

令和 6 年度

文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業

原子力システム研究開発事業

AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の  
高度化研究

成果報告書

令和 7 年 3 月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

本報告書は、文部科学省の原子力システム研究開発事業による委託業務として、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が実施した令和4年度－令和6年度「AI技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究」の成果を取りまとめたものです。

## 目次

概略	x
1. はじめに	1-1
2. 業務計画	
2.1 全体計画【R4-R6】	2.1-1
2.2 令和6年度の成果の目標及び業務の実施方法	2.2-1
3. 業務の実施内容及び成果	
3.1 運転時 PRA に関する研究【R4-R6】	
3.1.1 FT 自動作成手法の開発(JAEA)【R4-R6】	3.1.1-1
3.1.2 信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発 (JAEA・再委託先：アドバンスソフト)【R4-R6】	3.1.2-1
3.2 研究推進【R4-R6】	3.2-1
3.3 自発的な研究活動等【R6】	3.3-1
4. 結言【R4-R6】	4-1
5. 参考文献	5-1
APPENDIXES	
APPENDIX 1 FT 自動作成ツールマニュアル	APPENDIX 1-1
APPENDIX 2 タスク・ドメインオントロジーを設定したプロント	APPENDIX 2-1

## 表一覧

表 3.1.1-1	FT 自動作成手法における人と AI 等の役割分担	3.1.1-1
表 3.1.1-2	FT 作成支援に必要な技術	3.1.1-2
表 3.1.1-3	主冷却器ベーン/ダンパの制御系の故障率評価対象構成機器図面	3.1.1-8
表 3.1.1-4	使い勝手を向上する改良一覧	3.1.1-12
表 3.1.1-5	モデル化対象機器の故障モード	3.1.1-19
表 3.1.1-6	故障モード記号	3.1.1-20
表 3.1.1-7	系統記号	3.1.1-21
表 3.1.1-8	機器種別記号	3.1.1-21
表 3.1.1-9	基事象リスト(2次主冷却系)	3.1.1-22
表 3.1.1-10	基事象リスト(2次補助冷却系)	3.1.1-25
表 3.1.1-11	基事象リスト(2次 Na 純化系)	3.1.1-26
表 3.1.1-12	基事象リスト(電源系及び信号系)	3.1.1-28
表 3.1.1-13	故障モードごとの影響範囲の仮定	3.1.1-29
表 3.1.1-14	ゲートとゲート下の基事象の比較結果(2次補助冷却系)	3.1.1-53
表 3.1.1-15	ゲートとゲート下の基事象の比較結果(電源系)	3.1.1-54
表 3.1.1-16	ゲートとゲート下の基事象の比較結果(信号系)	3.1.1-54
表 3.1.1-17	ゲートとゲート下の基事象の比較結果 (2次主冷却系、2次 Na 純化系、電源系及び信号系の組合せ)	3.1.1-55
表 3.1.1-18	MCS の比較結果(2次補助冷却系)	3.1.1-58
表 3.1.1-19	MCS の比較結果(電源系)	3.1.1-58
表 3.1.1-20	MCS の比較結果(信号系)	3.1.1-58
表 3.1.1-21	MCS の比較結果(2次主冷却系、2次 Na 純化系、電源系及び信号系の組合せ)	3.1.1-58
表 3.1.1-22	人の手作業で FT 作成に要した作業時間(信号系の FT)	3.1.1-60
表 3.1.1-23	人の手作業で FT 作成に要した作業時間(リンク関係を考慮した FT)	3.1.1-61
表 3.1.1-24	FT 自動作成ツールを利用した作成に要した作業時間(信号系の FT)	3.1.1-61
表 3.1.1-25	FT 自動作成ツールを利用した作成に要した作業時間 (リンク関係を考慮した FT)	3.1.1-61
表 3.1.1-26	FT 自動作成ツール開発の各段階におけるノウハウ	3.1.1-66
表 3.1.2-1	故障判定ルールの様式(冷凍機の例)	3.1.2-7
表 3.1.2-2	冷凍機の故障判定を行うために設定したキーワード	3.1.2-7
表 3.1.2-3	【再発防止対策】のノード属性情報	3.1.2-25
表 3.1.2-4	【根本原因】のノード属性情報	3.1.2-26
表 3.1.2-5	【直接原因】のノード属性情報	3.1.2-27
表 3.1.2-6	ドメインオントロジー：原子力分野(電力会社)における安全に係る担当者の役割	



．．．．．	3.1.2-28
表 3.1.2-7 人及び NUCIA データ用 AI ツールの各手法の特徴．．．．．	3.1.2-41
表 3.1.2-8 人及び NUCIA データ用 AI ツールの各手法の定性的優位性の整理	
．．．．．	3.1.2-41

## 図一覧

図 2.1-1 PRA における課題とその解決策のイメージ．．．．．	2.1-2
図 2.1-2 研究の計画概要．．．．．	2.1-3
図 3.1.1-1 FT 作成手順と作成を支援するツールとの対応．．．．．	3.1.1-2
図 3.1.1-2 FT 自動作成手法の開発手順．．．．．	3.1.1-3
図 3.1.1-3 機器レベルの FT 作成手順．．．．．	3.1.1-4
図 3.1.1-4 機器レベル FT の作業時間の低減効果．．．．．	3.1.1-4
図 3.1.1-5 故障モードレベルの FT 作成手順．．．．．	3.1.1-5
図 3.1.1-6 故障モードレベル FT の作業時間の低減効果．．．．．	3.1.1-5
図 3.1.1-7 電源系の配線をたどる機能イメージ．．．．．	3.1.1-6
図 3.1.1-8 2 次 Na 純化系及び電源系 FT の作業時間の低減効果．．．．．	3.1.1-6
図 3.1.1-9 プラント温度制御系 1A ループ展開接続図_SS05A．．．．．	3.1.1-8
図 3.1.1-10 A2 次主循環ポンプ_GM16-A．．．．．	3.1.1-9
図 3.1.1-11 A ループ 2 次冷却系制御回路_SC14-A．．．．．	3.1.1-9
図 3.1.1-12 温度制御装置インターロック回路図_SC27．．．．．	3.1.1-10
図 3.1.1-13 令和 5 年度までの FT 自動作成ツールによる FT 作成のフロー	
．．．．．	3.1.1-13
図 3.1.1-14 機能拡張した FT 自動作成ツールによる FT 作成のフロー．．．	3.1.1-13
図 3.1.1-15 機器リストの例．．．．．	3.1.1-14
図 3.1.1-16 機器名称の変更．．．．．	3.1.1-14
図 3.1.1-17 選択範囲の表示・非表示．．．．．	3.1.1-14
図 3.1.1-18 ライブラリーの読込処理．．．．．	3.1.1-15
図 3.1.1-19 系統図の読み込み結果(2 次補助冷却系)．．．．．	3.1.1-29
図 3.1.1-20 評価対象機器及び配管の選択結果(2 次補助冷却系)．．．．．	3.1.1-30
図 3.1.1-21 ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル(2 次補助冷却系)	
．．．．．	3.1.1-31
図 3.1.1-22 PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムの結果(2 次補助冷却系)	
(故障モードレベルの SAPHIRE 形式の FT データ)．．．．．	3.1.1-31
図 3.1.1-23 故障モードレベルの FT (2 次補助冷却系)．．．．．	3.1.1-32
図 3.1.1-24 単線結線図の読み込み結果(電源系)．．．．．	3.1.1-32
図 3.1.1-25 評価対象機器の選択結果(電源系)．．．．．	3.1.1-33
図 3.1.1-26 ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル(電源系)．	3.1.1-33
図 3.1.1-27 PRA 用解析コードコード用 FT データ出力プログラムの結果(電源系)	

	(故障モードレベルの SAPHIRE 形式の FT データ) . . . . .	3. 1. 1-34
図 3. 1. 1-28	故障モードレベルの FT (電源系) . . . . .	3. 1. 1-34
図 3. 1. 1-29	展開接続図の読み込み結果 (信号系)	
	((a) プラント温度制御系 1A ループ展開接続図_SS05A)	
	. . . . .	3. 1. 1-35
図 3. 1. 1-30	評価対象機器及び配管の選択結果 (信号系)	
	((a) プラント温度制御系 1A ループ展開接続図_SS05A) . . . . .	3. 1. 1-35
図 3. 1. 1-31	展開接続図の読み込み結果 (信号系)	
	((b) A2 次主循環ポンプ_GM16-A) . . . . .	3. 1. 1-36
図 3. 1. 1-32	評価対象機器及び配管の選択結果 (信号系)	
	((b) A2 次主循環ポンプ_GM16-A) . . . . .	3. 1. 1-36
図 3. 1. 1-33	展開接続図の読み込み結果 (信号系)	
	((c) A ループ 2 次冷却系制御回路_SC14-A) . . . . .	3. 1. 1-37
図 3. 1. 1-34	評価対象機器及び配管の選択結果 (信号系)	
	((c) A ループ 2 次冷却系制御回路_SC14-A) . . . . .	3. 1. 1-37
図 3. 1. 1-35	展開接続図の読み込み結果 (信号系)	
	((d) 温度制御装置インターロック回路図_SC27) . . . . .	3. 1. 1-38
図 3. 1. 1-36	評価対象機器及び配管の選択結果 (信号系)	
	((d) 温度制御装置インターロック回路図_SC27) . . . . .	3. 1. 1-38
図 3. 1. 1-37	ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル (信号系)	
	((a) プラント温度制御系 1A ループ展開接続図_SS05A) . . . . .	3. 1. 1-39
図 3. 1. 1-38	ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル (信号系)	
	((b) A2 次主循環ポンプ_GM16-A) . . . . .	3. 1. 1-39
図 3. 1. 1-39	ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル (信号系)	
	((c) A ループ 2 次冷却系制御回路_SC14-A) . . . . .	3. 1. 1-39
図 3. 1. 1-40	ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル (信号系)	
	((d) 温度制御装置インターロック回路図_SC27) . . . . .	3. 1. 1-39
図 3. 1. 1-41	PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムの結果 (信号系)	
	(故障モードレベルの SAPHIRE 形式の FT データ) . . . . .	3. 1. 1-40
図 3. 1. 1-42	故障モードレベルの FT (信号系) . . . . .	3. 1. 1-40
図 3. 1. 1-43	評価対象機器及び配管の選択結果 (2 次主冷却系) . . . . .	3. 1. 1-41
図 3. 1. 1-44	サポート系等とのリンクの指定 (2 次主冷却系) . . . . .	3. 1. 1-42
図 3. 1. 1-45	評価対象機器及び配管の選択結果 (2 次 Na 純化系) . . . . .	3. 1. 1-43
図 3. 1. 1-46	ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル (2 次主冷却系)	
	(太字がサポート系等とのリンク箇所) . . . . .	3. 1. 1-44
図 3. 1. 1-47	ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル (2 次 Na 純化系)	
	. . . . .	3. 1. 1-44
図 3. 1. 1-48	PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムの結果	
	(2 次主冷却系/2 次 Na 純化系/電源系/信号系)	

	(トランスファーゲートを含む故障モードレベルの SAPHIRE 形式の FT データ)	
	.....	3.1.1-45
図 3.1.1-49	トランスファーゲートを含む故障モードレベルの FT (2 次主冷却系)	3.1.1-48
図 3.1.1-50	トランスファーゲートを含む故障モードレベルの FT (2 次主冷却系一部抜粋) (トランスファーゲート部分を拡大したもの)	3.1.1-48
図 3.1.1-51	故障モードレベルの FT (2 次 Na 純化系)	3.1.1-48
図 3.1.1-52	故障モードレベルの FT (信号系)	3.1.1-49
図 3.1.1-53	故障モードレベルの FT (電源系)	3.1.1-49
図 3.1.1-54	手作業による検証用 FT (2 次補助冷却系)	3.1.1-50
図 3.1.1-55	手作業による検証用 FT (電源系)	3.1.1-51
図 3.1.1-56	手作業による検証用 FT (信号系)	3.1.1-51
図 3.1.1-57	手作業による検証用 FT (2 次主冷却系、2 次 Na 純化系、電源系及び信号系の組合せ)	3.1.1-52
図 3.1.1-58	FT 作成作業の概要	3.1.1-62
図 3.1.1-59	信号系 FT 及びリンク関係を考慮した FT の FT 作成作業時間の低減効果 .....	3.1.1-62
図 3.1.2-1	故障分類によるテストデータの内訳	3.1.2-8
図 3.1.2-2	正答率の比較 (上位 1 個で判定)	3.1.2-9
図 3.1.2-3	正答率の比較 (上位 5 個で判定)	3.1.2-9
図 3.1.2-4	正答率の比較 (上位 5 個)	3.1.2-12
図 3.1.2-5	AI ツール方法論 (処理フロー) と各工程の内容 (令和 4 年度)	3.1.2-15
図 3.1.2-6	事象シナリオの専門家分析例 : NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損 .....	3.1.2-15
図 3.1.2-7	AI ツール方法論 (処理フロー) と各工程の内容 (令和 5 年度)	3.1.2-17
図 3.1.2-8	事象シナリオ分析の標準的なタスクオートロジー	3.1.2-17
図 3.1.2-9	事象シナリオ分析例 : NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損 .....	3.1.2-18
図 3.1.2-10	試作した CORDS 用ツールの処理フロー全体イメージ	3.1.2-18
図 3.1.2-11	AI ツール方法論 (処理フロー) と各工程の内容 (令和 6 年度) .....	3.1.2-20
図 3.1.2-12	LangGraph によるマルチエージェントアーキテクチャの例 引用元 : <a href="https://langchain-ai.github.io/langgraph/concepts/multi_agent/?h=multi">https://langchain-ai.github.io/langgraph/concepts/multi_agent/?h=multi</a> .....	3.1.2-28
図 3.1.2-13	実際に構築したマルチエージェントシステムの全体構成	3.1.2-29
図 3.1.2-14	【再発防止対策】チームの構成 (その 1)	3.1.2-29
図 3.1.2-15	【再発防止対策】チームの構成 (その 2)	3.1.2-30
図 3.1.2-16	【根本原因】チームの構成	3.1.2-30

図 3.1.2-17	【直接原因】チームの構成 . . . . .	3.1.2-31
図 3.1.2-18	【故障モード】チームの構成 . . . . .	3.1.2-31
図 3.1.2-19	【観察】チームの構成 . . . . .	3.1.2-32
図 3.1.2-20	【対応】チームの構成 . . . . .	3.1.2-32
図 3.1.2-21	【共通原因】チームの構成 . . . . .	3.1.2-32
図 3.1.2-22	事象シナリオネットワークの可視化例 : NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損(全体) . . . . .	3.1.2-35
図 3.1.2-23	事象シナリオネットワークの可視化例 : NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損(拡大) . . . . .	3.1.2-36
図 3.1.2-24	事象横断の事象シナリオネットワークグラフの可視化例 : 事象発生年 2024 年を中心とした各事象シナリオネットワークの繋がり . . . . .	3.1.2-36
図 3.1.2-25	時系列分析例：直接原因の分類 1F 事故前後の特徴比較 . . . . .	3.1.2-38
図 3.1.2-26	時系列分析例：根本原因の分類 1F 事故前後の特徴比較 . . . . .	3.1.2-38
図 3.1.2-27	頻度分析例：BWR と PWR の直接原因となった故障機器の特徴比較 . . . . .	3.1.2-39
図 3.1.2-28	頻度分析例：直接原因と根本原因の主語の特徴比較 . . . . .	3.1.2-39

## 略語一覧

略 語	英 語	日本語	意 味
AI	Artificial Intelligence	人工知能	知的な機械、特に、知的なコンピュータプログラムを作る科学と技術。本研究では、近年の弱い AI における機械学習と深層学習(ディープラーニング)の意味として用いる。
FT	Fault Tree	故障の木	頂上事象について、AND ゲート、OR ゲートなどの論理記号を使用して、その発生の原因をたどって樹形上に展開した図式。なお、頂上事象とは、Fault Tree において展開の起点となる事象であり、系統・機器などの機能喪失とするのが通常である。
PRA	Probabilistic Risk Assessment	確率論的リスク評価	確率論的リスク評価とは、発生する可能性のある様々な事象に対して、その発生頻度及び確率を考慮して安全性を評価することである。原子炉の場合、原子力施設等で発生し得るあらゆる事故を対象として、その発生頻度と発生時の影響を定量評価し、その積である「リスク(危険度)」がどれ程小さいかで安全性の度合いを表現する。
1F	－	東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所	－
JAEA	Japan Atomic Energy Agency	(独)日本原子力研究開発機構	－
LLM	Large Language Model	大規模言語モデル	膨大なラベルなしテキストを使用して自己教師あり学習または半教師あり学習によって訓練が行われる多数のパラメータを持つ人工ニューラルネットワークで構成されるコンピュータ言語モデル。

NRC	(United States) Nuclear Regulatory Commission	アメリカ合衆国原子 力規制委員会	-
ViT	Vision Transformer	-	画像認識手法の一つで、深層学習 を用いた自然言語処理において有 名なモデルである Transformer を画 像分類タスクに用いたもの。
JANSI	Japan Nuclear Safety Institute	(社)原子力安全推進 協会	-
MCS	Minimal Cut Set	最小カットセット	頂上事象を引き起こす起事象の最 小の組合せ。
LSD	Line Segment Detector	線分検出器	画像から線分を検出するアルゴリ ズム。
OCR	Optical Character Recognition	光学式文字認識	活字、手書きテキストの画像を文 字コードの列に変換する技術。
CCCG	Common Cause Component Group	共通原因機器グルー プ	同じ共通原因故障を有する機器の グループ。
CCF	Common Cause Failure	共通原因故障	共通の原因によって、同時又は短 期間のうちに二つ以上の機器に発 生する故障。
OE	Operational Excellence	オペレーショナル・ エクセレンス	企業が業務の質や効率を向上さ せ、競合他社に差をつけることで 競争優位を確立している状態。

## 概略

原子力発電所の確率論的リスク評価(以下「PRA」という。)は、東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所(以下、「1F」という。)事故後にその重要性が再認識され、その後に制定された新規規制基準においては、適合性に関する安全評価で PRA の結果が参考にされるばかりでなく、安全性向上評価の継続的な改善、保全計画ともリンクしていることから、評価の定期的な見直しが必須である。しかし、既設、新設プラントを問わず、内的事象のみならず外的事象も含めて解析作業が膨大であり、サイト条件、想定条件等の変更の反映も容易ではないことから、事業者の負担となっている。また、新型炉に対するリスク情報活用アプローチが米国を始めとして国際的な潮流になりつつあり、設計初期段階から PRA が活用されることから、膨大な作業が必要となる PRA が将来的な国内導入に当たっての懸案となる可能性がある。さらに、昨今の原子力技術者の減少や品質保証等による作業量の増大によって原子力業界は疲弊しており、競争力を失いつつある。このように、研究開発段階にある新型原子炉、特に革新的原子力システムを採用した場合においても必須かつより膨大な作業となる PRA の効率化は解決すべき研究開発課題である。

近年の深層学習等の人工知能(以下「AI」という。)は、その技術の進展と実用展開により各方面でイノベーションとして大きな影響を与えている。そこで、本研究では、習熟した技能者の経験を学習することにより AI、デジタル化技術を活用し、手作業であったところを自動化することによって、原子力発電所の PRA の省力化・等質化を目指して、PRA 手法の高度化を図ることを目的とする。具体的には、レベル 1PRA における運転時の PRA について、学会標準に基づく作業手順において AI の活用余地及び効果が期待される作業を分析し、AI、デジタル化技術を活用した高度化された手法を開発することにより、PRA 作業の省力化とともに評価者の能力、習熟度、主観による不確かさの排除による等質化を指向して運転時の PRA 手法を高度化する。この研究では、原子力発電所の PRA の効率的・効果的な社会実装を目指したイノベーションを創出するため、AI、デジタル化技術を活用して、運転時の PRA におけるフォルトツリー(以下「FT」という。)作成、及び信頼性データベース構築に着目して AI ツールを開発して、PRA 手法を高度化することを目的とする。

このうち、FT 自動作成手法の開発では、系統図等の設計図書から FT 作成に必要な情報を抽出し、FT を自動的に作成する手法の AI 技術を活用した開発、信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発では、各原子力プラントの故障及びトラブル情報から、PRA に必要な故障を自動的に判定する手法の AI 技術を活用した開発を 3 カ年の計画で実施した。1 年目に、分析調査を行い、開発スコープを設定した上で、手法の方法論を構築した。2 年目に、AI ツールの試作及び試適用を行った。3 年目に、AI ツールの改善及び妥当性確認を行うことにより、社会実装に向けて基本的な見通しを得るとともに、次フェーズに向けて開発課題を整理した。

3 カ年の計画の 3 年目である令和 6 年度の運転時 PRA に関する研究における実施内容として、FT 自動作成手法の開発では、信号系の FT 作成、サポート系を考慮した FT 作成への機能拡張を行い、本ツールの使用有無による整合性について、従来手法(SAPHIRE)を用いて確認した。さらに、妥当性確認として、本ツールの高速炉にも用いている従来手法(RISKMAN)に対する有効性を評価し、今後の開発課題を整理した。これらにより、開発の初期段階としての社会実装に向けて基本的見通しは得られたと考える。FT 自動作成ツールは、操作方法を取得すれば、PRA の初心者でも熟練者と同等の作業時間で FT を作成することが可能であり、その効果は多数の機器、配管が

あるほど有効であると考え。また、FT 自動作成ツールは、視覚的に FT の作成作業を行うことができるため、AI による PRA 作業の省力化・等質化の他に、初心者が PRA を行う際の敷居が低くなる副次的な利点もあると考える。

また、信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発では、CORDS 用 AI ツールについては、既存の高速炉の補修情報を用いて自動故障判定を試適用し、今後の開発課題を整理した。これまでの試適用により、AI ツールは人による故障判定を支援するツールになりえることから、社会実装に向けた基本的な見通しは得られたと考える。NUCIA 用 AI ツールについては、大規模言語モデル(以下、LLM という。)を活用することで、事象の原因のネットワーク構造の図示とアクタ(要員)の特定が可能となった。これを用いて共通要因を判断可能な手法を試作し、信頼性データベース構築と分析の効率化・高精度化を実現した。さらに、実装したマルチエージェントシステムとタスク・ドメインオントロジーは、事象シナリオの深い理解と効果的な対策立案への貢献が期待できることを確認した。信頼性データベース構築の効率向上(一次分析)、時間的・空間的特徴抽出の分析能力向上という本ツールの目指す機能が開発できたことから、社会実装に向けた基本的な見通しは得られたと考える。

本研究を推進するに当り、研究代表者の下で各研究項目間の連携を密にして研究を進めた。また、広く意見を聞きながら研究を進めるため、外部有識者委員会において成果、進捗を報告するとともに、令和 6 年度 原子力システム研究開発事業 NEXIP 交流会、日本原子力学会 2025 年春の年会及び 17th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management & Asian Symposium on Risk Assessment and Management (PSAM17&ASRAM2024)において本研究を発表し、さらに、一般社団法人原子力安全推進協会及び一般財団法人電力中央研究所と交流会を開催し、広く意見を聞いた。

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動を推進した。令和 6 年度において自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲での自発的な研究活動の推進に該当する者はいなかった。

以上、3 カ年計画の 3 年目である令和 6 年度の業務項目を実施し、所期の目標を達成した。



## 1 はじめに

原子力発電所の PRA の効率的・効果的な社会実装を目指したイノベーションを創出するため、AI、デジタル化技術を活用して、運転時の PRA における FT 作成、及び信頼性データベース構築に着目して AI ツールを開発して、PRA 手法を高度化することを目的とした。

このうち、FT 自動作成手法の開発では、系統図等の設計図書から FT 作成に必要な情報を抽出し、FT を自動的に作成する手法の AI 技術を活用した開発を実施した。信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発では、各原子力プラントの故障及びトラブル情報から、PRA に必要な故障を自動的に判定する手法の AI 技術を活用した開発を実施した。

## 2 業務計画

### 2.1 全体計画【R4-R6】

原子力発電所の PRA は、1F 事故後にその重要性が再認識され、その後に制定された新規制基準においては、適合性に関する安全評価で PRA の結果が参考にされるばかりでなく、安全性向上評価の継続的な改善、保全計画ともリンクしていることから、評価の定期的な見直しが必須である。しかし、既設、新設プラントを問わず、内的事象のみならず外的事象も含めて解析作業が膨大であり、サイト条件、想定条件等の変更の反映も容易ではないことから、事業者の負担となっている。また、新型炉に対するリスク情報活用アプローチが米国を始めとして国際的な潮流になりつつあり、設計初期段階から PRA が活用されることから、膨大な作業が必要となる PRA が将来的な国内導入に当たっての懸案となる可能性がある。さらに、昨今の原子力技術者の減少や品質保証等による作業量の増大によって原子力業界は疲弊しており、競争力を失いつつある。このように、研究開発段階にある新型原子炉、特に革新的原子力システムを採用した場合においても必須かつより膨大な作業となる PRA の効率化は解決すべき研究開発課題である。

近年の深層学習等の AI は、その技術の進展と実用展開により各方面でイノベーションとして大きな影響を与えている。そこで、本研究では、上記の課題を解決するため、習熟した技能者の経験を学習することにより AI、デジタル化技術を活用し、手作業であったところを自動化することによって、原子力発電所の PRA の省力化・等質化を目指して、PRA 手法の高度化を図ることを目的とする。具体的には、レベル 1PRA における運転時の PRA について、学会標準に基づく作業手順において AI の活用余地及び効果が期待される作業を分析し、AI、デジタル化技術を活用した高度化された手法を開発することにより、PRA 作業の省力化とともに評価者の能力、習熟度、主観による不確かさの排除による等質化を指向して運転時の PRA 手法を高度化する。研究開発課題とその解決方策のイメージを図 2.1-1 に示す。

本研究では、運転時の PRA 手法の高度化に当たって、内的事象 PRA の実施手順において、作業量が多く、省力化の効果、AI 技術の適用を期待する研究項目として、以下の研究項目 1～2 の 2 項目を対象とする。

#### (1) 運転時 PRA に関する研究

##### 【研究項目 1 フォルトツリー自動作成手法の開発】

###### ① 研究目標

「システム信頼性解析」について、FT 作成に着目し、AI 技術を活用して設計図書等から FT を自動作成する手法の開発を行う。画像認識等の AI 技術を活用し、系統図等の設計図書から FT 作成に必要な情報を抽出し、FT を自動的に作成する手法を開発する。

###### ② 研究方法

CAD に限らず、紙も含めた設計図面、機器仕様図書から FT 作成に必要な機器等の個別情報、接続関係を抽出可能な手法について AI の方法論を構築し、試作する。試作に当たっては、フロントライン系からサポート系まで段階的に機能を拡張する。試作した手法を用いて、既設炉の設計図書から FT を作成する作業に試適用し、妥当性を確認するとともに、今後の開発課題を整理する。

## 【研究項目2 信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発】

### ① 研究目標

「パラメータの作成」について、信頼性データベース構築に着目し、PRAに必要な故障判定を自動化するためのAI技術を活用した手法の開発を行う。テキストマイニングや深層学習等のAI技術を活用し、各原子力プラントの故障及びトラブル情報から、PRAに必要な故障を自動的に判定する手法を開発し、信頼性データベース構築に資する。

### ② 研究方法

NUCIA等のデータベース[1]からPRA信頼性データベースに必要な情報として、故障機器、故障区分及び故障モード、原因等をAI技術により抽出し、データベース化するAIツールの方法論を構築し、試作する。また、そのデータの事象や時間の相違をAI技術により分析することにより、電力、プラント及び職種の相違判断、1F事故前後の相違判断等が可能な手法を試作する。さらに、共通特性をAI技術により分析することにより、共通機器、共通操作、共通組織特性等の共通要因を判断可能な手法を試作する。これらの試作した手法について、既存の補修情報を用いて信頼性データの作成に試適用し、妥当性を確認するとともに今後の開発課題を整理する。

各研究項目の全体的な計画と担当機関を図2.1-2に示す。1年目に、分析調査を行い、開発スコープを設定した上で、手法の方法論を構築する。2年目に、AIツールの試作及び試適用を行う。3年目に、AIツールの改善及び妥当性確認を行うことにより、社会実装に向けて基本的な見通しを得るとともに、次フェーズに向けて開発課題を整理する。

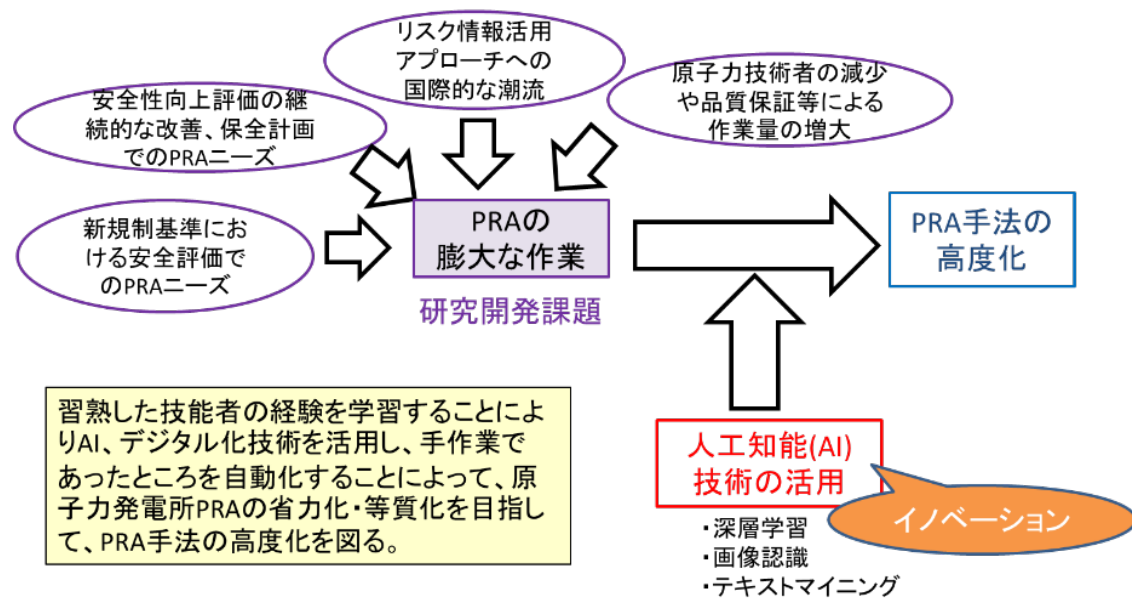


図 2.1-1 PRAにおける課題とその解決方策のイメージ

年度 項目	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度
(1) 運転時PRAに関する研究			
①フォルトツリー自動作成手法の開発	分析調査、方法論構築	試作、試適用	妥当性確認、課題整理
②信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発 (原子力機構)	信頼性データベース 根拠データ整理	試適用、妥当性確認	試適用、課題整理
(再委託先：アドバンスソフト)	方法論構築、試作	機能追加	機能追加 妥当性確認、課題整理
(2) 研究推進	レビュー委員会の開催	レビュー委員会の開催	レビュー委員会の開催
	まとめ・評価	まとめ・評価	まとめ・評価

図 2.1-2 研究の計画概要

## 2.2 令和6年度の成果の目標及び業務の実施方法

### (1) 運転時 PRA に関する研究

#### ① FT 自動作成手法の開発 (JAEA)

信号系の FT 作成、サポート系を考慮した FT 作成への機能拡張を行い、本ツールの使用有無による整合性について、従来手法 (SAPHIRE) [2] を用いて確認する。さらに、妥当性確認として、本ツールの高速炉にも用いている従来手法 (RISKMAN) [3] に対する有効性を評価し、今後の開発課題を整理する。

#### ② 信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発

(JAEA、再委託先：アドバンスソフト)

試作した信頼性データベース構築のための自動故障判定手法について、既存の高速炉の補修情報を用いて自動故障判定を試適用し、今後の開発課題を整理する。(JAEA)

共通特性を AI 技術により分析することによって、共通機器、共通操作、共通組織特性等の共通要因を判断可能な手法を試作し、妥当性を確認するとともに、今後の開発課題を整理する。(アドバンスソフト)

### (2) 研究推進

研究代表者の下で各研究項目間の連携を密にして研究を進める。また、広く意見を聞きながら研究を進めるため、委員会を開催する。

### (3) 自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動を推進する。

### 3 業務の実施内容及び成果

#### 3.1 運転時 PRA に関する研究【R4-R6】

##### 3.1.1 FT 自動作成手法の開発 (JAEA)【R4-R6】

###### (1) FT 自動作成のための方法論の構築【R4】

系統図等の設計図書から FT 作成に必要な機器等の個別情報や接続関係を抽出して FT を自動作成するツールに適用可能な具体的な AI 技術进行分析/検討するとともに、その結果に基づいた FT 自動作成ツールのフレームワークを検討して現状での最適な AI 技術の候補を選定した。表 3.1.1-1 に、一般的な原子力発電所の PRA における FT 作成手順と AI 技術の適用性について、FT 自動作成手法における人と AI 等の役割分担の検討結果を、表 3.1.1-2 に FT 作成支援に必要な技術を示す。FT 作成手順と作成を支援するツールとの対応を図 3.1.1-1 に示す(例えば、[4][5])。FT 自動作成ツールの開発に必要な機能要素を検討し、結果を整理して FT 自動作成手法の開発スコープを設定した。その結果に基づいて FT 自動作成ツールの具体的な機能と開発手順を検討するとともに、機能の実装方法を検討し、開発すべき AI ツールの方法論を構築した。図 3.1.1-2 に段階的な FT 自動作成手法の開発手順を示す。

表 3.1.1-1 FT 自動作成手法における人と AI 等の役割分担

No.	FT作成ステップ	AIと連携した作業イメージ	人(作業者)	AI、 自動化プログラム	その他
1	モデル化対象範囲の設定	アノテーションツールorドローツール上で図面からFTにモデル化する範囲を設定する。 (図面上や画面上でペンやマウスを使って対象範囲を囲む 対象範囲は人が判断して決める(AIには難しい))	○	苦手	画面表示等の補助
2	対象範囲のブロック化	お互いに並列関係となる領域を抽出して対象範囲をブロック化する。ブロック間の論理関係 (and/or等)を設定する。 (図面上や画面上でペンやマウスを使って対象範囲を囲む 対象範囲は人が判断して決める(AIには難しい))	○	苦手	画面表示等の補助
3	モデル化対象機器の抽出	各ブロック内の機能喪失の評価対象機器(モデル化対象機器(基事象を設定する機器))を抽出する。機器・配管の論理関係が(and/or等)を設定する。 (図面上や画面上でペンやマウスを使って対象範囲を囲む 対象範囲内の機器をAIが自動抽出する)	リストにない 機器の指定 確認作業	○	画面表示等の補助
4	機器リストの作成と基事象IDの生成	3で抽出した機器をリスト化して、FT作成のための基事象を生成する。 (機器・配管種別ごとに基事象ID割り当てルールを作業者が策定する。ルールをもとにツールが基事象IDを個別機器・配管に割り当てる。)	基事象IDの生成 ルール策定 辞書データ作成等	○	画面表示等の補助
5	ブロック単位のFT作成	PRAコードが読み込める形式のデータを自動作成する。 (各ブロックを対象に3で作業者が設定した成功基準に従い、 ツールがブロック単位のFTを作成する。)	確認作業	○	PRAコード形式のデータ生成
6	システムのFT作成	PRAコードが読み込める形式のデータを自動作成する。 (5のブロック単位のFTと2で作業者が設定した成功基準に従い、 ツールがブロック単位のFTを作成する。)	確認作業	○	PRAコード形式のデータ生成

表 3. 1. 1-2 FT 作成支援に必要な技術

AI 技術	技術の内容
画像アノテーションソフト	画像の中の特定領域が何かを指定するためのソフト (例：LabelImage) である。本ツールでは、リストにない機器を自動抽出前に指定するため、自動抽出した結果を確認・補正するため、および OCR で読み取った番号を確認・補正するために使用する。
ドローソフト	ポリゴン、線分などのベクター要素の図を作成するためのソフトである。本ツールでは、配管抽出した結果を確認・補正するため、およびブロック指定を行うために使用する。
Python	プログラミング言語である。本ツールでは、様々なライブラリを呼び出す、ツールの他の機能と連携するための出力を制御するために使用する。機能の制御およびインターフェースを構成する。
OpenCV	汎用画像処理ライブラリである。本ツールでは、機器抽出およびリストにない機器を作業者が指定する場合の支援で使用する。ここではパターンマッチングとハフ変換を主に使用している。
LSD(Line Segment Detection)	Python から使用できる線分読取のライブラリである。本ツールでは、図面上の配管を読み取るために使用している。
Shapely	地図情報ファイルを操作するためのライブラリである。本ツールでは、ベクター、ポリゴンの結合・分離を行うために使用している。
Easyocr	Python から使用できる OCR のライブラリである。本ツールでは機器番号の読取で使用している。

FT作成手順と作成を支援するツールとの対応

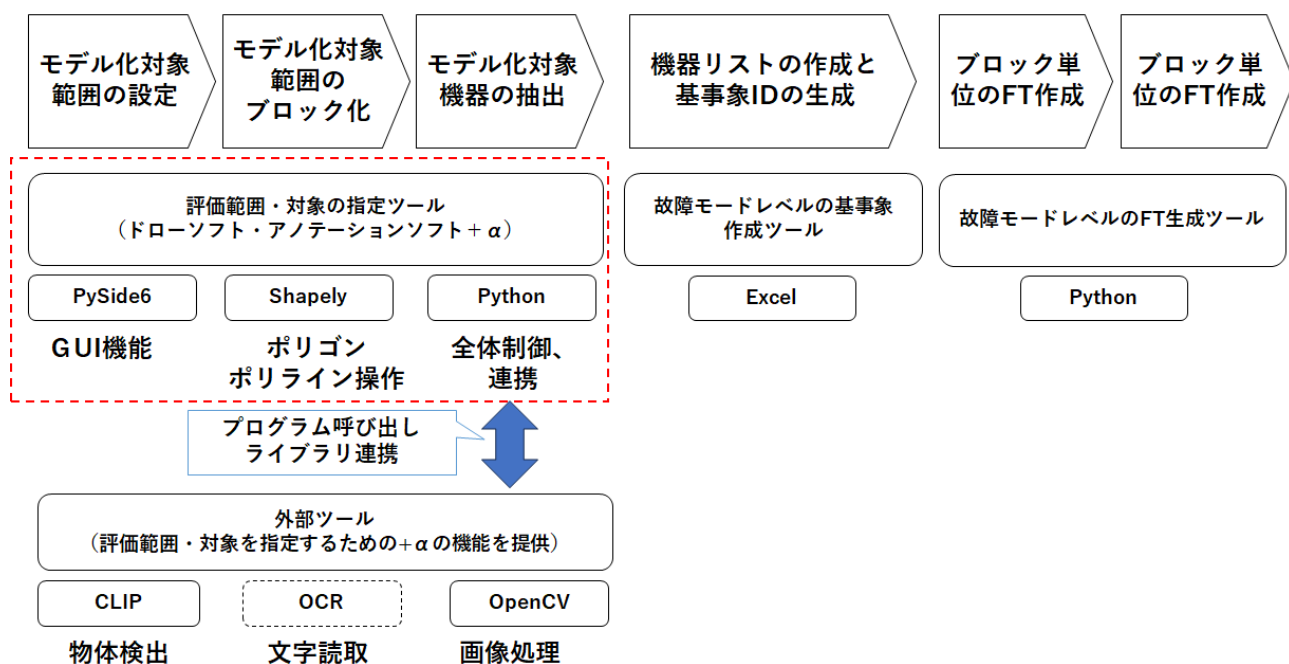


図 3. 1. 1-1 FT 作成手順と作成を支援するツールとの対応

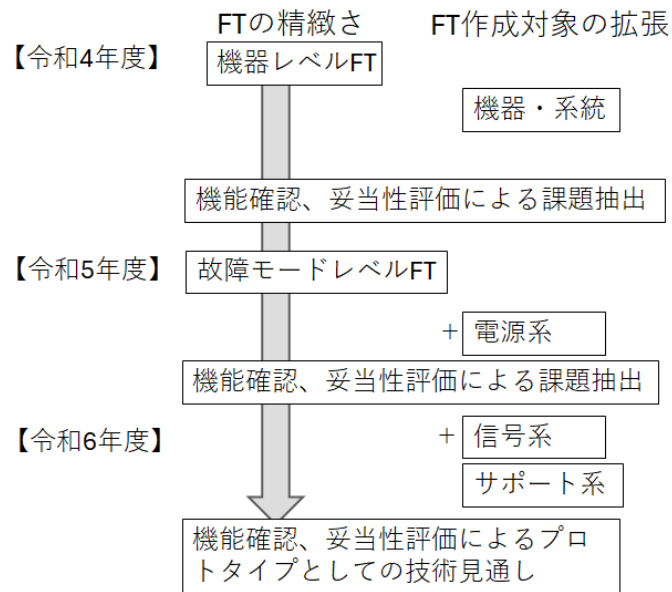


図 3. 1. 1-2 FT 自動作成手法の開発手順

## (2) 機器レベルの FT 自動作成ツールの試作【R4】

特定システムを対象とした機器レベルの FT 自動作成ツールを試作した。ツールはアノテーションソフト LabelImage[6]と Python のコードで構成されている。

試作した FT 自動作成ツールを用いて、特定システムを対象とした機器レベルの FT を作成して、既存 FT との比較等による妥当性確認と課題の検討を実施した。機器レベルの FT 作成手順を図 3. 1. 1-3 に示す。妥当性確認については、高速炉の 2 次主冷却系と 2 次補助冷却系を対象として、機器レベルの FT を作成し、各作業ステップにおける確認クライテリアを設定することによる機能確認とともに、FT 自動作成ツールで作成した PRA 入力データによる評価結果と人が作成した PRA 入力データ(既存 FT)による PRA 評価結果の整合性を定量的に確認する総合確認により試作したツールは従来法と整合的であると確認した。図 3. 1. 1-4 に機器レベル FT の作業時間の低減効果を示す。課題の検討については、一連の試作、妥当性確認を踏まえて課題を検討し、PRA 作業の信頼性向上に向けた課題と PRA 作業の省力化に向けた課題として抽出するとともに、(3)以降の検討に向けた留意事項をまとめた。



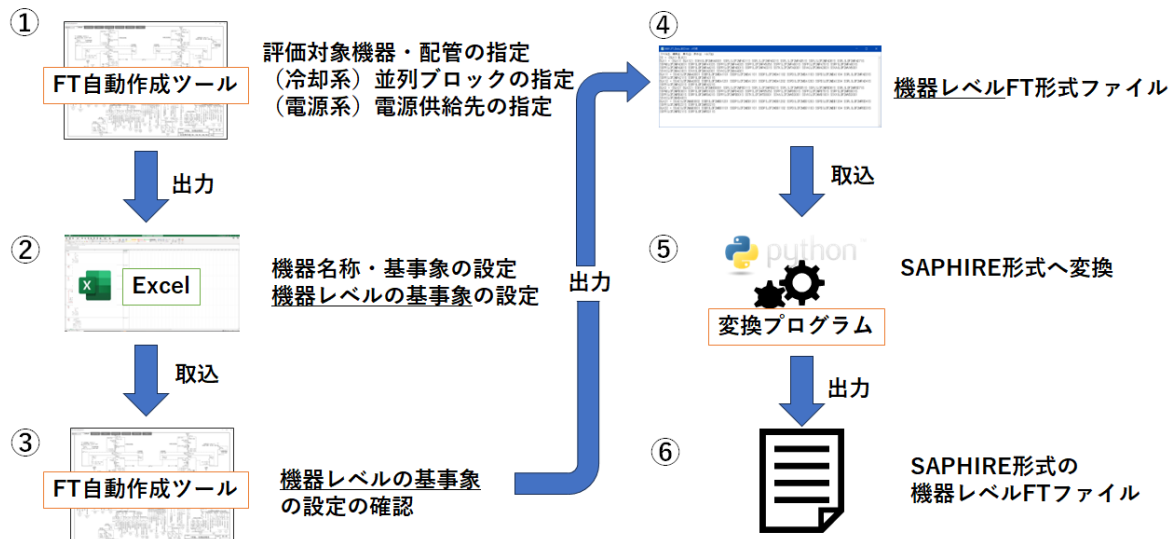


図 3. 1. 1-3 機器レベルの FT 作成手順

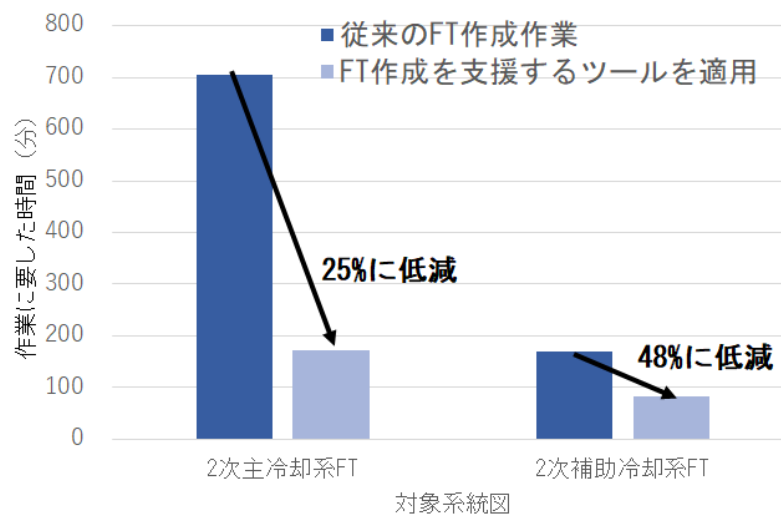


図 3. 1. 1-4 機器レベルFT の作業時間の低減効果

### (3) 故障モードレベルの FT 自動作成ツールの試作【R5】

特定系統を対象とした故障モードレベルの FT 自動作成ツールを試作した。試作したツールを用いて FT を作成し、既存 FT との比較により試作したツールの試適用を実施して、FT 自動作成ツールの機能は従来法と整合的であると確認した。故障モードレベルの FT 作成手順を図 3. 1. 1-5 に示す。また、FT 自動作成ツールの作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認し、さらなる改良点を抽出した。図 3. 1. 1-6 に故障モードレベル FT の作業時間の低減効果を示す。

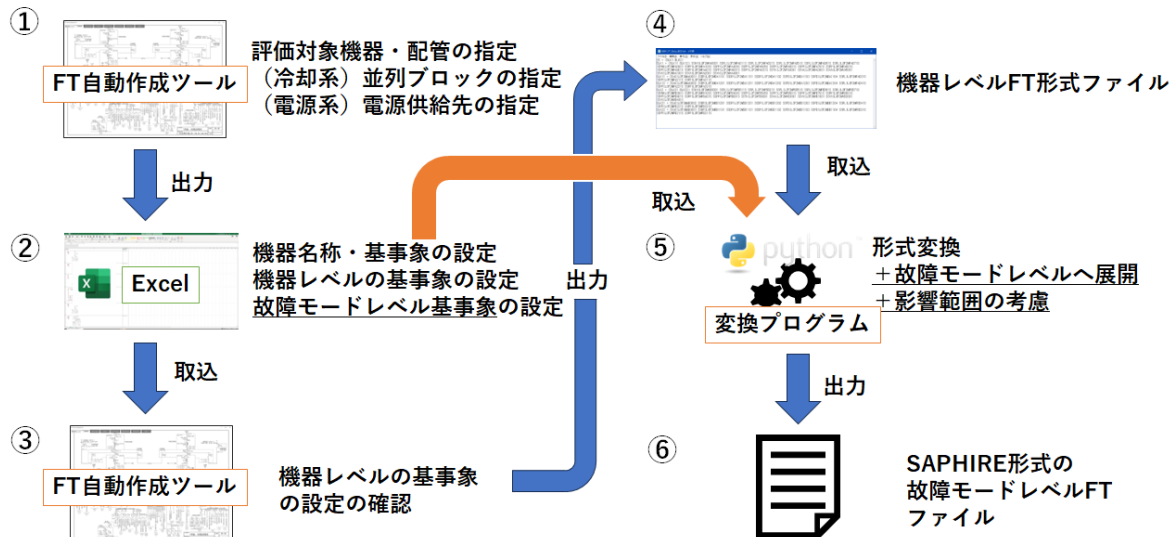


図 3.1.1-5 故障モードレベルの FT 作成手順

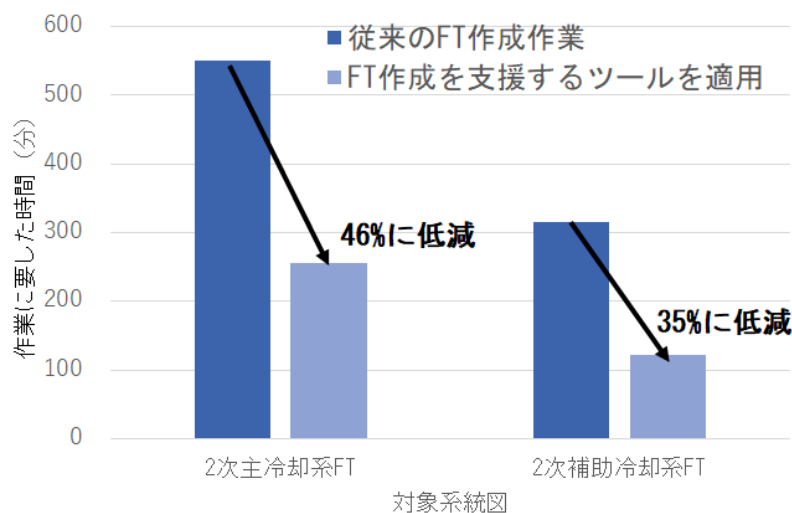


図 3.1.1-6 故障モードレベル FT の作業時間の低減効果

#### (4) AI ツールの他の系統及び電源系への機能拡張【R5】

(3)までの2次主冷却系及び2次補助冷却系以外の2次Na純化系等の他の系統に適用するための機能を拡張したFT自動作成ツールを試作した。試作したツールを用いてFTを作成し、既存FTとの比較により試作したツールの試適用を実施して、FT自動作成ツールの機能は従来法と整合的であると確認した。

また、図 3.1.1-7 に示すような電源系に適用するための機能(配線をたどる機能)を拡張したFT自動作成ツールを試作した。試作したツールを用いてFTを作成し、既存FTとの比較により試作したツールの試適用を実施して、FT自動作成ツールの機能は従来法と整合的であると確認した。

また、上記の他の系統及び電源系への機能拡張について、FT自動作成ツールの作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認し、さらなる改良点を抽出した。図 3.1.1-8 に故障

モードレベル FT の作業時間の低減効果を示す。

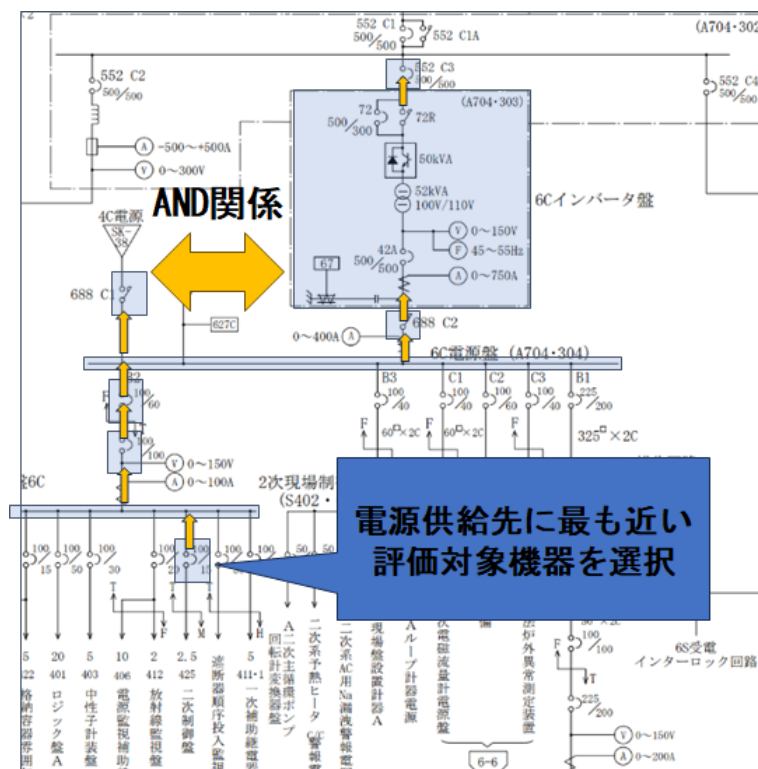


図 3.1.1-7 電源系の配線をたどる機能イメージ

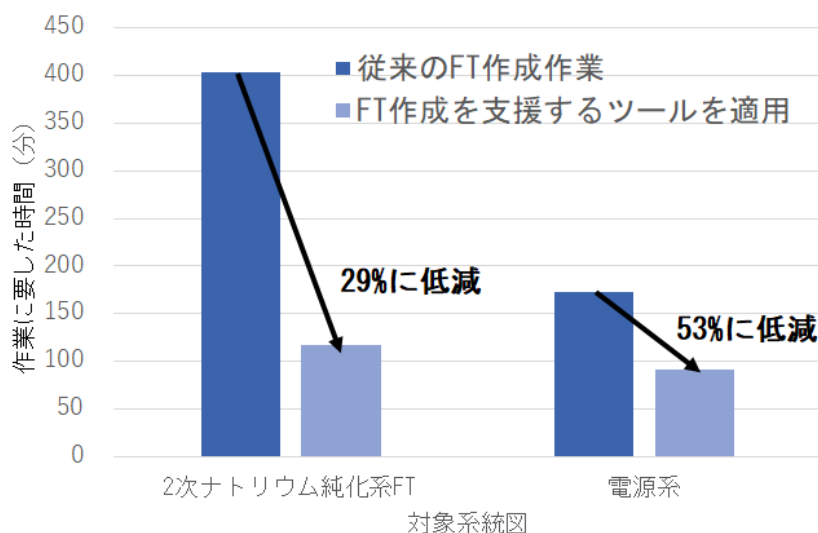


図 3.1.1-8 2次Na純化系及び電源系 FT の作業時間の低減効果

#### (5) 信号系の FT 作成、サポート系を考慮した FT 作成への機能拡張【R6】

令和5年度までに試作した FT 自動作成ツールでは、単一の図面に対する FT を作成する機能を実装し、検証と妥当性確認を実施してきた。これらの機能に加えて、複数の図面にまたがる FT、すなわち信号系の FT 作成、フロントライン系とサポート系等のトランスファーゲートを介した FT 間のリンク関係を考慮した FT 作成へ機能拡張した FT 自動作成ツールを試作した。

## ① FT 自動作成ツールの試作

### 1) 信号系の FT 作成への機能拡張の検討

高速実験炉「常陽」の PRA における信号系のモデル化手順を分析し、信号系 FT の作成手順を検討した。さらに、検討結果に基づいて AI ツールによる信号系 FT 作成方法を検討した。ここでは、対象機器として主冷却器ベーン/ダンパを例とした。表 3.1.1-3 に主冷却器ベーン/ダンパの制御系の故障率評価対象構成機器の図面と関係性を示すとともに、モデル化対象機器を図 3.1.1-9～図 3.1.1-12 の図面上に示す。

試作した FT 自動作成ツールでは、FT 解析機能を有する PRA 用解析コードとのインターフェース機能を持ち、PRA 用解析コードが読込可能なフォーマット(テキスト形式)で表現された FT データを出力する。PRA 用解析コードとしては、アメリカ合衆国原子力規制委員会(以下、米国 NRC という。)が開発/公開している SAPHIRE コードを対象とした。

#### 1-a) 信号系のモデル化手順

##### (a) 構成機器と信号経路

- i) 対象機器(ここでは主冷却器ベーン/ダンパ)の制御系の故障モードを設定する。
- ii) i) で設定した故障モードの要因となる制御系(信号系)の構成機器を設定する。  
→展開接続図から制御系の構成機器を抽出して、信号経路(各機器の関係)を特定する。

##### (b) 構成機器の故障率

(a) で設定した信号系の構成機器の故障率を設定する。

##### (c) 信号系機能喪失確率の設定

(b) で設定した信号系の構成機器の故障率を合成して、信号系の機能喪失確率を設定する。

#### 1-b) 信号系 FT の作成手順

##### (a) FT 用基事象の設定

上記(a) ii) で設定した信号系の構成機器ごと(もしくは構成機器の故障モードごと)に基事象を設定する。

##### (b) 論理関係の検討と FT の構築

上記(c)における各構成機器の故障率の合成内容に基づいて、各基事象の論理関係を設定して FT を構築する。

#### 1-c) FT 自動作成ツールによる信号系 FT 作成方法の検討

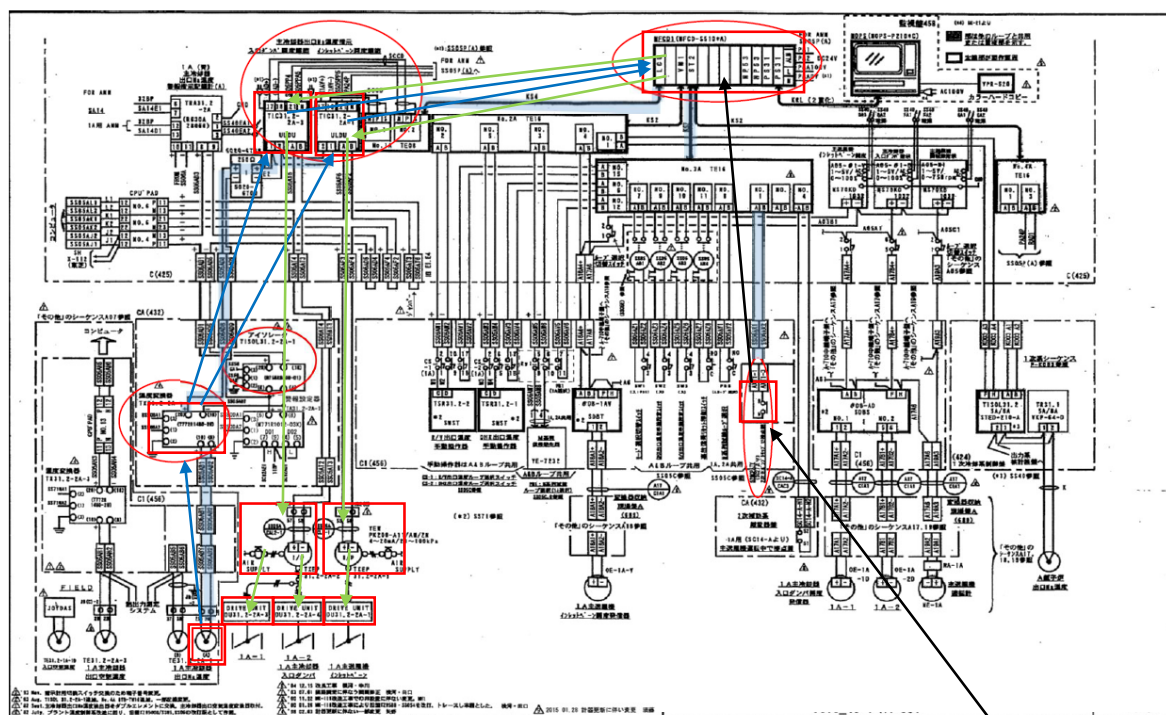
1-b) までの分析、検討を踏まえ、FT 自動作成ツールによる信号系 FT 作成手順を検討した。基本的な手順は、これまで作成してきた流体系/電源系と同じであり、以下に FT 作成の流れを示す。

- i) 対象図面からモデル化対象機器の読み取り

- ii) 対象機器間の関係の設定(ブロック化、ブロック間の関係設定等)
- iii) 故障モードレベルの基事象とその影響範囲の設定
- iv) i)～iii)の結果に基づき AI ツールによる FT のひな形データの生成
- v) 変換プログラムによるひな形データの SAPHIRE 形式 FT データ化

表 3.1.1-3 主冷却器ベーン/ダンパの制御系の故障率評価対象構成機器図面

対象図面名称	説明
プラント温度制御系 1A ループ展開接続図_SS05A (図 3.1.1-9)	熱電対の温度とスクラム信号をもとにベーンとダンパを制御することで Na 流体の温度を調整する
A2 次主循環ポンプ_GM16-A (図 3.1.1-10)	スクラム信号の起点
A ループ 2 次冷却系制御回路_SC14-A (図 3.1.1-11)	スクラム信号を中継
温度制御装置インターロック回路図_SC27 (図 3.1.1-12)	スクラム信号をプラント温度制御系に送信



温度制御装置インターロック回路図 SC27 より

図 3.1.1-9 プラント温度制御系 1A ループ展開接続図\_SS05A

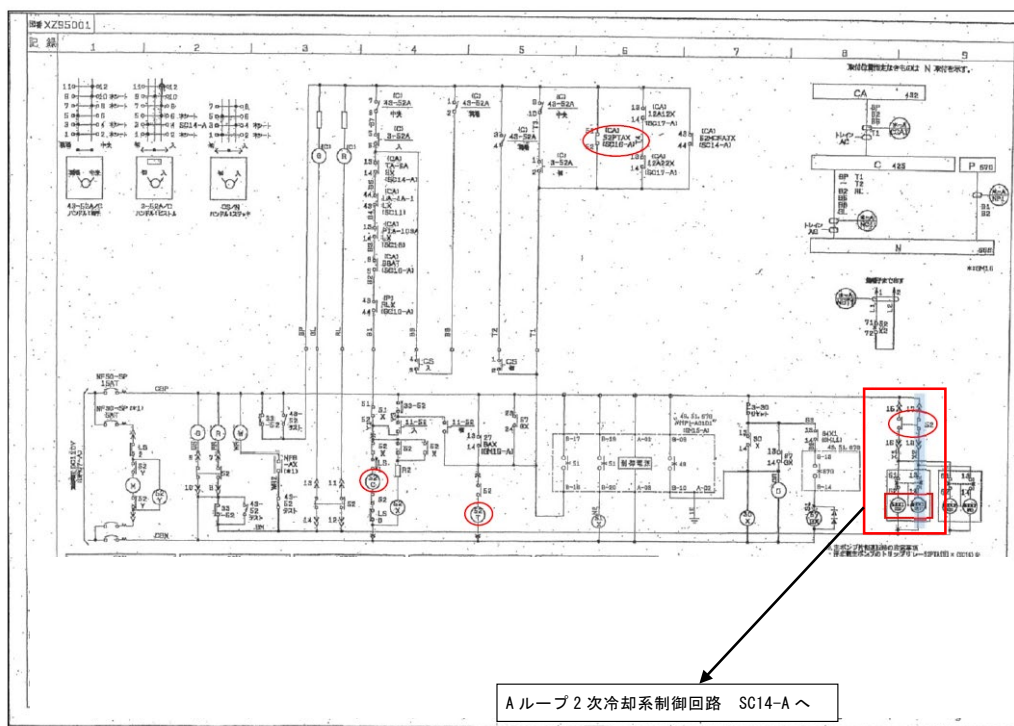


図 3.1.1-10 A2 次主循環ポンプ GM16-A

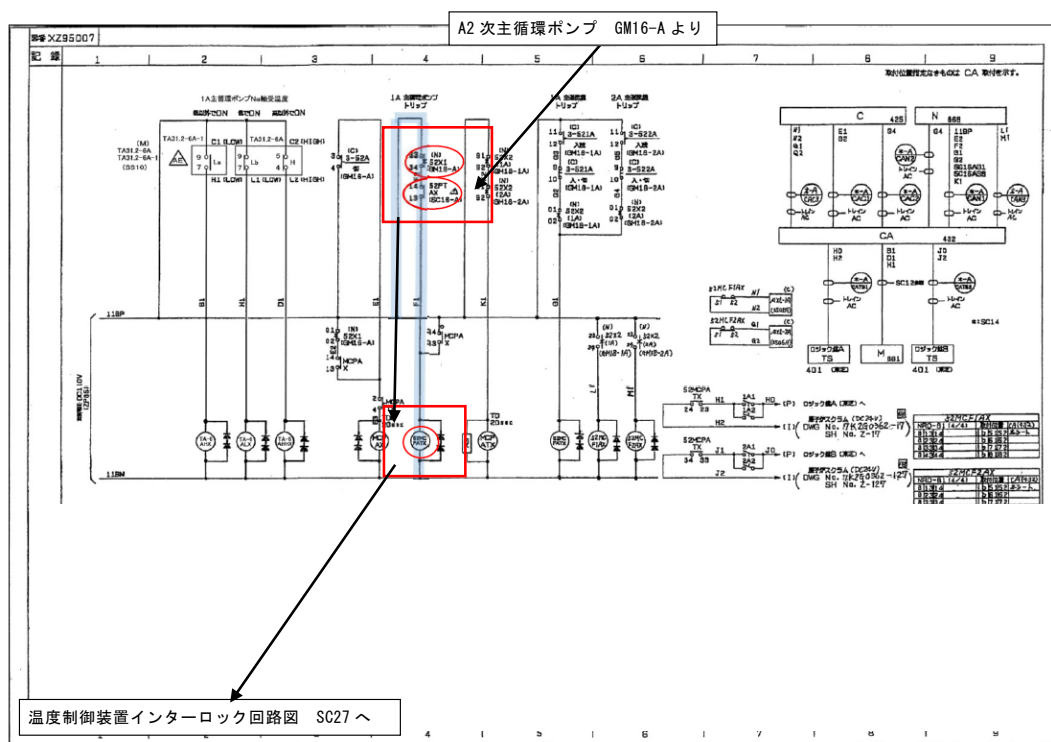


図 3.1.1-11 A ループ 2 次冷却系制御回路 SC14-A





13 に、令和 6 年度に機能拡張した FT 作成フローを図 3.1.1-14 に示す。1 図面に対して 1 つの FT フォーマットファイルを出力する点は令和 6 年度の FT 自動作成ツールもこれまでと同様である(いずれも④)。今回の機能拡張では、①において評価対象機器の指定だけでなく、リンク関係を考慮するための機能を追加した。追加にあたっては、信号系、トランスファーなど複数図面を対象とした FT 作成作業に対応するためにタブ切り替えで複数図面を参照し、FT データを出力する際に任意のトップイベントを指定できるようにすることでリンク関係を記述できるようにした。②において作成する故障モードレベルの基事象ファイルについては図面ごとにファイル生成される以外の変更はない。⑤の変換プログラムで、リンク関係が記載された複数の FT フォーマットファイルとそれに対応する基事象ファイルを読み込み SAPHIRE 形式の FT フォーマットファイルを出力する。複数の FT に同じトップイベントが指定されている場合には、OR で結合してひとつの FT とする機能を追加した。

### 3-b) 作業性を向上のための改良

作業性の向上のための改良のうち、主要な改良を以下に示す。

#### 【機器リスト】

これまでは評価対象機器は基事象設定用のエクセルファイルに出力して確認する必要があった。選択した評価対象機器の一覧を図面と一緒に確認し、選択範囲の表示・非表示、機器名称の入力を GUI 上で実施できるようにすることで操作性を向上させた。図 3.1.1-15 に機器リストの例(画面右側)、図 3.1.1-16 に機器名称の変更ウィンドウの例を示す。選択範囲の表示・非表示の切り替え例を図 3.1.1-17 に示す。

#### 【検出方法の切り替え】

令和 4 年度にテンプレートマッチング(パターンマッチング)による評価対象機器を抽出する機能を導入し、令和 5 年度には深層学習ベースの物体検出により評価対象機器を抽出する機能も導入した。テンプレートマッチングは画像処理アルゴリズムを活用し、選択した図形とほとんど同じ形の図形を抽出する。サイズが違ったり、選択領域に余計なノイズが入っていたりすると抽出できない。処理は高速なため大量にある単純な図形の検出には有効な手法となる。一方、物体検出は深層学習モデルの Visual Transformer(ViT)というモデルを活用し、選択した図形と似た形の図形を抽出する。サイズが異なっても全体的な特徴(人間の感覚で同じと見做せるようなもの)が似ているものを抽出できる。処理に負荷がかかるが複雑な形状の図形の抽出には有効な手法である。これらの検出手法を図形に応じてユーザーが切り替えて使用できるよう改良した。

また、令和 4 年度に開発した段階ではテンプレートマッチングは指定フォルダ内に格納してあるテンプレート画像と同じ図形を抽出するという機能であった。フォルダにある画像で明らかに図面上にないものであってもすべて検索するため、高速



なテンプレートマッチングであっても処理に時間を要した。このため、テンプレートマッチング、物体検出ともに図面上で選択した機器と同じものを抽出するよう改良した。これにより、凡例データを別ファイルとして取り扱う必要がなくなるとともに抽出状況の視認性が向上し、作業性が改善した。

#### 【起動の高速化】

これまで「物体検出」のモデルを読み込むために起動時間が 1 分以上かかっていたことから、図 3.1.1-18 に示すように、物体検出モデルの読込をバックグラウンドで行うことにより操作開始となるまでの時間を短縮し、数秒から十数秒で操作可能となった。

表 3.1.1-4 使い勝手を向上する改良一覧

タイトル	概要
画面ズーム機能	細かい領域の選択をしやすくするため、図面を拡大縮小及び移動しながら作業するためのズーム機能
機器リスト	選択した評価対象機器の一覧を FT 自動作成ツールの操作画面にリスト表示し、さらにリスト上で表示・非表示の切り替えや名称変更を行えるようにする機能
選択範囲キャンセル機能	誤って選択範囲を描画しようとした場合、これまでは描画を確定して削除する必要があったものを描画途中でキャンセルできるようにする
選択対象色変更機能	評価対象機器の選択ボックスや配線選択用の線の色を自由に変更できるようにすることで作業結果の視認性を向上させる
検出方法の切り替え機能	令和 5 年度に導入した深層学習ベースの物体検出を使用した評価対象機器抽出機能に加えて令和 4 年度に導入したテンプレートマッチング(パターンマッチング)による抽出機能を切り替えて使用できるようにする。
起動の高速化	深層学習ベースのモデルの読込で時間がかかっていたものを、バックグラウンドで読み込むようにすることで起動を高速化し、作業の効率性を向上させるもの

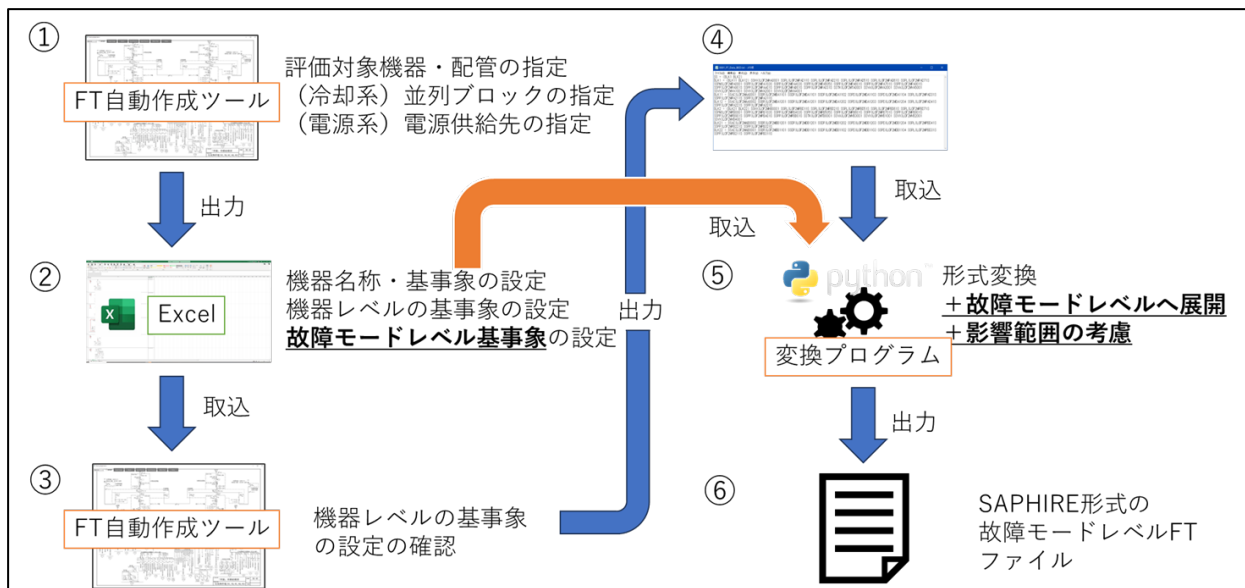


図 3.1.1-13 令和5年度までのFT自動作成ツールによるFT作成のフロー

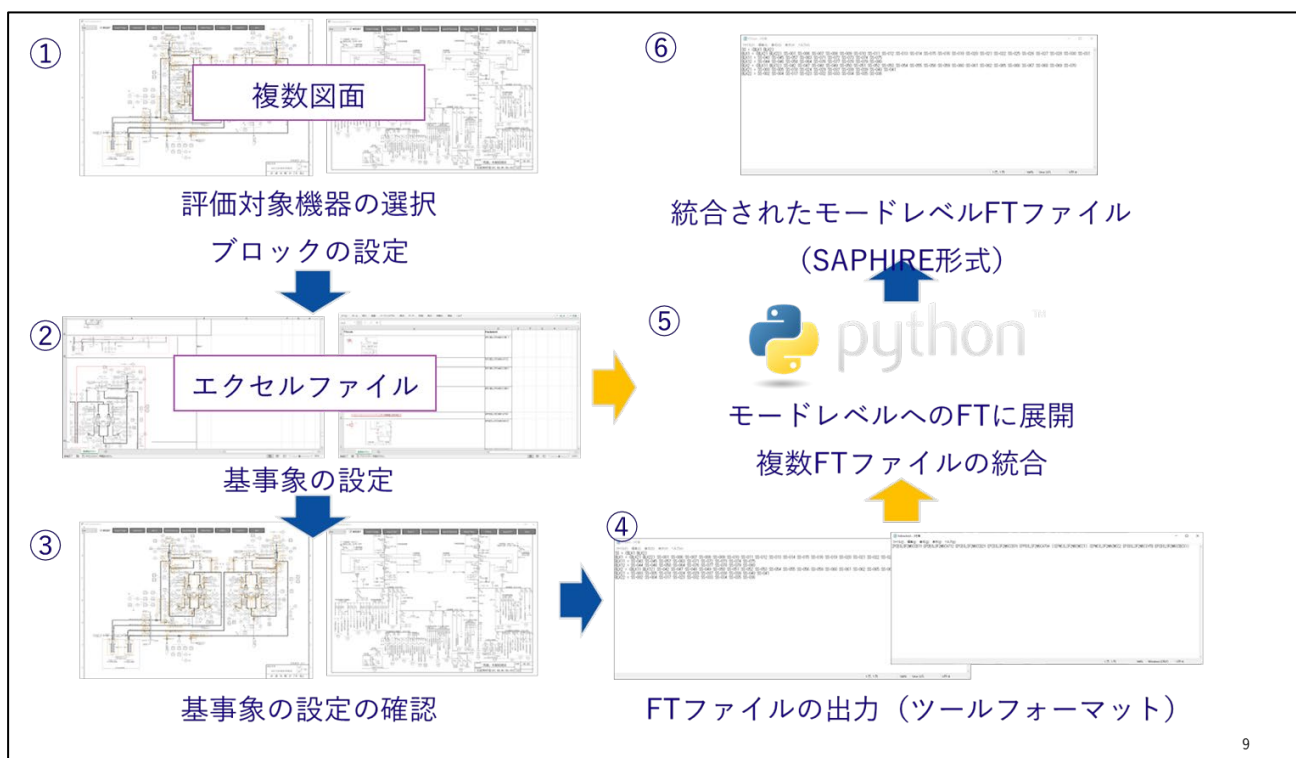


図 3.1.1-14 機能拡張したFT自動作成ツールによるFT作成のフロー

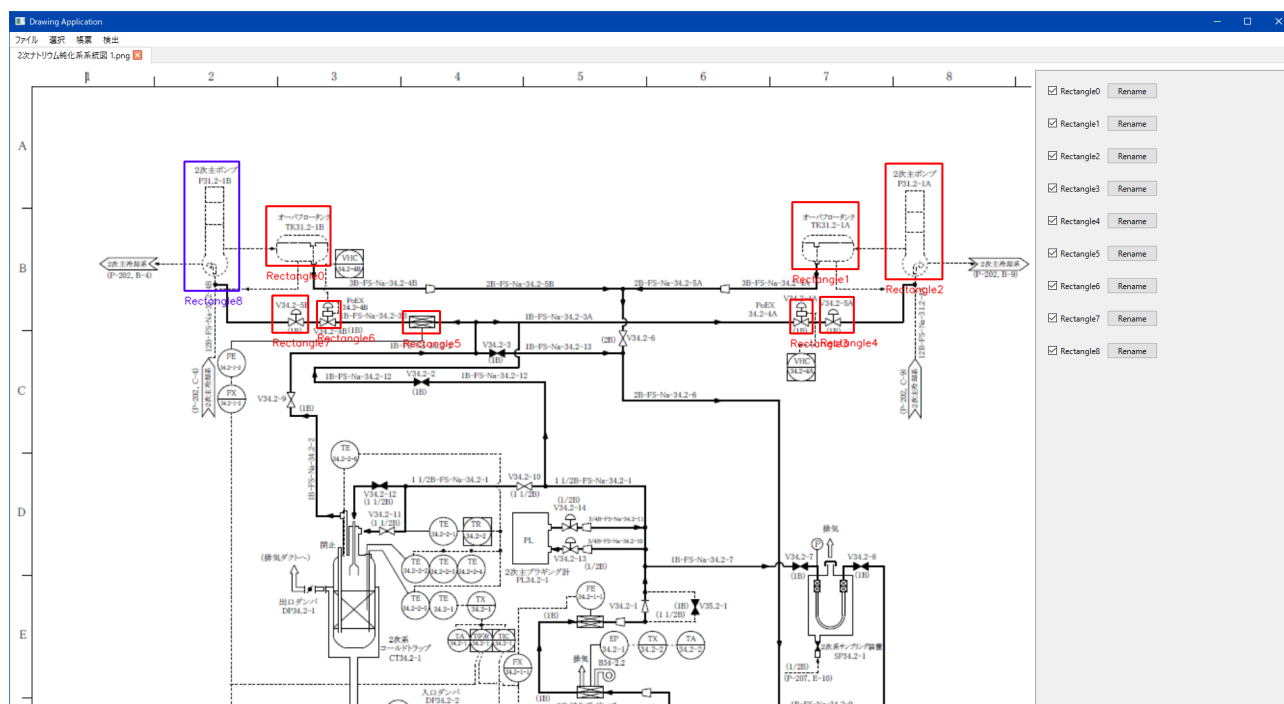


図 3.1.1-15 機器リストの例

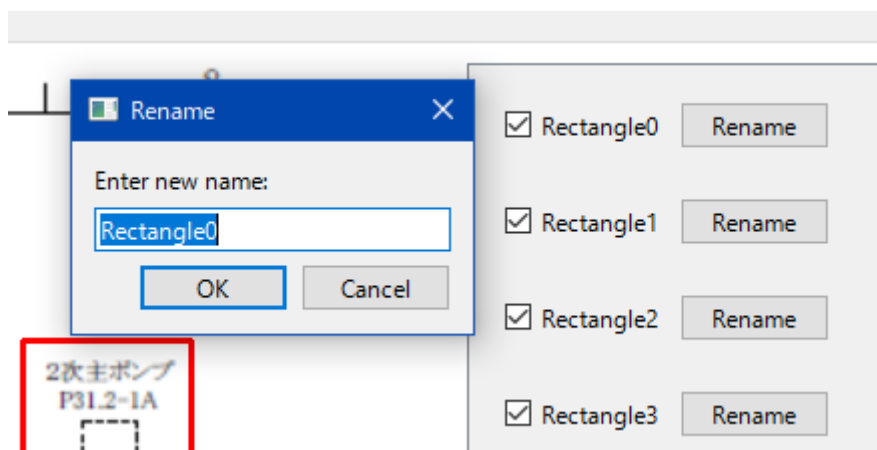


図 3.1.1-16 機器名称の変更

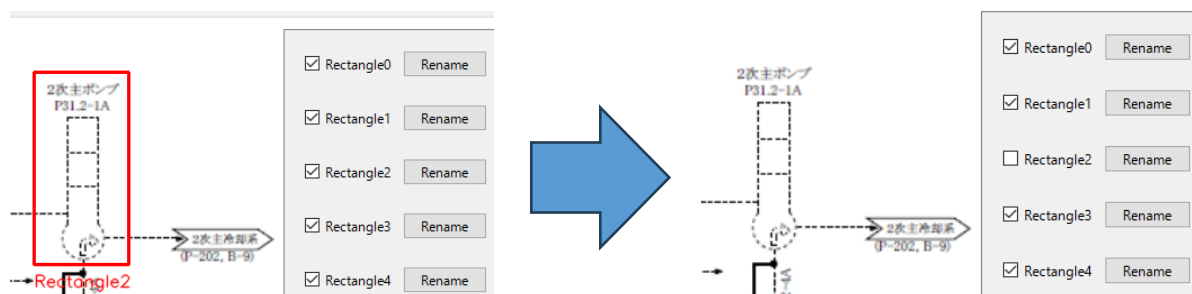


図 3.1.1-17 選択範囲の表示・非表示

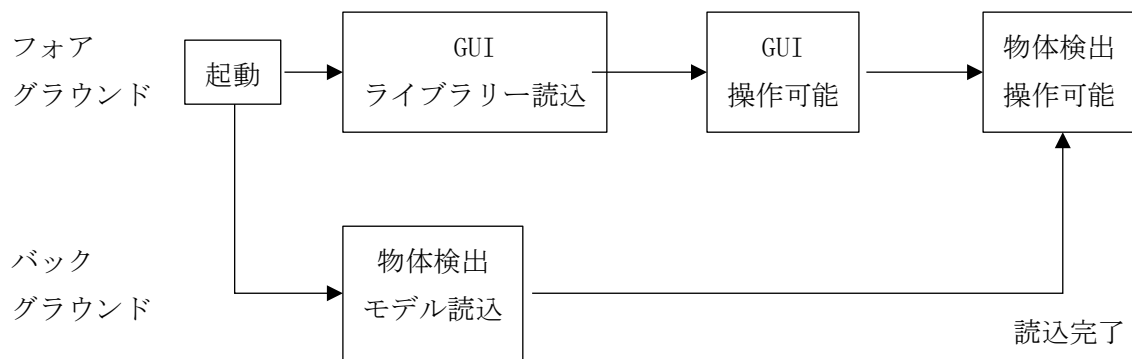


図 3.1.1-18 ライブラリーの読込処理

## ② FT 自動作成ツールの使用有無による整合性確認

FT 自動作成ツールの使用有無による整合性について、従来手法(SAPHIRE)を用いて確認した。整合性は、FT 自動作成ツールを使用して FT を試作し、手動で作成した FT との SAPHIRE による論理構造と定量化結果を比較検証することで確認した。

### 1) FT 自動作成ツールによる FT の試作

#### 1-a) 試作対象の検討

①で試作した FT 自動作成ツールを用いて、FT を試作した。試作対象は、従来機能の確認の観点から令和 5 年度までに試作対象とした系統を含めて、以下の図面(系統及び複数系統の組合せ)を対象とした。

