

原子力安全における不適合事象の要因分析に関する研究

品質マネジメント研究

5208C069-9 根本拓也
指導教員 棟近雅彦

Method of Analyzing Factors Contributing to Non-conformance in Nuclear Industry

NEMOTO Takuya

1. 研究背景と目的

地球温暖化対策などで、電気事業における原子力発電の重要性が増してきている。しかし、1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故や1999年の東海村JCO原子力臨界事故のように、放射能漏れ事故が発生した場合の人的・環境的被害は甚大であり、安全の保証は最優先課題である。

一方、原子力発電所における人的過誤に起因する事故・トラブル(以下、不適合事象)の発生件数は減少傾向にはなく、組織のマネジメントシステムや仕組みに関する要因(以下、組織要因)、あるいは安全文化・組織風土の劣化が背景に存在しているものが多くみられる[1]。また、原子力安全・保安院の指摘結果によると、電気事業者(以下、事業者)の不適合事象要因分析では、マニュアル上の欠落、設備の故障、作業員の不注意といった表面的、顕在的な要因の特定にとどまり、組織要因を中心とする潜在的な要因(以下、根本原因)の特定は十分に行われていない。

このような背景から、通商産業省(現、経済産業省)発令の規制の中で、根本原因分析(Root Cause Analysis 以下、RCA)の実施が要求された。RCAとは、事故が発生した技術的なメカニズムだけでなく、その背後に隠れている根本原因を特定し、その是正により類似の事故が二度と発生しないように対策を講ずるというものである。

しかし、要因分析による根本原因の特定とその是正による保安活動の改善は容易ではなく、多くの事業者において試行錯誤が繰り返されている。そこで、本研究では、効果的に根本原因の特定が行えるよう、要因分析方法を提案することを目的とする。

2. 現状の問題点と本研究のアプローチ

2.1. 要因分析の際の問題点

RCAのステップは、1)分析対象の抽出及びスクリーニング、2)分析チームの決定と計画の策定、3)事象の把握と問題点の整理、4)分析の実施及び組織要因の検討、5)対策の検討・実施、6)対策の有効性評価で構成される[1]。中でも、要因分析のステップである3)と4)が、特に重要であり、4)では連関図を作成して根本原因の特定を行う。しかし、表1に示す3つの問題が生じており[2]、根本原因の特定が困難となっている。

表1 要因分析の際の問題点

1	組織要因の抽出を意識して、要因を一般化しすぎてしまうことで、安全文化へ飛躍してしまう
2	その原因は何かという迫り方をせず、事実を細かく記載するだけで、問題点の抽出に至っていない
3	対策ありきという前提で分析が行われ、事象に対して要因が適切に分析されていない

連関図において、因果関係が飛躍したり、そもそも因果関係が成立していなかったりと、論理的に正しく因果関係を記述することができていないため、本来特定すべき根本原因の特定に至らない状況となっている。そこで、本研究では、図1に示す要因の連関構造[1]にしたがって、各要因とその連関を明らかにするための分析方法を提案することで、1から3の問題の解消を目指す。

図1におけるトップ事象とは、「不適合事象発生を引き金となった機器の破損や人的過誤」、直接要因とは、「設備・機器などの固有技術に関する要因や、手順書などのソフトウェアに関する要因、人的要因、環境的要因」、安全文化・組織風土要因とは、「組織内における人の行動様式や習慣、思想に関する要因」、外部環境要因とは、「組織行動に対して影響を与えた組織外の要因」である。

