

Journal of the Institute of Nuclear Safety System
2011, Vol.18, 267-274

甲
A
第

208

号
証

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

Trend Analyses of the Emergency Diesel Generator Problem Events in Japanese and U.S.
Nuclear Power Plants

嶋田 善夫 (Yoshio Shimada)



株式会社 原子力安全システム研究所

Institute of Nuclear Safety System, Incorporated

〒919-1205 福井県三方郡美浜町佐田64号

Tel 0770-37-9100 Fax 0770-37-2008

URL <http://www.inss.co.jp>

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

Trend Analyses of the Emergency Diesel Generator Problem Events in Japanese and U.S. Nuclear Power Plants

嶋田 善夫 (Yoshio Shimada)*¹

要約 2009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、モータ、および変圧器の不具合の傾向分析を実施してきた。不具合発生頻度の高い電気機器のうち、非常用ディーゼル発電機に関して、前回の分析から数年が経過したこと、および外部電源が喪失した場合にも原子炉を安全に停止し冷却するために極めて重要な機器であることから、再度、傾向分析を実施した。本分析では、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2005年から2009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（40件）および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LER（米国の原子力発電所がNRCに提出する事象報告書）のうち2005年から2009年の5年間に米国の原子力発電所で発生した非常用ディーゼル発電機の不具合事象（80件）について傾向分析を実施した。非常用ディーゼル発電機の不具合傾向から得られた教訓として、日米ともに、発電所運転中かつ機能試験中に不具合の発生頻度が高い（すなわち、効果的に事前に不具合が発見できている）ことから、発電所運転中の定期的な機能試験の実施は、今後も重要である。

キーワード 非常用ディーゼル発電機、不具合、傾向分析、原子力発電所、ニューシア、LER、機能試験

Abstract Up to 2009, the author and a colleague conducted trend analyses of problem events related to main generators, emergency diesel generators, breakers, motors and transformers which are more likely to cause problems than other electric components in nuclear power plants. Among the electric components with high frequency of defect occurrence, i.e., emergency diesel generators, several years have passed since the last analyses. These are very important components needed to stop a nuclear reactor safely and to cool it down during external power supply loses. Then trend analyses were conducted for the second time. The trend analyses were performed on 80 problem events with emergency diesel generators which had occurred in U.S. nuclear power plants in the five years from 2005 through 2009 among events reported in the Licensee Event Reports (LERs: event reports submitted to NRC by U.S. nuclear power plants) which have been registered in the nuclear information database of the Institute of Nuclear Safety System, Inc. (INSS), as well as 40 events registered in the Nuclear Information Archives (NUCIA), which occurred in Japanese nuclear power plants in the same time period. It was learned from the trend analyses of the problem events with emergency diesel generators that frequency of defect occurrence are high in both Japanese and US plants during plant operations and functional tests (that is, defects can be discovered effectively in advance), so that implementation of periodical functional tests under plant operation is an important task for the future.

Keywords emergency diesel generators, problem events, trend analyses, nuclear power plants, NUCIA, LER, functional test

*1 (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

1. 分析の目的と分析データ

現在世界で約 430 炉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 炉・年を超えている。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⁽¹⁾」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（INSS）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から改善点を抽出する活動を継続している。

2009 年までに INSS 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、電動機、変圧器の傾向分析^{(2)~(6)}を実施した。不具合発生頻度の高い電気機器のうち、非常用ディーゼル発電機について、前回の分析から数年が経過したこと、および外部電源が喪失した場合にも原子炉を安全に停止し冷却するために極めて重要な機器であることから、再度、傾向分析を実施した。

本分析では、ニューシア⁽⁷⁾⁽⁸⁾に登録されている（情報区分：トラブル情報、保全品質情報、その他情報）2005 年から 2009 年の 5 年間に国内の原子力発電所で発生した非常用ディーゼル発電機の不具合事象（40 件）、および原子力情報データベース⁽⁹⁾に登録されている LER⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾（米国の原子力発電所が、NRC に提出する事象報告書：定義は異なるが、ニューシアのトラブル情報相当）のうち 2005 年から 2009 年の 5 年間に米国の原子力発電所で発生した不具合事象（80 件）について傾向分析を実施した。なお、2 章および 3 章の図中の分類用語は、それぞれのデータベースの用語をそのまま使用しているので、直接の日米比較はできない。

2. 分析結果

2.1 日本の非常用ディーゼル発電機の分析結果

日本については、ニューシアに登録されている 2005 年から 2009 年の 5 年間に国内の原子力発電所で発生した非常用ディーゼル発電機の不具合事象は 40 件、発電炉の数は 56 基であるので、トータルの不具合の発生頻度は、0.14 件/炉・暦年である。なお、以下の図 1~9 の中で用いた分類用語は、ニューシアの用語をそのまま使用している。

