

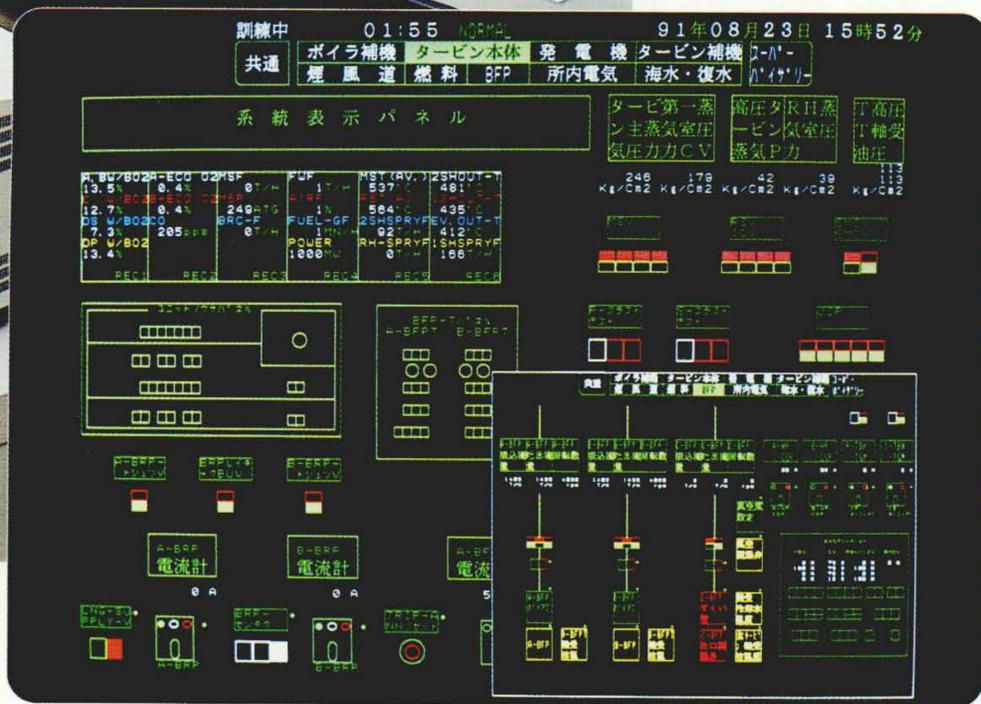
導入が進む運転訓練シミュレータ

Operator Training Simulator

鍛治 明* Akira Kaji

対馬幸悦** Kôetsu Tsushima

荒巻俊秀* Toshihide Aramaki



火力プラント用訓練シミュレータ操作デスク 高機能CRTの活用により、コンパクトなシミュレータが構成できる。

運転訓練シミュレータは、最近の自動化、および高信頼化が進んだプラントやシステムの運転では通常経験のできない操作体験を提供してくれる。したがって、訓練シミュレータを利用して自動化システムに不具合が発生したときの対応操作、プラントに事故が発生したときの対応、復旧操作といった訓練を行うことによって、より信頼性の高い運転ができるようになり、異常時にも適切な対応がとれるようになる。また、シミュレータによってプラントの動き、運転を学習することもできる。このように、運転訓練シミュレータの有用性は従来にも増して大きなものとなってきている。一方、シミュレータを構築するための計算機ハードウェア技術、ソフトウェ

ア技術の進歩も著しいものがある。プラントを実時間で精度よく模擬するシミュレータを実現するためには、高速のCPUと性能よく、精度高く模擬するソフトウェアが必須(す)である。また、操作を行うためのヒューマンインタフェースシステムを支えるCRTの高精細化、高機能化も大きな技術的要素である。これにより、実プラントの操作盤、スイッチ類をCRTとタッチパネルによって模擬し、コンパクトなシミュレータを構成するなど種々の形体のシミュレータを構築することが可能となり、火力、原子力などの発電プラント、給電システム、ダムにシミュレータの導入が進んでいる。

* 日立製作所 大みか工場 ** 株式会社日立情報制御システム

1 はじめに

運転の自動化の進展およびそれに付随した機能の高度化により、プラントの起動・停止、運用は計算機によって自動的に行われ、通常時、運転員が操作する機会は少なくなってきた。このため、自動化システムが予期したとおりに動かなかつた場合、また事故が発生した場合、その対応操作は経験の少ない、またはまったく経験のない操作となる可能性がある。また自動化されていない所は人間の高度な判断・技術を要する部分であり経験の浅い操作員では対応が困難となっている。このような事態を防ぐため、運転訓練用シミュレータのニーズはますます高くなってきており、種々のプラントでその導入が進んでいる。ここでは、発電プラント、給電システムおよびダムに適用されている最新のシミュレータについて述べる。

