

平成 22年 5月 1日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2009

課題番号：18310116

研究課題名（和文） 化学プラント次世代安全管理・安全情報教示システム

研究課題名（英文） Advanced safety management・safety instruction system for chemical plants

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

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、次世代の安全管理システムと安全情報教示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システムからなる実験用模擬プラントを構築した。

研究成果の概要（英文）：

Advanced safety management system and safety instruction system 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 stats 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.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,200,000	0	5,200,000
2007年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
総計	15,300,000	3,030,000	18,330,000

研究分野：システム安全工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：安全システム，誤操作防止，事故防止，危険評価

1. 研究開始当初の背景

1990年代の後半になって、原子力燃料設備での火災爆発事故、臨界事故など数多くの重大事故が発生している。その後、現

在に至るまで各種製造設備で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、我が国における安全管理の手段・

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、職場の統合が盛んに行われている。また、2007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。人間の安全業務を支援する技術については、一部でその研究が実施されシステムが開発されているが、実用化の域には達していない。

上記の安全研究の多くは個別に行われており、提案されている安全システムには統合化と言う概念が導入されていない。しかし、安全管理業務は、設備の運用の状況、従業員技能のレベルなどにより多種多様であり、その状況に応じた機能を果たすシステムが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、1. 研究背景で述べた問題に対して、以下の3点を研究課題とし、システム設計、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。

- (1) ダイナミックシミュレータを中核とするプラント安全管理統合化システム（異常進展解析・異常挙動予測システム・リスク評価システム、異常対応決定支援システム）の構築
- (2) 安全情報データベース統合化、種々の安全技術情報、事故調査情報を共有可能な知的基盤の構築
- (3) 次世代統合化安全管理システム、運転支援・安全情報教示システムの構築

3. 研究の方法

課題1 ダイナミックシミュレータを中核とするプラント安全管理統合化システム（異常進展解析・異常挙動予測システム・リスク評価システム、異常対応決定支援システム）

1-(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

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、バッチプロセス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。これにより、プラント設計や変更段階においては、危険性解析を行う設計者の負担や解析漏れを軽減させることが可能となる。さらに、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、設計段階で実施された解析の結果を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もできる。

1-(b) リスク評価システム設計

課題 1-(a) ダイナミックシミュレータの出力より、初期事象を出発点とする異常進展シナリオを抽出する。初期事象発生確率、安全系の動作確率を考慮し、FTA・ETAにより、最終事象発生確率を算定する。さらに、災害影響度シミュレータにより、被害度を算出する。また、ダイナミックシミュレータより異常伝播速度が算出される。設備のリスクを算定する際、異常伝播の速度が重要な要素であり、この情報により、対応操作、安全系作動など安全設計、安全管理を支援するためのシステムを構築することが可能となる。

1-(c) 異常対応決定支援システム

課題 1-(b) のリスク評価システムの出力情報を基に、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、このシステムにより次世代の安全管理システムを構築する。

課題2 安全情報データベース統合化、種々の安全技術情報、事故調査情報を共有可能な知的基盤の構築

2-(a) 安全情報データの収集、データベース化

企業が保有する膨大な安全技術情報、ノウハウの整備、体系化を実施し、情報・データの共有化と公開を積極的に推進するための「知的基盤」を構築する。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。

2-(b) データベース統合化基本設計

各安全情報には共通部分と相違部分が存在する。安全情報の統合の基本的な考え方は、各安全情報の共通部分を横断検索し、相違部分を相互参照することにより、単一の情報では不十分なデータを補うことである。安全情報は、異常時の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。

本研究では、事象をコード化することによって、同一事象の検索を行う。コードは、事象の概念を体系化し、そこから得られた用語の組み合わせとする。この方法での問題点は、事象に関わる用語には多くのシソーラス（類義語）が存在することと、事象には包括関係が存在することである。このような問題に対して、ここでは、オントロジーの考え方を導入して、事象のコード化を行う。

課題3 化学プラント次世代安全管理・安全情報教示システムの構築

課題1, 2で構築するシステムの挙動やデータ構造を定義するために、オブジェクト指向に基づいて分析・設計・開発を行うための表記法である UML (Unified Modeling Language) を用いる。これにより、システム間の入力・出力を定義し、システム全体を統合するための基本設計を行う。さらに、危険源同定、リスク算定、安全対策支援が可能な次世代の安全管理システムを構築する。このシステムの基本は、原子力燃料施設で実施されている ISA(総合安全解析)手順を基礎とする。安全情報教示については、プラントの状況に応じた、操作手順情報、また、操作に関連する事故・ヒヤリハット情報を提示するためのシステムを構築する。

