ABWR 型中中央制御盤の概要

解説

正 員 岩 城 克 彦 (東京電力(株) 原子力設計課)
正 員 牧 野 真 臣 ((株)東芝 計装制御計画課)
三 宅 雅 夫 ((株)日立製作所 原子力制御システム設計部)

1. 沸騰水型原子炉(BWR)プラント中央制御盤の変遷

原子力プラントは数多くのシステムから構成されており、それらのシステムを中央制御室から遠隔で監視・操作を行う。

この監視・操作のための中央制御盤には、数多くの監視計器と操作スイッチが必要であり、初期の原子力プラントにおいては、記録計・指示針・捻回式スイッチなどのハードウェアのマンマシンインタフェースデバイスを使用していたため、中央制御盤は総長 20 m を越す巨大なものであった。こうしたハードウェアのマンマシンインタフェースデバイスから構成されている中央制御盤は第 1 世代と呼ばれ、1985 年以前のプラントに適用されている。

1979 年、アメリカ・スリーマイル島の事故を契機に監視性向上の必要性が強く認識され、我が国でもハードウェアのマンマシンインタフェースデバイスの改良、CRT の追設などの改善を第 1 世代型の中央制御盤に施した。これと並行して、広範囲の CRT 表示とプラント自動化を総合的に組み合わせた第 2 世代型中央制御盤の開発に着手し、1985 年運開のプラントから導入した。その後、第 2 世代型の中央制御盤は約 20 炉年以上の良好な運転実績を重ねている。

この技術を基に、現在 1996 年および 1997 年運転予定の世界初の新型沸騰水型原子炉 (ABWR) プラントである柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機および 7 号機向けに第 3 世代の中央制御盤を計画しており、その設計も最終段階に入ったところである。この第 3 世代型の中央制御盤は、第 2 世代型の更なる改良と中央制御

(a) 第 1 世代型中央制御盤

(b) 第 2 世代型中央制御盤

(c) 第 3 世代型中央制御盤

図 1 沸騰水型原子炉(BWR)中央制御盤の変遷

The Advanced Man-Machine Interface System for ABWR.

By Katsuhiko Iwaki, Member (Tokyo Electric Power Co.),
Maomi Makino, Member (Toshiba Corp.), & Masao Miyake
(Hitachi, Ltd. Co.)

キーワード：中央制御盤，ABWR，大型表示盤，主盤

室全体の改善を意図したものである。

アメリカからの導入技術をベースとした第 1 世代、第 1 世代に我が国独自の改良を加えた第 2 世代を経て、新型マンマシンインタフェースデバイス、光伝

送・デジタルシステムなどの新技術とヒューマンファクタ研究の成果とを、広範かつ有効に活用した最新鋭の第3世代と、中央制御盤はほぼ10年単位で進歩している。

2. ABWR型中央制御盤の概要

2.1 ねらい

ABWR型中央制御盤のねらいを第2世代型との比較の形で以下に紹介する。

(1) 集中監視操作 第2世代型ではCRTを広範に使用し、監視情報の集中化が実現されていたが、操作デバイスがすべてハードウェアスイッチであるために、制御盤自体が大きかった。このため、ABWR型中央制御盤では運転員の監視・操作エリアを極小化することを目標としている。

(2) 誤操作・誤判断の防止 第2世代型では、ハード監視計器（警報窓、指示計、記録計）の重要度分類やスイッチ配列の最適化を行ったが、ABWR型中央制御盤ではデジタル技術と新型マンマシンインタフェースデバイスにより、配置や表示色を可変にできるため、この特長を用いて、一層のヒューマンエラーの低減を目指している。

(3) 監視の容易化・確実化 第2世代型の警報は、1,000個以上のハード警報窓から構成されている。ABWR型中央制御盤においては、警報窓数の最適化、CRTによる階層的警報表示などを行うことにより警報システムの改善を図っている。

加えて、中央制御室内の運転員全員が情報を共有し、運転クルーとして組織的に対応できることを目指している。

(4) 操作の容易化・確実化 第2世代型では、プラント起動停止操作のうち主要な操作を自動化している。第2世代型のプラントにおいて、運転員のワークロード調査を行った結果、プラントトリップ直後の対応操作と制御棒操作に関する運転員負担が大きいことが判明したことから、ABWR型中央制御盤ではこれらの操作の自動化を行うこととしている。

(5) 中央制御室の効率化・高度化 第2世代までの中央制御室は、運転面を中心に設計されてきた。このため、ABWR型中央制御室では、運転以外の業務についても考慮し、全体的な居住環境として、更なる向上を目指している。

2.2 基本設計思想

ABWR型中央制御盤は、前述のねらいを実現するためにコンパクトであることが要求される。すなわち、高い運転性を実現するためには、監視量・操作量

を低減し、容易に対応できる範囲にマンマシンインタフェースを集中させることが必要となる。このコンパクト化によって中央制御室の中で運転エリアが占める面積を相対的に小さくすることが可能となり、運転以外の業務を行うスペースを確保でき、居住環境としての居住環境としての改善も、より効果的に行える。従って、第3世代型の設計において、コンパクト化は極めて重要な目標である。

