

## グループとしての人間の総合的機能の 利用技術の研究

沼野正義\*

船用推進プラントの運転や船橋における操船を対象としたマン・マシンインターフェイスの研究の知見をいかして、大規模かつ複雑な原子力プラントの運転における安全性の向上に資するとともに、その成果を船舶の安全性の向上にフィードバックさせることを目的とし、原子力基盤クロスオーバー研究を実施した。プラントの運転における知的作業に起因する誤操作の防止に着目し、人間の認識機能に適合したプラント状態の表示ならびにプラント操作結果のフィードバック、グループでの意思決定および操作の支援技術について有用な知見を得た。

Study of Technology for Using Integrated Functions  
of Humans as a Group

Masayoshi NUMANO\*

The extensive knowledge derived from man-machine interface research on the operation of ship propulsion plants and the maneuvering of pontoon bridges was used in crossover research into a nuclear power grid. The purpose of the research was to assist in improving operating safety at large, complex nuclear power plants and to use the results as feedback for improving safety on ships. The study focused on preventing mistakes made in performing tasks requiring intellectual input in the operation of these plants and produced useful information concerning plant status displays compatible with the human process of understanding, feedback from plant operation results and group decision making, as well as operational support technology.

### 1. はじめに

船舶の運航は、巨大システムを人間がコントロールする術を、長い時間をかけ経験を積み重ねて作り上げたものといえる。船舶技術研究所においては、船用推進プラントの運転や船橋における操船を対象としたマン・マシンインタフェースの研究を続けている。これらの知見をいかして、大規模かつ複雑な原子力プラントの運転における安全性の向上に資するとともに、その成果を船舶の安全性の向上にフィードバックさせることを目的として、原

子力基盤クロスオーバー研究の一分野である「原子力施設における知的活動の支援方策に関する研究」として「グループとしての人間の総合的機能の利用技術の研究」を実施した。

原子力プラント等の複雑なプラントの運転においては、プラントの状態を表す多くの情報を運転員に与えることが必要である。原子力プラントではヒューマンエラーを回避するためにさまざまな自動化システムが取り入れられている。しかし、自動化システムが適切な制御を行っている間は運転員に明示的にその動作の情報が与えられず、ブラックボックス化しやすくなる。自動化システムの設計基準外の事象が発生した場合には、運転員が的確な対応を取る必要があり、そのためにはプラントの情報を人間の認識機能に適合した形で提供する必要がある。また

\* 国土交通省船舶技術研究所自動化研究室室長  
Chief of Automation Section, Ship Research Institute,  
Ministry of Land, Infrastructure and Transport  
原稿受理 2000年8月24日

プラントの操作においては、操作結果を運転員に適切にフィードバックすることにより、誤操作を未然に防止することが可能である。さらに複数の人間のグループによる判断、意思決定および操作によって、バックアップや協調による誤操作の防止が可能である。複数の人間が役割を分担して作業を行う場合、視界に入る相互の動作や明示的な会話による共通認識が共同作業の前提となっていることが、実務者からの聴き取り調査から明らかになっている。共通認識を深めるために、個々人の作業に付随したプラントの状態量表示や操作結果のフィードバック等の情報をグループ内で共有することが有効であると考えられる。

本研究では、プラントの運転における知的作業に起因する誤操作の防止に着目し、人間の認識機能に適合したプラント状態の表示、人間の認識および感覚機能に適合したプラント操作結果のフィードバック、人間の認識機能に適合したプラント状態の将来予測表示、およびグループでの意思決定および操作支援、についての研究を行った。

## 2. 大規模・複雑系におけるインタフェース技術

大規模かつ複雑なシステムを人間が運転する場合、人間の本来の機能からみて、次の二つの困難さが生じると考えられる。一つは、システム全体の情報を一時に取り扱う膨大な情報量となり、人間の処理能力を超えてしまうこと。もう一つは、原子力プラントの場合が典型であるが、直接現場で運転できず、

