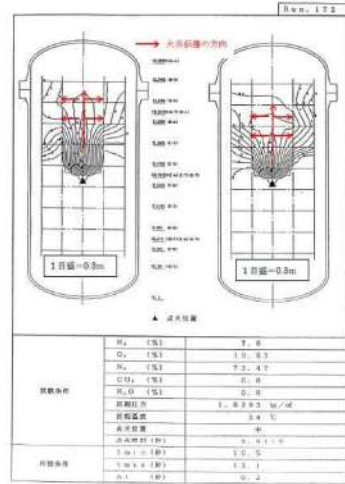


図5 NUPEC 小規模燃焼試験結果  
水素濃度7%での火炎伝播挙動

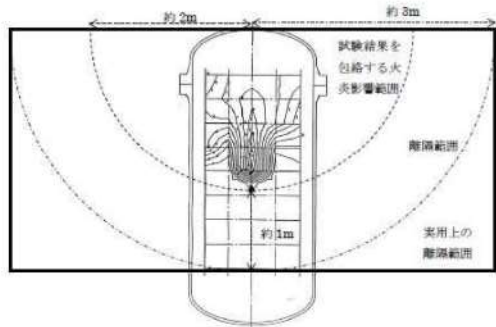


図6 イグナイタによる火炎影響範囲と離隔範囲の設定  
(イグナイタ設置工事において設定)

泊発電所3号炉

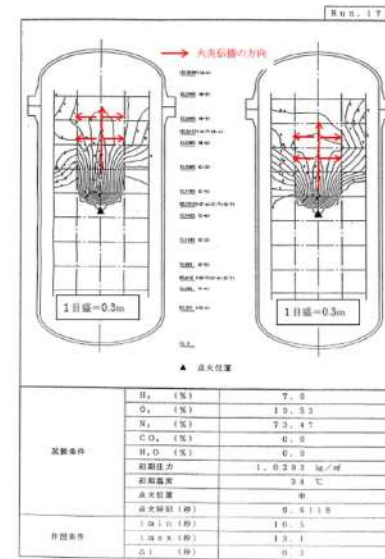


図5 NUPEC 小規模燃焼試験結果  
水素濃度7vol%での火炎伝播挙動

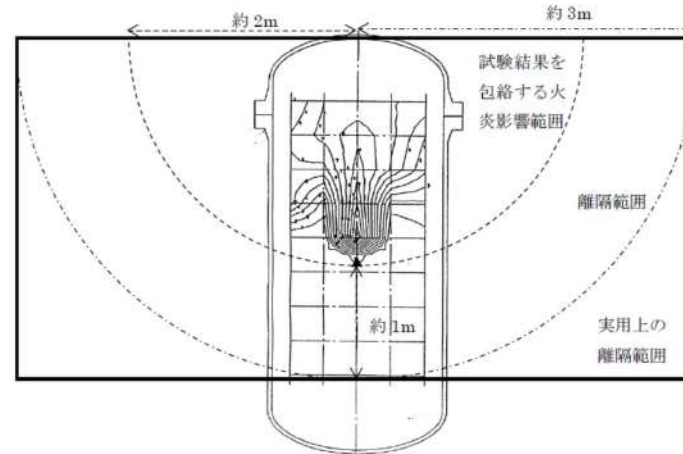

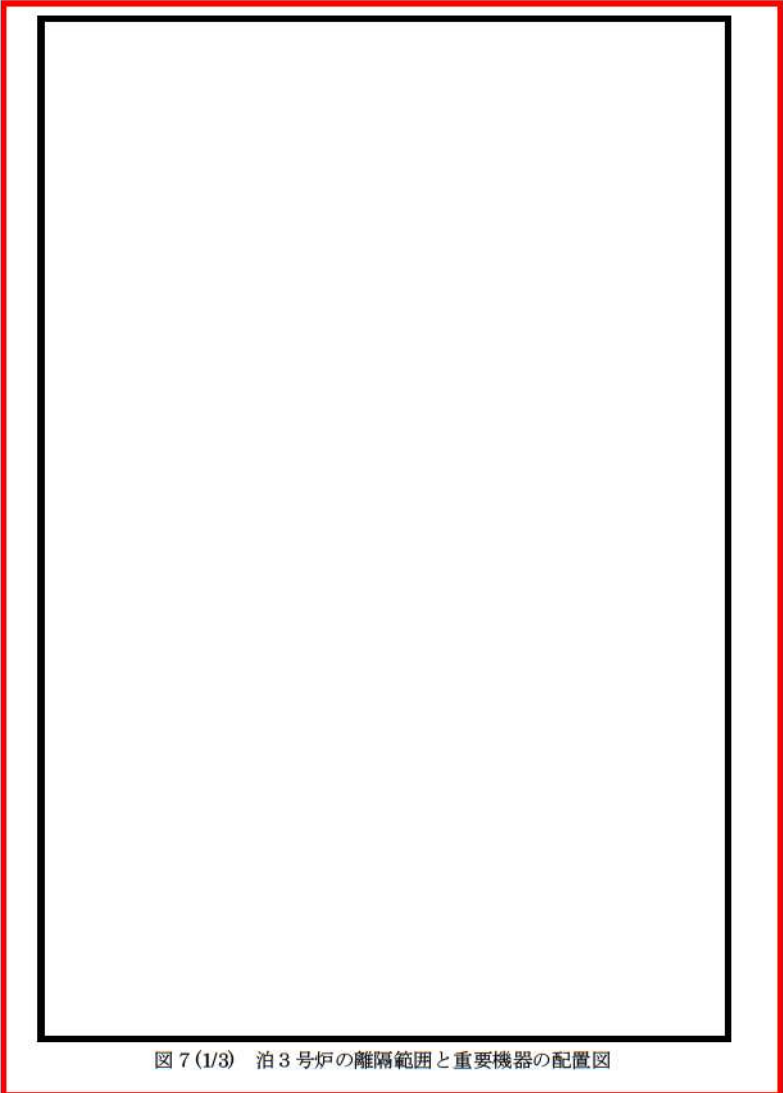



図6 イグナイタによる火炎影響範囲と離隔範囲の設定  
(イグナイタ設置工事において設定)

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p data-bbox="358 1193 855 1212">図7 大阪発電所3号機の隔離範囲と重要機器の配置図 (17.6M) (1/4)</p>	 <p data-bbox="1317 1228 1774 1248">図7 (1/3) 泊3号炉の隔離範囲と重要機器の配置図</p> <p data-bbox="1236 1412 1796 1431">  枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。                 </p>	<p data-bbox="1975 207 2065 226">設計の相違</p> <ul data-bbox="1975 242 2110 430" style="list-style-type: none"> <li>・各イグナイ設置位置の細部相違はあるが、イグナイの燃焼影響を考慮した設置の考え方は同じである。</li> </ul>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="179 207 1030 726" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="353 689 851 710">図7 大阪発電所3号機の隔離範囲と重要機器の配置図（26.0M）（2/4）</p> <p data-bbox="622 737 936 758">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<div data-bbox="1086 207 1937 726" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="1232 1412 1803 1436">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	<p data-bbox="1975 207 2072 231">設計の相違</p> <ul data-bbox="1975 239 2128 438" style="list-style-type: none"> <li>・各イグナイ設置位置の細部相違はあるが、イグナイの燃焼影響を考慮した設置の考え方は同じである。</li> </ul>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="174 188 1016 737" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="309 746 878 769" data-label="Caption"> <p>図7 大阪発電所3号機の隔離範囲と重要機器の配置図 (33.6M) (3/4)</p> </div> <div data-bbox="174 810 1016 1359" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="309 1337 878 1359" data-label="Caption"> <p>図7 大阪発電所3号機の隔離範囲と重要機器の配置図 (38.7M) (4/4)</p> </div> <div data-bbox="622 1375 981 1401" data-label="Text"> <p>□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p> </div>	<div data-bbox="1093 188 1935 801" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1281 817 1742 839" data-label="Caption"> <p>図7(2/3) 泊3号炉の隔離範囲と重要機器の配置図</p> </div> <div data-bbox="1093 858 1935 1375" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1281 1401 1742 1423" data-label="Caption"> <p>図7(3/3) 泊3号炉の隔離範囲と重要機器の配置図</p> </div> <div data-bbox="1205 1433 1765 1455" data-label="Text"> <p>□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p> </div>	<p>相違理由</p> <p>設計の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各イグナイ設置位置の細部相違はあるが、イグナイの燃焼影響を考慮した設置の考え方は同じである。</li> </ul>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>6. イグナイタ温度監視装置の概要</p> <p>(1) 設置目的</p> <p>イグナイタによる水素燃焼発生時には、周囲温度が上昇（NUPECの小規模燃焼試験<sup>※</sup>の結果では、水素濃度8%時、イグナイタ周囲で燃焼が起こった場合の周囲温度は300℃～500℃程度であることが確認されている）する。</p> <p>一方、格納容器破損モードでの有効性評価において、事象進展に伴う温度変化（破断口からの水蒸気放出等）は常温から約140℃までであり、鋭いピークを持つ水素燃焼と比べて変動が穏やかであることを考慮すると、水素燃焼による温度上昇との識別は可能である。</p> <p>このため、イグナイタの近傍（火炎伝播方向である上方）に温度計（熱電対）を設置して中央制御室にて温度を監視することで、イグナイタの動作により水素燃焼していることが監視可能であることから、事故対処時の状態監視機能の向上を目的に温度監視装置を設置する。</p> <p>※財団法人 原子力発電技術機構 平成4年度 原子力発電設備 信頼性実証試験の現状に関する報告書</p> <p>(2) 設備概要</p> <p>イグナイタが起動したことについては、重大事故等対処用制御盤の表示ランプにて確認を行う。なお、ヒーティングコイル通電に伴う加熱状況並びに水素燃焼の状況を動作監視装置の温度計（熱電対）のデジタル表示並びにトレンド表示にて確認が可能である。（図9）</p> <p>熱電対は、イグナイタヒーティングコイルの上部（被水防止用の傘の下）に熱電対シース先端が位置するよう固定して取り付ける。（図10）</p>	<p>6. 格納容器水素イグナイタ温度の概要</p> <p>(1) 設置目的</p> <p>イグナイタによる水素燃焼時には周囲温度が上昇（NUPECの小規模燃焼試験<sup>※</sup>の結果では、水素濃度8vol%時、イグナイタ周囲で燃焼が起こった場合の周囲温度は300℃～500℃程度であることが確認されている）する。</p> <p>一方、格納容器破損モードでの有効性評価において、事象進展に伴う温度変化（破断口からの水蒸気放出等）は常温から約140℃までであり、鋭いピークを持つ水素燃焼と比べて変動が緩やかであることを考慮すると、水素燃焼による温度上昇との識別は可能である。</p> <p>このため、イグナイタの近傍（火炎伝播方向である上方）に温度計（熱電対）を設置して中央制御室にて温度を監視することで、イグナイタの動作により水素燃焼していることが確認可能であることから、事故対処時の状態監視機能の向上を目的に温度監視装置を設置する。</p> <p>※：財団法人 原子力発電技術機構 平成4年度 原子力発電施設 信頼性実証試験の現状に関する報告書</p> <p>(2) 設備概要</p> <p>イグナイタが起動したことについては、重大事故等対処用制御盤の表示ランプにて確認を行う。なお、ヒーティングコイル通電に伴う加熱状況並びに水素燃焼の状況を動作監視装置の温度計（熱電対）のデジタル表示並びにトレンド表示にて確認が可能である。（図8）</p> <p>熱電対は、イグナイタヒーティングコイルの上部（被水防止用の傘の下）に熱電対シース先端が位置するよう固定して取り付ける。（図9）</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大坂発電所3 / 4号炉

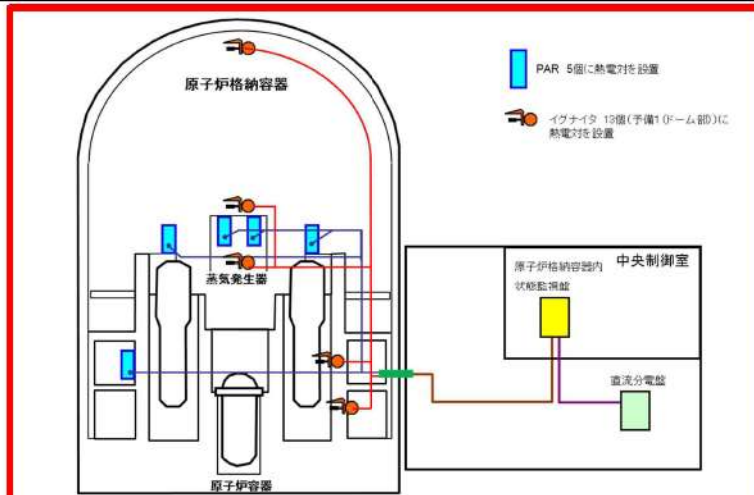


図9 PAR/イグナイタ温度監視設備の概要

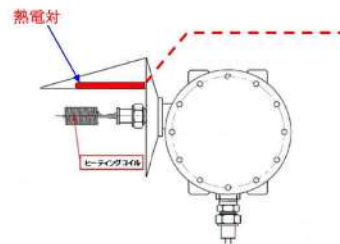


図10 イグナイタへの熱電対取り付け位置

泊発電所3号炉

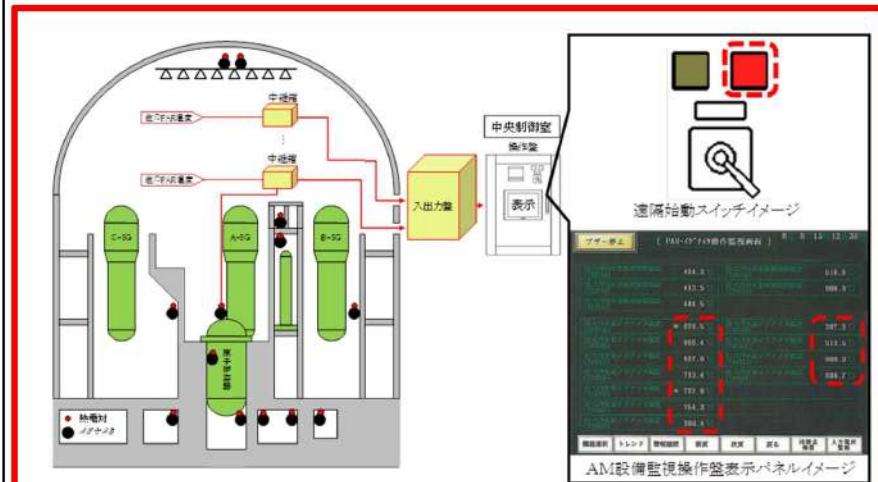


図8 格納容器水素イグナイタ温度 概略図

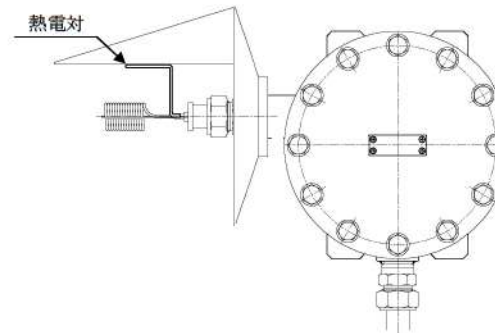


図9 イグナイタへの熱電対取り付け位置

相違理由

設計の相違  
 ・イグナイタ熱電対の伝送経路、表示装置に相違はあるが、イグナイタの動作状況を監視する設計の考え方は同じである。

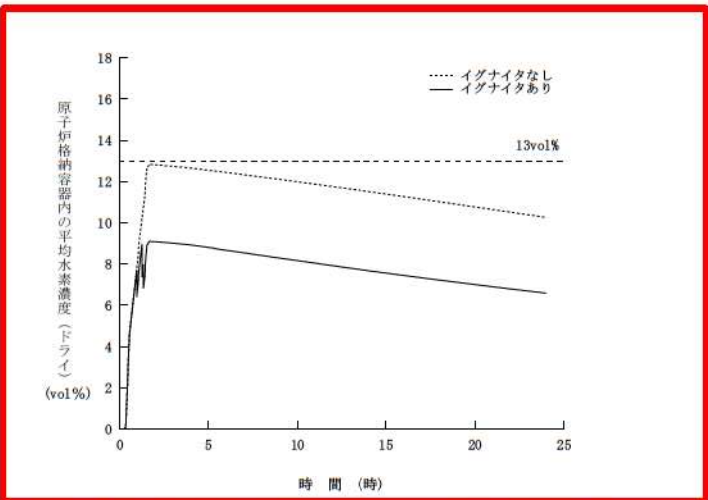
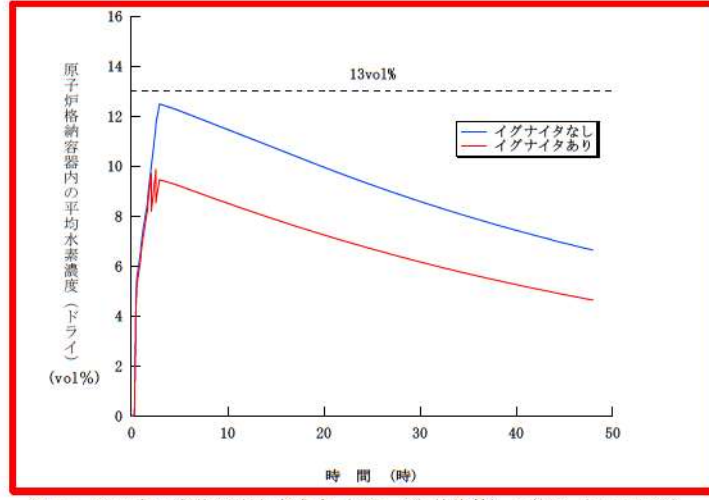
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(3) イグナイタ温度監視用の性能試験について                      イグナイタによる水素燃焼時の温度変化を監視できることの確認のために、試験設備を用い、コイル近傍に複数の熱電対を設置し、性能試験を行っている。</p> <div data-bbox="190 284 1010 1233" style="border: 2px solid black; height: 595px; width: 366px; margin: 10px auto;"></div> <p style="text-align: center;">図 11 イグナイタの燃焼時温度検知に関する確認結果概要</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>(3) イグナイタ動作状況監視用温度計（熱電対）の性能試験について                      イグナイタによる水素燃焼時の温度変化を監視できることの確認のために、試験設備を用い、コイル近傍に複数の熱電対を設置し、性能試験を行っている。</p> <div data-bbox="1167 304 1756 336" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; margin: 10px auto;">                         試験例 1（水素濃度 7vol%（ウェット）、水蒸気濃度 55vol%）                     </div> <div data-bbox="1128 352 1877 764" style="border: 2px solid black; height: 258px; width: 334px; margin: 10px auto;"></div> <div data-bbox="1167 786 1518 818" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; margin: 10px auto;">                         試験例 2（水素なし、水蒸気なし）                     </div> <div data-bbox="1128 831 1877 1259" style="border: 2px solid black; height: 268px; width: 334px; margin: 10px auto;"></div> <p style="text-align: center;">図 10 イグナイタの燃焼時温度検知に関する確認結果概要</p> <p style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	