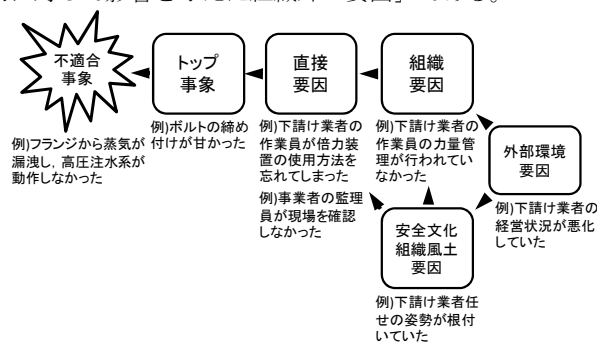


図1 要因の連関構造

2.2. 直接要因分析方法を導出するためのアプローチ

RCAにおける分析対象の抽出、スクリーニングは、以下の基準[1]にしたがって行われる。

- 重大な事故や保安規定違反
- 安全機器多重故障等の法令に基づく報告事象
- 類似性があるものや頻発傾向があるもの
- 事業者が自ら危険性を認識したもの

事業者Aは、2005年から2008年の間に、16件の不適合事象に対してRCAを実施した。そこで、16件の不適合事象の背景には、どのようなトップ事象や要因が存在しているかを把握するために、不適合事象報告書を確認し、図1の要因の連関構造にしたがって、トップ事象と要因の分類を行った。不適合事象報告書には、不適合事象の結果や発生に至るまでの過程、関連する規定・マニュアルの詳細、要因の分析結果が書かれており、数十ページから多いものでは百ページにも及ぶ。

その結果、16件の不適合事象のトップ事象は、①固有技術に関する不具合、②非常作業中の人的過誤、③非常作業中の人的過誤、④不適合事象発生後の処置の不備の4パターンに分類されることがわかった。非常作業とは、

定期点検や保守工事など、ある特定期間にしか行わない作業のことを指し、定常作業とは、運転管理など、毎日定期的に行われる作業のことを指す。それぞれのパターンに該当するトップ事象の件数を表 2 に示す。

表 2 トップ事象のパターンと件数

トップ事象のパターン	件数
① 固有技術に関する不具合	4
② 非定常作業中の人的過誤	12
③ 定常作業中の人的過誤	2
④ 不適合事象発生後の処置の不備	2

さらに、トップ事象のパターンによって、背後に存在する直接要因に違いがあることもわかった。したがって、トップ事象のパターン別に分析することで、数多くある直接要因の絞り込みができ、効率的に直接要因分析を行うことが可能になる。そこで、本研究では表 2 のトップ事象のパターンに着目した直接要因の分析方法を導出する。

2.3. 組織要因分析方法を導出するためのアプローチ

2.2 で示した RCA 適用対象の不適合事象の背後には、組織要因が存在する可能性が高い。日本では、事業者において、「品質マネジメントシステム(以下、QMS)を確立し、適格な保安活動を実施すること」が規制上要求されており、各事業者は、この要求を具現化した品質保証規程(以下、JEAC4111)に基づいて QMS の構築を行っている。すなわち、不適合事象が発生するという事は、この QMS を構成するプロセスに問題があるということであり、RCA では、組織要因の分析として、QMS プロセスに関する要因(以下、QMS プロセス要因)を明らかにする必要がある。

また、代表的な組織要因を示したものに、日本原子力安全基盤機構(以下、JNES)が作成した JNES Organizational Factors List(以下、JOFL)がある。JOFL は、JEAC4111 の附属書である「根本原因分析に関する要求事項の適用指針」に掲載されており、RCA 実施者に広く参照されている。しかし、JOFL で示されている組織要因と QMS プロセスの対応関係は明確ではないため、JOFL を用いて分析を行っても、QMS 要因を把握することができない。

そこで、本研究では、組織要因を QMS プロセスの観点から分析することで、QMS のどこに問題があったかを明らかにし、より直接的に QMS を改善するための組織要因分析方法を導出する。

3. 要因分析方法の提案

3.1. 直接要因分析方法の導出

3.1.1. 固有技術に関する直接要因

事業者 A で発生した不適合事象 16 件のうち、4 件が固有技術に関する不具合が起因して発生していた。例えば、制御装置のデジタル信号の誤作動が発生したために、天井キャスククレーンが停止し、使用済み核燃料の搬出ができなくなってしまったという不適合事象や、電磁クラッチ内の回路の設計ミスにより、二重扉が同時に開いてしまい、運転上の制限の逸脱が発生したという不適合事象である。二重扉の不適合事象に関しては、固有技術に関する直接要因の特定を誤り、誤った応急処置、是正処置を実施したことで、約 1 ヶ月間に、5 回の不適合事象が発生した。

