

人間共存型プラントのための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

沼野 正義*、丹羽 康之*、伊藤 博子*、劉 峭****
宮崎 恵子*、三友 信夫****、福戸 淳司**、岡崎 忠胤**
松倉 洋史***、田中 邦彦**、松岡 猛*

Interface Technology Based on Human Cognition and Understanding
for the Operation and Maintenance of Advanced Human Cooperative Plants

by

Masayoshi NUMANO, Yasuyuki NIWA, Hiroko ITOH, Qiao LIU,
Keiko MIYAZAKI, Nobuo MITOMO, Junji FUKUTO, Tadatsugi OKAZAKI,
Hiroshi MATSUKURA, Kunihiro TANAKA and Takeshi MATSUOKA

Abstract

"Development of Intelligent Systems Technology for Advanced Human Cooperative Plants" was implemented as "Nuclear Energy Fundamentals Crossover Research" by 3 institutes (The Institute of Physical and Chemical Research; RIKEN, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology; AIST and National Maritime Research Institute; NMRI). Aiming at appropriate interaction between human and agents in Digital Maintenance Field which spreads widely in time and space, NMRI developed technologies on contraction of plant information, generalization and intuition of the information through visual presentation. Intuitive presentation gave on-site information for identifying the source of abnormalities to human operators. And a human-machine cooperation infrastructure for plant maintenance was proposed and developed, where an overview display was used to show position and state information of all the agents in the plant and each agent view was used to show the corresponding agent's information in detail. A part of this technology was implemented in a demonstration program. Two agents were developed to support human operators' plant maintenance activities in this program. This demonstration showed the effectiveness of human-agent cooperation for early plant abnormality detection.

* 海上安全研究領域

** 輸送高度化研究領域

*** 物流研究センター

**** 日本原子力研究開発機構

原稿受付

平成17年 4月 27日

審査済

平成17年 11月 1日

目 次

1. はじめに	2
1. 1 背景・目的	2
1. 2 研究概要	2
2. 保全情報場提示技術	3
2. 1 大量情報の縮約	3
2. 2 大局的理解による支援	3
2. 3 現場感覚を与える直感的理解による支援 ..	4
3. 運転・保全支援のためのインフラストラクチャ	4
3. 1 運転・保全支援の機能要件	4
3. 2 支援システムのインフラストラクチャの開発...	4
4. 総合実験による検証	7
4. 1 プラント保全情報場技術の統合	7
4. 2 総合実験シナリオ	8
4. 3 人間・機械協調のためのエージェント試作...	8
5. おわりに	11
謝辞	12
参考文献	12

1. はじめに

1. 1 背景・目的

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。応答速度や時定数といった特性が人間とは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その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。これらのシステムにおいては、一度出港あるいは稼働すると 24 時間体制の連続監視、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。そのためこれまで、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で対応してきた。大型船の船橋当直、発電プラントの運転当直がこれに該当する。

また、人間の処理能力の限界を超えた際のヒューマンファクタに起因する事故を排除するために、人間の情報処理能力を補完する各種の自動化機器や安全装置が取り入れられている。これらの機器・装置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、中央操作室における制御盤のマン・マシン・インタフェースの改善等がなされているが、ヒューマンエラーの完全排除には至っていない。

一方、本研究を実施するにあたり、実際の原子力プラントの現場で聞き取り調査をした結果、以下の様なコメントを得た。

- ・中央操作室の計器が異常の兆候を示したとき、現場を見に行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正常時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。

以上のような問題点を解決するために、近年のコンピュータ技術、バーチャルリアリティ技術を活用した「保全情報場技術」による運転・保全システムを提案し、時空間的広がりをもつ大規模プラントの運転・保全に必要な情報を運転員に的確に提示することを目的とし、総合的判断を支援するための、大量情報縮約表示、視覚情報を用いた大局観的情報提示ならびに現場感覚を与える直感的情報提示を行う技術の開発を実施した。

1. 2 研究概要

平成 11 年度から平成 15 年度の 5 年間で、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、各種センサや現場作業員が収集したプラントの情報を基に、中央操作室の人間が適切な作業を実施するものであった。本研究プロジェクトでは、IT (Information Technology) として急速に発展した計算機技術、AI (Artificial Intelligence) 技術、ネットワーク技術や RT (Robotics Technology) として脚光を浴びているロボット技術を有機的に融合させることにより、保全する場の情報を全てデジタル化し、前節の聞き取り調査の解決策として、過去との差分

を提示する等の基盤技術の開発を実施した。この基盤技術は保全する場の長期にわたる情報を産業技術総合研究所が開発した環境サーバー内に全てデジタル化するため保全情報場技術と呼ぶこととした。本プロジェクトでは、理化学研究所（以下：理研）、産業技術総合研究所（以下：産総研）と海上技術安全研究所（以下：当所）が連携して、時空間に広がったプラント情報を収集・構築³⁾（主担当：理研）し、維持⁴⁾（主担当：産総研）し、人間への適切な提示⁵⁾（主担当：当所）する技術の確立を図った。本論文では、当所が主担当として実施した人間への適切な提示について、2章と3章で述べ、4章で3研究機関の研究成果を統合した保全情報場技術の総合実証実験について述べる。

2. 保全情報場提示技術

2.1 大量情報の縮約

人間が原子力プラントのような大規模複雑システムの大量情報を的確に得るためには、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を取り出す、または与える必要がある。従来の原子力プラントの運転・保全においては、チーム（複数運転員）という作業形態をとり、チームの構成員が分担して情報を取得し、情報共有を行い、チームとしての状況認識の元で意思決定、行動をしてきた。図-1 および図-2 に原子力プラン



