

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 16 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22310102

研究課題名(和文) 仮想デジタルプラントによる次世代体験型運転教育・訓練システム

研究課題名(英文) Advanced training/education system by using Virtual Digital Plant

研究代表者

鈴木 和彦 (Suzuki, Kazuhiko)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：50196797

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円、(間接経費) 3,870,000円

研究成果の概要(和文)：化学プラントでの人が原因となる事故を防止するために、次世代の教育訓練システムを開発した。過去の事故・ヒヤリハット情報を活用するためのシステム、プラント内リスクの同定し算定するシステムを構築するとともに、動的に変動するプラント異常挙動に対する運転支援情報を提示するシステムを構築した。また、開発したシステムを検証するために、ダイナミックシミュレータ、VRシステムからなるデジタルプラントを構築した。

研究成果の概要(英文)：Advanced training/education has been developed to prevent accidents and losses in chemical plants. In the system, Accidents, Near miss database system, risk evaluation system are integrated as subsystems. Operation support subsystem is also integrated in the system. Operation support system indicates operation procedures to recover plant status in case of abnormal condition. For testing the proposed system, the digital chemical plant has been developed, which is composed of dynamic simulator and virtual reality system.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学

キーワード：教育・訓練 事故防止 安全文化

1. 研究開始当初の背景

経済産業省の報告から明らかなように、近年石油・化学プラントの事故が続発している。これらのことから、日本の安全神話は崩壊したと言わざるを得ない。すなわち、我が国における保安事故防止の手段・方法はすでにその限界に達している。これら安全問題の原因として、安全意識や安全知識の不足、安全教育、安全管理体制の不備等があげている。さらに、昨今、企業では省人化、職場の統合盛んに行われている。また、2010年問題に代表するように、設備の運転、安全管理に従事しているベテラン従業員の退職に伴う運転員の質の低下、作業負荷の増大等々が危惧されている。このように安全問題を列挙すれば枚挙にいとまがない。このような問題を解決する方法を大別すると、

- 1) 設備技術の高度化、
- 2) 人間の技能・技術の向上、
- 3) 人間の支援技術の開発

が挙げられる。設備による安全化技術は、高度制御、機能安全技術に代表されるように計装関連企業、エンジニアリング関連企業によりこれまでに数多くの実績、研究例が報告されている。一方、運転員・作業員の誤操作、作業ミスを防止するために、危険予知活動、ヒヤリハット活動、過去の事故事例、失敗事例、ヒヤリハット事例の横展開・活用、社内外での安全教育など数多くの取り組みがされている。運転員の安全知識・安全意識を向上するために運転教育・訓練が行われて言う。しかし、その多くは安全に関する基礎知識を教授する座学、プラント機器等のカットモデル、簡単な実験装置による体験学習、シミュレータによる操作訓練である。しかし、真に運転員を教育訓練するためには実際のプラント操作とともに、万一の誤操作をすれば火災・爆発に至ること、さらにその際の対応方法を体験することが必要である。しかし、実プラントにおいて、実際に火災・爆発を発生させ、これを運転員に体験させることは不可能である。

2. 研究の目的

前述の問題に対して、本研究は以下の3点を研究課題とし、デジタル仮想プラントによる運転員教育・訓練システムの設計、システム実装、企業製造設備を対象としての実用性の検証・評価を行うことを目的とした。

1. 事故・ヒヤリハット情報運転員教育のための訓練シナリオの抽出
2. ダイナミックシミュレータを中核とするプラント異常対応決定支援システムの構

築

3. 仮想現実感技術による運転教育システム

3. 研究の方法

システム基本設計

プラント異常時には、運転員は「影響度の予測」「異常診断」は異常時の判断の最初のステップであり、その後の判断に大きく影響する。また、プラント運転員は異常への対応を、設計・建造・運転の各段階で作成された安全情報を参照しながら行う。特に、異常処置手順と緊急処置手順は、異常時に運転員がとるべき行動を記しており、異常時にはこれらの手順書を参照し、自らの行動を決定することが多い。本研究では、これらの課程の教育・訓練を運転員に施すためのシステムの基本設計を行った。事故・ヒヤリハット情報の中から教育・訓練に有用な事例を抽出する。事例抽出に際しては、当該研究メンバーとともに企業運転員・安全管理担当者の意見を聞く。結果として得られる情報を整理し、各システムの開発にはどのような情報が必要であるか、また相互に利用することができるかを明確に記述する。

ここで整理した内容に基づいて、システム全体の基本構造、各課題で構築するツール機能を定義する。標準化データモデルを安全評価、安全設計及び運転支援のための情報として利用し、さらに、データ共有環境とリンクすることにより、より広範囲に集められたデータ（事故に関する情報も含まれる）に基づくシステムを開発する。

