

海外原子力発電所におけるカード型計器の不具合発生傾向

Trend Analysis of Modularized Circuit Card Type Instruments Failure Events at Overseas Nuclear Power Plants

伏見 康之 (Yasuyuki Fushimi)*

要約 原子力発電所で使用されている計器は、技術の進歩に伴い小型化され、1枚の基板（カード）に納められるようになった。このようにカード化された計器は、使用部品が集積化された結果、故障部位の特定や故障モードの判定が困難で、同等品への交換により処置されている場合が多くなっている。

本研究においては、原子力安全システム研究所（以下INSS）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、カード型計器の故障が取り扱われている171事象（交換、修理、取替を余儀なくされたもの）を抽出し、抽出した事象を元に、発生数の推移、故障装置別、故障原因別等の分析を行った。その結果カード型計器の故障割合は増加傾向にあること、供用開始から10年を超えると故障の発生する事例が多くなることが判明した。

キーワード 海外原子力発電所、カード型計器、傾向分析、事故・故障、運転経験情報

Abstract Instruments used in nuclear power plants are getting smaller in size with the advance of technology, and many instruments are modularized and configured on one card. Such instruments which are configured on one card are often replaced with equivalent cards in case of failure, because it is difficult to identify failure part or failure mechanism.

In this study, 171 modularized circuit card type instrument failure events 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 components, causal factor, and so on. As a result, it is revealed that the modularized circuit card type instrument failure events tend to increase and these events occur in large probability when modularized circuit card type instruments are used over 10 years after installed.

Keywords overseas nuclear power plant, modularized circuit card type instrument, trend analysis, trouble and incident, operating experience.

1. はじめに

INSSでは海外原子力発電所における運転経験情報のうち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⁽¹⁾。これらの事象において原子力発電所の安全性、信頼性に大きく影響を与える設備である計器の故障、中でも特に、モジュール化されたカード型計器の故障によりプラントの運転に影響を与えた事例を近年多く見受けられるようになってきた。本研究では、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カード型計器故障事例の傾向分析を

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。なお、原子力情報データベースには非公開情報を含んでいるため、一般には公開していない。

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)、世界原子力発電事業者協会 (World Association of Nuclear Operators : 以下WANO) の運転経験情報、お

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

よび米国原子力規制委員会(NRC)のEvent Notification Report, Licensee Event Report, 2001年以降に発行された仏国ASN(Autorité de sûreté nucléaire)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、米国NRCのEvent Notification Report, Licensee Event Report, 仏国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。

本研究では、原子力情報データベースに登録している1995年から2004年の間に海外原子力発電所で不具合の発生した事象で、その情報原文に 'card' と記載されている事象を抽出し、故障により、そのカード型計器の交換、修理、取替等を余儀なくされた事象を選定した。なお類似の言葉として 'board' があるが、それ単体では、計器の役目を果たさないような、従来型の計器の中で使用されている回路基板のニュアンスが強いため、対象から除外した。

1995年から2004年の間に発生した不具合事象24,246件を調査した結果、171事象(2005年1月17日時点)を選定した。

2.2 全体傾向

(1) 発生事象数の推移

図1に海外原子力発電所での不具合発生事象数を発生年毎に調査した結果と、そのうちカード型計器故障の占める割合(図1における故障割合)を示す。不具合発生事象数に対するカード型計器故障の割合は増加傾向にあることがわかる。さらに公開されて

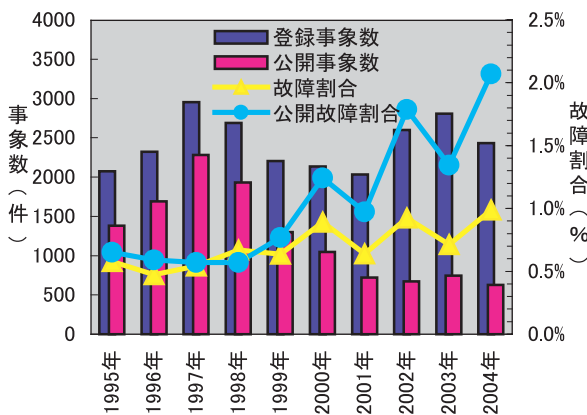


図1 発生事象数の推移

いる不具合事象に限定(図1における公開故障割合)すると、さらにその増加傾向は顕著である。以上より、海外では年々カード型計器の導入が進んでいることが想像される。

公開事象割合に比べ全登録事象発生割合の伸びが鈍化している理由として、件数の上で大部分を占める非公開情報は、事業者間の情報共有を目的としており些細な情報まで発信されることが多いことから、実際に故障まで至るような事象については、装置導入増加の割には増加しにくいことが考えられる。

