

国内原子力発電所で発生した不具合事象に関する 原因の重複度と重複形態について

The Cause Multiplicity and the Multiple Cause Style of Adverse Events in Japanese Nuclear Power Plants

宮崎 孝正 (Takamasa Miyazaki)*

要約 原子力発電所で発生している不具合事象には原因が単一の場合だけでなく複数の場合があり、どの程度に原因が重複しているかを理解しておくことは不具合の発生を低減する上で有意義であると考え、本研究では、分類された原因を基に原因の重複状況を重複度と重複形態で表示する方法を示し、これらを用いて国内原子力発電所で発生している不具合事象の重複状況を分析し、軽微な事象の原因に較べて重大性の高い事象の原因重複度は高くなる傾向にあること、原因の重複形態は直列型と並列型の組み合わせで整理されることを明らかにした。また、原因が複数ある不具合については、原因の分類項目を相互に関連付け、時系列的に整理して原因の連鎖として表現することにより、従来の事象の連鎖として表現する方法よりも不具合全体の問題点の流れや原因の連鎖を断つ点を分かり易く表示できることを示した。

キーワード 不具合事象, 原因分類, 原因分析, 重複原因, 原因重複度, 人的過誤, 背後要因

Abstract An adverse event in a nuclear power plant occurs due to either one cause or multiple causes. To consider ways of preventing adverse events, it is useful to clarify whether events are caused by single or multiple causes. In this study, the multiple causes is expressed using the cause multiplicity and the multiple cause style. Classified causes of adverse events in Japanese nuclear power plants were analyzed, with the following results: the cause multiplicity of serious adverse events is higher than that of minor adverse events, and the multiple cause style can be expressed by combining two styles: series type and parallel type. Also, for a multiple cause event, a new method of displaying the event is presented as a cause-chain chart where the cause items are arranged in a sequential way and are connected considering the mutual relations among the causes. This new display method shows the whole flow of issues concerning the event more simply than the conventional display method of the chain of phenomena, and would be useful for considering the terminating point of the chain of causes.

Keywords adverse event, cause classification, cause analysis, multiple cause, cause multiplicity, human error, background factor

1. 緒言

原子力発電所（以下、発電所という）では、機器の故障や誤操作（以下、故障等という）により不具合事象（事故・故障や軽微な事象など正常ではない事象全体を指す。以下、不具合という）が発生しており、これら不具合は故障の状況・原因・対策などを付して国や関係機関に報告されている。一般に公開されている不具合の報告書⁽¹⁾⁽²⁾を見ると、不具合には単一の原因だけで発生している場合と複数の原

因が重複して発生している場合のあることが判る。

発電所は故障等があっても重大な事故に至らないように設計されており、単一の故障等では重大な事故に至ることはないが、二重三重に故障等が重なってくると安全性や信頼性の低下に繋がってくる。故障等の重複による発電所の安全性への影響は確率論的安全評価手法⁽³⁾によって評価⁽⁴⁾することができる。不具合の故障等と原因とは必ずしも一対一の関係ではないが、故障等の重複による安全性評価と同様に、故障等が発生する源である原因の重複状況を

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所 現在 株式会社原子力エンジニアリング

把握することによって、発電所の安全性評価や不具合の予防に役立てることができると考ええる。

不具合は機器の設計・製造が基準・仕様などの制限を越えていたことや運転・保守が運用基準などの制限を超えたことなどを原因として発生しており、これらの原因は原因分類法で区分され特定される。一つの不具合に原因が複数ある場合、原因の重複数（重複度）や重複の仕方（重複形態）によって重複の特徴を示すことができる。個々の不具合の分析（個別分析）や多数の不具合の統計的分析（傾向分析）によって示された個別や全体の重複の特徴は、不具合の重大性や不具合の背後にある安全文化度を示す一つの尺度にもなる。また、個々の不具合の重複の特徴を浮かび上がらせることによって、対策検討点の把握や不具合発生の予防に役立てることができる。

原因の重複状況の特徴付ける際、用いる原因分類法によって得られる重複の特徴が異なってくるので、どのような原因分類法を用いるかは重要である。原因分類法には標準的なものはないが、用いる原因分類法は、原因項目間の独立性と全ての原因が含まれている網羅性があり体系的であることが必要である。

著者が所属する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で発生している不具合を収集・分析して、国内のPWR型発電所を所有する電力事業者へ改善点を提言する不具合反映活動を行っている。この活動と併せて、海外の不具合のみならず国内の不具合についても独自に原因分類を行いデータベース化して傾向分析などに活用している。本研究では、INSSで上記の活動で原因分類したデータを基にして原因の重複状況进行分析した。具体的には、ニューシア⁽²⁾に公開されている国内の発電所で最近3年間に発生した不具合を対象にして、原因の重複度と重複形態について分析評価した。

これまでに原因に重複性があることを念頭においた医学論文や交通事故の論文はあるが、原因の重複度や重複形態を体系的にまとめた論文はない。本研究では、原因分類された原因を元に個別の不具合や多くの不具合の原因の重複状況を記述する方法（重複度、重複形態）を示すとともに、これらを用いて国内発電所における原因の重複状況を明らかにした。更に、原因連鎖による不具合原因の表現方法は、不具合の問題点を判り易く表示できることを示した。

2. 原因分析対象と原因分類法

2.1 原因分析対象

本研究では、国内の発電所で発生した不具合としてニューシア⁽¹⁾に掲載されている2003～2005年度の3年間の不具合467件（2006年10～11月時点の「トラブル情報」と「保全品質情報」に該当する不具合）を選定し、この467件から調査中、原因不明、良好事例を除いた434件の事象を分析対象にした。

