

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 10 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760588

研究課題名（和文）

プラントオペレータの認知情報処理モデルによるヒューマンエラー解析と事故対策立案

研究課題名（英文）

Analysis of human error in plant operations
by behavior simulation using a virtual subject

研究代表者

野田 賢（NODA MASARU）

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：60293891

研究成果の概要（和文）：本研究では、頻発するプラント事故の主要因であるオペレータの異常診断過程におけるヒューマンエラー発生メカニズムを、オペレータの認知情報処理プロセス（情報獲得、情報解析、意思決定、行為実行）のレベルで詳しく解明した。解析結果に基づき、ヒューマンエラー発生から異常診断ミス、プラント事故に至るメカニズムの解析結果から、事故につながるヒューマンエラー発生をオンラインで検知する方法や、ヒューマンエラーが発生しにくいアラームシステムや事故に至る途中の段階でヒューマンエラーの連鎖を断ち切る方策を提案した。このような異常診断ミスの発生を防ぐ新しい機能を付加したアラームシステムのプロトタイプを作成し、異常診断シミュレーションによりその有効性を検証した。本研究で得られた知見を生かしたプラント事故防止策の検討は、ますます高度化するプラントオペレーションにとって、本質的な安全対策立案の有力な手段となると期待される。

研究成果の概要（英文）：To analyze human errors in plant operations, it is essential to evaluate various performances of fault detection and identification (FDI) in emergencies. In this study, an operator model, which mimics the FDI behavior of a human operator with primary cognitive and executive capabilities, is developed as a virtual subject for supervising a chemical plant system. Analyzing the FDI tracks generated by the behavior simulation using the virtual subject under an alarm system makes it possible to evaluate the performance of the alarm system. In a case study, the evaluation method using the virtual subject is applied for designing an appropriate alarm system in a boiler plant simulator. FDI performances of the original alarm system for all assumed malfunctions are evaluated and alarm signal selection and limit settings are reconsidered according to the evaluation results. The results of the case study demonstrate the usefulness of the model-based evaluation method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,200,000	630,000	2,730,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・反応工学・プロセスシステム

キーワード：異常診断、ヒューマンエラー、認知モデル、アラームシステム、プラント事故

1. 研究開始当初の背景

高度に自動化が進んだ化学プラント産業においても、人間のほうが機械よりも柔軟性に富むという理由から、依然として人間が運転業務において重要な役割を担っている。経験や勘などに基づく人間の高度な認識や判断に委ねられる運転業務の一つに、アラームシステムを使ったプラントの異常兆候の検知や異常原因の診断などがある。アラームシステムのようなオペレータの異常診断を支援するシステムの設計には、人間とシステムの関わりを認知情報処理プロセスのレベルで詳細に分析し、その結果をフィードバックすることが重要である。

欧米では、オペレータの異常診断ミスによるプラント事故の多発を契機に、プラント安全に関する新たな法規制やガイドラインの制定が進んでいる。アラーム設計のガイドラインとしては、欧州の Engineering Equipment and Material Users' Association (EEMUA) の Publication No. 191 が、効果的なアラームマネジメントの進め方としては7ステップアプローチなどがある。いずれも人間の認知情報処理プロセスを考慮したアラームシステム設計の重要性を指摘しているものの、具体的な設計法については触れていない。

現実のオペレータの異常診断過程は実測の難しさから、分析が十分できていない。プラントオペレータの理想的な異常診断過程をモデル化し、プラントアラームシステム評価のための仮想オペレータとして用いることで、ヒューマンエラーの発生メカニズムを明らかにし、異常診断支援システムの設計にフィードバックする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、オペレータの異常診断過程を認知情報処理プロセスのレベルで詳しく解明し、モデル化することを研究の目的とする。アラームシステムの不備が、オペレータの異常診断ミス、プラント事故に至るメカニズムをシミュレーションにより明らかにし、ヒューマンエラーを発生させにくいアラームシステムや事故に至る途中の段階でヒューマンエラーの連鎖を断ち切る方策を提案する。

