

# 500kV級電気所シミュレータ

## 500kV Class Substation Simulator

堀部 勲夫<sup>\*1</sup>  
Isao Horibe  
横井 博徳<sup>\*1</sup>  
Hironori Yokoi

Due to the increased automation and reliability of electrical substations, operating personnel now have much fewer opportunities to use and become familiar with the equipment. This is especially true with regards to malfunctioning equipment and subsequent repair work. Due to this, it is becoming more difficult to maintain the technical proficiency of such operators.

Electric power companies have come to deal with this problem by introducing large scale training simulators. However, because of differences at each site and in the training machines themselves, there has been considerable demand for simulators which match on-site conditions better.

Here, we developed a training simulator which duplicates conditions when equipment is operating normally and when malfunctioning. We built such simulator and delivered it to the Tobu substation of the Chubu Electric Power Co.

## 1 まえがき

近年、電力の安定供給に対する社会的要求はますます高まっており、それに伴い、発送配電等の設備もより供給信頼性の向上を目指し、更にきめ細かな制御を実現している。しかしこれら高度な制御を実現している設備であっても最終的には、この設備の管理運営を行う人間系が、その内容を理解・把握していなければ機能を十分に発揮できない。一方では設備の自動化、信頼性向上などにより人間系の介入を必要としない状態での運転機会が増加している。そのため、設備運用者などは積極的に運転訓練などを行わなければ、その技術の維持が困難となり、いったん設備に不具合を生じた場合などには復旧操作の遅延を生じる恐れもある。

このような状況から、今日電力輸送業務の中でも特に重要拠点とされる500kV級変電所の保守・運転などの技術習得を目的とした訓練用シミュレータを開発したので以下に紹介する。

## 2 500kV級変電所とシミュレータ

各地に分散している発電所で発電された電力は最寄りの500kV級変電所において昇圧されて主幹系統に送電される。現在の送電系統で500kVは最高電圧であり、電力系統にとっては大動脈である。また、変電所としての設備規模も最大級である。

従来電気所関連のシミュレータは、汎用性を求めるため、発電全系に関わる種類のもが多く、その内容も各電気所の平均的要素が多かった。

シミュレータの訓練効果は、その装置が実機に近ければ近い程、効果は期待できるが、汎用性と個別条件の両立を計る場合は、装置が大型化し、コスト高をまぬがれぬ上、更にその操作が複雑となり、専用のトレーナを必要とするなどの問題がある。また、大型化となるため、設置場所も研修センターなどに限られ、1人当りの使用時間が制限される。これらの理由により、今回開発したシミュレータは、中部電力側最大の規模変電所である東部変電所を具体的モデルとした。

東部変電所は、電圧階級500kV/275kV 4母線分割方式 1000MVA 4基の変圧器を主体として、500kV線路6回線、275kV線路12回線、開閉器類約200台、保護盤約350面などにより形成されている。

図1に東部変電所の単線結線を示す。

## 3 装置の構成

### 3.1 装置の概要

本装置は、東部変電所の運転訓練に適応させるため、通常の運転に使用する機器を極力現場に整合させると同時に変電所内に設置可能とするため、最大限のコンパクト化を計った。この2点は矛盾する要素であるが、人間系のMMI装置を実機同様とした上で系統盤は実用に支障ない範囲で小型化を計った。

また、人間の視覚及び聴覚に与える印象をできるだけ現物に即したものとするため系統盤上のメータ類は、デジタル表示などは行わず、すべて実機同様なアナログ表示とし、視認性も同レベルなものとした。特に同期検定

に関するメータ類は、実機同様なものを使用し、 $\Delta f$ 、 $\Delta \phi$ などを専用の個別の回路で演算した上で実系統上と同様な動作となるようにした。また継電器盤情報などは、実際の場合、隣室の継電器盤室へ行き、その中から目的の盤面まで歩行した上で、その直前に立ち個別盤の情報を読取るが、この一連の動作は、スペースファクター上シミュレータで実現不可能なため、個別継電器盤情報は、専用のグラフィックターミナルにてイラスト表示するこ

とにより代行した。この場合画面上にまず継電器盤室の全体レイアウトのイラスト表示を行い、この画面上で被訓練者が歩行する感覚でライトペン指定することにより、順次必要情報を読取る方式とした。

