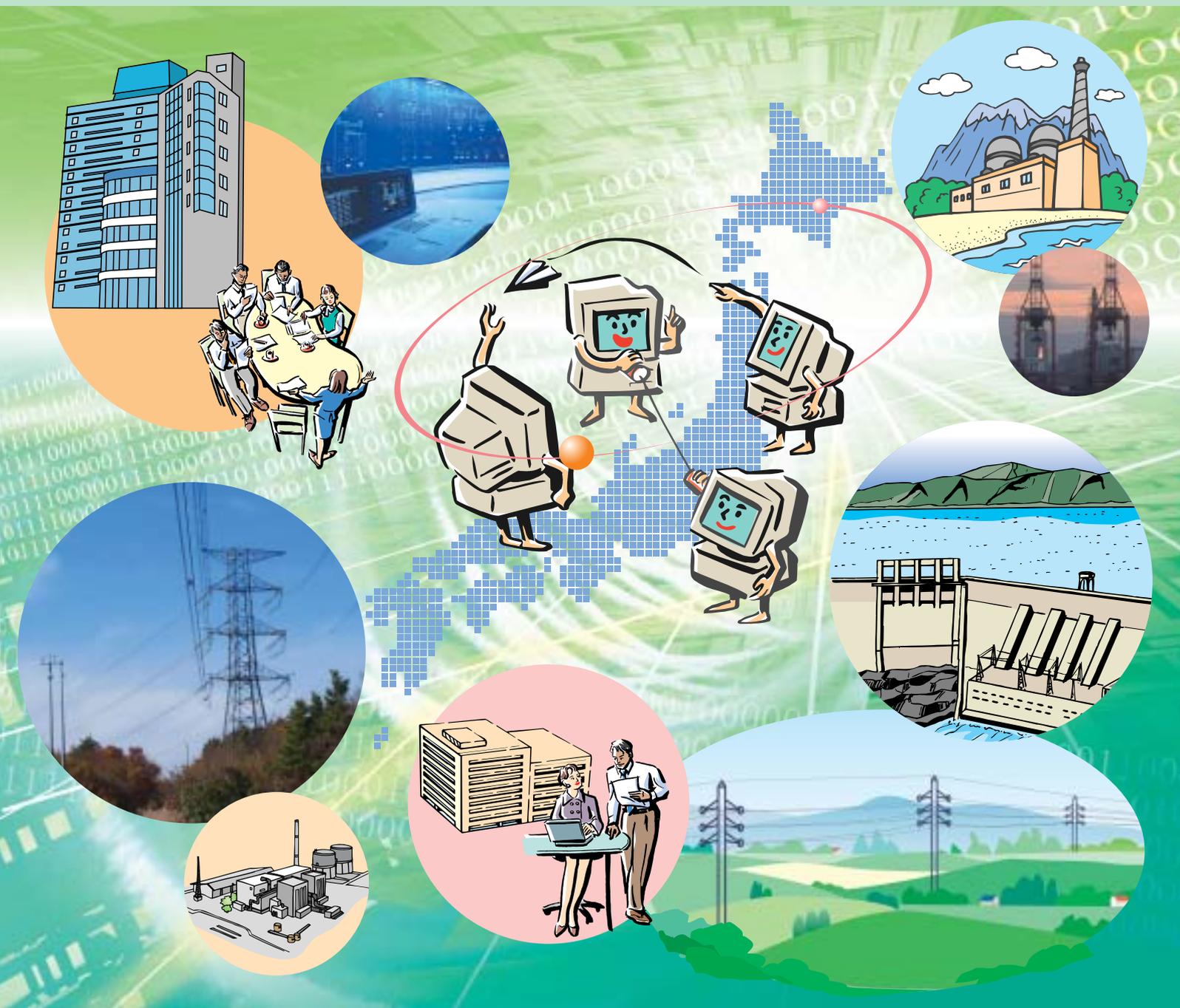


DENCHUKEN REVIEW

電気事業とIT
情報通信技術で変える・変わる

電中研レビュー No.50 2003.10



財団法人 電力中央研究所

巻頭言	東京理科大学工学部教授 正田 英介	2
「情報通信技術 (IT) 研究」のあゆみ		4
はじめに	理事 情報研究所長 鈴木 道夫	6
第 1 章 当研究所の取り組み		7
1-1 電気事業における IT		9
1-2 当所における IT 研究		9
第 2 章 電気事業における IT の将来像		11
2-1 エネルギーと情報の融合		13
2-2 IT の将来展望		16
コラム 1 : 電力取引と情報システム		18
第 3 章 電力流通の信頼度を確保する		19
3-1 通信ネットワーク技術		21
コラム 2 : インテリジェント電波測定車「ARM 号」		28
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 3 : OPGW 伝搬光の偏波変動と雷撃点標定		40
第 4 章 業務の流れを効率化する		41
4-1 情報システム技術		43
コラム 4 : 電力会社と e-ビジネス		50
4-2 知識マネージメント技術		51
コラム 5 : 大量文書自動整理システム「トピックうおっちゃん」		58
第 5 章 技術革新を支える		59
5-1 機械学習技術		62
コラム 6 : ニューラルネットワークとサポートベクターマシン		68
5-2 最適化技術		69

コラム7：確率計画法.....	76
5-3 画像技術	77
5-4 オープンネットワーク技術	91
おわりに ===== 理事待遇 我孫子研究所長 西 好一	96
引用文献・資料等	97

ITによる電力事業の変革



ITと略称される最近の情報・通信技術の進歩には目覚ましいものがあり、特に大量の情報の蓄積・処理・伝送の性能の飛躍的な向上とそれに支えられた画像の取り入れ・処理・利用や高度の情報処理やデータ伝送のコストの低下が、社会の各階層においてITを基礎とした新しい社会構造の構築に向けたうねりを作り出している。20年以上前にもComputer, Communication, Controlの頭文字を取ったCCCが産業社会を変えるとして話題になった。それは身近な例で言えば銀行のオンライン業務や交通機関の座席予約など特定のシステムやプ

ロセスに限られて、技術としてもハードウェアに依存した適用範囲の限られた専用性の強いものであったが、それらの技術が基礎となって大きな広がりを持つ今日のネットワーク社会が導かれたといえよう。

電力システムは多数の設備と大きな地域的な広がりを持つシステムであり、貯蔵が困難な電気エネルギーを時々刻々変化する負荷需要に応じて遠隔の電源設備から安定に供給するためには、大量の情報に基づいて速応的な制御を行う必要がある。このため電力事業における運用と運転制御においては、それを支える高速の通信ネットワークが構築され、高度の情報処理技術を活用した自動運転・操作支援・シミュレーションがリアルタイムで行われてきた。この意味から言えば、ITは既に長く電力システムを支えてきているのであり、逆にその進歩にも貢献してきている。

しかし、電力市場の自由化やそれに伴う供給電力コストの低下の要請などにより電力事業を取り巻く社会状況は急速に変化しており、さらに地球環境問題の解決に対す

る強い社会的な関心から再生可能エネルギー源の活用を電力事業に対して義務付ける流れがある。競争市場での電力取引を可能にする電力システムの運用、自然エネルギーを利用した変動が大きい電源など、小規模で分散配置された運転条件に制約のある多数の電源を従来型の大規模な遠隔の電源と組み合わせた、信頼性の高い優れた品質の電力供給などの社会の要請に応えるには、さらに大きな広がりを持った情報通信ネットワークを活用してより高度の制御を組み込む必要がある。

その実現に向かってはより高速で大量の情報の伝送、公共の情報ネットワークの部分的な活用、オブジェクトベースのソフトウェア、知識データベースやニューラルネットなどの新しい情報処理技術の導入などが求められており、本号のレビューにも紹介されているような多くの新しい技術がすでに開発され、実用に移されようとしている。さらに、電力事業そのものが、その豊富なリソースを生かして総合的なエネルギー供給や情報プロバイダー機能をもつ総合的なサービス業に変身していくにも、ITの一層の利用が期待される。ITがわが国の電力事業の変革を急速かつ高度に推し進めて、エネルギー分野における国際競争力を高めることを期待している。

東京理科大学理工学部教授

正 田 英 介

電中研「情報通信技術（IT）研究」のあゆみ

西 暦	当 研 究 所 の 状 況	日 本 の 状 況	世 界 の 状 況
1948			・トランジスタの発明（米）
1949			・ノイマン型コンピュータ開発
1950		・電波法施行	
1951	・電力線搬送研究会の設置		
1952	・電力用無線研究会の設置		
1953			
1960		・有線電気通信法施行	
1962	・技術計算用プログラム開発開始	・2,000MHz マイクロ無線実用化	・レーザの発明（米）
1965		・テレビ放送開始（NHK）	
1968		・カラー TV 本放送開始（NHK）	
1969			・ARPAnet の運用開始（米）
1970			・ALOHAnet 開始（米、無線方式）
1971	・UHF、VHF 帯テレビ電波障害の研究開始		・低損失光ファイバの開発（米）
1972	・データベース研究会設置		・Telnet 規格
1973	・ARPAnet の調査	・電話 FAX サービス開始（電電公社）	・ARPAnet 国際接続（英、ノルウェー）
1974		・アメダスサービス開始（気象庁）	
1975	・プログラム構造化研究会の設置		
1976	・光ファイバ通信の研究開始		
1977	・広帯域符号伝送試験装置の開発		
1978	・光ファイバ電流・電圧センサの研究開始		
1979		・自動車電話サービス開始（電電公社）	
1980	・計量経済分析・データベースシステムの開発		・ISDN に関する基本勧告の制定（CCITT）
1981	・電力用デジタルマイクロ波回線の研究開始		
	・電気事業オフィスオートメーション研究会の設置		
	・電中研コンピュータシステム（DCS）の導入		
1982	・景観シミュレーション研究開始		・TCP/IP 完成
1983	・知識処理技術の研究開始	・衛星通信回線の利用（電気事業）	・ARPAnet へ TCP/IP 導入
1984	・高度経営情報システム（DEMAMDS）の開発	・INS モデル実験開始（電電公社）	
		・JUNET スタート	
1985		・電気通信事業法施行（通信自由化）	
1986			・NFS ネット開始（米）
1987	・機械学習技術の研究開始	・携帯電話サービス開始（NTT）	

西 暦	当 研 究 所 の 状 況	日 本 の 状 況	世 界 の 状 況
1988	・ソフトウェア規模評価手法検討会の設置	・INS サービス開始 (NTT)	・B-ISDN の標準化勧告 (CCITT)
1989	・電気事業 AI 研究会の開催(~ 91 年)	・インターネット運用開始 (NFS ネットに接続)	・OMG(Object Management Group) 設立
1990		・デジタル公衆電話 (NTT)	・ARPAnet 終了
1991			・ATM Forum の設立 (ITU)
1992	・電力用 B-ISDN の研究開始 ・CV ケーブル評価への画像技術利用		・Linux 開発 (フィンランド) ・WWW 開発 (スイス)
1993	・配電図面の自動認識システムの開発	・インターネットの商用接続サービス開始	・NII 構想発表 (米国)
1994	・OPGW を用いた雷撃点標定方式の開発	・自動車電話、携帯電話の自由化	・Mosaic 開発 ・GII 構想発表 (米国)
1995	・文書検索システム「みつけるぞう」の開発	・「科学技術基本計画」の策定	・Windows 95 (TCP/IP 標準装備) ・NFS ネット終了
1996	・画像による電線振動計測法の開発 ・Tracking/Steering System の開発	・CS デジタル放送開始	・B-ISDN の標準化完了 (ITU) ・FIPA (Foundationo of Intelligent Physical Agents) 設立
1997	・電力通信網への IP 適用に関する研究開始 ・大規模・複雑システム最適化の研究開始 ・分散型景観シミュレーションシステムの開発	・電気通信事業法改正	・Windows CE ・京都議定書 (COP3)
1998	・セキュア IP ネットワークの実証研究開始		・通信完全自由化 (EU)
1999	・電中研テクノウェブシステム試運用開始 ・広域保護システムの研究開始 ・家庭用電力有効利用支援システムの開発	・電気事業法改正 (電力市場一部自由化)	・コンピュータ 2000 年問題
2000	・移動無線周波数の最適割当手法の開発	・BS デジタル放送開始	・G8 九州・沖縄サミット (IT 憲章の採択)
2001	・移動無線エリア設計ツールの開発	・IT 基本法の施行 (e-Japan 戦略の制定) ・IMT2000 サービスの開始	
2002	・インテリジェント電波測定車 ARM 号の開発 ・大量文書自動整理システム「トピックうおっちゃん」の開発 ・偏波変動解析装置の商品化	・IP 電話認可	

はじめに

理事 情報研究所長 鈴木 道夫



重要な社会インフラの一つである電力供給には、安全と安定が求められているが、一方において、電気事業は、電力市場自由化による競争時代を迎えている。この社会状況に対処する技術として、広域・複雑な電力システムの効率的かつ高信頼度な運用、そして今後多くの導入が見込まれる各種新電源の最適運用制御、既設設備有効利用のための保守・運用技術の高度化、複雑・多様化する業務の効率化、さらには、健全な電力市場形成のための制度設計などが重要になってくる。

これまでの電気事業における情報・通信技術は、電力システムの安定運用、業務の効率化支援に重きがおかれていたため、どちらかと言うとシーズ指向の傾向が強く、また前面に出ることは少なかったように思われる。

しかしながら、2000年の九州・沖縄サミットで、IT（情報通信技術）を「21世紀を形作る最強の力の1つ」としているように、今や、ITは多くの企業において、業務プロセス改革の鍵となっており、それが提供する高度な情報収集・情報処理・情報共有・情報表示等の活用が、経営そのものと密接に関連するような状況になっている。特に、情報のネットワーク化、CPUの高速化などは、ネットワークを基盤とする電気事業にとって、必須の技術である。そこで、本レビューでは、当所が取り組んでいるIT関連研究について、「電力流通の信頼度確保」「業務の流れの効率化」「技術革新の支援」の観点から紹介した。

ITは、日に日に進展し、次々と新しいアイデア・技術が産み出されている。これらの中で、真に電気事業に役立つ技術は何か。これを考えながら、研究に邁進する所存でございます。皆様からの従来に増してのご指導、ご鞭撻をお願いいたします。

第 1 章

1

当研究所の取り組み

第1章 当研究所の取り組み 目次

情報研究所 副所長 栗原 雅幸

1 - 1 電気事業におけるIT	9
1 - 2 当所におけるIT研究	9



栗原 雅幸（1977年入所）

入所以来、光ファイバに及ぼす電磁界影響の解明とセンサ応用、電力用光ファイバ通信技術、チェレンコフ光による軽水炉使用済燃料の保障措置技術など、光応用技術に関する研究に従事。

1-1 電気事業におけるIT

高度情報化社会の進展に伴い、電気事業は良質で安定した電気を安価に提供すると共に、多様化するお客様のニーズに即したサービスを提供し、また業務の遂行方法を一段と高度化、情報化していくことが重要となってきた。

電気が他のエネルギーと大きく異なるのは、大量に貯蔵できない点である。そのため、電気事業には、消費量に見合った発電設備と発電した電気を送るための送電線や変電設備などの膨大な生産・流通設備の適切な構築、巨大化・複雑化した電力流通ネットワークの効率的な管理・運用が要求される。これらの要求は、電力自由化による競争時代を迎え、ますます強くなっている。

また、事業活動を的確に機能させるためには、有用な外部情報の収集・分析、事業運営に伴って発生する膨大な情報の効率的、効果的な管理・処理、および活用が必須となる。さらに、新しい流れとして、電力取引市場とともに、環境問題に関連しCO₂排出権取引市場も検討されている。これらの市場は、相互に関連することが予想

され、それぞれが、期待されるような経済原理に基づいて機能するためには、さまざまな観点からの制度確認などが非常に重要となる。

電気事業は、これまでににおいても、電力設備の保護・制御、保守・運用・管理のための通信ネットワーク整備や、業務運営効率化のために、情報のネットワーク化を進めてきたが、近年、これらの基盤となる情報通信技術（IT：Information Technology）は、驚異的なスピードで発展している。以前には、大型汎用コンピュータを必要とした業務が、ネットワークで連携された机上のPCでできるようになり、また通信ネットワークの高速・大容量化により、複雑かつ高速な制御も可能となっている。

ITは、コスト低減と信頼性の維持、業務の一層の効率化、電力自由化、など、電気事業を取り巻くさまざまな課題に対応し、電気事業が、ダイナミックで活力ある発展を持続するためのキーテクノロジーになると期待できる。

1-2 当所におけるIT研究

当所におけるIT関連研究を、電力流通の信頼性を確保する電力通信技術、業務の流れを効率化する情報技術、および建築土木、経営管理、環境保全など電気事業が必要とするさまざまな技術の革新を支える技術に大きく分類し、これまでの取り組みと今後の方向性について概説する。

(1) 電力通信技術

電力通信は、電力系統の保護・制御、運用・操作の高性能化・高信頼度化に必要な情報を高信頼度に伝送することに用いられており、一般公衆通信に比べ、極めて高い信頼度が要求される。このため、光ファイバ通信やマイクロ波通信における伝送特性解明や回線設計手法を中心に研究を行ってきた。光ファイバ通信に関しては、強電磁界の影響について研究を進め、現行の強度変調方式であれば影響が無いことを実証した。また同時に、GW

（Ground Wire）に内蔵されている光ファイバ（OPGW）であっても、偏光状態を観測すると磁界の影響を受けることを見だし、この現象を用い、送電線への雷撃点標定装置の開発を行った。マイクロ波通信については、フェージングによる回線瞬断率の算定方法、建造物（ビルや送電設備）が伝送品質に与える影響量の予測手法を開発し、回線設計の合理化に貢献している。

1980年、国際電信電話諮問委員会（CCITT）は、サービス統合デジタル網（ISDN）に関する基本勧告を制定し、1988年には、非同期転送モード（ATM）を広帯域ISDN（B-ISDN）の中核にすることを決め、その標準化は、1996年にほぼ完了している。当所では、1992年頃より電力用B-ISDN構築に関する研究を本格的に開始し、ATM伝送路における伝送遅延時間等の影響を検討し、電力用としてのATM交換機の要件を明らかにした。

一方、インターネットの普及に伴い、電気事業においてもインターネット技術を活用した基幹業務の効率化や迅速化が急速に進んでいる。当所では、1997年頃からIP（インターネットプロトコル）技術の電力通信網への適用と電気事業に係わる通信をシームレスに接続する技術に関する研究を開始しており、電力用IPネットワークの最適構成手法の提案を行っている。

次世代の電力通信網には、電力系統のより高度な運用を行うためのリアルタイム性ばかりでなく、業務支援高度化のためのサービス性、外部ネットワークと接続するための柔軟性と安全性の確保などが要求される。このため、エネルギーサービスを多種多様な面からサポートできる分散リアルタイムネットワークアーキテクチャ、公衆通信事業などにおいて多元サービスを実現できる大規模通信網の評価・設計手法の開発を進める。

（2）情報技術

高度情報化社会では、多様な情報を的確に分析処理し、必要な情報を、必要な時に、必要な場所で自由に利用できる情報システムが求められる。このようなオープンなネットワーク型情報システムでは、多数のコンピュータによる協調分散システムが重要となる。このため、各種コンピュータの相互連携技術、データと処理の適切な分散配置方式やセキュリティ管理等の運営管理技術などの開発を行ってきた。また、情報システムのより一層のコスト低減のためには、情報システムの品質・コスト評価が重要となる。当所では、利用者のニーズと品質を満たすソフトウェアの新規開発・保守規模見積もり手法として、ファンクションポイント法（FPA）の研究を進め、電中研版FPAを開発している。

規制緩和、競争の時代においては、フレキシブルでスピーディな業務処理、非定型の知的作業を効率的に支援し、生産性を高めるための情報システムであることが重要になる。このための基盤技術として、情報とその利用法を自動的に整理して示す機構、状況に応じて適切に代行作業を行う機構の研究を進めてきた。

また、現場技術におけるノウハウの継承、大規模な顧客データベース（DB）に基づく的確なマーケティング戦略の立案など、膨大な情報の収集・蓄積・分析から隠れていた知識を抽出し、共有する知識マネジメント技術が、今後ますます重要になる。そこで、機械学習と情報

検索とを連携させ、大規模DBから知識を効率的に抽出する手法、重要性が高い情報を早期に特定できる手法の開発を進めてきた。

今後は、最新の情報システムに関して、その技術的特長、既存システムとの整合性、導入効果などを総合的に分析・評価する手法の開発、およびデータ分析技術の高度化に取り組む。

（3）技術革新を支援する技術

機械学習技術、最適化技術、画像技術、VPN（Virtual Private Network）などのITは、電気事業が必要とする発送配電・建築土木・経営管理・環境保全などの多岐にわたる分野で、技術革新のために活用されている。

ニューラルネットワークやサポートベクターマシンなどの機械学習手法は、非線形構造解析に応用され配管構造物の解析に活用されている。また、家庭におけるエネルギー有効利用支援のためには、家庭内電気機器の稼働状態を知る必要があるが、機械学習手法を利用すると、稼働状態推定を外部から遠隔に行うことが可能となる。

遺伝的アルゴリズム、確率計画法などの最適化手法は、不確定要素を含む大規模かつ複雑なシステムの設計・運用に有効である。これらの技術を用い、電力・ガス・水道事業、警察、防災行政などの公共業務に広く利用されている移動無線における周波数の最適割り当て手法、電力取引市場とCO₂排出権取引市場のシミュレーション、将来の不確定要素を考慮した電力・情報・通信システムの設計・運用手法、などの開発を行っている。

画像技術については、画像解析に基づく計測や状態の観測・監視、大規模な数値解析結果や実験データの可視化など、従来手法では困難であった現象の把握や解明、表示などに広く利用されている。

また、インターネットVPNを利用した「電中研テクノウェブシステム」を構築し、電気事業大での研究の効率化、技術継承・発展に寄与することを目指している。

今後は、最新機械学習技術の特性解明、確率計画法や進化型アルゴリズムなどの新しい理論とアルゴリズムの開発、マルチエージェントによる複雑な現象のシミュレーション手法の開発、理解しやすい画像表示技術など、個々の技術の高度化を図るとともに、実問題への適用に取り組む。

第 2 章

電気事業における ITの将来像



第2章 電気事業におけるITの将来像 目次

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 情報科学担当（部長）上席研究員 松井 正一
本部 研究企画グループ 主任研究員 桑畑 暁生

2 - 1 エネルギーと情報の融合	13
2 - 2 ITの将来展望	16
コラム1：電力取引と情報システム	18



芹澤 善積（1980年入所）
各種無線通信回線の電波伝搬特性や建造物などによる電波伝搬障害に関する研究に従事してきた。また、電力システムの監視制御・保護方式やそのための情報通信ネットワークに関する研究にも取り組んでいる。

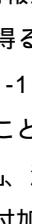


松井 正一（1981年入所）
入所当時は計算機システムの性能評価ならびにチューニング手法に関する研究に従事。その後は、経済予測のための情報システムや経営情報システムなどの計算機システムの応用に関する研究に従事。現在はネットワークセキュリティ技術に関する研究、進化的計算手法による最適化技術に関する研究に従事。



桑畑 暁生（1987年入所）
入所以来、電力託送制度評価、気候変動リスクを考慮した設備計画問題など、電気事業における各種最適化問題の研究に従事。近年は電気事業とITの関わる領域における技術・戦略の調査研究を行っている。

2 - 1 エネルギーと情報の融合

電力やガスなどのエネルギー流通ネットワークは、その発生から分配、消費に至るまで広域かつ巨大システムであると同時に、一般需要家まで含めると超分散のシステムを構成している。このようなシステムをいかにして最適に運用するか、いかにしたら消費者に満足と付加価値をもたらすことができるかが重要な課題であり、IT（情報通信技術）は、課題解決のための基盤的技術となり得る。すなわち、エネルギー分野にITを活用し、2-1-1に示すようにエネルギーと情報の流通を関連付けることで、供給者の視点からは「エネルギー流通の最適化」、消費者の視点からは「エネルギーと情報の融合した付加価値サービス」が期待できる。

（1）エネルギー流通の最適化

エネルギー流通システム全体のエネルギー発生量とその配分や効率をオンラインで最適化するには、究極的には全ての消費者のエネルギー要求量や使用状態、および全てのエネルギー生成・貯蔵・流通設備（電力・ガスシステムやコジェネ設備など）の状態をリアルタイムに収集・処理することが必要である。このための電力用情報通信ネットワークは、2-1-2のように示される。

設備運用系は、基幹システムや需要家供給システムの運転・保守や発電設備、分散型電源、一般需要家設備の監視のため、リアルタイム系のイントラネットやエクストラネットを用いた監視制御システム、設備保全・保安システムからなる。電力流通や設備管理の効率化・高度化のため、システム監視制御システムや各種（給電、配電、通信）自動化システム、保守支援システムなどを統合的に扱える仕組みが重要となる。

設備の保守・管理等へのITの活用として、近年は画像認識・処理技術や機械学習技術の進歩とあいまって、機器の異常等を従来以上に精度高く判定する診断技術や、システムの内部の状態を外部からの確に把握するための監視技術の実用化が進められている。さらには、各種のセンサ、情報通信、情報処理を一体的に組み合わせたシステムが期待される。現在は多種多様な設備が監視制御の対象となり、機器種別や監視制御アプリケーション毎に個別システムを構成していたが、将来的には、機器の

インテリジェント化と取り扱う情報形式の標準化、および機器間連携ネットワークの高度化により、各機器がインテリジェントな分散処理と通信・センサ機能を内蔵して、相互に連携しあったセンサベースのネットワークにより統合されることも想定される。このほか、設備計画業務などへの各種最適化手法や機械学習などの適用も期待される。

また、エネルギー事業者間のエネルギー融通や託送が盛んになることにより、事業者間エクストラネットの構築も重要になる。例えば、現在の電力託送における同時同量システムでは、発電側の発電量と需要家の消費量が30分間で等量となるよう制御する。特定規模電気事業者（PPS）においては、全国の分散した発電所を通信網で接続し、オンラインでの電力品質監視や設備管理を行う必要がある。

社外取引系は、エネルギー取引や経営資源・資材調達などエクストラネットやインターネットを活用した企業間の電子商取引システムである。資材調達に関しては、既に、従来の各社個別の電子的取引に加え、電力会社や商社などと共同で資材取引eマーケットプレイス（電子商取引市場）や、電力会社・メーカ・工事会社間でのサプライチェーンの構築など、グループ企業間ネットワークの整備やグループ経営支援システムの新規構築も進められている。エネルギー市場の自由化により、エネルギー取引所が設置されるが、インターネット上の仮想専用網（VPN：Virtual Private Network）を用いた参加事業者～取引所間の取引情報のやりとりになると考えられる。取引用の諸手続きを代行するソフトウェアエージェントシステムなども適用が考えられる。

一般業務系は、経営判断の迅速化や管理・事務業務効率化のため、イントラネットを活用した汎用の業務処理システムや情報共有システムおよび映像・音声・データ融合通信システムを指す。経営分析・管理のための各種ツールの導入、またデータウェアハウスの構築・活用が検討されている。このほか、事業部制や店所自律経営の導入、管理部門の集中化や各種事業所の統合化、テレワークのような新たなワークスタイル環境整備などを目的として、社内情報通信ネットワークの重要性がますます

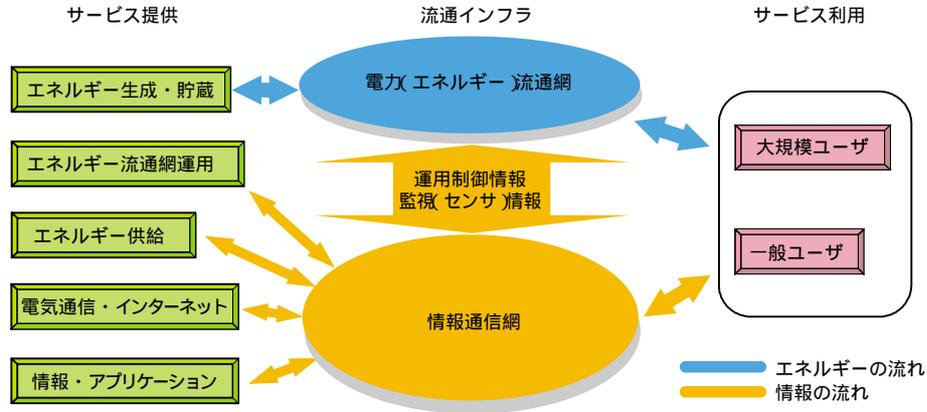


図2-1-1 エネルギーと情報の連携・融合

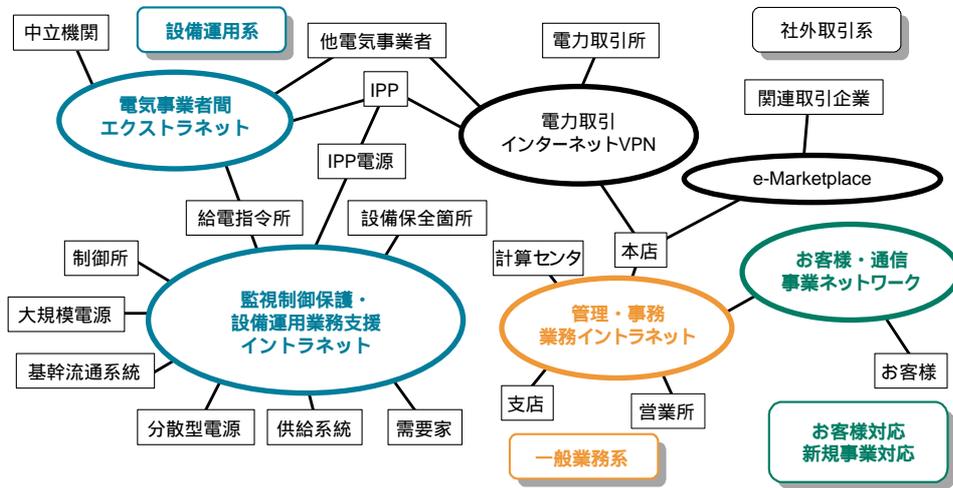


図2-1-2 電力用情報通信ネットワークの構成例

大きくなる。

(2) エネルギー・情報融合型付加価値サービス

本サービスには、情報コンテンツとシステムインフラを結び付ける多様なコンテキストが重要となる。特に、ユーザのアメニティ志向のシステムとして、お客様系（一般需要家のエネルギー供給に関わる諸手続き・料金調定・問い合わせ対応、エネルギーマネジメントサービス、コンテンツサービス、情報通信サービスなど）およびその設備（通信事業設備、データセンタ事業設備、コンテンツ配信設備）管理システムなどが必要になる。お客様サービス向上に向け、既に営業センタやコールセンタの新設、顧客データベースの統合やCTI（Computer Telephony Integration）の活用、インターネット活用サービス（電気利用手続きや電気使用量・料金照会）の展開などが図られている。また、新規事業と

しては、公衆通信事業（光ファイバ心線・管路貸し、電話・専用線・インターネット接続サービス等）、アプリケーション・サービス・プロバイダ（ASP）やデータセンタ事業などが進められている。

今後は、例えば光ファイバ網をベースとしたエネルギー情報通信プラットフォーム上でのお客様総合サービスとして、宅内への光ファイバの直接引込みや無線、屋内配線などを介して通信し、インテリジェントゲートウェイ化した電力量計を利用して、電気・ガス・熱の総合エネルギーマネジメントサービス（遠隔検針、遠隔異動処理、家電・宅内機器監視制御、エネルギー利用・契約コンサルティング、瞬時電圧低下・停電対策設備管理等）テレコム・コンテンツサービス（インターネット常時接続、IP電話、CATV、映像・音楽などのコンテンツ配信等）、生活支援サービス（セキュリティ、位置情報、地域・生活情報提供等）を提供する。このため、多様な

情報を伝達・処理する高度社外ネットワークが必要になり、例えば、汎用のIP（インターネットプロトコル）技術やソフトウェアエージェント技術の他、簡単な情報処理をネットワーク内のルータで行うアクティブネットワーク技術も有効である。また、コンピュータ、テレビ、娯楽機器、冷蔵庫、洗濯機、エアコンなど、家庭内のデジタル家電機器を結ぶ有線、無線、電灯線等によるホーム・ネットワーク化も必要である。

前述のセンサベースのネットワークを社外にも展開し、ライフラインに関するセンサネットワークとする。さらに、図 2-1-3 に示すように、電力会社などの持つ各種センサや光ファイバ網などのインフラを高度に活用して、防災や環境計測などで地域やお客様への貢献、新ビジネ

スへの展開が期待できる広域センサネットワークあるいはライフライン情報提供ネットワークに発展させる。インテリジェントなセンサ、モバイル・ユビキタス技術、分散処理・通信（有線/無線）機構が一体となった超小型機器技術を社会インフラやライフライン系に応用し、OPGW などによる広域的な線状センサや分散配置・ネットワーク型センサも併せて、公共事業体や自治体、政府などが保有するセンサを有機的にネットワーク結合する。これにより、平常時の各種設備診断のみならず、災害時のライフライン確保に向けた迅速な対応やテロなどの社会的危機管理システムなどへの応用を図ることが有効である。

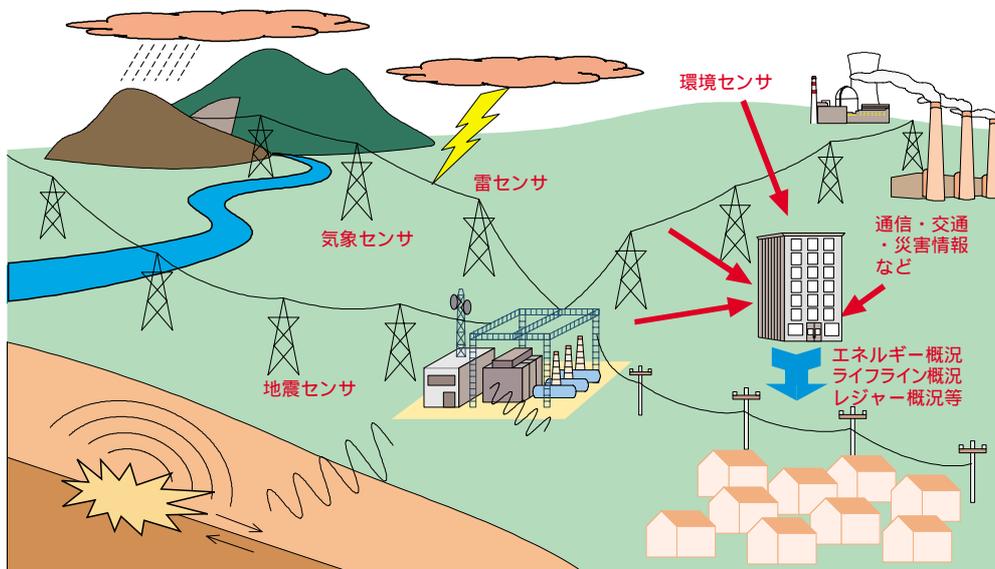


図2-1-3 光ファイバ・無線通信網を活用した広域センサネットワーク

2-2 ITの将来展望

IT（情報通信技術）とは「コンピュータを中心にしたハード、ソフト、通信とそれらを総合したシステム全般の技術」である。20世紀最後の5年間に本格的なIT革命が始まった。産業をベースとした工業化社会から、知識をベースとした情報化社会へと急速にシフトしている。過去10数年、曖昧に語られてきた情報ネットワーク社会の輪郭がおぼろげながら見えつつある。今世紀になり、IT革命があらゆる産業分野だけでなく社会、家庭や個人に深く浸透し、情報化が広まり深まる「デジタル化の第二フェーズ」に入った。こうした変化のプロセスで目指されるべきことは産業の効率化や、社会・個人の豊かさの向上である。日米欧の情報化には、進展の度合いにタイムラグはあるが、「情報と通信は不可分であり、今後の計算機は単独で利用されるのではなく、ネットワークで結合された1つのノードとして動作することが基本」という共通の認識がある。

(1) 社会インフラとしてのインターネット

最近のITの急速な普及はインターネット技術に負うものが多い。インターネットの急激な発展を支えた鍵は二つある。第一に仕様のオープン性である。第二は、PC技術の急激な発展によって、技術を安価に利用することが可能となったことである。急激なトラフィック（通信量）の増加はWWWの発明による利用の簡便性から発生した。これは、広帯域通信の需要を喚起し、この分野の技術開発をさらに加速している。情報化を支える通信技術はIP（Internet Protocol）に収束し、IPは社会インフラの意味合いを深めつつ変貌を遂げると予測される。

(2) 情報化進展の鍵となるコンテキスト

個別に発展するIT（コンテンツを含むハード・ソフト）と、情報流通の社会インフラとして通信ネットワークを結び付ける「技術・方策・仕組み」としての「コンテキスト」の多様性が、中長期的に展望すると情報社会への円滑な移行や、実質的な「生活の質」向上のために不可欠である。つまり、真のデジタル経済においては、個々のコンテンツやネットワークの進歩以上のことが必要になる。

情報化社会を支える3つのレイヤ（層）は、インフラ、コンテンツとコンテキストである。インフラストラクチャ層とは、利用者にコンテンツやコンテキストを提供する基盤である。コンテキスト層とは、コンテンツを利用者に届ける方策である。狭義には利用者に提供するハード、ソフトのインタフェース技術を指し、例えば、ポータルサイトなどはソフト・コンテキストに属する。広義には、インフラをベースに使いやすいコンテンツを生む「仕組み」と定義する。コンテンツ層とは、インフラとコンテキストをベースとして、利用者が享受する対象である。

三つの軸に対応する技術とは何かを、WWW技術を例として説明する。サービス提供の基盤としてコンテンツ層、コンテキスト層を支えるインフラ層はシステムとしてのインターネット環境そのものである。そこで提供される情報検索、文字、映像、動画等がコンテンツである。コンテキスト層に属するのはインターネット上で各種情報を提供することを容易にした「仕組み」としてのWWW技術である。コンテキストとは本来「文脈」であり、利用局面や状況を指している。しかしながら、ここでは「利用しやすい仕組み・技術・方策」をコンテキスト層と定義する。いわゆる電脳空間が現実空間と等価な意味を持ち、情報化の価値が最大に引き出され、生活空間の拡大につながるためには、インフラ、コンテンツ、コンテキストの三者のバランスが必要である。

デジタル革命の第二フェーズでは、特に、コンテキストの役割が重要となる。情報化という側面だけでなく、インフラ産業として活動してきた電気事業にとっても、エネルギー総合サービス産業へのシフトを考える際には産業界が蓄積した「インフラ」と、提供しうるサービスとしての「コンテンツ」を結びつける「コンテキスト」の概念がより必要となる。

(3) 究極目標としての「5-any」

IT革命の1つの流れは「効率化」である。もう1つの流れは「豊かさ」を目指している。両者の流れを長期的に包括すれば、IT開発の基本的なキーワードは、 2-2-1に示す「5-any」の実現である。つまり、ネットワ

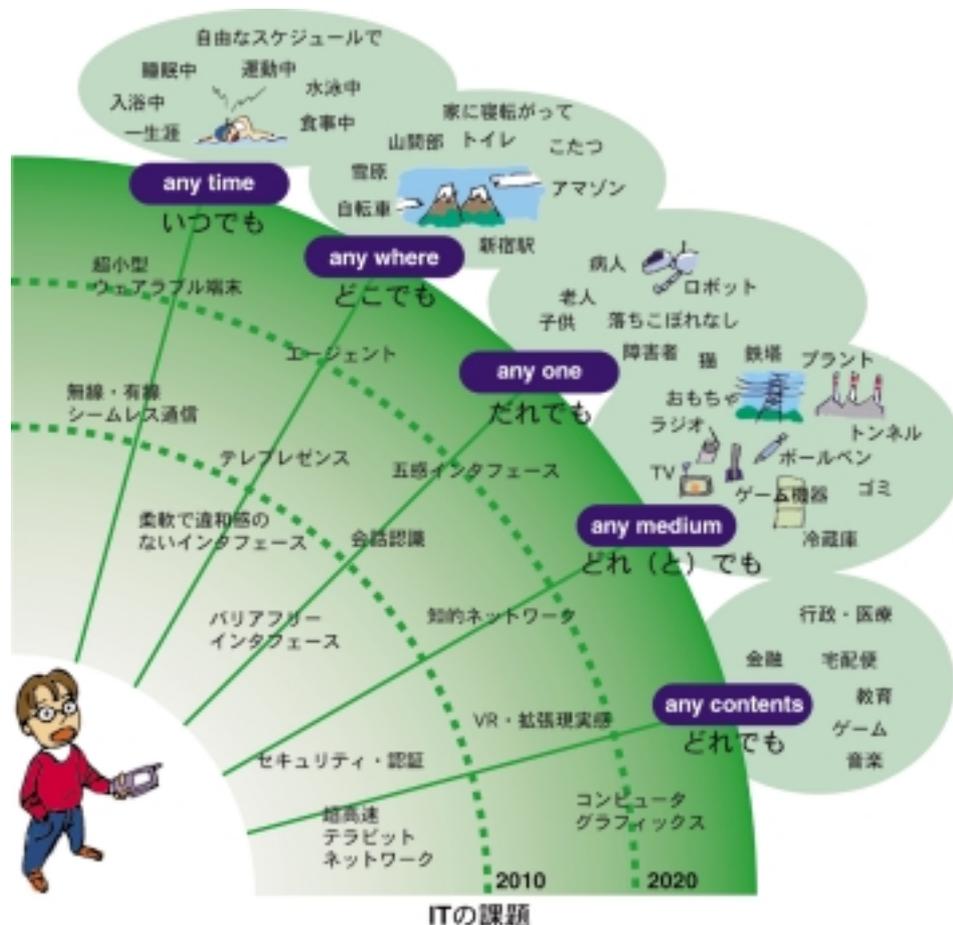


図2-2-1 5-any環境の進展

ークを介して「いつでも (anytime)」「どこでも (anywhere)」「だれでも (anyone)」「どれ(と)でも (any medium)」「どんなコンテンツでも (any contents)」通信可能であり、産業・個人を問わず、利用者のIT利用ニーズに応えることが目標である。

