

第 3 章

3

電力流通の信頼度を  
確保する



### 第3章 電力流通の信頼度を確保する 目次

	情報研究所	上席研究員	藤川	冬樹
	情報研究所	上席研究員	黒野	正裕
情報研究所	通信制御担当（部長）	上席研究員	芹澤	善積
	情報研究所	主任研究員	大塚	彰男
	情報研究所	主任研究員	大谷	哲夫
情報研究所	情報科学担当（部長）	上席研究員	松井	正一

3 - 1	通信ネットワーク技術	21
3 - 2	分散処理・セキュリティ技術	29
3 - 3	電力流通管理技術	33
コラム2	インテリジェント電波測定車「ARM号」	28
コラム3	OPGW 伝搬光の偏波変動と電撃点標定	40

芹澤 善積（12ページに掲載）

松井 正一（12ページに掲載）



藤川 冬樹（1995年入所）

次世代電力通信ネットワークの研究に従事。これまでにATM技術を用いた系統保護システムの提案、MPLS技術を用いた電力通信ネットワークの研究および高信頼化手法の開発を行った。現在は、電力用分散リアルタイムネットワークアーキテクチャの検討および大容量・広域ネットワーク技術の総合的評価手法の研究に取り組んでいる。



黒野 正裕（1984年入所）

入所以来、電気事業における光ファイバ通信、光応用計測技術に関する研究に従事。特に光マルチドロップ伝送やコヒーレント光通信などの研究、光ファイバ伝搬光の偏波変動解析技術や偏波制御技術を開発。現在、電波・光技術を用いたアクセス通信網の研究に取り組んでいる。



大谷 哲夫（1994年入所）

入所以来、通信網運用管理システムの設計構築技術、および運用業務支援に関する研究に従事している。近年は、電力用通信網における通信用ソフトウェアの開発や、需要地系統監視制御システムの開発にも携わっている。



大塚 彰男（電源開発(株)より出向）

無線通信の電波伝搬、地上波デジタルTV放送に対する送電線影響予測に関する研究に従事。

## 3 - 1 通信ネットワーク技術

### 3-1-1 電力用 IP ネットワーク技術

#### 背景・目的

高い信頼性やセキュリティが要求される電力システムの監視制御用通信システムは、従来、アプリケーション毎、会社毎に個別・専用システムとして構築されてきたが、今後は低コスト化も考慮した汎用技術の導入や関連業界のグローバル化も考慮した国際標準への準拠も必要となっている。このため、当所ではインターネットで普及している IP (Internet Protocol) をベースにした電力用統合通信網の構成を検討している。電力用統合 IP ネットワークの構成技術としては、IP ルータ、MPLS (Multi Protocol Label Switch)、広域イーサネット (Ethernet) などがあるが、これらの技術を適用するに当たっては、それぞれ特長を活かした最適な構成とする必要がある。

そこで、IP ルータ、MPLS、広域イーサネットによる構成法について、電力アプリケーションの収容、性能面、網構成・運用面から比較評価を行い、各方式の適用分野を明らかにした。

#### (1) 通信技術の概要と特徴

前述の 3 構成方式のうち、IP ルータ方式は、インターネット技術として広く普及しており、コストも安価である。また、ネットワーク内のトラフィックの優先度を制御する技術も充実しており、VoIP (Voice over IP) 技術による音声伝送も実用化されている。しかしながら、信頼性の面から見ると IP アドレスを用いて動的にルーティングを行うため、通信路を複数確保することは難しい。

MPLS 方式は、IP ルータを高信頼化した技術であり、トラフィックエンジニアリングと呼ばれる技術を用いて複数の通信路を設定することができる。優先制御と組み合わせれば、通信路に対する高い信頼性を保ちつつ、遅延が制御された高品質なネットワークを実現することができるが、機器コストは、IP ルータよりも高くなる。

広域イーサネット方式はスイッチ技術を用いており、高速性を持ち、低コストで構成できる。その反面、優先制御や通信路の設定の柔軟性は、IP ルータや MPLS ル

ータよりも劣る。

#### (2) 構成方式の比較評価

##### a . 性能面からの比較

電力アプリケーションには、さまざまな監視・制御情報があり、品質・信頼性に対する要件も多種多様である。これらのアプリケーションを満足させるため、IP ルータ、MPLS、広域イーサネットの各方式に対し、実際の電力通信網に近い規模のネットワークモデルを用いたシミュレーションから以下の点を明らかにした。

##### (i) 伝送遅延とパケット廃棄

- ・伝送遅延についてはいずれの方式においても電力アプリケーションの遅延要求を満足する。
- ・回線の混雑による遅延増加やパケット廃棄については優先制御を用いれば、3 つの方式のいずれにおいても遅延増加や廃棄を抑制することができる。

##### (ii) 信 頼 性

- ・IP ルータ方式では、OSPF (Open Shortest Path First) を用いてルーティングを行う。OSPF の場合、回線途絶時は、再度ルーティングを行うため、回線復旧まで数十秒を要する。しかしながら、OSPF におけるルーティング範囲を適切に分割することにより、回線途絶時間を数秒程度に抑制できることを示した。
- ・MPLS ルータでは、トラフィックエンジニアリングにより、複数の通信路を前もって設定し、片方の通信路が途絶した場合でも、もう一方に切り替えることにより、通信を継続させることができる。具体的方法としては、監視パケットによる回線切替方法と、SONET (Synchronous Optical Network) と呼ばれる伝送技術を用いた FRR (Fast Re-Route) と呼ばれる方法がある。監視パケットによる方法では、数秒オーダの切替時間となり、FRR ではミリ秒オーダで回線の切替が可能となる。
- ・広域イーサネットでは STP (Spanning Tree Protocol) と呼ばれる方式を用いた場合、回線切替に数十秒を要するが、STP の処理を高速化した手法を用いれば、

表3-1-1 構成・運用面における各方式の比較評価

方式	構築コスト		ルート設定・管理		伝送媒体 自由度	移行性	拡張性 柔軟性	監視 制御
	スター	ループ/メッシュ	スター/ループ	メッシュ				
IPルータ								
MPLS								
広域 イーサネット								

: 優、 : 良、 : 可

数秒程度で切替られる。

以上をまとめると、回線故障時に要する切替時間は、MPLSの場合、数m秒～数秒、広域イーサネット方式では、高速STPを用いることにより数秒である。

一方、IPルータは、経路制御のエリア分割を適切に行えば、切替時間は数秒である。通信途絶を許容しないアプリケーションへは、3つの方式とも2ルート確保で対応する。

**b . 網構成・運用面からの比較**

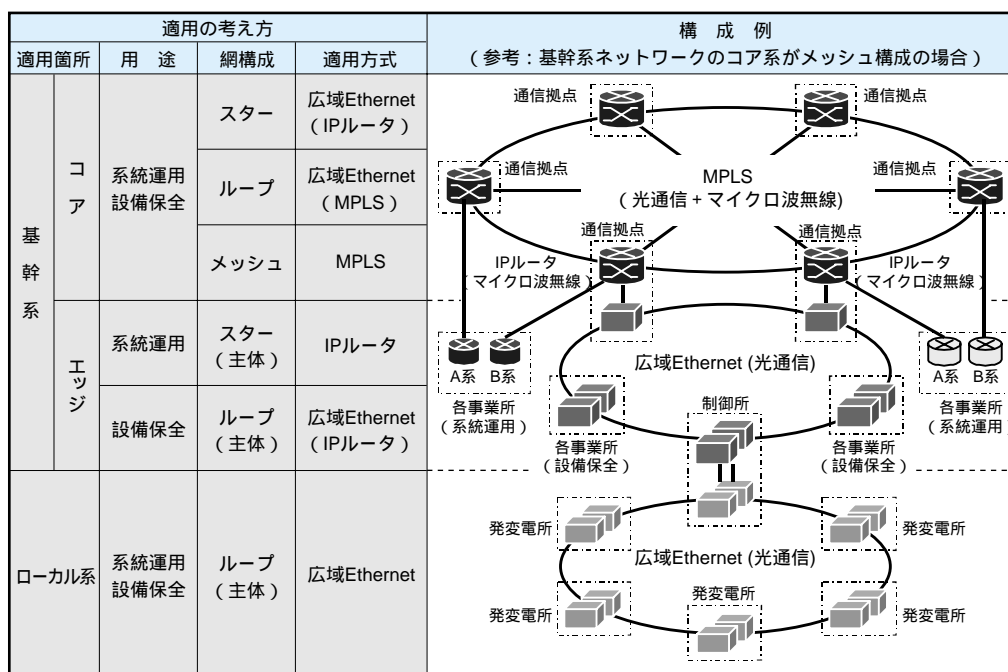
網の構築コスト、ルート設定・管理、伝送媒体の自由度、移行性、拡張性・柔軟性、監視制御性から比較評価を行った結果を表3-1-1に示す。構築コストでは、広域イーサネット方式が優れている。マイクロ波回線の収容を行う場合には伝送媒体に自由度のあるIPルータ方式

やMPLSが優れる。

**(3) 適用の考え方**

以上の検討結果より、IPルータ、MPLS、広域イーサネットのいずれの方式においても電力通信網を構築することは可能であるが、コストを重視する場合は広域イーサネット方式、運用管理の高度化を重視する場合は、IPルータやMPLSの選択となる。表3-1-2に各方式の適用の考え方と構成例を示す。基幹系ネットワークのコアはスター/ループ構成の場合は広域イーサネット方式が、メッシュ構成の場合はMPLS方式が適している。また、基幹系のエッジ部分は、系統運用の場合は主にマイクロ波無線を伝送媒体として使用するため、IPルータ方式が適し、光通信を主体とする設備保全およびローカル系については、広域イーサネット方式が適している。

表3-1-2 各方式の適用の考え方と構成例



高度な品質制御・伝送媒体の使い分け等が必要な場合

### 3-1-2 大容量光ファイバ通信技術

#### 背景・目的

光ファイバ通信は他の伝送媒体と比べて低損失、広帯域といった特長があり、遠方の発電所や本支店間など基幹系通信の大動脈として増加してきた。また光ファイバには電気絶縁、無誘導といった特長もあり、電気所構内など強電磁環境下における通信手段としても重要である。最近ではユーザに直結するアクセス系通信にも適用され、光ファイバ通信は身近なものになってきている。当所では、電気事業における光ファイバの有効利用を目指して研究を進めている。

