

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

Comparison between Japan and the United States in the Frequency of Events in Equipment and Components at Nuclear Power Plants

嶋田 善夫 (Yoshio Shimada) *

要約 2005年までにINSSが実施した傾向分析は，日米の原子力発電所の電気および計装の一部機器の不具合発生頻度を比較し，日本の方が米国より1桁ほど低い傾向があることを見出した。本論では電気機器，計装機器および機械機器に分類して，より幅広く不具合（NUCIAまたはINPOの報告基準に基づいて報告された事象）発生頻度の日米比較を実施した。その結果，①電気機器と計装機器については，日本の不具合の発生頻度が米国の発生頻度の1/8以下となり従来の結果が裏付けられた。②機械機器については，日米ともに電気機器と計装機器よりも不具合の発生頻度が高く，かつ日米の不具合発生頻度の差が小さい。③機械機器のうち，特に配管の不具合発生頻度について見ると，日本における原子炉冷却系統，非常用炉心冷却系統，計測制御系統設備，換気空調設備，タービン設備といった重要設備の配管の不具合発生頻度が，米国よりも高いことが分かった。④以上のことから，電気機器と計装機器については，不具合発生頻度改善の余地が少ないが，機械機器（PWRについては非常用炉心冷却系統，タービン設備といった主要系統の配管）については，点検方法や点検周期の見直しにより，不具合発生頻度改善の余地が残されていると考えられる。

キーワード 原子力発電所，日米比較，不具合発生頻度，装置，機器

Abstract The Institute of Nuclear Safety System, Incorporated (INSS) conducted trend analyses until 2005 to compare the frequency of events in certain electrical components and instrumentation components at nuclear power plants between Japan and the United States. The results revealed that events have occurred approximately an order of magnitude less often in Japan than in the United States.

This paper compared Japan and the United States in more detail in terms of how often events — events reported under the reporting standards of the Nuclear Information Archive (NUCIA) or the Institute of Nuclear Power Operations (INPO) — occurred in electrical components, instrumentation components and mechanical components at nuclear power plants. The results were as follows: (1) In regard to electrical components and instrumentation components, events have occurred one-eighth less frequently in Japan than in the United States, suggesting that the previous results were correct.

(2) Events have occurred more often in mechanical components than electrical components and instrumentation components in both Japan and the United States, and there was a smaller difference in the frequency of events in mechanical components between the two countries.

(3) Regarding mechanical components, it was found that events in the pipes for critical systems and equipment, such as reactor coolant systems, emergency core cooling systems, instrument and control systems, ventilating and air-conditioning systems, and turbine equipment, have occurred more often in Japan than in the United States.

(4) The above observations suggest that there is little scope for reducing the frequency of events in electrical components and instrumentation components, but that mechanical components such as pipes for main systems like emergency core cooling systems and turbine equipment in the case of PWRs, could be improved by re-examining inspection methods and intervals.

Keywords nuclear power plants, a comparison between Japan and the United States, frequency of events, equipment, components

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

1. 緒言

現在世界で約 430 基の原子力発電所（厳密にはユニット数）が稼動し電力を生産しており、その総運転経験は 12,000 基・年を越えている。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、経済産業省原子力安全・保安院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（以下「INSS」という）も、以前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（傾向分析）から改善点を抽出する活動を継続している。

2005 年までに INSS が実施した傾向分析^{(2)~(5)}により、日米の原子力発電所における電気および計装の一部の機器の不具合発生頻度は、日本が米国より 1 桁低い傾向が見出されている。しかし、機械機器については、不具合発生頻度の日米比較は実施されてこなかった。また、電気および計装の機器についても、未実施の機器が残っていたので、幅広く不具合発生頻度の日米比較を実施した。

2. 分析結果

表 1 は、INSS 原子力情報データベースに登録されている 2001 年から 2005 年の 5 年間に海外の原子力発電所で発生した不具合事象（5,162 件）およびニューシアに登録されている 2001 年から 2005 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（450 件）全てについて、職能別（電気、計装、機械）、装置別（配管、弁、ポンプ等）、機器別（電動弁、空気作動弁、電磁弁、電動ポンプ、タービン駆動ポンプ、ディーゼル駆動ポンプ等）、系統別（原子炉冷却系、非常用炉心冷却系、タービン設備等）、発電所への影響の有無別の不具合発生頻度の日米比較

を実施した結果を示す。なお、ここで「発電所への影響あり」というのは、出力低下、出力抑制、停止期間延長、出力上昇、原子炉自動トリップ、原子炉手動トリップが発生したものである。日米間、発電所毎に報告基準の違いはあるが、「発電所への影響あり」と「発電所への影響なし」の事象を層別し、「発電所への影響あり」の事象に着目することにより、報告基準の差異による統計上の違いは緩和されると考えられる。

機械関係、電気関係、計装関係の不具合発生頻度の日米比較を図 1 に示す。米国では機械、電気、計装の不具合発生頻度の差が小さい。一方、日本では、機械関係の不具合発生頻度が電気関係と計装関係の不具合発生頻度と比較して高いことが分かった。

