

原子力発電所保守作業における  
作業手順書の適正な表現形態に関する研究

作 田 博

## まえがき

筆者が電力会社に入社し、初めての勤務先が原子力発電所であったのはもう 30 数年も前のことになる。原子力発電所の規模の大きさに驚くとともに、プラントの運転、保全がきわめて精緻に行われているとの印象をもった。新入社員として慣れないながらも作業手順書に目を通し、現場作業を見守っていたのがついこの間のことのように思い出される。

最近の国内原子力発電所のトラブルの中には、作業手順書の問題に起因するものがあり、そのトラブルの再発防止策としては作業手順書の充実として、抜けていた作業ステップを追加することや、注意事項などを付加することが多くとられていた。しかしながら、作業手順書に係る問題は相変わらず発生しており、もっと根本的な改善策がないものかと思っていた。

今回、作業手順書に係る研究に携わる機会があり、より良い改善策が提案できればと思って取り組んだ。本研究で得られた知見が現場作業をより安全で、より品質を良くすることにつながることを期待している。

# 原子力発電所保守作業における 作業手順書の適正な表現形態に関する研究

## 論文要旨

第1章では、国内原子力発電所のトラブル事例分析に関する過去の知見から、保守に係るトラブルが多いことを示した。さらにその保守に係るトラブルの背後要因を追究すると、保守作業に関わる作業手順書の問題がトラブルの起因となっていることがわかった。この保守作業とは、「設備の分解、点検、修理、取替え、調整、組立などの作業のこと」である。また保守に係るトラブル事例のデータベースを用いて人間の行動の視点で分析することにより、トラブルの根底に潜む根本の問題として「作業の注意点を保守作業者にわかりやすく伝えることができていない」を抽出した。このことは、作業手順書と同じ問題を指摘している。そこで、作業手順書の問題をより詳細に検討するため、原子力発電所における作業手順書の目的、作成および使い方、ならびに他分野での作業手順書の状況について調査した。原子力発電所の特徴としては、放射性物質を内包し、保守作業の品質管理の程度が厳しいことから、作業手順書にも設備固有のきめ細かな要求事項を記載していることが挙げられる。また作業手順書の運用は文章主体の紙ベースで行っていることから、作業手順書の文章情報が多くなり、わかりにくくなっているという問題点を指摘した。もう一つの問題点として、作業手順書の手順改善、注意点明記などが重要との指摘はあるが、作業手順書の具体的な作成方法が示されていないことを指摘した。これらの問題点から、作業手順書の表現形態上の問題に焦点を当て、本研究の目的を「適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供すること」とした。

第2章では、作業手順書の表現形態上の問題点を明確にし、適正な表現形態に向けた支援の着目点を抽出するため、先ず作業手順書に記載されている情報を整理した。次に、保守作業者が作業手順書の情報を使用して作業する際の行動を情報の機能に応じて動的に分析した。分析にあたっては、分析の目的を満足する FRAM 手法(Functional Resonance Analysis Method)を用いた。FRAM 手法は、入力、出力、前提条件、資源、時間、および制御の 6 つの側面を表現

する六角形の要素をつなぐことで各要素間の動的な関係を分析することが可能である。分析の結果、作業手順書の備考の情報が保守作業の行動の「前提条件」とつながっている場合は、その情報を読み落としたとしても大きな問題とはなりにくい、写真・図を組み合わせることによって、よりわかりやすい作業手順書となる可能性があることから、これを(1)「作業のイメージ化」の支援とした。作業手順書の次作業ステップ情報を認知できる場合は、読み落とした作業ステップを想起できる可能性があることから、次作業ステップ情報を提示する重要性に鑑み、これを(2)「予測」の支援とした。作業手順書の注意事項の情報が保守作業者の行動の「入力」と「出力」につながっている場合は、その情報を読み落とすと大きな問題となる可能性があり、情報を強調させるなどの工夫が必要なことから、これを(3)「解釈」の支援とした。上記のとおり、作業手順書に対する3つの支援の着目点を抽出した。

第3章では、先ず支援の着目点を保守作業者の行動の視点で検討するために、保守作業者の行動モデルについて検討した。行動モデルにおいては、(1)作業手順書の情報の表現形態は、保守作業者の「作業のイメージ化」に影響を与え、(2)作業手順書の次作業ステップ情報の提示方法は、保守作業者の「予測」に影響を与え、(3)作業対象のイメージのしやすさ、および情報の強調は保守作業者の「解釈」に影響を与えるものとした。次に作業手順書の支援の着目点について行動モデルを踏まえて、(1)文章と写真・図を組み合わせることによって、作業パフォーマンスが向上する、(2)次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する、(3)作業対象のイメージがしやすいもの、および情報を強調したものは、作業パフォーマンスが向上する、の3つの検討事項を設定し、その有効性を順次確認することとした。

第4章では、作業のイメージ化の支援の有効性を確認するためにレゴ・ブロックの組立作業実験と保守作業実験を実施した。文章と写真・図を組み合わせた作業手順書と文章のみの作業手順書を比較するため、レゴ・ブロックの組立作業実験では組立エラー数について、保守作業実験では作業パフォーマンスの「ごちなさ」、「手間取り」および「取越し苦勞」の3つの悪評点、および作業の所要時間について評価した。その結果、文章と写真・図を組み合わせた作業手順書は作業パフォーマンスが向上することが確認でき、作業のイメージ

化の支援の有効性が確認できた。

第5章では、予測の支援の有効性を確認するために保守作業実験を実施した。次作業ステップ情報を提示している作業手順書と提示していない作業手順書を比較するため、作業パフォーマンスの「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦労」の3つの悪評点と、それぞれの悪評点と作業の所要時間との積である悪評量、作業手順書の読み方の「瞬間視」、「注視」および「熟読」の発現回数、および作業の所要時間について評価した。その結果、次作業ステップ情報を提示している作業手順書は作業パフォーマンスが向上することが確認でき、予測の支援の有効性が確認できた。

第6章では、解釈の支援の有効性を確認するためにレゴ・ブロックの組立作業実験を実施した。先ず作業対象のイメージのしやすさについて検討した。同一の作業手順書において作業対象のイメージがしやすい「自動車」の形と、イメージがしにくい「無意味」な形を比較するため、組立エラー数について評価した。その結果、作業対象のイメージがしやすい形において作業パフォーマンスが向上することが確認でき、解釈の支援の有効性が確認できた。次に情報の強調について検討した。情報を強調した作業手順書と強調していない作業手順書を比較するため、組立エラー数について評価した。その結果、情報を強調した作業手順書は作業パフォーマンスが向上することが確認でき、解釈の支援の有効性が確認できた。

第7章では、先ずその有効性が確認された3つの支援方策を、作業手順書を作成する際の設計の基本原則として次のとおり示した。(1)文章と写真・図を組み合わせる、(2)次作業ステップ情報を提示する、(3)情報を強調する。次に、設計の基本原則が作業手順書に反映されているかを確認するためのチェックシートについて検討し、その有効性を確認した。チェックシートは、背後要因リストを基に検討した。ヒューマンエラー分析では、そのエラーを誘発させた背後要因を同定し、再発防止対策を施す。事前に背後要因がリストアップできれば、その背後要因に対して事前に対策を講じておくことでエラーの発生を低減させることが可能となる。この考え方に基づき、作業手順書に潜む背後要因を事前に抽出し、設計の基本原則との関連を勘案しながら詳細なチェック項目を作成した。チェックシートの有効性については、作業手順書とそれを使って作業し

たときの作業パフォーマンスをチェックシートの背後要因の視点で比較考察することによって確認した。

第8章では、作業手順書のチェックシートに基づき試作した作業手順書に対して、作業のイメージ化の支援としての写真・図の提示方法、予測の支援としての次作業ステップ情報の提示方法、および解釈の支援としての情報の強調方法についての具体的な方策について保守作業者の意見を求めた。具体的な方策については、熟練者と初級者、作業対象のイメージがしやすいものと、しにくいものとに分類して提供した。

第9章では、本研究成果のまとめとして、適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供した。指針の構成は、(1)序論、(2)本指針の適用範囲と位置付け、(3)用語の定義、(4)設計の基本原則、(5)本指針の使い方、(6)具体方策の例、(7)作業手順書のチェックシート、(8)作業手順書の作成例となっている。本指針の使い方では、8つの検討ステップに分け、設計の基本原則、具体方策、および作業手順書のチェックシートの使い方などを具体的に示した。

第10章では、まとめとして、適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供した。指針には作業手順書を作成するための設計の基本原則を示した。また設計の基本原則が作業手順書に反映されているかを確認するための作業手順書のチェックシートと写真・図の提示方法などの具体的な方策の例示を提供できたことで、作業手順書の具体的な作成方法を示すことができた。

展望として、将来的に IT(Information Technology)技術や VR(Virtual Reality)技術などを活用することにより作業現場の環境はさらに改善される可能性があり、本研究成果は電子コンテンツ作成のベースとしても活用できる。本研究の知見が原子力発電所をはじめ、高信頼性が求められ、エラーが許されない分野などでの保守作業現場で活用されることを期待している。

## A study on proper form of expression in procedure manuals of maintenance works in nuclear power plants

### Abstract

In Chapter 1, we describe many troubles concerning maintenance by analyzing trouble cases at domestic nuclear power plants identified in past findings. Investigating the factors behind these maintenance problems in more detail, we found that many factors are related to the procedure manuals for maintenance works, and often caused by imperfections in the manuals. Maintenance works mean “tasks of disassembly, inspection, repair, replacement, adjustment, assembly, and so on”. Therefore, we investigated the purpose, structure and usage of procedure manuals in nuclear power plants and looked at the situation of procedure manuals in other fields, in order to identify problems in the manuals. We found from the results that imperfections in the manuals were caused by problems in expressions in the manuals. The purpose of our research was “to provide a guideline to structure procedure manuals with proper expressions”.

In Chapter 2, we organize the information contained in procedure manuals and clarify the activities of maintenance workers by functional resonance analysis method when they work using procedure manuals. We extracted three focus points from the results: (1) supporting the image of the work, (2) supporting prediction of the work flow, and (3) supporting interpretation of information.

In Chapter 3, we first studied behavioral models of maintenance workers in order to organize the three focus points that would support development of better procedure manuals from a behavioral perspective. We presumed in the behavioral model that: (1) information expressions affect maintenance workers' the image of the work by the procedure manuals, (2) the methods of presenting the next work step affect maintenance workers' prediction of the work flow by

the procedure manuals, and (3) the ease of visualizing the work target and emphasizing the information in the manuals influence maintenance workers' interpretation of information. Next, we set three needs for the three focus points based on the behavioral model: (1) improving the work performance by combining sentences with photographs and diagrams, (2) improving the work performance by presenting information on the next work step, and (3) improving the work performance by the work target which is easy to visualize and emphasizing the information in the manuals.

In Chapter 4, we describe experiments on assembling Lego blocks and experiments on maintenance work in nuclear power plants in order to verify the effectiveness of supporting the image of the work. We evaluated the number of assembly errors in the assembling Lego blocks, and evaluated three poor grades of "awkwardness", "slowness" and "over-anxiety" of work performance, and the time required to perform the work in the maintenance work, in order to compare procedure manuals that included photographs and diagrams with procedure manuals that contained only sentences. As a result, we confirmed that the work performance was better when using the procedure manuals that contained both sentences and photographs and diagrams, thus verifying the effectiveness of supporting the image of the work.

In Chapter 5, we describe experiments on maintenance work in nuclear power plants in order to verify the effectiveness of supporting prediction of the work flow. We evaluated three poor grades and three poor amounts of grades which were the product of the time required for each poor grade of "awkwardness", "slowness" and "over-anxiety" of work performance, and "instantaneous viewing", "gazing", and "perusal" concerning how to read a procedure manual, and the time required to perform the work in the experiments, in order to compare procedure manuals which presented the next work step with procedure manuals with no information on the next work step. As a result, we confirmed that the work performance was better when using the procedure manuals with information on the next work step, thus confirming the

effectiveness of supporting prediction of the work flow.

In Chapter 6, we describe experiments on assembling Lego blocks in order to verify the effectiveness of supporting interpretation of information. We first evaluated easiness of imaging a work target. We evaluated the number of assembly errors in the experiments in order to compare the shape of an “automobile” which is an easy work target to visualize with a meaningless shape which is difficult to visualize in the same procedure manuals. As a result, we confirmed that the work performance was better based on the low number of assembly errors for the "automobile" shape which is easy to visualize, thus partially verifying the effectiveness of supporting interpretation of information. Next, we evaluated emphasizing information. We evaluated the number of assembly errors in the experiments in order to compare procedure manuals that emphasized information with manuals that did not emphasize it. As a result, we confirmed that the work performance was better based on the tendency that the number of assembly errors was low for the procedure manual that emphasized information, thus completing our verification of the effectiveness of supporting interpretation of information.

In Chapter 7, we first summarized the three necessary focus points which had been verified as basic design principles when compiling procedure manuals with proper expressions: (1) combining sentences, photographs and diagrams, (2) presenting information on the next work step, (3) emphasizing information. Next, we examined the effectiveness of using a check sheet to determine whether the basic design principles were built into the procedure manuals.

In Chapter 8, we asked the maintenance workers about concrete ways of improving methods of presenting photographs and diagrams as supporting the image of the work, methods of presenting information on the next work step as supporting prediction of the work flow, and methods of emphasizing the information as supporting interpretation of information regarding procedure manuals compiled based on the check sheet. We classified these improvement methods as expert or novice, and as easy or difficult to visualize.

In Chapter 9, we summarize our research by describing the guideline for compiling procedure manuals with proper expressions. The guideline features the check sheet for determining whether the basic design principles are built into the procedure manuals and provides concrete ways which are helpful for composing the manuals. Specifically, the guideline contains: (1) an introduction, (2) the scope and position of the guideline within the framework of plant maintenance work, (3) definitions of terms, (4) basic design principles, and (5) instructions on how to use the guideline, and so on.

In Chapter 10, we provide the actual guideline for compiling procedure manuals with proper expressions. Also, by providing results for the check sheets of actual procedure manuals and examples of presentation methods such as photographs and diagrams, we demonstrate concrete methods of composing procedure manuals with proper expressions. The work site environment could be further improved by using information technology and virtual reality technology. The results of the present research will also be used as a basis for electronic contents in the future. We hope that the findings of this research will be used at maintenance work sites in nuclear power plants as well as in facilities of other engineering fields.

原子力発電所保守作業における  
作業手順書の適正な表現形態に関する研究

目 次

第 1 章 序論

1.1 原子力発電所の安全について	1
1.2 原子力発電所の保全業務と保守作業	2
1.3 保全に係るトラブル事例の要因	4
1.4 保全に係るトラブル事例の詳細分析	6
1.4.1 背後要因	6
1.4.2 因子分析手法	9
1.4.3 因子分析による保全に係る課題の抽出	9
1.5 トラブル事例分析のまとめ	12
1.6 原子力発電所における作業手順書の調査	13
1.7 作業手順書の問題点と本研究の目的	18
1.8 本論文の全体構成	20
1.9 本章のまとめと次章に向けて	23

第 2 章 作業手順書の表現形態の適正化に関する検討

2.1 本章の目的	24
2.2 本章の流れ	24
2.3 作業手順書の情報	24
2.4 作業手順書の表現形態上の問題点と支援の着目点	28
2.5 本章のまとめと次章に向けて	31

第 3 章 保守作業者の行動モデルの検討

3.1 本章の目的	32
3.2 本章の流れ	32

3.3 保守作業者の行動モデルの構成要素の検討	32
3.4 保守作業者の行動モデルの提案	37
3.5 行動モデルに基づく支援の着目点の詳細検討	38
3.6 本章のまとめと次章に向けて	40
第4章 「作業のイメージ化」の支援に関する検討	
4.1 本章の目的	42
4.2 本章の流れ	42
4.3 作業手順書に対する作業現場のニーズ	42
4.4 行動モデルにおける支援の着目点の検討事項 1	45
4.5 人間の「作業のイメージ化」の支援に関する検討	45
4.5.1 作業手順書の試作	46
4.5.2 実験内容	49
4.5.3 実験結果	50
4.6 保守作業者の「作業のイメージ化」の支援に関する検討	51
4.6.1 作業手順書の試作	51
4.6.2 実験内容	55
4.6.3 実験結果	56
4.7 本章のまとめと次章に向けて	61
第5章 「予測」の支援に関する検討	
5.1 本章の目的	63
5.2 本章の流れ	63
5.3 行動モデルにおける支援の着目点の検討事項 2	63
5.4 人間の「予測」の支援に関する検討	64
5.4.1 作業手順書の試作	64
5.4.2 実験内容	67
5.4.3 実験結果	68
5.5 保守作業者の「予測」の支援に関する検討	69
5.5.1 作業手順書の試作	70

5.5.2 実験内容	74
5.5.3 実験結果	76
5.6 本章のまとめと次章に向けて	83
第6章 「解釈」の支援に関する検討	
6.1 本章の目的	85
6.2 本章の流れ	85
6.3 行動モデルにおける支援の着目点の検討事項3	85
6.4 人間の「解釈」の支援に関する検討—作業対象のイメージのしやすさ—	86
6.4.1 作業手順書の試作	86
6.4.2 実験内容	89
6.4.3 実験結果	90
6.5 人間の「解釈」の支援に関する検討—情報の強調—	92
6.5.1 作業手順書の試作	92
6.5.2 実験内容	94
6.5.3 実験結果	95
6.6 本章のまとめと次章に向けて	95
第7章 作業手順書のチェックシートの検討	
7.1 本章の目的	97
7.2 本章の流れ	97
7.3 作業手順書を作成するための設計の基本原則	97
7.4 作業手順書のチェックシートの検討	98
7.5 作業手順書のチェックシートの有効性の検討	101
7.5.1 作業手順書の試作	101
7.5.2 実験内容	105
7.5.3 実験結果	106
7.5.4 作業手順書と作業パフォーマンスの評価	106
7.5.5 作業手順書のチェックシートの有効性の検討	112

7.6 本章のまとめと次章に向けて	112
第 8 章 作業手順書の表現形態に係る詳細検討	
8.1 本章の目的	113
8.2 本章の流れ	113
8.3 作業手順書の表現形態に係る具体方策の調査計画	113
8.3.1 調査の計画	113
8.3.2 作業手順書の試作	113
8.3.3 調査内容	127
8.4 調査結果	130
8.5 本章のまとめと次章に向けて	139
第 9 章 作業手順書を作成するための指針の検討	
9.1 本章の目的	140
9.2 本章の流れ	140
9.3 指針の内容構成の検討	140
9.4 指針の提供	140
9.5 本章のまとめ	159
第 10 章 まとめと展望	
10.1 結言	160
10.2 まとめ	160
10.3 展望	164
参考文献	166
投稿論文リスト	171
謝辞	172

## 第 1 章 序論

### 1.1 原子力発電所の安全について

原子力発電所においては、深層防護(Defense in Depth)の考え方を設備の設計や運用に導入し、その安全を確保している。深層防護の考え方は、顕在化したリスクを一つの層の対策で食い止められなかった場合は、別の層が防御壁となり、この層を複数持つことでより安全を高めるという考え方である<sup>(1)(2)(3)</sup>。多重性、多様性、独立性などはこれらの考え方を具現化した設備設計の例の一つである。

より良い設計思想に基づき設計、設置された設備であっても、その設備の保全が十分でない場合や、それを運用する方法が適切でない場合には設備の機能は十分に発揮されず、事故などの影響緩和は期待できない。またその設備を操作する人間の体制や教育・訓練が十分でないことや操作または作業の手順書の記載が適切でない場合には、間違った使い方や効果的でない使い方をすることになる。このように原子力発電所の安全は、ハード（設備）とソフト（人間とその行為）が車の両輪のように機能することで確保されており、総合的なマネジメントが求められている。ここでいう「保全」には、字源的特徴の観点から「徹底的に人を守る<sup>(4)</sup>」という意味が含まれており、保全業務の重要性がうかがえる。

東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、東電福島事故という）は、2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波により、すべての外部電源（送電線）と多くの非常用発電機の電源を喪失したため、炉心を冷却できなくなった炉心熔融事故である。この事故は、深層防護の考え方に基づく設備設計により多様な安全系設備が設置されていたにもかかわらず全交流電源喪失という共通要因によりほとんどの設備が機能しなかった。また体制や手順書などはこのような緊急事態には十分なものではなかった。東電福島事故は、ハードとソフトのマッチングが十分に機能しなかった国内で最大の過酷事故<sup>(5)(6)(7)(8)(9)</sup>といえる。

東電福島事故の教訓として、規制側は従来の規制基準を強化した新規規制基準を導入した。新規規制基準には、シビアアクシデント（原子力発電所設計時の想定を超える過酷事故）対策やテロ対策の新設、自然現象に対する

考慮や耐震・耐津波性能の強化などが盛り込まれている<sup>(10)</sup>。一方、電力会社は自主保安活動としてのプロアクティブな活動（トラブルが発生してから再発防止策をとるリアクティブ活動に対して、トラブルを未然に防止するための活動。事後保全に対する予防保全の意味合い）の強化が求められている<sup>(11)</sup>。このプロアクティブな活動とは、規制基準を満足すればそれで良いということではなく、さらに高い安全を自主的に求めていく活動のことであり、言い換えると潜在化しているリスクを見つけ出し、適切な対策を事前に講じることを継続していく活動のことである。

東電福島事故以降においても、エネルギーの安定供給の観点や環境問題の観点から原子力発電所の重要性は事故前と変わっておらず<sup>(12)</sup>、安全確保の重要性は今まで以上に高まっている。それに応えるためには、先に述べたように原子力発電所のリスクを抽出し、適切な対策を講じていくことがとても重要なことである。

そこで次節では、原子力発電所の安全を確保する上で重要な保全業務と保守作業について説明する。

## 1.2 原子力発電所の保全業務と保守作業

原子力発電所では安定してお客様に電気を供給するため、また前節で紹介した安全を確保するため、原子力発電設備の保全を行っている。ここでいう保全とは、日本工業規格においては「故障の排除及び設備を正常・良好な状態に保つ活動の総称。備考 1.計画、点検、検査、調整、修理、取替えなどを含む。」と定義されている<sup>(13)</sup>。もう少し簡単に説明すると、原子力発電所の保全業務とは、原子力発電所内に設置されている原子炉压力容器、原子炉冷却材ポンプ、タービン、発電機、変圧器および計測制御系などの多種多様な設備を、点検計画を立てて順次点検、保守、補修を行うことである。具体的には、次の4つの段階①保全計画の立案(Plan)、②保全の実施(Do)、③保全結果の確認(Check)、④保全計画への反映(Act)のPDCAサイクルを回すことになる(図 1.1)。①保全計画の立案(Plan)では、設備毎に時間計画保全、状態監視保全、または事後保全などに分類し、時間計画保全においては点検頻度や点検内容を定めた計画を作成する。計画の作成にあたっては、熟練者が過去の保全実績などを参考にしながら協議の上決

定する。②保全の実施(Do)では、保全計画に基づき、保守作業者が設備を点検、検査、調整、修理、取替えなどの作業を行う。この作業が、保守作業のことである。作業体制は、電力会社と元請け・下請け会社（以下、協力会社という）が協業して行うことが一般的であり、実際の保守作業は協力会社が行い、その結果を電力会社が確認することとしている。保守作業を行う際には、事前に作業手順書を作成し、それを作業現場に携行し作業ステップ毎に確認しながら作業を進めている。また作業手順書は、電力会社と協力会社間のコミュニケーション・ツールとしての役割もあり重要である。③保全結果の確認(Check)では、熟練者が保全計画の妥当性を確認するために、現行の点検頻度や点検内容が適正なのかを、保全結果から判断する。④保全計画への反映(Act)では、熟練者が③保全結果の確認(Check)を踏まえて、必要に応じて保全計画を見直す。

原子力発電所が他のプラント産業分野と比較して特徴的なことは、放射性物質を内包している点にある。この放射性物質による被ばくを極力避けるためには、作業時間を短くする、放射線源との距離をとる、遮へいを行うことが重要である。このため作業に対する制約が多くなり、作業時間を短くするために事前に十分な訓練を積んでおくことや、作業現場ではよりわかりやすい作業手順書が求められることになる。

これらの保全業務の PDCA サイクルが適切に回っていることが望ましいが、過去にはトラブルも経験している。次節では、どのようなトラブルが発生しているかについて説明する。

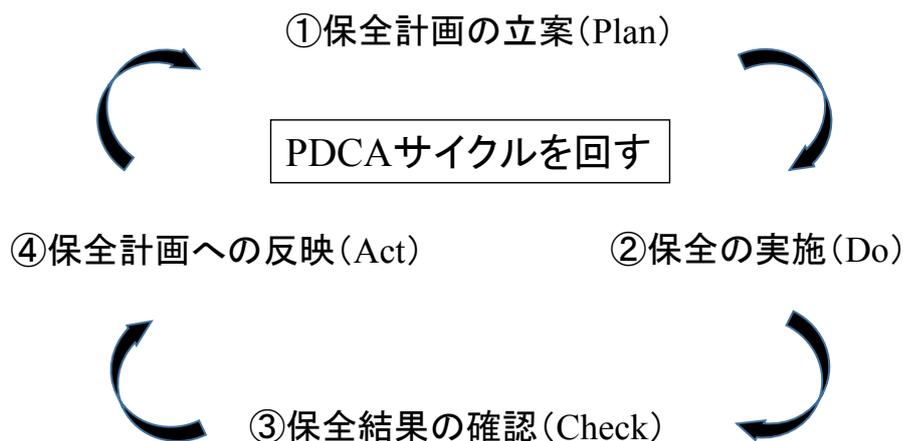


図 1.1 保全業務の PDCA サイクル

### 1.3 保全に係るトラブル事例の要因

国内原子力発電所のトラブル事例の分析において、高川ら(2007)<sup>(14)</sup>は2003年度から2005年度に発生したトラブル要因としては、「保守不良」が全体発生件数の42%を占め、「経年劣化(25%)」、「運転不良(12%)」などを大きく上回っており、保守に関わる要因が多いことを示している(図 1.2)。また高川(2010)<sup>(15)</sup>はこの状況は米国の原子力発電所においても、同様の傾向であることを示している。「保守不良」の内訳は「ヒューマンエラー(66%)」、次いで「軽微想定外(17%)」、「周辺状況不良(17%)」となっている(図 1.3)<sup>(14)</sup>。さらに「ヒューマンエラー」の内訳は、「作業手順書に記載なし、曖昧」が22%、「作業手順書記載間違い」が19%であった(図 1.4)<sup>(14)</sup>。これらの作業手順書などの不備は、「計画不良」と定義されている<sup>(16)</sup>。なお1件のトラブル事例に対して複数の要因を選定しているため、トラブル事例件数と要因数は一致しない。

これらの作業手順書に係る問題に対する対策については、宮崎(2008)<sup>(17)</sup>他は作業手順書の手順改善、作業手順書への注意点明記(注意喚起)、作業手順書への管理方法などの明記を提案している。しかしながら、作業手順書の具体的な作成方法については言及されていないのが現状であり、作業手順書に係る諸問題を解決することは喫緊の課題であるといえる。

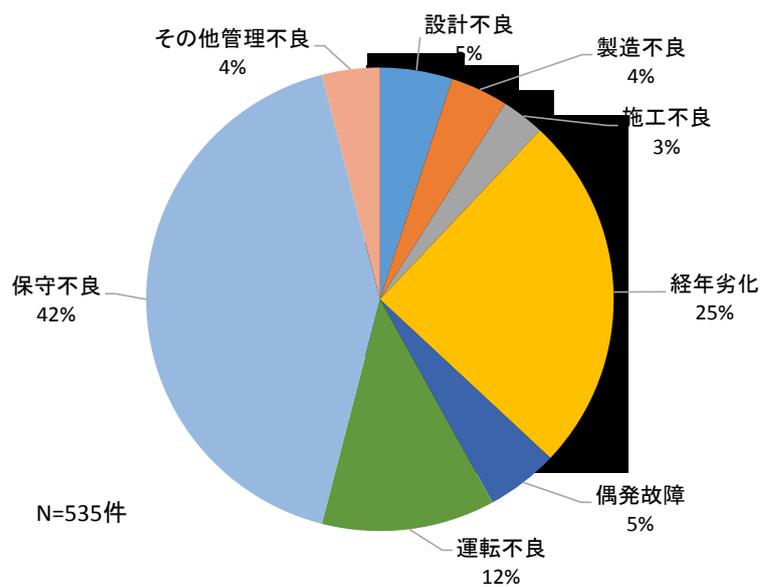


図 1.2 国内原子力発電所トラブルの主要因の割合<sup>(14)</sup>

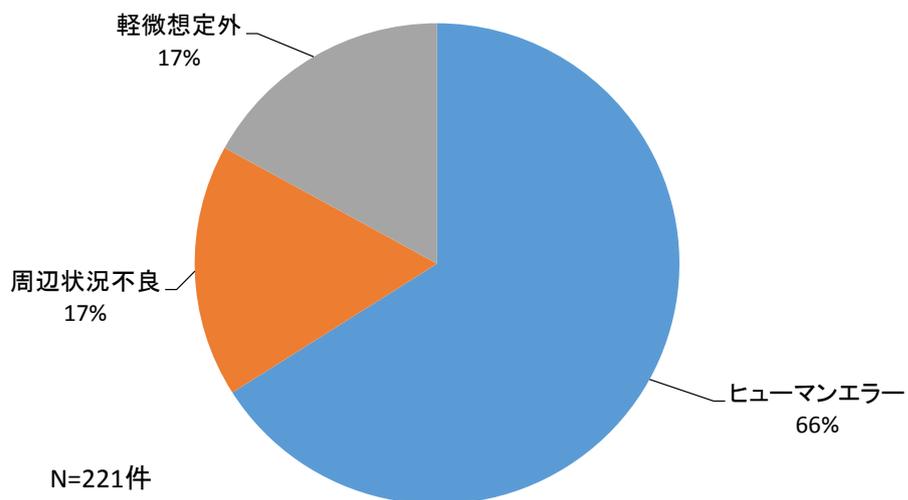


図 1.3 「保守不良」要因の内訳<sup>(14)</sup>

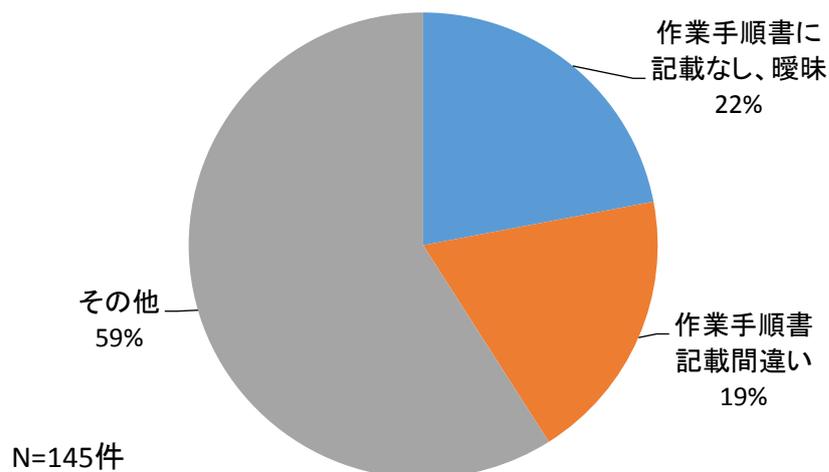


図 1.4 「ヒューマンエラー」要因の内訳<sup>(14)</sup>

本節ではトラブル事例を要因毎に分類した比率を示したので、次節ではトラブル事例の内容を詳細に把握した上で、人間の行動の視点で分析し、保全の問題点の背景にせまる。

#### 1.4 保全に係るトラブル事例の詳細分析

本節ではトラブル事例に関与した背後要因を抽出し、それらを因子分析手法により分析し、保全に係る課題を抽出する。そのため、先ず、背後要因と因子分析手法について説明し、その後分析結果を示す。

##### 1.4.1 背後要因

ヒューマンエラーの事例分析など、人間の行動について分析するときに使われている背後要因について説明する。

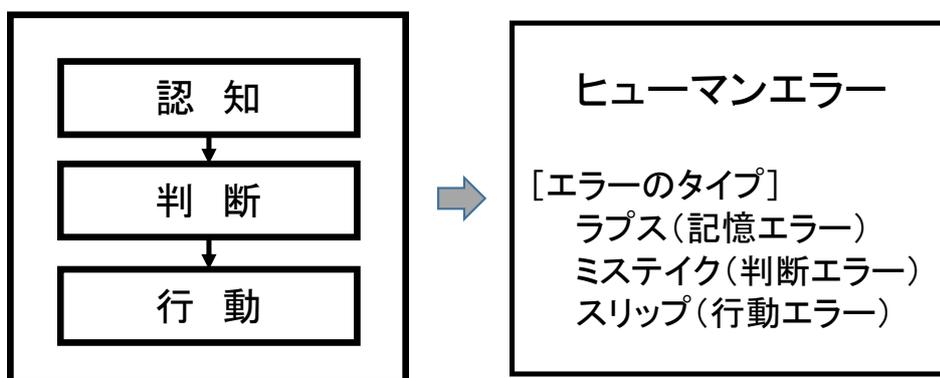
ヒューマンエラーが起因となったトラブル事例に対して、ヒューマンエラーが要因であるとして分析を終えるのではなく、ヒューマンエラーは結果として、それを誘発させた背後要因について分析することが広く取り組まれている。

ここでいう背後要因とは、人間の行動に影響を与える要因のことで、例

例えば心理的要因としては焦り、緊張など、環境条件では温度、騒音、照明など、管理としては役割分担不明確などがある。背後要因が悪い方向に作用すると人間のパフォーマンスは低下し、ある許容レベルを超えるとそれはヒューマンエラーとなり、顕在化する(図 1.5)。

したがってヒューマンエラー対策を検討する際には、この背後要因を探し出して、この背後要因を排除または緩和する対策をとることになる。

### 【人間】



### 【背後要因(例示)】

分類		具体例
個人要因	心理的要因	焦り、緊張、怠惰、恐怖、先入観 他
	生理的要因 他	疲労、睡眠不足、病気、けが 他
技術・環境要因	ハードウェア	設備不良、ソフトウェア不良 他
	インタフェース	曖昧な識別、操作性の悪い設備 他
	環境条件	温度、湿度、騒音、照明、放射線 他
	作業条件	繰り返し作業、予定外作業 他
	手順書 他	曖昧、未記載、不正確 他
組織要因	管理	品質管理不適切、役割分担不明確 他
	基準	曖昧、未制定、改定ルールなし 他
	教育訓練	教育・訓練の不備 他
	コミュニケーション 他	情報の誤伝達、報告・連絡・相談不足 他

図 1.5 ヒューマンエラーと背後要因

トラブル事例の分析にあたっては、ヒューマンエラーの背後要因をできる限り網羅的に押さえることが重要であり、それを支援するための分析手法が各所で開発、使用されている。各分析手法は、基本的には背後要因リスト<sup>(18)</sup>を予め準備している。分析の進め方などはほぼ共通していると考えて良いが、背後要因リストの詳細は対象とする人間の行動の違いなどにより異なっている。根本原因分析が求められるようになってからは、背後要因のうち特に組織要因に焦点を当てた研究もなされている<sup>(19)</sup>。国内では、J-HPES(Japanese version of Human Performance Enhancement System)手法<sup>(20)</sup>、H2-SAFER(Hiyari Hatto-Systematic Approach For Error Reduction)手法<sup>(21)</sup>、CREAM(Cognitive Reliability and Error Analysis Method)手法<sup>(22)(23)</sup>、VTA(Variation Tree Analysis)手法<sup>(24)(25)</sup>および人間エラー発生 FT 図手法<sup>(26)</sup>を改良した ATOP(Analysis Tool for Organizational and direct causes of Problems)手法<sup>(27)</sup>など多数の分析手法が使用されている。これらの手法の特徴を比較するために一つの医療事故を対象に分析した結果では、どの手法もほぼ同様の背後要因と対策を導出していることが示されている<sup>(28)</sup>。このことは、ヒューマンエラーの分析結果は、分析手法に依存していないことを示しているが、分析対象が明確で、より適切な背後要因リストが用意されているならばその手法を使用する方が望ましいと思われる。

本研究では原子力発電所での保守作業を対象としているため、発電プラントの保全業務に適した背後要因リストを準備する方がより望ましい。この観点から、実用化レベルでも優れている行待・永田(2004)<sup>(29)</sup>が開発した背後要因リストを採用した。この背後要因リストは、大きくは作業情報と作業負担に整理され合計 98 項目からなっている。作業情報は、さらに作業の流れ・作業の意味の明確さ、作業上すべきことの直観的なわかりやすさ、および次にやるべきこと・先の見通しについての直観的なわかりやすさに分類されている。作業負担は、作業者に対する身体的、心理的な負担を意味している。また本背後要因リストは、分解・組立、試験・検査および運用・運転の段階毎にも整理されており、保守作業を対象にした分析には適しているものと考えた。

#### 1.4.2 因子分析手法

本節では因子分析を、様々な背後要因が問題として浮上する潜在的理由を推論する手法として活用する。分析のイメージとしては、どの背後要因とどの背後要因が関連しているかについて、関連が強い背後要因を近いところに配置、明示してくれるものである。このことによりトラブル事例 1 件、1 件の微視的な捉え方ではなく、トラブル事例全体を俯瞰した巨視的な視点でトラブルの根底に潜む問題を解釈することができる。

因子分析を行うために、背後要因リストの各背後要因に対して、「エラーに関与した」、「エラーに関与した可能性がある」、「関与は見られない」の 3 段階で関与度を判定した。関与度は、それぞれ「2」、「1」、「0」の評点を対応付け、回転を施さずに因子分析を行った。

分析対象は、原子力安全推進協会の原子力施設情報公開ライブラリー NUCIA (NUCclear Information Archives) <sup>(30)</sup> に掲載されている国内原子力発電所のトラブル事例のうち、次の条件で絞り込んだ事例とした。トラブルの発生期間は、1994 年度から 2003 年度までの 10 年間、対象プラントは、関西電力(株)および日本原子力発電(株)が所有している福井県内に位置している発電施設で美浜 1～3 号機、高浜 1～4 号機、大飯 1～4 号機、敦賀 1～2 号機の計 13 基とした。検索条件としては、「保守不備」をキーワードとして検索し、さらにヒューマンファクターに関連する事例 55 件に絞り込んだ。

#### 1.4.3 因子分析による保全に係る課題の抽出

55 件のトラブル事例を対象に因子分析で得られた各背後要因に対する因子負荷量をプロットした散布図と、4 つの因子軸の意味づけを図 1.6 および図 1.7 に示す。算出した第 4 因子軸までの固有値、寄与率および累積寄与率は、第 1 因子軸(3.84, 8.00%, 8.00%)、第 2 因子軸(2.56, 5.33%, 13.33%)、第 3 因子軸(2.11, 4.40%, 17.73%)、第 4 因子軸(1.96, 4.09%, 21.82%)であった。

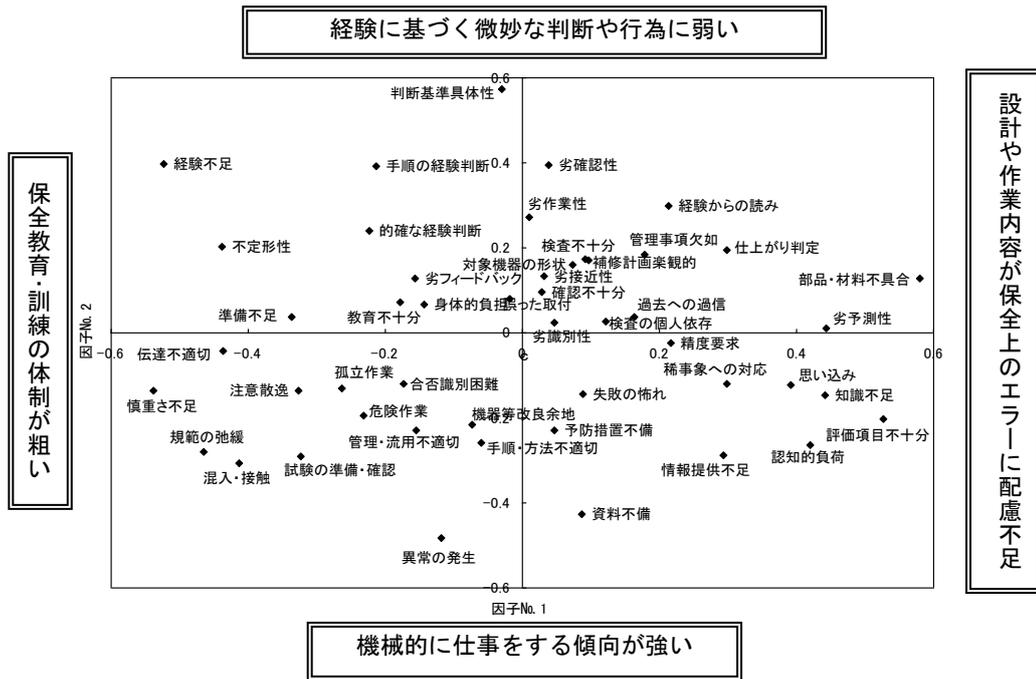


図 1.6 第 1×第 2 因子軸の意味づけ（1994-2003 年度）

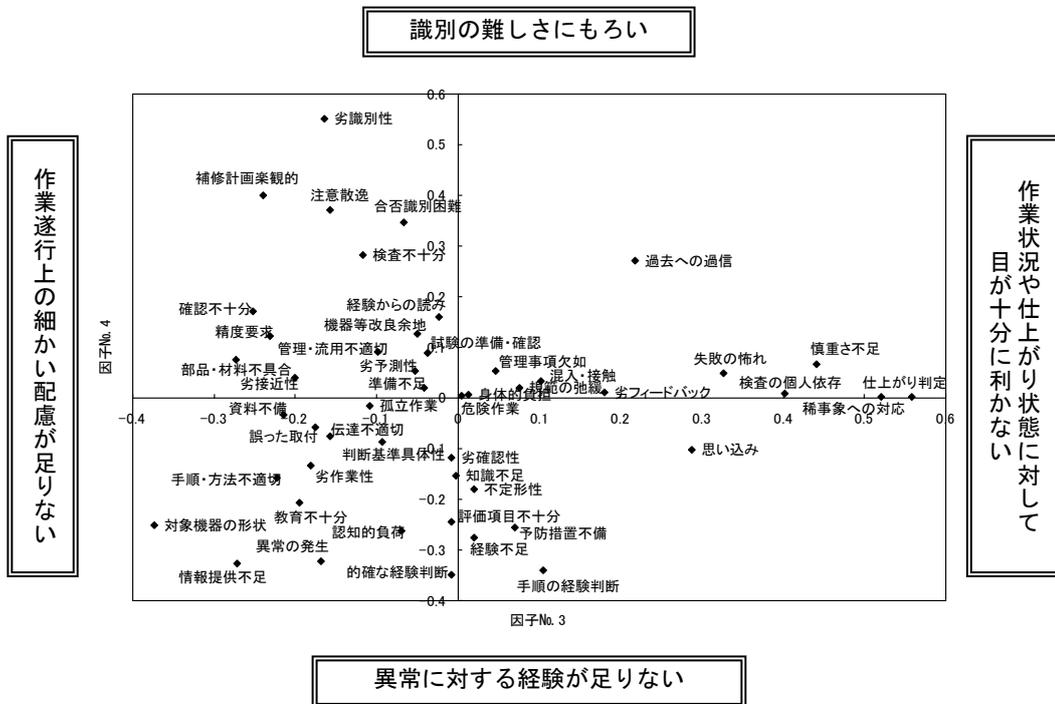


図 1.7 第 3×第 4 因子軸の意味づけ（1994-2003 年度）

保全に係る課題の抽出にあたっては、トラブルの背後要因のつながりを検討し、全体的な視点で整理することが妥当であると考えられる。そこで、図 1.6 および図 1.7 における各因子軸（正側、負側）の意味づけを表 1.1 に改めて示す。

表 1.1 各因子軸の意味づけ

	正側	負側
第 1 因子軸	①設計や作業内容が保全上のエラーに配慮不足	②保全教育・訓練の体制が粗い
第 2 因子軸	③経験に基づく微妙な判断や行為に弱い	④機械的に仕事をする傾向が強い
第 3 因子軸	⑤作業状況や仕上がり状態に対して目が十分に利かない	⑥作業遂行上の細かい配慮が足りない
第 4 因子軸	⑦識別の難しさにもろい	⑧異常に対する経験が足りない

次に、表 1.1 の 8 つの因子軸名を俯瞰し、その意味を集約することを試みた。③、④、⑦からは「経験に基づく判断・行動に欠け、形だけの仕事に流れやすい」、⑤、⑥からは「作業の中の、細かい肝心なところ（勘所）が身についていない」、①、②、⑧からは「保全教育・訓練が漫然としていて、積極性・進取性に欠けている」、の 3 つの課題に集約、整理した。

上記の 3 つの課題は、1.2 節で述べた保全業務の PDCA サイクルのうち、D:「保全の実施」に関連が強い。この PDCA サイクルのうち、PCA の段階では熟練者が集まって協議することに対して、D の段階では多数の作業現場で、多数の階層構造の中にいるそれぞれスキルの異なる保守作業者が実施していることから説明できる。

「経験に基づく判断・行動に欠け、形だけの仕事に流れやすい」については、毎年実施する定例の作業においては、同じことを繰り返すことが多く、経験を発揮する場面が少ないことから、どうしても形だけの仕事に流れやすいということはある。これに対しては、作業の注意点を保守作業者に如何にわかりやすく伝えるかが重要である。