#### (1) 基幹系光ファイバの長距離大容量化

通信線路の伝送容量は一般に伝送損失（信号の減衰）と分散（波形の歪み）により制限され、伝送距離（m）と伝送速度（bps）の積で表される。光ファイバは低損失かつ低分散であり、極めて伝送容量の大きい伝送媒体であるが、最近の情報化の進展とともに更なる大容量化が必要となってきた。

##### a . 光増幅と分散補償技術

一般の石英光ファイバでは波長分散が波長 $1.31\ \mu\text{m}$ でゼロとなるため、電気事業では $1.3\ \mu\text{m}$ ゼロ分散光ファイバが使われていることが多い。しかし、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯での無中継伝送距離は、数 $10\text{km}$ 程度が限界であり、発電所間や本支店間など長距離になると中継装置が必要となる。このため、光ファイバ伝送損失が最低となる波長 $1.55\ \mu\text{m}$ 光を既存 $1.3\ \mu\text{m}$ ゼロ分散光ファイバへ適用する際の波長分散補償技術として、逆分散ファイバやチャープドファイバグレーティングの特性を解析した。また、EDFA（エルビウム添加ファイバ増幅器）による $1.55\ \mu\text{m}$ 帯中継増幅技術についても研究を行い、光増幅と波長分散補償による長スパン回線設計法を提案した。

##### b . 波長多重伝送技術

EDFAについては、波長多重伝送の高度化に向けて、高密度波長多重（DWDM）伝送時におけるEDFAの波長間の利得競争などの特性を、他機関に先駆けて解明した。また、EDFAの $1.3\ \mu\text{m}$ 光の透過性と $1.3\ \mu\text{m}$ 用半

導体増幅器の $1.55\ \mu\text{m}$ 光透過性とを利用したカスケード接続による $1.3/1.55\ \mu\text{m}$ 帯多重増幅技術を開発した。

##### c . 偏波制御技術

光ファイバ伝搬光を安定な偏波状態に制御できれば光の位相や干渉を利用した高感度光通信、2光波間の非線形相互作用による波長変換、偏波分散補償などへの応用が期待できる。このため、光ファイバに加わる振動や温度変化により、様々に変動する偏波状態を常に一定状態に変換する偏波制御装置を開発した。

本装置は、図3-1-1に示すように、光の偏波状態の高速測定部と、z軸伝搬のニオブ酸リチウム（LN）結晶の4つの側面に電極を蒸着した四電極LN結晶により構成される。装置特性としては、制御速度 $17\ \mu\text{sec}$ 、出力光の消光比 $20\text{dB}$ 、挿入損失 $2.9\text{dB}$ を達成しており、OPGW（光ファイバ複合架空地線）への落雷によって生ずる高速な偏波変動にも対応できる見通しが得られた。

##### d . 将来のフォトニックネットワークに向けて

将来は、更に超高速化に因るため、光/電気変化を介さず光信号のままルーティングや交換を行うフォトニックネットワークが期待されている。そのキー技術である光スイッチング技術は、入出力ポート数が増大すると、切替え素子や導波路の数が急増して極めて複雑になる。当所は簡易な光スイッチの開発に取り組んでいる。その一つとして、安価な波長フィルタ素子である光ファイバ回折格子（FBG：Fiber Bragg Grating）を利用して1素子で4値の切替えができる方法を提案し、その動作を

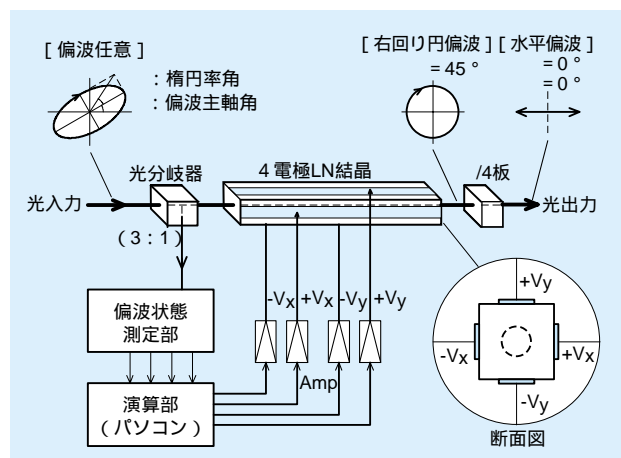


図3-1-1 偏波制御装置

実証した。

更に簡便な方法として、既存の光導波路を用いない光スイッチの実現に取り組んでいる。通常、空間を伝搬する光ビームは回折効果により広がるが、空間光ソリトンと呼ばれる現象を用いると、伝搬する光自身が媒体の屈折率を増加させて導波路を形成し、ビーム径が広がらずに伝搬する。SBN結晶と波長488nmのArイオンレーザーを用いた実験により、導波路形成を確認した。

今後、スイッチング技術など要素技術の開発とともに、電気事業におけるフォトニックネットワークの構成法について研究を進める予定である。

## (2) アクセス系光通信技術

光ファイバはFTTH (Fiber To The Home) に代表されるようにアクセス系にも普及しつつある。将来のアクセス通信網は、光ファイバ網による大容量アクセス時代とともに無線技術によりいつでもどこでも情報を得られるユビキタス社会が到来すると予想されている。当所では配電系統などの制御用光通信システムの開発、光無線通信 (光空間伝送) の評価や、光電波融合通信技術の開発を行ってきた。

光電波融合通信は、図3-1-2に示すように、無線電波信号を光信号に変換する際、無線電波の波形のまま光強度を変調し、光ファイバの広帯域・低損失性を利用して遠方に伝送する技術であり、システム構成機器の簡素化や様々な変調方式への対応により、経済的なシステムが期待できる。特に、今後利用が進むと予想されるミリ波帯は空間伝搬損失が大きく、またその指向性が強いことから不感地域が多数発生する。その対策として光電波融合通信技術の適用が期待されている。

## a . 光電波融合通信システム構成技術

当所では、基地局構成とともに光ファイバ伝送路の簡素化を考慮した光電波融合通信システムの経済的構成について評価してきた。その結果、光カプラによるマルチドロップ構成や半導体レーザー (LD) 光源と光外部変調器による複合変調は現状の技術でも有効であることを示した。また、ミリ波とマイクロ波とを同時に光ファイバで伝送する際、現状ではミリ波の素子は高価な場合が多いため、ミリ波用電気回路を極力排除した高効率構成法を提案した。

## b . 光電波融合通信システム伝送特性予測手法

光電波融合通信システムは様々な構成法が可能であり、最適構成法を効率的に開発するため、シミュレーションによる伝送特性予測手法を確立した。伝送品質に最も影響を与える電気/光変換部の非線形変換特性については、高次多項式近似により伝送品質を求める手法を開発した。これにより、複数波の信号間で生ずる3次相互変調歪みや多値QAM信号における符号誤り増加等を解明できるようになった。また、ミリ波帯以上の周波数で問題となる光ファイバ波長分散特性の影響については、両側波帯の位相差によるCN低下とともに、信号帯域内での偏差によるBER劣化特性を解明できる。

この成果は、光電波融合通信によるリモートアンテナの特性評価に活用した。

## c . 将来のユビキタスネットワークに向けて

将来はFTTHの進展とともにアクセス系の光ファイバが無数に張り巡らされるようになると、光心線の管理や効率的な光ネットワーク構築法が益々重要な問題になると予想される。

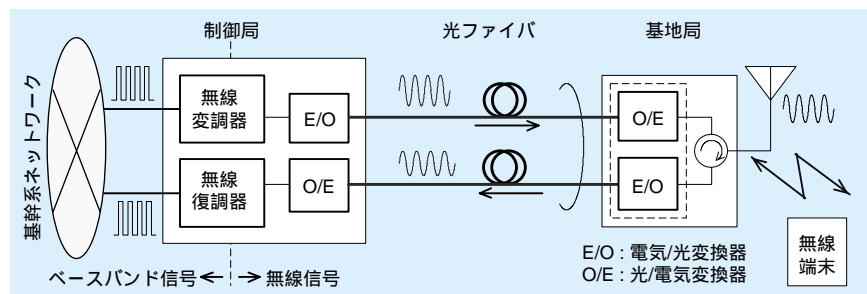


図3-1-2 光電波融合通信の基本構成

このため当所では、波長多重と光分岐による高効率な光アクセス網の構成や光クロージャの高機能化による効率的な光ケーブル管理法などによる光ネットワークの高度化方策に取り組んでいる。

また、光ファイバ資源・無線周波数資源ともに有効利用を図るため、図3-1-3のように、マイクロ波・ミリ波、光デジタル信号、配電線搬送など、アクセス系の様々な伝送メディアを統合したメディア融合型通信システムの開発を目指し、現在その要素技術の開発を進めている。

今後、伝送容量や伝送品質だけでなく経済性や利便性を考慮した最適構成法や課題解決策について提案していく予定である。

### 3-1-3 高信頼度無線通信技術

#### 背景・目的

電気事業において用いられる無線通信システムには大きく分けて、基幹系通信としての固定マイクロ波無線とアクセス系通信としての移動無線があり、この他、衛星無線や小電力無線なども用いられている。これらの無線通信システムを設計するには、フェージングなどの影響を考慮した伝送特性の予測・評価が非常に重要となる。

#### (1) 固定マイクロ波無線の伝送特性予測・評価

電気事業において、最も重要な無線通信回線は、基幹電力系統の保護や監視制御用情報伝送のための固定マイクロ波無線回線である。

固定マイクロ波無線回線の伝送特性に大きく影響を与えるのは、気象条件によって受信状態が変動するフェー

ジングである。回線設計に必要なフェージングに関わる伝搬路信頼度の予測手法について、アナログ方式時代からの受信電界変動特性の解析や伝搬路信頼度設計に関する検討に加え、1980年代にデジタル化されるに当たって、周波数選択性のある多重波フェージングによる回線瞬断率の推定法を開発した。

また、マイクロ波無線回線のフェージング発生と気象条件の関係について明らかにし、電波屈折率パラメータ（気温、気圧、水蒸気圧）と大気安定度パラメータ（日射、風速）を用いてフェージング発生確率を予測する手法を開発した。この他、長距離回線での集中豪雨に起因する降雨減衰による瞬断の解明なども行ってきた。