図-1 原子力プラント中央操作室（第二世代）



図-2 原子力プラント中央操作室（第三世代）

トの中央操作室を示す。

図-1の原子力プラント中央操作室は、第二世代と呼ばれ、現在日本でも運転されているものである。多数のセンサのメータを有し、アナログ表示器も数多くある。

図-2の原子力プラント中央操作室は、第三世代と呼ばれる最新型である。第二世代にはなかった、デジタル表示器やミミックダイアグラムなどが導入されている。また本制御盤は、ヒューマンエラーを低減するために運転員の作業分析を基に構築されたものであり、マン・マシン・インタフェースにも配慮した設計となっている。しかしながら、運転員は制御盤の情報を通して、自分の頭の中でプラントの論理モデルを構築して、プラントが現在どのような状態であるかを判断しなければならず、日々訓練も実施している。

そのため、原子力プラントのような大規模複雑システムに対しては、大量情報を必要に応じ縮約して、運転員がその情報を共有できる枠組みの設計が重要となる。そして、運転員がシステムの状態を理解するために情報を的確に提示する方法、すなわち、プラント全体の状態を理解できる大局的理解と現場感覚を伝える直感的理解の支援がより有効であると考えられる。

2.2 大局的理解による支援

プラント全体の状態を理解できる大局的理解として、全体を見渡せるオーバービューを大画面表示装置を使い、運転員に提示する。

この際、次節で述べる直感的理解による支援とのシームレスな移行が重要となる。また、ズーム・イン、ズーム・アウトする形で、対象物を提示する場合は、必要に応じた解像度、情報量で提示する LOD (Level of Detail) の利用が有効である。

当所の模型プラント（図-3）を対象にコンピュータ上の仮想空間にオーバービュー表示を制作した。その例を図-4に示す。配管の温度分布を示したり、他のセンサ情報（流量、圧力等）の表



図-3 模型プラント

示が可能である。また三角錐は、次章で述べる共同作業の際の作業員やロボットの配置を示している。この表示はプラント全体の情報と作業員等の位置情報の理解の支援となる。

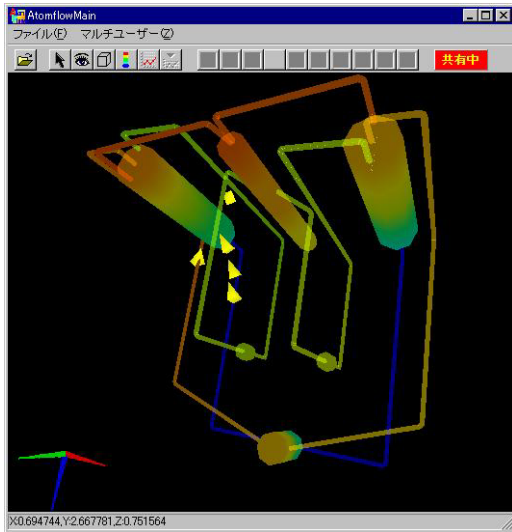


図-4 模型プラントのオーバービュー表示例

2. 3 現場感覚を与える直感的理解による支援

これまでの研究⁹⁾では、現場感覚を与える直感的インタフェースの一つとして、操作入力に対して、音や反力等により感覚にフィードバックを与えることを検討してきた。また視覚的提示方法については、3次元バーチャルリアリティ技術を利用し、透過型ヘッドマウントディスプレイを用いて、仮想空間内のワークスルーを通して行ってきた。

本研究においては、視覚的提示として模型プラントを対象に大局的理解と直感的理解の両者を併用する表示を行った。その例を図-4および図-5に示

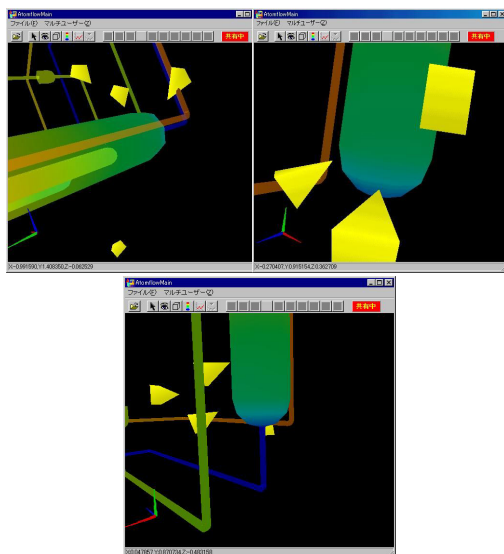


図-5 個別ビュー

す。図-4の全体が見渡せるオーバービューに、図-5の各作業員からの視点である個別ビューを加えた。特にヘッドマウントディスプレイを利用した場合には、大局的理解から直感的理解、またその逆についても、これまでのワークスルーによる移行より、大画面表示を用いて、2種以上の表示を同時に利用する方法が有効であると考えられ、本研究では同時表示方法で開発を進めた。

3. 運転・保全支援のためのインフラストラクチャ

3. 1 運転・保全支援の機能要件

前章では、情報場における人間への提示技術について述べたが、一方、プラントの運転・保全を情報場としてとらえる場合は、従来の複数の運転員によるチームに加え、エージェントとの協調作業が考えられる。具体的には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、コンピュータ内のソフトウェアエージェントに情報収集等の役割を分担させ、エージェントと人間がチームを組んで当直に当たり協調作業を行うことである。

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、本研究では、機能要件として、インタフェースが自律的に動作するようなアルゴリズムを持たせ、エージェントとして能動的に情報を人間に伝達するようにする。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いえることができる。