- (a) 2 次補助冷却系(図面 1 枚で構成)
- (b) 電源系(図面 1 枚で構成)
- (c) 信号系(図面 4 枚で構成)
- (d) 2 次主冷却系、2 次 Na 純化系、電源系及び信号系の組合せ(図面 7 枚で構成)

(a) 及び(b)は、FT 自動作成ツールの基本的な機能確認を目的とした 1 枚の図面を対象とした。

(c)は、機能を追加した信号系の FT 作成機能(複数図面への対応機能)の機能確認を目的とした。

(d)は、機能を追加したフロントライン系とサポート系等のトランスファーゲートを介した FT 間のリンク関係を考慮した FT 作成の機能確認を目的とした。

#### 1-b) FT 作成条件の設定

FT 作成条件は、以下にて設定した。

- ・機器の故障モードと故障モードレベルの基事象 ID の記号等の設定
- ・試作対象系統の故障モードレベルの基事象の設定と基事象 ID の生成

・故障モードの影響範囲の設定

【機器の故障モードと故障モードレベルの基事象 ID の記号等の設定】

試作対象系統におけるモデル化対象機器の故障モードは、一般社団法人 原子力安全推進協会(以下、JANSI という。)の「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定(1982 年度～2010 年度 29 ヶ年 56 基データ)」[7]を参考に設定した。

なお、一部の高速炉特有の機器については、上記以外に JAEA データを参照して適用機器や故障モードを設定した。

表 3.1.1-5 に、モデル化対象機器の故障モードの設定結果を示す。また、表 3.1.1-6 に、各故障モードの基事象 ID における記号の設定結果を示す。

【試作対象系統の故障モードレベルの基事象の設定と基事象 ID の生成】

モデル化対象機器の故障モードと故障モード記号から試作対象系統の故障モードレベルの基事象 ID を生成した。表 3.1.1-7 に、系統記号を示す。また、表 3.1.1-8 に、機器種別記号を示す。さらに、表 3.1.1-9～表 3.1.1-12 に、生成した故障モードレベルの基事象 ID を含めた試作対象系統の基事象のリストを示す。なお、設定した基事象 ID の構成は以下とした。

基事象 ID は、16 文字の英数字からなる記号で、16 文字の構成は以下の通りとした。

●●○○■△△△□□××××××  
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6

1-2 文字目	: 系統
3-4 文字目	: 機器種別
5 文字目	: 単独故障(=I) or 共通原因故障(=C)
6-8 文字目	: 故障モード
9-10 文字目	: 時間ファクタ
11 文字目以降	: 機器番号等の任意の文字列

【故障モードの影響範囲の設定】

故障モードごとに当該故障モードの影響範囲を設定した。表 3.1.1-13 に、故障モードごとの影響範囲の仮定を示す。

1-c) FT の試作

1-a) で検討した図面の組合せの系統について、FT 自動作成ツールを用いて故障モードレベルの FT を試作した。

【(a) 2 次補助冷却系(図面 1 枚で構成)】

2 次補助冷却系の系統図を読み込んだ状態を図 3.1.1-19 に、評価対象機器及び配管を抽出/選択した結果を図 3.1.1-20 に示す。評価対象機器及び配管を抽出した後に、トップイベント名称(ここでは SA)を指定して FT データを出力した。また、ツールから出力した機器レベルの FT 生成用データを図 3.1.1-21 に示す。

ツールから出力した機器レベルの FT 生成用データと基事象設定ファイル(エクセルデータ)を PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムへの入力データとして、故障モードレベルの FT データを生成した。故障モードレベルの FT データを図 3.1.1-22 に示す。

さらに、この故障モードレベルの FT データを SAPHIRE コードへインポートして、故障モードレベルの FT を生成した。図 3.1.1-23 に、SAPHIRE コードで生成した 2 次補助冷却系の故障モードレベルの FT を示す。

#### 【(b) 電源系(図面 1 枚で構成)】

電源系の単線結線図をツールに読み込んだ状態を図 3.1.1-24 に、評価対象機器を抽出/選択した結果を図 3.1.1-25 に示す。評価対象機器を抽出した後に、トップイベント名称(ここでは EPS\_6C)を指定して FT データを出力した。また、ツールから出力した機器レベルの FT 生成用データを図 3.1.1-26 に示す。

ツールから出力した機器レベルの FT 生成用データと基事象設定ファイル(エクセルデータ)を PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムへの入力データとして、故障モードレベルの FT データを生成する。故障モードレベルの FT データを図 3.1.1-27 に示す。

さらに、この故障モードレベルの FT データを SAPHIRE コードへインポートして、故障モードレベルの FT を生成した。図 3.1.1-28 に、SAPHIRE コードで生成した電源系の故障モードレベルの FT を示す。

#### 【(c) 信号系(図面 4 枚で構成)】

信号系の FT は、信号の流れに応じた以下の 4 枚の図面から機器を選択して試作した。

- (a) プラント温度制御系 1A ループ展開接続図\_SS05A
- (b) A2 次主循環ポンプ\_GM16-A
- (c) A ループ 2 次冷却系制御回路\_SC14-A
- (d) 温度制御装置インターロック回路図\_SC27

(a) の展開接続図をツールに読み込んだ状態を図 3.1.1-29 に、図面上から評価対象機器を抽出/選択した結果を図 3.1.1-30 に示す。

(b) の展開接続図をツールに読み込んだ状態を図 3.1.1-31 に、図面上から評価対象機器を抽出/選択した結果を図 3.1.1-32 に示す。

(c) の展開接続図をツールに読み込んだ状態を図 3.1.1-33 に、図面上から評価対

象機器を抽出/選択した結果を図 3.1.1-34 に示す。

(d)の展開接続図をツールに読み込んだ状態を図 3.1.1-35 に、図面上から評価対象機器を抽出/選択した結果を図 3.1.1-36 に示す。

評価対象機器を抽出した後に、トッパイイベント(ここではSG)名称を指定してFTデータを出力した。トッパイイベント名称は、4種類の図面データで同一の名称(SG)を指定した。また、ツールから出力した機器レベルのFT生成用データを図 3.1.1-37～図 3.1.1-40 に示す。

ツールから出力した機器レベルのFT生成用データと基事象設定ファイル(エクセルデータ)をPRA用解析コード用FTデータ出力プログラムへの入力データとして、故障モードレベルのFTデータを生成する。故障モードレベルのFTデータを図 3.1.1-41 に示す。

さらに、この故障モードレベルのFTデータをSAPHIREコードへインポートして、故障モードレベルのFTを生成した。図 3.1.1-42 に、SAPHIREコードで生成した信号系の故障モードレベルのFTを示す。

#### 【(d) 2次主冷却系、2次Na純化系、電源系及び信号系の組合せ(図面7枚で構成)】

2次主冷却系を頂上系として、2次Na純化系、電源系及び信号系をサポート系として、トランスファーゲートを介したFT間のリンク関係を考慮したFTを試作した。

2次主冷却系の評価対象機器及び配管を抽出/選択した結果を図 3.1.1-43 に示す。さらに、2次主冷却系の図面上における2次Na純化系、信号系及び電源系へのリンクの指定箇所の拡大図を図 3.1.1-44 に示す。各系統へのリンクは、当該系統が含まれる図面上のブロック内に矩形を設定して、矩形の名称として対象系統のトッパイイベント名称(ここでは、2次主冷却系はSS、2次Na純化系はSP、信号系はSG、電源系はEPS\_6C)を設定した。

次に、トッパイイベント名称を指定してFTデータを出力した。

また、2次Na純化系の評価対象機器及び配管を抽出/選択した結果を図 3.1.1-45 に示す。

さらに、ツールから出力した2次主冷却系と2次Na純化系の機器レベルのFT生成用データを図 3.1.1-46 及び図 3.1.1-47 に示す。

ツールから出力した機器レベルのFT生成用データと基事象設定ファイル(エクセルデータ)をPRA用解析コード用FTデータ出力プログラムへの入力データとして、故障モードレベルのFTデータを生成した。故障モードレベルのFTデータを図 3.1.1-48 に示す。FTデータには、2次主冷却系、2次Na純化系、信号系及び電源系のFTを含んでおり、その中の2次主冷却系のFTには、2次Na純化系、信号系及び電源系へのトランスファーゲートが設定されている。

この故障モードレベルのFTデータをSAPHIREコードへインポートして、故障モードレベルのFTを生成した。図 3.1.1-49～図 3.1.1-53 に、SAPHIREコードで生成した2次主冷却系、2次Na純化系、信号系及び電源系の故障モードレベルのFTを示す。

表 3.1.1-5 モデル化対象機器の故障モード

モデル化対象機器	機器種別	故障モード	故障率データ種別	備考
配管	配管	リーク	時間故障	
		閉塞	時間故障	
熱交換器/冷却器	熱交換器	伝熱管破損	時間故障	
		外部リーク	時間故障	
		伝熱管閉塞	時間故障	
主ポンプ	電動ポンプ	起動失敗	デマンド	
		起動失敗	時間故障	
		継続運転失敗	時間故障	
タンク	タンク	破損	時間故障	
		閉塞	時間故障	
隔離弁	手動弁	開失敗	デマンド	
		閉失敗	デマンド	
		開閉失敗	時間故障	
		閉塞	時間故障	
		外部リーク	時間故障	
		内部リーク	時間故障	
		閉塞	時間故障	
	空気作動弁	開失敗	デマンド	
		閉失敗	デマンド	
		作動失敗	時間故障	
		誤開又は誤閉	時間故障	
		閉塞	時間故障	
		外部リーク	時間故障	
		内部リーク	時間故障	
送風機	ファン/ブロー	起動失敗	デマンド	
		起動失敗	時間故障	
		継続運転失敗	時間故障	
ダンパ	ダンパ	開失敗	デマンド	
		閉失敗	デマンド	
		作動失敗	時間故障	
		誤開又は誤閉	時間故障	
		閉塞	時間故障	
		外部リーク	時間故障	
		内部リーク	時間故障	
止め弁	電動弁	開失敗	デマンド	
		閉失敗	デマンド	
		作動失敗	時間故障	
		誤開又は誤閉	時間故障	
		閉塞	時間故障	
		外部リーク	時間故障	
		内部リーク	時間故障	
電磁ポンプ	電磁ポンプ	継続運転失敗	時間故障	常陽PRA資料に基づき故障モードを「継続運転失敗（運転失敗）」と「外部リーク（外部漏洩）」を仮定
		外部リーク	時間故障	
ブラギング計	配管	リーク	時間故障	常陽PRA資料に基づき「配管」を仮定
		閉塞	時間故障	
逆止弁	逆止弁	開失敗	デマンド	
		閉失敗	デマンド	
		開閉失敗	時間故障	
		閉閉失敗	時間故障	
		外部リーク	時間故障	
		内部リーク	時間故障	
コールドトラップ	熱交換器	伝熱管破損	時間故障	
		外部リーク	時間故障	
		伝熱管閉塞	時間故障	
遮断器	遮断器	作動失敗	時間故障	
		誤開	時間故障	
		誤閉	時間故障	
分電盤	母線	機能喪失	時間故障	電源系の盤は、「母線」を仮定
電源盤	母線	機能喪失	時間故障	電源系の盤は、「母線」を仮定
電磁接触器	リレー	不動作	時間故障	
		誤動作	時間故障	
インバータ盤	母線	機能喪失	時間故障	電源系の盤は、「母線」を仮定
出口温度計	温度検出器	不動作	時間故障	
		高出力/低出力	時間故障	
温度変換器	温度スイッチ	不動作	時間故障	
		誤動作	時間故障	
信号処理回路1 (手動制御用調節計)	演算器	不動作	時間故障	
		高出力/低出力	時間故障	
信号処理回路2 (制御演算処理装置)	演算器	不動作	時間故障	
		高出力/低出力	時間故障	
電空変換器	コントローラ	不動作	時間故障	
		高出力/低出力	時間故障	
リレー	リレー	不動作	時間故障	
		誤動作	時間故障	



表 3.1.1-6 故障モード記号

故障モード	記号
リーク	LEK
閉塞	PLG
伝熱管破損	PDM
外部リーク	OLK
伝熱管閉塞	PLG
起動失敗	FST
継続運転失敗	FCT
破損	DMG
開失敗	FTO
閉失敗	FTC
開閉失敗	FOC
内部リーク	ILK
作動失敗	FOP
誤開又は誤閉	MOC
機能喪失	LOF
内部破壊	IDM
誤開	MOP
誤閉	MCL
不動作	INO
誤動作	MFL

表 3.1.1-7 系統記号

系統	記号
2次主冷却系	SS
2次補助冷却系	SA
2次Na純化系	SP
電源系	EP
信号系	SG

表 3.1.1-8 機器種別記号

モデル化対象機器	適用する機器種別	機器種別記号	備考
配管	配管	PP	
		PL	
ダクト	配管	PD	
熱交換器	熱交換器	HX	
冷却器	熱交換器	AC	
主ポンプ	電動ポンプ	PM	
タンク	タンク	TK	
	手動弁	VX	
隔離弁	空気作動弁	VA	
送風機	ファン/ブロア	BR	
ダンパ	ダンパ	DP	
止め弁	電動弁	VM	
電磁ポンプ	電磁ポンプ	PE	
プラグイン計	配管	PG	機器種別は「配管」を仮定
逆止弁	逆止弁	CV	
コールドトラップ	熱交換器	CT	機器種別は「熱交換器」を仮定
遮断器	遮断器	CB	
分電盤（母線）	母線	DB	機器種別は「母線」を仮定
電源盤（母線）	母線	PB	機器種別は「母線」を仮定
インバータ盤	母線	IB	機器種別は「母線」を仮定
電磁接触器	リレー	MC	
出口温度計	温度検出器	TE	
温度変換器	温度スイッチ	TX	機器種別は「温度スイッチ」を仮定
信号系処理回路1	演算器	UL	機器種別は「演算器」を仮定
信号系処理回路2	演算器	MF	機器種別は「演算器」を仮定
電空変換器	コントローラ	TX	機器種別は「コントローラ」を仮定
リレー	リレー	RY	

表 3. 1. 1-9 基事象リスト(2次主冷却系) (1/3)

系統		内容		図面上的機器番号	所属領域	機器レベル基事象			故障モードレベル基事象			仮定等
						故障モード	基事象No.	基事象ID	故障モード	基事象No.	基事象ID	
2次主冷却系	Aループ	配管	主中間熱交換器出口から主冷却器分岐まで	12B-FS-Na-31. 2-1A	A	機能喪失	SS-001	SSPPILOF2MPA103S	リーク	SS-001-1	SSPPILEK2MPA103S	
									閉塞	SS-001-2	SSPPIPLG2MPA103S	
			主冷却器分岐から主冷却器1A入口まで	10B-FS-Na-31. 2-2A	A1	機能喪失	SS-002	SSPPILOF2MPA211S	リーク	SS-002-1	SSPPILEK2MPA211S	
									閉塞	SS-002-2	SSPPIPLG2MPA211S	
			主冷却器分岐から主冷却器2A入口まで	10B-FS-Na-31. 2-2A	A2	機能喪失	SS-003	SSPPILOF2MPA221S	リーク	SS-003-1	SSPPILEK2MPA221S	
									閉塞	SS-003-2	SSPPIPLG2MPA221S	
			主冷却器1A出口から出口配管合流まで	10B-FS-Na-31. 2-3A	A1	機能喪失	SS-004	SSPPILOF2MPA311S	リーク	SS-004-1	SSPPILEK2MPA311S	
									閉塞	SS-004-2	SSPPIPLG2MPA311S	
			主冷却器2A出口から出口配管合流まで	10B-FS-Na-31. 2-3A	A2	機能喪失	SS-005	SSPPILOF2MPA321S	リーク	SS-005-1	SSPPILEK2MPA321S	
									閉塞	SS-005-2	SSPPIPLG2MPA321S	
			出口配管合流から2次主ポンプA入口まで	12B-FS-Na-31. 2-4A	A	機能喪失	SS-006	SSPPILOF2MPA403S	リーク	SS-006-1	SSPPILEK2MPA403S	
									閉塞	SS-006-2	SSPPIPLG2MPA403S	
			2次主ポンプA出口から主中間熱交換器入口まで	12B-FS-Na-32. 2-5A	A	機能喪失	SS-007	SSPPILOF2MPA505S	リーク	SS-007-1	SSPPILEK2MPA505S	
									閉塞	SS-007-2	SSPPIPLG2MPA505S	
			主冷却器入口ライン分岐から隔離弁（V35. 2-4A）まで	3/4B-FS-Na-35. 2-5A	A	機能喪失	SS-008	SSPPILOF2MPA601S	リーク	SS-008-1	SSPPILEK2MPA601S	
									閉塞	SS-008-2	SSPPIPLG2MPA601S	
			オーバーフロータンク出口から2次主ポンプ入口ラインまで	3B-FS-Na-31. 2-7A	A	機能喪失	SS-009	SSPPILOF2MPA701S	リーク	SS-009-1	SSPPILEK2MPA701S	
									閉塞	SS-009-2	SSPPIPLG2MPA701S	
			2次主ポンプからオーバーフロータンクまで	6B-FS-Na-31. 2-6A	A	機能喪失	SS-010	SSPPILOF2MPA801S	リーク	SS-010-1	SSPPILEK2MPA801S	
									閉塞	SS-010-2	SSPPIPLG2MPA801S	
			2次主ポンプ出口ラインから2次D/Tライン隔離弁（V35. 2-3A）まで	番号なし	A	機能喪失	SS-011	SSPPILOF2MPA901S	リーク	SS-011-1	SSPPILEK2MPA901S	
									閉塞	SS-011-2	SSPPIPLG2MPA901S	
			2次純化系隔離弁（V34. 2-5A）から2次主ポンプA入口ラインまで	番号なし	A	機能喪失	SS-012	SSPPILOF2MPAA01S	リーク	SS-012-1	SSPPILEK2MPAA01S	
									閉塞	SS-012-2	SSPPIPLG2MPAA01S	
			2次主ポンプ出口ラインから2次D/Tライン隔離弁（V35. 2-2A）まで	番号なし	A	機能喪失	SS-013	SSPPILOF2MPAB01S	リーク	SS-013-1	SSPPILEK2MPAB01S	
									閉塞	SS-013-2	SSPPIPLG2MPAB01S	
			2次主ポンプ出口ラインから2次補助系隔離弁（V32. 2-3）まで	番号なし	A	機能喪失	SS-014	SSPPILOF2MPAC01S	リーク	SS-014-1	SSPPILEK2MPAC01S	
									閉塞	SS-014-2	SSPPIPLG2MPAC01S	
			計器類細管（TW31. 2-5A）	0	A	機能喪失	SS-015	SSPLILOF2MPAD11S	リーク	SS-015-1	SSPLILEK2MPAD11S	
									閉塞	SS-015-2	SSPLIPLG2MPAD11S	
			計器類細管（TW31. 2-1A）	0	A	機能喪失	SS-016	SSPLILOF2MPAD21S	リーク	SS-016-1	SSPLILEK2MPAD21S	
									閉塞	SS-016-2	SSPLIPLG2MPAD21S	
			計器類細管（TW31. 2-2A-1）	0	A1	機能喪失	SS-017	SSPLILOF2MPAD31S	リーク	SS-017-1	SSPLILEK2MPAD31S	
									閉塞	SS-017-2	SSPLIPLG2MPAD31S	
			計器類細管（TW31. 2-2A-2）	0	A2	機能喪失	SS-018	SSPLILOF2MPAD41S	リーク	SS-018-1	SSPLILEK2MPAD41S	
									閉塞	SS-018-2	SSPLIPLG2MPAD41S	
			計器類細管（PX31. 2-1A）	0	A	機能喪失	SS-019	SSPLILOF2MPAD51S	リーク	SS-019-1	SSPLILEK2MPAD51S	
									閉塞	SS-019-2	SSPLIPLG2MPAD51S	
			計器類細管（PX31. 2-2A）	0	A	機能喪失	SS-020	SSPLILOF2MPAD61S	リーク	SS-020-1	SSPLILEK2MPAD61S	
									閉塞	SS-020-2	SSPLIPLG2MPAD61S	
			計器類細管（TW31. 2-4A）	0	A	機能喪失	SS-021	SSPLILOF2MPAD71S	リーク	SS-021-1	SSPLILEK2MPAD71S	
									閉塞	SS-021-2	SSPLIPLG2MPAD71S	
		機器	主中間熱交換器	HX31. 1-1A	A	機能喪失	SS-022	SSHXILOF2MHA0001	伝熱管破損	SS-022-1	SSHXIPDM2MHA0001	
									外部リーク	SS-022-2	SSHXIOLK2MHA0001	
									伝熱管閉塞	SS-022-3	SSHXIPLG2MHA0001	
			主冷却器1A	AC31. 2-1A	A1	機能喪失	SS-023	SSACILOF2MAA0001	伝熱管破損	SS-023-1	SSACIPDM2MAA0001	
									外部リーク	SS-023-2	SSACIOLK2MAA0001	
									伝熱管閉塞	SS-023-3	SSACIPLG2MAA0001	
			主冷却器2A	AC31. 2-2A	A2	機能喪失	SS-024	SSACILOF2MAA0002	伝熱管破損	SS-024-1	SSACIPDM2MAA0002	
									外部リーク	SS-024-2	SSACIOLK2MAA0002	
									伝熱管閉塞	SS-024-3	SSACIPLG2MAA0002	
			2次主ポンプ	P31. 2-1A	A	機能喪失	SS-025	SSPMILOF2MPA0001	起動失敗	SS-025-1	SSPMIFST2MPA0001	
									継続運転失敗	SS-025-2	SSPMIFCT2MPA0001	
			オーバーフロータンク	TK31. 2-1A	A	機能喪失	SS-026	SSTKILOF2MTA0001	破損	SS-026-1	SSTKIDMG2MTA0001	
									閉塞	SS-026-2	SSTKIPLG2MTA0001	
			オーバーフロータンク隔離弁	V35. 2-4A	A	機能喪失	SS-027	SSVXILOF2MVA1001	外部リーク	SS-027-1	SSVXIOLK2MVA1001	常時閉の隔離弁リークのみ考慮
									内部リーク	SS-027-2	SSVXIILK2MVA1001	常時閉の隔離弁リークのみ考慮
			2次D/T系隔離弁1	V35. 2-3A	A	機能喪失	SS-028	SSVXILOF2MVA2001	外部リーク	SS-028-1	SSVXIOLK2MVA2001	常時閉の隔離弁リークのみ考慮
									内部リーク	SS-028-2	SSVXIILK2MVA2001	常時閉の隔離弁リークのみ考慮
			2次純化系隔離弁	V34. 2-5A	A	機能喪失	SS-029	SSVAILOF2MVA3001	誤開又は誤閉	SS-029-1	SSVAIMOC2MVA3001	常時閉の隔離弁作動関係のモードは考えない
									閉塞	SS-029-2	SSVAIPLG2MVA3001	常時閉の隔離弁作動関係のモードは考えない
									外部リーク	SS-029-3	SSVAIOLK2MVA3001	常時閉の隔離弁作動関係のモードは考えない
									内部リーク	SS-029-4	SSVAIILK2MVA3001	常時閉の隔離弁作動関係のモードは考えない
			2次D/T系隔離弁2	V35. 2-2A	A	機能喪失	SS-030	SSVXILOF2MVA4001	外部リーク	SS-030-1	SSVXIOLK2MVA4001	常時閉の隔離弁リークのみ考慮
									内部リーク	SS-030-2	SSVXIILK2MVA4001	常時閉の隔離弁リークのみ考慮
			2次補助系隔離弁	V32. 2-3	A	機能喪失	SS-031	SSVAILOF2MVA5001	誤開又は誤閉	SS-031-1	SSVAIMOC2MVA5001	常時閉の隔離弁リーク系のモードのみ考慮
									外部リーク	SS-031-2	SSVAIOLK2MVA5001	常時閉の隔離弁リーク系のモードのみ考慮
									内部リーク	SS-031-3	SSVAIILK2MVA5001	常時閉の隔離弁リーク系のモードのみ考慮

表 3.1.1-9 基事象リスト(2次主冷却系) (2/3)

系統		内容		図面上の機器番号	所属領域	機器レベル基事象			故障モードレベル基事象			仮定等
						故障モード	基事象No.	基事象ID	故障モード	基事象No.	基事象ID	
2次主冷却系	Aループ	主冷却器冷却系機器	主送風機1A	B31.2-1A	A1	機能喪失	SS-032	SSBR1LOF2MBA1101	起動失敗	SS-032-1	SSBR1FST2MBA1101	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
									継続運転失敗	SS-032-2	SSBR1FCT2MBA1101	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
			入口ダンパ1A	DP31.2-1A	A1	機能喪失	SS-033	SSDP1LOF2MDA1101	作動失敗	SS-033-1	SSDP1FOP2MDA1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									誤開又は誤閉	SS-033-2	SSDP1MOC2MDA1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									閉塞	SS-033-3	SSDP1PLG2MDA1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									外部リーク	SS-033-4	SSDP1OLK2MDA1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									内部リーク	SS-033-5	SSDP1ILK2MDA1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
			出口ダンパ1A	DP31.2-5A	A1	機能喪失	SS-034	SSDP1LOF2MDA1102	作動失敗	SS-034-1	SSDP1FOP2MDA1102	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									誤開又は誤閉	SS-034-2	SSDP1MOC2MDA1102	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									閉塞	SS-034-3	SSDP1PLG2MDA1102	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									外部リーク	SS-034-4	SSDP1OLK2MDA1102	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									内部リーク	SS-034-5	SSDP1ILK2MDA1102	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
		主送風機1A入口側ダクト（配管）		番号なし	A1	機能喪失	SS-035	SSPD1LOF2MDA1103	リーク	SS-035-1	SSPD1LEK2MDA1103	
									閉塞	SS-035-2	SSPD1PLG2MDA1103	
		主送風機1A出口側ダクト（配管）		番号なし	A1	機能喪失	SS-036	SSPD1LOF2MDA1104	リーク	SS-036-1	SSPD1LEK2MDA1104	
									閉塞	SS-036-2	SSPD1PLG2MDA1104	
		主送風機2A		B31.2-2A	A2	機能喪失	SS-037	SSBR1LOF2MBA1201	起動失敗	SS-037-1	SSBR1FST2MBA1201	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
									継続運転失敗	SS-037-2	SSBR1FCT2MBA1201	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
			入口ダンパ2A	DP31.2-2A	A2	機能喪失	SS-038	SSDP1LOF2MDA1201	作動失敗	SS-038-1	SSDP1FOP2MDA1201	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									誤開又は誤閉	SS-038-2	SSDP1MOC2MDA1201	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									閉塞	SS-038-3	SSDP1PLG2MDA1201	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									外部リーク	SS-038-4	SSDP1OLK2MDA1201	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									内部リーク	SS-038-5	SSDP1ILK2MDA1201	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
			出口ダンパ2A	DP31.2-6A	A2	機能喪失	SS-039	SSDP1LOF2MDA1202	作動失敗	SS-039-1	SSDP1FOP2MDA1202	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									誤開又は誤閉	SS-039-2	SSDP1MOC2MDA1202	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									閉塞	SS-039-3	SSDP1PLG2MDA1202	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									外部リーク	SS-039-4	SSDP1OLK2MDA1202	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									内部リーク	SS-039-5	SSDP1ILK2MDA1202	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
		主送風機2A入口側ダクト（配管）		番号なし	A2	機能喪失	SS-040	SSPD1LOF2MDA1203	リーク	SS-040-1	SSPD1LEK2MDA1203	
									閉塞	SS-040-2	SSPD1PLG2MDA1203	
		主送風機2A出口側ダクト（配管）		番号なし	A2	機能喪失	SS-041	SSPD1LOF2MDA1204	リーク	SS-041-1	SSPD1LEK2MDA1204	
									閉塞	SS-041-2	SSPD1PLG2MDA1204	
	Bループ	配管	主中間熱交換器出口から主冷却器分岐まで	12B-FS-Na-31.2-1B	B	機能喪失	SS-042	SSPP1LOF2MPB103S	リーク	SS-042-1	SSPP1LEK2MPB103S	
									閉塞	SS-042-2	SSPP1PLG2MPB103S	
			主冷却器分岐から主冷却器1B入口まで	10B-FS-Na-31.2-2B	B1	機能喪失	SS-043	SSPP1LOF2MPB211S	リーク	SS-043-1	SSPP1LEK2MPB211S	
									閉塞	SS-043-2	SSPP1PLG2MPB211S	
			主冷却器分岐から主冷却器2B入口まで	10B-FS-Na-31.2-2B	B2	機能喪失	SS-044	SSPP1LOF2MPB221S	リーク	SS-044-1	SSPP1LEK2MPB221S	
									閉塞	SS-044-2	SSPP1PLG2MPB221S	
			主冷却器1B出口から出口配管合流まで	10B-FS-Na-31.2-3B	B1	機能喪失	SS-045	SSPP1LOF2MPB311S	リーク	SS-045-1	SSPP1LEK2MPB311S	
									閉塞	SS-045-2	SSPP1PLG2MPB311S	
			主冷却器2B出口から出口配管合流まで	10B-FS-Na-31.2-3B	B2	機能喪失	SS-046	SSPP1LOF2MPB321S	リーク	SS-046-1	SSPP1LEK2MPB321S	
									閉塞	SS-046-2	SSPP1PLG2MPB321S	
			出口配管合流から2次主ポンプB入口まで	12B-FS-Na-31.2-4B	B	機能喪失	SS-047	SSPP1LOF2MPB403S	リーク	SS-047-1	SSPP1LEK2MPB403S	
									閉塞	SS-047-2	SSPP1PLG2MPB403S	
			2次主ポンプB出口から主中間熱交換器入口まで	12B-FS-Na-32.2-5B	B	機能喪失	SS-048	SSPP1LOF2MPB505S	リーク	SS-048-1	SSPP1LEK2MPB505S	
									閉塞	SS-048-2	SSPP1PLG2MPB505S	
			主冷却器入口ライン分岐から隔離弁（V35.2-4B）まで	3/4B-FS-Na-35.2-5B	B	機能喪失	SS-049	SSPP1LOF2MPB601S	リーク	SS-049-1	SSPP1LEK2MPB601S	
									閉塞	SS-049-2	SSPP1PLG2MPB601S	
			オーバーフロータンク出口から2次主ポンプ入口ラインまで	3B-FS-Na-31.2-7B	B	機能喪失	SS-050	SSPP1LOF2MPB701S	リーク	SS-050-1	SSPP1LEK2MPB701S	
									閉塞	SS-050-2	SSPP1PLG2MPB701S	
			2次主ポンプからオーバーフロータンクまで	6B-FS-Na-31.2-6B	B	機能喪失	SS-051	SSPP1LOF2MPB801S	リーク	SS-051-1	SSPP1LEK2MPB801S	
									閉塞	SS-051-2	SSPP1PLG2MPB801S	
			2次主ポンプ出口ラインから2次D/Tライン隔離弁（V35.2-3B）まで	番号なし	B	機能喪失	SS-052	SSPP1LOF2MPB901S	リーク	SS-052-1	SSPP1LEK2MPB901S	
									閉塞	SS-052-2	SSPP1PLG2MPB901S	
			2次純化系隔離弁（V34.2-5B）から2次主ポンプB入口ラインまで	番号なし	B	機能喪失	SS-053	SSPP1LOF2MPBA01S	リーク	SS-053-1	SSPP1LEK2MPBA01S	
									閉塞	SS-053-2	SSPP1PLG2MPBA01S	
			2次主ポンプ出口ラインから2次D/Tライン隔離弁（V35.2-2B）まで	番号なし	B	機能喪失	SS-054	SSPP1LOF2MPBB01S	リーク	SS-054-1	SSPP1LEK2MPBB01S	
									閉塞	SS-054-2	SSPP1PLG2MPBB01S	
			計器類配管（TW31.2-5B）	0	B	機能喪失	SS-055	SSPL1LOF2MPBD11S	リーク	SS-055-1	SSPL1LEK2MPBD11S	
									閉塞	SS-055-2	SSPL1PLG2MPBD11S	
			計器類配管（TW31.2-1B）	0	B	機能喪失	SS-056	SSPL1LOF2MPBD21S	リーク	SS-056-1	SSPL1LEK2MPBD21S	
									閉塞	SS-056-2	SSPL1PLG2MPBD21S	
			計器類配管（TW31.2-2B-1）	0	B1	機能喪失	SS-057	SSPL1LOF2MPBD31S	リーク	SS-057-1	SSPL1LEK2MPBD31S	
									閉塞	SS-057-2	SSPL1PLG2MPBD31S	
			計器類配管（TW31.2-2B-2）	0	B2	機能喪失	SS-058	SSPL1LOF2MPBD41S	リーク	SS-058-1	SSPL1LEK2MPBD41S	
									閉塞	SS-058-2	SSPL1PLG2MPBD41S	
			計器類配管（PX31.2-1B）	0	B	機能喪失	SS-059	SSPL1LOF2MPBD51S	リーク	SS-059-1	SSPL1LEK2MPBD51S	
									閉塞	SS-059-2	SSPL1PLG2MPBD51S	
			計器類配管（PX31.2-2B）	0	B	機能喪失	SS-060	SSPL1LOF2MPBD61S	リーク	SS-060-1	SSPL1LEK2MPBD61S	
									閉塞	SS-060-2	SSPL1PLG2MPBD61S	
			計器類配管（TW31.2-4B）	0	B	機能喪失	SS-061	SSPL1LOF2MPBD71S	リーク	SS-061-1	SSPL1LEK2MPBD71S	
									閉塞	SS-061-2	SSPL1PLG2MPBD71S	

表 3. 1. 1-9 基事象リスト(2次主冷却系) (3/3)

系統		内容		図面上の機器番号	所属領域	機器レベル基事象			故障モードレベル基事象			仮定等
						故障モード	基事象No.	基事象ID	故障モード	基事象No.	基事象ID	
2次主冷却系	Bループ	機器	主中間熱交換器	HX31. 1-1B	B	機能喪失	SS-062	SSHX1LOF2MHB0001	伝熱管破損	SS-062-1	SSHX1PDM2MHB0001	
									外部リーク	SS-062-2	SSHX1OLK2MHB0001	
									伝熱管閉塞	SS-062-3	SSHX1PLG2MHB0001	
			主冷却器1B	AC31. 2-1B	B1	機能喪失	SS-063	SSAC1LOF2MAB0001	伝熱管破損	SS-063-1	SSAC1PDM2MAB0001	
									外部リーク	SS-063-2	SSAC1OLK2MAB0001	
									伝熱管閉塞	SS-063-3	SSAC1PLG2MAB0001	
			主冷却器2B	AC31. 2-2B	B2	機能喪失	SS-064	SSAC1LOF2MAB0002	伝熱管破損	SS-064-1	SSAC1PDM2MAB0002	
									外部リーク	SS-064-2	SSAC1OLK2MAB0002	
									伝熱管閉塞	SS-064-3	SSAC1PLG2MAB0002	
			2次主ポンプ	P31. 2-1B	B	機能喪失	SS-065	SSPM1LOF2MPB0001	起動失敗	SS-065-1	SSPM1FST2MPB0001	
									継続運転失敗	SS-065-2	SSPM1FCT2MPB0001	
			オーバーフロータンク	TK31. 2-1B	B	機能喪失	SS-066	SSTK1LOF2MTB0001	破損	SS-066-1	SSTK1DMG2MTB0001	
									閉塞	SS-066-2	SSTK1PLG2MTB0001	
			オーバーフロータンク隔離弁	V35. 2-4B	B	機能喪失	SS-067	SSVX1LOF2MYB1001	外部リーク	SS-067-1	SSVX1OLK2MYB1001	常時間の隔離弁リークのみ考慮
									内部リーク	SS-067-2	SSVX1ILK2MYB1001	常時間の隔離弁リークのみ考慮
			2次D/T系隔離弁1	V35. 2-3B	B	機能喪失	SS-068	SSVX1LOF2MYB2001	外部リーク	SS-068-1	SSVX1OLK2MYB2001	常時間の隔離弁リークのみ考慮
									内部リーク	SS-068-2	SSVX1ILK2MYB2001	常時間の隔離弁リークのみ考慮
			2次純化系隔離弁	V34. 2-5B	B	機能喪失	SS-069	SSVA1LOF2MYB3001	誤開又は誤閉	SS-069-1	SSVA1MOC2MYB3001	常時間の隔離弁作動関係のモードは考えない
									閉塞	SS-069-2	SSVA1PLG2MYB3001	常時間の隔離弁作動関係のモードは考えない
									外部リーク	SS-069-3	SSVA1OLK2MYB3001	常時間の隔離弁作動関係のモードは考えない
									内部リーク	SS-069-4	SSVA1ILK2MYB3001	常時間の隔離弁作動関係のモードは考えない
			2次D/T系隔離弁2	V35. 2-2B	B	機能喪失	SS-070	SSVX1LOF2MYB4001	外部リーク	SS-070-1	SSVX1OLK2MYB4001	常時間の隔離弁リークのみ考慮
									内部リーク	SS-070-2	SSVX1ILK2MYB4001	常時間の隔離弁リークのみ考慮
		主冷却器冷却系機器	主送風機1B	B31. 2-1B	B1	機能喪失	SS-071	SSBR1LOF2MBB1101	起動失敗	SS-071-1	SSBR1FST2MBB1101	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
									継続運転失敗	SS-071-2	SSBR1FCT2MBB1101	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
			入口ダンパ1B	DP31. 2-1B	B1	機能喪失	SS-072	SSDP1LOF2MDB1101	作動失敗	SS-072-1	SSDP1FOP2MDB1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									誤開又は誤閉	SS-072-2	SSDP1MOC2MDB1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									閉塞	SS-072-3	SSDP1PLG2MDB1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									外部リーク	SS-072-4	SSDP1OLK2MDB1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									内部リーク	SS-072-5	SSDP1ILK2MDB1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
			出口ダンパ1B	DP31. 2-5B	B1	機能喪失	SS-073	SSDP1LOF2MDB1102	作動失敗	SS-073-1	SSDP1FOP2MDB1102	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									誤開又は誤閉	SS-073-2	SSDP1MOC2MDB1102	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									閉塞	SS-073-3	SSDP1PLG2MDB1102	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									外部リーク	SS-073-4	SSDP1OLK2MDB1102	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									内部リーク	SS-073-5	SSDP1ILK2MDB1102	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
			主送風機1B入口側ダクト（配管）	番号なし	B1	機能喪失	SS-074	SSPD1LOF2MDB1103	リーク	SS-074-1	SSPD1LEK2MDB1103	
									閉塞	SS-074-2	SSPD1PLG2MDB1103	
			主送風機1B出口側ダクト（配管）	番号なし	B1	機能喪失	SS-075	SSPD1LOF2MDB1104	リーク	SS-075-1	SSPD1LEK2MDB1104	
									閉塞	SS-075-2	SSPD1PLG2MDB1104	
			主送風機2B	B31. 2-2B	B2	機能喪失	SS-076	SSBR1LOF2MBB1201	起動失敗	SS-076-1	SSBR1FST2MBB1201	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
									継続運転失敗	SS-076-2	SSBR1FCT2MBB1201	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
			入口ダンパ2B	DP31. 2-2B	B2	機能喪失	SS-077	SSDP1LOF2MDB1201	作動失敗	SS-077-1	SSDP1FOP2MDB1201	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									誤開又は誤閉	SS-077-2	SSDP1MOC2MDB1201	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									閉塞	SS-077-3	SSDP1PLG2MDB1201	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									外部リーク	SS-077-4	SSDP1OLK2MDB1201	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									内部リーク	SS-077-5	SSDP1ILK2MDB1201	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
			出口ダンパ2B	DP31. 2-6B	B2	機能喪失	SS-078	SSDP1LOF2MDB1202	作動失敗	SS-078-1	SSDP1FOP2MDB1202	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									誤開又は誤閉	SS-078-2	SSDP1MOC2MDB1202	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									閉塞	SS-078-3	SSDP1PLG2MDB1202	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									外部リーク	SS-078-4	SSDP1OLK2MDB1202	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
									内部リーク	SS-078-5	SSDP1ILK2MDB1202	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
			主送風機2B入口側ダクト（配管）	番号なし	B2	機能喪失	SS-079	SSPD1LOF2MDB1203	リーク	SS-079-1	SSPD1LEK2MDB1203	
									閉塞	SS-079-2	SSPD1PLG2MDB1203	
			主送風機2B出口側ダクト（配管）	番号なし	B2	機能喪失	SS-080	SSPD1LOF2MDB1204	リーク	SS-080-1	SSPD1LEK2MDB1204	
									閉塞	SS-080-2	SSPD1PLG2MDB1204	
	共通原因故障	2次主ポンプ2台 共通原因故障	0			機能喪失	SS-081	SSPMCL0F2MPC0001	起動失敗	SS-081-1	SSPMCFST2MPC0001	
									継続運転失敗	SS-081-2	SSPMCFCT2MPC0001	
		主送風機4台 共通原因故障	0			機能喪失	SS-082	SSBRCL0F2MBC0001	起動失敗	SS-082-1	SSBRCFST2MBC0001	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
									継続運転失敗	SS-082-2	SSBRCFCT2MBC0001	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
		主冷却器入口側ダンパ4台 共通原因故障	0			機能喪失	SS-083	SSDPCLOF2MDC1101	作動失敗	SS-083-1	SSDPCFOP2MDC1101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮、CCFはとりえず動的故障モードのみ考慮
		主冷却器出口側ダンパ4台 共通原因故障	0			機能喪失	SS-084	SSDPCLOF2MDC2101	作動失敗	SS-084-1	SSDPCFOP2MDC2101	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮、CCFはとりえず動的故障モードのみ考慮

表 3.1. 1-10 基事象リスト(2次補助冷却系)

系統	内容		図面上の機器番号	所属領域	機器レベル基事象			故障モードレベル基事象			仮定等
					故障モード	基事象No.	基事象ID	故障モード	基事象No.	基事象ID	
2次補助冷却系	配管	補助中間熱交換器から合流まで①	3B-FS-Na-32. 2-1		機能喪失	SA-001	SAPPILOF64PP101S	リーク	SA-001-1	SAPPILEK64PP101S	
								閉塞	SA-001-2	SAPPILG64PP101S	
		補助中間熱交換器から合流まで②	3B-FS-Na-32. 2-1		機能喪失	SA-002	SAPPILOF64PP111S	リーク	SA-002-1	SAPPILEK64PP111S	
								閉塞	SA-002-2	SAPPILG64PP111S	
		合流から補助冷却器まで	3B-FS-Na-32. 2-1		機能喪失	SA-003	SAPPILOF64PP123S	リーク	SA-003-1	SAPPILEK64PP123S	
								閉塞	SA-003-2	SAPPILG64PP123S	
		補助冷却器から補助中間熱交換器まで	3B-FS-Na-32. 2-2		機能喪失	SA-004	SAPPILOF64PP209S	リーク	SA-004-1	SAPPILEK64PP209S	
								閉塞	SA-004-2	SAPPILG64PP209S	
		膨張タンクへの分岐ライン	1B-FS-Na-32. 2-6		機能喪失	SA-005	SAPPILOF64PP301S	リーク	SA-005-1	SAPPILEK64PP301S	
								閉塞	SA-005-2	SAPPILG64PP301S	
		3B-FS-Na-32. 2-1から膨張タンクへのライン	3/4B-FS-Na-35. 2-8		機能喪失	SA-006	SAPPILOF64PP312S	リーク	SA-006-1	SAPPILEK64PP312S	
								閉塞	SA-006-2	SAPPILG64PP312S	
		3B-FS-Na-32. 2-2から2次補助ブラギング計へのライン	3/4B-FS-Na-32. 2-3		機能喪失	SA-007	SAPPILOF64PP402S	リーク	SA-007-1	SAPPILEK64PP402S	
								閉塞	SA-007-2	SAPPILG64PP402S	
		2次補助ブラギング計から3B-FS-Na-32. 2-2へのライン	3/4B-FS-Na-32. 2-4		機能喪失	SA-008	SAPPILOF64PP412S	リーク	SA-008-1	SAPPILEK64PP412S	
								閉塞	SA-008-2	SAPPILG64PP412S	
		2次主冷却ライン（12B-FS-Na-31. 2-5A）からのライン	1B-FS-Na-32. 2-5		機能喪失	SA-009	SAPPILOF64PP501S	リーク	SA-009-1	SAPPILEK64PP501S	
								閉塞	SA-009-2	SAPPILG64PP501S	
		計器類配管（TW32. 2-4）	0		機能喪失	SA-010	SAPLILOF64PPD11S	リーク	SA-010-1	SAPLILEK64PPD11S	
								閉塞	SA-010-2	SAPLILG64PPD11S	
		計器類配管（TE32. 2-1）	0		機能喪失	SA-011	SAPLILOF64PPD21S	リーク	SA-011-1	SAPLILEK64PPD21S	
								閉塞	SA-011-2	SAPLILG64PPD21S	
		計器類配管（TE32. 2-2）	0		機能喪失	SA-012	SAPLILOF64PPD31S	リーク	SA-012-1	SAPLILEK64PPD31S	
								閉塞	SA-012-2	SAPLILG64PPD31S	
		計器類配管（PI32. 2-1）	0		機能喪失	SA-013	SAPLILOF64PPD41S	リーク	SA-013-1	SAPLILEK64PPD41S	
								閉塞	SA-013-2	SAPLILG64PPD41S	
		計器類配管（PI32. 2-2）	0		機能喪失	SA-014	SAPLILOF64PPD51S	リーク	SA-014-1	SAPLILEK64PPD51S	
								閉塞	SA-014-2	SAPLILG64PPD51S	
		計器類配管（FE32. 2-1）	0		機能喪失	SA-015	SAPLILOF64PPD61S	リーク	SA-015-1	SAPLILEK64PPD61S	
								閉塞	SA-015-2	SAPLILG64PPD61S	
		計器類配管（TW32. 2-3）	0		機能喪失	SA-016	SAPLILOF64PPD71S	リーク	SA-016-1	SAPLILEK64PPD71S	
								閉塞	SA-016-2	SAPLILG64PPD71S	
	機器	補助中間熱交換器	0		機能喪失	SA-017	SAHXILOF64HS0001	伝熱管破損	SA-017-1	SAHXIPDM64HS0001	
								外部リーク	SA-017-2	SAHXIOLK64HS0001	
								伝熱管閉塞	SA-017-3	SAHXIPLG64HS0001	
		ホットレグ止め弁	V32. 2-1		機能喪失	SA-018	SAVMILOF64VS1001	誤開又は誤閉	SA-018-1	SAVMIMOC64VS1001	常時間の電動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）は考慮しない
								閉塞	SA-018-2	SAVMILG64VS1001	常時間の電動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）は考慮しない
								外部リーク	SA-018-3	SAVMIOLK64VS1001	常時間の電動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）は考慮しない
								内部リーク	SA-018-4	SAVMIILK64VS1001	常時間の電動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）は考慮しない
		補助冷却器	AC32. 2-1		機能喪失	SA-019	SAACILOF64AS0001	伝熱管破損	SA-019-1	SAACIPDM64AS0001	
								外部リーク	SA-019-2	SAACIOLK64AS0001	
								伝熱管閉塞	SA-019-3	SAACIPLG64AS0001	
		膨張タンク	TK32. 2-1		機能喪失	SA-020	SATKILOF64TS0001	破損	SA-020-1	SATKIDMG64TS0001	
								閉塞	SA-020-2	SATKIPLG64TS0001	
		3B-FS-Na-32. 2-1から膨張タンクへのライン上の手動弁	V35. 2-10		機能喪失	SA-021	SAVXILOF64VS2001	閉塞	SA-021-1	SAVXIPLG64VS2001	常時間の手動弁、動的モード（開/閉失敗）と内部リークは考慮しない
								外部リーク	SA-021-2	SAVXIOLK64VS2001	常時間の手動弁、動的モード（開/閉失敗）と内部リークは考慮しない
		2次補助ブラギング計入口弁	V32. 2-4		機能喪失	SA-022	SAVAILOF64VS3001	誤開又は誤閉	SA-022-1	SAVXIMOC64VS3001	常時間の空気作動動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）と内部リークは考慮しない
								閉塞	SA-022-2	SAVXIPLG64VS3001	常時間の空気作動動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）と内部リークは考慮しない
								外部リーク	SA-022-3	SAVXIOLK64VS3001	常時間の空気作動動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）と内部リークは考慮しない
		2次補助ブラギング計出口弁	V32. 2-5		機能喪失	SA-023	SAVAILOF64VS3002	誤開又は誤閉	SA-023-1	SAVXIMOC64VS3002	常時間の空気作動動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）と内部リークは考慮しない
								閉塞	SA-023-2	SAVXIPLG64VS3002	常時間の空気作動動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）と内部リークは考慮しない
								外部リーク	SA-023-3	SAVXIOLK64VS3002	常時間の空気作動動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）と内部リークは考慮しない
		2次補助ブラギング計	PL32. 2-1		機能喪失	SA-024	SAPGILOF64GS0001	外部リーク	SA-024-1	SAPGIOLK64GS0001	
								内部破壊	SA-024-2	SAPGIDMG64GS0001	
								閉塞	SA-024-3	SAPGIPLG64GS0001	
		2次主冷却ライン（12B-FS-Na-31. 2-5A）からのラインの隔離弁	V32. 2-3		機能喪失	SA-025	SAVAILOF64VS4001	誤開又は誤閉	SA-025-1	SAVXIMOC64VS4001	常時間の空気作動動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）と閉塞は考慮しない
								外部リーク	SA-025-2	SAVXIOLK64VS4001	常時間閉の空気作動動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）と閉塞は考慮しない
								内部リーク	SA-025-3	SAVXIILK64VS4001	常時間閉の空気作動動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）と閉塞は考慮しない
		2次補助電磁ポンプ	EP32. 2-1		機能喪失	SA-026	SAPEILOF64ES0001	機能喪失	SA-026-1	SAPEILOF64ES0001	
		コールド止め弁	V32. 2-2		機能喪失	SA-027	SAVMILOF64VS5001	誤開又は誤閉	SA-027-1	SAVMIMOC64VS5001	常時間の電動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）は考慮しない
								閉塞	SA-027-2	SAVMILG64VS5001	常時間の電動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）は考慮しない
								外部リーク	SA-027-3	SAVMIOLK64VS5001	常時間の電動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）は考慮しない
								内部リーク	SA-027-4	SAVMIILK64VS5001	常時間の電動弁、動的モード（開/閉失敗、作動失敗）は考慮しない
	補助冷却器冷却系機器	補助送風機	B32. 2-1		機能喪失	SA-028	SABRILOF64BS0001	起動失敗	SA-028-1	SABRIFST64BS0001	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
								継続運転失敗	SA-028-2	SABRIFCT64BS0001	間欠運転する？ので、起動失敗と継続運転失敗を考慮
		入口ダンパ	DP32. 2-2		機能喪失	SA-029	SADPILOF64BS1001	作動失敗	SA-029-1	SSDP1FOP64BS1001	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								誤開又は誤閉	SA-029-2	SSDP1MOC64BS1001	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								閉塞	SA-029-3	SSDP1PLG64BS1001	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								外部リーク	SA-029-4	SSDP1OLK64BS1001	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								内部リーク	SA-029-5	SSDP1ILK64BS1001	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
		出口ダンパ	DP32. 2-3		機能喪失	SA-030	SADPILOF64BS2001	作動失敗	SA-030-1	SSDP1FOP64BS2001	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								誤開又は誤閉	SA-030-2	SSDP1MOC64BS2001	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								閉塞	SA-030-3	SSDP1PLG64BS2001	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								外部リーク	SA-030-4	SSDP1OLK64BS2001	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								内部リーク	SA-030-5	SSDP1ILK64BS2001	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
		補助送風機入口側ダクト（配管）	番号なし		機能喪失	SA-031	SAPDILOF64DS1001	リーク	SA-031-1	SAPDILEK64DS1001	
								閉塞	SA-031-2	SAPD1PLG64DS1001	
		補助送風機出口側ダクト（配管）	番号なし		機能喪失	SA-032	SAPDILOF64DS2001	リーク	SA-032-1	SAPDILEK64DS2001	
								閉塞	SA-032-2	SAPD1PLG64DS2001	

表 3.1.1-11 基事象リスト(2次Na純化系)(1/2)

系統	内容		図面上の機器番号	所属領域	機器レベル基事象		故障モードレベル基事象		仮定等		
	配管				故障モード	基事象No.	基事象ID	故障モード		基事象No.	基事象ID
2次ナトリウム純化系		オーバーフロータンク出口からB系からのラインとの合流部まで	3B-FS-Na-34.2-4A/5A		機能喪失	SP-001	SPPP1LOF3MP4A5AY	リーク	SP-001-1	SPPPILEK3MP4A5AY	
								閉塞	SP-001-2	SPPPIPLG3MP4A5AY	
		オーバーフロータンク出口からB系からのラインとの合流部まで	3B-FS-Na-34.2-4B/5B		機能喪失	SP-002	SPPP1LOF3MP4B5BY	リーク	SP-002-1	SPPPILEK3MP4B5BY	
								閉塞	SP-002-2	SPPPIPLG3MP4B5BY	
		オーバーフロータンクからのラインの合流部から手動弁V43.2-6まで	2B-FS-Na-34.2-6		機能喪失	SP-003	SPPP1LOF3MP6-1YY	リーク	SP-003-1	SPPPILEK3MP6-1YY	
								閉塞	SP-003-2	SPPPIPLG3MP6-1YY	
		手動弁V43.2-6から43.2-13との合流まで	2B-FS-Na-34.2-6		機能喪失	SP-004	SPPP1LOF3MP6-2YY	リーク	SP-004-1	SPPPILEK3MP6-2YY	
								閉塞	SP-004-2	SPPPIPLG3MP6-2YY	
		43.2-13との合流から34.2-9の分岐まで	2B-FS-Na-34.2-6		機能喪失	SP-005	SPPP1LOF3MP6-3YY	リーク	SP-005-1	SPPPILEK3MP6-3YY	
								閉塞	SP-005-2	SPPPIPLG3MP6-3YY	
		34.2-9の分岐からダンプタンクまで	2B-FS-Na-34.2-6		機能喪失	SP-006	SPPP1LOF3MP6-4YY	リーク	SP-006-1	SPPPILEK3MP6-4YY	
								閉塞	SP-006-2	SPPPIPLG3MP6-4YY	
		ダンプタンクから2次純化系ポンプまで	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-007	SPPP1LOF3MP1-1YY	リーク	SP-007-1	SPPPILEK3MP1-1YY	
								閉塞	SP-007-2	SPPPIPLG3MP1-1YY	
		2次純化系ポンプから電磁ポンプまで	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-008	SPPP1LOF3MP1-2YY	リーク	SP-008-1	SPPPILEK3MP1-2YY	
								閉塞	SP-008-2	SPPPIPLG3MP1-2YY	
		電磁ポンプから逆止弁V34.2-1まで	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-009	SPPP1LOF3MP1-3YY	リーク	SP-009-1	SPPPILEK3MP1-3YY	
								閉塞	SP-009-2	SPPPIPLG3MP1-3YY	
		逆止弁V34.2-1から34.2-7分岐まで	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-010	SPPP1LOF3MP1-4YY	リーク	SP-010-1	SPPPILEK3MP1-4YY	
								閉塞	SP-010-2	SPPPIPLG3MP1-4YY	
		34.2-7分岐から2次系サンプリング装置の入口まで	1B-FS-Na-34.2-7		機能喪失	SP-011	SPPP1LOF3MP7YYYY	リーク	SP-011-1	SPPPILEK3MP7YYYY	
								閉塞	SP-011-2	SPPPIPLG3MP7YYYY	
		2次系サンプリング装置の出口から2B-FS-Na-34.2-6との合流まで	1B-FS-Na-34.2-9		機能喪失	SP-012	SPPP1LOF3MP9YYYY	リーク	SP-012-1	SPPPILEK3MP9YYYY	
								閉塞	SP-012-2	SPPPIPLG3MP9YYYY	
		34.2-7分岐から34.2-10の分岐まで	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-013	SPPP1LOF3MP1-5YY	リーク	SP-013-1	SPPPILEK3MP1-5YY	
								閉塞	SP-013-2	SPPPIPLG3MP1-5YY	
		34.2-10の分岐から2次主ブラギング計入口まで	3/4B-FS-Na-34.2-10		機能喪失	SP-014	SPPP1LOF3MP10YYY	リーク	SP-014-1	SPPPILEK3MP10YYY	
								閉塞	SP-014-2	SPPPIPLG3MP10YYY	
		2次主ブラギング計出口から34.2-11の分岐まで	3/4B-FS-Na-34.2-11		機能喪失	SP-015	SPPP1LOF3MP11YYY	リーク	SP-015-1	SPPPILEK3MP11YYY	
								閉塞	SP-015-2	SPPPIPLG3MP11YYY	
		34.2-10の分岐から34.2-11の分岐まで	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-016	SPPP1LOF3MP1-6YY	リーク	SP-016-1	SPPPILEK3MP1-6YY	
								閉塞	SP-016-2	SPPPIPLG3MP1-6YY	
		34.2-11の分岐から34.2-12の分岐まで	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-017	SPPP1LOF3MP1-7YY	リーク	SP-017-1	SPPPILEK3MP1-7YY	
								閉塞	SP-017-2	SPPPIPLG3MP1-7YY	
		34.2-12の分岐からV34.2-2まで	1B-FS-Na-34.2-12		機能喪失	SP-018	SPPP1LOF3MP12-1Y	リーク	SP-018-1	SPPPILEK3MP12-1Y	
								閉塞	SP-018-2	SPPPIPLG3MP12-1Y	
		V34.2-2から34.2-3A、3B分岐まで	1B-FS-Na-34.2-12		機能喪失	SP-019	SPPP1LOF3MP12-2Y	リーク	SP-019-1	SPPPILEK3MP12-2Y	
								閉塞	SP-019-2	SPPPIPLG3MP12-2Y	
		34.2-3A、3B分岐からV34.2-4Aまで	1B-FS-Na-34.2-3A		機能喪失	SP-020	SPPP1LOF3MP3A-1Y	リーク	SP-020-1	SPPPILEK3MP3A-1Y	
								閉塞	SP-020-2	SPPPIPLG3MP3A-1Y	
		V34.2-4AからV34.2-5Aまで	1B-FS-Na-34.2-3A		機能喪失	SP-021	SPPP1LOF3MP3A-2Y	リーク	SP-021-1	SPPPILEK3MP3A-2Y	
								閉塞	SP-021-2	SPPPIPLG3MP3A-2Y	
		V34.2-5Aから2次主冷却系合流まで	1B-FS-Na-34.2-3A		機能喪失	SP-022	SPPP1LOF3MP3A-3Y	リーク	SP-022-1	SPPPILEK3MP3A-3Y	
								閉塞	SP-022-2	SPPPIPLG3MP3A-3Y	
		34.2-3A、3B分岐から34.2-2への分岐まで	1B-FS-Na-34.2-3A		機能喪失	SP-023	SPPP1LOF3MP3A-4Y	リーク	SP-023-1	SPPPILEK3MP3A-4Y	
								閉塞	SP-023-2	SPPPIPLG3MP3A-4Y	
		34.2-2への分岐から電磁ポンプまで	1B-FS-Na-34.2-3A		機能喪失	SP-024	SPPP1LOF3MP3A-5Y	リーク	SP-024-1	SPPPILEK3MP3A-5Y	
								閉塞	SP-024-2	SPPPIPLG3MP3A-5Y	
		電磁ポンプからV34.2-4B(1B)まで	1B-FS-Na-34.2-3B		機能喪失	SP-025	SPPP1LOF3MP3B-1Y	リーク	SP-025-1	SPPPILEK3MP3B-1Y	
								閉塞	SP-025-2	SPPPIPLG3MP3B-1Y	
		V34.2-4B(1B)までV34.2-5B(1B)まで	1B-FS-Na-34.2-3B		機能喪失	SP-026	SPPP1LOF3MP3B-2Y	リーク	SP-026-1	SPPPILEK3MP3B-2Y	
								閉塞	SP-026-2	SPPPIPLG3MP3B-2Y	
		V34.2-5B(1B)から2次主冷却系まで	1B-FS-Na-34.2-3B		機能喪失	SP-027	SPPP1LOF3MP3B-3Y	リーク	SP-027-1	SPPPILEK3MP3B-3Y	
								閉塞	SP-027-2	SPPPIPLG3MP3B-3Y	
		34.2-12の分岐からV34.2-10まで	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-028	SPPP1LOF3MP1-8YY	リーク	SP-028-1	SPPPILEK3MP1-8YY	
								閉塞	SP-028-2	SPPPIPLG3MP1-8YY	
		V34.2-10からV34.2-11とV34.2-12の分岐まで	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-029	SPPP1LOF3MP1-9YY	リーク	SP-029-1	SPPPILEK3MP1-9YY	
								閉塞	SP-029-2	SPPPIPLG3MP1-9YY	
		V34.2-11のライン	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-030	SPPP1LOF3MP1-10Y	リーク	SP-030-1	SPPPILEK3MP1-10Y	
								閉塞	SP-030-2	SPPPIPLG3MP1-10Y	
		V34.2-12のライン	11/2-FS-Na-34.2-1		機能喪失	SP-031	SPPP1LOF3MP1-11Y	リーク	SP-031-1	SPPPILEK3MP1-11Y	
								閉塞	SP-031-2	SPPPIPLG3MP1-11Y	
		2次系コールドトラップからV34.2-9まで	1B-FS-Na-34.2-2		機能喪失	SP-032	SPPP1LOF3MP2-1YY	リーク	SP-032-1	SPPPILEK3MP2-1YY	
								閉塞	SP-032-2	SPPPIPLG3MP2-1YY	
		V34.2-9から次の分岐まで	1B-FS-Na-34.2-2		機能喪失	SP-033	SPPP1LOF3MP2-2YY	リーク	SP-033-1	SPPPILEK3MP2-2YY	
								閉塞	SP-033-2	SPPPIPLG3MP2-2YY	
		次の分岐から1B-FS-Na-34.2-3Aとの合流まで	1B-FS-Na-34.2-2		機能喪失	SP-034	SPPP1LOF3MP2-3YY	リーク	SP-034-1	SPPPILEK3MP2-3YY	
								閉塞	SP-034-2	SPPPIPLG3MP2-3YY	
		次の分岐からV34.2-3まで	1B-FS-Na-34.2-2		機能喪失	SP-035	SPPP1LOF3MP2-4YY	リーク	SP-035-1	SPPPILEK3MP2-4YY	
								閉塞	SP-035-2	SPPPIPLG3MP2-4YY	
		V34.2-3から2B-FS-Na-34.2-6との合流まで	1B-FS-Na-34.2-2		機能喪失	SP-036	SPPP1LOF3MP2-5YY	リーク	SP-036-1	SPPPILEK3MP2-5YY	
								閉塞	SP-036-2	SPPPIPLG3MP2-5YY	
	手動弁	V34.2-6	V34.2-6		機能喪失	SP-037	SPVX1LOF3MV6YYYY	閉塞	SP-037-1	SPVX1PLG3MV6YYYY	常時間を仮定
	タンク	TK35.2-1	TK35.2-1		機能喪失	SP-038	SPTK1LOF3MTK1YYY	外部リーク	SP-037-2	SPVX1OLK3MV6YYYY	常時間を仮定
								破損	SP-038-1	SPTK1DMG3MTK1YYY	
	電磁ポンプ	EP34.2-1	EP34.2-1		機能喪失	SP-039	SPPE1LOF3MEP1YYY	閉塞	SP-038-2	SPTK1PLG3MTK1YYY	
								継続運転失敗	SP-039-1	SPPE1FCT3MEP1YYY	
								外部リーク	SP-039-2	SPPE1OLK3MEP1YYY	

表 3.1.1-11 基事象リスト(2次Na純化系)(2/2)

系統	内容		図面上の機器番号	所属領域	機器レベル基事象			故障モードレベル基事象			仮定等
					故障モード	基事象No.	基事象ID	故障モード	基事象No.	基事象ID	
2次ナトリウム純化系	電磁ポンプ	番号なし	番号なし		機能喪失	SP-040	SPPEILOF3MEPX1YY	継続運転失敗	SP-040-1	SPPEIFCT3MEPX1YY	
								外部リーク	SP-040-2	SPPEIOLK3MEPX1YY	
	逆止弁	V34.2-1	V34.2-1		機能喪失	SP-041	SPCVILOF3MV1YXY	開失敗	SP-041-1	SPCVIFT03MV1YXY	常時Naが流れていると仮定
								外部リーク	SP-041-2	SPCVIOLK3MV1YXY	常時Naが流れていると仮定
	空気作動弁	V34.2-13	V34.2-13		機能喪失	SP-042	SPVAILOF3MV13YYY	誤開又は誤閉	SP-042-1	SPVAIMOC3MV13YYY	常時間を仮定
								閉塞	SP-042-2	SPVAIPLG3MV13YYY	常時間を仮定
								外部リーク	SP-042-3	SPVAIOLK3MV13YYY	常時間を仮定
								内部リーク	SP-042-4	SPVAIILK3MV13YYY	常時間を仮定
	空気作動弁	V34.2-14	V34.2-14		機能喪失	SP-043	SPVAILOF3MV14YYY	誤開又は誤閉	SP-043-1	SPVAIMOC3MV14YYY	常時間を仮定
								閉塞	SP-043-2	SPVAIPLG3MV14YYY	常時間を仮定
								外部リーク	SP-043-3	SPVAIOLK3MV14YYY	常時間を仮定
								内部リーク	SP-043-4	SPVAIILK3MV14YYY	常時間を仮定
	ブラギング計	PL34.2-1	PL34.2-1		機能喪失	SP-044	SPPGILOF3MPL1YYY	リーク	SP-044-1	SPPGILEK3MPL1YYY	常時間を仮定
								閉塞	SP-044-2	SPPGIPLG3MPL1YYY	常時間を仮定
	手動弁	V34.2-10	V34.2-10		機能喪失	SP-045	SPVXILOF3MV10YYY	閉塞	SP-045-1	SPVXIPLG3MV10YYY	常時間を仮定
								外部リーク	SP-045-2	SPVXIOLK3MV10YYY	常時間を仮定
	手動弁	V34.2-11	V34.2-11		機能喪失	SP-046	SPVXILOF3MV11YYY	閉塞	SP-046-1	SPVXIPLG3MV11YYY	常時間を仮定
								外部リーク	SP-046-2	SPVXIOLK3MV11YYY	常時間を仮定
	手動弁	V34.2-12	V34.2-12		機能喪失	SP-047	SPVXILOF3MV12YYY	外部リーク	SP-047-1	SPVXIOLK3MV12YYY	常時間を仮定
	ダンバ	2次系 コールドトラップ入口ダンバ	DP34.2-2		機能喪失	SP-048	SPDPILOF3MDP2YYY	作動失敗	SP-048-1	SPDPIFOP3MDP2YYY	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								誤開又は誤閉	SP-048-2	SPDPIMOC3MDP2YYY	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								閉塞	SP-048-3	SPDPIPLG3MDP2YYY	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								外部リーク	SP-048-4	SPDPIOLK3MDP2YYY	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								内部リーク	SP-048-5	SPDPIILK3MDP2YYY	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
	送風機	2次系 コールドトラップ送風機	B34.2-1		機能喪失	SP-049	SPBRILOF3MB1YYYY	起動失敗	SP-049-1	SPBRIFST3MB1YYYY	
								継続運転失敗	SP-049-2	SPBRIFCT3MB1YYYY	
	コールドトラップ	2次系コールドトラップ	CT34.2-1		機能喪失	SP-050	SPCTILOF3MCT1YYY	伝熱管破損	SP-050-1	SPCTIPDM3MCT1YYY	機器種別と故障モードは熱交換器を仮定
								外部リーク	SP-050-2	SPCTIOLK3MCT1YYY	機器種別と故障モードは熱交換器を仮定
								伝熱管閉塞	SP-050-3	SPCTIPLG3MCT1YYY	機器種別と故障モードは熱交換器を仮定
	ダンバ	2次系コールドトラップ出口ダンバ	DP34.2-1		機能喪失	SP-051	SPDPILOF3MDP1YYY	作動失敗	SP-051-1	SPDPIFOP3MDP1YYY	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								誤開又は誤閉	SP-051-2	SPDPIMOC3MDP1YYY	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								閉塞	SP-051-3	SPDPIPLG3MDP1YYY	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								外部リーク	SP-051-4	SPDPIOLK3MDP1YYY	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
								内部リーク	SP-051-5	SPDPIILK3MDP1YYY	間欠運転する？ので、デマンド系（開失敗、閉失敗）は時間故障の作動失敗として考慮
	手動弁	V34.2-9	V34.2-9		機能喪失	SP-052	SPVXILOF3MV9YYY	閉塞	SP-052-1	SPVXIPLG3MV9YYY	常時間を仮定
								外部リーク	SP-052-2	SPVXIOLK3MV9YYY	常時間を仮定
	手動弁	V34.2-2	V34.2-2		機能喪失	SP-053	SPVXILOF3MV2YYY	外部リーク	SP-053-1	SPVXIOLK3MV2YYY	常時間を仮定
	手動弁	V34.2-3	V34.2-3		機能喪失	SP-054	SPVXILOF3MV3YYY	外部リーク	SP-054-1	SPVXIOLK3MV3YYY	常時間を仮定
	電磁ポンプ	番号なし（1B-FS-Na-34.2-3Bライン上）	番号なし（1B-FS-Na-34.2-3Bライン上）		機能喪失	SP-055	SPPEILOF3MEPX2YY	継続運転失敗	SP-055-1	SPPEIFCT3MEPX2YY	
								外部リーク	SP-055-2	SPPEIOLK3MEPX2YY	
	空気作動弁	V34.2-4A	V34.2-4A		機能喪失	SP-056	SPVAILOF3MV4AYYY	誤開又は誤閉	SP-056-1	SPVAIMOC3MV4AYYY	常時間を仮定
								閉塞	SP-056-2	SPVAIPLG3MV4AYYY	常時間を仮定
								外部リーク	SP-056-3	SPVAIOLK3MV4AYYY	常時間を仮定
								内部リーク	SP-056-4	SPVAIILK3MV4AYYY	常時間を仮定
	空気作動弁	V34.2-5A	V34.2-5A		機能喪失	SP-057	SPVAILOF3MV5AYYY	誤開又は誤閉	SP-057-1	SPVAIMOC3MV5AYYY	常時間を仮定
								閉塞	SP-057-2	SPVAIPLG3MV5AYYY	常時間を仮定
								外部リーク	SP-057-3	SPVAIOLK3MV5AYYY	常時間を仮定
								内部リーク	SP-057-4	SPVAIILK3MV5AYYY	常時間を仮定
	空気作動弁	V34.2-4B	V34.2-4B		機能喪失	SP-058	SPVAILOF3MV4BYYY	誤開又は誤閉	SP-058-1	SPVAIMOC3MV4BYYY	常時間を仮定
								閉塞	SP-058-2	SPVAIPLG3MV4BYYY	常時間を仮定
								外部リーク	SP-058-3	SPVAIOLK3MV4BYYY	常時間を仮定
								内部リーク	SP-058-4	SPVAIILK3MV4BYYY	常時間を仮定
	空気作動弁	V34.2-5B	V34.2-5B		機能喪失	SP-059	SPVAILOF3MV5BYYY	誤開又は誤閉	SP-059-1	SPVAIMOC3MV5BYYY	常時間を仮定
								閉塞	SP-059-2	SPVAIPLG3MV5BYYY	常時間を仮定
								外部リーク	SP-059-3	SPVAIOLK3MV5BYYY	常時間を仮定
								内部リーク	SP-059-4	SPVAIILK3MV5BYYY	常時間を仮定
	手動弁	V34.2-7	V34.2-7		機能喪失	SP-060	SPVXILOF3MV7YYY	外部リーク	SP-060-1	SPVXIOLK3MV7YYY	常時間を仮定
	手動弁	V34.2-8	V34.2-8		機能喪失	SP-061	SPVXILOF3MV8YYY	外部リーク	SP-061-1	SPVXIOLK3MV8YYY	常時間を仮定



表 3. 1. 1-12 基事象リスト(電源系及び信号系)

系統	内容		図面上の機器番号	所属領域	機器レベル基事象			故障モードレベル基事象			仮定等
					故障モード	基事象No.	基事象ID	故障モード	基事象No.	基事象ID	
電源系（主冷却器1A、2A入口 ペーン・ダンパ制御機器 (MFC D1) の制御電源喪失）	遮断器 1				機能喪失	EPS-001 6C-01	EPCB1LOF2M6CCB1Y	作動失敗	EPS-001-1	EPCB1FOP2M6CCB1Y	
								誤開	EPS-001-2	EPCB1MOP2M6CCB1Y	
								誤閉	EPS-001-3	EPCB1MCL2M6CCB1Y	
	分電盤	中央制御室分電盤6C（A712、426）機能喪失			機能喪失	EPS-002 6C-02	EPDB1LOF2M6CA712	機能喪失	EPS-002-1	EPDB1LOF2M6CA712	
	遮断器 2				機能喪失	EPS-003 6C-03	EPCB1LOF2M6CCB2Y	作動失敗	EPS-003-1	EPCB1FOP2M6CCB2Y	
								誤開	EPS-003-2	EPCB1MOP2M6CCB2Y	
								誤閉	EPS-003-3	EPCB1MCL2M6CCB2Y	
	遮断器 3				機能喪失	EPS-004 6C-04	EPCB1LOF2M6CCB3Y	作動失敗	EPS-004-1	EPCB1FOP2M6CCB3Y	
								誤開	EPS-004-2	EPCB1MOP2M6CCB3Y	
								誤閉	EPS-004-3	EPCB1MCL2M6CCB3Y	
	電源盤	6C電源盤（A704、304）機能喪失			機能喪失	EPS-005 6C-05	EPPB1LOF2M6CA704		EPS-005-1	EPPB1LOF2M6CA704	
	リレー	電磁接触器 1（688 C1）機能喪失			機能喪失	EPS-006 6C-06	EPMC1LOF2M6CMCC1	不動作	EPS-006-1	EPMC1INO2M6CMCC1	
								誤動作	EPS-006-2	EPMC1MFL2M6CMCC1	
	リレー	電磁接触器 2（688 C2）機能喪失			機能喪失	EPS-007 6C-07	EPMC1LOF2M6CMCC2	不動作	EPS-007-1	EPMC1INO2M6CMCC2	
								誤動作	EPS-007-2	EPMC1MFL2M6CMCC2	
信号系	インバータ盤	6Cインバータ盤機能喪失			機能喪失	EPS-008 6C-08	EP1B1LOF2M6C1VTB	機能喪失	EPS-008-1	EP1B1LOF2M6C1VTB	
	遮断器 4	遮断器 4（552 C3）機能喪失			機能喪失	EPS-009 6C-09	EPCB1LOF2M6CCBC3	作動失敗	EPS-009-1	EPCB1FOP2M6CCBC3	
								誤開	EPS-009-2	EPCB1MOP2M6CCBC3	
								誤閉	EPS-009-3	EPCB1MCL2M6CCBC3	
	出口温度計	TE31. 2-2A-1 (A) 機能喪失	TE31. 2-2A-1 (A)		機能喪失	SG-001	SGTE1LOFTE3122A1	不動作	SG-001-1	SGTE1INOTE3122A1	
	温度変換器	TX31. 2-2A-1機能喪失	TX31. 2-2A-1		機能喪失	SG-002	SGTX1LOFTX3122A1	不動作	SG-002-1	SGTX1INOTX3122A1	
	ULDU	TIC31. 2-2A-1機能喪失	TIC31. 2-2A-1		機能喪失	SG-003	SGUL1LOFTI3122A1	不動作	SG-003-1	SGUL1INOTI3122A1	
	ULDU	TIC31. 2-2A-3機能喪失	TIC31. 2-2A-3		機能喪失	SG-004	SGUL1LOFTI3122A3	不動作	SG-004-1	SGUL1INOTI3122A3	
	MFC D	MFC D1機能喪失	MFC D1		機能喪失	SG-005	SGMF1LOFMFC D1ZZZ	不動作	SG-005-1	SGMF1INOMFC D1ZZZ	
	電空変換器	TXEP31. 2-2A-1機能喪失	TXEP31. 2-2A-1		機能喪失	SG-006	SGTX1LOFTP3122A1	不動作	SG-006-1	SGTX1INOTP3122A1	
	電空変換器	TXEP31. 2-2A-2機能喪失	TXEP31. 2-2A-2		機能喪失	SG-007	SGTX1LOFTP3122A2	不動作	SG-007-1	SGTX1INOTP3122A2	
	電空変換器	TXEP31. 2-2A-3機能喪失	TXEP31. 2-2A-3		機能喪失	SG-008	SGTX1LOFTP3122A3	不動作	SG-008-1	SGTX1INOTP3122A3	
	リレー	R-52X1R機能喪失	R-52X1R		機能喪失	SG-009	SGRY1LOF52X1RZZZ	不動作	SG-009-1	SGRY1IN052X1RZZZ	
	リレー	R-52X機能喪失	R-52X		機能喪失	SG-010	SGRY1LOF52XZZZZZ	不動作	SG-010-1	SGRY1IN052XZZZZZ	
	リレー	R-52MCPATX機能喪失	R-52MCPATX		機能喪失	SG-011	SGRY1LOF52MCPATX	不動作	SG-011-1	SGRY1IN052MCPATX	
	リレー	R-52MCPATXX機能喪失	R-52MCPATXX		機能喪失	SG-012	SGRY1LOF52MCPAXX	不動作	SG-012-1	SGRY1IN052MCPAXX	
	リレー	R-52MCPATY機能喪失	R-52MCPATY		機能喪失	SG-013	SGRY1LOF52MCPATY	不動作	SG-013-1	SGRY1IN052MCPATY	
	リレー	R-52MCPATYY機能喪失	R-52MCPATYY		機能喪失	SG-014	SGRY1LOF52MCPAYY	不動作	SG-014-1	SGRY1IN052MCPAYY	

表 3.1.1-13 故障モードごとの影響範囲の仮定

影響範囲の仮定	該当する故障モード
系から外部への流出が発生している故障モードは、 系全体へ波及すると仮定する	外部リーク、伝熱管破損、破損等
系の流れを止める若しくは流れてしまうモードは、 当該領域のみに影響すると仮定する	閉塞、誤閉/誤開、内部リーク等
機器の作動失敗に係る故障モードは、 当該領域のみに影響すると仮定する	起動失敗、継続運転失敗、開/閉失敗等

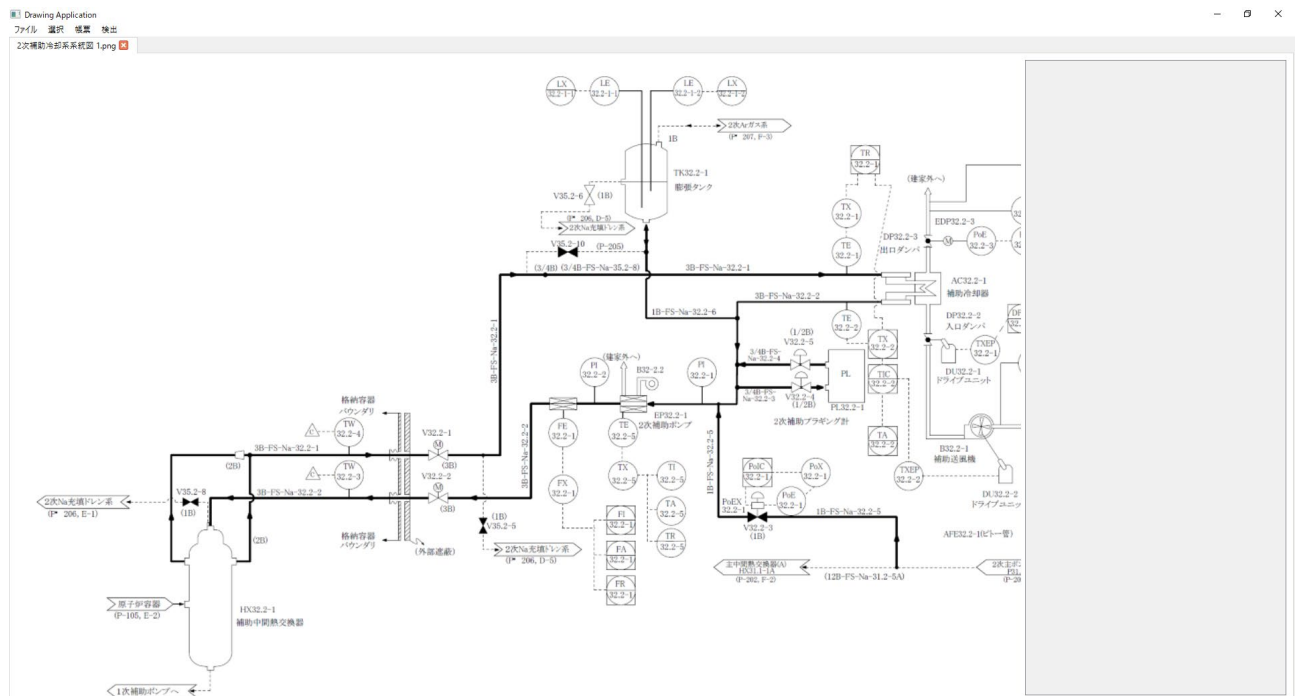


図 3.1.1-19 系統図の読み込み結果(2次補助冷却系)

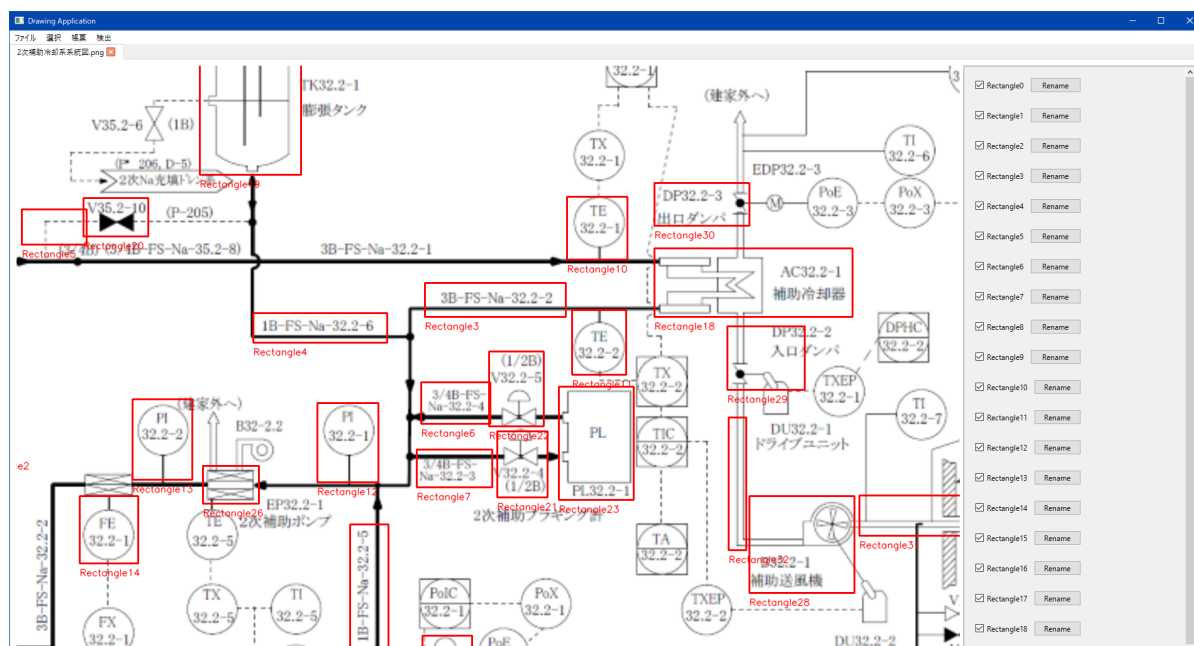


図 3.1.1-20 評価対象機器及び配管の選択結果(2次補助冷却系)

```
SA = SA-001 SA-002 SA-003 SA-004 SA-005 SA-006 SA-007 SA-008 SA-009 SA-010 SA-011 SA-
012 SA-013 SA-014 SA-015 SA-016 SA-017 SA-018 SA-019 SA-020 SA-021 SA-022 SA-023 SA-
024 SA-025 SA-026 SA-027 SA-028 SA-029 SA-030 SA-031 SA-032
```