「作業の中の、細かい肝心なところ（勘所）が身についていない」につ

いては、勘所をうまく伝達できていないことの表れであると解釈できる。これに対しては、勘所を保守作業者にわかりやすく示すこととそれを伝承していく仕組みが必要である。また熟練者が減少傾向にあることを踏まえると、これらの対策も急務である。

「保全教育・訓練が漫然としていて、積極性・進取性に欠けている」については、繰り返し作業が多くなると、敢えて新規の教育・訓練を行う必然性も少なくなり、また OJT(On the Job Training)も十分に実施しにくい環境になっている可能性もあることから、このような課題が抽出されたと解釈できる。これに対しては、教育・訓練の必然性が少ないと感じている可能性はあるが、その重要性は変わらないので、訓練センターなどでの模擬装置を使った大掛かりな訓練ではなくて、簡易にできる訓練ツールを提供することが考えられる。

上記の 3 つの課題を、対策の視点で表現しなおすと以下のように要約することができる。

- (1) 作業の注意点を保守作業者にわかりやすく伝えること
- (2) 勘所を保守作業者にわかりやすく示すこと
- (3) 保守作業者に簡易にできる訓練ツールを提供すること

これらの課題に対する共通的な解決策は、保全計画の意図、内容を保守作業者に伝える作業手順書にあると考えるのが妥当である。また作業手順書を改良することにより、原子力発電所のトラブルの要因として多く挙げられている保守不良の改善にもつながり、原子力発電所の安全向上に寄与することが期待できる。

## 1.5 トラブル事例分析のまとめ

国内原子力発電所のトラブル事例分析によると保守不良が全体の要因の約 4 割以上を占めており最も多いこと、またその要因は作業手順書に係る要因が多く含まれていることがわかった。また保全に係るトラブル事例全般の背景に、(1) 作業の注意点を保守作業者にわかりやすく伝えること、(2) 勘所を保守作業者にわかりやすく示すこと、(3) 保守作業者に簡易にできる訓練ツールを提供すること、の課題があることがわかった。これらの課題は、作業手順書の問題と関連づけて考えられる問題であり、作業手

順書の問題は保全に係るトラブル全体の中で重要な位置付けにあることがわかった。

## 1.6 原子力発電所における作業手順書の調査

作業手順書の問題についてより詳細に検討するため、作業手順書の目的、作成および使い方について調査する。

### (1) 作業手順書の目的

原子力発電所における作業手順書の目的は、保守作業者の安全確保と保守作業の品質維持であり、この目的を達成するために必要な情報が作業手順書に含まれている。

一方、他分野においては、佐々木(2015)<sup>(31)</sup>は医療分野におけるマニュアルを「いつ、誰がやっても同じ結果になる」、「マニュアルとは手引書であり、ある条件に対応する方法を知らない者に対して示し、教えるための文書である」としている。松原ら(2012)<sup>(32)</sup>はプラント産業分野において「①目的に沿って安全に確実に操作する操作のレベル向上、②操作者のもつスキルによって発生するヒューマンエラーの防止」としている。岡本ら(1995)<sup>(33)</sup>は家電製品についての「取扱説明書とは商品を安全に、かつ効果的に使うことを目的として作られたもので、その商品を設計・製造した側から、使う人たちへのメッセージである」としている。これらのことから、作業手順書の目的は、大きく次の2つに分けることができる。一つ目は、作業または製品の使用の品質を維持し、作業員、利用者および対象者の安全を守ること。二つ目は、作業または製品の使用のための技能伝承を行うことである。

本研究では、実際の作業現場において保守作業員のヒューマンエラーを誘発している、一つ目の目的で使用されている作業手順書を対象としている。

### (2) 作業手順書の作成

#### a. 情報の表現形態

原子力発電所で使用されている作業手順書の例を図 1.8 に示す。同図に

示すように、一般的には作業手順、注意事項、確認および備考欄などで構成されている。作業手順書の表現形態は、文章主体であり、他のプラント産業や家電分野などで広く普及しているような写真・図をあまり用いていない。大型ポンプの定期点検工事の作業手順書では、約 80 頁、約 180 の作業ステップ数の分量があり、当該作業の熟練者であっても確認のために作業手順書は必要であり、よりわかりやすい作業手順書が求められている。

**作業手順書**

対象機器名: ○○電動機

No.	作業手順	注意事項	確認		備考
			作業	担当者	
1	作業準備				
(1)	作業現場の区画養生を行う				トラロープとポールを用意
2	分解点検				
(1)	電源ブレーカーを切る	無電圧であることを確認すること	◎		電源ブレーカーの場所は、工事図面を参照
(2)	電動機の電源ケーブルを解線する				
(3)	電動機のブラケットを外す				
.....					
4	試運転				
(1)	電動機の試運転を行い、振動値が基準値以内であることを確認する	振動計は、計器校正の完了しているものを使用すること			基準値は、○○μm以下(水平方向)
.....					
6	後片付け				
(1)	作業現場の後片付けを行う				

[確認区分の表示]  
 ◎:同時立金
 

 [点検結果の表示]  
 ✓:異常なし / 該当なし

図 1.8 作業手順書の例示

保守の作業手順書ではないが、八田ら(1998)<sup>(34)</sup>はプラント運転員の操作手順書においてアイコンのような文章ではない記号を挿入することにより、手順の確認や想起の道標的役割を果たすなどの有効性を確認している。また家電製品のマニュアルの問題点として、小松原(2000)<sup>(35)</sup>は表示的明瞭性を欠く表記の問題として文章で説明しすぎ(図示されていない)と指摘している。

さらに作業手順書の表現形態に関して、プラント産業分野では、森ら(2008)<sup>(36)</sup>が「言葉で表現できないものは、写真やイラストを採用する」としている。家電分野においては岡本ら(1995)<sup>(33)</sup>は「取扱説明書に望むもの

として「大事なことは色や活字で強調」「絵や図を多く」をあげ、小松原(2000)<sup>(35)</sup>は「マニュアル自身が使いにくければ、マニュアルを誤使用（誤参照）し、あるいは、マニュアルを使用する意欲を失わせる。家電分野ではマニュアルの「標記」と「体裁」について改善してきた」と示している。海保ら(1987)<sup>(37)</sup>および海保(1991)<sup>(38)</sup>は、分野を問わない一般的なわかりやすいマニュアルを作るための手引きを作成している。

原子力発電所では放射線環境下での作業があり、作業時間を短くする必要があることから直感的にわかりやすい作業手順書が求められているが、写真・図の導入が遅れている。その一つ目の理由としては、文章と写真・図を組み合わせたような作業手順書を作成するための具体的な方法が示されていないことが考えられる。二つ目の理由としては、原子力の特徴に由来していると思われる。原子力発電所は放射性物質を内包し、原子力技術を扱っているため、他産業分野と比較して多種多様な設備でシステムを構成している。そのため設備故障が放射線事故を拡大するリスクがあるため、保守作業の品質管理は厳しく、設備固有のきめ細かな管理が求められ、作業手順書にも要求事項が盛り込まれる。また作業手順書が起因となったトラブルの再発防止策は、文章による情報の追記が主であり、これらのことが作業手順書の文章情報を多くし、わかりにくくしている可能性があると考えられる。

#### b. 作成者による表現内容の差異

原子力発電所で行われる保守作業では、基本的には作業要領書が作業着手前に作成され、電力会社の事前の承認を得たのちに作業が開始される。この作業要領書は作業を実施する協力会社が作成し、その内容は一般的には作業工程、作業体制、有資格者一覧表などの管理上の資料に加えて、保守作業を実施する際に必要な作業手順書を添付している。本研究で対象としている作業手順書は、この作業要領書の一部の資料である。

定例的に実施するような保守作業においては、電力会社が作業手順書の標準版を有しており、協力会社はその標準版を改訂するか、参考にしながら作成する。協力会社においては保守作業の熟練者が作成することになるが、作成者の経験、スキルなどの差によって細かい部分での差異が生じる

ことは否めない。熟練者にとって当たり前のことは書かれない、またすべての作業内容を詳細に書くことはできないため、作業手順書に記載される項目はある程度簡略化される。そのため、作業スキルが作成者と比較して低い保守作業員、あるいは作業環境が異なる現場で従事してきた保守作業員などが作業する場合は、記載されていない項目はしなくても良いと思いつくことや、作業手順書の注意点など曖昧に記載されているものは誤解釈する可能性がある。

作業手順書の作成者によって記載事項に差異が生じることが、作業手順書の問題となって現れている可能性がある。その要因の一つとして、恒常的、一般的な作業を対象にした作業手順書の標準版はあるが、作業手順書を作成するための具体的な方法が示されていないことが挙げられる。

### c. 他分野の知見の検討

家電分野などの他分野において取扱説明書の作成について具体的に記述されているガイドブック<sup>(39)(40)(41)</sup>があり、これらの知見が原子力発電所保守作業の作業手順書の作成に活用できるかについて検討する。本ガイドブックでは、文章だけでなく、イラストレーションや写真・動画などの表現要素やそれらの配置を効率的に使うことで内容を伝達すること、および読み手の視点で書くことの重要性を指摘している。また文字のフォント、ピクトグラム、シンボルマーク、カラープランなどの細かな使い方にも言及しており、表現要素の基本的な使い方に関して参考となる点は多い。しかしながら、これらのガイドブックは取扱説明書を作成する専門の部署が、製品を使用する一般消費者や使用者が取扱説明書を読むことを対象にしている。一方、本研究では設備の保守作業を熟知した者が作業手順書を作成し、保守作業員が作業手順書を読むことを対象としている。場合によっては、作業手順書の作成者と使用者は同一であることもある。取扱説明書では、一般消費者や使用者に読む気にさせる工夫が必要であり、特に安全に関する注意事項は守ってもらわないと製造業者が責任を問われることもあり得る。それに対して、原子力発電所においては作業手順書を読むことはルール化されている。しかしながら、その内容が曖昧でわかりにくいとヒューマンエラーの誘発要因となる。

作業手順書は取扱説明書と比較して上記のような特徴があるため、次のような事項に特に配慮する必要があると考えられる。

- a) 作業手順書の作成者は、作業内容は熟知しているが、手順書作成についてのテクニカルコミュニケーション技術などの専門的な知識は少ないため、重点的に絞ったポイントを提示する
- b) 表現要素を適切に配置することの重要性は理解しても、実際に手順書を作成する際にはトレードオフの関係が発生し、どちらを優先すればよいか分かりにくいので、具体方策の例を示す
- c) 作業手順書の読者は、保守作業員であり、読み手の視点での評価は直接、保守作業員に確認する以外にない

### (3) 作業手順書の使い方

電力会社が承認した作業手順書は作業現場に携行、掲示され、保守作業員は一つの作業ステップ毎に作業手順の内容を確認、チェックを入れながら作業する。重要な作業ステップについては、作業責任者などの確認が終わらないと次の作業ステップにいけない仕組みも作られている。また原子力発電所構内では微弱電波の PHS 電話機などの使用は許可されているが、携帯電話機などは持ち込めないこともあり、作業手順書は紙ベースで提供され、電子媒体で持ち込むことは普及していない。

作業手順書の使い方としては、作業ステップを実施する前に各ステップの注意を読んで理解する常時使用型と、作業ステップを実施する前に各ステップの構成を定期的にレビューし理解する参照使用型などがある<sup>(42)(43)</sup>が、作業現場においては逐一作業ステップの内容を読んで理解する常時使用型の使い方が主である。

保守作業員が作業手順書を使用して作業する場合のフロー図を図 1.9 に示す。保守作業員は、先ず対象設備を同定した後、作業手順書の内容を理解し、作業を行う。基準通りに作業ができていれば次の作業ステップに移るが、基準通りでなければ再度、同じ作業ステップの内容を実行することになる。一つの作業ステップが終了すると作業手順書の確認欄にチェックを入れ、次の作業ステップに移る。すべての作業ステップが終了すればその作業は完了となる。

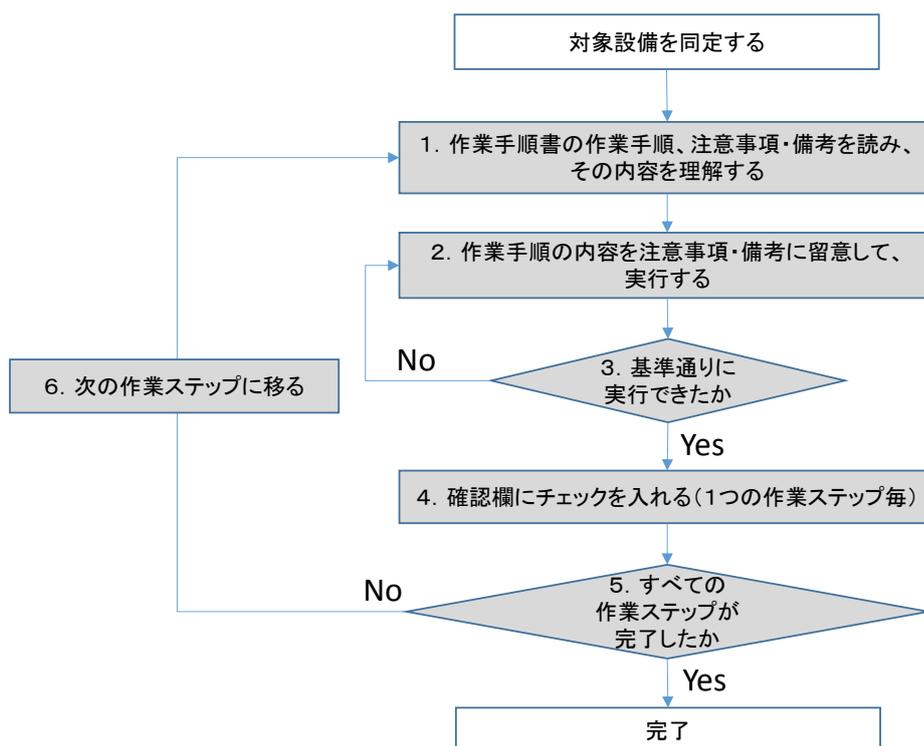


図 1.9 作業現場での作業手順書の使い方

その他の使い方としては、保守作業者が新規に原子力発電所構内で作業するときや作業開始直前の TBM (Tool Box Meeting : 作業開始前に作業現場で作業者全員が行う打ち合わせ) などで、作業手順書に記載の作業の注意点などを確認し合ったりする。また作業手順書は、保守の訓練センターなどでの教材としても使われている。

### 1.7 作業手順書の問題点と本研究の目的

1.6 節で述べたように、作業手順書の目的と使い方には特に問題点は認められない。作業手順書の作成における問題点としては、以下の 2 点に要約でき、作業手順書が適正な表現形態となっていないことがわかった。

- (1) 作業手順書には、文章による多くの情報が記載されているため、わかりにくい

(2) 作業手順書の具体的な作成方法が示されていない

上記の問題点を解決するためには、文章と写真・図を組み合わせたような適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための具体的な作成方法を示し、指針として保守作業者に提供することが必要である。

そこで本研究の目的は、「適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供すること」とした。本研究の目的の設定までの過程を図 1.10 に示す。

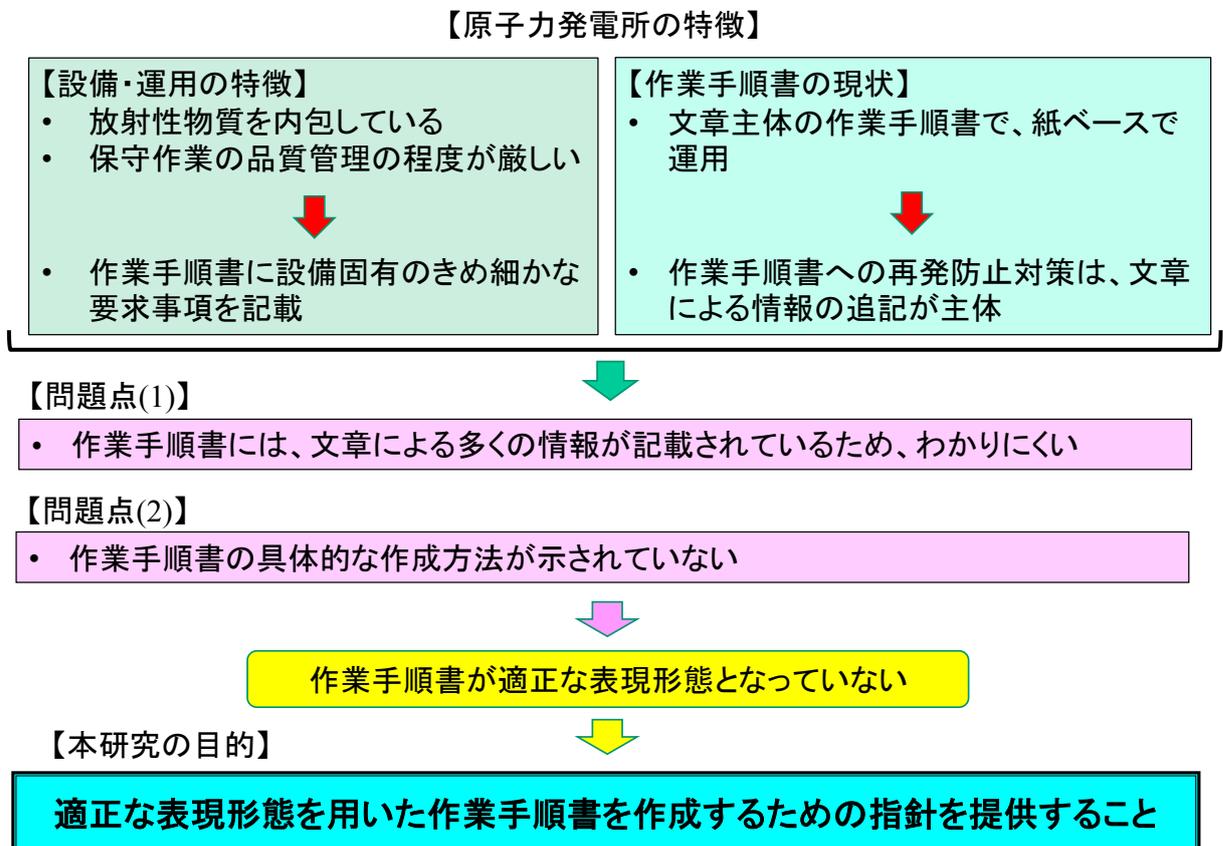


図 1.10 本研究の目的の設定

## 1.8 本論文の全体構成

本論文は全体で 10 章からなり、以下の構成となっている。

第 1 章では、先ず原子力発電所の安全、保全業務と保守作業の概要について説明する。国内原子力発電所のトラブル事例分析の知見<sup>(14)</sup>などにより、保守不良の要因が最も多く占めており、原子力発電所の保守トラブルは作業手順書の問題に起因していることを示す。次に原子力発電所における作業手順書の問題をより詳細に検討し、作業手順書が適正な表現形態となっていないことを示し、本研究の目的として「適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供すること」を設定する。また本論文の全体構成を示す。

第 2 章では、保守作業者が作業手順書を使用して作業する場面を分析することにより作業手順書の表現形態における支援の着目点として、(1)「作業のイメージ化」の支援、(2)「予測」の支援、および(3)「解釈」の支援を示す。

第 3 章では、第 2 章で抽出した作業手順書の支援の着目点について、保守作業者の行動の視点で検討するため、保守作業者の行動モデルを提案する。支援の着目点の検討事項として、(1) 文章と写真・図を組み合わせることによって、作業パフォーマンスが向上する、(2) 次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する、および(3) 作業対象のイメージがしやすいもの、および情報を強調したものは、作業パフォーマンスが向上する、の 3 つを設定する。

第 4 章では、先ず文章と写真・図を組み合わせた作業手順書のニーズが作業現場にあるかの調査を行い、次に第 3 章で提案した行動モデルに基づき設定した支援の着目点の検討事項(1)「文章と写真・図を組み合わせることによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認する。確認にあたっては、レゴ・ブロックの組立作業実験および実際の保守作業を対象にした実験を行う。

第 5 章では、第 3 章で提案した行動モデルに基づき設定した支援の着目点の検討事項(2)「次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認する。確認にあたっては、レゴ・ブロックの組立作業実験および実際の保守作業を対象にした実験を行う。

第 6 章では、第 3 章で提案した行動モデルに基づき設定した支援の着目点の検討事項(3)「作業対象のイメージがしやすいもの、および情報を強調したものは、作業パフォーマンスが向上する」について確認する。確認にあたっては、レゴ・ブロックの組立作業実験を行う。

第 7 章では、第 4 章から第 6 章で確認した支援の着目点の検討事項を作業手順書設計の基本原則として示し、その基本原則が作業手順書に反映されているかを確認するためのチェックシートについて検討し、その有効性を確認する。

第 8 章では、第 7 章で提案した作業手順書のチェックシートに基づき作業手順書を試作する。試作した作業手順書に対して保守作業者の評価を得て作業手順書の適正な表現形態の具体方策の例を提供する。

第 9 章では、第 7 章で提案した作業手順書のチェックシートと第 8 章で提供した作業手順書の具体方策の例などをまとめ、適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針として提供する。

第 10 章では、本研究全体のまとめと本研究成果の活用などの展望について述べる。

本論文の全体構成を図 1.11 に示す。

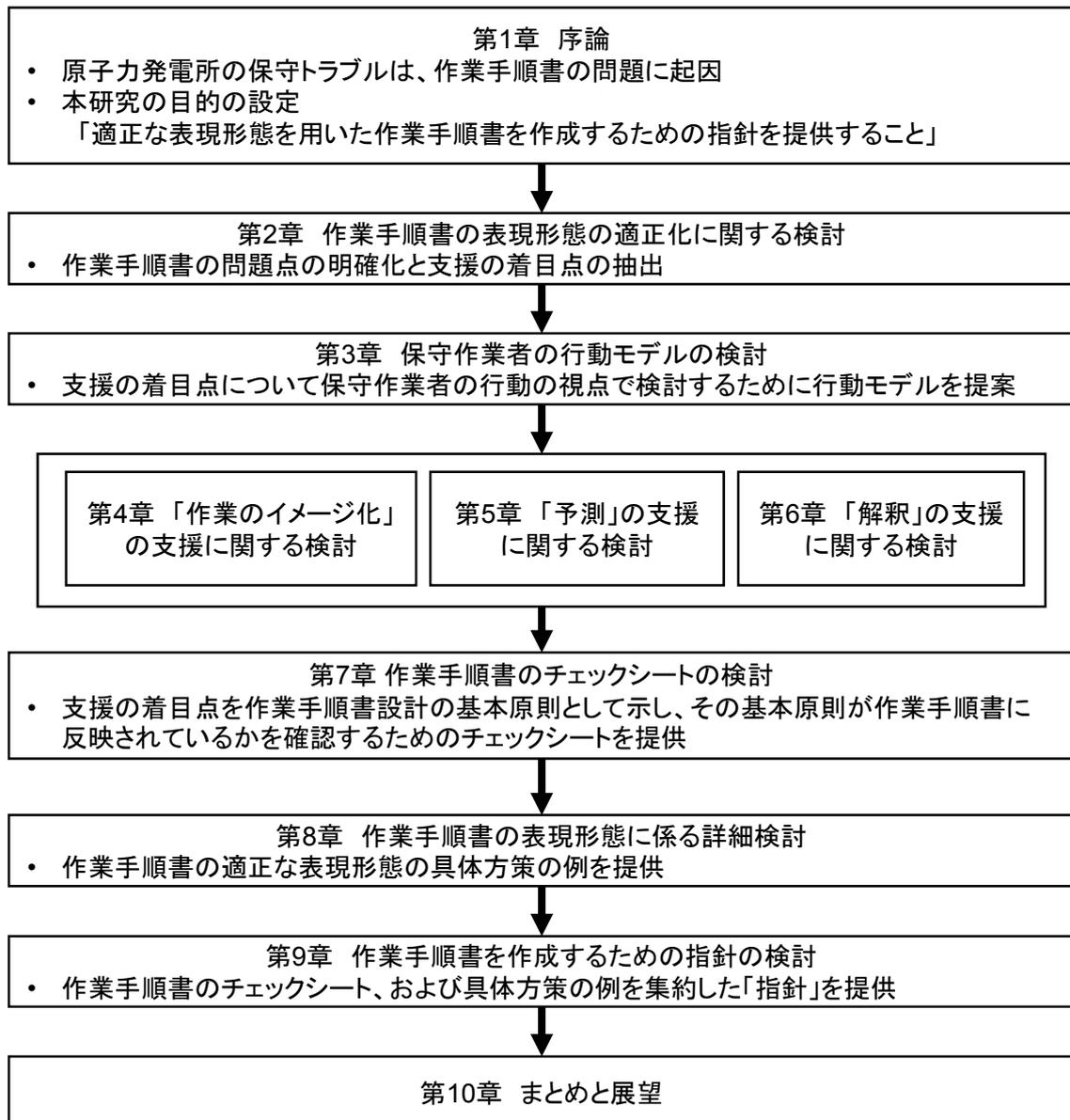


図 1.11 本論文の全体構成

## 1.9 本章のまとめと次章に向けて

本章では、先ず原子力発電所の安全、保全業務と保守作業について概観するとともに、原子力発電所の保守トラブルは、作業手順書に起因していることを示した。またトラブル事例の詳細分析では、トラブルの背景に「作業の注意点を保守作業者にわかりやすく伝えること」など作業手順書の問題と関連がある課題が抽出された。これらのことから、原子力発電所の保守トラブルは、作業手順書の問題と大きく関連していることがわかった。

次に原子力発電所における作業手順書についてより詳細に調査し、作業手順書の問題点について検討した。その結果、文章と写真・図を組み合わせるなどの適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための具体的な作成方法を示し、指針として保守作業者に提供することが必要であるとした。そこで本研究の目的は、「適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供すること」とした。

次章では、作業手順書の表現形態の適正化に関する検討を行い、表現形態上の問題点と支援の着目点を抽出する。

## 第 2 章 作業手順書の表現形態の適正化に関する検討

### 2.1 本章の目的

本章では、作業手順書の表現形態の適正化に関する検討を行い、表現形態上の問題点と支援の着目点を抽出することが目的である。

### 2.2 本章の流れ

先ず、原子力発電所の作業現場で使用されている作業手順書にどのような情報が記載され、保守作業者はどのようにその情報を活用しているのかを調査し、作業手順書の表現形態上の問題点と支援の着目点を抽出する。

### 2.3 作業手順書の情報

作業手順書は、一般的に(1)作業手順、(2)注意事項、(3)確認、および(4)備考欄で構成されており、保守作業に関連する情報が記載されている。また保守作業の熟練者は、「手順予測のスキル」を有しており、次の作業ステップの作業内容を意識しながら作業している<sup>(44)</sup>。このことから、当該作業ステップのみならず次の作業ステップの情報もわかりやすく確認できることが作業手順書には求められると考えられる。

原子力発電所内で設置台数の多い一般的な電動機の分解点検を対象にした作業手順書に記載されている情報を表 2.1 に示す。

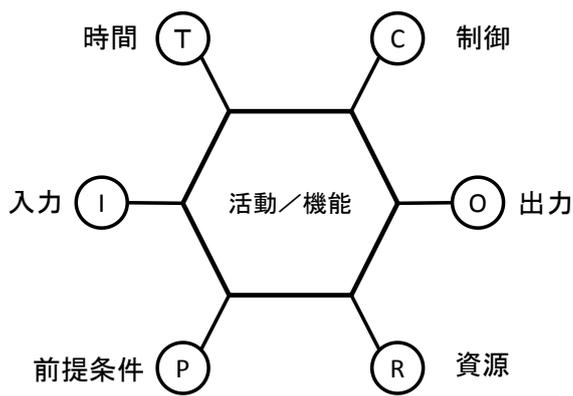
表 2.1 作業手順書の情報（電動機の分解点検）

No.	作業手順	注意事項	確認	備考
1(1)	作業現場の区画養生を行う		✓	トラロープとポールを用意
2(1)	電源ブレーカーを切る	無電圧であることを確認すること	✓	電源ブレーカーの場所は、工事図面を参照
2(2)	電動機の電源ケーブルを解線する			
2(3)	電動機のブラケットを取外す			
4(1)	電動機の試運転を行い、振動値が基準値以内であることを確認する	振動計は、計器校正の完了しているものを使用すること		基準値は、 $0.0\mu\text{m}$ 以下(水平方向)
6(1)	作業現場の後片付けを行う			

(注) 一部の作業手順は、省略している

保守作業者は、作業手順書に基づき作業を行うが、すべての情報を作業手順書の限られた紙面に記載することは物理的に不可能であり、またわかりやすさの点でも問題が生じる。そこで、どのような情報をどのような表現形態で作業手順書に記載すべきかについて検討する。

検討に際しては、図 1.9 に示した作業手順書の使い方のフロー図と同様な表現ができ、人間の行為や情報などの各要素を機能のつながりの視点で分析する必要がある。分析手法は、THERP(Technique for Human Error Rate Prediction)手法<sup>(18)</sup>、CREAM 手法<sup>(22)(23)</sup>や VTA 手法<sup>(24)(25)</sup>など複数の手法があるが、分析の目的を満足する FRAM 手法(Functional Resonance Analysis Method)<sup>(45)(46)(47)(48)(49)</sup>を用いることとした。その理由は、作業手順書の表現形態上の問題点を抽出するには保守作業者が作業手順書を読み、作業するまでの一連のつながりを視覚的にわかりやすく示し、作業手順書の情報の機能によって保守作業者の判断・行動は変わるため、その動的な関係を分析することが必要と考えたからである。FRAM 手法における各要素を「活動／機能」毎に分解し、それを 6 つの側面でつなげていくことができる六角形表現を図 2.1 に示す。



6つの側面	内容
入力(I)	機能が処理を行い、変化するもの。機能を開始するもの
出力(O)	機能の結果であり、何らかの実体か状態変化
前提条件(P)	機能が実行される前に存在すべき条件
資源(R)	機能が実行されるときに必要とされるもの。出力を提供するために消費されるもの
時間(T)	機能に影響を与える時間的制約
制御(C)	機能がどのようにモニターされ、制御されるか

図 2.1 機能の六角形表現<sup>(45)</sup>

表 2.1 で示した作業手順（以下、作業ステップという）のうち、当該作業の代表として「2(1) 電源ブレーカーを切る」と「2(2) 電動機の電源ケーブルを解線する」の 2 つの作業ステップ内容を FRAM 表現で表したものを図 2.2 に示す。

図 2.2 が示すように 2 つの作業ステップであっても、作業には多くの行為を伴う。図 2.2 の青色の六角形は作業手順書に記載があるものであるが、白色の六角形は記載がない。このことは、作業手順書にはすべての情報が記載されていないことを意味している。

図 2.2 における各種の情報や行為を入力(I)と出力(O)との間でつながりがある要素は「作業の流れ(S)」として、「前提条件(P)」および「資源(R)」は区分して、作業手順書への情報の記載の有無を整理したものを表 2.2 に示す。

作業手順書に記載すべき情報は、保守作業者自身の経験やスキルなどによって異なってくるので、表 2.2 における作業手順書に記載されていない情報、例えば、「S-7 電動機の電源端子カバーをあける」、「P-2 電源ブレーカー下流側の負荷に問題がないように他部署と調整」などの情報をどこまで記載するかを検討は必要であるが、本研究のねらいは作業手順書の表現形態にあり、表現形態上の問題点を抽出することにあるので、この点に絞って次節で検討する。

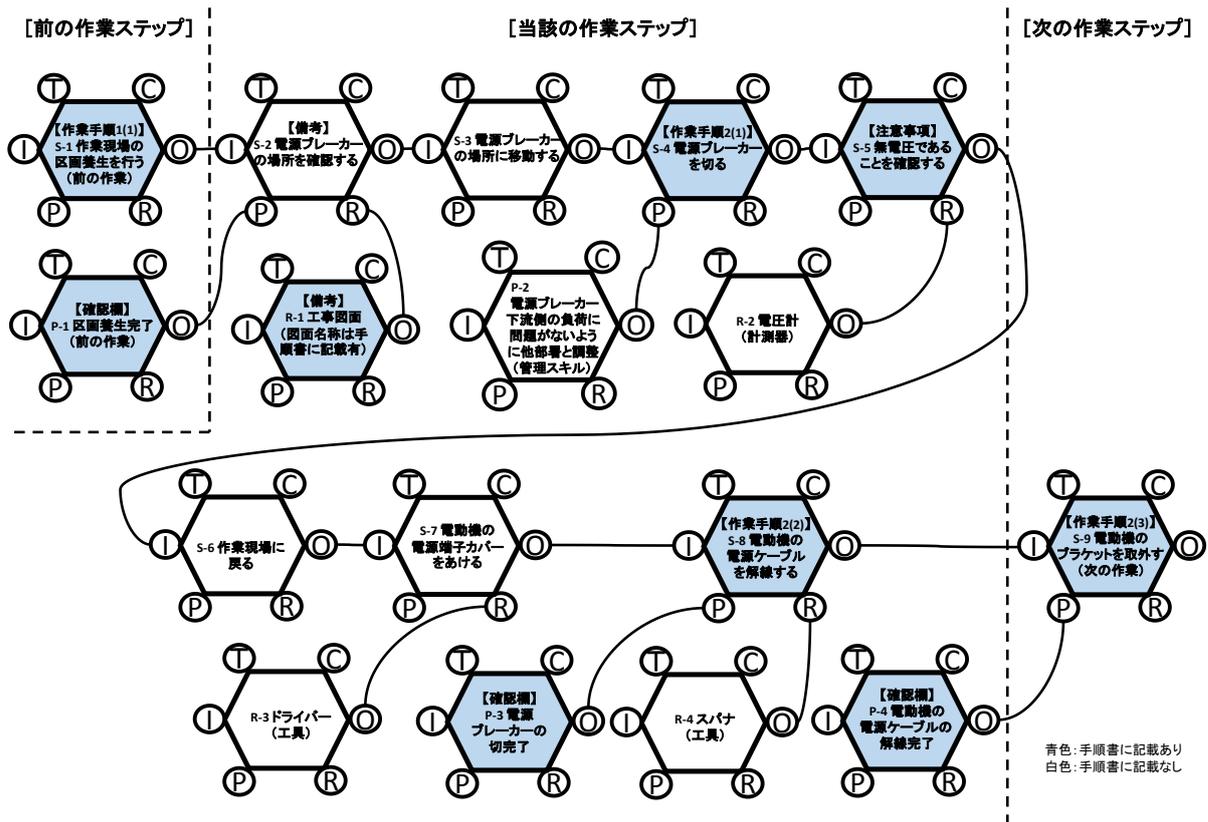


図 2.2 作業ステップの FRAM 表現

表 2.2 作業に必要な情報と作業手順書記載有無との関係

	作業の流れ(S)	手順書記載 【作業手順】 【注意事項】	前提条件(P)	手順書記載 【確認欄】	資源(R)	手順書記載 【備考】
前の作業ステップ	1(1) S-1 作業現場の区画養生を行う (前の作業)	○		—		—
当該の 作業ステップ	S-2 電源ブレーカーの場所を確認する	×	P-1 区画養生完了	○	R-1 工事図面	○
	S-3 電源ブレーカーの場所に移動する	×		—		—
	2(1) S-4 電源ブレーカーを切る	○	P-2 電源ブレーカー下流側の 負荷に問題がないように他部 署と調整	×		—
	S-5 無電圧であることを確認する	○ 【注意事項】		—	R-2 電圧計(計測器)	×
	S-6 作業現場に戻る	×		—		—
	S-7 電動機の電源端子カバーをあける	×		—	R-3 ドライバー(工具)	×
	2(2) S-8 電動機の電源ケーブルを解線する	○	P-3 電源ブレーカーの切完了	○	R-4 スパナ(工具)	×
次の作業ステップ	2(3) S-9 電動機のブラケットを取外す	○	P-4 電動機の電源ケーブルの 解線完了	○		—

○: 記載あり ×: 記載なし

## 2.4 作業手順書の表現形態上の問題点と支援の着目点

本節では先ず、作業手順書の表現形態上の問題点を抽出するため、保守作業者の「認知」、「判断」および「行動」の各機能に焦点を当て、作業手順書との関連を検討する。保守作業者と作業手順書の機能のつながりをFRAM表現したものを図 2.3 に示す。ここでは、代表例として作業ステップ「2(1) 電源ブレーカーを切る」を対象とした。

図 2.3 においては、実線は正常な保守作業が行われる場合の流れを、点線は作業手順書を読まなかったような異常な流れを表している。また作業手順書の記載内容（青色）を保守作業者が読み、認知する流れを赤線で表している。ここでは、作業手順自体を読まないことは想定せず、注意事項または備考は読まない場合があると仮定する。実際の保守作業において、作業手順を読み落とすことはあるが、ここでは表現形態上の問題点を検討することがねらいであるので、注意事項または備考を読まないことを代表とする。

以下、図 2.3 について考察する。先ず、保守作業者が【備考】「電源ブレーカーの場所は、工事図面を参照」を読まなかった場合は、保守作業者の知識の中に場所の情報があれば問題はないが、なければ【行動】「電源ブレーカーの場所に移動する」ことができないため、工事図面の配置図などを参照するか、他の保守作業者に確認することになる。このときに、作業手順書に配置図などのビジュアル情報を記載するなどの表現形態を配慮していれば保守作業者は間違いにくく、また移動開始までの時間を短縮することも可能である。

次に、【注意事項】「無電圧であることを確認すること」を読まなかった場合は、【行動】「電源ブレーカーを切る」から次の作業ステップ【作業手順】「2(2)電動機の電源ケーブルを解線する」に移行する（点線の流れ）。正しい電源ブレーカーを切った場合は感電の問題は生じないが、間違えていけば保守作業者が感電することになり大変危険である。ここで特記すべきは、先の【備考】を読み落としたとしても、電源ブレーカーの場所に移動するという行動が作業の流れの中にあるため、リカバリーが可能なことに対して、【注意事項】の場合はそれを読み落とした場合にはリカバリーが



表 2.3 作業手順書の記載情報と表現形態上の問題点

記載情報	表現形態上の問題点	検 討 内 容
1. 前の作業ステップの完了	○(問題なし)	確認欄のチェックで確認できる
2. 他部署との調整事項など	○(問題なし)	管理スキルとして知っておくべきであるが、作業手順書に記載するかはその使用者の判断
3. 作業ステップの内容	×(わかりにくい)	保守作業者の経験やスキルなどによっては、文章だけではわかりにくいものとなっている可能性あり
4. 作業内容を実行するために必要なリソース		
4-1 工事図面などの参照	○(問題なし)	保守作業者によっては、工事図面を見つけられない、または誤解釈する可能性もあるが、作業手順書に記載するかはその使用者の判断
4-2 ドライバーなどの必要な治工具類	○(問題なし)	記載はないが、保守作業者であれば自明のこと。ただし、特殊工具などの場合は記載した方がよい
5. 当該の作業ステップの完了	○(問題なし)	確認欄のチェックで確認できる
6. 次の作業ステップの確認	×(わかりにくい)	作業手順書のページを繰らないと次の作業ステップ情報が確認できないなど、見えにくくなっている可能性あり
7. 注意事項・備考	×(わかりにくい)	保守作業者によっては、重要な情報が見落とされたりする可能性あり

作業手順書の内容は、対象設備や作業内容により異なるが、作業手順書の記載情報と表現形態上の問題点の検討にあたっては、作業固有の内容の差は関係しないため、ここでは「電源ブレーカーを切る」という一つの代表例で示した。

表 2.3 の「表現形態上の問題点」で「×(わかりにくい)」となっている事項について検討することにより、作業手順書の表現形態上の支援の着目点を抽出する。

「3.作業ステップの内容」については、保守作業者の経験やスキルなどによっては、文章だけではわかりにくいものとなっている可能性があるため、作業手順書に配置図などのビジュアル情報を記載するなどの「作業のイメージ化」の支援について検討する必要がある。

「6.次の作業ステップの確認」については、作業手順書のページを繰らないと次の作業ステップ情報が確認できないなど、見えにくくなっている可能性があるため、見えやすくするなどの「予測」の支援について検討する必要がある。

「7.注意事項・備考」については、保守作業者によっては、重要な情報が見落とされたりする可能性があるため、情報を強調するなどの「解釈」の支援について検討する必要がある。

以上のことを要約すると、以下の支援の着目点を抽出することができたと考えられる。

支援の着目点 1 : 「作業のイメージ化」の支援

支援の着目点 2 : 「予測」の支援

支援の着目点 3 : 「解釈」の支援

上記の支援の着目点は、それぞれの支援方策の有効性が確認できれば、適正な表現形態の作業手順書の作成に寄与できるので、支援の着目点を保守作業者の行動の視点で検討するため行動モデルについて検討し、提案する必要がある。

## 2.5 本章のまとめと次章に向けて

本章では、作業手順書の表現形態上の問題点と支援の着目点を抽出した。次章では、抽出した 3 つの支援の着目点を保守作業者の行動の視点で検討するため行動モデルについて検討、提案し、支援の着目点の有効性を確認するための検討事項を設定する。

## 第 3 章 保守作業者の行動モデルの検討

### 3.1 本章の目的

本章では、作業手順書の表現形態上の支援の着目点を保守作業者の行動の視点で検討するため行動モデルについて検討、提案すること、および支援の着目点の有効性を確認するための検討事項を設定することが目的である。

### 3.2 本章の流れ

先ず、保守作業者の行動モデルの構成要素について検討し、行動モデルを提案する。次に、第 2 章で抽出した作業手順書における表現形態上の支援の着目点の有効性を確認するための検討事項を設定する。

### 3.3 保守作業者の行動モデルの構成要素の検討

行動モデルは、ヒューマン・マシン・インタフェースの操作のしやすさの設計評価や技能作業者の育成のためなど様々な目的に応じて作成されている<sup>(50)(51)(52)(53)</sup>。本節では保守作業者が作業手順書を使用して作業する場合の行動モデルの構成要素について検討する。

保守作業者は作業手順書に記載されている情報を読み、具体的に作業をイメージ化し、対象となる設備に対して作業するというステップを踏む。したがって行動モデルは、「人間」、「作業手順書」および「設備」の 3 要素で構成されることになる。その際、支援の着目点の有効性が確認できる評価項目についても検討する。その詳細を以下に示す。

#### (1) 「人間」の構成要素

保守作業者が作業手順書を使用して作業する場合の基本は、人間のルールベース<sup>(54)</sup>のふるまいとなる。保守作業者は、作業手順書の情報から、作業方法のイメージ、作業後の設備イメージなどを想起する「作業のイメージ化」を行うとともに、作業の流れなどの「予測」を行い、「作業の実施」となる。さらに作業手順書の作業内容や注意点などの「解釈」が容易であれば、「作業のイメージ化」および「予測」をより支援することが可能とな

る。また将来的に作業手順書を技能伝承ツールとして活用することも考えて、レジリエンス・エンジニアリングで重要視されている能力の分類項目「監視能力」、「対処能力」および「予測能力」<sup>(55)</sup>を追加する。能力の種類によっては、作業手順書の改善方策が異なることを想定してのことである。行動モデルの人間の構成要素を図 3.1 に示す。

### 【人間(保守作業者)】

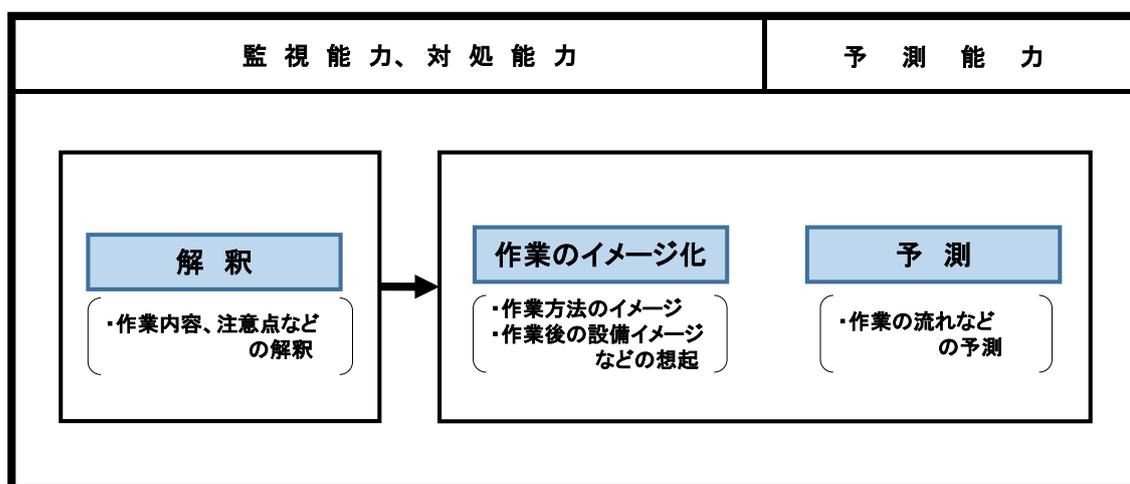


図 3.1 行動モデルの人間の構成要素

### (2) 「作業手順書」の構成要素

保守作業者は、作業手順書を確認し、作業を実施する。「作業のイメージ化」、「予測」および「解釈」は、保守作業者が有している経験やスキルなどにも影響を受けるが、これらは内在知識といえる。これに対して作業手順書は保守作業者にとっては外在知識と考えることができる。

Norman(1988)<sup>(56)</sup>は、「外界にある知識（外在知識）」と「頭の中にある知識（内在知識）」を特徴付けており、表 3.1 に示す。そこで「作業手順書」を外在知識、保守作業者の「経験、スキルなど」を内在知識と位置付けることとする。

表 3.1 外在知識と内在知識の特徴<sup>(56)</sup>

特徴	外界にある知識	頭の中にある知識
検索可能性	いつでも検索可能	思い出すことが必要
効率	外部の情報を見つけたり、解釈したりする必要があることから時間がかかる	かなり効率的であることもある
初めての場面での使いやすさ	使いやすい	使いにくい