第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>7. イグナイタの解析結果について</p> <p>水素燃焼の観点から厳しいシーケンスとして「大LOCA+ECCS注入失敗」を想定し、全炉心内のZr量75%が水と反応する等の保守的な条件を仮定した、長期的な水素生成も考慮して解析を実施した。主な結果は以下のとおり、イグナイタによって、水素のより一層の低減が可能である。</p>  <p>図12 CV内平均水素濃度（ドライ条件換算）の推移（GOTHIC）</p> <div data-bbox="313 853 873 1069" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>【主要条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PAR あり</li> <li>・ 全炉心内のZr量の75%が水と反応</li> <li>・ 放射線分解、金属腐食による水素生成を考慮</li> <li>・ イグナイタ着火下限水素濃度：ウェット8% 水蒸気濃度：～55%</li> </ul> </div>	<p>7. イグナイタの解析結果について</p> <p>水素燃焼の観点から厳しいシーケンスとして「大破断LOCA+ECCS注入失敗」を想定し、全炉心内のZr量81%が水と反応する等の条件を仮定した、長期的な水素生成も考慮して解析を実施した。主な結果は以下の通り、イグナイタによって、水素のより一層の低減が可能である。</p>  <p>図11 C/V内の全体平均水素濃度（ドライ条件換算）の推移（GOTHIC）</p> <div data-bbox="1254 877 1769 1085" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>【主要条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● PAR あり</li> <li>● 全炉心内のZr量の81%が水と反応</li> <li>● 放射線分解、金属腐食、ヒドラジンによる放射線分解による水素生成を考慮</li> <li>● イグナイタ着火下限水素濃度：ウェット8vol% 水蒸気濃度：～55 vol%</li> </ul> </div>	<p>解析結果・条件の相違</p> <p>設計方針の相違</p> <p>記載表現の相違</p>

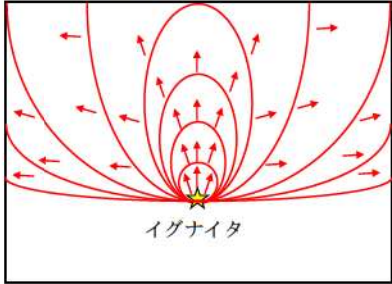
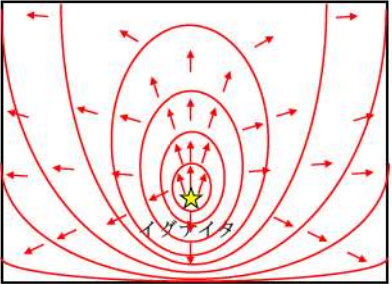
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(1) 解析条件</p> <p>「大 LOCA+ECCS 注入失敗」の事故シーケンスでは、「実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に係る審査ガイド」において要求されるとおり、全炉心内の Zr 量の 75% が水と反応するものとした場合の有効性評価を行っている。この場合、水素爆轟の防止の目安となる原子炉格納容器内ドライ換算水素濃度が 13vol% 以下であることを確認している。</p> <p>イグナイタは、原子炉格納容器内に適切に配置することで、炉心損傷時のジルコニウム-水反応により短期間に格納容器内に発生する水素を計画的に燃焼させることにより、初期の水素発生量のピークを抑える目的で設置するものであり、急激な水素濃度の上昇に対する効果を見るため、Zr-水反応割合を 75% と仮定し、解析を行った。</p> <div data-bbox="179 702 1041 853" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>イグナイタは、重大事故時に急激に発生する水素を迅速に処理するため、念のために設置するものであるが、急激な水素濃度の上昇に対する効果を見るため、Zr-水反応割合を 100% と仮定した。</p> <p style="text-align: right;">本記載は、伊方3号炉の参考掲載</p> </div> <div data-bbox="179 901 1041 1053" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>イグナイタは、重大事故時に急激に発生する水素を迅速に処理するため、念のために設置するものであるが、急激な水素濃度の上昇に対する効果を見るため、Zr-水反応割合を 75% と仮定した。</p> <p style="text-align: right;">本記載は、美浜3号炉の参考掲載</p> </div>	<p>(1) 解析条件</p> <p>「大破断 LOCA+ECCS 注入失敗」の事故シーケンスでは、「実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド」において要求される通り、全炉心内の Zr 量の 81% が水と反応するものとした場合の有効性評価を行っている。この場合には、水素爆轟の防止の目安となる原子炉格納容器内ドライ換算水素濃度が 13vol% 以下であることを確認している。</p> <p>イグナイタは、重大事故時に急激に発生する水素を迅速に処理するため、念のために設置するものであるが、急激な水素濃度の上昇に対する効果を見るため、Zr-水反応割合を 81% と仮定した。</p>	<p><u>記載表現の相違</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事象初期における水素濃度ピークの低減に期待し、イグナイタを設置する目的は同じである。</li> <li>・ イグナイタに期待しない水素濃度ピーク値は、PWR 44-7 と 34-7 では差があり、44-7 プラントではイグナイタの電源多重化を図るなど 34-7 とはイグナイタの位置づけが異なることから、34-7 の記載表現とした（伊方3号炉、美浜3号炉と同様）</li> </ul> <p><u>解析条件の相違</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ イグナイタによる水素濃度ピークの低減効果を確認する目的であり、有効性評価の75%Zr反応～全量Zr反応（100%）まで反応割合に相違はあるが、全ケースでイグナイタによる水素濃度ピーク低減効果があることは同じである。</li> </ul>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>【解析条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PAR5 個に加えイグナイタ 13 個設置</li> <li>全炉心内の Zr 量の 75%が水と反応</li> <li>放射線水分解、金属腐食による水素生成を考慮</li> </ul> <p>(2) 解析内容</p> <p>(a) 解析コード</p> <p>解析コードは GOTHIC を用い、イグナイタを考慮しない場合の解析と同じ条件でノード分割を行っている。(図 13)</p> <p>(b) イグナイタによる燃焼状況と解析における扱い</p> <p>イグナイタへ通電されると、ヒータ表面部が 900℃まで加熱する。表面温度を 900℃まで上げることで、イグナイタの周囲空気温度を水素の自己発火温度である約 560℃まで上昇させ、イグナイタ周囲の水素が自己燃焼する。</p> <p>イグナイタ周囲の水素が燃焼する際に、周辺の水素も火炎伝播によって燃焼し、瞬時に原子炉格納容器内の水素濃度を低下させる効果が期待できる。</p> <p>一般的に水素の火炎伝播は、水素濃度が約 4%から可燃限界に入り、約 4%から 6%では火炎は上方伝播のみ、約 6%から 8%では上方と水平方向に伝播、約 8%以上で下方伝播が起きる。</p>	<p>【解析条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PAR5 基に加えイグナイタ 12 個設置</li> <li>全炉心内の Zr 量の 81%が水と反応</li> <li>放射線水分解、金属腐食、ヒドラジンの放射線分解による水素生成を考慮</li> </ul> <p>(2) 解析内容</p> <p>a. 解析コード</p> <p>解析コードは GOTHIC を用い、イグナイタを考慮しない場合の解析と同じ条件でノード分割を行っている (図 13)。</p> <p>b. イグナイタによる燃焼状況と解析における扱い</p> <p>イグナイタへ通電されると、ヒータ表面部が 900℃まで加熱する。表面温度を 900℃まで上げることで、イグナイタの周囲空気温度を水素の自己発火温度である約 560℃まで上昇させ、イグナイタ周囲の水素が自己燃焼する。</p> <p>イグナイタ周囲の水素が燃焼する際に、周辺の水素も火炎伝播によって燃焼し、瞬時に原子炉格納容器内の水素濃度を低下させる効果が期待できる。</p> <p>一般的に水素の火炎伝播は、水素濃度が約 4vol%から可燃領域に入り、約 4vol%から 6 vol%では火炎は上方伝播のみ、約 6vol%から 8vol%では上方と水平方向に伝播、約 8vol%以上で下方伝播が起きる (図 12)。</p> <div data-bbox="1077 775 1939 1342" style="border: 2px solid blue; padding: 10px;"> <p>(6vol% ≤ 水素濃度 &lt; 8vol%)</p>  <p>イグナイタ</p> <p>(8vol% ≤ 水素濃度)</p>  <p>イグナイタ</p> <p>【補足】 火炎伝播の方向</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4vol% ≤ 水素濃度 &lt; 6vol% : 上方のみ</li> <li>6vol% ≤ 水素濃度 &lt; 8vol% : 上方・水平</li> <li>8vol% ≤ 水素濃度 : 上方・水平・下方</li> </ul> <p>図 12 イグナイタによる火炎伝播挙動</p> </div>	<p>相違理由</p> <p>解析条件の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>泊は、CV スプレートの pH 調整材としてヒドラジンを使用するため、ヒドラジンの放射性分解を考慮している。</li> </ul> <p>設計内容の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>大阪には、火炎伝播挙動を示す図の記載なし</li> </ul>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由												
<p>GOTHICでは、イグナイタが設置されている区画において各気体濃度が表3に示す条件を満たした場合に燃焼が生じる。さらに、燃焼している区画の隣接区画が、表4に示す条件を満たした場合に水素の通過経路を通して燃焼が伝播するものとする。また、米国NRC及び国立研究所で実施された水素燃焼実験や理論式から求められた燃焼モデルがGOTHICに組み込まれており、イグナイタ設置区画等の燃焼開始時の水素濃度が8%以上の場合には、その区画での燃え残りはゼロとし、燃焼の伝播先（隣接区画）等、水素濃度が8%より低い場合は、実験相関式を使って区画内での燃え残り量を計算している。（定性的には水素濃度が高い方が燃え残りは少なくなる）。</p> <p style="text-align: center;">表3 イグナイタ着火条件</p> <table border="1" data-bbox="273 539 920 611"> <thead> <tr> <th>水素濃度</th> <th>酸素濃度</th> <th>水蒸気濃度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8%以上</td> <td>5%以上</td> <td>55%以下</td> </tr> </tbody> </table> <p>表3に示すGOTHICでの着火条件の設定の考え方は以下のとおりである。</p> <p>○水素濃度 8%</p> <p>イグナイタの着火試験結果で得られている水素濃度（約7%）に余裕を見て、解析における水素燃焼時の温度・圧力が高くなるように高めの値として設定した。</p> <p>○酸素濃度 5%</p> <p>可燃限界に係る試験結果や格納容器民間ガイドライン[1]の委細を踏まえて設定した。NUPECの可燃限界に係る試験[2]では可燃限界は酸素濃度&gt;5%とされている。また、格納容器民間ガイドラインでは可燃限界の酸素濃度 5%とされており、NUPECの試験の報告書[2]において格納容器民間ガイドラインの記載は妥当とされている。これらを総合的に考慮して着火可能な酸素濃度として5%を設定した。</p>	水素濃度	酸素濃度	水蒸気濃度	8%以上	5%以上	55%以下	<p>GOTHICでは、イグナイタが設置されている区画において各気体濃度が表4に示す条件を満たした場合に燃焼が生じる。さらに、燃焼している区画の隣接区画が、表5に示す条件を満たした場合に水素の通過経路を通して燃焼が伝播するものとする。また、米国NRC及び国立研究所で実施された水素燃焼実験や理論式から求められた燃焼モデルがGOTHICに組み込まれており、イグナイタ設置区画等の燃焼開始時の水素濃度が8vol%以上の場合には、その区画での燃え残りはゼロとし、燃焼の伝播先（隣接区画）等、水素濃度が8vol%より低い場合は、実験相関式を使って区画内での燃え残り量を計算している。（定性的には水素濃度が高い方が燃え残りは少なくなる。）</p> <p style="text-align: center;">表4 イグナイタ着火条件</p> <table border="1" data-bbox="1238 518 1765 606"> <thead> <tr> <th>水素濃度</th> <th>酸素濃度</th> <th>水蒸気濃度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8vol%以上</td> <td>5vol%以上</td> <td>55vol%以下</td> </tr> </tbody> </table> <p>表4に示すGOTHICでの着火条件の設定の考え方は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素濃度 8vol%</li> </ul> <p>イグナイタの着火試験結果で得られている水素濃度（約7vol%）に余裕を見て、解析における水素燃焼時の温度・圧力が高くなるように高めの値として設定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>酸素濃度 5vol%</li> </ul> <p>可燃限界に係る試験結果や格納容器民間ガイドライン<sup>※8</sup>の記載を踏まえて設定した。NUPECの可燃限界に係る試験<sup>※9</sup>では可燃限界は酸素濃度&gt;5vol%とされている。また、格納容器民間ガイドラインでは可燃限界の酸素濃度 5vol%とされており、NUPECの試験の報告書<sup>※9</sup>において格納容器民間ガイドラインの記載は妥当とされている。これらを総合的に考慮して着火可能な酸素濃度として5vol%を設定した。</p>	水素濃度	酸素濃度	水蒸気濃度	8vol%以上	5vol%以上	55vol%以下	
水素濃度	酸素濃度	水蒸気濃度												
8%以上	5%以上	55%以下												
水素濃度	酸素濃度	水蒸気濃度												
8vol%以上	5vol%以上	55vol%以下												

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>○水蒸気濃度 55%</p> <p>可燃限界に係る試験結果や格納容器民間ガイドライン[1]の記載を踏まえて設定した。NUPECの可燃限界に係る試験[2]では可燃限界は水蒸気濃度&lt;60%とされている。一方、格納容器民間ガイドライン[1]では可燃限界の水蒸気濃度 55%とされており、NUPECの試験の報告書[2]において格納容器民間ガイドラインの記載は妥当とされている。これらを総合的に考慮して着火可能な水蒸気濃度として 55%を設定した。</p> <p>[1]次世代型軽水炉の原子炉格納容器設計におけるシビアアクシデントの考慮に関するガイドライン、財団法人 原子力安全研究協会 1999年4月</p> <p>[2]重要構造物安全評価（原子炉格納容器信頼性実証事業）に関する総括報告書、(財)原子力発電技術機構、平成15年3月</p> <p style="text-align: center;">表4 燃焼伝播の条件</p> <div style="border: 2px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div> <p>また、表4に示すGOTHICでの燃焼伝播条件は、コード内の水素燃焼モデルにおけるデフォルト設定値である。</p> <p>学会等[3]ではNUPECの小規模燃焼試験結果や海外研究から、火炎を伝播させるのに必要な水素の最小の濃度として以下が示されている。</p> <p style="margin-left: 40px;">上方伝播 約4%                  水平伝播 約6%                  下方伝播 約8%</p> <p>これらと比較してGOTHICでの燃焼伝播条件は妥当な設定であると判断した。</p> <p>なお、ドーム部はサブボリュームとしてモデル化されており、この部分は水素濃度が可燃限界以上に達し、かつ乱流条件がある一定の状態になった際に伝播が生じるよう設定されている。</p> <p>[3]シビアアクシデント熱流動現象評価 平成13年3月 原子力学会</p> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p>・水蒸気濃度 55vol%</p> <p>可燃限界に係る試験結果や格納容器民間ガイドライン*7の記載を踏まえて設定した。NUPECの可燃限界に係る試験*8では可燃限界は水蒸気濃度&lt;60vol%とされている。一方、格納容器民間ガイドライン*7では可燃限界の水蒸気濃度 55vol%とされており、NUPECの試験の報告書*8において格納容器民間ガイドラインの記載は妥当とされている。これらを総合的に考慮して着火可能な水蒸気濃度として 55vol%を設定した。</p> <p>※7 次世代型軽水炉の原子炉格納容器設計におけるシビアアクシデントの考慮に関するガイドライン、財団法人 原子力安全研究協会 1999年4月</p> <p>※8 重要構造物安全評価（原子炉格納容器信頼性実証事業）に関する総括報告書、(財)原子力発電技術機構、平成15年3月</p> <p style="text-align: center;">表5 燃焼伝播の条件</p> <div style="border: 2px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div> <p>また、表5に示すGOTHICでの燃焼伝播条件は、コード内の水素燃焼モデルにおけるデフォルト設定値である。</p> <p>学会等*9では、NUPECの小規模燃焼試験結果や海外研究から、火炎を伝播させるのに必要な水素の最小の濃度として以下が示されている。</p> <p style="margin-left: 40px;">上方伝播 約4vol%                  水平伝播 約6vol%                  下方伝播 約8vol%</p> <p>これらと比較してGOTHICでの燃焼伝播条件は妥当な設定であると判断した。</p> <p>なお、ドーム部はサブボリュームとしてモデル化されており、この部分は水素濃度が可燃限界以上に達し、かつ乱流条件がある一定の状態になった際に伝播が生じるよう設定されている。</p> <p>※9 シビアアクシデント熱流動現象評価 平成13年3月 原子力学会</p> <p style="text-align: center;">■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