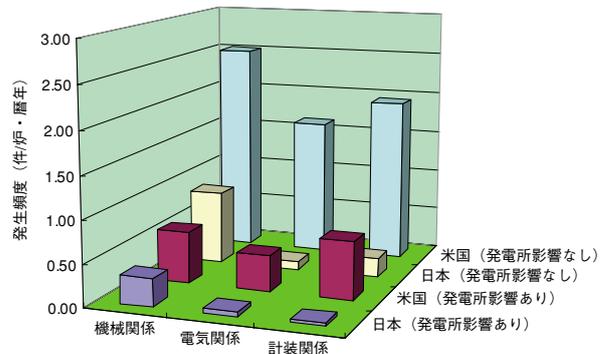


図 1 機械関係、電気関係、計装関係の不具合発生頻度の比較

また、図 2 は、機械関係、電気関係、計装関係の日本の不具合発生頻度を米国の不具合発生頻度で除した値の比較を示す。この図から見て、機械関係は電気関係および計装関係に較べて不具合発生頻度の日米差が小さいことが分かった。

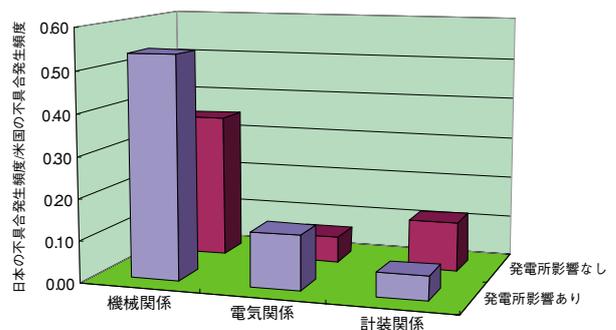


図 2 機械関係、電気関係、計装関係の不具合発生頻度の日本と米国の比

表1 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（その1）

機械関係、電気関係、計装関係	装置	機器	系統	日本			米国			発電所影響							
				発生件数	発生頻度(件/炉・暦年)	発生頻度(件/炉・暦年)	発生件数	発生頻度(件/炉・暦年)	発生頻度(件/炉・暦年)	あり	なし						
機械関係	配管装置	配管(計装配管・オリフイス本体除く)		85.9	3.30E-01	227.1	8.73E-01	317.4	6.16E-01	1295.1	2.51E+00	0.54	0.35				
				22.1	8.50E-02	71	2.73E-01	74	1.44E-01	301	5.84E-01	0.59	0.47				
				3	1.15E-02	7	2.69E-02	12	2.33E-02	52	1.01E-01	0.50	0.27				
				19	7.31E-02	63	2.42E-01	24	4.66E-02	88	1.71E-01	1.57	1.42				
				0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	2	3.88E-03	3	5.83E-03	0.10	0.66				
				8	3.08E-02	18	6.92E-02	3	5.83E-03	9	1.75E-02	5.28	3.96				
				2	7.69E-03	11	4.23E-02	3	5.83E-03	13	2.52E-02	1.32	1.68				
				1	3.85E-03	4	1.54E-02	1	1.94E-03	17	3.30E-02	1.98	0.47				
				0.1	3.85E-04	4	1.54E-02	1	1.94E-03	1	1.94E-03	0.20	7.92				
				0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	-				
				0.1	3.85E-04	2	7.69E-03	0.1	1.94E-04	1	1.94E-03	-	3.96				
				1	3.85E-03	2	7.69E-03	0.1	1.94E-04	2	3.88E-03	19.81	1.98				
				0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	2	3.88E-03	-	0.10				
				0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	-				
				8	3.08E-02	19	7.31E-02	14	2.72E-02	19	3.69E-02	1.13	1.98				
				0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	1	1.94E-03	-	0.20				
				0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	38	7.38E-02	161	3.13E-01	0.01	0.01				
				0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	38	7.38E-02	161	3.13E-01	0.01	0.01				
				弁装置	電動弁	空気作動弁(器素作動弁)	電動弁	20.2	7.77E-02	54	2.08E-01	124	2.41E-01	455	8.83E-01	0.32	0.24
								3	1.15E-02	11	4.23E-02	11	2.14E-02	85	1.65E-01	0.54	0.26
1	3.85E-03	3	1.15E-02					29	5.63E-02	59	1.15E-01	0.07	0.10				
0.1	3.85E-04	8	3.08E-02					14	2.72E-02	61	1.18E-01	0.01	0.26				
4	1.54E-02	5	1.92E-02					18	3.50E-02	68	1.32E-01	0.44	0.15				
5	1.92E-02	2	7.69E-03					12	2.33E-02	52	1.01E-01	0.83	0.08				
1	3.85E-03	1	3.85E-03					4	7.77E-03	18	3.50E-02	0.50	0.11				
5	1.92E-02	13	5.00E-02					16	3.11E-02	59	1.15E-01	0.62	0.44				
1	3.85E-03	4	1.54E-02					11	2.14E-02	10	1.94E-02	0.18	0.79				
0.1	3.85E-04	7	2.69E-02					9	1.75E-02	43	8.35E-02	0.02	0.32				
21.1	8.12E-02	36	1.38E-01					26.1	5.07E-02	144	2.80E-01	1.60	0.50				
19	7.31E-02	27	1.04E-01					19	3.69E-02	112	2.17E-01	1.98	0.48				
ポンプ装置	電動ポンプ	タービン駆動ポンプ	タービン駆動ポンプ	1	3.85E-03	2	7.69E-03	6	1.17E-02	16	3.11E-02	0.33	0.25				
				1	3.85E-03	2	7.69E-03	0.1	1.94E-04	11	2.14E-02	19.81	0.36				
				0.1	3.85E-04	5	1.92E-02	1	1.94E-03	5	9.71E-03	0.20	1.98				
				11.4	4.38E-02	24.1	9.27E-02	47.3	9.18E-02	129.1	2.51E-01	0.48	0.37				
				1	3.85E-03	9	3.46E-02	8	1.55E-02	67	1.30E-01	0.25	0.27				
				1	3.85E-03	3	1.15E-02	1	1.94E-03	2	3.88E-03	1.98	0.27				
				4	1.54E-02	4	1.54E-02	9	1.75E-02	10	1.94E-02	0.88	0.79				
				1	3.85E-03	3	1.15E-02	1	1.94E-03	2	3.88E-03	1.98	0.27				
				1	3.85E-03	3	1.15E-02	1	1.94E-03	2	3.88E-03	1.98	0.27				
				4	1.54E-02	4	1.54E-02	9	1.75E-02	10	1.94E-02	0.88	0.79				
熱交換器・冷却器装置・冷凍機	蒸気発生器	湿分分離加熱器	給水加熱器	1	3.85E-03	9	3.46E-02	8	1.55E-02	67	1.30E-01	0.25	0.27				
				1	3.85E-03	3	1.15E-02	1	1.94E-03	2	3.88E-03	1.98	0.27				
				1	3.85E-03	3	1.15E-02	1	1.94E-03	2	3.88E-03	1.98	0.27				
				4	1.54E-02	4	1.54E-02	9	1.75E-02	10	1.94E-02	0.88	0.79				

