

# 原子力発電所の不具合原因の傾向分析

## Trend Analysis of the Adverse Event Cause in Nuclear power plants

高川 健一 (Kenichi Takagawa)\*<sup>1</sup>

**要約** 2003年度から2008年度の6年間に発生した国内の原子力発電所の不具合と、ほぼ同時期に発生した米国の不具合をINSSの原因分類法で分類すると、日米ともに「保守不良」が最も多く、全体の4割を占める。「保守不良」の内訳は、「保守計画不良」が米国では最も多く、国内では2007年度から増加して最多となっている。また、「作業者過誤」が米国ではほぼ半減しているのに対し、国内では期間全般を通して多い。傾向分析の結果から、「保守計画不良」を分析し対策を検討することと、不具合情報を有効活用することが、今後の不具合の低減に有効と考えられる。これらの対策を検討する上では、現状のRCAを補完でき、計画段階まで遡った要因の分析と多数の事象の分析を可能とする「保守計画不良」の分析方法を検討することが課題になると考えられる。また、作業者や計画者はニューシア等の不具合情報を継続的に活用するとともに、これらの情報のベースとなる報告書の作成者は教訓事項を抽出しやすいように報告書を記述することも課題になると考えられる。

**キーワード** 原子力発電所、不具合原因、傾向分析、保守不良、計画不良、根本原因分析

**Abstract** The adverse incidents which occurred in domestic and U. S. nuclear power plants during the period from 2003 to 2008 were classified by the cause classification method developed by INSS. From the results, it is clarified that the most frequent cause both in Japan and the U.S. is "maintenance errors" accounting for approximately 40% of the total causes. Among "maintenance errors", "imperfect planning" is the most frequent one in the U. S. and increased from fiscal year 2007 in Japan. "Workers error" has reduced its frequency by half in the U. S. and is staying at more frequent level in Japan. From the result of tendency analysis, corrective action against "imperfect planning" and/or the effective use of incident information is thought to become effective to reduce the frequency of adverse incidents. Therefore, future subjects should include a study of alternative methods to analyze "imperfect planning" which enable supplemented current RCA. At the same time, it should also be a theme to consider the proper ways of making incident reports to have the worker or planner easily extract lessons learned from them, as well as understanding the importance of utilizing incident information such as NUCIA.

**Keywords** nuclear power plant, cause classification, tendency analysis, maintenance error, imperfect planning, root cause analysis

### 1. はじめに

原子力発電所で発生している不具合事象（以下、不具合という）を原因分類し、発生の割合が高い原因に対する対策を実施することは、不具合の低減に効果があると考えられる。原子力安全システム研究所（以下「INSS」という）は、国内外の不具合について軽微な事象を含む多数の事象報告書を分析し、教訓事項の周知と対策提言を行っており、個別事例の分析のほか、傾向分析を行っている。INSSでは、

経年劣化や人的過誤等を含めた原子力発電所不具合事象の原因分類法（以下、「INSSの分類法」という）を考案している<sup>(1)</sup>。これに基づいて2005年度の国内の不具合原因を分類すると、原子力発電所で発生している不具合の原因の約4割を「保守不良」が占め最も多く、その内訳は、保守作業の実施段階における人的過誤である「作業者過誤」と、計画段階における要領書・作業手順書の作成不備等による作業不良である「保守計画不良」が多い<sup>(1)</sup>。

電力会社では、保守不良の防止対策として、「作業

\*1 (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

者過誤」に対して、さまざまな人的過誤の対策を実施している<sup>(2)</sup>。「保守計画不良」に対しては、計画者自身によるセルフチェックの徹底と計画者以外の確認者によるダブルチェック等が実施され、また、根本原因分析（RCA）を導入し<sup>(3)</sup>、組織的要因に遡って分析し、対策を実施している。

