

# 原子力発電所安全系配管におけるガス蓄積事象の傾向分析

## Trend Analysis of Gas Accumulation Events in Safety-related Piping at Nuclear Power Plants

小寺 良雄 (Yoshio Kodera)\*

**要約** 米国では原子力発電所の安全系配管において水素、窒素等のガスが蓄積する事象が継続的に発生しており、これらの事象は安全機能の喪失につながる可能性があることから、米国原子力規制委員会 (NRC) は Information Notice (IN) を発行して注意喚起を行った。また、2008 年には Generic Letter を発行し、事業者がガス蓄積事象への対応状況について報告を求めた。本分析では、国内における発生防止のために教訓となる事項を抽出するため、米国の Licensee Event Report (LER) により報告されている 1995 年から 2008 年に発生したガス蓄積事象および原子力施設情報公開ライブラリー (ニューシア) に登録されている 2000 年から 2008 年に発生した国内原子力発電所のガス蓄積事象について傾向分析を実施した。米国のガス蓄積事象の発生傾向から得られた教訓として、ガス蓄積事象の未然防止のためには、手順書の改定、ベント弁追設等による安全注入系配管の水張り、ベント不良対策、超音波探傷検査による配管の満水確認が重要である。

**キーワード** ガス蓄積、傾向分析、原子力発電所、安全系配管

**Abstract** In the US, there has been a succession of events in which gases such as hydrogen and nitrogen accumulated in the piping of safety-related systems in nuclear power plants. Since these events could impair the safety-related capabilities of the plant, the Nuclear Regulatory Commission (NRC) issued an Information Notice (IN) to warn plant managers. In 2008, the NRC issued a Generic Letter, requiring utilities to report on the progress of their efforts to cope with gas accumulation events.

In the present study, trend analyses were carried out on gas accumulation events reported in US Licensee Event Reports (LERs) that occurred from 1995 to 2008 as well as on those events filed in the Nuclear Information Archives (NUCIA) that occurred in Japanese nuclear power plants from 2000 to 2008, in order to learn from these events and prevent them recurring. Based on gas accumulation events in US plants, important preventive steps included: devising countermeasures for poor filling or venting functions of the safety injection system piping, such as revising operating manuals and adding vent valves, in addition to conducting ultrasonic tests for fill verification.

**Keywords** gas accumulation, trend analysis, nuclear power plants, safety-related piping

### 1. はじめに

原子力発電所の安全注入系統等の配管にガスが蓄積した場合、ポンプがそのガスを巻き込んでキャビテーションを起こし破損する危険性、あるいは、配管に水撃が発生して破損する等の危険性があり、そのような事象が発生した場合、系統に要求されている安全機能を発揮できない可能性がある。米国では、1988 年に米国原子力規制委員会 (NRC: Nuclear Regulatory Commission) が PWR の高圧注入ポンプにおけるガスの巻き込みの可能性を Information

Notice (IN) 88-23<sup>(1)</sup> により指摘し、これにより安全注入系統におけるガスの蓄積が注目された。NRC は、その後も引き続いて IN<sup>(2)~(9)</sup> を発行して注意喚起を行っていたが、ガス蓄積事象の発生が継続していることから、2008 年 1 月に Generic Letter (GL) 2008-1<sup>(10)</sup> を発行し、電力事業者がガス蓄積事象への取り組みに関して情報の提供を求めた。米国の電力事業者は、GL2008-1 へ対応するため、各発電所において、ガス蓄積状況の調査、配管形状の調査、手順書の調査等を行い、必要な対策を順次実施している。

\* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

一方、我が国においては、米国での事象を踏まえてPWRの充てん／高圧注入ポンプへのガス巻き込み対策が実施されていること、および1年毎の定期検査において、機器の予防保全、系統のガス抜きが確実に実施されていることからガスの蓄積事象は大きな問題とはなっていない。しかし、今後、定期検査の間隔が延長され、系統の予防保全、系統のガス抜き周期が延びた場合、米国のようにガス蓄積事象の発生する懸念もあることから、本分析では、米国におけるガス蓄積事象の傾向を分析するとともに、国内の発生状況についても調査して、ガス蓄積事象の発生防止につながる教訓を抽出する。

## 2. 米国原子力発電所におけるガス蓄積事象の調査

### 2.1 分析対象とその抽出

米国原子力発電所におけるガス蓄積事象の調査は、原子力安全システム研究所（以下「INSS」という）で構築している原子力情報データベースに登録されたLicensee Event Report (LER) <sup>(11)</sup>の中からガスの蓄積、侵入により発生したと考えられる事象で発生日が1995年から2008年のものを抽出して分析を行った。