2 運転訓練シミュレータの技術的特徴

最近の運転訓練シミュレータで要求されている共通な技術的特徴を以下にまとめた。

2.1 モデル技術

運転の訓練に供するためには、プラントのモデルをリアルタイムで動かさなくてはならない。しかも、訓練に役だつためには、実際の対象となるプラントに近い形の挙動を示す必要があり、より高性能、高精度なシミュレータが求められてきている。このため訓練用シミュレータでは、高速のハードウェアに加えて次のような技術が必要となる。

- (1) リアルタイム性を実現するためのソフトウェア構成技術、プログラミング方式
- (2) プラントの挙動を精度よく模擬するためのモデリング技術、対象プラントに合わせるための調整技術
- (3) あたかも実プラント、実システムを運転しているかの

ような臨場感を醸成するヒューマンインタフェース技術

2.2 シミュレータ運用機能

シミュレータを使用して訓練するための機能が、表1に示すように準備されている。通常は、これらの機能を使ってインストラクターが訓練を行うことになるが、小形のシミュレータでは訓練生自身が学習、訓練するために、これらの機能を使用できるようにしているものもある。

2.3 訓練支援・評価機能

訓練を行うにあたって、次のような支援機能が準備されている。

(1) 訓練生操作支援

訓練生に操作ガイドを与えることにより、訓練生の支援を行う。

(2) インストラクター支援

訓練プログラムをプリセットする、また訓練結果のまとめ、評価を行う。訓練生の受講履歴を作成し、訓練にあたってのプログラム作成、訓練計画の参考に供する。

今後、このような訓練支援機能はますます充実、強化されて行くものと考えられる。

3 発電プラント運転訓練シミュレータ

3.1 最近の発電プラント運転訓練シミュレータ

火力発電プラントでは、計算機、制御装置による自動化が進んでおり、プラントの起動・停止は、3台から5台のCRTから成る自動化操作用のデスクの前で、運転員が監視しているだけで進行させることができるようになっている。したがって、シミュレータによる訓練も、手動による起動・停止、事故時の対応訓練だけでなく、自動化システムによってプラントを運転しているときに発生した事故、自動化システムの進行が渋滞したときの対応訓練といった、自動化システムにまつわる訓練が非常に重要となってきている。また、上記自動化用デスクに

表1 シミュレータ運用機能 シミュレータを運用するため、通常インストラクター機能と呼ぶ種々の機能が準備されている。

No.	項 目	内 容
1	初 期 値 設 定	初期状態を、任意のプラント運転状態に設定する。
2	ス ナ ッ プ シ ョ ッ ト	運転操作の重要なポイントを反復訓練するため、任意の時点の状態を登録する。
3	ス テ ッ プ バ ッ ク	反復訓練のため、シミュレータの状態を指定した過去の状態に戻す。
4	リ プ レ イ	訓練結果の再現を行う。
5	フ リ ー ズ	シミュレーションを停止し、その状態を維持する。
6	マ ル フ ァ ン ク シ ョ ン	あらかじめ登録されているプラントの異常状態を発生させる。
7	マルファンクション・スケジューリング	マルファンクションの予約登録および解除のスケジュールを指定する。
8	ス ピ ー ド 変 更	シミュレーションのスピード変更する($\frac{1}{2}$ 倍, 1倍, 2倍ほか)。

設置されているCRTによるヒューマンインタフェースシステムの機能は、自動化の高度化に伴って豊富かつ高度なものとなっており、これを使いこなせるかどうかによって運転の質も大いに異なってくる。さらに、従来の操作スイッチをやめ、CRTによる操作を取り入れているプラントも増えており、CRTを中心にした計算機の機能をも模擬するというのが最近の訓練シミュレータの特徴でもある。

従来、研修所に設置されてきた特定のプラントを、ほぼ再現させる形のフルスコープシミュレータと、最近発電所に設置され始めた全自動化システム訓練シミュレータの比較を表2に示す。全自動化システム訓練シミュレータは、自動化されたプラントで発電ユニットの特殊性を反映した訓練を行うことを目的として導入され始めたもので、自動化運転時のCRTによる操作訓練を主体としており、警報窓、指示計、操作スイッチなどの取り付けられた大形の操作盤・監視盤、補助盤といったものは設けず、コンパクトな構成となっている。同表からわかるように、全自動化システム訓練シミュレータでは、本体、制御装置モデルなどは、フルスコープシミュレータ並みに模擬をしており、シミュレータ計算機、操作盤だけが小形になっている。これにより、全自動化システム訓練

シミュレータは発電所に設置可能となり、しかもモデルはフルスコープシミュレータ並みの精密さを持たせることにより、発電所のユニットに即した実用的な訓練を行うことができるようにしている。

3.2 全自動化システム訓練シミュレータ

シミュレータの構成を図1に示す。ハードウェアとしては、監視盤・操作盤およびこれと計算機を接続するプロセス入出力装置が不要なため、CRTを数台取り付けられた自動化操作のデスクと3～4面のCPUおよび関連装置からなる非常にコンパクトな構成になっている。シミュレータは、最近のユニット計算機の処理の中で比重の高いヒューマンインタフェース機能に加えて、本体、制御装置の模擬も必要なため、ユニット計算機以上に性能の高いCPUが必要である。このため、制御用計算機の最上位機種であるHIDIC V90/75を適用している。全自動化システム訓練シミュレータは、最新のCRTを駆使した全自動化プラントの運転訓練をできるようにするため、次のような特徴を持っている。

