

# 海外トラブル分析から学ぶコンフィグレーション管理について

## Configuration Management Learning from Operation Experience Analysis

田中 秀夫 (Hideo Tanaka) \*1

**要約** リスク情報活用の実現に向けた戦略プラン及びアクションプランが国内電力事業者の連名で公表され、パフォーマンスベースのリスク情報を活用した意思決定によるリスクマネジメントを支える機能として、コンフィグレーション管理が位置付けられている。このコンフィグレーション管理の不備に関し視点を変えて分類することで、海外トラブル情報の中から是正措置を抽出する方法を提案する。少ない情報の中から少しでも気づきを得るための方法論として、トラブルの原因となる、コンフィグレーション管理の3要素の不均衡を13ケースに分類する。その3要素を具体的に選定し、視点を変え別の分類を試みることで、是正措置の十分性について評価できる可能性を示す。

**キーワード** コンフィグレーション管理, リスク, 原因, 是正措置

**Abstract** A strategic and action plan for the realization of risk information utilization have been jointly released by domestic electric power companies, and configuration management is positioned as a function that supports risk informed decision-making using performance-based risk information. This paper proposes a method of extracting corrective measures from overseas trouble information by classifying the inadequacies of configuration management from different viewpoints. As a methodology to gain as much insight as possible from the limited information available, we classify the imbalance of the three elements of configuration management, which are the causes of troubles, into 13 cases. By specifically selecting these three elements and attempting another classification from a different perspective, we show the possibility of evaluating the sufficiency of corrective measures.

**Keywords** configuration management, risk, cause, corrective actions

## 1. はじめに

コンフィグレーション管理（以下 CM と略す）は ISO9000 の 2015 年版で新たに追加された。しかし、米国<sup>(1)</sup>では、軍事・航空産業において、全体的な「設計要件」を満たしつつ、部品の互換性を促進するための製品適合性を目的とした CM が 1992 年に規定されている。それが MIL-STD-973 (1992)、であり、後に ANSI/EIA-649-1998 に置き換わっている。一方、米国原子力産業界においては、米国エネルギー省 (DOE) から原子力発電所における CM プログラムのガイド<sup>(2), (3)</sup>が 1993 年に提示された。1996 年に発生した Millstone 発電所での Spent Fuel Pool Cooling 問題で規制要件を実装する電力事業者の能力への不信から、米国 NRC が設計基準情報の管理および維持について各電力事業者に回答を求めた。この改善も含めて CM のガイダンスが原子力情報記録管理協会 (NIRMA) の ANSI/NIRMA CM-1.0-2000 (2007 年改訂版) で取りま

とめられた。

米国においては、CMBG というボランティアな組織<sup>(4)</sup>が 1993 年から始まり、CM に関する情報交換の場が設けられている。CMBG の活動のアウトプットとして、NIRMA や米国原子力発電運転協会 (INPO) のガイドの策定にも貢献している。日本からは原子力安全推進協会 (以下 JANSI と略す) 等が参加してその情報を電力間で共有している。このスタート時点が奇しくも日本においては、高経年化対策の取組がスタートした時点と同じである。美浜 1 号機の高経年化技術評価書 (30 年目の評価) を作成するにあたり、現場にある設計図書のみならず、プラントメーカー (ウェスティングハウス社と三菱重工業) に保管されていた設計図書も引用し作成している。この時点では、関西電力には原子力保全総合システム<sup>(5)</sup>はなく、ドキュメント管理についても紐づけが十分ではなく、その作業には、建設を経験し関係会社に転籍した OB の協力を得つつ、技術評価に必要な図書の整備にリソースが投入された時期

\*1 (株) 原子力安全システム研究所 技術システム研究所

であった。米国においては運転ライセンス更新の審査に必要なシステム・機器・構築物（以下SSCと略す）等の情報が必要であったことも米国内の活動を促進する原動力になっていたものと考えられる<sup>(6)</sup>。

日本においては、自主的安全性向上を目指して、リスク情報を活用した意思決定を実行するマネジメントシステムの導入を図るにあたり、それを支える機能の一つであるCMの活動を、各社それぞれに展開している。また、JANSIにおいて、プラントの機器構成管理に関するCMガイドラインが作成、改訂され、良好な取組み事例等を共有するためにCMに関するワーキングが積極的に開催され、米国CMBG会合に参加し米国等の活動についても情報が共有されている。

米国CMBG会合<sup>(6)</sup>において、INPOは、2011年からの推移で2016年にCMに関する改善が進んでいるとしていたものの、米国NRCの検査報告書に基づく、CM不備に対する注意喚起文書“Information Notice 2019-03: Inadequate Implementation of Clearance Processes Results in Configuration Control Issues”<sup>(7)</sup>が2019年に発行されている。さらに、Information Notice 2019-01において、一時的な設計変更についても指摘されており、これもCM不備と考えられる事象である。それを受けて、2019年度の米国CMBG会合において、INPOは微かな兆候を見逃すべきではないとして、技術管理者に対し、意思決定に関するリスクの適切な特定と管理を確実に実行するため、また、設計変更や機器の劣化評価の想定が正しいことを確認するため、課題に向き合うべきであると警笛を鳴らしている。

