

配電線自動運用システム

Computer Based Supervisory Control Systems for Power Distributing Networks

配電系統設備は電力供給諸設備の中で末端に位置し、網目状に面的広がりを持ち、直接お客様へ電力を供給することで日常生活設備の一部を構成している。

このような情勢のもとで、電力会社では供給信頼度とお客様サービス向上を目指した配電系統運用の自動化を積極的に推進している。

このたび、関西電力株式会社と日立製作所は制御用計算機技術と通信伝送技術を駆使した配電線自動運用システムを開発した。

配電線自動運用システムは、配電用変電所の情報の収集と配電線に設置される線路用開閉器の監視・制御を主目的としており、従来の時限順送式開閉器の機能を生かしながら、配電系統の事故時や作業時での開閉器の遠隔監視制御を行うものである。本論文では、関西電力株式会社大阪北支店扇町営業所ほか2営業所で稼働中の配電線自動運用システムについて述べる。

松本 翼* *Yoku Matsumoto*
宮里健司* *Kenji Miyazato*
井上 汎** *Hiroshi Inoue*
臼井敏雄** *Toshio Usui*
小沢敏夫** *Toshio Ozawa*
近藤譲治*** *Jōji Kondō*

1 緒言

配電系統の自動化は、自動的に事故区間を切り離して電源側の健全区間を救済する時限順送装置が昭和20年代に開発され、以来、これと線路用開閉器を組み合わせた運用が採用されている。その後、この線路用開閉器の遠隔監視制御をテーマとした研究開発が進められてきた。一方、近年の高度情報化社会での電力供給信頼度向上のニーズを受けて、関西電力株式会社では、開閉器の自動遠隔制御による停電時間の短縮を主なねらいとした、配電線自動運用システムの導入を積極的に推進している。

配電線自動運用システムの構築には、計算機技術を駆使した中央装置、柱上の開閉器に制御信号を与える開閉器子局、中央装置と開閉器子局間の情報伝送装置など、多岐にわたる研究開発が必要である。

なかでも、中央装置は人間と機械のインタフェースをつかさどるもので精度が高く、かつ使いやすいものであることが要求される。

本論文では、関西電力株式会社と日立製作所が共同で開発した配電線自動運用システムについて述べる。

2 システムの概要

2.1 システム構成

配電線自動運用システムの全体構成を図1に示す。制御用

計算機システム、遠隔監視制御システムおよび開閉器子局が有機的に結合し配電系統の効率的運用を図ったもので、22 kV～6.6 kV配電系統を対象としている。

(1) 配電自動化計算機制御システム

配電系統の運用を管理する営業所に設置され、配電系統から収集するリアルタイム情報を入力し、論理判断・演算を行い、その結果に基づいて配電系統の制御を行う。

(2) 遠隔監視制御システム(テレコンシステム)

営業所に設置される親局(営業所親局)と変電所に設置される子局(変電所子局)とで構成され、変電所情報・線路用開閉器(以下、開閉器と言う)情報を計算機システムに伝達するとともに、計算機システムからの制御信号を開閉器子局へ伝達する。

