

IPv6 インターネットによる広域施設監視制御実証実験

広瀬 啓一

(技術研究所)

An Experimental Implementation of a Remote Building and Energy Management System using the IPv6 Internet

by Keiichi Hirose

Abstract

Remote building and energy management systems (BEMS) can be used to monitor and control several buildings spread over a wide area, thereby reducing operating expenses and centralizing system resources. Conventional BEMS, however, do not offer remote operation over the Internet. The author has developed and implemented a prototype remote BEMS that supports multiple vendors and protocols, and communicates with BACnet-iCONTs, XML/SOAP based controllers, and facility management sub-systems over the global IPv6 Internet. The system also has revealed some problems in the building management protocol standards and the networking environment.

概 要

コスト低減、システム資源の集中化のために、複数の分散する施設の管理システムに対しインターネットを用いて外部から接続し集中管理することで効率化を図ることに対する要望が最近高まってきている。本開発では、複数の広域に分散する施設を監視・制御する IPv6 によるインターネット接続を基盤とした施設管理システムのプロトタイプを構築した。そしてこのシステムを BACnet や XML/SOAP 等それぞれ異なる通信プロトコルにより通信する機器群、および実案件として稼働している施設管理システム等と接続し、広域施設管理実証実験を実施した。これにより広域施設管理システムの実現性および施設管理分野が IPv6 インターネットワーキングの有望な用途であることを示し、さらに現状の規格や環境の問題点も明らかにした。

§ 1. はじめに

施設管理システムの管理対象は、従来は一棟の建物あるいは隣接する複数棟からなる小街区であり、システムとしてもその範囲内で閉じていた。しかし近年は、システム資源の集中化によるコスト低減や効率化のために、複数の広域に分散する施設管理システムをインターネットを用いて外部から接続し集中管理する要望が高まってきている。一方、ブロードバンドによる IP ネットワーク接続環境が背景となり、従来高価な専用回線を用いてのみ可能であった広域をカバーするネットワーク利用システムの構築が現在では安価に実現可能となっている。

ところが、現在の IP ネットワークを支えるプロトコル IPv4 には、機器に与える IP アドレスの数が制限され、ネットワーク分割も容易に行えない等大規模なネットワークを扱う上での制限がある。この制限を回避するためには複雑な設計や運用の手法を適用する必要がある、そのための工数や専用の機器が必要となる。

これに対し IPv6 は、事実上無制限に利用可能な IP アドレス体系やセキュリティ・通信品質確保に有利な

仕様を持つ次世代インターネットプロトコルであり、前述の制限が解消されている。接続機器数が多く機器同士の通信が頻繁に行われ、大規模なネットワークへと発展する場合もある施設監視制御用途としては、IPv6 の採用はより適切であると考えられる。

そこで本開発では、自治体やビルオーナー（ビル管理会社、生産施設等を持つ企業等）など複数拠点に分散して位置する施設を管理する必要のある利用者が、施設管理業務における運用コストの低減を図るためにネットワークにより集中化された監視・制御システムを利用するものと想定し、集中施設管理への提案として IPv6 によるインターネット接続を基盤として分散する複数の施設を監視・制御する施設管理システムのプロトタイプを構築する。そしてこのシステムを用いて、それぞれ異なる通信プロトコルにより通信する機器群、および実案件として稼働している施設管理システム等と接続する実証実験を行い、IPv6 による広域施設管理システムの可能性について検討する。

§ 2. 施設管理と IPv6 ネットワーク

2.1 管理機器のネットワーク化

設備機器の監視制御を業務とする施設管理システムは、機器の遠隔制御・監視のために早い段階からネットワーク化が進められてきた。しかしこの段階でのネットワーク化は各機器ベンダーごと、あるいは制御される機器の種類などによってそれぞれ独自のメディア（伝送媒体）やプロトコルが用いられる「閉じた」ネットワークであり、複数機器を組み合わせる集中管理システムを構築する場合には、各々の部分システムへの個別対応が不可避であった。また、運用コスト低減を求めて複数拠点のシステムを接続する場合、通信媒体やプロトコルの物理的制約（電流、時間等）が厳しく、実現可能な機能は限られていた。