### 2.2 ガス蓄積事象の発生状況

図1に抽出したガス蓄積事象の発生年別の件数を示す。1年当たりの発生件数は多くはないものの、毎年1～6件の範囲で継続的に発生していることが分かる。2008年に発生件数が多いが、これは、GL2008-1が発行されたことから、各発電所がガス蓄積状況の調査を詳細に行ったことにより、顕在化していなかったガスの蓄積が発見される事象が多かったためと考えられる。

次に、抽出した事例をPWR、BWRの炉型で分類

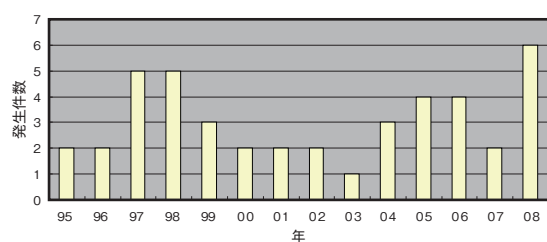


図1 年別発生件数の推移

した結果を図2に示す。ガスの蓄積事象がPWRで多く発生していることが分かる。これは、米国ではPWRのプラント数がBWRよりも多いこと（PWR：69基、BWR：35基）の他、PWRでは、タンクに水素、窒素ガスを封入しているものがある等プラント設計の違いに起因していると考えられる。

これらの事象をガス蓄積が発生した系統で分類した結果を図3に示す。高圧注入系、低圧注入系での発生が多い。また、これらをPWR、BWRの炉型別

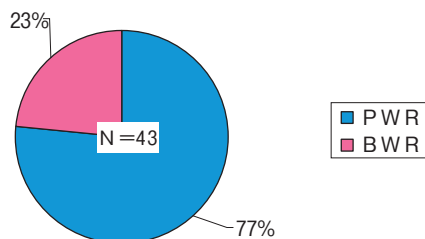


図2 炉型（PWR、BWR）による発生割合

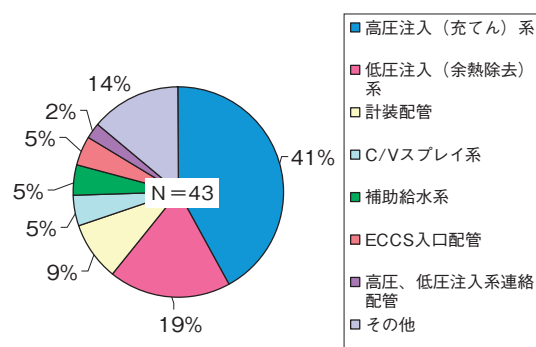


図3 蓄積箇所による分類

に分類した結果を図4、5に示す。PWR、BWRとも高圧注入系での発生が多い。図6にPWRにおける主なガスの蓄積箇所を示す。

この結果から分かるように報告されているガスの蓄積箇所としては、安全上重要な機器、配管での報告事例が多いが、これらの系統では、サーバランス試験（定例試験）として、定期的にガス蓄積状況の検査、ポンプの起動試験が行われており、その際に発見される事例が多いこと、PWRの高圧注入系、低圧注入系では、水素、窒素ガスが封入される体積制御タンク、蓄圧タンクと接続される配管があり、それらのガスが浸入、蓄積する事例が多いためと考えられる。

次に蓄積したガスの種類で分類した結果を図7に示す。空気が蓄積した事象が多く、その他では、窒素、溶解ガス（窒素あるいは水素と考えられるが原文中には溶解ガスと記載されたもの）が多い。空気

