

原子力プラント事故時手順書表示機械化に関する研究 (ステップ3) プロトタイプの製作とユーザー評価

Study on Computerized Presentation of Emergency Operating Procedures of a Nuclear Plant (Step 3)
— The Implementation of the Prototype System and its Evaluations by Users —

丹羽 雄二 (Yuji Niwa)* エリック ホルナゲル (Erik Hollnagel)†
岩城 利夫 (Toshio Iwaki)‡

要約 事故時手順書のソフトウェア仕様 (SRD) に基づいて、実際に製作したプロトタイプに概要について報告する。初期モックアップの問題点を指摘し、これらの解決を中心に述べる。ソフトウェア仕様書に基づいてプロトタイプを製作し、原子力発電プラントの運転員にデモンストレーションを行った。この際に得られた意見をまとめたものを報告し、本研究の結論とする。

キーワード 事故時手順書表示機械化, プロトタイプ, ソフトウェア仕様書

Abstract Based on the Software Requirement Document (SRD), the prototype system of Computerized Procedure Presentation was implemented. In this report, the overview of this system is treated. The deficiencies of Mock-up are pointed out and their solutions are considered. This report features how we resolved the problems. The prototype has been implemented according to SRD. It has been demonstrated to the operators of the nuclear power plants. Their useful opinions are integrated and this research is concluded.

Keywords computerized procedure Presentation, prototype, software requirement document

1. 問題点のサーベイ

前ステップまでに考察したモックアップの画面を図1に再掲する。モックアップモックアップとして作成した画面イメージ⁽¹⁾を事象ベースの蒸気発生器伝熱管破損事故 (SGTR) 全ステップについて表示画面を作成してみて、著者のエンドユーザーとしての経験から、ユーザーの立場にたって問題点をサーベイした。その結果、次のようなことを、問題点として指摘した。

問題(A) Navigation機能が不十分である。より具体的には、

- (1) Orientation 把握のための機能が不十分である。
- (2) 手順やステップのジャンプの機能 (Navigation機能) の考察が不十分である。

(3) 事故同定後の初期の事象に準拠した EOP 探索のためのサポート機能が未考察である。

問題(B) 実用のEOPの内容が、前報告、ステップ2で述べたようなif ~ thenの構文になっていなかった。if ~ thenは条件を確認して行為に移る「行動駆動型」の条件であるのに対して、例えば「ポンプ起動後の状態表示灯の確認」のように「ライトが点灯する。」ことは、ある操作を行えば、機器や計装が正常であれば起こるのである結果である。例えば次の例文を考察してみよう。

[安全注入ポンプを起動せよ。起動後(その結果)モニタライトの点灯と警報Aの発信を確認せよ。]

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所
† Halden Project, Institutt for Energiteknikk, Norway

‡ コンピュータソフト開発(株) プロジェクト推進部

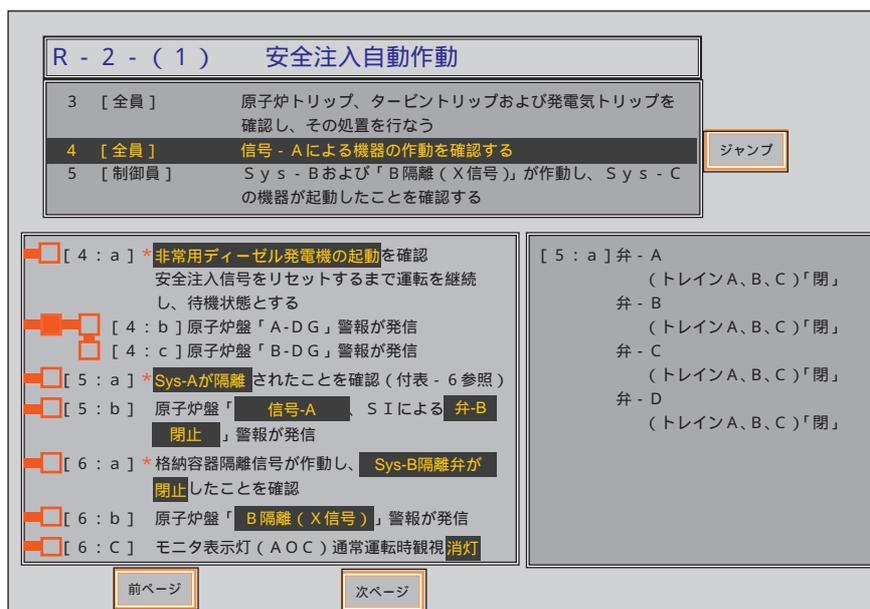


図 1 表示システムのモックアップ

これを

「もし安全注入ポンプを起動したならば、モニタライトと警報が点灯することを確認せよ。」

とEOPを書き換えてif ~ thenの構文に直すことは可能かも知れないが、行動の目的が、モニタライトや警報の確認になる。この場合、モニタライト等の確認は、事故を収束されるための直接操作とは明らかに異なる。事故収束に必要な直接操作は、常に行動として、EOPに記述されている。これに加えて、「行動（操作）」を条件にすることは、条件 - 行動の意味の統一性を喪失させるだけでなく、元のEOPの記述を不必要に変えることになるので、ユーザーにとっても使い勝手を著しく悪くするので、避けるべきである。以上からも構文に応じた表示を別途考察する必要がある。

問題 (A) , (B) を解決するため、事故時手順書表

示 (CPP: Computerized Procedure Presentation , 以下CPP という .) 画面設計の見直しを行った結果を以下に述べる .