2.2 原因分類法

本研究で用いた原因分類法は、著者が提唱しINSSで採用されている原因分類法⁽⁵⁾（表1）である。この分類法は、原因を大分類・中分類・小分類の3階層で分類展開する体系となっており、各階層区分での分類項目には独立性や網羅性がある。この原因分類法に用いられている中分類は、ニューシア⁽²⁾などで一般に用いられている原因分類項目に相当するものである。

また、本研究における不具合の原因の分類結果は、INSSの分析者が、不具合報告書の記載内容を基に不具合の発生に影響したと考えられる原因項目を独自に抽出したものである。

報告書には全ての原因等が記載されていない可能性があり、また、第三者が報告書を基に分析する場合は、分析結果が分析者の主観に依存するが、INSSでは数人で分担して分類しており、統計処理した傾向分析では大数の法則により幾分収束された結果になると考える。

原因項目の抽出は、まず、中分類区分の中から一つの主要原因と考えられる他の副原因を抽出し、次に、抽出された主要原因や副原因に対して、それぞれの小分類区分の中から一つの主要原因と副原因を抽出する。ここでは、主要原因と副原因は、次のように定義される。

主要原因：中分類と小分類において、最も不具合の発生に影響したと考えられる1つの原因。

副原因：主要原因以外にも不具合の発生に影響したと考えられる原因で、2つ以上抽出されることがあり得る。

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（設計時の個人要因による人的過誤）
		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（工場製造時の個人要因による人的過誤）
		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（発電所建設時の個人要因による人的過誤）
		軽微想定外不良（建設時の品質水準では許容範囲内）
		その他
	経年劣化	機械設備・電気設備の経年劣化（摩耗、疲労、腐食、絶縁低下、静電容量低下、他）
		コンクリート部の経年劣化（強度低下、ひび割れ、他）
		原因不特定
	偶発故障	機器の偶発故障（耐用年数内のランダム故障）
運 用	運転不良	計画不良（要領書・運転手順書などの不備による操作不良）
		操作者過誤（運転操作時の個人要因による人的過誤）
		周辺状況不良（機器・工具不備、環境不備、指示・連絡者の不備、等による運転不良）
		軽微想定外不良（想定外事象への対応不十分による運転結果）
		その他
	保守不良	計画不良（要領書・作業手順書などの不備による作業不良）
		作業者過誤（保守作業時の個人要因による人的過誤）
		周辺状況不良（機器・工具不備、環境不備、指示・連絡者の不備、等による作業不良）
		軽微想定外不良（予見不可事象、検査合格した瑕疵、等）
		その他
	その他の管理不良	燃料管理不良（当該管理における計画不良、実施者過誤、等で、運転不良や保守不良と同様に分類が可能。）
		放射線管理不良（同上）
		廃棄物管理不良（同上）
		水質管理不良（同上）
		性能管理不良（同上）
		防災管理不良（同上）
		出入管理不良（同上）
	方針管理不良（発電所長の方針不備）	
	外 部 要 因	外部要因
想定外（妨害行為・テロによる機器損傷）		

2.3 原因の分析結果

3年間の不具合についての主原因の分類結果を図1に示す。これまでの研究結果⁽⁵⁾と同様に、運用面の不具合が半分以上を占め、そのうち約6割を保守不良が占め、保守不良の中でも作業者過誤が最も多いことが判る。

3. 重複度

3.1 重複度の定義

重複度は、各階層区分において、次のように定義される。

重複度（cause multiplicity）

$$= (\text{副原因の件数}) / (\text{主原因の件数})$$

この定義で算定される重複度は原因分類法に依存するため、重複度の分析結果は絶対的な重複度では

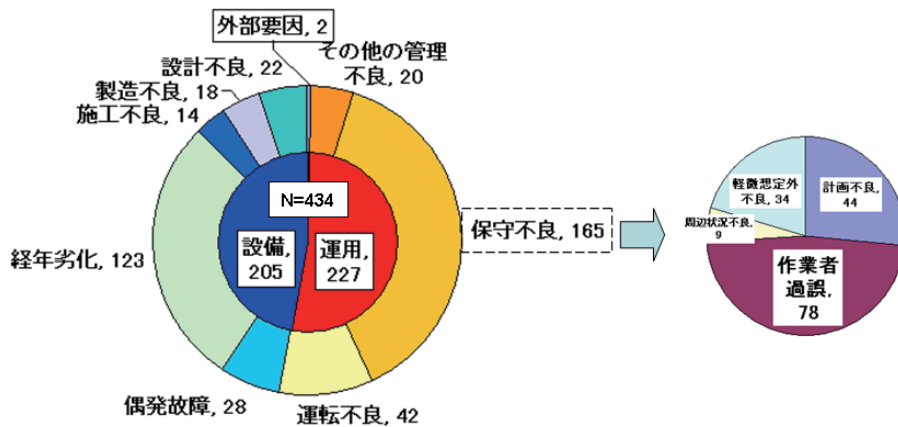


図1 不具合の主原因の分析結果（国内、2003～05年度）

なく相対的な重複度であり，他の研究等で原因の重複度が示された時に比較する際の参考尺度となる。

3.2 中分類での重複度

2.1項で分析対象とした2005年度の不具合434件について，中分類項目（設計不良，製造不良，施工不良，経年劣化，偶発故障，運転不良，保守不良，その他の管理不良，外部要因）で主原因と副原因の重複件数を整理したものを表2に示す。

次に，重複度で整理したものを図2に示すが，ここでは，各分類項目における経年劣化と保守不良との重複が比較的多いことから，経年劣化と保守不良との重複割合を特に明示した。