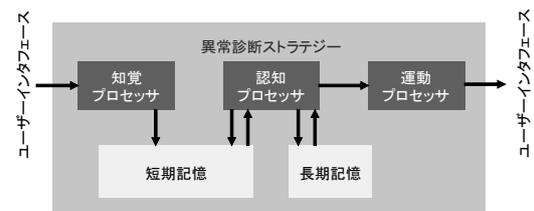
3. 研究の方法

異常診断シミュレーション環境を構築し、オペレータの異常診断過程を調査した結果に基づき、異常診断中のオペレータの認知情報処理モデルを構築する。構築したモデルを用いた異常診断シミュレーションによ

り、不適切なアラームシステムがオペレータの異常診断にどのような影響を与え、診断ミスにどのようなにつながるのか、そのメカニズムを認知情報処理（情報獲得、情報解析、意思決定、行為実行）のレベルで詳しく解析する。得られた知見を基に、異常診断ミスを招かないアラームシステムを開発する。

4. 研究成果

Liu らの異常診断時のプラントオペレータの認知情報処理モデル（オペレータモデル）は、Card らの Model Human Processor に、異常診断シミュレーションに必要な知識ベース、異常診断ストラテジーを組み合わせたものである。オペレータモデルは、第1図に示すように知覚プロセッサ、認知プロセッサ、運動プロセッサ、短期記憶および長期記憶からなる。

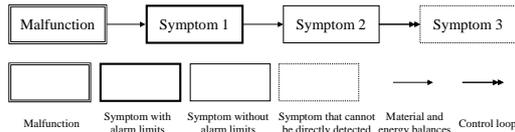


第1図 オペレータモデルの構造

DCS の監視操作画面などのユーザーインタフェースから知覚プロセッサにより獲得されたアラーム情報やプラント情報は、短期記憶に一時的に蓄積される。認知プロセッサは、短期記憶に蓄積された情報と長期記憶に保存されているプラント異常と兆候に関する知識ベースを基に、異常診断ストラテジーにしたがって異常原因の特定を進める。異常診断のために新たなプラント情報が必要であれば、運動プロセッサによりユーザーインタフェースを操作し情報を取得する。プラント異常特定に必要な情報が十分得られたと判断された時点で、異常診断は終了する。

オペレータモデルに必要な知識データベースは、プロセス変数情報知識ベース VI-KB (Variable Information Knowledge Base)、アラームマネジメント知識ベース AM-KB (Alarm Management Knowledge Base)、異常兆候知識ベース FS-KB (Failure Symptom Knowledge Base) の三つである。これらの知識ベースはオペレータモデルの長期記憶に保存されている。VI-KB は、プロセス変数の監視操作画面上での表示位置、形状、色などを定義したもので、仮想オペレータが監視操

作画面上の情報を取得する際に参照する。AM-KB は、アラームステータスからプロセス変数の変動（兆候）への変換ルールをまとめたものである。プロセス変数の変動（兆候）は、異常原因を突き止める際の手がかりとなる。FS-KB は、異常原因とその異常原因に起因してプラントに現れる兆候の関係を整理したものである。プラントで想定されるすべての事故シナリオに対して、HAZOP 解析やシミュレータを用いて、異常原因に起因するプロセス変数の兆候を、第2図に示すような異常伝播図として整理する。



第2図 異常伝播図の基本要素

異常診断シミュレーションの結果として、異常診断過程が得られる。異常診断過程は知覚、認知、フィジカル、短期記憶、長期記憶のサブタスクから構成される。異常診断過程を詳しく解析すれば、仮想オペレータがどのような過程を経て異常原因の特定に至ったのかを調べることができる。各サブタスクに標準時間を与えれば、異常診断終了までの時間を推定することができる。

あるプラントで想定される 11 種類の異常原因に対して、2 種のアラームシステム A、B の性能を、オペレータモデルを用いて比較した結果を第1表に示す。評価は、(1) 異常発生後 10 分間のアラーム発生数、(2) 異常発生後 10 分間のアラーム発生種類の数、(3) オペレータモデルによるアラーム発生時から異常特定完了までの経過時間(秒)で行った。