2.2 IP の普及と施設管理システムへの応用

現在のデータ通信においては、インターネットの普及とそれに伴う技術の普及展開や適用範囲の拡大から、IP(Internet Protocol) によるネットワーク接続が事実上の標準となっている。IP の一般化に伴うインフラや機器の性能向上および価格優位性から、現在ではデータ通信用途のみならず、音声通信や映像転送も IP 上に伝送体系を構築する手法が一般的となっている。

施設管理システムにおいては、IP はリアルタイム性を考慮しないため要求性能が得られず利用は不適当と考えられてきた。しかし IP が標準的な通信インフラとなるに伴い、コスト上の要因などから IP 上でのシステム構築への要求も高まってきた。それに対し、IP 通信の媒体であるイーサネットの通信速度が向上したことにより、利用者にとって近似的・確率的にリアルタイムと見做せる環境を提供し得るようになったことと、制御対象機器と、その制御や監視を一次的に行う機器（ここではコントローラと呼ぶ）との間の通信は各々のシステム固有の伝送媒体やプロトコルを用い、コントローラから監視制御を行う管理システム等との間を IP で結ぶことにより他システムの影響を受け難いシステム構成（図-1）とすることにより、現在では施設管理システムを IP で構築することは適当なされていると考えられる。センサー等各機器が HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) あるいは SNMP (Simple Network Management Protocol) 等を用いて直接 IP 通信する機能を持ち、監視制御側はそれらを直接操作するという構成も現れつつあるが、各機器に与え得る IP アドレスの数量に制限があり、現在のところ一般的とはいえない。

IP はネットワークの相互接続を前提とした体系であることから、施設管理システムを IP 化することにより管理範囲を拡大させた構成が可能になる。すなわ

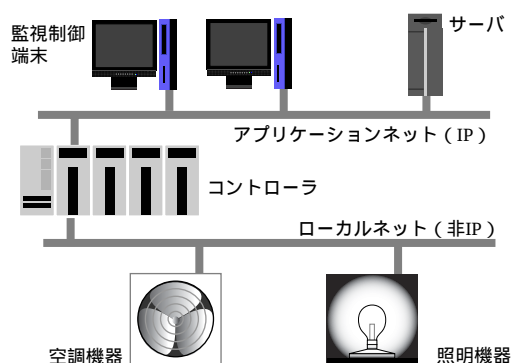


図 - 1 典型的な施設管理ネットワーク構成

ち、一棟の建物あるいは隣接する複数棟のみを管理する閉じられた少数のネットワークから成る施設管理システムネットワークを、複数接続し相互あるいは集中的に管理することができる。これは広域に分散する施設管理システムの基本モデルであるといえる。

2.3 IPv6 の可能性

IP 化により相互接続によるシステムの拡大は可能となったが、広域に渡る複数施設を集中管理するシステムのような大規模な構成となると、ネットワークあたりの IP アドレスの数量に制限を受けたり、ネットワークの分割や併合においてネットワークを階層的に構成できず自由度が低くなるなど、ネットワーク設計・運用が困難になる場合がある。また、組織の合併等において新たに集中管理すべき施設が加わる場合を想定すると、単純な接続により IP アドレスの衝突を招く可能性も考えられる。さらに、離れた地点間をルータやファイアウォールなどを越えてネットワーク的に適切に結ぶためには、アドレス変換やトンネリングなど複雑な仕掛けと事前の接続ポリシーの詳細な検討を必要とするため、工数の増大やバグを招くことになる。