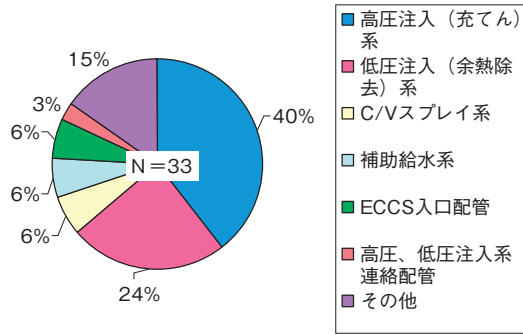


図4 PWRの発生箇所別分類

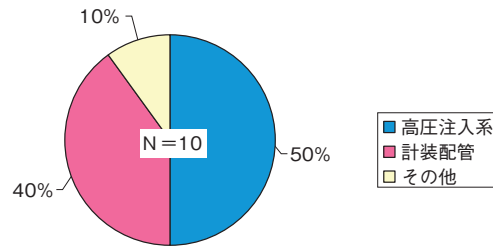


図5 BWRの発生箇所別分類

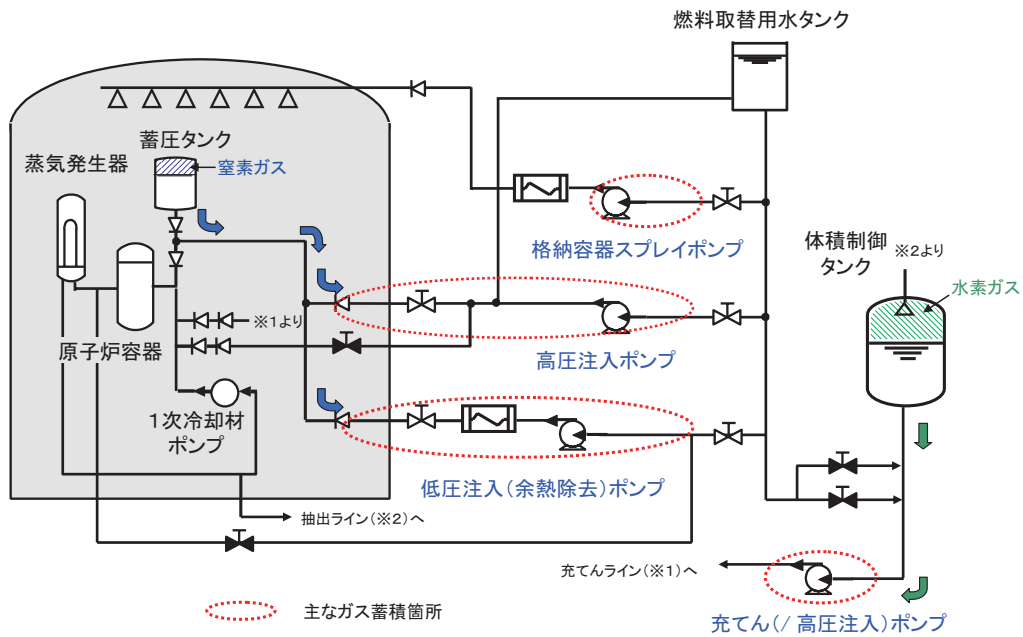


図6 PWRにおける主なガスの蓄積箇所

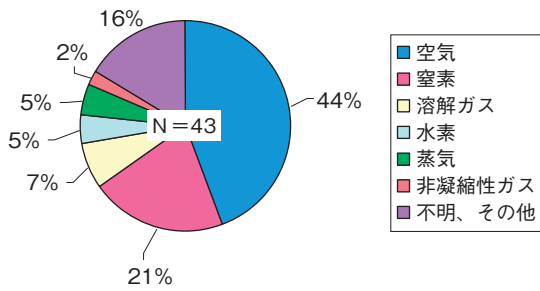


図7 蓄積ガスの種類による分類

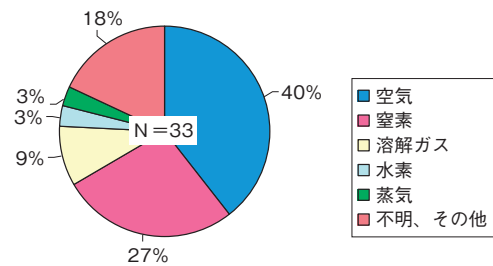


図8 PWRの蓄積ガスによる分類

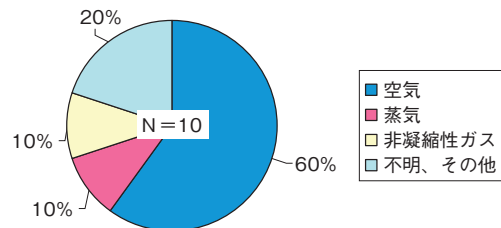


図9 BWRの蓄積ガスによる分類

の蓄積は、系統を開放して設備の保守を行った後の水張り、ベントが不十分で、系統開放時に浸入した空気が十分排出されず、そのまま系統中に残ったものと考えられる。これらをPWR、BWRの炉型別に分類した結果を図8、図9に示す。PWRでは、空気、他窒素、溶解ガスが多い。窒素ガスは、蓄圧タンクに5MPa程度に加圧されて封入されており、蓄圧タンク内の水は窒素飽和水となっている。この蓄圧

