

社団法人火力原子力発電技術協会
「BWR配管における混合ガス（水素・酸素）蓄積
防止に関するガイドライン（平成17年10月）」
に関する技術評価書

平成17年12月

原子力安全・保安院

独立行政法人 原子力安全基盤機構

目 次

1 .はじめに.....	1
2 .検討の基本方針.....	2
2 . 1 規格の策定プロセスに関する確認.....	2
2 . 2 規定内容に関する検討.....	2
3 .本ガイドラインの作成経緯及び概要.....	3
3 . 1 放射線分解による水素の急速な燃焼に関する検討経緯.....	3
3 . 2 本ガイドラインの概要.....	5
4 .ガイドライン策定プロセスについて.....	7
5 .本ガイドラインの技術的妥当性.....	9
5 . 1 技術基準との対応.....	9
5 . 2 仕様規定としての適切性.....	9
5 . 3 技術的妥当性の検討.....	1 0
6 .本ガイドライン適用に当たっての条件と課題.....	1 8
6 . 1 規制体系上の位置付け.....	1 8
6 . 2 今後の課題.....	1 8

1. はじめに

原子力発電施設の技術基準の性能規定化と民間規格の活用については、平成14年7月総合エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会においてその基本的方針が示され、その後同小委員会及び同小委員会に設置された性能規定化検討会により、仕様要求を定めた告示類の廃止に対応する性能要求事項、国内外の事故トラブル事例を踏まえた要求事項等について中間とりまとめが行われた。同中間とりまとめでは、技術基準の具体的見直しのあり方が示されており、これを受けて、原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）は、平成18年1月施行として、改正技術基準を本年7月に公布した。

学協会規格を規制に活用するための仕組みとしては、まず、学協会規格に対して規制当局として規制上の要求を充足するものか否か等の技術評価を行うこととしており、技術評価における具体的な確認事項及び手続きは以下のとおりである（平成16年6月原子炉安全小委員会）。

（保安院による技術評価における確認事項）

規格の策定プロセスが公正、公平、公開を重視したものであること

（偏りのないメンバー構成、議事の公開、公衆審査の実施、策定手続きの文書化及び公開など）

技術基準や法令上の要求事項で要求される性能との項目・範囲において対応が取れること（規制の要求範囲との整合性）

技術基準や法令上の要求事項で要求される性能を達成するための必要な技術的事項について具体的な手法や仕様が示されること。

民間規格に示される具体的な手法や仕様について、その技術的妥当性が証明されていること。

（技術評価の手続き）

技術評価の手続きは、関係審議会（原子炉安全小委員会及び関係WG等）の意見を聴いて規制当局が技術評価を行い、その結果を技術評価書としてパブリックコメントを求めた上でとりまとめ、公開する。

その後、行政手続法に基づく審査基準や行政文書により、当該学協会規格の規制上の取扱いを明確にする仕組みとする。その際には、技術評価の結果に基づき、当該学協会規格の活用の際の条件などを付すことがある。

改正技術基準に反映した国内主要事故トラブル事例の一つとして、放射線分解による水素の急速な燃焼事例があり、具体的には、火災防護の一つの措置として、放射線分解による水素の急速な燃焼に至るような混合ガス（水素・酸素）の蓄積を防止する措置を明確に求めている。また、火災防護のための具体的仕様のあり方については、日本電気協会「原子力発電所の火災防護指針(JEAG 4607-1999)」を別途技術評価したところであるが、同指針においては水素蓄積防止に関する規定は含まれていない。

以上を踏まえ、改正技術基準に追加された水素蓄積防止を実現する具体的仕様規定として、中部電力(株)浜岡 1 号機余熱除去系蒸気凝縮系配管破損事故（平成 13 年 11 月）を受けて保安院からの要請を受けて策定された「BWR 配管における混合ガス（水素・酸素）蓄積防止に関するガイドライン（「本ガイドライン」という）」の技術評価を行った。

本技術評価書は、保安院と原子力安全基盤機構が、策定プロセスについては保安院からの策定要請等の経緯、また、要求事項については浜岡 1 号機配管破損事故に対する保安院最終報告書（平成 14 年 5 月。以下「最終報告書」という）における再発防止策等を考慮し、技術基準との対応や技術的妥当性を検討し、基準評価WG及び原子炉安全小委員会の審議を経てとりまとめたものである。

2. 検討の基本方針

2.1 規格の策定プロセスに関する確認

規格の策定プロセスが公正、公平、公開を重視したものであること

（偏りのないメンバー構成、議事の公開、公衆審査の実施、策定手続きの文書化及び公開など）

策定機関である火力原子力発電技術協会の規格策定手続き、実際の規格策定手順について、公正、公平、公開を重視したものであることの確認を行う。その場合、保安院としての本規格の必要性、規格策定への関与も考慮する。