これらの問題を解決する方法として、IPv6 プロトコルの採用がある。IPv6 ではアドレスが 128bit で表現されるためアドレスの数量に関しては事実上制限はなく、ネットワーク単位の分割/併合も、プレフィクスというアドレス領域を用いることにより、体系的に行うことが可能となる。また、アドレスや経路情報は自動的にネットワーク機器（ルータ）により付与される、あるいはプロトコルレベルでのセキュリティを考慮しやすい仕様であることもあり、施設管理システムが用いる基盤ネットワークとして良好な性質を持つプロトコル体系であると考えられる。上に挙げた問題でいえば、アドレス衝突の回避、アドレス変換等の省略、接続ポリシーの一元管理等への寄与が期待される。

§ 3. 広域分散施設管理のモデル化

以上に述べた背景に基づき、広域分散施設管理（監視・制御）のモデルについて検討する。

3.1 モデル環境の定義

広域分散施設管理（監視・制御）のモデルとして、階層的な施設管理を想定した「中央センターと地域センター」というモデルを提案する。中央センターは、

- 組織の管理する施設を把握する
- 経営的判断のための情報収集を行う
- 広域施設マネジメントシステムの構成を持つ

拠点と定義する。一方、地域センターは

- 地域の複数の施設の監視制御を行う
- 広域施設監視/制御システムの構成を持つ

拠点であり、何かあってもすぐに駆けつけることのできる距離を想定して設置されるものと定義する。集中管理と機動性とのバランスから、監視の対象とする施設は数箇所とする。

地域センターのモデルでは、広域環境を想定してインターネットを意識したネットワーク構成とし、IPv6 によるグローバルアクセスを行う（図-2）。

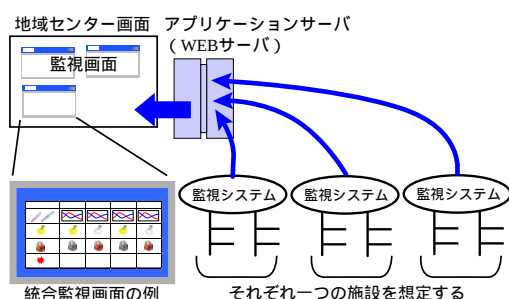


図-2 地域センターのイメージ

3.2 技術的な方針と課題

地域センターモデルは IPv6 普及・高度化推進協議会（IPv6 による次世代インターネットの普及促進をはかるための諸事業を行うために総務省をオブザーバーとして 2001 年に創立された産官学による任意団体。会長は村井純慶應大学教授（2005 年 12 現在））ファシリティネットワークサブワーキンググループ（以下 FNSWG）においても議論された。FNSWG においては、過去にマルチベンダー相互接続実験を行い、BACnet を通信プロトコルとする機器相互、あるいは XML/HTTP を通信手段とする機器相互で IPv6 通信実験を行い、同一ネットワーク内で相手機器に接続されている機器の情報を取得して監視が可能であること

を確認している³⁾。しかし、以上の実験は同一ネットワーク上でのマルチベンダー接続によるものであり、異なるネットワークに跨る機器とサーバとを IPv6 により接続するインターネットワーキングや、異なるアプリケーションプロトコルを集約するマルチプロトコルに関する実証実験は行われていない。

以上を踏まえ、本開発においては設備管理機器のインターネットワーキングを主な技術的な目標とし、システムを実装するにあたっての技術的方针および検討課題を以下のとおりとする。

- 本開発の範囲は施設管理特有の問題が多い地域センターに相当する機能とする。
- IPv6 インターネットによる通信に対応し、柔軟かつ拡張性に富むシステムのプロトタイプを示すことを目指す。また、アドレスの取得、ルーティング等未検証の領域の確認を行う。
- インターネット経由での利用を考慮し、WEBブラウザから監視画面にアクセスする形態のシステム構成とする。
- 本開発では、ビル管理システムプロトコルとして大きな位置を占める BACnet および XML/SOAP を主に扱う（マルチプロトコル）。センサ、照明器具、空調機器など末端部分についてはローカル手順で取り扱い、本システムではこの部分の詳細については扱わない。BACnet および XML/SOAP については後述する。
- 共通の技術的基盤と通信手順を持つが製造者が異なるシステムを、同一のシステムにおいて利用する（マルチベンダー）。