## 2. CM不備とは何か

CMは、原子力発電所の系統・機器・構築物（以下SSCと略す）が設計で要求したとおりに製作・設置され、運転・維持されていることを常に確認、保証する仕組みであり、事業者がプラントを運転・維持管理していくために必須の管理プログラムである。具体的には、各SSCについて以下の3つの要素がきちんと整合していることを維持し、管理していく必要がある。その3要素について米国CMBGでの議論に基づいて具体的に何であるかを考えてみる。

まず、「設計要件」の捉え方である。米国CMBGでは、設計要件ではなく、要件として、最終設計に反映されるライセンスプロセスまたは契約から派生した技術要件であると定義している。具体的には、

- ・施設がその機能を実行するために必要なライセンスの特性とパラメータ（ライセンスベースと呼ばれる）
- ・要件はさまざまなソースからもたらされる。NRCの規則、労働安全衛生局、州法、管理方針、デザインの好みなど
- ・特に新設の場合、契約で指定された所有者の要件

とされている。この所有者（電力事業者）の要件、例えば、サンオノフレ発電所の蒸気発生器取替え後のトラブル問題<sup>(8)</sup>にあるように、性能向上を電力事業者の要件とした場合がそれに当たる。過度な性能向上を求められたため、従来にない設計を実施したにも拘らず、実証試験をせずに納品せざるを得ない状況になり、そのことで疲労損傷を多発させることとなった事例である。これは「客先要件（設計要件）」を反映した「物理的構成」に疲労損傷を起こさせないという「設計要件」が反映されなかったCM不備の事例である。「設計要件」が設計基準情報\*1のみではないことに注意が必要である。（\*1：設置許可・工認・保安規定とその技術的根拠書）

ここで、「設計要件」を保守管理でよく使われる言葉に変えて考えると、規制要件、T-Spec.、安全設計、基本設計、詳細設計、製造設計、施工設計等が考えられる。さらに、定期検査時の工程と場所の設定に当たっての調整である工程設計も考えられる。例えば、火災防護の観点では、定期検査時の可燃物保管場所の設定が課題になるからである。このように、「設計要件」を設計基準情報のみとはせず、広くとらえることで、保安活動のどの設計段階の要求事項であるかという視点を持って、下流側の「施設構成情報」や「物理的構成」との不均衡を検討することが大切である。

次に、「施設構成情報」については品質管理システム（以下QMSと略す）で文書化が義務付けられている情報に含まれているので改めて考え直す必要はない。なお、トラブル対応等でメーカーや協力会社からの技術図書が必要となる場面があれば、それを「施設構成情報」に加える必要があるが、必ずしも電力事業者で全てを保管しておく必要はないと言われている。

最後に、「物理的構成」については、“実際にそこにある設備・機器”として示されることが多い。しかし、設計基準情報には、シビアアクシデント（以下SAと略す）対応要員の員数だけでなく、資格や

所在地までも規定されている。例えば、これも「設計要件」である。そのように考えると、SA対応番号を「物理的構成」と考えることで、持ち場を離れた行為は、「物理的構成」が「設計要件」と不均衡となっていることに気付く。また、対象範囲をもう少し拡大すると、重機取扱いの能力についての資格も「設計要件」となり得る。万一、SA対応の審査の中で示した技能を持つ人材が所定の時間内に発電所で作業が着手できないとすれば、それも「設計要件」が「物理的構成」に反映されていない場合となり得る。

「物理的構成」のSSCが経年劣化で機能が低下する事象をCM不備に含めたのと同じように、技能が求められる要員が「物理的構成」要素となっている場合は、技能の維持、技術継承もプラント運転の重要なポイントである。運転管理における運転員の技能が適切でなければプラントは運転できないが、その他の管理においても、技能を求められる。最近の動向として、IAEAのSALTOピアレビュー<sup>(9)</sup>では、領域AにおいてConfiguration/modification management and design basis documentationがあり、また、領域F:Human resources, competence and knowledge management for LTOの確認ポイントとして、“Does the plant have a process to ensure competent human resources for LTO including external support?”がある。技能を含むとする「物理的構成」が非物理的な知識まで拡大する状況があるので、注意が必要である。安全性を向上させていくためには、要求される機能に係る技能レベルを引き上げる必要があることは疑いの余地はない。その技能レベルはその環境によっても左右される。この「物理的構成」の範囲も状況によって異なり、国内においては、福島第一発電所事故前後で大きく変わった。規制基準の大幅変更やバックフィット制度導入により、福島第一発電所事故後に追加されたSSCは勿論のこと、既設のSSCでも追加された機能が適切に「施設構成情報」に反映され、保安活動がなされるようにしなければならないし、追加された要求技能が維持されるよう教育・訓練がなされた要員の確保が重要となる。

以上のように、3要素の不均衡がCM不備であるとしても、要素の捉え方や要素間の不均衡の考え方に違いがあれば、CM不備のトラブルを抽出するのに分析者の個体差が出てくるものと考えられる。微かな兆候を海外トラブル分析から抽出するためには、個

体差が大きく出ないようにする必要がある。そのため、分析時の着眼点を次に検討する。

### 3. CM不備の分類

CM不備によるトラブルは、3要素の不均衡であるので、新しい「設計要件」が追加されるのを除けば、原理的には、12通りが考えられる。1要素が他の1要素に反映されなかったケース(6通り)+1要素が他の2要素に反映されなかったケース(3通り)+2要素が他の1要素に反映されなかったケース(3通り)の合計12通りに分類できる。また、新しい「設計要件」が追加されて「施設構成情報」または「物理的構成」と齟齬が生じるケースを追加すると、13パターンに分類できる。