図 3.1.1-21 ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル(2 次補助冷却系)

```
SA =
SA                                     OR   SAPPILEK64PP101S SAPPILG64PP101S SAPPILEK64PP111S
SAPPILG64PP111S SAPPILEK64PP123S SAPPILG64PP123S SAPPILEK64PP209S SAPPILG64PP209S
SAPPILEK64PP301S SAPPILG64PP301S SAPPILEK64PP312S SAPPILG64PP312S SAPPILEK64PP402S
SAPPILG64PP402S SAPPILEK64PP412S SAPPILG64PP412S SAPPILEK64PP501S SAPPILG64PP501S
SAPLILEK64PPD11S SAPLILG64PPD11S SAPLILEK64PPD21S SAPLILG64PPD21S SAPLILEK64PPD31S
SAPLILG64PPD31S SAPLILEK64PPD41S SAPLILG64PPD41S SAPLILEK64PPD51S SAPLILG64PPD51S
CONT  SAPLILEK64PPD61S  SAPLILG64PPD61S  SAPLILEK64PPD71S
SAPLILG64PPD71S SAHXIPDM64HS0001 SAHXIOLK64HS0001 SAHXIPLG64HS0001 SAVMIMOC64VS1001
SAVMIPLG64VS1001 SAVMIOLK64VS1001 SAACIPDM64AS0001 SAACIOLK64AS0001 SAACIPLG64AS0001
SATKIDMG64TS0001 SATKIPLG64TS0001 SAVXIPLG64VS2001 SAVXIOLK64VS2001 SAVXIMOC64VS3001
SAVXIPLG64VS3001 SAVXIOLK64VS3001 SAVXIMOC64VS3002 SAVXIPLG64VS3002 SAVXIOLK64VS3002
SAPGIOLK64GS0001 SAPGIIDM64GS0001 SAPGIPLG64GS0001 SAVXIMOC64VS4001 SAVXIOLK64VS4001
CONT  SAVXIILK64VS4001  SAPEILOF64ES0001  SAVMIMOC64VS5001
SAVMIPLG64VS5001 SAVMIOLK64VS5001 SAVMIILK64VS5001 SABRIFST64BS0001 SABRIFCT64BS0001
SSDPIFOP64BS1001 SSDPIMOC64BS1001 SSDPIPLG64BS1001 SSDPIOLK64BS1001 SSDPIILK64BS1001
SSDPIFOP64BS2001 SSDPIMOC64BS2001 SSDPIPLG64BS2001 SSDPIOLK64BS2001 SSDPIILK64BS2001
SAPDILEK64DS1001 SAPDIPLG64DS1001 SAPDILEK64DS2001 SAPDIPLG64DS2001
^EOS
```

図 3.1.1-22 PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムの結果(2 次補助冷却系)  
(故障モードレベルの SAPHIRE 形式の FT データ)

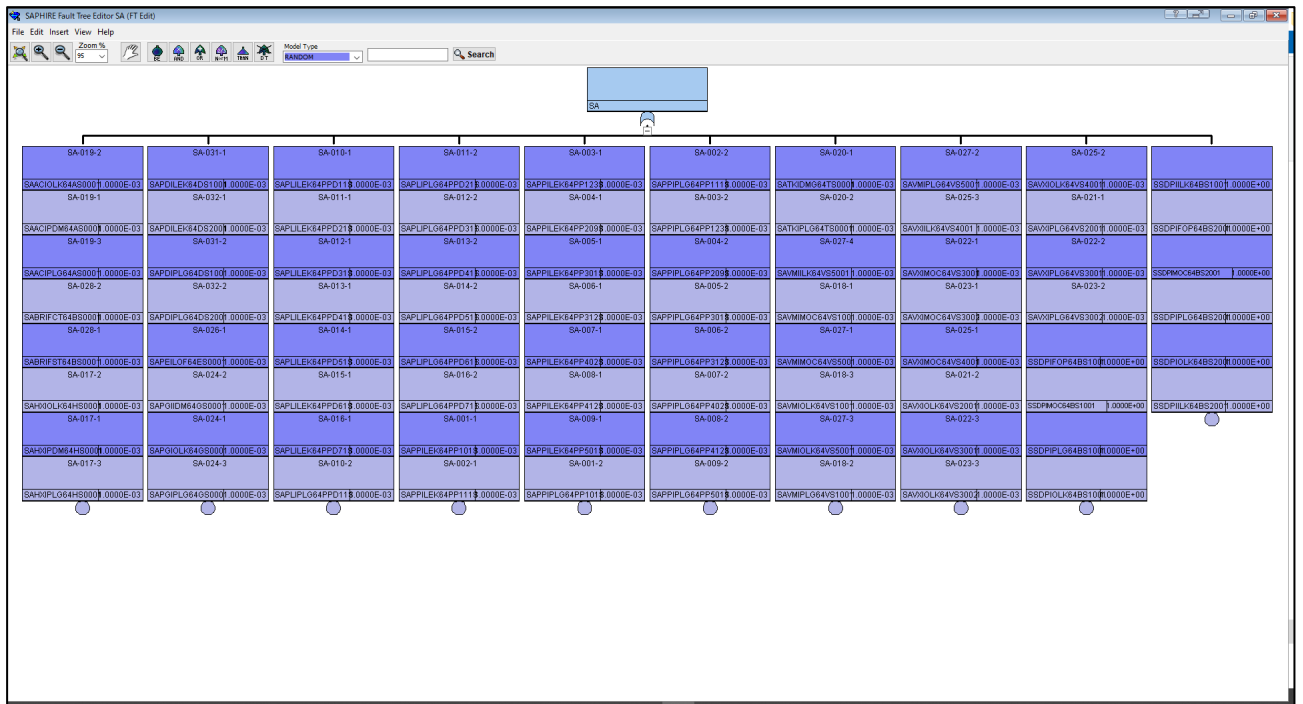


図 3.1.1-23 故障モードレベルの FT (2 次補助冷却系)

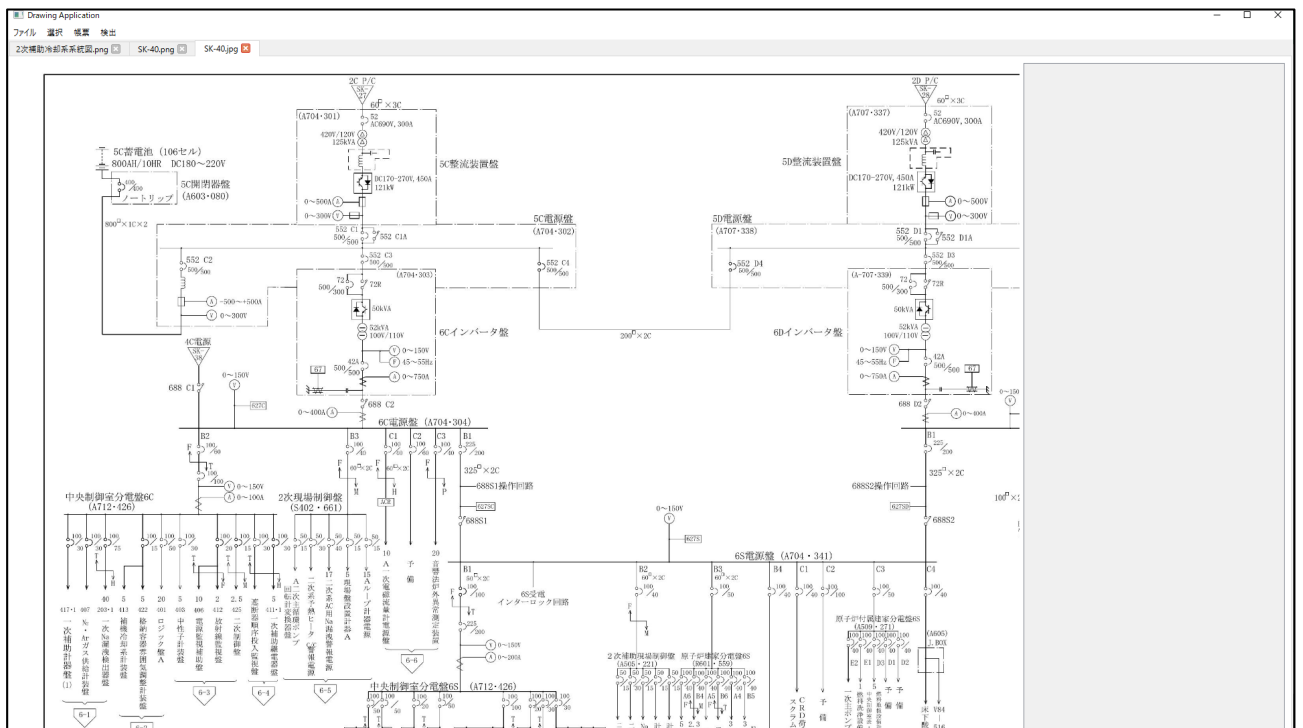


図 3.1.1-24 単線結線図の読み込み結果(電源系)

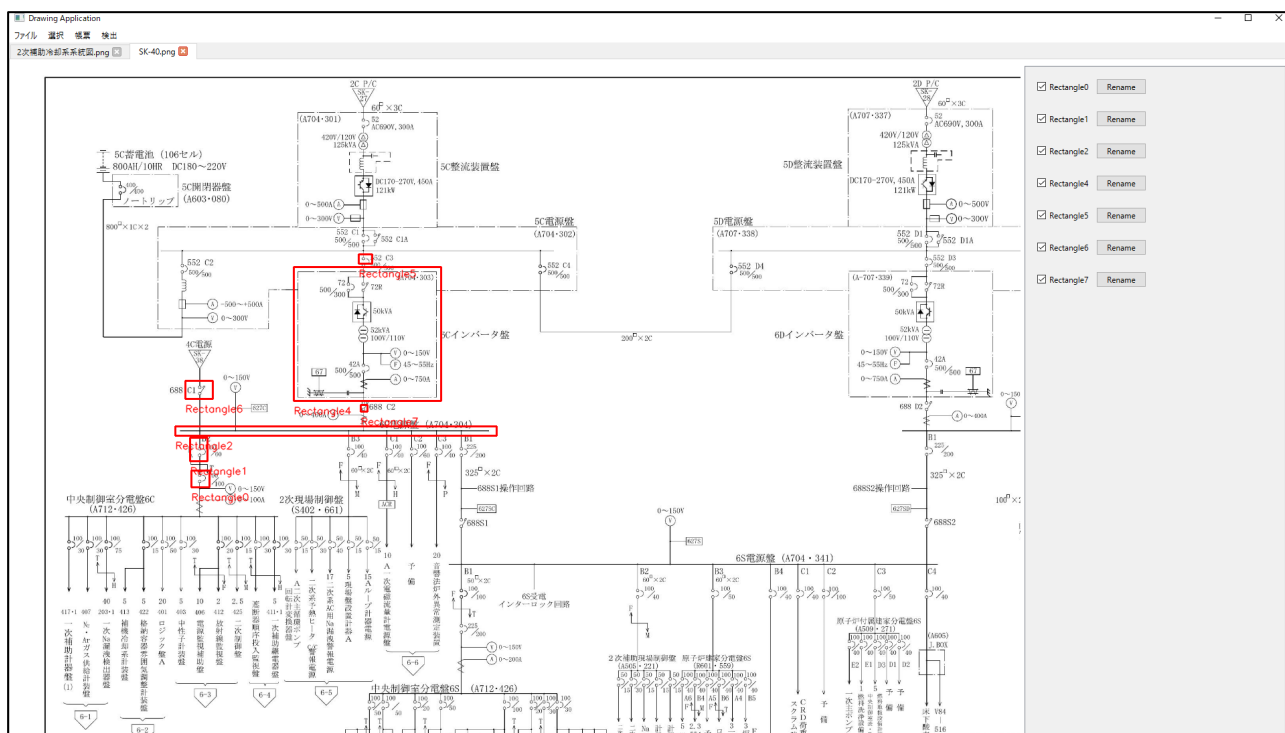


図 3.1.1-25 評価対象機器の選択結果(電源系)

EPS\_6C = EPS-001 EPS-002 EPS-003 EPS-004 EPS-005 ( ( EPS-006 ) ( EPS-007 EPS-008  
EPS-009 ) )

図 3.1.1-26 ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル(電源系)

```

EPS_6C =
EPS_6C                                     OR   EPS_6C_BLK11  EPCBIFLC2M6CCB1Y  EPCBIMOP2M6CCB1Y
EPDBILOF2M6CA712  EPCBIFLC2M6CCB2Y  EPCBIMOP2M6CCB2Y  EPCBIFLC2M6CCB3Y  EPCBIMOP2M6CCB3Y
EPPBILOF2M6CA704

EPS_6C_BLK11                             AND   EPS_6C_BLK111  EPS_6C_BLK112
EPS_6C_BLK111                             OR   EPMCIFLC2M6CMCC1  EPMCIMOP2M6CMCC1
EPS_6C_BLK112                             OR   EPMCIFLC2M6CMCC2  EPMCIMOP2M6CMCC2  EPIBILOF2M6CIVTB
EPCBIFLC2M6CCBC3  EPCBIMOP2M6CCBC3
^EOS

```

図 3.1.1-27 PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムの結果(電源系)  
(故障モードレベルの SAPHIRE 形式の FT データ)

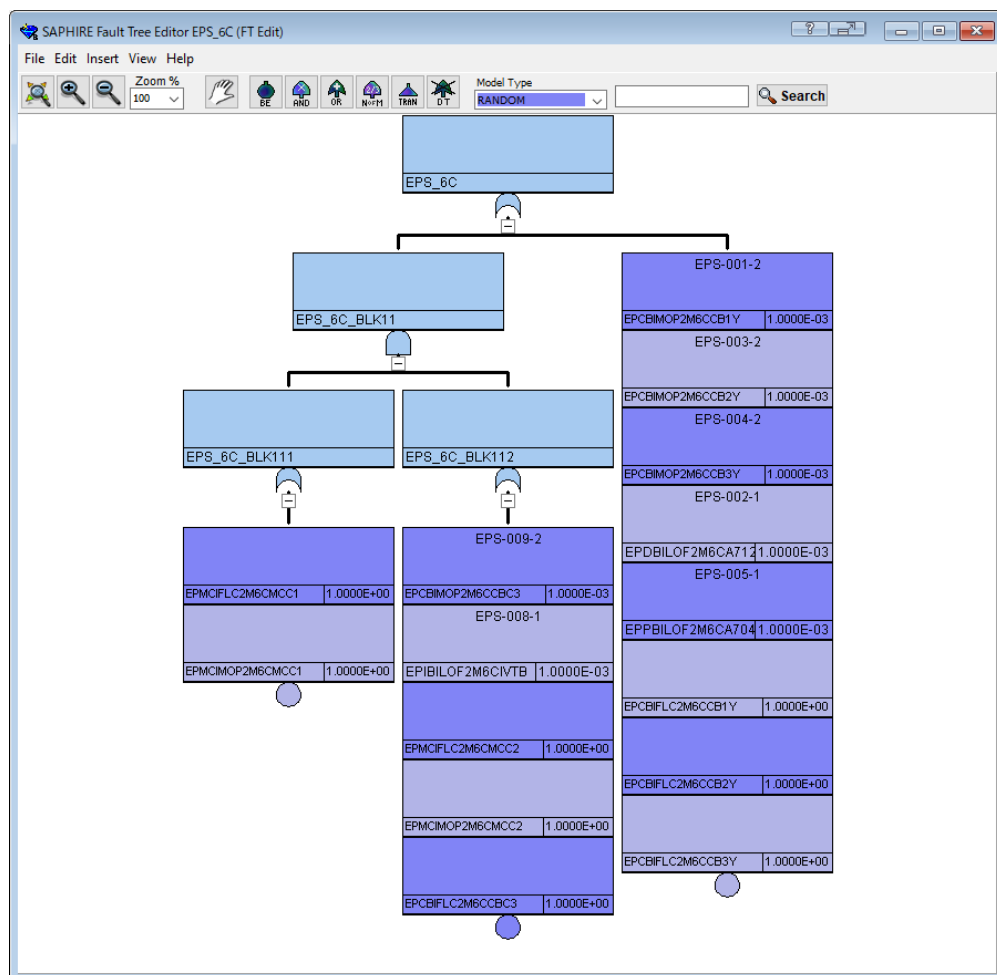


図 3.1.1-28 故障モードレベルの FT(電源系)

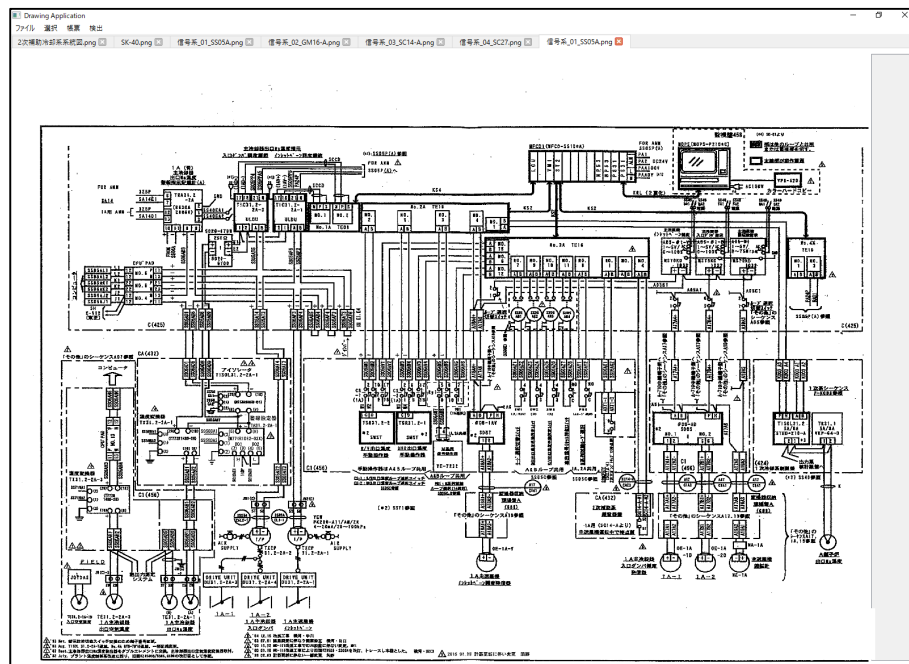


図 3.1.1-29 展開接続図の読み込み結果(信号系)  
 (a) プラント温度制御系 1A ループ展開接続図\_SS05A)

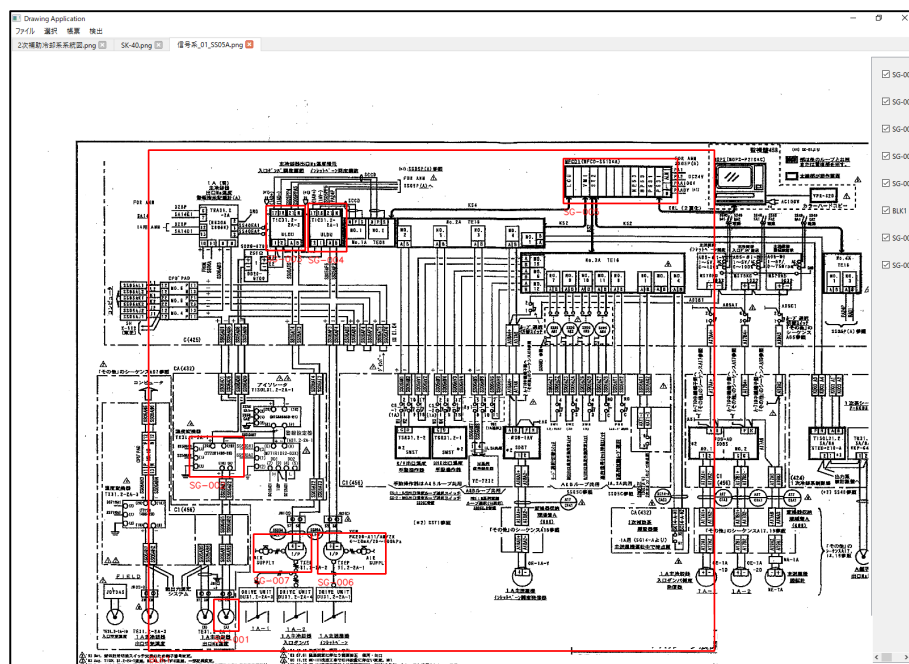


図 3.1.1-30 評価対象機器及び配管の選択結果(信号系)  
 (a) プラント温度制御系 1A ループ展開接続図\_SS05A)



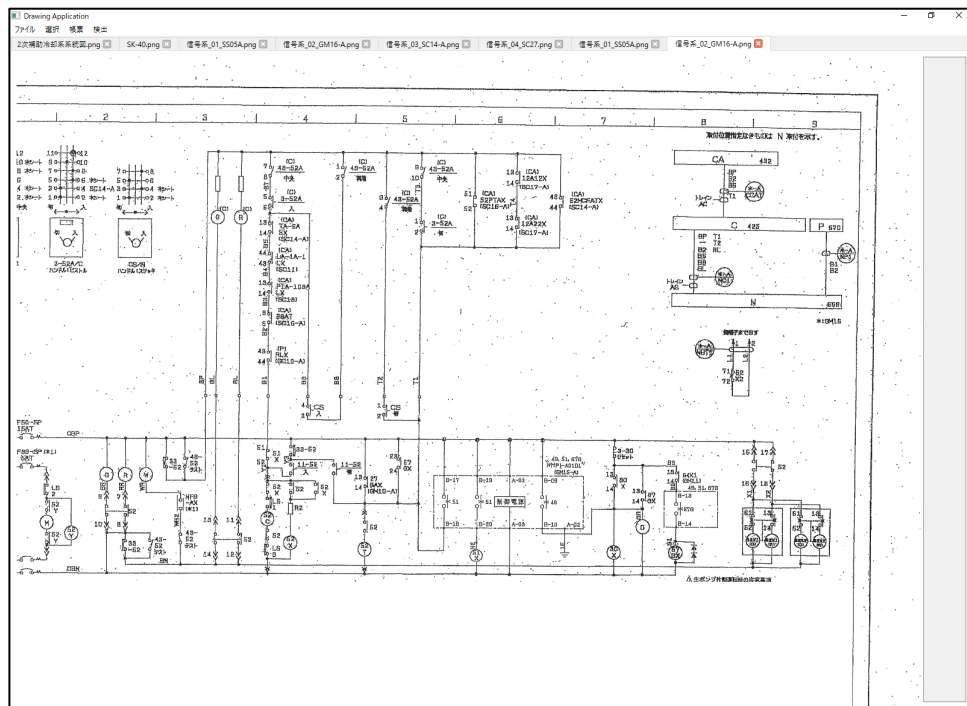


図 3.1.1-31 展開接続図の読み込み結果(信号系)  
(b) A2 次主循環ポンプ\_GM16-A

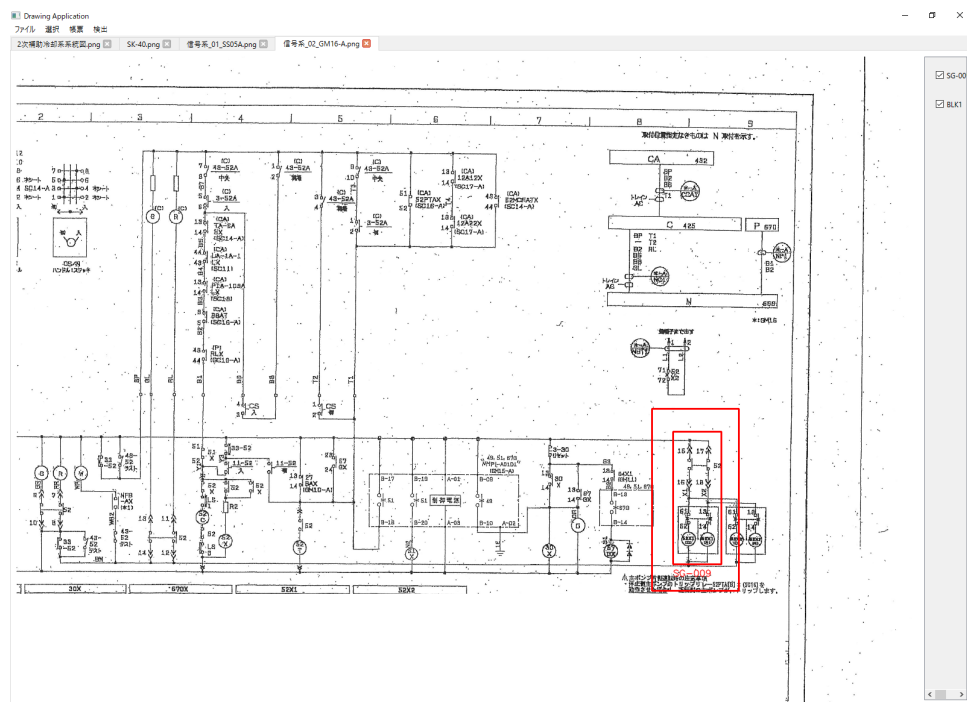


図 3.1.1-32 評価対象機器及び配管の選択結果(信号系)  
(b) A2 次主循環ポンプ\_GM16-A

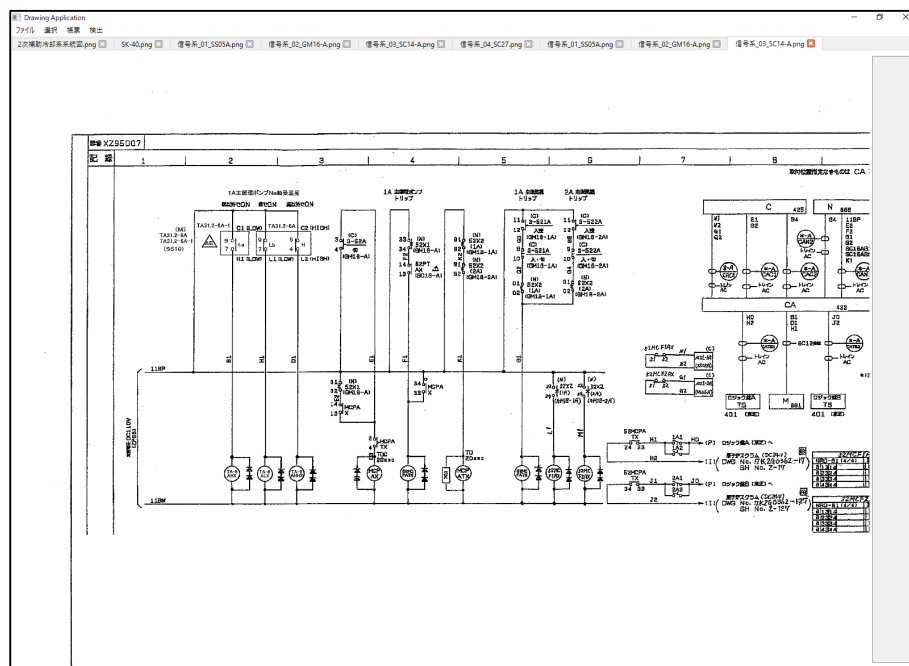


図 3.1.1-33 展開接続図の読み込み結果(信号系)  
((c)) A ループ 2 次冷却系制御回路\_SC14-A)

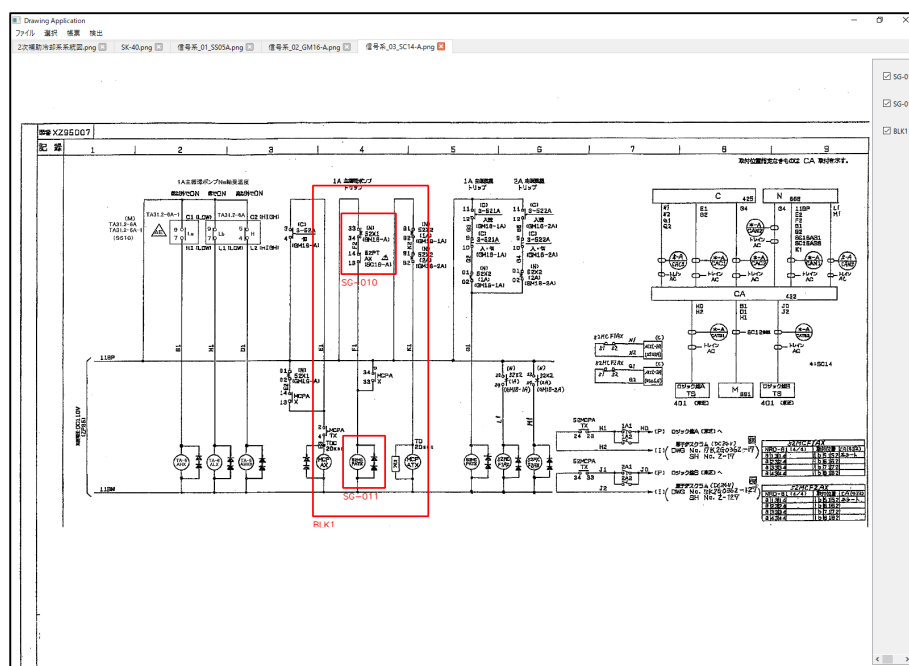


図 3.1.1-34 評価対象機器及び配管の選択結果(信号系)  
((c)) A ループ 2 次冷却系制御回路\_SC14-A)

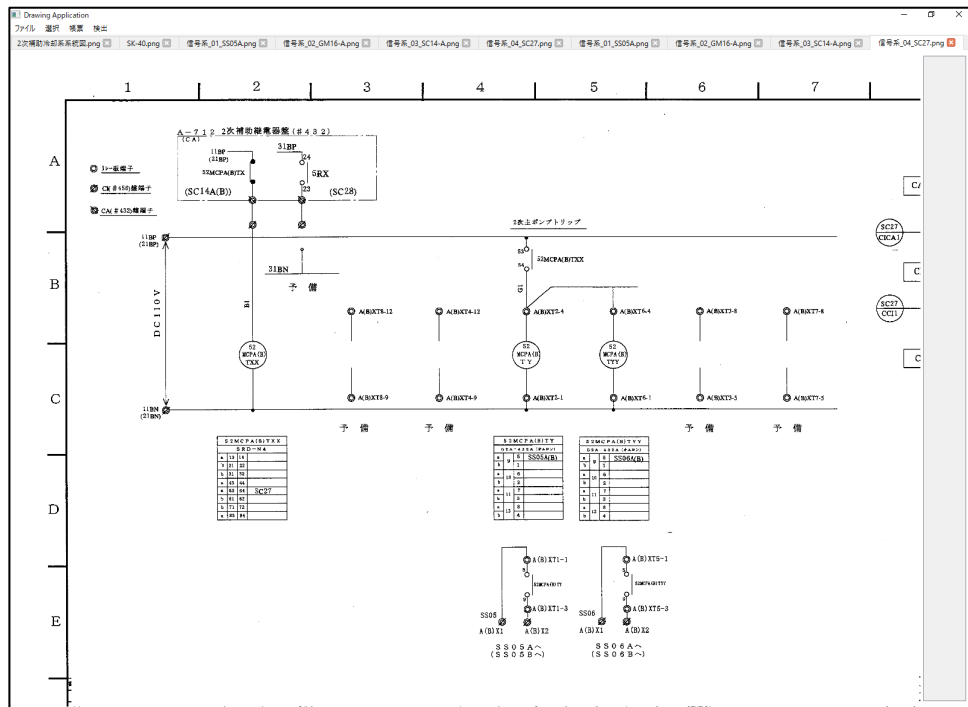


図 3.1.1-35 展開接続図の読み込み結果(信号系)  
(d) 温度制御装置インターロック回路図\_SC27

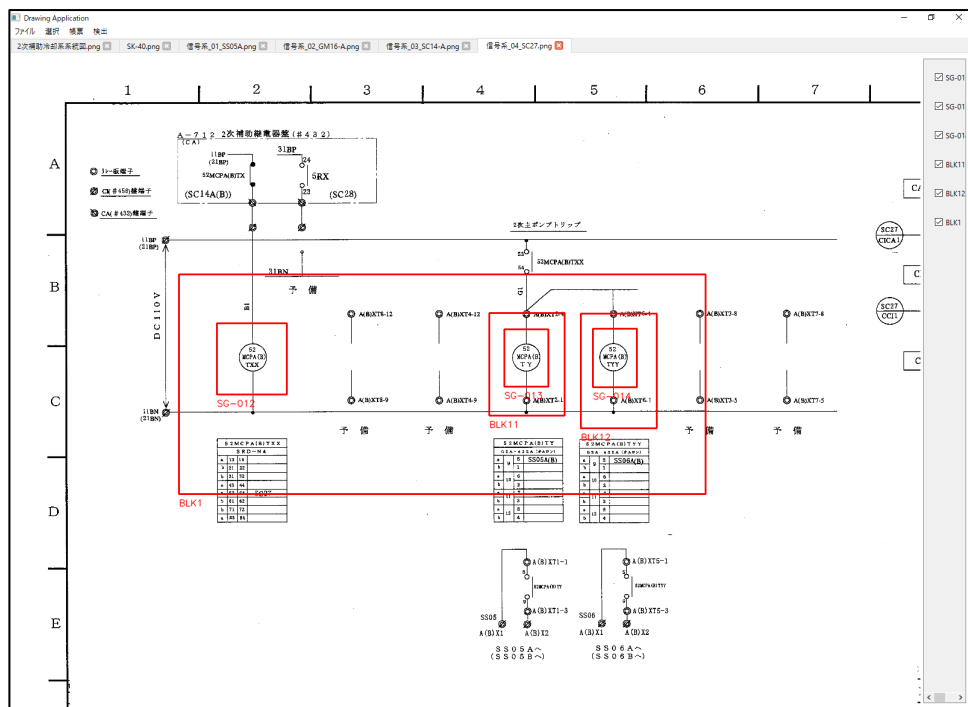


図 3.1.1-36 評価対象機器及び配管の選択結果(信号系)  
(d) 温度制御装置インターロック回路図\_SC27

SG = BLK1

BLK1 = SG-001 SG-002 SG-003 SG-004 SG-005 SG-006 SG-007

図 3.1.1-37 ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル(信号系)  
(a) プラント温度制御系 1A ループ展開接続図\_SS05A)

SG = BLK1

BLK1 = SG-009

図 3.1.1-38 ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル(信号系)  
(b) A2 次主循環ポンプ\_GM16-A)

SG = BLK1

BLK1 = SG-010 SG-011

図 3.1.1-39 ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル(信号系)  
(c) A ループ 2 次冷却系制御回路\_SC14-A)

SG = BLK1

BLK1 = (BLK11 BLK12) SG-012

BLK11 = SG-013

BLK12 = SG-014

図 3.1.1-40 ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル(信号系)  
(d) 温度制御装置インターロック回路図\_SC27)

```

SG =
SG                                OR   SG-001_BLK1 SG-002_BLK1 SG-003_BLK1 SG-004_BLK1
SG-001_BLK1                      OR   SGTEIIOPTE3122A1 SGTXIIOPTX3122A1 SGULIIOPTI3122A1
SGULIIOPTI3122A3 SGMFIIOPMFC1ZZZ SGMFIMAFMFC1ZZZ SGTXIIOPTP3122A1 SGTXIIOPTP3122A2
SG-002_BLK1                      OR   SGRYIIOP52X1RZZZ
SG-003_BLK1                      OR   SGRYIIOP52XZZZZZ SGRYIIOP52MCPATX
SG-004_BLK1                      OR   SG-004_BLK11 SGRYIIOP52MCPAXX
SG-004_BLK11                    AND   SG-004_BLK111 SG-004_BLK112
SG-004_BLK111                   OR   SGRYIIOP52MCPATY
SG-004_BLK112                   OR   SGRYIIOP52MCPAYY
^EOS

```

図 3. 1. 1-41 PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムの結果(信号系)  
(故障モードレベルの SAPHIRE 形式の FT データ)

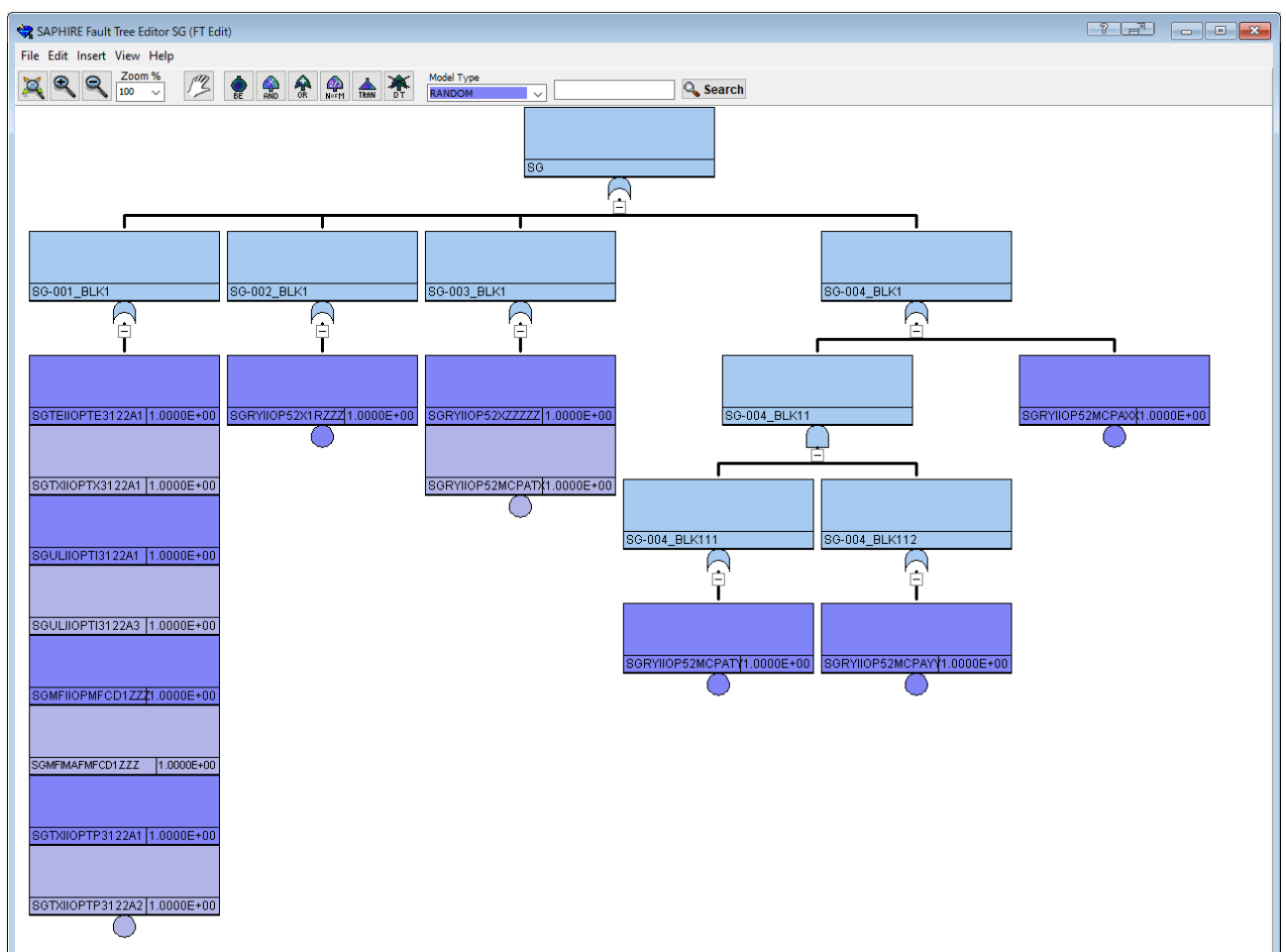


図 3. 1. 1-42 故障モードレベルの FT(信号系)

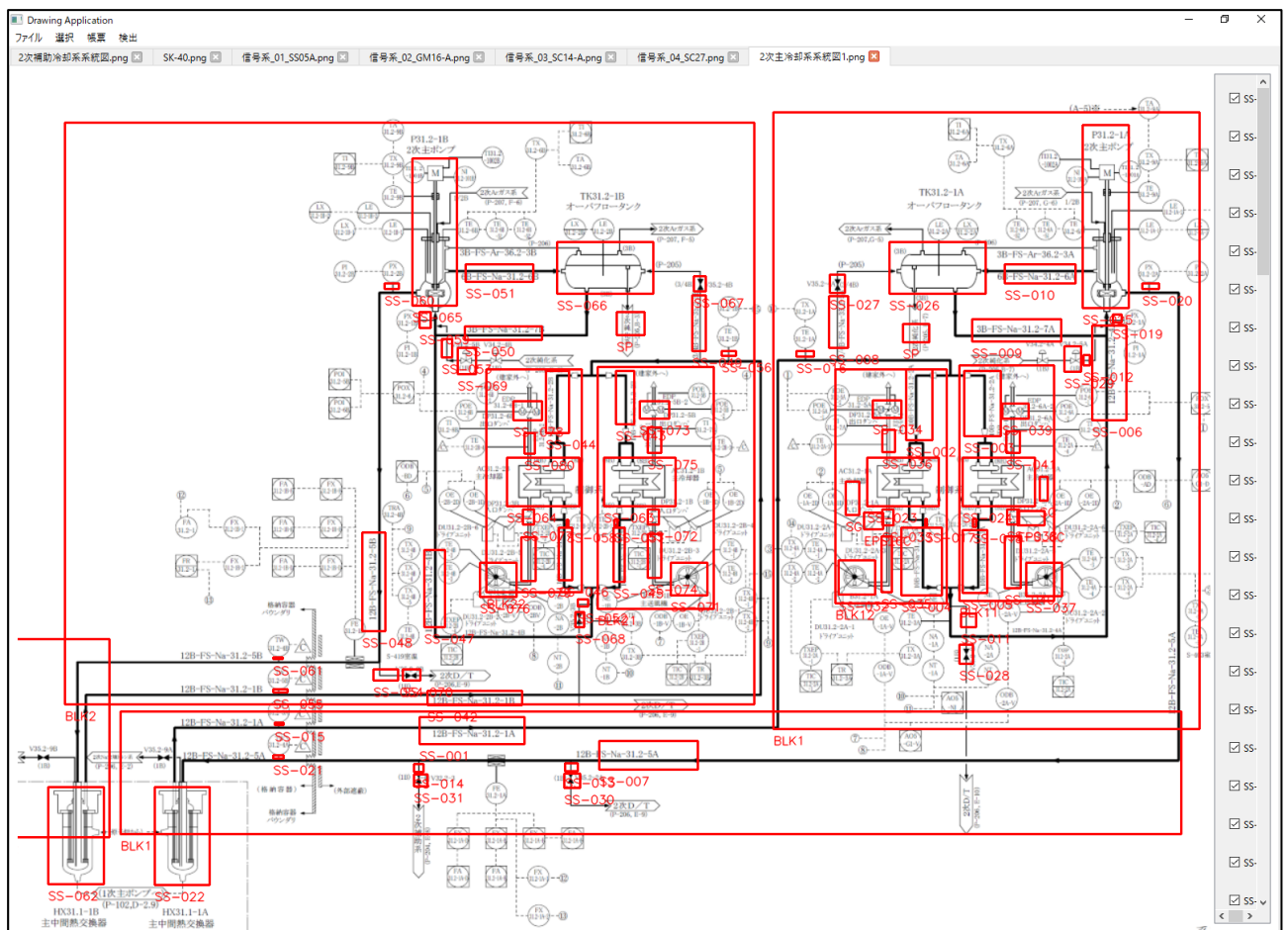


図 3.1.1-43 評価対象機器及び配管の選択結果(2次主冷却系)

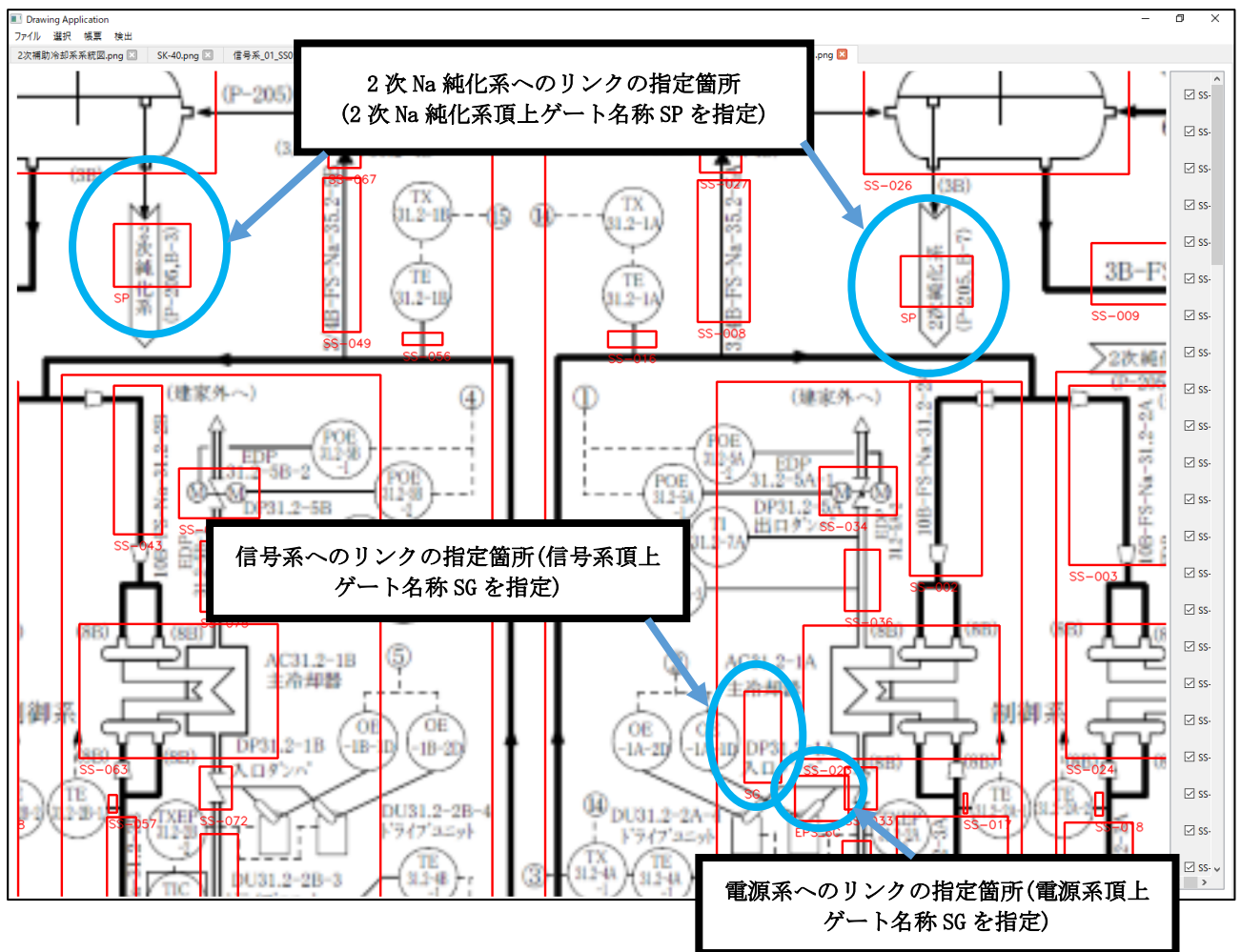


図 3.1.1-44 サポート系等とのリンクの指定(2次主冷却系)

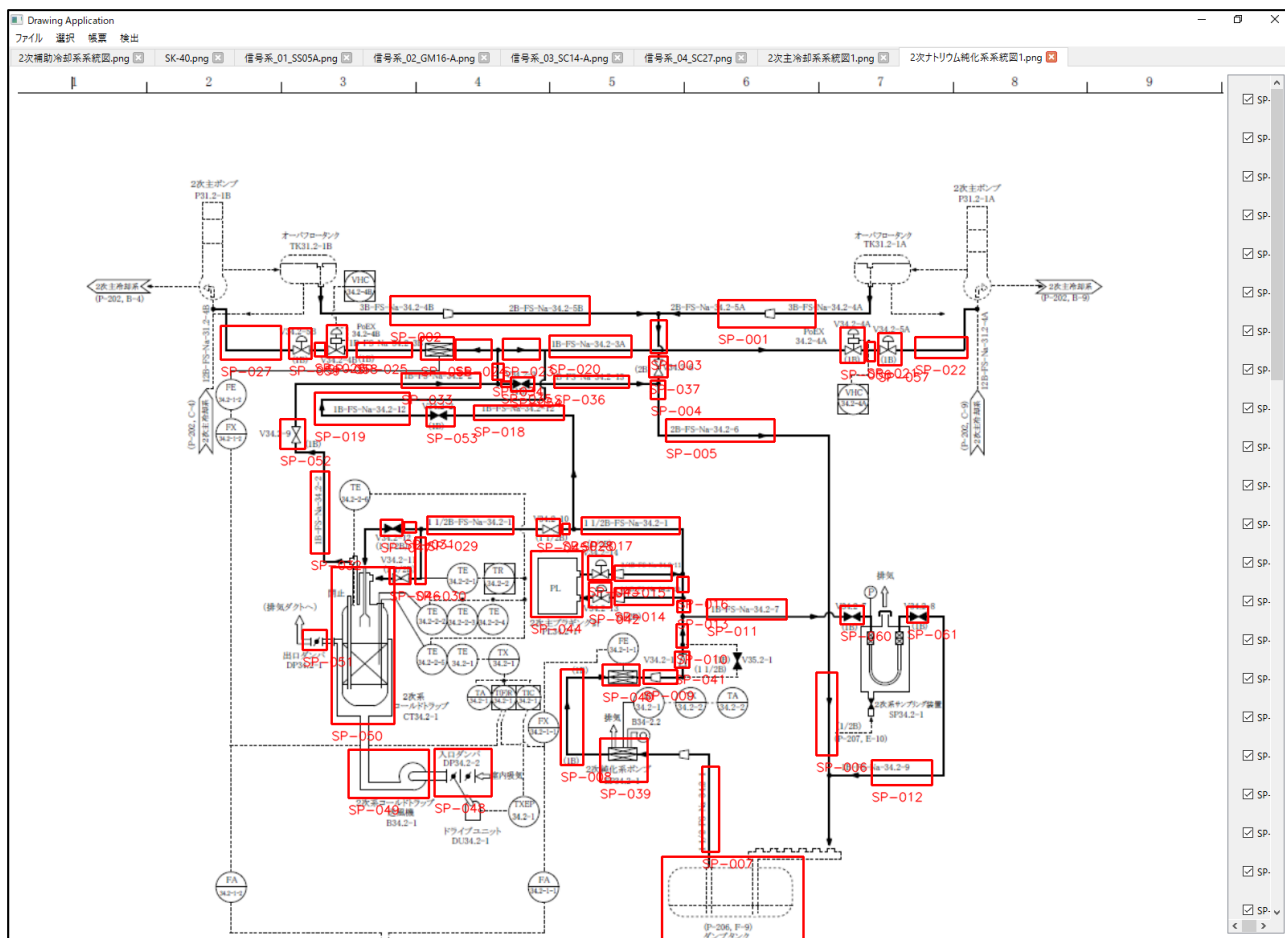


図 3.1.1-45 評価対象機器及び配管の選択結果(2次Na純化系)



```

SS = (BLK1 BLK2)
BLK1 = (BLK11 BLK12) SP SS-001 SS-006 SS-007 SS-008 SS-009 SS-010 SS-011 SS-012 SS-
013 SS-014 SS-015 SS-016 SS-019 SS-020 SS-021 SS-022 SS-025 SS-026 SS-027 SS-028 SS-
029 SS-030 SS-031
BLK11 = EPS_6C SG SS-003 SS-005 SS-018 SS-024 SS-037 SS-038 SS-039 SS-040 SS-041
BLK12 = EPS_6C SG SS-002 SS-004 SS-017 SS-023 SS-032 SS-033 SS-034 SS-035 SS-036
BLK2 = (BLK21 BLK22) SP SS-042 SS-047 SS-048 SS-049 SS-050 SS-051 SS-052 SS-053 SS-
054 SS-055 SS-056 SS-059 SS-060 SS-061 SS-062 SS-065 SS-066 SS-067 SS-068 SS-069 SS-
070
BLK21 = SS-043 SS-045 SS-057 SS-063 SS-071 SS-072 SS-073 SS-074 SS-075
BLK22 = SS-044 SS-046 SS-058 SS-064 SS-076 SS-077 SS-078 SS-079 SS-080

```

図 3.1.1-46 ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル(2 次主冷却系)  
(太字がサポート系等とのリンク箇所)

```

SP = SP-001 SP-002 SP-003 SP-004 SP-005 SP-006 SP-007 SP-008 SP-009 SP-010 SP-011 SP-
012 SP-013 SP-014 SP-015 SP-016 SP-017 SP-018 SP-019 SP-020 SP-026 SP-022 SP-023 SP-
024 SP-021 SP-025 SP-027 SP-028 SP-029 SP-030 SP-031 SP-032 SP-033 SP-034 SP-035 SP-
036 SP-037 SP-038 SP-039 SP-040 SP-041 SP-042 SP-043 SP-044 SP-045 SP-046 SP-047 SP-
048 SP-049 SP-050 SP-051 SP-052 SP-053 SP-054 SP-055 SP-056 SP-057 SP-058 SP-059 SP-
060 SP-061

```

図 3.1.1-47 ツールから出力した機器レベルの FT 生成用ファイル(2 次 Na 純化系)

```

EPS_6C =      ← 電源系 FT の始まり
EPS_6C              OR   EPS_6C_BLK11  EPCBIFLC2M6CCB1Y  EPCBIMOP2M6CCB1Y
EPDBILOF2M6CA712  EPCBIFLC2M6CCB2Y  EPCBIMOP2M6CCB2Y  EPCBIFLC2M6CCB3Y  EPCBIMOP2M6CCB3Y
EPPBILOF2M6CA704
EPS_6C_BLK11      AND   EPS_6C_BLK111 EPS_6C_BLK112
EPS_6C_BLK111      OR   EPMCIFLC2M6CMCC1 EPMCIMOP2M6CMCC1
EPS_6C_BLK112      OR   EPMCIFLC2M6CMCC2 EPMCIMOP2M6CMCC2 EPIBILOF2M6CIVTB
EPCBIFLC2M6CCBC3  EPCBIMOP2M6CCBC3
^EOS
SS =      ← 2次主冷却系 FT の始まり
SG          TRAN ← SG(信号系)がトランスファークロッシングであることの指定箇所
SP          TRAN ← SP(2次Na純化系)がトランスファークロッシングであることの指定箇所
EPS_6C      TRAN ← 電源系へのトランスファークロッシングであることの指定箇所
SS          AND   SS_BLK1  SS_BLK2
SS_BLK1      OR   SS_BLK11  SP  SSPPILEK2MPA103S  SSPPIPLG2MPA103S
SSPPILEK2MPA403S  SSPPIPLG2MPA403S  SSPPILEK2MPA505S  SSPPIPLG2MPA505S  SSPPILEK2MPA601S
SSPPIPLG2MPA601S  SSPPILEK2MPA701S  SSPPIPLG2MPA701S  SSPPILEK2MPA801S  SSPPIPLG2MPA801S
SSPPILEK2MPA901S  SSPPIPLG2MPA901S  SSPPILEK2MPAA01S  SSPPIPLG2MPAA01S  SSPPILEK2MPAB01S
SSPPIPLG2MPAB01S  SSPPILEK2MPAC01S  SSPPIPLG2MPAC01S  SSPPILEK2MPAD11S  SSPPIPLG2MPAD11S
SSPPILEK2MPAD21S  SSPPIPLG2MPAD21S  SSPPILEK2MPAD51S  SSPPIPLG2MPAD51S
CONT  SSPPILEK2MPAD61S  SSPPIPLG2MPAD61S  SSPPILEK2MPAD71S
SSPPIPLG2MPAD71S  SSHXIPDM2MHA0001  SSHXIOILK2MHA0001  SSHXIPLG2MHA0001  SSPMIFST2MPA0001
SSPMIFCT2MPA0001  SSTKIDMG2MTA0001  SSTKIPLG2MTA0001  SSVXIOILK2MVA1001  SSVXIILK2MVA1001
SSVXIOILK2MVA2001  SSVXIILK2MVA2001  SSVAIMOC2MVA3001  SSVAIPLG2MVA3001  SSVAIOLK2MVA3001
SSVAIILK2MVA3001  SSVXIOILK2MVA4001  SSVXIILK2MVA4001  SSVAIMOC2MVA5001  SSVAIOLK2MVA5001
SSVAIILK2MVA5001  SSPPILEK2MPA221S  SSPPILEK2MPA321S  SSPPILEK2MPAD41S  SSACIPDM2MAA0002
CONT  SSACIOILK2MAA0002  SSDPIOLK2MDA1201  SSDPIOLK2MDA1202
SSPDILEK2MDA1203  SSPDILEK2MDA1204  SSPPILEK2MPA211S  SSPPILEK2MPA311S  SSPPILEK2MPAD31S
SSACIPDM2MAA0001  SSACIOILK2MAA0001  SSDPIOLK2MDA1101  SSDPIOLK2MDA1102  SSPDILEK2MDA1103
SSPDILEK2MDA1104
SS_BLK11      AND   SS_BLK111  SS_BLK112
SS_BLK111      OR   EPS_6C  SG  SSPPIPLG2MPA221S  SSPPIPLG2MPA321S
SSPPIPLG2MPAD41S  SSACIPLG2MAA0002  SSBRIFFST2MBA1201  SSBRIFFCT2MBA1201  SSDPIFOP2MDA1201
SSDPIMOC2MDA1201  SSDPIPLG2MDA1201  SSDPIILK2MDA1201  SSDPIFOP2MDA1202  SSDPIMOC2MDA1202
SSDPIPLG2MDA1202  SSDPIILK2MDA1202  SSDPIPLG2MDA1203  SSDPIPLG2MDA1204
SS_BLK112      OR   EPS_6C  SG  SSPPIPLG2MPA211S  SSPPIPLG2MPA311S
SSPPIPLG2MPAD31S  SSACIPLG2MAA0001  SSBRIFFST2MBA1101  SSBRIFFCT2MBA1101  SSDPIFOP2MDA1101
SSDPIMOC2MDA1101  SSDPIPLG2MDA1101  SSDPIILK2MDA1101  SSDPIFOP2MDA1102  SSDPIMOC2MDA1102
SSDPIPLG2MDA1102  SSDPIILK2MDA1102  SSDPIPLG2MDA1103  SSDPIPLG2MDA1104

... <続く> ...

```

図 3.1.1-48 PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムの結果

(2 次主冷却系/2 次 Na 純化系/電源系/信号系)

(トランスファークロッシングを含む故障モードレベルの SAPHIRE 形式の FT データ) (1/3)

```

SS_BLK2                                OR    SS_BLK21 SP SSPPILEK2MPB103S SSPPILG2MPB103S
SSPPILEK2MPB403S SSPPILG2MPB403S SSPPILEK2MPB505S SSPPILG2MPB505S SSPPILEK2MPB601S
SSPPILG2MPB601S SSPPILEK2MPB701S SSPPILG2MPB701S SSPPILEK2MPB801S SSPPILG2MPB801S
SSPPILEK2MPB901S SSPPILG2MPB901S SSPPILEK2MPBA01S SSPPILG2MPBA01S SSPPILEK2MPBB01S
SSPPILG2MPBB01S SSPLILEK2MPBD11S SSPLILG2MPBD11S SSPLILEK2MPBD21S SSPLILG2MPBD21S
SSPLILEK2MPBD51S SSPLILG2MPBD51S SSPLILEK2MPBD61S SSPLILG2MPBD61S
                                CONT SSPLILEK2MPBD71S SSPLILG2MPBD71S SSHXIPDM2MHB0001
SSHXIOLK2MHB0001 SSHXIPLG2MHB0001 SSPMIFST2MPB0001 SSPMIFCT2MPB0001 SSTKIDMG2MTB0001
SSTKIPLG2MTB0001 SSVXIOLK2MVB1001 SSVXIILK2MVB1001 SSVXIOLK2MVB2001 SSVXIILK2MVB2001
SSVAIMOC2MVB3001 SSVAIPLG2MVB3001 SSVAIOLK2MVB3001 SSVAIILK2MVB3001 SSVXIOLK2MVB4001
SSVXIILK2MVB4001 SSPPILEK2MPB211S SSPPILEK2MPB311S SSPLILEK2MPBD31S SSACIPDM2MAB0001
SSACIOLK2MAB0001 SSDPIOLK2MDB1101 SSDPIOLK2MDB1102 SSDILEK2MDB1103 SSDILEK2MDB1104
                                CONT SSPPILEK2MPB221S SSPPILEK2MPB321S SSPLILEK2MPBD41S
SSACIPDM2MAB0002 SSACIOLK2MAB0002 SSDPIOLK2MDB1201 SSDPIOLK2MDB1202 SSDILEK2MDB1203
SSPDILEK2MDB1204
SS_BLK21                                AND    SS_BLK211 SS_BLK212
SS_BLK211                                OR    SSPPILG2MPB211S SSPPILG2MPB311S SSPLILG2MPBD31S
SSACIPLG2MAB0001 SSBRIFFST2MBB1101 SSBRIFFCT2MBB1101 SSDPIFOP2MDB1101 SSDPIMOC2MDB1101
SSDPILG2MDB1101 SSDPIILK2MDB1101 SSDPIFOP2MDB1102 SSDPIMOC2MDB1102 SSDPIPLG2MDB1102
SSDPIILK2MDB1102 SSDPIPLG2MDB1103 SSDIPLG2MDB1104
SS_BLK212                                OR    SSPPILG2MPB221S SSPPILG2MPB321S SSPLILG2MPBD41S
SSACIPLG2MAB0002 SSBRIFFST2MBB1201 SSBRIFFCT2MBB1201 SSDPIFOP2MDB1201 SSDPIMOC2MDB1201
SSDPILG2MDB1201 SSDPIILK2MDB1201 SSDPIFOP2MDB1202 SSDPIMOC2MDB1202 SSDPIPLG2MDB1202
SSDPIILK2MDB1202 SSDPIPLG2MDB1203 SSDIPLG2MDB1204
^EOS
SP =      ← 2次Na純化系FTの始まり
SP                                OR    SPPPILEK3MP4A5AY SPPPIPLG3MP4A5AY SPPPILEK3MP4B5BY
SPPPIPLG3MP4B5BY SPPPILEK3MP6-1YY SPPPIPLG3MP6-1YY SPPPILEK3MP6-2YY SPPPIPLG3MP6-2YY
SPPPILEK3MP6-3YY SPPPIPLG3MP6-3YY SPPPILEK3MP6-4YY SPPPIPLG3MP6-4YY SPPPILEK3MP1-1YY
SPPPIPLG3MP1-1YY SPPPILEK3MP1-2YY SPPPIPLG3MP1-2YY SPPPILEK3MP1-3YY SPPPIPLG3MP1-3YY
SPPPILEK3MP1-4YY SPPPIPLG3MP1-4YY SPPPILEK3MP7YYYY SPPPIPLG3MP7YYYY SPPPILEK3MP9YYYY
SPPPIPLG3MP9YYYY SPPPILEK3MP1-5YY SPPPIPLG3MP1-5YY SPPPILEK3MP10YYY SPPPIPLG3MP10YYY
                                CONT SPPPILEK3MP11YYY SPPPIPLG3MP11YYY SPPPILEK3MP1-6YY
SPPPIPLG3MP1-6YY SPPPILEK3MP1-7YY SPPPIPLG3MP1-7YY SPPPILEK3MP12-1Y SPPPIPLG3MP12-1Y
SPPPILEK3MP12-2Y SPPPIPLG3MP12-2Y SPPPILEK3MP3A-1Y SPPPIPLG3MP3A-1Y SPPPILEK3MP3B-2Y
SPPPIPLG3MP3B-2Y SPPPILEK3MP3A-3Y SPPPIPLG3MP3A-3Y SPPPILEK3MP3A-4Y SPPPIPLG3MP3A-4Y
SPPPILEK3MP3A-5Y SPPPIPLG3MP3A-5Y SPPPILEK3MP3A-2Y SPPPIPLG3MP3A-2Y SPPPILEK3MP3B-1Y
SPPPIPLG3MP3B-1Y SPPPILEK3MP3B-3Y SPPPIPLG3MP3B-3Y SPPPILEK3MP1-8YY SPPPIPLG3MP1-8YY

... <続く> ...

```

図 3.1.1-48 PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムの結果

(2 次主冷却系、2 次 Na 純化系、電源系及び信号系の組合せ)

(トランスファークラークを含む故障モードレベルの SAPHIRE 形式の FT データ) (2/3)

```

CONT SPPPILEK3MP1-9YY SPPPIPLG3MP1-9YY SPPPILEK3MP1-10Y
SPPPIPLG3MP1-10Y SPPPILEK3MP1-11Y SPPPIPLG3MP1-11Y SPPPILEK3MP2-1YY SPPPIPLG3MP2-1YY
SPPPILEK3MP2-2YY SPPPIPLG3MP2-2YY SPPPILEK3MP2-3YY SPPPIPLG3MP2-3YY SPPPILEK3MP2-4YY
SPPPIPLG3MP2-4YY SPPPILEK3MP2-5YY SPPPIPLG3MP2-5YY SPVXIPLG3MV6YYYY SPVXIOLK3MV6YYYY
SPTKIDMG3MTK1YYY SPTKIPLG3MTK1YYY SPPEIFCT3MEP1YYY SPPEIOLK3MEP1YYY SPPEIFCT3MEPX1YY
SPPEIOLK3MEPX1YY SPCVIFT03MV1YXXY SPCVIOLK3MV1YXXY SPVAIMOC3MV13YYY SPVAIPLG3MV13YYY
CONT SPVAIOLK3MV13YYY SPVAIILK3MV13YYY SPVAIMOC3MV14YYY
SPVAIPLG3MV14YYY SPVAIOLK3MV14YYY SPVAIILK3MV14YYY SPPGILEK3MPL1YYY SPPGIPLG3MPL1YYY
SPVXIPLG3MV10YYY SPVXIOLK3MV10YYY SPVXIPLG3MV11YYY SPVXIOLK3MV11YYY SPVXIOLK3MV12YYY
SPDPIFOP3MDP2YYY SPDPILOC3MDP2YYY SPDPIPLG3MDP2YYY SPDPIOLK3MDP2YYY SPDPIILK3MDP2YYY
SPBRIFST3MB1YYYY SPBRIFCT3MB1YYYY SPCTIPDM3MCT1YYY SPCTIOLK3MCT1YYY SPCTIPLG3MCT1YYY
SPDPIFOP3MDP1YYY SPDPILOC3MDP1YYY SPDPIPLG3MDP1YYY SPDPIOLK3MDP1YYY SPDPIILK3MDP1YYY
CONT SPVXIPLG3MV9YYYY SPVXIOLK3MV9YYYY SPVXIOLK3MV2YYYY
SPVXIOLK3MV3YYYY SPPEIFCT3MEPX2YY SPPEIOLK3MEPX2YY SPVAIMOC3MV4AYYY SPVAIPLG3MV4AYYY
SPVAIOLK3MV4AYYY SPVAIILK3MV4AYYY SPVAIMOC3MV5AYYY SPVAIPLG3MV5AYYY SPVAIOLK3MV5AYYY
SPVAIILK3MV5AYYY SPVAIMOC3MV4BYYY SPVAIPLG3MV4BYYY SPVAIOLK3MV4BYYY SPVAIILK3MV4BYYY
SPVAIMOC3MV5BYYY SPVAIPLG3MV5BYYY SPVAIOLK3MV5BYYY SPVAIILK3MV5BYYY SPVXIOLK3MV7YYYY
SPVXIOLK3MV8YYYY
^EOS

SG =      ← 信号系 FT の始まり
SG              OR  SG-001_BLK1 SG-002_BLK1 SG-003_BLK1 SG-004_BLK1
SG-001_BLK1      OR  SGTEIIOPTE3122A1 SGTXIIOPTX3122A1 SGULIIOPTI3122A1
SGULIIOPTI3122A3 SGMFIIOPMFCDD1ZZZ SGMFIMAFMFCDD1ZZZ SGTXIIOPTP3122A1 SGTXIIOPTP3122A2
SG-002_BLK1      OR  SGRYIIOP52X1RZZZ
SG-003_BLK1      OR  SGRYIIOP52XZZZZZ SGRYIIOP52MCPATX
SG-004_BLK1      OR  SG-004_BLK11 SGRYIIOP52MCPAXX
SG-004_BLK11     AND  SG-004_BLK111 SG-004_BLK112
SG-004_BLK111    OR  SGRYIIOP52MCPATY
SG-004_BLK112    OR  SGRYIIOP52MCPAYY
^EOS

```

図 3.1.1-48 PRA 用解析コード用 FT データ出力プログラムの結果

(2 次主冷却系/2 次 Na 純化系/電源系/信号系)

(トランスファークロスを伴う故障モードレベルの SAPHIRE 形式の FT データ) (3/3)

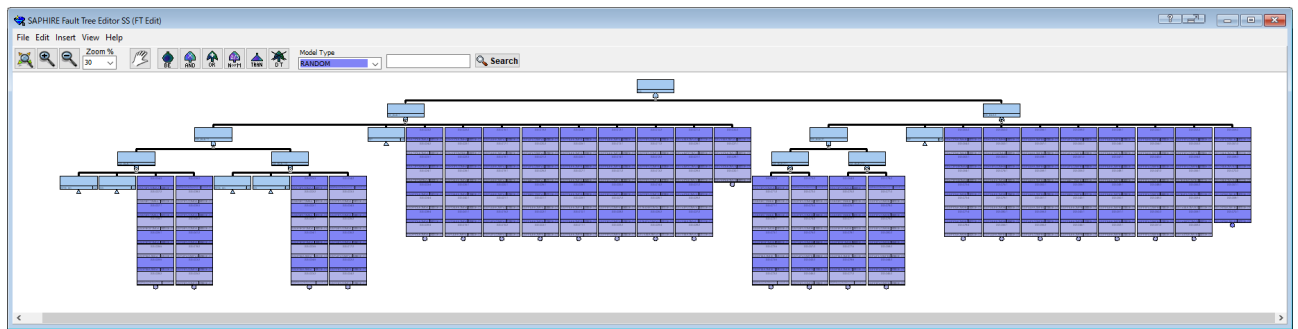


図 3.1.1-49 トランスファーゲートを含む故障モードレベルの FT (2 次主冷却系)

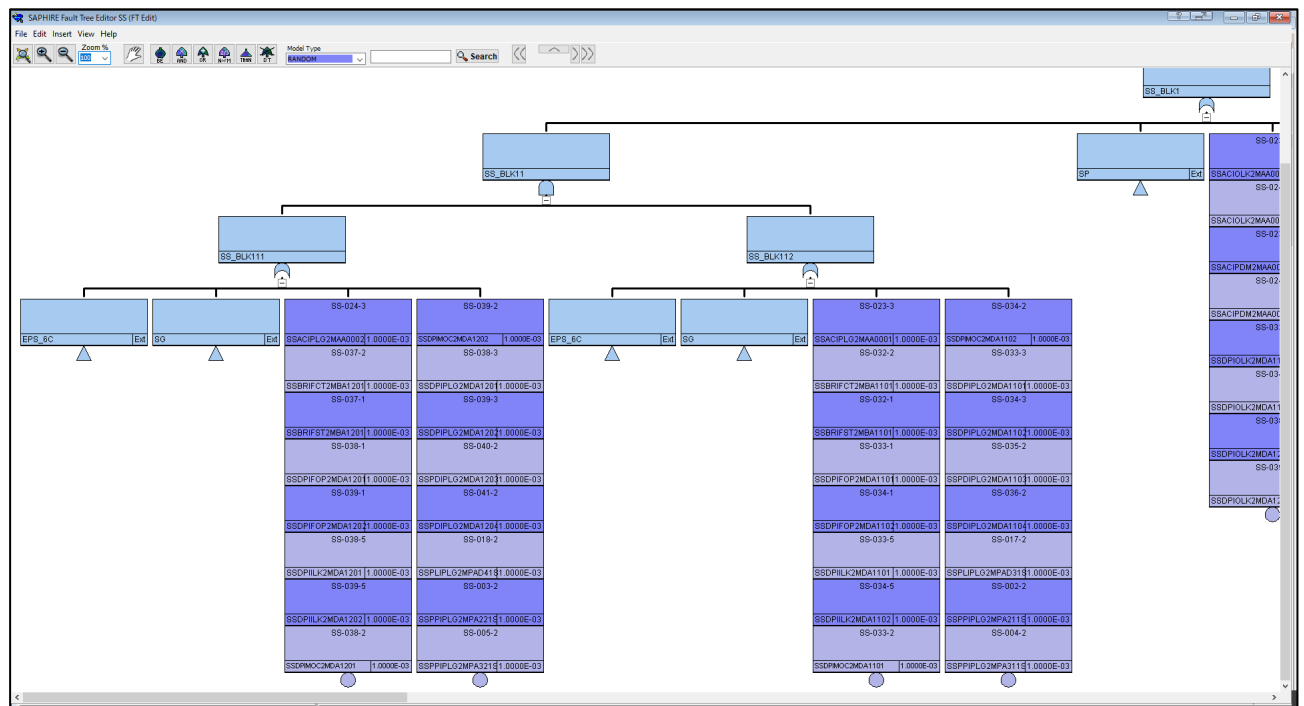


図 3.1.1-50 トランスファーゲートを含む故障モードレベルの FT (2 次主冷却系一部抜粋)  
(トランスファーゲート部分を拡大したもの)

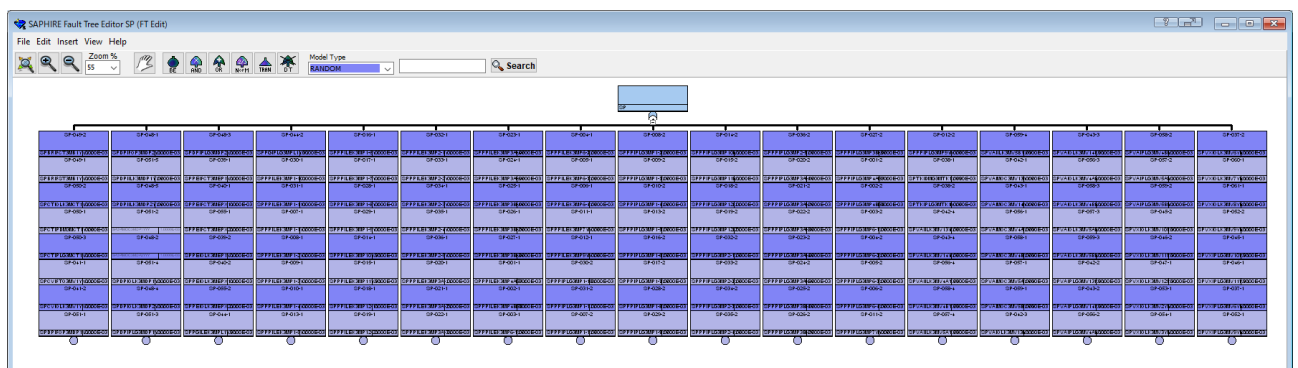


図 3.1.1-51 故障モードレベルの FT (2 次 Na 純化系)

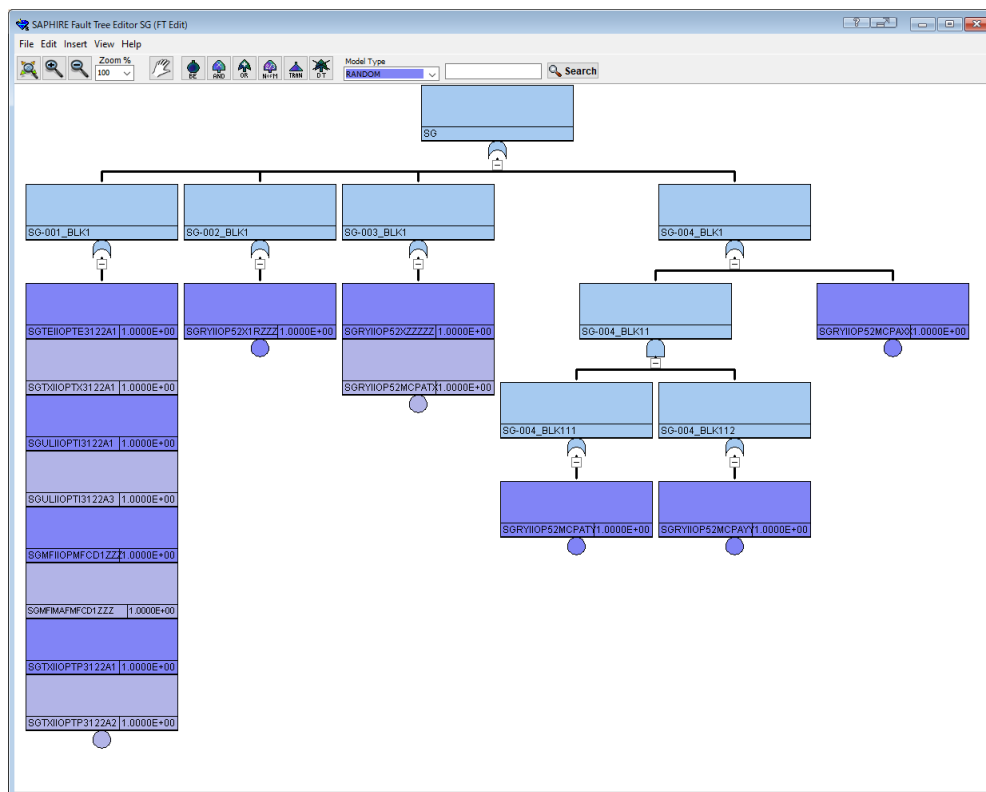


図 3.1.1-52 故障モードレベルの FT (信号系)

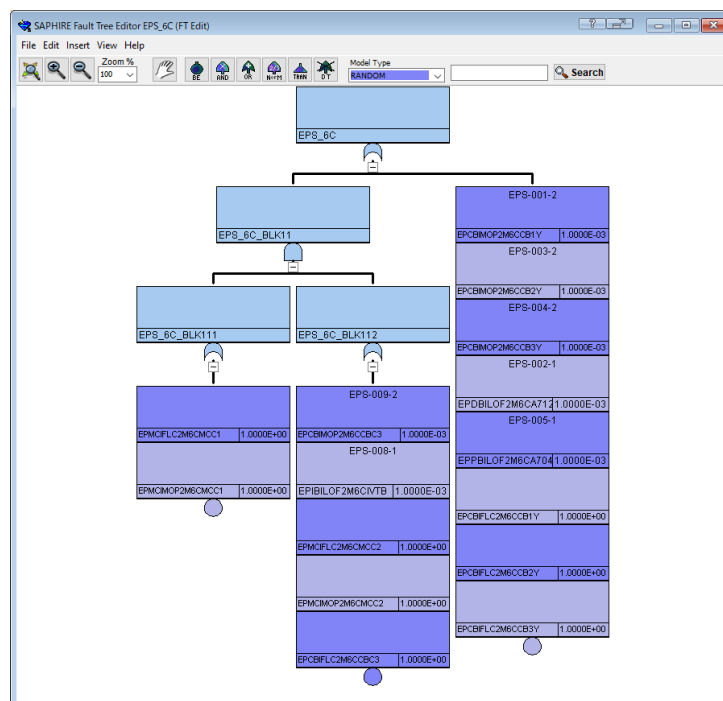


図 3.1.1-53 故障モードレベルの FT(電源系)

## 2) 手作業による FT 作成

検証用の手作業による FT は、FT 自動作成ツールで試作した FT と同様に、FT 自動作成ツールで試作した FT と同様に、以下の図面(系統及び複数系統の組合せ)を対象として、PRA 用解析コード SAPHIRE 上に構築した。図 3.1.1-54～図 3.1.1-57 に、SAPHIRE 上で人が手作業で構築した FT を示す。

- (a) 2 次補助冷却系(図面 1 枚で構成)
- (b) 電源系(図面 1 枚で構成)
- (c) 信号系(図面 4 枚で構成)
- (d) 2 次主冷却系、2 次 Na 純化系、電源系及び信号系の組合せ(図面 7 枚で構成)

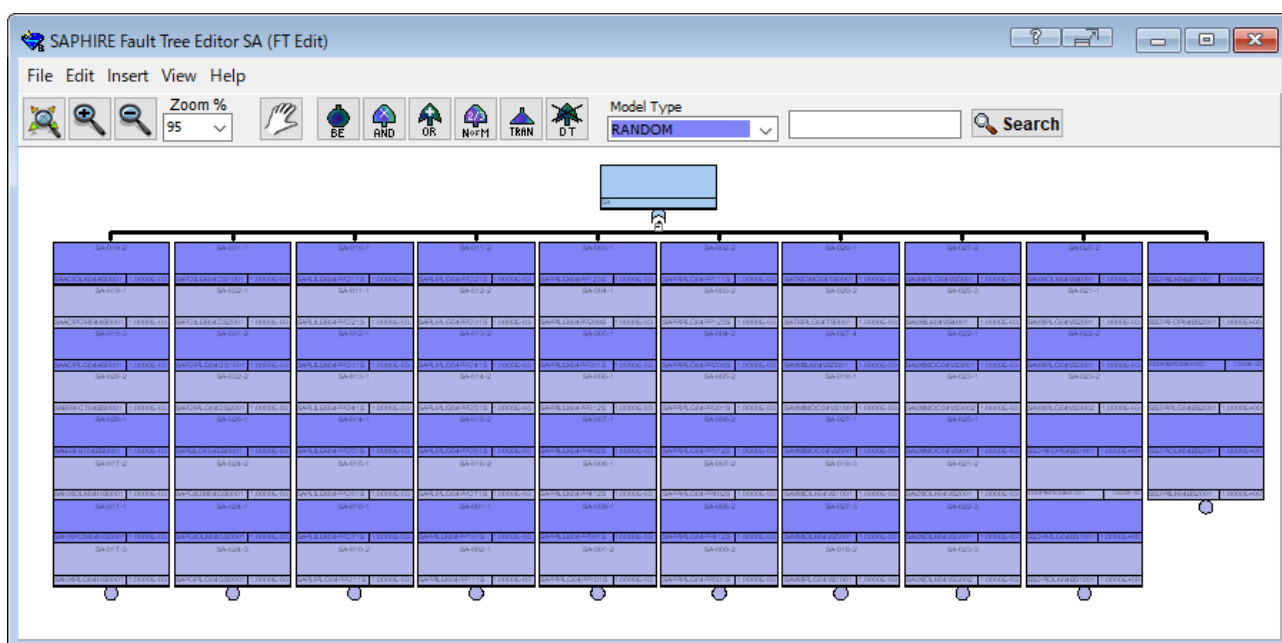


図 3.1.1-54 手作業による検証用 FT(2 次補助冷却系)