3.3 MP/MH

MP/MH(MultiPrefix/MultiHome) は、用途等でプレフィックスが分けられた (MultiPrefix) 複数の IPv6 ネットワークを単一の物理ネットワークに載せ、複数の接続先 (MultiHome) に接続する技術であり、現在開発・検証が行われている⁴⁾。今回の実証実験においては、MP/MH による IPv6 インフラを利用することにより、施設管理プロトコルと通常データ通信（監視カメラ画像等）を分割し異なるポリシーでの運用を模擬したり、複数の拠点を有する同一組織の建物を同じネットワークとみなすなど、より効果的な実験とすることを目指す。

§ 4. 実験システムの実装

前述した地域センターモデルの要件および技術的課題を満たす形で広域分散施設管理システムのプロトタイプを実装する。実装においては異種ベンダーによる

システムをそれぞれ独立した施設とみなし、MP/MHによりそれぞれ異なったネットワークアドレスが付与された環境で IPv6 接続監視・制御を行うという体裁をとる。

4.1 XML/SOAP による実装

4.1.1 XML/SOAP

XML(eXtended Markup Language) はデータに構造と意味を付与できるマークアップ言語である。汎用のデータ記述言語としてのみならず、機器間で流通するデータを表現するための言語として、様々な業種における情報流通フォーマットの基礎となっている。

SOAP¹⁾(Service-Oriented Architecture Protocol) は(非集中)分散環境において構造化された情報を交換するために用いられるプロトコルであり、異種システムを疎結合する仕掛けとなる。その動的な振舞いは RPC(Remote Procedure Call) に基づいたものとなっている。SOAP における通信データである SOAP メッセージは XML で記述されており(図-3)、人間可読なものとなっている。

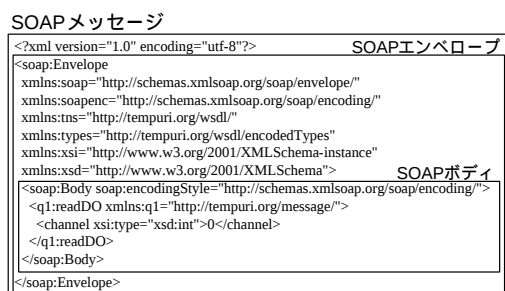


図 - 3 SOAP メッセージ

SOAP は OSI 階層第 7 層相当に位置するプロトコルであり、通常用いられる HTTP や SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) など、既に存在する WEB やメールのための枠組にそのまま載ることから、インターネットワーキングが容易となっている。アプリケーションサービスを外部から呼出し可能な WEB サーバにて提供する仕組みを WEB サービスと呼ぶが、XML/SOAP は WEB サービスの呼出し・実行基盤として用いられることが多い。

4.1.2 WSDL による通信仕様の提供

XML/SOAP によるサービスを提供するシステムは、メソッド名やパラメータ等サービスのリモート呼出仕様を記述する WSDL (Web Services Description Language) をネットワーク可読な形で提供する。サービス利用アプリケーション開発は、この WSDL をサーバより取得して開発言語によるクラス記述に変換し、さらに必要なコードを追加していくことにより行われる。本開発においても、上記の手順を踏襲している。

4.1.3 実装環境

XML/SOAP を用いて各設備の状態や現在値を取得し、WEB アプリケーションとして表示可能な形とするシステム構成を図-4 に示す。

ユーザは、WEB ブラウザを用いて WEB サーバにアクセスすることにより、機器の状態・現在値の監視や対象設備の操作(例えばボタンを押下する)を行う。

WEB サーバは受領した操作指令を解釈し、SOAP メッセージを用いて制御対象機器の属性値を読み取ることにより監視を、書き込みを行うことにより制御をそれぞれ実現している。

照明設備や空調設備に接続されそれらの制御を行うコントローラは、XML/SOAP を基本的な通信プロトコルとし、コントローラ自身が WEB サービスのサーバとして機能するものとして構成される。