図 1 は、日本の非常用ディーゼル発電機の炉型毎の不具合発生頻度を示す。BWR の不具合発生頻度が、PWR の不具合発生頻度より高い。

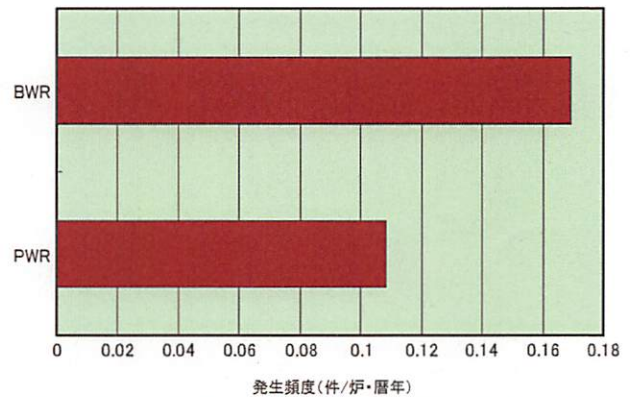


図 1 日本の非常用ディーゼル発電機の炉型毎の不具合発生頻度

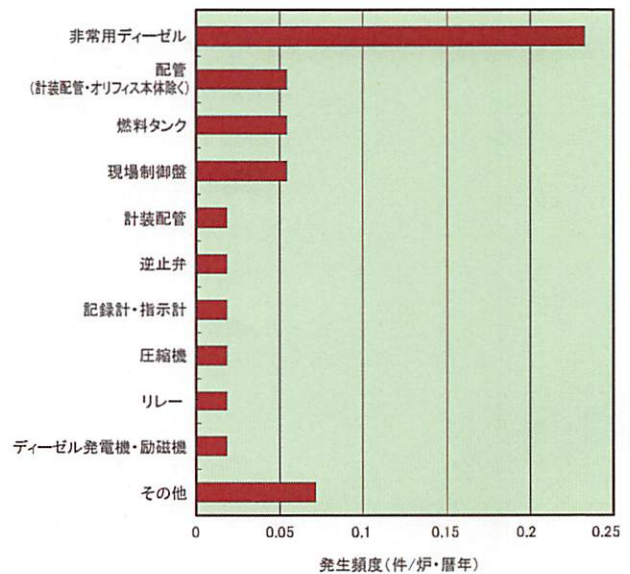


図 2 日本の非常用ディーゼル発電機の機器毎の不具合発生頻度

図2は、日本の非常用ディーゼル発電機の機器毎の不具合発生頻度を示す。その他を除くと、非常用ディーゼル、配管（計装配管・オリフィス本体除く）、燃料タンク、現場制御盤の不具合発生頻度が高い。