2. Navigatorの導入

問題(A)の解決は、まず初期のEOP探索を支援するための画面を用意することである。この問題について、最も簡単な問題解決は、Navigationの節でも述べたように事象ベースのEOPを階層構造に再構成することである。これにより、事象ベースのEOPの題目を列挙した画面を提示するよりも使用すべきEOPへのアクセスが容易になる。なお、各EOPの題目がかなり長く、ストレスがかかった場合の可読性が劣るので、アイコンとこれに対応するボタンを導入する。この画面を (Initial Overview Screen) と呼ぶ。階層構造の再構成の結果、事象ベースEOPの数が多く、「安全注入」と「外部事象」の中間画面を導入し、画面上でアイコンを探す時間の短縮を図った。

運転員が常にOrientationを喪失しないように、適用可能な技術は、確率論的安全評価 (PSA) でしばしば用いられるOAT (Operator Action Tree) に類似の操作シーケンス図を表示し、運転員が現在行

っている操作に対するHeadingを画面上で強調表示することである。本システム（Computerized Presentation System: 以下CPPSと記す。）では、Headingの繋がりのみを表示すれば良い（樹木を表示する必要はない。）ので、特にNOAS（Nodes of Operator Action Sequence）と呼ぶこととする。

NOASと各NOASでの参照すべき関連手順を示したものをOperations Mapと呼ぶ。Initial Navigation画面とOperations Map画面表示機能を合わせたものをNavigatorと呼ぶことにした。これに対して上記までの手順ステップの表示機能をPresenterと呼ぶ。なお、CPPSの出力も考察しておくべきである。操作や条件のチェック欄に付随する条件および操作にそれがチェックされた時刻のTime Stampを付して出力させると、事故の解析の重要な情報となる。以上をまとめて、CPPSの構成を図2に示す。

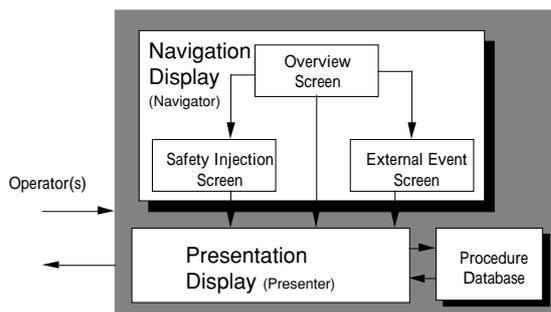


図2 表示システムの構成

3. 構文の表示のための分類と各表示の動的なPropertyの考察

問題(B)の解決については、EOPの文章を分析して、その構文を次のように4つに分類した。

(1) Category-1

If [A is true] () [A is true]...then do [C]
if ~ thenタイプの構文である。これは、欧米のEOPに見られる典型的な文型で、既に考察してきたものである。

(2) Category-2 プラント設計上の結果 (Designed Result)

[A] [B] () [C]...

意味：[A]が真ならば、[B]かつ（又は）[C]・・・が設計上の結果として成立する。

4.3.9節で採り上げた文型である。Aが操作を表し、B、C・・・が設計上、起こるプラント、主に計装の状態変化を示している。

(3) Category-3 詳細記述

[B] () [C]... [A]

意味：[B]かつ（又は）[C]・・・は[A]の説明又は具体的操作である。

幾つかの複雑な操作のシーケンスがある場合、予め運転員に概要操作を周知し、詳細で具体的な操作を指示する場合である。次に典型的な例を示す。

Step-X 化学体積制御系の充填/抽出を確立する。

(1) 弁Aを閉止する。

(2) 充填ポンプを起動する。

...

(n) 出口弁Bを閉止する。

ステップに記載されている操作と項目(1)~(n)のシーケンスの意味は同じである。しかし、ステップにOrientationを示す操作が記載されているので、運転員は(1)~(n)の一連の操作の意味を理解しながら操作を進めることができる。EOPでしばしば適用される記法である。

(4) Category-4 失敗時の操作（プラント設計上、要求される操作）

\neg [A] [B]

意味：[A]が偽ならば、事故を収束するために、操作[B]が実行されるべき（はず）である。

欧米のEOPでは、Contingency Actionとして、詳細に記載されているものである。WH社ERGの事象ベースの手順書ORGでは、右カラムに左カラムの操作が失敗した時のContingency Actionが必ず記載されている。否定（Negation）を含んだ一種の非接続条件とも見なすことができるが、表示にあたっては特別の注意が必要である。

Category-2 Designed Result	Category-3 Explanation/Specific Action	Category-4 If failed~

図3 AND, OR条件以外のチェックによる表現変化

これら Category-2 から Category-4 までの表示方法について検討した。その結果を図3に示す。Category-2のチェック前後の表示の変化については、該当操作がチェックされれば、チェック以前は灰色であったチェック欄の枠が赤に変わり結果のチェックを促すものである。結果の記述についても操作のチェック以前は灰色であったものが、チェック後、黒の文字に変わることにより、運転員の注意を喚起し、その後の確認作業を確実にさせるようになっている。結果の確認は全ての項目についてチェックすることが望ましいが、操作の結果は、状態表示灯、警報、制御スイッチのランプにわたる冗長な手段で確認することも多いので、そのため、各チェック欄は連結していない。即ち、全てをチェックしていなくとも、次ステップに進むことができる。

Category-3では、操作がチェックされれば、サブ操作（操作の詳細記述）のチェック欄の枠が赤に変わりチェックを促す。サブ操作は、一連のなすべき操作であるので、連言的である。従って、AND同様、各チェック欄は垂直の縦棒で連結される。

Category-4については、操作と「失敗時」のチェ

ック欄が同時に赤で示される。操作が成功した場合、当該操作のチェック欄にチェックすれば、次のステップに進むことができる。もし当該操作に失敗した場合、「失敗時」のチェック欄にチェックを行えば、灰色で表示されていた一連の失敗時操作が黒に変わる。チェック欄も赤に変わり、チェックを促す。

4. Presenter 表示画面の再レイアウトについて

ここでは、Presenter スクリーンの設計上の考え方を述べる。NavigatorのOperations Mapの情報もOverlap Paneの使用を避けるため同一のスクリーンに表示する必要がある。また、大きなサイズの文字を表示した場合、表示できる手順ステップ数が限定される。表示ステップ数を極端に少なくすれば、運転員がOrientationを喪失しやすい画面になる。手順ステップ表示のエリアを多くとれば、Comment Paneのスペースが少なくなり、Comment全体が表示できなくなる。このため、表示文字のサイズを判読可能な文字に対する視角⁽¹⁾から13ポイントとした。但し、条件や操作行動を表示するエリアである