これらの対策は不具合防止に寄与していると考えられるが、その効果は、原因別にみた不具合の発生割合の数年間の変化から大まかに把握でき、その傾向を調べれば、今後重点的に検討する意義が高い対策とそれを実施する上での課題が明らかになると考える。

そこで、INSS の分類法を適用し、過去 6 年間に発生した国内および米国で発生した不具合の原因を分析し、その傾向から対策を考察し、それを実施する上での課題を検討することとした。

本研究においては、まず、(1) 国内と米国の不具合原因を傾向分析し、「保守不良」が期間を通して多いことを示し、(2) その結果を考察し、「保守計画不良」と「作業者過誤」の対策検討の意義が高いことを示し、(3) これらの対策を検討する上での課題を示す。

## 2. 不具合原因の傾向分析

### 2.1 国内原子力発電所の傾向分析

2003 年度から 2008 年度の 6 年間に発生し、ニューシア<sup>(4)</sup>に「トラブル情報」または「保全品質情報」として公開された不具合 990 事象のうち、分析に必要な情報を含む 928 事象を、INSS の分類法で分類した結果を図 1 に示す（2009 年 12 月調査）。複数の原因による事象も含まれるので原因件数は、

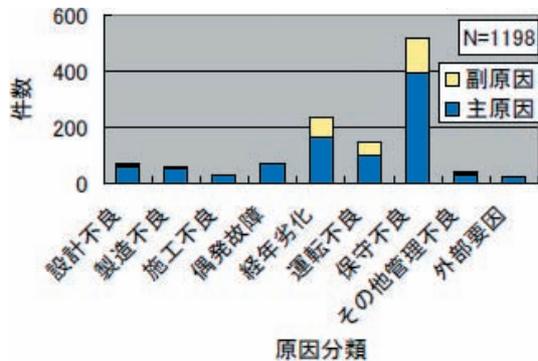


図 1 不具合事象原因内訳（国内、2003 年度-2008 年度）

1198 件になる。一事象あたり複数の原因がある場合は、INSS の分析担当者が最も主要な原因であると判定した原因を主原因とし、第二原因以下を副原因としている。図 2 は、主原因のみにより分類したものを示している。最も多い原因は、「保守不良」で、全体の 4 割以上を占める。この「保守不良」の内訳をみると図 3 に示すように、「作業者過誤」が最も多く、「保守計画不良」がこれに次ぐ。

また、「保守不良」に次いで多い原因は「経年劣化」である。これは、INSS の分類法では「経年劣化」という分類項目を設け、経年劣化事象が抽出できるようにしているため、経年劣化事象を含む不具合の件数を示している。経年劣化事象は、それが顕在化し不具合に至った本来の原因があり、報告書の記述からそれがわかる場合は、その原因を重複計上することとしているが、多くの報告書では、本来の原因にまで言及していないため、本研究では便宜上、原因が不明または記述のない経年劣化事象の主原因を「経年劣化」として分類している。

