

論文審査の結果の要旨

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

審査委員： (主査) 教授 鳥居塚 崇

(副査) 教授 三友信夫

教授 矢野耕也

早稲田大学教授 小松原明哲

原子力発電所の安全に関わるヒューマンファクター研究はこれまでは主にオペレーションに関するものが中心で、保守作業に関するものは少なかった。その中でも、スキルワークに関わるヒューマンエラー防止や技能継承に関わる研究は散見されたが、作業手順書に着目した研究や取組みはほとんど見られなかった。原子力発電所の保守作業における作業手順書の目的は、作業ステップに抜けが無いことのチェック、当該作業の注意事項の再確認である。しかしながら現在使われている作業手順書は文章主体のもので、数十年前から同じ様式のものを使用している。そして、そのような手順書がヒューマンエラーの誘因になったという報告が散見され、とくに保守作業におけるヒューマンファクターに関わる計画不良のエラーにおいてはそのほとんどが作業手順書の不備に起因するという。また申請者が独自に行った分析的研究からも同様の知見が得られている。そこで本研究では、原子力発電所保守作業におけるヒューマンエラーのさらなる低減を目指し、そのような作業手順書の適正な表現形態について検討し、作業手順書を作成するための指針を導くことを目的としている。

本論文は全 10 章から構成されている。第 1 章は序論であり、本研究の背景や原子力発電所における安全性の問題述べるとともに、原子力発電所における作業の特殊性について言及し、原子力発電所における作業手順書の在り方を示したうえで、作業手順書の表現形態上の問題が手順書の不完全さをもたらす要因が作業手順書の適正な表現形態について示された方策がないためであることを導き出した。そして、本研究の目的を適正な表現形態の作業手順書を作成するための指針を提供することと設定した。また本章後半において本論文の構成を説明している。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 **Functional Resonance Analysis Method (FRAM)** を用いて分析することにより、作業手順書の表現形態上の改良方策を示した。すなわち、「作業のイメージ化」の支援、「予測」の支援、「解釈」の支援の観点から手順書のコンテンツを検討し、表現形態の適正化を検討することとした。第 3 章では、前章で得られた結果を基に保守作業の行動モデルを提案するとともに、手順書の適正な表現形態を導くための研究方法を明確にした。第 4 章では「作業のイメージ化」、第 5 章では「予測」、第 6 章では「解釈」について検討することとし、その有用性については、作業員のパフォーマンスや作業手順書の読み方を通じて、その評価を行うこととした。なお、パフォーマンス評価のための指標として「ぎこちなさ」、「手間取り」、および「取越し苦労」を、また作業手順書の読み方評価のための指標としては「瞬間視」、「注視」、および「熟読」とした。第 4 章では、前章で提案された行動モデルを基に「作業のイメージ化」の支援の有用性について検討し、既存の手順書と提案された手順書の効果の比較を行い、作業効率と信頼性の観点からその有用性を示した。具体的には、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高いことを確認することができ、作業のイメージ化の支援の有用性が示された。第 5 章では、第 3 章で提案された行動モデルを基に「予測」の支援の有用性について検討し、既存の手順書と提案された手順書の効果の比較を行い、作業効率と信頼性の観点からその有用性を示した。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、それぞれの悪評点に作業の所要時間の積である悪評量、作業手順書の読み

方の「瞬間視」,「注視」,および「熟読」の3つの視点,および作業の所要時間で評価した。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を用いて咲く業を行なった場合の作業パフォーマンスが高いことが明らかとなり,予測の支援が有効であることが示された。第6章では,第3章で提案された行動モデルを基に「解釈」の支援の有用性について検討し,既存の手順書と提案された手順書の効果の比較を行い,作業効率と信頼性の観点からその有用性を示した。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が,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,組立エラー数を評価指標とした。その結果,作業対象のイメージがしやすい「自動車」の形において,組立エラー数が少なく,作業パフォーマンスが高いことを確認することができ,解釈の支援が有効であることを確認することができた。次に情報の強調について検討したが,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を評価指標として検討したところ,情報を強調した作業手順書は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高いことを確認することができた。第7章では,第3章から第6章までで得られた知見(すなわち「作業のイメージ化」支援からは文章と写真・図を組み合わせて表現すること,「予測」支援からは次作業ステップ情報を提示すること,「解釈」支援からは作業対象のイメージしやすさに応じて説明や協調方法の程度を配慮すること),および保守作業におけるヒューマンエラー研究,とくにヒューマンエラーの背後要因に着目した既往研究の知見を基に,適正な表現形態の作業手順書のチェックシートを開発するとともに,その有用性について検討した。第8章では,作業手順書の表現形態の詳細化の検討を行った。すなわち前章において提案されたチェックシートにおける抽象的な項目を具体的な表現に落とし込むにはどうすべきかについて検討した。同時に本章は,前章で提案されたチェックシートのフィージビリティスタディとしての位置付けでもあり,チェックシートの有用性を示すこともできた。第9章は,本研究で得られた知見を総合し,原子力発電所保守作業のための適正な表現形態の作業手順書の作成指針を示した。手順書の作成指針は「序論」「本指針の適用範囲と位置づけ」「用語の定義」「設計の基本原則」「本指針の使い方」「具体方策の例示」「作業手順書の例示」から構成される。そして最後の第10章は本論文のまとめと展望である。

本研究では第2章および第3章で保守作業における行動モデルを提案するとともに作業手順書において何を支援すべきかを示し,それに基づき行われた第4章から第6章の実験から得られた知見を基に,まず原子力発電所保守作業における作業手順書作成のためのチェックシートを作成し,さらにそのチェックシートに基づき作成された手順書を用いて現場で行われた調査を基に,適正な表現形態の作業手順書の作成指針を示すことができた。作成指針に基づいて作成された作業手順書を用いれば,作業効率と人的信頼性,安全性,作業初級者の作業への理解促進の観点から,原子力発電所の保全性の向上に寄与できるものと考えられる。一方,本研究で得られた知見は産業界に大きな潜在的可能性を持つ。とくに原子力発電所と同じ問題を抱える業種(すなわち大規模かつ複雑システムを抱える業種,作業品質に高度な信頼性が求められる業種など)に展開することは,それらの業種における作業効率と人的信頼性,および安全性の向上に大きく寄与できるものと思われる。

以上より,この成果は,生産工学,特にマネジメント工学に寄与するものと評価できる。

よって本論文は,博士(工学)の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成 29 年 7 月 13 日