

## 論文の内容の要旨

氏名：作 田 博

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：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

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「ごちなさ」、「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。