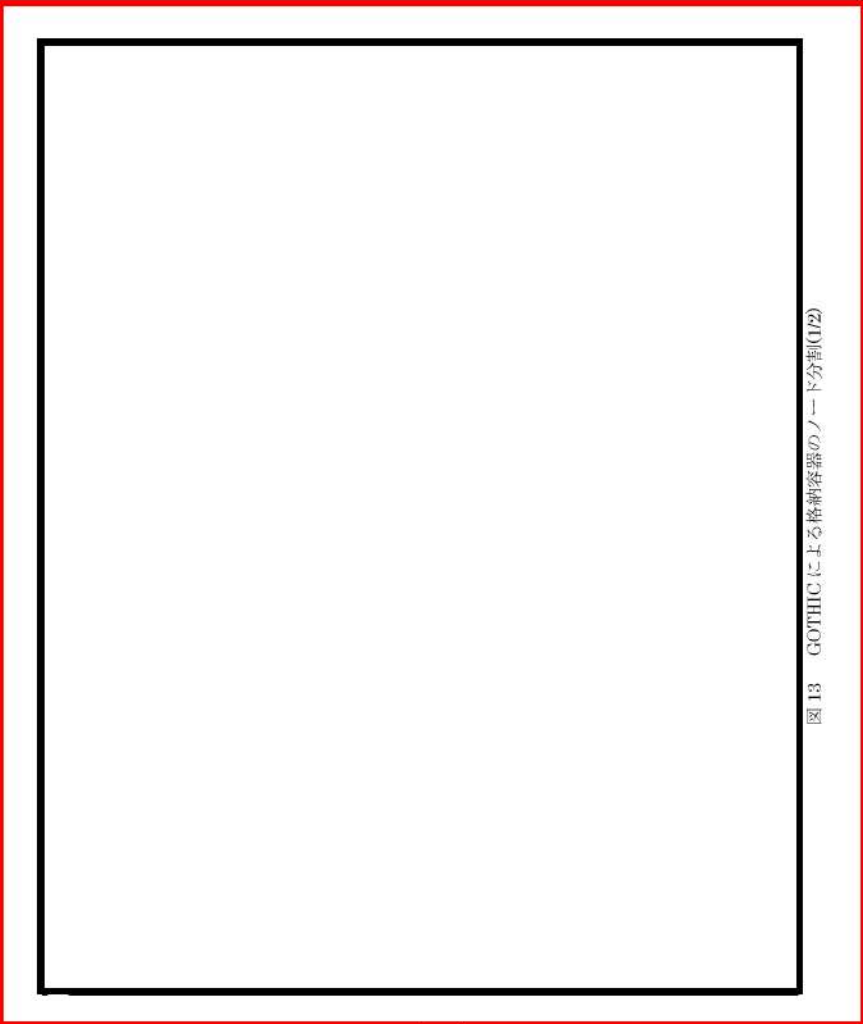
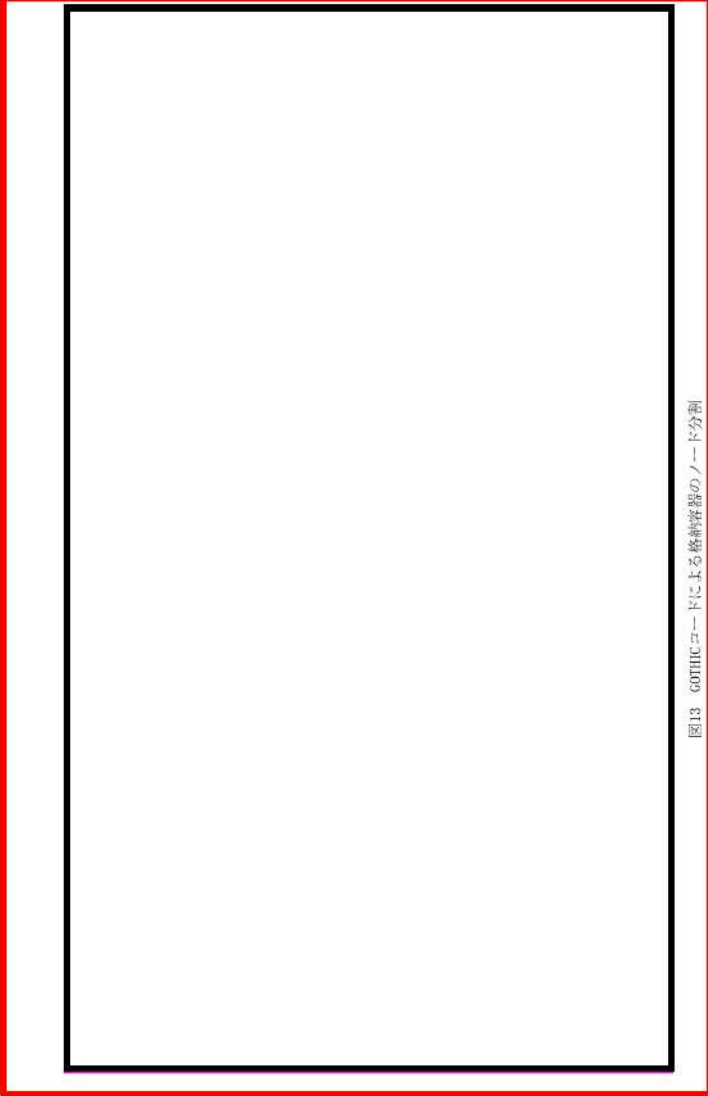
大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>以上より、GOTHICでは、イグナイタによる燃焼後、当該区画内の水素濃度は大きく低下する。燃焼終了条件を満たす、あるいは酸素が枯渇するなど区画内での燃焼終了後は、隣接区画より水素が区画内に再流入して区画内の水素濃度が上昇する。また、着火後に水素の燃焼による反応熱で区画内の圧力・温度の上昇が生じることも模擬している。</p> <p>実際の水素燃焼は水素濃度4%から可燃範囲となり、イグナイタを投入することにより水素は燃焼すると考えられるが、解析では、イグナイタ設置区画（図13参照）の水素濃度が8%以上となった時点をイグナイタによる着火開始条件としている。水素濃度が8%に到達した後、水素が一気に燃焼すると想定することで、原子炉格納容器内の圧力・温度を高めに評価していることから、原子炉格納容器内圧力・温度の上昇の観点からは保守的な結果となる。</p>	<p>以上より、GOTHICでは、イグナイタによる燃焼後、当該区画内の水素濃度は大きく低下する。燃焼終了条件を満たす、あるいは酸素が枯渇するなど区画内での燃焼終了後は、隣接区画より水素が区画内に再流入し区画内の水素濃度が上昇する。また、着火後に水素の燃焼による反応熱で区画内の圧力・温度の上昇が生じることも模擬している。</p> <p>実際の水素燃焼は水素濃度4vol%から可燃範囲となり、イグナイタを投入することにより水素は燃焼すると考えられるが、解析では、イグナイタ設置区画（図13参照）の水素濃度が8vol%以上となった時点をイグナイタによる着火開始条件としている。水素濃度が8vol%に到達した後、水素が一気に燃焼すると想定することで、原子炉格納容器内の圧力・温度を高めに評価していることから、原子炉格納容器内圧力・温度の上昇の観点からは保守的な結果となる。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(3) 解析結果</p> <p>解析結果を図14、図15に示す。図14、図15に示すとおり、全炉心内のZr量の75%が反応すると仮定した場合、イグナイタを設置することにより、原子炉格納容器内平均ウェット水素濃度の最大値は約8%、原子炉格納容器内平均ドライ水素濃度の最大値は約9%に抑制できることを確認した。</p> <p>なお、GOTHICでは、原子炉格納容器内部を図13に示す内部構造に合わせて数10の区画に分割し、質量・運動量・エネルギーの3保存則及び各種構成式等により、各区画内で発生した水素の原子炉格納容器内における分布の推移を計算している。</p> <p>以下にドライ条件に換算した原子炉格納容器内平均水素濃度の算出方法を示す。</p> <p>ドライ条件に換算した原子炉格納容器内平均水素濃度とは、原子炉格納容器内の空気量と、解析結果から得られた時々刻々の水素量から求めた、水蒸気を考慮しない水素濃度である。具体的には以下のとおり算出する。</p> $n_{H_2} = \frac{M_{H_2} \times 1000}{M_{WH_2}}$ $C_{H_2,dry} = \frac{n_{H_2}}{n_{air} + n_{H_2}}$ <p><math>n_{air}</math> : 原子炉格納容器内空気モル数(mol)  <math>M_{H_2}</math> : 解析から得られる時々刻々の原子炉格納容器内水素質量(kg)  <math>M_{WH_2}</math> : 水素(H<sub>2</sub>)の分子量(g/mol)  <math>n_{H_2}</math> : 水素モル数(mol)  <math>C_{H_2,dry}</math> : ドライ条件に換算した原子炉格納容器内平均水素濃度</p>	<p>(3) 解析結果</p> <p>解析結果を図14、図15に示す。図14、図15に示す通り、全炉心内のZr量の81%が反応すると仮定した場合、イグナイタを設置することにより、原子炉格納容器内平均ウェット水素濃度の最大値は約8vol%、原子炉格納容器内平均ドライ水素濃度の最大値は約10vol%に抑制できることを確認した。</p> <p>なお、GOTHICでは、原子炉格納容器内部を図13に示す内部構造に合わせて数10の区画に分割し、質量・運動量・エネルギーの3保存則及び各種構成式等により、各区画内で発生した水素の原子炉格納容器内における分布の推移を計算している。</p> <p>以下にドライ条件に換算した原子炉格納容器内平均水素濃度の算出方法を示す。</p> <p>ドライ条件に換算した原子炉格納容器内平均水素濃度とは、原子炉格納容器内の空気量と、解析結果から得られた時々刻々の水素量から求めた、水蒸気を考慮しない水素濃度である。具体的には以下のとおり算出する。</p> $n_{H_2} = \frac{M_{H_2} \times 1000}{M_{WH_2}}$ $C_{H_2,dry} = \frac{n_{H_2}}{n_{air} + n_{H_2}}$ <p><math>n_{air}</math> : 原子炉格納容器内空気モル数 (mol)  <math>M_{H_2}</math> : 解析から得られる時々刻々のC/V内水素質量 (kg)  <math>M_{WH_2}</math> : 水素 (H<sub>2</sub>) の分子量 (g/mol)  <math>n_{H_2}</math> : 水素モル数 (mol)  <math>C_{H_2,dry}</math> : ドライ条件に換算した原子炉格納容器内平均水素濃度</p>	<p>解析条件・結果の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所 3 / 4 号炉	泊発電所 3 号炉	相違理由
 <p style="text-align: center;">図 13 GOTTHIC による格納容器のノード分割(12)</p> <p style="text-align: center;">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	 <p style="text-align: center;">図 13 GOTTHIC コードによる格納容器のノード分割 □ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	<p style="text-align: center;">解析ノードの相違</p>



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

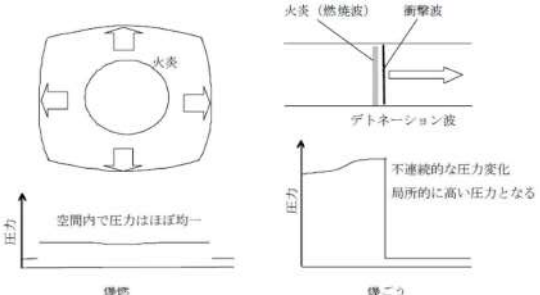
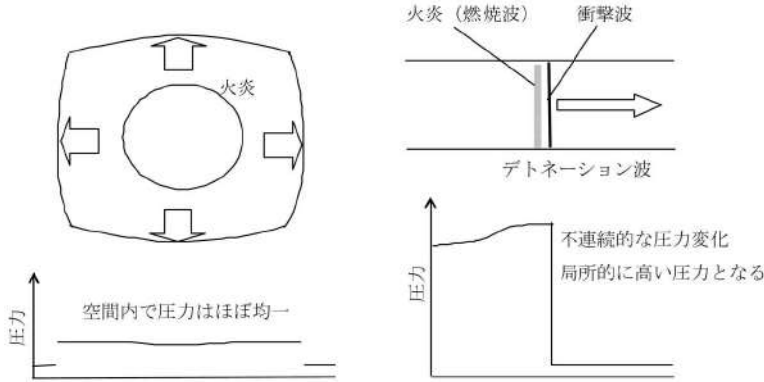
第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p data-bbox="358 885 828 909">図13 GOTHICによる格納容器のノード分割(2/2)</p>		<p data-bbox="1971 207 2105 231">解析ノードの相違</p> <ul data-bbox="1971 239 2116 335" style="list-style-type: none"> <li>・本内容は、泊は前ページに記載している。</li> </ul>
<p data-bbox="593 949 996 973"><input type="checkbox"/> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>		

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p>水素濃度が8vol%に到達した区画から順次燃焼することで水素濃度のピークは抑えられている。</p> <p>原子炉格納容器内平均水素濃度 (v/v%)</p> <p>時間 (時)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>長期的にPARでの再結合により水素濃度が低下している。</p> <p>原子炉格納容器内平均水素濃度 (v/v%)</p> <p>時間 (時)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="828 877 862 1260"> <p>図14 原子炉格納容器内平均ウェット水素濃度</p> </div> <div data-bbox="828 319 862 686"> <p>図15 原子炉格納容器内平均ドライ水素濃度</p> </div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p>水素濃度が8vol%に到達した区画から順次燃焼することで水素濃度のピークは抑えられている。</p> <p>原子炉格納容器内平均水素濃度 (v/v%)</p> <p>時間 (時)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>長期的にはPARでの再結合により水素濃度が低下している。</p> <p>原子炉格納容器内平均水素濃度 (v/v%)</p> <p>時間 (時)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="1691 941 1724 1189"> <p>図14 C/V内平均ウェット水素濃度</p> </div> <div data-bbox="1691 470 1724 710"> <p>図15 C/V内平均ドライ水素濃度</p> </div> </div>	<p>解析結果の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素濃度ピーク値、漸減程度に相違はあるが、イナバの効果により初期水素濃度ピークが低下する傾向は同じである。</li> </ul>

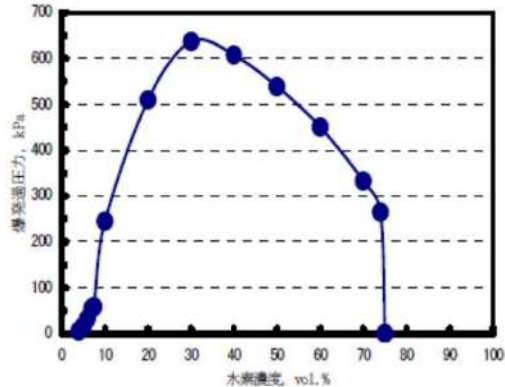
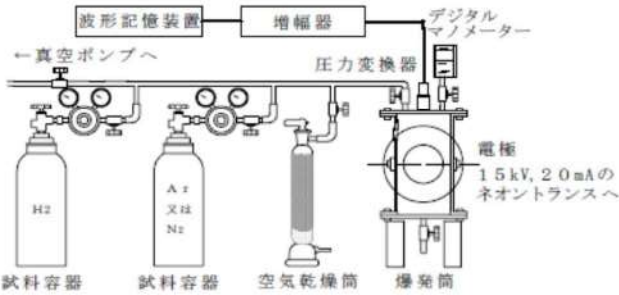
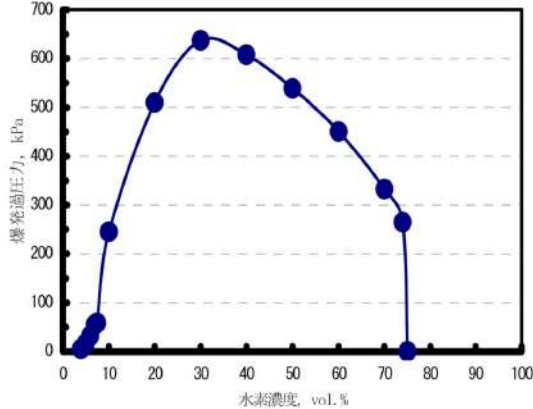
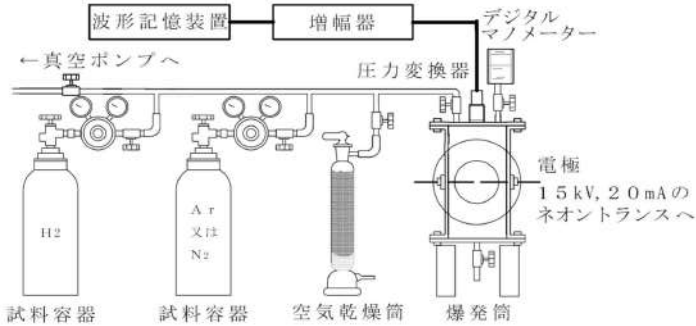
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">別紙1</p> <p>参考資料 イグナイタ着火による再循環ダクト等周辺機器への影響評価について</p> <p>1. はじめに</p> <p>本資料は、イグナイタ着火による周辺機器への影響についてまとめたものである。なお、イグナイタの設置にあたっては、水素燃焼時あるいは水素燃焼後に原子炉格納容器健全性維持及び緩和操作に係る機器に対して適切な離隔距離を考慮しており、イグナイタ着火に伴う火炎伝播の影響はなく、イグナイタが着火する水素濃度範囲では、圧力上昇は緩慢であるが、念のために周辺機器への影響を確認する。</p> <p>2. 爆轟と爆燃における圧力伝播と圧力分布の違い</p> <p>爆轟では、火炎は音速を超えた速度で伝播するため、火炎の直前に衝撃波が形成され、火炎からのエネルギー放出により衝撃波が減衰することなく伝播し続けるものとなる。</p> <p>図1に示すとおり、空間内の圧力分布を考えると、爆轟では火炎伝播は圧力の伝わる速度より速く局所的に圧力が大きく上昇するため、非常に大きな被害が出やすいが、爆燃では圧力変化は火炎伝播より十分速く空間内に音速で伝わる。このため、燃焼による圧力上昇は閉空間全体で平均化される。</p> <p>イグナイタが着火する8%程度の水素濃度では、火炎伝播速度は小さく爆轟に至らないため、仮に区画内で着火・伝播しても、周辺機器に有意な圧力差は生じない。</p>  <p style="text-align: center;">図1 爆燃と爆轟での圧力分布(参考文献(1)より引用)</p> <p style="text-align: right;">52-10-30</p>	<p style="text-align: right;">別紙1</p> <p>イグナイタ着火による再循環ダクト等周辺機器への影響評価について</p> <p>1. はじめに</p> <p>本資料は、イグナイタ着火による周辺機器への影響についてまとめたものである。なお、イグナイタの設置にあたっては、水素燃焼時あるいは水素燃焼後に原子炉格納容器健全性維持及び緩和操作に係る機器に対して適切な離隔距離を考慮しており、イグナイタ着火に伴う火炎伝播の影響はなく、イグナイタが着火する水素濃度範囲では、圧力上昇は緩慢であるが、念のために周辺機器への影響を確認する。</p> <p>2. 爆轟と爆燃における圧力伝播と圧力分布の違い</p> <p>爆轟では、火炎は音速を超えた速度で伝播するため、火炎の直前に衝撃波が形成され、火炎からのエネルギー放出により衝撃波が減衰することなく伝播し続けるものとなる。</p> <p>別図1に示すとおり、空間内の圧力分布を考えると、爆轟では火炎伝播は圧力の伝わる速度より速く局所的に圧力が大きく上昇するため、非常に大きな被害が出やすいが、爆燃では圧力変化は火炎伝播より十分速く空間内に音速で伝わる。このため、燃焼による圧力上昇は閉空間全体で平均化される。</p> <p>イグナイタが着火する8vol%程度の水素濃度では、火炎伝播速度は小さく爆轟には至らないため、区画内で着火・伝播しても、周辺機器に有意な圧力差は生じない。</p>  <p style="text-align: center;">別図1 爆燃と爆轟での圧力分布(参考文献[1]より引用)</p>	<p>記載表現の相違</p>

