

人間共存型プラントのための保全情報場提示技術

海上安全研究領域	＊丹羽 康之、沼野 正義、伊藤 博子
	宮崎 恵子、劉 嶋、松岡 猛
輸送高度化研究領域	福戸 淳司、田中 邦彦、岡崎 忠胤
日本原子力研究所	三友 信夫

1. はじめに

船舶の運航や発電プラントの運転・保全のように大規模複雑システムを安全かつ効率的に運用することが操船者や運転員に求められている。人間とは特性が大きく異なるシステムの運転や保全においては、これらの対象そのものとこれに関係する環境等の状態を把握し、的確な判断、意思決定、行動計画、実行することが必要である。また従来、人間の処理能力の限界や、ヒューマンエラーを防止するために、これらの大規模複雑システムには、複数の人間によるチームとして対応してきた。大型船の船橋当直、発電プラントの運転当直がこれである。

これらのシステムにおいては、一度出港、稼働すると 24 時間の連続監視、特に原子力発電プラント運転の場合はさらに数ヶ月に渡る連続監視が必要になる。そのため、ヒューマンファクタに起因する事故を排除するためや、人間の情報処理能力を補完するために各種の自動化システムや安全装置が取り入れられている。これらのシステムが有効に機能するためには、人間との適切なインタフェースが不可欠である。船舶では統合船橋システム IBS (Integrated Bridge System) が導入され、原子力発電プラントでは、中央制御盤のマン・マシン・インタフェースの改善、プラント自動化等の改良がなされているが、ヒューマンエラーの完全排除には至っていない。

また実際の原子力プラント等の現場で聞き取り調査した結果、以下の様なコメントを得ることができた。

・中央制御室の計器が異常の兆候を示したとき現場に行って見てきたいときがあるが、被ばくする

ので現場に入れない。

・水漏れ箇所をつきとめるために長時間監視していたい場合があるが、ずっと人が見続けているわけにもいかない。

・異常の兆候の発生原因や時期を知るために過去の状態を見たいことがある。プラント内に設置したカメラの映像も有用だが、データ量が膨大になるので、すべてを記録しておくわけにもいかない。

・ロボットは有用だが、メンテナンスが大変で、コストに見合わない。

・今のロボットの移動技術は信頼性が低く、プラント内に入れるにはリスクが大きい。

・定期点検の期間を短縮できればコストを大幅に削減できるのだが。

そこで平成 10 年度から平成 15 年度において、原子力基盤クロスオーバー研究のソフト系科学技術分野において、保全情報場技術の確立を目指して「人間共存型プラントのための知能化技術の開発[1][2]」プロジェクトを実施してきた。従来の運転・保全は、プラントの情報を収集・管理して人間に供給し、人間がこれらを基に適切な作業を実施するものであったのに対して、本プロジェクトでは、理化学研究所（理研）、産業技術総合研究所（産総研）と海上技術安全研究所（海技研）が連携して、時空間に拡がったプラント情報を保全情報場としてとらえ、これを構築[3]（理研）、維持[4]（産総研）し、人間への適切な提示[5]（海技研）を行う技術の確立を図った。本報では、海技研が主担当として実施した運転・保全作業を人間と機械（コンピュータ）エージェントとの共同作業としてみなした、保全情報場提示技術について、その構成と実現のためのインフラストラクチャ開

発について述べる。

2. エージェントとの共同作業

人間が大規模複雑システムの大量情報にアクセスするには、時空間に広がった情報を適切なデータ構造に格納し、その構造内から必要な情報にアクセスできる（引き出せる）ことが必要である。従来のチームによる作業形態においては、チームの構成員が分担してデータ構造体もしくはデータそのものにアクセスし、チームとしての状況認識の元で意思決定、行動を行ってきた。この体制の一部にコンピュータシステムにおけるインタフェースを導入し、コンピュータの特長を活用し、コンピュータ内のエージェントに情報収集や連続監視等の仕事を与え、人間との役割を分担させることが有効であると考ええる。

