

米国原子力発電所におけるばね式主蒸気安全弁の不具合発生傾向

Trend Analysis of Spring-loaded safety-relief valve Failure Events at U.S.Nuclear Plants

徳久 聡 (Satoshi Tokuhisa) *

要約 原子力発電所では、様々な駆動方式を持つ弁が多数使用されており、ばね式安全弁は複数の場所で使用されている。ばね式安全弁を正確に作動させるために、ばね、弁棒、リフト等多数の機械品が組み合わされて構成されていることから、個々の部品の信頼性維持が弁全体の信頼性維持に直結することとなる。

本分析においては、原子力安全システム研究所の原子力情報データベースに登録されている米国原子力発電所不具合事象から、ばね式主蒸気安全弁の不具合が扱われている36事象を抽出し、発生数の推移、不具合発生原因別、不具合発生対策別の分類を行った。

その結果、ばね式主蒸気安全弁の不具合は保守不良、経年劣化が多いことが判明した。また対策として、補修、手順書の改訂、部品取替が多く、設計変更が少ないことを確認した。

キーワード 原子力発電所、傾向分析、安全弁

Abstract Many valves with various operating system are used in nuclear power plants, among them some spring-loaded safety-relief valves are used in some place. To actuate correctly, since maintaining each components' reliability is directly connected to spring-loaded safety-relief valves' reliability, they are constructed by many mechanical components such as spring, valve stem, valve lift, and so on.

In this study, 36 events related to the failure of spring-loaded safety-relief valves at nuclear power plants in the United States are selected from the nuclear information database owned by the Institute of Nuclear Safety System, and these events are analyzed in view of the history of occurrence, cause of failure and countermeasures and so on. As a result, it was found that the causes of spring-loaded safety-relief valves failure were often poor maintenance, and also it was found that the rate of aging degradation was high. Also among the countermeasures, the fraction of repair, the revision of procedures and replacement parts was large, and that of design changes was small.

Keywords nuclear power plant, trend analysis, safety-relief valve

1. はじめに

原子力安全システム研究所（以下「INSS」という）では、米国原子力発電所の不具合情報を収集し、その情報で述べられている事象から得られる教訓により、国内の加圧水型原子炉（PWR）に対策を必要とする項目がないか、分析を行っている⁽¹⁾。ばね式安全弁とは、弁体下面にかかる流体圧力による押し上げ力を機械的な直接荷重として、ばねを用いて開閉を制御する安全弁である。

本分析では、前述の分析の過程において、海外原子力発電所で発生した不具合情報を収集し構築した原子力データベースに登録されているばね式主蒸気安全弁の不具合事例の傾向分析を行うことにより、国内電力に教訓となりうる項目の抽出ができないか検討を行った。なお、ばね式主蒸気安全弁を選定した理由として、海外での不具合事例が比較的多く、また国内PWRで主に主蒸気系統に用いられており、不具合によるプラントへの影響が大きいためである。

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

2 傾向分析

2.1 分析対象とその抽出

INSS で構築している原子力情報データベースには、1994年以降に発行された米国原子力発電運転協会（Institute of Nuclear Power Operation：以下「INPO」という）、世界原子力発電事業者協会（World Association of Nuclear Operators：以下「WANO」という）の運転経験情報、および米国原子力規制委員会（Nuclear Regulatory Commission：以下「NRC」という）のEvent Notification Report, Licensee Event Report, 2001年以降に発行された仏国原子力安全規制局（Autorité de sûreté nucléaire：以下「ASN」という）のMAGNUC情報、国際原子力機関（International Atomic Energy Agency：以下「IAEA」という）のRIS情報が登録されている。このうち、INPO, WANO, IAEAの情報は非公開情報であり、会員間の情報交換、共有を目的として作成・発行されている。一方、NRCのEvent Notification Report, Licensee Event Report, ASNのMAGNUC情報等は公開情報であり、一定の基準を超える事象が発生した場合に、公衆へ通知することを目的として作成・発行されている。

したがって本分析では、原子力情報データベースに登録されているなかで、2006年から2015年の過去10年間に米国原子力発電所で発生した不具合事象のうち、NRCのLicensee Event Reportの原文情報に「main steam」かつ「safety valve」が記載されている事象、または「main steam」かつ「relief valve」が記載されている事象を抽出し、その内容からばね式主蒸気安全弁の不具合が取り扱われると判定した事象を分析の対象とした。

2.2 全体傾向

原子力情報データベースに登録されている、2006年から2015年の間の米国原子力発電所の公開情報で原文情報に「main steam」かつ「safety valve」が記載されていた不具合情報113件（2016年4月7日時点）、「main steam」かつ「relief valve」が記載されていた不具合事象81件（2016年4月7日時点）のうち、重複分43件を除く151件において、ばね式主蒸気安全弁の不具合事象として36件を抽出した。

