

# 海外原子力発電所における不具合事象の傾向分析（2003年）

## Analysis of Adverse Events occurred at Overseas Nuclear Power Plants in 2003

宮崎 孝正（Takamasa Miyazaki）\*    佐藤 正啓（Masahiro Sato）\*    高川 健一（Kenichi Takagawa）\*  
 伏見 康之（Yasuyuki Fushimi）\*    島田 宏樹（Hiroki Shimada）\*    嶋田 善夫（Yoshio Shimada）\*

**要約** 海外の原子力発電所で発生した事故故障には、わが国の原子力発電所の安全性や安定運転の向上に参考となる事象があり、原子力安全システム研究所では、米国を中心に欧州を含めた海外の事故故障情報を入手して分析評価し、類似の不具合事象が国内のPWR発電所で発生することを防止するための改善提言を行っている。

2003年の1年間には約2800件の不具合情報を入手し、これらを分析評価して9件の改善点を電力に提言している。本稿では、2003年における不具合事象の個別分析結果の概要と、不具合事象の発生傾向を分析した結果を紹介する。傾向分析は、個別分析した事象約1600件について、機械、電気、計装、運転の分野毎に、不具合の原因、故障した機器・部位、等について行った。また、海外の不具合対策の内容から、国内に反映する教訓抽出の可能性についても検討した。

本稿は、PWR発電所の安全性向上と安定運転に資するため、海外不具合事象の全体傾向をとりまとめたものである。

**キーワード** 海外原子力発電所、不具合事象、事故・故障、傾向分析、改善提言

**Abstract** The adverse events that have occurred in the overseas nuclear power plants can be studied to provide an indication of how to improve the safety and the reliability of nuclear power plants in Japan. The Institute of Nuclear Safety Systems (INSS) obtains information related to overseas adverse events and incidents, and by evaluating them proposes improvements to prevent similar occurrences in Japanese PWR plants. In 2003, INSS obtained approximately 2800 pieces of information and, by evaluating them, proposed nine recommendations to Japanese utilities. This report shows a summary of the evaluation activity and of the tendency analysis based on individual event analyzed in 2003. The tendency analysis was undertaken on about 1600 analyzed events, from the view point of Mechanics, Electrics, Instruments & Controls and Operations, about the causes, countermeasures, troubled equipments and the possible of lessons learnt from overseas events. This report is to show the whole tendency of overseas events and incidents for the improvement of the safety and reliability of domestic PWR plants.

**Keywords** nuclear power plant, adverse event, event and incident, analysis of tendency, trend analysis, improvement proposal

## 1. はじめに

近年、米国の原子力発電所の設備利用率は90%を超えわが国よりも高い値を示している。このことは、わが国の原子力発電分野には米国から学ぶべき点がまだ少なからずあることを示している。米国では、原子力発電運転協会（INPO：Institute of Nuclear Power Operations）や世界原子力発電事業者協会（WANO：World Associations of Nuclear Operators）が中心となって、不具合情報を収集し改善に結びつける不具合反映活動が活発に行われ、安全性や設備利

用率の向上が進められている。

原子力安全システム研究所（以下INSS）の原子力情報プロジェクトでは、設立以来、米国を中心に海外の原子力発電所で発生した事故故障（以下、不具合事象という）に関する情報を入手・分析評価して、関西電力と北海道電力のPWR発電所に対する改善提言を行い、同種不具合の発生防止を図ることによって発電所の安全・安定運転向上に貢献してきている。2003年には電力より約2800件の情報の提供を受け、分析評価して9件の改善を電力に提言している。

本稿では、2003年に実施した個別不具合事象の分

\*（株）原子力安全システム研究所 技術システム研究所

析結果の概要を示すとともに、個別分析結果に基づく不具合事象全体の傾向を紹介し考察を行った。分析対象の事象約1600件を機械・電気・計装・運転の分野毎に、不具合の原因・発生機器・故障部位・対策内容等の傾向分析するとともに国内反映の可能性についても述べた。

これまでに海外の不具合事象に関する傾向分析も幾つか行われてきたが<sup>(1),(2),(3),(4)</sup>、全体を総覧する傾向分析を行ったのが今回の特色である。

