

氏 名	お 小 ざわ たか ひさ 澤 尚 久
学 位 の 種 類	博 士 (エネルギー科学)
学 位 記 番 号	エ ネ 博 第 88 号
学位授与の日付	平成 16 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	新しい人間情報行動計画法とプラント運転教育の計算機支援への応用に 関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 吉 川 榮 和 教 授 手 塚 哲 央 助 教 授 下 田 宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、プラント運転に関わるインターフェースでの人間の内的な情報行動を追跡し推定し模擬する新しい人間情報行動計測法を提起するとともに、提起した人間情報行動計測法をプラント異常診断技能の教育訓練用支援システムの構成に適用して、実験によりその効果的な応用法を考察した結果を纏めたもので、6章からなっている。

第1章は序論で、まず原子力プラントなどの大規模工学システムにおける「技術中心の自動化」によるシステムのブラックボックス化と、これに起因する不適切なヒューマンマシン相互作用がもたらすシステム安全上の問題を指摘している。次いで、このような「技術中心の自動化」のもたらす問題を克服するために、ヒューマンマシンシステムを「人間中心の自動化」に再構成すべきことを論じて、そのために、複雑機械システムを運用管理する人間の内的な認知情報処理行動すなわち人間情報行動を、追跡模擬することに資する「新しい人間情報行動計測法」の開拓を本研究の主題とすることを示した後に、本論文の構成を示している。

第2章では、インタフェースでの人間の情報探索行動を反映する「視点位置」をリアルタイムに、高精度で検出する新しい手法の開発について述べている。具体的には眼球運動や瞳孔運動を計測できる「視覚指標計測機能付きヘッドマウンテッドディスプレイ」(Eye-Sensing HMD: ES-HMD)に組み込まれる実時間瞳孔画像処理法として、瞳孔の輪郭を与える点集合に最適に円形をフィッティングさせて高精度に瞳孔の中心位置を検出する方法、および瞳孔中心位置から眼球の回転角度および視線方向を計算して提示映像上の視点位置を高精度に推定する視点位置較正方法を新たに提案し、それらの手法に基づいたリアルタイム処理システムを開発したことについて述べている。そして、被験者実験を行ってそれらの手法を評価した結果、提案した瞳孔中心位置検出方法と視点位置較正方法は、従来は実験後の事後分析でそれらを求めていた方法に比較して、瞼や睫毛などの映像上のノイズ混入に対するロバスト性に優れ、視点位置の測定精度が向上していることを確認している。

第3章では、インタフェースでの注視点とタスク遂行時の思考発話の自動認識を組み合わせ、人間が行うプラント異常診断の思考過程を自動推定する手法を新たに提起している。具体的には、既往のプラントシミュレータを用いた被験者実験から「パラメータ因果関係図」と名づける運転員の異常診断に対する規範的な知識モデルを導出し、これを用いて、発話の自動認識と第2章で述べたES-HMDを用いるシステムによる注視点の計測情報とから異常診断タスク遂行中の思考過程をリアルタイムで推定し、推定した異常事象の根本原因の「確信度」を推定する認知過程推定器の構成法を提案している。そして、プラントシミュレータ、実機プラントの制御盤のCRTインタフェースを模擬したユーザインタフェース、音声認識装置、および認知過程推定器から構成される実験システムを開発している。そしてその実験システムを用いた被験者実験を行って、提案したプラント異常診断の思考過程推定法の有効性を検証している。

第4章では、インタフェースへの提示を情報をもとに人間が行う、プラント異常の根本原因を推定する認知情報処理行動(診断行動)の信頼を評価するために、運転員が机上の知識教育で修得した異常診断に関わるメンタルモデルを、プラント

異常診断模擬実験での被験者行動のデータから導出し、これをもとに多数の異常事象を模擬する計算機実験を行って診断行動の信頼度を評価し、そのメンタルモデルの信頼性の限界を論じている。具体的には、プラントに関する専門知識を修得した被験者の行動データに基づいてプラント運転員がもつ3つの知識モデルと思考形式を導出し、これをもとに診断行動を模擬するヒューマンモデルシミュレータを構築している。そして、このシミュレータを用いて多種多様な異常事象を運転員が判断する過程を模擬する計算機シミュレーション実験を行っている。このシミュレーション実験では、デンプスター-シェーファーによる証処理論を適用して運転員診断行動の信頼度の上下限の時間的推移を、網羅的に推定しているが、その結果をもとに、単一故障の場合には、運転員の異常診断行動は信頼できるが、プラントの多数の制御系が複雑に相互干渉する場合や多数のプラントパラメタが斉時的に大きく変動する場合には、机上学習により修得したプラント知識だけでは異常診断の信頼度が保証されないことを指摘している。

