

博士論文

ヒューマンエラーを防止する プラントの手順書生成・運用に関する研究

平成28年3月

松原 貴史

岡山大学大学院

自然科学研究科

論文要旨

原子力プラントや石油精製プラントでは、運転や作業などを行う際には手順書が使用されているが、手順書の不備を原因とするトラブルも多く発生している。トラブルにおける手順書の問題点の要因は、手順書の生成から運用までの過程（以下、手順書の生成過程）の各過程において、手順書自体の不具合、及び手順書を取り巻くその他の要因、中でも手順書の作成者や操作者（以下、手順書の関与者）のヒューマンエラーが単独、又は複数発生している。そのため、手順書の問題点の要因に対して、より効果的な対策を検討するためには、これらの要因全てを考慮する事が重要であると考えられる。しかしながら、これまでの関連研究では手順書自体の不備に関する対策の検討は多く実施されているが、手順書の生成過程、関与者、及び手順書の問題点の要因の関連性を考慮した対策の検討はされていない。

本研究では、手順書の不備を原因とするトラブルにて発生している手順書の問題点の要因を、手順書の生成過程、関与者別に関連させた形で手順書の問題点の要因の分類項目一覧表に整理する分析手法を提案している。次に、提案した分析手法を用いて、実際に発生しているトラブル事例における手順書の問題点の要因、及び具体的な対策の方向性を、手順書の生成過程と関与者別に明らかにしている。最後に、具体的な対策の方向性で検討した対策項目の一つである「備考欄の情報と操作者のスキルとの関係（特に初級者に必要とされる備考欄の情報）」についての実験を行い、初級者に必要とされる備考欄の情報について明らかにしている。

第1章では、プラントにて使用されている手順書が使用されている主な目的、手順書を取巻く問題点、及び関連研究について調査している。その結果、手順書の役割は、①プラントを安全に確実に操作する、②運転員のスキルや能力に関係なく操作可能とする事、問題点は手順書の内容自体だけでなく、手順書を取巻く様々な要素（紙で配布される、手順が途中で変更される、操作者のスキルなど）も考慮する必要があること、手順書の不備を原因とするトラブルの研究は、ヒューマンファクターズという研究分野に該当し、本研究の位置づけは m-SHEL モデルの L(Liveware(運転員本人)) -S (Software) の要素項目に該当することがわかった。また、本研究と、これまでの関連研究、及び一般的に使用されているトラブル分析手法とを比較し、本研究では手

手順書の生成過程，及び関与者の関連性を考慮した新しい分析手法であることを説明している．

第2章では，実際に発生しているトラブル事例として，Web上で一般的に公開されているトラブルデータベースである原子力プラントのNUCIA，及び石油精製プラントのPEC-Saferの中から手順書の不備を原因とするトラブル事例を抜き出し，手順書の問題点の要因を，手順書の生成過程，及び関与者別に対応させた手順書の問題点の要因の項目を分類整理した一覧表を用いた新しい分析手法を提案している．はじめに，参考文献をもとに手順書生成過程の業務経験（電力，電子部品，半導体，化学，繊維各業種）を踏まえ，手順書の生成過程のフロー，及び手順書の生成過程の各過程について調査している．その結果，手順書の生成過程は大きく分けて（1）手順書の必要性判断，（2）操作手順の検討，（3）手順書の作成，内容確認，操作者への内容説明，（4）手順書の作成または確認後の修正検討，（5）操作の実施において発見された問題点の修正，（6）他社トラブルや法令改正などの変更による手順書の作成又は修正の6つの過程で構成されていること，トラブルの問題点を引き起こす要因はいくつかの項目に集約出来ること，トラブルの問題点は（2），（3），（5）の各過程で発生する可能性が高いことを説明している．また，トラブルの問題点を分析する際，関与者によって問題点の要因の項目が異なることを，トラブル事例を用いて説明している．次に，トラブル事例データベースである原子力プラントのNUCIA，及び石油精製プラントのPEC-Saferより，抜き出したトラブル事例における手順書の問題点の要因を，手順書の生成過程，及び関与者に対応させた形で項目別に分類し，該当しないものは新しく追加する形で，手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表を作成している．最後に，手順書の生成過程のフローモデルと，手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表を用いた新しい分析手法を提案している．

第3章では，第2章で提案したトラブルの分析手法を用いて分析を行っている．はじめに，操作頻度（以下，旧分類）から見た手順書の種類と特徴について，旧分類では2種類の手順書に分類され，それぞれの手順書において信頼性や操作の難易度などの特徴が異なることを説明している．次に，トラブルデータベースである原子力プラントのNUCIA，及び石油精製プラントのPEC-Saferに登録されている手順書の不備を原因とするトラブル事例を抜き出し，第2章で提案した分析手法を用いて分析を実施している．その結果，両プラントにおける問題点の発生傾向は似ていること，及び共

通して発生している手順書の問題点の項目は、手順書の作成者では「手順に必要な事項が記載されていなかった」、操作者では「操作に関する認識が不足していた」「手順書の内容を確認したが、必要な操作を実施しなかった」「操作前（又は操作後）の現地確認が出来ていなかった」であることがわかった。また、手順書の操作目的を運転と保全（以下、新分類）として、これまで旧分類で実施した分析結果を新分類にて再分析した。その結果、共通して発生しているトラブルの問題点の発生傾向は旧分類と同様であるが、より詳細な発生傾向を示している。

第4章では、第3章の分析結果から、手順書の生成過程と関与者別における問題点の発生傾向について整理し、それぞれに対応する具体的な対策の方向性について検討している。はじめに、実験で使用する手順書の様式を検討し、10種類の情報によって構成される手順書の様式を提案した。次に、トラブルに関係の深い情報の調査のため、これまでの分析結果のうち「手順書に必要な事項が記載されていなかった」に含まれる情報を詳細に再分析し、提案した手順書の様式に当てはめた。その結果「各操作の手順」「備考欄の情報」「緊急時の操作」に関する情報の記載漏れがトラブルに深く関係していることを明らかにしている。最後に、これらの結果をもとに、手順書の作成者で3件、操作者で7件、作成者と操作者で2件の具体的な対策を検討している。

第5章では、第4章で検討した具体的な対策の方向性のうち、作成者と操作者に関係する「手順書の内容と操作者のスキル（理解度）を一致させるために、必要な情報の種類を確認する」を実験対象に、特に発生件数の多い備考欄の情報を実験対象とし、備考欄に記載されている情報の種類、操作者のスキルによる特徴の調査、及び備考欄の情報の必要性確認のための実験方法について説明している。まず、実験で確認する手順書の備考欄の情報の種類と、操作者のスキルによる特徴について調査した。その結果、備考欄の情報は操作者の持つスキル、特に初級者と中級者以上によって必要な情報と必要でない情報の2種類に大分類され、さらに情報の持つ意味によって、それぞれ3種類の情報に小分類されることを明らかにしている。実験の目的は、初級者を対象とし「手順書を補足する備考欄の情報について、初級者にとっては、どのような情報が必要かを実験結果から明らかにする」事とした。実験の評価は、①操作の時間は短くなる、②操作ステップの抜け率は減少する、③トラブルの発生率は減少する、④操作の理解度は向上する、の4つの作業仮説と実験結果を比較することとした。次に、実験環境の検討として、セミスケールの模擬化学プラントを改造した模擬火力発

電プラントを使用することとした。使用するにあたり、模擬化学プラントの改造（給水ポンプ1台追加、配管の循環化、復水器用の冷却コイル追加、制御画面の改造）、及び模擬火力発電プラントを構成する①給水ポンプ関係、②ボイラー関係、③タービン関係、④本体制御盤関係、⑤制御卓関係の5つの各部について説明している。次に、実験で使用する手順書について検討し、タスク1：ボイラー水張り、タスク2：補助給水ポンプ運転、タスク3：バーナー点消火、タスク4：ボイラー立ち下げの4つのタスクを作成した。実験で確認する備考欄の情報の抽出は、検討したリスク評価方法（操作者のスキルによってタスクの手順を間違えた場合に考えられるトラブルと、その要因が異なることをあらかじめ考慮して作成したリスク評価表と、各タスクの手順の途中で発生する操作ミス、及び操作によって発生する可能性のあるトラブルと影響度の関連性を整理したトラブルインパクトマップによる評価）にて、タスク1からタスク4の各タスクの各手順に記載された操作ステップの重要性を評価した。その結果、実験で使用するタスクはタスク3とタスク4としたこと、及び備考欄の情報は特にトラブル発生への影響度のある①手順書の各操作結果が異なった場合の対応、②手順書の各操作実施後の目安となる情報（操作前後の確認も含む）の2種類を選択したことを説明している。さらに、作業仮説③のトラブル発生率評価のため、リスク評価方法で評価したトラブルをその大きさによってⅠ．設備損傷・人身事故、Ⅱ．重大トラブル（一部設備損傷）、Ⅲ．中トラブル（設備損傷無、単体損傷有）、Ⅳ．軽微トラブル（影響度低）の4つのランクに分けたことを説明している。実験の方法として、実験協力者が初級者である事を確認するため、設備に特化した知識レベル確認試験を実施すること、全ての実験協力者が平等の評価となるよう、操作に関する情報の提供、及び操作訓練の実施方法はマニュアル化したこと、実験の途中で質問は受け付けなかったこと、実験後に操作した手順書の理解度を確認するために準備したテストの内容（問1．手順書に記載された内容を記載：記述式、問2．操作に関する質問：選択式、問3．手順書の流れを並び替え：選択式）、及び実験に関するアンケート（A：手順書自体、B：備考欄の記載情報、C：情報の抜けがあったこと、D：情報の抜けへの対応、E：プロセスの理解度）について説明している。

第6章では、実験の結果について述べている。今回の実験では、全ての実験協力者が、知識レベルの確認試験で初級者と判定された。初級者には、必要な情報は備考欄に記載する方が、操作時間は長くなるが、操作ステップの抜け率やトラブル発生率は減少することが明らかとなった。手順書に記載する情報では、数値情報は初級者の記

憶に正確に残る事が少なく、容易に理解させる工夫が必要であること、操作の参考となる細かい情報のうち、特に重要な機器操作やトラブルの対応は、備考欄に記載すると同時に、プラントの概要説明や操作教育において重要な操作であることを初級者に理解させないと、初級者には重要であることの判断は難しいこと、手順書の中に類似する操作ステップとそれらを補足する備考欄の情報がある場合には、備考欄の情報は類似する操作ステップの最初にのみ記載すれば、情報が記載されていなくても、初級者は思い出して操作する可能性が高くなることを明らかにした。最後に、今回の実験で得た結果から、初級者が使いやすい手順書の作成条件を整理し、手順書の作成例を提案している。

第7章では、これまでの成果と今後の課題について述べている。今回の実験では実験協力者の人数が少なく統計的な判断が出来るまでに至らなかったため、継続して実験を行い、統計的な指標として評価する。また、作業仮説として評価したデータ以外のデータ（確認試験やアンケート）も解析する必要がある。さらには、他の備考欄の情報についても実験すること、及び今回は初級者を対象としたことから、中級者以上を対象とした実験し、操作者のスキルとの関係を明確にする必要がある。加えて、本実験結果を複数の問題点の対策として考えた場合の効果についても確認する必要がある。

目 次

第1章 緒論	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.1.1 プラントを取り巻く環境と手順書について	1
1.1.2 手順書の不備を原因とするトラブルの問題点の考え方について	3
1.1.3 手順書の不備を原因とするトラブルの対策に関する研究について	5
1.1.4 本研究の目的	10
1.2 本論文の構成	10
第2章 手順書の不備を原因とするトラブル分析手法の検討	14
2.1 手順書の生成過程の説明	14
2.2 手順書の生成過程にて発生する可能性のある手順書の 問題点の要因の分類作業の考え方と傾向について	19
2.3 手順書の不備を原因とするトラブルの分析手法の確立	21
2.3.1 原子力施設情報公開ライブラリー (NUCIA) について	22
2.3.2 原子力関係における手順書の問題点の要因の分類項目の設定	22
2.3.3 原子力関係のトラブル事例における手順書の問題点の 関与者, 手順書の問題点の要因の分類結果	24
2.3.4 石油精製関係データベース (PEC-Safer) について	31
2.3.5 石油精製関係を考慮した手順書の問題点の要因の分類項目の設定	31
2.3.6 手順書の不備を原因とするトラブル分析手法としての応用性	36
2.4 まとめ	36
第3章 実際に発生しているトラブル事例における手順書の問題点の分析結果	37
3.1 NUCIA に登録されたトラブル事例における手順書の問題点の分析結果	37
3.1.1 操作の定常性の点から見た手順書の分類と特徴	37
3.1.2 操作の定常性から見たトラブルの発生状況	39
3.1.3 手順書の問題点の要因の項目の発生件数と分析結果	40
3.1.4 同時に発生しやすい手順書の問題点の要因の分析結果	44
3.1.5 NUCIA で公開された手順書の不備を原因とする トラブル事例の分析結果まとめ	46

3.2	PEC-Safer に登録されたトラブル事例に おける手順書の問題点の分析結果	4 8
3.2.1	操作の定常性から見たトラブルの発生状況	4 8
3.2.2	手順書の問題点の要因の項目の発生件数と分析結果	4 9
3.2.3	同時に発生しやすい手順書の問題点の要因の分析結果	5 2
3.3	NUCIA と PEC-Safer の分析結果の比較と問題点の発生傾向の特徴	5 3
3.3.1	石油精製, 及び原子力プラントの特徴	5 4
	(a) 石油精製プラントの特徴	5 4
	(b) 原子力プラントの特徴	5 5
3.3.2	比較した結果から得られた知見	5 6
	(a) 共通する問題点の傾向	5 6
	(b) 石油精製プラント特有の問題点の傾向	5 8
	(c) 原子力プラント特有の問題点の傾向	5 9
3.4	NUCIA 及び PAC-Safer の手順書の不備を原因とする トラブル事象の傾向再分析	6 0
3.4.1	新分類での手順書の不備を原因とする トラブルの再分析結果について	6 1
	(a) NUCIA における再分析結果について	6 5
	(b) PEC-Safer における再分析結果について	6 7
3.5	再分析結果における問題点の特徴について	7 0
3.5.1	NUCIA における問題点の特徴について	7 0
	(a) 共通して多く発生している問題点の特徴	7 0
	(b) 運転にて多く発生している問題点の特徴	7 2
	(c) 保全にて多く発生している問題点の特徴	7 2
3.5.2	PEC-Safer における問題点の特徴について	7 2
	(a) 共通して多く発生している問題点の特徴	7 2
	(b) 運転にて多く発生している問題点の特徴	7 4
	(c) 保全にて多く発生している問題点の特徴	7 4
3.5.3	NUCIA 及び PEC-Safer における問題点の特徴について	7 4
	(a) 共通して多く発生している問題点の特徴	7 4
3.6	福島第一発電所の事故における手順書の不備を 原因とする問題点の分析	7 5

3.6.1	福島第一発電所の事故の概要について	7 5
3.6.2	福島第一発電所事故における手順書の不備を 原因とする問題点の整理	7 8
3.7	まとめ	8 1
第4章	分析結果から考えられる具体的な対策の検討	8 4
4.1	手順書の生成過程における問題点の発生箇所について	8 4
4.2	具体的対策の検討の実験で使用する手順書の様式の検討	8 6
4.3	実際に発生しているトラブルに係る情報の整理	8 8
4.3.1	原子力関係 (NUCIA) の情報の抜けの傾向	8 9
4.3.2	石油精製関係 (PEC-Safer) の情報の抜けの傾向	9 0
4.4	NUCIA と PEC Safer における手順書の情報の抜けの特徴	9 1
4.4.1	共通する情報の抜けの特徴	9 1
4.4.2	原子力関係 (NUCIA) における情報の抜けの特徴	9 3
4.4.3	石油精製関係 (PEC Safer) における情報の抜けの特徴	9 3
4.5	分析結果から考えられる具体的な対策の検討	9 4
4.6	まとめ	9 8
第5章	具体的な対策からの実験テーマの選択と実験方法の検討	9 9
5.1	実験テーマの選定	9 9
5.2	備考欄に記載されている情報の種類と手順書の 関与者との関係について	9 9
5.3	実験の目的	1 0 4
5.4	作業仮説の検討	1 0 5
5.5	実験環境の検討	1 0 5
5.6	実験方法の検討	1 1 4
5.6.1	実験配置図	1 1 4
5.6.2	実験の操作タスクの検討	1 1 4
5.6.3	実験のリスク評価の検討	1 1 6
(a)	操作のリスク評価表の作成	1 1 6
(b)	トラブルインパクトマップの考案	1 1 8
5.6.4	トラブルによって発生が想定される事故の種類 の検討	1 2 5

5.7	実験手順の検討	1 2 5
5.8	まとめ	1 4 2
第6章	実験結果と考察	1 4 3
6.1	実験の協力者について	1 4 3
6.2	協力者の知識レベル	1 4 3
6.3	タスクの目標達成状況と操作完了までの平均時間	1 4 3
6.4	タスクの操作ステップの抜け率	1 4 3
6.5	操作リスク	1 4 4
6.6	操作に関する理解度	1 4 7
6.7	手順書に関する主観評価	1 4 7
6.8	考察	1 4 8
6.9	まとめ	1 5 9
第7章	本研究の成果	1 6 0
7.1	本論文の成果と結論	1 6 0
7.2	今後の課題	1 6 3
謝辞		1 6 4
本論文に関する発表資料		1 6 5
参考文献		1 6 6

図目次

図 1-1	国内製油所（24箇所）の年齢別人員構成	2
図 1-2	m-SHEL モデル	6
図 2-1	手順書の生成過程フローモデル	15
図 2-2	手順書の生成過程と問題点の分類項目との関係図	29
図 2-3	手順書の生成過程フローモデル（最終型）	34
図 3-1	手順書の生成過程と問題点の分類項目との関係図（NUCIA）	40
図 4-1	発生しやすい問題点の項目とフローモデルの対応図	84
図 4-2	実験で使用する手順書の様式	88
図 4-3	情報の抜けが発生しやすい手順書の情報の位置	94
図 4-4	手順書生成過程と実験項目の関係	97
図 5-1	模擬火力発電プラント改造図と機器名称対比表	106
図 5-2	模擬火力発電プラントの外観	107
図 5-3	模擬火力発電プラントの系統図	107
図 5-4	模擬火力発電プラントのプロセス説明	108
図 5-5	実際の模擬火力発電プラント系統図	108
図 5-6	給水ポンプ関係詳細説明図	109
図 5-7	ボイラー関係詳細説明図	110
図 5-8	タービン関係詳細説明図	111
図 5-9	模擬火力発電プラント本体の各制御盤関係詳細説明図	112
図 5-10	制御卓画面の詳細説明図	113
図 5-11	実験配置図	114
図 5-12	実際の配置状況	114
図 5-13	作成した手順書例	115
図 5-14-①～②	トラブルインパクトマップ (タスク3, タスク4)	118～119
図 5-15-①～②	実験用手順書 (タスク3, タスク4)	121～124
図 5-16	トラブルと事故ランクとの関係	125
図 5-17-①～⑤	知識レベル確認試験問題 (その1～5)	127～131
図 5-18-①～②	チェックリスト (タスク3, タスク4)	132～133
図 5-19-①～③	操作実験後の理解度テスト (その1～3)	134～135

図5-20-①～④ アンケート用紙（その1～4）	138～141
図6-1 理解度テスト結果	147
図6-2 操作実験終了後のアンケート結果	148
図6-3 抜けのフォロー箇所	149
図6-4-①～② 手順書の作成例（タスク3，タスク4）	155～158

表目次

表 1-1	m-SHEL モデルに基づいた研究課題の分類	8
表 1-2	トラブル事例分析手法	9
表 2-1	手順書の生成過程で発生すると考えられる手順書の問題点の要因一覧	2 0
表 2-2	トラブルケースの問題点の分類作業の例	2 3
表 2-3	手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表	3 0
表 2-4	事例登録の 2 種類のフォーマット	3 1
表 2-5	問題点の分析項目への分類作業の例	3 3
表 2-6	手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表 (最終型)	3 5
表 3-1	手順書の目的別分類一覧	3 8
表 3-2	手順書 A, 及び B の特徴	3 9
表 3-3	手順書の不備を原因とするトラブル事例の分析件数 (NUCIA)	3 9
表 3-4	手順書の不備を原因とするトラブルの問題点の分析結果 (NUCIA)	4 1
表 3-5	同時に発生しやすい手順書の問題点の要因の組み合わせ (NUCIA)	4 5
表 3-6	手順書の不備を原因とするトラブルの問題点の分析件数 (PEC-Safer)	4 9
表 3-7	NUCIA と PEC-Safer における手順書の不備を 原因とする問題点分析結果	5 0
表 3-8	同時に発生しやすい手順書の問題点の要因の組み合わせ (NUCIA)	5 3
表 3-9	分類方法の変更結果比較	6 2
表 3-1 0	NUCIA の再分析結果	6 3
表 3-1 1	PEC-Safer の再分析結果	6 4
表 3-1 2	福島第一発電所 事故進展分析	7 9
表 3-1 3	問題点の分類項目一覧表 (福島第一とこれまでの分析結果)	8 0
表 3-1 4	分析結果の比較表 (単独の場合)	8 2
表 3-1 5	分析結果の比較表 (複数の場合)	8 2
表 3-1 6	再分析結果の比較表 (旧分類)	8 3
表 3-1 7	再分析結果の比較表 (新分類)	8 3
表 4-1	検討した具体的対策 (実験項目) と 手順書の問題点の項目の関係表	9 7
表 5-1	備考欄に記載されている情報の種類とその具体例	1 0 1
表 5-2	初級者と中級者の特徴の比較	1 0 3

表 5-3	操作者のスキルと備考欄の記載情報の必要性の関係	1 0 3
表 5-4	タスクの操作ステップ毎の操作ミス要因例	1 1 6
表 5-5-①~②	リスク評価表 (タスク 3, タスク 4)	1 1 7
表 5-6	削除した手順書備考欄の記述	1 2 0
表 6-1	タスク 3 及びタスク 4 の平均操作完了時間	1 4 3
表 6-2	操作ステップ平均抜け率	1 4 4
表 6-3	操作ステップの抜けに対する備考欄の記述	1 4 5
表 6-4	実験で観察された操作ステップの抜けによって 発生すると考えられるトラブル	1 4 6
表 6-5	操作リスク	1 4 6
表 6-6	今回の実験結果から考えられる初級者が 使いやすい手順書の作成条件	1 5 4

第 1 章 緒論

1.1 研究の背景と目的

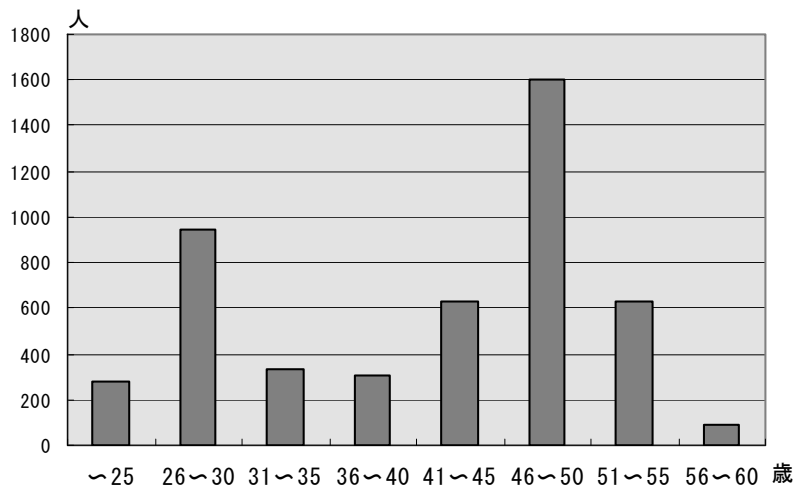
1.1.1 プラントを取巻く環境と手順書について

わが国では、自動車や電化製品、化学製品など数多くの工業製品、またその原料となる鉄鋼や化学、電力などが工場や発電所で生産されている。一般的にこれらを総称してプラントと我々は呼んでいる。これらのプラントにあるさまざまな設備の操作は自動化されており、その自動化された設備を運転・監視するのは人間であり、プラントでは一般的に運転員と呼ばれている。プラントには多くの運転員が 365 日休みなく働いている。私のこれまでの業務経験では、プラントの規模や業種によって異なり、1 名の場合もあれば 2～5 名で 1 チームとなっている場合もある。

プラントの運転員の主な役割は、プラントを構成する設備や機器をあらかじめ定められた目的に対して、計器室や中央監視室などの集中制御室、又は現場で状態を把握し、必要に応じて集中制御室、及び現場でバルブや機器の操作を実施すること、及び設備や機器のメンテナンスなどの作業（以下、操作と呼ぶ）を行うことである。この時、運転員には多くの知識や経験などから得られるさまざまな情報要素が要求される。そのため、操作ミスによりひとたび事故・トラブル（以下、トラブルと呼ぶ）を起こすと多大な影響を及ぼす危険性を含んでおり、安全に確実に操作を行わなければならない運転員の任務はきわめて重要であるといえる。

しかしながら、近年では操業の立ち上げ時からプラントの運転に携ってきたベテラン運転員の大量退職や、プラントの信頼性向上に必要とされる運転機会の減少による若手運転員のスキル低下などが懸念されており、ベテラン運転員から若手運転員への技術伝承やスキルの抽出が大きな問題となっている[1]。加えて、近年の石油化学工業界ではベテラン運転員の退職により、操作者の若返りによるスキルの低下が問題となっている[2]。実際の例としては、運転員 36 名に対して、経験の浅い新入社員や 20 代が 6 割を締めている企業もある[3]。石油精製業界においては、高度経済成長期に運転員が大量採用されたが、その後の設備新增設が一段落すると、運転員の採用は減少した。さらに近年のコスト競争力による省人化が推進された。その結果、運転員の年齢別人員構成は、46～50 歳が全体の 3 分の 1、26～30 歳が全体の約 5

分の1を占め、図1-1のように、大きなピークが2つ存在しており、年齢構成に偏りが生じている[4].



(出典)：(財)石油産業活性化センター

製油所の運転員高齢化対策に関する調査・平成16年3月

図1-1 国内製油所（24箇所）の年齢別人員構成[4]

特に、ベテラン運転員は、豊かな知識と経験を持つ百戦錬磨のキーマンであるといわれている。しかし、ベテラン運転員に変わって次世代を担う若手運転員は、ベテラン運転員の持つ豊かな知識と経験の技術伝承が不十分であるため、実際の現場では臨機応変な対応をとるのが難しくなっているとの懸念も発生している[5].

このような若手運転員の技術伝承不足を補う事も含め、プラントの操作を行う運転員（以下、操作者と呼ぶ）が、操作の際に使用しているのが、操作の目的や会社により、運転マニュアル、保全作業要領書、又は標準作業手順書：SOP(Standard Operation Procedure)などと呼ばれる手順書（以下、総称して手順書と呼ぶ）である。操作者は手順書の作成者（手順書を作成する運転員を含む）によってあらかじめ作成された手順書を用いて、設備や機器の操作を、集中制御室、又は現場で行う。

プラントの操作者が使用する手順書の役割については、一般的に大きく分けて次の2つが考えられる。

① プラントを安全に確実に操作可能とする。

プラントはいくつもの設備や機器が密接に結びついて構成されている。さらに、コンビナートなどではパイプラインにより原材料などが連携されているケースもある。また、原子力プラントや石油プラントなどでは、操作手順を誤ることにより重大なトラブルに結びつく危険性がある。このような環境の中で、操作者がプラントのさまざまな操作要求に併せ、安全に確実に操作可能とするために、手順書が必要である。手順書があれば、スムーズな操作と手順漏れのチェックが可能となり、確実な操作が実施可能である。

② 操作者の感性、能力や業務経験に関係なく、すべての操作者が正確にプラントを操作可能とする。

プラントの操作者にも感性、能力や業務経験（以下、スキルと呼ぶ）により個人差がある。従って、スキルの個人差により操作中の異常や操作後の状態把握はあるものの、全ての操作者が手順書どおりに正確に操作を行わせるために、手順書が必要である。

以上のように、操作者が手順書を用いて操作を実施する事により、操作者の持つスキルに関係なく、すべての操作者が操作要求に合わせて、プラントを安全に確実に操作することが出来ると考えられる。

1.1.2 手順書の不備を原因とするトラブルの問題点の考え方について

手順書の作成にあたっては、操作の目的や手順書の表現方法、操作経験の有無にかかわらず操作者が安全に確実に操作出来るために必要な情報などの多くの情報要素を、手順書の作成者が手順書を作成する段階において、その都度必要性を判断しながら作成している。そのため、手順書の作成には非常に多くの労力と時間を費やす。

こうして苦勞して生成された完成度の高い手順書に従って、操作を実施すればトラブルは発生しないはずである。しかし、このような手順書を用いても、実際には1.1.1の手順書の役割でも説明したように、操作者による操作ミスでのトラブルとなるケースが後を絶たない。また、プラントの規模によっては、重大なトラブルの発生に繋がりが、人間社会や地球環境など広範囲に影響を及ぼす場合もある。

Web上で一般公開されているさまざまな業界において実際に発生したトラブル事例のデータベース[6][7][8]に登録されている，手順書の不備を原因とするトラブル事例，及び，ここ数年重大トラブルが多発している石油化学系プラントにおけるトラブルの原因と対策に関する検討結果[9]より，重大なトラブルの原因・背景に共通する特徴として，手順書自体の不具合（手順書の作成が不適切であった）に加え，手順書を取り巻く他の要因（手順書の作成者，又は操作者の人対応能力の低下，いわゆるヒューマンエラーをサポート出来るような手順書）などが説明されている．手順書を取り巻く他の要因の例を以下に挙げる．

（手順書を取り巻く他の要因の例）

- ① 手順書は，通常印刷物で操作者に配布されるため，記載される情報に限界がある．そのため，現場での取り扱いが困難である．または，手順書に記載された手順を操作しながら，手順の背景にある原理原則まで理解することは難しい．
- ② 過去のトラブルやシステム・設備の変更などにより，手順書に記載されている手順に修正の必要が発生した場合，手順書の修正が間に合わない．さらに，操作者がこの事に気がつかないと，修正する前の手順で操作してしまう．
- ③ 手順書の使用頻度が少ない操作は，操作者への操作経験が蓄積されにくい．そのため，手順書の操作に関する認識や理解が不足する．

このように，手順書の問題点の要因には，手順書自体の不具合だけでなく，手順書を使用する側（手順書の作成者，又は操作者）で発生する可能性のある人的対応能力の低下，すなわちヒューマンエラー的要因も含める必要があると考えられる．

さらに，前述した手順書自体の不具合と手順書を取り巻く他の要因（以下，手順書の問題点の要因という）の発生状況をよく見てみると，手順書の作成段階，又は手順書の使用段階など，手順書の生成から運用に至るまでの過程（以下，手順書の生成過程と呼ぶ）のいずれかの過程で発生していることに気がついた．従って，手順書の問題点の要因を分析する際には，手順書の問題点の要因が，手順書の生成過程のどの過程で発生したものであるかについても考慮する必要があるといえる．加えて，これまで経験した業界（電力，電子部品製造，半導体製造，化学，繊維）における手順書の生成過程の業務経験も考慮すると，手順書の問題点の要因の発生状況と手順書の生成過程には次の共通点がある．

(手順書の問題点の要因の発生状況と手順書の生成過程における共通点)

- ① 手順書の生成過程は、各業界の特別な内容を除き、同じような手法で実施されている。また、手順書の問題点の要因と手順書の生成過程における発生箇所、及び問題点に関係する作成者、操作者、及び作成者と操作者（以下、関与者と呼ぶ）の傾向も似ていること。
- ② 手順書の不備を原因とするトラブルにおける手順書の問題点の要因は、手順書だけでなく、手順書を使用する作成者、又は操作者にも原因があること（いわゆるヒューマンエラー）。
- ③ 手順書の不備を原因とするトラブルにおける手順書の問題点の要因は、手順書、及び手順書の関与者など複数同時に発生している場合があること。

以上より、手順書の不備を原因とするトラブルの発生を防止させることを目的とした手順書のあり方を検討する際は、まずトラブルに結びつく手順書の問題点の要因を、手順書の生成過程、及び関与者（トラブルによっては複数同時に発生している場合もある）の関連性を考慮して分析する必要がある。そして、分析結果から考えられる対策の方向性を検討する際は、手順書と関与者に対する対策に加え、それらの対策の関連性も考慮する必要があるといえる。

1.1.3 手順書の不備を原因とするトラブルの対策に関する研究について

1.1.2では、手順書の不備を原因とするトラブルにおける手順書の問題点の要因の考え方と発生状況、及び手順書の生成過程と関与者の関連性について述べた。ここでは、現段階において実施されている手順書の問題点の要因に対する関連研究の事例、及びトラブル分析手法の紹介と本研究との相違点について述べる。

手順書の不備を原因とするトラブルの対策に関する研究については、一般的にヒューマンファクターズという学術領域として研究が行われている。ヒューマンファクターズの考え方としては、プラントの操作者は人間（Human）であり、人間がプラントの機器やシステムを最終的な責任を背負って直接的にコントロールするが、コントロールしている人間は完璧ではない。「人間はエラーをする動物である（To err is human）[10]という言葉が示されるように、人間は何らかの場面でエラー（Human error）を起こす事は不可避である。そのため、人間が機械やシステムをコントロールする中で、エラーを起こさない、又は起こしても重大な結果に繋がらないためには、発生したエ

ラーの背景にある様々な問題点（例えば，設備や機器の扱いやすさ，操作手順の明瞭さや作業環境の問題など）に着目する必要がある。

このように「エラーから逃れられない人間が，自らの生活や仕事のために機械システムとインタラクションを行い，重大なトラブルを起こす事なく安全・確実にそれらをコントロールして目的を達成するために何をすべきか？」という問題に取り組むのがヒューマンファクターズである。また，古田（2008）は，ヒューマンファクターズを「人間の優れた特性を活かし，マイナス面をカバーすることにより人間を含めたシステムの安全性，信頼性，及び効率の向上を目指す学問領域」と述べている[11]。この考え方に基づいて，人間の行動を規定する要因を整理して考えるために有用となる代表的なモデルとして，図1-2のm-SHELモデル（河野（2004））がある[11]。

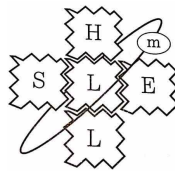


図1-2 m-SHELモデル

このモデルで示されるそれぞれの要素は，以下のような意味を持っている。

中央のL (Liveware)：本人（本論文では，手順書の作成者又は操作者）

S (Software)：作業手順，作業指示，教育訓練などのソフトウェアに関する要素

H (Hardware)：機械，道具，設備などのハードウェアに関する要素

E (Environment)：温度，湿度，照明の明るさなど作業環境に関する要素

下部のL (Liveware)：本人を取巻く周囲の人々

m (management)：会社の組織・管理・体制，組織の安全文化醸成など管理的要素

このm-SHELモデルでは，図1-2の各要素（L，H，S，E，m）そのものについての検討も必要であるが，各要素間の境界線の凹凸が示しているように，それぞれの要素間に隙間が生じないように，各要素間のインターフェイスが中心のLの特性に合致しているかどうかを検討する事が重要とされる。このように，さまざまな方向から対策

を検討することが求められている。

表 1-1 に、ヒューマンファクターズの研究課題として、古田 (2008) が m-SHEL モデルをもとに纏めている [11]。表 1-1 の中で、手順書については、図 1-2 の説明から、S (Software) に該当すると考えられるため、対策に関する研究の位置づけは L-S (人間と Software の関係) の要素項目に該当する。

このうち、手順書に関係する研究については、表 1-1 で示されている内容でもわかるように、手順書の生成過程がいくつかの部分 (手順書の自動生成、表記方法の違いによる運転員への影響、及びデータベース化など) に分類され、主に S 側の対策に関する研究項目が多いようである。では、本研究の関連研究として、表 1-1 の L-S の要素項目に該当する関連研究の概要 (成果と課題) について紹介する。

(関連研究の概要)

◎事故時手順書表示の機械化 [12]

原子力プラントの事故発生時に使用されている文書化した手順書を、事故発生時、運転員に有効な支援を行わせるために、制御卓の CRT 画面にどのような手順書を表示したらよいかについての研究である。

結果として、表示される手順書の元になるデータが正しければ手順書への変換のミスが無くなる。しかし、元になるデータが誤っていれば、変換した手順書には誤りが含まれることになる。

◎手順書の評価ガイドラインの策定 [13]

手順書の作成者側や操作者側に対して、作成上の注意事項を与える点で、ミスの防止や読みやすさの向上を目指している。

しかし、手順書を作成するにあたっては、設備の種類や作業の特殊性、部品の特徴などが異なるため、操作者に求められる正しい手順と作成された手順書に記述の内容が一致しない場合には、操作者に期待される手順書通りに操作がされずトラブルに繋がる可能性がある。

表 1-1 m-SHEL モデルに基づいた研究課題の分類[11]

m-SHEL要素	L	L-H	L-S
研究課題	<ul style="list-style-type: none"> ・人間の認知行動特性 ・心的負荷の評価 ・人間の信頼性 ・認知モデルの開発 ・人間信頼性解析方法 ・従業員の認知状態確認 ・信頼性影響要因の評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・制御盤・操作盤・操縦室等の設計評価手法 ・情報表示画面の設計評価手法 ・警報システムの改良 ・工具の認知工学的設計 ・人間と機械の役割分担 ・先進的インターフェイス概念の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・運転・保守等業務の適切な手順設計 ・手順書・チェックリスト等のスタイル設計 ・電子化手順書の開発 ・運転・保守等業務の支援システムの開発 ・誤操作防止に効果的なサイン・システム ・効果的な注意喚起法 ・技術情報の管理・活用システム
m-SHEL要素	L-L	L-E	L-m
研究課題	<ul style="list-style-type: none"> ・シミュレータ実験等を用いたチーム行動の解明 ・チーム・パフォーマンスを向上させる訓練方法 ・チーム行動を考慮した認知モデルの開発 ・複数の作業現場間や事業所間のコミュニケーション改善 ・共同作業の情報通信技術による支援 ・リーダーシップ・トレーニング ・集団行動の信頼性 	<ul style="list-style-type: none"> ・快適労働環境の設計評価 ・制御室・操縦室・作業室等の居住性改善 ・機器レイアウト設計の評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・当直業務の負担緩和方策 ・人的過誤事例の分析評価とデータベース化 ・事故・故障報告システムの高度化 ・緊急時対応能力に優れた従業員・組織の育成法 ・安全優良組織の分析 ・安全文化の評価指標とモニタリング ・効果的技術伝承 ・自発的学習を促進する教材

◎発電所現場における効果的な注意喚起方策に関する研究[14]

原子力発電所において、マンネリ化している注意喚起（例えば指差呼称や部下の意識を上げるなど）についての共通認識を深め、かつ各運転員からの注意喚起に関するノウハウの抽出・登録を目指したデータベースの構築と運用方法について研究している。

しかし、各人が日常的にデータベースを活用し、ノウハウが蓄積されなければならず、今後の検討課題とされている。

これらの関連研究では、主にトラブル事例のうち手順書の問題点の要因に対するソフト面（手順書やデータベースなど）の対策が主である。そのため、手順書の関与者に対するソフト面から見た対策として、トラブルの発生防止には有効である。しかし、手順書の生成過程と手順書の関与者、及び手順書の問題点の要因の発生状況（トラブルによっては複数同時に発生している）の関連性を考慮した対策には触れていない。

次に、トラブル事例におけるヒューマンエラーに関する分析手法のうち、特にプラントにて一般的によく使用されているトラブル事例分析手法[15][16][17][18]を表1-2に示す。

表1-2 トラブル事例分析手法

分析手法	特 徴	分析可能なファクター
J-HPES	ヒューマンエラーによるトラブルにおける事実関係の調査、背後要因の分析、対策の提案を目的とした分析手法である。 トラブルに関与した人間に焦点を当て、体系的な分析・評価が行え、具体的かつ有効的な再発防止策を提案出来る。	「作業計画」「作業実施」「作業確認」「変更措置」「口頭によるコミュニケーション」「文書によるコミュニケーション」「マン・マシン・インターフェイス」「教育訓練」「管理監督」「作業状況」「現場状況」「内的原因」「個人的(プライベート)問題」の13項目:それぞれに注文類(原因要素)、小分類(要素)がある。
人間エラー発生FT法	発電所スタッフが定式化されたFT図に抽出された問題点を記載しながら要因を探る実践的な分析手法である。 原子力発電所で発生したヒューマンエラー、トラブルを発電所のスタッフが分析するために使用されている。	「エラーモード」「人間の情報処理段階(行動・判断・知覚)」「内部要因」及び「外部要因」
バリエーションツリー法	不具合発生に係るヒューマンファクターを明らかにする事を目的として、J.LepaltとJ.Rasmussenによって考案された手法である。	不具合の発生過程において、排除されなければならない変動要因

これらのトラブル事例分析手法では、背後要因として手順書自体、及び関係者に関する要因については個別に分析可能である。しかしながら、手順書の生成過程のどの過程で発生しているか、及び手順書の問題点の要因の相互関係までは明確に分析され

ていない。そのため、現時点では手順書の問題点の要因に対する個別の分析方法、及び対策の検討方法は存在するが、手順書の生成過程及び関与者の関連性を考慮した分析手法、及び対策の方向性の検討方法はまだ確立されていないといえる。

1.1.4 本研究の目的

手順書に関する研究については、1.1.3で述べたように、図1-2のm-SHELモデルを構成する要素の組み合わせにより、表1-1に示される研究が行われている。特に、表1-1内のL-Sに該当する一般的にソフト面に特化した内容が多く、本研究の範囲のうち、手順書の生成過程の手順書に関する部分的な対策としては有効である。しかしながら、1.1.2で述べたようにこれまでの研究では手順書の問題点の要因に対して、手順書の生成過程と手順書の関係者、及び手順書の問題点の要因の発生状況（トラブルによっては複数同時に発生している）の関連性を考慮した分析と対策検討の必要性には触れていない。

そこで本研究では、原子力プラントをはじめ、電力プラントや石油精製プラントなどのプラントで使用されている手順書に着目し、実際にプラントにて発生している、手順書の不備を原因とするトラブルにおける手順書の問題点の要因が、手順書の生成過程全般のどの部分でどの程度発生しているかを分析する手法を確立する。そして、確立した分析手法を用いて、実際に発生しているトラブル事例における手順書の問題点の要因について分析し、手順書の生成過程とその関与者との関係を明らかにする。その中から特に多く発生している手順書の問題点の要因の項目に対して、トラブルの発生を減らすための具体的な対策の検討を行う。検討した具体的対策の中から効果が期待出来そうな対策を選択し、実験による有用性の確認を行う。その結果から操作者にとっても分かり易く、かつヒューマンエラーを防止（又は低減）できる手順書のあり方を検討する。

1.2 本論文の構成

本論文では、これまでの筆者の手順書の生成過程での業務経験からプラントで使用されている手順書の生成過程のモデルを提案し、手順書の不備を原因とするトラブルの問題点を、手順書からみた関与者別に問題点を分析して具体的な要因の項目について、提案した手順書の生成過程に関連づける形で整理する分析手法を提案している。

そして、提案した分析手法にて整理された問題点の要因に対する具体的な対策の方向性を、手順書の生成過程と手順書の関与者別に明らかにしている。次に、検討した対策の方向性の中から、特に効果が期待出来ると考えられる実験項目の一つとして、備考欄の情報と操作者のスキルとの関係、特に初級者に必要とされる備考欄の情報についての実験を行っている。実験準備の中では、模擬プラントを用いる事、及び筆者が考えた通常時の手順書のリスク評価方法を提案している。最後に、実験の結果と考察から出された結論について述べている。

本論文は7章で構成されている。以下に各章の内容を要約する。

第1章では、様々なプラントを取巻く環境の変化と現状の人員構成、及び問題点、プラントにて使用されている手順書が使用されている主な目的、及び手順書を取巻く問題点について調査した結果を述べている。また、手順書の不備を原因とするトラブルの対策に関する研究分野と関連研究、及びトラブル分析手法について調査した結果から示唆される現在の研究分野での問題点の整理と本研究についての意義について述べている。

第2章では、原子力プラントをはじめ、電力プラントや石油精製プラントなどで使用されている手順書の不備を原因とするトラブルの問題点についての分析手法を提案している。まず、参考文献や業務経験から考えられる手順書の生成過程のフロー図の提案と各過程、手順書の問題点の要因が手順書の作成者と操作者で異なること、及び発生する可能性のある手順書の問題点の項目について説明している。次に、Web上で一般的に公開されている原子力プラント、及び石油精製プラントのトラブル事例データベースから、実際に発生している手順書の不備を原因とするトラブルを抜き出して、手順書の問題点の項目に分類して整理した。最後に、手順書の生成過程のフローと、手順書の問題点の分類項目の一覧表を用いて行う新しい分析手法を確立している。

第3章では、第2章で確立した手順書の不備を原因とするトラブルの分析手法を用いて、実際に発生しているトラブル事例を用いて分析を実施した。はじめに、操作の定常性から見た手順書の種類と特徴について述べている。次に、Web上で一般的に公開されている原子力プラント、及び石油精製プラントについて実際に発生している

手順書の不備を原因とするトラブルを抜き出して整理し、発生している手順書の問題点が、手順書の生成過程全般のどの部分でどの程度発生しているかを明らかにしている。さらに、手順書の使用目的を運転と保全に分けて再分析を行い、分析結果の比較からトラブルの問題点の発生傾向を原子力プラント、及び石油精製プラント固有、及び共通する傾向について説明している。さらに福島第一発電所の事故に関する情報を用いて、適用性を確認している。

第4章では、第3章で分析した結果を整理し、手順書の生成過程と関与者別における問題点の発生傾向と、それに対する具体的な対策の方向性について説明している。はじめに、提案した手順書の生成過程のフロー図と、整理された問題点の分類項目から特に多く発生している問題点を抜き出して整理し、手順書の関与者別における問題点の対策の方向性について説明している。次に、参考資料や業務経験などから、手順書はいくつかの情報が構成されることによって作成されている事を説明し、実験で使用する手順書の様式を提案している。次に、トラブル事例に関係の深い情報の調査として、第3章の分析結果のうち「手順書に必要な事項が記載されていなかった」に該当する分析結果を、手順書を構成している情報の単位別にさらに細かく分析し、提案した実験で使用する手順書のどの部分で多く発生しているかについて説明している。最後に、これらを含め具体的な対策の項目を実験項目として一覧表に整理し、手順書の生成過程、及び関与者を含めた形を纏めたフロー図に対応させて相互関係を明らかにしている。

第5章では、第4章で明らかにした対策の方向性の中から、特に多く発生している問題点の分類項目に対して、それらを減らすための具体的な対策案の方向性に関する検討について述べている。まず、第3章の分析結果と、第4章の具体的な対策の方向性から、関与者が作成者と操作者となる対策の「手順書の内容と操作者のスキル（理解度）を一致させるために、必要な情報の種類を確認する」について具体的な対策案を実験することを説明している。この中から、特に件数の多かった「備考欄に記載されている情報」について、その必要性を確認する事を実験することとしている。また、分析結果から、備考欄に記載されている情報には、情報の持つ意味によってさらに細分化されることが可能であることを具体的な事例にて明らかにしている。また、手順書の操作者のスキルが初級者であるか中級者以上であるかによって、備考欄の情報の必要性が異なると考えられるため、操作者のスキルに関連する研究の結果から、操作

者のスキルによる特徴の違いと備考欄の情報の種類との関係を明らかにしている。実験については、「備考欄に記載されている情報」と操作者、特に初級者の必要性との関係に注目し、実験の目的を「手順書を補足する備考欄の情報について、初級者にとっては、どのような情報が必要かを実験結果から明らかにする」とした。そして、実験の評価として、①操作の時間は短くなる、②操作ステップの抜け率は減少する、③トラブルの発生率は減少する、④操作の理解度は向上する、の4つの作業仮説を立てた事について述べている。次に、実験環境の検討として、実験で使用する模擬火力発電プラント、実験で使用する手順書のタスクの検討について説明している。実験で確認する備考欄の情報については、操作者のスキルに違いがある事を考慮し、考案したリスク評価法にて評価した結果から、2種類の手順書を選択したこと、及び実験にて明らかにする2種類の備考欄の情報について述べている。また、実験の評価方法では、トラブル影響度をトラブルの大きさによって4つのランクに分けられることを説明している。最後に、実験方法として知識レベルの確認試験、実験の評価方法、操作に関する情報の提供方法、操作訓練の実施方法、実験スケジュール、実験後の確認テスト、及びアンケートについて説明している。