表1 系統条件による窒素溶解度の違い

場 所	条 件	窒素溶解度 (0℃, 1気圧)
蓄圧タンク内 (窒素加圧)	40℃, 4.9MPa	613cc / kgH <sub>2</sub> O
低压注入系配管内 (待機状態)	40℃, 0.2MPa	36cc / kgH <sub>2</sub> O

タンクが接続された配管は、安全注入系統とは、逆止弁により切り離されているが、この逆止弁のリーク等により、窒素が低压の安全注入配管に混入した場合（蓄圧タンクから安全注入配管への侵入経路は図6に示す通り）には、表1に示すような系統条件による溶解度の差から混入していた窒素が溶出し、系統中に蓄積することになる。

また、水素ガスが蓄積するケースも窒素と同様、系統中に溶解したガスが、系統条件により溶出したものと考えられる。水素ガスは、PWRにおいて1次冷却材の水素濃度を約25~35cc/kgH<sub>2</sub>Oに保持するため体積制御タンク気相部に約0.14MPaの圧力で封入されているものである。その他では、件数は少ないが蒸気の発生、蓄積が報告されている。このような蒸気の発生には、高温配管からの熱伝導により温度が上昇し、蒸気が発生するケース、高温の状態から減圧することにより温度が飽和温度以上となり蒸気が発生するケース等がある。

BWRでは、発生件数が少なく十分な分析はできないが、PWRのような窒素、水素ガス蓄積の報告はなく、空気、蒸気等が蓄積した事象が報告されている。

発生時期による分類結果を図10に示す。ただし、これは、ガス蓄積が発見された時期を表すものであり、ガス蓄積が蓄積した時期を表すものではない。出力運転中に発生した割合が多いが、これは、出力運転中に安全注入系待機ポンプの起動試験、超音波探傷試験（UT：Ultrasonic Testing）<sup>(12)(13)</sup>、ベント操作によるガス蓄積有無の確認等が行われており、そこで発見されるものが多いことによると考えられ

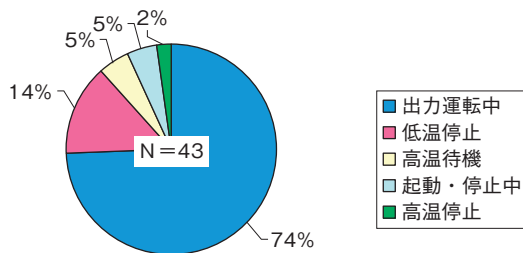


図10 発生時期による分類

る。

次に、発見動機による分類結果を図11に示す。サーバランス試験でUT、ベント操作によるガスの蓄積状況の確認を行った際に発見されているものが多く、その他では運転操作、監視、ポンプの起動試験時の異常等により発見されている。米国では、我が国と異なり、技術仕様書（TS：Technical Specification）<sup>(14)</sup>において非常用炉心冷却装置（ECCS：Emergency Core Cooling System）の配管の満水状況を確認することが要求されており、サーバランス試験でガス蓄積状況の確認が定期的に行われていることから、ガスが蓄積していれば、その際に発見される可能性が高い。このようなサーバランス試験が実施されていなければ、実際に機器が動作して、その機能に影響がでるまでガスの蓄積が発見されない可能性もあり、ガス蓄積による不具合を未然に防止する観点からこのような試験を行う意義は大きいと考える。ただし、ガスの蓄積が発見されれば全てが機能上問題というわけではなく、発見されたガスの量が実際に機器の運転等に影響を与えるものであるかどうかは、個別に評価され、影響があると判断されたものについては、TS上の措置が実施されている。

ガス蓄積の影響による分類結果を図12に示す。ECCSの機能低下が多いが、これは、UT等によるサーバランス試験でガスの蓄積が発見され、その影響によりECCSが要求される機能を満足できないと判断され、運転不能が宣言されたものである。このECCS機能低下をECCSへの影響内容で分類した結果を図13に示す。多くがポンプ機能への影響であ