中分類での重複状況（表2，図2）から，以下の点が見られる。

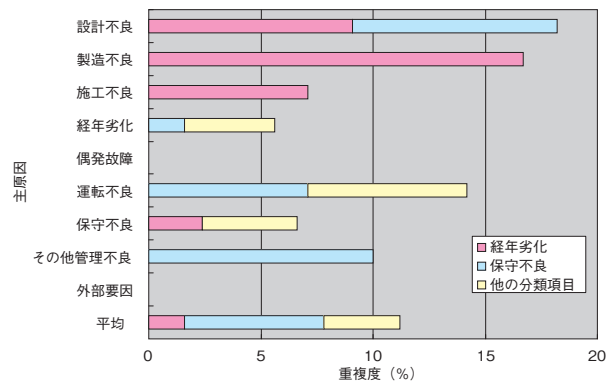


図2 中分類での重複度
(表2をグラフ化。経年劣化と保守不良の重複度は内数表示)

表2 中分類での重複件数

	主原因数	副原因									副原因数	重複度 (%)	
		設備					運用			外部要因			
		設計	製造	施工	経年	偶発	運転	保守	他管理				
主原因	設備	設計不良	22	—		2			2			4	18
		製造不良	18		—	3						3	17
		施工不良	14			—	1					1	7
	運用	経年劣化	123	1	1	2	—	1		2		7	6
		偶発故障	28					—				0	0
		運転不良	42	1					—	3	2	6	14
	その他	保守不良	165	3			4		2	—	2	11	7
		他管理不良	20							2	—	2	10
		外部要因	2								—	0	0
合計	434	5	1	2	10	1	2	9	4	0	34	8	

- ①中分類階層での原因の重複度は8% (34件/434件)と低く、大部分92% (400件/434件)は単一原因によるである。
- ②経年劣化と保守不良は、主原因の数や重複している副原因の件数が多いが、重複度としては6% (7件/123件)と7% (11件/165件)で全体平均(8%)よりも低い。
- ③主原因が経年劣化の場合、単独発生率が94% (116件/123件)と高く、設計不良や保守不良といった副原因を伴っていないことから、経年劣化は予測困難で不可抗力的な場合が多いことが示唆される。

3.3 大分類での重複度

前項3.2の中分類レベルで整理した重複件数を、大分類項目である設備・運用・外部要因で整理してベン図法的に表したものを図3に示し、代表的な事例を図4に示す。

図3より、国内不具合の大分類階層での重複は、「設備-設備」、「設備-運用」、「運用-運用」の3通り発生しており、どの場合も重複件数は11~12件と同程度であることが判る。また、外部要因との重複がないのも一つの特徴である。

3.4 不具合の重大性と重複度の相関性

3.2項で述べたように中分類での重複度は8%であるが、重大性が高い事象(国へ報告された不具合)に絞って重複度を見ると、3年間で国へ報告された不具合48件のうち原因が重複している不具合は17%であり、全体から国への報告を除いた軽微な不

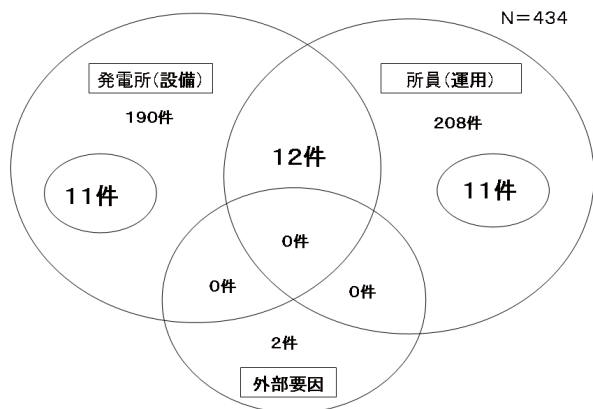


図3 大分類での重複件数
(通常のベン図法と異なり、「設備-設備」および「運用-運用」の重複件数は丸の中に示した。)

表3 重大性の高い不具合と全体との重複度の比較

	不具合数	原因が複数の不具合数	重複度
全体	434件	34件	8%
国報告(重大性大)	48件	8件	17%
国報告除き(軽微)	386件	26件	7%

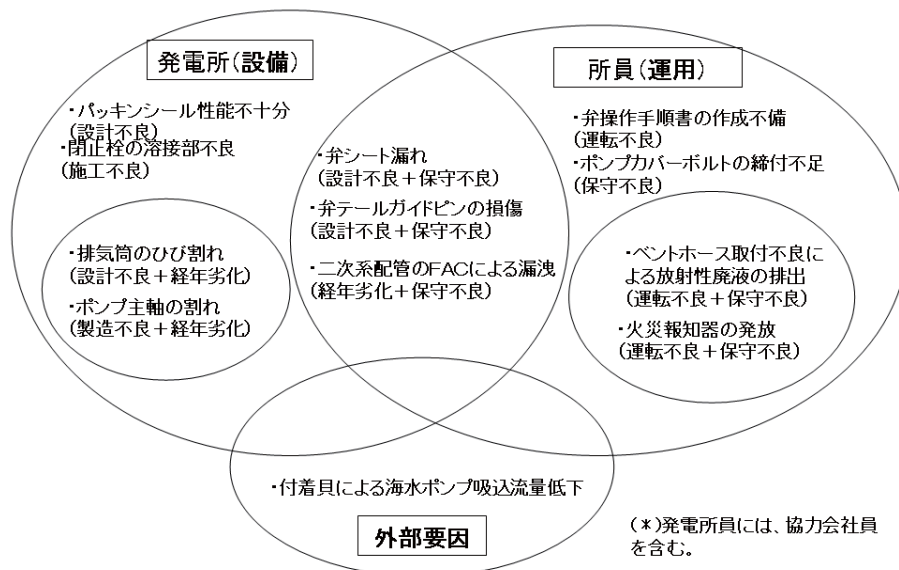


図4 代表事例の大分類での表示

具合では7%となる(表3)。このように、国に報告された重大性が高い不具合の重複度は、軽微な不具合の2.4倍となることが示され、有意差検定により5%の有意水準でこの傾向が正しいと言える。言い換えると「二つ以上の原因が重複していると重大性の高い不具合に繋がり易い」。