2.2 規定内容に関する検討

技術基準や法令上の要求事項で規定される性能との項目・範囲において対応が取れること。（規制の要求範囲との整合性）

技術基準や法令上の要求事項で要求される性能を達成するための必要な技術的事項について具体的な手法や仕様が示されていること。

民間規格に示される具体的な手法や仕様について、その技術的妥当性が証明されていること。

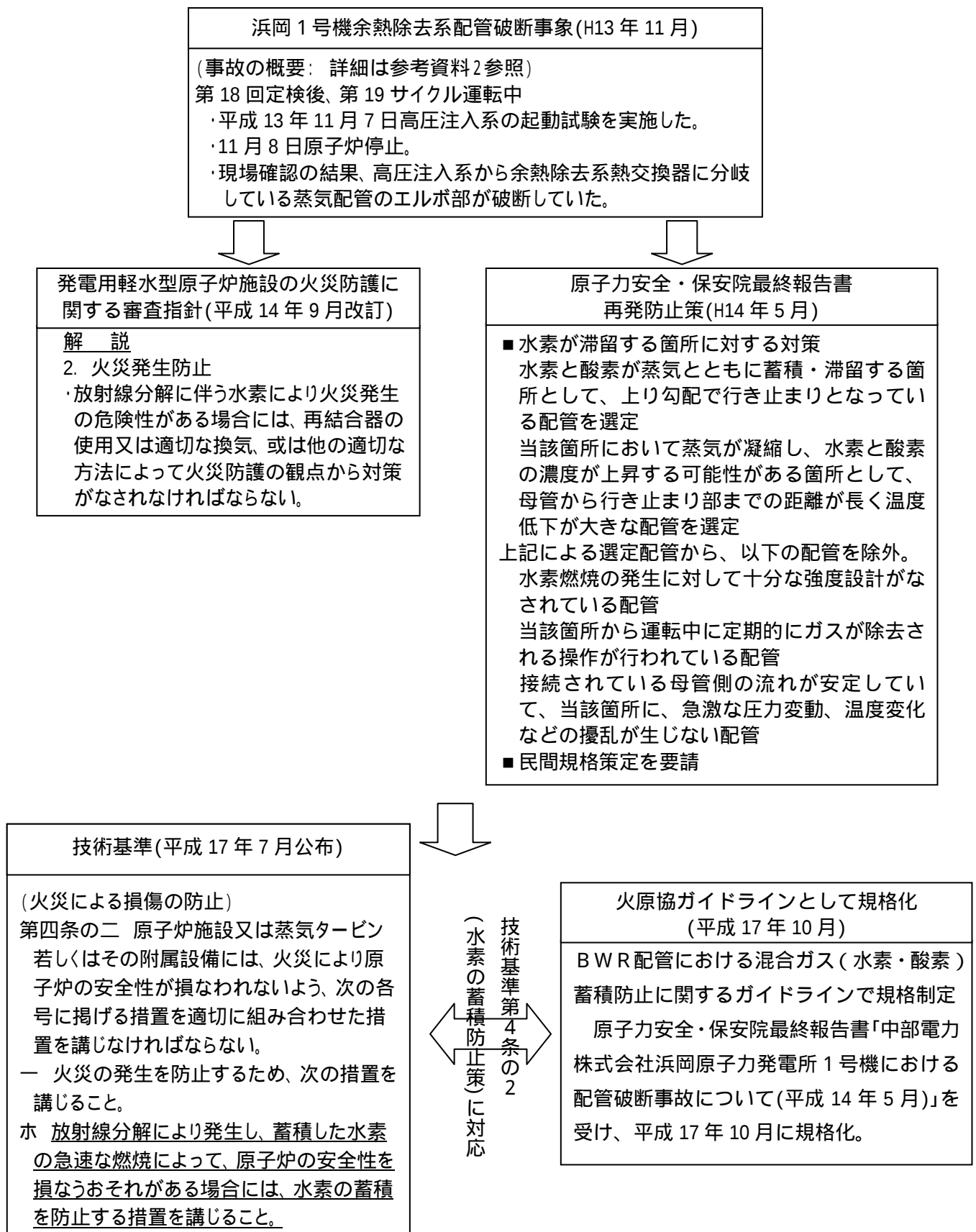
事故トラブル事例を踏まえて策定されたものであり、事業者により水平展開が行われ、保安院よりもNISA文書により対応を指示しており、技術評価に先立ち、背景を確認する。

技術基準との対応については、第4条の2「火災による損傷の防止」に対応するものであるが、対象プラントや対象機器の妥当性について確認する。

技術的妥当性については、最終報告書との対応、さらに研究成果に基づくデータ等を活用している場合にはその妥当性を確認する。

3. 本ガイドラインの作成経緯及び概要

3.1 放射線分解による水素の急速な燃焼に関する検討経緯



(既存プラントにおける対応状況～余熱除去系配管以外)

電力事業者	プラント名	名 称	対応状況
中部電力	浜岡 1 号	グランド蒸気調整器(SSR)入口配管	ベント配管設置
	浜岡 2 号	-	-
	浜岡 3 号	-	-
	浜岡 4 号	湿分分離加熱器第 1 段スカベンジング配管(A-1)	弁の移設
		湿分分離加熱器第 1 段スカベンジング配管(A-2)	配管経路変更
		湿分分離加熱器第 1 段スカベンジング配管(B-1)	配管経路変更
		湿分分離加熱器第 1 段スカベンジング配管(B-2)	配管経路変更
		湿分分離加熱器第 2 段スカベンジング配管(A-1)	配管経路変更
		湿分分離加熱器第 2 段スカベンジング配管(A-2)	配管経路変更
		湿分分離加熱器第 2 段スカベンジング配管(B-1)	配管経路変更
		湿分分離加熱器第 2 段スカベンジング配管(B-2)	配管経路変更
東北電力	女川 1 号	グランド蒸気発生器加熱蒸気圧力調整弁入口配管	ベント配管設置
	女川 2 号	グランド蒸気発生器加熱蒸気圧力調整弁入口配管	設備変更(*)
	女川 3 号	グランド蒸気発生器加熱蒸気圧力調整弁入口配管	設備変更(*)
		湿分分離加熱器第 1 段スカベンジング配管(A-1)	設備変更(*)
		湿分分離加熱器第 1 段スカベンジング配管(B-2)	設備変更(*)
		湿分分離加熱器第 2 段スカベンジング配管(A-1)	設備変更(*)
		湿分分離加熱器第 2 段スカベンジング配管(A-2)	設備変更(*)
東京電力	福島第一 1 号	グランド蒸気調整器(SSR)入口配管	ベント配管設置
		エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	福島第一 2 号	-	-
	福島第一 3 号	-	-
	福島第一 4 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	福島第一 5 号	-	-
	福島第一 6 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	福島第二 1 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	福島第二 2 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	福島第二 3 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	福島第二 4 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	柏崎刈羽 1 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	柏崎刈羽 2 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	柏崎刈羽 3 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	柏崎刈羽 4 号	-	-
	柏崎刈羽 5 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	柏崎刈羽 6 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
	柏崎刈羽 7 号	エバポレータ入口配管	ベント配管設置
北陸電力	志賀 1 号	-	-
中国電力	島根 1 号	タービングランド蒸気発生器入口配管	ベント配管設置
	島根 2 号	-	-
日本原子力発電	東海第二	-	-
	敦賀 1 号	グランド蒸気調整器(SSR)入口配管	ベント配管設置

(*)：経路変更もしくはベント配管設置

(注)：表中の「-」については該当箇所がないことを示す。

3.2 本ガイドラインの概要

(ガイドラインの目的)

本ガイドラインは、BWR新規プラントの設置や既設プラントの改造等に係わる配管設計の際に基準とする主蒸気中の混合ガスの蓄積を防止する設計評価の方法(混合ガスが可燃限界以上に蓄積することを防止するための設計評価の方法)及び対応措置の方法を定めたものである。

(ガイドラインの構成)