(2) プラント運転開始時期による故障発生数

海外原子力発電所でのカード型計器の故障事例185件(前述の171事象を対象に複数カードが故障した場合を個別に事例として計上)に対し、プラントの運転開始時期毎に調査した結果を図2に示す。運転開始時期は「世界の原子力発電開発の動向 2004年次報告」⁽²⁾を参照した。1986~1990年に運転を開始したプラントでの故障発生数が最も多かった。国別に見ると、米国の事例は178件、米国以外での事例は7件と米国の事例が大半を占めた。これより、米国において不具合情報を積極的に発信し、そこから得られる教訓を共有しようという活動が活発であることが伺える。

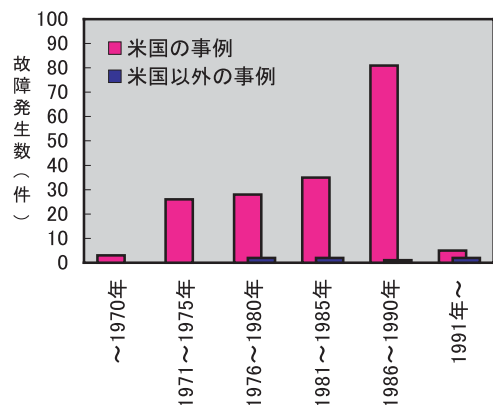


図2 プラント運転開始時期による故障発生数

次にプラント1基当たりの故障発生数を求めるに際し、運転開始時期毎に調査した。米国以外での事例はその基数の割に事例が少ないことから、基数に対する故障発生割合を求めるに当たっては、米国の事例に限定した。その結果を図3に示す。

米国では1986~1990年に運転を開始したプラントでの発生事例が多く、次いで1991年以降に運転を開

始したプラントで多かった。1基当りの故障発生数で見ると、1986年以降に運転を開始したプラントでは、1985年以前に運転を開始したプラントと比べ2倍以上多かった。これは米国の運転開始時期が1986年以降のプラントほど、カード型計器の導入数の多いことが考えられる。

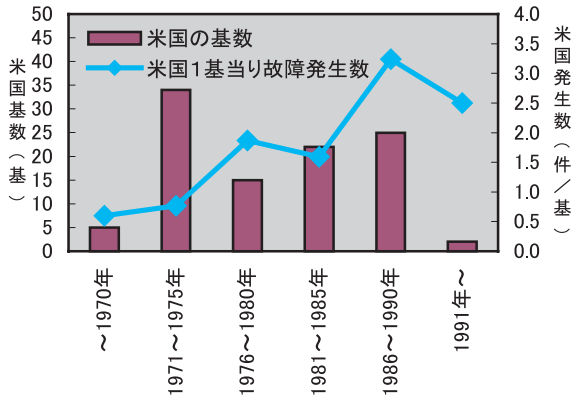


図3 米国プラント運転開始時期による故障発生数

2.3 故障装置別の分類

海外原子力発電所におけるカード型計器の故障事例185件（前述の171事象を対象に複数装置のカードが故障した場合を個別に事例として計上）の含まれていた装置を調査し分類した結果を図4に示す。タービン制御装置（29件）、原子炉保護装置（29件）、給水制御装置（25件）、制御棒制御装置（22件）の順に多く、これら4種類の装置で全体の57%を占めている。このうちカード型計器故障により原子炉自動、手動トリップに至った事例87件に限定すると、タービン制御装置（24件）、給水制御装置（18件）、制御棒制御装置（13件）の順に多く、これらの装置で原子炉トリップに至った事例全体の63%を占めている。カード型計器は一般的に温度、湿度が管理された計器ラック室内に設置されていることが多いことから、装置間の発生件数差異の要因として、故障したカード型計器を含んでいる装置の設置場所の環境による影響はほとんどないと考えられる。原子炉保護装置の故障件数に対して原子炉トリップに至った件数（5件）が少ないのは、原子炉保護装置がもともと多重化されており、単一の故障では誤作動を招かない設計となっていることから、当然の結果と考えられる。逆に故障件数に対して原子炉トリップに至った件数の割合の高いのは、タービン制御装置（83%）、給水制御装置（72%）、給水ポンプ速度制御装置（69%）