- (1) 自動化の要(かなめ)となる制御装置、計算機自動化システムのモデルは、実機のロジックをほぼそのまま組み込んでおり、自動化による運転時の種々のトラブルへの対応操作、特殊運転が実プラント並みに体験できるようにしている。
- (2) 自動化の操作を行う自動化用制御デスクの形状だけでなく、操作するためのコンソール、CRT画面といった

表2 シミュレータ比較 全自動化シミュレータは、中央操作室内での自動化運転時の操作訓練を行うもので、ハードウェアとしては小さいが中味のモデルソフトはフルスコープ並みである。

比較項目	フルスコープ訓練シミュレータ	全自動化システム訓練シミュレータ
本体モデル	実プラントを精度よく模擬	同左
制御装置モデル	実プラント並みに模擬	同左
自動化システムモデル	実プラント並みに模擬	同左
操作盤模擬	中央操作室内は実プラント並み、現場操作はCRT	中央操作室内の操作をCRTで模擬
ユニット計算機模擬	対象プラントに近い形で模擬	マンマシン部は実プラント並みに模擬
フルファンクション	120～150	80～100(自動化運転中の事故中心)
インストラクターコンソール機能	初期値設定 ステップバック 模擬速度変更 ほか	同左
計算機面数	7～8面	3, 4面
設置場所	研修センター	発電所

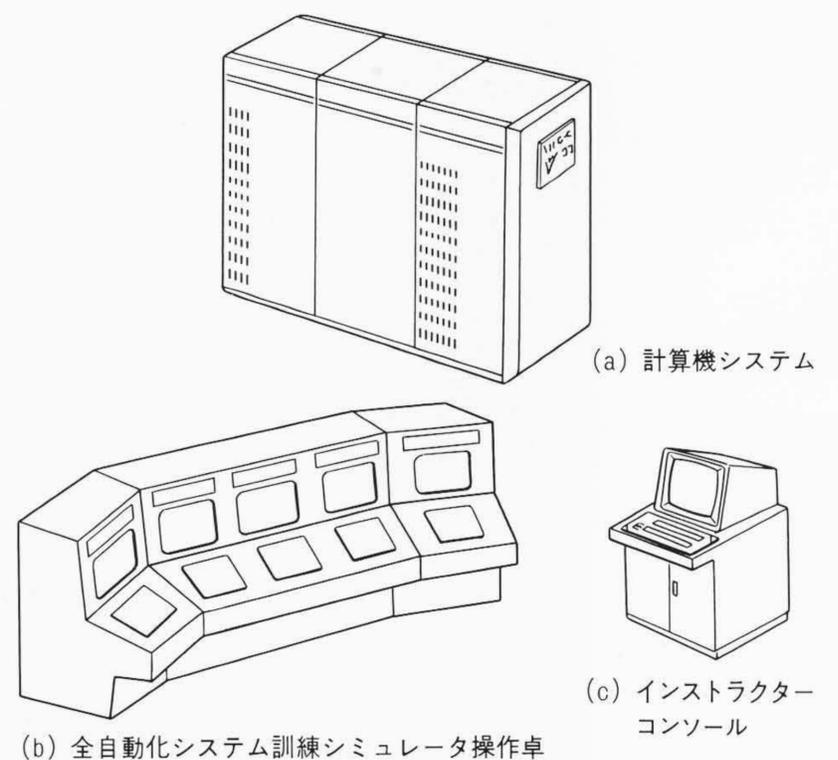


図1 全自動化システム訓練シミュレータ CRTを活用した操作訓練により、非常にコンパクトな構成にできる。

ヒューマンインタフェースシステムも実プラントと差がないように模擬している。

(3) 大形の監視盤, 操作盤をCRTで実プラントとあまり違和感のない形で操作ができるようにするため, 最新のCRTを採用し, 画面の縮小・ウインドウ表示を利用して, 図2に示すように実際の操作盤のイメージで操作ができるようにしている。

このような特徴を持つ全自動化システム訓練シミュレータでは, 次のような訓練を行うことができる。

(1) 各種モードによる起動・停止操作および通常運転

(2) マルファンクション注入による異常時対応操作

(3) 特殊運転操作(ヒータ片系列操作など)

(4) 定例操作(バルブテストなど)