## 2. 不具合事象分析活動の概要

### 2.1 個別事象の分析の流れ

#### (1) 入手情報

海外の原子力発電所で発生した不具合事象は様々なルートや形態で発信されており、米国原子力規制委員会（NRC）は不具合情報を公開しているので一般でも入手することができる。INSSでは、このNRC情報以外に、INPO、WANOが発信している不具合情報を主な情報源としている。NRC情報を除くINPO情報、WANO情報は非公開であり入手は会員に限定されているが、INSSは電力の一部としてこれらの情報を入手している。

#### (2) 情報選定・分析評価・改善提言

入手した不具合情報には重要な事象と軽微な事象が混在しているので、有益な情報（事象）をスクリーニングすることが必要である。スクリーニングされた不具合事象について、国内PWRの現状を基に反映要否を検討し、必要な場合には電力に改善提言を行う。この不具合分析の流れを図1に示す。なお、改善提言はPWR発電所を対象にしているが、分析対象の不具合事象としてはPWRとBWR両方を取り扱っている。

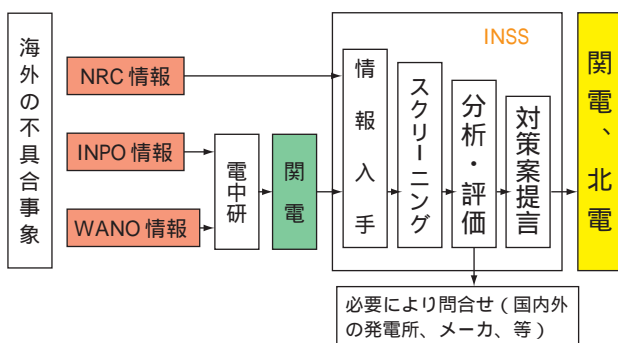


図1 不具合分析の流れ（～2003年）

### 2.2 INSSにおける分析評価の特長

原子力発電所の運転・保守経験を持つ電力社員がINSSに現役出向して不具合反映要否検討に従事していることから、次のような特長がある。

- ①現場経験を活かして不具合分析を行い、現場の身に立った具体的な改善対案を提言できる。
- ②設備面だけでなく運用面も含めた両方の検討ができる。
- ③電力事業者の立場（経済性、効率性等を総合勘案）で改善提言を行える。
- ④発電所との人事交流によりINSSでの分析経験が発電所業務で活かせる。
- ⑤INSSの他の研究プロジェクト（社会システム研究所を含む）の協力を得た提言ができる。

### 2.3 不具合事象のデータベース化

個々の不具合事象はコンピュータ登録されてデータベース（DB）化し、過去の類似事象・改善提言の確認・問合せ対応・傾向分析等に利用している。INSSのDB（原子力情報データベース）に登録されている内容は、原文情報、評価内容、事象分類等で、図2に示すように個別事象の分析過程でDB化される。

