

愛知工業大学 博士論文

情報通信システムにおける
ネットワーク管理に関する研究

2015年10月30日

宮内 直人

論文要旨

本論文は情報通信システムにおけるネットワーク管理について、論文提出者自身がおこなった4つの研究を中心として考察を行った結果をまとめたものであり、全7章から構成される。

第1章は、緒言であり、研究の目的、要旨および本論文の構成を述べる。

第2章は、本論文の主題である情報通信システムにおけるネットワーク管理技術の概要について述べる。

まず、ISO/IEC JTC1 と ITU-T が標準化を行った OSI 管理と、IETF が標準化を行った SNMP について述べる。OSI 管理の標準化項目は、管理プロトコルと管理情報に分けることができる。

次に、情報通信システムにおけるネットワーク管理技術を体系的に整理し、技術課題を抽出する。関連する技術分野は、ネットワークを構築するためのネットワークの通信プロトコル技術と、ネットワーク管理システムを構築するためのデータベース技術、ソフトウェア構築技術、セキュリティ管理技術である。

第3章は OSI 管理システムを実現するエージェント・ソフトウェアを開発し、管理情報を管理するデータベースをオブジェクト指向データベースとして実現したので、開発方針と開発結果について報告する。また、管理情報に関するソフトウェアの開発を支援するために、管理情報を定義したテンプレートから管理情報へのアクセスモジュールを自動生成するツールを開発したので、その設計アーキテクチャと実装結果を報告する。

エージェントシステムの設計にあたっては、管理対象をオブジェクト指向の手法を用いてモデル化し、MIB をオブジェクト指向データベースとして実現した。また、MIB の操作言語には、筆者らの開発したオブジェクト指向言語 superC を採用した。MIB の操作については、管理情報が記述されたテンプレートから管理情報へのアクセス処理部分を生成する MINT を開発した。その結果 OSI 管理モデ

ルに忠実なソフトウェアを作成することができた上、管理情報へのアクセスが容易となり。各種の管理情報定義にも柔軟に対応することが可能となった。

更に、管理情報に依存する部分と管理情報に依存しない部分を分離した結果、管理プロトコル処理モジュールは管理情報にかかわらず、当初の設計方針どおり汎用的に使用できた。

また、MIB アクセスモジュールを、1つのプロセスではなくライブラリとして実現した結果、不要なプロセス間通信によるオーバーヘッドを回避できたと考えられる。

第4章は OSI 管理と SNMP をベースとして、複数のサブドメインネットワークから構成される事業会社のネットワーク運用管理方法について報告する。一般に、事業会社では各事業所に分散配置された LAN を広域網で接続して、全社的なネットワークシステムの構築を行っている。このような大規模ネットワークシステムを安全に効率よく運用するには、ネットワーク及びシステムの管理が非常に重要である。そのため、複数の分散配置された LAN ドメインを統合的に管理するためのアーキテクチャとして、LAN ドメイン内は SNMP によるドメインマネージャによる管理、LAN ドメイン間は OSI による統合マネージャによる統合管理を行うアーキテクチャを提案する。また、提案したアーキテクチャを実現するため、管理プロトコルの変換方式、管理情報の統合方法、および実現ソフトウェアの概要について述べる。統合マネージャは、ドメインマネージャを管理し、ドメインマネージャは、末端の LAN 機器を管理している。

統合マネージャとドメインマネージャは、OSI 管理に準拠し、テンプレートで記述した管理情報を処理することができる。管理情報については、OSI 管理が規定する管理情報に加えて、NMF の管理情報ライブラリをサポートした。

また、統合マネージャが扱う MIB スキーマを抽象的な MO クラスとして固定(動的 MIB スキーマを採用)したことによって、統合マネージャの適用領域を広げることが可能となり、可搬性が高くなった。

さらに、プログラム開発において、OSF/DME が公認する管理 API (XMP/API)を

採用したことにより、アプリケーションの可搬性が高くなることが期待できる。ドメインマネージャは、CMIP と SNMP のプロトコル変換、および OSI-SMI と IAB-SMI の管理情報変換を行う。また、TCP/IP 管理のデ・ファクト標準である SNMP に準拠し、管理情報として MIB-II を処理することも可能である。

第 5 章と第 6 章は、第 3 章と第 4 章で提案したネットワーク管理方法を、実際のネットワークシステムに適用した結果について述べる。まず、第 5 章は、第 3 章と第 4 章で提案した階層管理の手法を、FTTH のバックボーン・ネットワークの一方式である ATM-PON 加入者収容装置のネットワーク管理に適用した結果について述べる。標準的な管理プロトコルである CMIP に加えて、CORBA および TL1 を使って管理する階層的なネットワーク管理装置を設計した。標準的な管理プロトコルと管理情報をカスタマイズすることによって、10 万以上の管理対象を効率よくネットワークを管理する方式について述べる。

第 6 章は、近年急速に普及が進んでいるスマートメーターから構成される電力自動検針ネットワークの運用管理システムに応用したので、その展開方法について述べる。スマートメーターの導入によって、自動的かつリアルタイムに電力量を検針することが可能となり、さらにはオンデマンドの発電も可能となる。

筆者らはスマートグリッドを実現するために必要な情報通信システムの要件を抽出し、スマートグリッドのサブシステムとなる電力需給制御と配電制御、およびスマートメーターの試作システムについて報告する。特に、スマートメーター・サブシステムについて、920MHz 無線と携帯電話網、PLC を利用したスマートメーターとそれらを運用管理する計算機システムから構成されるスマートメーター通信システムについて、設計アーキテクチャと、実現上の課題、解決策について述べた。

第 7 章は結言であり、第 2 章から第 6 章で述べた情報通信システムにおけるネットワーク管理に関する研究のまとめを行うとともに、本論文で述べてきたネッ

トワーク運用管理の今後の方向性に考察をおこなっている。

目次

第 1 章 はじめに	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 論文の構成と各章の概要	1
第 2 章 ネットワーク管理	5
2.1 はじめに	5
2.2 標準的な管理アーキテクチャ	5
2.3 既存の標準的な管理アーキテクチャの検証	11
2.4 次世代の管理アーキテクチャ	17
第 3 章 ネットワーク管理情報データベース (MIB) とその支援系	21
3.1 はじめに	21
3.2 OSI 管理の概要	23
3.3 エージェントシステム	30
3.4 MINT	34
3.5 MINT の実現方式	36
第 4 章 分散 LAN ドメインの広域接続による統合管理	43
4.1 はじめに	43
4.2 OSI 管理と SNMP による管理	45
4.3 統合管理方式の設計	50
4.4 評価	67
第 5 章 大規模 ATM-PON システム管理装置への適用	71
5.1 APON システムの管理方法	71
5.2 APON 管理装置の実装	76
5.3 実装結果と考察	79

第 6 章 スマートグリッドを実現する情報通信システムへの応用	81
6.1 はじめに	81
6.2 スマートグリッド	81
6.3 スマートグリッドを実現するための情報通信システム	85
6.4 考察	88
第 7 章 おわりに	90
謝辞	93
参考文献	94
著者論文	100

目次

図 2.1 OSI 管理モデル	6
図 2.2 SNMP 管理モデル	7
図 2.3 CORBA アーキテクチャ	8
図 2.4 CORBA の管理への適用例	9
図 2.5 DMI 管理モデル	11
図 2.6 OSI 管理の管理情報構造	14
図 2.7 SNMP の管理情報構造	15
図 2.8 MOF の管理情報構造	16
図 2.9 拡張 C/S モデル	18
図 2.10 M/A モデルの拡張	19
図 3.1 OSI 管理の通信モデル	23
図 3.2 OSI 管理モデルにおけるマネージャとエージェントの構成	24
図 3.3 テンプレート例	29
図 3.4 エージェントシステムのソフトウェア構成	32
図 3.5 MINT のモジュール構成	35
図 3.6 MINT の入出力データ	36
図 3.7 テンプレート定義と SUPERC クラス定義	37
図 4.1 OSI 管理モデル	45
図 4.2 従来の LAN 管理システム	50
図 4.3 OSI による LAN 統合ネットワーク管理システム	52
図 4.4 包含木	55
図 4.5 継承木	55
図 4.6 統合マネージャとドメインマネージャの動作シーケンス	63
図 4.7 ドメインマネージャのタスク構成	66
図 4.8 統合ネットワーク管理システム	70
図 5.1 APON システム	72

図 5.2 クロスコネクションのカスタマイズ	74
図 5.3 通知のカスタマイズ	75
図 5.4 大容量データのカスタマイズ	76
図 5.5 ネットワーク構成	77
図 5.6 EMS の構成	78
図 5.7 性能評価環境	79
図 6.1 スマートグリッド概念図	82
図 6.2 電力需給制御の概要	83
図 6.3 配電制御の概要	84
図 6.4 スマートメーターの概要	85
図 6.5 試作システムの構成	87

表目次

表 3.1 システム管理機能	25
表 3.2 CMIS/P プリミティブ一覧	26
表 3.3 テンプレート一覧	27
表 3.4 SMAP ソフトウェアモジュール一覧	33
表 3.5 MINT のモジュールサイズ	36
表 3.6 MINT の入出力ステップ数	41
表 4.1 CMIP と SNMP の比較	49
表 4.2 統合管理方式の比較	51
表 4.3 オペレーションのマッピング	57
表 4.4 CMIP と SNMP のマッピング	58
表 4.5 ドメインマネージャの機能	65
表 4.6 マッピングテーブル	66
表 4.7 統合マネージャが生成可能なオブジェクト	69
表 5.1 クラス定義と最大 MO インスタンス数	73
表 5.2 プログラム言語の比較	76
表 5.3 クロスコネクションの所要時間	79

第1章 はじめに

1.1 研究の背景と目的

近年様々な産業分野で情報通信システムが利用されており、それらを健全に運用するためにはシステム管理装置やネットワーク管理装置が必要不可欠である。

情報通信システムの適用分野が広がるにしたがって、管理される側の情報通信機器の種類が増大すると共に、管理する側の管理装置の機能も増大している。このような状況において、管理される側の情報通信機器と管理する側の管理装置を包含するネットワーク管理システムの設計・開発コストは増大しており、設計・開発の効率化が求められている。

ネットワーク管理システムの設計を効率化するための一つ的手段として、ISO や IETF が標準化した OSI 管理や SNMP を活用する方法が有効であるが、情報通信機器と管理装置の各々においてさらに開発を効率化するための手法が必要である。

本論文では、情報通信機器において、ネットワーク管理システムに情報を提供するソフトウェアを効率的に開発する手法について提案を行う。また、管理装置において、複数の通信サブシステムを統合的かつ効率的に管理する手法について提案する。

また、提案した手法を、電力流通システム分野のネットワーク管理システムに適用し、提案手法の有効性を示す。

1.2 論文の構成と各章の概要

本論文の構成は以下のとおりである。

第2章は、本論文の主題である情報通信ネットワークの構築と運用管理の要件としてのネットワーク管理機能について述べる。

まず、ISO/IEC JTC1 と ITU-T が標準化を行った OSI 管理と、IETF が標準化を行った SNMP について述べる。OSI 管理の標準化項目は、管理プロトコルと管理情報に分けることができる。

次に、情報通信システムにおけるネットワーク管理を支える技術として、ネットワークの通信プロトコルと、ネットワーク管理システムを構築するためのデータベース、ソフトウェア構築、セキュリティ等の技術を体系的に整理し、技術課題を抽出する。

第3章はネットワーク管理システムを実現するために、エージェント・ソフトウェアを開発し、管理情報を管理するデータベースをオブジェクト指向データベースとして実現したので、開発方針と開発結果について報告する。また、管理情報に関するソフトウェアの開発を支援するために、管理情報を定義したテンプレートから管理情報へのアクセスモジュールを自動生成するツールを開発したので、その設計アーキテクチャと実装結果を述べる。

エージェントシステムの設計にあたっては、管理対象をオブジェクト指向の手法を用いてモデル化し、MIBをオブジェクト指向データベースとして実現した。また、MIBの操作言語には、開発したオブジェクト指向言語 superC[35]を採用した。MIBの操作については、管理情報が記述されたテンプレートから管理情報へのアクセス処理部分を生成する MINT を開発した。その結果 OSI 管理モデルに忠実なソフトウェアを作成することができた上、管理情報へのアクセスが容易となり、各種の管理情報定義にも柔軟に対応することが可能となった。

更に、管理情報に依存する部分と管理情報に依存しない部分を分離した結果、管理プロトコル処理モジュールは管理情報にかかわらず、当初の設計方針どおり汎用的に使用できた。

また、MIB アクセスモジュールを、1つのプロセスではなくライブラリとして実現した結果、不要なプロセス間通信による処理オーバーヘッドを回避することができた。

第4章はネットワーク管理の標準的なプロトコルである OSI 管理と SNMP をベースとして、複数のサブドメインネットワークから構成される事業会社のネットワークを管理する方法について報告する。一般に、事業会社では各事業所に分散配置された LAN を広域網で接続して、全社的なネットワークシステムの構築を行っている。このような大規模ネットワークシステムを安全に効率よく運用するに

は、ネットワーク及びシステムの管理が非常に重要である。そのため、複数の分散配置された LAN ドメインを統合的に管理するためのアーキテクチャとして、LAN ドメイン内は SNMP によるドメインマネージャによる管理、LAN ドメイン間は OSI による統合マネージャによる統合管理を行うアーキテクチャを提案する。また、提案したアーキテクチャを実現するため、管理プロトコルの変換方式、管理情報の統合方法、および実現ソフトウェアの概要について述べる。統合マネージャは、ドメインマネージャを管理し、ドメインマネージャは、末端の LAN 機器を管理している。

統合マネージャとドメインマネージャは、OSI 管理に準拠し、テンプレートで記述した管理情報を処理することができる。管理情報については、OSI 管理が規定する管理情報に加えて、NMF の管理情報ライブラリをサポートした。

また、統合マネージャが扱う MIB スキーマを抽象的な MO クラスとして固定したことによって、統合マネージャの適用領域を広げることが可能となり、可搬性が高くなった。

さらに、プログラム開発において、OSF/DME が公認する管理 API (XMP/API) を採用したことにより、アプリケーションの可搬性が高くなることが期待できる。ドメインマネージャは、CMIP と SNMP のプロトコル変換、および OSI-SMI と IAB-SMI の管理情報変換を行う。また、TCP/IP 管理のデ・ファクト標準である SNMP に準拠し、管理情報として MIB-II を処理することも可能である。

第 5 章は、第 3 章と第 4 章で提案した階層管理の手法を、FTTH のバックボーン・ネットワークの一方式である ATM-PON 加入者収容装置のネットワーク管理に適用した結果について述べる。標準的な管理プロトコルである CMIP に加えて、CORBA および TL1 を使って管理する階層的なネットワーク管理装置を設計した。標準的な管理プロトコルと管理情報をカスタマイズすることによって、10 万以上の管理対象を効率よく管理する方式について述べる。

第 6 章は、近年急速に普及が進んでいるスマートメーターから構成される電力自動検針ネットワークの運用管理方法について述べる。スマートメーターの導入によって、自動的かつリアルタイムに電力量を検針することが可能となり、さら

にはオンデマンドの発電も可能となる。筆者はスマートグリッドを実現するために必要な情報通信システムの要件を抽出し、スマートグリッドのサブシステムとなる電力需給制御と配電制御、およびスマートメーターの試作システムについて報告する。特に、スマートメーター・サブシステムについて、920MHz 無線と携帯電話網、PLC を利用したスマートメーターとそれらを運用管理する計算機システムから構成されるスマートメーター通信システムについて、設計アーキテクチャと、実現上の課題、解決策について述べる。

最後に第7章で結論と今後の課題を述べる。

第2章 ネットワーク管理

2.1 はじめに

ネットワーク管理の標準化作業が完了してから 10 年が経過しているが [1][2][3][4][5][6][7]、いまだにネットワークの管理の開発コストと時間が削減されたり、運用操作が効率化されているとは言いがたい。この論文では、既存の標準的なネットワーク管理アーキテクチャを検証し、ネットワーク管理の課題を総括しネットワーク管理の理想像について考察する。

以下、2.2 節では過去 10 年間のネットワーク管理方法の変遷を総括し、2.3 節では現在と過去のネットワーク管理の課題を比較する。2.4 節では今後のテレコム管理の課題と解決方法について述べる。

2.2 標準的な管理アーキテクチャ

この節では、1990 年前後に開発された OSI 管理 [8][9] と TMN [10]、CMOT [11]、SNMP のアーキテクチャと、その後開発された CORBA [15] と DMI [16]、WBEM [12][13][14] の管理アーキテクチャについて概観する。

2.2.1 OSI 管理と TMN、及び CMOT

OSI 管理は、ISO と CCITT(現 ITU-T)によって 1990 年に標準化された管理アーキテクチャである。図 2.1 に OSI 管理のモデルとプロトコル構成を示す。

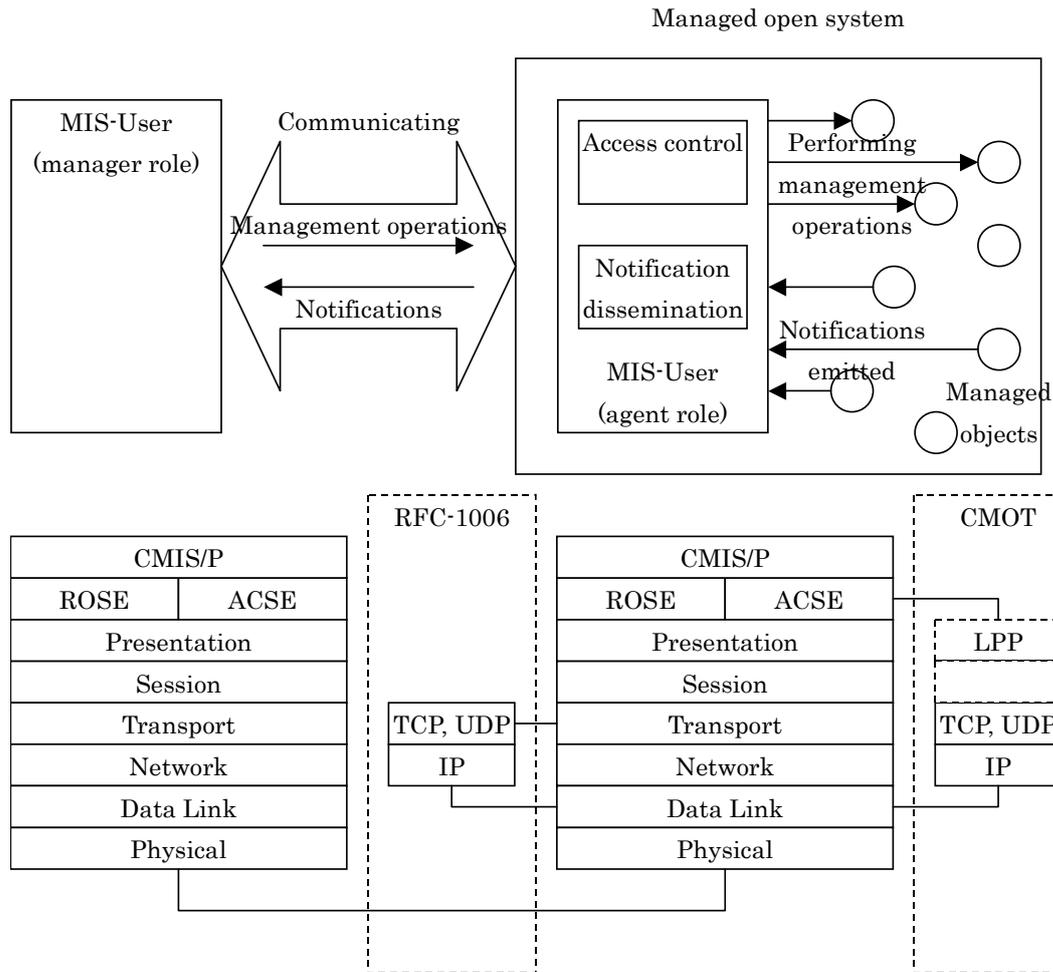


図 2.1 OSI 管理モデル

OSI 管理を実装する際、フルスタックの OSI を使う代わりに TCP/IP にマッピングする方法も広く使われている。また、フルスタックの OSI を使う代わりに LPP (Lightweight Presentation Protocol) と TCP/IP を使う CMOT が提案されていたが、実際には利用されていない。

TMN は、ITU-T が OSI 管理をテレコム管理用に拡張したアーキテクチャである。TMN や OSI 管理は、通信キャリアや官公庁にて利用されるケースが多い。

2.2.2 SNMP

SNMP は、IETF が 1990 年に標準化した管理アーキテクチャであり、1993 年には SNMPv2 が発表され、1999 年には SNMPv3 が発表された。図 2.2 に SNMP の管理モデ

ルとプロトコル構成を示す。

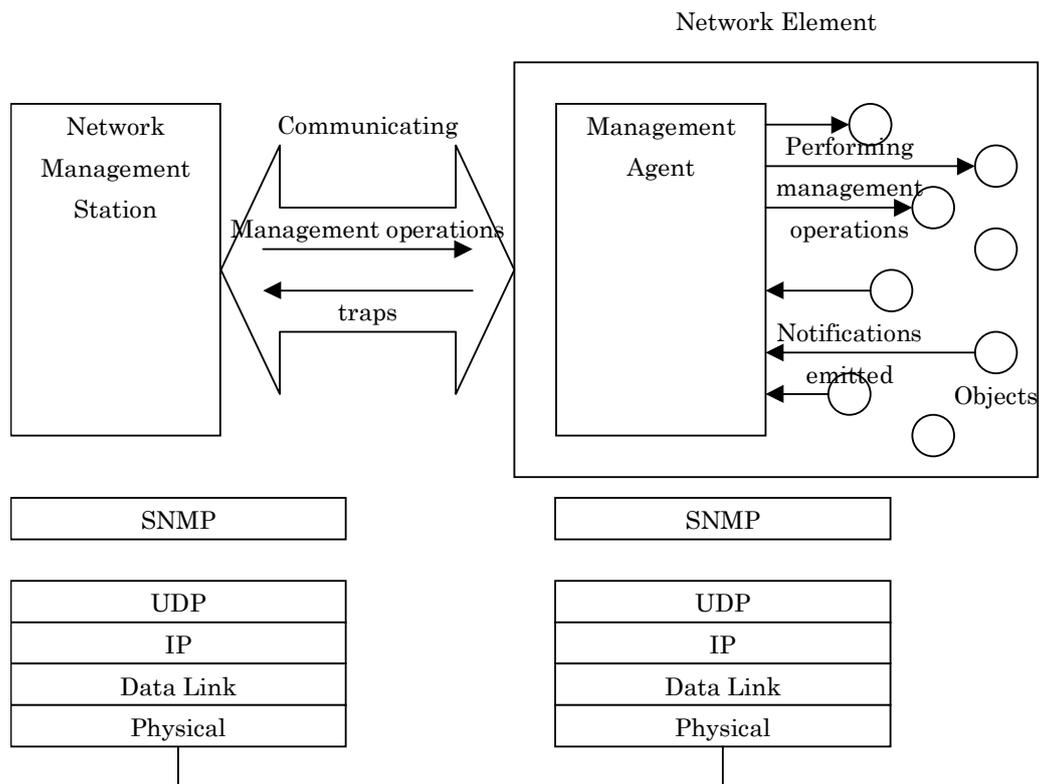


図 2.2 SNMP 管理モデル

SNMP は、主に LAN 機器を管理するためのデファクト標準であったが、近年様々な分野で広範囲に利用されている。

2. 2. 3 CORBA

CORBA は、分散システム環境でオブジェクト同士がメッセージを交換するためのアーキテクチャであり、OMG によって標準化されている。図 2.3 に、CORBA のアーキテクチャを示す。また、OMG と TMF は、TMN と CORBA をマッピングするための JIDM(Joint-Inter-Domain Management) と呼ばれるインタフェースを規定している。CORBA では、次の 3 つのオブジェクト群の集まりから構成される。

- A) 業種別に必要とされるサービスを提供するオブジェクト群
- B) アプリケーション依存のオブジェクト群
- C) 共通的なサービスを提供するオブジェクト群

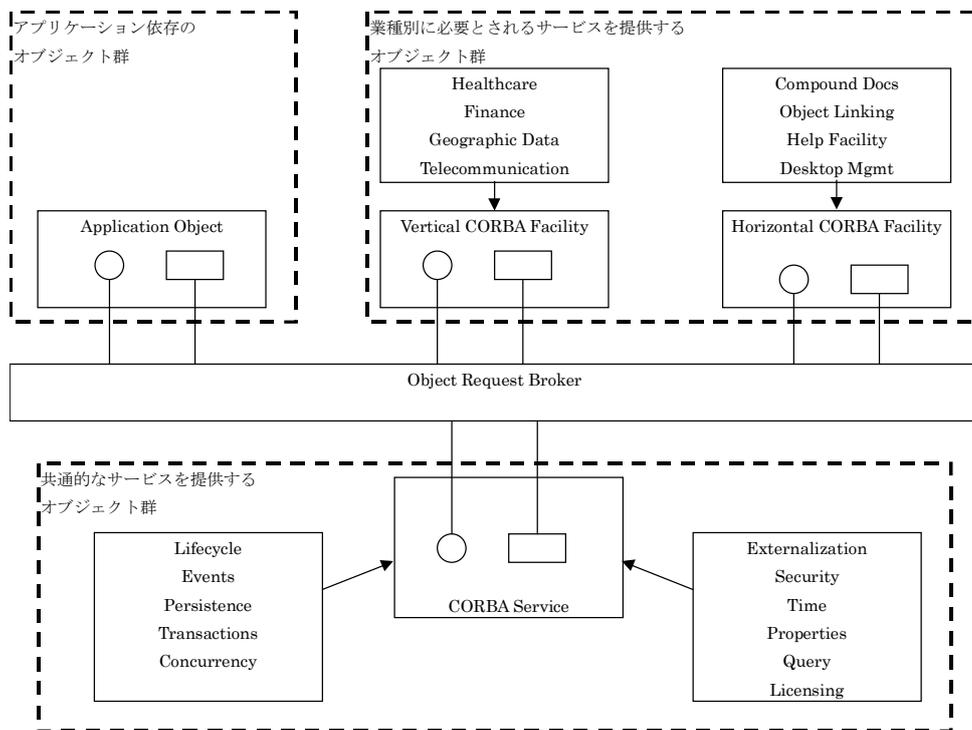


図 2.3 CORBA アーキテクチャ

図 2.4 に、CORBA を使って管理システムを構築する場合の管理モデルの例とプロトコル構成を示す。この例では、OSI 管理や SNMP で使っている非同期な通知を実現するため、CORBA の Event Service を利用している。図において、管理装置

2.2.4 DMI と WBEM

DMI (Desktop Management Interface) は、パソコンや周辺機器等を管理するための管理情報と管理 API の規定であり、DMTF (Distributed Management Task Force) によって標準化された。図 2.5 は、DMI の管理モデルとプロトコル構成を示している。図において、管理装置 (Remote Local Node) とネットワーク機器 (Local Node) 間のインタフェースを DMI IDL として定義し IDL コンパイラに入力すると、IDL コンパイラは Remote Local Node 用の Client Stub プログラムと、Local Node 用の Server Stub プログラムを出力する。Client Stub プログラムと Server Stub プログラムは各々 DMI Service User と DMI Service Provider にリンクされ、実行可能なプログラムとなる。

Web Browser は Remote Local Node と XML on http で通信を行う。Remote Local Node から Local Node に対して情報収集・情報設定を行う場合は、MI interface client から MI interface server のインタフェース呼出を利用する。一方、Local Node から Remote Local Node に障害通知などのイベントを発行する場合は、Indication client から Indication server にイベントを送信する。