次に年度別の不具合事象の主原因の推移を図 4 に示す（2009 年 12 月調査）。報告事象件数は、期間前半はほぼ横ばいであったが、2007 年度は件数が増加

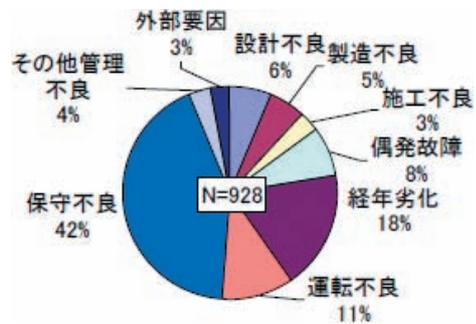


図 2 不具合事象の主原因の割合（国内、2003 年度-2008 年度）

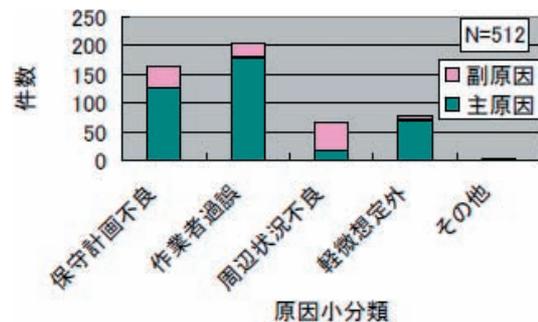


図 3 保守不良の内訳（国内、2003 年度-2008 年度）

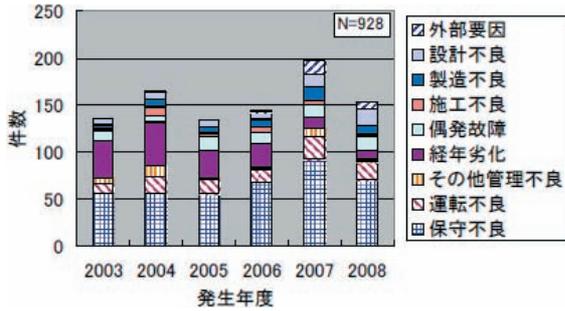


図4 不具合事象の主原因の推移 (国内, 2003年度-2008年度)

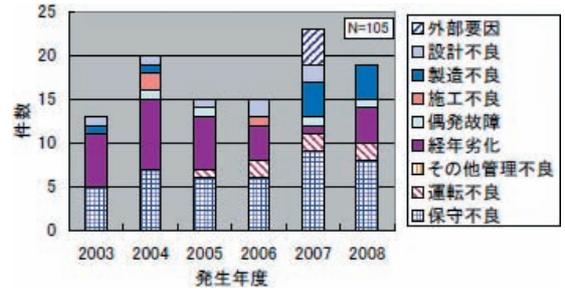


図6 トラブル情報の主原因の推移 (国内, 2003年度-2008年度)

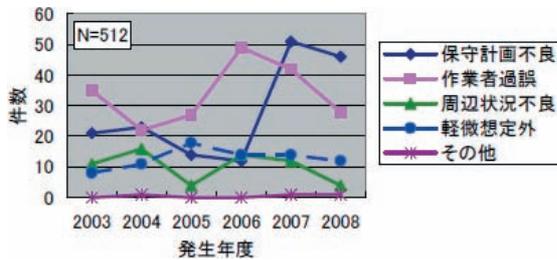


図5 保守不良の原因推移 (国内, 2003年度-2008年度)

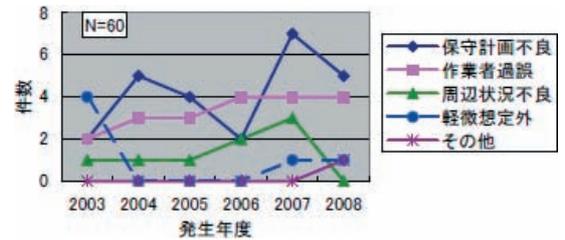


図7 トラブル情報のうち保守不良の原因推移 (国内, 2003年度-2008年度)

している。この年度は中越沖地震関連の情報が15件あったが、これらを差し引いても増加している。また、図5に「保守不良」の内訳を示す。この折れ線グラフの件数は、一事象あたり複数原因がある場合は、それぞれの件数も含んでいる。この図で「保守不良」の内訳(小分類)の件数変化を見ると、2007年度から「保守計画不良」の件数が急に増加し、最も多くなっている。「作業者過誤」は、2006年をピークに減少しているが、期間全般を通して件数は多い。

以上の分析は、あくまでもニューシアの報告件数の変化を分析したものであり、電力会社間で情報共有化する意義が高いと判断し、電力会社がニューシアに登録し公開した「保全品質情報」を含むため、不具合件数自身の変化を示すものではない。そこで、法令に基づき、国への報告が必要となる事象である「トラブル情報」として公開された105事象に絞った結果をみることにする。年度別の主原因の推移を図6に示す(2009年12月調査)。2007年度の地震関連情報4件を除けば各年度とも20件以下で件数は多くはないが、近年はやや増加傾向を示しており、期間全般を通して「保守不良」が多い。「保守不良」の内訳は図7に示すように、「保守計画不良」と「作業者過誤」が毎年2件以上発生し、とくに「保守計画不

