

# 原子力発電所における空気作動弁ポジショナの不具合発生傾向

## Trend Analysis of Air Operated Valve Positioner Failure Events at Nuclear Power Plants

伏見 康之 (Yasuyuki Fushimi)\*

**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、中でも空気作動弁は保守の容易さ、使用箇所の制約を受けにくいこと等から幅広く使用されている。その一方で、空気作動弁は正確に作動するために、ポジショナ、プースターリレー、電磁弁、減圧弁等多数の計装品を組み合わせら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。中でも制御信号に対して弁開度を正確に維持する機能を分担しているポジショナは、重要な計装品の一つである。国内ではポジショナの不具合はほとんど報告されていないが、海外ではポジショナの不具合によりプラント停止を余儀なくされている事象が相当数報告されている。

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海外原子力発電所不具合事象から、空気作動弁ポジショナの不具合が扱われている69事象を抽出し、発生数の推移、不具合発生系統別、不具合原因別等の分類を行った。その結果空気作動弁ポジショナの不具合はその大部分が主給水制御弁で発生していること、プラントの出力に影響を与えていることが判明した。また国内と海外でのポジショナ不具合発生率をそれぞれ求め、国内の不具合発生率は海外より非常に低いことを確認した。

**キーワード** 原子力発電所、傾向分析、空気作動弁、ポジショナ、運転経験情報

**Abstract** Many valves with various operating system are used in nuclear power plants, among them many air operated valves are used in that they are conducted maintenance easily and are seldom restricted where they are used. Meanwhile, to actuate correctly, they are constructed by many components such as positioner, pneumatic booster relay, solenoid valve, pressure regulator, and so on, so to maintain each components' reliability is closely connected to air operated valves' reliability. In particular, the positioner which assigns the function to regulate the valve position to control demand signal, is one of the important instrument. Few positioner failure events have been reported from domestic plants, on the other hands, many positioner failure events which led to forced shutdown have been reported from overseas plants.

In this study, 69 failure events related with air operated valve positioners at overseas nuclear power plants are selected from Nuclear Information Database, which is owned by The Institute of Nuclear Safety System, and these events are analyzed in view of trend of occurrence, failure system, causal factor, and so on. As a result, it is revealed that most positioner failure occurred at Main Feedwater Control Valve, and led to affect plant power operation. Also each failure rate of positioners at domestic nuclear power plants and overseas plants is obtained, and it is revealed that the domestic one is much smaller compared to the overseas one.

**Keywords** nuclear power plant, trend analysis, air operated valve, positioner, operating experience

## 1. はじめに

原子力安全システム研究所（以下「INSS」という）では海外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より国内電力に対策を必要とする項目がないか、分析を行っ

ている<sup>(1)</sup>。これらの事象において、原子力発電所で多数使用されている、空気作動弁ポジショナの不具合によりプラントの出力運転に影響を与えた事例を依然として多く見受ける。ポジショナとは制御信号を受けて弁開度を維持する機能を持った計装品である。

\* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

一方国内ではポジションナの不具合はあまり報告されておらず、プラントの出力運転に影響を与えた事例も海外ほどには見受けられない。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情報データベースに登録されている空気作動弁ポジションナ不具合事例の傾向分析を行うことにより、国内電力に教訓と成り得る項目の抽出ができないか、検討を行った。

## 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機関 (Autorité de sûreté nucléaire : 以下「ASN」という)のMAGNUC情報を登録している。このうち、INPO, WANO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。

本分析では、原子力情報データベースに登録している1996年から2005年の過去10年間に海外原子力発電所で発生した不具合事象のうち、その情報原文に'positioner'と記載されている事象を抽出し、その内容からポジションナの不具合が取り扱われてい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、1996年から2005年の間に海外原子力発電所で発生した不具合事象24,877件を調査した結果、ポジションナの不具合事象として69事象(2006年1月17日時点)を抽出した。

図1に海外原子力発電所でのポジションナ不具合の発生年毎の発生件数と、発生年全事象数のうちポジションナ不具合の発生割合を示す。発生件数、発生割合は決して大きくないものの、わずかながら増加傾向にあることがわかる。なお抽出時点では2005年に発生した不具合が全て報告されていないはずなので、2005年の実際のポジションナ不具合発生数はさらに多いと考えられる。

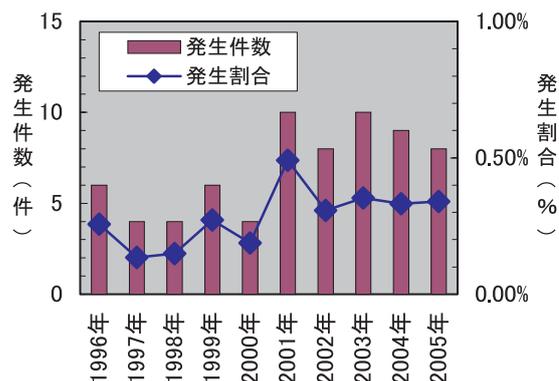


図1 ポジションナ不具合発生件数の推移 (海外)