課題1 事故・ヒヤリハット情報処理システム構築と運転教育・訓練シナリオの抽出

1-(a) 事故・ヒヤリハット情報処理システム構築

安全訓練に必要な情報を整理・体系化し、異常進展シナリオ、訓練内容を策定するためのシステムを構築する。企業が保有するヒヤリハット情報、事故情報、対応操作、ノウハウの整備、体系化を実施する。企業では業務の遂行や設備変更時の安全性確保に必要な膨大なデータ、情報、知識を保有している。これら情報のほとんどが紙面上に記載されている。企業より設備情報を入手し、これらを整理・体系化、データベース化し、それらを統合する。

1-(b) 運転教育・訓練シナリオの抽出

各事故・ヒヤリハット情報には共通部分と相違部分が存在する。運転・訓練の対象とするべき事故・ヒヤリハット情報活用の基本的な考え方は、事故/ヒヤリハット情報の異常進展共通部分を抽出し、基本的な異常進展モデ

ルを作成し、これらに対する対策・対応操作を付加し訓練シナリオを作成することである。これらを、仮想現実感により、可視化することにより、運転員の総合判断支援、設計・変更管理における情報提供、社員教育などへの利用が考えられる。

事故の進展解析支援を目的とし、事故情報から異常事象を抽出し、情報を整理・体系化するためのシステムを構築する。収集・蓄積された事故情報に対して自然言語処理を施し、情報に含まれている異常事象の解析、図表化を可能とする事象関連図作成システムの構築を行う。これにより、複数・雑多の事故・ヒヤリ情報を整理体系化することが出来、運転・訓練シナリオの抽出が可能となる。事故・ヒヤリハット情報は、石油精製活性化センターで保有する PEC-SAFER 内 DB、産業総合研究所で保有する RISCAD 等国内の DB、および研究代表者がこれまでに共同研究している企業から入手する。

課題2 ダイナミックシミュレータを中核とするプラント運転手順教示システム

2-(a) ダイナミックシミュレータ開発と異常進展解析・挙動予測システム設計

石油精製、石化プラントのダイナミックシミュレータを活用した運転手順教示システムのプロトタイプ開発はすでに終了している。しかし、運転員の教育・訓練のためには、操作に対応した実プラント挙動・運転情報を可視化する必要がある。本研究ではダイナミックシミュレータを用いて、プラント内での異常挙動を解析/予測する。ダイナミックシミュレータを用いた異常伝播解析を実施することで、プラントで発生する機器故障・操作エラーによってプラント機器、プロセス変数が時間とともにどのように遷移・変動するかを解析し、異常がプラント内をどのように伝播していくかを示す。プラント運転段階においては、異常時の対応操作を行う運転員に対して、異常伝播シナリオとして提示することにより、異常状態の伝播状況や異常の影響を認識させることができる。

2-(b) 異常対応決定支援システム

異常状況に対応するための対応操作を出力可能なシステムとする。対応操作は、企業より入手した異常時操作手順をデータベース化する。データベースよりプラント異常状況に対応した操作を抽出し、一連の操作を構成・出力する。この操作を実行すれば、その状況は課題 1-(a)で開発するシミュレータに反映する。その結果、運転員は対応操作の正当性については検証することが可能となる。本研究では、将来、計算機の処理速度、シミュレ

ータ機能が高度化されることを前提としているが、これにより図2に示す次世代の運転支援システムを構築する。

課題3 システムの統合による仮想デジタルプラント、次世代運転教育・訓練システムの構築

事故・ヒヤリハット、さらに異常時回復操作を体験するための空間であるバーチャルプラントでは、没入感を向上させるために、バーチャルプラント上で運転員・作業員の分身であるアバター（バーチャル環境上のオペレータ）を操作し、バーチャルプラントの操作を可能にする。この機能実現のためには、バーチャルプラントは実プラントと同様の挙動を表現できなくてはならない。具体的には、アバターがプラントを任意に操作すると、それに伴いプラント挙動は変動する。この時の操作の効果・影響、伝播状況をダイナミックシミュレータでモデル化し、デジタルプラント（VR空間）アニメーションとして再現し確認することができる。ユーザは其中で、アバターを通して選択した事故進展シナリオを体験することで、事故の問題や防止策を学ぶことが可能である。このシステムを開発するためには、バーチャルリアリティ空間を作成するための環境整備が必要である。記述されたシナリオに応じて事故を再現し、教示できなくてはならない。如何にバーチャルプラント内で事故を再現し、教示を行うのか、その教育のためのシナリオの構築バーチャルプラント内で実プラントでの事故と同様の事故をバーチャルプラントでの再現できるシステム仕様を策定・基本設計する。