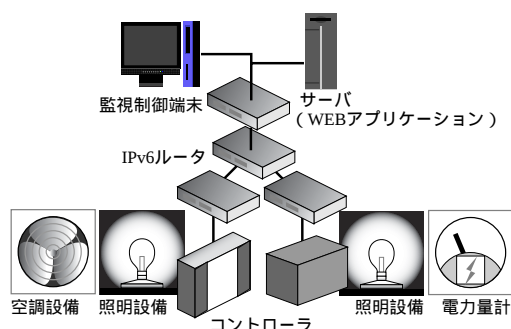


図 - 4 XML/SOAP を利用した実装システム

4.2 BACnet による実装

4.2.1 BACnet

BACnet(Building Automation and Control Netowrks)とは、ANSI/ASHRAE 135²⁾において標準化された(その後 ISO16486 として一部 ISO 化)暖房/換気/空調および冷凍制御装置に特化したネットワークプロトコルであり、照明や防災など、他の種類の施設制御システムとの統合化のための基盤ともなっている。なお ANSI/ASHRAE 135 の序言においては BACnet は「任意の機能を持つコンピュータ化装置により情報交換を行うメカニズムを供給する」と定義され、接続された各機器が相互に通信を行うことが可能である。

BACnet における各ネットワーク装置は通信オブジェクト(の集合)を持ち、特定のオブジェクトの属性(プロパティ)を読み書きしたり、相互に受け入れ可能なサービスを実行すること等によりメッセージ送受のための通信が発生する。このように BACnet はオブジェクト指向を基本的思想としている。

BACnet は下位の物理層やデータリンクとして ISO 8802-3 (IEEE802.3、イーサネットの直接利用)や LONTalk 等様々なネットワーク環境の上に構築する

ことが可能であり、トランスポートプロトコルとして IP を用いる手法についても定義されている。通信データとなるオブジェクトおよびサービス(メソッド)は、ASN.1(ISO/IEC 8824) 形式にバイナリエンコードされて送受される。この思想は、全て人間可読なテキストファイルとして送受される XML/SOAP との明確な相違となっている。

4.2.2 実装環境

BACnet を用いて各設備の状態や現在値を取得し、WEB アプリケーションとして表示可能な形とするシステム構成を図-5 に示す。

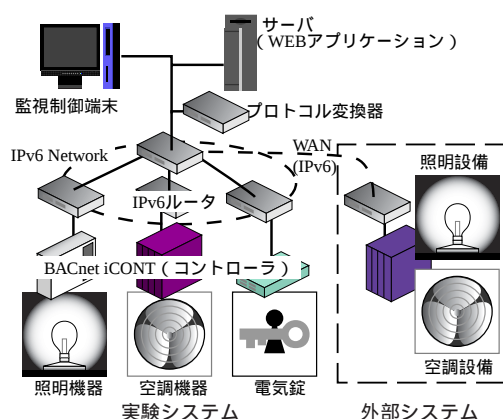


図 - 5 BACnet を利用したシステム構成 (当初案)

ユーザ側から見た挙動は XML/SOAP による実験実装システムと同様であり、WEB サーバは受領した操作指令を解釈し、BACnet を用いて制御対象機器の属性値を読み取ることにより監視を、書き込みを行うことにより制御をそれぞれ実現している。

照明設備や空調設備に接続されそれらの制御を行うコントローラには、FNSWG 参加各社の IPv6 対応 iCONT (Intelligent CONTroller, BACnet コントローラ) 試作品、カスタム品を用いている。

また、外部で実際に稼働している IPv6 施設管理システムとの接続も試みる。これは、閉じた環境で実装されているシステムが大規模な変更なくインターネット環境でも稼働させ得るか否かの検証のためである。