次に、国報告(重大)と国報告除き(軽微)の中分類での重複件数をそれぞれ表4と表5に示し、主原因の割合比較(大分類・中分類)を図5に示す。図5から、国報告(重大)の設備と運用の割合は6:4と、国報告除き(軽微)とは逆の割合になっており、国に報告されている不具合には運用面の不具合の割合が少ない傾向が見られる。これは、実際に運用面の不具合が少なかったと考えることの他に、国に報告する内容には人的過誤に係わる記載が慎重に扱われた可能性が高いとも推測される。

3.5 小分類での重複度

本研究で用いた原因分類法⁽²⁾は、保守不良や運転不良を更に小分類において人的過誤の背後要因を分析できることを特徴としており、小分類階層での原因重複度を分析することで人的過誤と背後要因の相関関係を知ることが可能である。

人的過誤の背後要因は、HawkinsのSHELLモデル⁽⁶⁾を参考にした分類体系(計画不良(S)、設備・工具不備(H)、作業環境不備(E)、指示・連絡不備(L))で区分することができる。INSSでは、実施段階の人的過誤(作業者過誤、操作者過誤)に対する背後要因は、計画不良(S)と周辺状況不良(H,E,L)とで2分して分類し、どの背後要因が影響しているかを知る必要がある場合にのみ更に分類することになっている。これは、最初から詳細に原因分類することに労力を掛けるのではなく、詳細に分

表4 中分類での原因重複件数(国報告:重大)

	主原因数	副原因									副原因数	重複度(%)	
		設備					運用			外部要因			
		設計	製造	施工	経年	偶発	運転	保守	他管理				
主原因	設備	設計不良	3	—			1			1		2	67
		製造不良	1	—								0	0
		施工不良	1		—							0	0
		経年劣化	22		1	1	—			1		3	14
		偶発故障	2					—				0	0
原因	運用	運転不良	1						—	1		1	100
		保守不良	18	1			1			—		2	11
		他管理不良	0								—	0	0
	外部要因	0								—	0	0	
合計		48	1	1	1	2	0	0	3	0	0	8	17

表5 中分類での原因重複件数(国報告除き:軽微)

	主原因数	副原因									副原因数	重複度(%)	
		設備					運用			外部要因			
		設計	製造	施工	経年	偶発	運転	保守	他管理				
主原因	設備	設計不良	19	—			1			1		2	11
		製造不良	17	—			3					3	18
		施工不良	13		—		1					1	8
		経年劣化	101	1		1	—	1		1		4	4
		偶発故障	26					—				0	0
原因	運用	運転不良	41	1					—	2	2	5	12
		保守不良	147	2			3		2	—	2	9	6
		他管理不良	20							2	—	2	10
	外部要因	2								—	0	0	
合計		386	4	0	1	8	1	2	6	4	0	26	7

類する必要が生じた者が必要な時に分類展開するという考え方によるものである。

ここでは、運用面での発生が最も多い保守不良と次に多い運転不良に着目して、小分類での原因重複

件数の分析結果を、主原因と副原因との関連を含めて、図6（保守不良）と図7（運転不良）に示す。これらの図から、作業者過誤と操作者過誤の他の原因との重複度は33%と45%で、半分以上が単独不良

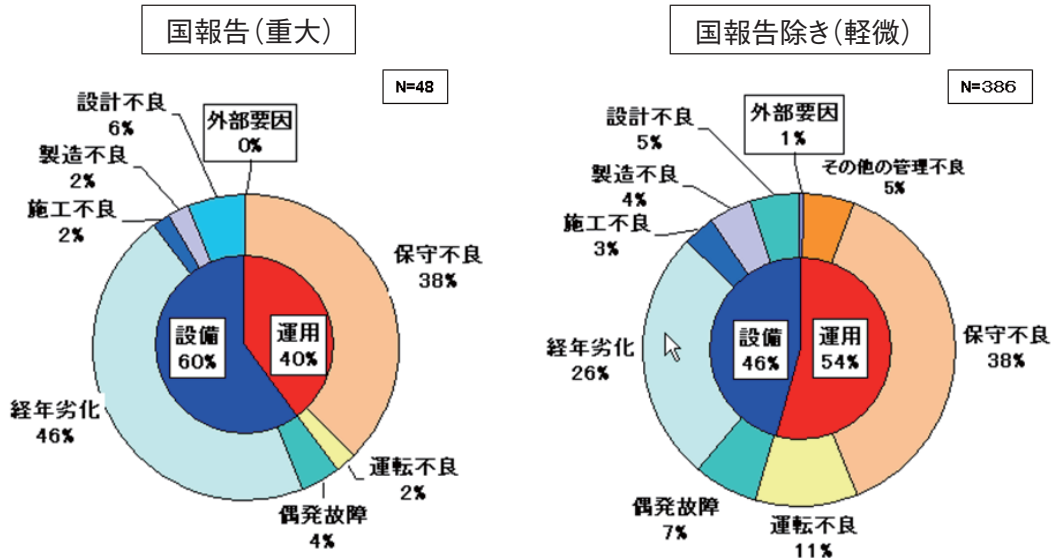


図5 主原因の割合比較（大分類・中分類）
 (「国報告(重大)」と「国報告除き(軽微)」)

