

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予防策立案

Human Error Analysis in Plant Operation using Virtual Subject

1081021



研究代表者 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 准教授 野田 賢

[研究の目的]

本研究では、プラントシミュレータを使ってプラント異常を再現し、異常診断中のオペレータの視線移動を計測することで、オペレータの認知情報処理モデル（オペレータモデル）を構築する。ヒューマンエラー発生から誤った異常診断を防ぐために、オペレータモデルを用いたプラントアラームシステムの評価法を提案する。

[研究の内容、成果]

1. 異常診断時のプラントオペレータの視線移動計測実験

プラント事故対策を考える際に役立つオペレータモデルを構築するために、プラントシミュレータ（AspenTech 社製 HYSYS）を用いて事故が発生しやすいクリティカルな状況下でのオペレータの視線移動計測実験を行った。2名のプラント運転経験者に被験者として実験への協力を依頼した。視線移動計測実験環境を図1に、オペレータコンソールのオーバービューを図2に、4画面分割ユニットの記録映像例を図3に示す。監視操作画面上の視線移動情報と実験後のインタビューからオペレータの異常診断時の情報取得過程を解析した結果、オペレータは数個のパラメータに着目したパターンマッチングにより異常同定を行っていることが明らかになった。

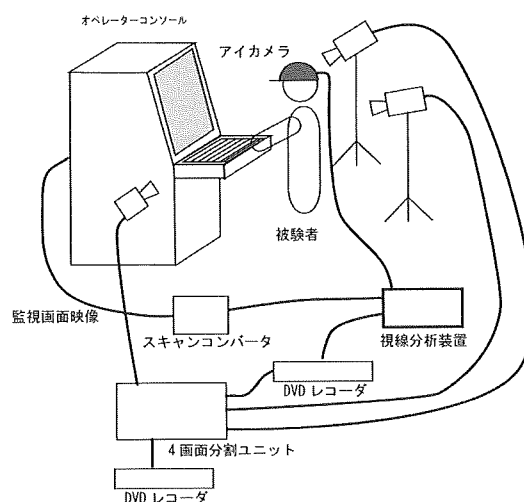


図1 実験環境

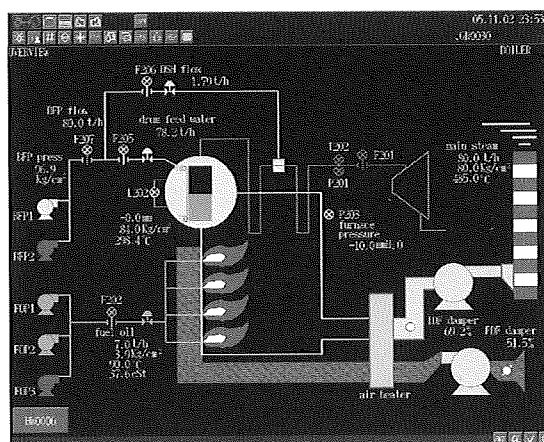


図2 オペレータコンソールオーバービュー



図3 4画面分割ユニット記録映像の例

2. プラントオペレータの認知情報処理モデルの構築

異常診断時のプラントオペレータの視線移動計測実験結果を参考に、異常監視時の認知プロセッサの動作を決定するすべての動作ルールを記述した状態監視知識データベースを作成した。そして、プラントアラームシステムを介して獲得した監視操作画面の情報とイベント知識データベースに記述された知識を用いて、プラントの異常原因を特定するオペレータの認知情報処理モデル（オペレータモデル）を構築した。オペレータモデルの構造を図4に示す。

オペレータモデルを用いた異常診断シミュレーションの結果として、図5に示すような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

ば、異常診断終了までの時間を推定することができる。

ダイナミックプロセスシミュレータに、オペレータの異常診断過程を模擬するオペレータの認知情報処理モデル（PSE Enterprise社製 gPROMS Model Builder）を結合し、異常診断シミュレータを構築した。HAZOP解析によりプラント異常を網羅的に生成し、様々な知覚系エラーや思考系エラーが発生したときのオペレータの異常診断シミュレーションを行い、ヒューマンエラー発生から異常の診断ミス、プラント事故発生までのメカニズム解明のための基礎データを収集した。

3. オペレータモデルを用いたアラームシステム評価

プラント事故を防ぐ仕組みの一つにプラントアラームシステムがある。本研究ではオペレータのプラント異常診断場面に限定した認知情報処理モデルを、アラームシステム評価のための仮想的なオペレータとして、アラーム発生から異常原因特定までの過程を認知情報処理のレベルで細かく分析することで、プラントアラームシステムの評価を試みた。