(3) 開閉器子局

柱上の自動開閉器ごとに設置され、開閉器の運転状態情報を遠隔監視制御システムを介して営業所に伝達するとともに、営業所からの制御信号を受けて開閉器を制御する。

2.2 システムの特徴

システム構成上の特徴は下記のとおりである。

(1) 営業所と変電所間の情報伝送は、高信頼性確保のため給電部門、変電部門で従来から培われたサイクリック伝送の基礎技術を応用した。

* 関西電力株式会社配電部 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所関西支店

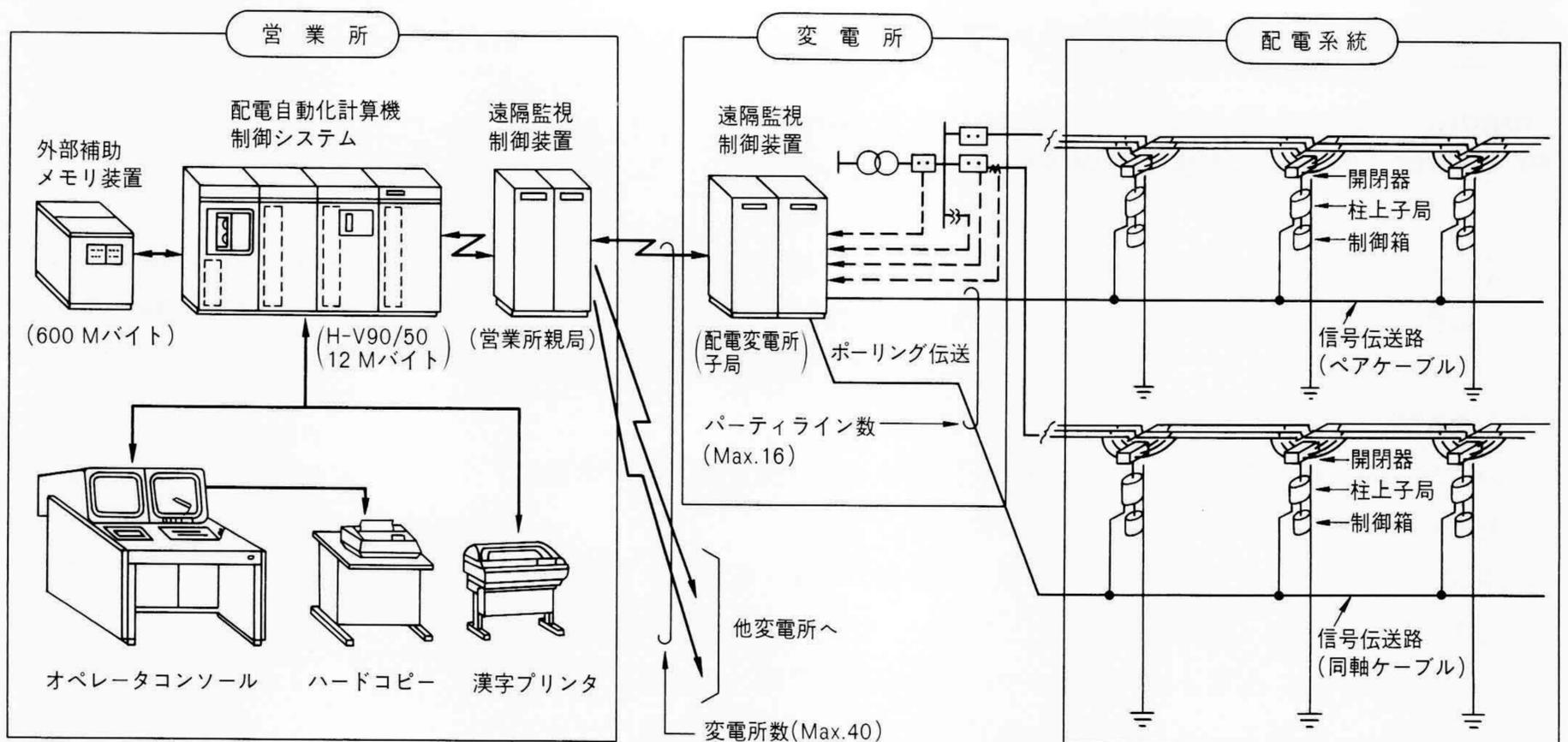


図1 配電線自動運用システムの全体構成 配電線自動運用システムの全体構成を示し、営業所、変電所および電柱上に自動化用装置が分散配置され、信号伝送路を介して接続されている。

(2) 変電所と開閉器子局間の情報伝送は、開閉器子局の設置個所が面的広がりを持ち、かつ膨大な数量になるため情報伝送回線をマルチドロップ構成とした。

(3) システム構築の基本的考え方は下記のとおりである。

(a) 操作信頼性をいっそう向上させるため、ガイダンス機能を充実させ、短時間の操作訓練でオペレーションに習熟できることを配慮する。

(b) 配電系統はお客様に直結した系統であり、システム障害時でも最低限、時限順送機能を生かすことによって、従来の供給信頼度を確保するフェイルセーフ設計とする。

(c) システムを構成する各装置は営業所、変電所および電柱上のスペースを取らないようコンパクト化する。

3 配電自動化計算機制御システムの機能

営業所に設置される配電自動化計算機制御システムの自動化業務の基本は、時々刻々変動する配電系統の負荷状態を的確に把握し、事故時、作業時などの系統切換操作を迅速に行うことである。処理機能の概要を表1に示す。

系統状態監視・事故時自動融通・系統操作・データメンテナンスなどの配電自動化の基本的な機能に加えて、さらに高度化機能として開発を行った特長的な事項について以下に述べる。

3.1 シミュレーション機能

営業所での所員の業務は、系統計画・系統操作・系統設備の保守・設備管理など多岐にわたり、これらの業務は密接に自動化項目とかかわりを持つ。このため、以下の機能を持つ

表1 開閉器遠隔監視制御システムの機能 配電系統運用の自動化対象業務と、その処理機能の概要を示す。

No.	業務	内容
1	監視状態把握	<ul style="list-style-type: none"> ●変電所・線路用開閉器運転状態監視 ●事故発生状況の把握 ●充・停電発生状況把握
2	系統操作	<ul style="list-style-type: none"> ●機器個別操作 ●事故復旧操作(自動融通・切戻) ●緊急時操作(切換・切戻) ●過負荷解消操作(切換)
3	負荷融通計算	<ul style="list-style-type: none"> ●負荷融通形態決定 ●電圧降下計算 ●開閉器通過電流計算 ●上記をアルゴリズムと知識工学応用の2手法で求解
4	手動設定	<ul style="list-style-type: none"> ●手動開閉器状態設定 ●操作禁止・解除状態設定 ●区間運用状態設定
5	記録・報告書作成	<ul style="list-style-type: none"> ●負荷記録(日・月・年負荷) ●操作報告書(事故・緊急時など) ●状態変化記録
6	シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ●系統模擬操作 ●系統操作訓練 ●系統構成計画
7	作業停電操作	<ul style="list-style-type: none"> ●作業停電計画(工事区間・仮設設備など) ●作業停電手順作成(切換・切戻) ●作業停電操作(切換・切戻)
8	モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> ●区間ごと負荷分布把握 ●系統ループ切換判定 ●事故区間判定 (再閉路成功事故・高圧不点事故)
9	データメンテナンス	<ul style="list-style-type: none"> ●設備データメンテナンス(新設・撤去・変更) ●画面データメンテナンス ●本登録

