

# 米国原子力発電所におけるモータ不具合の傾向分析

## Analyses of the Trends in Motor Problems at Nuclear Power Plants in the United States

嶋田 善夫 (Yoshio Shimada)\*

**要約** 2006年までに筆者らは、原子力発電所の電気機器のうち、不具合発生頻度の高い主発電機、非常用ディーゼル発電機、遮断器の傾向分析を実施してきた。国内原子力発電所のモータの不具合発生頻度は米国の1/20程度であるが、今後、運転期間延長、または保守方法が予防保全から状態監視保全に変更されると、保守が米国と類似してくることから、国内のモータの不具合発生頻度が上昇することが懸念される。従って、不具合発生頻度の高い電気機器のうち、傾向分析が未実施のモータについて傾向分析を実施した。本分析では、原子力安全システム研究所 (INSS) の原子力情報データベースに登録されている2002年から2006年の5年間に米国の原子力発電所で発生したモータの不具合事象 (214件) およびニューシア (原子力施設情報公開ライブラリー) に登録されている2002年から2006年の5年間に国内の原子力発電所で発生した不具合事象 (5件) について傾向分析を実施した。米国のモータの不具合傾向から得られた教訓として、PWR原子力発電所のモータについては、高出力ポンプモータの巻線 (コイル) の絶縁劣化管理および軸受の保守管理を怠らないことが重要である。

**キーワード** モータ, 傾向分析, 原子力発電所, 保守, 電気機器

**Abstract** Up until 2006 the authors analyzed the trends in problems with main generators, emergency diesel generators and circuit breakers that suffered failures with great frequency from among electric appliances at nuclear power plants. At domestic nuclear power plants, motor problems have occurred only 5% as often as in the United States. However, as the plant operation period will be extended or the maintenance approach is being changed from preventive maintenance to condition-based maintenance, Japanese nuclear power plants will be employing maintenance schemes similar to those prevailing in the United States. As a result, there is concern that the frequency of motor problems at domestic nuclear power plants may rise.

We therefore analyzed the trends in problems for motors for which the trends in failures have not been analyzed yet from among electric appliances that suffer failures very frequently. In this study, we analyzed the trends observed in motor problem events (214 cases) that occurred at nuclear power plants in the United States during the five-year period from 2002 to 2006 registered in the Institute of Nuclear Safety System, Incorporated's (INSS) database, as well as in problem events (five cases) that occurred at domestic nuclear power plants during the same period as registered in the Nuclear Information Archives (NUCIA). Important lessons learned from the trends in motor problems in the United States are that we must carefully monitor high-power pump motors' wiring (coils) for insulation deterioration and maintain bearings to prevent problems with motors at PWR-operating nuclear power plants.

**Key Words** Motors, analyses of trends, nuclear power plants, maintenance, electric appliances

## 1. 緒言

現在世界で約430基の原子力発電所が稼動し電力を生産しており、その総運転経験は12,000基・年を越えている。こうした運転経験に関する諸データは貴重な資料として将来に生かされるが、そこで発生

する各種の不具合 (事故, トラブルなど一切) の情報も同種の不具合はもちろん、より大きなトラブルや事故の発生の防止に役立ち、安全性の向上に資するとともに、信頼性の向上にも結びつく。こうした観点から、経済産業省資源エネルギー庁に設置されている総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安

\* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

部会「検査の在り方に関する検討会」でも、その「中間とりまとめ<sup>(1)</sup>」において、「災害防止上支障のない軽微なトラブルやトラブルに至らない運転管理上の情報を事業者の組織内あるいは産業界で共有し、活用することは、より大きなトラブルの予兆を察知し、これを防止する上で重要である。」としている。原子力安全システム研究所（以下「INSS」という）技術システム研究所は、1995年頃からその重要性を認識し、個々の事象分析から改善点を抽出すること、および不具合の発生傾向の分析（傾向分析）から改善点を抽出する活動を継続している。

2006年までに筆者らは、電気機器のうち不具合発生頻度の高い主発電機、非常用ディーゼル発電機、遮断器の傾向分析<sup>(2)~(4)</sup>を実施した。当報告は、米国において不具合発生頻度の高い電気機器のうち傾向分析が未実施のモータについて傾向分析を実施した。国内原子力発電所のモータの不具合発生頻度は米国の1/20程度であるが、今後、運転期間延長、または保守方法が予防保全から状態監視保全に変更されると、保守が米国と類似してくることから、国内のモータの不具合発生頻度が上昇することが懸念される。