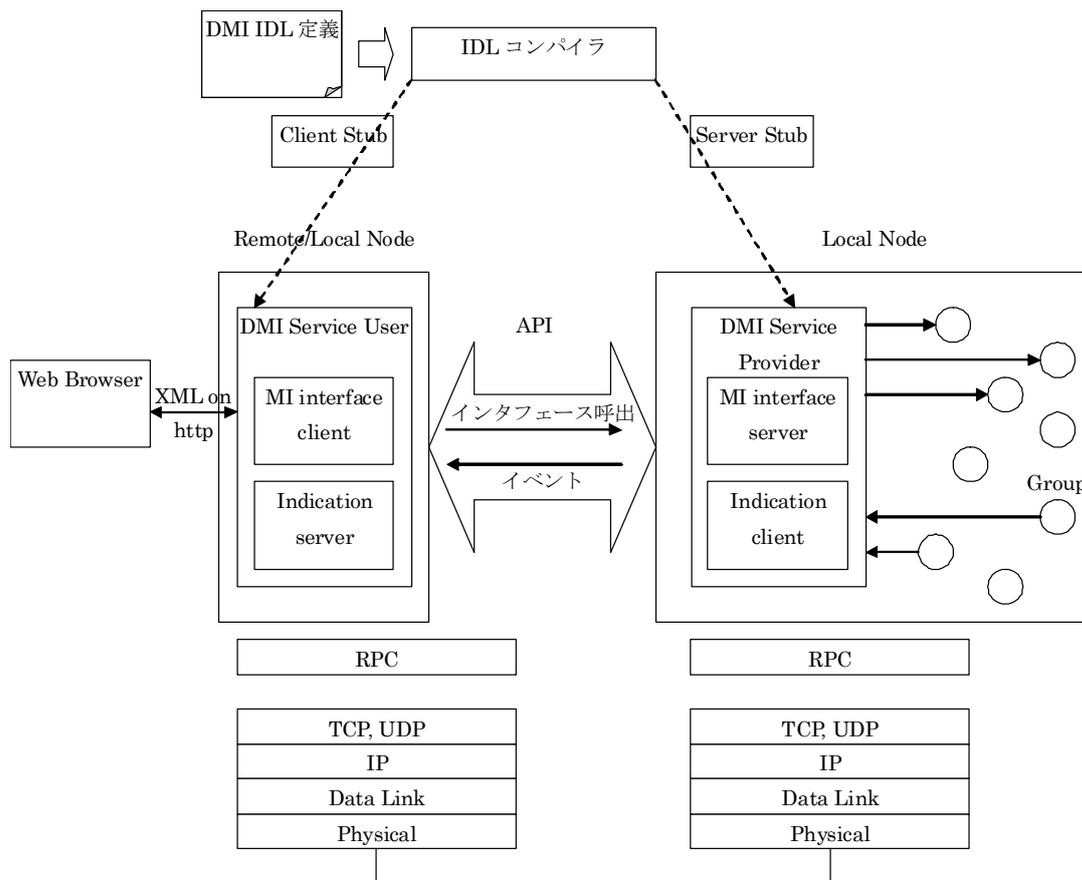


図 2.5 DMI 管理モデル

DMI の他に、DMTF は管理情報の共通スキーマである CIM (Common Information Model) や WBEM (Web-Based Enterprise Management) と呼ばれる Web を使った管理インタフェースも規定している。

2.3 既存の標準的な管理アーキテクチャの検証

この節では、2.2 節で述べた既存の標準的な管理アーキテクチャについて検証する。

2.3.1 相互接続性

OSI 管理に準拠した管理システムで、マネージャとエージェントを別のベンダが開発する場合、両者を相互接続することは容易ではない。CMIP は相互接続のためのパラメタが少ないので比較的接続性が良いが、CMIP の下位層プロトコル (ACSE やプレゼンテーション、セッション、トランスポート) のパラメタは、種類

が多い上にパラメタ値の自由度が高いため、相互接続のための調整作業が必要となる。

一方、SNMP や CORBA に準拠した管理システムで、マネージャとエージェントを別のベンダが開発する場合は、両者の相互接続は容易である。その理由は、SNMP と CORBA が利用するプロトコル階層が少ない上、下位層プロトコル (IP や TCP、UDP) の相互接続性が高いため、相互接続のためのパラメタの種類が非常に少ないので、ほとんどチューニングする必要が無いからである。

相互接続性を高める上では、多様なパラメタを容易にする複雑なプロトコルよりも、簡単なパラメタをもったプロトコルのほうが効果的であるといえる。

2.3.2 管理モデル

OSI 管理と SNMP は、マネージャ・エージェント (M/A) モデルを採用している。M/A モデルを階層的に構成し、ネットワーク全体を管理するシステムも発表されている [20] [21] [22]。M/A モデルでは、並列したマネージャ同士の通信方式が規定されていないため、マネージャの障害に対する保障手段を独自に規定する必要がある。

一方、CORBA と DMI はクライアント・サーバ (C/S) モデルを採用している。C/S モデルの場合、非同期に通知される警報などを受信するために、クライアントがサーバに定期的に問合せなどの処理が必要となるため、警報の検出時間においてチューニングが必要となる。

2.3.3 管理プロトコル

(1) プロトコル階層

OSI 管理は、OSI の 7 層全てのプロトコルを使って通信を行うが、SNMP と CORBA 及び DMI は TCP または UDP を直接利用するプロトコルである。

近年の IP ネットワークの爆発的な普及によって、TCP または UDP/IP の相互接続性が非常に高いので、OSI の 7 層を全て使う必要性は低いと考えられる。

(2) 管理操作の種類

OSI 管理で、7 種類の管理操作(Create, Delete, Get, Set, Action, CancelGet, EventReport)を用意している。SNMPv1 は、4 種類の操作(GetRequest, GetNextRequest, SetRequest, Trap)を用意し、SNMPv2 はさらに 2 種類の操作(GetBulkRequest, InformationRequest)を追加している。

CORBA と DMI は、管理インタフェースの定義はあるものの、特に管理操作の種類に制約は無く、管理システムの構築者が自由に管理操作を決めることができる。オブジェクト指向技術に基づくならばインタフェースを自由に規定できるほうが良いが、管理アプリケーションを定型的に開発するには、OSI 管理のように限定した管理操作に制限したほうが効率的と考えられる。

(3) プロトコルの信頼性

OSI 管理はコネクション型の通信プロトコルだが、SNMP はコネクションレス型の通信プロトコルであるため、CMIP は SNMP よりも信頼性が高い。

2.3.4 管理情報の記述方法

(1) GDMO

OSI 管理や TMN が扱う管理情報の構造は、GDMO と呼ばれる[17]。GDMO はオブジェクト指向技術に基づいた管理情報定義方法であり、8 種類のテンプレートで管理情報の構造を表し、最終的には管理情報を ASN.1[19]で表現する。管理情報は、管理オブジェクト(MO)と、その属性・通知・動作を定義することによって表現する。オブジェクト間の関係は、名前または属性によって表す。

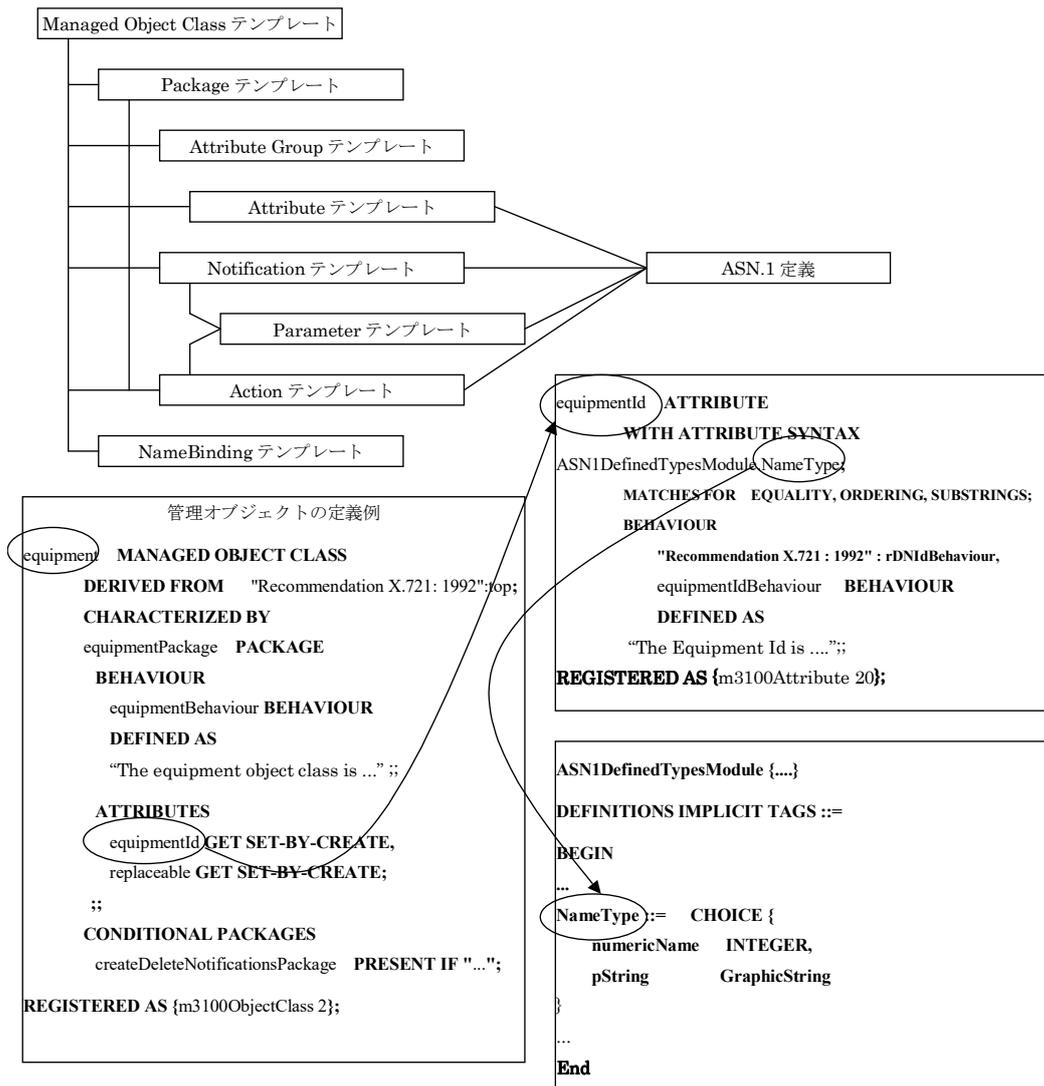


図 2.6 OSI 管理の管理情報構造

図 2.6 に GDMO のテンプレートの相関関係と、GDMO を使って機器 (equipment) を表現する例を示す。GDMO を使うと複雑な管理情報を定義できるが、汎用的過ぎるために実装が複雑になる傾向がある。

(2) SNMP-MIB

SNMP が送受信する管理情報の構造は、SMI と呼ばれる [18] が、一般的には MIB と呼ばれる。SMI では、管理情報をオブジェクトとして表現する。SNMP では、管理対象は、IP アドレスを持った機器であり、その中に一つ以上のオブジェクト・グループが存在し、各グループはオブジェクトの集合から構成される。オブジェクト

間の関係は、グループによって表現される。図 2.7 に SMIv1 に従った管理情報の構造とオブジェクトの定義例を示す。なお、SMIv2 と SMIv3 は、SMIv1 を発展させた管理構造である。

個々のオブジェクトは ASN.1 で表現されるが、ASN.1 の一部の文法しか使用できない上、ネストしたテーブル構造などを表現できない等の制約がある。したがって、SNMP で複雑な管理情報をもった機器を管理することは困難である。

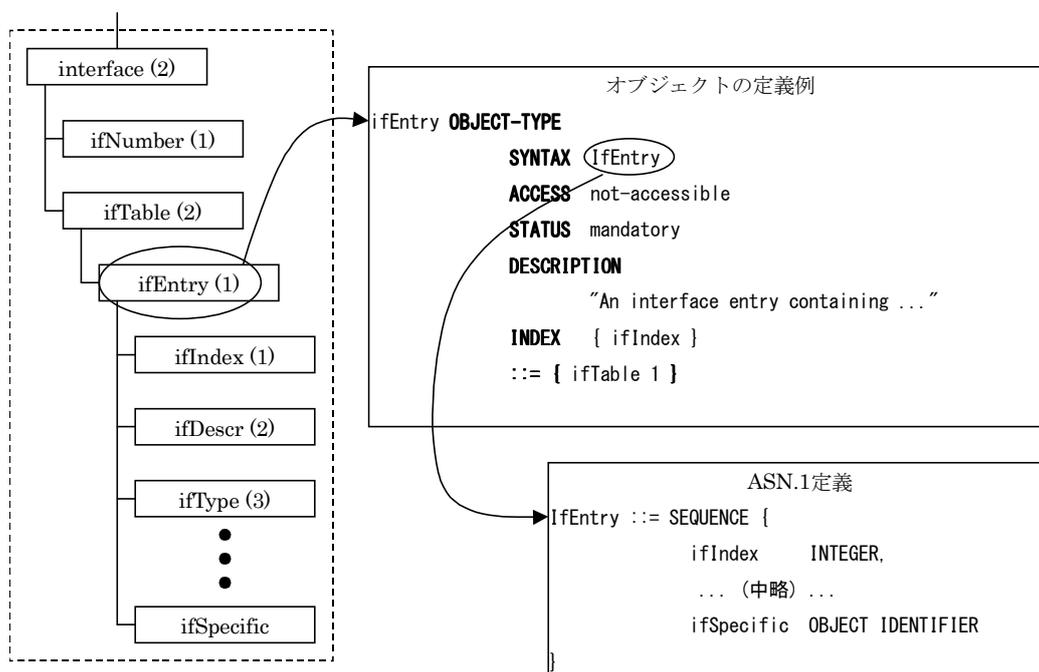


図 2.7 SNMP の管理情報構造

(3) DMI の管理情報

DMI や WBEM が扱う管理情報の構造は、CIM と呼ばれる情報モデルの中の MOF (Managed Object Format) を使って表現する。CIM と MOF はオブジェクト指向技術に基づいている。図 2.8 に MOF の記述例を示す。図は 32 ビット版 Windows の論理ディスクの管理情報を表している。Win32_LogicalDisk クラスが 4 つの属性として、文字列型の DriveLetter、整数型の RawCapacity、文字列型の VolumeLabel、ブーリアン型の Format を持つことを示している。

```
[abstract] class Win32_LogicalDisk{
    [read]                string DriveLetter;
    [read, Units("KiloBytes")] sint32 RawCapacity = 0;
    [write]                string VolumeLabel;
    [Dangerous]           boolean Format([in] boolean FastFormat);
};
```

図 2.8 MOF の管理情報構造

2.3.5 管理機能

OSI 管理と TMN は、構成・障害・性能・課金・機密に関する管理機能と管理情報を規定しているが、実装レベルで標準の管理機能を利用している例は少ない。SNMP は、管理情報を規定しているが、管理機能には言及していない。DMI と WBEM も管理情報と API を規定しているが、管理機能には言及していない。

ネットワーク機器を管理する場合は、管理機能を詳細に規定するよりも、管理情報を豊富に規定する方が、実用的と思われる。一方、ネットワーク全体やサービスを管理する場合は、管理機能モデルを規定することが有効と思われる。

2.3.6 実装の難易度

実装の難易度を定量的に評価することは難しいが、一般的に SNMP を使った管理システムの実装は、OSI 管理や TMN を使うよりも容易であり、コード数が少ない傾向がある。CORBA を使った実装は、SNMP とほぼ同程度の難易度であり、コード数もほぼ同程度である。

OSI 管理や TMN を使った開発が比較的難易度が高い理由は、次の理由によると考えられる。

- GDMO や ASN.1、OSI の 7 階層すべてを実装する必要があり、開発規模が大きくなる傾向がある。
- 開発ツールが少なく、特にフリーのツールが少ない。

2.4 次世代の管理アーキテクチャ

この節では、2.3 節で述べた既存の標準アーキテクチャの検証に基づき、今後望まれる次世代の管理アーキテクチャについて提案する。

2.4.1 管理要件

次世代の管理アーキテクチャは、既存のアーキテクチャが内在する課題を解決し、かつ近年の新しい通信技術やサービスに対応する必要がある。そのために、次世代の管理アーキテクチャは、次の要件を満足する必要がある。

- 通信機器と管理装置間、および管理装置間のインタフェースを規定する管理モデル
 - SNMP のように簡単に相互接続できる管理プロトコル
 - GDMO のように複雑な管理情報を記述できる管理情報構造
 - CORBA のように柔軟なインタフェース
 - 短期間に実装できる単純な実装仕様

2.4.2 管理モデル

管理モデルは、TMN モデルを基本とし、ネットワーク管理装置と機器管理装置、およびネットワーク機器から構成する。ネットワーク機器と機器管理装置間、および機器管理装置とネットワーク機器間の管理モデルは、既存のマネージャ/エージェントモデル(M/A モデル)やクライアント/サーバモデル(C/S モデル)を継承し拡張することによって、2.4.1 に述べた要件を満足することができる。しかし、ネットワーク管理装置同士、および機器管理装置同士の管理モデルは、従来の M/A モデルや C/S モデルのような非対称なモデルではなく、対称型のモデルが必要である。以下、C/S モデルと M/A モデルを拡張した管理モデルを示す。

(1) C/S モデルの拡張

図 2.9 は、C/S モデルを拡張したモデルである。このモデルでは、C/S 通信とは別に、(a)非同期に通知を伝達する通信手段と、(b)管理装置間の対称的な通信手

段を用意する。

非同期に通知を伝達する手段は、既存の CORBA イベント・サービスのような共通サービスを利用するのではなく、SNMP の trap や CMIP の eventReport のような通知の機構が考えられる。通知抜けの置きにくいコネクション型の通信機構が有効と考えられる。

管理装置間の通信手段は、管理装置間のヘルスチェックや冗長系のためのデータ交換、および課金や顧客管理のためのデータ交換に使用される。一般に機器管理装置同士、ネットワーク管理装置同士は対等な関係にあると考えられるので、対称的な通信手段が必要である。

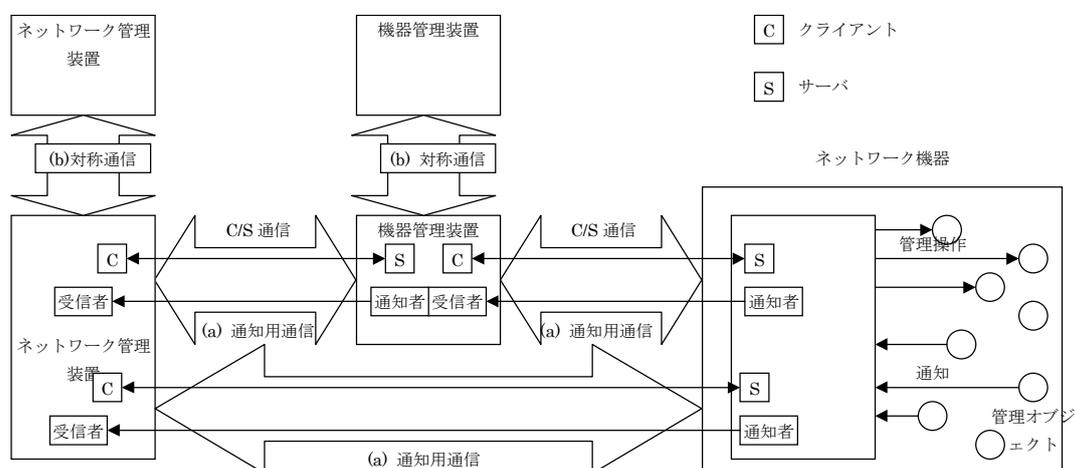


図 2.9 拡張 C/S モデル

(2) M/A モデルの拡張

図 2.10 は、M/A モデルを拡張したモデルである。このモデルでも、C/S モデルの拡張と同様に、管理装置間の対称的な通信手段を用意する。また、エージェントがマネージャに対してマルチキャスト通信を行う手段を用意する。あるマネージャがエージェントに管理操作を行うと、エージェントはその結果を複数のマネージャにマルチキャストすることができるので、マネージャ同士の情報整合処理が不要となる。

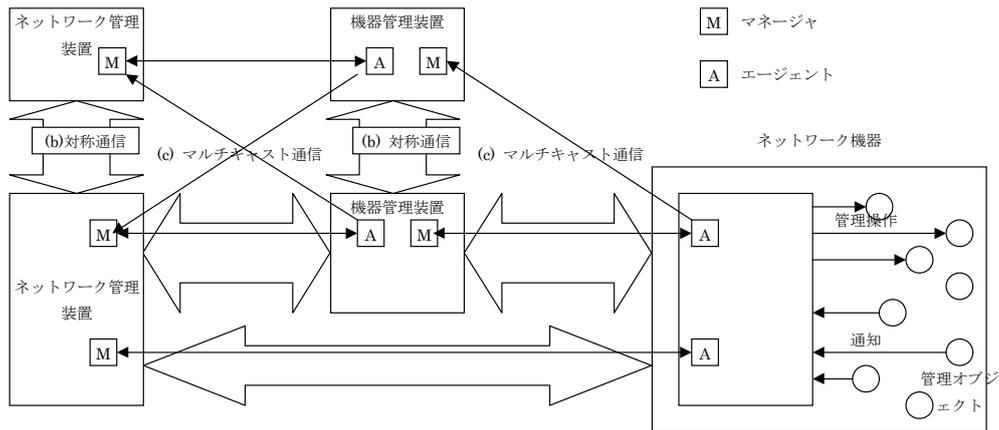


図 2.10 M/A モデルの拡張

2.4.3 管理プロトコル

相互接続性と実装を容易にするため、管理プロトコルは、単純な階層構造が望ましい。したがって、SNMP や CORBA のようにネットワーク層またはトランスポート層を直接利用する形態が望ましい。また、通信の信頼性を保証するため、コネクション型の通信プロトコルが必要である。

管理プロトコルのインタフェースの種類は、CMIP や SNMP のように数種の管理インタフェースに限定する方法と CORBA や DMI のように多様なインタフェースを用意する方法が考えられる。基本的な管理操作は、収集・設定・通知などに集約できるので、数種の管理インタフェースに限定すべきである。

2.4.4 管理情報構造

さまざまな管理情報を記述するには、記述能力が高く、Java 等のオブジェクト指向言語との親和性が高い管理情報構造の定義方法が必要である。既存の GDMO はこれらの要件を満足しているので、次世代の管理アーキテクチャにおいても継続して利用できる。ただし、GDMO は汎用的な記述能力を持っている一方で、記述方法が困難であるため、より簡便な管理情報構造が求められている。

2.4.5 管理機能

既存の標準的な管理アーキテクチャは、ネットワーク機器や管理サービスの管

理機能について標準化してきたが、管理装置や管理端末についてはあまり議論されていなかった。近年の管理システムは、従来のように閉鎖的な管理ネットワークで利用するだけでなくオープンなインターネット環境で利用することを考慮して、次のような管理機能を検討する必要がある。

- 管理装置の冗長化機能
- 管理端末のセキュリティ機能
- 管理通信帯域の制御機能

第3章 ネットワーク管理情報データベース (MIB) とその支援系

3.1 はじめに

OSI (Open Systems Interconnection) 準拠の各種の応用層プロトコルが各地で実装が試みられた。ISO/IEC JTC 1 (International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission Joint Technical Committee One) と CCITT (Consultative Committee for International Telegraph and Telephone) では、OSI 高位層サービスの一つとして、OSI 管理を標準化している [23][24][25][26][27]。OSI 管理は、オブジェクト指向方式に基づいてモデルが構築されており、管理プロトコルと管理情報の両面から標準化が行われている。特に、管理情報を汎用的に定義するために、テンプレートと呼ばれる標準的な記法を標準化している。

このように、OSI 管理の標準化が進展するにつれて、OSI 管理システムの開発が試みられている [28][29]。OSI 管理システムを開発する上で、管理プロトコルの実装とともに、管理情報の定義や、管理情報を格納するデータベース (MIB: Management Information Base) の構築を適切に行う必要がある。また、OSI 管理情報は、管理を行うマネージャと管理されるエージェントから構築されているが、エージェントは個々の OSI システムに組み込まなければならない上、一般に各 OSI システムごとに管理情報の内容が異なるため、特にエージェントの開発は困難である。従って、ユーザが容易にエージェントシステムを構築するための手段が必要である。

従来、データベースは、RDB (Relational Data Base) が中心であり、データベースを使用する際には、C 言語のような手続き型言語が使用されてきたため、OSI 管理システムを設計する際に、MIB を RDB として構築する提案が行われている [30]。

しかし、RDB では、扱えるデータ型が少ないため拡張性に乏しく、データ間の意味的な関連をスキーマ上で直接表現しにくい等の問題点がある [31]。また、膨大なネットワーク情報をもつ MIB で検索処理をする場合、リレーションの結合演算を多用するため、処理の効率化が期待できない [32]。従って、このような方法

は、OSI 管理モデルを具現化する上で不適切であり、よりモデルに忠実で実装効率の良い実現方法が必要である。

特に、OSI 管理モデルとの整合性を考慮して、MIB をオブジェクト指向データベースとして実現する提案が行われている [33]。この提案では、管理対象だけでなく管理属性もクラスとしてモデル化し MIB を実現している。

一方、MIB を構築するために、管理対象を記述したテンプレートを構文解析して、管理情報に関する辞書を作成することによって、MIB 設計の効率化を図る提案も行われている [34]。この場合、標準化されたテンプレートの記法をそのまま扱えるので、OSI 管理システムの効率的な開発が期待できるが、MIB にアクセスするための、辞書操作関数を別途作成する必要性が生じる上、管理情報と管理情報への手続きを別々に扱わなければならない、オブジェクト指向の利点を最大限に活用できない。

このような背景のもとでオブジェクト指向に基づいて、OSI 管理モデルに準拠し、ユーザの各種管理要求に対応しやすい OSI 管理システムを実現するソフトウェアを開発し、MIB をオブジェクト指向データベースとして実現した。MIB をオブジェクト指向に適用する際に、管理対象だけをクラスにマッピングし、管理属性はクラスの属性として表現した。また、MIB の操作関数には、筆者らが開発したオブジェクト指向言語 superC [35] を採用した。更に、MIB の操作関数をテンプレートの情報をもとに自動生成する MINT (Management Information base template Translator) を開発した。

本章では、オブジェクト指向に基づく MIB の実現方法と、MIB へのアクセス手段を提供する MINT について報告する。以下、3.2 節では、本論文の対象となる OSI 管理のモデルについて述べる。3.3 節では OSI 管理の中のエージェントシステムについて述べる。3.4 節では MINT の構成について述べる。最後に 3.5 節では、MINT の実現方式について述べ、MINT から生成したソフトウェアの評価を行い、エージェントシステム開発の効率化を実証する。

3.2 OSI 管理の概要

OSI 管理の目的は、マルチベンダネットワークを一元的に管理するための統合ネットワーク管理の標準化を進めることにある。

これを実現するために、OSI に基づくネットワーク管理アーキテクチャの確立を行うと共に、構成管理、障害管理、機密管理、性能管理、および会計管理等のシステム管理機能の国際標準を作成している。

3.2.1 OSI 管理モデル

OSI 管理においては、ネットワークを管理するマネージャとネットワーク資源である管理対象（以下、MO: Managed Object と呼ぶ）を含むエージェントから構成され、マネージャがエージェントを介して MO を管理する。ここで MO とは、ネットワークの管理目的に応じて定義されるものであり、具体的にはシステムや、エンティティ、コネクションなどのネットワーク資源をモデル化したものである。エージェントは、MO の集合である MIB を保持している。

図 3.1 に OSI 管理のモデルを示す。図において、マネージャはエージェントを介して MO に管理情報の収集や設定などの管理操作を実行し、その結果を得る。また、エージェントは MO から非同期に通知を受け取り、マネージャに通知する。