ABWR型中央制御盤においては、このコンパクト化にあたって操作機能、監視機能をプラントレベル/系統レベル/機器レベルの3階層に分類し、その順序で優先度をつけて設計している。原子力プラントには、1,000個を越える操作スイッチ、10,000点を越える監視情報が存在する。これらの大半は使用頻度の低い機器レベルの操作スイッチと監視情報である。このことから、ABWR型中央制御盤の設計方針としては、プラント/系統レベルの操作・監視を中心に自動化と監視情報の集約化を行い、機器レベルの監視・操作を常時必要としないマンマシンインタフェースとなるよう配慮している。

一方、マンマシンデバイスの形態としては、位置と内容が固定か可変かによって（固定位置/固定内容）（固定位置/可変内容）（可変位置/可変内容）の3種類がある。例えば、ハード警報窓やハードスイッチなどは（固定位置/固定内容）であり、プロセス計算機のCRT表示やCRTタッチスイッチのように任意のCRTに任意の画面が呼出可能なものは（可変位置/可変内容）である。可変のマンマシンデバイスは、多量の監視情報、操作スイッチを入れることが可能であるが、呼び出すという行為が必要となるため、アクセシビリティは低い、固定のパデイスは、アクセシビリティは高いもののスペースを常時占有するという難点がある。

ABWR型中央制御盤においては、プラント/系統レベルには固定、機器レベルは可変のマンマシンデバイスを割り付けている。具体的には後述のとおり、プラントレベルの監視機能は固定位置/固定内容である大型表示部に集中させており、重要性は低い情報量の多い機器レベル情報はCRTに集中させている。操作機能についてもプラントレベルの安全系手動起動スイッチや系統レベルの自動化マスタスイッチなどはハードスイッチとしており、機器レベルの操作スイッチはCRT、フラットディスプレイのタッチスイッチとしている。

2.3 システム概要

このABWR型中央制御盤の特徴的な点としては、主たる監視操作を集約した運転コンソール（主盤）

と、プラント全体の全体状況につき運転員全員へ情報提供する大型表示盤とがあげられる。この主盤・大型表示盤構成において、マンマシンインタフェースの高度化、操作のシーケンシャル化などにより、常時監視操作する盤の大きさを縮小でき、コンパクト化を可能としている。以下にその概要を記す。

(1) 大型表示盤 大型表示盤は、図2に示すように、主盤後方に位置し、主たる役割は種々のプラント運転状態において監視すべき主要な情報を中央制御室の運転員全員へ共通の情報として提供することにある。大型表示盤を形状的および機能的観点から分類すると、固定ミミック表示部、重要警報部、大型可変表示部、個別操作部に分けられる。これら各部はそれぞれの機能に応じて適切なデバイスにより構成している。

① 固定ミミック表示部 プラントの安全上重要な情報およびプラントの主要な情報をポンプ・弁など主要機器の状態やプロセス量として、大型表示盤の中央部に固定ミミックの形で表示する部分で、プラント全体の状況把握を目的としている。また、固定ミミック上部には、従来1,000個以上あった個別警報を系統ごとに整理し、系統一括警報として警報窓を設けた。

これらの固定ミミック部の表示は、プラントの総括監視を主目的とするプロセス計算機を介さない表示形態としている。そのため、万一プロセス計算機が停止した場合にも、固定ミミック部にてプラントの重要な情報を得ることができる。

② 重要警報部 大型表示盤の左端部に、プラント異常時に特に必要とされる重要な警報を大型の警報窓として表示する。この重要警報もプロセス計算機を介さないで処理される設計としている。

なお、重要警報および前述の系統一括警報のハード警報表示の下位情報である個別詳細警報はCRTおよびフラットディスプレイ表示とし、警報の階層化により監視性の向上を図っている。

また、重要警報部の上部には、プラントトリップの第一原因を表示するファーストヒット表示部を設け、状況確認の一助としている。

③ 大型可変表示部 大型表示盤の右側部は、CRT投射式の大型スクリーンによる可変表示部で、プラント情報を可変表示することによりプラント全体状況把握を補助する目的をもっている。

大型可変表示部への情報はCRT表示画面と同様であり、プラントの状況に応じて自動で、あるいは運転員要求により手動で表示切替が可能である。また、本可変表示はプロセス計算機により駆動されているので、プロセス量のトレンド表示などを含め、主盤上のCRTへ表示できる任意の画面を表示可能であり、固定表示とは異なった特徴を備えている。

④ 個別操作部 プラント定検時における個別監視操作作用として、プロセス計算機を介さないマンマシンデバイスを大型表示盤下部のデスク部に設けている。プラントの各系統グループごとに分けられたフラットディスプレイを主体とするこれらのマンマシンデバイスは、対応する制御系と直接的なインタフェースをとる構成として、個別監視操作を可能としている。