ポジションナ不具合が目立つ要因を探るため、発生した事象が既に全て報告されていると考えられる、2004年の原子炉トリップ件数と、そのうちに占めるポジションナ不具合を起因とする原子炉トリップ件数を求めた。その結果2004年の原子炉トリップ件数141件に対し、2004年のポジションナ不具合に起因する原子炉トリップ件数は4件で、その占める割合は2.8%となり、2004年に発生した全件数に対するポジションナ不具合事象割合0.33%を大きく上回った。このことからポジションナ不具合が目につきやすいことが伺える。

ポジションナのような計装品の場合、不具合事象として報告されるのは、ポジションナの不具合そのものが主体的に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ポジションナ不具合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とも考えられる。

### 2.3 不具合発生系統別の分類

1996年から2005年に発生したポジションナ不具合69事象を、どの系統の弁でポジションナ不具合が発生しているか分類を行った。分類結果を図2に示す。

給水系が38件と最も多く、全体の55%を占める。

さらにドレン系、主蒸気系、復水系といったPWRにおける二次系と呼ばれる系統での不具合が全体の85%を占めている。これはポジショナを備える空気式制御弁がこれらの系統で多く使用されていることが関係していると考えられる。

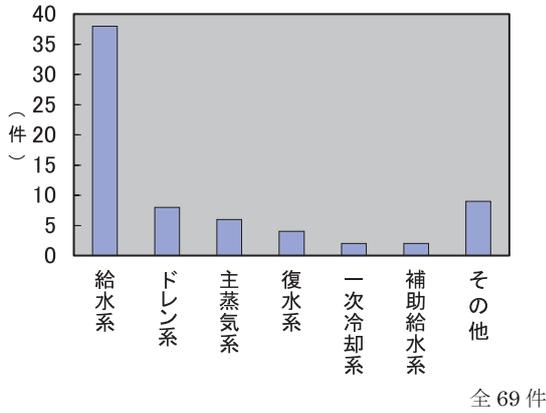


図2 系統別の不具合発生数 (海外)

続いて1996年から2005年に発生したポジショナ不具合69事象を、どの弁で不具合が発生しているか分類した。分類結果を図3に示す。

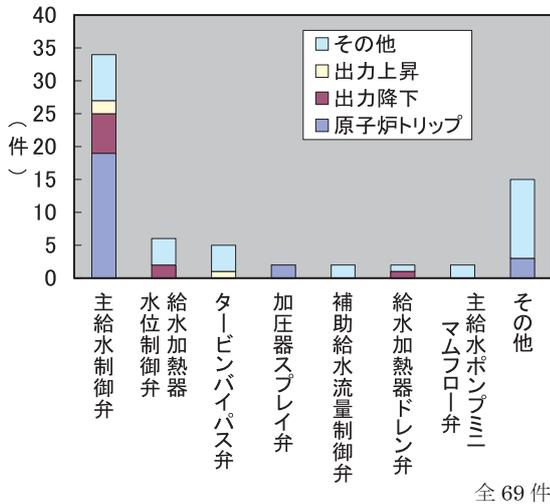


図3 弁毎の不具合発生数 (海外)

主給水制御弁が34件と最も多く、ポジショナ不具合事象全体69件のうちのほぼ半分である49%を占めた。また主給水制御弁でのポジショナ不具合34件のうち、原子炉トリップ(自動、手動を含む)に至った事象は19件と主給水制御弁ポジショナ不具合の半数を超えており、主給水制御弁のポジショナで不具合が発生すると、原子炉トリップに至る可能性の大きいことがわかる。また加圧器スプレイ弁ポジショナの不具合は2件と発生数は少ないものの、いずれも

安全注入と原子炉トリップに至っており、プラントの出力運転への影響が大きい。

## 2.4 プラントへの影響別の分類

1996年から2005年に発生したポジショナ不具合69事象を、ポジショナ不具合によるプラントへの影響別に分類した結果を図4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考えられるものを取り上げた。

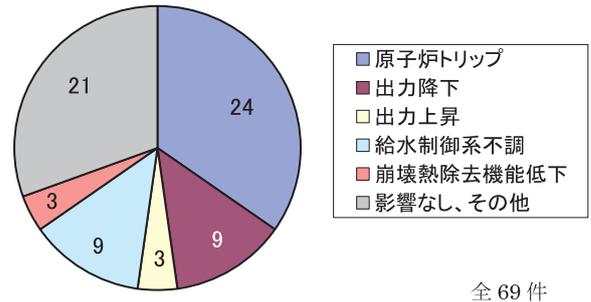


図4 プラントへの影響別分類 (海外)