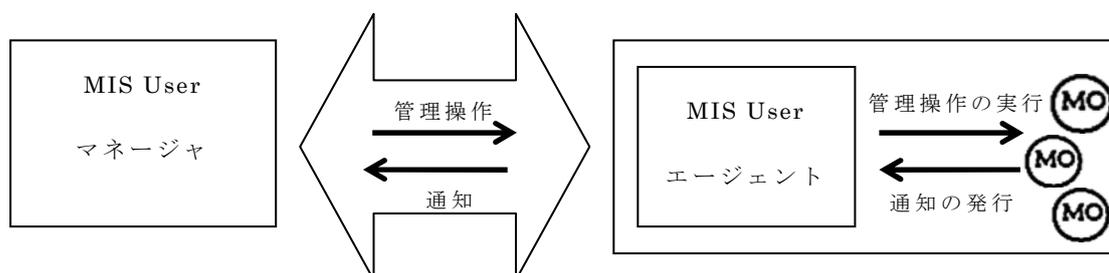
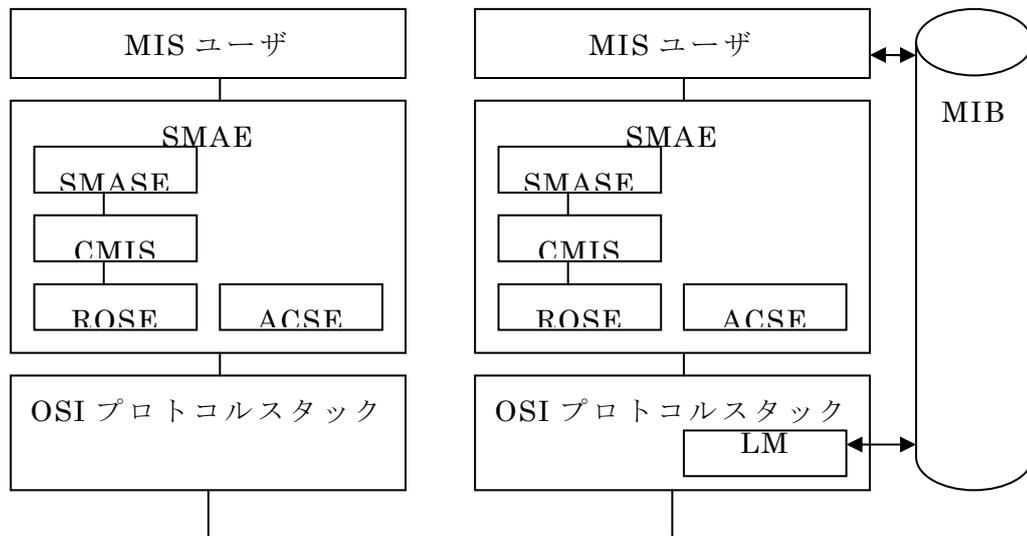


図 3.1 OSI 管理の通信モデル

マネージャとエージェントは、図 3.2 に示すように、MIS (Management Information Service) 利用者と SMAE (System Management Application Entity) から構成されている。



ACSE: Association Control Service Element
 CMIS: Common Management Information Service
 LM: Layer Management
 MIB: Management Information Base
 ROSE: Remote Operation Service Element
 SMAE: System Management Application Entity
 SMASE: System Management Application Service Element

図 3.2 OSI 管理モデルにおけるマネージャとエージェントの構成

SMAE は、更に SMASE (System Management Application Service Element) と ACSE (Association Control Service Element) から構成される。SMASE は、表 3.1 に示すシステム管理機能 (SMF: System Management Function) を持つ。

LM (Layer Management) は、OSI 参照モデルの各層の管理情報を収集/管理する。

表 3.1 システム管理機能

機能	説明
オブジェクト管理機能	MO の生成と削除、名前の変更等を報告する機能
状態管理機能	MO の状態属性の管理操作と通知を行う機能
関係管理機能	MO の関係属性の管理操作と通知を行う機能
警報報告機能	MO からの警報を報告する機能
事象報告機能	MO からの通知を事象報告する機能
ログ管理機能	ログメカニズムを制御する機能

3.2.2 OSI 管理サービス/プロトコル

OSI 管理サービス/プロトコルは、CMIS/P (Common Management Information Service and Protocol)に規定されている。表 3.2 に、CMIS/P が用意するサービスプリミティブを示す。

表 3.2 CMIS/P プリミティブ一覧

プリミティブ	説明
m-Action	M0 に動作を指示する
m-CancelGet	m-Get の複数応答を取り消す
m-Create	M0 を生成する
m-Delete	M0 を削除する
m-EventRequest	M0 から通知を行う
m-Get	属性を読み取る
m-Set	属性を設定する

3.2.3 管理情報とテンプレート

ネットワークの管理情報は、M0 ごとに定義され、MIB に保持されている。管理情報は、マネージャとエージェント間で交換される。

M0 が保持する管理情報には、(1)属性、(2)事象、(3)動作の 3 種類がある。

管理情報は、M0 ごとに規定されるので、M0 によって多種多様なものが存在する。また、一般に同じ M0 であっても、OSI 管理システムの規模や、目的、運用状況によって管理情報が異なる。

そのため、ISO では、管理情報の体系や汎用的な定義記法(テンプレート)を検討し、標準化している。

テンプレートには、次の項目が定義される。

- ・ M0 がもつ属性の内容
- ・ 生成/消去の条件
- ・ 通知/動作などの振舞いの内容
- ・ 他の M0 との関係
- ・ M0 の名前
- ・ 各属性、通知、動作、振舞いの詳細な情報

これらの項目の中で、属性、通知、および動作の詳細な情報の定義には、ASN.1 (Abstract Syntax Notation One) [36][37]が使用されている。表 3.3 にテンプレートの種類を示す。これらのテンプレートのうち、オブジェクトクラステンプレートが、M0 の管理情報を定義しており、その他のテンプレートが管理情報の詳細を定義している。

表 3.3 テンプレート一覧

テンプレート	説明
管理対象クラス	管理対象クラスを定義する
属性	属性型を定義する
振舞い	管理対象クラス、属性操作、通知型の振舞いを定義する
アクション	動作型を定義する
通知	通知型を定義する
名前結合	M0 の名前構造を定義する
特定エラー	特定の操作、通知に関連し、かつ CMIS で規定されていない特殊な誤りを定義する
グループ属性	複数の属性をまとめ、それをグループ属性として定義する
条件付きパッケージ	属性、操作、通知などの特性のオプションのパッケージを定義する

図 3.3 にテンプレートの例を示す。この例では、Example Object Class という MO を定義するために 4 種類のテンプレートを使用している。MO テンプレートでは Example Object Class が top のサブクラスであり、管理属性として Object Name と QOS-Error-Cause をもち、可能な管理操作として CREATE と DELETE があり、発行するイベント通知として Communication Error があり、管理対象の振舞いが Example Class Behaviour に記述されていることを示している。これらの詳細な内容が、属性テンプレート、通知テンプレート、振舞いテンプレートに記述されている。

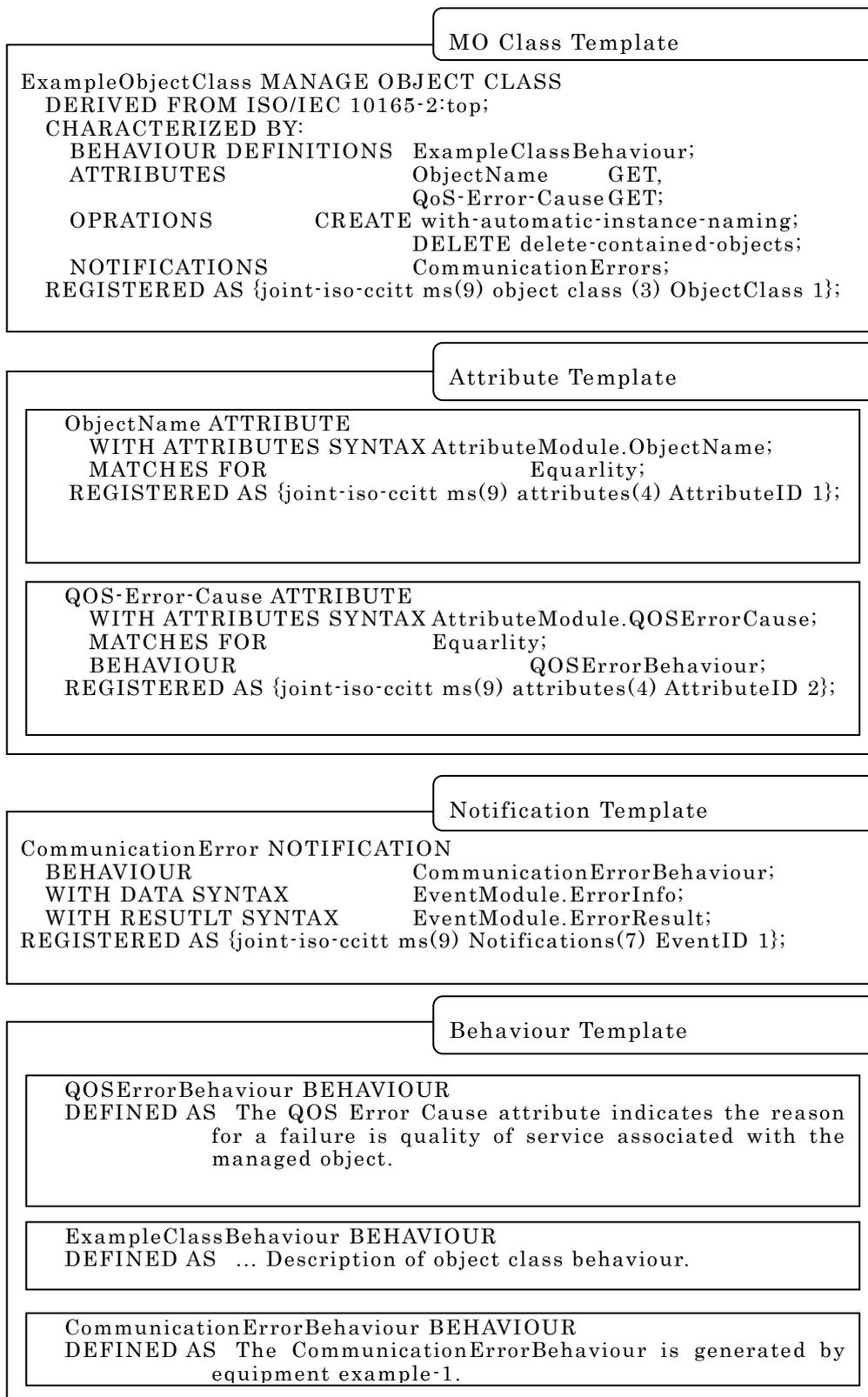


図 3.3 テンプレート例

3.3 エージェントシステム

一般に、管理情報は、ネットワークの形態や規模に応じて、MO ごとに定義されなければならない。また、MO は、管理する用途に応じてさまざまである。しかし、OSI 管理では、各プロトコル共通の管理情報を除くと、管理情報のテンプレートによる定義はあまり進んでいない。故に、OSI 管理を実現するためには、ネットワークを管理するユーザが、ネットワークの構造や管理目的によって、どんな管理情報が必要なのかを抽出し、エージェントごとに MIB およびエージェントを実現するソフトウェアを作成する必要がある。

一方、マネージャは、管理ドメインの中で通常一つであり、特定の機種専用ソフトウェアの設計を行うことが可能である。従って、OSI 管理システムの開発においては、マネージャを実現するソフトウェアよりもエージェントを実現するソフトウェアを開発する機会の方が多いと考えられる。

筆者は、OSI 管理システムを実現するには、エージェントを実現するソフトウェア(以下、エージェントシステムと呼ぶ)を効率的に開発することが、重要であると考え、エージェントシステムに必要な機能要件を抽出し、その設計と開発を行った。

3.3.1 機能要件

OSI 管理システムを実現する上で、エージェントシステムに必要な機能要件として、以下のことが考えられる。

1. 管理システムや管理機能、管理対象に依存する部分を最小にし、汎用的に利用できること。
2. MIB の作成と、MIB へのアクセスが容易なこと。
3. さまざまな管理操作に対して高性能であること。
4. 国際標準に整合していること。

上記の要件を満たすために、以下に示す設計方針に従って、エージェントシス

テムの設計を行った。

設計方針1 管理情報に依存する部分と管理プロトコルに依存する部分を分離することによって、管理目的に依存しない、汎用的なモジュール構成とした。すなわち、管理情報に依存する部分は各 MO ごとに生成し、管理プロトコル (CMIS/P) に依存する部分は汎用的に使用できるように設計した。

設計方針2 管理情報へのアクセス処理部分は、該当する管理情報のテンプレートから直接導出できるように設計した。そのための手段として、次節で述べる MINT を開発した。

設計方針3 MIB へのアクセスを高速化するために、MIB アクセスモジュールをライブラリとして実現した。このライブラリは、層管理モジュール (LM) や、管理プロトコル処理モジュールとリンクされ、MIB へのアクセス処理を行う。

設計方針4 国際標準との整合性を考慮し、OSI 管理のモデルに採用されているオブジェクト指向の手法を用いた。すなわち、MO を直接オブジェクト指向言語にマッピングし、MO に対するオブジェクト指向インタフェースを定義した。オブジェクト指向を採用するにあたって、筆者らが開発したオブジェクト指向言語 superC[35]を用いた。superC には、次の特徴がある。

- ・ superC は C 言語の拡張であり、C 言語のプリプロセッサとして実現されているので、移植性に優れている。
- ・ 継承機能をサポートしている。
- ・ 動的束縛と静的束縛の 2 組類のメッセージパインディングを用意している。

オブジェクト指向言語 superC を採用した結果、オブジェクト指向に基づいて構築した MIB との親和性を高めると共に、筆者らが現在までに superC で開発してきたソフトウェア資産を判用できるという利点がある。

3.3.2 ソフトウェア構成

上記の設計方針に従って、エージェントシステムを図 3.4 に示すソフトウェア構成として開発した。図に示すように、エージェントシステムは、SMAE と MIS ユーザを実現する SMAP ソフトウェアと MIB、および各層の層管理を行う LM ソフトウェアの三つの部分から構成される。

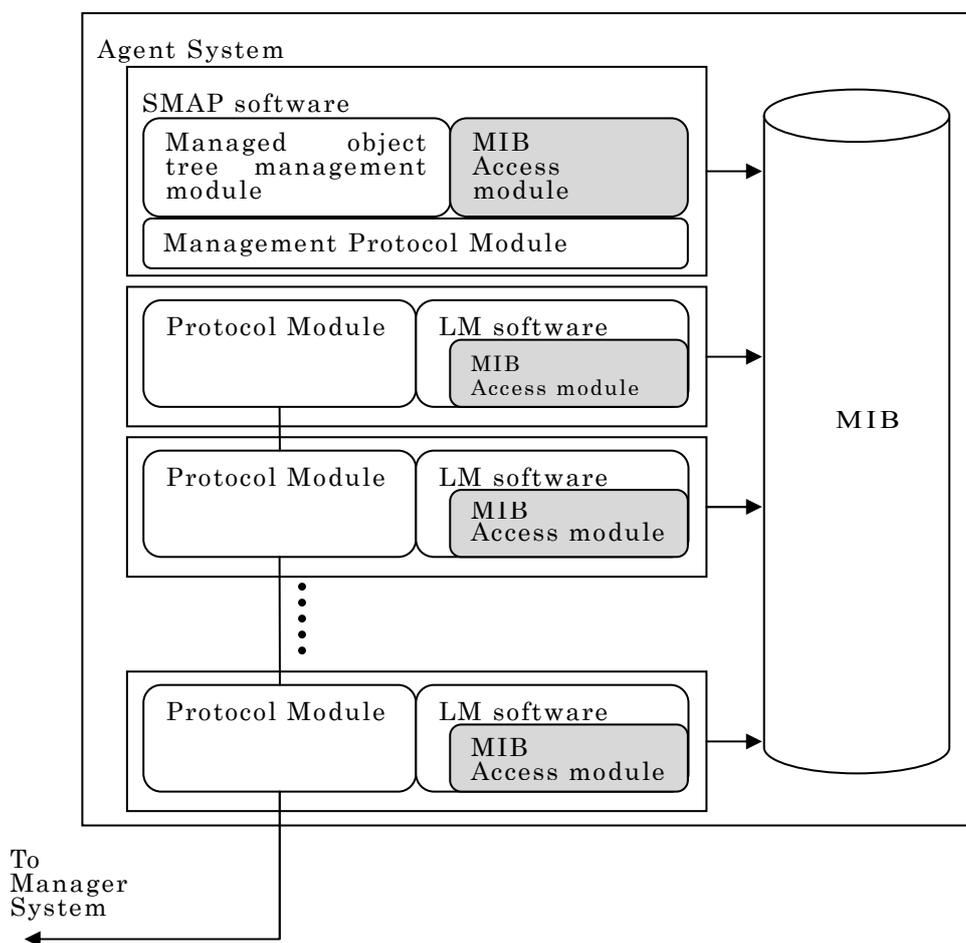


図 3.4 エージェントシステムのソフトウェア構成

更に、SMAP ソフトウェアは、3.3.1 で述べた設計方針 1 を満たすため、表 3.4 に示す三つのモジュールから構成されている。特に、MIB アクセスモジュールは、MINT の出カコードを使用しており、MIB に対してオブジェクト指向インタフェースを提供している。

開発したエージェントシステムは、DIS (Draft International Standard)版の管理プロトコルと、DP (Draft Proposal)版の SMI に準拠しており、管理プロトコルと管理情報の試験的実装を目指した。従ってエージェントシステムとしては、DP 版のすべての SMF を含み、やや冗長な構成となっている。なお、この場合の管理プロトコル処理モジュールは約 21.7K ステップ、MIB アクセスモジュールは約 51.0K ステップ、管理対象木管理モジュールは約 2.0K ステップであった。

表 3.4 SMAP ソフトウェアモジュール一覧

モジュール	説明	管理対象への依存
管理プロトコル処理モジュール	CMIS/P の機能を実現	なし
MIB アクセスモジュール	管理情報の収集、管理情報へのアクセス	有り
管理対象木管理モジュール	管理対象間の包含関係を管理	有り

MIB は、以下の理由と、設計方針 4 によって、オブジェクト指向データベースとして実現した。

- ・ 基本標準では、OSI 管理モデルは、オブジェクト指向に基づいて構築されており、MO をオブジェクト指向の概念で扱うことができる。すなわち、MO はクラスに、MO の実態はインスタンスに、MO のもつ属性はインスタンス変数に、MO への操作はインスタンスへのメッセージに対応している。従って、新たな MO の定義に対する拡張性や汎用性に優れていると考えられる。
- ・ MO 間の継承関係を処理する場合、MIB を RDB で構築するよりも、オブジェクト指向データベースで構築する方が容易であり、処理効率も良いと考えられる。

LM ソフトウェアは、設計方針 2、3 に従い、MINT の出力する MIB アクセスモジュールをリンクして作成する。従って、MIB に対しては、MINT のソースコードを利用したオブジェクト指向インタフェースを用いている。一方、LM ソフトウェアは、各層のプロトコルマシンから管理情報を収集するためのインタフェースを用意している。

3.3.3 エージェントシステムの動作

エージェントシステムは、管理アソシエーションの制御を行うと共に。MIB の管理、管理情報の収集/設定を行う。エージェントシステムにおける、主要な動作シーケンスを以下に述べる。

管理プロトコルの制御は。SMAP ソフトウェアの管理プロトコル処理モジュールが行う。管理アソシエーションは、マネージャとエージェントのいずれからでも設定が可能である。

管理情報の収集は、LM ソフトウェアが行う。LM ソフトウェアは、管理の対象となる通信レイヤから、管理情報を収集し、MIB アクセスモジュールを介して MIB の該当する MO に管理情報を設定する。

マネージャから管理情報の取得要求を受信すると、SMAP ソフトウェアの管理プロトコル処理モジュールが CMIP-PDU (Protocol Data Unit) のチェックを行い、管理対象木管理モジュールで MO の名前をチェックし、MIB アクセスモジュールを介して MIB から該当する MO の管理情報を取得し、管理プロトコル処理モジュールを介してマネージャに管理情報を通知する。

3.4 MINT

MIB アクセスモジュールと管理対象木管理モジュールは、管理情報に依存する。MIB アクセスモジュールは、管理対象の定義によって構成される。

テンプレートから MIB へのアクセス手段を提供するソフトウェアモジュールを自動的に生成するツール MINT を開発した。MINT を使うことによって、LM ソフトウェアと SMAP ソフトウェアは、管理対象の内部構造を知ることなく、MO の性質

として扱うことができる。テンプレート定義は、標準化の途上であり、変更される可能性があるので、MINT は、テンプレート定義の構文解析に、yacc/lex を使っている。このことによって、MINT は、テンプレート文法の変更に対して柔軟に対応することができる。

MINT は、テンプレートを入力すると、superC のクラス定義を出力するので、LM ソフトウェアと SMAP ソフトウェアでは、MO をテンプレートのまま扱うことができる。

MINT のソフトウェア構成を図 3.5 に示し、以下に各モジュールの機能を述べる。

- ・ 構文解析部： テンプレートファイルを読み込み、その構文を解析する。
- ・ 情報構造生成部： テンプレートの情報を木構造の形に整形する。
- ・ 情報構造論理エラー部： 情報構造に関する論理的なエラーを検出し、エラーメッセージや警告を出力する。
- ・ superC ソースコード生成部： 情報構造生成部から生成された情報から superC のソースコードを生成する。

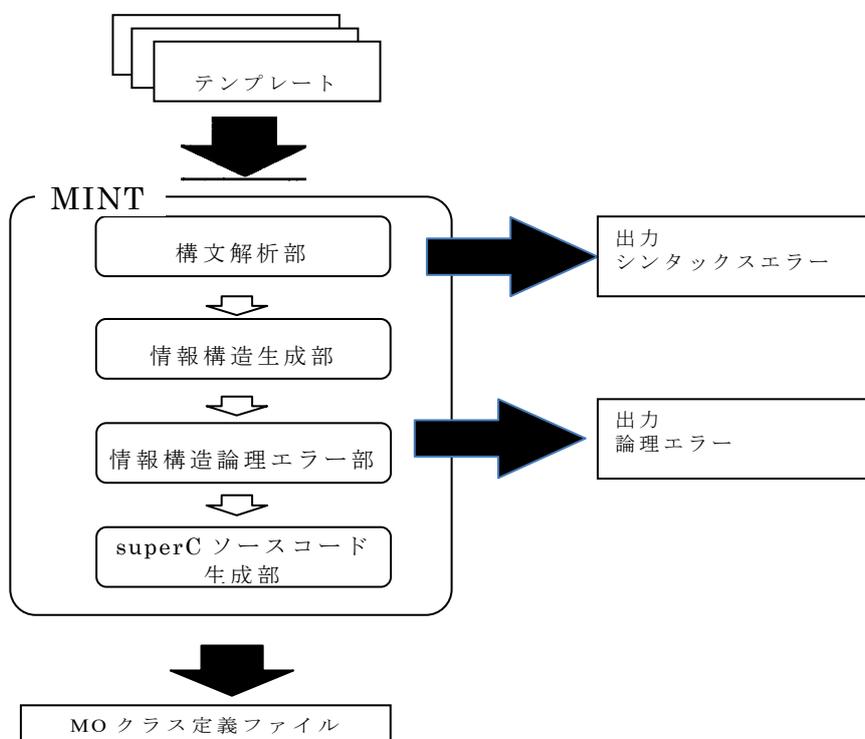


図 3.5 MINT のモジュール構成

各モジュールのサイズを表 3.5 に示す。

表 3.5 MINT のモジュールサイズ

モジュール	ステップ数
構文解析部	1400
情報構造生成部	1100
情報構造論理エラー部	200
superC ソースコード生成部	300

3.5 MINT の実現方式

図 3.6 に MINT の入出力の様子を示し、図 3.7 に、テンプレートと superC の対応関係を示す。以下、MINT によって、テンプレート定義から生成する MIB アクセスモジュールについて説明し、MINT の使用例を示す。

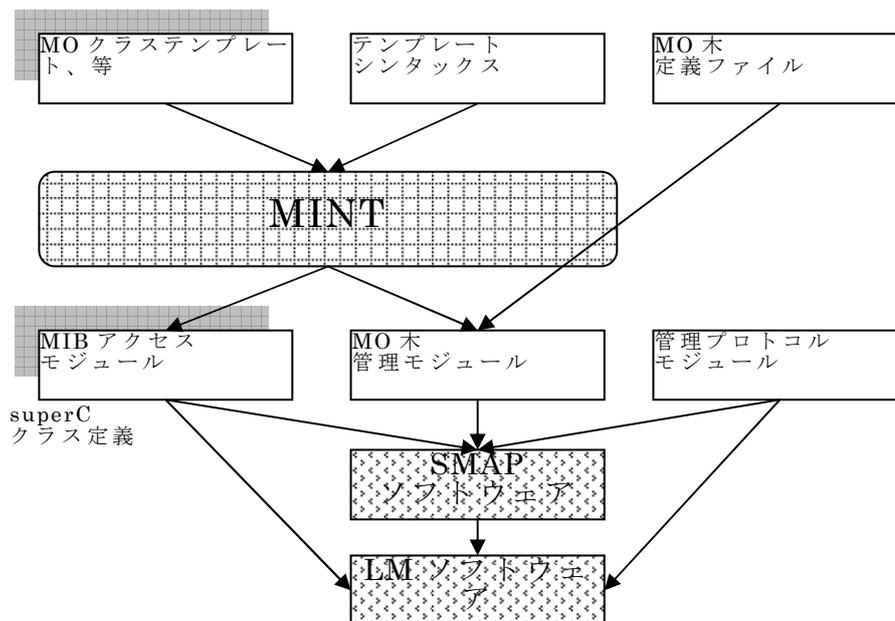


図 3.6 MINT の入出力データ

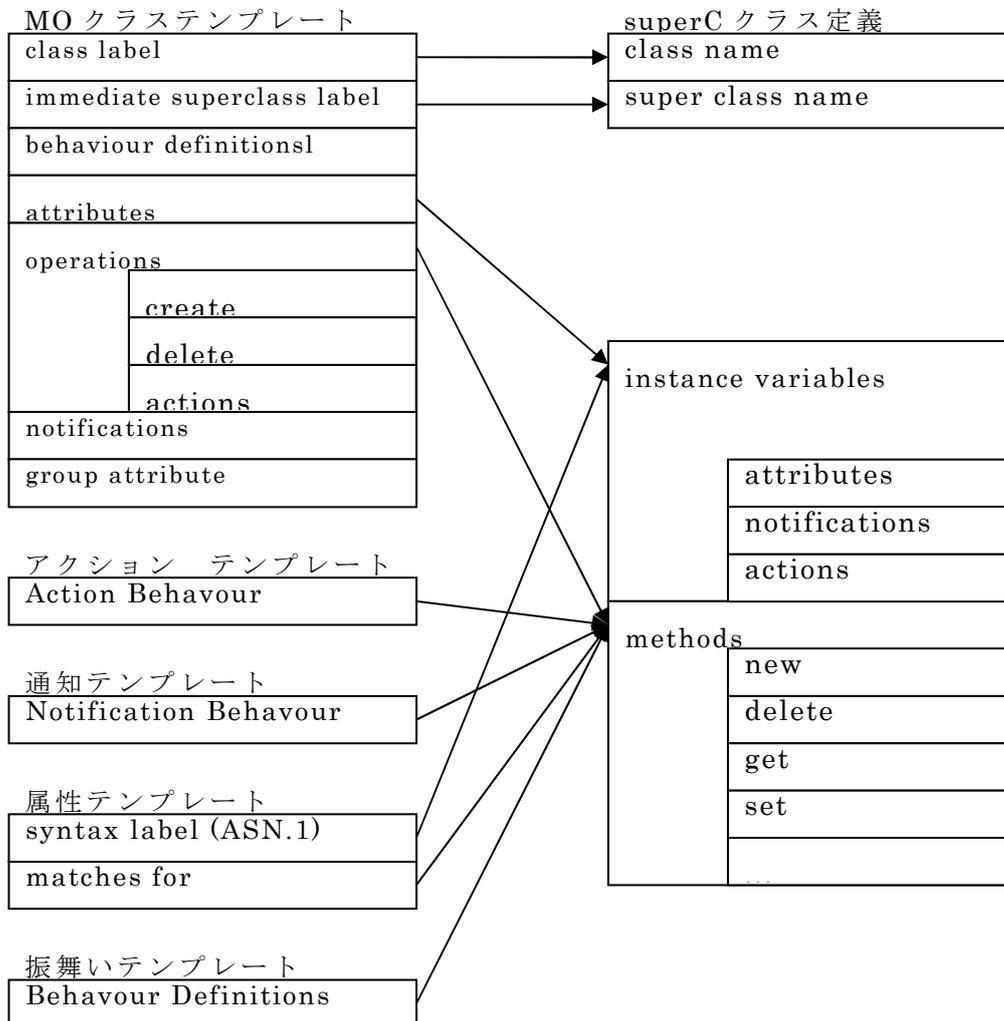


図 3.7 テンプレート定義と superC クラス定義

3.5.1 管理対象名

図 3.6 に示すように、MINT は、MO クラステンプレートごとに MIB アクセスモジュールを superC のクラス定義として出力する。MO クラステンプレートと superC のクラス定義は 1:1 に対応する。図 3.7 に示すように、MO クラステンプレートの管理対象クラス(class label)を、superC のクラス名(class name)として出力する。