一方、トレーナが決定すべき種々の条件設定は、専用のCRT装置より順次対話形式でメニュー選択を行う方法とし、特別な専用トレーナを必要としない構成とした。

なお、本装置による訓練の状態は、3箇所に設置され

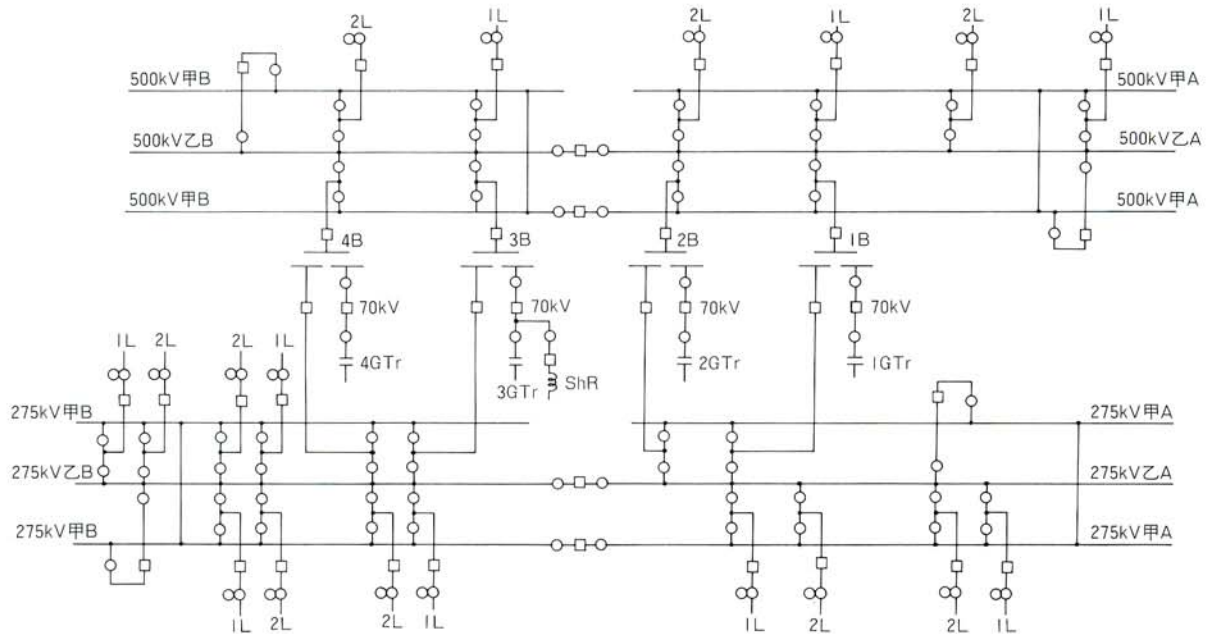


図1 / 単線結線図  
Fig. 1 / Single-line diagram

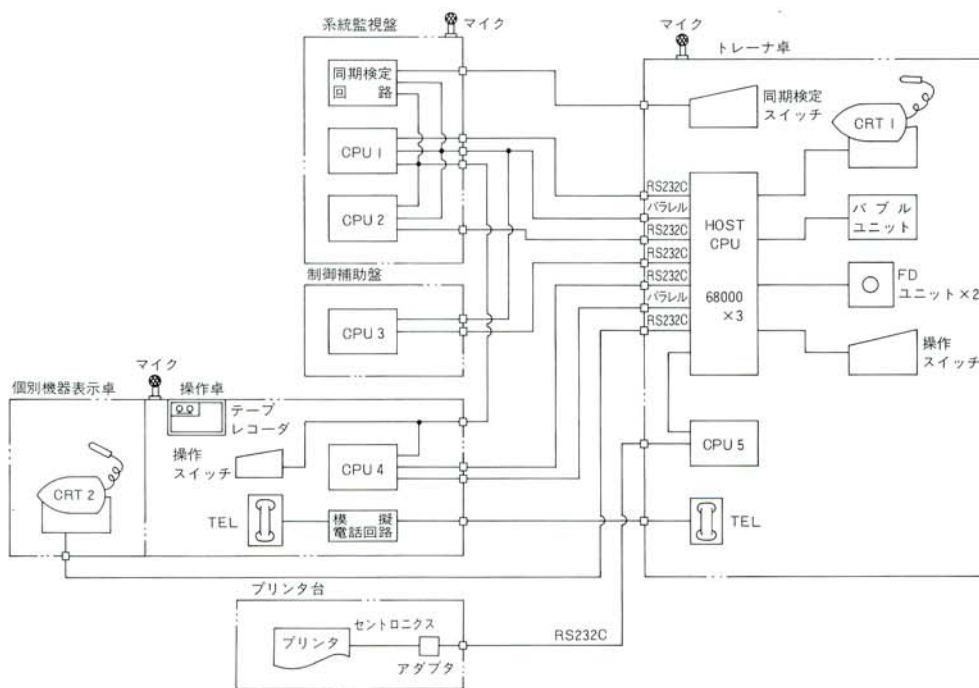


図2 / システム構成図  
Fig. 2 / System block diagram

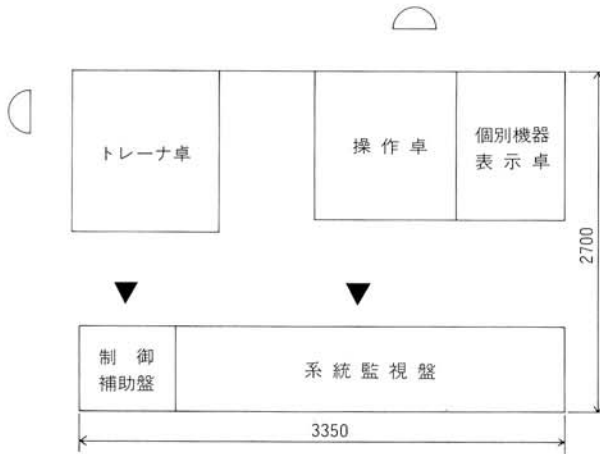


図3/配置図

Fig. 3/Layout

たマイクフォンにより、すべて付属のテープレコーダに録音される。また、訓練中の機器操作・状態などについては、付属のプリンタにて印字記録される。

## 3.2 装置の構成

本装置は、トレーナ卓に内蔵されるホストCPUと系統監視盤、操作卓などに内蔵される5組のCPUシステム及び2台のインテリジェントターミナルよりなる。

図2、図3にシステム構成図と配置図を示す。

### (1) トレーナ卓

トレーナ卓は16ビットCPUよりなるホストCPUとプリンタコントロール用8ビットCPU1組で構成される。2台のインテリジェントターミナルはホストCPUの管理下におかれ、各々画面データ用として1.5Mバイトのローカルメモリを有する。トレーナ卓はこの他に、故障発生などシミュレーション条件の設定を行う設定鉤などを備える。

なお、ホストCPUは処理速度の向上を計るため、3マルチシステムとして各々のCPUに次の処理を分担させた。

- No.1 検圧・UV波及・潮流演算・所内自動切替
- No.2 トレーナ画面処理・個別盤画面処理
- No.3 重故障処理・軽故障処理

これらの分散処理に加え、系統監視盤・操作卓などの処理はローカルCPUに分担させることにより、実際の故障時に準ずるリアルタイム処理を可能とした。また、操作者からの電話連絡に対応するため、給電所・電力所などの代行が行えるように電話機を設置した。

