

# 米国原子力発電所の異常事象報告書（LER）に関する テキストマイニングによるデータ分析の試行（2）

Second report of a trial analysis of licensee event reports (LERs) of U.S. nuclear power plants by text mining

濱口 拓也 (Takuya Hamaguchi) \*1

**要約** 原子力安全システム研究所（INSS）では、研究所設立以来、海外原子力発電所で発生した事故・故障情報を分析評価し、国内の加圧水型軽水炉（PWR）発電所における類似のトラブル等の未然防止処置対策について、改善提言を行っている。本稿では、事故・故障傾向の特徴を明らかにすることに主眼を置き、米国原子力発電所の異常事象報告書（LER：Licensee Event Report）を用いて、炉型「PWR」、職能情報「原子炉」の事故・故障情報（合計 307 件）を分析対象としてテキストマイニングによる分析を試行した。分析の結果、3 件の事象を発生頻度の高い事象として抽出し、これらの事象に対して国内対策がとられていることを確認した。

**キーワード** 米国原子力発電所、異常事象報告書、テキストマイニング、共起ネットワーク、コーディング

**Abstract** Since its establishment, the Institute of Nuclear Safety System (INSS) has analyzed and evaluated information on accidents and failures that have occurred at nuclear power plants overseas, and has been making recommendations for improvements to prevent similar accidents and failures from occurring at domestic pressurized water reactor (PWR) power plants. In this paper, we focused on identifying the characteristics of accident and failure trends, and used text mining methodology to analyze accident and failure information (307 cases in total) for the reactor type "PWR" and the job function information "nuclear reactor" using licensee event reports (LERs) of U.S. nuclear power plants. As a result of the analysis, we extracted three events as occurring frequently, and we confirmed that measures have been taken for these events in Japanese nuclear power plants.

**Keywords** U.S. nuclear power plants, license event reports, text mining, co-occurrence network, coding

## 1. はじめに

原子力安全システム研究所（INSS）では、研究所設立以来、海外原子力発電所で発生した事故・故障情報を分析評価し、国内の PWR 発電所における類似トラブル等の未然防止処置対策について、改善提言を行っている。

事故・故障情報の分析評価において、テキスト型データの計量的分析手法として確立されたテキストマイニングを活用することにより、従来手法とは異なる視点から教訓・提言等を引き出せる可能性があることから、新崎、山口(1)は不具合事象を説明する用語等に着眼してデータ分析の試行を行い、INSS JOURNAL Vol.29 において報告している。

本稿では、上記報告を踏まえるとともに、テキストマイニングはテキスト型データの内容をおおまかに把握し、特徴を抽出することを得意としていると言わ

れていることから、事故・故障傾向の特徴を明らかにすることに主眼を置き、検討した結果を報告する。なお、テキストマイニングによるデータ分析用のソフトウェアは、KH Coder（樋口ら(2)(3)）を用いた。

## 2. 分析対象情報の選定

本分析に用いる情報ソースは、公開情報で、国内の商用原子力発電所と型式が同じであり（PWR または BWR）、記載内容が充実していることから、米国原子力発電所の異常事象報告書（LER）を採用した。LER は、米国連邦規則 10CFR50.73 “Licensee event report system”に定める報告基準に基づき、事業者から米国原子規制委員会（NRC）に提出される異常事象報告書である。

INSS では、LER 情報を日本語に翻訳して分析しており、この際に運転状態や影響、原因、対策、職能等

\*1 (株) 原子力安全システム研究所 技術システム研究所

の分類を行っている。前稿では、全ての事故・故障情報に対して一律にテキストマイニングを適用した結果、あまり明確な特徴や傾向は判明しなかった。今回はある程度対象を絞る方がより具体的な特徴を抽出できると考え、情報の報告日「2013年1月1日～2022年12月31日」、炉型「PWR」、職能情報「原子炉」の事故・故障情報（合計307件）を分析対象とした。

### 3. 事故・故障情報に係る複合語等の整理

KH Coder（樋口ら(2)(3)）を用いて分析する際に、原子力発電所で発生した事故・故障情報を説明する語を適切に取り出せるようにするため、原子力発電や事故・故障に係る設備/機器名等の専門用語を整理し、強制抽出する語のリストを作成した。リストは「複合語の検出」機能等を用いて検出した語を参考に、経験に基づいて、例えば、加圧器安全弁、出力運転や応力腐食割れ等、約500語を設定した。参考として、強制抽出する語のリストから約50語を抜粋して表1に示す。また、年、月、日等、分析に不要な語を強制抽出しない語のリスト（約40語）として整理した。

