

配電技術の現状と動向

Recent Trends of Technology of Power Distribution Systems

近年、都市機能の高度化・多様化、エレクトロニクス機器の普及を伴う高度情報化の進展によって、供給信頼度のいっそうの向上とともに、情報処理、伝送技術を含めた配電系統自動化技術が脚光を浴びてきている。

日立製作所では、電力系統技術の豊富な経験、蓄積した技術をベースに、配電系統の自動化システムの機器・機能の開発、さらには配電系統機器システムの改良・開発に近年積極的に取り組んでいる。

本稿では、近年の配電技術を取り巻く環境とそのビジョンに触れ、将来の「配電総合自動化システム」の動向について展望する。さらに、これら環境のニーズに対して、日立製作所が取り組もうとしている内容について概要を紹介する。すなわち、配電技術としてまず配電自動化の動向と技術開発内容の概略を示し、次いで配電系統設備機器およびシステムの動向と開発内容の一端について述べる。

三木義照* *Yoshiteru Miki*
塩永凱夫* *Yoshio Shionaga*
松香茂道** *Shigemichi Matsuka*
逸見恭男*** *Yasuo Hemmi*

1 緒言

近年、情報化の進展、都市機能の高度化・多様化、エレクトロニクス機器の普及などによって、社会の電気に対する依存度がいっそう高まってきている。これに伴いますます膨大化、複雑化する配電系統に対し、供給効率の向上、設備の効率的運用および電力供給信頼度の向上と、対顧客サービスの向上などを目的とした配電自動化が活発に推進されるようになってきた。

また、配電系統は、その設備の形成面からルート、スペースを新たに確保する困難さから、老朽劣化設備の改良、電力供給コスト低減のための効率的な設備運用が重要になっている。

したがって、各種自動化システムの開発・導入の推進が図られる一方で、配電機器設備の改良と、配電系統の保護制御も加えた設備機器システムの開発も新たな課題となってきた。すなわち、従来からの配電情報の運用監視とともに、設備劣化診断、事故予知など配電管理情報や負荷管理情報、広報サービス情報などを加えた情報高度化が要求され、より高度な自動化システムとして配電総合自動化システムの実用化が必要な状況になってきている。

このような背景のもとで、日立製作所が進めている配電自動化システムの開発および配電系統設備機器の技術開発状況の概要について紹介する。特に、配電自動化としての計算機

システムおよび遠隔監視制御システムについては、本特集の別論文で詳説する。また、配電機器設備については、配電変電所の保護システム、配電用変圧器、地中配電設備、ビルなどの受変電設備について後述の論文でその技術動向を個別に紹介する。

2 配電技術を取り巻く環境

2.1 配電系統を取り巻く環境の動向

配電系統は、需要家に対応した電力供給のシステムであるとともに、近年は情報制御の通信媒体路としても、その位置が重要視されている。高度に電子化された社会ニーズから、よりいっそうの供給信頼度を要求されるとともに、拡大する情報化社会に対していっそう重要性が増している。電力を取り巻く環境と同様、エネルギーから情報へと発展する配電系統の環境動向を図1に示す。

2.2 配電総合システムの動向とニーズ

(1) 配電自動化(開閉器制御)の今後の課題

配電自動化は配電系統の自動化を第1期として、ますます高信頼化が要請され、事故設備の正確な把握、停電復旧の迅速化が求められ、適用する監視制御用計算機処理の高速化および遠隔監視制御装置子局の高機能化が求められる。