図6に示すボイラープラントで想定される10種類の異常の早期検出および診断を目的とするアラームシステムの評価を行った。アラームシステムの設計は、異常とその結果生じるプラント状態の変動との関係を整理した異常伝播図に基づく方法（アラームシステムA）と、プラント内のすべての計測点をアラーム変数と

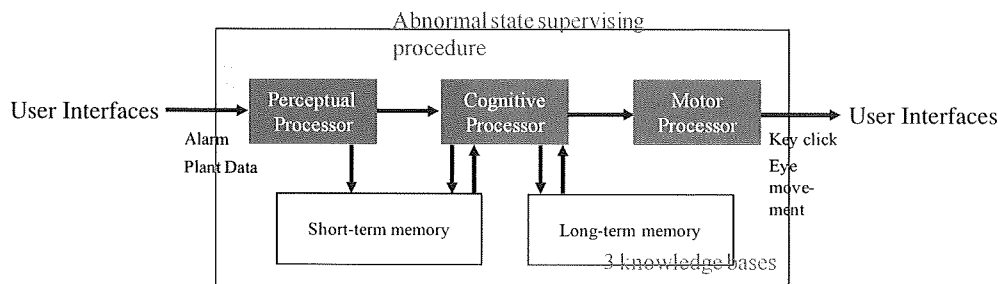


図4 オペレータモデル

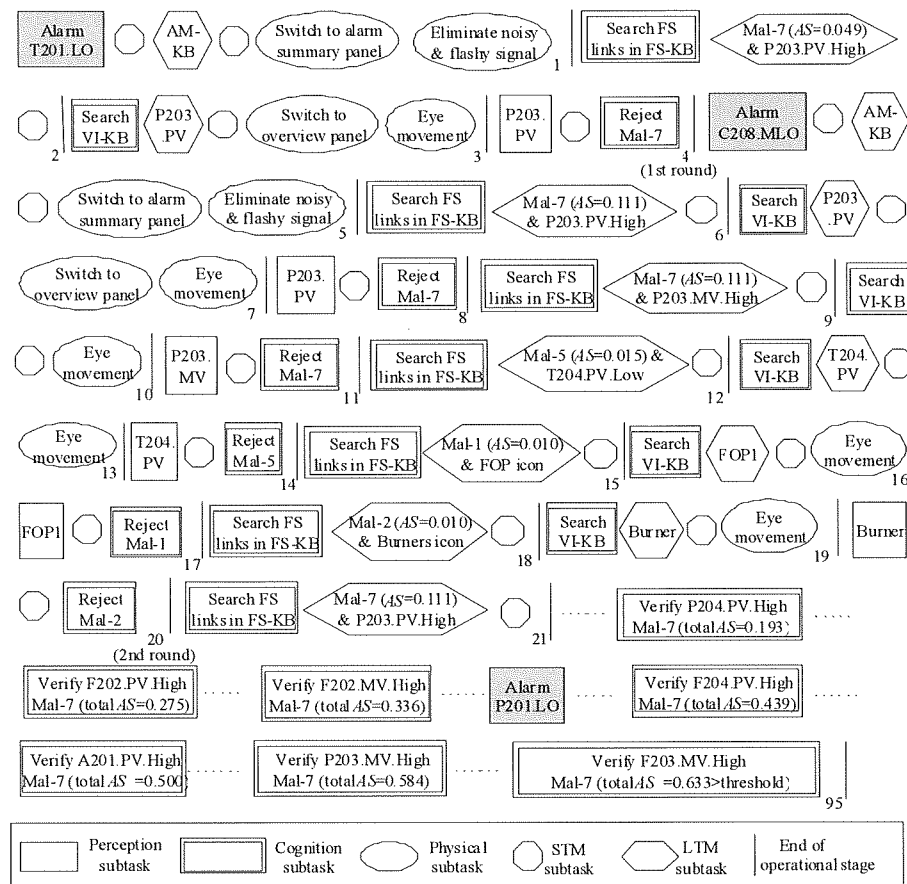


図5 異常診断過程のシミュレーション結果

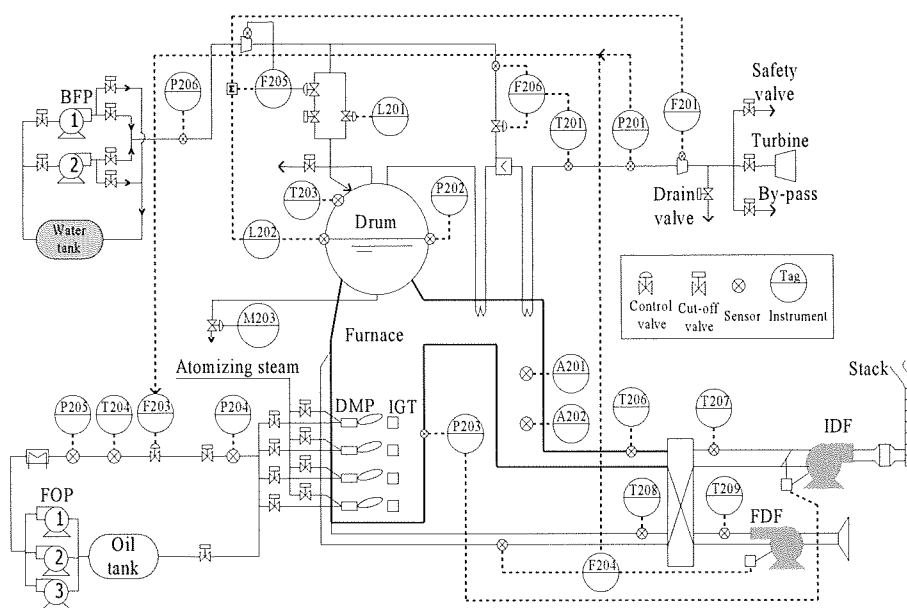


図6 ボイラープラントのプロセスフロー

する方法（アラームシステム B）によって行った。緊急アラームの管理範囲を、計装点の測定レンジとする方法、平常運転時の状態変数の変動幅を基準とする方法によって定めた。設計したアラームシステムを用いた異常診断シミュレーションを行い、アラームシステムごとに、異常診断終了までの時間、情報の収集過程、異常診断ミスの発生率、アラーム発生数、発生アラーム種類などの基礎データを収集した。

シミュレーションの結果から、ボイラープラントで想定される 10 種類の異常原因に対する二種のアラームシステム A, B の性能を比較した。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。その結果、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や種類の数が少なく、発生するアラームがより厳選されていることがわかった。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システムとなっている。

【今後の研究の方向、課題】

これまでの研究成果により、プラントオペレータが異常診断中に起こすヒューマンエラーを、プラントシミュレータとオペレータモデルを用いたシミュレーションで再現し、オペレータの知覚系、思考系エラー発生から誤った異常診断、プラント事故に至るまでの過程を解析できるようになった。事故の発生原因を、オペレータの認知・判断プロセスのどの段階にエラーが発生すると事故に至るのか、またアラームシステムによってなぜエラーの連鎖を止め誤った異