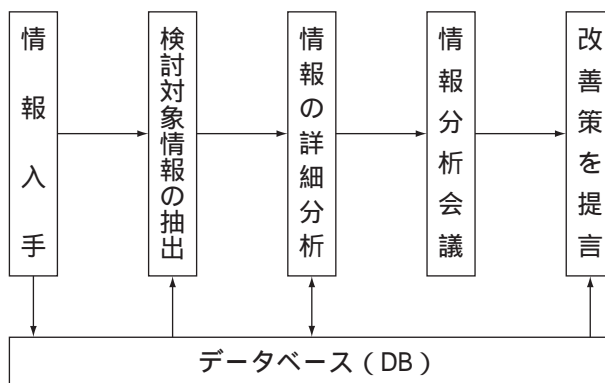


図2 不具合情報のDB化

### 2.4 入手情報量の変遷

これまでに入手した1998～2003年の暦年毎のNRC情報、INPO情報、WANO情報の入手数の変遷を図3に示す。

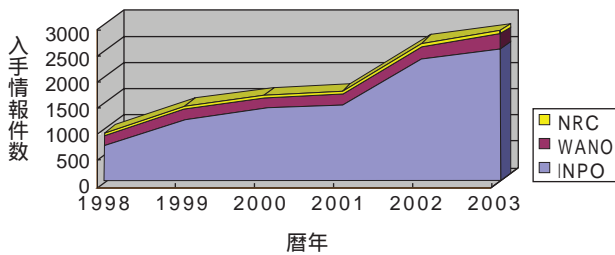


図3 海外からの入手情報件数の推移

この図から、米国のINPO情報発信数（＝入手情報件数）は年々増加し、あたかも不具合事象が増加しているように見える。しかしながら、図4に示すように、米国の設備利用率や安全系作動率は逆に年々良くなっている<sup>(4)</sup>。このことから、実際の不具合事象は減少し、単に不具合事象の発信（開示）数が増加しているだけ、と見る方が正しいと考える。つまり、従前は発信していなかった軽微な不具合情報まで発信するようになったことが、直接・間接的に設備利用率や安全系作動率の改善に寄与していると推定される。

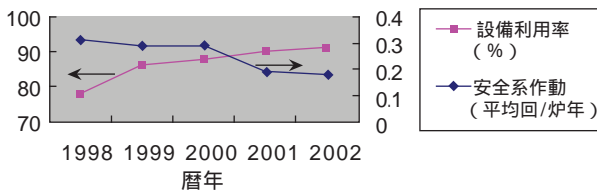


図4 米国の設備利用率と安全系作動率の推移

## 2.5 2003年の不具合分析結果

2003年（1～12月）に入手した不具合情報から分析し提言した結果を表1に示す。

表1 2003年の分析結果

入手情報数	2852件 (100%)
評価対象事象数	2374件 (100%)
分析対象外	768件 (32%)
分析対象	1606件 (68%)
(分析中)	(73件)
(対策不要)	(1527件)
(対策要)	(6件)
改善提言件数 (過年度分を含む)	9件

入手情報数に対して評価対象事象数が少ないのは、

同一不具合事象に対して複数の情報が発信されるためである。INSSでは全ての不具合情報をチェックし改善に役立つ点の有無を確認しているが、INPO情報に含まれる軽微な事象については、詳細検討を実施する前にスクリーニングし、分析対象外としている。分析した事象数に対して改善提言にまで至る割合は低く、2003年では9件が改善提言につながったのみである。このように、大部分の不具合事象は国内反映の必要はなかったと判定されるが、反映不要を確認することも重要である。

改善提言の9件については、それが発電所の安全性や安定運転にどの程度効果があるのかを参考に算定している。効果の尺度としては炉心損傷頻度(CDF)と自動トリップ頻度(APTP)<sup>(6)</sup>を用いており、2003年の改善提言についての算定例を表2に示す。なお、安全性や安定性を算定しにくい事項もあり、すべての項目について算定できるものではない。

表2 改善提言の有用度

	安全性の向上 ( CDF )	安全性の向上 ( APTP )
	6.2E-10 / 炉・年 (0.2%)	1.8E-3 / 炉・年 (1.7%)
	4.3E-14 / 炉・年 ( 0%)	0 / 炉・年 ( 0%)
	5.3E-11 / 炉・年 (0.01%)	0 / 炉・年 ( 0%)
	—	—
	—	—
	≒0 / 炉・年 ( 0%)	—
	—	—
	4.1E-4 / 炉・年 (約1000倍)	—
	3.5E-10 / 炉・年 (0.1%)	—

CDF = 炉心損傷頻度の差分

APTP = 自動トリップ頻度の差分

## 3. 不具合の傾向分析

### 3.1 対象とする不具合事象

2003年の1年間（1～12月）に入手し分析した不具合事象1606件分（表1参照）について傾向を分析した。不具合事象は機能・不具合原因・発生設備（機器、部品）等が分類されてDB化されており、このDB内容を基礎として更に展開しながら分析を行った。

### 3.2 機能別分類

不具合事象を機能別に分類した結果を図5に示す。機能は、発電所の係単位に相当する区分であるが、この分類方法は設備と運用の両方の不具合を対象に

扱うのに便利な分類方法である。機械関係は、PWR 発電所の職能との関係で、1次系を「原子炉」、2次系を「タービン」に区分しているが、以下の各項では機械として取り扱う。なお、一つの不具合事象を複数の職能に重複計上していることがある。