本ガイドラインは、「本文」のほかに、混合ガスの蓄積を評価するに当たっての具体的な方法等を説明した解説、既往の研究例及び実験例等を説明した「付録」より構成される。

(ガイドラインの適用範囲)

○ 評価対象とする現象

BWR原子炉内では、中性子・ガンマ線の作用により水分子が分解され、水素と酸素が生成され、生成された水素と酸素は主蒸気中に移行する。本ガイドラインでは、この主蒸気中の水素・酸素(混合ガス)の蓄積及び燃焼現象を対象とする。

○ 評価対象とする範囲

BWR原子力発電設備の配管のうち、枝管(主蒸気を内包する容器又は配管より分岐し、他端が弁等で閉止されている配管)を対象とし、具体的系統を下記に示す。

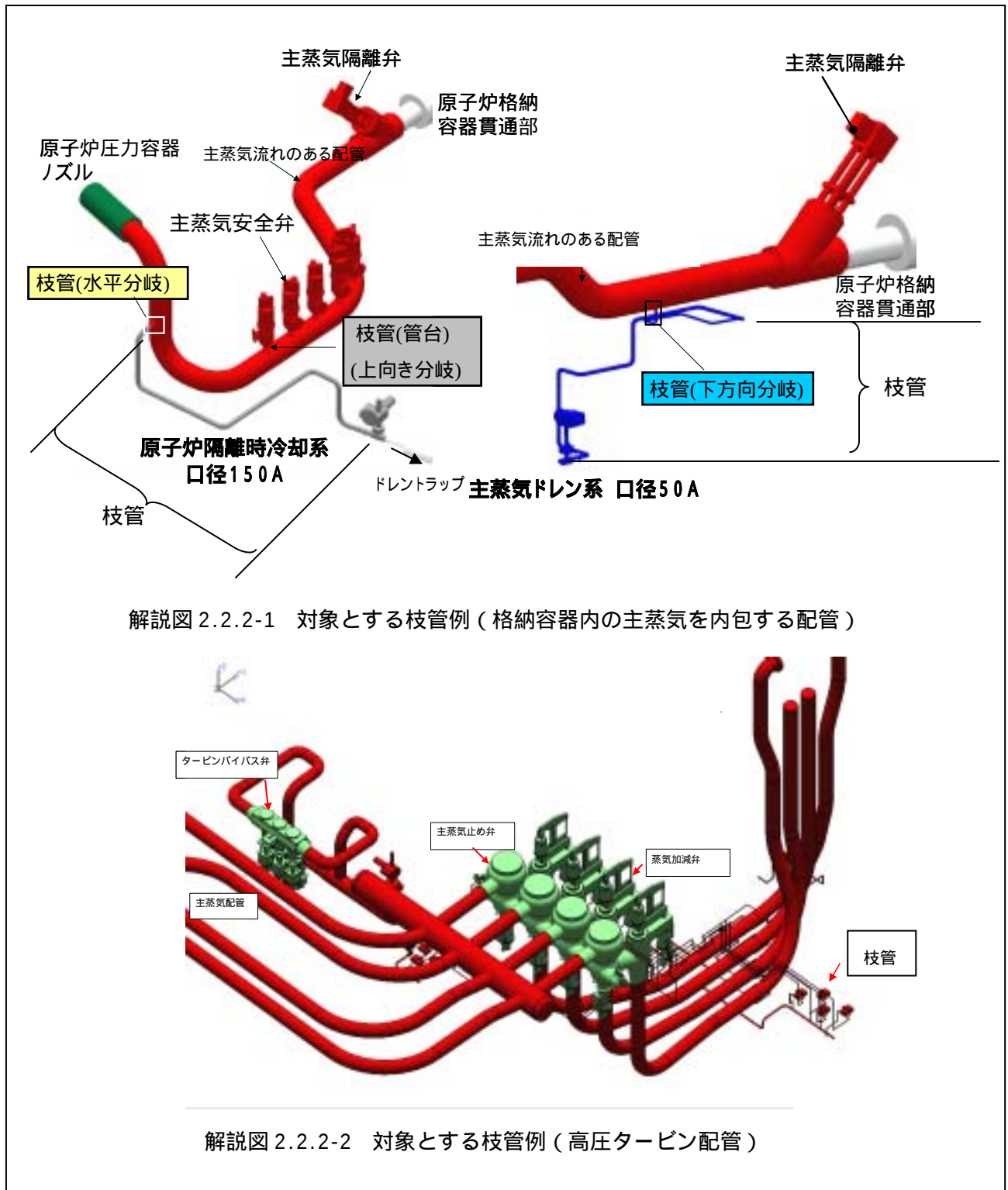
また、計装配管については、配管内容積が小さく、破断する可能性が低いこと、また仮に水素燃焼により破断した場合においても元弁で破断部を隔離できることから評価不要とする。

- ・原子炉压力容器(RPV)
- ・主蒸気系(MS)
- ・自動減圧系(ADS)(主蒸気安全弁)
- ・原子炉隔離時冷却系(RCIC)(高圧注入系(HPCI)を含む)
- ・残留熱除去系(RHR)(蒸気凝縮モード)
- ・抽気系(ES)
- ・主タービン
- ・タービン補助蒸気系(AS)
- ・タービングラント蒸気系(TGS)

○ 評価手法及び対応措置

評価パラメータ及び枝管分類を定義した上で、混合ガスの滞留・蓄積可能性の評価手法を規定しており、同評価手法に基づく評価の実施、さらに可燃性限界の濃度まで滞留・蓄積する可能性がある場合には対応措置を講じることを要求している。

図 評価対象とする枝管例



4．ガイドライン策定プロセスについて

保安院による要請を踏まえ、平成15年10月に、火力原子力発電技術協会は、非凝縮性ガス対応技術検討会を設置し、研究成果を取り入れ、BWR配管における混合ガス（水素・酸素）蓄積防止に関するガイドライン策定を検討した。

技術的検討は本検討会で7回行われ、他の委員会等で議論されてはいない。

- ・ 非凝縮性ガス対応技術検討会（平成15年10月～平成17年9月）：計7回審議
平成15年 10月7日(第1回)
平成16年 1月19日(第2回)、10月25日(第3回)
平成17年 1月24日(第4回)、3月3日(第5回)、6月28日(第6回)、
9月30日(第7回)