第1表から、多くの異常に対してシステム A のほうがシステム B よりも異常発生後に生じるアラーム数（評価 1）や種類の数（評価 2）が少なく、発生するアラームがより厳選されていることがわかる。システム B で全くアラームが発生しなかった異常 No. 7 は、システム A ではアラームが発生している。さらに、システム B は、異常 No. 9 発生時 10 分間で 57 回のアラームを発生させるものの、オペレータモデルは異常原因特定に至ることはできず、不適切なアラームとなっていることが推測される。

さらに、離散的に発生するイベントとその発生時刻からなるイベントログデータからの知識抽出法でイベント相関解析を、エチレンプラントのイベントログデータにイベント相関解析を適用し、日々のプラントオペレーションに潜む連鎖アラーム、定型操作、不要なアラームおよび操作の抽出を試みた。操作イベントおよびアラームイベントをイベント間の類似度に基づきグループ化し、同一

グループ内に含まれるイベント群の関係を詳しく分析した結果、個々のイベント情報からだけではわかりにくいイベント群の発生原因を的確に発見できることを示した。また、従来の個別のイベント発生頻度に着目した方法では削減対象とならなかった発生頻度の少ない不要イベントも抽出できることを確認した。イベント相関解析の結果をもとにイベント削減策の効果を定量的に評価できるため、費用対効果に基づく改善に役立つ。

今後は、アラームの洪水や連鎖アラームなどの有害アラームが引き起こすヒューマンエラーに対するアラームサプレッションやシェルビングなどの論理アラーム処理の抑制効果を、オペレータモデルを用いた異常診断シミュレーションにより、認知情報処理プロセスのレベルで詳しく解析する。得られた知見に基づき、ヒューマンエラーが発生しにくいアラームシステムのプロトタイプを作成し、現役オペレータによる実験によりその有効性を検証する。

第1表 アラームシステムの評価結果

Alarm System A											
Criteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	6	66	3	4	2	6	1	8	21	1	2
2	5	1	3	4	2	5	1	7	8	1	2
3	6	4	39	4	213	3	215	81	11	2	6

Alarm System B											
Criteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	8	4	4	7	1	5	0	12	57	5	1
2	7	3	4	7	1	5	0	12	12	5	1
3	2	4	49	4	3	3	--	7	--	7	6

--: No available data.

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 9 件)

- ① 高井努, 野田賢, 樋口文孝, オペレータアンケートによるプラントアラームシステムの 8 特性評価, ヒューマンファクターズ, 16 巻, 80-87, 2012, 査読有
- ② 馬場一嘉, 野田賢, 西谷紘一, プラント運転用 DCS 画面設計指針とそのオペレータ評価, ヒューマンファクターズ, 16 巻, 88-98, 2012, 査読有
- ③ 高井務, 野田賢, イベント相関解析によるエチレンプラント運転ログデータからの不要イベント抽出, 化学工学論文集, 37 巻, 539-545, 2011, 査読有
- ④ 倉田浩二郎, 野田賢, 菊池康紀, 平尾雅彦, プラントアラームシステム適正化のためのイベント相関解析法の拡張, 化学工学論文集, 37 巻, 338-343, 2011, 査読有
- ⑤ Masaru Noda, Fumitaka Higuchi, Tsutomu

Takai, Hirokazu Nishitani, Event Correlation Analysis for Alarm System Rationalization, Asia-Pacific J. of Chem. Eng., Vol. 6, 497-502, 2011, 査読有

⑥ 樋口文孝, 野田賢, 西谷紘一, イベント相関解析によるエチレンプラントのアラーム削減, 化学工学論文集, 36 巻, 576-581, 2010, 査読有

⑦ 武田和宏, 濱口孝司, 野田賢, 木村直樹, 伊藤利昭, 二層 Cause-Effect モデルによるプラントアラーム変数選択法, 化学工学論文集, 36 巻, 582-588, 2010, 査読有

⑧ 木村直樹, 野田賢, 武田和宏, 濱口孝司, 伊藤利昭, Cause-Effect モデルに基づくプラントアラームシステムの性能評価の一手法, ヒューマンファクターズ, 15 巻, 28-35, 2010, 査読有

⑨ 武田和宏, 濱口孝司, 野田賢, Cause-Effect モデルに基づくプラントアラームシステム設計, 化学工学論文集, 36 巻, 136-142, 2010, 査読有