シミュレーション機能が導入され、運用技術の習得が図られている。

(1) 系統模擬操作

オペレーション習熟を目的としオペレータの作成した系統操作手順の模擬実行を行う。

(2) 操作訓練

系統事故を模擬することによって、系統異常時の対応を習得するための訓練を行う。

(3) 系統構成計画

データメンテナンス機能と組み合わせて計画系統を構築し、計画系統上で系統事故、過負荷発生状況を模擬することによって、計画内容の妥当性評価の支援を行う。

シミュレーション機能の概要を図2に示す。

シミュレーション機能が対象とする模擬配電系統は、自動化システムが設置される営業所の管轄配電系統で、シミュレーション条件設定機能として、下記の機能を持っている。

(1) 配電系統構成の設定

シミュレーション開始時の開閉器の入切状態および配電線電流が任意に設定できる。また、系統変化に対応した配電線電流は自動計算される。

(2) 事故条件設定

再閉路成功、再々閉路成功、最終遮断、バンク事故などの事故パターンと動作継電器の設定ができる。

(3) 時間設定

シミュレーションの実行開始時間、再閉路時間、再々閉路時間の任意設定によりシミュレーション時間を短縮することができる。

以上の条件設定後、実行指示により配電系統のシミュレーション(配電用変電所の遮断器動作、線路用開閉器の時限順送動作など)を開始する。また作業員の系統操作に対し、シミュレータは実系統操作と同様の疑似応答を行う。

シミュレーション結果は実行時のトレースをプリンタに出力し、評価することができる。

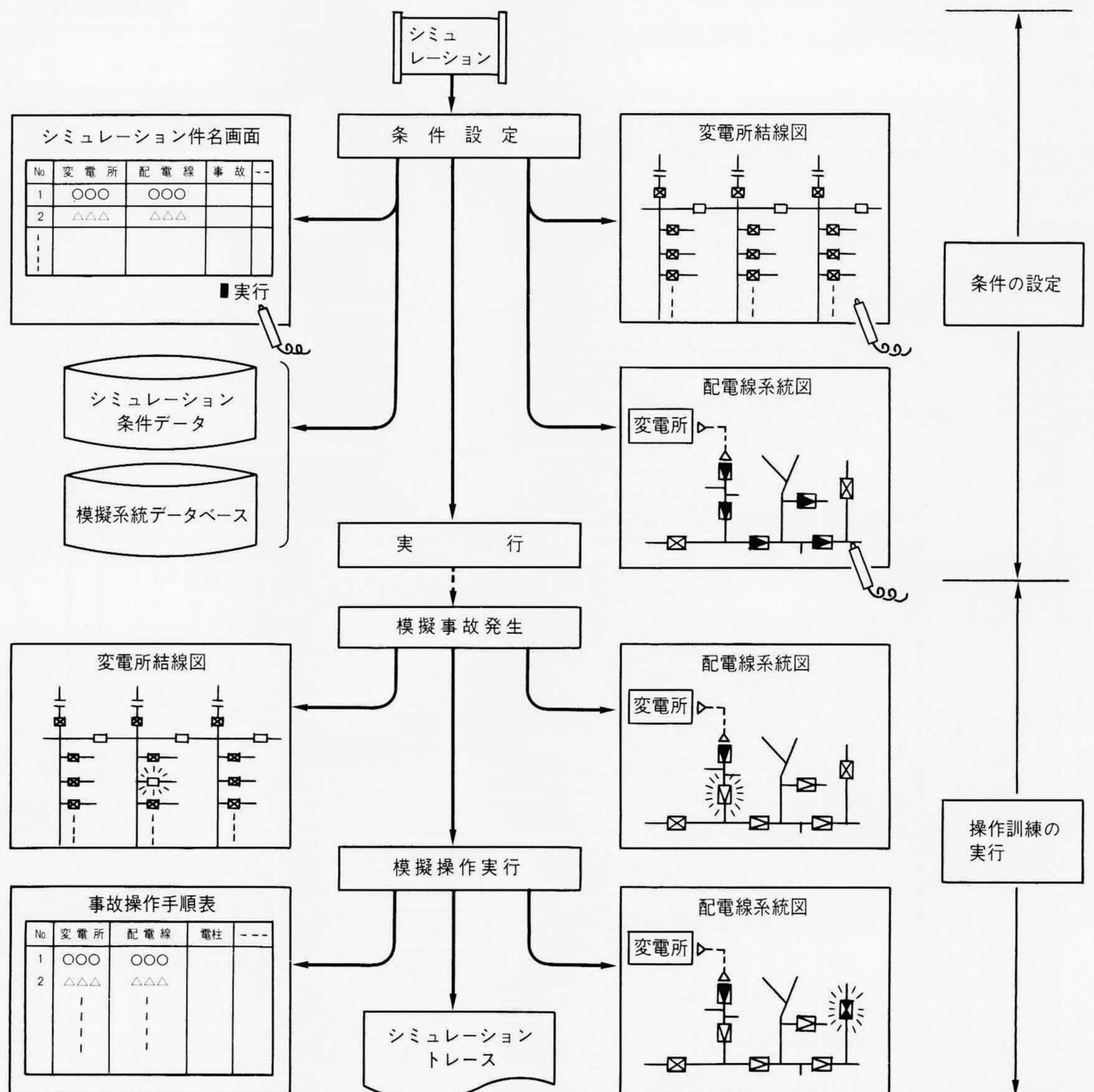


図2 シミュレータ機能の概念図 シミュレータ機能での事故時復旧操作訓練のフローを示す。

3.2 知識工学を応用した負荷融通機能

配電系統は網目状に構築された系統を樹枝状に運用していることを特徴としており、その負荷融通問題は、本質的には経験則による要素が多い。従来、この経験則から最大公約数的な事項を手続き処理で表現し最良解を求めていたものであるが、この分野に営業所所員のノウハウを知識ベースとして構築したエキスパートシステムを適用した。