3.5.2 上位管理対象クラスラベル

M0 クラステンプレートの上位管理対象クラスラベルは、そのオブジェクトクラスの上位クラスを示している。図 3.7 に示すように、MINT は、M0 クラステンプレートの上位管理対象クラス(immediate superclass label)を、superC のスーパークラス名(super class name)として出力する。

テンプレート定義では。複数の上位管理対象クラスラベルを持つことが可能であるが、superC では多重継承をサポートしていないので、MINT では上位管理対象クラスラベルを一つに限定している。この制限を無くすことが、今後の課題の一つとなっている。

テンプレート定義では、ある管理対象クラスを、その上位管理対象クラスとしても扱うことができ、これを「ポリモフィズム」と呼んでいる。しかし、superC では、この機能をサポートしていないので、MINT では、オブジェクトクラスの属性値に、上位管理対象クラスのオブジェクトクラスの値を入れることによって、ポリモフィズムを実現した。

3.5.3 管理情報

オブジェクトテンプレートに記述される管理情報にはアクション、通知、および属性がある。図 3.7 に示すように、MINT では、これらの管理情報を、superC のインスタンス変数(instance variables)として実現した。

(1) アクション

MINT は M0 クラステンプレートの動作ラベルから動作テンプレートを検索し、動作の型や引数に関する情報を、superC のインスタンス変数とし出力する。動作を実行するときは、SMAP ソフトウェアがマネージャからの動作要求の内容をインスタンス変数に設定し、LM ソフトウェアがこれを読み出して動作を実行するようにした。

(2) 通知

事象報告管理機能には、ディスクリミネータによってシステム内部の事象をフィルタにかけ、マネージャに必要な事象だけを報告する機能がある。MINT は、この機能を実現するために、属性ラベルだけでなく、事象報告に必要な属性もインスタンス変数として出力する。

(3) 属性

MINT は、オブジェクトクラステンプレートの属性ラベルから属性テンプレートを検索し、属性の ASN.1 型に応じた C 言語の型をもつデータを、superC のインスタンス変数として出力する。

属性の構文は、ASN.1 で定義されているので、MINT では、筆者が開発した ASN.1 ツール APRICOT[38]を利用し、その出力データを、インスタンス変数として出力する。

3.5.4 M0 への操作

図 3.7 に示すように、MINT では、M0 の生成と削除、管理情報の獲得と設定を superC のメソッドとして実現した。各メソッドの処理概要を以下に示す。

(1) M0 の生成メソッド

M0 を生成する際に、次の処理を行う。

- ・ 初期属性値を設定する
- ・ M0 クラステンプレートの生成ラベルで参照オブジェクトが指定されたときは属性値をコピーする
- ・ 上位管理対象クラスインスタンスを生成すると共に初期属性値を設定する
- ・ M0 生成通知の事象報告属性を設定する

(2) M0 の削除メソッド

M0 を削除する際に、次の処理を行う。

- ・ 上位管理対象クラスインスタンスを削除する
- ・ M0 削除通知の事象報告属性を設定する
- ・ 自 M0 を削除する

(3) 管理情報の獲得メソッド

管理情報を獲得する際に、次の処理を行う。

- ・ 指定された属性や事情、動作に応じたインスタンス変数にアクセスし、属性値を返す
- ・ フィルタ指定があるときは、フィルタを解析し、適合した属性値だけを返す

(4) 管理情報の設定メソッド

管理情報を設定する際には、次の処理を行う。

- ・ 指定された属性や事象、動作に応じたインスタンス変数にアクセスし、属性値を返す
- ・ 属性設定の場合、属性ラベルのプロパティリストを検索し、書込み許可を調べる

なお、属性設定の結果、事象報告が発生する場合があるので、属性値の設定は LM ソフトウェアが行い、事象報告は SMAP ソフトウェアが行うようにした。LM ソフトウェアが属性を投定した結果、事象報告の必要があるときは、インスタンス変数である事象属性値に反映させ、LM ソフトウェアから SMAP ソフトウェアに事象報告の発生を通知する。この通知を受け取った SMAP ソフトウェアでは、当該インスタンス変数にアクセスし、ディスクリミネータによるフィルタリングを行い、マネージャに対して事象報告を行う。

事象報告については、振舞いテンプレートに属性と事象の関係が自然言語で記述されるが、筆者は、簡単なシンタックスを追加することにより属性と事象の関係を記述するようにした。

3.5.5 管理対象木管理モジュール

管理対象木管理モジュールは、MO 間の包含関係を管理し、以下の機能をもつ。

- ・生成した MO 間の包含関係を管理する
- ・MO の自動名前付けを行う
- ・CMIP のスコープパラメタを解析する

管理対象木管理モジュールは、包含木を定義したファイルと名前結合テンプレートから生成する。

3.5.6 MINT の評価

MINT の有効性を評価するために、実際に MO の管理情報をテンプレートに記述し、MINT を利用してコードを生成した。表 3.6 にテンプレートのステップ数と生成したステップ数の対応を示す。

表 3.6 MINT の入出力ステップ数

テンプレート	管理情報	テンプレート ステップ数	生成コードステップ数
Top	1	10	321
Application Process	6	28	340
Connection	2	11	340
Association	3	27	340
Entity	1	5	321
CoEntity	3	21	327
Transport Entity	2	11	327

テンプレートの種類によらず、ソースコードのステップ数がほぼ一定になっている理由は、MINT の生成するソースコードが、属性や週知などの管理情報をポイ

ンタの形式でもつため、管理情報の大小にほとんど影響を受けないからである。

このように、MINTを使用することによって、テンプレートに必要な情報を簡便に記述するだけで、容易にアクセスルーチンを生成することが可能となった。更に、今回の実装では、表 3.6 に示すように、ステップ数の単純比較で、10～65 倍の効率で、アクセスルーチンを生成できた。

この事例以外でも、ほぼ同等の結果が得られており、MO が今回使用したテンプレートよりも多くの管理情報を含む場合にも。MINT は有効であると考えられる。

第4章 分散 LAN ドメインの広域接続による統合管理

4.1 はじめに

計算機の高性能化や低価格化による PC やワークステーションの普及、イーサネット、FDDI や各種中継機器などの LAN (Local Area Network) ハードウェア技術の進歩と、UNIX ワークステーションを中心とした TCP/IP などの普及により、事業所内の LAN に複数の計算機を接続して資源共有や処理の分散実行を行う、いわゆる分散処理形態が急激に浸透しつつある。またこのような形態は、各事業所に分散配置された LAN の広域網で接続して、全社的なネットワークシステムの構築を行うことにも発展しつつある。このように複雑で大規模なネットワークシステムを安全かつ効率良く運用するには、ネットワークおよびシステムの管理、特に異機種間の管理が非常に重要な技術となりつつある。

異機種間の接続のためには、ISO/IEC JTC1 (International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission Joint Technical Committee one) や CCITT (Consultative Committee for International Telegraph and Telephone) で、OSI (Open Systems Interconnection) の標準化作業を行っており、システム管理のための OSI 管理に関しては、OSI 応用層サービスの一つとして、アーキテクチャ、プロトコル、管理情報、管理情報規定のための記法など各種の標準化を行っている。OSI 管理では、オブジェクト指向の概念に基づいてモデルを構築しており、管理プロトコルと管理情報の両面から標準を規定している。しかし、管理情報については、System などの汎用的なものや、サポートオブジェクトと呼ばれる OSI 管理自体を実現するためのものしか規定していないため、実際のシステム構築に当たっては管理の対象となるネットワーク、システム、機器ごとに管理情報を新たに規定する必要がある。その意味で、OSI 管理はまだ試みに実装したものの相互接続実験が行われている段階である。また、NMF (Network Management Forum) などの業界標準団体では OSI 管理で規定されていない実際的な管理情報を規定する動きがある。

一方、LAN の管理としては、IAB (Internet Activities Board) 下の IETF

(Internet Engineering Task Force) で規定された SNMP (Simple Network Management Protocol) が、各種のワークステーション、ブリッジ、ルータに実装されるなど業界標準としての地位を築きつつある。SNMP はその名が示すとおり簡潔さが特徴であり、実装が容易な反面、大規模なシステムの管理に向いていないという欠点がある。

OSI 管理は、多種多様なネットワーク資源を管理するためのアーキテクチャとして、オブジェクト指向の概念を用いており、その実現方法として、管理情報定義記法(テンプレート)を中心とした開発環境や管理情報データベースの構築方法について研究が行われている [40][41][42]。しかし、実際のネットワーク資源に対する管理を、国際標準や業界標準で規定された管理情報を継承しつつ設計する方法について論じられたものがなく、管理情報の設計がネットワーク管理システム開発者に大きな負担となっている。一方、既存の管理システムの OSI 管理への移行策として、既存の管理装置を OSI 管理で階層管理するアーキテクチャもいくつか発表されている [43][44][45]。しかし、OSI 管理による階層管理において、プロトコルの変換方法や、既存管理装置における管理情報の、OSI 管理情報スキーマへの写像方法について論じられたものはない。

分散された LAN ドメインを管理するために、OSI 管理と SNMP による管理を、両者の長所を活かすように組み合わせた階層管理アーキテクチャを考案した。このアーキテクチャの特徴は、各個別 LAN 機器で収集された管理情報を、OSI の管理情報スキーマに基づく形で統合し、OSI 管理の世界で共通の管理情報の集合として抽象化した点である。また、このアーキテクチャに基づいて分散 LAN ドメインを管理するシステムを設計、開発した。本論文では、このアーキテクチャと、実現したシステムについて報告する。以下、4.2 節では OSI 管理と SNMP による管理の長所を述べると共に、それらを比較検討する。4.3 節では、その結果から、OSI 管理と SNMP による管理の長所を活かす階層管理アーキテクチャを提案し、そのアーキテクチャに基づくシステム構築のために管理プロトコルの写像方法や管理情報の統合方法について議論する。4.4 節では、システム開発を通してのアーキテクチャと実現システムの評価を行う。

4.2 OSI 管理と SNMP による管理

本節では OSI 管理と SNMP による管理の紙裂を述べるとともに、それらの特徴を比較し、4.3 節で提案するアーキテクチャのための根拠を提供する。

4.2.1 OSI 管理の概要

OSI 管理のモデルは、ネットワーク資源である管理対象(以下、MO: Managed Object と呼ぶ)を含む被管理システム(エージェント)と、それらを管理する管理システム(マネージャ)から構成され、マネージャがエージェントを介して MO を管理する。ここで MO とは、ネットワークの管理目的に応じて定義されるものであり、具体的にはシステムや、エンティティ、コネクションなどのネットワーク資源をネットワーク管理の観点から抽象化したものである。MO は、管理の対象となるネットワーク資源ごとに存在し、その管理情報を蓄積する。エージェントは、システム内の MO の集合を、包含関係を木構造で表現した MIB (Management Information Base) という形で保持しており、マネージャからの要求に応じて、MO にアクセスする。図 4.1 に OSI 管理のモデルを示す。

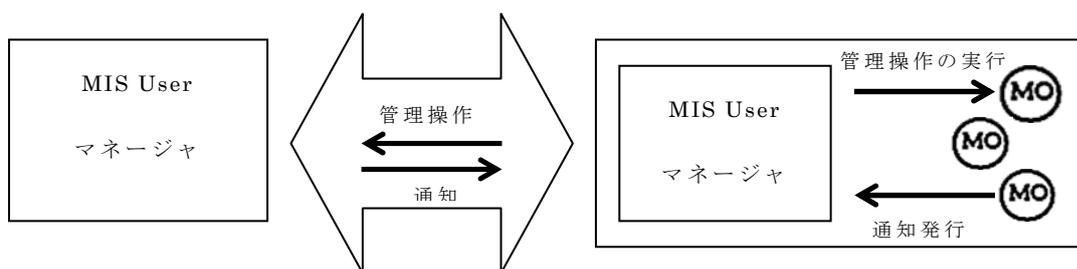


図 4.1 OSI 管理モデル

マネージャとエージェントで交換される各 MO の管理情報を交換するためのプロトコルは、CMIP (Common Management Information Protocol) として規定され

ている[47]。管理情報の獲得と設定、事象の報告、管理対象の生成と削除などのサービスなどが CMIP を通して提供される。

M0 に関係する管理情報には、以下の 3 種類がある。

- (1) 属性： 状態やカウンタなど、M0 内に蓄積される情報である。この情報は、マネージャから獲得、あるいは設定される。
- (2) 事象： 状態変更や警報報告など、M0 から自立的に発生する情報である。この情報は、エージェントからマネージャに報告される。
- (3) 動作： 診断試験やリセットなど、M0 に対して行われる操作である。この情報は、マネージャからエージェントに指示される。

OSI 管理における M0 の規定は、オブジェクト指向の概念を採用している。すなわち、ある型の管理情報を持つ管理対象が実際のネットワーク資源ごとに存在することを、クラスとインスタンスの関係で表現している。また、ある管理対象が持つ管理情報は他の管理対象が持つ管理情報を継承することが可能である。例えば、ネットワークコネクションという管理対象の持つ管理情報は、コネクションという一般的な管理対象の持つ管理情報を継承し、さらにネットワークコネクション特有の管理情報を付加したものとなっている。

管理情報は、M0 ごとに規定されるので、M0 によって多種多様なものが存在する。また、一般に同じ M0 であっても、OSI 管理システムの規模や、目的、運用状況によって管理情報が異なる。そのため、ある管理対象が持つ管理情報の種類やシンタックスを規定するための記法として、テンプレートを標準化している。テンプレートには、次の項目が定義される。

- M0 の名前
- 管理情報を継承する M0
- M0 が持つ属性の内容
- 生成/消去の条件

- 通知/動作などの振舞いの内容
- 各属性、通知、動作、振舞いの詳細な情報

これらの項目の中で、属性、通知、および動作の詳細な情報の定義には、ASN.1 (Abstract Syntax Notation One) [50]が使用されている。

4.2.2 SNMP による管理の概要

SNMP は、TCP/IP 上 (正確には UDP/IP 上) で動作するネットワーク管理プロトコルである。SNMP における管理も、エージェントシステムが管理情報を MIB という形で保持し、マネージャとの間で管理情報を管理プロトコルで交換するというモデルは、OSI 管理のそれと同様である。管理プロトコルが、SNMP であり、OSI 管理における CMIP と同じ位置づけのものである。管理情報に関しては、OSI 管理のような管理対象という概念はなく、情報処理装置やブリッジなど LAN 機器の積類ごとに、収集すべき管理情報をテーブルの形で規定している。管理情報はほとんどが属性であり、事象については発生した事象の種類だけが規定されている。動作についての規定は無い。管理情報のシンタックスについては、OSI 管理と同様 ASN.1 を採用している。また、SNMP による管理は、事象の報告機能が貧弱であるため、マネージャからの周期的なポーリングを行うことによって実現されるのが通常である。

SNMP は、すでにほとんどの LAN 機器が TCP/IP をサポートしており、そのアーキテクチャ上に実装できること、プロトコルの機能が簡潔なプロトコルであるためエージェントへの動作負荷が軽いこと、管理情報が LAN 機器の種類ごとに明確に規定されていることなどの理由から、TCP/IP を利用する LAN の管理プロトコルとして急激に普及しつつあり、業界標準としての地位を築きつつある。

4.2.3 OSI 管理と SNMP による管理の比較

本節では、いくつかの観点から OSI 管理と SNMP による管理を比較し、それぞれの特徴を抽出する。

表 4.1 に比較結果の一覧を示す。

表からわかるように、OSI 管理はかなり汎用的なモデルとアーキテクチャに基づいて構築されているため、汎用性、拡張性に富み、ある程度複雑な管理情報を保持するエージェントを管理可能である反面、エージェントごとに管理情報を規定する必要があり、単純な管理情報を持つエージェントの管理にはオーバーヘッドが大きく不向きである。一方、SNMP による管理は、LAN の各機器ごとに管理情報が規定されており、特に新たな規定をしなくても容易に管理を実現できる反面、固定的な管理情報テーブルがベースなので、エージェント内で複雑な管理情報操作が不可能である。

表 4.1 CMIP と SNMP の比較

比較項目	CMIP	SNMP
(1)管理プロトコル	CMIP	SNMP
コネクション確立/解放	有 ACSE を利用	無
管理情報の生成/消滅	有	無
管理情報の獲得	有 複数の管理情報を対象に条件指定が可能	有
管理情報の設定	有 複数の管理情報を対象に条件指定が可能	有
事象報告	有 重要度など付加情報有り	有 事象の型のみ
管理動作	有	無
(2)管理情報	OSI-SMI	I AB-SMI
管理情報の規定	MO ごとに規定	3、4層のプロトコルごとに規定
管理情報の構造	包含木に基づく木構造	フラットなテーブル構造
管理情報の生成	動的に生成/消滅	静的に固定
管理情報の記法	ASN.1 のフルセットで記述	ASN.1 のサブセットで記述
(3)管理機能	管理目的に応じて、状態管理、関係管理、警報報告、機密警報報告などの各種管理機能を標準化 (ISO-SMF)	規定無し。 主な機能は監視
(4)管理方法	事象報告ベースの管理	ポーリングベースの管理

4.3 統合管理方式の設計

本節では、4.2 節で述べた OSI 管理と SNMP の比較結果に基づき、LAN ドメインを階層管理するアーキテクチャについて述べる。

4.3.1 LAN 統合管理アーキテクチャの提案

SNMP は、4.2 節でも説明したように、単一 LAN ドメインを監視するための簡便な機能を備えている。LAN 管理装置が SNMP によって、単一の LAN ドメインを監視する例を図 4.2 示す。

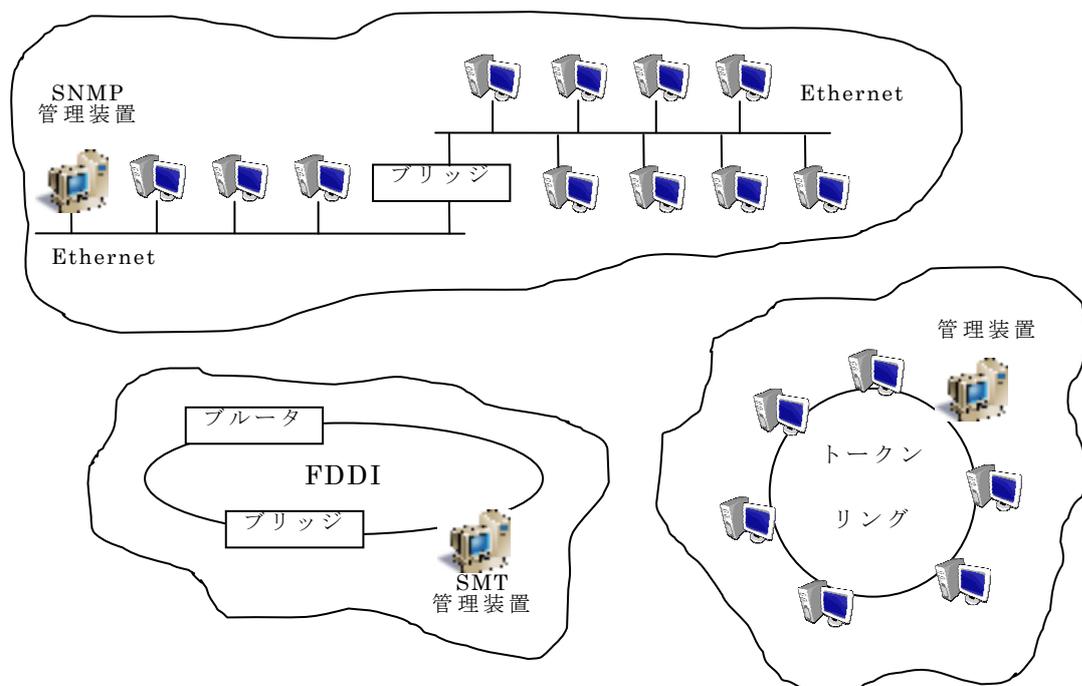


図 4.2 従来の LAN 管理システム

しかし、近年の LAN を取り巻く状況では、複数の LAN ドメインが公衆回線網等によって相互接続され、より大きなネットワークが構築され始めている。このような状況では、LAN 管理の階層化技術が必要になってくる。階層化技術としては、表 4.2 に示す四つの実現方式が考えられる。

表 4.2 統合管理方式の比較

方式	統合マネージャ～ ドメインマネージャ間	ドメインマネージャ～ 末端 LAN 機器間
方式 1	SNMP	SNMP
方式 2	SNMP	CMIP
方式 3	CMIP	SNMP
方式 4	CMIP	CMIP

方式 1 は、ドメインマネージャにおいて SNMP と CMIP を変換しないので、処理が単純である。しかし、SNMP は、4.2 節で述べたとおり、大規模なネットワーク管理とマネージャ間通信には不適當である。

方式 2 と方式 4 は、末端の LAN 機器に OSI を実装する必要があり、現実的ではない。したがって、大規模なネットワークを管理でき、かつ既存の末端 LAN 機器を変更することなく利用できる方式 3 を採用することにした(図 4.3 参照)。

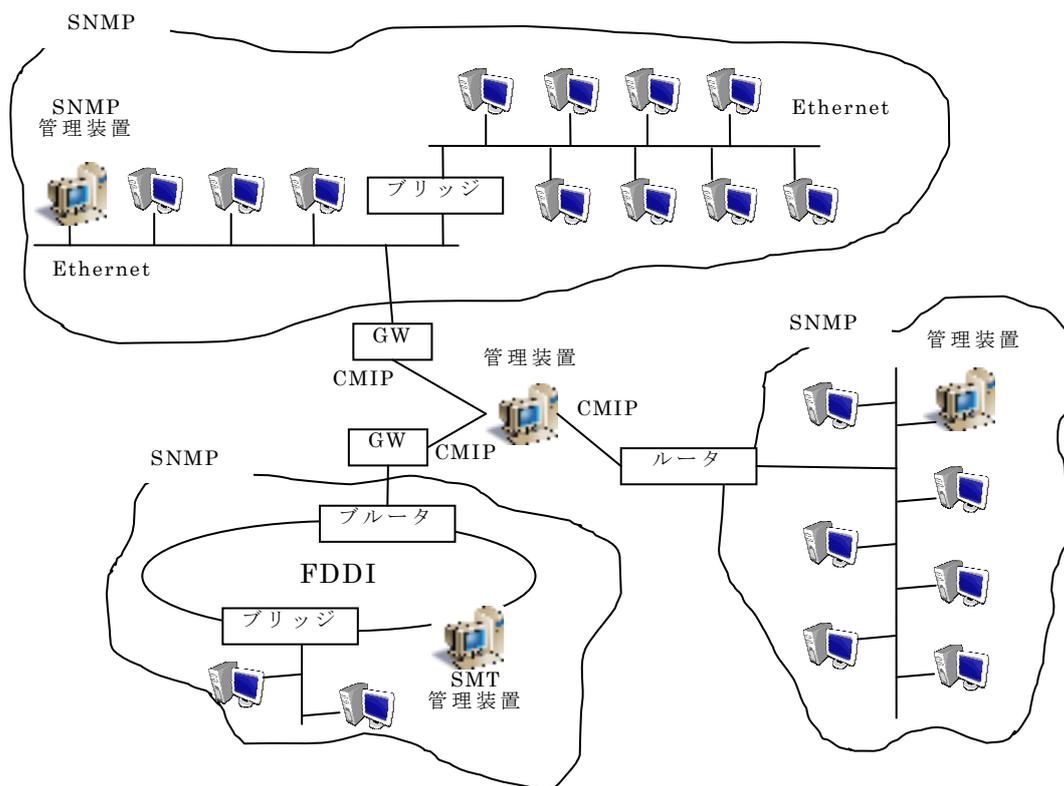


図 4.3 OSI による LAN 統合ネットワーク管理システム

4.3.2 統合管理アーキテクチャにおける管理情報の抽象化

ネットワークを管理するためには、管理情報スキーマを設計し、管理情報データベース (MIB: Management Information Base) を構築する必要がある。すなわち、管理情報スキーマとして、次のことを決定する必要がある。

- エージェントの名前の付け方 (包含本)
- エージェントの管理情報 (継承水)
- M0 クラスに対するオブジェクト識別子の付与方法 (登録木)

OSI 管理で扱う管理情報体系は、OSI-SMI (Structure of Management Information) に従っており、テンプレートに記述される。

一方、SNMP で扱う管理情報体系は、IAB-SMI に従っており、基準管理情報が MIB-II として定義されている。SNMP を実装したエージェントは、この形式に従った管理情報を保持している。

このように、管理情報を記述する方式が 2 種類存在するが、統合的に管理する

ためには、管理情報の記述方式は1種類であることが望ましい。

ドメインマネージャと末端 LAN 機器間では、すでにデ・ファクトとなっている IAB-SMI 形式の MIB-II と、各種の企業拡張 MIB を処理する必要があるが、MIB-II については、すでにテンプレートで記述した管理情報を提供されている。また、IAB-SMI 形式とテンプレートの記述力を比較した場合、以下の点において OSI-SMI (テンプレート) の記述力が優れている。

- OSI-SMI では、オブジェクト指向モデルに基づいて管理対象をモデル化しているが、IAB-SMI では、管理対象のモデル化の基準が明確になっていない。
- OSI-SMI では、管理対象の名前付けに関するテンプレートが用意されているが、IAB-SMI では、名前付けに関する規則をできない。
- OSI-SMI では、管理情報として、属性、通知および動作の3種類を規定しているが、IAB-SMI では、属性しか定義していない。

上記のように、OSI 管理で規定しているテンプレートは、Internet の定義方法に比べて管理対象の記述力が高いため、統合管理の標準フォーマットとしてテンプレートを採用した。

また、M0 クラスの追加。変更柔軟に対処するため、テンプレート処理を可能にした。

さて、新規 M0 クラスを追加する場合を考える。この場合、マネージャの対処方法として、次の二つが考えられる。

- ① 動的スキーマ方式： M0 クラスを新規に追加するごとに、新しくテンプレートを登録する。スキーマを動的に変更する方式。
- ② 動的スキーマ方： M0 クラスを新規に追加しでも、既存のテンプレートにマッピングする。スキーマを固定する方式。