であり、海外ではこれら装置の一部もしくは全体が多重化されておらず、単一故障の影響を受けやすい設計となっていると考えられる。

これらタービン制御装置、給水制御装置、給水ポンプ速度制御装置において、国内でも海外と同様の設計となっていると考えられることから、多重化されていない回路のカード型計器の保全計画を適切に実行すれば、プラントの稼働率向上を期待できると考えられる。

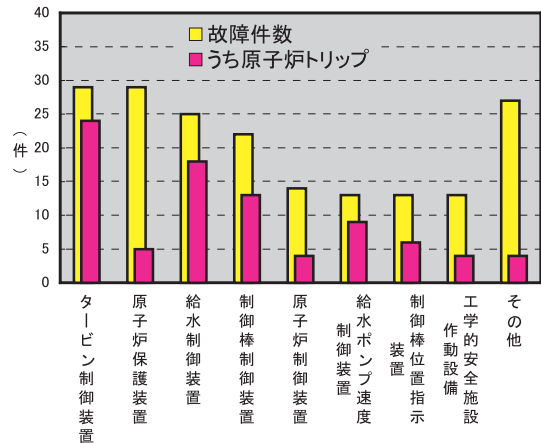


図4 故障装置別分類

故障カードのメーカーは、WESTINGHOUSE（以下WH）社が67事例と最も多く、その中でも特にWH社製プラントの原子炉保護制御系等で広く使用されている、7300シリーズカード型計器の故障が29事例と最も多かった。BWRのプラントメーカーであるGENERAL ELECTRIC（以下GE）社製品の故障は、28事例であった。米国におけるWH社製PWR48基とGE社製BWR34基を比べると、原子炉1基当たりのカード型計器故障発生率は、WH社製カードが高かった。これはWH社製PWR1基当たりのカード型計器の導入数の多いことが想像される。

2.4 故障部品別の分類

海外原子力発電所におけるカード型計器の故障事例189件（171事象を対象に複数カード内部部品が故障した場合を個別に事例として計上）の、故障部品を調査し分類した結果を図5に示す。故障した部品が明確にされた事例は79件（43%）で、コンデンサ12件、抵抗器12件、電氣的接続部11件の順に多かった。一方故障部品が明確にされなかった事例は110件で、全体の57%を占める。これは、部品の集積化により、故障部位の特定が困難となってきたことが関係

していると考えられる。故障部品の特定された事例でも（電解）コンデンサ、（可変）抵抗器、電氣的接続部等の比較的目視で故障を判定しやすい部品が上位を占めている。

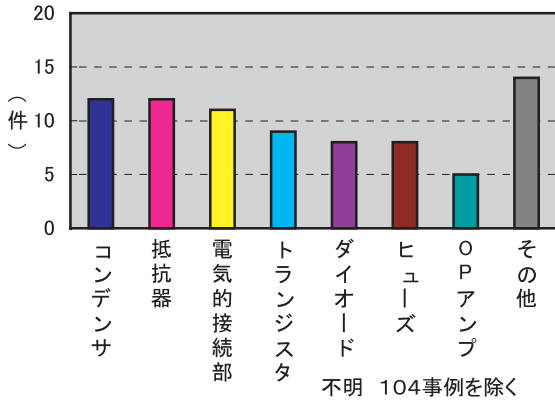


図5 故障部品別分類

2.5 故障原因別の分類

(1) 故障原因別の分類

海外原子力発電所におけるカード型計器の故障事例185件の故障原因を調査し、分類した結果を図6に示す。故障原因が明確にされている事象は72件（39%）で、経年劣化が20件と最も多く、製作不良17件、偶発故障12件の順に多かった。故障原因が明確にされなかった事象は113件（61%）であった。これは部品の集積化に伴い故障部位、ひいては故障モードの特定が困難となってきたことも関係していると考えられる。

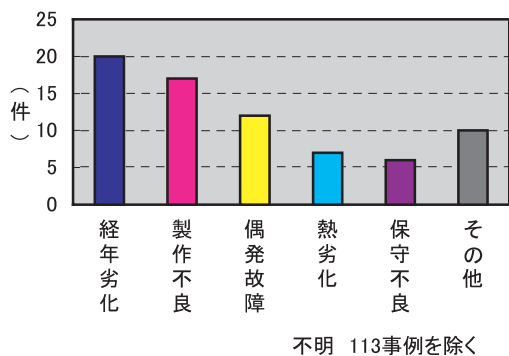


図6 故障原因別分類

(2) 経年劣化を原因とする故障の発生までの年数

次に故障原因が明確になっている事例のうち、経年劣化と判定された事例20件について供用開始から

何年で故障したかを調査した。さらに本調査では経年劣化だけでなく雰囲気（熱）により故障が加速された熱劣化事例7件も加えた。故障までの年数が明確にされていない事例については、そのプラントが営業運転を開始してから故障発生時点までの年数で代用した。結果を図7に示す。図7より、10年までとそれ以降では故障発生数が大きく異なり、10年を超えると故障の増加することがわかる。海外の供用開始からの保全内容が明らかにされていないため、定期的な保全を実施している国内プラントとの比較はできないが、少なくとも保全を実施していないカード型計器については、供用開始から10年が故障発生増加の目安と考えられる。