本エキスパートシステムの構成図を図3に示す。

関西電力株式会社の実系統での前記シミュレーション機能による検証結果では、1バンク事故時、従来の手続き処理では3区間融通不能であったのに対し、知識工学応用負荷融通では全区間救済することができ、また処理時間も1~2分程度であるという効果が確認された。

今後も実運用を通して営業所所員のノウハウ抽出を継続し、知識ベースの高度化を図っていく。

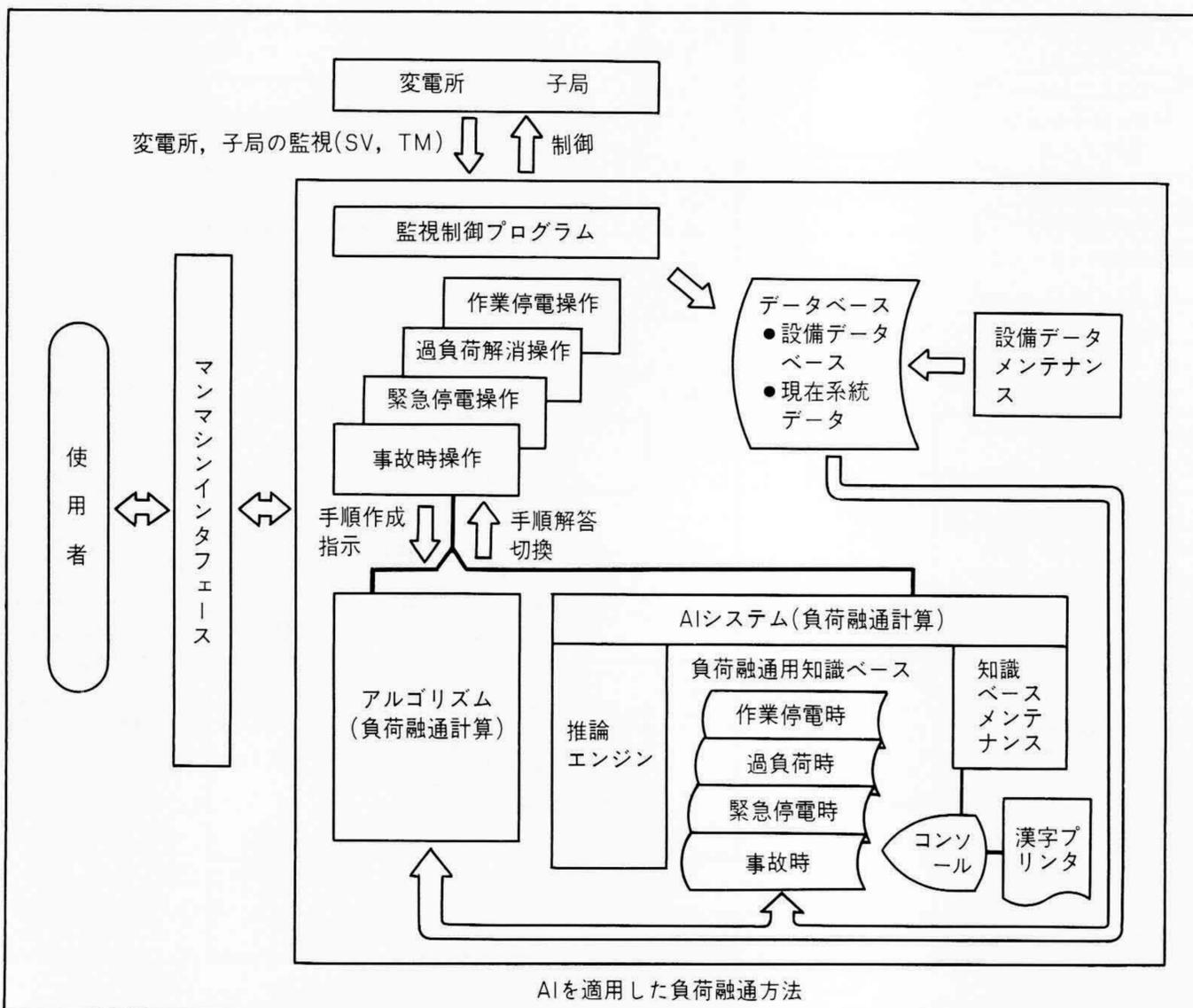
3.3 作業停電操作機能

配電系統での電柱の移設、電線の取替工事などは日常的に行われている。これらの工事は、仮スイッチ取り付け・バイパスケーブル敷設などによって停電範囲を縮小し実施している。

この現場業務に追従して処理を行う作業停電操作機能が自動化業務として組み込まれている。概要は以下のとおりである。



図4 作業停電操作機能の全体フロー 作業停電操作業務の流れを示し、「遠制による事前切換」「現地停電操作」「現地切戻操作」「遠制切戻操作」の手順はグルーピングして作成される。



注：略語説明
AI(Artificial Intelligence)

図3 知識工学応用負荷融通エキスパートシステム 知識工学を応用した負荷融通手順作成に関するエキスパートシステムの全体構成を示す。アルゴリズムによる負荷融通計算と並列実行される。

