

氏 名 <sup>ウ</sup> <sup>ウエイ</sup> Wu Wei  
 学位(専攻分野) 博士 (エネルギー科学)  
 学位記番号 エネ博第13号  
 学位授与の日付 平成12年3月23日  
 学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当  
 研究科・専攻 エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境科学専攻  
 学位論文題目 A Study on Modeling Nuclear Power Plant Operator's Cognitive Behaviors  
 at Man-Machine Interface and Its Experimental Validation  
 (マン・マシン・インタフェースにおける原子力プラント運転員の認知行動のモデル化とその実験的検証に関する研究)

論文調査委員 (主査) 教授 吉川 榮和 教授 新宮 秀夫 教授 片井 修

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、原子力発電所中央制御室でプラントを監視制御する運転員の、マンマシンインタフェースを介して異常診断する認知行動を、計算機によりモデル化する方法とその実験的検証を論じた結果をまとめたもので、5章からなっている。

第1章の序論では、プラント運転の信頼性・安全性確保上の人的要因対策向上の観点からマンマシンインターフェースでの運転員の認知情報行動をモデル化する研究の意義を述べ、内外の関連研究の状況と問題点を展望して、本論文での研究の目的と方法論を概括している。

第2章では、本論文で提起しようとする、プラント運転員の異常診断行動に関する新しい計算機モデルを構成するための準備として行った、実験室規模の基礎実験の計画、実施、実験データの分析・処理、得られた結果について述べている。まず、プラント運転知識のある実務者数名を被験者として、プラント動特性シミュレータと簡易インタフェースとで構成した実験システムにより、多数の異なったプラント異常過渡に対して、被験者がインタフェースを介して異常事象を検知し、異常原因を同定する過程の観察実験を行っている。実験で得たデータは、被験者のインタフェース操作履歴の自動記録データと、各被験者に一連のプラント異常過渡シミュレーションの試行直後に課したアンケート調査記録である。次いで実験データを分析して、プラント運転知識を持つ被験者が修得している、プラント制御・安全システムの動作に関する定性知識、インタフェース監視戦略、異常検知の判断基準、異常原因同定に用いる仮説の階層構成等、運転員認知行動モデル構成に必要な基礎データを導出した。また、実験データから、個々の異常事象ごとに、被験者の異常事象の検知と原因同定に対する時間-信頼性曲線を定量的に導出している。そして、異なる異常事象の、検知と原因同定に対する時間-信頼性曲線を比較検討して、時間-信頼性曲線の変動をもたらす要因を、プラント異常事象そのものがもたらすプロセス特性の相異と、インタフェースでの人間の異常検知・診断における知覚・認知特性の変動要因との双方の観点から説明している。

第3章では、認知心理学における人間の認知情報処理行動に関する一般的なモデルを展望し、これを発展させて、第2章に述べた基礎実験から得られた、プラント運転知識を持つ被験者のプラント制御・安全システムの動作に関する定性知識、インタフェース監視戦略、異常検知の判断基準、異常原因同定に用いる仮説の階層構成等の基礎データをもとに、プラント運転員のマン・マシン・インタフェースにおける異常検知・事故原因同定行動を記述する運転員認知行動モデルを新たに導出した。そして、そのモデルをもとに黑板モデルとフェジイ推論を主体とする知識処理を用いて、プラント運転員の異常検知・診断行動を模擬する計算プログラム HUMOS-PAD を開発している。そして、第2章に述べた被験者実験での特定の被験者、特定の異常事象における、異常検知・事故原因同定行動のデータをいくつか取り上げて、HUMOS-PAD によりシミュレーションを行った結果と、実験で観察された被験者の詳細行動データとを、想起した異常仮説、異常検知時間、操作履歴について相互比較し、HUMOS-PAD に組み込んだ運転員認知行動モデルの妥当性を示している。

第4章では、原子力発電所の安全性を総合的に評価する確率論的安全評価法の重要な要素である、マン・マシン・インタフェースでの人間と機械システムとの動的相互作用の信頼性を分析する人間信頼性解析法について、第3章で開発し、検証した HUMOS-PAD を用いる運転員認知行動シミュレーションによって、人間の診断行動の時間-信頼性曲線を導出する手法を新たに提起している。そして提起した手法の有効性を示す実例として、まず、第2章の基礎実験で得られた、被験者の異常・事故事象の検知と原因同定に対する時間-信頼性曲線の定量的傾向を、HUMOS-PAD によるパラメタスタディで精度良く再現できることを示している。また、さらに、HUMOS-PAD を、既開発の人間-機械システム総合動特性シミュレーションシステム SEAMAID に組み込んでパラメタスタディを行い、その結果、従来研究のように運転訓練センターの実規模プラントシミュレータを用いてプラント運転員に対して行われる大規模な実験を行わずとも、運転員のプラント中央制御室での異常診断の時間-信頼性曲線を計算機シミュレーションだけで予測できる見通しを与えている。

第5章の結論では、本論文で得られた成果を要約し、今後の課題を展望している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、原子力発電所中央制御室でプラントを監視制御する運転員の、マンマシンインタフェースを介して異常診断する認知行動を、計算機によりモデル化する方法とその実験的検証を研究した成果をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. マン・マシン・インタフェースを介してプラント異常を検知し、原因を診断する運転員認知行動モデルの構成のため、プラント運転知識のある実務者数名を被験者に、プラント動特性シミュレータと簡易インタフェースとで構成した実験室規模の基礎実験を行い、その結果、プラント制御・安全システムの動作に関する定性知識、インタフェース監視戦略、異常検知の判断基準、異常原因同定に用いる仮説の階層構成等、運転員認知行動モデル構成に必要な基礎データを導出するとともに、運転員の認知行動の種々の変動要因を明らかにした。

2. 以上の実験データをもとに、プラント運転員のマン・マシン・インタフェースにおける異常検知・事故原因同定行動を記述する運転員認知行動モデルを新たに導出した。そして、そのモデルをもとに黑板モデルとファジイ推論を主体とする知識処理を用いて、プラント運転員の異常検知・診断行動を模擬する計算プログラム HUMOS-PAD を開発した。

3. 上記1.の実験での被験者の異常検知・事故原因同定行動に対し、HUMOS-PAD によるシミュレーション結果と実験データとを対比して、HUMOS-PAD に組み込んだ運転員認知行動モデルの妥当性を検証した。

4. マン・マシン・インタフェースでの人間と機械システムとの動的相互作用の信頼性を分析する、人間信頼性解析法の新しい方法論として、運転員の認知行動シミュレーションを導入する手法を新たに提起した。

5. 上記4.で提起した手法の有効性を示す実例として、まず、基礎実験で得られた、被験者の異常・事故事象の検知と原因同定に対する時間-信頼性曲線の定量的傾向を、HUMOS-PAD によるパラメタスタディで精度良く再現した。また、さらに、HUMOS-PAD を人間-機械システム総合動特性シミュレーションシステム SEAMAID に組み込んでパラメタスタディを行い、その結果、大規模な実験を行わずとも、計算機シミュレーションで運転員のプラント中央制御室での異常診断の時間-信頼性曲線を予測できることを示した。

以上、本論文は原子力発電所運転員のマンマシンインタフェースを介してプラントを監視制御する際の認知行動を計算機によりモデル化し、実験データとの対比により計算モデルを検証したもので、学術上・実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年1月11日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。