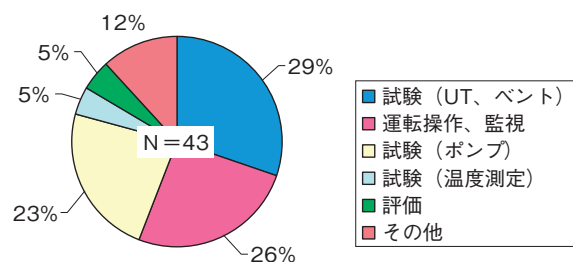


図11 発見動機による分類

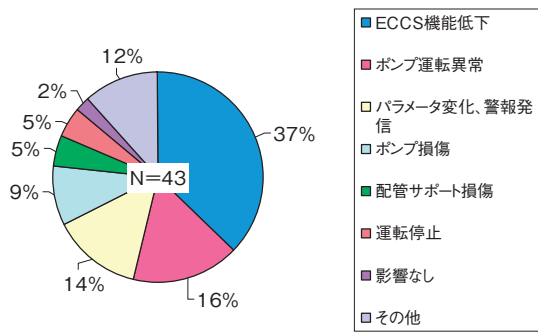


図12 ガス蓄積の影響別分類

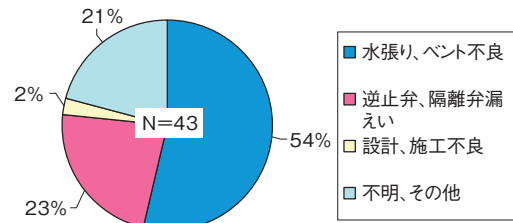


図14 ガス蓄積の原因別分類

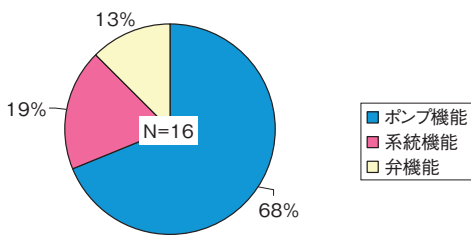


図13 ECCS機能低下の内容別分類

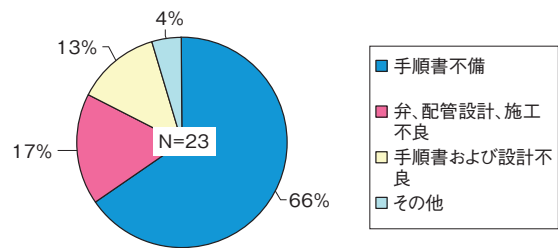


図15 水張り、ベント不良の原因分類

り、ガスの巻き込みによりポンプがその機能を発揮できないと判断されたものである。また、発生割合は比較的少ないが、機器の運転状況、健全性に影響を与えたものもあり、それらにはパラメータ変化、警報発信、ポンプの運転異常・損傷、配管サポート損傷等がある。

この中で、ガス蓄積の影響により実際に機器に損傷が発生した事例<sup>(15)~(18)</sup>を表2に示す。

これらの事例は、ガス蓄積が発生した場合には、ポンプの損傷、配管機器の損傷等 ECCS 機器の機能上大きな問題となる事象が発生する可能性があるこ

とを示すものであり、このような状態に至る前にガスの蓄積を発見して事前に防止することが重要である。

ガス蓄積の原因による分類結果を図14に示す。水張り、ベント不良によるものが多く、これは、作業後の系統への水張り、ベント操作が適切に実施されなかったことにより系統開放中に系統に入った空気が完全に除去されなかったものである。この水張り、ベント不良の原因をさらに分類した結果を図15に示す。水張り、ベント操作に使用する手順書の不備が最も多く、次にベント弁の位置等の設計不良による

表2 ガス蓄積による機器の損傷事例

損傷	発生日	ユニット	炉型	概要
ポンプの損傷	1997.5.3	Oconee 3	PWR	体積制御タンク水位計指示不良による高圧注入ポンプのガス巻き込みでキャビテーションが発生し同ポンプが損傷
	2002.2.20	Point Beach 2	PWR	蓄圧タンクから漏洩した窒素ガスにより、高圧注入ポンプ定期試験中にガスバイインディングが発生し同ポンプが損傷
配管の損傷	1995.1.18	Sequoyah	PWR	蓄圧タンクから漏えいした窒素ガスの蓄積による水撃発生で配管サポート部が損傷
	2001.7.5	Dresden 3	BWR	原子炉スクラム事象発生時の高圧注入系(HPCI)起動時、不十分なベントを原因とする水撃発生で、HPCI系配管サポートが損傷

ものが多い。系統開放後のベント操作は、適切なベント弁を使用して、適切な手順で実施する必要があるが、配管の局所的高所にベント弁がない、配管に設計上考慮されていない傾斜がある、手順書が適切なベント弁を使用していない等の状況がある場合には、十分排気されない可能性がある。手順書がこのような点を考慮したものになっているか十分検討することがガス蓄積事象の未然防止のためには重要となる。我が国では、系統復旧時のベント操作については、配管形状を考慮の上、適切なベント弁により確実に実施されており問題ないと考えられるが、今後もベント操作を行う際には、手順書等の詳細な検討を継続する必要がある。