Procedure Pane (以下PPと記す.)と操作、条件以外の重要な情報を表示するエリアであるComment Pane (以下CPと記す.)を単純に上下に分けると手順ステップに付随したCommentを探すために、視点の不必要な動きを招く。この解決策として、PPの横にShort Comment Paneを設け、Commentの一部を表示するようにした。短いCommentはこのPaneに十分収めることができる。また、これにより、ステップに付随するコメントがあるかどうかの認識が、視点を少し横に動かすだけで可能である。(視点の移動距離が少ない。) Short Comment Paneで表示しきれない場合は、PP下部にFull Comment Paneを設けた。その他、手順ステップのチェック欄表示のエリア(Procedure Step Check Pane)と条件のチェック欄とこの関係付け⁽¹⁾を表示するグラフィックエリア(Graphical Pane)を設けた。以上レイアウトについて考察した結果、最終的に決定した画面レイアウトを図4に示す。

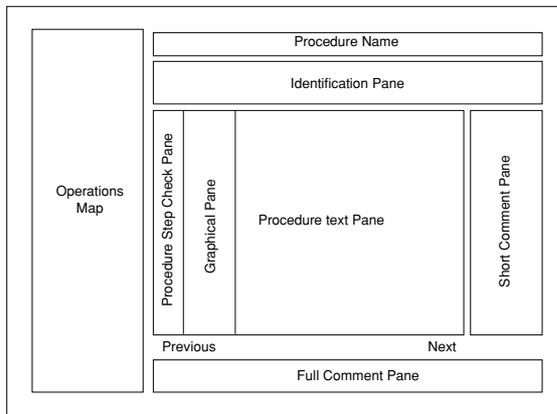


図4 CPPSの表示エリア

5. CPPSの構築について

CPPSデータベース構築のためには、EOPの計算機内部で、どのように「表現」(Representation)するかを検討しなければならない。このために、EOPの記述をバックス法(BNF)で表現した。現行使用の文書EOPを基礎としながら、文書EOPの情報を全て包括し、CPPに必要な情報を付加したものが、CPPSの内部表現である。内部表現の要素が決定できれば、CPPのための必要なレコードが決定できる。

内部表現のBNFによる記述、表示のための1レコードの構成について、付録に述べる。

レコードの構成が決定できたら、文書EOPの各々の記述を1レコードに含まれる要素(フィールド)で分解して書き下していく。この例を表1に示す。基本的なソフトウェアとしては、条件、操作(行動)、コメント等を前節で検討したレイアウトのエリアに割り当てて表示する静的な特性を記述したものと、チェック欄にユーザーからの入力を受け付けた場合の表示の動的な変化特性を記述したものから成立していると考えて良い。これらの詳細は、ソフトウェア要求書(SRD; Software Requirement Document)に記述される。この仕様に従って、ソフトウェアを構築し、GUIを出力デバイスとする計算機にソフトウェアとデータベースをインストールしたものが、CPPS(Computerized Procedure Presentation System)である。

Navigatorのソフトウェアについては、基本的には、入力に対して、どのレコードにジャンプするかという命令と静的画面を如何に構成するかという仕様から成立していると考えて良い。

6. プロトタイプの画面例

前節までの基礎概念、データベース、ソフトウェア構築結果に基づいてCPPSのプロトタイプを作成した。プロトタイプの概要を以下に説明する。

6.1 Navigation Display-Overview Screen

図5にOverview Screenの画面例を示した。表示の動的な特性の主なものは次のとおりである。

- (1) 階層の上位項目は、「機器故障」、「トリップ」、「安全注入」、「外部事象」である。機器故障は更に「1次系」、「2次系」、「サポート系」の下位階層で構成されている。この階層構造は枠の入れ子で表している。基本的にアイコンとボタンで構成されたものである。
- (2) この画面では、運転員は専らマウスを用いて、操作を行う。入力可能なエリア(探索しようとするEOPのアイコンを含ん

Seqnumber	OperatorId	Operation	Condition Type	Condition	Comment	Number
17		RCS減圧を実施せよ。				17.00
	制御員	通常スプレーが利用出来ることを確認せよ。				17.01
				RCS圧力が破損S/Gよりも少ない圧力		17.02
			AND	加圧器レベルが17%よりも小さい		17.03
			OR	加圧器水位が19%よりも大きいこと		17.04
			OR	炉心出口熱電対によるRCSのサブクールが21度よりも小さい		17.05
	制御員	加圧器スプレーにより最大レートでRCS減圧を実施せよ。			破断流を最小にし、加圧器を再冠水させるのが目的である。	17.06
18		スプレー弁を閉止せよ。				18.01
	制御員	加圧器スプレー弁を閉止せよ。				18.02
	制御員	通常スプレー弁を閉止せよ。	EX			18.03
	制御員	補助スプレー弁を閉止せよ。	EX			18.04
			FAILED	両スプレー弁が閉止しない時		18.05
		A-LoopのRCPを停止せよ。			通常スプレーはRCPと停止すれば、供給が停止する。	18.06
		補助スプレラインを隔離せよ。	AND			18.07