本分析では、INSSの原子力情報データベースに登録されている2002年から2006年の5年間に米国の原子力発電所で発生したモータの不具合事象（214件）およびニューシア<sup>(5) (6)</sup>に登録されている2002年から2006年の5年間に国内の原子力発電所で発生した不具合事象（5件）について、傾向分析を実施した。

## 2. 分析結果

### 2.1 国内の分析結果

国内については、表1にニューシアに登録されている2002年から2006年の5年間に国内の原子力発電所で発生した不具合事象5件を示すが、不具合の発生件数は非常に少ない（発生頻度は、米国の1/20程度）。炉型については、PWRとBWRでそれぞれ2件と3件発生しており、差異は見られない。設備、系統、装置、標準装置については、特異な傾向はない。機器は、ポンプモータが2件発生しており、他の機器より多い。発生原因で多いものは、保守不備（保守不完全）の3件である。

### 2.2 米国のモータ不具合傾向の分析結果

図1は米国原子力発電所（PWRおよびBWR）のモータ種類毎の不具合発生頻度を示す。ポンプモータの不具合発生頻度が他の機器のモータと比較して特に高い。発電所で使用されるPWR一次系のモータ数は、電動弁駆動モータ>ポンプモータ≒ファン・ブロワモータ>圧縮機モータ>MGセットモータであり、図2以降、ポンプモータの不具合に着目して詳細分析した。なお、図1以降の「発電所影響あり」は、出力低下、出力抑制、停止期間延長、出力上昇、原子炉自動トリップ、原子炉手動トリップが発生したものである。

図2は図1の分析で抽出されたポンプモータにつ

表1 ニューシアに登録されている2002年から2006年の5年間に国内の原子力発電所で発生した不具合事象

発生年月日	ユニット名	件名	設備名	系統名	装置名	標準装置名	機器名	部品名	原因大分類	原因小分類	発電所への影響
2006年10月25日	福島第一発電所4号	原子炉冷却材浄化系ポンプ(A)の停止	原子炉補助設備	原子炉冷却材浄化系	ポンプ装置	原子炉冷却材浄化系循環ポンプ	ポンプモータ	モータ	保守不備	保守不完全	無し
2003年11月20日	敦賀発電所2号	A非常用ディーゼル発電機の待機除外について	電気設備	非常用ディーゼル発電機系	ディーゼル発電機装置	非常用ディーゼル発電機	ポンプモータ	巻線(コイル)	設備不備	製作不完全	無し
2002年8月20日	美浜発電所2号	A格納容器循環ファン(ME-20A)の手動停止について	換気空調設備	格納容器換気空調系	給排気装置	格納容器再循環ファン	ファン・ブロワモータ	軸受	保守不備	保守不完全	無し
2004年10月14日	志賀発電所1号	原子炉格納容器外側隔離弁駆動用電動機の損傷について	廃棄設備	液体廃棄物処理系	弁装置	ドライウェル機器ドレン第2隔離弁	電動弁駆動モータ	モータ	故意・過失	作業者の過失	無し
2003年11月28日	浜岡発電所2号	原子炉再循環ポンプMGセット(A)点検について	計測制御系統設備	原子炉制御系	MGセット装置	原子炉再循環ポンプMGセット	MGセットモータ	カップリングギヤ(流体継手を含む)	保守不備	保守不完全	無し