(2) 配電系統保護制御の今後の課題

* 日立製作所電力事業部 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所国分工場

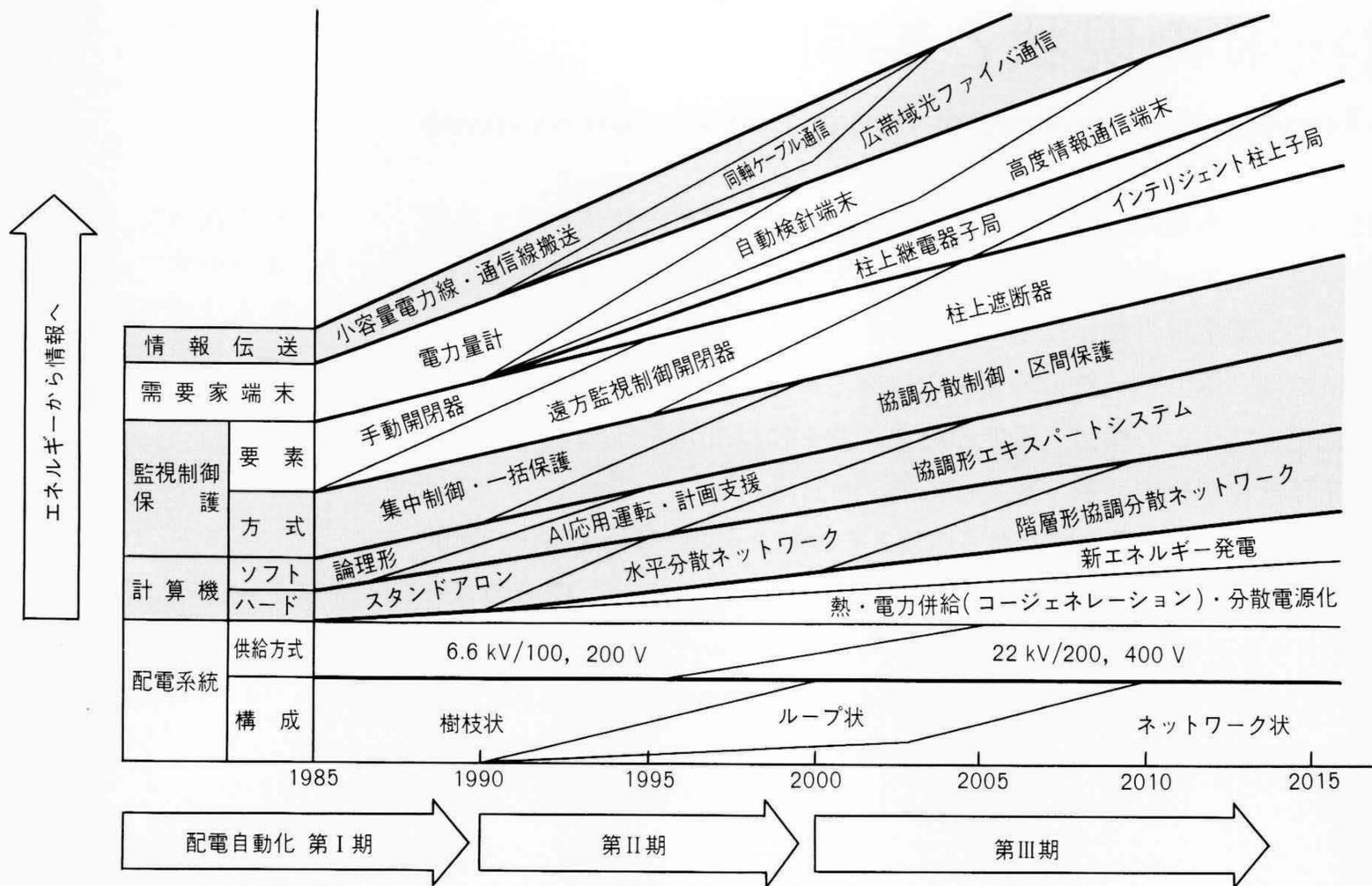


図1 配電系統を取り巻く環境の動向 配電系統の環境が西暦2000年に向け、どのように変遷するかを予測で示したものである。配電自動化に関する計算機、監視制御・保護の動向と、多目的利用を目指す情報伝送と需要家端末の動向予測も合わせて示している。

一方、需要増に伴う配電系統設備の複雑化・多様化に対し、都市部中心に将来は6.6 kV/100, 200 V配電から、22 kV/200, 400 V配電系統が適用されると考えられ、受変電系統のループ状化が進められてこよう。したがって、現状の時限順送方式による一括保護(配電用変電所によるフィーダ単位の復旧操作)から一歩進んで配電系統での分離・分散保護制御が導入検討され、開閉器子局での保護機能装備などのインテリジェント化が検討の課題となってくる。

(3) 多目的通信路利用技術の動向

通信事業の自由化を契機として、特に都市部中心に、より密接に顧客への情報サービスを含めた多目的伝送路を配電系統網に合わせて構築する検討も要請されてきた。複合情報(データや画像など)伝送路として、同軸・光ケーブル適用の情報伝送ネットワークが、新たな配電系統網の構築と合わせて、今後積極的に推進されてくる動向にある。

特に、配電系統網を現状の樹枝状からループ系統、さらにはネットワーク状に展開していく場合に、配電系統の制御保護システムの将来構想としての一案を図2に示す。

3 配電自動化の動向と技術開発

配電総合自動化システムで現在検討されているシステムは、以下の機能システムに区分される。そのシステム体系を図3に示す。

(1) 配電線線路用開閉器の遠隔監視制御システム

- (2) 負荷集中監視制御システム
- (3) 自動検針システム
- (4) 配電管理情報の自動収集システム

この中で、配電系統の高信頼化、運用管理業務の自動化を目指し、近年実用化ベースで最も多く検討され、計算機制御システムの機能高度化とともに、具体化されている線路用開閉器の監視制御システムの動向を最初に述べる。続いて負荷集中制御、自動検針を含むロードマネジメントシステムや配電管理情報の収集から、さらに顧客サービスシステムまでを含む総合システムに向け検討されている高度情報化指向の伝送システム技術開発の動向について述べる。

3.1 配電系統運用の計算機制御自動化システムとその高度化

従来電力系統では、発電所の集中監視制御システムとして計算機制御自動化システムが広く実用化されてきた。これらの計算機制御のソフト・ハード面のノウハウをベースに置いて、配電系統でも開閉器遠隔監視制御装置と制御用計算機を組み合わせた配電自動化システムを開発してきている。

運用管理を統括する各営業所に開閉器遠隔監視制御装置の親局が設置されるが、配電自動化導入時は親局の計算機も「パーソナルコンピュータ」レベルの導入であった。しかし、運用管理機能の増大、停電復旧の迅速化のニーズに対応するため、その情報処理と運用者の対話機能の高度化が要請され、近年、都市部を中心とした大規模営業所へは「ミニコンピュータ」レベルの導入が図られている。計算機制御システムに