第6章では、実験の結果について述べている。今回の実験では、全ての実験協力者が、知識レベルの確認試験で初級者と判定された。実験結果では4つの作業仮説のうち、②操作ステップの抜け率は減少する、③トラブルの発生率は減少する、の2つは想定通りであったが、残りの①操作の時間は短くなる、④操作の理解度は向上するとなる、の2つは想定通りではなかった事を説明している。また、操作者の行動なども含め、初級者には、必要な情報は記載すること、数値表現は容易に理解出来る表現であること、及び同じ意味を持つ備考欄の情報は、類似する操作ステップの前に記載すれば操作の抜けを予防出来る事などについての結果を示している。最後に、今回の実験結果から考えられる、初級者が使いやすい手順書の作成条件を整理し、手順書の作成例を提案している。

第7章では、本研究で得られた成果と、今後の課題について述べている。

第2章 手順書の不備を原因とするトラブル分析

手法の検討

2.1 手順書の生成過程の説明

第1章では、手順書の不備を原因とするトラブルにおける手順書の問題点の要因を分析する際には、手順書の問題点の要因を、手順書の生成過程、及び関係者の関連性を考慮して分析する必要があることを説明した。しかしながら、そのような分析手法は確立されていないのが現状である。ここでは、まずトラブルに結びつく手順書の問題点の要因を分析する際に必要とされる手順書の生成過程について説明する。

本論文で述べる手順書の生成過程は、作業手順書を作る基本的な流れ[19]を基本に、これまで経験してきた業界（電力業界：水力発電・変電設備、半導体製造業界：クリーンルームを有する施設設備、及び製造・組立工程、化学業界・繊維業界：火力発電プラント関係設備）における手順書の生成過程の業務経験の共通点を加える形で整理した。その結果、手順書の生成過程は以下の（1）～（6）の6つの過程となった。この生成過程をフローモデル化したものを図2-1に示す。

（手順書の生成過程）

- （1）手順書の作成の必要性判断
- （2）操作手順の検討（必要な情報の収集）
- （3）手順書の作成，内容確認，操作者への内容説明
- （4）手順書の作成または確認後の修正検討
- （5）操作の実施において発見された問題点の修正
- （6）他社トラブルや法令改正などの変更による手順書の作成又は修正

以下に、図2-1を用いて、各過程における実施内容、特徴、及び注意点の説明、ならびに発生する可能性のある手順書の問題点の要因について説明する。

（1）手順書の作成の必要性判断

この過程では、手順書作成の目的を把握し、手順書を作成する必要性の有無を判断

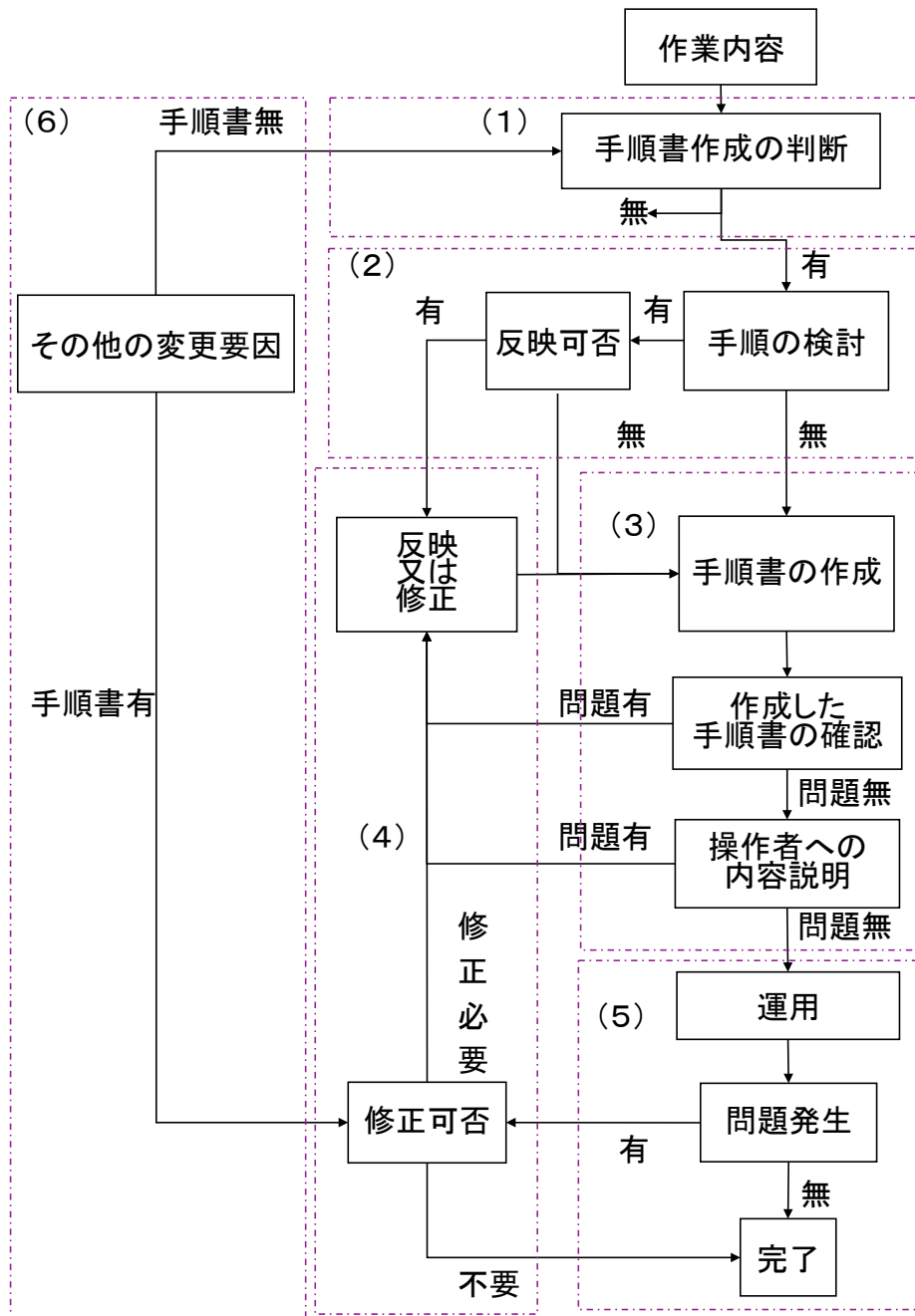


図 2-1 手順書の生成過程フローモデル

する。頻度の高い操作や過去に既に実施している操作は、既に手順書が作成されている事が考えられる。そのため、手順書作成の目的と手順書の内容が一致し、かつ手順書の内容に変更が無ければ改めて作成する必要がなく、既に作成された手順書を使用する。もし手順書の内容を変更する必要がある場合は、既にある手順書を元にして次の(2)の過程に移る。このように手順書を作成する必要性の判断力は、手順書の作成者が持つスキルに大きく影響される。特に手順書作成の経験が豊富な作成者は、必要な情報の判断がある程度容易に実施出来るが、手順書作成の経験が浅い作成者は必要性の判断を誤る可能性がある。従って、作成者のスキルによって誤った判断をする可能性がある。

(2) 手順書の検討 (必要な情報の収集)

この過程では、手順書の操作目的に応じた手順書の生成に必要な情報を収集する。手順書に必要とされる情報は、操作目的に応じて必要な情報の内容もそれぞれ異なる。以下に、本論文における手順書の操作目的別による必要な情報の例を述べる。

(手順書の操作目的における必要な情報の例)

① 定常的な操作

- ・ 運転状態の変更に伴う操作
： 操作前後の運転状態，周辺設備への影響，操作目的
- ・ 設備の作業に伴う操作
： 操作前後の設備の状態，作業に関する資料（計画書，工程，養生書など）
- ・ 設備の保守や点検による操作（グリスや薬品の補充，定期的な保安運転等）
： 設備の仕様書，作業に関する資料（計画書，工程，養生書など）
- ・ 連携する他のプラントの定期的な停止による操作
： 操作前後の状態，連携した操作に必要な双方の手順書

② 非定常的な操作

- ・ 新規設備の運用，既設設備の撤去・更新による操作
： 現状と設備変更後の運転状態，新規設備の設計・検討資料
- ・ 非定常時，緊急時の操作
： 非定常または緊急時の操作要因，緊急時の運転状態検討資料，プラントの他設備への影響，外部機関への連絡など

- ・ 連携する他のプラントの事故・トラブルなどの影響による操作
 - ： 操作前後の運転状態，トラブル時の双方の対応，原料や生産・ユーティリティー供給量の把握，連携した操作に必要な双方の手順書
- ・ 不定期な点検を行う設備・機器の不具合操作
 - ： 設備の仕様書，作業に関する資料（計画書，工程，養生書など）

このように，手順書の操作目的によって必要な情報は異なる．特に操作頻度が少ない緊急時や不定期に発生する内容に関する情報は，設備の新設・改造・撤去等に伴う資料や他のプラントに関する資料など，通常では入手することが困難な情報が多く，その収集が難しい．しかし，手順書の表記の中に操作に関する必要な情報の抜けが生じると，最終的にトラブルに結びつく可能性がある．すなわち，情報の取得性が手順書の完成度や正確性に影響を及ぼす．

（３）手順書の作成，内容確認，操作者への内容説明

この過程では，はじめに作成目的と集めた情報をもとに手順書の作成を行う．手順書はプラントごとに様式や表記方法が異なるが，運転又は作業の担当者が手順書を作成するのが一般的である．そして，手順書の作成者となる運転又は作業の担当者のスキルが手順書の生成過程（１）の「手順書の作成の必要性の判断」で述べたように異なるため，手順書の作成者のスキルが作成される手順書の完成度や正確性，及び表現性に影響を及ぼす．次に，作成された手順書に含まれる誤りや現地との不整合，及び表記・転記ミスなどの修正が必要であるかどうかの確認が行われる．ここでは，作成された手順書を複数の関係者によって確認するのが一般的であり，確認する関係者のスキルや確認される手順書の表現，及び内容の正確性が要求される．内容のチェックを終え，担当部署の長に承認の得られた手順書は，実際に操作を行う操作者に配布される．また，操作者と事前に読み合わせや内容の確認を行い，手順書の手順や記載事項に問題がないことの確認，及び手順書の表現に誤解がないかなど手順書の作成者と操作者の認識の統一を図る．従って，手順書の表現が操作者に影響を及ぼす．

（４）作成または確認後の修正検討

この過程では，手順書の作成又は確認において発生した修正箇所がある場合は，この過程で修正を行うかを判断し，必要に応じて手順書の修正を行う．また，その他として以下の（６）の過程となる社内の他部署または他社でのトラブルにおける水平展

開，他社との連携作業，及び法律の変更に伴う対応など（以下，外部要因と呼ぶ）による手順書の修正が必要となる場合もこの過程で実施される．しかし，外部要因による修正は情報の入手が難しく時間もかかるため，手順書の修正に必要な情報の取得性や手順書生成に費やすことの出来る時間が手順書の修正に影響を及ぼす．

（５）操作の実施，及び操作の実施において発見された問題点の修正

この過程では，操作者は手順書に従って操作を行う．もし，この時点で手順書に不備があった場合は，一時中断して上記（４）の過程に戻って手順書の修正を実施する，またはその都度，手順書の内容を修正しながら手順を進めていく．もし，操作の途中で手順書の内容を変更した場合は，内容の変更点について関係者で討議し，必要に応じて以後の手順に反映させる．ここでは，操作者のスキルにより手順書の理解度が異なり，その後の操作に影響を及ぼす可能性があることから，手順書の作成者及び操作者の意思疎通を十分図る必要がある．従って，手順書を使用する操作者のスキル，及び手順書の表現が手順の操作に影響する．

（６）外部要因による手順書の作成又は修正の判断

この過程では，外部要因により手順書の作成又は修正の必要性が発生した場合の判断を実施する．入手した外部要因の情報を手順書にどのように反映するか判断では，上記（１）や（３）と同様に，手順書の作成者のスキルがその後の対応に影響する．また，他社との連携作業などでは自社と他社の手順書を比較しながら操作するため，手順書の表現が正しくないと自社や他社の操作者に対して誤解を招く可能性があるため注意が必要である．

最後に，終了した手順書は，手順書の記録ファイルに綴じられる．ここでは，操作頻度の高い手順書は，年度毎に実施した手順書を纏めたファイルに綴じて保管される．一方，操作頻度の低い手順書は，点検作業やトラブル毎に作成されたファイルに綴じて保管される．なお，将来同様の操作又は作業が発生した場合において，過去の手順書を検索する検索性については，①の定常的な操作では，年度毎に保存されていることが多く，比較的容易に検索可能である．一方，②の非定常的な操作では，点検作業やトラブル毎に作成されたファイルに綴じられていることが多く，検索が困難な場合が多い．

2.2 手順書の生成過程にて発生する可能性のある手順書の問題点の要因の分類作業の考え方と傾向について

2.1 では手順書の生成過程について説明した。本研究では、手順書の問題点の要因の整理を行っていることから、ここでは手順書の生成過程において発生する可能性のある問題点の要因について考える。

まず、本論文における手順書の問題点の要因の分類作業の考え方について説明する。手順書の問題点の要因は、その内容によって 1.1.2 で述べたように、手順書の問題点の要因に対して、手順書の生成過程と関与者の関係を明確にする必要がある。以下に手順書の問題点の要因の分類作業の考え方としてトラブル事例 1 を挙げて説明する。

(トラブル事例 1)

手順書の手順は正しいが操作バルブの表現が明確でなかった。この手順書を用いて操作者が初めてあるバルブを操作しようとしたが、操作者は手順書に記載されたバルブの表現が理解できず、誤って別のバルブを操作してしまった。

このトラブル事例における手順書の問題点の要因を考える。このトラブル事例では、手順書に記載された操作バルブの表記方法が手順書の問題点の要因であると考えられる。しかしながら、手順書の作成者側と使用者側から見た場合では、以下のように分類される手順書の問題点の要因が異なる。

(手順書の問題点の要因の分類の考え方)

作成者側：操作バルブを明確に表現しなかった。

操作者側：操作バルブの表現が理解できず、誤って別のバルブを操作した。

このように、トラブル事例 1 を例として考えられる手順書の問題点の要因は、手順書に記載されたバルブの表現が明確でなかったこと（作成者側の問題点）、及びバルブの表現が理解出来ず誤って別のバルブを操作したこと（操作者側の問題点）の 2 つである。これらは、結果的に手順書の問題点の要因に分類する際には、2 つの要因として別々に分類する必要がある。このように、トラブルに結びつきやすい手順書の問

題点を、手順書の問題点の要因に分類する際は、その内容を問題点の関与者の立場で考える必要がある。また、トラブル事例1では1.1.2でも述べたように、手順書の問題点の要因(手順書自体の不具合と手順書を取り巻く他の要因)が2つ同時に発生し、それぞれの手順書の問題点の要因に対応する関与者が作成者側と操作者側に分かれている。このように、一つのトラブル事例に対して手順書の問題点の要因が複数発生している場合、1.1.3で述べた関連研究のように一つひとつの手順書の問題点の要因に対して、個別に対策を検討するだけでなく、複数発生している手順書の問題点の要因の関連性を考慮することにより、個別には異なる対策であっても、相互作用を考慮した具体的対策の検討が可能となる。

次に、発生する可能性のある手順書の問題点の要因については、1.1.2でも述べたように、図2-1で示した手順書の生成過程フローモデルの各過程で考えられる。そのため、図2-1の手順書の生成過程フローモデルの(1)から(6)の各過程に、2.1で説明した手順書の生成過程の各過程の説明内容から人が関与することにより発生すると考えられる手順書の問題点の要因を列挙し、項目別に分類して整理した。その結果を表2-1に示す。

表2-1 手順書の生成過程で発生すると考えられる手順書の問題点の要因一覧

No.	問題点の発生場所	問題点の内容	問題点の分類					
			①	②	③	④	⑤	
1	(1)	手順書を作成する事を忘れる。						
2	(2)	以前の操作経験が操作手順書に反映されていない。						
3	(2)	プラントの設計条件に関する資料の入手が難しい。						
4	(2)、(3)	プラントの状態が設計条件と異なる時、現状ある手順書の妥当性判断が難しい。						
5	(3)	手順書の目的や項目の重要性などが説明されていない。						
6	(3)	必要な情報が記載されていない。						
7	(3)	プラント毎に手順書の様式や表現方法が異なる。						
8	(3)	複数の手順書にて対応する時、手順書間の連携が取れていない。						
9	(3)	スキルの高い操作者の知見が手順書に反映される場合、妥当性の判断が難しい。						
10	(4)	設備の変更が多いプラントでは、手順書の修正が追いつかない。						
11	(5)	手順書から各手順の重要性が理解出来ない(メリハリがない)。						
12	(5)	はじめて行う操作又は作業では、文字による記載では理解しづらい。						
13	(5)	手順書の内容が持つ意味の説明がされておらず、手順の内容が理解しづらい。						
14	(5)	手順書を生成する担当者のスキルにより、内容(完成度)が異なる。						
15	(5)	手順書を使用する操作者のスキルにより、手順書の理解度が異なる。						
16	(6)	複数の手順書にて対応する時、手順書間の連携が取れていない。						

(手順書の問題点の要因)

- ① 手順書の表現
- ② 情報の取得性
- ③ 手順書の内容の正確さ
- ④ 手順書作成者や操作者のスキル
- ⑤ 手順書生成に費やすことの出来る時間

表 2-1 の結果から、手順書の問題点の要因の発生傾向は、図 2-1 の手順書生成フローモデルに当てはめた結果、手順書の問題点の要因の分類が特に多い手順書の生成過程である。生成過程 (2) の「手順書の検討 (必要な情報の収集)」, 生成過程 (3) の「手順書の作成・内容確認・操作者への説明」及び、生成過程 (5) の「操作の実施, 及び操作の実施において発見された問題点の修正」で発生しやすいと考えられる。

以上のことから、図 2-1 の手順書生成フローを用いることにより、手順書の問題点の要因が発生した過程を判別する事が可能となる。そして、手順書の問題点の要因に対する関与者と、項目別に整理した手順書の問題点の要因に対応させて考えること、及び手順書の問題点が複数発生した場合には、それぞれの関連性を考慮することが、問題点の対策を考察する上で重要であるといえる。

2.3 手順書の不備を原因とするトラブルの分析手法の確立

2.1 及び 2.2 では、図 2-1 の手順書生成過程フローモデルと表 2-1 の手順書の生成過程で発生すると考えられる手順書の問題点の要因一覧表による、手順書の不備を原因とするトラブル事例の分析方法の考え方について説明した。ここでは、実際に発生しているトラブル事例 (原子力プラント、及び石油精製プラントのトラブル事象に関するデータベースに登録されたトラブル事例) にこれまでの分析方法の考え方を適用し、実際に発生している手順書の問題点の要因を、図 2-1 の手順書の生成過程フローモデルと対応させた形で表 2-1 のように項目別に整理した一覧表を作成する。最後に、図 2-1 の手順書の生成過程フローモデルと整理された手順書の問題点の要因の分類項目一覧表によるトラブルの分析手法を確立させる。

2.3.1 原子力施設情報公開ライブラリー (NUCIA) [6]について

本論文では、インターネット上に一般公開されている原子力安全データベース (NUCIA) のトラブル、トラブルの登録データベースを利用して、手順書の不備を原因とするトラブルにおける手順書の問題点の要因を分析し、要因の項目一覧表を作成することとした。NUCIA (ニューシア) とは、原子力施設情報公開ライブラリー (NUclear Information Archives) の通称であり、2003年10月1日より運用を開始したデータベースである。その主な目的は以下の通りである。

(主な目的)

- ① トラブル等の情報を電力会社間で共有・活用する事により、トラブル等の未然防止及び再発防止を図るとともに、産官学で情報を共有する
- ② トラブル等の情報を公開する事により、原子力施設に対する透明性を確保する
- ③ 確率論的安全評価 (PSA : Probabilistic Safety Assessment) 用機器故障率のためのデータベースを構築する

である。トラブル等情報、信頼性、故障率算出などの情報が登録され、2009年2月までに約3,500件の情報が登録されている。

2.3.2 原子力関係における手順書の問題点の要因の分類項目の設定

まず、NUCIA に登録された手順書の不備を原因とするトラブルについて、どのような問題点がよく発生しているかを分析するために、手順書の問題点の要因に対する関与者、及び手順書の問題点の要因を整理するための分類項目を検討した。

NUCIA の Web ページにある「トラブル等情報検索」より、2004年1月1日～2008年12月31日までの5年間のトラブル登録データを対象に、登録年数別に分けて呼び出した。呼び出した各登録年数の全ての登録データに対して、トラブルの登録データのうち手順書の不備を原因とするトラブル内容から、トラブル登録データに記載されている項目のうち、「原因」「大・小分類」「再発防止対策」の記載事項において手順書に関連する記載がある登録データのみを抽出した。次に、抽出した登録データに記載されている「原因」や「再発防止策」の記載事項より、手順書の問題点の要因を関与者の観点から一覧表にして整理した。そして、一覧表に整理した手順書の問題点の要因一つひとつに対して、問題点の関与者、手順書の問題点の要因の順番に検討し、可能な限り項目を列挙した。列挙された手順書の問題点の要因の項目は同じ意味を持つ項目を一つに整理した。以下の表2-2に手順書の問題点の抽出、問題点の関与者、

及び手順書の問題点の要因の分類項目を列挙する作業例を示す。

表 2-2 は、NUCIA の登録番号 8 2 0 5 のトラブル事例「非常用ディーゼル発電機 2 C の運転上の制限逸脱について」である。まず、この事例に記載されている情報から手順書の問題点を抽出する。この例では、記載事項より手順書の問題点の要因であると考えられる情報として（原因）の欄から①の情報、（再発防止対策）の欄から②の情報に番号を付けて整理する。次に、番号を付けて整理した情報から考えられる手順書の問題点の要因を、情報の一つ一つについて分析して整理する。最後に、整理された手順書の問題点の要因の内容から、関与者、問題点を引き起こす要因の順番に対応させて分類項目を列挙（同じ意味を持つ項目がある場合は整理）した。なお、分類を進める中で、その時点でどの問題点を引き起こす要因の項目にも当てはまらないものについては、一旦その他の項目を作成してまとめておき、後でその他の項目について再度分析を行い、問題点を引き起こす要因の項目名を追加した。そして、この作業を数回繰り返すことにより、手順書の問題点の要因の分類項目を確定した。

表 2-2 トラブルケースの問題点の分類作業の例

トラブル事例	非常用ディーゼル発電機2Cの運用上の制限逸脱について
登録番号	8205
記載事項	(原因) … 前月の手動起動試験において、長時間運転を実施した後のターニング終了時、手順書に従いインジケータコック弁を閉操作したが、手順書にチェックリストがないこともあり、当該弁のみ閉操作を失念した① …
	(再発防止対策) … 長時間運転後のターニングにおけるインジケータコック弁の操作の欄に、試験前と同様にチェックリストを明記する。② …
洗い出した問題点	①作業員は手順書を使用して手順書どおりに操作したが、チェックリストがなかったため操作履歴をチェックできず操作しないといけない項目を失念した。 ②操作手順のチェックリストが作成されていなかった。
項目の列挙	①⇒項目Ⅲ-(1)-⑤「手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった」 ②⇒項目Ⅰ-(1)-①「作成する必要があったが、失念した」

この分析手法における特徴については以下の通りである。

(特 徴)

① 手順書の問題点の要因が、単独あるいは複数存在する場合でも、いくつかの

手順書の問題点の要因の項目に簡単に分類することが可能である。分類する際に使用される分類項目の一覧表は、トラブル事例における手順書の問題点の要因を、関与者、手順書の問題点の要因の順番に項目に分類した。そして、同じような意味を持つものを一つの項目に整理する作業を数回実施して集約した結果である。また、分類項目の一覧表は問題点の関与者、手順書の問題点の要因の順番に階層別に作成されている。そのため、ある程度の手順書の問題点の要因は階層別に作成された分類項目の一覧表により、いずれかの関与者と手順書の問題点の要因の項目に簡単に分類することが出来る。

② トラブル事例における手順書の問題点の要因を、関与者と手順書の問題点の要因に対応させて分類が可能である。手順書の問題点の要因は、関与者によって異なる。そのため、具体的な対策を検討する際には、関与者の立場における手順書の問題点の要因を把握する必要があると考える。

③ いくつかのトラブル事例における手順書の問題点の要因を、いくつかの項目に分類した。その結果、手順書の問題点の要因の項目が複数ある場合、それらの組み合わせから、各々の関連性が把握出来る。この方法は、発生した手順書の問題点の要因の対策を一つひとつ実施するよりも、効率の良い対策の検討に有効である。

さらに、検討を進める中で、複数の作業にまたがる場合や、同じ職場の同僚・グループ間の連絡（コミュニケーション）不足による問題点も多く発生していることがわかったため、これらについても分類項目の一覧表に含めた。

2.3.3 原子力関係のトラブル事例における手順書の問題点の関与者、手順書の問題点の要因の分類結果

2.3.2の方法により、最終的にトラブル発生の原因となった問題点を表2-3の手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表に分類した。事故・トラブル記録から洗い出した問題点を表2-3に示す項目に振り分ける作業を行うにあたり、以下の根拠を基準として分類作業を実施した。ここで、図2-2、及び表2-3に記載されている項目Ⅰは作成者から見た手順書に関する問題点、項目Ⅱは操作者から見た手順書に関する問題点の範囲を示す。また、項目Ⅰ、及び項目Ⅱの範囲が重なる部分は作成者と操作者

に關係する問題点の範圍を示す。加えて、手順書の運用段階では、手順書の使用方法や手順書の内容に關係する操作者自身による問題点も多く発生している。これらの問題点は、手順書の運用段階における手順書側から見た操作者を防止出来なかつた事は手順書の不備が原因であるとも考えられる。そのため、これらの問題点も分析項目に含める事とし、項目Ⅰ、及び項目Ⅱと同様に項目Ⅲとして整理した。加えて、分析を進めていく中で、コミュニケーションや指示に關する問題点も關連性のあることが分かつた。そのため、これらの問題点も項目Ⅳ、及び項目Ⅴとして整理した。また、図2-2中の(1)～(4)は、表2-3に整理した項目Ⅰ～Ⅲにおける問題点の分類項目の発生箇所を示している。

(分類作業の基準)

I. 手順書作成者から見た手順書に起因するトラブル項目

(1) 手順書の作成判断における問題点

: 作業の内容をインプットとし、手順書の作成判断を行う際に発生したと考えられる項目である。

① 作成する必要があつたが、失念した。

: 作成者を含め、關係者が作成を失念した。

② 作成する必要があつたが、既にある手順書を代用した(標準あるいは過去の類似作業など)。

: 手順書を作成する必要があり、その際に過去に作成された手順書を代用したもの。

(2) 手順書の検討(又は再検討)における問題点

: 手順書の作成が必要となり、手順書の作成段階における検討についての項目である。

① 作成段階における手順に關する十分な検討がされていなかつた。

: 手順書の作成段階において、必要な項目が検討されていなかつたもの。

② 作成段階における手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかつた。

: 手順書の作成段階において、必要な項目が検討されていたが、手順書に反映されていなかつたもの。

(3) 手順書の作成・確認・説明段階における問題点

: 手順書の作成～使用者への説明段階における項目である。

①手順に必要な項目が記載されていなかった。

：トラブルに関連する必要な情報が記載されていなかったもの。

②手順書の表記内容が誤っていた。

：手順書自体は問題ないが、手順書内に記載されている判定条件や添付資料などが誤っていたもの。

③手順書は問題ないが、適切な表現がされていなかった。

：手順書自体は問題ないが、その内容の一部に誤解を招くような表現がされていたもの。

④手順書自体が誤っていた。

：手順書の手順自体が間違えていたもの。

⑤実績のある手順だったため、手順書の内容確認が実施されなかった。

：過去に実績ある手順のため、手順書自体の内容を確認しなかったもの。

⑥手順書の承認過程で手順書の内容確認が十分されなかった。

：手順書の内容が十分確認されず承認されたもの。

⑦手順書が配布されていなかった。

：手順書の配布がされていなかったもの。

(4) 手順書の修正段階に関する問題点

：手順書の修正が必要となり、手順書の修正段階における検討についての項目である。

①以前発生した不具合事象が手順書に反映されていなかった。

：過去の不具合事象が反映されていなかったもの。

②手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。

：手順書の修正段階において、必要な項目が検討されていたが、手順書に反映されていなかったもの。

II. 操作者側から見た手順書に起因するトラブル項目

(1) 手順書運用段階における問題点

：手順書が運用された後における項目である。

①手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった。

：手順書の操作を確実に確認できなかったもの。

②手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった。

：手順書の操作を確実に実施する工夫がされていなかったもの。

③手順書の誤りに気がつかなかった。

：操作者以外で同じ操作を実施していたものが手順書の誤りに気がつかなかったもの。

④手順書の誤りに気がつかず，そのまま操作を実施した。

：操作者が手順書の誤りに気がつかず，そのまま手順書の操作を実施したものの。

⑤手順書の表記や内容は正しいが，解釈を間違えた。

：手順書の内容は正しいが，操作者や関係者が解釈を間違えたもの。

⑥手順書の表記や内容が間違えており，更に解釈を間違えた。

：手順書の内容が間違えているものを，操作者や関係者がさらに解釈を間違えたもの。

⑦手順書と現場機器を照合した操作が出来ていない。

：操作者が手順書と現場機器を照合して操作しなかったもの。

Ⅲ. 操作者に起因するトラブル項目

(1) 操作者の人的要因によるもの

：手順書を使用している操作者の人間性によるもの。但し，手順書が作成されていることがベースとして項目を分類している。

①手順書の内容を確認しなかった。

②手順書の内容を確認せず，自分なりの解釈(思い込み)で操作を実施した。

③手順書に必要な事項が記載されていないため，自分なりの解釈(思い込み)で操作を実施した。

④手順書に必要な事項が記載されていないため，必要な操作を実施しなかった。

⑤手順書の内容を確認したが，必要な手順を実施しなかった。

(2) 操作者の経験不足(又は豊富)によるもの

：操作者の経験による問題点の項目である。

①作業員(操作者)の作業(又は操作)に関する認識が不足していた。

：手順書の作業経験がなかったもの。

②作業員(操作者)は現場の状態，周囲の雰囲気，これまでの流れなどから誤った判断をした。

：作業員を取り巻く環境の影響を受けたもの。

③過去の経験との相違に対する誤判断をした。

：手順書の作業について，過去の経験との相違があり，誤判断をしてしまった。

④作業員（操作者）は誤操作を認識できなかった。

⑤その他

(3) 現地の状態確認抜けによるもの

：操作者の確認抜けに関する項目である。

①操作前（又は操作後）の現地確認が出来ていなかった。

：操作に関する現場の確認がされていなかったもの。

②操作後の現地表示が正確に実施されていなかった。

：次の作業のために現地に表示が必要であるが，表示がされていなかったもの。

③その他

IV. 作業員（操作者）間に起因するトラブル項目

(1) コミュニケーションが不足していた。

：手順書を用いて操作あるいは作業を実施している最中において，関係者間のコミュニケーションに問題があったものを項目として分類した。但し，操作あるいは作業を実施する場合，同じ社内の場合と請負業者や関連会社の関係者を含む場合があるため，同じ社内の場合と複数の会社に関係する場合に分けて分類した。

①同じ社内間

②他社間

V. 指示者に起因するトラブル

(1) 誤った指示を行った。

：手順書を用いて操作あるいは作業を実施している操作者が，手順書に記載されている操作あるいは作業を他の関係者に誤って指示をしたものを項目として分類した。

①同じ社内間

(2) 指示がされていなかった。

: 手順書を用いて操作あるいは作業を実施している操作者が、手順書に記載されている操作あるいは作業を他の関係者に正確に指示がされていなかったものを項目として分類した。

①同じ社内間

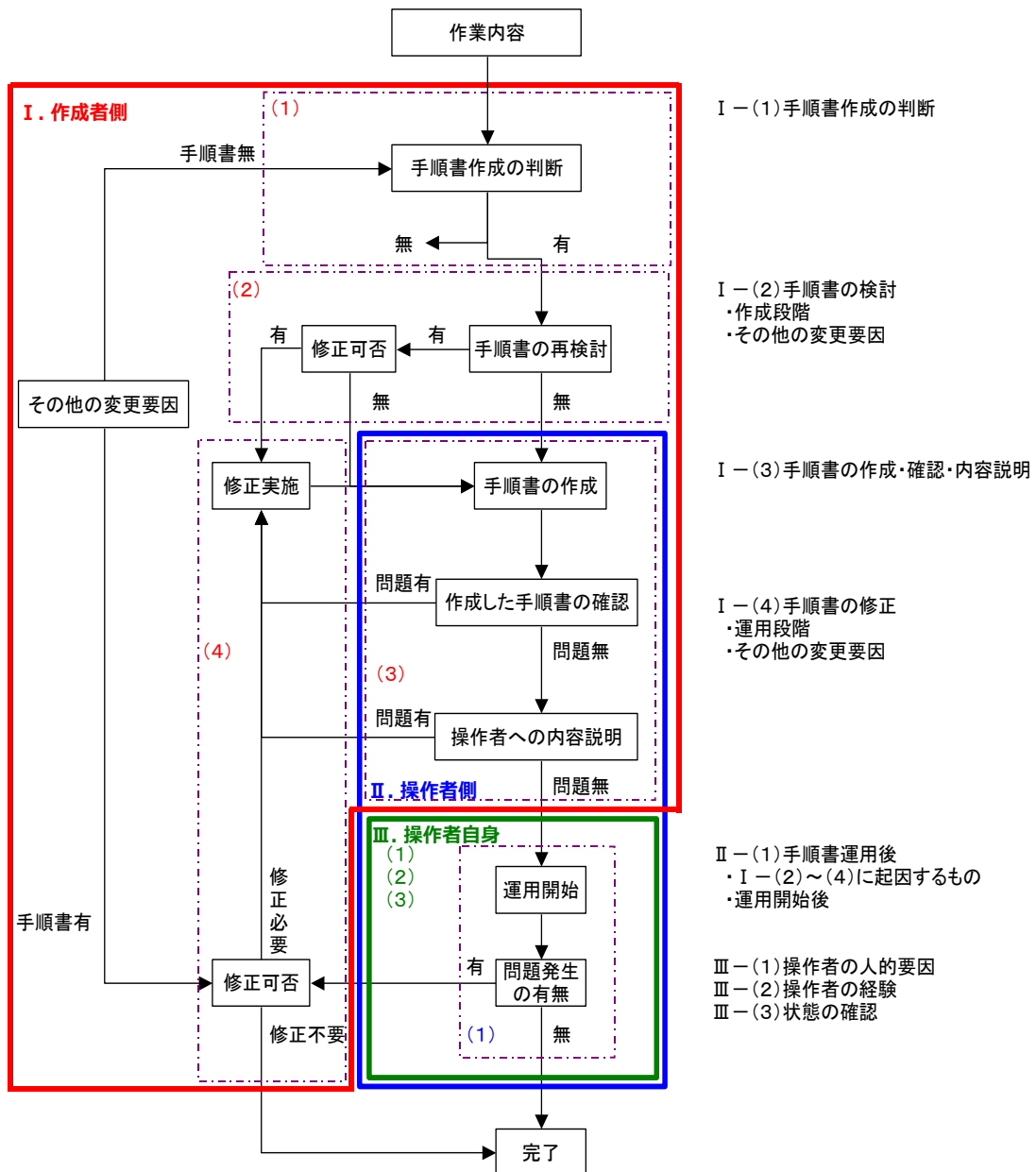


図 2-2 手順書の生成過程と問題点の分類項目との関係図

表 2-3 手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表

I. 手順書作成者から見た手順書に起因するトラブル項目

(1) 手順書の作成判断における問題点	① 作成する必要があるが、失念した。 ② 作成する必要があるが、既にある手順書を代用した(標準あるいは過去の類似作業など)。
(2) 手順書の検討(又は再検討)における問題点	① 作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった。 ② 作成段階における手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。
(3) 手順書の作成・確認・説明段階における問題点	① 手順に必要な項目が記載されていなかった。 ② 手順書の表記内容が誤っていた。 ③ 手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった。 ④ 手順自体が間違えていた。 ⑤ 実績のある手順だったため、手順書の内容確認が実施されなかった。 ⑥ 手順書の承認過程で手順書の内容確認が十分されなかった。 ⑦ 手順書が配布されていなかった。
(4) 手順書の修正段階における問題点	① 以前発生した不具合事象が手順書に反映されていなかった。 ② 手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。

II. 手順書操作者側から見た手順書に起因するトラブル項目

(1) 手順書運用段階における問題点	① 手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった。 ② 手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった。 ③ 手順書の誤りに気がつかなかった。 ④ 手順書の誤りに気がつかず、そのまま操作を実施した。 ⑤ 手順書の表記や内容は正しいが、解釈を間違えた。 ⑥ 手順書の表記や内容が間違えており、更に解釈を間違えた。 ⑦ 手順書と現場機器を照合した操作が出来ていない。
--------------------	--

III. 操作者に起因するトラブル項目

(1) 操作者の人的要因によるもの	① 手順書の内容を確認しなかった。 ② 手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は判断)した。 ③ 手順書に必要な事項が記載されていないため、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は判断)をした。 ④ 手順書に必要な事項が記載されていないため、必要な操作を実施しなかった。 ⑤ 手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった。
(2) 操作者の経験不足(又は豊富)によるもの	① 作業員の作業(又は操作)に関する認識が不足していた。 ② 作業員は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした。 ③ 過去の経験との相違に対する誤判断をした。 ④ 作業員は誤操作を認識できなかった。 ⑤ その他
(3) 現地の状態確認抜けによるもの	① 操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった。 ② 操作後の現地表示が正確に実施されていなかった。 ③ その他

IV. 作業員間に起因するトラブル項目

(1) コミュニケーションが不足していた。	① 同じ社内間 ② 他社間
-----------------------	------------------

V. 指示者に起因するトラブル項目

(1) 誤った指示を行った	① 同じ社内間
(1) 指示がされていなかった。	① 同じ社内間

2.3.4 石油精製関係データベース（PEC-Safer）について[7]

2.3.3 で作成した，手順書の問題点の要因の分類項目一覧表の適用性確認と精度向上のため，インターネット上に一般公開されている石油精製関係のデータベース（PEC-Safer）の事故事例データベースを利用して，2.3.2 と同じ作業を実施した．PEC-Safer は，石油各社が所有する情報，知識，教訓をデータベース化し，製油所の安全を確保することを目的とする．安全教育，事故事例，設備安全の3つのデータベースで構成されている．この中から事故事例データベースの事例を分析対象とした．

2.3.5 石油精製関係を考慮した手順書の問題点の要因の分類項目の設定

手順書の不備を原因とするトラブルによって発生している手順書の問題点の要因は，2.3.2 で説明したとおり図2-2で示す手順書の生成過程フローモデルのいずれかの過程で発生していると考えられる．そこで，トラブル事例から考えられる手順書の不備を原因とする問題点を，手順書の関与者別に分けて整理した．トラブル事例の分析の詳細については，まずPEC-Saferに登録された手順書の不備を原因とするトラブルのうちどのような問題点がよく発生しているかを分析するために，手順書の問題点に対する関与者，及び問題点を引き起こす要因を整理するための分類項目を検討した．PEC-SaferのWebページにある「事故事例」より，1966年4月～2008年12月までの期間のトラブル登録データ（401件）を対象に，トラブルの登録データのうち手順書又はマニュアルの不備を原因とするトラブル事例を検索した．検索されたトラブル事例は，表2-4に示す2種類のフォーマットで登録されていた．しかしながら，2種類のフォーマットでも同じ意味を持つ項目で記載されており，問題点の分析には同じ意味を持つ項目を対応させて問題点の抽出を実施した．

表2-4 事例登録の2種類のフォーマット

フォーマット1		フォーマット2
「事故事象」、「起因事象・進展事象」のテキスト表示	⇔	「原因」「事象の進展」「備考」
「起因事象・進展事象」のコード表示	⇔	「事故に関係した直接・間接要因」のコード表示
「再発防止対策」「教訓」	⇔	「再発防止対策」

検索したトラブル事例の登録データの内容に記載されている項目のうち表2-4の項目に記載された事項において手順書に関連する記載がある登録データのみを抽出

した。抽出した登録データの記載事項から、手順書の問題点の要因を関与者の観点から抜き出し、問題点一つひとつに対して、手順書の生成過程の各過程、関与者、及び手順書の問題点の要因の順番に、2.3.3 で作成した表 2-3 の手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表に当てはめて整理し、PEC-Safer における分析結果を考慮した問題点の分類項目の一覧表を作成した。表 2-5 に手順書の問題点の要因を関与者、及び手順書の問題点の要因の分類項目に当てはめて整理する作業例を示す。

表 2-5 は、PEC-Safer の事故事例に登録されている登録番号 63 のトラブル事例「BTX 製造装置加熱炉加熱管の破裂、火災」である。まず、この事例に記載されている情報から手順書の問題点を整理する。この例では、記載事項より手順書の問題点となると考えられる情報として「起回事象・進展事象」の欄から下線を引いた部分の①、及び②の情報、「事故事象」の欄から下線部の①、及び②の情報、「再発防止対策」の欄から下線部の①、及び③の情報として番号を付けて整理する。ここで同じ内容と考えられるものには、同じ番号をつけている。次に、番号を付けて整理した情報から考えられる手順書の問題点を、情報の一つひとつについて分析して「抜き出した問題点」に整理する。そして、これらの問題点の内容を、問題点の関与者、問題点を引き起こす要因の順番に対応させ、NUCIA の分析で作成した問題点の分類項目一覧表の各項目に当てはめた。なお、問題点の項目の分類を進める中で、その時点でどの問題点を引き起こす要因の項目にも当てはまらないものについては、一旦「その他」の項目を作成して（又は作成されている場合は「その他」の項目に）まとめておき、後で「その他」の項目について再度分析を行い、必要に応じて問題点を引き起こす要因の項目名を追加した。そして、この作業を数回繰り返すことにより、問題点を引き起こす要因の分類項目を確定し、PEC-Safer における問題点の分類項目一覧表を完成させた。

整理した問題点の項目一覧表を表 2-6 に示す。ここで、図 2-3、及び表 2-6 に記載されている項目 I は作成者から見た手順書に関する問題点、項目 II は操作者から見た手順書に関する問題点の範囲を示す（図 2-2 では I. 作成者側と III. 操作者自身の範囲を分けていたが、分析結果から特に分ける必要がない事がわかったため、図 2-3 では III. 操作者自身は I. 作成者側の範囲に含めた）。また、項目 I、及び項目 II の範囲が重なる部分は作成者と操作者に関する問題点の範囲を示す。加えて、手順書の運用段階では、手順書の使用方法や手順書の内容に関する操作者自身による問題点も多く発生している。これらの問題点は、手順書の運用段階における手順書側

表 2-5 問題点の分析項目への分類作業の例

トラブル事例	BTX製造装置加熱炉加熱管の破裂、火災
登録番号	63
記載事項	<p>「起因事象・進展事象」</p> <p>…マニュアルに水分含有量確認試験実施の規定なし(間接>管理・運営>作業の基準・マニュアル類の不備・不十分)①、 …加熱炉管表面温度が異常に低い値を示したのに点検者は計器故障と判断(直接>人的>能力・経験不足)②</p>
	<p>「事故事象」</p> <p>事故前に熱媒油の出口温度およびCパス加熱炉出口配管表面温度計が異常に低い値を示したが、作業者は計器故障と誤判断し、現場温度計未確認のまま運転を続行した。② …マニュアルに水分含有量確認試験実施の規程が無かった。①</p>
	<p>「再発防止対策」</p> <p>…、計器類の取扱い要領の徹底③、BTX装置運転マニュアルの再教育の実施①…</p>
抜き出した問題点	<p>① 手順書(マニュアル)に必要な事項(水分含有量確認試験)が記載されていなかった。</p> <p>② 操作者は現場の状態・周囲の雰囲気、これまでの流れから誤った判断(計器の故障)をした。</p> <p>③ 操作者の操作(計器類の取扱い)に関する認識が不足していた。</p>
項目の列挙	<p>①⇒項目Ⅰ-(3)-① 「手順に必要な項目が記載されていなかった」</p> <p>②⇒項目Ⅲ-(2)-② 「操作者は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした」</p> <p>③⇒項目Ⅲ-(2)-① 「操作者の操作に関する認識が不足していた」</p>

に対する問題点であると考えられる。逆に、手順書によって操作者自身の問題点の発生を防止出来なかった事は手順書の不備が原因であるとも考えられる。そのため、これらの問題点も分析項目に含める事とし、項目Ⅰ、及び項目Ⅱと同様に項目Ⅲとして整理した。加えて、分析を進めていく中で、コミュニケーションや指示に関する問題点も関連性のあることが分かった。そのため、これらの問題点も項目Ⅳ、及び項目Ⅴとして整理した。また、図2-3中の(1)～(4)は、表2-6に整理した項目Ⅰ～Ⅲにおける問題点の分類項目の発生箇所を示している。

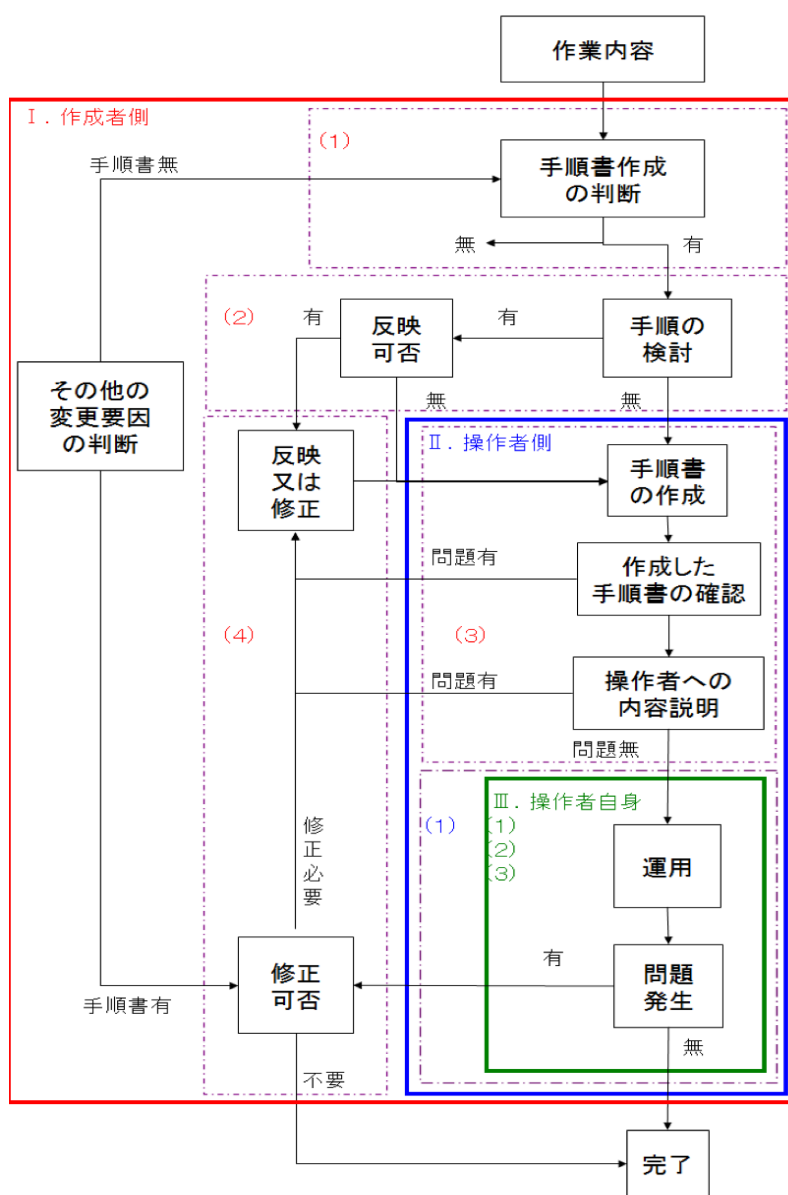


図2-3 手順書の生成過程フローモデル（最終型）

表 2-6 手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表（最終型）

問題点の関与者	問題点の分類項目		
作成者	(1) 手順書の作成段階における問題点	① 作成する必要があったが、失念した。 ② 作成する必要があったが、既にある手順書を代用した(標準あるいは過去の類似作業など)。	
	(2) 手順書の検討(又は再検討)における問題点	① 作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった。 ② 作成段階における手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。	
	作成者と操作者	(3) 手順書の作成・確認・説明段階における問題点	① 手順に必要な項目が記載されていなかった。
			② 手順書の表記内容が誤っていた。
③ 手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった。			
④ 手順自体が間違っていた。			
⑤ 実績のある手順だったため、手順書の内容確認が実施されなかった。			
⑥ 手順書の承認過程で手順書の内容確認が十分されなかった。			
⑦ 手順書が配布されていなかった。			
⑧ その他			
作成者	(4) 手順書の修正段階における問題点	① 以前発生した不具合事象が手順書に反映されていなかった。 ② 手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。	
作成者と操作者	(1) 手順書の運用段階における問題点	① 手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった。	
		② 手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった。	
		③ 手順書の誤りに気がつかなかった。	
		④ 手順書の誤りに気がつかず、そのまま操作を実施した。	
		⑤ 手順書の表記や内容は正しいが、解釈を間違えた。	
		⑥ 手順書の表記や内容が間違えており、更に解釈を間違えた。	
		⑦ 手順書と現場機器を照合した操作が出来ていない。	
操作者	(1) 操作者の人的要因によるもの	① 手順書の内容を確認しなかった。	
		② 手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は判断)した。	
		③ 手順書に必要な事項が記載されていないため、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は判断)をした。	
		④ 手順書に必要な事項が記載されていないため、必要な操作を実施しなかった。	
		⑤ 手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった。	
		⑥ その他	
	(2) 操作者の経験不足(又は豊富)によるもの	① 操作者の操作に関する認識が不足していた。	
		② 操作者は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした。	
		③ 過去の経験との相違に対する誤判断をした。	
④ 操作者は誤操作を認識できなかった。			
⑤ その他			
(3) 現地の状態確認抜けによるもの	① 操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった。		
	② 操作後の現地表示が正確に実施されていなかった。		
	③ その他		
IV	(1) コミュニケーションが不足していた	① 同じ社内間 ② 他社間	
	V	(1) 誤った指示を行った	① 同じ社内間 ② 他社間
(2) 指示がされていなかった		① 同じ社内間 ② 他社間	

