

# 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

## Database Construction Using Hyperlink of Reliability Block Diagram and Operating Experiences of Emergency Diesel Generators for Nuclear Power Plants

嶋田 善夫 (Yoshio Shimada)\* 高川 健一 (Kenichi Takagawa)\*

**要約** 信頼性ブロックダイアグラムと原子力発電所の非常用ディーゼル発電機に関する運転経験情報のハイパーリンクを用いた新しいデータベースを作成した。非常用ディーゼル発電機の運転経験情報は、海外（主に米国）とわが国のものを採用した。

その結果、非常用ディーゼル発電機について部品レベルの運転経験情報の検索が容易になり、海外とわが国の故障原因の差異が明らかになった。海外とわが国の両方で故障が多く発生しているディーゼル機関について、その部品レベルで故障原因を分析した結果、海外ではガバナ本体、過給器で故障発生件数が多いのに対し、わが国では潤滑油供給構成部品、熱交換器細管、起動用電磁弁の故障発生件数が多いことがわかった。

**キーワード** 信頼性ブロックダイアグラム、非常用ディーゼル発電機、運転経験情報、ハイパーリンク

**Abstract** A new database was constructed by making use of hyperlink of reliability block diagram and operating experiences of emergency diesel generators for nuclear power plants. The original data of their operating experiences were adopted from those overseas (mainly in USA) and in Japan.

As a result of using this new database, it has become much easier to access information on part level of emergency diesel generators and to find the difference of causes of their failures between those overseas and in Japan. By analyzing the causes of failures on the part level for the diesel engine, in which many failures occur both overseas and in Japan, it is shown that more troubles and incidents have occurred at main parts of governors and turbochargers overseas. On the contrary, more troubles and incidents have occurred at composition parts of lubricating oil system, heat exchanger tubes, and solenoid valves in its starting system in Japan.

**Keywords** reliability block diagram, emergency diesel generator, operating experience, hyperlink

## 1. はじめに

原子力発電所の運転経験情報データベースは、わが国と海外の諸機関が作成しており、(株)原子力安全システム研究所の原子力情報研究プロジェクトにおいても、運転経験情報と事象分析評価表（事象概要、原因、対策、プラントへの反映要否検討を記載したものを、年間2～3千作成）を集めたデータベースを作成している<sup>(1)</sup>。これら従来のデータベースは、整理番号、プラント、系統、設備、部品等のキーワード検索と全文検索によって、収集した情報の中から希望する情報を抽出する。しかし、従来の検索方法では、検索者の意図する個別部品レベルの情報を適切に抽出することは困難である。今回新しく作成したデータベース (Database Using Hyperlink

and Reliability Block Diagram, 以下DBHRBDと略称する) は、非常用ディーゼル発電機について、信頼性分析の一つの方法である信頼性ブロックダイアグラムと事象分析評価表をハイパーリンクした。これにより、パソコン画面に表示した信頼性ブロックダイアグラム上のサブシステム/機能別構成要素/構成部品をマウスでクリックすることで、個別部品レベルの情報を抽出することが容易に行える。非常用ディーゼル発電機以外の機器についても、このデータベースは拡張したいと考えているが、非常用ディーゼル発電機を最初に選んだ理由は、安全関連機器であり、故障報告件数も比較的多く、システムとして完結していることである。

\* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

## 2. DBHRBDの概要

データベース検索のキーとなる信頼性ブロックダイアグラムは、非常用ディーゼル発電機故障を頂上事象とし、3つのサブシステム（ディーゼル機関、制御盤、発電機）から成り、それぞれのサブシステムについては、機能別構成要素に展開した。さらにそれぞれの機能別構成要素は、個別部品レベルまで分解した。ディーゼル機関、制御盤、発電機それぞれの展開部品個数は、298、162、66である。図1が信頼性ブロックダイアグラムからハイパーリンクにより、どのように事象分析評価表を抽出するのかを説明した概要図である。なお、この非常用発電機は、わが国の2ループPWRプラントで使用されているものである。また、信頼性ブロックダイアグラムと事象分析評価表を適切にリンクさせるには、非常用ディーゼル発電機の細部の設計を理解していないと難しいが、細部を理解した専門家が適切なリンクを張ることは、専門家の高度な知識がデータベースの中に潜在的に取り込まれることになり、データベースの利用者は、その専門家の知識も利用できることとなる。1994年から2002年の間に発生し、米国原子力規制委員会等に対して報告された海外の非常用ディーゼル発電機に関する故障<sup>(2)(3)</sup> および1979年から2002年に原子力安全・保安院等に報告された運転経験情報<sup>(4)</sup> が、信頼性ブロックダイアグラムのどの部品に対応するのかを検討し、EXCEL（米国マイクロソフト社の表計算ソフト）で作成した信頼性ブロックダイアグラムと運転経験情報を分析したデータベースである事象分析評価表をハイパーリンクさせた。これにより、パソコン画面に表示される信頼性ブロックダイアグラム上のサブシステム／機能別構成要素／構成部品をマウスでクリックすることで、事象分析評価表が簡単に参照できる。図2が事象分析評価表の例である。また、図3は非常用ディーゼル発電機信頼性ブロックダイアグラムの実例を示す。