このように、固有技術に関する直接要因の特定を誤った場合には、短期間に繰り返し不適合事象が発生し、製品や

サービスを安定して供給することが難しくなる。したがって、設計や製造・工法、評価、材質・材料などの固有技術に関する直接要因は、何よりも先に優先して分析し、正しい応急処置や是正処置を実施する必要がある。

3.1.2. 作業中の人的過誤に関する直接要因

2.2 で述べたとおり、非定常作業と定常作業中に発生した人的過誤の背後に存在する直接要因は異なる。非定常作業中の人的過誤の背後には、仕様書などの計画文書や事前打ち合わせに関する直接要因が多く存在していたのに対し、定常作業中の人的過誤の背後には、当直員の誤認や見逃しに関する直接要因が多く存在していた。

保守工事などの非定常作業は、事業者だけでなく、請負会社や工事施工会社など、複数企業の担当者が共同で作業を行う。また、作業ごとに、工程表や仕様書などの計画文書が作成される。これに対し、定常作業は、事業者の要員がすべて作業を行い、計画文書が作成されることも少ない。したがって、非定常作業と定常作業中に発生した人的過誤の背後に存在する直接要因が異なる理由として、非定常作業と定常作業の業務特性の違いが考えられる。

そこで、本研究では、事業者 A の社内文書調査とインタビュー調査を行い、非定常作業、定常作業のプロセスを明らかにし、その相違点から直接要因を分析するための視点を導出する。さらに代表的な直接要因を視点ごとに整理するため、不適合事象 16 件と従来研究[4]から、代表的な直接要因を抽出した。(図 2)

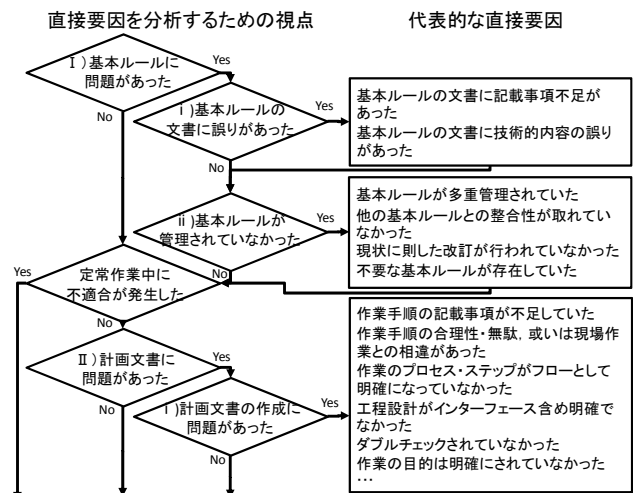


図 2 人的過誤に関する直接要因を分析するためのフロー

3.1.3. 不適合事象発生後の処置に関する直接要因

事業者 A で発生した不適合事象 16 件のうち、2 件は不適合事象発生後の処置に不備があり、その影響が拡大したものであった。不適合発生後の処置は、暫定的に現象の除去を行う応急処置、完全に原因の除去を行う是正処置、類似した不適合事象が発生しないよう、その原因の除去を行う予防処置がある。したがって、これらいずれかのプロセスに問題があった場合に、不適合事象の影響が拡大する。そこで、本研究では、ISO9001 における是正処置と予防処置の要求事項を参考にして、不適合発生後の処置に関する直接要因を分析するための視点を導出する。さらに、3.1.2 と同様、事業者 A の不適合事象 16 件から代表的な直接要因を抽出し、不適合事象発生後の処置に関する直接