(2) 主盤 ABWR型中央制御盤のもう一つの特徴である主盤は、座位操作を基本として運転員の通常の監視操作インタフェースを集約したコンパクトな運転コンソールである。コンパクト化を可能とした主要素は、タッチオペレーションを備えたCRTおよびフラットディスプレイに代表される集約型マンマシンデバイスの適用と、自動化/連動化の範囲拡大である。

主盤上には、CRT、フラットディスプレイ、ハードスイッチを設置しており、集約監視はCRTあるいはフラットディスプレイを中心とし、自動化をベースとした連動操作を主体とするプラント運転操作は原則的にハードスイッチで対応する設計としている。

マンマシンデバイスの主盤上の機能的配列は、向か

図2 ABWR型中央制御盤構成図

って左側が安全系を含む原子炉系，右側がタービン発電機系とし，大型表示盤の固定ミミック部と協調をとったものとしている。

① ハードスイッチ ABWRでは，運転員の負担軽減のため，プラント起動停止時の単独で，かつ長時間を要する制御棒操作の自動化，プラントスクラム後の定型操作を不要とするインタロックの強化，所定系統の標準的な一連の操作のシーケンシャル運動化などを図っている。このような諸支援機能を背景に主盤上では，操作ごとに運動化したシーケンシャルマスタスイッチ（モードスイッチ）と緊急時に必要な重要補機類の操作用個別スイッチなどをハードスイッチとして配置しており，プラント運転の主たる操作のほとんどをカバーしている。

なお，運動化においては，運動範囲を限定し，その単位で運転員の確認操作を伴うことを原則としており，この点は第2世代型のプラント自動化と同様である。また，これらのハードスイッチは各々関連する制御系と直接インタフェースすることにより分散化を図っている。

② CRT CRTは主盤上に7台を配置し，各々のCRTには基本的な役割分担に対応した表示画面体系を割り当てている。この役割分担はプラント起動・停止時，スクラム時などプラントの状態に応じてあらかじめ定めた画面を自動的に表示し，プラント全体の集約監視ができるよう考慮して定めたものであるが，運転員による手動表示要求では，任意のCRTに任意の画面が表示可能である。なお，多数の画面へのアクセスを容易とするため，画面選択スイッチとタッチ操作を併用し，効率的な画面選択を実現している。

また，特定の機器を単独操作する必要がある場合を考慮し，主盤上CRTからは監視のみでなく，タッチ操作による一部常用系機器の操作も可能である。

③ フラットディスプレイ プロセス計算機により稼働されるCRTとは独立なマイクロプロセッサ駆動のマシンデバイスとして位置づけられるのがフラットディスプレイである。

主盤設置のフラットディスプレイは大きく2種に分けられる。一方は，主盤左方に設置しているグループで，安全系の各区分（区分1～3）ごとに独立に設けられ，安全系用として，常用系から分離した構成をとっている。他方は常用系用で主盤デスク部配置の主要制御系用および主盤右方配置のタービン発電機系用のものである。

フラットディスプレイについても，特定機器単独操作の必要な場合を考慮し，所定のフラットディスプレ

イに対しては，タッチ操作による機器操作を可能としている。

3. む す び

原子力プラントの改良発展の流れに対応して，運転監視制御システムは着実に進歩発展してきている。

運転信頼性のよりいっそうの向上のためには，運転員に要求される「監視」，「判断」，「操作」の三つの機能の均衡をとって，人と装置あるいは技術の調和を図り，人間の有する総合的な判断能力を最大限に発揮させることが重要である。

ABWR型中央制御盤は，このような基本的観点から，近年進歩の著しいエレクトロニクスなどの最新技術の導入だけでなく，運転員のワークロード分析やヒューマンファクタ研究の成果を取り入れ，人間と機械系の高度な調和を目指している。ABWR型中央制御盤としては，大型表示，タッチオペレーション，フラットディスプレイなどの新型マンマシンデバイスの適用，制御棒操作自動化，スクラム後の定型インタロック強化などの運転支援機能の拡大，これらによる運転員負担軽減と監視主体運転への移行，常時監視操作盤長のコンパクト化といった特徴を備えている。

（平成3年10月28日受付）

岩 城 克 彦(正員)

昭和52年3月東京大学工学部電気工学科卒業。同年4月東京電力(株)入社，原子力発電所の電気計装設備の設計および建設工事に従事。現在，東京電力(株)原子力建設部原子設計課副長。

牧 野 真 臣(正員)

昭和46年3月京都大学工学部電気工学科修士課程修了。同年4月(株)東芝入社，原子力発電所の計装制御システムの開発と設計に従事。現在，(株)東芝原子力電気計装技術部課長。

三 宅 雅 夫

昭和46年3月東京大学理学部数学科卒業。同年4月(株)日立製作所入社，主として原子力計装制御システムの開発および設計に従事。現在，(株)日立製作所大みか工場原子力制御システム設計部主任技師。