DBHRBDの使い方を具体例により説明する。ここでは、図1と図2により発電機の油面計に関する事象分析評価表を抽出する過程を説明する。①階層化された信頼性ブロックダイアグラムの第一階層である、非常用ディーゼル発電機を構成する3つのサブシステム（ディーゼル機関、制御盤、発電機）の中から「発電機」をマウスでクリックする（図1）。②これにより、発電機を機能別構成要素（エネルギー

変換系、潤滑系、エネルギー伝達系、等）に展開した第二階層の信頼性ブロックダイアグラムが現れるので、その中から油面計が含まれると思われる「潤滑系」をマウスでクリックする（図1）。③すると、潤滑系をさらに詳細に個別部品レベルに展開した第三階層の信頼性ブロックダイアグラムが現れるので、その中から「油面計」をマウスでクリックする（図1）。④油面計の不具合に関する事象報告件名一覧表が現れるので、その中から希望の件名をマウスでクリックする。⑤当該件名の「事象分析評価表」が現れる（図2）。

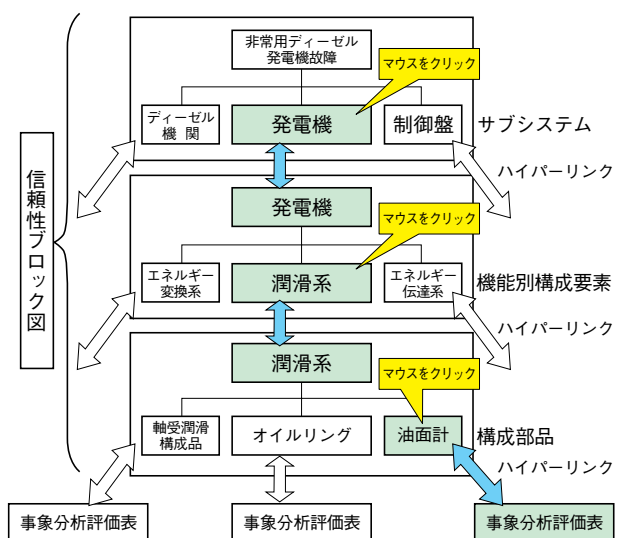


図1 信頼性ブロックダイアグラムのハイパーリンクによるデータベース概要図

（信頼性ブロックダイアグラムは、サブシステム、機能別構成要素、構成部品の3つの階層から構成され、パソコン画面に表示された1番目の階層の「発電機」をマウスでクリックすると、発電機を機能別に展開した2番目の階層の信頼性ブロックダイアグラムが表示される。その画面の中から「潤滑系」をマウスでクリックすると、潤滑系を構成部品に展開した3番目の階層の信頼性ブロックダイアグラムが表示される。この画面上の「油面計」をマウスでクリックすると、それに対応する「事象分析評価表」が表示される。）

Microsoft Internet Explorer 画面のスクリーンショット。ブラウザのアドレス欄には「http://www.db.inss.co.jp/db/result/Inss103P.asp?Joho=NRC+LER%5F01%5F341%2F001%5F00&Jisho=Enrico+Fermi+2%5F2001%2ED03%2E21%5F1」と表示されている。

### 事象分析評価表

事象ID Enrico Fermi 2\_2001.03.21\_1  
 情報ID NRC LER\_01\_341/001\_00 事象更新日 2001/08/27