[学会発表] (計 16 件)

① 野田賢, 仮想オペレータモデルの構築とプラントアラームシステム評価への応用, 第 12 回計測自動制御学会制御部門大会, 2012. 3. 14 日, 奈良県文化会館

② 加藤誠, 野田賢, 武田和宏, 菊池康紀, 平尾雅彦, アラームの発報順を考慮したプラントアラーム変数選択法, 化学工学会第 77 年会, 2012. 3. 15, 工学院大学

③ Masaru Noda, Tsutomu Takai and Fumitaka Higuchi, Operation Analysis of Ethylene Plant by Event Correlation Analysis of Operation Log Data, FOCAPO 2012, 2012. 1. 8, Savannah

④ 野田賢, 高井努, 杉本謙二, アラームマネジメントのためのプラント運転データ解析, 第 54 回自動制御連合講演会, 2011. 11. 19, 豊橋技術科学大学

⑤ Masaru Noda, Kohjiro Kurata, Yasunori Kikuchi and Masahiko Hirao, Event Correlation Analysis of Plant Operation Data with Large Variance in Time Lag for Alarm System Rationalization, 2011 AIChE Annual Meeting, 2011. 10. 16, Minneapolis

⑥ Tsutomu Takai and Masaru Noda, Performance Monitoring of Industrial Plant Alarm Systems using Event Correlation Analysis, 2011 AIChE Annual Meeting, 2011. 10. 16, Minneapolis

⑦ 高井努, 野田賢, イベント相関解析を用いたアラームシステムのパフォーマンスモニタリング, 化学工学会第 43 回秋季大会, 2011. 9. 14, 名古屋工業大学

⑧ Kazuhiro Takeda, Annuar Aimi, Takashi

Hamaguchi, Masaru Noda, and Naoki Kimura, Design Method of Plant Alarm Systems on the Basis of Two-Layer Cause-Effect Model, The 15th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems, 2011. 9. 12, Kaiserslautern

⑨ Naoki Kimura, Kazuhiro Takeda, Masaru Noda, and Takashi Hamaguchi, An Evaluation Method for Plant Alarm Systems based on a Cause-Effect Model, The 21th European symposium on computer aided process engineering, 2011. 5. 29, Chalkidiki

⑩ 倉田浩二郎, 菊池康紀, 野田賢, 平尾雅彦, アラームシステム適正化のためのプラント運転データの詳細解析, 化学工学会第 76 年会, 2011. 3. 22, 東京農工大

⑪ 木村直樹, 野田賢, 武田和宏, 濱口孝司, 二層 CE モデルに基づくプラントアラームシステムの診断性評価, 日本プラント・ヒューマンファクター学会 2010 年度大会, 2010. 9. 17, 奈良先端大

⑫ Kazuhiro Takeda, Takashi Hamaguchi, Masaru Noda, Naoki Kimura, and Toshiaki Itoh, Plant Alarm Signal Selection on the Basis of Two-Layers Cause-Effect Model, KES 2010, 2010. 9. 8, Cardiff

⑬ 木村直樹, 野田賢, 武田和宏, 濱口孝司, CE モデルに基づくアラーム変数選択法のダイナミックシミュレーションによる検証, 化学工学会第 42 回秋季大会, 2010. 9. 6, 同志社大学

⑭ Tsutomu Takai, Higuchi Fumitaka, Akirou Shimameguri, Masaru Noda and Taketoshi Kurooka, A Comprehensive Evaluation Method of Alarm System from The Standpoint of 8 Characteristics, PSE Asia 2010. 7. 25, Singapore

⑮ Kazuhiro Takeda, Takashi Hamaguchi, Masaru Noda, Naoki Kimura and Toshiaki Ito, Sensor Selection Method using Cause-Effect Model for Plant Alarm System Design, PSE Asia 2010, 2010. 7. 25, Singapore

⑯ Fumitaka Higuchi, Ichizo Yamamoto, Tsutomu Takai, Masaru Noda, Hirokazu Nishitani, Rationalization of Plant Alarm System using Event Correlation Analysis, PSE Asia 2010, 2010. 7. 25, Singapore

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野田賢 (NODA MASARU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号: 60293891