表1 強制抽出する語のリスト（抜粋）

強制抽出する語
一次冷却材ポンプ, 一次冷却材, 応力腐食割れ, 化学体積制御系, 加圧器安全弁, 加圧器逃し弁, 換気空調, 検査手順, 原子炉出力, 原子炉容器, 充てんポンプ, 出力運転, 巡回点検, 主蒸気安全弁, 主蒸気逃し弁, 主蒸気隔離弁, 設計基準, 設定圧力, 中央制御室, 手順書, 燃料取出, 燃料装荷, 燃料集合体, 配管, 弁体, 補助給水ポンプ, 補助建屋, 要領書, 余熱除去ポンプ, 溶接部, 予防保全, 漏えい, 炉内構造物, 1号機, A系, Aトレン, MSSV, PSV, RCP, RCS, R/V, S/G, エアロック, キャビティ, サービス水, サーベイランス試験, シート漏れ, リーク, しゃ断器, ドレン弁, ファンベルト, ベント弁,

### 4. 共起ネットワークによる分析

KH Coder（樋口ら(2)(3)）において、データ中から自動的に語を取出すための前処理を実施した後、事故・故障情報中にどのような不具合が多く発生しているのか、発生頻度の高い代表的事象の抽出を目的として、どのような語が多く登場し、どう関係づけられているかを把握するため、共起ネットワークを作成した（図1）。各事故・故障情報をExcelシートのセル毎に整理していることから、集計単位は「H5」（セル毎）、最小出現数は35、共起関係をやや広く確認するため、描画する共起関係は上位70とした。共起ネットワークに加えて、事故・故障情報の文脈も併せて確認した結果、主に図1のSubgraph01から「原子炉容器上蓋

管台貫通部に欠陥が発生した事象」, Subgraph02から「加圧器安全弁 (PSV) または主蒸気安全弁 (MSSV) の吹出試験における設定値ドリフト事象」の発生頻度が高いことが分かった。また、Subgraph02では「弁」という語が比較的多く登場しているが、文脈を確認したところ、「弁」は略称として不具合事象を説明する文章中で多用されており、「弁」から代表的事象の抽出は難しいことが分かった。他に、Subgraph03は「配管」に関する不具合事象を表しており、「設備」、「影響」、「評価」は、不具合の影響評価等に関する記述で、「疲労」、「振動」、「応力」は不具合原因に関する記述であった。また、Subgraph07から「RCP」と「シール」が共起関係にあり、これらの語に関連する不具合が発生していることが分かる。