動的スキーマ方式では、管理情報を変更させる度に、統合マネージャとドメインマネージャを変更する必要があり、運用時に難点がある。

静的スキーマ方式では、統合マネージャがドメインマネージャが加工した管理情報を扱うため、情報の正確さが犠牲になるが、管理情報の変更に対して統合マネージャを変更せずに運用できる利点がある。

よって、筆者は、運用性を重視して静的スキーマ方式を採用した。静的スキーマを決定するに当たって、以下の点に留意した。

- (1) ISO や CCITT 等の国際基準、および NMF 等の業界基準に準拠することとした。すなわち、クラスや、属性、通知、助作定義については、できるだけこれらの団体の定義を利用し、直接的に利用できないものでも、これらの団体の定義を継示することにした。
- (2) LAN だけでなく、より汎用的にさまざまなネットワークに対応できること。

(1)については、OSI と CCITT、NMF のスキーマに細かい差異があるので、すべてに準拠するのは困難である。生じた差異を吸収するため。以下のような方針を取った。

- ISO/CCITT の包含木では、system クラスが最上位クラスとなるが、CCITT M. 3100[56]、NMF[57]では、必ずしも system クラスが最上位である必要がない。そのため、system クラスをエージェントシステムと見なし、system クラスを最上位クラスとすることにした。
- 各団体ごとに同一の属性、同一のクラスについて、別々のオブジェクト識別子を割り振っていることがあるので、採用するオブジェクト識別子の優先順位を次のように決めた。(1) ISO/CCITT、(2) CCITT M. 3100、(3) NMF OMNI POINT 1、(4) NMF Release 1

(2)については。計算機やルータなどのさまざまなネットワーク機器を装置クラスとして定義し、一様に扱った。また、論理的な装置の構成物として、ユニットクラスとカードクラスを定義し、後続情報を表すため、ポートクラスを定義した。また、ネットワークを識別するため、CCITT M. 3100 の network クラスを利用することとした。

このようにして、静的スキーマに従って管理情報を図 4.4、図 4.5 のように定義した。

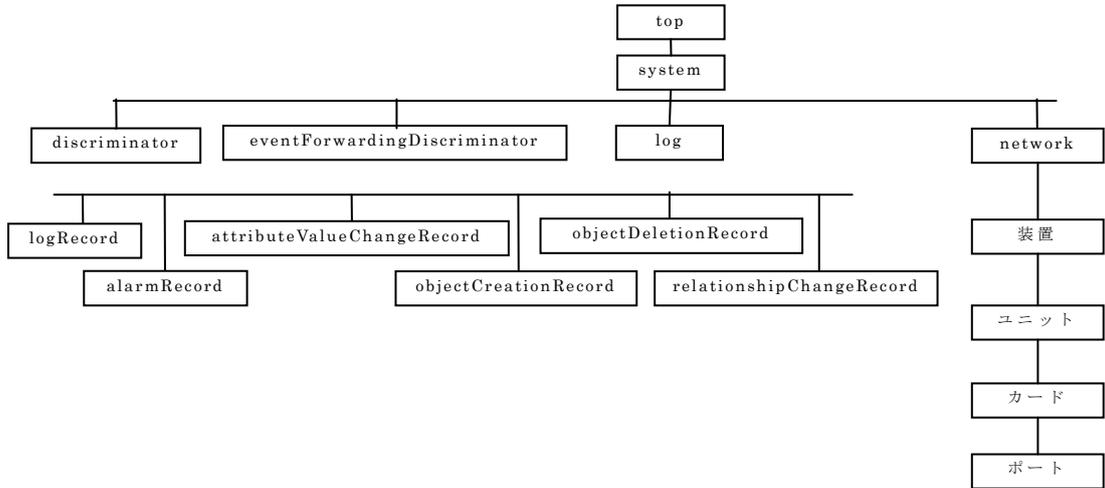


図 4.4 包含木

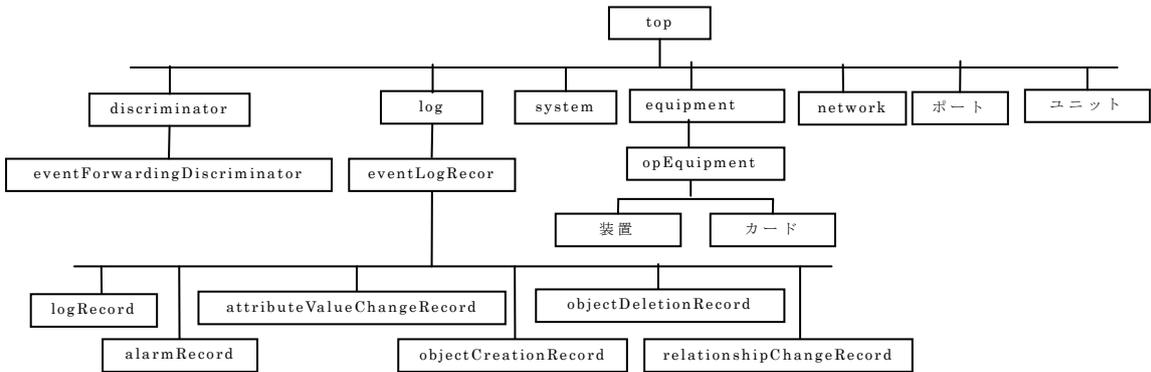


図 4.5 継承木

マネージャが階層化された場合、ドメインマネージャのデータベースにどのような管理情報を絡納するかが問題となる。

筆者は、クラスの種別によって、管理情報の絡納場所が決定されると考えた。

すなわち。トラフィック量などの時々刻々と変化する情報は、末端の LAN 機器に管理情報が存在するので、ドメインマネージャの MIB に絡納する必要が少ない。

一方、装置の設置場所などの静的情報は、ドメインマネージャのデータベースに絡納した方が管理トラフィックの面からみて通信効率が良い。

ゆえに、クラス種別によってデータの格納場所を指示するためのテーブルを作成した。

4.3.3 統合管理アーキテクチャにおけるプロトコル変換

ドメインマネージャにおいては、CMIP と SNMP のプロトコル変換を行う必要がある。SNMP は、CMIP のサブセットに近いのでほぼ 1:1 にマッピングすることができる。CMIP で規定されている管理操作と SNMP で規定されている管理操作のマッピング結果を表 4.3 に示す。

表 4.3 オペレーションのマッピング

入力管理操作	マッピングした管理操作	備考
<i>m_Get_ind</i>	GetResponse	管理情報の獲得の要求
GetResponse	<i>m_Get_rsp</i>	管理情報の獲得の応答
<i>m_Set_ind</i>	SetRequest	管理情報の設定の要求
GetResponse	<i>m_Set_rsp</i>	管理情報の設定の応答
<i>m_Action_ind</i>	SetRequest	動作の要求
GetResponse	<i>m_Action_rsp</i>	動作の確認
<i>m_Create_ind</i>	なし	管理オブジェクトの生成要求
なし	<i>m_Create_rsp</i>	管理オブジェクトの生成確認
<i>m_Delete_ind</i>	なし	管理オブジェクトの削除要求
なし	<i>m_Delete_rsp</i>	管理オブジェクトの削除応答
<i>m_Cancel_Get_ind</i>	なし	<i>m_Get</i> の破棄要求
なし	<i>m_Cancel_Get_rsp</i>	<i>m_Get</i> の破棄確認
<i>a_Associate</i>	なし	管理アソシエーションの設定
<i>a_Release</i>	なし	アソシエーションの正常解放
<i>a_Abort</i>	なし	アソシエーションの異常解放

(注) イタリック : CMIP、その他 : SNMP

管理機作のマッピングのうち。管理情報の取得時と事象報告書の CMIP と SNMP 間の操作パラメタのマッピングを検討した結果を表 4.4 に示す。マッピング結果の評価を表中の評価欄に示す。評価欄の数字は、(A) CMIP と SNMP のマッピングテーブル、(B) パラメタ他の新たな付与、(C) 複数の副要求の生成、(D) 無視が必要なことを示す。

表 4.4 CMIP と SNMP のマッピング

入 力	出 力	評価
Trap	m_EventReport	
version	-	(D)
community	-	(D)
enterprise	ManagedObjectClass	(A)
agent-addr	ManagedObjectInstance	
generic-trap	EventType	(A)
specific-trap		
time-stamp	EventTime	(A)
variable-bindings	EventInformation	(C)
-	InvokeID	(B)
-	Mode	(B)
m_Get_req	GetRequest	
-	version	(B)
-	community	(B)
InvokeID	request-id	(A)
BaseObjectClass	-	(A)
BasePbjectInstanse	-	(A)
Scope	-	(C)
Filter	-	(C)
AccessCintrol	-	(C)
Synchronization	-	(C)
AttributeIDList	variable-bindings	(A)
-	error-status	(B)
-	error-index	(B)

マッピング結果を評価した結果、ドメインマネージャが保持すべき管理情報として次のものが考えられる。

(1) CMIP/SNMP のマッピングテーブル

(i) 属性の変換

CMIP で扱う管理属性は、OSI-SMI に従っているが、SNMP で扱う管理属性は IAB-SMI に従っている。したがって、両者の属性変換が必要となる。

属性構文は、両者とも ASN.1 で記述されているが、同一の属性について、OSI-SMI と IAB-SMI で値の意味やシンタックスの異なる例がある。例えば、OSI-SMI の `operationalState` 属性 (ENUMERATED 型) の `disable(0)` を、IAB-SMI の `ifOperStatus` 属性 (INTEGER 型) の `down(2)` に対応させる場合、両者の値もシンタックスも異なっている。

また、属性の構造が SEQUENCE 型等で表される場合、属性のオブジェクト識別子を単純にマッピングすることができない。すなわち、

$$\text{OSI-SMI:ISO-SMI} = m:n \quad (m, n \text{ は自然数})$$

の場合がある。例えば、以下のような ASN.1 構文を持つ Traffic 属性を定義したと仮定すると、Traffic 属性の `input` と `output` のそれぞれについて、IAB-SMI の `ifInOctets` 属性と `ifOutOctets` 属性を対応させることができるので、変換処理が複雑になる。

```
Traffic ::=SEQUENCE { input [1] INT,  
                        output [2] INT }
```

さらに、SNMP で属性にアクセスするには、属性のオブジェクト識別子の末尾に属性のインスタンス名 (`ifIndex` など、属性によって数パターンが存在する) を付加する必要があるため、属性変換テーブルには、SNMP におけるインスタンス名のパターンも記述する必要がある。したがって、筆者は属性をマッピング

するための情報として、属性識別子だけでなく、属性の構造シンタックス、属性値、属性の変換規則フラグ、および属性の取得方法指示フラグを記述した。属性の変換規則フラグによって、シンタックスや属性値の変換が指示され、属性の取得方法指示フラグによって、IAB-SMI へのアクセス方法が指示される。

(ii) 名前の変換

SNMP における管理情報の名前の付け方は、IP アドレス+属性のオブジェクト識別子(オブジェクト識別子)+インスタンス名である。一方、CMIP における名前付けは P-Address+クラス(オブジェクト識別子)+インスタンス(識別子)であるため、CMIP/SNMP 間で名前の変換が必要である。ドメインマネージャが LAN 機器を発見したときは、SNMP の GetNextRequest によって名前付けに必要な情報を収集して、LAN 機器を識別する名称を決定する。統合マネージャとドメインマネージャ間の名称体系の整合性を保つため、統合マネージャから末端 LAN 機器の動的な生成を禁止し、ドメインマネージャに末端 LAN に関する名前付けを独占させるように設計した。ただし、ディスクリミネータやログについては、統合マネージャから生成可能であり、名前付けも可能にした。

(iii) 通知の変換

CMIP の EventType は、オブジェクト識別子で表されているが、SNMP の generictrap (specifictrap)は整数で表されている。また、Trap に含まれる事象発生時刻の単位は TimeTicks であるが、EventReport では GeneralizedTime である。その上、端末 LAN 機器とドメインマネージャ間で時刻の不整合も考えられる。筆者は、CMIP/SNMP の通知を変換するために、通知識別子変換テーブルを用意すると共に、Trap の事象発生時刻がドメインマネージャの受信時刻と大幅に食い違うときは、ドメインマネージャの受信時刻を EventReport の事象発生時刻に設定するようにした。

(iv) パラメタの変換

CMIP のエラーコードはオブジェクト識別子で述べられているが、SNMP では整数で表されている。CMIP/SNMP のエラーを変換するために、エラー識別子変換テーブルを用意した。

(v) 動作の変換

CMIP には M_Action オペレーションが存在するが、SNMP には該当するオペレーションが無い。したがって、ActionType ごとに SNMP のオペレーションに変換を行う必要がある。筆者は、M_ACTION は SNMP の SetRequest に変換できると考えて、動作の変換処理を検討した。その結果、(A-1)で述べた属性の変換処理と同一であることがわかった。すなわち、ActionType は AttributeID に対応し、ActionIntro の ASN.1 構文処理は、属性の変換処理と同様なので、動作の変換処理と属性の変換処理を共通化した。

(2) パラメタ値の新たな付与

入力側では存在しないが、出力側では必要であり、かつ、そのパラメタが管理情報に依存しない場合がある。例えば、M_EventReport では管理操作のシーケンシャル番号を割り振るために InvokeID が必要であるが、Trap には該当するパラメタが存在しない。この場合ドメインマネージャは、新たに InvokeID を生成し割り振るように設計した。

(3) 複数の副要求の生成

ドメインマネージャが行うべきローカルな変換処理として次のものが考えられる。

(i) フィルタ、スコープ、アクセス制御、同期

CMIP の `scope`、`access control` については、ドメインマネージャが内部処理を行った後に、副要求を生成する。例えば、CMIP の `scope` パラメタの設定によって、複数の管理対象を扱う必要がある時は、SNMP の当該管理操作を複数発行する。一方、`filter` と `synchronization` については、ドメインマネージャが SNMP 結果を受信した後に、処理を実行する。ドメインマネージャは、CMIP 要求を記憶しておき、末端の LAN 機器から SNMP 応答が返った後に記憶していたフィルタを実行する。

(ii) 追加情報の取得

SNMP の `Trap` を CMIP の `m_EventReport` にマッピングするには、必要なパラメタの情報が不足している。そのため、副要求として SNMP の `Get-Request` を発行して必要な情報を取得した後に `m_EventReport` を組み立てて送信する必要がある。例えば、`Trap (authenticationFailure)` を `m_Event-Report (Integrity Violation)` にマッピングするには、`m_EventReport` の `EventInformation` に必要な属性を獲得するために、`GetRequest` を発行して必要な属性を取得する必要がある。

上記のように SNMP と CMIP をマッピングした時、統合マネージャとドメインマネージャの動作シーケンスは図 4.6 のようになる。

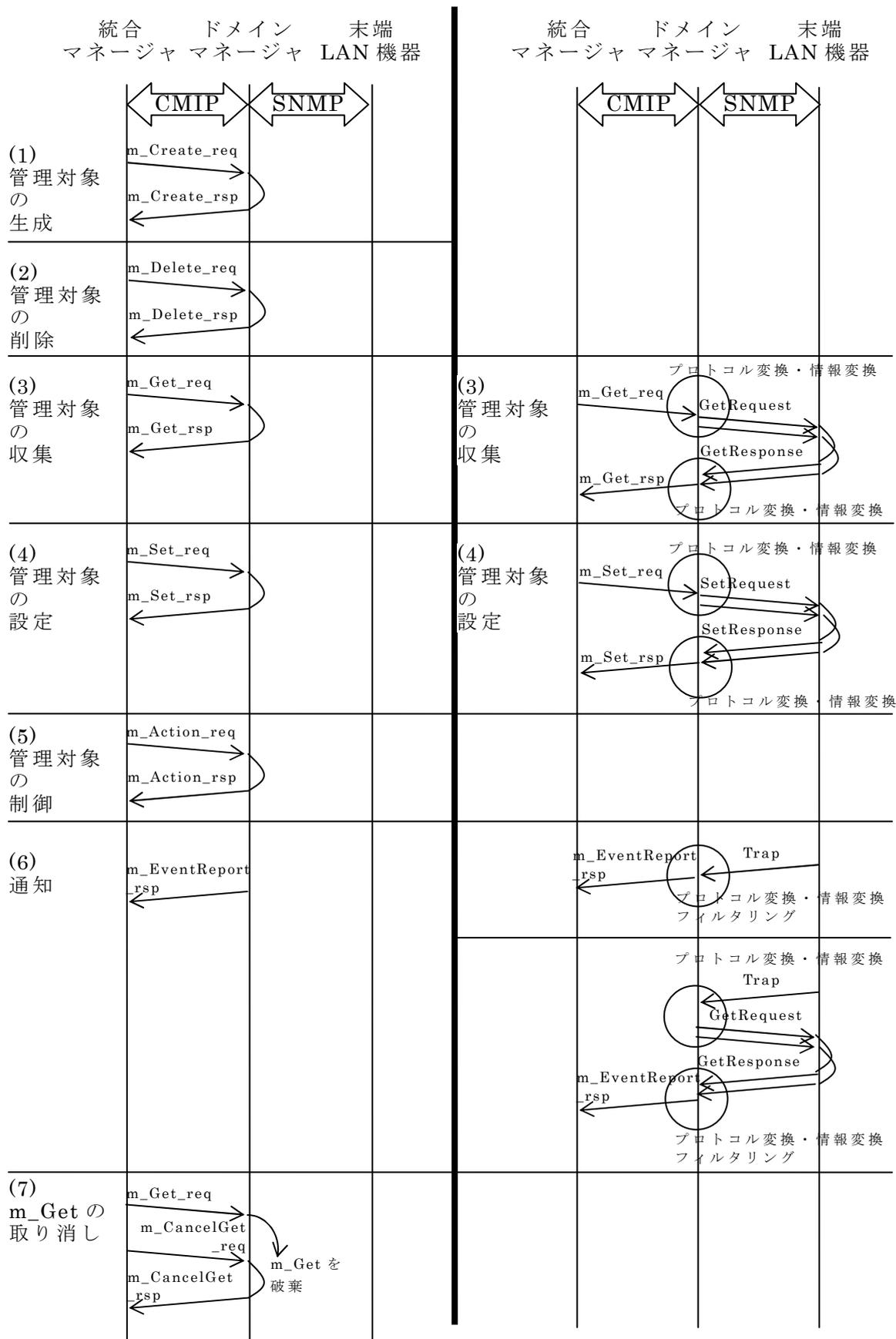


図 4.6 統合マネージャとドメインマネージャの動作シーケンス

4.3.4 LAN ドメインマネージャの設計

ドメインマネージャは、CMIP のインタフェースを持つ統合マネージャに対してはエージェントとして機能し、SNMP のインタフェースを持つ末端 LAN 機器に対して、マネージャの機能を持つ。したがって、ドメインマネージャは、以下の機能を持つ必要がある。

- CMIP、SNMP 通信機能
管理プロトコルの処理を行うために、CMIP 準拠のインタフェースと SNMP へのインタフェースを提供する。この機能によって、統合マネージャと CMIP で通信し、末端 LAN 機器と SNMP で通信する機能を提供する。
- CMIP 対 SNMP プロトコルと管理情報の変換機能
IAB-SMI 準拠の管理情報を、統合マネージャが扱う OSI 管理に準拠した標準管理情報に変換し、その逆も行う。
- 事象報告選別機能
統合マネージャに対する事象報告のフィルタリング(ディスクリミネータ機能)を実現する。
- 管理情報の絡納機能
MIB の管理、および MIB へのアクセス制御を行う。統合マネージャとドメインマネージャで MIB アクセスプログラムを共通化できるように設計した。
- SNMP と CMIP の名前構造変換機能
SNMP における名前を、CMIP における名前に変換する。また、その逆変換も行う。

上記の機能を満たすため、ドメインマネージャは表 4.5 に示すような機能単位を持ち、図 4.7 に示すプログラム構造を持つように設計した。

また、SNMP と CMIP をマッピングするために、表 4.6 に示すマッピングテーブルを用意した。

なお、プログラムの開発言語として、C 言語を用いた。また、プロトコル処理部には、X/Open の標準 API (XMP API)を採用した。

表 4.5 ドメインマネージャの機能

モジュール	機 能	ステップ数
Operate Mgr	CMIP オペレーションと SNMP オペレーションを相互変換する OSI が規定する管理情報と IAB が規定する管理情報を相互変換する	10k
Event Mgr	SNMP エージェントから受信した SNMP 通信を CMIP 通信に変換する OSI が規定する管理情報と IAB が規定する管理情報を相互変換する 通知ディレクトリミネート(識別)を行う OM に対する名前付けを行う	4k
Name Server	名前付けの管理を行う SNMP と CMIP における名前の相互変換を行う	2k
MIB Mgr	MIB を管理する	15k
共通モジュール	すべてのプロセスで共通に使うユーティリティ関数群 MIB へのアクセス制御とプロセス間通信の処理を行う	13k
OSI 通信処理	CMIP 以下の OSI 通信処理スタック	-

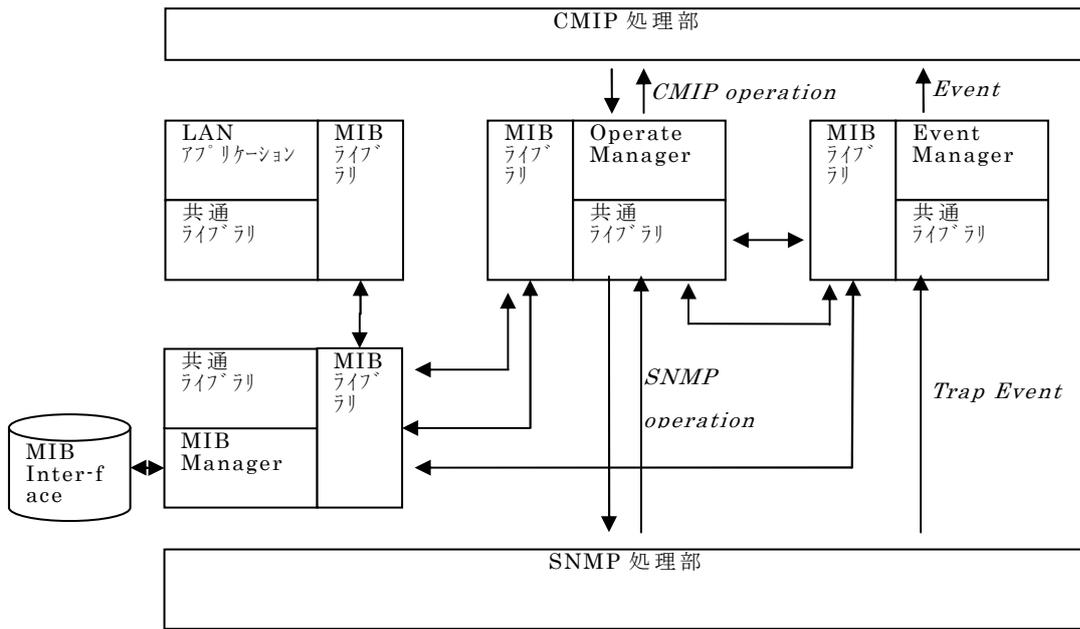


図 4.7 ドメインマネージャのタスク構成

表 4.6 マッピングテーブル

テーブル名	テーブル説明
属性識別子変換テーブル	OSI-SMI で規定する属性のオブジェクト識別子と，Internet-SMI で規定するオブジェクト識別子のマッピングテーブル
通知識別子変換テーブル	OSI-SMI で規定する通知のオブジェクト識別子と，SNMP で規定する trap の番号のマッピングテーブル
名前構造テーブル	OG と OM 間の名前付け規定を確定する
動作識別子変換テーブル	OSI-SMI で規定する動作のオブジェクト識別子と，SNMP のオペレーション+属性+値のマッピングテーブル
名前変換規則テーブル	IP アドレスから DN への変換規則
エラー識別子変換テーブル	SNMP のエラーと CMIP のエラーを変換する

4.4 評価

本節では、システム開発を通しての、アーキテクチャや実現システムの評価について報告する。

4.4.1 管理情報のマッピング結果

試作に際して、末端の LAN 機器の管理情報は IAB-SMI フォーマットの MIB-II と、新規に定義した 4 種類の管理動作 MIB を使用した。MIB-II は 10 個のグループに分類される合計 189 種類の属性を含んでいる。

一方、統合マネージャの管理情報(以下、統合管理情報と呼ぶ)静的 MIB スキーマ方式を採用した。統合管理情報に定義した M0 クラスは、すでに 4.3.2 節で示したとおり、親クラスを含めて 21 種類であり、合計 63 種類の属性を含んでいる。このうち、新規に定義した M0 クラスは、4 種類、属性は、12 種類である。

統合管理情報と MIB-II をマッピングの対象となる属性は、log や logRecord、discriminator、system クラス(およびこれらのサブクラス)の属性を除いたものである。

統合管理情報の金属性の約 60%が MIB-II とマッピングでき、25%はオブジェクトクラス属性のような固定値なので、ドメインマネージャに属性値を埋め込むことができた。残りの約 15%の属性はマッピングできなかった。今後マッピングできなかった属性を減らす方法が検討課題として残っている。

なお、マッピングできた MIB-II の属性は、systemInterfaces、ip グループの属性であり、その他のプロトコル固有なグループの属性については、統合管理情報にマッピングしなかった。

4.4.2 プロトコルのマッピング結果

ドメインマネージャは、末端の LAN 機器を管理しており、管理情報を収集する

時は、その都度 SNMP-PDU を発行している。統合マネージャは、ドメインマネージャに CMIP の管理オペレーションを発行する。

ドメインマネージャは、4.4.2 節で述べたマッピングテーブルを使って CMIP と SNMP のマッピングを行う。

CMIP の M_Creale と M_Delete は、SNMP 操作にはマッピングせず、ドメインマネージャの内部処理のみで、統合マネージャに応答を返す。

CMIP の M_Get、M_Set については、マッピングテーブルを参照することによって、SNMP の GetRequest、SetRequest にマッピングすることができ、SNMP の 6 種類の genericTrap については、CMIP の 4 種類の事象報告にマッピングすることができた。M_Action については、4 種類の CMIP の管理動作を新規に定義し、これらの管理動作を SNMP の SetRequest にマッピングした。しかし、管理動作の新規定義では actionType のみを定義し、actionInfo は定義していない簡便な方法を取ったので、複雑な管理動作のマッピング方法が検討課題として残っている。

筆者が試作した階層型管理システムでは、一つの属性について、M_Get を GetRequest に変換する処理時間は、通信処理時間を除いて、平均で 120m(s)であった。同様に、M_Set から SetRequest への変換に要する処理時間は、平均で 480m(s)であった。処理時間の測定には、EWS(プロセッサ: PA-RJSC:50MHz)を使用し、UNIX のシステムコール gettimeofday を利用した。

4.4.3 統合管理の効果

筆者はドメインマネージャが SNMP や ICMP によって端末の LAN 機器を発見した場合 CreationReport を統合マネージャに通知するように設計した。また、統合マネージャが Create することができる M0 クラスを表 4.7 のように限定した。

表 4.7 統合マネージャが生成可能なオブジェクト

クラス名	生成の可否
system	否
log	可
discriminator	可
EFD	可
network	否
equipment	否
unit	否
card	否
port	否

このように設計したことによってドメインマネージャは SNMP が扱う MIB を固定的に管理しているが、統合マネージャはこれらの MIB を動的に生成/削除が可能となった。

また、ドメインマネージャにディスクリミネータを持たせることによって、アプリケーションレベルではなく管理プロトコルレベルで管理トラフィックを制御することができ、統合マネージャの処理負荷を軽減するととができた。現在、ドメインマネージャはドメイン内の SNMP を実装したすべての LAN 機を監視しているが、統合マネージャは、各ドメイン内で重要な LAN 機器(ルータ、メールサーバ、ファイルサーバ)だけを管理している。