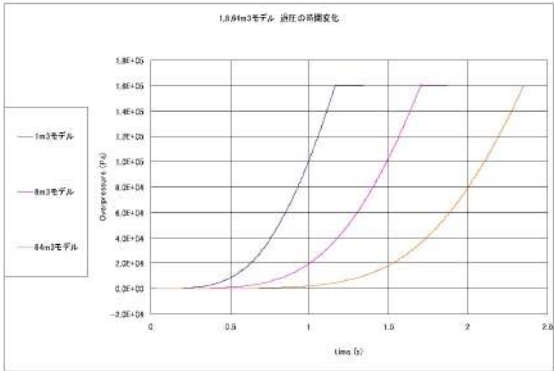
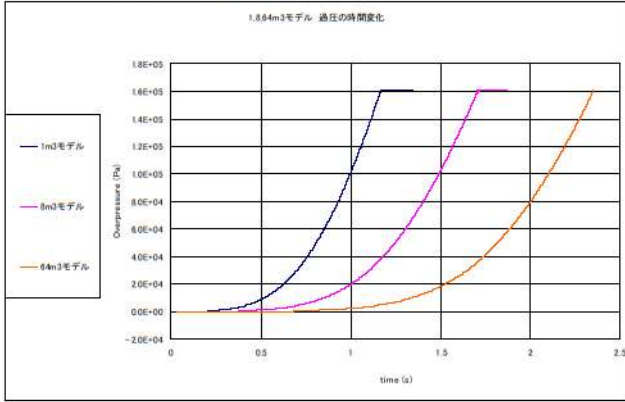
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>3. 単純な体系での評価</p> <p>(1) 一般的な知見</p> <p>内容積 2L のステンレス製円筒容器 (102mm φ×210H 観測窓付) を用い、着火は容器中心部において、電気スパーク (15kV のネオントランス) を用いて室温、大気圧下で行った水素/空気混合ガスの爆発圧力特性の測定結果を図 2 に、測定装置の概略を図 3 に示す。</p> <p>8%程度では、爆発過圧力は、100kPa~200kPa の間にある。</p>  <p>図 2 水素/空気混合ガスの爆発圧力(参考文献(1)より引用)</p>  <p>図 3 水素の爆発特性測定装置(参考文献(1)より引用)</p>	<p>3. 単純な体系での評価</p> <p>(1) 一般的な知見</p> <p>内容積 2L のステンレス製円筒容器 (φ 102mm×210H 観測窓付) を用い、着火は容器中心部において、電気スパーク (15kV のネオントランス) を用いて室温、大気圧下で行った水素/空気混合ガスの爆発圧力特性の測定結果を別図 2 に、測定装置の概略を別図 3 に示す。</p> <p>8vol%程度では、爆発過圧力は、100kPa~200kPa の間にある。</p>  <p>別図 2 水素/空気混合ガスの爆発圧力(参考文献[1]より引用)</p>  <p>別図 3 水素の爆発特性測定装置(参考文献[1]より引用)</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由																								
<p>(2) 火炎伝播解析による評価</p> <p>1m<sup>3</sup>、8m<sup>3</sup>及び64m<sup>3</sup>の立方体（閉空間）に一樣濃度の水素と空気との予混合気形成されている場合の最大過圧（燃焼終了時）を水素の燃焼解析で求め、その計算結果を表1に示す。理論的には以下の式が成り立つが、別途実施した水素濃度20%の計算結果は文献値より少し低めであるが、8%および30%を含めて、凡そ文献値とほぼ同じ値を示している。水素濃度8%程度の場合、計算では最大過圧は160kPaであった。</p> $\frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2 T_2}{n_1 T_1} \quad \left[ \begin{array}{l} 1: \text{燃焼前} \\ 2: \text{燃焼後} \end{array} \right]$ <p>8%の水素が全て燃焼した時の到達圧力は、図4に示すとおり、容積（1m<sup>3</sup>、8m<sup>3</sup>及び64m<sup>3</sup>）が異なっても最大で160kPaであり、到達圧力が同じであることを確認した。なお、圧力の時間に伴う上昇は、体系内のどの地点でもほぼ同じ圧力のまま上昇していく結果となっている。このことは、図1に示した爆燃までの燃焼では、燃焼に伴う局所的な圧力の増加は体系内に速やかに均一化されることを裏付けている。</p> <p>以上より、8%の水素濃度で水素がすべて燃焼しても、区画内の設置されている機器の表面で圧力差は小さく、健全性が脅かされることはない。</p> <p style="text-align: center;">表1 最大過圧</p> <table border="1" data-bbox="398 742 824 874"> <thead> <tr> <th>H<sub>2</sub>濃度</th> <th>文献値(*)</th> <th>計算結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8%</td> <td>100~200kPa</td> <td>160kPa</td> </tr> <tr> <td>20%</td> <td>500kPa</td> <td>400kPa</td> </tr> <tr> <td>30%</td> <td>640kPa</td> <td>600kPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(*)：参考文献1より引用</p>  <p style="text-align: center;">図4 1m<sup>3</sup>、8m<sup>3</sup>及び64m<sup>3</sup>での圧力変化（H<sub>2</sub>濃度8%）</p>	H <sub>2</sub> 濃度	文献値(*)	計算結果	8%	100~200kPa	160kPa	20%	500kPa	400kPa	30%	640kPa	600kPa	<p>(2) 火炎伝播解析による評価</p> <p>1m<sup>3</sup>、8m<sup>3</sup>及び64m<sup>3</sup>の立方体（閉空間）に一樣濃度の水素と空気との予混合気形成されている場合の最大過圧（燃焼終了時）を水素の燃焼解析で求め、その計算結果を別表1に示す。理論的には以下の式が成り立ち、別途実施した水素濃度20vol%の計算結果は文献値より少し低めではあるが、8vol%及び30vol%を含めて、凡そ文献値とほぼ同じ値を示している。水素濃度8vol%程度の場合、計算では最大過圧は160kPaであった。</p> $\frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2 T_2}{n_1 T_1} \quad \left[ \begin{array}{l} 1: \text{燃焼前} \\ 2: \text{燃焼後} \end{array} \right]$ <p>8vol%の水素が全て燃焼した時の到達圧力は、別図4に示すとおり、容積（1m<sup>3</sup>、8m<sup>3</sup>及び64m<sup>3</sup>）が異なっても最大で160kPaであり、到達圧力が同じであることを確認した。なお、圧力の時間に伴う上昇は、体系内のどの地点でもほぼ同じ圧力のまま上昇していく結果となっている。このことは、別図1に示した爆燃までの燃焼では、燃焼に伴う局所的な圧力の増加は体系内に速やかに均一化されることを裏付けている。</p> <p>以上より、8vol%の水素濃度で水素がすべて燃焼しても、区画内の設置されている機器の表面で圧力差は小さく、健全性が脅かされることはない。</p> <p style="text-align: center;">別表1 最大過圧</p> <table border="1" data-bbox="1272 742 1742 901"> <thead> <tr> <th>H<sub>2</sub>濃度</th> <th>文献値(*)</th> <th>計算結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8vol%</td> <td>100~200kPa</td> <td>160kPa</td> </tr> <tr> <td>20vol%</td> <td>500kPa</td> <td>400kPa</td> </tr> <tr> <td>30vol%</td> <td>640kPa</td> <td>600kPa</td> </tr> </tbody> </table> <p>(*)：参考文献1より引用</p>  <p style="text-align: center;">別図4 1m<sup>3</sup>、8m<sup>3</sup>及び64m<sup>3</sup>での圧力変化（H<sub>2</sub>濃度8vol%）</p>	H <sub>2</sub> 濃度	文献値(*)	計算結果	8vol%	100~200kPa	160kPa	20vol%	500kPa	400kPa	30vol%	640kPa	600kPa	
H <sub>2</sub> 濃度	文献値(*)	計算結果																								
8%	100~200kPa	160kPa																								
20%	500kPa	400kPa																								
30%	640kPa	600kPa																								
H <sub>2</sub> 濃度	文献値(*)	計算結果																								
8vol%	100~200kPa	160kPa																								
20vol%	500kPa	400kPa																								
30vol%	640kPa	600kPa																								

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

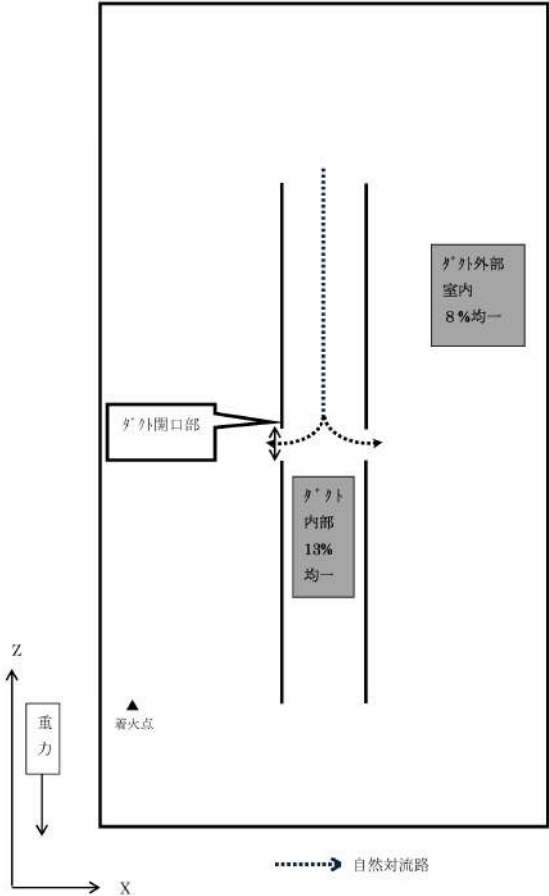
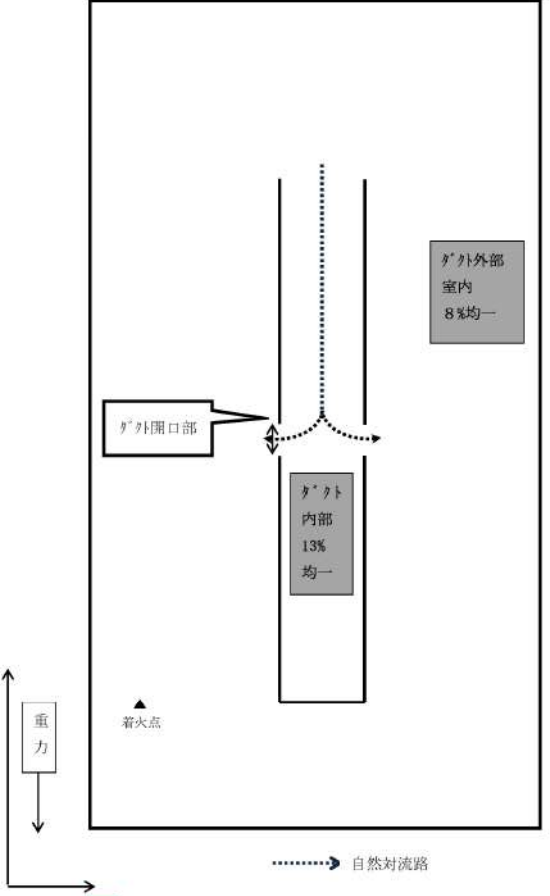
大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>4. ダクト体系での確認</p> <p>これまでの知見では、配管類で爆轟が生じたのは、片端又は両端が閉ざされた閉空間で水素濃度が高濃度に蓄積したもので起こっているため、PWRのユニット・ダクトのような両端が開放された構造、水素濃度が高くない（ドライ水素濃度13%未満）条件では爆轟は発生しないと考えられる。</p> <p>しかしながら、ダクト内では、火炎の伝播方向が限定され、火炎加速が比較的起こりやすいと考えられること及びダクト内で水蒸気が凝縮して水素濃度が高濃度になる可能性を想定し、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ダクト外8%均一</li> <li>・ ダクト内13%濃度均一（保守的に水蒸気凝縮による水素濃度増加を考慮し、GOTHIC解析の原子炉格納容器ドライ平均水素濃度の最大値を包絡する値を設定）</li> <li>・ イグナイタにより着火</li> </ul> <p>の条件で火炎伝播及び圧力伝播解析により、爆燃の範囲でもダクトの健全性に影響するような内外圧力差が生じないことを評価した。</p> <p>(1) 解析体系</p> <p>解析体系を図5に示す。なお、着火点は実機の離隔距離を踏まえ、ダクトから3mとした。</p>	<p>4. ダクト体系での確認</p> <p>これまでの知見では、配管類で爆轟が生じたのは、片端又は両端が閉ざされた閉空間で水素濃度が高濃度に蓄積したもので起こっているため、PWRのユニット・ダクトのような両端が開放された構造、水素濃度が高くない（ドライ水素濃度13vol%未満）条件では爆轟は発生しないと考えられる。</p> <p>しかしながら、ダクト内では、火炎の伝播方向が限定され、火炎加速が比較的起こりやすいと考えられること及びダクト内で水蒸気が凝縮して水素濃度が高濃度になる可能性を想定し、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ダクト外8vol%均一</li> <li>● ダクト内13vol%濃度均一（保守的に水蒸気凝縮による水素濃度増加を考慮し、GOTHIC解析の原子炉格納容器内ドライ平均水素濃度の最大値を包絡する値を設定）</li> <li>● イグナイタによる着火</li> </ul> <p>の条件で火炎伝播及び圧力伝播解析により、爆燃の範囲でもダクトの健全性に影響するような内外圧力差が生じないことを評価した。</p> <p>(1) 解析体系</p> <p>解析体系を別図5に示す。なお、着火点は実機の離隔距離を踏まえ、ダクトから3mとした。</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由								
<p>(2) 解析結果</p> <p>図6の燃料率コンター図に示すとおり、1秒程度で系内のすべての水素が燃焼する結果となった。ダクト下端部に到達した火炎は、ダクト下端部よりダクト内にも伝播し、ダクト内外を広がっていく。</p> <p>その後、火炎はダクト上部を抜け、火炎は消失している。火炎伝播の時間差によりダクト内外の圧力差が生じるが、自然対流路（ダクト開口部より上側）の内外差圧は最大でも表2及び図7に示すとおりであり、過渡的にも再循環ダクトの許容圧力内に収まる結果となった。</p> <p style="text-align: center;">表2 自然対流路の内外圧力差評価結果</p> <table border="1" data-bbox="302 576 898 662"> <tr> <td>自然対流路の内外圧力差最大値</td> <td>再循環ダクトの許容圧力</td> </tr> <tr> <td>約3kPa</td> <td>約4.5kPa(*)</td> </tr> </table> <p>(*)：耐圧試験による検証結果</p> <p>(2) 解析結果</p> <p>ダクト下端部が閉口であるため、火炎はダクトの外側を取り囲むように進む。火炎がダクト中央部に到達すると、ダクト中央部からダクト内部にも広がり、ダクト内においても上下方向に進むが、ダクト内の下方へ火炎伝播は、上方と比べ、下端が閉構造のため、閉端部での圧力が次第に高くなることからダクト内下端方向への燃焼ガス膨張が妨げられ、火炎はダクト外側よりも緩やかに伝播している。その後、火炎はダクト上部を抜け、火炎は消失している。火炎伝播の時間差によりダクト内外の圧力差が生じるが、自然対流路（ダクト開口部より上側）の内外差圧は最大でも表3及び図10に示すとおりであり、過渡的にもダクトの許容圧力内に収まる結果となった。</p> <p style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">本記載は、美浜3号炉の参考掲載</p>	自然対流路の内外圧力差最大値	再循環ダクトの許容圧力	約3kPa	約4.5kPa(*)	<p>(2) 解析結果</p> <p>別図6の燃焼率コンター図に示すとおり、1秒程度で系内すべての水素が燃焼する結果となった。ダクト下端部が閉口であるため、火炎はダクトの外側を取り囲むように進む。火炎がダクト中央部に到達すると、ダクト中央部からダクト内部にも広がり、ダクト内においても上下方向に進むが、ダクト内の下方への火炎伝播は、上方と比べ、下端が閉構造のため、閉端部での圧力が次第に高くなることからダクト内下端方向への燃焼ガス膨張が妨げられ、火炎はダクト外側よりも緩やかに伝播している。その後、火炎はダクト上部を抜け、火炎は消失している。火炎伝播の時間差によりダクト内外の圧力差が生じるが、自然対流路（ダクト開口部より上側）の内外差圧は最大でも別表2及び別図7に示すとおりであり、過渡的にも再循環ダクトの許容圧力内に収まる結果となった。</p> <p style="text-align: center;">別表2 自然対流路の内外圧力差評価結果</p> <table border="1" data-bbox="1189 576 1816 646"> <tr> <td>自然対流路の内外圧力差最大値</td> <td>再循環ダクトの許容圧力</td> </tr> <tr> <td>約4.4kPa</td> <td>約19.6kPa※10</td> </tr> </table> <p>※10 カタログ記載値</p>	自然対流路の内外圧力差最大値	再循環ダクトの許容圧力	約4.4kPa	約19.6kPa※10	<p><u>設計の相違</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>泊3号炉には、ダクト下部に開口部はない。ダクト体系内の開口部からダクト内外へ火炎伝播する燃焼状態に相違はない。</li> <li>ダクト開口箇所の相違</li> <li>ダクト開口部がダクト下部にも設置している大飯3/4号炉では、ダクト下端から上端へと火炎伝播する体系。</li> <li>泊3号炉は、ダクト下部に開口部がないため、ダクト中央部開口からダクト内に火炎伝播し、開口している上方への火炎伝播がしやすい体系。（高浜3/4号炉、美浜3号炉と同様）</li> <li>いずれにおいてもダクトの許容圧力未満であることは同じである。</li> </ul>
自然対流路の内外圧力差最大値	再循環ダクトの許容圧力									
約3kPa	約4.5kPa(*)									
自然対流路の内外圧力差最大値	再循環ダクトの許容圧力									
約4.4kPa	約19.6kPa※10									

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>図5 ダクト内外火炎伝播解析体系図 X-Y断面 (Y-Z断面も同様)</p>	 <p>別図5 ダクト内外火炎伝播解析体系図 X-Y断面 (Y-Z断面も同様)</p>	



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

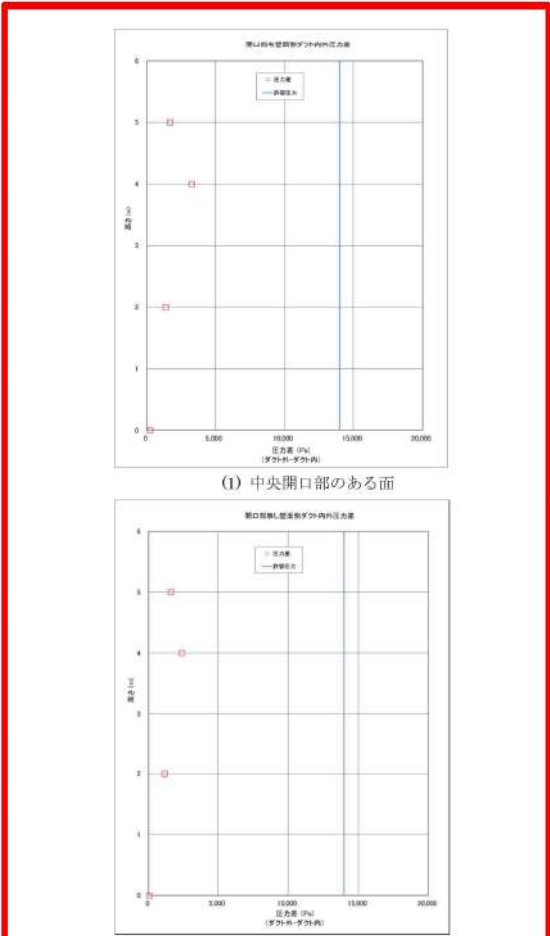
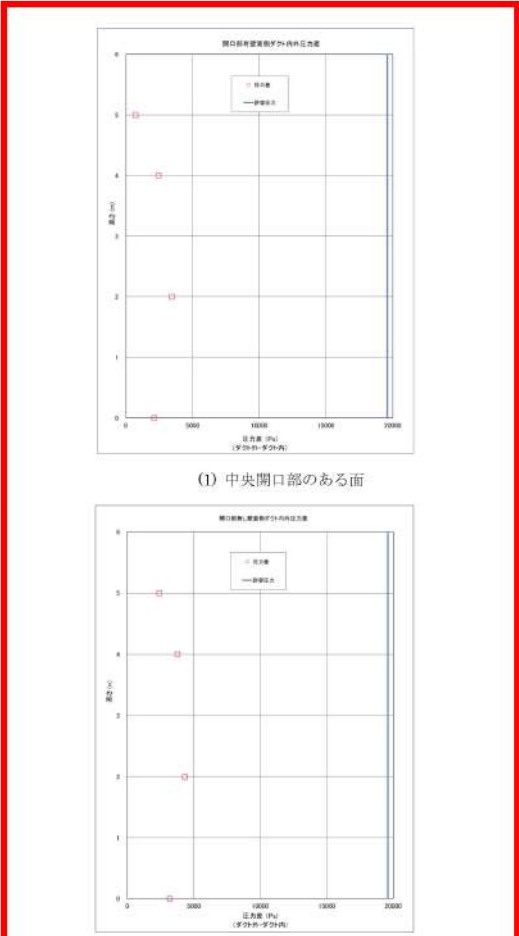
第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3/4号炉			泊発電所3号炉		相違理由
時間	水素燃焼率コンター図 (単位 kg/s/m <sup>3</sup> )	燃焼速度最大値 (単位 kg/s/m <sup>3</sup> )	時間	水素燃焼率コンター図 (単位 kg/s/m <sup>3</sup> )	<p><b>設計の相違</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泊3号炉には、ダクト下部に開口部はない。ダクト体系内の開口部からダクト外内へ火炎伝播する燃焼状態に相違はない。</li> <li>・ダクト開口箇所の相違</li> <li>・ダクト開口部がダクト下部にも設置している大飯3/4号炉では、ダクト下端から上端へと火炎伝播する体系。</li> <li>・泊3号炉は、ダクト下部に開口部がないため、ダクト中央部開口からダクト外内に火炎伝播し、開口している上方への火炎伝播がしやすい体系。(高浜3/4号炉、美浜3号炉と同様)</li> </ul>
0.3 sec		0.06	0.3 sec		
0.6 sec		0.14	0.6 sec		
0.7 sec		0.24	0.6 sec		
0.8 sec		0.4	0.7 sec		
0.9 sec		1	0.8 sec		
1.0 sec		5.4			