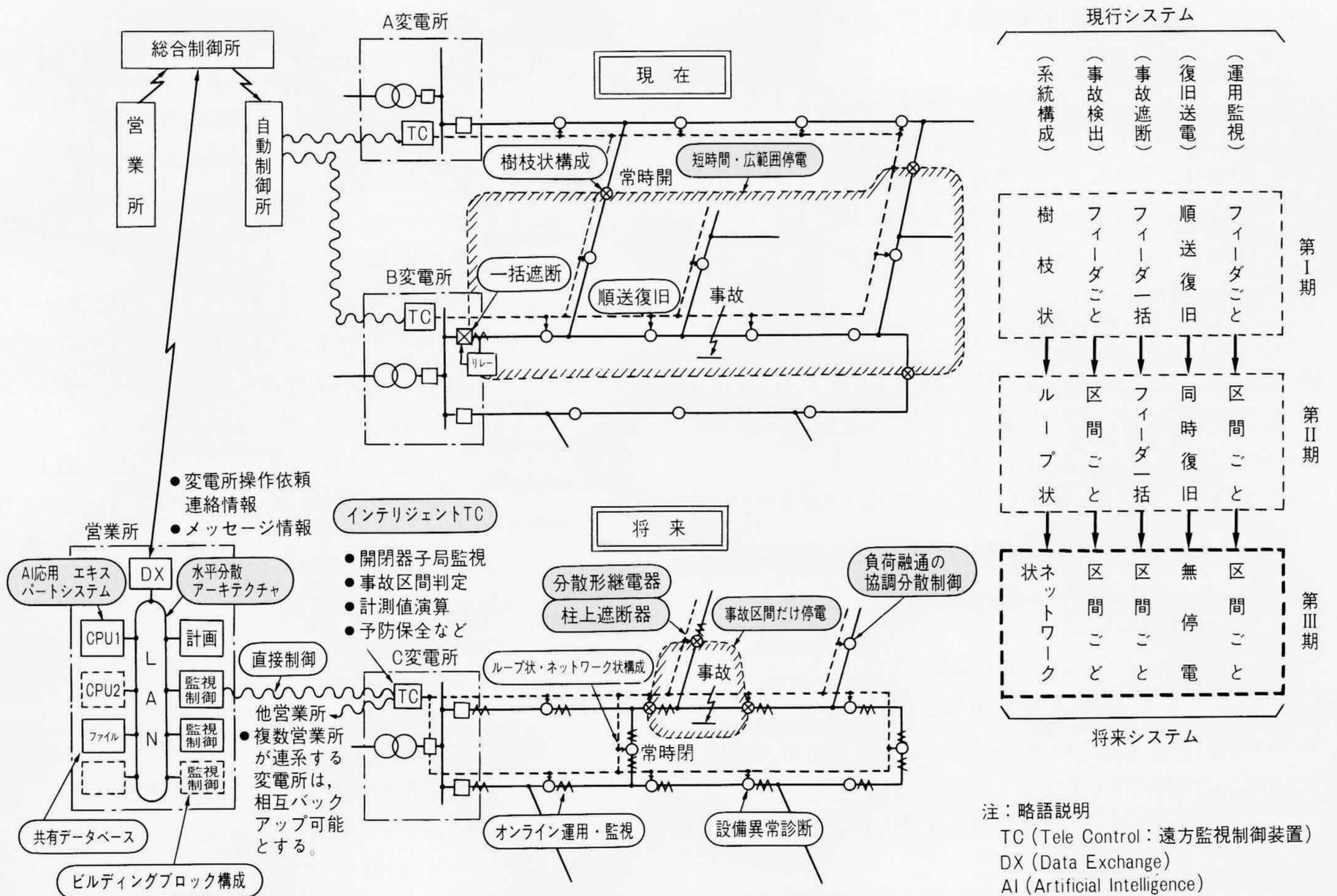


図2 配電系統分散制御保護システムの将来構想 配電系統網の現状の樹枝状構成に対し、将来ループ状からネットワーク構成状になった場合、将来の制御・保護システムの構成を対比して示したものである。営業所のコンピュータはLAN上に水平分散して構成し、一方、変電所ごとに配電線系統を監視・制御するインテリジェント機能を持った垂直分散の構成もとる構想の一例である。