原子炉トリップ、出力低下、出力上昇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が36件(53%)と半分以上を占めている。影響の中では、原子炉トリップが24件と最も多く、図3と重ね合わせて考えると、原子炉トリップ24件中19件(79%)が主給水制御弁のポジショナで発生していることから、あらゆるポジショナの中でも主給水制御弁ポジショナ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。

## 2.5 不具合原因別の分類

1996年から2005年に発生したポジショナ不具合69事象を、そのポジショナ不具合の原因がポジショナ自体に起因するものか、他からの影響によるものか分類した。図5に示す。なお情報原文中にポジショナ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。ポジショナ自体に原因があり不具合に至った事象が40件と、全体の58%を占めている。一方周囲の振動、放熱、異物、衝撃といった他からの影響による不具合が13件と19%を占めており、ポジショナ自体の保全に加え周囲の機器を含めた総合的な保全計画策定がポジショナ不具合発生の防止に役立つことがわかる。

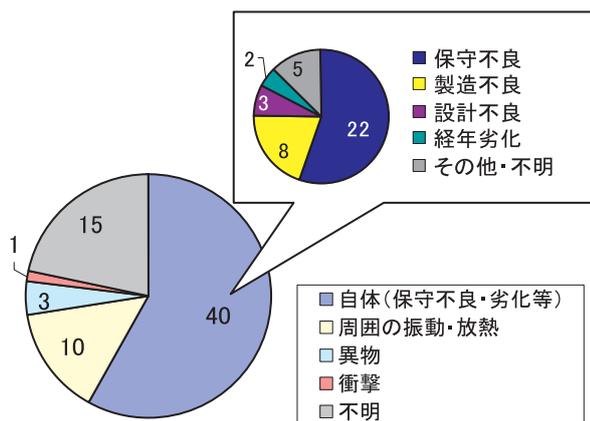


図5 不具合原因別分類 (海外)

ポジション自体の不具合40件を分類すると、保守不良が22件(55%)と半数以上を占め、保守に起因する不具合が多い。ポジションの経年劣化による不具合は2件とごくわずかであり、海外でも不具合を未然に防止するため、ポジションは何らかの交換基準を作成して交換を行っていることが伺える。

さらに保守不良22件の内訳を詳細に分類した結果を図6に示す。

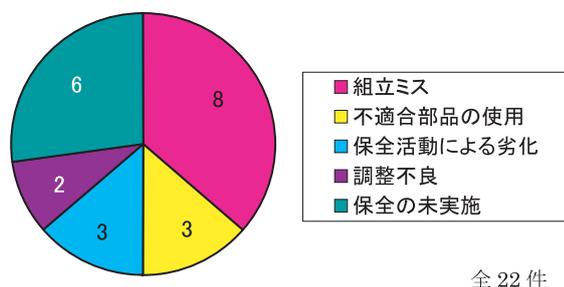


図6 保守不良の内訳 (海外)

組立ミス、不適合部品の使用、保全活動による劣化、調整不良といった不適切な保全活動の結果発生した不具合が16件(73%)を占めたのに対し、保全の未実施に伴い発生した不具合は6件(27%)に留まった。したがって海外においては、保全活動を実施する作業者の技能に問題のあることが伺え、適切な保全を実施し、履行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。

## 2.6 国内事象の不具合抽出と分類

国内のポジションに関する不具合事象を原子力施設情報公開ライブラリー(NUCIA)<sup>(2)</sup>で調査した(2006年2月20日現在)ところ、1980年以降7件が報告されていた。どの系統の弁でポジション不具合

が発生しているか分類した結果を図7に示す。なお図2の分類で使用した系統でポジション不具合が発生していない場合は、図への記載を省略した。

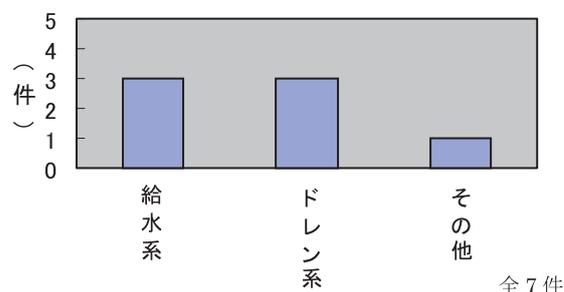


図7 系統別の不具合発生数 (国内)

海外では給水系が55%と最も多かったが、国内では給水系とドレン系が3件(共に42%)と同数であり、海外に比べ全体に占める給水系の割合が低い。これは海外の給水系で大部分を占めていた給水制御弁の不具合事例が国内ではポジション全不具合7件中2件(29%)であり、海外と比べ多くないためと考えられる。このことから、給水制御弁の保守は海外と比較して、国内では適切に行われていることが伺える。