### (2) 操作卓

操作卓は、実際の機器とスケール及びレイアウトを極力整合させたが、実機がA系及びB系と2重化されているのに対し、A系のみ実装の形をとった。

オペレータ操作に対する反応の向上及びI/Oコントロールのために、8ビット系のCPUを1組内蔵した。

また、電話連絡の模擬を行うため、5回線分の模擬交換機を内蔵した。なお、ダイヤル番号の設定はプリント基板上のデジタルスイッチにより行う。

その他に、訓練時の雰囲気を最大120分まで録音するためのテープレコーダを内蔵した。

### (3) 個別機器表示卓

各種継電器盤の運転状態、個別故障表示などを確認するためのCRT装置で16ビットCPUと、1.5Mバイトのメモリより構成され、ホストCPU側の継電器関連のデータベースをリアルタイムで読取り、表示を行う。

### (4) 系統監視盤

実機と同様な構成とし、視認性を確保する範囲内で縮小化を計った。パネル面は8分割のユニット構造とし、系統変更時には、ユニット単位で対応する方式とした。

同系統盤は4母線18回線で構成され、開閉器類約200台、故障表示140項目、アナログメータ48個、同期検定回路などを備えている。これらI/O点数が多い上に48量のアナログ表示を伴っているため、8ビット系CPUを2組用意して次の機能分担を行った。

No.1 開閉器情報表示用(256点)

No.2 故障表示用(176点)及びアナログ出力48量

この他に、同期検定回路及び自動同期投入装置一式を内蔵した。

### (5) 制御補助盤

実機は4面で構成されているが、卵型ハンドルをスナップスイッチに置き換えるなどしてコンパクト化を計り、1面に納めた。

また同時に、所内電源制御部を盤側面にレイアウト化して合計実機5面分を1面の構成とした。本装置もI/O点数が約400点と多いため、8ビットのCPUシステムを内蔵した。

## 4 装置の機能

### 4.1 機能の概要

装置は最低2名いれば、訓練できることを前提としており、1名がトレーナであり、他の1名が被訓練者となる。この場合、給電所、電力所などの連絡先要員は、トレーナが兼務する。トレーナが設定する各種条件は、トレーナ卓のCRTとの対話形式とし、順次ステップ毎に表示される画面上のメニューなどから目的に応じた内容を指定する方式とした。故障条件に関しては、基本的に故障種別及び故障発生箇所を指定すれば、発生時点の状況に応じて、各保護継電器の動作状況を演算する方式とした。このため、装置は常に機器の接続状態、リレーデバイスの応動条件、故障点の電源接続サーチ、負荷接続サ

一、潮流値などの演算を行っている。同方式の採用により、トレーナの設定時点より機器状態が変化した場合でも、その仕上がりに応じた故障が最適な内容で発生することとなる。このリアルタイム処理が可能であるため、任意の故障を3種類まで登録しておき、任意に発生させることにより、多重故障の条件にも容易に対応できることとした。また組合せにより、複雑な故障ケースも設定可能であり、その内容を付属のバブルメモリに登録しておくこともできる。

## 4.2 トレーナの設定機能

本装置による訓練を行うに際して、設備の運転状態を決定する必要がある。そのため、トレーナ卓より次の項目についての指定を行う。なお、特に指定を行わない場合は、あらかじめ定められる基本的なパターンにすべて設定されており、必要な項目のみを設定すれば、訓練を行うことができる。

### (1) 潮流値

本装置の設備としては、18回線の線路を対象としているが、その線路毎に送受電及び重中軽の3ランクについての指定が可能である。この指定に基づき、各線路、バンク及び各母線ブロック内の潮流を線路毎にあらかじめ定められる最大値に応じて、流入＝流出となるべき補正演算を行い、決定している。

この演算の結果により、各線路及び母線ブロックに取り付けられているアナログメータの指示を決定している。この潮流の演算は、開閉器の状態発生毎に実施される。

### (2) 開閉器状態

母線及び線路の開閉器の開閉状態で、日常の系統構成の中より代表的な13種類の系統パターンについては、メニューから指定することにより、そのパターンを実現する。更に、個別の開閉器を操作することにより、任意のパターンを構築することができる。

なお、トレーナ卓から行う開閉器の操作は、実機で形成されるインターロック条件を無視して操作が可能である。このインターロックは、オペレータが操作卓より行う操作に対してのみ有効である。

装置は、これら開閉器操作に応じて、各部の電圧の有無、潮流値の演算を行う。また、オペレータの開閉器操作などに際して、CB操作ロック、CB故障の設定及びLS操作ロックも可能である。

### (3) 操作開閉器の選択

各制御装置及び保護継電器等の使用・除外、自動・手動、遠方・直接などの運転状態の選択を行う。この選択により、故障発生時における各保護継電器類の動作条件が決定される。なお、この時個別盤情報として軽故障など装置の除外に継がる設定が他でされている

場合は、使用の設定は無効となる。

### (4) 変圧器運転状態

主変圧器4台についての単独または、並列運転の状態、タップ位置などについてトレーナ卓より指定することができる。この時タップ値はI/O点数簡略のため、1、6、12、18、20、22、23についてのみ指定可能とした。

### (5) 故障設定

本装置による故障の設定は、しゃ断器トリップを伴う重故障については、故障ブロック、故障点、故障種別の3段階に亘る設定を行う。なお、軽故障については、軽故障ブロック指定を行った後、個別の故障項目指定を行う。

#### ① 故障ブロック

500kV A・B母線、275kV A・B母線、各バンク、各線路、全停故障、所内故障

#### ② 故障点

故障ブロック毎に定義されるスケルトン上で、開閉器及び保護継電器用CTなどで分断される区分毎に指定可能である。故障点は原則的に1故障ケースに付1点としたが、線路故障については両回線に跨る場合が通常起こり得るとの判断から2回線同時故障の設定を可能とした。