注：ConditionTypeでEXは詳細説明（カテゴリー3），FAILEDは失敗時の操作（カテゴリー4）を表す。

表 1 CPPSの内部データベース

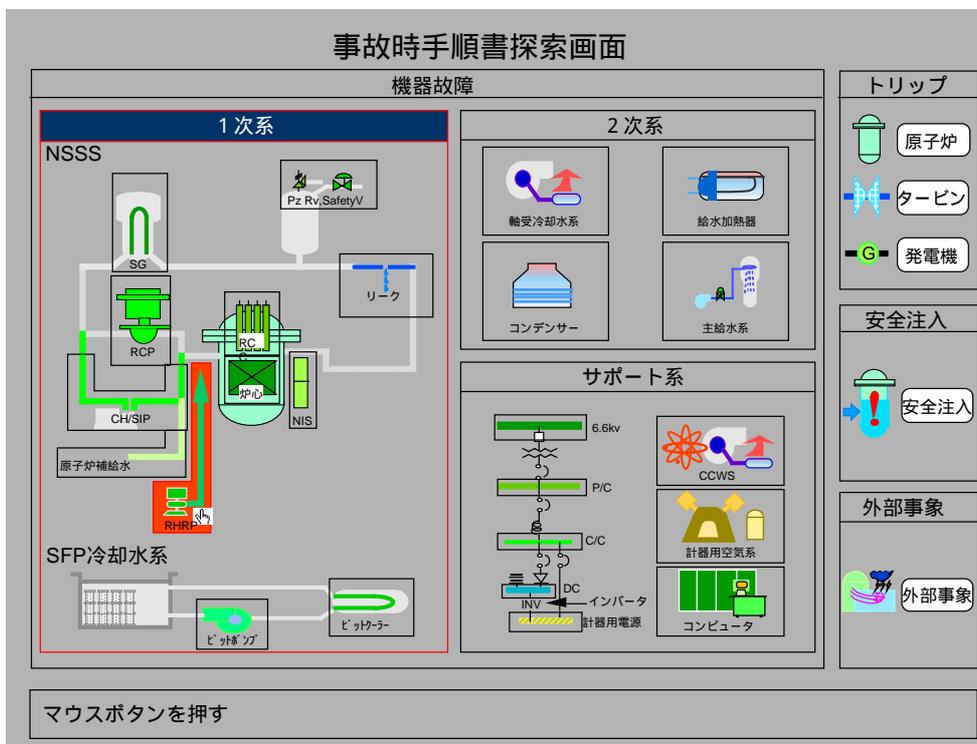


図 5 Overview Screen

だボタン)にマウスによるポインタが入ると階層を表す枠の色がマゼンタに変わり、階層の名が青色を背景色とする反転文字に変わり、運転員の注意を喚起する。併せてデフォルトのポインタマーク(矢印)が、一般のGUIに見られるように「人差し指を立てた手」のマークに変わり、入力可能であることを示す。ボタン内は背景色が赤に変わり、運転員に注意を喚起する。

- (3) 下段の枠内には、操作すべき内容が表示されるので、GUIに馴染みのうすい者でも操作が可能である。
- (4) 上位階層「機器故障」、「トリップ」、「安全注入」、「外部事象」の中で、「機器故障」が大きなエリアを占めている。これは、事故の深刻さとは別に、「機器故障」の場合、適切なEOPに至急アクセスすることが要求されるので、初期画面から直接ア

クセスできるようにしたためである。即ち、「機器故障」を放置すれば、「トリップ」、「安全注入」状態にプラントが至ると予想されるので、運転員はこの状態に至ることを恐れ、極めて早期の操作を要求する。これに反して、「トリップ」、「安全注入」、「外部事象」は生じた場合、結果の確認(機器の自動確認等)が主であり、事象としては深刻であるが、EOPのアクセス要求時間は、若干長く見積もって良い。従ってエリアは、「機器故障」に比較して、小さくした。又、「機器故障」においては、どの機器故障を事象ベースEOP体系がカバーしているかを運転員は常に覚えている訳ではないので、運転員にとって馴染みの深い系統図のイメージでアイコン、ボタンを配置した。

Overview Screenから直接、使用すべきEOPにアクセスができるように、「機器故障」については、Pop-upメニューを導入した。この例を図6に示す。Pop-upメニ

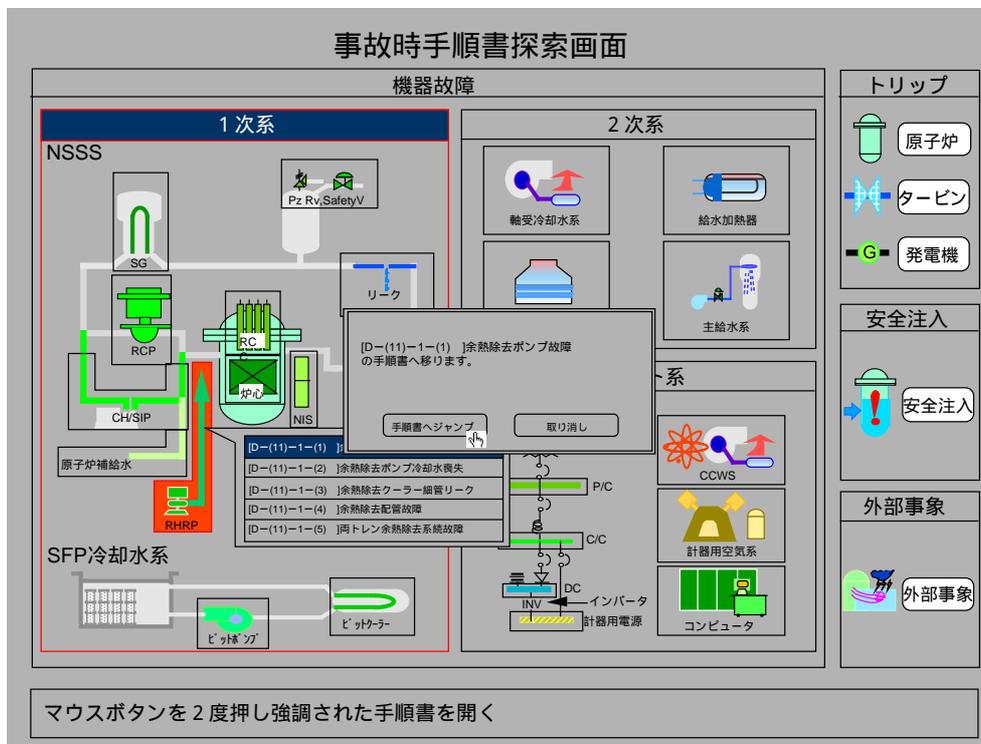


図6 Dialogue Boxの表示されたOverview Screen

ユーは機器故障内のボタンをクリックすれば出現し、マウスをドラッグすることにより、当該のEOPを開くことができるようにした。なお、Presentation画面を開くにあたっては、GUI標準の確認のためのDialogue Boxが出力される。

6.2 Navigation Display-Intermediate Screen

「安全注入」、「外部事象」では、EOPにアクセスするためには、Intermediate Screenを経る必要がある。これは、事象ベースEOPの数が多いためである。事象同定ができていれば、最小のWorkloadでEOPが開けるようにした。基本的な考えは、Overview Screenと同じである。

- (1) 「安全注入」についてのIntermediate Screenを図7に示す。Overview Screenと同様にアイコンとボタンで構成されている。本来のCPPSの使用条件としては、

CPPS使用前に運転員により事象同定が試されていることである。従って、図7に示す画面の下半分の枠に示されている事象未同定のOptionは不要であるが、パラメータから再確認して、当該EOPを開きたい場合のために、特に付加した。