る。

(1) 作業停電計画

計画段階では作業件名として計画情報(停電区間, 停電期間, 仮設設備など)を入力することにより, 工事日の計画系統に対する系統切換操作手順, 工事後の系統切戻操作手順を自動作成する。

作成された手順を模擬実行することによって計画内容の妥当性を事前確認する。

(2) 作業停電操作

実施段階では工事作業日当日になると計画情報をオンライン監視対象系統に反映し, 作業停電操作を実行する。操作の実行はリアルタイム監視情報と計画時作成手順との差異を確認・修正しながら進められる。

作業停電操作機能の全体フローを図4に示す。

3.4 モニタリング機能

柱上に取り付けられた光センサなどの各種センサにより, 開閉器の両端電圧・電流位相角および地絡・過電流・断線検出情報をリアルタイム情報として取り込むことによって, 以下の機能を実現し配電系統の供給信頼度の向上を図っている。

(1) 事故区間判定

配電線の各ポイントでの事故情報を検出することができ, 再閉路成功事故, 高圧不点事故時の事故区間判定が可能である。

(2) ループ切換判定

連係用開閉器両端の電圧差・位相角を測定することができ, 系統切換時の系統ループ可否判定が可能である。

(3) 負荷分布把握の精度向上

配電線の各ポイントでの通過電流を測定することができ, 配電系統の区間ごと負荷分布状態の正確な把握により, 負荷融通計算の精度向上が可能である。

4 配電線自動運用システムにおける情報伝送

配電線自動運用システムでの監視・制御対象設備は膨大な数になり, それに伴う取り扱い情報量も膨大となるため, システムを構成する諸装置が適正に機能分担することによって効率よく情報処理することが肝要である。情報の種類と各装置の処理対象情報の一覧表を表2に示す。情報通信のメディアとして通信線を用いた伝送制御方式について以下に述べる。

4.1 通信線搬送モデルの構成

通信線搬送方式のモデルの構成を図5に示す。通信線搬送

表2 通信線方式における情報の種類と情報の用途 通常時は営業所親局以下の装置で情報の収集を行い, 状態(状態変化)が発生したときだけ計算機にそのデータを出力し, 計算機の負荷を軽減している。

No.	情報名	伝送ルート				用途
		計算機	営業所親局	変電所子局	開閉器子局	
1	開閉器子局アドレス指定	○	○	○		変電所子局ごとに接続されている開閉器子局の範囲をダウンロードする。
2	常時ポーリング			○	○	No.1の指定に基づき, 開閉器子局を順次ポーリングし情報を収集する。
3	選択ポーリング	○	○	○	○	計算機が緊急に特定開閉器の情報を得たいときに, 常時ポーリングに割り込んで伝送する。
4	ポーリング応答	○	○	○	○	No.2およびNo.3の応答として開閉器子局から連絡する。
5	子局異常	○	○	○		変電所子局から開閉器子局へのポーリングが, 規定回数以上失敗したとき連絡する。
6	制御指令	○	○	○	○	開閉器に対する制御内容を指示し, その応動結果を連絡する。 常時ポーリングに割り込んで伝送する。
7	制御応答	○	○	○	○	
8	変電所情報	○	○	○		変電所の運転情報(電圧, 電流, 遮断器状態ほか)を連絡する。
9	全データ転送要求	○	○			営業所親局から, 全情報の記憶内容を計算機に転送する。
10	全データ転送	○	○			