(その2)

機械関係、電気関係、計装関係	装置	機器	系統	日本		米		国		発電所影響あり 日本/米/国 (発生頻度)	発電所影響なし 日本/米/国 (発生頻度)		
				発生 件数	発生 頻度 (件/炉・年)	発生 件数	発生 頻度 (件/炉・年)	発生 件数	発生 頻度 (件/炉・年)			発生 件数	発生 頻度 (件/炉・年)
		復水器		5	1.92E-02	3	1.15E-02	26	5.06E-02	14	7.72E-02	0.38	0.42
		スチームコンバータ		0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	19.81
		脱気器		0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	1	1.94E-03	-	0.20
		その他または不明の熱交換器		0.1	3.85E-04	2	7.69E-03	3	5.83E-03	18	3.50E-02	0.07	0.22
		冷凍機		0.1	3.85E-04	2	7.69E-03	0.1	1.94E-04	17	3.30E-02	-	0.23
		非常用ディーゼル		1	3.85E-03	9	3.46E-02	3	5.83E-03	149	2.89E-01	0.66	0.12
		原子炉圧力容器		0.1	3.85E-04	2	7.69E-03	14	2.72E-02	67	1.30E-01	0.01	0.06
		炉内構造物		8	3.08E-02	29	1.12E-01	9	1.75E-02	30	5.83E-02	1.76	1.91
		炉心支持構造物		1	3.85E-03	15	5.77E-02	1	1.94E-03	4	7.77E-03	1.98	7.43
		原子炉圧力容器内部構造物		6	2.31E-02	12	4.62E-02	7	1.36E-02	20	3.88E-02	1.70	1.19
		原子炉圧力容器付属構造物		1	3.85E-03	2	7.69E-03	1	1.94E-03	6	1.17E-02	1.98	0.66
		主タービン装置		2	7.69E-03	2	7.69E-03	20	3.88E-02	20	3.88E-02	0.20	0.20
電気関係		遮断器・断路器装置		14.6	5.62E-02	26.7	1.03E-01	220.6	4.28E-01	839.3	1.63E+00	0.13	0.06
		NFB等低圧遮断器		0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	2	3.88E-03	16	3.11E-02	0.10	0.12
		超高压遮断器		1	3.85E-03	2	7.69E-03	9	1.75E-02	17	3.30E-02	0.22	0.23
		6000V級遮断器		0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	1	1.94E-03	4	7.77E-03	0.20	0.05
		440V級遮断器		0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0	1.00E-01	3	5.83E-03	0.00	0.07
		超高压断路器		0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	6	1.17E-02	9	1.75E-02	0.03	0.02
		モータ装置		1.7	6.54E-03	5.5	2.12E-02	47.5	9.22E-02	112.2	2.18E-01	0.07	0.10
		電動ポンプモータ		0.1	3.85E-04	3	1.15E-02	44	8.54E-02	82	1.59E-01	0.00	0.07
		ファン・プロワモータ		0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	1	1.94E-03	12	2.33E-02	0.20	0.17
		圧縮機モータ		0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	2	3.88E-03	-	0.10
		電動弁駆動モータ		0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	0.1	1.94E-04	10	1.94E-02	-	0.20
		MGセットモータ		1	3.85E-03	0.1	3.85E-04	2	3.88E-03	5	9.71E-03	0.99	0.04
		RIP用モータ (ABWR)		0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	-
		FMCRD用モータ (ABWR)		0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	-
		その他または不明のモータ		0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	1	1.94E-03	-	0.20
		主発電機・励磁機装置		3	1.15E-02	1	3.85E-03	40	7.77E-02	43	8.35E-02	0.15	0.05