要因を分析するためのフローを作成した。

3.2. 組織要因、安全文化・組織風土要因、外部環境要因分析方法の導出

3.2.1. 組織要因

QMS プロセス要因の観点から組織要因の分析を行うためには QMS の全体像を把握する必要がある。そこで、日本における 18 原子力発電所の保安規定と、事業者 A の社内文書を調査し、QMS の全体像を把握した。保安規定とは、JEAC4111 に基づいて、事業者が原子力発電所の運転に必要な保安活動事項を明記したものであり、QMS を定めた品質保証計画が記述されている。調査の結果、「調達管理」、「内部監査」、「マネジメントレビュー」など、計 72 の QMS プロセスを把握した。

また、原子力安全を保证するためには、製品・サービスの継続的改善だけでなく、QMS の継続的改善も必要となる。さらに、原子力産業を取り巻く環境は絶えず変化するため、事業者はその環境に合わせて、持続的に QMS を改善する必要がある。そこで、本研究では持続可能な成長を確かにするための質マネジメント規格である JIS9005 を参考にし、QMS の全体像(図 3)を把握した。これらの QMS プロセスが正しく構築され、運用されていたかという観点で組織要因の分析を行うことが有用であると考えられる。

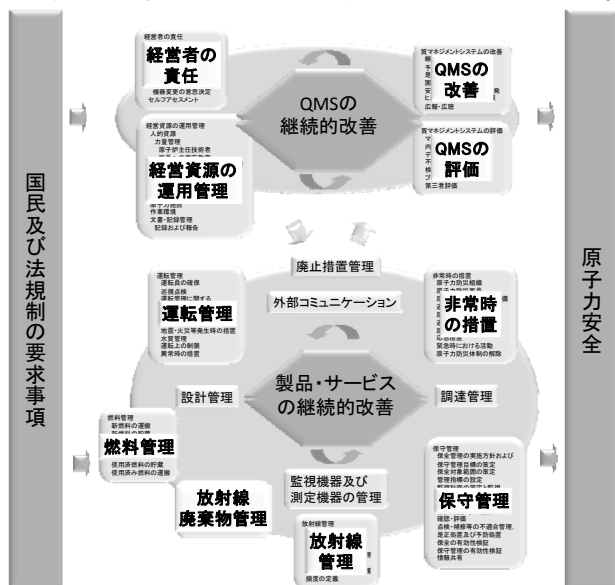


図 3 原子力安全を保证するための QMS 全体像

さらに、ある特定の直接要因の背後に存在する可能性が高い QMS プロセス要因が予め分かっているならば、RCA 実施者が効率的に要因分析を行なうことができる。そこで、事業者 A の不適合事象 16 件の分析から、特定の直接要因の背後に存在する可能性が高い QMS プロセス要因を明らかにした。(表 3)

3.2.2. 安全文化・組織風土要因、外部環境要因

安全文化・組織風土要因とは、「組織内における人の行動様式や習慣、思想に関する要因」であるが、事業者 A の不適合事象報告書において、安全文化・組織風土要因まで抽出されているものは少なく、事例分析から代表的な安全文化・組織風土要因を示すことは難しいことがわかった。そこで、本研究では、JNES、電力中央研究所、世界原子

表 3 直接要因と QMS プロセス要因の対応表

直接要因	QMS プロセス要因	QMS の継続的改善							
		経営者の責任							
		ミットメント	原子力安全の重視	品質方針・目標の計画	品質マネジメントの確立	組織体制と意思決定に関与	機器・システムと原子力安全	原子力安全のメンバース	セルプロセス
a) 計画段階に問題があった	i) 基本ルールに問題があった	●	●	●	●	●	●	●	●
	ii) 基本ルールが管理されていない								●

力発電事業者協会などの研究機関が提唱する安全文化要素を参考にして、直接要因や組織要因の背後に存在する可能性が高い安全文化・組織風土要因一覧表(表 4)を作成した。また、外部環境要因については、JNES が提唱する「経済状況」、「規制スタンス」、「世評」、「組織間関係(外部コミュニケーション)」を分析すべき外部環境要因とし、一覧表を作成した。