注：表の分類方法はニューシアによる。

いて、米国原子力発電所の設備毎の発生頻度を示す。タービン設備、原子炉冷却系統、非常用炉心冷却設備といった主要設備のポンプモータの不具合発生頻度が高い。

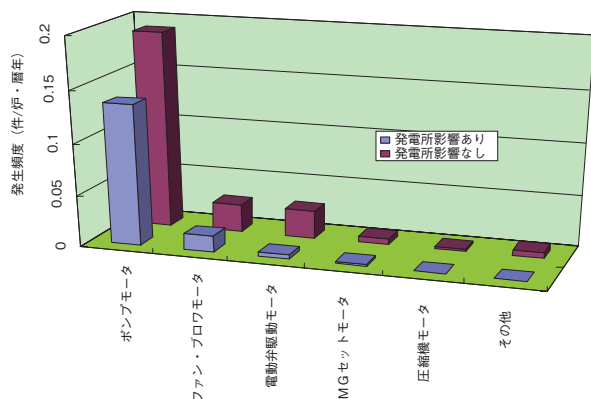


図1 米国原子力発電所のモータ種類毎の不具合発生頻度

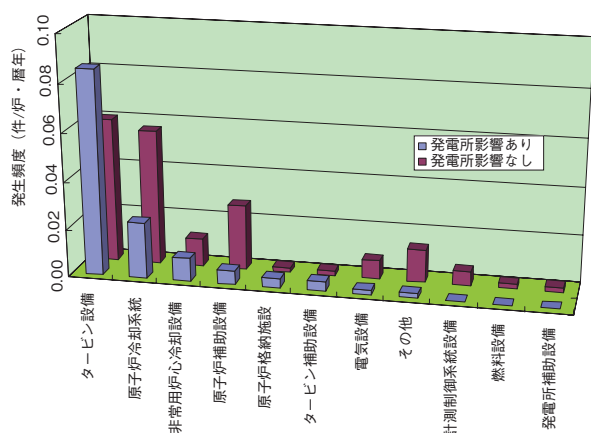


図2 米国原子力発電所の設備毎のポンプモータ不具合発生頻度

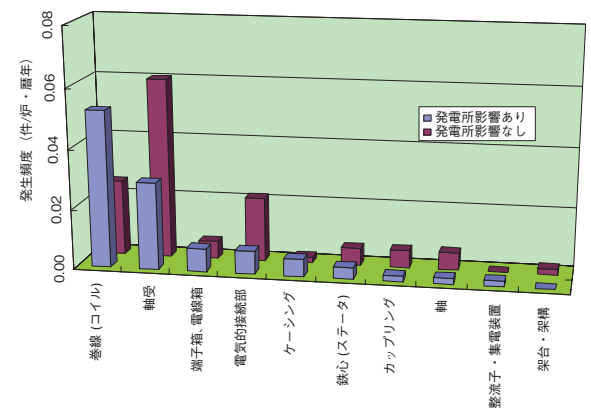


図3 米国原子力発電所のポンプモータの部品毎の不具合発生頻度

図3は、図1の分析で抽出されたポンプモータについて、さらに細部に踏み込み、部品毎の不具合発生頻度を分析した。ポンプモータの巻線(コイル)、軸受の不具合発生頻度が特に高い。

図4は、図1の分析で抽出されたポンプモータについて、不具合原因毎の発生頻度を分析した。保守計画不良、保守人的過誤による不具合発生頻度が特に高い。保守計画不良は、計画書の記載内容が不十分、保守がタイムリーでなかったことなどである。一方、保守人的過誤は、種々雑多(軸受取付状態確認不良、ネジの締付不良など)で包括的には言えない。