良」は2007年度に増加している。

## 2.2 米国原子力発電所の傾向分析

米国では、原子炉自動停止事象等、ある特定の基準を満たす事象が発生した場合、電力会社は米国原子力規制委員会(NRC: Nuclear Regulatory Commission)に原子力発電所設置者事象報告(LER: Licensee Event Report)<sup>(5)</sup>を提出しなければならない。このLERはNRCのデータベース<sup>(6)</sup>に登録され、すべてが公開されている。これらはINSSの原子力情報データベース<sup>(1)</sup>にも登録している。このLERには、2003年から2008年の6年間に発生した米国原子力発電所の不具合が約1900件登録されており、そこから発電所運営に直接関係しない事象(保障措置、核物質防護、自然現象、等に関する不具合)および原因不明の事象を除いた1781件を分析対象とした。

まず、INSSの分類法で分類した結果を図8に示す(2010年4月調査)。複数原因による事象も含まれるので原因件数は2221件になる。図9は、主原因のみにより分類したものを示している。最も多い原因は「保守不良」であり、件数は全体の4割を占める。この「保守不良」の内訳では図10に示すよう

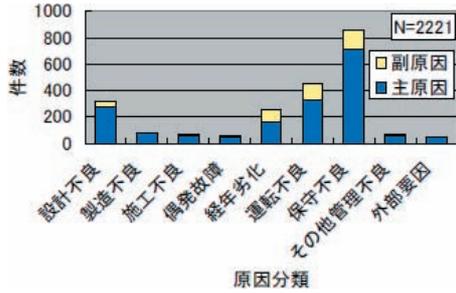


図8 不具合事象原因内訳 (米国, 2003年-2008年)

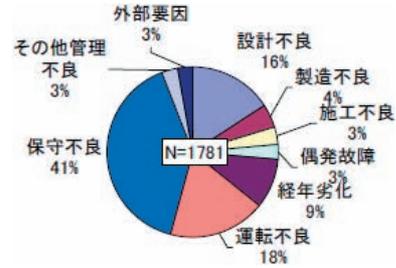


図9 不具合事象の主原因の割合 (米国, 2003年-2008年)

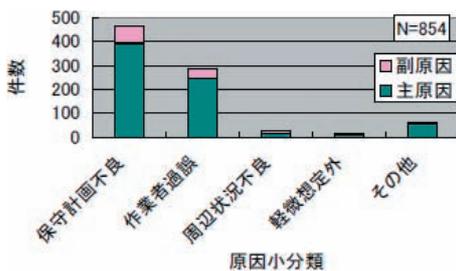


図10 保守不良の内訳 (米国, 2003年-2008年)

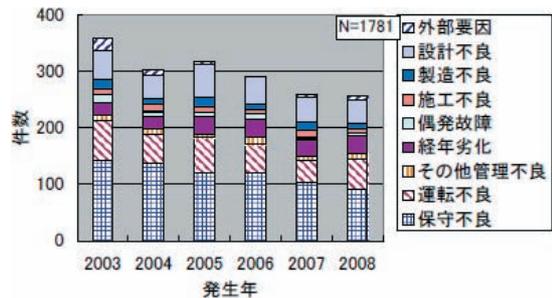


図11 不具合事象の主原因の推移 (米国, 2003年-2008年)

に、「保守計画不良」が最も多い。また、「保守不良」に次いで多い原因は「運転不良」であり、以下、「設計不良」、「経年劣化」の順である。なお、前項で述べたとおり「経年劣化」は経年劣化事象を含む不具合であり、国内と同様の考え方で分類するが、米国ではLER 報告のガイダンス<sup>(7)</sup>に従い「経年劣化」を直接原因として記載している報告書が多く、この場合は主原因を「経年劣化」として分類している。