2.3.6 手順書の不備を原因とするトラブル分析手法としての応用性

2.3.5 で実施した PEC-Safer における問題点の分類項目は、表 2-6 の項目に I-(3)-⑧の「その他」、及びⅢ-(1)-⑥の「その他」が追加されたが、これらは新たに分類項目を設ける必要の無いものであった。加えて、V-(1)-②、及びV-(2)-②の「他社間」が追加されたが、この4件を除く全ての問題点は、NUCIA で作成した問題点の分類項目表のいずれかの項目に分類された。従って、NUCIA の分析方法が、PEC-Safer に登録されたトラブル事例の分析にも適用出来る事が確認された。

このように、原子力関係及び石油精製関係のデータベースから、手順書の不備を原因とするトラブルを分析し、その結果から考えられる手順書の生成過程フローモデルと問題点の分類項目の一覧表を作成した。これらを用いたトラブル分析手法は、今のところ原子力プラント及び石油精製プラントが対象であるため、化学や鉄鋼などのプラントにおける同様のトラブルに当てはまるか考えてみる。今回分析した NUCIA、及び PEC-Safer の手順書の問題点の項目は、図 2-3 の手順書の生成過程フローモデルと表 2-6 の問題点の分類項目一覧表に対応させて分析することが可能である。また、図 2-3 の手順書の生成過程フローモデルは他の業界も含めたものと位置づけており、今回の分析結果は、他の業種のプラントにおいても応用可能であり、トラブル分析手法として確立出来たといえる。

2.4 まとめ

本章では、実際に発生しているトラブル事例を抜き出し、手順書の問題点の要因を、手順書の生成過程、及び関与者別に対応させた手順書の問題点の要因の項目を分類整理した一覧表を用いた新しい分析手法を提案した。手順書の生成過程は大きく分けて（1）手順書の必要性判断、（2）操作手順の検討、（3）手順書の作成、内容確認、操作者への内容説明、（4）手順書の作成または確認後の修正検討、（5）操作の実施において発見された問題点の修正、（6）他社トラブルや法令改正などの変更による手順書の作成又は修正、の6つの過程で構成されていること、トラブルの問題点を引き起こす要因はいくつかの項目に集約出来ること、トラブルの問題点は手順書の生成過程の（2）、（3）、（5）の各過程で発生する可能性が高いことを説明した。また、トラブルの問題点を分析する際には、関与者によって問題点の要因の項目が異なることをトラブル事例を用いて説明した。最後に、手順書の生成過程フローモデルと、手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表を用いた新しい分析手法を提案した。

第3章 実際に発生しているトラブル事例における手順書の問題点の分析結果

3.1 NUCIAに登録されたトラブル事例における手順書の問題点の分析結果

第2章では、手順書の不備を原因とするトラブルについて、手順書の問題点の要因を手順書の生成フローモデルと問題点の分類項目一覧表に対応させて分析する手法について説明した。本研究では、手順書の問題点の要因が、手順書の生成過程のどの部分でどの程度発生しているかを分析し、特に多く発生している手順書の問題点の要因を明らかにすることを目的としている。そのため、本章では第2章で実施した、実際に発生しているトラブル事例（原子力プラント、及び石油精製プラントのトラブル事象に関するデータベースに登録されたトラブル事例）から、手順書の不備を原因とするトラブルについて、2.3.5で確立したトラブル分析手法を用いて、手順書の問題点の要因に対する手順書の生成過程、関与者、手順書の問題点の要因の発生状況、及び手順書の問題点の要因が複数発生している場合における関連性を分析した。その結果について説明する。

3.1.1 操作の定常性の点から見た手順書の分類と特徴

今回のトラブル事例の分析を実施するにあたり、手順書が具体的にどのような操作に使用されているのかについて、参考文献[20][21][22]をもとに、これまでの業務経験を加えた形で述べる。

手順書の種類は、比較的操作頻度が高い定常的な操作に関する手順書（以下、手順書A）と、非常時や緊急時など操作頻度が低い非定常な操作に関する手順書（以下、手順書B）に大別される。以下にその例を示す。

（手順書の例）

- 手順書A：比較的操作頻度の高い定常的な操作
- ・運転状態の変更に伴う操作

- ・設備の運転や作業に伴う操作
- ・設備の保守や点検による操作（グリスや薬品の補充，定期的な保安運転等）
- ・プラントの定期的な停止による操作
- ・定期的な見直しが必要な使用頻度の高い操作

手順書B：非常時や緊急時など操作頻度が低い非定期的な操作

- ・新規設備の運用，既設設備の撤去・更新による操作
- ・非定常時，緊急時の操作
- ・プラントの事故・トラブルなどの影響による操作
- ・不定期な点検を行う設備・機器の不具合操作
- ・他社トラブルや自然災害などへの対応で使用頻度の少ない操作

各々の手順書は実際には手順書を作成する目的に対して，手順書が持ついくつかの基準（操作頻度や信頼性，操作の難易度など）により，さらに詳細に分類することが出来る．表3-1に手順書を区別する基準，及び手順書の例を挙げる．また，上で述べた手順書A及びBとの関連性を併せて示す．

表3-1 手順書の目的別分類一覧

基準	操作又は作業内容	手順書の例	手順書の種類	
			A	B
使用頻度	日常よく行われる操作又は作業	運転状態の変更		
	不定期に行なわれる作業	不定期な点検を行う設備・機器の不具合対応		
信頼性	頻度が高く実績がある	設備の定期的な保守や点検		
	頻度が少なく実績がほとんどない	新規設備の運用、既設設備の撤去・更新		
操作の難易度	複数の設備を同時に操作、緊急時の操作	非常時や緊急時の対応		
	単独の設備を操作、通常の操作	設備の定期的な運転や作業		
保存・再検索性	手元に保管され、すぐに検索出来る	プラントの定期的な停止操作		
	書庫に保管され、すぐに検索出来ない	過去も含めたトラブル対応		
修正頻度	よく修正される	定期的な見直しが必要な使用頻度の高いもの		
	ほとんど修正されない	他社トラブルや自然災害など使用頻度の少ないもの		

表3-1より，手順書A，及びBには以下の表3-2に示す特徴が見受けられる．

表 3-2 手順書A, 及びBの特徴

基準	手順書A 定期的な作業	手順書B緊急時や 不定期な作業
使用頻度	高い	低い
信頼性	高い	低い
操作の難易度	低い	高い
保存・再検索性	し易い	し難い
修正頻度	高い	低い

このように、手順書は通常、操作内容により二つの種類に分けられ、それぞれの手順書はいくつかの基準によりさらに細かく区別された特徴を持っている。従って、トラブルの分析結果を分析する際には、ここで説明した手順書の分類や特徴を考慮した対応が必要となってくるため、手順書の分類と特徴を理解しておく必要がある。

3.1.2 操作の定常性から見たトラブルの発生状況

2006年1月～2008年12月までのNUCIAに登録されているトラブル事例は553件あり、そのうち手順書の不備を原因とするトラブル事例は71件あった。この件数は、トラブル事例全体の13%にあたる。このトラブル事例の発生件数を、トラブル事例の内容から3.1.1で述べた手順書の種類（定常又は非定常の2つ）に分別して集計した。その結果を表3-3に示す。

表 3-3 手順書の不備を原因とするトラブル事例の分析件数（NUCIA）

登録年	登録年の 全体件数	手順書による トラブル件数	定常	非定常
2006	147	17	12	5
2007	216	21	20	1
2008	190	33	21	12
合計	553	71	53	18

表3-3より、手順書の種類については、71件のトラブル事例のうち、定常操作：53件、非定常操作：18件となり、定常操作の手順書によるトラブルが多く発生している。これは、定常操作の頻度が高いことによる影響と考えられるが、逆に頻度が高い定常操作に使用される手順書は使用頻度が多く、完成度が高いものと考えられる。

しかし、実際には実績のある完成度の高い手順書を用いる定常操作でも、多くの問題点が存在していると考えられる。

3.1.3 問題点を引き起こす要因の項目の発生件数と分析結果

次に、表 2-3 に述べた問題点を引き起こす要因の項目の発生件数を集計した。最終的な結果を表 3-4 に示す。また、問題点を引き起こす要因の項目を 2.2 に示した図 2-1 の手順書の生成過程のフロー図に当てはめて、問題点を引き起こす要因の項目毎の発生箇所について整理した。その結果を図 3-1 に示す。ここでは、問題点を引き起こす要因の各カテゴリー別に集計したカテゴリー別発生件数も合わせて記載した。

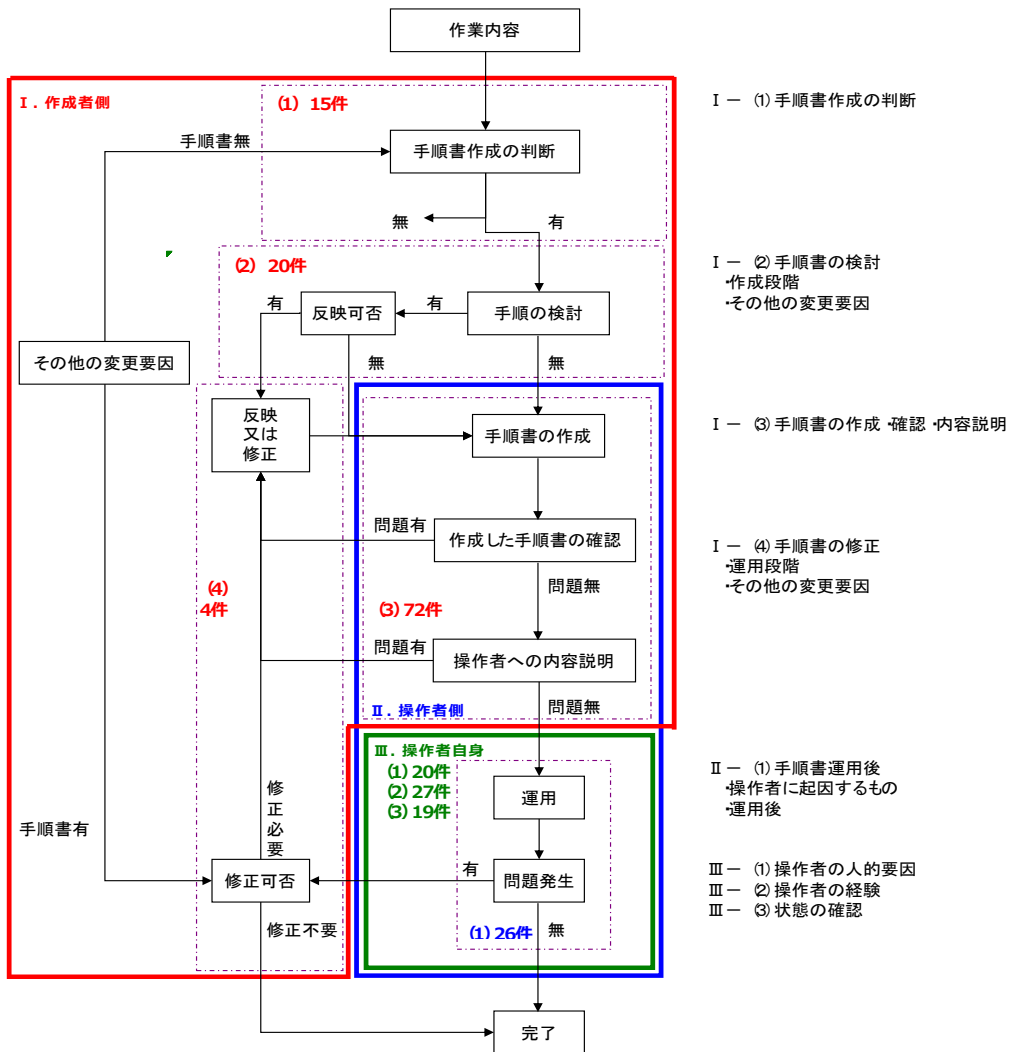


図 3-1 手順書の生成過程と問題点の分類項目との関係図 (NUCIA)

表3-4 手順書の不備を原因とするトラブルの問題点の分析結果 (NUCIA)

問題点の 関与者	問題点の分類項目		登録年別件数			各 項 目 合 計	各カ ゴリ 別 合 計	
			2006	2007	2008			
作成者	(1) 手順書の作成段階における問題点	① 作成する必要があるが、失念した。	4	1	9	14	15	
		② 作成する必要があるが、既にある手順書を代用した(標準あるいは過去の類似作業など)。	0	0	1	1		
	(2) 手順書の検討(又は再検討)における問題点	① 作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった。	4	2	12	18	20	
		② 作成段階における手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。	1	0	1	2		
作成者と 操作者	I (3) 手順書の作成・確認・説明段階における問題点	① 手順に必要な項目が記載されていなかった。	12	18	23	53	72	
		② 手順書の表記内容が誤っていた。	1	0	4	5		
		③ 手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった。	4	0	3	7		
		④ 手順自体が間違えていた。	0	2	1	3		
		⑤ 実績のある手順だったため、手順書の内容確認が実施されなかった。	1	0	0	1		
		⑥ 手順書の承認過程で手順書の内容確認が十分されなかった。	0	0	1	1		
		⑦ 手順書が配布されていなかった。	0	0	2	2		
作成者	(4) 手順書の修正段階における問題点	① 以前発生した不具合事象が手順書に反映されていなかった。	0	1	0	1	4	
		② 手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。	0	0	3	3		
作成者と 操作者	II (1) 手順書運用段階における問題点	① 手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった。	2	1	5	8	26	
		② 手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった。	1	2	3	6		
		③ 手順書の誤りに気がつかなかった。	0	0	1	1		
		④ 手順書の誤りに気がつかず、そのまま操作を実施した。	1	1	2	4		
		⑤ 手順書の表記や内容は正しいが、解釈を間違えた。	1	0	3	4		
		⑥ 手順書の表記や内容が間違えており、更に解釈を間違えた。	0	0	1	1		
		⑦ 手順書と現場機器を照合した操作が出来ていない。	1	0	1	2		
操作者	(1) 操作者の人的要因によるもの	① 手順書の内容を確認しなかった。	0	0	2	2	20	
		② 手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は判断)した。	0	3	4	7		
		③ 手順書に必要な事項が記載されていないため、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は判断)をした。	1	1	2	4		
		④ 手順書に必要な事項が記載されていないため、必要な操作を実施しなかった。	1	1	0	2		
		⑤ 手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった。	3	1	1	5		
	III (2) 操作者の経験不足(又は豊富)によるもの	① 作業員の作業(又は操作)に関する認識が不足していた。	4	2	9	15	27	
		② 作業員は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした。	2	1	0	3		
		③ 過去の経験との相違に対する誤判断をした。	0	0	1	1		
		④ 作業員は誤操作を認識できなかった。	0	1	1	2		
		⑤ その他	2	4	0	6		
	(3) 現地の状態確認抜けによるもの	① 操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった。	2	2	3	7	19	
		② 操作後の現地表示が正確に実施されていなかった。	0	1	0	1		
		③ その他	2	7	2	11		
	IV	(1) コミュニケーションが不足していた	① 同じ社内間	2	3	7	12	13
			② 他社間	0	0	1	1	
V	(1) 誤った指示を行った	① 同じ社内間	1	1	1	3	3	
	(2) 指示がされていなかった	① 同じ社内間	1	1	1	3	3	

トラブル発生の原因となった問題点については、表 3-4 に示す通りほぼ全ての分類項目にわたって発生している。表 3-4 の中から、特に多く発生している問題点を引き起こす要因（発生頻度が 5 件以上）の項目については、同じ内容であってもその内容をよく読んでみるとさらに異なった要因が発生していることがわかった。そのため、より具体的な問題点を引き起こす要因の内容について詳細に分析する必要があると考えた。そこで、項目に分類された問題点を引き起こす要因一つひとつについて、NUCIA の登録データに記載された該当箇所を読み直して詳細に分析を実施した。その結果を以下に述べる。

(表 3-4 に示す分析結果詳細)

大分類 I. 作成者に関連する項目

(1)-① 作成する必要があったが、失念した (14 件)。

手順書に必要なものが準備出来ていなかったため、トラブルに結びついたものである。その内訳は、チェックリスト関係：11 件、作業要領書関係：1 件、作業に関するルール：1 件、点検要領の規格化：1 件と、チェックリストの作成が出来ていないケースがほとんどであった。

(2)-① 作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった (18 件)。

NUCIA に登録されているトラブル事例から、手順書の内容が十分検討されていないと判断出来るものである。その内訳は、作業手順関係：5 件、規格やルール：6 件、図面や仕様：7 件となっている。

大分類 I. 作成者と操作者に関連する項目

(3)-① 手順に必要な項目が記載されていなかった (53 件)。

トラブル事例の報告内容から、手順書に記載が無いことによりトラブルが発生したものである。それらの内容を検討し、手順書に記載しておく必要のあると判断されるものと、必要ないものと判断されるものとを分けて分析した。その結果、必要ありのケースでは、操作や作業に必要なトラブルに直接関係する事項であり、その件数は 45 件であった。必要なしのケースでは、作業の基本的事項や注意点などであり、その件数は 8 件となった。

(3)-② 手順書の表記内容が誤っていた（5件）。

トラブル事例の報告内容から、手順書の表記内容が誤っていたことによりトラブルが発生したものである。現場と手順書の整合性が取れていないものがほとんどであった。

(3)-③ 手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった（7件）。

手順自体は問題ないが、手順書に必要な情報が適切な表現でなかったことによりトラブルが発生したものである。その内訳は、作業の手順：5件、作業の関係事項：2件であった。

大分類Ⅱ．作成者と操作者に関連する項目

(1)-① 手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった（8件）。

手順書やチェックリストが作成されているが、それらを確認しないで手順を進めているケースがほとんどであった。

(1)-② 手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった（6件）。

手順書を使用しているにもかかわらず、手順書どおりの作業を実施していないケースがほとんどであった。中には、誤操作（制御棒を巻き上げるところを巻き下げた）もあった。

大分類Ⅲ．操作者に関連する項目

(1)-② 手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈（思い込み）で操作を実施した（7件）。

手順書やチェックリストを確認しなかったケースが4件、時間的な圧迫感や周囲の雰囲気などによるケースが3件であった。

(1)-⑤ 手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった（5件）。

手順書を使用しているにもかかわらず、手順書の必要事項の未実施や、装備品の装着忘れ（例えば線量計など）が発生している。

(2)-① 手順書の作業（又は操作）に関する認識が不足していた（15件）。

手順書で操作を実施している操作者が、操作している手順に関する理解が不足していたり、自らの操作スキルの認識が十分でなかったりした場合である。

(2)-⑤ その他（6件）。

操作者が、操作機器を勘違いしたり、作業に必要な行為を実施しなかったりなどカテゴリー分けできない事象である。

(3)-① 操作前（又は操作後）の現地確認が出来ていなかった（7件）。

手順書の手順における操作の実施前後における現地の確認が出来ていないケースである。手順書に従っていても、操作前後での状態確認を怠ってしまうことがある。

(3)-② その他（11件）。

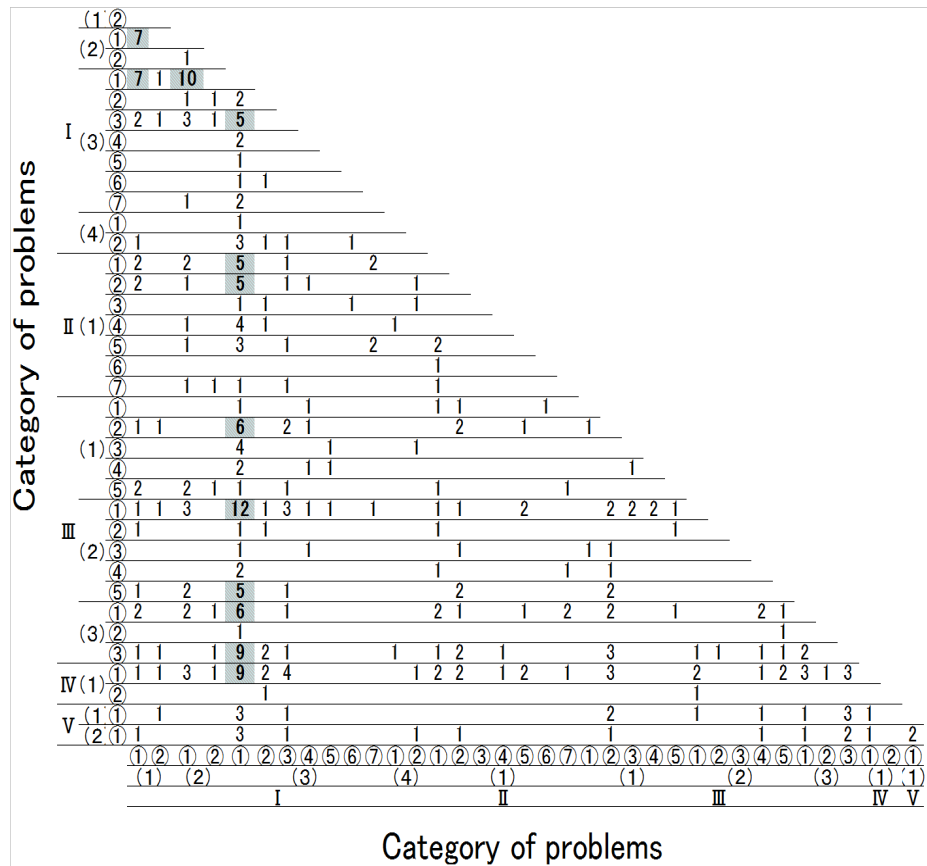
現場機器の表示方法が操作者に容易に理解出来る状態でなかったり、操作者が操作の進捗にあわせて現地の状態を確認しなかったりしたケースである。

3.1.4 同時に発生しやすい手順書の問題点の要因の分析結果

次に、同じトラブル事例において発生している問題点を引き起こす要因の項目を組み合わせて考えることにより、どのような問題点を引き起こす要因が同時に発生しているかについても分析した。その結果を表3-5に示す。

表3-5より、I-(3)-①の「手順に必要な事項が記載されていなかった」の項目が他の問題点を引き起こす要因の項目と非常に関連性が強くなっている。特に、2組の問題点を引き起こす要因の発生件数が5件以上のものが多く発生していることから、トラブル事例が発生した場合に同時に発生しやすく、関連性の強い問題点を引き起こす要因の項目であるといえる。特に多く発生している問題点を引き起こす要因の組み合わせは、I-(2)-①の「作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった」とI-(3)-①が10件、I-(3)-①とⅢ-(2)-①の「作業員の作業（または操作）に関する認識が不足していた」が12件発生している。I-(3)-①の「手順に必要な事項が記載されていなかった」単独での件数は53件で、そのうち10件が、I-(2)-①の「作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった」と関連してい

表 3-5 同時に発生しやすい問題点の要因の組み合わせ (NUCIA)



る。逆に、残り 43 件は手順書の作成段階で十分検討されているにもかかわらず、必要な手順が記載されていないとも考えられる。また、手順書に必要な事項が記載されていないければ、操作者の操作に関する認識不足によりトラブルに結びつく可能性が高いことが考えられる。手順書の作成者は、作成する手順書を使用する操作者の観点に立ち、手順書に必要な事項や情報を選択して記載することが重要である。

また、IV-(1)-①の「同じ社内間」でのコミュニケーションが不足していたとの関連性が 9 件発生している。手順書に必要な事項が記載されていなかった際、操作者が他の関係者とコミュニケーションが正しく取れ、記載されていない必要手順に関するアドバイスがあれば、トラブルを未然に防止出来た可能性もあるのではないかと考えられる。

3.1.5 NUCIA で公開された手順書の不備を原因とするトラブル事例の分析結果まとめ

2.3 では、手順書の生成過程における手順書の不備を原因とする手順書の問題点、問題点を引き起こす要因の分類、及びそれらの関連性の分析方法について説明した。次にその分析方法を用いて、3.1.2においてNUCIAのトラブル報告書のうち手順書の不備を原因とするトラブル事例を呼び出した。そして、3.1.3において呼び出したトラブル事例から手順書の問題点について、問題点の関与者と問題点を引き起こす要因を項目に分類して一覧表に整理した。整理した一覧表から、発生件数の多い項目について分析を行った。また、3.1.4において同時に発生しやすい問題点を引き起こす要因の関連性についても分析を行った。これらの結果から、手順書の不備を原因とするトラブルの発生に関して得られた知見を以下にまとめる。

(分析結果から得られた知見)

① 2.3.3 で分類した問題点を引き起こす要因の発生件数を当てはめて説明した3.1.3の図3-1で示す手順書の生成過程のフロー図から、ほぼ全体に渡り問題点を引き起こす要因が発生していることがわかった。特に図3-1で示す手順書の生成過程(3)の「手順書の作成、内容確認、操作者への内容説明」から(5)の「操作の実施、及び操作の実施において発見された問題点の修正」に至るまでの過程では、手順書の問題点の関与者、及び問題点を引き起こす要因が各々に発生している。また、問題点を引き起こす要因の中には3.1.4で説明したように、同時に発生しやすく関連性の強い問題点を引き起こす要因の項目も存在することがわかった。これらの結果から、問題点を引き起こす要因の対策には、手順書の関与者の立場で考え、そして発生した問題点を引き起こす要因の項目の関連性を十分把握して検討する必要があると考えられる。その反面、図3-1で示す手順書の生成過程(4)の「作成または確認後の修正検討」における問題点を引き起こす要因の発生件数は4件と非常に少ないこともわかった。これは、作成又は確認後の修正検討における手順書の生成過程のフローが正しく運用されているためではないかとも考えられる。

② 3.1.3 では、図3-1で示す手順書の生成過程の(1)の「手順書の作成の必要性の判断」から(3)の「手順書の作成、内容確認、操作者への内容説明」においては、問題点を引き起こす要因の発生件数が多い。さらに、一覧表に整理した問題点を引き起こす要因の分類のうち、同じ項目であっても発生している内容には

細かく見るとさらに異なった要因が発生していたので、詳細に分析した。そのうち、表3-4のⅠ-(1)-①の「作成する必要があったが、失念した」では、チェックリスト関係の作成忘れが12/14件と多く発生していることがわかった。操作に関するチェックリストは意外と作成忘れが多いようである。また、Ⅰ-(2)-①の「作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった」では、作業手順の他にも規格・ルール、図面・仕様などの検討もされていない事がわかった。さらに、Ⅰ-(3)-①の「手順に必要な事項が記載されていなかった」では、手順書の必要事項の省略可能なものは8/53件であったのに対し、記載漏れは、45/53件であった。作成者は、ある程度手順書に必要な情報を網羅して手順書を作成していると考えられるが、意外と抜けが多いようである。これに対して、操作者については、Ⅲ-(1)-③の「手順書に必要な事項が記載されていなかったため、自分なりの解釈（思い込み）で操作を実施した」、及びⅢ-(1)-④の「手順書に必要な事項が記載されていなかったため必要な操作を実施しなかった」の要因の中に、手順書に必要な事項が記載されていない事により、必要な操作を実施しなかった、あるいは、手順書の操作内容が認識出来ていないなどが発生していることがわかった。また、Ⅲ-(2)-①の「手順書の作業（又は操作）に関する認識が不足していた」の中で、手順書で操作している操作に関する認識が不足した状態で操作していることもわかった。従って、手順書は、作成者と操作者の視点のバランスを重視した内容であることが重要であると考ええる。

③ 操作者が関与する問題点の要因については、表3-4のⅢ-(1)-①の「手順書の内容を確認しなかった」からⅢ-(3)-③の「その他」で示すように、ほとんどの場合手順書通りに操作を実施しているようである。しかし、中には手順書の内容と現場との整合性が取れない、手順書の内容を確認しない、手順書の操作を忘れる、あるいは手順書の表現が理解出来ないなどが生じていることがわかった。加えて、上記②でも説明した通り操作者は手順書の操作内容に関する認識が不足しているケースも多く発生していることから、手順書の記載事項が漏れることによるトラブルが発生しやすいと考えられる。これらのことから操作者は手順書通りに操作しているが、中には手順書の内容を必ずしも理解していない操作者もいるようである。操作者の手順書の操作に関する理解度を高める事が必要であると考ええる。

このように、実際に発生したトラブル事例としてNUCIAに登録された手順書が原因

によるトラブル事例を呼び出した。そして、呼び出したトラブル事例における問題点を、問題点の関与者、問題点を引き起こす要因、及びこれらの要因の関連性について問題点の一つひとつを分析し、一覧表に整理した。そして、一覧表に整理した分析結果を手順書の生成過程に当てはめることで、各過程で発生している問題点について整理することが出来た。この分析結果は、実際に発生している手順書の問題点を筆者らの業務経験から述べた手順書の生成過程の各過程に当てはめる事で、手順書の問題点が手順書の生成過程のどの過程で発生しているかを明確にする事が出来た。さらに、手順書の生成過程で今後も発生する可能性がある問題点の対策を検討する上で、問題点の関与者、及び問題点の関連性を考慮したこれまでにない分析である。そのため、手順書が原因による問題点の再発防止対策を検討する上で、非常に有効性が高い分析結果が得られた。

3.2 PEC-Safer に登録されたトラブル事例における手順書の問題点の分析結果

次に、石油精製プラントにおいて、実際に発生している手順書の不備を原因とするトラブルの問題点を分析する方法を説明する。この分析に使用するトラブル事例は、2.3.4で説明した石油精製プラントの不具合事象に関するデータベースのPEC-Saferに登録されたトラブル事例である。そして、手順書の不備を原因とするトラブルについて、手順書の問題点に対する関与者、問題点を引き起こす要因の発生状況、及び手順書の問題点が複数発生している場合における関連性を分析する。最後に、分析結果から、石油精製プラントにおける手順書の不備を原因とする事によって発生しているトラブルの問題点についての発生傾向を把握する。

3.2.1 操作の定常性から見たトラブルの発生状況

手順書の不備を原因とするトラブル事例は、登録トラブル事例 401 件のうち 130 件あった。この件数は、トラブル事例全体の約 32%にあたる。このトラブル事例の発生件数を、操作の定常性から見た発生状況として分析した結果を表 3-6 に示す。ここで、作業の定常性については、定常：通常操作や定期点検など頻度の高い操作、非定常：緊急時や回数の少ない頻度の低い操作と定義している。

表 3-6 手順書の不備を原因とするトラブルの問題点の分析件数 (PEC-Safer)

定常 又は 非定常	運転状態	小計	合計
定常	スタートアップ	22	125
定常	シャットダウン	21	
定常	定常運転中	59	
定常	保全	23	
非定常	緊急	4	5
非定常	その他	1	
合計			130

表 3-6 より、手順書の種類については、130 件のトラブル事例のうち、定常操作：125 件、非定常操作：5 件となり、定常操作の手順書によるトラブルが多く発生している。これは、定常操作の頻度が高いことによる影響とも考えられる。本来、頻度が高い定常操作に使用される手順書は使用頻度が多く、完成度が高いものと考えられる。しかしながら、実際には実績のある完成度の高い手順書を用いる定常操作でも多くの問題点が存在していることがわかる。

3.2.2 手順書の問題点の要因の項目の発生件数と分析結果

次に、表 3-6 に述べた手順書の問題点の要因の項目の発生件数を各項目、及び各カテゴリー別に集計した。最終的な結果を表 3-7 に示す。併せて、NUCIA の分析結果も比較のため併記している。

トラブル発生の原因となった問題点については、表 3-7 に示す通りほぼ全ての分類項目にわたって発生していることがわかる。さらに表 3-7 の中から、発生件数が 5 件以上となっている問題点を引き起こす要因の項目について内容を吟味したところ、同じ内容であっても異なった要因で発生していることがわかった。そのため、項目に分類された問題点を引き起こす要因一つひとつを、PEC-Safer の登録データに記載された該当箇所を読み直して詳細に要因を分析した。その結果を以下に述べる。

I-(1)-① 作成する必要があったが、失念した (22 件)

手順書の作成忘れが 17 件であった。問題点の内容を見る限り、大きな設備の操作よりも定常的 (日常的) に行われている作業が多い。

I-(2)-① 作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった (20 件)。

表 3-7 NUCIA と PEC-Safer における手順書の不備を原因とする問題点分析結果

問題点の 関与者	問題点の分類項目		PEC		NUCIA	
			各項目 合計	各がコー 別合計	各項目 合計	各がコー 別合計
作成者	(1) 手順書の作成 段階における 問題点	① 作成する必要があるが、失念した。	22	22	14	15
		② 作成する必要があるが、既にある 手順書を代用した(標準あるいは 過去の類似作業など)。	0		1	
	(2) 手順書の検討 (又は再検討)に おける問題点	① 作成段階における手順に関する 十分な検討ができていなかった。	20	20	18	20
		② 作成段階における手順は検討されて いたが、手順書に反映されていなかった。	0		2	
作成者 と 操作者	(3) 手順書の作成・ 確認・説明段階 における問題点	① 手順に必要な項目が記載されていなかった。	45	72	53	72
		② 手順書の表記内容が誤っていた。	4		5	
		③ 手順は問題ないが、適切な表現が されていなかった。	2		7	
		④ 手順自体が間違っていた。	19		3	
		⑤ 実績のある手順だったため、手順書の 内容確認が実施されなかった。	0		1	
		⑥ 手順書の承認過程で手順書の 内容確認が十分されなかった。	0		1	
		⑦ 手順書が配布されていなかった。	1		2	
		⑧ その他	1		—	
作成者	(4) 手順書の修正 段階における 問題点	① 以前発生した不具合事象が手順書に 反映されていなかった。	1	1	1	4
		② 手順は検討されていたが、手順書に 反映されていなかった。	0		3	
作成者 と 操作者	(1) 手順書の運用 段階における 問題点	① 手順書の内容を確実に確認する 工夫ができていなかった。	4	15	8	26
		② 手順書通りの手順を確実に実施する 工夫ができていなかった。	9		6	
		③ 手順書の誤りに気がつかなかった。	0		1	
		④ 手順書の誤りに気がつかず、 そのまま操作を実施した。	0		4	
		⑤ 手順書の表記や内容は正しいが、 解釈を間違えた。	0		4	
		⑥ 手順書の表記や内容が間違えており、 更に解釈を間違えた。	0		1	
		⑦ 手順書と現場機器を照合した 操作が出来ていない。	2		2	
操作者	(1) 操作者の 人的要因 によるもの	① 手順書の内容を確認しなかった。	0	25	2	20
		② 手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈 (思い込み)で操作(又は判断)した。	6		7	
		③ 手順書に必要な事項が記載されていない ため、自分なりの解釈(思い込み)で操作 (又は判断)をした。	1		4	
		④ 手順書に必要な事項が記載されていないため、必 要な操作を実施しなかった。	5		2	
		⑤ 手順書の内容を確認したが、必要な手順を 実施しなかった。	12		5	
		⑥ その他	1		—	
	(2) 操作者の 経験不足 (又は豊富) によるもの	① 操作者の操作に関する認識が不足していた。	43	67	15	27
		② 操作者は現場の状態、周囲の雰囲気、 これまでの流れなどから誤った判断をした。	12		3	
		③ 過去の経験との相違に対する誤判断をした。	0		1	
		④ 操作者は誤操作を認識できなかった。	11		2	
		⑤ その他	1		6	
	(3) 現地の状態確認 抜けによるもの	① 操作前(又は操作後)の現地確認が 出来ていなかった。	27	34	7	19
		② 操作後の現地表示が正確に 実施されていなかった。	2		1	
		③ その他	5		11	
	IV	(1) コミュニケーション が不足していた	① 同じ社内間	14	17	12
② 他社間			3	1		
V	(1) 誤った指示 を行った	① 同じ社内間	0	1	3	3
		② 他社間	1		—	
	(2) 指示がされて いなかった	① 同じ社内間	1	3	3	3
		② 他社間	2		—	

手順書の検討に対しては、場合により省略可能な操作の基本的情報に該当するものが1件で、残りの19件は手順書の操作に必要な手順や情報であった。

I-(3)-① 手順書に必要な事項が記載されていなかった(45件)。

内訳としては、場合により省略可能な操作の基本的情報に該当するものが7件、手順書の操作に必要な手順や情報が35件、手順書の操作に必要な手順や情報のうち記載内容が難しい(情報量や質の選択など)ものが3件となった。

I-(3)-④ 手順自体が間違っていた(19件)。

今回の分析では、手順の間違いが多く発生している。石油プラントはプラントの改造、更新や設備の連携が複雑であり、手順の間違いの発生件数が多い。

II-(1)-② 手順書の手順を確実に実施する工夫がされていなかった(9件)。

手順書が作成され、手順が記載されているにもかかわらず、手順書の手順を確実に実施されていないケースである。

III-(1)-② 手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は判断)した(6件)。

手順書が作成されているにもかかわらず、自分なりの解釈や思い込みで操作や判断をしたケースである。

III-(1)-④ 手順書に必要な事項が記載されていないため、必要な手順を実施しなかった(5件)。

内訳として、1件は手順書の手順に関する内容が記載されていなかったため、操作者は必要な手順が実施できなかった。しかし、残りの4件は手順書の手順における基本的な情報であった。

III-(1)-⑤ 手順書の内容を確認したが、必要な操作を実施しなかった(12件)

手順書通りに操作を実施しているにもかかわらず、必要な操作を実施しなかったケースである。中でも特にバルブの操作に関する内容が5件含まれていた。

III-(2)-① 操作者の操作に関する認識が不足していた(43件)

内訳としては、場合により省略可能な手順に関する基本的な情報が 8 件で、残りの 35 件は手順書の手順に必要な内容であった。また、その会社や場所でしか通用しないローカルルールの要因が 2 件含まれていた。

Ⅲ-(2)-② 操作者は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした (12 件)

操作者が自分の周りで起こっている状況により誤った判断をしてしまったものである。現場の状況から誤った判断をしたもの、アラームが鳴ってもその重要性を認識せず対応しなかったもの、熱媒の液面が下がっていても平常運転であると判断したものなどであった。

Ⅲ-(2)-④ 操作者は誤操作を認識できなかった (11 件)

操作者が現場で操作した内容が誤っていること認識出来なかったケースである。このうち、Ⅲ-(1)-⑤と同様に、バルブの操作に関連する内容が 7 件含まれている。

Ⅲ-(3)-① 操作前 (又は操作後) の現地確認が出来ていなかった (27 件)

操作者が操作する前、あるいは操作後に現地の状態を確認していないケースである。

Ⅲ-(3)-③ 現地の状態確認抜けによるものその他 (5 件)

機器の状態確認がしづらかったものや、操作後の確認が遅れたなどである。検討したが、新たに分類項目を設ける必要のない内容であった。

3.2.3 同時に発生しやすい手順書の問題点の要因の分析結果

次に、同時に発生しやすいトラブル項目についても分析した。その結果を表 3-8 に示す。表 3-8 の縦軸、横軸には表 3-7 の項目番号が入っており、表中の数字は 2 つの問題点の項目が同時に発生している回数を示している。表から、Ⅲ-(2)-①の「作業員の作業に関する認識が不足していた」との関連性が強くなっている。特に多く発生しているのは、Ⅰ-(1)-①の「手順書を作成する必要があったが失念した」が 7 件、Ⅰ-(2)-①の「手順書の作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった」が 6 件、Ⅰ-(3)-①の「手順書に必要な事項が記載されていなかった」が 15 件、Ⅰ-(3)-④の「手順自体が間違っていた」が 8 件、Ⅲ-(3)-①の「操作前 (又は操作

3.3.1 石油精製，及び原子力プラントの特徴

ここでは石油精製プラント及び原子力プラントの特徴について、今回の分析結果を整理する際に必要と考えられる範囲を主として、これまでの業務経験や参考文献などから整理する。

(a) 石油精製プラントの特徴

石油精製プラントでは、原材料に原油を使用してさまざまな工程（蒸留，分留，反応槽など）を組み合わせ、数々の誘導品（灯油，軽油，ガソリンなど）を精製している。誘導品は，生産ニーズに応じて生成する誘導品製造プラントのロードアップ・ダウンによって製造量が調整されている。石油精製プラントは，数々の誘導品製造プラントがパイプラインで接続されている。誘導品の生成過程の技術進歩により，プラントの新設，改造，又は廃止などが比較的多く行われており，その都度プラントの構造が変更される。そのため，プラント自体が非常に複雑な構造となっている[23]。

プラントの運転は，計器室より遠隔による監視・制御を行っている。プラントの制御は1980年以降DCS(Distributed Control System)や高度制御による自動制御が主である[24]。プラントの監視は，多くの誘導品を製造している事，複雑な構造をしている事，及びプロセスのロードアップ・ダウンなどの操作が多いことから，DCSのアラームの設定値がいくつか存在し，場合によっては正常運転状態でもアラームが発生してしまう事がある。また，石油精製プラントでは主に危険な可燃物を取り扱っているため，現場の確認やプロセスのロードアップ・ダウンなど現場での操作(例としては，原料の受入に伴うバルブの操作，危険物配管のストレーナ掃除，あるいは危険物タンクの切り替え作業など)の頻度が高い[22]。

プラントの操作はSOP(Standard Operation Procedure)と呼ばれる基本的な操作手順が記載された手順書を基本に，個別に操作する目的に応じた手順書が作成される。[25]。しかし，手順書を見ながら操作を行う事が困難な場合は，手順書の内容を確認した後，手順書を持っていかずに操作することもある。また，簡単あるいは高頻度の操作では手順書を作成しない場合もある。

近年，ベテラン操作者の退職に伴って，プラントの操作者の若年令化，スキルの低下が問題になっている[2][26]。

プラントの操作者はプラントの運転に必要な教育を受けてから、プラントの操作を実施している。但し、参考資料を見る限りでは学校で受講する物理・化学現象に関する事項、あるいは労働安全・危険物・高圧ガスといった資格に関係する知識が基本となっている[7]。また、プラントの設備における専門用語や記号などは一般的な規格（JIS, JEC など）で統一されたものを使用している[27]。そのため、教育は比較的一般的な内容を実施し、後は現場の教育（OJT）で実際にプラントを運転しながらスキルレベルを向上させている[25]。

（b）原子カプラントの特徴

原子カプラントでは、原子炉内で核燃料の核分裂反応によって発生した熱を利用して、水を高圧蒸気にする（原子力蒸気発生設備と呼ぶ）。この高圧蒸気を用いて蒸気タービンを回し、同軸接続されている発電機を回転させて発電を行う（タービン発電設備と呼ぶ）。プラントの動作原理はシンプルである[28]。しかし、原子炉内では核燃料の核分裂に伴って放射能が発生する。そのため、トラブルが発生しても環境に影響を及ぼさないために多種類の安全装置が多数配置されており、運転（特に起動・停止時や異常時の運転）には専門的な知識が要求される[29]。

原子カプラントの操作は、石油精製プラントと同様に中央制御室にて遠隔による監視・制御を行っている。安定した運転を実施するため、数多くの計器にてプラントの情報を中央制御室のモニターに表示して監視し、問題があればアラームが発報する仕組みとなっている[30]。

原子カプラントは、電力の安定供給が主な目的であること、及び発電された電力は電力供給のベースとなることから、運転中のプラント状態の変動は比較的少ない[28]。また、現場での操作は放射線による人体への影響が考慮されており、操作者は線量計や防護服などを身につけている[6]。

原子カプラントの操作は、あらかじめ作成された手順書を用いて実施されている。手順書は、通常の運転や日常作業などに使用される標準手順書や、定期的実施される検査などで使用される手順書などがある。手順書の作成は請負業者が実施している場合もあるため、綿密な打ち合わせやコミュニケーションが要求される。また、手順書の承認はチェックシートを使用して、運転部門の責任者が手順書の内容をチェック

している。但し、既に作成されている手順書の修正については、修正箇所のみチェックされている。また、手順書に記載のない事項が生じた場合には、手順書の手順を一度中断して手順書の内容を改訂するなどの措置も取られていることから、手順書の完成度は高いものとなっている。操作者に対しては、操作前には手順書の内容を納得するまで作成者が説明を行い、コミュニケーションを図っている[31]。

原子力プラントの操作者は、運転や保守管理についての相当な技術や知識が要求される。そのため、原子力プラントの運転に必要な知識や技術を取得しなければ、原子力プラントでの操作は出来ない。また、原子炉に関する専門的な知識も必要とされるため、原子力プラントの操作者に対する教育レベルは高い[30]。

3.3.2 比較した結果から得られた知見

比較した分析結果と、3.3.1で述べた石油精製プラント及び原子力プラントの特徴から考察される、各プラント共通の問題点、及び各プラント特有の問題点の傾向について述べる。

(a) 共通する問題点の傾向

① 表3-7に示す分析結果のうち、Ⅰ-(3)-①の「手順に必要な事項が記載されていない」が多く発生している。手順書の作成者は、ある程度手順書に必要な情報を網羅して手順書を作成していると考えられるが、意外と抜けが多いようである。原子力プラントの手順書のように、手順書の作成段階において十分に内容を確認していることにより、記載事項の漏れを防ぐように配慮されていても、必要な事項の記載漏れが相当件数発生している。

② 操作者については、Ⅲ-(2)-①の「操作者の操作に関する認識が不足していた」の発生件数が多い。特に、手順書に必要な事項が記載されていない場合、操作者が操作に関する何らかの経験があれば、必要な事項の記載漏れが認識出来る可能性も考えられる。しかしながら、分析結果では操作者がその事に気がつかずそのまま操作するケースが多く、操作者の操作に関する認識が不足していると考えられる。また、表3-7のⅢ-(1)-②の「手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈（又は思い込み）で操作（又は判断）した」、Ⅲ-(1)-⑤の「手順書の内容を確認したが、必要な操作を実施しなかった」、及びⅢ-(3)-①の「操作前（又は操作後）の現地確認が出来て

いなかった」が多く発生している。これらより、操作者は手順書通りに操作を実施しているが、中には手順書の操作の内容を必ずしも理解していない操作者もいるようである。また、操作者は手順書の手順や、操作前後における現地の確認をしない傾向もある。

③ 同時に発生しやすい問題点の項目の組み合わせでは、表 3-5, 及び表 3-8 に示すようにⅢ-(2)-①の「操作者の操作に関する認識が不足していた」とⅠ-(3)-①の「手順に必要な項目が記載されていなかった」の組み合わせと、Ⅰ-(3)-①とⅢ-(3)-①の「操作前（又は操作後）の現地確認が出来ていなかった」の組み合わせが多く発生している。

前者の組み合わせでは、3.3.2 (a) ②で述べたとおり操作者が操作に関する認識が不足しているため、手順書に必要な事項が記載されていなくてもその事に気がつかず手順書の通り操作を実施していると考えられる。すなわち、操作者は手順書に記載された通りに操作を実施する傾向が強いと考えられる。

また、後者の組み合わせでは、作成者側と操作者側で問題点の捉え方が異なる。作成者としては実際のプラントの構成についての認識が不十分なために、手順に必要な事項が記載できなかったと考える。特に、石油精製プラントのように多くの配管やバルブで構成されたプラントの構造が頻繁に変わる事で現地の設備構成も変化する場合もある。また、操作者側としては、3.3.2 (a) ②で述べたとおり手順書に必要な事項が記載されていない状態であってもそのまま操作を実施する傾向が強く、現地の状況を確認するような手順書の仕組みになっていない、あるいは現地の確認が容易に実施出来ない場合があるなどにより、現地の確認を怠る傾向が強いと考える。

