

人間共存型プラントにおける人間の認識と理解に適合した 運転・保全支援システムの研究

海上安全研究領域 総合安全評価研究グループ

* 沼野 正義、伊藤 博子、丹羽 康之
劉 峭、三友 信夫

海上安全研究領域 旅客安全・バリアフリー研究グループ 宮崎 恵子

海上安全研究領域長 松岡 猛

輸送高度化研究領域 高度運航システム研究グループ 福戸 淳司、田中 邦彦、岡崎 忠胤

1. まえがき

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。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、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。

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」プロジェクトが実施されている。従来の運転・保全是、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）と当所が連携して、時間・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（理研）、維

持（産総研）し、人間への適切な提示（海技研）を行う技術の確立を図るものである⁽²⁾、⁽³⁾。本報では、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、人間の認識と理解に適合した支援システムについて、その構成と実現のためのインフラ開発について述べる。

2. 人間と大規模複雑システム

人間が大規模複雑システムの大量情報にアクセスするとは、時・空間に拡がった情報を適切なデータ構造に格納し、その構造内を自由に移動して必要な情報にアクセスすることを意味している。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。この体制をコンピュータシステムにおけるインタフェースに導入し、コンピュータ内のエージェントに情報収集等の役割を分担させ、これらのエージェントとチームを組んで当直に当たることを考えてみよう。

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、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することができる。

船橋当直において、衝突・座礁危険や、計画航路との偏差を通報する電子海図システム、計画航路に沿って操船制御を行うトラックコントロールシステム等をエージェントに割り当て、共同作業化した、「音声入出力による航海支援システム」⁽¹⁾はこの実例とすることができる。

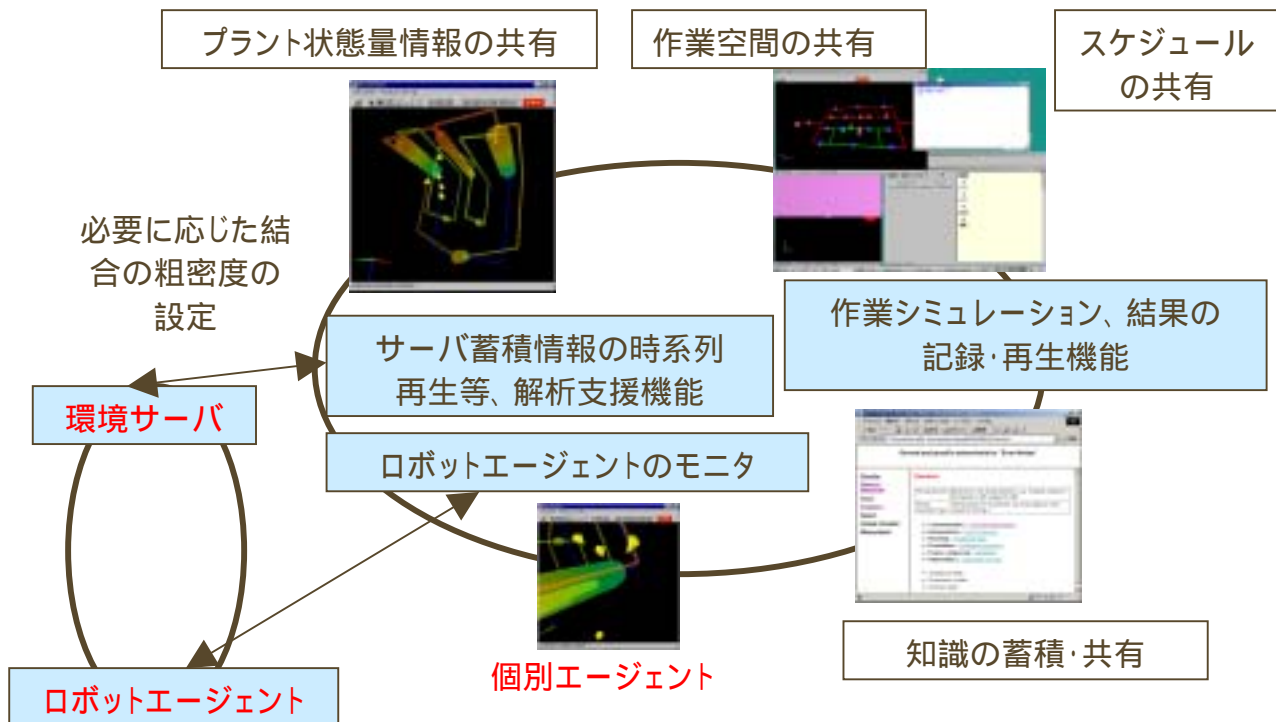


図1 共同作業支援システムの概念図

3. エージェント共同作業インフラ

大規模複雑システムと人間とのインタフェース構築の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システム上に構築している。