(その3)

機械関係、電気関係、計装関係	装置	機器	日本		米		国		発電所影響なし	発電所影響あり	発電所影響なし	発電所影響あり	発電所影響なし	発電所影響あり
			発電所影響あり 発生 件数 / 戸・暦年	発生 件数 / 戸・暦年	発電所影響なし 発生 件数 / 戸・暦年	発生 件数 / 戸・暦年	発電所影響あり 発生 件数 / 戸・暦年	発生 件数 / 戸・暦年						
		主発電機・励磁機	3	1.15E-02	1	3.85E-03	40	7.77E-02	43	8.35E-02	0.15	0.05		
		ディーゼル発電機・励磁機装置	0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	2	3.88E-03	51	9.90E-02	0.10	0.00		
		制御棒駆動機構	0.1	3.85E-04	6	2.31E-02	10	1.94E-02	29	5.63E-02	0.02	0.41		
		変圧器装置	2.6	1.00E-02	1.6	6.15E-03	32.1	6.23E-02	57.1	1.11E-01	0.16	0.06		
		所内変圧器	0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	20	3.88E-02	28	5.44E-02	0.20	0.01		
		予備(非常用)変圧器	0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	3	5.83E-03	7	1.36E-02	0.07	0.03		
		起動変圧器	0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	2	3.88E-03	6	1.17E-02	0.10	0.33		
		動力変圧器	0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	3	5.83E-03	5	9.71E-03	0.07	0.04		
		原子炉再循環ポンプ静止型可変電圧可変周波数電源装置用変圧器	0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	1	1.94E-03	0.1	1.94E-04	0.20	-		
		その他または不明の変圧器	0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	3	5.83E-03	8	1.55E-02	0.07	0.02		
		蓄電池・充電器装置	0.1	3.85E-04	2	7.69E-03	7	1.36E-02	64	1.24E-01	0.03	0.06		
		蓄電池(バッテリー)	0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	2	3.88E-03	38	7.38E-02	0.10	0.05		
		母線装置	0.4	1.54E-03	3.1	1.19E-02	25	4.85E-02	90	1.75E-01	0.03	0.07		
		母線・送電用ケーブル	0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	12	2.33E-02	17	3.30E-02	0.02	0.12		
		母線・動力ケーブル	0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	8	1.55E-02	27	5.24E-02	0.02	0.01		
		母線・計装ケーブル	0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	4	7.77E-03	34	6.60E-02	0.05	0.06		
		その他または不明のケーブル・導線	0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	1	1.94E-03	12	2.33E-02	0.20	0.17		
		インバータ装置	3	1.15E-02	1	3.85E-03	18	3.50E-02	52	1.01E-01	0.33	0.04		
		インバータ	3	1.15E-02	1	3.85E-03	13	2.52E-02	41	7.96E-02	0.46	0.05		
計装関係		制御・保護装置	10.2	3.92E-02	59.8	2.30E-01	352.8	6.85E-01	1002.7	1.95E+00	0.06	0.12		
		中央制御室制御盤	0.1	3.85E-04	4	1.54E-02	9	1.75E-02	26	5.05E-02	0.02	0.30		
		現場制御盤	0.1	3.85E-04	5	1.92E-02	15	2.91E-02	52	1.01E-01	0.01	0.19		
		その他または不明の盤	0.1	3.85E-04	2	7.69E-03	1	1.94E-03	2	3.88E-03	0.20	1.98		
		温度検出器・トランスミッタ	0.1	3.85E-04	2	7.69E-03	9	1.75E-02	26	5.05E-02	0.02	0.15		
		圧力検出器・トランスミッタ	0.1	3.85E-04	2	7.69E-03	2	1.75E-02	31	6.02E-02	0.02	0.13		
		流量検出器・トランスミッタ	0.1	3.85E-04	4	1.54E-02	18	3.50E-02	34	6.60E-02	0.01	0.23		
		レベル検出器・トランスミッタ	1	3.85E-03	5	1.92E-02	12	2.33E-02	35	6.80E-02	0.17	0.28		
		その他または不明の検出器・トランスミッタ	0.1	3.85E-04	3	1.15E-02	15	2.91E-02	33	6.41E-02	0.01	0.18		
		演算増幅器	0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	2	3.88E-03	16	3.11E-02	0.10	0.01		
		温度コントローラ	0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	6	1.17E-02	7	1.36E-02	0.03	0.03		
		圧力コントローラ	0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	4	7.77E-03	11	2.14E-02	0.05	0.02		
		流量コントローラ	0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	8	1.55E-02	35	6.80E-02	0.02	0.06		