(3) 「設備」の構成要素

設備（作業対象）が保守作業者に働きかけるアフォーダンス<sup>(56)(57)</sup>の程度が、保守作業者の「解釈」に影響を与える可能性があり、また保守作業のヒューマンエラーの低減にはアフォーダンスを活用することが重要<sup>(58)(59)</sup>とされていることから、「設備（作業対象）」から「解釈」への働きかけがあるとした。適切なアフォーダンスが多く、作業対象のイメージがしやすいということは、それだけ人間側への支援が大きいので、その分作業手順書に記載する情報量を減じることが可能となる。

ここまでの「人間」、「作業手順書」および「設備」の構成要素をまとめた保守作業者の行動モデルを図 3.2 に示す。

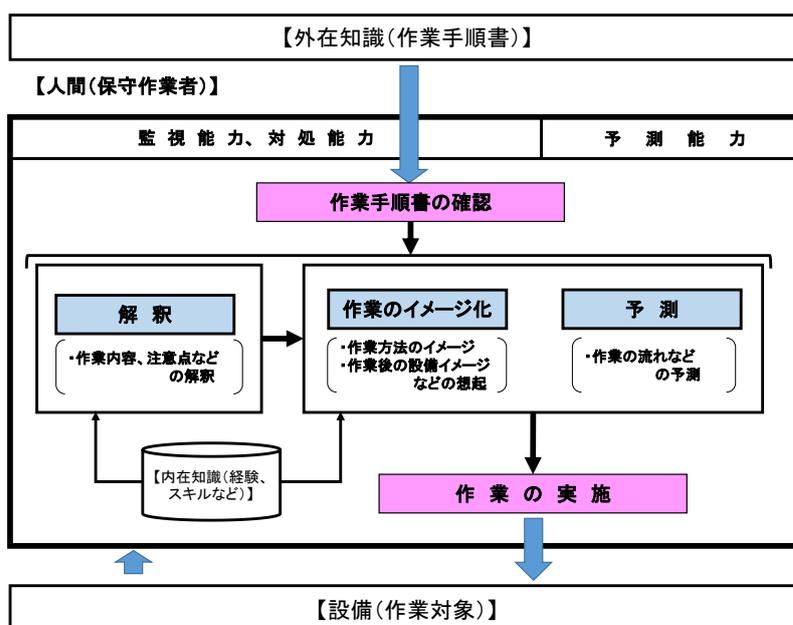


図 3.2 保守作業者の行動モデル

#### (4) 評価項目

##### a. 作業パフォーマンス

支援の着目点の有効性を確認するためには保守作業者の行動、すなわち作業の実施結果の評価項目についても検討する必要がある。作業パフォーマンスの評価項目はより多面的な視点で評価できる方が好ましく、また保守作業の特徴を評価できる項目がよい。Wanner(1984)<sup>(60)</sup>は、人間の判断・行動について(1)行動には流れがある、(2)予測能力を支える情報が必要である、(3)事態が難しくなると自らワークロードを増して対処できるが、限度がある、(4)システムなどの心的描写（イメージ化）を通じて行動する、および(5)複雑な状況下では、危険を推測できない、を行動 5 原則として提唱している。また行待ら(2000)<sup>(61)</sup>は、ポンプの分解点検作業手順書を評価するために、Wanner の行動 5 原則を読み替えている。

作業手順書の評価項目としては、作業手順書が保守作業者にヒューマン・マシン・インタフェースとして何らかの影響を与え、その結果として保守作業者の行動に表出される程度を測ることができなければならない。先ほどの Wanner の行動 5 原則を、保守作業者の行動に置き替えることについて検討する。(1)「行動には流れがある」および(4)「システムなどの心的描写（イメージ化）を通じて行動する」については、保守作業者は作業手順書に記載されている前後の作業ステップを確認し、作業が円滑で、自然な流れをイメージ化して行動する。(2)「予測能力を支える情報が必要である」および(3)「事態が難しくなると自らワークロードを増して対処できるが、限度がある」については、保守作業者は手順通りに進まないような予測しにくい事態が発生した場合には、その対処法や当該作業の注意点などの情報を求めており、これらの情報がないと手間取りや余計な動作が目立つような行動となる。(5)「複雑な状況下では、危険を推測できない」については、保守作業者は今まで経験したことがない作業環境下で作業するときや、複数の作業を同時に実施しなければならないようなときには、作業に潜むリスクを同定しにくいいため、余計な気配りや無駄な注意を払うような行動となる。

これらの検討結果を踏まえて、行動 5 原則を作業の実施の視点で整理し、以下の 3 項目に集約した。さらにそれぞれの項目を、「ぎこちなさ」、「手

間取り」および「取越し苦勞」と簡略表現することとし、それを図 3.3 に示す。

- a) 作業が円滑で、自然な流れを感じるか : 「ぎこちなさ」
- b) 手間取りや、余計な動作が目立つか : 「手間取り」
- c) 余計な気配りや、無駄な注意をしていないか : 「取越し苦勞」

評価としては、熟練者による主観的評価とした。

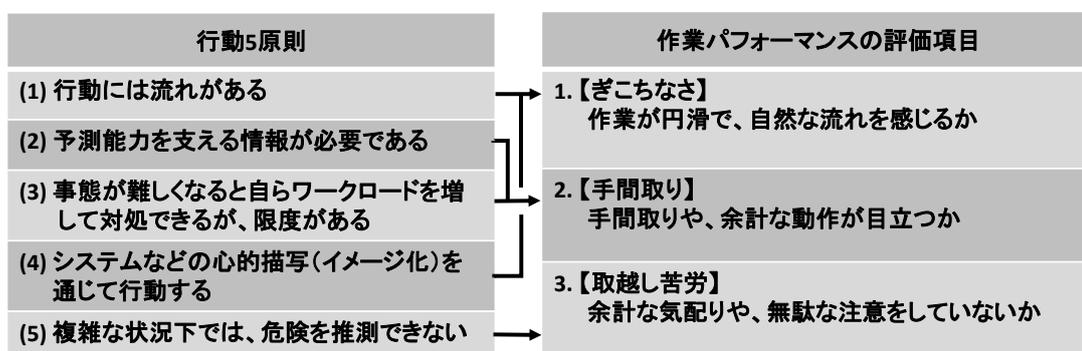


図 3.3 行動 5 原則と作業パフォーマンスの評価項目との関係

#### b. 作業手順書の読み方

作業パフォーマンスの評価項目とは別に、作業手順書を確認し、読む過程での評価項目も重要であると考えられる。作業を行うにあたって作業手順書を読むときに、短時間だけ見たり、読みながら考え込んでしまったり、前後の作業ステップを照合するなど、色々な読み方が考えられる。そこで本研究では、作業手順書の読み方を次の 3 つの表現で区別することとし、評価項目に追加した。

「瞬間視」 : ごく僅か、作業手順書の当該部分を見る。その時間の長さで「瞬間視」を他の読み方と区別するというより、文章や写真・図を確認するようなことはしていない、という挙動

「注視」 : 作業を中断して作業手順書の当該部分を読む。次のステップに進む前や、同一ステップ内で動作が一区切りしたとき

などに比較的多い

「熟読」：思案を伴う読み方。手順を示す文章、注意事項などを読み返し、写真・図と照合したり、さらには部品の実物と見比べたり、それ以前に行ったステップとのつながりを確認したりしている読み方

評価としては、「瞬間視」、「注視」および「熟読」の回数を測定することとした。

### 3.4 保守作業者の行動モデルの提案

3.3 節で検討してきた行動モデルの構成要素に、評価項目を加えた保守作業者の行動モデルを図 3.4 に示す。

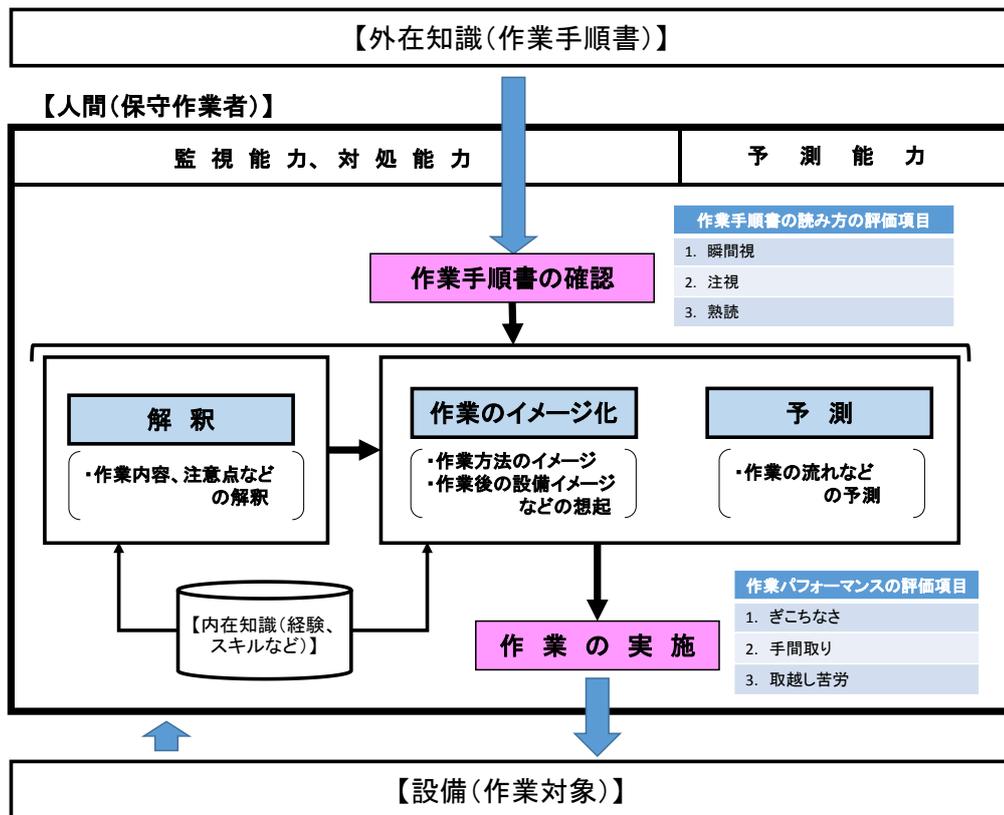


図 3.4 保守作業者の行動モデル（評価項目を含む）

### 3.5 行動モデルに基づく支援の着目点の詳細検討

3.4 節で提案した保守作業者の行動モデルの「作業のイメージ化」、「予測」および「解釈」を適切に支援できれば、作業手順書の誤解釈や誤作業などのヒューマンエラーを減少させ、作業パフォーマンスを向上させることが期待できる。そこで、2.4 節で抽出した 3 つの支援の着目点について詳細に検討し、支援の着目点の有効性を確認するための検討事項を設定する。

#### (1) 「作業のイメージ化」の支援（支援の着目点 1）

作業手順書の情報の表現形態には、「文章」と「写真・図」があり、これらを適切に組み合わせることによって、行動モデルの「作業のイメージ化」がより容易になる可能性がある。文章は、読めば理解できるというメリットはあるが、作業結果をイメージしにくい、長文の場合は読むための時間を要するなどのデメリットがある。一方、写真・図は、作業結果がイメージしやすい、瞬間的に認識することができるというメリットはあるが、写真・図のみでは何をすべきかがわかりにくいというデメリットがある。そこで文章と写真・図を組み合わせることによって、両者のメリットを活かせる可能性がある。このことから、支援の着目点 1 の検討事項として以下のとおり設定した。

支援の着目点 1 の検討事項：情報の表現形態の検討

「文章と写真・図を組み合わせることによって、作業パフォーマンスが向上する」

#### (2) 「予測」の支援（支援の着目点 2）

保守作業の熟練者は、次作業ステップの内容を把握し、作業の流れを良くすることに配慮していることから、次作業ステップ情報の見やすさについて検討することは重要である。次作業ステップ情報を提示することによって、行動モデルの「予測」がより容易になる可能性がある。この情報の表現形態としては、文章と写真・図の両者が考えられる。作業の流れがよくなり効率的に作業を進めることができ、また次の作業を予測できること

からヒューマンエラーの低減を期待できるというメリットはあるが、情報量がその分多くなり見やすさの点では劣るため、作業内容を誤解釈する可能性がある。次作業ステップ情報と当該作業ステップ情報の必要性のバランスが重要となる。このことから、支援の着目点 2 の検討事項として以下のとおり設定した。

支援の着目点 2 の検討事項：次作業ステップ情報の提示方法の検討

「次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する」

### (3) 「解釈」の支援（支援の着目点 3）

作業対象のイメージのしやすさ、および情報の強調は、行動モデルの「解釈」をより容易にする可能性がある。作業手順書は限られた紙面であるので、情報量を単に増やすだけでは情報量密度が高まり、解釈を阻害する可能性があるため、冗長的な情報は削除し、より必要な情報に絞って記載することが望ましいと考えられる。作業対象のイメージがしやすいものは、情報量はその分少なくすることが可能と思われる。情報の強調については、情報を強調しても人間の注意が向くとは限らない場合もある<sup>(62)</sup>ことが示されており、作業対象のイメージのしやすさと作業手順書の情報量とのバランスが重要となる。このことから、支援の着目点 3 の検討事項として以下のとおり設定した。

支援の着目点 3 の検討事項：作業対象のイメージのしやすさ、および情報の強調の検討

「作業対象のイメージがしやすいもの、および情報を強調したものは、作業パフォーマンスが向上する」

### (4) 行動モデルと支援の着目点の検討事項

保守作業者の行動モデルと 3 つの支援の着目点の検討事項との関係を図 3.5 に示す。

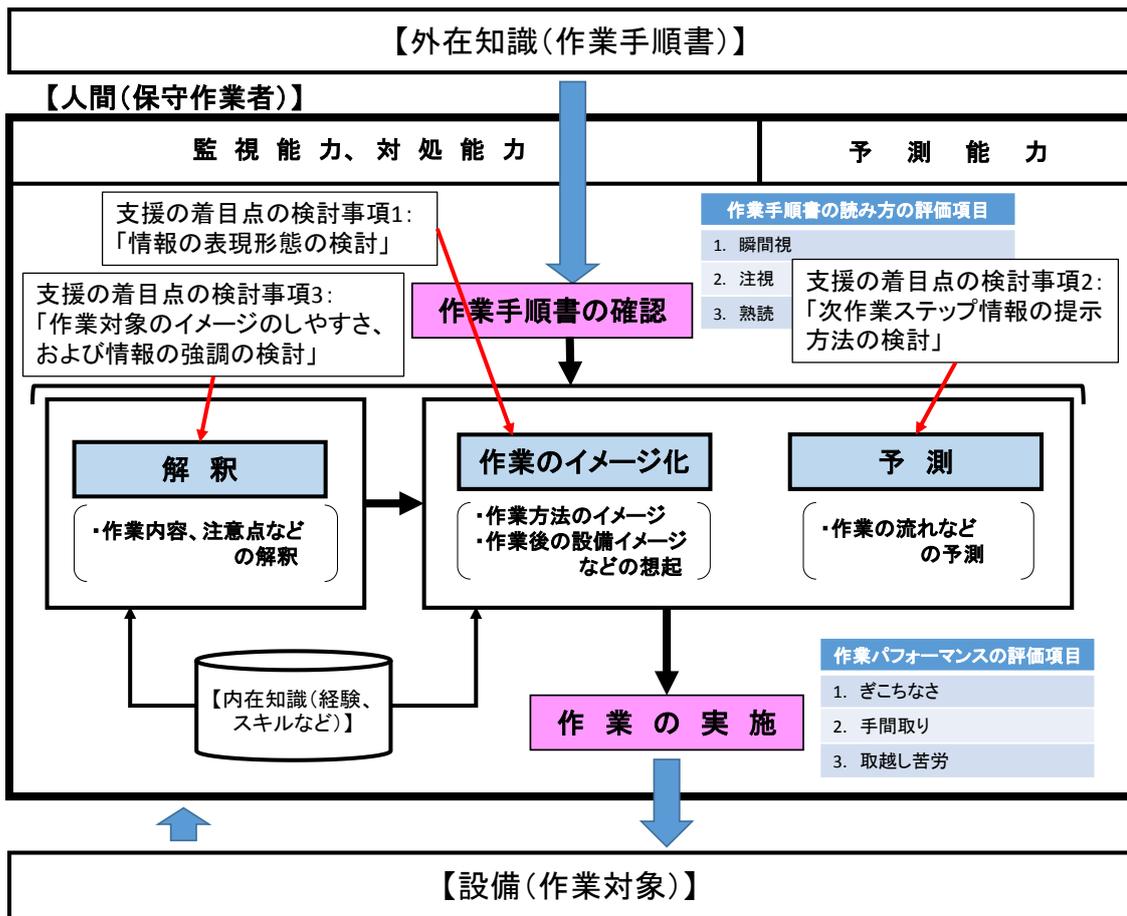


図 3.5 行動モデルと支援の着目点の検討事項

支援の着目点の検討事項 1「文章と写真・図を組み合わせること」が行動モデルの「作業のイメージ化」を、支援の着目点の検討事項 2「次作業ステップ情報を提示すること」が「予測」を、支援の着目点の検討事項 3「作業対象のイメージがしやすいもの、および情報を強調したもの」が「解釈」を適切に支援できれば、保守作業者の作業パフォーマンスの向上が期待できる。

### 3.6 本章のまとめと次章に向けて

本章では、保守作業者の行動モデルについて提案し、作業手順書の表現形態に関する 3 つの支援の着目点の検討事項を設定した。

次章以降（第4章から第6章）では、支援の着目点の検討事項を順次、確認する。まず、作業行為が実際の保守作業の特性と同じと考えられるレゴ・ブロックの組立作業実験で人間の基本的な特性を確認し、その後、実際の保守作業を対象にした実験で確認することとした。ただし、支援の着目点の検討事項3は作業対象のイメージのしやすさ、および情報の強調についてであるので、作業対象のイメージの違いを実験環境で設定する観点からレゴ・ブロックの組立作業実験のみとした。

原子力発電所の設備は多種多様であり、各設備の保守作業自体は内容も必要な作業スキルも異なるが、作業手順書の表現形態の観点では同一であると考えられるので、第4章では弁を対象に、第5章ではポンプを対象にしている。これらの対応を表3.2に示す。

表 3.2 検討事項の確認手順

検討事項	支援の着目点1	支援の着目点2	支援の着目点3
	情報の表現形態の検討	次作業ステップ情報の提示方法の検討	作業対象のイメージのしやすさ、および情報の強調の検討
担当章	第4章	第5章	第6章
現場ニーズ調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業手順書(文章のみ)</li> <li>作業手順書(文章+写真・図)</li> </ul>	-----	-----
確認	レゴ・ブロックの組立作業実験 <ul style="list-style-type: none"> <li>作業手順書(文章のみ)</li> <li>作業手順書(文章+写真・図)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業手順書(次作業ステップ情報なし)</li> <li>作業手順書(次作業ステップ情報あり)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>レゴ・ブロックの形(イメージしにくいもの)</li> <li>レゴ・ブロックの形(イメージしやすいもの)</li> <li>作業手順書(強調なし)</li> <li>作業手順書(強調あり)</li> </ul>
	保守作業実験 <ul style="list-style-type: none"> <li>作業手順書(文章のみ)</li> <li>作業手順書(文章+写真・図)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業手順書(次作業ステップ情報なし)</li> <li>作業手順書(次作業ステップ情報あり)</li> </ul>	-----

## 第 4 章 「作業のイメージ化」の支援に関する検討

### 4.1 本章の目的

本章では、「作業のイメージ化」の支援に関して設定した支援の着目点の検討事項 1:「文章と写真・図を組み合わせることによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認することが目的である。

### 4.2 本章の流れ

先ず文章と写真・図を組み合わせた作業手順書（以下、表現形態改良型作業手順書という）が、現在、原子力発電所の作業現場で使用されている文章主体の作業手順書（以下、従来型作業手順書という）と比較して、どのようなニーズがあり、期待されているのかを確認するため保守作業者を対象としたニーズ調査を実施する。次にレゴ・ブロックの組立作業実験および実際の保守作業を対象とした実験を実施し、支援の着目点の検討事項 1 を確認する。

### 4.3 作業手順書に対する作業現場のニーズ

#### (1) 調査計画

作業現場で従事している保守作業者が作業手順書に対してどのようなニーズがあり、期待されているのかを調査するため、原子力発電所の保守作業員 16 人に対して作業手順書に対する主観評価を求めた。本調査においては、文章と写真・図を組み合わせた表現形態改良型作業手順書と作業現場で実際に使用している文章主体の従来型作業手順書とを比較した。

各作業手順書の評価にあたっては、作業管理上重要な「作業品質」、「作業安全」、「使いやすさ」および「技能伝承」の 4 つの視点で評価を求め、相対比較のため従来型作業手順書を「3 点」とした場合の 5 点評価で回答を求めた。

#### (2) 調査結果

調査結果を図 4.1 に示す。

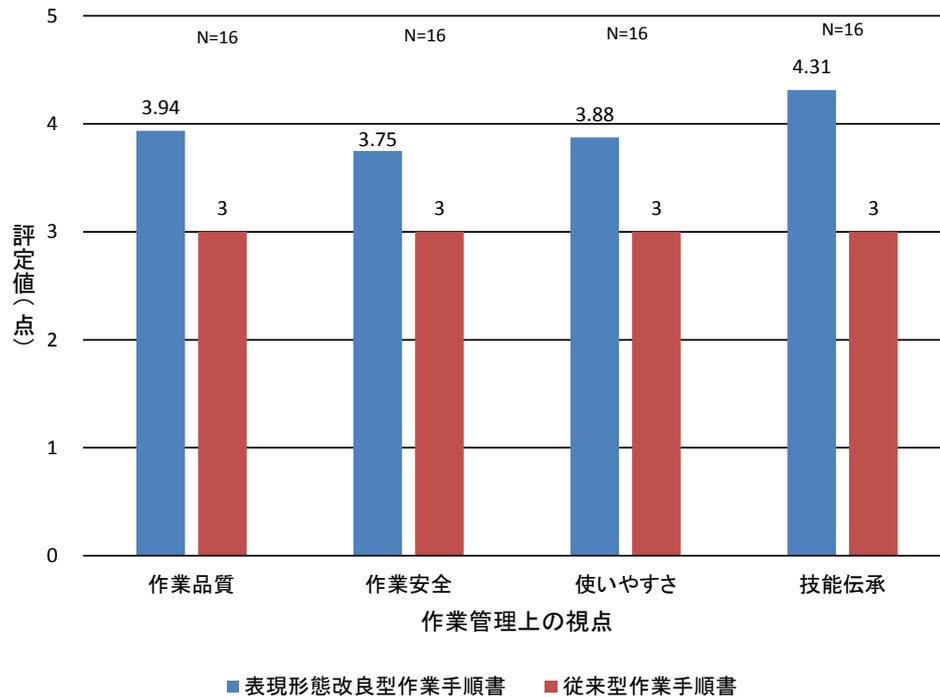


図 4.1 従来型作業手順書に対する表現形態改良型作業手順書の評価

2 要因参加者内の分散分析の結果、作業手順書の主効果は有意差が認められた( $F(1,15)=72.44, p<.01$ )。4 つの視点の主効果も有意差が認められた( $F(3,45)=4.86, p<.01$ )。また 4 つの視点の主効果を多重比較した結果、技能伝承が他の 3 つの視点と比較して有意差が認められた( $MSe=0.10, p<.05$ )。このことから、4 つの視点のすべてにおいて、表現形態改良型作業手順書は従来型作業手順書と比較して高い評定となっていることがわかった。

また、表現形態改良型作業手順書と従来型作業手順書の良い点と要改良点を尋ねたときの回答を表 4.1 に示す。同表の ( ) 内数字は、回答者人数の比率を示す。表現形態改良型作業手順書と従来型作業手順書の良い点と要改良点が、それぞれ裏表の関係のようになっているが、本来はそれぞれの作業手順書の良い点が発揮できるような作り方を考えなければならない。

作業手順書の現場ニーズ調査において、文章と写真・図を組み合わせた作業手順書のニーズが高いことがわかった。

表 4.1 表現形態改良型と従来型作業手順書の良い点と要改良点

	視点	表現形態改良型	従来型
良い点	作業品質 作業安全	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業のイメージがわかりやすい(56%)</li> <li>初級者でもわかりやすい(50%)</li> <li>作業のポイントが伝わりやすい(19%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>要点が集約され、作業の流れがわかりやすい(19%)</li> <li>重要ポイントが明確(13%)</li> </ul>
	使いやすさ	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業項目を探しやすい(6%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作成に時間がかからず、変更が容易(19%)</li> <li>ページ数が少なく、携帯に便利(13%)</li> <li>慣れている(6%)</li> <li>印刷コストが少ない(6%)</li> </ul>
	技能伝承	<ul style="list-style-type: none"> <li>技能伝承しやすい(6%)</li> </ul>	
要改良点	作業品質 作業安全	<ul style="list-style-type: none"> <li>モノクロ写真だと見づらくなる(19%)</li> <li>文章の重要点を見逃す(13%)</li> <li>作成者の技量によって内容が変わる(13%)</li> <li>手順書に頼りすぎて頭に入らない(6%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>文章のみは、間違いやすい(56%)</li> <li>初級者は、間違いやすい(38%)</li> </ul>
	使いやすさ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ページ数が増えて、携帯が不便(50%)</li> <li>作成に時間がかかり、変更が大変(38%)</li> <li>印刷コストが増える(13%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>文章を読むのに時間がかかる(6%)</li> <li>作業項目を探すのに時間がかかる(6%)</li> </ul>
	技能伝承		<ul style="list-style-type: none"> <li>細かなコツやノウハウが伝わりにくい(6%)</li> </ul>

### (3) 本節のまとめと次節に向けて

本節では、表現形態改良型作業手順書は従来型作業手順書と比較して、「作業品質」、「作業安全」、「使いやすさ」および「技能伝承」の4つのすべての視点において高い評定となっていることがわかった。

このことから、作業手順書の表現形態の適正化についての検討は、作業現場のニーズに沿うものであることがわかったので、次節以降ではレゴ・ブロックの組立作業実験および保守作業実験を実施し、支援の着目点の検討事項1を確認する。

#### 4.4 行動モデルにおける支援の着目点の検討事項 1

保守作業者の行動モデルと支援の着目点の検討事項 1:「文章と写真・図を組み合わせてることによって、作業パフォーマンスが向上する」の関連を図 4.2 に示す。

作業手順書の情報の表現形態が、「作業のイメージ化」を適切に支援できれば、作業パフォーマンスの向上が期待できるので、先ず次節において支援の着目点の検討事項 1 を確認するためにレゴ・ブロックの組立作業実験を実施する。

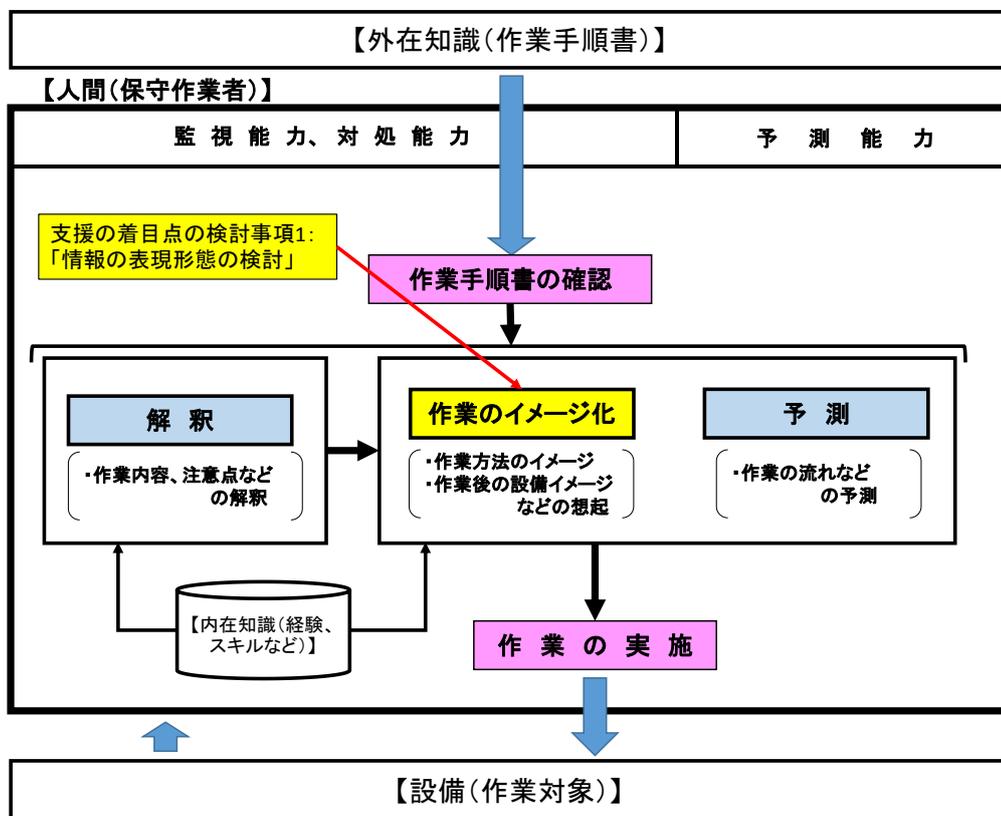


図 4.2 保守作業者の行動モデルと支援の着目点の検討事項 1 との関連

#### 4.5 人間の「作業のイメージ化」の支援に関する検討

支援の着目点の検討事項 1 を確認するためにレゴ・ブロックの組立作業実験を実施する。ここで、レゴ・ブロックの組立作業を最初に対象とした

のは、作業内容の特殊性を排除し、人間と作業手順書との基本的な特性を把握したかったことによる。

実験参加者に対しては複数の作業手順書を提示し、レゴ・ブロックの組立作業を課した。詳細については、以下に述べる。

#### 4.5.1 作業手順書の試作

##### (1) 対象機器および対象作業の選定

対象機器は、レゴ・ブロックとし、対象作業は組立作業とした。またレゴ・ブロックの完成形は、特別な形を持たない通常のレゴ・ブロックを用いた「無意味」な形とした。この理由は、意味のある形にすると作業手順書を十分に読まなくてもレゴ・ブロックを組み立てることが可能となることを排除するためである。レゴ・ブロックは、11 個提供し、そのうち 10 個を使用することとした。

##### (2) 作業ステップ

作業ステップは、10 ステップとした。

##### (3) 作業手順書の試作

作業手順書は、表 4.2 に示す特徴を有する 5 種類を試作した。説明の便宜上、各作業手順書に I ~ V の記号を付す。作業手順書 I は、作業手順欄と注意事項欄はすべて文章のみで、1 枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載した。作業手順書 II は、作業手順欄は写真のみとし、注意事項欄は文章のみで、1 枚の作業手順書に 1 つの作業ステップを記載した。作業手順書 III は、作業手順書 II を 1 枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載した。作業手順書 IV は、作業手順欄は文章 + 写真、注意事項欄は文章のみで強調し、1 枚の作業手順書に 1 つの作業ステップを記載した。作業手順書 V は、作業手順書 IV を 1 枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載した。

作業手順書 II ~ V の文章の内容は、作業手順書 I と同じとした。また、写真は白黒とした。この理由は、カラー写真にすると作業手順書を十分に読まなくても正しい姿の完成形を組み立てられることを排除するためであ

る。試作した作業手順書を図 4.3 に例示する。

表 4.2 作業手順書の特徴

作業手順書	特徴
I 文章のみ (複数ステップ/枚)	作業手順欄と注意事項欄は、すべて文章のみで記載 1枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載
II 文章+写真・図 (1ステップ/枚)	作業手順欄は写真のみ、注意事項欄は文章のみで記載 1枚の作業手順書に1つの作業ステップを記載
III 文章+写真・図 (複数ステップ/枚)	作業手順欄は写真のみ、注意事項欄は文章のみで記載 1枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載
IV 文章+写真・図+強調 (1ステップ/枚)	作業手順欄は文章+写真、注意事項欄は文章のみで強調して記載 1枚の作業手順書に1つの作業ステップを記載
V 文章+写真・図+強調 (複数ステップ/枚)	作業手順欄は文章+写真、注意事項欄は文章のみで強調して記載 1枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書

No.	作業手順	注意事項
1	ブロック(8)を机の上に横長方向に置く。	・(1)内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している。 ・ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)
2	先ほど置いたブロック(8)の手前に、ブロック(8)を横長方向に並べて置く。	
3	並んでいる2つのブロック(8)に対して、ブロック(8)を縦長方向に重ね、3つのブロックをつなげる。	・縦長方向のブロック(8)は、横長方向に置いた2つのブロック(8)の右端にそろえること
4	縦長方向のブロック(8)の中央にブロック(4)を重ねて置く。一旦、向きを変えずに仮置きする。	
5	新たに、ブロック(6)を机の上に横長方向に置く。	
6	先ほど置いたブロック(6)の手前に、ブロック(6)を横長方向に並べて置く。	
7	並んでいる2つのブロック(6)に対して、ブロック(4)を重ね、3つのブロックをつなげる。	・ブロック(4)は、横長方向に置いた2つのブロック(6)の左端にそろえること
8	積み重ねたブロック(4)の上にブロック(4)を重ねて置く。	
9	手順1~4で組み立てたブロックを左側に置き、手順5~8で組み立てたブロックを右側に置き、ブロック(16)を上からかませてつなぐ。	・ブロック(16)は、ブロック(4)のそれぞれの端にそろえること
10	ブロック(16)の中央にブロック(4)を重ねて置く。	

(終了)

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書(1/10)

No.	作業手順、注意事項
1	 <p>・(1)内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している ・ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書(1/2)

No.	作業手順、注意事項
1	 <p>・(1)内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している ・ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>
2	
3	 <p>・縦長方向のブロック(8)は、横長方向に置いた2つのブロック(8)の右端にそろえること</p>
4	
5	

I [文章のみ  
(複数ステップ/枚)]

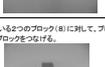
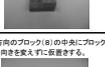
II [文章+写真・図  
(1ステップ/枚)]

III [文章+写真・図  
(複数ステップ/枚)]

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書(1/10)

No.	作業手順、注意事項
1	<p>ブロック(8)を机の上に横長方向に置く。</p>  <p>・(1)内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している。</p> <p>△ ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書(1/2)

No.	作業手順、注意事項
1	<p>ブロック(8)を机の上に横長方向に置く。</p>  <p>・(1)内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している</p> <p>△ ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>
2	<p>先ほど置いたブロック(8)の手前に、ブロック(8)を横長方向に並べて置く。</p> 
3	<p>並んでいる2つのブロック(8)に対して、ブロック(8)を縦長方向に重ね、3つのブロックをつなげる。</p>  <p>・縦長方向のブロック(8)は、横長方向に置いた2つのブロック(8)の右端にそろえること</p>
4	<p>縦長方向のブロック(8)の中央にブロック(4)を重ねて置く。一旦、向きを変えずに仮置きする。</p> 
5	<p>新たに、ブロック(6)を机の上に横長方向に置く。</p> 

IV [文章+写真・図+強調  
(1ステップ/枚)]

V [文章+写真・図+強調  
(複数ステップ/枚)]

図 4.3 作業手順書 (5種類)

## 4.5.2 実験内容

### (1) 実験方法

一人の実験参加者は、一つの作業手順書について、レゴ・ブロックの組立作業を1回行った。レゴ・ブロックの完成形写真の例を図4.4に示す。

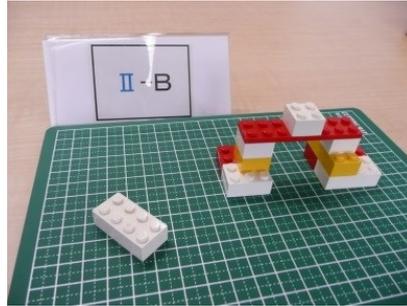


図 4.4 レゴ・ブロックの完成形写真の例

### (2) 実験参加者

原子力発電所の保守作業員 30 人を対象とし、5 つの作業手順書グループ（各 6 人）に分けた。各グループの平均年齢（標準偏差  $\sigma$ ）は、作業手順書 I は 46.7 歳（13.6）、II は 44.3 歳（9.07）、III は 48.3 歳（11.7）、IV は 49.0 歳（10.2）、V は 49.3 歳（5.41）であった。

### (3) 評価項目

作業パフォーマンスの評価項目としては、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦勞」の 3 項目としているが、本実験ではレゴ・ブロックの組立作業が対象であり、実際の保守作業とは異なり比較的簡単な作業であることから、以下のヒューマンエラー数とした。

組立エラー：作業手順書で指示された作業手順の内容と異なる組立を行ったもの

### 4.5.3 実験結果

#### (1) 組立エラー

各作業手順書について、実験参加者一人当たりの組立エラー数を図 4.5 に示す。

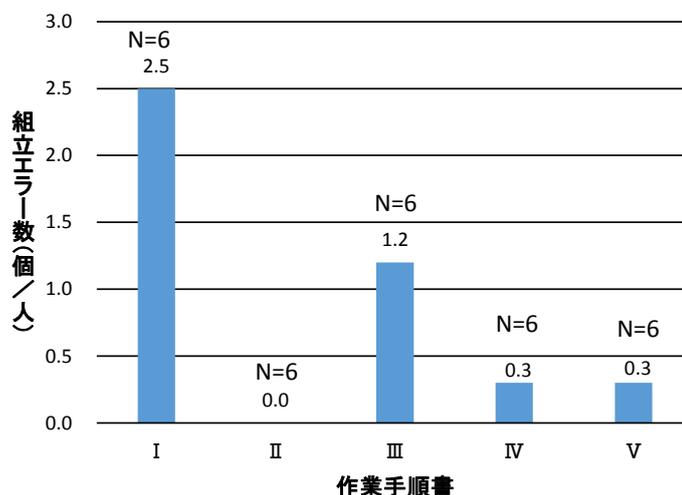


図 4.5 各作業手順書の一人当たりの組立エラー数

1 要因参加者間の分散分析の結果、作業手順書の主効果の有意傾向が認められた( $F(4,25)=2.28, p<.10$ )。交互作用は認められなかった。また作業手順書の主効果を多重比較した結果、作業手順書 I と作業手順書 II、IV、V 間で有意差が認められた( $Mse=2.68, p<.05$ )。

このことから、文章と写真・図を組み合わせた作業手順書は、文章のみの作業手順書と比較して、組立エラー数が有意に少なく、作業パフォーマンスが向上することが確認できた。

#### (2) 本節のまとめと次節に向けて

人間の「作業のイメージ化」への支援について、文章と写真・図を組み合わせた作業手順書は、文章のみの作業手順書と比較して、組立エラー数が有意に少なく、作業パフォーマンスが向上することが確認できた。

以上のことから、支援の着目点の検討事項 1:「文章と写真・図を組み合

わせることによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認できた。

次節では、実際の保守作業を対象とした実験を実施し、支援の着目点の検討事項 1 について確認する。

#### 4.6 保守作業者の「作業のイメージ化」の支援に関する検討

本研究における作業手順書の対象は、実際の保守作業であるので、本節では保守作業を対象とした実験を実施し、支援の着目点の検討事項 1 について確認する。

実験参加者となる保守作業者に対しては複数の作業手順書を提示し、実際の保守作業を課した。詳細については、以下に述べる。

##### 4.6.1 作業手順書の試作

###### (1) 対象機器および対象作業の選定

対象機器は、原子力発電所において設置台数、トラブルの発生頻度が多い機器を選定することとした。福井県内に位置している商業用原子力発電所における 1994～2003 年度の 10 年間の事故・トラブル情報分析（原子力安全推進協会 NUCIA<sup>(30)</sup>による）において、抽出した 55 件のうち最もトラブルの多かった機器が弁(16 件)であり、2 番目がポンプ(10 件)であった。対象作業においては簡単すぎず、難しすぎず、ある程度のスキルを要求する作業を選定することとした。また実験に供することができる実機相当の設備があるものを選定することとし、対象機器および対象作業は、空気作動式調節弁駆動部の組立作業とした。

###### (2) 作業ステップ

作業ステップは、90 分程度の作業時間内に終了見込みがあり、一区切りとなる以下の 13 ステップとした。

- ①調整ナットおよび調整ネジ、スプリングを乗せる
- ②スプリングガイドを乗せる
- ③ダイヤフラムプレートを乗せ、セットスクリー孔に、スペーサーを通したガイドポスト 4 本を立て手締めする

- ④分解組立治具をダイヤフラムベース上に乗せる
- ⑤ダイヤフラムプレートの中心部に油圧ジャッキを乗せ、ジャッキ先端部がフレームの中心孔に入るよう、ジャッキの位置を調整する
- ⑥ジャッキハンドルを使い、ジャッキを徐々に張り、ゆっくりスプリングを縮めていく
- ⑦ガイドポスト4本を取り外し、セットスクリューをねじ込む
- ⑧分解組立治具を取り外す
- ⑨ダイヤフラムのダボが突き出している側をダイヤフラムプレート側に置き、ダボをダイヤフラムプレートの孔に入れる
- ⑩ダイヤフラムを折り返し、上部を手で押さえ、ベースとプレート側の溝に押し込む
- ⑪ダイヤフラムカバーを乗せ、ダイヤフラム締め付けボルトを手締めする
- ⑫対角線上の2本を締め付け、その右または左のボルト・ナットを順々に締め付けていく
- ⑬全周にわたり、締め忘れがないか確認しながら増し締めを行う

### (3) 作業手順書の試作

文章のみの作業手順書（以下、従来型作業手順書という）は、一般的に使われている作業手順書や点検要領書を参考にして、当該作業ステップ部分を抽出して作成した。文章と写真・図を組み合わせた作業手順書（以下、表現形態改良型作業手順書という）は、先に作成した従来型作業手順書を基に、作業を進めていく上で保守作業者が理解しやすいと思われる写真や図などの情報を挿入し、試作した。写真や図などの情報の選定については、保守作業の熟練者2人による模範作業実験(図4.6)を観察することにより、保守作業者にとって参考となる留意事項を抽出(表4.3)の上、エンジニアリング・ジャッジメントにより決定した。

従来型作業手順書の例を図4.7に、表現形態改良型作業手順書の例を図4.8に示す。



図 4.6 熟練者による作業状況

表 4.3 表現形態改良型作業手順書作成時の留意事項

作業 ステップNo.	留意事項
①	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分解された状態によっては、どれが調整ナットか、調整ネジか、少し戸惑うかも知れない</li> <li>・調整ナット自体がスプリング受台であることがわからず、スプリング受台という部品を他に探すかも知れない</li> </ul>
②	<ul style="list-style-type: none"> <li>・分解されている状態によっては、どれがスプリングガイドか、少し戸惑うかも知れない</li> <li>・ガイドの上下を間違えるかも知れない</li> </ul>
③	<ul style="list-style-type: none"> <li>・口頭による説明を順次受けないと、試行錯誤や取り付け間違いが多発するかも知れない</li> <li>・このステップでの完了状態に自信を持ってないかも知れない</li> </ul>
④	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダイヤフラムベースを取り付けた後、ただ分解組立治具を乗せて、戸惑うかも知れない</li> </ul>
⑤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「プレートの中心部に」という位置決め of 正確さに自信が持てないかも知れない</li> <li>・取り付け易い向きということを、そのあと動かしやすい向き、とは理解しないかも知れない</li> </ul>
⑥	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スプリングと受台の位置関係に微妙なズレがあると、締めていくうちにスプリングが収まりの良い位置に僅かながらずれ込む。その場合、大きな衝撃音が出るので、驚いてやり直しを考えるかも知れない</li> </ul>
⑦	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セットスクリーウのねじ込みには六角レンチが要することを忘れるかも知れない</li> </ul>
⑧	<ul style="list-style-type: none"> <li>・なし</li> </ul>
⑨	<ul style="list-style-type: none"> <li>・なし</li> </ul>
⑩	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手際よく均一に装着するには手掌感覚の慣れが少し要るが、表現が難しい</li> </ul>
⑪	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スプリングワッシャの挿入を忘れ、あとで気づいて手戻りが生じるかも知れない</li> <li>・既に何回も分解点検を行っているなら、過去の合マークと自分が付した合マークを混同するかも知れない</li> </ul>
⑫	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ナットを回す際にダイヤフラムベースの下側に注意が偏り、ボルトの共回りに気づかず、その分、手戻りが生じるかも知れない</li> <li>・何も知らないなら、ナット側を回すということ、ボルトを下から入れて、上からナットを回す、と誤解してボルトを入れ直すかも知れない</li> </ul>
⑬	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トルクレンチの設定を忘れるかも知れない</li> </ul>

3-3 駆動部組立

No	作業手順	注意事項	備考
3-3-1	調整ナットおよび調整ネジ、スプリングを乗せる。	調整ナットおよび調整ネジは寸法調整して一体であるので回さないこと。スプリング受台が正しく中央に位置していることを確認する（マークを合致させる）。	分解組立図を参照すること。
3-3-2	スプリングガイドを乗せる。	スプリングが正しく中央に位置していることを確認する。	
3-3-3	ダイヤフラムプレートを乗せ、セットスクリュー孔に、スペーサーを通したガイドポスト4本を立て手締める。		
3-3-4	分解組立治具をダイヤフラムベース上に乗せる。	重量物なので落下させないよう注意する。また計装品にぶつけないよう慎重に作業する。	分解組立治具図を参照すること。
3-3-5	ダイヤフラムプレートの中心部に油圧ジャッキを乗せ、ジャッキ先端部がフレームの中心孔に入るよう、ジャッキの位置を調整する。	ジャッキはセットスクリューが取付易いような向きにする。	