図3は、日本の非常用ディーゼル発電機の部品毎の不具合発生頻度を示す。その他を除くと、调速装置

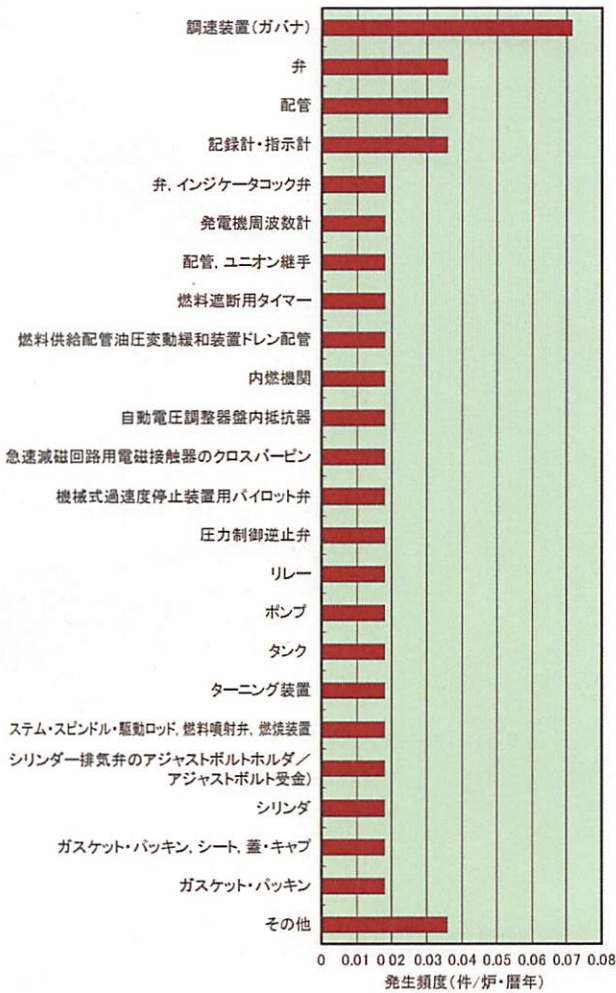


図3 日本の非常用ディーゼル発電機の部品毎の不具合発生頻度

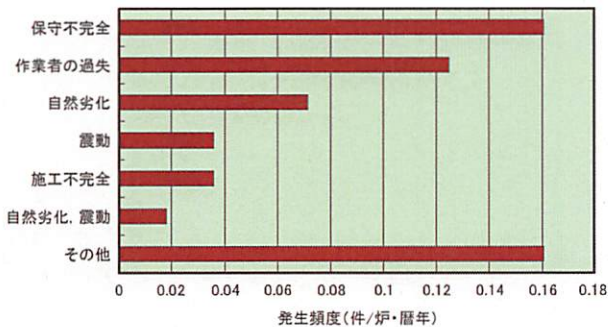


図4 日本の非常用ディーゼル発電機の原因毎の不具合発生頻度

置（ガバナ）、弁、配管、記録計・指示計の不具合発生頻度が高い。

図4は、日本の非常用ディーゼル発電機の原因毎の不具合発生頻度を示す。その他を除くと、保守不完全、作業者の過失、自然劣化の不具合発生頻度が高いので、さらに注意深い保守計画の策定が必要である。図中の「自然劣化、震動」は、1つの不具合事象に2つの原因が設定されているものである。

図5は、日本の非常用ディーゼル発電機的事象の種別毎の不具合発生頻度を示す。時間依存性のない事象（偶発事象を含む）、火災に該当しない事象の不具合発生頻度が高い。なお、火災に該当する事象はなかった。

図6は、日本の非常用ディーゼル発電機的事象発生時の運転モード毎の不具合発生頻度を示す。運転中の不具合発生頻度が高いことから、運転中の定期的な機能試験が、重要であることがわかる。

