

海外及び国内で発生した原子力発電所のトラブル原因の分析

Analysis of trouble cause of nuclear power plant occurred in overseas and domestic

小松 輝雄 (Teruo Komatsu) *1

三木 秀夫 (Hideo Miki) *1

安藤 弘 (Hiroshi Ando) *1

要約 2009年1月から2017年12月までの9年間に発生した海外の原子力発電所のトラブル原因(原因総数30,595)と、2008年4月1日から2017年3月31日までの間に発生した国内の原子力発電所のトラブル原因(原因総数1,100)の整理・分析を行った。その結果、トラブルの原因は、海外・国内ともに「保守不良」が全体の45%程度を占め、最も多いことがわかった。「運転不良」については、海外が全体の15%を占めているのに対して、国内は10%と少ない。また、海外の「人的過誤」の割合は、23~31%の範囲で推移しているのに対して、国内は11~22%程度であり、約10ポイント低いことが判明した。一方、全体像をみると海外・国内ともに個々のトラブル原因の割合は極めて類似している。このことから、海外の原子力発電所のトラブル情報を収集・分析することにより、国内プラントの設備や運用方法の改善提言を行ったり、運転経験として参考となる情報を提供することは有益な活動であると考えられる。

キーワード 原子力発電所, トラブル原因, 人的過誤

Abstract Abstract The trouble causes (total causes is 30,595) which occurred in overseas nuclear power plants (NPPs) during past nine years (from Jan. 2009 to Dec. 2017) and the trouble causes (total causes is 1,100) which occurred in domestic NPPs during same duration (from Apr. 2009 to Mar. 2017) were classified and analyzed. As a result, the trouble causes was found to be "the maintenance failure" both domestically and domestically, accounting for about 45% of the total, the most frequent. Regarding "operation failure", overseas accounts for 15% of the total while domestic is as low as 10%. In addition, while the proportion of overseas "human error" has been in the range of 23 to 31%, domestic was found to be around 11 to 22%, which was found to be about 10 points lower. On the other hand, looking at the overall trend, the proportion of individual troubles in both overseas and domestic are very similar. From these, it is a useful activity to provide recommendations for improving the facilities and operation methods of domestic plants and to provide information to be useful as operating experiences by collecting and analyzing trouble information of overseas NPPs.

Keywords nuclear power plant, trouble cause, human error

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、海外の原子力発電所のトラブル情報を収集し、これらを個別に分析することにより国内の加圧水型(PWR)発電所保有者へプラント設備や運用方法の改善提言を行ったり、運転経験として参考となる有益な情報を提供している。また、個々のトラブル情報について、プラントの運転状態、トラブル原因、トラブル発生機器、トラブルによる影響、対策等を分

類コード付けしてデータベース化することにより各種の傾向分析^{(1)~(23)}を行い、同種もしくは類似のトラブルの発生を未然防止するための活動を継続して実施しているところである。

これらの活動のうち、トラブル原因分類法及びトラブル原因の傾向分析結果については、INSSが2008年までに入手した事象まで報告している^{(1),(2)}が、それから9年が経過し、INSSにおける分析事象数もこの9年間で24,733件増加している。そこで、今回これらのデータの整理・分析を試みたのでここ