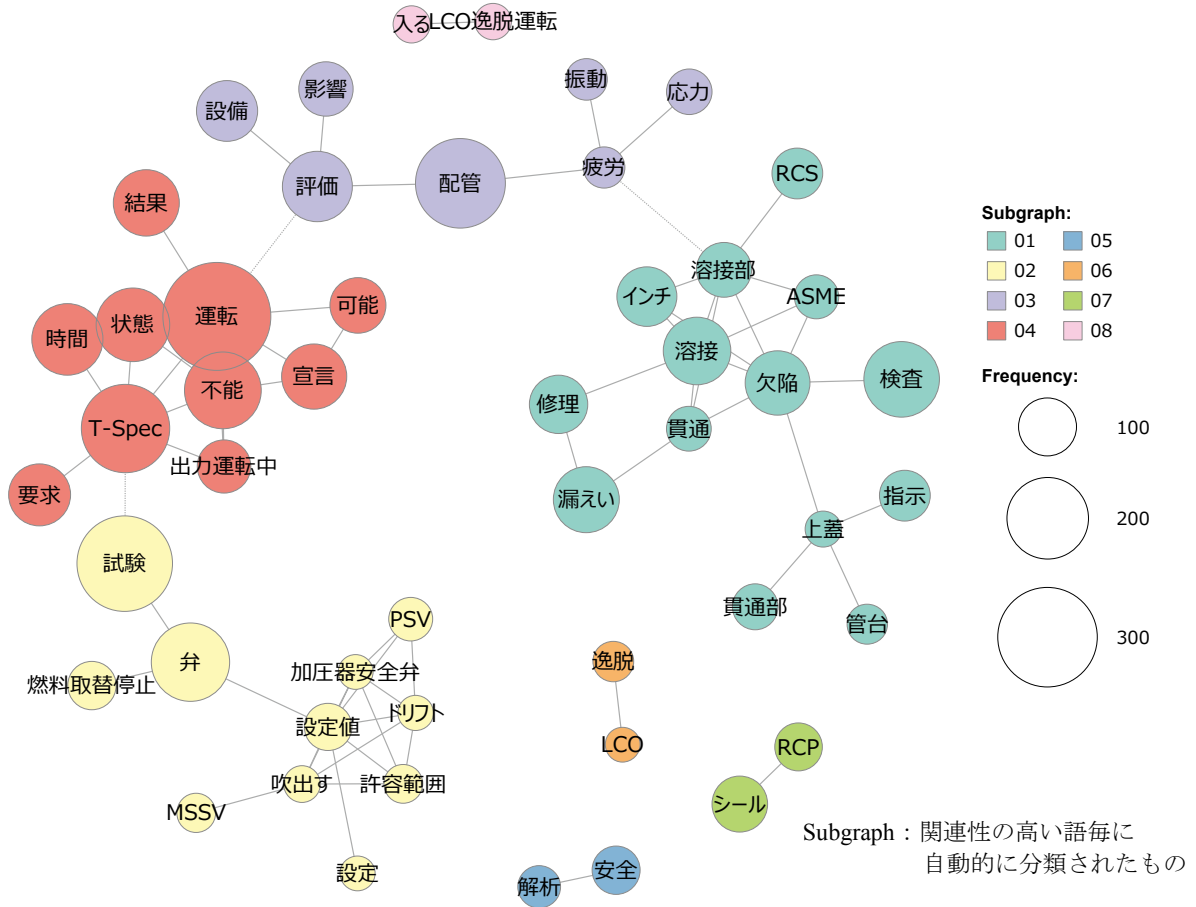


図1 事故・故障情報の共起ネットワーク

## 5. 共起関係から得られる不具合事象を象徴する語の検討

「4.共起ネットワークによる分析」において、「配管」と、共起関係が認められた「RCP」および「シール」について、どのような不具合事象が特徴的に発生しているのか明確には読み取れなかった。そこで、図1で示された「配管」と、「RCP」および「シール」について特徴的に発生している不具合事象を確認するため、これらの機器名を含む事故・故障情報中において関連性のある語を探索するKH Coder（樋口ら(2)(3)）の関連語検索機能を活用して不具合事象を象徴する語の抽出を試みた後、抽出された語を含む事故・故障情報の文脈を確認し、それぞれの機器を代表する不具合事象の抽出を試みた。明確な共起関係を確認するため、描画する共起関係は上位 60（デフォルト値）とした。

### 5.1 配管と共起関係にある語に関する検討

まず、関連語検索を用いて、「配管」と共起している語を検索して、共起ネットワーク図を描いた(図2)。図2において、「配管」に関連して発生している事故・故障を説明する語として、「貫通」、「欠陥」、「漏えい」、「溶接」、「溶接部」等が認められる。主に Subgraph01 は不具合の内容, Subgraph02 は不具合の影響評価等, Subgraph06 は原因等に関する記述であると考えられる。図2の確認と併せて、これらの語が含まれる事故・故障情報を確認した結果、「配管」において「配管溶接部で欠陥が発生した事象」が多く発生していることが分かった。