次に、原因で多いのは、逆止弁、隔離弁漏えいで、これは、ガスが溶解した液体が逆止弁、隔離弁の漏えいにより高圧側から低圧側へ漏えいし、低圧側で溶解していたガスが溶出したものである。我が国においては、逆止弁、隔離弁について定期的な点検が実施されており、漏えいの発生の可能性は低いと考えられるが、漏えいが発生した場合の検知手段について十分検討しておく必要がある。

空気および窒素が蓄積した場合のそれぞれの原因別分類を図 16、17 に示す。空気が蓄積した事象では、水張り、ベント不良、窒素が蓄積した事象では、逆止弁、隔離弁の漏えいが大半を占めており、水張り、ベント不良および逆止弁、隔離弁の漏えいがそ

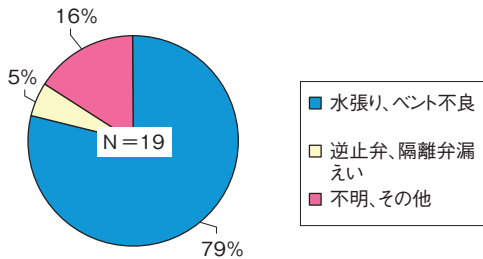


図 16 空気が蓄積した場合の原因別分類

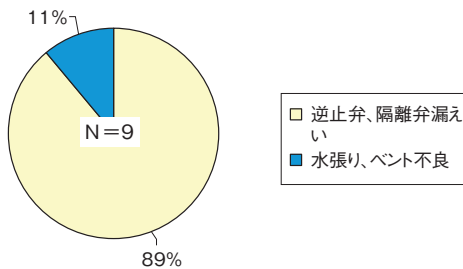


図 17 窒素が蓄積した場合の原因別分類

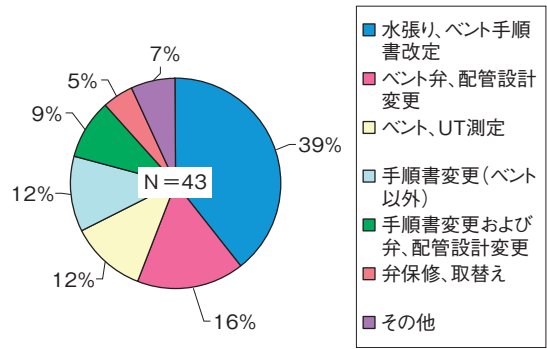


図 18 ガス蓄積の対策による分類

れぞれ空気、窒素ガス蓄積の主たる原因となっていることが分かる。

ガス蓄積の対策による分類結果を図 18 に示す。水張り、ベント操作に関する手順書改定、ベント弁、配管設計変更が多い。これらは、原因として発生割合の多かった水張り、ベント不良に対応した対策である。手順書の改定は、配管の形状に応じた適切なベント弁を使用するよう変更するもの等で、ベント弁、配管設計変更は、適切な位置にベント弁を追設する、適切なベントが可能なように配管形状を変更するもの等である。

### 3. GL2008-1 対応で実施された是正対策事項の分析

GL 2008-1 に対応するため、米国の各発電所は UT によるガス蓄積状況の調査、配管形状の調査、図面、手順書類の調査等を行った。多くのプラントで、格納容器内の調査がプラント運転中で実施できない等全ての調査を完了していないが、NRC への報告期限である GL 発行から 9 ヶ月以内に完了した結

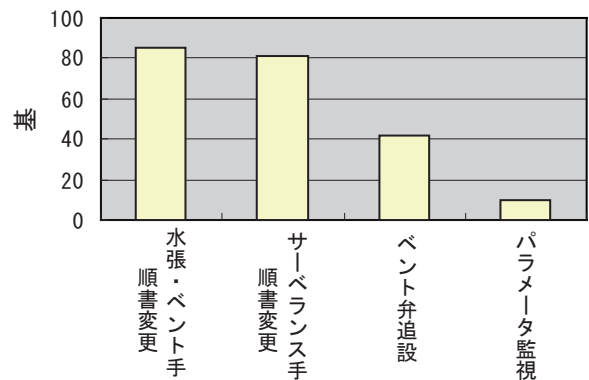


図 19 GL 対応における是正対策の分類

果について報告を行っている。その中で内容が確認できた99基に関しての是正対策事項について分析を行った。図19に主な是正対策の分類と実施基数を示した。多数のプラントで系統の水張り、ベントの手順書、サーベランス試験の手順書の変更を行っている。水張り、ベント手順書の主な変更内容は、適切なベント弁の使用、ベントが適切に実施されたことのUTによる確認の追加等である。また、サーベランス試験手順書の主な変更内容としては、新たなベント弁の追加、UTの追加、許容基準の記載等である。これら手順書変更の他では、ベント弁の追加設置が多く、これは、システムを確認した結果、配管の局所的高所にベント弁がなく、適切にベントが実施されないと判断されたものである。その他では、ガス蓄積検知のためのパラメータ監視が実施されており、この対策の中には、ECCSシステムへの漏れを早期に見出すための蓄圧タンクの水位監視等がある。