第5章では机上教育では修得できないヒューリスティックの技能伝承のためのマンツーマン教育への新たな計算機支援法として、熟練者がネットワークを介して教育訓練するシステムに第2章から第4章で提案した3つの人間情報行動計測法を組み込んだ計算機実験環境を構築し、被験者実験を行って効果的な教育支援法を検討している。具体的には訓練生の視点位置と思考発話の情報、思考過程推定結果、およびヒューマンモデルシミュレータによる診断思考模擬結果をリアルタイムにインストラクタに提示するもので、熟練者がネットワークを介して初心者にプラントの異常診断知識を効果的にマンツーマン教育するシステムとして構築している。そして実機プラントの当直長経験者をインストラクタとして招聘した被験者実験の結果を分析し、熟練者が初心者の内面状態を把握するためには、特に視点位置と思考発話の情報提供が有効であったとしている。

第6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、プラント運転に関わるインターフェースでの人間の内面的な情報行動を追跡し推定し模擬する新しい人間情報行動計測法を提起するとともに、提起した人間情報行動計測法をプラント異常診断技能の教育訓練用支援システムの構成に適用して、実験によりその効果的な応用法を考察した結果を纏めたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 人間の内面的な情報行動を追跡し、推定し、模擬する新たな手法として、それぞれ人間の注視点位置の検出、プラント異常診断の思考過程の推定、およびプラント診断思考を模擬するヒューマンモデルシミュレータを新たに提起することともに、これらをコンピュータによる実時間処理システムとして開発した。
2. 眼球運動や瞳孔運動を計測できる Eye-Sensing Head-mounted Display (ES-HMD) を利用した瞳孔中心位置検出方法、視点位置校正法を新たに提案し、リアルタイム処理システムを開発して、被験者による評価実験の結果、従来手法に比べてノイズに対するロバスト性と視点位置の予測精度の向上を確認した。
3. 「パラメータ因果関係図」と名づける運転員のプラント異常診断に用いる規範的知識モデルを考案するとともに、発話の自動認識と2.により計測する注視点情報を利用して、運転員の異常診断タスク遂行中の思考過程をリアルタイムで推定し、かつその推定した異常事象の根本原因の「確信度」を推定する手法を提案し、これらを計算機化して「認知過程推定器」と称するシステムを開発し、これを用いて被験者実験を行い、提起した手法の有効性を検証した。
4. 専門知識を有する被験者の行動データから、プラント運転員が机上教育をもとに構成するプラント異常診断用知識モデルとそれを用いた思考形式を導出し、これらをもとに運転員の診断行動を模擬するヒューマンモデルシミュレータを開発した。さらにこのシミュレータによる診断の信頼度を Dempster-Shafer 証処理論を適用して網羅的に検討する計算機シミュレーション実験を行って、その結果、単一故障の場合には人間の異常診断の信頼性は保証されるが、プラントの制御系が複雑に相互干渉する場合や多数のプラント計装置が斉時的に変動する場合には机上学習により修得したプラント知識だけでは異常診断の信頼性は保証されないことを指摘した。
5. 上記の2から4に示した3つの人間情報行動計測手法を、プラント運転教育の計算機支援に適用し、熟練者がネットワークを介して初心者にプラントの異常診断知識を効果的にマンツーマン教育できる実験システムを構築した。さらにこのシステムを用いた実験を行い、実験データを分析して、熟練者が初心者の内面状態を把握するためには、特に視点位

置と思考発話の情報提供が有効であることを確認した。

以上、要するに本論文は、人間と機械システムの調和への「人間中心の自動化」を志向し、その要素技術としての人間情報行動計測法の開拓において、インタフェースにおける人間情報行動を追跡するための視点位置計測法、人間情報行動を推定するための注視点情報と発話情報を組み合わせた思考過程の自動推定法、人間のプラント異常診断行動を模擬するヒューマンモデルシュミレータを提起し、それぞれのソフトウェアの有効性を実験によって確認したもので、これらの成果は、ヒューマンマシンシステム高度化の観点から、学術上、實際上、資するところが多い。

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16年2月23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。