図5は、図1の分析で抽出されたポンプモータについて、米国で実施された不具合対策毎の発生頻度を分析した。マニュアル整備、修理・加工の頻度が高い。

図6は、図1の分析で抽出されたポンプモータに

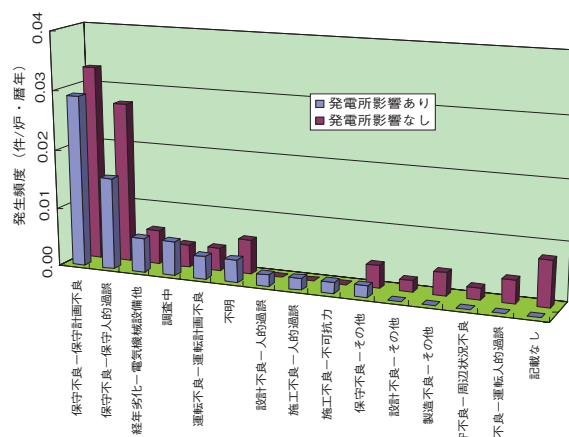


図4 米国原子力発電所のポンプモータ不具合原因毎の発生頻度

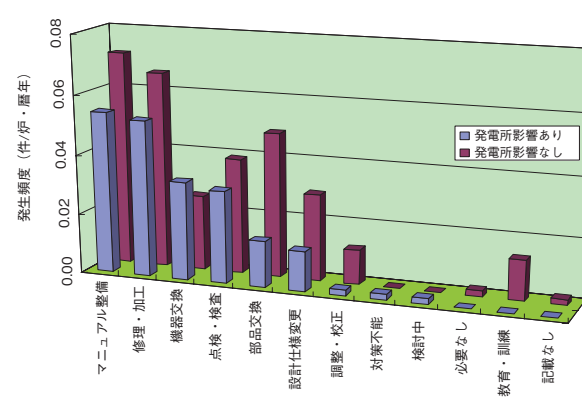


図5 米国原子力発電所のポンプモータ不具合対策毎の発生頻度

ついて、米国 PWR 原子力発電所の系統毎の不具合発生頻度を分析した。循環水系，復水系，一次冷却材系で使用されるポンプモータの不具合発生頻度が高い。

図 7 は、図 1 の分析で抽出されたポンプモータに

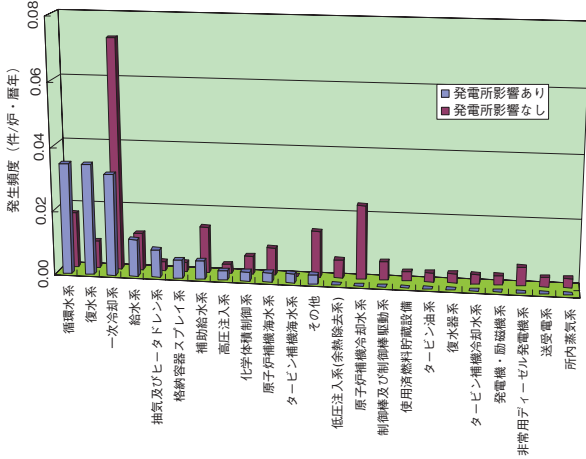


図 6 米国 PWR 原子力発電所のポンプモータの系統毎の不具合発生頻度

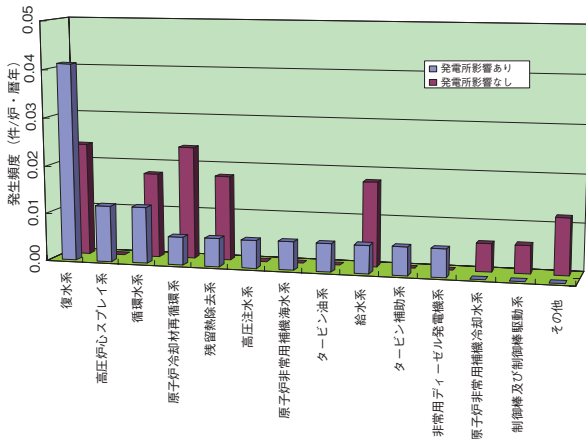


図 7 米国 BWR 原子力発電所のポンプモータの系統毎の不具合発生頻度

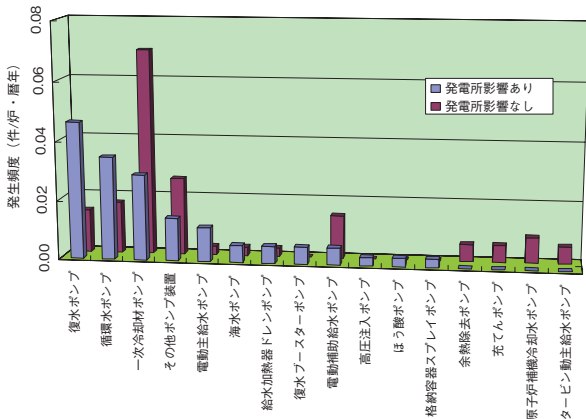


図 8 米国 PWR 原子力発電所のポンプ種別毎のモータの不具合発生頻度

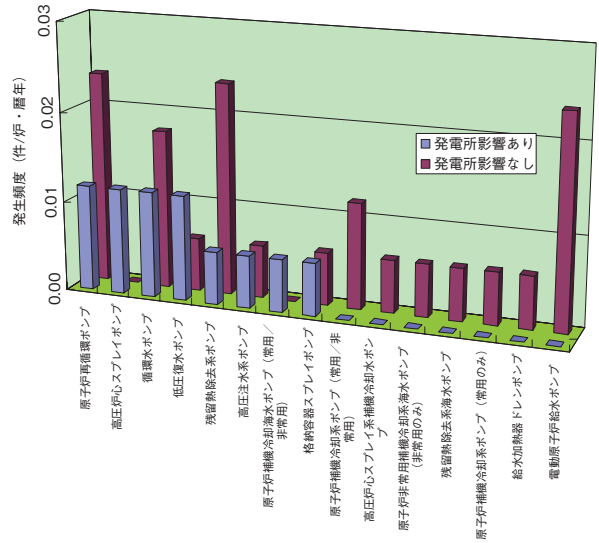


図 9 米国 BWR 原子力発電所のポンプ種別毎のモータの不具合発生頻度

ついて、米国 BWR 原子力発電所の系統毎の不具合発生頻度を分析した。復水系で使用されるポンプモータの不具合発生頻度が高く、これは PWR と共通した傾向である。また、BWR 固有の特徴として、ECCS として重要な高圧炉心スプレイ系で使用されるモータの不具合発生頻度が高い。