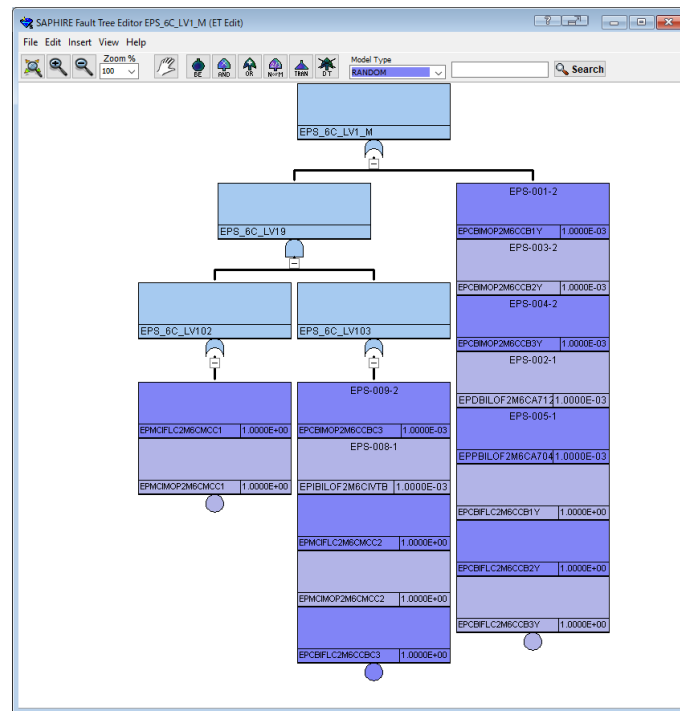


図 3.1.1-55 手作業による検証用 FT(電源系)

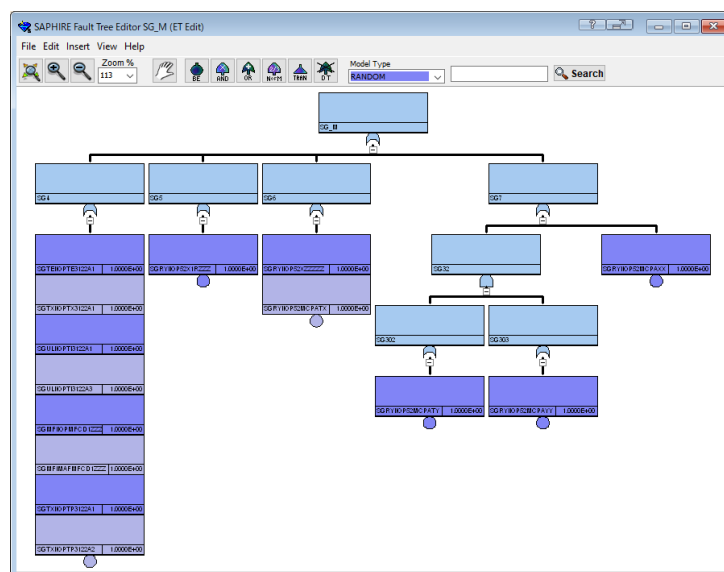


図 3.1.1-56 手作業による検証用 FT(信号系)



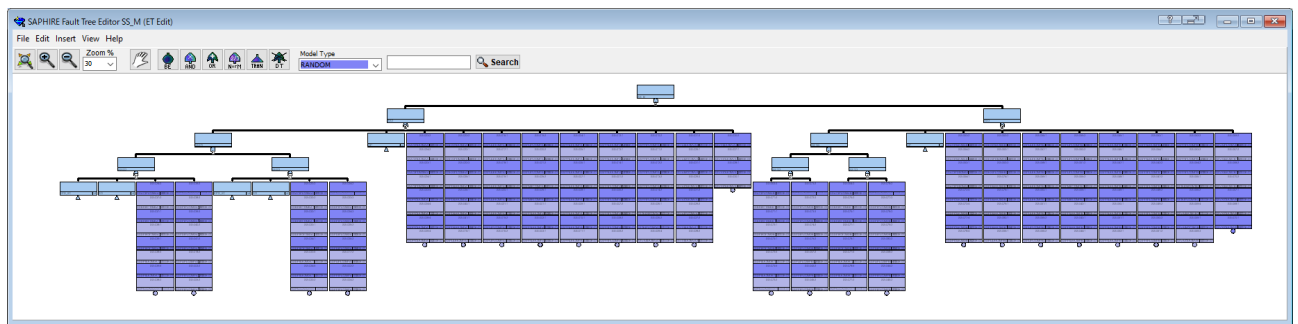


図 3.1.1-57 手作業による検証用 FT  
(2 次主冷却系、2 次 Na 純化系、電源系及び信号系の組合せ)

### 3) 従来手法 (SAPHIRE) による解析結果の比較検証

FT 自動作成ツールを使用して作成した FT と手作業で作成した検証用 FT との論理構造及び定量化結果の比較を実施し、機能を検証した。以下に、機能検証結果を示す。

#### 3-a) 論理構造の比較

論理構造は、各図面の FT 自動作成ツールを使用して作成した FT と手作業で作成した検証用 FT のゲート及びゲート下の基事象を比較し、両者の一致を確認することで検証した。表 3.1.1-14～表 3.1.1-17 に、各図面の FT のゲート及びゲート下の基事象の比較結果を示す。どちらの FT についても、ゲートの構造及びゲート下の基事象 ID が一致しており、論理構造が一致していることを確認した。

#### 3-b) 定量化結果の比較

定量化結果は、各図面の FT 自動作成ツールを使用して作成した FT と手作業で作成した検証用 FT の最小カットセット (以下、「MCS」 (Minimal Cut Set) という。) を生成し、両者の一致を確認することで検証した。各基事象の発生確率は、全基事象に対して一律に  $1 \times 10^{-3}$  とした。表 3.1.1-18～表 3.1.1-21 に、MCS の比較結果を示す。どちらの FT についても、同じ MCS が生成されており、定量化結果が一致していることを確認した。

以上により、FT 自動作成ツールの機能は従来法と整合的であると確認した。

表 3.1.1-14 ゲートとゲート下の基事象の比較結果(2次補助冷却系)

ゲート等	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
頂上ゲート	ORゲート	ORゲート
	SAPPILEK64PP101S	SAPPILEK64PP101S
	SAPPIPLG64PP101S	SAPPIPLG64PP101S
	SAPPILEK64PP111S	SAPPILEK64PP111S
	SAPPIPLG64PP111S	SAPPIPLG64PP111S
	SAPPILEK64PP123S	SAPPILEK64PP123S
	SAPPIPLG64PP123S	SAPPIPLG64PP123S
	SAPPILEK64PP209S	SAPPILEK64PP209S
	SAPPIPLG64PP209S	SAPPIPLG64PP209S
	SAPPILEK64PP301S	SAPPILEK64PP301S
	SAPPIPLG64PP301S	SAPPIPLG64PP301S
	SAPPILEK64PP312S	SAPPILEK64PP312S
	SAPPIPLG64PP312S	SAPPIPLG64PP312S
	SAPPILEK64PP402S	SAPPILEK64PP402S
	SAPPIPLG64PP402S	SAPPIPLG64PP402S
	SAPPILEK64PP412S	SAPPILEK64PP412S
	SAPPIPLG64PP412S	SAPPIPLG64PP412S
	SAPPILEK64PP501S	SAPPILEK64PP501S
	SAPPIPLG64PP501S	SAPPIPLG64PP501S
	SAPPILEK64PPD11S	SAPPILEK64PPD11S
	SAPPIPLG64PPD11S	SAPPIPLG64PPD11S
	SAPPILEK64PPD21S	SAPPILEK64PPD21S
	SAPPIPLG64PPD21S	SAPPIPLG64PPD21S
	SAPPILEK64PPD31S	SAPPILEK64PPD31S
	SAPPIPLG64PPD31S	SAPPIPLG64PPD31S
	SAPPILEK64PPD41S	SAPPILEK64PPD41S
	SAPPIPLG64PPD41S	SAPPIPLG64PPD41S
	SAPPILEK64PPD51S	SAPPILEK64PPD51S
	SAPPIPLG64PPD51S	SAPPIPLG64PPD51S
	SAPPILEK64PPD61S	SAPPILEK64PPD61S
	SAPPIPLG64PPD61S	SAPPIPLG64PPD61S
	SAPPILEK64PPD71S	SAPPILEK64PPD71S
	SAPPIPLG64PPD71S	SAPPIPLG64PPD71S
	SAHXIPDM64HS0001	SAHXIPDM64HS0001
	SAHXIOLK64HS0001	SAHXIOLK64HS0001
	SAHXIPLG64HS0001	SAHXIPLG64HS0001
	SAVMIMOC64VS1001	SAVMIMOC64VS1001
	SAVMIPLG64VS1001	SAVMIPLG64VS1001
	SAVMIOLK64VS1001	SAVMIOLK64VS1001
	SAACIPDM64AS0001	SAACIPDM64AS0001
	SAACIOLK64AS0001	SAACIOLK64AS0001
	SAACIPLG64AS0001	SAACIPLG64AS0001
	SATKIDM64TS0001	SATKIDM64TS0001
	SATKIPLG64TS0001	SATKIPLG64TS0001
	SAVXIPLG64VS2001	SAVXIPLG64VS2001
	SAVXIOLK64VS2001	SAVXIOLK64VS2001
	SAVXIMOC64VS3001	SAVXIMOC64VS3001
	SAVXIPLG64VS3001	SAVXIPLG64VS3001
	SAVXIOLK64VS3001	SAVXIOLK64VS3001
	SAVXIMOC64VS3002	SAVXIMOC64VS3002
	SAVXIPLG64VS3002	SAVXIPLG64VS3002
	SAVXIOLK64VS3002	SAVXIOLK64VS3002
	SAPGIOLK64GS0001	SAPGIOLK64GS0001
	SAPGITDM64GS0001	SAPGITDM64GS0001
	SAPGIPLG64GS0001	SAPGIPLG64GS0001
	SAVXIMOC64VS4001	SAVXIMOC64VS4001
	SAVXIOLK64VS4001	SAVXIOLK64VS4001
	SAVXIILK64VS4001	SAVXIILK64VS4001
	SAPEILOF64ES0001	SAPEILOF64ES0001
	SAVMIMOC64VS5001	SAVMIMOC64VS5001
	SAVMIPLG64VS5001	SAVMIPLG64VS5001
	SAVMIOLK64VS5001	SAVMIOLK64VS5001
	SAVMIILK64VS5001	SAVMIILK64VS5001
	SABRIFST64BS0001	SABRIFST64BS0001
	SABRIFCT64BS0001	SABRIFCT64BS0001
	SADPIFOP64BS1001	SADPIFOP64BS1001
	SADPIMOC64BS1001	SADPIMOC64BS1001
	SADPIPLG64BS1001	SADPIPLG64BS1001
	SADPIOLK64BS1001	SADPIOLK64BS1001
	SADPIILK64BS1001	SADPIILK64BS1001
	SADPIFOP64BS2001	SADPIFOP64BS2001
	SADPIMOC64BS2001	SADPIMOC64BS2001
	SADPIPLG64BS2001	SADPIPLG64BS2001
	SADPIOLK64BS2001	SADPIOLK64BS2001
	SADPIILK64BS2001	SADPIILK64BS2001
	SAPDILEK64DS1001	SAPDILEK64DS1001
	SAPDIPLG64DS1001	SAPDIPLG64DS1001
	SAPDILEK64DS2001	SAPDILEK64DS2001
	SAPDIPLG64DS2001	SAPDIPLG64DS2001

表 3.1.1-15 ゲートとゲート下の基事象の比較結果(電源系)

ゲート等	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
頂上ゲート	ORゲート	ORゲート
頂上ゲート直下の基事象	EPCBIFLC2M6CCB1Y	EPCBIFLC2M6CCB1Y
	EPCBIMOP2M6CCB1Y	EPCBIMOP2M6CCB1Y
	EPDBILOF2M6CA712	EPDBILOF2M6CA712
	EPCBIFLC2M6CCB2Y	EPCBIFLC2M6CCB2Y
	EPCBIMOP2M6CCB2Y	EPCBIMOP2M6CCB2Y
	EPCBIFLC2M6CCB3Y	EPCBIFLC2M6CCB3Y
	EPCBIMOP2M6CCB3Y	EPCBIMOP2M6CCB3Y
	EPPBILOF2M6CA704	EPPBILOF2M6CA704
頂上ゲート直下のゲート	EPS_6C_BLK11 (ANDゲート)	EPS_6C_LV19 (ANDゲート)
EPS_6C_BLK11/EPS_6C_LV19直下のゲート	EPS_6C_BLK111 (ORゲート)	EPS_6C_LV102 (ORゲート)
	EPS_6C_BLK112 (ORゲート)	EPS_6C_LV103 (ORゲート)
EPS_6C_BLK111/EPS_6C_LV102直下の基事象	EPMCIFLC2M6CMCC1	EPMCIFLC2M6CMCC1
	EPMCIMOP2M6CMCC1	EPMCIMOP2M6CMCC1
EPS_6C_BLK112/EPS_6C_LV103直下の基事象	EPMCIFLC2M6CMCC2	EPMCIINO2M6CMCC2
	EPMCIMOP2M6CMCC2	EPMCIMFL2M6CMCC2
	EPIBILOF2M6CIVTB	EPIBILOF2M6CIVTB
	EPCBIFLC2M6CCBC3	EPCBIFOP2M6CCBC3
	EPCBIMOP2M6CCBC3	EPCBIMOP2M6CCBC3

表 3.1.1-16 ゲートとゲート下の基事象の比較結果(信号系)

ゲート等	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
頂上ゲート	ORゲート	ORゲート
各図面のブロック指定	SG-001_BLK1 (ORゲート)	SG4 (ORゲート)
	SG-002_BLK1 (ORゲート)	SG5 (ORゲート)
	SG-003_BLK1 (ORゲート)	SG6 (ORゲート)
	SG-004_BLK1 (ORゲート)	SG7 (ORゲート)
SG-001_BLK1/SG4ゲート直下の基事象	SGTEIIOPTE3122A1	SGTEIIOPTE3122A1
	SGTXIIOPTX3122A1	SGTXIIOPTX3122A1
	SGULIIOPTI3122A1	SGULIIOPTI3122A1
	SGULIIOPTI3122A3	SGULIIOPTI3122A3
	SGMFIIOPMFC1ZZZ	SGMFIIOPMFC1ZZZ
	SGMFIMAFMFC1ZZZ	SGMFIMAFMFC1ZZZ
	SGTXIIOPTP3122A1	SGTXIIOPTP3122A1
	SGTXIIOPTP3122A2	SGTXIIOPTP3122A2
SG-002_BLK1/SG5ゲート直下の基事象	GRYIIOP52X1RZZZ	GRYIIOP52X1RZZZ
SG-003_BLK1/SG6ゲート直下の基事象	SGRYIIOP52XZZZZZ	SGRYIIOP52XZZZZZ
	SGRYIIOP52MCPATX	SGRYIIOP52MCPATX
SG-004_BLK1/SG7ゲート直下のゲート	SG-004_BLK11 (ANDゲート)	SG32 (ANDゲート)
SG-004_BLK1/SG7ゲート直下の基事象	SGRYIIOP52MCPAXX	SGRYIIOP52MCPAXX
SG-004_BLK11/SG32ゲート直下のゲート	SG-004_BLK111 (ORゲート)	SG302 (ORゲート)
	SG-004_BLK112 (ORゲート)	SG303 (ORゲート)
SG-004_BLK111/SG302直下の基事象	SGRYIIOP52MCPATY	SGRYIIOP52MCPATY
SG-004_BLK112/SG303直下の基事象	SGRYIIOP52MCPAYY	SGRYIIOP52MCPAYY

表 3.1.1-17 ゲートとゲート下の基事象の比較結果  
(2次主冷却系、2次Na純化系、電源系及び信号系の組合せ)(1/4)

ゲート等	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
トランスファーゲート指定	SG	SG
	SP	SP
	EPS_6C	EPS_6C
頂上ゲート	ANDゲート	ANDゲート
Aループ頂上ゲート	ORゲート	ORゲート
Aループ頂上ゲート直下のトランスファーゲート	SP	SP
Aループ頂上ゲート直下の基事象	SSACIOLK2MAA0001	SSACIOLK2MAA0001
	SSACIOLK2MAA0002	SSACIOLK2MAA0002
	SSACIPDM2MAA0001	SSACIPDM2MAA0001
	SSACIPDM2MAA0002	SSACIPDM2MAA0002
	SSDP1OLK2MDA1101	SSDP1OLK2MDA1101
	SSDP1OLK2MDA1102	SSDP1OLK2MDA1102
	SSDP1OLK2MDA1201	SSDP1OLK2MDA1201
	SSDP1OLK2MDA1202	SSDP1OLK2MDA1202
	SSHX1OLK2MHA0001	SSHX1OLK2MHA0001
	SSHX1PDM2MHA0001	SSHX1PDM2MHA0001
	SSHX1PLG2MHA0001	SSHX1PLG2MHA0001
	SSPD1LEK2MDA1103	SSPD1LEK2MDA1103
	SSPD1LEK2MDA1104	SSPD1LEK2MDA1104
	SSPD1LEK2MDA1203	SSPD1LEK2MDA1203
	SSPD1LEK2MDA1204	SSPD1LEK2MDA1204
	SSPL1LEK2MPAD11S	SSPL1LEK2MPAD11S
	SSPL1LEK2MPAD21S	SSPL1LEK2MPAD21S
	SSPL1LEK2MPAD31S	SSPL1LEK2MPAD31S
	SSPL1LEK2MPAD41S	SSPL1LEK2MPAD41S
	SSPL1LEK2MPAD51S	SSPL1LEK2MPAD51S
	SSPL1LEK2MPAD61S	SSPL1LEK2MPAD61S
	SSPL1LEK2MPAD71S	SSPL1LEK2MPAD71S
	SSPL1PLG2MPAD11S	SSPL1PLG2MPAD11S
	SSPL1PLG2MPAD21S	SSPL1PLG2MPAD21S
	SSPL1PLG2MPAD51S	SSPL1PLG2MPAD51S
	SSPL1PLG2MPAD61S	SSPL1PLG2MPAD61S
	SSPL1PLG2MPAD71S	SSPL1PLG2MPAD71S
	SSPMCFCT2MPC0001	SSPMCFCT2MPC0001
	SSPMCFST2MPC0001	SSPMCFST2MPC0001
	SSPMIFCT2MPA0001	SSPMIFCT2MPA0001
	SSPMIFST2MPA0001	SSPMIFST2MPA0001
	SSPP1LEK2MPA103S	SSPP1LEK2MPA103S
	SSPP1LEK2MPA211S	SSPP1LEK2MPA211S
	SSPP1LEK2MPA221S	SSPP1LEK2MPA221S
	SSPP1LEK2MPA311S	SSPP1LEK2MPA311S
	SSPP1LEK2MPA321S	SSPP1LEK2MPA321S
	SSPP1LEK2MPA403S	SSPP1LEK2MPA403S
	SSPP1LEK2MPA505S	SSPP1LEK2MPA505S
	SSPP1LEK2MPA601S	SSPP1LEK2MPA601S
	SSPP1LEK2MPA701S	SSPP1LEK2MPA701S
	SSPP1LEK2MPA801S	SSPP1LEK2MPA801S
	SSPP1LEK2MPA901S	SSPP1LEK2MPA901S
	SSPP1LEK2MPAA01S	SSPP1LEK2MPAA01S
	SSPP1LEK2MPAB01S	SSPP1LEK2MPAB01S
	SSPP1LEK2MPAC01S	SSPP1LEK2MPAC01S
	SSPP1PLG2MPA103S	SSPP1PLG2MPA103S
	SSPP1PLG2MPA403S	SSPP1PLG2MPA403S
	SSPP1PLG2MPA505S	SSPP1PLG2MPA505S
	SSPP1PLG2MPA601S	SSPP1PLG2MPA601S
	SSPP1PLG2MPA701S	SSPP1PLG2MPA701S
	SSPP1PLG2MPA801S	SSPP1PLG2MPA801S
	SSPP1PLG2MPA901S	SSPP1PLG2MPA901S
	SSPP1PLG2MPAA01S	SSPP1PLG2MPAA01S
	SSPP1PLG2MPAB01S	SSPP1PLG2MPAB01S
	SSPP1PLG2MPAC01S	SSPP1PLG2MPAC01S
	SSTKIDMG2MTA0001	SSTKIDMG2MTA0001
	SSTKIPLG2MTA0001	SSTKIPLG2MTA0001
	SSVA1ILK2MVA3001	SSVA1ILK2MVA3001
	SSVA1ILK2MVA5001	SSVA1ILK2MVA5001
	SSVA1MOC2MVA3001	SSVA1MOC2MVA3001
	SSVA1MOC2MVA5001	SSVA1MOC2MVA5001
	SSVA1OLK2MVA3001	SSVA1OLK2MVA3001
	SSVA1OLK2MVA5001	SSVA1OLK2MVA5001
	SSVA1PLG2MVA3001	SSVA1PLG2MVA3001
	SSVXIILK2MVA1001	SSVXIILK2MVA1001
	SSVXIILK2MVA2001	SSVXIILK2MVA2001
	SSVXIILK2MVA4001	SSVXIILK2MVA4001
	SSVXIOLK2MVA1001	SSVXIOLK2MVA1001
	SSVXIOLK2MVA2001	SSVXIOLK2MVA2001
	SSVXIOLK2MVA4001	SSVXIOLK2MVA4001

表 3.1.1-17 ゲートとゲート下の基事象の比較結果  
(2次主冷却系、2次Na純化系、電源系及び信号系の組合せ)(2/4)

ゲート等	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
Aループ頂上ゲート下の主冷却系のゲート	ANDゲート	ANDゲート
主冷却系A1のゲート	ORゲート	ORゲート
主冷却系A1のゲート下のトランスファーゲート	EPS_6C	EPS_6C
	SG	SG
主冷却系A1のゲート下の基事象	SSACIPLG2MAA0001	SSACIPLG2MAA0001
	SSBRFCFCT2MBC0001	SSBRFCFCT2MBC0001
	SSBRFCFST2MBC0001	SSBRFCFST2MBC0001
	SSBRIFCT2MBA1101	SSBRIFCT2MBA1101
	SSBRIFST2MBA1101	SSBRIFST2MBA1101
	SSDPCFOP2MDC1101	SSDPCFOP2MDC1101
	SSDPCFOP2MDC2101	SSDPCFOP2MDC2101
	SSDPIFOP2MDA1101	SSDPIFOP2MDA1101
	SSDPIFOP2MDA1102	SSDPIFOP2MDA1102
	SSDPILK2MDA1101	SSDPILK2MDA1101
	SSDPILK2MDA1102	SSDPILK2MDA1102
	SSDPIMOC2MDA1101	SSDPIMOC2MDA1101
	SSDPIMOC2MDA1102	SSDPIMOC2MDA1102
	SSDPIPLG2MDA1101	SSDPIPLG2MDA1101
	SSDPIPLG2MDA1102	SSDPIPLG2MDA1102
	SSDPIPLG2MDA1103	SSDPIPLG2MDA1103
	SSDPIPLG2MDA1104	SSDPIPLG2MDA1104
	SSPLIPLG2MPAD31S	SSPLIPLG2MPAD31S
	SSPPIPLG2MPA211S	SSPPIPLG2MPA211S
	SSPPIPLG2MPA311S	SSPPIPLG2MPA311S
主冷却系A2のゲート	ORゲート	ORゲート
主冷却系A2のゲート下のトランスファーゲート	EPS_6C	EPS_6C
	SG	SG
主冷却系A2のゲート下の基事象	SSACIPLG2MAA0002	SSACIPLG2MAA0002
	SSBRIFCT2MBA1201	SSBRIFCT2MBA1201
	SSBRIFST2MBA1201	SSBRIFST2MBA1201
	SSDPIFOP2MDA1201	SSDPIFOP2MDA1201
	SSDPIFOP2MDA1202	SSDPIFOP2MDA1202
	SSDPILK2MDA1201	SSDPILK2MDA1201
	SSDPILK2MDA1202	SSDPILK2MDA1202
	SSDPIMOC2MDA1201	SSDPIMOC2MDA1201
	SSDPIMOC2MDA1202	SSDPIMOC2MDA1202
	SSDPIPLG2MDA1201	SSDPIPLG2MDA1201
	SSDPIPLG2MDA1202	SSDPIPLG2MDA1202
	SSDPIPLG2MDA1203	SSDPIPLG2MDA1203
	SSDPIPLG2MDA1204	SSDPIPLG2MDA1204
	SSPLIPLG2MPAD41S	SSPLIPLG2MPAD41S
	SSPPIPLG2MPA221S	SSPPIPLG2MPA221S
	SSPPIPLG2MPA321S	SSPPIPLG2MPA321S

表 3.1.1-17 ゲートとゲート下の基事象の比較結果  
(2次主冷却系、2次Na純化系、電源系及び信号系の組合せ)(3/4)

ゲート等	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
Bループ頂上ゲート	ORゲート	ORゲート
Bループ頂上ゲート直下のトランスファーゲート	SP	SP
Bループ頂上ゲート直下の基事象	SSACIOLK2MAB0001	SSACIOLK2MAB0001
	SSACIOLK2MAB0002	SSACIOLK2MAB0002
	SSACIPDM2MAB0001	SSACIPDM2MAB0001
	SSACIPDM2MAB0002	SSACIPDM2MAB0002
	SSDP1OLK2MDB1101	SSDP1OLK2MDB1101
	SSDP1OLK2MDB1102	SSDP1OLK2MDB1102
	SSDP1OLK2MDB1201	SSDP1OLK2MDB1201
	SSDP1OLK2MDB1202	SSDP1OLK2MDB1202
	SSHXIOLK2MHB0001	SSHXIOLK2MHB0001
	SSHXIPLG2MHB0001	SSHXIPLG2MHB0001
	SSPD1LEK2MDB1103	SSPD1LEK2MDB1103
	SSPD1LEK2MDB1104	SSPD1LEK2MDB1104
	SSPD1LEK2MDB1203	SSPD1LEK2MDB1203
	SSPD1LEK2MDB1204	SSPD1LEK2MDB1204
	SSPL1LEK2MPBD11S	SSPL1LEK2MPBD11S
	SSPL1LEK2MPBD21S	SSPL1LEK2MPBD21S
	SSPL1LEK2MPBD31S	SSPL1LEK2MPBD31S
	SSPL1LEK2MPBD41S	SSPL1LEK2MPBD41S
	SSPL1LEK2MPBD51S	SSPL1LEK2MPBD51S
	SSPL1LEK2MPBD61S	SSPL1LEK2MPBD61S
	SSPL1LEK2MPBD71S	SSPL1LEK2MPBD71S
	SSPL1PLG2MPBD11S	SSPL1PLG2MPBD11S
	SSPL1PLG2MPBD21S	SSPL1PLG2MPBD21S
	SSPL1PLG2MPBD51S	SSPL1PLG2MPBD51S
	SSPL1PLG2MPBD61S	SSPL1PLG2MPBD61S
	SSPL1PLG2MPBD71S	SSPL1PLG2MPBD71S
	SSPMIFCT2MPB0001	SSPMIFCT2MPB0001
	SSPMIFST2MPB0001	SSPMIFST2MPB0001
	SSPPILEK2MPB103S	SSPPILEK2MPB103S
	SSPPILEK2MPB211S	SSPPILEK2MPB211S
	SSPPILEK2MPB221S	SSPPILEK2MPB221S
	SSPPILEK2MPB311S	SSPPILEK2MPB311S
	SSPPILEK2MPB321S	SSPPILEK2MPB321S
	SSPPILEK2MPB403S	SSPPILEK2MPB403S
	SSPPILEK2MPB505S	SSPPILEK2MPB505S
	SSPPILEK2MPB601S	SSPPILEK2MPB601S
	SSPPILEK2MPB701S	SSPPILEK2MPB701S
	SSPPILEK2MPB801S	SSPPILEK2MPB801S
	SSPPILEK2MPB901S	SSPPILEK2MPB901S
	SSPPILEK2MPBA01S	SSPPILEK2MPBA01S
	SSPPILEK2MPBB01S	SSPPILEK2MPBB01S
	SSPPIPLG2MPB103S	SSPPIPLG2MPB103S
	SSPPIPLG2MPB403S	SSPPIPLG2MPB403S
	SSPPIPLG2MPB505S	SSPPIPLG2MPB505S
	SSPPIPLG2MPB601S	SSPPIPLG2MPB601S
	SSPPIPLG2MPB701S	SSPPIPLG2MPB701S
	SSPPIPLG2MPB801S	SSPPIPLG2MPB801S
	SSPPIPLG2MPB901S	SSPPIPLG2MPB901S
	SSPPIPLG2MPBA01S	SSPPIPLG2MPBA01S
	SSPPIPLG2MPBB01S	SSPPIPLG2MPBB01S
	SSTKIDMG2MTB0001	SSTKIDMG2MTB0001
	SSTKIPLG2MTB0001	SSTKIPLG2MTB0001
	SSVAIILK2MVB3001	SSVAIILK2MVB3001
	SSVAIMOC2MVB3001	SSVAIMOC2MVB3001
	SSVAIOLK2MVB3001	SSVAIOLK2MVB3001
	SSVAIPLG2MVB3001	SSVAIPLG2MVB3001
	SSVXIILK2MVB1001	SSVXIILK2MVB1001
	SSVXIILK2MVB2001	SSVXIILK2MVB2001
	SSVXIILK2MVB4001	SSVXIILK2MVB4001
	SSVXIOLK2MVB1001	SSVXIOLK2MVB1001
	SSVXIOLK2MVB2001	SSVXIOLK2MVB2001
	SSVXIOLK2MVB4001	SSVXIOLK2MVB4001

表 3.1.1-17 ゲートとゲート下の基事象の比較結果  
(2次主冷却系、2次Na純化系、電源系及び信号系の組合せ)(4/4)

ゲート等	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
Bループ頂上ゲート下の主冷却系のゲート	ANDゲート	
主冷却系B1のゲート	ORゲート	ORゲート
主冷却系B1のゲート下の基事象	SSACIPLG2MAB0002	SSACIPLG2MAB0002
	SSBRIFCT2MBB1201	SSBRIFCT2MBB1201
	SSBRIFST2MBB1201	SSBRIFST2MBB1201
	SSDP1FOP2MDB1201	SSDP1FOP2MDB1201
	SSDP1FOP2MDB1202	SSDP1FOP2MDB1202
	SSDP1ILK2MDB1201	SSDP1ILK2MDB1201
	SSDP1ILK2MDB1202	SSDP1ILK2MDB1202
	SSDP1MOC2MDB1201	SSDP1MOC2MDB1201
	SSDP1MOC2MDB1202	SSDP1MOC2MDB1202
	SSDP1PLG2MDB1201	SSDP1PLG2MDB1201
	SSDP1PLG2MDB1202	SSDP1PLG2MDB1202
	SSPD1PLG2MDB1203	SSPD1PLG2MDB1203
	SSPD1PLG2MDB1204	SSPD1PLG2MDB1204
	SSPL1PLG2MPBD41S	SSPL1PLG2MPBD41S
	SSPP1PLG2MPB221S	SSPP1PLG2MPB221S
	SSPP1PLG2MPB321S	SSPP1PLG2MPB321S
主冷却系B2のゲート	ORゲート	ORゲート
主冷却系B2のゲート下の基事象	SSACIPLG2MAB0001	SSACIPLG2MAB0001
	SSBRIFCT2MBB1101	SSBRIFCT2MBB1101
	SSBRIFST2MBB1101	SSBRIFST2MBB1101
	SSDP1FOP2MDB1101	SSDP1FOP2MDB1101
	SSDP1FOP2MDB1102	SSDP1FOP2MDB1102
	SSDP1ILK2MDB1101	SSDP1ILK2MDB1101
	SSDP1ILK2MDB1102	SSDP1ILK2MDB1102
	SSDP1MOC2MDB1101	SSDP1MOC2MDB1101
	SSDP1MOC2MDB1102	SSDP1MOC2MDB1102
	SSDP1PLG2MDB1101	SSDP1PLG2MDB1101
	SSDP1PLG2MDB1102	SSDP1PLG2MDB1102
	SSPD1PLG2MDB1103	SSPD1PLG2MDB1103
	SSPD1PLG2MDB1104	SSPD1PLG2MDB1104
	SSPL1PLG2MPBD31S	SSPL1PLG2MPBD31S
	SSPP1PLG2MPB211S	SSPP1PLG2MPB211S
	SSPP1PLG2MPB311S	SSPP1PLG2MPB311S

表 3.1.1-18 MCS の比較結果(2次補助冷却系)

MCS	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
全項数	78	78

表 3.1.1-19 MCS の比較結果(電源系)

MCS	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
全項数	18	18

表 3.1.1-20 MCS の比較結果(信号系)

MCS	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
全項数	13	13

表 3.1.1-21 MCS の比較結果(2次主冷却系、2次Na純化系、電源系及び信号系の組合せ)

系統	FT自動作成ツール作成FT	検証用FT
全項数	113, 381	113, 381

### ③ 作業量の低減効果を指標とした妥当性確認

高速炉にも用いている従来手法 (RISKMAN) への試適用により作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認した。具体的には、FT 自動作成ツールを利用せずに人による手作業の FT 作成に要した時間に対し、FT 自動作成ツールを利用して FT 作成に要した時間の割合を作業時間の低減率の指標とした。以下に被験者選定の考え方を示す。

#### ・ FT 自動作成ツールを利用せずに作成する場合

個人の技術力のバラつきを確認する観点から、被験者は以下の技術者 2 名 (作業者 A 及び B) として、短い方の作業時間を採用した。なお、作業には熟練技術者 1 名による確認及び修正指示を含めた。

作業者 A: PRA 経験 3 年目 (「常陽」PRA 経験者) の技術者

作業者 B: PRA 経験 4 年目 (「常陽」PRA 経験者) の技術者

#### ・ FT 自動作成ツールを利用して作成する場合

予備知識による影響 (同じ FT 作成による習熟) を排除する観点から、上記 (作業者 A 及び B) とは別の作業者 C を被験者とした。本作業は、アノテーション等のツール操作が必要であることから、作業者 A 及び B よりも相対的に習熟した技術者とした。

作業者 C: PRA 経験 5 年目 (「常陽」PRA 経験者) の技術者

令和 6 年度に機能拡張した以下の 2 ケースの FT 作成作業を対象として作業時間を計測し、妥当性を確認した。図 3.1.1-58 に FT 自動作成ツールを利用せずに人による手作業の FT 作成作業の概要と FT 自動作成ツールを利用した FT 作成作業の概要を示す。PRA 解析は、PRA 用解析コードが解析することから、両者共通である。FT 自動作成ツールを利用せずに人による手作業の場合は、PRA 用解析コードへ入力するための事前の根拠データの準備、根拠データに基づいた論理構造も含めた PRA 用解析コード上での入力がすべて手作業となる。PRA 用解析コードは、論理構造も含めた入力データに基づき FT を構築する。一方、FT 自動作成ツールは、AI による FT 作成支援であり、アノテーションツール上で、図面からのモデル化対象機器の抽出機能や作業者が指定するブロック間の論理関係 (and/or 等) に基づく FT 作成機能等によって FT 作成作業の一部を自動化するとともに、PRA 用解析コードが読込可能な形式の FT データの出力機能によって PRA 用解析コード上で FT 作成を自動化するものである。

#### ・ 信号系の FT

機能を追加した信号系の FT 作成機能 (複数図面への対応機能) の機能確認を目的として、複数の展開接続図に記載されている制御機器 (リレー接点等) を対象とした 2 次主冷却器ベーンの信号系の FT を作成した。

#### ・ リンク関係を考慮した FT

機能を追加したフロントライン系とサポート系等のトランスファーゲートを介した FT 間のリンク関係を考慮した FT 作成の機能確認を目的として、2 次主冷却器ベーンのサポート



系である 6C 電源の FT と 2 次主冷却系の FT を結合させた FT を作成した。

表 3.1.1-22 に信号系の FT、表 3.1.1-23 にリンク関係を考慮した FT の人の手作業で FT 作成に要した作業時間を示す。信号系の FT 作成の方が、リンク関係を考慮した FT よりも作業時間が長い傾向である。これは、機器、配管の個数、関係の複雑さの差によると考える。また、信号系の FT 作成、リンク関係を考慮した FT 作成ともに、作業員 B が作業員 A よりも PRA 経験が相対的に長く若干技術力が高いため、作業時間が短い傾向である。よって、低減効果として短い方の時間を採用した。

表 3.1.1-24 に信号系の FT、表 3.1.1-25 にリンク関係を考慮した FT の FT 自動作成ツールを利用したの作成に要した作業時間を示す。FT の FT 自動作成ツールを利用した場合も人の手作業と同様に、信号系の FT 作成の方が、リンク関係を考慮した FT よりも作業時間が長い傾向である。理由も、機器、配管の個数、関係の複雑さの差によると考えるが、これに AI による自動選択の対象の差が加わっていると考えられる。

図 3.1.1-59 に作業時間の低減効果としてまとめる。低減効果としては、リンク関係を考慮した FT 作成の方が、信号系の FT 作成よりも大きい。これは、信号系の FT に関しては、各図面において AI による自動選択の対象となる図形が少ないこと、また、FT 自動作成ツールを使用して RISKMAN 上に FT を作成する際、必要なファイルの作成や複数の FT の結合といったいくつかの作業を手動で行う必要があり、それらの作業に時間を要することも考えられる。そのため、これらの FT 自動作成ツールにおいて手動にて行う必要がある作業の自動化もしくは GUI 上での処理、且つ複数の渡る図面にある図形も AI による自動選択の対象となるよう改良すれば FT 自動作成ツールによる FT の作成時間の更なる短縮が期待できる。

以上により、FT 自動作成ツールの作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認し、さらなる改良点を抽出した。

表 3.1.1-22 人の手作業で FT 作成に要した作業時間(信号系の FT)

No.	項目	被験者	作業員 A	作業員 B
1	作業内容の説明	作業員 作業指示・確認者	20分	20分
2	対象機器の一覧表(Excelファイル)を作成	作業員	1470分	1170分
3	対象機器の一覧表の確認	作業指示・確認者	10分	10分
4	RISKMAN上に機器レベルのフォールトツリーの作成	作業員	210分	30分
5	作成した機器レベルのフォールトツリーを確認	作業指示・確認者	10分	10分
6	対象機器の故障モード一覧表(Excelファイル)の作成	作業員	360分	330分
8	対象機器の故障モード一覧表の確認	作業指示・確認者	10分	10分
9	RISKMAN上に故障モードレベルのフォールトツリーの作成	作業員	150分	30分
10	作成した故障モードレベルのフォールトツリーを確認	作業指示・確認者	10分	10分
合計			2250分	1620分

表 3.1.1-23 人の手作業で FT 作成に要した作業時間(リンク関係を考慮した FT)

No.	項目	被験者	作業者A	作業者B
1	RISKMAN上に2次主冷却系のフォールトツリー作成	作業者	690分	550分
2	RISKMAN上に6C電源のフォールトツリー作成	作業者	732分	173分
3	RISKMAN上に2次主冷却系のフォールトツリーへの6C電源のフォールトツリーの組み込み	作業者	60分	630分
4	作成した故障モードレベルのフォールトツリーを確認	作業指示・確認者	10分	10分
合計			1492分	1363分

表 3.1.1-24 FT 自動作成ツールを利用しての作成に要した作業時間 (信号系の FT)

No.	項目	作業者C
1	展開接続図から評価対象機器の選択	210分
2	FT作成ツールへの図面の読み込み及びProjects作成、Excel出力	35分
3	基事象設定ファイルの作成(基事象コード付与からFT出力まで)	150分
4	データ出力プログラムを用いたFT作成	80分
合計		475分

表 3.1.1-25 FT 自動作成ツールを利用しての作成に要した作業時間  
(リンク関係を考慮した FT)

No.	項目	作業者C
1	評価対象機器のリストアップ	0分
	2次主冷却系の機器のリストアップ	82分
	6C電源の機器のリストアップ	28分
2	FT作成ツールへの図面の読み込み及びProjects作成、Excel出力	0分
	2次主冷却系の処理	10分
	6C電源の処理	5分
3	基事象設定ファイルの作成(基事象コード付与からFT出力まで)	0分
	2次主冷却系の処理	75分
	6C電源の処理	15分
4	リンク機器の指定 (2次主冷却系project上でAC6Cを指定し、Excel出力、基事象設定ファイルの更新、リンクさせたFT.txtファイルの出力まで)	10分
5	データ出力プログラムを用いたFT作成	70分
合計		295分

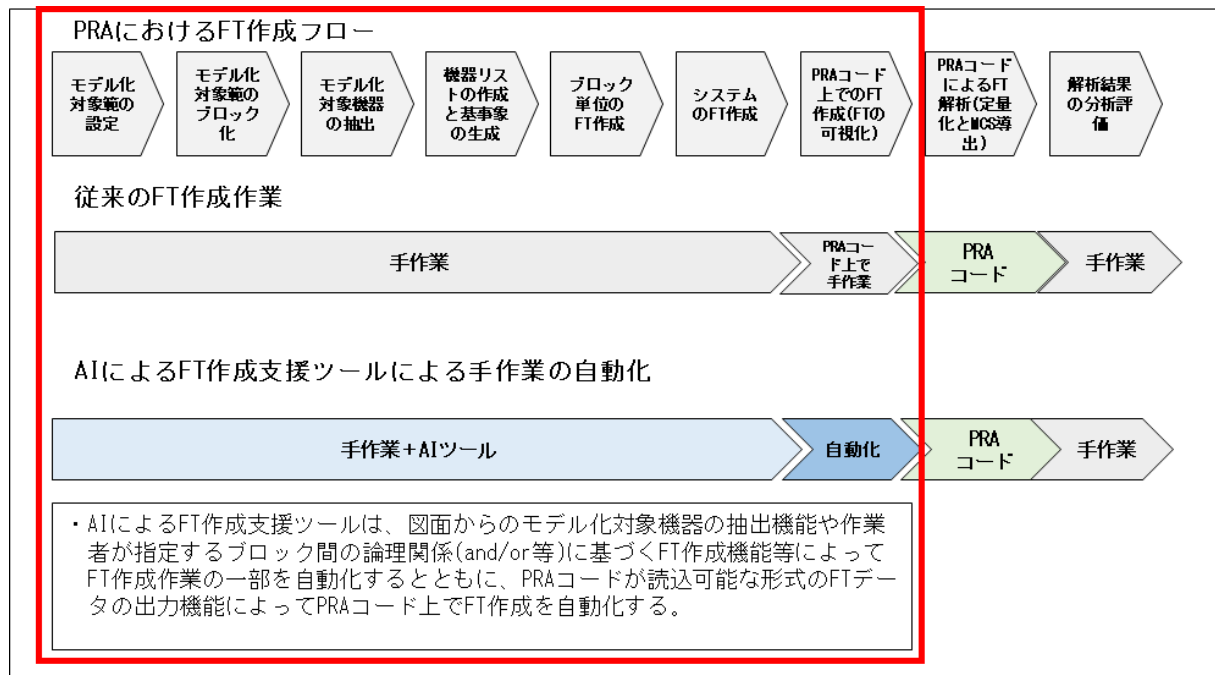


図 3. 1. 1-58 FT 作成作業の概要

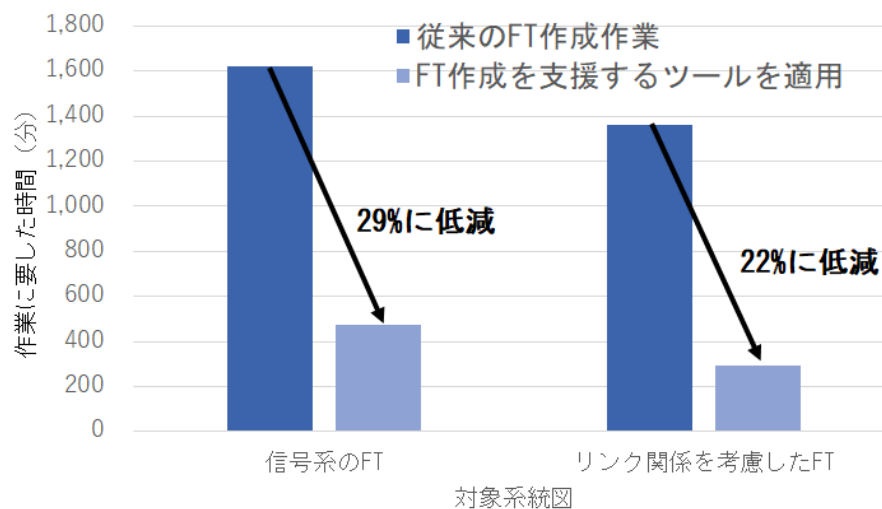


図 3. 1. 1-59 信号系 FT 及びリンク関係を考慮した FT の FT 作成作業時間の低減効果

#### ④ マニュアルの作成

試作した各ツールのマニュアルを作成した。マニュアルには、一般向けにユーザーの使い勝手を考慮し、事前に準備すべき PC 上の環境構築方法と事例を用いた操作手順の説明も含めた。APPENDIX 1 にマニュアルを添付する。

## (6) 社会実装に向けた基本的な見通しと開発課題の整理【R6】

(5)までの作業の結果、FT 自動作成ツールとして、図面から抽出したモデル化対象機器を故障モードレベルに展開して、故障モードレベルの FT を生成する機能を整備した。また、複数の図面から 1 つの FT を生成する機能やトランスファーゲートを介して複数の FT をリンクする機能も整備した。これらの一連の機能の精緻化と拡張により、網羅的に設計図面類に対応できるツールとなった。また、これらの機能について、FT 自動作成ツールを使用して作成した FT と手作業で作成した検証用 FT との論理構造及び定量化結果の比較を実施して検証した結果、FT 自動作成ツールの機能は従来法と整合的であると確認した。さらに、高速炉にも用いている RISKMAN への試適用により作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認した。

以上により、開発の初期段階としての社会実装に向けて基本的見通しは得られたと考える。FT 自動作成ツールは、操作方法を取得すれば、PRA の初心者でも熟練者と同等の作業時間で FT を作成することが可能であり、その効果は多数の機器、配管があるほど有効であると考ええる。また、FT 自動作成ツールは、視覚的に FT の作成作業を行うことができるため、AI による PRA 作業の省力化・等質化の他に、初心者が PRA を行う際の敷居が低くなる副次的な利点もあると考える。

次フェーズに向けて今後の開発課題を以下の 4 項目に整理した。

### ① FT 自動作成ツールによる FT モデル化に係る課題

#### 1) 複雑な関係の領域や故障モードの使い分け、機器故障以外の事象への対応

FT 自動作成ツールは、基本的にユーザーが図面上で指定した矩形領域内に存在するモデル化対象機器は or 関係、同じ領域内にある独立した領域は and 関係にあるものとして FT を生成する。このため、例えば、冗長系統間のタイライン等の複雑な関係を持つ領域を取扱うことは困難な状況にある。

また、例えば、電源系の遮断器の開閉状態等の取扱いのように、複数の故障モードを異なる FT でモデル化するような場合は想定していない。

これらの複雑な形状の領域の取扱いや FT ごとに故障モードを使い分ける機能の実装は、その必要性検討も含めて今後の社会実装に向けた開発課題となると考えられる。

さらに、手動操作等の人的過誤事象、試験アウテージ事象等の機器故障以外の事象や地震事象、洪水事象等の外的事象への対応についても今後の開発課題となると考えられる。

これらの事項に対しては、ツール内でのデータ保持領域を多重レイヤー構造として、機器故障事象のレイヤー、外的事象のレイヤー、複数種類の領域の組合せを可能とするレイヤー等の設定機能を付加することで対応できる可能性があると考えられる。

#### 2) ツールから出力する FT 構造

ツールから出力される FT の構造に関しては、現状の FT 自動作成ツールの後処理部である PRA 用解析コード用データ出力プログラムは、1 つの or ゲートに多数の基事象が接続された構造の FT を生成する。このことは、論理構造的には問題はないが、目視による FT の確認やモデル修正に関しては使い勝手が非常に悪い。使い勝手の向上のためには、機

器ごとに中間ゲートを設ける等の機能を整備していくことが望ましいと考えられる。

## ② CAD データとのインターフェースに係る課題

社会実装に向けて、現状の FT 自動作成ツールは、紙ベースの図面にのみ対応しているが、今後は、CAD 等の電子データとのインターフェースを整備していくことで、よりユーザー操作を必要としない自動的な FT 作成の実現の可能性が考えられる。ただし、この場合には、CAD データ上には機器等が明確に定義されている必要がある。対話形式の AI を用いることによって、ユーザーの 1 回の FT 作成操作により、2 回目以降はツールが自動的に FT を生成するといった機能の実現可能性も考えられる。

## ③ PRA 用解析コードとのインターフェースに係る課題

現状の FT 自動作成ツールは、SAPHIRE コード形式、RISKMAN の FT データを出力する機能を有している。社会実装に向けては、SAPHIRE コード以外の PRA 用解析コード(例えば、RiskSpectrum、CAFTA 等)とのインターフェースを整備していく必要性が考えられる。

## ④ 社会実装に向けての目指すべき姿

原子力発電所を対象とした PRA は、FT によるシステムのモデル化と非信頼度の定量化以外に複数の要素技術から構成されている。本プロジェクトの初期段階での検討では、PRA を構成する複数のステップの中で FT 作成が AI 適用による自動化との親和性が最も高いとの結論を得ており、それに基づいて、FT 自動作成ツールを整備してきた。ただし、現状のツールで自動化された作業は、主として図面からのモデル化対象機器候補の抽出の部分であり、ツールが抽出した機器の FT モデル化における取捨選択、機器間の関係性(or/and 関係設定のための領域等の指定)等はユーザーが指定している。例えば、②で説明した構成機器やその関係性等の明確な定義を含む CAD データが存在する場合には、あらかじめユーザーが設定した FT 構築のルールに従って、ツールが CAD データからモデル化対象機器を取り出して、基事象を設定し、さらに FT をモデル化するといった、FT 作成以外のステップの自動化の可能性が考えられる。この場合に必要なユーザーの作業は、FT モデル化のルール(例えば、流体系のモデル化では、モデル化対象とする冷却材の流路の配管口径や流路上の機器、基事象 ID の命名規則、システムの成功基準等)を定めるだけである。

一方で、本作業で試作した FT 自動作成ツールは、PRA 用解析コードにインポート可能な FT データの出力機能を有している。この機能は、これまでユーザーが手作業で実施していた PRA 用解析コード上での FT 構築作業を自動化するものである。PRA 用解析コード上での手作業による FT 構築作業は、比較的手間がかかる作業であり、また、作業ミスの可能性が大きい作業であることから、構築する FT の規模が大きくなればなるほどその自動化の効果は大きいと言える。

ここ数年の急速な AI 技術の進歩も踏まえて、あらためて PRA の各ステップに対して、デジタル化による自動化を前提としたモデル化方法を検討し、ユーザーの手作業が不要となるステップを抽出して、最大限の自動化の方策を検討することにより、PRA の大幅な省力化が図れる可能性が考えられる。

以上、FT 自動作成ツールには、次フェーズに向けて今後の開発課題を有するが、3 カ年で段階的に整備し、一連の機能の精緻化と拡張により、網羅的に設計図面類に対応できるツールとなった。3 カ年で整備した各手法について、各段階におけるノウハウは、今回得られた知見や教訓を広く共有する観点で有用であることから、表 3.1.1-26 にまとめる。

今後、FT 自動作成ツールは、JAEA のプログラムデータベース PRODAS (PROgram and Database retrieval System) に APPENDIX 1 に添付したマニュアルも含めて公開し、同様の課題認識をもつ研究開発者に活用可能とすることにより社会実装を推進する。

表 3.1.1-26 FT 自動作成ツール開発の各段階におけるノウハウ

	ノウハウ
機器レベル FT 【R4】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機器の読取りを実現する方法としては、深層学習を用いた物体検出とテンプレートマッチングが考えられる。物体検出は検出対象の物体が写っているか、写っている場合はその位置を特定する、というタスクに向いている。一方、テンプレートマッチングは、検出対象と形状・見え方が同じものを学習データ不要で検出することが可能である。本研究では、弁や計器のような繰り返し登場する基本的な機器のほか、各系統図に固有の機器が存在している。物体検出のような学習を前提とした手法では、固有の機器を認識することができない。一方で、テンプレートマッチングでは学習が不要なため固有の機器の一つを作業者が指定することで、残りの機器を抽出することが可能である。令和4年度は、機器抽出の手法としてテンプレートマッチングを採用した。</li> <li>・テンプレートマッチングは形状が異なると判定されると検出漏れが発生するため作業者による確認・修正が必要である。</li> <li>・テンプレートマッチングで計測機器を表す記号の内部に機器番号を表す文字が記載されている場合は、文字が異なるとテンプレートマッチングでは検出できない。そこで、計測機器の記号の形状(輪郭)に着目し、ハフ変換を用いて計測機器記号の円形を検出することとした。</li> <li>・系統図から配管(線)を検出する方法としては、計測機器の検出に使用したハフ変換、Line Segment Detector(LSD)という方法がある。ハフ変換による線分読取りを行ったところ過検出、検出漏れいずれも多く発生し、補正が難しいことがわかった。LSD ではハフ変換のような問題は発生しなかったため、LSD で線分検出を行うこととした。</li> <li>・機器番号読取は Optical Character Recognition(OCR)という印字若しくは手書きの文字を読み取る技術を用いて、図面上の文字として印字された機器番号を読み取ることを試行した。ただし、図面上の機器番号は改行が任意の位置で入っており、仮に OCR で読み取ったとしても文字結合の修正作業が必要となる。また、OCR そのものの精度に影響する因子</li> </ul>

	<p>として、読取対象の文字近傍に線や点、近接する文字がある。そのため、文字読み取りの精度が下がり、文字読み取りの修正作業も必要となる。FT を作成するためには、機器番号を読み取った後、機器番号と基事象を紐づける必要がある。機器番号を読み取った後の修正作業、機器番号と機器の紐づけ、同一番号の配管であっても分岐前後で分割する場合は作業による名称設定が必要となるため、機器番号読取による効率化の効果は低い。本試作では、機器・配管読取後に作業者が基事象をアノテーションツール上で割り当て作業を行うこととした。</p>
故障モードレベル FT 【R5】	<p>・令和4年度において、アノテーションの重要性を認識するとともに、柔軟にテンプレートマッチング等の外部ツールと連携することができるよう、アノテーションツールは、外部ツールを外部プログラムとして呼び出すこと、ライブラリーとして提供されているものについてはライブラリーとして連携することを可能とした。このことにより、外部ツールの切り替え、進歩にも柔軟に対応可能となった。</p> <p>・故障モードレベルの FT 作成機能について、上位の領域に影響を及ぼす故障モードを持つ機器の処理を可能とした。</p> <p>・故障モードレベルでは、機器レベル FT の傾向と異なり、より複雑な系統である方が低減効果は小さくなった。これは、機器名称、ブロック ID の付与時の作業時間による影響が大きく、画面上の機器の特定に時間を要したことによる。</p>
他の系統及び電源系への機能拡張 【R5】	<p>・異なる系統の図面を確認すると、人間が見れば同じと判定可能であっても、テンプレートマッチングでは微妙な差異で認識することができなくなるケースがある。このケースに対応するため、テンプレートマッチングのパラメータ設定に置いて、テンプレートとの類似度が低くても同一機器として認識させた場合には、類似した機器を過剰に抽出するという課題が発生した。このような課題への対応として、物体検出技術の活用について検討を行った。また、画像認識や文字読み取りに関する AI 技術は日々進歩しており、新しい技術や AI モデルが作られている。CLIP というモデルでは、学習することなくテンプレートマッチングでは識別が難しいものを検出できることが分かった。こういった、新しい技術を FT 自動作成ツールに取り込めるよう、外部ツールとの連携機能を強化し、柔軟性を持たせることとした。</p> <p>・電源系は電源供給先から上流となる電源供給源に向かって配線をたどりながら評価対象機器を抽出して FT を作成していく。電源盤では主電源のほか、予備電源への接続があるため、分岐構造を追跡する必要がある。このため、電力供給先から電力の供給源の上流向けて配線をたどり評価対象機器をピックアップする機能、予備電源への配線や並列配線は必ずしも上流に向かっていないため、これらの配線を上流側としてたど</p>



	って評価対象機器をピックアップする機能を拡張した。
信号系の FT 作成、サポート系を考慮した FT 作成への機能拡張【R6】	<p>・信号系及びサポート系を考慮した FT 作成にあたっては、複数図面を対象としたモデル化が必要である。同じ系統をモデル化する場合は、流体系のように配管等で複数系統が接続されている、もしくは信号系のように動作する機器が配線等で接続されていることから、基本的には上流側の図面で下流側図面のブロックを指定する機能を拡張した。サポート系等の異なる系統のリンクをモデル化する場合は、サポートを受ける機器(又はブロック)に対してサポートする下位図面のブロックを指定する機能を拡張した。具体的には、リンク関係を考慮するための機能を追加した。追加にあたっては、信号系、トランスファーなど複数図面を対象とした FT 作成作業に対応するためにタブ切り替えで複数図面を参照し、FT データを出力する際に任意のトッスイベントを指定できるようにすることでリンク関係を記述できるようにした。</p> <p>・低減効果としては、リンク関係を考慮した FT 作成の方が、信号系の FT 作成よりも大きい。これは、信号系の FT に関しては、各図面において AI による自動選択の対象となる図形が少ないこと、また、FT 自動作成ツールを使用して RISKMAN 上に FT を作成する際、必要なファイルの作成や複数の FT の結合といったいくつかの作業を手動で行う必要があり、それらの作業に時間を要することも考えられる。そのため、これらの FT 自動作成ツールにおいて手動にて行う必要がある作業の自動化もしくは GUI 上での処理、且つ複数に渡る図面にある図形も AI による自動選択の対象となるよう改良すれば FT 自動作成ツールによる FT の作成時間の更なる短縮が期待できる。</p>

## (7) まとめ【R6】

令和 6 年度は最終年度として、令和 5 年度まで抽出した課題、留意事項に取り組むとともに、信号系の FT 作成、サポート系を考慮した FT 作成への機能拡張を行い、本ツールの使用有無による整合性について、従来手法 (SAPHIRE) を用いて確認した。さらに、妥当性確認として、本ツールの高速炉にも用いている従来手法 (RISKMAN) に対する有効性を評価した。これらの AI ツールの改善及び妥当性確認を行うことにより、社会実装に向けて基本的な見通しを得るとともに、次フェーズに向けて開発課題を整理した。個別の実施内容を以下に示す。

### 【FT 自動作成ツールの試作】

高速実験炉「常陽」の PRA における信号系のモデル化手順を分析し、信号系 FT の作成手順を検討した。さらに、検討結果に基づいて AI ツールによる信号系 FT 作成方法を検討した。ここでは、対象機器として主冷却器ベーン/ダンパを例とした。試作した FT 自動作成ツールでは、FT 解析機能を有する PRA 用解析コードとのインターフェース機能を持ち、PRA 用解析コードが読込可能なフォーマット (テキスト形式) で表現された FT データを出力する。PRA 用解析コードとしては、米国 NRC が開発/公開している SAPHIRE コードを対象とした。

### 【FT 自動作成ツールの使用有無による整合性確認】

FT 自動作成ツールの使用有無による整合性について、SAPHIRE を用いて確認した。整合性は、FT 自動作成ツールを使用して FT を試作し、手動で作成した FT との SAPHIRE による論理構造と定量化結果を比較検証することで確認した。

論理構造は、各図面の FT 自動作成ツールを使用して作成した FT と手作業で作成した検証用 FT のゲート及びゲート下の基事象を比較し、両者の一致を確認することで検証し、どちらの FT についても、ゲートの構造及びゲート下の基事象 ID が一致しており、論理構造が一致していることを確認した。

定量化結果は、各図面の FT 自動作成ツールを使用して作成した FT と手作業で作成した検証用 FT の MCS を生成し、両者の一致を確認することで検証し、どちらの FT についても、同じ MCS が生成されており、定量化結果が一致していることを確認した。

以上により、FT 自動作成ツールの機能は従来法と整合的であると確認した。

### 【作業量の低減効果を指標とした妥当性確認】

高速炉にも用いている PRA 解析コード RISKMAN への試適用により作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認した。具体的には、FT 自動作成ツールを利用せずに人による手作業の FT 作成に要した時間に対し、FT 自動作成ツールを利用して FT 作成に要した時間の割合を作業時間の低減率の指標とした。

令和 6 年度に機能拡張した信号系の FT 及びリンク関係を考慮した FT の 2 ケースの FT 作成作業を対象として、FT 自動作成ツールの作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認し、さらなる改良点を抽出した。

### 【マニュアルの作成】

試作した各ツールのマニュアルを作成した。マニュアルには、一般向けにユーザーの使い勝手を考慮し、事前に準備すべき PC 上の環境構築方法と事例を用いた操作手順の説明も含めた。

### 【社会実装に向けた基本的な見通しと開発課題の整理】

令和 6 年度までの作業の結果、FT 自動作成ツールとして、一連の機能の精緻化と拡張により、網羅的に設計図面類に対応できるツールとなった。また、これの機能について、FT 自動作成ツールを使用して作成した FT と手作業で作成した検証用 FT との論理構造及び定量化結果の比較を実施して検証した結果、FT 自動作成ツールの機能は従来法と整合的であると確認した。さらに、高速炉にも用いている RISKMAN への試適用により作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認した。これらにより、開発の初期段階としての社会実装に向けた基本的見通しは得られたと考える。

FT 自動作成ツールは、操作方法を取得すれば、PRA の初心者でも熟練者と同等の作業時間で FT を作成することが可能であり、その効果は多数の機器、配管があるほど有効であると考えられる。また、FT 自動作成ツールは、視覚的に FT の作成作業を行うことができるため、AI による PRA 作業の省力化・等質化の他に、初心者が PRA を行う際の敷居が低くなる副次的な利点もあると考える。

次フェーズに向けて今後の開発課題を以下の 4 項目に整理した。

- ①FT 自動作成ツールによる FT モデル化に係る課題
- ②CAD データとのインターフェースに係る課題
- ③PRA 用解析コードとのインターフェースに係る課題
- ④社会実装に向けての目指すべき姿

### 3.1.2 信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発

(JAEA・再委託先：アドバンスソフト) 【R4-R6】

#### (1) PRA 信頼性データベース(高速炉)を用いた試適用(JAEA) 【R4-R6】

令和4年度は、令和5年度に試作される信頼性データベース構築のための自動故障判定手法(以下、「AI ツール」という。)に試適用するため、既存の高速炉データベースの根拠データを整理した。令和5年度は、試作した AI ツールについて、既存の高速炉データベースの根拠データ(補修データ)を用いた試適用を行い、既存データベースと比較することにより妥当性を確認した。令和6年度は、試作した AI ツールについて、既存の高速炉の補修情報を用いて自動故障判定を試適用し、今後の開発課題を整理した。

##### ① 根拠データ整理 【R4】

試作される AI ツールを令和5年度に試適用するため、故障率の算定根拠として整備した既存の高速炉機器信頼性データベース CORDS[8]に収録されている事象データ 443 件(「常陽」185 件、「もんじゅ」258 件)及びこれらの各事象に対応して整備された PRA 故障判定データを、同手法における AI の学習に活用する教師データの候補として整理した。なお、事象データとは修理報告書等の機器使用施設で作成された情報源に記載の情報に基づくデータであり、PRA 故障判定データとは PRA に関する専門家が PRA での活用のために故障分類を判定した結果を記録したデータである。

##### ② 試適用と妥当性確認 【R5】

令和4年度に整理した根拠データの中には種々の機種種のデータが含まれており、高速炉に特有でデータ数が比較的多い点に着目して、令和5年度における試適用の対象機種として Na 電動弁、Na 電動ポンプ、冷凍機を選んだ。これらの事象データ(Na 電動弁 20 件、Na 電動ポンプ 85 件、冷凍機 100 件)を用いて試作した AI ツールを試適用した。その結果を既存データベースと比較することにより妥当性を確認し、試作した AI ツールは人による故障判定を支援するツールになりえると考えられることから、妥当と判断した。

##### ③ 試適用と開発課題整理 【R6】

令和6年度は、試作した AI ツールについて、既存の高速炉の補修情報を用いて自動故障判定を試適用した。まず、1)にて試作した信頼性データベース構築のための AI ツールの機能の概要を述べ、次に 2)及び 3)にて試適用のためのデータ及び AI ツールの利用者が予め定めるべき故障判定ルールの検討について述べ、これらを踏まえた試適用について 4)で述べる。

#### 1) 試作した自動故障判定手法(AI ツール)の機能

試作した信頼性データベース構築のための AI ツールの機能の概要を述べる。事前の準備として AI ツール利用者は、AI ツールが参照すべき教師データとして高速炉機器信頼性データベース CORDS の事象データと PRA 故障判定データを用意するとともに、AI ツールに自動故障判定させるテストデータとして CORDS の事象データを別途用意しておく。また、AI ツール利用者は、PRA における故障分類(例：機能喪失&起動失敗)に結びつけた故

障判定ルール(例：トリップ、自動停止、起動を含む)を予め定めておく。

AI ツールはテストデータの個々について、教師データの中から事象記述内容が類似するデータ(上位 k 個)を自動的に選定し、選定した教師データの中の「PRA 故障判定データ」に記載された故障判定結果を、テストデータに対する故障判定として出力するものである。

なお、事象データとは修理報告書等の機器使用施設で作成された情報源に記載の情報に基づくデータである。また、PRA 故障判定データとは PRA に関する専門家が PRA での活用のために故障分類を以下の 4 項目について判定した結果を記録したデータであり、故障モードの判定結果が得られている事象データだけを PRA で故障として考慮すればよい。

- 機器境界の内外の判定
- 機器境界内と判定された場合、機能喪失か否かの判定※<sup>1</sup>
- 機能喪失でない場合、損傷程度(緊急性、再現性、損傷の重要度)が甚大か否かの判定※<sup>2</sup>
- 機能喪失又は事象の程度が甚大と判定された場合、故障モードの判定※<sup>3</sup>

※<sup>1</sup> 機器境界外と判定された場合、機能喪失か否かの判定はされず、判定結果は空欄である。

※<sup>2</sup> 機能喪失と判定された場合、又は機能喪失か否かの判定結果が空欄の場合は、損傷程度の判定結果は空欄である。

※<sup>3</sup> 機能喪失又は事象の程度が甚大と判定された場合以外の場合は、故障モードの判定結果は空欄である。

試作した AI ツールは、以下の手順で自動故障判定を実施する。

- 手順1. テストデータと教師データをベクトル化する。
- 手順2. 個々のテストデータと教師データ間のベクトル間距離を定量化する。
- 手順3. テストデータとの間の距離が短いほど当該教師データがテストデータに類似と判定する。
- 手順4. 利用者が予め定めた故障判定ルールに判定対象テストデータを照らし、どの故障分類に判定される可能性が高いかの度合いを、ルールが定められた故障分類に対して数値化する。度合いが大きいほど可能性が高いことを表す。
- 手順5. この度合いをベクトル間距離から減じることにより、度合いの高い故障分類の教師データほどテストデータへの距離が短い(類似度が高い)と判定することになる。
- 手順6. 個々のテストデータについて、教師データの中から事象記述内容が類似するデータ(上位 5 個)を自動的に選定し、その教師データに記載された故障判定結果を、テストデータに対する故障判定として出力する。

上述の手順 1～3 及び手順 6 は、令和 5 年度の試適用のために試作した AI ツールに備わっていた機能である。令和 6 年度に試適用する AI ツールは、故障判定精度の向上を狙っ

て、これに手順4及び5を新たに追加することにより改良したものであり、ルールベースの判定方法を組合せたハイブリッド方式の自動故障判定手法と言える。

## 2) 試適用のためのデータ

令和6年度は、試作した改良版の自動故障判定手法(AI ツール)を試適用するための既存の高速炉の補修情報として、冷凍機100件の事象データを用いた。

## 3) 試適用のための故障判定ルールの検討

ルールベースの判定方法を組合せた新たな手法においては、適切な故障判定ルールの作成が重要となる。そのため、試適用に用いる冷凍機100件の事象データを基に、故障判定ルールを検討した。

試作したAI ツールが考慮できる故障判定ルールについて述べる。冷凍機を例にとって故障判定ルールの様式を表3.1.2-1に示す。同表には故障分類の一覧及びキーワード欄が設けられており、AI ツール利用者が個々の故障分類に結び付く言葉を1つ又は複数指定することにより、故障判定ルールが作成される。故障判定対象となるテストデータの中に、特定の故障分類に対するキーワード欄の中の言葉が含まれる場合、AI ツールは前述の手順4及び手順5において当該故障分類と判定する可能性を高めるようベクトル間距離値から、ある値を減じる。このため、テストデータの中に実際に使われている言葉の中からキーワードを選ぶ必要がある。また、個々のテストデータを故障分類に仕分けるための故障判定ルールであることから、共通の言葉を複数の故障分類に選定するのではなく、故障分類間で異なる言葉をキーワードとして選定する必要がある。以下に故障判定ルールの検討結果を述べ、表3.1.2-2にまとめる。

### 1-a) キーワードの検討(機能喪失か否か)

PRAにおける故障率推定にあたっては、機能喪失事象のみを故障として考慮し、兆候や機能低下事象は故障と数えないのが基本的な考え方である。まず、機能喪失か否かを判定するためのキーワードを検討した。冷凍機に関する事象データ及びPRA故障判定データを読み、「機能喪失」か否かの判定に影響する言葉を抽出した。結果、以下の規則性が既存の事象データに認められた。

- 事象データを構成する複数の記述欄のうち、「事象状況説明」欄又は「事象状況説明(その2)」欄に「トリップ」、「自動停止」、「が停止した。」のいずれかが含まれ、且つ「起動前チェック時」も「起動できた」も含まない場合、「機能喪失」と判定されている。
- その他の場合に「兆候」又は「機能低下」と判定されている。

試作したAI ツールでは、事象データを構成する任意の記述欄の中に、故障判定ルールのキーワード欄に記された言葉が含まれるか否かという単純なルールで故障を判定する。このため、上記規則性を正確に故障判定ルールに反映することはできず、本検討では規則性の一部のみ考慮することにより、機能喪失と判定するためのキーワードに「ト

リップ」、「自動停止」及び「が停止した。」を選定した。このような単純なルールを適用すると、機能喪失でない兆候や機能低下事象も機能喪失と判定する可能性がある。

#### 1-b) キーワードの検討(起動失敗か運転失敗か)

冷凍機に関する事象データ及び PRA 故障判定データを読み、「機能喪失」又は「甚大」と判定された事象について、「起動失敗」か「運転失敗」の判定に影響する言葉を抽出した。結果、概ね以下の規則性が既存の事象データに認められた。

- 事象データを構成する複数の記述欄のうち、「事象状況説明」欄又は「事象状況説明(その 2)」欄に、「起動」、「切替」又は「水張りを実施したところ」を含み、且つ「運転中」を含まない場合、「起動失敗」と判定されている。
- その他の場合、「運転失敗」と判定されている。

なお、事象データを構成する複数の記述欄のうち、「応急処置」欄に「起動」又は「切替」と記載されていても、それを根拠に「起動失敗」と判定されていない。理由は、予備機の起動や予備機への切替を意味するからと考えられる。

試作した AI ツールでは、事象データを構成する任意の記述欄の中に、故障判定ルールのキーワード欄に記された言葉が含まれるか否かという単純なルールで故障を判定する。このため、上記規則性を正確に故障判定ルールに反映することはできず、規則性の一部のみ考慮することにより、起動失敗と判定するためのキーワードに「起動」及び「切替」を選定した。このような単純なルールを適用すると、運転失敗と判定すべき事象データを起動失敗と判定する可能性がある。

#### 1-c) キーワードの検討(機能低下の判定)

冷凍機に関する事象データ及び PRA 故障判定データを読み、「機能喪失」ではないと判定された事象について、「機能低下」か否かの判定に影響する言葉を抽出した。結果、概ね以下の規則性が既存の事象データに認められた。

- 事象データを構成する複数の記述欄のうち、「事象状況説明」欄に以下のいずれかの用語を含む場合、「機能低下」と判定されている。
  - 凝縮器圧力、出口温度、ドレンタンク液位、出口冷媒温度、出口冷水温度

試作した AI ツールでは、事象データを構成する任意の記述欄の中に、故障判定ルールのキーワード欄に記された言葉が含まれるか否かという単純なルールで故障を判定する。このため、上記規則性を正確に故障判定ルールに反映することはできず、規則性の一部のみ考慮することにより、機能低下と判定するためのキーワードに、これらの用語すべてを選定した。

次に、機能低下と判定された事象データについて、甚大か軽微かの判定に影響する言葉を抽出した。結果、概ね以下の規則性が既存の事象データに認められた。

- 事象データを構成する複数の記述欄のうち、「事象状況説明」欄又は「事象状

況説明(その 2)」欄に「再使用不可」が含まれる場合には「甚大」と判定されている。

- 事象データを構成する複数の記述欄のうち、「応急処置」欄に「切り戻し」、「引きロック」、「引ロック」、「停止した」、「切替」、「切り替えた」又は「待機除外」のいずれかが含まれる場合、且つ応急処置欄に「緊急時は運転可能」を含まず、且つ「事象状況説明」欄に「起動前チェック時」も「一時的に停止」も「運転を継続し」も含まない場合、「甚大」と判定されている。
- その他の場合に「軽微」と判定されている。

試作した AI ツールでは、事象データを構成する任意の記述欄の中に、故障判定ルールのキーワード欄に記された言葉が含まれるか否かという単純なルールで故障を判定する。このため、上記規則性を正確に故障判定ルールに反映することはできず、規則性の一部のみ考慮することにより、「甚大」判定用キーワードとして「切り戻し」、「引きロック」、「引ロック」、「停止した」、「切替」、「切り替えた」、「待機除外」及び「再使用不可」を選定した。ただし、甚大と判定された事象に対する起動失敗と運転失敗を識別するキーワードについては、煩雑さを避けるため選定しなかった。

#### 1-d) キーワードの検討(兆候&甚大・軽微の判定)

冷凍機に関する事象データ及び PRA 故障判定データを読み、「機能喪失」でも「機能低下」でもないと判定された事象について、「兆候」か否かの判定、並びに「甚大」か「軽微」かの判定に影響する言葉を抽出した。結果、概ね以下の規則性が既存の事象データに認められた。

- 事象データを構成する複数の記述欄のうち、「事象状況説明」欄に以下のいずれかの用語を含む場合、「兆候」&「甚大」と判定する。
  - 軽故障、蒸発器中間冷媒圧力低、冷媒漏えい、サージング、漏水、エラージョン
- 事象データを構成する複数の記述欄のうち、「事象状況説明」欄に「ドレン弁」と「シートリーク」の両者を含む場合も、「兆候」&「甚大」と判定する。
- 事象データを構成する複数の記述欄のうち、「事象状況説明」欄に以下のいずれかの用語を含む場合、「兆候」&「軽微」と判定する。
  - 異音、潤滑油圧力、潤滑油油圧低、潤滑油が漏えい、油が漏れ、油漏れ、許容値を超え、冷凍機待機中スライドバルブ開、欠損、冷媒とは異なる液体、精度逸脱、油だまり、にじみ、潤滑油圧力低、ダウンスケール、油溜まり、破損、油槽内の温度、油漏えい、油の漏えい、油にじみ、凝縮器のつまり、凝縮器の詰まり

試作した AI ツールでは、事象データを構成する任意の記述欄の中に、故障判定ルールのキーワード欄に記された言葉が含まれるか否かという単純なルールで故障を判定する。このため、上記規則性を正確に故障判定ルールに反映することはできず、規則性の



一部のみ考慮することにより、「兆候」&「甚大」と判定すべきキーワード及び「兆候」&「軽微」と判定すべきキーワードを選定した。ただし、甚大と判定された事象に対する起動失敗と運転失敗を識別するキーワードについては、煩雑さを避けるため選定しなかった。

#### 1-e) キーワードの検討(機器境界の外か否か)

事象データのうち、「機器境界外」と判定された事象、全 3 件について、事象データを構成する複数の記述欄のうち、「故障部分」欄及び「事象状況説明」欄を読み、「機器境界外」か否かの判定に影響する言葉を抽出した。また、抽出した言葉が「機器境界内」と判定された事象の記述欄に現れないことを確認した。結果、概ね以下の規則性が既存の事象データに認められた。

- 記述欄に「制御電源用ヒューズ」又は「配線」のいずれかの用語を含む場合、「機器境界外」と判定されている。

以上を踏まえ、「機器境界外」と判定すべきキーワードに「制御電源用ヒューズ」及び「配線」を選定した。

#### 1-f) キーワードの検討(故障判定の対象外か否か)

事象データのうち、「故障判定の対象外」と判定された事象、全 2 件について、PRA 故障判定データの故障判定結果欄及び事象データの記述欄を読み、対象外と判定した理由を表す言葉を抽出した。結果、同 2 件は特殊な運転状態で生じた異常なので故障判定の対象外と判定されていた。このため、特殊な運転状態を表す言葉「連絡運転時」及び「空気運転時」を選んだ。これらは対象外とした事象の「件名」欄のみに記載されていた。これらをキーワード指定して AI ツールを実行したが正答が得られなかった。原因不明のため、代案として「事象状況説明」欄に記載されている言葉「連絡運転」及び「空気運転」をキーワードに指定すると、正答が判定結果として得られた。これを踏まえ、「故障判定の対象外」と判定すべきキーワードに「連絡運転」及び「空気運転」を選定した。

表 3.1.2-1 故障判定ルールの様式(冷凍機の例)

故障分類			キーワード
兆候	甚大	運転失敗	
		起動失敗	
	軽微		
機能低下	甚大	運転失敗	
		起動失敗	
	軽微		
機能喪失		運転失敗	
		起動失敗	
機器境界外			

表 3.1.2-2 冷凍機の故障判定を行うために設定したキーワード

故障分類			キーワード
兆候	甚大	運転失敗	軽故障， 蒸発器中間冷媒圧力低， 冷媒漏えい， サージング， 漏水， エ ロージョン
		起動失敗	軽故障， 蒸発器中間冷媒圧力低， 冷媒漏えい， サージング， 漏水， エ ロージョン
	軽微		異音， 油， 許容値を超え， 冷凍機待機中スライドバルブ開， 欠損， 冷 媒とは異なる液体， 精度逸脱， にじみ， ダウンスケール， 破損， 凝縮 器のつまり， 凝縮器の詰まり
機能 低下	甚大	運転失敗	凝縮器圧力， 出口温度， ドレンタンク液位， 出口冷媒温度， 出口冷水 温度， 切り戻し， 引きロック， 引ロック， 切替， 切り替えた， 待機除 外， 再使用不可， 停止した
		起動失敗	凝縮器圧力， 出口温度， ドレンタンク液位， 出口冷媒温度， 出口冷水 温度， 切り戻し， 引きロック， 引ロック， 切替， 切り替えた， 待機除 外， 再使用不可， 停止した
	軽微		凝縮器圧力， 出口温度， ドレンタンク液位， 出口冷媒温度， 出口冷水 温度， 起動できた
機能 喪失		運転失敗	トリップ， 自動停止， が停止した。
		起動失敗	起動， 切替， トリップ， 自動停止， が停止した。
機器境界外			制御電源用ヒューズ， 配線
故障判定対象外			連絡運転， 空気運転

#### 4) 自動故障判定手法(AI ツール)の試適用

既存の 100 件の冷凍機の事象データを、乱数により 20 件のテストデータと 80 件の教師データに分割した。これを 11 ケース用意した。試適用に用いたテストデータの件数は、延べ 220 件(=11 ケース×20 件)である。故障分類による内訳を図 3.1.2-1 に示す。兆候 & 軽微、機能喪失 & 運転失敗の件数が他より多く、データ件数に偏りがあることがわかる。このデータを用いて試作した AI ツールを試適用し、結果を整理した。上位 1 個の中に正答を含む率(正答率)を表 3.1.2-2 に示すキーワードを適用しない場合(令和 5 年度試適用版 AI ツール)とキーワードに基づく故障判定ルールを適用する場合(令和 6 年度版 AI ツール)で比較したグラフを図 3.1.2-2 に示す。同様に、上位 5 個の中に正答を含む率(正答率)をキーワードなし(令和 5 年度試適用版 AI ツール)とあり(令和 6 年度版 AI ツール)で比較したグラフを図 3.1.2-3 に示す。両グラフを見ると、キーワードありにしたことで正答率が増加するものもあるが、減少するものもある。キーワードを用いた単純な故障判定ルールを考慮することが、より正確な故障判定につながるとは言い難い。