発生発見日	2001.03.21(1)	所有者	DE	メーカー	GE	国	米国	運開年月	1988/01
ユニット名	Enrico Fermi 2(エンリコフェルミ 2)			炉型	BWR	出力	1154 MWE	閉鎖年月	
事象件名	非常用ディーゼル発電機軸受カバーからの火災発生に伴う警戒態勢の宣言								
事象概要	#14非常用ディーゼル発電機(EDG)24時間連続運転試験中、起動後約12時間が経過したところで、運転員が、EDG反駆動側軸受の温度上昇を確認した。その8分後に警報設定値である85°Cを超えた後、最高約171°Cに到達し、その約4分後に同軸受の熱電対が損傷した。直ちに#14EDGを停止させたが、過熱により軸受カバーペンキから出火したため、警戒態勢(ALERT)を宣言した。その後1分以内に鎮火したことから、警戒態勢を終息した。なお、本事象中、プラントは定格出力運転を継続した。								
状況	出力運転								
発生発見動機	監視点検								
影響	プラント	火災							
	漏洩	影響なし							
	人身	影響なし							
	規制	Tech.Spec.措置							

---

原因区分 保守不良 設備不良

原因記述 軸受温度上昇の原因は、潤滑油の不足である。潤滑油不足の原因は、1984年に#14EDGの改造工事を行った際、振動防止を目的とした補強板取付のために、潤滑油レベル指示用サイトグラスが、当初設計よりも約25mm下方に取り付けられたこと、及び1999年に潤滑油レベルの許容範囲の表示が同サイトグラス上に間違えて記されたことである。

対策

対策区分 部品交換 点検・検査 調整・校正 マニュアル整備

対策記述 対策として、損傷した軸受及び熱電対を交換するとともに、当該サイトグラスの潤滑油許容範囲の表示位置を調整した。また、他のEDGの点検を実施し、潤滑油レベル表示に問題のないことを確認した。さらに、指示計の設備運転中の許容範囲の取付または保全に関する手順書を改訂している。

スクリーニング

処理区分 検討済

理由 当該プラント特異の保守

結果 対策不要

対応内容

対象	M1	M2	M3	T1	T2	T3	T4	O1	O2	O3	O4
ユニット	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(凡例) ○:対策提言 ×:対策不要 △:検討中 - :対象外

検討内容

類似事象の発生を防止するために確認する事項 潤滑油の過不足を油面計以外に確認する手段があるか

海外情報の問題点に対する関電プラントの状況 軸受の側面に油面計、上方に点検窓があることから、仮に潤滑油が過少であっても、点検窓より潤滑状況を直接目視確認可能な構造となっている。

備考

図2 事象分析評価表の例  
 (米国原子力規制委員会へ事業者が提出したLicensee Event Report の概要、およびわが国のプラントに対する反映要否を記載。)