3. 2 支援システムのインフラストラクチャの開発

人間とエージェントがチームとして共同作業する場合、運転に必要な情報を共有、管理する必要がある。その上で、エージェントが人間にプラントの情報を的確に伝達するためには、前章で述べたプラント全体の状態を理解できる大局的理解と現場感覚を伝える直感的理解による支援が有効であると考えられる。本節では、そのためのインフラストラクチャについて検討を行い、サンプル配管、シナリオに沿って確認を行った。

共同作業計画・管理機能、情報共有機能、意思疎通機能をネットワークに分散したPCシステム上に構築する。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、情報共有のサーバーをいずれかの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。

作業計画・管理について、各イベントに関係す

るエージェント名、ミッション名、起動条件等を記述し、これらに基づいて作業の実行を管理する。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、複数の作業シーケンスが並行して管理でき、作業計画遂行時の干渉の回避や順序性の維持が実現可能となる。

本研究では、作業計画の記述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。作業計画は、メインスケジュールの中でエージェント名、ミッション名、起動条件等が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、計画をステップ・バイ・ステップに進行させて、スケジュールの記述方式、実行管理が設計通りか否かを確認することが可能となっている。

図-6 に示すサンプル配管に対し、作業シナリオを作成し、作業記述と動作確認を行った。作業シナリオは表-1 の通りである。

図-7 に作業計画の記述例として、「4. 点検するラインを停止」の部分を示す。記述例では、エージェントが1名または2名を想定している。エージェントが1名の場合は、順番に作業をし、報告を行い次のステップに進むこととなる。エージェントが2名の場合は、それぞれが行う作業の役割分担を決め作業を行うが、それぞれからの報告を待って、次のステップに進むこととなる。また、途中でエージェントが何らかの事情で作業できなくなった報告が届いた場合、もしくはエージェントがダウンし、報告がない場合は、適宜作業計画を見直す必要が出てくる。この場合は、作業計画をエージェントが1名の場合に変更して作業を進めるか、他に作業に参加できるエージェントがいないかをネットワーク上にブロードキャストで問い合わせて、参加可能エージェントからの応答がある場合には、新たに作業に参加させる。

上記の様に共同作業に新たにエージェントが参加する場合のために、情報共有の管理機能が必要である。共有情報は、作業開始初期値と作業過程で交わされる交換情報や作業報告を作業記録として蓄積する。そして、新たに参加するエージェントに対して、現在までの情報を送ることにより、共同作業の実現が可能となる。

また作業記録をデータベース化することにより、オフラインでの作業解析や知識の蓄積・共有を行うことができれば、次回以降での作業時に必要な情報の配信が可能となり、保全時の有効な支援となる。