④ コミュニケーション不足に関する問題点の項目では、同時に発生しやすい問題点の項目の組み合わせとして、表 3-5, 及び表 3-8 で示す通り、Ⅰ-(3)-①の「手順に必要な項目が記載されていなかった」の組み合わせと、Ⅳ-(1)-①の「同じ社内間でのコミュニケーションが不足していた」の組み合わせが多く発生している。事例では、手順書通りに操作を実施しているが、操作者が手順書の操作についての認識が不足した状態で手順書の内容を確認せず、自らの判断や思い込みで操作し

てしまう傾向が強い。

(b) 石油精製プラント特有の問題点の傾向

(1) 問題点の単独項目による特徴

- ① I-(1)-①の「作成する必要があったが失念した」では、特に頻度の高い定常的な操作が多く、うっかりと手順書の作成を忘れてしまうのではないかと考えられる。
- ② I-(3)-④の「手順自体が間違っていた」では、プラントの複雑さが影響していると考えられる。これに関連して、Ⅲ-(2)-④の「操作者は誤操作を認識出来なかった」では、プラントの複雑さからバルブ操作を誤る可能性が高いと考えられる。
- ③ Ⅲ-(2)-②の「操作者は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした」の中では、プロセス変動時におけるアラームの発生頻度が多く、マンネリ化しているケースがあった。操作者は、アラームを無視してしまう場合が多いようである。

(2) 問題点の複数項目による特徴

- ① 同時に発生しやすい問題点の組合せの傾向として、Ⅲ-(2)-①の「操作者の操作に関する認識が不足していた」との関連性が強い。石油精製プラントは、プラントの新設、改造などの頻度が比較的高く、プラントの構造が変化しやすいために、手順書へ反映することを忘れてしまう、あるいは、手順書の操作に関する理解が不足した操作者が操作するなどの理由から、それぞれの問題点が関係するトラブルが発生しやすいのではないかと考えられる。
- ② 原子力プラントにない組み合わせでは、Ⅲ-(2)-①とⅢ-(2)-②の「操作者は現場の状況、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした」が5件、Ⅲ-(2)-①とⅢ-(3)-①の「操作前（又は操作後）の現地確認が出来ていなかった」が7件発生している。これは、操作者の操作に関する教育レベルが原子力に比べて低い事、プラントが複雑で現地確認が難しい事、うっかりと手順書を現地に持っていく事を忘れるなどが考えられる。

- ③ Ⅲ-(3)-①の「操作前（又は操作後）の現地確認が出来ていなかった」とⅡ-(1)-②の「手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった」の組み合わせも多く発生している。これは、手順書に記載されている内容と現地との整合性が取れていない場合が多いためと考えられる。

(c) 原子カプラント特有の問題点の傾向

(1) 問題点の単独項目による特徴

- ① I-(1)-①の「作成する必要があったが、失念した」のうち、チェックリストの作成忘れの割合が多くあった。手順書の完成度は非常に高いと考えられるが、一部ではチェックリストの作成が抜けることによるトラブルも発生している。
- ② I-(3)-④の「手順自体が間違っていた」の発生件数は少なかった。これは、操作の手順に関して、現在実施されている原子カプラントの手順書の作成方法により、作成される手順書の完成度が非常に高いことによるものと考えられる。
- ③ Ⅲ-(2)-①の「操作者の操作に関する認識が不足していた」の発生件数が石油精製プラントに比べて少ない。これは、原子カプラントでは、原子炉関係などの専門用語が多いため、操作者には事前にかなり高いレベルの教育が実施されている。また、教育がされていないと操作出来ない仕組みが構築されているためであると考えられる。
- ④ 放射線管理区域での活動時間が限られているため、線量計などの装備品を着用する必要がある。しかしながら、Ⅲ-(1)-⑤の「手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった」では装備品の装着をうっかり忘れるトラブルが発生していた。

(2) 問題点の複数項目による特徴

- ① 全体的には、I-(3)-①の「手順に必要な事項が記載されていなかった」に関連する問題点の項目が多い。原子カプラントの手順書は内容を細かく確認された上で作成されているため、完成度が非常に高い。しかしながら、分析結果

では、手順書に必要な事項が記載されていなかった内容もあった。かなり完成度の高い手順書が作成されていても、操作に必要な事項の記載漏れが発生してしまう場合がある。

- ② 特に多い組み合わせは、Ⅰ-(3)-①とⅠ-(1)-①の「作成する必要があったが失念した」が7件、Ⅰ-(3)-①とⅠ-(2)-①の「作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった」が10件、Ⅰ-(3)-①とⅢ-(3)-③の「現地の状態確認抜けその他」が9件、Ⅰ-(3)-①とⅣ-(1)-①の「同じ社内間でのコミュニケーションが不足していた」が9件である。中でも、手順書の「作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった」場合には、手順書の作成は外部の請負業者が実施しているケースもあり、検討段階での十分なコミュニケーションが取れていない場合もあるのではないかと考えられる。
- ③ 石油精製プラントにない組み合わせでは、Ⅰ-(3)-①とⅠ-(3)-③の「手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった」が5件、Ⅰ-(3)-①とⅡ-(1)-①の「手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった」が5件、Ⅰ-(3)-①とⅡ-(1)-②の「手順書の手順を確実に実施する工夫がされていなかった」が5件、Ⅰ-(3)-①とⅢ-(1)-②の「手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈（又は思い込み）で操作を実施した」が12件発生している。手順書の完成度は非常に高い上に、手順書を使用する操作者も操作に関する教育を十分に受けているにもかかわらず、石油精製プラントより組み合わせとして多く発生している。これは、手順書の内容を操作者に説明する段階において、手順書の作成者が考える操作者のスキルと、実際に操作する操作者のスキルの整合性が取れていないことにより発生しているのではないかと考えられる。

3.4 NUCIA 及び PAC-Safer の手順書の不備を原因とするトラブル事象の傾向再分析

NUCIA 及び PEC-Safer に登録されたトラブル事例のうち、手順書の不備を原因とするトラブル事象の傾向分析の中で、手順書の種類を定常、及び非定常の2つに分類した考え方については、3.1.1でも述べたように、操作の頻度で分類（以下、旧分類と

いう) していた。しかし、実際の手順書の操作で考えると、原子力や石油精製プラントでは、以下に示すように運転操作と保全作業（以下、新分類という）に分かれている。

(旧分類)		(新分類)
定常：比較的操作頻度の高い操作	⇒	運転操作全般
非定常：非常時や緊急時など操作頻度が低い操作	⇒	保全作業全般

そこで、実際の手順書の使用状態におけるトラブルの発生状況を分析するため、これまで実施したトラブル事例の旧分類の結果を以下に述べる新分類の方法で再分析することとした。

3.4.1 新分類での手順書の不備を原因とするトラブルの再分析結果について

3.4の再分析方法の考え方をを用いて、NUCIA及びPEC Saferで分析した手順書の不備を原因とするトラブル事例の旧分類による分析結果を、改めて新分類へ再分析して整理した。その結果として、作業件数の比較を表3-9、NUCIA及びPEC-Saferそれぞれの問題点の分類項目一覧表の再分析結果を表3-10、及び3-11にそれぞれ示す。

ここで、NUCIAの分析結果は、PEC-Saferの分析件数に近づけるため、2009年1月～2010年12月の間の分析結果を新たに追加している。旧分類では操作の頻度で分類したため、分析結果はNUCIA、及びPEC-Saferともに定常操作に該当する件数が多くなり、頻度の高い操作でトラブルが多く発生していることがわかった。それに対して、新分類で再分析した結果、NUCIA及びPEC-Saferともに保全作業の発生件数が多くなった。特にNUCIAでは、運転操作に関するトラブルの発生件数は少ないことから、実際の原子力プラントにおける運転手順書は原子力プラントの管理会社が作成し、その完成度は非常に高いことにより、手順書の不具合におけるトラブル発生は少ない。逆に保全作業の手順書は、それぞれの保全作業を実施する請負業者やメーカーが実施するケースが多いため、手順書の不具合におけるトラブルの発生件数が多くなる傾向にあるといえる。逆にPEC-Saferでは、保全作業の発生件数が多い反面、運転操作におけるトラブル事例も多く発生している。これは、石油精製プラントの運転操作に使用されている手順書の完成度は原子力プラントと比較して低いことを示唆している。すなわち、原子力プラントの手順書は、石油精製プラントの手順書に比べ、手順書の作

成段階における内容の確認や修正などのチェックレベルが高い事を示している。

また、手順書の不備を原因とするトラブルについて見ると、運転操作と保全作業では問題点の発生傾向が異なる場合も考えられる。加えて、問題点の対策を検討する際に、問題点をより具体的に分析出来る上、発生傾向が掴みやすい。従って、今後同様の分析を実施する際には、新分類で分析する方が、より具体的な手順書の操作である運転操作と保守作業の分類を明確にする事が可能となる。

表 3-9 分類方法の変更結果比較

NUCIA		運転	保全
		13	103
定常	86	10	76
非定常	30	3	27

PEC Safer		運転	保全
		51	79
定常	125	47	78
非定常	5	4	1

ここで、新分類で分類した結果のうち、特に発生件数が多かった（20件以上）項目について、その特徴などを纏めて述べることにする。

表 3-10 NUCIA の再分析結果

問題点の 関与者	問題点の分類項目		全	定常 運転	定常 保全	非定常 運転	非定常 保全	
作成者	(1)手順書の作成段階に おける問題点	① 作成する必要があったが、失念した。	21	0	10	0	11	
		② 作成する必要があったが、既にある手順書を代用した(標準あるいは過去の類似作業など)。	3	0	1	0	2	
	(2)手順書の検討(又は 再検討)における問題点	① 作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった。	23	0	14	1	8	
		② 作成段階における手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。	4	1	1	0	2	
作成者 と 操作者	(3)手順書の作成・確認・ 説明段階における問題点	① 手順に必要な項目が記載されていなかった。	84	8	58	2	16	
		② 手順書の表記内容が誤っていた。	10	3	5	1	1	
		③ 手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった。	12	2	5	0	5	
		④ 手順自体が間違っていた。	4	0	2	0	2	
		⑤ 実績のある手順だったため、手順書の内容確認が実施されなかった。	1	0	1	0	0	
		⑥ 手順書の承認過程で手順書の内容確認が十分されなかった。	3	0	1	1	1	
		⑦ 手順書が配布されていなかった。	2	0	2	0	0	
		⑧ その他						
作成者	(4)手順書の修正段階 における問題点	① 以前発生した不具合事象が手順書に反映されていなかった。	3	0	2	0	1	
		② 手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。	3	0	2	0	1	
作成者 と 操作者	(1)手順書運用段階 における問題点	① 手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった。	10	0	8	0	2	
		② 手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった。	8	2	4	0	2	
		③ 手順書の誤りに気がつかなかった。	1	0	1	0	0	
		④ 手順書の誤りに気がつかず、そのまま操作を実施した。	6	0	5	0	1	
		⑤ 手順書の表記や内容は正しいが、解釈を間違えた。	4	0	4	0	0	
		⑥ 手順書の表記や内容が間違えており、更に解釈を間違えた。	2	0	1	0	1	
		⑦ 手順書と現場機器を照合した操作が出来ていない。	3	1	2	0	0	
操作者	(1)操作者の人的要因 によるもの	① 手順書の内容を確認しなかった。	2	0	1	0	1	
		② 手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は判断)した。	9	3	4	0	2	
		③ 手順書に必要な事項が記載されていないため、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は判断)をした。	4	0	2	0	2	
		④ 手順書に必要な事項が記載されていないため、必要な操作を実施しなかった。	5	0	4	0	1	
		⑤ 手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった。	6	0	5	0	1	
		⑥ その他						
	(2)操作者の経験不足 (又は豊富)によるもの	① 作業員の作業(又は操作)に関する認識が不足していた。	34	4	24	0	6	
		② 作業員は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした。	9	1	7	0	1	
		③ 過去の経験との相違に対する誤判断をした。	1	0	0	0	1	
		④ 作業員は誤操作を認識できなかった。	3	2	1	0	0	
		⑤ その他	9	2	7	0	0	
	(3)現地の状態確認抜け によるもの	① 操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった。	8	1	7	0	0	
		② 操作後の現地表示が正確に実施されていなかった。	1	0	1	0	0	
		③ その他	13	2	8	0	3	
	IV	(1)コミュニケーションが 不足していた	① 同じ社内間	21	3	14	0	4
			② 他社間	3	0	2	0	1
	V	(1)誤った指示を行った	① 同じ社内間	4	1	2	0	1
			② 他社間					
(2)指示がされていなかった		① 同じ社内間	5	2	2	0	1	
		② 他社間						

表 3-1 1 PEC-Safer の再分析結果

問題点の 関与者	問題点の分類項目		全	定常 運転	定常 保全	非定常 運転	非定常 保全
作成者	(1) 手順書の作成段階に おける問題点	① 作成する必要があったが、失念した。	22	4	17	0	1
		② 作成する必要があったが、既にある手順書を代用した(標準ある いは過去の類似作業など)。	0	0	0	0	0
	(2) 手順書の検討(又は 再検討)における問題点	① 作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった。	20	7	12	1	0
		② 作成段階における手順は検討されていたが、手順書に反映されて いなかった。	0	0	0	0	0
作成者 と 操作者	I (3) 手順書の作成・確認・ 説明段階における問題点	① 手順に必要な項目が記載されていなかった。	45	17	24	4	0
		② 手順書の表記内容が誤っていた。	4	1	3	0	0
		③ 手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった。	2	1	1	0	0
		④ 手順自体が間違えていた。	19	4	15	0	0
		⑤ 実績のある手順だったため、手順書の内容確認が実施されなかつ た。	0	0	0	0	0
		⑥ 手順書の承認過程で手順書の内容確認が十分されなかった。	0	0	0	0	0
		⑦ 手順書が配布されていなかった。	1	0	1	0	0
		⑧ その他	1	1	0	0	0
作成者	(4) 手順書の修正段階 における問題点	① 以前発生した不具合事象が手順書に反映されていなかった。	1	0	1	0	0
		② 手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。	0	0	0	0	0
作成者 と 操作者	II (1) 手順書運用段階 における問題点	① 手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった。	4	0	4	0	0
		② 手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった。	9	6	3	0	0
		③ 手順書の誤りに気がつかなかった。	0	0	0	0	0
		④ 手順書の誤りに気がつかず、そのまま操作を実施した。	0	0	0	0	0
		⑤ 手順書の表記や内容は正しいが、解釈を間違えた。	0	0	0	0	0
		⑥ 手順書の表記や内容が間違えており、更に解釈を間違えた。	0	0	0	0	0
		⑦ 手順書と現場機器を照合した操作が出来ていない。	2	0	2	0	0
操作者	(1) 操作者の人的要因 によるもの	① 手順書の内容を確認しなかった。	0	0	0	0	0
		② 手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又 は判断)した。	6	4	2	0	0
		③ 手順書に必要な事項が記載されていないため、自分なりの解釈 (思い込み)で操作(又は判断)をした。	1	0	1	0	0
		④ 手順書に必要な事項が記載されていないため、必要な操作を実 施しなかった。	5	2	3	0	0
		⑤ 手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった。	12	9	3	0	0
		⑥ その他	1	0	1	0	0
	(2) 操作者の経験不足 (又は豊富)によるもの	① 作業員の作業(又は操作)に関する認識が不足していた。	43	16	26	1	0
		② 作業員は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから 誤った判断をした。	12	7	5	0	0
		③ 過去の経験との相違に対する誤判断をした。	0	0	0	0	0
		④ 作業員は誤操作を認識できなかった。	11	4	7	0	0
		⑤ その他	1	0	1	0	0
	(3) 現地の状態確認抜け によるもの	① 操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった。	27	7	19	1	0
		② 操作後の現地表示が正確に実施されていなかった。	2	0	2	0	0
		③ その他	5	0	5	0	0
	IV (1) コミュニケーションが 不足していた	① 同じ社内間	14	5	9	0	0
② 他社間		3	1	2	0	0	
V (1) 誤った指示を行つた	① 同じ社内間	0	0	0	0	0	
	② 他社間	1	1	0	0	0	
	(2) 指示がされていなかった	① 同じ社内間	1	1	0	0	0
		② 他社間	2	0	2	0	0

(a) NUCIAにおける再分析結果について

NUCIAにおける再分析結果では、①定常－保全が76件、②非定常－保全が27件となり、いずれも保全作業側での発生となった。それぞれの特徴については以下の通りである。

①定常－保全：76件

定常操作では、保全作業における手順書の不備を原因とするトラブルが多く発生している。その問題点の項目の発生状況も、保全作業によるものが多い。運転操作に関する手順書の生成は社内の関係者によって十分検討されて作成されているようだが、保全作業は場合によりメーカーや下請業者などが作成されているケースも想定される。

このような場合、電力会社の担当者が保全作業に必要な全ての手順書の内容を確認する必要がある。しかしながら、手順書の量が多いため、手順書の全ての内容を確認する事は困難であると考えられる。また、問題点の発生傾向は、分析手法である新分析手法の保全作業とほぼ同じ傾向にある。そのため、この分析手法から問題点の発生傾向として、定常操作かつ保全作業による手順書の不備を原因とするトラブルが多く発生している事を示す。

(特に多く発生している問題点の分類項目)

I-(1)-①：全ての発生件数が保全作業に関係している。運転操作では、トラブルは発生していないことから、運転操作の手順書は保全作業の手順書よりも比較的漏れなく作成されていると考えられる。また、保全作業では作業で使用する手順書に添付されている作業の進捗管理や作業後の確認を行うチェックリストの作成漏れが多いようである。

I-(2)-①：全ての発生件数が保全作業に関係している。作成段階における手順書の検討については、運転操作と保全作業では内容が少し異なるを考える。運転操作では、操作に関する手順書が基本的にはある程度漏れなく作成されており、手順の検討をする際でもある程度作成されている手順書が基本となっているため、十分な検討がされているのではないかと考える。その反面、保全作業については手順書に含まれている進捗管理やチェック

リストなどの作成は、社外のメーカーや業者が実施するケースが多いため、十分な検討が難しいようである。

I-(3)-①：保全作業では作業に必要な操作の他に、作業後の確認の為の操作や判定条件、パラメータなどの確認資料、又は作業終了後の復旧操作など多くの書類が存在する。そして、これらの書類を使用して実際に操作や作業を実施することになるため、手順書に必要な情報が漏れる可能性はかなり高いと考えられる。

III-(1)-⑤：発生件数は少ないが、操作者はある程度手順書に基づいて操作を実施しているが、一部では操作を失念してしまうケースが発生している。

III-(2)-①：保全作業に携わる操作者の認識不足が多いようである。ベテラン社員の大量退職や、若年操作者の経験不足などが原因であると考えられる。そのため保全作業の内容を必ずしも理解していない状態で操作する傾向がある。手順書の役割としては、このような経験や認識不足の操作者が安全に確実に目的の操作を実施させる事があるが、若年操作者の保全作業に対する認識不足から、手順書の内容についても認識不足になる傾向が強いと考えられる。分析結果でも、作業の方法に関する認識不足が多く発生していた。

III-(2)-②， III-(3)-①：保全作業の定常操作では、操作者は手順書を使用しているものの、現場の状態や周囲の雰囲気などにより判断を誤ることが考えられる。また、手順書の操作をする前後について、現場の確認を怠る傾向があると考えられる。

②非定常－保全：27件

非定常操作における、保全作業における手順書の不備を原因とするトラブルが多く発生している。その問題点の項目の発生状況も、①定常－保全と同様に、保全作業によるものが多い。また、問題点の発生傾向は分析手法である旧分析手法の非定常操作と、ほぼ同じ傾向にある。そのため、この分析手法から問題点の発生傾向として、定常操作かつ保全作業による手順書の不備

を原因とするトラブルが多く発生していることを示す。

(特に多く発生している問題点の分類項目)

I-(1)-①: 全ての発生件数が保全作業に関係している。保全作業では作業で使用する手順書に添付されている作業の進捗管理や作業後の確認を行うチェックリストの作成漏れが多いようである。

I-(2)-①: 全ての発生件数が保全作業に関係している。作成段階における手順書の検討については、保全作業については手順書に含まれている進捗管理やチェックリストなどの作成は、社外のメーカーや業者が実施するケースが多い。また、操作の頻度が少ない事、緊急時などの対応ではその対応経験が少ないなどの理由から、必要な情報の選択を怠る可能性が高い。その為、十分な検討が難しいようである。

I-(3)-①: 保全作業では作業に必要な操作の他に、作業後の確認の為に操作や判定条件、パラメータなどの確認資料、又は作業終了後の復旧操作など多くの書類が存在する。あるいは、通常の手順で必要とされる操作以外の操作も加わる為、手順書が複雑になる。この結果、手順書に必要な情報が漏れる可能性は高いと考えられる。

III-(2)-①: 少ないが発生している。保全の非定常操作は操作回数も少ないうえ、実績も定常操作に比べて低い。そのため、操作者は手順書の内容に関する認識不足が発生する可能性が高いと考えられる。

(b) PEC-Safer における再分析結果について

PEC-Safer における再分析結果では、①定常-運転が51件、②定常-保全が79件となり、いずれも運転及び保全での定常作業での発生となった。それぞれの特徴については以下の通り。

①定常-運転: 51件

石油精製プラント関係では、定常操作のうち、運転操作に関する手順書の不備を原因とするトラブルが多く発生している。運転操作に関しては、社内

の担当者が作成するケースが多い。石油精製プラントは構造が複雑であるため、標準的な手順書があっても、その時々プラントの運転状態や構成が異なるケースが原子力プラントより多い。このような場合は標準的な手順書を元に、新たに手順書を作成する事が多い。そのため、運転操作に関するトラブルの発生件数が多い傾向となっているようである。

(特に多く発生している問題点の分類項目)

I-(2)-①：作業マニュアルの手順や、荷揚げ操作に関する手順など、運転操作に関する手順の記載忘れなどが発生している。

I-(3)-①：ほとんどが運転操作に必要な事項であった。ある程度は標準的な手順書が作成されているが、場合によって追加修正されるような場合には、操作に必要な手順の抜けが発生するようである。また、操作に必要なとされる技術情報も3件発生していた。

II-(1)-②：標準手順書は大体がプラント運用開始時期に作成されているものを現在も使用しているケースが多い。そのため、手順書に記載されている表現が現在とは異なる表現がされていることもあり、そのままでは理解出来ないケースもある。

III-(1)-⑤：操作するバルブや現地の状態把握を間違える、あるいは操作の一部を忘れるケースが発生している。

III-(2)-①：認識不足では操作に関する内容や、機器類の内容、静電気対策といった技術的な情報も含まれていた。石油精製業界では、近年ベテラン社員の退職が相次いで発生しており、プラント運転員の若年化が進んでいる。また、プラントの運転にはDCSなどの導入により自動化が進んでいるため、実際の操作経験が以前に比べて、さらに少なくなっている。そのため、操作に関する経験が不足した結果、認識不足が発生していると考えられる。

III-(2)-②：操作者自身が勘違いや誤った判断をする場合と、周囲の状況や

これまでの流れから操作者が誤った判断をする場合の2つのパターンが発生している。

Ⅲ-(3)-①：現地の状態確認はある程度実施されているようである。

②定常－保全：79件

定常操作では、保全作業における手順書の不備を原因とするトラブルも多く発生している。保全作業に関係する手順書はメーカーや下請業者などが作成されているケースも想定される。このような場合、石油精製会社の担当者が、保全作業に必要な全ての手順書の内容を確認する必要がある。しかしながら、手順書の量が多く手順書の全ての内容を確認する事は困難であると考えられる。加えて、運転手順書も複雑になってくると考えられる。それらの理由からトラブルの発生件数が多い傾向になっている。

(特に多く発生している問題点の分類項目)

I-(1)-①：保全作業における手順書には、運転手順書以外にも作業に必要な手順書や関連資料が必要である。また、それらの手順書は場合によりメーカーや下請業者が作成することもあるため、必要な手順書の作成を忘れてしまう傾向があると考えられる。

I-(2)-①：作業あるいは操作の作成や基準のようなものの検討忘れが発生している。

I-(3)-①：ほとんどが、作業に必要な情報に関する検討がされていないものであった。特に、保全作業では、運転操作以外に必要な手順がある。しかしながら、手順書の中にはメーカーや下請業者が作成するものもあり、手順書の量が多くなると、必要な事項の抜けが発生しやすい。

I-(3)-④：運転操作ではある程度実績のある標準手順書を使用しているが、保全作業では標準手順書に加えて、作業に必要な手順が発生してくる可能性がある。その場合には、より複雑な手順になる可能性も十分考えられる。加えて、プラントが複雑な構造をしていること、及びプラントを運転した

状態で部分的に定期点検などを実施するケースもあることから、手順自体の間違いが多く発生しているものと考えられる。

Ⅲ-(2)-①：要因のほとんどが作業に関する認識不足であった。操作を実施する操作者は、操作している作業に関する認識が不足した状態で操作を実施する傾向が強い。

Ⅲ-(3)-①：保全作業では、一つの操作でもその前後でプラントの運転状態が大きく変わる可能性がある。その為、操作前後の現地確認は非常に重要な行為であるにもかかわらず、実際にはそれらを実施しない傾向が強い。

3.5 再分析結果における問題点の特徴について

3.4.1にて、これまでの旧分類における分析結果を新分類に分けて整理し、特に多く発生している問題点について整理した。ここでは、整理された問題点の結果について、NUCIA 及び PEC-Safer の運転、保全、及び共通して発生している問題点の特徴についてまとめる。

3.5.1 NUCIA における問題点の特徴について

3.4.1 に整理した新しい分類結果では、運転が 13 件、保全が 103 件（ほぼ 1 : 9 の割合）に再分類された。その為、問題点の分類項目の発生状況の比較については、発生している問題点の件数を比率で比較する事とした。

(a) 共通して多く発生している問題点の特徴

共通して多く発生している問題点の分類項目は、以下の項目となった。

(特に多く発生している問題点の分類項目)

- I-(3) 手順書の作成・確認・説明段階
- II-(1) 手順書運用段階における問題点
- III-(1) 操作者の人的要因によるもの
- III-(2) 操作者の経験不足（又は豊富）によるもの
- III-(3) 現地の状態確認抜けによるもの
- IV-(1) コミュニケーションが不足していた

I-(3)では、①の手順に必要な事項が記載されていなかったが多く発生していた（運転：10件、保全：74件）。作成段階における手順書の検討は非常に重要である。加えて、②の手順の表記内容が間違えていた、及び③の手順は問題ないが適切な表現がされていなかったも少なからず発生している。手順書の作成にあたっては、このあたりの対策を実施する事で、問題点の発生を削減させることが出来そうである。

II-(1)では、①の手順書の内容を確実に確認する仕組みがされていなかった、②の手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった、及び④の手順書の誤りに気がつかず、そのまま操作を実施したが多く発生している。保全作業では、運転のように手順書だけで操作する以外にも、現地での施工や検査に必要な手順も加えられる事から、手順の項目を確実に実施あるいは確認させ、手順書の誤りを容易に発見可能な対策の検討が必要である。

III-(1)では、②の手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈（思い込み）で操作（又は判断）をしたが多く発生している。手順書の手順を確認して実施させる工夫が必要である。また、保全では④の手順書に必要な事項が記載されていないため、必要な操作を実施しなかった、及び⑤の手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかったが多く発生している。手順書に必要な事項の記載の有無に関わらず、必要な操作を忘れてしまう、あるいは忘れた事に気がつかない傾向がある。手順書に必要な操作を忘れず実施させるような対策が必要である。

III-(2)では、①の作業者の作業（又は操作）に関する認識が不足していたが多く発生している。ある程度教育を受けているにも関わらず、認識不足によるトラブルが少なからず発生している。

III-(3)では、①の操作前（又は操作後）の現地確認が出来ていなかった、及び③のその他が多く発生している。現地確認を怠る傾向が強いことから、その対策が必要である。

IV-(1)では、社内間のコミュニケーションが不足しているが多い。

(b) 運転にて多く発生している問題点の特徴

運転にて多く発生している問題点の分類項目は、以下の項目となった。

(特に多く発生している問題点の分類項目)

V-(2) 指示がされていなかった

(c) 保全にて多く発生している問題点の特徴

保全にて多く発生している問題点の分類項目は、以下の項目となった。

(特に多く発生している問題点の分類項目)

I-(1) 手順書の作成段階における問題点

I-(2) 手順書の検討（又は再検討）における問題点

I-(4) 手順書の修正段階における問題点：保全のみ

I-(1)では、①の作成する必要があったが失念したが多く発生している。保全作業においては、手順書の作成を怠る傾向が強い。

I-(2)では、①の作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかったが多く発生している。I-(1)と同様に、手順書の作成における検討が十分でない事によってトラブルに結びつく可能性が高い。保全作業では、特に手順書の検討が十分実施出来る対策を検討する必要がある。

I-(4)では、①の以前発生した不具合事象が手順書に反映されていなかった、及び②の手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかったが多く発生している。いずれも手順書の間違いを修正するこれまでの仕組みに問題がありそうである。

3.5.2 PEG-Safer における問題点の特徴について

3.4.1 に整理した新しい分類結果では、運転が51件、保全が79件に再分類された。その為、問題点の分類点の分類項目の発生状況の比較については、発生件数で比較するした。

(a) 共通して多く発生している問題点の分類項目

共通して多く発生している問題点の分類項目は、以下の項目となった。

(特に多く発生している問題点の分類項目)

- I-(1) 手順書の作成段階における問題点
- I-(2) 手順書の検討（又は再検討）における問題点
- I-(3) 手順書の作成・確認・説明段階における問題点
- II-(1) 手順書運用段階における問題点
- III-(2) 操作者の経験不足（又は豊富）によるもの
- IV-(1) コミュニケーションが不足していた

I-(1)では、作成する必要があったが、失念したが多く発生している。手順書の作成における必要性の判断は難しい。しかしながら、作成しないより作成したほうがトラブルの発生を削減させることが可能であると考え。但し、手順書の作成段階における問題点にも関係する事から、対策の検討は作成者と操作者を視野に入れたほうがよりよい対策を実施出来ると考える。

I-(2)では、①の作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかったが多く発生している。手順書の作成段階においては、十分な検討を実施させる対策の検討が必要である。

I-(3)では、①の手順に必要な事項が記載されていなかったが多く発生している。手順書の作成における必要な手順を漏れなく記載させるような対策の検討が必要である。更に④の手順自体が間違えていたの項目も多く発生している。手順書の手順を間違えないように作成段階で完成精度を向上させる対策が必要である。

II-(1)では、②の手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかったが、多く発生している。手順書の手順を確実に実施させる対策の検討が必要である。

III-(2)では、①作業員の作業（又は操作）に関する認識が不足していたが多く発生している。認識が不足していても、作業（又は操作）を実施しないといけない現状が見られるが、認識不足でもトラブルに結びつかない対策の検討が必要である。また、運転では②の作業員は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした、保全では④の作業員は誤操作を認識できなかったが多く発生している。周囲環境の影響を受けない様な手順書の構成についての対策、あるいは手順書の内容が誤っていることが認識しやすい様な手順書の構成についての検討が必要である。

(b) 運転にて多く発生している問題点の特徴

運転にて多く発生している問題点の分類項目は、以下の項目となった。

(特に多く発生している問題点の分類項目)

Ⅲ-(1) 操作者の人的要因によるもの

Ⅲ-(1)では、⑤の手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかったが多く発生している。確実に操作させる対策の検討が必要である。

(c) 保全にて多く発生している問題点の特徴

保全にて多く発生している問題点の分類項目は、以下の項目となった。

(特に多く発生している問題点の分類項目)

Ⅲ-(3) 現場の状態抜けその他

Ⅲ-(3)では、操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかったが多い。保全作業では現地での操作を確認して作業を進めないといけなため、確認は実施されていると認識していたが、以外に確認忘れが多いようである。確実に現場の状態を確認する対策の検討が必要である。

3.5.3 NUCIA 及び PEC-Safer における問題点の特徴

原子力関係のデータベース NUCIA、及び石油精製関係の PEC-Safer の再分析の結果から、共通して多く発生している問題点の特徴は以下の通りである。

(a) 共通して多く発生している問題点の特徴

NUCIA 及び PEC-Safer とともに、Ⅰ-(3)の手順書の作成・確認・説明段階、Ⅲ-(2)の操作者の経験不足(又は豊富)によるもの、Ⅲ-(3)の現場の状態確認抜けによるものについての問題点が多く発生している。また、保全では、Ⅰ-(1)の手順書の作成段階における問題点の項目が多く発生している。保全作業では、特に手順書の必要性を十分検討して、手順書作成の判断を実施出来るような仕組みを検討する必要がある。このように、新分類にて分析することにより、旧分類よりもさらに細かく分析することが可能となった。つまり、同じ分析手法を用いても、手順書の分類を変更することにより異なる分析結果が得られる事が示された。

3.6 福島第一発電所の事故における手順書の不備を原因とする問題点の分析

3.1 及び 3.2 で実施した、手順書の不備を原因とするトラブルの分析結果の適用性確認のため、福島第一発電所でのトラブルについて参考文献[32]に記載されている「福島第一原子力発電所の各号機の事故進展と操作・判断」の中から、1号機の事故進展と操作・判断の記録を用いて、手順書の不備を原因とするトラブルの問題点を分析した。参考文献[32]の内容をよく読んでみると、福島第一発電所で発生した1～3号機の事故の原因と対策の方向性はよく似ていることが分かった。そこで、特に詳細に記載されている1号機の内容をベースに分析を実施することとし、1～3号機に共通する問題点を加える形で整理した。

次に、整理した問題点の項目を、3.1 及び 3.2 で作成した問題点の分類項目一覧表に整理して、今回の事故に関係する手順書の生成から運用過程における問題点の発生状況を把握する。

最後に、整理した問題点の項目に対して、本研究において検討している対策の方向性の評価と、新たに対策の検討が必要と考えられる問題点などについて整理する。

3.6.1 福島第一発電所の事故の概要について

平成23年3月11日の東日本大震災において、運転中の福島第一原子力発電所の1～3号機は、炉心冷却に失敗し、燃料溶融、水素爆発により、大気中に大量の放射性物質を放出した。さらに、炉心を冷却した汚染水を生みに流出させ、大きな環境汚染を引き起こした。

今回の事故分析は、本研究内容である手順書の不備という観点からの分析となるが、関係する知識として参考文献[32]に記載されている事故情報を以下に整理した。

(整理した事故情報)

(1) 福島第一発電所 1, 2, 3号機に共通の事故概要

・各号機はともにスクラムにより原子炉を止めることに成功した。

1号：非常用復水器 (IC)

2, 3号機：原子炉隔離時冷却系 (RCIC)

- ・その後の津波によるヒートシンク喪失（炉心で発生する崩壊熱を捨てる手段の喪失）＋電源の喪失に対する冷静な対応
- ・原子炉を冷やすには短期と長期がある。
- ・次々と起きる新事態に冷静に対処する必要
- ・水素爆発＝ジルコニウム－水反応
- ・原子炉停止後も冷却が必要
- ・崩壊熱は特別な方法で除去，長期的にはヒートシンクで排熱
- ・原子炉の冷却は？
 - 通常：制御室から
 - 異常：作業員が現場に行き，弁を手動で開閉操作
- ・今回は電源の不要な冷却手段が頼りであった。
 - ⇒ しかしながら，空白時間が多く結果的に空焚きとなった。

(2) 福島第一発電所 1, 2, 3号機各号機の事故概要

① 1号機

- ・外部電源喪失（事故原因1）
 - ⇒ 炉水温度が規定の温度変化許容範囲を超えて下がるような操作をした。
- ・崩壊熱除去手段を失う（事故原因2）
- ・燃料露出，空焚きが発生したと判断（事故原因3）
 - ⇒ ホワイトボードの記録が作業員の緊迫した状態が読み取れる：IC操作記録はない。
- ・格納容器ベントに時間がかかった（事故原因4）
- ・水素爆発，放射性物質の飛散（事故原因5）
 - ⇒ 運転員はICを圧力制御の目的で使用したとあるが，温度変化率を見て一時的にICを停止している（通常の運転：繰り返し）。
 - ⇒ 今回は炉心への注水が最優先
- ・津波後も同様と考えたことが大きな過ち
- ・バッテリー無し：ICラインの戻り弁を現場で操作
 - ⇒ 長時間にわたりIC作動用の弁の開操作記録なし

② 2号機

- ・交流電源喪失（事故原因1）

- ・全電源と海への熱放出手段を喪失（事故原因 2）
- ・炉心燃料露出，溶融（事故原因 3）
- ・ D/W ベント弁小弁開操作するも，ベント実行までに時間がかかる（事故原因 4）
- ・格納容器付近で衝撃音（事故原因 5）

③ 3号機

- ・原子炉を停止させるも交流電源喪失（事故原因 1）
- ・全電源と海への熱放出手段を喪失（事故原因 2）
- ・燃料露出，溶融（事故原因 3）
- ・ベント減圧の実施までに時間がかかる（事故原因 4）
- ・水素爆発により大量の放射性物質が飛散（事故原因 5）
- ・ RCIC を手動起動するも，原子炉水位の上限である水位高位置の信号で自動停止 ⇒ 作動と停止の繰り返し

(3) 事故対応評価の取りまとめ

- ・ 通常手段では対応出来ない事を早期に宣言（緊急事態宣言，アクシデントマネジメントへの移行）
- ・ 緊急時対策の重要性認識の欠落（1号機の初期注水失敗）
⇒ 初期注水の大切さ見落とし，アクシデントマネジメントの重要性を軽視，特別の重要性を全体に共通認識できなかった。
- ・ 1号機のトラブルを2，3号機で防げなかったこと
⇒ 全交流電源喪失と海水系ヒートシンク喪失 ⇒ 事象を早く掴み，他号機へ反映
- ・ アクシデントマネジメントを事業者主体で実施していない。
- ・ 現場を守る経験者の不足，新潟地震の評価に対するアクシデントマネジメントの欠落など

(4) 収束に向けたシナリオ

- ・ 早期の格納容器ベントによるヒートシンク作用での炉心冷却
- ・ 1号機は中央制御室に電気がついたタイミングでバッテリーを利用した SRV による減圧操作が実施可能であった。 ⇒ サイト内の淡水がある限り有効

(淡水確保の検討)

- ・ 事故直後の数時間は非常用炉心冷却装置又は隔離時冷却系等の本来発電所に備えられた設備を利用し，確実に注水，確認を行う．
- ・ 早期の格納容器ベントこそが大気へのヒートシンクとなりえた
⇒ 隔離弁を手動で開にし，ラプチャーディスクを破壊すること
- ・ アクシデントマネジメントの実施宣言
⇒ 通常の手順のみで考えてはいけないことを徹底させる
- ・ 事故対応評価：記録と対比して確認する

3.6.2 福島第一発電所事故における手順書の不備を原因とする問題点の整理

今回の事故原因は，3.6.1でも整理したとおり原子炉を「止める」「冷やす」「閉じ込める」の順番で対応が出来なかったことである．これらの事故情報を元に，操作に関する事故情報となる参考文献[32]の付録Aに記載されている「福島第一原子力発電所の各号機の事故進展と操作・判断」の中から，1号機の事故進展と操作・判断の記録を用いて，手順書の不備を原因とするトラブルの問題点を分析した．

表3-12に事件事例の記録から考えられる問題点の分類項目の分類結果，表3-13に表3-12で分類した問題点の分類項目一覧表への分類結果と，これまでの分析結果（原子力関係のNUCIA，及び石油精製関係のPEC-Safer）との比較をかねた問題点の分類項目一覧表を示す．

表 3-1 2 福島第一発電所 事故進展分析

1号機

日付	事象	問題点
3月11日	<p>非常用復水器 (Isolation Condenser) 自動起動。このとき1号機と2号機中央制御室では原子炉水位は通常運転時の水位であることからHPCI(高圧注入系)は原子炉水位が低下してきた際に起動することにし、ICIによる原子炉の圧力制御を行うこととした。圧力制御はA系統とB系統の2通りあるICIの内片方のA系統のみで十分と判断。①</p> <p>手順書に従い原子炉温度低下率55°C/hを守るためにIC手動停止② 圧力制御のためICを3度起動、停止を繰り返す②</p> <p>全交流電源喪失。③</p> <p>直流電源で操作可能なICとHPCIの状況:ICは弁開閉表示確認できない状態、HPCIは制御盤表示灯が点灯してだんだん薄くなり消灯したため起動不能と判断されその後作動された記録は報告されていない。④</p> <p>福島第一発電所長はアクシデントマネジメント(AM)として消火ライン、消防車を使用した原子炉への注水方法検討開始を指示。⑤</p> <p>さらに、これに先立ちAMの代替手段として、D/G駆動消火ポンプを利用した消火系、補給水系、格納容器冷却系、防火水槽を用いた消防車の使用等を検討(ここではD/G駆動消火ポンプを利用し消火系経由でCore Spray(CS)ラインから注水することを第一候補とした模様、0.69MPaで注水可能状態)。又、格納容器ベントに向けた検討も同時に行われ、特に電源のない状態でのベント手順を中心に検討。</p> <p>IC戻り配管隔離弁(MO-3A)と供給配管隔離弁(MO-2A)開操作(これによりICが作動)、するも、7分後に戻り配管隔離弁を閉とした。②</p> <p>福島第一発電所長はドライウェル(D/W)圧力が高いので格納容器ベントを実施する可能性があることから、検討開始を指示⑥ 格納容器圧力抑制系(S/C)ベントライン電動弁(MO弁)手動開⑥ 格納容器(PCV)圧力抑制室(S/C)ベント弁開操作⑥</p>	<p>①操作者は操作の状況、現場の雰囲気これまでの流れから誤った判断をした(ICIの圧力制御をA系統のみで十分と判断し、B系統を使用しなかった。今回の事故処置での対応では、圧力容器の早期ベントが必要であったが実施されるのが遅くなった。)。⇒Ⅲ-(2)-②</p> <p>②操作者は誤操作を認識できなかった(圧力制御主体として手順書通りに操作を実施したが、津波到達後は炉心への注水が優先であったが、通常通りの操作を実施した)。⇒Ⅲ-(2)-④</p> <p>③操作者は手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった(全交流電源喪失後のIC戻り弁手動操作:アクシデントマネジメントでは手順書が作成されていると仮定)。⇒Ⅲ-(1)-⑤</p> <p>④操作者の操作に関する認識が不足していた(ICI、HPCIを手動で操作する事、ICは電源喪失時の状態を保って動作不能となる事) ⇒Ⅲ-(2)-①</p> <p>⑤同じ社内でのコミュニケーション不足(アクシデントマネジメントの宣言遅れ) ⇒Ⅳ-(1)-①</p> <p>(ここから共通コメントの反映)</p> <p>⑥以前発生した不具合事象が手順書に反映されていなかった(1号機のトラブルを2・3号機に反映、新潟地震のアクシデントマネジメント結果)。⇒Ⅰ-(4)-①</p> <p>④' 現場操作者の経験が不足していた。⇒④に含める。</p> <p>⑦手順書の作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった(アクシデントマネジメントのフェーズ2での評価が不十分であった、深層防護の第五の層に対する検討が抜けていた)。⇒Ⅰ-(2)-①</p> <p>⑧手順書を作成する必要があったが失念した(中長期の注水手順が確立されていなかった)。⇒Ⅰ-(1)-①</p>
3月12日		

表 3-1 3 問題点の分類項目一覧表（福島第一とこれまでの分析結果比較）

問題点の関与者	問題点の分類項目		PEC		NUCIA		福島第一
			各項目合計	各カテゴリ別合計	各項目合計	各カテゴリ別合計	
作成者	(1)手順書の作成段階における問題点	① 作成する必要があったが、失念した。	22	22	14	15	1
		② 作成する必要があったが、既にある手順書を代用した（標準あるいは過去の類似作業など）。	0		1		0
	(2)手順書の検討（又は再検討）における問題点	① 作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった。	20	20	18	20	1
		② 作成段階における手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。	0		2		0
作成者と操作者	(3)手順書の作成・確認・説明段階における問題点	① 手順に必要な項目が記載されていなかった。	45	72	53	72	0
		② 手順書の表記内容が誤っていた。	4		5		0
		③ 手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった。	2		7		0
		④ 手順自体が間違っていた。	19		3		0
		⑤ 実績のある手順だったため、手順書の内容確認が実施されなかった。	0		1		0
		⑥ 手順書の承認過程で手順書の内容確認が十分されなかった。	0		1		0
		⑦ 手順書が配布されていなかった。	1		2		0
		⑧ その他	1		—		—
作成者	(4)手順書の修正段階における問題点	① 以前発生した不具合事象が手順書に反映されていなかった。	1	1	1	4	1
		② 手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった。	0		3		0
作成者と操作者	(1)手順書の運用段階における問題点	① 手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった。	4	15	8	26	0
		② 手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった。	9		6		0
		③ 手順書の誤りに気がつかなかった。	0		1		0
		④ 手順書の誤りに気がつかず、そのまま操作を実施した。	0		4		0
		⑤ 手順書の表記や内容は正しいが、解釈を間違えた。	0		4		0
		⑥ 手順書の表記や内容が間違えており、更に解釈を間違えた。	0		1		0
		⑦ 手順書と現場機器を照合した操作が出来ていない。	2		2		0
操作者	(1)操作者の人的要因によるもの	① 手順書の内容を確認しなかった。	0	25	2	20	0
		② 手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈（思い込み）で操作（又は判断）した。	6		7		0
		③ 手順書に必要な事項が記載されていないため、自分なりの解釈（思い込み）で操作（又は判断）をした。	1		4		0
		④ 手順書に必要な事項が記載されていないため、必要な操作を実施しなかった。	5		2		0
		⑤ 手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった。	12		5		1
		⑥ その他	1		—		—
	(2)操作者の経験不足（又は豊富）によるもの	① 操作者の操作に関する認識が不足していた。	43	67	15	27	1
		② 操作者は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした。	12		3		1
		③ 過去の経験との相違に対する誤判断をした。	0		1		0
		④ 操作者は誤操作を認識できなかった。	11		2		1
		⑤ その他	1		6		0
	(3)現地の状態確認抜けによるもの	① 操作前（又は操作後）の現地確認が出来ていなかった。	27	34	7	19	0
② 操作後の現地表示が正確に実施されていなかった。		2	1		0		
③ その他		5	11		0		
IV	(1)コミュニケーションが不足していた	① 同社内間	14	17	12	13	1
		② 他社間	3		1		0
V	(1)誤った指示を行った	① 同社内間	0	1	3	3	0
		② 他社間	1		—		—
	(2)指示がされていなかった	① 同社内間	1	3	3	3	0
		② 他社間	2		—		—

このように、筆者が提案した分析方法にて福島第一発電所の事故事例における手順書の不備を原因とするトラブルの問題点を、これまで整理した問題点の分類項目一覧表に整理することが出来た。よって、本研究にて提案した手順書の不備を原因とするトラブルの分析手法の適用性について確認することが出来た。

また、これまでの分析結果と比較した結果、特に多く発生している問題点の項目と一部重なる項目が見受けられた。これにより、今回のような大事故で発生している問題点の発生傾向についても分類項目、問題点とその関与者との関係、及び複数発生している問題点の項目の関係について明らかにする事が出来た。

3.7 まとめ

第3章では、第2章で提案したトラブルの分析手法を用いて分析を行っている。はじめに、操作頻度（以下、旧分類）から見た手順書の種類と特徴について、旧分類では2種類の手順書に分類され、それぞれの手順書において信頼性や操作の難易度などの特徴が異なることを説明している。次に、トラブルデータベースである原子力プラントのNUCIA、及び石油精製プラントのPEC-Saferに登録されている手順書の不備を原因とするトラブル事例を抜き出し、第2章で提案した分析手法を用いて分析を実施している。その結果、両プラントにおける問題点の発生傾向は似ていること、及び共通して発生している手順書の問題点の項目は、手順書の作成者では「手順に必要な事項が記載されていなかった」、操作者では「操作に関する認識が不足していた」「手順書の内容を確認したが、必要な操作を実施しなかった」「操作前（又は操作後）の現地確認が出来ていなかった」であることがわかった。また、手順書の操作目的を運転と保全（以下、新分類）として、これまで旧分類で実施した分析結果を新分類にて再分析した。その結果、共通して発生しているトラブルの問題点の発生傾向は旧分類と同様であるが、より詳細な発生傾向を示している。これらを整理した結果として、旧分類による分析結果の単独及び複数の場合についての比較表を表3-14、及び表3-15に、旧分類と新分類における分析結果の比較表を表3-16、及び表3-17に示す。