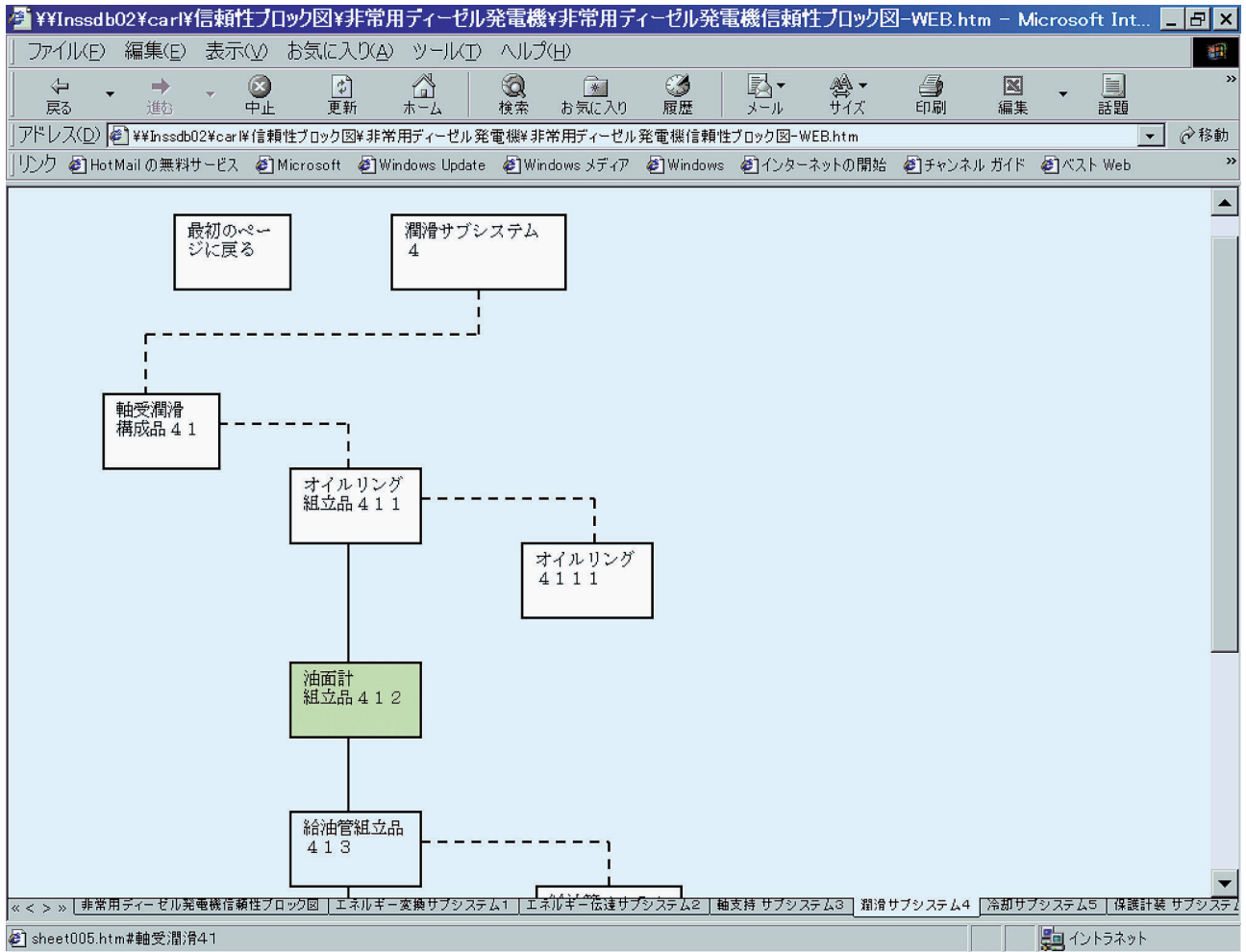


図3 非常用ディーゼル発電機信頼性ブロックダイアグラムの実例  
(潤滑系を構成部品レベルに展開した3番目の階層の信頼性ブロックダイアグラム。この画面の中から「油面計組立品412」をマウスでクリックすると、図2の事象分析評価表が表示される。)

### 3. DBHRBDを用いた分析結果

DBHRBDの特長は、信頼性ブロックダイアグラムを検索のかぎとして、検索者が意図した非常用ディーゼル発電機の個別部品レベルの運転経験情報とそれを分析した事象分析評価表を適切に抽出できることにある。本章ではこのデータベースの特長を活用し、非常用ディーゼル発電機の個別部品レベルの故障要因分析を実施したので、その結果について述べる。表1は構築したデータベースの内容を要約しており、サブシステム、サブシステムの機能別構成要素、サブシステムの構成部品という具合に、左から右に行くに従って、より詳細に展開した結果を示し、それぞれの構成要素で発生した非常用ディーゼル発電機のがわ国と海外での故障件数を表している。図4は表1のサブシステム（ディーゼル機関、制御盤、

発電機）の故障発生件数をわが国と海外で、それぞれ比較した。この図からわが国では、ディーゼル機関の故障件数が多く、海外ではディーゼル機関と制御盤で故障が多く発生している事がわかる。ディーゼル機関は、わが国と海外どちらも故障発生件数が多いので、さらに機能別構成要素と個別部品レベルの故障発生件数を分析した結果を図5と図6に示す。図5から海外では回転数制御系、潤滑油供給系、吸排気系、わが国ではその他の故障件数が多い。わが国についてその他の内容を個別部品レベルで調べると、熱交換器細管に関連する故障がほとんどである。これは、海外では淡水や空気冷却される非常用ディーゼル発電機も多いが、わが国では海水で冷却されるため冷却器の腐食が発生しやすいのではないかと推測される。図6から海外ではガバナ本体、過給器、わが国では潤滑油供給構成部品、熱交換器細管、