常診断を防止することができなかったのか詳しく分析し、その発生メカニズムまで踏み込んで考察できる。オペレータの異常診断行動を複数の認知情報処理プロセスに分解しヒューマンエラー発生から、誤った異常診断に至るメカニズムを、アラームシステムのようなオペレータ支援システムの評価に用いることは、多くのプラント事故の原因と推測されるヒューマンエラーに対してロバストな事故予防策の立案の実現に役立つ。これらの知見を生かした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おいて、本質的な安全対策立案の有力な手段となる。

【成果の発表、論文等】

- [1] 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 (採択済)
- [2] Xiwei Liu, Masaru Noda and Hirokazu Nishitani: Evaluation of Plant Alarm Systems using a Virtual Subject, *Computers & Chemical Engineering* (採択済)
- [3] Masaru Noda and Hirokazu Nishitani: Design of Plant Alarm Systems on the Basis of Operator's Workload, *Proceedings of AE International 2008* (CD-ROM), July 14-17, Las Vegas (2008)
- [4] 大西智士, 武田和宏, 浜口孝司, 木村直樹, 野田賢: Cause-Effect モデルに基づくアラームシステムの設計, 化学工学会第 74 年会, 3 月 18 日～20 日, 横浜国立大学 (2009)
- [5] 武田和宏, 浜口孝司, 野田賢, 木村直樹: 構造化された二層 CE モデルに基づくアラーム変数の選好度評価, 化学工学会第 41 回秋季大会, 9 月 16 日～18 日, 広島大学 (2009)
- [6] Data-Based and Model-Based Evaluation of Plant Alarm Systems for Human-Centered Plant Operation, *Proceedings of PSE symposium*, Dec. 18, Taipei (2009)
- [7] 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*, July 25-28, Singapore (2010)