変圧器故障に関しては、その内部故障及び3次側までの故障点を設定可能とした。

地絡故障については、その発生相は乱数的な演算により、相の特定がトレーナにもできないようにした。

図4に線路故障、また図5に変圧器故障時の場合のCRT画面例を示す。

#### ③ 故障種別

特定された故障点毎に指定される、短絡、地絡などの故障種別の指定を行う。また、故障を永久、限時、瞬時の3段階とし、その内容はつぎの如くとした。

永久：「復帰」指定を行うまで継続

限時：再閉路は失敗するが再々閉路は成功

瞬時：故障発生後すぐ復旧して再閉路も成功

#### ④ 軽故障

軽故障ブロックを指定した後、保護継電器、主変圧器、補機類などについて、項目単位で設定を行う。軽故障は同時に複数設定が可能で、「軽故障発生」の押釦により、一括発生させることができる。

なお、軽故障の発生に伴う波及現象、例えば主保護継電器の故障により、継電器要素が除外となり、故障発生時に、後備側継電器の動作により保護が実施されるなどの一連の波及についても、極力実機同様とした。

⑤ 故障の設定は、3種類まで個別に設定可能であり、その発生は、各々独立した発生指定用押釦により、任意に発生可能である。

図6及び図7に故障種別決定時の概略フローを示す。

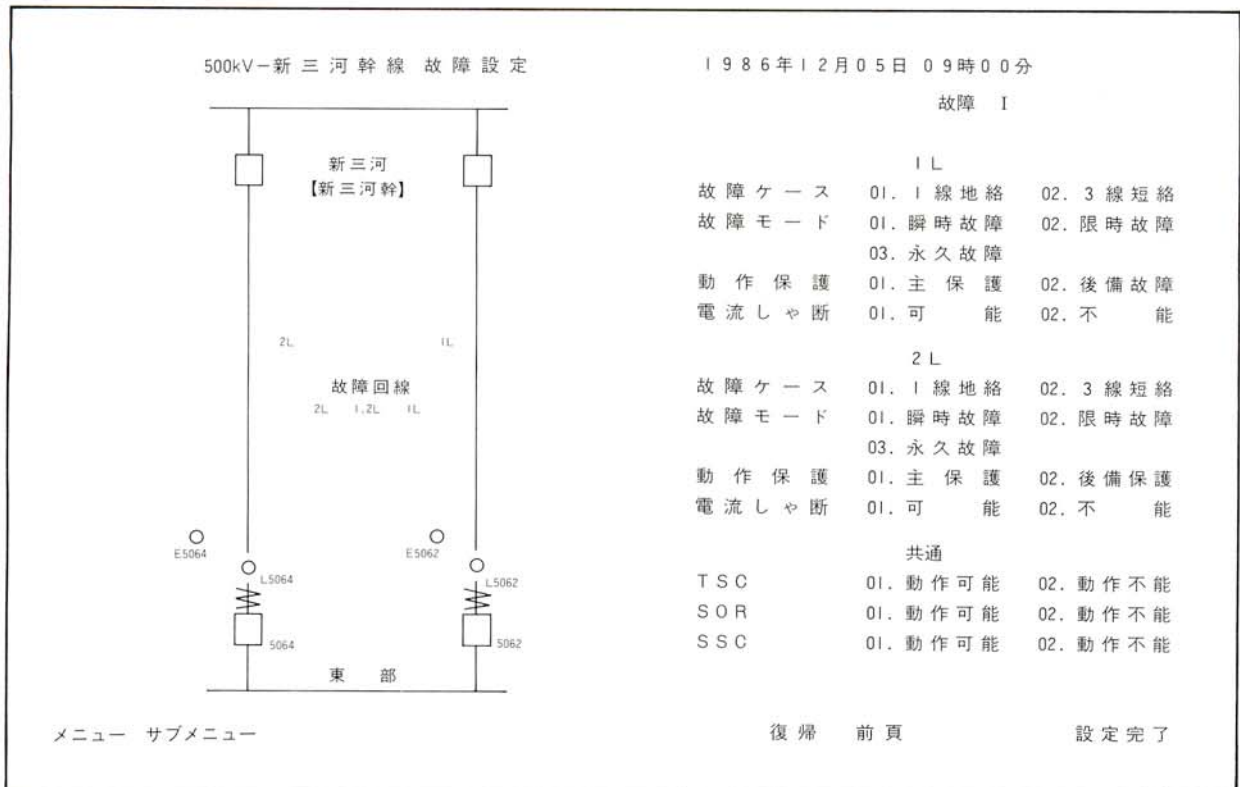


図4/トレーナ卓500kV線路（新三河幹線）故障設定画面例  
 Fig.4/Example of fault setting display for 500kV line (Trainer desk/Shin-Mikawa-Kansen)