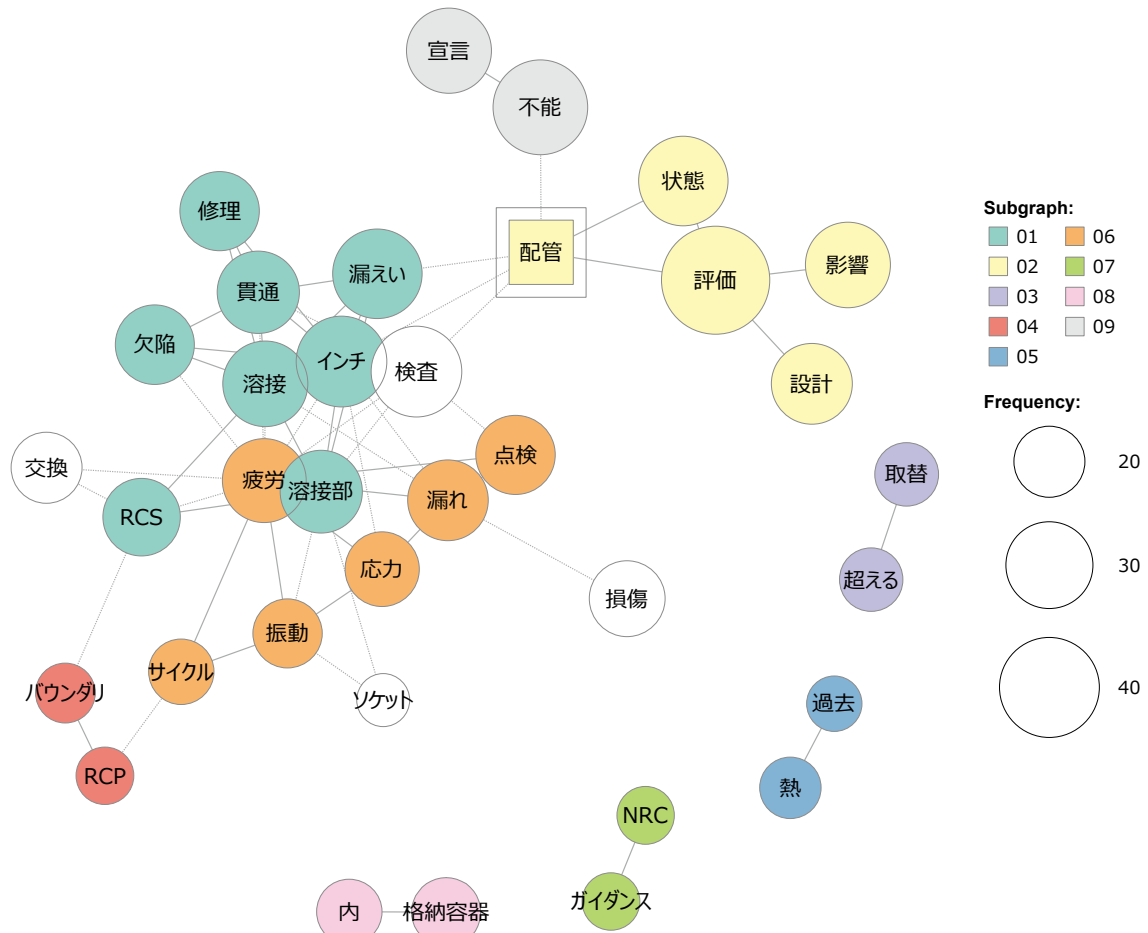


図2 関連語検索（配管）の共起ネットワーク

### 5.2 RCPおよびシールと共起関係にある語に関する検討

次に配管と同様に、「RCP」および「シール」について関連語検索を行い、「RCP」および「シール」と共起している語を検索して共起ネットワーク図を描いた(図3)。図3は「RCP」および「シール」を含む事故・

故障情報の共起ネットワークであるが、「RCP」および「シール」と強い共起関係にある語は認められず、抽出された語の発生頻度はどれも低かった。また、「RCP」および「シール」が含まれる事故・故障情報についても文脈を確認したが、「RCP」および「シール」に特徴的な不具合事象を見つけることは出来なかった。