ここでは火力発電所の例について述べたが, 原子力発電所でも, 専門的訓練機関に設置のシミュレータに加えて電力会社または発電所にシミュレータの導入が進んでいる。

4 給電システム運転訓練シミュレータ

4.1 最近の給電システム運転訓練シミュレータ

給電システムの運転訓練シミュレータは, 1980年代に

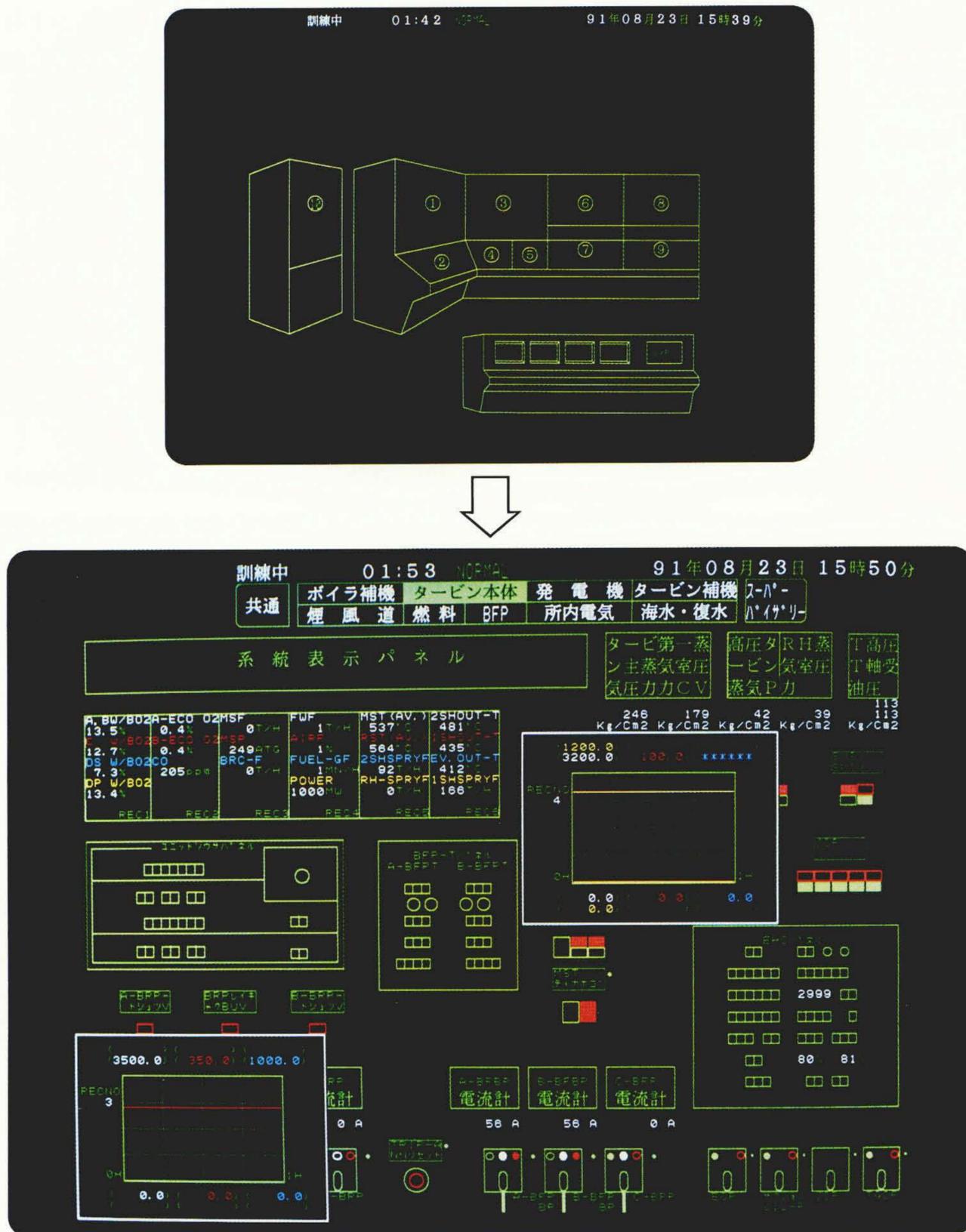


図2 操作用CRT画面 盤面で監視, 操作するように, CRT上で監視, 操作ができる。

入り各電力会社に導入され始め、現在では給電システムのほとんどがシミュレータ機能を保有している。

給電システムでの訓練シミュレータの目的は下記のとおりであり、電力システムの規模拡大、システムの大形化に伴い給電システムには欠かせない機能になっている。

- (1) 事故対応・復旧訓練(特に希少な大事故対応訓練)
- (2) 給電業務運転訓練(高度化した電力システムの運用技術訓練)
- (3) 系統信頼度チェック(系統変更時の潮流, 電圧チェック)
- (4) 計算機システムの操作訓練
- (5) システムメンテナンス後の試験確認