*1 (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

に報告する。

2. INSSの原因分類法

INSSでは、2006年より表1に基づく原因分類を適用しているが、これは発電所の実情にきわめて合致した分類体系となっている。

主な特長は、

(1) 大分類、中分類、小分類の体系

(2) 発電所のトラブルを「設備」と「運用」に大別

(3) 設備面のトラブルに「経年劣化」を設定

(4) 運用面のトラブルは発電所の一般的な管理項目で分類

(5) どの段階の誰の過誤かがわかるように「人的過誤」を設定

(6) 不可抗力的な原因を「軽微想定外不良」として区分

表1 原因分類表

大分類	中分類	小分類
設備	設計不良	設計時の基準・規格・仕様書の不備
		設計者過誤（設計時の人的過誤）
		現時点の基準に照らして不十分な設計
		その他
	製造不良	製造者過誤（製造時の人的過誤）
		軽微想定外不良（製造時の品質水準では許容範囲内）
		その他
	施工不良	施工者過誤（建設時の人的過誤）
		軽微想定外不良（建設時品質水準では許容範囲内）
		その他
経年劣化	電気機械設備他の経年劣化（変形、摩耗、腐食、応力腐食割れ、水素脆化、疲労割れ、脆化割れ、絶縁低下、接触抵抗増加、静電容量低下、潤滑不良、ひび割れ等）	
	原因未特定	
偶発故障	偶発故障（耐用年数内のランダム故障）	
運用	保守不良	保守計画不良（要領書・作業手順書などの不備による保守作業不良）
		作業者過誤（組立て不良、調整不良等の保守作業時の人的過誤）
		周辺状況不良（機器・工具不備、作業環境不備、指示・連絡不備等による保守員の作業不良）
		軽微想定外不良（予知不可事象等）
		その他
	運転不良	運転計画不良（要領書・運転手順書などの不備による運転操作不良）
		操作者過誤（操作対象間違い等運転操作時の人的過誤）
		周辺状況不良（機器・工具不備、作業環境不備、指示・連絡不備等による運転員の操作不良）
		軽微想定外不良（想定外事象への対応不十分による運転操作不良）
		その他
	その他の管理不良	発電所運営不良
		性能管理不良
		燃料管理不良
		放射線管理不良
		廃棄物管理不良
		水質管理不良
		防災管理不良
出入管理不良		
その他		
外部要因	想定内（地震、雷、送電線事故などによる機器損傷等）	
	想定外（妨害行為、テロによる機器損傷等）	

(7) トラブル原因は一つとは限らないことから、原因を重複計上等であるが、分析実施者が選択しやすくなっている。

3. 今回の原因分析対象事象

今回の原因分析対象事象は以下のとおりである。

(1) 海外トラブル

2018年3月21日までに、米国原子力規制委員会や世界原子力発電事業者協会等から入手・分析した事象で、2009年1月1日から2017年12月31日までの間に発生したトラブル24,733件の原因30,595件。(不明等を除いたトラブル原因総数；原因は重複計上)

(2) 国内トラブル

2018年5月28日までにニューシアに登録された「法律に基づく報告」及び「保全品質情報」で、2008年4月1日から2017年3月31日までの間に発生したトラブル794件の原因1,100件。(不明等を除いたトラブル原因総数；原因は重複計上)

また、これらのニューシア登録情報は、INSSの原因分類法に基づき分類している。

なお、2011年3月11日に発生した東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の影響で、長期停止プラントが多いことより、トラブル報告件数は減少している。

4. 分析結果 (海外・国内の比較)

(1) トラブル原因の全体像と推移

図1に、2009年1月から2017年12月までの9年間に発生した海外の原子力発電所のトラブル原因(原因総数30,595)並びに2008年4月1日から2017年3月31日までの間に発生した国内の原子力発電所のトラブル原因(原因総数1,100)を示す。

この図から、海外においては、トラブルは設備面よりも運用面が多く、運用面のトラブルが全体の69%を占めていることがわかる。

設備面のトラブルでは設計不良が10%と最も多く、以下経年劣化、製造不良、施工不良、偶発故障と続いている。

運用面のトラブルの内訳をみると、保守不良がトラブル原因全体の46%を占めている。また、運転不良は、全体の15%を占める。

一方、国内においても全体の傾向は海外とおおよそ同じであり、運用面のトラブルが63%を占め、そのうち保守不良が、トラブル原因全体では海外と同様に45%を占めていることがわかる。運転不良については、10%と海外より5ポイント少ない。

図2に、トラブル原因のうち、保守不良の内訳について、海外、国内別に分析した結果を示す。

海外では、計画不良が50%、作業者過誤が31%を占めているのに対して、国内では、計画不良が53%、作業者過誤が27%を占め、海外の結果と類似していることがわかる。