図 4.7 従来型作業手順書（文章のみ）

3-3-3

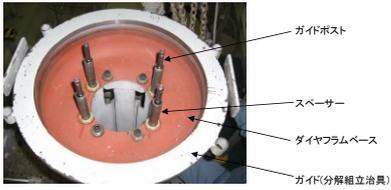
**作業手順**

セットスクリュー孔に、ガイドポスト4本をスペーサーを通して立て手締める。  
ダイヤフラムプレートをガイドポストを通して乗せる。

**注意事項**

スペーサーを入れ忘れないこと。

ガイドポスト・スペーサー写真



ダイヤフラムプレート写真



図 4.8 表現形態改良型作業手順書（文章＋写真・図）

## 4.6.2 実験内容

### (1) 実験方法

実験参加者が複数の作業手順書について実験すると、後で実施した実験において前の実験での経験が記憶に留まり、作業手順書の評価が難しくなる（学習効果）ため、一人1試行とする。実験は、作業の補助を行うために熟練者である助勢員1人と一緒にチームを組んで行うが、自ら手助けはしないこととする。作業パフォーマンスの評価は、熟練者である別の評価者2人が行う。評価者は、作業チームの邪魔にならない場所で、かつ作業チームに緊張を与えないように配慮する。

実験は、空気作動式調節弁駆動部の組立作業を対象とし、4.6.1節で試作した従来型作業手順書と表現形態改良型作業手順書についてそれぞれ2回試行する。

実験は、以下の手順で進めることとする。

- ・本実験の要旨説明を実験者から受ける(5分)
- ・作業手順書を通読する(30分)
- ・部品の名称の理解度について確認テストを行う(10分)
- ・弁組立作業(90分)

### (2) 実験参加者

作業手順書に関する実験なので、当該作業に経験のない保守作業者を実験参加者とする。ただし、作業手順書の見方や治工具などの使い方は習熟している者とする。

従来型作業手順書の実験参加者2人の平均年齢は、29.0歳であり、表現形態改良型作業手順書の実験参加者2人の平均年齢は、28.0歳であった。当該作業の経験年数は4人とも0年である。また実験参加者の理解度を確認するため、空気作動式調節弁の部品確認テストを実施し、その結果は実験参加者全員が80点以上であり、作業手順書の理解に必要な部品名称を把握していたことを確認した。

### (3) 評価項目

#### a. 作業パフォーマンス

作業パフォーマンスの評価項目としては、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦労」の3項目とする。作業ステップ毎に評価者2人により、「問題なし(1点)」から「問題あり(5点)」までの5段階で評価することとした。評点が高いほど問題があり、評価者2人の合計値で評価することとした。

- a) 作業が円滑で、自然な流れを感じるか : 「ぎこちなさ」
- b) 手間取りや、余計な動作が目立つか : 「手間取り」
- c) 余計な気配りや、無駄な注意をしていないか : 「取越し苦労」

#### b. 作業の所要時間

実際の保守作業においては、所定の作業時間内で作業を行い、作業工程を順調に進めることも重要な要素であり、これらは被ばく低減や作業工程の余裕などの効果もあることから、作業の所要時間も評価項目とした。

所要時間に関しては、Augmented Reality 技術を利用した手順の指示方法の評価指標として、作業所要時間とエラーを取り上げ、紙媒体の作業手順書と比べてその優位性を確認している<sup>(63)</sup>ことから所要時間を評価項目とすることは妥当と考える。

### 4.6.3 実験結果

#### (1) 作業パフォーマンス

各作業ステップにおける試行2回の評価結果(評価者2人の合計値)を、横軸に従来型作業手順書、縦軸に表現形態改良型作業手順書としてプロットしたものを図4.9~図4.11に示す。合計値は4点から20点となり、評点が高いほど問題があることを表しているため、悪評点といえる。

図4.9~図4.11においては、プロットされた点が対角線より下方に分布するほど、表現形態改良型作業手順書の評価が高く、逆に対角線より上方に分布するほど従来型作業手順書の評価が高いことを示している。全体的には、ほとんどの作業ステップで対角線よりも下方に分布しており、表現形態改良型作業手順書の評価が高いことを示している。一方、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦労」のすべての評価視点で従来型作業手順書の評価が高いと示した作業ステップは、②と⑤であった。さらに、「手間

取り」では作業ステップ⑦が、「取越し苦勞」では作業ステップ③が同様の傾向を示した。

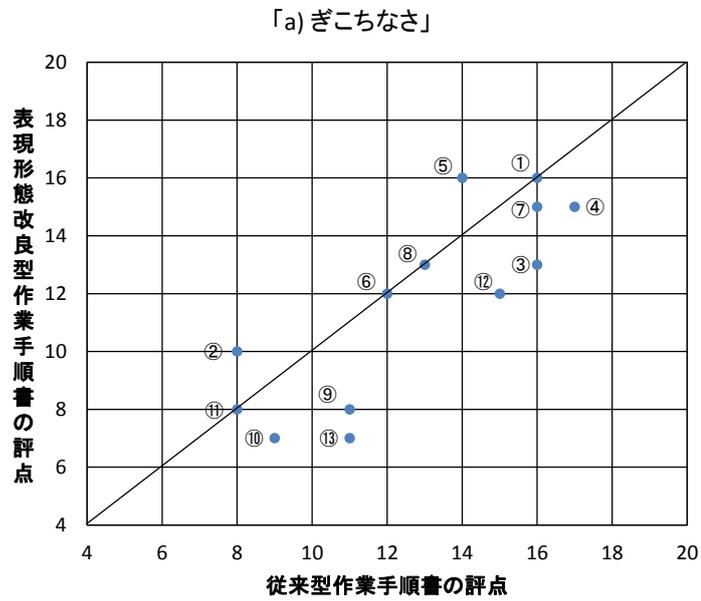


図 4.9 「ぎこちなさ」評点

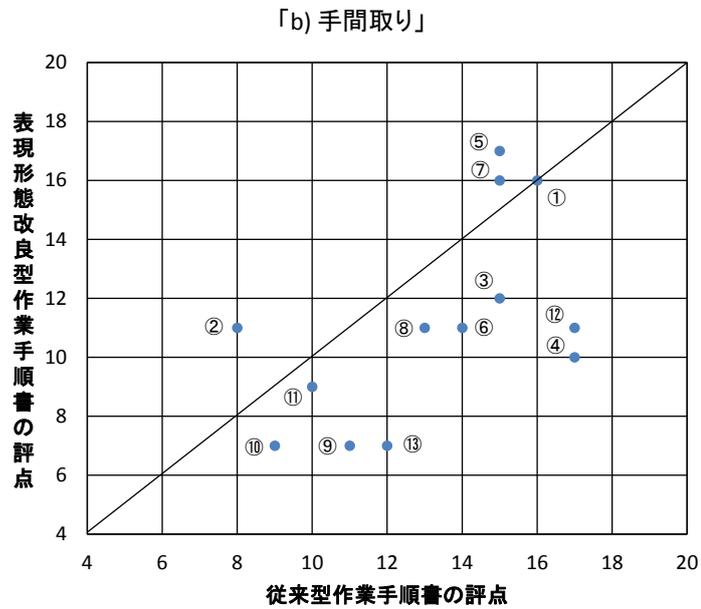


図 4.10 「手間取り」評点

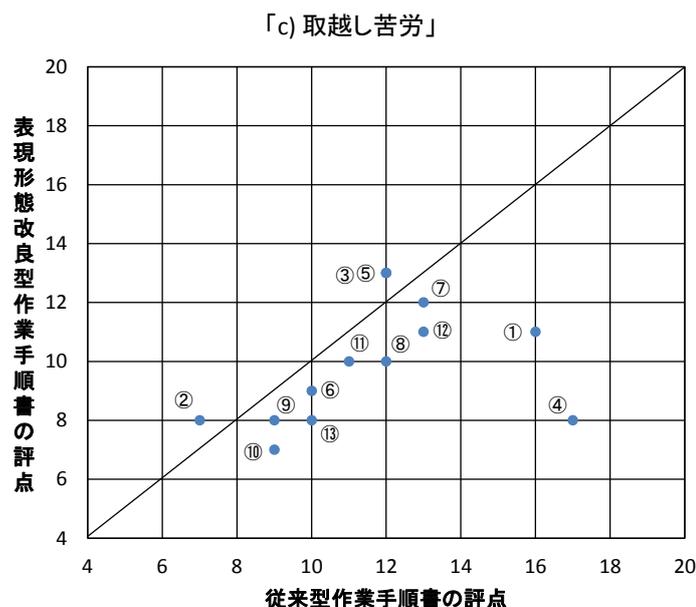


図 4.11 「取越し苦勞」 評点

さらに詳細分析するために、作業ステップ毎の従来型作業手順書の表現形態改良型作業手順書に対する評点の比率を図 4.12～図 4.14 に示す。ここでも評点は試行 2 回の合計値を用いた。この比率が「1.0」を超える作業ステップでは、表現形態改良型作業手順書の作業パフォーマンスが高いことを示している。

図 4.12 における「ぎこちなさ」に対しては、作業ステップ②が 0.80、⑤が 0.88 を示している。図 4.13 における「手間取り」に対しては、作業ステップ②が 0.73、⑤が 0.88、⑦が 0.94 を示している。図 4.14 における「取越し苦勞」に対しては、作業ステップ②が 0.88、③と⑤が 0.92 を示している。従来型作業手順書が優位を示しているのは全 13 作業ステップ中の 4 ステップであり、また最も差があるものでも作業ステップ②の「手間取り」における 0.73 である。

本節の実験結果から、表現形態改良型作業手順書が従来型作業手順書と比較して、3 つの評価項目「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦勞」において、作業パフォーマンスが高い可能性があることが示唆された。

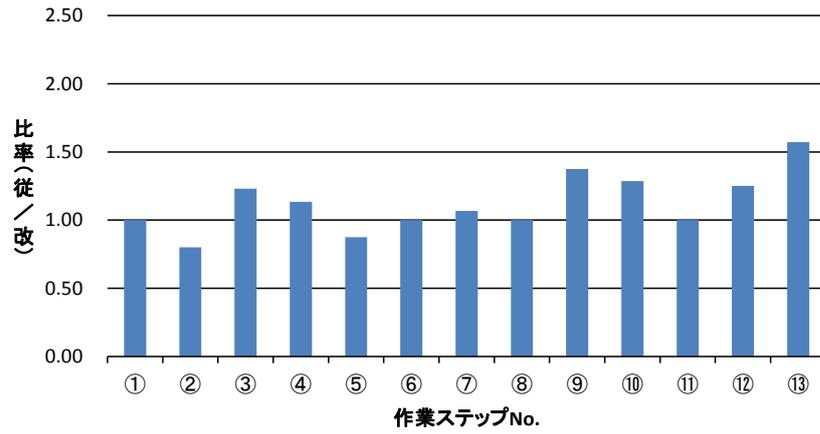


図 4.12 「ぎこちなさ」評点比率

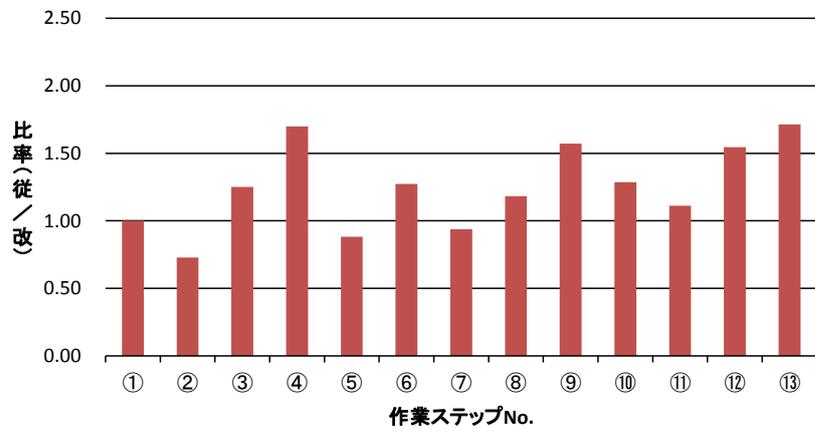


図 4.13 「手間取り」評点比率

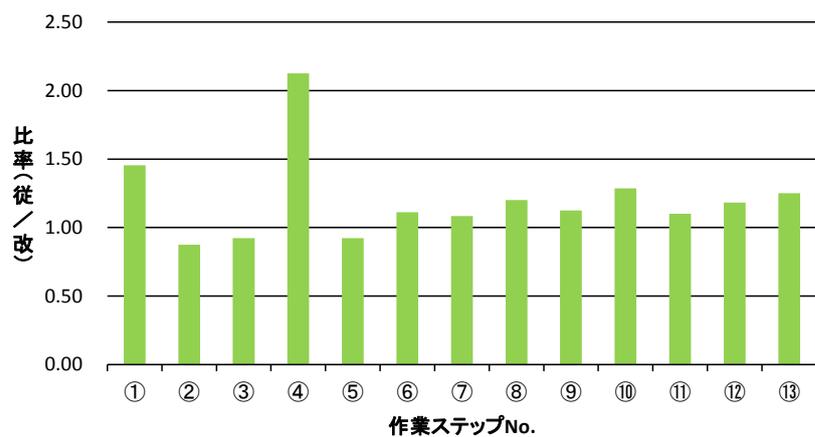


図 4.14 「取越し苦勞」評点比率

## (2) 作業の所要時間

本実験における組立作業に要した所要時間の平均値を図 4.15 に示す。従来型作業手順書と表現形態改良型作業手順書における組立作業の所要時間の平均値の差は 12.5 分であり、表現形態改良型作業手順書の方が短いことが示された。熟練者による模範作業実験では、45 分程度であったので、従来型作業手順書では 1.7 倍、表現形態改良型作業手順書では 1.4 倍の時間を要した。熟練者については、作業手順が頭に入っているので作業手順書は、作業ステップ遂行の確認の意味で使われるので作業手順書を読む時間は実験参加者と比較すると少なく、そのほとんどは作業時間に充てられたと考えられる。その中で初級者の 62.5 分という所要時間は、表現形態改良型作業手順書の有効性が示されたと解釈できる。

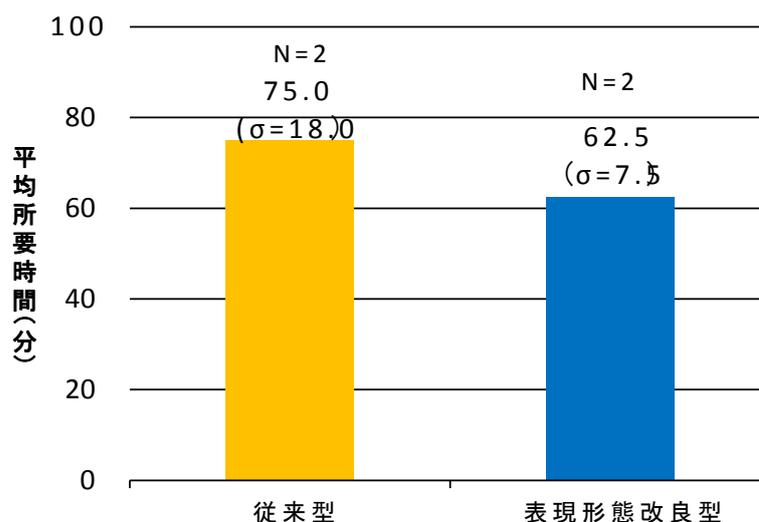


図 4.15 各作業手順書の作業の所要時間

## (3) 本節のまとめ

写真・図が保守作業者の「作業のイメージ化」に与える影響について検討した。文章と写真・図を組み合わせた作業手順書は文章のみの作業手順書と比較して、保守作業の多くの作業ステップで、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦勞」の 3 つの評価項目の悪評点が低く、作業パフォ

パフォーマンスが高い傾向を示していた。また作業の所要時間についても文章と写真・図を組み合わせた作業手順書は文章のみの作業手順書と比較して、短い傾向を示していた。

以上のことから、支援の着目点の検討事項 1:「文章と写真・図を組み合わせることによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認できた。

#### 4.7 本章のまとめと次章に向けて

本章では、作業手順書に対する作業現場のニーズを調査したところ、作業品質、作業安全、使いやすさ、および技能伝承の 4 つの視点で、文章と写真・図を組み合わせた作業手順書は文章のみの作業手順書と比較して、高い評価値を示した。このことから文章と写真・図を組み合わせた作業手順書は、作業現場において期待されていることがわかった。

レゴ・ブロックの組立作業実験において文章と写真・図を組み合わせた作業手順書は、人間の「作業のイメージ化」を支援し、組立エラー数が有意に少なく、支援の着目点の検討事項 1:「文章と写真・図を組み合わせることによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認できた。

保守作業実験においても、文章と写真・図を組み合わせた作業手順書は、保守作業者の「作業のイメージ化」を支援し、保守作業の多くの作業ステップにおいて、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦勞」の 3 つの評価項目の悪評点は低く、また作業の所要時間も短い傾向にあることから、支援の着目点の検討事項 1:「文章と写真・図を組み合わせることによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認できた。

本章で確認できた結果を行動モデルに反映したものを図 4.16 に示す。

次章では、支援の着目点の検討事項 2:「次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認する。

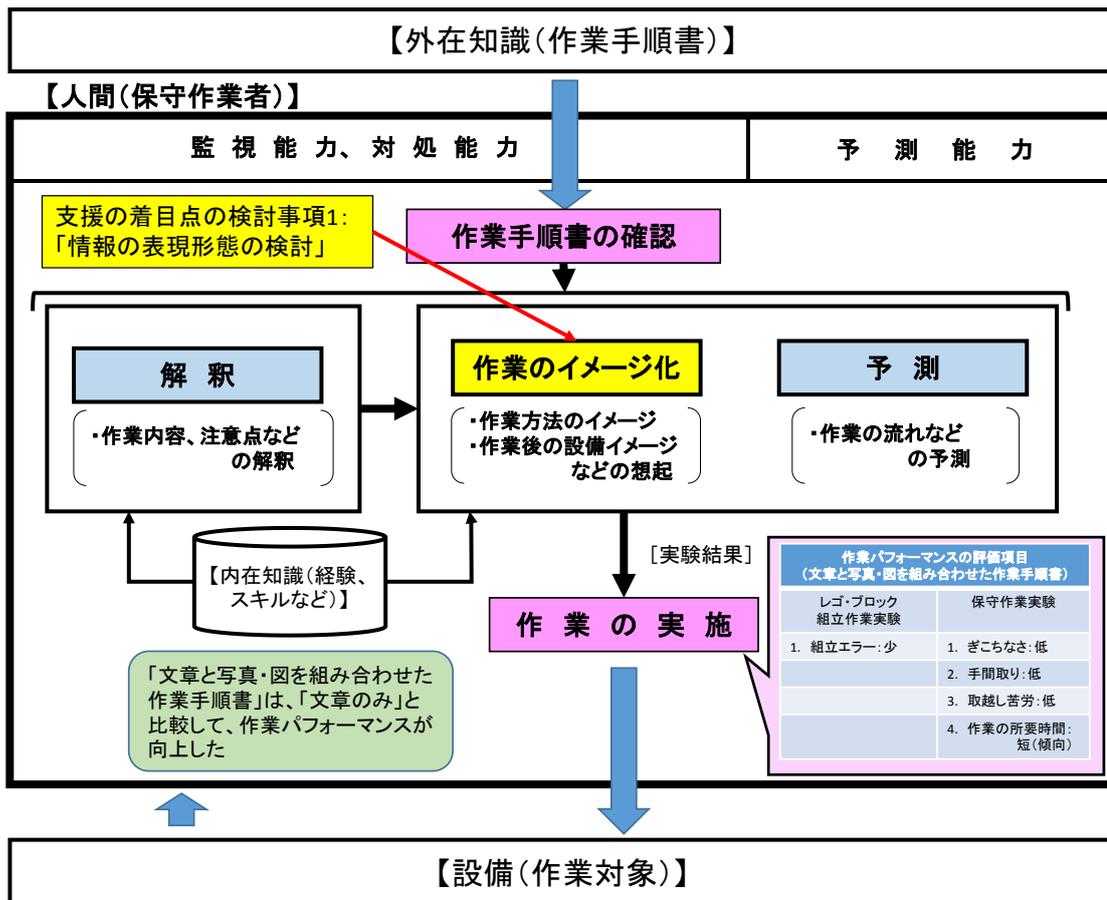


図 4.16 行動モデルと支援の着目点の検討事項 1 の確認結果

## 第 5 章 「予測」の支援に関する検討

### 5.1 本章の目的

本章では、「予測」の支援に関して設定した支援の着目点の検討事項 2：「次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認することが目的である。

### 5.2 本章の流れ

レゴ・ブロックの組立作業実験および実際の保守作業を対象とした実験を実施し、支援の着目点の検討事項 2を確認する。

### 5.3 行動モデルにおける支援の着目点の検討事項 2

保守作業者の行動モデルと支援の着目点の検討事項 2：「次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する」の関連を図 5.1 に示す。

作業手順書の次作業ステップ情報の提示方法が、「予測」を適切に支援できれば、作業パフォーマンスの向上が期待できるので、先ず次節において支援の着目点の検討事項 2を確認するためにレゴ・ブロックの組立作業実験を実施する。



書を十分に読まなくてもレゴ・ブロックを組み立てることが可能となることを排除するためである。レゴ・ブロックは、11 個提供し、そのうち 10 個を使用することとした。

## (2) 作業ステップ

作業ステップは、10 ステップとした。

## (3) 作業手順書の試作

作業手順書は、表 5.1 に示す特徴を有する 4 種類を試作した。すべての作業手順書の作業手順欄は白黒の写真のみとし、注意事項欄は文章のみとした。また情報の強調を加えた 2 種類の作業手順書においては、注意事項欄のうち軽微な事項は四角枠で囲み、「ブロックは、同じ色が接触しないこと」の重要事項は赤字、下線、注意マークを施した。ここで、写真を白黒としたのは、カラー写真にすると注意事項を読まなくても正しい姿の完成形に組み立てることが可能となることを排除するためである。試作した作業手順書を図 5.2 に例示する。

表 5.1 作業手順書の特徴

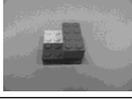
作業手順書	特徴
次作業ステップ情報なし (文章+写真・図)	1枚の作業手順書に1つの作業ステップを記載 次作業ステップ情報は、作業手順書のページをめくる必要あり 作業手順欄は写真のみ、注意事項欄は文章のみで記載
次作業ステップ情報あり (文章+写真・図)	1枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載 次作業ステップ情報は、作業手順書のページをめくる必要なし 作業手順欄は写真のみ、注意事項欄は文章のみで記載
次作業ステップ情報なし (文章+写真・図+強調)	1枚の作業手順書に1つの作業ステップを記載 次作業ステップ情報は、作業手順書のページをめくる必要あり 作業手順欄は文章+写真、注意事項欄は文章のみで強調して記載
次作業ステップ情報あり (文章+写真・図+強調)	1枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載 次作業ステップ情報は、作業手順書のページをめくる必要なし 作業手順欄は文章+写真、注意事項欄は文章のみで強調して記載

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書(1/10)

No.	作業手順、注意事項
1	 <p>・( )内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している</p> <p>・ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>

[次作業ステップ情報なし  
(文章+写真・図)]

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書(1/2)

No.	作業手順、注意事項
1	 <p>・( )内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している</p> <p>・ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>
2	
3	 <p>・縦長方向のブロック(8)は、横長方向に置いた2つのブロック(8)の右端にそろえること</p>
4	
5	

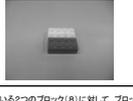
[次作業ステップ情報あり  
(文章+写真・図)]

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書(1/10)

No.	作業手順、注意事項
1	<p>ブロック(8)を机の上に横長方向に置く。</p>  <p>・( )内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している。</p> <p>△ ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>

[次作業ステップ情報なし  
(文章+写真・図+強調)]

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書(1/2)

No.	作業手順、注意事項
1	<p>ブロック(8)を机の上に横長方向に置く。</p>  <p>・( )内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している</p> <p>△ ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>
2	<p>先ほど置いたブロック(8)の手前に、ブロック(8)を横長方向に並べて置く。</p> 
3	<p>置んでいる2つのブロック(8)に対して、ブロック(8)を縦長方向に重ね、3つのブロックをつなげる。</p>  <p>・縦長方向のブロック(8)は、横長方向に置いた2つのブロック(8)の右端にそろえること</p>
4	<p>縦長方向のブロック(8)の中央にブロック(4)を重ねて置く。 → 一目、向きを覚えておく。</p> 
5	<p>新たに、ブロック(6)を机の上に横長方向に置く。</p> 

[次作業ステップ情報あり  
(文章+写真・図+強調)]

図 5.2 作業手順書 (4種類)

## 5.4.2 実験内容

### (1) 実験方法

一人の実験参加者は、一つの作業手順書について、レゴ・ブロックの組立作業を1回行った。レゴ・ブロックの完成形写真の例を図5.3に示す。

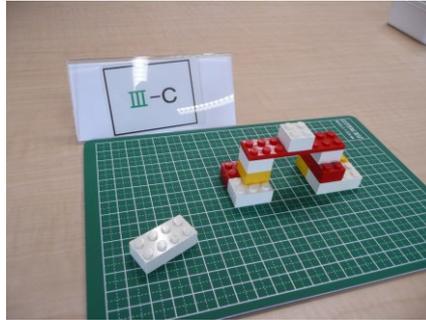


図 5.3 レゴ・ブロックの完成形写真の例

### (2) 実験参加者

原子力発電所の保守作業員 24 人を対象とし、4 つの作業手順書グループ（各 6 人）に分けた。各グループの平均年齢（標準偏差  $\sigma$ ）は、作業手順書（次作業ステップ情報なし（文章＋写真・図））は 44.3 歳（9.07）、作業手順書（次作業ステップ情報あり（文章＋写真・図））は 48.3 歳（11.7）、作業手順書（次作業ステップ情報なし（文章＋写真・図＋強調））は 49.0 歳（10.2）、作業手順書（次作業ステップ情報あり（文章＋写真・図＋強調））は 49.3 歳（5.41）であった。

### (3) 評価項目

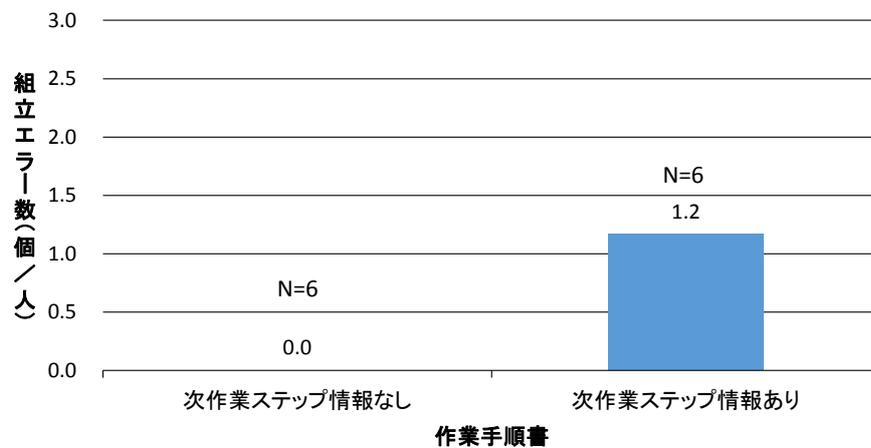
作業パフォーマンスの評価項目としては、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦勞」の 3 項目としているが、本実験ではレゴ・ブロックの組立作業が対象であり、実際の保守作業とは異なり比較的簡単な作業であることから、以下のヒューマンエラー数とした。

組立エラー：作業手順書で指示された作業手順の内容と異なる組立を行ったもの

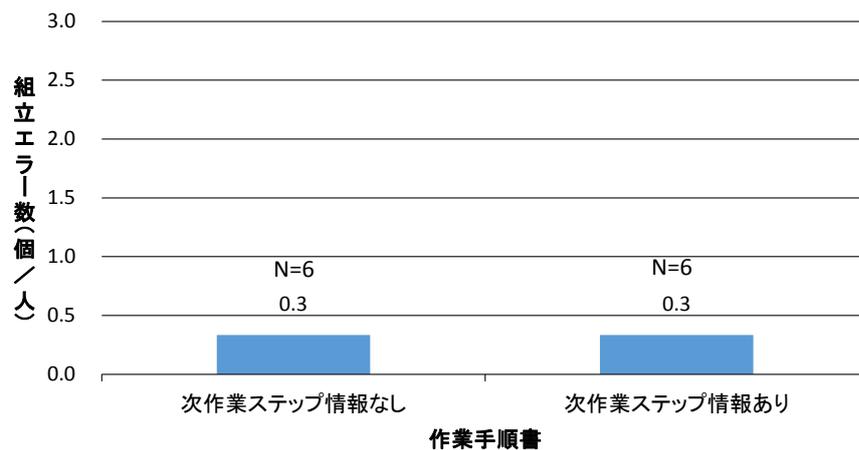
### 5.4.3 実験結果

#### (1) 組立エラー

作業手順書（次作業ステップ情報なし（文章＋写真・図））と作業手順書（次作業ステップ情報あり（文章＋写真・図））、作業手順書（次作業ステップ情報なし（文章＋写真・図＋強調））と作業手順書（次作業ステップ情報あり（文章＋写真・図＋強調））をそれぞれ比較して、実験参加者一人当たりの組立エラー数を図 5.4(a)(b)に示す。



(a) 作業手順書（文章＋写真・図）



(b) 作業手順書（文章＋写真・図＋強調）

図 5.4 各作業手順書の一人当たりの組立エラー数

図 5.4(a)に示す作業手順書(次作業ステップ情報なし(文章+写真・図))と(次作業ステップ情報あり(文章+写真・図))の比較において、次作業ステップ情報ありは、次作業ステップ情報なしと比較して組立エラー数が多く、図 5.4(b)に示す作業手順書(次作業ステップ情報なし(文章+写真・図+強調))と(次作業ステップ情報あり(文章+写真・図+強調))の比較においては、両者の組立エラー数は同じであった。

このことから、次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、組立エラー数が少ないことは確認できなかった。

この理由を考察すると、組立作業自体はそれほど難しくないレゴ・ブロックの組立作業であっても、日頃から慣れ親しんでいる作業ではないので、実験参加者の行動はラスムッセンの分類でいうルールベース<sup>(54)</sup>のふるまいに該当すると思われる。したがって、次作業ステップのことを配慮するよりも当該作業を正確に行うことに注意が向き、写真・図がより大きく表現され、情報量密度が最も少ない作業手順書(次作業ステップ情報なし(文章+写真・図))で組立エラーが起こらなかったと推測できる。次作業ステップ情報の提示が必ずしも作業パフォーマンスを向上させるとは限らない場合があるという重要な知見を得ることができた。

## (2) 本節のまとめと次節に向けて

本節では、次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、組立エラー数が少ないことは確認できなかった。このことから、支援の着目点の検討事項 2:「次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認することはできなかった。

次節では、この作業がスキルベース<sup>(54)</sup>のふるまいに近い慣れ親しんだ保守作業であるならば、次作業ステップ情報がある作業手順書の方が作業パフォーマンスが向上する可能性があるので、支援の着目点の検討事項 2について確認する。

## 5.5 保守作業者の「予測」の支援に関する検討

本研究における作業手順書の対象は、実際の保守作業であるので、本節

では保守作業を対象とした実験を実施し、支援の着目点の検討事項 2 について確認する。

実験参加者となる保守作業者に対しては複数の作業手順書を提示し、実際の保守作業を課した。詳細については、以下に述べる。

### 5.5.1 作業手順書の試作

#### (1) 対象機器および対象作業の選定

対象機器は、原子力発電所において設置台数、トラブルの発生頻度が多い機器を選定することとし、4.6 節では弁を対象としたので本節では次いでトラブルが多いポンプとした。また実験に供することができる実機相当の設備があるものを選定することとし、対象機器および対象作業は、小型横型ポンプの組立作業とした。

#### (2) 作業ステップ

作業ステップは、120 分程度の作業時間内に終了見込みがあり、一区切りとなる以下の 14 ステップとした。ただし、作業ステップ「④-1 メカシール押え代計測」は、初心者にとってはかなりの作業時間を要するので、本実験においてはこの作業ステップは省略することとし、合計 13 ステップとした。

##### ①メカニカルシール組込み

①-1 メカシールフランジ取付け

①-2 メカシールスリーブ取付け

##### ②ケーシングカバー取付け

②-1 ケーシングカバー取付け

②-2 メカカバー仮締め

②-3 組立品横転

②-4 ケーシングカバートルク締め

##### ③羽根車取付け

③-1 羽根車取付け

③-2 羽根車ボルト手締め

③-3 羽根車ボルトトルク締め

- ③-4 羽根車振れ計測
- ④メカニカルシールセット確認
  - ④-1 メカシール押え代計測
  - ④-2 メカシールフランジトルク締め
  - ④-3 ハンドターニング確認
- ⑤羽根車締付け固定
  - ⑤-1 羽根車回り止め座金折り曲げ

### (3) 作業手順書の試作

作業手順書の次作業ステップ情報の提示の有無と作業パフォーマンス間の関係性を明らかにするために、作業手順書を試作し、実験に備えた。

実際の作業現場では熟練者が従事しており、作業手順書の内容については熟知しているが、今回の実験では保守作業の経験はあるものの当該機器では初心者である必要があることから、具体的手順、注意事項などについて具体的に記載することとした。

作業手順書については、文章と写真・図を組み合わせた作業手順書について次作業ステップ情報なしと次作業ステップ情報ありの2種類を試作した。

各作業手順書の特徴を表 5.2 に、試作した作業手順書をそれぞれ図 5.5 および図 5.6 に例示する。

表 5.2 作業手順書の特徴

作業手順書	特徴
次作業ステップ情報なし	1枚の作業手順書に1つの作業ステップを記載 次作業ステップ情報は、作業手順書のページをめくる必要あり 作業手順と注意事項は文章のみで記載 作業を進めるうえで参考となる写真・図を作業手順書下部に記載
次作業ステップ情報あり	1枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載 次作業ステップ情報は、作業手順書のページをめくる必要なし 作業方法欄の作業手順と注意事項は文章のみで記載 作業を進めるうえで参考となる写真・図を説明図欄に記載

1- (1) メカニカルシール組込み（カバー取付け）

作業手順

メカニカルシールカバー(1)にOリング（2本）を装着し、主軸に差し込む。（下図参照）

注意事項

- ◆Oリングが「ひび割れ」しないようシリコーングリスを薄く塗布し装着させる。
- ◆シート面に異物（微細なほこり）、油分の付着による漏洩がないよう光の反射面を見て確認する。（メカ漏れ防止）  
⇒※拭き取る場合は、やわらかい布に洗浄液を染み込ませ軽く拭き取る。

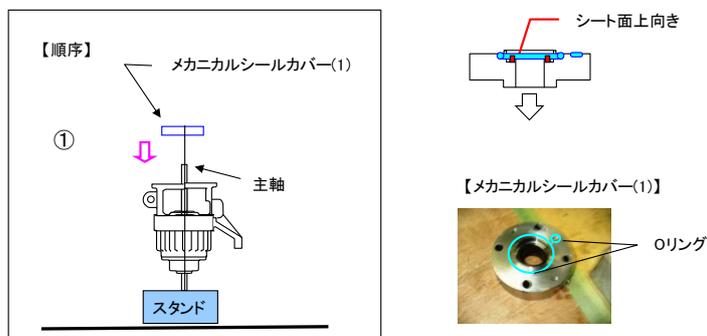


図 5.5 作業手順書（次作業ステップ情報なし）

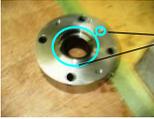
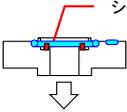
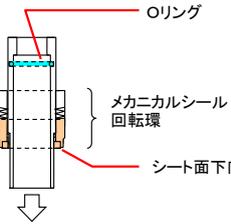
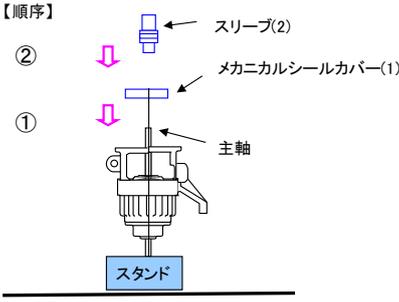
手順	作業方法	説明図
1	<p>メカニカルシール組込み</p> <p>(1) メカニカルシールカバー(1)にOリング(2本)を装着し、主軸に差し込む。(2)項下図参照</p> <div data-bbox="507 555 858 768" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">【注意】 (品質)</p> <p>◆Oリングが「ひび割れ」しないようシリコングリスを薄く塗布し装着させる。          ◆シート面に異物(微細なほこり)、油分の付着による漏洩がないよう光の反射面を見て確認する。(メカ漏れ防止)          ⇒※拭き取る場合は、やわらかい布に洗浄液を染み込ませ軽く拭き取る。</p> </div>	<p>【メカニカルシールカバー(1)】</p>  <p>Oリング</p>  <p>シート面上向き</p>
(2)	<p>メカニカルシールの回転環がセットされたスリーブ(2)を主軸に差し込む。(下図参照)</p> <div data-bbox="507 913 858 1014" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">【注意】 (品質)</p> <p>◆スリーブ(2)内側のOリングにシリコングリスを少し塗布し、キー溝・径変化部に注意しゆっくり挿入する。(Oリング切損防止)</p> </div> <div data-bbox="507 1037 858 1249" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">【注意】 (品質)</p> <p>◆シート面に異物(微細なほこり)、油分の付着による漏洩がないよう光の反射面を見て確認する。(メカ漏れ防止)          ⇒※拭き取る場合は、やわらかい布に洗浄液を染み込ませ軽く拭き取る。          ◆シールリングは、軽度の衝撃でも破損する恐れがあるため慎重に取り扱うこと。</p> </div>	<p>【スリーブ(2)】</p>   <p>Oリング</p> <p>メカニカルシール回転環</p> <p>シート面下向き</p>
<p>【順序】</p>  <p>② スリーブ(2)</p> <p>① メカニカルシールカバー(1)</p> <p>主軸</p> <p>スタンド</p>		<p>【主軸(3)】</p> 

図 5.6 作業手順書 (次作業ステップ情報あり)

## 5.5.2 実験内容

### (1) 実験方法

実験参加者が複数の作業手順書について実験すると、後で実施した実験において前の実験での経験が記憶に留まり、作業手順書の評価が難しくなる（学習効果）ため、一人1試行とする。実験は、作業の補助を行うために熟練者である助勢員1人と一緒にチームを組んで行うが、自ら手助けはしないこととする。作業パフォーマンスの評価は、熟練者である別の評価者2人が行う。評価者は、作業チームの邪魔にならない場所で、かつ作業チームに緊張を与えないように配慮する。

実験は、小型横型ポンプの組立作業を対象とし、5.5.1節で試作した次作業ステップ情報なしとありの作業手順書についてそれぞれ1回試行する。

実験は、以下の手順を進めることとする。

- ・本実験の要旨説明を実験者から受ける(10分)
- ・作業手順書を通読する(20分)
- ・部品の名称の理解度について確認テストを行う（全問正解まで再テスト）(20分)
- ・ポンプ組立作業(120分)

### (2) 実験参加者

作業手順書に関する実験なので、当該作業に経験のない保守作業者を実験参加者とする。ただし、作業手順書の見方や治工具などの使い方は習熟している者とする。

実験参加者の年齢は、次作業ステップ情報なしが19歳、ありが20歳であった。当該作業の経験年数は2人とも0年である。また実験参加者の理解度を確認するため、小型横型ポンプの部品確認テストを2人が満点となるまで実施した。

### (3) 評価項目

#### a. 作業パフォーマンス

##### 1) 悪評点

作業パフォーマンスの評価項目としては、「ぎこちなさ」、「手間取り」お

よび「取越し苦勞」の3項目とする。作業ステップ毎に評価者2人により、「問題なし(1点)」から「問題あり(5点)」までの5段階で評価することとした。評点が高いほど問題があり、評価者2人の合計値で評価することとした。

- a) 作業が円滑で、自然な流れを感じるか : 「ぎこちなさ」
- b) 手間取りや、余計な動作が目立つか : 「手間取り」
- c) 余計な気配りや、無駄な注意をしていないか : 「取越し苦勞」

## 2) 悪評量

「ぎこちなさ」他の悪評点は、実験参加者が一つの作業ステップを実施している間を通じて評価した結果である。作業ステップに要する所要時間は作業の内容で変わるが、実験参加者によっても異なる。評価に際しては、例えばボルト1本をつかもうとして手元がすべったというような瞬間的な出来事で評価している訳ではなく、所要時間は当該作業ステップという一つのタイムスパンの中での総合評価と考えて良い。したがって、同じ「ぎこちなさ」の悪評点であっても、ステップが続いている時間の長さによって重みが異なると考えた。それを定量化するには、「ぎこちなさの悪評点」と「当該作業ステップの所要時間」の積を、作業ステップ全体(13ステップ)にわたって総和するのが妥当な目安となる。

そのように考えれば、13の作業ステップが終わるまでの悪評点の変化を時間の関数と見たて、「ぎこちなさ」量、「手間取り」量および「取越し苦勞」量という定量化が可能となる。なお、これらの総称として「悪評量」と呼ぶことにする。

$$\text{悪評量} = \sum_{n=1}^{13} \text{悪評点} \times \text{作業の所要時間}$$

- a) 「ぎこちなさ」量
- b) 「手間取り」量
- c) 「取越し苦勞」量

## b. 作業手順書の読み方

作業を行うにあたって作業手順書を読むときに、短時間だけ見たり、読みながら考え込んでしまったり、前後の作業ステップを照合するなど、色々な読み方が考えられる。

そこで、第3章で述べた作業手順書の読み方を評価項目とした。

「瞬間視」：ごく僅か、作業手順書の当該部分を見る。その時間の長さで「瞬間視」を他の読み方と区別するというより、文章や写真・図を確認するようなことはしていない、という挙動

「注視」：作業を中断して作業手順書の当該部分を読む。次のステップに進む前や、同一ステップ内で動作が一区切りしたときなどに比較的多い

「熟読」：思案を伴う読み方。手順を示す文章、注意事項などを読み返し、写真・図と照合したり、さらには部品の実物と見比べたり、それ以前に行ったステップとのつながりを確認したりしている読み方

評価としては、「瞬間視」、「注視」および「熟読」の回数を測定することとした。

## c. 作業の所要時間

実際の保守作業においては、所定の作業時間内で作業を行い、作業工程を順調に進めることも重要な要素であり、これらは被ばく低減や作業工程の余裕などの効果もあることから、作業の所要時間も評価項目とした。

### 5.5.3 実験結果

#### (1) 作業パフォーマンス

##### a. 悪評点

実験における評価者2人の評価結果を図5.7に示す。評価にあたっては、「問題なし(1点)」から「問題あり(5点)」の5段階評価としており、2人の評価結果を四角枠の数として表している。また図5.7の各悪評点の合計値を表5.3に示す。

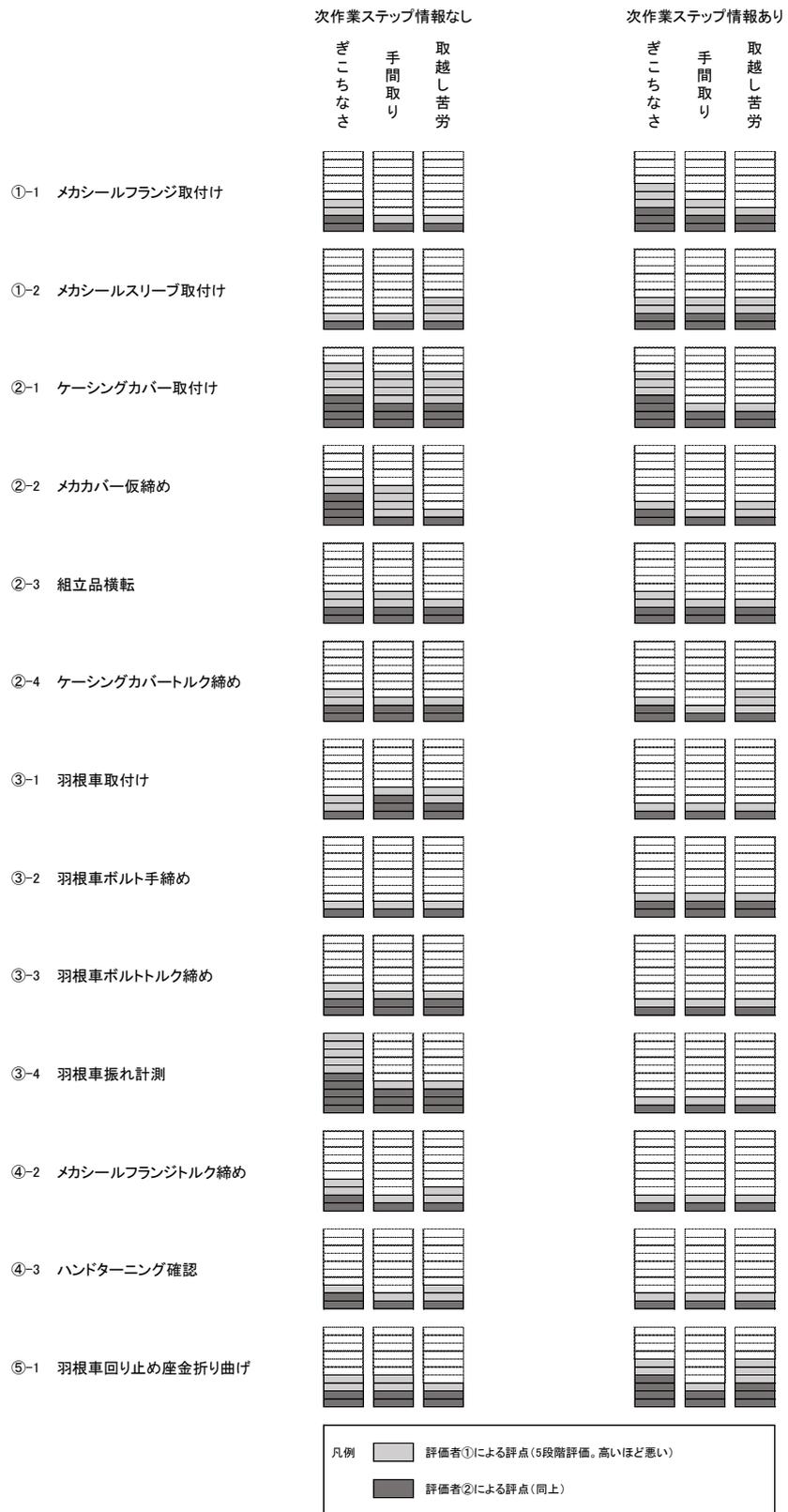


図 5.7 各作業手順書の作業パフォーマンスの評価結果

表 5.3 各作業手順書の悪評点（合計値）

作業手順書	次作業ステップ情報なし	次作業ステップ情報あり
ぎこちなさ	58	46
手間取り	44	34
取越し苦勞	43	39

次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦勞」のすべての評価項目で悪評点が低く、作業パフォーマンスが向上している。

b. 悪評量

1) 「ぎこちなさ」量

「ぎこちなさ」の悪評量とその元になるグラフを図 5.8 に示す。悪評量は、次作業ステップ情報なしの作業手順書が 253、ありの作業手順書が 155 となり、次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、悪評量が少ない。