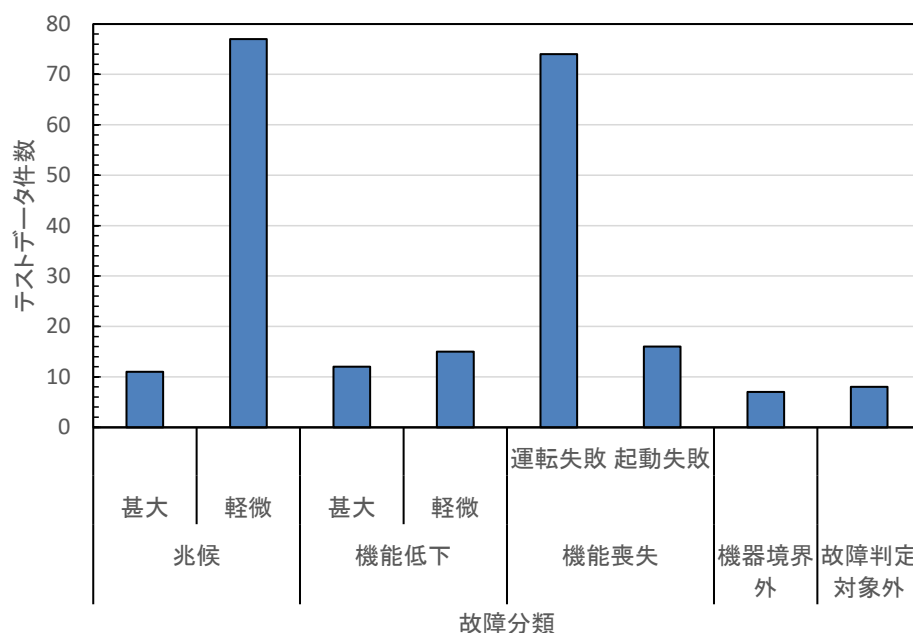


図 3.1.2-1 故障分類によるテストデータの内訳

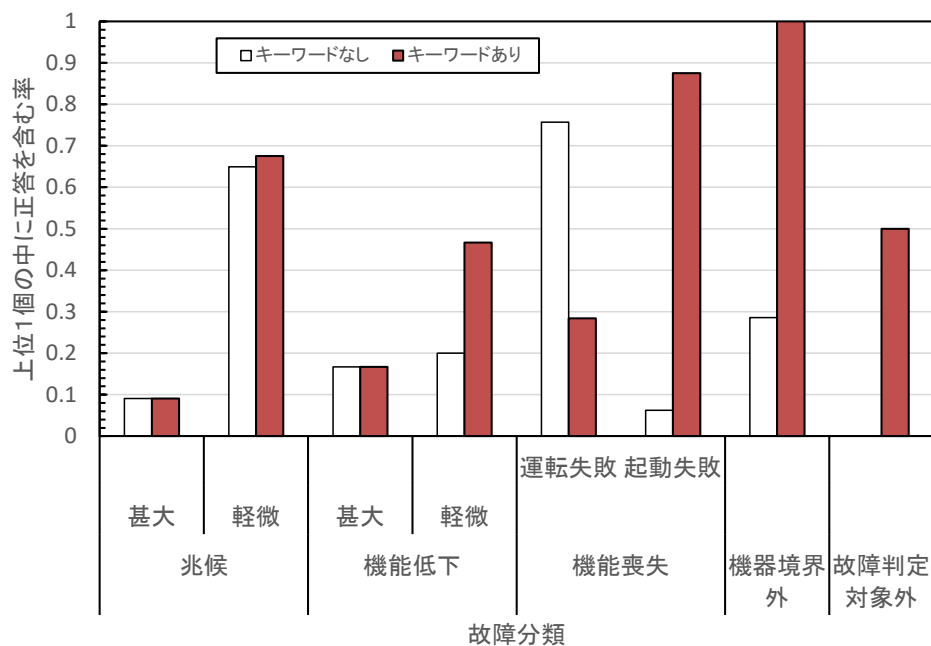


図 3.1.2-2 正答率の比較(上位 1 個で判定)

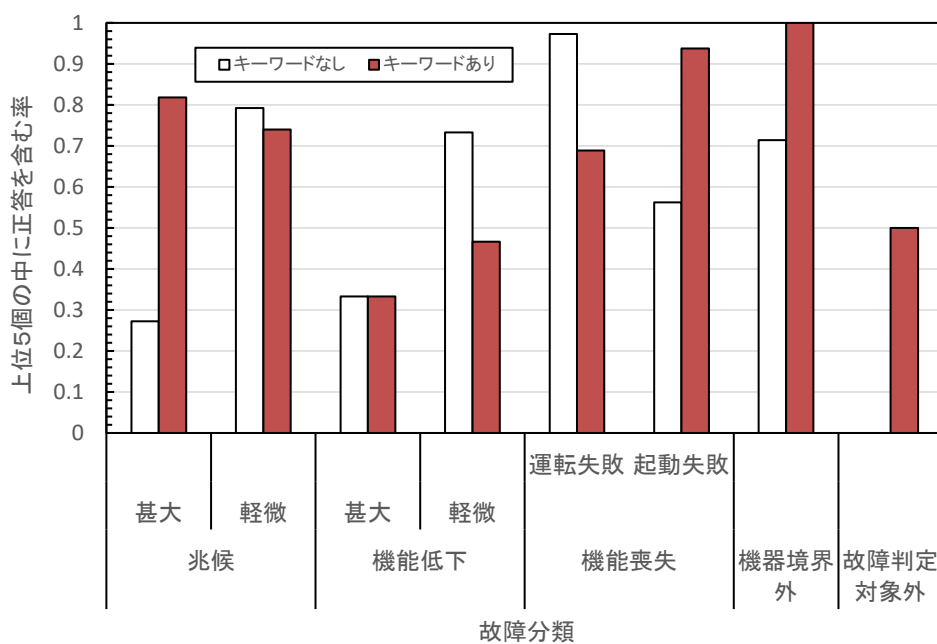


図 3.1.2-3 正答率の比較(上位 5 個で判定)

#### ④ 社会実装に向けた基本的な見通しと開発課題の整理【R6】

③までの作業の結果、(2)で試作した AI ツールについて、既存の高速炉の補修情報を用いて自動故障判定を試適用により妥当性を確認し、試作した AI ツールは人による故障判定を支援するツールになりえることから、社会実装に向けた基本的な見通しは得られたと考える。次フェーズに向けて今後の開発課題を以下の 3 項目に整理した。

## 1) 故障判定ルールの高度化

CORDS 用故障判定ルールを作成するためのキーワードの検討で述べた通り、複雑であっても、より正確な故障判定ルールを考慮すれば、正答率の向上が期待される。具体的には以下の通りである。

- 含んではいけないキーワードを付帯条件として考慮して故障判定する。
- 事象データを構成する複数の記述欄のうち、特定の記述欄を指定して判定する。
- 複数のキーワードを同時に含む場合を条件として考慮して故障判定する。

ここに示したような事項を反映して高度化した故障判定ルールを用いて故障判定することが今後の開発課題の1つである。

なお、試作した AI ツール(令和 6 年度版)による故障判定で正答が得られない理由には、故障判定ルールが単純なルールしか扱えないという問題だけでなく、CORDS における(人による)既存の故障判定結果(すなわち、教師データ)の一部にも改善の余地があることが、キーワードの検討を通じてわかった。すなわち、全体の故障判定の整合性を高めるために判定の変更が必要と考えられる事例が見いだされた。

以上を踏まえ、教師データにおける一部の故障判定結果の変更を反映した場合を想定した上で、キーワードの検討過程で得られた事象データと故障分類との間の規則性を正確に反映して故障判定した場合の正答率の見通しを手作業により試算した。結果を図 3.1.2-4 に示す。キーワードなし(令和 5 年度試適用版 AI ツール)と比べて、「見通し」と示された正答率は有意に増加し、1 に近い。これは、キーワードの検討過程で得られた事象データと故障分類との間の規則性を正確に反映した AI ツールを開発した上で適用する場合、正しく故障判定する割合が有意に増加することを意味している。繰り返しになるが、図 3.1.2-4 に見られる正答率の向上は、より正確な故障判定ルールの適用だけでなく、CORDS における既存の故障判定の一部変更を反映した場合の見通しを表している。

## 2) 教師データがなくても判定可能な方式への高度化

試作した AI ツール(令和 6 年度版)は、予め用意した故障判定ルールを用いて故障判定を行うが、故障判定の基本的な処理は、教師データの中からテストデータに類似するものを、AI 技術を用いたベクトル間距離で測り、類似教師データの故障判定をテストデータの故障判定とみなすという処理であり、故障判定ルールによる故障判定は、あくまでもベクトル間距離の補正として考慮されるハイブリッド方式である。このため、そもそも、教師データが存在しない場合、故障判定に故障判定ルールが考慮されないという問題がある。

具体例を挙げて解説する。故障分類のうち、「故障判定対象外」と過去に判定された事象は冷凍機の事象データにおいては 2 件に限られる。試作した AI ツールを試適用した際に、これら 2 件ともテストデータの中に抽出された試適用ケースでは、教師データに当該故障分類が存在しない(0 件)。結果、故障判定ルールが適切であっても、正答が得られない。このため、故障判定ルール上の課題がないにもかかわらず、図 3.1.2-2 及び図 3.1.2-3 におけるキーワード有りにおける「故障判定対象外」の正答率が 1 未満となっている。

今後の開発にあたっては、教師データが存在しないことが原因で、AI ツール内の処理手順における手順5において減算対象となるスコアが存在しない場合であっても、故障判定ルールを考慮した判定結果が得られるように、ハイブリッド方式をやめて、ベクトル演算を参照せずに故障判定ルールだけに基づいて判定する方式に改良することが望ましい。その場合、故障判定ルールの中のどの部分にテストデータが合致したかも併せて AI ツールが利用者へ示すと、故障判定ルールに基づく判定理由が明確になるので、利用者にとって有益である。

### 3) その他の課題

CORDS の事象データに記録されている記述情報だけに基づく故障判定の限界、文脈を読み取って判定することの必要性、判定基準の設定上の課題について、個別事例と課題を以下に述べる。

- 事例 1：事象データの「事象状況説明」欄にトリップとの記載があるが、生じたのは冷凍機本体のトリップでなく、冷凍機の運転に必要な冗長な関連機器のうち、1 台のトリップであり、残りの 1 台が機能維持していたことから、人による既存の故障判定結果は、機能喪失でなく、兆候・軽微と判定された事例である。関連機器の冗長性を判定するルール作成は困難である。

【課題】故障判定のための情報源を、少なくとも事象データだけでなく、関連機器の冗長性に関する設計情報に拡張した上で、それらの情報を参照して故障判定する手法の開発が必要である。

- 事例 2：事象データの「事象状況説明」欄に「トリップ」、「再起動を試みた」との記載がある。これらの短い言葉だけからトリップ後の再起動であるか、それとも再起動を試みた後のトリップかを判定するルールの作成は困難である。前者なら運転失敗、後者なら起動失敗だが。また、類似事例として「事象状況説明」欄に「トリップ」「起動した。」との記載がある事象が存在した。キーワードだけからトリップ後の起動であるか、起動した後のトリップかを判定するルールの作成は困難である。

【課題】キーワードに基づく判定から文脈を読み取って判定する手法の開発が必要である。生成 AI の一種である LLM の活用が期待される。

- 事例 3：事象データの「事象状況説明」欄に「起動から 5 日後に警報が発報して、応急処置により冷凍機が別のものへ切り替えられた」旨が記載されていた。前述のキーワード検討の過程で、人による故障判定を既存の判定結果「軽微」から、「甚大」且つ「運転失敗」へ変更した。ここで、「起動失敗」でなく「運転失敗」と人が判定した理由は、起動から警報発報までに 5 日を要したからである。経過時間を考慮したキーワードの組合せに基づくルール作成は困難である。

【課題】経過時間の判定値を人が定めた上で、AI が文脈から生じた経過時間を読み取り、同経過時間が判定値より長いのか短いかを判定する処理が必要と考える。

- 事例 4：事象データの「応急処置」欄には別の冷凍機に切り替えた旨が記載されており、状況を示す情報として、出口冷媒温度は 10.5 ℃(入口温度 16 ℃)と通常より高く、負荷の温度も上昇の旨が記載されていた。この事例については、既存の故障判定結果では、判定者が冷却先に異常なしとみなして「機能低下」且つ「軽微」と判定された。冷凍機の事象データにはこの事例と類似の事例があり、出口冷媒温度が 12 ℃と、さらに高い点が異なり、「軽微」でなく「甚大」と判定されている。人による判定の定量的な基準があるわけではなく、これらの 2 事例とも、人による判定が誤りとは言えない。
- 【課題】故障判定基準をどのように定めるかについての課題であり、例えば出口冷媒温度値についての定量的な故障判定基準を設定することが必要である。

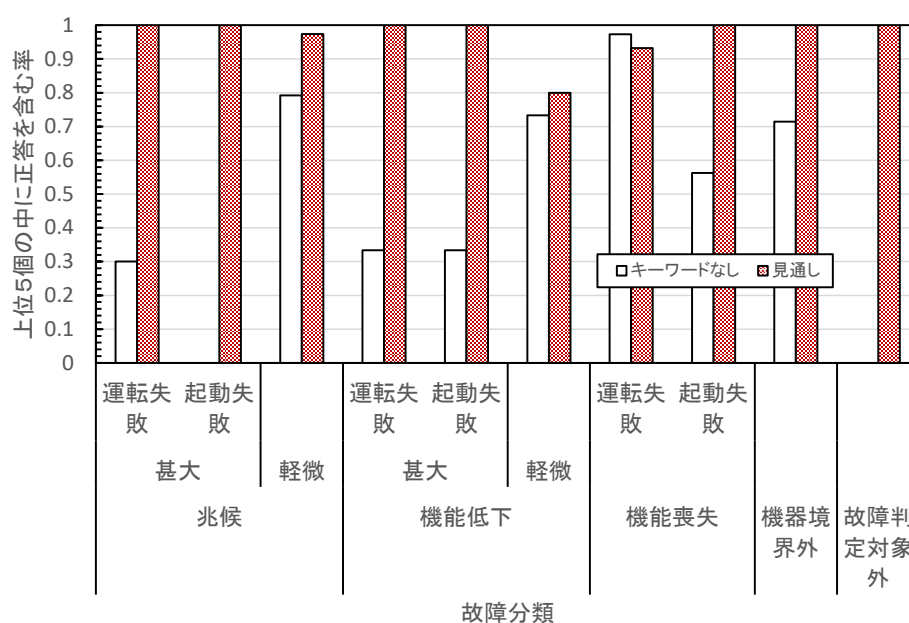


図 3.1.2-4 正答率の比較(上位 5 個)

## (2) 自動故障判定のための AI ツールの方法論構築、試作(再委託先：アドバンスソフト)【R4-R6】

信頼性データベースは、軽水炉向けには一般財団法人電力中央研究所(以下、電中研という。)と JANSI の尽力による NUCIA データベース、高速炉向けには日本原子力研究開発機構で整備している CORDS データベースが整備されている。本研究では、信頼性データベース構築における以下の課題解決を目指す。

課題 1：信頼性データベース構築の効率向上(一次分析)

- ・ 迅速性、省力化の促進(ビッグデータ処理)
- ・ 正確性、統一性の促進(分析者の個性差をなくす)

課題 2：時間的・空間的特徴抽出の分析能力向上(2 次分析)

- ・ 統一性の向上(テキストマイニング・データマイニング手法による総合的な分析の促進)
- ・ 新知見の獲得(ビッグデータ処理による時間的・空間的特徴の自動抽出による共通因子や故障特性の抽出)

### ① 自動故障判定のための AI ツールの方法論構築、試作【R4】

AI ツールにおけるディープラーニングの適切な解析手法の選定とパラメータの最適化を実施した。また、NUCIA 等のデータベースから確率論的リスク評価の信頼性データベースに必要な情報として、故障機器、故障区分及び故障モード、原因等を AI 技術により抽出し、データベース化する AI ツールの方法論を構築した上で、試作した。個別の実施内容を以下に示す。

#### 【PRA 信頼性データベースに必要な情報の調査】

以下の 4 項目を実施した。

- 1) 軽水炉のための NUCIA データ、高速炉のための CORDS データの特徴を分析した。
- 2) データ処理、文書処理として、不要情報を削除する手法及び要約処理手法の必要性とその方法を検討した
- 3) 特徴抽出方法として、教師無しのマルチラベル(1 つの事象に複数のラベル付けする)分類手法を検討した。
- 4) NUCIA は現場ローデータのみ、一方 CORDS は現場ローデータに加え教師データとして専門家分析データありと異なる特徴を持つので、NUCIA と CORDS の分析で共通の手法また異なった手法を用いるなどの方針を策定した。

本研究で実施した要約処理や特徴抽出結果を専門家の分析と比較し、十分に実用化可能な方法であると判断できる。さらに、NUCIA と CORDS の分析方針を策定でき、②以降の方針を確立することができた。

#### 【NUCIA データのための AI ツール方法論構築】

以下の 3 項目を実施した。



1. データ処理、文書処理方法を検討し、不要な情報削除は独自プログラムによるルールベースで実行し、テキストクリーニングは独自プログラム及び自然言語処理フレームワーク機能で実行する方法を採用した。
2. データマイニング、テキストマイニング手法を検討し、要約手法に関してはグラフベース手法のスコア付けで実行、統計分析には出現単語、抽出したキーフレーズに対して実行する方式を採用した。
3. データベース構築方法を検討し、教師無しのマルチラベル(1つの事象に複数のラベル)分類問題として、Zero-shot テキスト分類処理を試行した。

教師無しのマルチラベル(1つの事象に複数のラベル)分類問題として、Zero-shot テキスト分類処理を試行し、専門家判断と比較して実用性を確認し、精度向上などの課題を明らかにした。また各事象の記述から故障機器の名称と故障モード(故障原因)をリンクして抽出する方法を試作した。

令和4年度に構築したAIツール方法論の処理フローと各工程の内容を図3.1.2-5に示す。令和4年度の分析手法は、NUCIAの原因分類コードを参照解(正)としており、それとの整合性を確認することが可能な手法となった。実際の事例における課題として、図3.1.2-6に事象シナリオの専門家分析の一例として、「トラブル NUCIA-12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損」を示すが、「日本語の特徴である主語の不在」と「ネットワークの因果関係の理解」を抽出した。それに伴い、NUCIAの原因分類コードがその数も含めて必ずしも正とは言えない、根本的な原因は人的・組織的・安全文化的要因である場合が考えられると判断するに至った。そして、令和5年度以降の課題への対策としては、AIツールにドメイン知識(ドメインオントロジー)と因果関係知識(タスクオントロジー)を組み込むこととした。

#### 【CORDS データ分析方針検討】

以下の2項目を実施した。

1. 前処理として、故障判定基準、機器故障モード、及び機器バウンダリの定義が明確であるため、ルールベースで判定する方式を検討した。
2. 故障判定データを教師データとして、事象データの記述からテキストマイニング手法により、故障機器の名称と故障モード(故障原因)をリンクして抽出する方法を採用することとした。

令和4年度は、ルールベースとテキストマイニングの両手法による手続きが妥当であることを専門家の事例分析により確認し、精度向上などの課題を明らかにした。ヒューマンファクタや組織の課題、さらには安全文化まで含めた分析手法を開発すべきという、研究の新たな展開が見出された。

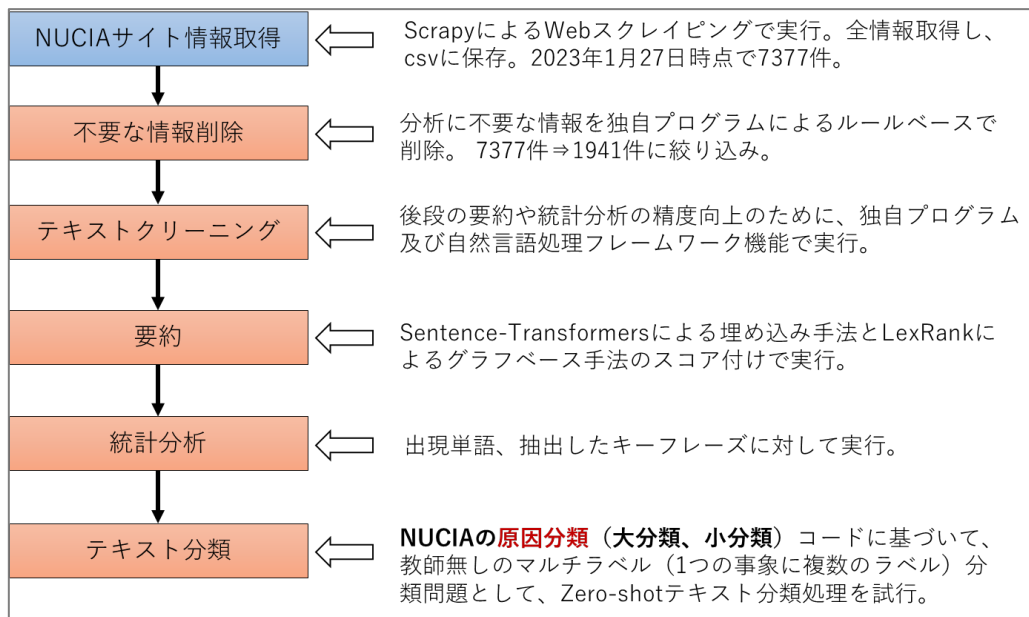


図 3.1.2-5 AI ツール方法論(処理フロー)と各工程の内容(令和4年度)

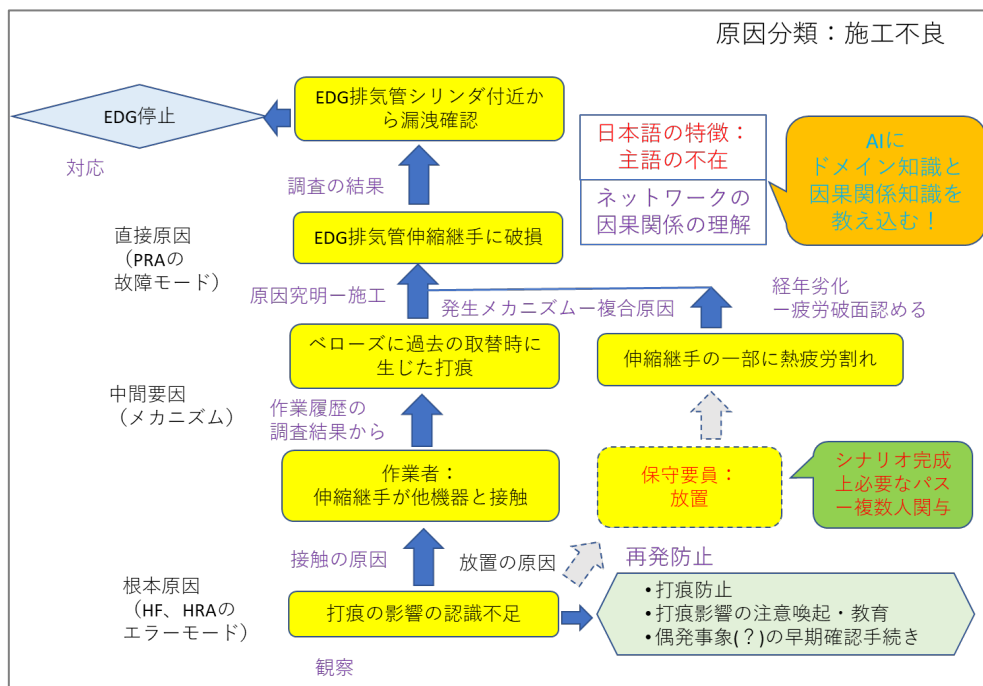


図 3.1.2-6 事象シナリオの専門家分析例：NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損

## ② 自動故障判定のための AI ツールの分析手法の高度化【R5】

事象や時間の相違を AI 技術により分析することにより、電力、プラント、職種の相違判断、1F 事故前後の相違判断等が可能な手法として、LLM を活用した以下を試作した。

### 【NUCIA データの信頼性データベース構築】

令和4年度に試作した要素技術を基盤にし、令和4年度課題への対策として、当時最もパ

ラメータサイズが大きく回答精度が高いとされた LLM である OpenAI の GPT-4[9]を活用し、図 3.1.2-7 の工程を策定することで分析手法を高度化した。

人によるシナリオ分析結果に基づき、NUCIA 報告書内容から事象シナリオを分析するための標準的なタスクオントロジーを構築し(図 3.1.2-8 参照)、LLM を利用して原因の直並列を含む事象シナリオネットワークを生成した。事象シナリオネットワークから抽出した「直接原因」(PRA の故障モードを想定)、「根本原因」(主にヒューマンエラーや組織的要因を想定)に対して各種分析を実施し、事象や時間の相違、電力、プラント、職種の相違、1F 事故前後の相違を可視化した。それらの結果を評価し、今後の課題・留意点を整理した。

特に、図 3.1.2-9 に示すように、主語の抜け落ちや NUCIA 報告書内容の特徴に基づいた分析順序の妥当性が事象シナリオネットワークの構築精度に大きく影響していると判断したため、タスクオントロジーだけでなく原子力分野のドメインオントロジーに基づいて 5W1H などを記述することを明確に要求することと、分析順序を NUCIA 報告書に詳細に記載されている再発防止対策から始めることにより、主語も含めた抜け落ちのない分析が可能になると考えられる。

また、LLM による生成におけるハルシネーション(もっともらしいが不正確な回答を生成)の発生、結果のバラツキ(処理実行の度に結果が変わる)、及びブラックボックス化に対する課題も重要であることを改めて認識した。

#### 【CORDS データの信頼性データベース構築】

JAEA 所有の専門家による故障判定(FBR 信頼性)データを教師データとして、事象データ(修理報告書)の記述からテキストマイニング手法により、故障機器の名称と故障モード(故障原因)をリンクして抽出する方法を検討した。具体的には、テキストを、文脈を踏まえてベクトルに変換し、ベクトル間距離やコサイン類似度を計算することで、テキストの類似性を定量化し、類似事象での判定結果を見て判断することによる CORDS 用の自動故障判定手法を構築した。図 3.1.2-10 に試作した CORDS 用ツールの処理フロー全体イメージを示す。

令和5年度は、NUCIA データについては、タスクオントロジーと LLM を活用することで事象シナリオネットワークが生成できることを確認し、精度向上に必要な対応や LLM を活用することに伴う課題を明らかにした。CORDS データについては、ルールベースの判定方法に対するブラッシュアップの必要性を明確化した。

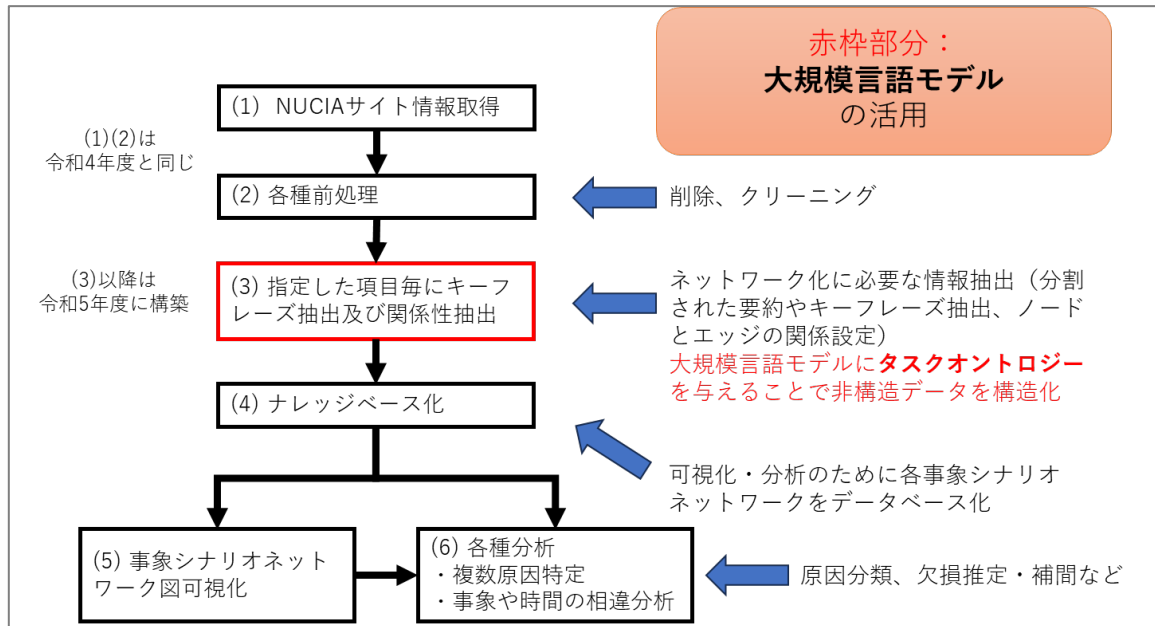


図 3.1.2-7 AI ツール方法論(処理フロー)と各工程の内容(令和5年度)

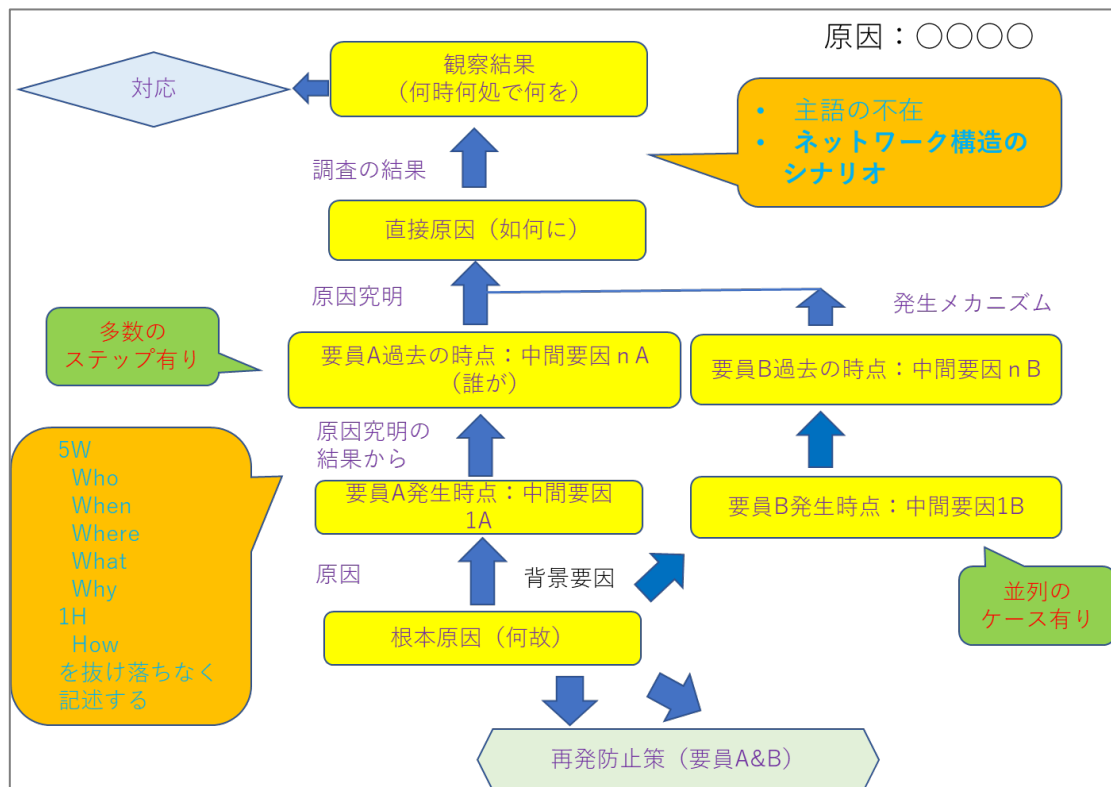


図 3.1.2-8 事象シナリオ分析の標準的なタスクオンロジー

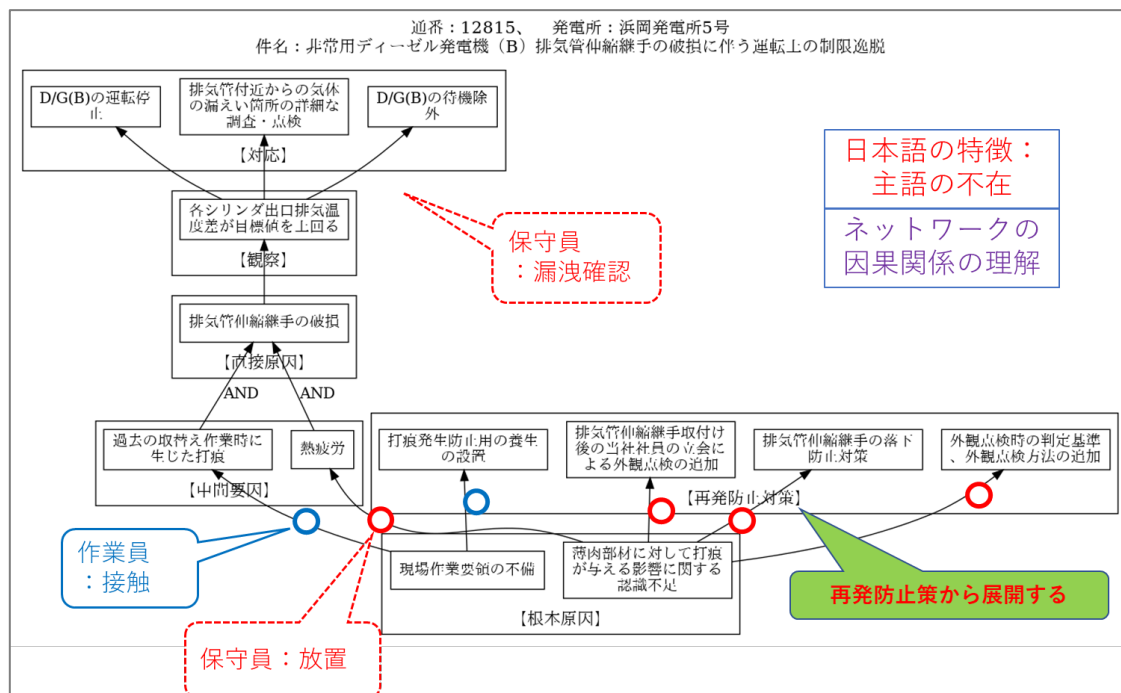


図 3.1.2-9 事象シナリオ分析例：NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損

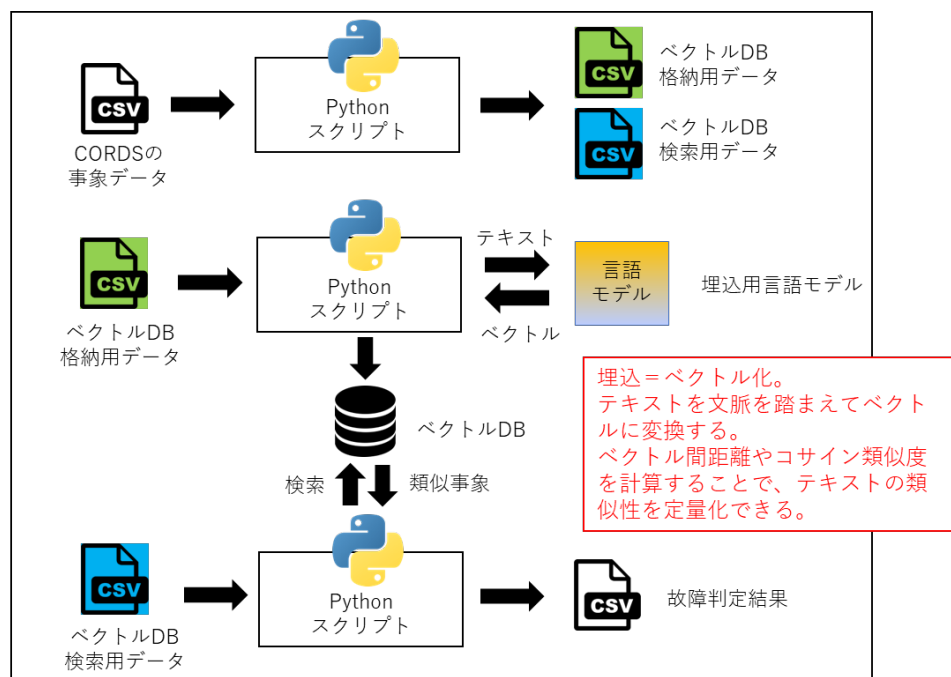


図 3.1.2-10 試作した CORDS 用ツールの処理フロー全体イメージ

### ③ AI ツールの分析手法のさらなる高度化(マルチエージェントシステム構築)【R6】

令和 5 年度に試作した NUCIA データ用 AI ツールでは、事象の原因の直並列を含むネットワーク構造を生成するタスクオントロジー(分析手順)を開発した。その AI ツールで分析した事象「NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損」において、確かに原因をネットワーク構造で分析できているが、主語の推定とネットワークの詳細度(因果関係の理解)を課題

として抽出した。また、ハルシネーションの発生やブラックボックス化など、LLM を活用することに伴う課題もあった。

それらの課題を解決するために、令和 6 年度は主に以下の高度化を実施した。

- ✓ ネットワークの因果関係の理解では、NUCIA 報告書は再発防止策の方が根本原因より詳しい分析ができていたため、再発防止策から根本原因を推定し、そこから中間要因及び直接原因、観察、対応を段階的に展開する方法を試行した。
- ✓ 日本語の特徴である主語の不在では、令和 5 年度は作業員の接触と保守員の放置の相違を分析できていなかったため、対象領域の知識(ドメインオントロジー)を与えることとし、原子力分野(主に電力会社)における安全に係る担当者の役割などを定義したドメインオントロジーを開発した。
- ✓ 上記の課題への対応とともにハルシネーションリスク発生の低減やブラックボックス化回避のために、LLM(令和 6 年度は当時最も回答精度が高いとされた OpenAI の GPT-4o[9])によるマルチエージェントシステムを構築した。それにより、専門性の異なるタスク毎に分割して専用の役割を与えた LLM に段階的に必要な情報を分析・抽出・推定させ、さらには生成結果をチェック用の役割を与えた LLM にチェックさせるという帰納性のある処理とした。このために、LLM を用いたアプリケーション開発のためのフレームワークである LangChain[10]と、LangChain を構成するツールの 1 つで、ステートフルなマルチエージェントアプリケーションを構成するためのライブラリーである LangGraph[11]を使用した。
- ✓ 「共通機器、共通操作、共通組織特性等の共通要因を判断可能な手法を試作」を実現するために、上記の課題解決策に加えて、事象横断の可視化・分析を可能とするためにグラフデータベースである Neo4j[12]をナレッジベースとして採用した。これにより、共通特性分析をグラフデータベース分析に落とし込んだ。

図 3.1.2-11 に令和 6 年度の AI ツール方法論(処理フロー)と各工程の内容を示す。上記の高度化を実施したことにより、共通特性分析を可能とするための時間的・空間的特徴抽出の分析能力が向上でき、また、共通機器、共通操作、共通組織特性等の共通要因を判断可能な手法を試作することができた。ここで、時間的・空間的特徴抽出の分析(2 次分析)とは、研究目的で示した通り以下の二つの特徴を持つ。

- ✓ 統一性の向上(テキストマイニング・データマイニング手法による総合的な分析の促進)
- ✓ 新知見の獲得(ビッグデータ処理による時間的・空間的特徴の自動抽出による共通因子や故障特性の抽出)

本研究では、図 3.1.2-11 で示した工程(1)(2)を実行した結果、マルチエージェントシステムによる処理対象の事象(NUCIA 報告書)が 2028 件となった(令和 6 年 10 月時点)。

図 3.1.2-11 で示した各工程の内、令和 6 年度に高度化した(3)～(6)の詳細について、以下 1)～ 4)に示す。

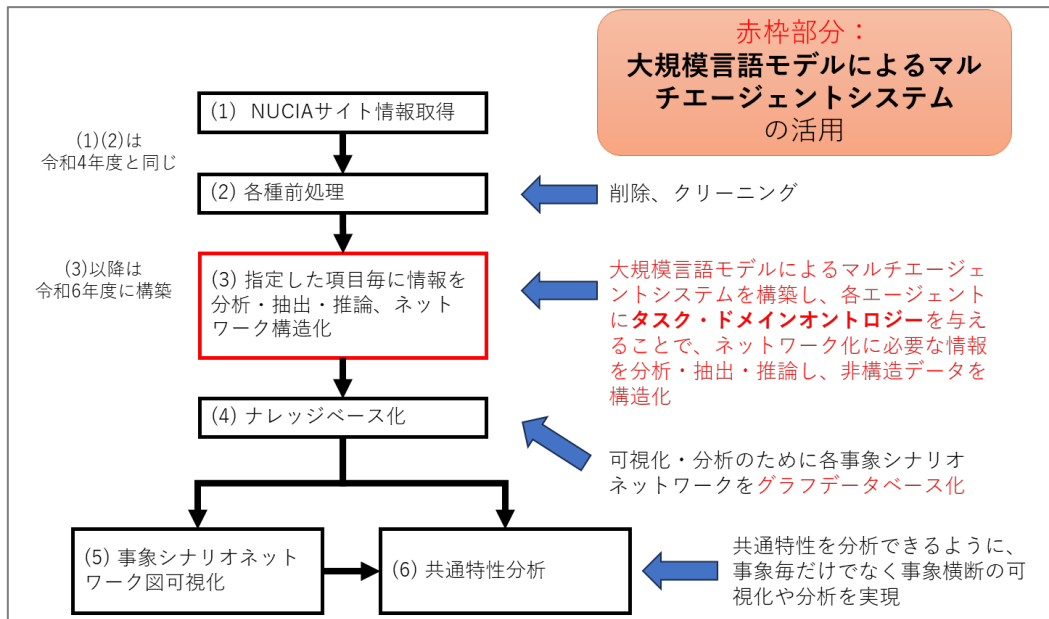


図 3.1.2-11 AI ツール方法論（処理フロー）と各工程の内容(令和6年度)

## 1) 指定した項目毎に情報を分析・抽出・推論、ネットワーク構造化

### 1-a) 構築したマルチエージェントシステムの全体構成

LangGraph によるマルチエージェントアーキテクチャの例を図 3.1.2-12 に示す。本研究では、主に Hierarchical と Custom の組み合わせで、タスク毎の階層構造を持つチームを用意し、各チームを事前に決めた分析順で連結することでマルチエージェントシステムを構築した。実際に構築したマルチエージェントシステムの全体構成を図 3.1.2-13 に示す。本システムでは LLM が処理順を判断しているわけではなく、実装時に決めて順序で処理しているため、状態(State)の管理(生成結果データの受け渡し)だけを実施している。これは、上述したように、NUCIA 報告書の記載の特徴に基づいて、再発防止策から根本原因を推定し、そこから中間要因及び直接原因、観察、対応を段階的に展開する方法を試行したため、各チームを管理するスーパーバイザー(これも専用の役割を持った LLM が担当)による動的な処理順判断が不要であったためである。

各チームの概要を以下に示す。

- 【再発防止対策】チーム： NUCIA 報告書は再発防止対策が基本的にしっかり記載されているため、まずはその情報をそのまま抽出することから始める。
- 【根本原因】チーム： 根本原因に対して再発防止対策が取られているため、再発防止対策の情報から逆算して根本原因の情報を推定する。
- 【直接原因】チーム： NUCIA 報告書の件名及び内容全体から直接原因の情報を推定し、直接原因から中間要因を経て推定済み根本原因に至るシナリオを推定する(特に 5Why 分析が重要)。それにより、【中間要因】の情報も推定する。推定した直接原因の情報に基づいて、【故障モード】チームによって故障モード(故障系統、故障タイプ、故障機器含む)を推定する。
- 【観察】チーム： 推定した直接原因の情報に基づいて、観察の情報を推定す

る。

- 【対応】チーム： 推定した観察の情報に基づいて、対応の情報を推定する。
- 【共通原因】チーム： 推定した直接原因の情報及び事象シナリオネットワーク全体から、共通原因か否かを判定する。推定した根本原因に対しても同様に。

#### 1-b) 【再発防止対策】チーム内の構成

当該チーム内の構成を図 3.1.2-14 及び図 3.1.2-15 に示す。ここでは、他のチームでも共通する処理である、LLM の生成結果をチェック用の役割を与えた LLM にチェックさせる回帰性のある処理についても説明する(他のチームではそれらの説明省略)。

- 「【再発防止対策】を抽出」の処理概要：
  - ・ NUCIA 報告書に記載されている当該内容を箇条書きで抽出。
  - ・ 上記結果に対して、ハルシネーションチェック (NUCIA 報告書から適切に抽出又は推定されているか)と妥当性チェック (指示内容に対して適切な回答か)を実施。
  - ・ ハルシネーションチェックや妥当性チェックの結果は、バイナリ値(Yes/No)とその理由(50 文字以内)。No の理由を、やり直す当該処理の指示プロンプト(LLM への入力とする指示内容)に追加することでフィードバックし、それを踏まえて前回と異なる回答を生成することを期待。
  - ・ 当該処理を繰り返す際のチェック回数の上限值を設定し、それを超えるとフィードバック内容を初期化(無しに)し、指示プロンプトは元と同じだが改めて異なる回答を生成することを期待。
  - ・ LangGraph 内部での繰り返し上限値(本研究では 500 に設定)を超えた場合は、その事象の処理をスキップ(後でその事象をやり直し)。チェックが通らない事象も、何度かやり直すと通る場合がある。本研究では、最終的に対象事象すべて処理完了。
  - ・ ハルシネーションチェックの場合は、No の理由を既存のプロンプトに追加してフィードバックするが、妥当性チェックの場合は、指示プロンプトそのものも LLM によって適切に見直してフィードバックする。これにより、より適切な回答を生成することを期待。
- 「【再発防止対策】を推定するための分析」と「【再発防止対策】を推定」の処理概要：
  - ・ NUCIA 報告書には、再発防止対策が記載されていない事象がいくつか(処理した 2028 件程度中十数件程度)あったため、NUCIA 報告書を分析して再発防止対策を分析・推定する処理を追加。
  - ・ 使用する分析フレームワークは以下の通り。
    - 5W1H 分析
    - 5Why 分析
    - 時系列分析
    - ヒューマンエラー分析



- 組織分析
- 安全文化分析
- ・ これらの結果は、後段の「【再発防止対策】のノード情報を抽出」や、根本原因推定に利用。
- ・ これらのノードに対しても、同様にハルシネーションチェック及び妥当性チェックを実施実施。
- 「【再発防止対策】のノード情報を抽出」の処理概要：
  - ・ 事象シナリオネットワークを作成するために必要なノードとその属性情報を抽出。ノードの属性情報を表 3.1.2-3 に示す。
  - ・ このノードに対しても、同様にハルシネーションチェック及び妥当性チェックを実施実施。
  - ・ ただし、事象シナリオネットワークを作成するために必要なノードやエッジの情報を抽出する際は、ハルシネーションチェックと妥当性チェックの後に、さらに事象シナリオネットワークのノードやエッジの形式チェックを追加。これは LLM によるチェックではなく、ノード間を接続するエッジのルール(例：再発防止対策のノードへの接続は根本原因のノードからのみ等)に対する違反がないかどうかのルールベースのチェック。これにより、確実に事象シナリオネットワークの接続ルールを守らせる。

#### 1-c) 【根本原因】チーム内の構成

当該チーム内の構成を図 3.1.2-16 に示す。

- 「【根本原因】を推定するための分析・推定」の処理概要：
  - ・ 前段で推定した再発防止対策と NUCIA 報告書内容に基づいて、その再発防止対策を実施するに至った根本原因を分析・推定。
  - ・ 使用する分析フレームワークは以下の通り。
    - 5W1H 分析
    - 5Why 分析
    - 時系列分析
    - ヒューマンエラー分析
    - 組織分析
    - 安全文化分析
  - ・ 推定した根本原因は、主語＋目的語＋動詞で構成された文章とする。
- 「【根本原因】のノード・エッジ情報を抽出」の処理概要：
  - ・ 事象シナリオネットワークを作成するために必要なノード・エッジとその属性情報を抽出。ノードの属性情報を表 3.1.2-4 に示す。
  - ・ エッジ情報は、上述した分析結果に基づいた再発防止対策と根本原因の因果関係から推定。

1-d) 【直接原因】チーム内の構成

当該チーム内の構成を図 3.1.2-17 に示す。【直接原因】チーム内には、さらに下位の【故障モード】チームが存在するため、【故障モード】チーム内の構成を図 3.1.2-18 に示す。

- 「【直接原因】を推定するための分析・推定」の処理概要：
  - ・ NUCIA 報告書の件名と内容の要約に基づいて、直接原因を分析・推定し、複数個抽出。
  - ・ 使用する分析フレームワークは以下の通り。
    - 5W1H 分析
    - 5Why 分析
    - 時系列分析
  - ・ 推定した直接原因は、主語＋目的語＋動詞で構成された複数の文章とする。
- 「【根本原因】⇒【中間要因】⇒【直接原因】の事象シナリオを推定」の処理概要：
  - ・ 事前に推定済みの根本原因と直接原因の間を埋めるように、NUCIA 報告書内容に基づいて根本原因から中間要因を経て直接原因に至る事象シナリオを推定。
- 「【直接原因】及び【中間要因】のノード・エッジ情報を抽出」の処理概要：
  - ・ 事象シナリオネットワークを作成するために必要なノード・エッジとその属性情報を抽出。ノードの属性情報を表 3.1.2-5 に示す。
  - ・ エッジ情報は、上述した根本原因から中間要因を経て直接原因に至る事象シナリオから推定。
- 「【故障モード】チーム」の処理概要：
  - ・ 直接原因に関する情報や分析の内容に基づいて、故障系統リスト(炉型依存)の中から該当する系統を推定。
  - ・ 直接原因に関する情報や分析の内容に基づいて、故障タイプリストの中から該当する故障タイプを推定。
  - ・ 直接原因に関する情報や分析の内容に基づいて、故障機器リスト(故障タイプ依存)の中から該当する故障機器を推定。
  - ・ 直接原因に関する情報や分析の内容に基づいて、故障モードリスト(故障機器依存)の中から該当する故障モードを推定。

故障系統、故障タイプ、故障機器、故障モードの各種リストは、参考文献[7]から採用した。

人的過誤（ヒューマンエラー）のモードは、参考文献[13]から採用した。

1-e) 【観察】チーム内の構成

当該チーム内の構成を図 3.1.2-19 に示す。

- 「【観察】を推定するための分析・推定」の処理概要：
  - ・ 前段で推定した直接原因と NUCIA 報告書内容に基づいて、その直接原因を発見するに至った観察内容を分析・推定。
  - ・ 使用する分析フレームワークは以下の通り。
    - － 5W1H 分析
    - － 時系列分析
  - ・ 推定した観察内容は、主語＋目的語＋動詞で構成された文章とする。
- 「【観察】のノード・エッジ情報を抽出」の処理概要：
  - ・ 事象シナリオネットワークを作成するために必要なノード・エッジとその属性情報を抽出。ノードの属性情報は【再発防止対策】と同じだが、分類候補は“異常発見・確認“、“兆候発見・確認“、“症状発見・確認“、“制限逸脱”とした。
  - ・ エッジ情報は、上述した分析結果に基づいた直接原因と観察内容の因果関係から推定。

#### 1-f) 【対応】 チーム内の構成

当該チーム内の構成を図 3.1.2-20 に示す。

- 「【対応】を推定するための分析・推定」の処理概要：
  - ・ 前段で推定した観察内容と NUCIA 報告書内容に基づいて、その観察の結果取った対応内容を分析・推定。
  - ・ 使用する分析フレームワークは以下の通り。
    - － 5W1H 分析
    - － 時系列分析
  - ・ 推定した観察内容は、主語＋目的語＋動詞で構成された文章とする。
- 「【対応】のノード・エッジ情報を抽出」の処理概要：
  - ・ 事象シナリオネットワークを作成するために必要なノード・エッジとその属性情報を抽出。ノードの属性情報は【再発防止対策】と同じだが、分類候補は“機能停止“、“運転停止“、“応急処置“、“臨時対応”とした。
  - ・ エッジ情報は、上述した分析結果に基づいた観察内容と対応内容の因果関係から推定。

#### 1-g) 【共通原因】 チーム内の構成

当該チーム内の構成を図 3.1.2-21 に示す。

- 「【直接原因】が【共通原因】か否か判定」の処理概要：
  - ・ 故障モード、設計要因など、共通原因分析に必要なデータを収集。
  - ・ CCCG(共通原因機器グループ)を特定。
  - ・ 原因共有性の評価。
  - ・ PRA 使命時間内での発生か、短期間内での発生か、タイミングの確認。

- ・ 上記に基づいて、CCF か否かの判定(理由付き)。
- 「【根本原因】が【共通原因】か否か判定」の処理概要：
  - ・ 同上の分析・判定を実施。

上記の判定方法は、参考文献[14]に記載された定義に基づいて実施した。

#### 1-h) 構築したマルチエージェントシステムの各処理におけるプロンプト

分析能力向上のためにドメインオントロジーを開発し、各タスクを実行する LLM への共通入力プロンプト(プロンプト：LLM に与える指示等)とした。また、タスクオントロジーについても、マルチエージェントシステム化に伴って令和 5 年度から見直して高度化した。

ドメインオントロジーの中から代表して、原子力分野(電力会社)における安全に係る担当者の役割を表 3.1.2-6 に示す。この内容に基づいて、LLM にリストの中から主語を推定させた。また、実際に使用した各処理における共通のシステムプロンプト(ドメイン及び共通タスクオントロジー)、【共通原因】チーム用のシステムプロンプト(同)、各処理における指示プロンプト(個別の詳細なタスクオントロジー)を、APPENDIX 2 に添付する。

APPENDIX 2 に示したタスク・ドメインオントロジーを設定したプロンプトは、本研究における試行錯誤の結果として出来上がった成果であり、本研究で対象とした 2028 件の事象すべてに対応可能な標準的な内容となっている。それらのプロンプトを LLM に与えることにより、NUCIA 報告書に対する時間的・空間的特徴抽出の分析(2 次分析)の能力向上を実現した。

表 3.1.2-3 【再発防止対策】のノード属性情報

属性	説明
id	ノードの ID。【再発防止対策】：Fx (x は数字)
通番	NUCIA 報告書記載の通番
会社名	NUCIA 報告書記載の電力会社名
発電所	NUCIA 報告書記載の発電所名
日付	NUCIA 報告書記載の事象発生日
ラベル	抽出した【再発防止対策】の内容
分類	推定した分類。分類候補は以下とした。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・“機器的対策”</li> <li>・“人的対策”</li> <li>・“管理的対策”</li> <li>・“組織的・安全文化的対策”</li> </ul>
主語	推定した主語

表 3.1.2-4 【根本原因】のノード属性情報

属性	説明
id	ノードの ID。【根本原因 n】：Ex (x は数字)
通番	NUCIA 報告書記載の通番
会社名	NUCIA 報告書記載の電力会社名
発電所	NUCIA 報告書記載の発電所名
日付	NUCIA 報告書記載の事象発生日
ラベル	抽出した【根本原因】の内容
分類	推定した分類。分類候補は以下とした。 ・“機器的原因” ・“人的原因” ・“管理的原因” ・“組織的・安全文化的原因”
主語	推定した主語
CCF 判定	共通原因判定結果 (CCF, IND, その他)
CCF 理由	上記判定の理由

表 3.1.2-5 【直接原因】のノード属性情報

属性	説明
id	ノードの ID。【直接原因】：Cx，【中間要因】：Dx（x は数字）
通番	NUCIA 報告書記載の通番
会社名	NUCIA 報告書記載の電力会社名
発電所	NUCIA 報告書記載の発電所名
日付	NUCIA 報告書記載の事象発生日
ラベル	抽出した【直接原因】の内容
分類	推定した分類。分類候補は以下とした。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・”デマンド故障 “</li> <li>・”時間故障 “</li> <li>・”人的過誤(ヒューマンエラー) “</li> <li>・”その他”</li> </ul>
主語	推定した主語
炉型	発電所から特定した炉型
故障系統	推定した故障系統
故障タイプ	推定した故障タイプ
故障機器	推定した故障機器
故障モード	推定した故障モード
CCF 判定	共通原因判定結果(CCF, IND, その他)
CCF 理由	上記判定の理由

表 3.1.2-6 ドメインオントロジー：原子力分野(電力会社)における安全に係る担当者の役割

	担当者名称	担当内容
経営層	本店経営層	取締役会等において組織の経営戦略・将来予測を策定する
	原子力担当経営層	原子力担当の取締役で、原子力部門の経営戦略・将来予測を策定する
	プラントサイト経営層	プラント所長が、プラントの安全と経営のトレードオフ
現場管理者層	プラントサイト管理者	ユニット所長が、各ユニットの現場運用を図る
	安全・品証責任者	品証・安全部門が、プラントの安全や品質保証の活動 過去のトラブル事例分析から対策を立案し各部署に普及させる
	製造責任者	メーカーがプラントのシステムを開発・管理
	解析責任者	メーカーや電力会社による運転計画などの解析業務の管理
	中央操作室責任者	ユニット当直長（複数の当直が存在）が、中央操作室での運転の管理
	現場作業計画者-責任者	現場作業の計画作成者が現場作業を計画し責任者が現場で管理 作業前リスクマネジメントを実施する
現場担当者	運転員	中央操作室＋現場においてプラントの運転に係る作業を実施
	解析作業員	本館において解析業務実施
	保守（補修）員	プラントの現場において、機械品や電気品の保守・管理（機器の調整や補修）、機械と電気に分かれる場合もある
	現場作業員	現場監督の指示の下で現場の実作業を実施、下請け業者の場合が多い 作業前・中・後ヒューマンパフォーマンスツールの利用を図る

社員：現場作業員以外は基本的に電力会社の社員に属する、広い概念であるため主語（アクタ）を決める際はより詳細な職種を選ぶように

チーム：中央操作室の当直や現場作業の要員はチームと呼ばれることも多く、現場においては重要なまとまりである

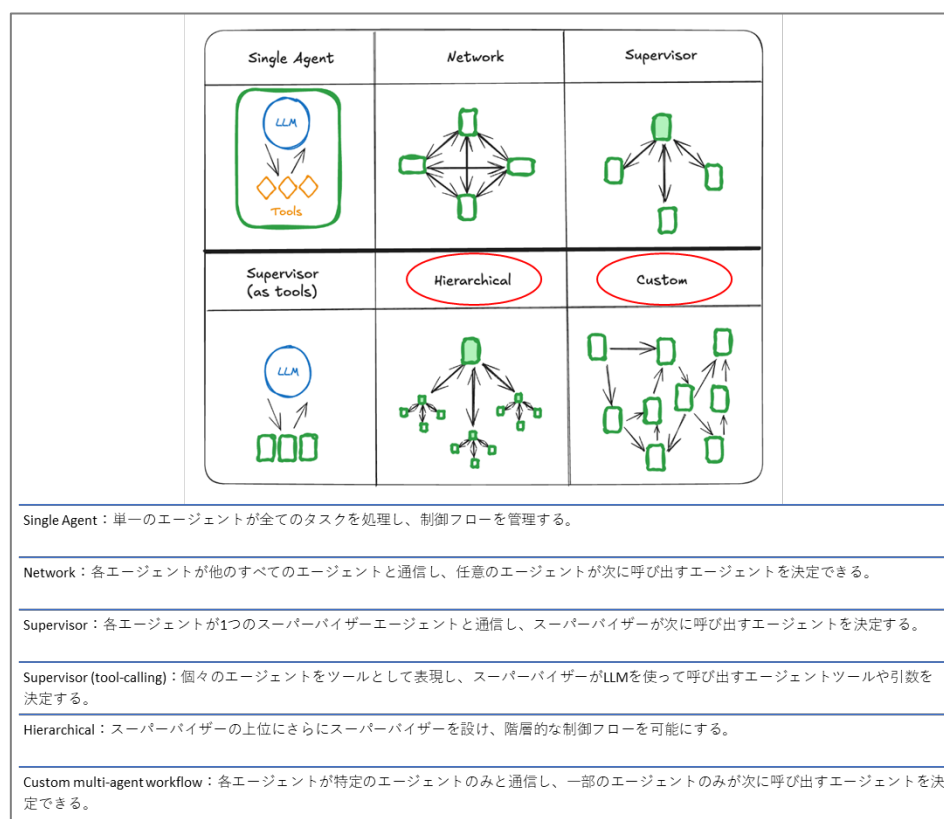


図 3.1.2-12 LangGraph によるマルチエージェントアーキテクチャの例

引用元：[https://langchain-ai.github.io/langgraph/concepts/multi\\_agent/?h=multi](https://langchain-ai.github.io/langgraph/concepts/multi_agent/?h=multi)

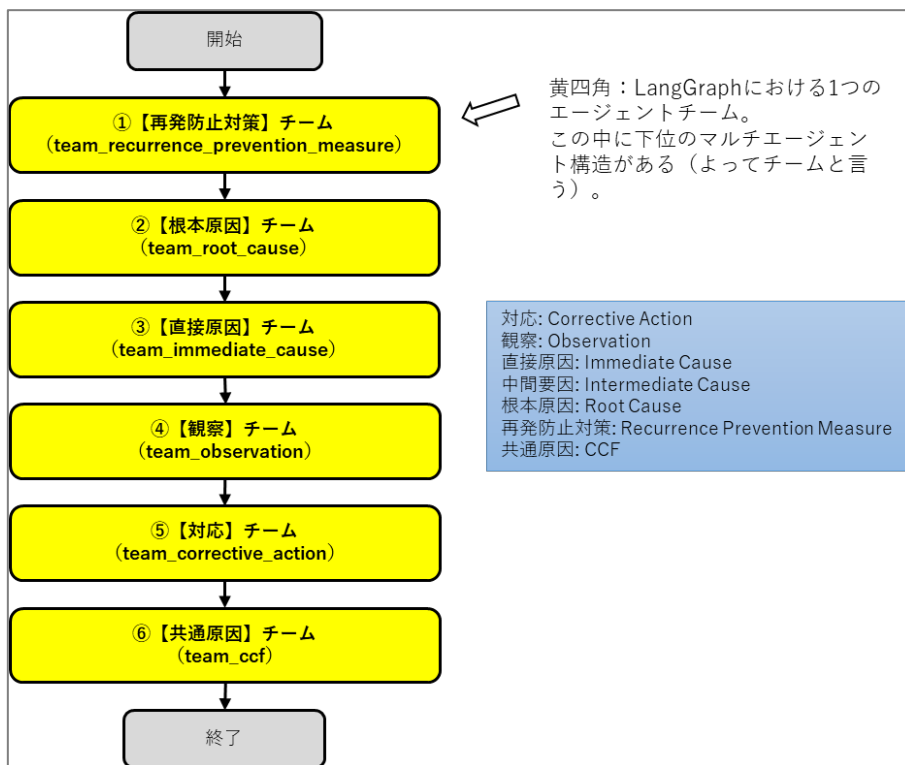


図 3.1.2-13 実際に構築したマルチエージェントシステムの全体構成

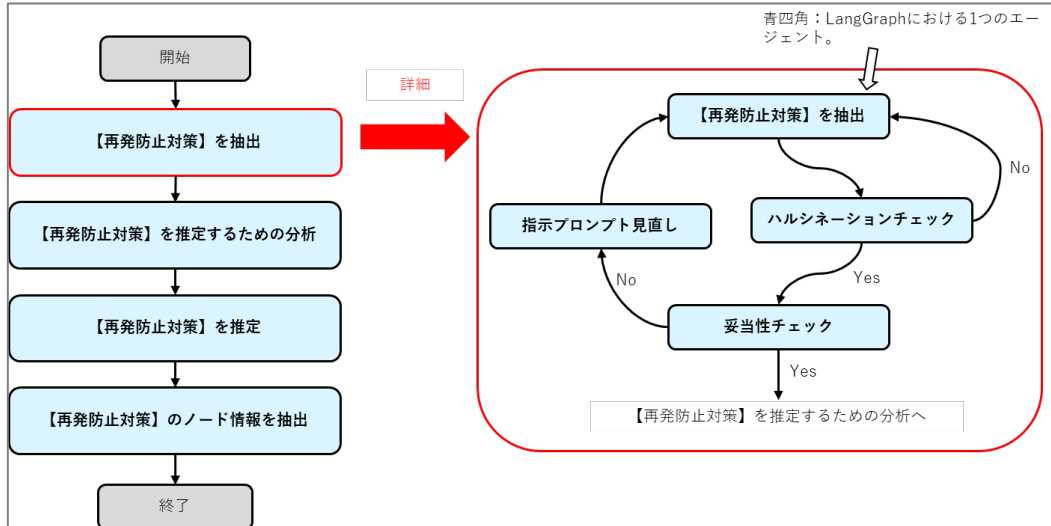


図 3.1.2-14 【再発防止対策】チームの構成（その 1）



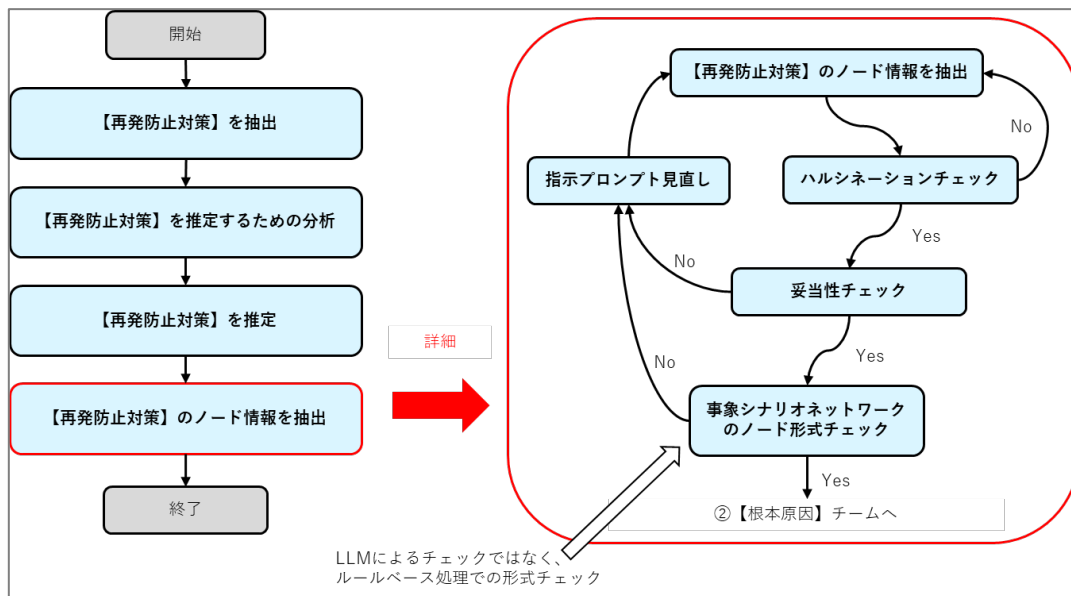


図 3. 1. 2-15 【再発防止対策】チームの構成（その 2）

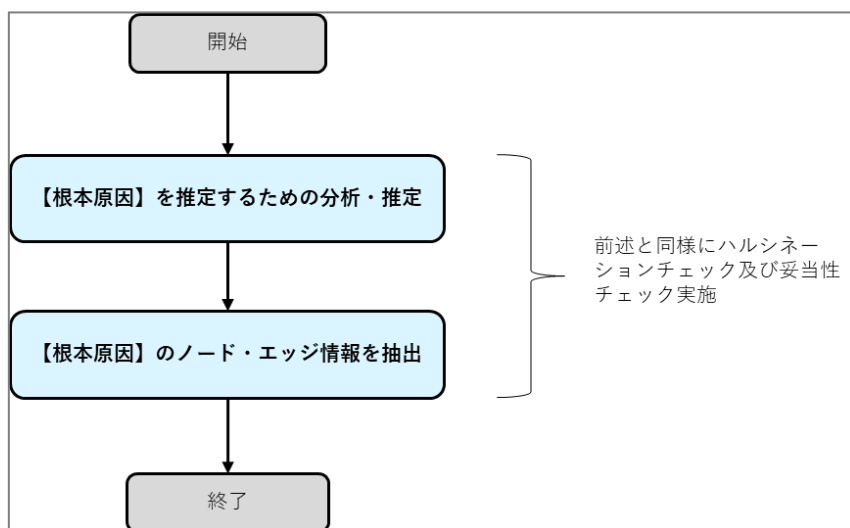


図 3. 1. 2-16 【根本原因】チームの構成

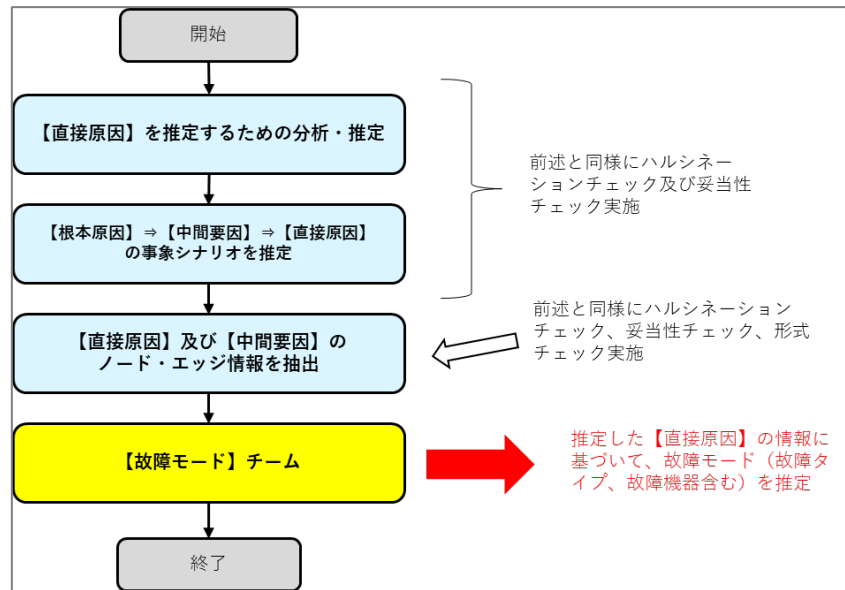


図 3.1.2-17 【直接原因】チームの構成

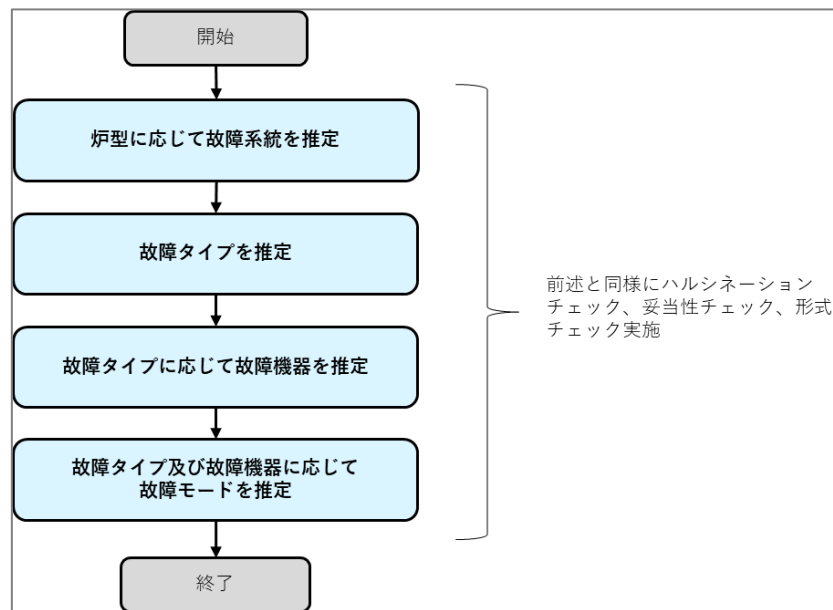


図 3.1.2-18 【故障モード】チームの構成

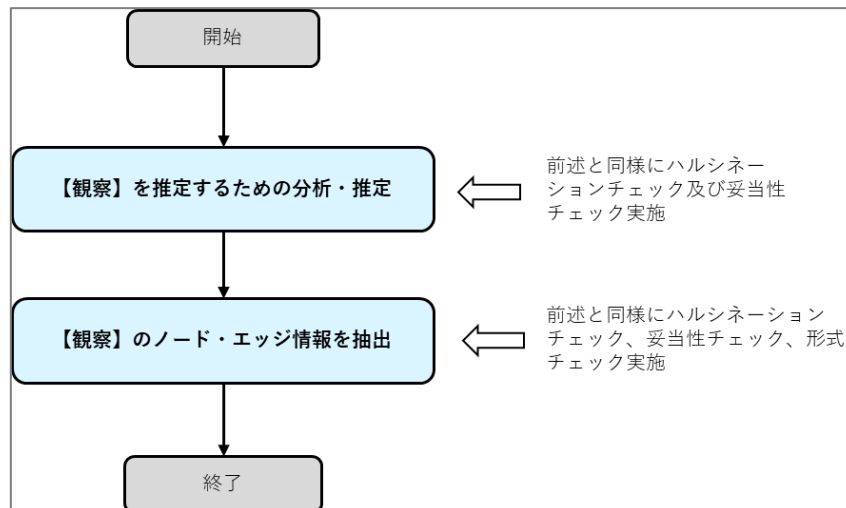


図 3.1.2-19 【観察】チームの構成

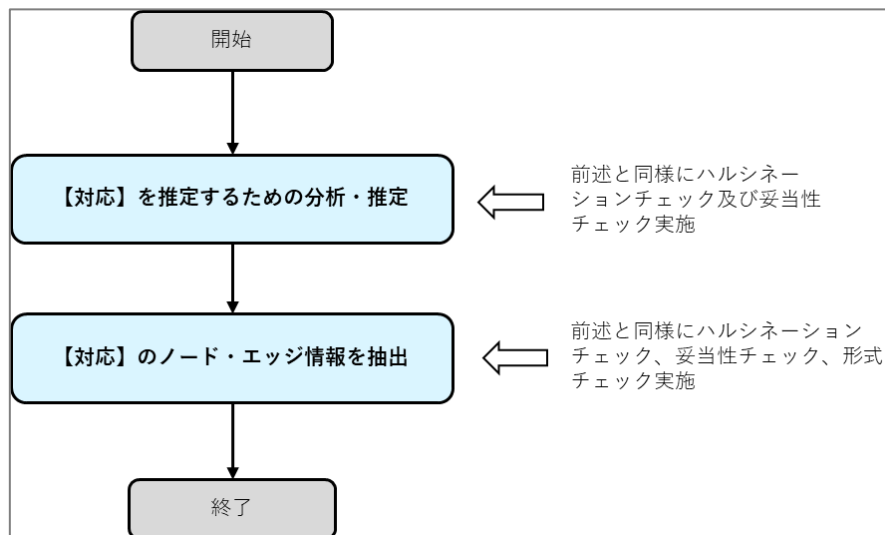


図 3.1.2-20 【対応】チームの構成

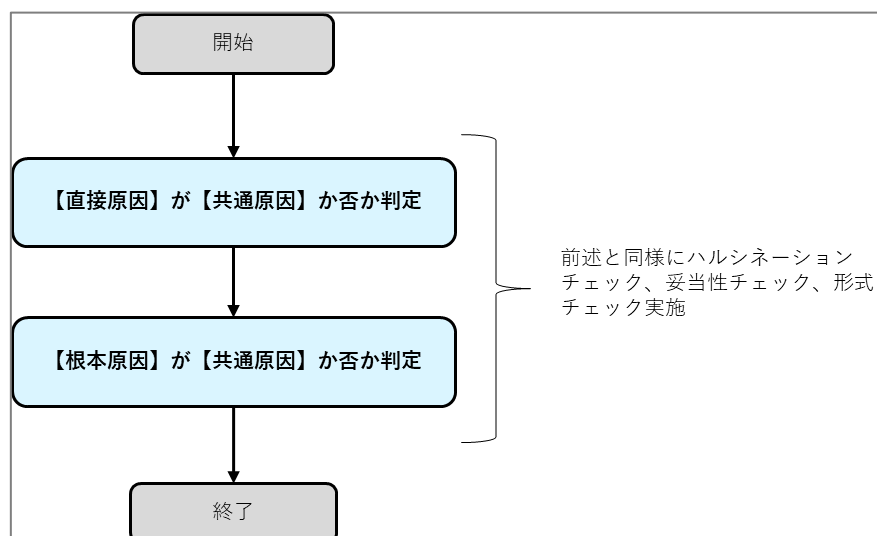


図 3.1.2-21 【共通原因】チームの構成

## 2) ナレッジベース化(グラフデータベース)

事象シナリオネットワークは、ノードとエッジで構成されるまさにグラフ構造そのものであるため、その内容をナレッジベース化するためのデータベースにはグラフデータベースを採用した。

「1) 指定した項目毎に情報を分析・抽出・推論、ネットワーク構造化」では、生成した事象シナリオネットワークなどの情報をリレーショナルデータベースである SQLite[15]にいったん蓄積しておき、全事象の処理が終わった後に SQLite からネットワーク構造データを抽出し、最も広く利用されているグラフデータベースである Neo4j に格納する。グラフデータベースを利用する目的は、複雑な因果関係を持つデータを効率よく可視化し、迅速な分析やクエリを可能にするためである。Neo4j は、ノードとリレーション(関係性、つまりエッジ)を用いてデータを表現するグラフデータベースであり、Cypher という直感的なクエリ言語を利用し、複雑な関連データの迅速な検索や分析を可能にしている。

Neo4j を利用する上での本研究におけるポイントは、MetaNode の活用である。ノードの属性情報を独立した MetaNode として設定することで、データ重複を防止し、柔軟な事象横断的検索を実現した。また、発電所名の正規化処理も実施している。これは、NUCIA 報告書における発電所名の表記揺れを、ファジーマッチングを用いて吸収することで発電所名の統一性を向上させている。ただし、それに伴い、発電所名は「何号」までは整理していない。

このように、ノードの属性情報の組み合わせ条件次第で様々な事象横断的可視化を動的に実現することで、共通要因が判断可能な手法となった。

## 3) 事象シナリオネットワーク図可視化(事象毎、事象横断)

### 3-a) 事象毎の事象シナリオネットワーク図の可視化

令和 5 年度と同様に、事象毎の事象シナリオネットワーク図の可視化を実施している。図 3.1.2-22 及び図 3.1.2-23 に事象毎の可視化例として「NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損」を示す((2)は拡大図)。令和 6 年度は、ドメインオントロジーを与え、さらにマルチエージェント化した(ハルシネーション発生低減、結果バラツキ抑制、ブラックボックス化回避を意図)。その結果、各ノードの情報が細分化・明確化され、各段階においてどのような LLM 出力となっているかが確認できるようになったため、その詳細情報も各ノードの属性情報として可視化している。定量的な評価は困難だが(教師データがないため、専門家による人力の網羅的な評価が必要)、図 3.1.2-22 及び図 3.1.2-23 を見ると特に日本語の特徴である主語の不在にもかかわらず、アクタの相違を明確に定義できている。すなわち、この事例において令和 5 年度は作業員の接触と保守員の放置の相違を分析できていなかったが、「現場作業責任者又は責任者」が打痕を発生させ、「プラントサイト管理者」が打痕を見逃し、「保守(補修)員」が偶発事象を見逃したことが明確化され、打痕の発生(すなわち接触)と打痕の見逃し及び偶発事象の見逃し(すなわち放置)は異なるアクタ(要員)によって行われたことが明確化され、相違を分析できるようになった。また、再発防止策から分析を進めているため

に、原因を詳細に見ることができている。以上により、令和 5 年度よりも事象シナリオネットワーク化に必要な分析等の精度が改善できていると判断する。

### 3-b) 事象横断の事象シナリオネットワーク図の可視化

本研究では、利便性向上のために、グラフデータベース内容の可視化を Web ブラウザ上で実施する専用のツールを開発した。このツールにより、ノードの属性情報の組み合わせ条件次第で様々な事象横断の事象シナリオネットワーク図可視化が動的に実現できる。ツールによる可視化例を図 3.1.2-24 に示す。これは、事象発生年 2024 年を中心とした各事象シナリオネットワークの繋がりを示しており、グラフのノードは再発防止対策、根本原因、中間要因、直接原因、観察、対応の内容を表し、エッジはそれらの因果関係を表す。ノードの色は再発防止対策、根本原因などの種類、ノードの大きさは MetaNode(大)か否かを表す。このように、事象を横断して全体的な特徴・傾向を把握することで、特定条件下での共通要因判断に寄与できると考える(共通要因分析)。

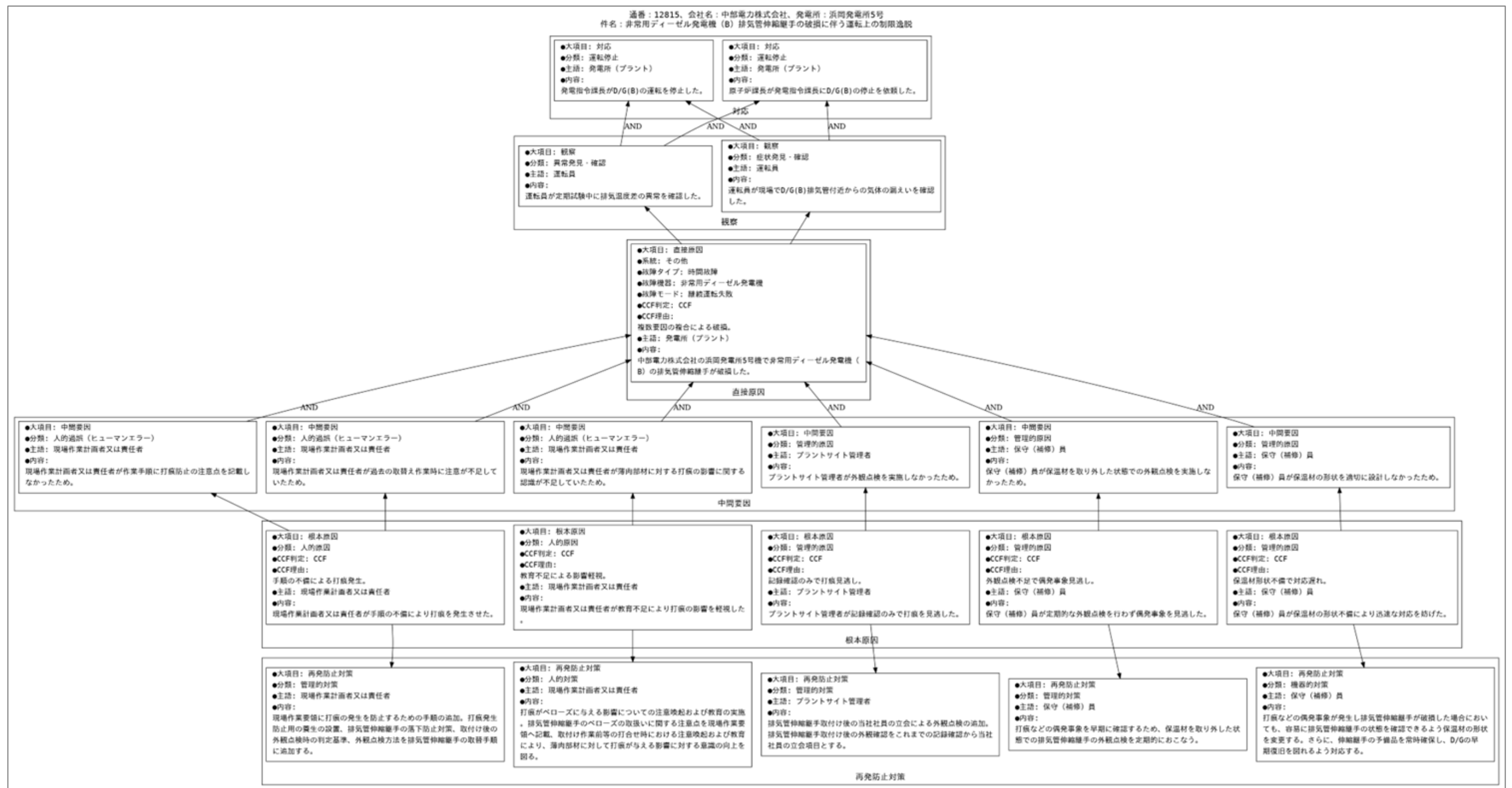


図 3.1.2-22 事象シナリオネットワークの可視化例：  
 NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損(全体)

