

## 自動化システムとの協調に向けたプラント運転支援システムの検討 Study of a Plant Operation Support System for Cooperation between Operators and Automation Systems

山本 南美<sup>†</sup> 鍵本 麻美<sup>‡</sup> 吉永 光伸<sup>†</sup>  
Nami Yamamoto Mami Kagimoto Mitsunobu Yoshinaga

### 1. はじめに

近年、技術的な進歩に伴い、プラント運転における高効率化と高精度化を目的とした自動化範囲の拡大が進んでおり、運転員の監視操作は従来の手動運転中心から自動運転中心へと移行している。大規模発電プラントでは、特に異常発生時の対応操作において、全ての運転を自動運転に委ねることは不可能であり、状況に応じた運転員の手動操作を含めた介入が必須となることから、運転員と自動化システムとの協調が不可欠である。

大規模発電プラントの運転員は、中央制御室に設置された運転員用コンソールを用いて、プラントを構成する複数の機器の監視操作を実施する。従来の運転員用コンソールは監視操作システムや手順書システムなどを含む複数の設備で構成される(図1)。これらは運転員が主体的に操作する手動運転中心向けに設計されており、自動運転中心の監視操作の要求を満足するものではない。このため、自動運転に適した運転支援システムの研究がなされている[1-2]。

本稿では、自動運転中心のプラント運転における、運転員と自動化システムとの協調運転の実現に向けて、監視操作システムと手順書システムとを統合したプラント運転支援システムの要件及び機能の検討を行った。更に、自動運転の課題の一つである運転員のワークロードに関して静的検証を行い、検討したプラント運転支援システムと従来システムとを比較した評価結果について報告する。

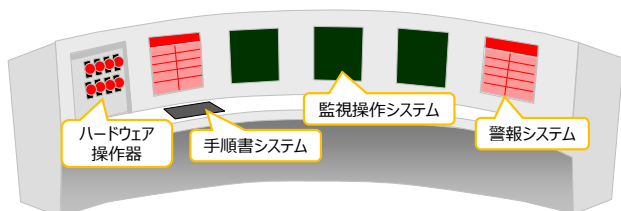


図1 従来の運転員用コンソールの例

### 2. 自動運転の課題

自動運転の導入が進む航空分野では、自動運転状況下で発生するヒューマンエラーを状況認識の観点で分析している。Endsleyは、状況認識をレベル1(認識)、レベル2(理解)、レベル3(予測)の3段階に分類している[3]。Jonesらの研究[4]では、レベル1のエラー(異常があるにも関わらず全く気付かない)は80%、レベル2のエラー(異常の発生には気付いたものの異常の原因が分からない)は17%、レベル3のエラー(異常の原因は分かっていたが、まだ対応しなくても大丈夫だろう)は3%と報告されている。全体のヒューマンエラーの内、レベル1(認識)とレベル2(理解)のエラーが97%を占めており、人間による自動化システムの適切な状況認識の維持が課題である。

高速なタスク、高頻度で繰り返すタスク、及び正確な制御が必要なタスクは、自動化システムが得意とする。一方、

複雑な状況や想定外の状況下における、知識や経験を必要とする判断・操作は人間にしかできない。人間と自動化システムとの協調運転においては、人間と自動化システムがそれぞれに得意なタスクを分担しながら運転を進めていく。また、自動化システム運転中に、自動化システムによる操作が妥当でないと判断した場合、人間は即座に自動化システムに介入しなければならない。人間と自動化システムの役割に適した協調の実現が課題である。

### 3. 自動運転に適した運転支援システムの要件

従来の手動運転中心のプラント運転では、運転員は、手順書システム画面で、実施手順及び監視すべきパラメータを確認しながら、監視操作システム画面で、プラント運転(起動/停止、定常運転など)に必要なパラメータ監視によるプラント状況の把握、機器操作を行っていた。このように、従来のシステムでは、運転員自身の主体的な運転操作によりプラントの状況認識を獲得していた。