図6 水素燃焼率コンター図

別図6 水素燃焼率コンター図

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大飯発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div style="text-align: center;">  <p>(1) 中央開口部のある面</p> <p>(2) 中央開口部のない面</p> <p>図7 軸方向位置におけるダクト内外圧力差 (0.857s)</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>(1) 中央開口部のある面</p> <p>(2) 中央開口部のない面</p> <p>別図7 軸方向位置におけるダクト内外圧力差(1.006s)</p> </div>	<p><u>ダクト開口箇所の相違</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ダクト開口部がダクト外下部にも設置している大飯3/4号炉では、ダクト下端から上端へと火炎伝播する体系。</li> <li>・泊3号炉は、ダクト下部に開口部がないため、ダクト中央部開口からダクト外内に火炎伝播し、開口している上方への火炎伝播がしやすい体系。（高浜3/4号炉、美浜3号炉と同様）</li> </ul>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>5. まとめ</p> <p>解析によるダクト体系での確認により、最も厳しいと考えられる水素濃度が高い条件で燃焼したとしても、ダクトに損傷を与える程度の圧力差は生じないことを確認した。</p> <p>また、温度の面については、燃焼時の雰囲気温度は上昇するが、周囲の壁等への放熱（主に放射熱伝達）により低下する。この雰囲気温度変化に対して、機器は、雰囲気より大きな熱容量を持つため、温度の上昇は緩やかとなる。例として、8%水素濃度均一区画内での燃焼を解析した結果、ダクトのような薄板の機器であっても燃焼時の表面温度の上昇は約40℃程度となり、ダクト構造に影響を及ぼすことは考えられない。</p> <p>以上より、イグナイタの着火に伴う水素燃焼は、周辺機器の機能に影響を及ぼすことはないと考ええる。</p> <p>参考文献(1) 水素の有効利用ガイドブック 平成20年3月                  (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構</p>	<p>5. まとめ</p> <p>解析によるダクト体系等での確認により、最も厳しいと考えられる水素濃度が高い条件で燃焼したとしても、ダクトに損傷を与える程度の圧力差は生じないことを確認した。</p> <p>また、温度の面については、燃焼時に雰囲気温度は上昇するが、周囲への放熱（主に放射熱伝達）により低下する。この雰囲気温度変化に対して、機器は雰囲気より大きな熱容量を持つため、温度の上昇は緩やかとなる。例として、8vol%水素濃度均一区画内での燃焼を解析した結果、ダクトのような薄板の機器であっても燃焼時の表面温度の上昇は約40℃程度となり、ダクト構造に影響を及ぼすことは考えられない。</p> <p>以上より、イグナイタの着火に伴う水素燃焼は、周辺機器の機能に影響を及ぼすことはないと考ええる。</p> <p>なお、PARもイグナイタと同様にいずれの重要機器からも一定の隔離距離を置いて設置されており（別紙）、仮に8vol%程度で発火し、PAR周辺の水素が燃焼したとしても、圧力及び温度上昇による影響はイグナイタの燃焼による影響に包絡される。</p> <p>参考文献 水素の有効利用ガイドブック 平成20年3月                  (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構</p>	<p>記載表現の相違</p> <p>記載方針の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">(参考)</p> <p style="text-align: center;">過去の燃焼試験の整理からの考察</p> <p>過去の水素燃焼に関する試験等の知見を表1に整理した。上表に開放空間またはX,Y,Zの寸法が同等の閉閉空間での水素燃焼試験の条件を、下表に細長い閉閉空間（管路、ダクト系）での水素燃焼試験の条件を示している。爆轟が発生するのは、過去の試験等では、下表のような細長い配管類に水素と支燃性ガスがドライに近い条件で閉じ込められた場合であり、ダクト・配管以外の広い空間での火災伝播試験の体系では、水素濃度が13~15%（ドライ水素濃度）でも、爆轟は発生していない。ウェット条件になるとさらに高濃度の水素でも発生していない。</p> <p>また、過去の細長い体系（管路、ダクト）での水素燃焼試験結果と再循環ダクトの体系の比較を表2に示す。</p> <p>RUT試験から、約11%未満の水素濃度では、障害物の有無に係らず、爆燃止まりであるのに対して、12.5%以上の水素濃度では障害物がある場合にのみ爆轟が発生している。</p> <p>労働省 産業安全研究所の試験では、両端又は片端が閉の場合には、障害物の有無に係らず爆轟が発生している。この結果から、両端又は片端が閉の場合では、障害物がなくても配管の長さとの比(L/D)が大きく、30%程度の高水素濃度の場合は爆轟に転移する可能性が高いことが分かる。</p> <p>SRIの試験結果においては、両端が開放の場合でも水素濃度30%の水素濃度で障害物がある場合に爆轟が発生している。この結果から、配管の両端が開口の場合でも、L/Dが大きく、30%程度の高水素濃度で障害物がある場合には、爆轟が発生する可能性があることが分かる。</p> <p>NUPECの大規模試験は、内径8mの球体系(270m<sup>3</sup>)で多区画(11区画)である特徴があり、この球体系の中に円周約16m、口径1mのドーナツ状8角形空間があるが、15%（ドライ）大気圧の条件でも爆轟は発生していない。この結果から、複数の開口部があり、L/Dが20未満と比較的小さい体系では、15%程度の水素濃度でも爆轟は発生しない傾向にあることが分かる。</p> <p>以上を整理すると、爆轟発生条件として、以下の条件が挙げられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 水素濃度が12.5%未満では障害物の存在に依存しないが、12.5%以上では水素濃度と共に障害物が存在した方が爆轟の可能性が高まる。</li> <li>✓ 配管の両端が開口の場合でも、L/Dが大きく、30%程度の高水素濃度で障害物がある場合には、爆轟が発生する可能性がある。</li> <li>✓ 両端又は片端が閉の場合では、障害物がなくてもL/Dが大きく、30%程度の高水素濃度の場合に爆轟に転移する可能性が高い。</li> <li>✓ L/Dが20未満と比較的小さい体系では、15%程度の水素濃度でも爆轟は発生していない。</li> </ul> <p>実機での細長い体系である再循環ダクトでは、保守的に水蒸気凝縮による水素濃度増加を考慮し、GOTHIC解析の原子炉格納容器内ドライ平均水素濃度の最大値を包絡する値として、ダクト内の水素濃度を保守的に13%とした場合においても、開放された系であり、ダクト内には障害物がない。また、L/Dも10未満であり、過去の爆轟事例のいずれの条件にも当てはまらない。</p>	<p style="text-align: center;">参考</p> <p style="text-align: center;">過去の燃焼試験の整理からの考察</p> <p>過去の水素燃焼に関する試験等の知見を別表3に整理した。上表に開放空間又はx,y,zの寸法が同等の閉閉空間での水素燃焼試験の条件を、下表に細長い閉閉空間（管路、ダクト系）での水素燃焼試験の条件を示している。爆轟が発生するのは、過去の試験等では、下表のような細長い配管類に水素と支燃性ガスがドライに近い条件で閉じ込められた場合であり、ダクト・配管以外の広い空間での火災伝播試験の体系では、水素濃度が13~15vol%（ドライ水素濃度）でも、爆轟は発生していない。ウェット条件になるとさらに高濃度の水素でも発生していない。</p> <p>また、過去の細長い体系（管路、ダクト）での水素燃焼試験結果と再循環ダクトの体系の比較を別表4に示す。</p> <p>RUT試験から、約11vol%未満の水素濃度では、障害物の有無に係らず、爆燃止まりであるのに対して、12.5vol%以上の水素濃度では障害物がある場合にのみ爆轟が発生している。</p> <p>労働省 産業安全研究所の試験では、両端又は片端が閉の場合には、障害物の有無に係らず爆轟が発生している。この結果から、両端又は片端が閉の場合では、障害物がなくても配管の長さとの比(L/D)が大きく、30vol%程度の高水素濃度の場合は爆轟に転移する可能性が高いことが分かる。</p> <p>SRIの試験結果においては、両端が開放の場合でも水素濃度30vol%の水素濃度で障害物がある場合に爆轟が発生している。この結果から、配管の両端が開口の場合でも、L/Dが大きく、30vol%程度の高水素濃度で障害物がある場合には、爆轟が発生する可能性があることが分かる。</p> <p>NUPECの大規模試験は、内径8mの球体系(270m<sup>3</sup>)で多区画(11区画)である特徴があり、この球体系の中に円周約16m、口径1mのドーナツ状8角形空間があるが、15vol%（ドライ）大気圧の条件でも爆轟は発生していない。この結果から、複数の開口部があり、L/Dが20未満と比較的小さい体系では、15vol%程度の水素濃度でも爆轟は発生しない傾向にあることが分かる。</p> <p>以上を整理すると、爆轟発生条件として、以下の条件が挙げられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 水素濃度が12.5vol%未満では障害物の存在に依存しないが、12.5vol%以上では水素濃度とともに障害物が存在したほうが爆轟の可能性が高まる。</li> <li>● 配管の両端が開口の場合でも、L/Dが大きく、30vol%程度の高水素濃度で障害物がある場合には、爆轟が発生する可能性がある。</li> <li>● 両端又は片端が閉の場合では、障害物がなくてもL/Dが大きく、30vol%程度の高水素濃度の場合には爆轟に転移する可能性が高い。</li> <li>● L/Dが20未満と比較的小さい体系では、15vol%程度の水素濃度でも爆轟は発生していない。</li> </ul> <p>実機での細長い体系である再循環ダクトでは、保守的に水蒸気凝縮による水素濃度増加を考慮し、GOTHIC解析の原子炉格納容器内ドライ平均水素濃度の最大値を包絡する値として、ダクト内の水素濃度を保守的に13vol%とした場合においても、開放された系であり、ダクト内には障害物がない。また、L/Dも10未満であり、過去の爆轟事例のいずれの条件にも当てはまらない。</p>	

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

泊発電所3号炉 SA基準適合性 比較表

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大飯発電所3/4号炉					泊発電所3号炉					相違理由			
試験	試験体系	試験物の有無	水素濃度等	配管の長さ (L) と径 (D) の比 (LD)	燃焼の発生の有無	備考	試験	試験体系	試験物の有無	水素濃度等	配管の長さ (L) と径 (D) の比 (LD)	燃焼の発生の有無	備考
NTS試験 (米) EPRH BMC (独)	半径16mの球体系(100m³)、 特徴：広い自由空間 60m³ 特徴：多反照 閉空間 (5m³の小体積)	なし なし なし	5~15vol% (水素気濃度4~40mol%) 5.5~14vol% (水素気濃度0~60mol%)	該当なし 該当なし	なし なし		NTS試験 (米) EPRH BMC (独)	半径16mの球体系(100m³)、 特徴：広い自由空間 60m³ 特徴：多反照 閉空間 (5m³の小体積)	なし なし なし	~60vol% (1/7) (2ヶ条件でも実施)	約28	あり	水素気 150vol%のみの条件 では、同一体系でも燃焼は発生せず。
NUPEC 小規模試験 NUPEC 大規模試験	100%水素高圧(40MPa)→貯蔵 炉内に漏えい孔を設置し、大気 への放出後に点火 円筒16m、口径1mのトーナ ク状角形空間 特徴：多反照 閉空間 (11区画) 円筒16m、口径1mのトーナ ク状角形空間	手すり架の縦長い ものが5ある オリフィス4箇所 なし	6.8 (10vol% (1/7)) 5.3vol% (0.5+40%) 5~15vol% (1/7) 5.6~12.7vol% (0.5+7)	該当なし	なし		NUPEC 小規模試験 NUPEC 大規模試験	100%水素高圧(40MPa)→貯蔵 炉内に漏えい孔を設置し、大気 への放出後に点火 円筒16m、口径1mのトーナ ク状角形空間 特徴：多反照 閉空間 (11区画) 円筒16m、口径1mのトーナ ク状角形空間	手すり架の縦長い ものが5ある オリフィス4箇所 なし	約16	なし	2層目の上部区画への開口 部あり 100%水素高圧(40MPa)→貯蔵 炉内に漏えい孔を設置し、大気への放出後に点火。	
NEDO試験	70mの円筒空間 (180m³) (2.1m×2.2m×70m)	12区画	~60vol% (1/7)	約28	燃焼の発生時の条件等		NEDO試験	70mの円筒空間 (180m³) (2.1m×2.2m×70m)	12区画	~60vol% (1/7)	約28	あり	燃焼が発生しなかった条件 等 水素気 150vol%のみの条件 では、同一体系でも燃焼は発生せず。
RUT試験 (露) OCEIDEU	特徴：2体系、閉鎖部とも円筒構造 ・10m 内径×6.1m (SSDA 試験) ・27cm 内径×21.3m (HTCP 試験) 約10mの筒構造、一端は閉鎖部、 他は開口部	筒構造 筒構造	約5~約50vol% (水素気濃度、水素気-水素気系)	約80 HTCP試験：約78	あり		RUT試験 (露) OCEIDEU	特徴：2体系、閉鎖部とも円筒構造 ・10m 内径×6.1m (SSDA 試験) ・27cm 内径×21.3m (HTCP 試験) 約10mの筒構造、一端は閉鎖部、 他は開口部	筒構造 筒構造	約5~約50vol% (水素気濃度、水素気-水素気系)	約80 HTCP試験：約78	あり	筒構造の開口部にも燃焼は発生せず。(筒構造の開口部)
茨城県産業安全研究所 試験	特徴：管部の閉鎖部を含む	筒構造	20~57vol% 30vol% (1/7)	約35 約175~325	あり 燃焼試験時に燃焼発生		茨城県産業安全研究所 試験	特徴：管部の閉鎖部を含む	筒構造	20~57vol% 30vol% (1/7)	約35 約175~325	あり	筒構造の開口部にも燃焼は発生せず。(筒構造の開口部)

表1 過去の水素燃焼に関する試験等の知見  
 ■ 閉鎖空間またはX,Y,Zの寸法が閉鎖空間での水素燃焼試験の条件の整理 (燃焼が発生しなかった試験結果のみ)

別表3 過去の水素燃焼に関する試験等の知見  
 ■ 閉鎖空間またはX,Y,Zの寸法が閉鎖空間での水素燃焼試験の条件の整理 (燃焼が発生しなかった試験結果のみ)