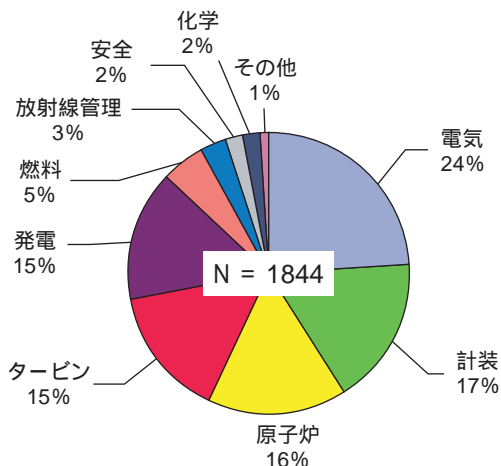


図5 不具合事象の職能別の分類

### 3.3 機械

職能別で分類された機械（原子炉，タービン）の不具合534件を不具合が発生した装置別に分類したものを図6に示す。発電所での設置台数が多い弁・ポンプ・配管に不具合が多く見られる。

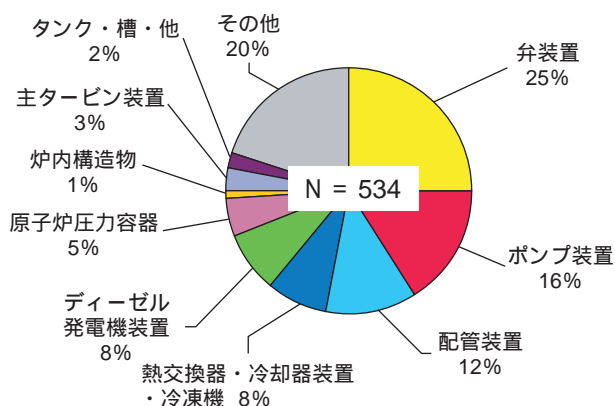


図6 (機械) 不具合の発生装置

これら不具合発生装置を表3に示す不具合原因で分類し、ハード関係（経年劣化，不良設備）の不具合とソフト関係（保守不良，運転不良）の不具合に分け、それを両者の比率順に不具合装置を並べたものを図7に示す。

表3 不具合原因の分類方法

ハード関係が原因の不具合	不良設備	設計不良，製作不良，初期施工不良による設備の不具合
	経年劣化	寿命を超えて使用したことによる設備の不具合 原因が特定されてない設備の不具合
ソフト関係が原因の不具合	保守不良	保守部門の人的ミス・手順書不備により発生した不具合
	運転不良	運転部門の人的ミス・手順書不備により発生した不具合
外部要因，その他		自然災害等により発生した不具合．詳細不明．

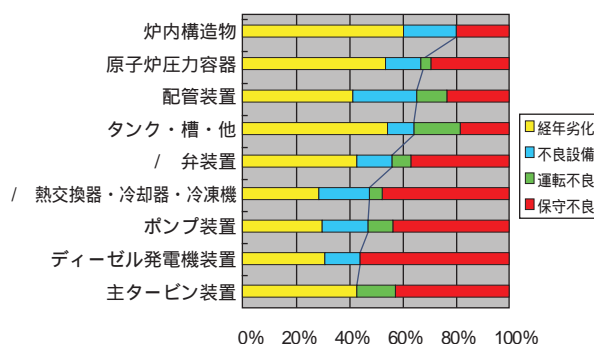


図7 (機械) 不具合装置の不具合原因

図7からは、静的機器（印）ではハード不具合（特に経年劣化）が多く、動的機器（印）ではソフト不具合（特に保守不良）が多い傾向が見られる。

### 3.4 電気

電気関係の不具合449件を不具合が発生した装置別に分類したものを図8に示す。

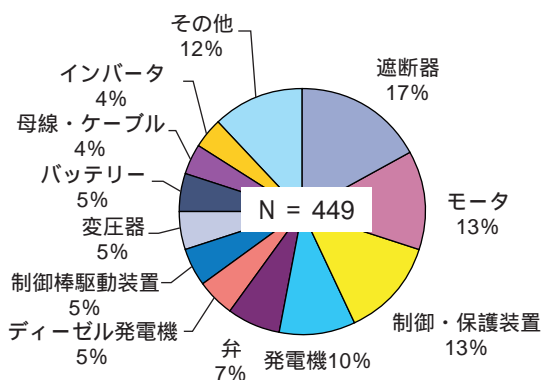


図8 (電気) 不具合の発生装置

不具合の発生した装置を、不具合の発生原因としてハード関係不具合（経年劣化，不良設備）とソフト関係不具合（運転不良，保守不良）の比率順に並

べてみると、図9のようになった。機械関係の場合と同様に、静的機器（印）ではハード関係不具合（特に経年劣化）が多く、動的機器（印）にはソフト関係不具合（特に保守不良）が多いという傾向が見られる。