通常のインタフェースは人間の要求に応じて情報を返してくるが、この場合は、インタフェースがエージェントという概念を通して能動的に情報を人間に伝達することになる。すなわち、センサ、アラームや安全装置は従来のシステムにおいて採用されているエージェントということができる。エージェントを共同作業に導入するあたり、例えば、監視業務等の役割をエージェントに与えた場合、運転員はエージェントに対し、その作業を任すことができ、他の仕事に集中することが可能になる。ただし、完全にエージェントに任せきりではなく、必要に応じ運転員が介入できたり、エージェントがきちんと動作しているか透明性や健全性の確認ができる必要がある。

本プロジェクトでは、プラント情報を保全情報場として、コンピュータシステム内の仮想環境に構築し、そこに蓄積された情報をエージェントを介し、人間に提示するためのインフラストラクチャとして、共同作業計画・管理機能、情報共有機能、意思疎通機能等をネットワークに分散した PC システム上への共同作業支援システム構築の検討を行った。

3. 共同作業支援システム

3. 1 情報の共有

複数運転員からなるチームの一部をエージェントに置き換えるわけなので、人間同士同様、情報の共有は不可欠である。ネットワークに分散し

た複数の PC 間で情報を共有するために、情報共有のサーバをいずれかの PC 上に起動し、エージェントの名簿管理、共有情報の管理を行うシステムとし、通信プロトコルを UDP (User Datagram Protocol) とした。UDP の場合の場合、TCP (Transmission Control Protocol) のようにデータが相手に到着したかどうかの確認を行わないため、信頼性が低いというデメリットもあるが、一部のエージェントがダウンした際でも、バックアップを用意することにより、エージェントが作業に復帰でき、システム全体のダウンを防ぐ利点を有している。また作業計画の変更が発生した場合でも、同様にエージェントの追加が容易である。実システムへの適用の際には、サーバを冗長化して、分散システムとしての堅牢性を確保することができる。

3. 2 作業計画・管理機能（スケジューラ）

エージェント間で、作業計画とその実行状況を共有するために、作業計画・管理機能（スケジューラ）を導入する。

作業計画をイベントシーケンスで表現し、各イベントに関係するエージェント名、ミッション名、起動条件等を記述することにより、これに基づいて作業の実行を管理する。複数の作業シーケンスを並行して管理するために、イベントの起動条件にシーケンスをまたがった他のイベントの完了フラグを指定することにより、作業計画遂行時の干渉の回避や順序性の維持を実現する。

作業計画の記述のために生産工場等で用いられている SFC (Sequential Function Chart) を用いることとした。図 1 に配管系のサンプル系統図、図 2 にその際、作業スケジュールの一部の SFC 記述例を示す。作業計画は、メインスケジュールの中でエージェント名や作業対象を引数化したサブスケジュールを用いて階層的に記述できるため、複雑な作業計画の策定が可能となっている。

また、シミュレーション機能として、各エージェントから作業完了報告を受けとることにより、計画を STEP by STEP に進行させて、スケジューラの記述方式、実行管理が設計通り行われていることを確認することができる。さらに、実作業の際のエージェントの動作、通信情報等の履歴を記

録・再生もでき、ログ解析も可能なシステムとした。

3. 3 エージェントビュー・作業オーバービュー

仮想空間内の各作業エージェントの視点から見たビューを提供する。ビデオストリームと連動させることにより、仮想空間と実画像との対応をとることができる。また、情報を共有する他の PC から任意のエージェントのビューを遠隔からモニターできるため、監視センタ機能を任意の場所で起動させることができる。

エージェントビューの機能を利用して、プラント・配管を俯瞰する場所に配置したエージェントのビューを用いて、仮想的な固定カメラとして作業状況の 3 次元的なオーバービューを提供する。スケジューラに初期設定として記述することにより、必要なアングルのオーバービューを配置することができる。またエージェントの注視点を能動指標として、各ビューに表示させることにより注視点の情報共有が可能となる。