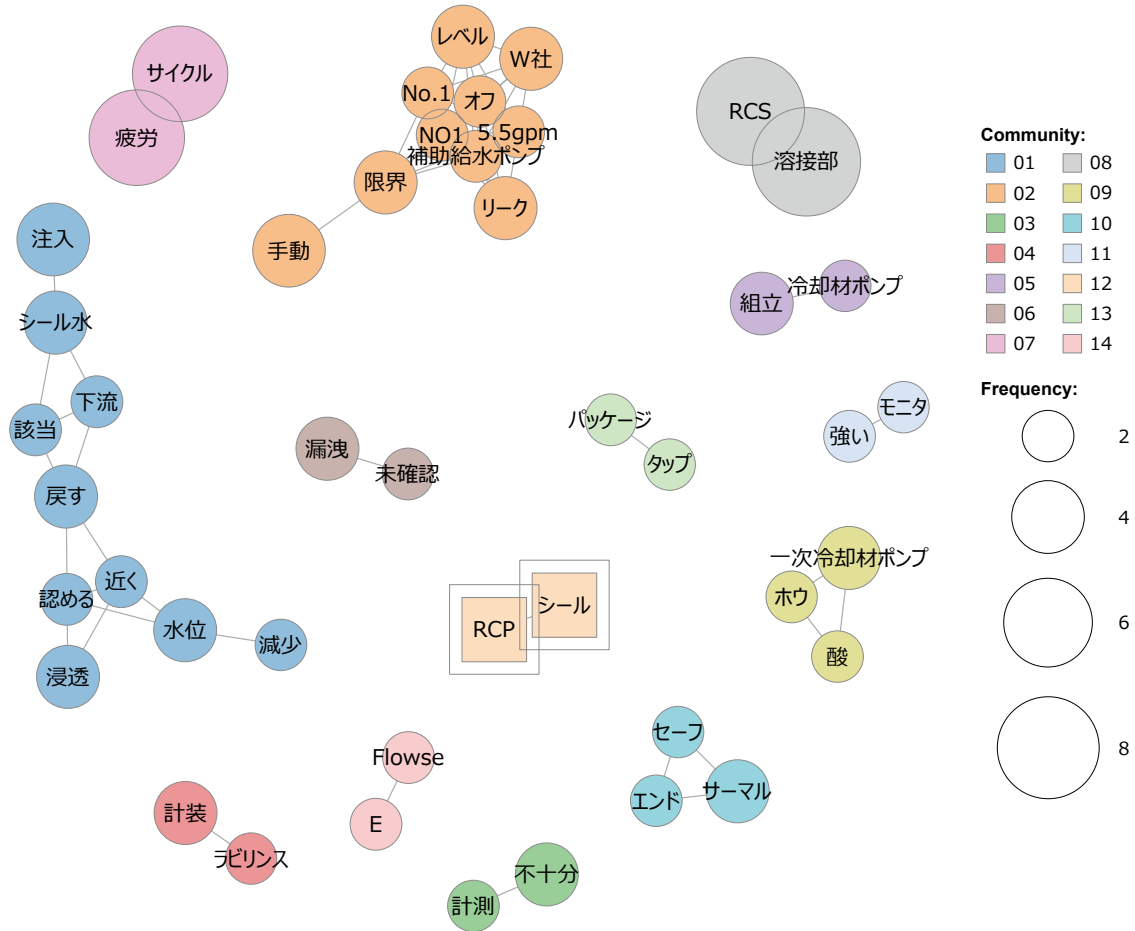


図3 関連語検索 (RCP およびシール) の共起ネットワーク

### 6. コーディングによる不具合件数の集計

4.および5.の検討により、分析対象の LER 情報において、「原子炉容器上蓋管台貫通部で欠陥が発生した事象」、「加圧器安全弁 (PSV) または主蒸気安全弁 (MSSV) の吹出試験における設定値ドリフト事象」、および「配管溶接部で欠陥が発生した事象」の発生頻度が高いことが分かった。これら 3 件の事象が全体の件数 (307 件) に対してどの程度の割合を占めているのか確認するため、KH Coder (樋口ら(2)(3)) の単純集計機能を用いて、原子炉容器上蓋管台、加圧器安全弁 (PSV) ま

たは主蒸気安全弁 (MSSV) については図 1, 「配管」については図 2 を参照してコーディングルール (指定した条件が満たされれば、ある概念が出現していたと見なすルール) を作成した (図 4)。コーディングルール作成にあたっては、当該不具合事象を説明する事故・故障情報についても一通り確認して、コーディングルールに反映している。例えば、図 4 において「原子炉容器」等を事故・故障情報の確認結果から追加することとした。

- \* 原子炉容器上蓋管台  
( 原子炉容器 or 原子炉圧力容器 or RV ) and ( 上蓋 or 管台 ) and ( 貫通 or 貫通部 or 欠陥 )
- \* 加圧器安全弁等  
( 加圧器安全弁 or PSV or 主蒸気安全弁 or MSSV ) and ( 設定値 and ドリフト )
- \* 配管  
配管 and ( 溶接 or 溶接部 ) and ( 漏えい or 漏洩 or 漏れ or 欠陥 )