図7は、日本の非常用ディーゼル発電機の発見方法毎の不具合発生頻度を示す。試験・検査中の不具合発生頻度が高いことから、定期的な機能試験が、重要であることがわかる。

図8は、日本の非常用ディーゼル発電機の原子炉

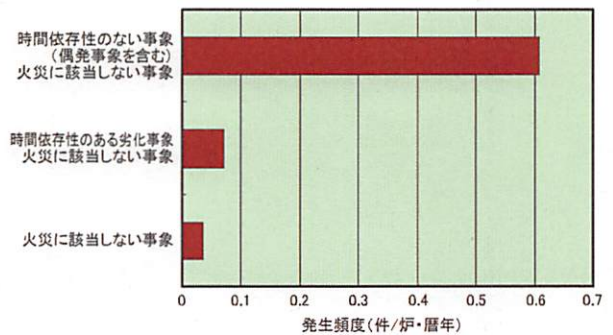


図5 日本の非常用ディーゼル発電機的事象の種別毎の不具合発生頻度

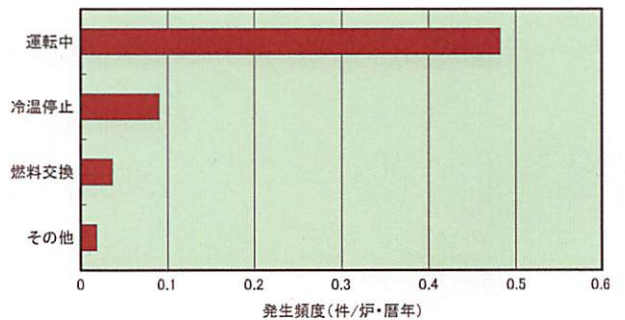


図6 日本の非常用ディーゼル発電機の運転モード毎の不具合発生頻度

運転への影響毎の不具合発生頻度を示す。ほとんどの不具合は原子炉運転に影響を及ぼしていないが、まれに、停止期間延長、手動停止に至ったケースがある。

図9は、日本の非常用ディーゼル発電機の発電所

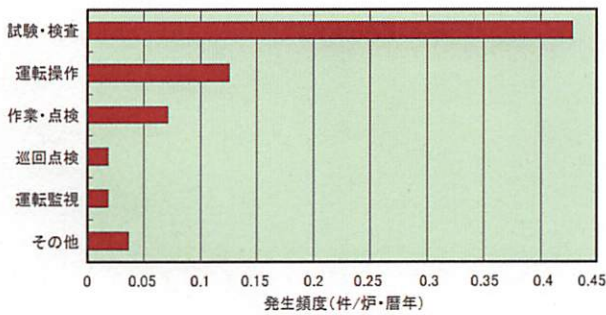


図7 日本の非常用ディーゼル発電機の発見方法毎の不具合発生頻度

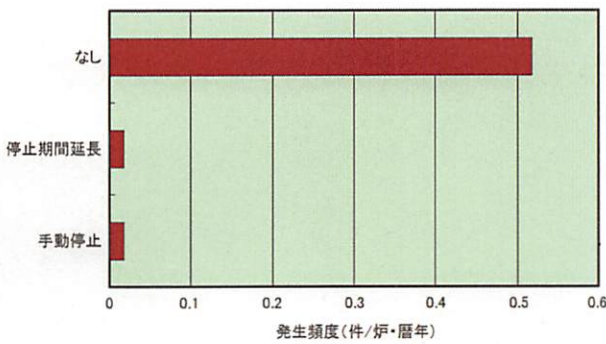


図8 日本の非常用ディーゼル発電機の原子炉運転への影響毎の不具合発生頻度

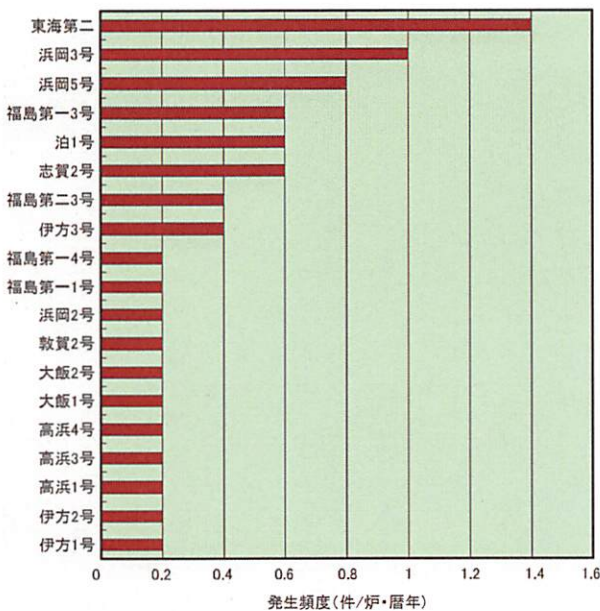


図9 日本の非常用ディーゼル発電機の発電所毎の不具合発生頻度

毎の不具合発生頻度を示す。泊1号を除き、東海第二、浜岡3号、5号、福島第一3号、志賀2号にいたるまでBWRの不具合発生頻度が高い。グラフには表示していないが、5年間に1件も不具合が発生していない発電所も多いことから、発電所毎の不具合発生頻度には、大きな差異があり、不具合発生頻度のトータルの平均値より発生頻度の高い発電所については、保守計画の改善などが必要であろう。

2.2 米国の非常用ディーゼル発電機の分析結果

米国の原子力発電所については、INSSの原子力情報データベースに登録されているLERのうち2005年から2009年の5年間に発生した非常用ディーゼル発電機の不具合事象は80件、原子炉の数は103基であるので、トータルの不具合の発生頻度は、0.16件/炉・暦年である。なお、以下の図10～21の中で用いた分類用語は、原子力情報データベースの用語をそのまま使用している。また、分類用語については、原因分類を除き明確な定義がされていないので、特に分かりにくい用語については、個人的な解釈を記載する。

図10は、米国の非常用ディーゼル発電機の炉型毎の不具合発生頻度を示す。図によれば炉型による不具合発生頻度の差は、ほとんどない。

図11は、米国の非常用ディーゼル発電機の機器毎の不具合発生頻度を示す。非常用ディーゼル、ディーゼル発電機・励磁機、保護リレー、現場制御盤の不具合発生頻度が高い。

図12は、米国の非常用ディーゼル発電機の部品毎の不具合発生頻度を示す。燃料噴射弁・燃焼装置、AVR・AQR(自動電圧調整装置)、弁、フィルタ・ストレーナ、ヒューズ、シリンダ、リレーの不具合