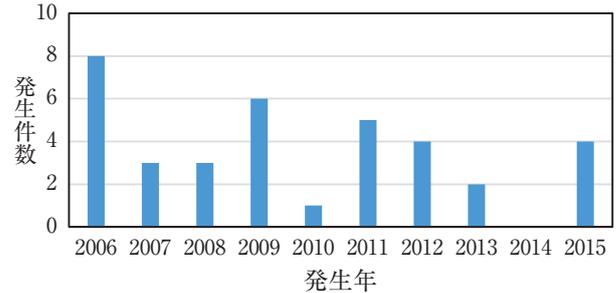


図1 ばね式主蒸気安全弁不具合発生件数の推移（米国）

図1に米国原子力発電所で過去10年間のばね式主蒸気安全弁の不具合事象の発生年毎の発生件数を示す。発生件数は決して少なくはないものの、わずかながら減少傾向にあることがわかる。

ばね式主蒸気安全弁のような個別機器の場合、不具合事象として報告されるのは、ばね式主蒸気安全弁の不具合そのものが対象として取り扱われるのではなく、プラントへの影響の大きかった事象のうちばね式主蒸気安全弁が主な原因となった場合であり、結果としてこのような事象が主に報告され、プラントへの影響の無かった事象はその多数が報告されていないことも考えられる。

2.3 プラントへの影響別分類

2006年から2015年に発生したばね式主蒸気安全弁の不具合36事象のうち出力運転中に発生した29事象について、ばね式主蒸気安全弁の不具合によるプラントへの影響別に分類した結果を図2に示す。複数の影響があった場合は、そのうち最も影響が大きいとされるものを取り上げた。

計画外の手動停止、あるいは自動停止といった原子力発電所の信頼性に直接影響を与えた事象はそれ

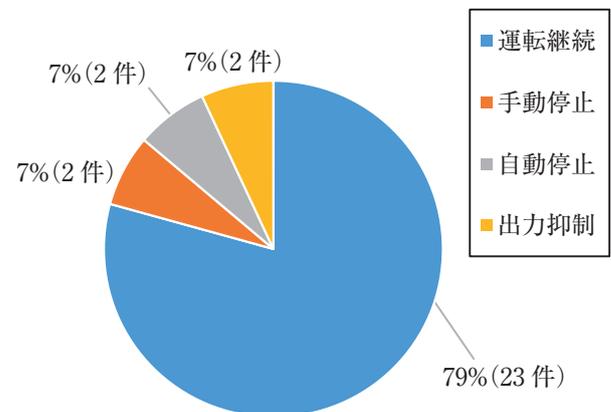


図2 プラントへの影響別分類（米国）

ぞれ、2件(10%)、あるいは2件(6%)と少ないが、ばね式主蒸気安全弁の不具合発生を減少させること、すなわち信頼性を維持・向上させることがプラントの稼働率の維持・向上にとって重要であることがわかる。

2.4 不具合原因別の分類

2006年から2015年に発生したばね式主蒸気安全弁の不具合事象36件について、ばね式主蒸気安全弁の不具合原因別に分類した結果を図3に示す。なお情報原文中にばね式主蒸気安全弁の不具合の状況が明記されていない場合は、不明に分類した。

保守不良が17件と、約半数を占め、保守に起因する不具合は多い。ばね式主蒸気安全弁の経年劣化による不具合は13件であった。このことより、適切な保全を実施すれば不具合発生をかなりの割合で低減できると考えられる。

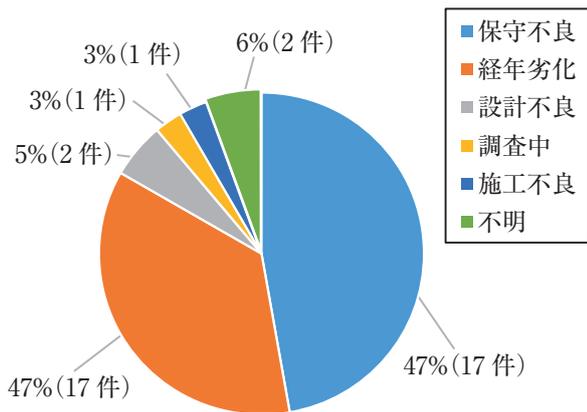


図3 不具合原因別分類 (米国)

次に、ばね式主蒸気安全弁の各不具合原因の発生推移を調べた。調べるに当たり、2006年から2015年までの10年の期間を4年毎に3つの期間(2006年から2009年、2009年から2012年、2012年から2015年)に分け、不具合原因が多かった保守不良と経年劣化について、各期間の件数を算出した。

