

氏 名	やま もと みち や 山 本 倫 也
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	エ ネ 博 第 50 号
学位授与の日付	平 成 14 年 3 月 25 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	エネルギー技術の教育と訓練のための分散型仮想環境の構成手法に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 吉 川 榮 和	教 授 笠 原 三 紀 夫	助教授 手 塚 哲 央
--------	----------------------	---------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、エネルギー技術の教育と訓練のための分散型仮想環境の構成手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章は序論で、エネルギー技術の教育と訓練に分散型仮想環境技術を適用する研究の意義を述べ、分散型仮想環境による機器保修訓練の効果を確認する実験、大規模プラントの保守訓練のための分散型仮想環境のシミュレーション手法と、エネルギー教育での教師と学習者の間のコミュニケーションと思考の媒体となる分散型仮想環境の作成支援法の新たな提案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、分散型仮想環境技術によるコンピュータ支援の協同作業への適用性について内外の研究状況を展望して検討し、利用目的に則した分散型仮想環境システムの設計のあり方を論じている。

次に、プラント保守訓練とエネルギー教育の2つの領域に対して、それぞれの教育訓練の特質と、必要とされる要素技術を検討して、分散型仮想環境技術による教育訓練システムの構成法を検討している。その結果、(1)協同作業を支援する観点から分散型仮想環境を設計開発する有効な方法論が確立されていないこと、(2)大規模プラントの保守訓練のためには、人間と工具や機器のインタラクションおよび大規模プラントの構成機器の挙動を計算負荷と通信量を抑えて効率的にシミュレーションする新しい手法が必要とされること、(3)学習者の理解の促進につながる新しいエネルギー教育の方法として、分散型仮想環境に着目すべきこと、また(4)エネルギー教育のための教材作成が容易でないことを課題として摘出し、本研究ではこれらの課題に着目して研究を行うことを述べている。

第3章では、原子力発電プラントの構成機器の1つである横型ポンプの分解組立作業を対象に、分散型仮想環境技術によるプラント保守訓練システム TEC-MAP を開発している。これは、(1)協同作業の形態として、指導員と訓練生が同時に訓練に参加できる同期型の訓練と、訓練生が作業内容の予習や復習を行える非同期型の訓練とをともに実現できること、(2)視覚と聴覚で相手の作業状況を伝えるマルチモーダルコミュニケーション機能を実現できること、の2つの特徴を備えているとしている。

次に、構築した TEC-MAP を用いて被験者実験を行い、実験中の被験者の会話の分析や、感性スペクトル解析装置（脳波解析装置）による脳波分析を行っている。その結果、マルチモーダルコミュニケーション機能により、実際の訓練の場面のような臨場感を訓練生にもたらしうることを確認し、分散型仮想環境による協同作業の場が有効な教育訓練手段となることを示している。

第4章では、訓練の対象を広げ、単一の機器を対象とする保守訓練から原子力発電プラントのような大規模プラント全体の保守訓練までを実現するために、大規模な分散型仮想環境を効率的にシミュレーションする手法を考案している。特に、プラントの保守訓練のために、(1)人が工具や機器を取り扱う際の人と物との物理的なインタラクション、(2)プラントを構成する複数の機器がシステムとして連携して振る舞う物理的挙動、の双方に対して効率的なシミュレーション手法が新たに必

要であるとして、(1)に対してペトリネット・シグナルモデルと称する新しい離散並行事象モデルを導入して人と仮想物体のインタラクションをモデル化し、一方、(2)に対して階層サーバモデルを導入したネットワーク構成により仮想プラント全体をシミュレーションする方法を新たに考案している。

また、保守訓練の実例として、ペトリネット・シグナルモデルを導入した基盤ソフトウェア EX-DVE を用いて横型ポンプの分解組立作業の訓練システムを作成し、これを用いて仮想環境の中に工具や機器の仮想物体の追加やそれらの仮想物体と人とのインタラクションの動作の記述が容易に行えることを示している。また、階層サーバモデルを導入した基盤ソフトウェア NETCOM を構築し、これを用いて、ポンプ流量確認の連携保守作業の訓練システムを作成し、大規模仮想環境の中で、制御室、ラック室、ポンプ室の制御盤や現場の機器の連携挙動シミュレーションが可能なることを示している。以上の2つの訓練システムの実験では、計算負荷と通信量を抑えながら効率的に大規模な仮想プラントをシミュレーションできることを確認し、導入した方法の有効性を示している。