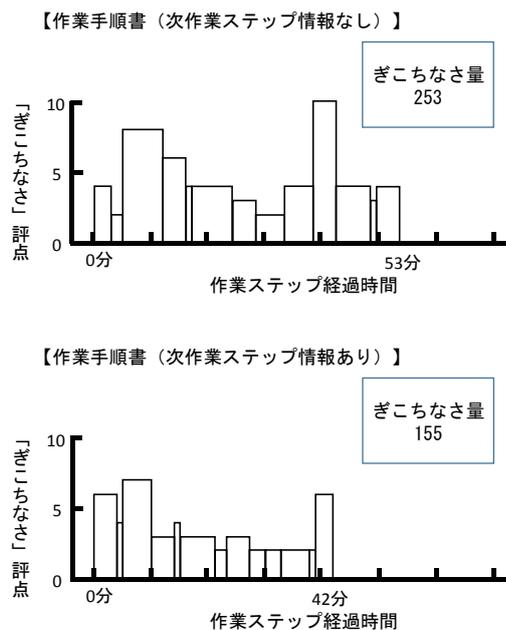


図 5.8 各作業手順書における「ぎこちなさ」量

## 2) 「手間取り」量

「手間取り」の悪評量とその元になるグラフを図 5.9 に示す。悪評量は、次作業ステップ情報なしの作業手順書が 191、ありの作業手順書が 107 となり、次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、悪評量が少ない。

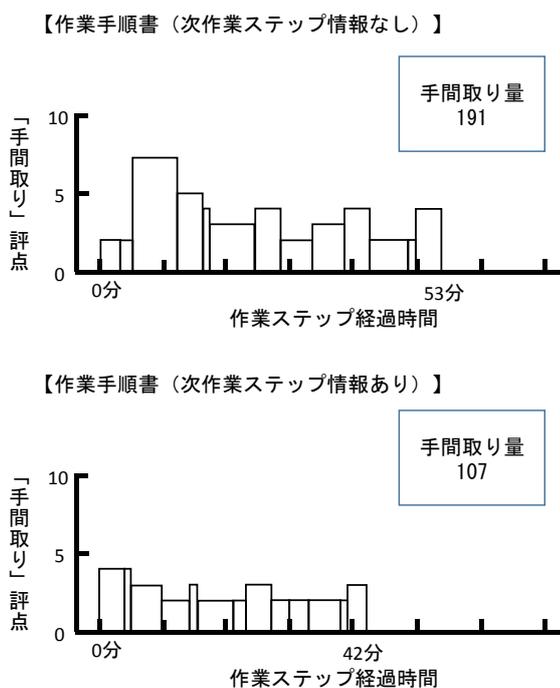


図 5.9 各作業手順書における「手間取り」量

## 3) 「取越し苦労」量

「取越し苦労」の悪評量とその元になるグラフを図 5.10 に示す。悪評量は、次作業ステップ情報なしの作業手順書が 185、ありの作業手順書が 128 となり、次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、悪評量が少ない。

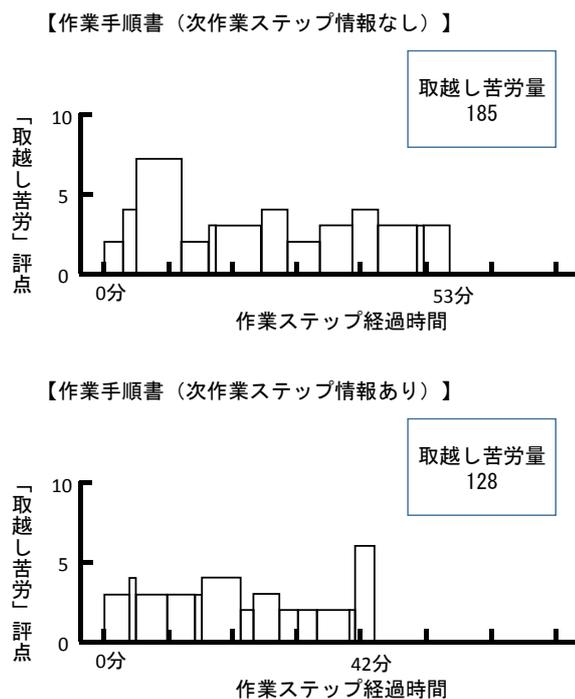


図 5.10 各作業手順書における「取越し苦労」量

#### 4) 悪評量のまとめ

各作業手順書の悪評量を表 5.4 にまとめる。「ぎこちなさ」量、「手間取り」量および「取越し苦労」量のすべての評価項目で、次作業ステップ情報ありの作業手順書の悪評量は、なしの作業手順書と比較して少なく、作業パフォーマンスが向上している。

表 5.4 各作業手順書の悪評量

作業手順書	次作業ステップ情報なし	次作業ステップ情報あり
「ぎこちなさ」量	253	155
「手間取り」量	191	107
「取越し苦労」量	185	128

## (2) 作業手順書の読み方

次作業ステップ情報なしの作業手順書を代表例として、その観察結果を表 5.5 に示す。

表 5.5 作業手順書（次作業ステップ情報なし）の読み方

作業ステップ	瞬間視	注視	熟読
①-1 メカシールフランジ取付け	✓(Oリング取付け後)		
①-2 メカシールスリーブ取付け			✓(スリーブ取付け前)
②-1 ケーシングカバー取付け		✓(カバー取付け前)	✓(合マークを間違え、カバー取付け前)
②-2 メカカバー仮締め	✓(ナット取付け前) ✓(ライトでの確認前)		✓(ナット取付け前)
②-3 組立品横転		✓(横転前)	
②-4 ケーシングカバートルク締め		✓(トルク値設定前) ✓(記録書き込み前) ✓(隙間計測前)	
③-1 羽根車取付け	✓(キイ取付け後) ✓(インペラー挿入前)	✓(キイ取付け前)	
③-2 羽根車手締め	✓(座金曲げ中) ✓(N-500塗布前) ✓(ボルト取付け前)	✓(座金曲げ前)	
③-3 羽根車ボルトトルク締め	✓(ボルト取付け前)	✓(トルク値設定前) ✓(記録書き込み前)	✓(回り止め金具取付け前)
③-4 羽根車振れ計測			✓(記録採取方法の指導が入り、計測前)
④-2 メカシールフランジトルク締め	✓(隙間計測前)	✓(トルク値設定前)	
④-3 ハンドターニング確認	✓(ターニング中)	✓(ターニング前)	
⑤-1 羽根車回り止め座金折り曲げ	✓(座金折り曲げ終了時)	✓(座金折り曲げ時)	

各作業手順書の読み方毎の発現回数を図 5.11 に示す。作業手順書が実験参加者にとって読みやすいものであるならば、「瞬間視」が多くなり、「注視」と「熟読」は少なくなると考えられる。したがって、作業手順書（次作業ステップ情報あり）が瞬間視の回数が最も多く、注視＋熟読の回数が最も少ないことから、より適切な読み方といえる。

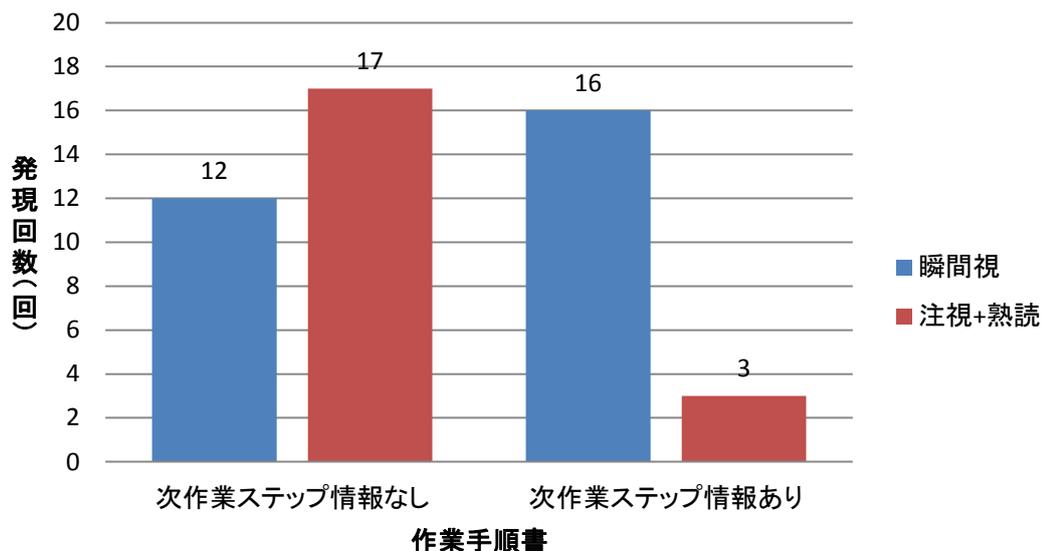


図 5.11 各作業手順書の「瞬間視」と「注視+熟読」の発現回数

### (3) 作業の所要時間

実験参加者 2 人の作業の所要時間（各作業ステップの所要時間の和）を表 5.6 に示す。次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、作業の所要時間は短い傾向を示した。このことは、次作業ステップ情報ありの作業手順書の手間取り、余計な動作が目立つかをみた「手間取り」の悪評点および悪評量が最も低かったことと関係があると推測できる。

表 5.6 各作業手順書の作業の所要時間

作業手順書	所要時間（分）
次作業ステップ情報なし	53
次作業ステップ情報あり	42

#### (4) 本節のまとめ

次作業ステップ情報の提示方法が保守作業者の「予測」に与える影響について検討した。次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、保守作業の多くの作業ステップで、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦労」の3つの評価項目の悪評点および悪評量が改善され、作業パフォーマンスが向上している傾向を示していた。作業手順書の読み方については、次作業ステップ情報ありの作業手順書が適切な読み方を示していた。また作業の所要時間についても次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して短い傾向を示していた。

以上のことから、支援の着目点の検討事項2:「次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認できた。

#### 5.6 本章のまとめと次章に向けて

本章では、レゴ・ブロックの組立作業実験において次作業ステップ情報ありの作業手順書は、人間の「予測」を支援できるかについて確認したが、次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、組立エラー数が少なくない結果となり、支援の着目点の検討事項2は確認できなかった。この理由としては、日頃慣れ親しんでいる作業ではない場合には、次作業ステップのことを配慮するよりも当該作業を正確に行うことに注意が向き、写真・図がより大きく表現され、情報量密度が最も少ない作業手順書で組立エラーが起こらなかったと推測できる。

保守作業実験における保守作業者の「予測」を支援できるかについては、次作業ステップ情報ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦労」の3つの評価項目の悪評点および悪評量が改善され、作業手順書の読み方はより適切であり、また作業の所要時間についても短い傾向を示した。以上のことから、支援の着目点の検討事項2:「次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する」について確認できた。

本章で確認できた結果を行動モデルに反映したものを図5.12に示す。

次章では、支援の着目点の検討事項3:「作業対象がイメージしやすいも

の、および情報を強調したものは、作業パフォーマンスが向上する」について確認する。

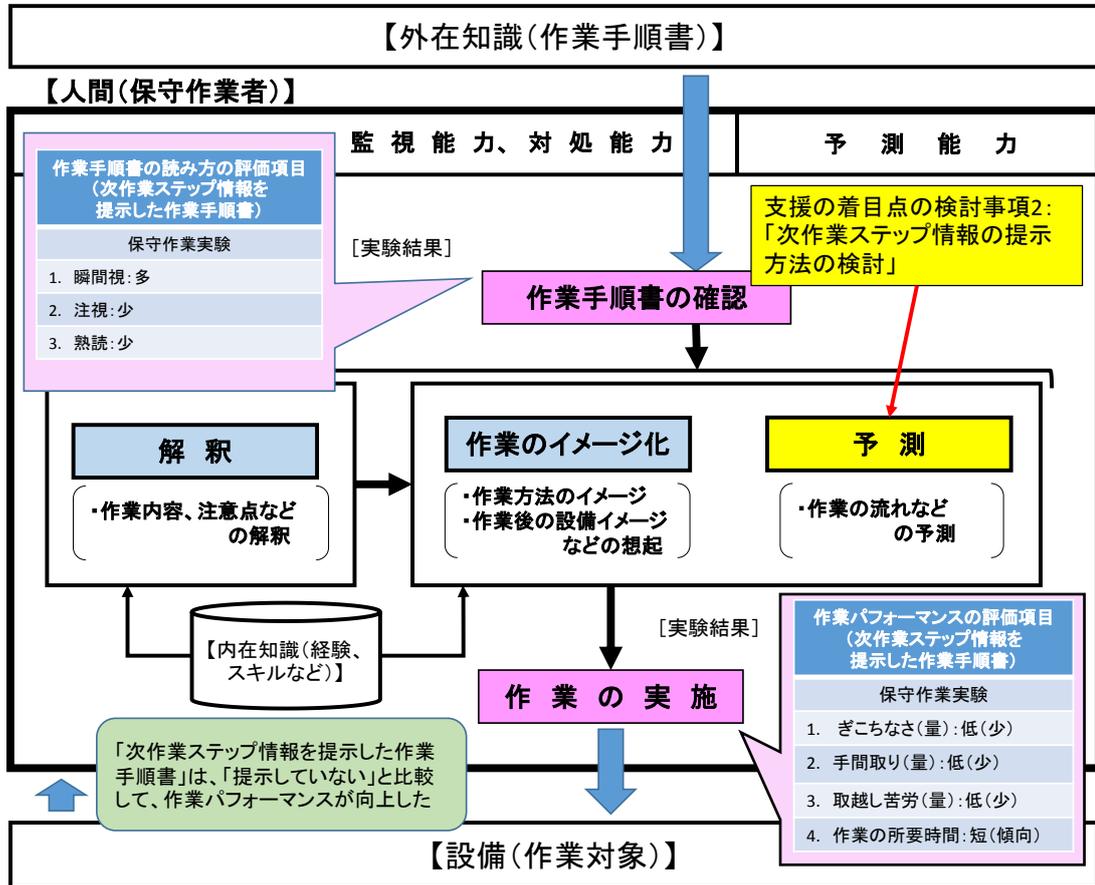


図 5.12 行動モデルと支援の着目点の検討事項 2 の確認結果

## 第 6 章 「解釈」の支援に関する検討

### 6.1 本章の目的

本章では、「解釈」の支援に関して設定した支援の着目点の検討事項 3：「作業対象がイメージしやすいもの、および情報を強調したものは、作業パフォーマンスが向上する」について確認することが目的である。

### 6.2 本章の流れ

レゴ・ブロックの組立作業実験を実施し、支援の着目点の検討事項 3 を確認する。本検討事項 3 については、作業対象のイメージのしやすさと、情報の強調の二つの検討事項が含まれているので、分けて確認する。

### 6.3 行動モデルにおける支援の着目点の検討事項 3

保守作業者の行動モデルと支援の着目点の検討事項 3：「作業対象がイメージしやすいもの、および情報を強調したものは、作業パフォーマンスが向上する」の関連を図 6.1 に示す。

作業対象のイメージのしやすさ、および情報の強調が、「解釈」を適切に支援できれば、作業パフォーマンスの向上が期待できるので、先ず次節において作業対象のイメージのしやすさについて確認するためにレゴ・ブロックの組立作業実験を実施する。

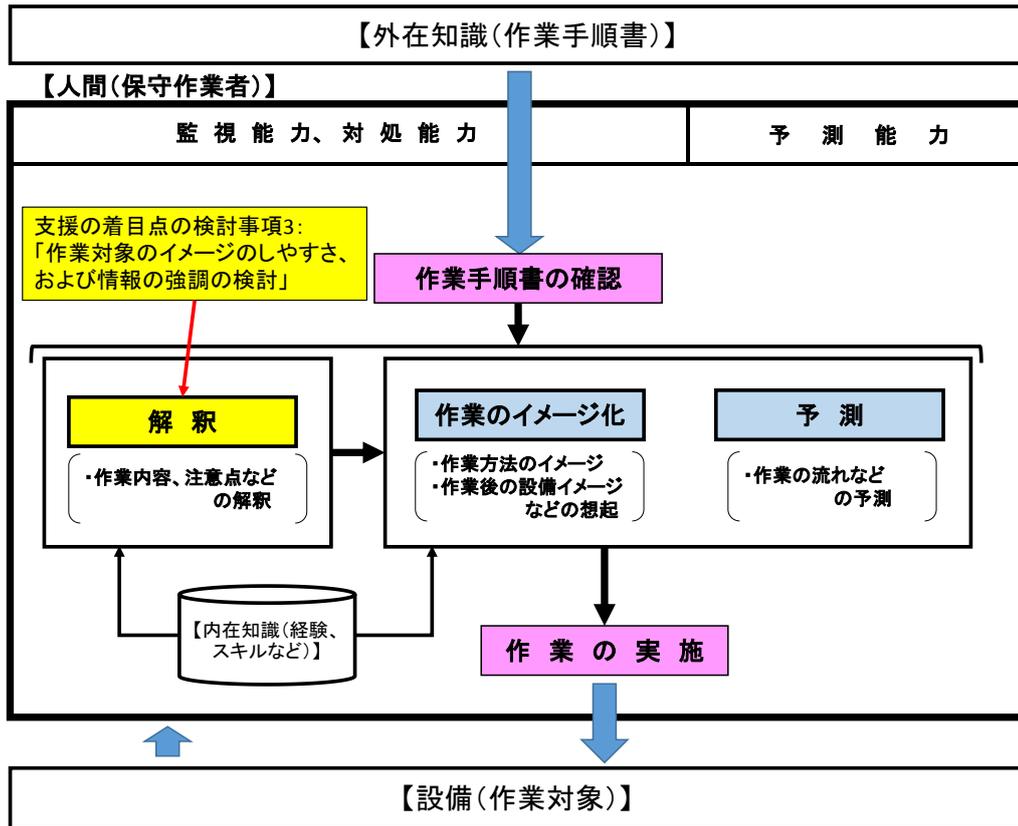


図 6.1 保守作業者の行動モデルと支援の着目点の検討事項 3 との関連

6.4 人間の「解釈」の支援に関する検討-作業対象のイメージのしやすさ-  
 作業対象のイメージのしやすさについて確認するためにレゴ・ブロックの組立作業実験を実施する。

実験参加者に対しては複数の作業手順書を提示し、レゴ・ブロックの組立作業を課した。詳細については、以下に述べる。

#### 6.4.1 作業手順書の試作

##### (1) 対象機器および対象作業の選定

対象機器は、レゴ・ブロックとし、対象作業は組立作業とした。またレゴ・ブロックの完成形は、「無意味」な形と「自動車」の形の 2 種類とした。作業のイメージがしにくい「無意味」な形は、作業手順書を正確に読まないで正しく組み立てられないが、作業のイメージがしやすい「自動車」

の形は、ハンドルは車体の前部に、車輪は車体の下部になど、作業手順書を正確に読まなくてもある程度正しく組み立てることが可能である。この作業対象のイメージのしやすさの影響を確認するためこの2種類を選定した。レゴ・ブロックは、11個提供し、そのうち10個を使用することとした。

## (2) 作業ステップ

作業ステップは、10ステップとした。

## (3) 作業手順書の試作

作業手順書は、表 6.1 に示す特徴を有する 5 種類を試作した。説明の便宜上、各作業手順書に I ~ V の記号を付す。作業対象はレゴ・ブロックの形「無意味」と「自動車」の 2 種類であるので、合計 10 種類の作業手順書を試作した。「無意味」の作業手順書は図 4.3 に示しているので、本節では「自動車」の作業手順書を図 6.2 に例示する。

表 6.1 作業手順書の特徴

作業手順書	特徴
I 文章のみ (次作業ステップ情報あり)	作業手順欄と注意事項欄は、すべて文章のみで記載 1枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載
II 文章+写真・図 (次作業ステップ情報なし)	作業手順欄は写真のみ、注意事項欄は文章のみで記載 1枚の作業手順書に1つの作業ステップを記載
III 文章+写真・図 (次作業ステップ情報あり)	作業手順欄は写真のみ、注意事項欄は文章のみで記載 1枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載
IV 文章+写真・図+強調 (次作業ステップ情報なし)	作業手順欄は文章+写真、注意事項欄は文章のみで強調して記載 1枚の作業手順書に1つの作業ステップを記載
V 文章+写真・図+強調 (次作業ステップ情報あり)	作業手順欄は文章+写真、注意事項欄は文章のみで強調して記載 1枚の作業手順書に複数の作業ステップを記載

レゴ・ブロック(自動車)組立の作業手順書

No.	作業手順	注意事項
1 シャーシーへの車輪の取付		
(1)	シャーシー(黒色と灰色の連結したブロック)を机の上に置く。	・ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ) ・シャーシーの前部は、黒色とすること
(2)	シャーシーの前部に、車輪を取付ける。	・車輪は、シャーシー最前部の下側に取付けること
(3)	シャーシーの後部に、車輪を取付ける。	・車輪は、シャーシー最後部の下側に取付けること
2 シャーシーへの運転席の取付		
(1)	シャーシーの最前部に、ハンドルを取付ける。	
(2)	シャーシーに、座席を取付ける。	
3 シャーシーへの荷台の取付		
(1)	シャーシーの後部に、直方体のブロック1つを取付ける。	
(2)	取付けた直方体のブロックの上に、直方体のブロック1つを積み重ねて取付ける。	
(3)	積み重ねた直方体のブロックの上に、荷台を取付ける。	・荷台が、後で取付ける運転席と干渉しないこと
4 座席への運転席の取付		
(1)	座席に運転席を取付ける。	
5 荷台への荷物(直方体のブロック)の積み込み		
(1)	荷台に荷物(直方体のブロック)を置く。	

(終了)

レゴ・ブロック(自動車)組立の作業手順書(1/10)

No.	作業手順、注意事項
1 シャーシーへの車輪の取付	
(1)	 <p>・ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ) ・シャーシーの前部は、黒色とすること</p>

レゴ・ブロック(自動車)組立の作業手順書(1/2)

No.	作業手順、注意事項
1 シャーシーへの車輪の取付	
(1)	 <p>・ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ) ・シャーシーの前部は、黒色とすること</p>
(2)	 <p>・車輪は、シャーシー最前部の下側に取付けること</p>
(3)	 <p>・車輪は、シャーシー最後部の下側に取付けること</p>
2 シャーシーへの運転席の取付	
(1)	
(2)	

I [文章のみ  
(次作業ステップ情報  
あり)]

II [文章+写真・図  
(次作業ステップ情報  
なし)]

III [文章+写真・図  
(次作業ステップ情報  
あり)]

レゴ・ブロック(自動車)組立の作業手順書(1/10)

No.	作業手順、注意事項
1 シャーシーへの車輪の取付	
(1)	<p>シャーシー(黒色と灰色の連結したブロック)を机の上に置く。</p>  <p>・シャーシーの前部は、黒色とすること</p> <p>△ ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>

レゴ・ブロック(自動車)組立の作業手順書(1/2)

No.	作業手順、注意事項
1 シャーシーへの車輪の取付	
(1)	<p>シャーシー(黒色と灰色の連結したブロック)を机の上に置く。</p>  <p>・シャーシーの前部は、黒色とすること</p> <p>△ ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>
(2)	<p>シャーシーの前部に、車輪を取付ける。</p>  <p>・車輪は、シャーシー最前部の下側に取付けること</p>
(3)	<p>シャーシーの後部に、車輪を取付ける。</p>  <p>・車輪は、シャーシー最後部の下側に取付けること</p>
2 シャーシーへの運転席の取付	
(1)	<p>シャーシーの最前部に、ハンドルを取付ける。</p> 
(2)	<p>シャーシーに、座席を取付ける。</p> 

IV [文章+写真・図+強調  
(次作業ステップ情報なし)]

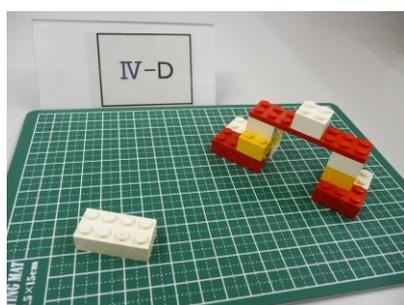
V [文章+写真・図+強調  
(次作業ステップ情報あり)]

図 6.2 作業手順書 (5 種類)

## 6.4.2 実験内容

### (1) 実験方法

一人の実験参加者は、一つの作業手順書について、「無意味」な形と「自動車」の形のレゴ・ブロックの組立作業をそれぞれ1回行った。このときに、レゴ・ブロック組立作業自体の学習効果を考慮し、半数の3人ずつで「無意味」と「自動車」の順序を入れ替えた。レゴ・ブロックの完成形写真の例を図6.3に示す。



[無意味]



[自動車]

図 6.3 レゴ・ブロックの完成形写真の例

### (2) 実験参加者

原子力発電所の保守作業員 30 人を対象とし、5 つの作業手順書グループ（各 6 人）に分けた。各グループの平均年齢（標準偏差  $\sigma$ ）は、作業手順書 I は 46.7 歳（13.6）、II は 44.3 歳（9.07）、III は 48.3 歳（11.7）、IV は 49.0 歳（10.2）、V は 49.3 歳（5.41）であった。

### (3) 評価項目

作業パフォーマンスの評価項目としては、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦労」の 3 項目としているが、本実験ではレゴ・ブロックの組立作業が対象であり、実際の保守作業とは異なり比較的簡単な作業であることから、以下のヒューマンエラー数とした。

組立エラー：作業手順書で指示された作業手順の内容と異なる組立を行ったもの

### 6.4.3 実験結果

#### (1) 組立エラー

各作業手順書について、作業対象のイメージがしにくいものと、しやすいものにおける実験参加者一人当たりの組立エラー数を図 6.4 に示す。

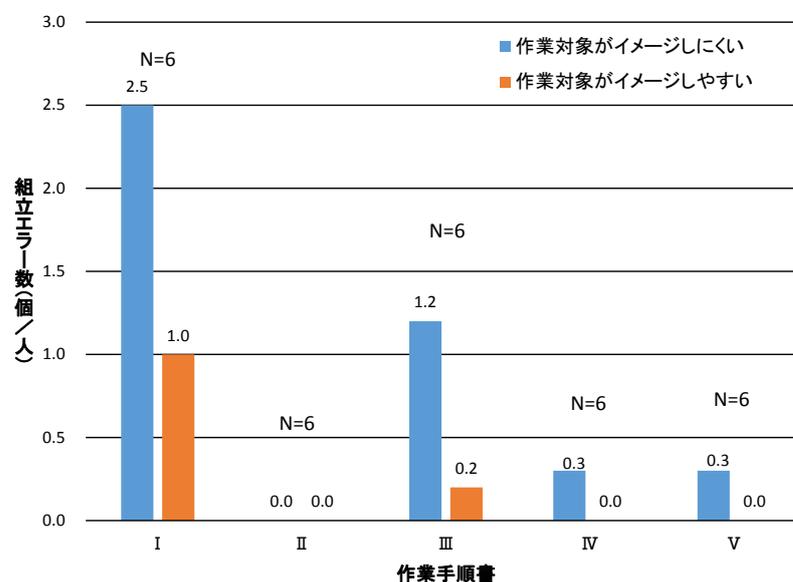


図 6.4 各作業対象と各作業手順書の一人当たりの組立エラー数

本節の目的は、作業対象のイメージがしにくいものと、しやすいものについて、解釈を支援するかを確認することであるので、作業手順書 I ~ V までを合計して、実験参加者一人当たりの組立エラー数を求めたものを図 6.5 に示す。

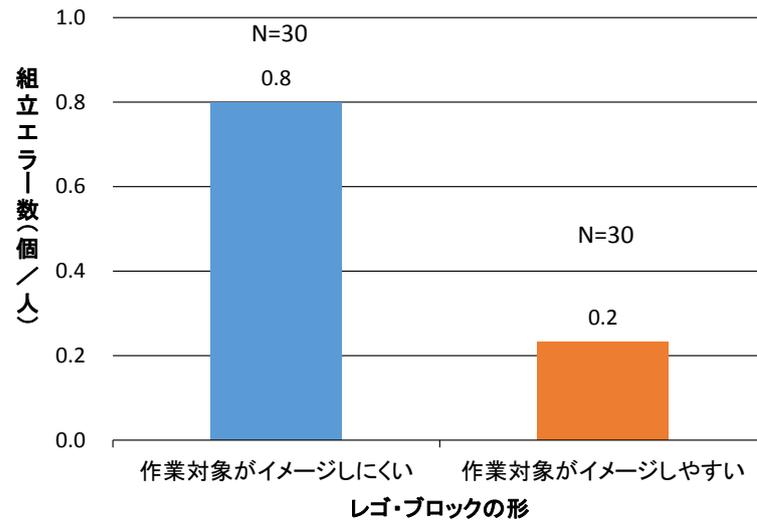


図 6.5 各作業対象の一人当たりの組立エラー数

作業対象のイメージがしにくいものと、イメージがしやすいものの組立エラー数の平均の差が統計的に有意かを確かめるために、有意水準 5%の両側検定で一对の標本による t 検定の結果、平均の差に有意傾向が認められた ( $t(29)=1.82, p<.10$ )。

このことから、作業対象のイメージがしやすいものは、しにくいものと比較して組立エラー数が少ない有意傾向にあり、作業パフォーマンスが向上することが確認できた。

## 6.5 人間の「解釈」の支援に関する検討-情報の強調-

情報の強調について確認するためにレゴ・ブロックの組立作業実験を実施する。

実験参加者に対しては複数の作業手順書を提示し、レゴ・ブロックの組立作業を課した。詳細については、以下に述べる。

### 6.5.1 作業手順書の試作

#### (1) 対象機器および対象作業の選定

対象機器は、レゴ・ブロックとし、対象作業は組立作業とした。またレゴ・ブロックの完成形は、特別な形を持たない通常のレゴ・ブロックを用いた「無意味」な形とした。この理由は、意味のある形にすると作業手順書を十分に読まなくてもレゴ・ブロックを組み立てることが可能となることを排除するためである。レゴ・ブロックは、11 個提供し、そのうち 10 個を使用することとした。

#### (2) 作業ステップ

作業ステップは、10 ステップとした。

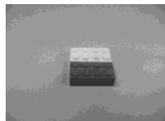
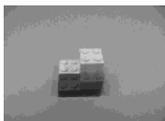
#### (3) 作業手順書の試作

作業手順書は、表 6.2 に示す特徴を有する 2 種類を試作した。すべての作業手順書の作業手順欄には白黒の写真のみとし、注意事項欄は文章のみとした。また、情報の強調を加えた作業手順書においては、注意事項欄のうち軽微な事項は四角枠で囲み、「ブロックは、同じ色が接触しないこと」の重要事項は赤字、下線、注意マークを施した。ここで、写真を白黒としたのは、カラー写真にすると注意事項を読まなくても正しい姿の完成形に組み立てられることを排除するためである。試作した作業手順書を図 6.6 に例示する。

表 6.2 作業手順書の特徴

作業手順書	特徴
強調なし	作業手順欄は写真のみ、注意事項欄は文章のみで記載
強調あり	作業手順欄は文章+写真、注意事項欄は文章のみで記載 注意事項欄のうち軽微な事項は、四角枠で囲む 「ブロックは、同じ色が接触しないこと」の重要事項は、赤字、下線、注意マークを施す

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書(1/2)

No.	作業手順、注意事項	
1		<ul style="list-style-type: none"> <li>・()内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している</li> <li>・ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</li> </ul>
2		
3		<ul style="list-style-type: none"> <li>・縦長方向のブロック(8)は、横長方向に置いた2つのブロック(8)の右端にそろえること</li> </ul>
4		
5		

[強調なし]

レゴ・ブロック(無意味な形)組立の作業手順書(1/2)

No.	作業手順、注意事項	
1	ブロック(8)を机上に横長方向に置く。 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・()内の数字は、ブロックの丸い突起物の数を表している</li> </ul> <p style="color: red; text-decoration: underline;">▲ ブロックは、同じ色が接触しないこと(以下同じ)</p>
2	先ほど置いたブロック(8)の手前に、ブロック(8)を横長方向に並べて置く。 	
3	並んでいる2つのブロック(8)に対して、ブロック(8)を縦長方向に重ね、3つのブロックをつなげる。 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・縦長方向のブロック(8)は、横長方向に置いた2つのブロック(8)の右端にそろえること</li> </ul>
4	縦長方向のブロック(8)の中央にブロック(4)を重ねて置く。一旦、向きを変えずに仮置きする。 	
5	新たに、ブロック(6)を机上に横長方向に置く。 	

[強調あり]

図 6.6 作業手順書 (2種類)

## 6.5.2 実験内容

### (1) 実験方法

一人の実験参加者は、一つの作業手順書について、レゴ・ブロックの組立作業を1回行った。レゴ・ブロックの完成形写真の例を図 6.7 に示す。

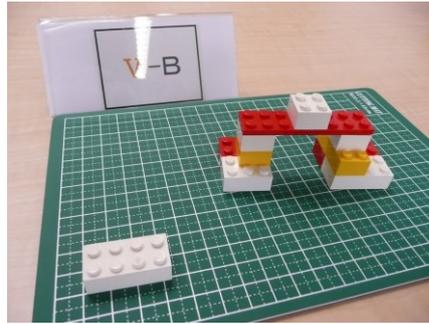


図 6.7 レゴ・ブロックの完成形写真の例

### (2) 実験参加者

原子力発電所の保守作業員 12 人を対象とし、2 つの作業手順書グループ（各 6 人）に分けた。各グループの平均年齢（標準偏差  $\sigma$ ）は、作業手順書（強調なし）は 48.3 歳（11.7）、作業手順書（強調あり）は 49.3 歳（5.41）であった。

### (3) 評価項目

作業パフォーマンスの評価項目としては、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦勞」の 3 項目としているが、本実験ではレゴ・ブロックの組立作業が対象であり、実際の保守作業とは異なり比較的簡単な作業であることから、以下のヒューマンエラー数とした。

組立エラー：作業手順書で指示された作業手順の内容と異なる組立を行ったもの

### 6.5.3 実験結果

#### (1) 組立エラー

作業手順書（強調なし）と作業手順書（強調あり）を比較して、実験参加者一人当たりの組立エラー数を図 6.8 に示す。

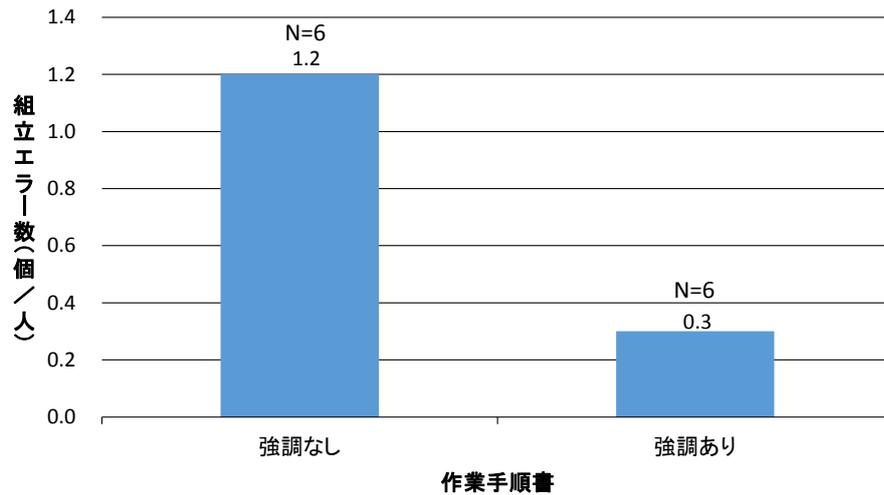


図 6.8 各作業手順書の一人当たりの組立エラー数

強調なしの作業手順書と強調ありの作業手順書の組立エラー数の平均の差が統計的に有意かを確かめるために、有意水準 5%の両側検定で分散が等しくないと仮定した 2 標本による t 検定の結果、平均の差に有意差は認められなかったが( $t(7)=0.93, p=.38$ )、強調ありの作業手順書は、なしの作業手順書と比較して、組立エラー数が少ない傾向を示した。

このことから、情報を強調した作業手順書は、強調していない作業手順書と比較して、組立エラー数が少ない傾向にあり、作業パフォーマンスが向上することが確認できた。

### 6.6 本章のまとめと次章に向けて

本章では、作業対象のイメージのしやすさが、人間の「解釈」を支援し、作業対象のイメージがしやすいものは、しにくいものと比較して組立エラ

一数が有意に少なく、作業パフォーマンスが向上することが確認できた。

また情報の強調が、人間の「解釈」を支援し、情報を強調した作業手順書は、強調していない作業手順書と比較して組立エラー数が少ない傾向にあり、作業パフォーマンスが向上することが確認できた。

以上のことから、支援の着目点の検討事項3:「作業対象がイメージしやすいもの、および情報を強調したものは、作業パフォーマンスが向上する」について確認できた。

本章で確認できた結果を行動モデルに反映したものを図 6.9 に示す。

第4章から本章までで支援の着目点の検討事項の有効性について確認できたので、次章ではこれら3つの検討事項を作業手順書設計の基本原則として示し、その基本原則が作業手順書に反映されているかを確認するためのチェックシートを作成し、その有効性を確認する。

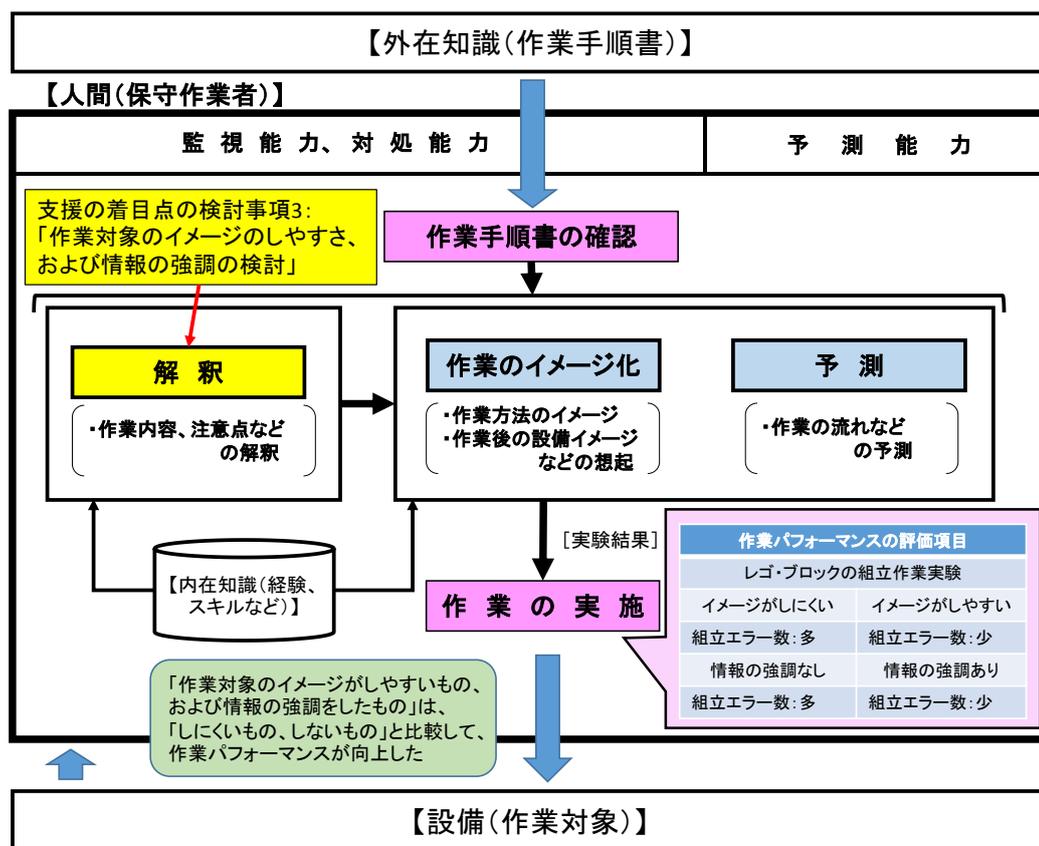


図 6.9 行動モデルと支援の着目点の検討事項3の確認結果

## 第7章 作業手順書のチェックシートの検討

### 7.1 本章の目的

第4章から第6章で支援の着目点の検討事項の有効性について確認できたので、本章ではこれら3つの検討事項を作業手順書設計の基本原則として示し、その基本原則が作業手順書に反映されているかを確認するためのチェックシートを作成し、その有効性を検討することが目的である。

### 7.2 本章の流れ

先ず第4章から第6章でその有効性を確認した3つの支援の着目点の検討事項を、作業手順書を作成するための設計の基本原則として示す。次に設計の基本原則が作業手順書に反映されているかを確認するためのチェックシートについて検討し、作成する。その後、作業手順書を用いた実験を実施し、チェックシートに基づく作業手順書の評価結果と作業パフォーマンスの評価結果とを比較考察し、チェックシートの有効性を検討する。

### 7.3 作業手順書を作成するための設計の基本原則

3つの支援の着目点の検討事項：(1)文章と写真・図を組み合わせることによって、作業パフォーマンスが向上する、(2)次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する、(3)作業対象のイメージのしやすいもの、および情報を強調したものは、作業パフォーマンスが向上する、についての有効性を確認することができた。

これらの検討事項は、適正な表現形態を用いた作業手順書を作成する際の、設計の基本原則として重要な事項であるので、以下のように読み替えて設定することとした。

#### 【設計の基本原則】

- (1) 文章と写真・図を組み合わせる（「作業のイメージ化」の支援）
- (2) 次作業ステップ情報を提示する（「予測」の支援）
- (3) 情報を強調する（「解釈」の支援）

ここで、作業対象のイメージのしやすさについては、作業手順書の作成者にとっては与えられる条件であるため、設計の基本原則には含めず、第8章の作業手順書の表現形態に係る詳細検討において配慮することとした。

#### 7.4 作業手順書のチェックシートの検討

チェックシートの検討にあたっては、背後要因リストを活用することとした。その理由を以下に述べる。背後要因リストとは、1.4.1節で述べたようにヒューマンエラーを誘発させる可能性のある背後要因を分類したものである。もし保守作業者が作業手順書を使用して保守作業を行った際にヒューマンエラーが発生すると、この背後要因リストに基づき分析することになる。であるならば、事前にこの背後要因リストに基づき、ヒューマンエラーが起きそうな背後要因に対策を施しておくという考え方は自然である。米国のINPOやDOEが実践している参照使用型<sup>(42)(43)</sup>（1.6節で説明）の使い方に近い方法である。

そこで、保守作業者が作業手順書を使用して保守作業を実施する際に関係がある背後要因を、保全業務の分析に適している行待・永田(2004)<sup>(29)</sup>が開発した背後要因リスト(98項目)から抽出することとした。抽出した19項目の背後要因はチェックシートの「分類」として示し、3つの設計の基本原則との関連性について検討した。その結果を表7.1に示す。次に、背後要因の分類項目と設計の基本原則を勘案し、個々のチェック項目について検討した。作成したチェックシートを表7.2に示す。

次節では、このチェックシートの有効性について検討する。

表 7.1 背後要因と設計の基本原則との関連

背後要因	設計の基本原則		
	「作業のイメージ化」の支援	「予測」の支援	「解釈」の支援
作業への過信	○		○
思い込み	○		○
経験からの読み			○
手順の経験判断	○		○
確認の個人依存			○
作業の難しさ			○
不定形性			○
手順・方法不適切			○
劣確認性			○
意図把握難	○		○
仕上がり判定難			○
誤った取付			○
劣予測性	○	○	
慎重さ不足	○		○
補修対策不備			○
予防措置不備			○
潜在危険の判断			○
要複数資料			○
準備記述不足			○