一方、自動運転中心のプラント運転では、運転員自身の操作自体は減少するものの、システム主体から運転員主体への運転切り替え(手動介入)に備えて、自動化システムの運転状況を適切に把握することが求められる。また、常時自動化システムの運転状況を把握し続ける必要があり、運転員の認知負荷も増大する。このため、運転員の認知負荷を含めたワークロードの低減と、自動化システムの状況認識の精度向上とを実現する運転システムが必要である。

また、自動運転中心のプラント運転では、従来運転員が担当していた多くの単純操作が自動化システムにより実施可能になる。これにより、運転員の知識や経験を必要とする、ホールドポイントにおける自動化システムの起動操作や動作実施の承認操作などが、運転員の主な役割となる。また、自動化システムによる操作が妥当でないと運転員が判断した場合、即座に自動化システムの操作に介入する。このため、自動化システムの承認操作やシステムへの手動介入などの運転員の新しい役割に適した、自動化システムとの協調を実現する運転システムが必要である。

### 4. 運転支援システムの機能

運転員と自動化システムとの協調運転に向けて、手順書システムと監視操作システムとを統合した運転支援システムを提案する。本運転支援システムは、運転員の認知負荷を含めたワークロードの低減と、自動化システムの状況認識の精度向上とを可能にし、システム主体から運転員主体への手動介入の迅速な判断・操作を支援する(図2)。

#### 4.1 自動運転時における適切な状況認識の維持

運転員は、運転操作内容とその操作に応じたパラメータの変動からプラント状況を把握する。従来の手順書システムでは、運転員の実施手順のみが提示されていたが、自動運転中心のプラント運転では、自動化システムによる監視

操作が増加するため、自動化システムの実施手順（実施内容）も併せて提示することにより、運転員による自動化システムの運転状況（実施中や実施済みなど）の認識及びプラント状況の把握を容易にする。

運転員は、自動化システムの運転状況によりプラントの正常動作を確認する必要があるが、操作ステップレベルの手順では、どのような目的で実施されているのかを把握することが困難である。そこで、操作ステップレベルの手順だけでなく、個々の操作ステップを抽象化した目的レベルの手順も表示することにより、運転員が自動化システムの目的・意図を正しく把握することを可能にする。また、複数の目的レベルの手順をフローチャート形式で表示することにより、事象対応全体の流れを俯瞰的に把握可能にする。

各操作ステップに併せて、関連するプラントパラメータの値を表示することにより、自動化システムの実施によるプラントの状況や機器の状態の把握を容易にする。

#### 4.2 手動介入の迅速な判断・操作の支援

運転員は、自動化システムの起動操作や承認操作など、運転員が実施すべき操作の内容やその発生するタイミングを適切に把握する必要がある。そこで、各操作ステップには実施担当（運転員または自動化システム）を明示し、実施担当でフィルタリングすることにより、運転員の操作手順のみを確認可能とする。また、各操作ステップの所要時間を用いて運転員の操作発生タイミングを事前に予告し、実際に運転員の操作が発生した際は、手順の明滅や音で運転員に通知する。また、自動化システムの起動操作や承認操作など、運転員の操作ステップから直接運転操作を実施することにより、迅速な対応を可能にする。

手順実施状況に応じて予想されるプラントパラメータの動きと実際のパラメータ値の履歴を併せてグラフ表示することにより、運転員の自動化システムの運転状況及びプラント状況の把握を容易にする。また、手順実施状況に応じて予想されるプラントパラメータの動きと実際のパラメータ値が乖離している場合にワーニングを表示することにより、運転員に気づきを与え、迅速な手動介入の判断を可能にする。