図4 作成したコーディングルール

コーディングルール (図 4) を用いて 3 件の事象の発生件数を単純集計した結果を表 2 に示す。抽出された 3 件の事象が全体の約 25% を占めている結果が示された。

表 2 コーディングルールによる単純集計結果

コード名	頻度	パーセント
* 配管	35	11.40%
* 原子炉容器上蓋管台	24	7.82%
* 加圧器安全弁等	17	5.54%
コード無し	231	75.24%
(文書数)	307	

### 7. 分析対象データの内容確認

テキストマイニングにより抽出された事象が代表的事象として適切かどうか確認するため、全ての分析対

象情報を 1 件ずつ確認し、各事象が実際に何件発生したのか、また他に発生頻度の高い事象はないのかを確認した。各事象の発生件数を表 3 に示す。確認の結果、各事象の単純集計結果 (頻度) は、実発生件数に対して 4~11% 少なかった。また、当該の 3 件以外に発生頻度の高い事象は認められなかった。単純集計結果の件数が少ない理由は、事故・故障情報の内容に対してコーディングルールに含まれる語のミスマッチであると考えられる。具体的には、分析対象情報において、コーディングルールに含まれる機器名の記載が省略されている場合や、コーディングルールとは異なる語 (例: コーディングルールの「設定値」に対して、分析対象情報では「設定圧力」と記載) の場合等があった。以上のテキストマイニングを用いた分析により、発生件数は一致しなかったものの、発生頻度の高い代表的な事象件名を適切に抽出できたと考えられる。

表 3 代表的事象の発生件数確認結果

事象名	件数
配管溶接部で欠陥が発生した事象	39
原子炉容器上蓋管台貫通部で欠陥が発生した事象	25
加圧器安全弁 (PSV) または主蒸気安全弁 (MSSV) の吹出試験における設定値ドリフト事象	19

### 8. 抽出された代表的な事象内容の確認

これまでの分析によって抽出した 3 件の代表的な事象について、各事象の分析結果から、原因や対策、国内 PWR における対策の状況を確認した。

#### (1) 原子炉容器上蓋管台貫通部で欠陥が発生した事象

25 件の事象を INSS で分析した結果をもとに、原子炉容器上蓋管台貫通部の欠陥の発生原因の分類を整理し図 5 に示す。1 件の事象に対して複数の原因が存在する場合があるため、原因数と不具合件数は一致していない (図 6、図 7 も同様)。本事象には、600 系 Ni 基合金使用部位の応力腐食割れ (PWSCC) が多く含まれており、発生原因は経年劣化に分類される場合が多い。その他の原因として、溶接時の微小なボイド (空洞) 等があり、施工不良や保守不良等に分類されている。対策は、漏えいパス評価を行い、PWSCC 欠陥は補修溶接で修理、溶接時の空洞はグラインダ研削を実施している。国内 PWR では、600 系 Ni 基合金使用部位の管理を適切に実施し、原子炉容器上蓋交換時に PWSCC に耐性のある 690 系 Ni 基合金に仕様変更する等の対策が取られている。

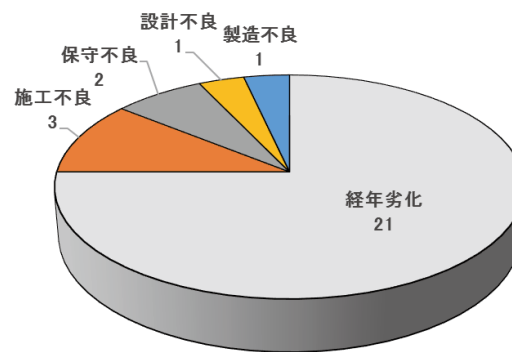


図 5 原子炉容器上蓋管台貫通部の欠陥に関する不具合の原因分類

#### (2) 加圧器安全弁 (PSV) または主蒸気安全弁 (MSSV) の吹出試験における設定値ドリフト事象

19 件の事象を INSS で分析した結果をもとに、加圧器安全弁 (PSV) または主蒸気安全弁 (MSSV) の吹出試験における設定値ドリフト事象の発生原因の分類を整理し図 6 に示す。本事象を確認すると、発生原因は、吹出圧力設定用の調整ネジとナットが緩む等により吹出設定値がドリフトしたことであり、経年劣化や偶発