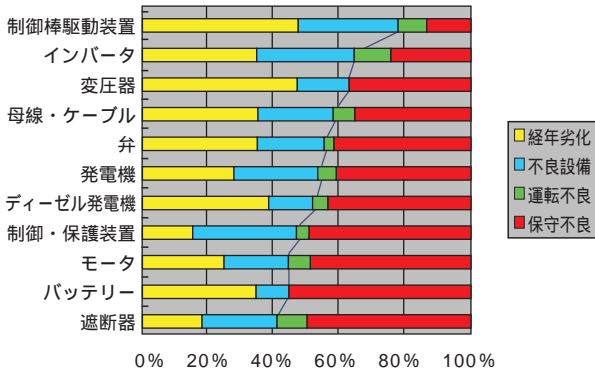


図9(電気)不具合の原因

不具合原因には「保守不良」が多いことから、不具合発生が多い上位4設備について、保守不良の内訳を更に層別したものを図10に示す。

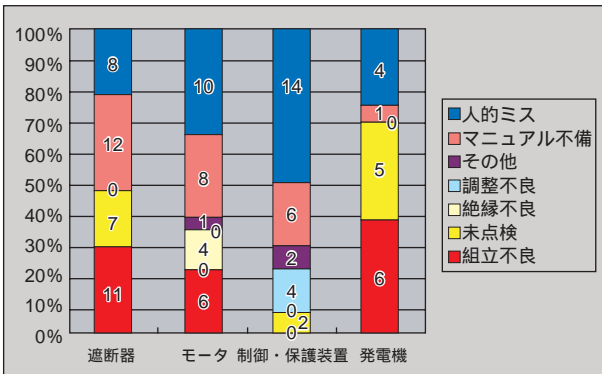


図10(電気)保守不良の内訳

図10と個別事象の分析内容から、次の点が伺える。「組立不良」が多いのは保守要員の技量不足が原因であり、「人的ミス」が多いのは保守要員の知識不足が一因である。これらの背景には熟練者の不足が存在すると思われる。

「未点検」や「絶縁不良」の発生は予防保全を行っていないことの表れであり、保守方法が事後保全型であることの結果と考えられる。

### 3.5 計装

計装関係の不具合319件を不具合の原因別に分類した結果を図11に示す。ハード不具合（46%）はソフト不

ト不具合（45%）とほぼ同じ割合である。ソフト不具合では「保守不良」が最も多く、これを更に分類すると「人的ミス」と「手順書不備」が1/4ずつを占め、残り半分は、人的ミスや手順書不備が複合した事象や情報内容であり、分類が困難な事象であった。

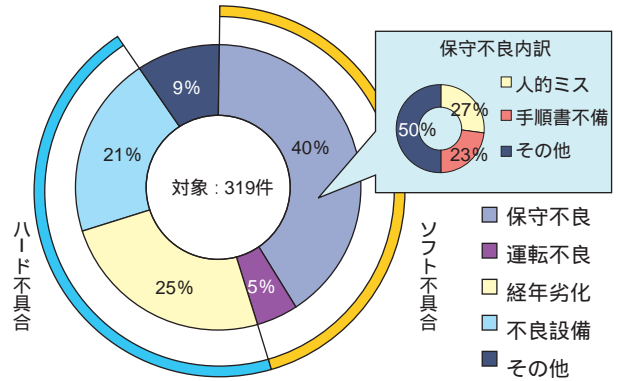


図11(計装)不具合の原因

ハード不具合では「経年劣化」が最も多く、この事象68件を部品レベルで分類した結果を図12に示す。ここでは、コンデンサやポテンショメータが多く見られる。国内の場合、コンデンサは定期取替を実施しており、また、ポテンショメータの不具合は経年劣化とされているが、一般に設計寿命は長いことから、使用条件（電流等）が製品仕様を越えていたことが原因ではないかと推定される。したがって、これらは国内反映の必要ないと判断された事象である。