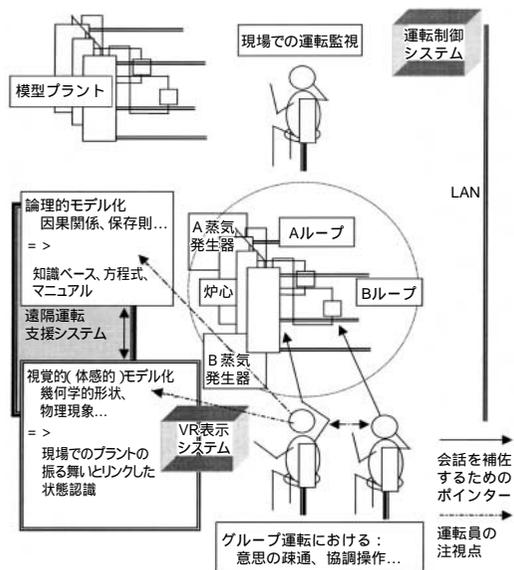


Fig.1 運転における人間のプラント理解<sup>2)</sup>

限られた情報を基にしたリモートコントロールとなることである。

一般的に、人間の処理能力や相互補完による誤操作の防止を考慮して、複数の人間のグループが役割を分担したチームとして運転に当たっており、チームとしての機能を発揮するために適正な役割分担や意思の疎通が重要な課題となる。

これらを解決する運転支援技術の開発を目標とし、人間のプラント理解をFig.1のように論理的理解と直感的理解が相互に補完するものとしてモデル化した。この考え方に基づき、通常用いられている論理的理解に対する支援に加えて、直感的・体感的な理解を支援するものとして、情報の全体像を提供するための、プラントの幾何学形状に温度分布等の状態量を重畳させた3D-VR表現、現場での運転感覚を与える感覚フィードバック入力、ならびにこれらの情報のグループ内での共有技術について検討を行った<sup>1,2,6)</sup>。

## 3. プラント状態の3D-VR表現

運転員に、対象プラントの情報を、物理的なイメージとともに提供することは、情報の意味づけにおける知的活動を補佐するものとして有効であると考えられる。プラントの幾何学形状にプラントの状態量を重畳させることにより、情報とプラントの直接的な関係を理解することができるため、異常原因の探索や対処方針の決定のための知的な支援システムを利用する際のエラーの防止に有効である。

Fig.2に従来のインタフェースと3D-VR情報表示との併用の概念図を示す。プラントの幾何学的形状に状態量を表面色や流体の流れを模擬したパーティクルの動きとして重畳し、3D-VR空間表示によって

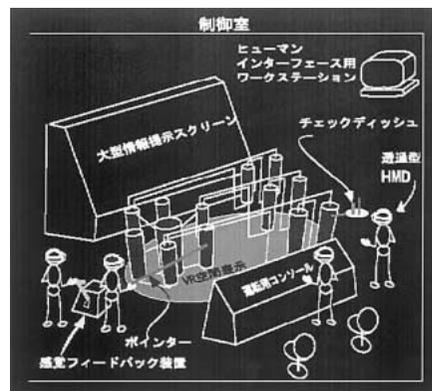


Fig.2 従来のインタフェースと3D-VR表示との併用のイメージ<sup>1)</sup>

運転員に与える。透過型ヘッドマウントディスプレイの採用により、VR空間表示と従来のコントロールパネルやコンソールとを同時に見ることができるため、これらの併用した運転が可能である。これにより論理的な理解と直感的な理解を同時に支援することができる。