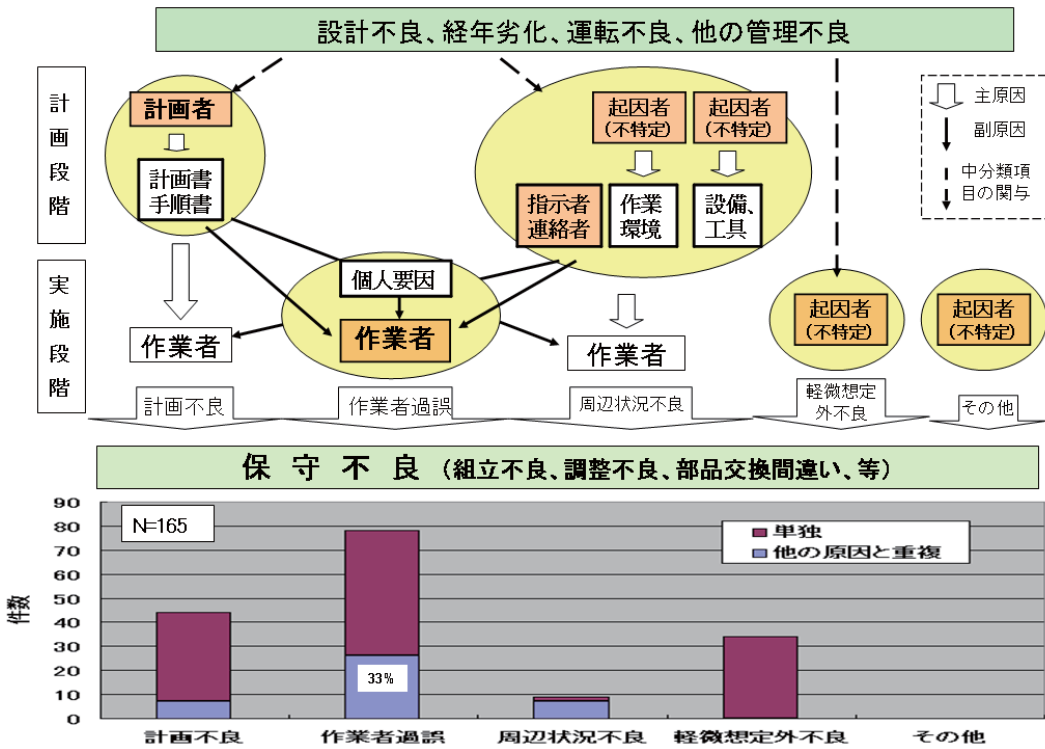


図6 保守不良の中の原因重複件数

(上図には作業者に背後要因(S,H,E,L)が影響し重複する関係と中分類の原因が影響してくる関係を示し、下図には各原因項目の主原因件数と副原因との重複件数を示す。)

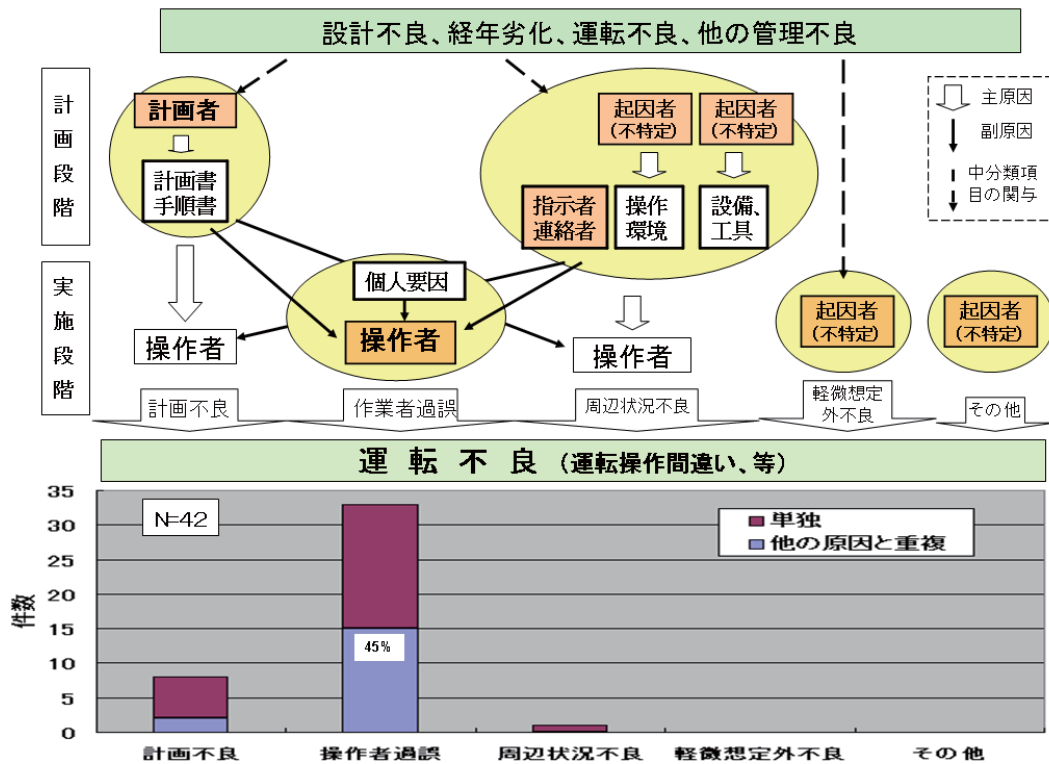


図7 運転不良の中の原因重複件数

(上図には作業者に背後要因 (S,H,E,L) が影響し重複する関係と中分類の原因が影響してくる関係を示し、下図には各原因項目の主原因件数と副原因との重複件数を示す.)