表 4 安全文化・組織風土要因一覧表

レベル	安全文化・組織風土要因
組織	組織間の良好なコミュニケーション
	組織間の責任の明確化
	職場における上下の信頼関係
	技術伝承
	上意下達(反意)
	暗黙知(反意)
個人	ルール・標準の遵守
	態度・意欲
	仕事に対するやりがい・誇り
	安全に対する積極的な意識
社会	安全に対する積極的な行動
	プロ意識・自信過剰(反意)

3.3. 提案方法

3.1 と 3.2 の結果から、RCA のステップ 3)、4)にて行う要因分析方法を、以下のように提案する。

【手順 1 時系列による事象の整理】

いつ、どこで、誰が、何をしていたのかを調査、整理し、トップ事象を明らかにする。

【手順 2 不適合事象のパターン分けと直接要因分析】

トップ事象が、どのパターンに該当するかを把握し、図 2 で示したフローにしたがって、直接要因を抽出する。

【手順 3 QMS プロセス要因分析】

直接要因・QMS プロセス要因対応表(表 2)を用いて、直接要因の背後に存在する QMS プロセス要因を抽出する。

【手順 4 安全文化・組織風土要因、外部環境要因分析】

安全文化・組織風土要因、外部環境要因一覧表(表 3)を用いて、直接要因、QMS プロセス要因の背後に存在する安全文化・組織風土要因、外部環境要因を抽出する。

【手順 5 要因連関図の完成】

手順 4 までで抽出された要因の連関について、俯瞰的に全体を見渡し、単なる事実の詳細化など、論理的に誤った因果関係がないかを確認し、要因連関図を完成させる。

3.4. 提案方法の適用

提案方法を事業者 A で発生した不適合事象 3 件に適用し、2.1 で示した要因分析の際の問題点が解消されるかを評価項目として、効果を確認する。また、2.3 で示したように、提案方法を用いることで、より直接的に QMS の問題を明らかにすることができると考えられるため、抽出さ

れた QMS プロセス要因の数も評価項目とする。事業者 A が独自に行った分析結果と提案方法の適用結果を表 5 に示す。×は該当する問題が存在していたことを表す。

表 5 事業者 A の分析結果と提案方法適用結果

評価項目	A社分析結果			提案方法適用結果		
	事象1	事象2	事象3	事象1	事象2	事象3
1 安全文化に飛躍	×	○	○	○	○	○
2 因果関係ではなく 事実の詳細化	×	○	×	○	○	○
3 対策ありきの要因抽出	○	×	○	○	○	○
4 QMSプロセス要因の 抽出数	7	2	4	10	3	5

事象 1 は、配管の誤接続という非正常作業中の人的過誤が原因で、放射性気体廃棄物が外部に流出した不適合事象である。当初予定していた配管に変更があったのにもかかわらず、その変更が設計図に反映されなかったために、誤接続が発生した。これについて、事業者 A の分析過程では、「1.安全文化に飛躍」の問題が存在していた。

事業者 A の分析結果では、設計会社の担当者が設計図を変更しなかった要因として、「日頃から事業者と設計会社、施工会社のコミュニケーションが不足していた」という安全文化・組織風土要因が抽出されていた。しかし、これは因果関係が飛躍していると考えられる。これに対し、提案方法では、設計会社の担当者が設計図を変更しなかった要因として、「設計会社の担当者が多忙で、他の施工会社との連絡のやりとりを優先していた」という要因が抽出され、さらに「設計会社において適切な要員数の確保ができていなかった」という調達管理に関する QMS プロセス要因が抽出された。したがって、提案方法により、「1.安全文化に飛躍」という問題が解消され、さらに QMS の問題も明らかにすることができた。

同様に、他事例でも、2.1 で示した 2 や 3 の問題点の解消を確認し、QMS プロセス要因抽出数の増加も確認した。例えば、事象 1 について、事業者 A の分析結果では、「放射性廃棄物管理」に関する QMS プロセス要因など 7 の QMS プロセス要因が抽出されたが、提案手法適用結果では、これらに加え、「デザインレビュー」など、計 10 の QMS プロセス要因が抽出され、より多くの QMS プロセスの問題を明らかにすることができた。