4.2.3 プロトコル変換による実装の問題

前節の構成において、当初サーバ側では IPv4 ベースの OPC ドライバを組み込んだ SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) を用い、IPv4-IPv6 トランスレータを用いたプロトコル変換によって IPv6 BACnet 機器との通信を行うこととしていた。OPC(OLE for Process Control) は、Microsoft 社の OLE(Object Linking and Embedding) を基にした製造自動化・監視システムとの連携対応を行う体系であり、生産設備等のネットワーク対応自動制御・監視システム構築におけるデファクト標準の位置を占めている。

ところが、実装途上においてルータおよびトランスレータを越えた BACnet 機器相互の通信ができないことが判明した。この問題は、通信パケットの解析により、参入処理の対応により生じるものと推定された。

参入処理とは、システムへのデバイスの追加や離脱を動的に可能とする手順であり、ブロードキャスト(broadcast)による一斉同報を利用したメッセージ送受により実現されている。オリジナルの BACnet 規格では参入処理に関しては必須とはされていないが、日本の電気設備学会指針では、BACnet 機器が通信する範囲を同一ネットワーク上に限り、参入処理を必須として実装の安全性を重視した仕様となっている(各社機器はこれを踏襲した形で生産されている)。

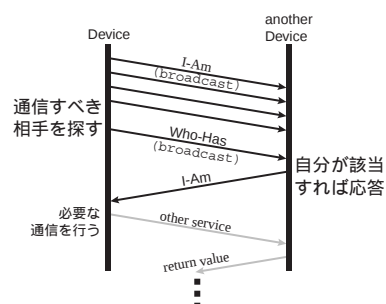


図 - 6 BACnet 機器の参入シーケンス

IPv6 ではブロードキャストではなくマルチキャストにより同報通信を行う仕様となっていることから、本開発における実験で用いられている IPv6 対応機器はマルチキャストを用いて参入処理を行う仕様となっている。ただし、各機器における IPv6 対応仕様の詳細が異なることから、過去に FNSWG で行われた実験においては参入処理を無視した形での相互接続実験を行っており³⁾、本開発でもそれを踏襲している。

それに対し今回用いた OPC ドライバは参入処理手順である I-AM/WHO-HAS メッセージをネットワークにブロードキャストし、参入処理に失敗する(誰も応答しない)と沈黙し動作しない。ルータやトランスレータはブロードキャストを通過・変換しないため、この構成では通信を開始することができなかった。

そこで、参入処理を行わずにユニキャスト BACnet 通信を行って機器の現在値を読み出し/書き込み、HTTP として結果を返すプロトコル変換 Web サービスプログラム(株)東芝による)を利用し、改めて監視制御システムを構成した。このプロトコル変換 WEB サービスを用いた通信の概要を図-7 に示す。

§ 5. 結果

複数建物を模した各システムの情報を取得し表現する WEB アプリケーションを構築し、クライアント

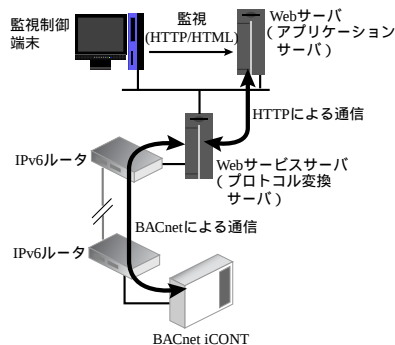


図-7 構成検討後システムでの通信

であるWEBブラウザより監視画面としてアクセスするシステムを構成した（図-8, 9）。各システム相互のIPv4レベルでの干渉を防ぐため、XML/SOAP利用システムとBACnet利用システムとは第3.3項で述べたMP/MHで構築した別運用ポリシーのネットワーク上で構築し、さらに別ネットワーク上の2台のクライアントからWEBブラウザで表示する構成としている。