(その4)

機械関係、電気関係、計装関係	装置	機器	系統	日本		米		発電所影響なし	発電所影響あり	発電所影響なし	発電所影響あり	発電所影響なし	発電所影響あり
				発生件数 / 炉・暦年	発生頻度 (件 / 炉・暦年)	発生件数 / 炉・暦年	発生頻度 (件 / 炉・暦年)						
	レベラコントローラ			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	16	3.11E-02	11	2.14E-02	0.01	0.02
	その他または不明のコントローラ			0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	19	3.69E-02	31	6.02E-02	0.01	0.06
	ソリッドステート (半導体使用)			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	6	1.17E-02	11	2.14E-02	0.03	0.02
	ヒューズ			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	11	2.14E-02	22	4.27E-02	0.02	0.01
	設定値比較モジュール (DTM)			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	1	1.94E-03	0.1	1.94E-04	0.20	-
	トリップ演算モジュール (TLU)			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	1	1.94E-03	-	0.20
	安全系論理回路モジュール (SLU)			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	-
	現場多重伝送機 (RMU)			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	-
	出力論理モジュール (OLU)			0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	19.81
	入出力装置 (PI/O)			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	1	1.94E-03	1	1.94E-03	0.20	0.20
	その他または不明の回路モジュール			0.1	3.85E-04	3	1.15E-02	47	9.13E-02	114	2.21E-01	0.00	0.05
	電気回路			2	7.69E-03	9	3.46E-02	13	2.52E-02	39	7.57E-02	0.30	0.46
	ロードドライバ (LD)			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	-
	光ファイバケーブル (OC)			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	-
	フラットディスプレイ (スイッチ)			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	0.1	1.94E-04	0.1	1.94E-04	-	-
	記録計・指示計			2	7.69E-03	0.1	3.85E-04	9	1.75E-02	26	5.05E-02	0.44	0.01
	プロセス用スイッチ			1	3.85E-03	4	1.54E-02	28	5.44E-02	84	1.63E-01	0.07	0.09
	手動スイッチ			1	3.85E-03	2	7.69E-03	13	2.52E-02	40	7.77E-02	0.15	0.10
	その他または不明のスイッチ			0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	0.1	1.94E-04	4	7.77E-03	-	0.50
	保護リレー			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	36	6.99E-02	95	1.84E-01	0.01	0.00
	補助リレー			0.1	3.85E-04	5	1.92E-02	12	2.33E-02	80	1.55E-01	0.02	0.12
	タイマ			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	3	5.83E-03	27	5.24E-02	0.07	0.01
	その他または不明のリレー			0.1	3.85E-04	1	3.85E-03	2	3.88E-03	8	1.55E-02	0.10	0.25
	電源ユニット			0.1	3.85E-04	3	1.15E-02	16	3.11E-02	58	1.13E-01	0.01	0.10
	コンピュータ			0.1	3.85E-04	0.1	3.85E-04	11	2.14E-02	42	8.16E-02	0.02	0.00

発生頻度の比較 (日本 / 米)	
発生頻度 (件 / 炉・暦年) を超える	日本の発生頻度 / 米国の発生頻度 > 1
0.1 以上 1 以下	0.5 < 日本の発生頻度 / 米国の発生頻度 ≤ 1
0.1 未満	0.1 < 日本の発生頻度 / 米国の発生頻度 ≤ 0.5
-	日本の発生頻度 / 米国の発生頻度 ≤ 0.1

注意：* 系統別に区分した配管は、件数が小さくなるため発生頻度の基準を 1 桁下げた。
 * - は日本とも発生件数が 0 件を意味する。
 * 機械関係、電気関係、計装関係、装置、系統の色区分は、発生頻度が黄色以上かつ発生頻度の比較が黄色以上を抽出し、重要度の高いほうの色区分とした。