5-any という目標自体は目新しくない。しかし、実現に向けては多くの技術開発が必要である。「いつでも」、「どこでも」のためには、常時接続、無線と有線のシームレスな連携が不可欠である。機器は軽量でかつ、耐久性が求められる。「だれでも」のためには、IT機器の操作の簡便性、コスト低減、あらゆる利用者に容易な機能とユーザーインタフェースの劇的な進歩が欠かせない。「どれ(と)でも」のためには、コンパクトな通信ソフトの開発とともに、超大規模なネットワークの運用管理技術の進展が望まれる。「どんなコンテンツでも」のた

めには、高速大容量のインテリジェントなネットワークが必要である。

超高速ネットワーク技術を背景として、アメニティを向上させるため、ユーザの様々な機器を連携するユビキタスネットワークが重要になる。また情報の共有化、分散処理を可能とする協調分散技術とともに、plug-and-playのように、トポロジー（接続関係）ネットワーク、機能、情報を自律的・自動的に変化、管理、修復できるシステム技術、環境変化に追従できる情報システム技術の実現が期待される。

コンピュータネットワーク社会の進展は果てしないが、同時にセキュリティ対策も果てしない。コンピュータネットワークシステムの社会的安全性確保技術として、継続的に適切なセキュリティ技術の適用方策を検討する必要がある。

コラム1：電力取引と情報システム

電力自由化に伴う電力事業構造の変化は、情報処理の観点から見ても極めて多方面に影響を及ぼす。ここではその中でも電力取引市場創設に伴うシステム対応の変化について、米国での現状を例としてその影響の範囲について示す。電力取引市場創設に伴うシステム化対象領域を考えると、電力取引市場システムとは以下の三つのシステムを総合したものである（図参照）。

電力取引市場システム = 市場情報公開システム
+ 市場運営システム
+ 市場参加者側システム

市場情報公開システム

米国ではオープンアクセス同時情報公開システム（OASIS）とよばれ、これは規制当局により送電線所有者または系統管理者に公開が義務付けられている。卸電力取引の活性化を図るために、オープンアクセス送電サービス、アンシラリーサービスが提供されており、必要情報を市場に参加する全ての事業者に公開・提供する。

市場運営システム

市場運営システムとは証券・先物取引市場等と同等の取引・決済を支援するシステムである。電力取引の場合には単純な売買のマッチングだけで

なく、系統制約や混雑料金の提示などの機能も求められる。また取引される市場についても前日、リアルタイム、アンシラリーサービスなど複数の商品市場が必要となる。取引に際しては市場参加者（含む既存電力会社）へ市場インタフェース（Web/XML等）を提供する必要もある。

市場参加者（含む既存電力会社）側システム

電力取引市場に参加するには市場インタフェース（市場運営者提供）を利用すれば可能だが、1社あたりの発電ユニット数が多いと短時間（1時間程度）の市場取引に対応できない。そのため社内の運用計画系システムと連携した市場インタフェースや、市場への売/買のオファーを出すためのリアルタイムの設備運用・管理システムとの連携が必要となる。

現行では系統制御システムと業務基幹システム間の連携は想定されていないが、市場参入には決済まで含めたシステム対応が必要となり、連携部分の開発が必要となる。

さらには市場変動に対応するため、長期、短期の双方でリスクマネジメント導入が求められるリスク管理システムの開発が必要となる。米国電力取引市場参加者はほとんどの場合、それらのシステムを導入、開発している。

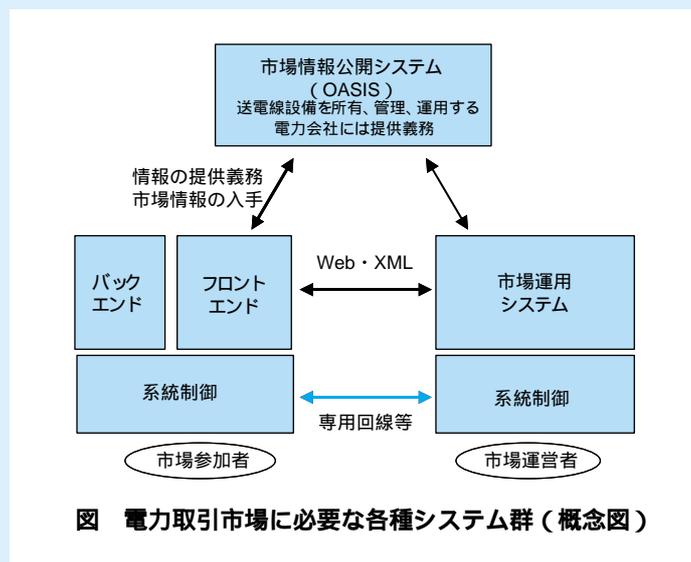


図 電力取引市場に必要な各種システム群（概念図）

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

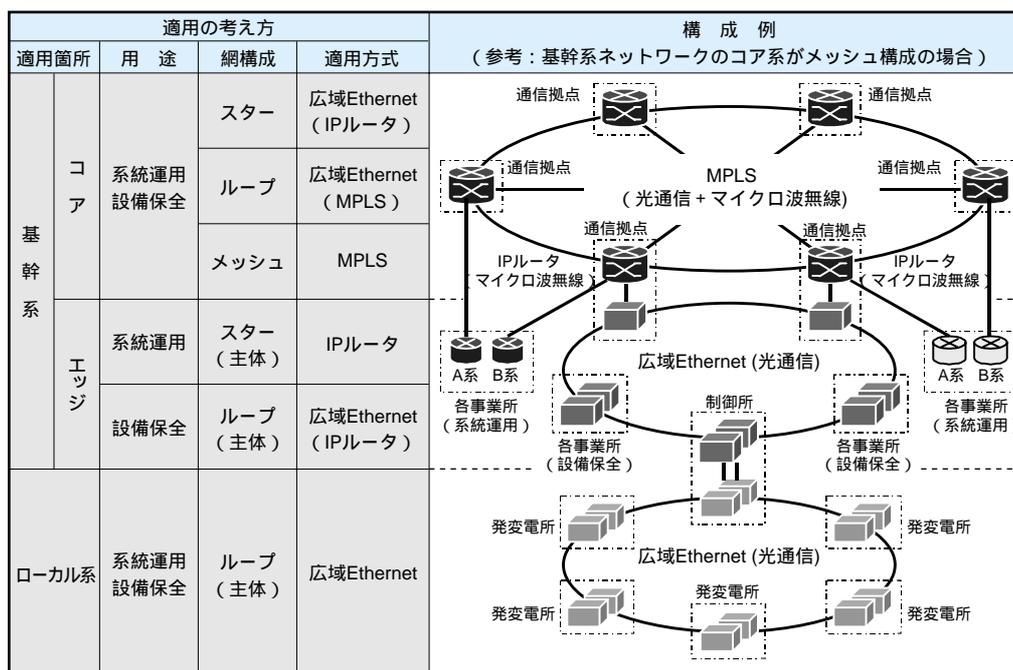
網の構築コスト、ルート設定・管理、伝送媒体の自由度、移行性、拡張性・柔軟性、監視制御性から比較評価を行った結果を表3-1-1に示す。構築コストでは、広域イーサネット方式が優れている。マイクロ波回線の収容を行う場合には伝送媒体に自由度のあるIPルータ方式

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 10km 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 20dB 、挿入損失 2.9dB 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、更に超高速化に応えるため、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

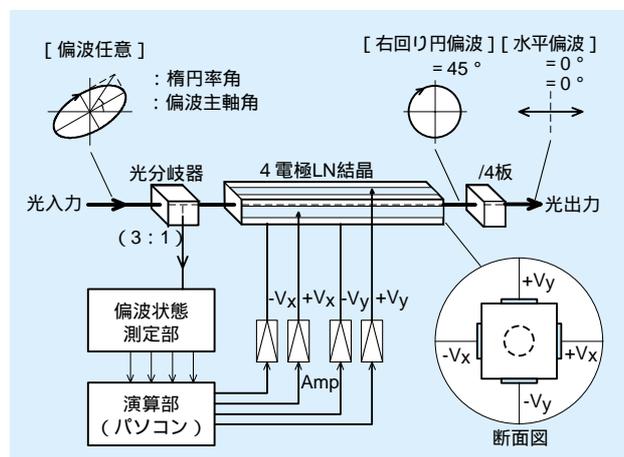


図3-1-1 偏波制御装置

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。

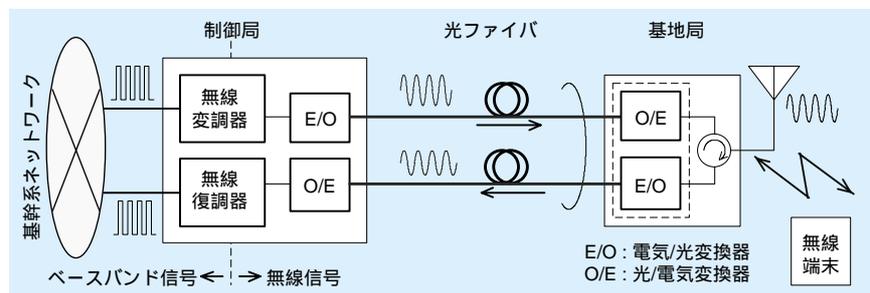


図3-1-2 光電波融合通信の基本構成

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

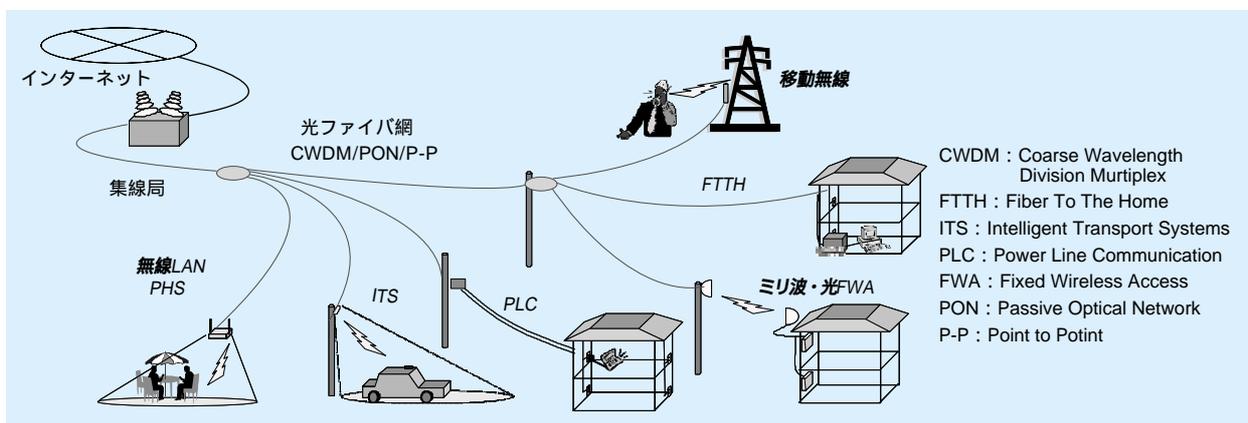


図3-1-3 アクセシ系メディア融合通信の概念

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。

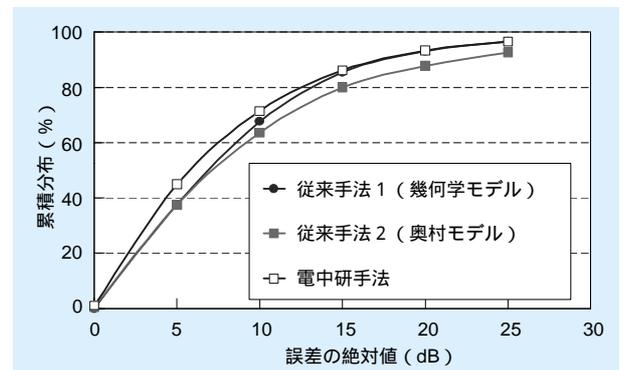


図3-1-5 移動無線の受信電界予測手法の比較

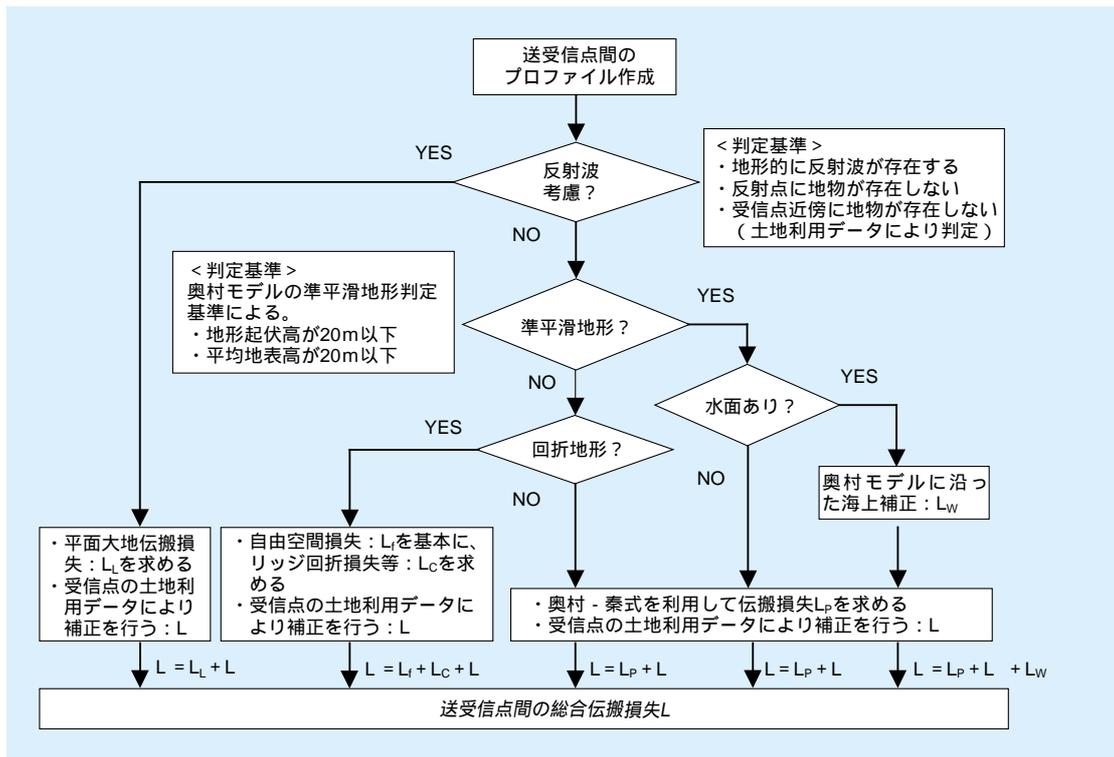


図3-1-4 400MHz帯移動無線回線の伝搬損失算出フロー

(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。

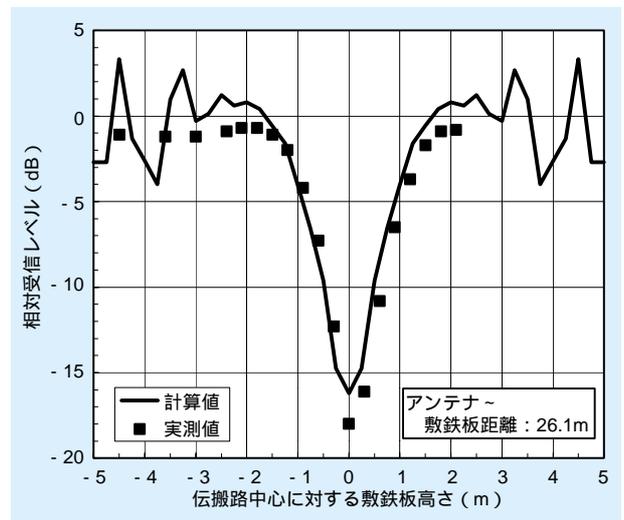


図3-1-7 工専用敷鉄板による伝搬路遮蔽の影響

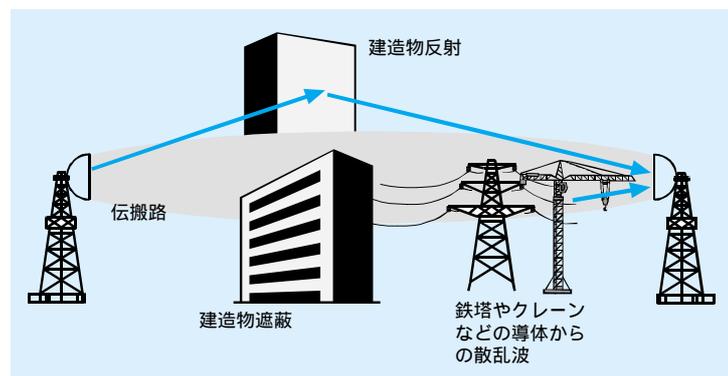


図3-1-6 固定デジタルマイクロ波無線回線への建造物による伝搬障害

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

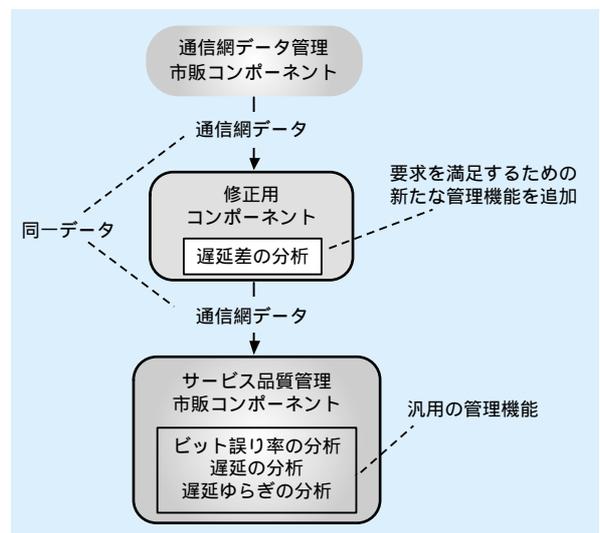


図3-2-1 修正用コンポーネント

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。

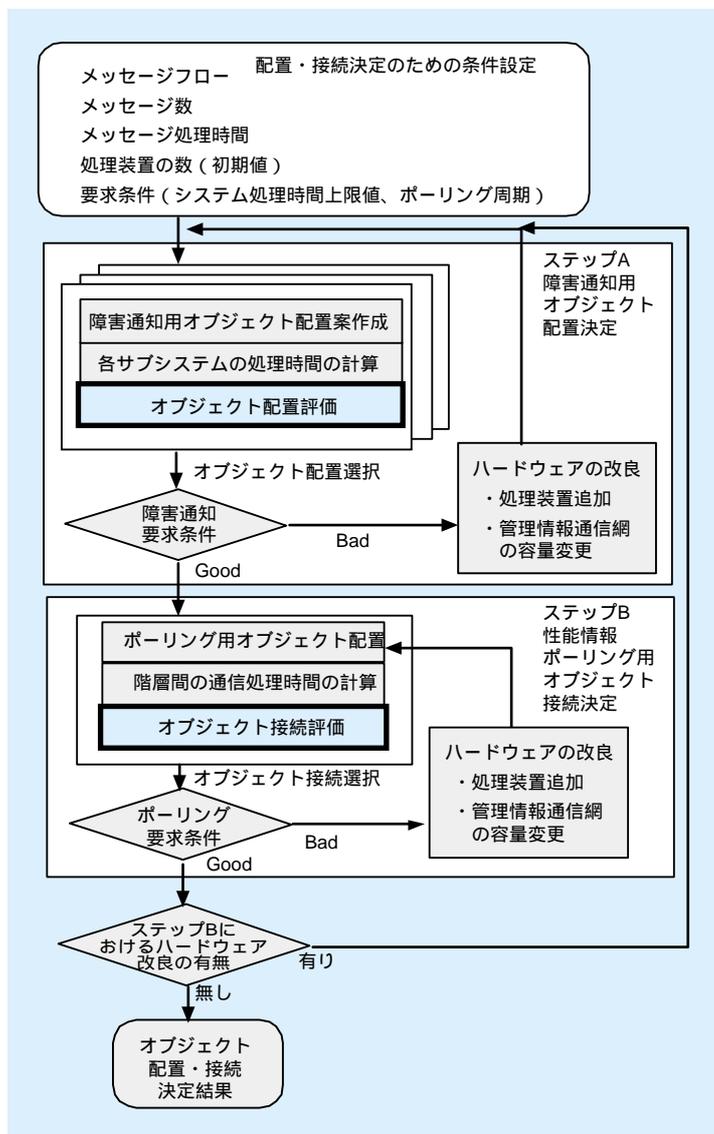


図3-2-2 オブジェクト配置・接続決定手法

(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

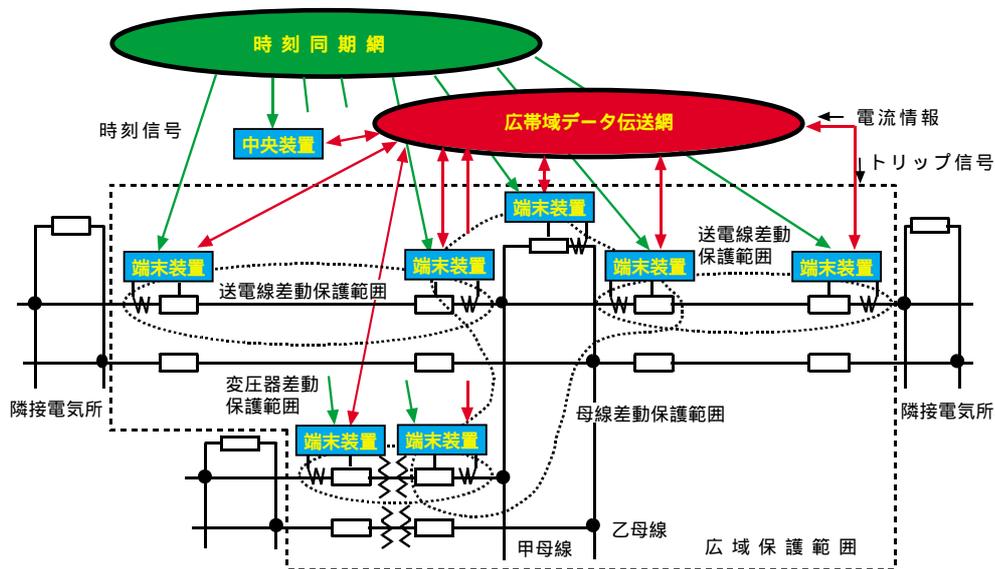


図3-3-1 広域保護システムの構成と保護範囲

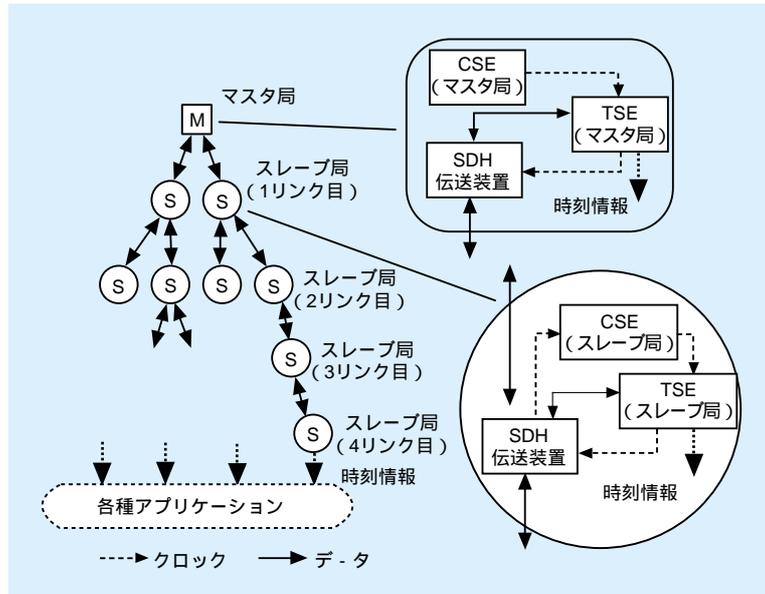


図3-3-2 時刻同期システムの構成

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。

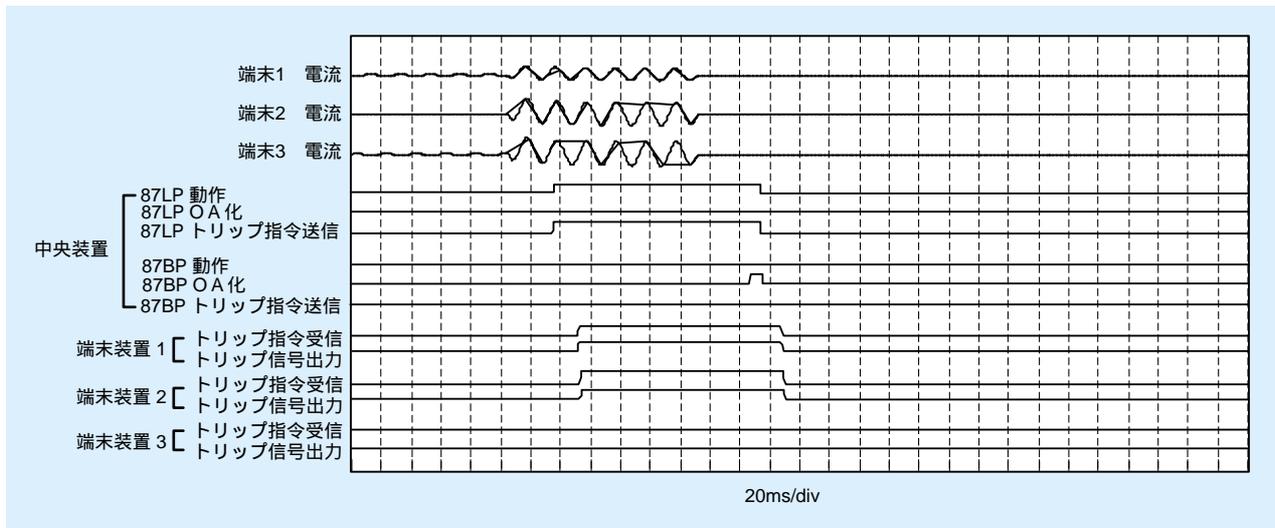


図3-3-3 試作した広域保護システムの動作検証例

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	電気所遠隔監視制御
		変電所自動化 配電自動化
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
	保安用電話	
その他	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

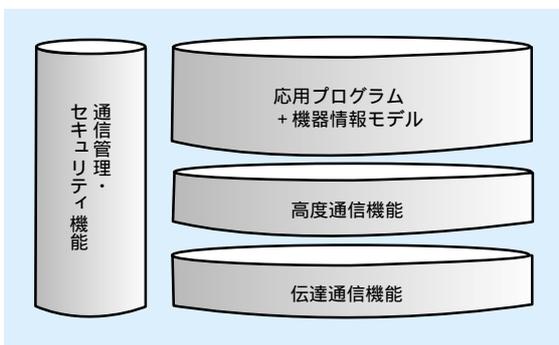


図3-3-4 DRNAの構成概念

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¹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ヒ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、通信の経由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

¹ 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。

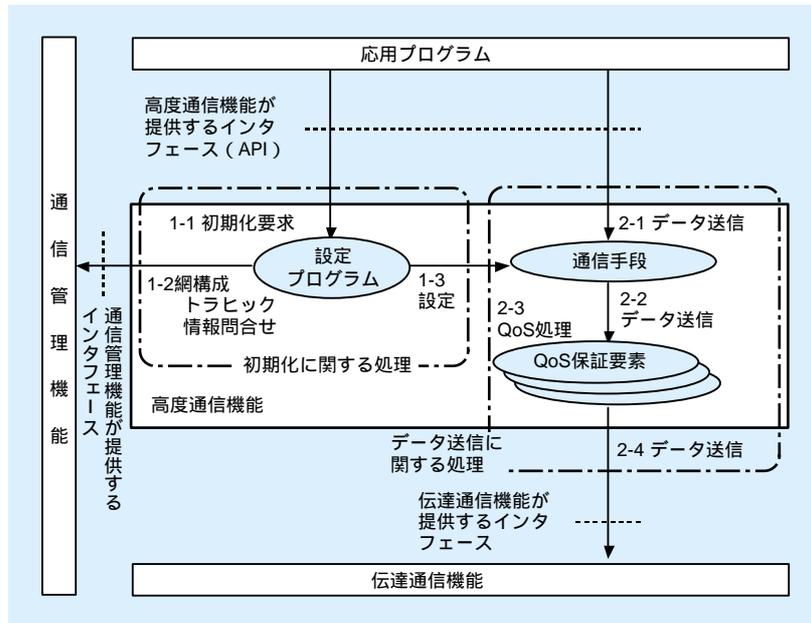


図3-3-5 高度通信機能を実現するミドルウェア

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

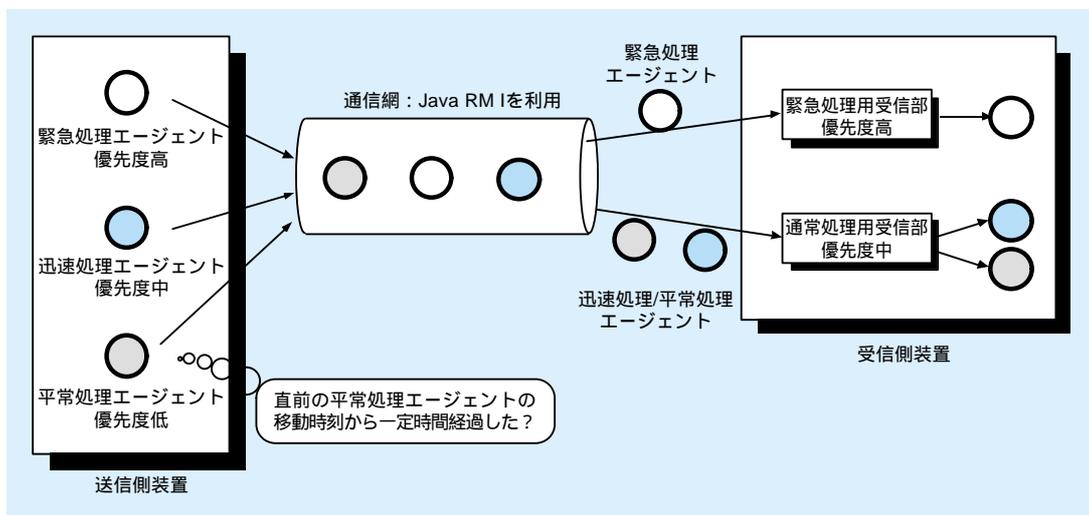


図3-3-6 需要地系統向けモバイルエージェントシステムにおける品質制御方式

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り、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 μsec 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。

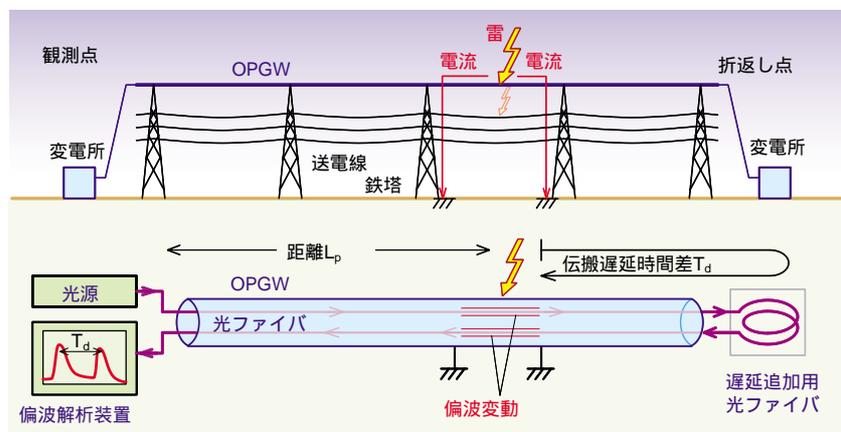


図1 雷撃点評定システム構成

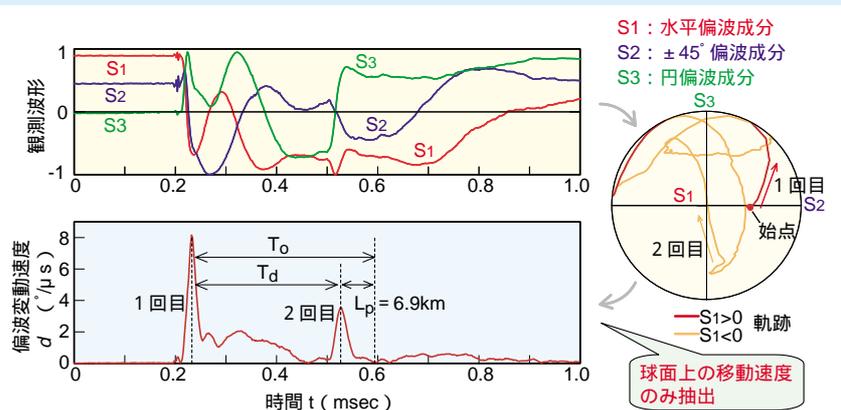


図2 落雷による偏波変動量の波形

第 4 章

4

業務の流れを効率化する



第4章 業務の流れを効率化する 目次

	情報研究所	主任研究員	高橋 光裕
	情報研究所	主任研究員	大屋 隆生
	情報研究所	主任研究員	二方 厚志
本部	研究企画グループ	主任研究員	桑畑 暁生
	情報研究所	主任研究員	堤 富士雄
	情報研究所	主任研究員	三浦 輝久
	情報研究所	上席研究員	篠原 靖志
	情報研究所	主任研究員	田中 真人

4 - 1	情報システム技術	43
4 - 2	知識マネージメント技術	51
コラム4	電力会社とe-ビジネス	50
コラム5	大量文書自動整理システム「トピックうおっちゃん」	58



高橋 光裕（1985年入所）
入所以来、ソフトウェア開発・保守の見積り技術、コスト・導入効果の定量的評価技術、システム監査・開発管理技術、研究に従事してきた。
現在は、組織としてのIT活用の成熟度を診断する技術を研究している。



堤 富士雄（1990年入所）
オフィス文書、写真、点検映像、設備音など、さまざまな情報を扱う検索システムのユーザインタフェースに関する研究に従事してきた。現在は、大量のデータを効率的に閲覧できるインタフェースの研究に取り組んでいる。



大屋 隆生（1984年入所）
発電限界費用計算手法、経営情報システム、電磁界の健康影響に関する疫学調査の動向分析、システム導入効果評価、技術選択手法、IT活用地域ビジネスなど、ORや統計分析による情報数理に関する研究に従事。



三浦 輝久（2001年入所）
入所以来、データマイニング手法の開発に従事。効果的なデータの分析を可能とするデータベースを構築する手法として、的確な予備の調査と調査結果の詳細な分析に基づくデータベース構築法の確立を目指している。



二方 厚志（1987年入所）
入所以来、協調作業支援、情報共有、情報の組織化等の研究に従事。現在、顧客ニーズの獲得に関する研究に取り組んでいる。



篠原 靖志（1984年入所）
入所以来、専門家の知識の自動抽出、文書の検索支援・自動整理など、機械学習技術に基づく情報収集・分析手法の研究開発に従事。現在、データマイニングのためのデータベース構築法、不確実性を考慮した最適運用のための確率予測手法などの研究に取り組んでいる。

桑畑 暁生（12ページに掲載）



田中 真人（電力計算センターより出向）
EWSやPC向けにGUIアプリケーション開発、比較的小規模なデータベースを利用するソフトウェアの開発及びWeb関連でCGIスクリプト等の作成などに従事している。

4 - 1 情報システム技術

4-1-1 情報システム開発規模評価

背景・目的

情報システムを新規開発・保守するに当たっては、開発規模を適切に評価（見積り）することが非常に重要である。開発規模は、開発プロジェクトに必要な資源（人・物・金・時間）を割り当てるコスト見積りの最も重要な根拠である。したがって、開発規模の評価が過少であったり、仕様変更などによって開発規模が大きく増えるなどすると、開発に必要な資源が不足し、プロジェクトに混乱が生じたり、納期遅れ・品質の低下などを引き起こす原因となる。

情報システムの規模を測る尺度としては、記述されるプログラムの行数（SLOC：Source Lines of Code）が伝統的に使われてきた。しかし、1990年代にクライアント/サーバ・システムやWebアプリケーションなど、開発技術の多様化が進んだ結果、1システムで複数のプログラミング言語を混用したり、プログラミングなしで使えるツールやパッケージが増えるなど、SLOCを簡単に計測したり集計することが次第に困難になってきた。また、利用する開発技術が変わると規模の値が大きく変わる、実装方法が決まらなると計測（見積り）できないという点でも、SLOCは情報システムの大きさを表すには不適切となった。

これらSLOCの問題を解決する尺度として国内外で近年急速に普及しつつあるのが「機能規模」尺度である。

(1) ファンクションポイント法と機能規模

ファンクションポイント法（FP法、Function Point Analysis）は、1970年代末に米国IBM社のA. J. Albrecht氏が提案した機能規模計測手法である。

FP法で計測される機能規模は、システムの具備する機能の量を利用者の視点から計測した値であり、具体的には、情報システムが、利用者にとって論理的に何種類の情報を入出力したり管理したりするかに着目し、その種類数を点数化するものである。ここで、論理的とは、**図4-1-1**に示すように、画面・紙面の制約、性能向上な

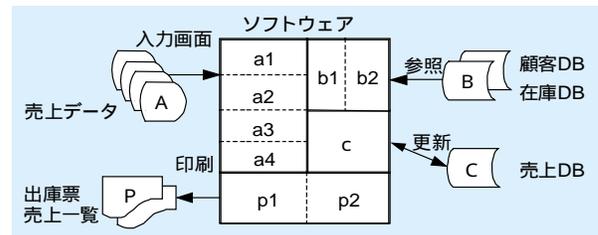


図4-1-1 FP法の概念

どの実装上の都合で分割/統合される前の、利用者にとって意味のある情報の塊を指す。

機能規模計測では、システムの物理構成（モジュール構成、ファイル構成など）、システム内部での処理ロジック（処理手順や計算ロジック）、品質要件などは一切考慮されない。このため、機能規模には、

機能要件が同じならば、品質要件や技術要件が違ってても値が変動しない、

推定するのではなく規則に従って計測をするため、誰が何回計っても同じ値が算出できる、

利用者の視点で計測するので利用者でも計測結果を理解することが容易、

という長所がある。

計測された機能規模は、開発プロジェクトの所要工数や品質データ（欠陥発生数、所要テスト件数）などとの相関が高いことが世界中での利用経験から知られている。

機能規模の具体的な計測方法としては、電中研法（日本）、IFPUG法（米国）、MK-II法（英国）、NESMA法（オランダ）、COSMIC-FFP法（カナダ他）など、さまざまな計測手法が各国で提案され、普及している。

これらの手法は、ISO/IECによって定められた機能規模計測に関する国際標準（ISO/IEC 14143 - 1）に適合した手法であるが、各手法による計測結果はそれぞれ異なった値になり、手法間での互換性はない。

(2) 当所におけるファンクションポイント法への取り組み

a. 電中研法FP

当所では、1986年からFP法の研究に着手し、日本の情報システム開発の特徴を考慮した計測手法として、電

中研法を開発した。電中研法（第2版）の計測手順を図4-1-2に示す。

この電中研法は、以下の特長を持つ。

入出力媒体の違いを考慮し、表4-1-1に示すファイル、電文、画面、帳票の媒体ごとに異なる基準値を与えている。

計測労力を軽減するために、項目数などを厳密に数えずに複雑度を判定する簡素化した方法を用いている。

計測洩れや誤りを防ぐために、機能を洩れなく洗い出すために、機能階層分割法という独自の機能列挙手法を提供している。

計測範囲を決める際に、ソフトウェア階層を考慮し、アプリケーション層とシステムソフト層を分けて計測する。

組込/制御系のソフトウェアを計測するための拡張規則を備えている。

システム保守における保守規模を計測するための拡張規則を備えている。

システム特性（品質要件など）の違いを加味する補正を廃止している。

このうち、電中研法FPにおいて採った品質要件の評価をFP法から切り離す方針（上記）は、その後、ISO/IECにおけるFP法の標準化でも採り入れられている。

当所は、電力会社などの依頼を受け、電中研法を特定企業向けにカスタマイズすることも行っており、電中研法およびそのカスタマイズ版は、電力会社などで利用されている。

なお、当所におけるFP法研究の成果は、FP法ハン

表4-1-1 電中研法（第2版）の基準値

機能要素の型		複雑度別FP基準値		
媒体	形態	単純	普通	複雑
ファイル	入力	3点	5点	8点
	出力	3点	5点	8点
	入出力	3点	6点	13点
電文	入力	3点	5点	8点
	出力	3点	5点	8点
	制御	2点	3点	5点
画面	入力	3点	6点	13点
	出力	3点	5点	8点
	入出力	6点	11点	19点
	メニュー	2点	3点	5点
帳票		3点	6点	10点