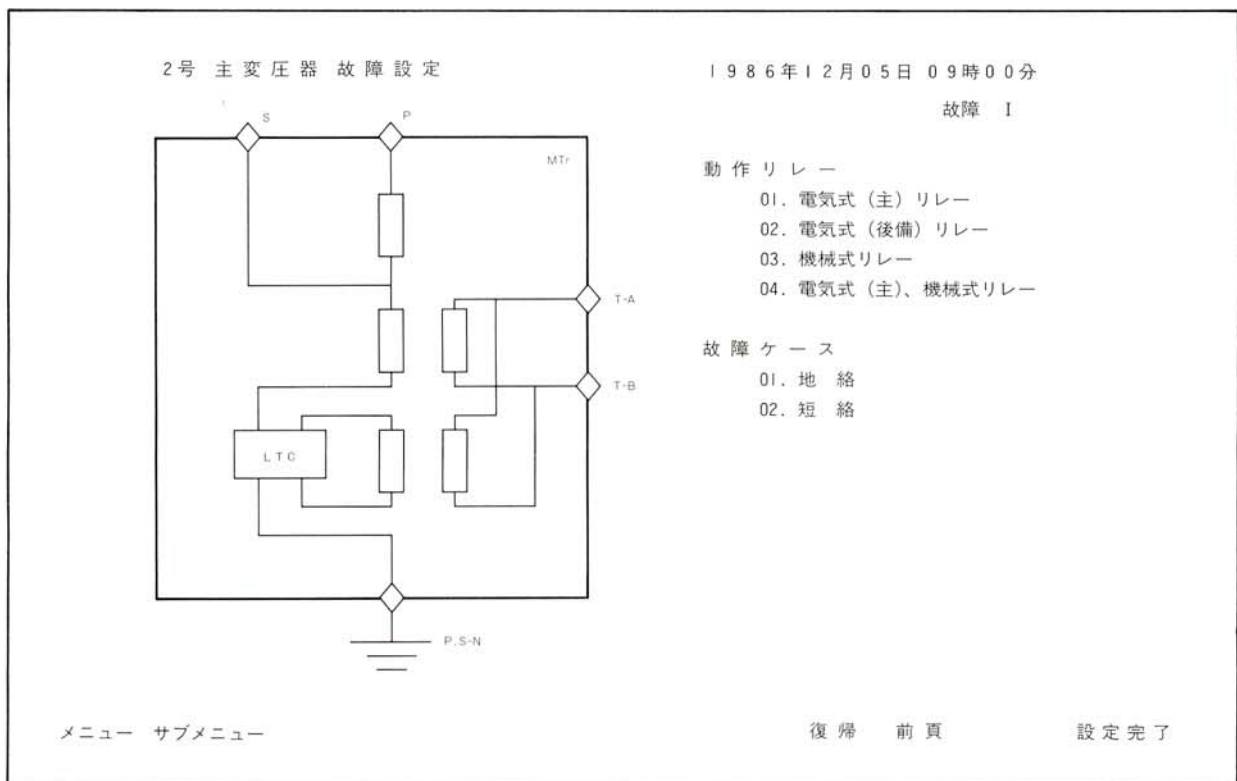


図5/トレーナ卓 主変圧器（2B）故障設定画面例  
 Fig. 5/Example of fault setting display for main transformer circuit (Trainer desk/2Bank)



### 4.3 操作者の訓練機能

(1) 平常操作

トレーナによる故障条件などの設定が完了した時点

で「SHY」選択釦の押下げにより、オペレータ訓練が開始されたこととなり、操作卓、制御補助盤などからの機器操作が有効となる。この場合、LS等のインターロック条件なども有効であり、次の場合につき、誤操

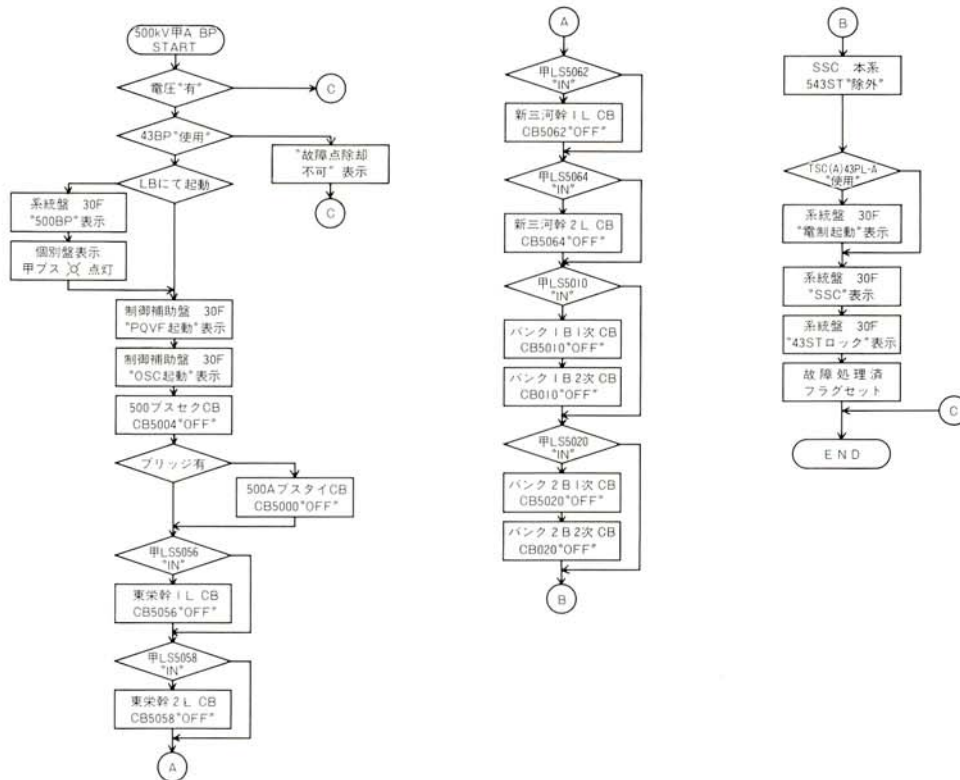


図 8 / 500kV甲母線故障時A系母線保護継電器盤動作フローチャート  
Fig. 8 / Flow chart of 500kV bus line protect relay equipment