4. 研究成果

課題1 事故・ヒヤリハット情報処理システム構築と運転教育・訓練シナリオの抽出

開発をしたシステムにより、PEC-SAFER、RISCAD、企業から入手した事故・ヒヤリハット情報を解析した。さらに、研究代表者、分担者、協力者とともに、企業、安全専門家の意見により、運転訓練の対象とすべきシナリオを抽出した。これら情報を、ダイナミックシミュレータ、仮想現実感システムと統合するためのインターフェースを開発した。

課題2 ダイナミックシミュレータを中核とするプラント運転手順教示システム

仮想実プラント・運転手順教示システムの双方のシミュレータを統合し、対応操作に応じた運転を DCS 上から可能とする。さらに、この情報を VR 上で表示し、さらに VR 上の現場での操作を仮想実プラントに反映させるためのシステムを開発した。

課題3 システムの統合による仮想デジタルプラント、次世代運転教育・訓練システムの構築

仮想デジタルプラントを構成した。プラント挙動、運転員操作に応じて、仮想現実感のグラフィックス・アバター(仮想運転員)を制御する必要がある。化学プラントのグラフィックスはこれまでに開発したものを活用し、デジタルプラント制御用ソフトを開発した。これらシステムにより運転・訓練システムを開発した。

この運転訓練システムは、プラントの異常時における運転訓練を対象としている。実際のプラントでは、中央制御室において温度、圧力、流量などのプロセス値を監視・コントロールしているボードマンと現場において現場計器の確認、バルブの開閉やポンプの起動などを行っているフィールドマンが連絡を取りながら作業を進めている。このような状況から本システムは、ボードマンとフィールドマンの両者を考慮したシステムの開発を行った。本システムは、現場操作画面をVirtual Realityで構築した仮想プラント内で行うことができるようにすることで、フィールドマン側の被訓練者がより現場を強くイメージできる環境で訓練を行うことを可能とした。また、またプロセス値に応じて、VR環境を変化させることで、プラント状態の変化を身体で体験できるものとした。

訓練には、訓練者用PC、ボードマン用PC、フィールドマン用PCの3つが必要であり、これらがネットワークを通じてつながっている。本システムを使った訓練では、インストラクター側PCでは、訓練内容に応じてプラント内の機器への異常を設定することや訓練の状況を監視することが可能である。そのため、インストラクターが訓練内容に合わせ異常状態をシミュレータに再現することから訓練はスタートする。そして被訓練者であるボードマンとフィールドマンは、異常の検知を行い、異常に合わせてプラントへの操作を行う。その時、ボードマンはディスプレイに表示されるプラントシミュレータのDCS画面を通して、フィールドマンは装着したHMD(Head Mounted Display)に表示される仮想プラント画面を見ながら、アバターを操作し、仮想プラント内の機器モデルの操作を行う。また、必要に合わせ、互いにコミュニケーションを取り合い連携作業を実施する。訓練終了後には、訓練結果を振り返り評価をする。

本システムを訓練に利用することで、企業にとって訓練スペース・コストの削減につながり、また運転員は安全にプラントにおける

異常発生時の訓練を行うことが可能になると考えられる。そして、日常業務の安全意識、知識・技量・感性からなる「総合力」の向上につながると考えられる。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計16件)

1. Yoshiomi MUNESAWA, Hirotsugu MINOWA, Kazuhiko SUZUKI, Development of Fault Diagnosis System Using Principal Component Analysis for Intelligent Operation Support System, Chemical Engineering Transactions (AIDIC), 査読有, Vol.31, 655-660, (2013)
2. Ken Isshiki, Atsuko Nakai, Kazuhiko Suzuki, Development of Hazard Identification system based on SDG Models, International Journal of Information Science and Intelligent System, 査読有, Vol.2, No.2, (2013)
3. 伊津見一彦, 門脇正典, 梶原康博, 滝聖子, 瀬尾明彦, “作業姿勢計画支援装置に関する研究”, 日本経営工学会論文誌, Vol.63, No.4, pp.236-244(2013.1) (査読有)
4. 伊津見一彦, 佐藤優太, 梶原康博, 滝聖子, 作業分析に基づく服飾雑貨流通加工の生産性向上に関する研究, 日本経営工学会論文誌, Vol.64, No.2, pp.169-176 (2013.7) (査読有)
5. 滝聖子, 梶原康博, 岩井信太郎, ICTを用いた技能伝承支援装置の開発, 日本設備管理学会誌, Vol.25, No.2, pp.39-45 (2013.7) (査読有)
6. 伊津見一彦, 梶原康博, 滝聖子, 江澤昇, 赤鹿智之, 熱交換器チューブ交換作業教育支援装置の開発, 日本設備管理学会誌, Vol.25, No.2, pp.46-51(2013.7) (査読有)
7. Nan Bin Mad, Sahar Syahril Ardi, Kazuhiko Suzuki, Yoshiomi Munesawa, Hirotsugu Minowa, HAZOP Analysis Management System with Dynamic Visual Model Aid, American Journal of Applied Sciences, Vol.7 Issue 7, 943-948, (2010)
8. S. Ardi, H. Minowa and K. Suzuki, Detection of Runaway Reaction in a Polyvinyl Chloride Batch Process Using Artificial Neural Networks, International Journal of Performability Engineering, 査読有, Vol. 5, No. 4, pp.475-484, 2009