結果を図4に示す。棒グラフは保守不良および経年劣化の発生件数、点線は、それぞれの件数の近似直線である。保守不良、経年劣化共に、減少傾向となった。

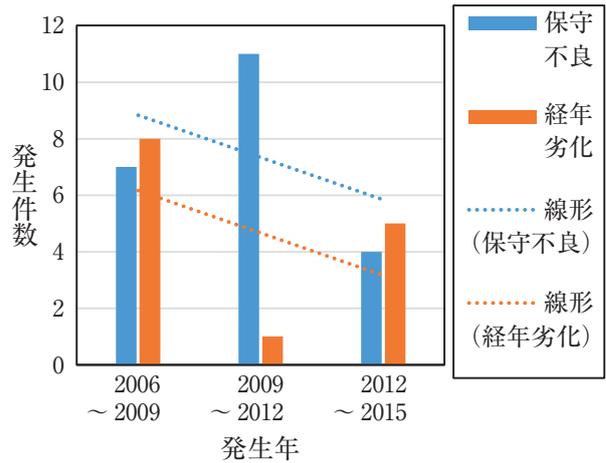


図4 不具合対策別分類 (米国)

2.5 不具合対策別の分類

前述の不具合事象36件の対策60件について、ばね式主蒸気安全弁の各不具合原因において不具合対策を分類した結果を図5に示す。なお、不具合事象と対策の件数が一致していないのは、1つの不具合事象に複数の対策があるためである。保守不良の対策として、補修(7件)、手順書の改訂(10件)、部品取替(5件)が多く、設計変更(1件)が少なかった。また、経年変化の対策として、補修(9件)が多く、点検解析(3件)と少なかった。これらることより、現状の点検周期で適切な保全を実施する必要があると考えられる。

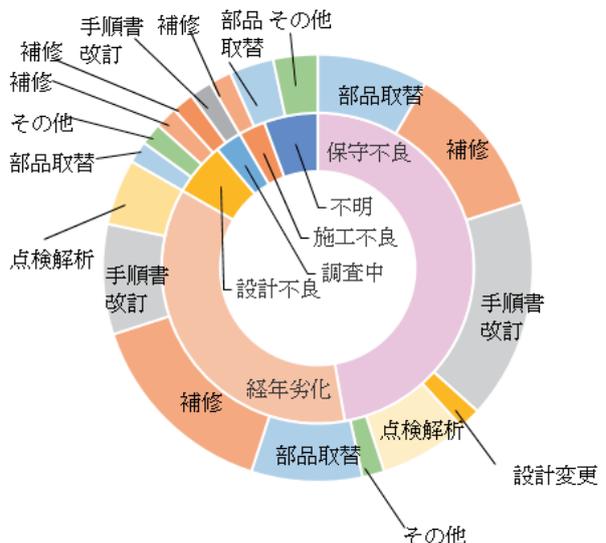


図5 不具合対策別分類 (米国)

2.6 日本国内事象の不具合抽出と分類

日本国内のばね式主蒸気安全弁に関係する不具合事象を原子力施設情報公開ライブラリー(NUCIA)⁽²⁾で調査した(2016年4月7日現在)ところ、国内では2002年から2011年までの10年間で5件が報告された。なお対象範囲を2011年までとしたのは、2011年3月11日における福島第一原子力発電所事故以降、国内原子力発電所の稼働率が低下しているためである。米国と同様にばね式主蒸気安全弁の不具合の分類を行った結果を図6に示す。

保守不良が2件、水質管理不良が1件、その他が2件であった。

原因分類が保守不良の2件のうち、1件の事象の原因は、バネとアッパーおよびローシートの当たりが部分的であったことから、弁棒着力点の偏心が起こり、シート面圧が低下し、弁座漏えいが発生したものであった。もう1件の事象の原因は、主蒸気逃がし安全弁の表示ランプ回路ケーブルがフレキシブルチューブの接続部に誤って挟み込まれ、傷が発生し、ケーブルがフレキシブルチューブの金属部にわずかに接触した際、絶縁抵抗が低下し地絡したものであった。

原因分類が水質管理不良の1件の原因はクエンチャ(BWRの主蒸気逃がし安全弁排気管で蒸気を一方向ではなく、四方に均等に吹き出す設備)で異物が確認されたものであった。

原因分類がその他2件のうち、1件は、原子炉の出力上昇に伴う原子炉圧力および温度変化によって弁体の座りが微妙に変化したこと等により、一時的な漏えいが発生したことであった。もう1件の原因は、主蒸気安全弁保守における技術的検討不足、コミュニケーション不足であった。