- ①「物理的構成」が「施設構成情報」に反映されなかった事例
- ②「施設構成情報」が「物理的構成」に反映されなかった事例
- ③「設計要件」が「物理的構成」に反映されなかった事例
- ④「設計要件」が「施設構成情報」に反映されなかった事例
- ⑤「物理的構成」が「設計要件」に反映されなかった事例
- ⑥「施設構成情報」が「設計要件」に反映されなかった事例
- ⑦「設計要件」が「物理的構成」と「施設構成情報」に反映されなかった事例
- ⑧「施設構成情報」が「物理的構成」と「設計要件」に反映されなかった事例
- ⑨「物理的構成」が「施設構成情報」と「設計要件」に反映されなかった事例
- ⑩「設計要件」と「施設構成情報」が「物理的構成」に反映されなかった事例
- ⑪「設計要件」と「物理的構成」が「施設構成情報」に反映されなかった事例
- ⑫「施設構成情報」と「物理的構成」が「設計要件」に反映されなかった事例
- ⑬新しい「設計要件」が追加され、適切に変更されなかった事例

ここで、CMの改善に注力を注いでいる米国で公開されているトラブル情報である、米国NRCから公表さ

表1 LER事例のCM分類結果

| 正       | 誤 | 物理的構成 | 施設構成情報 |     | 設計要件 |     |
|---------|---|-------|--------|-----|------|-----|
| 物理的構成   |   |       | ①11件   | ⑩3件 | ⑤4件  | ⑫2件 |
|         |   |       | ⑨9件    |     |      |     |
| 施設構成情報  |   | ⑩5件   |        |     | ⑥1件  |     |
|         |   |       |        |     | ⑧1件  |     |
| 設計要件    |   |       | ④4件    | ⑪3件 |      |     |
|         |   |       |        |     |      |     |
| 新しい設計要件 |   |       | ⑬1件    |     |      |     |

れているLicense Event Reportを用いてCM不備の分類を試みた。分析したデータは、2020年1月1日から2022年8月1日までに発生した314件を対象に分析した。限られた情報から、設計要件・施設構成情報・物理的構成を特定し、CM不備と抽出できたのは、84件であり、全体の27%であった。その結果を、表1に示す。全ての分類に対し当てはまる事例はあり、分類分布から、「設計要件」が「物理的構成」と「施設構成情報」に反映されなかった事例：分類⑦が断然多く、「物理的構成」と「施設構成情報」との不整合：分類①と分類②を合わせると過半数を超えている。

このCM3要素の不均衡な状態について、上流を「設計要件」、その下流を「施設構成情報」とし、「物理的構成」を含めた13分類を今一度解説する。

図1に、設計要件と施設構成情報との関連を図示し、視点の捉え方を示す。発電所を運営する上での活動を単純化して、規制審査段階、各種設計段階および

現場施工・運用段階に分けて、設計要件と施設構成管理情報の一部を整理した。図中の視点(1)からでは、安全設計を「設計要件」とした場合、製造設計の図面類は「施設構成情報」と整理でき、視点(2)からでは、製造設計を「設計要件」とした場合は、作業設計の作業要領書は「施設構成情報」と整理できる。何を上流(要件)と考え、反映されるべき下流(情報)がどれかで、表1の分類のどこに当てはまるのかが変わる。

また、正しく構成された要素が他の要素に正しく反映されていないという不均衡を上流から(トップダウン)と下流から(ボトムアップ)そして、中間領域から上下方向(ミドルアップアンドダウン)へと視点を向けた3ケースに13分類を整理した。

[トップダウン]