3. 4 クロスオーバー研究による実証実験（デモンストレーション）

これまでに述べた考え方を基に、保全情報場技術の開発として、原子力基盤クロスオーバー研究に参画した 3 研究機関共同のプレスリリース[6]（デモンストレーション）を平成 15 年 12 月に発表している。仮想環境を情報蓄積の場とする技術（それをシステムとして実装したものを環境サーバーとよぶ）を核とし、保全情報場提示技術の一例として、保全情報場における部品特定技術、各エージェントビュー、オーバービュー、系統図のカーソルを連動させることによる多面的な情報共有等を実現した。その他、詳細はプレスリリース資料（当所 web に掲載）の参照を願いたい。

4. おわりに

大規模複雑システムと人間とのインタフェースとして人間と機械／コンピュータエージェントとの共同作業の考えを導入し、保全情報場提示技術として、共同作業支援システムを提案、構築した。このシステムにおいては、エージェントとともに対象に対峙し、エージェントからの説明を受けるような共同作業を想定している。その中では、

エージェントと人間との間でそれぞれの作業状況を示す情報や注視点情報の共有等のインタフェースが重要である。本報で述べたシステムにおいては、仮想環境の中に、これらの情報を表現するオブジェクトを導入することにより、様々な実システムへの適用が可能である。今回のクロスオーバー研究では、原子力プラントを対象し、基礎と応用の間の「基盤」技術の確立として実施したものであり、今後はこの成果を、船舶をはじめとし、自動車等交通機関のヒューマンエラー低減の研究に応用していく予定である。

謝辞

本研究の一部は、原子力委員会の評価に基づき、文部科学省原子力試験研究費により実施されたものである。また本研究を実施するにあたり、原子力基盤クロスオーバー研究ソフト系科学技術交流委員会（主査：佐藤知正東京大学教授）委員の方々をはじめ、参画した研究者の方々からご助言、ご助力を戴いた。この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 原子力基盤クロスオーバー研究交流委員会；“原子力基盤クロスオーバー研究（第 3 期研究）”、2001 年 3 月。
- [2] 佐藤知正他；“原子力プラントの保全のための情報場技術”、原子力学会 2001 年春の年会第 II 分冊、p.376、2001 年 3 月。
- [3] 川端邦明、浅間一；“原子力プラントの保全のための情報場構築技術”、原子力学会 2001 年春の年会第 II 分冊、p.377、2001 年 3 月。
- [4] 喜多伸之；“原子力プラントの保全のための情報場維持技術”、原子力学会 2001 年春の年会第 II 分冊、p.378、2001 年 3 月。
- [5] 丹羽康之他；“原子力プラントの保全のための情報場提示技術”、原子力学会 2001 年春の年会第 II 分冊、p.379、2001 年 3 月。
- [6] 海上技術安全研究所、産業技術総合研究所、理化学研究所；“原子力プラントのための保全情報場技術－原子力プラントをまるごとディジタル化し、見えなかったものをみえるようにする技術の研究開発－”、プレスリリース資料、2003 年 12 月。