次に、本シナリオに対して、前章で述べた提示機

表-1 作業シナリオ

■ 1. 参照User設定

①オーバービューエージェントを全体が見える位置に移動

②作業点検スケジュールを開始する

■ 2. 作業点検スケジュール

①全てのエージェントに「点検作業が可能か」を問いあわせる

②条件: 作業点検可能なエージェントからの回答がある場合、以下を実施

③切替ラインを開始する

④点検するラインを停止する

⑤点検作業を実行する

⑥点検したラインの試運転を開始する

⑦試運転を確認後、試運転を停止する

⑧点検ラインを開始する

⑨切替ラインを停止する

③～⑨の詳細

■ 3. 切替ラインを開始

①V23・V24バルブを開ける

②V21・V22を開ける

③P2ポンプを運転

■ 4. 点検するラインを停止

①P1ポンプを停止

②V11・V12・V13・V14バルブを閉める

■ 5. 点検作業を実行

①P1ポンプの分解・点検・組立

②C1逆止弁の分解・点検・組立

■ 6. 点検したラインの試運転を開始

①V13バルブを開ける

②V14バルブを開ける

③V33バルブを開ける

④C1逆止弁を開始

⑤P1ポンプを運転

■ 7. 試運転を停止

①P1ポンプを停止

②V33・V13・V14バルブを閉める

■ 8. 点検ラインを開始

①V13・V14バルブを開ける

②V11・V12を開ける

③P1ポンプを運転

■ 9. 切替ラインを停止

①P2ポンプを停止

②V21・V22・V23・V24バルブを閉める

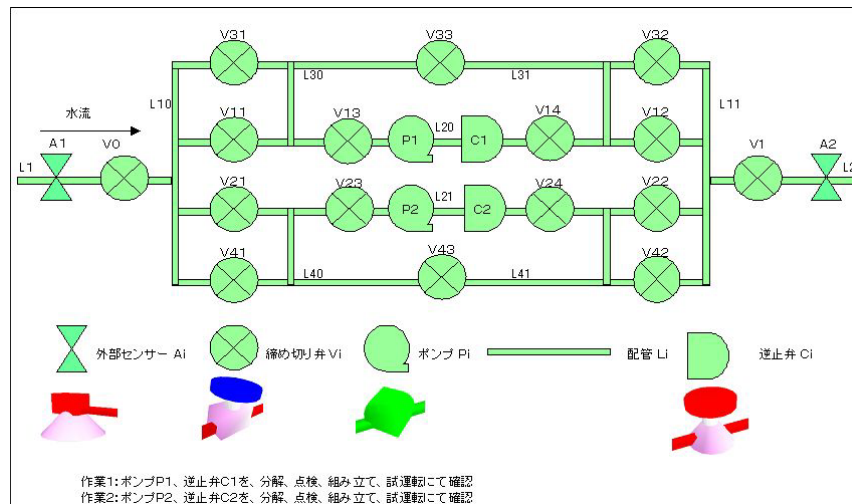


図-6 サンプル配管

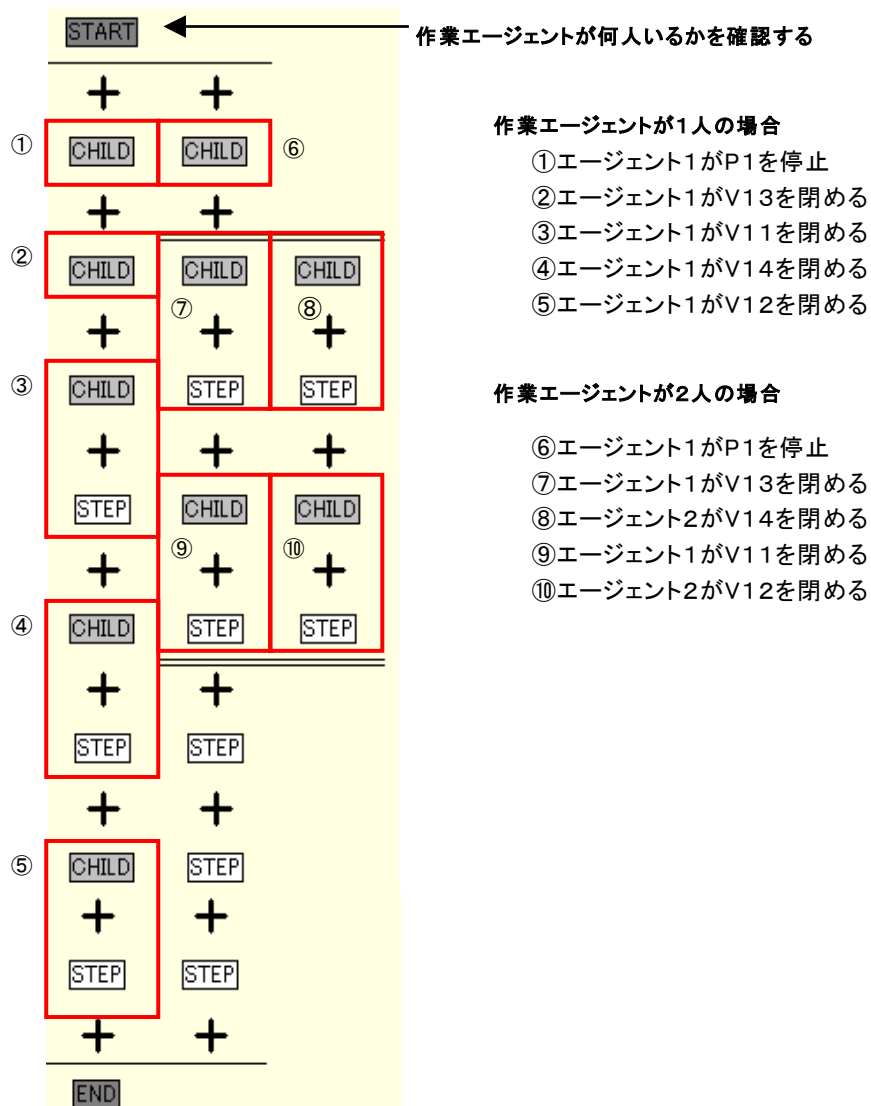


図-7 SFC によるシナリオ記述例

能を作成した。図-8に、仮想空間内のオーバービューと各エージェントの視点から見たビューを示す。これらのビューを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、より一層の支援となる。

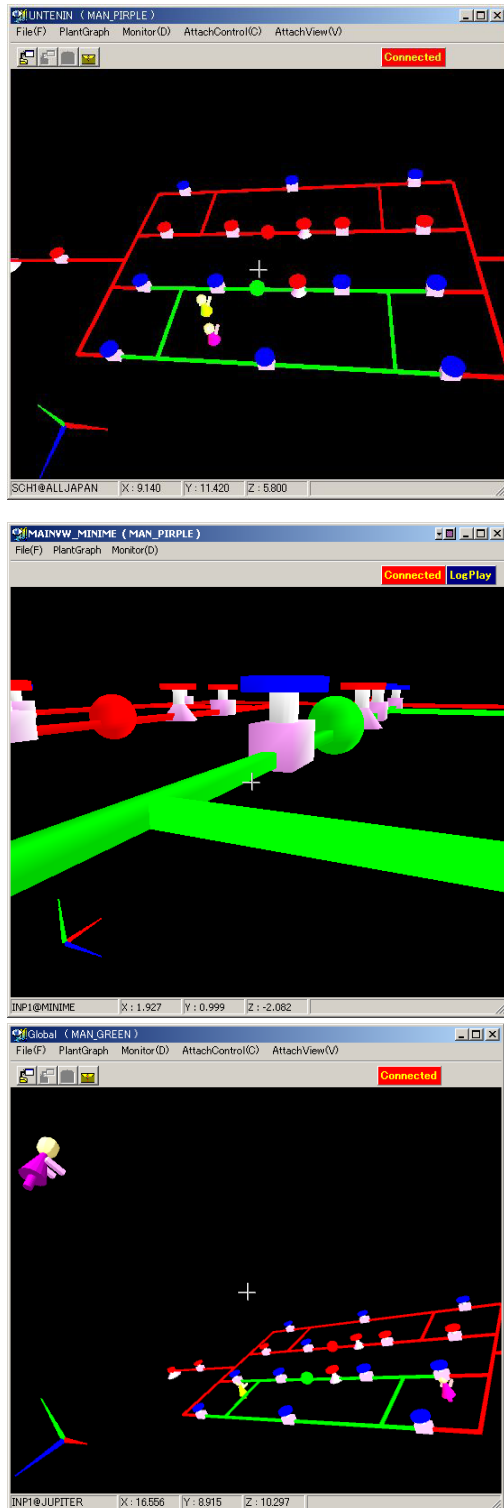


図-8 オーバービュー、エージェントビューの表示例

また、エージェントビューの機能を利用して、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できるため、中央制御室の監視機能を任意の場所で起動させることができる。具体的には、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。初期設定を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も動指標として、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。