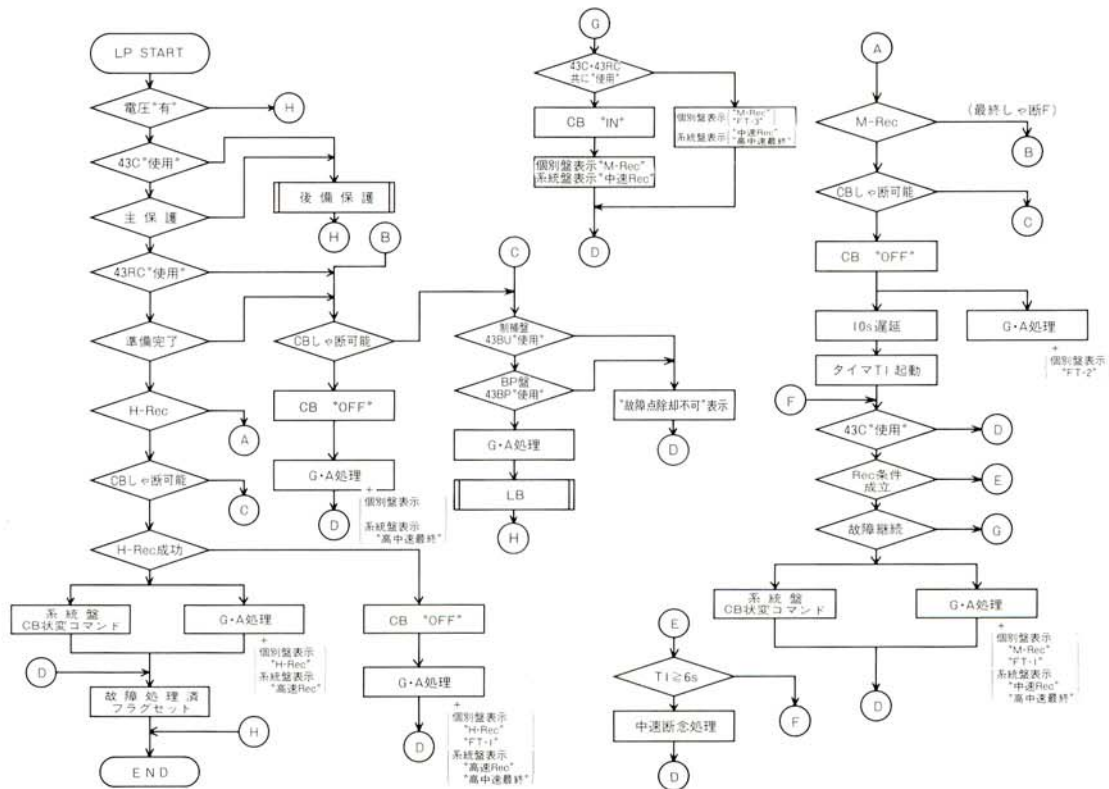


図 9 / 線路故障時A系線路主保護継電器盤動作フローチャート  
Fig. 9 / Flow chart of main line protect relay equipment

作判定を行う。

- ① 加圧箇所に現場アースされた場合
- ② 現場アースまたは、ELSGが「入」の箇所に加圧した場合
- ③ 同期条件不成立のまま、CB手動投入を強行した場合

これらの機器操作毎に潮流及び検圧の演算処理を行い系統監視盤上のアナログメータ値、検圧表示などの補正をその都度実施する。

変圧器等の操作もこの状態で可能であり、タップ操作に伴う電圧変動もその都度演算を行い、メータ類の補正を行う。

なお、所内変圧器、操作開閉器類については、制御補助盤からの操作となる。また現場機器の接地などは、系統監視盤のパネル面にアースピンを挿入することにより実施している。

(2) 故障応動機能

① 重故障

トレーナにより設定された3種類までの故障ケースは各々独立した故障発生指定釘により、その発生時点の特定がなされる。この時、故障発生の順序は

任意であるため、発生時点で故障条件の演算を行う必要があり、次の順序で演算を行う。

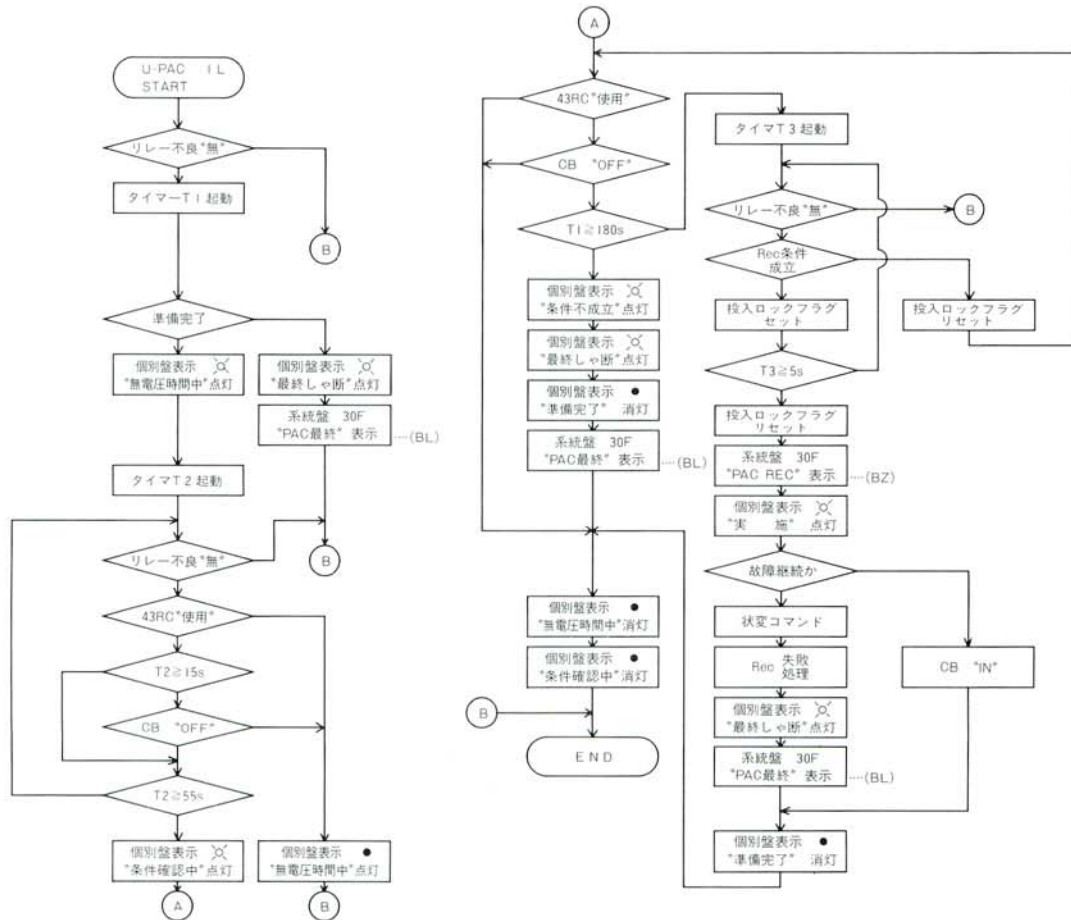
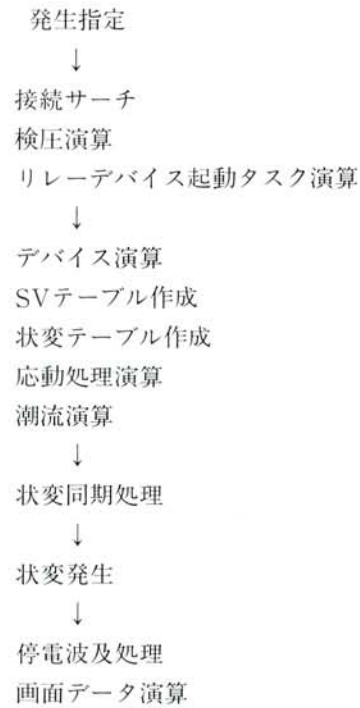