図3は、さらに装置毎に細かく区分して不具合発生頻度を比較したものである。その結果、「発電所影

響あり」の不具合について、配管装置、弁装置、ポンプ装置、熱交換器・冷却器装置・冷凍機の発生頻

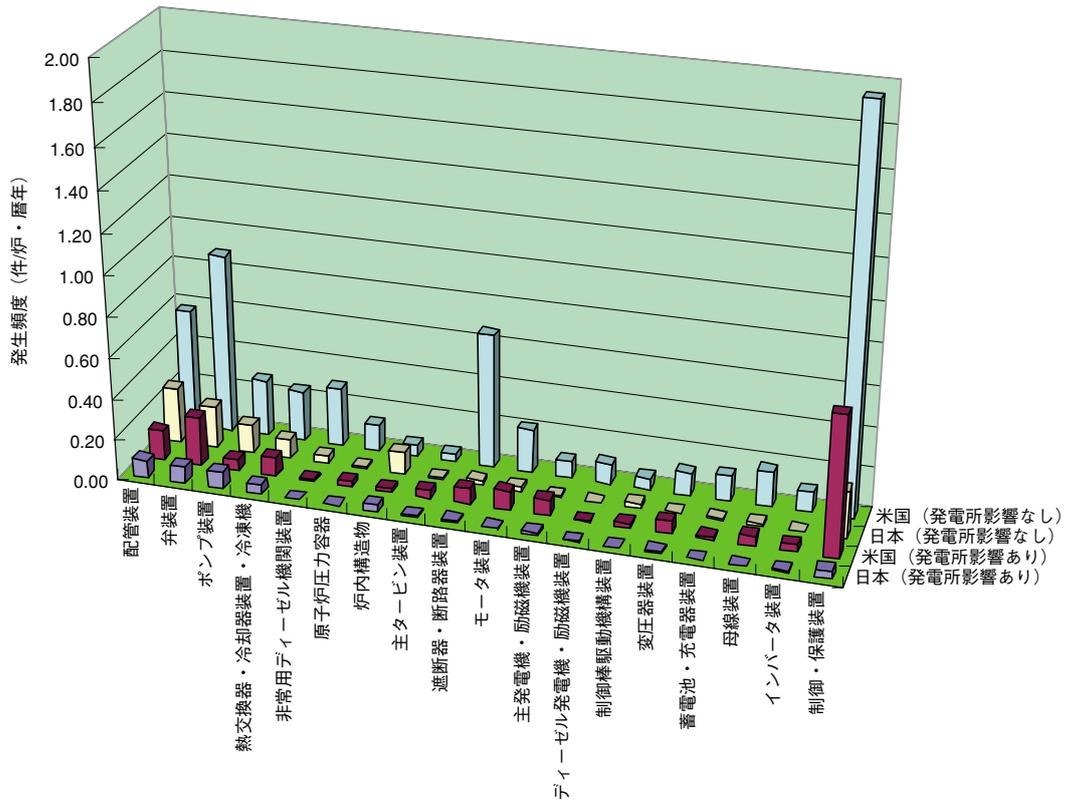


図3 装置毎の不具合発生頻度の日米比較

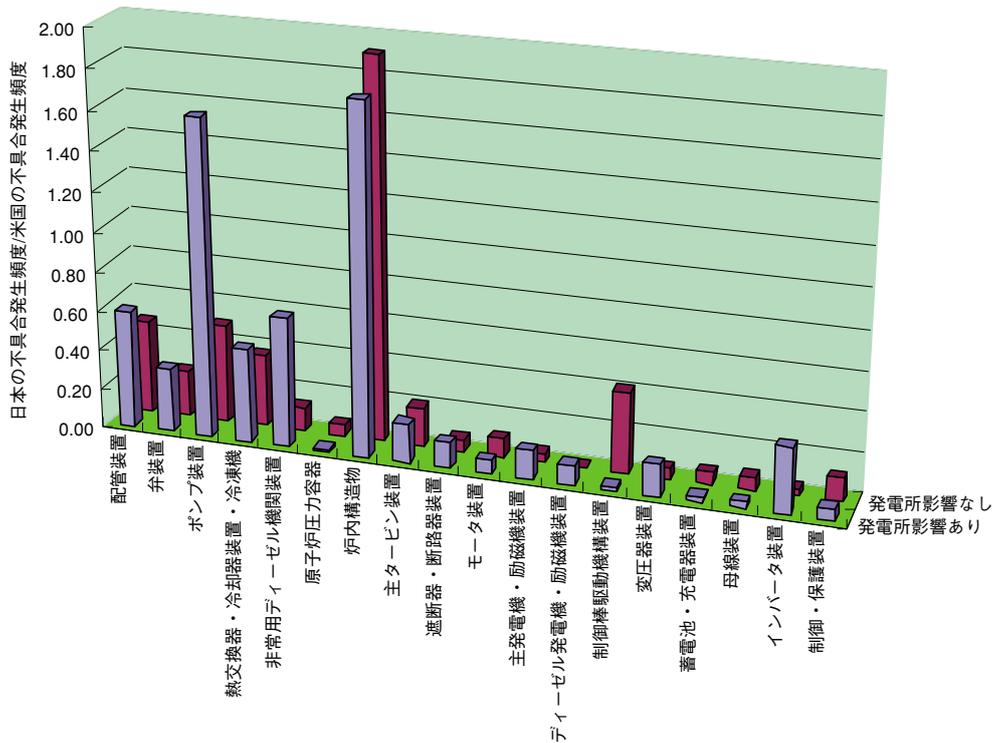


図4 装置毎の不具合発生頻度の日本と米国の比

度が日米共通して高いこと (4.4×10^{-2} /炉・暦年～ 2.4×10^{-1} /炉・暦年) が分かった。

また、図4は、装置毎に日本の不具合発生頻度を米国の不具合発生頻度で除した値を示す。この値が1を越えているものとして、炉内構造物(1.8)とポンプ装置(1.6)がある。また1に近いものは、非常用ディーゼル機関装置(0.7)、配管装置(0.6)などがある。特に、炉内構造物は、個別に不具合の内容を見ると日本のBWRのシュラウドやジェットポンプの不具合により発生頻度が高くなっていることがわかった。ポンプ装置は、個別に不具合の内容を見ると日本のBWRの再循環ポンプのメカニカルシールの不具合により発生頻度が高くなっていることがわかった。また、非常用ディーゼル機関装置に関しては、INSSにおいて過去に詳細な傾向分析を実施している⁽⁵⁾。そこで、今回は、個別に不具合の内容を見るとPWRについても発生頻度の高い配管装置について、さらに分析を進めた。