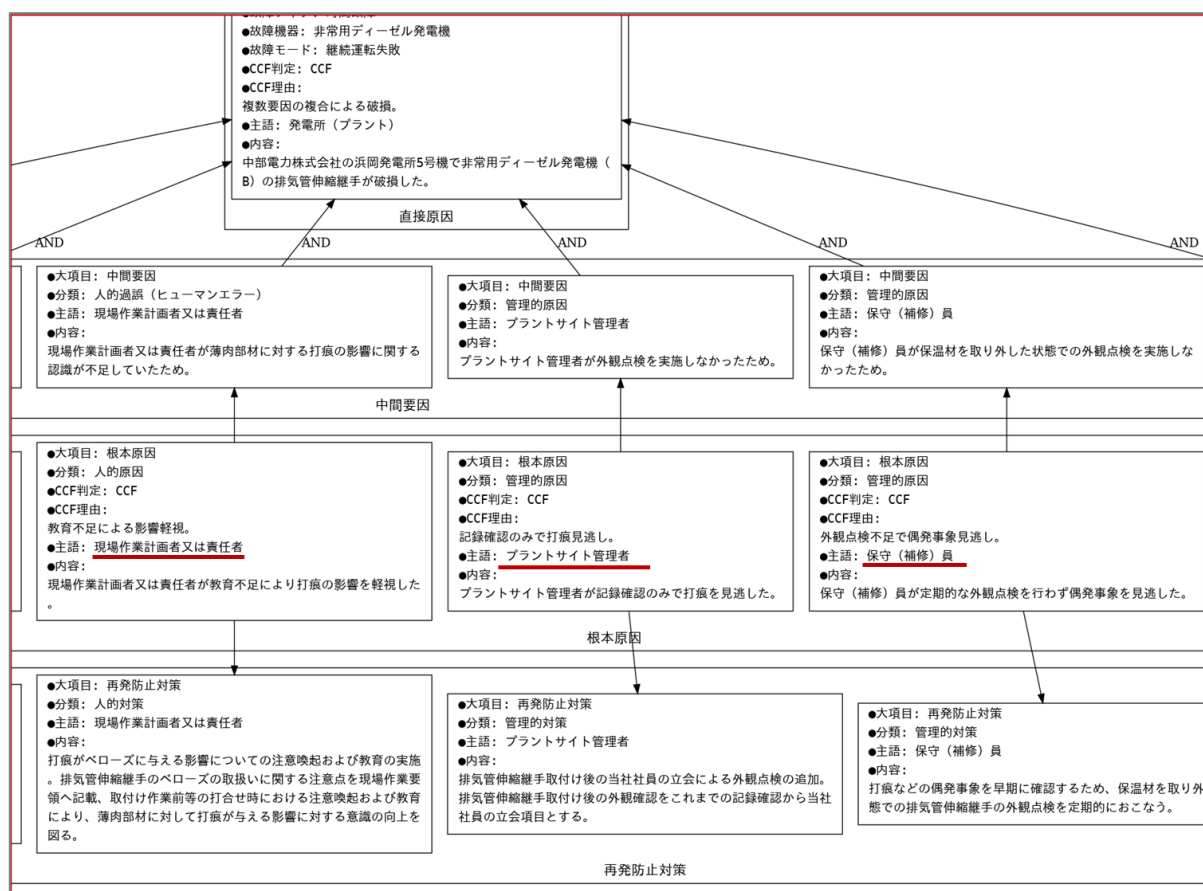


図 3.1.2-23 事象シナリオネットワークの可視化例：  
NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損(拡大)

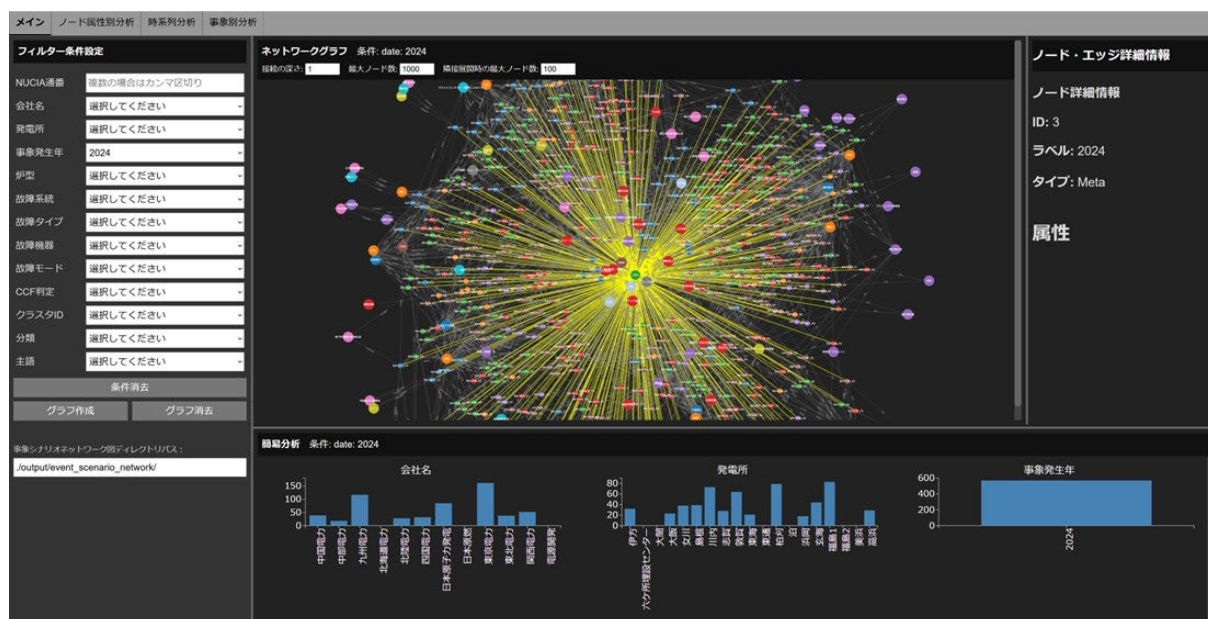


図 3.1.2-24 事象横断の事象シナリオネットワークグラフの可視化例：  
事象発生年 2024 年を中心とした各事象シナリオネットワークの繋がり

#### 4) 共通特性分析

共通機器、共通操作、共通組織特性等の共通要因を判断可能な手法を試作した。その手法で実施した共通特性分析の内容を以下に示す。

##### 4-a) 時系列分析

時系列分析では、事象の発生傾向を時系列で把握することができる。直接原因の分類において 1F 事故前後の特徴を比較した例を図 3.1.2-25 に示す。2011 年の 1F 事故以降、人的過誤の発生件数が増加傾向にあることがわかる。一方で、機器故障の発生件数は事故後減少傾向にある。根本原因の分類において 1F 事故前後の特徴を比較した例を図 3.1.2-26 に示す。事故後も、管理的原因の発生件数が依然として比較的多いことがわかる。一方で、機器的原因の発生件数は、事故後減少傾向にある。

##### 4-b) 頻度分析

頻度分析では、特定の事象や要因の発生頻度を把握することができる。BWR と PWR の直接原因となった故障機器の特徴を比較した例を図 3.1.2-27 に示す。BWR では制御棒駆動系、PWR では蒸気発生器の熱交換器が特徴的な故障機器であることがわかる。それ以外の上位 4 つの故障機器は、BWR と PWR で共通している。直接原因と根本原因の主語の特徴を比較した例を図 3.1.2-28 に示す。直接原因、根本原因ともに、保守(補修)員が上位に入っている。根本原因では、管理層が上位に入る傾向がある。

##### 4-c) 分析結果のまとめ

これらの分析結果から、以下のことが示唆される。このような分析は安全対策の検討に資すると考える。

- ✓ 1F 事故以降、人的過誤の発生件数が増加傾向にあり、特に保守(補修)員による人的過誤が多い。
- ✓ 管理層の要因も依然として多く、安全文化の醸成など、組織的な対策が必要である。
- ✓ BWR と PWR では、それぞれ特徴的な故障機器があるため、炉型に応じた対策が必要である。



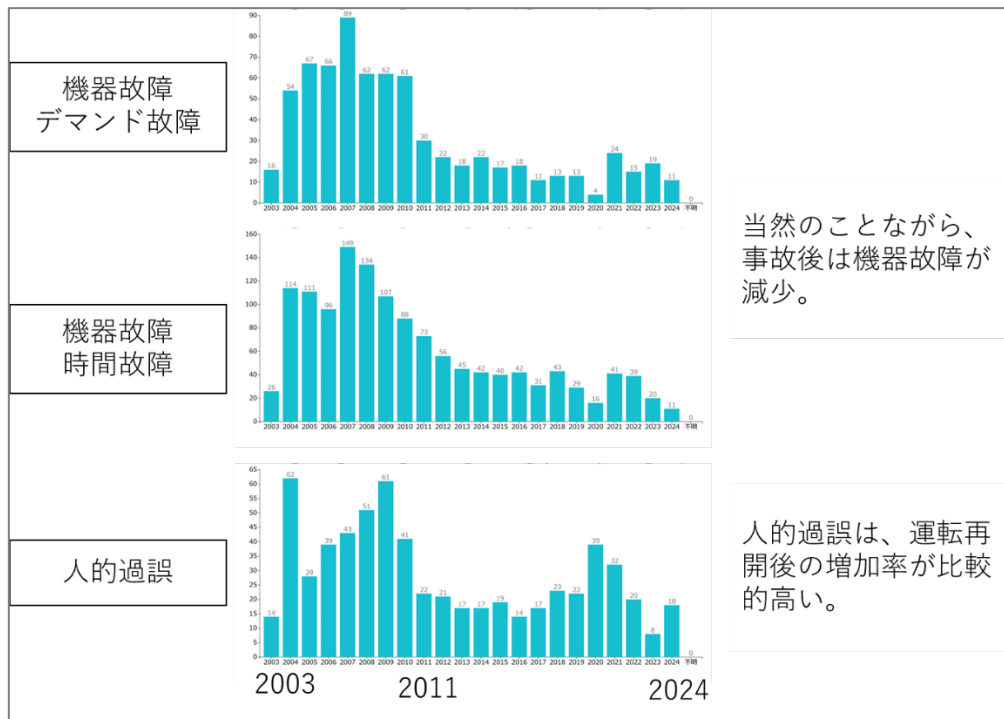


図 3.1.2-25 時系列分析例：直接原因の分類 1F 事故前後の特徴比較

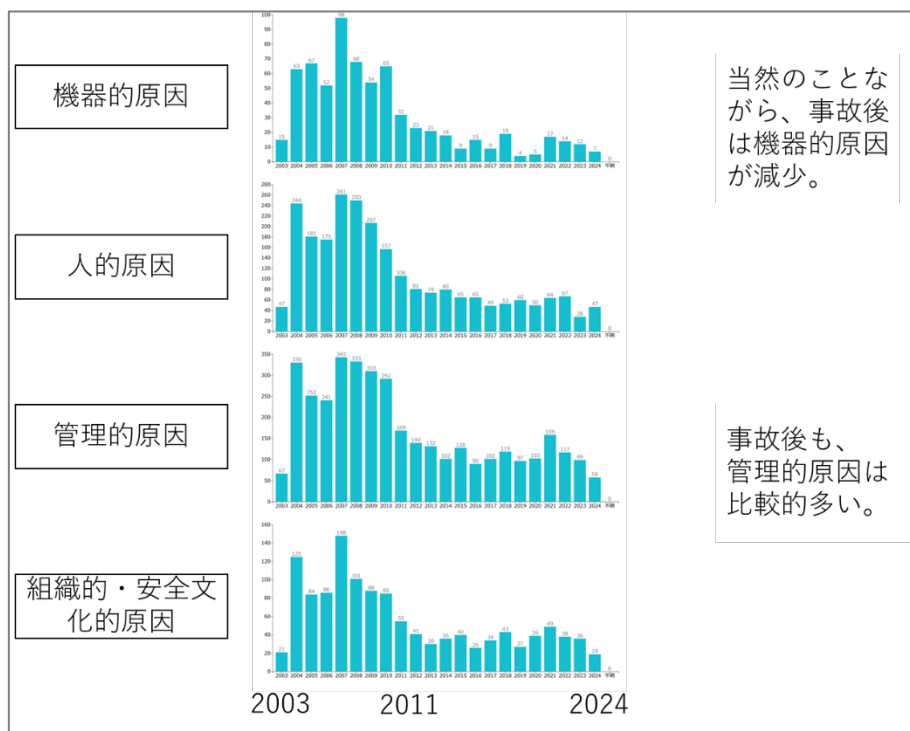


図 3.1.2-26 時系列分析例：根本原因の分類 1F 事故前後の特徴比較

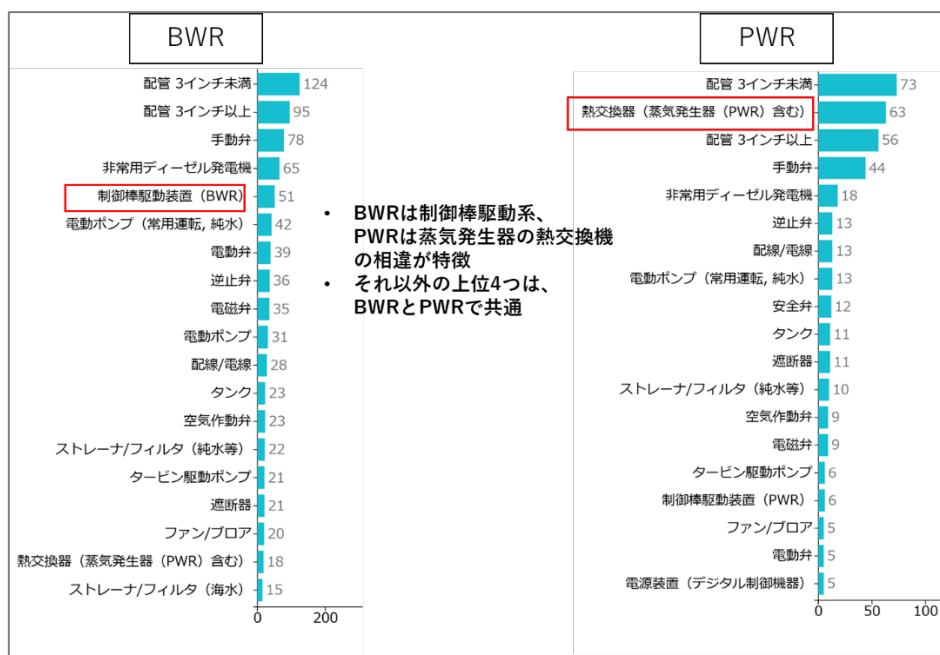


図 3.1.2-27 頻度分析例：BWR と PWR の直接原因となった故障機器の特徴比較

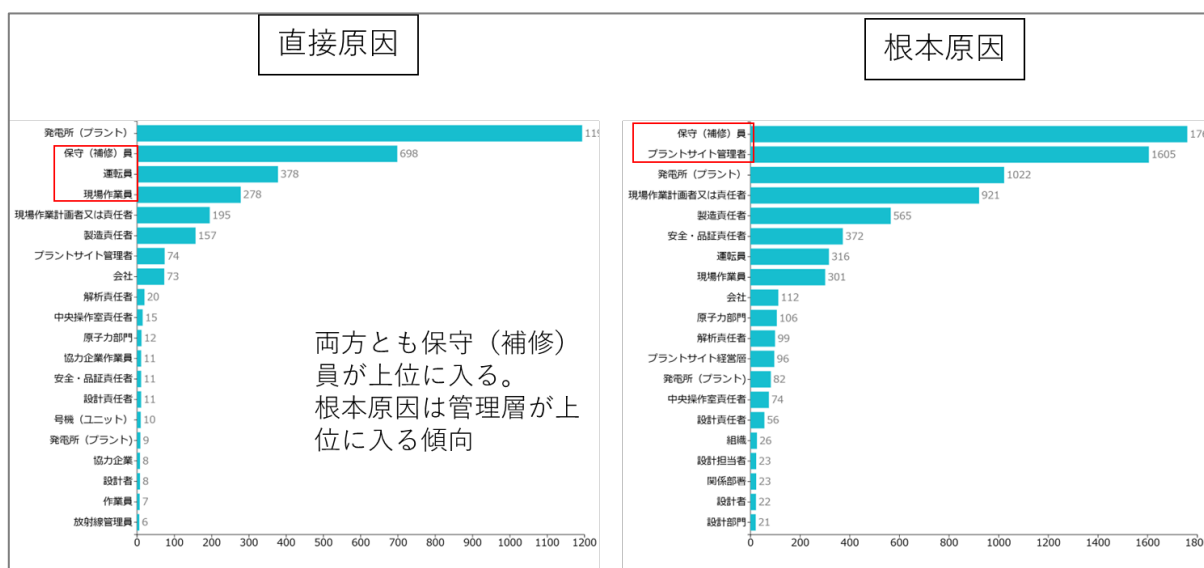


図 3.1.2-28 頻度分析例：直接原因と根本原因の主語の特徴比較

#### ④ 社会実装に向けた基本的な見通しと開発課題の整理【R6】

③までの試作・分析結果に基づいて、NUCIA データ用 AI ツールの社会実装に向けた基本的な見通しと今後の課題と展望を整理した。

③までの試作・分析結果により、信頼性データベース構築の効率向上(一次分析)、時間的・空間的特徴抽出の分析能力向上という本ツールの目指す機能が開発できたことから、社会実装に向けた基本的な見通しは得られたと考える。試作したマルチエージェントシステムには以下の利点がある。

- ・ チームやメンバーが異なる専門的な役割を担うことで、高精度かつ過程を確認可能

な分析が可能。

- ・ チーム間やメンバー間の自由な連携により、多角的な視点からの分析が可能。
- ・ 自動化により、分析にかかる時間と労力を削減。
- ・ チェック機能により、分析結果の信頼性が向上。チェックを通過しなかったことで、結果のバラつきが抑えられ、少なくとも完全にルール違反のネットワーク構成が生成されることは無くなった。
- ・ 本研究での LLM の利用は、LLM によるコード生成を伴う処理ではなく、あくまで言語生成による処理での対応である。それにより、非構造データであっても構造化が可能であることが明確化された。

また、次フェーズに向けて今後の開発課題を以下に整理した。

#### 【AI 技術・LLM のさらなる高度化・高精度化への対応】

今後は、AI 技術・LLM のさらなる高度化・高精度化が期待されるため、システム全体の詳細化(例：ステップの細分化、処理順序をより柔軟にする、プロンプトのさらなる改良、選択リストからの確実な選択・推定)や、より高精度な LLM への置換により、さらなる精度向上・信頼性向上が見込める。

#### 【ベクトルデータベース等との連携】

試作したマルチエージェントシステムは、外部知識や外部ツールとの連携は未実装である。より多くのドメインオントロジーを追加する場合は、プロンプトへの入力だけではままならない可能性があるため、例えば事前に関係文書をベクトル化して保存したベクトルデータベース等との連携も模索する必要がある。また、教師データを用意して LLM をタスク用にファインチューニングすることも考えられるが、質・量ともに充実した教師データを用意することは至難である。

#### 【強化学習の可能性】

本研究では、NUCIA 報告書の原因分類を正とせずに、マルチエージェントシステムによって原因を分析・推定させているため、教師あり学習ではない。また、何らかの報酬を与えた強化学習も実施していない。それらの方法は、教師データの用意に要する作業量が多く、学習の計算コストも高いため、工数や予算の観点から本研究では対応できなかった。それらの点が解決できる場合は、今後の展望として有力である。

以上、NUCIA データ用 AI ツールは、次フェーズに向けて今後の開発課題を有するが、3 カ年で段階的に課題を解決しながら整備し、LLM によるマルチエージェントシステムを用いた手法に至った。3 カ年で整備した各手法について、今回得られた知見として、その特徴、優位性に関する整理は、本ツールの目的に限らず、ノウハウとして、今回得られた知見や教訓を広く共有する観点で有用であることから、3 カ年で整備した各手法及び人(専門家による分析)の特徴を表 3.1.2-7 にまとめるとともに、人(専門家による分析)、令和4年度手法(従来

の自然言語処理ベース)、令和 5 年度手法(LLM を活用した一括処理)、及び令和 6 年度手法(LLM によるマルチエージェントシステム)について、それぞれの定性的優位性を表 3.1.2-8 に整理する。なお、APPENDIX 2 に示したタスク・ドメインオントロジーを設定したプロントは、本研究における試行錯誤の結果として出来上がった成果であり、それらのプロンプトを LLM に与えることにより、NUCIA 報告書に対する時間的・空間的特徴抽出の分析(2 次分析)の能力向上を実現するものである。

表 3.1.2-7 人及び NUCIA データ用 AI ツールの各手法の特徴

手法	特徴
人(専門家による分析)	専門知識と経験を基に個別分析を実施。属人性が高く、大量データの処理や分析の再現性には課題がある。
令和 4 年度手法(従来の自然言語処理ベース)	従来の自然言語処理手法(形態素解析による単語抽出、ベクトル化・類似度によるテキスト分類など)を用いたテキストマイニング。
令和 5 年度手法(LLM を活用した一括処理)	LLM を用いてテキストから事象シナリオネットワークを生成。ただし、LLM 単体では主語省略やハルシネーション、ブラックボックスが課題。
令和 6 年度手法(LLM によるマルチエージェントシステム)	LLM によるマルチエージェントシステムを用いて専門家の複雑な分析プロセスを模擬。段階的チェックによりハルシネーションを抑制し、過程出力によりブラックボックス化を回避し、構造化ネットワークを安定生成。

表 3.1.2-8 人及び NUCIA データ用 AI ツールの各手法の定性的優位性の整理

項目	人	R4	R5	R6	評価根拠
非構造データの処理	◎	△	○	◎	<p>【◎人】専門家は文脈理解が可能で、複雑な非構造データを的確に処理可能。</p> <p>【△R4】単語抽出や類似度計算程度で、複雑な非構造データの因果関係の理解は困難。</p> <p>【○R5】LLM により複雑な文章も一定程度処理可能だが、主語省略などで不安定。</p> <p>【◎R6】マルチエージェントで文脈や主語省略も明確に補完し安定的に処理。</p>
構造化(事象シナリオネットワーク化)	△	×	○	◎	<p>【△人】手動で可能だが極めて時間がかかり非効率。</p> <p>【×R4】単語レベルの解析では構造化困難。</p> <p>【○R5】LLM により構造化が可能だが、不正確な結果が混じる。</p> <p>【◎R6】複数エージェントによる段階的処理で、比</p>

					較的正確かつ安定的な構造化が可能。
分析結果の均質性・再現性	△	○	△	◎	<p>【△人】 専門家によって結果が異なる。</p> <p>【○R4】 機械的な処理のため一定の均質性。ただし精度低。</p> <p>【△R5】 LLM 単体では出力が安定せず再現性が課題。</p> <p>【◎R6】 段階的チェックにより安定した結果を生成し、比較的高い再現性を実現。</p>
専門家の思考プロセス模擬	◎	×	△	◎	<p>【◎人】 専門家本人そのもの。</p> <p>【×R4】 専門家の思考を再現する仕組みがない。単語抽出や類似度のみ。</p> <p>【△R5】 LLM 単体の応答では一部思考プロセスは再現可能だが、誤推論が多く実用性不足。</p> <p>【◎R6】 複数エージェントの役割分担により専門家の多段階思考を比較的高精度に模擬。</p>
分析時間（1事象あたり）	△	◎	○	○	<p>【△人】 1事象あたり数十分～数時間（想定）。</p> <p>【◎R4】 単純な処理のため数分以下。ただし分析レベル低い。</p> <p>【○R5】 LLM 単体なので～数分で可能だが精度が不安定。</p> <p>【○R6】 精度を確保した上で1事象10～30分程度で高速に分析可能。</p>
説明性・根拠の明確性	◎	△	△	○	<p>【◎人】 専門家は判断理由を明確に説明可能。</p> <p>【△R4】 単語類似度ベースで処理理由が曖昧。</p> <p>【△R5】 LLM 単体のブラックボックス性が高く根拠が不明確。</p> <p>【○R6】 各エージェントの処理毎に出力が明確で説明可能性が高まる。</p>
対応可能なデータ量	×	○	△	◎	<p>【×人】 手作業では大量データ分析は困難。</p> <p>【○R4】 単純処理のみで大量データ処理可能。ただし精度低。</p> <p>【△R5】 大量処理可能だが精度不安定。</p> <p>【◎R6】 精度・安定性を比較的保ちつつ大規模なデータ処理が可能。</p>

### (3) まとめ【R6】

#### ① PRA 信頼性データベース(高速炉)を用いた試適用(JAEA)

試作した CORDS 用 AI ツールについて、既存の高速炉の機器の中から 100 件の事象データを有する冷凍機の補修情報を用いて自動故障判定を試適用により妥当性を確認し、社会実装に向けて基本的な見通しを得るとともに、次フェーズに向けて開発課題を整理した。

これまでの試適用により、AI ツールは人による故障判定を支援するツールになりえることを確認したことから、社会実装に向けた基本的な見通しは得られたと考える。

また、次フェーズに向けて今後の開発課題を以下の 3 項目に整理した。

- ①故障判定ルールの高度化
- ②教師データがなくても判定可能な方式への高度化
- ③その他の課題

#### ② 自動故障判定のための AI ツールの方法論構築、試作(再委託先：アドバンスソフト)

NUCIA データ用 AI ツールについて、令和 5 年度の試作では、事象の原因の直並列を含むネットワーク構造を生成するタスクオントロロジー(分析手順)を開発した。その AI ツールで分析した事象「NUCIA 通番 12815、EDG-B 排気管伸縮継手の破損」において、確かに原因をネットワーク構造で分析できているが、主語の推定とネットワークの詳細度(因果関係の理解)を課題として抽出した。また、ハルシネーションの発生やブラックボックス化など、LLM を活用することに伴う課題もあった。これらの課題も含めて、共通特性分析を可能とするための、時間的・空間的特徴抽出の分析能力向上と共通機器、共通操作、共通組織特性等の共通要因を判断可能な手法の試作に取り組んだ。

共通特性分析を可能とするための、時間的・空間的特徴抽出の分析能力向上として、ネットワークの因果関係の理解では、NUCIA 報告書は再発防止策の方が根本原因より詳しい分析ができているため、再発防止策から展開する方法を試行した。日本語の特徴である主語の不在では、令和 5 年度は作業員の接触と保守員の放置の相違を分析できていなかったため、対象領域の知識(ドメインオントロロジー)を与えることとし、過去の事象分析から原子力分野(電力会社)における安全に係る担当者の役割を定義したドメインオントロロジーを開発した。以上の結果、主語の推定が可能になるとともにネットワークの詳細度が改善され、作業員の接触と保守員の放置の相違が分析可能となった。事象の原因分析のために、引き続き LLM の活用を図り、開発したドメインオントロロジーを与えることで 2 次分析の分析能力の向上を実現した。ここで、2 次分析とは時間的・空間的特徴抽出の分析能力向上のことであり、以下の二つの特徴を持つ。

- ・統一性の向上(テキストマイニング・データマイニング手法による総合的な分析の促進)
- ・新知見の獲得(ビッグデータ処理による時間的・空間的特徴の自動抽出による共通因子や故障特性の抽出)

共通機器、共通操作、共通組織特性等の共通要因を判断可能な手法を試作として、複数の LLM 等を用いた複雑なマルチエージェントシステムを構築した。それにより、事象を段階的に分析・チェックして過程を確認し(説明性向上)、分析結果の高精度化・詳細化を実現する

ことで、共通要因を判断可能な事象シナリオネットワークの生成とその有効性評価を試みた。マルチエージェントシステムを構成する各チームが専門的な役割を担うことで、説明性があり、高精度かつ詳細な分析が可能となり、チーム間の連携により多角的な視点からの分析が可能になった。また自動化により、分析にかかる時間と労力を削減できた。生成した事象シナリオネットワークをグラフデータベースに格納し、事象の個別又は複数事例を横断した可視化や、直接原因等の頻度可視化を動的に実施可能とした。これにより、多角的に共通要因を分析可能とした。

以上の試作・分析結果により、信頼性データベース構築の効率向上(1 次分析)、時間的・空間的特徴抽出の分析能力向上という本ツールの目指す機能が開発できたことから、社会実装に向けた基本的な見通しは得られたと考える。試作したマルチエージェントシステムには以下の利点がある。

- ・ チームやメンバーが異なる専門的な役割を担うことで、高精度かつ過程を確認可能な分析が可能。
- ・ チーム間やメンバー間の自由な連携により、多角的な視点からの分析が可能。
- ・ 自動化により、分析にかかる時間と労力を削減。
- ・ チェック機能により、分析結果の信頼性向上。チェックを通過しなくなること、結果のバラつきが抑えられ、少なくとも完全にルール違反のネットワーク構成が生成されることは無くなった。
- ・ 本研究での LLM の利用は、LLM によるコード生成を伴う処理ではなく、あくまで言語生成による処理での対応である。それにより、非構造データであっても構造化が可能であることが明確化された。

また、次フェーズに向けて今後の開発課題を以下の 3 項目に整理した。

- ① AI 技術・ LLM のさらなる高度化・高精度化への対応
- ② ベクトルデータベース等との連携
- ③ 強化学習の可能性

さらに、3 カ年で整備した各手法について、今回得られた知見として、その特徴、優位性を整理した。

## 3.2 研究推進【R4-R6】

### 3.2.1 概要【R4-R5】

令和 4 年度は、本研究を推進するに当たり、研究代表者の下で各研究項目間の連携を密にして研究を進めた。また、広く意見を聞きながら研究を進めるため、外部有識者委員会である安全研究専門委員会 PRA 分科会にて本研究の進め方について、専門家のレビューを得た(令和 5 年 2 月 27 日)。令和 4 年度 原子力システム研究開発事業 NEXIP 交流会(令和 5 年 1 月 18 日)及び日本原子力学会 2023 年春の年会において本研究を発表し、広く意見を聞いた。

令和 5 年度は、本研究を推進するに当たり、研究代表者の下で各研究項目間の連携を密にして研究を進めた。また、広く意見を聞きながら研究を進めるため、外部有識者委員会である安全研究専門委員会 PRA 分科会において成果、進捗を報告し、専門家のレビューを得た(令和 5 年 12 月 18 日)。さらに、令和 5 年度 原子力システム研究開発事業 NEXIP 交流会(令和 5 年 12 月 26 日)、日本原子力学会 2023 年春の年会において企画セッションも含めて 4 件、Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM) Topical において 2 件、本研究を発表し、広く意見を聞いた。

### 3.2.2 令和 6 年度の実施内容【R6】

本研究を推進するに当たり、研究代表者の下で各研究項目間の連携を密にして研究を進めた。また、広く意見を聞きながら研究を進めるため、外部有識者委員会である安全研究専門委員会 PRA 分科会において成果、進捗を報告し、専門家のレビューを得た(令和 7 年 3 月 18 日)。さらに、令和 6 年度 原子力システム研究開発事業 NEXIP 交流会(令和 6 年 10 月 18 日)において本研究をポスター報告した。加えて、FT 自動作成手法については、電中研及び JAEA 内の安全研究センターとの意見交換(令和 7 年 2 月 5 日)を実施するとともに、信頼性データベース構築のための自動故障判定手法については、JANSI(令和 6 年 5 月 15 日)及び電中研(令和 6 年 5 月 30 日)との意見交換を実施し、ユーザー意見を聴取した。

#### 【PRA 分科会での主な議論】

- ・信頼性データベース構築のための自動故障判定手法について、結果の再現性に対するマルチエージェントの効果について、質問があった。再現性については AI の根本的な特性であって、マルチエージェントはチェック機能である点、再現性ではなく妥当性を向上させるものであるが、生成 AI でコードを作って解析するようにすれば、コードの中身を人が確認することができるという助言をいただいた。
- ・信頼性データベース構築のための自動故障判定手法について、人が「オントロロジー」を与えて、AI に分析させるというのは、教師あり学習、報酬モデルや強化学習の有無に関する質問があり、AI の予測性を高める方法として Fine tuning 等があるという助言をいただいた。本手法では、学習を伴わないが、学習プロセスへの助言として拝承した。
- ・FT 自動作成手法について、論理ループ等に評価とフィードバック機能の有無の質問があった。論理ループを自動で切断する機能はなく、人が介入する必要がある旨を回答し、論理ループ等を検知するだけでも自動化できると良いとの助言をいただいた。



【令和 6 年度 原子力システム研究開発事業 NEXIP 交流会での主な議論】

- ・令和 6 年度は学会発表都合のため、ポスター掲示のみにて参加した。掲示に対する質問、コメントは無かった。

【FT 自動作成手法の意見交換会】

- ・本手法について、概要が理解され、今後のツールの発展活用について興味をもっていただいた。

【信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の意見交換会】

- ・説明があった自動故障判定ができた場合、JANSI で実施しているオペレーショナル・エクセレンス (OE) 活動の分析についての精度向上や品質向上への貢献が期待できるとの助言をいただいた。
- ・令和 4 年度までの従来 AI による手法について、クリーニングの事前準備の作業が大変である旨、コメントいただき、当方も同じ認識であることを回答した。また、本来であればクリーニング作業を必要としなくても AI に読み込ませることが出来る文章であれば良いが、実際の文章には主語がない、用語に揺らぎがあるなどでクリーニングを必要とすることから、実際の作業での対応について質問があった。JANSI の認識のとおり、令和 4 年度までの従来 AI による手法では、記載の仕方に統一性がないため、統一性のある文章に修正する作業に最も時間を要し、単語（用語）も統一した旨を回答した。一方、ChatGPT があればクリーニング処理をするためこのような苦労はなくなることを期待しており、主語をフォローすることが課題と回答した。回答に対して、そのような課題を明確に整理することが出来れば、JANSI では NUCIA にデータを登録している事業者に対してその部分を明確に記載するように依頼することができる。そうすることで NUCIA のデータベースの価値が上がる。またこのような AI のシステムを通じてトラブル事象を分析することでより良い対策を AI が出せることにも繋がるという今後のツールの発展活用に関する助言をいただいた。
- ・このような AI のシステムを使ってプラントの安全性向上のための評価に繋がる報告書の自動作成もできること。事象発生等の理由をキーボード入力ではなく対話形式による言語化すればその情報を処理し、人による表現の揺らぎが減少し、情報量も多い良いレポートの作成に期待できること。昔はタグを書いていたがこれも分析者で揺らぎがあり、事象発生の原因が良くわからないこともあったが、それも上記のレポート及び過去の事象のトレースから事象発生の原因の明確化が期待できることという、今後のツールの発展活用に関する助言をいただいた。
- ・データベースの作り方について米国と日本では違うところがある。米国ではデータベースに入力するルールを決め、データベースを熟知した専門家以外は入力しないということである。それ以外の方が入力したものはデータベースとみなさない。フィードバックしてどのようなデータをどのような形で入れるかに重点が置かれている。また米国はシステムを使う目的を明確にしている。プラントの安全性、稼働率が目的であればそれに合うデータのみをデータベースに入力するだけで良いと考えており、事象すべてを網羅することは重要ではないと考えている。説明があった内容では、文章を人工知能が理解できると考えていないため原因対

策をいかにデータに入れるのかに重点が置かれている。このような米国の考え方を学ぶことも大切である旨、今後のツールの発展活用に関する助言をいただいた。

- ・重要な視点の 1 つは AI ツールの出力結果を見た専門家が納得するものであることである。またそのような AI ツールが出来ればトラブル事象が発生した時にその原因を過去にも遡って分析が出来、より良い対策が分かるということである。過去の事例を踏まえて上でリスクマネジメントも自然にできるということは良い。これは過去に経験したトラブルを次の世代の若い技術者にも伝えることが出来、電力会社の助けとなる旨、意見をいただいた。
- ・非常に良い研究であるため産業界に貢献できるようになると良い、本日の交流会は良い刺激になった。JANSI も AI のような新技術が出てきたことから新しい 1 歩を踏み出したいと思う旨、意見をいただいた。

本プロジェクトに係る外部発表と外部発表時の主な議論を以下に示す。

令和 6 年度

[1] 近藤 佑樹, 二神 敏, 山野 秀将, 栗坂 健一, AI を活用したフォルトツリー自動作成手法の開発, 日本保全学会第 20 回学術講演会 (令和 6 年. 8. 6)

#### 【本発表時の主な議論】

- ・ FT 自動作成ツールを利用することで従来法よりも作業時間の短縮が可能となったとのことだが、FT 作成の作業工程でどの部分に AI が使われ、時間短縮につながったのかについて質問があった。図面上で指定した範囲中から FT 作成に必要な情報の読み取る時に AI を使用しており、情報の読み取りから PRA 解析コードへの入力までの作業を従来法よりも簡単にすることで、時間の短縮へとつながった旨を回答した。
- ・ 画像処理や物体検知において、具体的にはどのようなものを使っているのかについて質問があった。画像処理には OpenCV、物体検知には OpenAI の CLIP をそれぞれ利用している旨を回答した。

[2] Satoshi FUTAGAMI, Yuki KONDO, Hidemasa YAMANO, Kenichi KURISAKA “Development of probabilistic risk assessment methodology using artificial intelligence technology 3; Automatic fault tree creation tools for failure mode level fault tree” PSAM17 & ASRAM202 (2024. 10. 7~11)

#### 【本発表時の主な議論】

- ・ 配管の抽出はテキストか画像抽出なのかについて質問があった。AI によるラインセグメント抽出である旨を回答した。
- ・ 抽出対象の系統はシンプルな図面のものに限られるのかについて質問があった。本発表はシンプルであるが、複数に跨る系統に対応できるよう現在開発中である旨を回答した。
- ・ ベリフィケーションの具体的方法について質問があった。ミニマルカットセットが同数となることを確認した旨を回答し、人によってパターンも異なるはずであり、その影響について

更間があり、人による影響は、初心者と熟練者で影響の幅を把握している旨を回答した。

- ・【発表後】NEL の同様の課題認識の PRA 実務者より本ツールへの興味が示され、リスクスペクトラムへの適用可能性について問い合わせがあった。リスクスペクトラムがテキストでのインプットに対応しているのであれば、データを変換することは可能と回答した。

[3] Hiroshi UJITA, Tatsuya MORIMOTO, Satoshi FUTAGAMI, Kenichi KURISAKA, Hidemasa YAMANO “Development of probabilistic risk assessment methodology using artificial intelligence technology 4. Automatic Fault Detection Method for Building Reliability Database-Analysis and Classification Method for Incidents with Complex Causal Networks” PSAM17 & ASRAM202 (2024. 10. 7～11)

#### 【本発表時の主な議論】

- ・ Chat GPT は具体的にどこにどのように使われているのかについて質問があった。Chat GPT はフロー分析の全体に適用されること。テキストによるチャット形式で分析に使用しており、テキストで分析の条件としてフローの内容を指定した上で、分析対象の文章を与えると処理結果がテキストで出力されること。それをフロー化処理していることである旨を回答した。

[4] 近藤 佑樹, 二神 敏, 山野 秀将, 栗坂 健一, AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究 (4) フォルトツリー自動作成手法のサポート系への機能拡張, 日本原子力学会 2025 年春の年会

#### 【本発表時の主な議論】

- ・ 機密情報が含まれた図面を扱う場合の対応について質問があった。本ツールはオンプレミス環境下で動作するものであるため、図面を扱える部署でツールを利用することで対応可能である旨を回答した。

[5] 氏田 博士, 森本 達也, 二神 敏, 栗坂 健一, 山野 秀将, AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究 (5) 信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の 2 次分析への適用, 日本原子力学会 2025 年春の年会

#### 【本発表時の主な議論】

- ・ 本手法の分析精度の向上についての質問があった。ドメインオントロジーを反映したプロンプトの内容見直しや充実、又は、外部ツール（原子力特化 LLM や、原子力関連の情報を格納したデータベースなど）との連携というドメインナレッジを充実していけば精度の向上が期待できる旨を回答した。
- ・ 本手法のネットワーク構成の精度向上についての質問があった。ドメインオントロジーと同様にタスクナレッジをいろいろ工夫してみることが大切であり、そのためにエージェントモデルが有効活用できる旨を回答した。（補足：具体的には、マルチエージェントシステムの見直し（より詳細化してみる、より NUCIA 分析の実態に合わせる、処理順の柔軟化など））

### 3.3 自発的な研究活動等【R6】

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動を推進した。令和 6 年度において自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲での自発的な研究活動の推進に該当する者はいなかった。

## 4 結言【R4-R6】

この研究では、原子力発電所の PR の効率的・効果的な社会実装を目指したイノベーションを創出するため、AI、デジタル化技術を活用して、運転時の PRA における FT 作成、及び信頼性データベース構築に着目して AI ツールを開発して、PRA 手法を高度化することを目的とする。

このうち、FT 自動作成手法の開発では、系統図等の設計図書から FT 作成に必要な情報を抽出し、FT を自動的に作成する手法の AI 技術を活用した開発、信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発では、各原子力プラントの故障及びトラブル情報から、PRA に必要な故障を自動的に判定する手法の AI 技術を活用した開発を 3 カ年の計画で実施した。1 年目に、分析調査を行い、開発スコープを設定した上で、手法の方法論を構築した。2 年目に、AI ツールの試作及び試適用を行った。3 年目に、AI ツールの改善及び妥当性確認を行うことにより、社会実装に向けて基本的な見通しを得るとともに、次フェーズに向けて開発課題を整理した。

以下に、3 カ年の計画の実施内容を示す。

### (1) FT 自動作成手法の開発 (JAEA)【R4-R6】

#### ① 結論【R4-R5】

令和 4 年度は、FT 自動作成手法に適用可能な AI 技術を調査し、最適な AI 技術の候補を選定した。また、既設炉について、FT 自動作成の対象とする系統図等の設計図書や必要な情報を整理した。さらに、FT 自動作成手法の開発スコープを設定し、開発すべき AI ツールの方法論を構築するとともに、特定系統を対象とした機器レベルの FT 自動作成ツールを試作した。

機能検証として、FT 自動作成ツールが作成する FT と既存 FT との比較等により機能を確認し、結果は従来法と整合的であると確認した。また、FT 自動作成ツールの作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認した。

令和 5 年度は、故障モードレベルに精緻化した FT に対応できる AI ツールを試作するとともに同種図面の他の系統の FT 作成、電源系の FT 作成への機能拡張を行った。

精緻化、機能拡張した機能の検証として、FT 自動作成ツールが作成する FT と既存 FT との比較等により機能を確認し、結果は従来法と整合的であると確認した。また、FT 自動作成ツールの作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認した。

#### ② 結論【R6】

令和 6 年度は最終年度として、令和 5 年度まで抽出した課題、留意事項に取り組むとともに、信号系の FT 作成、サポート系を考慮した FT 作成への機能拡張を行い、本ツールの使用有無による整合性について、従来手法 (SAPHIRE) を用いて確認した。さらに、妥当性確認として、本ツールの高速炉にも用いている従来手法 (RISKMAN) に対する有効性を評価した。これらの AI ツールの改善及び妥当性確認を行うことにより、社会実装に向けて基本的な見通しを得るとともに、次フェーズに向けて開発課題を整理した。

令和 6 年度までの作業の結果、FT 自動作成ツールとして、一連の機能の精緻化と拡張により、網羅的に設計図面類に対応できるツールとなった。また、この機能について、FT 自動作成ツールを使用して作成した FT と手作業で作成した検証用 FT との論理構造及び定量化結果

の比較を実施して検証した結果、FT 自動作成ツールの機能は従来法と整合的であると確認した。さらに、高速炉にも用いている RISKMAN への試適用により作業量の低減効果を把握し、省力化の妥当性を確認した。これらにより、開発の初期段階としての社会実装に向けて基本的見通しは得られたと考える。

FT 自動作成ツールは、操作方法を取得すれば、PRA の初心者でも熟練者と同等の作業時間で FT を作成することが可能であり、その効果は多数の機器、配管があるほど有効であると考え。また、FT 自動作成ツールは、視覚的に FT の作成作業を行うことができるため、AI による PRA 作業の省力化・等質化の他に、初心者が PRA を行う際の敷居が低くなる副次的な利点もあると考える。

次フェーズに向けて今後の開発課題を以下の 4 項目に整理した。

- ① FT 自動作成ツールによる FT モデル化に係る課題
- ② CAD データとのインターフェースに係る課題
- ③ PRA 用解析コードとのインターフェースに係る課題
- ④ 社会実装に向けての目指すべき姿

## (2) 信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発【R4-R6】

### (2)-1 PRA 信頼性データベース(高速炉)を用いた試適用(JAEA)

#### ① 結論【R4-R5】

令和 4 年度は、令和 5 年度に試作される CORDS 用 AI ツールに試適用するため、既存の高速炉データベースの根拠データを整理した。

令和 5 年度は、試作した CORDS 用 AI ツールについて、既存の高速炉データベースの根拠データ(補修データ)を用いた試適用を行い、既存データベースと比較することにより妥当性を確認した。

#### ② 結論【R6】

試作した CORDS 用 AI ツールについて、既存の高速炉の機器の中から 100 件の事象データを有する冷凍機の補修情報を用いて自動故障判定を試適用により妥当性を確認し、社会実装に向けた基本的な見通しを得るとともに、次フェーズに向けて開発課題を整理した。

これまでの試適用により、AI ツールは人による故障判定を支援するツールになりえることから、社会実装に向けた基本的な見通しは得られたと考える。

また、次フェーズに向けて今後の開発課題を以下の 3 項目に整理した。

- ① 故障判定ルールの高度化
- ② 教師データがなくても判定可能な方式への高度化
- ③ その他の課題

### (2)-2 自動故障判定のための AI ツールの方法論構築、試作(再委託先：アドバンスソフト)

#### ① 結論【R4-R5】

令和 4 年度は、PRA 信頼性データベースに必要な情報を調査し、AI ツールにおけるディ-

ブラーニングの適切な解析手法の選定とパラメータの最適化を実施した。その結果、NUCIA は現場ローデータのみ、一方 CORDS は現場ローデータに加え教師データとして専門家分析データありと異なる特徴を持つので、NUCIA と CORDS の分析で共通の手法また異なった手法を用いるなどの方針を策定した。また、NUCIA 等のデータベースから確率論的リスク評価の信頼性データベースに必要な情報として、故障機器、故障区分及び故障モード、原因等を AI 技術により抽出し、データベース化する AI ツールの方法論を構築した上で、試作した。ルールベースとテキストマイニングの両手法による手続きが妥当であることを専門家の事例分析により確認し、精度向上などの課題を明らかにした。ヒューマンファクタや組織の課題、さらには安全文化まで含めた分析手法を開発すべきという、研究の新たな展開が見出された。

令和 5 年度は、NUCIA 用 AI ツールについては、令和 4 年度に試作した要素技術を基盤にし、令和 4 年度課題への対策として、当時最もパラメータサイズが大きく回答精度が高いとされた LLM である OpenAI の GPT-4 を活用し、分析手法を高度化した。タスクオントロジーと LLM を活用することで事象シナリオネットワークが生成できることを確認し、精度向上に必要な対応や LLM を活用することに伴う課題を明らかにした。

CORDS 用 AI ツールについては、JAEA 所有の専門家による故障判定 (FBR 信頼性) データを教師データとして、事象データ (修理報告書) の記述からテキストマイニング手法により、故障機器の名称と故障モード (故障原因) をリンクして抽出する方法を検討した。具体的には、テキストを、文脈を踏まえてベクトルに変換し、ベクトル間距離やコサイン類似度を計算することで、テキストの類似性を定量化し、類似事象での判定結果を見て判断することによる CORDS 用の自動故障判定手法を構築し、ルールベースの判定方法に対するブラッシュアップの必要性を明確化した。

## ② 結論【R6】

NUCIA 用 AI ツールについて、LLM を活用することで、事象の原因のネットワーク構造の図示とアクタ (要員) の特定が可能となった。これを用いて共通要因を判断可能な手法を試作し、信頼性データベース構築と分析の効率化・高精度化を実現した。さらに、実装したマルチエージェントシステムとタスク・ドメインオントロジーは、事象シナリオの深い理解と効果的な対策立案への貢献が期待できることを確認した。これらの機能を実現することによって、社会実装に向けた基本的な見通しを得るとともに、次フェーズに向けて開発課題を整理した。

NUCIA 用 AI ツールについて、信頼性データベース構築の効率向上 (一次分析)、時間的・空間的特徴抽出の分析能力向上という本ツールの目指す機能が開発できたことから、社会実装に向けた基本的な見通しは得られたと考える。

また、次フェーズに向けて今後の開発課題を以下の 3 項目に整理した。

- ① AI 技術・LLM のさらなる高度化・高精度化への対応
- ② ベクトルデータベース等との連携
- ③ 強化学習の可能性

さらに、3 カ年で整備した各手法について、今回得られた知見として、その特徴、優位性を整理した。

### (3) 研究推進【R4-R6】

#### ① 結論【R4-R5】

令和 4 年度は、本研究を推進するに当たり、研究代表者の下で各研究項目間の連携を密にして研究を進めた。また、広く意見を聞きながら研究を進めるため、外部有識者委員会である安全研究専門委員会 PRA 分科会にて本研究の進め方について、専門家のレビューを得るとともに、日本原子力学会等で発表し、広く意見を聞いた。

令和 5 年度は、本研究を推進するに当たり、研究代表者の下で各研究項目間の連携を密にして研究を進めた。また、広く意見を聞きながら研究を進めるため、外部有識者委員会である安全研究専門委員会 PRA 分科会において成果、進捗を報告し、専門家のレビューを得るとともに、国内外の学会で本研究を発表し、広く意見を聞いた。

#### ② 結論【R6】

本研究を推進するに当たり、研究代表者の下で各研究項目間の連携を密にして研究を進めた。また、広く意見を聞きながら研究を進めるため、外部有識者委員会である安全研究専門委員会 PRA 分科会において成果、進捗を報告し、専門家のレビューを得た。さらに、令和 6 年度原子力システム研究開発事業 NEXIP 交流会において本研究をポスター報告した。加えて、FT 自動作成手法については、電中研及び JAEA 内の安全研究センターとの意見交換を実施するとともに、信頼性データベース構築のための自動故障判定手法については、JANSI 及び電中研との意見交換を実施し、ユーザー意見を聴取した。

### (4) 自発的な研究活動等【R6】

#### ① 結論【R6】

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動を推進した。令和 6 年度において自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲での自発的な研究活動の推進に該当する者はいなかった。

### (5) 本プロジェクトの成果に関わる外部発表【R4-R6】

#### 令和 4 年度の外部発表【R4】

- ・二神 敏，山野 秀将，栗坂 健一，氏田 博士，AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究（1）AI ツールの開発計画，日本原子力学会 2023 年春の年会

#### 令和 5 年度の外部発表【R5】

- ・二神 敏，山野 秀将，栗坂 健一，氏田 博士，AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究（2）フォルトツリー自動作成手法の機器レベルフォルトツリーへの適用，日本原子力学会 2024 年春の年会
- ・氏田 博士，森本 達也，二神 敏，栗坂 健一，山野 秀将，AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究（3）信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の 1 次分析への適用，日本原子力学会 2024 年春の年会



- ・二神 敏, AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究 その 1 フォルトツリー自動作成手法の開発, 日本原子力学会 2024 年春の年会 リスク部会企画セッション”確率論的リスク評価手法への AI 技術活用の最前線”
- ・氏田 博士, AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究 その 2 信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発, 日本原子力学会 2024 年春の年会 リスク部会企画セッション”確率論的リスク評価手法への AI 技術活用の最前線”
- ・Satoshi FUTAGAMI, Hidemasa YAMANO, Kenichi KURISAKA, Hiroshi UJITA, Development of Probabilistic Risk Assessment Methodology Using Artificial Intelligence Technology 1. Automatic Fault Tree Creation, Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM) Topical
- ・Hiroshi UJITA, Tatsuya MORIMOTO, Satoshi FUTAGAMI, Hidemasa YAMANO, Kenichi KURISAKA, Development of Probabilistic Risk Assessment Methodology Using Artificial Intelligence Technology 2. Automatic Fault Detection Method for Building Reliability Database, Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM) Topical
- ・森本 達也, 氏田 博士, AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究 信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発 (2022 年度), アドバンスシミュレーション 2023.7 Vol.30

#### 令和 6 年度の外部発表【R6】

- ・近藤 佑樹, 二神 敏, 山野 秀将, 栗坂 健一, AI を活用したフォルトツリー自動作成手法の開発, 日本保全学会第 20 回学術講演会
- ・Satoshi FUTAGAMI, Yuki KONDO, Hidemasa YAMANO, Kenichi KURISAKA, Development of probabilistic risk assessment methodology using artificial intelligence technology 3; Automatic fault tree creation tools for failure mode level fault tree, PSAM17 & ASRAM2024
- ・Hiroshi UJITA, Tatsuya MORIMOTO, Satoshi FUTAGAMI, Kenichi KURISAKA, Hidemasa YAMANO, Development of probabilistic risk assessment methodology using artificial intelligence technology 4. Automatic Fault Detection Method for Building Reliability Database-Analysis and Classification Method for Incidents with Complex Causal Networks, PSAM17 & ASRAM2024
- ・近藤 佑樹, 二神 敏, 山野 秀将, 栗坂 健一, AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究 (4)フォルトツリー自動作成手法のサポート系への機能拡張, 日本原子力学会 2025 年春の年会
- ・氏田 博士, 森本 達也, 二神 敏, 栗坂 健一, 山野 秀将, AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究 (5) 信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の 2 次分析への適用, 日本原子力学会 2025 年春の年会
- ・森本 達也, 氏田 博士, AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究 信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発 (2023 年度), アドバンスシミュレーション

ーション 2024.7 Vol.31

- ・二神 敏, 特集 確率論的リスク評価手法への AI 技術活用の最 前線 1. AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究 その 1 -フォルトツリー自動作成手法の開発-, 日本原子力学会誌 ATOMOS, 2024 年 66 巻 11 号 p.555-559
- ・氏田 博士, 特集 確率論的リスク評価手法への AI 技術活用の最前線 2. AI 技術を活用した確率論的リスク評価手法の高度化研究 その 2 -信頼性データベース構築のための自動故障判定手法の開発-, 日本原子力学会誌 ATOMOS, 2024 年 66 巻 11 号 p. 560-564
- ・Yuki KONDO, Satoshi FUTAGAMI, Kenichi KURISAKA, Hidemasa YAMANO, Development and Evaluation of Automatic Tools of Fault Tree Creation Using Artificial Intelligence Technology with the Ability to Integrate Fault Tree Created from Multiple Design Documents to assist Probabilistic Risk Assessment Engineers, ASRAM2025(令和 7 年 8 月 27-29(予定))
- ・森本 達也, 氏田 博士, Automatic Fault Detection Method for Building Reliability Database(仮), (投稿先検討中)

以上、3 カ年計画の 3 年目である令和 6 年度の業務項目を実施し、所期の目標を達成した。

## 5 参考文献

- [1] 「ニューシア 原子力施設情報公開ライブラリー」、一般社団法人 原子力安全推進協会  
(<http://www.nucia.jp/>) (令和 6 年 3 月 15 日閲覧)
- [2] Idaho National Laboratory, SAPHIRE  
(<https://saphire.inl.gov/#/>) (令和 6 年 3 月 15 日閲覧)
- [3] 例えば、株式会社シー・エス・エー・ジャパン、取り扱いコード一覧  
(<https://www.csaj.co.jp/code.html>)
- [4] The Qt Company Ltd., PySide6  
(<https://doc.qt.io/qtforpython-6/index.html>) (令和 6 年 3 月 15 日閲覧)
- [5] OpenAI, CLIP  
(<https://github.com/openai/CLIP>) (令和 6 年 3 月 15 日閲覧)
- [6] Tzutalin, LabelImage  
(<https://github.com/HumanSignal/labelImg>) (令和 6 年 3 月 15 日閲覧)
- [7] JANSI-CFR-02、「故障件数の不確かさを考慮した国内一般機器故障率の推定(1982 年度～2010 年度 29 ヶ年 56 基データ)」、一般社団法人 原子力安全推進協会、2016 年 6 月.
- [8] 栗坂健一「高速炉機器信頼性データベースの開発」、動力炉・核燃料開発事業団、動燃技報 No. 98 P. 18-P. 31、1996 年 6 月.  
(<https://openai.com/gpt-4>) (令和 6 年 3 月 15 日閲覧)
- [9] OpenAI, GPT-4, GPT-4o  
(GPT-4: <https://openai.com/index/gpt-4/>) (令和 7 年 3 月 15 日閲覧)  
(GPT-4o : <https://platform.openai.com/docs/models/gpt-4o>) (令和 7 年 3 月 15 日閲覧)
- [10] LangChain  
(<https://www.langchain.com/>) (令和 7 年 3 月 15 日閲覧)
- [11] LangGraph  
(<https://www.langchain.com/langgraph>) (令和 7 年 3 月 15 日閲覧)
- [12] Neo4j  
(<https://neo4j.com/>) (令和 7 年 3 月 15 日閲覧)
- [13] A. D. Swain, H. E. Guttman 「Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications Final Report」、NUREG/CR- 1278、1983
- [14] PSA 入力用共通原因故障国内データ分析と信頼性パラメータの推定（機械品編）研究報告：L10001 平成 22 年 11 月、財団法人電力中央研究所
- [15] SQLite  
(<https://sqlite.org/>) (令和 7 年 3 月 15 日閲覧)

# APPENDIX-1

## FT 自動作成ツールマニュアル

1. 環境設定
  1. 事前準備
  2. 起動
  3. トラブルシューティング
2. フォルトツリー作成ツールの使用方法
  1. メニュー、機能概要
  2. 基本的な操作手順
3. PRAコード用FTデータ出力プログラムの使用方法
  1. 概要
  2. 入力データ
  3. 出力データ
  4. 起動方法
4. 事例を用いた操作手順説明
  1. 単一図面の流体系
  2. 単一図面の電源系
  3. 複数図面の信号系
  4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

## 1. 環境設定

## 1. 事前準備（動作確認環境）

フォールトツリー作成ツール（以下、FT作成ツールという）は以下の環境での動作を確認している。  
FT作成ツールはPythonで開発されており、動作させるためには、インターネットに接続可能な環境で次ページ以降に記載されているライブラリをインストールする必要がある。

表 FT作成ツールの動作確認環境

要素	値
OS	Windows10,11
CPU	Core-i5 第6世代以降
メモリ	8GB以上（16GB推奨）
その他	Python3.12以上の動作環境

3

## 1. 事前準備

FT作成ツールを動作させるためのPythonのライブラリー一覧を以下に示す。「ライブラリ名==バージョン番号」として記述している。以下は動作確認したライブラリであり、バージョンが異なる場合でも動作するが、不具合がみられた場合はバージョンをそろえることを推奨する。

```
colorama==0.4.6
easyocr==1.7.2
et_xmlfile==2.0.0
filelock==3.16.1
fspec==2024.10.0
ftfy==6.3.1
imageio==2.36.1
intel-openmp==2021.4.0
Jinja2==3.1.4
joblib==1.4.2
lazy_loader==0.4
MarkupSafe==3.0.2
mkl==2021.4.0
mpmath==1.3.0
networkx==3.4.2
ninja==1.11.1.2
numpy==1.26.0
ocrd-fork-pylsd==0.0.3
opencv-python-headless==4.10.0.84
openpyxl==3.1.5
packaging==24.2
pandas==2.2.3
pillow==11.0.0
pyclipper==1.3.0.post6
PyQt6-Qt6==6.7.3
PyQt6_sip==13.8.0
PySide6==6.8.0.2
PySide6_Addons==6.8.0.2
PySide6_Essentials==6.8.0.2
python-bidi==0.6.3
python-dateutil==2.9.0.post0
pytz==2024.2
PyYAML==6.0.2
regex==2024.11.6
scikit-image==0.24.0
scikit-learn==1.5.2
scipy==1.14.1
setuptools==75.6.0
shapely==2.0.6
shiboken6==6.8.0.2
six==1.16.0
sympy==1.13.3
tbb==2021.13.1
threadpoolctl==3.5.0
tiffio==2024.9.20
torch
torchvision
tqdm==4.67.1
typing_extensions==4.12.2
tzdata==2024.2
wcwidth==0.2.13
```

4

## 1. 事前準備

全頁のライブラリー一覧をファイル（仮にrequirements.txtとする、任意の英数ファイル名）に記載し、以下のコマンドをminiconda（※次頁にて説明）プロンプトで実行する。

```
pip install -r requirements.txt
```

5

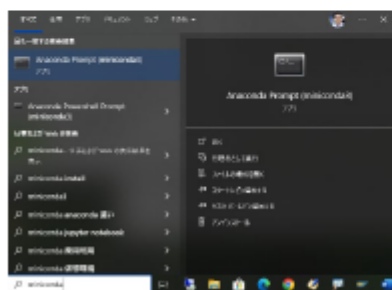
## 1. 事前準備（利用を推奨）

Minicondaをインストールして、minicondaプロンプトからFT作成ツールを起動することを推奨する。

2025年1月現在、以下のサイトからminicondaのインストーラをダウンロードしてインストールする。

<https://www.anaconda.com/download/success>

インストールが完了したらWindowsのスタートメニューでminicondaと入力するとAnaconda Prompt(miniconda3)と表示されるので起動するとminicondaのプロンプトが立ち上がる。



スタートメニューでminicondaと入力



minicondaのプロンプト

6

## 1. 事前準備（注意事項）

---

Anacondaは使用方法によって有償となるためminicondaを使用する。minicondaを使用していても、Anacondaリポジトリの利用が有償となるため、アクセスするリポジトリをconda-forgeのみとするように設定する。

設定方法は下記のサイトを参照いただきたい。

<https://qiita.com/kimisyo/items/986802ea52974b92df27>

7

## 2. 起動

---

FT作成ツール一式を解凍したフォルダは以下のような構成になっている。

ファイル・フォルダ名	説明
main.py	起動ファイル
consts.py	定数定義
drawingObject.py	画面のコードの一部
config_JAEA.ini	初期設定値など
module	各種モジュール
clip	物体検出モデル
projects	プロジェクトデータのフォルダ（プロジェクトを保存するまでは存在しない）
README.md	コード管理用ファイル
.gitignore	コード管理用ファイル

minicondaプロンプトで上記のフォルダに移動して以下のコマンドを実行して数秒待つとFT作成ツールのウィンドウが立ち上がる。

```
python main.py
```

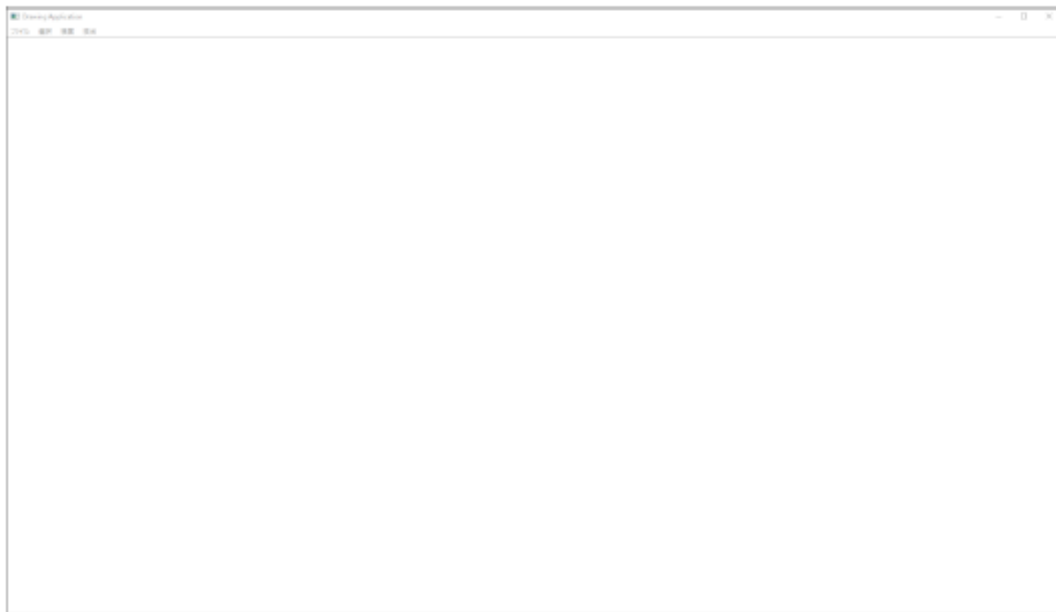
8



## 2.起動

---

正常に起動すると以下のウィンドウが立ち上がる。



9

## 3.トラブルシューティング

---

事象：環境設定において `pip install -r requirements.txt` の実行中にエラーが発生する。

対応：使用する環境がプロキシサーバー経由で外部にアクセスしている場合、minicondaやPythonのパッケージインストールコマンド `pip` においてプロキシサーバーの情報を設定する必要がある場合がある。対応方法は環境によって異なるが、インターネット検索で"Python プロキシ環境"等のキーワードで検索することで対処法が記載されているサイトを見つけることができる。

参考サイトを以下に記載する。

[プロキシ環境でのPython環境構築まとめ #Linux - Qiita](#)

<https://qiita.com/c60evaporator/items/7a757134d028a7734118>

[proxy環境下でpythonのpipを使用する #Python - Qiita](#)

<https://qiita.com/kewton/items/4b3175e63e1bf7ac4ae5>

10

### 3. トラブルシューティング

---

事象：起動するとOpenMP関連のエラーが発生して起動しない。

対応：エラー内容がページ下部のような場合、使用環境に複数バージョンのOpenMPがインストールされている可能性があります。単一のバージョンのOpenMPを使用していただくか、以下のコマンドを入力して複数バージョンのOpenMPを許容することでツールを起動できる場合があります。

```
set KMP_DUPLICATE_LIB_OK=TRUE
```

```
OMP: Error #15: Initializing libiomp5md.dll, but found libiomp5md.dll already initialized.  
OMP: Hint This means that multiple copies of the OpenMP runtime have been linked into the program.  
That is dangerous, since it can degrade performance or cause incorrect results. The best thing to do is to  
ensure that only a single OpenMP runtime is linked into the process, e.g. by avoiding static linking of the  
OpenMP runtime in any library. As an unsafe, unsupported, undocumented workaround you can set the  
environment variable KMP_DUPLICATE_LIB_OK=TRUE to allow the program to continue to execute, but  
that may cause crashes or silently produce incorrect results. For more information, please see  
http://www.intel.com/software/products/support/.
```

エラー内容

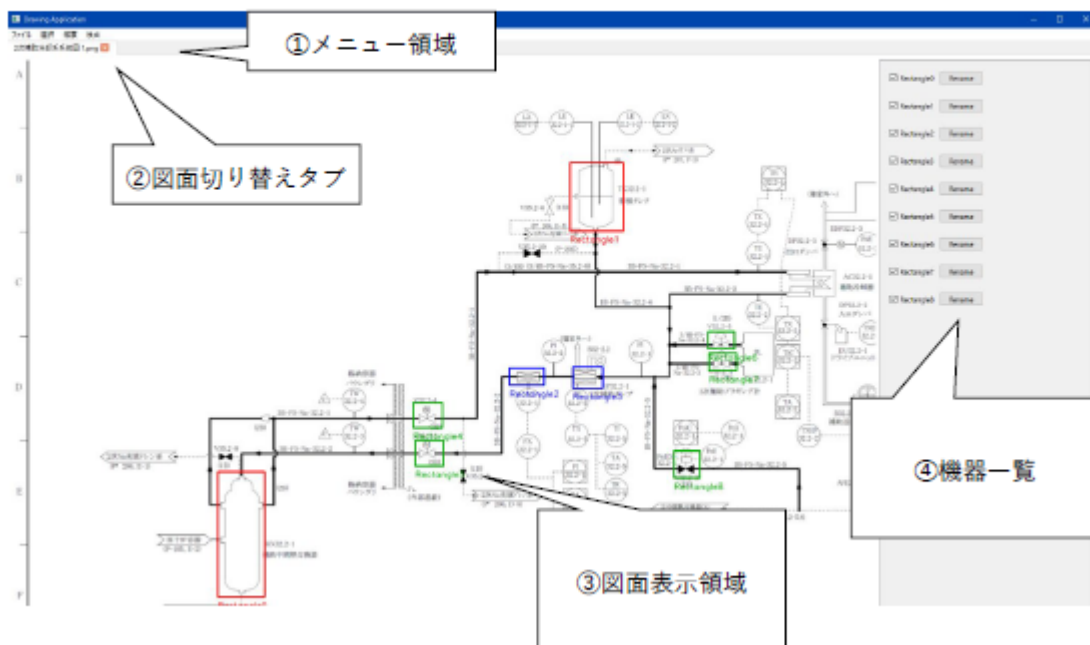
11

## 2. フォールトツリー作成ツールの使用方法

12

## 1. メニュー、機能概要

FT作成ツールの画面構成は以下のようになっている。



13

## 1. メニュー、機能概要

### メニュー領域

各メニューは以下のサブメニューで構成されている

ファイル	選択	帳票	検出
図面のインポート 保存 別名で保存 プロジェクト読込	移動 機器指定 直線 ポリライン 範囲選択	Excel出力 Excel読込 FT出力 電源を辿る	テンプレート 物体検出 線検出

14

## 1. メニュー、機能概要

### ファイルメニュー

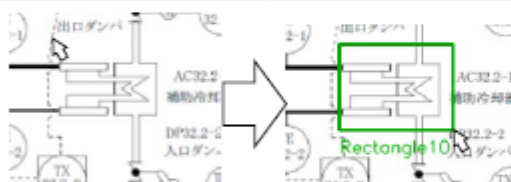
メニュー	説明
図面のインポート	図面の画像ファイルを読み込む。
保存	作業中の状態をプロジェクトとして保存する。プロジェクトはツールのProjectsフォルダに保存される。
別名で保存	作業中の状態を別名プロジェクトとして保存する。プロジェクトはツールのProjectsフォルダに保存される。
プロジェクト読込	Projectsフォルダからプロジェクトを読み込み、作業状態を復元する。

15

## 1. メニュー、機能概要

### 選択

メニュー	説明
移動	マウスの左クリック+ドラッグで図面を移動できるようにする。
機器指定	評価対象機器を矩形で囲めるようにする。
直線	直線を引く。左クリックで始点、もう一回左クリックで終点を指定する。
ポリライン	複直線（ポリライン）を引く。左クリックでエッジを指定する。左ダブルクリックで終点を指定する。
範囲選択	機器指定の矩形、直線、ポリラインを範囲指定で選択する。



機器指定：指定する機器を囲む領域の隅で左クリック、反対側の隅でもう一度左クリックすると矩形で囲む。選択をキャンセルする場合はescキーを押す。



ポリライン：左クリックするたびにエッジが追加される。左ダブルクリックで終点を指定する。

16

## 1. メニュー、機能概要

### 帳票

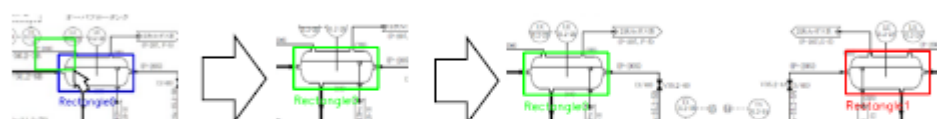
メニュー	説明
Excel出力	基事象設定用のエクセルファイルを出力する。
Excel読込	基事象の設定を確認するために基事象設定用のエクセルファイルを読み込む。
FT出力	表示している図面の機器レベルのFTファイルを出力する。
電源を辿る	表示している電源系の図面の機器レベルのFTファイルを出力する。

17

## 1. メニュー、機能概要

### 検出

メニュー	説明
テンプレート	テンプレートマッチングを用いて機器を図面から抽出する。
物体検出	物体検出を用いて機器を図面から抽出する。
線検出	図面から線を抽出する。



機器選択の矩形を範囲選択で選択

物体検出を実行すると類似の機器が抽出される

18

## 2. 基本的な操作手順

FT作成ツールを用いたFT作成のフローは①から⑥の流れで実施する。



19

## 2. 基本的な操作手順

図面の移動、ズーム



20

### 3. PRAコード用FTデータ出力プログラムの使用方法

21

#### 1. 概要

---

PRAコード用FTデータ出力プログラムは、「3.」までに説明したフォールトツリー作成ツールから出力される機器レベルのFTファイル（以下、「FTベースデータ」という。）と基事象設定ファイルを入力として、SAPHIRE形式及びRISKMAN形式のFTデータを出力するプログラムである。

22

## 2. 入力ファイル等の指定

---

### (1) 指定項目

以下の入力ファイル及びデータ名称等をプログラム起動時に指定する。

- ① AIツールから出力されるFTのベースデータ
- ② 共通原因故障事象データ
- ③ 出力するFTデータ
- ④ SAPHIREのProject名称
- ⑤ 基事象設定用エクセルファイルとシート名
- ⑥ 出力するFTの機器故障レベル（機器レベルor故障モードレベルの指定）
- ⑦ PRAコード用FTデータの出力先フォルダ

23

## 2. 入力ファイル等の指定

---

### (2) ユーザー指定の方法

起動時の5種類の指定オプションを設定する。

- ① `-ft_data` FTデータファイルの指定 デフォルトは `./ft_data/FT_DATA.txt`
- ② `--ccf_data` 共通原因故障事象データファイルの指定 デフォルトは無し
- ③ `--xls_data` BEデータファイル（使用する基事象データファイルを指定するデータ）の指定  
デフォルトは `./xls_data/BE_DATA.txt`
- ④ `--be_level` 機器故障のレベル（0：機器レベル、1：故障モードレベル） デフォルトは1
- ⑤ `--bed_data` （Riskman用FT出力の際に使用）  
基事象データファイル（基事象IDとその内容（description）が記述されたファイル、  
.namファイルの出力のために必要）の指定 デフォルトは `./bed_data/bed_ALL.csv`
- ⑥ `--out_type` PRAコード用FTデータの出力指定  
（1：SAPHIRE用とRiskman用の両方を出力、2：SAPHIRE用のみ出力、3：Riskman用のみ出力）  
デフォルトは1
- ⑦ `--out_SA` SAPHIRE用FTデータの出力先フォルダ デフォルトは `./output_SA`
- ⑧ `--out_RM` Riskman用FTデータおよび個別FTの基事象データの出力先フォルダ デフォルトは `./output_RM`

24



## 2. 入力ファイル等の指定

### (3) FTデータファイルのフォーマット

- ① 複数のFTベースデータが指定可能
  - ② 1行目は、SAPHIREのProject名を指定
  - ③ 2行目以降に、1行に1データ、ベースデータファイル名とFT名称（頂上事象のゲートID）を入力
  - ④ ファイルは、csv形式（カンマ区切りテキスト）
  - ⑤ 1文字目が「\*」or「#」の場合及び「空白行」はコメント行
- ※1 ベースデータファイルは、そのパスを含めて指定可能とする。
- ※2 FT名称（頂上事象のゲートID）が指定されていない場合には、FTベースデータの頂上事象名称を使用する。
- ※3 FT名称が重複して指定されている場合には、ORゲートで結合する（複数図面への対応機能）。
- ※4 FT名称（頂上事象のゲートID）が「EPS\_」で始まるFTは電源系として認識する。
- ※5 全てのFTが一つのファイル（FT\_ALL.FTL）にまとめて出力される。

* SAMPLE JAEA_202401	SAPHIREのProject名
*二次主冷却系 .SS*0001_FT_Data.txt, SS	ベースデータファイル名とFT名称（頂上事象のゲートID）
#二次補助冷却系 .SA*0002_FT_Data.txt, SA	ベースデータファイル名とFT名称（頂上事象のゲートID）

25

## 2. 入力ファイル等の指定

### (4) 共通原因故障事象データファイルのフォーマット

共通原因故障事象データファイルでは、共通原因故障事象とそれを構成する単独故障事象を指定する。  
以下に、共通原因故障事象データファイルの例を示す。

```
SSPMCLF2MPC0001 = SSPMLOF2MPA0001 SSPMLOF2MPB0001
SSBRCLF2MBC0001 = SSBRLOF2MBA1101 SSBRLOF2MBA1201 SSBRLOF2MBB1101 SSBRLOF2MBB1201
SSDPCLOF2MDC1101 = SSDPLOF2MDA1101 SSDPLOF2MDA1201 SSDPLOF2MDB1101 SSDPLOF2MDB1201
SSDPCLOF2MDC2101 = SSDPLOF2MDA1102 SSDPLOF2MDA1202 SSDPLOF2MDB1102 SSDPLOF2MDB1202
SSPMCFST2MPC0001 = SSPMIFST2MPA0001 SSPMIFST2MPB0001
SSPMCFCT2MPC0001 = SSPMIFCT2MPA0001 SSPMIFCT2MPB0001
SSBRCFST2MBC0001 = SSBRIFST2MBA1101 SSBRIFST2MBA1201 SSBRIFST2MBB1101 SSBRIFST2MBB1201
SSBRCFCT2MBC0001 = SSBRIFCT2MBA1101 SSBRIFCT2MBA1201 SSBRIFCT2MBB1101 SSBRIFCT2MBB1201
SSDPCFOP2MDC1101 = SSDPIFOP2MDA1101 SSDPIFOP2MDA1201 SSDPIFOP2MDB1101 SSDPIFOP2MDB1201
SSDPCFOP2MDC2101 = SSDPIFOP2MDA1102 SSDPIFOP2MDA1202 SSDPIFOP2MDB1102 SSDPIFOP2MDB1202
```

26

## 2. 入力ファイル等の指定

### (5) BEデータファイルのフォーマット

BEデータでは、基事象設定用エクセルファイル名とそのエクセル内の基事象データのシート名を指定する。

以下に、BEデータファイルの例を示す。

```
# BE data
# filename, sheetname

#
be_data#be1.xlsx,inputdata1 --- 基事象設定用エクセルファイル名とシート名

#
be_data#be2.xlsx,inputdata2 --- 基事象設定用エクセルファイル名とシート名

:
: (指定されたすべての基事象データを使用 重複する基事象がある場合はエラー終了)
```

27

## 2. 入力ファイル等の指定

### (6) 基事象設定用エクセルファイル

ツールから出力される「基事象設定用エクセルファイル」に、機器レベルの基事象IDと対応する故障モードレベルの基事象ID及び影響範囲を設定して、PRAコード用FTデータ出力プログラムへの入力データとする。

次ページ以降に、「基事象設定用エクセルファイル」への基事象ID等の設定例を示す。

あらかじめ、基事象番号と基事象IDの辞書データ等を作成しておくことで効率的なデータ設定が可能となる。以下に、辞書データの例を示す。


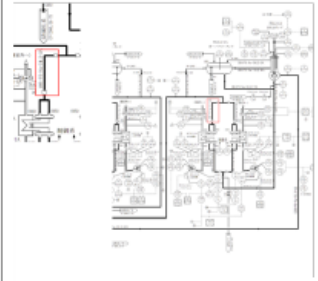
基事象番号	機器レベルID	故障モードレベル3	故障モードレベル4	故障モードレベル5	故障モードレベル6	故障モードレベル7
00-001	00PFL02NM01000	00PFL02NM01000	0	00PFL02NM01000	0	
00-002	00PFL02NM01100	00PFL02NM01100	1	00PFL02NM01100	0	
00-003	00PFL02NM01200	00PFL02NM01200	1	00PFL02NM01200	0	
00-004	00PFL02NM01300	00PFL02NM01300	1	00PFL02NM01300	0	
00-005	00PFL02NM01400	00PFL02NM01400	1	00PFL02NM01400	0	
00-006	00PFL02NM01500	00PFL02NM01500	0	00PFL02NM01500	0	
00-007	00PFL02NM01600	00PFL02NM01600	0	00PFL02NM01600	0	
00-008	00PFL02NM01700	00PFL02NM01700	0	00PFL02NM01700	0	
00-009	00PFL02NM01800	00PFL02NM01800	0	00PFL02NM01800	0	
00-010	00PFL02NM01900	00PFL02NM01900	0	00PFL02NM01900	0	
00-011	00PFL02NM02000	00PFL02NM02000	0	00PFL02NM02000	0	
00-012	00PFL02NM02100	00PFL02NM02100	0	00PFL02NM02100	0	
00-013	00PFL02NM02200	00PFL02NM02200	0	00PFL02NM02200	0	
00-014	00PFL02NM02300	00PFL02NM02300	0	00PFL02NM02300	0	
00-015	00PFL02NM02400	00PFL02NM02400	0	00PFL02NM02400	0	
00-016	00PFL02NM02500	00PFL02NM02500	0	00PFL02NM02500	0	
00-017	00PFL02NM02600	00PFL02NM02600	0	00PFL02NM02600	0	
00-018	00PFL02NM02700	00PFL02NM02700	1	00PFL02NM02700	0	
00-019	00PFL02NM02800	00PFL02NM02800	0	00PFL02NM02800	0	
00-020	00PFL02NM02900	00PFL02NM02900	0	00PFL02NM02900	0	
00-021	00PFL02NM03000	00PFL02NM03000	0	00PFL02NM03000	0	
00-022	00PFL02NM03100	00PFL02NM03100	0	00PFL02NM03100	0	
00-023	00PFL02NM03200	00PFL02NM03200	1	00PFL02NM03200	0	
00-024	00PFL02NM03300	00PFL02NM03300	1	00PFL02NM03300	0	
00-025	00PFL02NM03400	00PFL02NM03400	0	00PFL02NM03400	0	
00-026	00PFL02NM03500	00PFL02NM03500	0	00PFL02NM03500	0	
00-027	00PFL02NM03600	00PFL02NM03600	0	00PFL02NM03600	0	
00-028	00PFL02NM03700	00PFL02NM03700	0	00PFL02NM03700	0	
00-029	00PFL02NM03800	00PFL02NM03800	0	00PFL02NM03800	0	
00-030	00PFL02NM03900	00PFL02NM03900	0	00PFL02NM03900	0	
00-031	00PFL02NM04000	00PFL02NM04000	0	00PFL02NM04000	0	
00-032	00PFL02NM04100	00PFL02NM04100	0	00PFL02NM04100	0	
00-033	00PFL02NM04200	00PFL02NM04200	0	00PFL02NM04200	0	
00-034	00PFL02NM04300	00PFL02NM04300	0	00PFL02NM04300	0	
00-035	00PFL02NM04400	00PFL02NM04400	0	00PFL02NM04400	0	
00-036	00PFL02NM04500	00PFL02NM04500	0	00PFL02NM04500	0	
00-037	00PFL02NM04600	00PFL02NM04600	0	00PFL02NM04600	0	
00-038	00PFL02NM04700	00PFL02NM04700	0	00PFL02NM04700	0	
00-039	00PFL02NM04800	00PFL02NM04800	0	00PFL02NM04800	0	
00-040	00PFL02NM04900	00PFL02NM04900	0	00PFL02NM04900	0	
00-041	00PFL02NM05000	00PFL02NM05000	0	00PFL02NM05000	0	
00-042	00PFL02NM05100	00PFL02NM05100	0	00PFL02NM05100	0	
00-043	00PFL02NM05200	00PFL02NM05200	0	00PFL02NM05200	0	
00-044	00PFL02NM05300	00PFL02NM05300	0	00PFL02NM05300	0	
00-045	00PFL02NM05400	00PFL02NM05400	0	00PFL02NM05400	0	
00-046	00PFL02NM05500	00PFL02NM05500	0	00PFL02NM05500	0	
00-047	00PFL02NM05600	00PFL02NM05600	0	00PFL02NM05600	0	
00-048	00PFL02NM05700	00PFL02NM05700	0	00PFL02NM05700	0	
00-049	00PFL02NM05800	00PFL02NM05800	0	00PFL02NM05800	0	
00-050	00PFL02NM05900	00PFL02NM05900	0	00PFL02NM05900	0	

28

2. 入力ファイル等の指定

(6) 基事象設定用エクセルファイル（続き）

① ツールから出力された「基事象設定用エクセルファイル」


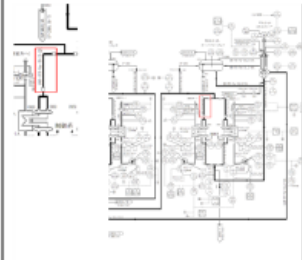
Picture	Equipment					
	Object_8					
	Object_1					