以上より、本提案方法を適用することで、要因分析の際の現状の問題点が解消され、QMS の問題を明らかにすることができることを確認した。

4. 考察

4.1. 提案方法の有用性

これまで、要因分析の際には、4M や m-SHEL の視点が用いられることが多かったが、自由度が高いため、どれだけ効果的に要因の抽出が行えるかは、RCA 実施者の力量に依存していた。本研究では、トップ事象のパターンに着目し、原子力発電所における業務プロセスや ISO9001 の要求事項から直接要因を分析するための視点を導出することにより、RCA 実施者に定型的な分析の視点を与えた。これにより、RCA 実施者の力量に依存しない分析が可能となる。また、事業者 A で発生した 16 件の不適合事象と文献から抽出された 126 の代表的な直接要因を予め提示することで、RCA 実施者はそれらの直接要因の有無を、順に一つ一つ確認すればよく、抜けのない直接要因分

析を行うことが可能になる。

しかし、本提案方法について、事業者 A のヒューマンファクターの研究者から、「分析の観点や代表的な直接要因を予め提示することで、RCA 実施者が先入観を持ってしまい、提示されている要因に誘導されてしまう恐れがある。逆に、m-SHEL など自由度の高い分析の視点を用いることで、これまで見えていなかった要因が浮かび上がってくることもある。」という意見が上がった。このように、本提案方法には、メリットもデメリットも考えられ、その使用方法に十分注意する必要がある。

本提案方法が有用なケースとして、RCA を行う初心者への教育ツールとしての活用や、m-SHEL を用いて要因分析を行った後の、抽出した要因や分析の視点の抜け漏れのチェックツールとしての活用が考えられる。

4.2. QMS に対する対策の立案

これまでの要因分析では、顕在化している直接要因の分析に留まり、組織要因などの根本原因の特定までに至らないものが多く見られた。そのため、「安全に対する意識を高めるよう、担当者に対して教育を実施する」や「常に問いかける姿勢を忘れぬよう、指差し呼称を実施する」など、個人に対する対策の立案が目立っていた。

しかし、継続して原子力安全を保証していくためには、組織全体で QMS を構築・運用し、PDCA サイクルを回す必要がある。本提案方法では、直接要因だけでなく、QMS の観点から組織要因の分析を行うことで、どの QMS プロセスに問題があったかを明らかにすることができ、より組織内のシステムやプロセスに着目した対策の立案が可能になる。しかし、本提案方法では、QMS の観点から組織要因を分析することとしている。組織のマネジメントシステムとしては、他にもリスクマネジメントシステムや衛生安全マネジメントシステムなどがあり、これらの観点は含まれていないことに留意する必要がある。

5. 結論と今後の課題

本研究では、トップ事象のパターンや QMS の観点から、直接要因と組織要因を分析するための方法を提案した。そして、提案方法を不適合事象の要因分析に適用し、要因分析の際の問題点が解決することを確認した。今後は、提案方法をより多くの不適合事象に適用し、効果的に根本原因の特定が行えるか検証を行う必要がある。

参考文献

- [1]JEAG4121(2009)：「原子力発電所における安全のための品質保証規定(JEAC4111-2009)の適用指針・原子力発電所の運転段階」、日本電気協会 原子力規格委員会
- [2]第 27 回原子炉安全小委員会安全管理技術評価ワーキンググループ議事録 <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0003705/gijiroku27.pdf> 2011.1.20 現在
- [3]中條武志(1993)：「ヒューマンエラー事例の分類に基づく作業管理システムの評価」、「品質」、23、[3]、p.309- p.317
- [4]I.Schoenfeld、E.Trager、NRC Project Managers (2001)、"THE HUMAN PERFORMANCE EVALUATION PROCESS: A Resource for Reviewing the Identification and Resolution of Human Performance Problems"