以上のように運転・保全の支援システムとしてのインフラストラクチャの構成は図-9となる。他システムとの連携に際しては、接続インターフェースの整合性、必要に応じた粗密度を設定することにより対応可能である。

また実システムへの適用の際には、サーバーを冗長化して、分散システムとしての堅牢性を確保することが重要である。

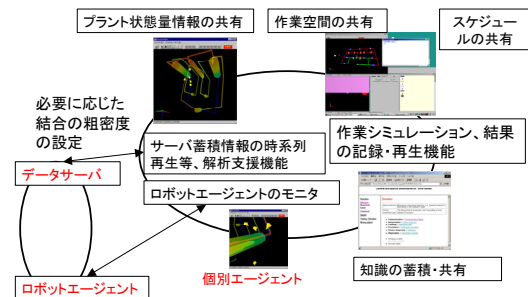


図-9 インフラストラクチャの構成

4. 総合実験による検証

4.1 プラント保全情報場技術の統合

原子力基盤クロスオーバー研究として、平成15年度に3研究機関の研究成果を結合して、プラント保全情報場技術の構築を実施した。原子力プラントにおいて異常の兆候が発生した状況を早期に人間が認識するための総合実験シナリオを作成し、その有用性を検証するとともに、デモンストレーションを実施した。なお保全対象を産業技術総合研究所所有の原子力プラント内部のモックアップ（図-10）とし、保全情報場としてプラント情報を管理・維持するデータサーバーは産総研が開発した「環境サーバー」⁸⁾を核にした構成となっている。そして環境サーバーに蓄積されたデータを利用して、人間との共同作業を行い、異常の兆候を検出する支援として、前章までに述

べた技術の一部を実装した2つのエージェント、巡回点検監視エージェントとパーツ検査エージェントを開発した。システム構成図を図-11に示す。



図-10 プラントモックアップ

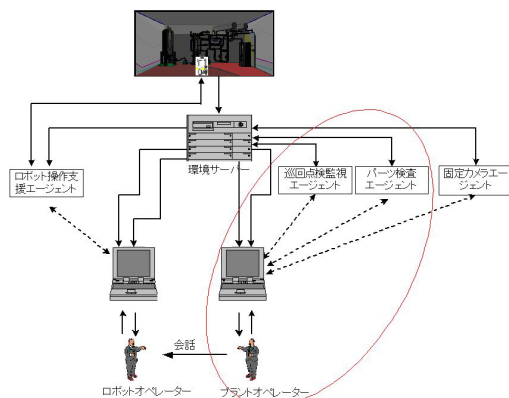


図-11 システム構成図

4. 2 総合実験シナリオ

総合実験シナリオの主なストーリーは以下の通

りである。

(1) 通常時におけるカメラによるデータ収集と蓄積

プラント内で、パンチルト架台に固定されたカメラを動かしながら、可視画像と熱画像を取得し、環境サーバー内に機器表面の温度データなどを蓄積する。

(2) 異常の兆候の監視・発見・チェック

巡回点検監視エージェントプログラムが、あらかじめ設定した配管のフローに沿って、環境サーバーが管理する仮想環境内で配管を移動しながら、異常の兆候がないかどうかを自動的にチェックする。また異常の兆候が発見されると、オペレータがパーツ検査エージェントの助けを借りて環境サーバー内の仮想環境上で異常の兆候を詳細にチェックする。

(3) 移動ロボットによるデータ収集

固定カメラから見えない上部配管の異常の兆候を調べるために、点検ロボットを出動させる。オペレータは点検ロボットを遠隔操作しながら、疑わしい部品の画像を取得する。環境サーバーにより仮想環境に蓄えられたその画像を、パーツ検査エージェントによりチェックして、異常の発生箇所を確定する。

4. 3 人間・機械協調のためのエージェント試作

本節では、前節の総合実験シナリオ(2)の巡回点検監視エージェントとパーツ検査エージェントの機能をシナリオに沿って説明する。

保全情報場として、環境サーバーが管理する仮想環境にプラントモックアップのモデルを作った。その際、図-12のように配管を複数の部位(パーツ)に細分化し、系統図を作成した。そして、固定パンチルトカメラ(熱画像および可視画像)によりプラント表面データを長期間にわたり、環境サーバーに時・空間情報として蓄積した。さらに、これまでの事例、メンテナンス情報が知識として蓄積されたという前提で、パーツごとに付随情報として、重要度、過去事例、異常関連関係リスト、対処方法などの対応情報(図-13)を与えた。

一般的な監視では、プラント内に固定されたカメラから送られる画像をオンラインで見るため、カメラの動きに従って画像を提示し、点検することになる。これに対して、環境サーバーに蓄積されている最新情報の画像データを呼び出すことにより、実際のカメラの動きには無関係に配管に沿った画像情報を提示することが可能となった。