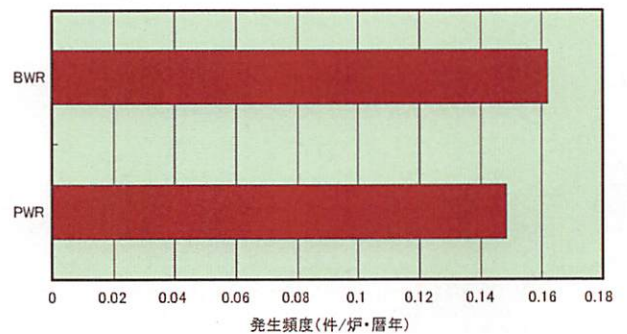


図10 米国の非常用ディーゼル発電機の炉型毎の不具合発生頻度

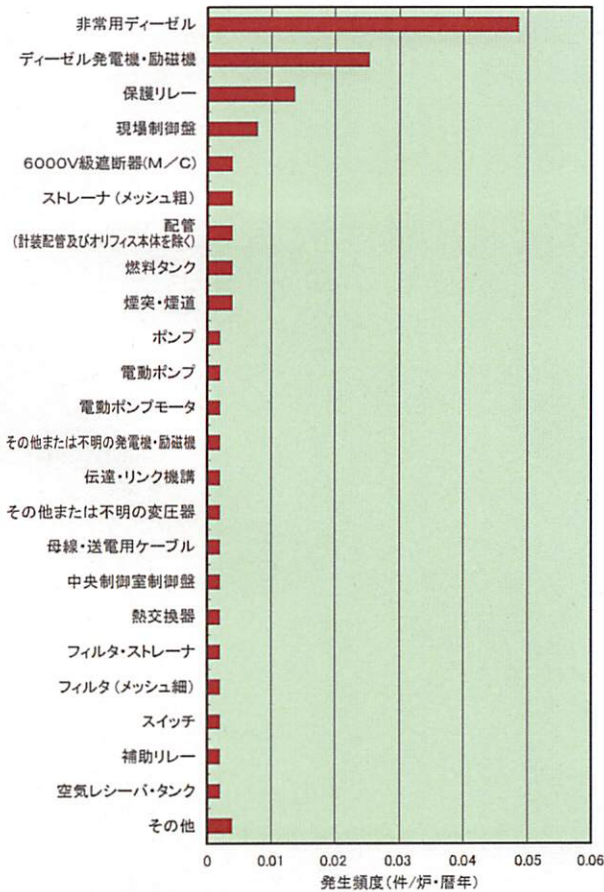


図 11 米国の非常用ディーゼル発電機の機器毎の不具合発生頻度

発生頻度が高い。なお、INSSの原子力情報データベースでは、调速装置（ガバナ）が、燃料噴射弁、燃焼装置の中に含まれている。燃料噴射弁・燃焼装置の中から英文の全文検索により「governor」を含む事象を抽出した結果、5件中4件であった。すなわち、调速装置（ガバナ）の不具合発生頻度が高い。

図 13 は、米国の非常用ディーゼル発電機の原因毎の不具合発生頻度を示す。保守不良－保守計画不良、保守不良－保守人的過誤、運転不良－運転計画不良による不具合発生頻度が高い。したがって、非常用ディーゼル発電機の不具合発生を防止するために、さらに注意深い保守計画の策定が必要であることを示唆している。

図 14 は、米国の非常用ディーゼル発電機不具合に対する対策の頻度を示す。これによれば、非常用ディーゼル発電機の不具合への対策として、マニュアル整備、部品交換、教育訓練、設計仕様変更、点検・検査、修理・加工の頻度が高い。