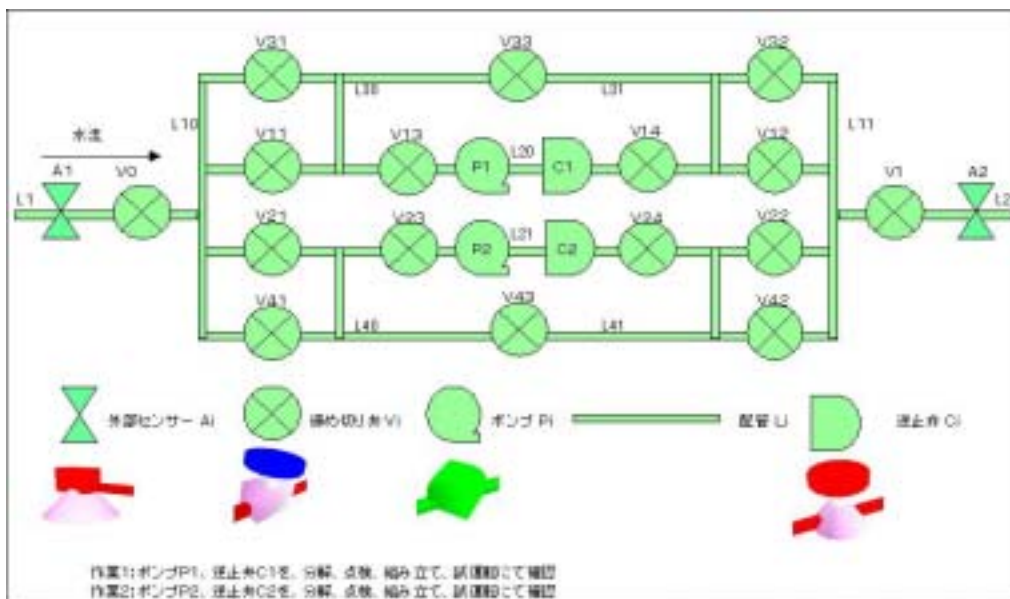


図1 サンプル配管系の系統図

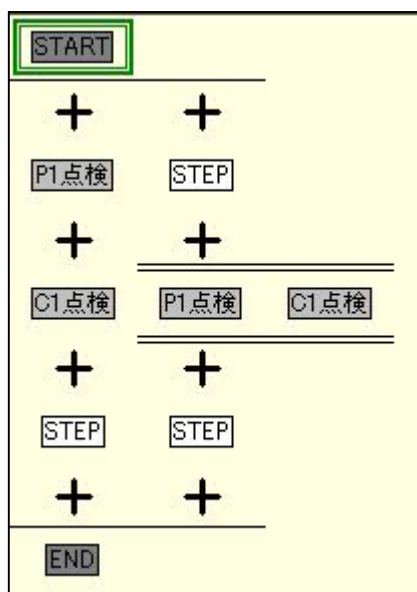


図2 SFC の表示例

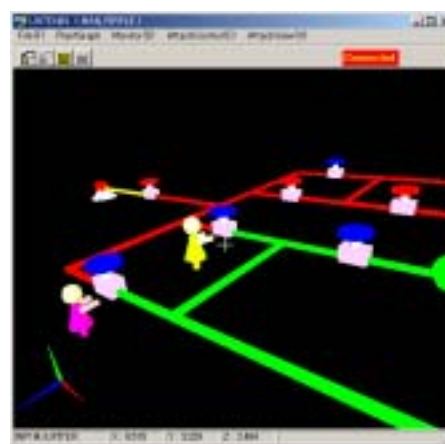
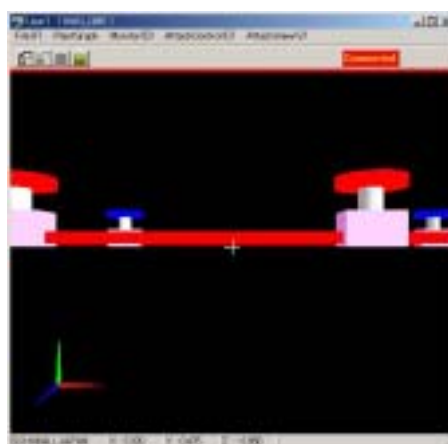
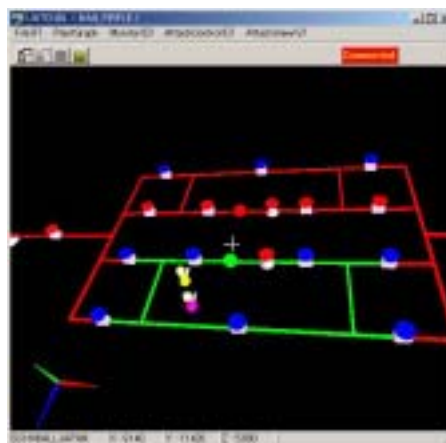


図3 エージェントビュー、オーバービューの表示例