（火力原子力発電技術協会における規格策定規約）

火力原子力発電技術協会においては、共通的な規格策定規約は存在せず、個々の規格策定に当たり、意志決定手続き等を定めている。本ガイドラインについても同様の規定を定めており、意志決定は多数決としているが、検討会の公開、公衆審査等の規定はない。

（委員会構成・審議内容等の公開）

- ・ 委員会構成
学識経験者 7
電気事業者 7
製造業者 4

（注）電気事業者、原子炉製造メーカーでは同一社から複数の委員が参画。

保安院、原子力安全基盤機構からはオブザーバーとして参画。

- ・ 審議内容等の公開、公衆審査は実施されていない。

（規格策定プロセスの評価）

火力原子力発電技術協会におけるガイドライン策定は、日本機械学会のように公正、公平、公開を重視した手続きに基づく規格を策定するよりも、規制当局や電気事業者の必要性に応じて、研究成果を反映し学識経験者の幅広い意見を踏まえて、速やかに策定することを目的としている。他のガイドラインの活用形態をみれば、ガイドラインが直ちに規格として活用されるのではなく、当該ガイドラインを原案として学協会の審議を経て規格として活用されている。

以上から、規格策定プロセスは日本機械学会等の規格に比べ、公開の観点から必ずしも十分なものでないが、保安院としての関与や本ガイドライン活用の意義も考慮し、本ガイドラインを活用するかを判断した。

なお、今後は、学協会規格（日本機械学会等）において本ガイドライン規格化を行い、最新の知見を反映した見直しが定期的に行われることが期待される。

（保安院としての本ガイドライン活用の意義）

技術基準等法令の仕様規格として引用する規格は、日本機械学会、電気協会、原子力学会等の学協会にて公正、公平、公開を重視した手続きに基づく規格とするのを原則とするが、本ガイドラインについては、保安院として来年１月から施行される改正技術基準を実現する仕様規定として、保安院自ら要求事項を策定するか、本ガイドラインを活用するか判断がまず必要となるが、本ガイドラインは、保安院が策定を要請したものであり、水素燃焼限界等の研究開発中にもかかわらず来年１月の技術基準改正に先立ってとりまとめたものであること、また、オブザーバーではあるが保安院・原子力安全基盤機構が策定段階から参画していたことを考慮すれば、学協会規格（日本機械学会等）において本ガイドライン規格化される当面の間、積極的に活用することが適当と考えた。なお、本ガイドラインが学協会規格化された場合、早急に本ガイドラインとの相違点について技術評価する。

また、規格策定プロセスの適切性によって期待される信頼性の向上については、検討会において専門分野の学識経験者が含まれ累次にわたり議論がなされていることに留意しつつ、技術的妥当性の中で考慮することとした。

5．本ガイドラインの技術的妥当性

5．1 技術基準との対応

改正技術基準第4条の2では、火災による損傷の防止のための措置として、火災の発生防止、火災の検出及び消火、火災の影響軽減の適切な組合せを要求事項としており、火災の発生防止の措置の一つとして、「放射線分解により発生し、蓄積した水素の急速な燃焼によって、原子炉の安全性を損なうおそれがある場合には、水素の蓄積を防止する措置を講じること」と規定している。

（対象プラントについて）

本ガイドラインでは、BWRのみ対象としているが、PWRでは加圧器以外は高压水の一相流となっており、また、加圧器内も運転中は常に一次冷却材と蒸気が平衡状態にあることから、水素や酸素の濃度が高い状態で滞留、蓄積する可能性のある箇所はないと判断され、BWRのみに限定することは妥当である。

（対象機器について）

本ガイドラインは、同要求に対応して、BWR原子力発電設備の配管のうち枝管を対象としている。計装配管については、配管内容積が小さく破断する可能性が小さいこと、また仮に水素燃焼により破断した場合においても元弁で破断部を隔離できることから評価不要としているが、これは技術基準に規定される「原子炉の安全性を損なうおそれがある場合」でないと判断されることから問題ないとする。

また、本ガイドラインでは、BWRを対象として、主蒸気中の水素・酸素（混合ガス）の蓄積及び燃焼を対象としている。BWR原子炉内で中性子・ガンマ線の作用により水分子が分解され、水素と酸素が生成され、生成された水素と酸素が主蒸気に移行し、主蒸気が凝縮することが混合ガスの滞留・蓄積の理由であるので、主蒸気中に限定したことは妥当と考える。また、BWR原子炉内で発生する放射線分解ガスは、水素：酸素＝2：1であり、配管中に蓄積した水素・酸素及び水蒸気の混合気体が存在する場合、エネルギーが付加されると燃焼に至る場合があるとしており、水素だけではなく、酸素を含めた混合ガスを蓄積防止の対象としているのは妥当である。

以上から、BWR配管の中で対象機器を特定していること、水素のみならず酸素の蓄積も対象としていることについては、技術基準との対応の観点から問題ないとする。

5．2 仕様規定としての適切性

本ガイドラインでは、4．に概要を示したとおり、目的及び適用範囲（評価対象とする現象・範囲）を明確にした上で、以下の評価方法を定めている。

評価パラメータ： 口径（主蒸気を内包する配管の内径、枝管の内径）
圧力（系統の運転圧力）

枝管長さ（水平枝管とそれ以外に区分して定義）
流速（主蒸気流れのある配管の主蒸気の平均流速）
枝管レイノルズ数（新たに定義）

配管の分類 ： 枝管を取出し方向により分類
評価の実施 ： 混合ガスが滞留・蓄積する可能性を評価
対応措置 ： 運転操作又は設備変更等による対応措置

したがって、本文と解説を合わせると配管の形状や枝管の取出し方向に対して、必要な評価を実施し、評価の結果混合ガスが滞留・蓄積する可能性がある場合の対応措置まで規定しており、仕様規定として適切と判断した。ただし、本文のみでは、具体的な評価手法等が明確でなく、今後明確な位置付けが行われることが望まれる。

5.3 技術的妥当性の検討

本ガイドラインは、主要事故トラブル事例を踏まえて、研究成果等を踏まえて策定されたものであるので、浜岡1号機余熱除去系配管破断事故に対する保安院最終報告書（平成14年5月）における再発防止策、研究成果を適用することの技術的妥当性に重点を置いて検討を行った。

5.3.1 保安院最終報告書との対応

本ガイドラインにおいては、評価の実施の中で、混合ガス蓄積可能性の観点から、枝管を以下の5つに区分（水平枝管等については詳細に規定）し、混合ガス蓄積の可能性の観点から検討しているが、本件に関する最終報告書との対応は表-1のとおりである。