表 3-1 4 分析結果の比較表（単独の場合）

NUCIA	PEC-Safer
<ul style="list-style-type: none"> ・ I-(1)-①「作成する必要があったが、失念した」 ⇒ チェックリストの作成忘れ多い ・ I-(3)-①「手順に必要な事項が記載されていなかった」 ⇒ 手順書に必要な情報の抜け ・ Ⅲ-(2)-①「操作者の操作に関する認識が不足していた」 ⇒ 操作者が情報の記載漏れに気づかず ・ Ⅲ-(1)-②「手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(又は思い込み)で操作(又は判断)した」 ・ Ⅲ-(1)-⑤「手順書の内容を確認したが、必要な操作を実施しなかった」 ・ Ⅲ-(3)-①「操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった」 ⇒ 操作者は手順書通りに操作しているが、内容は理解していない 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ 定常的な操作手順書の作成忘れ ⇒ 手順書に必要な情報の抜け ⇒ 操作者が情報の記載漏れに気づかず
<ul style="list-style-type: none"> ・ Ⅲ-(2)-①「操作者の操作に関する認識が不足していた」の発生が少ない。 ⇒ 操作者への教育レベル高 ・ Ⅲ-(1)-⑤「手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった」 ⇒ 装備品の装着忘れ発生 	<ul style="list-style-type: none"> ・ I-(3)-④「手順自体が間違っていた」 ⇒ プラントの複雑さが影響 ・ Ⅲ-(2)-④「操作者は誤操作を認識出来なかった」 ⇒ バルブ操作を誤る可能性高 ・ Ⅲ-(2)-②「操作者は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした」が多発 ⇒ アラーム頻度が多く、マンネリ化

表 3-1 5 分析結果の比較表（複数の場合）

NUCIA	PEC-Safer
<ul style="list-style-type: none"> ・ Ⅲ-(2)-①「操作者の操作に関する認識が不足していた」 + I-(3)-①「手順に必要な項目が記載されていなかった」 ⇒ 操作者は手順書に記載された通りに操作を実施する傾向が強い 	<ul style="list-style-type: none"> + Ⅲ-(3)-①「操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった」 ⇒ 作成者は認識不十分のため、手順に必要な事項が記載できていない 操作者は必要な事項の記載がなくて、そのまま操作を実施する。 又は、現地の確認を怠る傾向が強い。
<ul style="list-style-type: none"> ・ I-(3)-①「手順に必要な事項が記載されていなかった」に関連する項目が多い。 ⇒ 手順書の完成度が非常に高いが、情報の記載漏れが発生 + I-(1)-①「作成する必要があったが失念した」 + I-(2)-①「作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった」 + Ⅲ-(3)-③「現地の状態確認抜けその他」 ⇒ 検討段階でのコミュニケーション不足 ・ I-(3)-① + I-(3)-③「手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった」 + Ⅱ-(1)-①「手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった」 + Ⅱ-(1)-②「手順書の手順を確実に実施する工夫がされていなかった」 + Ⅲ-(1)-②の「手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(又は思い込み)で操作を実施した」 ⇒ 手順書の作成者と操作者のスキルの整合性不備 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ⅲ-(2)-①「操作者の操作に関する認識が不足していた」との関連性が強い。 ⇒ プラントの構造が変化しやすい、操作者が操作の理解不足 + Ⅲ-(2)-②「操作者は現場の状況、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした」 + Ⅲ-(3)-①「操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった」 ⇒ 操作者の操作教育レベルが低い、プラントが複雑で現地確認が難しい、手順書を現地に持っていく事を忘れるなど ・ Ⅲ-(3)-①「操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった」 + Ⅱ-(1)-②「手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった」 ⇒ 手順書の記載内容と現地との整合性が取れない

表 3-1 6 再分析結果の比較表（旧分類）

NUCIA	PEC-Safer
<ul style="list-style-type: none"> ・Ⅰ-(1)-①「作成する必要があったが、失念した」 ・Ⅰ-(3)-①「手順に必要な事項が記載されていなかった」 ・Ⅲ-(1)-②「手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(又は思い込み)で操作(又は判断)した」 ・Ⅲ-(1)-⑤「手順書の内容を確認したが、必要な操作を実施しなかった」 ・Ⅲ-(2)-①「操作者の操作に関する認識が不足していた」 ・Ⅲ-(3)-①「操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった」 	
<ul style="list-style-type: none"> (・Ⅲ-(2)-①「操作者の操作に関する認識が不足していた」が少ない) (・Ⅲ-(1)-⑤「手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった」) 	<ul style="list-style-type: none"> ・Ⅰ-(3)-④「手順自体が間違っていた」 ・Ⅲ-(2)-④「操作者は誤操作を認識出来なかった」 ・Ⅲ-(2)-②「操作者は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした」

表 3-1 7 再分析結果の比較表（新分類）

NUCIA	PEC-Safer
<p>(運転・保全共通)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Ⅰ-(3)-①「手順に必要な事項が記載されていなかった」 ・Ⅲ-(2)-①「操作者の操作に関する認識が不足していた」 ・Ⅲ-(3)-①「操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった」 <p>(保全のみ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Ⅱ-(1)-①「手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった」 	
<p>(運転・保全共通)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Ⅰ-(3)-②「手順書の表記内容が誤っていた」 ・Ⅰ-(3)-③「手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった」 ・Ⅱ-(1)-②「手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった」 ・Ⅱ-(1)-④「手順書の誤りに気がつかず、そのまま操作を実施した。」 ・Ⅲ-(1)-②「手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は判断)した」 <p>(保全のみ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Ⅰ-(1)-①「作成する必要があったが、失念した」 ・Ⅰ-(2)-①「作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった」 ・Ⅰ-(4)-①「以前発生した不具合事象が手順書に反映されていなかった」 ・Ⅰ-(4)-②「手順は検討されていたが、手順書に反映されていなかった」 ・Ⅲ-(1)-④「手順書に必要な事項が記載されていなかったため、必要な操作を実施しなかった」 ・Ⅲ-(1)-⑤「手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった」 	<p>(運転・保全共通)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Ⅰ-(1)-①「作成する必要があったが、失念した」 ・Ⅰ-(2)-①「作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった」 ・Ⅰ-(3)-④「手順自体が間違っていた」 <p>(運転のみ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Ⅲ-(2)-②「操作者は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした」 ・Ⅲ-(1)-⑤「手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった」 <p>(保全のみ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Ⅲ-(2)-④「操作者は誤操作を認識できなかった」

第4章 分析結果から考えられる具体的な対策の検討

4.1 手順書の生成過程における問題点の発生箇所について

第3章では、トラブル事例データベースの NUCIA 及び PEC-Safer のトラブル事例から手順書の不備を原因とするトラブル事例を分析し、手順書の問題点の要因を手順書の生成過程、及び関与者に対応させて整理した。ここでは、整理した分析結果より、手順書の生成過程と関与者別に、特に多く発生している手順書の問題点の要因の発生状況を明らかにする。次に、明らかとなった手順書の問題点の要因の発生状況に対して、どのような対策が考えられるかについて、関与者別に述べる。まず、整理した NUCIA 及び PEC-Safer の分析結果をもとに、手順書の不備を原因とする、特に多く発生している問題点の項目と、図2-3の手順書の生成過程フローモデルにおける発生場所の対応を図4-1に示す。

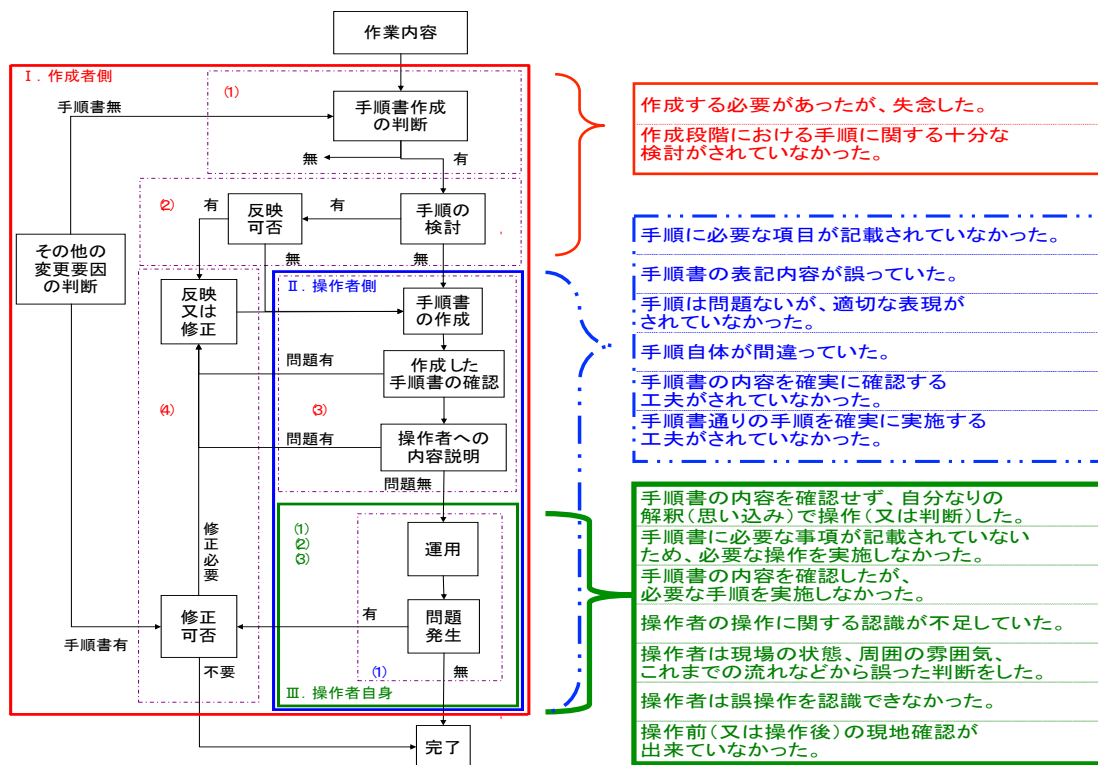


図4-1 発生しやすい問題点の項目とフローモデルの対応図

図4-1に示すように、多く発生している手順書の不具合が原因によるトラブルの問題点は、手順書の生成過程全般で発生している。また、問題点も単独あるいは複数発生していることが明らかとなった。本研究では、これらの問題点の発生を防止する具体的な対策を検討することを目的の一つとしているため、これらの分析結果から考えられる対策の方向性について、手順書の関与者別に以下に考察する。

まず、手順書の作成者については、手順書の作成を失念することや、作成段階での手順に関する検討が不十分なことが多く発生している。これらの手順書の問題点の要因に対しては、手順書の作成段階における手順書の作成や必要な情報の判断のミスを防ぐ対策が必要であると考えられる。手順書の作成にあたっての必要な情報の選択は、手順書を使用する操作者のスキルとの整合性を持たせる事が重要である。加えて、手順書の作成者は手順書に記載すべき情報を、操作者の負担にならない程度の量に纏めなければならないことに注意が必要である。プラントの特徴を考慮した手順書に記載すべき情報の例として、石油精製プラントでは複雑で変化しやすいプラントの構造に関する情報、また原子力プラントでは、物理や化学などの基本的な情報に加え、専門的な用語や知識などがある。これらは情報量が多いため、手順書に記載すべき情報を操作者の負担とならない程度に編集するのは非常に難しい。また、手順書の使いやすさの面から考えると、手順書に記載する情報を増やすことは、紙媒体の場合は分厚い手順書となる上、文字数も増えてくるので読みづらくなり、結果として使いにくくなる。そうならないための対策として、作成者の情報の収集方法、及び適当な情報量の選択方法を検討する必要がある。

また、手順自体の間違いや手順書の表現方法、及び操作者に手順書の操作を確実に実施、又は確認させるための操作者への意思の伝達方法など、作成者のスキルに関係する手順書の問題点の要因についても、手順書に必要となる現場の構成確認や操作者への説明方法などを工夫する方法を、手順書の作成段階において検討する必要があると考えられる。

また、石油精製プラントでは手順書自体の間違いが多く発生していること、及び原子力プラントではチェックリストの作成忘れなどが発生していることから、手順書の生成過程においてこれらの問題点の発生を軽減させる方法もあわせて検討する必要がある。

次に、手順書の操作者については、基本的には手順書通りに操作しているが、中には操作内容に関する理解不足や基本的事項の欠如により、手順書通りの操作の確認や実施を怠ったり、誤操作を認識できなかつたりする場合がある。そのため、操作者に対して、手順書の操作に関する理解を深め、手順書の操作に不備があった際の判断が容易に可能となる方法を検討する必要がある。特に、石油精製プラントでは、操作者の操作に関する認識不足が関係しているトラブルが多く発生しており、不足しがちな操作に関する情報を補うことが重要である。そうすれば、操作者が手順書の不具合を判断出来るようになり、手順に必要な事項が記載されていないことによって誤った操作や判断を防ぐことが出来るようになる。

また、操作前後における現地の状態確認を実施しない傾向もあるため、操作者が操作前後の現地の状態を確認させるような方法も検討する必要があると考える。さらに、操作者が操作中における環境（周囲、時間的圧迫など）での操作ミスを軽減させるような対策も必要である。加えて、操作者が手順書の操作について理解出来ないとき、あるいは疑問が生じた場合に他の関係者へ容易にコミュニケーションを取る事が出来るような仕組みも検討する必要がある。

最後に、作成者と操作者については、同時に発生しやすい問題点の分析結果から、手順書の内容と操作者のスキル（理解度）の整合性を一致させる必要がある。特に、石油精製プラントは複雑な構造であるため、作成者は手順書の手順と現地の表示などを対応させて手順書に表現する必要がある。そして、操作者は作成者が作成した手順書の手順に従って、現地の機器を正しく操作しなければならない。そのために、作成者は操作者の立場で手順書を作成し、操作者は手順書の内容を理解するための事前準備・予備知識の向上などを実施させるような方法を検討する必要がある。

4.2 具体的対策の検討の実験で使用する手順書の様式の検討

4.1 では、第3章の分析結果から考えられる手順書の問題点の要因に対する対策の方向性について考察した。本研究では手順書の問題点の要因に対する具体的な対策の方向性を検討することを目的としているため、ここでは必要となる手順書の様式について調査し、実験で使用する手順書の様式を提案する。

手順書は、手順書の作成者によって手順書の生成過程[33][34]にて作成され、操作者によって使用されている。手順書の作成者は、この手順書の生成過程のうち手順の検討、手順書の作成、及び作成した手順書の確認の各ステップにおいて、手順書を作成していく。ここでは、これから実施する具体的対策の検討に必要とされる手順書の様式について検討する。

手順書は、Web サイト[35][36][37]や参考文献[19][38]から入手した一般的に公開されている手順書などをよく読んでみると、会社によって表記方法やレイアウトは若干異なるが、手順書のタイトルや、各操作の手順、注意事項など、ある程度同じような情報の単位で構成されているということに気がついた。そこで、これらを参考に、これまでの手順書の作成業務経験を加えた形で、実験で使用する手順書の様式を図4-2に整理した。図4-2中の①～⑩は、手順書の様式を整理する際に参考とした情報、及び NUCIA 及び PEC-Safer の分析結果[34]のうち、「手順書に必要な事項が記載されていなかった」に分類された内容を、図4-2の様式の該当する情報の単位に振り分けて整理したものである。その内訳は以下の通りである。

(手順書を構成している情報の内訳)

- ①手順書のタイトル：手順書自体のタイトル
- ②操作の目的：手順書の操作を行う目的
- ③手順書の作成者、確認者等：手順書の作成者や内容を確認した確認者など
- ④操作自体のタイトル：各手順の操作タイトル
- ⑤操作内容の説明：操作に関する説明
- ⑥各操作の手順：実施する操作手順自体
- ⑦備考欄（手順書の手順に直接又は間接的に必要と考えられる情報）
：各操作後の正しい状態、各操作に必要な目標値、各操作における注意事項、補足事項、又は情報、チェックリストなどの資料
- ⑧緊急時の手順（間違い時の戻り手順）
- ⑨重要な手順のメリハリ
- ⑩同時に実施しても良い手順の表記

手順書 No.

模擬火力発電プラント 操作手順書

操作名: ①

目的 (②)

③

承認	確認	作成

作成年月日: 2014年2月18日

修正年月日: 年月日

主要項目	操作内容	備考
④	⑤、⑥、⑧、⑨、⑩	⑦

図4-2 実験で使用する手順書の様式

4.3 実際に発生しているトラブルに関する情報の整理

図4-2中①～⑩で述べた情報の内訳に、第3章で実施したトラブル事例の分析結果のうち、「手順書に必要な事項が記載されていなかった」に分類された問題点の分類項目に記載されていた情報の一つひとつを振り分け、原子力関係 (NUCIA)、及び石油精製関係 (PEC-Safer) に分けて整理した。その結果、操作に必要な情報の抜けが多いなど、トラブルに結びつきやすい情報の傾向についてより具体的に整理する事が出来た。その傾向については以下のようになった。

4.3.1 原子力関係（NUCIA）の情報の抜けの傾向

⑦：55件（運転側：7，保全側：48）

運転側では，操作内容に関する情報（流量検出器や放射線の管理など作業に必要な情報）や，EPS 装着確認のための情報などの抜けが発生している。

保全側でも，操作内容に関する情報（作業前の実施事項，点検未実施弁の点検，汚染の可能性があるダクトや配管，教育，危険物の種類・使用量など，作業や試験に必要な情報）や，作業に関する注意事項（炉心近くでの作業，アースチェック時，短絡について）の情報の抜けが発生している。

また，より具体的な作業に関する情報（ナット類の緩み確認箇所，電工ドラムの使用方法，アイマーク記入，事前の十分な洗浄，被験者へのアナウンスの実施など）の抜けも発生している。

⑥：27件（運転側：2，保全側：25），

運転側では，操作に使用するホースの接続先，主油タンクの油面回復手順・油サンプル調査方法・定期的な異常徴候の監視・運転パラメータの確認・機器の運転などの情報の抜けが発生している。

保全側では，ホールドポイント，停止位置，詳細手順，操作する弁，ダンパーの調整方法，警報のクリアー確認，排水の接続，ストッパーの取付け要領，掛しろの測定方法，具体的な手順（運用，275 kV 操作），基本手順事項，リセットボタンを押すこと，端子締め付け確認後の具体的手順，確実に残水を排水する，シーケンス盤の復旧，ドレンポンプの分解点検後の確認事項，待機状態の確認，保護カバーの取り扱い，モニター健全性の確認，プリコートポンプ排水弁の監視，水分や異物がないことの確認，アキュムレータの操作など多くの情報の抜けが発生している。

また，操作に関する具体的な目安となる情報では，判断基準や警報設定値，運転上の制限，グラウンド押さえの位置，フランジの隙間管理，タイマーの位置・記録・確認）の抜けが発生している。加えて，操作に関する情報（ブラシスプリングの外形寸法測定・はめあいの確認，分電盤及びブレーカーの目的，燃料移動中の定義・期間）の抜けも発生している。

⑧：4件（運転側：1，保全側：3）

運転側では、自動インターロック動作時の処置に関する情報の抜けが発生している。保全側では、排ガスフィルタ差圧が上昇した場合の対応、想定外の故障が発生した場合の対応、火災発生時の連絡方法の情報の抜けが発生している。

4.3.2 石油精製関係（PEC-Safer）の情報の抜けの傾向

⑦：25件（運転側：13，保全側：12）

運転側では、操作内容に関する情報（作業に必要な事項、施工管理・安全管理に関する項目、手順に必要な事項）の抜けが発生している。運転側としては原子力関係に比べて、発生件数が多い。

保全側でも、操作内容に関する情報（まし締めに関する事項、非定常作業における情報、作業に必要な事項）の抜けが発生している。また、より具体的な作業に関する情報（点検周期、静電気対策、可燃性ガスの検知方法、運転開始前の状態量、着火源の持ち込み、運転切替のケース、外装板腐食、高温・高圧時の設備のまし締め対応、タンク開放点検中の安全対策、ホットスポットの発見方法・出来ない運転方法、コールドボルティングのタイミング）などの抜けも発生している。

⑥：15件（運転側：7，保全側：8）

運転側では、操作に必要な手順（定期的な水抜き作業、水分含有量確認試験、油移送後のエア抜き出し、水素化分解装置の操作方法、手順に必要な事項、アキュムレータからの回収とその後の対応、フランジボルトの緩み確認）の情報が抜けている。

保全側では、操作に必要な手順（塔温度上昇時の対応、ポンプの空引き防止方法、作業前の危険議論、洗浄油配管の取り外し、仕切り板挿入の義務化、メタノールタンクへのパージ作業）の情報が抜けている。

⑧が4件（全て運転側）

運転側においては、トラブル発生時における緊急時の手順（ポンプが逆流した時の処置、サンプリング用配管が閉塞している場合の対応、緊急時の対応など）の情報が抜けていた。

4.4 NUCIA と PEC-Safer における手順書の情報の抜けの特徴

4.3 で述べた NUCIA と PEC-Safer における手順書の情報抜け分類結果から、各プラントに共通する情報の抜け、及び各プラント特有の情報の抜けの特徴について整理する。

4.4.1 共通する情報の抜けの特徴

⑦の操作に関する情報の抜けは、どちらのプラントにおいても多く発生している。NUCIA では、運転側としては発生件数が少ない。これは、原子力プラントの運転オペレーターは、ある程度教育訓練がされているためではないかと考えられる。しかしながら、保全側の場合は、運転側に比べて発生件数が多い。これは、作業者は社員以外の外部者も多いことから、教育のレベルが運転側に比べて低いのではないかと考えられる。加えて、手順書の作成者は、社員以外の作成者が作成されているケースもあり、手順書の操作に関して必要な情報は網羅して作成していても、実際には確実に作業を実施するために必要な情報として抜けが生じる可能性が高いと考えられる。特に、操作者が知っているものと考えられるような手順（電工ドラムの使用方法、アイマーク記入、ナット類の緩み箇所確認）の記載が抜けていることで、トラブルに結びついている。手順書の作成者は、手順書を使用する操作者のスキルもある程度考慮して、手順書を作成する必要があるのではないかと考えられる。

PEC-Safer では、運転側・保全側ともに、手順書の操作を安全に確実に実施するために必要であったと考えられる情報が抜けている。運転側の発生件数が多いのは、原子力プラントに比べてプラントの構造が複雑なため、手順書に記載すべき情報が抜けやすいのではないかと考える。分類結果では、運転開始前の状態量や、運転切り替えのケースなどの抜けが発生している。また、静電気対策や可燃性ガスの検知方法、着火源の持込など、手順書の操作に関係する情報の記載が抜けている。運転側においても、操作に関係のある注意事項や補足事項は、記載したほうがよい場合もあるようである。保全側については、操作に関する情報や注意事項（高温・高圧時のまし締め対応、タンク開放点検中の安全対策、ホットスポットの発見方法、コールドボルティングのタイミング）などの抜けが発生している。手順書の作成者は、このような情報もある程度記載するように手順書を作成したほうがよさそうである。

⑥の手順書に必要な情報の漏れは、手順書の操作を確実に実施させるという視線での検討が必要であると考えられる。NUCIAでは、現場におけるより具体的な手順の詳細（ホースの接続先、主油タンクの油面回復手順、ホールドポイント、操作する弁、ダンパーの調整方法、係りしろの測定方法、シーケンス盤の復旧、275kVの具体的な操作手順、リセットボタンを押すこと、端子締め付け確認後の具体的手順、ドレンポンプの分解点検後の確認事項、保護カバーの取り扱い、アキュムレータの操作など）の抜けが発生している。手順書の作成者や承認者の中では完成された手順書であったが、実施には情報の抜けによりトラブルが発生している。手順書の操作に必要な情報の選択はかなり難しいようである。手順書を作成する作成者や、手順書を使用する操作者の経験やスキルによって、記載すべき情報であるか否かの判断が必要となる。また、現場の確認に関する情報（停止位置、確実に残水を排水する、待機状態の確認、モニター健全性の確認、プリコートポンプ排水弁の監視、水分や異物がないことの確認）も多く発生している。

PEC-Saferにおいても、手順書の操作に必要な手順の抜けが発生している。運転側では、水分含有量確認試験や油移送後のエア抜き出し、水素化分解装置の操作、アキュムレータからの回収とその対応などである。また、定期的な水抜き作業やフランジボルトの緩み確認など、操作者のスキルによっては手順書に記載しなくても問題ないと考えられる手順が抜けているためにトラブルが発生している。保全側でも、手順書の操作に必要な手順（塔温度上昇時の対応、ポンプの空引き防止方法、洗浄油配管の取り外し、メタノールタンクへのページ作業など）の抜けが発生している。加えて、操作者のスキルに関係する情報（作業前の危険議論、仕切り板挿入の義務など）の抜けも発生している。手順書は手順書の作成者にて十分な検討がされた上で作成され、承認されているが、場合により手順の抜けが多く発生している。

⑧のインターロック動作時の処置の抜けがある場合でもトラブルが発生している。通常は、インターロック動作時には自動的に処置を行う事が多く、手順を確認する事が少ないと考えられる。また、このような緊急時の手順は別途検討された手順書が作成されているであろうと推定されるため、通常の手順書にはその内容は記載されていないのではないかと考えられる。

4.4.2 原子力関係（NUCIA）における情報の抜けの特徴

⑦では、手順書の操作を確実に決められた事項（判断基準、運転上の制限、グラウンド押さえの位置、フランジの隙間など）に実施させるために記入する必要がある情報の抜けが多く発生している。作業を確実に実施するための情報はある程度網羅する必要があるが、抜けが発生してしまっている。

加えて、全て保全側であるがブラシスプリングの外寸測定・はめあい確認、分電盤やブレーカーの目的、燃料移動中の定義などが手順書の情報として抜けていた。保全側では技術的な視点からの情報も、記載したほうがよい場合があると考えられる。

⑧では、自動インターロック動作時の処置の情報が抜けていた。原子力プラントは非常に複雑なシステムで構成されていると考えられる。しかしながら、インターロックが動作するようなトラブルの発生は非常に少ないようである。そのため、頻度は低いまでもこのようなインターロックが動作した際の処置を明確にしておく必要があると考えられる。

4.4.3 石油精製関係（PEG-Safer）における情報の抜けの特徴

⑧の緊急時の対応に関する情報の抜けによってトラブルが発生しやすい傾向がある。石油精製プラントでは、運転・停止の繰り返しや、反応物質を取り扱うため、緊急時の対応手順はより重要性を持つようである。そのため、緊急時の対応が迅速に出来るような仕組みが必要であると考えられる。

以上のことから、手順書の様式のうち、図4-3に示される各場所に記載されている情報の抜けが多く発生していることを明らかにすることが出来た。同じようなトラブル事例の発生を低減させるためには、トラブル事例の要因として多く関係している情報の取り扱い方法について検討する必要がある。

手順書 No.

模擬火力発電プラント 操作手順書

操作名：

目的（

承認	確認	作成

作成年月日：2014年2月18日

修正年月日： 年 月 日

主要項目	操作内容	備考
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">⑥、⑧</div> 共通	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">⑦</div>

図4-3 情報の抜けが発生しやすい手順書の情報の位置

4.5 分析結果から考えられる具体的な対策の検討

4.1で整理した対策のうち、特に多く発生している問題点の分類項目については、比較的大きな効果が期待出来ると考えられる事から、より具体的な対策について検討する。本研究では手順書の関与者に対する具体的な対策の検討も行うこととしており、関与者がおかれている環境を考慮する必要があると考え、組織の中における生産性と安全性の目的を達成させる為に与えられる手順書の考え方[39]を参考に、手順書の生成過程での手順書の作成者と操作者それぞれの立場で考える必要のある対策と、作成者と操作者両方の立場で考えなければならない対策の方向性について検討した。

手順書の作成者としては、操作者に対しての手順書の信頼性が薄れると、手順書を無視する傾向があることに十分注意しておく事である。手順書进行操作する操作者は、組織の中の一員として、安全と生産を両立させる事を意識しながら、ある決まった時間の中で目的を達成するために手順書の操作を実施している。その為、手順書が操作者にとって目的が達成出来る内容（読みやすさや精度など）であれば、操作者は手順書をもとに操作を実施する。しかしながら、目的が達成出来ない内容（手順の間違が多い、表現が冗長化しているなど）の場合、操作者は手順書の内容を無視する傾向があるため、注意が必要である。また、手順書の持つ主目的によって双方の書き方が異なるという部分も気をつけなければならない。特に保全関係の作業手順書では、タスクの一部を忘れる傾向が強い事から、保全関係の作業手順書の作成時に注意する必要がある。

手順書の操作者の観点から見た場合においても、作成者に対しての手順書の信頼性が薄れると、手順書を無視する傾向がある。特に経験の豊富なベテラン操作者はその傾向が強くなることに十分注意する事である。確かに、十分に検討されて作成された手順書も、その手順書で操作する事によりトラブルが発生する可能性は常にあると考えられる。それでも、経験の浅い操作者（以下初級者と呼ぶ）は、初めて操作する時は、手順書通りに操作を実施するであろう。しかし、手順書通りに実施した結果として、トラブルが発生してしまうと、手順書通りに操作した事に対する信頼性（手順書の作成者や手順書の操作自体に対する信頼性）も薄れていく。それでも、初級者は手順書に従うしか方法がなく、手順書を無視して操作をする可能性は低いと考える。それに対して、ベテラン操作者は手順書の手順が誤っていることに気がつく時、そこで操作を中断するか、手順書とは異なる方法で操作して、誤った手順を回避しようとする。その頻度が増えると、手順書に対する信頼性が薄れ、手順書を無視して操作するようになるのではないかと考えられる。手順書はその手順書の作成者が持つスキルによって完成度が異なるため、場合によって手順書を無視した対応を取らないといけないう事もある。操作者として、手順書の作成者に対して、逆に信頼性を高めるために不足している事については何かの形で伝えるようにする必要がある。

最後に、作成者と操作者の立場では、手順書は操作する目的となる内容について、作成者と操作者を繋ぐ重要な台本のような存在であるという認識を持ってほしいという事である。手順書自体は、組織の中では外部コントロールとして様式や表記方法

が決められており、それらは容易に変更出来ない。その制約はあるにしても、手順書に記載される内容と記載された内容を実施する事については、作成者と操作者の持つスキルの違いなど、内部コントロールで構成されている。そのため、手順書は作成者から操作者に対してのみ書かれるだけでなく、書かれた内容を実施する事に対して修正や変更があるならば、操作者から作成者に対してフィードバックするといったように、手順書の内容を修正する事が可能である。個人的な意見になるかもしれないが、手順書に従わなくてもよい手順なども作成者と操作者がこういった認識を持つ事で、整理できるのではないかと考える。このように、作成者と操作者を繋ぐ台本のような存在として、手順書の完成度を高め、作成者と操作者にとって完成度の高い手順書にしていくような認識を持つことで、手順書の信頼度も向上すると考えられる。

これらをふまえ、手順書の問題点の要因に対する具体的な対策についての検討結果を表4-1に示す。ここで、表4-1の各項目については、これまでの分析結果[34]から多く発生している手順書の問題点の項目である、図4-1に示された手順書の問題点の項目の関連性も考慮して検討している。加えて、表4-1の対策と手順書の生成過程との関係をフロー図として図4-4に整理した。表4-1及び図4-4のA~Lは、問題点に対する具体的な対策項目を、図4-4の実線部は手順書の生成過程を、点線部は具体的な対策項目をそれぞれ示している。この表4-1と図4-4により、手順書の不備を原因とするトラブル事例における手順書の問題点の要因の具体的な対策が示された。

このように、これまでの分析結果[34]をもとに、実際に発生している手順書の不備を原因とするトラブルの問題点のより具体的な対策を、手順書の生成過程とその関与者別に整理することが出来た。これらの具体的な対策は手順書の関与者全体に対して検討された項目であり、これまでのように手順書の作成者や操作者のみに対して検討されてきた対策の検討方法とは異なるため、部分的な対策に比べてより多くの効果が期待できるといえる。加えて、これまで実施されてきた関与者に対する部分的な対策成果も応用出来るため、効果的な研究結果を取り入れることで相乗効果が期待できる。

表 4-1 検討した具体的対策（実験項目）と手順書の問題点の項目の関係表

実験項目	問題点項目No.	No.	手順書の問題点の項目
A 手順書の内容と操作者のスキルを一致させるために必要な情報	3, 4, 5, 10, 12, 14	1	作成する必要があるが、失念した。
B 手順に必要な情報の漏れ防止	1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 12, 15	2	作成段階における手順に関する十分な検討がされていなかった。
C 操作者に負担とならない程度の纏め方	3, 7, 8, 11	3	手順に必要な項目が記載されていなかった。
D 手順自体を間違わせない、作成者へのスキルサポート	2, 6	4	手順書の表記内容が誤っていた。
E 操作者の理解度を高めさせる方法	5, 7, 8, 12, 15	5	手順は問題ないが、適切な表現がされていなかった。
F 手順書の問題点を判断させる	4, 6, 12, 14	6	手順自体が間違っていた。
G 手順書の慣れ具合による必要情報の種類	9, 11, 15	7	手順書の内容を確実に確認する工夫がされていなかった。
H 時間的圧迫などの制約条件による操作ミスの低減	9	8	手順書通りの手順を確実に実施する工夫がされていなかった。
I 操作前後の確実な現地確認の実施による操作ミスの低減	7, 8, 11, 15	9	手順書の内容を確認せず、自分なりの解釈(思い込み)で操作(又は作業)した。
J チェックリストの有無による操作ミスの減少	1, 11, 12	10	手順書に必要な事項が記載されていないため、必要な操作を実施しなかった。
K 安全な状態に戻す手順の追加による緊急対応向上	9, 10, 11	11	手順書の内容を確認したが、必要な手順を実施しなかった。
L 操作後の正常な状態の記載による操作ミスの低減	12, 13, 14, 15	12	操作者の操作に関する認識が不足していた。
		13	操作者は現場の状態、周囲の雰囲気、これまでの流れなどから誤った判断をした。
		14	操作者は誤操作を認識できなかった。
		15	操作前(又は操作後)の現地確認が出来ていなかった。

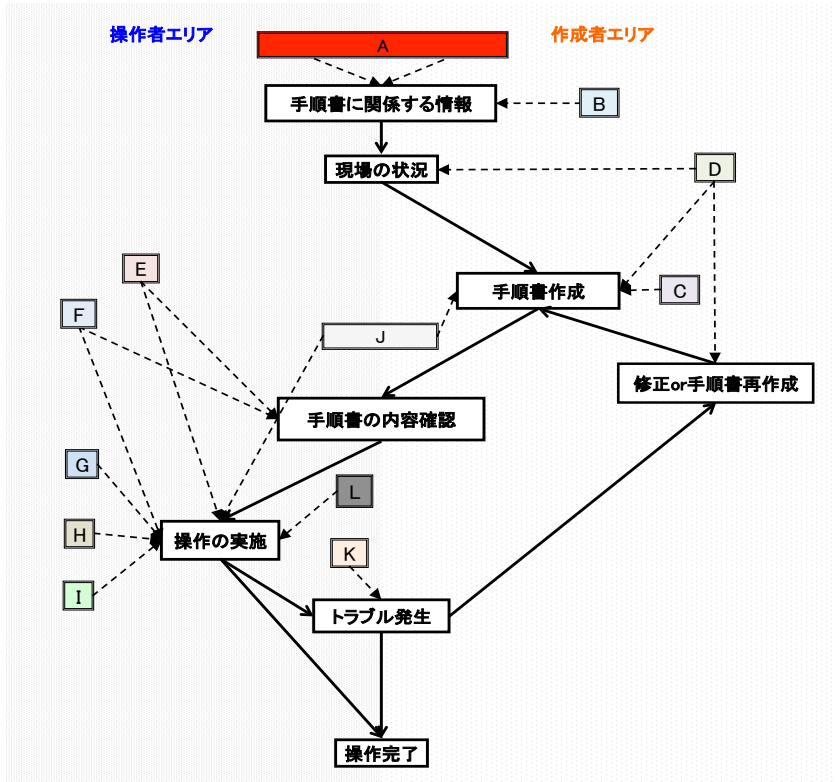


図 4-4 手順書生成過程と実験項目の関係

4.6 まとめ

本章では、第3章の分析結果から、手順書の生成過程と関与者別における問題点の発生傾向について整理し、それぞれに対応する具体的な対策の方向性について検討した。実験で使用する手順書の様式は、10種類の情報によって構成されることを説明した。次に、トラブルに関係の深い情報の調査のため、これまでの分析結果のうち「手順書に必要な事項が記載されていなかった」に含まれる情報を詳細に再分析し、提案した手順書の様式に当てはめ、「各操作の手順」、「備考欄の情報」、「緊急時の操作」に関する各情報の記載漏れがトラブルに深く関係していることを明らかにした。これらの結果をもとに、手順書の作成者で3件、操作者で7件、作成者と操作者で2件の具体的な対策を検討した。

第5章 具体的な対策からの実験テーマの選択と 実験方法の検討

5.1 実験テーマの選定

第4章では、これまで分析した手順書の不備を原因とするトラブルの問題点について、手順書の生成フローと関与者を関連づけて整理し、具体的な対策について整理した。本章では、この中から効果的な対策案を選択し、実験にて対策の有効性を評価することとした。テーマの選定については、対策の影響度に加え、発生件数が多く関与者が手順書の作成者と操作者が対象となるテーマである、表4-1及び図4-4中の対策項目「A」の「手順書の内容と操作者のスキル（理解度）を一致させるために、必要な情報の種類を確認する」を選択した。実際の現場においても、手順書に必要とされる情報については、手順書に記載されるだけでなく、第2章で述べたように手順書の生成過程の説明、教育訓練、及びOJT(On the Job Training)などで操作者に対して提供されている。ただし、これらの情報は実際の業務で実施される社内情報として取り扱われているため、一般的に公開されることが少ないことから、効果の程度についての検証が困難である。しかしながら、手順書の作成者に対して、操作者に対してどのような情報をどの程度記載すべきであるかについては、現段階において参考となる文献はほとんど見受けられない。このような現状も含め、実験的に明らかにすることとした。

5.2 備考欄に記載されている情報の種類と手順書の関与者との関係について

実験で取り扱う情報の選定については、4.4の結果から特に情報⑦の備考欄に記載されている情報は第3章の分析結果からもわかるように、トラブル発生時の問題点として多く取り上げられており、手順書の情報として比較的重要であると考えられる。そこで、本研究では、情報⑦の備考欄に記載されている情報の記載の有無と、操作者のスキルとの関係について、実験にて明らかにする事とした。備考欄に記載されている情報の内容については、4.4の内容からもわかるように、手順書の操作説明やバル

ブの操作タイミングなどのアドバイス，又は目標となる数字など非常に多くの種類に分けられる．また，備考欄に記載されている情報は，手順書の作成者によって手順書の中に記載する事の有無や手順に含めず備考欄へ記載するなどの判断がされている．この判断は，実際の現場では，手順書の作成者が手順書を使用する操作者のスキルや，手順書の使いやすさなどを想定して手順書を作成していると考えられる．このことから，手順書に記載すべき情報の必要性の判断や，記載すべき場所などを操作者のスキルに関連づけた形で整理することで，安全に確実に操作が実施出来る手順書が作成出来るのではないかと考えた．そこで，備考欄に記載されている情報の種類と，操作者にとっての意義について，以下に考察する．

はじめに，これまでの業務経験，Web サイト[35][36][37]や参考文献[19][38]などを参考に，備考欄に記載されている情報の種類について分類した．その結果，以下の7種類の情報に整理された．なお，a～fに整理された情報の妥当性を確認するために，a～fの記述例を実際の手順書に記載されている情報の表現から抜き出した形で，表5-1に整理した．

(手順書の備考欄に記載されていた情報の種類)

- a. 手順書の操作に必要な事前条件
：ガス圧力〇〇kg/cm²以上
- b. 手順書の各操作内容が異なった場合の対応
：もし異なる場合は～とする．
- c. 緊急時の操作
：緊急に操作したいときは，〇〇を××する．
- d. 手順書の各操作についての目的
- e. 手順書の操作実施後の目安となる情報
：給水量の指示が10t/h以上になる．
：バルブが開いている事を確認する．
- f. 手順書の操作を行う上でのポイントやアドバイス
：バルブはゆっくり操作する．
- g. その他（連絡先の内線番号，関連する手順書の番号，など）

これらの情報は，操作者にとっては情報の捉え方によって2種類に大別することが

出来る。すなわち、手順書の手順に直接関係する情報と関係しない情報である。前者の情報としては、分類項目の a, b, c であり、それぞれ、知見不足をフォローする情報、プロセスの必須条件、緊急時対応と考えることができる。これらの情報は、手順書の手順を安全に確実に進めるために必要な情報である。これらに対して、手順に直接関係しない情報については、分類項目の d, e, f が該当し、それぞれ、手順の目的の理解、判断エラーの防止、思い込みの防止のために情報が提供されている。すなわち、手順書の手順を実施する操作者を補助する意味を持つ内容の情報である。

表 5-1 備考欄に記載されている情報の種類とその具体例

備考欄に記載されている情報の種類		記載されている情報の例
a	手順書の操作に必要な事前条件	××は現在使用していない(その理由は…) ----- ××の条件は①…、②… これをするためにはA=×、B=●とする。 ----- ガス圧力○○kg/cm ² ----- 給水量 10t/h ----- サンプリング箇所 ●と×
b	手順書の各操作結果が異なった場合の対応	(確認事項)であること。もし異なる場合はAを○○しておく。 ----- 又は～(別の操作)でもよい ----- 前の手順で操作したいが、Aの設備が振れるのを避ける場合などに行う。 ----- もし信号出力が増加しにくいときは、○○を××するののも一つの方法である。 ----- もしその他の値の時にはその比率により状態は小さくなる
c	緊急時の操作	緊急に操作したい時は、○○を××したほうがよい。
d	手順書の各操作についての説明	この操作で××が動く ----- 常にノブ目盛はスイッチ開度と等しい ----- スwitchの開度が元より増加するため ----- 設備の停止(または起動) ----- ～の信号が入ってくるため
e	手順書の各操作実施後の目安となる情報(操作前後の確認も含む)	現場設備に異常がないことを確認する ----- ～の××が動作していないことを確認する ----- 蒸気量15t/hで、開度60% ----- ××が全開であることを確認する ----- ～にてモード切替とする。
f	手順書の操作を行う上でのポイントやアドバイス	状態量を記録する ----- タービントリップ等ボイラー圧力上昇時は他の弁も操作可能としておくこと ----- ○○変更は徐々に行うこと ----- ボイラーへの給水が始まるまでは慎重に行うこと ----- ①操作 ← ○○の条件が整ったあとに実施する

このように、備考欄に記載されている情報は、手順書の手順に対して情報の持つ必要性について2種類に分類された。これらの情報は操作者のスキルが向上することによって、手順書に記載されていなくても支障ないものもあり得る。その判断は、手順書の作成者が、操作者の持つスキルを考慮した上で行っている。

これに対して、操作者の立場から見た場合、手順書の作成者の判断と操作者のスキルとの整合性が必ずしも一致するとは限らない。特に、操作者のレベルとして初級者は基本的に全ての情報が必要であるが、中級者から上級者にレベルアップするにつれ、情報の種類によっては、手順書に記載されていなくても、操作時に気がつくとか応用が効くなどの対応が可能となるためである。中でも、初級者と中級者の間では、これらの情報の必要性がかなり異なってくるのではないかと考えられる。そこで、文献を参考にして、初級者と中級者の特徴をまとめ、備考欄の情報の分類項目のうちで中級者にとっては記載されていなくても良いと考えられる分類項目を考察する。

まず、初級者の動作として山本ら[39]は手の動きが遅い（慎重である、影響度がつかめない、最終目標が見えない）、指示が出せない（操作を進めて良いか自信がない、応用力が少ない）傾向にあると述べている。

次に、危険に対する感受性について廣瀬ら[40]は、初級者は目立つ危険源を注視する事、事前に危険源を認識する能力が低下している、予想される被害が大きくないものには注視されないといった特徴がある。中級者は、全体に着目する事や、危険源に気がつきやすい、被害を適度に想定する傾向が見られると述べている。

プラントの操作画面に対する注視的傾向について五福ら[2]は、初級者は満遍なくキョロキョロと全体を見ているが、中級者はその傾向は画面全体の挙動を把握してから、徐々に狭まると述べている。

手順書の表現方法[38]では、初級者は、手順書に書かれる内容についての関連知識は持たない、わかりやすい表現の方が理解しやすい。中級者は、参照機能（推論機能や期待形成機能）を高める表現をすれば、必要な情報を自分で参照出来ると説明している。これらのことから、初級者、及び中級者の特徴を纏めると、表5-2のようになる。

さらに、これらの特徴を考慮して、備考欄に記載されている情報の必要性和操作者のスキルとの関係を表5-3に整理した。表において「○」は必要、「△」はある方が良い、「×」はなくても良いことを示す。

表5-2 初級者と中級者の特徴の比較

初級者	中級者
マニュアルに情報がないと対応出来ない。	マニュアルに情報がなくても、過去の経験によって対応出来る場合がある。
トラブル発生手前でリカバーや準備出来ない。	トラブル発生手前で、リカバーや準備出来る。
プラントの全体像がつかめていない。	プラントの全体像がつかめている。
マニュアルに書いてある情報が応用出来ない。	マニュアルに書いてある情報がある程度応用出来る。
危険に対する感受性が低い。	ある程度は、危険に対する感受性がある。

表5-3 操作者のスキルと備考欄の記載情報の必要性の関係

備考欄に記載されている情報の種類		手順書の作成者から見た操作者のスキルと情報の必要性	
		初級	中級以上
a	手順書の操作に必要な事前条件	○	○ → △
b	手順書の各操作結果が異なった場合の対応	○	○ → △
c	緊急時の操作	○	○
d	手順書の各操作についての説明	○	△ → ×
e	手順書の各操作実施後の目安となる情報（操作前後の確認も含む）	○	△ → ×
f	手順書の操作を行う上でのポイントやアドバイス	○	△ → ×

表 5-3 が示すように、情報の持つ種類別に分類された備考欄に記載の情報のうち、手順書の手順に直接関係する a, b, c の情報は、操作者のスキルが向上しても手順書の備考欄に記載したほうが良い。それに対して、手順書の手順に直接関係しない d, e, f の情報は、操作者のスキルが向上することによって、手順書の備考欄に記載しなくても対応可能であるといえる。したがって、手順書の作成者は手順書の作成段階において備考欄に記載すべき情報の判断が必要な場合は、操作者のスキルと情報の種類を対応させることで、備考欄に記載すべき情報の質と量が判断出来ると考えられる。

5.3 実験の目的

5.2 では、手順書の備考欄に記載された情報と、操作者のスキルとの関係について述べた。本節では、備考欄の情報と操作者のスキルとの関係を明らかにするための具体的な実験対象について述べる。

実験の検討を行うにあたり、操作実験の対象者は、操作者の持つスキルが実験結果に影響しないように配慮するため、初級者を対象とした。また、今回の操作実験では、操作の途中でトラブルの発生がなく、正常に操作が完了する事を想定している。

次に実験の目的であるが、本論文における実験の目的は「手順書を補足する備考欄の情報について、初級者にとっては、どのような情報が必要かを実験結果から明らかにする」として、表 5-3 で示した備考欄の情報のうち、初級者が操作時にどのような情報を必要としているのかについて実験によって確認することとした。

操作実験では、手順書の作成者が、第 1 章で述べた手順書の使用目的である、①プラントを安全に確実に操作可能とすること、及び②操作者の感性、能力や業務経験に関係なく、すべての操作者が正確にプラントを操作可能とすることを目的とし、初級者を対象とした実験用の操作手順書を作成する。この時、実験用の操作手順書は操作に必要とされる全ての情報が記載された手順書を基本に、確認したい備考欄の情報の種類別に、備考欄の情報を一部削除させた手順書を数パターン作成する。操作者は、作成者からいずれかのパターンの実験用操作手順書を受け取り、操作を実施する。その結果から、初級者が必要とする備考欄の情報の種類を明らかにするという形で実施する。

5.4 作業仮説の検討

5.3 では、本論文で確認する実験の目的について述べた。ここでは、実験結果を評価する方法を検討する。評価のパラメータとして、初級者にて比較的差が出やすいと想定される①～④の以下の4つの作業仮説を立て、実験的に検証することとした。

作業仮説：初級者には必要な情報を記載した方が、操作者が操作を完了させるまでの行動（以下、操作パフォーマンスという）が向上する。具体的な作業仮説は以下の通りである。

（作業仮説）

- | | | |
|-------------|---|------|
| ①操作の時間 | … | 短くなる |
| ②操作ステップの抜け率 | … | 減少する |
| ③トラブル発生率 | … | 減少する |
| ④操作の理解度 | … | 向上する |

今回の実験においては、これらの4つの作業仮説が全て満足する手順書が理想的な手順書であると考えられる。よって、作業仮説の実験結果から、本実験における理想的な手順書について考察する。