図 8 は、図 1 の分析で抽出されたポンプモータについて、米国 PWR 原子力発電所のポンプ種別毎のモータの不具合発生頻度を分析した。復水ポンプモータ，循環水ポンプモータ，一次冷却材ポンプモータといった高圧モータの不具合発生頻度が高い。

図 9 は、図 1 の分析で抽出されたポンプモータについて、米国 BWR 原子力発電所のポンプ種別毎のモータの不具合発生頻度を示す。原子炉再循環ポンプモータ，高圧炉心スプレイポンプモータ，循環水ポンプモータ，低圧復水ポンプモータといった高圧モータの不具合発生頻度が高く、この点は PWR のポンプモータと共通した傾向である。また、循環水ポンプモータは、PWR と BWR で共通して不具合発生頻度が高い。

### 2.3 米国 PWR 復水ポンプモータの分析結果

2.2 章の分析により米国 PWR プラントのポンプの中では、復水ポンプモータの不具合発生頻度が最も高いので、本章では復水ポンプモータの分析結果を記載する。



図 10 は米国 PWR 原子力発電所の復水ポンプモータの部品毎の不具合発生頻度を示す。巻線（コイル）の不具合発生頻度が高い。

図 11 は米国 PWR 原子力発電所の復水ポンプモータ不具合原因毎の不具合発生頻度を示す。それぞれの項目の件数が 1, 2 件とデータ数が少なすぎるため傾向分析はできない。