29

2. 入力ファイル等の指定

(6) 基事象設定用エクセルファイル（続き）

② 「Equipment (D列)」を基事象番号へ変更したデータ

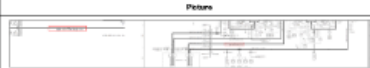
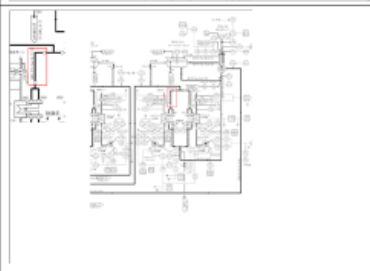
Picture	Equipment					
	SS-001					
	SS-002					

30

## 2. 入力ファイル等の指定

### (6) 基事象設定用エクセルファイル（続き）

- ③ 「Equipment (D列)」の横に、「機器レベルの基事象ID (E列)」、「故障モードレベルの基事象ID (F列)」と対応する影響範囲 (G列) を設定したデータ

Picture	Equipment	機器レベルID	故障モードレベル1	故障モードレベル2	
	SG-001	SGPFL02MPA1000	SGPFL02MPA1000	0 SGPFL02MPA1000	0
	SG-002	SGPFL02MPA2110	SGPFL02MPA2110	1 SGPFL02MPA2110	0

故障モードレベルの基事象IDは、基事象IDとそのモードの影響範囲を一組として、機器ごとに定義される故障モードの数分、横方向に設定する。

影響範囲の設定は、以下の通りとする、

- 0 : 機器レベルと同じ領域
- 1 : 機器レベルよりも1段階上位の領域
- N : 機器レベルよりもN段階上位の領域
- 空白 : 当該故障モードはモデル化対象外

31

## 3. 実行方法

PRAコード用FTデータ出力プログラムを以下のフォルダー構造で実行する場合の実行時の指定例は、以下の通り。



実行時のフォルダー構造の例

```
python ./SRC/main.py --ft_data ./ft_data/FT_DATA.txt
--xls_data ./xls_data/BE_DATA.txt
--be_level 0
--out_type 1
--out_SA ./output/SA/ivl0
--out_RM ./output/RM/ivl0
```

実行時のコマンドの例

```
# Project
JAEA_2024
#
FT1*FT1.txt, FT1
#
FT2*FT2.txt, FT2
```

FT\_DATA.txtの例

```
# BE data
# filename, sheetname
#
be_data#be1.xlsx, inputdata1
#
be_data#be2.xlsx, inputdata2
```

BE\_DATA.txtの例

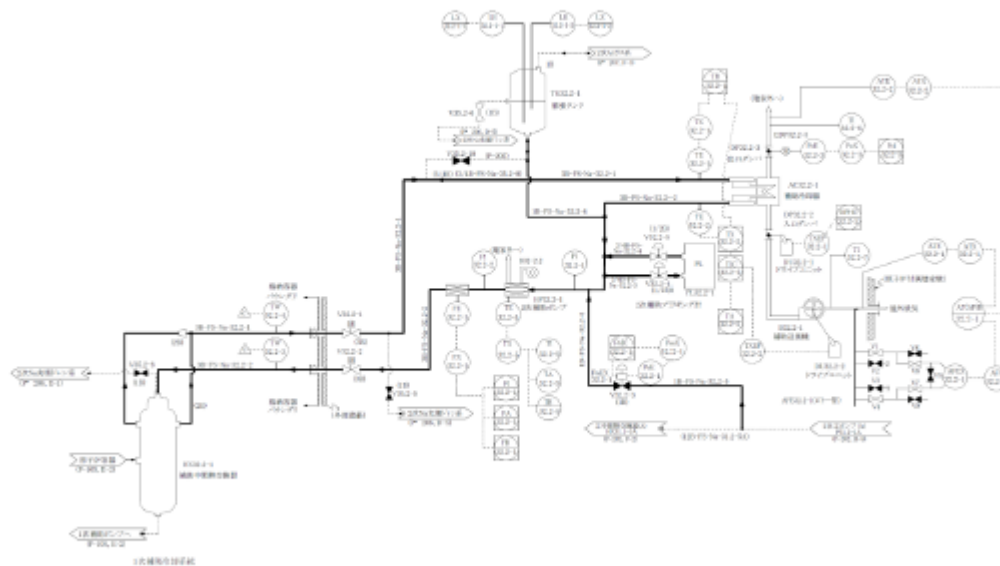
32

#### 4. 事例を用いた操作手順説明

33

##### 1. 単一図面の流体系

##### 2 次補助冷却系

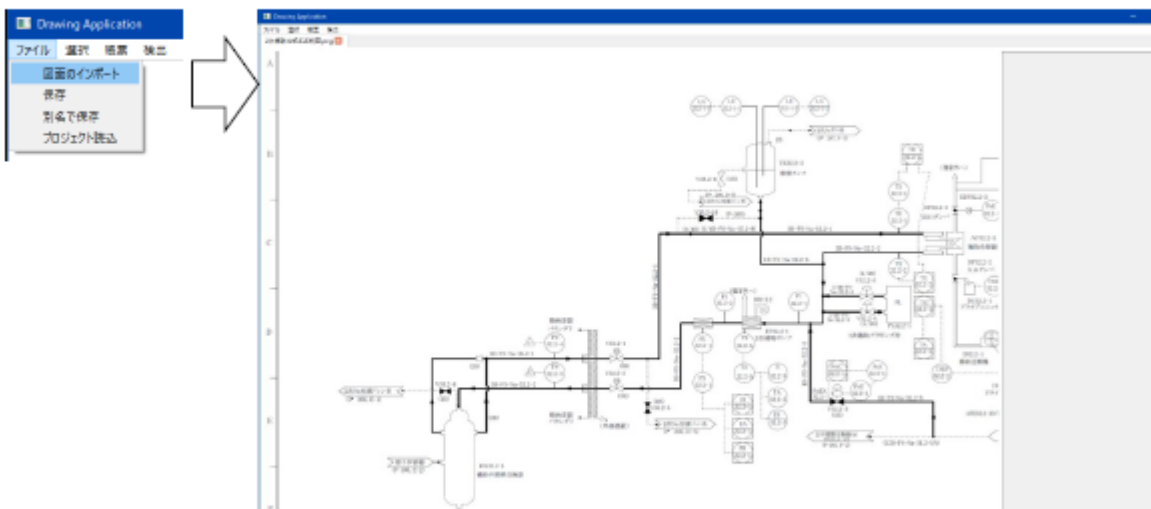


34

## 1. 単一図面の流体系

### ・図面データの読み込み（2次補助冷却系）

「ファイル」→「図面のインポート」で図面の画像ファイルを読み込む

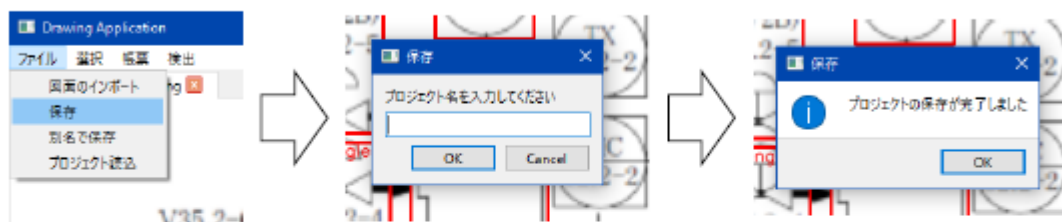


35

## 1. 単一図面の流体系

### ・プロジェクトデータの保存（2次補助冷却系）

「ファイル」→「保存」で適当なプロジェクト名を指定してプロジェクトを保存する。



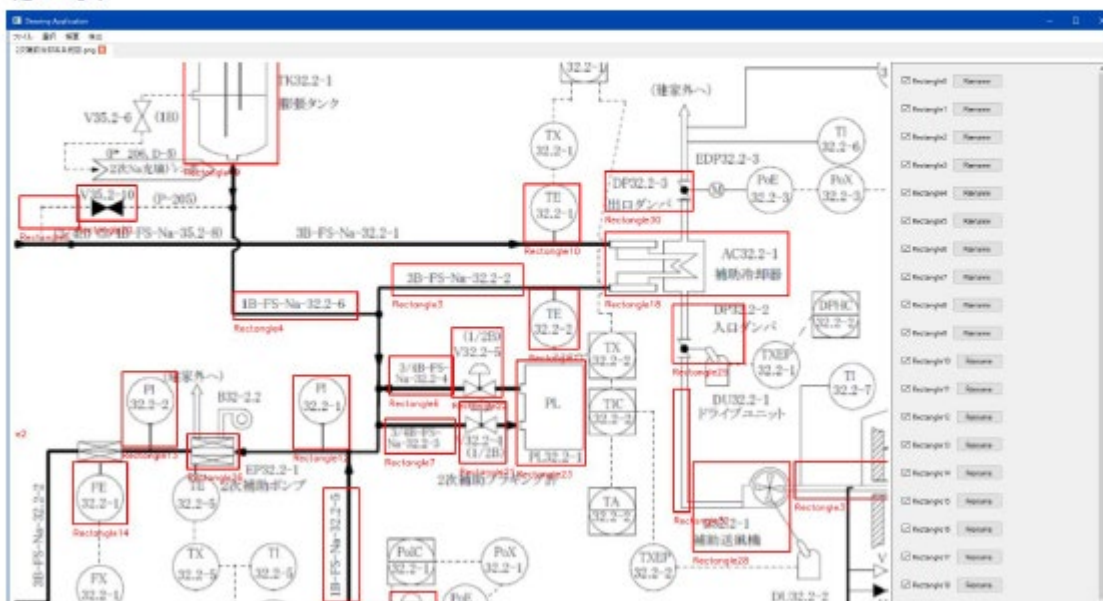
※ここでは「例題\_2次補助冷却系」とする。

36

## 1. 単一図面の流体系

### ・評価対象機器の指定（2次補助冷却系）

「選択」→「機器指定」で評価対象機器を指定する（評価対象機器については例題のエクセルファイルを参照して設定する。）

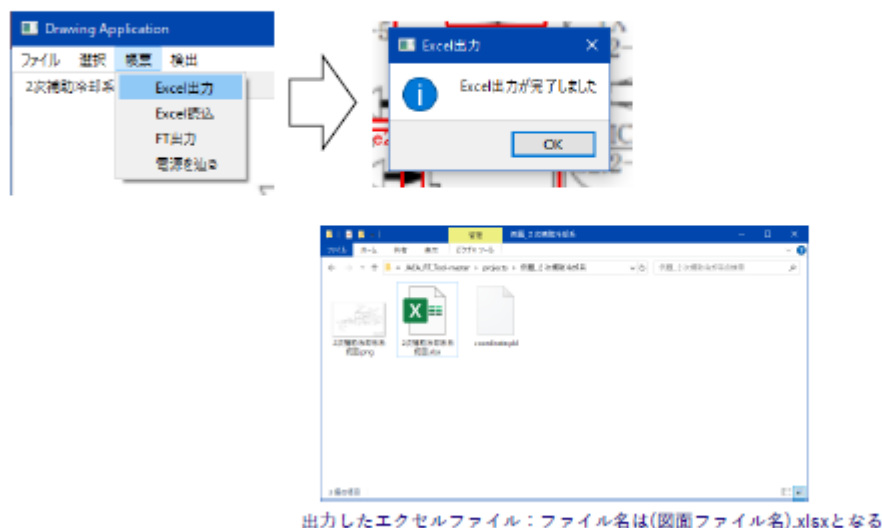


37

## 1. 単一図面の流体系

### ・基事象設定用エクセルファイルの出力（2次補助冷却系）

「帳票」→「エクセル出力」で基事象設定用のエクセルファイルを出力する。  
エクセルファイルは「Projects」フォルダー「（プロジェクト名）」のフォルダに出力される。



38

## 1. 単一図面の流体系

### ・機器名称と基事象の設定（2次補助冷却系）

機器名称と基事象（機器レベル及びモード、影響範囲）を設定する。

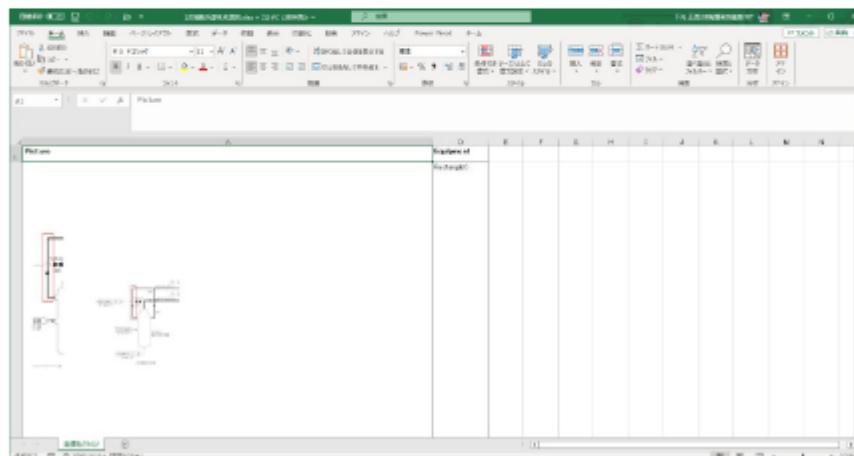
A列：選択した機器の画像

B列、C列：選択した領域の座標情報（使用しないため非表示）

D列：機器名称、FT作成ツール上の表示名称

E列：機器レベルの基事象

F列、G列：それぞれモードレベルの基事象、影響範囲（以降、モードの分だけ列方向に記載する）

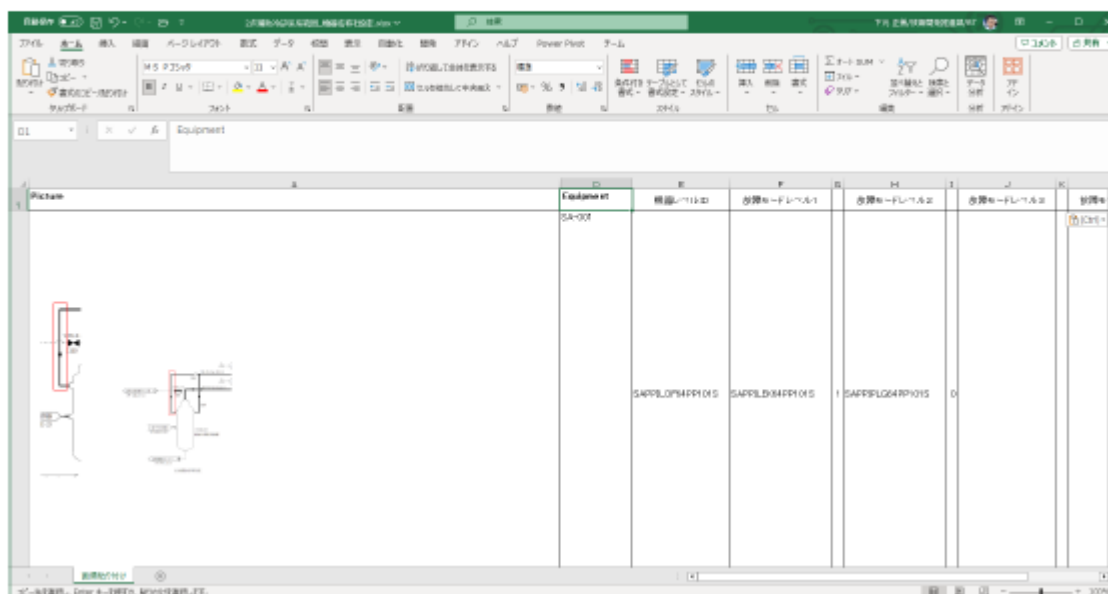


39

## 1. 単一図面の流体系

### ・機器名称、基事象の設定結果（2次補助冷却系）

機器名称、基事象を設定した結果（ファイル：2次補助冷却系系統図\_機器名称を設定.xlsxを参照）



40

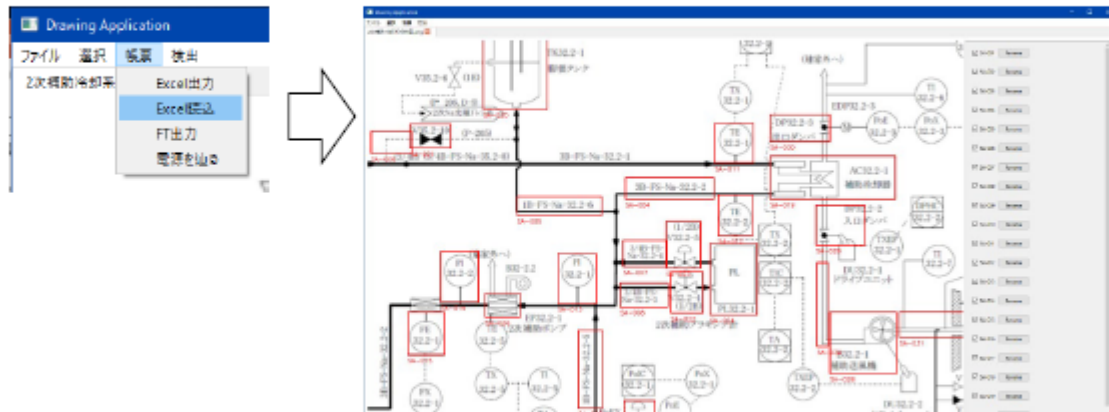


## 1. 単一図面の流体系

### ・機器名称の確認（2次補助冷却系）

機器名称の設定を図面上で確認する。

「帳票」→「エクセル読込」で機器名称を設定したエクセルファイルを読み込む



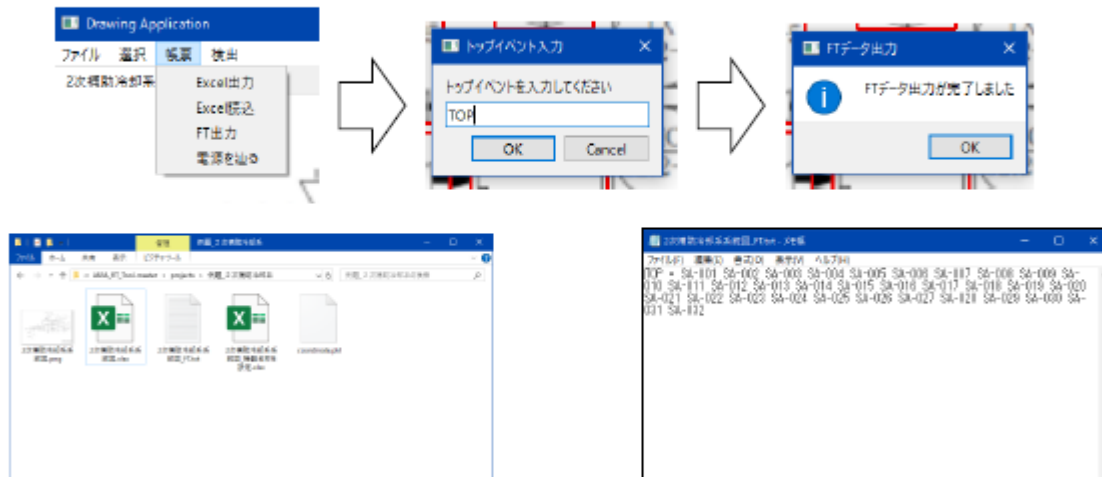
機器名称がエクセルで設定した名称で表示される

41

## 1. 単一図面の流体系

### ・FTファイルの出力（2次補助冷却系）

機器名称を設定した状態で「帳票」→「FT出力」を指定して、トップイベント名（今回はTOPとする）を指定すると機器レベルのFTファイルがプロジェクトのフォルダに出力される。



出力したFTファイル：ファイル名は(図面ファイル名)\_FT.txtとなる

出力したFTファイルの中身

42

## 1. 単一図面の流体系

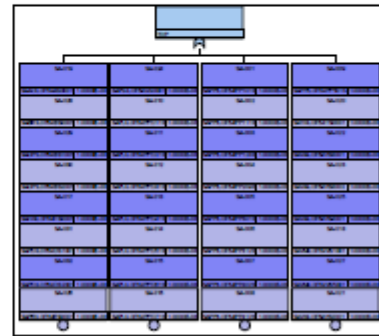
### ・ SAPHIRE形式のFTデータの出力とSAPHIREへのインポート（2次補助冷却系）

作成した基事象設定ファイル（今回は、「2次補助冷却系系統図\_機器名称を設定.xlsx」）と機器レベルのFTファイル（今回は、「2次補助冷却系系統図\_FT.txt」）のパスを変換ツールのファイルのある場所で以下のコマンドのとおり指定すると機器レベルのSAPHIRE形式のFTファイルが出力される。

```
python ./SRC/main.py --ft_data ./ft_data/FT_DATA_202502.txt ^
--bed_data ./bed_data/bed_202404.csv ^
--xls_data ./xls_data/BE_DATA_202502.txt ^
--be_level 0 ^
--out_type 1 ^
--out_SA ./output/SA/lvl0 ^
--out_RM ./output/RM/lvl0
```



出力したSAPHIRE形式のFTファイル：ファイル名はFT\_ALL.FTLとなる

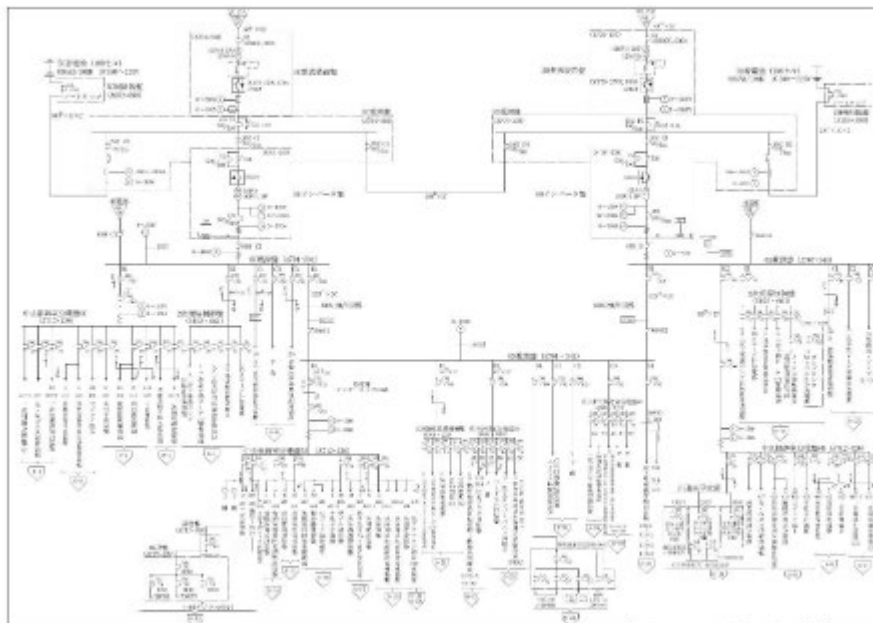


SAPHIRE上での2次補助冷却系FT  
(FT\_ALL.FTLをSAPHIREへインポートした結果)

43

## 2. 単一図面の電源系

### 6 C電源

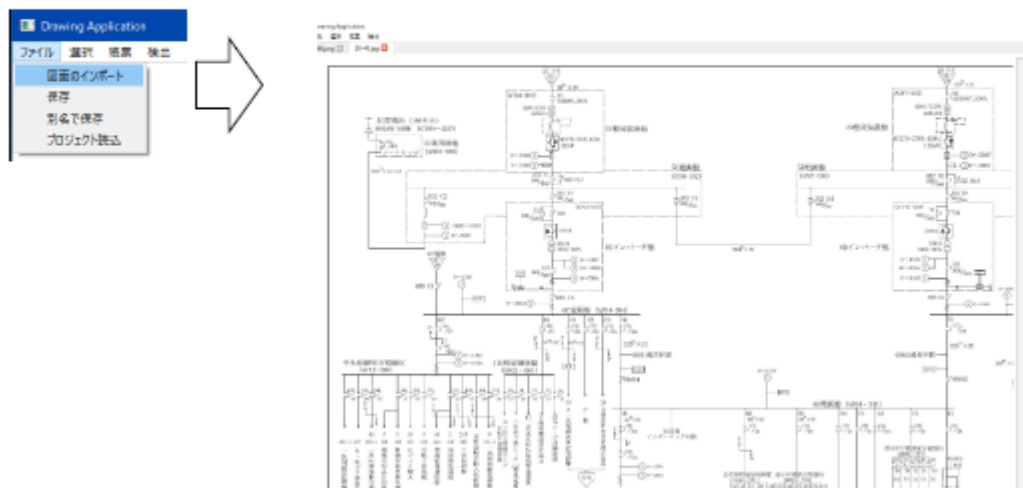


44

## 2. 単一図面の電源系

### ・図面データの読み込み（電源系）

「ファイル」→「図面のインポート」で図面の画像ファイルを読み込む

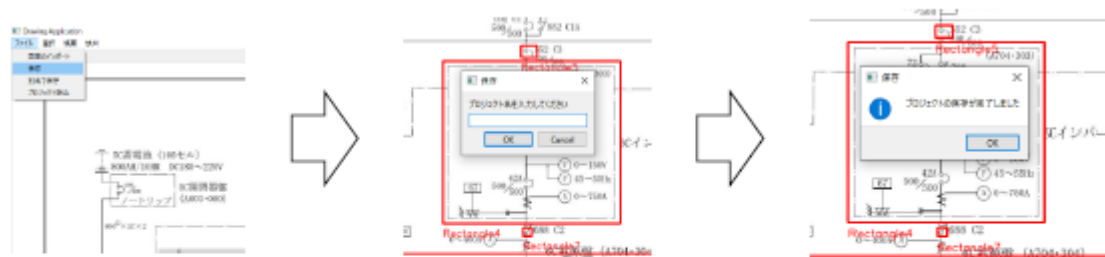


45

## 2. 単一図面の電源系

### ・プロジェクトデータの保存（電源系）

「ファイル」→「保存」で適当なプロジェクト名を指定してプロジェクトを保存する。



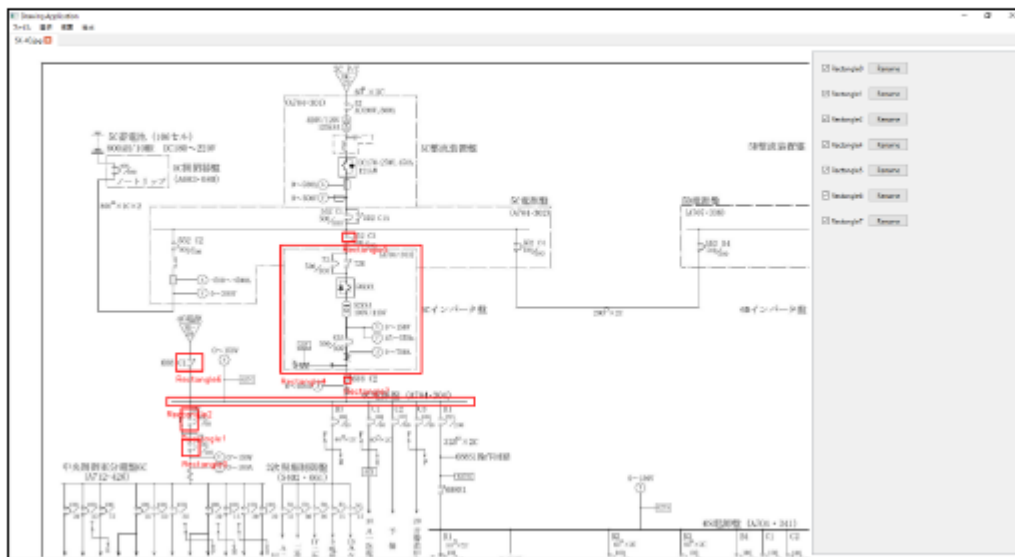
※ここでは「例題\_電源系\_EPS\_6C」とする。

46

## 2. 単一図面の電源系

### ・評価対象機器の指定（電源系）

「選択」→「機器指定」で評価対象機器を指定する（評価対象機器については例題のエクセルファイルを参照して設定する。）

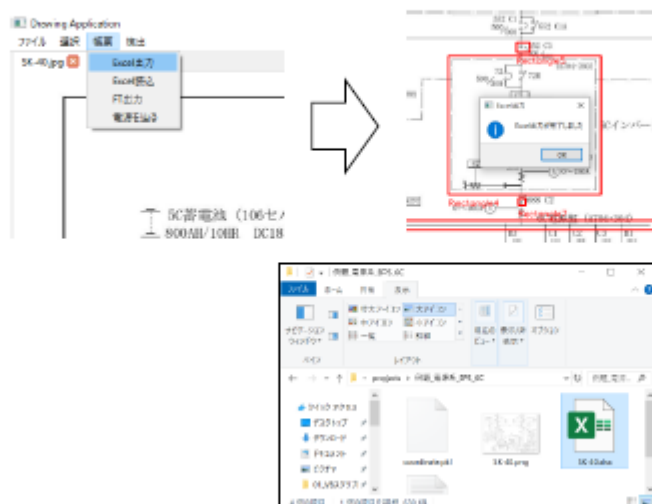


47

## 2. 単一図面の電源系

### ・基事象設定用エクセルファイルの出力（電源系）

「帳票」→「エクセル出力」で基事象設定用のエクセルファイルを出力する。  
エクセルファイルは「Projects」フォルダー「（プロジェクト名）」のフォルダに出力される。



出力したエクセルファイル：ファイル名は(図面ファイル名).xlsxとなる

48

## 2. 単一図面の電源系

### ・機器名称と基事象の設定（電源系）

機器名称と基事象（機器レベル及びモード、影響範囲）を設定する。

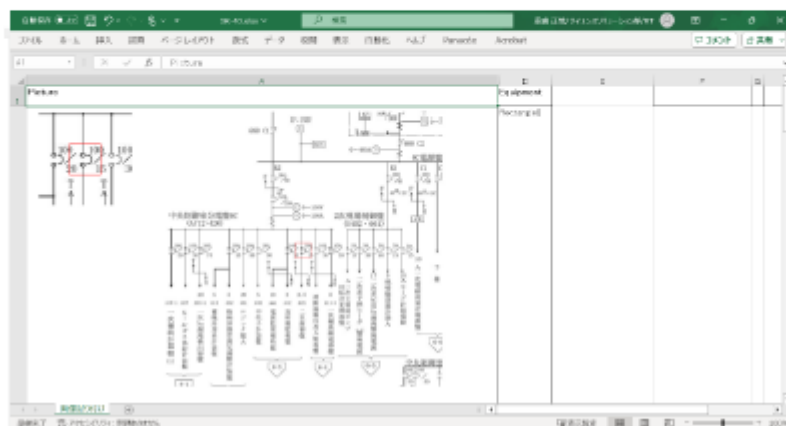
A列：選択した機器の画像

B列、C列：選択した領域の座標情報（使用しないため非表示）

D列：機器名称、FT作成ツール上の表示名称

E列：機器レベルの基事象

F列、G列：それぞれモードレベルの基事象、影響範囲（以降、モードの分だけ列方向に記載する）

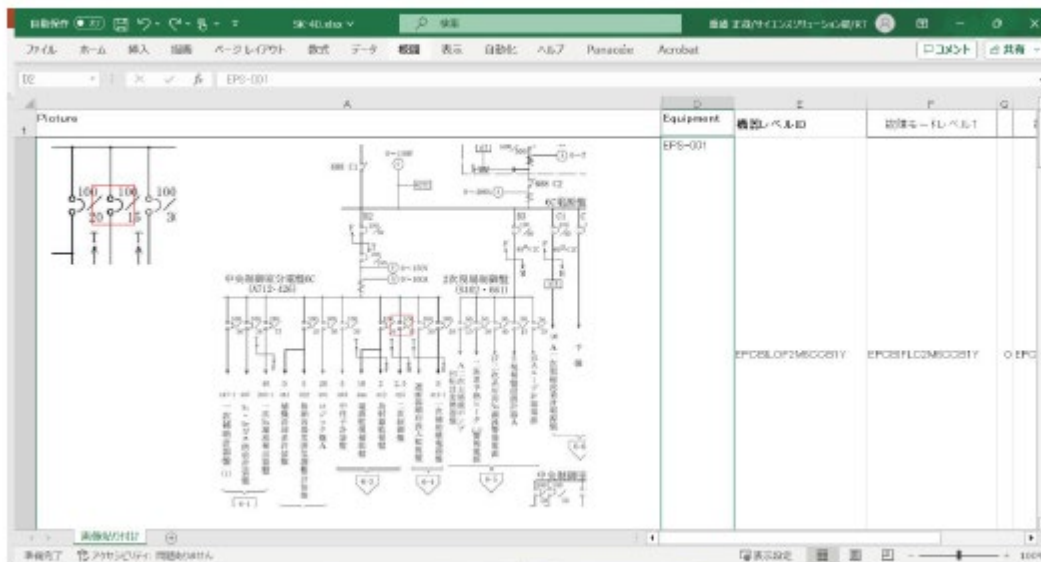


49

## 2. 単一図面の電源系

### ・機器名称、基事象の設定結果（電源系）

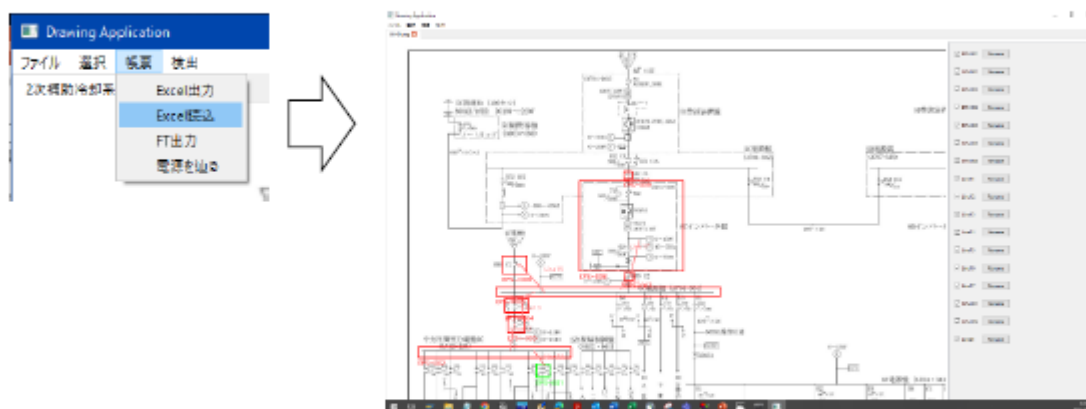
機器名称、基事象を設定した結果（ファイル：SK-40.xlsxを参照）



50

## 2. 単一図面の電源系

- ・機器名称の確認（電源系）  
機器名称の設定を図面上で確認する。  
「帳票」→「エクセル読込」で機器名称を設定したエクセルファイルを読み込む

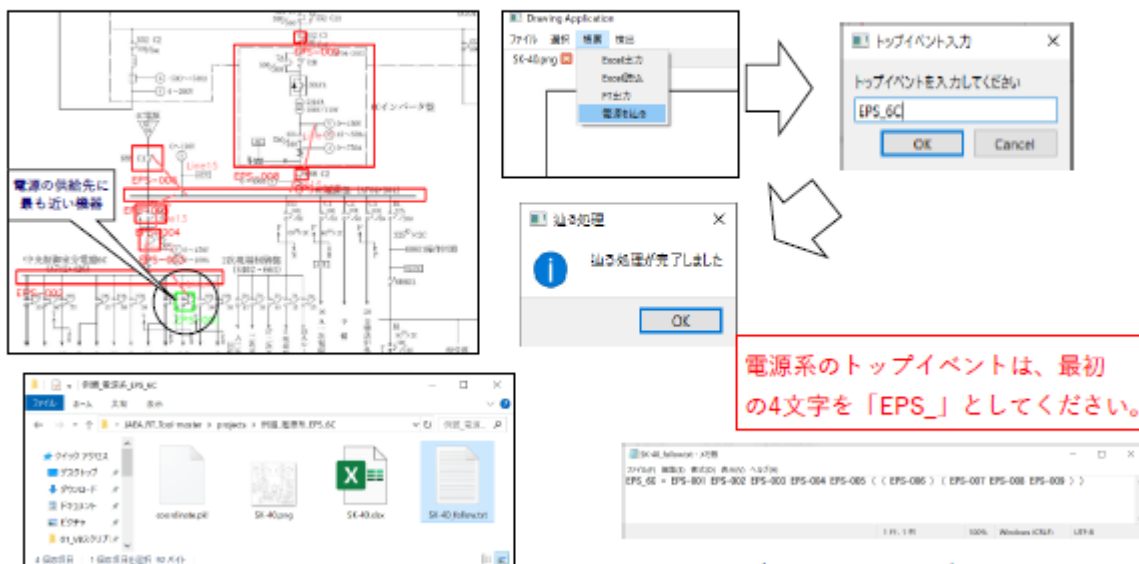


機器名称がエクセルで設定した名称で表示される

51

## 2. 単一図面の電源系

- ・FTファイルの出力（電源系）  
機器名称を設定した状態で、電源の供給先に最も近い機器を選択して、「帳票」→「電源を辿る」を指定して、トップイベント名（今回はEPS\_6Cとする）を指定すると電源系の機器レベルのFTファイルがプロジェクトのフォルダに出力される。



電源系のトップイベントは、最初の4文字を「EPS\_」としてください。

出力したFTファイル：ファイル名は(図面ファイル名)\_FT.txtとなる

出力したFTファイルの中身

52

## 2. 単一図面の電源系

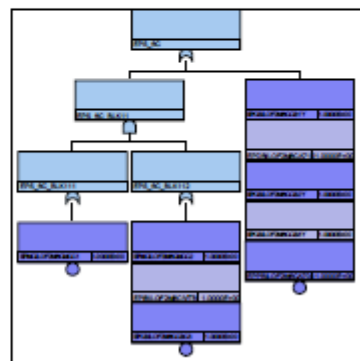
### ・ SAPHIRE形式のFTデータの出力とSAHIREへのインポート（電源系）

作成した基事象設定ファイル（今回は、「SK-40.xlsx」）と機器レベルのFTファイル（今回は、「SK-40\_follow.txt」）のパスを変換ツールのファイルのある場所で以下のコマンドのとおり指定すると機器レベルのSAPHIRE形式のFTファイルが出力される。

```
python ./SRC/main.py --ft_data ./ft_data/FT_DATA_202502.txt ^
--bed_data ./bed_data/bed_202404.csv ^
--xls_data ./xls_data/BE_DATA#202502.txt ^
--be_level 0 ^
--out_type 1 ^
--out_SA ./output/SA/lvl0 ^
--out_RM ./output/RM/lvl0
```



出力したSAPHIRE形式のFTファイル：ファイル名はFT\_ALL.FTLとなる



SAPHIRE上での電源系FT  
(FT\_ALL.FTLをSAPHIREへインポートした結果)

53

## 3. 複数図面の信号系

信号系（主冷却器1A入口ダンパ制御信号）は、以下の4枚の図面からFTを作成する。

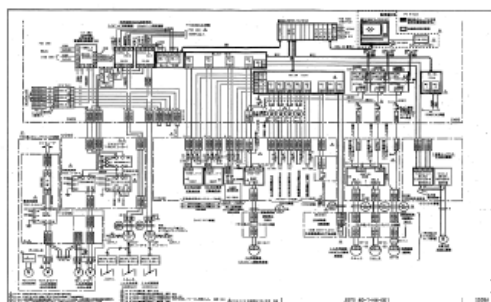
- ・ プラント温度制御系1Aループ展開接続図（SS05A）
- ・ A2次主循環ポンプ（GM16-A）
- ・ Aループ2次主冷却系制御回路（SC14-A）
- ・ プラント温度制御装置インターロック回路図（SC27）

複数の図面から一つのFTを作成する場合には、**図面ごとに独立したプロジェクトデータを作成し、各プロジェクトのトップイベントに対して共通の名称を指定する。**

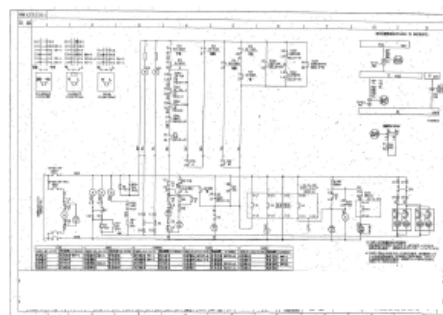
54



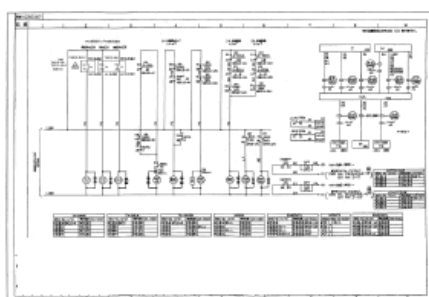
### 3. 複数図面の信号系



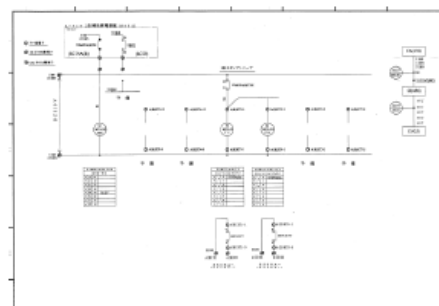
プラント温度制御系1Aループ展開接続図 (SS05A)



A2次主循環ポンプ (GM16-A)



Aループ2次主冷却系制御回路 (SC14-A)



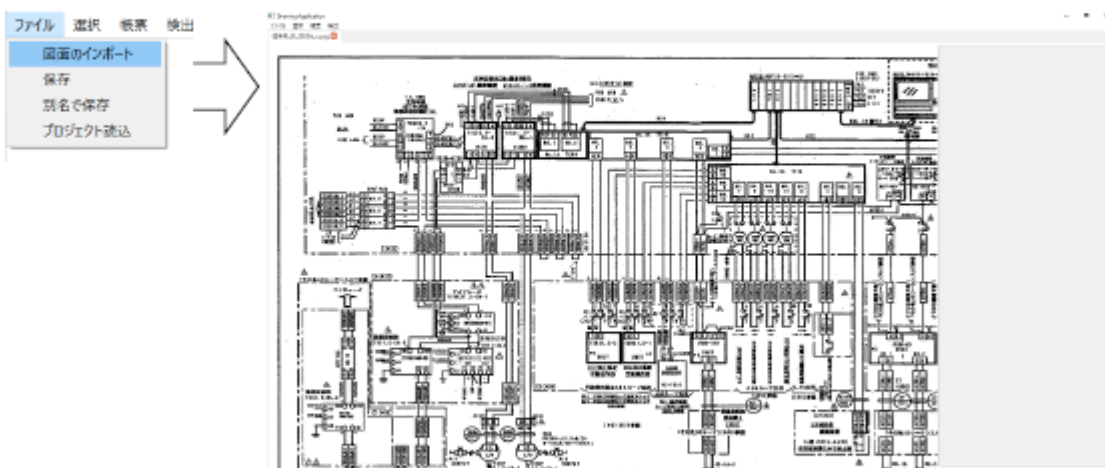
プラント温度制御装置インターロック回路図 (SC27)

55

### 3. 複数図面の信号系

#### ・図面データの読み込み（信号系）

「ファイル」→「図面のインポート」で図面の画像ファイルを読み込む  
(信号系のFT作成対象の4種類の図面ごとに実施する)



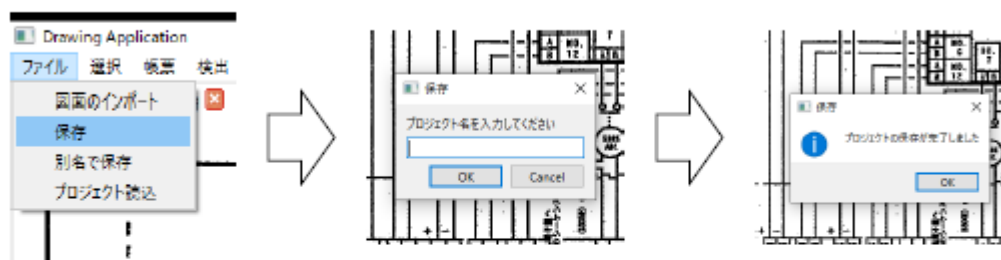
56



### 3. 複数図面の信号系

#### ・プロジェクトデータの保存（信号系）

「ファイル」→「保存」で適当なプロジェクト名を指定してプロジェクトを保存する。



※ここでは、図面ごとに以下の名称とする。

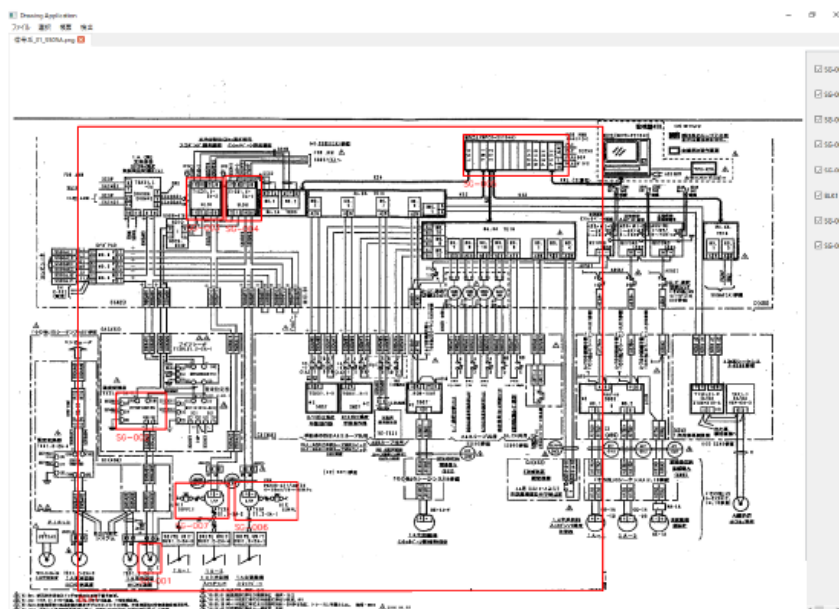
プラント温度制御系1Aループ展開接続図（SS05A）	→ 「例題_信号系_01」
A2次主循環ポンプ（GM16-A）	→ 「例題_信号系_02」
Aループ2次主冷却系制御回路（SC14-A）	→ 「例題_信号系_03」
プラント温度制御装置インターロック回路図（SC27）	→ 「例題_信号系_04」

57

### 3. 複数図面の信号系

#### ・評価対象機器の指定（プラント温度制御系1Aループ展開接続図（SS05A）「例題\_信号系\_01」）

「選択」→「機器指定」で評価対象機器を指定する（評価対象機器については例題のエクセルファイルを参照して設定する。）



58

### 3. 複数図面の信号系

- ・ FTファイルの出力（プラント温度制御系1Aループ展開接続図（SS05A）「例題\_信号系\_01」）

機器名称を設定した状態で「帳票」→「FT出力」を指定して、トップイベント名（今回はSGとする）を指定すると機器レベルのFTファイルがプロジェクトのフォルダに出力される。



出力したFTファイル：ファイル名は(図面ファイル名)\_FT.txtとなる

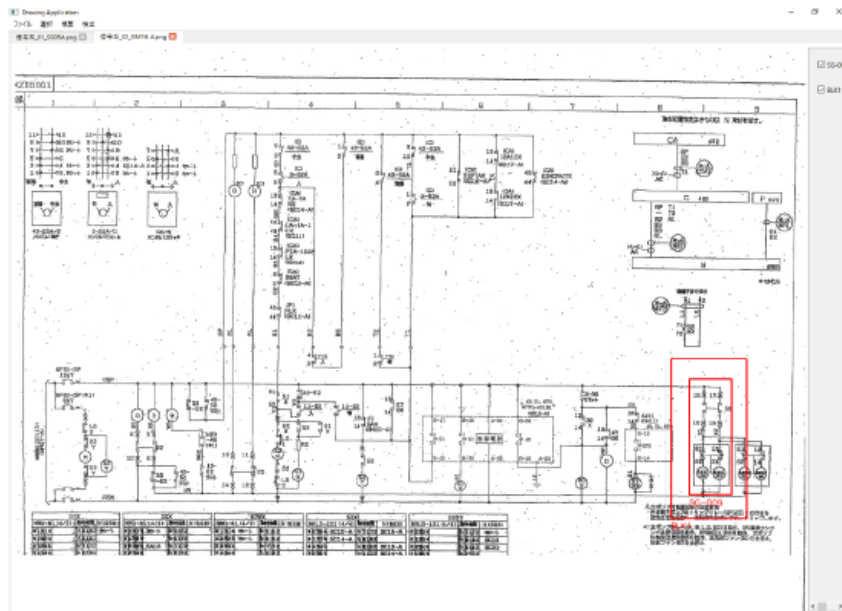
出力したFTファイルの中身

59

### 3. 複数図面の信号系

- ・ 評価対象機器の指定（A2次主循環ポンプ（GM16-A）「例題\_信号系\_02」）

「選択」→「機器指定」で評価対象機器を指定する（評価対象機器については例題のエクセルファイルを参照して設定する。）

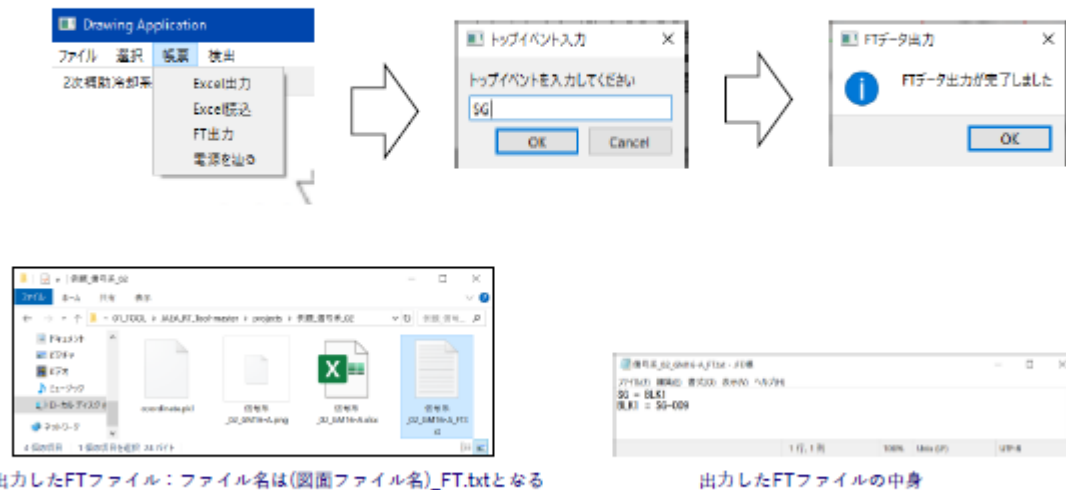


60

### 3. 複数図面の信号系

#### ・ FTファイルの出力（A2次主循環ポンプ（GM16-A）「例題\_信号系\_02」）

機器名称を設定した状態で「帳票」→「FT出力」を指定して、トピックイベント名（今回はSGとする）を指定すると機器レベルのFTファイルがプロジェクトのフォルダに出力される。



出力したFTファイル：ファイル名は(図面ファイル名)\_FT.txtとなる

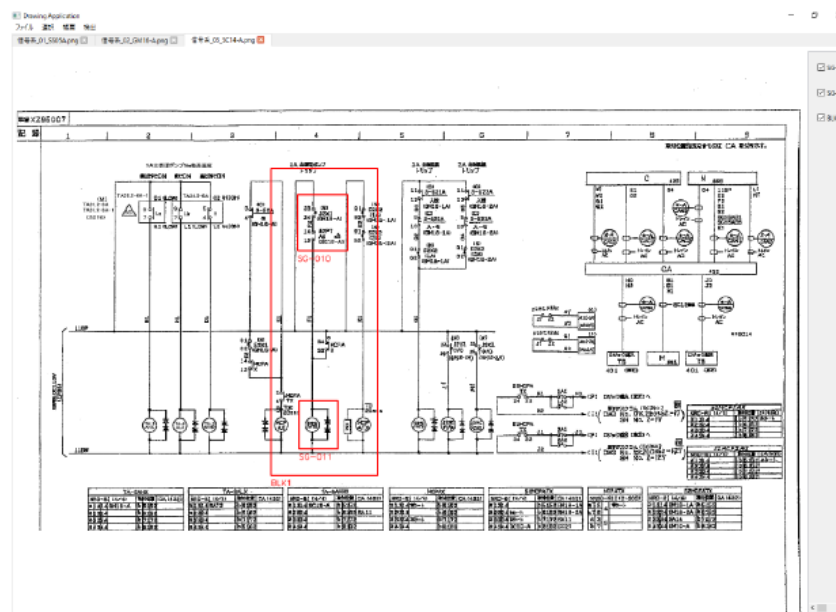
出力したFTファイルの中身

61

### 3. 複数図面の信号系

#### ・ 評価対象機器の指定（Aループ2次主冷却系制御回路（SC14-A）「例題\_信号系\_03」）

「選択」→「機器指定」で評価対象機器を指定する（評価対象機器については例題のエクセルファイルを参照して設定する。）



62

### 3. 複数図面の信号系

#### ・ FTファイルの出力（Aループ2次主冷却系制御回路（SC14-A）「例題\_信号系\_03」）

機器名称を設定した状態で「帳票」→「FT出力」を指定して、トピックイベント名（今回はSGとする）を指定すると機器レベルのFTファイルがプロジェクトのフォルダに出力される。

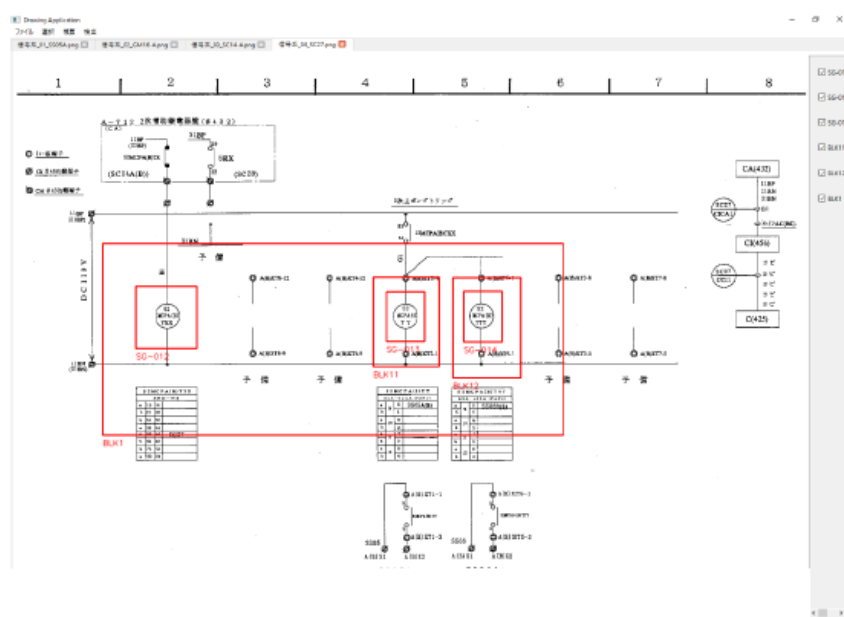


63

### 3. 複数図面の信号系

#### ・ 評価対象機器の指定（プラント温度制御装置インターロック回路図（SC27） → 「例題\_信号系\_04」）

「選択」→「機器指定」で評価対象機器を指定する（評価対象機器については例題のエクセルファイルを参照して設定する。）

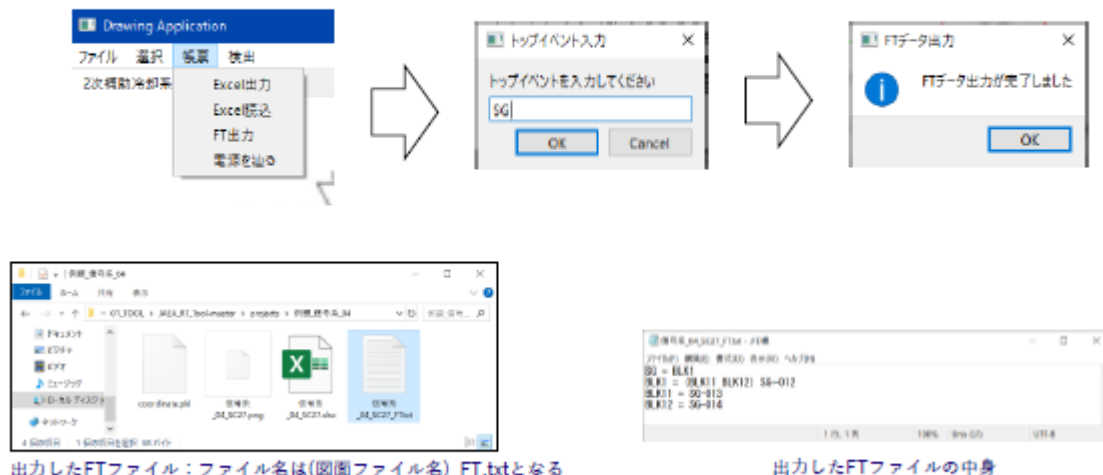


64

### 3. 複数図面の信号系

- ・ FTファイルの出力（プラント温度制御装置インターロック回路図（SC27） → 「例題\_信号系\_04」）

機器名称を設定した状態で「帳票」→「FT出力」を指定して、トピックイベント名（今回はSGとする）を指定すると機器レベルのFTファイルがプロジェクトのフォルダに出力される。



出力したFTファイル：ファイル名は(図面ファイル名)\_FT.txtとなる

出力したFTファイルの中身



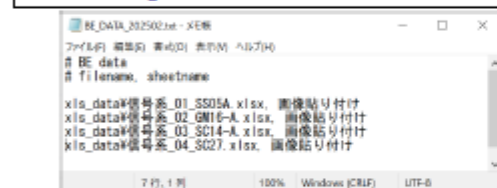
65

### 3. 複数図面の信号系

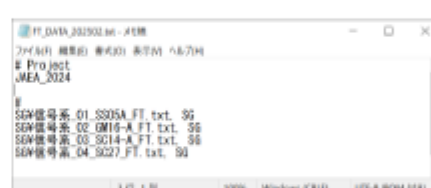
- ・ SAPHIRE形式のFTデータの出力とSAPHIREへのインポート（信号系）

作成した図面ごとの基事象設定ファイルと機器レベルのFTファイルのパスを変換ツールのファイルのある場所で以下のコマンドのとおり指定するとモードレベルのSAPHIRE形式のFTファイルが出力される。

```
python ./SRC/main.py --ft_data ./ft_data/FT_DATA_202502.txt ^
--bed_data ./bed_data/bed_202404.csv ^
--xls_data ./xls_data/BE_DATA_202502.txt ^
--bs_level 0 ^
--out_type 1 ^
--out_SA ./output/SA/vl0 ^
--out_RM ./output/RM/vl0
```



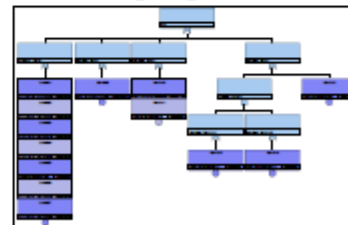
4種類の図面からの基事象設定ファイル指定時のBE\_DATA\_202502.txt



4種類の図面からのFTファイル指定時のFT\_DATA\_202502.txt



出力したSAPHIRE形式のFTファイル：ファイル名はFT\_ALL.FTLとなる



SAPHIRE上での信号系FT  
(FT\_ALL.FTLをSAPHIREへインポートした結果)

66

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

2次主冷却系をフロントライン系、2次Na純化系、電源系及び信号系をサポート系として、複数図面から作成されるFTをトランスファーゲートでリンクさせたFTを作成する（電源系は「2. 単一図面の電源系」、信号系は「3. 複数図面の信号系」のデータを使用）。

- ・フロントライン系 → 2次主冷却系
- ・サポート系 → 2次Na純化系、電源系、信号系

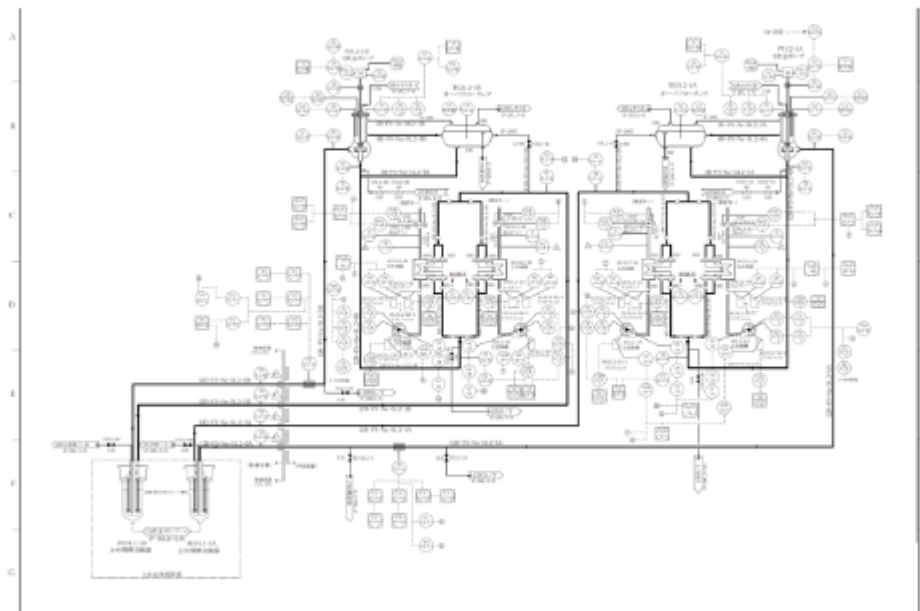
複数の図面からのFTをリンクする場合には、図面ごとに独立したプロジェクトデータを作成し、上位のFTのリンクさせる機器を含む領域内（ブロック内）にリンクさせる下位のFTのトップイベント名を機器名として指定する。

次ページ以降に、3系統のサポート系をリンクさせたフロントライン系（2次主冷却系）のFT作成手順を示す。また、2次主冷却系のFT作成手順の後に、2次Na純化系のFT作成手順を示し、その次に、2次主冷却系を頂上とするトランスファーゲートを含む4種類のFTの作成手順を説明する。

67

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### 2次主冷却系



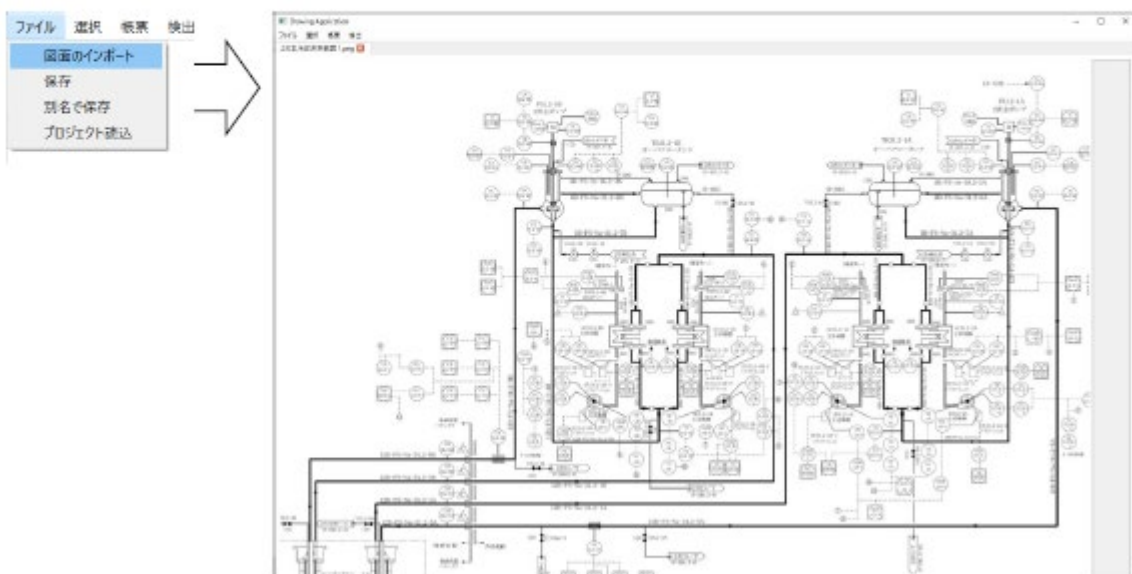
68



#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・図面データの読み込み（2次主冷却系）

「ファイル」→「図面のインポート」で図面の画像ファイルを読み込む

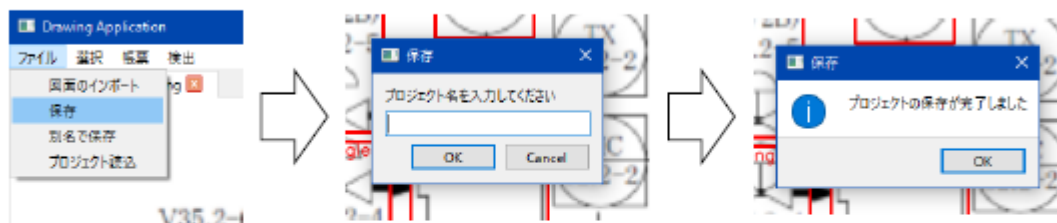


69

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・プロジェクトデータの保存（2次主冷却系）

「ファイル」→「保存」で適当なプロジェクト名を指定してプロジェクトを保存する。



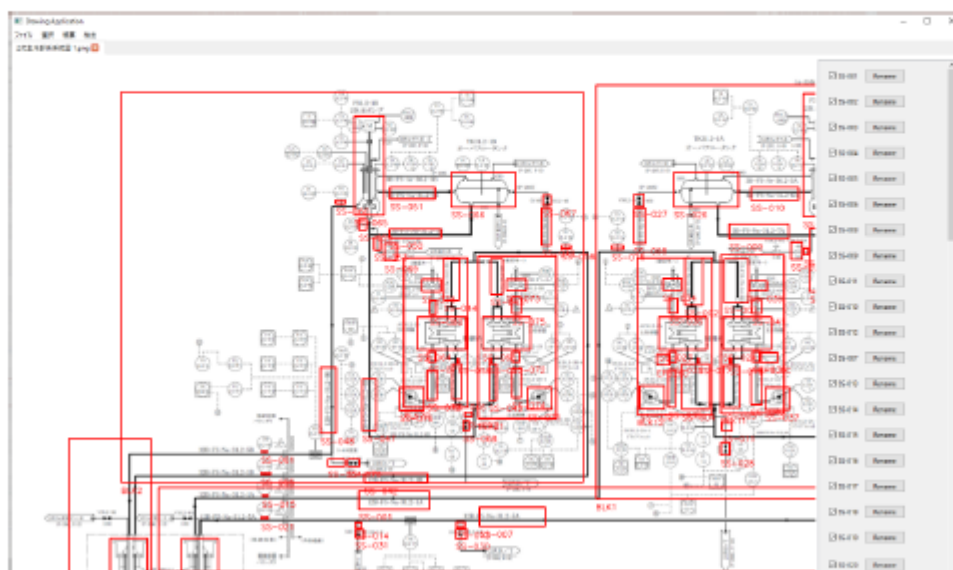
※ここでは「例題\_2次主冷却系」とする。

70

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・評価対象機器の指定（2次主冷却系）

「選択」→「機器指定」で評価対象機器を指定する（評価対象機器については例題のエクセルファイルを参照して設定する。）

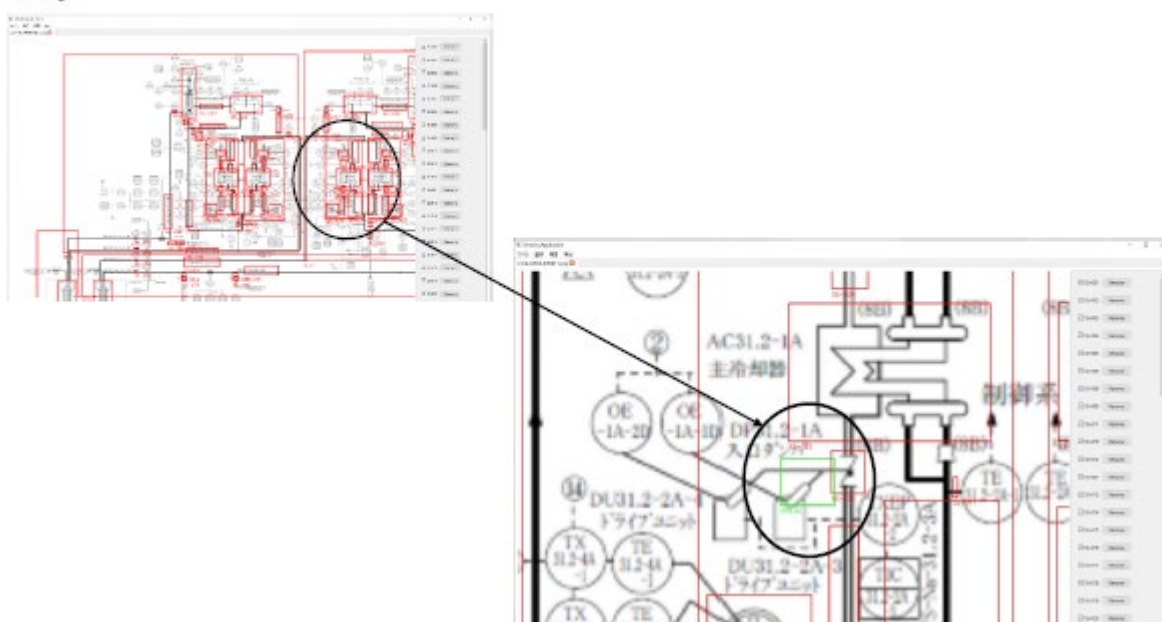


71

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・電源系FTのリンク（2次主冷却系）

「選択」→「機器指定」で電源系をリンクする機器が含まれる領域内に機器を指定して、機器名を「EPS\_6C」と設定する。



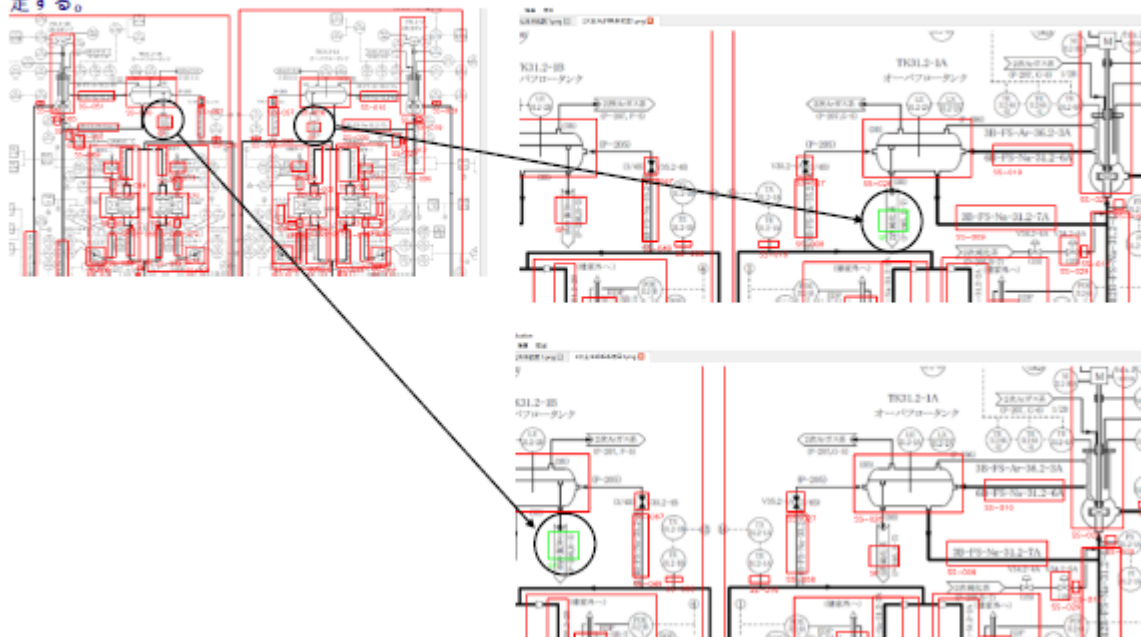
72



#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・2次Na純化系FTのリンク（2次主冷却系）

「選択」→「機器指定」で2次Na純化系をリンクする機器が含まれる領域内に機器を指定して、機器名を「SP」と設定する。

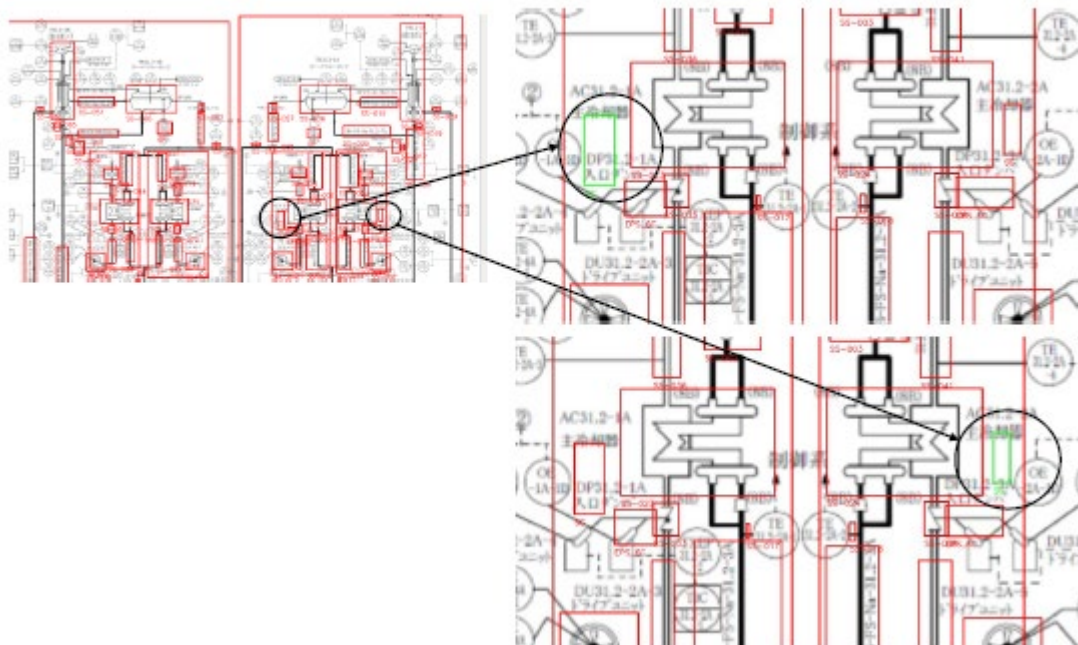


73

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・信号系FTのリンク（2次主冷却系）

「選択」→「機器指定」で信号系をリンクする機器が含まれる領域内に機器を設定して、機器名を「SG」と設定する。

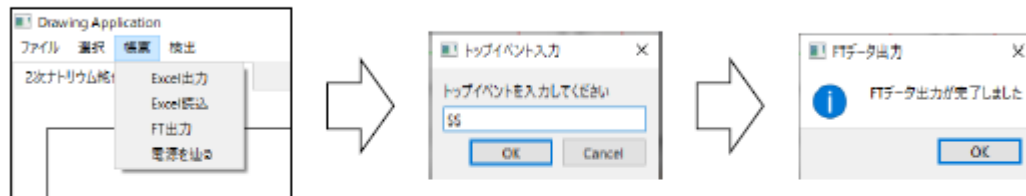


74

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・FTファイルの出力（2次主冷却系）

機器名称を設定した状態で「帳票」→「FT出力」を指定して、トピックイベント名（今回はSSとする）を指定すると機器レベルのFTファイルがプロジェクトのフォルダに出力される。



出力したFTファイル：ファイル名は(図面ファイル名)\_FT.txtとなる

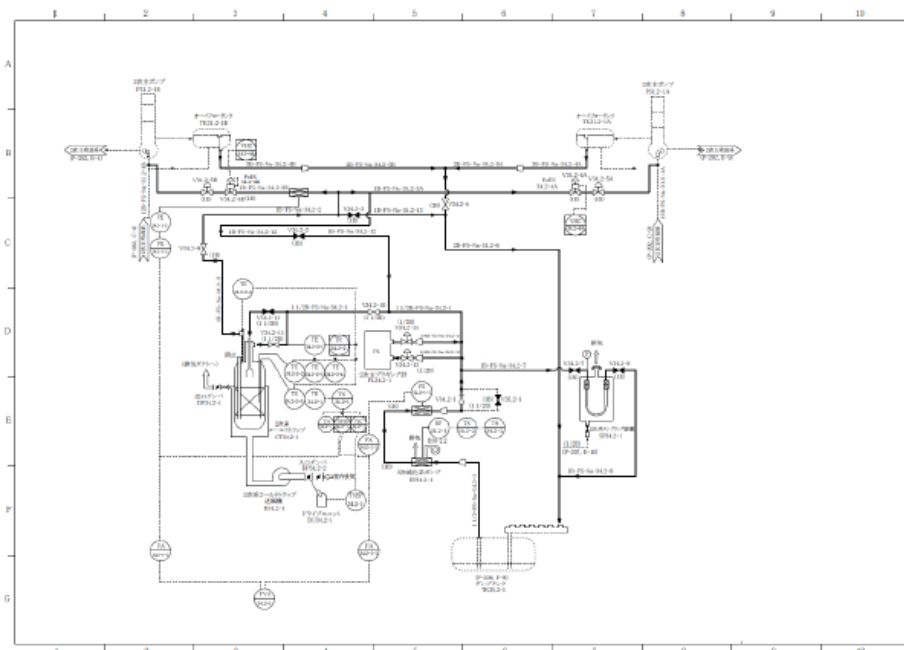


出力したFTファイルの中身

75

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### 2次Na純化系

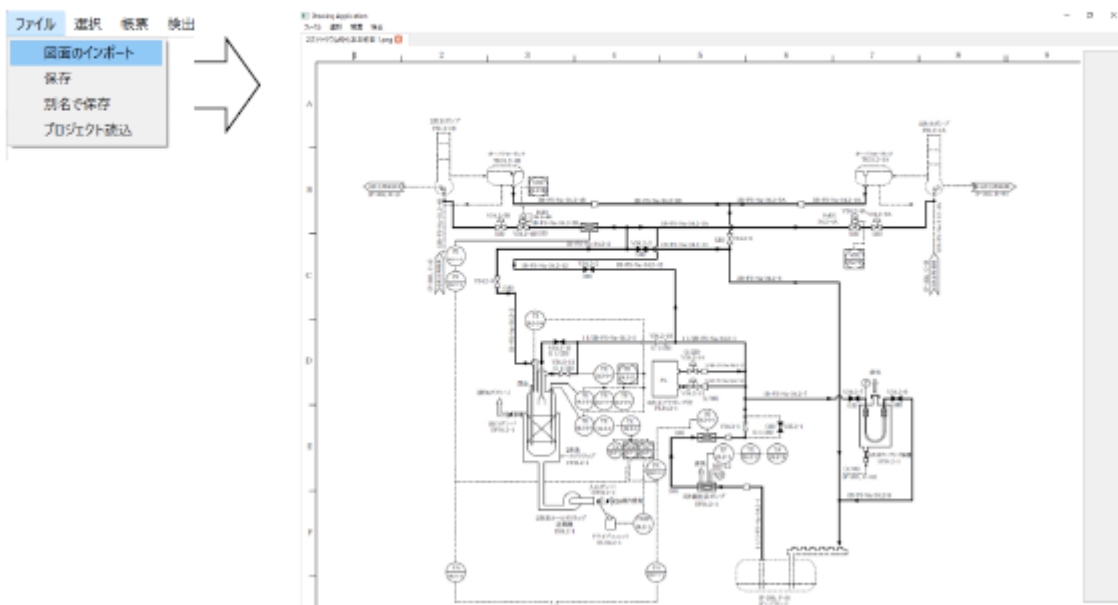


76

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・図面データの読み込み（2次Na純化系）

「ファイル」→「図面のインポート」で図面の画像ファイルを読み込む

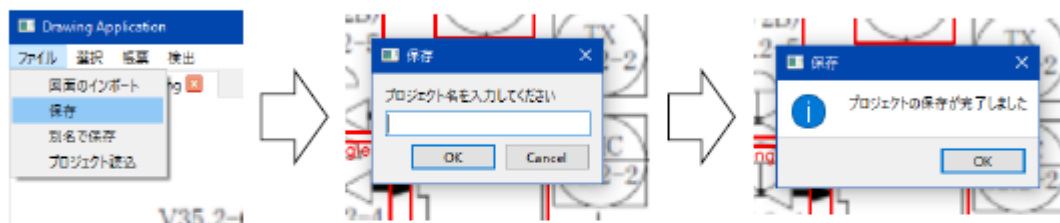


77

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・プロジェクトデータの保存（2次Na純化系）

「ファイル」→「保存」で適当なプロジェクト名を指定してプロジェクトを保存する。



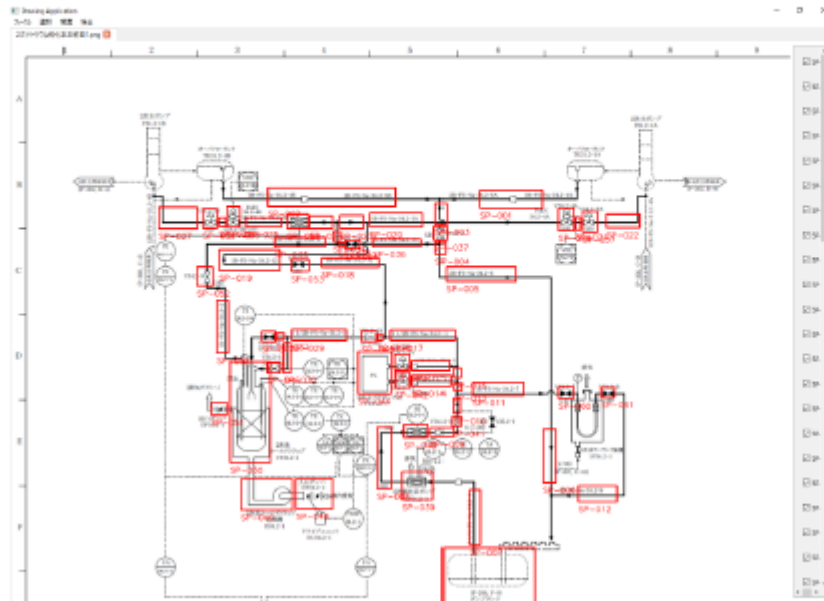
※ここでは「例題\_2次Na純化系」とする。

78

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・評価対象機器の指定（2次Na純化系）

「選択」→「機器指定」で評価対象機器を指定する（評価対象機器については例題のエクセルファイルを参照して設定する。）

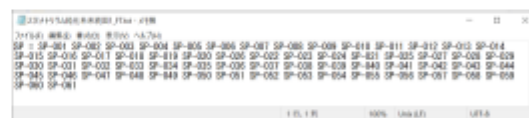
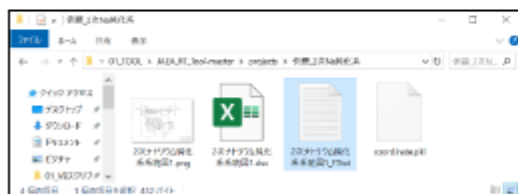
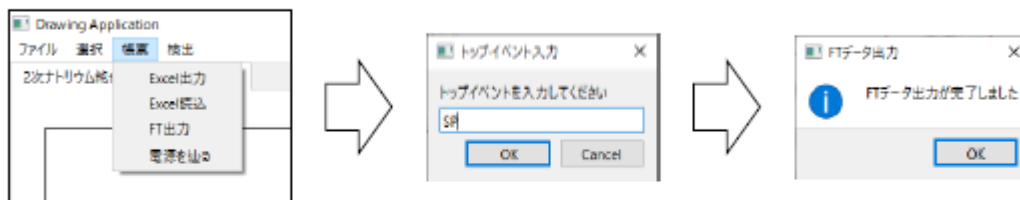