ドブックとしてとりまとめられており、この中ではFP法の導入・運用指針や利用ガイドなども示されている。

b. 開発規模算定のための品質要件の加味

機能規模は、品質要件と技術要件を考慮しない尺度であるため、所要工数を見積りする際には、品質要件や開発要件の違いを加味した開発規模を算出する必要がある。

そこで当所は、独自に開発した品質チェックリストを用いて品質要件を評価し、機能規模を補正して「価値量（価値を考慮した規模）」を算出し、それを経て開発量を算出する「段階的規模評価体系SMISS（Stepwise Measurement of Information System Size）」を開発した。

このSMISSでは、情報システムの品質を、主特性6、副特性19、補助特性38の3階層の特性体系に分類し、この体系に沿って作られたチェックリストを用いて情報システムの品質水準を評価することとしている。

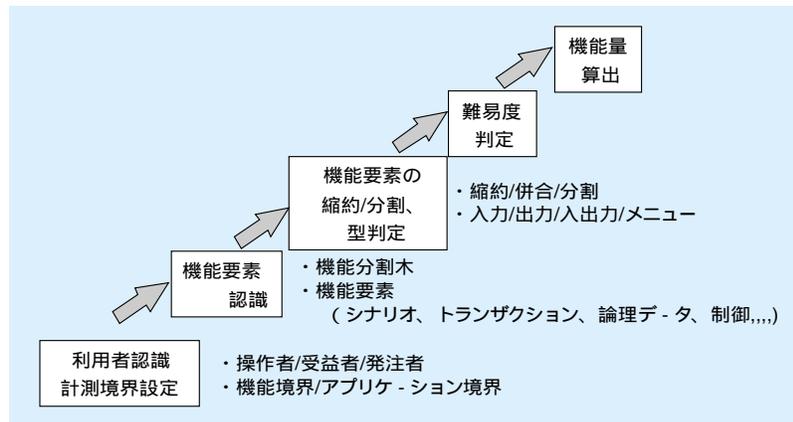


図4-1-2 電中研法FPの計測手順

4-1-2 情報システム導入効果評価

背景・目的

電気事業では1990年代に、オフィス生産性向上や組織活性化を目指してパソコンやLANなどの社内情報化インフラの導入を進めてきたが、その目的は従業員の積極的な利用により達成される。そこで、新商品への消費者の反応を分析し、販売を拡大する方策を考えるマーケティング手法を応用し、社内情報インフラに対する従業員の意識の調査分析にもとづいてインフラ導入効果を評価する手法と、その利用促進方策を探索する図4-1-3に示す評価モデルを開発した。

アンケート調査による評価

ある電力会社では業務改善（業務の効率化、ペーパーレス化、情報の活用、コミュニケーション、高度情報化社会への対応）をねらいとして、パソコンとLANの全社的な展開を行った。平成8年1月から本格導入を開始し、平成8年3月末までに、全体の約半数（本店・支店の全部と一部の営業所）に1人1台のパソコンを導入した。本格導入開始直後（約1ヶ月）と約半年後に利用に関するアンケート調査を行い、試験導入参加の効果、アプリケーション利用状況とその効果などを評価した。

a. アプリケーション利用度分析

本分析では、利用決定要因として、取り決めの有無（部または課での利用の取り決め事項を認識しているか

どうか）試験導入参加（試験導入時から参加しているかどうか）年齢（40歳未満かどうか）の3つを取り上げた。

従業員の各アプリケーションの「利用」・「未利用」の判断は、電子メール、スケジュール、共用情報DBにより、また電子掲示板については利用実績により行った。電子メールとスケジュールについては、月に5回以上、共用情報DBと電子掲示板については月1回以上の利用を「利用」とした。

表4-1-2に導入直後における各アプリケーションの利用者率に対する、各利用決定要因のオッズ比を示す。オッズ比とは、その要因のある従業員の間での利用者率を p_1 、その要因のない従業員の間での利用者率を p_0 とすると、それぞれのオッズ（非利用者に対する利用者の割合） $p_1 / (1 - p_1)$ と $p_0 / (1 - p_0)$ の比 $[p_1 / (1 - p_1)] / [p_0 / (1 - p_0)]$ である。

表4-1-2で、*が付いたオッズ比にかかわる要因は、95%の統計的有意性を持って、そのアプリケーションの利用促進要因であり、#が付いたオッズ比にかかわる要因は95%の統計的有意性を持って、そのアプリケーションの利用阻害要因であることを示す。取り決めは、全般に利用促進に有効な方策と考えられる。共用情報DBと電子掲示板において、試験導入参加者が非参加者に比べ、利用が少ないのは、試験導入時と本格導入時で、使用するソフトウェアを入れ替えたことが原因と考えられる。電子メール、電子掲示板については、年齢の高い（40歳以上の）利用者の利用率が低くなっており、これらを重点とした高年齢層への利用支援方策が必要であった。

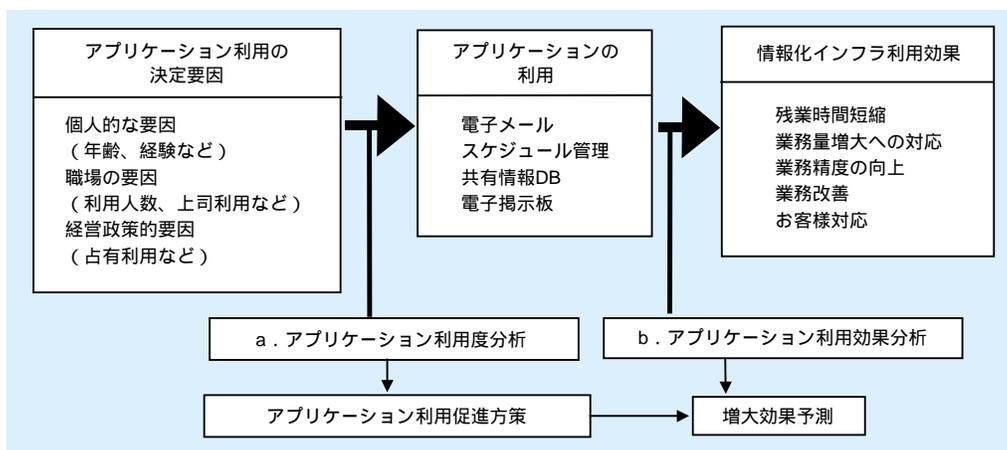


図4-1-3 情報化インフラ効果評価モデル

表4-1-2 利用決定要因による利用者率のオッズ比（本格導入直後）

アプリ名 利用決定要因	電子メール	スケジュール	共用情報DB	電子掲示板
取り決め有り	1.36 (2.09 - 0.88)	3.11* (5.14 - 1.89)	2.16* (3.83 - 1.21)	1.44 (2.55 - 0.81)
試験導入参加	1.71* (2.29 - 1.28)	2.09* (2.85 - 1.54)	0.33 (0.48 - 0.23)	0.44 (0.63 - 0.30)
年齢 (40歳未満)	2.67* (3.51 - 2.04)	0.60 (0.79 - 0.46)	0.88 (1.17 - 0.66)	1.44* (1.96 - 1.06)

数字は、上段がオッズ比、下段が95%信頼区間（上限 - 下限）

表4-1-3に本格導入半年後の各アプリケーションの利用者率に対する、各利用決定要因のオッズ比を示す。表4-1-2より、取り決めの有無は、スケジュール管理と共用情報データベースの利用に大きな効果があることがわかる。どのアプリケーションでも試験導入参加者は先進的に利用している。特に導入直後の利用の決定要因を分析した表4-1-2では、ソフトウェアの入れ換えが原因となり共用情報データベースと電子掲示板で試験導入参加者の利用者率が低くなっていたが、約半年後の利用者率は高くなっており、ソフトウェアの入れ換えにも適応したと考えられる。高年齢（40歳以上）の従業員は、若い（40歳未満）従業員と比較して、電子メールでは利用者率が低くなっているが、他のアプリケーションでは有意な差はみられなくなっている。

b. アプリケーション利用効果分析

2回のアンケートでは各アプリケーション毎に、「そのアプリケーションの利用による生産性の向上が時間に換算すると、1日あたり何分になるか（省力化時間）」を設問し、省力化時間が、利用頻度が増加するに従って有意に増加しているかどうかを検定した結果、以下が明

らかになった。

2回のアンケートのどちらにおいても、どのソフトでも利用頻度が高いほど省力化時間の平均値が長くなっており、アプリケーションの利用により効果（省力化時間）が実感できていることを示している。

本格導入の約半年後には、直後と比較して、従業員が感じる情報化インフラによる業務効率化（省力化時間）が大きくなっている。これは、

- ・各アプリケーションの利用率が高くなったこと、
- ・同じ利用頻度でも、利用者が感じる業務効率化の程度が大きくなったこと、

の相乗効果によるものであると確認できた。

4-1-3 業務支援用情報システム

背景・目的

企業を取り巻く社会環境の変化にともない、企業内の個人が担当する業務内容は広範囲かつ複雑なものへと変わりつつある。このような状況下における業務では、従来までの情報の内容による整理・検索だけでなく、業務を行なう上で情報がどのような組み合わせで利用される

表4-1-3 利用決定要因による利用者率のオッズ比（本格導入半年後）

アプリ名 利用決定要因	電子メール	スケジュール	共用情報DB	電子掲示板
取り決め有り	0.82 (0.32 - 2.07)	7.15* (3.08 - 16.58)	2.25* (1.17 - 4.34)	1.41 (0.64 - 3.12)
試験導入参加	2.97* (1.79 - 4.95)	3.62* (2.06 - 6.38)	2.47* (1.51 - 4.04)	2.64* (1.59 - 4.38)
年齢 (40歳未満)	2.50* (1.52 - 4.09)	1.49 (0.91 - 2.41)	1.39 (0.89 - 2.16)	1.06 (0.68 - 1.67)

数字は、上段がオッズ比、下段が95%信頼区間（上限 - 下限）

のかを把握し、業務に即した形で情報提供する仕組みが重要になってくる。そこで、本節では、情報の組み合わせと提供について当所で行なってきた研究の概略を紹介する。

(1) 作業状況に基づくファイル間のリンクの自動生成

協調作業から生まれたさまざまな文書を関連付けて整理するために、ファイル間の関係をタイプ付きリンクとして表現し、ファイルとは独立に一元管理する仕組みを開発した。これを「自己増殖型データベース」と呼んでおり、図4-1-4にイメージを示す。自己増殖型データベースでは、リンクのタイプを、仕事の流れ、分類、作成順、詳細化、参照による連携、の5種類に分類している。自己増殖型データベースは、

- ・リンクタイプによるファイル間の関係の容易な把握、
 - ・アプリケーションと連携したリンクの自動生成、
 - ・ファイル削除等に対するリンクの自動修復、
- といった特長を持つ。

たとえば、図4-1-4のように自己増殖型データベースと研究進捗管理システムを連携させた場合、ワークフローに対応するリンク（仕事の流れ）が自動作成される以外にも、ワークフロー内の共同作業で作成された詳細資料Fや、インターネットから検索した文献H、G等を

リンクで結び付けることができ、過去の作業内容に基づいた情報の発見・再利用を行なうことが可能になる。

(2) 作業状況に基づくファイル群の自律的な整理

特定の作業でよく一緒に使われるファイルを、階層的なグループとして自動的にかつ継続的に整理する自己組織化機構を開発した。本機構を図4-1-5に示す。本機構では、あるファイルが一定時間内に他のファイルと一緒に操作された回数から、ファイル間のリンクとその強度を計算する（図4-1-5、 G_1 、 G_2 、 G_3 ）。そして、一緒に操作されることが多いファイルを自動的にグループ化する（図4-1-5 G_1 、 G_2 、 G_3 ）。個々のグループは、たとえば「計画立案段階の初期に一緒に利用された」といった、業務中の個々の作業で用いられるファイル群の関係を表わしている。さらに、リンク強度を集約した値を使ってグループ自らが階層的にグループを形成していくことで、たとえば、「初期の立案段階で使われたファイル群 G_1 とその後の作業で使われたファイル群 G_2 」といった、業務での作業の流れに対応する関係を表現する（図4-1-5 M_1 、 M_2 ）。本機構の特徴は以下の通りである。

- ・ある計画の立案段階の資料といった過去の作業と結びついた形での情報の再利用が可能になる。
- ・組織改変や作業手順の変更にグループ構成が適応して

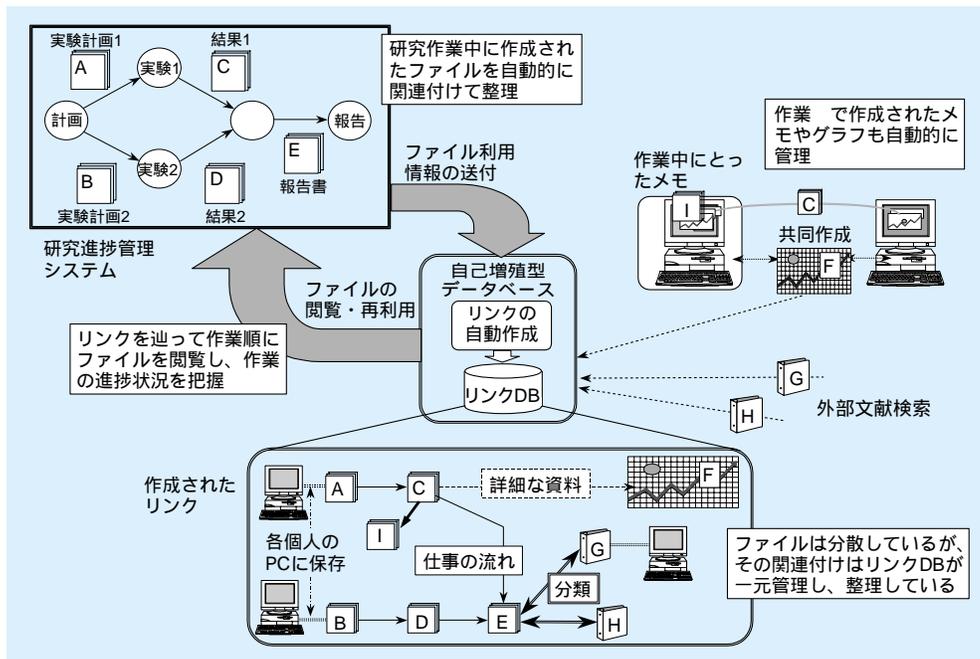


図4-1-4 自己増殖型データベースのイメージ

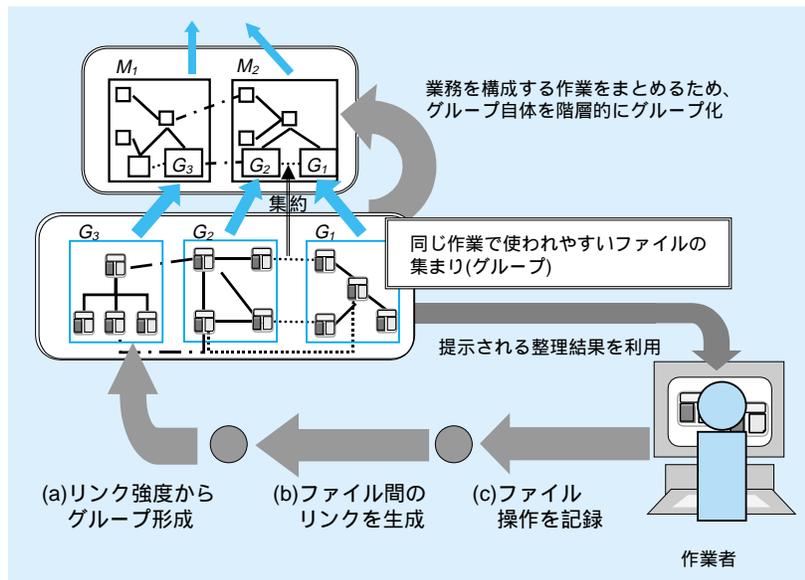


図4-1-5 ファイル群の自己組織化過程

いくため、現状に即した情報活用が可能になる。

研究作業を題材とした実験を行ない、作業中に作成された2つの文書と参考にした資料から、作成文書を中心とした2つのグループが適切に形成されることを確認した。また、シミュレーション実験の結果からは、1つの作業に行なうファイル操作回数が3回以上であれば適切なグループが形成されるであろうとの結論を得た。

(3) 作業状況に応じた利用ファイルの予測

ユーザが利用中のファイル群から次に必要となるファイル群を予測するためのルール（予測ルール）を過去のファイル利用記録から抽出する手法を開発した。本手法は、たとえば、平成14年の「案件1」の計画立案中に「計画書を利用したとき、メモも利用する」という傾向を、

（H14、計画、案件1）（H14、メモ、案件1）

といった予測ルールとして抽出し、「計画書を利用している場合には次にメモが必要になる」といった予測に用いる。本手法では、ファイルを（H14、計画、案件1）のような属性値の3つ組（アイテム）として一般化して表現する。また、「H14」や「案件1」、「計画」といった作業状況を表わす属性値による分類（コンテキスト）毎にルールの抽出を行なうことで、作業によって異なるファイル利用パターンをルールに反映させる。本手法の特長は以下の通りである。

- ・ 個々のファイルではなく、ファイルの属性に基づく一般性があるルールを抽出するため、ルールの適用可能

性を高めることができる。

- ・ コンテキストの導入により、作業状況に応じた重要なルールを抽出できる。
- ・ 文献（電中研研究報告：R02011）の手法と組み合わせることで、利用傾向が似ている利用者のファイル利用ルールを用いた予測ができる。

(4) ルール抽出実験

実作業からのルール抽出実験を行い、アイテム全体からルール抽出を行なう通常手法（コンテキスト無し）との比較から、以下の結果を得た。

予測性能の向上:

コンテキスト無しの通常手法と比べ、総合的な予測性能（F値）^(注1)が向上することを確認した。結果を表4-1-4に示す。

確信度^(注2)による絞り込み:

予測されたアイテムから確信度が高い上位 n 個を選択

表4-1-4 提案手法による予測性能の向上

選択方式	再現率	精度	F 値
通常手法	0.71	0.54	0.61
提案手法	0.95	0.52	0.68

(注1) 再現率：予測されるべきアイテムが予測結果中に現われる割合。精度：予測結果中のアイテムが予測されるべきものである割合。F値は再現率と精度の調和平均であり、 $F 値 = 2 \cdot 再現率 \cdot 精度 / (再現率 + 精度)$ 。

(注2) 確信度：予測が正しい確率。

した場合、予測アイテム中の 不要アイテムと 選択されなかった必要アイテム（取りこぼしアイテム）を考慮すると、図4-1-6に示すように、 $n = 3$ から4の間でバランスの良い情報提供が可能になることを確認した。

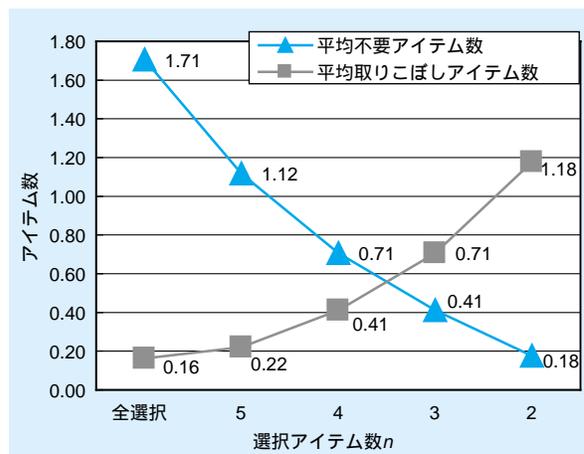


図4-1-6 上位候補選択の効果

コラム4：電力会社とeビジネス

eビジネスの概念はそれ自体、新しいこともあって、多様な意味をもつが、広義の意味ではインターネット、電子データ交換（EDI：Electric Data Exchange）、CALs（Commerce at Light Speed）等を利用した電子商取引、情報提供、広告、マーケティングなどの活動全般と捉えられる。そのeビジネスのエネルギー産業での代表的事例（ここでは米国が中心）を見ると、目的別に資材調達、電力取引、顧客サービスの3つに大別できる。

資材調達

資材調達（SCM：Supply Chain Management）に関する代表例はeマーケット・プレイス（e-Market place:EMP）である。EMPは商品を販売するチャネルが弱い小規模事業者等と、良質の資材を安価に調達したい企業とを結びつける市場である。特定分野（化学、医薬、自動車など）ごとに特化したEMPはパーティカル型、幅広い分野の商品を取り扱うEMPは水平型と称されるが、米国電力会社21社が中心となりコンソーシアムを形成して立ち上げたパンテロス(Pantellos)は不振といわれるBtoB市場において成功したパーティカル型EMPの一つとして評価されている。

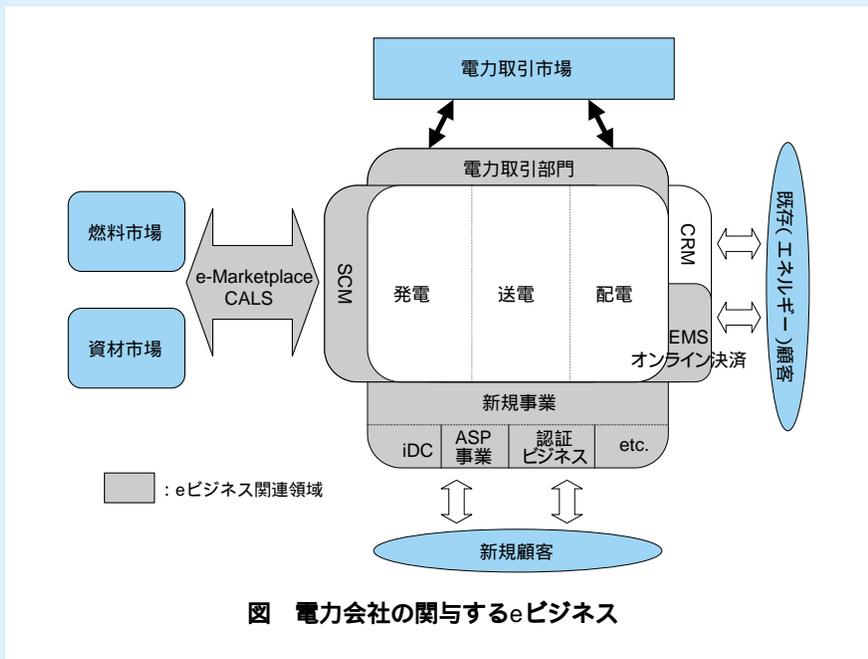
電力取引市場

電力取引市場は市場自由化により出現する一種

のEMPである。先行する米国では大手電力会社の発電、配電部門は、ほぼ全て電力取引市場に参加している。各社電力取引部門は系統連係のない他地域での取引（2003年3月時点では全米に公営・市営を含めて13ほどの市場が存在）にも積極的に参加しており、そのため現在、各電力会社は市場ごとに異なる取引ルールに対応した各種取引システム、社内の財務管理・決済システムを用意した上で各市場に参加している。

顧客サービス

顧客サービスに向けた例としては、Webでのサービス申込み・オンライン支払・エネルギー情報（履歴、利用状況）の提供、省エネコンサルティング、コールセンタ等が挙げられる。エネルギー情報の提供については顧客がオンラインで登録することで、これまでの電力使用量や支払いに関する履歴を閲覧できるサービスを提供する社が多く、その中でもビジネスユーザ向けに簡単なエネルギー利用解析、比較などを提供するエネルギー・マネジメント・システム（EMS）を提供する会社が目立つ。また、コールセンタによる苦情処理、事故処理についても地理情報システム（GIS）とコールセンタ、社内業務管理システムを連携させ、作業進捗状況の情報提供ができるようなシステム構築例が見られる。



4-2 知識マネージメント技術

4-2-1 文書・画像データベース

背景・目的

電子技術の発展により、未整理かつ多量の文章・画像などの電子情報がオフィスに溢れている。これらの情報を活用し業務高度化に結び付けるには、情報検索やデータベースの構築において、ユーザ側の負担をできる限り少なくするユーザフレンドリーなインターフェースが必要である。

(1) ユーザフレンドリーな文書検索システム

未整理の文書情報を扱う代表的な方法として google (<http://www.google.com>) に代表される全文検索がある。しかし、従来の全文検索では、検索条件として論理式表現が採用されており、その使いこなしの難しさが指摘されていた。また表記揺れや利用者の曖昧な記憶により、部分的に間違ったキーワードが使われた場合の検索精度低下が課題であった。そこで、この問題を解決する新たな検索方式を開発した。これはキーワード検索につづり曖昧検索を加えた新しい検索手法であり、図4-2-1に示すように、キーワードを画面中にマウスで配置し、



図4-2-1 キーワードを2次元配置する文書検索システム

その配置を検索条件として用いるという特徴的なユーザインターフェースを備えている。

図4-2-1の画面下部が検索条件を指定する部分で上部に検索結果が表示される。画面上のキーワード(画面下部右上付近の「マルチメディア」「電力設備」)はマウスによって自由な位置に移動できる。キーワード位置の上下方向がそのキーワードがどの程度重要か(優先度)を表し、左右方向がつづりの曖昧さをどの程度許容するかを表す。例えば上にあるキーワードは下にあるキーワードよりも、検索結果として得たい文書に含まれていて欲しい度合いが強いことを表す。また右にあるキーワードは正確で、つづりの曖昧さを考慮する必要がないことを表し、左にあればつづりが少々違っていても許容することを表す。

提案方式の有効性評価のために、5万件の文書群と11人の被験者を対象とした比較実験を行った。その結果、代表的な従来手法である論理式を用いる方式(論理式型)および短い文章を検索入力とする方式(文書入力型)よりも、多くの関連文書を安定に検索できることがわかった。

図4-2-2に実験結果の一例を示す。これは行われた全検索7792回を検索方式別に重み付き得点率と呼ぶ評価基準で整理した結果である。重み付き得点率とは、最も適切な検索結果を100%とした場合の相対的な結果の良さを表し、例えば0%とは検索結果の上位に関連文書が1件もないことを表す。

図から従来の論理式型や文書入力型では、全検索に占める低い重み付き得点率の割合が大きく、90%以上の良い検索結果が少ないことがわかる。これに対し、提案方式は低い重み付き得点率の結果が少ない上に、高い重み付き得点率の検索結果が多く、当たり外れが小さく安定して良い結果を出せる検索方式であることがわかる。

(2) 設備巡視点検用映像データベース

電力設備の保守・管理の合理化を目指し、従来の定期保守・点検から機器状態に依存した保守・点検への移行が検討されている。この実現には十分な量の整理された設備状態情報が必要となる。この情報取得の一手段とし

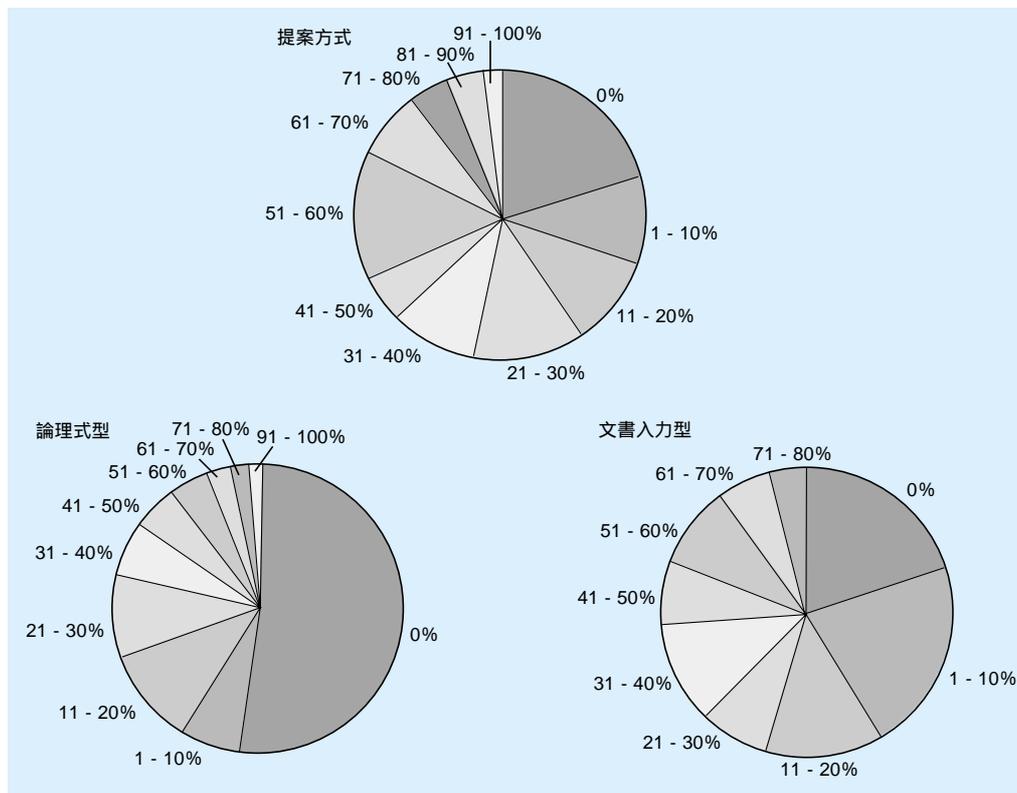


図4-2-2 全検索の重み付き得点率での分布

て巡視点検作業の活用が考えられるが、運転中の多様かつ多量な情報を収集するには多くの手間とコストを要するため、効率的な収集技術が必要である。ところが、作業者が機器状態の判断に活用している五感情報を、作業者に大きな負担をかけることなく低コストで収集し活用する技術はこれまで存在しなかった。そこで、巡視点検時の映像情報を、効率的に収集・分類・蓄積すると共に、その場で過去の類似例（機器状態）を検索・表示することで巡視点検作業を支援する「設備巡視点検用データベース」の実現を目指して、その構築のキーとなる以下の手法を開発した。

a . 未編集映像のシーン分割手法

機器の点検映像を連続記録した未編集のビデオ映像を、点検対象機器が映っているシーンや作業を行っているシーンなど、映像内容に対応した複数のシーンに分割する手法を開発した。シーンは、映像変化に応じて動的に閾値を変動させる手法をベースに分割され、パラメータ制御により、適切なシーン分割を行う。

屋外の電力施設を撮影した映像、および実験室内での作業映像を用いて従来手法との比較を行い、機器や作業

手順を正確に分割できるなど、一般用途のビデオ編集で使用されている従来型シーン分割では不可能な分割を行えることを示した。

図4-2-3に設備の分解点検を模擬し、小型装置の分解映像を提案手法でシーン分割した結果をアルバム状に表示している。作業時間の長短や、作業動作の細かさの違いにかかわらず、ネジの取り外しや、部分装置の取り外しなど分解手順を正確に反映した結果となっている。

b . 迅速な登録と高精度な認識を両立させるビデオ映像認識手法

機器の持つ色情報をベースに、設備点検などの現場で、利用者がビデオ映像を容易に登録したり、点検対象機器と類似あるいは同一の機器を容易に検索できる方式を開発した。

開発方式の有効性を確認するために、色情報を使う代表的なビデオ映像認識手法と比較評価した結果、色情報を扱う手法として最も優れた手法であることを明らかにした。さらにプロトタイプシステムを開発し、提案方式が迅速に機能することを確認した。



図4-2-3 装置分解映像のシーン分割結果

4-2-2 データベース拡充手法

背景・目的

激しい競争を勝ち抜くために、企業内に大量に蓄積されたデータから、企業の様々な意思決定を助ける知識を抽出するデータマイニングの必要性は非常に高まってきている。データマイニングにより、役に立つ知識を抽出するには、抽出の元となるデータベースの整備が重要である。データベースが不十分な場合、有用な知識を抽出することは不可能であり、質のいいデータベースの構築が、効果的なデータマイニングの鍵となる。

しかしながら、例えば、顧客情報データベースを作ろうとする場合、それぞれのお客様の住所、年齢、家族構成、電気使用料等、さまざまな収集可能なお客様の属性すべてを含んだデータベースを構築することは、データ収集に予算制約がある場合、非常に難しいと思われる。そこで、既存のデータベースを基に、予算を考慮しつつ、有用な知識が得られるように、データベースを徐々に拡充する手法を開発した。

(1) クリティカルデータ特定法

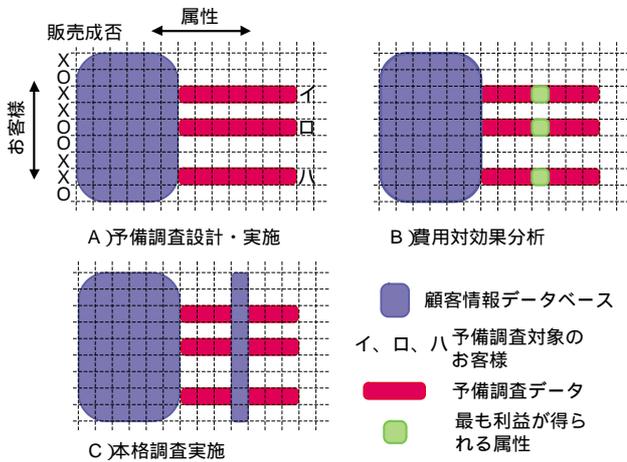
予算を考慮しつつデータベースの整備を行う方法とし

て、まず既存のデータから関連しそうな情報を抜き出した初期の顧客情報データベースを準備し、必要に応じ新たな属性データを外部から収集し、効果的な知識が抽出できるようにデータベースを徐々に拡充することが考えられる。ここで問題となるのは、追加すべき属性をどのように決定すればいいかということである。データ追加の際のデータ取得コストと、データ追加から得られる利益の間の費用対効果を考えると、単純に最も良い知識が得られる属性を追加すればいいわけではなく、その属性データの入手に必要なコストを考慮して追加属性を選択しなければならないということがわかる。

当所では、この課題を解決するために、クリティカル・データ特定法を開発した。開発手法の特長は、追加すべき属性を決定するために、効果的な予備調査を設計し、実施するという点である。分析者にとって、外部データは大体どのような特性のデータであるのかは推定可能であっても、実際に入手するまで、データの内容を知ることにはできない。分析者の推定が間違っていた場合、コストを払い入手した外部データが結果的に知識の改善につながらないといった危険性が生じる。開発手法は、少数のお客様に対する予備調査を実施することで、すべてのお客様のデータを見ることなく、精度の高い知識の抽出に役立つ外部データを特定し、無駄なデータ取得コ

ストを省く。予備調査では分析システムと分析者が協調して、追加属性を特定する。

開発手法の流れを図4-2-4に沿って説明する。まずシステムは、現在の顧客情報データベースを解析することで、不足しているデータの情報を分析者に提示する。一方、分析者は、システムが提示した情報をもとに、予備調査を実施する（同図A）。次に、予備調査で入手した情報をもとに、システムは各属性追加後の抽出知識の精度を推定する。分析者は推定精度とデータ収集コストの費用対効果の評価を行い、追加属性を決定する（同図B）。最後に、分析者は本格調査により追加属性のデータを収集し、顧客情報データベースを拡充する（同図C）。図4-2-5のように、予備調査と本格調査を繰り返すことによって、データベースを拡充していく。

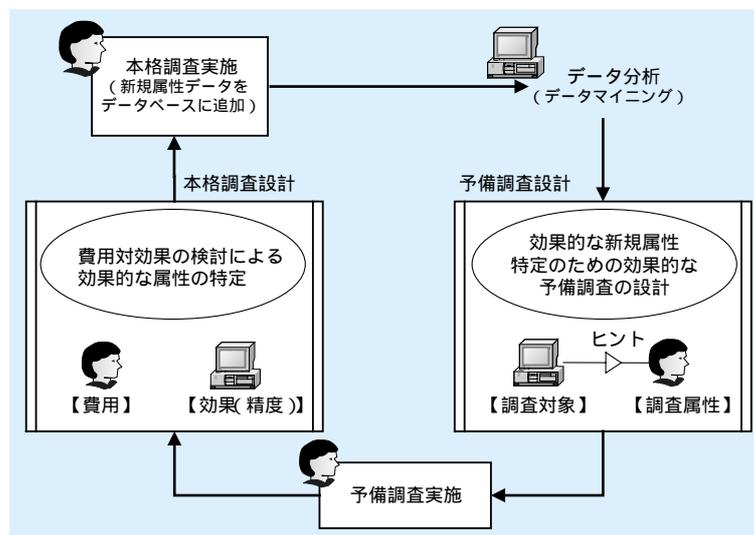
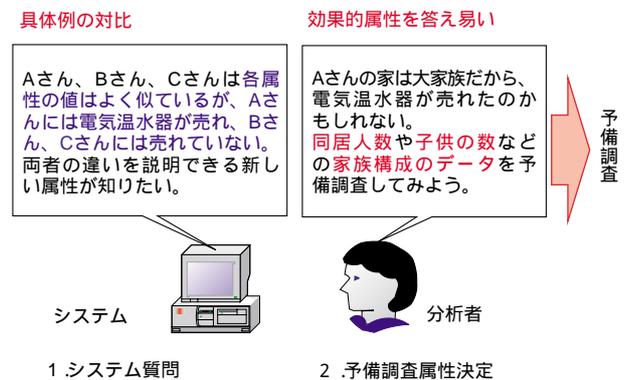


(2) 予備調査設計支援

少数のお客様に対する予備調査によって、追加すべき属性を判断するためには、適切な予備調査を実施する必要があります。不適切な予備調査は、本格調査の実体を捉えそこね、知識の精度向上に貢献しない無駄なデータを収集してしまうリスクを持つ。予備調査のリスクを考慮して、分析者が適切な予備調査を設計（誰に対して、どのような情報を集めるのかを決定）するのは非常に困難である。このような困難を避けるために、システムは以下のような予備調査設計の支援を行う。

予備調査対象の特定：システムはデータマイニングによりデータを分析し、分析結果に基づき、少数の予備調査対象を特定する。

予備調査属性の決定支援：システムは図4-2-6に示すように、現在のデータでは値が非常に似ているため区別ができないお客様の組を予備調査対象として分析



者に提示し、お客様を正しく区別できるような属性を聞き出す。このような現在の知識の状況に応じた具体的な対象の提示により、システムが必要としている属性の特徴を分析者が把握することが可能となり、適切な予備調査属性の決定ができる。

さらに、属性追加後のデータベースから抽出される知識の精度の推定値を得るために、本格調査による属性追加後のデータベースからの抽出知識の精度を、非常に少数のお客様への予備調査によって正確に推定するための推定式を導出した。分析者は、各属性のデータ取得コストと抽出知識の精度の推定値を考慮して費用対効果の分析を行い、データ収集コストに見合う精度向上が得られる追加属性を特定する。

(3) ベンチマークテスト

図4-2-7は、各属性を追加した場合の抽出知識の実際の精度とその推定値の関係を示す実験結果である。適用問題は、5,822人の顧客情報データベースに基づき新たな顧客の販売成否を予測する問題であり、データマイニングの手法の効果を検証するためのデータとして公開されている。図の各点は1つの属性を示し、対応する横軸の値は全5,822人に対する本格調査による属性データ追加後のデータベースからの抽出知識の精度（予測の正解率）を、縦軸の値はシステムが特定した8人に対する予備調査に基づく推定値を示している。図から8人という非常に小規模な予備調査結果に基づいた推定値が実際の精度をうまく推定できていることがわかる。予備調査は本格調査によるデータベース拡充の実体をうまく捉えて

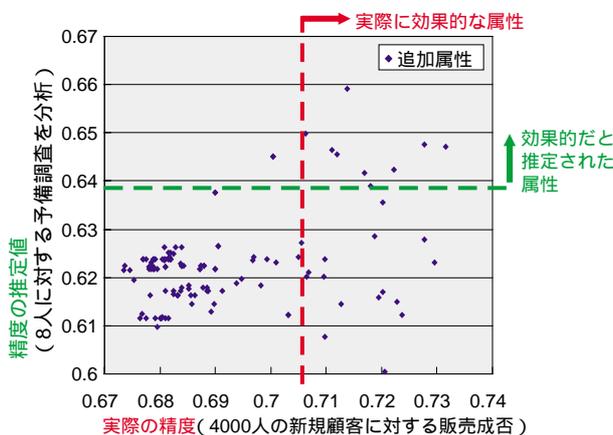


図4-2-7 予備調査に基づく精度の推定値の正確さ

おり、分析者はデータ取得コストとシステムが推定した精度との費用対効果を検討することで、効果的にデータベースを拡充できることがわかる。

4-2-3 検索結果の効率的絞込み

背景・目的

近年の情報技術の進歩に伴い、組織および個人で扱える電子化文書の量が急激に増加している。このような状況の中、検索等に習熟していない一般の人が、膨大な電子化文書中から、必要な情報を検索する機会も増加し、必要な情報を効率的に検索できる技術への要望が高まっている。