次に年別の不具合事象の主原因の推移を図11に示す(2010年4月調査)。この図では事案件数と原因件数を一致させるため、一事象あたり複数の原因がある場合は、INSSの分析担当者が最も主要な原因であると判定した主原因だけの件数を示している。

図よりLERの件数は年々減少していることがわかる。また、各原因の比率は同程度で推移し、「保守不良」が多い傾向に変化はないが、件数は減少している。図12は「保守不良」の内訳を示す。この折れ線グラフの件数は、一事象あたり複数原因がある場合は、それぞれの件数を含んでいる。この図から「保守不良」の内訳(小分類)の件数変化を見ると、各年とも「保守計画不良」と「作業者過誤」の順に多く、これらは年々減少傾向にあるが、「作業者過誤」が6年間に半減したことに対し、「保守計画不良」はあまり減少していない。

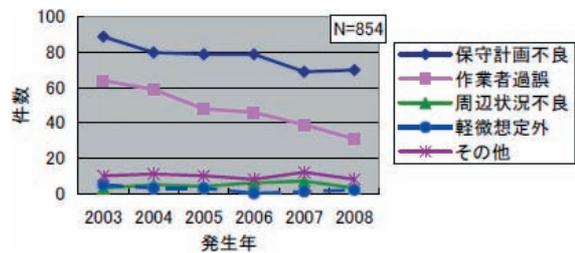


図12 保守不良の原因推移 (米国, 2003年-2008年)

### 2.3 傾向分析のまとめ

6年間に発生した国内(2003年度から2008年度)および米国(2003年から2008年)の原子力発電所の不具合をINSSの分類法で分類してみると、その原因として日米ともに「保守不良」が最も多く、全体の4割を占める。「保守不良」の内訳は、日米とも「作業者過誤」と「保守計画不良」が多いが、国内では前者の方が多く、米国では後者の方が多い。これらの6年間の変化傾向をみると、国内では、「保守計画不良」が2007年度から増加し、それ以降最も多くなっている一方、「作業者過誤」は期間全般を通して件数が多い。米国では「保守計画不良」と「作業者過誤」が年々減少傾向にあるが、「作業者過誤」が半

減したことに對し「保守計画不良」の減少の割合は小さい。

日米の不具合件数を比較すると、国内の「トラブル情報」に絞った件数は105件、米国のLERの件数は1781件で、ユニットあたりの年間件数に換算するとそれぞれ約0.3件/年および約3件/年になる。これらはそれぞれの国の特定の基準を満たす不具合の件数であり、報告基準が異なるため単純には比較できないが、件数の上では、国内は米国より不具合が非常に少ない。件数の変化傾向をみると、国内の件数は少ないもののやや増加傾向を示しており、米国では確実に減少傾向を示している。

以上から、日米ともに「保守不良」が最も多い不具合であり、その内訳については以下の傾向がわかった。

- (1) 「保守計画不良」は、国内で2007年度から増加している。
- (2) 「作業者過誤」は、米国では確実に減少傾向を示しているが、国内では期間全般を通して多い。

### 3. 傾向分析結果の考察

「保守計画不良」と「作業者過誤」の傾向変化の理由と、これを踏まえ今後の不具合の低減に向け重点的に検討する意義が高いと考えられる対策について考察する。

- (1) 国内で「保守計画不良」が増加した理由

国内において「保守計画不良」が件数の上で増加した要因には、2007年度以降、原子力安全・保安院の指導により根本原因分析(RCA<sup>(3)</sup>)が国内で広く行われるようになったことにより、報告書に保守計画不良等、根本原因に言及した原因記述が増えたことが考えられる。図13は、2007年度より前からRCAを行っていたA社を除く、国内電力会社のニューシアの記述からRCAに関連する「根本原因」または「要因分析」の文字が含まれる報告書を検索した件数を示すが、2007年度以降、これらの記述を含む件数が増加していることがわかる。