また、シミュレータとして従来下記が要求されている

表3 系統模擬計算の内容 給電用シミュレータの心臓部となる発電機模擬のほか、電力システムを詳細に模擬している。

項目	模擬内容	現状の動向
系統計算	潮流計算(AC法) 系統分離判定 周波数計算 安定度計算	計算周期は0.1~10.0秒で、システム構築方法によって異なるが、ハードウェアの性能向上に伴い実系統に近い動作ができるようになっている。
発電機模擬計算	発電機動特性 AVR GOV ALR	システムの規模に応じ、簡易モデルから精密モデルまで可能である。動特性とGOVは系統制御訓練のため、実機器に近い模擬が望まれている。
保護装置模擬	過負荷リレー 過電圧・不足リレー 周波数リレー 自動復旧・再開路リレー 脱調リレー	従来、基本的な保護リレーの模擬は行われているが、ユーザー独自のリレー模擬が加わり模擬が厳密化している。運用後のメンテナンスの多い部分でもある。
負荷模擬	日間総需要変動	いわゆる日負荷の変動を負荷予想と、EDCの結果から実推補正して、有効電力と無効電力の模擬を1分周期で行う。
	負荷特性計算	負荷の脱落、回復の特性を模擬する。
制御模擬	系統並列 負荷切換 タップ制御 発電機並解列	トレーナーの制御に対する応動模擬、設備機器の自動動作などを模擬する。

注：略語説明 AC法(Alternating)
AVR(自動電圧調整)
GOV(ガバナ)
ALR(Automatic Load Regulation)
EDC(Economic Dispatch Control)

が、計算機の性能アップに伴い潮流計算・周波数計算の高速計算ができるようになり、さらに要求が高度になってきている。

- (1) 実系統に極力近い模擬ができること。
- (2) 潮流・電圧の変化が実系統に近いこと。
- (3) 臨場感があること。
- (4) ヒューマンインタフェースが容易であること。

給電用の訓練シミュレータで行っている、最近の模擬計算内容を表3に示す。同表に示すように、系統模擬は中心となる潮流計算や周波数計算の計算周期が年々短くなり、より実系統に近い模擬というニーズにこたえてきている。

4.2 待機系を使用したシミュレータシステム

制御用計算機の処理性能の向上や大形ディスプレイの登場によって、シミュレータシステムの構築が容易になってきた。このため、従来はアレープロセッサを使用して系統計算の高速化を図ったり、系統盤やオペレータコンソール処理のため専用の計算機が必要であったが、最近のシミュレータシステムは、オンラインマルチシステムの待機系を使用して構築している例が多い。

このことは、以下の利点をもたらしている。

- (1) 待機系を使用することで、ハードウェアのコストが少なくなる。
- (2) オンラインシステムのソフトがそのまま使用できる。
- (3) データのメンテナンス、ソフト修正後の確認テストが容易にできる。
- (4) シミュレータ機能を将来段階的に増設できる。

つまり、最初に簡易的なハードウェア構成、ソフト機能でシステムを構築・運用し、以降必要に応じてハードウェアやソフト機能をグレードアップしていく方法がとれる。

給電システムの例を図3のハードウェア構成図を基に述べる。

- (1) 制御用計算機3台からなるマルチシステムの待機系(C系)を、訓練用シミュレータのCPUとして使用する。(オンライン系が異常時は、C系をオンラインに切り換えてバックアップできる。)
- (2) シミュレータ用のI/O(入出力)機器は、系統盤、訓練卓1, 同2, プリンタおよびカラーハードコピーで、訓練卓は訓練生用、インストラクター用に切り替えができ、しかもオンラインの卓としても使用できるようになっている。