区分： (a)下向き枝管
(b)水平枝管（上り勾配） (c)水平枝管（下り勾配）
(d)上向き枝管
(e)上記の組合せ枝管

表 - 1 ガイドラインと保安院最終報告書との対応

最終報告書	本ガイドライン解説 3 . 3 及び 3 . 4	対応状況
7.1 水素が滞留する箇所への対策 水素と酸素が蒸気とともに蓄積・滞留する箇所として、 上り勾配で行き止まりとなっている配管を選定	ステップ 1 : 水の放射線分解によって生成される混合ガスが蓄積する箇所として、主蒸気を内包する配管から枝管端部まで距離があり、放熱による混合ガスの蓄積が懸念される配管を選定 ・ (b)水平枝管 (上り勾配) ・ (d)上向き枝管 ・ (e)組合せ枝管 (下向き枝管、水平枝管 (下り勾配) を除外)	最終報告書の上り勾配配管に対応して、上り勾配を有する形状の枝管を規定
当該箇所において蒸気が凝縮し、水素と酸素の濃度が上昇する可能性がある箇所として、 母管から行き止まり部までの距離が長く温度低下が大きな配管を選定	ステップ 2 : 水蒸気が凝縮され、水素と酸素濃度が上昇(蓄積)する箇所を選定 ・ 水平枝管 (上り勾配) の長さ > 対流限界長さ ・ 上向き枝管の長さが換気領域外 ・ 組合せ枝管	最終報告書 に対応しているが、換気領域の設定 (上り勾配水平枝管の対流限界長さ等) の妥当性は 5.3.2 及び 5.3.3 で検討
及び によって選定された配管から以下の配管を除外 水素燃焼の発生に対して十分な強度設計がなされている配管	ステップ 3 : 蓄積・構造強度等について詳細評価を実施して健全性が確保されている場合は除外	最終報告書 に対応しているが、構造健全性の考え方は 5.3.4 で検討

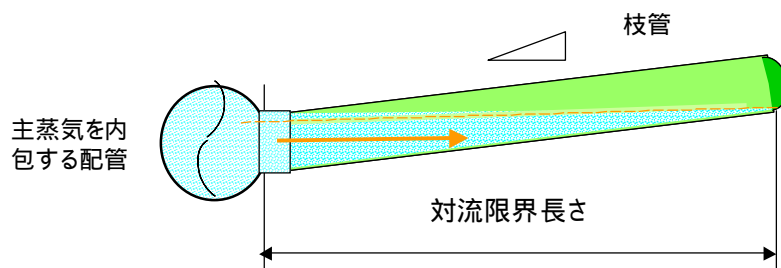
最終報告書	本ガイドライン解説 3.3 及び 3.4	対応状況
当該箇所から運転中に定期的にガスが除去される操作が行われている配管	ステップ 1～3 を満足しない場合の対応措置 (解説 3.4) (1) 定期的に混合ガスを抜く操作等による対応措置	最終報告書 で運転操作による定期的なガスの除去が対応措置としているが、ガイドラインの対応措置(解説 3.4)(1) が同等であることを確認
浜岡 1 号機配管破損事故を踏まえた保安院指示文書(平成 14 年 5 月 13 日)において、既設プラントの設備面での対応措置を求めた。 1. 余熱除去系蒸気凝縮系 当該系統を撤去するか又は当該系統の配管の分岐部に弁を設置するかのいずれかの措置をとること。 2. 余熱除去系蒸気凝縮系以外 弁やベント管の設置等設備変更により非凝縮性ガスの滞留を防止すること。	(2) 蓄積を防止するための設計変更の例 イ) ベントラインの設置 ロ) 触媒設置	保安院指示文書による余熱除去系蒸気凝縮系以外配管に対する弁やベント管の設置等の設備面での対応はガイドライン (2) 蓄積を防止するための設計変更の例、イ) ベントラインの設置等に反映されていることを確認
接続されている母管側の流れが安定していて、当該箇所に、急激な圧力変動、温度変化などの擾乱が生じない配管	規定なし	急激な圧力変動、温度変化などの擾乱の有無にかかわらず、ステップ 1 及びステップ 2 の要件で配管を保守的に選定

以上から、最終報告書に記述された事項は、保守的に考慮しなかった についてはすべて含まれており、また、蓄積防止のための措置として、保安院指示文書(平成 14 年 5 月)に記載されている設計面の対応がガイドラインに反映されていることを確認した。

5.3.2 上り勾配水平枝管の換気作用箇所の技術的妥当性

(本ガイドラインの考え方)

- (1) 主蒸気を内包する配管から分岐している水平枝管(上り勾配)のうち、その長さ(ℓ)が対流限界以内の長さのものについては混合ガスが蓄積しないと判定する。



解説図 3.3-4 水平枝管(上り勾配)の対流限界長さ

(解説・付録による説明及び技術的妥当性の評価)

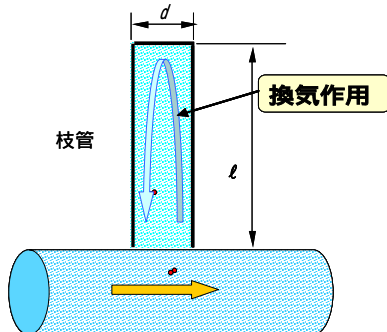
- ・ 本ガイドラインでは、上り勾配を有する水平配管に関して、「換気作用が期待される箇所」を混合ガス蓄積が行われない箇所として除外している。
- ・ 母管に流れがある水平枝管においては、換気効果と対流効果の両方が働くが、保守的に換気効果を考慮せず、「対流限界長さ」のみで規定している。
- ・ 具体的には、枝管内で水平方向に温度差がある場合には浮力で生じる対流によりガスが主蒸気を内包した配管に戻ることが期待できることから、主蒸気を内包する配管からみて水平線上に端部がみえる範囲では水平方向に温度差が生じ対流が起きると期待し、当該配管部分を対流限界長さとしている。また、上り勾配水平配管のうち、対流が期待される部分の上部についても、上部に蓄積したガスが下層を対流する主蒸気で加熱され、ガス濃度が上がりにくいことと判断している。
- ・ 本解説に関する評価としては、換気作用が期待される部分を温度差対流によるものに限定し、温度差が生じうる部分を高低差に着目し主蒸気内包配管との接続面積の投影部分に限定していることを確認した。併せて、対流限界長さであって、温度差対流が生じる部分の上層のガス濃縮についても、加熱により濃度上昇は生じにくいと判断していることを確認した。したがって、解説 2 . 1 . 2 は、技術的に妥当と判断する。