図3に、トラブル原因のうち、運転不良の内訳について、海外、国内別に分析した結果を示す。

海外は、操作者過誤が52%、計画不良が31%、周辺状況不良が13%となっているのに対して、国

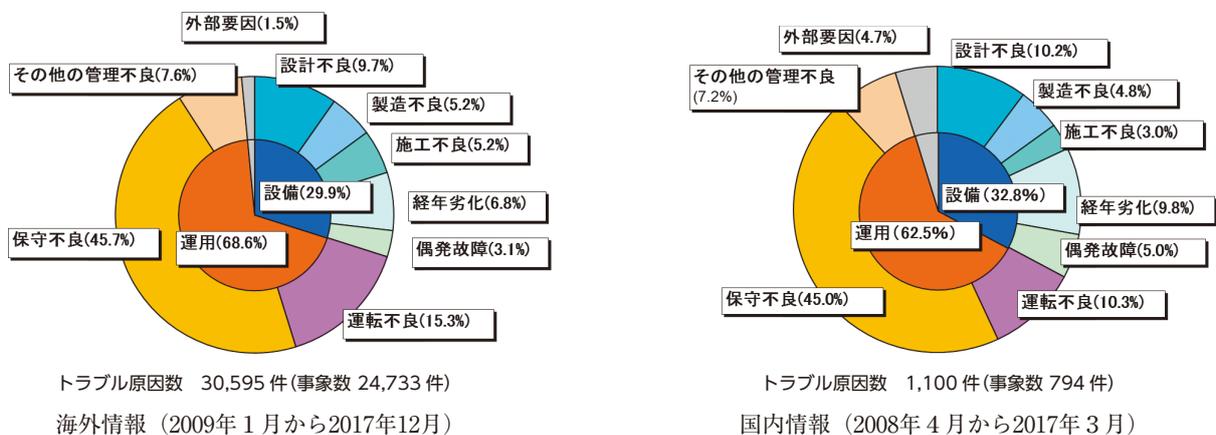


図1 原子力発電所で発生したトラブル原因

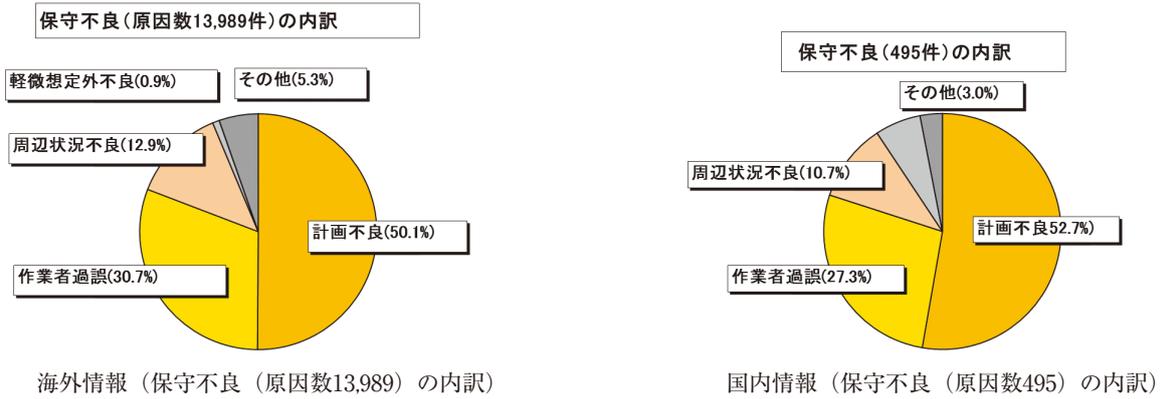


図2 トラブル原因のうち、保守不良の内訳

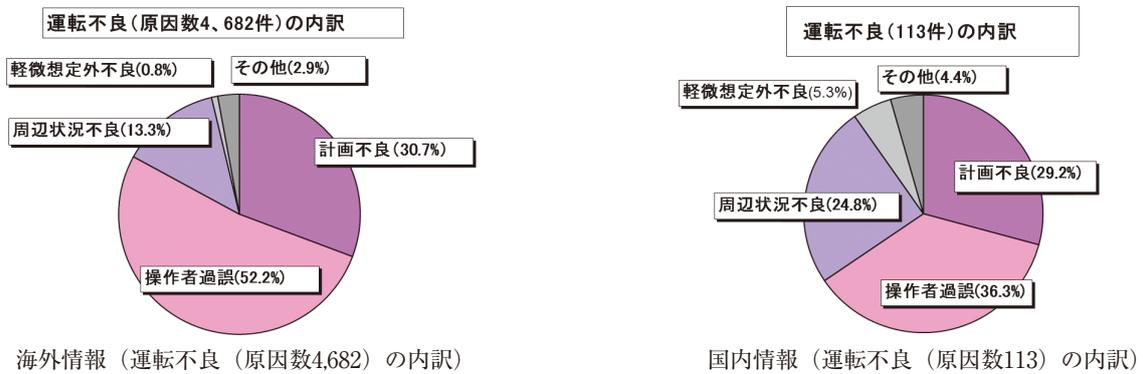


図3 トラブル原因のうち、運転不良の内訳

内は、操作者過誤が36%、計画不良が29%、周辺状況不良が25%であった。このように、国内の操作者過誤は、海外より16%低い。一方、周辺状況不良による運転員の操作不良は、海外の13%と比較すると倍程度の25%となっている。国内の周辺状況不良には、操作時の連絡不備や狭隘な操作空間による誤操作、操作レバー等に保護カバーが取り付けられていなかったことによる誤接触等が含まれる。

図4に、各年(国内は年度)に発生したトラブルの原因の推移を示す。海外はほぼ同じ傾向、国内は東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に伴うトラブル報告件数の減少によりややバラツキが見られる。