一般的な LAN 環境下で、1 台の SNMP マネージャが管理できるエージェントの最大数は、理論的に約 4500 台と報告されている [40]。しかし、筆者が提案した階

層管理アーキテクチャに基づいてネットワーク管理システムを提案すれば、100m(s)から 500m(s)程度の変換処理オーバーヘッドで、管理できるエージェント数を増加させ、複数の LAN ドメインを管理できることがわかった。

なお、今回開発した LAN 管理システムを図 4.8 に示すような LAN 以外の通信管理装置にも適用し、同様の効果を得ることができた。

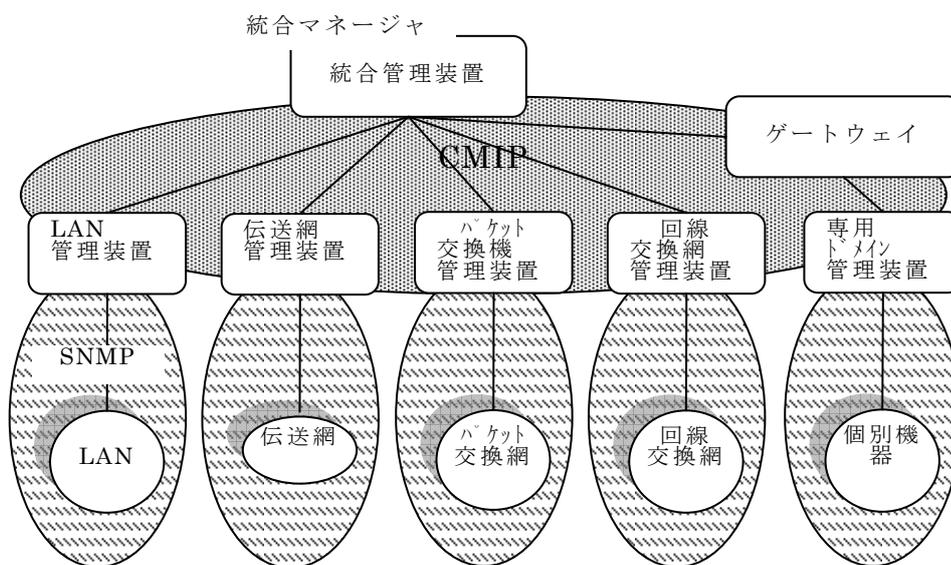


図 4.8 統合ネットワーク管理システム

第5章 大規模 ATM-PON システム管理装置への適用

上述の分散 LAN ドメインの統合管理方法について、FTTH (Fiber To The Home) への適用を検討した。FTTH は、光ファイバを用いたアクセス・ネットワーク技術であり、PON (Passive Optical Network) [62] という通信方式が採用されている。

ATM (Asynchronous Transfer Mode) ベースの PON システム (以下、APON と呼ぶ) については既に文献が発表されている [63] [64] [65] [66] が、FTTH が扱う膨大な管理情報の処理方法については詳細に議論されていなかった。この節では、標準的な管理プロトコルと管理情報をカスタマイズして、大容量の APON システムが包含する 10 万以上の管理対象を効率よく管理する方式について述べる。

5.1 APON システムの管理方法

5.1.1 APON システム

PON は、光ファイバのアクセス・ネットワークの、物理層に関する規格の一つであり、双方向の 155.520Mbps の帯域と、下り 155.520Mbps と上り 622.080Mbps の帯域の 2 種類の伝送方式を規定している。PON のネットワーク構成を図 5.1 に示す。図において、OLT は、通信キャリアのビル内に設置される PON の交換機であり、ONT は加入者宅に設置されるターミナル・アダプタである。PON の 1 光ファイバは、光スプリッタによって 32 分岐して、32 台の ONT に接続する。

なお、本稿で対象とする APON システムにおいて、OLT のネットワーク・ノード・インタフェースに SONET の OC3 と OC12、及び DS3 を使い、ONT のユーザ・ノード・インタフェースに DS1 と LAN を使用する。

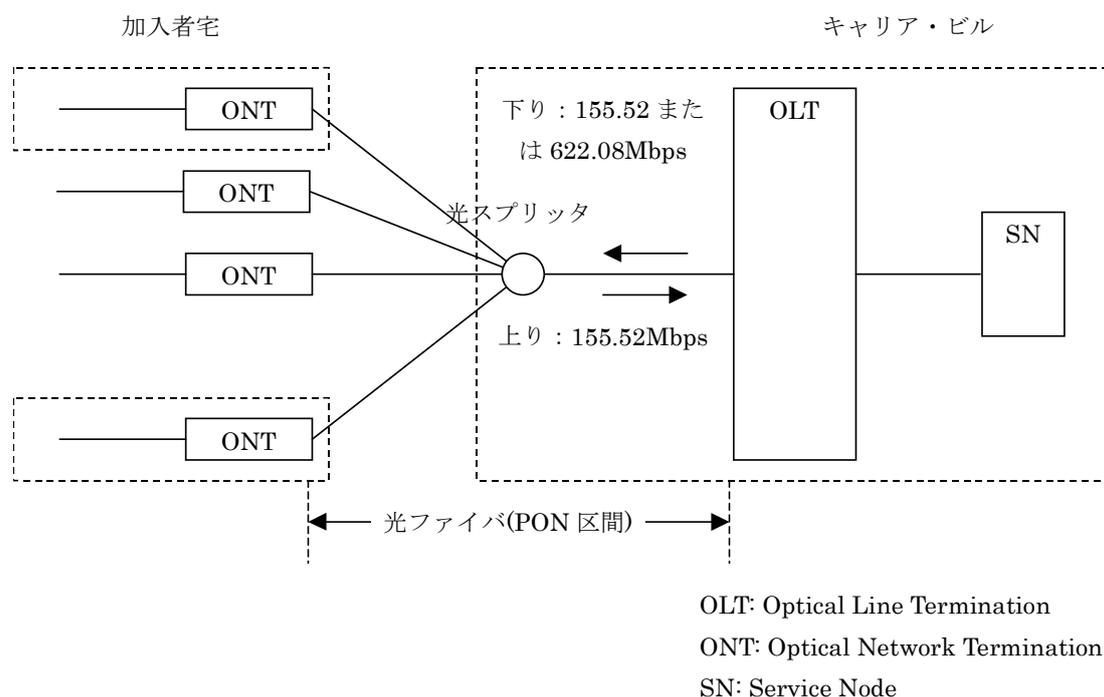


図 5.1 APON システム

5.1.2 管理装置

(1) システム要件とアーキテクチャ

APON システムの管理装置の要件を整理した。

- ・ 計算機の OS に依存せずに動作すること。
- ・ 小規模なネットワークから大規模なネットワークまで、同一のアーキテクチャで動作すること。
- ・ 連続運転を目指し、障害が発生した場合に迅速に復旧できること。
- ・ 市販の DBMS が使えること。
- ・ 管理装置と通信装置間のアーキテクチャは TMN[67]に準拠し、プロトコルは CMIP[68]を基本とすること。
- ・ 管理装置と上位の管理装置間のプロトコルは、TL1[69]及び CORBA[71]を基本とすること。
- ・ 複数の HMI (Human Machine Interface) 端末をサポートすること。

(2) 管理プロトコルと管理情報

管理装置と OLT 間の通信プロトコルは、基本的にはオープンな管理プロトコルである CMIP を使用し、管理情報は GDMO[70]にて定義した。

管理情報は、ISO/IEC と ITU-T、ATM Forum 及び FSAN が規定する ATM 及び SONET の管理情報 [72][73][74][75][76][77] を基本として一部拡張定義を追加した。APON システムの主な管理情報の MO (Managed Object) クラスと最大 MO インスタンス数を表 5.1 に示す。

表 5.1 クラス定義と最大 MO インスタンス数

管理対象	MO クラス	最大 MO インスタンス数
OLT	managedElementR1	50
ONT	managedElementR1	51,200
VP	vpCTPBidirectional	2,457,600
VC	vcCTPBidirectional	2,457,600

このように膨大なインスタンスを高速に処理するには、管理装置と OLT 間の通信シーケンスをカスタマイズする必要がある。そこで、管理装置を実装するにあたって、次のようなカスタマイズの方針を立てた。

- ・ CMIP の通信シーケンスを削減する。
- ・ 必要であれば CMIP 以外のオープンな通信プロトコルを利用する。

(3) 通信シーケンスの単純化

上述した方針に基づき、高速化が可能な通信シーケンスを調査し、次の管理項目をカスタマイズした。

- ・ VP や VC のクロスコネクション (XC) 処理
- ・ 通知処理
- ・ 大容量データ収集の高速化

(i) クロスコネクション処理

標準的な管理情報定義に従って VP の XC を設定する場合、次のように複数の

CMIP 操作を必要とし、通信トラヒックと通信遅延が大きくなるという問題がある。

- ・ 終端点の存在を確認 (m_get を使用)
- ・ 終端点の生成 (m_create を使用)
- ・ 終端点の XC (m_action を使用)

これを解決するため、XC を一括して処理する M0 クラスを新規定義し、従来複数必要であった CMIP 操作をひとつに集約した。

図 5.2 は、XC の通信シーケンスの従来例と提案例を図示したものである。

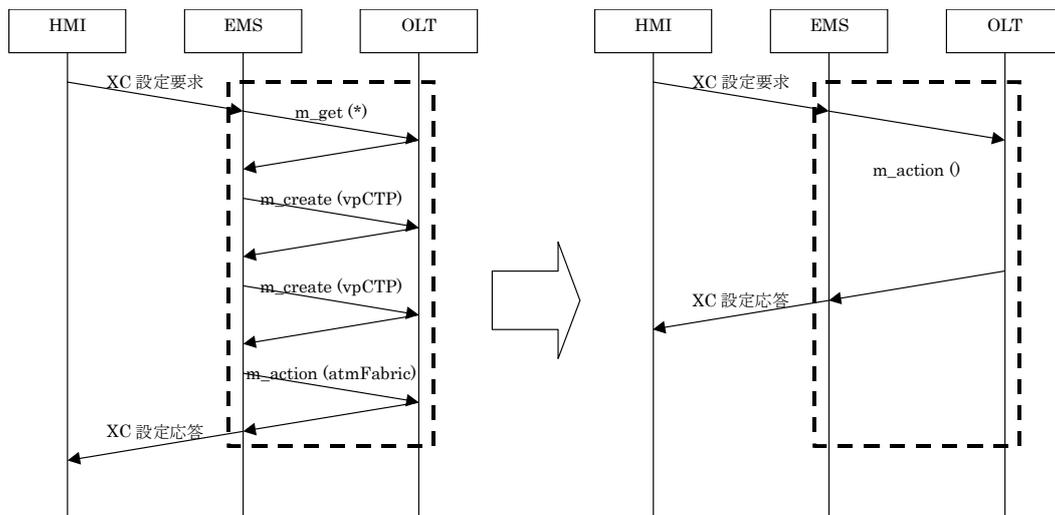


図 5.2 クロスコネクションのカスタマイズ

(ii) 通知処理

APON システムの管理情報は、比較的複雑な包含関係を持っているため、一つの原因が、次のような複数の通知を引き起こす場合がある。

- ・ 警報通知 ... ATM の下位層の終端点で警報が発生すると、その上位に位置する ATM の VP や VC 終端点も警報状態となり、ねずみ算式に警報が増加して管理装置に送信される。
- ・ 生成・削除通知 ... ある M0 インスタンスの生成・削除すると、包含木や関係木上の関連する M0 クラスからも生成・削除通知が報告される。
- ・ 属性値と状態の変化通知 ... 生成・削除通知と同様、関係する M0 クラスが通知を発生する。

この問題を回避するため、OLT のハードウェア・インタフェース毎に M0 インス

タンスをグルーピングして複数の CMIP 通知の根本原因となる通知だけを送信するようにして、通信トラフィックを削減した。

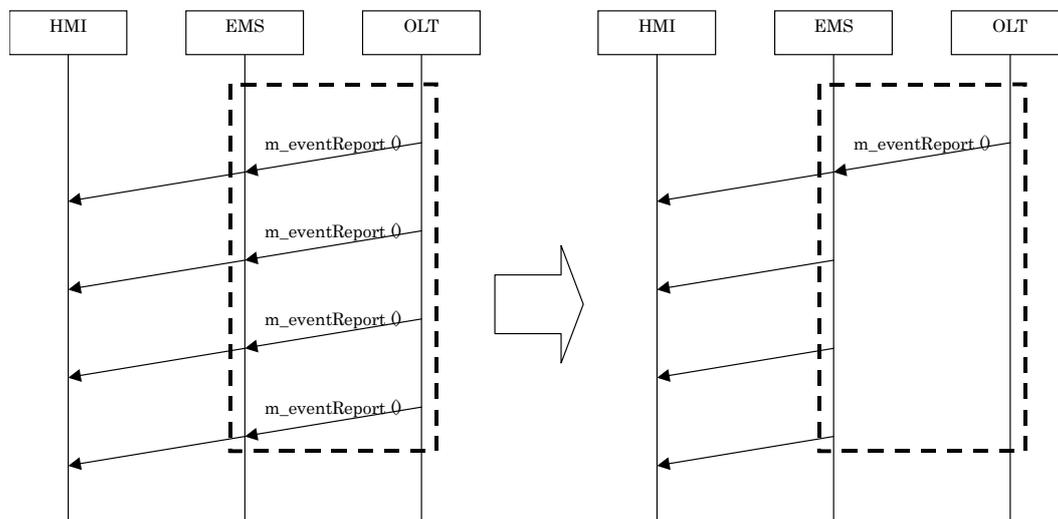


図 5.3 通知のカスタマイズ

また、EMS サーバにおいては、根本原因となる通知を解析し、個別通知を再生成してデータベースに保存するとともに、HMI へ送信する機能を持たせた。

図 5.3 は、警報通知の従来例と提案例を示したものである。

(iii) 大容量データ転送

APON システムで扱う大容量データは、次の 2 種類である。

- ・ NE の登録や復旧などに必要な装置構成情報
- ・ 15 分毎に収集する ATM 性能情報

標準的な管理情報定義に従うと、包含木上に散在する個々の管理情報に対して `m_get` を実行する必要があるため、通信トラフィックと通信遅延が大きくなるという問題がある。

これを解決するため、装置の構成・状態情報と、15 分間の性能情報を UNIX ファイルとして圧縮して保存し、管理装置が FTP にて `get` を行うようにした。

図 5.4 は、大容量データの転送シーケンスの従来例と提案例を図示したものである。

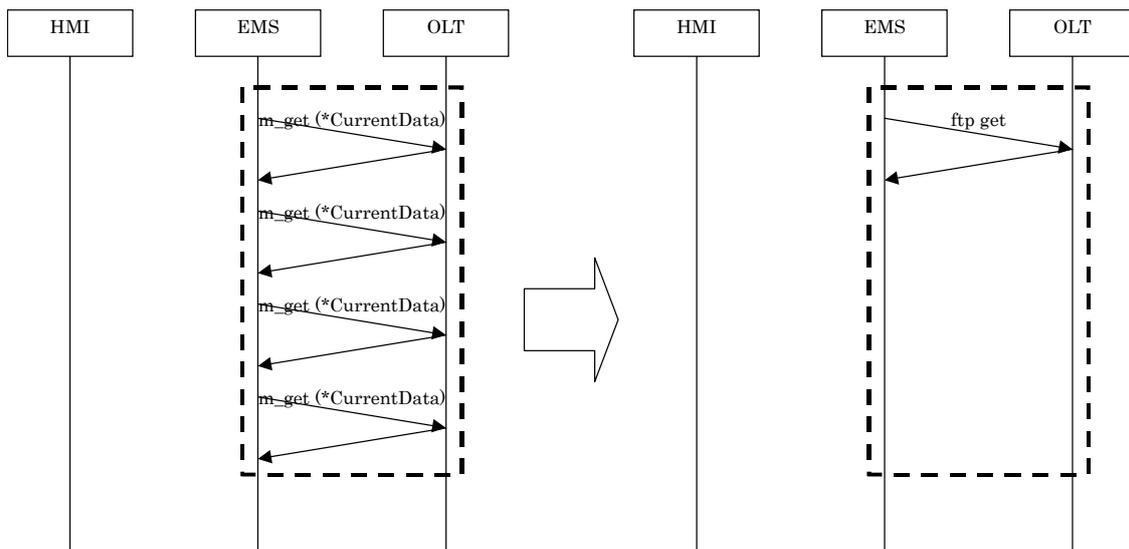


図 5.4 大容量データのカスタマイズ

(4) プログラム言語

OS への依存度が少ないプログラム記述言語として、C と C++、及び Java を比較した。表 5.2 は、比較結果である。比較は 3 段階で実施し、表中の○は比較項目の条件を満たすもの、△は一部満たすもの、×は満たさないものを表す。

比較の結果、可搬性の最も高い Java を採用し、JDK1.2 を使用した。また、管理装置の内部インタフェースとして、RMI[78]と Jini[79]を使用した[80]。

表 5.2 プログラム言語の比較

比較項目	Java	C++	C
可搬性	○	△	△
安定度	△	○	○
オブジェクト指向	○	○	×
市場での実績	○	○	○

5.2 APON 管理装置の実装

(1) ネットワーク構成

APON システムのネットワーク構成を図 5.5 に示す。

1 台の管理装置は、最大 30 台の HMI と同時接続する。

1 台の管理装置は、最大で 50 台の OLT を管理する。各 OLT は、最大で 32 個の APON インタフェースを持ち、各 APON インタフェースは最大で 32 台の ONT と接続する。すなわち、1 台の管理装置は、最大で 51200 (50×32×32) 台の ONT を管理する。

1 台の管理装置は、1 台の上位管理装置と接続する。

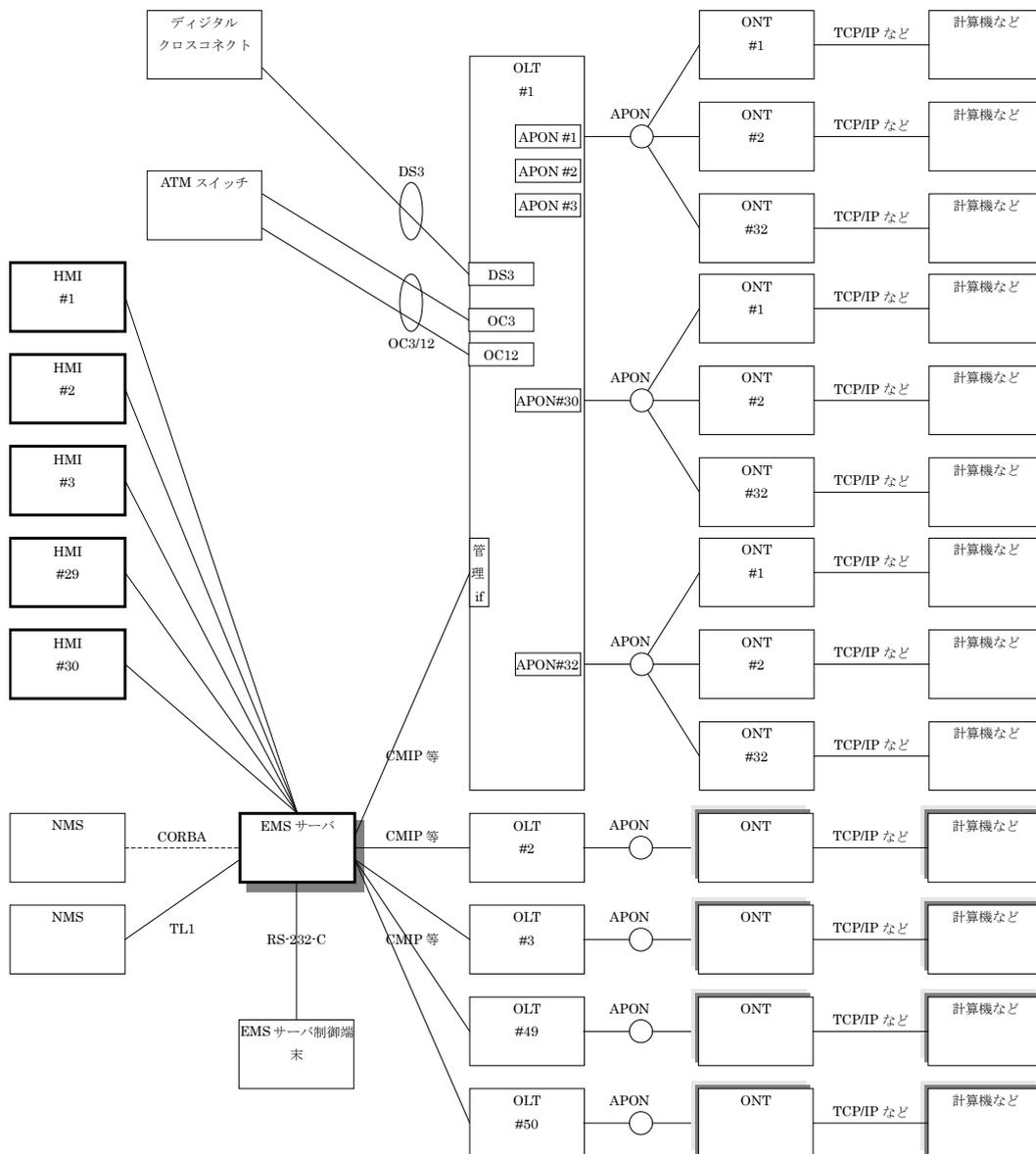


図 5.5 ネットワーク構成

(2) ハードウェアとソフトウェアの構成

管理装置の S/W 構成を図 5.6 に示す。HMI 端末～管理装置間はユーザ認証と暗号化通信によりセキュリティを確保する。ユーザ認証と通信暗号化のために、JDK1.2 の JAAS(認証)、JSSE(暗号化)を使用する。また、EMS は SSH(Secure Shell)を用いたログインのみ許可し、telnet/rlogin は使用不可とする。

管理装置は、HMI と EMS サーバの二つの要素から構成される。HMI は、人間への GUI を提供する端末であり、EMS サーバは管理プロトコルの処理や管理情報の保存を行う。

EMS サーバは、さらに次のソフトウェア要素から構成され、これらのソフトウェア要素間のインタフェースには Java RMI と Jini を使用し、各ソフトウェア要素が複数の計算機上で分散処理できるように設計した。

- HMIAgent ... HMI との通信を制御する。HMI と HMIAgent 間の通信には Java RMI を使用する。
- Manager ... OLT との CMIP 通信を制御する。
- システム管理 ... OLT との CMIP 以外の通信(FTP 及び NTP)を制御する。
- DBManager ... RDBMS へのアクセスを制御する。JDBC に準拠したインタフェースを提供する。
- NMSAgent ... NMS との通信を制御する。現状は TL1 のみサポートしているが、将来的には CORBA をサポートする予定である。

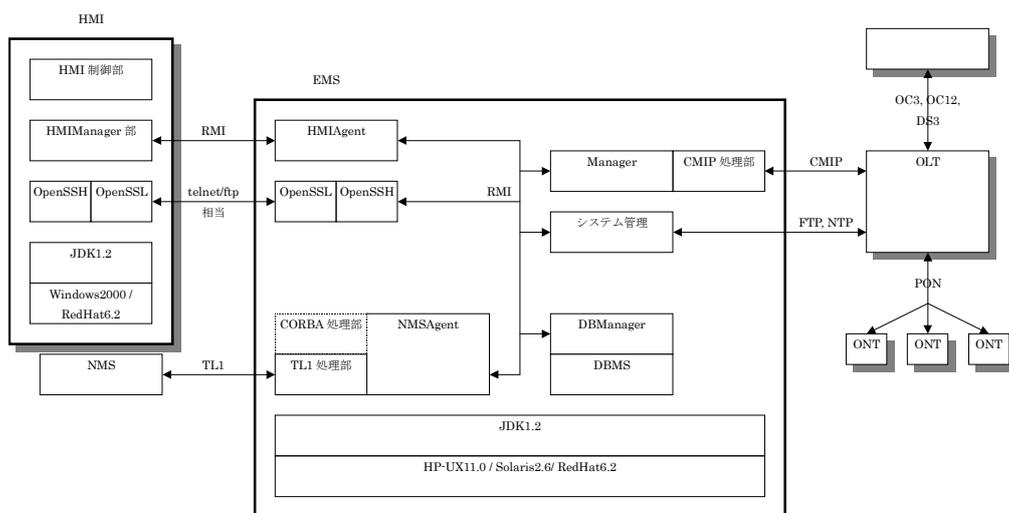


図 5.6 EMS の構成

5.3 実装結果と考察

HMI と EMS サーバを Linux 上に実装し、OLT を模擬するソフトウェア NE-Sim を HP-UX 上に実装して、性能評価実験を実施した。

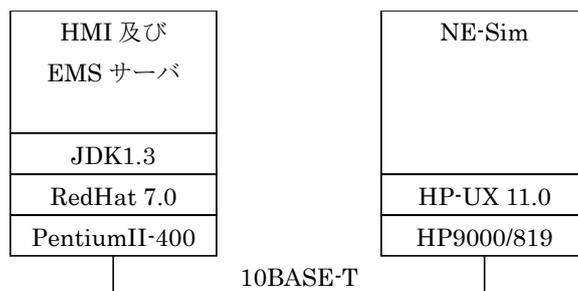


図 5.7 性能評価環境

(1) クロスコネクションに関する考察

HMI から NE-Sim に対して、次の XC 設定を実施した。

- ・ OLT 側 DS3 と ONT 側 DS1 の XC ... カスタマイズ方式で設定
- ・ OLT 側 OC3 と ONT 側 LAN の XC ... カスタマイズ前の方式で設定

XC 設定の所要時間を表 5.3 に示す。

表 5.3 クロスコネクションの所要時間

	所要時間 (ミリ秒)	
	HMI&EMS	NE-Sim
DS3-DS1 の XC	1585	1427
OC3-LAN の XC	7356	14064

DS3-DS1 の XC と、OC3-LAN の XC に関係する M0 クラスは異なるので厳密な比較ではないが、本稿で提案したカスタマイズ方式のほうが従来方式に比べて約 5 倍の高速化を達成している。

(2) 通知処理に関する考察

通知数を削減するため、managedElementR1 に新規に 1 種類の通知を定義し、OLT

の内部通知を圧縮して報告するように設計した。この新規定義の通知によって、CMIP の生成・削除、属性値・状態変化通知、警報の数を削減した。

現在、通知トラフィック量を計測中である。

(3) 大容量データ転送に関する考察

性能情報の収集は、15分毎にEMSサーバがFTP getを実行し、OLTから圧縮ファイルを収集する。EMSサーバが50台のOLTからフル実装時の性能情報を収集するのに要する時間は、約400秒である。これは、ATMの性能情報収集間隔である15分(900秒)の44%に収まっており、実運用に耐える性能だと考えられる。

第6章 スマートグリッドを実現する情報通信システムへの応用

6.1 はじめに

電力システムは、発電所と送配電網、需要家から構成される。従来の電力システムでは、発電所から需要家への一方向に電力が流れていたが、近年、需要家が太陽電池や風力発電等の再生可能エネルギーを用いた発電装置を導入し始めているため、需要家から送配電網への電気の逆潮流も考慮する必要がある。再生可能エネルギーを考慮したインテリジェントな電力システムを構築するため、スマートグリッドの研究が各地でなされている。

ここでは、スマートグリッドを実現するための情報通信システムのアーキテクチャを検討し、試作システムについて述べる。

本章では、スマートグリッドと、スマートグリッドの主要なサブシステムである電力需給制御システムと配電制御システム、およびスマートメーター・システムの概要と要件を整理した後、スマートグリッドを実現するための情報通信システムのアーキテクチャと試作システム、およびその評価について報告する。

6.2 スマートグリッド

6.2.1 概要

スマートグリッドとは、次世代配電網である。米国では、グリーン・ニューディール政策の一環としてスマートグリッドを検討しており、次の技術分野で開発を推進している[58]。