米国の多くのプラントでこのような是正対策が実施されたことは、現場の詳細な点検も含む網羅的な調査が実施された結果である。国内でこのような調査、検討が実施されていない場合には、米国と同様、水張り、ベントの手順書が適切な内容でない、系統の局所的高所にベント弁がなく、適切にベントできていないといった顕在化していない不具合があるという可能性を十分認識しておく必要がある。

## 4. 国内原子力発電所におけるガス蓄積事象の調査

### 4.1 分析対象とその抽出

国内事象の抽出には、原子力施設情報公開ライブラリー（ニューシア）<sup>(19)</sup>を活用した。対象は、2000年から2008年に発生したものとし、ガスの発生、蓄積により不具合を生じたと考えられる事象を抽出した。

### 4.2 ガス蓄積事象の発生状況

表3にニューシアからの抽出結果を示す。発生事例は少ないが、水の放射線分解による非凝縮性ガスの発生、爆発、ポンプの損傷、ベント不良によるポンプ流量、吐出圧力の低下が発生している。

浜岡1号機の事例は、原子炉内で炉水の放射線分解により発生した水素と酸素が、主蒸気と混合し余熱除去系蒸気凝縮系配管にもたらされ、運転の経過とともに、配管の放熱によって蒸気が徐々に凝縮する一方、非凝縮性ガスである水素と酸素は配管の頂部に蓄積し、高温の蒸気の侵入により着火したものである。また、浜岡3号機の事例は、グランドスチームコンバータドレンタンクレベルスイッチ（フロート）が計装配管内で放射線分解により生じた水素、酸素の非凝縮性ガスの着火により変形したものである。これらの炉水の放射線分解による非凝縮性ガス発生に関しては、このような事象の発生を踏まえて既に設備改造等の対策が実施されており、その他には同様事象の報告はない。

伊方3号機の充てんポンプの主軸損傷事例は、工場製作段階において、スプリットリング溝部の加工時に応力集中係数が大きい状態で製作されたことにより当該溝部に応力が発生したこと、および定期検査時に体積制御タンクを大気開放にした状態で充てんポンプの運転を行ったため、ミニマムフローラインのオリフィス部で気泡が発生し、この気泡の流れ込みで生じた振動により当該溝部に疲労限度を超える応力が発生したと推定される事象である。このような高圧注入（充てん）システムにおいてガスが発生して、ポンプがガスを巻き込む事象に対しては、国内のPWRにおいて検討が行われ、必要な対策が実施されている。

福島第一発電所6号機の事例は、ベント弁の位置が不適切であったことによるベント不良によるものである。ベント不良によるガスの蓄積は米国でも多数発生しており、GL2008-1対応で行った調査にお

表3 国内におけるガス蓄積事象発生事例（2000～2008）

	発生日	ユニット	炉型	件名
1	01.11.07	浜岡1	BWR	余熱除去系配管破断に伴う原子炉手動停止
2	04.03.15	伊方3	PWR	充てんポンプ3C主軸の損傷
3	05.02.01	浜岡3	BWR	グランドスチームコンバータドレンタンクレベルスイッチ部品変形事象
4	06.05.22	福島一6	BWR	原子炉隔離時冷却系における運転上の制限の逸脱

いてもベント弁の位置が不適切であったという結果の報告は多い。国内では、ベント操作の適切性については十分な検討が行われ、必要なものについては、手順書、ベント弁の変更等の対策が実施されていると考えられるが、米国におけるベント不良の発生状況も考慮し、今後もベント操作の実施時には十分な調査、検討が必要である。

これらの事例から分かるように、国内で報告されている事例は、ガスの蓄積により実際に機器に損傷等が発生したもので、米国のように試験、検査でガスが発見されたという報告はない。これは、我が国においては、ECCS配管の満水状態を定期的に確認することが要求されていないためと考えられる。このようなガス蓄積状況の確認が実施されていなければ、万一ガス蓄積が発生した場合、機器の運転に異常が発生するまで発見されない可能性もある。特に、ECCSのように通常待機状態にある機器では、事故時に動作して初めてガス蓄積が発見される危険性もあり、このような箇所でのガス蓄積発生の可能性、防止対策について十分検討しておく必要がある。