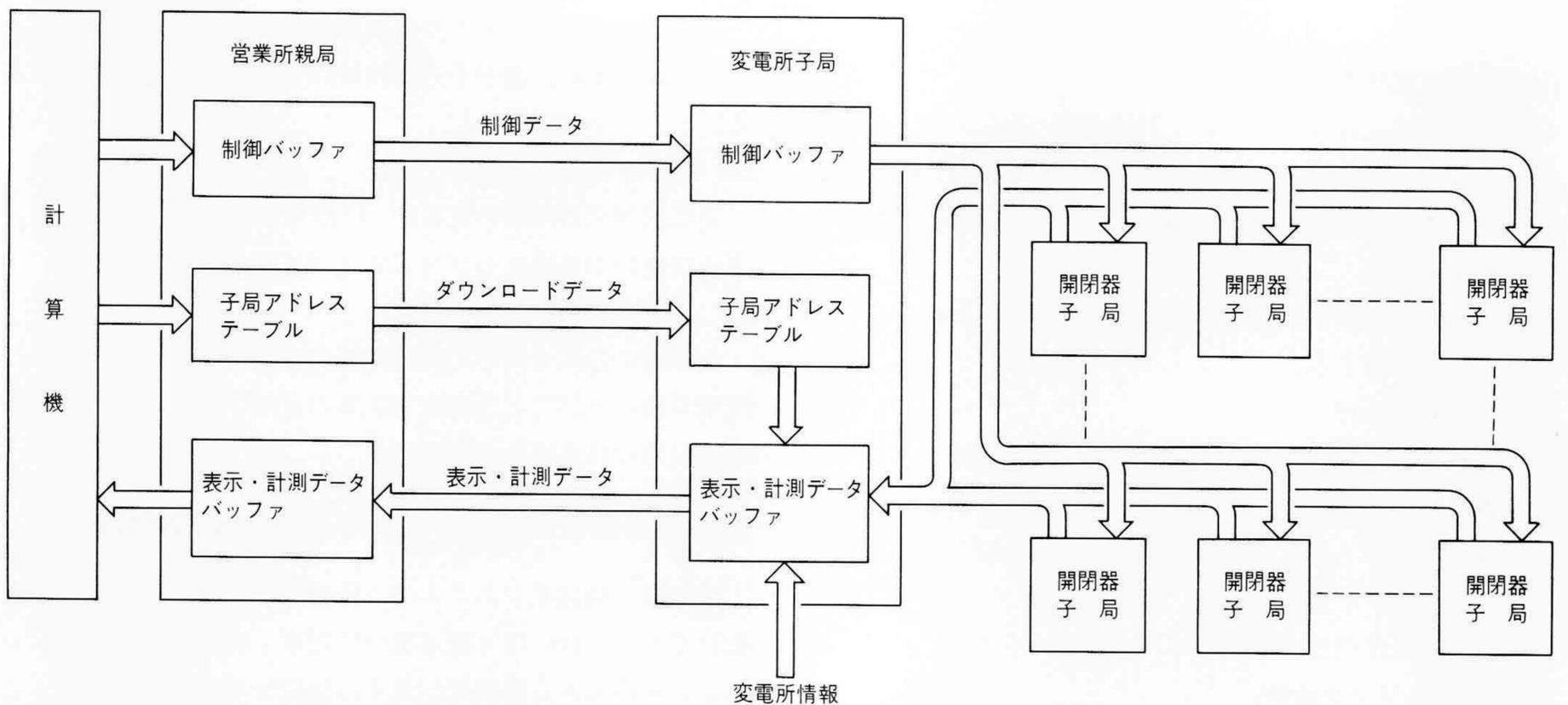


図5 通信線搬送方式での伝送構成 通信線搬送方式での情報伝送ルート概念を示す。

表3 通信線搬送方式での伝送仕様 営業所親局と変電所子局間は(1:1)×N, 変電所子局と開閉器子局間はマルチドロップ構成と、子局の配置に適した伝送路の形態をとっている。

項目		営業所親局と変電所子局間	変電所子局と開閉器子局間
伝送路	形態	(1:1)×N, 上り・下り各1対/変電所	マルチドロップ構成
	種類	ペアケーブル, 各種搬送回線	ペアケーブル, 同軸ケーブル
変調方式		FSK(周波数偏移変調)	FSK(周波数偏移変調)
伝送速度		1,200 bps	1,200 bps
伝送手順	方式	サイクリック	ポーリング
	同期	フレーム同期	調歩同期, フレーム同期
	検定	パリティ, 反転連送	パリティ, 反転連送
特徴		<ul style="list-style-type: none"> ●サイクリック伝送を配電向きへ改良し適用 ●状態優先割込伝送機能付き 	<ul style="list-style-type: none"> ●ペアケーブル, 同軸ケーブルのいずれでも伝送手順は統一 ●状態優先割込伝送機能付き

注:略語説明 FSK(Frequency Shift Keying)

での伝送路構築上の留意点として、

- (1) 一営業所が管轄する開閉器は数千台に及び、これに伴うオンラインリアルタイム情報も膨大なものとなる。情報伝送を効率よく行うため一変電所単位に変電所子局を設置し、平常時での開閉器子局のデータ収集を本装置の役割分担とした。
- (2) 面的に広がる開閉器の情報を収集するため、伝送路は配電線に沿ったマルチドロップ構成とした。
- (3) 伝送路は将来の高度情報社会における多様なサービス提供など、配電総合自動化へ発展させることを考慮し、多目的利用が可能な同軸ケーブルおよびペアケーブルを選定した。

4.2 営業所と変電所間の情報伝送

通信線搬送方式での伝送仕様を表3に示す。

一変電所に接続される開閉器子局は数百局にも達し、また配電系統変更に伴う局数変更の頻度も高い。したがって、営業所親局と変電所子局間の情報伝送は、多量かつ変動する情報を効率よく伝送できる方式とすることが要求される。このため、従来のサイクリック方式に以下の機能を追加して対応した。