本研究は、ニューシアまたはLERの報告書の記述内容を分析し原因分類をしていることから、分類結果は報告書の記述内容に依存する。したがって、原因件数の変化は報告書の原因記述の変化による影響と考えられ、「保守計画不良」が急増したというより、過去から継続して存在していたものと推定される。

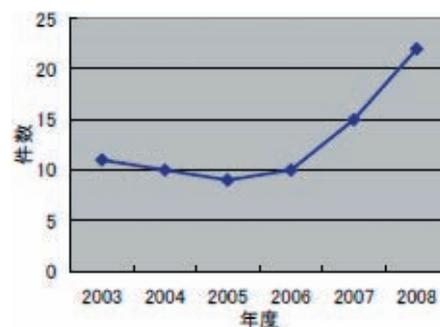


図13 「根本原因」「要因分析」の文字が含まれる報告書の件数  
(A社を除く国内電力会社の件数の総数)

- (2) 米国で「作業者過誤」が減少した理由

人的過誤の防止のためには、実際に起こった人的過誤の事例を検討し、同様なトラブルの発生防止に役立てる取り組みが効果的である<sup>(8)</sup>。米国では、さまざまな人的過誤防止対策が取られるとともに、不具合情報(運転経験情報)の活用が積極的に行われている。2006年以降は、これらの取り組み状況が、原子力発電所に対する監視活動(ROP: Reactor Oversight Process)で検査され<sup>(9)</sup>、より取り組みの徹底が図られ、作業者の人的過誤は確実に減少しているものと考えられる。

- (3) 今後の不具合の低減に向け検討する意義が高いと考えられる対策

- a. 「保守計画不良」は、国内で潜在的には存在していたと考えられ、件数は増加傾向にあり、米国においても最も多く、減少しにくい原因であることから、対策を検討する意義が高いと考えられる。
- b. 国内でも、さまざまな人的過誤の対策が実施され<sup>(2)</sup>、組織的に取り組まれているが、さらに保守作業に携わる作業者が実際の不具合情報から教訓を学び作業に活かすことが人的過誤に関連する不具合の低減に寄与すると考えられ、ニューシア等の不具合情報の継続的な有効活用が望まれる。これは「作業者過誤」だけでなく「保守計画不良」の対策としても有効であると考えられる。

### 4. 対策を検討する上での課題

傾向分析の結果の考察から、類似不具合の未然防止に向けた対策を検討する上での課題を整理する。

### (1) 保守計画不良の対策検討にあたっての課題

「保守計画不良」は、計画段階の多数の要因が作用して顕在化した不具合と言えることから、計画段階まで遡った要因の推論が必要になる。

このような、計画段階の要因を分析する方法として、電力会社では2007年度からRCAが導入され、重要な事象として選定されたものについて、マネジメント等、組織的なレベルまで、原因と結果のリンクを徹底的に探求する方法で要因究明が行われるようになった<sup>(3)</sup>。分析は、分析チームが構成され事象に関係した当事者へのインタビューにより行われる。そのため、分析には膨大な時間とマンパワーを必要とし、安全に重大な影響があった事象と、類似・類発性がある、あるいは組織問題に関連する等の条件により抽出された事象を分析対象としている<sup>(3)</sup>。

一方、傾向分析では、軽微な事象を含む多数の事象報告書を分析し、共通要因に対し対策を検討することを目的としている。今後、「保守計画不良」の対策を検討するためには、多数の事象の分析に対応し、RCAを補完できる分析方法を検討することが課題として考えられる。

### (2) 不具合情報の有効活用にあたっての課題

2003年以降ニューシアが運用開始され、国内で発生した不具合情報が入手しやすくなり、作業員や計画者が直接的または間接的にその情報から教訓を得るなど、さまざまな保全活動に組織的に活用されているところである。