図10/線路故障時U-PAC盤動作フローチャート  
Fig. 10/Flow chart of U-PAC

上記演算は、ホストCPU内の3組のマイクロプロセッサによりマルチ処理され、各ローカル盤により、同期をとった上で状態発生を実行する。

本方式は、トレーナの設定負担を軽くした上で、極力実機での故障状態に合わせるため、故障状態を保護要素のデバイスレベルまで細分化した演算とし

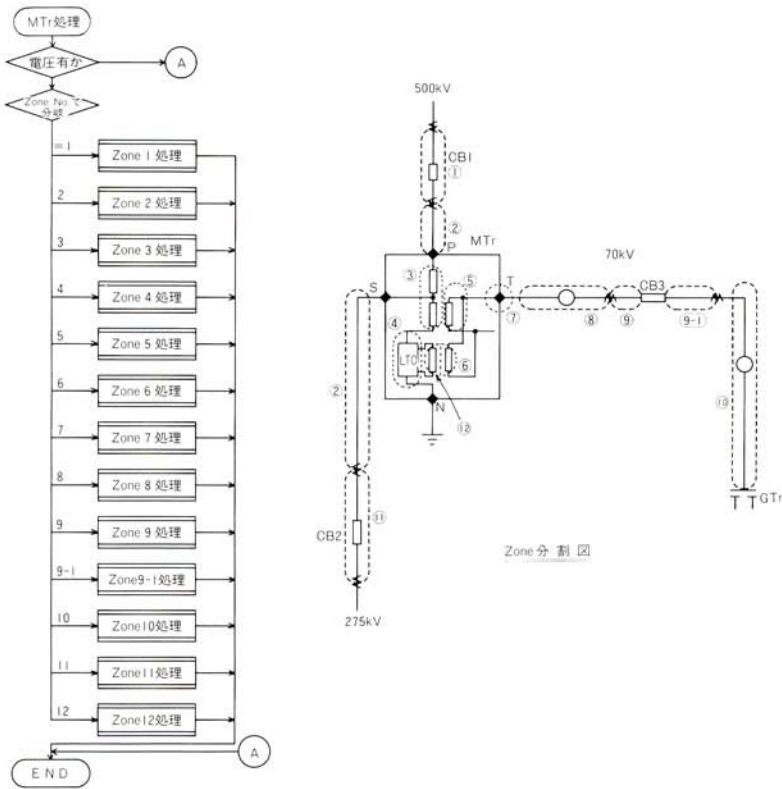


図11/バンク故障時A系主変圧器保護継電器盤動作メインフローチャート  
Fig. 11/Main flow chart of protect relay equipment for main transformer