巡回点検監視エージェントは系統図に沿って、

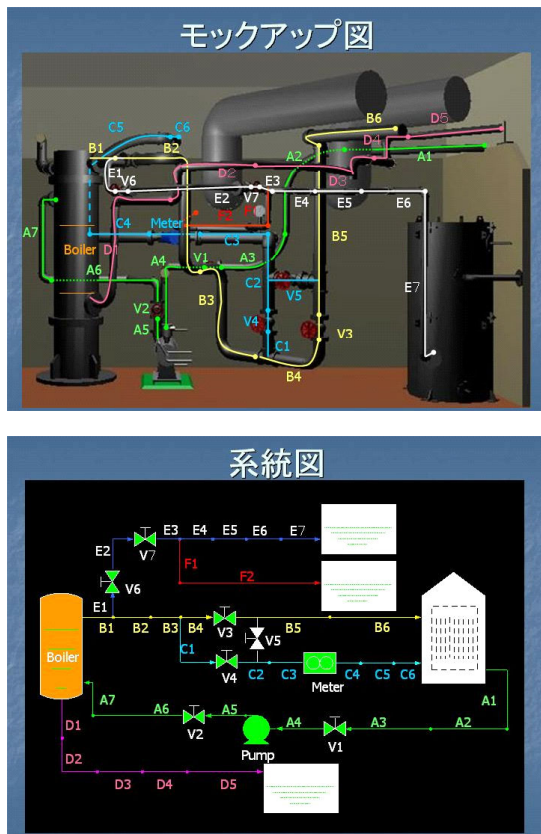


図-12 モックアップの細分化と系統図

E5 パーツに関する情報	
所属: Eライン	
機能: タンクに給水	
重要度: 0.4	
過去事例:	(1) 1998年4月4日、E5 パーツの直管部に水滴があったことを監視員によって、発見された。調査の結果、E5 の上(空間上)にある Bラインの B6 パーツの溶接部に割れによって、水漏洩があった。 対処方法: システムを停めて、B6 パーツの溶接部に再び溶接技術によって修復した。 (2) 2001年12月10日、E5 パーツのフランジ部から水漏洩が発生した。調査の結果、E5 のフランジ部に密封性が悪くなり、漏えいに至った。 対処方法: システムを停めて、フランジ部の密封材を取り替えて、修復した。
空間上縮減リスト:	<u>D3 パーツ</u> <u>B6 パーツ</u>

図-13 付随情報の例

あらかじめ設定した配管に対して、正常時と最新の熱画像を常に比較し、その差分画像がある閾値を超えると異常の兆候があることを自動的にプラントオペレータに知らせる。

巡回点検監視エージェントが動作する様子を、図-14 の表示画面に示す。環境サーバーからモックアップの①最新の熱画像、②最新の可視画像を呼び出し、提示する。また、環境サーバーに蓄積された情報から、同じ視点・視線方向から見た③過去の正常時の熱画像、④過去の正常時の可視画像を部品図として並べて提示する。さらに、プラントオペレータの指示により、③' 最新と正常時の熱画像の差分、④' 最新と正常時の可視画像の差分も提示する（図-14 右下部）。また画面には、オーバービューによる鳥瞰図（図-14 上部）や、視線方向の入力（図-14 左下部）に応じた部品図を表示している。

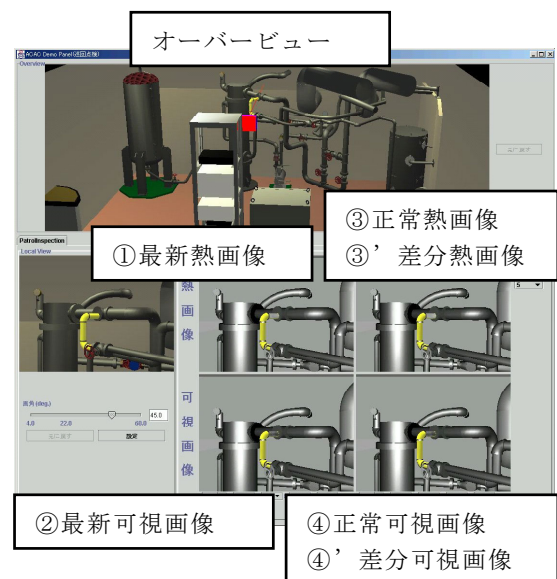


図-14 巡回点検監視エージェント画面

熱画像または可視画像の差分画像がある一定の閾値を超えた時点で、異常が発生したことを音声とメッセージボックスのポップアップにより、オペレータに知らせる。

巡回点検監視エージェントは異常の兆候を発見すると巡回を中断し、オペレータとのインタラクティブなモードになる。また、オペレータが画像を見て気になる点があったら、巡回点検を一時停止させインタラクティブモードに移行させることも可能である。ここで、最新の可視画像、熱画像と差分画像の4画像上では、マウス移動に応じて、パーツをポインティングするカーソルが連動して動く（図-15）ようにした。このとき、オーバービューの画面においてはマウス位置に相当する視線が連動して動き、マウスを止めた位置のパーツの色を変更して表示する。同様に系統図、部品図でも特定されたパーツの色が変わる。これ

により、異常の兆候がある箇所を異なる画像で調べたり、オーバービューを利用した空間位置や系統図における箇所を容易に把握することができる。また、マウスによってパーツを特定する機能はオーバービュー、系統図、部品図で双方向に連動するため、空間的な位置関係や、系統図上での関係をたどって異常の兆候の関連情報を多面的に検査することが可能である。