図5は、配管の種別毎に発生頻度を比較した結果を示す。日本の配管(計装配管・オリフィス本体を除く)で発生頻度が高いことが分かった。また、米国のその他または不明の配管の発生頻度が高い理由は、事象報告書の中に配管の種別を判別できる情報がなかったためと推測される。

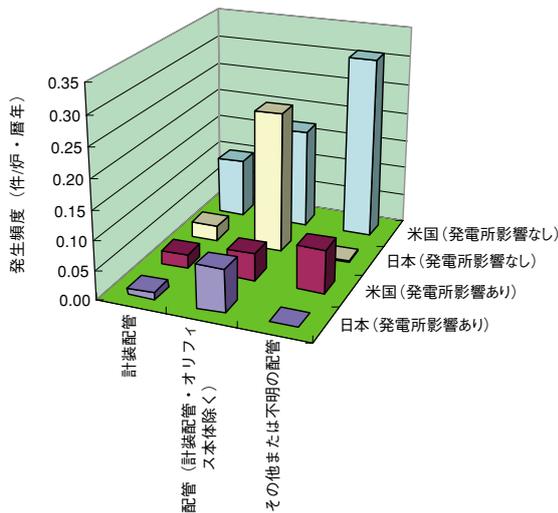


図5 配管の不具合発生頻度の日米比較

また、図6は配管の種別毎に日本の不具合発生頻度を米国の不具合発生頻度で除した値を示す。「発電所影響あり」の配管(計装配管・オリフィス本体を除く)は、日本の発生頻度が米国の1.6倍もある事

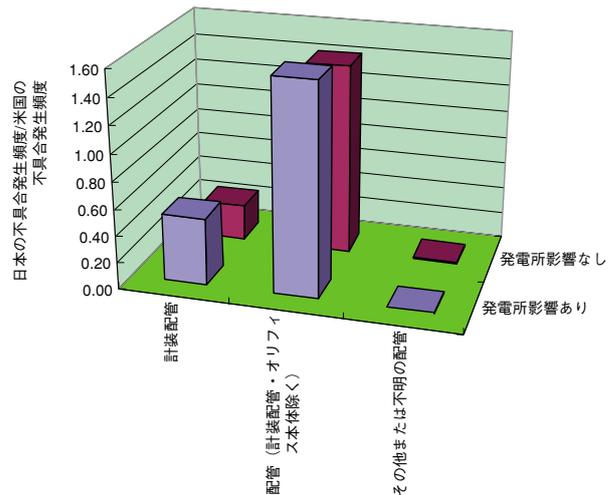


図6 配管の不具合発生頻度の日本と米国の比

が分かった。

以上のように配管(計装配管・オリフィス本体を除く)の不具合発生頻度が高く、かつ日本の発生頻度が米国よりも高いので、さらに系統毎に発生頻度の比較を行った結果を図7に示す。この結果、日本では、原子炉冷却系統、非常用炉心冷却系等、原子

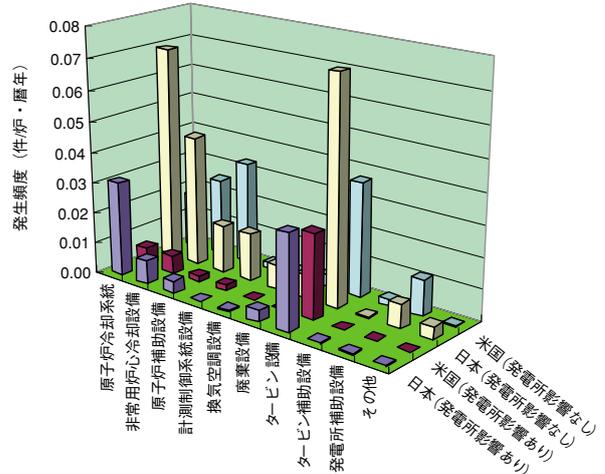


図7 配管の系統毎の不具合発生頻度の日米比較

炉補助設備、廃棄設備、タービン設備の発生頻度が高いことが分かった。

また、図8は配管(計装配管・オリフィス本体を除く)の系統毎の日本の不具合発生頻度を米国の不具合発生頻度で除した値を比較した。「発電所影響あり」で、原子炉冷却系統設備、非常用炉心冷却設備、原子炉補助設備、廃棄設備、タービン設備といった重要設備の配管の不具合発生頻度が、米国よりも高