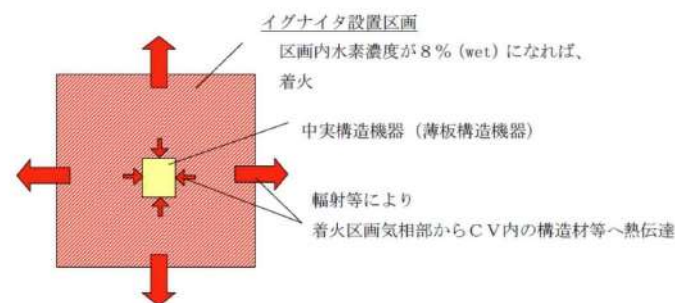
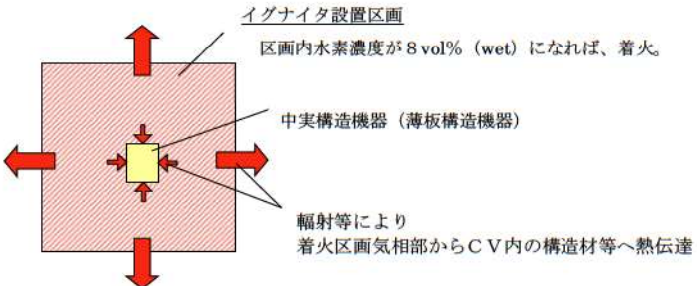
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">別紙2</p> <p>参考資料 イグナイタ着火の熱影響について</p> <p>原子炉格納容器頂部のスプレイリングの配管サポートにイグナイタを追設するにあたり、イグナイタ着火による格納容器スプレイシステム及び格納容器本体（鋼板）への熱影響についてまとめる。</p> <p>「大LOCA+ECCS 注入失敗（Zr-水反応割合100%）」を対象とし、実機プラントにおけるGOTHIC解析モデルのイグナイタ設置区画に中実構造機器及び薄板構造機器に模擬したヒートシンクを追加し、ヒートシンクの温度変化の解析を実施した。</p> <p>(1) 評価条件等</p> <p>評価については後述のとおり代表4ループプラントにおける評価結果が大飯3/4号機の評価においても適用可能であることから代表4ループプラントの評価結果を用いて大飯3/4号機の評価を実施する。</p> <p>代表4ループプラントの評価条件は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 大LOCA+ECCS 注入失敗のケース</li> <li>b. 全炉心100%Zr-水反応を仮定、放射線水分解、金属腐食を考慮</li> <li>c. PAR、イグナイタを考慮</li> <li>d. イグナイタ設置区画において、水素濃度8% (wet) になれば着火</li> <li>e. イグナイタ設置区画に中実構造機器及び薄板構造機器を模擬</li> <li>f. 着火による区画内気相部温度上昇及び気相部から区画内外の金属及びコンクリート等のヒートシンクへの熱放射と対流熱伝達を模擬</li> </ul> <p>以下の理由から代表4ループプラントの評価結果を大飯3、4号機の評価として使用できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・代表4ループプラントでの評価結果では、大飯3、4号機の水素燃焼のシーケンスと同じ水素燃焼のシーケンスを用いて温度影響を確認している。</li> <li>・大飯3、4号機では炉心熔融・コンクリート相互反応の不確かさを考慮した場合において、最大で全炉心81%ジルコニウム-水反応分の水素が発生するとして評価しているのに対し、代表4ループプラントでは全炉心100%ジルコニウム-水反応分の水素が発生すると評価しているため、原子炉格納容器内の水素濃度の全体挙動及び上昇速度は異なる。</li> <li>・大飯3、4号機と代表4ループプラントで原子炉格納容器内の水素濃度の全体挙動及び上昇速度は異なるものの、いずれも原子炉格納容器水素燃焼装置着火条件を水素濃度8vol%の時点としているため、ループ数の違いや考慮するジルコニウム-水反応による単水素発生量の違いにかかわらず、機器の温度上昇に寄与するイグナイタ着火時の1回当たりの燃焼規模は同じである。</li> <li>・第3-1表からジルコニウム量と原子炉格納容器自由体積の比率について代表4ループの方が高く、水素濃度上昇速度は大きい、イグナイタ設置区画において水素濃度が8vol%に到達すると、原子炉格納容器内で水素燃焼が生じて水素濃度は低下する。その後、水素濃度が再び</li> </ul>	<p style="text-align: right;">別紙2</p> <p>イグナイタ着火の熱影響について</p> <p>原子炉格納容器頂部のスプレイリング付近にイグナイタを追設するにあたり、イグナイタ着火による格納容器スプレイシステム及び格納容器本体（鋼板）への熱影響についてまとめる。</p> <p>「大LOCA+ECCS 注入失敗（Zr-水反応割合100%）」を対象とし、実機プラントにおけるGOTHIC解析モデルのイグナイタ設置区画に中実構造機器及び薄板構造機器を模擬したヒートシンクを追加し、ヒートシンクの温度変化の解析を実施した。</p> <p>(1) 評価条件等</p> <p>評価については後述のとおり代表4ループプラントにおける評価結果が泊3号炉の評価においても適用可能であることから代表4ループプラントの評価結果を用いて泊3号炉の評価を実施する。</p> <p>代表4ループプラントの評価条件は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 大LOCA+ECCS 注入失敗のケース</li> <li>b. 全炉心100%Zr-水反応を仮定、放射線水分解、金属腐食を考慮</li> <li>c. PAR、イグナイタを考慮</li> <li>d. イグナイタ設置区画において、水素濃度8vol% (wet) になれば着火</li> <li>e. イグナイタ設置区画に中実構造機器及び薄板構造機器を模擬</li> <li>f. 着火による区画内気相部温度上昇及び気相部から区画内外の金属及びコンクリート等のヒートシンクへの熱放射と対流熱伝達を模擬</li> </ul> <p>以下の理由から代表4ループプラントの評価結果を泊3号炉の評価として使用できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・代表4ループプラントでの評価結果では、泊3号炉の水素燃焼のシーケンスと同じ水素燃焼のシーケンスを用いて温度影響を確認している。</li> <li>・泊3号炉では炉心熔融・コンクリート相互反応の不確かさを考慮した場合において、最大で全炉心81%ジルコニウム-水反応分の水素が発生するとして評価しているのに対し、代表4ループプラントでは全炉心100%ジルコニウム-水反応分の水素が発生すると評価しているため、原子炉格納容器内の水素濃度の全体挙動及び上昇速度は異なる。</li> <li>・泊3号炉と代表4ループプラントで原子炉格納容器内の水素濃度の全体挙動及び上昇速度は異なるものの、いずれもイグナイタ着火条件を水素濃度8vol%の時点としているため、ループ数の違いや考慮するジルコニウム-水反応による単水素発生量の違いにかかわらず、機器の温度上昇に寄与するイグナイタ着火時の1回当たりの燃焼規模は同じである。</li> <li>・別表5からジルコニウム量と原子炉格納容器自由体積の比率について代表4ループの方が高く、水素濃度上昇速度は大きい、イグナイタ設置区画において水素濃度が8vol%に到達すると、原子炉格納容器内で水素燃焼が生じて水素濃度は低下する。その後、水素濃度が再び8vol%まで上昇すると、イグナイタによる水素燃焼が生じ、水素濃度は低下する。このよう</li> </ul>	<p>記載表現の相違</p> <p>設計方針の相違</p> <p>・大飯は既設スプレイリングにイグナイタを設置し、泊はCV鋼板に新規ヘッドを設置しイグナイタを取り付けている。(別紙3参照)</p> <p>設計方針の相違</p> <p>設計方針の相違</p> <p>大飯固有内容</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																
<p>8vol%まで上昇すると、イグナイタによる水素燃焼が生じ、水素濃度は低下する。このような、断続的な水素燃焼による反応熱で、一時的な区画内の温度上昇が生じるが、区画内外の金属及びコンクリート等のヒートシンクへの熱放射及び対流熱伝熱により速やかに低下する。この点において大飯3 / 4号機と代表4ループプラントについて違いはない。（第3-1図参照）</p>	<p>な、断続的な水素燃焼による反応熱で、一時的な区画内の温度上昇が生じるが、区画内外の金属及びコンクリート等のヒートシンクへの熱放射及び対流熱伝熱により速やかに低下する。この点において泊3号炉と代表4ループプラントについて違いはない。（別図8参照）</p>																																																	
<p>表1 代表4ループプラントと大飯3号機の比較</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>代表4ループプラント</th> <th>大飯3, 4号機</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価対象シナリオ</td> <td>大破断 LOCA +ECCS 注入失敗</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>ジルコニウム-水反応割合</td> <td>100%</td> <td>81%</td> </tr> <tr> <td>イグナイタ着火条件</td> <td>水素濃度 8vol%(wet)</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>イグナイタ設置区画容積</td> <td><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m<sup>3</sup></td> <td><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>反応ジルコニウム量(①)</td> <td>24800kg</td> <td>20500kg</td> </tr> <tr> <td>CV自由体積(②)</td> <td>72900m<sup>3</sup></td> <td>72900m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>反応ジルコニウム量とCV自由体積の比率(①/②)</td> <td>0.34kg/m<sup>3</sup></td> <td>0.30kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </tbody> </table>		代表4ループプラント	大飯3, 4号機	評価対象シナリオ	大破断 LOCA +ECCS 注入失敗	同左	ジルコニウム-水反応割合	100%	81%	イグナイタ着火条件	水素濃度 8vol%(wet)	同左	イグナイタ設置区画容積	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m <sup>3</sup>	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m <sup>3</sup>	反応ジルコニウム量(①)	24800kg	20500kg	CV自由体積(②)	72900m <sup>3</sup>	72900m <sup>3</sup>	反応ジルコニウム量とCV自由体積の比率(①/②)	0.34kg/m <sup>3</sup>	0.30kg/m <sup>3</sup>	<p>別表5 代表4ループプラントと泊3号炉の比較</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>代表4ループプラント</th> <th>泊3号炉</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>評価対象シナリオ</td> <td>大破断 LOCA +ECCS 注入失敗</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>ジルコニウム-水反応割合</td> <td>100%</td> <td>81%</td> </tr> <tr> <td>イグナイタ着火条件</td> <td>水素濃度 8vol%</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>イグナイタ設置区画容積</td> <td><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m<sup>3</sup></td> <td><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>反応ジルコニウム量(①)</td> <td>24800kg</td> <td>16362kg</td> </tr> <tr> <td>CV自由体積(②)</td> <td>72900m<sup>3</sup></td> <td>65500m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>反応ジルコニウム量とCV自由体積の比率(①/②)</td> <td>0.34kg/m<sup>3</sup></td> <td>0.25kg/m<sup>3</sup></td> </tr> </tbody> </table>		代表4ループプラント	泊3号炉	評価対象シナリオ	大破断 LOCA +ECCS 注入失敗	同左	ジルコニウム-水反応割合	100%	81%	イグナイタ着火条件	水素濃度 8vol%	同左	イグナイタ設置区画容積	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m <sup>3</sup>	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m <sup>3</sup>	反応ジルコニウム量(①)	24800kg	16362kg	CV自由体積(②)	72900m <sup>3</sup>	65500m <sup>3</sup>	反応ジルコニウム量とCV自由体積の比率(①/②)	0.34kg/m <sup>3</sup>	0.25kg/m <sup>3</sup>	
	代表4ループプラント	大飯3, 4号機																																																
評価対象シナリオ	大破断 LOCA +ECCS 注入失敗	同左																																																
ジルコニウム-水反応割合	100%	81%																																																
イグナイタ着火条件	水素濃度 8vol%(wet)	同左																																																
イグナイタ設置区画容積	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m <sup>3</sup>	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m <sup>3</sup>																																																
反応ジルコニウム量(①)	24800kg	20500kg																																																
CV自由体積(②)	72900m <sup>3</sup>	72900m <sup>3</sup>																																																
反応ジルコニウム量とCV自由体積の比率(①/②)	0.34kg/m <sup>3</sup>	0.30kg/m <sup>3</sup>																																																
	代表4ループプラント	泊3号炉																																																
評価対象シナリオ	大破断 LOCA +ECCS 注入失敗	同左																																																
ジルコニウム-水反応割合	100%	81%																																																
イグナイタ着火条件	水素濃度 8vol%	同左																																																
イグナイタ設置区画容積	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m <sup>3</sup>	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> m <sup>3</sup>																																																
反応ジルコニウム量(①)	24800kg	16362kg																																																
CV自由体積(②)	72900m <sup>3</sup>	65500m <sup>3</sup>																																																
反応ジルコニウム量とCV自由体積の比率(①/②)	0.34kg/m <sup>3</sup>	0.25kg/m <sup>3</sup>																																																
 <p>図1 区画内の着火等模擬イメージ</p>	 <p>別図8 区画内の着火等模擬イメージ</p>																																																	
<p><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<p><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 15px;"></span> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>																																																	



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

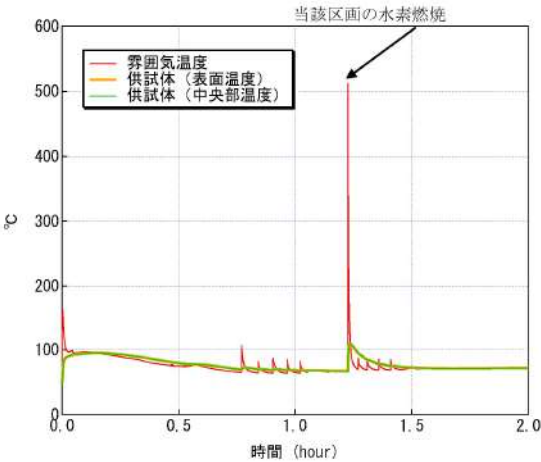
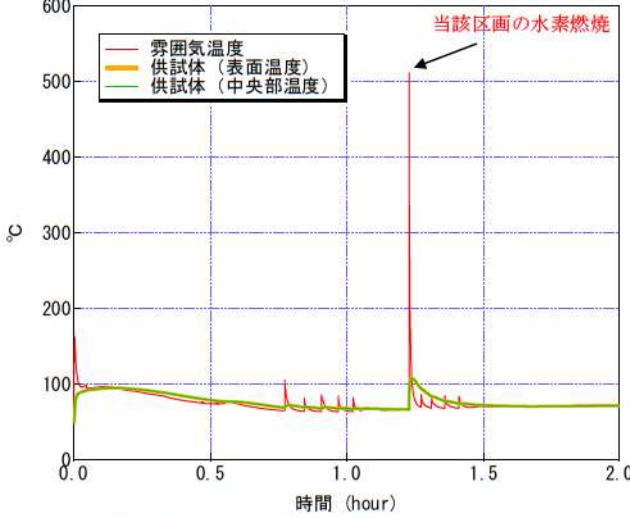
大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由												
<p>(2) 中実構造機器に対する温度影響評価</p> <p>区画の中に中実構造の機器も模擬し、区画内の雰囲気温度の変化とそれに伴う機器の温度変化を評価した。仮定した機器の寸法等を表2に示す。</p> <p>解析の結果として、図2及び図3に水素燃焼に伴う区画内雰囲気及び機器の温度の時間変化を示す。</p> <p>雰囲気温度は、水素の燃焼に相当する反応熱の生成で上昇するが、周囲の金属やコンクリート等のヒートシンクへの熱放射及び対流熱伝達により、速やかに低下する。この雰囲気温度の過渡応答の中に置かれた機器の表面温度は、熱放射及び対流熱伝達により上昇するが、温度上昇は10℃未満であり、内部の温度はほとんど上がらないことを確認した。</p> <p style="text-align: center;">表2 中実機器を模擬した供試体の仕様</p> <table border="1" data-bbox="241 545 940 657"> <tr> <td>形状</td> <td>中実機器</td> </tr> <tr> <td>材質</td> <td>ステンレス</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td>200mm×200mm×400mm</td> </tr> </table>	形状	中実機器	材質	ステンレス	寸法	200mm×200mm×400mm	<p>2. 中実構造機器に対する温度影響評価</p> <p>区画の中に中実構造の機器を模擬し、区画内の雰囲気温度の変化とそれに伴う機器の温度変化を評価した。仮定した機器の寸法等を別表6に示す。</p> <p>解析の結果として、別図9及び別図10に水素燃焼に伴う区画内雰囲気及び機器の温度の時間/変化を示す。</p> <p>雰囲気温度は、水素の燃焼に相当する反応熱の生成で上昇するが、周囲の金属及びコンクリート等のヒートシンクへの熱放射及び対流熱伝達により、速やかに低下する。この雰囲気温度の過渡応答の中に置かれた機器の表面温度は、熱放射及び対流熱伝達により上昇するが、温度上昇は10℃未満であり、内部の温度はほとんど上がらないことを確認した。</p> <p style="text-align: center;">別表6 中実機器を模擬した供試体の寸法等</p> <table border="1" data-bbox="1236 539 1765 673"> <tr> <td>形状</td> <td>中実機器</td> </tr> <tr> <td>材質</td> <td>ステンレス</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td>200mm×200mm×400mm</td> </tr> </table>	形状	中実機器	材質	ステンレス	寸法	200mm×200mm×400mm	<p>記載表現の相違</p>
形状	中実機器													
材質	ステンレス													
寸法	200mm×200mm×400mm													
形状	中実機器													
材質	ステンレス													
寸法	200mm×200mm×400mm													

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>図2 雰囲気温度及び供試体（中実構造機器）の温度の時間変化</p>	<p>別図9 雰囲気温度及び供試体（中実構造機器）の温度の時間変化</p>	
<p>図3 雰囲気温度及び供試体（中実構造機器）の温度の時間変化（1.2h～1.3h 拡大）</p>	<p>別図10 雰囲気温度及び供試体（中実構造機器）の温度の時間変化（1.2h～1.3h 拡大）</p>	

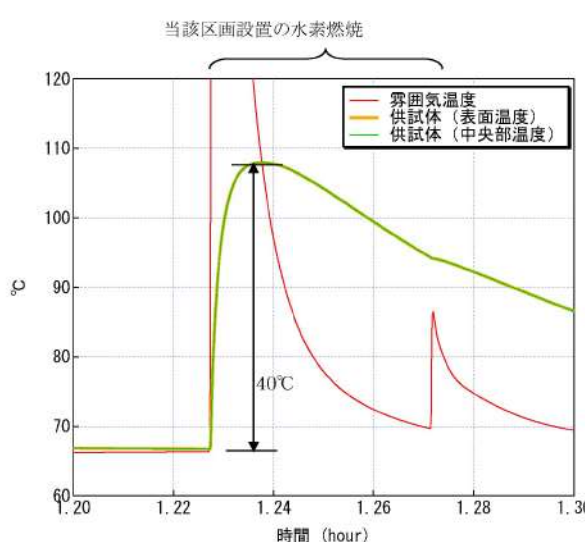
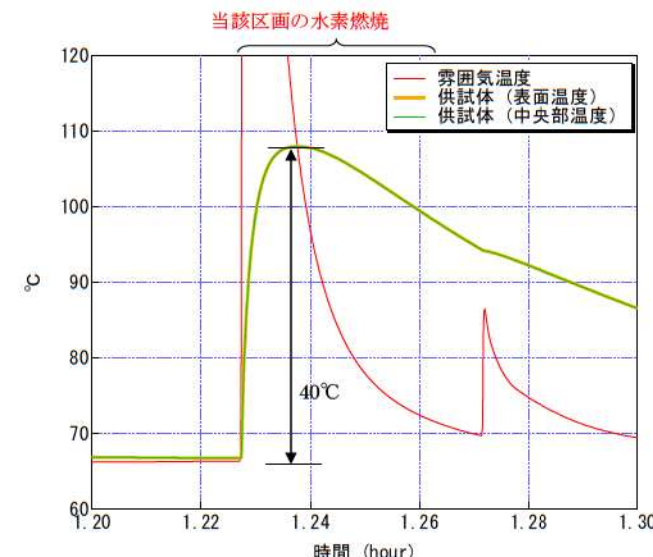
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由																				
<p>(3) 薄板構造機器に対する温度影響評価</p> <p>区画の中に薄板構造の機器（再循環ユニットのダクト等）を模擬し、区画内の雰囲気温度の変化とそれに伴う機器の温度変化を評価した。仮定した機器の寸法等を表3に示す。</p> <p>薄板構造の機器としては、その他に静的触媒式水素再結合装置のケーシング、各種の計装器類のケーブルを保護する金属製カバーが該当する。</p> <p>解析結果として、図4及び図5に水素燃焼に伴う区画内雰囲気及び機器の温度の時間変化を示す。</p> <p>再循環ユニットのダクトのような薄板構造の機器については、板材が薄いためその熱容量に応じて板材一様に温度上昇するが、温度は上昇しやすくなるが、温度増加は40℃程度に収まる。</p> <p>表3 薄板構造機器（再循環ユニットのダクト）を模擬した供試体の寸法等</p> <table border="1" data-bbox="398 614 857 767"> <tr><td>形状</td><td>パイプ</td></tr> <tr><td>材質</td><td>炭素鋼</td></tr> <tr><td>口径</td><td>1700mm</td></tr> <tr><td>長さ</td><td>2.2m</td></tr> <tr><td>板厚</td><td>1.6mm</td></tr> </table>  <p>図4 雰囲気温度及び供試体（薄板構造機器）の温度の時間変化</p>	形状	パイプ	材質	炭素鋼	口径	1700mm	長さ	2.2m	板厚	1.6mm	<p>3. 薄板構造機器に対する温度影響評価</p> <p>区画の中に薄板構造の機器（再循環ユニットのダクト等）を模擬し、区画内の雰囲気温度の変化とそれに伴う機器の温度変化を評価した。仮定した機器の寸法等を別表7に示す。</p> <p>薄板構造の機器としては、その他に原子炉格納容器水素処理装置のケーシング、各種の計装器類のケーブルを保護する金属製カバーが該当する。</p> <p>解析の結果として、別図11及び別図12に水素燃焼に伴う区画内雰囲気及び機器の温度の時間変化を示す。</p> <p>再循環ユニットのダクトのような薄板構造の機器については、板材が薄いためその熱容量に応じて板材一様に温度上昇するため、温度は上昇しやすくなるが、温度増加は40℃程度に収まる。</p> <p>別表7 薄板構造機器（再循環ユニットのダクト）を模擬した供試体の寸法等</p> <table border="1" data-bbox="1238 574 1765 742"> <tr><td>形状</td><td>パイプ</td></tr> <tr><td>材質</td><td>炭素鋼</td></tr> <tr><td>口径</td><td>1,700mm</td></tr> <tr><td>長さ</td><td>2.2m</td></tr> <tr><td>板厚</td><td>1.6mm</td></tr> </table>  <p>別図11 雰囲気温度及び供試体の温度</p>	形状	パイプ	材質	炭素鋼	口径	1,700mm	長さ	2.2m	板厚	1.6mm	
形状	パイプ																					
材質	炭素鋼																					
口径	1700mm																					
長さ	2.2m																					
板厚	1.6mm																					
形状	パイプ																					
材質	炭素鋼																					
口径	1,700mm																					
長さ	2.2m																					
板厚	1.6mm																					