透過型ヘッドマウントディスプレイの使用状況をFig.3に、3D-VR空間表示の主な機能をFig.4に示す。

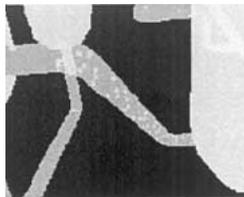
#### 4. 操作におけるフィードバック

直感的な理解を支援するものとして、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た。バルブや制御棒など、物理的な位置情報がその状態と結びついている場合、レバーでこれを制御する際に現在の位置情報をレバーからの反力で表現することにより、リモートコントロールでの応答の遅れを実感することができ、また、論理的な理解との照合によりヒューマンエラーの防止に有効である。ポンプモータの起動・停止の際に、回転数に対応した大きさと高さを持った音を人間に聞かせることにより操作に対する応答を感じるこ

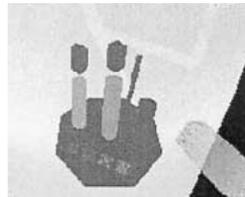


Fig.3 透過型HMDと3D-VR表示の使用状況<sup>1)</sup>

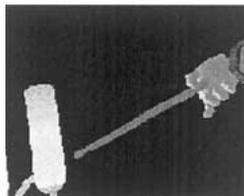
パーティクルによる流れの表現



VR空間上の状態量表示例



VR空間上のポインタイメージ



VR空間上のトレンドグラフ表示例



Fig.4 3D-VR空間表示の主な機能<sup>4)</sup>

が可能である。同様に、流体の流れを変化させる操作においては、流速または流量に応じた振動をレバーに与えることにより、操作結果を運転員にフィードバックすることが可能である。Fig.5にその概念図を示す。

また、重要な操作には大きな反力を与えることにより、誤って重大な操作を行ってしまうことに警告を与えることができる。これらの機能は、従来の論理的な理解を支援するインタフェースと併用することにより、相互に補完してプラントのより正しい理解を支援することが可能である。

#### 5. グループ内での情報の共有

グループ内での意思の疎通を確保して共通認識を確立するために、先に述べた支援についても、グループ内の運転員間で、情報を共有できることが重要な機能要件となる<sup>3,11)</sup>。

グループ内の複数の運転員が同じ3D-VR空間表示を見るときにも、その中で、相互に他の運転員の注視点を表す3Dポインタを表示内に表現することは、情報交換が容易になるとともに運転員間の行動の相互チェックにも有効である。

旅客機の操縦席に採用されている操縦桿の機構が操作に対するフィードバックの共有のよい例であると考えられる。操縦桿の動きが連動することにより、互いに相手の操作を知ることができるとともに、相異なる操作を行った場合の操作結果を適切に設計することにより、誤操作の防止や、協調作業に有効な情報の共有が可能となる。

模型プラントを対象として、系統図表示のコント

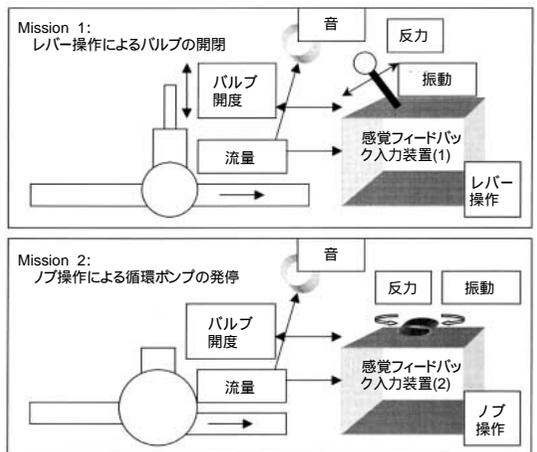


Fig.5 操作入力における感覚フィードバックの例<sup>1)</sup>

ロールパネル、ならびに2人用の3D-VR空間表示および反力フィードバック入力装置を試作し、炉心温度維持制御のミッションを与えて、3D-VR表示における異常の確認や、レバーへの反力による炉心出力の応答遅れの確認を行い、これらの有効性を明らかにした<sup>4,5,8)</sup>。