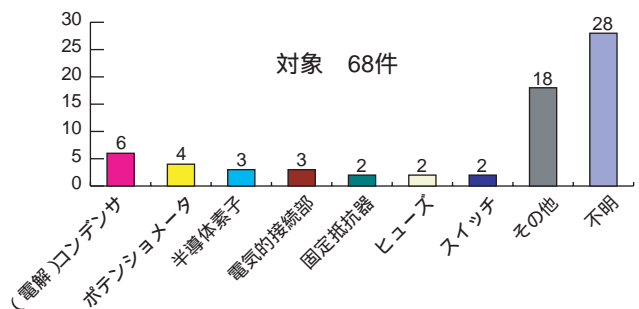


図12(計装)経年劣化した部品

不具合対策の内容を分類したものを図13に示す。改善を伴わない場合と改善を伴う場合の2つに分けると、改善無（48%）の方が改善有（43%）よりもやや多い。改善を伴わない場合は「機器・部品交換（同等品への交換）」が最も多く、改善を伴う場合の対策では「手順書整備」が最も多く見られた。この対策の内容を、更に、ハード不具合および経年劣化の不具合の両者について見てみると（図14）、改善を伴

わない割合が更に増加し，同等品への交換で収束させる傾向が強くなっていく．

詳細な原因調査をせず同等品への取替で収束させる対応が多いことは，計装品に対しては，予防保全の時間計画保全（点検，調整，定期取替，等）を行うのではなく，状態監視保全や事後保全（故障した時のみ交換・調整）を主体とした保守を実施していることが伺える．

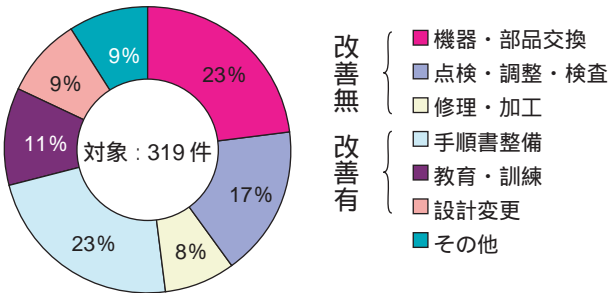


図13(計装)対策の内容(1)

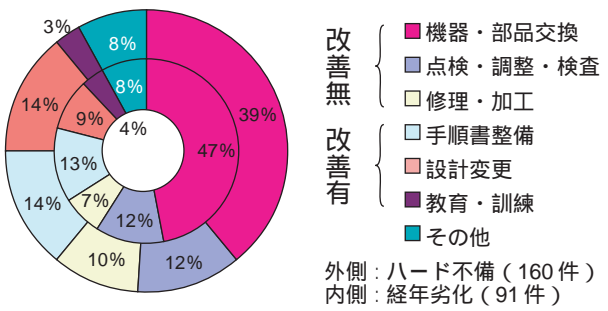


図14(計装)対策の内容(2)

計装関係不具合では，改善や原因調査をせずに同等品交換で収束させる事例が多く，このような事例からは国内反映に繋がる改善点は抽出できない．この他，改善を行った場合でも固有設備や特異保守の事例が多いことや，海外で取られている対策に多い手順書整備には国内で既に充実している場合が多い，等もあり，計装関係では改善提言につながる事例は少ない．

### 3.6 発電

発電（運転）関係の不具合283件を原因別に分類すると，運転操作不具合が8割程度で，このうち運転員の人的ミス（ヒューマンエラー）が6割程度となっている．(図15参照)

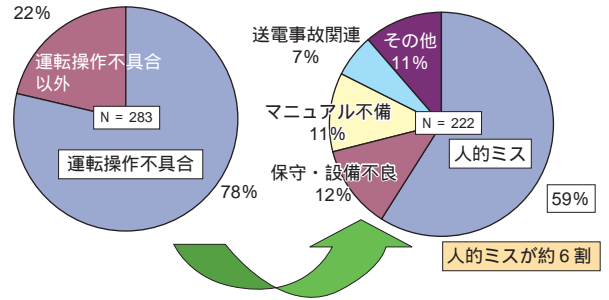


図15(発電)不具合の原因

運転員の人的ミス（ヒューマンエラー）の原因を，更に要因分類（INSS独自の7分類基準）したものを図16に示すが，「チームモニタ不良（＝操作者に対する上司・同僚の指示・監視が不十分）」が最も多い．