電力用固定マイクロ波無線回線の一つの特徴は、山間部にある発変電所との通信回線を安価に構成するため、無給電中継方式である反射板を多用していることである。当所では、各種形状の反射板利得の計算法のほか、アンテナと反射板間の距離が近く、フレネル領域で動作する近接型反射板（ビーム給電反射板）の精密な利得計算法を開発し、50GHz帯簡易無線によるモデル実験によりその妥当性を明らかにした。最近では、高能率変調方式として16値や128値のQAM（直交振幅変調）を用いた大容量デジタルマイクロ波無線回線への反射板中継の適用可能性を、現場実験により明らかにするとともに、無線局技術審査基準に反映し得る回線設計法を提案した。

#### (2) 移動無線の伝送特性予測・評価

電力用移動無線は、専用の周波数割当を受けており、他の通信の影響を受けることなく確実な通信が可能であり、主に送配電線路の保安用連絡手段として、平常時は

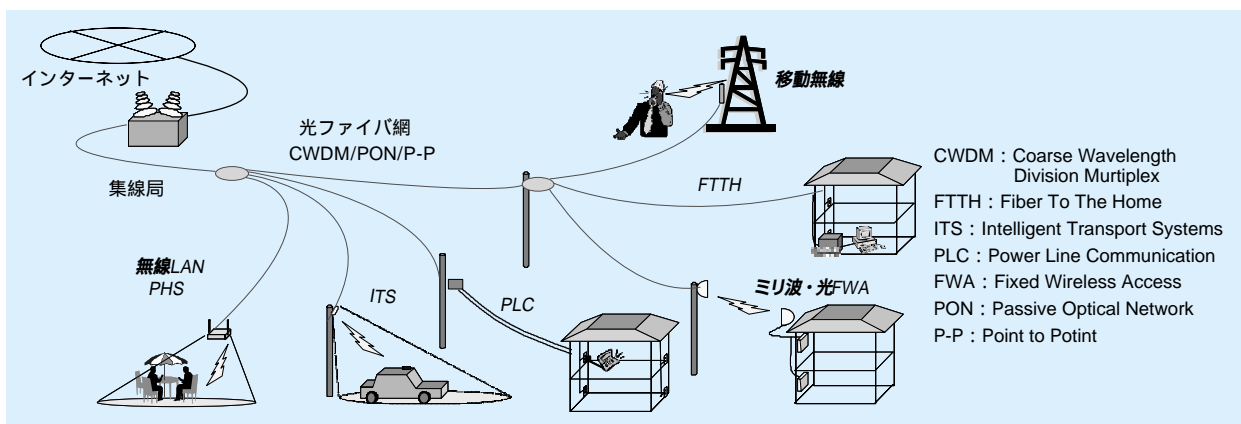


図3-1-3 アクセス系メディア融合通信の概念

もとより非常災害時においても有効に活用されている。移動無線システムにおけるフェージングは、固定マイクロ波無線のような気象条件よりも、地表付近での移動受信に伴う周囲状況の変化の影響はるかに大きい。そのため、受信電界強度の予測を困難にしている。特に、電力用移動無線の場合、送配電線が存在するあらゆる地域がサービスエリアの対象となり、また基地局の送信出力も大きく、広い地域をカバーする（大ゾーン構成）ことが多い。このため、伝搬路にはさまざまな地上妨害物（地物）や地形が存在し、精度の高い受信電界予測を行うためには、それらを考慮した計算が必要となる。移動無線システムの受信電界予測手法は、基地局から通信可能な範囲を予測するだけでなく、同一周波数を用いる他の基地局への干渉電力を算出するためにも、非常に重要である。

当所では、400MHz移動無線機による電界強度測定結果に基づく、高精度な受信電界強度予測手法（電中研手法）を開発した。これまで一般的に用いられてきた手法には以下の2モデルがある。

- ・大地や山稜のような地表面形状の違いによる電波の反射や回折などを個別に考慮した「幾何学モデル」

・統計的なデータから実験式を導いた「奥村モデル」

開発手法には、図3-1-4に示すように、上記2モデルを送受信点間の地形に応じて使い分けるものであるが、使い分けに当たっては、電波伝搬実測によって得た1,300ヶ所以上の実測データを用い、回折リッジの数や土地利用データの分類毎に補正值を定め、補正を行う。このため、開発手法と従来手法とを誤差の絶対値の累積分布で比較すると、図3-1-5に示すように、特にエリア設計の良し悪しを左右する誤差10dB以内の領域で、従来手法よりも予測精度が向上している。

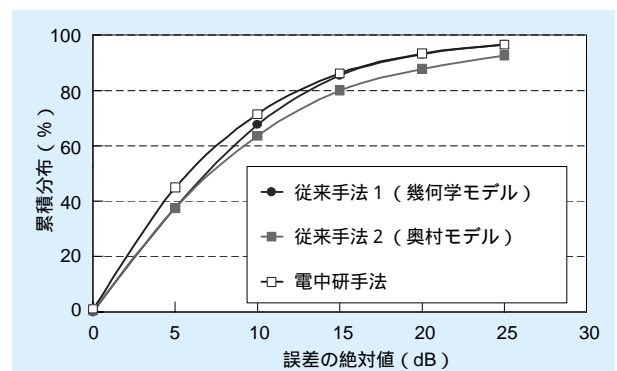


図3-1-5 移動無線の受信電界予測手法の比較

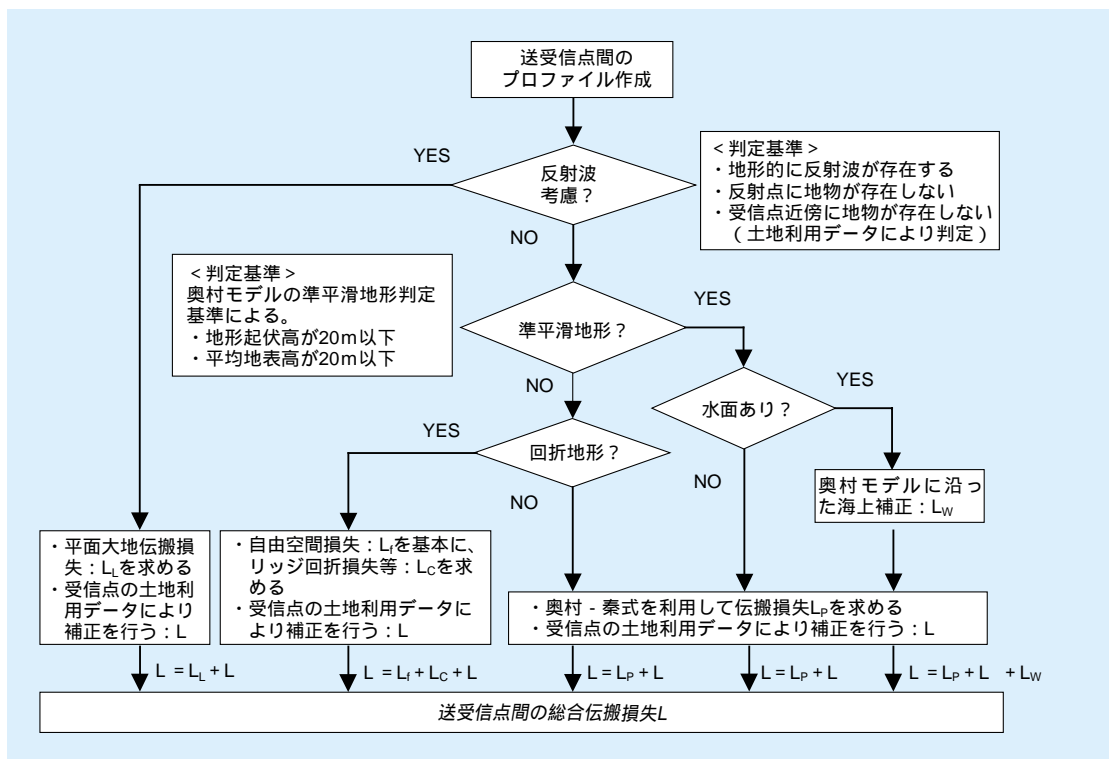


図3-1-4 400MHz帯移動無線回線の伝搬損失算出フロー



### (3) 衛星通信回線の伝搬特性予測・評価

衛星通信回線については非常災害時の臨時回線構成に威力を発揮しており、降雨減衰特性の評価やデータ伝送特性への影響評価を行い、適用可能性を示した。

### (4) 無線回線の伝搬障害予測・評価手法

電気事業が保有する送電線や鉄塔、煙突、風車などの各種工作物が、電波伝搬上の障害物となることもあり得る。当所では古くから送電線によるテレビ放送波の受信障害予測手法に取り組み、1970年代に予測手法を確立し、電力会社の現場で活用されてきた。近年では、電波伝搬および散乱理論に、デジタル信号伝送理論を付け加え、デジタル地上波テレビ電波の障害予測手法へと発展させている。この他、各種業務用無線への鉄塔や風車などの影響、中波放送アンテナへの送電線の影響なども、モーメント法などに基づく計算手法により評価を行っている。

また、固定マイクロ波無線回線についても、アナログ回線での送電線障害予測手法から、デジタル化に伴い、さらに鉄塔や遮蔽物などによる影響量を評価する手法へと発展させた。図3-1-6に示すように、デジタルマイクロ波無線回線の伝搬路内（あるいはその近傍）に導体や反射体が入った場合は、それらからの再放射波や反射波が受信点において直接波と干渉し、受信レベルの減衰や伝送路歪みを起こす可能性がある。このため、当所ではデジタルマイクロ波回線に対する建造物による伝搬

障害予測計算手法を開発し、電力会社などからの要請に応じて、送電線や建設クレーンなどによる伝搬障害予測計算を行ってきた。近年の大容量方式での直交偏波のコチャンネル利用（偏波共用）に対応して、交差偏波識別度（XPD；希望偏波（主偏波）成分の交差偏波成分に対するレベル比）の算出手法を追加し、計算ツール化した。本計算手法の適用例として、中部電力（株）において、パラボラアンテナ近傍にクレーンや敷鉄板などの障害物を設置した実験が行われた際の実測障害量（遮蔽損失）と予測計算結果を比較したものを図3-1-7に示す。