従来、欲しい文書を検索する場合、求める文書の内容を示す「キーワード」を入力すると、そのキーワードを含む文書リストが得られる「文書検索」が使用される。しかし、利用者の欲しい検索結果（文書リスト）がうまく得られるようなキーワードを指定することは難しい。

当所では、利用者がシステムから提示された文書リストの中から欲しい文書をいくつか指定するだけで、欲しい文書を上手く得られるようなキーワードの組み合わせをシステムが自動的に見つけて、効率的に利用者の欲しい文書リストを得られる非常に効率的な文書絞込み手法を開発した。

(1) 基本的考え方

検索において、適切なキーワードを選ぶことは難しい。例えば、ここで述べる「情報フィードバックを用いた文書絞込み」に関して調べたい時、「情報」といった一般的用語をキーワードとすれば、非常に多数の文書が得られ、その中に当然関連文書も含まれるであろうが、無関係な文書も多数得られ、欲しい文書がなかなか見つけれない。一方、「情報、検索、インタラクティブ」といったキーワードで検索をすると、「インタラクティブ」という用語を用いずに「フィードバック」という用語を用いている文書は見つからない。検索に習熟した人は、検索結果を吟味しながら、無関係な文書が少なく、かつ、欲しい文書が極力多数得られるように、検索キーワードを書き換えながら、再検索を繰り返す。すなわち、検索された各文書が欲しい文書であるか否かという判断と、キーワードの修正・再検索という2つの作業を同時に行

っている。しかし、検索に習熟していない利用者にとっては、これは非常に難しい。そこで、利用者は、検索された文書が自分の欲しい文書（適合文書）であるか、否（非適合文書）かの評価に専念し、システムがその評価にもとづいて自動的に検索キーワードの調整を行い、検索結果の絞り込みをするという分業が基本的考え方である。

この考え方は、「適合フィードバック」と呼ばれるが、既存の適合フィードバック手法では、検索精度を効率的に改善できなかった。そこで、サポートベクターマシンとよぶ機械学習手法に基づく能動学習を用いることで、非常に効率的な適合フィードバック手法を開発した。

(2) 文書検索・絞り込み手順

本手法を適用した文書検索のイメージを図4-2-8に示す。

最初に、利用者は検索キーワードをシステムに入力する。キーワード入力は初回のみである。システムは、そのキーワードに基づいて文書検索を行い、検索結果

の中から、関連性の高い文書n個（予め決めた文書数）を利用者に示す。

利用者は、これらのn個の文書の中から、自分の欲しい文書（「適合文書」）と、明らかに欲しくない文書（「非適合文書」）をいくつか選択評価する。

の利用者評価に基づいて、システムは検索に用いるキーワードとその重みを自動的に調整して再検索を行う。

再検索結果の中から利用者に「適合・非適合」の確認・判断をしてほしいn個の文書を選び出し、利用者に提示する。

利用者が満足できる検索結果が得られるまで数回～を繰り返す。

図4-2-8中、灰色枠内の文書は非適合文書であるが、ユーザが文書の評価すごとに、灰色部分が少なくなり、検索結果の上位は、ユーザの欲する文書が占めるようになる。

ユーザ評価に基づいて利用者の欲しい文書のみが極力得られるキーワードとその重みを決定する（ ）におい

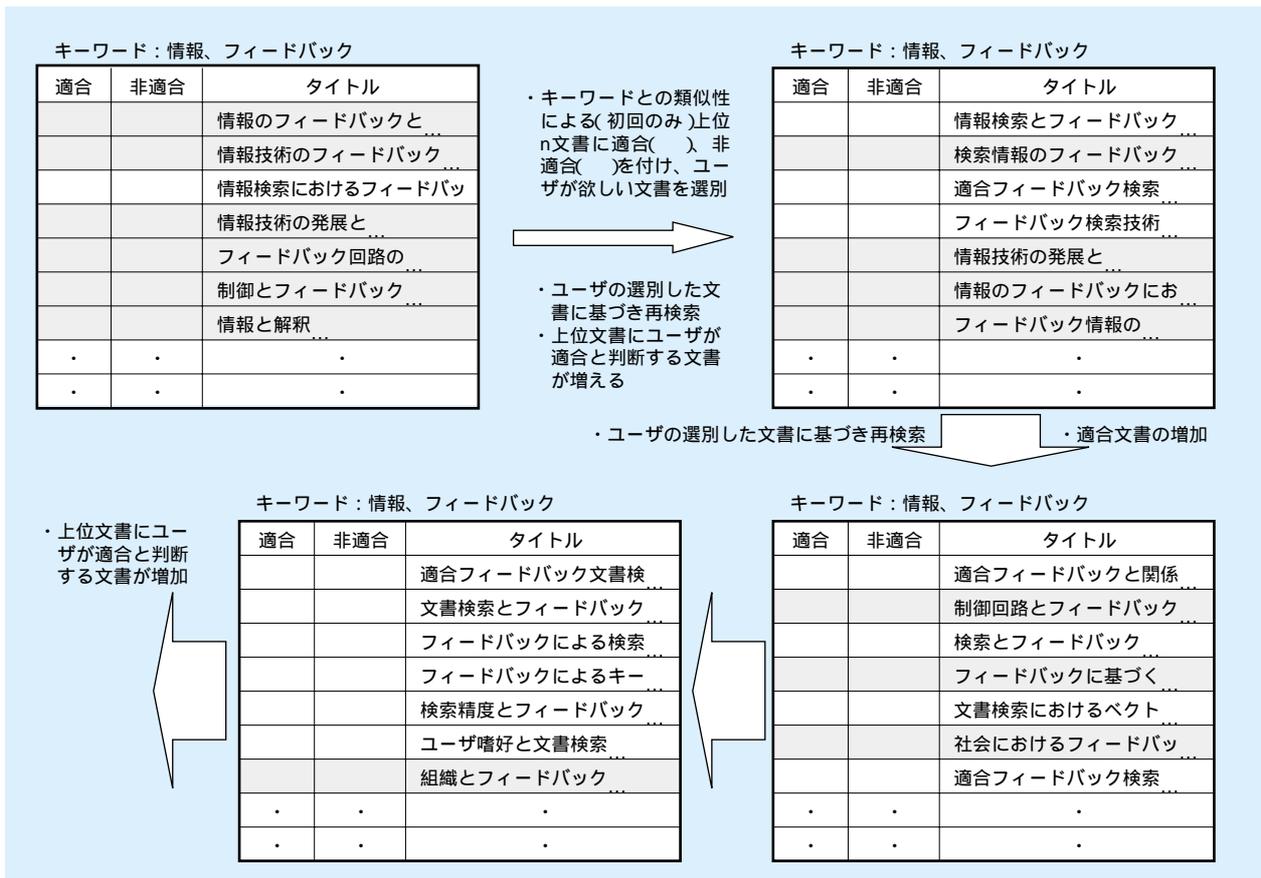


図4-2-8 検索結果の効率的絞り込み

て、サポートベクトルマシンによる機械学習を用いる。さらに、 の利用者に提示する文書の選定では、サポートベクトルマシンの学習結果を用いた各文書の適合の評価推定を用いている。

(3) 実験結果

文書検索における性能評価で一般的に利用されているベンチマークデータ（The Los Angeles Times 約13万文書、1文書中の平均単語数526語）を用いた実験によって、実用性を検討した。表4-2-1にフィードバック回数と、システムがユーザに提示するために適合と判断した

表4-2-1 フィードバック回数と平均適合率

フィードバック回数	平均適合率	
	従来手法	提案手法
1	23%	26%
2	25%	35%
3	24%	61%
4	23%	64%

上位20文書中（n = 20）の各フィードバック回数における平均適合率を示す。適合率とは、検索された文書の中での適合する文書の割合を表す。

平均適合率が高いことは、ユーザが求める文書が多く提示できることを表し、検索精度が高いことを意味する。表4-2-1より、従来手法では1、2、3、4回とフィードバック回数を増やしても、平均適合率が増えていない。一方、提案手法ではフィードバックの回数を増やしていくに伴って、20文書中にユーザが欲しいと考える文書が増えていることがわかる。これは、たかだか4回のユーザの評価により、ユーザに提示できる20文書中の約13文書を、ユーザの欲する文書で占めることができることを意味している。フィードバック回数がより少なく、ユーザの欲する文書だけをできるだけ多く提示できることが文書検索では重要となる。提案手法では、フィードバック回数4回で、ユーザに提示する文書中に占めるユーザの欲する文書の割合を従来手法の約3倍にでき、文書検索上、実用の域に達していると考えられる。

コラム5：大量文書自動整理システム「トピックうおっちゃん」

文書活用のニーズ

近年、企業は問い合わせ情報や、最新技術動向などの情報を大量に集め、「顧客満足度」や「業務効率」などの向上にすばやく、効果的に役立てようとしている。そのためには収集情報から“最近急増している問い合わせの種類”や“いままでなかった新しい技術情報”など、話題の変化を見つけることが重要である。しかし、このような情報を得るためには、現在までに蓄積された大量の文書情報全体を、情報の内容により分類・整理し、どのような情報がどのくらい増えているのかを調べる必要がある。

文書の整理体系の自動発見

当所では、大量の電子文書を自動的に内容の似た文書の集まり（話題）に分類整理する手法により、人手では整理できないほど多くの文書を、同一基準によって短時間で分類し、文書数が増加している話題など、重要と思われる話題を利用者に提示する大量文書自動整理システム「トピックうおっちゃん」を開発した。

「トピックうおっちゃん」による文書整理の最大の特長は、集められている文書全体を分類整理するのに適切な整理体系を自動的に発見し、整理することにある。すなわち、新たな文書が追加されると、既にある文書も含んだ全文書をうまく再分類整理できるような整理体系を新たに作り出す。従来にない新しい問い合わせが集まるようになれば、それを整理できるような新しい分類（話題）

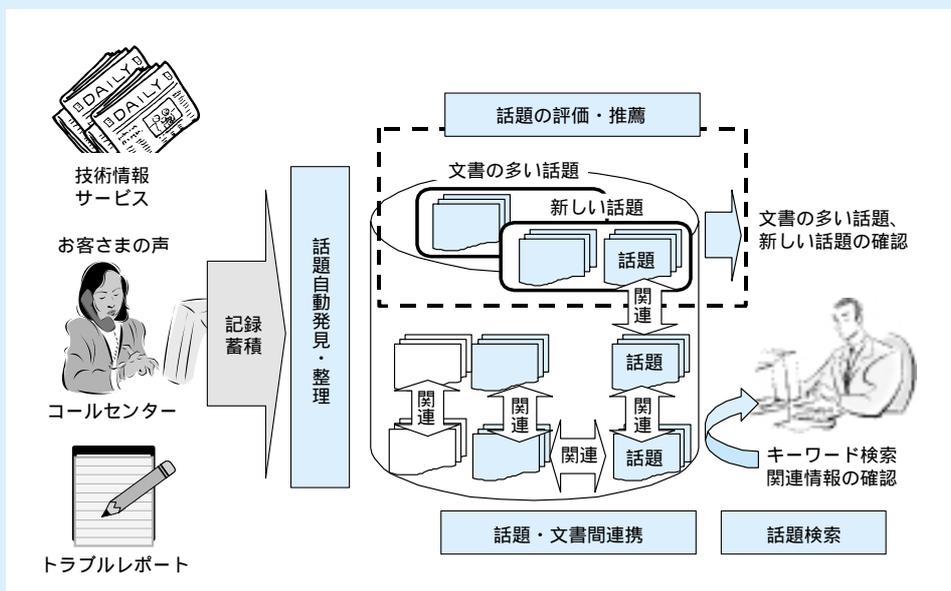
を作成し、特定の製品についての問い合わせが多くなれば、その製品についてより細かく分類整理するといったことを自動的に行う。このため、時間と共に、収集される文書の内容が変化しても、時々々の状況に応じた最適な整理を行うと同時に、整理結果である各話題に対して、新しさ、規模、まとまりの良さなど複数の指標を与える。

「トピックうおっちゃん」は、これらの指標を基に、評価の高いものから順に提示する【話題評価・推薦機能】、入力されたキーワードまたは文章に関連が深い話題を検索する【話題検索機能】、話題と関連の深い他の話題や文書を提示する【話題・文書間連携機能】などを有しており、蓄積された文書情報の“変化の迅速な発見”と“有効活用”を支援するシステムとなっている。

さまざまな文書データベースへ適用可能

「トピックうおっちゃん」は、専門的な単語辞書やその整備を必要とせず、さまざまな分野の文書データベースを1つのシステムで個別に管理することができる。

現在までに、本システムを用いて、当所研究報告書の研究内容別の詳細な整理や、新聞記事、問い合わせ情報、技術情報などさまざまな分野の数万件規模の文書データを整理してきた。そして整理結果や、新しい話題の発見能力や関連情報の質などについて実験評価を行ないその有用性を確認している。



第 5 章

技術革新を支える



第5章 技術革新を支える 目次

我孫子研究所	材料構造部	上席研究員	山本 広祐
	情報研究所	上席研究員	篠原 靖志
	情報研究所	上席研究員	小野田 崇
	情報研究所	主任研究員	所 健一
	情報研究所	主任研究員	渡邊 勇
	情報研究所	主任研究員	椎名 孝之
	情報研究所	主任研究員	石野 隆一
我孫子研究所	材料構造部	主任研究員	酒井 理哉
我孫子研究所	流体科学部	主任研究員	服部 康男
横須賀研究所	エネルギー機械部	主任研究員	市川 和芳
横須賀研究所	エネルギー化学部	主任研究員	河瀬 誠
	横須賀研究所 電力部長	上席研究員	岡本 達希
	経済社会研究所	上席研究員	山本 公夫
我孫子研究所	研究コーディネーター	上席研究員	萩原 豊
我孫子研究所	材料構造部	主任研究員	塩竈 裕三
我孫子研究所	材料構造部	主任研究員	齋藤 潔
	情報研究所	主任研究員	堤 富士雄

5 - 1 機械学習技術	62
5 - 2 最適化技術	69
5 - 3 画像技術	77
5 - 4 オープンネットワーク技術	91
コラム6：ニューラルネットワークとサポートベクターマシン	68
コラム7：確率計画法	76



山本 広祐（1987年入所）
 水力発電所土木構造物の健全性診断を中心に、高速増殖炉主容器等の地震時座屈評価技術、人工知能を活用した非線形構造解析、インターネットによる電力会社向け情報発信・共有システムの開発等に従事してきた。最近では、維持管理研究の一環として土木施設のリスクマネジメントやライフサイクルコスト評価の研究にも携わっている。



小野田 崇（1988年入所）
 入所以来、ニューラルネットワークによる最大電力需要予測など、機械学習技術の開発、適用研究に従事。現在、主にパターン認識技術の性能向上の研究および異常予兆発見、情報検索へのパターン認識技術の適用研究に従事。

篠原 靖志（42ページに掲載）

堤 富士雄（42ページに掲載）



所 健一（1989年入所）
 これまでの電力用移動無線における周波数の最適配置手法など、主に電気事業における最適化に関する研究に携わる。現在はマルチエージェントを用いた取引シミュレーション、小型分散型電源機器の最適運転計画、発電機部品の最適運用計画などの研究に従事。



渡邊 勇（1996年入所）

入所以来、主にコンピュータネットワークの信頼度評価、電気事業に対する協調型最適化手法の適用研究に携わる。現在、マルチエージェントを用いた電力市場シミュレーション、電力システムの信頼度評価に対する最適化手法の適用などの研究に従事。



椎名 孝之（1991年入所）

オペレーションズ・リサーチ、特に数理計画法の手法の電気事業への応用を行っている。現在では、確率計画法などの不確実な状況下での意思決定の研究を中心に、応用数学的手法全般に興味を持つ。



石野 隆一（1991年入所）

入所以来、画像技術による電力設備の監視技術に従事。低品質画像の改善、赤外線カメラを利用した配電機材の異常検出、多眼カメラを利用した距離情報や形状情報の取得、ITV画像による電線の揺れ分析、などの研究開発に取り組む。現在、紫外線画像の利用について研究中。



酒井 理哉（1991年入所）

高速増殖炉の耐震設計の研究に従事し、原子炉容器や配管の座屈評価・疲労損傷評価を行ってきた。その後、新しい計算機を利用したFEM解析の並列処理・同時可視化システムの開発を行い、現在は数値解析と実験を連携して行うハイブリッド動的試験システムの研究に取り組んでいる。



服部 康男（1993年入所）

入所以来、複雑体系場の乱流現象に着目した研究を進めてきた。数値計算や風洞実験により、送電設備の耐風設計や原子力発電所からの使用済燃料貯蔵施設に関する研究に携わってきた。



市川 和芳（1991年入所）

入所後、石炭ガス化複合発電技術研究組合に出向し、200トン/日パイロットガス化炉およびプラント全体の性能評価を実施するなどIGCC技術開発に携わる。その後、ガス化炉内および熱交換器への灰・チャーの付着現象の解明および予測手法の開発に関して取り組む。現在は、ガス化スラグの有効利用技術の開発やバイオマスガス化技術に関する研究に取り組んでいる。



河瀬 誠（1993年入所）

これまで熔融炭酸塩形燃料電池に関する研究に携わり、燃料電池の高出力化のため、高性能な電極の開発に取り組んでいる。さらに、燃料として石炭ガス、バイオマス燃料を用いた場合の電池性能に対する不純物の影響を評価している。



岡本 達希（1976年入所）

これまでは主に、電子顕微鏡等を用いた高分子絶縁材料の絶縁破壊・劣化機構や高電圧機器等の絶縁診断方法の開発研究に携わり、最近では材料の改質による超高压CVケーブルのコンパクト化手法の開発とその実証を進めてきた。今後も、高電圧機器のさらなる高性能化研究や、診断技術の開発研究に取り組む。



山本 公夫（1981年入所）

発電所の景観アセスメント手法の開発や電力施設の景観デザイン案の提案などに関する環境研究に従事。現在は、豊かさが実感できる地域振興や電力施設立地における合意形成などに係わる研究に取り組む。



萩原 豊（1983年入所）

高速増殖炉や海上に浮かぶ原子力発電所の地震応答に関する研究に関与の後、並列処理・可視化・分散処理等の計算科学基盤技術に活動分野を広げた。現在は、我孫子研究所の新たな研究企画立案・総合調整等に従事。



齋藤 潔（1994年入所）

これまで、高速増殖炉主容器等の地震応答評価に関する研究や分散処理等の計算科学基盤技術に関する研究に携わってきた。現在は、遠隔観測技術を活用した水力発電所土木施設の維持管理高度化に取り組んでいる。



塩竈 裕三（1999年入所）

水力土木施設のうち特に鋼構造物の維持管理研究に携わり、広域通信回線を利用した遠隔モニタリング、モニタリングデータによる構造物の状態推定を手がける。

5 - 1 機械学習技術

5-1-1 ニューラルネットワークを用いた非線形構造解析

(1) ニューラルネットワークの特徴

ニューラルネットワークは、脳神経細胞網の情報処理メカニズムを模倣したもので、神経細胞（ニューロン）の本質的な機能を比較的単純にモデル化した要素を多数組み合わせた情報処理システムである。ニューラルネットワークが注目を集めている最大の理由は事例を学習できることにあり、あらかじめ準備した事例（データ）をニューラルネットワークに与えてネットワークの出力誤差が小さくなるよう数学的にネットワークの結合関係を修正することで、特定の機能を有するモデルを自動的に作成することができる。

(2) 荷重 - 変位関係のモデル化における階層型ニューラルネットワークの活用

構造物に荷重（力）が加わった時の変形や強度特性を調べる際、従来は実験で荷重と変位の関係を詳細に分析し、これを数式化した解析モデルを作成して地震応答解析などに用いてきた。しかしながら、構造物に複雑な荷重の繰り返し加わるような時には、荷重と変位の関係を定式化することが容易でない場合が多い。このため、実験で取得した荷重 - 変位関係のモデル化に階層型ニューラルネットワークの関数近似能力を活用した。図5-1-1に階層型ニューラルネットワークの基本構成とニューロン間における結合の重みの修正方法を示す。実験結果から代表的な入力値および出力値（教師信号）の組み合わせを多数準備し、個々の入力データに対するニューラルネットワークの出力と教師信号（正解値）との差が許容範囲に収まるまで結合の重みを修正することで、ネットワークの学習が行われる。

(3) 荷重 - 変位関係のモデル化

構造物の荷重 - 変位関係のモデル化手法として、図5-1-2に示す2種類の方法を考案した。一つは先験的に荷重 - 変位曲線がたどる経路の始点 (X_j, Y_j) と指向点

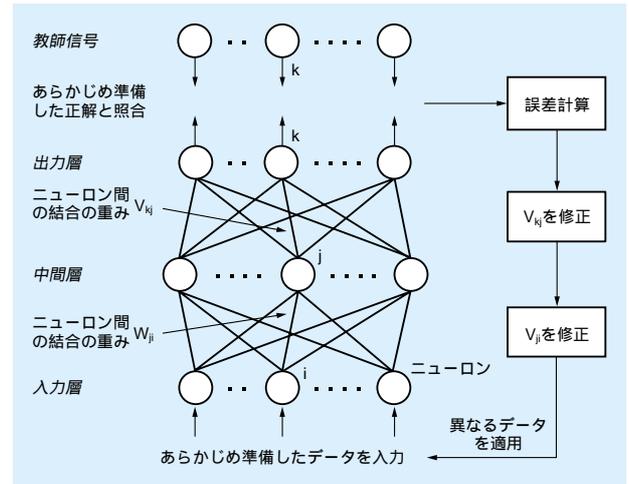


図5-1-1 階層型ニューラルネットワークの概要

(X_i, Y_i) が特定できる場合で、これを経路内挿法と呼ぶ。経路内挿法では、 (X_j, Y_j) と (X_i, Y_i) に加えて、この間の任意の変位 X_n を入力とし、 X_n に対する荷重 Y_n を出力とするニューラルネットワークを構築すれば、荷重 - 変位関係のモデル化が行える。もう一つの方法は履歴曲線がたどった過去の傾向を外挿する方法で経路外挿法と呼ぶ。ここでは、 (X_{n-2}, Y_{n-2}) 、 (X_{n-1}, Y_{n-1}) 、 X_n を入力とし、 X_n に対する荷重 Y_n を出力とする。

ニューラルネットワークによる荷重 - 変位関係のモデル化手法をプラント配管の問題に適用し、有効性を確認した。図5-1-3に示すステンレス製配管部材（直管）を用い、これに繰り返し荷重をかけた場合の実験結果が図5-1-4である。図5-1-4から経路内挿法に使うための入出力データ（前述の座標値）を300組ほど抽出してニューラルネットワークに与える事例とし、ネットワークの出力誤差が許容範囲に収まるまで学習を行わせた。図5-1-5は、図5-1-4の経路上にある座標点約700を学習済みのニューラルネットワークに連続的に与えて荷重 - 変位関係のグラフを作成したものである。実験結果（図5-1-4）とニューラルネットワークによる推定結果（図5-1-5）の対応は非常に良く、複雑な数式を作らなくてもニューラルネットワークで精度の高いモデルが作成できることが明らかとなった。

(4) 非線形構造解析における活用

構築したニューラルネットワークには、構造部材にお

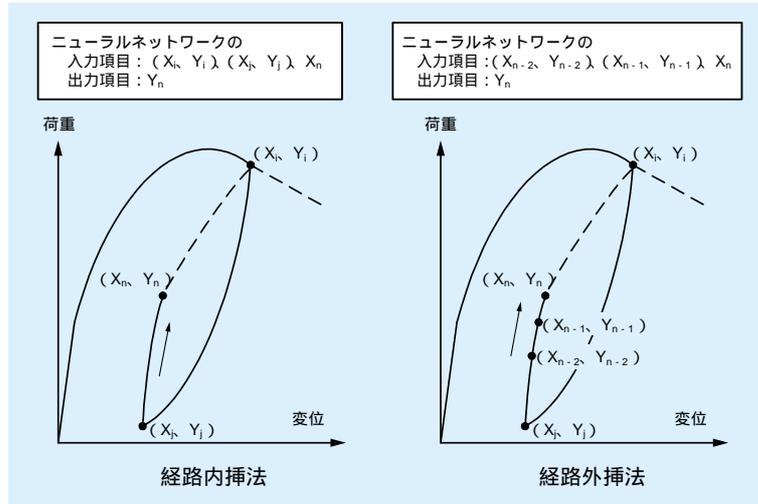


図5-1-2 ニューラルネットワークによる荷重 変位関係のモデル化

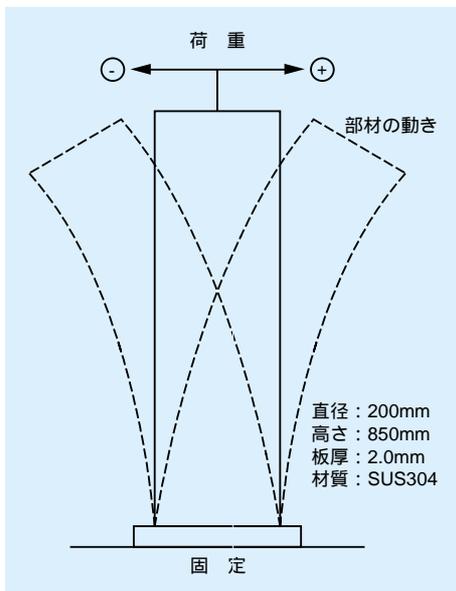


図5-1-3 プラント配管部材（直管）の実験模型

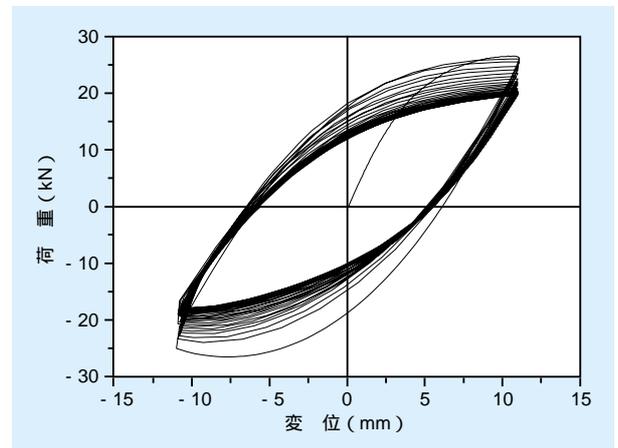


図5-1-5 ニューラルネットワークの推定結果

ける非線形の荷重 - 変位関係を表現できる能力が備わっている。このような部材が複数組み合わせられて構造物が作られるが、構造物全体の解析を行う場合には、ニューラルネットワークで近似される部材を必要に応じてユーザーサブルーチンの形で構造解析プログラムの中に組み込むだけで利用が可能である。この解析法を直管や曲り管を含む配管構造物の解析に活用し、適切な精度の解が得られることを確認した。

5-1-2 屋外からの家庭内電気機器の状態推定

背景・目的

従来、家庭で各家電機器をどのように使用しているかはあまり把握されていない。しかし、これらの情報は、家庭自身にも、電力会社などにとっても重要な情報とな

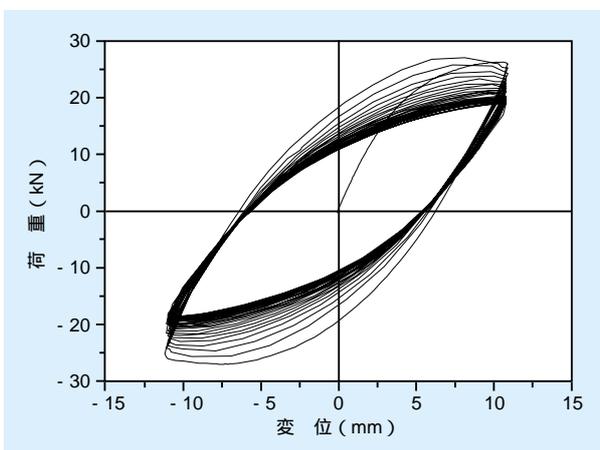


図5-1-4 プラント配管部材の実験結果

ってきた。

例えば、各家庭でエアコンをどのような気温や時間帯にどの程度使用するかという情報は、夏場などの電力消費をよりの確に予測して、効率的な発電計画を立ったり、きめ細かな季節時間帯別料金メニューを設計することに活かすことができる。また、近年、省エネ診断や改善提案などの各種省エネルギーサービスを提供する企業（ESCO：Energy Service Company）も現れているが、家庭での省エネルギーを進めていく上で、その家庭で各家電機器を実際にどのように使用しているのかというデータは不可欠である。

電力会社や研究機関は、現在でも、ご協力いただけるご家庭にお願いして消費電力の実態調査をしており、また、家庭内の家電機器の消費電力を計測するサービスを行う機関もある。このような調査では、一般に、計測したい家電機器ひとつひとつに測定器やセンサをとりつけ、その消費電力を記録する。しかし、測定機器などの取り付けや回収には、家庭内での設置・撤去工事などが必要であるし、設置スペースが問題となる。また、多数の機器を測定する場合には、測定器やセンサも増えるので費用もかさむ。

このような問題を解決するため、当所では、建物の給電線入口付近から屋内の電気機器の使用状態や消費電力をリアルタイムで計測・記録できる電気機器使用実態のモニタリングシステムを開発した。

(1) システムの特徴

設置場所は図5-1-6に示すように屋外の電力量計（ま



図5-1-6 本システムの導入イメージ

たは、屋内の分電盤）の付近で、測定対象である電気機器には測定器やセンサを取付ける必要がない。このため、設置工事のコストが少なくすむ上、設置工事やデータ回収についての家庭の負担が小さいという利点がある。

屋外の電力量計付近での設置でよい理由は、本システムが家庭内の個別機器の電流の合計である主幹回路電流から個別の稼働機器の電流を推測できるからである。

従来でも主幹回路電流の階段状の変化を見つけて、例えば、5Aの変化があれば、登録済みの500W機器が動作したと推定する稼働機器の推定手法があったが、現在では、インバータエアコンなどのインバータ機器の導入が進み、電流変化はステップ上ではない。

そこで、最新の機械学習技術を用いて、インバータ機器など消費電力が変動する機器にも適用できる家電機器の稼働状態と消費電力の新しい推定手法を開発した。

(2) 個別機器の動作状態推定の基本的しくみ

開発手法は、主幹回路電流高調波（基本周波数の奇数倍の周波数）の各次数での電流と位相の組み合わせである「高調波パターン」を利用する。各家電機器は固有の高調波パターンを持ち、それは主幹回路の高調波パターンに反映される。開発手法は、主幹回路での高調波パターンから逆に各機器の動作状態や消費電力を推定しており、この推定には、サポートベクトルマシン（SVM：Support Vector Machine）やRBFネットワーク（Radial Basis Function Network）と呼ぶ最新機械学習手法が使用される。

モニタリングシステムの構成を図5-1-7に示す。主幹

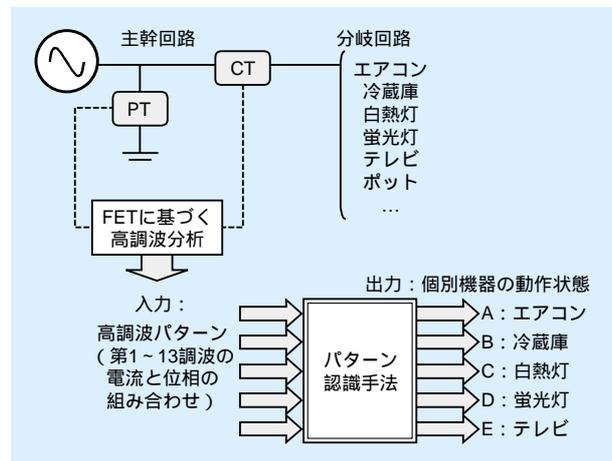


図5-1-7 モニタリングシステムの構成

回路の計測電流を高速フーリエ変換することで得られる高調波パターン（基本波および各奇数次の電流値とその位相）を入力として、個別機器の動作状態を推定する。

(3) 最新機械学習手法による動作状態推定

本システムでは、機器の稼働状態（稼働中であるか否か）の判定には、「サポートベクトルマシン（SVM）」を、一方、機器の電流（消費電力）を推定するには、「RBFネットワーク」と呼ぶ最新機械学習手法を用いる。

このため、まず、主幹回路の電流がさまざまな高調波パターンを取っている時に、対象機器の実際の動作状態（オン/オフ、消費電力）のデータベースを事前に作成する。モニタリング中に得られた主幹回路の高調波パターンが、既にこのデータベースにあれば機器の動作状態は推定可能であるが、事前に全ての高調波パターンとその時の機器動作状態を収集することは不可能であるし、膨大なデータベースから検索しては推定速度も遅くなる。データベースにない新しい高調波パターンに対して、いかに精度良く、高速に動作状態の推定を行うかが問題となる。

機械学習手法は、得られたデータベース中のデータを事前に分析し、未知のデータ（高調波パターン）に対しても精度の高い推定が行える推定モデルを学習する。実際のモニタリングでは、データベースは用いずに、推定モデルを用いて、精度の良い高速な推定を行う。

従来もニューラルネットワークが同様の目的で使用されたが、本システムで使用している最新機械学習手法は、ニューラルネットワークに比べて、高い推定精度を持つ。

表5-1-1に、実験データに対する各機器のオン・オフ

表5-1-1 オン・オフ判定への適用結果（誤識別率%）

	ニューラル	RBF	SVM
エアコン	0.8	0.0	0.0
冷蔵庫	0.0	0.0	0.0
冷蔵庫	27.5	14.0	8.3
白熱灯	16.7	0.0	0.0
蛍光灯	0.0	0.0	0.0
テレビ	2.5	0.0	0.0
平均	7.9	2.3	1.4

判定精度の実験結果を示す。ニューラルネットワーク（92%）に比べ、SVMやRBFが98%以上の非常に高い認識率を示すことがわかる。消費電力推定においても同様に高い精度を持ち、500W エアコンに対する誤差は約10W程度であった。図5-1-8に、実家庭に据えつけた実験でのエアコンの消費電力推定結果を示す。家庭内のエアコンの動作状態を、主幹回路電流のみから精度良く推定できていることがわかる。

5-1-3 エネルギー有効利用支援システム

背景・目的

需要家個々のエネルギーコストの削減やCO₂排出量削減施策などとして、オフィスや家庭などの民生用に燃料電池をはじめとする小型のエネルギー機器の導入が進む可能性がある。電力と熱の需要を正確に予測することができれば、燃料電池や蓄電機器、給湯・空調用蓄熱装置などの各エネルギー機器がもつ蓄熱・蓄電や貯水などの機能を活かした効率的な運用が可能となる。しかし、オ

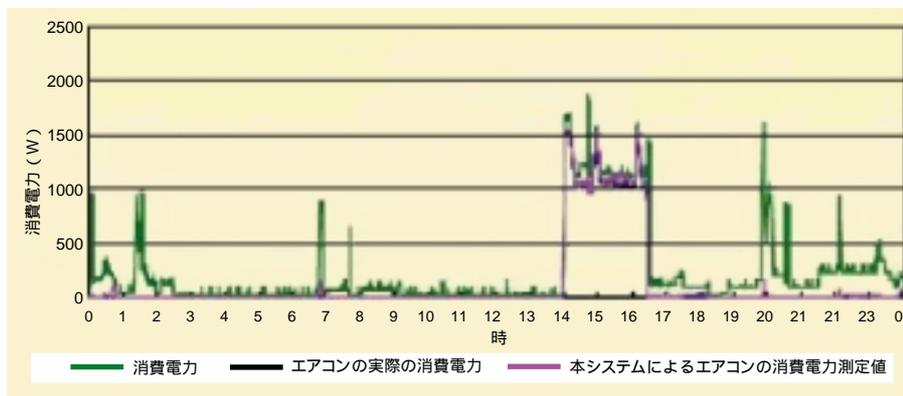


図5-1-8 エアコンの消費電力を本システムで推定した例

フィスや家庭では突発的な予定変更など予測不能な出来事が多く、需要を確定的に予測しても外れる可能性が高い。電力・熱の大量な過不足による非効率な運用を避けるには、需要の不確実性を前提としたエネルギー機器の運用が不可欠である。そこで、当所では、オフィスや家庭における需要の不確実な需要変動を前提とした、各種小型エネルギー機器の効率的な運用手法を開発した。

(1) 基本的考え方

需要予測が外れる原因にはさまざまなものがある。例えば、天気予報に基づく需要予測では、天気予報の外れが該当する。また、家庭等では、急な残業などで帰宅時間が遅くなれば、電気・熱の需要曲線が後ろにシフトするなどの変化が起きるが、このような急に起こる事態や気まぐれな行動も事前に予測不可能である。地域単位の総需要などでは個々人の行動の影響は、平均化されて直接反映されないため影響が小さいが、オフィスや家庭などの小規模需要家においては、この種の「需要の不確実性」(需要曲線の不確実な変動)は、一般的に生じる。従って、小規模需要家の翌日の需要曲線を精度高く推定することは、非常に困難である。

単一の需要曲線のみを想定する運用計画の立案は、機器の運用計画を行う場合の一般的な手法である。しかし、予測した需要が不適切なものになれば当然この最適運用

計画は、最適ではなくなる。このため、「需要の不確実な変動」が日常的な、小規模需要家の持つエネルギー機器の運用を、従来型の運用計画手法で行えば、省エネ・省コスト運転とはならず、大量の電力・熱の過不足が生じる非効率な運用となる危険性が高い。

一方、さまざまな要因による「需要の不確実な変動」を見込んだ運転計画は、天気予報が外れたり、帰宅時間がずれたりしても極端なエネルギー余剰やエネルギー不足などが生じない運転となる。当然、需要を正確に予測できる場合に比べれば運転コストはかかるが、小規模需要家では予測が外れる可能性が高いのであるから、月間や年間の平均などでは、この「需要の不確実な変動」を見込んだ運転計画がより省エネ・省コスト運転になると期待される。

そこで、オフィスや家庭などにおけるエネルギー有効利用支援システムの需要予測においては、従来の「単一の需要曲線の推定」ではなく、「複数の需要曲線の推定(確率分布推定)」を、また運転計画立案においては、従来の「単一需要曲線に対する最適運転計画立案」ではなく、「複数の需要曲線に対して平均的に最適な運転計画立案」を利用することにした。

(2) 開発手法の概要

図5-1-9に開発手法の概要を示す。開発手法では、工

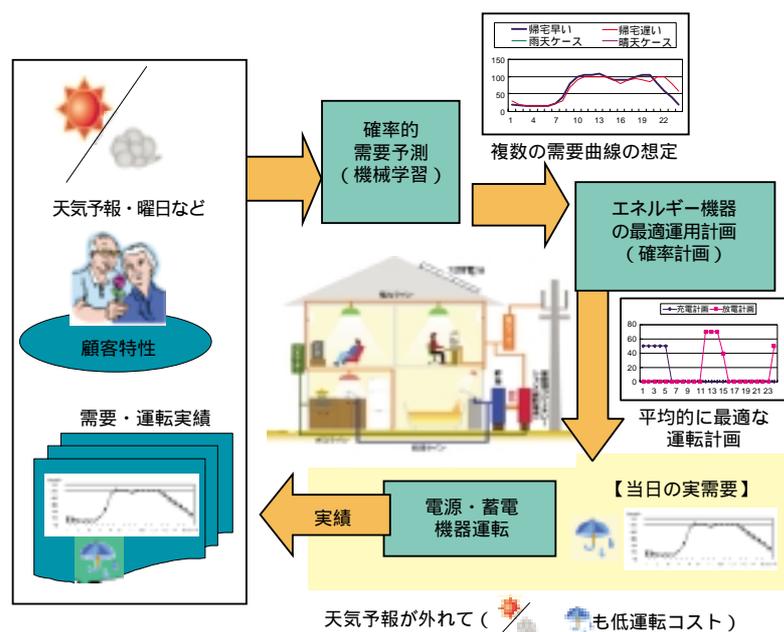


図5-1-9 エネルギー有効利用支援システムの概要

エネルギー需要予測にその需要家の過去の電力・熱需要実績のデータベースを使用する。

エネルギー機器運用計画は以下の3ステップによって作成する。

【ステップ1】エネルギー需要曲線確率モデル構築

開発手法では、エネルギー需要曲線（各時刻の電力と熱の両需要の列）の確率分布を、音声認識などで使用される隠れマルコフモデルを用いて表現する。そして、機械学習手法を用いて、上記実績データベース中の至近（約2週間）の実績データからこの確率モデルを高速に学習する。

対象需要家の至近の需要実績に基づいた学習を行うので、個別の需要家固有の電力や熱の利用を反映したエネルギー需要曲線の確率モデルを構成できる上、需要家の電気や熱の利用方法が季節などの時間経過によって変化しても追従することができる。

【ステップ2】エネルギー需要シナリオの予測

推定したエネルギー需要曲線の確率モデルと運転日当日情報（曜日、天気予報等）から、想定されるさまざまな需要曲線（シナリオ）を複数（数百～千個）作成する。

【ステップ3】エネルギー機器の最適運用計画立案

ステップ2で予測した複数のエネルギー需要曲線（シナリオ）と、対象需要家におけるエネルギー機器構成のデータおよび個別のエネルギー機器の特性データとに基づいて、期待コスト（個々のシナリオにおけるコストの平均）が最小となる最適運用計画を求める。提案手法では、この問題を遺伝的アルゴリズムによって解いてい

