

氏名	石井裕剛
学位(専攻分野)	博士 (エネルギー科学)
学位記番号	エネ博第14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	人工現実感技術を用いたプラント運転・保守の訓練システムに関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 吉川 榮和 教授 笠原三紀夫 教授 片井 修

論文内容の要旨

本論文は、人工現実感（バーチャルリアリティ：VR）による仮想体験と情報可視化の効果に着目した、プラント運転・保守に関わる知識・技能の訓練システムの構成法を研究した結果をまとめたもので、6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、運転員、保守作業員の教育訓練法の高度化に新たにVR技術を適用する研究の意義を述べ、本論文の構成を概括している。

第2章では、人工現実感に関する内外の技術動向を、VRシステムの要素技術である計測、シミュレーション、表示の3サブシステムについて展望し、次いでVRを用いた訓練システムを、機器の保守作業とプラントの運転操作とに分けてそれぞれの訓練の特徴と、双方に対してVRを用いる訓練システムを開発する利点と問題点を論じている。そして本論文で行う研究の着眼点と研究の範囲を示している。

第3章では、まず、機器保守の訓練システムに必要な機能とVRを用いて訓練環境を構成するための要件を考察して、VRによる仮想空間の中で機器の分解・組立作業を効果的にシミュレーションする手法にペトリネットモデルを応用する利点を述べている。そして機器保守作業における訓練生のジェスチャの判定を中心に、機器・部品・工具の動きと手の動作の関わりを、離散的並行事象の状態遷移モデルとしてグラフ表現するペトリネット手法を新たに導出し、これを用いてVR空間の状態変化を記述するタスク関数を規定している。次いで導出したペトリネットモデルを作成するためのペトリネット作成支援システムPCSSの設計方法と開発したシステムの概要、PCSSによる機器分解手順のペトリネットモデルの合成例について述べている。そしてペトリネットを用いてVR空間内で機器の分解手順を自動的に実演するアルゴリズムの導出を行っている。最後に、PCSSを中心に構成したVRによる機器分解訓練用シミュレーションシステムVRMATEの開発と、その試用実験による評価とその改善すべき課題の考察を述べている。

第4章では、第3章に述べたVRMATEシステムの評価実験で抽出された課題を解決してより高機能な機器保守訓練環境の構築が可能な手法を考察している。その結果、短時間で訓練環境を構築しその後訓練実施に至るまで、首尾一貫してユーザを支援するインタフェースシステムDESCORTEを開発して、その評価実験を行った結果を述べている。手法の改善では機器分解組立作業による機器・部品・工具の動きと手の動作の相互作用の表現法について、第3章で導出したペトリネットモデルを拡張して取扱い易くするとともに、VR空間の状態変化をプログラミングを要するタスク関数で規定する代わりに予め要素形状とその運動記述をデータベース化している。

次いで、構築支援システムDESCORTEのグラフィカルユーザーインタフェースを主体とするユーザインタフェース部の設計方法を検討し、ユーザが訓練を行う際の作業手順の流れとその際に個々のステップで必要とする情報に沿った設計方法を導出している。以上の設計方法によって、DESCORTEのユーザインタフェースを二つの段階を経て作成している。すなわち、第1段階のユーザインタフェースを用いてDESCORTEの試用実験を行い、第2段階ではその評価から抽出された改善事項を反映し、ユーザの認知負荷軽減の観点からDESCORTEのインタフェースを改善している。そしてDESCORTEの最終的な評価実験を行い、ユーザにVRの詳しいプログラミング知識がなくても、柔軟に仮想訓練環境が構築でき、かつ作

業時間も著しく短縮されることを示している。

第5章では、VR技術もたらず仮想体験と情報可視化の機能を活用した、原子カプラント運転技能の新しい体験型教育システムの開発を述べている。まず、プラント中央制御室での運転員の監視制御行動をVRによって可視化するため、人体の歩行動作や機器操作をモーションキャプチャで計測・校正して実時間VRシミュレーションする新たな計算手法を導出し、その計算手法を用いて制御室内のプラント運転員の監視制御行動をVRシミュレーションする人体動作シミュレータを作成している。次に運転員のプラント緊急時における認知情報処理行動を模擬する、既開発のマンマシンシステム総合動特性シミュレーションシステムSEAMAIDに、人体動作シミュレータを接続し、さらに運転員の思考内容の発話機能やCRT操作の表示機能を付加して、制御室内の運転員行動を総合的に情報可視化するネットワーク分散型の実時間VRシミュレーションシステムVENUSを構成し、VENUSの実時間動作機能を実験により確認している。最後に、VENUSを仮想体験型のプラント運転技能訓練システムの観点から評価実験し、その総合的情報可視化による仮想体験が訓練者のプラント緊急時操作手順の直感的理解に効果的である、と結論している。

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、人工現実感（バーチャルリアリティ：VR）による仮想体験と情報可視化の効果に着目した、プラント運転・保守に関わる知識・技能の訓練システムの構成法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. 機器保守作業での機器・部品・工具の動き、人の動作を、要素間の離散的並行事象と見なしてグラフ表現するベトリネットモデルを新たに導出し、これを計算プログラムに効率的に変換するベトリネット作成支援システムPCSSを開発した。

2. PCSSを用いて、VR空間内での機器の保守作業シミュレーションシステムVRMATEを開発し、更にVRを用いた仮想訓練環境についてその構築から訓練シミュレーションの実施まで一貫して支援する、仮想環境構築支援インタフェースシステムDESCORTEへ発展させた。

3. DESCORTEを用いて機器分解・組立訓練のVRシミュレーション環境を構築する実験を行った結果、VRの詳しいプログラミング知識がなくても、柔軟に仮想訓練環境が構築でき、かつ作業時間も著しく短縮されることを示した。

4. プラント中央制御室での運転員の監視制御行動をVRによって可視化するため、まず人体の歩行動作や機器操作をモーションキャプチャで計測・校正して実時間VRシミュレーションする新たな計算手法を考案し、これを用いて制御室内のプラント運転員の監視制御行動をVRシミュレーションする人体動作シミュレータを作成した。

5. プラント中央制御室での運転員の、プラント緊急時における認知情報処理行動を模擬する、既開発のマンマシンシステム総合動特性シミュレーションシステムに、上記の人体動作シミュレータを接続し、さらに運転員の思考内容の発話機能やCRT操作の表示機能を付加して、制御室内の運転員行動を総合的に情報可視化することが可能なネットワーク分散型の実時間VRシミュレーションシステムVENUSを構成し、その実時間動作機能を実験により確認した。

6. 上記のVENUSを、仮想体験型のプラント運転技能訓練システムの観点で評価実験の結果、その総合的情報可視化による仮想体験機能が、訓練者のプラント緊急時操作手順の直感的理解を向上させる点で、優れた訓練効果をもたらすことを確かめた。

以上、本論文は機器保守作業を効果的に表現する新たなシミュレーション手法を考案し、これを応用して人工現実感技術による訓練システムを開発し、その効果を示したもので、学術上・實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2月7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。