Fig.6模型プラントとそのコントロールパネルを、Fig.7に3D-VR表示例を、Fig.8に2人用の反力フィードバック入力装置を使用した運転実験の様子を示す。一方がバルブ開度の操作をレバーの指示により行い、実際のバルブ開度を双方のレバーのニュートラル位置にフィードバックする実験において、操作した本人がバルブ開度の動作遅れを反力によって確認でき、直接操作を行っていない人間にも、現在の開度の情報が直感的に分かることが明らかになり、他方の介入を許す設定を行った場合は、レバーを戻すことにより、バックアップ動作が可能であることがわかった<sup>10)</sup>。

## 6. おわりに

大規模かつ複雑なプラントの運転を安全かつ効率

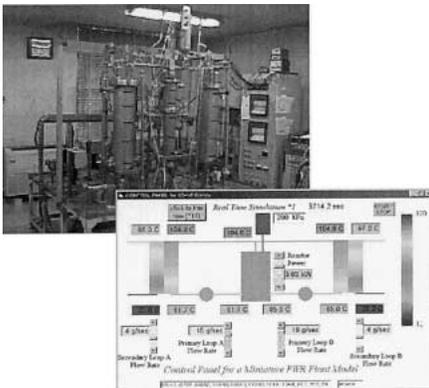


Fig.6 模型プラントとコントロールパネル<sup>11)</sup>

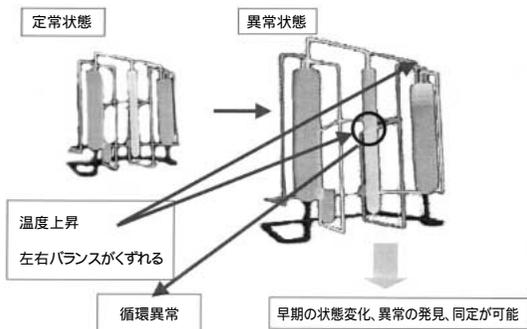


Fig.7 3D-VR空間表示における状態変化の表示<sup>10)</sup>

的に行うための支援のあり方を、人間本来の総合的な機能を考慮して、検討した。従来の運転支援は人間の論理的な理解を支援するものが主であったが、人間の総合的な機能を利用するためには、現場での運転における直感的な理解との相互補完を可能とする運転支援が必要である。

人間を取り巻く視覚空間に情報を展開するものとして3D-VR空間表示を提案しその有効性を確認するとともに、操作に対する直感的な情報の提供として操作入力に対して反力、音、振動等のフィードバックを与える手法について検討し、バルブの開閉やポンプモータの起動・停止の操作に有効であること確認した。

大規模かつ複雑なプラントの運転には、人間の限られた能力を生かすとともに相互のエラーチェックを可能とする、複数の運転員のグループによる運転が不可欠である。そのためには、支援情報を共有して意思の疎通を確保することが重要である。3D-VR空間表示の共有と表示内での注視点情報を表す3Dポイントを提案しその有効性を確認した。また、操作入力に対する反力等のフィードバックを共有できる2人用のレバー操作装置を試作し、バルブの開閉等の操作において、相互の操作のチェックや協調操作に対して有効であることを確認した。

人間の総合的な機能の利用を考慮するとともに、グループないしはチームでの運転を支援することは、大規模かつ複雑なプラントの運転には不可欠であると考えられる。Fig.9に示すように、船舶の運航において、支援システムと操船者が音声による会話によって意思の疎通を図るシステムが開発され実機が有効に機能している。このシステムにおいては、支援システムが操船のパートナーとして認識されており、