5.3.3 上向き枝管の換気作用箇所の技術的妥当性

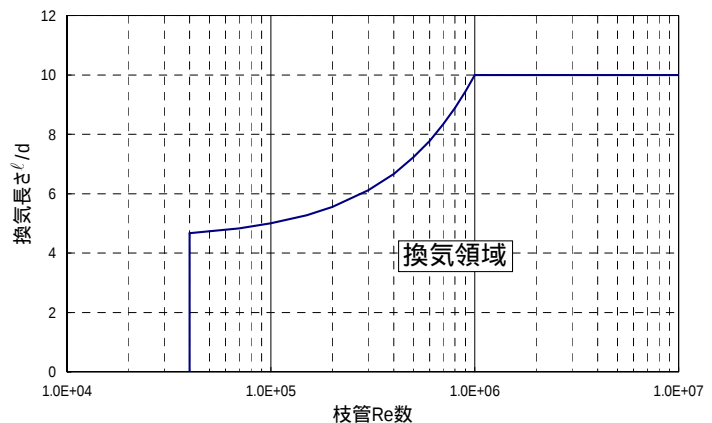
(本ガイドラインの考え方)

(2) 主蒸気流れがある配管から分岐されている上向き枝管、斜め上向き枝管

枝管内に換気流が発生するため、解説図 3.3-5、解説図 3.3-6 を満足する場合、混合ガスが蓄積しないと判定する。なお、換気領域は枝管に接続する主蒸気流れのある配管の流体の乱れが影響することから、評価の際、上流に乱れを発生させる配管要素があることについて留意する必要がある。



解説図 3.3-5 主蒸気流れのある配管から分岐している枝管内の換気流

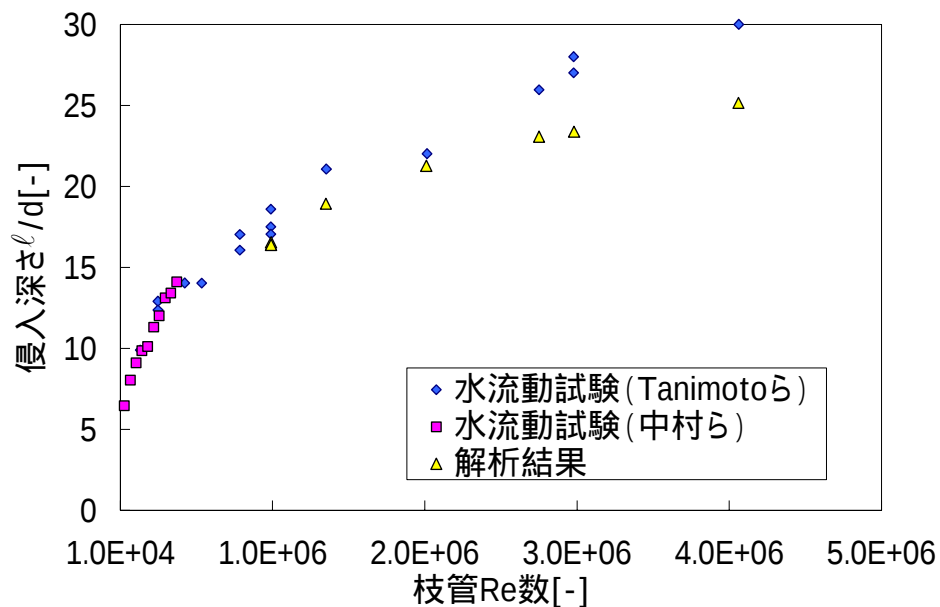


解説図 3.3-6 換気可能な枝管長さ

(解説・付録による技術的説明及び技術的妥当性の評価)

- ・ 上向き枝管に関しても、上り勾配水平枝管同様、換気作用が期待される箇所については、混合ガス蓄積が行われない箇所として除外している。
- ・ 上向き配管における「換気作用が期待される箇所」の設定に当たっては、配管の主蒸気流れに伴い枝管内に換気流れが生じ、この換気流れにより混合ガスが主蒸気流れのある配管へと排出されることが期待される部分としている。
- ・ 主蒸気流れによる「換気作用が期待される箇所」の設定に当たっては、以下の手順によっている。

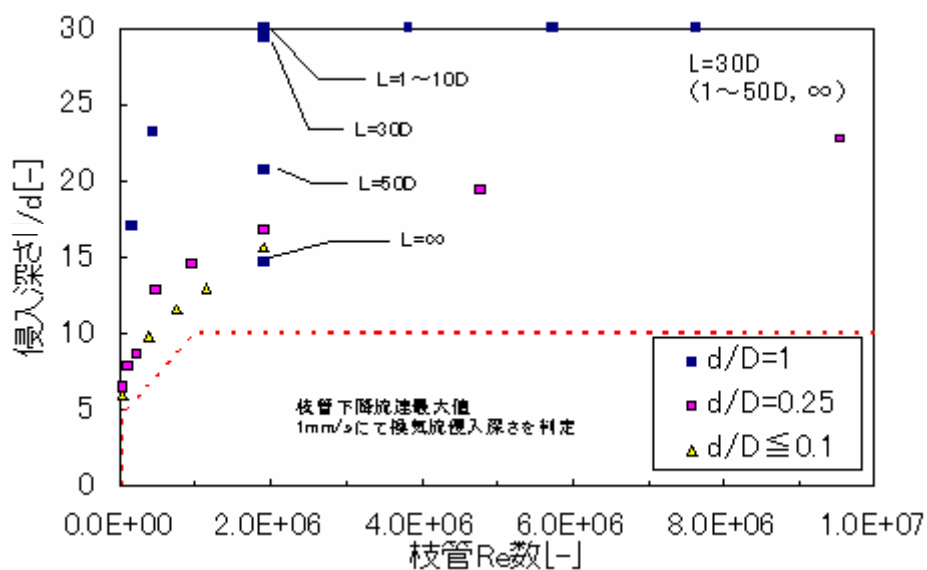
() 汎用流動解析コードを、日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」(JSME S 017-2003)の主管に接続された分岐管内への渦の侵入深さに関する水流動試験データを用いて検証した。同データは水の流れに対するものであるが、蒸気の流れであっても流速が毎秒 10 m 程度で音速に比べて 1 桁以上低いので非圧縮性流れとみなした(付録図 2.3-2 参照)。