表 7.2 作業手順書のチェックシート

分類	チェック項目
作業への過信	<input type="checkbox"/> 作業を過信し、知っていて当たり前のこととして、記述を簡略化していないか <input type="checkbox"/> 写真・図のみで、作業を理解させようとしている記述になっていないか
思い込み	<input type="checkbox"/> 思い込みにより誤解釈をさせるような記述になっていないか <input type="checkbox"/> 同種の繰り返し作業に対する配慮が足りない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 動作説明指示の矢印が、不鮮明、不正確になっていないか <input type="checkbox"/> 部品説明指示の矢印が、不鮮明、不正確になっていないか <input type="checkbox"/> 注意事項などが作業手順書全体のバランスの中で目立たない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 情報の強調方法が、作業手順書の中で統一されていない記述になっていないか
経験からの読み	<input type="checkbox"/> 合否判定などについて、経験知がないと判断できないような記述になっていないか
手順の経験判断	<input type="checkbox"/> 作業手順の細部について、経験知がないと判断できないような記述になっていないか <input type="checkbox"/> 詳細説明写真、詳細説明図が、不鮮明になっていないか <input type="checkbox"/> 状況写真、機器形状図が、不鮮明になっていないか
確認の個人依存	<input type="checkbox"/> 作業の確認方法が、作業者個人の裁量に過度に依存しているような記述になっていないか <input type="checkbox"/> 「〇〇を確認すること」などのように、詳細説明が足りない記述になっていないか
作業の難しさ	<input type="checkbox"/> 作業の難しさや特殊性を考慮していない記述になっていないか
不定形性	<input type="checkbox"/> いつもとは異なる不定形な作業手順である場合に、そのことを明記していない記述になっていないか
手順・方法不適切	<input type="checkbox"/> 作業対象のイメージがしにくいものに対して、作業手順・方法の説明が足りない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 作業対象のイメージがしやすいものに対して、作業手順・方法の説明が過剰で冗長な記述になっていないか
劣確認性	<input type="checkbox"/> 確認や照合が難しい作業に対する配慮が足りない記述になっていないか
意図把握難	<input type="checkbox"/> 作業内容を把握しにくい文章、写真・図が記載されていないか <input type="checkbox"/> 作業対象のイメージがしにくいものに対して、作業の目的の説明が足りない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 作業対象のイメージがしやすいものに対して、作業の目的の説明が過剰で冗長な記述になっていないか
仕上がり判定難	<input type="checkbox"/> 作業の仕上がり判定の方法、基準がわかりにくい記述となっていないか
誤った取付	<input type="checkbox"/> 誤った取付に対する配慮が足りない記述になっていないか
劣予測性	<input type="checkbox"/> 次作業ステップ情報の提示がわかりにくい記述となっていないか <input type="checkbox"/> 作業の予測・見通しが悪い作業局面での説明が足りない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 写真・図に動作説明が足りない記述になっていないか
慎重さ不足	<input type="checkbox"/> 慎重さを要する作業局面での説明が足りない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 慎重さが要求される作業局面において、写真・図と対象設備との照合が難しい記述になっていないか
補修対策不備	<input type="checkbox"/> 作業で不具合が生じた場合の対処法の説明が足りない記述になっていないか
予防措置不備	<input type="checkbox"/> 部品の傷、錆、汚れなどの予防措置の説明が足りない記述になっていないか
潜在危険の判断	<input type="checkbox"/> 作業中のエラーや潜在的危険性についての説明が足りない記述になっていないか
要複数資料	<input type="checkbox"/> 作業を行うために、多くの文書、写真・図の参照や確認が必要な記述になっていないか
準備記述不足	<input type="checkbox"/> 用意すべき治工具類の記載が足りない記述になっていないか

## 7.5 作業手順書のチェックシートの有効性の検討

本節では、7.4 節で作成した作業手順書のチェックシートの有効性について検討する。文章のみの作業手順書（以下、従来型作業手順書という）と文章と写真・図を組み合わせた作業手順書（以下、表現形態改良型作業手順書という）について、チェックシートに基づく作業手順書の評価結果と作業パフォーマンスの評価結果とを比較考察する。

まず、作業パフォーマンスを評価するために実施した保守作業実験について述べ、次に作業手順書の評価結果との比較考察について述べる。

### 7.5.1 作業手順書の試作

#### (1) 対象機器および対象作業の選定

対象機器および対象作業は、小型横型ポンプの組立作業とした。

#### (2) 作業ステップ

作業ステップは、120 分程度の作業時間内に終了見込みがあり、一区切りとなる以下の 14 ステップとした。ただし、作業ステップ「④-1 メカシール押え代計測」は、初心者にとってはかなりの作業時間を要するので、本実験においてはこの作業ステップは省略することとし、合計 13 ステップとした。

##### ①メカニカルシール組込み

①-1 メカシールフランジ取付け

①-2 メカシールスリーブ取付け

##### ②ケーシングカバー取付け

②-1 ケーシングカバー取付け

②-2 メカカバー仮締め

②-3 組立品横転

②-4 ケーシングカバートルク締め

##### ③羽根車取付け

③-1 羽根車取付け

③-2 羽根車ボルト手締め

③-3 羽根車ボルトトルク締め

- ③-4 羽根車振れ計測
- ④メカニカルシールセット確認
  - ④-1 メカシール押え代計測
  - ④-2 メカシールフランジトルク締め
  - ④-3 ハンドターニング確認
- ⑤ 羽根車締付け固定
  - ⑤-1 羽根車回り止め座金折り曲げ

### (3) 作業手順書の試作

従来型作業手順書と表現形態改良型作業手順書の2種類の作業手順書を試作し、実験に備えた。

各作業手順書の特徴を表7.3に、試作した作業手順書をそれぞれ図7.1および図7.2に例示する。

表 7.3 作業手順書の特徴

作業手順書	特徴
従来型作業手順書 (文章のみ)	作業手順と注意事項は文章のみで記載
表現形態改良型作業手順書 (文章と写真・図の組合せ)	作業方法欄の作業手順と注意事項は文章のみで記載 作業を進めるうえで参考となる写真・図を説明図欄に記載

No.	作業手順	注意事項	確認		備考
			作業	担当者	
1	ポンプ組立				
(1)	メカニカルシールカバー(1)にOリング(2本)を装着し、主軸に差し込む。	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆Oリングが「ひび割れ」しないようシリコーングリスを薄く塗布し装着させる。</li> <li>◆シート面に異物(微細なほこり)、油分の付着による漏洩がないよう光の反射面を見て確認する。(メカ漏れ防止) ⇒※拭き取る場合は、やわらかい布に洗浄液を染み込ませ軽く拭き取る。</li> </ul>	◎		
(2)	メカニカルシールの回転環がセットされたスリーブ(2)を主軸に差し込む。	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆スリーブ(2)内側のOリングにシリコーングリスを少し塗布し、キー溝・径変化部に注意しゆっくり挿入する。(Oリング切損防止)</li> <li>◆シート面に異物(微細なほこり)、油分の付着による漏洩がないよう光の反射面を見て確認する。(メカ漏れ防止) ⇒※拭き取る場合は、やわらかい布に洗浄液を染み込ませ軽く拭き取る。</li> <li>◆シールリングは、軽度の衝撃でも破損する恐れがあるため慎重に取り扱うこと。</li> </ul>	◎		

【確認区分の表示】

◎ : 作業中に同時立会い  
○ : 作業完了後の立会い

△ : 作業記録(含む検査記録)の審査  
／ : 該当なし

【点検結果の表示】

レ : 異常なし    / : 該当なし

図 7.1 従来型作業手順書

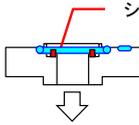
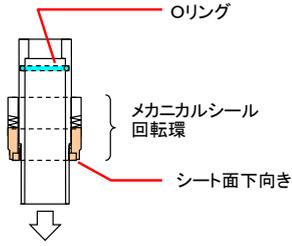
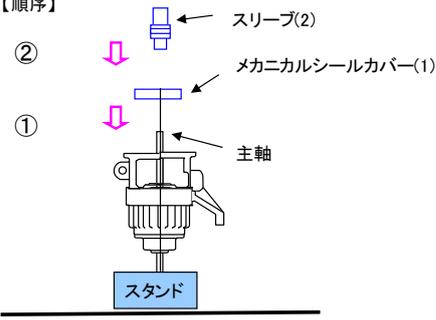
手順	作業方法	説明図	確認	
			作責	担当者
1	メカニカルシール組込み			
(1)	<p>メカニカルシールカバー(1)にOリング(2本)を装着し、主軸に差し込む。(2)項下図参照</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;"><b>【注意】 (品質)</b></p> <p>◆Oリングが「ひび割れ」しないようシリコングリスを薄く塗布し装着させる。          ◆シート面に異物(微細なほこり)、油分の付着による漏洩がないよう光の反射面を見て確認する。(メカ漏れ防止)          ⇒※拭き取る場合は、やわらかい布に洗浄液を染み込ませ軽く拭き取る。</p> </div>	<p>【メカニカルシールカバー(1)】</p>  <p>Oリング</p>  <p>シート面上向き</p>	◎	
(2)	<p>メカニカルシールの回転環がセットされたスリーブ(2)を主軸に差し込む。(下図参照)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;"><b>【注意】 (品質)</b></p> <p>◆スリーブ(2)内側のOリングにシリコングリスを少し塗布し、キー溝・径変化部に注意しゆっくり挿入する。(Oリング切替防止)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;"><b>【注意】 (品質)</b></p> <p>◆シート面に異物(微細なほこり)、油分の付着による漏洩がないよう光の反射面を見て確認する。(メカ漏れ防止)          ⇒※拭き取る場合は、やわらかい布に洗浄液を染み込ませ軽く拭き取る。          ◆シールリングは、軽度の衝撃でも破損する恐れがあるため慎重に取り扱うこと。</p> </div>	<p>【スリーブ(2)】</p>   <p>Oリング</p> <p>メカニカルシール回転環</p> <p>シート面下向き</p>	◎	
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>【順序】</b></p>  <p>② ↓ スリーブ(2)</p> <p>メカニカルシールカバー(1)</p> <p>① ↓ 主軸</p> <p>スタンド</p> </div>	<p>【主軸(3)】</p> 		

図 7.2 表現形態改良型作業手順書

## 7.5.2 実験内容

### (1) 実験方法

実験参加者が複数の作業手順書について実験すると、後で実施した実験において前の実験での経験が記憶に留まり、作業手順書の評価が難しくなる（学習効果）ため、一人1試行とする。実験は、作業の補助を行うために熟練者である助勢員1人と一緒にチームを組んで行うが、自ら手助けはしないこととする。作業パフォーマンスの評価は、熟練者である別の評価者2人が行う。評価者は、作業チームの邪魔にならない場所で、かつ作業チームに緊張を与えないように配慮する。

実験は、小型横型ポンプの組立作業を対象とし、7.5.1節で試作した従来型と表現形態改良型の作業手順書についてそれぞれ1回試行する。

実験は、以下の手順で進めることとする。

- ・本実験の要旨説明を実験者から受ける(10分)
- ・作業手順書を通読する(20分)
- ・部品の名称の理解度について確認テストを行う（全問正解まで再テスト）(20分)
- ・ポンプ組立作業(120分)

### (2) 実験参加者

作業手順書に関する実験なので、当該作業に経験のない保守作業者を実験参加者とする。ただし、作業手順書の見方や治工具などの使い方は習熟している者とする。

従来型作業手順書の実験参加者の年齢は23歳、表現形態改良型は20歳であった。当該作業の経験年数は2人とも0年である。また実験参加者の理解度を確認するため、小型横型ポンプの部品確認テストを2人が満点となるまで実施した。

### (3) 評価項目

#### a. 作業パフォーマンス

作業パフォーマンスの評価項目としては、「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦労」の3項目とする。作業ステップ毎に評価者2人により、

「問題なし（1点）」から「問題あり（5点）」までの5段階で評価することとした。評点が高いほど問題があり、評価者2人の合計値で評価することとした。

- a) 作業が円滑で、自然な流れを感じるか : 「ぎこちなさ」
- b) 手間取りや、余計な動作が目立つか : 「手間取り」
- c) 余計な気配りや、無駄な注意をしていないか : 「取越し苦労」

### 7.5.3 実験結果

#### (1) 作業パフォーマンス

実験における評価者2人の悪評点の合計値を表7.4に示す。表現形態改良型作業手順書は、従来型作業手順書と比較して「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦労」のすべての評価項目で悪評点が低く、作業パフォーマンスが向上している。

表 7.4 各作業手順書の悪評点（合計値）

作業手順書	従来型作業手順書	表現形態改良型作業手順書
ぎこちなさ	78	46
手間取り	73	34
取越し苦労	68	39

### 7.5.4 作業手順書と作業パフォーマンスの評価

#### (1) 作業手順書の評価

試作した2種類の作業手順書の各作業ステップにおいて、改善を要すると思われる背後要因に○印を付した。この背後要因は、作業手順書のチェックシートの分類項目と同じものである。○印を付すにあたっては、保守作業の熟練者の協力を得た。従来型作業手順書については表7.5に、表現形態改良型作業手順書については表7.6に示す。同表中の○印は作業手順

書の中に潜在的な問題を感じることを意味しており、○印の数は問題の多さを示している。

表現形態改良型作業手順書は、従来型作業手順書に写真・図を組み合わせているので、表 7.5 に記されている○印の一部が消えた状態が表 7.6 ということになる。この 2 つの作業手順書の背後要因項目数の差の大きい背後要因が、表現形態改良型作業手順書の改善効果の大きいところであるといえる。背後要因項目数の差を表 7.7 に示す。

表 7.5 従来型作業手順書における背後要因

作業ステップNo.	①-1	①-2	②-1	②-2	②-3	②-4	③-1	③-2	③-3	③-4	④-2	④-3	⑤-1	○印の数の合計
作業者への過信	○	○	○	○				○			○	○	○	8
思い込み					○		○					○		3
経験からの読み							○	○		○		○		4
手順の経験判断		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	12
確認の個人依存												○		1
作業の難しさ			○									○	○	3
不定形性					○							○	○	3
手順・方法不適切			○	○				○						3
劣確認性		○	○	○										3
意図把握難		○	○	○		○		○	○	○	○	○		9
仕上がり判定難	○			○		○			○	○	○		○	7
誤った取付	○	○					○	○						4
劣予測性			○		○	○			○	○	○			6
慎重さ不足												○		1
補修対策不備														0
予防措置不備												○		1
潜在危険の判断		○												1
要複数資料						○			○	○	○			4
準備記述不足								○						1

表 7.6 表現形態改良型作業手順書における背後要因

作業ステップNo.	①-1	①-2	②-1	②-2	②-3	②-4	③-1	③-2	③-3	③-4	④-2	④-3	⑤-1	○印の数の合計
作業者への過信														0
思い込み												○		1
経験からの読み														0
手順の経験判断		○	○	○		○		○	○	○	○	○	○	10
確認の個人依存														0
作業の難しさ														0
不定形性													○	1
手順・方法不適切														0
劣確認性			○											1
意図把握難		○		○		○		○	○	○	○			7
仕上がり判定難						○			○	○	○			4
誤った取付														0
劣予測性					○	○			○	○	○			5
慎重さ不足														0
補修対策不備														0
予防措置不備														0
潜在危険の判断														0
要複数資料						○			○	○	○			4
準備記述不足														0

表 7.7 従来型作業手順書と表現形態改良型作業手順書の  
背後要因項目数の差

背後要因項目	従来型 作業手順書	表現形態改良型 作業手順書	差
作業者への過信	8	0	8
思い込み	3	1	2
経験からの読み	4	0	4
手順の経験判断	12	10	2
確認の個人依存	1	0	1
作業の難しさ	3	0	3
不定形性	3	1	2
手順・方法不適切	3	0	3
劣確認性	3	1	2
意図把握難	9	7	2
仕上がり判定難	7	4	3
誤った取付	4	0	4
劣予測性	6	5	1
慎重さ不足	1	0	1
補修対策不備	0	0	0
予防措置不備	1	0	1
潜在危険の判断	1	0	1
要複数資料	4	4	0
準備記述不足	1	0	1

表 7.7 によると、表現形態改良型作業手順書は従来型作業手順書と比較して背後要因項目の「作業者への過信」、「誤った取付」および「経験からの読み」を特に改善していることがわかった。

## (2) 作業パフォーマンスの評価

従来型作業手順書に対する表現形態改良型作業手順書の保守作業者の作業パフォーマンスの改善効果を評価するために、表 7.4 で示した悪評点の作業ステップ毎の値を表 7.8 に示す。

表 7.8 各作業手順書の悪評点（作業ステップ毎）

作業ステップNo.	従来型作業手順書			表現形態改良型作業手順書		
	ぎこちなさ	手間取り	取越し苦労	ぎこちなさ	手間取り	取越し苦労
①-1	10	10	8	6	4	3
①-2	8	7	6	4	4	4
②-1	7	8	6	7	3	3
②-2	6	3	3	3	2	3
②-3	7	7	8	4	3	3
②-4	10	9	6	3	2	4
③-1	5	5	8	2	2	2
③-2	8	8	5	3	3	3
③-3	4	4	5	2	2	2
③-4	3	3	3	2	2	2
④-2	3	3	4	2	2	2
④-3	3	3	3	2	2	2
⑤-1	4	3	3	6	3	6

先ず、表 7.8 において表現形態改良型作業手順書が従来型作業手順書と比較して悪評点が改善されている箇所を同定することとした。改善効果が大きく見られる点に絞るため、評価者一人当たりの評点が 2 点以上、すなわち 2 人で 4 点以上改善されている箇所を抽出する。その結果、作業ステップ①-1 の「ぎこちなさ」「手間取り」「取越し苦労」、①-2 の「ぎこちなさ」、②-1 の「手間取り」、②-3 の「手間取り」「取越し苦労」、②-4 の「ぎこちなさ」「手間取り」、③-1 の「取越し苦労」、③-2 の「ぎこちなさ」「手間取り」の計 12 箇所を抽出することができた。

次に、この 12 箇所の悪評点が改善されたのは、チェックシートの背後要因のどの項目が効果をもたらしたと思うかについて保守作業の熟練者である評価者 2 人に回答を求めた。回答は、1 箇所につき最大 5 項目までとした。その結果をまとめたものを表 7.9 に示す。

表 7.9 によると、表現形態改良型作業手順書が特に効果をもたらしたと評価した背後要因項目は、「誤った取付」、「作業者への過信」および「劣確認性」であることがわかった。

表 7.9 表現形態改良型作業手順書が効果をもたらしたと評価した背後要因項目

背後要因項目	N=120			
	ぎこちなさ	手間取り	取越し苦勞	計(件)
作業者への過信	3	3	1	7
思い込み	0	1	2	3
経験からの読み	1	1	1	3
手順の経験判断	0	1	2	3
確認の個人依存	0	0	0	0
作業の難しさ	0	0	0	0
不定形性	0	1	1	2
手順・方法不適切	1	1	0	2
劣確認性	2	2	0	4
意図把握難	0	0	0	0
仕上がり判定難	1	1	1	3
誤った取付	3	3	2	8
劣予測性	0	0	0	0
慎重さ不足	0	0	0	0
補修対策不備	0	0	0	0
予防措置不備	0	0	0	0
潜在危険の判断	1	0	0	1
要複数資料	0	0	0	0
準備記述不足	0	0	0	0

#### 7.5.5 作業手順書のチェックシートの有効性の検討

試作した作業手順書の評価は、表現形態改良型作業手順書は従来型作業手順書と比較して作業手順書のチェックシートの背後要因項目の「作業者への過信」、「誤った取付」および「経験からの読み」が改善されていることがわかった。一方、作業パフォーマンスの評価については、「誤った取付」、「作業者への過信」および「劣確認性」の改善効果が大きいことがわかった。これらのことから、「作業者への過信」と「誤った取付」について、作業手順書の評価結果と作業パフォーマンスの評価結果が一致したことから、作業手順書のチェックシートの有効性が確認できたと考える。

#### 7.6 本章のまとめと次章に向けて

本章では、適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための設計の基本原則を示し、その基本原則が作業手順書に反映されているかを確認するためのチェックシートの有効性を確認し、提供した。

次章では、作業手順書を作成する際に参考となる「作業のイメージ化」の支援、「予測」の支援および「解釈」の支援に関する具体方策を提供する。

## 第 8 章 作業手順書の表現形態に係る詳細検討

### 8.1 本章の目的

本章では、作業手順書を作成する際に参考となる「作業のイメージ化」の支援、「予測」の支援および「解釈」の支援に関する具体方策を提供することが目的である。

### 8.2 本章の流れ

先ず、第 7 章で作成した作業手順書のチェックシートに基づき複数の作業手順書を試作する。次に、試作した作業手順書に対して保守作業者がより望ましいと選択した「作業のイメージ化」の支援、「予測」の支援および「解釈」の支援に関する具体方策を提供する。

### 8.3 作業手順書の表現形態に係る具体方策の調査計画

#### 8.3.1 調査の計画

本節では、実際の保守作業を対象とし、より多くの保守作業者が作業手順書を評価できるアンケート調査を計画した。また回答は、選択肢方式とした。

調査にあたっては、現場作業用としての作業手順書としてより望ましいと思われる具体方策について回答を求めた。

#### 8.3.2 作業手順書の試作

##### (1) 対象機器および対象作業の選定

対象機器および対象作業は、作業対象のイメージがしやすいものの代表として機械設備の「小型横型ポンプ」の組立作業とした。また作業対象のイメージがしにくいものの代表として電気設備の「真空遮断器」の点検作業とした。小型横型ポンプの組立作業は、ケーシングカバー取付け、羽根車取付け・締付け固定のように扱う設備も比較的大きく、作業自体も取付け、固定が中心であり、細かな特殊作業スキルを要するものではないので、作業対象のイメージがしやすいものとした。一方、真空遮断器の点検作業は、扱う設備も比較的小さく、接触子の確認、グリス塗布、オイルダンパ

一寸法測定、作業の後半には開閉試験も含まれ、作業の内容が多岐にわたっていることから作業対象のイメージがしにくいものとした。

## (2) 作業ステップ

作業および点検ステップは、以下のとおりとした。

### a. 作業対象のイメージがしやすいもの：

[機械設備] 小型横型ポンプ

- ①ケーシングカバー取付け
- ②羽根車取付け
- ③羽根車締付け（回り止め）固定

### b. 作業対象のイメージがしにくいもの：

[電気設備] 真空遮断器

- ①外観点検（1次・2次接触子確認、グリス塗布）
- ②操作機構部点検（マイクロスイッチ動作確認）
- ③操作機構部点検（オイルダンパー寸法測定）
- ④開閉試験（開閉操作確認）
- ⑤開閉試験（引出し機構・インターロック機構確認）
- ⑥主回路部確認（開極寸法確認）

## (3) 作業手順書の試作

作業手順書の試作にあたっては、第7章で作成した作業手順書のチェックシートに基づき、原子力発電所の保守作業の熟練者2人からの助言を得ながら、実際の作業現場で使用されることを想定し、6種類の作業手順書を試作した。各作業手順書の特徴を表8.1に示す。

表 8.1 作業手順書の特徴

作業手順書	特徴
Y-1	1ステップ/枚+先ステップ表記
Y-2	1ステップ/枚+前・先ステップ表記
Y-3	2ステップ/枚+備考
Y-4	2ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント
Y-5	3ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント
Y-6	3ステップ/枚

作業手順書の設計の基本原則については、以下のように反映した。

基本原則(1)については、保守作業者の「作業のイメージ化」を支援する観点で文章と写真・図を組み合わせ提供することとした。具体的な写真および図については保守作業の熟練者の助言により選定した。今回試作した作業手順書(Y-1～Y-6)は、すべて文章と写真・図を組み合わせたものである。

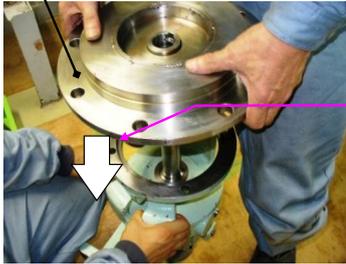
基本原則(2)については、保守作業者の「予測」を支援する観点で次作業ステップ情報を提示することとした。次作業ステップ情報の提示方法の選択肢としては、紙ベースの作業手順書の制約から多くとも1枚の作業手順書には3ステップが現実的であると思われるため、最大の記載ステップ数は3とした(Y-5, Y-6)。1ステップの情報量が多い場合は、1枚の作業手順書には1ステップのみとし、先ステップの項目のみを表記するもの(Y-1)と、前・先ステップの項目のみを表記するもの(Y-2)とした。作業内容によっては、前ステップの情報があった方が作業の流れが良くなると思ったことによる。また1枚の作業手順書に2ステップ記載したもの(Y-3, Y-4)も試作した。

基本原則(3)については、保守作業者の「解釈」を支援する観点で作業対象のイメージのしやすさに応じて説明や強調方法の程度を配慮することと

した。具体的には、備考、注意点および安全対策ポイントなどの注意すべき欄を設けないもの(Y-1, Y-2, Y-6)、備考欄を設けたもの(Y-3)、および注意点と安全対策ポイント欄を設けたもの(Y-4, Y-5)とした。この欄を設けることによってこの欄の記載情報が強調されたと同じ効果を持つことを期待した。またすべての作業手順書には、作業内容および情報量を勘案して、太字、下線、色付き文字、強調マーク、吹き出し、枠囲いの強調を施した。これらの強調方法は、作業対象のイメージのしやすさと関連があると思われるので、作業対象はイメージがしやすいものと、イメージがしにくいものの2種類を試作した。

作業対象のイメージがしやすいものの作業手順書を図 8.1～図 8.6 に、作業対象のイメージがしにくいものの作業手順書を図 8.7～図 8.12 に示す。

作業手順書 Y-1  
 機器名:小型横型ポンプ

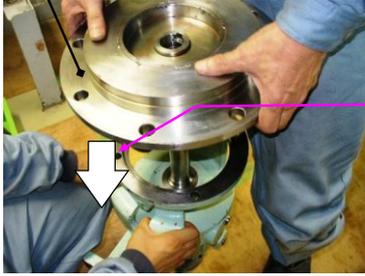
作業手順および注意事項		
<p>2. ケーシングカバー取付け</p> <p>(1)ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。</p>  <p>ケーシングカバー④</p> <p>&lt;品質ポイント&gt;            ・フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。            (偏心組込み防止)</p> <p><b>!</b> ・冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p> <p>&lt;安全ポイント&gt;  <b>+</b> ・重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げること。また、指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。</p> <p>・ケーシングカバー取付け時、軸受け箱本体が転倒しないよう介添え者が確実に支えること。</p>		
確認区分	次のステップ	作業手順
○○ ○○		2. (2)メカニカルシールカバー取付け

- 【A-4】  
写真+部品説明指示  
(線矢印)
- 【A-2】  
状況写真
- 【A-5】  
写真+動作説明指示  
(ブロック矢印)
- 【B-1】  
太字
- 【B-2】  
下線
- 【C-1】  
強調マーク

[確認区分の表示]◎: 作業中に同時立会 ○: 作業完了後の立会 △: 作業記録(含検査記録)の確認 /: 該当なし  
 [点検結果の表示]レ: 異常なし ▲: 異常あり /: 該当なし

図 8.1 作業手順書 Y-1  
 (作業対象のイメージがしやすいもの)

作業手順書 Y-2  
 機器名:小型横型ポンプ

一つ前のステップ	作業手順
	1. (2)メカニカルシール スリーブ差し込み
作業手順および注意事項	
<p>2. ケーシングカバー取付け</p> <p>(1)ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>&lt;品質ポイント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。 (偏芯組込み防止)</li> </ul> <p><b>!</b> ・冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p> <p>&lt;安全ポイント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>+</b> ・重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げること。また、指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。</li> <li>・ケーシングカバー取付け時、軸受け箱本体が転倒しないよう介添え者が確実に支えること。</li> </ul>	
確認区分	次のステップ   作業手順
○○   ○○	2. (2)メカニカルシールカバー取付け

【A-4】  
 写真+部品説明指示  
 (線矢印)

【A-2】  
 状況写真

【A-5】  
 写真+動作説明指示  
 (ブロック矢印)

【B-1】  
 太字

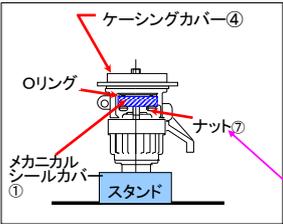
【B-2】  
 下線

【C-1】  
 強調マーク

[確認区分の表示]◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
 [点検結果の表示]レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 8.2 作業手順書 Y-2  
 (作業対象のイメージがしやすいもの)

作業手順書 Y-3  
機器名:小型横型ポンプ

作業手順および注意事項	備考	確認区分		
		○	○	
<b>2. ケーシングカバー取付け</b> (1) ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。  <p>ケーシングカバー④</p> <p>&lt;品質ポイント&gt;            ⚠️ フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。(偏芯組込み防止)            ⚠️ 冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p> <p>&lt;安全ポイント&gt;            + 重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げる。また、指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。</p>				【A-4】 写真+部品説明指示 (線矢印) 【A-2】 状況写真 【A-5】 写真+動作説明指示 (ブロック矢印)
(2) メカニカルシールカバー①をケーシングカバー④にゆっくり押し当て、ナット⑦(4個)にて軽く手締め固定する。  <p>ケーシングカバー④</p> <p>ナット⑦</p> <p>メカニカルシールカバー①</p> <p>スタンド</p> <p>&lt;品質ポイント&gt;            ・Oリング挟みによる漏洩を発生させないよう全周を目視にて確認する。(ライト使用)            ・冷却水の通り穴位置がずれないようフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p>				【C-1】 強調マーク 【B-1】 太字 【B-2】 下線 【A-7】 機器形状図 【A-9】 図形+部品説明指示 (線矢印)

[確認区分の表示]◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
[点検結果の表示]レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 8.3 作業手順書 Y-3  
(作業対象のイメージがしやすいもの)

作業手順書 Y-4  
機器名:小型横型ポンプ

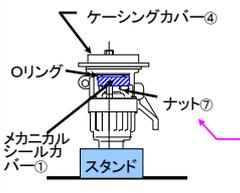
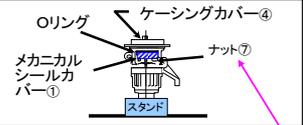
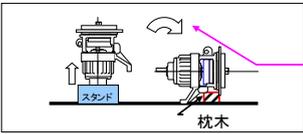
作業手順	注意点	安全対策ポイント	確認区分		
			○	○	
<b>2. ケーシングカバー取付け</b> (1) ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。  <p>ケーシングカバー④</p> <p>&lt;品質ポイント&gt;            ⚠️ フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。(偏芯組込み防止)            ⚠️ 冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p> <p>&lt;安全ポイント&gt;            + 重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げる。また、指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。</p>		+ 重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げる。また、指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。			【A-4】 写真+部品説明指示 (線矢印) 【C-1】 強調マーク 【A-5】 写真+動作説明指示 (ブロック矢印) 【A-2】 状況写真
(2) メカニカルシールカバー①をケーシングカバー④にゆっくり押し当て、ナット⑦(4個)にて軽く手締め固定する。  <p>ケーシングカバー④</p> <p>ナット⑦</p> <p>メカニカルシールカバー①</p> <p>スタンド</p> <p>・Oリング挟みによる漏洩を発生させないよう全周を目視にて確認する。(ライト使用)            ・冷却水の通り穴位置がずれないようフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p>					【B-1】 太字 【B-2】 下線 【A-7】 機器形状図 【A-9】 図形+部品説明指示 (線矢印)

図 8.4 作業手順書 Y-4  
(作業対象のイメージがしやすいもの)

作業手順書 Y-5  
 機器名: 小型模型ポンプ

作業手順	注意点	安全対策ポイント	確認区分	
			〇〇	〇〇
2. ケーシングカバー取付け (1) ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。 (偏芯組込み防止)</li> <li>・冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げること。</li> <li>・指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。</li> </ul>		
(2) メカニカルシールカバー①をケーシングカバー④にゆっくり押し当て、ナット⑦(4個)にて軽く手締め固定する。 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>Oリング挟みによる漏洩を発生させないよう全周を目視にて確認する。(ライト使用)</b></li> <li>・冷却水の通り穴位置がずれないようフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</li> </ul>			
(3) 組立品を横転させ、枕木を使用し水平に置く。 		<ul style="list-style-type: none"> <li>・重量物のため事前に枕木をセットし、二人作業で横転させること。</li> </ul>		

[確認区分の表示] ◎: 作業中に同時立会 ○: 作業完了後の立会 △: 作業記録(含検査記録)の確認 /: 該当なし  
 [点検結果の表示] し: 異常なし ▲: 異常あり /: 該当なし

- 【A-4】  
写真+部品説明指示  
(線矢印)
- 【C-1】  
強調マーク
- 【A-2】  
状況写真
- 【A-5】  
写真+動作説明指示  
(ブロック矢印)
- 【B-1】  
太字
- 【B-2】  
下線
- 【A-9】  
図+部品説明指示  
(線矢印)
- 【A-10】  
図形+動作説明指示  
(ブロック矢印)
- 【A-7】  
機器形状図

図 8.5 作業手順書 Y-5  
 (作業対象のイメージがしやすいもの)

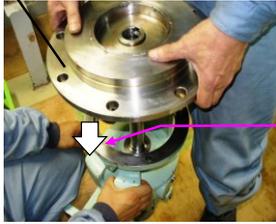
作業手順書 Y-6  
 機器名: 小型横型ポンプ

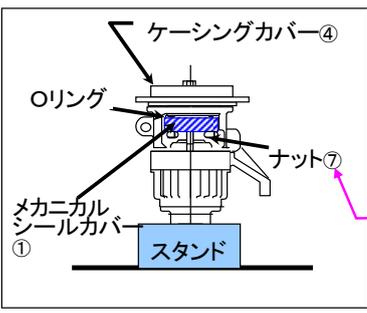
### 作業手順および注意事項

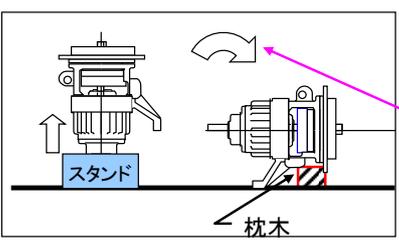
**2. ケーシングカバー取付け**

**<品質ポイント>**

(1) ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取り付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。







**<品質ポイント>**

- ・フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。(偏芯組込み防止)
- ・冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。

**<安全ポイント>**

- ・重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げること。また、指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。

**<品質ポイント>**

- ・**リング挟みによる漏洩を発生させないように全周を目視にて確認する。(ライト使用)**
- ・**冷却水の通り穴位置がずれないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。**

**<安全ポイント>**

- ・重量物のため事前に枕木をセットし、二人作業で横転させること。

確認区分	
○ ○	○ ○

確認区分	
○ ○	○ ○

確認区分	
○ ○	○ ○

【A-4】  
 写真+部品説明指示  
 (線矢印)

【A-2】  
 状況写真

【C-1】  
 強調マーク

【A-5】  
 写真+動作説明指示  
 (ブロック矢印)

【B-1】  
 太字

【B-2】  
 下線

【A-9】  
 図形+部品説明指示  
 (線矢印)

【A-7】  
 機器形状図

【B-3】  
 色付き文字

【A-10】  
 図形+動作説明指示  
 (ブロック矢印)

[確認区分の表示] ◎: 作業中に同時立会 ○: 作業完了後の立会 △: 作業記録(含検査記録)の確認 /: 該当なし  
 [点検結果の表示] レ: 異常なし ▲: 異常あり /: 該当なし

図 8.6 作業手順書 Y-6  
 (作業対象のイメージがしやすいもの)

**作業手順および注意事項**

**2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認)**

バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。

<ワイプ量規定値>  
 バネ蓄勢時-バネ放勢時=1mm以上

**<安全ポイント>**

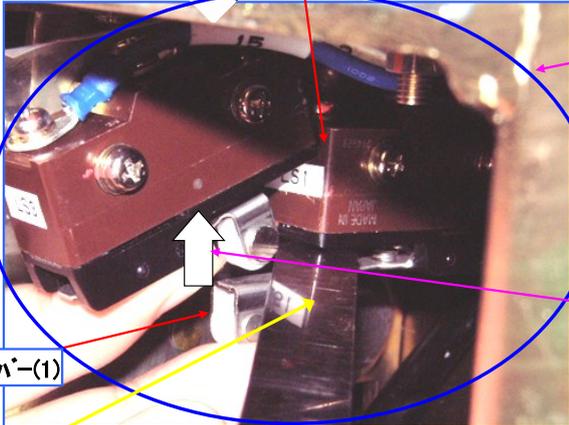
⊕  
 ・しゃ断器蓄勢状態でしゃ断器から離れないこと。

確認区分	次のステップ	作業手順
○ ○ ○ ○		3. 操作機構部点検 (オイルダンパー寸法測定)

[確認区分の表示] ◎: 作業中に同時立会 ○: 作業完了後の立会 △: 作業記録(含検査記録)の確認 /: 該当なし  
 [点検結果の表示] ♪: 異常なし ▲: 異常あり /: 該当なし

図 8.7 作業手順書 Y-1  
 (作業対象のイメージがしにくいもの)

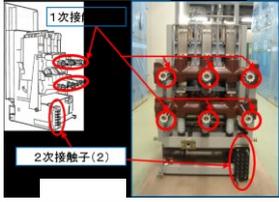
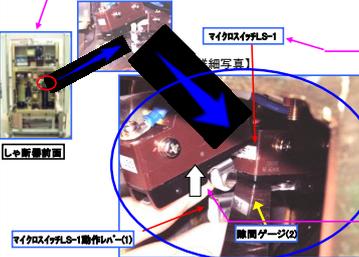
作業手順書 Y-2  
 機器名:真空遮断器

1つ前のステップ	作業手順	
	1. 外観点検 (1次・2次接触子確認・グリス塗布)	
作業手順および注意事項		
<p>2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認)</p> <p>バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>しゃ断器前面</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>【詳細写真】</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>マイクロスイッチ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>マイクロスイッチLS-1動作レバー(1)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>隙間ゲージ(2)</p> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px; width: fit-content;"> <p>&lt;ワイプ量規定値&gt;        バネ蓄勢時—バネ放勢時=1mm以上</p> </div> <p style="margin-top: 10px;">&lt;安全ポイント&gt;</p> <p> ・しゃ断器蓄勢状態でしゃ断器から離れないこと。</p>		
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">【A-2】 状況写真</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">【A-4】 写真+部品説明指示 (線矢印)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">【A-3】 詳細説明写真</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">【A-5】 写真+動作説明指示 (ブロック矢印)</div>
確認区分	次のステップ	作業手順
○○ ○○		3. 操作機構部点検 (オイルダンパー寸法測定)

[確認区分の表示]◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
 [点検結果の表示]レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 8.8 作業手順書 Y-2  
 (作業対象のイメージがしにくいもの)

作業手順書 Y-3  
機器名:真空遮断器

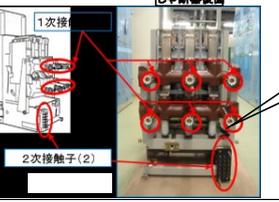
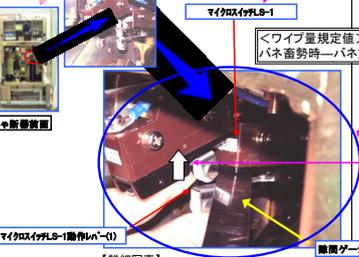
作業手順および注意事項	備考	確認区分
<p>1. 外観点検 (1次・2次接触子確認・グリス塗布) 1次接触子(1)・2次接触子(2)の古いグリスをアルコールを浸み込ましたウエスで拭取り、外観点検を行う。</p>  <p>1次接触子 2次接触子(2)</p> <p>しゃ断器後面</p> <p><b>&lt;品質ポイント&gt;</b>   接触子接触部に、変形・破損がないか確認すること。            ・板バネに変形のないか確認すること。</p> <p><b>&lt;安全ポイント&gt;</b>   ・アルコール使用時は、有機溶剤用マスクを着用すること。</p>		○ ○ ○ ○
<p>2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認) バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。</p>  <p>しゃ断器後面</p> <p>マイクロスイッチLS-1</p> <p>動作レバー(1)</p> <p>隙間ゲージ(2)</p> <p>【詳細写真】</p> <p><b>&lt;ワイプ量規定値&gt;</b> バネ蓄勢時—バネ放勢時=1mm以上</p> <p><b>&lt;安全ポイント&gt;</b>   ・しゃ断器蓄勢状態でしゃ断器から離れないこと。</p>		

- 【A-2】 状況写真
- 【A-4】 写真+部品説明指示 (線矢印)
- 【A-3】 詳細説明写真
- 【A-5】 写真+動作説明指示 (ブロック矢印)

【確認区分の表示】◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
 【点検結果の表示】レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 8.9 作業手順書 Y-3  
(作業対象のイメージがしにくいもの)

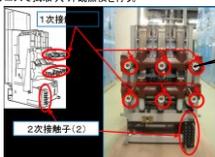
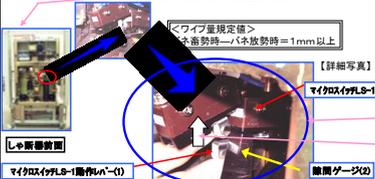
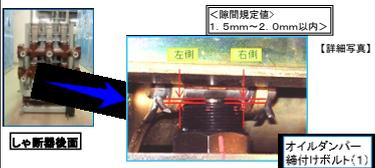
作業手順書 Y-4  
機器名:真空遮断器

作業手順	注意点	安全対策ポイント	確認区分
<p>1. 外観点検 (1次・2次接触子確認・グリス塗布) 1次接触子(1)・2次接触子(2)の古いグリスをアルコールを浸み込ましたウエスで拭取り、外観点検を行う。</p>  <p>1次接触子 2次接触子(2)</p> <p>しゃ断器後面</p> <p><b>&lt;品質ポイント&gt;</b>   接触子接触部に、変形・破損がないか確認すること。            ・板バネに変形のないか確認すること。</p> <p><b>&lt;安全対策ポイント&gt;</b>   ・アルコール使用時は、有機溶剤用マスクを着用すること。</p>			○ ○ ○ ○
<p>2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認) バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。</p>  <p>しゃ断器後面</p> <p>マイクロスイッチLS-1</p> <p>動作レバー(1)</p> <p>隙間ゲージ(2)</p> <p>【詳細写真】</p> <p><b>&lt;ワイプ量規定値&gt;</b> バネ蓄勢時—バネ放勢時=1mm以上</p> <p><b>&lt;安全対策ポイント&gt;</b>   ・しゃ断器蓄勢状態でしゃ断器から離れないこと。</p>			

- 【C-2】 吹き出し
- 【A-2】 状況写真
- 【A-4】 写真+部品説明指示 (線矢印)
- 【A-3】 詳細説明写真
- 【A-5】 写真+動作説明指示 (ブロック矢印)

【確認区分の表示】◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
 【点検結果の表示】レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 8.10 作業手順書 Y-4  
(作業対象のイメージがしにくいもの)

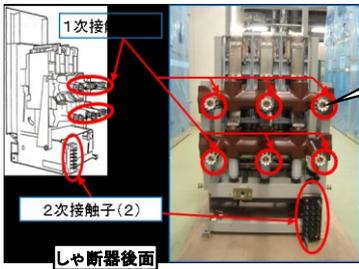
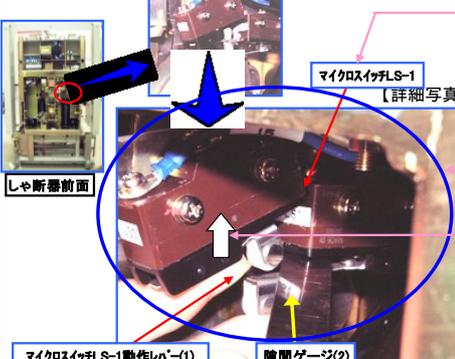
作業手順	注意点	安全対策ポイント	確認区分			
			○	○	○	○
<p>1. 外観点検 (1次・2次接点確認・グリス塗布) 1次接点(1)・2次接点(2)の古いグリスをアルコールを浸み込ませたウエスで拭取り、外観点検を行う。</p> 	<p>⚠ 接点接触部に、変形・破損がないか確認すること。 ・板バネに変形のないか確認すること。</p>	<p>⊕ アルコール使用時は、有機溶剤用マスクを着用すること。</p>				
<p>2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認) バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。</p> 	<p>⚠ シャ断器蓄勢状態でシャ断器から離れないこと。</p>					
<p>3. 操作機構部点検 (オイルダンパー寸法測定) オイルダンパー締付けボルト(1)上部の左右の隙間を、ノギスで測定する。</p> 		<p>⊕ 周囲の金属エッジ部で手を切削しないよう手元照明を設けること。</p>				

[確認区分の表示] ◎: 作業中に同時立会 ○: 作業完了後の立会 △: 作業記録(含検査記録)の確認 /: 該当なし  
[点検結果の表示] レ: 異常なし ▲: 異常あり /: 該当なし

- 【C-2】吹き出し
- 【A-2】状況写真
- 【A-4】写真+部品説明指示(線矢印)
- 【A-3】詳細説明写真
- 【A-5】写真+動作説明指示(ブロック矢印)
- 【C-1】強調マーク

図 8.11 作業手順書 Y-5

(作業対象のイメージがしにくいもの)

作業手順および注意事項							
<p><b>1. 外観点検 (1次・2次接触子確認・グリス塗布)</b></p> <p>1次接触子(1)・2次接触子(2)の古いグリスをアルコールを浸み込ませたウェスで拭取り、外観点検を行う。</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p><b>&lt;品質ポイント&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・接触子接触部に、変形・破損がないか確認すること。</li> <li>・板バネに変形のないか確認すること。</li> </ul> </div> </div> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">確認区分</th></tr> <tr><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">○</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">○</td></tr> </table>	確認区分		○	○	○	○	<p>【C-2】吹き出し</p> <p>【B-3】色付き文字</p> <p>【A-2】状況写真</p>
確認区分							
○	○						
○	○						
<p><b>2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認)</b></p> <p>バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p><b>&lt;安全ポイント&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・しゃ断器蓄勢状態でしゃ断器から離れないこと。</li> </ul> </div> </div> <p><b>&lt;ワイプ量規定値&gt;</b> バネ蓄勢時-バネ放勢時=1mm以上</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">確認区分</th></tr> <tr><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">○</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">○</td></tr> </table>	確認区分		○	○	○	○	<p>【B-2】下線</p> <p>【A-4】写真+部品説明指示 (線矢印)</p> <p>【A-3】詳細説明写真</p> <p>【A-5】写真+動作説明指示 (ブロック矢印)</p>
確認区分							
○	○						
○	○						
<p><b>3. 操作機構部点検 (オイルダンパー寸法測定)</b></p> <p>オイルダンパー締付けボルト(1)上部の左右の隙間を、ノギスで測定する。</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p><b>&lt;安全ポイント&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・周囲の金属エッジ部で手を切創しないよう手元照明を設けること。</li> </ul> </div> </div> <p><b>&lt;隙間規定値&gt;</b> 1.5mm~2.0mm以内</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">確認区分</th></tr> <tr><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">○</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">○</td></tr> </table>	確認区分		○	○	○	○	<p>【C-1】強調マーク</p> <p>【C-3】枠囲い</p>
確認区分							
○	○						
○	○						