(当事者の個人要因のみで不具合が発生している) であることが判る。著者らは人的過誤を当事者の個人要因と影響した背後要因で分析する方法を研究しているが、その研究結果⁽⁷⁾でも当事者の個人要因による単独の人的過誤が多く背後要因が影響している割合はそれ程多くはないことが判っている。これは、ニューシアで公開されている報告内容には人的過誤に対する背後要因の詳細な実態が記載されていないことが一因と推測される。

更に、これらの図から、次のような特徴が判る。

- ① 保守不良に較べて、運転不良では運転員の操作不良と背後要因の重複度が大きく、運転員の操作不良に対しては背後要因を軽減が有効である。
- ② 保守不良の周辺状況不良（設備・工具不備、作業環境不備、指示・連絡不備）の発生件数は少ないが、単独ではなく他の原因（作業者過誤、他）と重複していることが多い。
- ③ 軽微想定外不良は保守不良でしか発生していないが、他の原因（計画不良、他）との

重複はなく全て単独で発生している。

図6と図7に示すように、保守不良や運転不良の小分類の原因に他の中分類の原因が関与していることがある。原因分類では、中・小分類階層毎に分類項目を識別して分類するだけで、分類階層間の相互の関係までは表現することが出来ない。この小分類と中分類の相互の関係の整理については、次章4で述べる。

次に、保守不良と運転不良の全体的な重複状況を両者比較して図8示す。この図からも両者の小分類における原因の重複度は大きくないことが判る。前

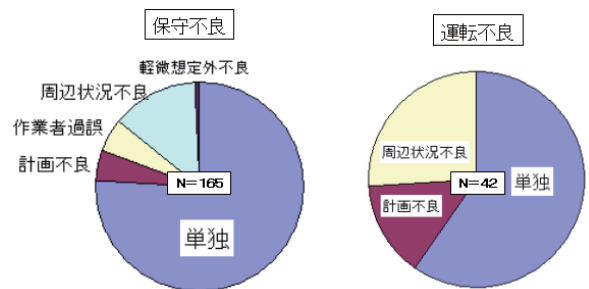


図8 保守不良と運転不良の小分類における原因重複度

述した作業者過誤および操作者過誤に対する他の原因の重複が少ないことと併せて、作業者過誤や操作者過誤の多くは単独（個人要因のみ）で発生しているという分析結果になった。これは、人的過誤に対する背後要因の記載が十分でなく実態が反映されていない可能性も推測される。今後、根本原因分析が進んで人的過誤の背後要因や組織要因が詳細に究明され公開されることによって、より精確に評価されることが期待される。

4. 原因の重複形態

前章3.5の最後で述べたように、小分類の原因に中分類の他の原因が関係（もしくは影響）していることがある。原因分類表に基づく原因分類では中・小分類の階層毎に平面的な原因区分をしているだけで、階層間や階層内の分類項目間の相互関係を表現することはできない。このため、原因の相互関係を表現するためには、原因の相互関係、時系列的な前後関係、中・小分類階層間の関係などを付けて、全体の相互関係や流れを整理して表現することが必要になる。この様に、原因が重複している場合、中分類と小分類を別々に整理するだけでなく原因全体を関連付けて表現するのがよく、原因が重複している幾つかの不具合について、不具合全体の原因の関連性を表示した事例を図9～図12に示す。

この原因の関連性表示は次の手順で作成する。

- ① 不具合の原因を原因分類表（表1）の中分類と小分類の項目から抽出する。
- ② 抽出した分類項目を、中・小分類の階層毎に、時系列的に前後の因果関係を勘案して関連付ける。
- ③ 主原因は太枠で示す。
- ④ 人的過誤（作業者過誤、操作者過誤）については、人的過誤のタイプ（過誤発生段階とオMISSION・コミッションで12区分）と個人要因⁽⁷⁾を併記する。
- ⑤ 可能な範囲で根本原因を表現する。

根本原因はなぜなぜ分析により原因を遡り可能な範囲で究明された原因であるが、公開されている内容には詳細な技術的要因や組織要因まで記載されておらず分析評価が困難で、表示例でも人的過誤の背後要因を示す程度で終わっている。JEAG4121-2005（2007年追補版2）の「根本原因分析のガイド」では、根本原因として特に運用面の組織要因の究明を求めているが、ガイドにも述べられているように、一般的には技術的要因を分析することも含まれるので、ここでの根本原因は設備面の技術的要因の究明も等しく表示することとしている。今後、JEAG4121に従って根本原因が究明され公開されれば更に詳しく根本原因（組織要因）を表示することができる。

この表示方法では、「事象の連鎖」ではなく「原因

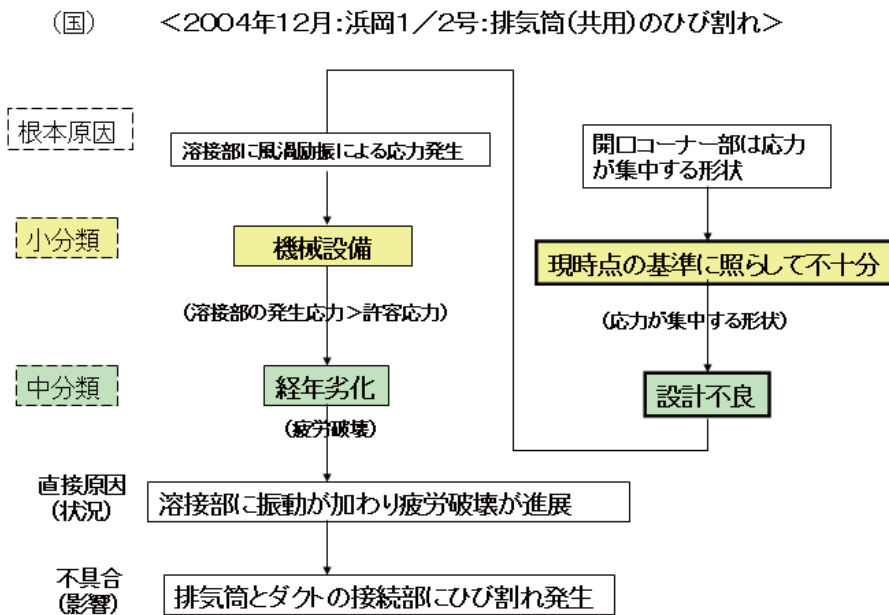


図9 原因の重複形態が直列型の例（中分類の「設計不良」が「経年劣化」の発端となり、後発の起因原因が直接原因に繋がっている。(国)は国報告を意味する。)