起動用電磁弁の故障が多い。また、その他特徴的な故障要因を記載すると、制御盤の故障では、自動電圧調整装置（AVR）の故障が、わが国と海外で共通して多く発生している。わが国でのみ多く故障が発生している部品は、スピードリレーである。発電機については、わが国と海外ともに故障発生件数は少なく、信頼性が高いと言えるが、主要部品である回転子および固定子コイルの絶縁劣化が、わが国と海外の両方で発生している。

本研究では、信頼性を直接評価する尺度である故障率ではなく、故障発生件数を用いて比較している。したがって、比較対照とした物の表やグラフが、それぞれの信頼性を直接示しているわけではない。こ

れは、非常用ディーゼル発電機システム全体であれば、母集団の延べ運転時間、延べ起動回数などのデータは比較的得られやすく、これから時間故障率やデマンド故障率を計算することも不可能ではない。しかし、今回比較の対象とした個別部品レベルに対する母集団の延べ運転時間や延べデマンド回数のデータはない。また、わが国と海外では、データの収集期間も異なっている。さらに、母集団で発生した個別部品レベルの故障の全てを把握して、データベースに登録されているとはかならずしも言えないので、故障件数自体も不確かさがある。上記のような不確かさはあるが、故障件数の比較により故障原因の傾向を把握することは可能である。

表1 信頼性ブロックダイアグラムによる非常用ディーゼル発電機海外およびわが国の運転経験情報の分析  
 (海外運転経験情報は1994年～2002年に事象が発生し、NRC等に報告されたもの。わが国の運転経験情報は1979年～2002年に事象が発生し原子力安全・保安院等に報告されたもの。括弧内は故障発生件数を示す。)

システム (海外,わが国)	サブシステム (海外,わが国)	サブシステムの機能別構成要素 (海外,わが国)	サブシステムの構成部品 (上欄:海外,下欄:わが国)
非常用ディーゼル 発電機故障 (221, 53)	ディーゼル機関 (118, 41)	回転数制御系 (25, 5), 潤滑油供給系 (22, 6), 吸排気系 (19, 1), 燃料油供給系 (13, 6), 爆発力伝達系 (10, 1), その他 (9, 12), 燃焼室構成系 (5, 2), 起動空気供給系 (5, 6), 支持系 (4, 0), 冷却水供給系 (3, 1), 吸排気弁駆動系 (2, 0), 回転運動系 (1, 1)	ガバナ本体 (12), 過給器 (9), 潤滑油供給サブシステム (6), 潤滑油 (6), 潤滑油配管 (5), ピストンスカート (4), ピストンピン (4), 熱交換器細管 (4) ----- 潤滑油供給サブシステム (6), 熱交換器細管 (6), 起動用電磁弁 (4)
	制御盤 (91, 9)	機関制御回路 (27, 3), 励磁回路 (26, 2), 機関保護検出回路 (14, 0), 発電機保護検出回路 (7, 2), 出力遮断器操作回路 (6, 0), 補機操作回路 (5, 0), 同期検定回路 (2, 2), 発電機出力計測回路 (2, 0), 警報回路 (1, 0), 保護制御回路 (1, 0), 回路収納 (0, 0)	補助リレー (9), AVR本体 (8), シリンダ冷却水圧力異常低 (7), 単相電圧調整器 (4), 調整抵抗-1 (4), 出力遮断器操作回路 (3), 調整抵抗-2 (3), 電圧検出PT1次ヒューズ (3), PT2次ヒューズ (4) ----- スピードリレー (3), AVR本体 (2)
	発電機 (12, 3)	エネルギー変換系 (6, 3), 潤滑系 (3, 0), エネルギー伝達系 (1, 0), 軸支持系 (1, 0), 保護計装系 (1, 0), 冷却系 (0, 0)	スリップリング (3), 界磁コイル (2), 圧力調整弁 (2) ----- 界磁コイル (2), 電機子コイル (1)