図 15 は、米国の非常用ディーゼル発電機の不具合発生時の運転モード毎の発生頻度を示す。出力運

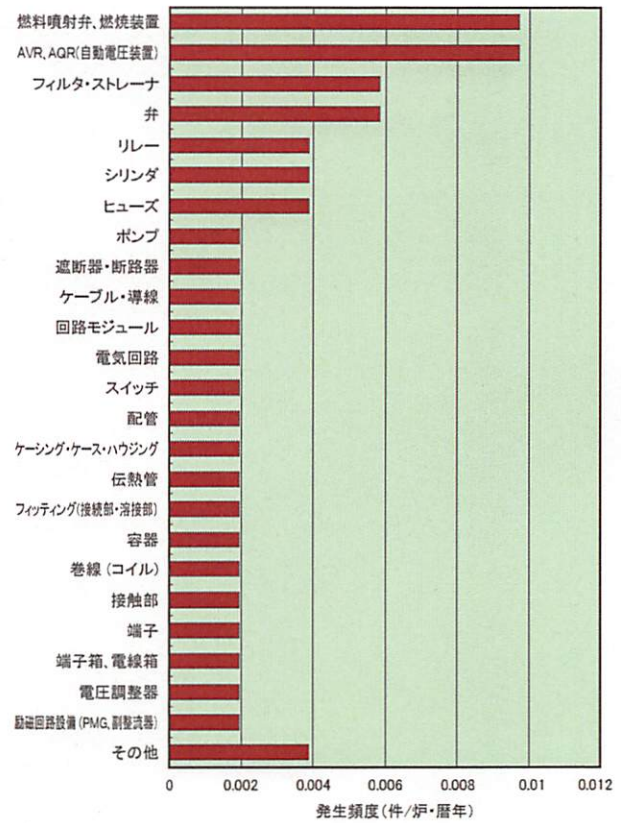


図 12 米国の非常用ディーゼル発電機の部品毎の不具合発生頻度

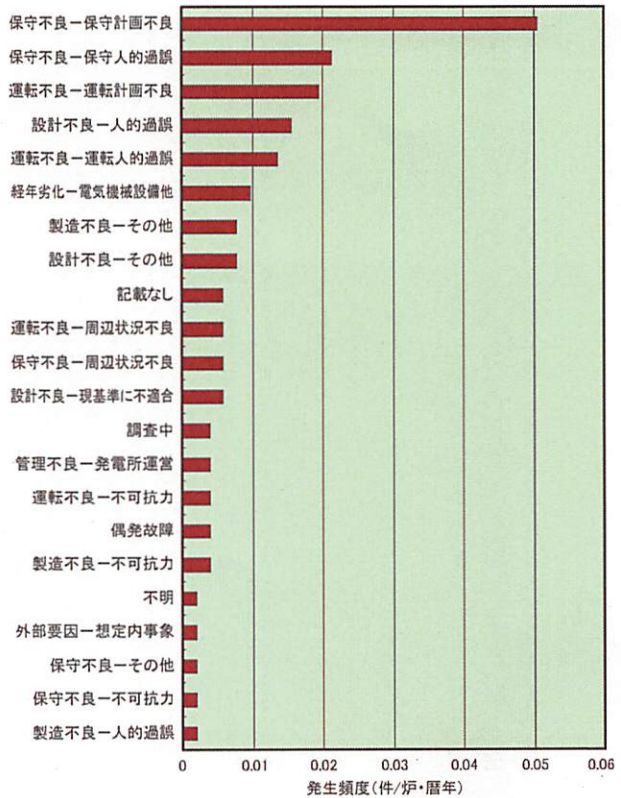


図 13 米国の非常用ディーゼル発電機の原因毎の不具合発生頻度

転中の不具合発生頻度が高いことから、運転中の定期的な機能試験は、重要であることがわかる。

図 16 は、米国の非常用ディーゼル発電機の不具合発見動機の頻度を示す。機能試験、監視点検中の不具合発生頻度が高いことから、定期的な機能試験は、重要であることがわかる。なお、「機能試験」は定期的な機器の機能試験、「監視点検」は運転員または保守員の巡回点検、「保守検査」は運転中あるいは停止中の計画保守点検検査、「分析評価」は主に設計検証などを意味する。

図 17 は、米国の非常用ディーゼル発電機不具合の発電所への影響毎の頻度を示す。非常用 DG 機能低下や影響なしの頻度が高い。なお「影響なし」には、保守後試運転中に見つかった不具合で、計画さ