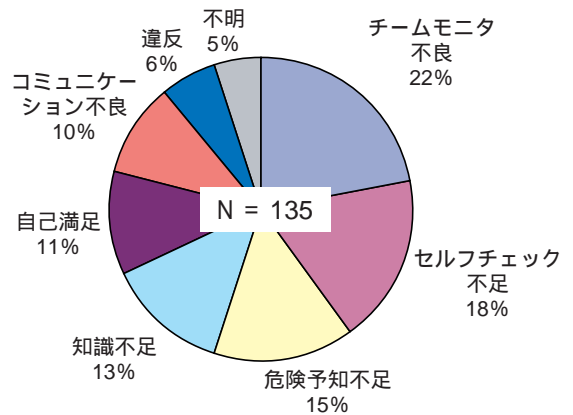


図16(発電)人的ミスの要因

運転員の人的ミス（ヒューマンエラー）を，その発生時期（運転中か停止中か）で分類したものを図17に示すが，「チームモニタ不良」は停止中に多く発生しているという特徴がある．この背景には，停止中（定期検査中）は業務が輻輳していることも影響している．「チームモニタ不良」については，別途，INSSで防止対策を検討している<sup>(7)</sup>．

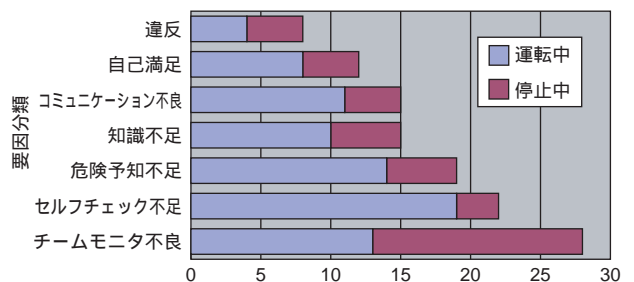


図17(発電)人的ミスの発生時期

### 3.7 非常用ディーゼル発電機

前項までは職能別に分析してきたが、重要な機器の一つである非常用ディーゼル発電機（DG）について、機械、電気、計装、運転をまとめて見ると図18のようになる。

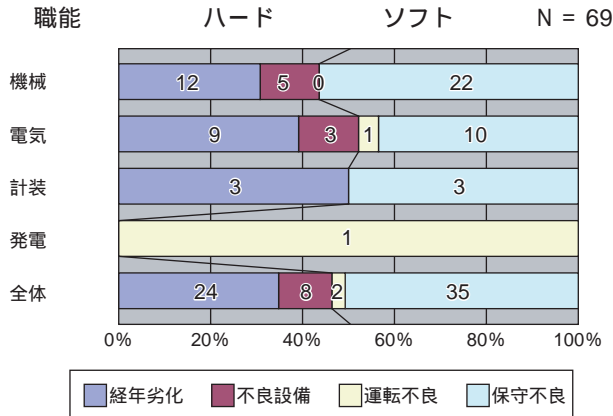


図18(ディーゼル発電機) 不具合の原因

DGの不具合を発生部位別で展開し、更に不具合の多い上位4部位の不具合内容をソフト・ハードに分けたものを図19に示す。この図から次のことが分かる。

- ①ソフト不具合には高度な技術を必要とする「調整」「組立て」作業で不具合が多いことから、技量・経験不足が遠因にあると推定される。
- ②ハード不具合には点検不足に起因する原因が多いことから、事後保全型の保守が一因であると推定される。