計画・管理機能の元で各エージェントが幾何学的な作業空間ならびに作業計画情報を共有し、それぞれの役割を果たすことにより共同作業が実現される。

このような共同作業のインフラとして、当所がすでに開発した3次元的なプラント情報を任意の視点から監視するVRエージェントシステムを拡張して、共同作業支援システム SW (Share VR-Works) を開発している。図1にその概念図を示す。以下、その構造、機能について概説する。

4. 共同作業支援システム

4.1 情報の共有

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。共有情報は、初期値と変更点からなり、新たにこの共同作業に参加したエージェントに現在の情報を送って情報の共有を実現するとともに、これらの過程で交わされる交換情報を作業記録として蓄積する。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。

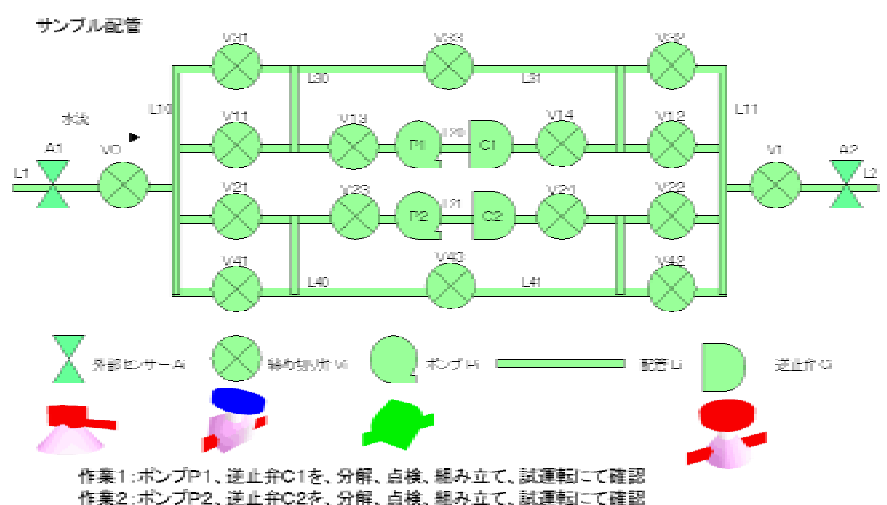
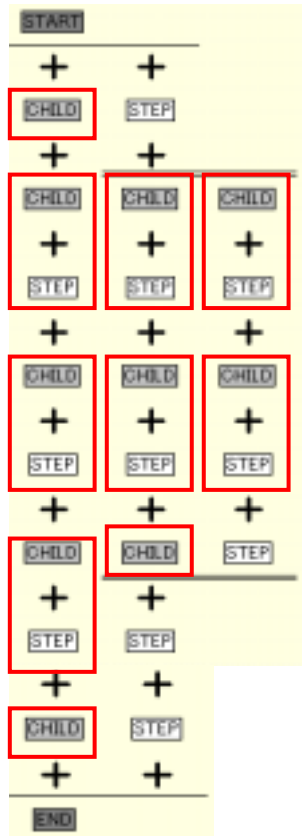


図2 保全作業シナリオ例



START: Max User 2

起動条件 なし

作業Userが1人の場合

作業Userが2人の場合

User1がV23を開ける
User1がV24を開ける
User1がV22を開ける
User1がV21を開ける
User1がP2を運転させる

User1がV23を開ける
User2がV24を開ける
User1がV21を開ける
User2がV22を開ける
User1がP2を運転させる

図3 作業計画記述例：冗長系を開始

4.2 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が並行して管理でき、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2に示す作業シナリオを作成し、作業記述と動作確認を行った。図3に作業計画の記述例を示す。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指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した⁽⁵⁾。