(国) <2004年3月:伊方3号:充てんポンプ3C主軸の損傷>

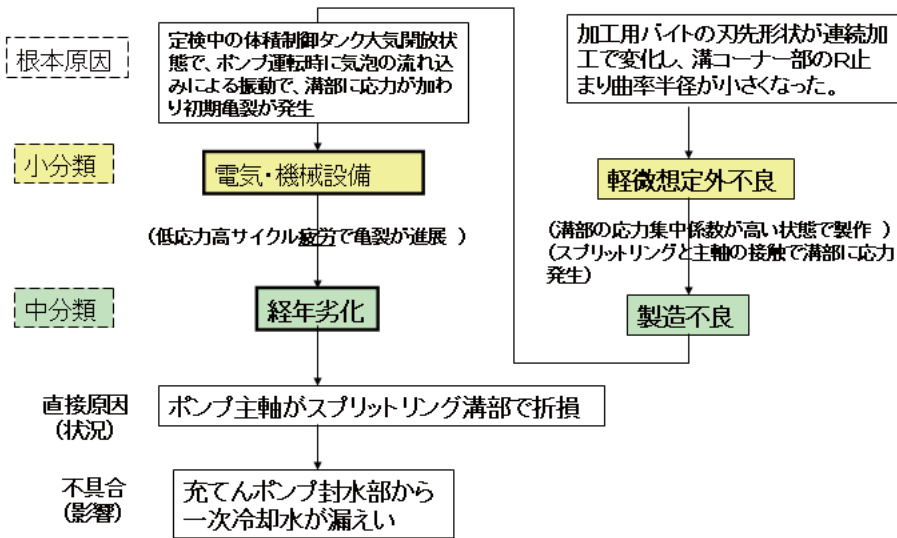


図 10 原因の重複形態が直列型の例 (中分類の「製造不良」が発端となり、後発の「経年劣化」が直接原因に繋がっている。(国)は国報告を意味する。)

(国) <2004年8月:美浜3号:二次系配管破断事故>

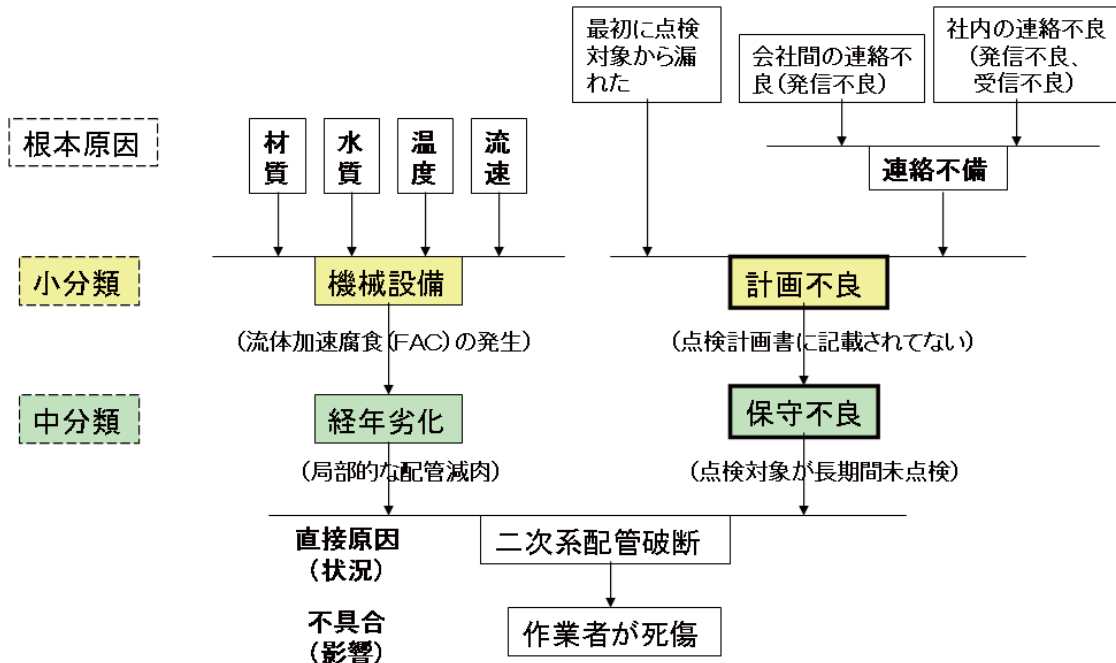


図 11 原因の重複形態が並列型の例 (中分類の原因「保守不良」と「経年劣化」が並行して存在し直接原因に繋がっている。小分類の根本原因も並列に影響している。(国)は国報告を意味する。)