- (2) チェック欄のPropertyは、既に記したものに準ずる。チェックすればチェックマークが挿入され、枠が緑色に変わる。パラメータ傾向を示す要素は全てANDで結ばれている。条件が成立すれば、番号枠を含めたチェック欄、連節が全て緑色に変わり、Dialogue Boxが出力される。

6.3 EOP Presentation Screen (Presenter and Operations Map)

当該のEOPにアクセスした後、開いたEOP Presentation画面の例を図8に示す。



図7 手順書表示までの中間画面

(1) Operations Mapには、現在のステップが事故収束過程のどの段階にいるのかが白の背景の枠 (NOAS) で示されている。通常において最終のNOASは冷態停止 (CSD; Cold Shut Down) である。関連参照の手順書 (Cross reference) も該当のNOASにボタンアイコンで示されている。制御をOperations Mapに移し、(Figure 4-18では、入力可能なPaneは枠が青に変わっている Procedure Paneにある。この操作はマウスのポインタを制御したいPaneに移動するだけで簡単に行える。) NOASをクリックすることにより、当該NOASの最初のステップにジャンプ表示することが可能である。例えば、重要機器の起動方法等を記載した通常操作手順書を参照することが事故時にも必要とされる。このような場合はOperations Map内で当該手順書のアイコンボタンをクリックすれば、容易に開くことができる。この場合、GUIの標準に従い、確認の Dialogue Box

が表示される。菱形で表示された部分は、一連のSGTRの収束操作で、重要な分岐条件を示している。

(2) EOPの名前欄は常に青枠表示され、運転員の周囲を喚起し続ける。

(3) IPには、現在の手順、直前の手順および2つ後の手順が表示される。現在の手順は反転表示され、運転員の注意を喚起する。制御をIPに移し、前後の手順をクリックすれば、当該の手順表示に切り替わり、シーケンシャルなNavigationが可能である。

(4) PPには、既にチェックされた条件がチェックマーク、連節とともに緑色で示されている。このPPには、Category-1, 2, 4の構文は表示されている。チェックすべき箇所は反転表示され、チェックされれば次のチェックすべき箇所は反転表示される。併せてチェックすべきチェック欄

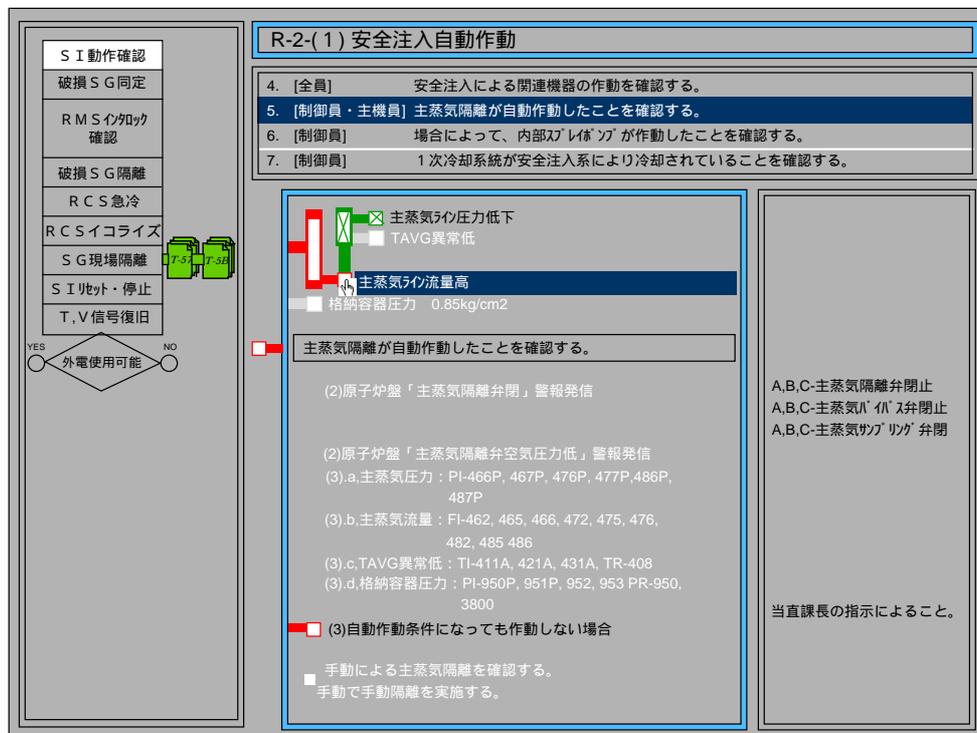


図8 手順書表示画面

は赤でBlinkし、運転員の注意を喚起する。運転員は、次にチェックすべき箇所を探すことなくチェックを進めることができる。

- (5) Short Comment Paneには、ステップに付随するコメントが表示されている。Figure 4-18の場合は、全てのコメントがShort Comment Paneに表示されているので、Full Comment Paneは表示されない。Short Comment Paneでは表示しきれない長いコメントがある場合には、Full Comment Paneが内容と共に表示される。
- (6) 図9には特に重要な破損蒸気発生器の最終同定のステップが表示されている。SGTR操作の成否を左右する重要なステップなので、特にDialogue Boxを表示して、確認行動をCPPSでも促す。
- (7) 図10,11には分岐条件チェック後のOperations Mapの変化を示している。分

岐点でチェックが行われたならば、当該のステップを表示すると共に、Operations Mapの分岐以降のNOASを表示する。菱形の左右には、分岐のtokenが表示される。

6.4 CPPS プロトタイプของผู้ー反成

本システムの有効性を示すためには、フルスケールシミュレータ環境にCPPSを設置し、事象同定可能な事故を模擬し、何らかの客観的な指標の比較（例えば、吉川らの研究⁽²⁾にあるように視点の動き等）を行うことが望ましい。しかし、実際にシフト業務に従事している運転員に対して、生体的な挙動を把握するような実験の適用は、彼らの時間的制約から難しい。そこで、電力会社の経験年数10年以上の運転員に対して、CPPSのプロトタイプでのデモンストレーションを行い、7つの評点から成るLikert Type Scaleを付した評価シートへの記入を行わせた。本評価シートで使ったLikert Type Scaleを図12に示す。被験者の数は6名であった。(平均運転経験年数 = 16.2年, 照準偏差 = 5.64年) 26項目の質問を用意したが、これらのトピックを表2に