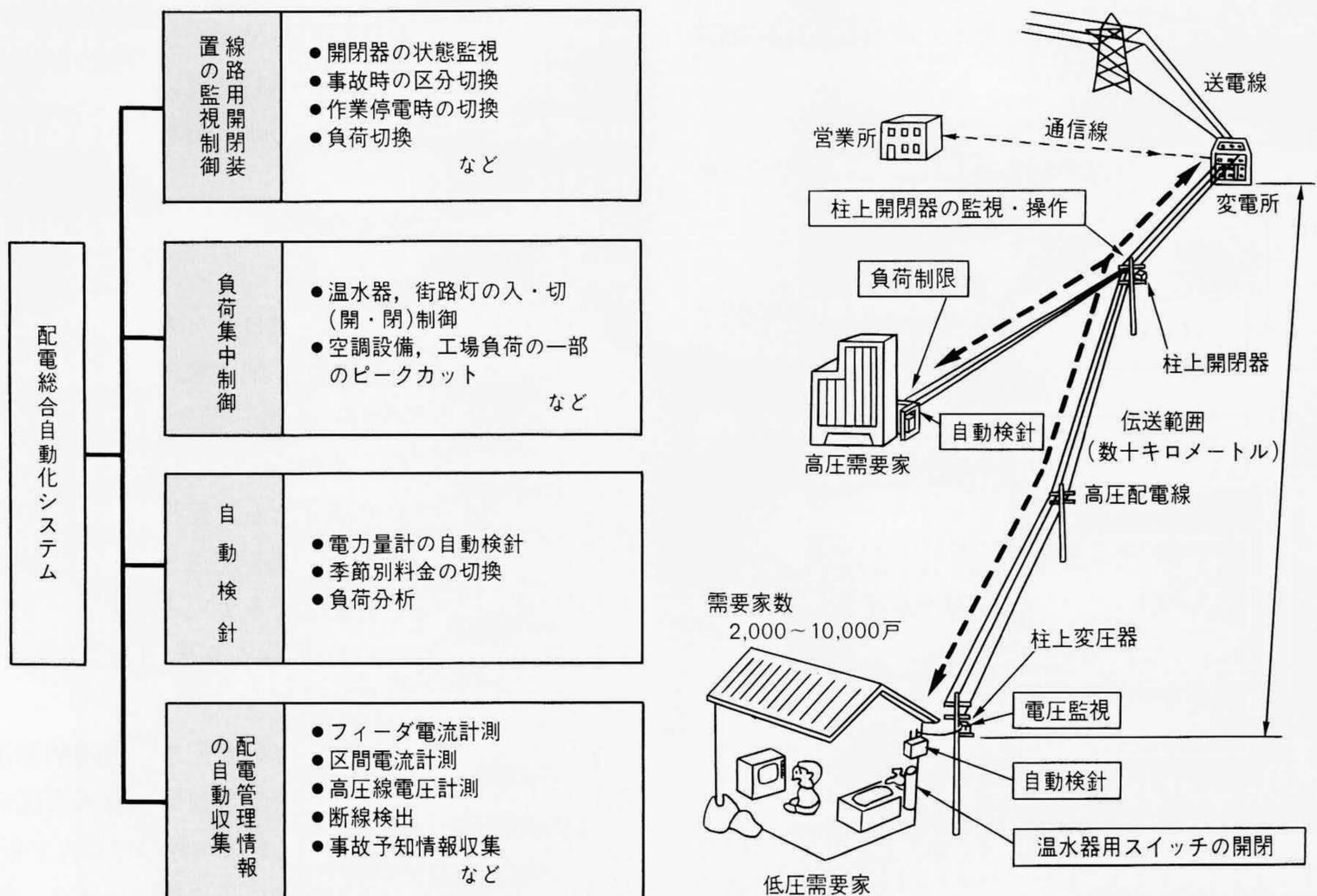


図3 配電自動化のシステム体系 配電総合自動化の機能システム区分とその目的、および信号伝送系の概要図を示す。

については、主として下記項目の開発を行っている。

(1) ディスプレイ技術

配電系統の状況表示のために、街路図および配電線系統図を多層に表示するフルグラフィックCRT適用のディスプレイが必要であり、リアルタイム制御システムとして、表示応答の高速化を図っている。また、頻繁に発生する設備系統変更、街路地図のメンテナンスに対しても、運用者で実施可能な保守機能の付加が不可欠である。

配電系統状況の視認性向上のため、大画面ディスプレイ技術の適用も要請され、これらの導入も推進される状況にある。

大画面表示方式を図4に分類して示す。現在は、次の二方式の表示装置が配電系統表示に適用可能である。

- (a) CRT投射方式……CRT画面を光学的にスクリーンに投射する方式。
- (b) 液晶投影方式……液晶の画面をスクリーンに投射する方式で光源は別に準備する。

いずれもフルグラフィックCRTに表示する配電系統図(街路図対応)や運用状況データなどの情報を拡大表示する機能を持つ。現在は操作卓配置のCRTと同一機能で拡大投射されるCRT投射方式が適用されてきているが、液晶投影方式も解像度の細かさで優れ、動画対応仕様が実用化されれば、適用されていくと考えられる。

(2) 配電系統の負荷融通計算などの論理処理開発

配電線区間事故時(または作業時)の停電に対し、負荷側健全区間を融通するのに、開閉器の入切パターンを適切に求める負荷融通計算が配電系統操作支援機能として重要である。これに各区間ごとの電圧降下計算も加え、計算機処理の高速

化について継続開発している。

(3) 配電自動化システムへのAI適用とシミュレータ機能

配電系統運用の経験・知識を計算機処理に置き換えるため、近年、種々の分野で導入が図られている知識工学適用のシステム開発を進めている。適用機能は、最適負荷融通システムとして、配電系統の状況に応じた柔軟性のある負荷融通形態の決定をテーマとして開発している。

また、シミュレータ機能は、配電系統事故時の模擬ケースによって、計算機上で融通計算処理を実行し、模擬操作処理を実施する機能であり、運転操作卓に加え、同一機能のメンテナンス卓を用いて模擬実行を行うものである。

3.2 遠隔監視制御装置および柱上開閉器子局の機能向上

遠隔監視制御装置の通信伝送方式として、(1)通信線搬送方式、(2)配電線搬送方式の2種類の遠隔監視制御装置があり、日立製作所ではいずれの方式でも対応してきている。特に配電線搬送方式は、日立製作所で技術開発を行った零相キャリア伝送方式を採用し、すでに実用化している^{1),2)}。

(1) 通信線搬送方式の遠隔監視制御装置および柱上子局の機能向上

伝送路として樹枝状マルチドロップ回線の適用に合わせ、伝送方式もマルチドロップポーリング方式を採る。伝送媒体としてペアケーブル、同軸ケーブルが実用化済みで³⁾、今後はマルチメディア回線として同軸ケーブルと合わせ光ケーブルを加え検討を進めている。

柱上子局については、開閉器情報ほか状態変化割込機能や計測値伝送(位相、電圧、ほか)の機能付加が実用評価中で、今後保護制御情報を付加する検討が進められる状況にある。