また、図5、図6は、各年(国内は年度)に発生したトラブルの原因のうち、保守不良と運転不良の内訳の推移を示したものであるが、海外はほぼ同じ

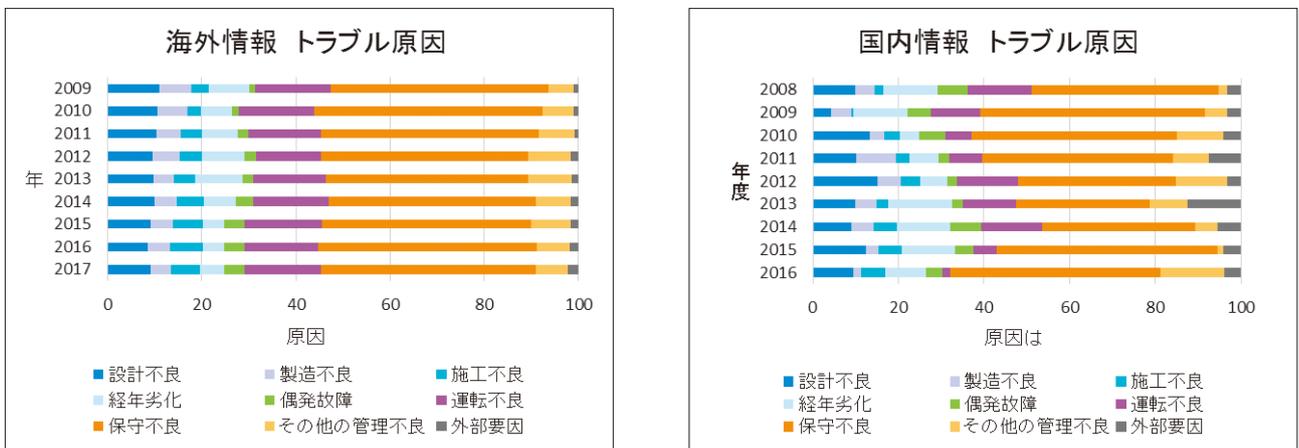


図4 各年(年度)に発生したトラブル原因の内訳

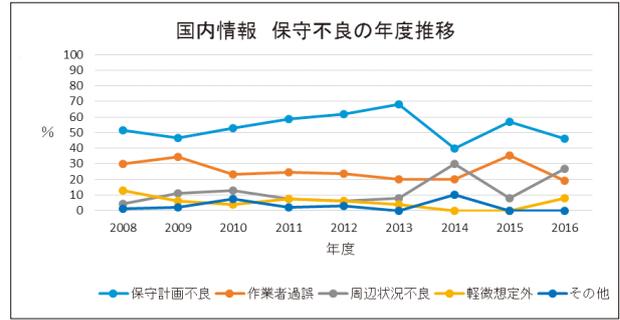
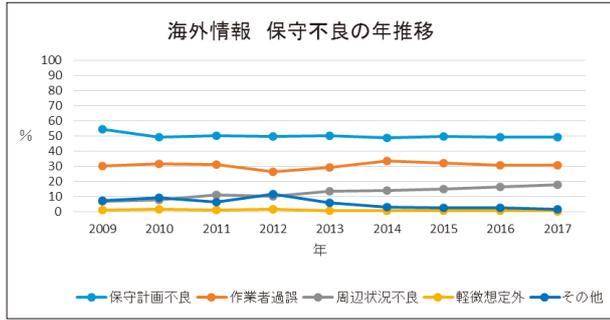


図5 保守不良の内訳の推移

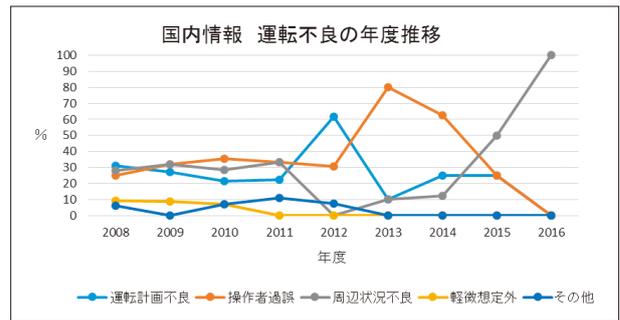
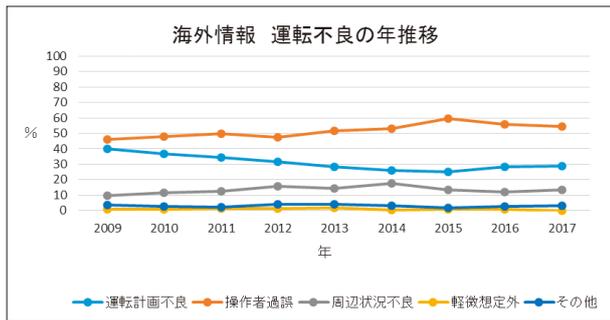


図6 運転不良の内訳の推移

傾向、国内についても東京電力(株)福島第一原子力発電所事故前までのデータについては、同じ傾向である。

(2) トラブル原因に占める人的過誤の状況

図7に、各年(国内は年度)に発生したトラブル原因に占める人的過誤の割合の推移を示す。人的過誤の合計は、海外が23~31%の範囲で推移しているのに対して、国内は11~22%程度であり、2008年度の22%から2016年度の16%と減少傾向を示している。

海外では、作業者過誤が15%程度と最も多く、次に多いのが操作者過誤となっている。

また、近年、施工者過誤がやや増加しているが、

設計者過誤、製造者過誤とともに、毎年ほぼ同じ推移を示している。

国内についても、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故以降のデータでは変動があるものの、作業者過誤が多いのは同じである。

図8は、原因分類表の中分類項目として分類している設計者過誤、製造者過誤、施工者過誤、作業者過誤、操作者過誤の発生割合を海外と国内で比較したものである。

その結果、作業者過誤は、海外が31%、国内が27%とほぼ同様の割合を占めているのに対して、操作者過誤は、海外の52%に対して国内は36%と低い。また、施工不良がトラブル原因に占める割合は低いものの施工者過誤は、海外で44%、国内では