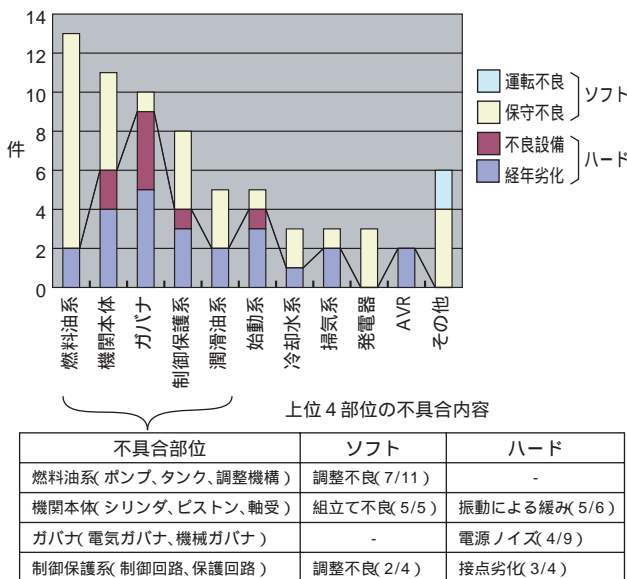


図19(ディーゼル発電機) 不具合の発生部位

### 4. 新しい不具合反映活動の取り組み体制

最近、海外の不具合事象を検討して国内発電所の保全品質向上に直結させる仕組みの構築が求められ、PWRとBWRの炉型毎に不具合反映活動を実施する体制を構築することとなった。INSSはPWR電力で構成される海外情報検討会に参加して、これまでの実績や経験を活かして支援することとなった。また、図20に示すように、検討対象に仏国のASN(Autorite de Sûreté Nucléaire) 情報や海外メーカ情報を加え、国内プラントメーカも検討会に参加することにより、充実した効率的な検討体制が構築された。

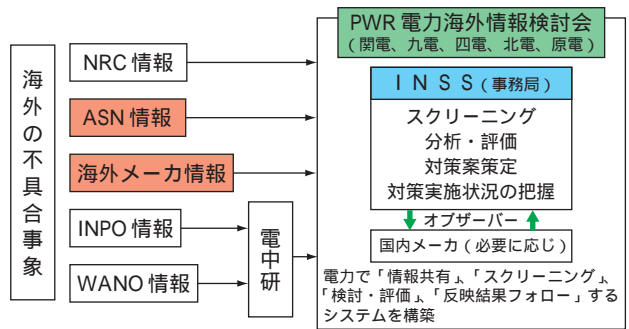


図20 2004年からの分析の流れ

### 5. まとめ

2003年に入手した海外原子力発電所の不具合事象を傾向分析した結果を以下にまとめる。

- (1) 不具合情報の発信数増加と設備利用率や安全指標の向上時期が一致していることから、不具合反映活動の活性化は発電所の安全・安定運転に寄与するものと考えられる。
- (2) 海外(主に米国)の不具合事象の傾向から次のことが伺える。
  - ・動的機器にはソフト不具合(特に保守不良)が多く、静的機器にはハード不具合(経年劣化)が多く見受けられる。
  - ・電気関係の保守不良の内訳に見られるように、熟練者不足が背景に存在すると考えられる。
  - ・不具合原因には保守不良が多いことから、技量不足が一因と考えられる。
  - ・予防保全型よりも事後保全型の保守である。
- (3) 計装関係で国内反映に繋がる事例が少ない背景には次の点が挙げられる。
  - ・原因調査のない事例が多い。

- ・改善がないままの同等品への取替が多い(教訓がない).
  - ・固有設備, 特異保守が多い.
- (4) 今後の課題
- ・PWR海外情報検討会の活動推進
  - ・傾向分析の方法の探索
  - ・海外と国内の不具合発生傾向の比較

## 文献

- (1) 麻坂顕一, 加藤啓之, 木田正則, 原信一, 熊田雅充, 「非常用炉心冷却系(ECCS)作動事象の分析」, INSS Journal, vol.2, p.169, (1995)
- (2) 木田正則, 橋場隆, 「原子力発電所における弁不具合事象の分析」, INSS Journal vol.3, p.177, (1996)
- (3) 奥田恭令, 「軽水炉の熱疲労による不具合事象の分析」, INSS Journal vol.7, p.88, (2000)
- (4) NUREG/CR-6644, "Performance of Safety-Related Power - Operated Valves Under Operating Conditions ", p.17, USNRC, (1999)
- (5) NUREG-1350, Volume 15, "NRC Information Digest 2003 Edition", USNRC, (2003)
- (6) 嶋田善夫, 河合勝則, 鈴木浩史, 「加圧水型原子炉の自動トリップ確率評価モデルの開発」, INSS Journal, vol.8, p.71, (2001)
- (7) 高川健一, 「海外の原子力発電所における運転員ヒューマンエラー事例の新しい分類と利用しやすい事例シートの作成」, INSS Journal, vol.11, p.95, (2004)