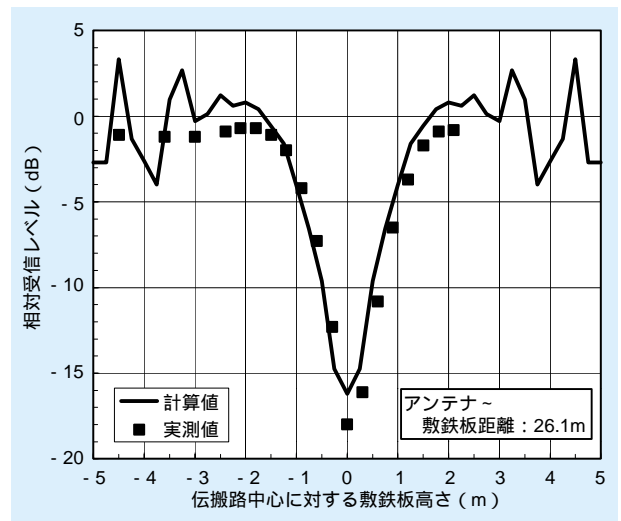


図3-1-7 工専用敷鉄板による伝搬路遮蔽の影響

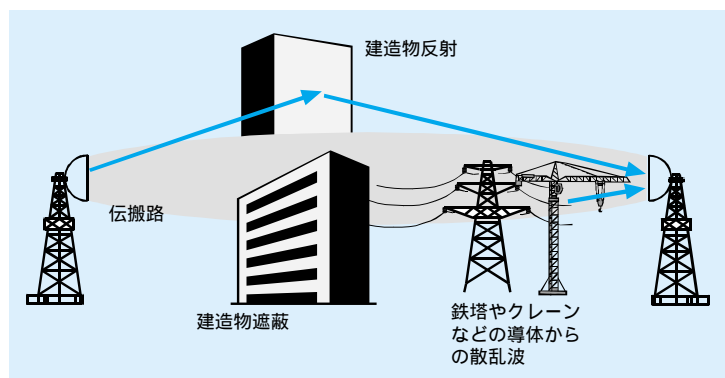


図3-1-6 固定デジタルマイクロ波無線回線への建造物による伝搬障害

## コラム2：インテリジェント電波測定車「ARM号」

### 電波測定車の役割

我々の生活では、地上波テレビ放送、携帯電話、無線LAN等のさまざまな電波が利用されている。TV局や携帯電話会社では、電波が受信できるエリア（サービスエリア）を、標高や土地利用区分等の地形情報から設定する。しかし、利用者の周りには、ビルや送電鉄塔等さまざまな障害物があり、TV局や携帯電話会社の推測する電波の受信状況よりも劣悪な環境が数多くある。この場合、劣悪な受信状態を確認し、良好な受信環境になるよう対策を講じなければならない。このため、車両に測定用電源やアンテナ支柱を搭載し、屋外で測定できるようにしたのが電波測定車である。この電波測定車により、電波の受信状況を確認し、受信対策のためのデータを取得することができる。

これまでの電波測定車は、電波の受信状況を測定するだけの目的に作られているため、データの解析は、事務所で実施していた。解析の結果、さらに詳細な再調査等が必要になった場合、改めて、現地で測定を実施するため、非効率な作業を余儀なくされていた。

そこで、当研究所では、実測場所でデータを解析することのできるインテリジェント電波測定車ARM号（Analyze, Run and Measure）を開発した。このARM号は実測場所でデータ解析を実施するため、再調査が必要かどうかの判断が、その場ででき、効率的な作業が可能になった。

### インテリジェント電波測定車の機能

ARM号に搭載している測定器、データ取得・解析ソフトは、Ethernetを利用した車内LANで連携している。このため、測定器、解析ソフト間でのデータの連携が容易に行え、現地でのデータ解析が短時間に実施することができる。

また、測定ポール上部に測定景観確認用ビデオカメラを搭載しており、従来、地上からしか確認できなかった電波到来方向の障害物（ビル等）を、受信アンテナの高さで確認できるようになり、障害物の目視の確認が容易になった。さらに測定場所を把握するためのGPSも搭載しており、位置情報を利用したデータ管理が可能となっている。

現在、当研究所ではARM号を利用して、地上波デジタルTV放送の受信調査を行っており、搭載している地上波デジタルTV放送測定器と建物や

送電線の障害予測計算ソフトと組み合わせることにより、現地で予測値との比較解析や、実測値に基づく再計算が実施可能である。

### 多目的な利用方法

ARM号は搭載する測定器を変更することにより、前に紹介した地上波デジタルTV放送の受信調査だけでなく、以下のような様々な無線網の受信調査に利用することができる。

デジタル移動無線のエリア調査

屋外無線LANのエリア調査

携帯電話のエリア調査

これらの調査は、これまでに開発した各種の予測ソフトをARM号に搭載することで、現地での基地局配置設計が可能となる。

### 今後の展開

ARM号は、現在、地上波デジタルTV放送の受信調査で主に利用している。今後、これらの測定結果を基に当所の電波伝搬予測技術の高精度化を図っていく予定である。

また、電波測定以外でもさまざまな場面での活用が考えられるため、測定環境の整備やここで紹介した使い方以外での活用方法についても検討し、さらに使いやすく役に立つ車にしていきたい。



電波測定車 ARM 号

## 3-2 分散処理・セキュリティ技術

### 3-2-1 通信網運用管理システム構築技術

#### 背景・目的

電力用通信網の運用管理業務を支援するためのシステム（通信網運用管理システム）は、電力各社が個別に構築し、実用に供されてきた。一方、通信事業では、通信サービスの迅速な導入や異なる事業者間の相互運用性を高めるため、業界における技術標準を定める動きが活発に行われている。このうち、ITU-T（国際電気通信連合 通信標準化部門）にて定められている技術標準仕様は、TMN（Telecommunications Management Network）と呼ばれている。また、国際的な業界団体であるTMF（TeleManagement Forum）では、相互運用性を重視した技術仕様や運用管理業務のプロセスなど、より包括的な仕様を策定しており、必要に応じてその一部がTMNに取込まれている。

当所では、TMNおよび関連する業界標準技術を活用し、電力用通信網における運用管理システムを低コストで構築するための標準仕様改修技術、システムの性能を設計段階で評価するための設計時システム評価技術、および管理機能をより効率的に利用するためのポリシーベースの管理手法を開発した。

#### (1) 標準仕様改修技術

標準技術に基づいたソフトウェアが数多く登場し、その多くが部品化（コンポーネント化）されている。このような市販製品を最大限活用することにより、通信網運用管理システムの構築コストを削減することが期待できる。しかしながら、標準技術は通信網運用管理一般に必要な機能に関する仕様を定めているのであり、電力用通信や電力各社固有の管理機能については実現されておらず、機能改修が必要となる。

市販製品を活用しながら低コストで機能改修を実現するには、標準技術に対する改修作業量を最小限にし、要求された機能を実現する必要がある。当所では、このような要求を満たすため、ソフトウェアの設計レベルにおける機能改修方法と、実行形式のソフトウェアコンポー

ネントレベルにおける機能改修方法を開発した。

ソフトウェア設計レベルにおける機能改修では、標準として規定されたソフトウェア仕様に新たな処理やデータを追加するためのソフトウェア仕様を用意した。この仕様に基づいた設計を行うことにより、標準仕様を改修する作業を最小限にしつつ、必要とする処理やデータの追加を容易に行えるようにした。

実行形式のソフトウェアコンポーネントレベルにおける機能改修方法は、コンポーネントの組み合わせにより通信網運用管理システムを構築するという標準仕様における基本方針を利用する。図3-2-1のように、機能を追加あるいは変更するための独自コンポーネント（修正用コンポーネント）を、改修対象となる市販コンポーネントの近辺に配置する。修正用コンポーネントは、市販コンポーネントに送られてくるデータを取込み、必要な処理を行った後、市販コンポーネントに同一のデータを送信する。市販コンポーネントの処理が必要ない場合には、データの転送を行わない。このような仕組みを持つことによって、市販コンポーネントの改造を不要とする。また、構築支援ツールを利用することによって、修正用コンポーネント作成に関わる作業量を削減する。

いずれの方法も、標準技術に対する影響を最小限またはゼロにすることによって、開発者の権利に関わる部分の改修を避け、システム構築における追加コストの発生

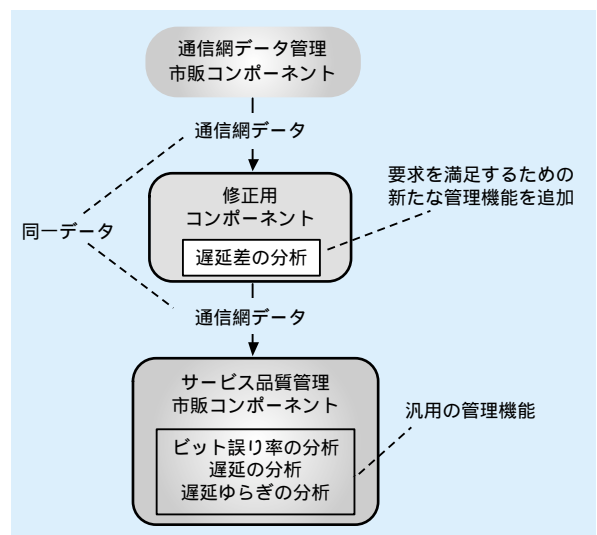


図3-2-1 修正用コンポーネント

を回避することができる。また、標準技術が更新された場合でも、改修のために作成されたプログラムが、標準仕様に対し、独立あるいは最小限の依存であるため、ソフトウェア保守が容易になり、コスト抑止に貢献する。

## (2) 設計時システム評価技術

通信網運用管理システムは、その性質上、自ずと大規模かつ分散処理を行うシステムになる。このようなシステムの処理能力を設計段階で見極めるのは非常に難しい。しかし、導入すべきハードウェアおよび監視データ伝送網の能力算定には、設計段階での処理能力見積りが重要である。

当所ではこのような問題に対処するため、監視データを伝送する際に標準オブジェクトが送信するメッセージの数を算出する方法と、処理時間を考慮したオブジェクトの配置・接続決定手法を開発した。

メッセージ数算出法では、オブジェクト間の結びつきやシミュレーションの測定結果から得られたヘッダ長およびデータ長などを基に、ある機能を発揮するためのオブジェクト集合におけるメッセージ処理量を評価する手法を開発した。また、メッセージ数算出の作業を効率化するため、メッセージ伝達経路を整理し、経路ごとにメッセージ数を容易に算出できる方法を開発した。

処理時間を考慮したオブジェクトの配置・接続決定手法では、大量のデータ送信が一度に発生する障害通知に関わるオブジェクトと、定期的に監視情報を収集するポーリングに関わるオブジェクトを、負荷分散の観点から適切なハードウェア上に配置し、高速な処理を実現するためのシステム設計を支援する。この手法における作業の流れを図3-2-2に示す。