の連鎖」として原因だけが示されているので、事象全体の原因の流れが簡潔に表示され、連鎖を切る点や対策を打つ点が判り易くなる。

類似の表示方法に「いきさつダイアグラム」⁽⁸⁾な

どがあるが、これらは事象も表示しており、問題点を簡潔に示す点ではこの表示方法の方が優れていると考える。

図 9～図 12 の表示例から、原因の重複状況は、複

＜2004年10月：柏崎刈羽4号：原子炉付属建屋における火災報知器の発報＞

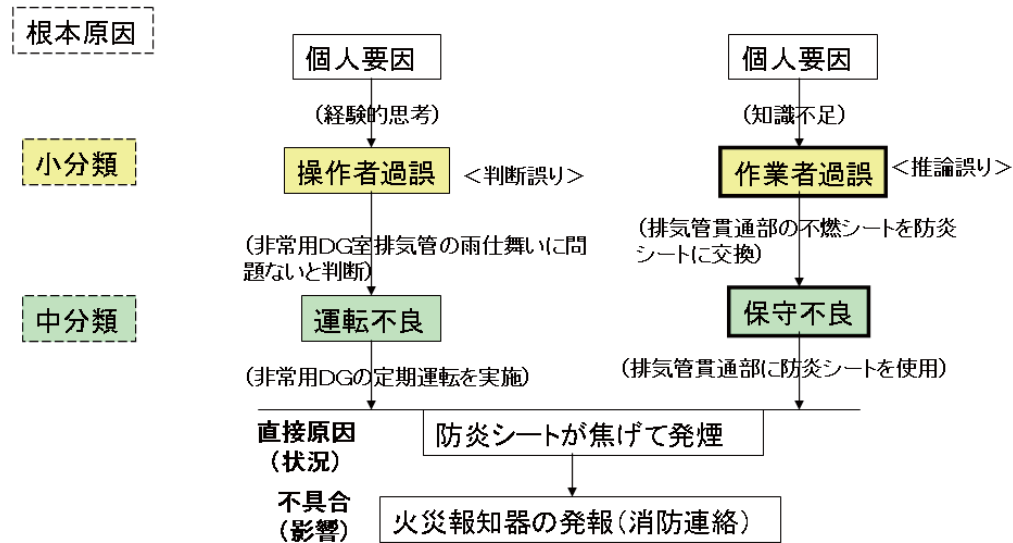


図12 原因の重複形態が並列型の例（中分類の「保守不良」と「運転不良」が並行して存在し直接原因に繋がっている。）

数の原因が直列に繋がっている場合と複数の原因が並行している場合の2種類の重複形態の組み合わせで表現できることが判る。これら2種類の重複形態は次のように定義する。

- ①直列型：潜伏している先行原因が後発の起因原因に影響を与えて不具合として健在化する。
- ②並列型：潜伏している先行原因と別の起因原因が独立並行して存在し、両方の原因がある時点で正常限界を越えて顕在化する。

表示例は主に中分類での直列型と並列型の重複例を中心に示した。

どちらの重複形態でも、どちらかの原因がなければ不具合が発生しなくなる点は共通している。

本研究では、公開されている報告内容を第三者的に分析している関係上、実態とは異なる重複状況を示している可能性がある。この点は、不具合の当事者（発電所の不具合究明の関係者）であれば正確に表示することができる。

表示例から伺えることは、潜伏している先行原因（顕在化すれば不具合）が顕在化するには新たに後発の起因原因が必要であり、後発の起因原因が加わらない限り潜伏している先行原因は永久に不具合として顕在化しないことである。このことから、起因原因となりそうな要因を誘起しない工夫により不具合の発生を防止する発想が生まれるが、具体的な起因

原因の防止手段は今後の課題である。

5. 結言

本研究では、ニューシア⁽¹⁾に掲載されている2003～2005年度の3年間に国内原子力発電所で発生している不具合について原因の重複状況を分析し、次の結果を得た。

- (1) 一般的な原因分類項目に相当する中分類区分で見るとき、軽微な不具合の原因重複度は8%程度であるが重大性の高い不具合の原因重複度は17%と高くなっており、原因が重複すると重大性の高い不具合に繋がりが易いことが判った。
- (2) 国に報告されている不具合の設備と運用の割合は6:4であるが、国に報告されていない軽微な不具合はほぼ逆の割合を示しており、国に報告されている不具合には運用面の不具合が十分に記載されていない可能性のあることが判った。
- (3) 不具合に至る原因の重複形態には直列型と並列型があり、原因が複数ある場合の重複形態はこれらの組み合わせで表現できる。
- (4) 原因が複数ある場合は、原因の相互関係を整理して原因の連鎖だけで表示すると、不具合全体の流れが簡潔に示され判り易くなる。
- (5) 公開情報の範囲では、保守不良と運転不良の原

因を小分類区分で見ると、その半分以上は単一原因であり、人的過誤である作業者過誤や操作者過誤に対する背後要因の影響割合も33%と45%でそれ程多くはない。この結果には、人的過誤に対する背後要因の記載が十分でなく実態が反映されてない可能性が推測されるので、今後、根本原因分析が進んで人的過誤の背後要因や組織要因が詳細に究明され公開されることによって、より精確に評価されることが期待される。

文献

- (1) 経済産業省 原子力安全・保安院 原子力安全管理課編, “原子力施設運転管理年報,” (独) 原子力安全基盤機構, (2007).
- (2) 原子力施設情報公開ライブラリー (<http://www.nucia.jp/>), (中) 日本原子力技術協会.
- (3) 原子力発電技術機構 原子力安全解析所, “平成11年度 PWR プラントの出力運転時レベル IPSA に関する報告書,” INS/M99-26, (2000).
- (4) Southern California Edison, “Individual Plant Examination Report for San Onofre Nuclear Generating Station Unit2 and 3 in Response to Generic Letter 88-20,” Submittal Document, (April,1993).
- (5) 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], p.434, (2007).
- (6) Frank H. Hawkins, “Human Factors in Flight, 2nd Ed.,” Avebury Technica, (1993).
- (7) K. Takagawa, T. Miyazaki, A. Gofuku, “Human Error Analysis on Adverse Events That Reported from Japanese Nuclear Power Plants as Maintenance Errors,” ISSNP, July9-17, Wakasa-wan Energy Research Center, Tsuruga, Fukui, Japan, p.30, (2007). [CD-ROM].
- (8) 行待武生, “ヒューマンエラー防止のヒューマンファクターズ,” p.113, テクノシステム, (2004).