5.5 実験環境の検討

今回の実験は、プラントで使用されている手順書に関する実験であり、作業仮説に対して、実験による効果を確認する必要がある。しかしながら、実際に稼働しているプラントでの確認は、現状では困難である。そこで、実際に稼働しているプラントによく似たプラントモデルとして、模擬火力発電プラントを用いて実験を行うこととした。特に、本研究で取り上げられているプラントは、原子力プラントや石油精製プラントが主体となっていることもあり、両方のプラントに関するプロセスを有する、火力発電プラントを導入することとした。実際の模擬火力発電プラントは、過去に使用されていた模擬化学プラントを基本として、模擬火力発電プラントに必要な機器を増設した。主な改造箇所は以下の通りである。

(主な改造箇所)

- ・ 給水ポンプを1台増設，配管の循環化，及び復水器用の冷却コイルの追加
- ・ 制御画面の一部改造

図5-1に改造した図面と，模擬化学プラントから模擬火力発電プラントに変更した際に変更となった機器名称について示す。

図5-1で改造が施された模擬火力発電プラントの外観及び系統図を，図5-2及び図5-3に示す。模擬火力発電プラントは，制御卓であるデスクトップPCと，現場設備のプラント本体で構成される。制御卓からはプラント本体に装備のヒーター，メイン給水ポンプ，バイパス給水ポンプや2つの電動バルブ（メイン給水バルブと給水タンクからの注水バルブ）の操作ができ，給水流量（メインおよび補助），給水タンクからの注水流量，および本論文ではボイラーと呼ぶ主タンクの液位の監視を行う事が

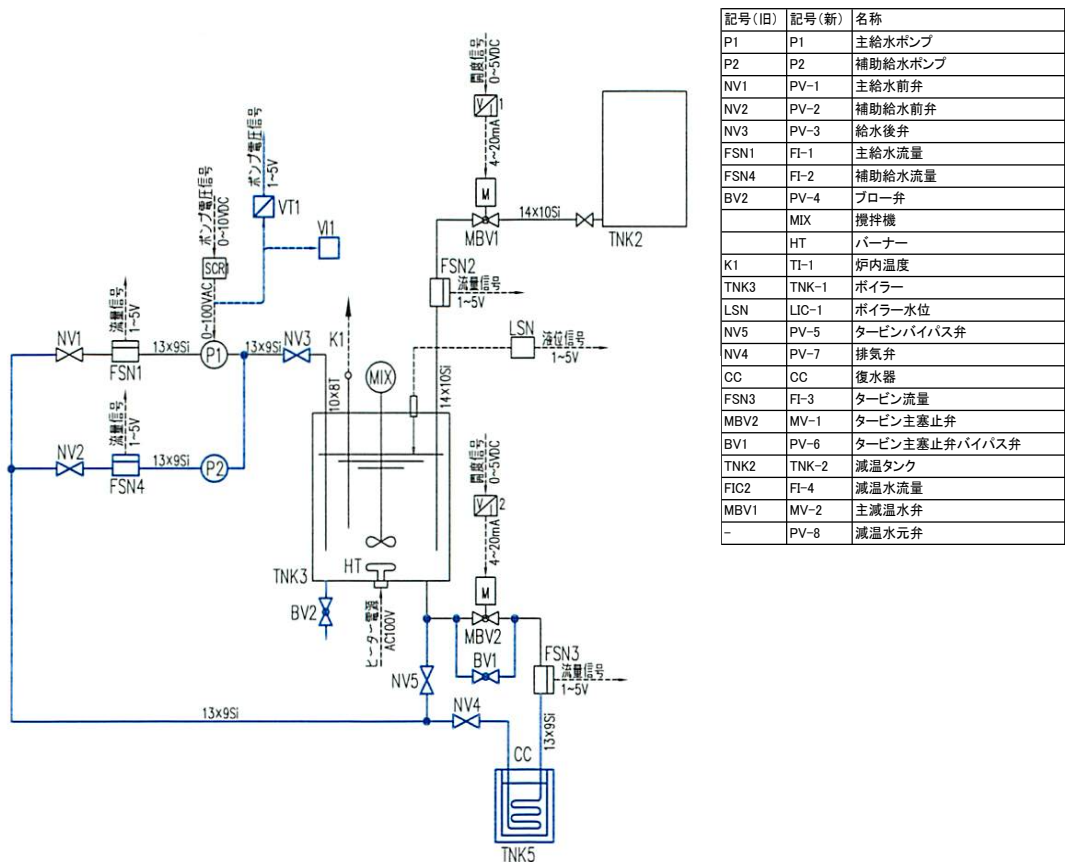


図5-1 模擬火力発電プラント改造図と機器名称対比表



(a) 制御卓



(b) プラント本体

図 5-2 模擬火力発電プラントの外観

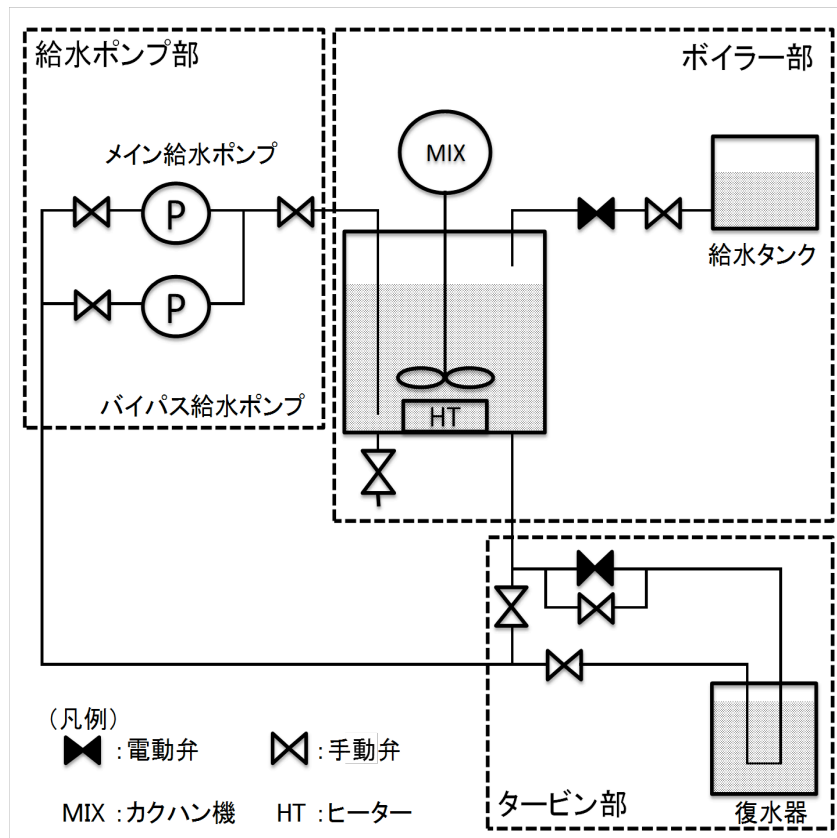


図 5-3 模擬火力発電プラントの系統図

出来る．プラント本体は、①給水ポンプ部、②ボイラー部、③タービン部の3つの設備に大きく分類され、マニュアルで操作するバルブ（バイパス給水バルブとドレインバルブなど）や現場監視計器（ボイラーの温度計）が設置されている．実験では、プラント本体と制御卓の両方を使用して、操作を実施した．

プロセスの流れについて、図5-4に示す．まず給水ポンプを起動して水をボイラーに送る（給水と呼ぶ）．次に、送られた水はボイラー内部に蓄えられ、ヒーターのスイッチを入れるとヒーターで加熱され温水になる（実際のプラントではここで蒸気になる）．作られた温水はタービン部に送られた後、復水器と呼ぶ冷却装置で冷却され、給水ポンプ部に戻る．この一連の流れが連続的に循環することで、実際の火力発電プラントに近いプロセスを再現している．図5-5に実際の系統図を示す．

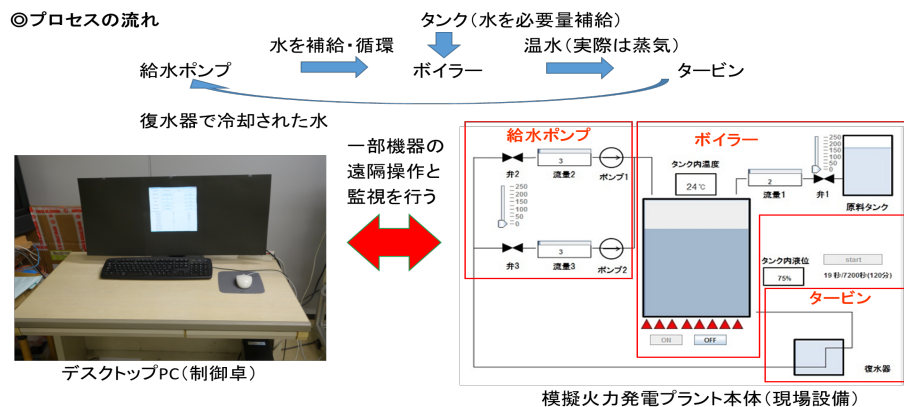


図5-4 模擬火力発電プラントのプロセス説明

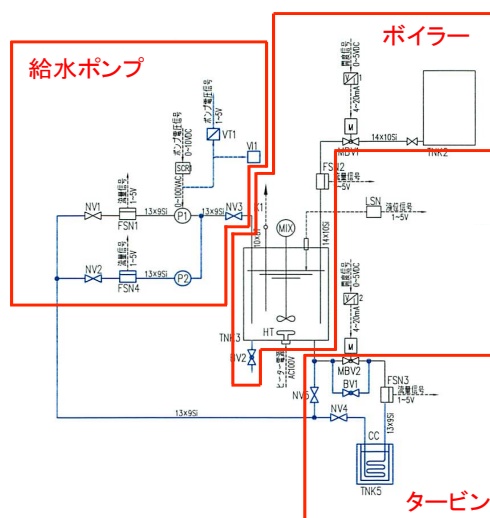


図5-5 実際の模擬火力発電プラント系統図

次に、それぞれの設備を構成する機器類の詳細について説明する。

①給水ポンプ関係（詳細は図5-6参照）

主給水ポンプと補助給水ポンプの2台が設置されている。主給水ポンプは、ボイラーに給水するポンプで、制御卓の画面、または現場の制御盤から流量制御が可能である。補助給水ポンプも、基本的には主給水ポンプと同じであるが、制御卓からのみ操作可能で、ON、OFF 運転のみとなる。

給水ポンプの前後には弁があり、この弁を開けてから給水ポンプを運転する。給水ポンプの入口側の弁を給水前弁（まえべん）と呼ぶ。前弁は、それぞれの給水ポンプ毎に設置されている。運転する給水ポンプ側の弁を開ける。（現場でしか操作出来ないが、任意に開度が調整可能である）。給水ポンプの出口側には給水後弁（あとべん）が設置されている。この弁は一つしかないので、どちらの給水ポンプを運転する前においても、この弁を開ける。この弁も現場でしか操作出来ない。

また、給水ポンプの水量を計測する流量計がある。これも、主と補助の流量計が設置されている。計測した流量は、制御卓の画面に表示される。

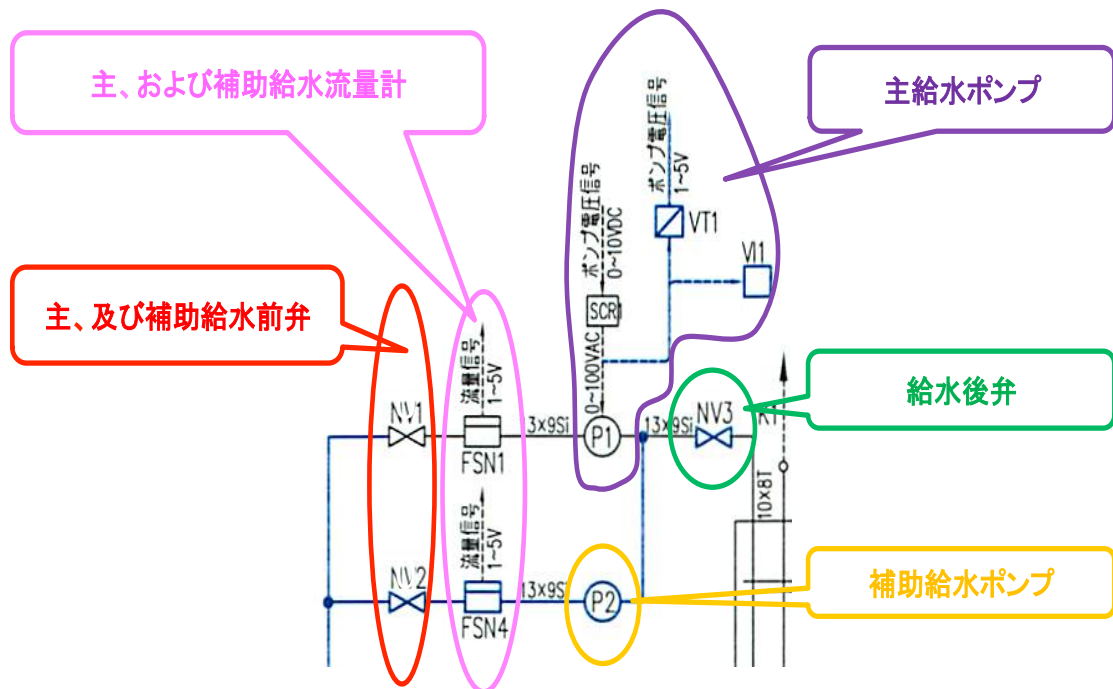


図5-6 給水ポンプ関係詳細説明図

②ボイラー関係（詳細は図5-7参照）

はじめに、ボイラー水位から説明する。ボイラー水位はボイラーの水位を測定するために設置されている。水位計はデジタル式と本体固定式の二種類が設置されており、二つの水位計の値を比較して差がない状態が正常であり、差がある場合は異常であると判断する。デジタル水位計の表示は、制御卓の画面に表示される。

また、ボイラー水の温度を測定するための温度計がある。これもデジタル式と本体固定式の二つがあり、水位計と同様の運用となる。デジタル式の温度計の表示は、制御卓の画面に表示される。

次に、ボイラー水を暖めるバーナーとカクハン機について説明する。バーナーは、火の代わりに電気ヒーターを使用した。ヒーターは、制御卓の画面からしか操作出来ない。また、ヒーターは ON にすると、コイルが暖められ、OFF にするとコイルが停止する。この操作で温度の調整を行う。加えて、ヒーターで暖められた水が均一な温度分布となるよう、カクハン機が設置されている。カクハン機は現場でしか操作出来ない。本体のスイッチを ON にするとカクハン機が運転し、OFF にするとカクハン機が停止する。通常は、カクハン機を ON にしてから、ヒーターをONにする。

また、ボイラー本体には水を抜くブロー弁が設置されている。ボイラー水を抜く必要がある場合は、この弁を開ける。通常はいつも閉としている。

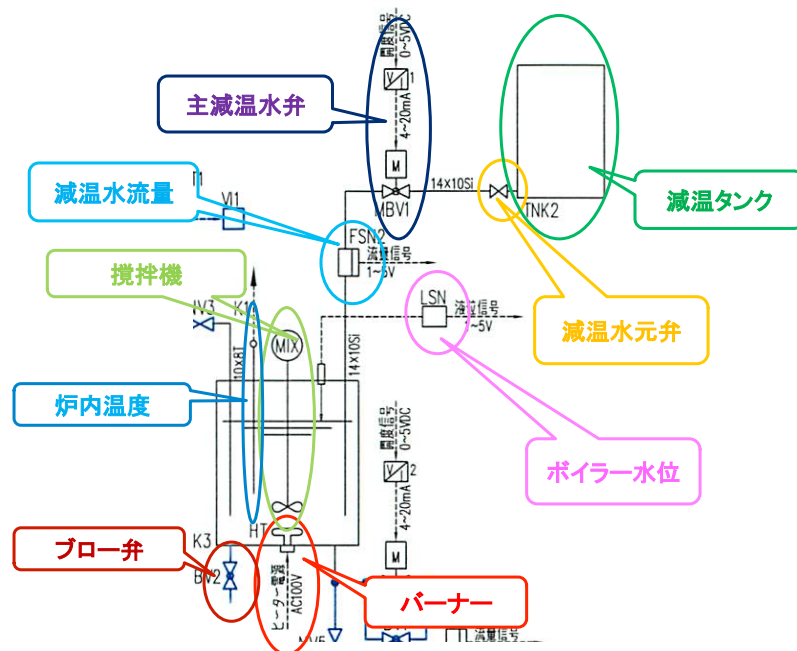


図5-7 ボイラー関係詳細説明図

ボイラー水が不足した場合に、水を補給する設備もある。減温水元弁は、減温水タンクの水を止めるための弁である。タンクより先の配管や機器が故障した場合、この弁を閉めて水を止める。

主減温水弁は、ボイラーに水を供給するための弁である。この弁は、制御卓の画面から制御出来る。加えて、供給している水の流量を計測する減温水流量計がある。計測した流量は、制御卓の画面に表示される。

③タービン関係（詳細は図5-8参照）

はじめに、タービン主塞止弁と、タービン主塞止弁バイパス弁について説明する。これらはタービンの入り口に設置されており、タービン系統に温水を流すときに使用する。タービンに温水を初めて流す際には、最初にバイパス弁を開けてから電動弁を開ける。温水が流れたらバイパス弁を閉める。タービンバイパス弁は、ボイラーのみ運転したい時に弁を開けて使用する。タービン出口の排気弁はタービンに温水を供給する場合に使用する。タービンにトラブルが発生した場合は、弁を閉める。

次に、タービンの水量を計測する流量計である。タービンの蒸気流量を計測するために設置されている。計測した流量は、制御卓の画面に表示される。

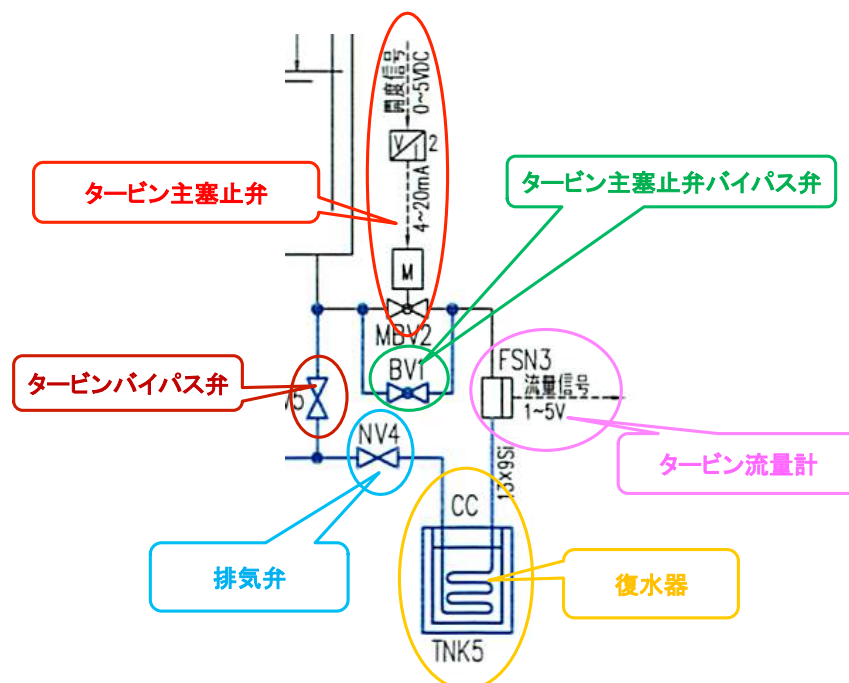


図5-8 タービン関係詳細説明図

最後に、タービンの復水器である。これば実際の火力発電プラントではタービン蒸気の冷却に復水器が設置されている。本プラントにおいても、実際の火力発電プラントに近い設備で構成したいと考え、設置した。タンクの中に配管をコイル状にして設置し、タンクの中に氷や水を入れて温水を冷やすようにしている。これで、ボイラーに温水がリターンする場合には、温度を下げる事が出来る。

④模擬火力発電プラント本体の各制御盤関係（詳細は図5-9参照）

通信盤には、H8マイコンと呼ばれる通信ユニットが設置されている。この通信ユニットと制御卓との通信が正常であることをこの制御盤で確認する。H8電源LEDは、制御電源スイッチONで点灯する。H8通信LEDは、通信ユニットと制御盤が通信状態の時点灯する。もし、通信状態にならない時、又はH8通信LED消灯の時は、リセットボタンを押す。

次にヒーター盤である。本体のヒーター電源スイッチと、ヒーターが加熱している状態表示がある。ヒーター電源スイッチは、ヒーターを使用する時にONする。電源ランプは電源スイッチONで点灯する。ヒーター加熱のON, OFFは制御卓から実施する。加熱ランプはヒーター加熱ONで点灯、OFFで消灯する。



図5-9 模擬火力発電プラント本体の各制御盤関係詳細説明図

次に、火力発電プラント電源盤である。主電源は、プラント全体の電源となる。立ち上げ時に ON する。OFF すると模擬火力発電プラント本体の電源が切れる。非常時は、OFF することでプラント全体を強制停止できる。計器電源は、制御関係の機器全体の電源となる。主電源の次に ON する。カクハン機はカクハン機本体への電源供給となり、最初に ON する。ポンプ 2 は使用前に ON する。カクハン機とポンプ 2 は電源を ON しないと動作しない。

最後に、主給水ポンプのポンプ制御盤である。盤には手動自動スイッチが設置されており、制御卓又は現場で制御可能である。電圧を確認する電圧計と手動電圧調整盤が設置され、主給水ポンプの流量を制御することが可能である。

⑤制御卓画面（詳細は図 5-10 参照）

上部には制御可能機器の制御ボタン類、下部にはセンサー情報表示エリアに分かれている。上部の制御ボタン類は、単純に ON、OFF のみの操作の場合はボタンを押す。0～100%まで任意に設定可能な機器は、真ん中の SV (%) に数字を打ち込んでから ON ボタンを押すと、機器が SV に打ち込んだ指示の状態になる。下部は、制御機器のそれぞれのセンサーからの情報を表示する。

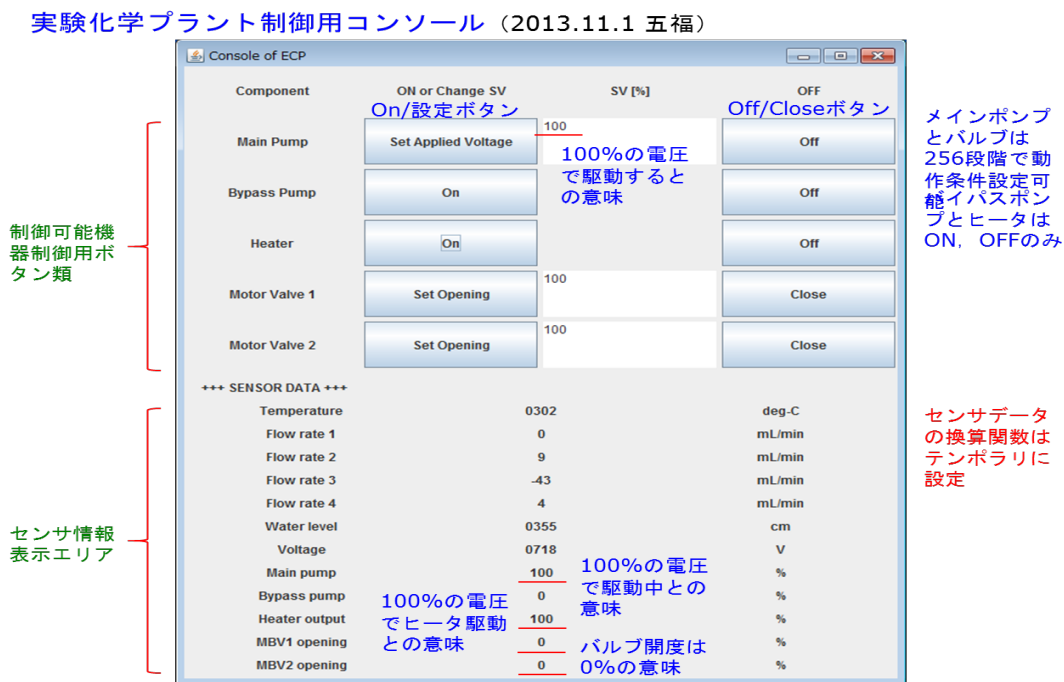


図 5-10 制御卓画面の詳細説明図

5.6 実験方法の検討

5.6.1 実験配置図

図5-1 1に実験配置図を，図5-1 2に実際の配置状況を示す．実験室の一角をパーテーションで囲い，実験スペースを確保した．実際の現場を再現するため，模擬火力発電プラントと制御卓のある机との間にパーテーションを設置し，屋外の現場設備と制御室を再現した．右側の机の上にはPCとモニターが設置されている．実験の録画と監視には，パーテーションに取り付けたカメラ（SONY アクションカム HDR-AS100V）を使用した．図5-1 2は本カメラの映像であり，同様の映像が無線（W i f i）にてスマートフォンの画面に表示される．

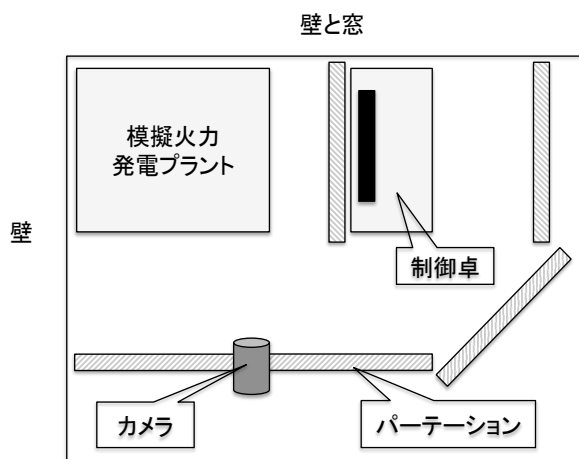


図5-1 1 実験配置図



図5-1 2 実際の配置状況

5.6.2 実験の操作タスクの検討

実験は模擬火力発電プラントを使用して行うが，操作内容を実際のプラントでの操作に類似したものとするために，著者らのこれまでの経験や参考文献（特級ボイラー技士のための参考書）[41]から，ボイラーの水張りからタービンの併用（ボイラーの起動操作と呼ぶ），及びタービンの停止からボイラーの立ち下げ（ボイラーの停止操作と呼ぶ）など，火力発電プラントで一般的に実施されている一連の操作が実施出来る手順書をいくつか作成した．ここで，手順書の備考欄に記載されている情報については，表現内容が似ている情報もあるが，情報としては基本的に操作ステップと1対1で対応するように注意した（本研究では，主となる操作とそれを補足説明する，表5-1に整理した備考欄の参考情報を操作ステップという）．作成された手順書は操作量が多いことから，本研究で対象としている初級者にはかなり負担が多くなると予想

された。そこで、作成した手順書の操作から、4種類のタスク（タスク1：ボイラー水張り、タスク2：補助給水ポンプ運転、タスク3：バーナー点消火、タスク4：ボイラー立ち下げ）を抽出して、それぞれのタスクの手順書として整理した。例として、タスク3：バーナー点消火の手順書を図5-13に示す。

手順書 No.タスク-3全

模擬火力発電プラント 操作手順書

操作名： バーナー点消火

目的（ バーナーを点消火する ）

承認	確認	作成

作成年月日：2014年4月22日

修正年月日：2014年9月10日

主要項目	操作内容	備考
1. 模擬火力発電プラントの起動前準備	模擬火力発電プラントの電源を「ON」にする。 (1)火力発電プラント電源盤 ①主電源：ON ②計器電源：ON ③カクハン機電源：ON ④ポンプ2：ON (2)通信盤 ①H8電源LED：ON点灯確認 ②H8通信LED：ON点灯確認 (3)ヒーター盤 ①ヒーター電源：ON ②電源ランプ：ON点灯確認 (4)ポンプ2運転 (画面表示) ・Bypass Pump：ON ・SENSOR DATAのBypass Pumpが100%となる	カクハン機本体が動かない事を確認する 点灯しない場合はリセットボタンを押す ポンプ2が動いている事を確認する
2. ボイラー起動前の準備	各設備が以下の状態である事を確認する。 ・ボイラー関係 ①PV-1、4：全閉 ②カクハン機本体：OFF ③ヒーター本体：OFF(加熱ランプが消灯している事) ④MV-1：全閉 (画面表示) ・MBV1：0% ⑤ボイラー本体に漏れ、変色、破損などない事を確認 ⑥ヒーターコイルの状態を確認 ⑦棒状温度計の状態を確認	ボイラー・タービンユニットの起動前の準備 操作後のバルブの状態を再確認する 攪拌機は回転羽根が閉じていること もし全閉となっていない場合は、操作画面より全閉とすること 操作後のバルブの状態を再確認する 本体のつなぎ目から水漏れはないか 本体に変色はないか 本体にひび割れはないか コイルの状態がおかしくないか 温度計の割れや表示には問題ないか

図5-13 作成した手順書例

5.6.3 実験のリスク評価の検討

今回の実験は、5.6.2 で作成した4つの手順書について、リスク評価を用いて評価した結果から操作ステップを間違えた時の影響度が高い操作ステップを考慮し、表5-3に整理した手順書の備考欄の情報の中から、操作ステップに影響のある情報をいくつか選択して削除した。ここでは、実験で確認したい備考欄の情報を選択するために実施したリスク評価法を用いた備考欄の削除情報の検討について説明する。

(a) 操作のリスク評価表の作成

実験のために作成した手順書の操作ステップの一つひとつに対して、操作者の持つスキルや能力の違いにより操作パフォーマンスは必ずしも一致するとは限らない。また、操作パフォーマンスが異なることによって発生するトラブルへの影響度も異なると考えられる。そこで、タスクの操作内容欄の操作ステップに補足説明されている備考欄の参考情報と確認に関する操作ステップに対して、操作ミスによって発生すると考えられる問題点（以下、操作ミスの要因と呼ぶ）について、操作者の知識、行動、心理の観点で整理した。さらに、整理した操作ミスの要因によって発生すると想定されるトラブルを、トラブルNo.としてトラブル名とトラブルの大きさ（重み）として整理した。その例を表5-4に示す。また、実際のタスク3、及びタスク4のリスク評価表を表5-5-①～②に示す。

表5-4 タスクの操作ステップ毎の操作ミス要因例

タスク4(ボイラー立ち下げ)

トラブルNo.	操作失敗により想定されるトラブル	備考欄の情報	重み	知識	行動	心理	情報の種類
①	ポンプが故障であると勘違い	ポンプ1は停止していること	1	ポンプの特性や対応に関する理解不足		勘違いや思い込み	e
		流量指示がない事も併せて確認する	1	流量計の特性に関する知識不足	流量計の指示を読み違い	場所がわからない	e
②	ポンプ故障	ポンプ2は動いていること	3	ポンプの特性や対応に関する理解不足		勘違いや思い込み	e
		流量指示が出ている事も併せて確認する	3	流量計の特性に関する知識不足	流量計の指示を読み違い	場所がわからない	e
③	水の循環不良	初めに、左まわして全開を確認すること	5	バルブの理解不足	バルブの操作ミス、確認不良	思い込み	e
		左まわして4と1/4回転で全開となる	5	バルブ特性の理解不足	操作ミス、開度調整不良		f

表5-5-① リスク評価表 (タスク3)

タスク3(ポイラー点検)

トラブルNo.	操作失敗により想定されるトラブル	備考欄の情報	重み	知識	行動	心理	情報の種類
①	ポイラー点検不良	カクハン機本体が動かない事を確認する	5		確認ミス、操作方法間違い		e
		ポンプ2が動かない事を確認する	5		確認ミス、操作方法間違い		e
②	ポイラー空焚き	無	5				
③	ポイラー消火不良	操作機は回転羽根が開いていること	5	初期状態の理解不足	誤操作、又は確認ミス		e
④	ポイラー消火不良	無	5				
⑤	水位レベル調整異常	もし全開となっていない場合は、操作画面より全開とすること	3	バルブの機能に関する知識不足	対応方法がわからない		b
⑥	本体破損・焼損	本体のつなぎ目から水漏れはないか	10	ポイラーに関する知識不足	判断ミス		e
		本体に変色はないか	10	ポイラーに関する知識不足	判断ミス		e
		本体にひび割れはないか	10	ポイラーに関する知識不足	判断ミス		e
⑦	ポイラー点検不良	コイルの状態が正常か	5	コイルの場所が不明	確認ミス		e
⑧	ポイラー点検不良	温度計の割れや表示には問題はないか	5	温度計の位置がわからない	読み違い、確認ミス		e
⑨	水位レベル調整異常	ポイラー水位が維持されている事を確認する	3	水位調整に関する知識不足	確認ミス		e
⑩	ポイラー点検不良	カクハン機が回転している事を確認する	5	操作機に関する知識不足	確認ミス		e
⑪	ポイラー点検不良	ヒーター制御盤の加熱ランプが点灯する	5	ヒーター制御盤に関する知識不足	確認ミス		e
		もし、点灯しなければ、操作を中断して原因を確認する	5	アバイスに対する知識不足	不具合の対応ができない	焦り	b
		ヒーター運転後に、ポイラー内部の状態を確認する	5	ポイラー内部状態に関する知識不足	確認ミス		e
⑫	ポイラー破損	無	10				
⑬	温度制御異常	現状温度計でも温度を確認すること	3	温度制御に関する知識不足	確認ミス、読み違い、設定温度での調整が出来ない		e
		もし、センサー温度計と現状温度計に大きな差があれば、操作を中断して原因を確認する	3	対応方法に関する知識不足	判断ミス、読み違い		b
			3	対応方法に関する知識不足	判断ミス、読み違い		b
⑭	ポイラー消火不良	無	5				
⑮	ポイラー破損	T10の温度は35℃以上とする	10	ヒーター制御盤に関する知識不足	確認ミス、ヒーターを切る温度を間違える		a
		もし、温度が30℃以上になると、ポイラー本体が破損する	10	ポイラーに関する知識不足	確認ミス		b
		ヒーター制御盤の加熱ランプが消灯する	10	ヒーター制御盤に関する知識不足	確認ミス		e
		もし、消灯しなければ、操作を中断して原因を確認する	10	ヒーター制御盤に関する知識不足	確認ミス		b
		ヒーター停止後に、ポイラー内部の状態を確認する	10	ポイラー内部状態に関する知識不足	確認ミス		e
⑯	温度制御異常	無	5				
⑰	ポイラー消火不良	カクハン機が停止している事を確認する	5	操作機に関する知識不足	確認ミス		e
⑱	水位レベル調整異常	ポイラー水位が維持されている事を確認する	3	ヒーター制御盤に関する知識不足	確認ミス		e
		もし、水位が維持されない場合は、操作を中断して原因を確認する	3	水位調整に関する知識不足	確認ミス		b

表5-5-② リスク評価表 (タスク4)

タスク4(ポイラー立ち下り)

トラブルNo.	操作失敗により想定されるトラブル	備考欄の情報	重み	知識	行動	心理	情報の種類
①	ポンプが故障であると勘違い	ポンプ1は停止していること	1	ポンプの特性や対応に関する理解不足			e
		流量指示がない事も併せて確認する	1	流量計の特性に関する知識不足	流量計の指示を読み違い		e
②	ポンプ故障	ポンプ2は動いていること	3	ポンプの特性や対応に関する理解不足			e
		流量指示が出ている事も併せて確認する	3	流量計の特性に関する知識不足	流量計の指示を読み違い		e
③	水の循環不良	初めに、左まわしで全開を確認すること	5	バルブの理解不足	バルブの操作ミス、確認不良		e
		左まわしで4と1/4回転で全開となる	5	バルブ特性の理解不足	操作ミス、開度調整不良		f
④	ポイラー空焚き	もし、全開となっていない場合は、本体の弁を全開とすること	5	バルブの機能に関する知識不足	対応方法がわからない		b
		もし、PV-4が閉の場合、ポイラー水が本体の外に流出してポイラー水位が低下し、空焚きとなる	5	現象の理解不足	未確認や判断ミス、水抜き方法がわからない	焦り	b
⑤	水位レベル異常高	もし、ポイラー水位が上がる場合には、確認水タンクを再確認する	3	説明文の内容に関する知識不足			b
⑥	水位レベル調整異常	または、配管の漏れなどがないかを確認する	3	説明文の内容に関する知識不足			b
⑦	ポイラー空焚き	もし、ポイラー水位が下がる場合には、PV-4が開いていないか	5	説明文の内容に関する知識不足			b
⑧	ポンプ故障	ポンプ2が停止していることを確認する	3	ポンプの特性や対応に関する理解不足	確認忘れ		e
		配管のつなぎ目から水漏れはないか	3				e
⑨	流量計故障	SI-0%で0%近辺の指示となる	3	ポンプの特性や対応に関する理解不足	確認忘れ		e
		もし、流量指示が出ない場合は、流量計の状態を確認する	3	流量計の特性に関する知識不足	流量計の指示を読み違い		b
⑩	水の循環不良	右まわしで4と1/4回転で全開となる	5	バルブ特性の理解不足	操作ミス、開度調整不良		f
		バルブの漏れがない事を確認する	5	バルブの理解不足	操作ミス、確認不良		e
⑪	水の循環不良	右まわしで4と1/4回転で全開となる	5	バルブ特性の理解不足	操作ミス、開度調整不良		f
		バルブの漏れがない事を確認する	5	バルブの理解不足	操作ミス、確認不良		e
⑫	水位レベル調整異常	右まわしで90°で全開となる	3	現象の理解不足	未確認や判断ミス、水抜き方法がわからない		f
		低下させたい水量に応じて開度調整を行うこと	3	現象の理解不足	未確認や判断ミス、水抜き方法がわからない		e
⑬	水位レベル調整異常	もし、ポイラー水位が低下していったら、操作を中断して原因を調べる	3	ポイラーの特性に関する知識不足	ポイラー水位確認不足		b
			3	現象の理解不足	未確認や判断ミス、水抜き方法がわからない		f
⑭	ポイラー空焚き	左まわしで90°で全開となる	5	現象の理解不足	未確認や判断ミス、水抜き方法がわからない		f
		数分後、ポイラー水位が変動しない事を確認する	5	ポイラーの特性に関する知識不足	ポイラー水位確認不足		e
		もし、ポイラー水位に変動があったら、原因を調べる。	5	ポイラーの特性に関する知識不足	ポイラー水位確認不足		b

(b) トラブルインパクトマップの考案

次に、特に各タスクの手順書に記載されている備考欄の情報のうち、操作ミスとそれによって発生する可能性のあるトラブルやその影響度との関連性を整理するために、トラブルインパクトマップを考案した。これは、原子力関係の緊急時におけるトラブル回避の手法である OAET (Operator Action Event Tree) [42] の手法を参考にした。OAET では、緊急事態の発生がスタートとなり、回避するまでの操作ステップ毎について、対応の方法を間違えた場合に発生すると考えられるトラブルを想定している。これに対して、本手法は最初の操作ステップをスタートとし、操作が完了するまでの操作ステップ毎について、操作ミスをした場合に発生すると考えられるトラブルを想定している。作成したトラブルインパクトマップの例を図 5-1 4-①～②に示す。ここで、図 5-1 4 の中で各操作ステップとトラブルとの交点に示されているマスの行の幅は、表 5-5-①～②で検討した操作ステップの操作をミスした場合に発生すると考えられるトラブルの数を、列の幅はトラブルの大きさを示している。そのため、マスの大きさが大きいほど、トラブルの種類が多い、あるいは大きなトラブルであることを示している。このトラブルインパクトマップの特徴は次の通りである。

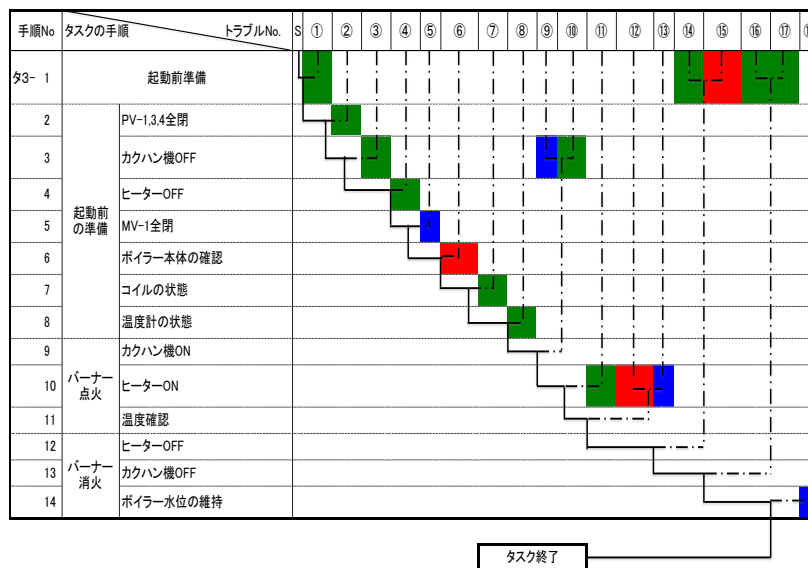


図 5-1 4-① トラブルインパクトマップ (タスク 3 : 「バーナー一点消火」)

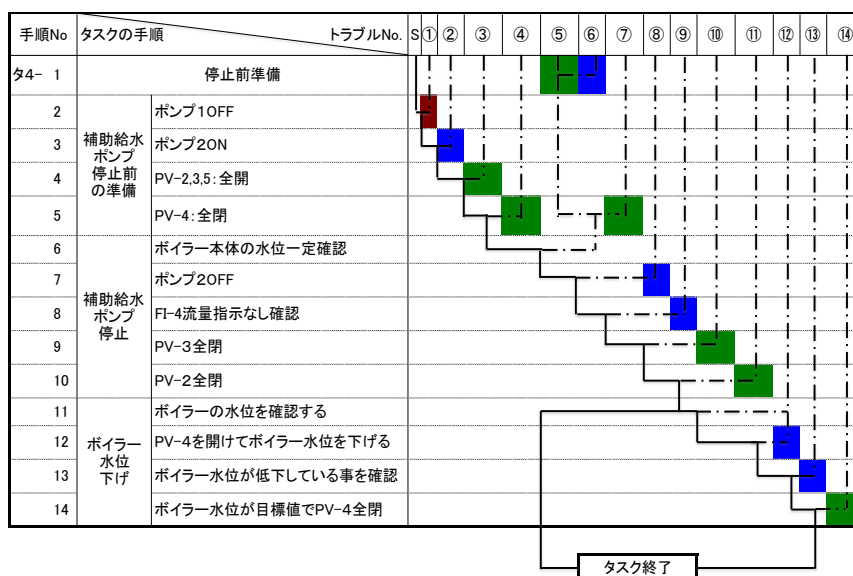


図 5-1 4-② トラブルインパクトマップ (タスク 4 : 「ボイラー立ち下げ」)

(トラブルインパクトマップの特徴)

- ① これまであまり例のない、通常操作に対するトラブルリスクの評価の手法である。
- ② 手順書に記載されている各操作ステップについて、操作ミスが発生した際のリスクの度合（操作ステップ毎の重要度）が一目で容易に理解出来る。
- ③ 操作の途中で操作ミスが発生した後の対応として、操作者がミスした操作ステップまでに実施した操作ステップに戻って対応を実施する事を考慮する事で、最終的なトラブルの度合が変化する事についても、容易に理解出来る。

実験では、5.6.2 で述べた 4 つのタスクに関するインパクトマップを作成し、特に大きなトラブルに発展しやすいステップ、トラブルの発生件数が多いステップ、及びミスの後の対応で結果が異なるタスクを対象とすることとした。その結果、操作実験では、操作者に負担のない程度の量で実験を行う事、及び操作実験後の評価を行う際に、操作ステップの数や情報量がある程度同じタスクが望ましいと考えられることも踏まえ、タスク 3 : バーナー点消火 (操作ステップ : 5 6 ステップ)、及びタスク 4 : ボイラー立ち下げ (操作ステップ : 5 5 ステップ) の 2 つのタスクの手順書を使用し、実験の際には 2 つのタスクの手順書を続けて操作することとした。また、トラブルインパクトマップの分析結果から、各タスクの手順書のステップのうち、トラブルへの影響度が大きいステップに対する備考欄の情報は、表 5-3 中の b (手順書の各操作結果が異なった場合の対応) と、e (手順書の各操作実施後の目安となる情報 (確認を

含む)) が強く関係していることがわかった。そのため、今回の実験では全ての情報が記載された手順書（以下、全て記載）と表5-3中のb, 及びeの備考欄の情報の一部を削除した手順書の3種類を作成した。

なお、3種類の手順書における情報量の差は、備考欄に記載されている情報量の違いである。表5-6にb, 及びeの一部の情報を削除した手順書に、記載されていない情報を示す。3種類の手順書の備考欄に記載されている文字数は、

(削除ステップ数)

全 て 記 載 : $619 + 738 = 1357$ 文字

bの一部のみ削除 : $472 + 534 = 1006$ 文字 (5ステップ + 6ステップ)

eの一部のみ削除 : $380 + 543 = 923$ 文字 (14ステップ + 12ステップ)

となり、文字数の差はb: 351文字, e: 434文字である。実際に作成した手順書を、図5-15-①~②に示す。この図は、全て記載した手順書を示している。他の手順書については、備考欄の情報のうち、二重下線部がbの一部のみ削除した情報、一重下線部はeの一部のみ削除した情報がそれぞれ削除された手順書を作成した。

表5-6 削除した手順書備考欄の記述

bの一部のみ削除	
タスク3(147文字)	タスク4(204文字)
<ul style="list-style-type: none"> ・もし、点灯しなければ、操作を中断して原因を確認する ・もし、センサー温度計と本体温度計に大きな差があれば、操作を中断して原因を確認する ・もし、温度が50℃以上になると、ボイラー本体が破損する ・もし、消灯しなければ、操作を中断して原因を確認する ・もし、水位が維持されない場合は、操作を中断して原因を確認する 	<ul style="list-style-type: none"> ・もし、全閉となっていない場合は、本体の弁を全閉とすること ・もし、PV-4が開の場合、ボイラー水が本体の外に流出してボイラー水位が低下し、空焚きとなる ・もし、ボイラー水位が上がる場合には、補給水ラインを再確認する ・もし、ボイラー水位が下がる場合には、PV-4が開いていないか、または、配管の漏れなどがないかを確認する ・もし、流量表示が出ていれば、流量計の状態を確認する ・もし、ボイラー水位に変動があったら、原因を調べる
eの一部のみ削除	
タスク3(239文字)	タスク4(195文字)
<ul style="list-style-type: none"> ・操作後のバルブの状態を再確認する ・攪拌機は回転羽根が閉じていること ・操作後のバルブの状態を再確認する ・本体のつなぎ目から水漏れはないか ・本体に変色はないか ・本体にひび割れはないか ・ボイラー水位が維持されている事を確認する ・カクハン機が運転している事を確認する ・ヒーター制御盤の加熱ランプが点灯する ・ヒーター運転後にボイラー内部の状態を確認する ・操作後のヒーターの状態を再確認する ・ヒーター制御盤の加熱ランプが消灯する ・ヒーター停止後にボイラー内部の状態を確認する ・ボイラー水位が維持されている事を確認する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ポンプ1は停止していること ・ポンプ2は動いていること ・流量指示がない事も併せて確認する ・流量指示が出ている事も併せて確認する ・操作後のポンプの状態を再確認する ・操作後のバルブの状態を再確認する ・ボイラー水位が維持されている事を再確認する ・操作後の流量計の指示を再確認する ・バルブの漏れがない事を確認する ・操作後のバルブの状態を再確認する ・バルブの漏れがない事を確認する ・数分後、ボイラー水位が変動しない事を確認する

模擬火力発電プラント 操作手順書

操作名： バーナー点消火

目的（ バーナーを点消火する ）

承認	確認	作成

作成年月日：2014年4月22日

修正年月日：2014年9月10日

主要項目	操作内容	備考
1. 模擬火力発電プラントの 起動前準備	模擬火力発電プラントの電源を「ON」にする。 (1)火力発電プラント電源盤 ①主電源:ON ②計器電源:ON ③カクハン機電源:ON ④ポンプ2:ON (2)通信盤 ①H8 電源 LED:ON 点灯確認 ②H8 通信 LED:ON 点灯確認 (3)ヒーター盤 ①ヒーター電源:ON ②電源ランプ:ON 点灯確認 (4)ポンプ2運転 (画面表示) ・Bypass Pump:ON ・SENSOR DATA の Bypass Pump が100%となる	カクハン機本体が動かない事を確認する 点灯しない場合はリセットボタンを押す ポンプ2が動いている事を確認する
2. ボイラー起動前の準備	各設備が以下の状態である事を確認する。 ・ボイラー関係 ①PV-1、4:全閉 ②カクハン機本体:OFF ③ヒーター本体:OFF(加熱ランプが消灯している事) ④MV-1:全閉 (画面表示) ・MBV1:0% ⑤ボイラー本体に漏れ、変色、破損などない事を確認 ⑥ヒーターコイルの状態を確認 ⑦棒状温度計の状態を確認	ボイラー・タービンユニットの起動前の準備 <u>操作後のバルブの状態を再確認する</u> <u>攪拌機は回転羽根が閉じていること</u> もし全閉となっていない場合は、操作画面より全閉とすること <u>操作後のバルブの状態を再確認する</u> <u>本体のつなぎ目から水漏れはないか</u> <u>本体に変色はないか</u> <u>本体にひび割れはないか</u> コイルの状態がおかしくないか 温度計の割れや表示には問題ないか