一方、都市街路の美観も重視され、装柱美観、工事の容易性の面から、いっそうの小形化、形状美化も合わせて検討されている。

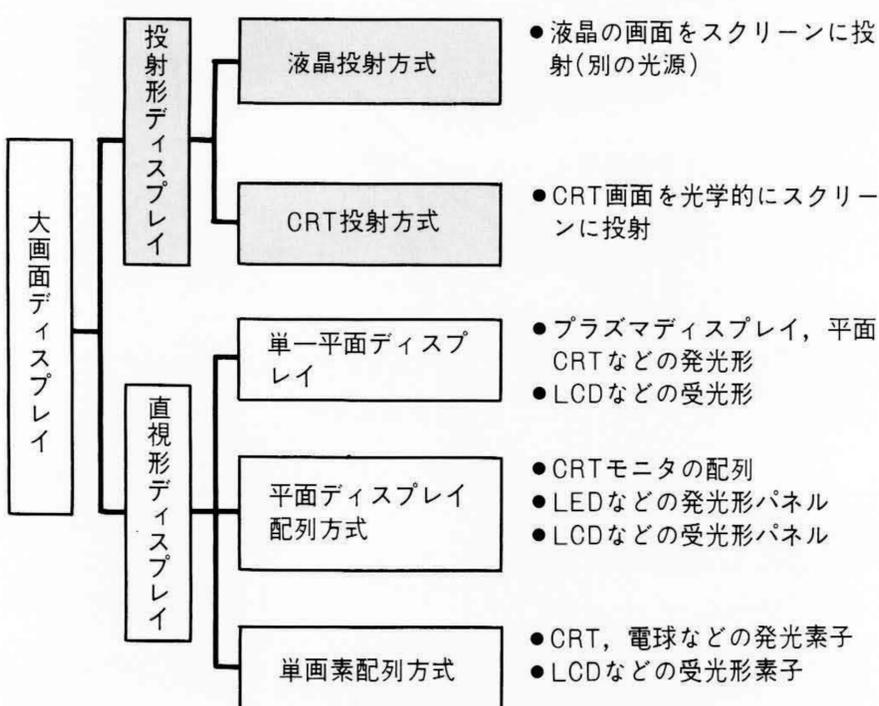
(2) 配電線搬送方式の遠隔監視制御装置および柱上子局の機能向上

配電線路での零相回路に着目した大地帰路方式である零相キャリア伝送方式は、従来、配電線の地絡事故検出にだけ用いられていた零相回路を、信号の伝送路として利用している。また、自動検針機能、系統地絡などの異常探査システムとして子局機能の拡張が容易である。監視制御機能の向上策として、常開点の高速切換え機能や逆送・融通制御を実施し、系統切換えの効率向上を図ってきている。

3.3 高度情報化に向けた伝送システム技術開発

(1) 通信方式の概要比較

開閉器の監視制御を主体とした配電線監視制御系では、前述した通信線搬送方式および配電線搬送方式に区分された遠隔監視制御装置に用いる通信方式が従来採られてきた⁴⁾。情報伝送内容も、これら監視制御信号の伝送に加え、管理収集情報の伝送や画像伝送系も加えられてくる動向から、近年、多



注：略語説明 LED (発光ダイオード), LCD (液晶ダイオード)

図4 大画面ディスプレイ装置の種類 大画面表示方式の分類を示す。配電系統表示に適用可能な方式は、この中で投射形ディスプレイ方式が実用化されており、日立製作所では液晶投影方式、CRT投射方式の二つの方式を実用化し推奨している。

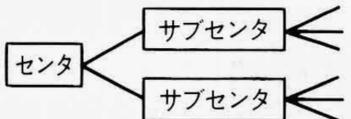
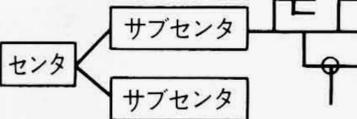
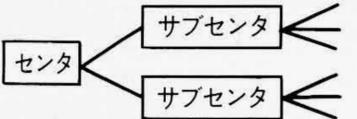
様化する需要家対応の通信伝送は、双方向でしかも多重伝送が求められてきている。そこで専用通信路として、同軸ケーブル・光ファイバケーブルによる通信方式の検討が積極的に検討されている状況にある。これら伝送系の伝送媒体の得失

比較を表1に示す。

(2) 伝送系での回線共同・分離の考え方

開閉器の監視制御を主体とした配電線監視制御系と、ロードマネジメント、自動検針などを主体とした需要家監視制御

表1 伝送媒体の得失比較 配電総合自動化システムの情報伝送路に適用される伝送媒体の得失比較を示す。各項目で相対比較を行い、○は良、△は普通、×は劣るに区分してみたもので、総合的には光ファイバケーブルが優れているが、現状の適用性の面からは同軸ケーブルが適切である。

項目	光ファイバケーブル		同軸ケーブル		ペア線		備考
	～数ギガヘルツ (広帯域)	○	～数百メガヘルツ (やや広帯域)	○	0.3～数メガヘルツ (中狭帯域)	△	
周波数帯域 (相対比較)	～数ギガヘルツ (広帯域)	○	～数百メガヘルツ (やや広帯域)	○	0.3～数メガヘルツ (中狭帯域)	△	帯域が広いほど多量の情報伝送が可
伝送速度	100 Mbps～4 Gbps (高速)	○	2 Mbps～400 Mbps (やや高速)	○	～1.5 Mbps (中低速)	△	——
伝送損失	0.2～1 dB/km	○	20～40 dB/km	△	10～50 dB/km	△	伝送損失が小さいほど長距離伝送が可
伝送品質	電氣的誘導障害小	○	誘導雷の影響あり	△	誘導雷の影響および漏話あり	△	——
100 km程度無中継距離 (最高伝送速度時)	ベースバンド：2.5 km以下 分岐ロス大、分岐が不自由	○	ベースバンド：2.5 km RF：数百メートル以下 中継間隔が短い、分岐分配が容易である。	△	数キロメートル程度 分岐が比較的容易である。	△	——
信頼性	耐雑音性良好 端末に対し、伝送路を専有するため伝送路の影響範囲が狭い。	○	耐雑音性劣る。 端末に対し、伝送路を共有することになり影響範囲が大きい。	△	耐雑音性劣る。 スター形の場合は、光と同じ(ただし、バス形では同軸と同じ)。	△	——
保守性	伝送路は中継、増幅が不要のため保守が簡単である。	○	伝送路は、増幅器、分岐器が多数となり、かつ電源供給の問題があり、保守が問題である。	×	伝送路は、原則的には中継不要のため保守が容易である。	○	ただし、いずれの媒体でもセンタ、サブセンタは保守点検を要する。
中継の容易性	同一媒体の場合 光-光の場合サブセンタの構成が大(加入者5,000で20 m×20 m)		問題なし		多チャンネル動画伝送が困難		——
	異種媒体の場合 中継方式により装柱が困難		同左		——		——
その他	●ケーブルが細く、軽量のため工事が楽である。 ●今後の価格の低下、光デバイスなどの進歩が期待できる。 ●将来無停電切替操作時の高速伝送媒体として期待できる。		経済性に優れ、CATVの主流である。		——		——
伝送情報		○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○		○ ○ ○ △		(ペア線の場合帯域が狭いことから、伝送チャンネル数および距離の制限があり、一般的には動画伝送に適さない。)
伝送方式	スター形(またはループ形)に適する。 		トリー形に適する。 		スター形に適する(またはバス形)。 		——
伝送システムの適用性	I II III	○ △ ×	△ ○ △		× × △		ケースI(大容量長距離伝送の場合) ケースII(大容量近距離伝送の場合) ケースIII(小容量近距離伝送の場合)
適用範囲	都市部 長距離幹線、サブ幹線		都市部(過密) 中距離幹線、サブ幹線 分岐線		都市部(過密) 分岐線		——