## 5. まとめ

- (1) 米国におけるガス蓄積事象は、PWRにおける発生件数が多く、高圧注入系、低圧注入系において空気、窒素ガスが蓄積し、ECCSの機能低下となった事象が多い。
  - (2) 発生原因では、系統の水張り・ベント不良、逆止弁、隔離弁の漏えいが多く、対策では、水張り、ベントの手順書改定、ベント弁、配管の設計変更が多い。国内における防止対策を策定する際には、この点を十分考慮して検討する必要がある。
  - (3) 発見動機では、UT等による配管の満水確認時に発見されているものが多く、機器への影響発生前にガス蓄積を発見するためには有効な手段になると考えられる。
  - (4) 国内でのガス蓄積事象の報告件数は少ないが、米国で発生件数の多い、系統の水張り、ベント不良によるものも発生しており、今後も系統の水張り、ベント時には十分な注意が必要である。
- Injection Pumps during a Loss-of-Coolant Accident,” USNRC (1988).
  - (2) NRC Information Notice#:88-23 supplement1, “Potential for Gas Biding of High Pressure Safety Injection Pumps during a Loss-of-Coolant Accident,” USNRC (1989).
  - (3) NRC Information Notice#:88-23 supplement2, “Potential for Gas Biding of High Pressure Safety Injection Pumps during a Loss-of-Coolant Accident,” USNRC (1990).
  - (4) NRC Information Notice#:88-23 supplement3, “Potential for Gas Biding of High Pressure Safety Injection Pumps during a Loss-of-Coolant Accident,” USNRC (1990).
  - (5) NRC Information Notice#:88-23 supplement4, “Potential for Gas Biding of High Pressure Safety Injection Pumps during a Loss-of-Coolant Accident,” USNRC (1992).
  - (6) NRC Information Notice#:88-23 supplement5, “Potential for Gas Biding of High Pressure Safety Injection Pumps during a Loss-of-Coolant Accident,” USNRC (1999).
  - (7) NRC Information Notice#:91-50 supplement1, “Water Hammer Events since 1991,” USNRC (1997).
  - (8) NRC Information Notice#: 97-40, “Potential Nitrogen Accumulation Resulting from Backleakage from Safety Injection Tanks,” USNRC (1997).
  - (9) NRC Information Notice#:06-21, “Operating Experience Regarding Entrainment of Air into Emergency Core Cooling and Containment Spray Systems,” USNRC (2006).
  - (10) NRC Generic Letters2008-01, “Managing Gas Accumulation in Emergency Core Cooling, Decay Heat Removal, and Containment Spray Systems,” USNRC (2008).
  - (11) NUREG 1022, “EVENT REPORTING GUIDELINES 10CFR 50.72 and 50.73,” USNRC (2001).
  - (12) 牧 信男, “加圧水型原子力発電所安全注入系配管内のガス蓄積防止策と気泡検知法,” INSS JOURNAL, Vol.7, p.216 (2000).
  - (13) 伏見 康之, “超音波探傷技術を用いたガス蓄積判定法の加圧水型原子炉安全系配管への適用

## 文献

- (1) NRC Information Notice#: 88-23, “Potential for Gas Biding of High Pressure Safety



- について, “INSS JOURNAL, Vol.9, p.226 (2002).
- (14) NUREG 1431 Vol.1 Rev.2, “Standard Technical Specification Westinghouse Plants,” USNRC (2001).
  - (15) Licensee Event Report#:95 327/001-01, “Gas Accumulation in the Residual Heat Removal (RHR) System Results in Pipe Movement Following Starting of the RHR Pumps,” Tennessee Valley Authority (1995).
  - (16) Licensee Event Report#:97 287/003-00, “High Pressure Injection System Inoperable Due to Design Deficiency and Improper Work Practices,” Duke Power Co. (1997).
  - (17) Licensee Event Report#:02 249/005-01, “High Pressure Coolant Injection System Inoperable Due to Water Hammer Event,” Exelon Generation Co. (2003).
  - (18) Licensee Event Report#: 02 301/001-00, “Completion of nuclear plant shutdown required by LCO 3.5.2 required action B.1,” Nuclear Management Co. (2002).
  - (19) 日本原子力技術協会, 原子力施設情報公開ライブラリー, <http://www.nucia.jp/> (2009年4月20日現在).