付録図 2.3-2 水流动試験による検証解析結果

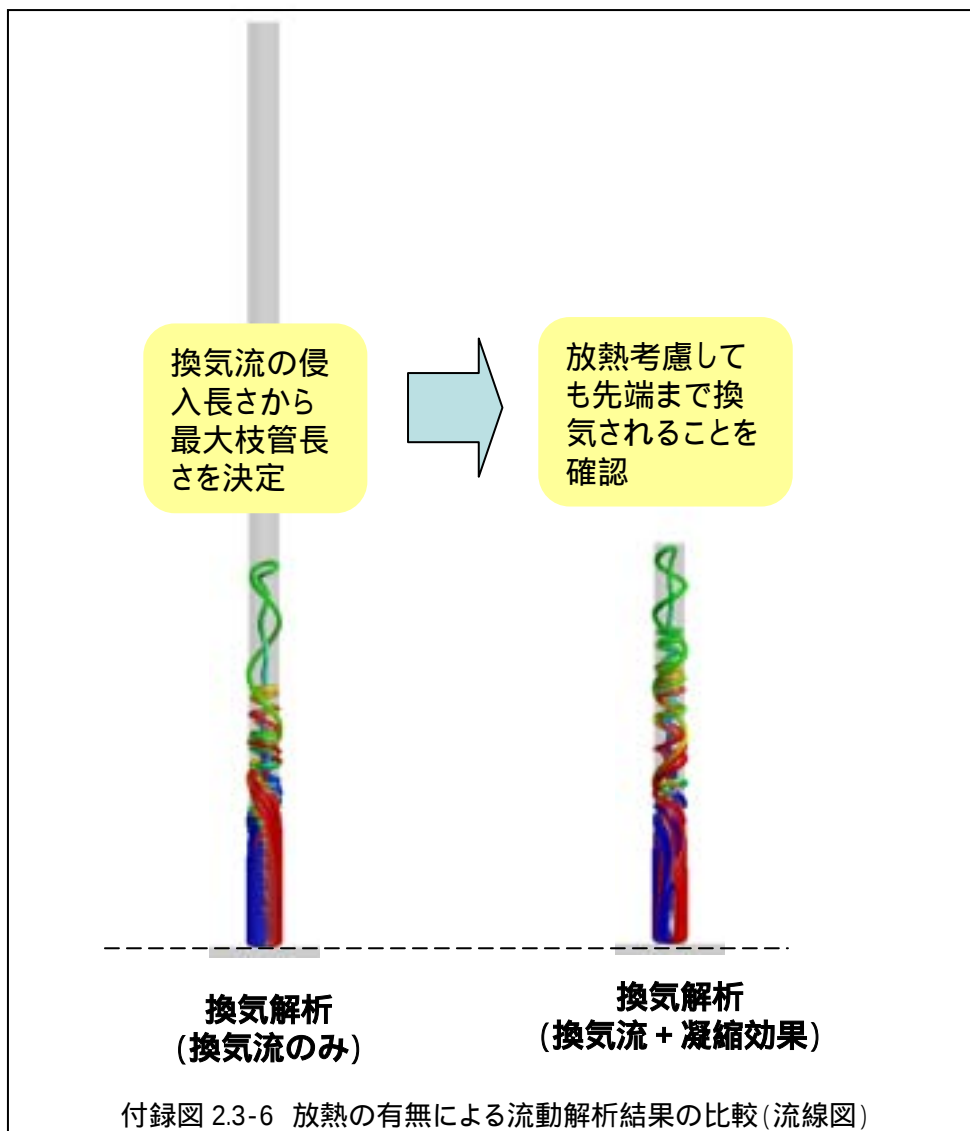
- K. Tanimoto et al., "Study on Relationship Between Thermal Stratification and Cavity Flow in a Branch Pipe with a Closed End", 3rd Korea-Japan Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety (NTHAS3), Kyeongju, Korea, October 13-16, 2002
- 中村ら, 「枝管配管に起こる熱成層変動現象の実験と数値解析」, Journal of the Institute of Nuclear Safety System, 2002, Vol.9, 67-79)

() 検証された汎用流動解析コードを適用し、本評価指針の適用に当たり、新たに「枝管レイノルズ数」を「 $=$ 主管主蒸気流速 U ・枝管径 d / 流体動粘度係数 μ 」定義し、枝管と主蒸気流れのある配管の内径比(d/D)、又はエルボ等の乱れの発生源からの距離 L を変動させ、枝管レイノルズ数と換気流侵入深さ(枝管長さ ℓ と枝管径 d の比 $= \ell/d$)の関係を求めた(付録図 2.3-5 参照)。



付録図 2.3-5 枝管 Re 数と枝管内への流動渦の侵入長さの関係

- () (ii) で求めた解析結果に基づき、枝管と主蒸気流れのある配管の内径比、エルボ等の乱れの発生源からの距離に依存せず、保守的に、枝管レイノルズ数と換気流侵入深さ（換気作用が期待される箇所）を求めたのが、解説図 3.3-6 である。
- ・ 本事項の技術評価として、適用された汎用流動解析コードが公開されている実験データに基づき検証されていること、解析結果について包含する値を保守的に換気流侵入深さとしていることを確認した。また、付録図 2.3-6 において、換気流の解析のみならず、放熱による凝縮効果を考慮した解析を行い、換気流侵入深さに及ぼす凝縮の影響が非常に小さいことを確認した。



なお、枝管レイノルズ数に対応した換気可能な枝管の長さの図（解説図 3.3-6）では、枝管レイノルズ数が 4×10^4 を下回る枝管は、小口径配管または主蒸気流れが小さい配管であることにより、換気効果が期待できないため、範囲外としていることは妥当である。

5.3.4 配管の構造強度評価

(本ガイドラインの考え方)

(2) 配管の構造強度評価

有効性が確認された構造強度評価手法により、混合ガスの急速燃焼時においても枝管の健全性が確保できる場合は許容できるものとする。

(解説・付録における説明及び技術的妥当性の評価)