- ・ 米国内の数百の電力会社を統合し、情報共有
- ・ 電力の需要と供給をリアルタイムに整合
- ・ 電力を貯蔵
- ・ 電気自動車の普及
- ・ インテリジェントな電力メータ（スマートメーター）
- ・ 送電・配電網の管理
- ・ セキュリティ

また、日本国内では、総務省と経産省等が中心となって研究会を設置し、電力

系統と情報通信技術の課題を次のように整理している[59]。

- ・ 再生可能エネルギー（太陽光、風力等の不安定電源）の取り込み方法
- ・ 電力系統が単方向から双方向への移行する際の課題整理
- ・ 送電・配電網への影響
- ・ 電力制御用の通信技術(非 IP)とインターネット技術の統合方法

国内外のスマートグリッドの定義をもとに、スマートグリッドの概念をまとめると、図 6.1 のようになる。図において、電力系統は次の設備から構成される。

- ・ 発電所： 火力、水力、原子力等を利用して発電する。
- ・ 送電線： 発電所にて発電した電力を変電所に向けて送電する。
- ・ 変電所： 送電線で送電された電力を降圧する。
- ・ 配電線： 変電所で降圧された電力を需要家に配電する。
- ・ 需要家： 電力を消費する一般家庭、商業施設、工業施設。

図中の外側の円は、電力系統ネットワークを示し、内側の円は電力設備を監視・制御する情報通信ネットワークを示す。中央部分の電力需給制御サーバ、配電制御サーバ、スマートメータサーバ等のサーバ群がスマートグリッド全体を運用・制御する。

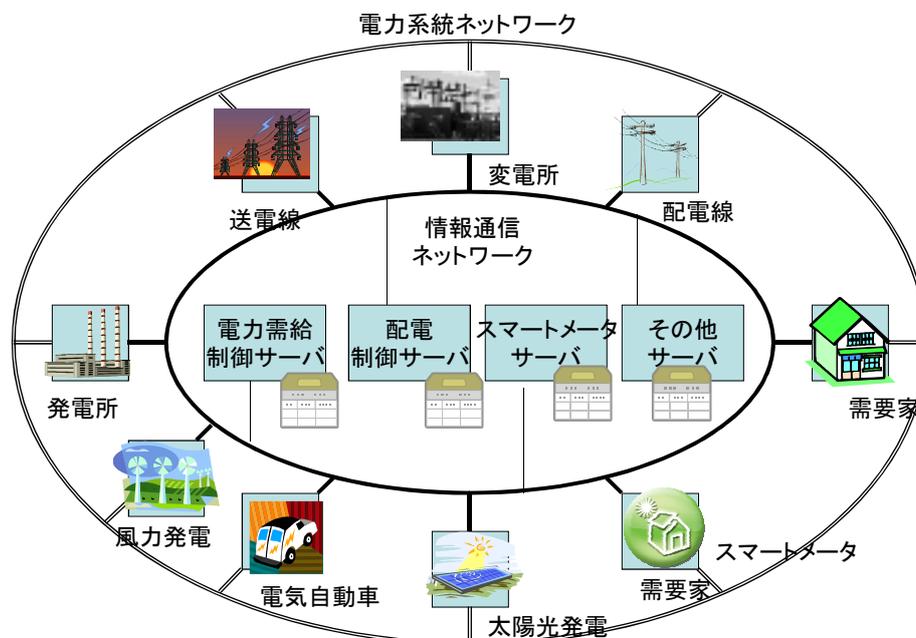


図 6.1 スマートグリッド概念図

6.2.2 電力需給制御

電力会社では、電力の需要と供給のバランスを取ることによって周波数を一定に保っているが、太陽光や風力等の再生可能エネルギーによる発電が普及すると、天候によって電力の需給バランスが大きく変動する可能性がある。従来は電力の需給バランスを取るために、出力一定の原子力発電と昼夜間の大きな需要差を埋める揚水発電をベースとして、需給バランスの変動を火力発電で吸収してきたが、再生可能エネルギーが増加すると、周波数の変動を規定値に収めることができなくなり、現状の電力品質を維持することが困難になると予想される。

電力の需給バランスを制御するために、再生可能エネルギーによる発電を考慮した、発電機と蓄電池を協調運用する需給制御システムが必要となる（図 6.2）。

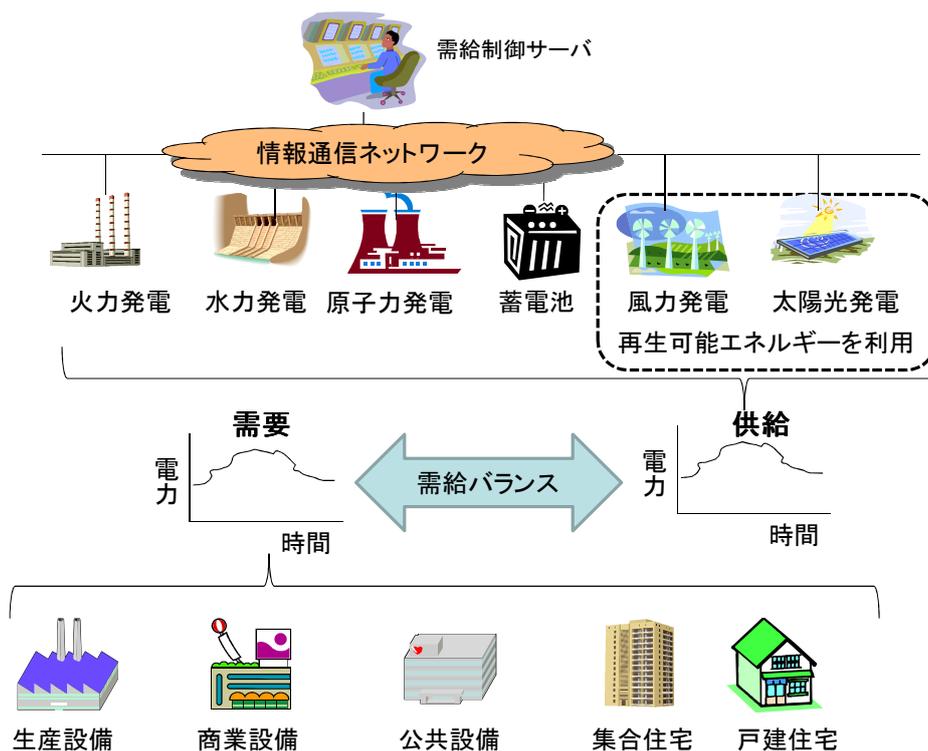


図 6.2 電力需給制御の概要

6.2.3 配電制御

配電制御システムは、適正電圧(95~107V)で安定的に電力を需要家に供給する

ため、配電系統全体を監視し、事故が発生した場合にも、停電個所を最小限に留めるように制御を行う。

変電所と需要家を接続する配電系統においては、大口需要家を主体に風力発電が、家庭用を主体に太陽光発電が普及しつつあるが、天候変化の影響を受けやすいため、これらの再生可能エネルギーによる発電が普及していくと、需要家から変電所に向けた逆潮流が発生するなど、配電系統の電力の流れが分刻みで急変し、従来の配電機器だけでは適正電圧(95~107V)の維持は困難となる可能性がある。

この課題を解決するため、電力の流れを高速に解析して電圧を予測し、適正な電圧の電力を供給する電圧制御システムが必要となる。

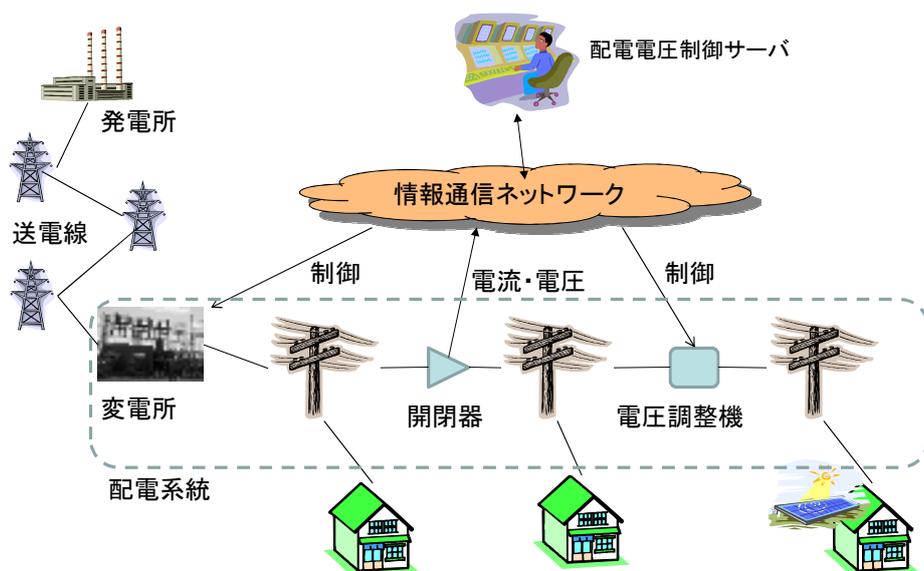


図 6.3 配電制御の概要

6.2.4 スマートメーター

電力会社では、需要家に設置された電力メーター検針業務の省力化を進めるため、電力自動検針ネットワークシステムを計画している。電力自動検針システムは、通信機能を持った電力メーター導入し、通信ネットワークを介して需要家の消費電力を遠隔検針することが可能となる。

遠隔検針の実現により、検針のタイミングを従来の月1回から、例えば30分毎

に細分化することができるため、需要量をリアルタイムに把握することが可能となる。これによって、電力需給制御を、従来よりも正確に行うことが可能となると期待されている。

スマートメーターの応用例として、需要家に設置される太陽光や風力発電の発電量を収集・制御することにより、電力需給制御と配電制御をきめ細かく実現できる可能性がある。また、スマートメーターを需要家内の電気機器と接続することによって、省エネを推進する機構を構築できる可能性がある。

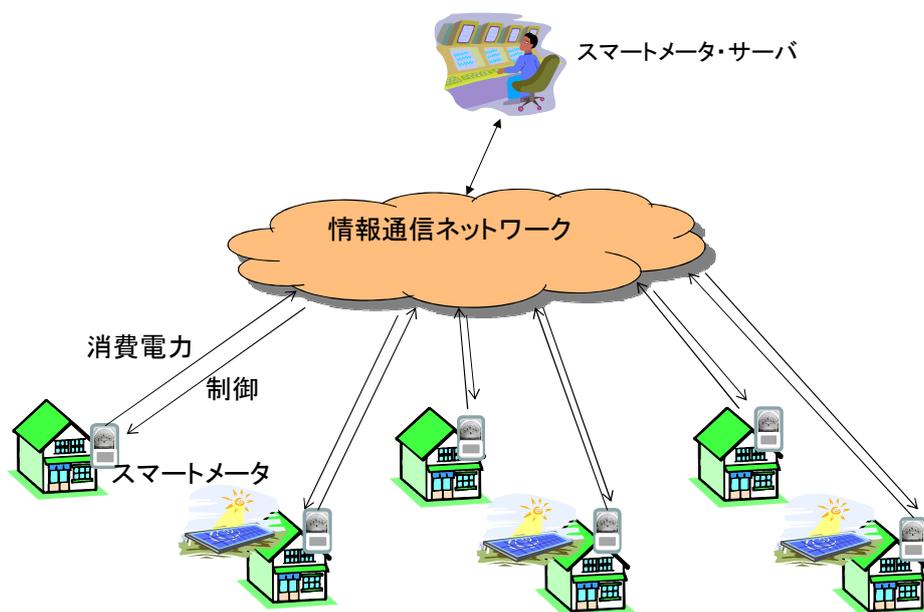


図 6.4 スマートメーターの概要

6.3 スマートグリッドを実現するための情報通信システム

6.3.1 情報通信システムの要件

6.2 節で述べたように、スマートグリッドは、主に電力需給制御と配電制御、スマートメーターのサブシステムから構成されるが、これらのサブシステムは、従来は独立に構築されてきたため、サーバ等の情報システムも通信ネットワークも疎結合であった。しかし、スマートグリッドを実現するためには、電力系統技術と情報通信技術を統合し、緊密に連携する必要がある。

スマートグリッドを実現するためには、次の要件を満足する情報通信システムが必要である。

- ① 既存の電力系統用の情報通信システムをできるだけ流用しながら、高速に相互接続できること。
- ② サブシステムの故障が全体システムに波及しないよう、セキュアなシステムを構築できること。
- ③ 将来出現する新しいサービスに備え、オープンなインタフェースを備えること。

6.3.2 試作システムの概要

スマートグリッドを実現するための情報通信システムの要件に基づき、試作システムを設計した。

図 6.5 は、試作システムの概略構成である。

電力需給サーバは、発電所等の発電プラント内の機器を制御し、予想される電力需要に応じて電力供給を制御する。機器を制御するために、2種類のネットワーク（1Gbps-Ethernet ベースの RPR 伝送方式ネットワークと、バス型のコントローラ・ネットワーク）を採用した。

配電制御サーバは、配電系統の電力や電圧の計測と、需要家側の太陽光発電の出力監視をする。機器を監視・制御するために、OFDM 方式の有線伝送ネットワークを採用した。また、比較評価するために GE-PON 方式の光ファイバネットワークも併用した。

スマートメータ・サーバは、スマートメーターから電力量を収集すると共に、開閉器の制御を行う。スマートメータ・サーバと、スマートメーターの基地局となるコンセントレータ間は、GE-PON 方式の光ファイバネットワークを採用し、コンセントレータとスマートメーター間は、429MHz 帯と 920/950MHz 帯の特定小電力無線メッシュネットワークを採用した。

現在、これらのサーバとネットワークは部分的に試作が完了して評価中である。

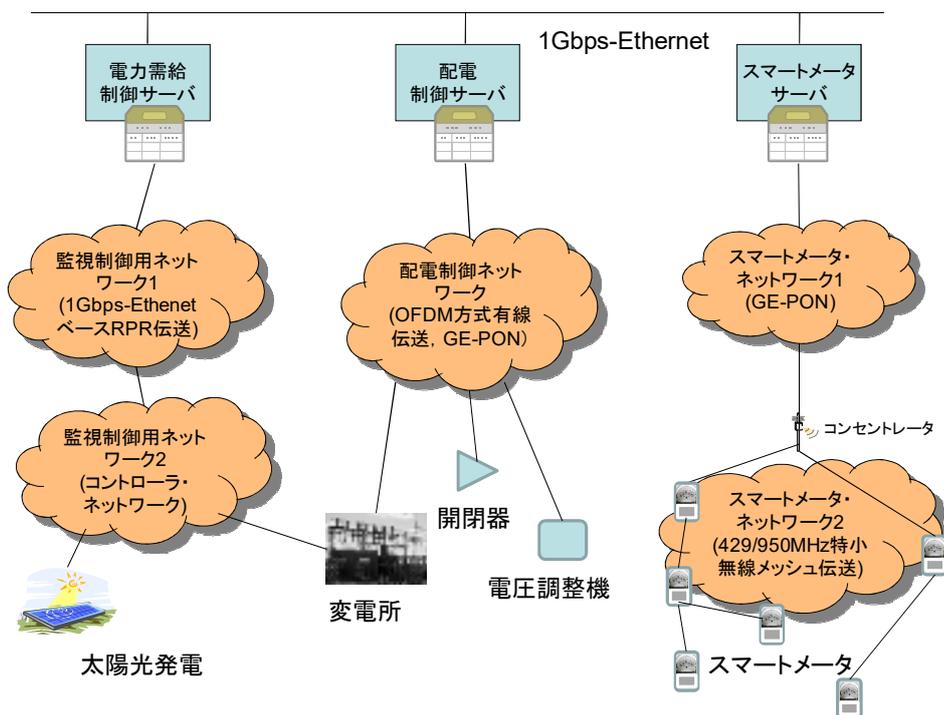


図 6.5 試作システムの構成

6.3.3 電力需給制御用の情報通信システム

従来の需給制御システムは、火力発電と揚水発電だけを制御対象としていたが、スマートグリッドにおいては、再生可能エネルギーによる発電を考慮して、系統用蓄電池の制御特性をモデル化し、火力発電と可変速を含む揚水発電、および系統用蓄電池を協調して運用する方式とした。可変速揚水発電は火力発電よりも大きな変化速度に追従でき、系統用蓄電池はさらに大きな変化速度に対応できる。

太陽光発電や系統用蓄電池等の分散型電源は系統内に分散して導入されるため、スマートグリッドにおける電力需給制御システムは、機器の変換効率や設備容量等の制御特性に応じて、中央の情報通信システムから一括して制御可能な階層管理方式を採用した。

発電プラントの監視制御用ネットワークには、高速・大容量と高信頼を実現する、1Gbps-Ethernet をベースとして RPR 技術を用いたネットワークを採用した。

6.3.4 配電制御用の情報通信システム

スマートグリッドにおける配電制御システムは、配電系統の電力や電圧を開閉器から計測するとともに、需要家側の太陽光発電の出力を監視し、太陽光発電の出力変動が配電系統に及ぼす影響をリアルタイムに解析して、電力の潮流を最適化するための制御を行う。配電制御システムは、SVC（静止型無効電力補償装置）等の電圧調整器や、太陽光発電や風力発電の余剰電力を吸収する蓄電池等に指令することにより、系統の電圧を適正に保つよう制御する。

配電系統の電力や電圧の計測と、需要家側の太陽光発電の出力監視をする配電制御用の通信ネットワークには、既設のメタル通信線を流用して高速化できるよう、OFDM方式有線伝送技術を採用した。

6.3.5 スマートメーター用の情報通信システム

電力メータは、各電力会社に数百万から三千万個設置されているため、これらの電力メータと、電力メータの計量データを収集・管理するスマートメータ・サーバを接続する通信ネットワークが新規に必要となる。

筆者らは、通信ネットワークの構築と維持管理を低減するため、有線通信と比較して低コストでネットワークを構築できる無線メッシュネットワークに着目し、429MHz帯と920/950MHz帯の特定小電力無線を用いた試作システムを設計した[60]。

無線メッシュネットワークは、隣接する電力メータから受信した計量データを、次の隣接する電力メータへ順次データを中継しながらコンセントレータまで伝送する方式であり、1台のコンセントレータに500台の電力メータを収容する構成とした。また、各端末が限られた周波数を共有しながら自律的に送信タイミングを判断するため、複数のメータが発信する信号が衝突することを避けるため、送信タイミング制御方式を導入した。

6.4 考察

筆者らは、第3章と第4章で提案したネットワーク管理方式を、スマートグリッドの情報通信システム管理へ応用し、開発を行った。第4章で提案したように、スマートグリッドの管理は階層管理により実現し、電力需給制御システムを管理

するサーバと、配電制御システムを管理するサーバ、およびスマートメーターを管理するサーバから構成した。これら3つのシステムを統合管理するサーバは、スマートメーターサーバが兼ねるように設計を行った。3つのシステム間のネットワーク管理情報は、OSI-SMIに従って定義し、第3章で提案したMINTを使って管理情報の処理モジュールを生成した。ただし、近年はOSIに基づく通信システムは広く普及していないため、各サーバ間の通信プロトコルは、OSI管理ではなくIPv6によるソケット通信で実現した。

スマートグリッドの情報通信システムの管理システムの開発では、上述のように第3章と第4章の提案に基づいて実施したため、開発及び試験期間を従来よりも短縮することができた。筆者らの提案した方式が、電力流通分野のネットワーク管理にも効果があることが分かった。

第7章 おわりに

本論文では、情報通信ネットワークの構築と運用管理技術に関する研究をまとめた。この研究は、はじめに情報通信ネットワークの構築と運用管理の要件を整理すると共に、標準的なネットワーク管理規格である OSI 管理と SNMP のアーキテクチャについて整理した。次に、OSI 管理および SNMP をベースとしたネットワーク管理システムと、管理情報定義からネットワーク管理システムのプログラムを生成するソフトウェアを検討した。さらに、複数の事業所を持つ企業ネットワークのネットワークを階層的に管理する方法を検討した。上記のように検討してきたネットワーク管理方法を電力流通分野のスマートメーター通信システムに適用し、検討結果の有効性を示した。

本論文では 4 段階に分けて順次その内容について論じた。

本研究の第 1 段階の成果として、OSI 管理と SNMP, DMI などの既存の標準的な管理アーキテクチャを検証し、その結果に基づいて次世代の管理アーキテクチャのモデルを提案した。

本研究の第 2 段階の成果として、OSI 管理システムを実現するエージェントシステムソフトウェアを開発し、管理情報を管理するデータベース (MIB) をオブジェクト指向データベースとして実現した。MIB の操作については、管理情報が記述されたテンプレートから管理情報へのアクセス処理部分を生成する MINT を開発した。その結果 OSI 管理モデルに忠実なソフトウェアを作成することができた上、管理情報へのアクセスが容易となり。各種の管理情報定義にも柔軟に対応することが可能となった。MIB の操作言語には、筆者らの開発したオブジェクト指向言語 superC を採用した。

更に、管理情報に依存する部分と管理情報に依存しない部分を分離した結果、管理プロトコル処理モジュールは管理情報にかかわらず、当初の設計方針どおり汎用的に使用できた。また、MIB アクセスモジュールを、1 プロセスではなくライブラリーとして実現した結果、不要なプロセス間通信によるオーバーヘッドを回避できたと考えられる。

本研究の第 3 段階の成果として、OSI 管理と SNMP をベースとして、複数のサブ

ドメインネットワークから構成される事業会社のネットワーク運用管理方法について階層的な管理アーキテクチャを提案し、試作システムを開発した。この開発では、複数の分散配置された LAN ドメインを統合的に管理するためのアーキテクチャとして、LAN ドメイン内は SNMP による管理、LAN ドメイン間は OSI による統合管理を行うアーキテクチャを採用した。

統合マネージャは、ドメインマネージャを管理し、ドメインマネージャは、末端の LAN 機器を管理している。統合マネージャとドメインマネージャは、OSI 管理に準拠し、テンプレートで記述した管理情報を処理することができる。管理情報については、OSI 管理が規定する管理情報に加えて、NMF の管理情報ライブラリをサポートした。また、統合マネージャが扱う MIB スキーマを抽象的な M0 クラスとして固定したことによって、統合マネージャの適用領域を広げることが可能となり、可搬性が高くなった。

さらに、プログラム開発において、OSF/DME が公認する管理 API (XMP/API) を採用したことにより、アプリケーションの可搬性が高くなることが期待できる。

ドメインマネージャは、CMIP と SNMP のプロトコル変換、および OSI-SMI と IAB-SMI の管理情報変換を行う。また、TCP/IP 管理のデ・ファクト標準である SNMP に準拠し、管理情報として MIB-II を処理することも可能である。

本研究の第 4 段階の成果として、本論文にて報告した第 1 段階から第 3 段階の研究を通信事業と電力事業のネットワーク管理に提供した。

通信事業のネットワーク管理として、複数の分散配置された LAN ドメインを統合的に管理するためのアーキテクチャとして、LAN ドメイン内は SNMP によるドメインマネージャによる管理、LAN ドメイン間は OSI による統合マネージャによる統合管理を行うアーキテクチャを考案し、統合マネージャとドメインマネージャによる階層管理システムを開発した。また、FTTH のバックボーン・ネットワークの一方式である ATM-PON 加入者収容装置のネットワーク管理に適用し、10 万以上の管理対象としたネットワーク管理システムを開発した。

電力事業のネットワークとして、近年急速に普及が進んでいるスマートメーターから構成される電力自動検針ネットワークの運用管理システムに適用した。スマートグリッドを実現するために必要な情報通信システムの要件を抽出し、スマ

ートグリッドのサブシステムとなる電力需給制御と配電制御、およびスマートメーターの試作システムについて報告した。スマートメーターの通信方式として、920MHz 無線と携帯電話網、PLC を想定し、それらを運用管理するスマートメーター通信システムを開発した。

以上の4段階の研究により、筆者らが提案した情報通信ネットワーク運用管理システムを管理情報定義から半自動的に生成するソフトウェアが管理システムの構築期間を短縮することに有効であることがわかった。また、複数のドメインから構成される大規模ネットワークを階層的に管理するアーキテクチャについて、企業ネットワークとスマートメーター通信システムに有効であることがわかった。

なお、上記の研究を進めた上で、次のような新たな課題が残っていると考えている。

- スマートフォンとSNSの普及による末端LAN機器の増大とコンシューマ通信トラフィックの増大に対応したネットワークの構築と、その運用監視の方法
- セキュリティ障害の早期検出と、セキュリティ障害発生時のネットワークの運用方法(縮退、切り離し等)の標準化
- SNMPに代わる次世代のネットワーク管理アーキテクチャの検討

これらの新たな課題についても解決策を検討し、さらに利便性のある情報通信ネットワークの運用管理技術の発展を目的に研究を推進していく所存である。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、終始にわたり懇切なるご指導と励ましを頂きました、愛知工業大学 経営情報科学部 経営情報科学科教授 水野忠則博士、中條直也博士、森本正志博士、静岡大学 情報学部 情報科学科准教授 峰野博史博士に感謝申し上げます。また、論文の詳細な議論から研究全般にわたり適切なご助言とご鞭撻を賜りました、元三菱電機、現金沢工業大学 情報フロンティア学部 経営情報科学科教授 勝山光太郎博士、現和歌山大学 システム工学部 デザイン情報科学科教授 宗森純博士、現東邦大学 理学部 情報科学科教授 佐藤文明博士、現情報処理学会 下間芳樹博士、現福井工業大学 工学部 電気電子工学科教授 鹿間敏弘博士、現東京電機大学 情報環境学部特任教授 福岡久雄博士、現神奈川工科大学 情報学部 情報工学科 清原良三博士、三菱電機 情報技術総合研究所 田中功一氏、インフォメーション事業推進本部 辻宏郷博士に感謝申し上げます。研究内容の議論ならびに研究のまとめでは、創価大学 理工学部 情報システム工学科教授 寺島美昭博士に多くのご意見を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。また、資料の収集と整理に協力いただいた愛知工業大学 西脇綾香氏に感謝いたします。

本研究への取り組みでは、三菱電機(株)の諸先輩と同僚より多くの薫陶を受けました。情報技術総合研究所 所長 中川路哲男博士、河東晴子博士、名古屋製作所 楠和浩博士、系統変電システム製作所 丹下正純部長、塚本幸辰次長、城倉義彦主席技師長、井上俊宏副課長に感謝いたします。

特に、水野博士には、本論文の執筆の機会を与えて頂き、本論文をまとめる過程で終始励ましとご支援を頂きました。改めて感謝の意を表します。

また、筆者の仕事面、生活面のすべてにおいて支えとなってくれた妻 宮内由香里、長女 真優子、次女 聡子に感謝します。

参考文献

- [1] 江尻正義他, テレコミュニケーション管理のコンセプトと情報モデル, 信学会誌, Vol.83, No.8, pp.637-648 (2000.8).
- [2] 藤井伸郎, TMN 統合管理と OSI システム管理, 信学会誌, Vol.83, No.9, pp.707-712 (200.9).
- [3] 桐葉佳明他, 管理システム開発とソフトウェア技術, 信学会誌, Vol.83, No.10, pp.776-782 (2000.10).
- [4] 多田壽他, 新しい管理パラダイム, 信学会誌, Vol.83, No.12, pp.927-933 (2000.12).
- [5] 山中康史他, 世界の動向, 信学会誌, Vol.84, No.2, pp.135-139 (2001.2).
- [6] William Stallings. 大鐘久生(訳), SNMP バイブル, アジソン・ウェスレイ・パブリシャーズ・ジャパン(1994).
- [7] 大鐘久生, TCP/IP と OSI ネットワーク管理, ソフト・リサーチ・センター, (1993).
- [8] ISO/IEC 10040, System management overview (1990).
- [9] ISO/IEC 9596, CMIP (1989).
- [10] ITU-T Recommendation M.3010, Principles for a Telecommunications Management Network, (1992).
- [11] IETF RFC-1189, Common Management Information Services and Protocols for the Internet (CMOT and CMIP) (1990).
- [12] IETF RFC-1157, SNMP (1990).
- [13] IETF RFC-1441, Introduction to version 2 of the Internet-standard Network Management Framework (1993).
- [14] IETF RFC-2574, User-based Security Model (USM) for version 3 of the Simple Network Management Protocol (SNMPv3) (1999).
- [15] OMG, The Common Object Request Broker: Architecture and Specification Version 2.6 (2001).
- [16] DMTF, Desktop Management Interface Specification version 2.0 (1996).
- [17] ISO/IEC 10165-4, Structure of Management Information: Guidelines for the Definition of Managed Objects (1992).