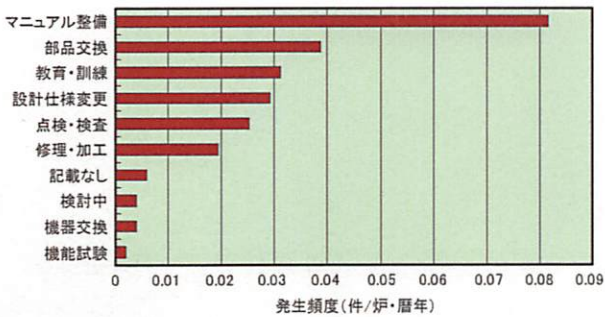


図 14 米国の非常用ディーゼル発電機の対策毎の不具合発生頻度

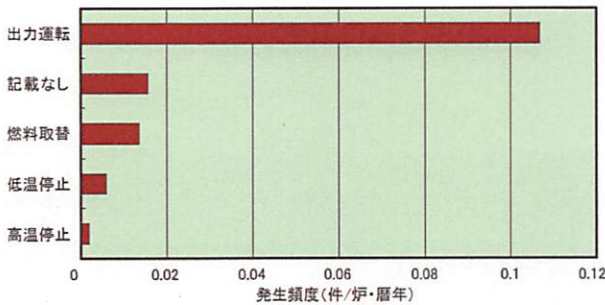


図 15 米国の非常用ディーゼル発電機の運転モード毎の不具合発生頻度

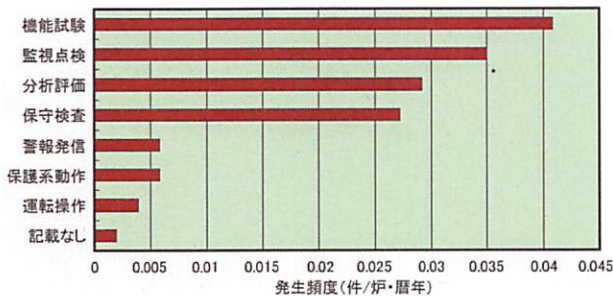


図 16 米国の非常用ディーゼル発電機の不具合発見動機の頻度

れた供用除外時間内に修理が完了したものを含む。

図 18 は、米国の非常用ディーゼル発電機不具合の漏洩面から見た発生頻度を示す。これより漏洩の

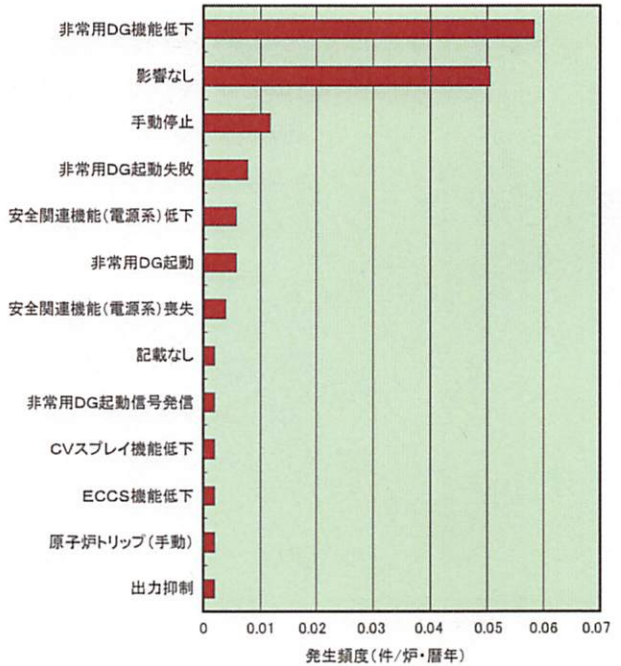


図 17 米国の非常用ディーゼル発電機不具合の発電所への影響毎の発生頻度

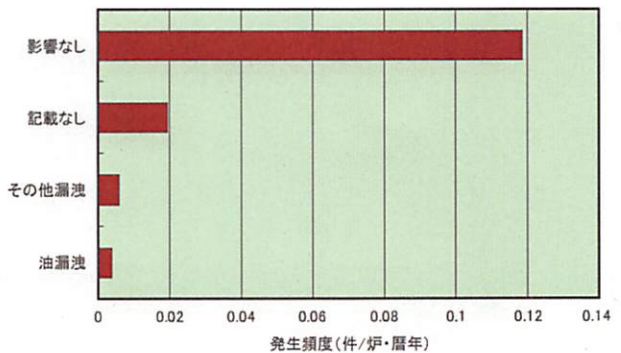


図 18 米国の非常用ディーゼル発電機不具合の漏洩面から見た発生頻度

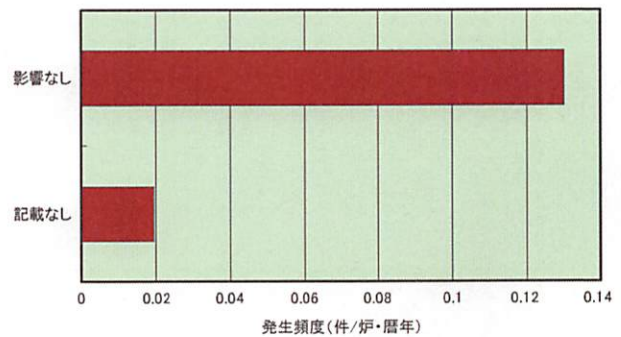


図 19 米国の非常用ディーゼル発電機の人身事故の面から見た不具合発生頻度

影響なしの不具合発生頻度が高い。

図 19 は、米国の非常用ディーゼル発電機の人身事故の面から見た不具合発生頻度を示す。これより人身事故を伴わない不具合発生頻度が高いことがわかる。

図 20 は、米国の非常用ディーゼル発電機不具合

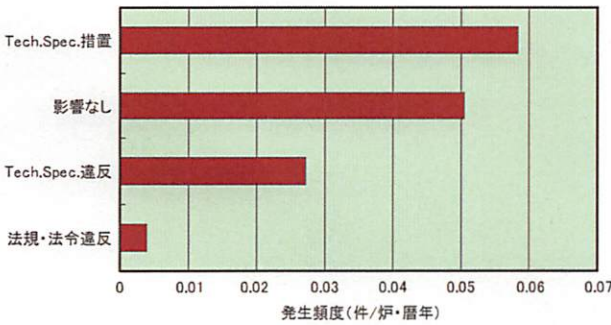


図 20 米国の非常用ディーゼル発電機不具合の規制上の影響の観点から見た発生頻度

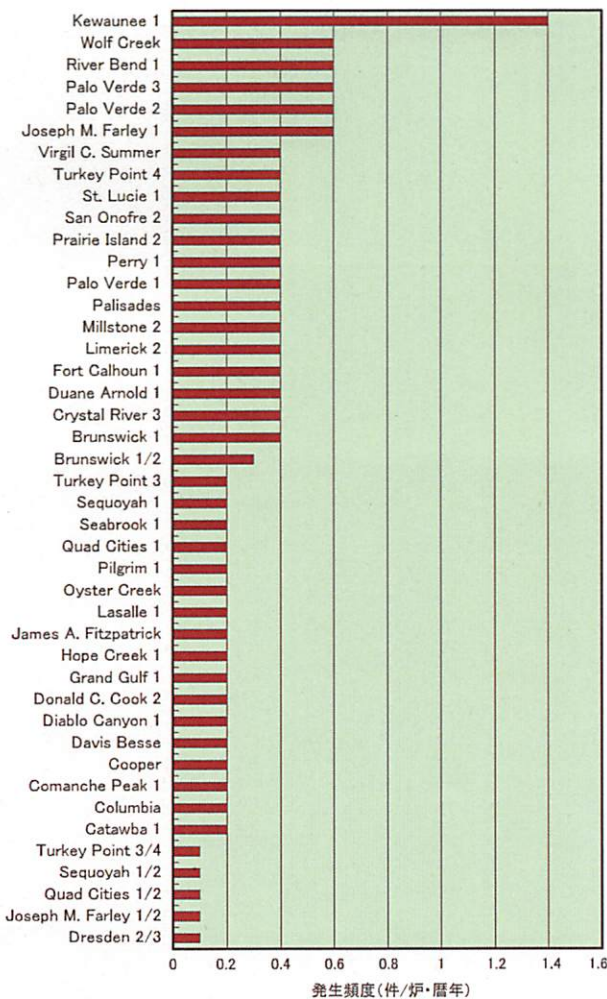


図 21 米国の非常用ディーゼル発電機の発電所毎の不具合発生頻度

の規制影響の観点からの発生頻度を示す。これより Tech.Spec. 措置を伴うケースと規制上の影響を伴わない不具合発生頻度が高いことがわかる。

図 21 は、米国の非常用ディーゼル発電機の発電所毎の不具合発生頻度を示す。Kewaunee 1, Wolf Creek, River Bend 1, Palo Verde 3, Palo Verde 2, Joseph M. Farley 1 の不具合発生頻度が高い。グラフには表示していないが、5年間に1件も不具合が発生していない発電所も多いことから、発電所毎の不具合発生頻度には、大きな差異があり、不具合発生頻度のトータルの平均値より発生頻度の高い発電所については、保守計画の改善などが必要である。なお、Brunswick 1/2, Turkey Point 3/4などは、複数の号機に共通する不具合の発生したものである。

2.3 日米の非常用ディーゼル発電機の不具合発生傾向の比較

- (1) 日米のトータルの非常用ディーゼル発電機の不具合発生頻度は、それぞれ 0.14 件 / 炉・暦年と 0.16 件 / 炉・暦年であり、ニューシアと LER に登録される不具合の程度に差はあるが、日本は米国と同等の発生頻度である。
- (2) 日米の炉型毎の不具合発生頻度について比較すると、日本では BWR の不具合の発生頻度が高いが、米国では差違が小さい。
- (3) 日米の非常用ディーゼル発電機の発電所毎の不具合発生頻度について比較すると、日米ともに、発電所毎の不具合の発生頻度には、0 件 / 炉・暦年の発電所から最大 1.4 件 / 炉・暦年（日本および米国）の発電所まで、大きな開きがある。
- (4) 日米の機器毎の不具合発生頻度について比較すると、非常用ディーゼル、現場制御盤が共通して発生頻度が高い。一方、ディーゼル発電機・励磁機の発生頻度が、米国において高いが、日本では低い。