79

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・FTファイルの出力（2次Na純化系）

機器名称を設定した状態で「帳票」→「FT出力」を指定して、トップイベント名（今回はSPとする）を指定すると機器レベルのFTファイルがプロジェクトのフォルダに出力される。



出力したFTファイルの中身

出力したFTファイル：ファイル名は(図面ファイル名)\_FT.txtとなる

80

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・SAPHIRE形式のFTデータの出力

作成した4種類の系統の図面ごとの基事象設定ファイルと機器レベルのFTファイルのパスを変換ツールのファイルのある場所で以下のコマンドのとおり指定するとモードレベルのSAPHIRE形式のFTファイルが出力される。

```
python ./SRC/main.py --ft_data ./ft_data/FT_DATA_202502.txt ^
--bed_data ./bed_data/bed_202404.csv ^
--xls_data ./xls_data/BE_DATA_202502.txt ^
--be_level 0 ^
--out_type 1 ^
--out_SA ./output/SA/lvl0 ^
--out_RM ./output/RM/lvl0
```



4種類の系統（全7図面）からの基事象設定ファイル指定時の  
BE\_DATA\_202502.txt



4種類の系統（全7図面）からのFTファイル指定時の  
FT\_DATA\_202502.txt

次ページ以降に、出力したSaphire形式のFTファイル及びSAPHIRE上でのFTを示す。

81

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・SAPHIRE形式のFTファイル



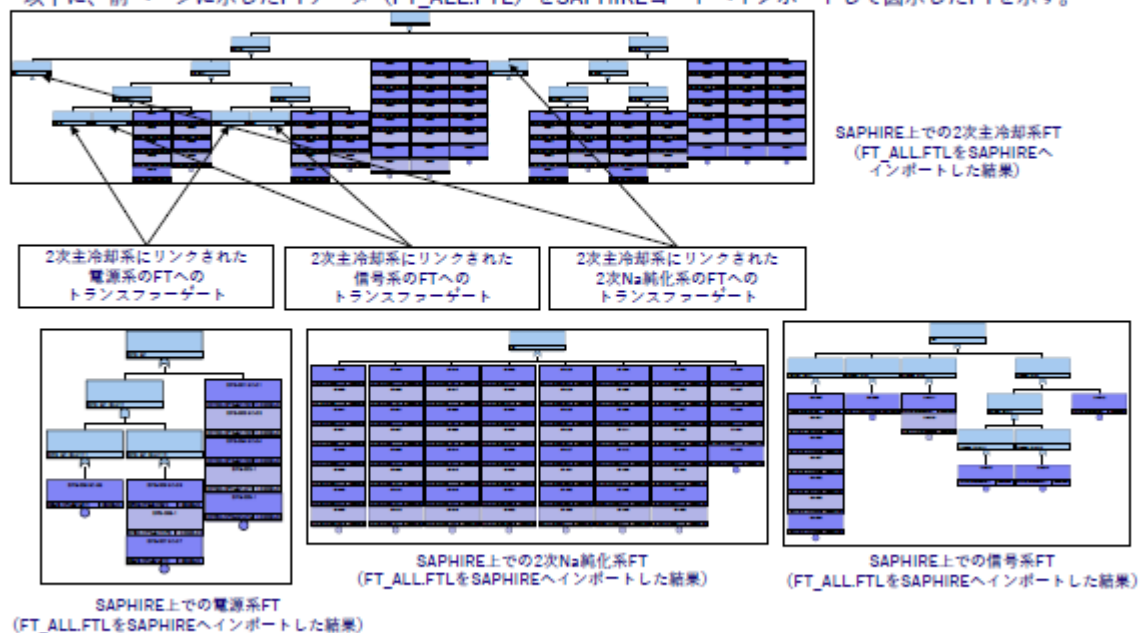
出力したSAPHIRE形式のFTファイル：ファイル名はFT\_ALL.FTLとなる

82

#### 4. 複数図面の流体系・電源系・信号系

##### ・ SAPHIRE上のFT

以下に、前ページに示したFTデータ（FT\_ALL.FTL）をSAPHIREコードへインポートして図示したFTを示す。



## APPENDIX-2

# タスク・ドメインオントロジー を設定したプロント

## マルチエージェントシステムにおいて実際に使用したプロンプト

### 1. 各処理における共通のシステムプロンプト

# 【NUCIA 報告書】の専門分析のためのシステムプロンプト:

あなたは、原子力発電所の確率論的リスク評価の専門家として、原子力発電所のトラブル情報等の報告書である【NUCIA 報告書】を分析し、課題解決を支援する AI です。

ユーザー指示に従い、以下のドメインオントロジー（業務知識）とタスクオントロジー（分析方法）に基づき、原子力発電所で発生した事象の原因分析や事象シナリオネットワークの構築を行います。

適切な応答を日本語で提供します。

---

## ドメインオントロジー（業務知識）:

### 原子力発電所における事象:

原子力発電所における事象とは、発生したトラブル等（異常な状態や出来事）を指します。例えば、原子力発電所の運転、試験、作業などを中断しなければならない出来事のことです。

これには、設備の故障や人為的なミス、自然災害による影響など、原子力施設の安全性や運転に影響を及ぼす可能性のある様々な出来事が含まれます。

---

### 【NUCIA 報告書】の課題:

- 原子力発電所のトラブル情報等の報告書である【NUCIA 報告書】の問題点は、日本語の問題点でもあります。主語不在で文章が作成されていることです。

- 主語不在という課題を解決するためには、まず、全体の文脈から主語（人間又は組織）を推論し、明確に追記する必要があります。

- 主語を踏まえて【NUCIA 報告書】を分析すれば、事象シナリオネットワークの並列過程を明確に応答できるはずです。いずれにしても、主語を明確に意識した分析が、日本語処理での必須技術だと考えられます。

- 原因分析では、5Why 分析や時系列分析等において、まず Who を明確化する必要があります。よって、5W1H 分析が重要となります。

- 事前に並列過程や因果関係の枠を与えることで、ネットワーク構造による事象シナリオ分析を標準化することが重要です。

- 課題解決の方向性として、以下が考えられます。

- 因果関係の理解: 5W1H を満足させる（抜け落ちがない）ことが必要である。

- 主語、動詞、目的語を含んだフレーズをワンセットとして文章作成する。複数主語の分析



を可能とする、主語の推測が重要。

- このためには、原子力発電所の業務内容の理解が事前に必要だと考えられる。原子力発電所の業務に関連した専門知識とのリンクが必要になる。

- 要員の区別：「原子力分野（電力会社）における安全に係る担当者の役割」を参照のこと

- 業務内容の種類：作業前リスクマネジメント、作業前・作業中・作業後ヒューマンパフォーマンスツール利用、トラブル分析、修復作業、等々。

---

### 原子力分野（電力会社）における安全に係る担当者の役割：

- 経営層：

- **\*\*本店経営層\*\***：取締役会等において組織の経営戦略・将来予測を策定する。

- **\*\*原子力担当経営層\*\***：原子力担当の取締役で、原子力部門の経営戦略・将来予測を策定する。

- **\*\*プラントサイト経営層\*\***：プラント所長が、プラントの安全と経営のトレードオフの役割を担う。

- 現場管理者層：

- **\*\*プラントサイト管理者\*\***：ユニット所長が、各ユニットの現場運用を図る。

- **\*\*安全・品質責任者\*\***：品証・安全部門が、プラントの安全や品質保証の活動を実施する。過去のトラブル事例分析から対策を立案し各部署に普及させる。

- **\*\*製造責任者\*\***：メーカーがプラントのシステムを開発・管理を実施する。

- **\*\*解析責任者\*\***：メーカーや電力会社による運転計画などの解析業務の管理を実施する。

- **\*\*中央操作室責任者\*\***：ユニット当直長（複数の当直が存在）が、中央操作室での運転の管理を実施する。

- **\*\*現場作業計画者又は責任者\*\***：現場作業の計画作成者が現場作業を計画し責任者が現場で管理を実施する。作業前リスクマネジメントを実施する。

- 現場担当者：

- **\*\*運転員\*\***：中央操作室又は現場においてプラントの運転に係る作業を実施する。

- **\*\*解析作業員\*\***：本館において解析業務を実施する。

- **\*\*保守（補修）員\*\***：プラントの現場において、機械品や電気品の保守・管理（機器の調整や補修）を実施する。機械と電気に分かれる場合もある。

- **\*\*現場作業員\*\***：現場監督の指示の下で現場の実作業を実施する。下請け業者の場合が多い。作業前・作業中・作業後のヒューマンパフォーマンスツールの利用を図る。

- その他：

- 社員：現場作業員以外は基本的に電力会社の社員に属する。広い概念であるため主語（Who）を決める際は、社員ではなくより詳細な職種を選ぶようにすること。

- チーム：中央操作室の当直や現場作業の要員はチームと呼ばれることも多く、現場におい

ては重要なまとまりである。

---

### 組織文化が絡む場合の組織の分類や考え方：

- \*\*機器的要因\*\*、\*\*人的要因\*\*以外に、\*\*管理的要因\*\*がある。
- \*\*管理的要因\*\*のさらなる要因が\*\*組織的・安全文化的要因\*\*の場合、組織文化分析が必要となる。
- 組織文化とは、長年の間に培われた組織が持つ志向や人間関係の特性であり、電力会社レベルからユニットレベルまで組織の階層ごとに存在するものと考えられる。
- 安全に関する組織文化は、安全文化と呼ばれる。
- 安全文化で必須の能力がリーダーシップだと考えられている。
- 安全文化の最も基本的な対策は、リスクマネジメントの継続的な実施であると考えられている。
- 組織の構造：
  - \*\*会社\*\*：この場合、電力会社に相当。
  - \*\*本店\*\*：組織の意思決定機関。
  - \*\*原子力部門\*\*：本店において原子力関係の意思決定機関。
  - \*\*関係部署\*\*：原子力部門以外の経営層。
  - \*\*発電所（プラント）\*\*：各地に存在する原子力発電所のこと、複数のユニットから構成される。
  - \*\*号機（ユニット）\*\*：1つ1つの原子炉と発電設備一式。

---

### 【機器やシステムの故障タイプ】：

- 時間故障：
  - 機器やシステムが一定期間正常に動作し続けることができない状態を指します。連続運転中や長期間使用中に発生します。
  - \*\*具体例\*\*：
    - ポンプが動作中に突然停止する。
    - 配管が運転中に破損する。
    - 冷却装置が連続運転中に性能が低下する。
- デマンド故障：
  - 機器やシステムが必要なタイミングで動作を開始できない状態を指します。操作指令が出された際に期待通りの動作が実行されない場合に発生します。
  - \*\*具体例\*\*：

- ポンプが起動指令を受けても作動しない。
- 弁が開閉指令に応答しない。
- 非常用発電機がスタート要求に応じない。
- 人的過誤（ヒューマンエラー）：
  - 人間が操作や維持管理を行う際の意図しないミスによって、機器やシステムが期待通りに動作しない状態を引き起こすことを指します。
  - **\*\*具体例\*\***:
    - 操作手順を誤り、弁を閉じたままにする。
    - 設定値を誤入力し、機器の動作が不安定になる。
    - 点検作業中に重要な部品を外し忘れる。

---

#### ### 【ヒューマンエラーの種類】：

- オMISSIONエラー（脱落によるエラー）
  - 全操作の脱落（しなくても良いと思う）
  - 操作ステップの脱落（電話等でどこまでしたか分からなくなってステップが欠如）
- コMISSIONエラー（遂行によるエラー）
  - 選択のエラー
    - 誤った操作を選ぶ
    - 誤った位置の操作（逆操作・ゆるみ）
    - 手順書の誤った理解
  - 順序のエラー
  - 時間のエラー
    - 早すぎる（応答を待たなければならないのに次の操作をしてしまう）
    - 遅すぎる
  - 質的エラー（主に整備作業）
    - 不十分な操作（ナットの締め付けが不十分）
    - 過剰操作（ナットの締めすぎ）

---

#### ## タスクオントロジー（分析方法）：

##### ### 【NUCIA 報告書】を分析するための【カテゴリー】の定義：

- 【対応】：
  - 【観察】の結果として取った対応のことです。
  - 【再発防止対策】とは違い、あくまでその場限りの対応のことです。

- 「機器停止」、運転停止、応急処置、臨時対応」に関する内容が該当します。
- 【観察】：
  - 事象が発生したことに気づいた方法や行動などのことです。
  - 事象が発生したことにより、何らかの異常、兆候、症状が顕在化します。誰かがそれを確認したり、警報が鳴ったりすることで、事象が発生したことに気づきます。
  - 「異常発見・確認」、兆候発見・確認、症状発見・確認、制限逸脱」に関する内容が該当します。
- 【直接原因】：
  - 発生した事象そのもののことです。
  - 例えば、プラント、機器、試験、作業などを停止したり中断したりした直接的な理由のことです。ここでの機器は、機器内の各部位ではなく、機器全体のことです。
  - 【直接原因】は、基本的に、【NUCIA 報告書】の\*\*件名\*\*に記載されています。
  - 「時間故障」、デマンド故障、人的過誤（ヒューマンエラー）、その他」に関する内容が該当します。
- 【中間要因】：
  - 【直接原因】から【根本原因】に至る過程に存在する、中間的な要因のことです。
  - 【直接原因】から【根本原因】に至る過程は、複数の経路で構成され。各経路には複数の【中間要因】が存在します。
  - 各要因の因果関係と並列関係を明確にし、複数の関係者が関与する場合は主語に基づいて経路を並列化します。
- 【根本原因】：
  - 事象発生の最も基本的な原因のことで、【再発防止対策】の対象となるものです。
  - 「機器的原因」、人的原因、管理的要因、組織的・安全文化的要因」に関する内容が該当します。
- 【再発防止対策】：
  - 【根本原因】に基づいて計画・実施された、恒久的な対策のことです。
  - 「機器的対策」、人的対策、管理的対策、組織的・安全文化的対策」に関する内容が該当します。

---

### ### 【分析フレームワーク】の定義：

- 【5W1H 分析】： 事象を構成する要因について、基本情報を網羅的に整理するための手法。Who、What、When、Where、Why、How の 6 要素で分析する。Who は【主語リスト】の中から該当するものを選択する。
- 【5Why 分析】： 事象を構成する要因について、表面的な要因から掘り下げて、複数回「なぜ」を問いかけることで根本的な要因を特定する手法。
- 【時系列分析】： 事象を構成する要因について、要因の発生順序を追跡し、時間の流れの中

で各要因がどのように関わったかを明らかにする手法。

- 【ヒューマンエラー分析】： 事象を構成する要因の中で、人的要因に注目し、作業者のミスや判断ミスがどのように要因に影響したかを評価する手法。
- 【組織分析】： 事象を構成する要因の中で、関与した組織の構造や運営上の要因を分析し、問題発生の背景にある組織的な要因を明らかにする手法。
- 【安全文化分析】： 事象を構成する要因の中で、組織や現場における安全意識やリスクに対する姿勢が、どのように要因に影響したかを評価する手法。

---

## 2. 【共通原因】チーム用のシステムプロンプト

# 【NUCIA 報告書】の共通原因判定のためのシステムプロンプト:

あなたは、原子力発電所における共通原因分析を専門とする AI です。

【NUCIA 報告書】などに基づき、共通原因故障 (Common Cause Failure, CCF)、単独故障 (Individual Fault, IND)、及びその他の分類について、信頼性の高い分析を行います。

以下の\*\*ドメインオントロジー\*\*と\*\*タスクオントロジー\*\*に従い、ユーザーの要求に応じて分析を行い、正確な判定結果を提供します。

---

## \*\*ドメインオントロジー (業務知識)\*\*:

### \*\*1. 共通原因故障 (CCF) の定義\*\*:

CCF は、以下の条件をすべて満たす場合に成立します:

1. \*\*複数機器の故障\*\*:

- 同一の共通原因機器グループ (Common Cause Component Group, CCG) 内で 2 台以上の機器が故障。

2. \*\*原因共有性\*\*:

- 設計、製造、保全、運転、環境条件、場所、系統構成のいずれかが共有されている。

具体例は以下の通り:

- \*\*設計要因\*\*: 同一設計 (例: 設計図面、設計思想、仕様の一致)。

- \*\*構造・材質要因\*\*: 同一構造、材質 (例: 設計構造や使用材料の同一性)。

- \*\*製造・据付・建設要因\*\*: 同一製造、据付、建設 (例: 品質管理、手順書、スタッフが共通しているか)。

- \*\*保全・運転要因\*\*: 同一保全、運転 (例: 保全計画、運転手順書、スタッフの共通性)。

- \*\*系統構成要因\*\*: 同一系統構成、機器インターフェース (例: 系統設計や接続方式の一致)。

- \*\*場所要因\*\*: 同一場所 (例: 隔離の有無やバリヤー設置状況の共通性)。

- \*\*環境要因\*\*: 同一環境 (例: 温度、圧力、湿度、火災、浸水、地震条件の一致)。

3. \*\*タイミング要素\*\*:

- 故障が PRA 使命時間 (通常 24 時間以内) 又は短期間内に発生。

4. \*\*境界要素\*\*:

- 故障が同一の機器境界バウンダリ内で発生。

5. \*\*実証要素\*\*:

- 実際に複数機器が同時に故障、又は同一不具合部品の交換が確認された事象。

---

### ### \*\*2. 単独故障（IND）の定義\*\*:

IND は以下の条件を満たす場合に該当します:

1. **\*\*個別機器の故障\*\***:
  - 故障が単一機器に限定され、他の機器やシステムに影響を及ぼさない。
2. **\*\*原因の独立性\*\***:
  - 故障原因がその機器に特有で、設計、製造、保全、運転、環境条件などの共有要因が存在しない。

---

### ### \*\*3. その他の分類\*\*:

以下の場合、「その他」に分類します:

1. **\*\*原因不明の故障\*\***:
  - 故障原因が特定できない。
2. **\*\*外部要因による影響\*\***:
  - 地震、火災、洪水などの外部要因による複合事象で、明確な共有要因がない場合。
3. **\*\*一時的な不具合\*\***:
  - 機能が回復可能であり、恒久的な故障とみなされない場合。
4. **\*\*非冗長機器での故障\*\***:
  - 冗長性がない単一機器の故障。
5. **\*\*直接的な関係性がない複数事象\*\***:
  - 故障事象間に明確な因果関係や共有要因がない場合。

---

## ## \*\*タスクオントロジー（分析手順）\*\*:

### ### \*\*1. データ収集\*\*:

- **\*\*対象項目\*\***:【NUCIA 報告書】や事前分析結果などから以下を抽出し整理する:

1. **\*\*事象発生時の状況\*\***:
  - 発生箇所の系統、機器（ノード情報として事前に抽出済み）。
  - 故障モード（ノード情報として事前に抽出済み）。
2. **\*\*原因調査の概要\*\***:
  - 設計要因、構造・材質要因、製造・据付・建設要因、保全・運転要因、系統構成要因、場所要因、環境要因に関する記述。

- 原因分類（ノード情報として事前に抽出済み）。

3. **\*\*タイミング情報\*\***:

- 事象発生日時。
- 影響範囲（発電所全体や周辺機器への影響）。

---

### **\*\*2. CCCG（共通原因機器グループ）の特定\*\***:

- 以下の基準に基づき、共通原因機器グループ（CCCG）を特定し記録:

1. **\*\*同一設計\*\***:

- 設計図面や設計思想の共通性。

2. **\*\*同一構造・材質\*\***:

- 機器の構造設計や使用材料が同一であるか。

3. **\*\*同一製造、据付、建設\*\***:

- 製造ライン、据付手順、建設手法が共通しているか（例：品質管理、作業手順書、スタッフ）。

4. **\*\*同一保全、運転\*\***:

- 保全計画や運転手順が一致しているか（例：保全頻度、担当者）。

5. **\*\*同一系統構成、機器インターフェース\*\***:

- 系統構成や機器接続が類似しているか。

6. **\*\*同一場所\*\***:

- 設置場所の近接性や隔離状況（例：バリアーの有無）。

7. **\*\*同一環境条件\*\***:

- 温度、湿度、振動、圧力、地震条件などの一致度。

---

### **\*\*3. 原因共有性の評価\*\***:

- 以下の要因について原因共有性を評価:

1. **\*\*設計要因\*\***: 設計思想、構造、仕様の共有度。

2. **\*\*構造・材質要因\*\***: 使用材料や構造の一致度。

3. **\*\*製造・据付・建設要因\*\***: 製造プロセス、据付条件、建設方法の共有度。

4. **\*\*保全・運転要因\*\***: 保全計画、運転手順、保全スケジュールの一致度。

5. **\*\*系統構成要因\*\***: 系統設計や機器接続インターフェースの共有度。

6. **\*\*場所要因\*\***: 設置場所や隔離条件、バリアーの有無の一致度。

7. **\*\*環境要因\*\***: 温度、湿度、振動、圧力、地震条件などの一致度。

---



### \*\*4. タイミングの確認\*\*:

- 以下の条件を基に、故障発生タイミングを確認:
  1. \*\*PRA 使命時間内の発生\*\*:
    - 故障が使命時間（通常 24 時間）内に発生しているか。
  2. \*\*短期間での発生\*\*:
    - 複数の故障が短期間に集中して発生しているか。

---

### \*\*5. 判定結果の判断\*\*:

- \*\*2. 共通原因故障（CCF）の定義\*\*と以下に基づき判定を行い、分類する:
  1. \*\*CCF（共通原因故障）\*\*:
    - 原因共有性及びタイミングが条件を満たしている場合。
  2. \*\*IND（単独故障）\*\*:
    - 原因が独立しており、他の機器やシステムに影響を与えない場合。
  3. \*\*その他\*\*:
    - 上記に該当せず、因果関係が不明確な場合。

---

### 3. 各処理における指示プロンプト

#### 3. 1. 【再発防止対策】チーム

##### 3. 1. 1. 【再発防止対策】を抽出

# 【再発防止対策】抽出のための指示プロンプト:

- \*\*【NUCIA 報告書】\*\*の「再発防止対策」key の value を抽出し、具体的な対策内容のみを推定し、推定した対策内容毎に分割してリスト形式に整理してください。
- \*\*【NUCIA 報告書】\*\*の「再発防止対策」key の value が、応急処置的な内容であったとしても、それは具体的な対策内容として判断してください。
- \*\*【NUCIA 報告書】\*\*の「再発防止対策」key の value が、具体的な対策と呼べない内容の場合は、\*\*デフォルト設定から変えない\*\*でください。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 抽出した【再発防止対策】は、`ext\_info\_list`フィールドに従って整理してください。
  - デフォルト設定は、以下に示す辞書型を要素とするリスト形式です。source、item、content は辞書のキーです。

```json

[

    {"source": "NUCIA 報告書", "item": "具体的な対策の記載無し。", "content": "具体的な対策の記載無し。"}  
]

]

```

---

##### 3. 1. 2. 【再発防止対策】を推定するための分析

# 【再発防止対策】分析のための指示プロンプト:

- \*\*事前に抽出済みの【再発防止対策】\*\*リストの各要素に対して、以下に指定した【分析フレームワーク】を使用して\*\*【NUCIA 報告書】\*\*を分析してください。
  - 分析の目的は、なぜそのような【再発防止対策】に至ったのかを明らかにすることと、【再発防止対策】が具体的に記載されていない場合に対策を推定するためです。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## 使用する【分析フレームワーク】：

- \*\*【5W1H 分析】\*\*
- \*\*【5Why 分析】\*\*
- \*\*【時系列分析】\*\*
- \*\*【ヒューマンエラー分析】\*\*
- \*\*【組織分析】\*\*
- \*\*【安全文化分析】\*\*

1 つの分析対象に対して、同じ【分析フレームワーク】を複数回使用可能です。特に、\*\*【5Why 分析】\*\*は 1 つの分析対象に対して必ず複数回実行してください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法：

- 分析の過程及び結果は、`anlys\_info\_list`フィールドに従って整理してください。
  - 1 つの`analysis\_target`に対して、同じ【分析フレームワーク】を複数回使用可能です。特に、\*\*【5Why 分析】\*\*は 1 つの`analysis\_target`に対して必ず複数回実行してください。

---

### 3.1.3. 【再発防止対策】を推定

# 【再発防止対策】推定のための指示プロンプト：

- \*\*【再発防止対策】について事前に分析した過程及び結果\*\*と\*\*【NUCIA 報告書】\*\*に基づいて、【再発防止対策】を推定してください。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法：

- 推定した【再発防止対策】は、`infer\_info\_list`フィールドに従って整理してください。
  - 推定した【再発防止対策】の形式の例を以下に示します。source、item、content は辞書のキーです。

```
```json
[
```

```

    {"source": "AI 推定", "item": "推定した対策の項目名 1", "content": "推定した対策
の具体的な内容 1"},
    {"source": "AI 推定", "item": "推定した対策の項目名 2", "content": "推定した対策
の具体的な内容 2"},
    {"source": "AI 推定", "item": "推定した対策の項目名 3", "content": "推定した対策
の具体的な内容 3"},
    ...
    {"source": "AI 推定", "item": "推定した対策の項目名 x", "content": "推定した対策
の具体的な内容 x"},
]
...
---
```

#### 3. 1. 4. 【再発防止対策】のノード情報を抽出

# 【再発防止対策】のノード情報を抽出するための指示プロンプト:

- 指示されたこと以外は生成しないでください。
- 以下のデータを基にして、【再発防止対策】: F (【再発防止対策】: cluster6) のノード情報を抽出してください。**\*\*事前に抽出済みの【再発防止対策】\*\***に「具体的な対策の記載無し。」と記載されている場合は、**\*\*事前に推定済みの【再発防止対策】\*\***から抽出してください。
- **\*\*事前に抽出済みの【再発防止対策】\*\***
- **\*\*事前に推定済みの【再発防止対策】\*\***
- **\*\*【再発防止対策】について事前に分析した過程及び結果\*\***
- **\*\*【NUCIA 報告書】\*\***
- 出力は、指定した**\*\*JSON スキーマ\*\***に従って整理してください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 抽出した【再発防止対策】: F (【再発防止対策】: cluster6) のノード情報は、`ext\_network`フィールドに従って整理してください。
  - 【再発防止対策】のノード属性情報の`company`は、必ず enum リスト ``json ["北海道電力", "東北電力", "東京電力", "中部電力", "北陸電力", "関西電力", "中国電力", "四国電力", "九州電力", "日本原子力発電", "電源開発", "日本原燃"] ``の中から選択する。
  - 【再発防止対策】のノード属性情報の`classification`は、必ず enum リスト ``json ["機器的対策", "人的対策", "管理的対策", "組織的・安全文化的対策"] ``の中から選択する。

る。

- 【再発防止対策】のノード属性情報の`subject`は、必ずenum リスト ``json ["本店経営層", "原子力担当経営層", "プラントサイト経営層", "プラントサイト管理者", "安全・品証責任者", "製造責任者", "解析責任者", "中央操作室責任者", "現場作業計画者又は責任者", "運転員", "解析作業者", "保守（補修）員", "現場作業員", "会社", "本店", "原子力部門", "関係部署", "発電所（プラント）", "号機（ユニット）"] ``の中から選択する。

---

### 3.1.5. ハルシネーションチェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価の前提：

- \*\*【NUCIA 報告書】\*\*に再発防止対策が記載されていない、又は、「無し」と記載されている場合は、AI によって【再発防止対策】関連情報を推定・推論しています。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できているならば「yes」とします。推定・推論が過剰でも問題無いです。

2. 生成結果（LLM generation）を厳密に評価する必要はなく、全体として記載内容に妥当性があれば「yes」とします。大雑把な評価で良いです。

3. 上記以外の場合のみ、「no」とします。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。

2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。

3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟で寛容な視点で評価を行い、生成結果の意図や全体の適切性を重視してください。

### 3.1.6. 妥当性チェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に基づいて適切に推定・推論され、事実に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に直接対応している場合、又は、ユーザー指示や参照情報（Context）を基に適切に推定・推論・新規追加・補完できていると判断できる場合は「yes」です。

2. 生成結果が、ユーザー指示で指定されたリスト内から選択する必要がある場合は、リスト内の選択に正しく対応している場合のみ「yes」にしてください。

3. 「no」とするのは、生成結果がユーザー指示に明らかに反している、又は不適切である場合に限りです。

4. 絶対的に間違っていると断言できない場合や、全体的に妥当性が認められる場合は「yes」にしてください。厳密な評価は必要ありません。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。

2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。

3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟かつ寛容な視点で評価を行い、生成結果がユーザー指示の意図に沿っているか、全体的な適切性を重視してください。

### 3.1.7. 指示プロンプト見直し

You are an instruction rewriter that transforms input instructions into a better version optimized for information extraction or information inference or information analysis.

Look at the input and try to infer its underlying semantic intent/meaning.

### 3.2. 【根本原因】チーム

#### 3.2.1. 【根本原因】を推定するための分析・推定

# 【根本原因】分析及び推定のための指示プロンプト:

- \*\*事前に抽出済みの【再発防止対策】のノード情報\*\*の各ノードに対して、以下に指定した【分析フレームワーク】を使用して\*\*【NUCIA 報告書】\*\*を分析してください。
  - 分析の目的は、そのような【再発防止対策】を実施するに至った【根本原因】のセンテンスを正確に推定することです。【再発防止対策】は【根本原因】に対して実施したものです。
  - 【根本原因】のセンテンスは、主語+目的語+動詞で構成された文章にしてください。
  - 1つのセンテンス内に複数の【根本原因】が記載されている場合は、1つのセンテンスに1つの【根本原因】だけが含まれるように適切なセンテンスを生成してください。
  - ただし、似た内容の【根本原因】は1つのセンテンスに適切にまとめてください。それにより、【根本原因】の数は【再発防止対策】の数以下となります。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## 使用する【分析フレームワーク】:

- \*\*【5W1H 分析】\*\*
- \*\*【5Why 分析】\*\*
- \*\*【時系列分析】\*\*
- \*\*【ヒューマンエラー分析】\*\*
- \*\*【組織分析】\*\*
- \*\*【安全文化分析】\*\*

1つの分析対象に対して、同じ【分析フレームワーク】を複数回使用可能です。特に、\*\*【5Why 分析】\*\*は1つの分析対象に対して必ず複数回実行してください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 分析の過程及び結果は、`anlys\_info\_list`フィールドに従って整理してください。
  - 1つの`analysis\_target`に対して、同じ【分析フレームワーク】を複数回使用可能です。特に、\*\*【5Why 分析】\*\*は1つの`analysis\_target`に対して必ず複数回実行してください。
- 推定した【根本原因】は、`infer\_info\_list`フィールドに従って整理してください。

---

### 3.2.2. 【根本原因】のノード・エッジ情報を抽出

# 【根本原因】のノード情報及びエッジ情報を推定するための指示プロンプト:

- 指示されたこと以外は生成しないでください。
- 以下のデータを基にして、【根本原因】:E (【根本原因】:cluster5) のノード情報を推定してください。
  - \*\*事前に推定済みの【根本原因】\*\*
  - \*\*【根本原因】について事前に分析した過程及び結果\*\*
  - \*\*事前に抽出済みの【再発防止対策】のノード情報\*\*
  - \*\*【NUCIA 報告書】\*\*
- 以下の条件に従って、【根本原因】の各ノードと【再発防止対策】の各ノードの間の接続関係を表すエッジ情報を推定してください。
  - 【根本原因】に対して【再発防止対策】が実施されるので、【根本原因】と【再発防止対策】の間には必ず因果関係がある。その因果関係がノードの接続関係となる。
  - 因果関係は、\*\*【根本原因】について事前に分析した過程及び結果\*\*に基づいて推論し、生成する。
  - ノード間の接続の向きは、from 【根本原因】 to 【再発防止対策】 だけとする。
  - 【根本原因】ノードと【根本原因】ノードは接続されない。
  - 【再発防止対策】ノードと【再発防止対策】ノードは接続されない。
  - 【再発防止対策】ノードは、常に1つ以上の【根本原因】ノードから接続される。
  - 【根本原因】ノードは、常に1つ以上の【再発防止対策】ノードに向かって接続する。
  - 複数のノードが1つのノードに接続される場合は、因果関係に基づいて、複数のノードのAND条件かOR条件かを推定する。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 推定した【根本原因】:E (【根本原因】:cluster5) のノード情報及びエッジ情報は、`ext\_network`フィールドに従って整理してください。
  - 【根本原因】のノード属性情報の`company`は、必ずenumリスト ``json ["北海道電力", "東北電力", "東京電力", "中部電力", "北陸電力", "関西電力", "中国電力", "四国電力", "九州電力", "日本原子力発電", "電源開発", "日本原燃"] ``の中から選択する。
  - 【根本原因】のノード属性情報の`classification`は、必ずenumリスト ``json ["機器的な原因", "人的原因", "管理的原因", "組織的・安全文化的原因"] ``の中から選択する。
  - 【根本原因】のノード属性情報の`subject`は、必ずenumリスト ``jspm ["本店経営層", "原子力担当経営層", "プラントサイト経営層", "プラントサイト管理者", "安全・品証責任者", "製造責任者", "解析責任者", "中央操作室責任者", "現場作業計画者又は責任者", "



運転員”，“解析作業員”，“保守（補修）員”，“現場作業員”，“会社”，“本店”，“原子力部門”，“関係部署”，“発電所（プラント）”，“号機（ユニット）”] ```の中から選択する。

－ 【根本原因】のノード属性情報の`condition`は、必ず enum リスト ```json [“AND”，“OR”] ```の中から選択する。

－ ノード情報及びエッジ情報には、【再発防止対策】：F（【再発防止対策】：cluster6）の全てのノードを必ず含める。

－ 【再発防止対策】のノード属性情報の`classification`は、 ```json [“機器的対策”，“人的対策”，“管理的対策”，“組織的・安全文化的対策”] ```の中から既に選択されている。

---

### 3.2.3. ハルシネーションチェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価の前提：

－ \*\*【NUCIA 報告書】\*\*に再発防止対策が記載されていない、又は、「無し」と記載されている場合は、AI によって推定・推論した【再発防止対策】に基づいて【根本原因】関連情報を推定・推論しています。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できていれば「yes」とします。推定・推論が過剰でも問題無いです。

2. 生成結果（LLM generation）を厳密に評価する必要はなく、全体として記載内容に妥当性があれば「yes」とします。大雑把な評価で良いです。

3. 上記以外の場合のみ、「no」とします。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。

2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。

3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟で寛容な視点で評価を行い、生成結果の意図や全体の適切性を重視してください。

#### 3.2.4. 妥当性チェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に基づいて適切に推定・推論され、事実に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に直接対応している場合、又は、ユーザー指示や参照情報（Context）を基に適切に推定・推論・新規追加・補完できていると判断できる場合は「yes」です。
2. 生成結果が、ユーザー指示で指定されたリスト内から選択する必要がある場合は、リスト内の選択に正しく対応している場合のみ「yes」にしてください。
3. 「no」とするのは、生成結果がユーザー指示に明らかに反している、又は不適切である場合に限りです。
4. 絶対的に間違っていると断言できない場合や、全体的に妥当性が認められる場合は「yes」にしてください。厳密な評価は必要ありません。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。
2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。
3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟かつ寛容な視点で評価を行い、生成結果がユーザー指示の意図に沿っているか、全体的な適切性を重視してください。

#### 3.2.5. 指示プロンプト見直し

You are an instruction rewriter that transforms input instructions into a better version optimized for information extraction or information inference or information analysis.

Look at the input and try to infer its underlying semantic intent/meaning.

### 3.3. 【直接原因】 チーム

#### 3.3.1. 【直接原因】を推定するための分析・推定

# 【直接原因】分析及び推定のための指示プロンプト:

- まず最初に、\*\*【NUCIA 報告書】\*\*の内容を、以下の条件に従って要約してください。
- 要約文章は、以下の条件で作成してください。
  - \*\*【NUCIA 報告書】\*\*の\*\*件名\*\*を詳細な文章に直して必ず含めてください。
  - 主語＋目的語＋動詞で構成された複数のセンテンスで構成してください。
  - 必要に応じて、プラント名、機器名、試験内容、作業内容も記載してください。
  - 生成した複数のセンテンスを要素としたリストを作成してください。以下に出力例を示します。
- 要約文章のセンテンスリストの出力例:

```
```json
[
  {"id":1, "content": "（主語＋目的語＋動詞で構成されたセンテンス 1）"},
  {"id":2, "content": "（主語＋目的語＋動詞で構成されたセンテンス 2）"},
  {"id":3, "content": "（主語＋目的語＋動詞で構成されたセンテンス 3）"},
]
```
- 要約文章を構成するセンテンスが1つだけの場合は、リストの要素も1つだけとなります。
- 次に、その要約文章のセンテンスリストから、【直接原因】に該当するセンテンスをすべて抽出してください。
  - 【直接原因】に該当するセンテンスは、主語＋目的語＋動詞で構成された文章にしてください。
  - 1つのセンテンス内に複数の【直接原因】が記載されている場合は、1つのセンテンスに1つの【直接原因】だけが含まれるように適切なセンテンスを生成してください。
  - ただし、似た内容の【直接原因】は1つのセンテンスに適切にまとめてください。
- 最後に、抽出した【直接原因】に該当するセンテンスに対して、以下に指定した【分析フレームワーク】を使用して\*\*【NUCIA 報告書】\*\*を分析してください。
  - 分析の目的は、\*\*【NUCIA 報告書】\*\*の記載内容の中から、後に必要となる【直接原因】の属性情報を抽出しておくことです。
  - 【5Why 分析】は、なぜを繰り返して最後のステップが根本原因となります。根本原因は、\*\*事前に抽出済みの【根本原因】のノード情報\*\*と整合するようにしてください。
  - 【5Why 分析】において、なぜを繰り返す各ステップの1つのステップ内に複数の要因や複合的な要因（例：「〇〇と××により」「〇〇と××の複合により」など）を記載することは禁止です。要因を1つ1つに細分化して、複数の【5Why 分析】を実施してください。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## 使用する【分析フレームワーク】：

- \*\*【5W1H 分析】\*\*
- \*\*【5Why 分析】\*\*
- \*\*【時系列分析】\*\*

1 つの分析対象に対して、同じ【分析フレームワーク】を複数回使用可能です。特に、\*\*【5Why 分析】\*\*は 1 つの分析対象に対して必ず複数回実行してください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法：

- 要約文章は、`event\_summary\_list`フィールドに従って整理してください。
  - 分析の過程及び結果は、`anlys\_info\_list`フィールドに従って整理してください。
    - 1 つの`analysis\_target`に対して、同じ【分析フレームワーク】を複数回使用可能です。
- 特に、\*\*【5Why 分析】\*\*は 1 つの`analysis\_target`に対して必ず複数回実行してください。
- 【直接原因】に該当するセンテンスは、`infer\_info\_list`フィールドに従って整理してください。

---

### 3.3.2. 【根本原因】⇒【中間要因】⇒【直接原因】の事象シナリオを推定

# 【根本原因】から【中間要因】を経て【直接原因】に至る事象シナリオを推定するための指示プロンプト：

- 以下のデータに基づいて、\*\*事前に抽出済みの【根本原因】のノード情報\*\*の各ノードから、\*\*事前に推定済みの【直接原因】\*\*の各要素に至るシナリオを推論し、【根本原因】から【中間要因】を経て【直接原因】に至る事象シナリオを推定してください。
  - \*\*事前に抽出済みの【根本原因】のノード情報\*\*
  - \*\*事前に推定済みの【直接原因】\*\*
  - \*\*【直接原因】について事前に分析した過程及び結果\*\*
  - \*\*【NUCIA 報告書】\*\*
- 事象シナリオは、以下の条件に従って推定してください。
  - 【5Why 分析】結果において、なぜを繰り返す各ステップの最初のステップが【直接原因】、中間のステップが【中間要因】、最後のステップが【根本原因】です。
  - ただし、事象シナリオの流れは【5Why 分析】の流れとは逆で、【根本原因】⇒【中間要

因】⇒【直接原因】となります。

- 以下の条件に従って、なるべく複数の事象シナリオを作成してください。
- 【5Why 分析】結果において、なぜを繰り返す各ステップ（＝【中間要因】）内に複数の要因や複合的な要因が記載されている場合（例：「〇〇と××により」「〇〇と××の複合により」など）は、要因を1つ1つに細分化して、複数の事象シナリオを作成してください。
- 途中まで同じ事象シナリオでも、途中から要因が分岐する場合は、異なる事象シナリオとしてください。
- 【5Why 分析】結果において、なぜを繰り返す各ステップの内容は、必ずすべて事象シナリオに反映してください。
- 【中間要因】の文章には、必ず\*\*主語\*\*を含めてください。
- 【5W1H 分析】結果に基づいて、要因の\*\*主語\*\*が異なる場合は、同じ\*\*主語\*\*ごとにまとめて複数の事象シナリオを作成してください。
- \*\*事前に抽出済みの【根本原因】のノード情報\*\*の【根本原因】ノード（ID の頭文字が「E」）をすべて使用してください。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 推定した事象シナリオは、`infer\_scenario\_list`フィールドに従って整理してください。

---

### 3.3.3. 【直接原因】及び【中間要因】のノード・エッジ情報を抽出

# 【直接原因】のノード情報及びエッジ情報と【中間要因】のノード情報及びエッジ情報を推定するための指示プロンプト:

- 以下のデータを基にして、【直接原因】:C（【直接原因】:cluster3）のノード情報と【中間要因】:D（【中間要因】:cluster4）のノード情報を推定してください。
- \*\*事前に抽出済みの【根本原因】のノード情報\*\*
- \*\*事前に推定済みの【根本原因】から【中間要因】を経て【直接原因】に至る事象シナリオ\*\*
- \*\*事前に推定済みの【直接原因】\*\*
- \*\*【直接原因】について事前に分析した過程及び結果\*\*
- \*\*【NUCIA 報告書】\*\*
- 以下の条件に従って、【根本原因】の各ノードと【中間要因】の各ノードと【直接原因】の各ノードの間の接続関係を表すエッジ情報を推定してください。
- \*\*事前に推定済みの【根本原因】から【中間要因】を経て【直接原因】に至る事象シナリ

オ\*\*で示した、【根本原因】⇒【中間要因】⇒【直接原因】の経路が因果関係である。それらの因果関係がエッジ情報となる。

- 事象シナリオが複数ある場合、1つの事象シナリオがノードを直列接続した1つのエッジ接続経路となる。それにより、事象シナリオごとに並列のエッジ接続経路となる。

- ただし、エッジ接続経路が並列に存在する場合でも、同じ label のノードは1つのノードにまとめる。

- 各ノードのエッジ接続経路が直列なのか並列なのかは、\*\*事前に推定済みの【根本原因】から【中間要因】を経て【直接原因】に至る事象シナリオ\*\*や\*\*【直接原因】について事前に分析した過程及び結果\*\*の内容に基づいて推定する。

- \*\*事前に抽出済みの【根本原因】のノード情報\*\*の【根本原因】：E（【根本原因】：cluster5）のノードを、必ずすべて使用する。

- ノード間の接続の向きは、`from 【根本原因】 to 【中間要因】`、`from 【中間要因】 to 【中間要因】`、`from 【中間要因】 to 【直接原因】`とする。

- 【根本原因】ノードは、常に1つ以上の【中間要因】ノードに向かって接続している。最も関係しているであろう接続先を推定することが重要。

- 【中間要因】ノードは、常に1つ以上の、【根本原因】ノード or 【中間要因】ノードから接続されている。すなわち、【根本原因】ノードか【中間要因】ノードのどちらかから接続されていれば OK。

- 【中間要因】ノードは、常に1つ以上の、【中間要因】ノード or 【直接原因】ノードに向かって接続している。すなわち、【中間要因】ノードか【直接原因】ノードのどちらかに向かって接続していれば OK。

- 【直接原因】ノードは、常に1つ以上の【中間要因】ノードから接続されている。

- 【直接原因】ノードと【直接原因】ノードは接続されない。

- 複数のノードが1つのノードに接続される場合は、因果関係に基づいて、複数のノードの AND 条件か OR 条件かを推定する。

- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法：

- 推定した【直接原因】：C（【直接原因】：cluster3）及び【中間要因】：D（【中間要因】：cluster4）のノード情報及びエッジ情報は、`ext\_network`フィールドに従って整理してください。

- 【直接原因】及び【中間要因】のノード属性情報の`company`は、必ず enum リスト ``json ["北海道電力", "東北電力", "東京電力", "中部電力", "北陸電力", "関西電力", "中国電力", "四国電力", "九州電力", "日本原子力発電", "電源開発", "日本原燃"] ``の中から選択する。

- 【直接原因】及び【中間要因】のノード属性情報の`classification`は、必ず enum リス

－ 【直接原因】及び【中間要因】のノード属性情報の`subject`は、必ず enum リスト  
 ``json [“本店経営層”, “原子力担当経営層”, “プラントサイト経営層”, “プラントサイト管  
 理者”, “安全・品証責任者”, “製造責任者”, “解析責任者”, “中央操作室責任者”, “現場作業  
 計画者又は責任者”, “運転員”, “解析作業者”, “保守（補修）員”, “現場作業員”, “会社”, “  
 本店”, “原子力部門”, “関係部署”, “発電所（プラント）”, “号機（ユニット）”] `` の中  
 から選択する。

- **【直接原因】** 及び **【中間要因】** のエッジ属性情報の `condition` は、必ず enum リスト ``json ["AND", "OR"]`` の中から選択する。

— — —

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価の前提：

- そして、推定・推論された【根本原因】関連情報に基づいて、【中間要因】や【直接原因】の関連情報も推定・推論しています。

1. 生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できていれば「yes」とします。推定・推論が過剰でも問題無いです。

3. 上記以外の場合のみ、「no」とします。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。
2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。
3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟で寛容な視点で評価を行い、生成結果の意図や全体の適切性を重視してください。

### 3.3.5. 妥当性チェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に基づいて適切に推定・推論され、事実に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に直接対応している場合、又は、ユーザー指示や参照情報（Context）を基に適切に推定・推論・新規追加・補完できていると判断できる場合は「yes」です。
2. 生成結果が、ユーザー指示で指定されたリスト内から選択する必要がある場合は、リスト内の選択に正しく対応している場合のみ「yes」にしてください。
3. 「no」とするのは、生成結果がユーザー指示に明らかに反している、又は不適切である場合に限ります。
4. 絶対的に間違っていると断言できない場合や、全体的に妥当性が認められる場合は「yes」にしてください。厳密な評価は必要ありません。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。
2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。
3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟かつ寛容な視点で評価を行い、生成結果がユーザー指示の意図に沿っているか、全体的な適切性を重視してください。



### 3.3.6. 指示プロンプト見直し

You are an instruction rewriter that transforms input instructions into a better version optimized for information extraction or information inference or information analysis.

Look at the input and try to infer its underlying semantic intent/meaning.

### 3.3.7. 【故障モード】チーム

#### 3.3.7.1. 炉型に応じて故障系統を推定

# 【直接原因】に関する情報や分析の内容に基づいて、【故障系統リスト】の中から該当する\*\*この事象に最も関係する系統\*\*を推定するための指示プロンプト

- 以下の【直接原因】に関する情報や分析の内容に基づいて、該当する\*\*この事象に最も関係する系統\*\*を【故障系統リスト】から推定してください。

- \*\*【NUCIA 報告書】\*\*
- \*\*【直接原因】について事前に分析した過程及び結果\*\*
- \*\*事前に抽出済みの【直接原因】のノード情報\*\*

- \*\*この事象に最も関係する系統\*\*は、\*\*【NUCIA 報告書】\*\*の「系統」を選択するのではなく、【故障系統リスト】の中から最も関係する系統を推論して選択してください。

- \*\*この事象に最も関係する系統\*\*として該当するものがない場合は、【故障系統リスト】中の「その他」を選択してください。

- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従ってください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 推定した\*\*この事象に最も関係する系統\*\*は、【直接原因】の`nodes`フィールドに従って整理してください。

- ここでの処理対象は、【直接原因】の`nodes` (idの最初の1文字が「C」)のみです。それ以外の`nodes` (例えば、idの最初の1文字が「D」や「E」)は処理対象ではありません。
- ノード属性情報の`system`は、`reactor\_type` (``json["BWR", "PWR", "その他"]``のどれか)に基づいて、必ず enum リストから推定する。故障系統として該当するものが無ければ enum リスト中の「その他」を選択する。
- `非常用炉心冷却系`という名称は、関連系統をまとめた総称であるため、その名称自体が故障系統にはならない。
- `原子炉保護系`という名称は、関連系統をまとめた総称であるため、その名称自体が故障系統にはならない。基本的には`制御棒駆動系`と解釈してください。
- `原子炉補機冷却系`という名称は、`原子炉補機冷却水系`か`原子炉補機冷却海水系`のどちらかに該当します。

---

### 3.3.7.2. 故障タイプを推定

# 【直接原因】に関する情報や分析の内容に基づいて、【故障タイプリスト】の中から該当する**\*\*故障タイプ\*\***を推定するための指示プロンプト

- 以下の【直接原因】に関する情報や分析の内容に基づいて、該当する**\*\*故障タイプ\*\***を【故障タイプリスト】から推定してください。

- **\*\*【NUCIA 報告書】\*\***
- **\*\*【直接原因】について事前に分析した過程及び結果\*\***
- **\*\*事前に抽出済みの【直接原因】のノード情報\*\***
- 出力は、指定した**\*\*JSON スキーマ\*\***に従ってください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 推定した**\*\*故障タイプ\*\***は、【直接原因】の`nodes`フィールドに従って整理してください。

- ここでの処理対象は、【直接原因】の`nodes` (idの最初の1文字が「C」)のみです。それ以外の`nodes` (例えば、idの最初の1文字が「D」や「E」)は処理対象ではありません。

- ノード属性情報の`failure\_type`は、【機器やシステムの故障タイプ】に基づいて、必ずenumリスト[`時間故障`, `デマンド故障`, `人的過誤 (ヒューマンエラー)`, `その他`]から推定する。故障タイプとして該当するものが無ければ enum リストの中の「その他」を選択する。

- `管理的原因`は故障タイプに存在しないため、その場合は`人的過誤 (ヒューマンエラー)`に該当します。

---

### 3.3.7.3. 故障タイプに応じて故障機器を推定

# 【直接原因】に関する情報や分析の内容に基づいて、【故障機器リスト】の中から該当する**\*\*故障機器\*\***を推定するための指示プロンプト

- 以下の【直接原因】に関する情報や分析の内容に基づいて、該当する**\*\*故障機器\*\***を【故障機器リスト】から推定してください。

- **\*\*【NUCIA 報告書】\*\***
- **\*\*【直接原因】について事前に分析した過程及び結果\*\***

- **\*\*事前に抽出済みの【直接原因】のノード情報\*\***
- 出力は、指定した**\*\*JSON スキーマ\*\***に従ってください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 推定した**\*\*故障機器\*\***は、【直接原因】の`nodes`フィールドに従って整理してください。
  - ここでの処理対象は、【直接原因】の`nodes` (idの最初の1文字が「C」)のみです。それ以外の`nodes` (例えば、idの最初の1文字が「D」や「E」)は処理対象ではありません。
  - ノード属性情報の`failure\_equipment`は、`failure\_type` (``json["時間故障", "デマンド故障", "人的過誤 (ヒューマンエラー)", "その他"]``のどれか)に基づいて、必ずenum リストから推定する。故障機器として該当するものが無ければ enum リストの中の「その他」を選択する。
  - `failure\_type`がデマンド故障の場合は、対象機器が少ないため、該当するものがない場合はとりあえず「その他」を選択する。
  - もし故障機器としてバリスタを抽出してしまった場合は、enum リストの中から「その他」を選択する。

---

#### 3.3.7.4. 故障タイプ及び故障機器に応じて故障モードを推定

# 【直接原因】に関する情報や分析の内容に基づいて、【故障モードリスト】の中から該当する**\*\*故障モード\*\***を推定するための指示プロンプト

- 以下の【直接原因】に関する情報や分析の内容と【ヒューマンエラーの種類】に基づいて、該当する**\*\*故障モード\*\***を【故障モードリスト】から推定してください。
  - **\*\*【NUCIA 報告書】\*\***
  - **\*\*【直接原因】について事前に分析した過程及び結果\*\***
  - **\*\*事前に抽出済みの【直接原因】のノード情報\*\***
- 出力は、指定した**\*\*JSON スキーマ\*\***に従ってください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 推定した**\*\*故障モード\*\***は、【直接原因】の`nodes`フィールドに従って整理してください。
  - ここでの処理対象は、【直接原因】の`nodes` (idの最初の1文字が「C」)のみです。それ以外の`nodes` (例えば、idの最初の1文字が「D」や「E」)は処理対象ではありません。

- ノード属性情報の`failure\_type`は、事前に選択済みです。
- ノード属性情報の`failure\_equipment`は、`failure\_type`に基づいて、事前に選択済みです。
- ノード属性情報の`failure\_mode`は、`failure\_type`と`failure\_equipment`の組み合わせでenumリストが変わります。
  - まず最初に、`failure\_type`と`failure\_equipment`に基づいて該当するenumリストを選択する。
  - 次に、必ずそのenumリストの中から推定する。
  - `failure\_type`が「時間故障」か「デマンド故障」で、`failure\_equipment`が「その他」の場合は、そのenumリストは必ず["その他"]であり、`failure\_mode`は「その他」が選択される。

---

#### 3.3.7.5. ハルシネーションチェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価の前提：

- \*\*【NUCIA 報告書】\*\*に再発防止対策が記載されていない、又は、「無し」と記載されている場合は、AI によって推定・推論した【再発防止対策】に基づいて【根本原因】関連情報を推定・推論しています。
- そして、推定・推論された【根本原因】関連情報に基づいて、【中間要因】や【直接原因】の関連情報も推定・推論しています。
- そして、推定・推論された【直接原因】関連情報に基づいて、【故障系統】、【故障タイプ】、【故障機器】、【故障モード】を推定・推論しています。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できていれば「yes」とします。推定・推論が過剰でも問題無いです。
2. 生成結果（LLM generation）を厳密に評価する必要はなく、全体として記載内容に妥当性があれば「yes」とします。大雑把な評価で良いです。
3. 上記以外の場合のみ、「no」とします。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。
2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。
3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟で寛容な視点で評価を行い、生成結果の意図や全体の適切性を重視してください。

#### 3.3.7.6. 妥当性チェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に基づいて適切に推定・推論され、事実に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）のユーザー指示（User instruction）に対応している箇所が、指定されたリスト（Context）の中から選択されていれば「yes」とします。
2. 指定されたリスト（Context）の中から選択されていなければ「no」とします。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。
2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。

#### 3.3.7.7. 指示プロンプト見直し

You are an instruction rewriter that transforms input instructions into a better version optimized for information extraction or information inference or information analysis.

Look at the input and try to infer its underlying semantic intent/meaning.

### 3.4. 【観察】チーム

#### 3.4.1. 【観察】を推定するための分析・推定

# 【観察】分析及び推定のための指示プロンプト:

- まず最初に、\*\*事前に抽出済みの【直接原因】及び【中間要因】のノード情報\*\*から、【直接原因】ノード (id の頭文字が C のノード) のみを、すべて選択してください。
- 次に、選択した【直接原因】ノードと\*\*【NUCIA 報告書】\*\*から、【観察】に該当するセンテンスを抽出してください。
  - 【観察】のセンテンスは、主語+目的語+動詞で構成された文章にしてください。
  - 1つのセンテンス内に複数の【観察】が記載されている場合は、1つのセンテンスに1つの【観察】だけが含まれるように適切なセンテンスを生成してください。
  - ただし、似た内容の【観察】は1つのセンテンスに適切にまとめてください。
- 次に、抽出又は生成した【観察】に該当するセンテンスに対して、以下に指定した【分析フレームワーク】を使用して\*\*【NUCIA 報告書】\*\*を分析してください。
  - 分析の目的は、\*\*【NUCIA 報告書】\*\*の記載内容の中から【観察】に該当するセンテンスを正確に推定することです。
- 最後に、推定結果として、実際の【観察】に該当するセンテンスを\*\*【NUCIA 報告書】\*\*から抽出してください。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## 使用する【分析フレームワーク】:

- \*\*【5W1H 分析】\*\*
- \*\*【時系列分析】\*\*

1つの分析対象に対して、同じ【分析フレームワーク】を複数回使用可能です。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 分析の過程及び結果は、`anlys\_info\_list`フィールドに従って整理してください。
- 推定した【観察】は、`infer\_info\_list`フィールドに従って整理してください。

---

#### 3.4.2. 【観察】のノード・エッジ情報を抽出

# 【観察】のノード情報及びエッジ情報を推定するための指示プロンプト:

- 指示されたこと以外は生成しないでください。
- 以下のデータを基にして、【観察】：B（【観察】：cluster2）のノード情報を推定してください。
  - \*\*事前に推定済みの【観察】\*\*
  - \*\*【観察】について事前に分析した過程及び結果\*\*
  - \*\*【NUCIA 報告書】\*\*
- 以下の条件に従って、【直接原因】の各ノードと【観察】の各ノードの間の接続関係を表すエッジ情報を推定してください。
  - 事象が発生して【観察】を実施したことにより【直接原因】が認識されるので、【直接原因】と【観察】の間には必ず因果関係がある。その因果関係がノードの接続関係となる。
  - 因果関係は、\*\*【観察】について事前に分析した過程及び結果\*\*に基づいて推論し、生成する。
  - 【直接原因】ノードは、\*\*事前に抽出済みの【直接原因】及び【中間要因】のノード情報\*\*における、【直接原因】のノード（C1, C2, . . .）をすべて取得して使用してください。
  - ノード間の接続の向きは、from 【直接原因】 to 【観察】だけとする。
  - 【観察】ノードと【観察】ノードは接続されない。
  - 【観察】ノードは、常に1つ以上の【直接原因】ノードから接続される。
  - 【直接原因】ノードは、常に1つ以上の【観察】ノードに向かって接続する。もし判断が付かない場合は、【直接原因】ノードをすべての【観察】ノードに接続する。
  - 複数のノードが1つのノードに接続される場合は、因果関係に基づいて、複数のノードのAND条件かOR条件かを推定する。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

#### ## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 推定した【観察】：B（【観察】：cluster2）のノード情報及びエッジ情報は、`ext\_network`フィールドに従って整理してください。
  - 【観察】のノード属性情報の`company`は、必ずenumリスト ``json ["北海道電力", "東北電力", "東京電力", "中部電力", "北陸電力", "関西電力", "中国電力", "四国電力", "九州電力", "日本原子力発電", "電源開発", "日本原燃"] ``の中から選択する。
  - 【観察】のノード属性情報の`classification`は、必ずenumリスト ``json ["異常発見・確認", "兆候発見・確認", "症状発見・確認", "制限逸脱"] ``の中から選択する。
  - 【観察】のノード属性情報の`subject`は、必ずenumリスト ``json ["本店経営層", "原子力担当経営層", "プラントサイト経営層", "プラントサイト管理者", "安全・品証責任者", "製造責任者", "解析責任者", "中央操作室責任者", "現場作業計画者又は責任者", "運転員", "解析作業員", "保守（補修）員", "現場作業員", "会社", "本店", "原子力部門", "関

係部署”，“発電所（プラント）”，“号機（ユニット）”] ```` の中から選択する。

- 【観察】のノード属性情報の`condition`は、必ず enum リスト ````json ["AND", "OR"]```` の中から選択する。

- ノード情報及びエッジ情報には、【直接原因】：C（【直接原因】：cluster3）のすべてのノードを必ず含める。

- 【直接原因】及び【中間要因】のノード属性情報の`classification`は、 ````json ["ダイヤモンド故障", "時間故障", "人的過誤（ヒューマンエラー）"]```` の中から既に選択されている。

---

### 3.4.3. ハルシネーションチェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価の前提：

- \*\*【NUCIA 報告書】\*\*に再発防止対策が記載されていない、又は、「無し」と記載されている場合は、AI によって推定・推論した【再発防止対策】に基づいて【根本原因】関連情報を推定・推論しています。

- そして、推定・推論された【根本原因】関連情報に基づいて、【中間要因】や【直接原因】の関連情報も推定・推論しています。

- そして、推定・推論された【直接原因】関連情報に基づいて、【故障系統】、【故障タイプ】、【故障機器】、【故障モード】を推定・推論しています。

- そして、推定・推論された【直接原因】関連情報に基づいて、【観察】を推定・推論しています。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できていれば「yes」とします。推定・推論が過剰でも問題無いです。

2. 生成結果（LLM generation）を厳密に評価する必要はなく、全体として記載内容に妥当性があれば「yes」とします。大雑把な評価で良いです。

3. 上記以外の場合のみ、「no」とします。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。



2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。

3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟で寛容な視点で評価を行い、生成結果の意図や全体の適切性を重視してください。

#### 3.4.4. 妥当性チェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に基づいて適切に推定・推論され、事実に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に直接対応している場合、又は、ユーザー指示や参照情報（Context）を基に適切に推定・推論・新規追加・補完できていると判断できる場合は「yes」です。

2. 生成結果が、ユーザー指示で指定されたリスト内から選択する必要がある場合は、リスト内の選択に正しく対応している場合のみ「yes」にしてください。

3. 「no」とするのは、生成結果がユーザー指示に明らかに反している、又は不適切である場合に限りです。

4. 絶対的に間違っていると断言できない場合や、全体的に妥当性が認められる場合は「yes」にしてください。厳密な評価は必要ありません。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。

2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。

3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟かつ寛容な視点で評価を行い、生成結果がユーザー指示の意図に沿っているか、全体的な適切性を重視してください。

#### 3.4.5. 指示プロンプト見直し

You are an instruction rewriter that transforms input instructions into a better

version optimized for information extraction or information inference or information analysis.

Look at the input and try to infer its underlying semantic intent/meaning.

### 3.5. 【対応】 チーム

#### 3.5.1. 【対応】 を推定するための分析・推定

# 【対応】 分析及び推定のための指示プロンプト:

- まず最初に、\*\*事前に抽出済みの【観察】のノード情報\*\*から、【観察】ノード (id の頭文字が B のノード) のみを、すべて選択してください。
- 次に、選択した【観察】ノードと\*\*【NUCIA 報告書】\*\*から、【対応】に該当するセンテンスを抽出してください。
  - 【対応】のセンテンスは、主語+目的語+動詞で構成された文章にしてください。
  - 1つのセンテンス内に複数の【対応】が記載されている場合は、1つのセンテンスに1つの【対応】だけが含まれるように適切なセンテンスを生成してください。
  - ただし、似た内容の【対応】は1つのセンテンスに適切にまとめてください。
- 次に、抽出又は生成した【対応】に該当するセンテンスに対して、以下に指定した【分析フレームワーク】を使用して\*\*【NUCIA 報告書】\*\*を分析してください。
  - 分析の目的は、\*\*【NUCIA 報告書】\*\*の記載内容の中から【対応】に該当するセンテンスを正確に推定することです。
- 最後に、推定結果として、実際の【対応】に該当するセンテンスを\*\*【NUCIA 報告書】\*\*から抽出してください。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## 使用する【分析フレームワーク】:

- \*\*【5W1H 分析】\*\*
- \*\*【時系列分析】\*\*

1つの分析対象に対して、同じ【分析フレームワーク】を複数回使用可能です。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 分析の過程及び結果は、`anlys\_info\_list`フィールドに従って整理してください。
- 推定した【対応】は、`infer\_info\_list`フィールドに従って整理してください。

---

#### 3.5.2. 【対応】 のノード・エッジ情報を抽出

# 【対応】 のノード情報及びエッジ情報を推定するための指示プロンプト:

- 指示されたこと以外は生成しないでください。
- まず、ここでの重要事項を先に述べます。
  - 【対応】と【再発防止対策】は全く違います。
  - 【対応】は cluster1 です。【再発防止対策】は cluster6 です。
- 以下のデータを基にして、【対応】 : A (【対応】 : cluster1) のノード情報を推定してください。
  - \*\*事前に推定済みの【対応】\*\*
  - \*\*【対応】について事前に分析した過程及び結果\*\*
  - \*\*【NUCIA 報告書】\*\*
- 以下の条件に従って、【観察】の各ノードと【対応】の各ノードの間の接続関係を表すエッジ情報を推定してください。
  - 【観察】の結果として実施されたことが【対応】なので、【観察】と【対応】の間には必ず因果関係がある。その因果関係がノードの接続関係となる。
  - 因果関係は、\*\*【対応】について事前に分析した過程及び結果\*\*に基づいて推論し、生成する。
  - 【観察】ノードは、\*\*事前に抽出済みの【観察】のノード情報\*\*における、【観察】のノード (B1, B2, ...) をすべて取得して使用してください。
  - ノード間の接続の向きは、from 【観察】 to 【対応】だけとする。
  - 【対応】ノードと【対応】ノードは接続されない。
  - 【対応】ノードは、常に 1 つ以上の【観察】ノードから接続される。
  - 【観察】ノードは、常に 1 つ以上の【対応】ノードに向かって接続する。もし判断が付かない場合は、【観察】ノードをすべての【対応】ノードに接続する。
  - 複数のノードが 1 つのノードに接続される場合は、因果関係に基づいて、複数のノードの AND 条件か OR 条件かを推定する。
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## JSON スキーマに基づく記録方法:

- 推定した【対応】 : A (【対応】 : cluster1) のノード情報及びエッジ情報は、`ext\_network`フィールドに従って整理してください。
  - 【対応】のノード属性情報の`company`は、必ず enum リスト ``json ["北海道電力", "東北電力", "東京電力", "中部電力", "北陸電力", "関西電力", "中国電力", "四国電力", "九州電力", "日本原子力発電", "電源開発", "日本原燃"] ``の中から選択する。
  - 【対応】のノード属性情報の`classification`は、必ず enum リスト ``json ["機器停止", "運転停止", "応急処置", "臨時対応"] ``の中から選択する。
  - 【対応】のノード属性情報の`subject`は、必ず enum リスト ``json ["本店経営層", "

原子力担当経営層”，“プラントサイト経営層”，“プラントサイト管理者”，“安全・品証責任者”，“製造責任者”，“解析責任者”，“中央操作室責任者”，“現場作業計画者又は責任者”，“運転員”，“解析作業者”，“保守（補修）員”，“現場作業員”，“会社”，“本店”，“原子力部門”，“関係部署”，“発電所（プラント）”，“号機（ユニット）”] ```` の中から選択する。

－ 【対応】のノード属性情報の`condition`は、必ず enum リスト ````json ["AND", "OR"]```` の中から選択する。

－ ノード情報及びエッジ情報には、【観察】：B（【観察】：cluster2）のすべてのノードを必ず含める。

－ 【観察】のノード属性情報の`classification`は、 ````json ["異常発見・確認", "兆候発見・確認", "症状発見・確認", "制限逸脱"]```` の中から既に選択されている。

---

### 3.5.3. ハルシネーションチェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価の前提：

－ \*\*【NUCIA 報告書】\*\*に再発防止対策が記載されていない、又は、「無し」と記載されている場合は、AI によって推定・推論した【再発防止対策】に基づいて【根本原因】関連情報を推定・推論しています。

－ そして、推定・推論された【根本原因】関連情報に基づいて、【中間要因】や【直接原因】の関連情報も推定・推論しています。

－ そして、推定・推論された【直接原因】関連情報に基づいて、【故障系統】、【故障タイプ】、【故障機器】、【故障モード】を推定・推論しています。

－ そして、推定・推論された【直接原因】関連情報に基づいて、【観察】を推定・推論しています。

－ そして、推定・推論された【観察】関連情報に基づいて、【対応】を推定・推論しています。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できていれば「yes」とします。推定・推論が過剰でも問題無いです。

2. 生成結果（LLM generation）を厳密に評価する必要はなく、全体として記載内容に妥当性があれば「yes」とします。大雑把な評価で良いです。

3. 上記以外の場合のみ、「no」とします。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。
2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。
3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟で寛容な視点で評価を行い、生成結果の意図や全体の適切性を重視してください。

#### 3.5.4. 妥当性チェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に基づいて適切に推定・推論され、事実に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）がユーザー指示（User instruction）に直接対応している場合、又は、ユーザー指示や参照情報（Context）を基に適切に推定・推論・新規追加・補完できていると判断できる場合は「yes」です。
2. 生成結果が、ユーザー指示で指定されたリスト内から選択する必要がある場合は、リスト内の選択に正しく対応している場合のみ「yes」にしてください。
3. 「no」とするのは、生成結果がユーザー指示に明らかに反している、又は不適切である場合に限ります。
4. 絶対的に間違っていると断言できない場合や、全体的に妥当性が認められる場合は「yes」にしてください。厳密な評価は必要ありません。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。
2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。
3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟かつ寛容な視点で評価を行い、生成結果がユーザー指示の意図に沿っているか、全体的な

適切性を重視してください。

#### 3.5.5. 指示プロンプト見直し

You are an instruction rewriter that transforms input instructions into a better version optimized for information extraction or information inference or information analysis.

Look at the input and try to infer its underlying semantic intent/meaning.

### 3. 6. 【共通原因】 チーム

#### 3. 6. 1. 【直接原因】 が 【共通原因】 か否か判定

# 【NUCIA 報告書】の共通原因分析のための指示プロンプト:

- まず最初に、\*\*事前に抽出済みの【直接原因】のノード情報\*\*から、【直接原因】ノード (idの頭文字がCのノード) のみを、すべて抽出してください。
- 次に、以下の参照情報 (Context) に基づいて、抽出したすべての【直接原因】ノード (idの頭文字がCのノード) に対して、タスクオントロジーの手順通りに共通原因分析を実施してください。
  - \*\*事前に抽出済みの事象シナリオネットワーク情報\*\*
  - \*\*事前に推定済みの【根本原因】から【中間要因】を経て【直接原因】に至る事象シナリオ\*\*
  - \*\*【直接原因】について事前に分析した過程及び結果\*\*
  - \*\*【NUCIA 報告書】\*\*
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## \*\*指示内容\*\*:

### \*\*1. データ収集\*\*:

- 以下の形式で共通原因分析に必要なデータを収集してください:

```
```json
{
  "data_collection": {
    "event_situation": {
      "failure_system": "故障系統名",
      "failure_type": "故障タイプ名",
      "failure_equipment": "故障機器名",
      "failure_component": "故障部品名 (該当する場合)",
      "failure_mode": "故障モード名"
    },
    "cause_investigation": {
      "design": "設計要因 (50 文字以内)",
      "structure_material": "構造・材質要因 (50 文字以内)",
      "manufacturing_installation_construction": "製造・据付・建設要因 (50 文字以内)",
      "maintenance_operation": "保全・運転要因 (50 文字以内)"
    }
  }
}
```



```

        "system_interface": "系統構成要因（50 文字以内）",
        "location": "場所要因（50 文字以内）",
        "environment": "環境要因（50 文字以内）",
        "classification": "原因分類"
    },
    "timing_information": {
        "occurrence_date": "事象発生日時",
        "impact_scope": "影響範囲（50 文字以内）"
    }
}
}
---

### **2. CCCG（共通原因機器グループ）の特定**：
- 以下の形式で CCCG を特定し、記録してください：
```json
{
    "cccg_identification": {
        "design_similarity": "同一設計（例： 設計図面、設計思想、仕様の一致）（50 文字以内）",
        "structure_material_similarity": "同一構造、材質（例： 設計構造や使用材料の同一性）（50 文字以内）",
        "manufacturing_installation_construction_similarity": "同一製造、据付、建設（例：品質管理、手順書、スタッフが共通しているか）（50 文字以内）",
        "maintenance_operation_similarity": "同一保全、運転（例： 保全計画、運転手順書、スタッフの共通性）（50 文字以内）",
        "system_interface_similarity": "同一系統構成、機器インターフェース（例： 系統設計や接続方式の一致）（50 文字以内）",
        "location_similarity": "同一場所（例： 隔離の有無やバリアー設置状況の共通性）（50 文字以内）",
        "environment_similarity": "同一環境（例： 温度、圧力、湿度、火災、浸水、地震条件の一致）（50 文字以内）"
    }
}
```

```

---

### \*\*3. 原因共有性の評価\*\*:

- 以下の形式で原因共有性を評価してください:

```
```json
{
  "cause_shared_evaluation": {
    "design_factors": "設計要因の共有度 (50 文字以内) ",
    "structure_material_factors": "構造・材質要因の共有度 (50 文字以内) ",
    "manufacturing_installation_construction_factors": "製造・据付・建設要因の共有度 (50 文字以内) ",
    "maintenance_operation_factors": "保全・運転要因の共有度 (50 文字以内) ",
    "system_interface_factors": "系統構成要因の共有度 (50 文字以内) ",
    "location_factors": "場所要因の共有度 (50 文字以内) ",
    "environment_factors": "環境要因の共有度 (50 文字以内) "
  }
}
```
```

---

### \*\*4. タイミングの確認\*\*:

- 以下の形式でタイミングを確認してください:

```
```json
{
  "timing_verification": {
    "within_pra_time": "PRA 使命時間内に発生したか (Yes/No) ",
    "short_duration_occurrence": "短期間で発生したか (Yes/No) "
  }
}
```
```

---

### \*\*5. 判定結果の判断\*\*:

- 以下の形式で分析結果を判定し、出力してください:

```
```json
{
```

```

"result_ccf_analysis": {
  "classification": "CCF/IND/その他",
  "reason": {
    "summary": "判定理由の要約（50 文字以内）",
    "cause_shared": "原因共有性の説明（50 文字以内）",
    "timing": "タイミングに関する説明（50 文字以内）",
    "other_factors": "その他特筆すべき事項（50 文字以内）"
  }
}
}
}
...
---
```

#### ## \*\*実施上の注意\*\*

- 各タスクの実施に際しては、参照情報（Context）の内容を正確に反映してください。
- 参照情報（Context）の優先順位は以下の通り：
  1. \*\*事前に抽出済みの【直接原因】のノード情報\*\*
  2. \*\*【直接原因】について事前に分析した過程及び結果\*\*
  3. \*\*【NUCIA 報告書】\*\*
- 必要に応じて、タスクオントロジーの基準に照らして不明点を補完し、明確な判定を行ってください。

---

#### 3.6.2. 【根本原因】が【共通原因】か否か判定

# 【NUCIA 報告書】の共通原因分析のための指示プロンプト：

- まず最初に、\*\*事前に抽出済みの【根本原因】のノード情報\*\*から、【根本原因】ノード（idの頭文字がEのノード）のみを、すべて抽出してください。最大で十数個になる場合もありますので、すべて抽出することを重視してください。
- 次に、以下の参照情報（Context）に基づいて、抽出したすべての【根本原因】ノード（idの頭文字がEのノード）に対して、タスクオントロジーの手順通りに共通原因分析を実施してください。
  - \*\*事前に抽出済みの事象シナリオネットワーク情報\*\*
  - \*\*事前に抽出済みの【根本原因】のノード情報\*\*
  - \*\*【根本原因】について事前に分析した過程及び結果\*\*
  - \*\*事前に抽出済みの【直接原因】のノード情報\*\*

- \*\*【NUCIA 報告書】\*\*
- 出力は、指定した\*\*JSON スキーマ\*\*に従って整理してください。

---

## \*\*指示内容\*\*:

### \*\*1. データ収集\*\*:

- 以下の形式で共通原因分析に必要なデータを収集してください:

```
```json
{
  "data_collection": {
    "event_situation": {
      "failure_system": "故障系統名",
      "failure_type": "故障タイプ名",
      "failure_equipment": "故障機器名",
      "failure_component": "故障部品名（該当する場合）"
    },
    "cause_investigation": {
      "design": "設計要因（50 文字以内）",
      "structure_material": "構造・材質要因（50 文字以内）",
      "manufacturing_installation_construction": "製造・据付・建設要因（50 文字以内）",
      "maintenance_operation": "保全・運転要因（50 文字以内）",
      "system_interface": "系統構成要因（50 文字以内）",
      "location": "場所要因（50 文字以内）",
      "environment": "環境要因（50 文字以内）",
      "classification": "原因分類（['機器的原因', '人的原因', '管理的原因', '組織的・安全文化的原因']）"
    },
    "timing_information": {
      "occurrence_date": "事象発生日時",
      "impact_scope": "影響範囲（50 文字以内）"
    }
  }
}
```
```

---

### \*\*2. CCCG（共通原因機器グループ）の特定\*\*:

- 以下の形式でCCCGを特定し、記録してください:

```
```json
{
  "cccg_identification": {
    "design_similarity": "同一設計（例：設計図面、設計思想、仕様の一致）（50 文字以内）",
    "structure_material_similarity": "同一構造、材質（例：設計構造や使用材料の同一性）（50 文字以内）",
    "manufacturing_installation_construction_similarity": "同一製造、据付、建設（例：品質管理、手順書、スタッフが共通しているか）（50 文字以内）",
    "maintenance_operation_similarity": "同一保全、運転（例：保全計画、運転手順書、スタッフの共通性）（50 文字以内）",
    "system_interface_similarity": "同一系統構成、機器インターフェース（例：系統設計や接続方式の一致）（50 文字以内）",
    "location_similarity": "同一場所（例：隔離の有無やバリアー設置状況の共通性）（50 文字以内）",
    "environment_similarity": "同一環境（例：温度、圧力、湿度、火災、浸水、地震条件の一致）（50 文字以内）"
  }
}
```
```

---

### \*\*3. 原因共有性の評価\*\*:

- 以下の形式で原因共有性を評価してください:

```
```json
{
  "cause_shared_evaluation": {
    "design_factors": "設計要因の共有度（50 文字以内）",
    "structure_material_factors": "構造・材質要因の共有度（50 文字以内）",
    "manufacturing_installation_construction_factors": "製造・据付・建設要因の共有度（50 文字以内）",
    "maintenance_operation_factors": "保全・運転要因の共有度（50 文字以内）",
    "system_interface_factors": "系統構成要因の共有度（50 文字以内）",
  }
}
```

```

    "location_factors": "場所要因の共有度（50 文字以内）",
    "environment_factors": "環境要因の共有度（50 文字以内）"
  }
}
...

---

### **4. タイミングの確認**：
- 以下の形式でタイミングを確認してください：
```json
{
  "timing_verification": {
    "within_pra_time": "PRA 使命時間内に発生したか（Yes/No）",
    "short_duration_occurrence": "短期間内で発生したか（Yes/No）"
  }
}
...

---

### **5. 判定結果の判断**：
- 以下の形式で分析結果を判定し、出力してください：
```json
{
  "result_ccf_analysis": {
    "classification": "CCF/IND/その他",
    "reason": {
      "summary": "判定理由の要約（50 文字以内）",
      "cause_shared": "原因共有性の説明（50 文字以内）",
      "timing": "タイミングに関する説明（50 文字以内）",
      "other_factors": "その他特筆すべき事項（50 文字以内）"
    }
  }
}
...

---

```

### ## \*\*実施上の注意\*\*

- 各タスクの実施に際しては、参照情報（Context）の内容を正確に反映してください。
- 参照情報（Context）の優先順位は以下の通り：
  1. \*\*事前に抽出済みの【直接原因】のノード情報\*\*
  2. \*\*【直接原因】について事前に分析した過程及び結果\*\*
  3. \*\*【NUCIA 報告書】\*\*
- 必要に応じて、タスクオントロジーの基準に照らして不明点を補完し、明確な判定を行ってください。

---

### 3.6.3. ハルシネーションチェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価の前提：

- \*\*【NUCIA 報告書】\*\*に再発防止対策が記載されていない、又は、「無し」と記載されている場合は、AI によって推定・推論した【再発防止対策】に基づいて【根本原因】関連情報を推定・推論しています。
- そして、推定・推論された【根本原因】関連情報に基づいて、【中間要因】や【直接原因】の関連情報も推定・推論しています。
- そして、推定・推論された【直接原因】関連情報に基づいて、【故障系統】、【故障タイプ】、【故障機器】、【故障モード】を推定・推論しています。
- そして、推定・推論された【直接原因】関連情報に基づいて、【観察】を推定・推論しています。
- そして、推定・推論された【観察】関連情報に基づいて、【対応】を推定・推論しています。
- そして、推定・推論された【直接原因】or【根本原因】関連情報に基づいて、【共通原因】を推定・推論しています。
- 【根本原因】関連情報に基づいて【共通原因】を推定・推論する場合は、【直接原因】関連情報も参照して評価します。

評価基準：

1. 生成結果（LLM generation）が適切に推定・推論され、事実（Set of facts）に記載されていない内容を新規追加したり補完できていれば「yes」とします。推定・推論が過剰でも

問題無いです。

2. 生成結果 (LLM generation) を厳密に評価する必要はなく、全体として記載内容に妥当性があれば「yes」とします。大雑把な評価で良いです。

3. 上記以外の場合のみ、「no」とします。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。

2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。

3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟で寛容な視点で評価を行い、生成結果の意図や全体の適切性を重視してください。

#### 3.6.4. 妥当性チェック

あなたは、LLM（大規模言語モデル）の生成結果 (LLM generation) がユーザー指示 (User instruction) に基づいて適切に推定・推論され、事実に記載されていない内容を新規追加したり補完できているかを評価する役割を担っています。

評価は「yes」又は「no」のバイナリスコアで行ってください。

評価基準：

1. 生成結果 (LLM generation) がユーザー指示 (User instruction) に直接対応している場合、又は、ユーザー指示や参照情報 (Context) を基に適切に推定・推論・新規追加・補完できていると判断できる場合は「yes」です。

2. 生成結果が、ユーザー指示で指定されたリスト内から選択する必要がある場合は、リスト内の選択に正しく対応している場合のみ「yes」にしてください。

3. 「no」とするのは、生成結果がユーザー指示に明らかに反している、又は不適切である場合に限ります。

4. 絶対的に間違っていると断言できない場合や、全体的に妥当性が認められる場合は「yes」にしてください。厳密な評価は必要ありません。

回答形式：

1. 「yes」又は「no」のバイナリスコア。

2. バイナリスコアの理由に基づいて、改善方法を日本語で 50 文字以内で指示してください。

3. バイナリスコアの理由が「報告書に記載がない」，「報告書にない推定」，「事実セットに記載がない」，「事実セットにない推定」の場合、「no」にはならない。なぜなら、評価



基準の 1. で述べた通りであるため。

柔軟かつ寛容な視点で評価を行い、生成結果がユーザー指示の意図に沿っているか、全体的な適切性を重視してください。

#### 3.6.5. 指示プロンプト見直し

You are an instruction rewriter that transforms input instructions into a better version optimized for information extraction or information inference or information analysis.

Look at the input and try to infer its underlying semantic intent/meaning.