注：記号説明 ○(良), △(普通), ×(劣る), 略語説明 CATV (Cable Television), RF (Radio Frequency)

系は、扱う情報の性質が異なることによって、それぞれの伝送系では、次のように回線の共同・分離を考えて進めている。

- (a) 同軸ケーブル……配電線監視制御系と、需要家監視制御系(画像伝送系を含む。)とは、周波数チャンネルで分離し、ケーブル、アンプは共用する方式である。
 - (b) 光ファイバケーブル……配電線監視制御系と、需要家監視制御系(画像伝送系を含む。)とはケーブルで分離する方式である。
- (3) 同軸伝送システム構成

(a) 伝送路構成

配電線監視制御システム、需要家監視制御システムを営業所に設置するとしたシステムの伝送路の構成例を図5に示す。特に、CATVなどで急速に技術開発されてきた高速有線伝送技術は、配電・営業部門で推進されている需要家広報サービス(両方向)網に広く適用されていくと考えている。

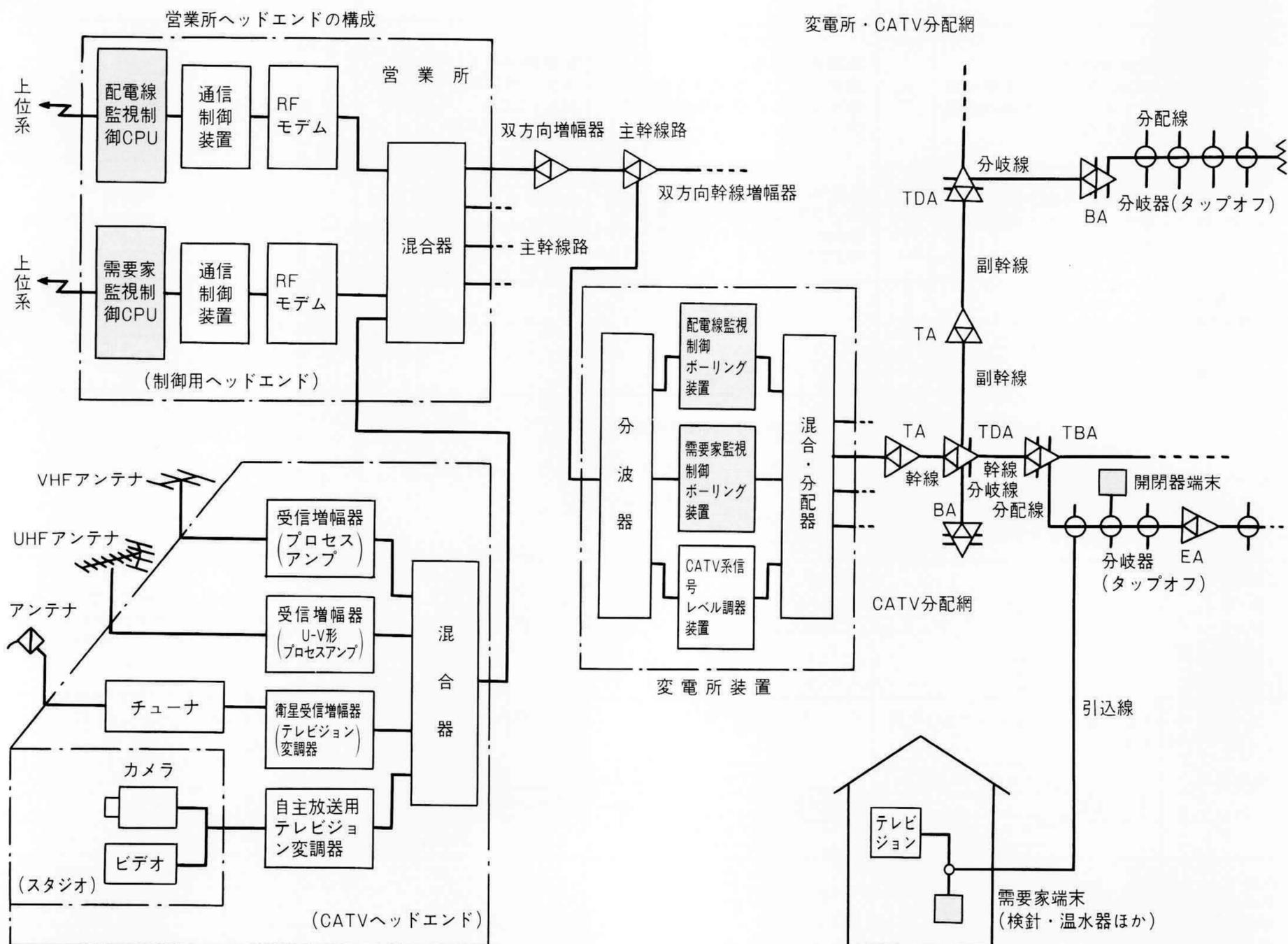
(b) 伝送周波数帯

伝送周波数帯は下り信号70~450 MHz(TV57チャンネル, FM 5波, パイロット1波), 上り信号10~50 MHz(TV54チャンネル, FM 2波, パイロット1波)であり, データチャンネルは下りとして230~250 MHz, 上りとして25~45 MHzとする方向である。伝送周波数帯の分布設計例を図6に示す。

(4) 光伝送システム構成

有線通信路として, ペア線通信線, 同軸ケーブルに加え, 今後, 光ケーブルが検討されるが, 特に電力会社と需要家間の多機能伝送サービスをねらい, CATV情報伝送を含むネットワークを前提に検討されている。しかし,