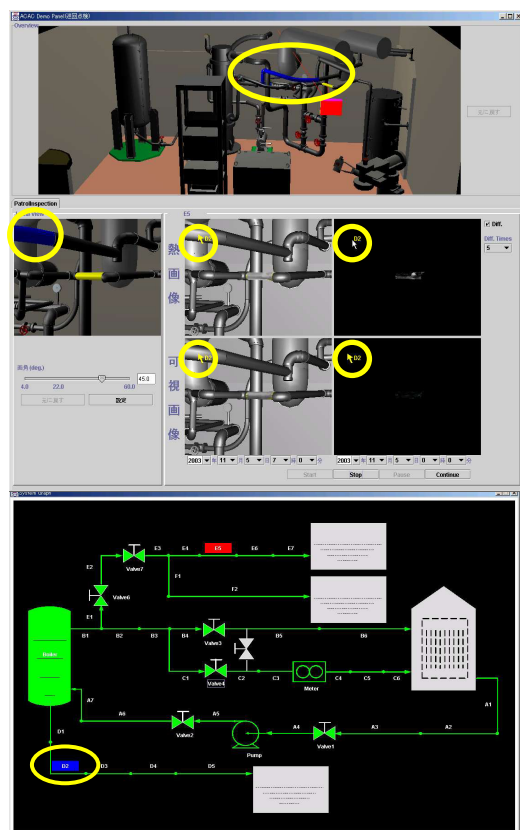


図-15 カーソル連動（丸枠部分）

また、どの画面においてもポインティングしたパーツ上でマウスをクリックすることにより、そのパーツに関する付随情報（機能、重要度（異常が発生した際のプラントへの影響度）、過去の異常の事例、点検・保守履歴など）が表示される。これにより、運転員は、この後の対処方針の参考となる情報が得られる。

巡回点検監視エージェントにより、異常兆候箇所が発見された後は、パーツ検査エージェントとオペレータとの共同作業により、異常候補箇所について詳細な検査を行うこととなる。

図-16 にパーツ検査エージェント画面を示す。巡回点検監視エージェント画面との違いは、可視画像または熱画像のいずれかを表示し、以下に説明する機能を有していることである。

パーツ検査エージェントによる詳細検査の流れ

であるが、まず、異常兆候が発見された配管に関して、配管のフローの上流から下流方向に、個々のパーツの熱画像（または可視画像）を順に表示する。その際運転員は、異常の兆候が検出されたパーツがいかなる熱分布になっているかを、視線を変えながら、近くに寄ったり（ズームイン・ズームアウト機能）、側面や裏側を見たりしながら（回転機能）、詳細に検査する。このとき、図-16 下のように、検査対象であるパーツだけ切り出して情報提示する（切り出し機能）こともでき、他のパーツに邪魔されることなく、注意を集中することができる。

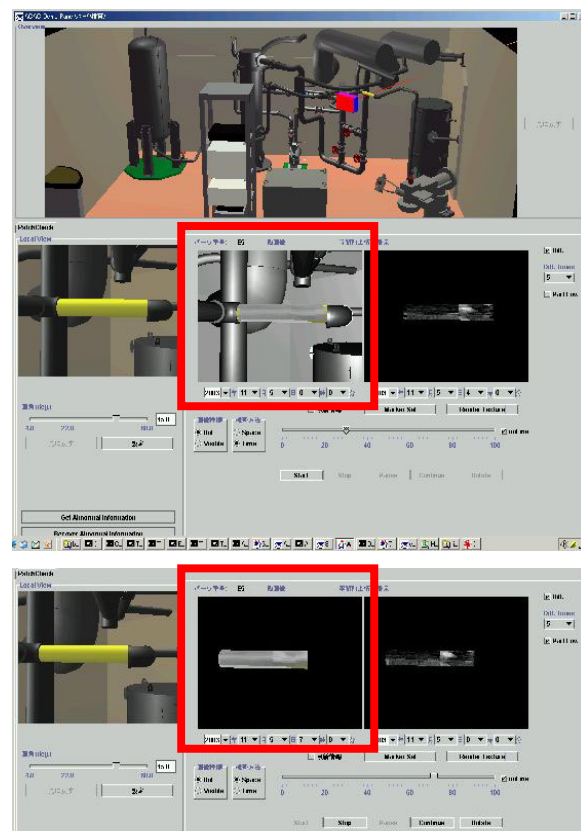


図-16 パーツ検査エージェント画面と切り出し機能

さらに時間軸上の過去と現在を自由に行き来できるスライダインタフェースを実装し、過去数時間、数日から数年というレベルで環境サーバーから過去情報を呼び出し、長期間にわたる変化を示し（超早送り機能）、いつ頃から変化の兆候が始まったのかを確認することが可能である。

異常兆候のある配管に関して、詳細な検査を行ったが、異常の原因箇所が発見、確認されない場合は、他の配管の影響によることも考えられる。例えば空間的な上部配管からの漏えいの場合などである。そこで異常兆候発見箇所から、図-17

に示すように、鉛直上向きに仮想の円筒形を一時的に生成し、それと干渉する配管の有無を調べる干渉検査機能を実装した。今回のシナリオでは、上部に配管があり、同様に各機能を利用して、異常発生箇所を探すこととなる。