図 12 は米国 PWR 原子力発電所の復水ポンプモータ不具合対策毎の発生頻度を示す。修理・加工, マニュアル整備, 点検・検査の発生頻度が高い。

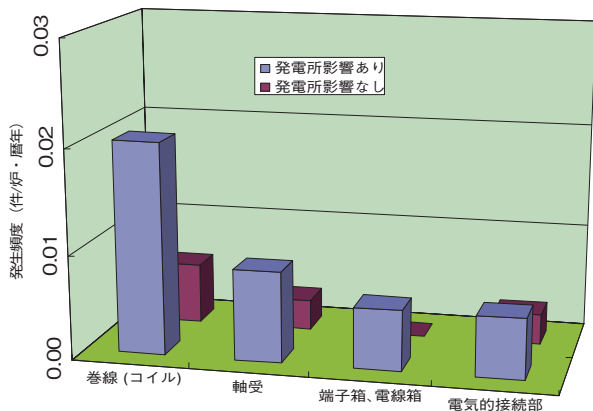


図 10 米国 PWR 原子力発電所の復水ポンプモータの部品毎の不具合発生頻度

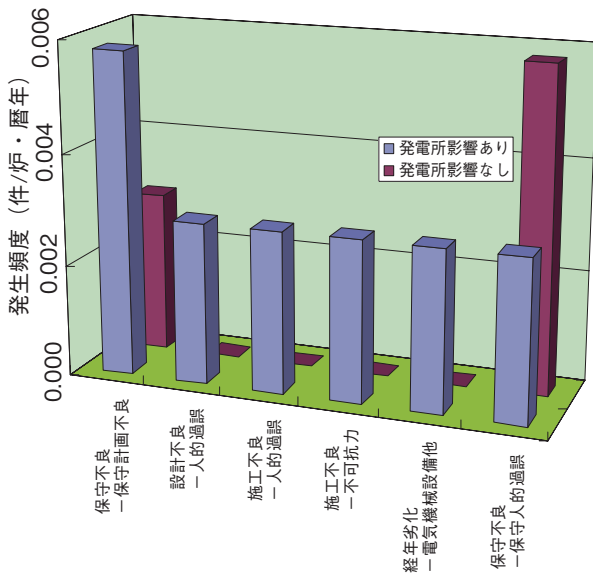


図 11 米国 PWR 原子力発電所の復水ポンプモータ不具合原因毎の発生頻度

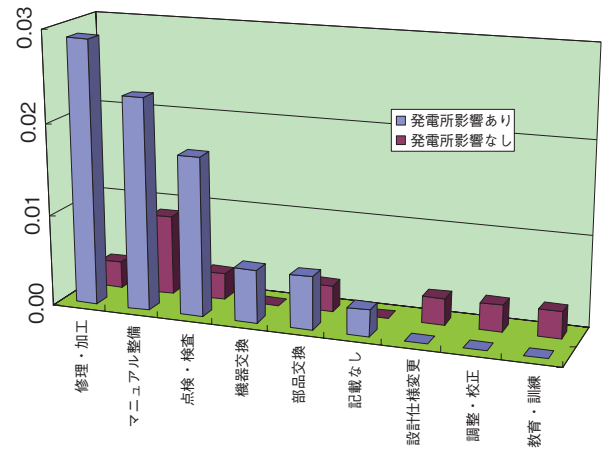


図 12 米国 PWR 原子力発電所の復水ポンプモータ不具合対策毎の発生頻度

## 2.4 米国 PWR 循環水ポンプモータの分析結果

2.2 章の分析により米国 PWR プラントのポンプの中では、循環水ポンプモータが、2 番目に不具合発生頻度の高いモータとして抽出されたので、本章では循環水ポンプモータの分析結果を記載する。

図 13 は米国 PWR 原子力発電所の循環水ポンプモータの部品毎の不具合発生頻度を示す。巻線（コイル）、電気的接続部の不具合発生頻度が高い。

図 14 は米国 PWR 原子力発電所の循環水ポンプモータ不具合原因毎の発生頻度を示す。それぞれの項目の件数が 1, 2 件とデータ数が少なすぎるため傾向分析はできない。