る。遺伝的アルゴリズムは、高速であると同時に柔軟性が高い手法で、蓄電・蓄熱装置の有無など、エネルギー機器の構成が異なる場合、あるいは分散型電源の排熱を給湯以外に利用する場合などにおいても、最適なエネルギー機器の運用計画を効率的に求めることが可能である。

(3) 開発した最適運用手法の評価

家庭での電力・熱消費の実績データ1年分を用いて、翌日の時間帯毎のエネルギー機器の最適運用計画を毎日求めるシミュレーションを行い、その結果を従来型の確定的手法と比較・評価した。この結果、予測した需要曲線が実績とほぼ合致した場合には従来型方式による運用が経済的であるが、需要を完全に予測できることは少ないため、年間約280日（約75%）に対して、開発手法の方がより経済的であった。月平均で見れば年間を通して開発手法が経済的となる（図5-1-10）。

(4) 開発手法の活用に向けて

今後は、開発手法のオフィスでのエネルギー機器運用への適用やエネルギー機器運転比較システムの活用を図る予定である。その一環として、既に、エネルギー機器構成、料金プラン、運用手法などを選択して、さまざまな状況での機器運用シミュレーションができるインターネット版エネルギー機器運用比較検討システムを開発している。本システムにより、エネルギー機器や新しい運用手法の導入効果など需要家に合ったエネルギー機器の効率的運用方法の比較検討を支援できる。

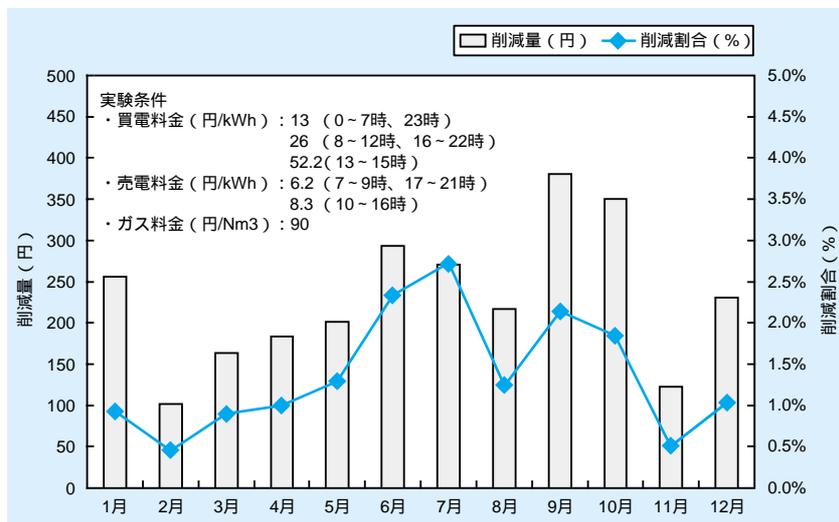


図5-1-10 従来方式（確定的方式）と比べた開発手法によるコスト削減例

コラム6：ニューラルネットワークとサポートベクターマシン

パターン認識手法の主流となっているニューラルネットワークと、最近、その認識性能が目目されているサポートベクターマシン（以下、SVM）の関係について簡単に紹介する。

ニューラルネットワークの学習は、1980年代に多層パーセプトロンと学習アルゴリズムである誤差逆伝播法が世に出て、数多くの応用を産み出し、多くの研究が進んだ。しかし、応用と研究が進むにつれ、ニューラルネットワークには、学習の収束の遅さ、望ましくない局所最適解への収束、中間層ユニット数の選択など、いくつかの問題があることがわかってきた。

最近、優れたパターン識別能力のため注目を集めているSVMの基本的な構造は、驚くべきことに、ニューロンのモデルとして最も単純な線形しきい素子なのである。構造は単純なニューロンと同じであるが、Vapnikらによって、単純パーセプトロンのよい性質を保ちつつ、数理計画法や関数解析に関係する工夫が加えられて、優れた学習アルゴリズムが提案され、SVMが開発された。

SVMの基本構造

SVMの基本構造である線形しきい素子は、ニューロンを非常に単純化したモデルで、ある入力に対し、2値の出力（+1または-1）を線形識別関数に従って出力する。このモデルを幾何学的に見てみると、観測空間を線形識別関数である超平面で2つに分け、片側に+1を、もう片側に-1を対応させることにあたる（図1左側）。線形しきい素子の学習は、観測空間を2つに分ける線形識別関数を見つけることにより行われる。全てのサンプルに対して正しい出力を出せるような線形識別関数が存在するとき、そのサンプル集合を「線形分離可能」と言う。一般に、線形分離を実現する線形識別関数である超平面は一意ではない。では、そのような超平面のうち、最適なものはどれかなのであろうか。直感的には、サンプルパターンすれすれを通る超平面よりも多少余裕をもって分ける超平面の方が良さそうである。

SVMとニューラルネットワークとの相違

ニューラルネットワークの学習に一般に採用されている誤差逆伝播学習法では、サンプルに対して正しい出力をする線形識別関数が探索された時点で学習が終わってしまい、どこに線形識別関数

である超平面が生成されたのかわからない（図1左側）。一方、SVMでは、サンプルパターンと超平面との余裕をマージンという量で測り、このマージンをできるだけ大きくするように超平面を求める。マージンとは超平面と例題パターンとの距離の最小値である（図1右側）。こうすることにより、SVMでは、線形識別関数である超平面を一意に定めることができる。

では、観測空間で線形分離可能でない場合にはどうしたらよいのであろうか。SVMでは、入力を非線形変換によって、より高次元の空間に写像して、その空間で線形の識別を行う。SVMで利用できる非線形変換はいくつかあるが、SVMにシグモイド関数による非線形変換を行う場合、SVMの構造は、3層のニューラルネットワークモデルと同じになる。

まとめ

観測空間で線形分離可能な場合、SVMの構造は1個の線形しきい素子となるニューロンモデルであり、非線形変換としてシグモイド関数を採用すれば、多層のニューラルネットワークモデルとなる。ただし、前述したように学習アルゴリズムは異なるので、SVMには局所最適解の問題や中間層ユニット数の選択の問題などはない。

現在、パターン認識精度を追求する研究領域において、SVMがニューラルネットワークに取って代わる勢いである。今後、様々な実用システムの中で、SVMを目にする機会が増えることだろう。

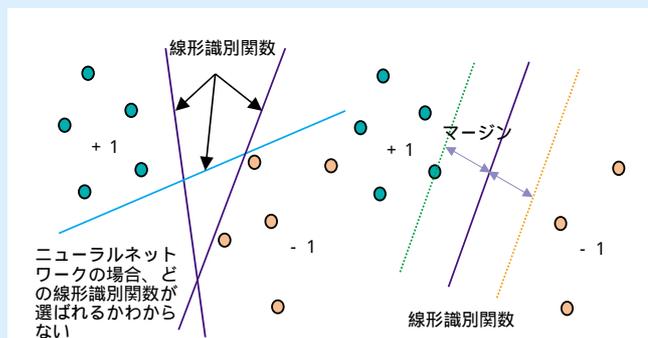


図1 ニューラルネットワークの線形識別関数（左側）とSVMの線形識別関数（右側）：●はクラス+1のサンプル、○はクラス-1のサンプルを表す。

5 - 2 最適化技術

5-2-1 移動無線周波数の最適割当て

背景・目的

電気事業では、安定した電力を供給するために、独自の移動無線システムを構築・運用している。たとえば台風により送電線が被害を受け、停電が発生した場合など、感電などの事故を防ぎつつ、複数の作業チームが連携していち早く復旧作業を行う上で、この移動無線システムが大変重要な役割を果たしている。

こうした電力用移動無線システムの構築・運用にあたっての重要な課題の1つが、周波数の効率利用である。特に、近年の携帯電話をはじめとする移動体通信の爆発的な普及により、周波数資源への需要が高まっており、周波数を無駄無く使用することが重要となる。

しかし、使用する周波数が最小となるように、システムを構築することは容易ではない。電力用移動無線システムで使用する周波数を少なくするには、1つの周波数を干渉しないように、複数の基地局に効率的に割り当てる必要がある(図5-2-1)。しかし、基地局への周波数割当ての組合せの数は膨大であるため、この中から干渉が生じず、しかも使用する周波数の数が最小となる割当てを見つけ出すことは非常に困難な作業となる。

そこで、周波数割当作業に要する時間と労力を削減することを目的に、干渉する基地局数が非常に多くなる場合においても、効率的に最適な周波数割当てを求めることができる周波数割当て手法を開発した。

(1) 周波数割当て手法の開発

開発した割当て手法では、遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)と呼ばれる、生物の進化過程を模して作られた探索アルゴリズムを用いて、最適な基地局への周波数割当てを見つけ出す。GAでは解(基地局への周波数割当て)の情報を染色体に記録した個体の集団に対して、交叉や突然変異と呼ばれる操作を加えることで、より良い個体(解)に進化させていく。GAの一般的な操作手順を示すと以下ようになる(図5-2-2)。

- a. **初期化**: ランダムな染色体をもつ個体をあらかじめ決められた個数生成して、これを初期集団とする。
- b. **再生**: 集団の各個体の適合度(染色体に記録された解の良し悪し)を計算して、適合度の低いいくつかの個体を淘汰する。また淘汰した個体の数だけ、新しい個体を生成する(図5-2-2)。
- c. **交叉**: 集団の2つの個体を選び出し、それぞれの染色体をランダムに選んだ同じ位置で切断し、その一部を交換する(図5-2-2)。
- d. **突然変異**: あらかじめ決められた突然変異率にしたがって、染色体の遺伝子の値を別の値へと変更する(図5-2-2)。
- e. **終了判定**: 終了条件が満たされたなら、アルゴリズムを終了する。集団内でもっとも適合度が高い個体の染色体に記録された解を最適解とする。終了条件が満たされなければ、集団の世代数を1増やし、再生からの操作を繰り返す。なお、終了条件としては「世代数があらかじめ設定した数に達したか?」という条件を用いるのがもっとも一般的である。

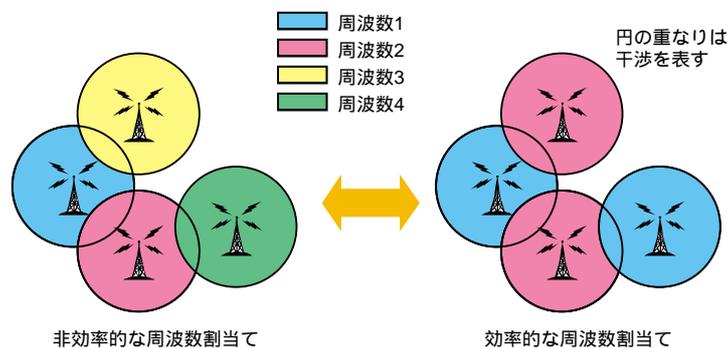


図5-2-1 効率的な周波数割当て

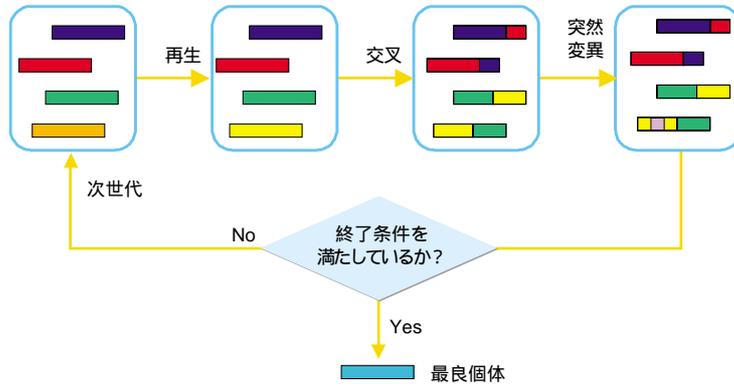


図5-2-2 GAの一般的な操作手順

ただし、一般的なGAをそのまま適用したのでは、現実の電力用移動無線システムの最適な周波数配置を求めることはできない。遮蔽物の少ない海を挟んで、4つの電力会社が隣接する瀬戸内地域などでは、非常に多くの基地局同士が複雑に干渉しあい、一般的なGAでこうした地域の最適な周波数割当てを求めることは不可能となる。そこで新たな割当手法を開発した。開発した割当手法では、GAに割当て可能な周波数が少ない基地局から、優先的に周波数を割り当てていくという割当てルールを組み合わせることで、効率的に最適な割当てを求めることを可能としている。

開発した手法では、個体の染色体に基地局へ周波数を割り当てる優先度を記録し、使用する周波数が最小となる基地局への周波数の割当順序を求める。染色体の情報と割当てルールを基に、基地局に順次周波数を割り当てていく手順を、図5-2-3の4つの基地局へ周波数を割り当てる単純な問題を例に示すと以下ようになる。

ステップ1：次の式で計算される、各基地局の「割当可能周波数による優先度」を計算する（図5-2-4）。

割当可能周波数による優先度 = 割り当て可能な周波

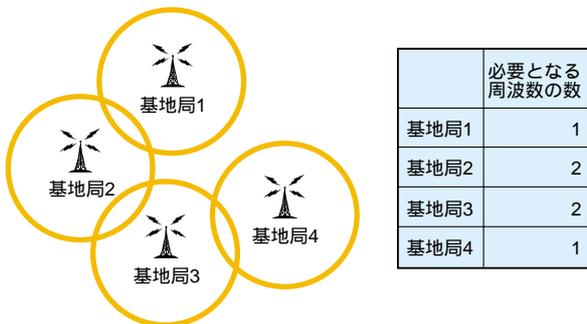


図5-2-3 4つの基地局からなる周波数割当ての例題

数の数 / (必要な周波数の数 - 既に割り当てた周波数の数)

ステップ2：ステップ1で計算した優先度と、染色体にコード化された優先度（図5-2-4）との積（図5-2-4）を計算する。この積がもっとも小さい基地局に、割当て可能なもっとも番号の小さい周波数を割り当てる。

ステップ3：すべての基地局へ必要となる周波数を割り



図5-2-4 染色体の情報を基にした周波数の割当て手順

当てたら終了する。そうでなければステップ1からの操作を繰り返す。

(2) 性能評価と実問題への適用

周波数配置に関する研究で用いられている代表的なテスト問題に、フィラデルフィア近郊の携帯電話システムを基に作られた、フィラデルフィア問題と呼ばれる問題がある。この問題には各基地局で必要となる周波数の数や、干渉条件などにバリエーションを設けた複数の問題があるが、これまで、すべての問題の最適な周波数配置を求められる手法はなかった。しかし、開発した手法を適用したところ、すべての問題で使用する周波数の数が最小となる周波数配置を求めることができた。

また、開発した手法は実際に九州電力管内と4つの電力会社の基地局が干渉する、瀬戸内地域の電力用移動無線システムの最適な周波数割当てを求めるのに利用され、これまで基本的には担当者の手作業により、長い時間をかけて行われていた割当て作業を、わずか数十分で完了することができ、割当て時間の大幅な削減を実現した。

5-2-2 CO₂ 排出権取引ルールへのGAの適用

背景・目的

電気事業と関係の深い2つの市場の開設が、国内で検討されている。その1つが電力を取引する市場であり、もう1つがCO₂の削減目標に従って割り当てられた、CO₂の排出可能量（CO₂排出権）を取引する市場である。こうした市場の導入にあたっては、どのような取引ルールを設定するかが重要な課題の1つとなる。取引ルールが適切でなければ、価格の高騰や供給不足といった問題を生じさせる要因となる。

しかし、これら2つの市場での取引がどのように行われるかを、事前に予測することは困難である。電力市場には従来の電気事業に加え、独立系発電事業者（IPP：Independent Power Producer）などが参加すると予想されるが、こうした市場参加者の多くは火力発電の設備を保有している。火力発電で電力を生産すると、副産物としてCO₂が排出されることから、たとえば電力市場で多くの電力を販売すれば、一般により多くのCO₂排出権が必要となる。このため、ある企業が電力市場で取る行

動と、その企業がCO₂排出権市場で取る行動は密接に関連する。また、新しく効率の高い発電設備を導入すれば、CO₂の排出量や発電コストが削減されるので、企業が2つの市場で取る行動は、新しい発電設備の導入量によっても変化する。このようにある企業が2つの市場で取る行動は相互に影響しあい、また新しく導入する発電設備の導入量によっても変化するから、企業が市場でどのように行動し、その結果市場での取引がどのように行われるかを、理論的に予測することは非常に困難となる。

こうした複雑に関連する2つの市場での取引動向を分析する方法の1つとして、実験参加者に電力市場とCO₂排出権市場での取引を模擬してもらう実験が行われている。しかし、こうした取引実験を行うには、非常に多くの時間とコストが必要となる。適正な市場の取引ルールを探索するには、さまざまに条件を変えながら繰り返し取引実験を行い、事前に問題点を抽出しておく必要がある。しかし、そのすべてを人間が取引する実験で行うには限界がある。

そこで、市場での取引ルールの検討などを支援するツールとして、さまざまな条件での取引動向を、短時間で模擬できるシミュレーションシステムを開発した。

(1) シミュレーションシステムの開発

開発したシミュレーションシステムでは、図5-2-5に示すように、コンピュータ上の仮想市場で、人間に代わってエージェントと呼ばれるコンピュータプログラムが取引を行うことで、取引動向を模擬する。これまでも仮想市場におけるエージェントの行動から、市場取引などを模擬する方法が提案されている。しかし、これらの方法を用いて電力市場とCO₂排出権市場の取引シミュレーションを行うには、エージェントが最適な戦略を学習する方法が問題となる。前述のように、1つのエージェントが2つの市場で取る行動は相互に関連しあい、また新しい発電設備の導入によっても変化するから、電力市場での行動戦略、排出権市場での行動戦略、それに発電設備の投資戦略の組合せを1つの戦略として考えなければならない。このためエージェントが取り得る戦略の組合せの数は膨大となり、従来用いられている学習方法では、最適な戦略を学習することが困難となる。

開発したシミュレーションシステムでは、生物界の「宿主 - 寄生虫」の関係をモデル化した共進化型アルゴ

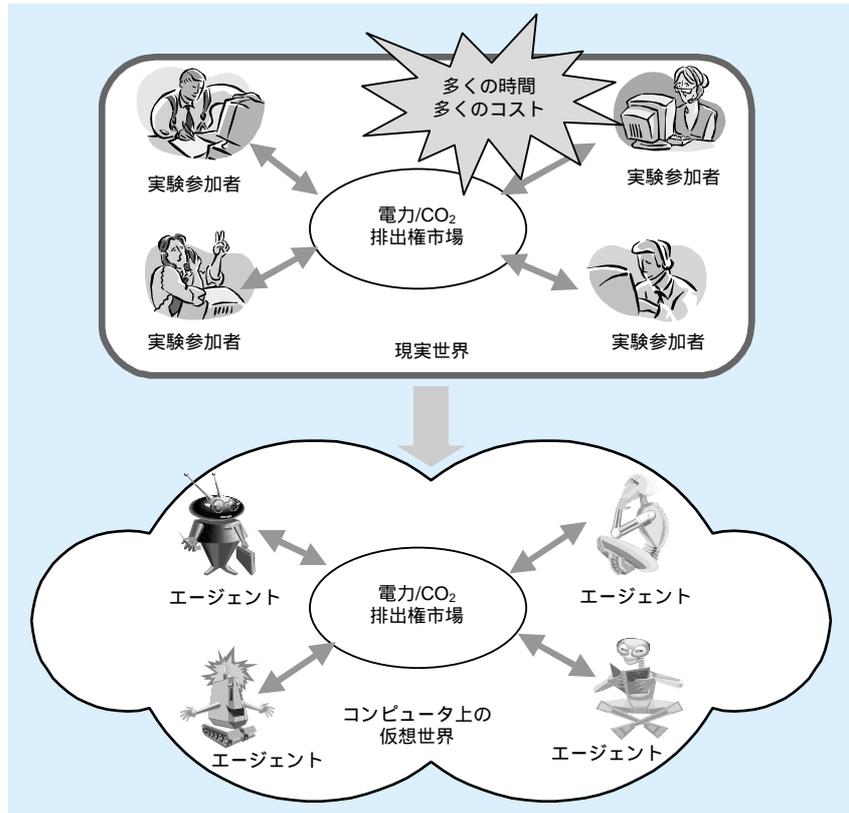


図5-2-5 エージェントシミュレーション

リズムを用いて、エージェントが膨大な戦略の中から最適な戦略を学習する。共進化型アルゴリズムとは図5-2-6のように、宿主である生物は寄生虫からの防御を進化させ、寄生虫はその防御を打ち破るために進化するという競争を続けることで、より強い宿主/寄生虫に進化させていく方法である。それぞれのエージェント毎に、戦略を個体の染色体に記録したうえで、それぞれの個体集合をお互いに競争させながら、前述のGAの遺伝的操作を加えて進化させたところ、取り得る戦略が膨大となる電力市場とCO₂排出権市場の取引シミュレーションにおいても、効率的に最適な戦略を学習することができた。

(2) シミュレーション結果

当所で人間を実験参加者として行った取引実験と同様の条件設定で、開発したシミュレーションシステムを用いて、電力市場とCO₂排出権市場での取引を模擬する実験を行った。その結果、人間を参加者とした場合には2日間を要した実験を、シミュレーションでは、データの準備や、エージェントの学習に要する時間を含めても、約5時間で終了することができ、取引実験に要する時間を大幅に短縮することができた。また、開発したシミュ

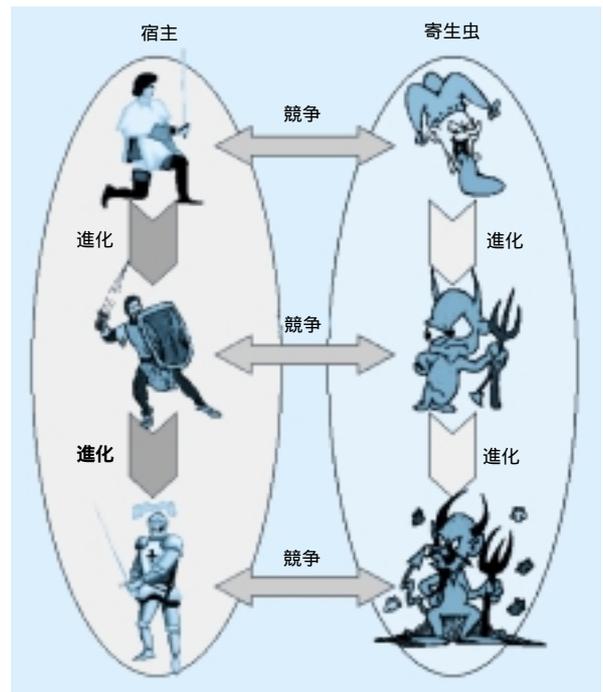


図5-2-6 共進化型アルゴリズム

レーションシステムを用いた取引実験の結果から、所有する排出権を超過したCO₂を排出した場合の罰則金の設定に注意を払う必要があることが判明した。具体的には、

市場で取引されたCO₂排出権の価格に連動して罰則金を決める取引ルールの場合、排出権を大幅に越えるCO₂を排出する戦略(図5-2-7)が、もっとも経済的となる場合のあることが分かった。これまでに何回も行われた人間を参加者とした実験では、こうした戦略は取られたことが無く、取引ルールの問題点を検証する目的からも、開発したシミュレーションシステムが有効であることが確認できた。

5-2-3 電力自由化市場制度設計へのマルチエージェントの適用

背景・目的

わが国における電気事業の自由化については、2003年2月に電気事業分科会の報告書が出され、その一つとして全国規模の卸電力市場を整備することが打ち出された。しかしながら、すでに卸電力市場が導入されている欧米の一部の市場では、取引価格の極端な乱高下(価格スパイク)や高止まりなどの問題が顕在化している。電力は社会的必需財であることから、その価格が極端に不安定になることは望ましくない。今後わが国に導入する卸電力市場の制度設計の際には、様々な制度設計要因が市場に与える影響を十分に分析・評価した上で、取引価格の乱高下や高止まりを抑制するための手立てが十分に組み込まれる必要がある。

そこで、卸電力市場における価格変動などを定量的に分析・評価するために、マルチエージェント技術を用いた電力市場シミュレーションモデルを開発した。市場参加者(発電および供給事業者)を各自の入札戦略に基づいて独立に振る舞う「エージェント」としてモデル化する。

る。エージェントアプローチの利点は意思決定者の柔軟なモデル化が可能な点であり、電力の売買取引だけでなく、発送配電に関連する電力系統固有の技術的問題も考慮する必要のある電力市場のモデル化にとって、有効なアプローチの一つである。

(1) 電力市場シミュレーションの基本モデル

電力自由化が先行する諸外国・地域の卸電力市場を参考に、図5-2-8に示すような私的契約に基づく相対取引とプール型の卸電力市場(プール市場)とが混在する電力供給構造を想定する。発電事業者は相対契約に基づく電力供給を行う一方で、プール市場を介して供給事業者と電力の市場取引を行う。

プール市場では性質の異なる2種類の市場(前日市場とリアルタイム市場)を想定する。前日市場では、卸電力が実際に取り引きされる前日までに市場参加者が希望価格と取引量を電力取引所に入札する。電力取引所は各市場参加者からの入札を総合した需給曲線を作成し、その交点でもって市場価格を決定する。リアルタイム市場では、発電事業者は前日市場と同様に希望価格と取引量を入札するが、供給事業者は取引量のみを系統運用者に申告する。

(2) 市場参加者のエージェントモデル

市場参加者の多様性や行動戦略を考慮するために、図5-2-9に示すように発電事業者と供給事業者をそれぞれ発電エージェント、需要家エージェントとしてモデル化する。各エージェントは過去の入札行動とその結果として得られる報酬をもとに、獲得報酬を最大化するような最適な入札行動の獲得を試みる。具体的には、発電エー

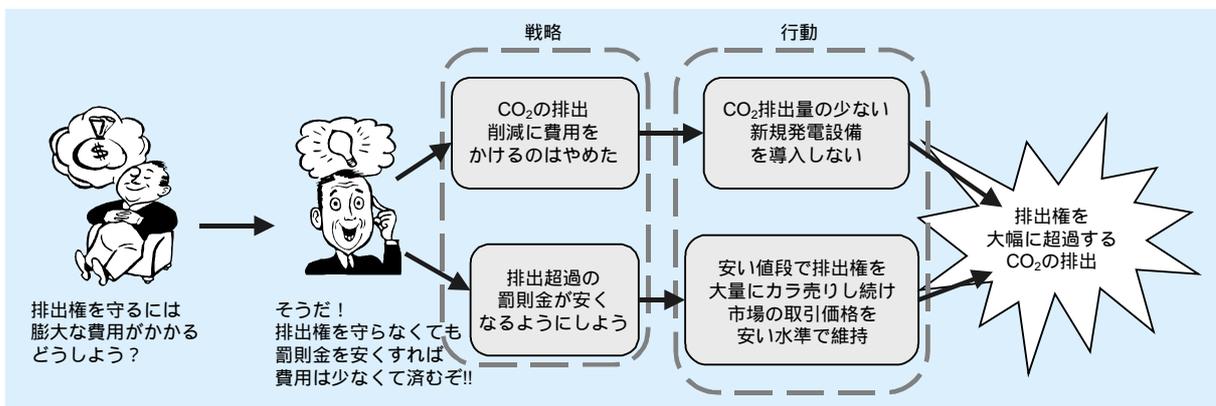


図5-2-7 大幅な排出超過を前提とする戦略(取引ルールの問題点)

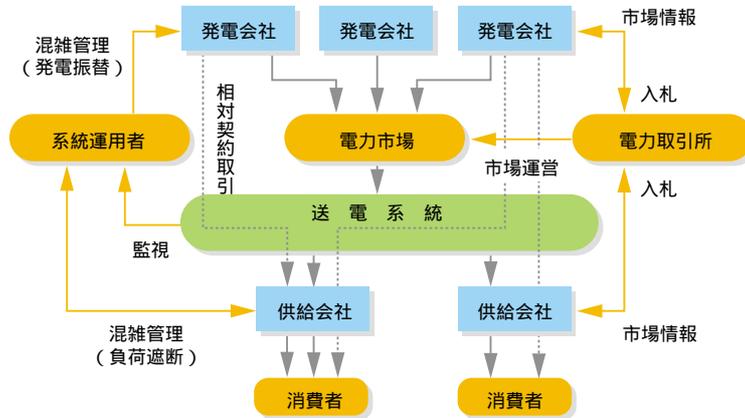


図5-2-8 電力供給構造の想定

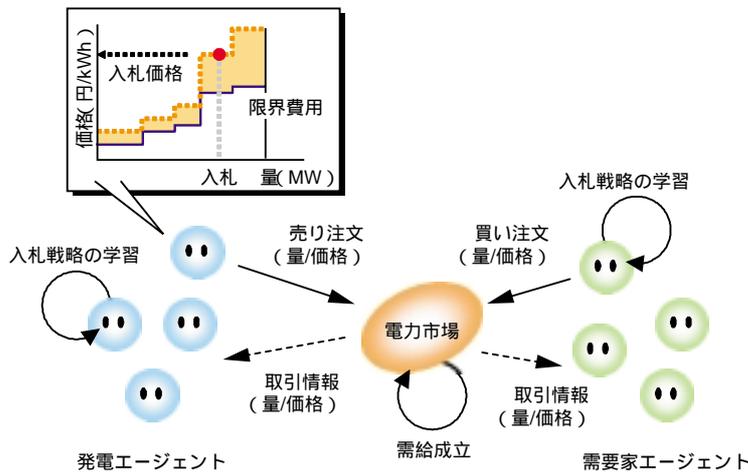


図5-2-9 市場参加者のエージェントモデル

ジェントは売上から発電費用を引いた利潤の最大化を目指し、需要家エージェントは平均購入費用の最小化を目指して行動する。これはエージェントに強化学習に基づく学習モデルを実装することで実現する。

発電エージェントは限界費用の異なる複数の発電機を保有しており、各発電機の限界費用に期待利潤を上乗せした価格を各市場に入札する。また、保有する発電機の総設備容量の一部を限界費用の安い設備順に、前日市場に入札し、残りをリアルタイム市場に入札する。一方、需要家エージェントは、期待販売価格に割引率を乗じた価格を前日市場に入札する。期待需要の一部は前日市場に入札し、残りをリアルタイム市場に入札する。

(3) 開発モデルを用いた検討例

本シミュレーションモデルを用いることで、電力取引形態の違いや市場支配力などが、取引価格に与える影響

について分析することが可能になり、様々な課題に対する基本的な対応のあり方を探ることができる。表5-2-1に具体的な検討課題とその検討内容を示す。以下では、市場参加者の入札行動が取引価格に与える影響について検討・分析した結果について報告する。

本検討ではモデル系統（母線数47、送電線数78、発電所数10）を介した電力取引を想定する。想定した電力系統を南北2地域に分割し、地域間の連系線で発生す

表5-2-1 主な検討課題

適用検討課題	具体的な検討内容
電力取引形態の影響	相対取引とプール取引の比率
市場支配力の影響	市場参加者の数や規模、設備保有率の比較
系統制約の影響	送電線混雑の発生、混雑管理方式のあり方
価格決定方式の影響	入札方式や市場価格の決定方法
価格弾力性の影響	需要家の価格弾力性
不確実性の影響	需要予測誤差、需要変動シナリオ
市場における情報の影響	市場における各種情報の公開度合い

る混雑のみを考慮した。表5-2-2に示すように、シミュレーションに用いる需給量の設定は発電側および需要家側シナリオを組み合わせた9種類のシナリオを想定した。需要家側シナリオとして、全需要家エージェントの需要を一律に増加させた一律増加型と、南地域の需要のみ増加させた一部増加型を想定した。発電側シナリオとして通常寡占型に加え、総設備容量の半分以上を一社が独占的に保有するガリバー型も想定シナリオに含めた。発電エージェント数を5、需要家エージェント数を30とし、発電エージェントが保有する総発電機数を44とした。

各シナリオについて独立した50回のシミュレーションを行い、エージェントの入札行動が収束状態に至った際の平均市場価格（円/kWh）を図5-2-10に示す。需給逼迫時（S4、S5、S6）にはリアルタイム市場の取引価格が高騰する様子が確認できる。また、発電側シナリオにおいて基準ケースと比較してガリバー型（S2、S5、S8）の方が一般に取引価格が高いことなどが分かる。これらの結果を含め、取引制度や市場参加者の入札行動が価格変動に与える影響について分析した結果、価格高騰の基本的なメカニズムなど以下の点が明らかになった。

- a．需給逼迫時には取引価格が高騰し、特にリアルタイム市場における価格水準は発電エージェントの入札上限価格にまで達する。
- b．市場支配力を持つ発電エージェントの入札において、前日市場への出し渋りやリアルタイム市場での価格吊り上げなどの戦略的行動を確認した。
- c．前日市場にプライスカップが存在する場合、発電

表5-2-2 市場シミュレーションのシナリオ設定

需要側シナリオ	発電側シナリオ		
	基準ケース	ガリバー型	通常寡占型
基準ケース	S1	S2	S3
一律増加型	S4	S5	S6
一部増加型	S7	S8	S9

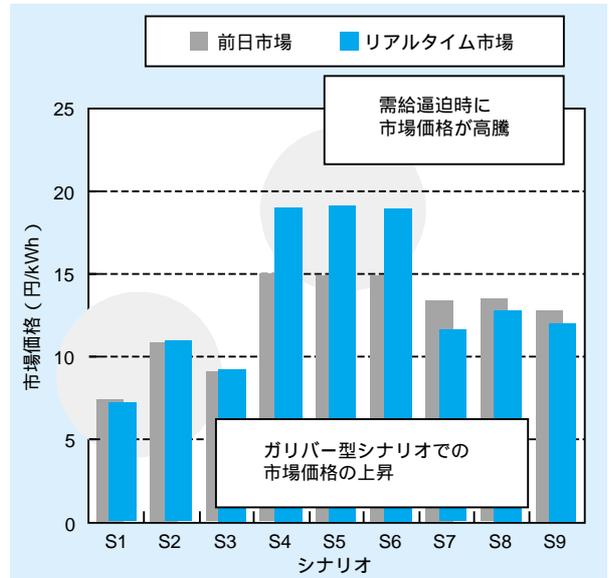


図5-2-10 シナリオ間の平均市場価格の比較

エージェントが取引価格の上限が設定されている前日市場を避け入札量を絞るため、前日市場での取引量が減少する。

- d．地域間を連系する送電線容量は取引価格に大きな影響を与える。

以上、卸電力市場における価格変動などを定量的に分析・評価するために、マルチエージェント技術を用いて開発した電力市場シミュレーションモデルの概要、ならびにモデルシステムに対する基本的な適用結果について述べた。本モデルの特長は、卸電力市場での価格変動に大きく影響する市場参加者の入札戦略に関するモデル化の能力が高い点にある。本モデルを用いることにより、事業者の戦略まで含めた詳細な検討が可能となる。

今後は、計画期間内の需要変動を考慮したモデルへの拡張を図り、市場価格や需要量など将来の不確実性を考慮した最適化手法の適用について検討を進める。

コラム7：確率計画法

数理計画法とは、与えられた制約条件の下で、目的関数を最適化する手法である。数理計画法の適用分野は工業生産、エネルギーなどの工学的諸問題、企業の経営や計画、公共政策、さらには金融など、実社会のあらゆる面に及んでいる。電力システムの計画と運用の問題は、数理計画法が適用される代表的なシステムといえる。電力システムに対しては、設備のサービスレベルを確保した上で、システム全体を安定的かつ効率的に運用することが求められる。このようなシステム構成を求める問題やシステムの運用を求める問題は、数理計画法を用いて解くことができる。

不確実な状況下での数理計画法

電力システムに限らず現実の数理計画問題には、目的関数および制約条件に不確実要素を伴う場合が多い。不確実な状況下での計画はリスクを伴う。電力供給計画を例にあげて考えてみよう。電力需要および供給に必要な燃料費などは確定的な値ではなく、確率的な変動を含む。電力需要が想定値より大きくなると、供給が満たされない可能性が生じ、また電力需要の想定を大きくとりすぎると、供給設備に余剰が生じることになる。また、電力供給に必要な燃料費が変動する場合は、供給コストの最適性が失われる可能性がある。このようなリスクは、現実の計画においては回避しなければならない。

そのため、現実のシステムに含まれる不確実な状況をモデル化し、確率的変動要素を考慮することが必要となる。不確実要素を考慮した数理計画法は、確率計画法と呼ばれている。電気事業においては、今後予定される電力自由化や規制緩和の進展により、不確実な状況下での意思決定やリスク管理手法が重要となるため、確率計画法の理論・手法の進展が求められている。当所では電気事業における設計・運用・計画などの問題に確率計画法を応用した。以下これらの応用例を紹介しよう。

確率計画法の電気事業への応用

発電機の起動停止問題とは、時間帯ごと与えられた電力需要を満たすように、各発電機の起動停止スケジュールおよび発電量を求める問題であ

り、大規模かつ複雑なスケジューリング問題である。起動停止問題の目的関数は、燃料費と発電機の起動費用の総和である。図は、電力需要の変動シナリオ例であり、確率計画法を用いると、電力需要の変動や、電力の市場への売買を考慮したスケジュールを求めることができる。

火力・原子力の発電機の補修の時間的制約を考慮して補修費用を最小化する問題は、整数計画問題として取り扱うことができる。この問題を拡張して需要の変動を考慮すると、確率計画法を用いて効率的に解を求めることができる。

電力供給においては、景気などによる長期的な需要変動や、気象条件などの変化による短期的な需要変動を想定している。電力需要値を確率変数と考えると、電力需要を満たすという制約条件に対する信頼度は、多次元の数値積分によって求められ、非線形最適化手法と組み合わせることによって、与えられた信頼度に対して最適な供給費用を求めることが可能となり、リスクを管理することができる。

電力システムの問題以外にも、確率計画法は通信網設計などに応用できる。予想される将来の通信需要の増大に対応するために、不確実な通信量のシナリオを仮定する。将来のネットワークの拡張を考慮すると、初期投資費用と設備増設費用の期待値の総和を最小化する問題となり、確率計画法により解を求めることができる。この手法はより複雑な多期間の問題へと拡張できる。

確率計画法により、不確実な状況下での設計・運用・計画などの問題において生じるリスクを管理または回避することが可能であり、今後も電気事業での応用が期待できる。

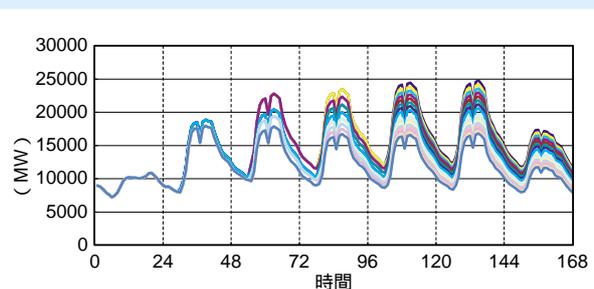


図1 電力需要の変動シナリオ

5 - 3 画 像 技 術

5-3-1 画像計測の適用

(1) 電線の揺れ計測

背景・目的

台風や季節風などの強い風の影響で電線が大きく揺れ、電線同士が接触して短絡したり、さらにひどい場合には鉄塔が倒壊することがある。この風の影響を解明するために、電線の揺れ方と風の関係に対する種々の研究がなされている。電線の揺れ方を観測する方法として、電線に張力計や加速度計などを取り付け実際の揺れを測定する方法がとられてきたが、初期値の特定が難しいなど、揺れ方を十分に観測できない問題があった。そこで、監視用に設置されたビデオの画像情報を用いて、電線の揺れを算定する遠隔計測手法を開発した。

a . 画像情報による変位量の算出法

電線の揺れ方を解明するためには、電線上の複数個所での揺れの変位の測定が必要となる。

そこで図5-3-1の観測系により、送電線上の3個所にターゲット（反射板）を取り付けて、電線の変位を観測し、画像情報を用いた解析による変位量の算出精度を調べた。

観測では、ビデオに映るターゲットを強調するなどの

画像処理を行い、画像上でターゲットの初期値を設定した後、揺れの解析を行う。移動したターゲットの画像と直前の画像を比較することにより、画像上でのターゲットの変位が計算できるため、画像上での移動量と実際の移動量の関係をあらかじめ求めて電線の揺れの変位量を算定する。

電線の揺れの変位量の算出精度を調べるために、観測系の電線をワイヤーで引っ張り、移動するターゲットを画像上で追跡して、画像上の変位量を算出し、その算出結果と実際にレーザ測距儀で計測した結果とを比較した。

その結果、ターゲットを取り付けたいずれの個所でも、画像上で設定した約1画素の精度で、変位を推定することがわかった。これは、実際には、観測系の距離85メートルの地点で変位量3センチ、255mの地点で5センチの誤差に相当する。

b . 電線揺れの周波数応答特性解析

電線の揺れ方を解明するには、揺れ方が支配的になる周波数を知ることが必要となる。国内で通常用いられているNISC方式のビデオ映像の場合、毎秒30枚の画像を取り込んでいるため、33ミリ秒ごとに画像データが得られる。したがって、画像データから各地点のターゲットの位置を求めれば、時系列の位置データが得られる。この時系列データをFFT（高速フーリエ変換）処理す