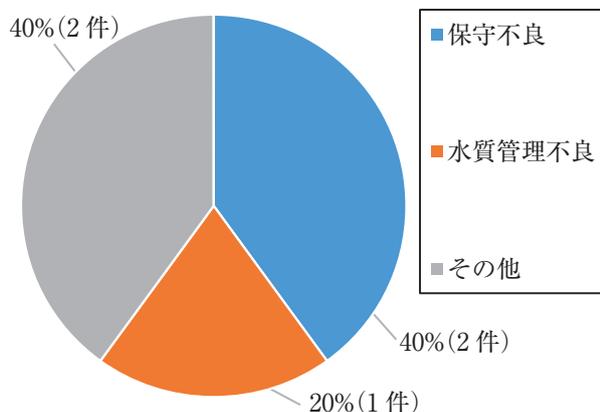


図6 不具合原因別分類 (日本国内)

原因分類の内訳として、保守不良の割合が高い。また、設計不良と経年劣化がそれぞれ0件と少ない。このことより、設計および経年対策は適切になされているが、保守における技術力の低下が認められるため、今後、作業者の技能の維持・向上を図る必要がある。

2.7 日米不具合発生数の比較

これまでの分析に使用したデータのうち、過去10年間に限定して、日米でのばね式主蒸気安全弁の不具合発生割合を比較した。

国内では2002年から2011年までの10年を分析対象とした。また米国においても国内と対象時期を一致させる必要があるため2002年から2011年までの10年を対象とした。結果、米国では47件、日本では5件であった。

次に日米の運転中プラント1基当たりの発生数で比較した。比較するに当たっては、2002年から2011年までの期間運転していた基数(米国104基、日本54基)⁽³⁾および、2002年から2011年までの期間の平均設備利用は(米国90.0%⁽⁴⁾、日本62.1%⁽⁵⁾)を採用した。1年間のうち運転中のプラント1基において稼働時間あたりの不具合発生数を算出すると、米国0.050件、日本で0.015件であった。米国においては、定期検査期間の延長を行う際、主蒸気安全弁の状態監視を実施しているが、日本は米国に比べて不具合発生割合が少ないことより、日本の保全

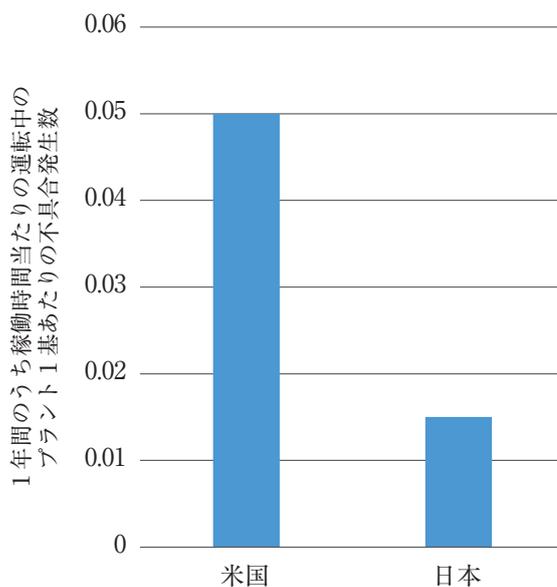


図7 日米の不具合発生割合比較

活動は、米国に比べて不具合の発生を未然に防止できていると考えられる。

3. まとめ

本分析では、過去10年間に米国で報告されたばね式主蒸気安全弁の不具合について様々な切り口で分類を行い、考察を加えた。また国内で報告されたばね式主蒸気安全弁との比較を行った。主な結果は以下の通りである。

- (1) 過去10年間に米国で報告されたばね式主蒸気安全弁の不具合は36件であった。不具合はわずかながら減少傾向にある。
- (2) ばね式主蒸気安全弁の不具合発生原因のうち、保守不良の割合が米国と日本の両方で多かった。また、日米ではばね式主蒸気安全弁不具合発生率を比較したところ日本が少なかった。日本の保全活動は、米国に比べて不具合の発生を未然に防止できていると考えられる。しかし不具合発生原因において、設計不良や経年劣化よりも保守不良の割合が高いため、作業者の技能の維持・向上を図る必要がある。また、作業者の技能向上においては、協力会社、メーカーを含めたナレッジマネジメント（知識の管理）により情報を共有し、活用することにより、技術伝承をしていく必要がある。

文献

- (1) 宮崎 孝正他, 「海外原子力発電所における不具合事象の傾向分析 (2004年) 」, INSS Journal, Vol. 12, P82 (2005).
- (2) 一般社団法人 原子力安全推進協会, 原子力施設情報公開ライブラリー, <http://www.nucia.jp/> (2016年5月10日現在).
- (3) 日本原子力産業会議, 「世界の原子力開発の動向」 (各年).
- (4) 米国NEI (原子力エネルギー協会)
<http://www.nei.org/>
- (5) (独) 原子力安全基盤機構 原子力施設運転管理年報平成24年度版 (平成23年度実績), 平成24年10月 P36