これらの技術は、通信網運用管理システムを対象とした研究の成果であるが、オブジェクトの仕様および処理の内容が明確になれば、分散システム一般に適用可能である。

## (3) ポリシーに基づく管理手法

通信網の運用管理業務は、未だに多くの段階で人間の判断を必要とする。これは、画一的な対応をシステム構築時にすべて想定することが不可能であり、かつ求められる管理機能が時間とともに変化するため、容易にソフトウェアにて実現できなかったことによる。

この状況を改善するために、当所では「～ならば～する」という表現形式を持つ「ポリシー」に基づく管理手法の開発に取り組んできた。これまでに、通常の運用管理方針だ

けでなく次善策をもポリシーとして表現し、それらの中から通信網の状況に適したものを自動的に選択する手法を開発した。ポリシーは、関連する管理機能を起動することにより、自動制御や監視情報の表示などを行う。

本手法では、運用管理方針が変更になり、ポリシーの内容が変わった場合でも、選択プログラムを再設計する必要がないため、変化への柔軟な対応が実現されている。

## 3-2-2 ネットワークセキュリティ技術

### 背景・目的

インターネット技術の普及に伴い、現在では社会の至る所でネットワーク化された情報システムが不可欠なものとなっている。ルータ、スイッチ、光ケーブルによるネットワークの上に構築されたインターネットで接続された計算機群からなるサイバースペースの上に社会生活基盤が築かれていると言っても過言ではない。

電力各社でのインターネット利用の範囲は拡大しており、今後の電力自由化の進展により、インターネットを介しての他企業との緊密な連携もますます増加すると予想される。このため情報セキュリティ技術の重要性はますます増加する。セキュリティ技術の向上は着実に進んでいるが、攻撃の手口も同時に巧妙化している。

### (1) サイバーテロ

2001年9月11日に米国で発生した同時多発テロ以降、重要インフラへのサイバーテロ防止のための様々な施策が実施されている。ホワイトハウスは2003年2月に“ The National Strategy to Secure Cyberspace ”と題した文書を発行し、今後の取り組みを明確にした。

我が国においても、平成12年2月29日(2000年2月29日)付けの文書にて「情報セキュリティ対策推進会議」が設置され、平成13年10月10日には「サイバーテロ対策に係る官民の連絡・連携体制について」が公表されている。

情報セキュリティの重要性は以前にも増して高まっている。サイバーテロ防止の観点からは、以下の3点から考える必要がある。

- a . 攻撃を防止する。
- b . 脆弱性を低減する。
- c . 万が一攻撃を受けた場合の被害を最小化すること、復旧時間を短縮すること。

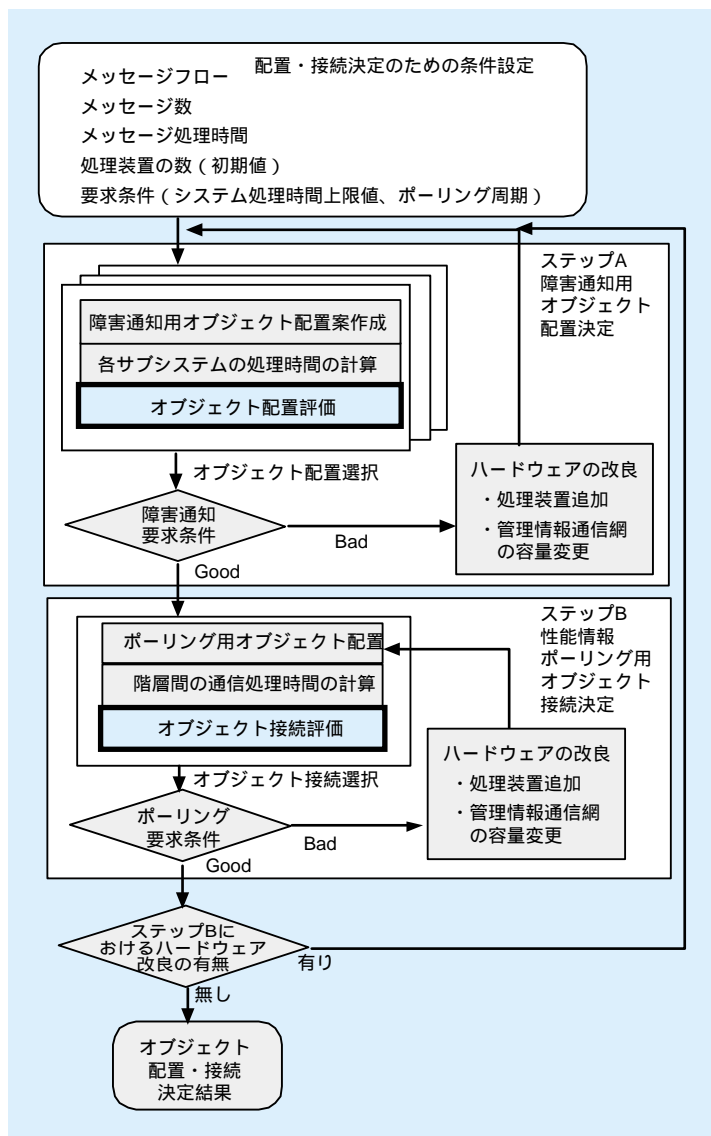


図3-2-2 オブジェクト配置・接続決定手法

## (2) インターネット

当所ではインターネットの民間利用の初期の段階から、インターネットとの安全な接続法に関する研究を実施し、研究所のLANを安全な形でインターネットに接続する方式を開発した。さらに、インターネット技術を利用しての分散型情報システムの利用拡大に伴い、分散型情報システムのセキュリティ維持管理方式についての検討、ネットワークセキュリティ技術についての動向調査を継続して実施している。近年では情報セキュリティ確保に、さまざまな技術が利用できるようになってきたことから、それらの適切な使い方について明らかにした。

## (3) 情報セキュリティの確保

表3-2-1に示すように、情報セキュリティを確保する

ために、さまざまな技術が利用できる。

ネットワークセキュリティの三要素は、「機密性」、「完全性」、「可用性」である。機密性と完全性を確保するための基本技術は「暗号技術」であり、機密性と可用性を確保するための基本技術は「認証技術」である。

機密性と完全性を確保するためには暗号技術の利用は必須である。また、強力な認証システムのためにも暗号技術が必要である。強度の高い暗号が使えるようになっており、高速処理可能な暗号の標準化も進展していることから、広い範囲での強い暗号の利用が拡大すると考えられる。

正当な利用者であることを確認するため、あるいは接続先が正しいものであることを確認するためには認証が必須である。従来のユーザIDとパスワードの組合せによる認証では安全性に問題があることが多い。ネットワ

表3-2-1 レイヤ毎のセキュリティ技術

レイヤ	プロトコル, 技術	セキュリティ技術		セキュリティの3要素		
		認証技術	暗号技術	機密性	完全性	可用性
OS 応用プログラム	ネットワーク認証 (Kerberos等)					
	区画化による権限定 (暗号化)ファイルシステム					
アプリケーション層	電子署名, 認証局 (PKI)					
	暗号化メール (S/MIME, PGP)					
トランスポート層	SSL, TLS					
	SSH					
インターネット層	IPSec					
	NAT					
ネットワーク	L2TP					
インタフェース層以下	VLAN					
複数に跨るもの	ファイアウォール					

は直接直接的な技術であることを意味し、 は間接的な技術であることを意味する。

ーク上ではパスワードを暗号化する認証方式、バイオメトリック認証方式、個人だけでなく計算機も認証可能な方式などが利用可能である。これらの強力な認証方式を利用することで、厳重なセキュリティ確保が可能となる。

ネットワークレイヤー毎に利用可能なセキュリティ技術を 認証、 機密性、 完全性、 アクセス制御、 否認防止、 その他、の六つの機能に分類して整理した。機能を配置するレイヤにより、導入費用・管理費用は異なるが、目的に合わせてレイヤ毎に適切な機能を配置することで、セキュリティ確保が可能となる。利用可能な機能を各々のレイヤに配置することで多重防御が可能となり、非常に厳重なセキュリティ確保が可能となる。

要求されるセキュリティレベルとして「低」「中」「高」

の3つを想定し、レイヤ毎に利用可能な技術の使い分けを整理した(表3-2-2参照)。要求されるレベルに応じて複数のレイヤで暗号技術を利用することで、セキュリティレベルを高める方式である。

現在の多くの環境で利用されている技術はセキュリティレベルとして「低」を確保するためのものと考えられるが、今後は「中」レベルへの移行が必要と考えられる。また、インターネットに直結されている部分では、「高」レベルへの移行を考えるべきであり、一般のUnix系のOS、Windows Server系のOSから、より高度なセキュリティ技術を利用可能なセキュアOSなどの利用が必要と考えられる。

表3-2-2 要求されるセキュリティレベル毎の技術の使い分け

レイヤ	要求されるセキュリティレベル		
	低	中	高
OS 応用プログラム	個人認証可能なOS 繰り返し使えるパスワード	個人認証可能なOS 使い捨てパスワード	区画化による権限定 ネットワーク認証 バイオメトリック認証 暗号化ファイルシステム
アプリケーション層	通常のメール	電子署名 暗号化メール	電子署名 暗号化メール
トランスポート層	SSL, TLS インターネットではSSHを利用	SSL, TLS	SSL, TLS
インターネット層		IPSec	IPSec/NAT
ネットワーク インタフェース層以下	スイッチングHUB 無線LANでのWEPの利用	VLAN 無線LANでのWEPの利用と SSHによるトンネリング	VLAN 無線LANは利用しない
複数に跨るもの	ファイアウォール ウイルス対策ソフト	ファイアウォール ウイルス対策ソフト	ファイアウォール ウイルス対策ソフト
想定環境	通常のおフィス環境を想定	通常のおフィスより高いセキュリティレベルが要求される環境を想定	機密情報を扱うなどの厳重なセキュリティが必要な環境を想定

# 3 - 3 電力流通管理技術

## 3-3-1 広域保護システムと時刻同期

### 背景・目的

現在の基幹電力系統用保護リレーシステムでは、主保護として端子間の通信回線を用いた高性能な電流差動リレーが、後備保護として自端情報のみで動作する距離リレーが主に用いられている。しかし、距離リレー方式はリレー装置相互で整定の協調を必要とするため、不確実性が増加すると予想される今後の系統構成に対しては、その調整が複雑になることや、動作時間短縮が困難になるといった問題点が予想される。そこで、後備保護動作の高速化や遮断範囲局限化、主保護と後備保護の連携・統合化を目的に、系統大での時刻同期システムと高速通信網を活用した次世代型の広域保護システムを開発した。