分類④「設計要件」が「施設構成情報」に反映されなかった事例；安全設計に基づく「設計要件」が

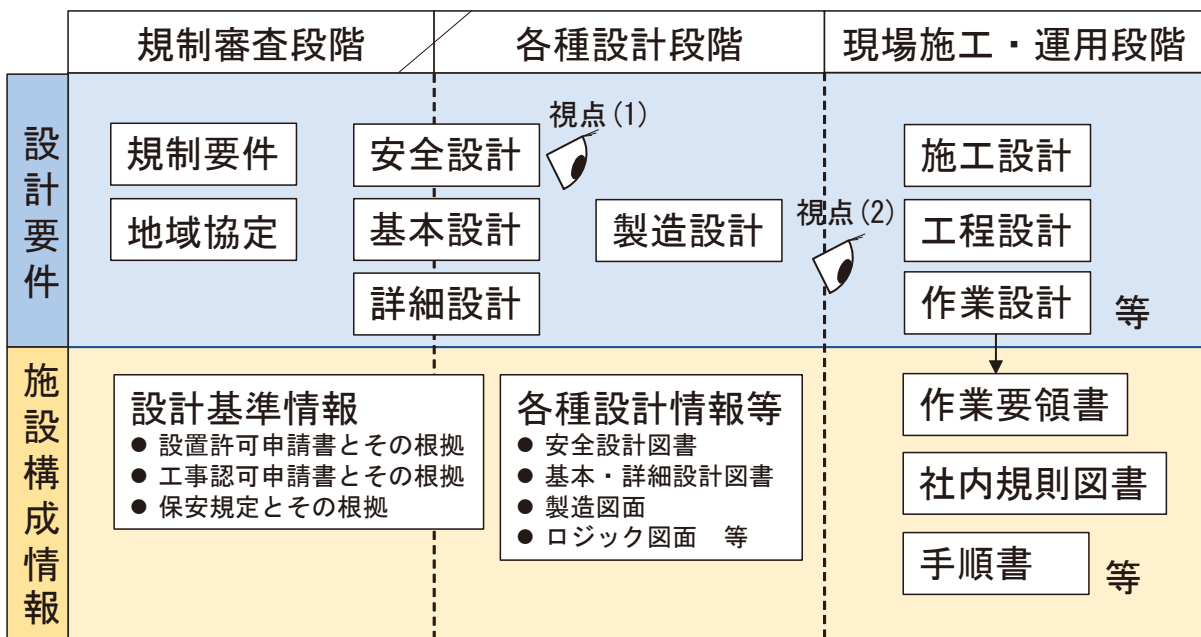


図1 設計要件と施設構成情報との関連



上流だとすれば、それが反映されていない「施設構成情報」とは、基本設計・詳細設計・製造設計・施工設計（定検時の分解点検手入れも含む）、それに基づく作業要領書・手順書、社内ルール等がある。施工設計を「設計要件」とすれば作業要領書が「施設構成情報」となる。定められた「設計要件」が「物理的構成」に影響を与えないか、もしくは既に反映されている場合で、「施設構成情報」に反映されていない場合がこのケースになる。

分類②「施設構成情報」が「物理的構成」に反映されなかった事例；「施設構成情報」に整合した「物理的構成」にすることがQMSで求められているが、多く見られる事例としては、手順書にない操作をした場合がそれに当たる。

分類③「設計要件」が「物理的構成」に反映されなかった事例；「設計要件」が「施設構成情報」に反映できていても、「物理的構成」までは反映できていない場合である。例えば、締結ボルトのトルク管理において、製造メーカーが推奨するトルク値が規定されていて、それが作業手順書に明記されていたとしても、座面に異物が噛みこむなど、適切に嵌め込んで締め付けなかったことで、使用期間中にボルトが緩み、締結機能が満足しなくなったケースがこれに当たる。

#### [トップダウン複合影響]

分類⑦「設計要件」が「物理的構成」と「施設構成情報」に反映されなかった事例；「設計要件」が「施設構成情報」に反映されず、さらに「物理的構成」にも反映されていない場合である。安全上重要な機器が設置されている火災区画において、消防法の設置条件を満足していない煙感知器が検査で指摘されるケースがこれに当たる。

分類⑩「設計要件」と「施設構成情報」が「物理的構成」に反映されなかった事例；一つのトラブルの中に一つの原因だけではなく複合要因がある場合は、それは区別する必要があることになる。つまり、そのトラブル事象には、「設計要件」に変更した点と変更しなかった点があり、変更した点については、「施設構成情報」に適切に反映がなされたものの、「物理的構成」までは反映されず、また、それとは別の「設計要件」は変更されなかったものの、「施設構成情報」に変更が生じていて、それが「物理的構成」に反映されていなかった場合がこのケースにな

る。

#### [ボトムアップ]

分類①「物理的構成」が「施設構成情報」に反映されなかった事例；QMSが行き届いたSSCでは、「施設構成情報」に反映されていないSSCが存在することはまずないと考えられる。しかし、建設時にしか使用されないテストライン（配管・弁）が「施設構成情報」から抜け落ちているケースがある。ステンレス鋼配管の塩化物による応力腐食割れの水平展開時にテストラインに亀裂が発見された<sup>(10)</sup>。漏えい前に発見されたからよかったものの、その「施設構成情報」が抜けていれば、確認対象から外されて、貫通亀裂まで放置されていた可能性があった。海外ではテストラインからの漏洩の報告はある。そのSSCに対する保全計画がないということは管理されていないということである。美浜3号の蒸気配管破断事故<sup>(11)</sup>も検査リストから抜け落ちていたことが原因で発生した事象であることは忘れてはならない。ここで分かることは、すべてが正しく反映されているはずという思い込みを捨て、常に抜け落ちがないのかを意識していることが大切である。

分類⑥「施設構成情報」が「設計要件」に反映されなかった事例；個々のSSCの機能低下がシステム全体の機能低下に影響を与えた場合、「設計要件」を満足させるSSCの安全裕度に変化が生じた「施設構成情報」が適切に「設計要件」に反映されない場合である。美浜3号のEDG事例<sup>(12)</sup>のように、関連したロジック図を確認していなかった、つまり、「施設構成情報」であるロジック図が取替えた部品の設計に反映されていないことで、想定外の事象を引き起こした事例である。水平展開に関して、規制庁へのJANSIの回答では設計検証システムが適切であれば問題ないとしている。

分類⑤「物理的構成」が「設計要件」に反映されなかった事例；事例としては、BWRの燃料構造変更に伴い、周辺の流況を考慮して、安全解析に影響が出ないかを確認させたケース<sup>(13)</sup>があった。

#### [ボトムアップ複合影響]

分類⑨「物理的構成」が「施設構成情報」と「設計要件」に反映されなかった事例；「物理的構成」であるSSCが周辺環境変化で劣化が加速された場合、それを予測していなかった「施設構成情報」へも影響

するし、それを基にした「設計要件」にも影響する。

分類⑩「施設構成情報」と「物理的構成」が「設計要件」に反映されなかった事例；施設管理として、「物理的構成」と「施設構成情報」については連携が図られていたとしても、その状況変化を安全設計に影響を与えていた場合に相当する。SG伝熱管の劣化で施栓本数が増えた場合に、伝熱性能が低下し安全設計に影響がないかどうかを確認していないケースが考えられる。