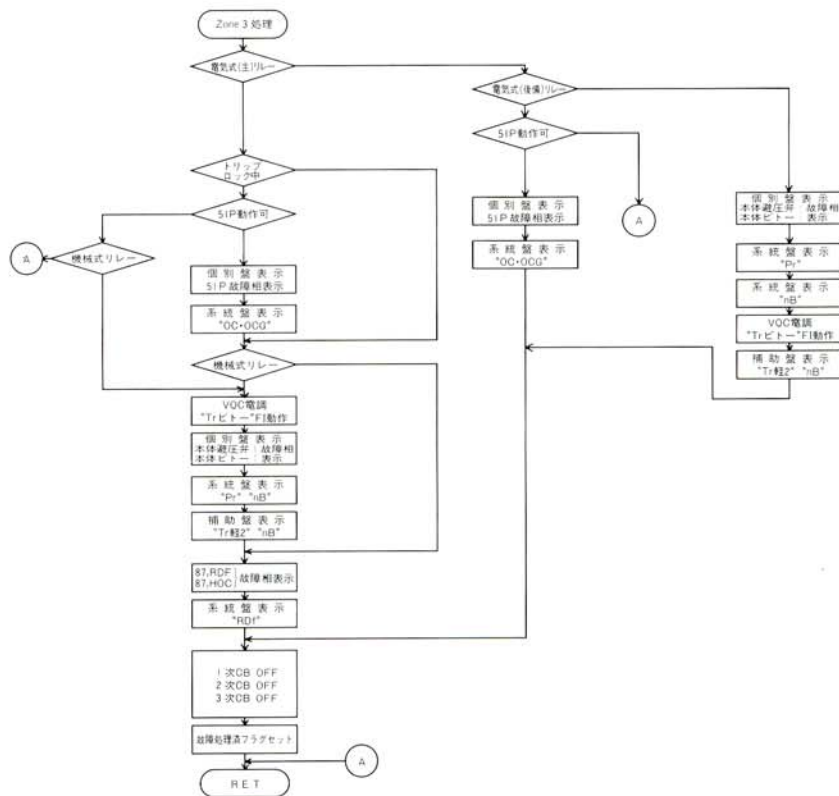


図12/バンク故障時A系主変圧器保護継電器盤動作フローチャート (Zone3)  
Fig. 12/Flow chart of protect relay equipment for main transformer (Zone 3)

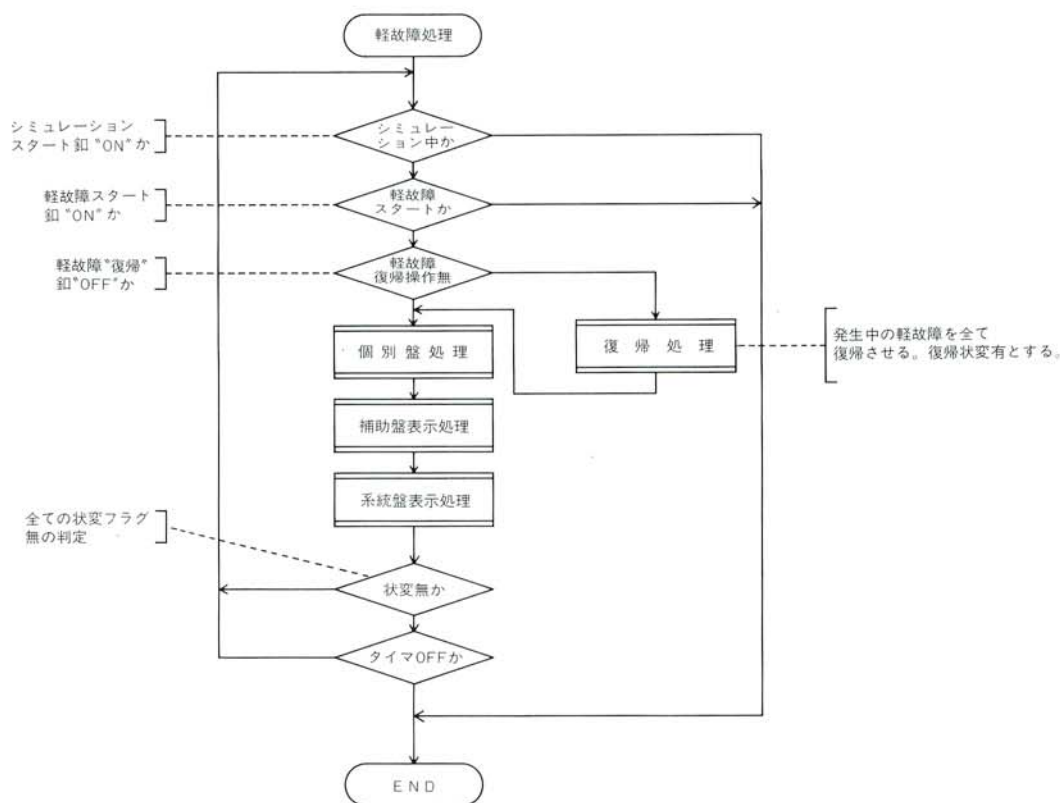


図13/軽故障処理 メインフローチャート

Fig. 13/Main flow chart of light fault

たため、ダイナミックな応動が可能であり、直前の故障により、次の故障の発生状況にダイナミックな追従ができる。

ホストCPU内には、このため、各保護機能毎のシーケンスが登録されており、故障ケース毎に必要なタスクを起動する。この時、実際の保護継電器は、各要素が高速で同時に動作するが、計算機の演算が、これらの処理に対し遅いため、演算と同時に同期を計るための処理を付加して、最終演算終了後に状態を発生させ、見かけ上故障発生時の応動を実機同様のリアルタイムとした。

デバイス処理の一例として、図8、図9、図10に各々母線故障、線路故障 (FMキャリアリレー)、U-PAC処理などの概略フローを示す。

なお、図11、図12に主変圧器故障の一例を示す。

## ② 軽故障

軽故障は、あらかじめ設定される軽故障テーブルの内容にしたがい、「シミュレーション中」の条件において「軽故障発生」の押釦により、ブザー、フリッカなどの故障応動処理を行う。また、個別盤のターゲット表示などの個別応動については、ホストCPU

内で演算された付属のインテリジェントターミナルの画面データとしてファイル作成され、ターミナルリクエストに応じてデータの送出手を行う。

この状態で、任意に軽故障の新たな発生及び復帰などの指定が、トレーナ卓より行える。この場合は、トレーナCRT画面上で項目指定を行った後、「実行」指定により即故障発生となる。

軽故障の項目によっては、内容の波及が予測されるが、それらの波及については、ホストCPU内で項目別の波及サーチにより故障ファイルの作成を行う。

図13に軽故障の処理の概略フローを示す。

## 5 あとがき

本装置の開発にあたり、中部電力(株)の岡崎電力所変電施設課及び東部変電所の皆様よりの格別な御支援、御指導をいただきましたことを、本誌を借りまして厚くお礼申し上げます。

なお、現在本装置は、東部変電所殿内2階に設置され稼働中であるが、今後電力殿の御意見をいただき、更に充実した装置にしたいと考えている。