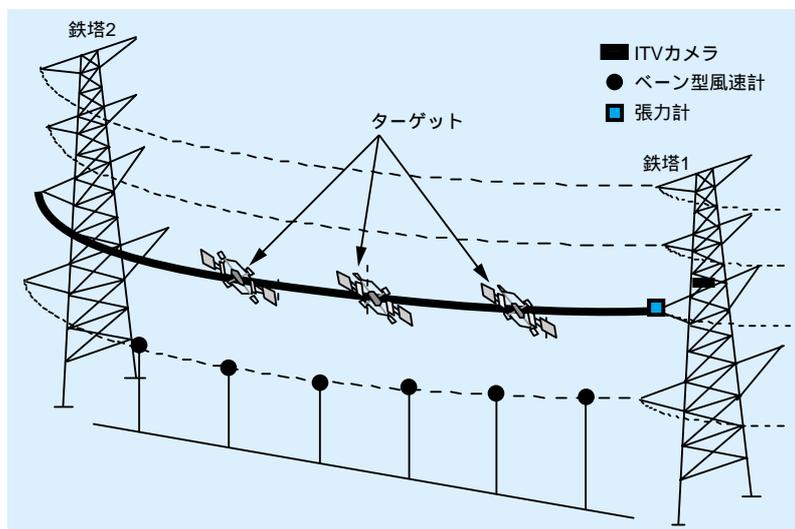


図5-3-1 観測系

ると図5-3-2に示すように、各地点での揺れの周波数応答特性が得られ、各地点でのパワーの大きい支配的な振動の周波数がわかる。さらに、支配的な周波数と3点の位相を勘案することで、図5-3-3に示すように電線の揺れ方に大きな影響を与える電線の振動モードが解明できる。

これによって、電線の変位量や支配的な揺れ方がわかるため、揺れの最大変位量や最大変位が発生する電線部分の推定が可能となり、電線の防振対策への活用が可能となる。

また、開発した手法は、市販のビデオカメラで撮影した映像に対しても適用可能であり、巡視者が偶然撮影したギャロッピング映像に対して、同様の解析を行い、周

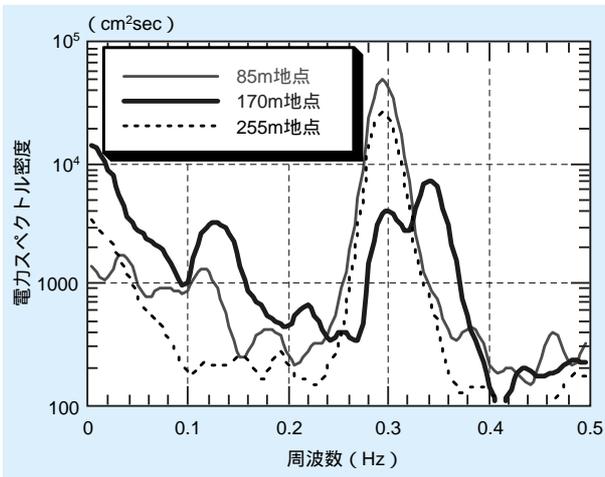


図5-3-2 周波数応答解析

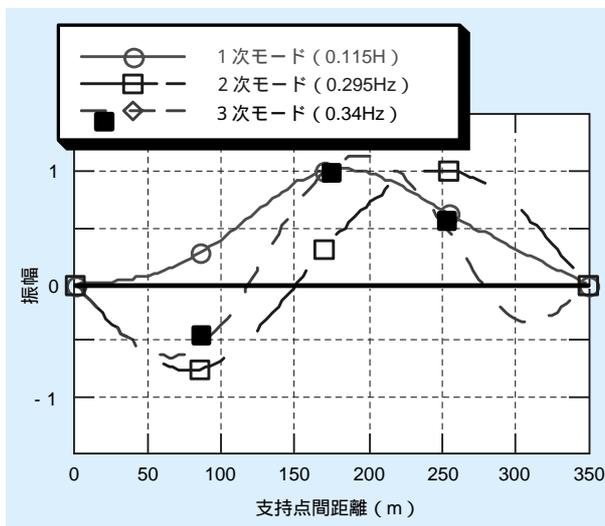


図5-3-3 揺れのモード解析

波数応答特性が得られている。このように、従来、現象の記録としての価値しかなかったビデオ映像から容易に周波数応答特性を求めることが可能となった。この手法は、発生箇所の予測が難しいため定点観測が困難なギャロッピング現象に対し、映像が撮影できれば揺れの周波数応答特性を解析できるため、ギャロッピング現象の解明に役立つと考えられる。

(2) 格子法によるひずみ計測

背景・目的

格子法によるひずみ計測は、被写体に円形ターゲットなどのマークを取り付け、高精度なデジタルカメラなどで変形を記録し、画像処理により座標を求め、ひずみを算出する方法である。ひずみゲージ等では計測不能な大ひずみまで測定でき、計測範囲が広いいため変形の局所化を捉えることができる。本節では格子法による画像計測の概要と、鉄筋コンクリート構造物、杭基礎周辺地盤の変形計測に適用し、得られた局所変形挙動について紹介する。

a. 格子法によるひずみ計測

当所で開発した画像計測ソフトでは、図5-3-4に示した流れに沿って画像処理を行っている。

計測画像(i)にはカメラのレンズの収差が生じているため、カメラの内部パラメータから収差を復元する標定処理を施し、放射状のひずみを除去する(ii)。カラー画像(RGB)から色相、色彩、明度の色空間(HSI)に変換し、色彩の画像を取り出す(iii)。100 × 100ピクセルで平均化した画像との動的しきい値を用いて2値化する(iv)。ターゲットのみを抽出するため、認識した領域の特徴(サイズ、丸み)を用いてフィルター処理を行う(v)。ターゲットは円形のものを使用しているため、量子化された領域を円にフィッティングし、円の中心位置をターゲットの座標として求める(vi)。

種々の実験に適用した経験からこの方法が、試験体の汚れや、変形後にひび割れなどが生じた計測画像に対しても、ターゲットの認識率が高く、良好な計測精度が得られている。

b. 鉄筋コンクリート構造物の変形計測

鉄筋コンクリート(RC)構造物の力学試験では、ひ

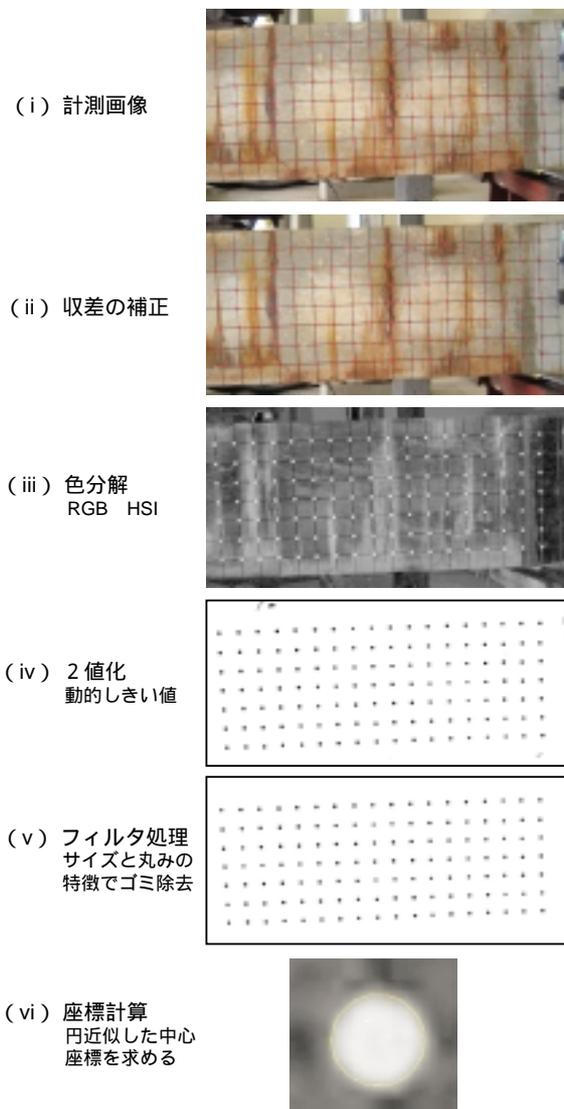


図5-3-4 画像処理手順

び割れを伴う変形が生じ、破壊に至るが、局所化する変形挙動などの破壊モード・メカニズムの解明が耐震安全性の向上に重要である。

図5-3-5は耐震壁を有するRCボックス構造物のせん断試験に画像計測を適用した例であり、ひび割れ状況を示す計測画像と変形による引張ひずみ分布図を示している。この構造物の終局耐力時点での耐震壁の変形状況は、せん断による斜め引張領域と左壁に沿った圧縮領域に局所化して破壊が生じている様子がみられる。従来のRC構造物の力学実験では、ひび割れ状況のスケッチなどによる定性的な破壊挙動を把握するのにとどまっていたが、ひずみを計算することで損傷を定量化する事ができ、ひずみコンターや主ひずみのベクトル図を用いた可視化により、破壊モードを理解するのも有効な手段である。

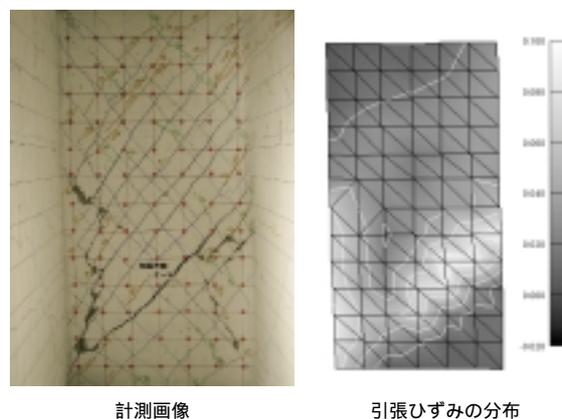


図5-3-5 RC構造物の画像計測

c. 杭基礎周辺地盤の変形計測

地中の基礎の支持力を評価するために、基礎周辺地盤の変形挙動を測定する模型実験が行われる。この検討では、2次元土槽内に模型地盤を作成し、その鉛直断面に格子パターンを印刷したメンブレン（ゴム膜）を貼り付け、変形状況を撮影して、画像処理により数千点に及ぶ格子点の座標を求めることが要求される。前述の画像計測プログラムを改造して、東京電力(株)が実施した杭の引抜き実験に適用した。

図5-3-6に杭基礎周辺地盤の画像計測結果を示す。左図は変形前後の格子メッシュの移動状況を示したもので、上方に引き上げられる杭に沿って地盤の変形が生じている状況が観察できる。右図は計測された格子座標を用いて算出した最大せん断ひずみ分布を重ねて表示している。地盤内の破壊面は杭に沿ってくさび状に複数に分布している状況が計測できており、精細なメッシュと高解像度の画像処理を用いることにより、従来得られなかった地

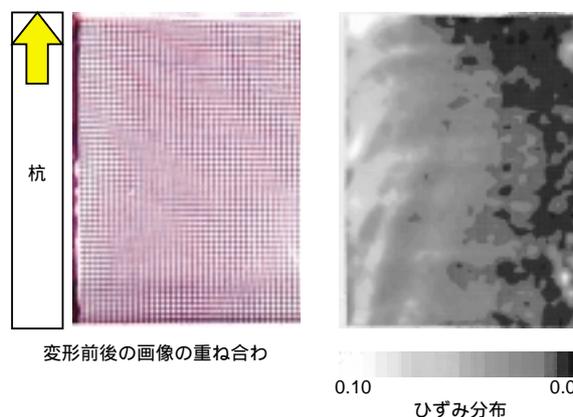


図5-3-6 杭基礎周辺地盤の画像計測

盤の局所破壊に関する新たなデータを得ることができた。

(3) 流速分布計測

背景・目的

基本的な流れの理解や実機設計のためのデータ取得を目的として、これまでに多くの水路・風洞実験が行われてきた。その応用は、自動車、飛行機などの輸送機の空力設計、建築物の耐風設計、各種プラントの熱設計など多岐にわたる。ここで、実験の成否を決める事項の一つとして、流速計測法の測定精度が挙げられる。そして、様々な流れ場に対して熱線流速計やレーザードップラー流速計などに代表される種々の流速計測法が開発されてきた。

これらの計測手法の中で、近年、計算機の能力向上とともに、可視化画像のデジタル処理による粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry、PIV) が盛んに研究されるようになった。基本的な PIV システムは、トレーサ粒子発生装置、照明装置、撮影装置および画像記録・解析装置から構成される。実験では、流れ場に微細な粒子を混入することで流れ場を可視化する。そして、可視化画像をコンピュータのメモリに取り込んだ後、画像内の粒子位置情報を利用して、複数の測定点における粒子の移動量を算出し速度分布を求める。他の計測手法と比較して、PIV は多次元測定への展開が容易であり、流動場の空間構造の同定に関する有力なツールとして威力を発揮している。

a . PIV アルゴリズムの開発

当所では、水理模型実験、発電プラントの熱流動実験、構造物の耐風設計、海面での CO₂ 挙動の把握など、様々な課題に対して PIV による流速計測を活用している。同時に、アルゴリズムの改良を中心に PIV の高度化も進めている。水理模型試験や発電プラントの熱流動実験では、発電プラント内の 3 次元流動場を容易に観察するために、スキャニング PIV 法を開発した。スキャニング PIV は、光シートを面外方向にスキャンさせることによって、3 次元流速場を計測する方法であり、その特長として、高い空間分解能が挙げられる。また、海面での CO₂ 挙動把握に関する研究では、2 色レーザー誘起蛍光法 (Laser Induced Fluorescence : LIF) と PIV を組み合わせた速度場と濃度場の高精度同時計測を検討している。

以下では、使用済燃料貯蔵施設の除熱試験での計測事例を取り上げ、気流を対象とした PIV による流速計測の事例を紹介する。

b . 熱流動実験への PIV 適用例

使用済燃料貯蔵施設では、原子力発電所から生じる使用済燃料の管理・貯蔵にあたり、崩壊熱の除熱特性を適切に評価する必要がある。崩壊熱の大部分は、発熱体周りに形成される熱駆動境界層での対流伝熱により除去されることから、このような流れ場の流動・伝熱特性を把握することが重要となる。図 5-3-7 に、実験に用いた縦型風洞装置の概要を示す。風洞内に鉛直に設置された金属平板を電気加熱 (表面温度は 300 程度) することで、その周りに熱駆動境界層 (上昇流) を発達させた。そして、発熱体近傍の流況を PIV により調べた。トレーサ粒子として、境界層内に直径 1 μm 程度のオイルミストを混入し、出力 90 mJ/pulse のダブルパルス YAG レーザにより、2 次元断面の流れ場を可視化した。撮影には、観察距離 0.7m に設置された CCD カメラを用いた。CCD カメラからの画像出力を、リアルタイムでパーソナルコンピュータ (PC) のハードディスクに直接取り込み、ビットマップ (bmp) ファイルとして、10fps (frames per second) でハードディスクに記録した。そして、相



図5-3-7 縦型風洞実験設備

互相関法を適用し、速度ベクトルを算出した。本実験の測定体積は $1.2 \times 1.2 \times 1\text{mm}^3$ 程度である。さらに、ダイナミックレンジの増加を目指し、階層型およびサブピクセルアルゴリズムを適用した。図5-3-8に、実験で得られた速度ベクトルの一例を示す。本結果は、発熱体に平行な断面での変動成分（瞬時値から時間平均値を引いたもの）により構成される速度ベクトルであり、可視化領域は、境界層厚さ（上昇流が形成される領域）に一致する。図から明らかなように、熱駆動境界層の瞬時変動速度は、空間的に大きな変動を有している。流れ場は強い非一様性に支配されており、境界層の厚さに匹敵する大規模な流体運動を観察することができる。別途実施した温度計測との対比から、このような大規模運動が、熱駆動境界層の対流伝熱と強く関連することが明らかになっており、除熱特性を評価する上で、このような流体構造を十分に把握する必要があるといえる。

このように、PIVでは流体運動の特徴を示す多彩な情報を手に入れることができ、その結果は、現象の直感的な理解に資するものである。しかし、PIVには、ダイナミックレンジが不足しやすい、高時間分解能を確保しにくいなどの欠点もあり、熱、濃度、密度など複数の物理量の同時計測なども含め、今後も測定手法の更なる高度化を重要な課題として研究を進める予定である。

（４）石炭ガス化炉模擬環境下における高温微粒子挙動計測 背景・目的

現在、250MW級石炭ガス化複合発電実証機計画が

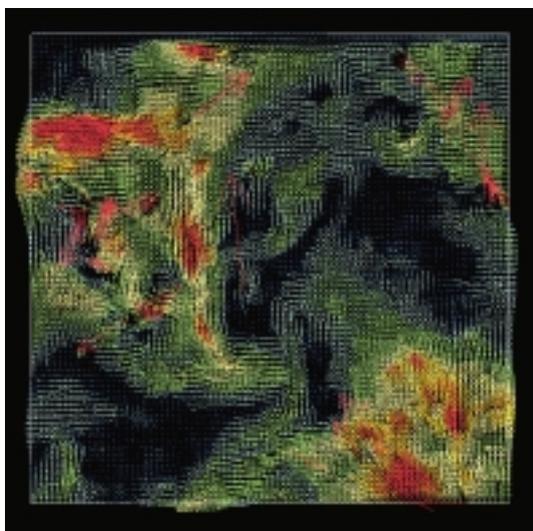


図5-3-8 PIVで得られた変動速度ベクトルの一例

2007年の運開を目指し、電気事業大で精力的に進められている。その中核設備である石炭ガス化炉内においては、石炭中の灰分が炉内壁に付着・成長し、炉の安定運転に支障を与えることが懸念されている。このことから当所では、ガス化炉内灰付着性予測技術の確立を目指し、研究に取り組んでいる。

灰付着現象には、灰の組成や温度、粒径および衝突時の速度など多くの因子が複雑に関与しており、現象解明を困難にさせている。そこで、当所は、波長分光機能を組み込んだ高速度ビデオカメラを用いた高温微粒子計測システム（図5-3-9）を開発し、従来例のない単一灰粒子毎の温度、粒径、速度の同時計測を行い、付着/反発挙動との相関性を検討している。

a．装置概要および測定原理

本装置の概略図を図5-3-9に示す。本装置は、長距離顕微鏡を接続した3波長式高速度ビデオカメラと撮影画像の収録・解析用計算機からなる。従来のPTV（Particle Tracking Velocimetry）技術による速度計測や画素換算による粒径計測に加え、撮影画像を3波長に分光することで、二色法により温度計測を行うことが本装置の特徴である。収録された画像は、粒子の付着/反発判定アルゴリズムを組み込んだ解析ソフトウェアにより演算処理され、付着/反発時毎の粒子状態量が算出される。

b．測定結果と成果の反映

結果の一例として、石炭ガス化炉内の温度分布（1000～1600）を模擬した落下型管状加熱炉中に灰粒子を落下させ、金属面へ衝突させた時の付着粒子の粒径と温度の関係を図5-3-10に示す。この石炭の場合、1400

3波長式高速度ビデオカメラ
分光波長：550、650、850nm
撮像素子：MOS型固体撮像素子
感光帯域：350～850nm
長距離顕微鏡
光学系：マクストフ・カセグレン系
検査距離：55cm～170cm
実視倍率：約125倍
解析用コンピュータ

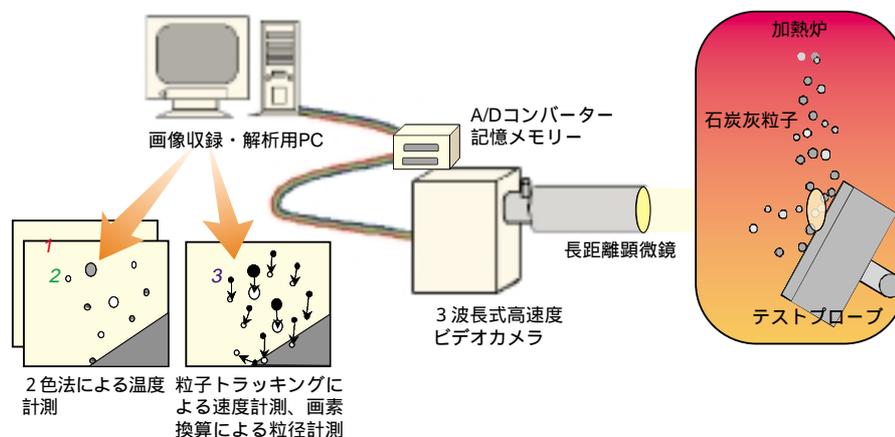


図5-3-9 高温微粒子計測システム概略

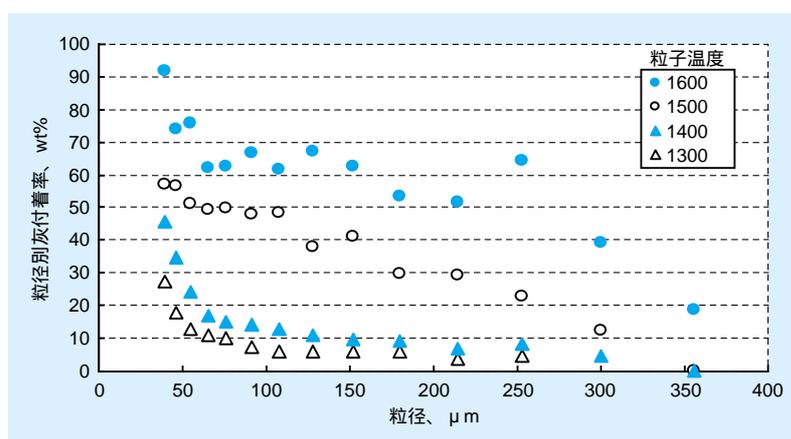


図5-3-10 高温微粒子計測システム概略

に加熱された粒子の付着確率は $150 \mu\text{m}$ で 10% 程度と低いが、 $50 \mu\text{m}$ 以下では、 50% 程度まで上昇した。また、粒子温度の上昇に伴い、全粒径範囲で灰粒子付着率が向上し、分子間力に加えて、液相生成に伴う液架橋力の発生が付着性を増大させていることが明瞭となった。

本研究などで得られた基礎データは、灰付着モデルへ反映され、さらにそのモデルは石炭ガス化炉内灰付着性解析ソフトに導入されている。

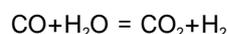
(5) 燃料電池電極反応の直接観察

背景・目的

燃料電池発電は、燃料と酸化剤の連続的な供給により、燃料の持つ化学エネルギーを直接・連続的に電気エネルギーに変換する発電方式である。燃料電池には、いくつかの種類があり、低温形と高温形に大別できる。低温形の燃料電池(りん酸形(PAFC)、固体高分子形(PEFC))は電極反応の進行を促進するために、電極内部に白金

(Pt) 触媒を分散担持させているが、PtはCOとの結合力が強く、燃料ガス中のCO濃度を極力低いレベルに抑制することが求められる。また、動作温度も 200 以下となり、排熱の利用にも制約がある。

これに対して高温形の燃料電池(熔融炭酸塩形(MCFC)、固体酸化物形(SOFC))は、動作温度がそれぞれ $600 \sim 700$ 、 $800 \sim 1000$ と高く、Ptが不要であるばかりでなく、次のシフト反応



によって、COが H_2 に変換され、高濃度のCOを含む石炭ガス化ガス燃料などを直接利用することができる。さらに、燃料電池から排出される高温・高圧のガスによって、ガスタービンや蒸気タービンによる動力回収、付加発電が可能となり、プラント全体の効率(発電端効率 $50 \sim 55\%$ HHV基準)を高めることが可能となる。この

ような背景から、当所では発電効率が高く、大容量化、多様な燃料の使用が可能である MCFC の開発に取り組んでいる。

現在、MCFC の開発においては、天然ガスが燃料の主流であるが、石炭ガス化ガス、バイオマスガス、廃棄物ガス化ガスの利用が大いに期待されている。しかし、これらのガスは天然ガスに比べエネルギー密度が低いため、さらなる電池性能の向上が望まれており、当所では高性能電極の開発に取り組んでいる。まず高性能電極の条件および電極設計指針を与えるために、環境制御型電子顕微鏡を用い、直接高温状態（480 ~ 700 °C）で電極上での反応（特にカソード反応）を観察し、ミクロレベルで反応が活発に生じている場所を画像解析によって把握した。

電極反応活性ポイントの把握

MCFC のカソード反応 $\text{CO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^- = \text{CO}_3^{2-}$ が生じている状態では、図 5-3-11 に示すように電解質の液滴が出現・消失を繰り返す電解質の生成過程が観察される。

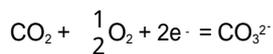
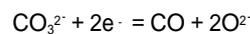


図 5-3-11 ①では大きな液滴が一つと小さな液滴が数個見られ、3秒後の図 5-3-11 ②では大きな液滴が消えている。そして4秒後の図 5-3-11 ③では、小さな液滴が生成している。これらの小さな液滴は成長と結合により、再び図 5-3-11 ①の状態になり、①のサイクルが繰り返される。この電解質の生成のサイクルは、過電圧が大きいほど活発になる。また、液滴の高さは約 0.1 ~ 0.5 μm

であり、液滴の周りでは極めて薄い電解質膜の移動が、動画における輝度の変化より観察された。

このように MCFC のカソード反応によって電解質の液滴の消滅・生成が生じることはわかったが、液滴の形成されていない場所においては全く動きが観察できず、MCFC のカソード反応が活性となる場所（反応活性ポイント）は特定できていない。しかし、水蒸気雰囲気において電位を - 0.7V（開回路電位基準）以下に設定した場合、式①の反応に伴うガス発生を伴う反応が観察され、その現象を画像解析することによって反応活性ポイントを特定することに成功した。



反応活性ポイントの特定においては、まず、そのガスの発生状況をビデオに取込み、ガス発生によって画像上で見られる輝度の変化に注目し、微小領域での単位時間当たりの変化度合を積分し、マップ化した。図 5-3-12 にその多孔質 NiO 電極表面の SEM（Scanning Electron Microscope、走査型電子顕微鏡）像の 1 カットと画像解析像を示す。

の画像解析像中の色の濃淡は、ガス発生の活発度の変化を示しており、色の薄い部分ほど活発であったことを示している。SEM 像と画像解析像を比較すると、ガス発生の活発な色の薄い部分は、SEM 像において明るい部分に対応し、電解質膜厚の比較的薄い場所であることがわかる。

以上の結果、画像解析によって反応の活発度は電解質膜厚に依存することがわかり、このガス発生反応の活性

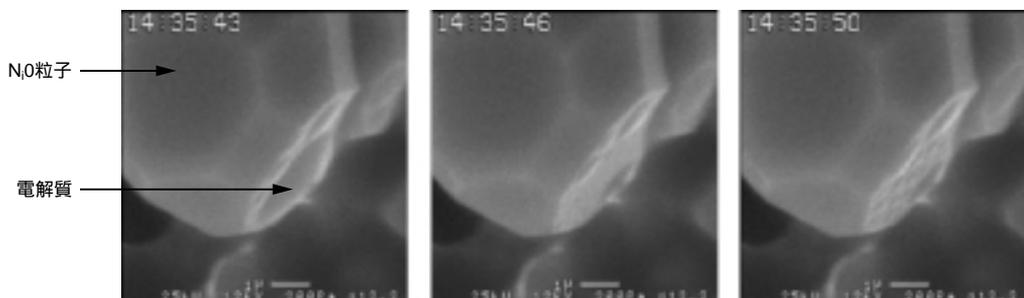


図5-3-11 $\text{CO}_2 + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- = \text{CO}_3^{2-}$ 反応によるNiO電極上での電解質の生成過程
電位、- 0.2V(開回路電位基準)；温度、650 °C；圧力、200Pa；雰囲気ガス組成、 $\text{CO}_2/\text{O}_2 = 66/33$

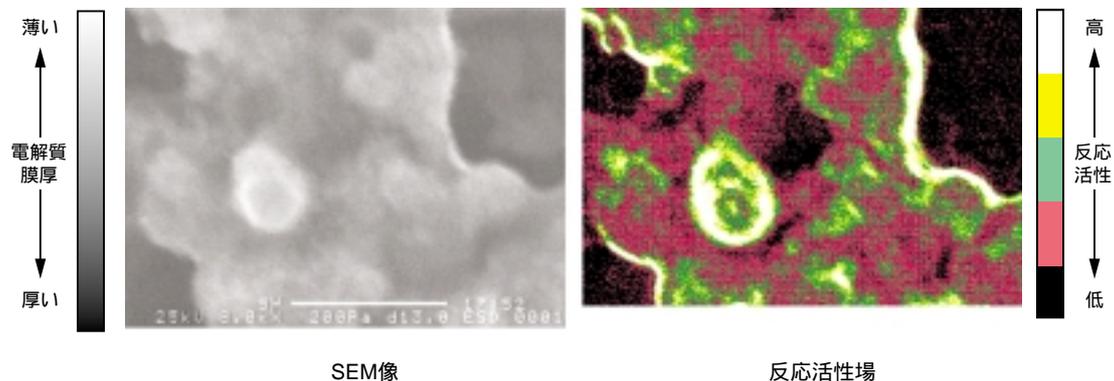


図5-3-12 水蒸気雰囲気での多孔質NiO電極上でのガス発生ポイントの電解質が薄い場所と、の反応活性が高い部分が一致している。
(温度、650 ; 圧力、200Pa ; 雰囲気ガス組成、H₂O = 100%)

ポイントがMCFCの本来のカソード反応である 式の反応活性ポイントと同じ場所になると仮定すると、そのポイントを増やすための方策を電極設計に加えることで高性能電極が作製できると考えている。

5-3-2 高圧 CV ケーブルの半導電層界面の状態評価への適用

背景・目的

当研究所では、図5-3-13のような断面構造をしているCVケーブルのコンパクト化のために、絶縁厚の大幅な低減(半減)を目指しており、そのためには絶縁破壊メカニズムの詳細解明が必要である。

CVケーブルの絶縁破壊は、半導電層から絶縁層に突き出した極めて小さな突起などを起点として発生し、電気トリーと呼ばれる樹脂状(トリー状)の細い絶縁破壊痕を残す。この電気トリーは、突起電極先端における数10mm程度の微細な凸部からポリエチレンの薄い(厚さ

20nm程度)板状の結晶であるラメラに沿って伸び出していることが明らかになっている。

そこで界面近傍の絶縁体の高次構造を定量的に評価する方法として、半導電層界面近傍の絶縁体中の平均ラメラ角 や半導電層界面粗さなどの影響を検討してきた。ラメラは、透過型電子顕微鏡では白い線として観測され、この線と反導電層界面の垂線とのなす角度がラメラ角で、ラメラ角を多数測定して、平均したものが平均ラメラ角である。

ラメラ角の検出のためのデータ処理作業には多大な時間を必要とするため、迅速な画像データ処理システムの開発が望まれていた。そこで、効率の良い半導電層界面ラメラ角の自動解析システムを開発することを目的として、電子顕微鏡写真からラメラ線を抽出する手法を開発した。さらに、抽出されたラメラ線の特徴データから、ラメラ角を計算し、従来手法で求めたラメラ角と比較し、開発手法の有効性を確認した。

(1) ラメラ線の抽出例

図5-3-14は、ラメラ線が明瞭で且つ半導電層界面に垂直になっているTEM(透過型電子顕微鏡)写真例で、データ処理の結果、図5-3-15に示す様に多数のラメラ線が検出されている。肉眼で明瞭に認識できる線は、比較的長く明るい線と認識されている。また、詳細に見てラメラ線と認識できる線も良く検出されている。改良点としては、明るい孤立点を十字形の短い線として誤認識する点があげられる。このため、肉眼では存在しない短い線が多数現れる。実用上は線の長さによる足切りで、この問題に対処している。

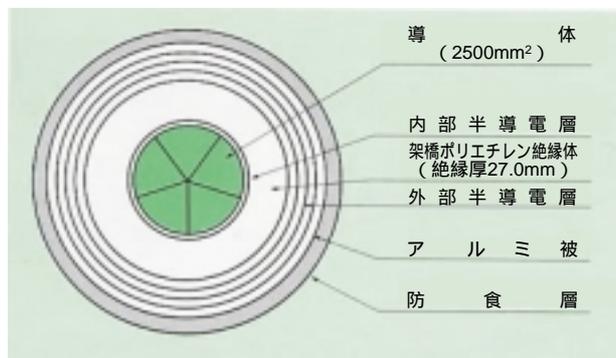


図5-3-13 275kV CVケーブルの構造例

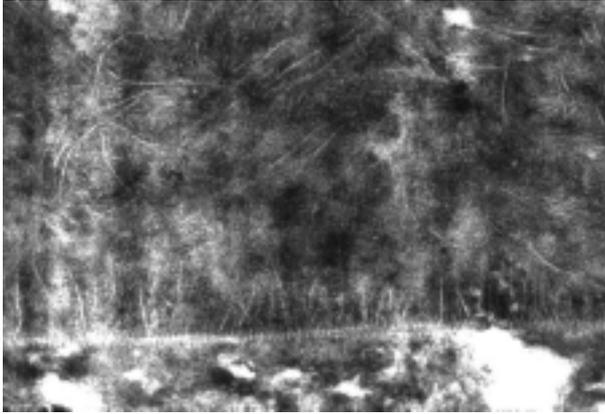


図5-3-14 ラメラ線のTEM写真例

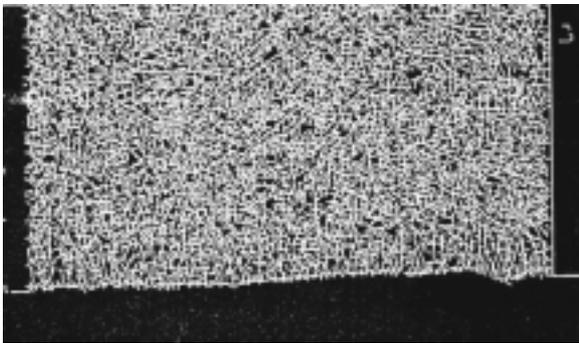


図5-3-15 図5-3-14画像のデータ処理結果

(2) 従来手法と画像処理とのラメラ角の比較

画像処理によるラメラ角は、半導電層界面からの平均距離が $0.2\ \mu\text{m}$ と小さい時には、従来のデジタル化による平均ラメラ角とほぼ一致する場合と、平均ラメラ角より約 10° 大きい場合に2分された。しかし、平均距離が $1.0\ \mu\text{m}$ になると、全ての場合で画像処理による平均ラメラ角の方が 7° 程度大きくなった。

絶縁層を低減した高性能CVケーブルの長期信頼性を的確に評価するためには、以前にも増して精度の高い性能評価方法が必要となっている。ここで検討した画像処理による平均ラメラ角検出法は、従来の手法より高精度、高速度に検出できる可能性が高いため、今後、効率の良い半導電層界面ラメラ角の自動解析システムの開発につながる。

5-3-3 可視化技術の適用

(1) 景観シミュレーション

背景・目的

火力・原子力発電所の新規建設や増設の際には、施設の景観や緑化、公園・グラウンド等の環境施設を立地地域の自然環境や社会環境と調和させることが強く求められる。最近では、既設の発電所においてもメンテナンスのための施設の塗り替えに対して、自治体や地域住民のニーズを考慮した色彩デザインを検討するケースが増えている。

そのため、当所ではこれまでの知見をもとに地域と共生する発電所の景観や緑化、環境施設に係わる環境デザインを、インターネット上で地域住民との対話のなかで検討するための支援システムを開発した。

a. 発電所の環境デザイン支援システム

この環境デザイン支援システムは、さまざまなデザインメニューを選択することにより発電所景観を予測する「景観シミュレーションシステム」、全国の発電所における環境共生事例をデータベース化した「環境共生事例データベース」、当所の発電所環境デザインに係わる研究成果をデータベース化した「研究成果データベース」という3つのシステムで構成されている。

ここでは、景観シミュレーションを中心にシステムの概要を紹介する。

地域環境と調和する火力・原子力発電所の景観デザインを検討したうえで、様々なデザインメニューを選択することにより発電所景観を予測し、好ましいデザイン案をアンケート（登録）することのできる景観シミュレーションシステムを開発した。

まず、これまでの景観デザインに係わる研究成果にもとづいて、技術的に実行可能なデザインメニューを考案し、地域環境との調和・創造の観点から絞り込んだ結果、建屋の形状デザイン、排気塔の形状デザイン、貯炭場のデザイン、緑化・マウンドのデザイン、基調色（ベースカラー）のデザイン、アクセントのデザインという6つのメニューを設定した。

次に、これらのデザインメニューを組み合わせた場合の発電所景観を、コンピュータグラフィックスソフト

(3D Studio Max) を用いて 3 次元シミュレーションを行い、景観デザイン案のシミュレーション結果を視覚表示できるようにした。

さらに、複数の景観シミュレーション結果を同一画面上で比較評価を行い、絞り込まれた最適な景観デザイン案を登録する機能を持たせた(図 5-3-16)。この機能を用いると、インターネット上で一般の人々や地域住民の方々の景観デザインに対する好みの把握が可能となり、地域ニーズを考慮した(地域との共生を目指した)発電所デザインの検討材料を得ることができる。

b. 分散型景観シミュレーションシステム

「発電所の環境デザイン支援システム」では、実務適用を前提に、普及度・互換性の高い一般的 Web 技術・グラフィックス技術を適用したが、当所ではまた、分散型景観シミュレーションシステム NewLand (Network Landscape Designer) を(株)電力計算センターと共同開発し、より高度な情報技術を適用した実験的システムの構築も試みている。

本システムは、Web3D (World Wide Web 上における 3 次元コンピュータ・グラフィックス) 技術により、Web 上に設備の景観情報を公開するとともに、これを見た利用者が自分の好み景観を対話的に作り上げ、さらにその結果を情報提供者が収集し、収集結果の統計を開

示する、という一連のプロセスを Web 上で実現した(図 5-3-17)。実装には、VRML (Web3D のデータ形式) Java (オブジェクト指向プログラミング言語)、HORB (分散オブジェクト環境) を用いた。

情報提供者は、本システムを用いて計画中の設備の景観について、関係者との間で情報共有し、計画に対する評価や代替案を短時間で収集することができる。この結果、より良い景観デザインの実現へ向けた合意形成の促進が期待される。また、本システムは、特殊なハードウェアやソフトウェアを必要としないこと、Web により広域的なサービスが可能であること、三次元表示により一般公衆にも判り易く景観を提示できること等の特長を有している。

このため、本システムは、設備の景観計画において、

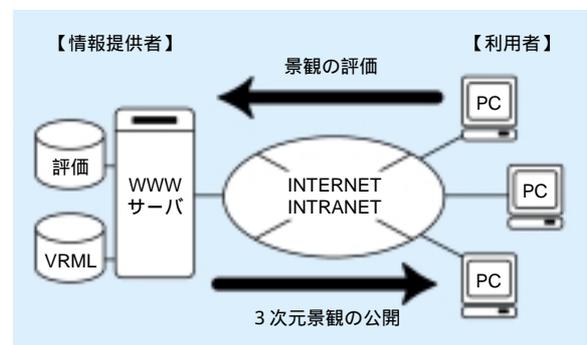


図5-3-17 分散型景観シミュレーションシステムの概念



図5-3-16 景観シミュレーション結果の比較と登録

事業者から地域へ向けた情報公開や住民参加の手段に適用することが可能と考えられる。例えば、計画中の発電所の周辺住民は、近隣の様々な地点から三次元表示された発電所を眺めて、景観デザイン案の比較評価を行うことが可能となる（図5-3-18）。

前述の「発電所の環境デザイン支援システム」では事前に景観の静止画を作成してサーバー上に保管しておき、クライアント側ではこれを表示するだけである。このため、視点の移動等を行うことはできないが、描画に十分な時間をかけリアリティの高い景観を提示することができる。一方、本システムではクライアント側に三次元データをすべて送ってグラフィックスを生成するため、視点の移動等の自由な表示が可能であるが、景観のリアリティは「発電所の環境デザイン支援システム」より落とさざるを得ない。このように、インターネット上で三次元可視化を行う際には、目的と運用環境に応じて、サーバーとクライアントの間で処理の最適な配分が必要である。

今日、高速なインターネット接続環境が急速に普及しつつあることに加え、低価格なPCでも高度な三次元描画機能を備えているため、比較的大きな三次元データを広域に流通させることが容易となってきた。この結果、

Web3Dの普及も進みつつあり、本システムが提案したような実装方法を、情報公開や住民参加の用途へ適用することも、実務で可能な状況になりつつあるものと考えられる。

(2) 数値解析結果や観測データの可視化

背景・目的

大規模な数値解析や現地観測では、コンピュータグラフィックスを用いてデータを映像化する、科学的データ可視化の適用が不可欠となっている。以下では、当所におけるデータ可視化事例のうち、対話的可視化とボリュームレンダリングの適用例を紹介する。

a . 対話的な可視化

数値解析では、長時間の計算を終えて可視化してみると、入力データの不備等による計算の誤りが初めて判ることがある。また、非線形な計算では条件を途中で変えてやらないとうまく進まない場合がある。さらに、研究者は常々、模型実験のように計算を観察できないか、と考えてきた。