[ミドルアップアンドダウン]

分類⑪「設計要件」と「物理的構成」が「施設構成情報」に反映されなかった事例；「設計要件」と「物理的構成」を変更させた内容を関連する「施設構成情報」に反映する際に、一部の「施設構成情報」（手順書など）への反映がなされていない場合である。

分類⑧「施設構成情報」が「物理的構成」と「設計要件」に反映されなかった事例；機器設計の変更に伴い、それに影響を受ける「物理的構成」に反映されておらず、上位の「設計要件」への影響を確認し

ていなかったことによるトラブルが発生した場合である。

[その他]

分類⑬新しい「設計要件」が追加され、適切に変更されなかった事例（「設計要件」と「物理的構成」AND/OR「施設構成情報」に齟齬が生じた事例）；バックフィット案件を含めた規制当局の要望は勿論のこと、新たな知見が「施設構成情報」や「物理的構成」と齟齬を生じた場合がこのケースになる。

ここで、同じ事象を上流からの視点と下流側からの視点で分析すると対策が変わることを示す。事例として、大飯3号機の原子炉容器上蓋の貫通部での損傷事例<sup>(14)</sup>で考えてみる。

この事象は、溶接表面にバフ研磨が施工されていない部分から応力腐食割れ（以下SCCと略す）が発生し、亀裂が貫通した事例である。建設時の購入仕様書（電力事業者要件）ではバフ研磨を指定していなかったものの、溶接部の仕上げについて、バフ研