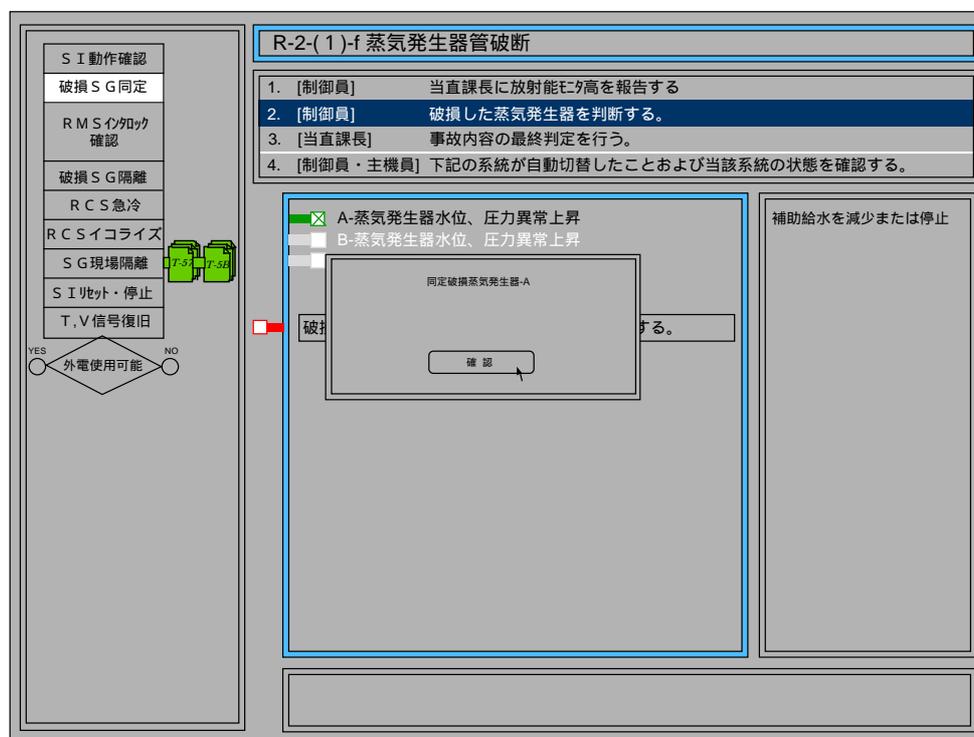


図9 重要な条件チェックがある場合の手順書表示画面

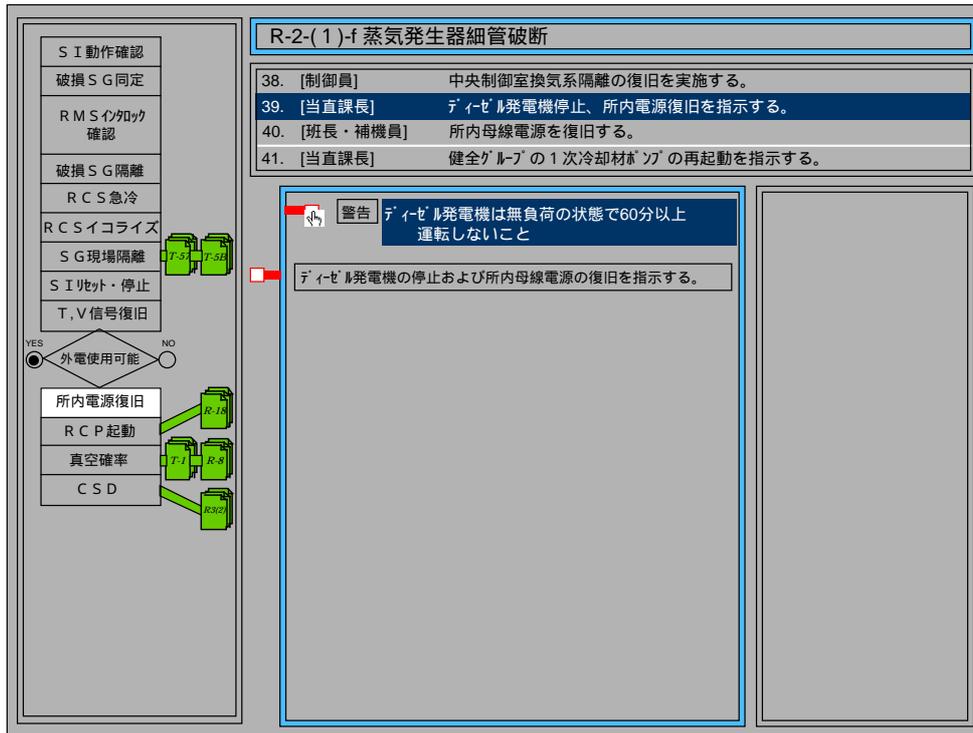


図10 分岐前の手順書表示画面

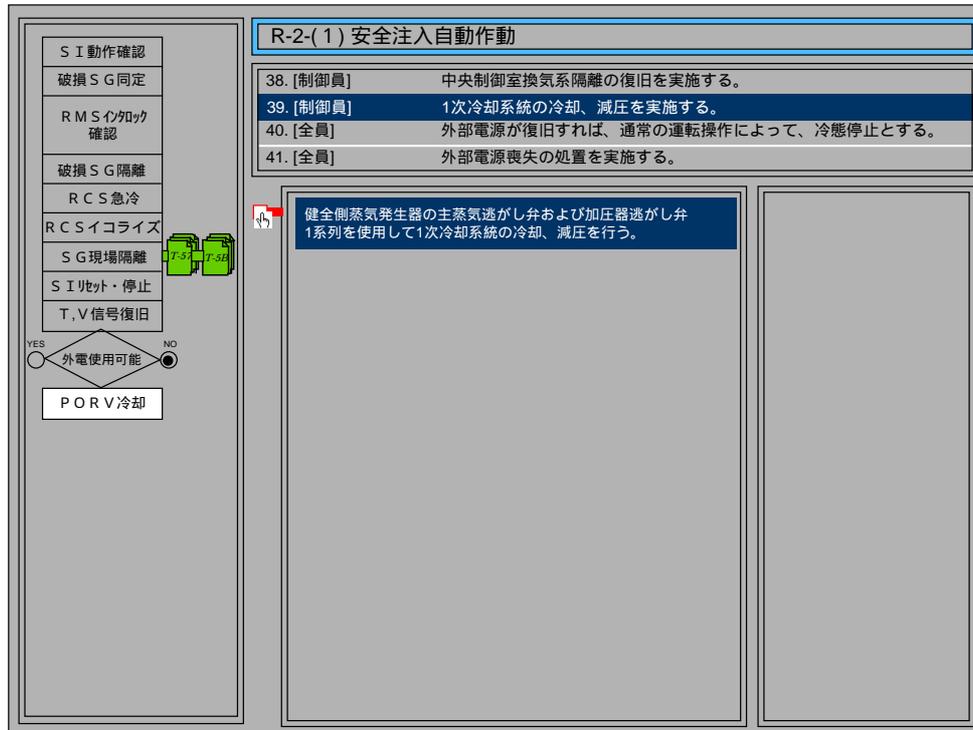


図11 分岐後の手順書表示画面

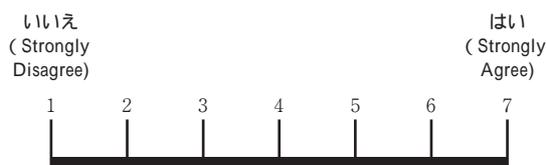


図12 本評価で使用したLikert Type Scale

調査項目	調査項目の詳細
現状のEOP構造との類似性	CPPで表現されたEOPが、現状で使用しているハードコピーのEOPの構造をどの程度まで反映しているか。
手順の同定	CPPは、適当な手順同定をどの程度まで、し易くしているか。
手順書におけるNavigation	EOP間及びEOP内の動きをどの程度まで、し易くしているか。
動的な表現	論理や条件表現を含め、手順の進行表示をサポートしているか。表示の動きが運転員の理解と背反しないものか。
システム応答時間	表示が変わった場合や運転員が入力した場合のシステム応答は、満足すべきものか。
ユーザーの満足度	運転員が、CPPとの相互作用に満足しているか。

表2 質問のトピック

示した。運転員に行った26の質問とこれらのトピックの関係を表3に示す。

これらに対する Likert Type Scale におけるメディアン値を評価指標とした。各々のトピックに対して、運転員の評価シートの集計結果は表4のとおりである。これらから得た所見は次のとおりである。

(1) 現状で使用している EOP との類似性

一部の運転員から、チェック欄の意味が判らない等の批判があったが、高い評点を示した。結論として、文書 EOP と CPP の構造の類似性は支持されたものと言える。なお、この中でスコア1の評点を付けた運転員は、フォントサイズについて問題を指摘しており、構造の問題を指摘したのではない。

(2) 当該事象 EOP の同定について

Navigation Screen のアイコンの理解し易さ、使用のし易さについては、高い評点を示した。但し、事象を、運転員が自

身で同定してから、Navigation Screen を参照するという CPPS の使用方法を十分理解できなかった運転員も居たため、質問2については、若干低い値を示した。総合的には、このトピックについては、運転員は好感を持ったものと評価できる。

(3) EOP 間の Navigation について