海外と同様に、そのポジション不具合の原因がポジション自体に起因するものか、他からの影響によるものか分類した。図8に示す。ポジション自体の不具合が5件(71%)と多数を占める。海外と比べ他からの影響による不具合が少ない。次にポジション自体の不具合を分類したところ、海外と同様に保守不良が3件(60%)と多い。

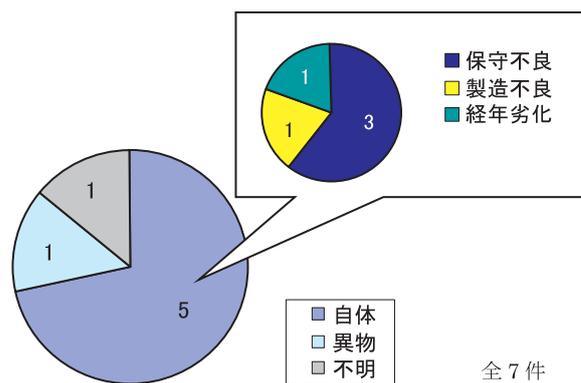


図8 不具合原因別分類 (国内)

この保守不良の内訳は、組立ミスが2件と、内部清掃不十分が1件であった。海外と同様に組立ミスが上位を占めることから、ポジションの不具合を低減させるためには、国内でも保全活動を実施する作業者の技能を維持・向上させることが重要と考えられる。

## 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、日米でのポジション不具合発生数を比較した。結果を図9に示す。

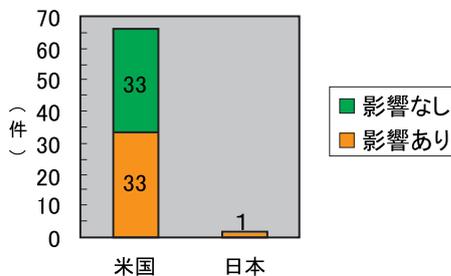


図9 日米の不具合発生数比較

米国では66件で、そのうち出力に影響のあった事象と影響のない事象がそれぞれ33件であったのに対し、日本では1件で、そのうち出力に影響のあった事象1件、影響のない事象0件であった。

日米で不具合発生数には大きな差があり、これが海外でポジション不具合発生を多いと感じる要因の一つになっていると考えられる。

次に日米プラント1基当たりの発生数で比較した。比較するに当たっては2005年12月31日現在で稼働している基数(米国103基、日本54基)<sup>(3)</sup>を採用した。また両国の報告の基準、仕組み等が異なることから、可能な限り同じに近付けるため、出力に影響のあった不具合(米国33件、日本1件)に限定した。

米国は0.03件/基・年に対し、日本は0.002件/基・年と、日本は米国の約15分の1となった。これより、日本のポジション不具合発生率が際立って低いことがわかる。出力に影響のあった不具合に限定した上で、両国の不具合の報告の基準、仕組みが異なることを考慮に入れても、日本のポジションに対する、定期交換を含む時間計画保全をベースとした保全活動は、不具合の発生を未然に防止できていると言える。

## 3. まとめ

本分析では、過去10年間に海外で報告されたポジションの不具合について様々な切り口で分類を行い、簡単に考察を加えた。また国内で報告されたポジション不具合と簡便な比較を行った。主な結果は以下の通りである。

- (1) 過去10年間に海外で報告されたポジションの不具合は69件であった。全不具合報告事象に対するポジションの不具合報告割合は、わずかながら増加傾向にある。
- (2) 海外では、主給水制御弁での不具合が最も多く、全体の約50%を占める。また原子炉トリップに至った不具合に限定すると、主給水制御弁での不具合が79%を占めることから、あらゆるポジションの中で主給水制御弁のポジションの信頼性維持、向上が重要である。
- (3) 海外のポジション自身に起因する不具合発生原因のうち、保守不良は半数以上を占める。さらに保全活動の結果発生した不具合は保守不良の大部分を占めることから、適切な保全の実施、履行により不具合発生をかなりの割合で低減できる。
- (4) 国内、海外とも、保守不良の内訳では組立ミスが最も多いことから、保全活動を実施する作業者の技能を維持・向上させることにより、ポジション不具合の発生防止に寄与できる。
- (5) 日米でポジション不具合発生率を比較したところ、日本は米国よりもかなり低く、日本のポジションに対する保全活動は不具合発生を未然に防止できている。

## 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) 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/> (2006年2月20日現在)
- (3) 日本原子力産業会議, 「世界の原子力開発の動向2005年次報告」(2006).