4. 研究成果

課題1については、化学プラントの安全管理を行うために、異常が発生したときの異常状態の挙動を予測することが重要である。対象プラントの設計情報を利用した異常伝搬経路探索システムの基本アルゴリズムの開発を行った。すなわち、対象プラント内の変数間の因果関係を定性的に表現する符号付有向グラフに変数間の異常伝搬速度を付加したモデルをプラント設計情報から作成し、そのモデル上で異常が最も早く伝搬する経路を自動的に探索するアルゴリズムを開発した。また、ボイラープラントシミュレータで典型的な異常状態を発生させたときの異常状態の伝搬状況に対応した異常伝搬経路の探索の可能性を検証した。その結果、プラントの安定運転のために設置されている制御系が異常の伝搬を抑制できない最悪のケ

ースについては、異常伝搬状況を表現する異常伝搬経路を探索することができた。また、ダイナミックシミュレータ機能の高度化を実施した。異常時対応操作の結果をシミュレータに反映させ、操作の正当性を表示するための機能を開発した。これにより、設備故障、誤操作、さらに地震等の災害によりプラント・プロセスの一部が故障・損壊した場合の異常進展シナリオを明らかにすることが可能となる。さらに、独立防御層の階層の異常時の故障確率、異常伝播スピードを考慮して設備のリスクを算定する。これらの異常進展、危険評価情報を基礎として、操作手順を決定する。さらに、ダイナミックシミュレータにより、その操作の正当性を判断することが可能であり、対応の誤りにより事故に至る事態を避けることができる。

課題2については、安全技術情報データベースと安全評価管理支援システムを構築した。事故・ヒヤリハットデータベースを構築するとともに複数のデータベース統合するための検索機能を構築し、実装した。事故事例・ヒヤリハット情報のデータベース化と自然言語処理を応用して、異常進展を抽出可能なシステムを構築した。さらに、HAZOPを基本とするリスク評価システムを開発した。このシステムについては実稼働プラントを対象として適用し、その機能の評価・検証している。さらに、安全情報管理システムを構築した。事故とヒヤリハットは、発生構造は同じであり、そこから事故に拡大しなかったものがヒヤリハットである。つまり、同じ直接要因や起因事象から事故に拡大したものと、ヒヤリハットで収まったものが存在する。ヒヤリハット情報及び事故情報を蓄積し、関連付けるためのヒヤリハット・事故情報統合システムを開発した。このシステムはヒヤリハット・事故の情報間の関連付け機能を有している。情報間の関連付けとは、異常事象をコード化した、検索コードを利用して、類似事例検索を行う機能である。これにより、成功体験であるヒヤリハット情報から有用な知識を抽出することができる。

課題3については、総合安全解析システムプロトタイプを実装した。危険源を特定するための解析サブシステム、リスク算定サブシステム、安全対策支援サブシステムから構成されている。さらに、異常時対応操作、安全業務に対応した安全情報教示システムを実装した。このシステムは、バッチプラント異常時におけるオペレータの行動支援を目的としており、ダイナミックシミュレータを用いた運転支援システムである。プラント状況

に相応しい運転指標や模範操作を教示する。それにより（１）熟練オペレータと同等の状況判断を下せるよう支援する機能と（２）適切な操作要領を理解させて手順ミス・操作遅れなどの誤操作を防ぐ機能を実現した。

これら機能を実現するために、安全制御設計・実験用模擬プラント開発した。実験用模擬プラントをダイナミックシミュレータ、仮想現実感システムから成る。模擬プラントを操作するために、仮想現実感システムとダイナミックシミュレータを統合する必要がある。仮想現実感システムとシミュレータのインターフェースを構築し、両システムのデータ交換を可能とした。これにより、仮想現実感システムを経由し、各種誤操作、設備故障を入力し、これをダイナミックシミュレータに反映することができる。ダイナミックシミュレータは、仮想現実感システムより入力された故障・誤操作を引き金とし、プラントプロセス変数の動的異常状態を再現することができる。この状況を仮想現実感で表示すると同時に回復操作などの操作手順を教示する。

システムの統合化と一部機能をネットワークによる共同作業・実験環境構築した。実験用模擬プラントにリモート操作・監視機能、リモートエンジニアリング機能を追加した。

以上の研究により、

1) 安全管理業務と安全技術情報の論理化・体系化が実現できた。これまでの安全管理は、専門家の知識・経験に依存することが多々あり、このような安全管理の形態はすでにその限界に達している。本研究により、安全管理業務と安全技術情報の関係を論理的に記述できる。このような研究は、安全管理の論理化という観点から学術的にその意義は大である。