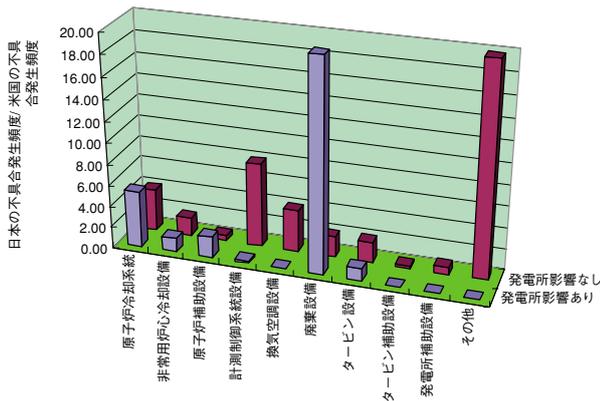


図8 配管の系統毎の不具合発生頻度の日本と米国の比

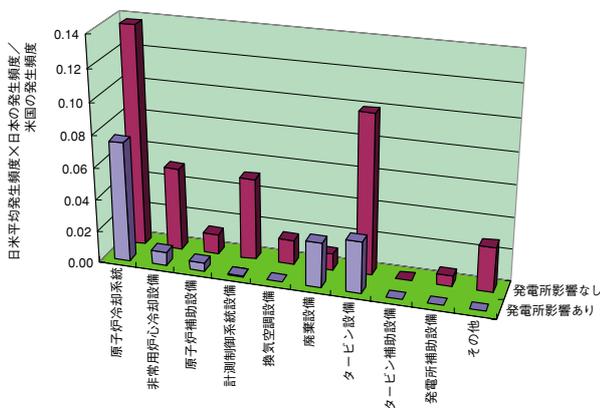


図9 発生頻度が高く、かつ日本の発生頻度が高いものについて配管系統毎の比較（日米平均発生頻度×日本の発生頻度／米国の発生頻度）

いことが分かる。

さらに、図9は発生頻度が高くかつ日本の発生頻度が米国に較べて高い系統を抽出するために、日米の平均の発生頻度×日本の発生頻度／米国の発生頻度の比較を示す。原子炉冷却系統、非常用炉心冷却系統、原子炉補助設備、計測制御系統設備、廃棄設備、換気空調設備、タービン設備が大きいことがわかる。これらの系統について、個別の事象を見ると、原子炉冷却系統はBWRの再循環系統、計測制御系統はBWRの制御棒駆動水圧系、タービン設備はPWRの配管減肉の寄与が大きいことが分かる。従って、PWRで特に注目すべき系統は、非常用炉心冷却系統、タービン設備である。

3. 結論

日米の原子力発電所の装置、機器毎の不具合情報の傾向分析により以下の結果を得た。日米間の不具

合報告基準の差異による統計的な違いを緩和するために、発電所影響あり（一部発電所影響なしを含む）の不具合に着目した結果を示す。

- (1) INSSでこれまで実施してきた分析結果から、電気関係と計装関係の一部の機器については、日本の不具合の発生頻度が米国の発生頻度よりも一桁程度低いことが分かっているが、今回、従来の分析よりも電気関係、計装関係の対象機器の種類を増やして、包括的に分析した結果、日本の不具合の発生頻度が米国の発生頻度の1/8以下となり従来の結果が裏付けられた。
- (2) 一方、機械関係については、日米の不具合発生頻度の比較を今回初めて実施したところ、電気関係、計装関係よりも日米ともに不具合の発生頻度が高く、さらに機械関係は、電気関係、計装関係に較べて日米の不具合発生頻度が接近していることが分かった。
- (3) 機械関係のうち特に配管の不具合発生頻度を分析した。その結果、原子炉冷却系統、非常用炉心冷却系統、計測制御系統設備（発電所影響なし）、換気空調設備（発電所影響なし）、タービン設備といった重要設備の配管の不具合発生頻度が、米国よりも高い事がわかった。抽出された系統について個別の事象を見ると、原子炉冷却系統はBWRの再循環系統、計測制御系統はBWRの制御棒駆動水圧系、タービン設備はPWRの配管減肉の寄与が大きいことが分かった。従って、PWRで特に注目すべき系統は、非常用炉心冷却系統、タービン設備である。
- (4) 以上のことから、電気関係、計装関係設備については、不具合発生頻度改善の余地が少ないが、機械関係（PWRについては非常用炉心冷却系統、タービン設備といった主要系統の配管）については、点検方法や点検周期の見直しにより、不具合発生頻度改善の余地が残されていると考えられる。

文献

- (1) 経済産業省原子力安全・保安院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) 伏見康之、「原子力発電所における空気作動弁ポジションの不具合発生傾向」、INSS JOURNAL, Vol.13, p.276 (2006)。

- (3) 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).
- (4) 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, p.286 (2006).
- (5) 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, p.93 (2003).