故障に分類した事象が多い。偶発故障としたのは、ドリフト現象を偶発ととらえたものである。また、保守不良については、「前回の吹出試験のドリフトデータを再検討せずに設定した」、「摩耗したスピンドルロッドを交換しなかった」等の事例がある。対策は、弁の分解点検および交換、基準に対し余裕のある吹出圧力設定や、そのための手順書改訂等である。国内PWRでは定期検査時に吹出圧力を検査しており、国内基準に基づいて適切に管理されている。

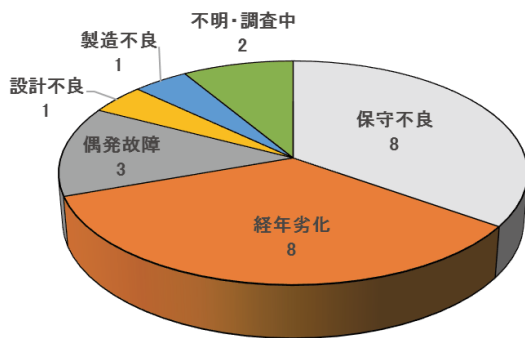


図 6 加圧器安全弁または主蒸気安全弁の吹出試験における不具合の原因分類

### (3)配管溶接部で欠陥が発生した事象

39 件の事象を INSS で分析した結果をもとに、配管溶接部の欠陥に係る不具合の原因を整理し図7に示す。原因として、経年劣化（配管と保温材の振動による摩耗、設備振動による高サイクル疲労、応力腐食割れ等）、設計不良（配管やサポートの設計、配管材料の選定等）、施工不良・保守不良（溶接不良）等に整理されており、発生原因が、配管および溶接箇所環境条件によって分散している。設計不良については、設計時点の技術的知見に基づいて実施したものの、使用環境の経時的変化に伴い不具合が顕在化した等と考えられる。対策は、当該溶接部の修理、配管の取替／改造／設計変更、目視検査の実施等が行われている。国内PWRでは、どの事象原因についても、類似事象等を経験し、対策がとられている。

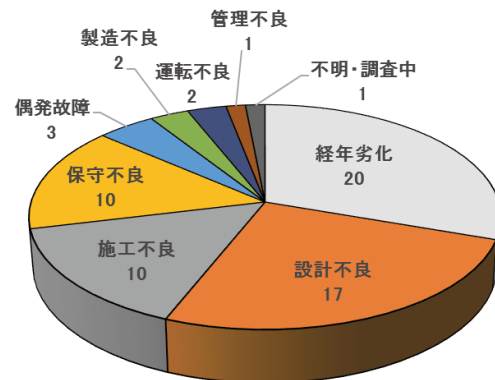


図 7 配管溶接部の欠陥に係る不具合の原因分類

## 9. まとめ

米国原子力発電所の異常事象報告 (LER) において、不具合情報の報告日が 2013 年 1 月 1 日～2022 年 12 月 31 日、炉型を PWR、職能情報が原子炉の事故・故障情報 (合計 307 件) を対象に KH Coder (樋口ら(2)(3)) を用いたテキストマイニングによるデータ分析を実施した結果、発生頻度の高い代表的事象 3 件を抽出し、分析対象文書の事故・故障情報を 1 件ずつ確認した結果と一致していた。これにより、情報の母集団を適切に設定してテキストマイニングを適用すれば、全ての情報を個別に確認しなくても、発生頻度の高い事象を把握できることが分かった。また、抽出した 3 件の事象を確認した結果、国内 PWR では、いずれの事象についても、対策がとられていた。しかし、技術の進歩や使用環境条件の変化に伴い、現状では未知の故障モードが今後出現するおそれは否定できない。従って、事故・故障情報を継続的に分析することは、今後の安全対策の検討において意義があると考えている。

## 引用文献

- (1) 新崎雅志, 山口浩司. 米国原子力発電所の異常事象報告書 (LER) に関するテキストマイニングによるデータ分析の試行 INSS JOURNAL, Vol. 29 NT-9. (2022)
- (2) 樋口耕一. KH Coder 3 リファレンス・マニュアル, ナカニシヤ出版, (2019)
- (3) 樋口耕一, 中村康則, 周景龍. 動かして学ぶ! はじめてのテキストマイニング, ナカニシヤ出版, (2022)