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">当該区画設置の水素燃焼</p>  <p style="text-align: center;">時間 (hour)</p> <p>図5 雰囲気温度及び供試体（薄板構造機器）の温度の時間変化（1.2h～1.3h 拡大）</p>	<p style="text-align: center;">当該区画の水素燃焼</p>  <p style="text-align: center;">時間 (hour)</p> <p>別図12 雰囲気温度及び供試体の温度（1.2h～1.3h 拡大）</p>	

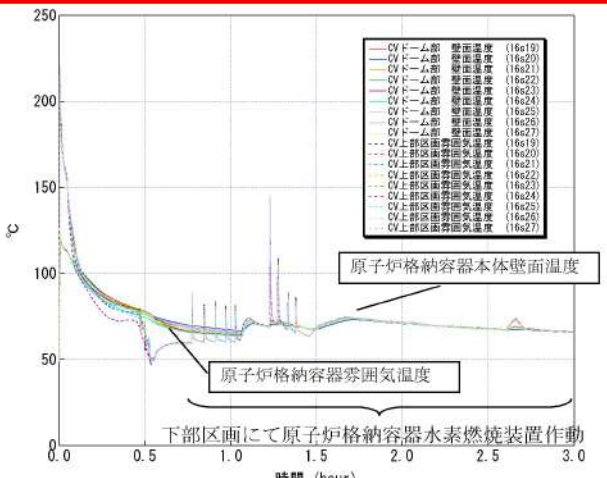
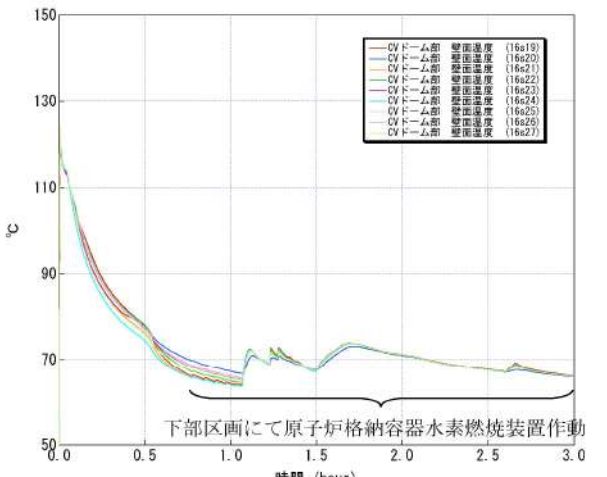


赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(4) イグナイタ着火後の熱影響の考察</p> <p>代表4ループプラントのドーム部頂部の「大LOCA+ECCS注入失敗（Zr-水反応割合100%）」のGOTHICのイグナイタ着火時の雰囲気温度と原子炉格納容器本体壁面温度を図6及び図7に示す。</p> <p>図6に示すとおり、イグナイタ作動時のドーム部頂部の雰囲気温度は、およそ70℃から150℃まで変化している。これは、原子炉格納容器下部区画のイグナイタによる燃焼が影響しているものであり、ドーム部の原子炉格納容器本体壁面温度にほとんど変化はなく70℃程度である。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>図6に示すとおり、イグナイタ作動時のドーム部頂部の雰囲気温度は、およそ60℃から70℃まで変化している。これは、原子炉格納容器下部区画のイグナイタによる燃焼が影響しているものであり、ドーム部の原子炉格納容器本体壁面温度にほとんど変化はなく70℃程度である。</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0; text-align: center;"> <p>本記載は、美浜3号炉の参考掲載</p> </div> <p>図2～図5と同様に、仮にドーム部に設置したイグナイタが作動し、その周囲の雰囲気温度が500℃以上に上昇したとしても、周囲への熱放射及び対流熱伝達により、数分程度で着火前の温度に低下すると考えられ、さらに、この雰囲気温度変化に対して、原子炉格納容器本体及び原子炉格納容器スプレィ配管は雰囲気より大きな熱容量を持つため、温度の上昇は緩やかになると考えられるため、その温度上昇度合いは、先に述べた影響評価結果と同程度（10～40℃程度）と考えられる。</p> <p>表3に原子炉格納容器本体及び原子炉格納容器スプレィ配管の許容温度を示す。</p> <p>原子炉格納容器本体のライナープレート及び原子炉格納容器スプレィ配管の板厚は、それぞれ約6.4mm、4.0mmであり、共に中実機器と薄板構造機器の中間的な温度上昇になると考えられる。そこで、保守的に薄板構造機器の温度上昇度合いで推測すると、110℃程度（70℃+40℃）まで上昇すると考えられるが、許容値である200℃<sup>*1,2</sup>に対して十分な余裕がある。また、スプレィ配管の材質は、ステンレス（融点は約1400℃程度）であり、十分な熱容量を有する。CV本体は内面に鋼製のライナを設けたコンクリート構造物であり、同様に十分な熱容量を有する。なお、有効性評価における過温破損シーケンス「全交流動力電源喪失+補助給水失敗」の最高値約144℃から40℃上昇するとしても、許容値である200℃<sup>*1,2</sup>を下回る。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>原子炉格納容器本体及び格納容器スプレィ配管の板厚は、それぞれ約mm、mmであり、共に中実機器と薄板構造機器の中間的な温度上昇になると考えられる。そこで、保守的に薄板構造機器の温度上昇度合いで推測すると、110℃程度（70℃+40℃）まで上昇すると考えられるが、許容値である200℃<sup>*1,2</sup>に対して十分な余裕がある。また、格納容器スプレィ配管の材質は、ステンレス（融点は約1400℃程度）であり、十分な熱容量を有する。原子炉格納容器本体についても鋼製であり同様である。なお、有効性評価における過温破損シーケンス「全交流動力電源喪失+補助給水失敗」の最高値約136℃から40℃上昇するとしても、許容値である200℃<sup>*1,2</sup>を下回る。</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0; text-align: center;"> <p>本記載は、美浜3号炉の参考掲載</p> </div>	<p>4. イグナイタ着火後の熱影響の考察</p> <p>泊3号炉のドーム部頂部の「大LOCA+ECCS注入失敗（Zr-水反応割合81%）」のGOTHICのイグナイタ着火時の雰囲気温度と原子炉格納容器本体壁面温度を別図1.3及び別図1.4に示す。</p> <p>別図1.3に示すとおり、約2時間から約3時間にかけてイグナイタ着火による水素処理が行われている。イグナイタ作動時のドーム部頂部の雰囲気温度は、およそ70℃から90℃まで変化している。これは、原子炉格納容器下部区画のイグナイタによる燃焼が影響しているものであり、ドーム部の原子炉格納容器本体壁面温度にほとんど変化はなく80℃程度である。</p> <p>別図9～別図1.2と同様に、仮にドーム部に設置したイグナイタが作動し、その周囲の雰囲気温度が500℃以上に上昇したとしても、周囲への熱放射及び対流熱伝達により、数分程度で着火前の温度に低下すると考えられ、さらに、この雰囲気温度変化に対して、原子炉格納容器本体及び原子炉格納容器スプレィ配管は雰囲気より大きな熱容量を持つため、温度の上昇は緩やかになると考えられるため、その温度上昇度合いは、先に述べた影響評価結果と同程度（10～40℃程度）と考えられる。</p> <p>別表8に原子炉格納容器本体及び原子炉格納容器スプレィ配管の許容温度を示す。</p> <p>原子炉格納容器本体及び原子炉格納容器スプレィ配管の板厚は、それぞれ約22.5mm、4.0mmであり、共に中実機器と薄板構造機器の中間的な温度上昇になると考えられる。そこで、保守的に薄板構造機器の温度上昇度合いで推測すると、120℃程度（80℃+40℃）まで上昇すると考えられるが、許容値である200℃<sup>*1,1,1.2</sup>に対して十分な余裕がある。また、スプレィ配管の材質は、ステンレス（融点は約1,400℃程度）であり、十分な熱容量を有する。原子炉格納容器本体についても鋼製であり同様である。なお、有効性評価における過温破損シーケンス「全交流動力電源喪失+補助給水失敗」の最高値約141℃から40℃上昇するとしても、許容値である200℃<sup>*1,1,1.2</sup>を下回る。</p>	<p>相違理由</p> <p>解析条件の相違                  記載方針の相違                  ・図中記載に加え、本文にも記載した。                  解析結果の相違                  ・大阪解析結果では、イグナイタ作動時に+80℃程度の昇温に対し、泊は+20℃程度の昇温である。（鋼製CVの表浜3号炉と同じ傾向）</p> <p>設計の相違                  ・PCCVと鋼製CVの構造相違はあるが、イグナイタによる熱影響を考慮して十分な熱容量を有する評価は同じである。</p> <p>解析結果の相違</p>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>以上より、追設するイグナイタの着火に伴う水素燃焼の温度影響は、原子炉格納容器本体及び原子炉格納容器スプレイ配管に対しても問題とならないと考えられる。</p>  <p>図6 代表4ループプラントのドーム部頂部の「大破断 LOCA+ECCS 注入失敗 (Zr-水反応割合100%)」のGOTHICのイグナイタ着火時の温度変化</p>  <p>図7 代表4ループプラントのドーム部頂部の「大破断 LOCA+ECCS 注入失敗 (Zr-水反応割合100%)」のGOTHICのイグナイタ着火時の壁面温度変化 (拡大)</p>	<p>以上より、追設するイグナイタの着火に伴う水素燃焼の温度影響は、原子炉格納容器本体及び原子炉格納容器スプレイ配管に対しても問題とならないと考えられる。</p>  <p>別図13 イグナイタ着火時のドーム部頂部の温度変化          泊3号炉 GOTHIC 解析「大破断 LOCA+ECCS 注入失敗 (Zr-水反応割合 81%)」</p>  <p>別図14 イグナイタ着火時のドーム部頂部の壁面温度変化 (拡大)          泊3号炉 GOTHIC 解析「大破断 LOCA+ECCS 注入失敗 (Zr-水反応割合 81%)」</p>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由												
<p>表3 原子炉格納容器本体及び原子炉格納容器スプレイ配管の許容温度</p> <table border="1" data-bbox="208 220 985 319"> <thead> <tr> <th>機器</th> <th>許容温度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原子炉格納容器本体</td> <td>200℃※1</td> </tr> <tr> <td>原子炉格納容器スプレイ配管</td> <td>200℃※2</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：イグナイタを設置する原子炉格納容器頂部には、貫通部等の温度影響部の厳しい箇所はないが、原子炉格納容器健全性評価を行い問題ないことを確認している限界温度 200℃を許容温度としている。</p> <p>※2：スプレイ配管の材料は、ステンレスであり、実力的にはステンレスの融点は約 1400℃程度までではもつと考えられる。</p> <p>(5) まとめ                  代表プラントのイグナイタ着火による過渡応答結果から、追設するイグナイタ着火による格納容器スプレイシステム及び格納容器本体（鋼板）への熱影響について考察した。                  その結果、ダクトのような薄板の機器であっても燃焼時の表面温度の上昇は 40℃程度であることから、いずれの機器の温度上昇も同程度以下であると推測され、これらの機器に影響を及ぼすことはないと考えられる。</p>	機器	許容温度	原子炉格納容器本体	200℃※1	原子炉格納容器スプレイ配管	200℃※2	<p>別表8 原子炉格納容器本体及び原子炉格納容器スプレイ配管の許容温度</p> <table border="1" data-bbox="1205 236 1832 367"> <thead> <tr> <th>機器</th> <th>許容温度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原子炉格納容器本体</td> <td>200℃※1 1</td> </tr> <tr> <td>原子炉格納容器スプレイ配管</td> <td>200℃※1 2</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 1 イグナイタを設置する原子炉格納容器頂部には、貫通部等の温度影響部の厳しい箇所はないが、原子炉格納容器健全性評価を行い問題ないことを確認している限界温度 200℃を許容温度としている。</p> <p>※1 2 原子炉格納容器スプレイ配管の材質は、ステンレスであり、実力的にはステンレスの融点は約 1,400℃程度までではもつと考えられる。</p> <p>5. まとめ                  代表プラントのイグナイタ着火による過渡応答結果から、追設するイグナイタ着火による原子炉格納容器スプレイシステム及び原子炉格納容器本体（鋼板）への熱影響について考察した。                  その結果、ダクトのような薄板の機器であっても燃焼時の表面温度の上昇は 40℃程度であることから、いずれの機器の温度上昇も同程度以下であると推測され、これらの機器に影響を及ぼすことはないと考えられる。</p>	機器	許容温度	原子炉格納容器本体	200℃※1 1	原子炉格納容器スプレイ配管	200℃※1 2	<p>記載表現の相違</p>
機器	許容温度													
原子炉格納容器本体	200℃※1													
原子炉格納容器スプレイ配管	200℃※2													
機器	許容温度													
原子炉格納容器本体	200℃※1 1													
原子炉格納容器スプレイ配管	200℃※1 2													

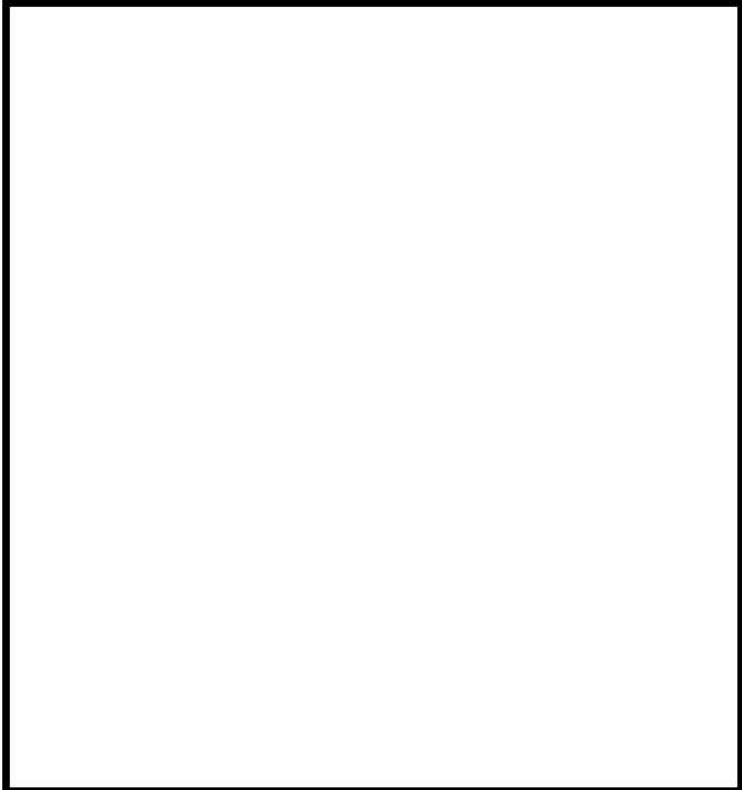

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: right;">別紙3</p> <p>参考資料 格納容器ドーム部頂部付近への施工方法について</p> <p>イグナイタ本体は、格納容器ドーム部スプレイングの配管サポートに、耐震強度に問題ないことを確認したうえで、剛構造の取付用架台を溶接して設置する。</p> <p>イグナイタ専用ケーブル及び温度計測用の熱電対は、スプレイング配管に抱き合わせて敷設し、固定はSUSバンドと固定金具を用いて地震動の反力に対する耐震性を確保する。ここで、イグナイタ専用ケーブル及び熱電対は配管質量と比較して軽量であるため、敷設に伴うスプレイング配管への影響はない。</p> <p>なお、格納容器内から格納容器外へは、電気ペネトレーションの予備を利用してケーブル敷設する。</p> <div style="border: 2px solid red; height: 300px; width: 100%; margin: 10px 0;"></div> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 内は機密に属するものですので公開できません。</p> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>イグナイタ本体は、原子炉格納容器ドーム部スプレイング配管付近に耐震性のあるパッドを新規設置し、剛構造の取付用架台を溶接して設置する。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 5px auto; width: 150px;"> <p>本記載は、美浜3号炉の参考掲載</p> </div> </div>	<p style="text-align: right;">別紙3</p> <p>格納容器ドーム部頂部付近への施工方法について</p> <p>イグナイタ本体は、格納容器ドーム部スプレイング配管付近に耐震性を確保した新設パッドを設け、剛構造の取付用架台を溶接して設置する。</p> <p>イグナイタ専用ケーブル及び温度計測用の熱電対は、スプレイング配管に抱き合わせて敷設し、固定はSUSバンドと固定金具を用いて地震動の反力に対する耐震性を確保する。ここで、イグナイタ専用ケーブル及び熱電対は配管質量と比較して軽量であるため、敷設に伴うスプレイング配管への影響はない。</p> <p>なお、格納容器内から格納容器外へは、電気ペネトレーションの予備を利用してケーブル敷設する。</p> <div style="border: 2px solid red; height: 300px; width: 100%; margin: 10px 0;"></div> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	<p>相違理由</p> <p>設計方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大阪は既設スプレイング配管サポートにイグナイタを設置し、泊はCV鋼板に新設パッドを設置しイグナイタを取り付けている。(美浜3号と同様)</li> </ul>



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

大阪発電所 3 / 4 号炉	泊発電所 3 号炉	相違理由
<div data-bbox="174 177 1003 1082" style="border: 2px solid red; padding: 10px;">  </div> <p data-bbox="533 1054 674 1078">据付イメージ図</p> <p data-bbox="600 1086 987 1110">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>	<div data-bbox="1115 177 1951 1054" style="border: 2px solid red; padding: 10px;">  <p data-bbox="1272 555 1749 579" style="color: green;">格納容器ドーム部頂部付近への据付状態概略図</p> </div> <p data-bbox="1328 1070 1895 1094">□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。</p>	<p data-bbox="1973 204 2101 228" style="color: red;">設計方針の相違</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1973 236 2107 464" style="color: red;">・大阪は既設スプレッド配管ボルトにイグナイタを設置し、泊はCV鋼板に新設パッドを設置しイグナイタを取り付けている。</li> </ul>