- ・ 本ガイドラインでは、「混合ガスの急速燃焼時においても枝管の健全性が確保できる場合は許容できる」としているが、その具体的要件は記載しておらず、浜岡1号機の適用例を付録の中で紹介している。
- ・ 浜岡1号機においては、爆発防止実用便覧（サイエンスフォーラム）に記載されている爆轟特性の計算値による爆轟圧力と初期圧力の比2.5倍で安全率を試算し、当該安全率を考慮した発生応力が材料の引張強さ（ S_u ）を下回ることをもって、急速燃焼時においても枝管の健全性が確保できると判断している。
- ・ 急速燃焼時における健全性評価の例についても、今後本ガイドラインに盛りこんでいくべきと考える。

付録表 5-1 $2H_2 + O_2$ (293 K) の爆ごう特性計算値

P_0 (atm)	0.5	1	2	5	10
V_D (cm ³ /g)	4006	2003	1001	401	200
爆ごう速度 (m/sec)	2805	2843	2882	2932	2969
爆ごう圧力 (P_D/P_0)	18.76	19.18	19.62	20.32	20.78
爆ごう温度 (K)	3557	3685	3819	4006	4152
γ	1.18	1.19	1.20	1.19	1.20
爆発熱 (cal/g)	1451	1529	1611	1723	1814
H (mole %)	8.9	8.1	7.3	6.3	5.5
H ₂ O ₂	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
H ₂	16.7	16.5	16.2	15.7	15.3
H ₂ O	51.8	43.1	54.6	56.8	58.6
H ₂ O ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
O	4.2	3.9	3.6	3.1	2.79
OH	13.3	13.5	13.6	13.7	13.6
O ₂	5.1	4.9	4.7	4.4	4.2

P_0 が 1 atm での実験値は爆ごう速度は 2840m/sec、爆ごう圧力 V_D は 18.8atm

出典；爆発防止実用便覧（サイエンスフォーラム）

6．本ガイドライン適用に当たっての条件と課題

6．1 規制体系上の位置付け

本ガイドラインは、技術基準の新たな要求事項に対応して仕様規格として明確化したものであり、また、今後ともその適用が期待されるものであるので、規制の明確化のためにも、技術基準の審査基準の中で明確に位置付けることとする。

その際、本文のみならず、具体的な評価手法等を記載した解説が適用されることを明確化する。

6．2 今後の課題

- ・ 本ガイドラインは、来年1月施行の改正技術基準の仕様規定として適用するため、保安院より早期とりまとめを要請し、保安院の必要性和今までの関与を考慮して技術評価を行ったものであるが、今後は、本ガイドラインの策定プロセスにおいては公開性等十分といえないことから、公開性を考慮した学協会規格化に向けて取り組むことが望まれる。

その場合、他の学協会規格同様、本文、解説等の位置付けが明確化されることが望まれる。

- ・ 本ガイドラインについては、国内外の知見を反映した追補又は改定が望まれ、特に、下記の事項については、研究開発成果を踏まえ、可能な事項について適切な規格化が期待される。
 - 混合ガスの急速燃焼時の枝管の健全性評価
 - 混合ガス蓄積濃度の上限としての爆轟限界濃度の適用

(参考) 原子炉安全小委員会名簿 (敬称略)

委員長	班目 春樹	東京大学大学院工学系研究科教授
	秋庭 悦子	社団法人日本消費生活アドバイザー・コンサルタント協会常任理事
	朝田 泰英	東京大学名誉教授
	石島 清見	独立行政法人日本原子力研究開発機構安全研究センター長
	岩田 修一	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
	大橋 弘忠	東京大学大学院工学系研究科教授
	岡 芳明	東京大学大学院工学系研究科教授
	川上 泰	財団法人原子力安全研究協会研究参与
	久木田 豊	名古屋大学大学院工学研究科教授
	小林 傳司	大阪大学コミュニケーション・デザインセンター教授
	小林 英男	横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター教授
	城山 英明	東京大学大学院法学政治学研究科助教授
	関村 直人	東京大学大学院工学系研究科教授
	辻川 茂男	東京大学名誉教授
	東嶋 和子	科学ジャーナリスト
	平野 光將	独立行政法人原子力安全基盤機構総括参事兼解析評価部長
	宮 健三	慶應義塾大学大学院理工学研究科特別教授
	宮崎 慶次	大阪大学名誉教授
	山内 喜明	弁護士
	吉川 榮和	京都大学大学院エネルギー科学研究科長

(参考) 基準評価ワーキンググループ委員名簿 (敬称略)

主 査	班目 春樹	東京大学大学院工学系研究科教授
	上杉 信夫	財団法人発電設備技術検査協会溶接・非破壊検査技術センター長
	酒井 信介	東京大学大学院工学系研究科教授
	庄子 哲雄	東北大学理事
	鈴木 雅秀	独立行政法人日本原子力研究開発機構安全研究センター研究主席
	関村 直人	東京大学大学院工学系研究科教授
	西口 磯春	神奈川工科大学工学部システムデザイン工学科教授
	野本 敏治	財団法人溶接接合工学振興会理事長
	和田 雄作	独立行政法人日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター 技術開発部部長

(参考) 原子炉安全小委員会及び基準評価WGの検討の経緯

第16回原子炉安全小委員会(平成17年9月27日)

- ・「原子力発電施設の技術基準の性能規定化と体系的整備について～中間とりまとめ～」を受けた学協会規格の活用のあり方について、その進捗状況及び今後の進め方を報告。その中で、社団法人火力原子力発電技術協会「BWR配管における混合ガス(水素・酸素)蓄積防止に関するガイドライン」について、当該ガイドラインがとりまとめられた場合には、基準評価WGで審議した上で技術評価書案を策定し、原子炉安全小委員会の審議を経てパブリックコメントを求めた上でとりまとめることを確認。

○第18回基準評価WG会合(平成17年10月26日)

- ・社団法人火力原子力発電技術協会より、当該ガイドラインについての説明を聴取。
- ・当該ガイドラインについて、原子力安全・保安院及び独立行政法人原子力安全基盤機構が作成した技術評価書案を基に審議し、基準評価WGとして技術評価書案をとりまとめ。

第17回原子炉安全小委員会(平成17年11月16日)

- ・基準評価WGにおける検討結果について審議し、原子炉安全小委員会報告書案としてパブリックコメントを募集することを確認。

○パブリックコメント募集(平成17年11月16日～12月15日)

- ・パブリックコメントの提出なし。

(平成17年12月技術評価書としてとりまとめ)