[確認区分の表示]◎: 作業中に同時立会 ○: 作業完了後の立会 △: 作業記録(含検査記録)の確認 /: 該当なし  
[点検結果の表示]レ: 異常なし ▲: 異常あり /: 該当なし

図 8.12 作業手順書 Y-6  
(作業対象のイメージがしにくいもの)

### 8.3.3 調査内容

#### (1) 調査方法

アンケート調査は、回答者への負担や回答に要する時間を考慮し、選択肢方式とした。アンケート調査の回答用紙を図 8.13 に示す。Y 群が次作業ステップ情報の提示方法に関する様式例を示しており、この中から回答者がより望ましいと思う作業手順書を一つ選ぶことを求めた。その後、選択した作業手順書に対して、A 群（写真・図の提示方法）からは 3 項目、B 群および C 群（情報の強調方法）からはそれぞれ 1 項目を選択させた。

また回答者がわかりやすいように、試作した作業手順書には識別記号 Y-○などを記載した。写真・図の提示方法（A 群）および情報の強調方法（B・C 群）の識別記号を表 8.2 に示す。

## 作業手順書 アンケート

現場作業用

項目	特性要素	識別記号	選択 チェック		
Y	次作業ステップ情報の 提示方法	1ステップ/枚+先ステップ表記	Y-1	<input type="checkbox"/>	Y群の中から様式を一つ 選択してください。
		1ステップ/枚+前・先ステップ表記	Y-2	<input type="checkbox"/>	
		2ステップ/枚+備考	Y-3	<input type="checkbox"/>	
		2ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント	Y-4	<input type="checkbox"/>	
		3ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント	Y-5	<input type="checkbox"/>	
		3ステップ/枚	Y-6	<input type="checkbox"/>	
◆上欄で選択した様式の手順書を基に、以下の特性要素を選んでください。					
A	写真・図の 提示方法	写真なし	A-1	<input type="checkbox"/>	A群の中から特性要素を 3項目選択してください。
		状況写真	A-2	<input type="checkbox"/>	
		詳細説明写真	A-3	<input type="checkbox"/>	
		写真+部品説明指示(線矢印)	A-4	<input type="checkbox"/>	
		写真+動作説明指示(ブロック矢印)	A-5	<input type="checkbox"/>	
		機器形状図なし	A-6	<input type="checkbox"/>	
		機器形状図	A-7	<input type="checkbox"/>	
		詳細説明図	A-8	<input type="checkbox"/>	
		図形+部品説明指示(線矢印)	A-9	<input type="checkbox"/>	
		図形+動作説明指示(ブロック矢印)	A-10	<input type="checkbox"/>	
B	情報の強調方法 (文字の装飾)	太字	B-1	<input type="checkbox"/>	B群の中から特性要素を 1項目選択してください。
		下線	B-2	<input type="checkbox"/>	
		色付き文字	B-3	<input type="checkbox"/>	
C	情報の強調方法 (強調マーク・外枠)	強調マーク	C-1	<input type="checkbox"/>	C群の中から特性要素を 1項目選択してください。
		吹き出し	C-2	<input type="checkbox"/>	
		枠囲い	C-3	<input type="checkbox"/>	

図 8.13 アンケート調査回答用紙

表 8.2 写真・図の提示方法および情報の強調方法の識別記号一覧

識別記号	特性要素	説明
A-1	写真なし	—
A-2	状況写真	装置全体や作業状況の写真
A-3	詳細説明写真	関連部品の写真
A-4	写真＋部品説明指示(線矢印)	写真と線矢印にて関連部品名を示す
A-5	写真＋動作説明指示(ブロック矢印)	写真とブロック矢印にて移動や部分的拡大の様子を示す
A-6	機器形状図なし	—
A-7	機器形状図	図解のための形状図
A-8	詳細説明図	細部についての説明図
A-9	図形＋部品説明指示(線矢印)	図形と線矢印にて関連部品名を示す
A-10	図形＋動作説明指示(ブロック矢印)	図形とブロック矢印にて移動や部分的拡大の様子を示す
B-1	太字	太字にて作業上の注意事項などを示す
B-2	下線	下線にて作業上の注意事項などを示す
B-3	色付き文字	注意事項の記述に色付き文字を使用
C-1	強調マーク	⚠、➕ など
C-2	吹き出し	 内への記載にて注意を喚起
C-3	枠囲い	 内への記載にて注意を喚起

## (2) 調査対象者

アンケート調査回答用紙と各作業手順書様式をインストールしたエクセルデータを調査対象者に配布した。機械設備の熟練者および初級者 20 人には小型横型ポンプについて、電気設備の熟練者および初級者 20 人には真空遮断器について回答を求めた。その内訳は、以下のとおりである。

### a. 作業対象のイメージがしやすいもの：機械設備

- ・ 機械設備の熟練者（経験年数 10 年程度以上）： 15 人
- ・ 機械設備の初級者（経験年数 2～3 年）： 5 人

### b. 作業対象のイメージがしにくいもの：電気設備

- ・ 電気設備の熟練者（経験年数 10 年程度以上）： 15 人
- ・ 電気設備の初級者（経験年数 2～3 年）： 5 人

## 8.4 調査結果

### (1) 調査結果

作業手順書に対するアンケート調査結果を表 8.3 に示す。同表の数値は、回答者の比率を示している。

表 8.3 写真・図、次作業ステップ情報の提示方法  
および情報の強調方法に関する調査結果

		(%)								
支援の種類	識別記号	特性要素	熟練者			初級者			合計	
			作業の イメージが しやすいもの	作業の イメージが しにくいもの	小計	作業の イメージが しやすいもの	作業の イメージが しにくいもの	小計		
「作業のイメージ化」の支援	写真・図の提示方法	A-1	写真なし	0	7	3	0	0	0	3
		A-2	状況写真	47	20	33	0	40	20	30
		A-3	詳細説明写真	27	40	33	40	20	30	33
		A-4	写真＋部品説明指示(線矢印)	53	60	57	60	80	70	60
		A-5	写真＋動作説明指示(ブロック矢印)	33	53	43	40	20	30	40
		A-6	機器形状図なし	0	7	3	0	0	0	3
		A-7	機器形状図	60	20	40	20	20	20	35
		A-8	詳細説明図	7	27	17	40	40	40	23
		A-9	図形＋部品説明指示(線矢印)	20	27	23	60	40	50	30
		A-10	図形＋動作説明指示(ブロック矢印)	53	40	47	40	40	40	45
「予測」の支援	次作業ステップ情報の提示方法	Y-1	1ステップ/枚＋先ステップ表記	0	0	0	0	0	0	0
		Y-2	1ステップ/枚＋前・先ステップ表記	7	13	10	0	20	10	10
		Y-3	2ステップ/枚＋備考	7	20	13	0	40	20	15
		Y-4	2ステップ/枚＋注意点＋安全対策ポイント	53	47	50	40	20	30	45
		Y-5	3ステップ/枚＋注意点＋安全対策ポイント	20	20	20	40	20	30	23
		Y-6	3ステップ/枚	13	0	7	20	0	10	8
「解釈」の支援	情報の強調方法 (文字の装飾)	B-1	太字	33	20	27	40	20	30	28
		B-2	下線	27	13	20	0	40	20	20
		B-3	色付き文字	40	67	53	60	40	50	53
	情報の強調方法 (強調マーク・外枠)	C-1	強調マーク	60	67	63	20	80	50	60
		C-2	吹き出し	33	7	20	80	20	50	28
		C-3	枠囲い	7	27	17	0	0	0	13

## (2) 考察

### a. 写真・図の提示方法

写真なし(A-1)および機器形状図なし(A-6)は、作業対象のイメージがしにくいものの熟練者1人が選択したのみであった。本アンケート調査結果においても、文章と写真・図を組み合わせた作業手順書がより望ましいと選択されている。本節では、これらの項目以外について考察する。

考察にあたっては熟練者と初級者において選択結果が異なることから、熟練者の比率を図 8.14(a)、初級者の比率を図 8.14(b)に示す。熟練者においては、作業対象のイメージがしやすいものは機器形状図(A-7)が最も多く選択されたが、イメージがしにくいものでは写真＋部品説明指示(線矢印)(A-4)が最も多く選択された。作業対象のイメージがしやすいものにおいて

も写真＋部品説明指示（線矢印）（A-4）は次に多く選択されているが、機器形状図（A-7）は作業対象のイメージがしにくいものでは選択者は少なかった。作業対象のイメージがしやすいものでは説明がない写真・図を望む傾向があるといえる。

一方、初級者においては、作業対象のイメージのしやすさの間の差は特に認められず、写真＋部品説明指示（線矢印）（A-4）が最も多く選択された。保守作業経験の浅い初級者にとっては、作業対象のイメージのしやすさの差が作業手順書の選択結果の差にまで表れなかったと考えられる。

次に熟練者と初級者との比較の視点では、作業対象のイメージがしやすいものにおいては、熟練者は機器形状図（A-7）が、初級者は写真＋部品説明指示（線矢印）（A-4）および図形＋部品説明指示（線矢印）（A-9）が最も多く選択された。これは、ラスムッセンのSRKモデル<sup>(54)</sup>において、熟練者はスキルベースで行動するため、特徴抽出から自動的な感覚－動作パターンにつながるため、機器形状図のような簡略な情報でも行動に結びつく。これに対して、初級者はナレッジベースで行動し、解釈から予測・評価へとつながるため、解釈に必要な具体的な情報が必要となることから説明できる。その説明図を図 8.15 に示す。

一方、作業対象のイメージがしにくいものにおいては、熟練者および初級者ともに写真＋部品説明指示（線矢印）（A-4）が最も多く選択され、両者間の差は認められなかった。

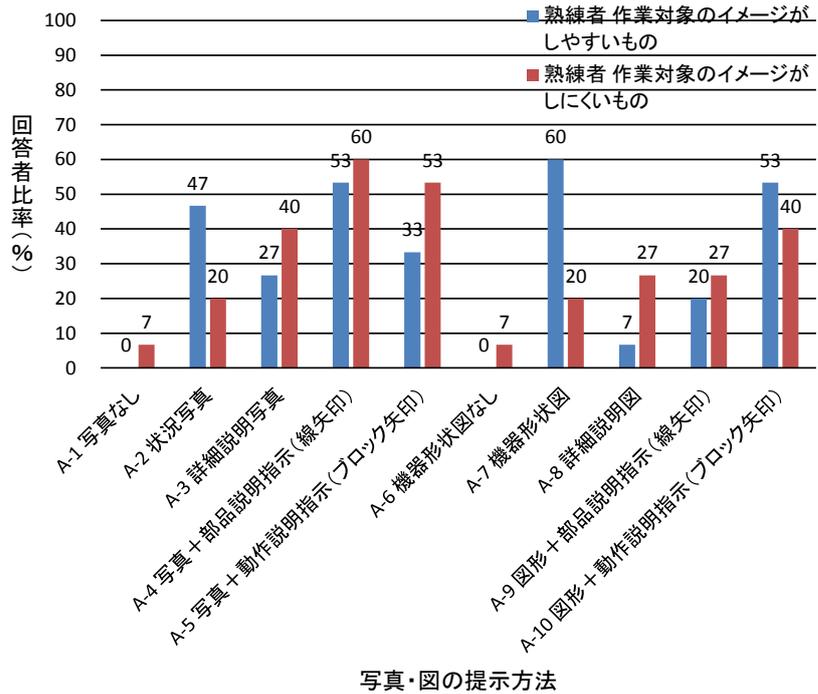


図 8.14(a) 写真・図の提示方法（熟練者）

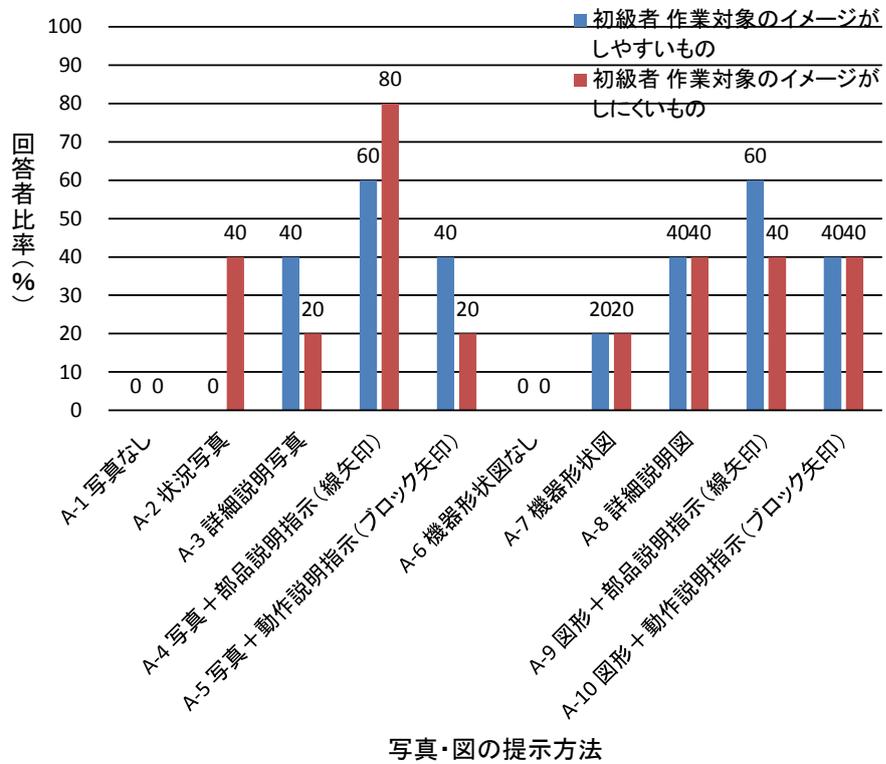


図 8.14(b) 写真・図の提示方法（初級者）



テップ／枚＋備考(Y-3)が最も多く選択された。またイメージがしにくいものは、1ステップ／枚＋前・先ステップ表記(Y-2)も選択されていることから、次作業ステップ情報よりも作業手順書1枚あたりの写真・図がより大きく、わかりやすく提示されているものを選択する傾向があるといえる。

次に熟練者と初級者との比較の視点では、作業対象のイメージがしやすいものにおいては、熟練者および初級者ともに2ステップ／枚＋注意点＋安全対策ポイント(Y-4)が最も多く選択され、両者間の差は特に認められなかった。

一方、作業対象のイメージがしにくいものにおいても、熟練者は2ステップ／枚＋注意点＋安全対策ポイント(Y-4)が、初級者は2ステップ／枚＋備考(Y-3)が最も多く選択され、両者ともに2ステップ／枚が選択され、その差は特に認められなかった。

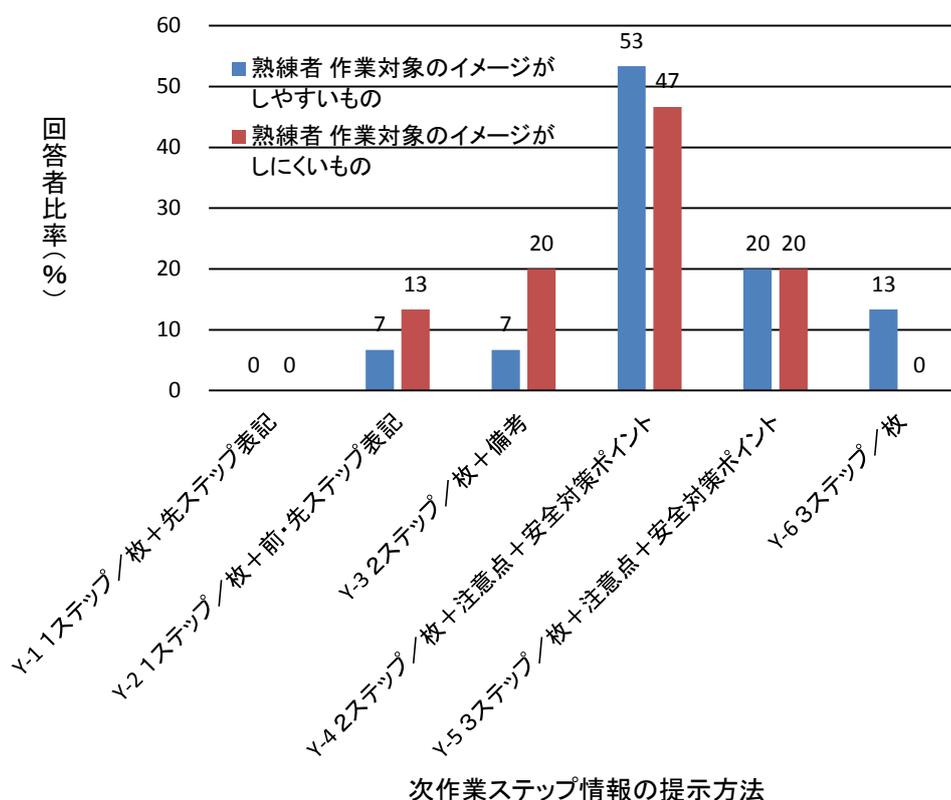


図 8.16(a) 次作業ステップ情報の提示方法 (熟練者)

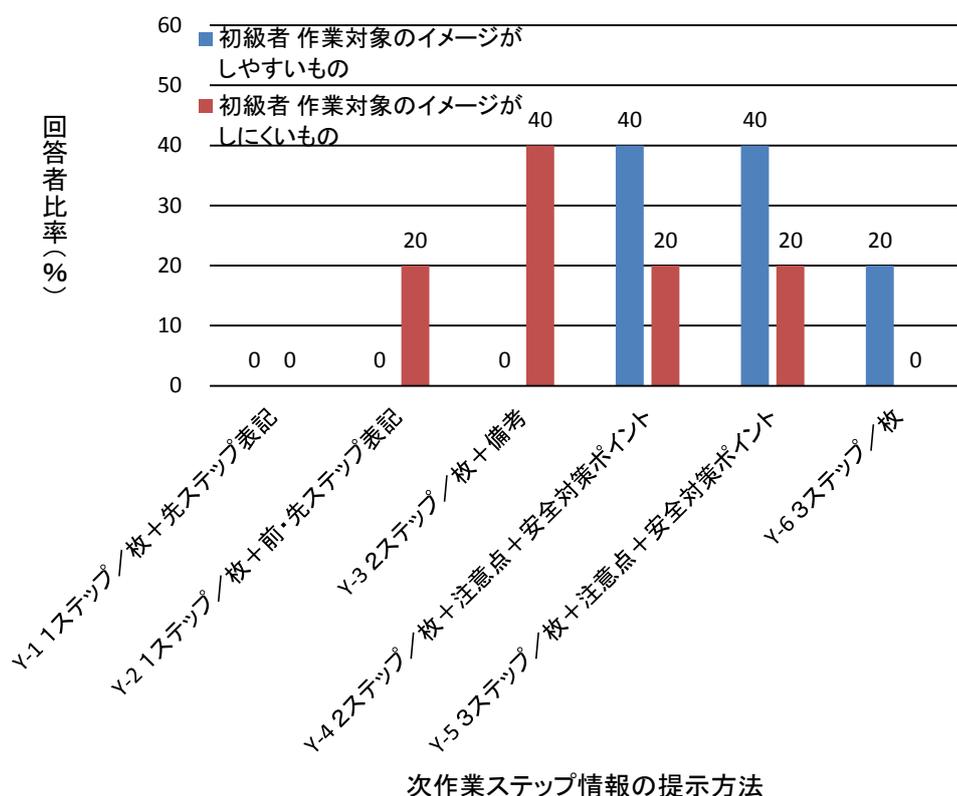


図 8.16(b) 次作業ステップ情報の提示方法（初級者）

c. 情報の強調方法

熟練者が情報の強調方法を選択した比率を図 8.17(a)、初級者の比率を図 8.17 (b)に示す。熟練者においては、作業対象のイメージがしやすいもの、およびイメージがしにくいものともに文字の装飾では色付き文字(B-3)が、強調マーク・外枠では強調マーク(C-1)が最も多く選択され、両者間の差は認められなかった。

一方、初級者においては、作業対象のイメージがしやすいものは文字の装飾では色付き文字(B-3)が、イメージがしにくいものは下線(B-2)と色付き文字(B-3)が最も多く選択され、両者間の差は特に認められなかった。強調マーク・外枠では作業対象のイメージがしやすいものは吹き出し(C-2)が、イメージがしにくいものでは強調マーク(C-1)が最も多く選択され、両

者間の差が認められた。

次に熟練者と初級者との比較の視点では、作業対象のイメージがしやすいものにおいては、熟練者は色付き文字(B-3)と強調マーク(C-1)が、初級者は色付き文字(B-3)と吹き出し(C-2)が最も多く選択され、強調マーク・外枠において両者間の差が認められた。

一方、作業対象のイメージがしにくいものにおいては、熟練者は色付き文字(B-3)と強調マーク(C-1)が、初級者は下線(B-2)、色付き文字(B-3)と強調マーク(C-1)が最も多く選択され、両者間の差は特に認められなかった。

ここでの調査結果は、最も多く選択された「色付き文字」と「強調マーク」だけを使えば良いということではなく、強調方法はいくつもあり、その強弱を勘案して、全体のバランスを考慮すべきである。また作業手順書の作成前に情報の強調方法の意味統一を図るため、標準化しておくことが望ましいと考える。

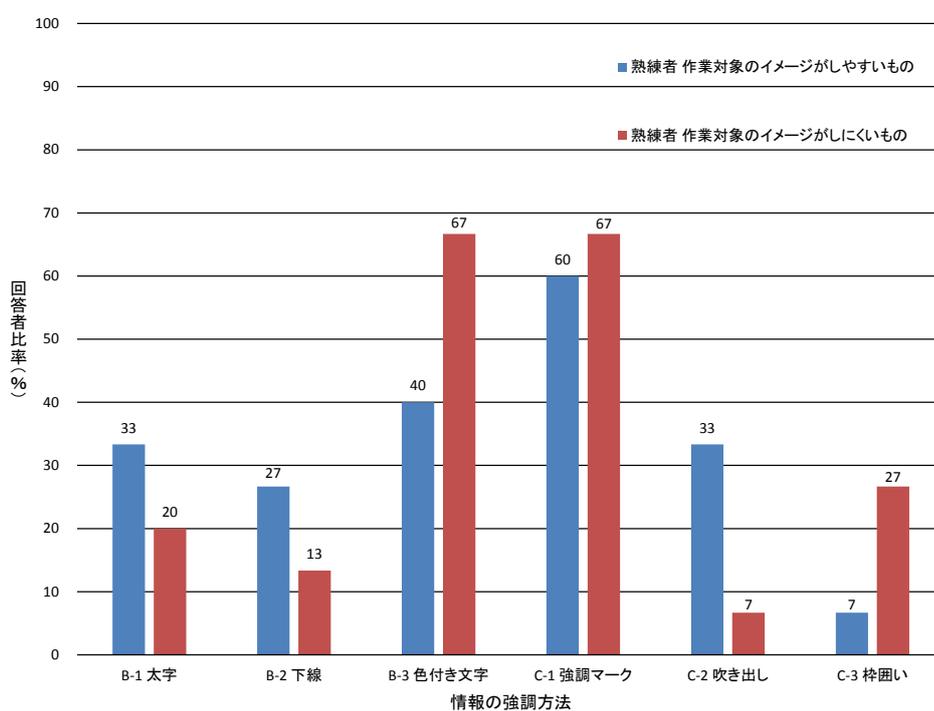


図 8.17(a) 情報の強調方法（熟練者）

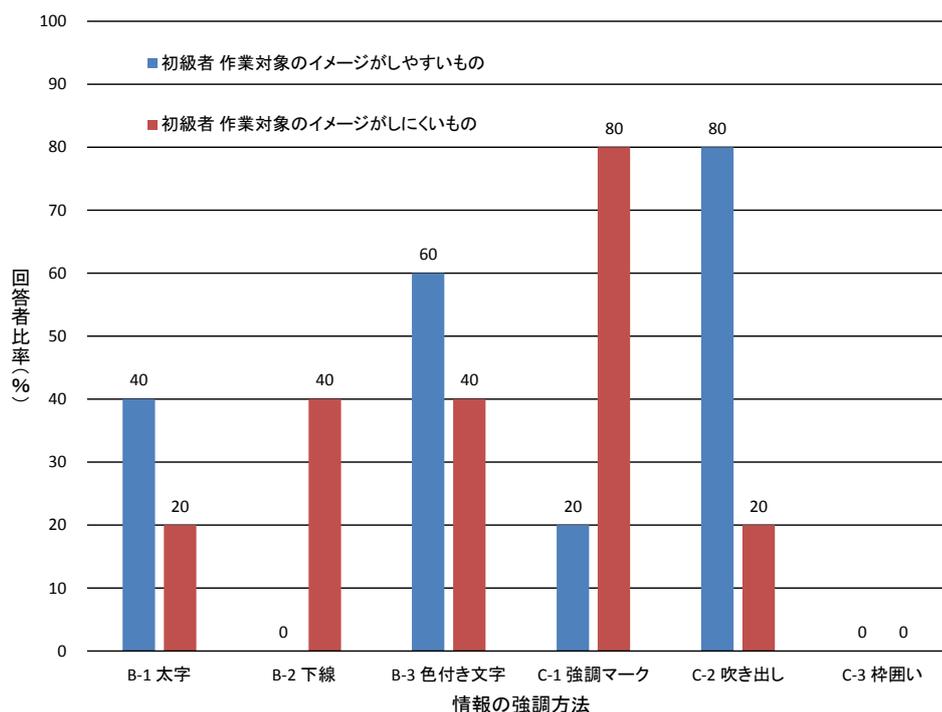


図 8.17(b) 情報の強調方法（初級者）

### (3) 調査結果のまとめ

本調査結果を表 8.4 にまとめる。写真・図の提示方法において、作業対象のイメージがしやすいものの熟練者は、説明なしの機器形状図を選択しており、イメージのしやすさの差が影響していると思われる。また次作業ステップ情報の提示方法において、作業対象のイメージがしにくいものの初級者は 1 枚の作業手順書の情報の少ないものを選択しており、こちらも作業対象のイメージのしやすさの差が影響して、写真・図がより大きく、わかりやすく提示されたものを選択したと考えられる。

実際の作業現場においては、作業内容、保守作業者の経験・スキルおよび作業環境など画一的なものはないので、その場に応じた作業手順書を作成していく必要がある。本アンケート調査結果は、今後、適正な表現形態を用いた作業手順書を作成していく上での参考となる知見となる。

表 8.4 アンケート調査結果のまとめ

支援の種類	保守作業者の経験、スキル	作業対象のイメージがしやすいもの	作業対象のイメージがしにくいもの	作業対象のイメージのしやすさによる差異
「作業のイメージ化」の支援 【写真・図の提示方法】	熟練者	・機器形状図(A-7)	・写真+部品説明指示(線矢印)(A-4)	・作業対象のイメージがしやすいものでは、説明なしのものを選択
	初級者	・写真+部品説明指示(線矢印)(A-4) ・図形+部品説明指示(線矢印)(A-9)	・写真+部品説明指示(線矢印)(A-4)	・なし
「予測」の支援 【次作業ステップ情報の提示方法】	熟練者	・2ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント(Y-4)	・2ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント(Y-4)	・なし
	初級者	・2ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント(Y-4) ・3ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント(Y-5)	・2ステップ/枚+備考(Y-3)	・作業対象のイメージがしにくいものでは、1枚の作業手順書の情報の少ないものを選択
「解釈」の支援 【情報の強調方法】	熟練者	・色付き文字(B-3) ・強調マーク(C-1)	・色付き文字(B-3) ・強調マーク(C-1)	・なし
	初級者	・色付き文字(B-3) ・吹き出し(C-2)	・下線(B-2) ・色付き文字(B-3) ・強調マーク(C-1)	・なし

## 8.5 本章のまとめと次章に向けて

本章では、保守作業者が選択したより望ましい作業手順書としては、2ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント(Y-4)を基本として、作業対象のイメージがしやすいものでは機器形状図(A-7)を、作業対象のイメージがしにくいものでは写真+部品説明指示(線矢印)(A-4)を使いながら、いくつかの情報の強調方法を組み合わせることを示した。

しかしながら、作業内容、保守作業者の経験・スキルおよび作業環境などは画一的なものはないので、その場に応じた最適な作業手順書を作成していく必要があり、本アンケート調査結果および熟練者の意見を参考にすることが重要と思われる。

次章では、適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針について検討し、提供する。

## 第9章 作業手順書を作成するための指針の検討

### 9.1 本章の目的

本章では、本研究成果のまとめとして、適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供することが目的である。

### 9.2 本章の流れ

先ず、指針の内容構成について検討する。次に、内容構成にしたがって指針としてまとめ、提供する。

### 9.3 指針の内容構成の検討

本章でいう指針は、こうしなければならないというものではなく、あくまでも目安を示すものである。したがって、実際に本指針にしたがって作業手順書を作成する際には各作業現場の実態を踏まえてより良いと思うものに見直していくことが重要である。

指針の内容構成については、一般的に刊行されている指針の様式を踏襲しながら、以下の項目にすることとした。

- (1) 序論
- (2) 本指針の適用範囲と位置付け
- (3) 用語の定義
- (4) 設計の基本原則
- (5) 本指針の使い方
- (6) 具体方策の例
- (7) 作業手順書のチェックシート
- (8) 作業手順書の作成例

### 9.4 指針の提供

本研究で得られた成果を、以下のとおり「適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針」としてまとめ、提供する。

## 「適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針」

### —現場作業編—

#### (1) 序論

原子力発電所のトラブル事例の分析によると、保守に係る要因が多くを占めており、また作業手順書の問題がそれらの背後要因となっていることが明らかになっている。そこで、この作業手順書の問題を解決するために、本指針を作成した。

原子力発電所には多種多様な設備があるため、個々の設備に対する固有の作業手順書を示すより、作業手順書を作成する際の基本となる考え方や具体的な作成方法をガイドラインとして示すことにした。

#### (2) 本指針の適用範囲と位置付け

本指針は、原子力発電所の設備を対象とした保守作業に適用する。ただし、本指針は必ずこうしなければならないということを示したのではなく、自主的な改善活動の中で活用し、各作業現場においてより良い作業手順書の作成に心がけてほしい。

#### (3) 用語の定義

本指針において使用している用語の定義は、以下に示すとおりである。

作業手順書：保守作業者が現場作業のために使用し、作業内容、注意事項、備考、確認欄などから構成された、保守作業者の安全と作業品質の維持を図るために作成された帳票のこと

保守作業：設備の故障の排除および設備を正常・良好な状態に保つ活動のうち、作業現場で実施する作業のこと

熟練者：作業対象の設備に対する保守作業の経験が10年程度以上あり、当該作業については熟知している保守作業者

初級者：作業対象の設備に対する保守作業の経験が数年程度であり、当該作業について実施できる保守作業者

#### (4) 設計の基本原則

適正な表現形態を用いた作業手順書を作成する際の設計の基本原則を以下に示す。この 3 つの基本原則に基づき作業手順書を設計、作成する。

- a. 文章と写真・図を組み合わせる（「作業のイメージ化」の支援）
- b. 次作業ステップ情報を提示する（「予測」の支援）
- c. 情報を強調する（「解釈」の支援）

#### (5) 本指針の使い方

本指針の使い方は、以下に示すステップ毎に検討を進めていくことを推奨する。

ステップ 1 : 作業手順書を作成する際には、作成者は設計の基本原則を作業手順書に反映することに留意する

ステップ 2 : 当該の保守作業に従事する保守作業者の経験、スキルに応じて、当該の作業対象のイメージがしやすいのか、しにくいのかを選択する

ステップ 3 : 当該の保守作業に従事する保守作業者が熟練者か、初級者かを選択する

ステップ 4 : 作業手順書を作成する。作成にあたっては、「各種支援の具体方策の例(表 9.1)」のうち、ステップ 2 とステップ 3 で選択した該当欄を参照する

ステップ 5 : 作成した作業手順書について、「作業手順書のチェックシート(表 9.4)」により、設計の基本原則が作業手順書に反映されているかを確認する。反映されていない場合は、ステップ 4 に戻り作業手順書の見直しを行う

ステップ 6 : 作成した作業手順書と、「作業手順書の作成例(図 9.2～図 9.13)」とを比較して、必要によりステップ 4 に戻り、作業手順書の見直しを行う

ステップ 7 : 作成した作業手順書に基づき、保守作業を実施する

ステップ 8 : 保守作業の完了後に、作成した作業手順書を「作業手順書の作成例」に登録する。保守作業の実施を通して、作業手順書の見直し点があった場合には、見直し後の作業手順書に登録する

以上のステップをフロー図としてまとめたものを図 9.1 に示す。

**【設計の基本原則】**

(1) 「作業のイメージ化」の支援: 文章と写真・図を組み合わせる  
 (2) 「予測」の支援: 次作業ステップ情報を提示する  
 (3) 「解釈」の支援: 情報を強調する

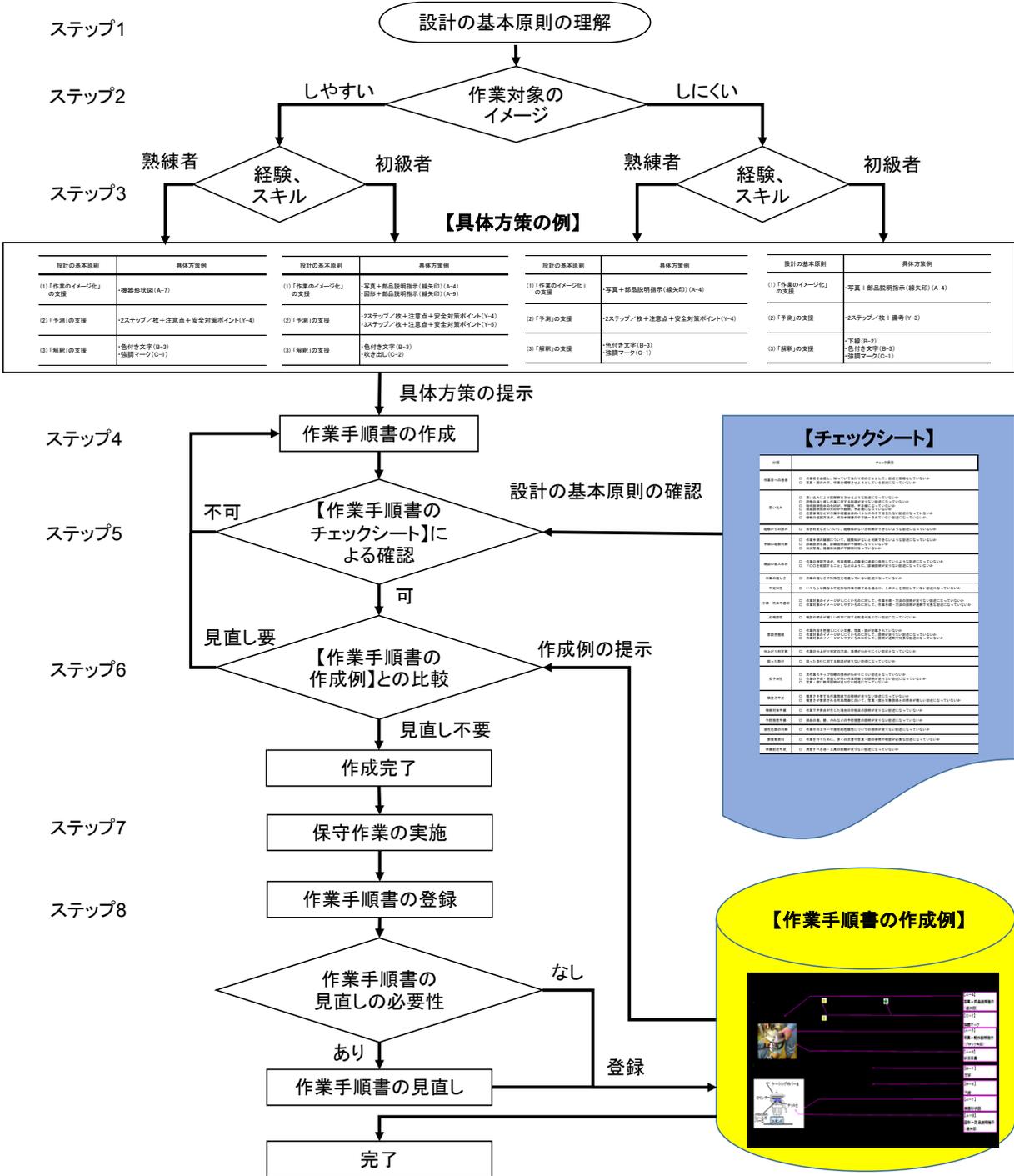


図 9.1 作業手順書の作成フロー図

(6) 具体方策の例

具体方策の例は、(5)項「本指針の使い方」のステップ4で参照することとし、表9.1に示す。同表中の括弧書きの識別記号の意味は、表9.2と表9.3に示す。

表 9.1 各種支援の具体方策の例

支援の種類	保守作業者の経験、スキル	作業対象のイメージがしやすいもの	作業対象のイメージがしにくいもの
「作業のイメージ化」の支援 【写真・図の提示方法】	熟練者	・機器形状図(A-7)	・写真+部品説明指示(線矢印)(A-4)
	初級者	・写真+部品説明指示(線矢印)(A-4) ・図形+部品説明指示(線矢印)(A-9)	・写真+部品説明指示(線矢印)(A-4)
「予測」の支援 【次作業ステップ情報の提示方法】	熟練者	・2ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント(Y-4)	・2ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント(Y-4)
	初級者	・2ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント(Y-4) ・3ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント(Y-5)	・2ステップ/枚+備考(Y-3)
「解釈」の支援 【情報の強調方法】	熟練者	・色付き文字(B-3) ・強調マーク(C-1)	・色付き文字(B-3) ・強調マーク(C-1)
	初級者	・色付き文字(B-3) ・吹き出し(C-2)	・下線(B-2) ・色付き文字(B-3) ・強調マーク(C-1)

表 9.2 作業手順書の特徴

識別記号	特徴
Y-1	1ステップ/枚+先ステップ表記
Y-2	1ステップ/枚+前・先ステップ表記
Y-3	2ステップ/枚+備考
Y-4	2ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント
Y-5	3ステップ/枚+注意点+安全対策ポイント
Y-6	3ステップ/枚

表 9.3 写真・図の提示方法および情報の強調方法の種別

識別記号	特性要素	説明
A-1	写真なし	—
A-2	状況写真	装置全体や作業状況の写真
A-3	詳細説明写真	関連部品の写真
A-4	写真+部品説明指示(線矢印)	写真と線矢印にて関連部品名を示す
A-5	写真+動作説明指示(ブロック矢印)	写真とブロック矢印にて移動や部分的拡大の様子を示す
A-6	機器形状図なし	—
A-7	機器形状図	図解のための形状図
A-8	詳細説明図	細部についての説明図
A-9	図形+部品説明指示(線矢印)	図形と線矢印にて関連部品名を示す
A-10	図形+動作説明指示(ブロック矢印)	図形とブロック矢印にて移動や部分的拡大の様子を示す
B-1	太字	太字にて作業上の注意事項などを示す
B-2	下線	下線にて作業上の注意事項などを示す
B-3	色付き文字	注意事項の記述に色付き文字を使用
C-1	強調マーク	▲、+ など
C-2	吹き出し	 内への記載にて注意を喚起
C-3	枠囲い	 内への記載にて注意を喚起

(7) 作業手順書のチェックシート

作業手順書のチェックシートは、(5)項「本指針の使い方」のステップ 5 で活用することとし、表 9.4 に示す。

表 9.4 作業手順書のチェックシート

分類	チェック項目
作業者への過信	<input type="checkbox"/> 作業者を過信し、知っていて当たり前のこととして、記述を簡略化していないか <input type="checkbox"/> 写真・図のみで、作業を理解させようとしている記述になっていないか
思い込み	<input type="checkbox"/> 思い込みにより誤解釈をさせるような記述になっていないか <input type="checkbox"/> 同種の繰り返し作業に対する配慮が足りない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 動作説明指示の矢印が、不鮮明、不正確になっていないか <input type="checkbox"/> 部品説明指示の矢印が、不鮮明、不正確になっていないか <input type="checkbox"/> 注意事項などが作業手順書全体のバランスの中で目立たない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 情報の強調方法が、作業手順書の中で統一されていない記述になっていないか
経験からの読み	<input type="checkbox"/> 合否判定などについて、経験知がないと判断できないような記述になっていないか
手順の経験判断	<input type="checkbox"/> 作業手順の細部について、経験知がないと判断できないような記述になっていないか <input type="checkbox"/> 詳細説明写真、詳細説明図が、不鮮明になっていないか <input type="checkbox"/> 状況写真、機器形状図が、不鮮明になっていないか
確認の個人依存	<input type="checkbox"/> 作業の確認方法が、作業者個人の裁量に過度に依存しているような記述になっていないか <input type="checkbox"/> 「〇〇を確認すること」などのように、詳細説明が足りない記述になっていないか
作業の難しさ	<input type="checkbox"/> 作業の難しさや特殊性を考慮していない記述になっていないか
不定形性	<input type="checkbox"/> いつもとは異なる不定形な作業手順である場合に、そのことを明記していない記述になっていないか
手順・方法不適切	<input type="checkbox"/> 作業対象のイメージがしにくいものに対して、作業手順・方法の説明が足りない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 作業対象のイメージがしやすいものに対して、作業手順・方法の説明が過剰で冗長な記述になっていないか
劣確認性	<input type="checkbox"/> 確認や照合が難しい作業に対する配慮が足りない記述になっていないか
意図把握難	<input type="checkbox"/> 作業内容を把握しにくい文章、写真・図が記載されていないか <input type="checkbox"/> 作業対象のイメージがしにくいものに対して、作業の目的の説明が足りない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 作業対象のイメージがしやすいものに対して、作業の目的の説明が過剰で冗長な記述になっていないか
仕上がり判定難	<input type="checkbox"/> 作業の仕上がり判定の方法、基準がわかりにくい記述となっていないか
誤った取付	<input type="checkbox"/> 誤った取付に対する配慮が足りない記述になっていないか
劣予測性	<input type="checkbox"/> 次作業ステップ情報の提示がわかりにくい記述となっていないか <input type="checkbox"/> 作業の予測・見通しが悪い作業局面での説明が足りない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 写真・図に動作説明が足りない記述になっていないか
慎重さ不足	<input type="checkbox"/> 慎重さを要する作業局面での説明が足りない記述になっていないか <input type="checkbox"/> 慎重さが要求される作業局面において、写真・図と対象設備との照合が難しい記述になっていないか
補修対策不備	<input type="checkbox"/> 作業で不具合が生じた場合の対処法の説明が足りない記述になっていないか
予防措置不備	<input type="checkbox"/> 部品の傷、錆、汚れなどの予防措置の説明が足りない記述になっていないか
潜在危険の判断	<input type="checkbox"/> 作業中のエラーや潜在的危険性についての説明が足りない記述になっていないか
要複数資料	<input type="checkbox"/> 作業を行うために、多くの文書、写真・図の参照や確認が必要な記述になっていないか
準備記述不足	<input type="checkbox"/> 用意すべき治工具類の記載が足りない記述になっていないか

(8) 作業手順書の作成例

作業手順書の作成例は、(5)項「本指針の使い方」のステップ6で活用することとし、図9.2～図9.13に示す。

作業手順書 Y-1  
 機器名: 小型横型ポンプ

作業手順および注意事項		
2. ケーシングカバー取付け		
(1) ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。		
<p>&lt;品質ポイント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。(偏芯組込み防止)</li> </ul> <p>⚠️ ・冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p> <p>&lt;安全ポイント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げること。また、指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。</li> <li>・ケーシングカバー取付け時、軸受け箱本体が転倒しないよう介添え者が確実に支えること。</li> </ul>		
確認区分	次のステップ	作業手順
○○ ○○		2. (2) メカニカルシールカバー取付け

【A-4】  
写真+部品説明指示  
(線矢印)

【A-2】  
状況写真

【A-5】  
写真+動作説明指示  
(ブロック矢印)

【B-1】  
太字

【B-2】  
下線

【C-1】  
強調マーク

[確認区分の表示] ◎: 作業中に同時立会 ○: 作業完了後の立会 △: 作業記録(含検査記録)の確認 /: 該当なし  
 [点検結果の表示] レ: 異常なし ▲: 異常あり /: 該当なし

図 9.2 Y-1 (作業対象のイメージがしやすいもの)

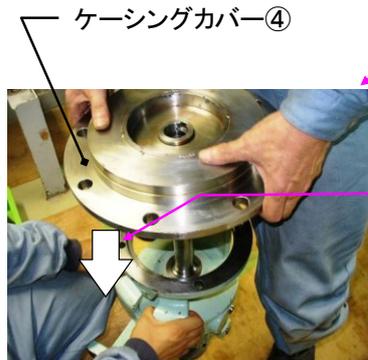
作業手順書 Y-2  
 機器名: 小型横型ポンプ

一つ前のステップ	作業手順
1. (2)メカニカルシール スリーブ差し込み	

作業手順および注意事項

2. ケーシングカバー取付け

(1) ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。



<品質ポイント>

・フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。  
 (偏芯組込み防止)