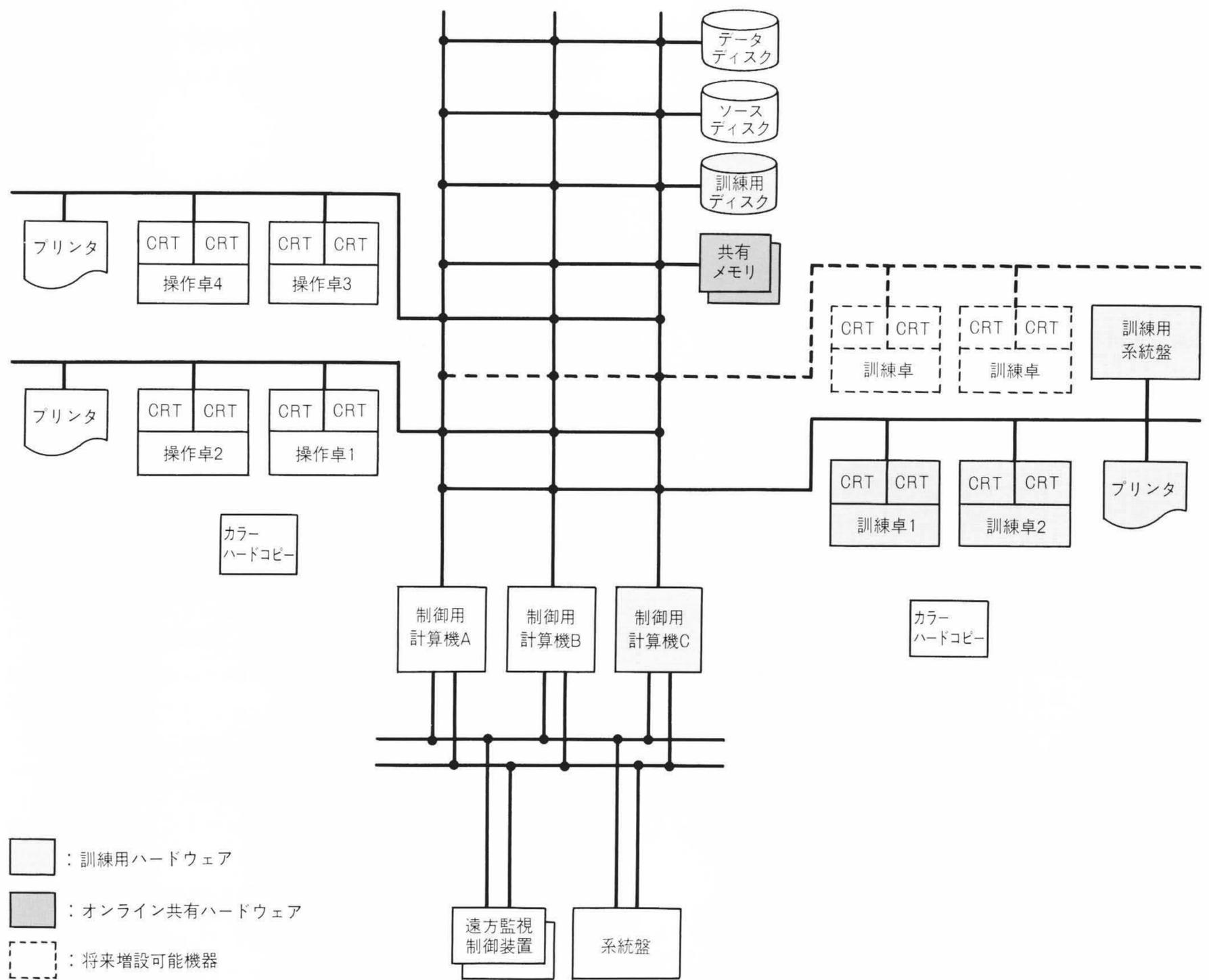


図3 給電システムハードウェア構成図 簡略化したハードブロック図であるが、オンライン用とシミュレータ用のI/O(入出力)機器をうまく使い分けてある。

- (3) 将来は訓練専用の卓を増設していくことができる。
- (4) 訓練は事故のシナリオによって事故模擬し、シナリオおよび訓練生の操作に対し潮流計算を3秒周期で行い、発電機・負荷模擬などの系統模擬計算を行う。

5 ダム操作訓練シミュレータ

5.1 最近のダム操作訓練シミュレータ

ダム制御は河川にゲートから水を放流するため、下流に対して非常に重要な使命を持っている。しかし、ダム制御を実施するための入力情報としては、上流域の雨量、ダム水位、ゲート開度、発電使用水量と少ないため、ダム水位の維持、すなわちゲート放流量の決定には経験が必要となっており、操作訓練は欠かせないものになって

いる。一方、近年自動化の進んだダム制御装置では制御操作も容易となってきている。このため、新入社員に対する洪水時の降雨量と出水量と水位の基本的な関係を体験させ、ゲート放流量すなわちゲート開度を決定する訓練も必要となってきている。また、数年から十数年に一度の異常な出水に対応したゲート制御を行う場合は冷静かつ迅速な対応が必要である。このように基本的な水処理の知識から数年～十数年に一度の大出水にも対応可能な幅広い範囲をサポートする訓練用シミュレータが要求されてきている。