- (a) 樹枝状形態での光ケーブルの分岐分配でのSN比劣化や費用の問題
- (b) スター状形態としてはCATV信号と需要家監視制御用の信号を多重化して伝送するが, 配電監視制御用信号は別の伝送系とする形で検討しているが, 線網構成と費用の面で今後まだまだ検討課題を多く残している。



注: 略語説明 TA (Trunk Amplifier: 双方向幹線増幅器), TDA (Trunk & Distributed Amplifier: 双方向幹線分配増幅器)
 TBA (Trunk Branch Amplifier: 双方向幹線分岐増幅器), BA (Branch Amplifier: 双方向分岐増幅器)
 EA (Extended Amplifier: 双方向延長増幅器)

図5 同軸システムの伝送路構成例 配電線監視制御および需要家監視制御の計算機を、営業所に設置した伝送路構成事例を示す。ここではCATV(Cable Television)系は、ヘッドエンドを営業所とは別に設置するとして構成を示す。

CATV, 需要家監視制御系および配電線監視制御系の各伝送路をすべて光ファイバケーブルで構成した場合の概念を図7に示す。光ケーブル適用は多機能多目的情報伝送システムの検討と合わせ、配電部門技術開発の大きな課題であり、積極的に技術開発を進めていく考えである。

4 配電機器システムの動向と技術開発

前述した配電自動化は、全電力会社で1989年度、1990年度ごろまでに本格導入される状況にあるが、一方、高度配電自動化、配電系統のいっそうの高信頼度化に向けて、配電系統の制御・保護システムの検討も進めている。配電機器システ

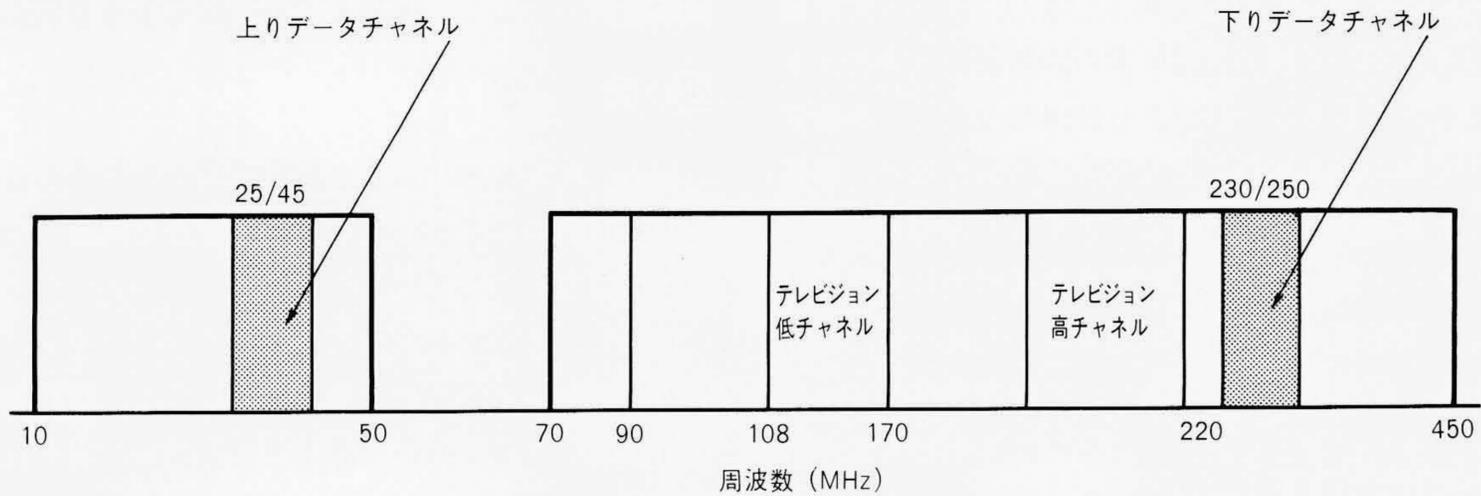


図6 同軸ケーブル伝送方式での伝送周波数帯の分布設計例 伝送周波数帯は下り信号70~450 MHz, 上り信号10~50 MHzのキャパシティを持ち、幹線系温度保償のために使用するパイロットキャリアは通常上り48 MHz, 下り448 MHzを各々使用する。