! ・冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。

<安全ポイント>

+ ・重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げること。また、指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。

・ケーシングカバー取付け時、軸受け箱本体が転倒しないよう介添え者が確実に支えること。

【A-4】  
 写真+部品説明指示  
 (線矢印)

【A-2】  
 状況写真

【A-5】  
 写真+動作説明指示  
 (ブロック矢印)

【B-1】  
 太字

【B-2】  
 下線

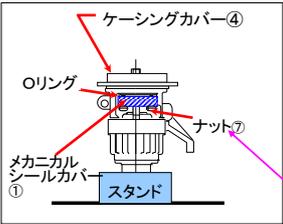
【C-1】  
 強調マーク

確認区分	次のステップ	作業手順
〇〇	〇〇	
		2. (2)メカニカルシールカバー取付け

[確認区分の表示] ◎: 作業中に同時立会 ○: 作業完了後の立会 △: 作業記録(含検査記録)の確認 /: 該当なし  
 [点検結果の表示] ♪: 異常なし ▲: 異常あり /: 該当なし

図 9.3 Y-2 (作業対象のイメージがしやすいもの)

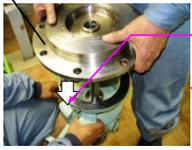
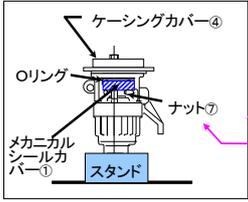
作業手順書 Y-3  
機器名:小型横型ポンプ

作業手順および注意事項	備考	確認区分		
		○	○	
<b>2. ケーシングカバー取付け</b> (1) ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。  <p>ケーシングカバー④</p> <p>&lt;品質ポイント&gt;            ⚠ フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。(偏芯組込み防止)            ⚠ 冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p> <p>&lt;安全ポイント&gt;            + 重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げる。また、指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。</p>				【A-4】 写真+部品説明指示 (線矢印) 【A-2】 状況写真 【A-5】 写真+動作説明指示 (ブロック矢印)
(2) メカニカルシールカバー①をケーシングカバー④にゆっくり押し当て、ナット⑦(4個)にて軽く手締め固定する。  <p>ケーシングカバー④</p> <p>ナット⑦</p> <p>メカニカルシールカバー①</p> <p>スタンド</p> <p>&lt;品質ポイント&gt;            ・<b>オリング挟みによる漏洩を発生させないように全周を目視にて確認する。(ライト使用)</b>            ・冷却水の通り穴位置がずれないようフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p>				【C-1】 強調マーク 【B-1】 太字 【B-2】 下線 【A-7】 機器形状図 【A-9】 図形+部品説明指示 (線矢印)

〔確認区分の表示〕◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
〔点検結果の表示〕レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 9.4 Y-3 (作業対象のイメージがしやすいもの)

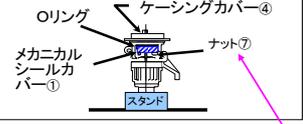
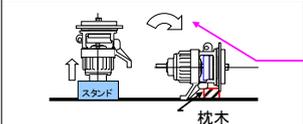
作業手順書 Y-4  
機器名:小型横型ポンプ

作業手順	注意点	安全対策ポイント	確認区分	
			○	○
<b>2. ケーシングカバー取付け</b> (1) ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。  <p>ケーシングカバー④</p> <p>&lt;品質ポイント&gt;            ⚠ フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。(偏芯組込み防止)            ⚠ 冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p> <p>&lt;安全ポイント&gt;            + 重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げる。また、指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。</p>				【A-4】 写真+部品説明指示 (線矢印) 【C-1】 強調マーク 【A-5】 写真+動作説明指示 (ブロック矢印) 【A-2】 状況写真
(2) メカニカルシールカバー①をケーシングカバー④にゆっくり押し当て、ナット⑦(4個)にて軽く手締め固定する。  <p>ケーシングカバー④</p> <p>ナット⑦</p> <p>メカニカルシールカバー①</p> <p>スタンド</p> <p>・<b>オリング挟みによる漏洩を発生させないように全周を目視にて確認する。(ライト使用)</b>            ・冷却水の通り穴位置がずれないようフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</p>				【B-1】 太字 【B-2】 下線 【A-7】 機器形状図 【A-9】 図形+部品説明指示 (線矢印)

〔確認区分の表示〕◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
〔点検結果の表示〕レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 9.5 Y-4 (作業対象のイメージがしやすいもの)

作業手順書 Y-5  
機器名: 小型横型ポンプ

作業手順	注意点	安全対策ポイント	確認区分	
			〇〇	〇〇
2. ケーシングカバー取付け (1) ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フランジ嵌め合い面に異物の噛み込みがないか確認する。(偏芯組込み防止)</li> <li>・冷却水の通り穴位置が、ズレないようにフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重量物のため部品を手元に引き寄せ持ち上げること。</li> <li>・指詰めしないよう合わせ面を持たないこと。</li> </ul>		
(2) メカニカルシールカバー①をケーシングカバー④にゆっくり押し当て、ナット⑦(4個)にて軽く手締め固定する。 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>Oリング挟みによる漏洩を発生させないよう全周を目視にて確認する。(ライト使用)</b></li> <li>・冷却水の通り穴位置がずれないようフランジ面の合いマークを合わせて確認する。</li> </ul>			
(3) 組立品を横転させ、枕木を使用し水平に置く。 		<ul style="list-style-type: none"> <li>・重量物のため事前に枕木をセットし、二人作業で横転させること。</li> </ul>		

[確認区分の表示] ◎: 作業中に同時立会 ○: 作業完了後の立会 △: 作業記録(含検査記録)の確認 /: 該当なし  
 [点検結果の表示] し: 異常なし ▲: 異常あり /: 該当なし

- 【A-4】  
写真+部品説明指示  
(線矢印)
- 【C-1】  
強調マーク
- 【A-2】  
状況写真
- 【A-5】  
写真+動作説明指示  
(ブロック矢印)
- 【B-1】  
太字
- 【B-2】  
下線
- 【A-9】  
図+部品説明指示  
(線矢印)
- 【A-10】  
図形+動作説明指示  
(ブロック矢印)
- 【A-7】  
機器形状図

図 9.6 Y-5 (作業対象のイメージがしやすいもの)

作業手順書 Y-6  
 機器名: 小型横型ポンプ

### 作業手順および注意事項

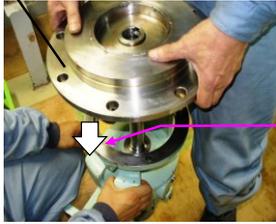
**2. ケーシングカバー取付け**

**<品質ポイント>**

(1) ケーシングカバー④を軸受け箱⑤に取り付け、固定ボルト⑥(4本)にて仮締め固定する。

**<安全ポイント>**

④ ケーシングカバー

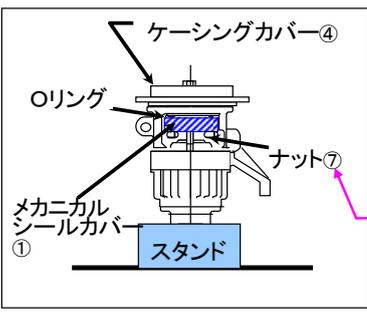


**<品質ポイント>**

(2) メカニカルシールカバー①をケーシングカバー④にゆっくり押し当て、ナット⑦(4個)にて軽く手締め固定する。

**<安全ポイント>**

① ケーシングカバー④  
 オリング  
 ナット⑦  
 メカニカルシールカバー①  
 スタンド

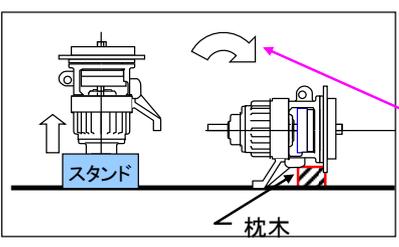


**<安全ポイント>**

(3) 組立品を横転させ、枕木を使用し水平に置く。

**<安全ポイント>**

↑  
 ↓  
 スタンド  
 枕木



【A-4】  
 写真+部品説明指示  
 (線矢印)

【A-2】  
 状況写真

【C-1】  
 強調マーク

【A-5】  
 写真+動作説明指示  
 (ブロック矢印)

【B-1】  
 太字

【B-2】  
 下線

【A-9】  
 図形+部品説明指示  
 (線矢印)

【A-7】  
 機器形状図

【B-3】  
 色付き文字

【A-10】  
 図形+動作説明指示  
 (ブロック矢印)

[確認区分の表示] ◎: 作業中に同時立会 ○: 作業完了後の立会 △: 作業記録(含検査記録)の確認 /: 該当なし  
 [点検結果の表示] レ: 異常なし ▲: 異常あり /: 該当なし

図 9.7 Y-6 (作業対象のイメージがしやすいもの)

作業手順および注意事項

2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認)

バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。

<ワイプ量規定値>  
 バネ蓄勢時—バネ放勢時=1mm以上

<安全ポイント>

⊕ ・しや断器蓄勢状態でしや断器から離れないこと。

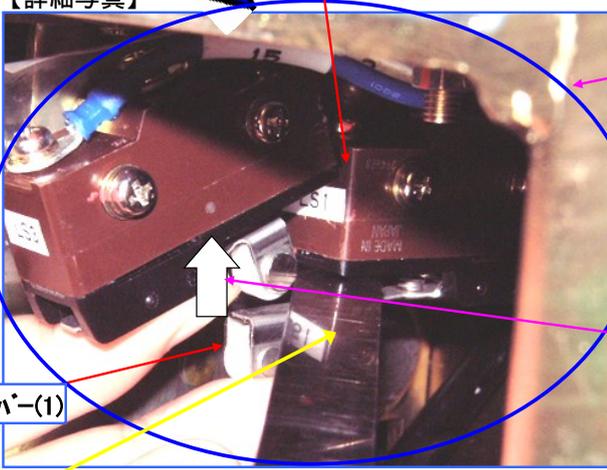
確認区分	次のステップ	作業手順
○ ○	○ ○	3. 操作機構部点検 (オイルダンパー寸法測定)

- 【A-2】  
状況写真
- 【A-4】  
写真+部品説明指示  
(線矢印)
- 【A-3】  
詳細説明写真
- 【A-5】  
写真+動作説明指示  
(ブロック矢印)

[確認区分の表示]◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
 [点検結果の表示]レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 9.8 Y-1 (作業対象のイメージがしにくいもの)

作業手順書 Y-2  
 機器名:真空遮断器

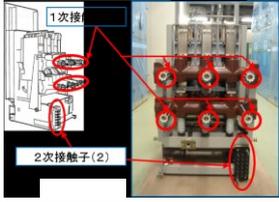
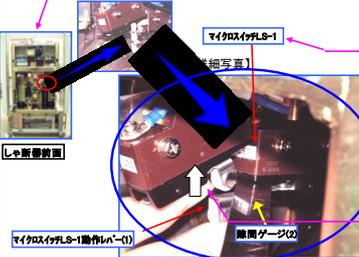
1つ前のステップ	作業手順												
1. 外観点検 (1次・2次接触子確認・グリス塗布)													
作業手順および注意事項													
<p>2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認)</p> <p>バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。</p>													
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p>しゃ断器前面</p> </div> <div style="width: 45%;">  <p>【詳細写真】</p> <p>マイクロスイッチ</p> <p>マイクロスイッチLS-1動作レバー(1)</p> <p>隙間ゲージ(2)</p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>&lt;ワイプ量規定値&gt;        バネ蓄勢時—バネ放勢時=1mm以上</p> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>&lt;安全ポイント&gt;</p> <p>⊕ ・しゃ断器蓄勢状態でしゃ断器から離れないこと。</p> </div>													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>確認</th> <th>区分</th> <th>次のステップ</th> <th>作業手順</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>3. 操作機構部点検 (オイルダンパー寸法測定)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		確認	区分	次のステップ	作業手順	○	○	○				3. 操作機構部点検 (オイルダンパー寸法測定)	
確認	区分	次のステップ	作業手順										
○	○	○											
		3. 操作機構部点検 (オイルダンパー寸法測定)											

- 【A-2】  
状況写真
- 【A-4】  
写真+部品説明指示  
(線矢印)
- 【A-3】  
詳細説明写真
- 【A-5】  
写真+動作説明指示  
(ブロック矢印)

[確認区分の表示]◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
 [点検結果の表示]レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 9.9 Y-2 (作業対象のイメージがしにくいもの)

作業手順書 Y-3  
機器名:真空遮断器

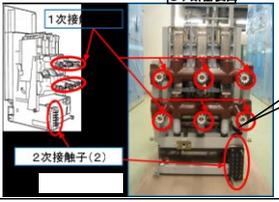
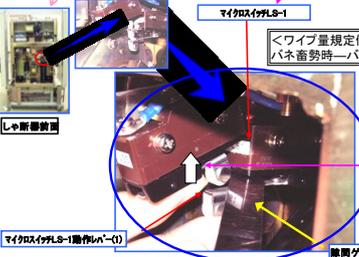
作業手順および注意事項	備考	確認区分
<p>1. 外観点検 (1次・2次接触子確認・グリス塗布) 1次接触子(1)・2次接触子(2)の古いグリスをアルコールを浸み込ましたウエスで拭取り、外観点検を行う。</p>  <p><b>＜品質ポイント＞</b>   ・接触子接触部に、変形・破損がないか確認すること。            ・板バネに変形のないか確認すること。</p> <p><b>＜安全ポイント＞</b>   ・アルコール使用時は、有機溶剤用マスクを着用すること。</p>		○ ○ ○ ○
<p>2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認) バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。</p>  <p><b>＜ワイプ量規定値＞</b> バネ蓄勢時—バネ放勢時=1mm以上</p> <p><b>＜安全ポイント＞</b>   ・しゃ断器蓄勢状態でしゃ断器から離れないこと。</p>		

【確認区分の表示】◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
 【点検結果の表示】レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

- 【A-2】状況写真
- 【A-4】写真+部品説明指示(線矢印)
- 【A-3】詳細説明写真
- 【A-5】写真+動作説明指示(ブロック矢印)

図 9.10 Y-3 (作業対象のイメージがしにくいもの)

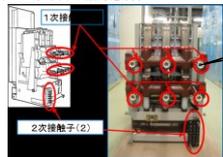
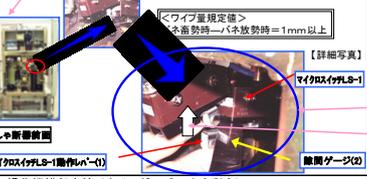
作業手順書 Y-4  
機器名:真空遮断器

作業手順	注意点	安全対策ポイント	確認区分
<p>1. 外観点検 (1次・2次接触子確認・グリス塗布) 1次接触子(1)・2次接触子(2)の古いグリスをアルコールを浸み込ましたウエスで拭取り、外観点検を行う。</p> 	<p><b>！</b> ・接触子接触部に、変形・破損がないか確認すること。            ・板バネに変形のないか確認すること。</p>	<p><b>+</b> ・アルコール使用時は、有機溶剤用マスクを着用すること。</p>	○ ○ ○ ○
<p>2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認) バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。</p>  <p><b>＜ワイプ量規定値＞</b> バネ蓄勢時—バネ放勢時=1mm以上</p>		<p><b>+</b> ・しゃ断器蓄勢状態でしゃ断器から離れないこと。</p>	

【確認区分の表示】◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
 【点検結果の表示】レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

- 【C-2】吹き出し
- 【A-2】状況写真
- 【A-4】写真+部品説明指示(線矢印)
- 【A-3】詳細説明写真
- 【A-5】写真+動作説明指示(ブロック矢印)

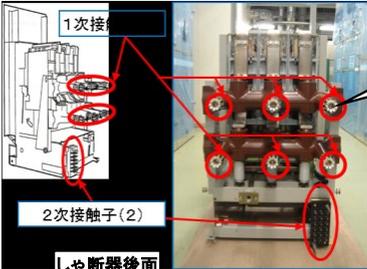
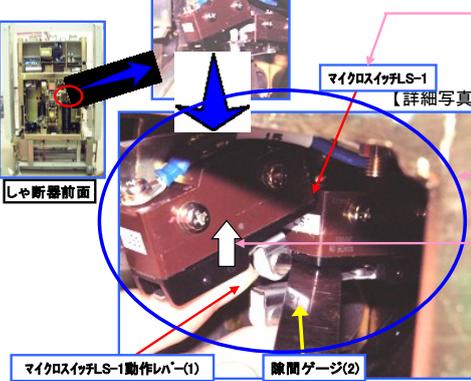
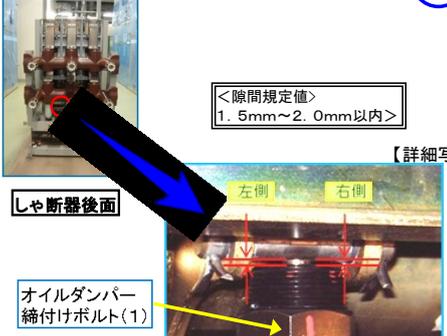
図 9.11 Y-4 (作業対象のイメージがしにくいもの)

作業手順	注意点	安全対策ポイント	確認区分		
			○	○	○
<p>1. 外観点検 (1次・2次接触子確認・グリス塗布) 1次接触子(1)・2次接触子(2)の古いグリスをアルコールを浸み込ましたウエスで拭取り、外観点検を行う。</p> 	<p>⚠ 接触子接触部に、変形・破損がないか確認すること。 ・板バネに変形のないか確認すること。</p>	<p>⊕ アルコール使用時は、有機溶剤用マスクを着用すること。</p>			
<p>2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認) バネ放勢状態 (LS1不動作) でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にバネ蓄勢状態 (LS1動作) で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。バネ放勢時と蓄勢時の測定差を確認する。</p>  <p>【詳細写真】</p> <p>ワイプ量規定値&gt; 本番放勢時→バネ放勢時=1mm以上</p> <p>【詳細写真】</p> <p>【詳細写真】</p> <p>【詳細写真】</p>	<p>⚠ しや断器蓄勢状態でしや断器から離れないこと。</p>				
<p>3. 操作機構部点検 (オイルダンパー寸法測定) オイルダンパー締付けボルト(1)上部の左右の隙間を、ノギスで測定する。</p>  <p>【詳細写真】</p> <p>【詳細写真】</p> <p>【詳細写真】</p>		<p>⊕ 周囲の金属エッジ部で手を切削しないよう手元照明を設けること。</p>			

- 【C-2】吹き出し
- 【A-2】状況写真
- 【A-4】写真+部品説明指示(線矢印)
- 【A-3】詳細説明写真
- 【A-5】写真+動作説明指示(ブロック矢印)
- 【C-1】強調マーク

【確認区分の表示】◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
【点検結果の表示】レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 9.12 Y-5 (作業対象のイメージがしにくいもの)

作業手順および注意事項							
<p>1. 外観点検 (1次・2次接触子確認・グリス塗布)</p> <p>1次接触子(1)・2次接触子(2)の古いグリスをアルコールを浸み込ましたウエスで拭取り、外観点検を行う。</p>  <p>1次接触子(1) 2次接触子(2) しゃ断器後面</p> <p>&lt;品質ポイント&gt; ・接触子接触部に、変形・破損がないか確認すること。 ・板バネに変形のないか確認すること。</p> <table border="1" data-bbox="933 582 1109 694"> <tr><th colspan="2">確認区分</th></tr> <tr><td>○ ○</td><td>○ ○</td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>	確認区分		○ ○	○ ○			<p>【C-2】吹き出し</p> <p>【B-3】色付き文字</p> <p>【A-2】状況写真</p>
確認区分							
○ ○	○ ○						
<p>2. 操作機構部点検 (マイクロスイッチ動作確認)</p> <p>パネ放勢状態(LS1不動作)でマイクロスイッチLS1の動作レバー(1)を手で押し上げ、動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。次にパネ奮勢状態(LS1動作)で、LS1(1)の動作点を隙間ゲージ(2)で測定する。パネ放勢時と奮勢時の測定差を確認する。</p>  <p>マイクロスイッチLS-1 【詳細写真】</p> <p>しゃ断器前面</p> <p>マイクロスイッチLS-1動作レバー(1) 隙間ゲージ(2)</p> <p>&lt;ワイプ量規定値&gt; パネ奮勢時—パネ放勢時=1mm以上</p> <p>&lt;安全ポイント&gt; ・しゃ断器奮勢状態でしゃ断器から離れないこと。</p> <table border="1" data-bbox="933 1198 1109 1310"> <tr><th colspan="2">確認区分</th></tr> <tr><td>○ ○</td><td>○ ○</td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>	確認区分		○ ○	○ ○			<p>【B-2】下線</p> <p>【A-4】写真+部品説明指示(線矢印)</p> <p>【A-3】詳細説明写真</p> <p>【A-5】写真+動作説明指示(ブロック矢印)</p>
確認区分							
○ ○	○ ○						
<p>3. 操作機構部点検 (オイルダンパー寸法測定)</p> <p>オイルダンパー締付けボルト(1)上部の左右の隙間を、ノギスで測定する。</p>  <p>しゃ断器後面</p> <p>オイルダンパー締付けボルト(1)</p> <p>&lt;隙間規定値&gt; 1.5mm~2.0mm以内&gt;</p> <p>&lt;安全ポイント&gt; ・周囲の金属エッジ部で手を切創しないよう手元照明を設けること。</p> <table border="1" data-bbox="933 1668 1109 1780"> <tr><th colspan="2">確認区分</th></tr> <tr><td>○ ○</td><td>○ ○</td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>	確認区分		○ ○	○ ○			<p>【C-1】強調マーク</p> <p>【C-3】枠囲い</p>
確認区分							
○ ○	○ ○						

[確認区分の表示]◎:作業中に同時立会 ○:作業完了後の立会 △:作業記録(含検査記録)の確認 /:該当なし  
[点検結果の表示]レ:異常なし ▲:異常あり /:該当なし

図 9.13 Y-6 (作業対象のイメージがしにくいもの)

## 9.5 本章のまとめ

本章では、第 7 章で検討した作業手順書を作成するための設計の基本原則、および基本原則が作業手順書に反映されているかを確認するためのチェックシート、ならびに第 8 章で提案した「作業のイメージ化」の支援、「予測」の支援および「解釈」の支援の具体方策の例、および試作した作業手順書の作成例をまとめて、本研究の目的である適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針として提供した。

## 第 10 章 まとめと展望

### 10.1 結言

国内原子力発電所のトラブルは、作業手順書の問題に起因するものが多く、また作業手順書の問題は、その表現形態上の問題にあることがわかった。そこで適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供した。本指針の作成にあたっては、家電分野などの取扱説明書の作成指針との差異を考慮し、作業手順書の作成者はその手順書に基づいて作業する保守作業員であることを留意した。保守作業員は、作業手順書の作成に関するテクニカルコミュニケーション技術についての知識は少ないと思われるため、作業手順書の設計にあたって特に重要と思われる基本原則に絞った。また、複数の表現要素を作業手順書に組み合わせるにはトレードオフの関係があり、どちらを優先するのかの判断が難しい場合があるため、保守作業員にその組み合わせについて意見を求め、具体方策の例として提供した。また、作成した作業手順書に設計の基本原則が反映されているかを確認するためのチェックシートを提供した。

本指針が作業現場で活用され、保守作業員にとってよりわかりやすい作業手順書の作成に寄与できることを期待している。

### 10.2 まとめ

第 1 章では、国内原子力発電所のトラブル事例分析に関する過去の知見から、保守に係るトラブルが多いことを示した。さらにその保守に係るトラブルの背後要因を追究すると、保守作業に関わる作業手順書の問題がトラブルの起因となっていることがわかった。この保守作業とは、「設備の分解、点検、修理、取替え、調整、組立などの作業のこと」である。また保守に係るトラブル事例のデータベースを用いて人間の行動の視点で分析することにより、トラブルの根底に潜む根本の問題として「作業の注意点を保守作業員にわかりやすく伝えることができていない」を抽出した。このことは、作業手順書と同じ問題を指摘している。そこで、作業手順書の問題をより詳細に検討するため、原子力発電所における作業手順書の目的、作成および使い方、ならびに他分野での作業手順書の状況について調査した。原子力発電所の特徴としては、放射性物質を内包し、保守作業の品質管理の程度が厳しいことから、作業手順書にも

設備固有のきめ細かな要求事項を記載していることが挙げられる。また作業手順書の運用は文章主体の紙ベースで行っていることから、作業手順書の文章情報が多くなり、わかりにくくなっているという問題点を指摘した。もう一つの問題点として、作業手順書の手順改善、注意点明記などが重要との指摘はあるが、作業手順書の具体的な作成方法が示されていないことを指摘した。これらの問題点から、作業手順書の表現形態上の問題に焦点を当て、本研究の目的を「適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供すること」とした。

第2章では、作業手順書の表現形態上の問題点を明確にし、適正な表現形態に向けた支援の着目点を抽出するため、先ず作業手順書に記載されている情報を整理した。次に、保守作業者が作業手順書の情報を使用して作業する際の行動を情報の機能に応じて動的に分析した。分析にあたっては、分析の目的を満足する FRAM 手法 (Functional Resonance Analysis Method) を用いた。FRAM 手法は、入力、出力、前提条件、資源、時間、および制御の 6 つの側面を表現する六角形の要素をつなぐことで各要素間の動的な関係を分析することが可能である。分析の結果、作業手順書の備考の情報が保守作業の行動の「前提条件」とつながっている場合は、その情報を読み落としたとしても大きな問題とはなりにくい、写真・図を組み合わせることによって、よりわかりやすい作業手順書となる可能性があることから、これを(1)「作業のイメージ化」の支援とした。作業手順書の次作業ステップ情報を認知できる場合は、読み落とした作業ステップを想起できる可能性があることから、次作業ステップ情報を提示する重要性に鑑み、これを(2)「予測」の支援とした。作業手順書の注意事項の情報が保守作業者の行動の「入力」と「出力」につながっている場合は、その情報を読み落とすと大きな問題となる可能性があり、情報を強調させるなどの工夫が必要なことから、これを(3)「解釈」の支援とした。上記のとおり、作業手順書に対する3つの支援の着目点を抽出した。

第3章では、先ず支援の着目点を保守作業者の行動の視点で検討するために、保守作業者の行動モデルについて検討した。行動モデルにおいては、(1)作業手順書の情報の表現形態は、保守作業者の「作業のイメージ化」に影響を与え、(2)作業手順書の次作業ステップ情報の提示方法は、保守作業者の「予測」に影響を与え、(3)作業対象のイメージのしやすさ、および情報の強調は保守作業者の「解釈」に影響を与えるものとした。次に作業手順書の支援の着目点について行動モデルを踏まえて、(1)文章と写真・図を組み合わせることによって、作業パフォーマンスが向上する、(2)

次作業ステップ情報を提示することによって、作業パフォーマンスが向上する、(3) 作業対象のイメージがしやすいもの、および情報を強調したものは、作業パフォーマンスが向上する、の 3 つの検討事項を設定し、その有効性を順次確認することとした。

第 4 章では、作業のイメージ化の支援の有効性を確認するためにレゴ・ブロックの組立作業実験と保守作業実験を実施した。文章と写真・図を組み合わせた作業手順書と文章のみの作業手順書を比較するため、レゴ・ブロックの組立作業実験では組立エラー数について、保守作業実験では作業パフォーマンスの「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦労」の 3 つの悪評点、および作業の所要時間について評価した。その結果、文章と写真・図を組み合わせた作業手順書は作業パフォーマンスが向上することが確認でき、作業のイメージ化の支援の有効性が確認できた。

第 5 章では、予測の支援の有効性を確認するために保守作業実験を実施した。次作業ステップ情報を提示している作業手順書と提示していない作業手順書を比較するため、作業パフォーマンスの「ぎこちなさ」、「手間取り」および「取越し苦労」の 3 つの悪評点と、それぞれの悪評点と作業の所要時間との積である悪評量、作業手順書の読み方の「瞬間視」、「注視」および「熟読」の発現回数、および作業の所要時間について評価した。その結果、次作業ステップ情報を提示している作業手順書は作業パフォーマンスが向上することが確認でき、予測の支援の有効性が確認できた。

第 6 章では、解釈の支援の有効性を確認するためにレゴ・ブロックの組立作業実験を実施した。まず作業対象のイメージのしやすさについて検討した。同一の作業手順書において作業対象のイメージがしやすい「自動車」の形と、イメージがしにくい「無意味」な形を比較するため、組立エラー数について評価した。その結果、作業対象のイメージがしやすい形において作業パフォーマンスが向上することが確認でき、解釈の支援の有効性が確認できた。次に情報の強調について検討した。情報を強調した作業手順書と強調していない作業手順書を比較するため、組立エラー数について評価した。その結果、情報を強調した作業手順書は作業パフォーマンスが向上することが確認でき、解釈の支援の有効性が確認できた。

第 7 章では、まずその有効性が確認された 3 つの支援方策を、作業手順書を作成する際の設計の基本原則として次のとおり示した。(1)文章と写真・図を組み合わせる、(2)次作業ステップ情報を提示する、(3)情報を強調する。次に、設計の基本原則が作業手順書に反映されているかを確認するためのチェックシートについて検討し、

その有効性を確認した。チェックシートは、背後要因リストを基に検討した。ヒューマンエラー分析では、そのエラーを誘発させた背後要因を同定し、再発防止対策を施す。事前に背後要因がリストアップできれば、その背後要因に対して事前に対策を講じておくことでエラーの発生を低減させることが可能となる。この考え方に基づき、作業手順書に潜む背後要因を事前に抽出し、設計の基本原則との関連を勘案しながら詳細なチェック項目を作成した。チェックシートの有効性については、作業手順書とそれを使って作業したときの作業パフォーマンスをチェックシートの背後要因の視点で比較考察することによって確認した。

第8章では、作業手順書のチェックシートに基づき試作した作業手順書に対して、作業のイメージ化の支援としての写真・図の提示方法、予測の支援としての次作業ステップ情報の提示方法、および解釈の支援としての情報の強調方法についての具体的な方策について保守作業者の意見を求めた。具体的な方策については、熟練者と初級者、作業対象のイメージがしやすいものと、しにくいものとに分類して提供した。

第9章では、本研究成果のまとめとして、適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供した。指針の構成は、(1)序論、(2)本指針の適用範囲と位置付け、(3)用語の定義、(4)設計の基本原則、(5)本指針の使い方、(6)具体方策の例、(7)作業手順書のチェックシート、(8)作業手順書の作成例となっている。本指針の使い方では、8つの検討ステップに分け、設計の基本原則、具体方策、および作業手順書のチェックシートの使い方などを具体的に示した。

第10章では、まとめとして、適正な表現形態を用いた作業手順書を作成するための指針を提供した。指針には作業手順書を作成するための設計の基本原則を示した。また設計の基本原則が作業手順書に反映されているかを確認するための作業手順書のチェックシートと写真・図の提示方法などの具体的な方策の例示を提供できたことで、作業手順書の具体的な作成方法を示すことができた。

展望として、将来的にIT(Information Technology)技術やVR(Virtual Reality)技術などを活用することにより作業現場の環境はさらに改善される可能性があり、本研究成果は電子コンテンツ作成のベースとしても活用できる。本研究の知見が原子力発電所をはじめ、高信頼性が求められ、エラーが許されない分野などでの保守作業現場で活用されることを期待している。

### 10.3 展望

本研究で扱っている作業手順書は、原子力発電所での保守作業を対象にしたもので、作業手順書の使い方としては用紙に印刷し、それを作業現場に持ち込んでチェックを行うことを想定している。第4章で確認した作業手順書の現場ニーズ調査では(1)タブレットなどで過去の検査記録や図面などが閲覧できる、(2)ワイヤレスカメラなどでリアルタイムに現場の状況を共有し、遠距離から作業指導や技術指導を行える、(3)現場用端末に手書きした試験結果が事務所サーバーに送られ、電子承認されるとともに書類に印刷される、(4)動画の作業手順書を導入するなどの意見も出されている。現場ニーズのうち「動画の作業手順書を導入する」の要望については、保守作業の熟練者がまだ作業現場にいる間に模範作業動画を蓄積しておく必要がある。そのときの電子コンテンツはその作業現場に適したものを作成しなければならないが、本研究の成果はその電子コンテンツ作成のベースとしても活用できる。今後、現場ニーズをよく聞き取り、システム開発していくことが必要であり、これらを進めていくことが原子力発電所の保全の向上に寄与できると考えている。

現場ニーズ調査では、さらに作業手順書を技能伝承用として使いたいというニーズが多かった。写真・図を組み合わせた作業手順書に作業の勘所やコツなどを初級者を育成する視点で記述することによって、有望な技能伝承ツールになるように思われる。この点に関して関心のある方は、技能伝承用の作業手順書として望ましい写真・図や次作業ステップ情報の提示方法および情報の強調方法について示している拙著の文献<sup>(64)</sup>を参考にいただければと思う。

今後の展望としては、VR(Virtual Reality)技術などを活用することによって、作業手順書を作業現場に投影し、重要な作業箇所は点滅、または音声告知などで保守作業者に伝えることや、ボルト締付け時の締付けトルク値を読み上げる、またはサーバーとリンクしているトルクレンチで締め付けるとその値が作業手順書に付属している計測値の記録表に自動的に入力できるような環境を作ることも可能になってくると思われる。保守作業者のヒューマンエラーを低減させるためにはこのような最新の技術の導入を考えていく必要がある。一方、作業環境が良くなると技能伝承の面では難

しくなるという反面があることにも留意し、保守作業者の監視能力、対処能力および予測能力の向上についても継続的な取り組みが必要である。

最後に原子力発電所と産業プラントを比較すると、原子力を扱うための特殊な環境という差異はあるが、設備の保守という観点に立てば共通部分もあり、特に高信頼性が求められ、エラーが許されない分野などにおいては、本研究の知見が活用されることを期待している。

参考文献

- (1) 日本原子力学会：原子力安全の基本的考え方について 第I編 別冊 深層防護の考え方, AESJ-SC-TR005(ANX), 2013.
- (2) IAEA：INSAG-10, “Defence in Depth in Nuclear Safety”, Vienna, 1996.
- (3) WENRA RHWG Report：“Safety of new NPP designs”, 2013.
- (4) 辛島恵美子：社会安全学構築のための安全関連概念の検討, 社会安全学研究 創刊号, 2011.
- (5) 国会東京電力福島原子力発電所事故調査委員会：国会事故調査報告書, 2012.
- (6) 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会：中間報告, 2011.
- (7) 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会：最終報告, 2011.
- (8) 福島原発事故独立検証委員会：調査・検証報告書, 2012.
- (9) 東京電力福島原子力事故調査委員会：福島原子力事故調査報告書, 2012.
- (10) 原子力規制委員会：実用発電用原子炉に係る新規制基準について－概要－, <https://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf>, (2016 Dec.2)
- (11) 関西電力株式会社：あくなき安全性の追求－新規制基準の適応状況－, [http://www.kepcoco.jp/energy\\_supply/energy/nuclear\\_power/anken\\_kakuho/shinkisei\\_tekigou/](http://www.kepcoco.jp/energy_supply/energy/nuclear_power/anken_kakuho/shinkisei_tekigou/), 2015 Apr., (2016 Dec.2)
- (12) 澤昭裕：いま、何を議論すべきなのか？－エネルギー政策と温暖化政策の再検討－, 紙パルプ技術協会誌, Vol.65, No.12, 1238-1243, 2011.
- (13) JIS Z 8141：2001 生産管理用語
- (14) 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 JOURNAL, Vol.14, 293-309, 2007.
- (15) 高川健一：原子力発電所の不具合原因の傾向分析, INSS JOURNAL, Vol.17, 269-275, 2010.

- (16) 宮崎孝正：経年劣化や人的過誤等を含めた原子力発電所不具合事象の新たな原因分類法とその適用結果，日本原子力学会和文論文誌，Vol.6, No.4, 434-443, 2007.
- (17) 宮崎孝正：原子力発電所における作業者過誤の対策検討の早見表とその応用，日本原子力学会和文論文誌，Vol.7, No.4, 396-407, 2008.
- (18) A.D.Swain and H.E.Guttman：Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant application, NUREG/CR-1278, 1983.
- (19) 行待武生，永田学，前田典幸，高城美穂，作田博：ヒューマンエラーの組織要因分析法，ヒューマンファクターズ，Vol.15, No.1, 19-27, 2010.
- (20) 一般財団法人電力中央研究所：ヒューマンファクター分析・評価手法－J-HPES 手順書－，1990.
- (21) 河野龍太郎：ヒューマンエラー分析支援システム Fact Flow advanced の開発，ヒューマンエラー防止のヒューマンファクターズ，129-139, テクノシステム，2004.
- (22) E.Hollnagel：Cognitive Reliability and Error Analysis Method, Oxford, Elsevier, 1998.
- (23) R.Kubota：Analysis of organization-committed human error by extended CREAM, Cognition Technology & Work, 67-81, Springer London, 2001.
- (24) J.Leplat, J.Reason：Analysis of Human Errors in Industrial Incidents and Accidents for Improvement of Work Safety, New Technology and Human Error, John Wiley & Sons, 1987.
- (25) 石田敏郎：バリエーションツリー，ヒューマンエラー防止のヒューマンファクターズ，117-127, テクノシステム，2004.
- (26) 作田博：樹状ダイアグラムの応用法，ヒューマンエラー防止のヒューマンファクターズ，141-146, テクノシステム，2004.
- (27) 曾根英美子，前田典幸：不適合事象の組織・直接要因分析手法(ATOP)の開発，INSS JOURNAL, Vol.16, 14-21, 2009.

- (28) 品質保証研究会 第2グループ エラーマネジメント研究会：エラーマネジメントに関する調査研究 実務者のためのヒューマンエラー分析手法の提言に向けて，平成13年度グループ活動報告 定例研究会報告書，2002.
- (29) 行待武生，永田学：GAP-W型PSFによるリファレンス・リストと一事例研究，ヒューマンファクターズ，Vol.9, No.1, 46-62, 2004.
- (30) 原子力安全推進協会：原子力施設情報公開ライブラリー，  
<http://www.nucia.jp/>，(2017 May 23)
- (31) 佐々木健：各種マニュアルの書式と整備，日本診療放射線技師会誌，Vol.62, No.747, 2015.
- (32) 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文誌，Vol.11, No.1, 62-76, 2012.
- (33) 岡本容子，高木妙子，戸波美代，森千恵：家電製品の取扱説明書に関する調査，国民生活研究，第34巻，第4号，44-51, 1995.
- (34) 八田一利，善如寺仁寿：プラント手順書におけるアイコンの有効性に関する研究，日本プラント・ヒューマンファクター学会誌，Vol.3, No.2, 127-136, 1998.
- (35) 小松原明哲：使いやすい作業手順書の設計 家電製品を例にして，日本人間工学会誌，Vol.36 Supplement, 158-159, 2000.
- (36) 森和夫，河村泉：安全弁の分解・整備作業の動画マニュアル作成事例，Plant Engineer, Jul., 38-42, 2008.
- (37) 海保博之，加藤隆，堀啓造，原田悦子：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，1987.
- (38) 海保博之：わかりやすいマニュアルをつくる－企画から評価まで－，日本規格協会，1991.
- (39) 一般財団法人テクニカルコミュニケーター協会：日本語スタイルガイド 第3版，2009.
- (40) 一般財団法人テクニカルコミュニケーター協会：トリセツのつくりかた 制作実務編，2010.
- (41) 一般財団法人テクニカルコミュニケーター協会：トリセツのつくりかた 品質追求編 新編集版，2015.

- (42) INPO : Human Performance Reference Manual, INPO 06-003, 2006.
- (43) DOE : Human Performance Improvement Handbook,  
DOE-HDBK-1028, 2009.
- (44) 原子力発電技術機構：原子力発電プラントにおける保守作業改善のための方策に関する研究 I –ベテラン保守員の有するスキルの検討–,  
1996.
- (45) E. Hollnagel : FRAM: The Functional Resonance Analysis Method  
–Modeling Complex Socio-technical Systems, Ashgate, 2012.
- (46) 小松原明哲：FRAM による組織事故の分析と生起メカニズムの検討,  
人間工学会大会講演集, Vol.43, 222-223, 2007.
- (47) 南聡, 小松原明哲：FRAM による組織事故の分析と発生形態から見た  
組織事故分類について, 人間工学会大会講演集, Vol.44, 186-187,  
2008.
- (48) 野田浩幸, 小松原明哲：FRAM 分析を用いた機能共鳴型事故の対策導  
出手順の提案, 人間工学会大会講演集, Vol.51, 234-235, 2015.
- (49) 野田浩幸, 小松原明哲：FRAM 分析における FRAM 図の表記に関す  
る提案, ヒューマンファクターズ, Vol. 20, No.2, 83-87, 2016.
- (50) 小松原明哲：「操作のしやすさ」の設計評価のための認知行動モデル,  
日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, Vol.3, No. 1, 12-20,  
1998.
- (51) 小松原明哲：職人の技の認知行動モデルの作成, 人間工学会大会講演  
集, Vol.36, 532-533, 2000.
- (52) 小松原明哲, 鳥居塚崇：技能作業者育成のための技能理解の検討－技  
能作業者調査に基づく技能を表現する認知行動モデルの作成－, 日本  
プラント・ヒューマンファクター学会誌, Vol.7, No.1, 43-49, 2002.
- (53) 小松原明哲：ものづくり技能育成支援のための認知行動モデルとそ  
の応用, 人間工学会大会講演集, Vol.40, 142-143, 2004.
- (54) J.Rasmussen : Skills, rules, knowledge: signals, signs, and symbols  
and other distinctions in human performance models, IEEE Trans.  
Systems, Man, and Cybernetics, MSC-13, 257-267, 1983.

- (55) E. Hollnagel, et al. : Resilience Engineering in Practice-A Guidebook, Ashgate, 2010.
- (56) D.A.Norman : The Psychology of Everyday Things, Basic Books, New York, 1988.
- (57) J.J.ギブソン : ギブソン生態学的視覚論ーヒトの知覚世界を探るー, 古崎敬 他訳, サイエンス社, 1985.
- (58) 小松原明哲, 伊藤一道, 平本充, 作田博 : 知識の外在化による単純繰り返し型プラント保守作業のヒューマンエラー防止の可能性について, 安全工学, Vol.36, No.1, 10-21, 1997.
- (59) 原子力発電技術機構 : 原子力発電プラントにおける保守作業改善のための方策に関する研究Ⅱー慣れた作業におけるヒューマンエラー低減方策の検討ー, 1996.
- (60) J.C.Wanner : Facteur Humain et Sécurité, Congrès de l' Académie de l' Air et de l' Espace, 1984.
- (61) 行待武生, 伊藤真佐史 : スキルワークの分析と作業内容伝達手段の検討, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, Vol.5, No.1, 23-32, 2000.
- (62) 作田博 : 保守作業者が作業手順書を使用する場合の認知行動モデルに関する研究, ヒューマンファクターズ, Vol.21, No.2, 68-79, 2017.
- (63) 中西美和, 岡田有策 : Augmented Reality を利用した手順・指示の提示に関する試みー網膜走査ディスプレイを用いた実験による検討ー, ヒューマンファクターズ, Vol.10, No.2, 133-142, 2006.
- (64) 作田博 : 保守作業への質問紙調査結果に基づくビジュアル型作業手順書に関する研究, ヒューマンファクターズ, Vol.21, No.1, 6-15, 2016.

## 投稿論文リスト

- (1) 作田博：トラブル事例分析に基づく原子力発電所における保安全管理に係る課題の抽出，ヒューマンファクターズ，Vol.19, No.1, 3-10, 2014.  
(第1章関連)
- (2) 作田博：保全パフォーマンス向上のための作業手順書に関する研究，ヒューマンファクターズ，Vol.19, No.2, 29-37, 2015.  
(第4章関連)
- (3) 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，Vol.20, No.1, 2-11, 2015.  
(第5章，第7章関連)
- (4) 作田博：保守作業者への質問紙調査結果に基づくビジュアル型作業手順書に関する研究，ヒューマンファクターズ，Vol.21, No.1, 6-15, 2016.  
(第8章関連)
- (5) 作田博：保守作業者が作業手順書を使用する場合の認知行動モデルに関する研究，ヒューマンファクターズ，Vol.21, No.2, 68-79, 2017.  
(第1章，第2章，第3章，第4章，第5章，第6章関連)

## 謝辞

本研究の一部は、平成 17 年度は独立行政法人原子力安全基盤機構、および独立行政法人日本原子力研究開発機構から、平成 18 年度から平成 21 年度は独立行政法人原子力安全基盤機構から受託した「品質保証等のソフト面を含む保全管理に係る技術基盤の整備に関する研究」により実施したものであり、ここに謝意を表します。

本学位論文の執筆にあたり、指導主査の鳥居塚崇教授、副査の三友信夫教授および矢野耕也教授には約 1 年という長期にわたって大変有益なご指導を賜りましたことに感謝いたします。本論文が学術的に、また、現場への適用度が大きく向上したのは、先生方のご指導の賜です。

学外副査の早稲田大学 小松原明哲教授には、大変お忙しい中、大所高所からヒューマンファクターに関連する気づき事項をご指摘いただきましたことに感謝いたします。

また、私が勤めている研究所の指導顧問 行待武生先生に感謝いたします。本論文の骨格についてともに考え、数多くの示唆を与えていただきました。また職場の上司、同僚の研究者からも助言と協力をいただきました。ここに感謝いたします。

最後に、私を陰ながら支えてくれた亡父 守、母 女志子、妻 由貴子、息子 諒介、浩輝に感謝します。論文作成で少し疲れていたときのカンフル剤の役目を果たしてくれました。