5.2 ダム操作訓練シミュレータ例

ダム操作訓練シミュレータシステムの構成例を図4に示す。システムの中核としてHIDIC V90/25計算機を適

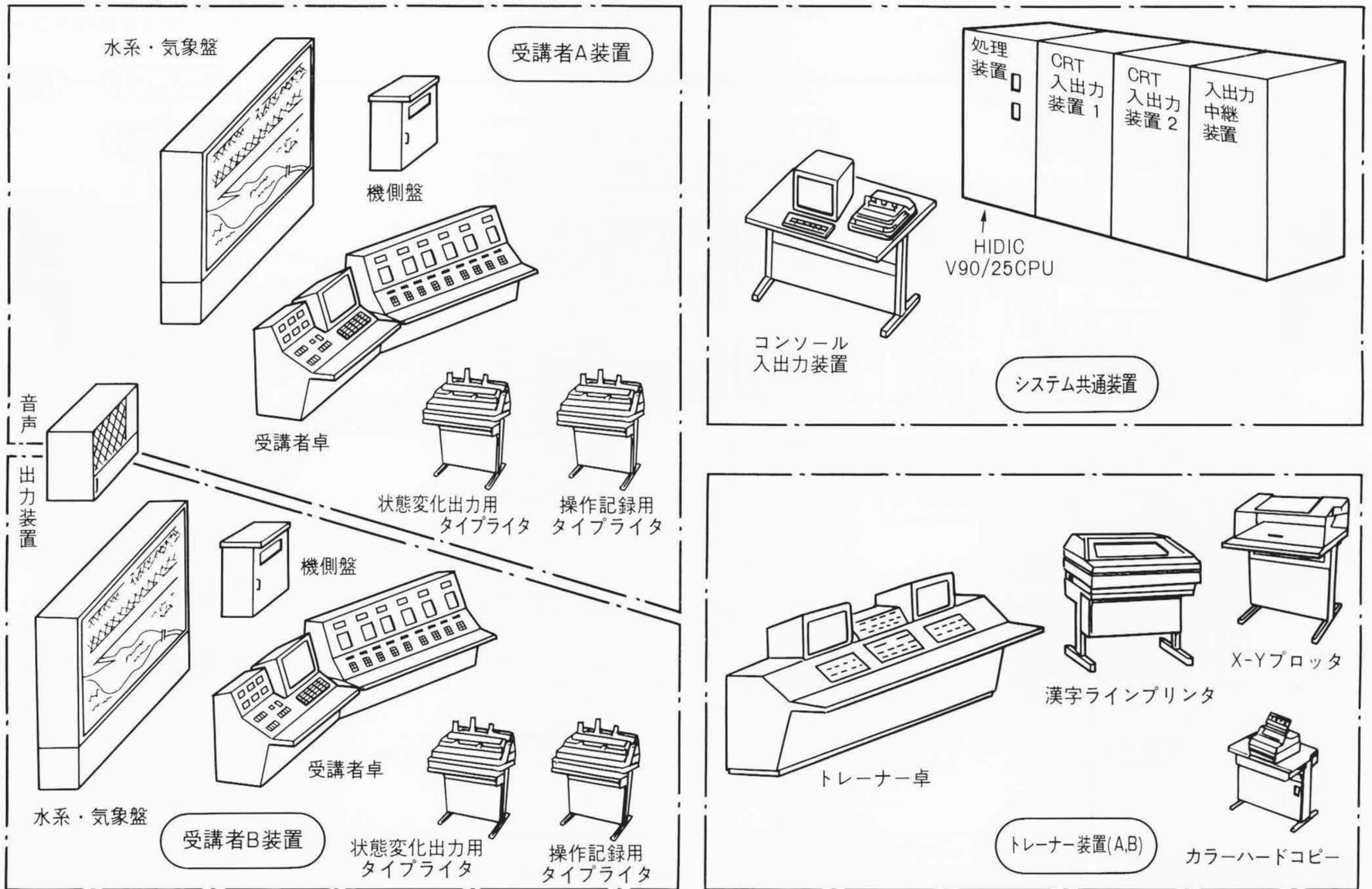


図4 ダム操作訓練シミュレータ構成図 HIDIC V 90/25 計算機を中核に、トレーナー装置1台で受講者装置2台を、同時に訓練できる構成としている。

用し、これにインストラクター用卓1台で受講者2人を同時に訓練可能とするようCRT 2台を接続した。受講者は2グループ同時に別ダムの訓練を行う方式として2セット設置し、おのこの受講者が操作を行う受講者卓1台、水系気象盤1台、模擬帳票および操作記録を出力するタイプライタ2台を設置した。また、ゲートを直接制御する機側盤を設置し、機側盤については、動作内容の把握と故障修理の実施をできるようにした。このシステムの外観を図5に示す。

このシステムの機能は、大別して訓練データ登録機能、実技訓練機能および評価機能の3機能から構成している。

(1) 訓練データ登録機能

おのこのダムの特性に応じたデータを、流入量、支川流量、雨量、警戒警報として時系列に登録を行う。このデータは、各ダムごとに10種登録可能となっており、緩やかに流入量が増加し、比較的ゲート操作の容易なパターンから、急峻(しゅん)な流入量の立上りがあり、か