このトピックについては、全ての質問に対して、メディアン5以上の評点を示し、CPPS の長所が十分理解されたものと考えられる。運転員Fは、総じてこのトピックに対しては、低い評価を与えている。他のトピックについても、総じて低い評価を与えている点は注目される。質問12について、若干のばらつきがあるのは、デモンストレーションの時間制約から、条件の図示方法について、十分な理解が得られなかったと考えられる。条件の図示方法に対する理解について、十分時間をかけて「慣れ」させることが必要である。

調査項目	No.	質 問
a.既存のEOP構造との類似性	1	機械化EOPの構造は、現状で使用しているEOPと似ているか。
	2	CPPSは、使用すべきEOPの探索を容易にしているか。
b.手順の同定	3	Navigationスクリーンのアイコンは理解し易いか。
	4	Navigationスクリーンのアイコンは使い易いか。
	6	CPPSからのダイアログボックスは理解し易いか。
c.手順書におけるNavigation	5	CPPSで、適切な手順に迅速に移れるか。
	7	手順書表示画面は、手順の構造を盲く表しているか。
	8	CPPSでは、EOPが有効に分割されているか。
	9	EOPの適切な部分に容易に移れるか。
	11	手順に関連する操作は明確に表示されているか。
	12	操作に関連する条件は明確に表示されているか。
	13	操作、条件に関連するコメントは明確に表示されているか。
d.動的な表現	10	CPPSで、自分の実施しているステップが明確になるか。
	14	チェック欄は、手順ステップの状態を示すのを容易にしているか。
	15	CPPSで、既の実施された操作が明確になるか。
	16	Graphical Paneでの条件関係は明確か。
	20	CPPSで後、どの操作が実施すべきものか理解し易いか。
	22	CPPSの反応時間は、十分に速いか。
e.システム応答時間	17	CPPSに必要な情報を全て表示しているか。
	19	キーボードでCPPSに盲く入力できるか。
	21	CPPSには信頼性があるか。
	23	CPPSの使用は簡単か。
	24	マウスでCPPSに盲く入力できるか。
	25	CPPSを使っていて楽しいか。
	26	CPPSは、EOPを表示するのに有効な方法か。
	26	CPPSは、EOPを表示するのに有効な方法か。
f.ユーザーの満足度	17	CPPSに必要な情報を全て表示しているか。
	19	キーボードでCPPSに盲く入力できるか。
	21	CPPSには信頼性があるか。
	23	CPPSの使用は簡単か。
	24	マウスでCPPSに盲く入力できるか。
	25	CPPSを使っていて楽しいか。
	26	CPPSは、EOPを表示するのに有効な方法か。
	26	CPPSは、EOPを表示するのに有効な方法か。