(1) ダウンロード機能

開閉器子局数の変更に対しては、伝送すべき開閉器情報の範囲を示す開閉器子局アドレステーブルのダウンロード機能

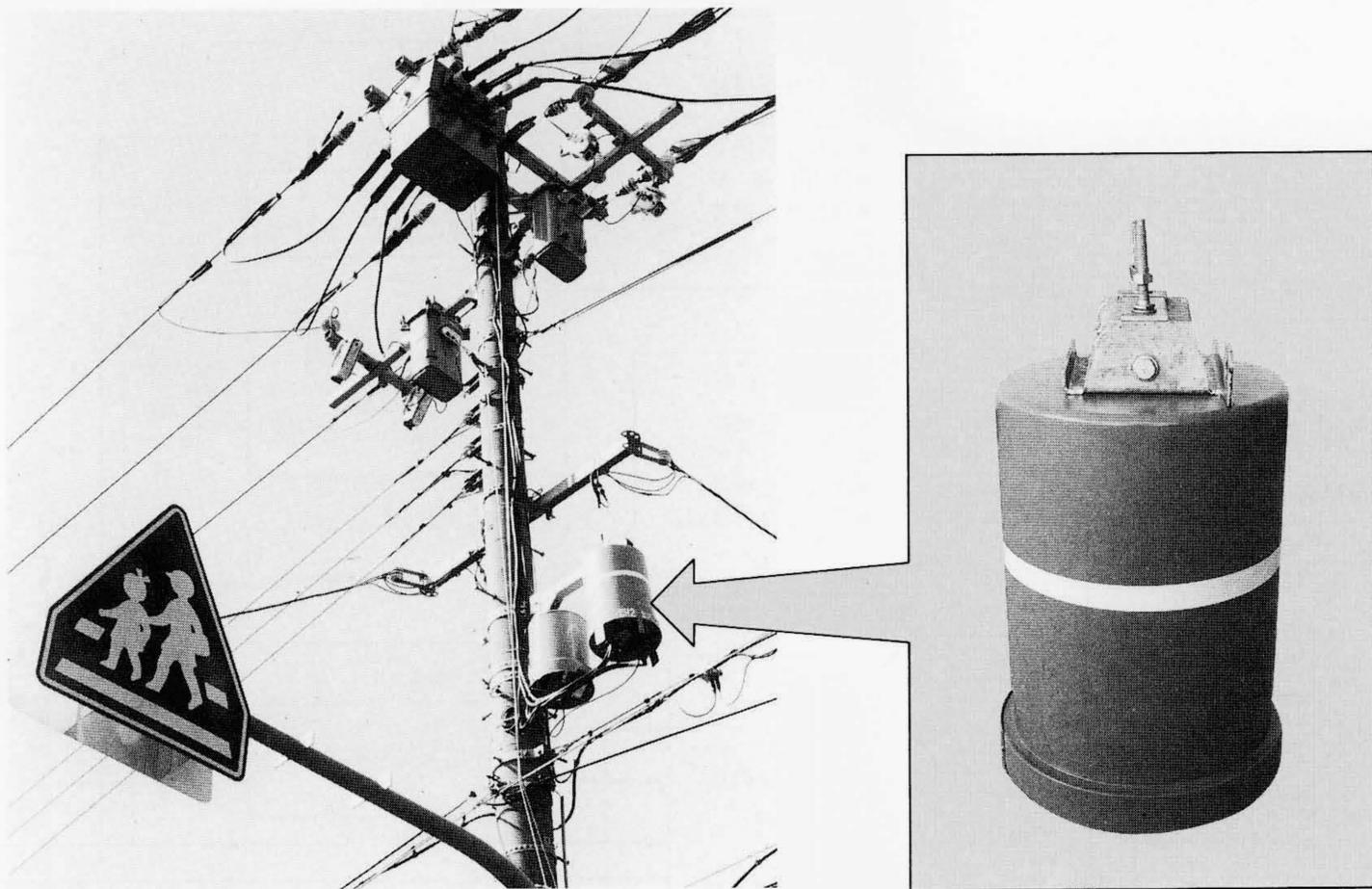


図6 開閉器子局の外観 円筒状で密閉構造としている。

を設けた。これによって、配電システムの構成変更時にも変電所子局の改造なしに情報伝送範囲を変更できる。

(2) 状態変化データの優先割込伝送機能

変電所子局から営業所親局へ伝送する情報量は膨大であるので、データ更新周期は1,200 bpsの伝送速度を適用しても数十秒程度と長くなる。変電所子局が状態変化(以下、状変と略す。)を検出したときは、営業所親局で状変発生認識が遅れないように、その状変データを営業所親局へ優先割込伝送させた。

4.3 変電所と開閉器子局間の情報伝送

(1) 情報伝送方式の統一

通信線の種類(ペアケーブル、同軸ケーブル)によって、計算機の処理あるいはテレコンの構成(モデム以外の構成)が変わらないように、情報伝送方式は通信線の種類にかかわらず同一とした。

(2) ポーリング方式

変電所子局は通常時にはパーティラインごとに開閉器子局を順次ポーリングして、開閉器情報を収集している(常時ポーリング)。営業所が特定の開閉器子局のデータ呼び出しを要求したときは、常時ポーリングを中断して、その子局へのポーリングを実施する(選択ポーリング)。なお、営業所が特定の子局への選択制御を要求したときも同様に常時ポーリングの中断を行う。

5 開閉器子局

開閉器子局の外観および装柱状態を図6に、主な仕様を表4

表4 開閉器子局の仕様 屋外電柱上に設置されるため、厳しい環境条件が要求される。

No.	項目	内容
1	環境条件	(1) 周囲温度：-10℃～+40℃ (2) 気密：20,000 Pa(気圧差)30分 (3) インパルス：通信線部 60 kV, 2 kA 電源部 7 kV, 2 kA (4) 耐振動：機械的 16.7 Hz, 振幅4 mm 電氣的 16.7 Hz, 振幅0.2 mm
2	電源種別	(1) 電圧：AC100 V +10%, -15% (2) 周波数：50/60 Hz ±1 Hz
3	装置容量	(1) 制御：開閉 2点 (開閉器投入・開放) (子局モード設定 3点) (常閉1, 常閉2, 常開) (2) 監視：開閉 16点 (開閉器投入・開放など 5点) (将来用 11点) (3) 計測：4量(ただし、将来)