図-8 XML/SOAP利用システム監視画面写真

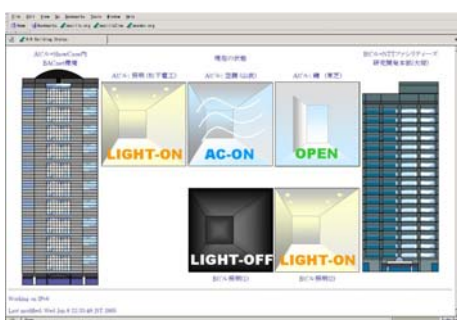


図-9 BACnet利用システムによる監視画面例

この実験実装システムにより確認できた事項は次のとおりである。

システム構築の可否 各所に散在する施設の集中監視を行うシステムプロトタイプを、IPv6をベースに実装し運用することができた。

構築のコスト XML/SOAP利用システムにおいてはIPv4利用システムも同一サーバ上に構築したが、利用

資源や開発工数はIPv4、IPv6とも同等であった。これは、サーバサイドのIPv6化においてはコストが障害となりにくいことを示している。

設計・実装の容易性 IPv6をベースとしたことで、NATによるパケット変換機構を必要とせず、既存のIPv4ネットワークとは切り離れた形での統合ポリシーやアドレス体系策定が可能であった。さらにMP/MHの適用により、VPNを用いずに別運用ポリシーで区画されたネットワークを容易に構築することができた。これは広域施設管理システム設計・実装においてIPv6採用が有利な点であるといえる。

問題点 OPCドライバのようにIPv6環境での利用が困難なシステム資産がある場合、システム全体の見直しが必要となる場合がある。

§ 6. まとめ

IPv6を用いた広域施設管理システムの実現性を示し、統合的な設計・実装の容易性が確認できた。これは運用コスト低減という集中管理システムを実現するにあたっての大きな利点であり、広域施設管理分野がIPv6インターネットワーキングの有望な用途であることを示したと考えられる。さらに、現状の規格運用やネットワーク環境の問題点も明らかにした。

今後の課題として、以下の事項が挙げられる。
BACnetのインターネット環境での扱い 本開発では、上位レイヤでプロトコル変換を行いBACnet利用機器とのインターネットワーキングを実現する手法を示したが、これはBACnet/XMLとして現在ASHRAEで検討が進められているものと同様の方向性であると言える。規格動向に注目する必要がある。

XML/SOAPでのパフォーマンス XML/SOAPによる通信は、データ表現が冗長でありパフォーマンス低下の恐れがある。取得データをローカル側で処理し、取捨選択を行うことが一つの解決策と思われるが、今後の検討課題である。

セキュリティへの対応 施設管理システムは隔離されたネットワーク上で構成されてきたが、コストや管理工数の低減を理由に一般用ネットワークとの混在も増加すると思われる。閉域ネットワークの場合には問題にならなかった、盗聴や不正操作への対応について今後取り組む必要がある。

IP利用時の信頼性 IPの発展はスループットの増大という方向で進んでいる。しかし施設管理分野ではむしろ個々のデータが確実に規定時間内に到達することが望まれる。現状のデータの欠落を許容するIPネットワーク上において、小さなデータを確実に送るための技術を確立することが今後の課題と考えられる。

謝辞

本開発システムによる実証実験は、東京大学江崎浩教授の御指導を始め、IPv6 普及・高度化推進協議会 FNSWG 参加企業メンバーとの活発な討議および実験機器の提供などの協力により結果を得ることができました。関係者に深く謝意を表します。

< 参考文献 >

- 1) World Wide Web Consortium (W3C): “SOAP Version 1.2 Part1: Messaging Framework”, <http://www.w3.org/TR/2003/REC-soap12-part1-20030624/>, 2003
- 2) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, INC: “BACnetビルディングオートメーション用データ通信プロトコル (原題: A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks (ANSI/ASHRAE 135) 1995)”, 社団法人 電気設備学会, 2000
- 3) IPv6 普及・高度化推進協議会 ファシリティー・ネットワーキング SWG: “Global Business Exchange Facility Networking ShowCase 報告”, <http://www.v6pc.jp/pdf/FNshowcaseReport.pdf>, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2004
- 4) “総務省 IPv6 移行実証実験への参加について”, <http://www.ntt-east.co.jp/release/0410/041029a.html>, 東日本電信電話株式会社, 2004