### (1) 保護方式

図3-3-1に広域保護システムの構成概念を示す。1システムの保護範囲は電力系統の基本要素である母線を中心に、隣接する電気所の母線の手前までとし、複数電気所に亘って1台の中央装置と遮断器毎に設置される端末

装置から構成する。事故判定論理には電流差動方式を適用する。事故判定処理は、まず主保護と同じ送電線、母線、変圧器単位（区間）に行う。最小範囲で保護リレーが動作しても、遮断失敗により事故が継続するときは、複数範囲のデータを組み合わせて事故判定し、遮断範囲を拡大する。

### (2) 時刻同期方式

系統内の全ての状態データ（主に電流値）を高精度に利用するため、系統内にマイクロ秒オーダの精度で時刻情報を分配し、系統状態データのサンプルタイミングを一致させるとともに、取得データにはタイムスタンプを付加する。時刻情報分配（時刻同期）システムとしては、汎用のGPS（全世界測位システム）とともに、システムの信頼性を考慮して、新たに開発した光ファイバデジタル通信網（SDH網）による時刻同期網を相互補完的に用いる。当所が開発したSDH伝送網を用いた簡易な時刻同期網の特徴は、図3-3-2に示すように、既設装置を変更することなく、既存網へ時刻同期装置を外付けする点にある。対向する局間で、SDH伝送フレームのオーバーヘッド中の576kbpsデータ通信回線（DCC）を用いて時刻信号を伝送し合い、往路と復路の伝送遅延の

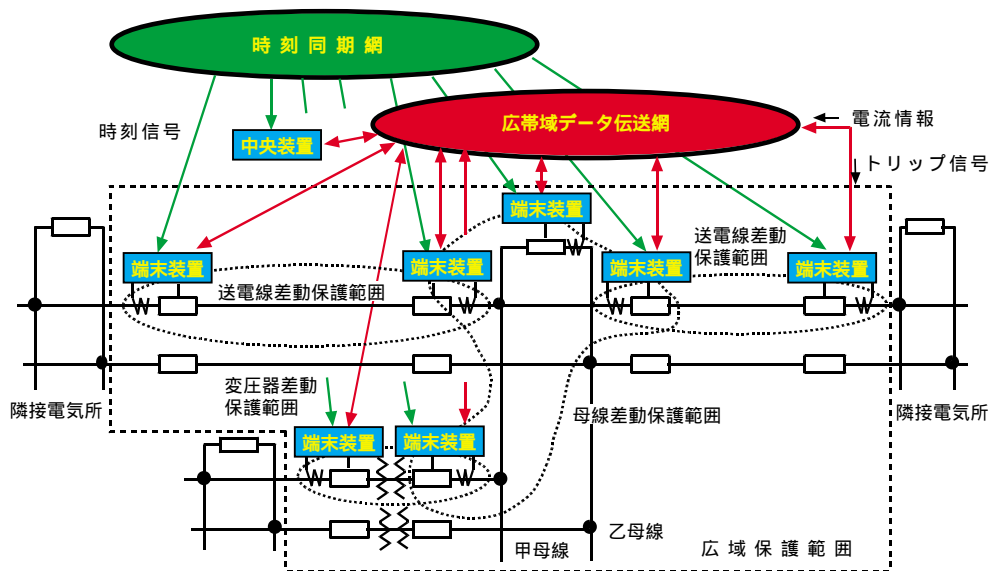


図3-3-1 広域保護システムの構成と保護範囲

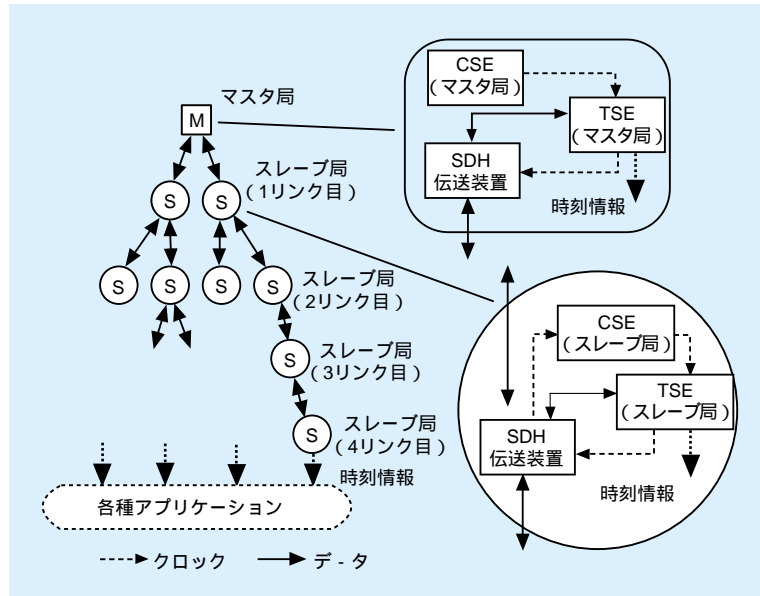


図3-3-2 時刻同期システムの構成

計測結果に基づき、同期制御を行う。下位局側では、時刻信号を分岐し、さらに下位局と同様の動作を行うことで、時刻同期網を構成する。時刻同期装置とSDH伝送路模擬装置を4リンク分試作し評価を行った結果、4リンクで $\pm 0.36 \mu s$ 程度の時刻同期精度が得られた。また、光伝送路の伝送遅延時間変動特性を測定した結果、時刻同期精度に影響を及ぼす往路と復路の伝送遅延の差は、時刻同期装置による誤差に比べ、小さいことが分かった。この他、クロック供給装置のクロック位相変動を考慮しても、電力用として十分な精度を持つ時刻同期網が構築可能な見通しが得られた。さらに伝送系や時刻同期装置に起因する雑音成分を削減することで、時刻同期精度の向上が期待できる。

### (3) データ伝送方式

外部からの高精度な時刻同期信号が供給されるため、データ伝送方式としては、従来の保護リレー用通信回線に要求されたような厳しい遅延時間制約はなくなる。このため、系統内で同一タイミングでサンプルされたデータを必要個所に自在に集配信するため、保護装置には汎用性が高いイーサネットLANインタフェースを備え、装置間をIP(インターネットプロトコル)方式により伝送する。ただし、他システムの情報と混在して伝送することは伝送品質や信頼性上問題があるので、広域保護システム専用のIP伝送回線として構成する必要がある。

電気所内は、情報バケット衝突による遅延時間への影響を少なくするため、スイッチングハブを使用する。電気所間はルータを介した広帯域通信網により伝送する。許容伝送遅延時間は、主保護と後備保護の各種適用形態を考慮して決定する。

### (4) 機能検証

大規模なモデル電気所を対象として、情報伝送系の特性を計算機シミュレーションした結果では、端末装置から中央装置への遅延時間は2ms以下となり、伝送性能に関する問題がないことを確認した。また、中央装置1台、端末装置3台を試作し、電力系統および通信網のシミュレータと接続した検証試験(図3-3-3)では、既存主保護リレーや遮断器の不動作に対する後備保護動作、既存主保護リレーを代替した動作などに関し、事故区間判定能力や事故除去時間などの点で期待通りの結果を得た。

本システムは、あらゆる事故状況や遮断器動作状態に対し、主保護や後備保護の基本機能を一元的かつ高速に実行できるため、事故波及防止システムや監視制御システムを含んだ総合的な系統保護監視制御システムへの発展が期待できる。



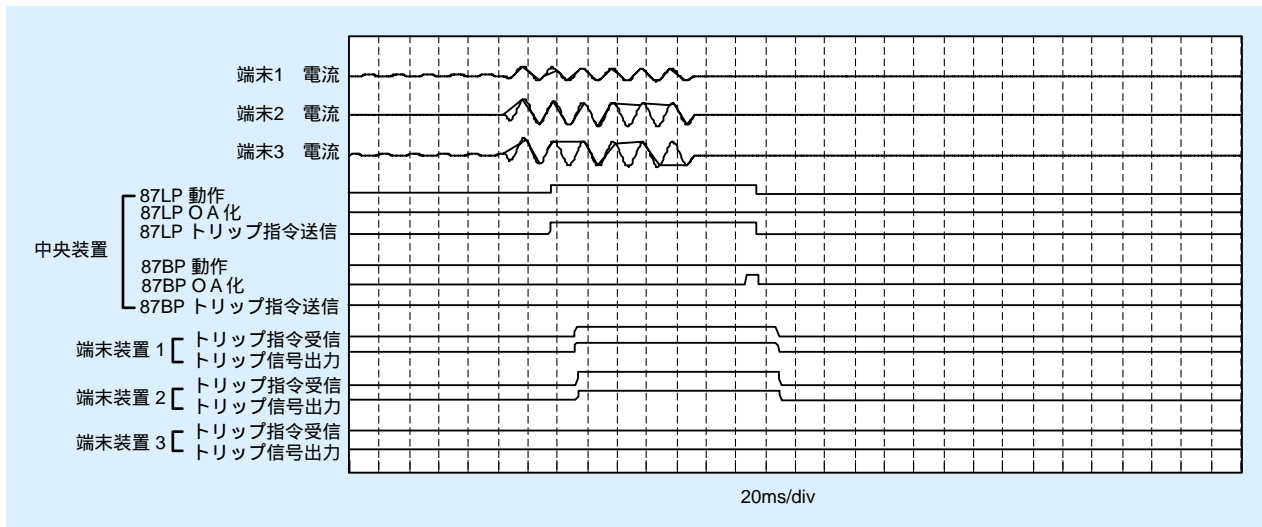


図3-3-3 試作した広域保護システムの動作検証例

### 3-3-2 分散リアルタイムネットワークアーキテクチャ

#### 背景・目的

高い信頼性やセキュリティが要求される電力システムの監視制御システムは、従来、アプリケーション毎、会社毎に個別・専用システムとして構築されてきたが、今後は低コスト化も考慮した汎用技術の導入や、関連業界のグローバル化も考慮した国際標準への準拠を積極的に進めていく必要がある。また、情報通信技術の進展は著しく、最新の情報通信技術を適切に適用することが、監視制御の高度化や効率化には有効である。

以上のような背景を基に、当所では国際標準を考慮しつつ、最新の情報通信技術を適切に取り入れた電力システム監視制御システムに関する統一の構成手法（分散リアルタイムネットワークアーキテクチャ；DRNA）について開発を進めている。