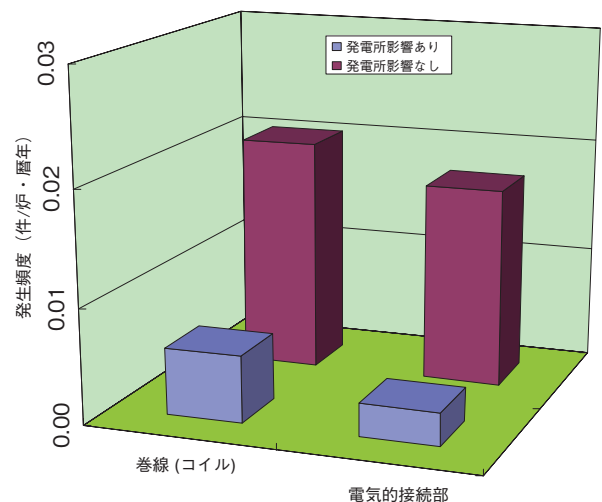


図 13 米国 PWR 原子力発電所の循環水ポンプモータの部品毎の不具合発生頻度

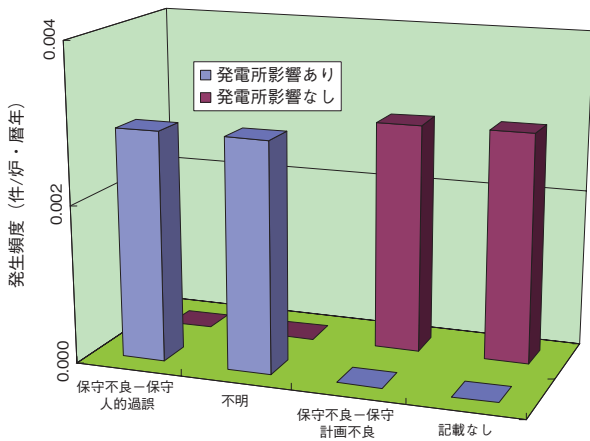


図 14 米国 PWR 原子力発電所の循環水ポンプモータ不具合原因毎の発生頻度

図 15 は米国 PWR 原子力発電所の循環水ポンプモータ不具合対策毎の発生頻度を示す。修理・加工の発生頻度が高い。

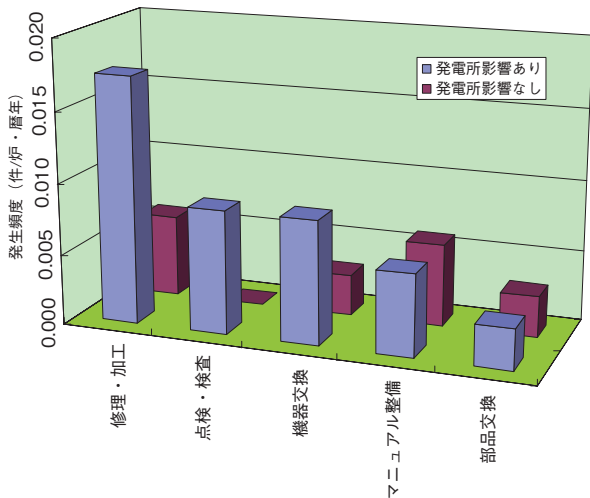


図 15 米国 PWR 原子力発電所の循環水ポンプモータ不具合対策毎の発生頻度

## 2.5 米国 PWR 一次冷却材ポンプモータの分析結果

2.2 章の分析により米国 PWR プラントのポンプの中では、一次冷却材ポンプモータが、3 番目に不具合発生頻度の高いモータとして抽出されたので、本章では一次冷却材ポンプモータの分析結果を記載する。