図5-15-① 実験手順書（タスク3：「バーナー点消火」その1）

手順書 No.タスク-3 全

主 要 項 目	操 作 内 容	備 考
3.バーナー点火	<p>バーナーを点火する。</p> <p>①カクハン機本体:ON 本体電源スイッチ:ON</p> <p>②ヒーター本体:ON (画面表示) ・Heater: ON ・SENSOR DATA の Heater output が100%となる</p> <p>③TI-1 温度確認 (画面表示) ・SENSOR DATA の Temperature が表示される。</p>	<p><u>ボイラー水位が維持されている事を確認する</u> <u>カクハン機が運転している事を確認する</u> 操作後のカクハン機の状態を再確認する</p> <p><u>ヒーター制御盤の加熱ランプが点灯する</u> <u>もし、点灯しなければ、操作を中断して原因を確認する</u> <u>ヒーター運転後にボイラー内部の状態を確認する</u> <u>操作後のヒーターの状態を再確認する</u> 本体温度計でも温度を確認すること <u>もし、センサー温度計と本体温度計に大きな差があれば、操作を中断して原因を確認する</u></p>
4.バーナー消火	<p>バーナーを消火する。</p> <p>①温度が上昇すれば、ヒーター電源を切る (画面表示) ・Heater: OFF ・SENSOR DATA の Heater output が0%となる</p> <p>②カクハン機本体:OFF 本体電源スイッチ:OFF</p>	<p>TI の温度は$35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$とする <u>もし、温度が$50^{\circ}\text{C}$以上になると、ボイラー本体が破損する</u></p> <p><u>ヒーター制御盤の加熱ランプが消灯する</u> <u>もし、消灯しなければ、操作を中断して原因を確認する</u> <u>ヒーター停止後にボイラー内部の状態を確認する</u> 操作後のヒーターの状態を再確認する カクハン機が停止している事を確認する <u>ボイラー水位が維持されている事を確認する</u> <u>もし、水位が維持されない場合は、操作を中断して原因を確認する</u> 操作後のカクハン機の状態を再確認する。</p>

図5-15-① 実験手順書 (タスク3 : 「バーナー点消火」 その2)

手順書 No.タスク-4全

模擬火力発電プラント 操作手順書

操作名： ボイラー立ち下げ

承認	確認	作成

目的（補助給水ポンプを停止し、ボイラー水位を調整する）

作成年月日：2014年6月21日

修正年月日：2015年2月16日

主要項目	操作内容	備考
1. 模擬火力発電プラントの停止前	<p>模擬火力発電プラントの電源を「ON」にする。</p> <p>(1) 本体関係</p> <p>① LIC-1ランプ点灯: ON</p> <p>② Level計表示: 点灯</p> <p>③ 配管からの水漏れ: なし</p>	
2. 補助給水ポンプ停止前の確認	<p>各設備が以下の状態であることを確認する。</p> <p>・ボイラー関係</p> <p>① ポンプ1: OFF</p> <p>② ポンプ2: ON</p> <p>(画面表示)</p> <p>・Main pump: 0%</p> <p>・Bypass pump: 100%</p> <p>③ PV-2、3、5: 全開</p> <p>④ PV-4: 全開</p>	<p>ボイラー立ち下げ前の準備</p> <p>ポンプ1は停止していること</p> <p>ポンプ2は動いていること</p> <p>流量指示がない事も併せて確認する</p> <p>流量指示が出ている事も併せて確認する</p> <p>操作後のポンプの状態を再確認する</p> <p>左まわしで4と1/4回転で全開となる</p> <p>操作後のバルブの状態を再確認する</p> <p><u>もし、全閉となっていない場合は、本体の弁を全閉とすること</u></p> <p><u>もし、PV-4が開の場合、ボイラー水が本体の外に流出してボイラー水位が低下し、空焚きとなる</u></p> <p>操作後のバルブの状態を再確認する</p>
3. 補助給水ポンプ停止	<p>補助給水ポンプを停止し、水の循環を終了する</p> <p>① ボイラー本体の水位がほぼ一定であることを確認(本体)</p> <p>・本体のレベル計がほぼ一定で推移していること</p> <p>(画面表示)</p> <p>・SENSOR DATAのWater Levelがほぼ一定で推移していること</p> <p>② ポンプ2: OFF</p> <p>(画面表示)</p>	<p>ボイラー内部の水の循環を停止させるため</p> <p><u>もし、ボイラー水位が上がる場合には、補給水ラインを再確認する</u></p> <p><u>もし、ボイラー水位が下がる場合には、PV-4が開いていないか、または、配管の漏れなどがないかを確認する</u></p> <p>ボイラー水位が維持されている事を再確認する</p>

図5-15-② 実験用手順書（タスク4：「ボイラー立ち下げ」その1）

手順書 No.タスク-4 全

主 要 項 目	操 作 内 容	備 考
4. ボイラー水位下げ	<p>・Bypass Pump: OFF</p> <p>・SENSOR DATA の Bypass Pump が0%となる</p> <p>③FI-2流量表示なしを確認 (画面表示)</p> <p>・SENSOR DATA の Flow rate 2 が0となる</p> <p>④PV-3:全閉</p> <p>⑤PV-2:全閉</p> <p>ボイラー水位を下げる</p> <p>①ボイラーの水位レベルを確認する</p> <p>②PV-4 を開けて、ボイラー本体の水位を下げる PV-4: 任意で開</p> <p>③ボイラー水位が低下していることを確認 (本体)</p> <p>・本体レベル計が少しずつ低下する (画面表示)</p> <p>・SENSOR DATA の Water Level が少しずつ低下する</p> <p>④ボイラー水位が目標値(16cm±1cm)になったら、 PV-4を全閉</p>	<p>ポンプ2が停止していることを確認する</p> <p>配管のつなぎ目から水漏れはないか 操作後のポンプの状態を再確認する</p> <p>SV=0%で0近辺の指示となる(多少ばらつく) <u>もし、流量表示が出ていれば、流量計の状態を確認する</u></p> <p><u>操作後の流量計の指示を再確認する</u></p> <p>右まわしで4と1/4回転で全閉となる <u>バルブの漏れがない事を確認する</u> <u>操作後のバルブの状態を再確認する</u></p> <p>右まわしで4と1/4回転で全閉となる <u>バルブの漏れがない事を確認する</u> 操作後のバルブの状態を再確認する</p> <p>ボイラー停止前の処置</p> <p>ボイラー水位が低水位(15cm 未満)より下であれば、ボイラー水位を下げなくてよい</p> <p>右まわしで90° で全開となる</p> <p>低下させたい水量に応じて開度調整を行うこと</p> <p>もし、ボイラー水位が低下していなかったら、操作を中断して原因を調べる</p> <p>左まわしで90° で全閉となる</p> <p><u>数分後、ボイラー水位が変動しない事を確認する</u> <u>もし、ボイラー水位に変動があったら、原因を調べる。</u></p> <p>操作後のバルブの状態を再確認する</p>

図5-15-② 実験手順書 (タスク4:「ボイラー立ち下げ」その2)

5.6.4 トラブルによって発生が想定される事故の種類の見査

トラブルインパクトマップによるリスク評価では、タスクの各ステップにおけるトラブルの影響の大きさが異なることから、影響の大きさを表す事故ランクとトラブルの関係を図5-16に整理した。事故ランクは、Ⅰ：設備損傷・人身事故、Ⅱ：重大トラブル（一部設備損傷）、Ⅲ：中トラブル（設備損傷無、単体損傷有）、Ⅳ：軽微トラブル（影響度低）の四段階評価とした。

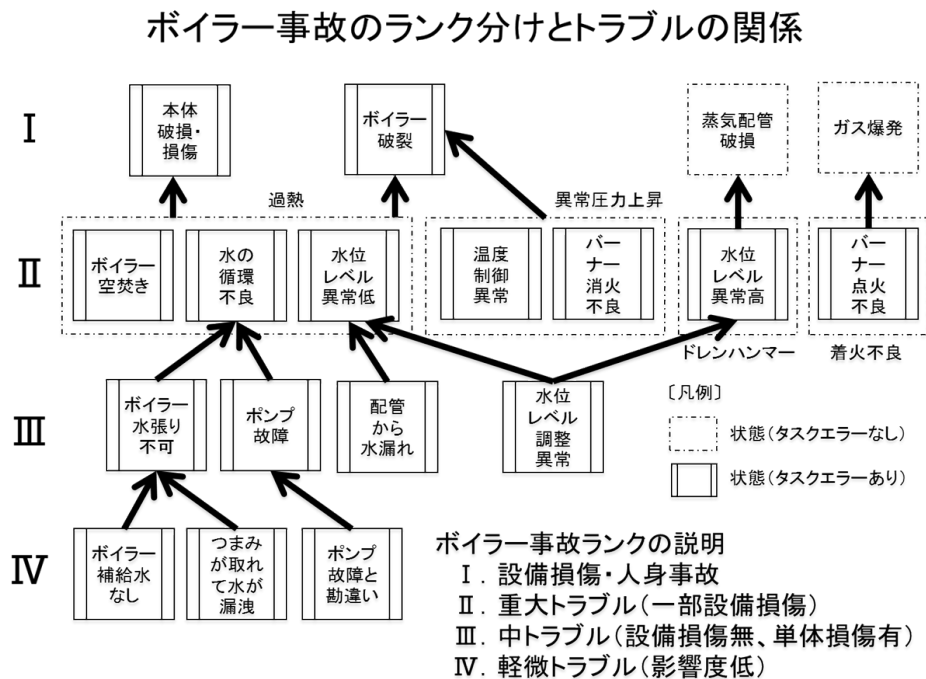


図5-16 トラブルと事故ランクとの関係

5.7 実験手順の見査

実験当日の実験項目、及びタイムスケジュールを説明する。まず、操作実験開始前に、協力者が初級者と見なせるかを確認するため、模擬火力発電プラントに特化した知識レベル確認テストを実施した。テストは一般的に公開されているボイラーや保全技能士などの資格試験の問題[43][44][45]から模擬火力発電プラントの構造や操作タスクを考慮し、60点未満が初級者、60点以上80点未満を中級者、80点以上を上級者と判断できるように問題を抜粋した。実施したテストの問題を図5-17-①～⑤に示す。知識レベル確認テスト以降のタイムスケジュールは以下の通りである。

(タイムスケジュール)

- ①知識レベル確認テスト：20分
 - ・休憩（5分）
- ②模擬火力発電プラントの設備概要と操作に必要な情報の説明：15分
 - ・休憩（5分）
- ③操作手順説明：25分
 - ・休憩（5分）
- ④手順書を渡し、協力者による操作(操作後のインタビュー含む)：40分
 - ・休憩（5分）
- ⑤操作後の操作に関する理解度テスト：10分
- ⑥アンケート：10分

実験用手順書は、実験当日④の直前に情報の有無など説明せずに協力者に手渡して実施した。実験では、全ての協力者が同一の条件でタスクを実施してもらうため、協力者による操作（タイムスケジュールの④）の途中での質問や問題点・意見は受け付けなかった。加えて、②模擬火力発電プラント概要説明においては、実際のプラントと異なる部分も事前に説明した。併せて、プラント操作者の基本動作として、(1)操作を伴わない動作時の確認動作、及び(2)操作を伴う動作時の確認動作として、指差呼称の動作が必要であることを説明した。ここで、(1)の動作は、主に現在の状態を確認する場合に実施される動作である（例：手順書に「バルブが～の状態であることを確認する」として機器の状態が記載されている。この時、機器の状態を手や目で確認した上で、「確認ヨシ!」と言って、指差し呼称を一回実施する）。(2)の動作は、主に現在の状態を変更する場合に実施される動作である（例：手順書に「〇〇バルブを開ける」として機器の操作内容が記載されている。この時、機器の操作を実施した後に、「操作ヨシ!」と言って、指差し呼称を一回実施する）。また、③の操作説明では、全て記載の手順書を使用して、協力者と一緒に、操作ステップの一つひとつを読み上げながら実際に模擬火力発電プラントを操作する形での操作教育を実施した。

実験の様子はチェックリストを用いて操作を記録するとともにカメラで撮影し、後で確認出来る様にした。チェックリストの例を図5-18-①～②に示す。なお、図5-18-①～②の備考欄で斜め罫線（右下がり）部はbの一部のみ削除、斜め罫線（右上がり）部はeの一部のみ削除の場合はチェックを塗りつぶしたリストを作成した。

火力発電プラント運転員知識レベル確認問題

※わからない問題があれば、回答欄を空欄にしたままでかまいません。

問1 次の文章を読んで、正しいと思われる場合は○、間違えていると思われる場合は×を回答用紙に記載して下さい。

- ①インバータは、交流電力を直流電力に変換する装置のことをいう。
- ②ポンプの吸い込み配管を太くして流速を下げることは、振動防止対策として有効である。
- ③金属は、一般に、温度が上がると電気抵抗値は減少する。
- ④ 日常点検は、視覚、触覚、聴覚、嗅覚等の五感による点検が基本であるが、温度計、振動計、聴音棒等簡易の測定器を用いることもある。
- ⑤ ポンプの点検時に、ポンプ軸受けからの漏れを軽減させるために取り付けられている（通常は2～3滴／10秒程度の漏れで調整する）グランドパッキンからの漏れを発見した場合は、漏れが完全になくなるまで増し締めを行わなければならない。

問2 次の問題を読んで、該当する回答を回答用紙に記載して下さい。

- ①配管等に関する記述のうち、適切なものはどれか。
 - イ 風量が息をつき圧力が脈動して騒音や振動を発生することをウォータハンマという。
 - ロ ポンプ内の流れに局所的な真空を生じ、水が気化して気泡が発生することをサージングという。
 - ハ 管内の圧力が、時間の変化と共に変動する現象をキャビテーションという。
 - ニ 粒子の衝突により、配管内面などが、徐々に剥離する現象をエロージョンという。
- ②電磁弁シール部（電磁弁の中を移動する空気の漏れを防ぐ部分）の空気漏れが発生した場合の処置として、適切でないものはどれか。
 - イ 弁部への異物の噛み込みが考えられるので分解、清掃した。
 - ロ シール部の切れ、きずなどが考えられるので分解、清掃した。
 - ハ 高温によるシール部の変形が考えられるので、紙製のものに交換した。
 - ニ シール部の締め付けが弛んでいたので増し締めした。

③機械の電気部品の点検に関する記述のうち、適切でないものはどれか。

- イ 絶縁抵抗値が、前回点検時と比較して低下傾向にあるので良好と判断した。
- ロ 点検開始に先だって、電源スイッチを切り「点検中」と書いた札を表示した。
- ハ 端子台について、端子のねじを増し締めした。
- ニ 絶縁物について汚損や異物の付着を目視点検した。

④ うず巻きポンプの運転時に発生する異常現象において、原因は下記の通りであった。原因と対策処置の組み合わせのうち、適切でないものはどれか。

(異常現象)	(原因)	(対策)
イ 起動する水が出ない	呼水が十分でない	ポンプ電源の確認、調整
ロ 規定水量が出ない	空気が吸い込まれる	軸受けの確認、交換
ハ 過負荷となる	吐出し量が多い	吐出し弁の確認、調整
ニ 異常振動する	据付が不良である	据付状態の確認、修正

⑤ 簡易診断を実施しているポンプで、振動値が注意レベルをわずかに超えた。このときの対応処置として、適切でないものはどれか。

- イ 測定頻度を増やし、監視を強化する。
- ロ 精密診断を行い、原因を探る。
- ハ ボルトのゆるみ点検等、外部からの点検を行う。
- ニ 軸受を交換して、様子を見る。

問3 ボイラーに関する知識について、以下の問題を読んで、該当する回答を回答用紙に記載して下さい。

①ボイラー点火前の点検事項として、誤っているものは次のうちどれか。

- (1) 水面計の水位が高いときは、吹出しを行って常用水位に調整する。
- (2) ボイラー燃焼に使用される通風装置のダンパは、閉めておく。
- (3) 運転に入る前に吹出し弁を操作して、その機能の良否を調べる。
- (4) 圧力計は圧力がない場合は、その指針が0に戻っていることを確認する。
- (5) 貯水タンク内の貯水量が、十分であることを確認する。

② ボイラーのたき始め(点火直後)において、金属やレンガで構成されたボイラー本体が冷めた状態から急激な燃焼により圧力を急上昇させてはならない理由として、最も適切なものは次のうちどれか。

- (1) ボイラー水の循環を悪くする。

図5-17-② 知識レベル確認試験問題(その2)

- (2) レンガ積みやボイラー本体の損傷の原因となる。
 - (3) ボイラー効率を低下させる。
 - (4) 安全弁、圧力計を破損する。
 - (5) ボイラー水が異常減少する。
- ③ ボイラーから発生した蒸気管の接合部から蒸気が漏れる原因として、関係のないものは次のうちどれか。
- (1) ボイラー本体の温度変化のための伸縮による。
 - (2) 配管接合部に挟んであるガスケットの不良による。
 - (3) 蒸気配管内のドレン（凝縮水）によるウォータハンマによる。
 - (4) 振動が激しいため、接合部にゆりみを生じることによる。
 - (5) ボイラー水のスケールが付着することによる。
- ④ 「蒸気圧力が上昇して常用圧力に達すると「 」が作動して、燃料遮断弁が閉止し、バーナの燃料を停止する。」
- 上文中の「 」に入れる用語として、正しいものは次のうちどれか。
- (1) 火炎検出装置
 - (2) オンオフ式温度調節器
 - (3) 水位検出器
 - (4) 起動スイッチ
 - (5) オンオフ式燃料調節器
- ⑤ 電氣的、機械的、及び時間的な ON/OFF 信号を取り込んで、機器を動作させるシーケンス制御に使用されない機器又は部品は、次のうちどれか。
- (1) 電磁継電器
 - (2) リミットスイッチ
 - (3) タイマ
 - (4) 水銀スイッチ
 - (5) 温度調節器
- ⑥ ボイラー取扱作業主任者が毎日行うべき事項として、誤っているものは次のうちどれか。
- (1) 急激な負荷の変動を与えないように努めること。
 - (2) 最高使用圧力を超えて圧力を上昇させないこと
 - (3) 安全弁の機能の保持に努めること
 - (4) 1週に1回以上水面測定装置の機能を点検すること。
 - (5) 適宜、吹出しを行い、ボイラー水の濃縮を防ぐこと。

図 5-1 7-③ 知識レベル確認試験問題（その 3）

- ⑦ 圧力又は水位の検出に用いられるものとして誤っているものは次のうちどれか。
- (1) 電極棒
 - (2) フロート
 - (3) ダイヤフラム
 - (4) ベローズ
 - (5) 超音波
- ⑧ ボイラーの水位に関する A から E までの記述について、正しいものの組み合わせは(1)～(5)のうちどれか。
- A：低水位による事故を防止するため、常に高水位を保つよう心掛ける。
 B：高水位を保つことによってプライミングを防止する事が出来る。
 C：運転中のボイラーでは水位は絶えず上下方向にわずかに動いているのが普通である。
 D： 効率のよい運転のため、1 回当りの給水量を多目とし、給水回数を減らすよう心掛ける。
 E： 2 組の水面計の水位を比較し、相違があればいずれかの水面計に機能障害がある
 と考える。
- (1) A・D
 - (2) B・E
 - (3) C・E
 - (4) D・E
 - (5) E・A
- ⑨ ボイラー水位の異常低下の原因として、誤っているものは次のうちどれか。
- (1) 給水ポンプが故障していた。
 - (2) 吹出し弁が漏れていた。
 - (3) 給水弁が閉じていた。
 - (4) 送気量を急激に増加させた。
 - (5) 最高使用圧力を超えて使用した。
- ⑩ 「水高計の目盛には、当該ボイラーの「 A 」を示す位置に、見やすい表示をすること。蒸気ボイラーの「 B 」は、ガラス水面計又はこれに近接した位置に、現在水位と比較することができるように表示すること。圧力計の目盛盤の最大指示は、「 C 」の 1.5 倍以上 3 倍以下の圧力を示す指度としなければならない。」
 上文中の「 」に入れる A、B 及び C の用語の組み合わせとして、正しいものは次のうちどれか。
- (1) 最高使用圧力 安全水面 常用圧力

図 5-1 7-④ 知識レベル確認試験問題 (その 4)

- | | | | |
|-----|--------|-------|--------|
| (2) | 最高使用圧力 | 常用水位 | 最高使用圧力 |
| (3) | 常用圧力 | 安全低水面 | 常用圧力 |
| (4) | 最高使用圧力 | 標準水位 | 常用水位 |
| (5) | 安全低水面 | 常用水位 | 常用圧力 |

問題4 次の文章の()の中に入れるべき適切な語句を語群から選び、回答用紙に記号で答えて下さい。また、同じ記号を2回以上使用してもよい。

水管の外側から加熱することによって生じるボイラ水の(1)差によって水の循環を行わせ、蒸気を発生させる自然循環式ボイラは、加熱を受けない場所に(2)管を設けるなどボイラ水の循環経路が整然としているため水の循環(3)が大きく、またそのために熱(4)率も大きいから伝熱面積あたりの熱(5)量を大きく出来る。

構造は簡単であるが保有水量が大きいので、負荷変動に対して蒸気圧力の変化が(6)く、比較的起動時間が(7)い丸ボイラに比べ、自然循環式水管ボイラは(8)径が小さいので高圧蒸気の発生にも適し、(9)面も広くとれるため大容量化が図れる。

水の臨界圧力である(10)MPaに近づくにつれ、飽和水と飽和蒸気との(11)差が小さくなるので、外部に設けたポンプによって強制的に循環させる(12)ボイラでは、水管の配置が比較的自由にできるためボイラ高さを(13)くできる利点がある。

さらに高圧となって超臨界圧となるとボイラ内に(14)水面を形成する状態がないので、ボイラ的一端から給水を押し込み他端から蒸気を取り出す(15)ボイラが採用される。この形式ではボイラ水の循環がなく、(16)ドラムも必要がない。ボイラに保有する水量が(17)いので起動がいつそう速い。

(語群)

ア-温度 イ-膨張 ウ-湿度 エ-吸収 オ-放射 カ-密度 キ-速度 ク-電熱 ケ-放熱
 コ-降水 サ-上昇 シ-自由 ス-汽水 セ-強制循環 ソ-貫流 タ-小さ チ-大き ツ-少
 な テ-長 ト-短 ナ-低 ニ-ドラム ヌ-3600 ネ-22.12 ノ-9.807

図5-17-⑤ 知識レベル確認試験問題(その5)

主要項目	チェック欄		操作内容 又は 備考欄の情報	その他メモ
	操作	備考		
1. 模擬火力発電プラントの 起動前準備			模擬火力発電プラントの電源を「ON」にする。	
			(1)火力発電プラント電源盤	
			①主電源: ON	
			②計器電源: ON	
			③カクハン機電源: ON	
			カクハン機本体が動かない事を確認する	
			④ポンプ2: ON	
			(2)通信盤	
			①H8電源LED: ON点灯確認	
			②H8通信LED: ON点灯確認	
			点灯しない場合はリセットボタンを押す	
			(3)ヒーター盤	
			①ヒーター電源: ON	
			②電源ランプ: ON点灯確認	
			(4)ポンプ2運転	
2. ボイラー起動前の準備			(画面表示)	
			・Bypass Pump: ON	
			・SENSOR DATAのBypass Pumpが100%となる	
			ポンプ2が動いている事を確認する	
			各設備が以下の状態である事を確認する。	
			ボイラー・タービンユニットの起動前の準備	
			・ボイラー関係	
			①PV-1, 4: 全閉 → 順番PV-1(), PV-4()	
			操作後のバルブの状態を再確認する → 順番PV-1(), PV-4()	
			②カクハン機本体: OFF	
			攪拌機は回転羽根が閉じていること	
			③ヒーター本体: OFF(加熱ランプが消灯している事)	
			④MV-1: 全閉	
			もし全閉となっていない場合は、操作画面より全閉とすること	
			(画面表示)	
3. バーナー点火			・MBV1: 0%	
			操作後のバルブの状態を再確認する	
			⑤ボイラー本体に漏れ、変色、破損などない事を確認	
			本体のつなぎ目から水漏れはないか	
			本体に変色はないか	
			本体にひび割れはないか	
			⑥ヒーターコイルの状態を確認	
			コイルの状態がおかしくないか	
			⑦棒状温度計の状態を確認	
			温度計の割れや表示には問題ないか	
			バーナーを点火する。	
			ボイラー水位が維持されている事を確認する	
			①カクハン機本体: ON	
			本体電源スイッチ: ON	
	4. バーナー消火			カクハン機が運転している事を確認する
			操作後のカクハン機の状態を再確認する	
			②ヒーター本体: ON	
			(画面表示)	
			・Heater: ON	
			・SENSOR DATAのHeater outputが100%となる	
			ヒーター制御盤の加熱ランプが点灯する	
			もし、点灯しなければ、操作を中断して原因を確認する	
			ヒーター運転後にボイラー内部の状態を確認する	
			操作後のヒーターの状態を再確認する	
			③TI-1温度確認	
			本体温度計でも温度を確認すること	
			(画面表示)	
			・SENSOR DATAのTemperatureが表示される。	
			もし、センサー温度計と本体温度計に大きな差があれば、操作を中断して原因を確認する	
4. バーナー消火			バーナーを消火する。	
			TIの温度は35℃±2℃とする	
			①温度が上昇すれば、ヒーター電源を切る	
			もし、温度が50℃以上になると、ボイラー本体が破損する	
			(画面表示)	
			・Heater: OFF	
			・SENSOR DATAのHeater outputが0%となる	
			ヒーター制御盤の加熱ランプが消灯する	
			もし、消灯しなければ、操作を中断して原因を確認する	
			ヒーター停止後にボイラー内部の状態を確認する	
			操作後のヒーターの状態を再確認する	
			②カクハン機本体: OFF	
			本体電源スイッチ: OFF	
			カクハン機が停止している事を確認する	
			ボイラー水位が維持されている事を確認する	
		もし、水位が維持されない場合は、操作を中断して原因を確認する		
		操作後のカクハン機の状態を再確認する。		

図 5-18-① チェックリストの例 (タスク 3 : 「バーナー点消火」)

主要項目	チェック欄		操作内容 又は 備考欄の情報	その他メモ
	操作	備考		
1. 模擬火力発電プラントの停止前準備			模擬火力発電プラントの電源を「ON」にする。	
			(1)本体関係	
			①LIC-1ランプ点灯:ON	
			②Level計表示:点灯	
2. 補助給水ポンプ停止前の確認			③配管からの水漏れ:なし	
			各設備が以下の状態である事を確認する。	
			ボイラー立ち下げ前の準備	
			・ボイラー関係	
			①ポンプ1:OFF	
			ポンプ1は停止していること	
			②ポンプ2:ON	
			ポンプ2は動いていること	
			(画面表示)	
			・Main pump: 0%	
			流量指示がない事も併せて確認する	
			・Bypass pump: 100%	
			流量指示が出ている事も併せて確認する	
			操作後のポンプの状態を再確認する	
			③PV-2、3、5:全開 → 順番PV-2()、PV-3()、PV-5()	
		左まわしで4と1/4回転で全開となる		
		操作後のバルブの状態を再確認する → 順番PV-2()、PV-3()、PV-5()		
		④PV-4:全閉		
		もし、全閉となっていない場合は、本体の弁を全閉とすること		
		もし、PV-4が開の場合、ボイラー水が本体の外に流出してボイラー水位が低下し、空焚きとなる		
		操作後のバルブの状態を再確認する		
3. 補助給水ポンプ停止			補助給水ポンプを停止し、水の循環を終了する	
			ボイラー内部の水の循環を停止させるため	
			①ボイラー本体の水位がほぼ一定であることを確認	
			(本体)	
			・本体のレベル計がほぼ一定で推移していること	
			(画面表示)	
			・SENSOR DATAのWater Levelがほぼ一定で推移していること	
			もし、ボイラー水位が上がる場合には、補給水ラインを再確認する	
			もし、ボイラー水位が下がる場合には、PV-4が開いていないか、または、配管の漏れなどがないかを確認する	
			ボイラー水位が維持されている事を再確認する	
			②ポンプ2:OFF	
			(画面表示)	
			・Bypass Pump: OFF	
			・SENSOR DATAのBypass Pumpが0%となる	
			ポンプ2が停止していることを確認する	
			配管のつなぎ目から水漏れはないか	
			操作後のポンプの状態を再確認する	
			③FI-2流量表示なしを確認	
		(画面表示)		
		・SENSOR DATAの Flow rate 2が0となる		
		SV=0%で0近辺の指示となる(多少ばらつく)		
		もし、流量表示が出ていなければ、流量計の状態を確認する		
		操作後の流量計の指示を再確認する		
		④PV-3:全閉		
		右まわしで4と1/4回転で全開となる		
		バルブの漏れがない事を確認する		
		操作後のバルブの状態を再確認する		
		⑤PV-2:全閉		
		右まわしで4と1/4回転で全開となる		
		バルブの漏れがない事を確認する		
		操作後のバルブの状態を再確認する		
4. ボイラー水位下げ			ボイラー本水位を下げる	
			ボイラー停止前の処置	
			①ボイラーの水位レベルを確認する	
			ボイラー水位が低水位(15cm未満)より下であれば、ボイラー水位を下げなくてよい	
			②PV-4を開けて、ボイラー本体の水位を下げる	
			右まわしで90°で全開となる	
			PV-4:任意で開	
			低下させたい水量に応じて開度調整を行うこと	
			③ボイラー水位が低下していることを確認	
			もし、ボイラー水位が低下していなかったら、操作を中断して原因を調べる	
			(本体)	
			・本体レベル計が少しずつ低下する	
			(画面表示)	
			・SENSOR DATAのWater Levelが少しずつ低下する	
		④ボイラー水位が目標値(16cm±1cm)となったら、PV-4を全開		
		左まわしで90°で全開となる		
		数分後、ボイラー水位が変動しない事を確認する		
		もし、ボイラー水位に変動があったら、原因を調べる。		
		操作後のバルブの状態を再確認する		

図5-18-② チェックリストの例 (タスク4:「ボイラー立ち下げ」)

操作実験後の操作レベル確認試験(タスク4)

※わからない問題があれば、空欄にしてください。

問1 次の問題を読んで、手順書に記載されていた内容を回答欄に記載して下さい。

- ①水位が何cmまでならボイラー水位を下げなくていいですか？
- ②ボイラー立ち下げ時において、何cmまでボイラー水位を下げますか？
- ③補助給水ポンプ停止前の確認で、PV-4が開の時どうなりますか？
- ④流量計の主な役割は何ですか？
- ⑤PV-4の弁は何°まわすと全閉、全開できますか？

問2 次の問題を読んで、a~dの選択肢の中から該当するものをアルファベットで回答欄に記載して下さい。

- ①補助給水ポンプ停止前の確認で、PV-4が全閉となっていない場合の対応はどれですか？
 a.制御卓から全閉操作する b.補給水ラインを確認する c.本体の弁を全閉する d.MV-1を全閉する
- ②ボイラー水位が上昇した時に、操作してもよい弁はどれですか？
 a.PV-1 b.PV-2 c.PV-3 d.PV-4
- ③補助給水ポンプ停止後に流量計の流量指示が出ている場合、どのような対応をとりますか？
 a.流量計の状態を確認する b.操作を中断して原因を確認する c.流量計を叩いてみる d.制御電源を一度OFFしてみる
- ④ボイラー水位が下がる場合、確認しなくてもよい機器はどれですか？
 a.配管類 b.PV-4 c.ボイラー本体 d.補給水ライン
- ⑤ボイラー水位下げ操作時の確認で、ボイラー水位が変動している場合、どのような対応をとりますか？
 a.制御電源をOFFにする b.センサーを叩いてみる c.(操作を中断して)原因を調べる d.操作を続ける

問3 次の問題を読んで、手順書の流れに沿ってa~dの選択肢を順番に並べ替えたものをアルファベットで回答欄に記載して下さい。

- ①大まかなボイラー立ち下げ手順の流れを作成しなさい
 a.補助給水ポンプOFF b.ボイラー水位の確認 c.FI-2流量なし確認 d.PV-4による操作

図5-19-② 操作実験後の理解度テスト(その2)

操作実験後の操作レベル確認試験(共通)

※わからない問題があれば、空欄にしてください。

問4 解答用紙に記載している本体の機器と名称を線で結んで下さい。その横に、本体の写真から該当する場所の番号を記載して下さい。

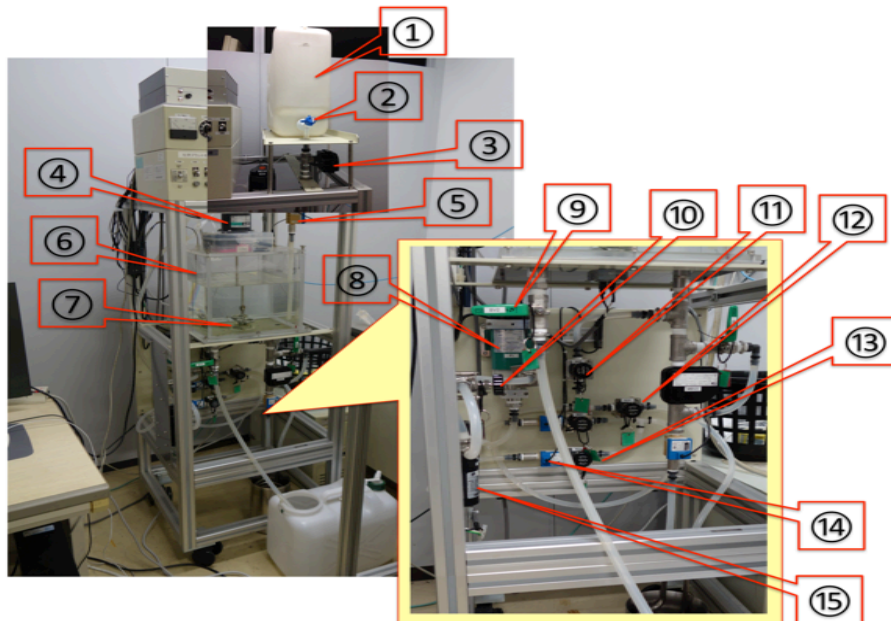


図5-19-③ 操作実験後の理解度テスト(その3)

手順書の使用感や記載情報が十分であったかなどについては、それらに關係する質問を以下のA～Eの5項目に分けて質問するアンケートを実施した。質問内容は、以下の通りである。

- ・質問A：使用した手順書
- ・質問B：手順書の備考欄に記載されている情報
- ・質問C：操作に必要な情報の抜けがあった事
- ・質問D：操作に必要な情報の抜けへの対応
- ・質問E：プロセスの理解度

加えて、本実験についての感想、意見、質問などについて、自由記述欄を設けて記載してもらった。アンケート用紙を図5-20-①～④に示す。なお、点数は質問に対する感じ方について1～5点の5段階と、該当しない（人数に含めない）で評価している。

最後に、タスクの操作パフォーマンスの評価方法について説明する。タスクの操作完了時間の測定は、実験中でのチェックリスト、及び録画した映像から確認した。タスクの操作時間には、プラント状態がある状態に至るまでの待ち時間が含まれるが、本実験では特に影響の大きかった操作として、タスク3のボイラー点火から消火を開始するまでの昇温時間は、タスク開始から終了までの時間から、昇温待ち時間を差し引いた時間をタスク実施時間としている。

タスクステップの抜け率については、手順書の各操作ステップにて操作が抜けた箇所はチェックリストに記録し、操作完了後の協力者へのインタビューでの確認やビデオの映像での再確認を行なって特定した。その結果から、手順書の各操作ステップに対する協力者のタスクステップ抜け率を、タスク3、及びタスク4の手順書に記載されているステップと、手順書記述から削除したステップに分けて計算した。抜け率は、各操作者に対して抜けた操作ステップ数をカウントし、該当する操作ステップ数で割って百分率で求めている。

操作リスクについては、操作が抜けたステップのうち、抜けが生じたことによってトラブルが発生すると考えられる操作ステップを、図5-14-①～②のトラブルインパクトマップを参照して、トラブルの内容を特定する。それぞれの事故ランクに応じ

て、Ⅰ：-10点、Ⅱ：-5点、Ⅲ：-3点、Ⅳ：-1点、トラブルなし：0点の点数で影響度を点数化した。発生したすべてのトラブル毎にその事故ランクに応じた点数に協力者の人数（4人又は6人）に対する抜けた人数と操作ステップの総数（タスク3：56ステップ、タスク4：55ステップ）で割った数を掛けて、操作リスクの点数を計算した。そして、発生したすべてのトラブルによる点数を総和し、操作リスクとして評価した。計算式を式（1）に示す。

$$r = \sum_i \frac{m_i}{n} \times S_i \quad (1)$$

ここで、各記号については

r ：操作リスク（点）

m_i ：発生した操作ステップの抜けた述べ数（ステップ）

S_i ：抜けた操作ステップの影響度（点）

n ：総操作ステップ数（55又は56ステップ）

を示している。

模擬火力発電プラントの手順書による操作後の確認アンケート

2014/11/13

T.Matsubara

実験へのご協力感謝いたします。さて、模擬火力発電プラントを提供された手順書で操作していただきました。その手順書について、いくつかの質問をさせていただきます。使用した手順書について次の質問に当てはまる回答を次の 1～5 の中から該当する数字を○（該当しない場合は、該当なしの□にチェック）してください。自由記述についても回答をよろしく願います。

(協力者番号：) ←各自の番号を**必ず**記載願います。

今回使用した手順書の備考欄に記載された情報（以下、備考と呼ぶ）に関するアンケート

A. 操作に使用した手順書について

A-1. 手順書は使いやすかったか？

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5 □

A-2. 自信を持って操作出来たか？

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5 □

A-3. 操作全体の流れが理解出来たか

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5 □

図 5-20-① アンケート用紙 (その1)

B. 手順書の備考欄に記載されている情報について

B-1. 十分な情報が記載されていたと思うか

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5

B-2. 操作の参考になったと思うか?

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5

B-3. 情報の内容が理解出来たと思うか?

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5

C. 操作に必要な情報に抜けがあった事について

C-1. 気がついたか?

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5

C-2. 何の情報が抜けているかを具体的に認識する事が出来たと思うか?

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5

図 5-20-② アンケート用紙 (その 2)

C-3. 操作結果に問題がなければ、抜けていても良いと思うか？

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5

D. 操作に必要な情報の抜けへの対応について

D-1. 自信を持って対応出来たと思うか？

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5

D-2. 操作教育を思い出しての対応であったか？

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5

D-3. 過去の操作経験を応用した対応であったか？

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

1 2 3 4 5

D-4. 上記 D-2 又は 3 以外の知見での対応であったか？

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

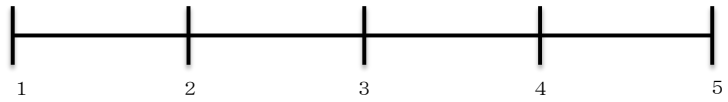
1 2 3 4 5

図 5-20-③ アンケート用紙 (その 3)

D-5. 操作結果に問題がなければ、対応はしなくてもよいと思うか？

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

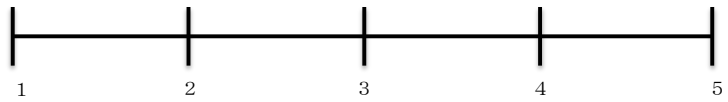
□



E. 操作手順書の範囲でのプロセスの流れは理解出来たと思うか？

そう思わない あまり思わない どちらともいえない ややそう思う そう思う 該当なし

□



F. 本実験や、これまでの質問に関して、意見や感想などをお聞かせください



以上でこのアンケートは終了です。ご協力ありがとうございました。

図 5-20-④ アンケート用紙 (その4)

5.8 まとめ

本章では、はじめに実験で確認する手順書の備考欄の情報の種類と、操作者のスキルによる特徴について調査した。その結果、備考欄の情報は操作者の持つスキル、中でも特に初級者と中級者以上によって必要な情報と必要でない情報の2種類に大分類され、さらに情報の持つ意味によって、それぞれ3種類の情報に小分類されることを明らかにした。次に、初級者を対象とした「手順書を補足する備考欄の情報について、初級者にとっては、どのような情報が必要かを実験結果から明らかにする」の実験を行うこととし、①操作の時間は短くなる、②操作ステップの抜け率は減少する、③トラブルの発生率は減少する、④操作の理解度は向上する、の4つの作業仮説を評価項目とした。実験環境の検討として、セミスケールの模擬化学プラントを改造した模擬火力発電プラントを使用すること、及び実験で使用する手順書と備考欄の情報の抽出は、検討したリスク評価方法にて評価し、タスクはタスク3とタスク4としたこと、及び備考欄の情報は特にトラブル発生への影響度のある、表5-3のb：手順書の各操作結果が異なった場合の対応、及びe：手順書の各操作実施後の目安となる情報（操作前後の確認も含むの2種類を選択したことを説明した。さらに、作業仮説③のトラブル発生率評価のため、リスク評価方法で評価したトラブルをその大きさによって4つのランクに分けた。実験の方法では、実験協力者が初級者である事を確認するための確認試験、平等評価となるような操作に関する情報の提供、及び操作訓練の実施方法のマニュアル化、実験の途中で質問は受け付けない、実験後の理解度テスト、及び実験に関するアンケートについて説明した。

第6章 実験結果と考察

6.1 実験の協力者について

本実験の協力者は、所属研究室の理工系学生18名（工学系学部の3年生～修士2年生）である。このうち手順書の内訳としては、全て記載が6名、bの一部のみ削除が4名、eの一部のみ削除が6名である。2名は実験条件不備となったため、今回は含めていない。

6.2 協力者の知識レベル

知識レベル確認テストの結果、協力者の18名中17名が60点未満で初級者と判定された。1名は61点となったが、解答が空欄となるダミー問題も解答していたため、判断出来なかったとして初級者と判定した。

6.3 タスクの目標達成状況と操作完了までの平均時間

各タスクの達成条件は、16人の協力者のうち15人が満たした。タスク3とタスク4の平均操作時間を表6-1に示す。なお、表6-1の括弧内の数字は標準偏差を示す。平均操作時間は、全て記載に対して、合計でbの一部のみ削除が平均248秒、eの一部のみ削除が平均225秒早く完了した

表6-1 タスク3及びタスク4の平均操作完了時間

項目		全て記載	bのみ削除	eのみ削除
タスク平均 完了時間 (秒)	タスク3	504(78)	397(82)	434(94)
	タスク4	579(105)	438(77)	424(97)
	合計	1083(178)	835(144)	858(136)

6.4 タスクの操作ステップの抜け率

タスクの操作ステップの抜け率の結果を表6-2に示す。手順書に記載されている操作ステップの平均抜け率は、全て記載で3.0%、bの一部削除で2.8%、eの一部

削除で2.0%となり、どの手順書も、記載されている操作ステップの抜け率は同じで低くなっている。それに対して、手順書から削除した操作ステップの平均抜け率は、bの一部削除は0%であったが、eの一部削除は58.4%と非常に高い。また、表6-3には、抜けがあった操作ステップに対する備考欄での記述を示す。ここで、同じステップが複数回抜けた場合は、情報×抜けた箇所数で表現している。

表6-2 操作ステップ平均抜け率

手順書の情報		タスク名		
		タスク3	タスク4	タスク3、及び4の全体平均抜け率(%)
全て記載	記述情報ステップ数	56	55	—
	平均抜け率(%)	3.0	3.0	3.0
bの一部のみ削除	削除情報ステップ数	5	6	—
	平均抜け率(%)	0.0	0.0	0.0
	記述情報ステップ数	51	49	—
	平均抜け率(%)	2.9	2.6	2.8
eの一部のみ削除	削除情報ステップ数	14	12	—
	平均抜け率(%)	57.1	59.7	58.4
	記述情報ステップ数	42	43	—
	平均抜け率(%)	3.2	0.8	2.0

6.5 操作リスク

操作の抜けによって発生したと想定されるトラブルの結果を、表6-4に示す。表6-4中ステップの○内の番号は、表5-1 4-①～②のトラブルNo.を、トラブル名の最後に記載されている括弧内のローマ数字は、図5-1 6のボイラー事故のランクをそれぞれ示している。表6-4が示す通り、eの一部のみ削除の手順書では、トラブルランクⅠ、Ⅱの設備や人身に影響の大きなトラブルが発生する可能性が高くなっている。5.7で説明した操作リスクの計算式(1)による計算結果を表6-5に示す。操作リスクは、全て記載に比べて、bの一部のみ削除は約1/2倍、eの一部のみ削除は、約9倍となっている。

表 6-3 操作ステップの抜けに対する備考欄の記述

タスク	操作ステップの抜け箇所		
	全て記載	bのみ削除	eのみ削除
タスク3	<p>(手順書に記載されているもの)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カクハン機本体:OFF ・操作後のバルブの状態を再確認する。 ・ボイラー水位が維持されている事を確認する。 ×2箇所 ・操作後のヒーターの状態を再確認する。 ×2箇所 	<p>(手順書に記載されているもの)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カクハン機本体が動かない事を確認する ・カクハン機本体:OFF ・ヒーター本体:OFF(加熱ランプが消灯している事) ・操作後のバルブの状態を再確認する ・操作後のヒーターの状態を再確認する ×2箇所 	<p>(手順書に記載されているもの)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カクハン機本体が動かない事を確認する。 ・カクハン機本体:OFF ・TIの温度は35°C±2°Cとする。 ・操作後のヒーターの状態を再確認する。 ・カクハン機が停止している事を確認する。 ・操作後のカクハン機の状態を再確認する。 <p>(手順書に記載されていないもの)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・操作後のバルブの状態を再確認する。 ×2箇所 ・攪拌機は回転羽根が閉じていること。 ・本体のつなぎ目から水漏れはないか。 ・本体に変色はないか。 ・本体にひび割れはないか。 ・ボイラー水位が維持されている事を確認する。 ×2箇所 ・カクハン機が運転している事を確認する。 ・ヒーター制御盤の加熱ランプが点灯する。 ・ヒーター運転後にボイラー内部の状態を確認する。 ・操作後のヒーターの状態を再確認する。 ・ヒーター制御盤の加熱ランプが消灯する。 ・ヒーター停止後にボイラー内部の状態を確認する。
タスク4	<p>(手順書に記載されているもの)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・操作後のポンプの状態を再確認する。 ・ボイラー水位が維持されている事を再確認する。 ・操作後の流量計の指示を再確認する。 ・操作後のバルブの状態を再確認する。 ・本体レベル計が少しずつ低下する事を確認する。 ・SENSOR DATAのWater Levelが少しずつ低下する事を確認する。 ・数分後、ボイラー水位が変動しない事を確認する。 	<p>(手順書に記載されているもの)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ポンプ2:ON ・操作後のポンプの状態を再確認する ・ボイラー水位が維持されている事を再確認する ・操作後の流量計の指示を再確認する 	<p>(手順書に記載されているもの)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・操作後のバルブの状態を再確認する。 ・操作後のポンプの状態を再確認する。 <p>(手順書に記載されていないもの)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ポンプ1は停止していることを確認する。 ・ポンプ2は動いていることを確認する。 ・流量指示がない事も併せて確認する。 ・流量指示が出ている。事も併せて確認する。 ・操作後のポンプの状態を再確認する。 ・操作後のバルブの状態を再確認する。 ・ボイラー水位が維持されている事を再確認する。 ・操作後の流量計の指示を再確認する。 ・バルブの漏れがない事を確認する。 ×2箇所

表 6-4 実験で観察された操作ステップの抜けによって

発生すると考えられるトラブル

項目	全て記載
タスク3	③ バーナー消火不良 (Ⅱ) :2名 ⑩ バーナー点火不良 (Ⅱ) :2名 ⑱ 水位レベル調整異常 (Ⅲ):1名
タスク4	⑬ 水位レベル調整異常 (Ⅲ):1名×2箇所 ⑭ ボイラー空焚き (Ⅱ) :1名