- (5) 日米の部品毎の不具合発生頻度について比較すると、调速装置（ガバナ）と弁の発生頻度が共通して高い。
- (6) 日米の原因毎の不具合発生頻度については、原因分類の体系が異なるので、直接の比較が困難であるが、保守不完全（保守不良）が共通して発生頻度が高い。
- (7) 日米の運転モード毎の不具合発生頻度について

比較すると、運転モードの中では、運転中の時間が最も長いので、当然かもしれないが、運転中の発生頻度が共通して高い。

- (8) 日米の不具合発見方法毎の発生頻度について比較すると、待機（停止）している機器であるので当然かもしれないが、試験・検査（機能試験）による発見が共通して発生頻度が高い。
- (9) 日米の発電所への影響毎の発生頻度について比較すると、影響を伴わない不具合が共通して発生頻度が高い。なお「影響なし」には、保守後試運転中に見つかった不具合で、計画された供用除外時間内に修理が完了したものを含む。

3. 結論（提言）

- (1) 日米ともに、発電所運転中かつ機能試験中に不具合の発生頻度が高い（すなわち、効果的に事前に不具合が発見できている）ことから、発電所運転中の定期的な機能試験の実施は、今後重要である。
 - (2) 日米ともに、調速装置（ガバナ）の不具合の発生頻度が高いことから、保守計画の改善、より信頼性の高い調速装置（ガバナ）への変更などにより、不具合の発生頻度を下げる努力が必要である。
 - (3) 日米ともに、発電所毎の不具合の発生頻度には、0件/炉・暦年の発電所から最大1.4件/炉・暦年（日本および米国）の発電所まで、大きな開きがあることから、不具合の発生頻度が平均値より高い発電所については、保守計画の改善などにより、不具合の発生頻度を下げる努力が必要である。
 - (4) 米国では、炉型による不具合発生頻度の差違がほとんど無いが、日本では、BWRの不具合発生頻度がPWRに比べて明らかに高いことから、今後も不具合発生傾向の監視を継続する必要がある。
- Vol. 13, P281 (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, P286 (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, P93 (2003).
 - (5) 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, P287 (2008).
 - (6) 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, P228 (2009).
 - (7) 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).
 - (8) ニューシア(原子力施設情報公開ライブラリー), <http://www.nucis.jp/>.
 - (9) 奥田 恭令, 柳 千裕, 「原子力発電所技術情報に関するデータベースの構築について」, INSS JOURNAL, Vol. 6, P195 (1999).
 - (10) NRC, "Licensee Event Report System", 10CFR 50.73 (2000).
 - (11) NEC, "Event Report Guidelines 10CFR 50.72 and 50.73", NUREG-1022, Rev. 2 (2000).

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,