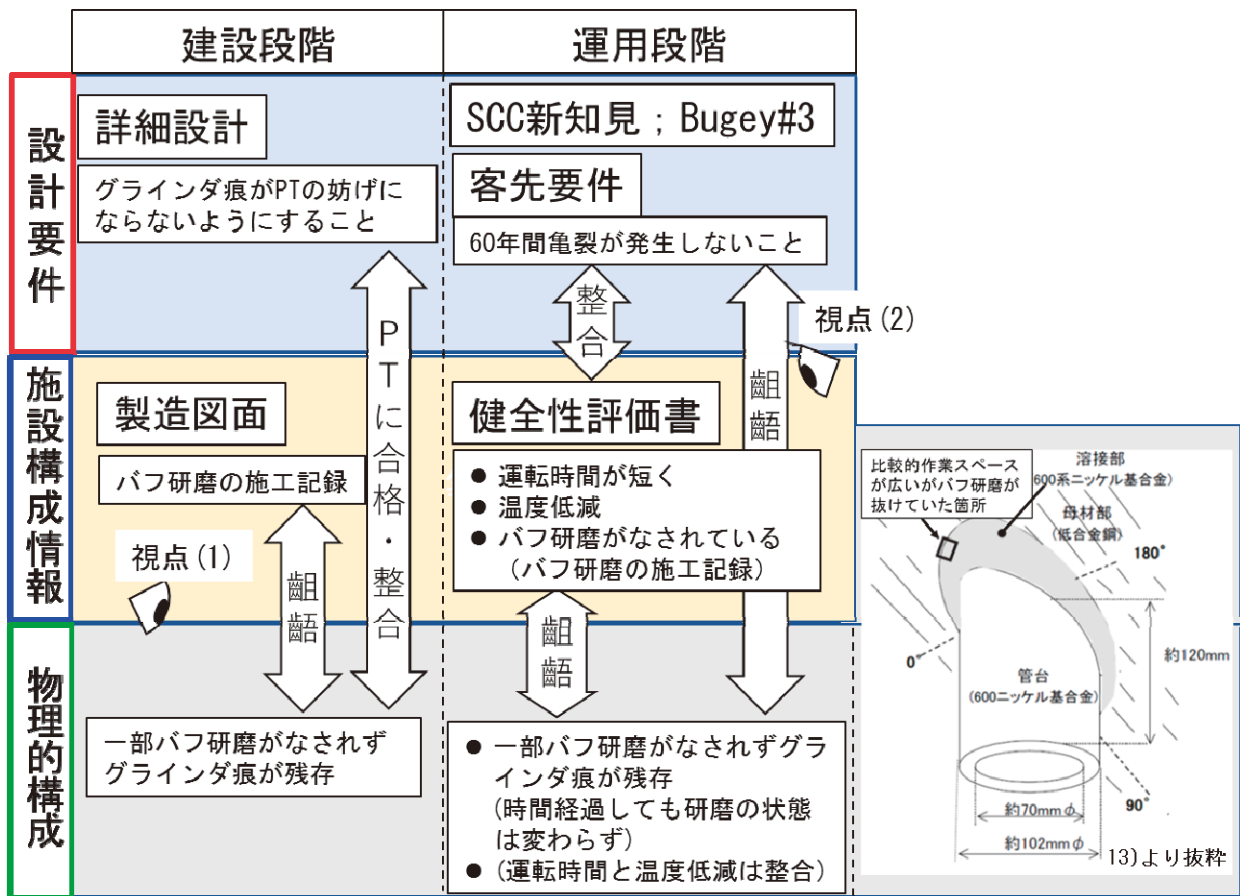


図2 原子炉容器上部ふた制御棒駆動装置取付管台からの漏洩事例の視点

磨をするように製造図面では指定され、どの箇所をどの作業員が実施したかも製造メーカーに記録として残されていた。何本もの筒状の管台を溶接する作業環境は構造上狭隘であり、丸みのある鏡板の貫通部であるため狭くなる箇所はさらに作業環境が悪いにもかかわらず、全て適切に施工された。しかし、管の反対側の比較的施工しやすい側の一部にSCC発生を防止する程度のバフ研磨がなされずに残され、その箇所亀裂が発生したものである。この事例は、製造メーカー内で考えると、「施設構成情報」である製造図面にバフ研磨が指定され、施工記録が残されていたものの、「物理的構成」としての溶接部表面にバフ研磨が反映されなかった視点(1)と考えれば、「施設構成情報」が「物理的構成」に反映されなかった事例：分類②と識別できる。一方、電力事業者は、当該部(Ni基合金)のSCC防止策として、当該プラントは使用期間が短いことそしてバフ研磨がされていることから、上蓋下部流域の温度低減策を選択し炉内バイパス流量を変更する改造工事を実施していた。その際の作成された図書(健全性評価書・工事仕様書等)が「施設構成情報」であり、それは「客先要件(設計要件)」である60年間亀裂が発生しないことを満足できるものであった。しかし、「施設構成情報」の一つである施工記録に基づくバフ研磨が健全性評価で期待したSCC防止となる程度にはかけられていなかった「物理的構成」の状態が継続していたことから亀裂が発生した視点(2)と考えれば、60年間亀裂が発生しないこととした「設計要件」と「施設構成情報」が「物理的構成」に反映されなかった事例：分類⑩と識別できる。是正措置として、原因を分類②とすると、対策は、図面通りに施工されていることを製造過程で確認する行為を追加することが考えられる。一方、原因を分類⑩とすると、対策は、図面通りに施工されていることを確認すること以外に上蓋の購入仕様書にSCC防止策として適切にバフ研磨をすることを追記することが考えられる。図2に示すように、視点によって原因の分類が異なり、対策にも変化が出てくる可能性があることが判る。そのため、分類する際に視点を変えることも大切である。

#### 4. 異なる視点からの分類

海外OE情報は国内の顛末書のような情報量はないも

の、概要・状況・原因・対策で構成されているので、少ない情報からでも視点を変えることによって、対策が異なることを確認できる(気づく)のではないかと考え、それを以下の事例で確認する。

#### 4.1 グランドガルフ発電所の事例

一つ目は、デジタルタービン制御系更新後の初回出力上昇時、65%出力で弁試験中に、制御系更新時の不十分な設計変更による空間ギャップの設計不良で速度プローブの3本中2本がタービン軸と接触して過速度トリップを出力して、主タービントリップにより原子炉自動スクラムした事例<sup>(15)</sup>を取り上げる。

原因は、タービン制御ベンダー技術者が、運転中のタービン軸の動きに関する重要な仮定を文書化または検証せずに、新しいタービン回転数監視検出器と車軸との空間ギャップ設計を確立したことである。

是正措置として3項目が実施されている。①メーカーの仕様書の技術的な厳格さと作業リスクを改訂し、発生リスクの高い設計変更のリスクパラメータ(設定値、設定、寸法)を一覧表示する詳細なテーブルの作成を要求する。②動的小よび静的挙動を考慮したタービン回転数検出器とタービン車軸との空間ギャップを35ミルから50ミルに変更する。なお、元の機器の空間ギャップ設定は47ミル。③同様の事象を繰返さないために、手順書「技術的業務のリスクと厳しさ」が改訂され、発電リスクの高い技術的変更のために改訂される発電リスクパラメータ(設定値、設定、寸法)の詳細な表を作成することを要求する。この表には、旧パラメータ、新パラメータ、許容範囲の根拠が記載され、独立第三者審査や提案検討会などに提示する。

この事例では、3要素を以下のように設定すると、元の空間ギャップ設計の設定根拠を新しい空間ギャップ設計に反映していないことにより発生したものと考えられ、⑥「施設構成情報」が「設計要件」に反映されなかった事例と分類できる。これは、詳細設計を「設計要件」とした視点(1)である。

- ✓ 「設計要件」：新しい設計に際して「運転中のタービン軸の動きに関する重要な仮定」に基づく空間ギャップ設計
- ✓ 「施設構成情報」：速度プローブとタービン軸の空間ギャップ「元の機器の空間ギャップ設定である47ミル」の設定根拠情報
- ✓ 「物理的構成」：速度プローブとタービン軸の



空間ギャップ (47ミル)

(注) 施設構成情報から見た視点で設計要件を検討する時点の物理的構成とした

別の視点では、3要素を以下のように設定すると、接触しないような空間ギャップを設計図書(メーカー仕様書含む)に反映していないことにより発生したものと考えられ、⑦「設計要件」が「物理的構成」と「施設構成情報」に反映されなかった事例と分類できる。これは基本設計を「設計要件」とした視点(2)である。

- ✓ 「設計要件」：速度プローブがタービン軸と接触しないこと(リスク)
- ✓ 「施設構成情報」：メーカーの仕様書「空間ギャップ35ミル」
- ✓ 「物理的構成」：速度プローブとタービン軸の空間ギャップ(35ミル)

是正措置で示された3点のうち、⑥は視点(1)に示す当該事象の直接的な対策であり、空間ギャップ設計を「設計要件」とした視点である。一方、③は視点(2)に示すリスクを特定し管理するという基本設計を「設計要件」とした視点である。④がそれらを合わせた内容を客先要件としたものである。視点を変えて対策を検討されていることが伺われる事例である。