#### (1) DRNAの適用対象と構成概念

DRNAにおいては、電力システムの監視制御だけでなく、関連する系統運用や設備保全・管理に関わるすべてのアプリケーションを統合的に取り扱えるようにする観点から、表3-3-1に示すものを適用対象とした。このような統合的システム実現の要件は、表3-3-2に示すように、オブジェクト指向に基づく計算機制御システムを構成し、

表3-3-1 DRNAの適用対象アプリケーション

系統運用	給電運用 (需給調整)	電力系統監視
		自動給電
	給電指令	給電用電話
		監視制御
設備保全・管理	設備保全	映像遠隔監視
		保守業務支援(含設備DB)
		系統現象情報収集
		通信運用監視
	その他	保安用電話
		系統情報(給電情報)配信 他電力間データ交換

表3-3-2 DRNAが満たすべき要件

項目	内容と期待される効果
監視制御・通信装置構成のオープン化	監視制御システム構成仕様のオープン化や共通化による監視制御システム間や機器間の相互接続性の向上
計算機内で取り扱う系統機器情報モデルのオープン化	オブジェクト指向に基づく機器情報モデル定義の明確化や標準化、情報収集方法の革新によるアプリケーション間の情報連携度や共有度の向上
情報集配信機能の高度化	情報集配信処理の効率化や高機能化による、系統構成や制御方針の変化への監視制御システムの適応性、柔軟性、拡張性などの具備
性能・信頼度・セキュリティの確保	従来通りの情報通信・処理品質や信頼性の維持と情報セキュリティの確保
コスト低減	オープン化や共通化から導かれる監視制御システムの構築・運用・保守コストの低減

オープン化や情報集配信機能の高度化を実現すると共に、従来の性能や信頼度を確保することである。

このため、DRNA では、図3-3-4に示すような構成概念を持つものとした。各構成要素の概要は次のとおりである。

- ・ 応用プログラム + 機器情報モデル：インテリジェントなデジタル制御機器やセンサならびに既設機器に対応するためのもので、オブジェクト指向に基づいた電力流通情報モデルから成る。
- ・ 高度通信機能：分散処理・制御の機構やシステム間情報連携・共有を実現するための機能で、オブジェクト間通信技術、モバイルエージェント通信技術や分散データベース技術、および自律的QoS保証技術から成る。
- ・ 伝達通信機能：情報量の増大や情報フローの複雑化に対応するための機能で、リアルタイム性・信頼性・品質などを保証する制御用IPネットワーク技術から成る。
- ・ 通信管理・セキュリティ機能：通信網の構成・性能・障害管理を行う機能で、DRNA全体の機能調整を行う技術、および情報セキュリティ技術から成る。

## (2) 要素技術の開発

これまでに、個別の要素技術を対象とした研究開発を行ってきた。

### a . 応用プログラム + 機器情報モデル

応用プログラム、通信インタフェース、電力機器などをすべてオブジェクトとして定義し、異機種間分散環境においても統一的な情報共有や情報交換を可能とする方法を検討した。オブジェクトとしての定義には、国際電気標準会議（IEC）で規格化が進められている情報モデルの適用を考慮した。これまでに、変電所構内における情

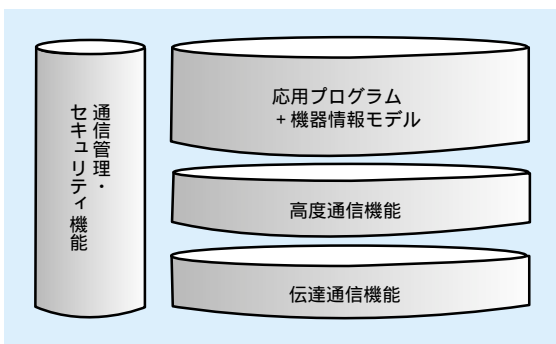


図3-3-4 DRNAの構成概念

報モデルと制御所用の情報モデルの間にある不整合を解消する機構の開発を行った。

今後は、IECにおける規格化の進展状況を把握しつつ、DRNA 開発に必要な情報モデルについて開発する。

### b . 高度通信機能

高度通信機能は、通信網の状況やシステム構成の変更に対して自律的に動作し、QoSを保証しつつ、3種類の通信手段（モバイルエージェント、メッセージ交換、ストリーミング）を提供することを目的とする。そのため、高度通信機能は、応用プログラムからの通信要求を受け、通信手段の選択やQoS保証に関わる処理を行った後に、QoS制御に必要な情報と送信すべきデータを伝達通信機能に渡す。その役割や位置関係から、高度通信機能はミドルウェア<sup>1</sup>として実装される。

ミドルウェアとして構築する時の内部構成とその動作を図3-3-5に示す。まず、応用プログラムが初期化設定要求を出すと、設定プログラムが通信網の構成やトラフィックなどの情報に基づいて通信手段とQoS保証機能の設定を行う。監視制御データを送受信する場合には、応用プログラムから通信手段に直接データが渡され、QoS保証機能の処理を行った後に、伝達通信機能へ送信データを渡す。

QoS保証機能については、処理が終了しなければならない時刻と優先度を考慮して受信側での処理の順序を決定する機能や、通信の経路ノード数を削減すると共にデータ取得までの時間を短縮するための情報共有機能などについて検討した。今後はさらに、同一通信先へのデータ転送時のオーバーヘッド削減を目的とした集約機能などを付加する予定である。

### c . 伝達通信機能

伝達通信機能は、3-1-1項で紹介した技術を用いて、高性能・高信頼のIPネットワークによって実現する。その使い分け方は、これまでの検討により、基幹系のコア部分については、スターまたはループ構成の場合には広域Ethernet方式が、メッシュ構成の場合にはMPLSが適していることが分かった。また、基幹系のエッジ部分については、系統運用の場合には主にマイクロ波無線を伝

<sup>1</sup> OS上で動作し、アプリケーションソフトウェアに対してOSよりも高度で具体的な機能を提供するソフトウェア。

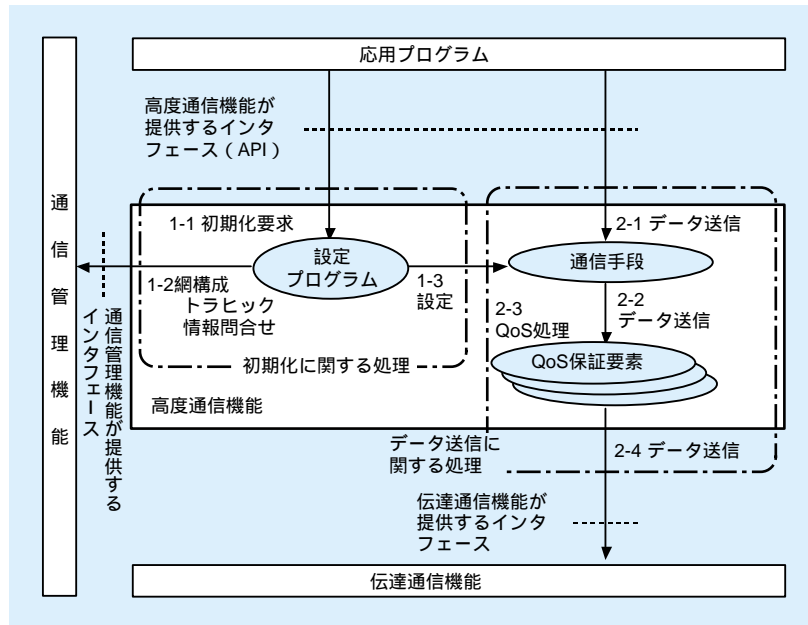


図3-3-5 高度通信機能を実現するミドルウェア

送媒体として使用するためIPルータ方式が適し、光通信を主体とする設備保全およびローカル系については、広域Ethernet方式が適している。

#### d. 通信管理・セキュリティ機能

通信管理機能は、3-2-1項で紹介した技術を活用して実現する。DRNAにおいては特に、さまざまなアプリケーションプログラムを統合的に扱うことから、個別のサービス品質に関する取り決めを定め、それらを厳格に満足できるような構成・性能・障害管理を実現する必要がある。

セキュリティ機能については、特に暗号化などの処理が、通信の遅延やQoS制御に関する情報の受渡に対してどのような影響を持っているかを評価し、用いるべき暗号化技術とその対象範囲について検討した。

#### (3) 今後の展開

DRNAを統合的に実現した試験システムを作成し、その能力を検証する。また、電力系統の実運用者である電力会社から見た視点を取り入れ、実業務への導入を図る際の問題点と解決法を明らかにする。

### 3-3-3 需要地系統保護制御システム

#### 背景・目的

社会ニーズや消費者ニーズにより、燃料電池やバイオ

マス発電などの分散型電源が配電系統を中心に大量に連系される可能性がある。当所では、分散型電源の連系位置および発電量に関する制約をなくし、配電系統へのフリーアクセスを可能とする需要地系統の開発に取り組んでいる。

需要地系統内には、ループ系統を実現するためのループコントローラ、分散型電源や負荷との情報交換を行う需給インタフェース、ループコントローラや開閉器に囲まれた区間の系統運用を担う運用管理サブシステムが分散配置される。また、1つの需要地系統全体に関する処理を行う運用管理システムが1台設置される。

需要地系統の監視制御には、地絡事故時の事故区間分離や事故復旧などリアルタイム性の強いものから、分散型電源の発電量を計算するためのデータ収集のような処理時間に余裕のあるものまであり、制御対象は、多岐に亘る。一方、配電系統であることから、需給インタフェースなどの装置は膨大な数になり、その設置コストの抑制が重要になる。そのため、各装置の計算処理能力(演算速度や記憶容量)が限定される。また、上に示したさまざまな監視制御を1つの情報通信システムに統合することが必要となる。

以上のような要求を満たすため、当所ではDRNA開発を通じて得られた要素技術を適用し、モバイルエージェント技術に基づく需要地系統監視制御システムの開発に取り組んでいる。

### (1) 要地系統の監視制御に対するモバイルエージェントの適性

モバイルエージェントは分散システム内を自律的に移動して処理を行うため、需給インタフェースなどの各装置に予めプログラムを準備しておく必要がない。また、頻繁に情報交換を行う処理においても、通信相手の装置に移動してから情報交換を行うため、通信網に大量のトラフィックを発生させずに済む。これは、限定された処理能力しか持たない装置および通信網において、多様な処理を実現する可能性を持つ。