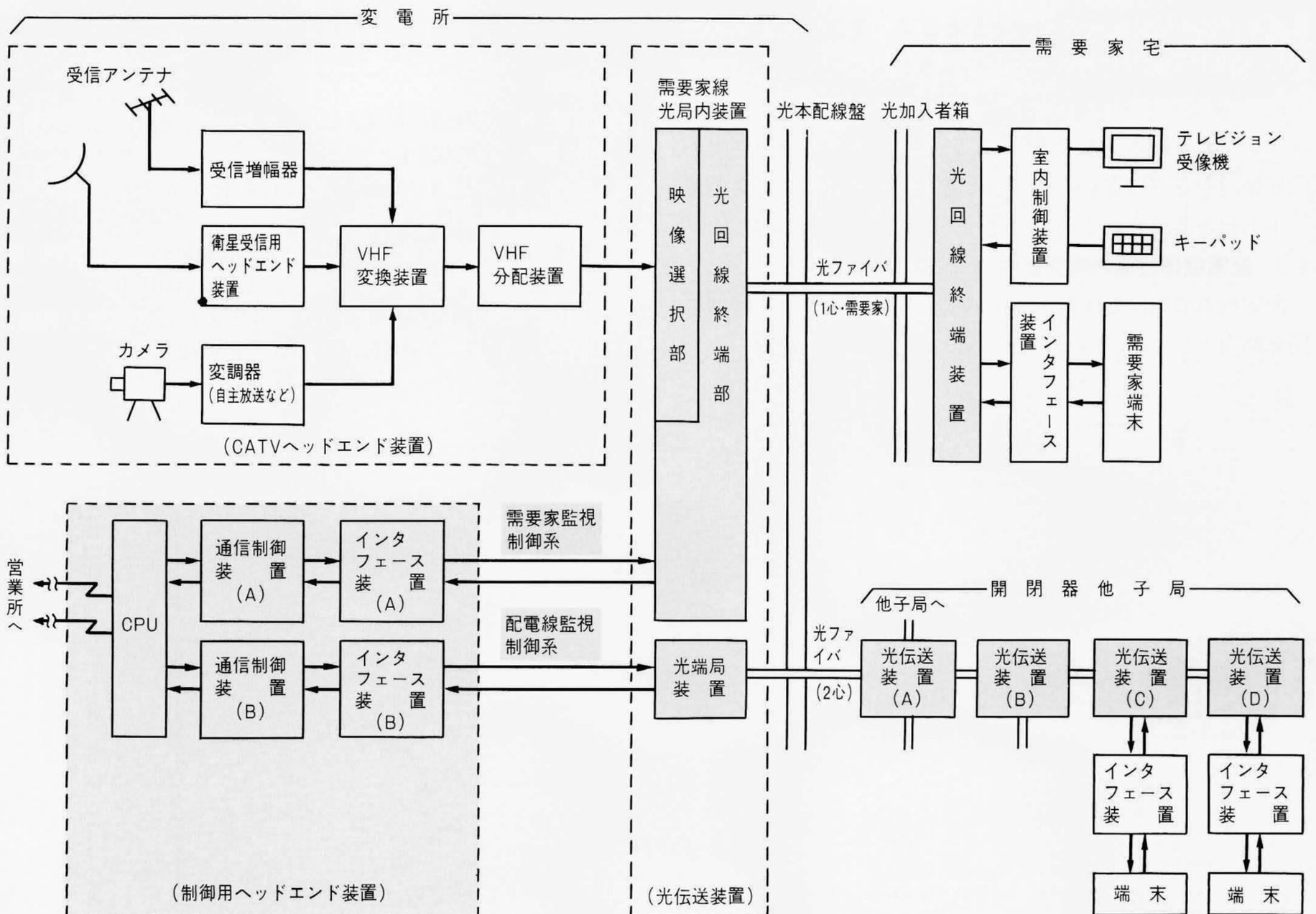


図7 光ケーブル伝送システムの伝送網構成例 電力会社と需要家間の多機能(多目的)情報伝送サービスをねらった伝送網構成例を示す。配電線監視制御系と需要家監視制御および情報サービス系(CATV情報伝送を含む)は、光ファイバを分離する方式で示す。

ムの近代化の動向を含めて述べる。

4.1 配電系統分散制御・保護方式の開発動向

現状では配電線の事故発生時は、配電用変電所出口の遮断器をいったん切り(地絡・短絡保護継電器使用)、その事故区間把握のために、変電所側の開閉器から順次投入し、事故点に最も近い開閉器が入ったとき再停電し、その後事故区間を除く区間を再度順次投入復旧している(時限順送機能付き開閉器によって実施)。親局に計算機導入の場合、事故区間把握後、計算機処理によって復旧可能区間の開閉器の遠隔投入を実施しているケースもある。配電系分散保護方式は、事故区間検出を、配電線のある区間ごとに保護継電器を設け、時限順送方式による停電時間を短縮しようとするものである。これと合わせ、その区間ごとには、配電用変電所出口の遮断器と同機能とし、開閉器に事故電流の遮断能力を持たせ、実現するものである。配電系統は、将来ループ配電方式やメッシュ形配電方式に進むと考えられ、これらの保護制御方式の開発が種々の方式で検討される動向にある。

4.2 配電線の高圧化対応と受変電システム

現在は大半の配電系統は、低圧配電線200/100 V、高圧配電線は6.6 kV系が主である。都市部密集地区では高圧配電系統で33 kV化、あるいは22 kV化が進められるとみられる。これは近年の200 V配電系の足がかりとして、高圧・低圧系の22 kV・33 kV/400 Vに対応して進められるであろう。大口需要家向けの受電設備および高圧・低圧分配の変電設備については、レギュラーネットワークから、スポットネットワークの開発検討がさらに進められ、特に省スペースの観点から装置の小形化が要求されている。

4.3 配電機器設備の開発動向

配電機器設備は変圧器・開閉器に代表されるが、変圧器の開発動向としては、

(1) 柱上変圧器は、市街地の防災対策、配電信頼度向上を目的として、「コンパクト柱上変圧器」を開発している。これは耐雷素子や保護ヒューズを内蔵して事故防止を図り、信頼度を確保するとともに、市街地の美観に対応のため、変圧器形状を細径化したものである。

(2) 受変電設備用としては、安全性・信頼性の向上と小形・軽量化を目的としたF種モールド変圧器(FRPおよびレジン)の開発を図っており、低損失で低騒音もねらう開発である。

5 結 言

以上、配電自動化および配電機器システムの近年の技術開発の動向について述べたが、それぞれに開発・製品化の動きが盛んになってきている。

しかし、近年の高度情報化を中心とした社会ニーズや供給信頼度のいっそうの向上要求に対しては、配電機器設備や自動化制御システムのいっそうの技術開発が望まれている情勢である。

日立製作所は、総合電機メーカーとしてこれら研究開発について、電力会社との共同研究などを通して指導を受けながら、最先端の要素技術やシステム技術のシーズを適用していきけるように、今後も努力を続けていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 宮原, 外: 配電線利用情報伝送システムの開発, 日立評論, 65, 6, 385~390(昭58-6)
- 2) 金谷: 四国電力に於ける配電自動化システムについて, JATEC(昭62-9)
- 3) 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)
- 4) 山田: 配電自動化システムと信号伝送方式の展望と課題, OHM, No.7, Vol.74, 7, p.25~29(昭62-7)