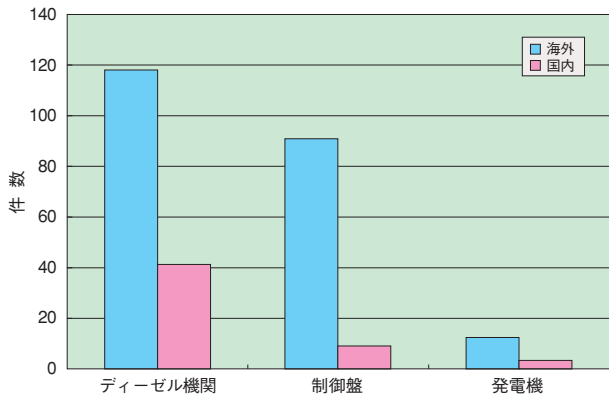


図4 非常用ディーゼル発電機サブシステムの海外とわが国の故障件数比較  
(海外運転経験情報は1994年～2002年に事象が発生し、NRC等に報告されたもの。わが国の運転経験情報は1979年～2002年に事象が発生し原子力安全・保安院等に報告されたもの。)

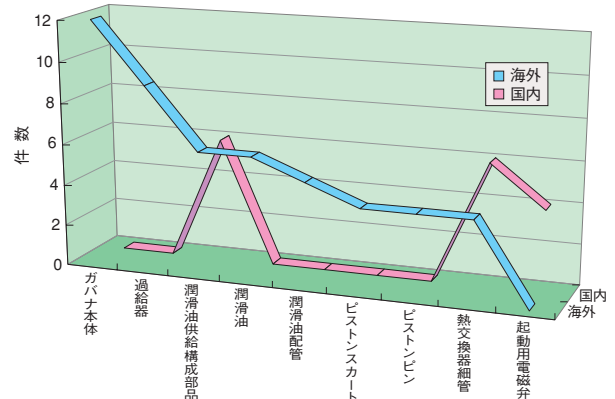


図6 デーゼル機関構成部品別構成要素の海外とわが国の故障件数比較  
(海外運転経験情報は1994年～2002年に事象が発生し、NRC等に報告されたもの。わが国の運転経験情報は1979年～2002年に事象が発生し原子力安全・保安院等に報告されたもの。)

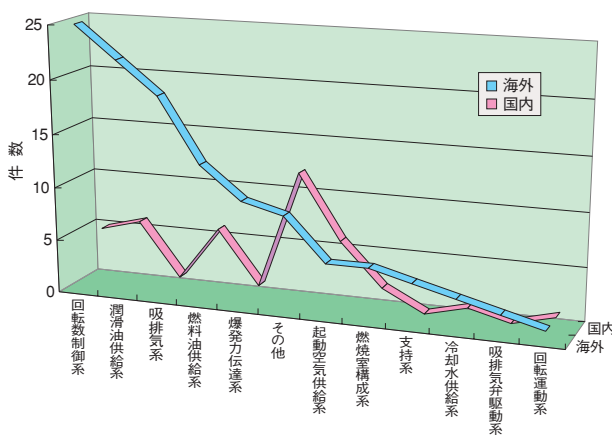


図5 デーゼル機関機能別構成要素の海外とわが国の故障件数比較  
(海外運転経験情報は1994年～2002年に事象が発生し、NRC等に報告されたもの。わが国の運転経験情報は1979年～2002年に事象が発生し原子力安全・保安院等に報告されたもの。)

#### 4. まとめ

- (1) DBHRBDは階層化された信頼性ブロックダイアグラムとハイパーリンクにより構成され、非常用ディーゼル発電機に関する、部品レベルの運転経験情報の類似事象検索と故障要因分析が効率よく行えるようになった。
- (2) 一例として、わが国と海外の両方で故障が多く発生している非常用ディーゼル発電機のディーゼル機関について、機能別に故障原因を分析した。その結果、海外では回転数制御系、潤滑油供給系、吸排気系、またわが国ではその他（その他の内容を個別部品レベルで調べると、熱交換器細管に関連する故障がほとんど）の故障発生件数が多い。さらに細かく、個別部品レベルで故障原因を分析すると、海外ではガバナ本体、過給器、またわが国では潤滑油供給構成部品、熱交換器細管、起動用電磁弁の故障発生件数が多い。

#### 文献

- (1) 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, 195, (1999).
- (2) USNRC, “Licensee Event Reports,” (1994-2002).
- (3) USNRC, “Daily Event Reports,” (1994-2002).
- (4) 経済産業省, “原子力施設運転管理年報,” (1979-2002).