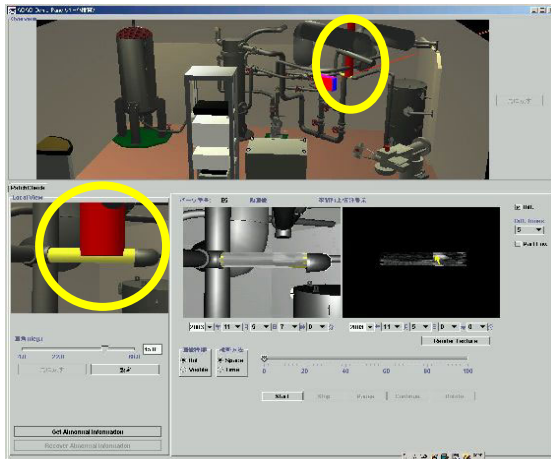


図-17 干渉検査（円筒を生成）

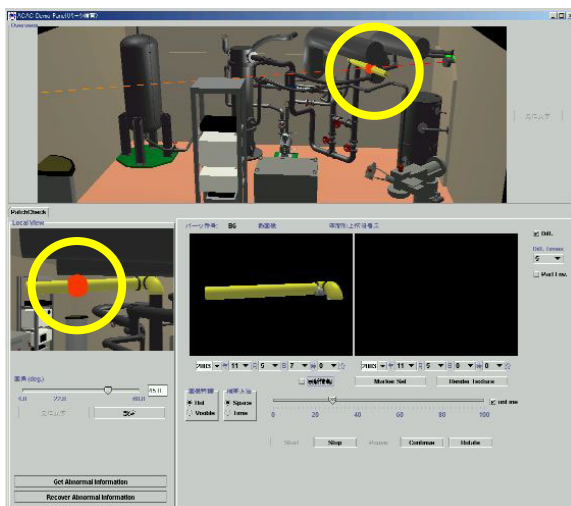


図-18 能動指標の提示

しかしながら、異常の可能性のある上部配管の情報を環境サーバーから呼び出そうとするが、カメラの死角であり、異常の兆候の原因を特定できる最新の情報が蓄積されていない。そのため運転員はロボットオペレータに対し、ロボットを出動させ、その部位の画像を獲得するよう要求することとなる。その際に、どの部位かを的確に伝えるため、仮想環境にマーカー（能動指標）を提示し（図-18）、ロボットが目的地にたどり着けるように、ロボットオペレータを支援する。最終的にロボットが画像を取得して、運転員はその部位から水漏れが発生していることを確認し、その対策を講じることとなる。以上が総合実験のデモンストレーションである。

総合実験のデモンストレーションの実施により、2章で検討した保全情報場提示技術および3章で検討したインフラストラクチャの一部を具現化することができた。本デモンストレーションは、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においても、過去（正常時）との比較や早送りによる可視化など、従来の原子力プラントにはない提示手法について高い評価を得ることができた。また、さらなる長時間データやプラント全体の情報データの蓄積、付随情報（過去の不具合情報）の蓄積などについて、実用化に向けたさらなる充実の必要性が指摘されたものの、システムの基本的枠組みを拡張することにより対応可能と考える。また本研究の主テーマではないが、今後はセキュリティについての考慮も必要である。

5. おわりに

原子力プラントを対象とした大規模複雑システムの運転・保全について、時空間的広がりをもつ大規模プラントの運転・保全に必要な情報を運転員に的確に提示することを目的とし、総合的判断を支援するための、大量情報縮約表示、視覚情報を用いた大局観的情報提示ならびに現場感覚を与える直感的情報提示を行う技術の開発を実施した。この提示技術の利用においては、人間とエージェントとの共同作業を想定しているが、それぞれの作業状況を示す情報や注視点情報の共有実現の設計が重要である。

本研究の成果は、原子力プラントのみならず大規模システムへのインタフェースへ応用できると考える。すなわち仮想環境を利用した提示技術や情報共有により、人間・機械を含んだチームでの共同作業による運転・保全に応用できると考える。

実際に環境サーバー内の情報を共有し、提示するエージェントの実装により、3研究機関の研究成果を真に統合できたことで、保全情報場技術の有用性、実際の原子力プラントへの適用可能性を示せた。本クロスオーバー研究では、当所の大局観的情報提示ならびに直感的情報提示という保全情報場提示技術、理研の保全情報場構築技術、産総研の保全情報場維持技術という各機関が有する特徴的な技術を融合させることによって、保全情報場化されたプラントの運転・保全の基盤技術の確立がなされた。

今後の課題、将来性としては、大規模システムに関して、人間とエージェントがそれぞれの特長

を生かした共同作業により運転や保全を行うという基本的枠組みに対して、これらを実現するために、対象となる大規模システムのモデル化技術、並びに、エージェントと人間との柔軟かつ堅牢な共同作業のために情報共有技術の発展が必要である。

今回のクロスオーバー研究では、原子力プラントを対象とし、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、ご助力をいただいた。特にクロスオーバー総合実験において、環境サーバーを提供された産業技術総合研究所、喜多伸之主任研究員、2つのエージェントの実装に協力して頂いた楊海園研究員（現在（株）ユニハイトシステム）には、多大なご助力をいただいた。この場を借りて感謝の意を表する。

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)
- 2) 佐藤知正、浅間一、喜多伸之、沼野正義：「原子力プラントの保全のための情報場技術」、日本

原子力学会 2001 年春の年会予稿集第Ⅱ分冊 (2001)、p.376

- 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」、日本原子力学会 2001 年春の年会予稿集第Ⅱ分冊 (2001)、p.377
- 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」、日本原子力学会 2001 年春の年会予稿集第Ⅱ分冊 (2001)、p.378
- 5) 丹羽康之、沼野正義、松岡猛、福戸淳司、宮崎恵子、田中邦彦、三友信夫、岡崎忠胤：「原子力プラントの保全のための情報場提示技術」、日本原子力学会 2001 年春の年会予稿集第Ⅱ分冊 (2001)、p.379
- 6) 沼野正義、丹羽康之、宮崎恵子、三友信夫、岡崎忠胤、福戸淳司、松倉洋史、田中邦彦、松岡猛：「グループとしての人間の総合的機能の利用技術の研究」、海上技術安全研究所報告 第3巻第5号 (2004)、pp.463-477
- 7) H.Itoh and M.Numano, Knowledge Accumulation and Sharing for Cooperative Environment, *Proceedings of International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Human-Centered Technology in Nuclear Applications (AIR'02)*, pp.152-157, 2002.
- 8) N.Kita, Y.Kita and H.Yang, Environment Server: Digital Field Information Archival Technology, *Proceedings of International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Human-Centered Technology in Nuclear Applications (AIR'02)*, pp.11-18, 2002.