図 16 は米国 PWR 原子力発電所の一次冷却材ポンプモータの部品毎の不具合発生頻度を示す。複雑な

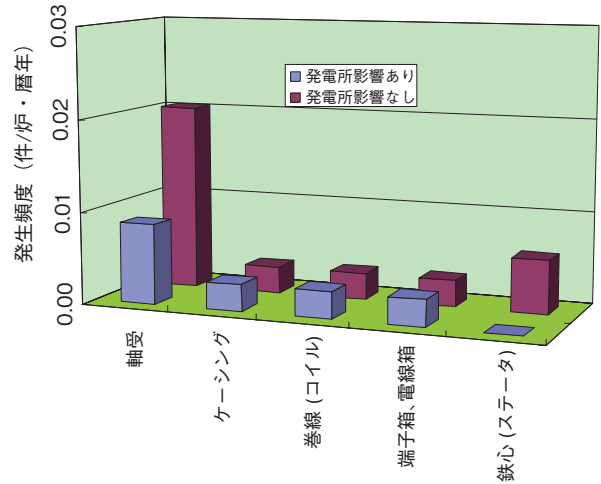


図 16 米国 PWR 原子力発電所の一次冷却材ポンプモータの部品毎の不具合発生頻度

構造を有する軸受の不具合発生頻度が高い。

図 17 は米国 PWR 原子力発電所の一次冷却材ポンプモータ不具合原因毎の発生頻度を示す。保守計画不良の発生頻度が高い。

図 18 は米国 PWR 原子力発電所の一次冷却材ポンプモータ不具合対策毎の発生頻度を示す。修理・加工、マニュアル整備の発生頻度が高い。

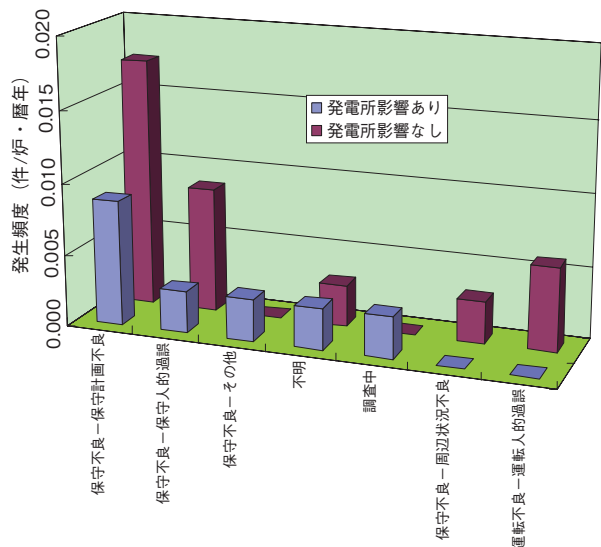


図 17 米国 PWR 原子力発電所の一次冷却材ポンプモータ不具合原因毎の発生頻度

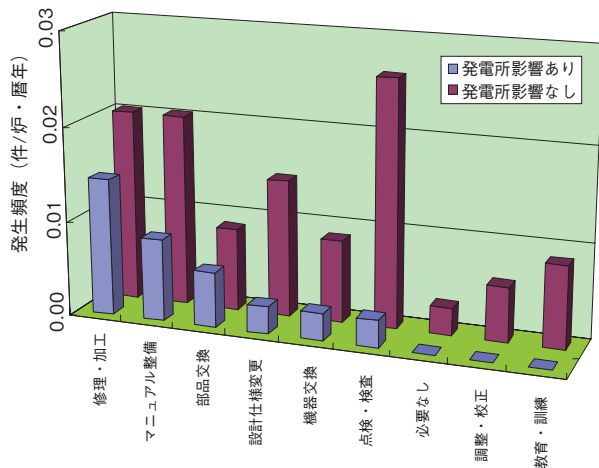


図 18 米国 PWR 原子力発電所の一次冷却材ポンプモータ不具合対策毎の発生頻度

### 3. 結論

- (1) 国内原子力発電所のモータの不具合発生頻度は米国の 1/20 程度であるが、今後、運転期間延長、または保守方法が予防保全から状態監視保全に変更されると、保守方法が米国と類似してくることから、国内のモータの不具合発生頻度が上昇することが懸念される。従って、先行する米国の不具合傾向を分析した。
- (2) 米国原子力発電所のモータ種類毎の不具合発生頻度を分析した結果、ポンプモータの不具合発生頻度が高い。ポンプモータを設備毎に分類して不具合発生頻度を分析した結果、タービン設備、原子炉冷却系統、非常用炉心冷却設備といった主要設備で不具合発生頻度が高い。さらに細かくポンプモータの部品毎の不具合発生頻度を分析した結果、巻線（コイル）、軸受の不具合発生頻度が高い。また、ポンプモータの不具合原因毎の発生頻度を分析した結果、保守計画不良、保守人的過誤の不具合発生頻度が高い。さらに、ポンプモータ不具合対策毎の発生頻度を分析した結果、マニュアル整備、修理・加工の頻度が高い。
- (3) 米国 PWR 原子力発電所のポンプモータの系統毎の不具合発生頻度を分析した結果、循環水系、復水系、一次冷却材系の不具合発生頻度が高い。同様に米国 BWR について分析した結果、復水系の不具合発生頻度が高い。
- (4) 米国 PWR 原子力発電所のポンプ種別毎のモータの不具合発生頻度を分析した結果、復水ポンプモータ、循環水ポンプモータ、一次冷却材ポンプモータといった高圧モータの不具合発生頻度が高い。同様の分析を BWR についても実施したところ、原子炉再循環ポンプモータ、高圧炉心スプレイポンプモータ、循環水ポンプモータ、低圧復水ポンプモータの不具合発生頻度が高い。
- (5) 米国 PWR 原子力発電所の復水ポンプモータが抽出されたので、部品毎の不具合発生頻度を分析した結果、巻線（コイル）の不具合発生頻度が高い。不具合対策は、修理・加工、マニュアル整備、点検・検査の頻度が高い。
- (6) 同様に、米国 PWR 原子力発電所の循環水ポンプモータが抽出されたので、部品毎の不具合発生頻度を分析した結果、巻線（コイル）、電氣的接続部の不具合発生頻度が高い。不具合対策は、修理・加工の頻度が高い。
- (7) さらに米国 PWR 原子力発電所の一次冷却材ポンプモータが抽出されたので、部品毎の不具合発生頻度を分析した結果、軸受の発生頻度が高い。また、不具合原因毎の発生頻度を分析した結果、保守計画不良の発生頻度が高い。さらに、不具合対策は、修理・加工、マニュアル整備の頻度が高い。
- (8) 以上の米国のモータの不具合傾向から得られた教訓として、PWR 原子力発電所のモータについては、高圧モータの巻線（コイル）の絶縁劣化管理および複雑な構造を有する一次冷却材ポンプモータの軸受の保守管理をおこたらないことが重要である。

### 文献

- (1) 経済産業省資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会、「検査の在り方に関する検討会中間とりまとめ」(2002)。
- (2) 嶋田 善夫、「信頼性ブロック図による発電機の不具合事象分析」, INSS JOURNAL, Vol. 13, p.281 (2006)。
- (3) 島田 宏樹、「米国の原子力発電所における遮断器不具合事象の傾向分析」, INSS JOURNAL, Vol.13, p.286 (2006)。
- (4) 嶋田 善夫、「信頼性ブロックダイアグラムと原子力発電所非常用ディーゼル発電機運転経験

情報のハイパーリンクによるデータベース構築」, INSS JOURNAL, Vol.10, p.93 (2003).

- (5) 日本原子力技術協会, 「原子力施設情報公開ライブラリー「ニューシア」運用手引き」(2006).
- (6) ニューシア (原子力施設情報公開ライブラリー), <http://www.nucia.jp/>.