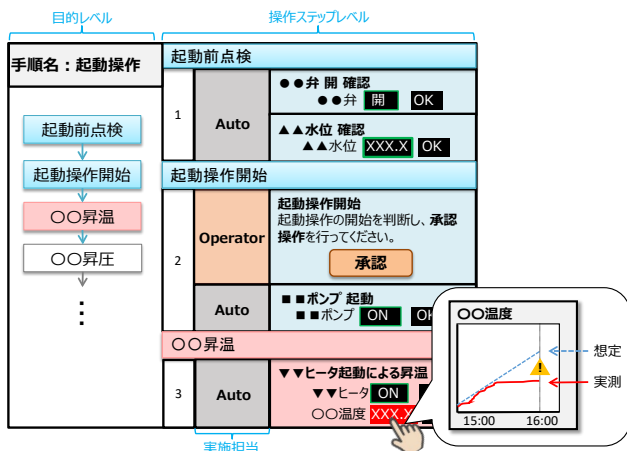


図2 システムの画面イメージ

† 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所  
Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation  
‡ 三菱電機株式会社 電力システム製作所  
Energy Systems Center, Mitsubishi Electric Corporation

#### 5. ワークロード評価

自動運転中心のプラント運転における状況認識の課題は、運転員の認知負荷を含めたワークロード低減と、運転員の自動化システムの状況認識精度向上の二つである。状況認識の課題の一つである運転員のワークロードの静的検証として、人間情報処理モデル[5]を用いた評価を実施した。

人間情報処理モデルは、ワークロードの机上評価手法である。人間の脳内処理を、三つの単純システム（知覚システム、認知システム、運動システム）に分割してモデル化する。知覚システムは、外部からの刺激を感覚器（目、耳、鼻など）により情報収集して脳に記憶する。認知システムは、人間の感覚器からの情報の記憶と既に蓄積された知識を用いて解析及び判断を行う。運動システムは、判断結果に基づいて行う行動に関連した運動系（手、足など）に命令伝達して最終的な動作をする。各システムの処理時間を合計することにより、運転員の内部処理量、即ちワークロードを定量化する（図3）。

上記の人間情報処理モデルを用いて、提案したプラント運転支援システムを用いた場合と従来の手順書システム及び監視操作システムを用いた場合の、異常対応時に必要な処理時間を算出した。その結果、従来システムと比べて提案システムでの処理時間は半分程度となり、運転員のワークロードを低減できることを確認した。

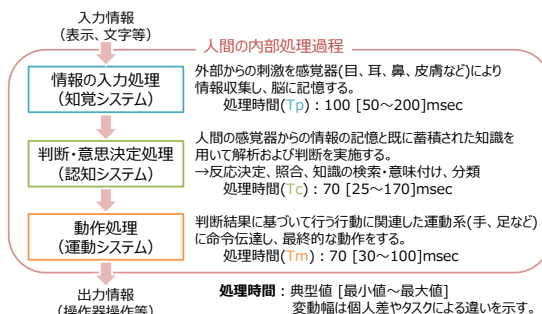


図3 人間情報処理モデル

#### 6. おわりに

本稿では、自動化範囲が拡大した大規模発電プラント向けに、監視操作システムと手順書システムの機能を統合し、自動運転時の適切な状況認識の維持と運転員による介入の迅速な判断・操作とを容易にするプラント運転支援システムについて検討した。また、自動運転の課題の一つであるワークロードに関して、人間情報処理モデルを用いた静的検証を行った。その結果、提案した運転支援システムでは、運転員のワークロードを低減できることを確認した。

今後、プラント運転支援システムのプロトタイプを製作して、本稿で検討した機能の動的検証を行う。

#### 参考文献

[1] Ronald L. Boring et al., "Level-of-Automation Considerations for Advanced Reactor Control Rooms", NPIC&HMIT(2019).  
[2] Nokyu Seong et al., "Partial Procedure Based Automation using by A PR1400 Computerized Procedure System", NPIC&HMIT(2019).  
[3] M.R.Endsley, "Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems", Human Factors, Vol.37, No.1, pp.32-64(1995).  
[4] D.G.Jones and M.R.Endsley, "Investigation of situation awareness errors", Proc. 8th Int'l Symp. Aviation Psychology, pp.746-751(1995).  
[5] S.K.Card et al., "The Model Human Processor: An Engineering Model of Human Performance", Handbook of Perception and Human Performance, Vol.2, pp.1-35(1986).