一方で、リアルタイム性に厳しい要求を持つ処理を確実に実施する品質制御方式の確立や、セキュリティの確保が課題として残されている。

### (2) 品質制御方式

需要地系統における多様な監視制御を統合して扱うモバイルエージェントシステムを実現するために、当所では需要地系統の要求にあった品質制御方式の開発に取り組んでいる。これまでに、Javaを用いたモバイルエージェントシステムを開発し、実験室レベルで品質制御方式の有効性を確認した。

開発したシステムが備える品質制御方式は、優先制御と自律的シェーピングの2つである。優先処理方式の概要を図3-3-6に示す。

#### a. 送信側装置

優先制御では、モバイルエージェントを優先度に応じ

て3つの種類に分けて扱う。最も優先的に扱われるエージェント（緊急処理エージェント）は、各装置に存在する別エージェントの処理を一時中断させ、自らの処理を割込ませる。緊急処理エージェントは、事故区間分離や事故復旧など、高いリアルタイム性が要求される処理を担う。

中間の優先度を持つエージェント（迅速処理エージェント）は、次に示す平常処理エージェントが処理を行っている最中であっても、処理を一時中断させ、自らの処理を割込ませることができるが、緊急処理エージェントが処理を開始すると、その処理を一時中断する。迅速処理エージェントは、周波数制御や電圧不平衡時など、事故時ほどのリアルタイム性は要求されないものの、その他の処理よりも早く処理すべき監視制御を担う。平常処理エージェントは、上記2種類のエージェントが処理を行っていない時間帯を利用して自らの処理を行う。

いずれの場合も、同一装置内に同一優先度を持つエージェントが複数存在する場合には、それらがCPUの処理時間を均等に分け合っており、並行して処理を行う。

#### b. 受信側装置

優先処理では、モバイルエージェントの他に、エージェントの具体的な移動先となる受信部についても、2レベルの優先度を設定する。受信部は、エージェントが移動した際の受入主体となり、エージェントが自律的な活動を開始するまでの処理を担う。

緊急処理エージェントは、緊急処理用受信部に移動す

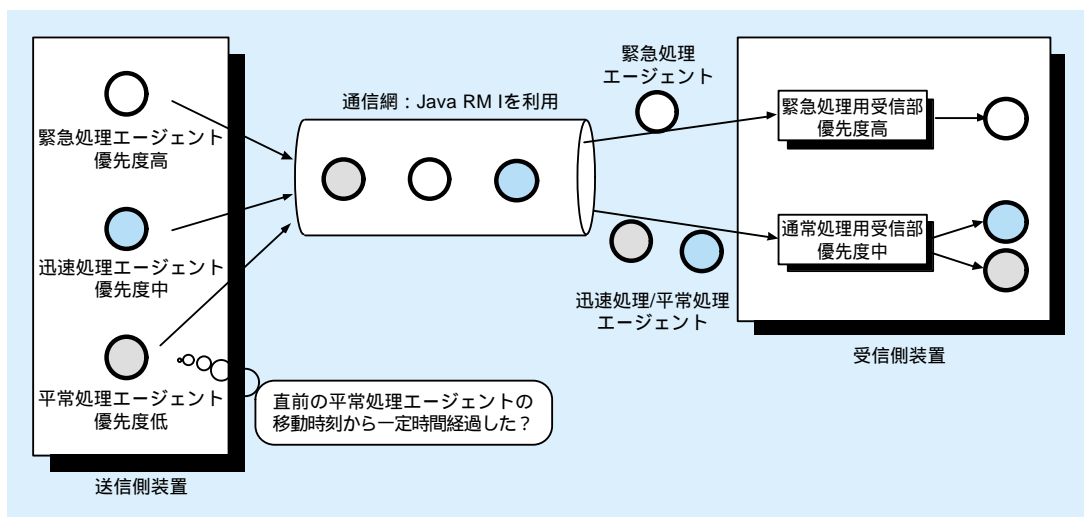


図3-3-6 需要地系統向けモバイルエージェントシステムにおける品質制御方式

る。緊急処理用受信部は、緊急処理エージェントと同じ優先度を持つため、受信側装置において他のエージェントが処理を行っていても、自らの処理を割込ませることができる。次に述べる通常処理用受信部に他のエージェントが移動している最中でも、その処理を一時中断させる。

迅速処理および平常処理エージェントは、通常処理用受信部に移動する。これは、迅速処理エージェントと同じレベルの優先度を有するため、受信側装置の平常処理エージェントの処理を一時中断させて受信処理を行う。このような設定になっているのは、移動してくるエージェントが迅速処理であるか平常処理であるか、事前には分からないためである。

### c . 自律的シェーピング

自律的シェーピングとは、エージェントが自らの判断で、一度に多数のエージェントが移動することを防止する機能である。具体的には、直前のエージェント移動時刻から一定時間を経過するまで移動を控える。この機能は平常処理エージェントのみに備えられる。この機能は、

エージェントに設定された優先度が、TCP/IP通信の中では考慮されず、輻輳が発生すると緊急処理エージェントの処理が遅延してしまうため、これを防止する目的で具備されている。

実験室レベルの能力検証では、最も短時間で処理を終了しなければならない地絡事故時の事故区間分離を、開閉器や分散型電源の予想動作時間を含んだ上で、1秒という要求時間内に完了すること確認した。

### (3) 今後の展開

これまでに開発した品質保証方式について、電力系統に接続した状態のシステムで検証する。また、品質保証をより確実なものにするため、現在、通常のデスクトップOSに実現しているモバイルエージェントシステムを、処理のスケジューリングをより厳格に設定できるリアルタイムOSに移植する。

一方、セキュリティの確保については、DRNAにおける開発や汎用的なセキュリティ技術を活用することによって解決する。

### コラム3：OPGW伝搬光の偏波変動と電撃点標定

発電所間をつなぐ頑強な通信設備として、送電線の頂上にある架空地線の中に光ファイバを組み込んだOPGW（Optical Ground Wire；光ファイバ複合架空地線）が近年多く敷設されている。OPGWは大容量通信線路としての役割と送電線への雷撃遮蔽の役割とを併せ持つが、一部の落雷は送電線を直撃し、送電停止に至る事故が発生している。落雷事故があった場合、送電線設備への被害状況を速やかに確認する必要がある、このためには落雷位置を正確に標定することが求められる。

#### OPGWへの雷撃と偏波変動

OPGWに落雷があると光ファイバに強い電磁界が加わるが、光の強度には変化を与えないため通信品質への影響はない。しかしながら、光の偏波状態に着目すると、ファラデー効果と呼ばれる現象により偏波状態が変化する。この偏波変動を利用すれば、専用のセンサや高電圧結合装置などの設備を追加することなく、経済的な落雷検出システムが期待できる。雷撃電流の立ち上がり時間は $\mu\text{sec}$ オーダーであり、また光ファイバ中の光伝搬速度は約 $200\text{ m}/\mu\text{sec}$ である。このため、例えば図1のように光を往復送させれば、往路と復路で偏波変動が生じ、2回の変動信号が偏波解析装置に届くまでの伝搬時間差から場所を特定することができる。すなわち、光源から偏波解析装置までの全体の伝搬時間を $T_0$ 、2回の偏波変動の時間差を $T_d$ とすると、雷撃点までの距離 $L_p$ は、光ファイバ中の光伝搬速度 $v$ を用いて、
$$L_p = (T_0 - T_d)v/2$$
で求めることができる。

#### 偏波変動の検出

一般の通信用光ファイバでは僅かに存在するランダムな複屈

折性により伝搬光の偏波状態は、ランダムな状態にある。また、光ファイバの偏波変動要因としては、雷撃電流によるファラデー効果の他に、送電線からの誘導電流、機械的応力による光弾性効果があり、風や地震による機械的な揺れ、更には日射や温度変化によっても偏波状態が変化する。

そこで、ランダムな偏波状態への対策として、偏波の変動量のみを算出する方法を開発し、変動速度のピーク時点から雷撃点を正確に標定できるようにした。また、落雷以外の偏波変動要因については、変動周期の違いによって分離できることが分かった。これらにより雷撃点標定システムを実現した。図2は実際に捕らえられた落雷による偏波変動波形とその標定結果（ $L_p = 6.9\text{km}$ ）である。

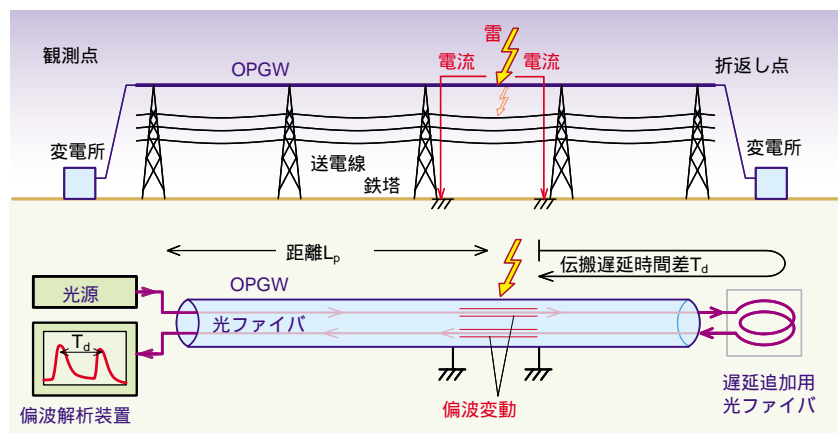


図1 雷撃点評定システム構成

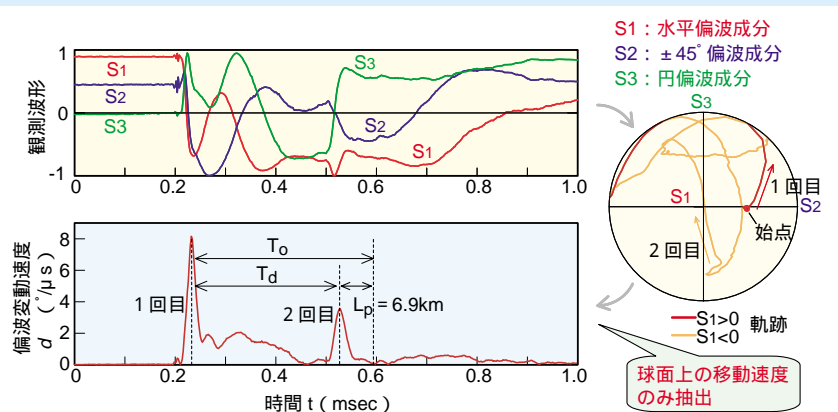


図2 落雷による偏波変動量の波形