〔学会発表〕(20件)

1. Yamamoto KEITA, Nakai ATSUKO and Suzuki KAZUHIKO, Development of Experienced-based Training System combined with Process Dynamic Simulation, , Asia Pacific Symposium on Safety , 2013.10.18 , シンガポール
2. Yuta KAIHATA, Atsuko NAKAI and Kazuhiko SUZUKI, Research on development of accident scenario to apply VR operator education system, Asia Pacific Symposium on Safety , 2013.10.18 , シンガポール
3. Kazuhiko Suzuki, How to prevent accidents in process industries?-Recent accidents and safety activities in JAPAN-, the 4th World Conference of Safety of Oil and Gas Industry, 2012.6.28 , ソウル
4. Toshihiko Banjoya, Yoshiomi Munesawa, Kazuhiko Suzuki, Construction of Fault Diagnosis System by Principal Component Analysis based on Change of Process Variables, International Conference of Industrial Management (ICIM2012), 2012.8.29 , 東京
5. Shotaro Yoshima, Yoshiomi Munesawa, Hirotsugu Minowa, Kazuhiko Suzuki, Development of Fault Diagnosis System without Amount of Feed in a Bath Plant, International Conference of Industrial Management (ICIM2012), 2012.8.29 , 東京
6. Taro Kajihama, Yoshiomi Munesawa, Kazuhiko Suzuki, Generation Method of SDG Model Considering the Chemical Process on HAZOPANALYSIS SYSTEM, International Conference of Industrial Management (ICIM2012), 2012.8.29 , 東京
7. Noriaki KISHIDA, Hirotsugu MINOWA, Yoshiomi MUNESAWA, Kazuhiko SUZUKI, Proposal for Branch Criteria for Training Depending on Educational Purpose in Chemical Plant, , Asia Pacific Symposium on Safety , 2011.10 , 韓国
8. Shogo HONDA, Hirotsugu MINOWA, Yoshiomi MUNESAWA, Kazuhiko SUZUKI, Development of Training System for Fundamental Operations in Chemical Plant Using Virtual Reality, , Asia Pacific Symposium on Safety, 2011.10 , 韓国
9. Noriaki KISHIDA, Yoshiomi MUNESAWA, Hirotsugu MINOWA, Kazuhiko SUZUKI, Development of Education Support System for Chemical Process Using Virtual Reality, International Conference of Industrial Management (ICIM2010), 2010.9.16 , 北京
10. Yoshiomi MUNESAWA, Hirotsugu MINOWA, Kazuhiko SUZUKI, Development of Intelligent Operation Support System having Dynamic Fault Propagation Analysis in Abnormalities, 13th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, 2010.6.8 , ベルギー
11. Eiichi Hoshijima, Hirotsugu Minowa, Yoshiomi Munesawa, Kazuhiko Suzuki, Development of Risk Assessment Support System for Chemical Plant Safety Design, Asia Pacific Symposium on Safety, 2009.10.20 , 大阪

〔図書〕(計1件)

1. 化学プラント運転員の安全教育・訓練と情報技術, 宗澤良臣, 鈴木和彦, 他101名, 《研究、開発、製造、検査現場における》ヒューマンエラー対策 事例集, 371-376 , (2013)

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 和彦 (SUZUKI KAZUHIKO)
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号: 50196797

(2)研究分担者

梶原 康博 (KAJIHARA YASUHIRO)
首都東京大学・システムデザイン研究科・教授
研究者番号: 70224409

宗澤 良臣 (MUNESAWA YOSHIOMI)
広島工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 70274008

(3)連携研究者

1. Perttu Heino
Tampere University of Applied
Science・Research director
2. Paul Chung
Loughborough University・Faculty of
Science・Professor