## 4.2 マクガイヤー発電所の事例

もう一つは、燃料取替停止中、安全系4.16kV母線(2ETB)が外部電源で通電された状態で、Bトレンの安全機能作動系試験において、2Bディーゼル発電機(DG)は安全注入信号(SI)により起動していたが、2ETBには併入していない状態で、2B DG負荷シーケンサのリセット中に、ブラックアウト(B0)ロジックが誤って作動した事例<sup>(16)</sup>を取り上げる。

原因は、DG負荷シーケンサのB0回路に潜在する設計上のミスであり、設計上の余裕のない脆弱性である。寄与要因は、事象発生の前年の燃料取替停止期間中に、D87タイマを同等性の設計変更に基づいて交換したことである。元の部品はカトラーハンマー社製D87タイマで、交換部品はカーチスライト社製D87タイマである。カトラーハンマー社製D87タイマのピックアップ時間は、入力と出力の間に遅延がなく、

瞬間的なものであったが、交換したカーチスライト社製D87タイマのピックアップ時間は、入力と出力の間に約15ミリ秒の遅延があり、設計上の余裕がなくなった。そのため、B0とSIの同時信号から、またはSI信号のみからのリセット時にB0ロジックが誤って作動してしまうことがあることが判明したものである。

是正措置として2項目が提示されている。④設計上の脆弱性を解決するために設計変更書が作成され、リセットリレーの接点をB0回路に追加することで、設計上の余裕を解消し、ピックアップ時間に依存しないように、停止期間中に2Aと2B DGの負荷シーケンサに実装する。⑥1号機の1Aと1BのDG負荷シーケンサに別の設計変更を実施する予定であるが、それが実施されるまでの間、1Aと1BのDG負荷シーケンサに対して代償措置を実施する。この代償措置は、負荷シーケンサリセット押ボタンを押す代わりに、負荷シーケンサ制御電源ブレーカを開閉するものである。

この事例では、3要素を以下のように設定すると、同等の設計変更に基づいて交換されたにもかかわらず、発生したものと考えられ、⑨「物理的構成」が「施設構成情報」と「設計要件」に反映されなかった事例と分類できる。これは、「物理的構成」として採用されるSSCが限定された場合に設計まで遡って影響を確認する必要がある視点(1)である。

- ✓ 「設計要件」：設計の脆弱性「設計上の余裕を解消し、ピックアップ時間に依存」を排除
- ✓ 「施設構成情報」：設計上の脆弱性を解決するために設計変更書を作成、ピックアップ時間に依存しないようにリセットリレーEBの接点をB0回路に追加
- ✓ 「物理的構成」：B0ロジックの誤作動を誘発させたカーチスライト社のD87タイマ(入出力間の15ミリ秒遅延でピックアップ時間が長く設計上の余裕がなくなった)

図3に視点(1)と合わせ、もう一つの視点(2)を加えて示す。

視点(2)では、3要素を以下のように設定すると、設計上の余裕がなく、B0ロジックが誤って作動したものと考えられ、⑦「設計要件」が「物理的構成」と「施設構成情報」に反映されなかった事例と分類できる。

- ✓ 「設計要件」：B0とSIの同時信号から、またはSI信号からのリセット時にB0ロジックを誤って作



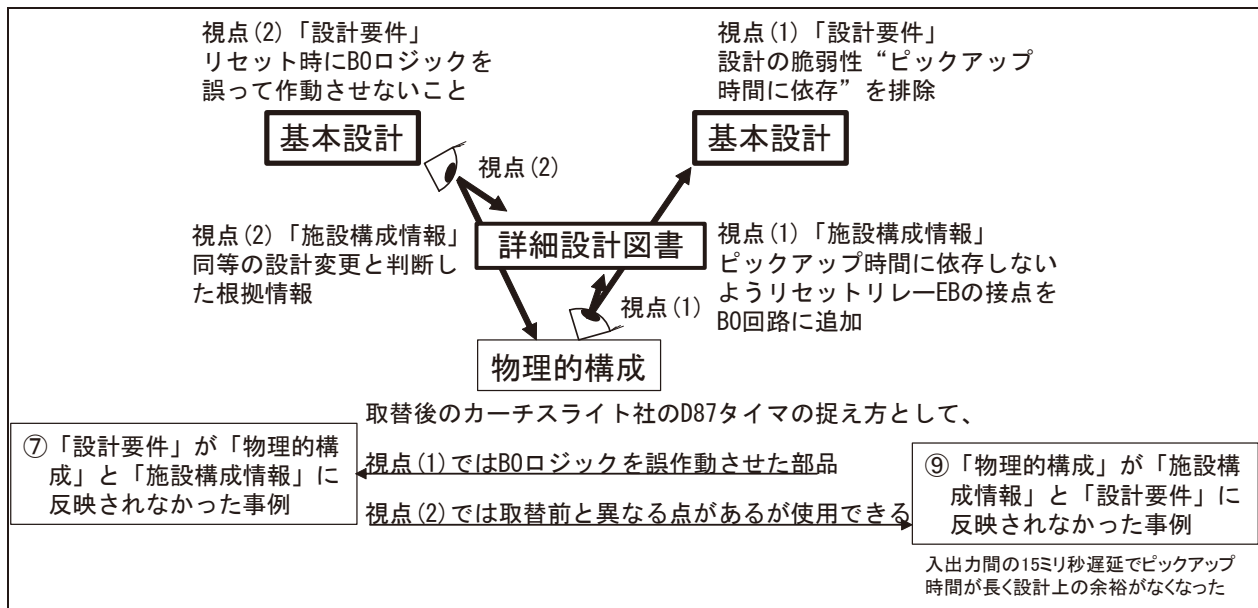


図3 設計上のミスによるブラックアウトロジックの誤作動事例

動させないこと

- ✓ 「施設構成情報」：同等性の設計変更と判断した根拠情報（ピックアップ時間の影響を未評価）
- ✓ 「物理的構成」：B0ロジックの誤作動を誘発させたカーチスライト社のD87タイマ（ピックアップ時間に依存しないようリセットリレーの接点をB0回路に追加未）