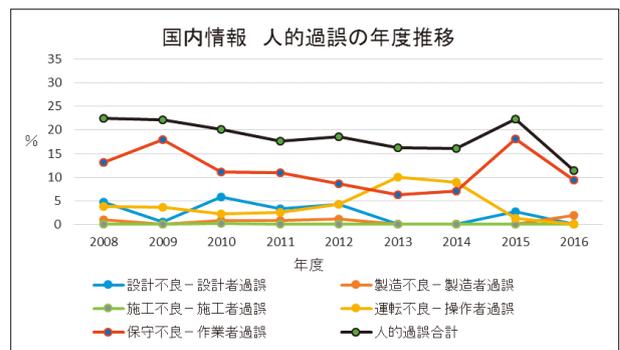
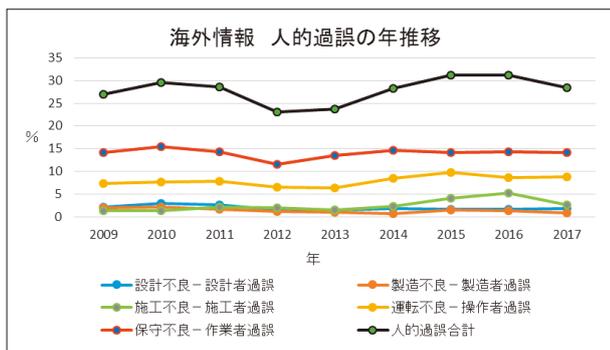


図7 人的過誤の内訳の推移

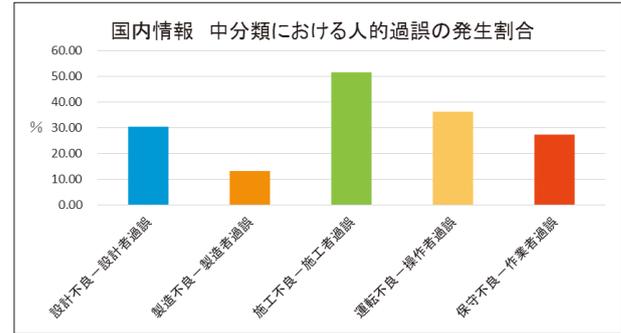
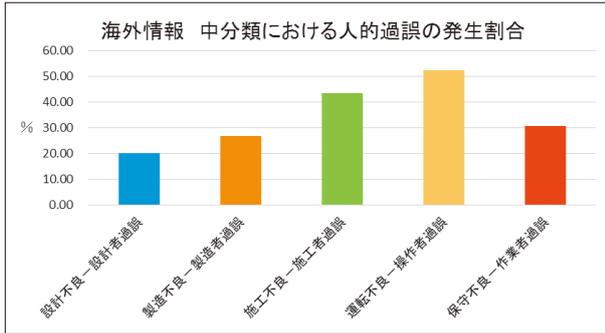


図8 中分類における人的過誤の発生割合

52%といずれも高いことは注目される。そして、製造者過誤は、海外の27%に対して国内は13%と半分以下となっていることがわかる。

5. まとめ

2009年1月から2017年12月までの9年間に発生した海外の原子力発電所のトラブル原因と、2008年4月1日から2017年3月31日までの間に発生した国内の原子力発電所のトラブル原因の比較を行った結果、以下が判明した。

(1) 「保守不良」

- トラブルの原因は、海外・国内ともに「保守不良」が全体の45%程度を占め、最も多い。このことから海外・国内を問わず、トラブルの防止には保守管理方法の改善が有効である。
- 「保守不良」の内訳は、海外・国内ともに「保守計画不良」が50%程度、「作業者過誤」が30%程度、「周辺状況不良」が10%程度を占めており、同じ傾向である。
- 9年間の変化傾向をみると、海外はほとんど変わらない。一方、国内は東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の影響で2011年度以降のトラブル報告件数が減少していることから、バラツキがみられる。

(2) 「運転不良」

- 「運転不良」については、海外が全体の15%を占めているのに対して、国内は10%と少ない。
- 「運転不良」の内訳は、海外が「操作者過誤」が52%、「計画不良」が31%、「周辺状況不良」が11%を占めているのに対して、国内は、「操作者過誤」が36%、「計画不良」が29%、「周辺状況不良」が25%であり、「操作者過誤」の割合は低いが、「周辺状況不良」(作業環境、指示・