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

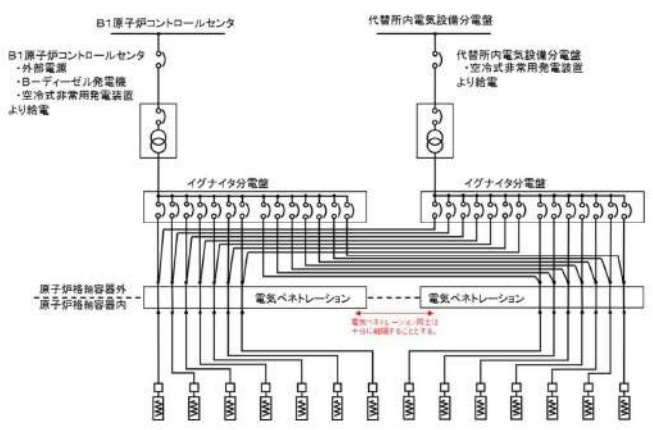
第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	
参考資料4	
水素燃焼時あるいは燃焼後に機能維持が必要な機器・計器について	
(1) 機器・計器の選定について	
イグナイタによる水素燃焼時あるいは燃焼後に機能維持が必要な機器・計器を選定した。対象とする機器・計器は、イグナイタによる水素燃焼時あるいは燃焼後におけるCV健全性維持及び緩和操作に係るCV内の機器・計器とし、機能と作動時期の観点から、以下の考え方に従って選定した。表1に選定した機器・計器の一覧を示す。	
✓ CV健全性維持及び緩和操作のための以下の機能を有する機器	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・隔離機能</li> <li>・除熱機能</li> <li>・緩和機能</li> <li>・状態監視・計測</li> </ul>	
✓ 炉心出口温度が350℃を超過した以降に機能が要求される機器 (イグナイタは350℃超過を検知後1時間以内であれば速やかに起動し、1時間経過した場合は緊急時対策本部にて起動可否を判断することに基づく)	
表1 水素燃焼時あるいは燃焼後に機能維持が必要な機器・計器	
機能分類	機器
隔離機能関連機器	C/V 本体*1
	C/V 大開口部（機器搬入口、エアロック）*1
	C/V 隔離弁*1
	C/V ベネ*1
除熱機能関連機器	再循環ユニット*1
	再循環ダクト*1
緩和操作関連機器	C/V スプレイ（含、代替スプレイ）*1
	イグナイタ*2
監視機能関連機器	PAR*2
	1次冷却材圧力計*3
	C/V 内温度計*3
	C/V 圧力計*3
	C/V 内高レンジエアモニタ*3
	S/G 水位計（狭域）*3
	C/V 再循環サンプ水位計*3
	炉心出口温度計*3
RCS 高温側温度計*3	
C/V 水位計*3	
*1 十分な熱容量を有しており、イグナイタ着火時の温度上問題とならない機器・計器 *2 高温に耐えるよう設計しており、イグナイタ着火時の温度上問題とならない機器・計器 *3 水素燃焼による悪影響がないようイグナイタと隔離距離を設けている機器・計器	
本記載は、玄海3/4号炉の参考掲載	

泊発電所3号炉		相違理由
イグナイタによる水素燃焼の影響を考慮する評価対象機器について		別紙4
(1) 評価対象機器の選定について		本資料については、大阪3/4号炉では添付されていないため、玄海3/4号炉の同資料と比較する。
イグナイタによる水素燃焼に伴う周辺機器・計器への影響評価を行うにあたり、評価対象機器を選定した。対象とする機器・計器は、イグナイタ着火時に、CV損傷を防止するための安全機能を有する機器・計器とし、機能と作動時期の観点から、以下の考え方に従って選定した。下表に選定した機器の一覧及び温度・圧力の許容値を示す。		
○CV損傷の防止のための以下の機能を有する機器		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・隔離機能</li> <li>・除熱機能</li> <li>・緩和機能</li> <li>・状態監視・計測</li> </ul>		
○原子炉出口温度が350℃を超過した以降に機能が要求される機器 (イグナイタは350℃超過を検知後1時間以内であれば速やかに起動し、1時間経過した場合は発電所対策本部にて起動可否を判断することに基づく)		
別表9 水素燃焼時あるいは燃焼後に機能維持が必要な機器・計器		
機能分類	機器	
隔離機能関連機器	C/V 本体*1	
	C/V 大開口部（機器搬入口、エアロック）*1	
	C/V 隔離弁*1	
	C/V ベネ*1	
除熱機能関連機器	再循環ユニット*1	
	再循環ダクト*1	
緩和操作関連機器	C/V スプレイ（含、代替スプレイ）*1	
	イグナイタ*2	
監視機能関連機器 (重要計器)	PAR*2	
	1次冷却材圧力計*3	
	RCS 高温側温度計*3	
	C/V 内温度計*3	
	C/V 圧力計*3	
	C/V 内高レンジエアモニタ*3	
	S/G 水位計（狭域）*3	
	C/V 再循環サンプ水位計*3	
原子炉下部キャビティ水位計*3		
炉心出口温度計*3		
C/V 水位計*3		
*1 十分な熱容量を有しており、イグナイタ着火時の温度上問題とならない機器・計器 *2 高温に耐えるよう設計しており、イグナイタ着火時の温度上問題とならない機器・計器 *3 水素燃焼による悪影響がないようイグナイタと隔離距離を設けている機器・計器		記載表現の相違 ・泊では重要計器とした計器類は、イグナイタの影響範囲から隔離した配置としている(52-13-20ページ)

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大飯発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p style="text-align: center;">別紙4</p> <p style="text-align: center;">イグナイタ電源設備の信頼性向上について</p> <p>(1)イグナイタ電源設備の信頼性向上について</p> <p>水素燃焼シーケンス (AEI) のベースケースの評価では、イグナイタは水素燃焼による格納容器破損防止のために必須の設備ではない。一方、格納容器過圧破損 (AED) を含む MCCI の不確かさを考慮する場合、イグナイタによる水素処理に期待する必要があることから、信頼性向上対策として、電源設備の多重化を確保する設計とする。</p> <p>電源からイグナイタ本体まで、いずれの箇所での故障を想定しても、共通要因又は従属要因によって同時に機能が損なわれないように、多重性、独立性、位置的分散を考慮した設計とする。電源構成を図1に示す。</p>  <p style="text-align: center;">図1 電源構成概要</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p><b>【泊3号炉は、以下の理由により、本資料に対応する設備対応は実施していないため、本資料に相当する資料はなし】</b></p> <p>本資料は、左記の大飯3/4号炉欄に記載のとおり、過圧破損シーケンスを含むMCCIの不確かさを考慮する場合、原子炉格納容器内水素濃度が爆轟領域に至らないためにイグナイタによる水素処理に期待する必要があることから、イグナイタへの給電について信頼性向上をはかるため、給電設備の多重化をはかり、多重化した給電機能が同時に機能を損なう恐れがないことをを説明する内容である。</p> <p>泊3号炉の水素燃焼にかかる解析結果<sup>※1</sup>においては、MCCIによる水素の追加発生を考慮した場合においても、有効性評価の最大水素濃度である約11.7vol%以下に対し追加発生水素の影響は約1.0vol%以下であり、有効性評価結果に単純加算しても約12.5vol%以下と爆轟領域13vol%未満であることを確認している。</p> <p>この結果は、泊3号炉をPWR3ループプラントに共通の結果であり、PWR4ループプラントが大飯3/4号炉と同じくイグナイタ電源設備の信頼性向上を必要と判断しているのに対し、3ループプラントはイグナイタの効果に期待せずPARによる水素処理のみで爆轟領域未満に原子炉格納容器内の水素濃度を制御できることから、イグナイタによる水素処理は、水素発生初期の水素濃度ピークを低減することでより格納容器内水素濃度を低値に維持することのみに期待している。</p> <p>以上から、泊3号炉においてイグナイタ電源設備の信頼性向上をはからずとも、有効性評価シーケンスの不確かさを考慮しても原子炉格納容器内の水素濃度を水素対応の目標とする爆轟領域未満に維持することが可能であり、イグナイタ電源設備の信頼性向上については実施不要と判断しており、本資料は作成対象外としている。</p> <p>※1：有効性評価 7.2.4 水素燃焼 添付資料 7.2.4.11 「熔融炉心・コンクリート相互作用による水素の発生を考慮した場合の原子炉格納容器内水素濃度について」</p> </div>	

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3/4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(2)イグナイタ電源設備の多重性及び独立性について</p> <p>(電源設備)</p> <p>a. 電源設備については、電源系統を2系統化し、2系統の多重性及び独立性を有する電源設備により給電可能な設計とする。電源系統の2系統化としては、原子炉コントロールセンタからの給電系統とは別に、代替所内電気設備からの給電が可能な設計とする。</p> <p>b. 各系統のイグナイタ分電盤から各イグナイタに給電するケーブルは、環境条件の厳しい原子炉格納容器内を避け、原子炉格納容器外にある電気ペネトレーションのアニュラス側端子箱にて接続することにより、万一の接続箇所などの故障に対する保守性を確保する。</p> <p>c. イグナイタ起動時には、原子炉コントロールセンタの電源系統から全てのイグナイタに給電する設計とする。</p> <p>d. 原子炉コントロールセンタからイグナイタ分電盤までの間で単一故障が生じた場合には、イグナイタ分電盤のNFBを切り替えることにより、代替所内電気設備分電盤の電源系統からすべてのイグナイタに給電が可能な設計とする。</p> <p>e. イグナイタ分電盤から各イグナイタまでの間で単一故障が生じた場合には、イグナイタ分電盤のNFBを「切」とすることで、故障したイグナイタを系統から隔離が可能な設計とする。なお、イグナイタ分電盤より下流のケーブルは、イグナイタごとに分離されているため、一部のケーブルに故障が発生した場合でもイグナイタの全数が機能喪失することはない。</p> <p>(電気ペネトレーション)</p> <p>a. 電気ペネトレーションは予備を含めたイグナイタ14台のケーブルを半分ずつ互いに十分な離隔距離のある2箇所の電気ペネトレーション(PENE-729,704)を通す設計とする。なお、半数のイグナイタでも、水素放出が想定される箇所又はその隣接区画、水素の主要な通過経路及びドーム部に配置されるよう、電気ペネトレーションへの振り分けを考慮する。</p> <p>b. 電気ペネトレーションは重大事故等発生時の原子炉格納容器内の環境においても健全性が維持されることを確認しており、十分に高い信頼性を有している。電気ペネトレーションの構造については図2に示す。</p> <div data-bbox="322 1038 949 1220" data-label="Image"> </div> <p>図2 電気ペネトレーションの構造</p>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由																																																																																												
<p>c. 電路（電気ペネトレーション含む）に想定される故障モードは、ケーブル単体の断線、地絡・短絡であり、一体の故障は考えにくいものの、信頼性向上対策を検討する目的から、一体故障を想定する。具体的には、イグナイタ分電盤から電気ペネトレーションの区間において、事故環境下における絶縁性能低下による地絡・短絡、何らかの外力による破損での断線を想定する。</p> <p>d. 電気ペネトレーションの一方が破損し、その電気ペネトレーションを通過する電路が損傷することで半数のイグナイタが機能喪失した場合でも、他方の電路は継続して使用できるため、イグナイタ全数が機能喪失することはない。</p> <p>（参考：水素濃度の感度解析）</p> <p>片方の電気ペネトレーションに振り分けたイグナイタのうち、ループ室の2台及びループ室外周部の2台の計4台のみが健全であるという保守的な条件で感度解析を実施し、水素爆轟防止の判断基準の目安である格納容器水素濃度 13vol%以下（ドライ換算）を十分に下回ることを確認している。なお、より保守的な条件となるように、破断区画にあるイグナイタが機能喪失しているという想定で解析を実施している。</p> <p>各々の電気ペネトレーションに電路を振り分けたイグナイタの整理及び感度解析条件については表1及び図3に示す。また、原子炉格納容器内の平均ドライ水素濃度の推移を図4及び図5に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 各ケースにて想定するイグナイタ</p> <table border="1" data-bbox="250 788 960 1300"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No.</th> <th rowspan="2">設置場所</th> <th colspan="2">系統</th> <th rowspan="2">ベース ケース (13台)</th> <th rowspan="2">感度 解析 (4台)</th> </tr> <tr> <th>PENE -729</th> <th>PENE -704</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>(1)</td><td>Cループ基礎室外周部</td><td></td><td>○</td><td>○</td><td>×</td></tr> <tr><td>(2)</td><td>Dループ基礎室外周部(加圧器逃がシタンク近傍)</td><td>○</td><td></td><td>○</td><td>○</td></tr> <tr><td>(3)</td><td>炉内核計装シンプル配管室入口扉近傍</td><td></td><td>○</td><td>○</td><td>×</td></tr> <tr><td>(4)</td><td>Aループ基礎室外周部</td><td></td><td>○</td><td>○</td><td>×</td></tr> <tr><td>(5)</td><td>Bループ基礎室外周部</td><td>○</td><td></td><td>○</td><td>○</td></tr> <tr><td>(6)</td><td>Cループ室【破断区画】</td><td></td><td>○</td><td>○</td><td>×</td></tr> <tr><td>(7)</td><td>Dループ室</td><td>○</td><td></td><td>○</td><td>○</td></tr> <tr><td>(8)</td><td>Aループ室</td><td></td><td>○</td><td>○</td><td>×</td></tr> <tr><td>(9)</td><td>Bループ室</td><td>○</td><td></td><td>○</td><td>○</td></tr> <tr><td>(10)</td><td>炉内核計装装置のシールテーブル近傍</td><td>○</td><td></td><td>○</td><td>×</td></tr> <tr><td>(11)</td><td>加圧器室</td><td>○</td><td></td><td>○</td><td>×</td></tr> <tr><td>(12)</td><td>加圧器外室上部</td><td></td><td>○</td><td>○</td><td>×</td></tr> <tr><td>(13)</td><td>ドーム部頂部付近*</td><td>○</td><td>(○)</td><td>○*</td><td>×</td></tr> <tr><td colspan="2">合計</td><td>7台</td><td>6台</td><td>13台*</td><td>4台</td></tr> </tbody> </table> <p>※：ドーム部頂部中央にはイグナイタが2台設置されており、1台運用（1台は予備）であるが、ペネ損傷時の機能喪失を防止する観点から本設と予備のイグナイタ給電を分離する。解析上は、同じノードとなるため、1台でも2台でも結果は変わらない。</p>	No.	設置場所	系統		ベース ケース (13台)	感度 解析 (4台)	PENE -729	PENE -704	(1)	Cループ基礎室外周部		○	○	×	(2)	Dループ基礎室外周部(加圧器逃がシタンク近傍)	○		○	○	(3)	炉内核計装シンプル配管室入口扉近傍		○	○	×	(4)	Aループ基礎室外周部		○	○	×	(5)	Bループ基礎室外周部	○		○	○	(6)	Cループ室【破断区画】		○	○	×	(7)	Dループ室	○		○	○	(8)	Aループ室		○	○	×	(9)	Bループ室	○		○	○	(10)	炉内核計装装置のシールテーブル近傍	○		○	×	(11)	加圧器室	○		○	×	(12)	加圧器外室上部		○	○	×	(13)	ドーム部頂部付近*	○	(○)	○*	×	合計		7台	6台	13台*	4台		
No.			設置場所	系統			ベース ケース (13台)	感度 解析 (4台)																																																																																						
	PENE -729	PENE -704																																																																																												
(1)	Cループ基礎室外周部		○	○	×																																																																																									
(2)	Dループ基礎室外周部(加圧器逃がシタンク近傍)	○		○	○																																																																																									
(3)	炉内核計装シンプル配管室入口扉近傍		○	○	×																																																																																									
(4)	Aループ基礎室外周部		○	○	×																																																																																									
(5)	Bループ基礎室外周部	○		○	○																																																																																									
(6)	Cループ室【破断区画】		○	○	×																																																																																									
(7)	Dループ室	○		○	○																																																																																									
(8)	Aループ室		○	○	×																																																																																									
(9)	Bループ室	○		○	○																																																																																									
(10)	炉内核計装装置のシールテーブル近傍	○		○	×																																																																																									
(11)	加圧器室	○		○	×																																																																																									
(12)	加圧器外室上部		○	○	×																																																																																									
(13)	ドーム部頂部付近*	○	(○)	○*	×																																																																																									
合計		7台	6台	13台*	4台																																																																																									

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="203 256 943 1249" style="border: 2px solid black; height: 600px; width: 300px; margin: 0 auto;"></div> <p data-bbox="465 1257 707 1278">図3 イグナイタ配置概要図（1/2）</p> <p data-bbox="607 1286 920 1307">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>		

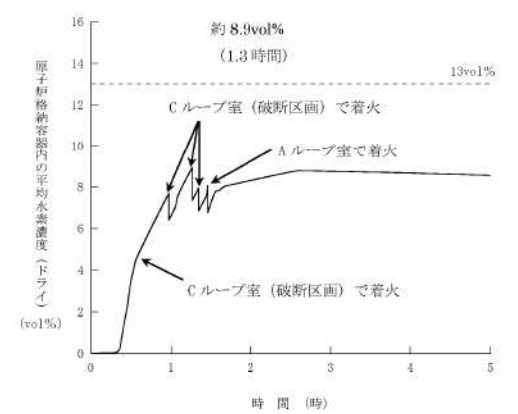
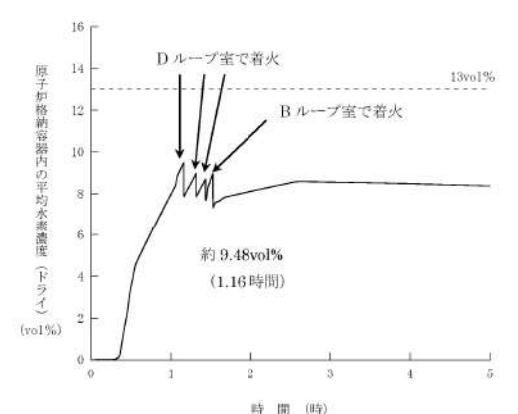
赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="208 248 965 1257" style="border: 2px solid black; height: 632px; width: 338px; margin: 10px auto;"></div> <p data-bbox="465 1262 707 1278">図3 イグナイタ配置概要図（2/2）</p> <p data-bbox="629 1297 943 1313">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
 <p>図4 原子炉格納容器内の平均水素濃度(ドライ)の推移(ベースケース(13台))</p>	 <p>図5 原子炉格納容器内の平均水素濃度(ドライ)の推移(感度解析(4台))</p>	



赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(3)イグナイタ電源設備の位置的分散について</p> <p>共通要因、従属要因により機能喪失しないよう、イグナイタ電源設備（電気ペネトレーション含む）は位置的分散を図る設計とする。なお、火災・溢水影響評価については以下の通りの設計としている。</p> <p>a. イグナイタ電源設備についてはそれぞれ異なる「火災区画」に設置することで互いに位置的分散を図る設計とする。なお、電気ペネトレーションについてはそれぞれ同一区画に存在するため、互いに離隔距離を確保する設計とする。具体的な配置については図6に示す。</p> <p>b. イグナイタ電源設備についてはそれぞれ異なる「溢水区画」に設置することで互いに位置的分散を図る設計とする。なお、電気ペネトレーションについてはそれぞれ同一区画に存在するため、互いに離隔距離を確保する設計とする。具体的な配置については図7に示す。</p>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="280 295 1003 1117" style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <p data-bbox="369 1117 851 1133">図6 イグナイタ電源設備配置図(火災区画図)(E.L. 17.1m、26.0m)</p> <p data-bbox="728 1149 952 1165">※配置場所の詳細については検討中。</p> <p data-bbox="660 1181 974 1197">□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<div data-bbox="244 293 967 1088" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="344 1086 840 1109" data-label="Caption"> <p>図7 イグナイタ電源設備配置図(溢水区画図) (E.L. 17.1m、26.0m)</p> </div> <div data-bbox="703 1118 936 1139" data-label="Text"> <p>※配置場所の詳細については検討中。</p> </div> <div data-bbox="616 1141 938 1163" data-label="Text"> <p>□ 内は機密に属するものですので公開できません。</p> </div>		

赤字：設備、運用又は体制の相違（設計方針の相違）  
 青字：記載箇所又は記載内容の相違（記載方針の相違）  
 緑字：記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備

大阪発電所3 / 4号炉	泊発電所3号炉	相違理由
<p>(4)イグナイタ電源設備の耐震性について                      イグナイタ電源設備及び電気ペネトレーションは、基準地震動に対して構造強度及び電気的機能を維持する設計をしており、地震により機能喪失しない設計とする。</p>		