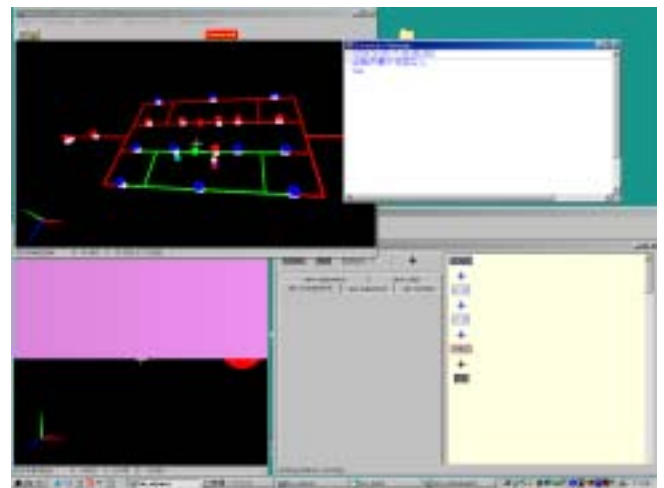


図4 画面表示例：オーバービュー、個別ビュー、スケジューラ等

4.3 エージェントビュー・作業オーバービュー

各作業エージェントの視点からみ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、VR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

ビューを遠隔でモニタできるため、監視センター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。

4.4 他のシステムとの連携

本システムにおいては、各作業エージェントに付随した、ビデオストリーム送受信機能、情報要求/提供機能、音声入出力等の機能拡張を容易に実現することができる。また、他のシステムとの情報交換も、それぞれの基本的な機能を阻害することなく実現できることから、システム間の連携を容易かつ有効に行うことができる。

他のシステムとの接続の容易さを利用して、具体的な作業シナリオに基づいて、ロボットエージェント等による情報収集（理研）をもとにして構築された環境サーバ（産総研）からプラントの経年変化等の時系列情報を得て、監視・異常同定等の保全作業を行う共同実験を実施する予定である。情報場構築技術、情報場維持技術と連携して、これらの技術の統合を実証する。

このSWシステムは、PCベースシステムであり、ネットワーク環境下で、ソフトウェアエージェントとロボットや運転員、補修作業員の実エージェントとを同等に支援することができるため、これらを包含する一般の運転保全作業等、様々な作業形態に適用することが可能である。

5. まとめ

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、共同作業支援システムを提案、構築した。運転・保全支援システムにおいては、対象の3次元的な構造に対応した情報のアクセスと、各要素の運転・保全履歴等の時系列情報へのアクセスが必要であり、エージェントにより能動的なアクセスを実現するものである⁽⁴⁾。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、VR空間表示の中に、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。

作業記録の管理を通じて、事故や異常対応についての知識の抽出、蓄積、配信が可能であり、海難事故を例として解析手法を検討している。

また、エージェント間の意思の疎通を図るための指示、復唱、確認、報告等のプロセスを円滑に行える機能として音声入出力を利用した、航海支援システム⁽¹⁾は、実際に開発された有効な実例であり、このシステムで、検討、実現されている機能を応用し、一般的な大規模複雑システムのインタフェース技術に拡張していきたい。現在、「高度船舶安全管理システムの開発」プロジェクトが進められているが、この考え方に基づいて、船陸一体管理システム等における保全共同作業の支援についても検討していく予定である。

なお本研究の一部は、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。

参考文献

- (1) マンマシン航海支援システム、沼野正義、平成13年度(第1回)海上技術安全研究所講演会講演集、平成13年11月。
- (2) 原子力プラントの運転・保全における人間マシエージェント共同作業、丹羽 他、日本原子力学会2001年秋の大会予稿集、平成13年9月。
- (3) Cooperation Support for Control and Maintenance Operation in Advanced Nuclear Power Plant from Generalized and Intuitive Viewpoints: Numano, M., et al., Proceedings of AIR'02, 2002.1.
- (4) エージェントを利用した時・空間情報とのインタフェース、沼野 他、海技研講演会講演集、平成14年6月。
- (5) 保全共同作業支援インフラストラクチャの構築、丹羽 他、日本原子力学会2003年春の年会予稿集、平成15年3月。