是正措置では、最初の視点(1)のように、同等性を確認した交換部品を継続使用するため、恒久対策として、ピックアップ時間に依存しないようリセットリレーの接点をB0回路に追加することを決め、恒久対策が完了するまでの間の代替措置として、運用を変更するとしている。もう一つの視点(2)では、同等性の設計変更の仕組みの中で、交換部品の入力と出力の間に約15ミリ秒の遅延が存在し、それがB0ロジックに影響を与えることが見逃され、トラブルが発生したことに鑑みて、「同等の設計変更の仕組みの見直し」が対策とされることも考えられる。このことは、タイマという部品の取替に際しての注意点として入出力に時間差が出る可能性があることに対する確認が必要であることを示唆した事例であり、設計検証システムの中の注意点とすることも考えられる。

以上のように、CMの不備について、具体的な3要素を選定し、視点を変えられるものについては、別の分類を試みることで、同じ事象でも、是正措置が

十分なのかという点を評価できる可能性が生まれる。少ない情報の中から少しでも気づきを得るためには、このような視点で海外トラブルの原因分析と是正措置を評価し、国内の活動に反映できないかを検討することは有意義であると考えられる。

## 6. まとめ

CMの3要素である「設計要件」の視点を変えることで、3要素の不均衡のあり様が異なり、それにより海外トラブル情報に記述された是正措置以外にも対応を浮かび上がらせることも可能であることを示した。少ない情報から気づきを得るための一つの方法として、トラブル分析に際しては、13パターン of CM不備の分類を意識して、視点を変えることにも配慮することが望ましい。

## 引用文献

- (1) Jon Sears, “Configuration Management Fundamentals”, 29th Annual CMBG conference (2022), <https://www.cmbg.org/conferences/2022.aspx>
- (2) U.S. Department of Energy, “DOE STANDARD, Guide for Operational Configuration Management Program, Including the Adjunct

- Programs of Design Reconstitution and Material Condition and Aging Management, Part I”, DOE-STD-1073-93-Pt.1, (1993)
- (3) U. S. Department of Energy, “DOE STANDARD, Guide for Operational Configuration Management Program, Including the Adjunct Programs of Design Reconstitution and Material Condition and Aging Management, Part II”, DOE-STD-1073-93-Pt.2, (1993)
- (4) CMBG,  
<https://www.cmbg.org/papers-publications.aspx>
- (5) 関西電力, “原子力保全総合システムの再構築”,  
[https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2016/pdf/0524\\_1j\\_01.pdf](https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2016/pdf/0524_1j_01.pdf)
- (6) Kent R. Freeland, P.E., “Configuration Management Operating Experience”, 28th Annual CMBG conference (2021),  
<https://www.cmbg.org/conferences/2021.aspx>
- (7) NRC, Information Notice 2019-03 “Inadequate Implementation of Clearance Processes Results in Configuration Control Issues”
- (8) 田中秀夫, “長期運転に関する知識伝承について”, INSS JOURNAL, Vol.25 (2018) 解説
- (9) IAEA, “SALTO WORKING NOTE OUTLINES, 2020 Apr 21”,  
[https://www.iaea.org/sites/default/files/20/04/salto-wno\\_2020\\_draft\\_20200421.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/20/04/salto-wno_2020_draft_20200421.pdf)
- (10) ニューシア, “伊方1号安全注入系統テストライン配管のひびについて”,  
<http://www.nucias.jp/nucias/kn/KnTroubleView.do?troubleId=268>
- (11) ニューシア, “美浜3号二次系配管破損事故について”,  
<http://www.nucias.jp/nucias/kn/KnTroubleView.do?troubleId=2490>
- (12) ニューシア, “美浜3号A非常用ディーゼル発電機定期試験中における自動停止による運転上の制限の逸脱について”,  
<http://www.nucias.jp/nucias/kn/KnTroubleView.do?troubleId=13374>
- (13) Exelon Generation, “Core Monitoring System Software Modeling Error Results in Condition Prohibited by Technical Specifications”, Licensee Event Report 2021-001-00, Clinton Power Station, Unit 1
- (14) ニューシア, “大飯3号原子炉容器上部ふた制御棒駆動装置取付管台からの漏洩について”,  
<https://gkjanti.gengikyo.jp/nuciamem/kn/KnTroubleView.do?troubleId=2390>
- (15) Entergy Operation, Inc., “Reactor Scram Due to Main Turbine Trip”, Licensee Event Report 2020-002-02, Grand Gulf Nuclear Station, Unit 1
- (16) Duke Energy, “Valid actuations of the 2B Emergency AC Electrical Power System and B Train Auxiliary Feedwater System”, Licensee Event Report 2021-01, McGuire Nuclear Station, Unit 2