- [18] IETF RFC-1155, Structure and Identification of Management Information for TCP/IP-based Internet (1990).
- [19] ISO/IEC 8824, Specification of Abstract Syntax Notation One (ASN.1) (1987).
- [20] 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則, OSI 管理における管理情報データベース(MIB)とその支援系の設計と実現, 信学論(B), Vol. J74-B-I, No. 11, pp. 971-982 (1991. 11).
- [21] 宮内直人, 中川路哲男, 三上義昭, 水野忠則, 青野英樹, 檜山秀郎, 曾我正和, 分散 LAN ドメインの OSI による統合管理, 情報処理論文誌, Vol. 34, No. 6, pp. 1426-1440 (1993. 6).
- [22] 宮内直人, 三上義昭, 勝山光太郎, ネットワーク管理の統合に向けて - ネットワーク管理における管理情報の統合, 情報処理学会第 43 回全国大会, Vol. 43, No. 1V-4, pp. 1-281-1-282 (1991. 9).
- [23] ISO/IEC DIS 10040, Information processing systems-OSI-System management overview (1990).
- [24] ISO/IEC 9595, Information processing systems-OSI-CMIS (1990).
- [25] ISO/IEC 9596, Information processing systems-OSI-CMIP (1990).
- [26] ISO/IEC 10164, Information processing systems-OSI-System of Management (1990).
- [27] ISO/IEC DIS 10165, Information processing systems- OSI Structure of ManagementInformation (1990).
- [28] Gregori E. and Menchi C., The Design of an OSI Compatible Network Management, IFIP TC 6/WG 6.6 Symposium on Integrated Network Management (1989. 5).
- [29] Carrieri E., Fioretti A. and Rocchini C. A., OSI Compatible Architecture and Management for Integrated Ultrawideband Multichannel Network, IFIP TC 6/ WG 6.6 Symposium on Integrated Network Management (1989. 5).
- [30] 依田宵生, 松貫邸巳, 富井伸郎, 共通管理情報サービス(CMIS)におけるオブジェクト選択後構の構成法, IN90-74 (1990).

- [31] 田中克己, オブジェクト指向データベースの基礎銃念, 情報処理, Vol.32, No.5, pp.500-513 (1991).
- [32] 増永良文, 次世代データベースシステムとしてのオブジェクト指向データベースシステム, 情報処理, Vol.32, No.5, pp.490-499 (1991).
- [33] 井崎智子, 和田哲也, 水野治展, 石場 淳, OSI 管理に基づく NMS-MIB の設計, 情報処理学会第 41 回全国大会, Vol.41, No.3Q-2, (1990).
- [34] 中井正一郎, 桐葉住明, 井原慈子, 長谷川聡, OSI 管理における管理対象定義情報の処理方式, 信学技報 情報ネットワーク研究会 (IN), IN90-51 (1990).
- [35] 勝山光太郎, 佐藤文明, 中川路哲男, 水野忠則, 通信ソフトウェア向けオブジェクト指向言語 superC, 情報処理学会論文誌, Vol.30, No.2, pp.234-241 (1989).
- [36] ISO/IEC 8824, Information processing systems - OSI - Abstract Syntax Notation One (ASN.1) (1988).
- [37] ISO/IEC 8825, Information processing systems - OSI - Abstract Syntax Notation One (ASN.1) - Basic Encoding Rules (1988).
- [38] 中川路哲男, 宮内直人, 勝山光太郎, 水野忠則, OSI 抽象構文記法支援ソフトウェア APRICOT の開発と評価, 電子情報通信学会論文誌 D-1 情報・システム, Vol.J73-D-1, No.2, pp.225-234 (1990.2).
- [39] Amatzia Ben-Artzi, et al., Network Management of TCP/IP Networks, Present and Future, IEEE Network, Vol.4, No.4, pp.35-43 (1990).
- [40] 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則, Design and Development of Management Information Base and Template Translator, JWCC-6, pp.299-304 (1991.7).
- [41] 桐葉佳明, 中井正一郎, 有馬啓伊子, 栗山博, ネットワーク管理システムにおける管理情報データベース (MIB) の開発, 信学技報 情報ネットワーク研究会 (IN), Vol.90-75, pp.43-48 (1990).
- [42] 依田育生, 藤井伸朗, 伝送網オペレーションにおける管理情報データベース (MIB) の構成法, 信学論, Vol.75-B-1, No.8, pp.517-527 (1992).
- [43] Suzuki, M., Sasaki, R. and Nagai, R., Development of Integrated

- Network Management System NETM Based on OSI Standards, IFIP Integrated Network Management, II (1991).
- [44] Antonelli, F., Ciardi, M. and Volpe, M., A Public Telecom Operator's Point of View for the Integrated Management of Local and Wide Area, ICCO, pp. 357-362 (1992).
 - [45] Gremmelmaier, U. and Robler, G.: A Proxy Agent for Managing Internet-Based Systems from an OIS Manager, ICCO, pp. 479-483 (1992).
 - [46] ISO/IEC 10040, Information processing systems - OSI - System management overview (1990).
 - [47] ISO/IEC 9596, Information Processing Systems - OSI - Common Management Information Protocol (1990).
 - [48] ISO/IEC 10165, Information Processing Systems - OSI - Structure of Management Information (1990).
 - [49] ISO/IEC 10164, Information Processing Systems - OSI - System Management Function (1990).
 - [50] ISO/IEC 8824, Information Processing Systems - OSI - Abstract Syntax Notation One (ASN.1) (1988).
 - [51] IETF RFC 1157, SNMP (1990).
 - [52] IETF RFC 1155, SMI (1990).
 - [53] IETF RFC 1213, Management Information Base for network management of TCP/IP based internets: MIB-II (1991).
 - [54] IETF RFC 1286, Definitions of managed objects for Bridges (1991).
 - [55] IETF RFC 1214, OSI Internet Management: Management Information Base (1991).
 - [56] CCITT Recommendation M. 3100, Generic Network Information Model (1992).
 - [57] NM Forum, OP 1 Library Vol.1 (1992).
 - [58] NIST, Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards (2010).
 - [59] 次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会, 次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて (2010.1).

- [60] 石橋孝一他, スマートメータネットワークにおけるメッシュネットワーク技術, 日本・中国・アジア連携の事業創出シンポジウム(2010).
- [61] ITU-T G.983.1, Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON) (1998).
- [62] 上田裕巳他, ATM 加入者収容システム (モデル C) の開発, NTT R&D, Vol. 48, No. 5, pp. 446-451 (1999).
- [63] 別所雄三他, ATM-PON 局側インタフェースの試作と評価, 信学会秋季全大, No. B-8-14 (2000.9).
- [64] 上田広之他, ATM アクセスシステム, 三菱電機技報, Vol. 74, No. 8, pp. 36-40 (2000).
- [65] 野田勝彦他, 高速 IP 通信サービスを提供するための STM-PDS 装置管理運用システムの検討, 信学技報, Vol. TM99-28, pp. 69-76 (1999).
- [66] ITU-T M.3000, Overview of TMN Recommendations (1994).
- [67] ISO/IEC 10040, System management overview (1990).
- [68] ISO/IEC 9596, CMIP (1989).
- [69] Telcordia GR-811, OTGR Section 12: Operations Application Messages - TL1 Messages Index (1997).
- [70] ISO/IEC 10165-4, GDMO (1989).
- [71] OMG, The Common Object Request Broker: Architecture and Specification Version 2.0 (1995).
- [72] ITU-T M.3100, Generic network information model (1995).
- [73] ITU-T I.751, Asynchronous transfer mode management of the network element view (1996).
- [74] ITU-T G.774, Synchronous digital hierarchy management of the network element view (1992).
- [75] ITU-T G.902, Architecture and functions, access types, management and service node aspects (1995).
- [76] ATM Forum af-nm-0027.001, CMIP Specification for the M4 Interface, Version 2 (1999).
- [77] FSAN Management Services, Object Models and Implementation Ensembles,

Draft (1999.12).

- [78] Sun Microsystems, Java Remote Method Invocation Specification (1998).
- [79] Sun Microsystems, Jini Specifications v1.1 (2000.10).
- [80] 佐藤浩司, 宮内直人, 高井伸之, 下間芳樹, 寺内弘典: JavaRMI/JINI の APON システム管理装置への適用, 電子情報通信学会 2001 年テレコミュニケーションマネジメント(TM)ワークショップ, pp.103-106 (2001.3).

著者論文

- (1) 中川路哲男, 宮内直人, 勝山光太郎, 水野忠則: ASN.1 ツール APRICOT のデバッグ支援機能, 情報処理学会全国大会, pp. 589-590(1988. 3).
- (2) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: ASN.1 ツール APRICOT の性能評価, 情報処理学会全国大会, pp. 591-592(1988. 3).
- (3) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: APRICOT の応用層テストへの適用, 電子情報通信学会春季全国大会講演論文集, p. 1-46(1988. 3).
- (4) 勝山光太郎, 中川路哲男, 宮内直人, 水野忠則: セッションシミュレータによる通信ソフトウェアの開発, 情報処理学会D P S 研究会 3 7 - 1, pp. 1-7(1988. 5).
- (5) 中川路哲男, 宮内直人, 勝山光太郎, 水野忠則: OSI CCR の実現, 情報処理学会D P S 研究会 3 7 - 2, pp. 9-16(1988. 5).
- (6) 勝山光太郎, 佐藤文明, 宮内直人, 中川路哲男, 水野忠則: OSI 高位層ソフトウェア試験システム, 情報処理学会 DPS 研究会 39-6, pp. 1-6(1988. 9).
- (7) 中川路哲男, 宮内直人, 勝山光太郎, 水野忠則: オブジェクト指向モデルによる OSI 応用層ソフトウェア構成法の一検討, 情報処理学会全国大会講演集, Vol. 37, No. 1, p. 461(1988. 9).
- (8) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: マルチプロトコルデータ作成ツールの実現, 情報処理学会全国大会, p. 516(1988. 10).
- (9) Tetsuo Nakakawaji, Kotaro Katsuyama, Naoto Miyauchi, and Tadanori Mizuno: Development and Evaluation of Apricot (Tools for Abstract Syntax Notation One), INTAP, Proceedings of the Second International Symposium on Interoperable Information Systems, pp. 55-62(1988. 11).
- (10) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: OSI ディレクトリの実現, 情報処理学会MD P 研究会 4 0 - 3, pp. 1-8(1989. 1).
- (11) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: ASN.1 ツール APRICOT の特性評価, 情報処理学会全国大会, pp. 1623-1624(1989. 3).

- (12) 中川路哲男, 宮内直人, 勝山光太郎, 水野忠則: オブジェクト指向アプローチによるディレクトリ情報ベースの構築, 情報処理学会全国大会, pp. 1647-1648(1989. 3).
- (13) 宮内直人, 楠和浩, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: ディレクトリシステムの実装, 電子情報通信学会全国大会講演論文集, p. 3-165(1989. 3).
- (14) 楠和浩, 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: ミニ MAP オブジェクトディクショナリシステムの実現, 電子情報通信学会全国大会講演論文集, pp. 164(1989. 3).
- (15) 楠和浩, 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: ミニ MAP オブジェクトディクショナリとフルMAPディレクトリの接続に関する一検討, 電子情報通信学会全国大会講演論文集, p. 3-104(1989. 9).
- (16) 佐藤文明, 宮内直人, 勝山光太郎, 水野忠則: 通信システム試験仕様開発ツール, 電子情報通信学会全国大会講演論文集, p. 3-34(1989. 9).
- (17) 宮内直人, 楠和浩, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: 通信ソフトウェアの移植性についての考察, 電子情報通信学会全国大会講演論文集, p. 6-135(1989. 9).
- (18) 楠和浩, 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: ミニ MAP オブジェクトディクショナリシステムの性能評価, 情報処理学会全国大会, Vol. 3, pp. 2059-2060(1989. 10).
- (19) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: 分散型ディレクトリ実装のための一検討, 情報処理学会全国大会, vol. 3, pp. 2083-2084(1989. 10).
- (20) 中川路哲男, 宮内直人, 勝山光太郎, 水野忠則: OSI 抽象構文記法支援ソフトウェア APRICOT の開発と評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J73-D-I, No. 2, pp. 225-234(1990. 2).
- (21) 中川路哲男, 宮内直人, 勝山光太郎, 水野忠則: OSI 管理情報支援ツール MINT の設計, 情報処理学会全国大会, pp. 1444-1445(1990. 3).
- (22) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: ディレクトリプロトコルの拡張提案と運用上の検討課題について, 情報処理学会全国大会,

Vol. 3, pp. 1448-1449(1990. 3).

- (23) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則 : ASN.1 ツールの方式検討, 電子情報通信学会全国大会講演論文集, p. 3-177(1990. 3).
- (24) 中川路哲男, 宮内直人, 勝山光太郎, 水野忠則 : OSI 管理情報支援ツール MINT, 情報処理学会技術研究報告, DPS-45, pp. 41-48(1990. 5).
- (25) 勝山光太郎, 中川路哲男, 宮内直人, 楠和浩, 水野忠則 : オブジェクト指向言語による OSI 通信ソフトウェア開発の評価, 情報処理学会研究報告, DPS-46, pp. 67~74(1990. 7).
- (26) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則 : OSI ネットワーク管理ソフトウェアの設計, 情報処理学会全国大会, pp. 1-151 ~ 1-152(1990. 9).
- (27) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則 : オブジェクト指向管理情報データベース, 電子情報通信学会時限研究専門委員会情報通信ネットワークアーキテクチャシンポジウム, pp. 15-1 ~ 15-6(1990. 10).
- (28) 中川路哲男, 勝山光太郎, 宮内直人, 玉田純, 水野忠則 : OSI ディレトリシステムにおける DIB (ディレトリ情報ベース) のオブジェクト指向アプローチによる実現, 情報処理学会論文誌, Vol. 32, No. 3, pp. 304-313(1991. 3).
- (29) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則 : マルチベンダネットワーク管理方式の一検討, 電子情報通信学会全国大会講演論文集, Vol. 3, p. 3-211(1991. 3).
- (30) Naoto Miyauchi, Tetsuo Nakakawaji, Kotaro Katsuyama, and Tadanori Mizuno: An Implementation of Management Information Base, First International Workshop on Interoperability in Multidatabase Systems, IMS' 91 Proceedings, pp. 318-321(1991. 4).
- (31) Tetsuo Nakakawaji, Kotaro Katsuyama, Naoto Miyauchi, and Tadanori Mizuno: MINT: An OSI Management Information Support Tool, IFIP TC6/WG6.6 Second International Symposium on Integrated Network Management, pp. 845-855(1991. 4).

- (32) Naoto Miyauchi, Tetsuo Nakakawaji, Kotaro Katsuyama, and Tadanori Mizuno: Design and Development of Management Information Base and Template Translator, Special Interest Group on Distributed Processing Systems of the Information Processing Society of Japan, Proceeding of 6th International Joint Workshop on Computer Communications, pp. 299-304(1991.7).
- (33) 宮内直人, 三上義昭, 勝山光太郎: ネットワーク管理の統合に向けて - ネットワーク管理における管理情報の統合-, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 1, pp. 281~282(1991.10).
- (34) 三上義昭, 宮内直人, 勝山光太郎: ネットワーク管理の統合に向けて - ネットワーク管理における管理情報へのアクセス方式-, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 1, pp. 283~284(1991.10).
- (35) 宮内直人, 中川路哲男, 勝山光太郎, 水野忠則: OSI 管理における管理情報ベース (MIB) とその支援系の設計と実現, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J 74-B-I, No. 11, pp. 971-982(1991.11).
- (36) 宮内直人, 三上義昭, 中川路哲男, 水野忠則: 統合ネットワーク管理システムにおける管理情報/プロトコルの変換方式, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 1, pp. 109-110(1992.3).
- (37) 辻宏郷, 宮内直人, 中川路哲男, 水野忠則: OSI ディレクトリサービス仕様の実現状況の課題, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 1, pp. 131-132(1992.3).
- (38) 三上義昭, 宮内直人, 水野忠則: OSI 通信ソフトウェアにおける性能測定方法の検討, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 6, pp. 267-268(1992.3).
- (39) 宮内直人, 中川路哲男, 三上義昭, 水野忠則, 青野英樹, 桧山秀郎, 曾我正和: 分散 LAN ドメインの OSI による統合管理, 情報処理論文誌, Vol. 34, No. 6, pp. 1426-1440(1993.6).
- (40) 宮内直人, 佐藤浩司, 高井伸之, 下間芳樹, 寺内弘典: 大規模 APON システムの管理装置の設計, 電子情報通信学会 2001 年テレコミュニケーションマネジメント(TM)ワークショップ, pp. 97-102(2001.3).

- (41) 宮内直人, 佐藤浩司, 高井伸之: 公衆高速アクセス網の管理システムの設計, 電子情報通信学会信学技報, Vol.101, No.188, pp.39-44(2001.7).
- (42) 宮内直人, 佐藤浩司, 高井伸之, 鹿間敏弘: 標準的なネットワーク管理アーキテクチャの現状と課題, 電子情報通信学会信学技報, Vol.101, No.705, pp.1-6 (2002.3).
- (43) 峰野博史, 肥田一生, 水谷美穂, 宮内直人, 楠和浩, 水野忠則: 移動機器連携ロケーショントラッキング方式の提案, 情報処理学会研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), Vol.2004-GN-51, pp.1-6(2004.3).
- (44) 水谷美穂, 峰野博史, 肥田一生, 石原進, 宮内直人, 水野忠則: 移動機器連携トラッキング方式における位置情報収集エージェントの試作, 情報処理学会第66回全国大会, pp.3-407-3-408(2004.3).
- (45) 宮内直人, 寺島美昭, 鹿間敏弘: ネットワーク障害の故障診断方式に関する検討, 電子情報通信学会信学技報, Vol.103, No.700, pp.13-18(2004.3).
- (46) 水谷美穂, 峰野博史, 肥田一生, 宮内直人, 水野忠則: 複数の移動端末によるトラッキングシステムの実装, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM0)2004 シンポジウム, pp.341-344(2004.7).
- (47) 寺島美昭, 宮内直人, 鹿間敏弘, 佐藤文明, 水野忠則: 分散オブジェクトシステムの再構築を実現する構成管理方式の検討, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM0)2004 シンポジウム, pp.683-686(2004.7).
- (48) Yoshiaki Terashima, Naoto Miyauchi, Hisao Fukuoka, Fumiaki Sato, and Tadanori Mizuno: A Testing Method Using a Testing Policy for Real-time Distributed Object Systems, IEEE International Symposium on Communications and Information Technologies 2004(ISCIT 2004), 28AM2D-2, pp.451-456(2004.10).
- (49) 河東晴子, 寺島美昭, 宮内直人, 中川路哲男: フォルトトレラント・アドホックネットワーク設計方式, 電子情報通信学会信学技報,

Vol. 104, No. 433, pp. 5-10(2004. 10).

- (50) 寺島美昭, 宮内直人, 福岡久雄, 佐藤文明, 水野忠則: 試験ポリシーを用いたリアルタイム分散オブジェクトシステム試験方式, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J87-B, No. 11, pp. 1876-1887(2004. 11).
- (51) 宮内直人, 登内敏夫, 高野誠: 快適コミュニケーションを支える -進化するネットワーク管理技術- 6. 管理システム開発技術, 電子情報通信学会誌, Vol. 87, No. 12, pp. 1036-1041(2004. 12).
- (52) 水谷美穂, 肥田一生, 峰野博史, 宮内直人, 楠和浩, 水野忠則: 移動端末による物品管理システムの実証実験, 映像情報メディア学会技術報告 コンシューマエレクトロニクス メディア工学, 映像学技法 Vol. 28, No. 73, pp. 5-8(2004. 12).
- (53) Haruko Kawahigashi, Yoshiaki Terashima, Naoto Miyauchi, and Tetsuo Nakakawaji: Modeling ad hoc sensor networks using random graph theory, Consumer Communications and Networking Conference 2005 (CCNC 2005), pp. 104-109(2005. 1).
- (54) 肥田一生, 水谷美穂, 峰野博史, 宮内直人, 楠和浩, 水野忠則: 移動端末を用いた物品管理システムにおける位置推定アルゴリズムの評価, 情報処理学会研究報告データベースシステム (DBS), Vol. 2005, No. 6, pp. 119-126(2005. 1).
- (55) 竹中友哉, 峰野博史, 徳永雄一, 宮内直人, 水野忠則: 屋内位置情報システムの基準点設定自動化に関する検討, 情報処理学会第 67 回全国大会, pp. 3-637-3-638(2005. 3).
- (56) 宮内直人, 高野啓, 寺島美昭, 鹿間敏弘, 中川路哲男: ネットワーク障害診断ツールの開発, 電子情報通信学会信学技報, Vol. 104, No. 707, pp. 25-30(2005. 3).
- (57) 竹中友哉, 峰野博史, 徳永雄一, 宮内直人, 水野忠則: Range-Based と Range-Free を組み合わせたセンサローカリゼーションの提案, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO)2005 シンポジウム論文集, pp. 357-360(2005. 7).
- (58) 水谷美穂, 肥田一生, 峰野博史, 宮内直人, 水野忠則: 固定タグを用い

た異動端末の測位方式に関する検討, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO)2005 シンポジウム論文集, pp. 545-548(2005. 7).

- (59) Hiroshi Mineno, Kazuo Hida, Miho Mizutani, Naoto Miyauchi, Kazuhiro Kusunoki, Akira Fukuda, and Tadanori Mizuno: Position Estimation for Goods Tracking System Using Mobile Detectors, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 9th International Conference (KES)2005, Part1, pp. 432-437(2005. 9).
- (60) 寺島美昭, 別所雄三, 宮内直人, 中川路哲男, 鹿間敏弘, 福岡久雄, 佐藤文明, 水野忠則: 差分更新を実現する分散オブジェクト再構成ミドルウェアの実装と検証, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.9, pp. 2288-2299(2005. 9).
- (61) Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, Yuichi Tokunaga, Naoto Miyauchi, and Tadanori Mizuno: A proposal of Localization for Dense Irregular Sensor Networks, 情報学ワークショップ 2005 (WiNF2005) 論文集, pp. 138-141(2005. 9).
- (62) Haruko Kawahigashi, Yoshiaki Terashima, Naoto Miyauchi, and Tetsuo Nakakawaji: Designing fault tolerant ad hoc networks, IEEE Military Communications Conference (MILCOM) 2005, Vol. 3, pp. 1360-1367(2005. 10).
- (63) Hiroshi Mineno, Kazuo Hida, Miho Mizutani, Naoto Miyauchi, Kazuhiro Kusunoki, Akira Fukuda, and Tadanori Mizuno: Hierarchical Position Estimation for a Tracking System using Mobile Detectors, GESTS International Transactions on Computer Science and Engineering, Vol.23, No. 1, pp. 21-32(2005. 11).
- (64) Kazuo Hida, Miho Mizutani, Takuya Miyamaru, Hiroshi Mineno, Naoto Miyauchi, and Tadanori Mizuno: Design of Goods Tracking System with Mobile Detectors, 2006 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing, pp. 285-290(2006. 1).
- (65) 水谷美穂, 肥田一生, 峰野博史, 宮内直人, 水野忠則: 固定タグを用い

- た移動端末の測定方式, 情報処理学会研究報告マルチメディア通信と分散処理(DPS), Vol.2006, No.6, pp.31-36(2006.3).
- (66) 肥田一生, 宮丸卓也, 峰野博史, 徳永雄一, 宮内直人: モバイル RFID タグリーダーを用いた物品管理システムの評価, 第68回情報処理学会全国大会, pp.3-297-3-298(2006.3).
- (67) 宮丸卓也, 肥田一生, 峰野博史, 寺島美昭, 宮内直人, 水野忠則: MobiTra における指向性を考慮した位置推定方式の検討, 第68回情報処理学会全国大会, pp.3-519-3-520(2006.3).
- (68) Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, Yuichi Tokunaga, Naoto Miyauchi, and Tadanori Mizuno: A Study on Localization for Dense Irregular Sensor Networks, Proceedings of the 3rd International Conference on Networked Sensing Systems (INSS2006), pp.99-102(2006.6).
- (69) 宮丸卓也, 峰野博史, 寺島美昭, 宮内直人, 水野忠則: 階層的トラッキング方式における指向性を考慮した位置推進方式の評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02006) シンポジウム論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ Vol.2006, No.89, pp.349-352(2006.7).
- (70) Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, Yuichi Tokunaga, Naoto Miyauchi, and Tadanori Mizuno: On the Performance of Localization for Dense Irregular Sensor Networks, 情報学ワークショップ 2006 (WiNF2006) 論文集, pp.233-238(2006.9).
- (71) 宮丸卓也, 峰野博史, 寺島美昭, 宮内直人, 水野忠則: WSN における高信頼ソフトウェア更新手法の検討, 情報学ワークショップ 2006 (WiNF2006) 論文集, pp.229-232(2006.9).
- (72) Haruko Kawahigashi, Yoshiaki Terashima, and Naoto Miyauchi: A Proposal for a New Measure Analogous to Entropy for Bandwidth Constrained - Control-Based Ad-Hoc Network Design, IEEE Military Communications Conference (MILCOM 2006), pp.1-7(2006.10).
- (73) Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, Yuichi Tokunaga, Naoto Miyauchi, and Tadanori Mizuno: Optimized Link State Routing-based

Localization for Dense Irregular Sensor Networks, The 3rd International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU)2006, pp.260-265(2006.10).

- (74) Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, Yuichi Tokunaga, Naoto Miyauchi, and Tadanori Mizuno: On the Performance of Localization for Dense Irregular Sensor Networks, 静岡大学情報学研究, Vol.12, pp.11-20(2007.3).
- (75) Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, Yuichi Tokunaga, Naoto Miyauchi, and Tadanori Mizuno: Performance Evaluation of Optimized Link State Routing-based Localization, Proceedings of the 26th IEEE International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC)2007, pp.150-159(2007.4).
- (76) Tomoya Takenaka, Hiroshi Mineno, Yuichi Tokunaga, Naoto Miyauchi, and Tadanori Mizuno: Performance Analysis of Optimized Link State Routing-based Localization, IPSJ Journal, Vol.48, No.9, pp.3286-3299(2007.9).
- (77) 宮内直人, 井上俊宏, 峰野博史, 水野忠則: スマートグリッドを実現する情報通信システムの試作と評価, 情報処理学会研究報告-コンシューマ・デバイス&システム (CDS), Vol.2011-CDS-1, No.12, pp.1-5(2011.6).
- (78) 宮内直人, 水野忠則, 峰野博史: スマートグリッド監視・管理システム, 情報処理学会研究報告-コンシューマ・デバイス&システム (CDS), Vol.2011-CDS-2, No.10, pp.1-7(2011.8).
- (79) Naoto Miyauchi, Hiroshi Mineno, and Tadanori Mizuno: Smartgrid management system -- Design and trial development, Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN)2012, pp.49-54(2012.9).
- (80) Naoto Miyauchi, Yoshiaki Terashima, and Tadanori Mizuno: Management Issues and Solution on Smart Meter Communication System, Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN)2015,

pp. 131-136 (2015. 9).