一方、3項の考察で述べたとおり、原因分類結果は報告書の記述内容に依存している。このことは、不具合情報から教訓を得る場合、読者の解釈は報告書の記述内容に依存することを意味する。したがって、情報共有化を目的に電力会社がニューシアに登録し公開する「保全品質情報」は、作業員や計画者が報告書の記述を適切に解釈し、教訓事項を抽出できるように記述することが必要になると考えられる。

以上を踏まえ、ニューシア等の不具合情報の教訓事項を作業員や計画者が継続的に活用するとともに、報告書の作成者は教訓事項を抽出しやすいように報告書を記述することが課題になると考えられる。

## 5. まとめ

(1)2008年度までの6年間に発生した国内および米国の原子力発電所の不具合をINSSの分類法で分類し傾向分析した結果、以下が判明した。

- a. 不具合の原因は、日米ともに「保守不良」が最も多く、全体の4割を占める。
- b. 「保守不良」の内訳は、日米とも「作業員過誤」と「保守計画不良」が多いが、国内では前者の方が多く、米国では後者の方が多い。
- c. 6年間の変化傾向をみると、国内では、「保守計画不良」が2007年度から増加し、それ以降最も多くなっている一方、「作業員過誤」は期間全般を通して多い。米国では「保守計画不良」と「作業員過誤」が年々減少傾向にあるが、「作業員過誤」が半減したことに対し「保守計画不良」の減少の割合は小さい。

(2)傾向分析の結果を踏まえ、今後の不具合の低減に向け検討する意義が高いと考えられる対策として、以下の2点が上げられた。

- a. 国内で「保守計画不良」が2007年度から増加した理由は、RCAの導入により報告書に根本原因に言及した原因記述が増えたことが考えられる。したがって、「保守計画不良」は過去から継続して存在していたものと推定され、対策検討の意義は高い。
- b. 米国で「作業員過誤」が確実に減少した理由のひとつに、不具合情報の活用が考えられる。国内ではニューシア等の不具合情報のさらなる有効活用が望まれる。

(3)傾向分析の結果の考察から、対策を検討する上で以下の課題が考えられる。

- a. 「保守計画不良」の対策を検討するためには、現状のRCAを補完できる、計画段階まで遡った要因の推論と多数の事象の分析を可能とする分析方法を検討することが課題になる。
- b. 作業員や計画者はニューシア等の不具合情報の教訓事項を継続的に活用するとともに、報告書の作成者は教訓事項を抽出しやすいように報告書を記述することが課題になる。

## 文献

- (1) 宮崎孝正, “経年劣化や人的過誤等を含めた原子力発電所不具合事象の新たな原因分類法とその適用結果,” 日本原子力学会和文論文誌, 6[4], 434-443 (2007)
- (2) 宮崎孝正, “原子力発電所における作業員過誤の対策検討の早見表とその応用,” 日本原子力学会和文論文誌, 7[4], 396-407 (2008)

- (3) 原子力安全・保安院, 事業者の根本原因分析の実施内容を規制当局が評価するガイドライン (2007)
- (4) 原子力施設情報公開ライブラリー (<http://www.nucia.jp/>) 中間法人日本原子力技術協会
- (5) USNRC, “Licensee Event Report System” , 10CFR50.73 (2000)
- (6) USNRC: Licensee Event Report (2003-2008)
- (7) USNRC, NUREG-1022 Rev. 2, “EVENT REPORTING GUIDELINES 10 CFR 50.72 and 50.73,” (2000)
- (8) 岡部康成, “事故や災害を防止するために一感情的側面への教育的配慮”, リスクマネジメントの心理学, p.245-270, 新曜社 (2003).
- (9) 一木邦康, “米国原子力発電所における安全文化改善活動に関する分析,” INSS JOURNAL, Vol.16, 233-243 (2009)