第5章では、エネルギー教育の新しい手段として分散型仮想環境を応用する目的で、分散型仮想環境システムの新しい枠組みと、その作成支援法を提案している。分散型仮想環境のエネルギー教育への応用では、(1)学習者の理解促進をもたらす教育システムを構成できること、(2)エネルギー教育の専門家が自ら構想するシナリオに沿った仮想の世界を教材として容易に作成できること、を研究の目標としている。

教育における認知心理学の知見を参考にして、分散型仮想環境システムの利用が、教師と学習者の間で「コミュニケーションと思考の媒体」として「現実的、記号的、抽象的世界」の共有につながるように、ネットワーク上の情報資源を活用して効果的な分散型仮想環境を構築することのできる仮想環境作成支援の新しいフレームワークを提案している。そして、並列離散事象シミュレーションのプロトコルを導入して分散型仮想環境のシミュレーションの因果関係を制御する新しい方法を考案している。以上の二つの方法に基づいて、プログラミングの知識が無くても分散型仮想環境を用いる教育システムを容易に作成するための基盤ソフトウェア MALIONET を開発している。

そして、MALIONET を用いて風力発電とプラスチックリサイクルの2つの教育システムを試作している。その結果、風力発電の教育システムでは、提案したプロトコルによりシミュレーション事象の因果関係が正しく制御されることを確認し、一方、プラスチックリサイクルの教育システムでは、効果的なエネルギー教育の体験場となる仮想環境の作成は、WWW ベースの教育システムと比較しても短期間で行えることを確認し、提案した作成支援のフレームワークが有効であることを示している。

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、計算機ネットワーク上に仮想現実感環境を共有することのできる分散型仮想環境技術を、エネルギー技術の教育訓練用の新しい手段として利用する方法を研究した結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. 計算機を介する新たな協同作業方式として分散型仮想環境技術の適用が、実際に作業員間に臨場感効果をもたらすかどうかを確認するため、横型ポンプの分解組立訓練システム TEC-MAP を作成して被験者実験を行った。実験中の被験者間の会話記録や、脳波解析装置により計測した脳波データをもとに被験者の感情的側面を分析して、TEC-MAP の使用によって被験者に実際の訓練のような臨場感をもたらす得ることを確認し、分散型仮想環境が教育訓練の有効な手段となることを示した。

2. 大規模プラントの保守訓練に適用可能な分散型仮想環境を構成するため、(1)人と仮想物体のインタラクションをペトリネット・シグナルモデルと称する新しい離散並行事象モデルを用いてシミュレーションする手法、(2)階層サーバモデルを導入したネットワーク構成により仮想の大規模プラントを効率よくシミュレーションする手法、の2種類の新たなシミュレーション手法を考案した。

3. 上記2に述べた二つの手法に基づいてプラント保守訓練用の分散型仮想環境を構成するための二つの基盤ソフトウェア EX-DVE と NETCOM を開発し、それぞれを用いて2つのプラント保守訓練システムを構築した。そして EX-DVE による横型ポンプ分解組立訓練システムの構築と動作確認、および NETCOM によるポンプ流量確認試験システムの構築と動

作確認により、双方の基盤ソフトウェアの有効性を確認した。

4. エネルギー教育への分散型仮想環境の応用では、教師と学習者が現実的、記号的、抽象的世界を共有し、コミュニケーションと思考の媒体とすることのできる分散型仮想環境の作成支援方法を提案した。

5. とくにネットワーク上の外部情報資源を取り込むことのできる仮想環境シミュレーション手法と、シミュレーションにおける事象間の動的変化の因果関係の整合性を自動制御する手法とを新たに導入することにより、種々の教育システムを容易に作成可能な基盤ソフトウェア MALIONET を開発した。そして MALIONET を用いて風力発電とプラスチックリサイクルを教育するシステムを作成して、MALIONET の容易な教材生成機能を確認した。

以上のように、本研究は分散型仮想環境技術を応用するエネルギー技術の新しい教育訓練法を提起し、そのための幾つかの基盤ソフトウェアを構成してその有効性を確認したもので、これらの知見はエネルギー技術の教育訓練の高度化に学術上、實際上、資するところが大きい。

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14年2月20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。