図5 ダム操作訓練シミュレータ外観 訓練室内の観で、手前がトレーナー卓、奥の2セットが受講者卓である。

つ流入量のピークが2回ある上級者向けのパターンなどの登録ができるようになっている。

(2) 実技訓練機能

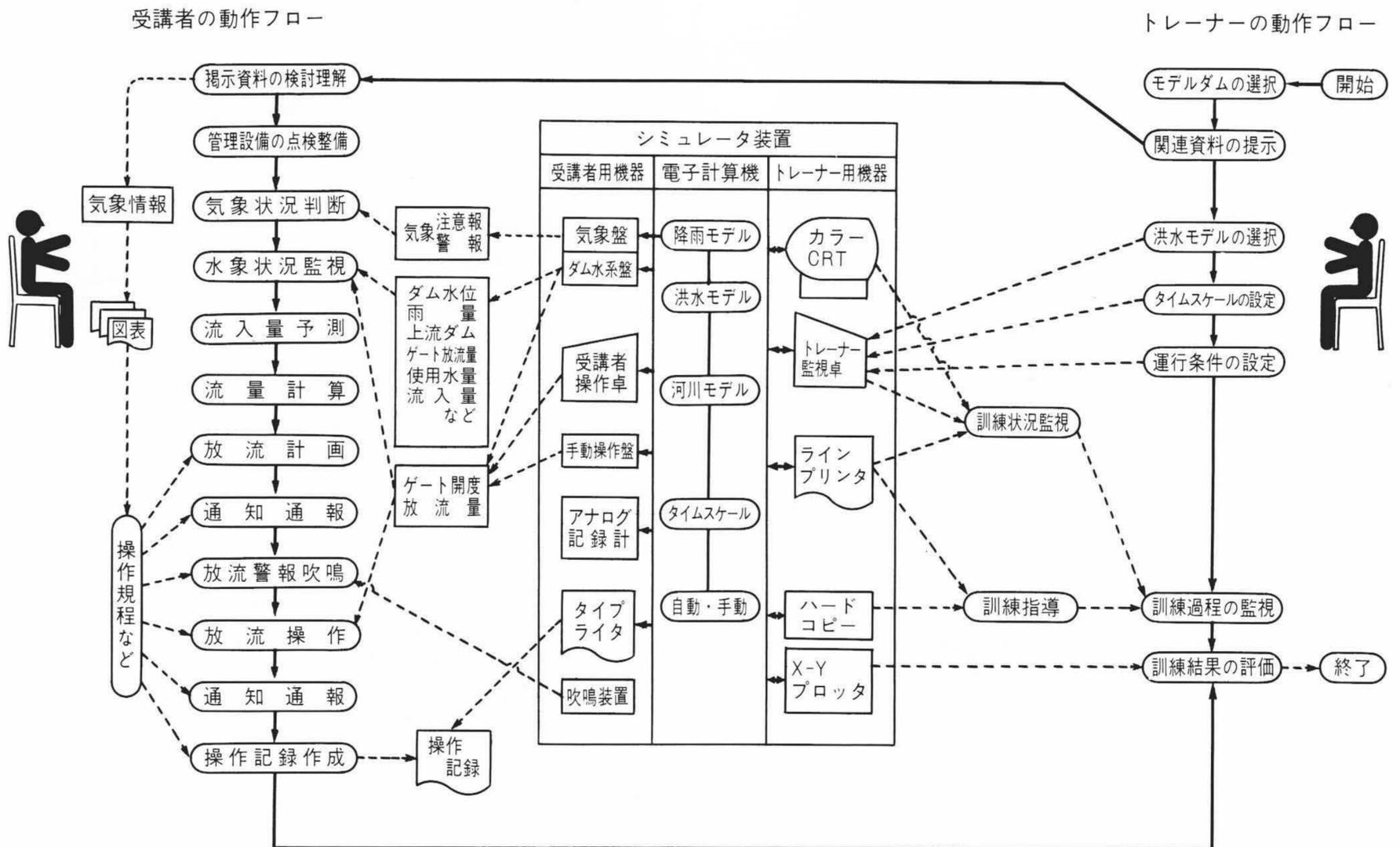


図6 実技訓練系統図 右にトレーナーの操作フローを、左に受講者の操作フローを示す。

実技訓練の系統を図6に示す。実技に入るとインストラクターは、その被訓練グループのレベルと対象ダムから、登録されたパターンの中で最適なものを選択する。受講者が扱えるデータは、ダム水位とゲート開度、雨量だけであり、このデータを基に各ダムの定数で手計算で流入量を計算する。すなわち、水位の変化を流入量に換算し、ゲート放流量を決定する方式について、実技で覚えるためのシミュレータとなっている。

また、流入量が比較的緩やかなところで、ゲート操作が不要なところでは、タイムスケールを変更し、早送りを行える機能も持っている。ゲート操作のタイミングが遅れて、訓練継続不可となった場合、時刻指定によって、再度途中から戻ってやり直すこともできるようにした。音声出力装置により、各種警報発令、操作時のアナウンスなども行い、実体に近い訓練ができるようになっている。

さらに、ダム操作で重要な通知通報も、受講者からインストラクターへ実際に話をし、録音され、通知通報のタイミングを計算機に取り込み、時間的チェックをでき

るようにしている。

(3) 評価機能

訓練の結果として、ゲート操作の量、タイミング、通知通報のタイミングなどについて結果を集計し、各グループとしての評価を行う。また、この結果にインストラクターがコメントを加え保存する。これにより、どの人が、どのレベルの訓練を受講したかが一覧表にできることで、操作員の訓練を計画的に行うことができるようになり、さらに訓練内容の充実を図れるようになる。

6 おわりに

運転訓練シミュレータは、運転のためには欠くことのできないものとして、今後その導入はますます進むと考えられる。特に、いっそう高性能な中央処理装置、高機能なヒューマンインタフェース装置の出現により、より臨場感のある訓練、効果的な訓練ができるようになってくる。日立製作所でも、このような最新の技術を取り入れ、より役だつ運転訓練用シミュレータの実現に努力していく考えである。