表3 質問とトピックの関係

その他、チェック欄（入力ターゲット）のサイズが小さいとのコメントもあったが、これも慣れに起因するコメントと考えられる。

(4) 動的表示特性

動的表示により、参照すべき箇所が自動的に反転表示する点は、良好な運転員の反応を得た。質問10については、メディアンが7.00を示し、強調反転によるチェックすべき手順ステップ表示が有効であったことが判る。その他についても、概して良好な評価が得られているが、特に運転員から、チェックをスキップした手順ステップのリスト出力が欲しいとの要望が寄せられた。

(5) CPPSの表示反応時間について

本CPPSプロトタイプは、開発の時間的制約から、市販のツールを使用して、運転員にデモンストレーションされたものである。従って、表示スピードに問題があり、低い評点を示した。本来は、C言語

項目	質 問	運 転 員						中央値
		A	B	C	D	E	F	
a	機械化EOPの構造は、現状で使用しているEOPと似ているか。	6	5	5	1	6	3	5.00
	CPPSは、使用すべきEOPの探索を容易にしているか。	2	5	3	4	2	3	3.00
b	Navigationスクリーンのアイコンは理解し易いか。	7	6	6	7	6	5	6.00
	Navigationスクリーンのアイコンは使い易いか。	5	5	6	5	6	3	5.50
	CPPSからのダイアログボックスは理解し易いか。	6	5	5	7	6	6	6.00
c	CPPSで、適切な手順に迅速に移れるか。	5	6	5	4	6	4	5.00
	手順書表示画面は、手順の構造を盲く表しているか。	5	6	6	7	6	3	6.00
	CPPSでは、EOPが有効に分割されているか。	5	4	6	7	6	6	6.00
	EOPの適切な部分に容易に移れるか。	6	6	7	7	3	5	6.00
	手順に関連する操作は明確に表示されているか。	7	7	7	7	7	5	7.00
	操作に関連する条件は明確に表示されているか。	3	7	6	7	7	3	6.50
	操作、条件に関連するコメントは明確に表示されているか。	6	7	6	7	7	3	6.50
	スクリーンの構造は、CPPSを通して使い勝手の良いものか。	5	6	6	4	5		5.00
	CPPSで、自分の実施しているステップが明確になるか。	7	3	7	7	7	5	7.00
	チェック欄は、手順ステップの状態を示すのを容易にしているか。	3	3	7	7	7	3	5.00
d	CPPSで、既の実施された操作が明確になるか。	6	7	3	7	5	6	6.00
	Graphical Paneでの条件関係は明確か。	6	7	3	7	3	5	6.00
	CPPSで後、どの操作が実施すべきものか理解し易いか。	6	6	2	4	3	5	4.50
	CPPSの反応時間は、十分に速いか。	1	1	1	1	2	1	1.00
e	CPPSに必要な情報を全て表示しているか。	2	2	6	4	1	3	2.50
	キーボードでCPPSに盲く入力できるか。	7	1	1	1	3	4	2.00
	CPPSには信頼性があるか。	5	7	6	7	5	2	5.50
	CPPSの使用は簡単か。	2	4	5	7	6	2	4.50
	マウスでCPPSに盲く入力できるか。	7	7	6	7	6	5	6.50
	CPPSを使っていて楽しいか。	1	4	1	4	1	1	1.00
	CPPSは、EOPを表示するのに有効な方法か。	4	7	5	7	6	2	5.50
	CPPSは、EOPを表示するのに有効な方法か。	4	7	5	7	6	2	5.50
f	CPPSに必要な情報を全て表示しているか。	2	2	6	4	1	3	2.50
	キーボードでCPPSに盲く入力できるか。	7	1	1	1	3	4	2.00
	CPPSには信頼性があるか。	5	7	6	7	5	2	5.50
	CPPSの使用は簡単か。	2	4	5	7	6	2	4.50
	マウスでCPPSに盲く入力できるか。	7	7	6	7	6	5	6.50
	CPPSを使っていて楽しいか。	1	4	1	4	1	1	1.00
	CPPSは、EOPを表示するのに有効な方法か。	4	7	5	7	6	2	5.50
	CPPSは、EOPを表示するのに有効な方法か。	4	7	5	7	6	2	5.50

表4 調査結果

等の高級言語を用いたシステムを作成すべきである。

(6) ユーザーの満足度について

CPPSに対する運転員の期待は、省力化であって、運転信頼性の向上は直接の要求ではない。チェック欄へのチェックを要求するCPPSは、省力化の観点から、運転員の良好な満足を得ることはできなかった。しかし、実プラントのパラメータを取り込むことにより自動スクロールが行われるならば、極めて効果的な運転支援システムであるという評価を得た。

以上を総合して、プロトタイプとしてのCPPSは十分評価されたものと考えられる。

7. まとめ

事故時の支援システムは、既に数々のものが、提案されたきたが、(事象ベース)手順書のイメージに一番近いテキストを表示するシステムが提案された例は希である。事故時の認知という形で、グラフィックのような形で、情報を提供するの、一つの有用な方策であるが、エンドユーザーが通常一番慣れ親しんだテキスト表現を運転員に判りやすく提示するというのも、十分検討の価値があると思われる。本論文では、事故時手順書の機械化の概念の考察⁽³⁾から始めて、仕様決定のための重要な要素の洗い出し、⁽⁴⁾これらの要素に基づく、仕様の決定、視認性向上のために満たすべき条件から、プロトタイプを構築した。手順書の機械化の概念について一つの示唆を与えると共に、事故時支援の1つの形態を提案できたものと考え。今後は、表示のデータベースを運転員の知識に基づいて、自動的に生成するシステムについて考察する予定である。

参考文献

- 原子力プラント事故時手順書表示機械化に関する研究 (ステップ2, INSS Journal, Vol.2 (1995))
- (2) Yoshikawa, H, et. al.: A basic experimental study on mental workload for human cognitive work at man-machine interface, 6th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 95), Yokohama, Japan, July (1995)
- (3) Niwa, Y. and Hollnagel, E: *The Design of Computerized Procedure Presentation for Nuclear Power Plant*, 6th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 95), Yokohama, Japan, July (1995)
- (4) Niwa, Y., Green, M. and Hollnagel, E.: *The contribution of Human Factors to the Development of Computerised Emergency Operating Procedures*, Enlarged Halden Programme Meeting, Loen, May (1996)
- (1) 丹羽雄二 エリックホルナゲル 岩城利夫,