連絡不備)の割合が高い。

- 9年間の変化傾向は保守不良と同様である。

(3) 「人的過誤」

- 海外の「人的過誤」の割合が23~31%の範囲で推移しているのに対して、国内は11~22%程度であり、約10ポイント低い。また、国内は、2008年度の22%から2016年度の16%とやや減少傾向を示しているが、これには作業者過誤の減少が寄与している。
- 「設計者過誤」、「製造者過誤」、「施工者過誤」について比較してみたところ、「施工者過誤」については、海外が44%、国内では52%といずれも高いことは注目される。

(4) 全体像

以上の通り、海外・国内のトラブル原因については、多少の差異はあるものの、全体をみると類似していると言える。このことから、海外の原子力発電所のトラブル情報を収集・分析することでプラント設備や運用方法の改善提言を行ったり、運転経験として参考となる情報を提供することは有益な活動であると考えられる。INSSでは、本活動を継続実施し、トラブルの未然防止に貢献していく。

文 献

- 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", INSS JOURNAL, Vol.4, p.434 (2007).
- 高川健一, "原子力発電所の不具合原因の傾向分析", INSS JOURNAL, Vol.17, p.269 (2010).
- 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).
- (4) 高川健一, ”原子力発電所における人的過誤の新しい分析方法とこれを適用した国内発電所の保守不良の分析結果”, INSS JOURNAL, Vol.14, p.293 (2007).
- (5) 高川健一, ”米国原子力発電所における運転員の人的過誤による原子炉自動停止事象の傾向分析”, INSS JOURNAL, Vol.16, p.219 (2009).
- (6) 綾野輝芳, ”米国原子力発電所の高稼働実績と不具合事象の分析”, INSS JOURNAL, Vol.10, p.92 (2003).
- (7) 宮崎孝正, ”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, p.86 (2004).
- (8) 島田宏樹, ”原子力発電所における火災事象の傾向分析”, INSS JOURNAL, Vol.14, p.326 (2007).
- (9) 塚本重信, ”最近の米国加圧水型原子力発電所の運転状況 - 高い設備利用率の要因に注目した調査 -”, INSS JOURNAL, Vol.15, p.262 (2008).
- (10) 小寺良雄, ”原子力発電所における原子炉自動停止事象の傾向分析”, INSS JOURNAL, Vol.15, p.269 (2008).
- (11) 嶋田善夫, ”確率論的安全評価による安全上重要な海外原子力発電所不具合情報抽出方法”, INSS JOURNAL, Vol.11, p.87 (2004).
- (12) 嶋田善夫, ”確率論的評価手法を用いた原子力発電所の重要な不具合情報の抽出方法”, INSS JOURNAL, Vol.12, p.118 (2005).
- (13) 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).
- (14) 嶋田善夫, ”原子力発電所の装置, 機器毎の不具合発生頻度の日米比較”, INSS JOURNAL, Vol.14, p.316 (2007).
- (15) 嶋田善夫, ”米国原子力発電所におけるモータ不具合の傾向分析”, INSS JOURNAL, Vol.15, p.287 (2008).
- (16) 嶋田善夫, ”米国原子力発電所における変圧器不具合の傾向分析”, INSS JOURNAL, Vol.16, p.228 (2009).
- (17) 嶋田善夫, ”日米の原子力発電所における非常用ディーゼル発電機不具合の傾向分析”, INSS JOURNAL, Vol.18, p.267 (2011).
- (18) 嶋田善夫, ”原子力発電所の運転経験情報分析に係る定量的評価手法の開発と活用”, INSS JOURNAL, Vol.23, p.88 (2016).
- (19) 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, p.233 (2009).
- (20) 小松輝雄, ”国内外原子力発電所における熱水力関連トラブル事例の傾向分析”, INSS JOURNAL, Vol.17, p.247 (2010).
- (21) 徳久聡, ”米国原子力発電所における電動弁駆動装置の不具合発生傾向”, INSS JOURNAL, Vol.22, p.165 (2015).
- (22) 徳久聡, ”米国原子力発電所におけるばね式主蒸気安全弁の不具合発生傾向”, INSS JOURNAL, Vol.23, p.96 (2016).
- (23) 徳久聡, ”米国原子力発電所におけるポンプの不具合発生傾向”, INSS JOURNAL, Vol.24, p.146 (2017).