項目	bのみ削除
タスク3	① バーナー点火不良 (Ⅱ) :1名 ③ バーナー消火不良 (Ⅱ) :1名
タスク4	② ポンプ故障 (Ⅲ) :1名

項目	eのみ削除
タスク3	① バーナー点火不良 (Ⅱ) :2名 ③ バーナー消火不良 (Ⅱ) :4名 ⑥ 本体破損・焼損 (Ⅰ) :1名×3箇所 ⑨ 水位レベル調整異常 (Ⅲ) :5名 ⑩ バーナー点火不良 (Ⅱ) :3名 ⑪ バーナー点火不良 (Ⅱ) :3名+5名(2箇所) ⑮ ボイラー破損 (Ⅰ) :1名+3名+4名(3箇所) ⑰ バーナー消火不良 (Ⅱ) :1名 ⑱ 水位レベル調整異常 (Ⅲ) :2名
タスク4	① ポンプが故障であると勘違い (Ⅳ):2名+5名(2箇所) ② ポンプ故障 (Ⅲ) :2名+5名(2箇所) ⑩ 水の循環不良 (Ⅱ) :6名 ⑪ 水の循環不良 (Ⅱ) :6名

表 6-5 操作リスク

操作 リスク (点)	全て記載	
	タスク3	0.068
	タスク4	0.033
	合計	0.102
	bの一部のみ削除	
	タスク3	0.045
	タスク4	0.014
	合計	0.058
	eの一部のみ削除	
	タスク3	0.658
タスク4	0.267	
合計	0.925	

6.6 操作に関する理解度

操作の理解度テストの結果を図6-1に示す。bの一部のみ削除の人数は4人、他の人数は6人のため、比較する際は注意が必要である。図6-1のうち、特に低い結果となった個所について説明する（色付部分）。まず、問1の手順書に記載されている内容の自由記述では、3種類全ての組み合わせではタスク3の②とタスク4の①、全て記載とbの一部のみ削除ではタスク4の②、全て記載とeの一部のみ削除の組み合わせではタスク3の⑤、bの一部のみ削除とeの一部のみ削除ではタスク3の④、タスク4の④がそれぞれ低い結果となっている。問2の操作に関する選択式の質問では、3種類全ての組み合わせではタスク3の③、タスク4の③がそれぞれ低い結果となっている。問3のいくつか記載された手順書の流れの並び替えの選択式の質問では、bの一部のみ削除とeの一部のみ削除でタスク4の①が低い結果となっている。

全て	6	1	5	4	1	6	5	2	5	5	6	0	3	5	3	5	5	6	2	6	5	4
bの一部のみ削除	3	1	3	1	3	4	4	1	4	4	3	0	3	2	2	4	3	4	2	2	3	1
eの一部のみ削除	6	1	3	1	2	6	4	1	6	5	6	0	5	3	2	6	5	5	2	4	5	1
確認試験問題	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	①	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	①
	問1					問2					問3	問1					問2					問3
	タスク3											タスク4										

図6-1 理解度テスト結果

6.7 手順書に関する主観評価

手順書に関するアンケートの回答結果を図6-2に示す。ここで、点数が高いほど、質問に対して協力者が強く感じているという評価となっている。図7-3のうち、特徴のある個所について説明する（色付部分）。質問Aの使用した手順書の使用感については、A-1～3のすべての項目について、全て記載が回答平均点は高く、続いてbの一部のみ削除も同様に高い結果となっている。質問Bの手順書の備考欄に記載されている情報については、B-1（情報の十分性）がeの一部のみ削除のみ低くなっている。B-2（操作の参考）、及びB-3（情報の内容の理解度）については、3種類の手順書の組み合わせで高い結果となっている。質問Cの操作に必要な情報の抜け

については、C-1（気がついた）、及びC-2（抜けた情報の具体的内容）で e の一部のみ削除が回答平均点は高くなっている。質問Dの操作に必要な情報の抜けへの対応については、D-2（操作教育を思い出した）で b の一部のみ削除、及び e の一部のみ削除の回答平均点は高くなっている。

全て	3.8	4.3	4.2	4.3	4.7	4.0	1.7	1.7	2.5	2.2	2.6	1.6	1.6	2.3	3.8
bの一部のみ削除	3.5	4.3	4.0	4.8	5.0	4.5	2.0	1.8	2.8	3.5	4.5	3.0	1.0	2.3	4.5
eの一部のみ削除	2.8	3.2	3.7	2.7	4.7	4.2	3.2	2.7	2.2	1.4	3.8	2.0	2.2	1.8	3.8
アンケート質問	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	5	E
	A			B			C			D					

図6-2 操作実験終了後のアンケート結果

6.8 考察

仮説のうちで予想通りの結果となったのは、具体的な仮説②の操作ステップの抜け率の減少と、仮説③のトラブル発生率の減少である。トラブルに結びつきやすい情報が、全て記載の手順書は、初級者に必要とされる備考欄の情報を含む操作ステップが全て記載されていたことにより、抜け率やトラブル発生率が減少した。また、bの一部のみ削除の手順書では、今回の実験では削除された備考欄の情報に該当する操作後の結果に変化がなく、抜けた情報を必要としなかったためトラブル発生率が減少したと考えられる。また、5.7の実験手順の検討の中で、プラントの操作者としての基本動作として「操作した機器を操作後にもう一度確認する事」として説明していた。それにもかかわらず、操作ステップの動作抜けが、操作ステップの操作後における確認や再確認において多く発生している。しかも、ボイラーの運転では、ボイラー水位の管理が非常に重要となっているが、ボイラー水位の維持を確認する操作ステップの抜けも多く発生している。一方、備考欄の削除情報のうちの操作後の再確認に関する情報については、類似した情報を、削除情報の前後に記載した。それによって、削除された操作ステップを思い出して実施し、eの一部のみ削除の手順書の操作者全員で操作の抜けがカバーされた操作ステップがタスク4で2箇所あった。その一例を、図6-3に示す。ここで、操作者は①のPV-3の操作ステップでは「操作後のバルブの状態を再確認する」の記載がない事で、この操作ステップを実施しなかった。しかし、次の②のPV-2の操作ステップでは「操作後のバルブの状態を再確認する」の記載

があるため、P V-2 の操作後のバルブの状態を再確認した後、③として①で飛ばした P V-3 の状態を再確認した。

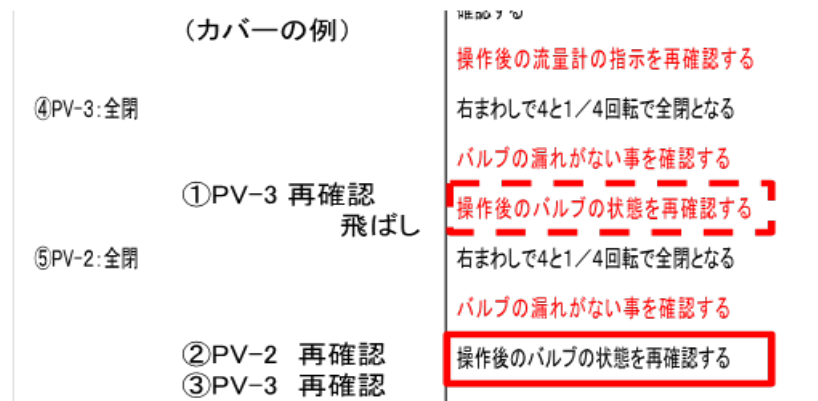


図 6-3 抜けのフォロー箇所

予想と異なった結果となったのは、仮説①の操作時間が短くなると、仮説④の操作の理解度の向上である。仮説①の操作時間は、全て記載の手順書の方が長くなった。全て記載の手順書に記載されている情報量は、bの一部のみ削除、及びeの一部のみ削除の手順書より多く、備考欄の文字数の差は5.6.3(b)で述べた通りbの一部のみ削除で351文字、eの一部のみ削除で434文字である。日本人の平均文字読み速度は毎分400～600文字という調査結果[46]がある。この平均文字読み速度から、全てを記載した手順書を読むのに必要な時間は、eの一部のみ削除の手順書の場合に比べて1分程度延びると推定される。しかしながら、全て記載した手順書を使用した操作では4分程度遅くなっている。これは、操作者が手順書の備考欄の情報も含めた操作ステップの一つひとつを読み上げ、内容を理解してから次のステップに進んでいるため、ただ読み上げるよりも時間が必要であったものと考えられる。

仮説④の操作の理解度は、アンケートのA-3やB-3の回答からかなり高い理解を示しているが、確認試験では正答率が低くなった。これに該当する問題はタスク3、及びタスク4の問3の①である。内容は操作手順が書かれた選択肢の並び替えで、手順書の情報量は関係ないが、bの一部のみ削除、及びeの一部のみ削除の手順書ではタスク4の正答率が低くなった。解答を見ると、操作手順の最初の選択肢はbで4人中2人、eで6人中4人が選んでおり、理解はしていると考えられる。しかし、その次からの手順は、bの一部のみ削除の場合は操作時に手順書に目を通す時間が少なく、

手順の理解度が薄れてしまったと考えられる。eの一部のみ削除の場合は備考欄の情報が記載されていなかったことにより、操作ステップの見直しや、操作ステップの忘れなどが重なり、操作手順の理解が不足してしまったのではないかと考えられる。

操作後の理解度テストにおいては、タスク3、及び4の問1の記述式解答問題では、手順書の種類に関わらず問題によっては正答率が低いものもあった。これらの問題では、手順書に記載された情報、及び教育にて説明した内容を、操作完了時の時点で、どれだけ正確に理解して解答出来ているかで採点した。そのため、解答内容が数値の場合は、目標となる数値と許容範囲（ $16\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$ や、 $35\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ など）があるものは、それらが記載されていない場合は不正解とした。タスク3の②は、目標となる数値自体が理解出来ておらず、正答率が低くなっていた。それに対して、タスク4の問1の①、②では、目標となる数値については、タスク4の①では16人全て、②では16人中15人が正解していた。しかしながら、許容範囲の記載がない解答が多かったため、結果的に正答率が低くなった。そのため、数値情報、特に許容範囲については、初級者が容易に理解出来る工夫が必要である。それに対して、解答を文章で記述する問題は、手順書に記載された情報と同じ意味であると判断出来る内容は正解とした。その結果、操作者はおぼろげながらも理解されているようで、正答率は高い。このうち、eの一部のみ削除の手順書では、タスク3の④、タスク4の④が低くなった。これらは操作実験前に実施した教育の中で説明した情報についての問題であったが、解答内容が正解と異なっている、又は解答欄に空欄が多くあったことにより、正答率が低くなった。これらの問題には、手順書の操作ステップの中にヒントとなる情報が記載されていた。しかしながら、bの一部のみ削除の手順書を使用した操作者は、eの一部のみ削除のよりも操作完了時間が短くなった事から、操作ステップがスムーズに進められた事で、情報の重要性に気がつかず理解度が低下してしまったものと考えられる。それに対して、eの一部のみ削除の手順書を使用した操作者は、手順書の操作ステップを進めるうちに、手順書の備考欄に記載されていない情報がある事に気がつき、それらの情報を思い出す事に意識が集中してしまった。その結果、備考欄に記載されていたヒントとなる情報への理解度が低下してしまったのではないかと考えられる。タスク3の⑤では、全て記載とeの一部のみ削除の組み合わせで正答率が低くなった。この問題の解答では、手順書に記載されている情報の内容ではなく、操作中の動作を表す内容の記載が3件あった。初級者は、実際に操作中に行う動作を手順書の内容と取り違えて理解する傾向があるといえる。

問2は、問題の内容に対して適切な選択肢を選んで解答する内容であり、正答率は全体的に高い。このうち、タスク3の③は正解となる選択肢が2つあるため、両方の選択肢を解答した場合のみ正解とした。その結果、3種類全ての組み合わせで低い正答率となった。しかしながら、全ての操作者が正解となる選択肢のどちらか一方を解答しており、部分的には理解しているといえる。タスク4の③は3種類全ての組み合わせで低い正答率となっている。この問題は、トラブル発生時の対応に関する問題であったが、16人中10人が他のトラブルについての対応の選択肢を解答していた。今回の実験ではトラブルへの対応は必要なかったが、トラブルが発生した場合の適切な対応に関する情報は、初級者に対して確実に伝える必要があるといえる。

アンケートでは、全て記載、及びbの一部のみ削除の手順書を使用した操作者は、手順書の使いやすさや、操作への自信度が高い点数となっている。一方、eの一部のみ削除の手順書の操作者は、それに比べて低い点数となった。手順書の備考欄に記載されている情報量についても、B-1で点数が低くなっており、十分な情報が記載されていないと回答している。また、操作に必要な情報の抜けに対しても、C-1やC-2において回答の点数が高く、情報が抜けていることには気がついているようである。また、D-2の操作に必要な情報の抜けへの対応については、bの一部のみ削除とeの一部のみ削除で点数が高い。これは、操作の細かい部分やすぐに思い出せないなどの理解が不足している部分については、操作を実施しながら、事前の模擬火力プラントの概要説明や操作訓練の内容を思い出して対応していることを示唆している。よって、初級者には操作前にあらかじめ全て記載された手順書の情報を説明しておいたほうが、情報の抜けの判断や、操作の抜けのフォローについて有効であるといえる。

初級者の操作状況を観察していると、タスクの操作については、基本的には与えられた手順書に沿って実施する傾向が強いと感じた。また、実験開始時には、手順書に記載されているタスク名から操作の大まかな流れを思い出しているようである。実験開始直後に協力者に手順書を配布する形をとったため、実験開始と同時に一通り手順書に目を通す場面も見受けられた。bの一部のみ削除の手順書では、備考欄の情報の必要性が低く、手順書の読み直し動作は少なかった。しかし、eの一部のみ削除の手順書を使用した操作者は、操作実験中には手順書を何度も読み直したり、手順を戻ったりなどの動作が多く見受けられた。これらより、今回の実験における初級者は、操作ステップに記載されていない備考欄の情報は思い出す事が出来なかったといえる。

そして、操作の途中で備考欄に参考となる情報がなく、必要な情報を思い出さなければ、次の操作ステップに進んでいることなどから、操作者としての基本通り初級者は手順書に忠実に操作する傾向がある（実際には手順書の操作に疑問がある場合は、操作管理者に確認する事があるが、本実験ではそういった確認は操作の途中では受け付けなかったため、協力者が疑問を持っていたかどうかは不明である）。

以上の結果から得られた結論を述べる。今回の実験で使用した手順書は、初級者の操作時の行動や操作結果（操作ステップの抜けや操作エラーの影響度）から、主導的な位置づけであったといえる。そのため、初級者においては、必要な情報（特に今回の場合では、「e」の（手順書の各操作実施後の目安となる情報（確認を含む））は備考欄に記載する方が、操作時間は長くなるが、操作ステップの抜け率やトラブル発生率は減少する。また、手順書に記載する情報のうち、数値で表現する情報は初級者に容易に理解させる工夫が必要である。次に、操作の参考となる細かい情報のうち、重要な機器操作やトラブル対応については、備考欄に記載すると同時に、プラントの概要説明や操作教育にて、重要な操作であることを理解させる必要がある。また、手順書の中に類似する操作ステップとそれらを補足する備考欄の情報がある場合には、備考欄の情報は類似する操作ステップの最初にのみ記載すればよいと結論づけられる。

以上の結論から、初級者に使いやすい手順書の作成に対する注意点を考察する。初級者に対して提供する手順書には、操作に必要な情報を備考欄に記載する方が、操作時間は長くなるが、操作ステップの抜け率やトラブル発生率は減少することがわかった。しかしながら、手順書に多くの情報を記載しても、実験結果からみた初級者の行動として手順の途中で詰まると、そこで手順書を読み返す、又は先に操作を進めることが出来ないことから、操作ステップの抜けは発生してしまう。そのため、操作に特化した情報（特に今回の場合では、「e」の（手順書の各操作実施後の目安となる情報（確認を含む））を優先的に記載することが必要である。

手順書に記載する情報のうち、数値で表現する情報については、初級者が容易に理解出来るよう、数値を明確に記載する。例えば「 $15^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 」のような場合は「 $14^{\circ}\text{C} \sim 16^{\circ}\text{C}$ 」と明確に記載する方が容易に理解出来ると考えられる。

操作の参考となる細かい情報のうち、特にトラブルの対応に関する情報（今回では

「b」の（手順書の各操作結果が異なった場合の対応）については、手順書の備考欄の最初に「操作結果が異なる場合は中断して原因を調べる」を記入して初期対応を一元化し、詳細の手順は別にする（プラントの概要説明や操作教育などで説明する）、あるいは、操作結果が異なる場合に必要となる備考欄の情報を、手順書の手順終了後の余白に記載し、該当する備考欄の操作ステップ部には、記号番号を記載する方が、使いやすさの面で有効であるといえる。

手順書の手順の中で特に重要な機器装置のうち、抜けてはいけない操作ステップは手順に含める、又は、備考欄に記載する場合には、重要な操作ステップであることを明示する（太字にする、書体を変えるなど）、あるいは、操作ステップの後に「抜けやすいので注意」などを記入して注意喚起すると同時に、プラントの概要説明や操作教育において理解させる。

手順書の中の類似する操作ステップを補足する備考欄の情報では、操作ステップ数が少ない場合は、備考欄の情報は類似する操作ステップの最初にのみ記載すればよく、操作ステップが多くある場合には、手順書の備考欄の最初に「（※部では、必ず再確認する事）」と記入して、再確認するステップの個所に※を記載すれば、操作者に抜けたステップを気付かせることが可能である。

以上の考察結果と操作訓練や教育訓練などの必要性の関係を整理し、初級者が使いやすい手順書の作成条件を表6-6に示す。また、表6-6で整理した作成条件を用いて、今回の実験で使用したタスク3、及びタスク4について、手順書の作成例を図6-4-①～②に示す。備考欄の下線部の情報が変更点となっている。また、操作手順自体に記載したほうが効果のある情報については、操作内容欄に記載した。文字数の比較については以下の通りである。

（参考）初級者に使いやすい手順書の備考欄の文字数とこれまでの比較

全 て 記 載：6 1 9 + 7 3 8 = 1 3 5 7 文字
b の一部のみの削除：4 7 2 + 5 3 4 = 1 0 0 6 文字
e の一部のみの削除：3 8 0 + 5 4 3 = 9 2 3 文字
初級者用の対策済：5 1 6 + 5 7 0 = 1 0 8 6 文字
（操作内容欄追加含）：5 6 9 + 5 9 6 = 1 1 6 5 文字

表 6-6 今回の実験結果から考えられる初級者が使いやすい手順書の作成条件

実験結果の評価	実験結果から反映すべき対応の方向性	手順書作成にあたっての注意点		その他の対応の必要性	
				操作訓練	教育訓練
初級者の行動	(1)基本的には与えられた手順書に沿って実施する傾向がある。	①	操作に必要な情報を基本とする。 ⇒今回の場合は「bの一部のみ削除の手順書」	○	△
	(2)途中で詰まると先に進めない。				
	(3)備考欄の操作ステップが抜けていても必要性を感じない場合は、そのまま次の操作ステップに移る。				
	(4)備考欄の操作ステップが抜けていると何度も読み直す(手順を戻す)。				
タスクの操作完了時間	(1)bの一部のみが早い(余計な手順は必要ない)。 (2)全てをひとつひとつ読み上げる。	①	操作に必要な情報を基本とする。 ⇒今回の場合は「bの一部のみ削除の手順書」	○	△
操作ステップの抜け率	(1)削除情報はbの一部のみが少ない(必要性がない)。				
	(2)記述情報はeの一部のみが少ない(情報量が少ない事、及び繰り返して読むため抜けない)。				
理解度の向上	(1)操作ステップの流れが理解しやすい方がよい。	②	数値範囲を明確化する。	×	○
	(2)数値情報(特に許容範囲)は明確にする。				
	(3)情報の重要性を認識させる。				
トラブル発生率の減少	(1)再確認に関する情報は記載するが、類似情報は一つでよい。(再確認すべき設備を集約する)	④	(案1) 類似するステップが少ない場合は、類似ステップの最初のステップにのみ情報を記載する。	○	○
		⑤	(案2) 手順書の備考欄の最初に「(※部では、必ず再確認する事)」を記入して、再確認するステップの個所に※を記載する。	△	△
	(2)特に重要な操作ステップは理解度を向上させる。「(「ボイラーの水位が維持されていることを再確認する。」など)	⑥	抜けてはならない操作ステップは手順に含める。	×	○
	(3)トラブルの対応については確実に伝える必要がある。	⑦	(案1) 手順書の備考欄の最初に「操作結果が異なる場合は中断して原因を調べる」を記入して、初期対応を一元化して、詳細の手順は別にする。	△	○
		⑧	(案2) 操作結果が異なる場合の備考欄の情報を、手順書の手順終了後の余白に記載し、該当する備考欄の操作ステップ部には、記号番号を記載する。	△	○

模擬火力発電プラント 操作手順書

操作名： バーナー点消火

目的（ バーナーを点消火する ）

承認	確認	作成

作成年月日：2014年4月22日

修正年月日：2015年1月19日

主要項目	操作内容	備考
1. 模擬火力発電プラントの 起動前準備	模擬火力発電プラントの電源を「ON」にする。 (1) 火力発電プラント電源盤 ①主電源: ON ②計器電源: ON ③カクハン機電源: ON ④ポンプ2: ON (2) 通信盤 ①H8 電源 LED: ON 点灯確認 ②H8 通信 LED: ON 点灯確認 (3) ヒーター盤 ①ヒーター電源: ON ②電源ランプ: ON 点灯確認 (4) ポンプ2運転 (画面表示) ・Bypass Pump: ON ・SENSOR DATA の Bypass Pump が100%となる	(※部では、必ず再確認する事) (もし操作と異なる場合は中断して原因を調べる) カクハン機本体が動かない事を確認する 点灯しない場合はリセットボタンを押す ポンプ2が動いている事を確認する
2. ボイラー起動前の準備	各設備が以下の状態である事を確認する。 ・ボイラー関係 ①PV-1、4: 全閉 ②カクハン機本体: OFF (抜けやすいので注意) ③ヒーター本体: OFF (加熱ランプが消灯している事) ④MV-1: 全閉 (画面表示) ・MBV1: 0% ⑤ボイラー本体に漏れ、変色、破損などない事を確認 ⑥ヒーターコイルの状態を確認 ⑦棒状温度計の状態を確認	ボイラー・タービンユニットの起動前の準備 ※ 攪拌機は回転羽根が閉じていること △1 ※ 本体のつなぎ目から水漏れはないか 本体に変色はないか 本体にひび割れはないか コイルの状態がおかしくないか 温度計の割れや表示には問題ないか

図6-4-① 手順書の作成例（タスク3：「バーナー点消火」その1）

手順書 No.タスク-3 B

主要項目	操作内容	備考
3.バーナー点火	<p>バーナーを点火する。</p> <p><u>①ボイラー水位が維持されている事を確認する</u></p> <p>②カクハン機本体:ON 本体電源スイッチ:ON</p> <p>③ヒーター本体:ON (画面表示) ・Heater:ON ・SENSOR DATA の Heater output が100%となる</p> <p>③TI-1温度確認 (画面表示) ・SENSOR DATA の Temperature が表示される。</p>	<p>カクハン機が運転している事を確認する ※</p> <p>ヒーター制御盤の加熱ランプが点灯する △2</p> <p>ヒーター運転後にボイラー内部の状態を確認する ※</p> <p>本体温度計でも温度を確認すること △3</p>
4.バーナー消火	<p>バーナーを消火する。</p> <p>①温度が上昇すれば、ヒーター電源を切る (画面表示) ・Heater:OFF ・SENSOR DATA の Heater output が0%となる</p> <p>②カクハン機本体:OFF 本体電源スイッチ:OFF</p> <p><u>③ボイラー水位が維持されている事を確認する</u></p>	<p>TIの温度は<u>33°C~37°C</u>とする △4</p> <p>ヒーター制御盤の加熱ランプが消灯する △2</p> <p>ヒーター停止後にボイラー内部の状態を確認する ※</p> <p>カクハン機が停止している事を確認する ※</p> <p>△5</p> <p>(異常時対応) △1 全閉となっていない場合は、操作画面より全閉とすること △2 点灯(又は消灯)しなければ、操作を中断して原因を確認する △3 センサー温度計と本体温度計に大きな差があれば、操作を中断して原因を確認する △4 温度が50°C以上になると、ボイラー本体が破損する △5 水位が維持されない場合は、操作を中断して原因を確認する</p>

図6-4-① 手順書の作成例 (タスク3:「バーナー一点消火」その2)

手順書 No.タスク-4 B

模擬火力発電プラント 操作手順書

操作名： ボイラー立ち下げ

承認	確認	作成

目的（補助給水ポンプを停止し、ボイラー水位を調整する）

作成年月日：2014年6月21日

修正年月日：2015年2月16日

主要項目	操作内容	備考
1. 模擬火力発電プラントの停止前準備	<p>模擬火力発電プラントの電源を「ON」にする。</p> <p>(1) 本体関係</p> <ul style="list-style-type: none"> ① LIC-1ランプ点灯: ON ② Level計表示: 点灯 ③ 配管からの水漏れ: なし 	<p><u>(※部では、必ず再確認する事)</u></p> <p><u>(もし操作と異なる場合は中断して原因を調べる)</u></p>
2. 補助給水ポンプ停止前の確認	<p>各設備が以下の状態である事を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ボイラー関係 ① ポンプ1: OFF ② ポンプ2: ON (画面表示) ・Main pump: 0% ・Bypass pump: 100% ③ PV-2, 3, 5: 全開 ④ PV-4: 全閉 	<p>ボイラー立ち下げ前の準備</p> <p>ポンプ1は停止していること</p> <p>ポンプ2は動いていること</p> <p>流量指示がない事も併せて確認する</p> <p>流量指示が出ている事も併せて確認する</p> <p>※</p> <p>左まわしで4と1/4回転で全開となる</p> <p>※</p> <p>△1</p> <p>※</p>
3. 補助給水ポンプ停止	<p>補助給水ポンプを停止し、水の循環を終了する</p> <ul style="list-style-type: none"> ① ボイラー本体の水位がほぼ一定である事を確認 (本体) ・本体のレベル計がほぼ一定で推移していること (画面表示) ・SENSOR DATAのWater Levelがほぼ一定で推移していること ② ポンプ2: OFF (画面表示) ・Bypass Pump: OFF ・SENSOR DATAのBypass Pumpが0%となる 	<p>ボイラー内部の水の循環を停止させるため</p> <p>△2</p> <p>※</p> <p>ポンプ2が停止していることを確認する</p> <p>配管のつなぎ目から水漏れはないか</p>

図6-4-② 手順書の作成例（タスク4：「ボイラー立ち下げ」その1）

手順書 No.タスク-4 B

主 要 項 目	操 作 内 容	備 考
4. ボイラー水位下げ	<p>③FI-2流量表示なしを確認 (画面表示) ・SENSOR DATA の Flow rate 2 が0となる</p> <p>④PV-3:全閉</p> <p>⑤PV-2:全閉</p> <p>ボイラー水位を下げる</p> <p>①ボイラーの水位レベルを確認する</p> <p>②PV-4を開けて、ボイラー本体の水位を下げる PV-4:任意で開</p> <p>③ボイラー水位が低下していることを確認 (本体) ・本体レベル計が少しずつ低下する (画面表示) ・SENSOR DATA の Water Level が少しずつ低下する</p> <p>④ボイラー水位が目標値 (<u>15cm~17cm</u>) になったら、 PV-4を全閉 <u>⑤数分後、ボイラー水位が変動ない事を確認する。</u></p>	<p>※</p> <p>SV=0%で0近辺の指示となる(多少ばらつく)</p> <p>△3</p> <p>※</p> <p>右まわしで4と1/4回転で全閉となる バルブの漏れがない事を確認する</p> <p>※</p> <p>右まわしで4と1/4回転で全閉となる バルブの漏れがない事を確認する</p> <p>※</p> <p>ボイラー停止前の処置 ボイラー水位が低水位 (<u>15cm</u>) より下であれば、 ボイラー水位を下げなくてよい</p> <p>右まわしで90° で全開となる 低下させたい水量に応じて開度調整を行うこと</p> <p>左まわしで90° で全開となる</p> <p>※</p> <p>△4 (異常時対応) <u>△1 全閉となっていない場合は、本体の弁を全閉する。開の場合は、ボイラー水が本体の外に流出してボイラー水位が低下し、空焚きとなる</u> <u>△2 ボイラー水位が上がる場合には、補給水ラインを再確認するボイラー水位が下がる場合には、PV-4が開いていないか、または、配管の漏れなどがないかを確認する</u> <u>△3 流量表示が出ていれば、流量計の状態を確認する</u> <u>△4 ボイラー水位に変動があったら、原因を調べる</u></p>

図 6-4-② 手順書の作成例 (タスク 4 : 「ボイラー立ち下げ」 その 2)

6.9 まとめ

本章では、実験の結果について述べている。今回の実験では、全ての実験協力者が、知識レベルの確認試験で初級者と判定されたこと、初級者には、必要な情報は備考欄に記載する方が、操作時間は長くなるが、操作ステップの抜け率やトラブル発生率は減少すること、手順書の記載情報では、数値情報は容易に理解させる工夫が必要であること、操作の参考情報のうち、特に重要な機器操作やトラブルの対応は、備考欄に記載すると同時に、プラントの概要説明や操作教育において重要な操作であること理解させること、手順書の中に類似する操作ステップとそれらを補足する備考欄の情報がある場合は、類似する操作ステップの最初にのみ記載すれば、操作ステップの抜けを思い出して操作する可能性が高くなることを明らかにした。最後に、実験結果から得られた結論に対して、初級者が使いやすい手順書の作成条件を考察して整理し、考察した注意点を反映した手順書の作成例を提案した。

第7章 本研究の成果

7.1 本論文の成果と結論

本論文では、原子力プラントや石油精製プラントで発生している、手順書の不備を原因とするトラブルを対象に、これまでの自身の業務経験から考えられる手順書の生成過程のモデル、及び手順書の不備を原因とするトラブルの問題点を、手順書からみた関与者別に、問題点を具体的な要因の項目に分類する分析手法を提案した。次に、提案した分析手法を用いて、実際に発生しているトラブル事例を分析し、有効性と適用性を確認した。同時に、実際に発生している問題点の要因、及び具体的な対策の方向性を、手順書の生成過程と手順書の関与者別に明らかにした。最後に、検討した対策の方向性から、効果が期待出来ると考えられる実験項目の一つとして、備考欄の情報と操作者のスキルとの関係、特に初級者に必要とされる備考欄の情報についての実験を行い、初級操作に必要とされる備考欄の情報について確認した。

以下に本論文の各章の研究成果を纏める。

第1章では、様々なプラントを取巻く環境の変化と現状の人員構成、及び問題点、プラントにて使用されている手順書が使用されている主な目的、及び手順書を取巻く問題点について調査した結果から、手順書の持つ重要性について確認出来た。また、手順書の不備を原因とするトラブルの対策について、ヒューマンファクターズという研究分野と関連研究について調査した。その結果から、本研究の位置づけは m-SHEL モデルの L-S の要素項目に該当する事、及び該当する要素で実施されている現在の研究内容、及びトラブル分析手法と比較し、本研究の新規性である手順書の生成過程全般を対象としている事、及び複数の問題点の関連性を考慮している事を説明した。

第2章では、原子力プラント、石油精製プラントなどで使用されている手順書の不備を原因とするトラブルの問題点についての分析手法を提案した。はじめに、参考文献や手順書生成過程の業務経験をもとに、手順書の生成過程のフロー図の提案と、手順書の生成過程の各過程の説明、及び発生する可能性のある問題点を明らかにした。さらに、手順書の生成過程において想定されるトラブルの問題点を、提案した手順書の生成過程のフロー図に関連させる形で、いくつかの項目に分類した一覧表を作成した。

また、トラブルの問題点を分析する際には、手順書の作成者と操作者で問題点の要因が異なることを事例にて説明し、その必要性を明らかにした。次に、Web上で一般的に公開されている原子力プラント、及び石油精製プラントのトラブルデータベースから、実際に発生している手順書の不備を原因とするトラブル事例を抜き出して、手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表を作成した。結果として、全てを含めた形で、トラブルの問題点を手順書の生成過程のフロー図と、関与者別に整理した手順書の問題点の要因の分類項目の一覧表を用いて行う新しい分析手法を提案した。

第3章では、第2章で提案したトラブルの分析手法を用いて、実際に発生しているトラブル事例を用いて分析を実施した。はじめに、操作の定常性から見た手順書の種類と特徴を明らかにした。次に、Web上で一般的に公開されている原子力プラント、及び石油精製プラントのトラブルデータベースより、手順書の不備を原因とするトラブル事例を抜き出し、第2章の分析手法で分析した。その結果、両プラントにおける問題点の発生傾向が似ていること、及び手順書の作成者では「手順に必要な事項が記載されていなかった」、操作者では「操作に関する認識が不足していた」「手順書の内容を確認したが、必要な操作を実施しなかった」「操作前（又は操作後）の現地確認が出来ていなかった」が共通して多く発生していることを明らかにした。

第4章では、第3章の分析結果から、手順書の生成過程と関与者別における問題点の発生傾向について整理し、それぞれに対応する具体的な対策の方向性について検討している。はじめに、実験で使用する手順書の様式を検討し、10種類の情報によって構成される手順書の様式を提案した。次に、トラブルに関係の深い情報の調査のため、これまでの分析結果のうち「手順書に必要な事項が記載されていなかった」に含まれる情報を詳細に再分析し、提案した手順書の様式に当てはめた。その結果、各操作の手順、備考欄の情報、緊急時の操作に関する各情報の記載漏れがトラブルに深く関係していることを明らかにしている。最後に、これらの結果をもとに、手順書の作成者で3件、操作者で7件、作成者と操作者で2件の具体的な対策を検討した。また、手順書の生成過程、及び関与者を含めた形を纏めたフロー図を作成し、具体的な対策との相互関係を整理し、対策の有効性の影響範囲を明らかにした。

第5章では、第4章で検討した具体的な対策の方向性のうち、作成者と操作者に関する「手順書の内容と操作者のスキル（理解度）を一致させるために、必要な情報

の種類を確認する」を実験対象に、特に発生件数の多い備考欄の情報を実験対象とし、備考欄に記載されている情報の種類、操作者のスキルによる特徴の調査、及び備考欄の情報の必要性確認のための実験方法について説明している。まず、実験で確認する手順書の備考欄の情報の種類と、操作者のスキルとの関係では、特に初級者と中級者以上によって必要な情報と必要でない情報の2種類に大分類され、さらに情報の持つ意味によって、それぞれ3種類の情報に小分類されることを明らかにしている。実験目的は、初級者を対象とし「手順書を補足する備考欄の情報について、初級者にとっては、どのような情報が必要かを実験結果から明らかにする」事とした。実験の評価は、①操作の時間は短くなる、②操作ステップの抜け率は減少する、③トラブルの発生率は減少する、④操作の理解度は向上する、の4つの作業仮説と実験結果を比較することとした。実験環境の検討では、模擬火力発電プラントについて説明している。次に、実験で使用する手順書と確認する備考欄の情報について検討し、検討したリスク評価方法にて評価した結果から、手順書はタスク3とタスク4としたこと、及び備考欄の情報を①手順書の各操作結果が異なった場合の対応、②手順書の各操作実施後の目安となる情報（操作前後の確認も含む）の2種類を選択したことを説明した。実験の方法では、初級者である事の確認試験、全ての実験協力者が平等の評価となるような情報提供方法、実験後の理解度確認テスト、及び実験に関するアンケートの検討など、評価実験の手法を整理した。

第6章では、実験の結果について述べている。今回の実験では、全ての実験協力者が、知識レベルの確認試験で初級者と判定された。初級者には、必要な情報は備考欄に記載する方が、操作時間は長くなるが、操作ステップの抜け率やトラブル発生率は減少することが明らかとなった。手順書に記載する情報では、数値情報は初級者の記憶に正確に残る事が少なく、容易に理解させる工夫が必要であること、操作の参考となる細かい情報のうち、特に重要な機器操作やトラブルの対応は、備考欄に記載すると同時に、プラントの概要説明や操作教育において重要な操作であることを初級者に理解させないと、初級者には重要であることの判断は難しいこと、手順書の中に類似する操作ステップとそれらを補足する備考欄の情報がある場合には、備考欄の情報は類似する操作ステップの最初にのみ記載すれば、情報が記載されていなくても、初級者は思い出して操作する可能性が高くなることを明らかにした。最後に、今回の実験結果から考えられる、初級者が使いやすい手順書の作成条件を整理し、手順書の作成例を提案した。

7.2 今後の課題

本研究によって、以下の事項が課題として見出された。

(1) 統計的評価が可能となる実験データの確保

今回の実験では、傾向的には良い結果が得られたが、協力者の人数が少なかつたため、統計的な判断が出来るまでに至らなかった。今後は同様の実験を継続して実施し、統計的指標にて評価可能となる実験データを確保する。

(2) 実験で得た他のデータの解析

今回の実験では、作業仮説として立てた指標以外にも多くのデータを得る事が出来た。それらについても、別の観点から解析を実施して、初級者の対策に役立てられるデータがないか解析する必要がある。

(3) 今回とは異なる備考欄の情報、及び中級者以上での実験

備考欄に記載されている情報のうち、今回の実験で選択されなかった情報についても、同様の実験を行う必要がある。また、中級者以上では情報の必要性が異なると想定しているため、同様の実験を行い、その結果を初級者の場合と比較して確認する必要がある。

(4) 検討した他の対策案に対する実験

今回の実験項目以外にも、いくつかの対策案を検討した。それらについても継続して実験を行い、有効性を確認する必要がある。

(5) 複数の問題点の関連性に対する確認

今回の実験結果が、同時に発生している問題点の組み合わせに対してどの程度有効であったかについては未確認であるため、その有効性についても確認する必要がある。

謝 辞

本研究は、筆者が岡山大学大学院 自然科学研究科 博士後期課程在学中に、同大学大学院 自然科学研究科 五福明夫教授の指導のもとに行ったものである。

手順書の研究という、これまでに例のない研究テーマに興味をもった私に、非常に貴重な研究の機会を与えていただき、終始ご指導、ご鞭撻を賜りました、岡山大学大学院 自然科学研究科 五福明夫教授には心より感謝申し上げます。

実験を評価するにあたり、データの取り扱いや評価手法を詳しくご指導いただきました、岡山大学大学院 自然科学研究科 杉原太郎助教には深く御礼申し上げます。

論文審査において副査を担当してくださいました、岡山大学大学院 自然科学研究科 鈴木和彦教授、村田厚生教授には、貴重なご助言を頂戴し、深く感謝いたします。

実験で使用した模擬火力発電プラントの改造でご教示、ご助言をいただきました、岡山大学大学院 自然科学研究科 柴田光宣先生には厚く御礼申し上げます。

社会人大学院生である私に、終始励ましのお言葉をかけてくださいました亀川哲志先生、模擬火力発電プラントのインターフェイス改造でお世話になりました松浦育巳さん、予備実験にご協力いただきました古市達也さん、実験協力者の確保や国際会議で共に発表しあうなど終始お世話になりました井上貴久さんを始め、実験の協力者、研究発表会、イベント等、終始暖かく迎えてくださり、学生生活を共に楽しく過ごさせてくださいましたインターフェイス学研究室の皆様には、深く感謝いたします。

本研究テーマに繋がるこれまでの業務経験において、お世話になりました各企業の諸先輩、後輩の皆様には厚く御礼申し上げます。本研究をさらに発展させ、少しでも役に立てられるよう、精進いたします。

研究に興味を持つきっかけとなり、研究の厳しさ、楽しさ、姿勢などを教えてくださいました、大阪市立都島工業高等学校 理科研究部 元顧問 前田昌宏先生、田孝一先生、栗根美津子先生をはじめ、諸先輩、後輩の皆様には心から御礼申し上げます。

編入生として入学以来、学生時代を含め終始ご指導ご鞭撻を頂戴致しました、和歌山工業高等専門学校 電気工学科 猪飼健夫元教授には、深く感謝いたします。本論文が、先生から頂戴した博士論文の恩返しになれば幸いです。

最後に、放送大学時代、共に勉学談義に花を咲かせ励ましあった故時尾正嘉さんをはじめとする友人の皆様、これまで成長を支えてくださいました母、一山美代子、筆者の研究活動を支えてくださいました家族、松原三穂、松原克幸、松原由貴子、松原幸省に心から深く感謝するとともに、本論文を捧げます。

本論文に関する発表論文

参考論文

- (1) 松原貴史, 五福明夫; 操作手順書の不具合に起因するトラブル事象の傾向分析, 日本原子力学会和文論誌, Vol. 11, No. 1, pp. 62-76, 2012.
- (2) 松原貴史, 五福明夫, 石油精製プラント及び原子力プラントにおける操作手順書の不具合に起因するトラブル事象の傾向分析, ヒューマンファクターズ, 17(1), 7-22, 2012.
- (3) 松原貴史, 五福明夫, 杉原太郎, 手順書の備考欄の情報の不足が及ぼす初級プラント操作者の操作パフォーマンスへの影響の実験的評価, ヒューマンファクターズ, 20(2), 45-62, 2016.

国際会議

- (1) Takashi MATSUBARA, Akio GOFUKU, Directions of Measures to the Problems of Trouble Events Caused by Operation Manuals, CD-ROM Proceedings of First International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems, 45STSS2012-11. pdf, pp81, 2012.
- (2) Takashi MATSUBARA, Akio GOFUKU, Taro Sugihara, Experimental Investigation of Information in operation manual required for beginners of plant operation, USB Proceedings of International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems, 017full. pdf, pp36, 2015.

口頭発表

- (1) 松原貴史, 五福明夫, 石油精製プラントの操作手順書に起因するトラブル要因の傾向分析, 第 20 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, 岡山大学, pp. 200-201, 2011. 11. 26.

著書

- (1) 五福明夫, 松原貴史 ヒューマンエラー対策 事例集: 第 9 章 第 6 節 手順書に関連したヒューマンエラーへの対策, 情報技術協会, 592-599, 978-4-86104-4, 2013. 1. 31.

参考文献

- [1] 五福明夫, 「機能」と安全マネジメント, 安全工学, 201, Vol. 47, No. 4.
- [2] 五福明夫, 小川毅, 桐子竜二, 星本達也, プラント操作習熟への熟練者視線傾向の利用効果の実験的検討, ヒューマンインターフェイス学会論文誌, 11(3), 243-254, 2009. 8. 25.
- [3] 末徹也, 世代交代による若年者の教育, safety & tomorrow, No. 152, 61, 2013. 11.
- [4] 中央職業能力開発協会, “包括的職業能力評価制度整備委員会〔石油精製業〕活動報告書”, 61, 平成 20 年 3 月.
- [5] 高橋清, 次世代へ安全をつなげる技術伝承活動について, safety & tomorrow, No. 158, 27, 2014. 11.
- [6] <http://www.nucia.jp/> 閲覧日 2009. 4. 1.
- [7] <http://safer.pecj.or.jp/> 閲覧日 2011. 6. 5.
- [8] <http://www.sozogaku.com/fkd/> 閲覧日 2011. 6. 5.
- [9] 内閣官房, 総務省消防庁, 厚生労働省, 経済産業省, 石油コンビナート等における災害防止対策検討関係省庁連絡会議, 2-3, 平成 26 年 5 月.
- [10] 首藤由紀, 事故・災害のヒューマンファクターズ, 43-45, 2005 予防時報 223.
- [11] 篠原一光, 中村隆宏, 心理学から考えられるヒューマンファクターズ 安全で快適な新時代へ, 有斐閣ブックス, 2013. 4. 30.
- [12] 丹羽雄二, E. Hollnagel, 原子カプラント事故時手順書表示機械化に関する

- 研究 (ステップー 1 基本概念と仕様の考察), INSS Journal, No. 1, 214-226, 1994.
- [13] 作田博, ビジュアル型作業手順書の効用に関する実験的研究, ヒューマンファクターズ, 20(1), 2-11, 2015. 8.
- [14] 塚田哲也, 中村肇, 発電所現場における効果的な注意喚起方策に関する研究, <http://www.inss.co.jp/seika/pdf/6/055.pdf> 閲覧日 2015. 12. 3.
- [15] 高川健一, 海外の原子力発電所における運転員ヒューマンエラー事例の新しい分類と利用しやすい事例シートの作成, INSS journal 11, 2004.
- [16] 高川健一, 宮崎孝正, 五福明夫, 飯田裕康, 原子力発電所における人的過誤の新しい分析方法とこれを適用した国内発電所の保守不良の分析結果, INSS JOURNAL14, 239-309, 2007.
- [17] 弘津祐子, 蛭子光洋, 淡川威, 松原克幸, トラブル未然防止に向けたヒューマンファクター事象の傾向分析若 -分析手法と結果の活用法の検討-, 電力中央研究所社会経済研究所研究報告, No. Y05010, 2006. 5.
- [18] 宮地由芽子, 高田昇, 松本潤, 宇宙開発におけるヒューマンファクタ分析への取り組み -ヒューマンエラーに起因する不具合低減への取り組み(その1)-, 信頼性シンポジウム発表報文集 (13), 7-10, 2000. 11. 17.
- [19] 中央労働災害防止協会, 「職長の安全衛生テキスト」, 中央労働災害防止協会, 40-48, 2011.
- [20] 小松原明哲, ヒューマンエラー (第2版), 丸善, 2008.
- [21] 村田厚生, ヒューマン・エラーの科学 失敗とうまく付き合う法, 日刊工業新聞社, 2008. 3. 28.

- [22] 佐山隼敏, 三菱化学水島事業所, 「続・工場少人化の進め方」, JIPM ソリューション, 1999.
- [23] 日石三菱株式会社, 「石油便覧 2000」, 株式会社燃料油脂新聞社, 260-319, 2000.
- [24] 曾禰寛純, 人を中心としたオートメーションへ, 第 20 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, 18-20, 2011.
- [25] 高圧ガス保安協会, 「高圧ガス保安技術」, 高圧ガス保安協会, 353-480, 2007.
- [26] 五福明夫, 小川毅, 生駒俊雄, 高島智之, 模擬プラントにおける上級操作者の注視変数と安全上の重要変数との関係に関する実験的検討, ヒューマンインターフェイス学会誌・論文誌, Vol. 11, No. 3, 233-242, 2009.
- [27] 藤田重文ほか, 「基礎シリーズ 化学工学入門」, 実教出版株式会社, 293-312, 2004.
- [28] 「原子力教育・研究」特別専門委員会, 「原子力が開く世紀」, 社団法人 日本原子力学会, 66-68, 152-200, 2004.
- [29] 天野良男, 「新版 電気工学ハンドブック」, 社団法人 電気学会, 1051-1114, 1988.
- [30] 日本原子力学会 ヒューマン・マシン・システム研究部会; 「連載講座 ヒューマンファクター」, 社団法人 日本原子力学会, 2003.
- [31] 日本原子力協会ほか; 「第 9 回 原子力の安全管理と社会環境」ワークショップ報告書, 8-25, 2011.
- [32] 有富正憲, 「今, 原子力研究者・技術者が出来ること」, 株式会社 培風館, 2012. 3.

- [33] 松原貴史, 五福明夫; 操作手順書の不具合に起因するトラブル事象の傾向分析, 日本原子力学会和文論誌, Vol. 11, No. 1, 62-76, 2012.
- [34] 松原貴史, 五福明夫, 石油精製プラント及び 原子力プラントにおける操作手順書の不具合 に起因するトラブル事象の傾向分析, ヒューマンファクターズ, 17(1), 7-22, 2012.
- [35] http://www.cnrc.jp/files/20100106tepc0_102.pdf. 閲覧日 2011. 10. 25.
- [36] http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/earthquake/manual/manual_index.html
閲覧日 2011. 10. 25.
- [37] <http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/earthquake/manual/1f-1/1u-1-09.pdf>.
閲覧日 2011. 10. 25.
- [38] 海保博之, ユーザ・読み手の心をつかむマニュアルの書き方, 共立出版, 17-22, 1998. 9. 25.
- [39] James Reason, 組織事故, 日科技連出版社, 2012. 1. 23.
- [40] 山本一三, 末綱興宣, 石油化学装置における技術伝承-運転支援システムと訓練シミュレータの適用-, ヒューマンファクターズ, 16(1), 8-12, 2011.
- [41] 廣瀬文子, 武田大介, 若手従業員危険感受性に関する検討-新入社員の危険感受性の特徴-, 電力中央研究所研究報告書 No. L11012, 2012. 6.
- [42] 社団法人 日本ボイラ協会, 「ボイラーの取扱い」, 社団法人 日本ボイラ協会, 2009. 4. 30.
- [43] <http://www.inss.co.jp/seika/pdf/3/201.pdf>. 閲覧日 2014. 5. 29.
- [44] 二級ボイラー技士免許試験標準問題集, 社団法人 日本ボイラ協会,

2003. 6. 20.

- [45] 機械保全 2 級過去問題集, 機械保全研究委員会, 2013. 7. 25.
- [46] エネルギー管理士試験 [熱分野] 直前対策 (2008 年版), 財団法人省エネルギーセンター, 2008. 4. 18.
- [47] http://www.oshiete-kun.net/archives/2010/11/1_14.html.
閲覧日 2015. 12. 2.