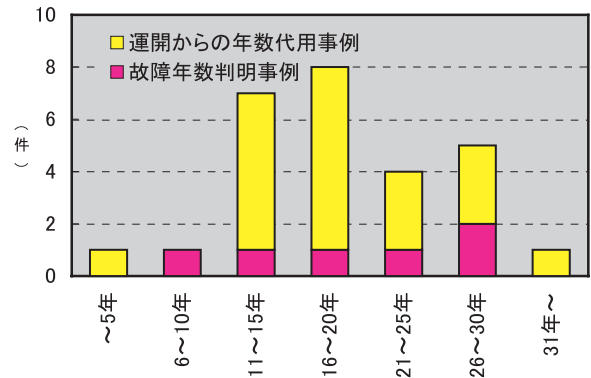


図7 故障発生年数別分類

また21年を超えた以降でカード型計器故障の発生数が減少しているのは、運転開始からの年数が長いプラントほどカード型計器の導入数が少ないため、故障発生数も減少していると考えられる。これは図3における1985年以前に運転を開始したプラント1基当たりの故障発生数が少ないことにほぼ対応している。

2.6 対応処置別の分類

海外原子力発電所におけるカード型計器故障に対する事業者のとした対応処置を図8に示す。同等品への交換が165事例と、全体の89%を占め、機能変更を伴う改良品への交換7事例を大きく上回った。さらに同等品への交換に加え現状復旧を意味するものとして、修理・補修の7事例を合わせると全体の93%となり、海外では詳細な原因調査に基づく再発防止対策を十分に行わずに現状復旧を志向した保全計画を実施していることが伺える。有益な教訓事項を含む不具合事例としては、改善を伴う対応処置を実施、

計画した場合であることから、これらカード型計器故障事例より有益な教訓事項が抽出しにくい状況になってきている。

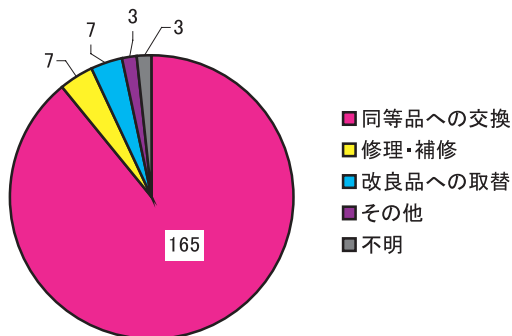


図8 故障時の対応処置別分類

3. まとめ

- (1) 海外のカード型計器の故障割合は増加傾向にあり、今後もこの増加傾向は継続すると考えられる。
- (2) 海外で故障件数に占める原子炉トリップに至った件数の割合の高い、タービン制御装置、給水制御装置、給水ポンプ速度制御装置は、多重化されておらず、単一故障の影響を受けやすい設計となっていると考えられる。国内のタービン制御装置、給水制御装置、給水ポンプ速度制御装置においても同様の設計となっていると考えられることから、これら装置のカード類の保全計画を適切に実行すればプラントの稼働率向上に寄与できると考えられる。
- (3) 海外で故障部品まで特定されている事例、および故障原因が明らかとされている事例は、それぞれ全体の半数を大きく下回っていることから、カード型計器故障時には詳細な調査を行っていないことが考えられる。
- (4) 海外で経年劣化により故障した事例では、供用開始から10年を超えると、故障発生数の増加が認められる。国内においても保全を実施していないカード型計器については、供用開始から10年以内に保全を実施することが適切と考える。
- (5) 海外でカード型計器故障時の対応処置として現状復旧を目指した処置を実施している事例が大部分であり、詳細な原因調査を行っていないことを合わせて考えると、海外ではカー

ド型計器故障時に、同等品への交換で処置を完了し、現状復旧を志向した保全計画を実施していることが考えられる。

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(2003年)」, INSS Journal, Vol.11, P79 (2004).
- (2) 日本原子力産業会議, 「世界の原子力開発の動向 2004年次報告」(2005).