2) ダイナミックシミュレータによるプラント挙動将来予測と運転支援を実現した。ダイナミックシミュレータを中核とし、平常時の安全管理、安全運転支援技術に加え、プラント異常時、さらには地震などの災害に対してその異常伝播を解析するとともに、緊急・異常時に必要な安全技術情報・操作手順・関連事故情報を提示することが可能となる。ダイナミックシミュレータは、今後のコンピュータの処理速度の向上・シミュレータの高度化など情報技術の発達により、プラントの挙動より高速に動的挙動をモデル化することができる。すなわち、プラントでの異常、または異常の兆候を検知した時点より、それを初期事象としてシミュレーションを実行することにより、実プラントより早く異常の挙動

を知ることが可能となる。これにより、運転員は、実時間でプラントにおける異常挙動を予測、対応操作を決定し実施することが可能である。すなわち、この技術により、異常時のプラント対応操作を決定、表示するとともに対応操作の是非が判断でき事故を未然に防ぐことが可能となる。

3) 安全技術情報のデータベース化、統合と安全業務への適用を実施した。近年の日本の装置産業を取り巻く環境の変化を見ると、ベテランの退職あるいはプラントの自動化による少人化に伴って、技術や知識の伝承の機会が減少している。一方、装置産業を代表とする製造設備には、保全履歴や危険性解析結果など数多くの安全情報が残されている。しかし、データベースが分散して構築され、相互の関連付けがない。また、利用目的が限定されているなどの理由から、既存の安全情報は有効に利用されていないのが現状である。本研究により、これら専門化の知識の集約し、共有することより技術や知識の伝承につながる。

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 19 件)

- 1) Datu Rizal, Shinichi Tani, Kimitoshi Nishiyama and Kazuhiko Suzuki, Safety and reliability analysis in a polyvinyl chloride batch process using dynamic simulator-case study, Loss of containment incident, Journal of Hazardous Materials, 査読有, No.A137, 2006, pp.9-1320
- 2) V.Ebrahimipour, Kazuhiko Suzuki, A synergetic approach for assessing and improving equipment performance in offshore industry based on dependability, Reliability Engineering and System Safety, 査読有, No.91, 2006, pp.10-19
- 3) V.Ebrahimipour, Kazuhiko Suzuki, A.Azadeh, An integrated off-on line approach for increasing stability and effectiveness of automated controlled systems based on pump dependability - case study : Offshore industry, Journal of Loss Prevention in the process industries, 査読有, No.19, 2006, pp.542-552
- 4) 凌 元錦 鈴木和彦 幸田武久, 独立防衛層の確率論的リスク評価, 計測自動制御学会論文集, 査読有, vol.42, No.1,

- 2006, pp.54-61
- 5) 柘植義文他, Improvement of the Searching Method of Fault Propagation Routes for Safety Assessment—Improved Method Considering Actions of Control Systems—, IEICE TECHNICAL REPORT, 査読有, No.R2008-30, 2008, pp.13-18
 - 6) 柘植義文他, 定常連続運転を行う大規模化学プラントにおける流量計の故障診断, 日本信頼性学会誌, Vol. 30, 2008, pp.128-137
 - 7) Y. Tsuge, N. Kimura 他, Prediction of Normal States of the Unsteady-state Process using the Database Model-Application to Poly Vinyl Chloride batch process -, Journal of the Society of Plant Engineers Japan, 査読有, Vol.18, 2008, pp.260-266
 - 8) Kazuhiko Suzuki 他, Detection of Runaway Reaction in a Polyvinyl Chloride Batch Process Using Artificial Neural Networks, International Journal of Performability Engineering, 査読有, 5巻4号, 2009, pp.367-376

[学会発表] (計 20 件)

- 1) Datu Risal, Kazuhiko Suzuki 他, The Refuse of HAZOP for Supporting Operational Hazard Identification, World Conference on Safety of Oil and Gas Industry, 2007年4月11日-13日, 韓国
- 2) Bin Mad Sahar NAN, Kazuhiko SUZUKI 他, Managing Risk Using Virtual Reality Simulation Supported by Automated HAZOP Analysis, Asia Pacific Symposium on Safety, 2007年10月31日, 韓国
- 3) 阿部飛太, 藤原朱実, 木村直樹, 柘植義文, 化学プラントにおける作業者の行動に着目した事故事例解析手法の提案, 日本設備管理学会 秋季研究発表大会, 2009年10月29日, 秋田県産業技術総合研究センター高度技術研究所(秋田)

[図書] (計 1 件)

鈴木和彦, 信頼性設計, 保全性設計
メンテナンストライボロジー 48頁~65頁
2006年, 244項

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

柘植 義文 (TSUGE YOSHIFUMI)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号: 00179988

(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