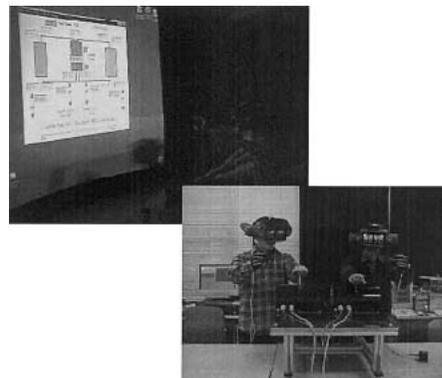


Fig.8 大画面表示されたコントロールパネルの前での反力フィードバック入力装置を用いた運転実験<sup>11)</sup>

人間と自動化機械の共同作業が可能であることを示している<sup>7)</sup>。今後は、各種の自動化システムをそれぞれが役割を分担するグループの一員としてとらえるマルチエージェントシステムの考えを取り入れ、より安全かつ効率的な運転支援システムの実現に向けて研究を進めていくことが求められよう。また、グループでの共同作業そのものを監視、支援する手法についても検討を進め、同様な問題を抱える船舶の運航に適用する予定である。

最後に、本研究は「船舶の運航」の研究から発して、「原子力プラントの運転」に活用し、成果を再び「船舶の運航」に還元することを目指して実施したものである。

船橋における航海当直作業を支援する技術の研究開発の中で、レーダーによる他船の動向、電子海図による自船位置等の支援情報の提供、オートパイロットや自動航路保持等の自動制御における、マン・マシンインタフェースの要件を洗い出した。最も基本的なものは、見張りの最優先であり、各種の支援情報を船橋から見える航行海域ならびに自船の動きの直感的な情報とリンクして理解する必要があることである。研究開発に用いた操船シミュレータは大画面表示に船橋からの海域の景観をCGIによって模擬するものであり、プラント運転においても大画面またはVRにより運転対象であるプラントの状態を直感的に提示することが有効な支援であると考え、これを基に研究を進めた。

本研究で得られたプラント運転員への支援技術は、今後導入される船舶自動識別装置(AIS)等、多様化する運航関連情報の人間への提示手法ならびに多様化する運航形態への対応を検討する際に活用できると考える。

**参考文献**

- 1) 沼野他: Advanced Support System for Plant Operation - Matching to Human Recognition and Senses and Its Application to Group Operation Support - , AIR & IHAS '97, 1997
- 2) 沼野他「人間の認識及び感覚に適合した運転支援」『第70回船舶技術研究所研究発表会講演集』1997年
- 3) 福戸他「グループでのプラント運転のモデル化とその支援方策」『第70回船舶技術研究所研究発表会講演集』1997年
- 4) 田中他「VR空間表示を利用した運転支援」

水島港離れ直後



操船者	航海支援システム
船速 7 OK	船速 7 船速を7.0ノットにします。  船速を7.0ノットに設定。 2分後変針点に到着します。 次の進路は44度です。 了解ですか。
了解 コース 65	コース 65 コース65度に変針します。 船首が左に向きます。 コース65度に変針。 OK
OK	コース65.0度に変針終了しました。

Fig.9 音声会話による航海支援システムを用いた航海の様子<sup>7)</sup>

『第70回船舶技術研究所研究発表会講演集』  
1997年

- 5) 丹羽他「運転実験対象としてのプラント模型」『第70回船舶技術研究所研究発表会講演集』1997年
- 6) 宮崎他「グループとしての人間の総合的機能の利用技術の研究」『第70回船舶技術研究所研究発表会講演集』1997年
- 7) 福戸他: Use of speech communication as an interface of a navigation support system for coastal ships, The 7th IFAC / IFIP / IFORS / IEA SYMPOSIUM on ANALYSIS, DESIGN AND EVALUATION OF MAN - MACHINE SYSTEMS, 1998
- 8) 沼野他: 3D-VR Plant State Expression with See- Through - Type Head Mounted Display for Human Interface in Plant Control Operation, SMC '98, 1998
- 9) 沼野他: Reduction of Human Errors in Plant Operation Utilizing Human Error Correction Function as an Individual and Crew, HCI International '99
- 10) 丹羽他「現場感覚を運転員に与えるインタフェースの構築」日本原子力学会1999年秋の大会
- 11) 丹羽他「グループでの運転を支援するプラント情報の共有」日本原子力学会2000年秋の大会