このため、当所と㈱日立製作所は、トラッキングス

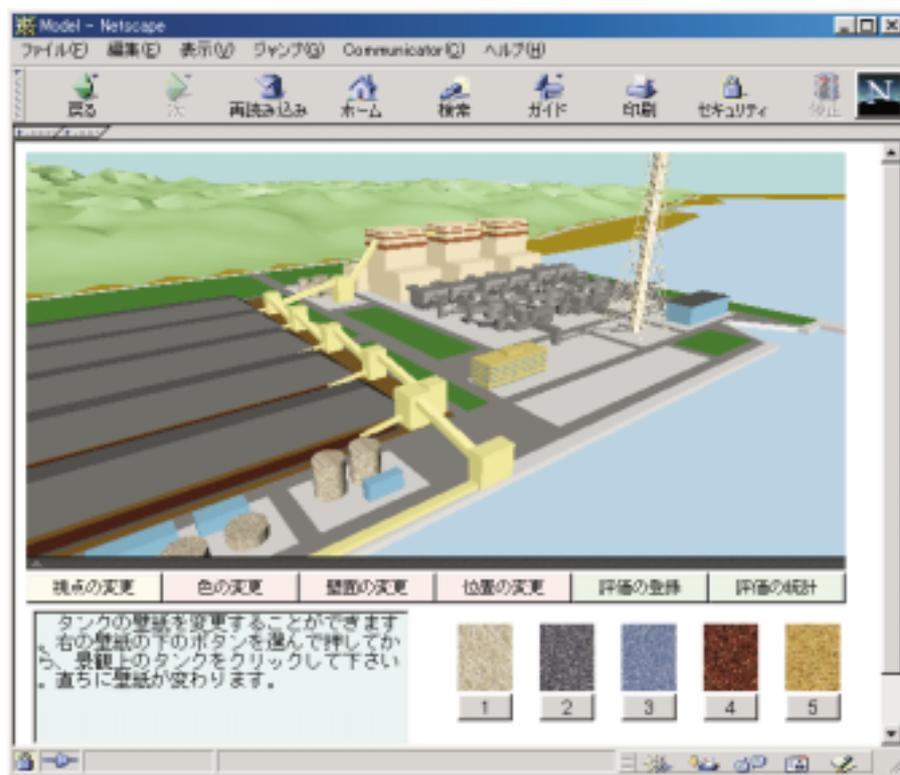


図5-3-18 分散型景観シミュレーションシステムの画面例

テアリングシステム (Tracking/Steering System。以下、T&Sシステム) に関する研究を行った。T&Sシステムとは、数値解析の実行中にその結果を逐次・同時並行的に可視化し、対話的に観察・制御するシステムである。

図5-3-19に都市熱環境解析へのT&Sシステムの適用例を示す。人工排熱やコンクリートによる地表面の被覆等によって、都市部で局地的に気温が高くなるヒートアイランド現象を再現し、様々な対策手法の効果を検証することが目的である。画面では、ある土地利用状況(画面右下)での風速分布(画面中央下)、気温に関するパラメータ(画面右上)などを計算の進行にしたがってトラッキング(=リアルタイム可視化)している。画面左下隅にある時計は、数値解析のモデル上における時刻を表している。その上には、コントロールパネルが表示されており、ここで、例えば大気の日射透過率などをステアリング(=対話的制御)し、問題解決へ向けた仮想実験を行うことができる。このT&Sシステムはこの他に、液面をもつ流体の解析や円筒殻の弾塑性座屈解析にも適用された。

b. ボリュームレンダリング

可視化には、物体表面の光の反射・散乱を再現するサーフェスレンダリングが適用されることが多いが、三次元物体の内部の可視化が必要な場合もある。このような場合には、データを微小ボリュームの光の吸収・散乱特性に対応させ、空間を透過する光の解析によりデータ

全体を可視化するボリュームレンダリングの適用が有効である。

当所では、(株)日立製作所と共同で、ボリュームレンダリング技術を様々な対象に適用して活用技術を検討した。以下に適用事例を紹介する。

高温岩体発電では、高圧の水で地下深部を破碎して熱水の貯留層を作り蒸気を生成する。当所では水圧破碎で発生した破碎音の発生位置と大きさを地上で計測し、地下深部の破碎進展状況をボリュームレンダリングで可視化した。破碎発生からの時間とともに音源の輝度を暗くし、破碎進展と貯留層構造の理解を容易にした(図5-3-20)。

ドップラーレーダーは降雨分布を高い時空間分解能で観測する装置である。当所ではドップラーレーダー

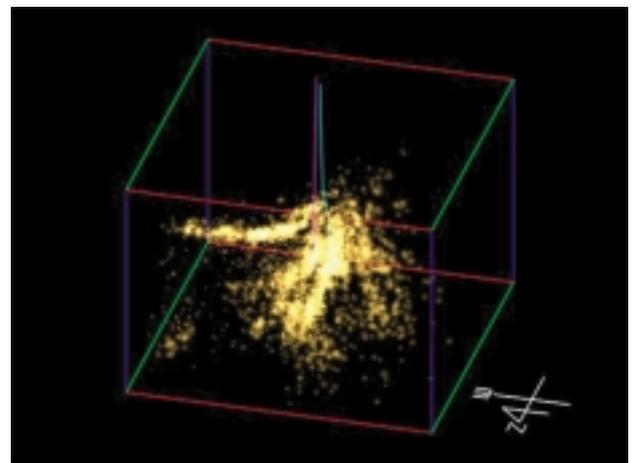


図5-3-20 深部地下の破碎音分布の可視化

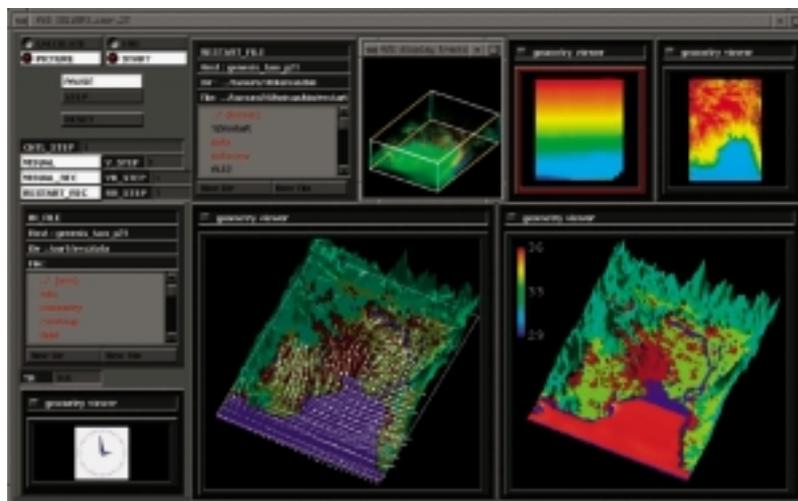


図5-3-19 トラッキングステアリングシステム

によって観測された台風時の降水量をボリューム・レンダリングで可視化した。色の赤みが増すほど降雨が強いことを表す。台風特有の螺旋状の降雨帯がレーダー観測域内に現れていることが判る（図5-3-21）。

気象モデルを用いて、現実が発生した台風を再現する解析を実施し、三次元風速ベクトル場をボリュームレンダリングで可視化した。風速を微小ベクトルで表わし、上昇流を赤色、下降流を青色で表わした。中間の緑色は横風の卓越を表わし、偏西風を際立たせている。台風付近では上昇流を伴う渦巻状の強風が顕著である（図5-3-22）。

1995年兵庫県南部地震で神戸市街地等に帯状に現れた被害地域「震災の帯」の成因を解明するため、地震波伝播解析を行い、地震波による応力場をボリュームレンダリングで可視化した。地中の圧力を不透明度に、せん断を光の散乱と輝度に対応させ、符号に応じて色を変えることで、複雑な応力場の分析を可能とした（図5-3-23）。

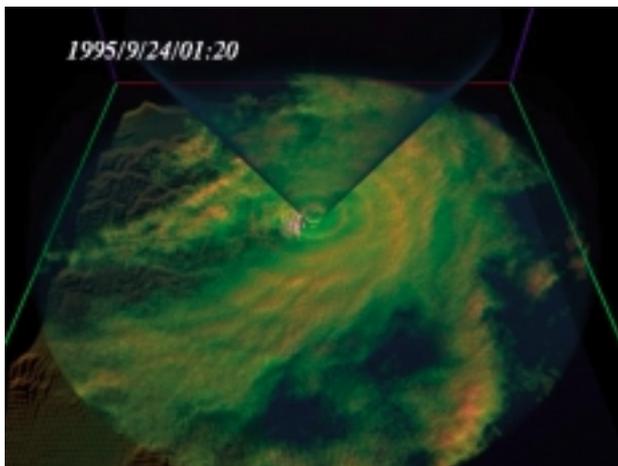


図5-3-21 ドップラーレーダーによる降雨分布の可視化

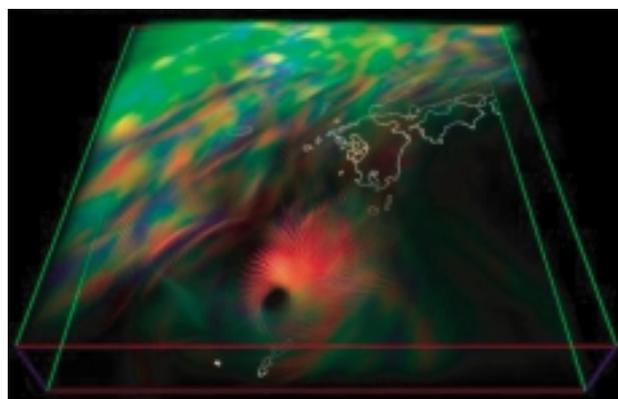


図5-3-22 台風モデルによる風速分布の可視化

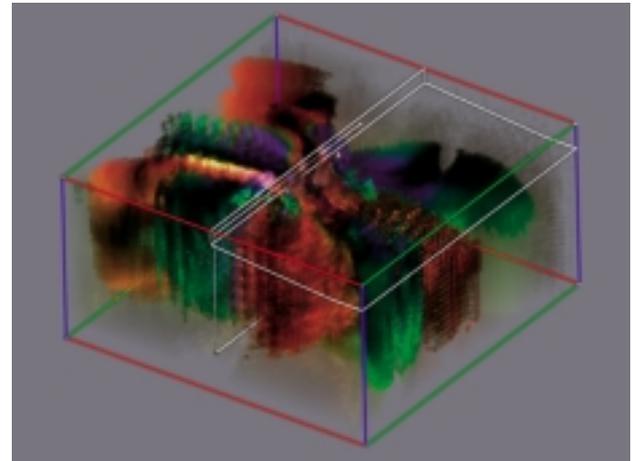


図5-3-23 地震波動解析による応力分布の可視化

(3) 音の可視化と検索

背景・目的

電力会社では、発電所や変電所の安全運転のために機器の連続監視を行っている。この監視には各種センサによる自動監視だけでなく、巡視員の点検による故障の早期発見態勢も整えられており、これら巡視点検業務の高度化・効率化や、診断および点検ノウハウの巡視員間で共有化が課題となっている。特に人間が機器異常の予兆検知に活用している音情報をわかりやすくかつ客観的な形で共有することは設備保全上重要である。

a. 機器音の可視化・検索手法

点検箇所毎に音データを収集することで、機器音変化の可視化や類似音検索ができる手法を開発した（図5-3-24）。開発手法は以下の三手法から構成される。

(i) 映像変化検出による音データのデータベース化

巡視点検時に撮影しているビデオ映像から巡視員の注視時点を自動的に検出し、ビデオ映像と関連づけて、その点検箇所の音データを簡易に収集・分類する。

(ii) 特徴抽出および可視化

点検箇所毎にまとめられた音データから、その箇所での定常的な音特徴を抽出し、現在の音との差異をその場で即座に算出し可視化表示することで、異音の検知を支援する。

(iii) 音検索

抽出した定常的な音特徴と点検時の音特徴との差異情報をもとに周波数成分の時間的変化での類似性に基づいて過去の類似音（機器状態）を検索し、表示する。

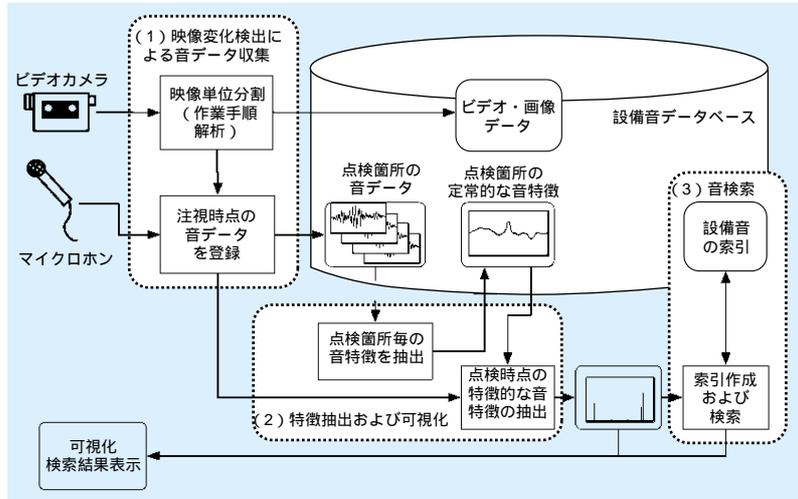


図5-3-24 機器音の可視化・検索手法の処理フロー

b. 放電音を対象とした有効性確認実験

提案手法の効果を確認するために、直流がいし連の暴露試験映像データを用いた。このデータは、直流がいし連に高電圧を長期間印加した状態を撮影したビデオ映像であり、音は垂直に設置された直流がいし連から1.5m離れた無指向性マイクにより録音されている。試験の目的は、直流がいし特有の放電現象である部分閃絡の抑制技術の効果を観測することにある。映像は音圧が一定値を越えた場合に、それをトリガーとして自動的に記録される。そのため部分閃絡発生時以外の映像・音データも多数記録されており、部分閃絡が記録された箇所の自動的な切り出しが必要である。

この音データに対して開発した可視化手法を用いると、**図5-3-25** に示すように従来の単純なスペクトル表示では分かりづらい部分閃絡音の特徴が、**図5-3-25**

のように強調されて可視化できる。図中の凡例に示すように、上の棒グラフは、リアルタイムの入力音信号で、横軸が周波数、縦軸が対数振幅であり、下の表示は、スペクトル時系列の可視化であり、色の違いが周波数を、明さが振幅を表している。

また、検索手法により部分閃絡音をそれ以外の放電音と区別できるなど、従来定量的に扱うのが難しかった放電音の類似性を扱えることがわかった。

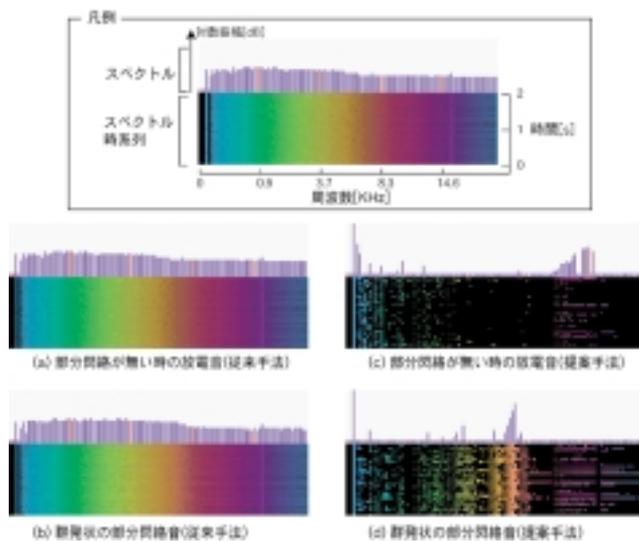


図5-3-25 音変化の可視化効果

(左列の従来手法による可視化では放電音の差が a、b で明確でない。これに対し右列の提案手法では放電の種類別による特徴が c、d で鮮明に示されている。)

5-4 オープンネットワーク技術

5-4-1 電中研テクノウェブシステム

背景・目的

当所では、1997年度より電気事業に関わる研究開発の効率化を目的としたポータルサイト「電中研テクノウェブシステム」(以下、テクノウェブ)の開発に着手し、1998年6月以降、試験運用を継続してきた。テクノウェブは、電気事業に属する複数の組織が技術情報と研究資源を共有するためのエクストラネット(限定的な複数の組織が情報を共有するためのネットワーク)である(図5-4-1)。

(1) システム概要

本システムの実体は、エクストラネットを通じて提供される、以下のツール群(アプリケーション・ソフトウェア)である。

データベース：電力技術関連の調査・実験・観測の

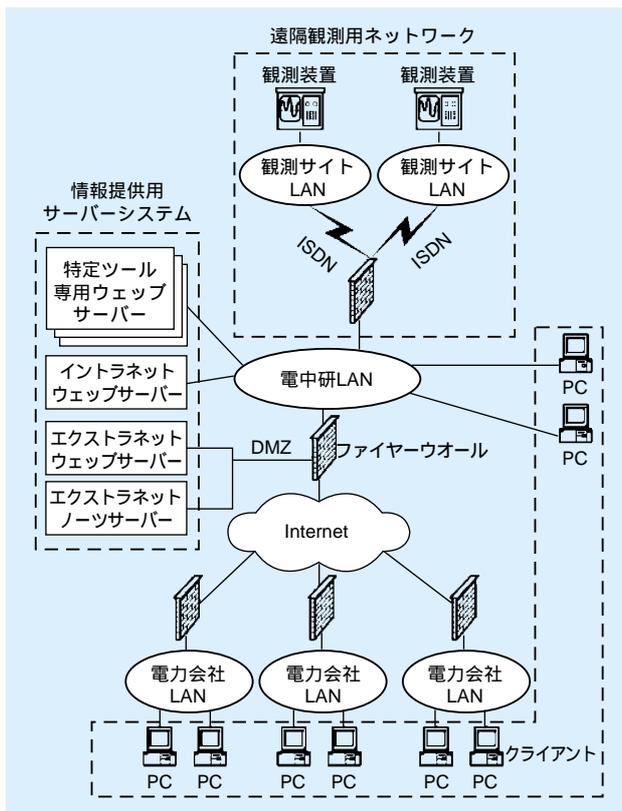


図5-4-1 電中研テクノウェブシステムの構成

結果等とそれを検索・閲覧するツール。

遠隔シミュレーション：電力技術に関する数値解析等のソフトウェアを遠隔利用するツール。

遠隔観測：遠隔地にある電力設備等の観測データをモニタリングするツール。

仮想会議室：特定の話題について利用者が書き込みと閲覧を行う電子的会議室。

その他：研究発表会のプログラム・要旨・予稿集等の情報やテクノウェブの最新情報等。

利用者はウェブブラウザを用いて、本システムにアクセスし、これらのツールを利用する。本システムにアクセス可能な利用者は、エクストラネットを構成する各組織の所属員のみである。

本システムは、以下の要素によって構成されている。

a. インターネットVPN

本システムは、インターネットVPN(Virtual Private Network)を媒体として構築された。このVPNは、専用DMZ(Demilitarized Zone; 非防護ゾーン)特定ドメインからの発信に限定した専用DMZへのアクセス許諾、SSL(Secure Socket Layer; インターネット上の暗号化・認証技術)を組み合わせることで実装された。

b. 情報提供用サーバシステム

情報提供用サーバシステムの中核は「エクストラネットウェブサーバ」と呼ばれるUNIXサーバであり、ここでHTTPサーバ、RDB(Relational Database)管理システム、Proxyサーバ及び大部分のツールを運用した。なお、これと同等の「イントラネットウェブサーバ」を所内に設置し開発用に用いた。一部のツールは上記のProxyサーバが中継し、電中研LAN内の数台の専用サーバから提供した。仮想会議室には「エクストラネットノーツサーバ」(WindowsNTサーバ)上のLotus Notes/Dominoを適用した。

c. 遠隔観測用ネットワーク

遠隔観測用ネットワークはISDN回線とダイヤルアップ

ブルータを用いたLAN間接続システムであり、遠隔地の観測現場のLANと電中研LANとの間をオンデマンドで結び、観測データのモニタリングや観測機器の遠隔操作に用いられている。

d. クライアント

クライアントには、各社の業務用PCのウェブブラウザを適用することとした。

(2) コンテンツ

テクノウェブでは、2003年5月現在、表5-4-1に示すコンテンツが提供されている。本システムは、当初電力土木への適用を主眼として始まったため土木関係のツールが多いが、現在は様々な分野に適用範囲を広げている。

以下では、このうち、データベース、遠隔シミュレーションの各々について、代表的ツールを紹介する。なお、遠隔観測を代表するツールについては、5-4-2項「ネットワーク型遠隔観測システム」で詳述する。

a. 臨床水理データベース

当所では発電所水路工作物の水理設計について多くの検討を行っており、その際には過去の事例で蓄積されたデータやノウハウの活用が有効である。このため、水路工作物の設計・実験・現地計測等に関する写真、ビデオ、文献のリスト、既存の報告書等を収集し、臨床水理デー

タベースを構築・運用した。臨床医が治療に際して参照する症例集のように、技術者が水理設計上の問題解決に臨むにあたって役立つ事例集としたいとの意図から、本データベースには「臨床水理」の名が与えられている。本データベースは一種のマルチメディア文書管理システムであり、HTMLやPDFなどの任意形式の文書に対応できる。また、全文検索、項目検索、ツリー状キーワードによるカテゴリ検索が可能である。

b. 水力鋼構造物健全性診断システム

水力鋼構造物健全性診断システムは、ダムに付帯する鋼構造物のうち、経年劣化が懸念されるダムゲートと水圧鉄管の構造健全性の診断に用いるものであり、データベース、三次元構造解析プログラム、設備診断エキスパートシステムを連携させた総合的問題解決システムとなっている。このうち、データベースには、評価対象設備の設備概要、構造形態、外観状態、代表寸法、実測値、設計時の構造解析値、過去の調査時の構造解析値などが納められる。構造解析システムは、ダムゲートと水圧鉄管の構造解析モデル数十種類を内蔵した三次元有限要素解析プログラムであり、上記のデータベースの入力を受けて解析モデルを生成し、応力・振動解析・座屈等の解析を自動的に行う。設備診断エキスパートシステムは、データベースへの入力内容、構造解析システムの計算結果、破壊力学的評価、経験的評価を総合して、保守熟練者の経験的判断基準を取り込んだエキスパートシステムにより、設備の健全性・余寿命を診断する。本システムは、水力鋼構造物の維持管理に活用されている。

表5-4-1 提供コンテンツの一覧

ツール種別	名 称
データ ベース	臨床水理データベース
	応用地質写真データベース
	活断層トレンチデータベース
	電中研地震観測データベース
	堆砂対策支援データベース
	HFCオンラインデータベース
	大電流アークデータベース
	物理探査検層データベース
	風観測・風応答観測記録データベース
	海域観測データベース自動構築システム
	海浜変形実験データベース
遠隔シミュ レーション	温排水拡散簡易予測システム
	水力鋼構造物健全性診断システム
	発電所景観デザイン支援システム
	送電線雷事故率予測計算プログラム
	気流解析コード用標高データ作成支援ツール
遠隔観測	遠隔観測データサーバシステム
仮想会議室	試験運用参加者の会議室等
その他	テクノウェブニュース、お知らせ等

(3) 運用状況

本システムは、1998年6月より、電力会社の土木部門を対象としてシステムを評価するための試験運用を開始し、電力会社から250名以上の参加者を得て、各種ツールの試用を行ってきた。本システムは、2003年5月現在に至るまで大きな障害を経験することなく、約5年間にわたり順調な運用を続けている。

開発と試験運用を通じて、以下のように、本システムの有用性は実証されたものと評価できる。

試験運用を通じて、電気事業に関わる限定された複数の組織が、インターネットを通じて研究情報・研究資源を共有できることが実証された。

当所の研究成果を、データベース、遠隔シミュレーション、遠隔観測ツール等の形で、電気事業の実務に直接役立てることが可能となった。

当所に埋もれがちな観測・調査・実験等のデータや、設計や調査に関わる知見を発掘・整理し、維持継承することが可能となった。

当所ではこれらの成果を受け、本システムを当所の全研究分野から電気事業へ向けた情報発信システムと位置付け、2003年5月より実用システムとしての運用を開始した。

5-4-2 ネットワーク型遠隔観測システム

背景・目的

電力土木施設では、既存施設の効率的な運用と長寿命化が進められており、維持管理の重要性が高まってきている。同時に、コスト低減を意識した維持管理の高度化と効率化が求められている。この解決策の一つとして、遠隔観測技術が有効であり、電力土木施設の状態を、リアルタイムかつ長期にわたって把握することにより、維持管理における点検間隔の延伸、補修・取替時期の延伸などのコストダウンに関わる意志決定が、迅速に行えるようになると考えられる。

そこで、当所では、ネットワーク技術の活用による電力土木施設での遠隔観測の効率化を目指して、ネットワーク型遠隔観測システムを開発した。

(1) ネットワーク型遠隔監視システムの概要

開発システムは、従来の遠隔観測機能に加えてリアルタイムモニタリング機能を実現した「遠隔モニタリングシステム」と、データベースとWWW (World Wide Web) 技術を連携させて長期的な遠隔観測データの収集・保存・共有を実現した「遠隔観測データサーバシステム」から構成される。

ネットワーク型遠隔観測システムは、遠隔観測サイト、当所および電力会社を、電中研テクノウェブシステムが提供する遠隔観測用ISDN回線とエクストラネットにより接続し、運用される(図5-4-2)。このネットワークにより、本遠隔観測システムは、遠隔地からのリアルタイムモニタリングデータと、長期的に蓄積されたデータを、インターネットに接続された電力会社のPC上のWWWブラウザから利用可能としている。

(2) 遠隔モニタリングシステム

本モニタリングシステムは、広域に分散する電力土木施設のモニタリングを、効率的かつ長期間にわたって行うために開発され、広域ネットワークの適用、信頼性の高い機器の採用、およびネットワーク機能を生かした計測アプリケーションを特徴とする。

広域に分散した施設のモニタリングでは、複数の遠隔観測サイトが想定されるだけでなく、ひとつのサイト内にも複数のモニタリング対象構造物が存在する。そのため、本モニタリングシステムでは、遠隔観測サイト内でデータ通信のためのネットワークを構成するとともに、

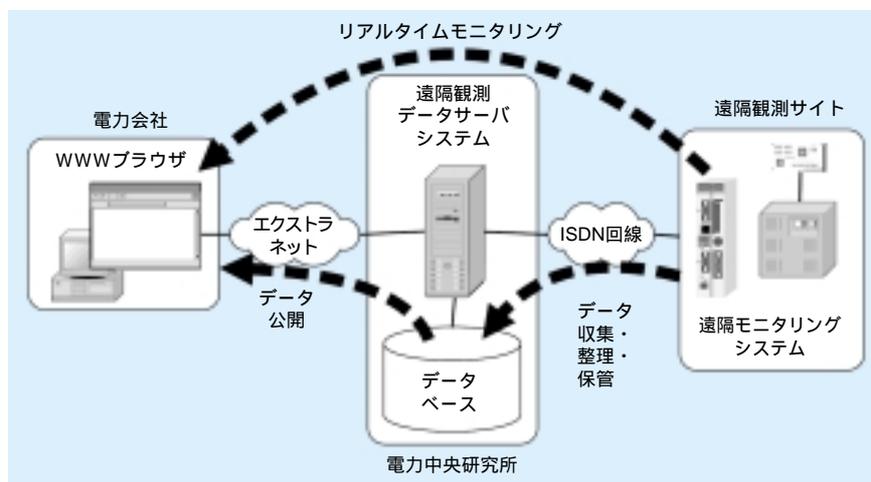


図5-4-2 ネットワーク型遠隔観測システムの運用

ネットワーク同士の接続を行う機器であるルータを使用して遠隔観測サイトと電力中央研究所LANを結び、広域ネットワーク内でデータ計測およびモニタリングを可能とした(図5-4-3)。また、遠隔観測サイトネットワークの一部を、無線LANにより無線化し、データ通信ケーブルの敷設が困難な現場へも対応するとともに、モニタリング地点を追加・削減する場合にも、通信ケーブルの敷設・撤去の手間を省き、迅速に対応できるようにした。

また、本モニタリングシステムでは、長期間にわたる遠隔観測の信頼性を向上させるために、データ収録装置の制御とデータ通信として、工業用ネットワークコンピュータ(Network Computer、NC)を採用した。工業用NCは、製造現場でのデータ収集を目的に開発されたコンピュータであり、故障の原因となりやすいハードディスクドライブ、ファンなどの回転機器を持たないために耐久性が高いとともに、リアルタイムタイムOS(Operating System)と呼ばれる信頼性の高いOSを使用しているため、ハード、ソフトの両面から長期の連続運転に適合している。この工業用NCにより、従来の遠隔観測で使用されるPCと比較して、屋外での長期の観測における耐久性・信頼性を向上させることができた。

本モニタリングシステムの観測アプリケーションは、WWWや電子メールといったネットワーク機能を活用して開発され、WWWブラウザによるネットワーク経由のリアルタイムモニタリング機能や、常時監視しているデータが設定した閾値を越えた場合に、詳細な計測と電子メールによる計測状況の通知を行う機能を実現した。これらにより、従来の遠隔観測システムでも実現されていた定期的な計測機能とともに、使い勝手のよいアプリケーションとなっている。

本モニタリングシステムの機能および現場環境での信頼性・耐久性は、ダム洪水吐ラジアルゲートおよび水圧鉄管における約1年間の連続モニタリングにより確認されている。

(3) 遠隔観測データサーバシステム

本データサーバシステムは、遠隔観測データの収集・整理・保管・公開の自動化を目的として開発され、データベースとWWWアプリケーション(WWWサーバ上に構築するサーバアプリケーション)を統合したシステムである(図5-4-4)。本データサーバシステムでは、遠隔観測において定型的な作業となる遠隔観測データの収集・整理が自動化され、大量データの保管・処理

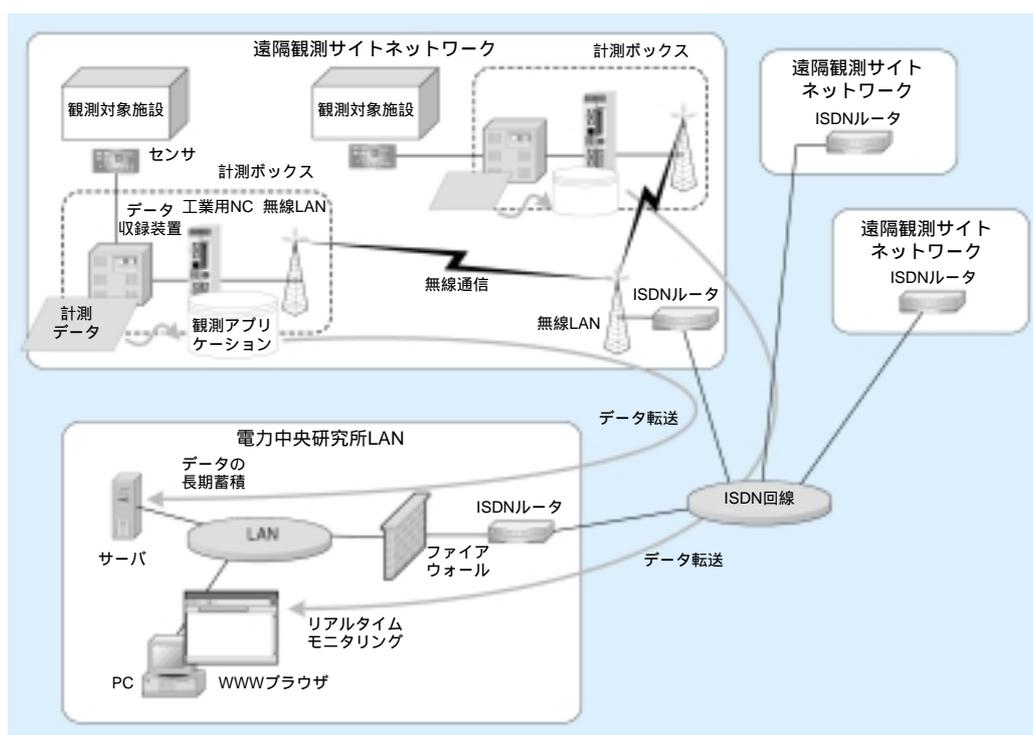


図5-4-3 遠隔モニタリングシステムの構成

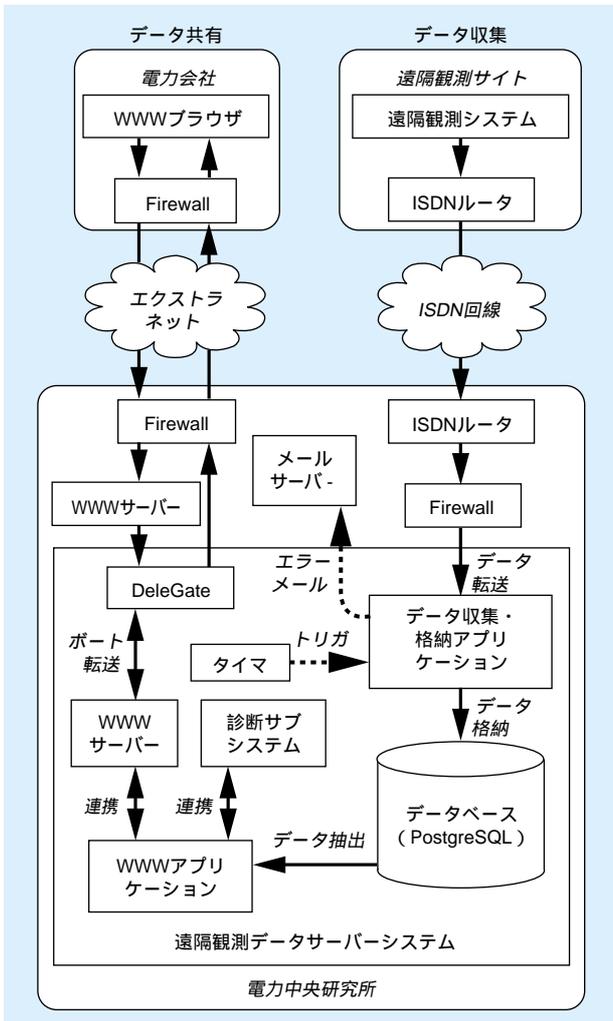


図5-4-4 遠隔観測データサーバシステムの構成

を得意とするRDB (Relational Database) によって収集したデータの管理を行えることが特徴である。また、データベースに保管されているデータを、WWWブラウザによって検索し、グラフ化機能によって可視化する

ことができ、統計処理による分析も可能である。

遠隔観測データの収集・整理・保管を自動化したことにより、担当者がこれらの定型的な作業から解放されるだけでなく、漏れのないデータベース化を行うことが可能となる。遠隔観測によって状態監視される構造物の状態変化は、長期間の観測データの蓄積とトレンドの把握によってはじめて明らかになることも多く、長期間のデータが確実にデータベース化される意義は大きい。

また、データベースに蓄積されたデータを活用するという観点では、必要なデータを必要なときに引き出せ、必要な分析が加えられるような状態にしておくことも重要である。本データサーバシステムでは、利用者がネットワーク経由でアクセスし、WWWブラウザによってデータの検索・閲覧・診断を行えるだけでなく、必要に応じてデータをダウンロードすることも可能となっている。これらの機能により、蓄積されたデータを活用するというニーズに応えている。

本データサーバシステムでは、対象に応じて高度なデータ診断機能を追加することも可能である。その一例として、ラジアルゲートを対象とした診断機能を実装した。ラジアルゲートでは、ゲート巻上げ操作時に最も負荷がかかる。そのため、遠隔観測によりモニタリングされているゲート脚柱基部断面のひずみと、ダム水位などのデータから、巻上げ操作時におけるゲートの応力状態の診断を行う。この診断機能により、ゲートの構造解析による観測値の補正、応力増加の原因となるゲート支持部の摩擦係数の推定、および設計水位における応力の推定などを行い、ゲートの維持管理に役立つ情報を提供することを可能とした。

お わ り に

理事待遇 我孫子研究所長 西 好一



過去10年あまりの間に著しい発達を遂げたIT（情報通信技術）は、私たちの社会に大きな影響を与えるようになり、あらゆる産業のあらゆる業務において、その基盤を構成する重要な要素となっています。もちろん電気事業も例外ではありません。

このレビューにより、発電・送変電・配電・経営管理・環境保全など、電気事業の業務の隅々にまで、ITの活用が深く浸透していることを再認識していただくことができます。電気事業に関連する広範な科学・工学分野で、ITの開発と活用が重要な研究課題となっているのです。

さて、ITが社会にもたらした影響は、必ずしも明るいものばかりではありません。世界規模の高速通信により不安定性を増した市場経済、企業情報を盗み出すサイバー犯罪、空虚なビジネスモデルに踊り踊らされるITベンチャー、デジタルコミュニケーションによる人間関係の変容など、多くの問題を生じています。また、IT化の行き過ぎによって企業が長く培ってきた経験が失われ、本来守るべき技術が空洞化する危険をも生じています。こうした影の部分をも冷静に見極め、自らの競争力の中核と社会的使命を再確認した上で、ITを活用した業務革新を図ることは、現代の企業・組織の経営で最も重要な課題の一つになっていると思われます。

電気事業もまた過去最大とも言える変革のさなかにあり、ITはこの変革を乗り切るために必要不可欠な要素です。一方、電気事業の社会的使命は高品質の電力を安定供給することであり、ITはそのための重要な手段でもあります。このレビューでは、こうした多様な側面を持つ「電気事業とIT」について、当所の全所的取り組みを紹介してまいりました。本書が、ITを武器とし、電気事業の抱える様々な問題の解決に挑む皆様、新しいビジネスの創造に努力する皆様のお役に立つことが出来れば、望外の喜びであります。

引用文献・資料等

第3章 電力流通の信頼度を確保する

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

- (1) 芹澤善積、藤川冬樹、大谷哲夫、田中立二、土屋武彦、片山茂樹：「分散リアルタイムネットワークアーキテクチャ（DRNA）の開発（その1）- アーキテクチャの要件と機能概要 -」、電力中央研究所研究報告：R02013、2003.
- (2) 大場英二、木内 舞：「IPルータによる大規模電力のリアルタイム系アプリケーション収容ネットワークの伝送遅延による評価」、電力中央研究所研究報告：R01005、2002.
- (3) 木内 舞、大場英二：「動的ルーティングプロトコルOSPFの電力用IP通信網への適用検討」、電力中央研究所研究報告：R01008、2002.
- (4) 桑原健吾：「MPLSを適用した電力用IPネットワーク構成法の提案と評価」、電力中央研究所研究報告：R01013、2002.
- (5) 桑原健吾：「MPLSを適用した電力用IPネットワーク構成法の適用性評価」、電力中央研究所研究報告：R02007、2003.
- (6) 桑原健吾、猪毛尾壮一郎、木村 聡、木内 舞、幸田賀之、大場英二：「分散リアルタイムネットワークアーキテクチャ（DRNA）の開発（その5）- 伝達層通信機能におけるIPルータ/MPLS/広域Ethernetの適用の考え方 -」、電力中央研究所研究報告：R02010、2003.
- (7) 木村 聡：「広域イーサネット方式による電力用通信網の構成」、電力中央研究所研究報告：R01020、2002.
- (8) 幸田賀之：「広域イーサネット方式による電力用通信網の構成（その2）- 2ルート化方式の提案と性能評価 -」、電力中央研究所研究報告：R02029、2003.

3-1-2 大容量光ファイバ通信技術

- (1) 伊澤清順、黒野正裕、栗原雅幸：「光ファイバ増幅器の波長多重通信への適用（その2）- EDFAを用いた四波長多重2中継光通信システムの検討」、電力中央研究所研究報告：R93009、1994.
- (2) 伊澤清順、黒野正裕、栗原雅幸：「Erドープファイバのリングレーザ構成による2波長発振時の波長特性」、電子情報通信学会論文誌C-1 Vol.78、No.5、pp.246-248、1995.5.
- (3) 斉藤 稔、黒野正裕：「光ファイバ波長分散の補償技術 - 分散補償ファイバおよびチャープドファイバグレーティング比較」、電力中央研究所研究報告：R97004、1998.6.