注：1 Pa ≒ 1 × 10⁻⁵ kgf/cm²

に示す。

開閉器子局の特徴について以下に述べる。

(1) 耐環境性

開閉器子局は設置される環境が屋外の電柱上であるため、

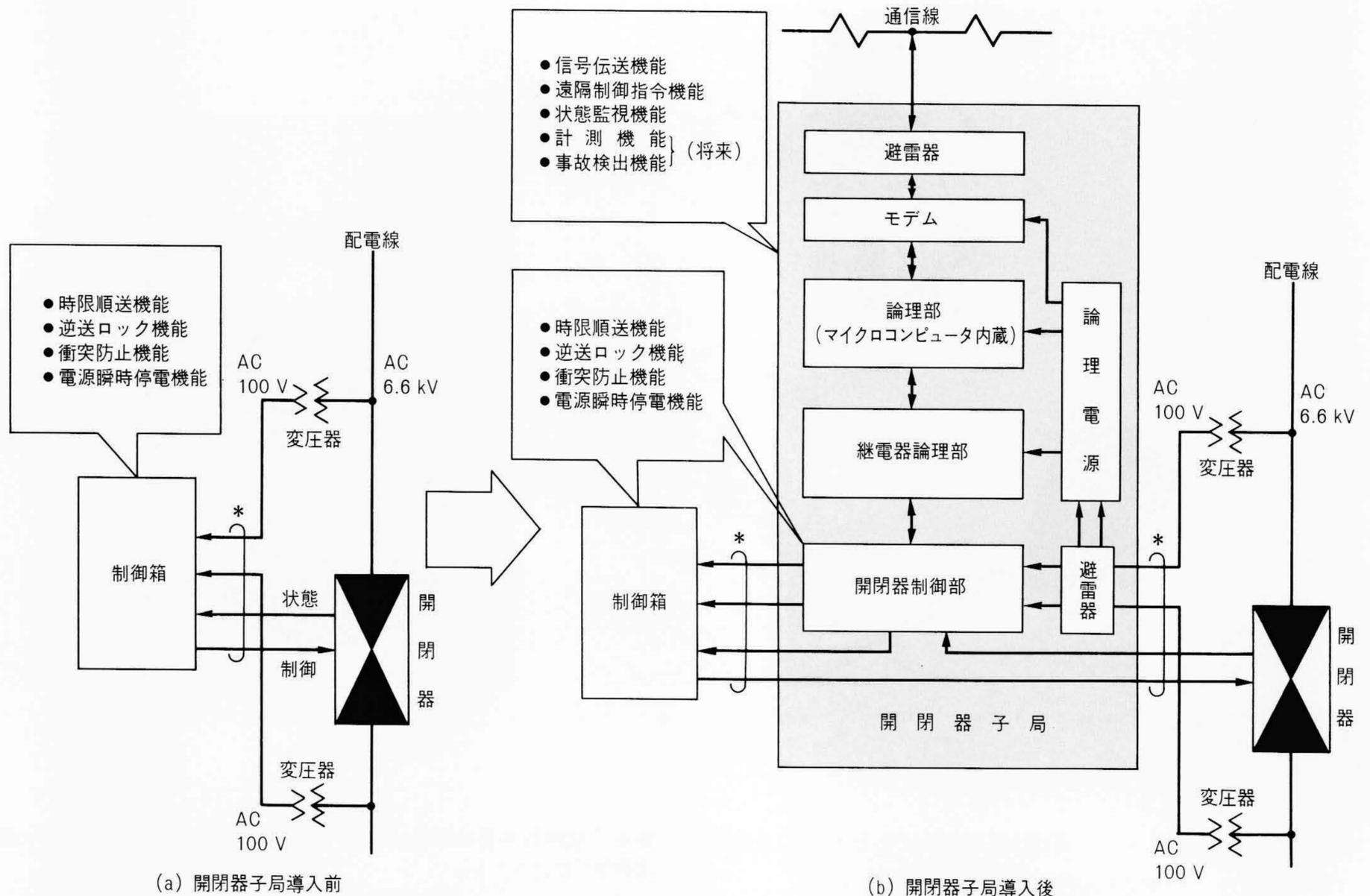


図7 柱上装置の機器構成図 既設開閉器と制御箱の改造を不要とするため、*印のインターフェース仕様を統一した。

特に耐環境性が要求され、以下の対応を行った。

- (a) 開閉器子局外部の湿気、有害ガスから内部の部品を保護するため、筐(きょう)体内外の気圧差が20 kPaまで気密が保てる構造とした。
- (b) 雷サージインパルスの影響を直接受ける可能性が高いので、通信線接続部および電源入力部にサージ耐量の大きい小形避雷器を使用し内部回路を保護した。

(2) 開閉器子局装柱工事

開閉器子局導入前と導入後での柱上装置の機器構成を図7に示す。

開閉器子局の装柱工事は極力簡単にできることを目標とした。このため、同図に示すように開閉器子局は既設の開閉器と制御箱間に割り込む構成とし、既設装置の改造を皆無にする方式とした。

また、論理回路は低消費電力タイプの集積回路で構成し、低発熱として小形・軽量化を図り、この点でも装柱工事の容易化を考慮した。

(3) フォールバック運転

開閉器子局内部の論理回路が異常となったり、あるいは営業所との通信機能が途絶しても、開閉器の開閉状態は異常発生前の状態を保持し、さらに制御箱の持っている時限順送機能を生かすフォールバック運転を行い、システムの高信頼化

を図っている。

6 結 言

関西電力株式会社では配電系統運用の自動化の一環として、柱上開閉器の遠隔監視制御を積極的に進めている。本論文では、配電線自動運用システムを事例によって紹介した。本システムは昭和62年12月から実証試験に入っているが、順調に稼動中で所期の目標である電力供給信頼度向上を実現することができた。

終わりに、本システム開発に当たり、ご指導をいただいた関係各位に対して、心からお礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 松本：配電総合自動化システムとその伝送路の多目的利用，電気・情報関連学会論文集No.1, 3・3-1(昭63-10)