- (4) 斉藤 稔、黒野正裕、栗原雅幸：「チャープドファイバグレーティングの偏波依存性」、電子情報通信学会論文誌C-1 Vol.J81-C-1、No.12、pp.681-682、1998.12.
- (5) 斉藤 稔、黒野正裕：「1.3 μm帯光ファイバ回線の長スパン設計手法」、電力中央研究所研究報告：R98015、1999.6.
- (6) 黒野正裕、斉藤 稔：「1.3 μm帯用Pr添加ファイバおよび半導体増幅器の2波長増幅特性」、電力中央研究所研究報告：R97020、1998.6.
- (7) 森村 俊、黒野正裕：「半導体光増幅器とErファイバ増幅器による1.3/1.5 μm波長帯同時増幅特性」、電力中央研究所研究報告：R98014、1999.6.
- (8) 黒野正裕、伊澤清順、栗原雅幸：「コヒーレント光通信への電磁界の影響と対策（その3）- 実フィールドのOPGWにおける落雷による偏波変動の実測」、電力中央研究所研究報告：R94016、1995.3.
- (9) 黒野正裕、森村 俊：「光ファイバによる波長変換の偏波特性に関する基礎検討」、電力中央研究所研究報告：R99021、2000.7.
- (10) 黒野正裕：「偏波状態の高速制御方式の検討」、電力中央研究所研究報告：R95004、1996.3.
- (11) 黒野正裕：「偏波制御装置の開発と実証」、電力中央研究所研究報告：R96014、1997.4.
- (12) 黒野正裕：「四電極LN結晶による偏光状態の高速制御方式」、電気学会論文誌 Vol.118-C、No.5、pp.649-655、1998.5.
- (13) 黒野正裕：「光波長変換技術の動向と電力用通信網への適用課題」、電力中央研究所調査報告：R98013、1999.6.
- (14) 森村 俊、黒野正裕：「ファイバグレーティングにおける位相変化と光スイッチへの応用」、電力中央研究所研究報告：R99022、2000.8.
- (15) 森村 俊、黒野正裕：「ファイバグレーティングを用いた多値スイッチの実証とその応用」、電力中央研究所研究報告：R00020、2001.4.
- (16) 森村 俊、黒野正裕：「ファイバグレーティングにおける位相反転効果と光スイッチへの応用」、電気学会論文誌 Vol.122-C、No.4、pp.548-556、2002.4.
- (17) 黒野正裕、不動弘幸、西村庄一郎：「光マルチドロップ方式による配電情報伝送網の構成法」、電気学会論文誌 Vol.111-B、No.10、pp.1086-1092、1991.10.
- (18) 森村 俊、黒野正裕：「光空間伝送方式によるアクセス通信の実験的検討」、電力中央研究所研究報告：R01026、2002.
- (19) 高見啓一郎、芹澤善積、黒野正裕：「マイクロ波帯光電波融合通信システムの構成法（その1）- 光変調器の多段接続構成および無バイアス変調特性」、電力中央研究所研究報告：R99027、2000.5.
- (20) 高見啓一郎、芹澤善積、黒野正裕、宮下充史：「マイ

- ク口波帯光電波融合通信システムの構成法（その2） - 2.4GHz帯無線信号を用いる構成方法」、電力中央研究所研究報告：R00017、2001.4.
- (21) 宮下充史：「光電波融合通信におけるミリ波・マイクロ波複合変調方式」、電力中央研究所研究報告：R02012、2003.
- (22) 宮下充史、高見啓一郎、芹澤善積：「光電波融合通信システムの伝送特性予測手法の開発（その1）電気/光・光/電気変換器の非線形特性の考慮」、電力中央研究所研究報告：R00007、2001.
- (23) 宮下充史、黒野正裕、芹澤善積：「光電波融合通信システムの伝送特性予測手法の開発（その2）広帯域ミリ波システムへの適用」、電力中央研究所研究報告：R01018、2002.4.
- (24) Miyashita, Kurono, Serizawa, Yamamoto, Shoji, Ogawa “Fiber-Optic Sectorized Remote Antenna for Millimeter-Wave Broadband Wireless Access Systems” *Microwave Photonics (MWP)* 2002, 2002.11.
- (25) Yamamoto, Miyashita, Kurono, Serizawa, Shoji, Ogawa “CWDM Microwave optical links for fiber-optic sectorized remote antenna system” *Microwave Photonics (MWP)* 2002, 2002.11.
- (26) 上平雄二：「アクセス系光ネットワークへのCWDM技術の適用課題」、電力中央研究所調査報告：R02019、2003.
- (27) 大塚彰男：「光電波融合通信を利用した無線アクセス回線の設計法」、電力中央研究所研究報告：R02041、2003.
- (28) 森村 俊、宮下充史、大塚彰男、黒野正裕：「メディア融合型アクセス系光ファイバネットワークの提案とその基礎特性」、電力中央研究所研究報告：R02042、2003.
- (29) 河井敏行：「光ファイバネットワーク高度化のためのアクティブ光クロージャの検討」、電力中央研究所調査報告：R02021、2003.
- (30) 尾崎元史：「アクセス系ネットワークの技術動向と電力通信網への適用方法の検討」、電力中央研究所調査報告：R02030、2003.
- (3) 芹澤善積、竹下和磨、大場英二：「近接型反射板利得の計算手法」、電力中央研究所研究報告：R92001、1992.
- (4) 芹澤善積：「反射板中継デジタル無線回線の信頼度に関する理論的検討」、電力中央研究所研究報告：185026、1986.
- (5) Y. Serizawa, Y. Watanabe and S. Takeshita, “Multipath Propagation Effects on Digital Radio Equipped with a Plane Reflector Repeater”, *IEE Proc.-I Vol.139, No.2*, 1992.
- (6) 徳永洋一郎、大塚彰男、芹澤善積：「反射板中継高効率変調マイクロ波無線の回線設計手法の検討」、電気学会通信研究会CMN、2003.
- (7) 寺田高之、芹澤善積、宮下充史：「電力用移動無線の受信電界予測計算手法の検討」、電気学会通信研究会CMN-02-8、2002.
- (8) 宮下充史、寺田高之、芹澤善積：「電力用移動無線の受信電界予測手法の高度化」、電気学会全国大会、2003.
- (9) 芹澤善積、河合洋一、竹下和磨：「電力用準ミリ波衛星通信回線設計手法（その5） - 赤城試験センターにおける衛星電波の降雨減衰特性 - 」、電力中央研究所研究報告：182051、1983.
- (10) 芹澤善積、明神正典、遊佐博幸、高見啓一郎、坂下雅弘、中村 毅：「小型地球局衛星通信回線のデータ伝送特性」、電気学会通信研究会CMN-99-15、1999.
- (11) 森村 俊、黒野正裕：「光空間伝送方式によるアクセス通信の実験的検討」、電力中央研究所研究報告：R01026、2001.
- (12) 高松秀行：「5GHz帯無線LANを用いたIP電話の品質評価」、電力中央研究所研究報告：R02020、2003.
- (13) 橋本 博、竹下信也、西山文彦、豊田 栄、岩崎 博、金丸嘉幸、竹下和磨：「送電線路によるテレビ電波障害発生機構と障害範囲予測手法」、電力中央研究所総合報告：31、1976.
- (14) 橋本 博、豊田 栄、岩崎 博、金丸嘉幸、竹下和磨：「送電線路によるテレビ電波障害発生機構と障害範囲予測手法（その2）」、電力中央研究所総合報告：115、1984.
- (15) 竹下信也、岩崎 博：「送電線によるUHF帯、VHF帯電波の散乱特性（その3 多導体による散乱）」、電力中央研究所研究報告：175064、1976.
- (16) 竹下和磨、竹下信也：「多導体電線によるテレビ電波障害発生機構（その2） - 多導体電線による斜入射電波の反射特性 - 」、電力中央研究所研究報告：175052、1976.
- (17) 芹澤善積：「デジタルマイクロ波回線の建造物による伝搬障害評価手法」、電力中央研究所研究報告：R93001、1993.
- (18) 加藤弘和、横山 誠、関 良明、芹澤善積：「建設クレー

ンによるマイクロ波伝搬路障害に関する調査研究」、電気学会通信研究会CMN-02-1、2002.

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

- (1) ITU-T, Overview of TMN Recommendations, ITU-T Recommendation M.3000, February 2000.
- (2) ITU-T, Principles for a telecommunications management network, ITU-T Recommendation M.3010, February 2000.
- (3) TMF, Generic Requirements for telecommunications management building blocks - Part I of the Technology Integration Map, TMF GB909 (Part 1) v. 3.1 draft, August 2001.
- (4) TMF, Telecom Operations Map, TMF GV910, Approved Version 2.1, March 2000.
- (5) 大谷哲夫、遊佐博幸、山岡和雄：「TMNに基づく電力通信網の運用管理システム（その7）- 運用者の要求を柔軟に取り込む情報モデル - 」、電力中央研究所研究報告：R99012、2000.
- (6) 大谷哲夫、遊佐博幸、山岡和雄：「TMNに基づく電力通信網の運用管理システム（その9）- 既存コンポーネントの再設計を回避する管理機能の修正方法 - 」、電力中央研究所研究報告：R99014、2000.
- (7) 遊佐博幸、大谷哲夫：「TMNに基づく電力通信網の運用管理システム（その6）- 管理オブジェクト評価方法への機能付加 - 」、電力中央研究所研究報告：R98017、1999.
- (8) 遊佐博幸、大谷哲夫、山岡和雄：「TMNに基づく電力通信網の運用管理システム（その8）- 通信網運用管理システムのメッセージ数による迅速性評価 - 」、電力中央研究所研究報告：R99013、2000.
- (9) 遊佐博幸、大谷哲夫：「TMNに基づく電力通信網の運用管理システム（その10）- 処理時間を考慮したMO配置・接続決定手法 - 」、電力中央研究所研究報告：R00023、2001.
- (10) 大谷哲夫、遊佐博幸：「TMNに基づく電力通信網の運用管理システム（その11）- ポリシベース管理への免疫的手法の適用検討 - 」、電力中央研究所研究報告：R00024、2001.

3-2-2 ネットワークセキュリティ技術

- (1) 松井正一：「インターネットとの安全な接続方式の現状」、電力中央研究所調査報告：R94001、1994.
- (2) 松井正一：「分散型情報システムのセキュリティ維持管理方式の現状」、電力中央研究所調査報告：R96020、1997.
- (3) 松井正一：「ネットワークセキュリティ技術の現状」、電力中央研究所調査報告：R99030、2000.

- (4) 松井正一：「ネットワークレイヤ毎のセキュリティ分担方式」、電力中央研究所調査報告：R02018、2003.

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

- (1) 芹澤善積、今村 弘、菅谷延明、堀 政夫、杉浦秀昌、鏡敏朗：「時刻同期と広帯域通信を用いた広域保護システムの一構成法」、電学論B-119、8/9、1999.
- (2) 芹澤善積、北村和宣、明神正典、松島 徹：「SDH時刻同期網の一構成法と実験的検証」、電学論C-119、7、1999.
- (3) 今村 弘、芹澤善積：「広域保護システムにおける伝送系の検討」、電気学会通信研究会：CMN-00-12、2000.
- (4) 芹澤善積、木内 舞：「時刻同期を用いた広域保護システムへのIP通信の適用性評価」、電力中央研究所報告：R00013、2001.

3-3-2 分散リアルタイムネットワークアーキテクチャ

- (1) 芹澤善積、藤川冬樹、大谷哲夫、田中立二、土屋武彦、片山茂樹：「分散リアルタイムネットワークアーキテクチャ（DRNA）の開発（その1）- アーキテクチャの要件と機能概要 - 」、電力中央研究所研究報告：R02013、2003.
- (2) 土屋武彦、片山茂樹、田中立二、佐藤 茂、芹澤善積、大谷哲夫、遊佐博幸：「電力用分散リアルタイムネットワークアーキテクチャにおける機器情報モデルの検証」、平成15年電気学会全国大会、No.6-110、2003.
- (3) 大谷哲夫、遊佐博幸、木内 舞：「分散リアルタイムネットワークアーキテクチャ（DRNA）の開発（その2）- 高度通信機能の構成と外部インタフェース仕様の設計 - 」、電力中央研究所研究報告：R02005、2003.
- (4) 遊佐博幸：「分散処理のリアルタイム性を保証するための動的スケジューリング機能の提案」、電力中央研究所研究報告：R01021、2002.
- (5) 木内 舞：「分散リアルタイムネットワークアーキテクチャ（DRNA）の開発（その3）- 高度通信機能における情報共有方式とキャッシュの適用検討 - 」、電力中央研究所研究報告：R02009、2003.
- (6) 桑原健吾：「分散リアルタイムネットワークアーキテクチャ（DRNA）の開発（その5）- 伝達通信機能におけるIPルータ/MPLS/広域Ethernetの適用の考え方 - 」、電力中央研究所研究報告：R02010、2003.

3-3-3 需要地系統保護制御システム

- (1) 小林広武、七原俊也：「新世紀のエネルギーマネジメント（15）21世紀の電力系統 - 需要地系統 - 」、総合電気雑誌OHM Vol.89 No.3、pp.99-103、オーム社、2002.
- (2) 岡田有功：「需要地系統におけるループコントローラ

の開発 - 制御方式の提案と実験装置の試作 - 」、電力中央研究所研究報告：T99075、2000.

- (3) 岡田有功、小林広武、石川忠夫、滝川 清：「需要地系統におけるループコントローラの開発 - 地絡故障に対する分散電源の運転継続方式の提案 - 」、電力中央研究所研究報告：T02046、2003.
- (4) 浅利真宏、滝川 清：「需給インターフェイスシステム（その1）- 需給インターフェイスによる低圧系統運用管理手法の開発 - 」、電力中央研究所研究報告：T02045、2003.
- (5) 小林広武：「需要地系統の保護制御システムの開発 - 分散型電源大量導入時の基本方式の提案 - 」、電力中央研究所研究報告：T01044、2002.
- (6) 上村 敏、松田勝弘：「需要地系統の運用管理手法の提案 - 最適制御量決定プログラムの開発 - 」、電力中央研究所研究報告：T01059、2002.
- (7) 大谷哲夫、三沢雅一：「需要地系統の運用制御に対するモバイルエージェント技術の適性評価」、平成14年電気学会全国大会、No.6-233、2002.
- (8) 三沢雅一、大谷哲夫：「分散制御用モバイルエージェントの優先処理方式」、電力中央研究所研究報告：R01010、2002.
- (9) 雪平謙二、井上幸雄、宮内基光：「配電系統多地点情報による保護制御方式（その3）- 高速事故検出復旧制御方式の開発と検証 - 」、電力中央研究所研究報告：T87098、1988.

第4章 業務の流れを効率化する

4-1 情報システム技術

4-1-1 情報システム開発規模評価

- (1) J. Albrecht: Measuring Application Development Productivity, In Proceedings of the Joint SHARE, GUIDE, and IBM Application Development Symposium, pp.83-92, 1979.
- (2) 高橋光裕、菱谷 淳：「ファンクションポイント法ハンドブック」、電力中央研究所総合報告：R04、2000.
- (3) JFPUG：「ファンクションポイント計測マニュアル」、リリース4.1.1J、日本ファンクションポイントユーザ会（FPUG）2002.
- (4) ISO/IEC: Software engineering - IFPUG 4.1 Unadjusted functional size measurement method - Counting practices manual, ISO/IEC 20926, ISO/IEC, 2003 発行予定.
- (5) ISO/IEC: Software engineering - Mk II Function Point Analysis - Counting Practices Manual, ISO/IEC 20968:2002, ISO/IEC, 2002.
- (6) ISO/IEC: Software engineering - Definitions and counting guidelines for the application of Function

Point Analysis, ISO/IEC 24570, ISO/IEC, 2003 発行予定.

- (7) ISO/IEC: Software engineering - COSMIC-FFP - A functional size measurement method, ISO/IEC 19761:2003, ISO/IEC, 2003.
- (8) Information technology - Software measurement - Functional size measurement - Part 1: Definition of concepts, ISO/IEC 14143-1:1998, ISO/IEC, 1998.
- (9) JIS：「ソフトウェア測定 - 機能規模測定 - 第1部：概念の定義」、JIS X 0135-1:1999、日本規格協会、1999.
- (10) 高橋光裕、菱谷 淳：「機能と品質に基づく情報システム評価の枠組み」、電力中央研究所研究報告：R95022、1996.
- (11) 高橋光裕：「情報システム開発プロジェクトの定量的評価の枠組み」、電力中央研究所研究報告：R00010、2001.
- (12) 高橋光裕：「情報システム開発プロジェクトの定量的評価手法の開発」、電力中央研究所研究報告：R01016、2002.

4-1-2 情報システム導入効果評価

- (1) 大屋隆生、高橋 誠：「情報化インフラ構築効果の評価方法の提案」、電力中央研究所研究報告：R95020、1996.
- (2) 大屋隆生：「電力会社におけるグループウェアの利用効果の分析について」、経営工学実践研究論文誌、No.4、1997.

4-1-3 業務支援用情報システム

- (1) 二方厚志：「研究活動支援システムの開発(1)」、電力中央研究所研究報告：R95003、1996.
- (2) 二方厚志：「エージェントによる文書群の自己組織化」、電力中央研究所研究報告：R98009、1999.
- (3) 二方厚志：「エージェントによる文書群の自己組織化(2)」、電力中央研究所研究報告：R99017、2000.
- (4) 二方厚志：「エージェントによる文書群の自己組織化(3)」、電力中央研究所研究報告：R00018、2001.
- (5) 二方厚志：「作業状況に応じたファイル利用予測ルールの抽出」、電力中央研究所研究報告：R01012、2002.
- (6) 二方厚志：「商品の特徴を用いた顧客指向の商品推薦システムの提案」、電力中央研究所研究報告：R02011、2003.

4-2 知識マネージメント技術

4-2-1 文書・画像データベース

- (1) 堤富士雄、坂内廣蔵、篠原靖志：「キーワードを2次元に配置するユーザフレンドリーな文書検索システム」、電力中央研究所研究報告：R95025、1996.
- (2) 堤富士雄、篠原靖志：「キーワードを2次元平面に配置する文書検索システムの評価」、電力中央研究所研究

報告：R96007、1997.

- (3) 堤富士雄：「巡視・点検映像のリアルタイムデータベース化手法 - 色変化解析に基づくビデオ映像の登録・検索 - 」、電力中央研究所研究報告：R98002、1999.
- (4) 堤富士雄、中島慶人：「巡視・点検映像のリアルタイムデータベース化手法（その3） - 模様の特徴を用いた映像認識手法の高速・高精度化 - 」、電力中央研究所研究報告：R00033、2001.

4-2-2 データベース拡充手法

- (1) 三浦輝久、篠原靖志：「データマイニングのための適切なデータ項目獲得手法」、電力中央研究所研究報告：R01014、2002.
- (2) 三浦輝久、篠原靖志：「クリティカル・データ特定法による効率的データベース構築手法」、電力中央研究所研究報告：R02038、2003.

4-2-3 検索結果の効率的絞込み

- (1) 小野田崇、村田博士、山田誠二：「最新機械学習を用いた効率的な文書検索手法の開発」、電力中央研究所研究報告：R02008、2003.

第5章 技術革新を支える

5-1 機械学習技術

5-1-1 ニューラルネットワークを用いた非線形構造解析

- (1) 山本広祐：「ニューラルネットワークを用いた非線形構造解析手法の検討（その1）構造物の履歴挙動のモデリングと動的応答解析への応用」、電力中央研究所研究報告：U91046、1991.
- (2) 山本広祐、酒井理哉：「ニューラルネットワークを用いた非線形構造解析手法の検討（その2）薄肉直管の曲げ実験における履歴挙動のモデリング」、電力中央研究所研究報告：U92044、1993.
- (3) 山本広祐：「ニューラルネットワークを用いた非線形構造解析手法の検討（その3）繰り返し劣化型履歴則のモデリング」、電力中央研究所研究報告：U93051、1994.
- (4) 山本広祐、中村秀治：「ニューラルネットワークを用いた非線形構造解析手法の検討（その4）非対称履歴則のモデリングと剛体-ばねモデルへの応用」、電力中央研究所研究報告：U94033、1994.

5-1-2 屋外からの家庭内電気機器の状態推定

- (1) 由本勝久、中野幸夫：「非侵入型モニタリングシステムの開発（その1） - ニューラルネットワークによるインバータ機器の同定 - 」、電力中央研究所研究報告：T98045、1999.
- (2) 小野田崇、中野幸夫、由本勝久：「非侵入型モニタリ

ングシステムのための電気機器オン・オフ状態同定手法の開発」、電力中央研究所研究報告：R99004、2000.

- (3) 中野幸夫、天野好輝：「電気機器使用実態モニタリングシステムの開発（その2） - 家庭用電気機器の消費電力の推定 - 」、電力中央研究所研究報告：T00010、2001.
- (4) 中野幸夫、天野好輝：「電気機器使用実態モニタリングシステムの開発（その3） - 実家庭を想定した性能評価実験 - 」、電力中央研究所研究報告：T01013、2002.
- (5) 村田博士、小野田崇：「家庭内電気機器稼働状態同定への機械学習手法の適用」、電力中央研究所研究報告：R01025、2002.
- (6) 小野田崇、村田博士：「家庭内電気機器消費電力推定における機械学習手法の性能評価」、電力中央研究所研究報告：R01027、2002.

5-1-3 エネルギー有効利用支援システム

- (1) 篠原靖志、吉光 司：「電力有効利用支援システムの開発」、電力中央研究所研究報告：R98008、1999.
- (2) 吉光 司、篠原靖志：「電力有効利用支援システムの開発（その2） - 電力有効利用支援のための機能の開発とその評価 - 」、電力中央研究所研究報告：R99011、2000.
- (3) 篠原靖志、所 健一、浅利真宏、椎名孝之：「オフィス・家庭用エネルギー機器の最適運用手法の開発」、電力中央研究所研究報告：R02017、2003.

5-2 最適化技術

5-2-1 移動無線周波数の最適割当て

- (1) メラニ・ミッチェル著、伊庭斉志監訳：「遺伝的アルゴリズムの方法」、東京電機大学出版局、1997.
- (2) 三宮信夫、喜多 一、玉置 久、岩本貴司著：「遺伝的アルゴリズムと最適化」、朝倉書店、1998.
- (3) 松井正一、所 健一：「固定チャネル割当て問題のための遺伝的アルゴリズムの性能向上方策」、信学論D-I、J85-D-I 巻、1号、pp.10-20、2002.

5-2-2 CO₂排出権取引ルールへのGAの適用

- (1) 大河原透、所 健一、若林雅代、松屋親広：「CO₂排出権と電力の取引シミュレーション - 実験経済学的アプローチとマルチエージェントモデル・アプローチとによる比較 - 」、環境経済・政策学会2002年大会報告要旨集、pp.10-11、2002.
- (2) 服部正太、木村香代子訳：「人工社会 - 複雑系とマルチエージェントシミュレーション - 」、構造計画研究所、1999.
- (3) 荒井幸代：「マルチエージェントと強化学習 - 実用化に向けての課題・理論・諸技術との融合 - 」、人工知能学会誌16巻、4号、pp.476-481、2001.

- (4) 伊庭齊志：「進化的計算の方法」、東京大学出版会、1999.

5-2-3 電力自由化市場制度設計へのマルチエージェントの適用

- (1) 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会、電気事業分科会報告書：「今後の望ましい電気事業制度の骨格について」、2003 .
- (2) 栗原郁夫、岡田健司、渡邊 勇、渡邊尚史、熊野照久、松井正一、所 健一：「電力市場のシミュレーション - マルチエージェントシステムによる電力市場の基本モデルの開発 - 」、電力中央研究所研究報告：T01036、2002 .
- (3) 渡邊 勇、岡田健司、栗原郁夫、永田真幸：「電力市場のシミュレーション - 市場シミュレータの開発とエージェントモデルの分析 - 」、電力中央研究所研究報告：R02022、2003 .
- (4) Roth, A. E. and Erev, I., Learning in Extensive-Form Games: Experimental Data and Simple Dynamic Models in the Intermediate Term. Games and Economic Behavior, 8, pp.164-212. 1995.
- (5) 渡邊 勇、岡田健司、栗原郁夫：「電力市場シミュレーションモデルの構築と取引価格形成の分析」、信学技法 A12002-31、pp.47-52、2003 .

5-3 画像技術

5-3-1 画像計測の適用

(1) 電線揺れ計測

- (1) 石野隆一、石川智己：「ITV 画像を用いた電線の揺れ計測」、電気学会論文誌 B pp.1375-1383、Vol.120-B No.11、2000.

(2) 格子法による歪み計測

- (2) 酒井理哉他：「画像計測を利用した鉄筋コンクリート構造のひずみ測定を試み」、土木学会第 56 回年次学術講演会 CS3-002、pp.164-165、2001.
- (3) 佐藤博他：「引抜き力を受ける杭基礎周辺地盤の挙動（その 1：実験結果と考察）」、土木学会第 57 回年次学術講演会 III-648、pp.1295-1296、2002.
- (4) 酒井理哉他：「引抜き力を受ける杭基礎周辺地盤の挙動（その 2：画像計測ソフトの開発）」、土木学会第 57 回年次学術講演会 III-649、pp.1297-1298、2002 .

(3) 流速分布計測

- (5) 日本機械学会編：「技術資料 流体計測法」、日本機械学会、1985.
- (6) 笠木ら編：「流体実験ハンドブック」、朝倉書店、1997.
- (7) M. Raffel, E. Willert and J. Kompenhans: Particle

image velocimetry, Springer-Verlag, 1998.

- (8) 可視化情報学会編：「PIVハンドブック」、森北出版、2002.
- (9) S. Ushijima, and N. Tanaka: Particle tracking velocimetry using laser-beam scanning and its application to transient flow driven by rotating disk, Trans. ASME, J. Fluid Eng., Vol.118, pp.352-357, 1996.
- (10) 山本亮介：「画像処理解析による三次元場での瞬時三成分流速計測の試み」、電力中央研究所研究報告：U00043、2001.
- (11) T. Nishihara, Y. Eguchi and Y. Hattori: Overview of a large-scale vertical water tunnel constructed in CRIEPI, J. Wind Eng., No.77, pp.23-28, 1998.
- (12) N. Mori, and M. Imamura: Visualization of gas transfer at air-sea interface by two-color LIF-PIV method, Proc. 10th Int. Symp. Flow Visualization, F0241, 2002.
- (13) 服部康男：「共存対流乱流境界層の乱流特性と遷移挙動の解明」、電力中央研究所研究報告：U00073、2001 .
- (14) Y. Hattori et al., Thermally driven turbulent boundary layer in air along a vertical plate heated at high temperatures, Proc. 12th Int. Heat Transfer Conf., pp.2-657, 2002.

(4) 石炭ガス化炉模擬環境下における高温微粒子挙動計測

- (15) 市川和芳、犬丸 淳：「ガス化炉内における石炭灰付着・成長機構の解明 - 第 2 報 粒子毎温度、粒径、速度同時計測による灰付着挙動の解析 - 」、電力中央研究所研究報告：W99017、2000.
- (16) 市川和芳、沖 裕壮、芦沢正美、犬丸 淳：「噴流床石炭ガス化炉内における灰付着性予測に関する研究 - 第 1 報 灰付着性と灰溶解性の相関性の検討 - 」、日本機械学会論文集、67-633、144-150、2001.
- (17) 市川和芳、渡邊裕章、大高 円、犬丸 淳：「噴流床石炭ガス化炉内における灰付着性予測に関する研究 - 第 2 報 灰付着モデルを導入した数値解析による 2 トン/日ガス化炉内灰付着性評価 - 」、日本機械学会論文集、67-633、151-158、2001.

(5) 燃料電池電極反応の直接観察

- (18) 河瀬 誠、浅野浩一、村田博士、麦倉良啓、渡辺隆夫：「高温状態にある MCFC カソードのミクロレベルでの in-situ 観察」、電力中央研究所研究報告：W00005、2000.

5-3-2 高圧 CV ケーブルの半導電層界面の状態評価への適用

- (1) 岡本達希、石田政義、田中祀捷：「超高圧 CV ケーブルの半導電層界面の改良」、電力中央研究所研究報告：W86013、1986.

- (2) 石田政義、岡本達希：「超高压CVケーブル用絶縁体界面の赤外分光分析」、電力中央研究所研究報告：W86020、1987.
- (3) 穂積直裕、岡本達希、深川裕正、石田政義：「ポリエチレンの電気トリー発生と微小放電パルスの同時観測」、電力中央研究所研究報告：W87006、1987.
- (4) 岡本達希、石田政義：「半導電層界面のラメラ構造の改質と絶縁破壊強度の向上」、電力中央研究所研究報告：W87007、1987.
- (5) 岡本達希、石田政義、穂積直裕：「半導電層材料中のカーボン粒子の分散性の改良と絶縁破壊強度の向上」、電力中央研究所研究報告：W87010、1987.
- (6) 石田政義、穂積直裕、岡本達希：「CVケーブル絶縁中への添加剤拡散による交流破壊強度の向上」、電力中央研究所研究報告：W87025、1987.
- (7) 穂積直裕、岡本達希、石田政義：「CVケーブル半導電層の改良によるインパルス破壊特性の向上」、電力中央研究所研究報告：W87041、1987.
- (8) 石田政義、岡本達希、穂積直裕：「CVケーブルの半導電層界面近傍絶縁体の添加剤による改質」、電力中央研究所研究報告：W88024、1988.
- (9) 岡本達希、石田政義、穂積直裕：「CVケーブルの改良半導電層界面近傍のラメラの配向と絶縁破壊強度」、電力中央研究所研究報告：W88039、1988.
- (10) 岡本達希、石田政義、穂積直裕：「CVケーブルの改良半導電層界面粗さが絶縁破壊強度に与える影響」、電力中央研究所研究報告：W89018、1989.
- (11) 石田政義、岡本達希、穂積直裕：「絶縁厚低減CVケーブルにおける添加剤分布の長期安定性」、電力中央研究所研究報告：W89033、1989.
- (12) 穂積直裕、岡本達希、今城尚久：「ポリエチレン中の電気トリー発生・成長におよぼす空間電荷の影響」、電力中央研究所研究報告：W89050、1989.
- (13) 岡本達希、穂積直裕、石田政義：「界面拡散法による絶縁厚半減超高压級CVケーブルの開発 - 154kV CVケーブルの初期絶縁特性 - 」、電力中央研究所研究報告：W90042、1990.
- (14) 岡本達希、穂積直裕、石田政義：「超高压CVケーブルの半導電層界面の評価 - 界面粗さを考慮した平均ラメラ角 - 」、電力中央研究所研究報告：W91028、1991.
- (15) 岡本達希、穂積直裕、篠原靖志：「画像処理によるCVケーブルの半導電層界面ラメラ角の自動検出」、電力中央研究所研究報告：W92014、1992.

5-3-3 可視化技術の適用

(1) 景観シミュレーション

- (1) 山本公夫、井内正直：「発電所環境デザイン支援システムの開発」、電力経済研究No.45、2001.
- (2) 萩原 豊：「情報公開と情報共有のための分散型景観シ

ミュレーションシステムの開発」、電力中央研究所研究報告：U97084、1998 .

- (3) 萩原 豊、渡辺成子、榎 良人：「情報公開・情報共有のための分散型景観シミュレーションシステム NewLand」、土木技術、55巻、10号、59-63、2000 .
- (4) <http://www.dcc.co.jp/products/newland/index.html>

(2) 数値解析結果や観測データの可視化

- (5) 並列計算機の応用に関する電中研・日立共同研究グループ：「数値解析の並列処理と同時並行的可視化に関する研究 - 電中研・日立共同研究の成果（その1、2、3）」、電力中央研究所研究報告：U96018、U97036、U97085、1996、1997、1998 .
- (6) 並列計算機の応用に関する電中研・日立共同研究グループ：「計算科学のための基盤的ソフトウェア環境に関する研究 - 電中研・日立共同研究の成果（その1、2）」、電力中央研究所研究報告：U99033、U01019、2000、2001 .
- (7) 鈴木芳生、長澤幹夫：「Static Load Balancing for Parallel Volume Rendering」、情報処理学会研究報告：99-HPC-75、pp.62-72、1999 .
- (8) 江口 謙、山本武志、長澤幹夫、鈴木芳生、向出孝一、大西浩史、山崎健一：「高温岩体発電のための深層地下の可視化」、Computer Visualization Contest' 98、日経サイエンス、pp.21-24、1998 .
- (9) 杉本聡一郎、平口博丸、萩原 豊、長澤幹夫、鈴木芳生、向出孝一、熊本真一、山崎健一：「台風による豪雨現象の可視化」、Computer Visualization Symposium 2000 論文集、日経サイエンス、pp.9-12、2000 .
- (10) 東 貞成、萩原 豊、長澤幹夫、鈴木芳生、山崎健一：「地震波動シミュレーション - 震災の帯の再現へ向けて - 」、第3回Computer Visualization Contest 入賞作品、日経サイエンス、1997 .

(3) 音の可視化と検索

- (11) 堤富士雄：「点検時設備音データの活用による設備診断技術の高度化」、電力中央研究所研究報告：R02027、2003 .

5-4 オープンネットワーク技術

5-4-1 電中研テクノウェブシステム

- (1) 水鳥雅文、萩原 豊、池川洋二郎、松山昌史、堤 富士雄、上田圭一、山本広祐：「電中研テクノウェブシステムの開発 - エクストラネットによる研究情報の共有化 - 」、電力中央研究所研究報告：U98011、1998 .
- (2) 水鳥雅文、合田 豊、萩原 豊、池川洋二郎、猪原芳樹、石井 孝、井内正直、小島三弘、久野春彦、松山昌史、野田 琢、堤富士雄、矢島 浩、山本広祐：「電中研テクノウェブシステムの開発（その2） - ソフトウエ

アの開発と試験運用 - 」、電力中央研究所研究報告：U99049、2000。

- (3) 萩原 豊、藤本順三、合田 豊、東 貞成、池川洋二郎、池野正明、猪原芳樹、石井 孝、石川智巳、久野春彦、松山昌史、三木 恵、齋藤 潔、坂井伸一、榊山 勉、田中伸和、堤富士雄、山本公夫、山本広祐、米山 望：「電中研テクノウェーブシステムの開発（その3）- ソフトウェアの拡充と試験運用 - 」、電力中央研究所研究報告：U02005、2002。
- (4) 山本広祐、松井正一、中村秀治：「水力鋼構造物健全性診断システムの高度化 - 電中研テクノウェーブシステムへの移行と機能拡充 - 」、電力中央研究所研究報告：U99072、2000。

5-4-2 ネットワーク型遠隔観測システム

- (1) 塩竈裕三、齋藤 潔、山本広祐：「電力土木施設の維持管理に有効なネットワーク型遠隔観測システムの開発」、電力中央研究所研究報告：U00067、2000。
- (2) 萩原豊他：「電中研テクノウェーブシステムの開発（その3）- ソフトウェアの拡充と試験運用 - 」、電力中央研究所研究報告：U02005、2002。
- (3) 齋藤 潔、塩竈裕三、山本広祐：「遠隔観測およびDB連携システムの開発と洪水吐ゲート操作時モニタリングへの活用」電力土木、No.304、pp.66-70、2003。

コラム3：OPGW 伝搬光の偏波変動と雷撃点標定

- (1) 黒野正裕、伊澤清順、栗原雅幸：「コヒーレント光通信への電磁界の影響と対策（その2）- インパルス電流によるOPGW 伝搬光の偏波変動 - 」、電力中央研究所研究報告：R94006、1995。
- (2) 黒野正裕、伊澤清順、栗原雅幸：「インパルス電流によるOPGW 伝搬光の偏波変動」、電気学会論文誌 Vol.116-C、No.6、pp.651-658、1996。
- (3) 黒野正裕、伊澤清順、栗原雅幸：「コヒーレント光通信への電磁界の影響と対策（その3）- 実フィールドのOPGWにおける落雷による偏波変動の実測 - 」、電力中央研究所研究報告：R94016、1995。
- (4) M.Kurono, K.Isawa, M.Kuribara “Transient state of polarization in optical ground wire caused by lightning and impulse current” SPIE International Symposium on Polarization Analysis and Applications to Device Technology, Vol.2873 pp.242-245, 1996。

- (5) 黒野正裕、栗原雅幸、伊澤清順：「OPGW 伝搬光の落雷による偏波変動の実測とその一考察」、電気学会論文誌 Vol.118-C、No.5、pp.656-662、1998。
- (6) 伊澤清順、黒野正裕、栗原雅幸：「雷撃電流によるOPGW 伝搬光の偏波変動を利用した送電線雷撃点標定」、電気学会論文誌 Vol.115-C、No.10、pp.1217-1218、1995。
- (7) 黒野正裕、栗原雅幸、浅川 聡、住谷博之：「OPGW 伝搬光の偏波変動による送電線雷撃点標定の検討」、電力中央研究所研究報告：R96015、1997。
- (8) M.Kurono, M.Kuribara, H.Sumitani “Lightning location by detecting polarization fluctuations in OPGW” 13th International Conference on Optical Fiber Sensors (OFS-13) (SPIE Vol.3746) pp.592-595、1999。
- (9) 黒野正裕、森村 俊：「長期フィールド測定に基づくOPGW 伝搬光の偏波変動特性と多機能観測の可能性」、電力中央研究所研究報告：R02026、2003。

コラム5：大量文書自動整理システム「トピックうおっちゃん」

- (1) 田中真人、篠原靖志：「重要話題発見のための大量文書自動整理システム」、電力中央研究所研究報告：R02015、2003。
- (2) 篠原靖志：「文書データベースの主要話題の発見と変化の追跡を行う文書閲覧支援システムの開発」、電力中央研究所研究報告：R99036、2000。

コラム6：ニューラルネットワークとサポートベクターマシン

- (1) 小野田崇：「電気事業における最新機械学習技術の適用可能性 - 予測、診断、監視のさらなる高度化に向けて - 」、電力中央研究所調査報告：R98007、1999。

コラム7：確率計画法

- (1) 椎名孝之他：「確率計画法」、応用数理計画ハンドブック、朝倉書店、pp.710-769、2002。
- (2) 椎名孝之：「確率計画法による発電機起動停止スケジューリング」、電力中央研究所研究報告：R02004、2003。
- (3) 椎名孝之：「多期間にわたる通信量の不確実性を考慮したコンピューターネットワーク設計手法」、電力中央研究所研究報告：R99002、2000。

既刊「電中研レビュー」ご案内

- NO. 38 「大気拡散予測手法」2000. 3
NO. 39 「新時代に向けた電力システム技術」2000. 6
NO. 40 「原子燃料サイクルバックエンドの確立に向けて」2000. 11
NO. 41 「需要家と電気事業のエネルギーをトータルで考える
需要家の特性解明と省エネ技術」2000. 11
NO. 42 「原子力発電所の人工島式海上立地」2001. 1
NO. 43 「酸性雨の総合評価」2001. 2
NO. 44 「石炭ガス化複合発電の実現に向けて
実証機開発の支援と将来への研究展開」2001. 10
NO. 45 「地球温暖化の解明と抑制」2001. 11
NO. 46 「微粉炭火力発電技術の高度化
環境性の向上と発電コストの低減」2002. 11
NO. 47 「商用周波磁界の生物影響研究」2002. 11
NO. 48 「送電設備の風荷重・風応答評価技術」2003. 2
NO. 49 「未利用地熱資源の開発に向けて
高温岩体発電への取り組み」2003. 3

編集後記

電中研レビュー第50号「電気事業とIT - 情報通信技術で変える・変わる - 」をお届けいたします。

1960年代から1970年代におけるコンピュータネットワークの萌芽期から、現在のインターネット全盛期にいたる過程において、パケット交換、ARPANET、TCP/IP、WWWなど、さまざまなネットワーク技術が登場し、またこの間、OS、マイクロプロセッサ、周辺機器などの機能・性能も飛躍的に向上しました。

ITは、コスト低減と信頼性の維持、業務の一層の効率化、電力自由化、など、電気事業を取り巻くさまざまな課題に対応し、電気事業が、ダイナミックで活力ある発展を持続するためのキーテクノロジーになると期待できます。しかしながら、同時に、多くのコンピュータが一つのネットワークに接続されていることによる脆弱性も

あります。セキュリティと情報共有、これらを如何にして確保するかが、今後、益々重要となってくると思われます。

本レビューでは、電力流通の信頼度確保、業務の効率化、技術革新支援の観点から、電力通信ネットワーク、情報システム技術、機械学習・最適化・画像・オープンネットワーク技術に焦点を当て、当研究所のITへの取り組みを紹介しました。本レビューが、電気事業の抱える様々な問題の解決に挑む方々、新しいビジネスの創造に努力する方々のお役に立てれば幸いです。

最後になりましたが、巻頭言をご執筆いただきました東京理科大学教授正田英介先生に、心より感謝申し上げます。



電中研レビュー NO.50

平成15年10月24日

編集兼発行・財団法人 電力中央研究所 広報グループ
100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1 [大手町ビル7階]
(03) 3201-6601 (代表)

E-mail : www-pc-ml@criepi.denken.or.jp

<http://criepi.denken.or.jp/>

印刷・株式会社 ユウワビジネス

本部 / 経済社会研究所	100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1	(03) 3201-6601	我孫子研究所	270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646	(04) 7182-1181
狛江研究所 / 情報研究所 / 原子力情報センター			横須賀研究所	240-0196 神奈川県横須賀市長坂2-6-1	(0468) 36-2121
ヒューマンファクター研究センター / 低線量放射線研究センター / 事務センター			赤城試験センター	371-0241 群馬県勢多郡宮城村苗ヶ島2567	(027) 283-2721
201-8511 東京都狛江市岩戸北2-11-1		(03) 3480-2111	塩原実験場	329-2801 栃木県那須郡塩原町関谷1033	(0287) 35-2048



この冊子は大豆油墨インクで印刷されています



高配合率100%の再生紙を使用しています